

JJ-300.20

ECHONET Lite 向け
ホームネットワーク通信インタフェース
(広帯域 Wavelet OFDM PLC (「HD-PLC」))

(Home network Communication Interface for ECHONET Lite
(Broadband Wavelet OFDM PLC (*HD-PLC*)))

第 1.1 版

2013 年 12 月 9 日制定

一般社団法人
情報通信技術委員会

THE TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY COMMITTEE

本書は、一般社団法人情報通信技術委員会が著作権を保有しています。
内容の一部又は全部を一般社団法人情報通信技術委員会の許諾を得ることなく複製、転載、改変、転用及びネットワーク上での送信、配布を行うことを禁止します。

目次

<参考>	9
1 インTRODクシヨン	10
1.1 スコウブ	10
1.2 本仕様書の記載ルール	10
2 参考規格	11
3 用語の説明	11
4 略語	16
5 概説	19
5.1 「HD-PLC」ネットワークの構成要素	19
5.1.1 端末タイプ (Station types :STA)	19
5.1.2 Basic Service Set (BSS)	19
5.1.3 エリアコンセプト	19
5.2 サービスの概要	21
5.2.1 アクセス制御とデータ機密性サービス	21
5.2.2 信頼性がある MSDU 配信	21
5.2.3 QoS サポート	22
5.3 リファレンスモデル	22
5.3.1 MAC サブレイヤー	23
5.3.2 PHY レイヤー	23
5.3.3 MAC サブレイヤー管理エンティティ (MAC Sublayer Management Entity : MLME)	23
5.3.4 PHY レイヤー管理エンティティ (PHY Layer Management Entity : PLME)	23
5.3.5 端末管理エンティティ (Station Management Entity : SME)	24
5.4 セキュリティ	24
5.5 複数ネットワーク対応	24
6 MAC サービスの定義	25
7 フレームフォーマット	26
7.1 MAC フレームフォーマット	26
7.1.1 規定	26
7.1.2 一般的なフレームフォーマット	27
7.1.3 フレームフィールド	27
7.1.4 サブフレーム内部の連結フォーマット	34
7.2 個別のフレームタイプのフォーマット	36
7.2.1 データフレーム	36
7.2.2 ビーコンフレーム	40
7.2.3 ACK フレーム	55
7.2.4 チャネルエスティメーション要求フレーム	57
7.2.5 チャネルエスティメーション応答フレーム	59

7.2.6	管理フレーム	63
7.3	管理情報	64
7.3.1	認証メッセージ	66
7.3.2	チャンネルエスティメーションメッセージ	71
7.3.3	NEK アップデート メッセージ	71
7.3.4	ISP 情報通知	73
7.3.5	ベンダー固有メッセージ	80
8	セキュリティ	82
8.1	概要	82
8.1.1	セキュリティ方法	82
8.2	暗号鍵と Nonce	82
8.2.1	ペアワイズ鍵(PWK)	82
8.2.2	ペアワイズ パスワード(PPW)	83
8.2.3	ネットワーク暗号鍵	83
8.2.4	ネットワーク暗号パスワード	83
8.2.5	Nonce	83
8.3	ペアワイズセキュリティネットワーク (PSN) データ機密性プロトコル	83
8.3.1	PSN association (PSNA) CBC 概要	83
8.3.2	データボディ暗号化ビットオーダー	84
8.3.3	初期化ベクトル生成とビットオーダー	84
8.3.4	PSNA CBC サブフレームフォーマット	84
8.3.5	PSNA CBC モードの暗号のカプセル化	85
8.4	共有鍵 PSNA	88
8.4.1	概要	88
8.4.2	暗号鍵と Nonce	88
8.4.3	PWK の共有方法	89
8.4.4	認証方法	90
8.4.5	ペイロード暗号化	91
8.4.6	STA の認証解除	92
8.4.7	ネットワーク暗号鍵の更新	92
8.5	ペイロード暗号化	94
8.5.1	暗号化アルゴリズム	94
8.5.2	ネットワーク暗号鍵インデックス	94
8.5.3	暗号化されたペイロードメッセージ	94
9	MAC サブレイヤー機能	95
9.1	MAC アーキテクチャー	95
9.1.1	衝突回避キャリアセンス多重アクセス(CSMA/CA)	95
9.1.2	連結とフラグメンテーション概要	95
9.2	プライオリティ CSMA/CA に基づく IFS	95

9.2.1	インター フレーム スペース(Inter-frame space : IFS).....	96
9.2.2	キャリア センス メカニズム	96
9.2.3	メディア アクセス メカニズム	97
9.2.4	ACK (Acknowledgments).....	98
9.2.5	NAV.....	99
9.2.6	衝突 (collisions)	100
9.2.7	CSMA/CA アクセス手順.....	100
9.2.8	優先制御を備えた CSMA/CA	105
9.3	DVTP	106
9.3.1	基本的なアクセス構造.....	107
9.3.2	ACK (Acknowledgments).....	108
9.3.3	NAV.....	109
9.3.4	ランダムバックオフ.....	110
9.3.5	調停制御 (Arbitration Control)	111
9.3.6	端末 ID (Station ID : STID) 管理.....	113
9.3.7	プライオリティ.....	115
9.4	連結 (Concatenation).....	115
9.4.1	サブフレーム連結.....	115
9.4.2	アグリゲーション型のデータボディフォーマット.....	116
9.4.3	シングル MSDU のデータボディフォーマット	117
9.5	信頼性があるフレーム伝送	118
9.5.1	シーケンス番号.....	118
9.5.2	ACK フレーム応答	118
9.5.3	再送	118
9.6	双方向送信 (Bidirectional Transmission)	119
9.7	順序制御機能	121
9.7.1	順序制御 : Reorder あり	121
9.7.2	順序制御 : Reorder なし	121
9.7.3	重複チェック	122
9.8	リンクステータス機能	122
9.9	ブロードキャスト・マルチキャスト通信.....	123
9.9.1	多重送信機能.....	123
9.9.2	ユニキャスト変換機能.....	124
9.10	チャンネルエスティメーション機能.....	126
9.10.1	基本手順.....	126
9.10.2	トーンマップの開放	127
9.10.3	実行基準.....	127
9.10.4	チャンネルエスティメーション実施制限 (Informative).....	128
9.11	複数ネットワーク管理	128

9.11.1	隣家ネットワーク間の同期.....	128
9.11.2	BSS 間のビーコン同期.....	129
9.12	Class capability 情報による機能 Switching	132
9.12.1	概要	132
9.12.2	Class-1, 2, and class-3 Capabilities.....	134
9.12.3	Class-4 機能	137
10	レイヤー管理	139
10.1	管理モデルの概要	139
10.2	MLME SAP インタフェース	140
10.3	PLME SAP インタフェース	140
11	MLME.....	141
11.1	BSS システム	141
11.1.1	同期	141
11.1.2	BSS でのビーコン生成.....	141
11.1.3	スキャン	142
11.1.4	ビーコン受信	143
11.2	端末登録および認証	143
11.2.1	端末登録	143
11.2.2	端末認証手順	144
11.2.3	認証解除手順	148
11.3	同期.....	151
11.3.1	NTB 同期の維持.....	152
11.3.2	精度	152
11.4	パワーマネジメント	152
12	PHY サービス仕様	153
12.1	スコープ	153
12.2	PHY サービス	153
12.3	PHY プリミティブ	153
12.3.1	概要	153
12.3.2	Vector	154
12.3.3	PHY-SAP 詳細機能仕様.....	156
13	WAVELET OFDM PHY レイヤー.....	163
13.1	Wavelet OFDM システム	163
13.1.1	特徴.....	163
13.1.2	PHY 機能	163
13.2	特定の機能パラメータリスト	164
13.2.1	イントロダクション	164
13.2.2	TXVECTOR パラメータ	165
13.2.3	RXVECTOR パラメータ	165

13.3	PLCP サブレイヤー	166
13.3.1	イントロダクション	166
13.3.2	PLCP フレームフォーマット	166
13.4	PHY エンコーダ	170
13.4.1	RCE フレームのジェネレータ	170
13.4.2	スクランブラ (Scrambler)	170
13.4.3	接続エンコーダ	171
13.4.4	低密度パリティ検査多項式によって定義された畳み込み符号	173
13.4.5	Wavelet OFDM	180
13.5	PMD	221
13.5.1	送信機と受信機のブロック図	221
13.5.2	主な仕様	223
13.5.3	相対的な送信パワーレベル	223
13.5.4	送信スペクトラム	223
13.5.5	ノッチ及びパワーコントロール	228
13.5.6	システムクロック周波数許容誤差	232
13.6	PLME	232
13.6.1	PLME_SAP サブレイヤー管理プリミティブ	232
13.6.2	PHY MIB	232
13.6.3	TXTIME 計算	234
13.7	PMD サブレイヤー機能	234
13.7.1	適用範囲	234
13.7.2	機能概要	234
13.7.3	インタラクション概要	235
13.7.4	基本機能とオプション	235
13.7.5	PMD_SAP 詳細機能仕様	236
14	INTER SYSTEM PROTOCOL (ISP)	240
14.1	ISP 概要	240
14.1.1	共存信号	240
14.1.2	ネットワーク状態	240
14.1.3	リソース割り当て	240
14.1.4	起動と再同期手続き	241
14.1.5	パワーコントロール	241
14.2	共存信号定義	241
14.2.1	信号生成	242
14.2.2	位相ベクトル	244
14.2.3	Power sync point	246
14.3	共存信号スキーム	247
14.3.1	ISP Window	247

14.3.2	ISP Field	249
14.3.3	ネットワーク状態	251
14.4	共存リソース	252
14.4.1	ISP 共存リソース	252
14.4.2	パラメータ	254
14.4.3	ISP FDM/TDM モード	255
14.5	ISP リソース割り当て	255
14.5.1	Access システム用の TDM リソース 割り当て ガイドライン	255
14.5.2	一般的な TDM リソース 割り当て ガイドライン	256
14.6	起動とリシンク(再同期)手順	256
14.6.1	起動手順	256
14.6.2	ISP リシンク(再同期)手順	258
14.7	ISP EMI コントロール手順	260
14.8	ISP タイムスロット再利用	261
14.9	一般的な管理メッセージ	261
14.9.1	状態表示メッセージ	261
14.9.2	再同期メッセージ	262
14.10	信号の送信および検出	264
14.10.1	信号送信	264
14.10.2	信号検出	265
ANNEX A	ブリッジ	266
A.1	ブリッジネットワーク	266
A.2	ブリッジ操作	266
A.3	送信先テーブル作成手順例	267
ANNEX B	リモートコントロール	269
B.1	機能	269
B.2	フレームフォーマット	269
B.2.1	リモートコントロール要求メッセージ	269
B.2.2	リモートコントロール応答メッセージ	270
ANNEX C	簡単設定	272
C.1	機能	272
C.1.1	登録	272
C.1.2	認証	273
C.2	フレームフォーマット	274
C.2.1	簡単設定メッセージ	274

<参考>

1. 概要

本標準は、ホームネットワークの通信プロトコルのうち、ECHONET Lite の下位レイヤーを構成する広帯域 Wavelet OFDM PLC (「HD-PLC」) の物理層 (PHY) 及びメディアアクセス層 (MAC) における仕様を規定した文書である。

2. 国際勧告等との関係

- ・ 本標準は、HD-PLC が規定する広帯域 PLC 仕様を原標準としており、同仕様は、IEEE 1901 の作業部会に提案され、IEEE 1901-2010 における Wavelet OFDM PLC 方式として認定されたものである。
- ・ 本標準に規定する共存方式は、IEEE 1901-2010 の必須仕様として規定されており、ITU-T G.9972 が規定する共存仕様とも同一の仕様である。なお、本共存仕様の同一性に関しては、米国 NIST IR 7862 にて勧告化されている。

3. 国際勧告等との相互接続性等

本標準と IEEE 1901-2010 を実装した機器の相互接続性は、認証団体である HD-PLC アライアンスが認証を行う。

HD-PLC アライアンスは、IEEE 標準化委員会のメンバー団体であり、本標準に関して同委員会と TTC との連携の窓口を担う。

4. 関連する TTC 標準

JJ-300.21 : ECHONET Lite 向けホームネットワーク通信インタフェース (広帯域 Wavelet OFDM PLC (「HD-PLC」) 省電力化用拡張機能)

5. 改定の履歴

版数	改定日	改定内容
1	2013年11月14日	制定
1.1	2013年12月9日	原文の Word 文書を PDF に変換時に図が変形していたため PDF 版を訂正。(PDF 版の P. 188 図 13. 15 の”Output composite waveform of IDWT”の図を訂正。Word 版は変更無しであるが、1.1 版化し、本改訂履歴を追記。)

6. 標準作成部門

第1版：次世代ホームネットワークシステム専門委員会

1 インTRODakシヨン

本標準は、ホームネットワークの通信プロトコルのうち、ECHONET Lite の下位レイヤーを構成する広帯域 Wavelet OFDM PLC（「HD-PLC」）の物理層（PHY）及びメディアアクセス層（MAC）における仕様を規定した文書である。

「HD-PLC」システムは、高速ネットワーキングを電力線を用いて実現する。この仕様書では、「HD-PLC」システムの機能、フォーマット、通信手順、外部インタフェースの特徴について説明する。「HD-PLC」システムの主要な機能は以下の通りである。また、この仕様書は、IEEE Std 1901-2010に基づいている。

- Wavelet OFDM を用い、26MHz(1.8MHz~28MHz)の帯域の 432 のサブキャリアを使ってアップリンク/ダウンリンクが行える。
- PHY レートで最大 210 Mbps（アマチュア無線のためのノッチ使用時）
- 電力線送信チャネルの特性に適合し、最も適切な伝送速度を可能にするサブキャリア毎のマルチレベル変調
- 各国の規則に適合させることが出来る任意の数のサブキャリアマスキング機能
- CSMA/CA をサポート
- 優先制御による QoS（プライオリティ CSMA/CA）
- 効率的なフレーム送信を実現する誤り訂正(FEC)と選択再送(Selective-Repeat ARQ)
- 周期及び伝送路変動検出によるチャネルエスティメーション起動機構
- イーサネットのアドレス体系に互換の「HD-PLC」ネットワークブリッジ機能
- 128 ビット AES を用いた高度な暗号化
- ネットワーク間同期による CSMA/CA での複数ネットワークアクセス

1.1 スコープ

この仕様書は、「HD-PLC」電力線ネットワークの端末間で相互接続を行うために、データリンク層の Media Access Control(MAC) サブレイヤーと、「HD-PLC」の物理層（PHY）のために作成されている。この仕様書には実装方法を示していないが、電力線上での相互接続に必要な機能を規定している。「HD-PLC」仕様に適合したテスト方法についてはここでは記載していない。

1.2 本仕様書の記載ルール

この仕様書の本文には、規約を示し、付録の章は、規約と補助的な説明の両方を含む。この仕様書の数字の先頭に 2 進数は「0b」を、16 進数は「0x」を付加して表現する。

本文中の各ビットやフィールド等の設定値に記載されている「reserved」の意味は、それが使用されておらず、仕様を拡張した時に使えることを意味する。拡張された仕様の実装されていない端末は、受信時は、「reserved」と記載された値を無視しなければならない。

「メッセージ」は、異なる端末の同位エンティティ間のプロトコルデータユニット(PDU)として使う。同様に、「プリミティブ」は、同一端末内の同位エンティティ間でサービスデータユニット(SDU)として使われる。

2 参考規格

以下の規格書には、この仕様書の制定にかかわる条項(基準となる規格)、あるいは、この仕様書のユーザへの追加情報(参考となる規格)を含んでいる。規格は改訂されることがあるので、この仕様書に基づいて契約する方は、下記の規格の最新版を確認することを推奨する。

IEEE Std 1901-2010: IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications

ANSI C63.4-1992: Methods of Measurement of Radio-Noise Emissions from Low-Voltage Electrical and Electronic Equipment in the Range of 9 kHz to 40 GHz.

FCC Rules, 47 CFR (10-1-98 Edition), Part 15: Radio Frequency Devices.

FIPS PUB 197-2001, Advanced Encryption Standard (AES), November 26, 2001.

IEEE Std 802.1D-1998: Information technology – Telecommunications and information exchange between systems — Local and metropolitan area networks — Common specifications — Part 3: Media Access Control (MAC) Bridges.

IEEE Std 802.1Q-1998: IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Virtual Bridged Local Area Networks

IEEE Std 802.3-2005: IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements – Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications (status: informational)

IEEE Std 802.11-2007, Standard for Information Technology – Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, March 2007 (status: informational)

3 用語の説明

アクティブ端末(active station): BM が存在を把握している端末は、送信のためのいくつかの MPDU を持っている。アクティブ端末は、BM によって端末識別子(STID)を割り当てられる。BM は常にアクティブ端末である。

アクティブ端末識別子(active station identifier): 現在送信しているデータフレーム、それに対応する受信待ち ACK フレームの STA のステーション識別子 (STID)。

認証(authentication): この機能は、他の端末と関連付けるために許可された端末のセットのメンバーとして、1つの端末のアイデンティティを確立するために使用する。

ARQ (Automatic Repeat reQuest): 伝送フレームの欠損に伴ってフレームの再送を行う処理。

バックオフ時間 (Backoff Time): コンテンション期間中、端末がメディアアクセスの優先権を取りに行くときに待たなければならない待機時間。

Basic Service Set (BSS): PSNA を使用し同期が成功した端末のセット。BSS のメンバー資格は、BSS の他の全てのメンバーと電力線通信が可能であることは意味しない。

ビーコン周期 (Beacon Cycle): BM がビーコンフレームを送出する周期。ビーコン周期は、BEACON_CYCLE で与えられる時間。

ビーコン間隔、ビーコン期間 (beacon interval, beacon period): ビーコン周期の開始から次のビーコン周期の開始までの期間。

ビーコン領域 (beacon region): 1以上の BM が、それぞれビーコンを送信できる、ビーコン期間内の割り当て。

ビッグインディアン(big endian): 与えられた多バイト数値表現について、最上位のバイトが最下位アドレスを持つ形式、方法。

ブリッジ端末(bridge station): BSS 間または BSS と外部ネットワークの間のトラフィックを中継する端末。

ブロードキャストアドレス(broadcast address): 全ての端末に同時に送信するために使われる特殊なアドレス。

BSS manager (BM):ステーション機能を持つすべてのエンティティ、かつ電力線を経由し、ベーシックサービスセットに関連付けられたステーションに、連携/セキュリティ、隣接ネットワーク調整サービス、QoS 管理 BSS を提供する。全ての BSS は BM によって初期化され、管理される。(全ての連携、認証、QoS を含む)

キャリア (Carrier): 伝送メディアの最小の単位。キャリアは、高周波信号から構成される。PHY に Wavelet OFDM を使用する場合、1 キャリアを用いると、1 シンボル長で、2PAM で最大 1 ビット、4PAM で最大 2 ビット、8PAM で最大 3 ビット、16PAM で最大 4 ビット、32PAM で最大 5 ビットのデータ伝送が可能。

キャリアセンス (Carrier Sense): 送信端末が、共有メディアに現在占有されているかいないかを調査するプロセス。

キャリアセンス多重アクセス/衝突回避(carrier sense multiple access with collision avoidance (CSMA/CA)): ローカルネットワークアクセス技術。端末がネットワークへのアクセスしたい場合、他の端末が送信していないかを確認し、ネットワークが未使用状態であるかチェックする。ネットワークが未使用でない場合、少し時間を待って再試行される。

チャネルエスティメーション (Channel Estimation): データ送信時の伝送路状況において最大のスループットを達成することを目的として、データ送信に先立ち伝送路状況を推定し、最適な変調パラメータ等の情報を送信側に伝える機能。

暗号スイート(cipher suite): データ機密性、データの真性または確実性、データの保全性の、かつ/また、再生保護を提供するように設計された、1 つまたは、それ以上のアルゴリズムの組。

共存(coexistence): 異なる PLC システムが、同じ電力線上で許容できるパフォーマンスで同時に動作するための機能・能力。

連続衝突カウント(consecutive collision count :CCC): DVTP をサポートする各 STA で数をカウントする。この数は、STA からのフレーム送信が何回連続して失敗したかを示す。

コンテンションフリー期間、非競合期間 (Contention Free Period : CFP): BM が送出する BEACON PDU に格納されるスケジューリング情報に従って、特定の端末にメディアを占有させる期間。

コンテンション期間、競合期間 (Contention Period : CP): CSMA/CA アクセス制御方式に基づいて端末がメディアアクセス権を獲得することが出来る期間。CP は、ビーコンサイクルに 1 つ以上あるべきである。

コンテンションウィンドウ(contention window : CW): CSMA/CA において、端末がメディアへ自由にアクセスにできることができる期間。CW はアクセスバックオフカウンタのための最大のデフォルト値である。

カップラー(couplers): あるメディアから他のメディアに信号を伝送するための電気回路。商用電源ラインに高周波信号を注入、または受信するために使用される。

暗号カプセル化(cryptographic encapsulation): 平文データから暗号ペイロードを作成するプロセス。これは、データの受信によって関連する暗号状態が要求されると同様に、暗号テキストを構成する。例えば、初期化ベクトル(IV)、シーケンスナンバー、フレーム保全コード(MIC)、鍵識別子。

CSMA 領域(CSMA Region): CSMA/CA チャネルアクセスメカニズムを使用するメディアにアクセスするかもしれない全ての端末でのビーコン期間の割り当て。

CSMA オンリーモード(CSMA-only mode): ビーコン期間は、CSMA 領域とステイアウト領域のみで構成される。

巡回冗長検査 (Cyclic Redundancy Check : CRC): データが、正しく伝送(読み書き)出来たかどうか検査する為の方法の一つ。単純なチェックサムのビット幅を 8 ビット、16 ビット、または 32 ビットにしたもの。

データ機密性(data confidentiality): 権限のない個体、エンティティ、プロセスに公開を防ぐ情報の特性

認証解除機能(deauthentication service): 既存の認証関係を無効にする機能。

デリミタ (Delimiter): Wavelet OFDM において、ペイロードより前におかれる PHY Layer Convergence Protocol (PLCP) フィールドである。デリミタは、プリアンブル、tone map index (TMI)、フレームコントロールが含まれ、ネットワーク上の全ての端末が解釈することが出来る方法で伝えられる。

デバイスアドレス(device address): デバイスの MAC アドレス。

diversity-OFDM for frame body mode (DOF mode): 異なるキャリアを使用しフレームボディのデータを繰り返し(4回)送信するためにダイバーシティモードを使用する。

dynamic virtual token passing (DVTP): 衝突回避アクセスメカニズムでの virtual token passing は、basic service set (BSS)内の端末(STA)によって使用される。

評価配列 (Evaluation Sequence): チャネルエスティメーション要求が各キャリアの送信性能を評価するために出されるとき、フレームに書かれるデータのセット。

断片化、フラグメンテーション(fragmentation): 送信前のより小さい MAC プロトコルデータユニット(MPDU)のシーケンスへの MAC 機能データユニット(MSDU)の分割プロセス。フラグメントされた MPDU と MSDU への結合プロセスは、デフラグメンテーションとして知られている。

フレームボディ (Frame Body): MSDU のうち、送受信端末 ID、ブロック PAD、フレームチェックシーケンスを除いた部分。

周波数ノッチ(frequency notching): フィルタリング、または、特定周波数レンジでのエネルギー密度が干渉会費のための制限値より下げる信号出力パワースペクトラムを作成するプロセス。

グループマスター鍵(group master key : GMK): グループテンポラリー鍵(GTK)を引き出すために使用されるかもしれない予備の鍵。

グループテンポラリー鍵(group temporal key : GTK): ブロードキャスト/マルチキャスト送信元から割り当てられるランダム値。送信元からのブロードキャスト/マルチキャスト MAC プロトコルデータユニット(MPDU)を保護するために使用される。GTK はグループマスター鍵(GMK)から得ても良い。

隠れ端末(hidden station):伝送は 2 番目の端末のキャリアセンスを使用して検出できないが、2 番目の端末から 3 番目の端末への伝送を妨げる端末。

high definition (HD) video: ビデオ解像度が、1280 x 720p (60 fps) と 1920 x 1080i (30-25 fps)に等しいかそれ以上。SD ビデオレートは、60Hz で 1920X1080p に及ぶ。圧縮された HD ビデオは、レートのピークが 25Mbps である MPEG-2 ストリームを構成する。HDTV 1080p 1920 x 1080 (50/60Hz), HDTV 1080i 1920 x 1080 (25/30Hz), HDTV 720p 1280 x 720 (50/60Hz)。

high definition (HD) video stream: HD ビデオストリームは、27Mbps の最大持続ビットレートが必要である。

個別アドレス(individual address): ユニキャストアドレスを見る

ISP 信号: ISP Window の中で送信される信号。

ISP window: 時間軸上の 2 つの領域で構成される時間領域で、2 つの時間領域は ISP Field を形成する。ISP Window は T_{ISP} で与えられる期間で定期的に起こる。ISP Window は共存しているシステムの存在上で、リソース要件とリシンク要求の情報を伝達するために使用される。各 PLC システムカテゴリには特定の ISP Window が割り当てられる。

相互運用性(interoperability): 最大性能でペイロードを交換できる BPL システムを適用する。

鍵カウンター(key counter): 初期化ベクトル(IV)を生成する擬似ランダム機能(PRF)に使用される 256 ビット (32-octet)のカウンター。1 つのグローバルな端末(STA)に 1 つの鍵カウンターがある。

鍵管理機能(key management service): 強固なセキュリティ(RSN)の中で暗号鍵を分配して管理する機能。

リンク (Link): MAC 層によって制御されている端末間の論理的な接続。2 つの端末(STA)間で MAC サービスデータユニット(MSDU)を送信するために使用される電力線からなる物理的なパス。

リンク ID (Link Identifier : LID): BSS 内でリンクを識別するために利用される 8 ビットからなる識別子。端末からの帯域要求、もしくは QoS コントローラ内で発生した帯域要求に回答して、QoS コントローラが割り当てる。QoS コントローラが付与するリンク ID は 0~254 までのいずれかの値で、255 は特殊な用途に用いられる。

リトルインディアン(little endian): 与えられた多バイト数値表現において、最下位のバイトが最下位アドレスを持つという形式、方法。

論理ネットワーク(logical network): 接続経路に関係し、ネットワークの各設備の物理的な位置から独立している理論的なネットワーク。

MAC 情報セット(media access control (MAC) information set : MINFO): 操作のセットは、ストリームにおけるローカル手順のために MAC 機能アクセスポイント(MAC-SAP)において指定される。

MAC プロトコルデータユニット(media access control (MAC) protocol data unit : MPDU): データのユニットは、物理層(PHY)機能を使用して 2 つのペアの MAC エンティティ間で交換する。

MAC 機能データユニット(media access control (MAC) service data unit : MSDU): MAC 機能アクセスポイント(SAP)間で、ユニットとして伝送される情報。

変調 (Modulation): 送信したい信号を搬送波 (キャリア) へ載せること。

マルチキャスト (Multicast): MAC 機能データユニット(MSDU)に適用されるとき、それは送信先アドレス(DA)としてのマルチキャストアドレスを持つ MSDU である。MAC プロトコルデータユニット(MPDU)または制御フレームに適用されるとき、それは送信先アドレス(DA)としてのマルチキャストアドレスを持つ MPDU または制御フレームである。

マルチキャストアドレス (Multicast Address): グループビットがセットされた MAC アドレス

狭帯域電気ノイズ(narrow-band electrical noise): 単一周波数における、または単一周波数の狭帯域周波数における障害。

隣家 BM(neighbor BM): 潜在的な変遷候補である任意の BM。隣家ネットワークの BM。

隣家ネットワーク(neighbor network): 論理「HD-PLC」ネットワークに干渉する。メディア上で他のネットワークと相互運用が可能かもしれないが、ネットワークの一部として認められていない同じメディアを共有するネットワーク。それは干渉するかもしれないし、共存または相互運用するかもしれない。

ネットワーク割り当てベクトル(network allocation vector :NAV): 端末のクリアチャネル評価(CCA)機能がビジーであるかどうかに関わらず、電力線上の伝達が端末によって始められていないとき、各端末によって維持される期間の標識。

network discovery: ネットワークの存在を決定する手順

Nonce: 与えられた暗号鍵と関連する暗号操作に使用される数の値。これは、全ての時間においてシステムの再初期化を含み、暗号鍵として再利用されることはない。

直交周波数分割多重(orthogonal frequency division multiplexing : OFDM): 等しく分けられた周波数帯の通信チャネルを分割する通信技術。ユーザ情報の一部を運ぶサブキャリアは、各バンドで伝送される。各サブキャリアは、全てのほかのサブキャリアと直交 (互いに素) しており、OFDM は一般によく使用される周波数分割多重方式(FDM)とは異なる。

パケットロス率(packet loss ratio): ネットワーク上で、意図した送信先に到着しなかったパケットのパーセンテージ。0%のパケットロスは、伝送においてパケットの損失がなかったことを示す。QoS の特徴は、パケットの損失を最小にするように設計されている。

パディング(padding): フレーム内を規定のビット数もしくは規定のフレームサイズにするために、必要数だけ空情報 (0) を追加する方法。

ペアワイズキー、ペアワイズ鍵 (pairwise key : PWK): 認証手順で使用される暗号鍵

ペイロード (Payload): フレームのメッセージ本体部分で、プリアンプル、TMI、フレームコントロール、FL を除いた部分。

物理層、PHY レイヤー (Physical Layer): データ伝送を行うための機械、電気、機能、手続き的な手段を提供する ISO 参照モデルのレイヤー。

プリアンプル (Preamble): AGC、時間的周波数同期、メディアアクセスのキャリアセンスに利用される数シンボルの領域

事前共有鍵(preshared key : PSK): この基準の範囲外の方法によってシステムのユニットに分配される固定鍵。

プリミティブ (Primitive): レイヤー間インタフェースのために定義されたレイヤー間通信に使用される命令。

prioritized quality of service (QoS): 高いプライオリティで MAC プロトコルデータユニット(MPDU)においてサービスを提供することは、低いプライオリティと共に MPDU 上で優先処理を与えられる。Prioritized QoS は、分配されたチャンネルアクセス(EDCA)メカニズムを高められることを通して提供される。

QoS(quality of service): インターネットや他のネットワークにおいて、伝送の特性を測定し、改善し、ある範囲を、あらかじめ保障できるアイデア。

quality of service (QoS) facility: 機能のセット、チャンネルアクセスルール、フレームフォーマット、フレーム交換シーケンス、パラメータ化 QoS と prioritized QoS を提供するために使用される管理されたオブジェクト。

受信パワー(receive power): ハードウェアで測定されたパワー

スロット (Slot): フィジカルキャリアセンスメカニズムを使ってメディアの状態を Busy/Idle で判定できる最小時間単位。

スタンドアロンモード (Stand-alone Mode): 他の BSS からの干渉が全くない状態下での BSS manager (BM)モード。

standard definition (SD) video: Standard Definition Video 30Hz interlaced (NTSC) または 25Hz interlaced (PAL). 圧縮された SD MPEG-2 ストリームは 11Mbps がピーク。SDTV 480i60 (NTSC), 480p30, 576i50 (PAL, SÉCAM), 576p25.

端末 (Station : STA):電力線上の、「HD-PLC」準拠の MAC および PHY を含むデバイスの総称。

端末 ID (Station Identifier : STID): BM によって割り当てられたアクティブ端末のための BSS 内部の識別番号。

ストリーム ID (Stream Identifier : SID): 一つの送信端末内の 1 方向の送信ストリームのためのローカルな識別番号。この ID は、BSS 特有のリンク ID とは異なる。

サブネットワークモード(subnetwork mode): 1 以上の他の BSS 干渉があるときの BSS マネージャー (BM) のための操作モード。このモードでは、BM は 1 以上の他の BM と協調する。

シンボル (Symbol): OFDM 波形の 1 パルス波形分の時間。

シンボル長 (Symbol Length): 1 つのシンボルを送るのに必要な時間。

時間単位、タイムユニット (time unit :TU): 1024µsec と等しい時間の測定

トーンマップ(tone map): OFDM キャリアの状態(それを使用できるかどうか)と変調方式をそれぞれ示しているテーブル

トーンマップインデックス(tone map index :TMI): 特定の送信と受信の端末の間のチャンネル状態を反映する特定のトーンマップを示す識別子。送信端末は TMI によって示されたトーンマップを使用してフレームを変調する。

traffic specification (TSPEC): Non-BSS マネージャー(Non-BM)と端末 (STA) からのデータフローの QoS 特性。

送信機会(transmission opportunity :TXOP): 特定の端末 (STA) が電力線上でフレーム交換シーケンスを始める権利を持つときの時間間隔。TXOP は、開始時間と最大持続時間によって定義される。TXOP は、チャンネル競争の成功によって STA によって獲得されるか、BM によって割り当てられる。

送信パワー (Transmit Power): それぞれの国におけるレギュレーションによる、「HD-PLC」の物理層(PHY)の直交周波数多重分割(OFDM)が動作するときの、有効な放射電力(EIRP)。

ユニキャスト (Unicast): MAC 機能データユニット(MSDU)が適用される時、それは送信先アドレス(DA)として単一の受信アドレスがある MSDU である。MAC プロトコルデータユニット(MPDU)または制御フレームに適用される時、それは送信先アドレス(DA)として単一の受信アドレスがある MPDU または制御フレームである。

ユニキャストアドレス (Unicast Address): グループビットが設定されていない MAC アドレス。同義語:directed address, individual address.

ユーザプライオリティ(UP): どうやって MSDU を取り扱うかを示す MAC 機能データユニット(MSDU)に関連する値。UP は、MAC の上位層の MSDU に割り当てられる。

4 略語

ACK	ACKnowledgment: ACK、確認応答
AES	Advanced Encryption Standard
AFE	Analog Front End : アナログフロントエンド
AGC	Automatic Gain Control / Automatic Gain Controller : 自動利得制御
ARP	address resolution protocol: アドレス決定プロトコル
ARQ	automatic repeat request : 自動再送制御
BC	backoff counter : バックオフカウンタ
BMBSS	manager : BSS マネージャー
BN	block number : ブロック番号
BPL	broadband over power lines
BSF	BSS synchronization function : BSS 同期機能
BSS	basic service set : ベーシックサービスセット
BSSID	basic service set identification : BSS 識別子
BTS	beacon time stamp : ビーコンタイムスタンプ
CCC	consecutive collision count: 連続衝突カウント
CE	channel estimation : チャネルエスティメーション
CER	channel estimation response : チャネルエスティメーション応答
CF	contention free : コンテンションフリー
CFP	contention-free period : コンテンションフリー期間
CIFS	contention interframe space : コンテンションインターフレームスペース
CINR	carrier power to interference power plus noise power ratio : 搬送波電力/(干渉電力+ノイズ電力)
CP	contention period : コンテンション期間
CRC	cyclic redundancy check : 巡回冗長検査
CS	carrier sense : キャリアセンス
CSMA/CA	carrier sense multiple access with collision avoidance : キャリアセンス多重アクセス
CTS	clear to send
CW	contention window : コンテンションウィンドウ
DA	destination address : 送信先アドレス
EIB	extended information block: 拡張情報ブロック
EIFS	extended inter-frame space: 拡張インターフレームスペース
EKS	encryption key select: 暗号鍵選択
EMC	electromagnetic interface
EPAD	encryption padding : 暗号化パディング
FC	frame control : フレームコントロール
FCS	frame check sequence : フレームコントロールシーケンス
FEC	forward error correction : 順方向誤り訂正
FL	frame length (field) : フレーム長
HDTV	high definition television

ICV integrity check value : 完全性チェック値
IDWT inverse discrete wavelet transform : 逆離散 Wavelet 変換
IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers : 米国電気電子学会
IETF Internet Engineering Task Force
IFFT inverse Fast Fourier Transform: 逆高速フーリエ変換
IFS inter-frame space : フレーム間スペース
INTP internal priority: 内部プライオリティ
ISP intersystem protocol
IV initialization vector : 初期化ベクトル
LAN local area network: ローカル エリア ネットワーク
LID link identifier : リンク ID
LME layer management entity: レイヤー管理エンティティ
LSB least significant bit: 最下位ビット
MAC medium access control : メディア アクセス コントロール
MIB management information base: 管理情報ベース
MINFO MAC sublayer operations information: MAC サブレイヤーオペレーション情報
MLME MAC sublayer management entity: MAC サブレイヤー管理エンティティ
MPDU MAC protocol data unit : MAC プロトコルデータユニット
MSB most significant bit: 最上位ビット
MSDU MAC service data unit : MAC サービスデータユニット
N/A not applicable
NAV network allocation vector : ネットワーク割り当てベクトル
NEK network encryption key : ネットワーク暗号鍵
NKI network key index : ネットワーク鍵インデックス
ODA original destination address: オリジナル送信先アドレス
OFDM orthogonal frequency division multiplexing : 直交周波数分割多重
OSA original source address: オリジナル送信元アドレス
OSI Open System Interconnection
PAM pulse amplitude modulation : パルス振幅変調
PCS physical carrier sense : フィジカルキャリアセンス
PDU protocol data unit : プロトコルデータユニット
PHY physical layer : 物理層、PHY レイヤー
PLCP physical layer convergence procedure: PHY レイヤー集合手順
PLME physical layer management entity: PHY レイヤー管理エンティティ
PMD physical medium dependent
PN packet number: パケット番号
PN pseudonoise (code sequence) : 擬似雑音(コードシーケンス)
PPDU PLCP protocol data unit: PLCP プロトコルデータユニット
PPW pairwise password: ペアワイズパスワード

PSD power spectral density: パワー スペクトラム密度
PSDU PLCP service data unit: PLCP サービスデータユニット
PSK pre-shared key: 事前共有鍵
PWK pairwise key: ペアワイズ鍵、ペアワイズキー
QoS quality of service : サービス品質
RCE request channel estimation: チャンネルエスティメーション要求
RF radio frequency : 無線周波数
RFC request for comments (an IETF term)
RIFS response inter-frame space : 応答フレーム間スペース
RSC receive sequence counter : 受信シーケンスカウンター
RSSI receive signal strength indicator: 受信信号強度表示
RSVD reserved: 予約
RTS request to send : 送信要求
RX receive or receiver : 受信または受信機
RXTMI received tone map index : 受信トーンマップインデックス
SA source address : 送信元アドレス
SAP service access point: サービスアクセスポイント
SAR station amplification (AGC) ratio
SDTV standard definition television
SDU service data unit: サービスデータユニット
SID stream identifier : ストリーム ID
SIFS short inter-frame space : 連続したフレーム間スペース
SME station management entity: 端末管理エンティティ
SNAP Sub-Network Access Protocol: サブネットワーク アクセスプロトコル
SNR signal to noise power ratio: 信号対雑音比
SrEND Stream END : ストリーム終了
STA station : 端末
STID station identifier: 端末識別子
SYNC synchronization: 同期
SYNCM synchronization symbol M(last 1symbol) : 同期シンボル M (最終 1 シンボル)
SYNCP synchronization symbol P (10-16symbol) : 同期シンボル P (10~16 シンボル)
TDMA time division multiple access : 時分割多重接続
TMtone map : トーンマップ
TMI tone map index : トーンマップインデックス
TU time unit: 時間ユニット
TX transmit or transmitter : 送信または送信機
TXOP transmission opportunity: 送信機会
TXTMItransmitted tone map index: トーンマップインデックスの送信
UP user priority : ユーザプライオリティ

VCS virtual carrier sense : バーチャルなキャリアセンス

VF variant fields : バリエーションフィールド

VLAN virtual local area network (LAN)

DVTP Dynamic Virtual Token Passing

5 概説

5.1 「HD-PLC」ネットワークの構成要素

5.1.1 端末タイプ (Station types :STA)

この仕様に従うネットワークには以下の端末タイプがある。

5.1.1.1 BSS マネージャー (BM)

BMは、BSSが使用するアプリケーションに必要なサービス品質(QoS)を提供する。BSSでは1つのBM動作が必要である。BSS内にBMとして機能できる複数の端末がある場合、ユーザはこれらからBMとして1つを選ぶことができる。

BMには以下の機能がある。

- 端末登録手順
- ネットワーク鍵送信(初期化)
- ビーコンフレーム送信(スケジュール情報を含む)

5.1.1.2 Non-BM 端末

Non-BM 端末は、BMではない端末である。BSS内でNon-BM 端末数は0~128である。

5.1.2 Basic Service Set (BSS)

BSSは、1つのBMおよび0以上のNon-BM 端末からなる最小の「HD-PLC」ネットワークである。STAは認証手順によってBSSに参加する。

5.1.3 エリアコンセプト

図 5.1 に一般的な住宅の電力線配線形態の一例を示す。屋外の変圧器で、高圧系統から 100V/200V に降圧し、そして引込線とよばれる単相 3 線で各住宅に分配される。100V は、L1-N または L2-N の間で供給される。そして、200V は L1-L2 の間で供給される。屋内では、分電盤から 3 つの相(L1-N, L2-N, L1-L2)で配線される。各相は、分電盤から各部屋に向かってスター配線され、その後各コンセントや照明器具に向かって分岐されたツリー構造となっている。PLC 信号は、L1-N のコンセント間、または L2-N のコンセント間で通信される場合、それを同相通信と呼ぶ。L1-N に接続されたコンセントと L2-N に接続されたコンセントは、共通の N(ニュートラル)を使用し、また L1 線と L2 線はクロストークにより高周波的に結合するため、L1-N のコンセントと、L2-N のコンセント間での通信も可能である。これを異相通信と呼ぶ。200V コンセントは L1-L2 を使用するため、L1-N または L2-N のコンセントとは異相通信になる。

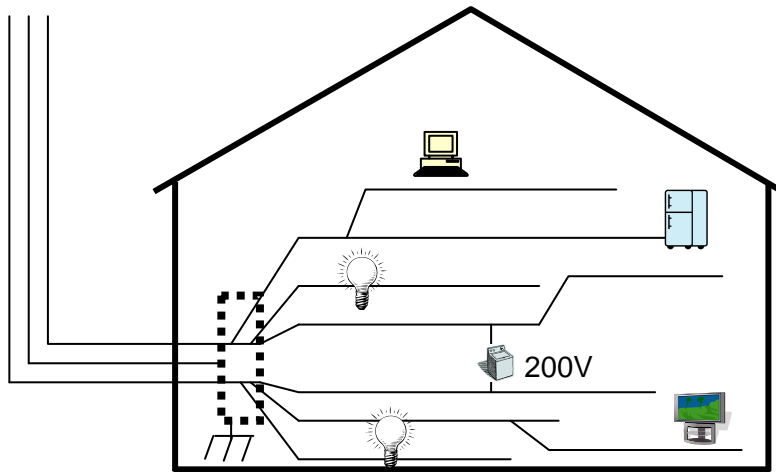


図 5.1 屋内配線の例

表 5.1 住宅床面積の統計

延べ面積 [m ²]	実数(1000 戸)	割合 (%)
29 以下	5106	10.3
30~49	6781	13.7
50~69	8006	16.1
70~99	9608	19.4
100~149	11284	22.8
150 以上	7301	14.7

出展：平成 20 年住宅・土地統計調査（総務省）

もし、分電盤が住宅の端にあり 2つのコンセント間の実際の距離が、それらの間の見た目の距離の 2倍であるとするなら、例えば、300m²の住宅の最大伝送距離は約 70m となる。配線引き回しによっては、最大伝送距離は 100m 余に達することがあると考えられるが、20~30MHz の周波数帯の 100m の電力線の距離減衰は、たかだか、15~20dB であり、距離減衰は重要ではない。

しかし、電力線は屋内の様々な箇所配線が分岐しており、この分岐によって信号が減衰する。配線の分岐では、分岐の数だけその先に到達する通信信号の電力が少なくなる。また、PLC 信号は各コンセントに接続された家電機器に反射された信号によって引き起こされた共振のため、様々な周波数帯で減衰する。その結果、住宅内のコンセント間の減衰は、50dB 以上あるか

もしれない。更に、受信機の受信した S/N 比は、受信機の近くのコンセントに接続された家電機器から発生するノイズの影響で低下することになる。

5.2 サービスの概要

「HD-PLC」端末は以下のサービスを提供する。

- 認証(Authentication)
- 認証解除(Deauthentication)
- データ機密性
- 信頼性がある MSDU 配信
- QoS サポート

5.2.1 アクセス制御とデータ機密性サービス

5.2.1.1 認証 (Authentication)

認証サービスには、2つの目的がある。1つ目は、新しい STA に現在のネットワークの暗号鍵を渡すことである。2つ目は BSS の BM によって新しい STA を登録することである。

「HD-PLC」は、事前共有鍵に基づく認証メカニズムをサポートする。ユーザは既存の STA に新しい STA を認証するために、新しい STA に暗号鍵を設定しなければならない。既存の STA は、BM だけでなく認証された Non-BM STA であるかもしれない。認証後、新しい STA は BSS の他の STA に暗号化されたフレームを送信することができ、BM によって帯域を予約することができる。

どのように2つの STA に事前共有鍵を設定するか、そして認証メカニズムがいつ呼び出されるかは、この仕様書では定義されない。

いくつかの STA は、他の STA のために事前共有鍵を保持してもよい。

5.2.1.2 認証解除 (Deauthentication)

認証解除サービスは、Non-BM STA の切断について BM に知らせるために利用される。もし認証解除サービスが動作すれば、付随する STA を登録解除し、付随する STA の事前共有鍵を消去することができる。

いくつかの STA は、認証解除なしで電力線から離れてもよい。

5.2.1.3 データ機密性

「HD-PLC」は、128 ビットのキーがある高度な暗号化規格(AES)を使用する。

5.2.2 信頼性がある MSDU 配信

「HD-PLC」が提供する信頼性があるフレーム配信には以下の機能を含む。

- MAC 層により、PHY の特性に適応したレート選択
- チャネルエスティメーション機能により、チャネル特性の変動に適した PHY 変調方式の選択・切り替えが可能
- 選択再送(ARQ)により、チャネルの短周期変動から保護し、効率と信頼性の高いフレーム伝送が可能。
- ブロードキャストフレーム・マルチキャストフレームの多重送信により、信頼性の高い伝送が可能。

5.2.3 QoS サポート

「HD-PLC」は、共有されたメディアを使用し、QoS 要求によってデータ伝送の優先制御を提供する。

「HD-PLC」Qos 機能は以下を含む。

- 優先制御による contention period(CP)内での簡易 QoS サポート

5.2.3.1 プライオリティ

「HD-PLC」の MAC は、データフレーム送信のための 16 レベルのプライオリティをサポートする。これらのプライオリティの 8 個はユーザが使用可能である。プライオリティは、各 STA で個別の送信キューの供給によってサポートされる。各 STA の MAC は、低プライオリティキューからのフレームを送信する前に、高プライオリティキューからのフレームの送信を要求される。CSMA/CA では、フレームにどんなプライオリティがあっても、コンテンションメカニズムは同じである。従って、各 CP では、各 MAC は全く同じ方法でアクセスの競争を要求される。しかし、それが送信機会を得たとき、最初に高プライオリティのフレームを送信しなければならない。STA に、多くの高プライオリティの送信するためのトラフィックがある場合、低プライオリティトラフィックはかなり遅れるかもしれない。

5.3 リファレンスモデル

「HD-PLC」仕様には、Open Systems Interconnection (OSI) (ISO/IEC 7498-1: 1994)で定義される ISO/IEC の基本リファレンスモデルの、データリンク層の media access control (MAC)サブレイヤーと、物理(PHY)層の、2つのレイヤーが存在する。

また「HD-PLC」アーキテクチャモデルは、2つのブロックに分かれる。最初のブロックは MAC サブレイヤーと PHY サブレイヤーから構成される。このブロックには、フレーム送信のためのいくつかの機能がある。2 番目のブロックは、MAC サブレイヤー管理エンティティ (Mac sublayer management entity)と PHY レイヤー管理エンティティ (PHY layer management entity)で構成される。このブロックには、フレームの送信または端末管理を助けるいくつかの管理機能がある。

この仕様アーキテクチャを図 5.2 に示す。

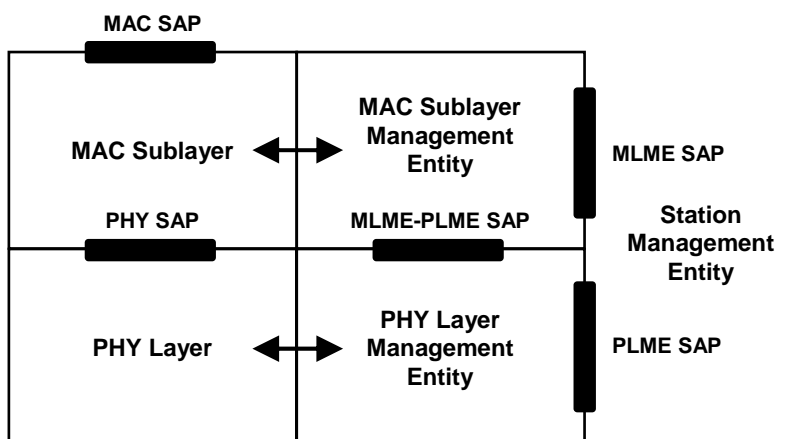


図 5.2 本仕様でカバーされるリファレンスモデル

5.3.1 MAC サブレイヤー

「HD-PLC」メディアアクセス制御 (MAC) サブレイヤーは、MAC-SAP を通して上位層から MSDU を受信し、MPDU を STA に送信するとき作成する。また、MAC サブレイヤーは、MAC サブレイヤー管理エンティティから管理メッセージを受信し、MPDU を作成する。MAC は、MPDU を PSDU として PHY レイヤーに送信する。

受信機として、MAC サブレイヤーは、PHY レイヤーからの MPDU を受信し、フレームタイプに応じてそれらを上位層と MAC サブレイヤー管理エンティティに送信する。

「HD-PLC」MAC には以下の機能がある。

- 上位層のためのインタフェース機能
- データ暗号化/復号化
- 確実な MSDU 送信
- 伝送効率によるデータの集合化と断片化(fragmentation)
- チャネルアクセスメカニズム(contention-based 方法)

5.3.2 PHY レイヤー

「HD-PLC」PHY レイヤーは、以下の機能を提供し、PDU またはフレームと呼ばれる PHY protocol data unit (PPDU) を送信する。

- MAC へのインタフェース機能
- エラー訂正コードのコーディング/エンコーディング、エラー検出
- 効果的なチャネル使用のための、チャネルエスティメーションとトーンマップ選択のデータ要求
- キャリアセンスのためのプリアンプルの挿入
- シンボルタイミングと周波数の同期
- 自動ゲインコントロール(AGC)
- Wavelet OFDM 変調

5.3.3 MAC サブレイヤー管理エンティティ (MAC Sublayer Management Entity : MLME)

MLME は、MAC サブレイヤーのための管理体である。

「HD-PLC」MLME には、以下の機能がある。

- SME のためのインタフェース機能 Service interface for the SME
- 隣家 BSS との同期
- 認証
- チャネルエスティメーション
- 送信パワー管理

5.3.4 PHY レイヤー管理エンティティ (PHY Layer Management Entity : PLME)

「HD-PLC」PLME には、以下の機能がある。

- SMEのためのインタフェース機能
- PHY-MIBの管理(PHY-管理情報ベース)

5.3.5 端末管理エンティティ (Station Management Entity : SME)

端末管理エンティティ(SME)は、MLME/PLMEと共に情報交換するレイヤー独立エンティティである。SMEは、この仕様書では定義されない。

5.4 セキュリティ

「HD-PLC」ネットワークセキュリティは、ユーザデータ(MSDU)を暗号化する。論理ネットワークを通じて通信される全てのユーザデータ(MSDU)は、ネットワーク鍵で暗号化されなければならない。論理ネットワークに属する端末は、それらのネットワーク鍵を持たなければならない。ネットワーク鍵は、BMによってコントロールされ、端末が認証している間、端末に分配される。8章にて、暗号化アルゴリズムと暗号鍵制御について詳細に説明する。

5.5 複数ネットワーク対応

複数のBSSがビーコン同期とCSMAベースのアクセスメカニズムを通して共存できる。AESを通したデータ暗号化は、BSSの中でデータのためにセキュリティを確実にする。

6 MAC サービスの定義

MAC サービスの定義は、データサービス、セキュリティサービス、MSDU の配列、MAC データ構造、MAC マネジメントサービス構造に分類される。

本サービス定義の詳細は、IEEE Std 1901-2010 の section 5 を参照のこと。

7 フレームフォーマット

MAC フレームのフォーマットはこの章で定義される。STA は、送信用にはこの章で定義されたフレームのサブセットを適切に構成することができ、受信の確認ではこの章で定義された構造の（潜在的に異なる）サブセットをデコードできなければならない。全ての STA はフレームチェックシーケンス（FCS）を使用して全ての受信フレームを確認でき、全てのフレームのフレームコントロールから特定のフィールドを解釈できなければならない。STA が構成しデコードするこれらのフレームの特定のサブセットは、その特定の STA によってサポートされた機能によって決定される。

MAC フレームはそれぞれ次の主要成分から成る：

- a) ヘッダー(フレームコントロール、持続時間、アドレス、シーケンス制御情報を含む)
- b) 可変長フレームボディ(フレームタイプとサブタイプに特定の情報を含む)
- c) オプションのフレームチェックフィールド（存在していれば、フレームの有効性の確認のための情報を含む）

7.1 MAC フレームフォーマット

7.1.1 規定

MAC サブレイヤーにおける MPDU またはフレームは、特定の順序での連続したフィールドで記述される。この節のそれぞれの図は、MAC フレームや、PLCP サブレイヤーへ渡されるフィールドやサブフィールドを表す。

フィールド内の全てのビットは、そのフィールド長が「k+1」ビットであれば、「0」～「k」までの番号で表記される。

Reserved フィールドとサブフィールドは、送信するときは「0」がセットされ、受信するときは無視される。

図 7.1 は、3つのフィールド F1 (4 bits), F2 (10 bits), F3 (2 bits)のフレーム構成の例を示す。図 7.2 は、MAC 仕様において規定されるビット順序を反映して作成されるフレームビット配列の例を示す。

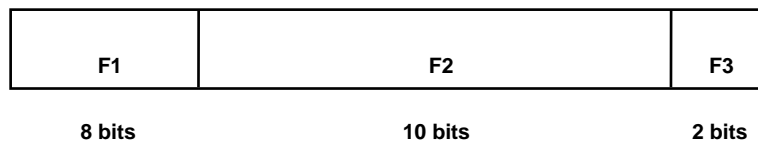


図 7.1 MAC フレームの例

- Octet 0, Bit 0 は Field F1 の LSB である。
- Octet 0, Bit 3 は Field F1 の MSB である。
- Octet 0, Bit 4 は Field F2 の LSB である。
- Octet 1, Bit 5 は Field F2 の MSB である。
- Octet 1, Bit 6 は Field F3 の LSB である。
- Octet 1, Bit 7 は Field F3 の MSB である。

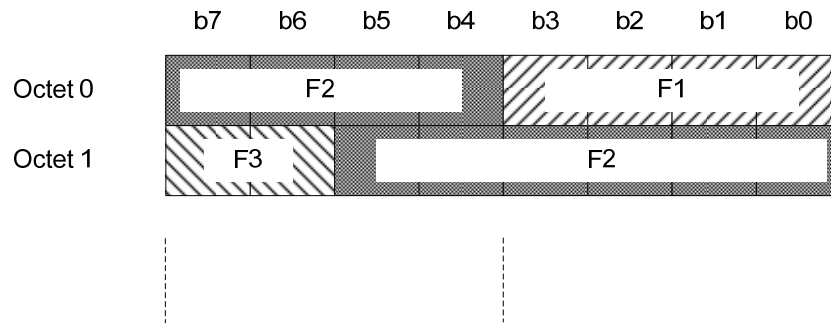


図 7.2 フレームビット配列

7.1.2 一般的なフレームフォーマット

MAC フレームフォーマットは、全てのフレームの固定オーダーで起こるフィールドのセットを含む。

図 7.3 に、一般的な MAC フレームフォーマットについて示す。いくつかのフレーム（ストリームエンド、RTS/CTS）は、フレームコントロールのみを持つ。データフレームは、いくつかの管理フレーム、ビーコンは、フレームコントロール、フレームボディ、Padding フィールドを持つ。フレームコントロールで構成される各フィールドは 7.1.3. で定義される。各フレームタイプのフォーマットは 7.2. で定義される。

フレームコントロールは、BSS のどんな STA から、及び他の BSS に属する STA から、見ることができる。しかし、DA フィールドで示す特定の端末のみが、ダイバーシティモードで変調されたフレームを除いて、フレームボディを復調することができる。

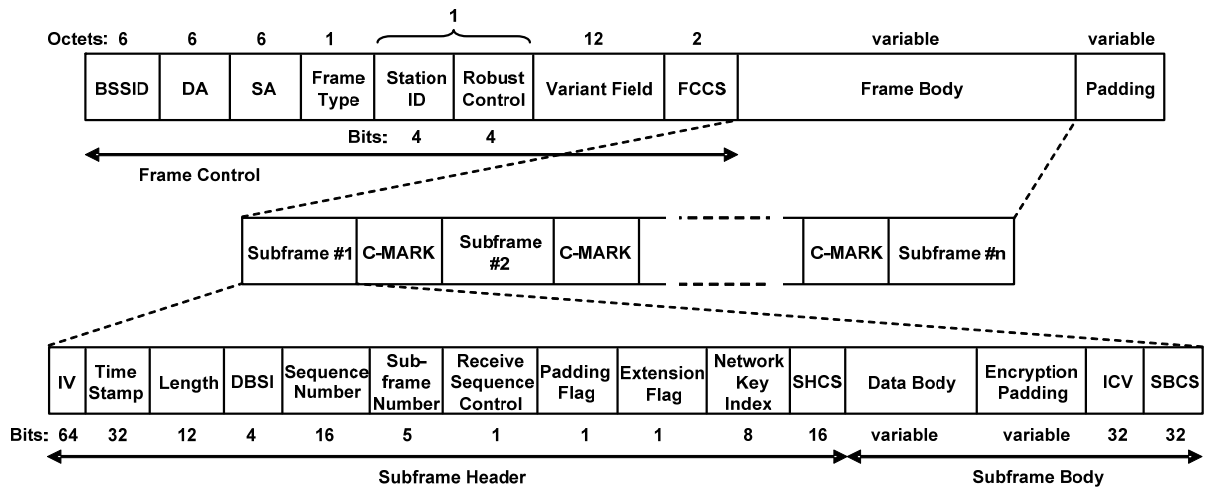


図 7.3 MAC フレームフォーマット

7.1.3 フレームフィールド

7.1.3.1 フレームコントロールフィールド

7.1.3.1.1 アドレスフィールド

フレームコントロールには、3つのアドレスフィールド BSSID, DA, SA がある。

7.1.3.1.1.1 アドレス表現

各アドレスフィールドは、IEEE Std 802-1990 の 5.2 章で定義される、48 ビットのアドレスを含む。

7.1.3.1.1.2 アドレス指定

MAC サブレイヤーのアドレスは以下の 2 つのタイプの 1 つである。

- a) 個別アドレス。ネットワークの特定の端末に割り当てられたアドレス。
- b) グループアドレス。マルチ送信先アドレスであり、ネットワークで与えられた 1 以上の端末によって使用されるかもしれない。2 種類のグループアドレスを以下に示す。
 - 1) マルチキャストグループアドレス。論理的に関連する端末のグループにおいて、より高い規定によって割り当てられたアドレス。
 - 2) ブロードキャストアドレス。いつも LAN 上の全ての端末のセットを示す区別され事前に定義されたマルチキャストアドレス。全てがブロードキャストアドレスと判断される。このグループは、各通信メディアがアクティブにメディアに接続された全ての端末から構成されるように、事前に定義される。それは、そのメディアの全てのアクティブな端末にブロードキャストするのに使用される。

また、アドレススペースは、ローカルで管理され、普遍的な（グローバルに管理された）アドレスに仕切られる。これらの普遍的な（グローバルに管理された）アドレスを管理するボディと手順の本質は、この基準の範囲を超えている。詳しい情報に関しては、IEEE Std 802-1990 を参照。

7.1.3.1.1.3 BSS ID フィールド (BSS Identifier field : BSSID)

BSSID フィールドは、IEEE 802 MAC アドレスと同じ形式の 48 ビットのフィールドである。このフィールドは BSS を識別するための ID を表す。このフィールドの値はユニークなアドレスである。デフォルト BSS ID は、BSS の BM での STA によって使用される MAC アドレスである。

7.1.3.1.1.4 送信先アドレス フィールド (Destination Address field : DA)

DA フィールドは、「HD-PLC」ネットワークで MPDU の受け取りを特定する単体またはグループの MAC アドレスである。

7.1.3.1.1.5 送信元アドレス フィールド (Source Address field : SA)

SA フィールドは、「HD-PLC」ネットワークで、フレームボディフィールドに含まれた MSDU (またはその断片) の送信が行われた MAC エンティティを特定する単体またはグループの MAC アドレスである。

7.1.3.1.2 フレーム タイプ フィールド

フレームタイプフィールド (Frame Type field) は、フレームタイプを示す。このフィールドに有効な値を表 7.1 に示す。

表 7.1 フレームタイプ

値	MPDU タイプ	サブフレーム数
0b0000	Data	1-MAX_SUBFRAMES
0b0001	ACK	0
0b0010	RCE (Request Channel Estimation)	1
0b0011	CER (Channel Estimation Response)	1
0b0100	Beacon	1
0b0101	Stream End	0
0b0110	Management	0-1
0b0111	RTS/CTS	0
0b1000-0b1111	Reserved	

7.1.3.1.3 端末 ID フィールド

4 ビットの端末 ID(STID)フィールドは、STA に割り当てられた端末 ID を示す。端末 ID は STA を特定する BSS のユニークな識別子である。

端末 ID は DVTP に使用される。BSS が DVTP を使用しない間、端末 ID フィールドの値は定義されず、フレームを受信した STA はこのフィールドの値を使用してはならない。

BSS が DVTP を使用する間、STA は BM によってこのフィールドに割り当てられた端末 ID を設定しなければならない。端末 ID を割り当てられていない STA は、このフィールドの値を「0」に設定しなければならない。端末 ID の詳細は 9.3.6 で説明する。

7.1.3.1.4 ロバストコントロール フィールド

ロバストコントロールフィールドは、ロバストのための PHY レイヤーのコントロール情報を示す。このフィールドは、FT 値によって異なる。

図 7.4～図 7.6 に、ロバストコントロールフィールドのフォーマットを示す。

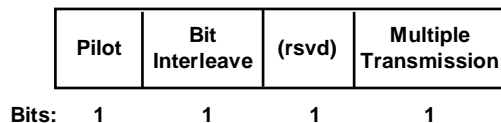
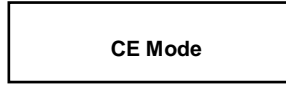
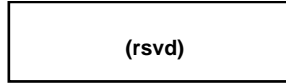


図 7.4 ロバストコントロールフィールド (データ)



Bits: 4

図 7.5 ロバストコントロールフィールド(ビーコン)



Bits: 4

図 7.6 ロバストコントロールフィールド(その他)

CEモードフィールドは、どんなタイプのチャンネルエスティメーションが使用されるかを示す。このバージョンではこのフィールドは「0」に設定される。

ビットインターリーブフィールド (Bit Interleave field) は、PHY レイヤーがフレームボディにビットを適用するかどうかを示す。このフィールドが「1」のとき、PHY レイヤーはフレームボディにビットインターリーブを適用する。

パイロットフィールド (Pilot field) は、PHY レイヤーがフレームボディの間にパイロットシンボル (pilot symbol) を差し込むかどうかを示す。このフィールドが「1」のとき、PHY レイヤーはフレームボディにパイロットシンボルを差し込む。

Multiple transmission field は、フレームがブロードキャストかマルチキャストのとき、Multiple transmission mode でフレームを送信するかどうかを示す。このフィールドが「1」のとき、フレームは Multiple transmission である。他の場合は、normal transmission である。9.9.1.を参照。

7.1.3.1.5 バリエーション フィールド

バリエーションフィールドの用途はフレームタイプに依存する。

7.1.3.1.6 フレーム コントロール チェック シーケンス フィールド(Frame control check sequence field : FCCS)

フレームコントロールチェックシーケンス(FCCS)フィールドは、フレームコントロールフレームのエラーを検出する 16 ビット CRC である。FCCS は、BSS ID から VF までのフレームコントロールを下記の生成多項式 $G_{16}(x)$ を使って計算する。

$$G_{16}(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

7.1.3.2 フレーム ボディ

フレームボディは、1 以上のサブフレームから構成される。各サブフレームは、C-Mark によって分けられる。複数のサブフレームを含んでもよい唯一の MPDU は、データフレームである。いくつかの MPDU タイプは、どんなサブフレームも持っていないかもしれない。

サブフレームは、サブフレームヘッダー (Sub Frame Header) とサブフレームボディ (Sub Frame Body) から構成される。

7.1.3.2.1 サブフレーム ヘッダー

サブフレームヘッダーは、以下のサブフィールドで構成される固定長のフィールドである。初期化ベクトル(Initialization vector)、Length、シーケンス番号 (Sequence number)、サブフレーム番号 (Sub frame number)、受信シーケンスコントロール (Receiving sequence control)、Padding flag、ネットワーク鍵インデックス (Network key index)、サブフレームヘッダーチェックシーケンス (Subframe header check sequence)。

そのフィールドを図 7.3. に示す。

7.1.3.2.1.1 初期化ベクトルフィールド(Initialization vevtor field : IV)

64 ビットの初期化ベクトル(IV)フィールドは、サブフレームボディの暗号化/復号化のための秘密鍵と組み合わせて使用される乱数を示す。IV の値は、暗号化されたサブフレーム毎に変更しなければならない。IV の全ての値を組とすることにより、値を均一な方法で配布することが勧められる。

暗号化で実際に使用される初期化ベクトルは 128 ビットである。IV で定義される 64 ビットのベクトルを上位、下位にマッピングすることで 128 ビットの初期化ベクトルとする。

7.1.3.2.1.2 Time Stamp フィールド

32 ビットの Time Stamp フィールドは、MSDU がこの端末の MAC SAP に到着するときの NTB の値を示す。

7.1.3.2.1.3 Length フィールド

12 ビットの Length フィールドは、バイトで表現される対応するサブフレームボディの長さを示す。

7.1.3.2.1.4 データボディ構造情報フィールド(Data Body Structure Information field : DBSI)

4 ビットのデータボディ構造情報フィールド (Data Body Structure Information (DBSI) field) は、データボディのフレーム構造を示す。「HD-PLC」は、データボディ構造として以下のタイプを持つ。

- Single MSDU
- Aggregated MSDU

図 7.7. に DBSI のフィールドフォーマットを定義する。

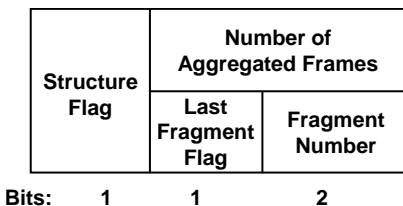


図 7.7 DBSI フィールド

Structure Flag subfield は、Fragmented MSDU を含むか含まないかを指定する。このサブフィールドが「1」に設定されている場合、サブフレームは Fragmented MSDU を含む。そうでない場合は、サブフレームは単一の MSDU か Aggregated MSDU を含む。

Aggregated Frame 番号は、サブフレームに Aggregated MSDU の MSDU 番号を指定する。このサブフィールドの有効値は「0」～「7」である。値「0」は、単一の MSDU がサブフレームに含まれることを示す。「1」～「6」の値は、サブフレームで集められた MSDU の数を示す。この値が「7」の場合、集められた MSDU が 6 以上であることを示す。

Fragment Number subfield は、サブフレームのフラグメントのフラグメント数を指定する。

Last Fragment Flag subfield は、サブフレームの Fragmented MSDU が、MSDU の最後のフラグメントであるかどうかを示す。このサブフィールドが「0」の場合、このフラグメントより大きなフラグメント数を持つ更に多くのフラグメントがある。Last Fragment Flag subfield が「1」の場合、このサブフレームのフラグメントは MSDU の最後のフラグメントである。

このフィールドの有効な値を表 7.2 に示す。

表 7.2 データボディ構造情報(Data Body Structure Information)

DBSI 値	構造タイプ
0b0000	Single MSDU
0b0001-0b0111	Aggregated MSDU
0b1000-0b1111	Fragmented MSDU

詳細は 7.2.1.2 参照。

7.1.3.2.1.5 シーケンス番号フィールド

16 ビットのシーケンス番号フィールドはペイロードブロックを識別するための連結番号を示す。シーケンス番号は「0」から始まり、サブフレーム毎にインクリメントされる。リンクが存在する限り、シーケンス番号は連続した値をとり続ける。サブフレームが送信を失敗すれば、再送するサブフレームのシーケンス番号は最初の送信と同じである。

7.1.3.2.1.6 サブフレーム番号フィールド

5 ビットのサブフレーム番号フィールドは、フレームボディにサブフレームの位置を示す。サブフレーム番号は、それぞれのサブフレームに割り当てられる。サブフレーム番号は「1」から始まり、各フレームボディのサブフレーム毎にインクリメントされる。サブフレーム番号は、新しいフレームボディのためにリセットされる。

7.1.3.2.1.7 受信シーケンス制御フィールド

1 ビットの受信シーケンス制御(RSC)フィールド(reordering フィールド)は、受信端末の上層で順序だった配信が必要であるかどうかを示す。RSC フィールドが「1」に設定されるならば順序だった配信が必要で、「0」ならば必要ない。

このフィールドが「1」に設定されても、ペイロードブロックのライフタイムが経過している、つまり MAC がペイロードブロックを受け取ってから Time Stamp フィールドに書かれた時間が経過している時は、そのブロックを上層に転送するべきである。

7.1.3.2.1.8 Padding flag フィールド

Padding flag フィールドは、データフレームでのみ使用される。このフィールドは、データボディ内のデータフィールドの終わりに Padding データが追加されるかどうかを示す。このフィールドが「1」に設定されているならば、128byte の Padding データが追加される。受信 MAC は、データボディを上層に転送する前に Padding データを削除しなければならない。

7.1.3.2.1.9 Extension flag フィールド

Extension Flag field は、フレームボディのサブフレームの位置番号が「31」以上であるかどうかを示す。この値が「0」の場合、サブフレームの位置番号は「0」～「31」（包括的）でなければならない。この値が「1」の場合、位置番号は「32」～「60」（包括的）でなければならない。

例えば、Extension flag field が「1」であり、サブフレーム番号フィールドが“0x8”の場合、これは 39 番目のサブフレームである。

7.1.3.2.1.10 ネットワーク鍵インデックス フィールド(Network key index : NKI)

8 ビットのネットワーク鍵インデックスフィールドは、暗号化／復号化の鍵番号を示す。NKI=0 の場合、メッセージが暗号化されていないことを表す。NKI=0 であれば、データは、送信機による暗号化および受信機による復号化なしで非暗号化 (plain text) で送信される。NKI=1～255 のいずれかの場合、メッセージは NKI の番号に対応する暗号鍵で暗号化されている。

7.1.3.2.1.11 サブフレーム ヘッダー チェック シーケンス フィールド(Subframe header check sequence field : SHCS)

サブフレームヘッダーチェックシーケンスフィールドは、サブフレームヘッダーのエラーを検出するための 16 ビットの CRC である。SHCS は、最初のフィールドから NKI フィールドまでのサブフレームヘッダーを計算する。生成多項式は FCCS で使用する多項式 $G_{16}(x)$ に同じである。(7.1.3.1.6 参照)

受信側が SHCS を使用してエラーを検出すると、サブフレームヘッダーは無効になり破棄されるべきであるが、C-Mark を見つけることで次のサブフレームヘッダーを処理するか、または E-Mark を見つけることでフレームが終了しているかを知ることができる。

7.1.3.2.2 サブフレーム ボディ

サブフレームボディは、データボディ、Encryption padding、Integrity check value、サブフレームボディチェックシーケンス (Sub frame body check sequence) で構成される。

7.1.3.2.2.1 データ ボディ フィールド

データボディフィールドは MSDU、MSDU のフラグメント、MSDU の集合、または制御／管理情報を含む。詳細は、7.2.1.1 に記載する。

7.1.3.2.2.2 暗号化パッドフィールド (Encryption padding field : E-PAD)

暗号化パッド(E-PAD)フィールドは、データボディフィールドから次の ICV フィールドまでの長さが 16 バイトの倍数となるようにパディングする。

7.1.3.2.2.3完全性チェック値フィールド (Integrity check value field : ICV)

32ビットの完全性チェック値フィールドは、32ビットのシーケンス番号で構成され、お互いのストリームによって維持される。シーケンス番号は「1」から始まり STAによって送信された新しいフレーム毎にインクリメントされる。ICVの最大値(0xFFFFFFFF)に達している時、ICVの次の値は「0」である。サブフレームが正しく受信できなければ、再送信サブフレームのシーケンス番号はフレームの最初の送信のシーケンス番号と同じである。

ICVはデータボディの完全性チェックと応答チェックとして使用される。

管理フレームが暗号化されていないならば、この値はいつも固定値(0xCCCCCCCC)である。

7.1.3.2.2.4サブフレーム ボディ チェック シーケンス フィールド(Sub frame body check sequence field : SBCS)

サブフレームボディチェックシーケンスフィールドは、サブフレームの誤りを検出し、PDU(RCE PDUを除いた)のサブフレームボディで使用される 32ビットのCRCで構成される。SBCSは以下の生成多項式 $G_{32}(x)$ を使ってフィールド1からICVフィールドまでのサブフレームボディを計算する。

$$G_{32}(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

7.1.3.2.3 C-Mark

C-Mark はセグメントブロックとセグメントブロックの間に置かれる。C-Mark がセグメントブロックの後で検出されると、次のセグメントブロックがC-マークの後に続く。C-Markは次の示す通りで16バイト長ある(16進表記)。

00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-aa-aa-aa-aa

7.1.3.3 Padding フィールド

Padding fieldは、可変長のフィールドである。各paddingビットの値は、「0」でなければならない。このフィールドは、PHYによって使用されたFECにより設定された値の倍数のMPDUのトータルの長さを調整するため使用される。

7.1.3.4 サブフレームの連結

サブフレーム連結は、「1-level concatenation」として知られている。この連結タイプを、フレームボディフィールドの内容として、図7.3に示す。

7.1.4 サブフレーム内部の連結フォーマット

7.1.4.1 拡張イーサネットフレーム連結フォーマット

サブフレーム内の連結は、拡張イーサネットフレームを連結するので、「拡張イーサネットフレーム連結(Extended Ethernet frame concatenation)」と呼ばれる。それぞれ別々の拡張イーサネットフレームは、LENフィールド、Reserved 2-octet field、イーサネットフレームに必要なPaddingの組み合わせである。

この連結タイプは、追加されたLEN、Reserved、PaddingフィールドなしでMSDU自身を連結する「MSDU連結(MSDU concatenation)」と区別される。また、MSDU連結は、サブフレーム内で使用される。MSDU連結に関しては7.2.1.2.2を参照。サブフレーム連結を使用する送信のために、MACは各イーサネットMSDUを処理し、拡張イーサネットフレームを生成する。また、このフォーマットは、Length(LEN)、Reservedフィールド、MSDUイーサネットフレーム、必要なPaddingで構成される。MSDUイーサネットフレームは、標準のイーサネットフィールドで構成される。オリジナル送信先アドレス(Original Destination

Address : ODA)、オリジナル送信元アドレス (Original Source Address : OSA)、optional VLAN タグ、Type/length フィールド、User Data.

データ MPDU は 1 以上の MSDU を含む。

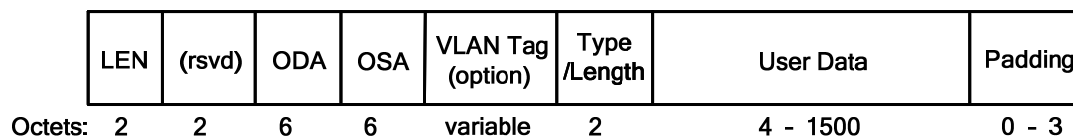


図 7.8 イーサネットフレーム連結フォーマット

7.1.4.1.1 MAC 共通ユニット長

MAC 共通ユニット長(LEN)は、reserved、LEN、Padding フィールドを除くオクテットで、この特殊フォーマット長を示す 2-octet のフィールドである。「0x000e」の値は、User Data の 0 octet の長さを示す。それで、「0x000e」は、LEN フィールドの最小値でなければならない。

7.1.4.1.2 オリジナル送信先アドレス(Original destination address : ODA)

48 ビットのオリジナル送信先アドレス(Original Destination Address : ODA) は、このフレームのオリジナル送信先である 1901 受信機のアドレスである。アドレスフォーマットは、IEEE Std 802-2001 で corresponding field に続いて説明される。

7.1.4.1.3 オリジナル送信元アドレス(Original source address : OSA)

48 ビットのオリジナル送信元アドレス(Original Source Address : OSA) は、このフレームのオリジナル送信元である 1901 端末のアドレスである。アドレスフォーマットは、IEEE Std 802-2001 で corresponding field に続いて説明される。

7.1.4.1.4 VLAN タグ

VLAN タグフィールド(VLAN Tag field)が存在する場合、IEEE Std 802.1Q, Clause 9 のように、Ethernet-encoded Tag Protocol ID のためのオクテットの変数を含む。このフィールドは、IEEE Std 802.1ad で説明される VLAN Stacking (or Q-in-Q)の内容を含んでもよい。VLAN stacking のサポート能力はオプションである。

7.1.4.1.5 タイプ/長さ (Type/LEN)

タイプ/長さ(Type/Length)フィールドは、2-octet field である。このフィールドのフォーマットは、IEEE Std 802.3 standard で説明されるとおりのものでなければならない。

7.1.4.1.6 User data

User Data フィールドは、可変長のフィールドである。このフィールドは MSDU で構成される。

7.1.4.1.7 Padding

Padding フィールドは、「0」～「3」の octets length field である。このフィールドはトータルの長さを 4 オクテットの倍数にする。

7.1.4.2 MSDU 連結フォーマット

連結された MSDU フォーマットの仕様は 7.2.1.2.2 を参照。

7.2 個別のフレームタイプのフォーマット

7.2.1 データフレーム

データフレームは、上位層から渡された MSDU と MAC 内で生成された管理情報を送るために使用される。データフレームは 1 から MAX_SUBFRAMES までのサブフレームで構成される。

データフレームのフレームフォーマットを図 7.9 に定義する。

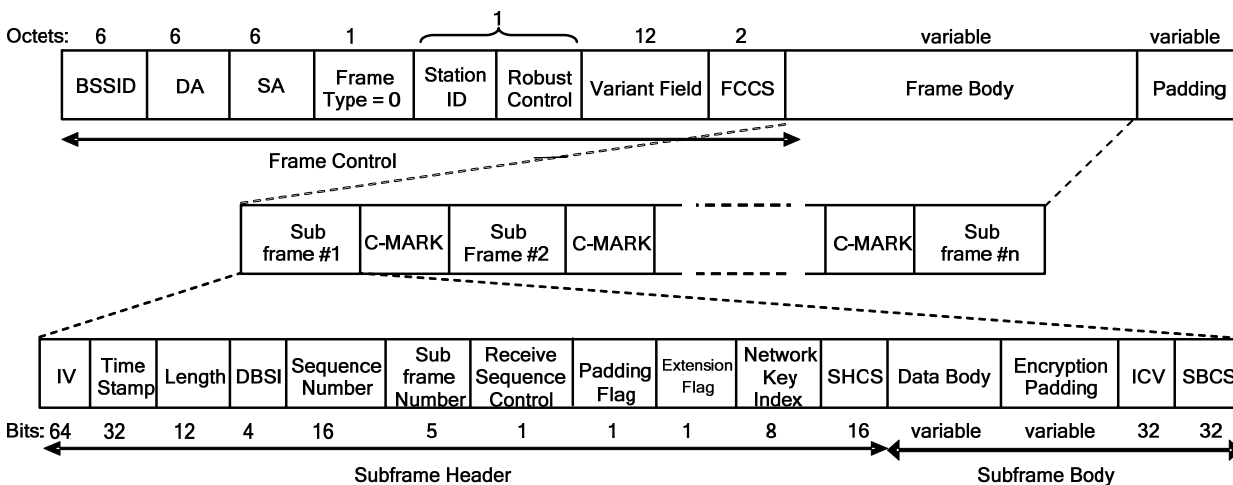


図 7.9 データフレームフォーマット

7.2.1.1 バリエーションフィールド

データフレームのバリエーションフィールドフォーマットを図 7.10 に定義する。

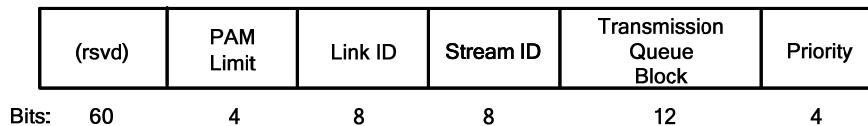


図 7.10 バリエーションフィールド(Data frame)

4 ビットの PAM Limit フィールドは、各サブキャリアの PAM 値がどう制限されるかを指定する。

表 7.3 PAM Limit フィールドの値

値	定義
0b0000	制限無し。 データフレームは、通常のトーンマップによって変調/復調されなければならない。
0b0001	1 レベルダウン。 データフレームは、全てのサブキャリアが 1 レベル低いトーンマップによって変調/復調されなければならない。(例えば、16PAM は 8PAM にレベルダウン、2PAM は「0」にレベルダウンする)
0b0010	2 レベルダウン。 データフレームは、全てのサブキャリアが 2 レベル低いトーンマップによって変調/復調されなければならない。(例えば、16PAM は 4PAM にレベルダウン、4PAM と 2PAM は「0」にレベルダウンする)
0b0011	3 レベルダウン。 データフレームは、全てのサブキャリアが 3 レベル低いトーンマップによって変調/復調されなければならない。(例えば、16PAM は 2PAM にレベルダウン、8PAM,4PAM,2PAM は「0」にレベルダウンする)
0b0100-0b1000	Reserved
0b1001	最大 2PAM。 データフレームは、全てのサブキャリアが 2PAM までに制限されたトーンマップによって変調/復調されなければならない。
0b1010	最大 4PAM。 データフレームは、全てのサブキャリアが 4PAM までに制限されたトーンマップによって変調/復調されなければならない。
0b1011	最大 8PAM。 データフレームは、全てのサブキャリアが 8PAM までに制限されたトーンマップによって変調/復調されなければならない。
0b1100-0b1111	Reserved

8 ビットのリンク ID フィールド(Link ID)は、BSS 内でリンクを識別するために利用される識別子である。リンク ID は、帯域が割り当てられたとき、BM によって割り当てられる。リンク ID は、帯域予約応答によって要求者に送られる。

8 ビットのストリーム ID フィールド(Stream ID)は、1 方向の送信ストリームのためのローカルな識別番号である。

12 ビットの送信キューサイズフィールド(Transmission Queue Size)は、このフレームを送る STA の特定のリンク ID のためにバッファリングされたトラフィックの量を示す。

4 ビットのプライオリティフィールド(Priority)は、8 つのユーザプライオリティレベルをサポートする。

7.2.1.2 サブフレームフォーマット

「HD-PLC」は、データフレームに、以下のフレームタイプを指定する。

- Single MSDU Type
- Aggregated MSDU Type
- Fragmented MSDU Type

7.2.1.2.1 シングル MSDU サブフレーム

7.2.1.2.1.1 サブフレームヘッダー

Single MSDU データフレームのサブフレームヘッダーフィールド値を表 7.4 に定義する。

表 7.4 サブフレームヘッダーフィールドの値(single MSDU データフレーム)

フィールド	値
IV	random
タイムスタンプ (Time Stamp)	システム時刻
長さ (Length)	サブフレーム長
DBSI	0
シーケンス番号 (Sequence Number)	シーケンス番号
サブフレーム番号 (Subframe Number)	0 - 31
受信シーケンス制御 (Receive Sequence Control)	0 または 1
Extension flag	0 または 1
ネットワーク鍵インデックス (Network Key Index)	0 - 255
Subframe header check sequence	サブフレームヘッダーの 16 ビット CRC

タイムスタンプフィールドは、上位レイヤーが MSDU 送信を要求した際のシステム時刻の値を示す。

16 ビットのシーケンス番号フィールドは、MSDU のシーケンス番号を示す。STA によって送信された各 MSDU は、シーケンス番号を割り当てられる。

STA は、Stream ID ごとに、1 つの modulo-65536 counter を保持し、その Stream ID に属する MSDU ごとに 1 インクリメントされる。

7.2.1.2.1.2 データ ボディ

single MSDU データフレームのデータボディフォーマットを図 7.11 に定義する。データボディは、Original Destination Address (ODA)、Original Source Address (OSA)、optional VLAN Tag、Type/Length、User Data フィールドを持つ、802.3 フレームで構成される。

	ODA	OSA	VLAN Tag (option)	Type /Length	User Data
Octets:	6	6	variable	2	4-1500

図 7.11 データボディフォーマット (single MSDU データフレーム)

7.2.1.2.2 連結された MSDU サブフレーム (Aggregated type)

7.2.1.2.2.1 サブフレームヘッダー

連結された MSDU データフレームのサブフレームヘッダーフィールド値を表 7.5 に定義する。

表 7.5 サブフレームヘッダーフィールド値 (連結された MSDU データフレーム)

フィールド	値
IV	random
タイムスタンプ (Time Stamp)	システム時刻
長さ (Length)	サブフレーム長
DBSI	1-7
シーケンス番号 (Sequence Number)	シーケンス番号
サブフレーム番号 (Sub Frame Number)	0-31
受信シーケンス制御 (Receive Sequence Control)	0 または 1
Extension flag	0 または 1
ネットワーク鍵インデックス (Network Key Index)	0-255
Subframe header check sequence	サブフレームヘッダーの 16 ビット CRC

タイムスタンプフィールドは、上位レイヤーが最初の MSDU 送信を要求した際のシステム時刻の値を示す。

DBSIフィールドは、フレームボディに含まれる MSDU の数を示す。DBSI が「7」であれば、MSDU の数は「7」以上である。

16 ビットのシーケンス番号フィールドは、連結された MSDU のシーケンス番号を示す。STA によって送信されたそれぞれの連結された MSDU は、シーケンス番号を割り当てられる。STA は、Stream ID ごとに、1 つの modulo-65536 counter を保持し、その Stream ID に属する各連結された MSDU ごとに 1 インクリメントされる。

7.2.1.2.2.2 データ ボディ

連結された MSDU データフレームのデータボディフォーマットを図 7.12 に定義する。

データボディはいくつかの MSDU で構成される。

MSDU には、Length(LEN), Original Destination Address (ODA), Original Source Address (OSA), optional VLAN Tag, Type/Length, User Data フィールドがある。

Padding フィールドは、データユニットの長さが 4 オクテットの倍数と等しくなるようにする。Padding フィールドの値はいつも「0」である。

連結された MSDU のデータユニットの最大数は定義されず、連結された MSDU データボディのトータル長は 2048 を超えてはならない。

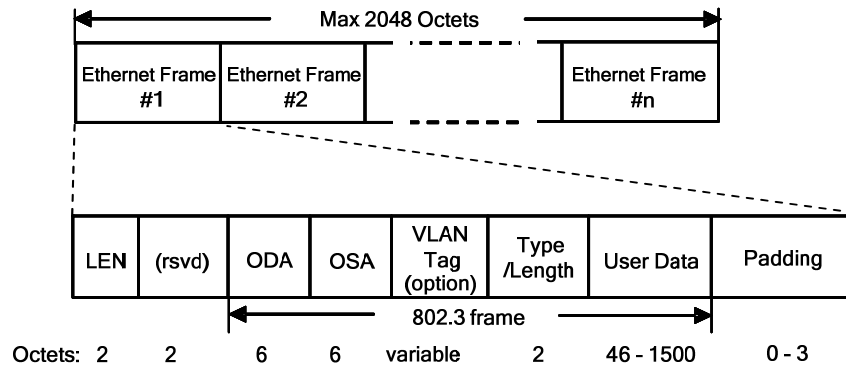


図 7.12 データボディフォーマット(連結された MSDU)

7.2.2 ビーコン フレーム

ビーコンフレームは、ビーコンサイクルの始まりを示す。ビーコンフレームのデータボディは送信スケジュールを持っており、DOF モードで送らなければならない。

ビーコンフレームのフレームフォーマットを、図 7.13 に定義する。

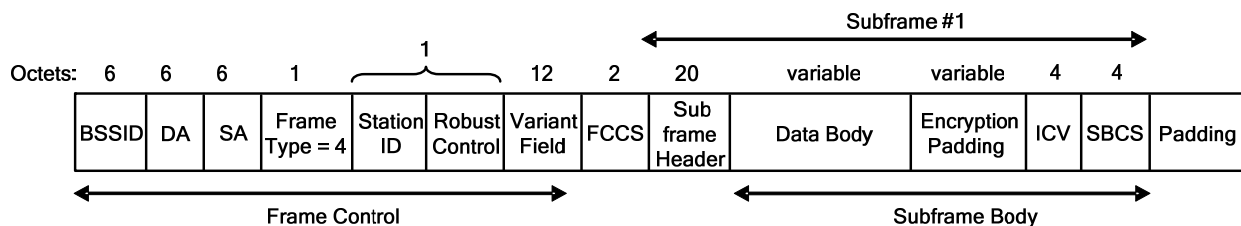


図 7.13 ビーコンフレームフォーマット

7.2.2.1 バリエーションフィールド

ビーコンフレームのバリエーションフィールドフォーマットを図 7.14 に定義する。

	Time Stamp	Beacon Offset	Beacon Number	Post Guard	Net Mode	(rsvd)	Beacon Mode	Trial	Not1st	(rsvd)	Beacon TC
Bits:	32	16	8	8	12	12	2	1	1	1	3

図 7.14 パリアントフィールドフォーマット(ビーコンフレーム)

32 ビットのタイムスタンプフィールド(Time Stamp)は、現在のビーコンサイクルの開始時刻を 1.024μsec 単位で示す。

16 ビットのビーコンオフセットフィールド(Beacon Offset)は、現在のビーコン開始からビーコンフレームまでの、ビーコンフレームのオフセット時間を 1.024 μsec 単位で示す。

8 ビットのビーコンナンバーフィールド(Beacon Number)は、ビーコンフレームのスケジュール情報の変化を示す識別番号を示す。BM がコントロール端末として機能し始めた後に送る最初のビーコンフレームの、ビーコンナンバーフィールドは「0」となる。ビーコンナンバーフィールドの値は、スケジュール変化毎に 1 インクリメントされ、0~255 を繰り返す。

8 ビットのポストガードフィールド(Post Guard)は、スケジュール情報が変わる予定があるときに、現在のスケジュールの有効時間をビーコン周期単位で示す。スケジュール情報が変わる予定がなければ、ポストガードフィールドは常に POST_GUARD_SIZE に設定しなければならない。BM は、BEACON_CYCLE 1 周期につき、1 つのビーコンフレームを送る。ストリームの数またはチャンネル状態の変化によってスケジュール情報の変更がある場合、BM は送られたビーコンフレーム毎にポストガード値をデクリメントしなければならない。この値が「0」になると、BM は次のビーコンフレームから新しいスケジュール情報を記載することになる。端末は、ビーコンフレーム周期を測定するタイマーを持たなければならない。最後のビーコンフレーム受信以降に、新しいビーコンフレームを受信しておらず、そして最後に受信したビーコンフレームのポストガード値が「1」以上の場合、端末は最後に受信したビーコンフレームに含まれているスケジュールの情報に従わなければならない。同様に、ポストガード値が「n」であるビーコンフレームを受信した場合、次の BEACON_CYCLE から最大「n」期間まで、最後に受信したビーコンフレームに含まれているスケジュールに従わなければならない。

12 ビットのネットモード (Network Mode)フィールドは、BSS で機能が使用できるかどうかを示す。このフィールドの各ビットは機能を示す。ビットが「1」に設定されれば、BSS で対応した機能が利用可能である。このフィールドの詳細は 7.2.2.1.1. で指定される。

2 ビットのビーコンモードフィールド(Beacon Mode)は、現在のビーコンモードを示す。このフィールドに有効な値を表 7.6 に示す。BM が他の論理ネットワークからどのような干渉も検出せず、現在の論理ネットワークの他の端末からどのような干渉情報も示されない場合、BM はビーコンモードフィールドを「0」に設定し、BSS はスタンドアロンモードで動作する。BM が他の論理ネットワークからの干渉を見つけると、BM はサブネットモードに移行しなければならない。サブネットモードを選択すると、BM はビーコンモードフィールドを「1」に設定する。

表 7.6 ビーコンモードフィールド値(Beacon Mode field values)

値	定義
0b00	スタンドアロンモード (Stand alone mode)
0b01	サブネットモード (Subnet mode)
0b10-0b11	(reserved)

1 ビットの Trial フィールドは、12 ビットのネットモードフィールド (NetMode field) が利用可能であるかどうかを示す。Trial フィールドが「0」に設定されれば、ネットモードフィールドは利用不可能であり、受信 STA はビーコンのネットモードフィールドを無視しなければならない。Trial フィールドが「1」に設定されれば、ネットモードフィールドは利用可能である。このバージョンでは、このフィールドはいつも「0」である。

1 ビットの Not1st フィールドは、BM が第一世代の「HD-PLC」端末であるかどうかを示す。表 7.7 に Not1st フィールドの定義を示す。この値が「0」であれば、BM は IEEE 1901-compliant BM ではない。

表 7.7 Not1st フィールド値

値	定義
0	BM が第一世代の「HD-PLC」である。
1	BM が第二世代またはそれ以降の「HD-PLC」である。 (IEEE 1901-compliant を含む)

3 ビットのビーコン TC フィールド (BeaconTC) は、modulo 8 によってビーコンの数を示す。BM が最初のビーコンフレームを送信するとき、ビーコン TC フィールドは「0」である。ビーコン TC フィールドの値は、各ビーコンで 1 インクリメントされ、「0」～「7」まで繰り返される。

7.2.2.1.1 機能フラグフィールド

12 ビットのネットモードフィールドは、全ての STA が BSS 内でどの機能を扱うかを示す。このフィールドは、Class 1&2 Capability List type (7.2.2.4.1) と同じオーダーである。表 7.8 にネットモードフィールドの各ビットを定義する。

表 7.8 ネットモードフィールド値

Bit	定義
0	DVTP (Dynamic Virtual Token Passing)
1	ISP
2	Relative power levels transmission
3	Dynamic Power Control
4 - 11	(reserved)

最も低いビット (bit 0) は、DVTP 機能のために割り当てられる。このビットが「1」の場合、各 STA は、CSMA/CA の代わりに CP の中で DVTP を使用する。そうでない場合、BSS の全ての STA は CP の中で CSMA/CA を使用する。

ビット 1 は、ISP 機能のために割り当てられる。このビットが「1」に設定される場合、各端末で ISP が機能する。そうでない場合は、BSS 内の全ての STA は ISP が機能せず、IEEE 1901 準拠にならない。

ビット 2 は、相対的なパワーレベル送信機能 (Relative power levels transmission function) のために使用される。このビットが「1」に設定される場合、各 STA は相対的なパワーレベル送信機能を有効にする。そうでない場合は、BSS 内の全ての STA は相対的なパワーレベル送信機能を実行しない。

ビット 3 は、動的パワー制御 (Dynamic Power Control) のために使用される。このビットが「1」に設定される場合、動的パワー制御が行われる。

7.2.2.2 サブフレームヘッダー

ビーコンフレームのサブフレームヘッダーフィールド値を表 7.9 に定義する。

表 7.9 サブフレームヘッダーフィールド値 (ビーコンフレーム)

フィールド	値
IV	random
タイムスタンプ (Time Stamp)	0
長さ (Length)	サブフレーム長
DBSI	0
シーケンス番号 (Sequence Number)	0
サブフレーム番号 (Sub Frame Number)	0
受信シーケンス制御 (Receive Sequence Control)	0
ネットワーク鍵インデックス (Network Key Index)	0
Subframe header check sequence	サブフレームヘッダーの 16 ビット CRC

ビーコンフレームのサブヘッダーでは、IV、タイムスタンプ (Time Stamp)、シーケンス番号 (Sequence Number)、サブフレーム番号 (Sub frame number)、受信シーケンス制御 (Receive Sequence Control) は、ダミーであり受信機で無視される。

7.2.2.3 データ ボディ

ビーコンフレームのデータボディを図 7.15 に定義する。

ビーコンフレームのデータボディは、スケジュール情報バージョン (Schedule Information Version)、チャネルエスティメーションモード (Channel Estimation Mode)、reserved bits、スケジュール情報ブロック (Schedule Information Block)、拡張情報ブロック (Extended Information Block) を含む。

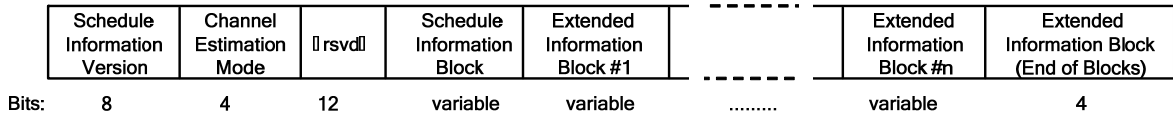


図 7.15 データボディフォーマット(ビーコンフレーム)

8 ビットのスケジュール情報バージョンフィールド(schedule information version field)は、ビーコンフレームのスケジュール情報ブロックのバージョンを示す。このバージョンではこのフィールドはいつも「1」に設定される。

4 ビットのチャンネルエスティメーションモードフィールド(Channel Estimation Mode field)は、論理ネットワーク内で使用されるチャンネルエスティメーションのモードを示す。現在のバージョンでは、このフィールドはいつも「2」である。

7.2.2.3.1.1 スケジュール情報ブロック

スケジュール情報ブロック (Schedule Information Block) は、BSS 内の全ての STA がビーコン周期の間従わなければならないスケジュール情報を示す可変長のフィールドである。このバージョンでは、TDMA 機能は提供されないため、唯一サポートされた CSMA/DVTP のためのスケジュール情報ブロックだけが含まれる。複数のスケジュール情報はサポートされない。スケジュール情報ブロックフォーマットを図 7.16 に定義する。

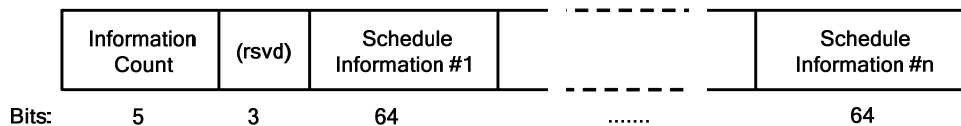


図 7.16 スケジュール情報ブロックフォーマット(ビーコンフレーム)

5 ビットの情報カウントフィールド(information count)は、スケジュール情報サブフィールドの数を示す。情報カウントサブフィールドの値は 0~31 が可能である。

スケジュール情報フィールドフォーマットを図 7.17 に定義する。

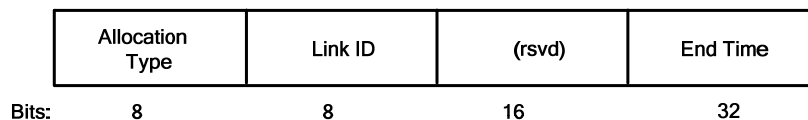


図 7.17 スケジュール情報フィールドフォーマット(ビーコンフレーム)

8 ビットのアロケーションタイプサブフィールド(allocation type)は、時間領域のアロケーションモードを示す。アロケーションタイプフィールド(allocation type)の有効な値を表 7.10 に示す。

表 7.10 Allocation Types

値	定義
0	CSMA/DVTP domain (CP)
1	Reserved
2	TDMA domain (CFP)
3	TDMA domain (fixed schedule CFP)
4 - 255	(Reserved)

8 ビットのリンク ID サブフィールド(Link ID)は、リンク ID を示す。値が 1~254 の場合、帯域が確保されている具体的なリンクがあることを示す。表 7.11 にアロケーションタイプに対応する、有効なリンク ID の値を示す。

表 7.11 アロケーションタイプに対応する、有効なリンク ID の値

Allocation type	リンク ID の値
0	255
1,4 - 255	N/A
2 or 3	1-254

32 ビットの終了時間サブフィールド(End Time)は、ビーコンフレームの最初からオフセット値として現在の割り当ての終了時間までを「μsec」単位で示す。端末は、前の割り当ての終了時間に CIFS を追加して、開始時刻を計算する。(最初の割り当ての開始時刻は、ビーコン期間終了時である)

7.2.2.3.1.2 拡張情報ブロック (Extended information Block : EIB)

0 以上の拡張情報ブロック (Extended Information Blocks : EIB)はスケジュール情報ブロック (Schedule Information Block) の次にある。EIB は、情報 ID サブフィールド (Information ID) に従って、さまざまな情報を運ぶことができる。EIB フォーマットを図 7.18.に定義する。

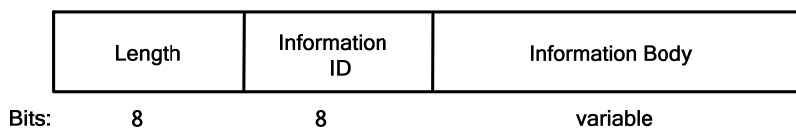


図 7.18 拡張情報ブロックフォーマット(ビーコンフレーム)

8 ビットの Length フィールドは、オクテット単位で EIB の長さを示すフィールドである。

8ビットの情報 ID フィールド (Information ID) は、EIB による情報伝達の種類を示すフィールドである。情報 ID フィールドに有効な値を表 7.12. に定義する。

表 7.12 EIB のための情報 ID

値	定義
0	(reserved)
1	Class-1&2 Capability List type
2	Class-3 Capability List type
3	DVTP Information
4	Current NEK
5	ISP Information
6	RSN Information
7- 254	(reserved)
255	End of Blocks

情報 ID No.0 と、No.7~254 は、将来の仕様のために予約される。情報 ID 番号が予約された ID 番号の EIB を STA が受信する場合、STA は EIB を破棄しなければならない。

それぞれの有効な情報 ID 番号のための EIB の詳細は、7.2.2.4. に定義する。

このバージョンでは、ビーコンフレームのデータボディは表 7.13 の内容を含む。

表 7.13 EIB フィールド

フィールド名	オクテット 番号	ビット 番号	ビット幅	定義
DVTP Info	-	0-7	992	DVTP Information type (Clause 7.2.2.4.3). DVTP 機能が利用可能でない場合、このフィールドはビーコンフレームに含まれない。
Class-1&2	-	0-7	32	Class-1&2 Capability List type (Clause 7.2.2.4.1).
Class-3	-	0-7	32	Class-1&2 Capability List type (Clause 7.2.2.4.2).
Current NEK	-	0-7	32	Current NEK type (Clause 7.2.2.4.4). PSNA が利用可能でない場合、このフィールドはビーコンフレームに含まれない。IEEE 1901 と互換性がない旧世代の「HD-PLC」の BM はこのフィールドをサポートしない。
ISP Basic	-	0-7	64	ISP Information EIB (ISP info ID=0, Basic Information) (Clause 7.2.2.4.5.1). ISP 機能が利用可能でない場合、このフィールドはビーコンフレームに含まれない。IEEE 1901 と互換性がない旧世代の「HD-PLC」の BM はこのフィールドをサポートしない。
End Block	16-19	0-7	32	End of Blocks type

7.2.2.4 拡張情報ブロック

このサブセクションは、各情報 ID の EIB の詳細を定義する。

7.2.2.4.1 Class-1&2 Capability List Type

情報 ID フィールドが「1」である場合、EIB は、Class-1&2 機能リストタイプ情報 (Class-1&2 Functions List type information) を含む。この EIB は隣家 BM の間の Capabilities フィールドについてネゴシエーション結果を示す。BSS に属する全ての認証された STA は、この EIB に従って各機能を使用するかどうかを決定する。

Class-1&2 Capability List type EIB のフォーマットを図 7.19. に定義する。Length フィールドは、この EIB タイプではいつも「4」である。

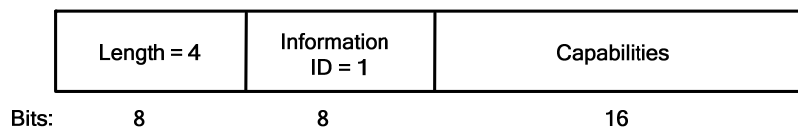


図 7.19 Class-1&2 Functions List type EIB フォーマット

Capabilities フィールドは、利用可能な class-1/2 機能を示す。このフィールドのビットが「1」の場合、ビットへの対応する機能がこの BSS で利用可能であることを意味する。そうでない場合、この機能は利用可能ではない。表 7.14 は、Capabilities フィールドのためのビット割り当てを示す Reserved ビットはいつも「0」である。

表 7.14 Capabilities for Class-1&2

ビット	定義
0	DVTP
1	ISP
2	Relative power levels transmission
3	Dynamic Power Control
4-15	(reserved)

Capabilities フィールドのビット 0 は、STA が DVTP を使用して電力線にアクセスすることが出来るかどうかを示す。このビットが「0」である場合、送信 STA は DVTP 能力を持っていない。BSS 内の 1 以上の STA が DVTP 能力を持っていないとき、BSS 内の全ての STA は CSMA で電力線にアクセスする。

Capabilities フィールドのビット 1 は、ISP の能力を示す。このビットは、IEEE 1901-compliant STA の場合、いつも「1」である。

Capabilities フィールドのビット 2 は、相対的なパワーレベル送信の能力を示す。(13.5.3.参照) このビットが「1」の場合、BSS 内の全ての STA はフレームの各部分のための調整されたパワーレベルでフレームを送信することができる。

Capabilities フィールドのビット 3 は、動的パワー制御 (Dynamic Power Control) のために使用される。このビットが「1」に設定される場合、BSS 内の STA は動的パワー制御が行われる。

7.2.2.4.2 Class-3 Capability List Type

情報 ID フィールドが「2」の場合、EIB は Class 3 Capability List type information を含む。

Class 3 Capability list type EIB のフォーマットを図 7.20 に定義する。Length フィールドは、この EIB タイプではいつも「4」である。

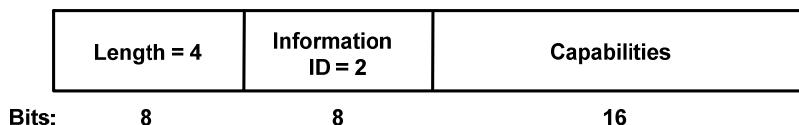


図 7.20 Class-3 Capability List type EIB フォーマット

Capabilities フィールドは、利用可能な class-3 機能を示す。このフィールドのビットが「1」の場合、ビットに対応する機能がこの BSS 内で利用可能であることを意味する。そうでない場合は、この機能は利用可能ではない。表 7.15 に Capabilities フィールドのビット割り当てを示す。

表 7.15 Capabilities for Class-3

ビット	定義
0	ネットワーク暗号鍵更新 (Network encryption key update)
1	Variable ICV
2	LDPC-CC
3-15	(reserved)

Capabilities フィールドのビット 0 は、ネットワーク暗号鍵更新機能の能力を示す。(8.4.7 参照) このビットが「1」のとき、送信 STA はネットワーク暗号鍵更新機能を持つ。IEEE 1901-compliant STA の場合、このビットはいつも「1」である。

Capabilities フィールドのビット 1 は、各フレームのための ICV 値がいつも 0xCCCC であるか(0 のとき)、各フレームのために変化するか(1 のとき)、を示す。

Capabilities フィールドのビット 2 は、LDPC-CC の能力を示す。Non-BM STA が認証応答メッセージによって class-3 capabilities について BM に知らせるとき、このビットが「1」の場合 Non-BM STA が LDPC-CC 能力を持つことを示す。BM がビーコンフレームによって BSS 内の Non-BM に知らせるとき、BSS 内の全ての STA がブロードキャスト/マルチキャストフレームを送信するための LDPC-CC エンコーディングを使用できることを示す。このビットの値に関わらず、受信 STA が LDPC-CC 能力もっているなら、LDPC-CC 能力を持つ全ての STA はユニキャストフレームのために LDPC-CC エンコーディングを使用することができる。Class-4 capability bit は、送受信 STA の間での能力交換のために割り当てられる。

7.2.2.4.3 DVTP 情報タイプ

情報 ID フィールドが「3」の場合、EIB は DVTP 情報を示す。BSS が DVTP を使用するとき DVTP 情報タイプ EIB はいつも存在する。

DVTP 情報タイプ EIB のフォーマットを図 7.21 に定義する。

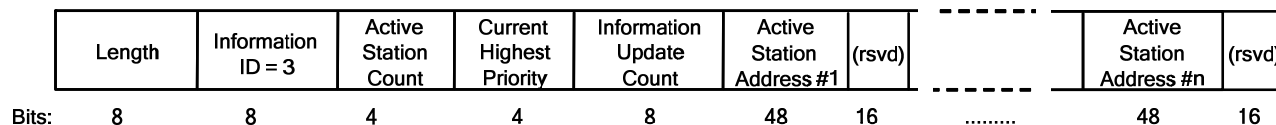


図 7.21 DVTP 情報タイプ EIB フォーマット

4 ビットのアクティブ端末カウントフィールド (Active Station Count) は、BM を含むアクティブ端末の数を示すフィールドである。この値は、「1」～「15」でなければならない。値「0」は、BSS が DVTP を使用する間 BM がいつもアクティブ端末であるため、無効である。

4 ビットの Current Highest Priority フィールドは、BM を含む STID がどれに割り当てられるかを全ての STA の中で最も高いプライオリティ値を示すフィールドである。このフィールドの値は、「0」～「7」でなければならない。

1 オクテットの情報更新カウントフィールド (Information Update Count) は、DVTP のパラメータ設定のためのシーケンス番号を示すフィールドである。DVTP アクセスコントロールメカニズムが起動時に BM によって開始するとき、このフィールドは

「0」に設定されなければならない。また、アクティブ端末カウントフィールド、または、アクティブ端末フィールドの少なくとも1つが変化した場合、インクリメントされなければならない。

アクティブ端末アドレスフィールド（Active Station Address fields）は、BMを含むBSS内の全てのアクティブSTAをキープする。このリストの最初の6オクテットは、BMのMACアドレスを示す。n番目のアクティブ端末アドレスフィールドは、端末ID(STID)がn ($n = 2, \dots, 15$)であるNon-BM STAのMACアドレスを示す。STID 1は、BMのためのものである。

7.2.2.4.4 Current NEK タイプ

情報IDフィールドが「4」の場合、EIBはCurrent NEK情報を示す。NKIを更新するとき、Current NKI情報タイプEIBは存在しなければならない。このEIBは新しいNKIの使用を全ての認証されたSTAに通知するために使用される。

Current NKI type EIBのフォーマットを図7.22.に定義する。

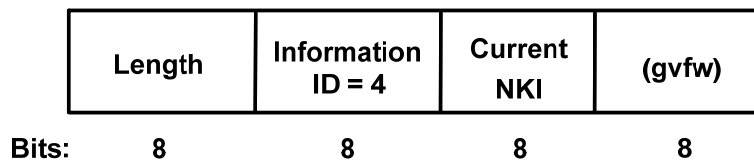


図 7.22 Current NEK type EIB フォーマット

1オクテットのCurrent NEKフィールドは、現在のネットワーク暗号鍵のNKIを示すフィールドである。この値は、「2」～「255」でなければならない。このNKIはNEKがnoneであることを示すので、値「0」は無効である。また、このNKIは各STAで異なっているPWKを示すので、値「1」も無効である。

7.2.2.4.5 ISP 情報タイプ

1901 Wavelet-basedシステムは、Non-BM STAへのISP情報をブロードキャストするために、ビーコンフレームでEIB（拡張情報ブロック）を使用する。

情報ID（Information ID）が「5」の場合、EIBはISP情報を示す。このEIBタイプは、ISP Info IDによる情報のいくつかのタイプを運ぶことができる。

図7.23に、ISP情報タイプEIBのフォーマットを定義する。

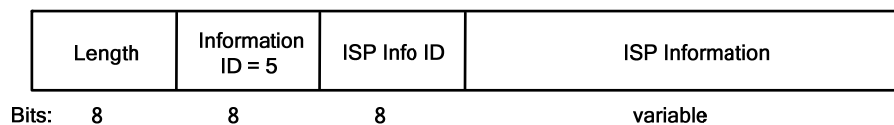


図 7.23 ISP 情報タイプ EIB フォーマット（ビーコンフレーム）

8ビットのISP Info IDは、ISP情報タイプを識別するフィールドである。

ISP 情報は、実際の情報を含む可変長フィールドである。ISP 情報フィールドの内容は、ISP Info ID に依存する。実際のメッセージ ID を表 7.16 に定義する。

表 7.16 ISP Info ID

値	定義
0	基本情報 (Basic Information)
1	同期情報 (Synchronization Information)
2	サーチ情報 (Search information (unsupported))
3	共存 PHY リスト情報 (Coexistence PHY List Information (unsupported))
4 – 255	(reserved)

7.2.2.4.5.1 基本情報 (ISP Info ID = 0)

EIB の情報 ID が「5」であり、ISP Info ID が「0」の場合、EIB は ISP の基本情報を示す。この情報は、ISP フィールドの開始位置と、Access と OFDM In-home システムの状態の検出を示す。

図 7.24 に基本情報のための ISP 情報フィールドの内容を示す。

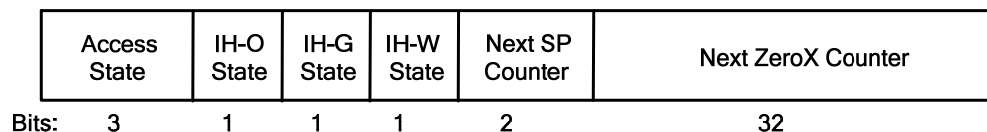


図 7.24 ISP 情報タイプ EIB のための基本情報フォーマット

16 ビットの ISP Offset フィールドは、現在のビーコン位置から ISP フィールドの開始のオフセットを示すフィールドである。このフィールドは、1.0 μsec の倍数の時間で示される。

3 ビットの Access 状態フィールドは、Access システムについての情報を示す。このフィールドのそれぞれの値の意味を表 7.17 に示す。

表 7.17 Access 状態フィールド

値	定義
0b000	Access システム未検出
0b100	Access システム (TDM, Partial Bandwidth) 検出
0b110	Access システム (TDM, Full Bandwidth) 検出
0b101	Access システム (FDM, Partial Bandwidth) 検出
0b111	Access システム (FDM, Full Bandwidth) 検出
0b001	Access システム (FDM, Partial Bandwidth) 検出、 しかしサポート不可能
0b011	Access システム (FDM, Full Bandwidth) 検出、 しかしサポート不可能
0b010	(reserved)

1 ビットの IH-O 状態フィールドは、IH-O システムが共存しているかどうかを示すフィールドである。IH-O システムが共存するとき、このフィールドは「1」に設定される。そうでない場合は、「0」に設定される。

1 ビットの IH-G 状態フィールドは、IH-G システムが共存しているかどうかを示すフィールドである。IH-G システムが共存するとき、このフィールドは「1」に設定される。そうでない場合は、「0」に設定される。

1 ビットの IH-W 状態フィールドは、IH-W システムが共存しているかどうかを示すフィールドである。IH-W システムが共存するとき、このフィールドは「1」に設定される。そうでない場合は、「0」に設定される。このフィールドは In-home Wavelet STA から送信された EIB ではいつも「1」である。

2 ビットの Next SP Counter フィールドは、次の IH-W の ISP Window で、送信 STA の内部 Sync Point カウンターの値を含むフィールドである。有効な値は、「0」、「1」、「2」である。

32 ビットの Next ZeroX Counter フィールドは、次の IH-W の ISP Window で、送信 STA の内部ゼロクロスカウンターの値を含むフィールドである。

7.2.2.4.5.2 同期情報 (ISP Info ID = 1)

EIB の情報 ID (Information ID) が「5」であり、ISP Info ID が「1」の場合、EIB は ISP の同期情報を示す。この情報は、2つの STA の間、特に BM と Non-BM STA の間でゼロクロスカウンターの同期に使用される。

図 7.25 に同期情報の ISP 情報フィールドの内容を示す。

(reserved)	Current SP Counter	Current ZeroX Counter	Elapsed Time
Bits: 6	2	32	32

図 7.25 ISP 情報タイプ EIB のための MAC アドレスリストフォーマット

2 ビットの Current SP Counter フィールドは、このメッセージの伝達の始めに送信 STA の内部 Sync Point カウンターの値を含むフィールドである。有効な値は、「0」、「1」、「2」である。

32 ビットの Current ZeroX Counter フィールドは、このメッセージの伝達の始めに送信 STA の内部ゼロクロスカウンターの値を含むフィールドである。

32 ビットの Elapsed Time フィールドは、送信時のゼロクロス点からの経過時間を含むフィールドである。

7.2.2.4.5.3 サーチ情報(ISP Info ID = 2)

EIB の情報 ID (Information ID) が「5」であり、ISP Info ID が「2」の場合、EIB は ISP のサーチ情報を示す。EIB のための Length フィールドはいつも「12」である。このブロックは、ISP を使用し同期していないシステムのサーチのための 2 種類のタイミングで Non-BM 端末に知らせる。

図 7.26 に、サーチ情報のための ISP 情報フィールドの内容を示す。

(reserved)	Search Periods 2	SP Counter 1	SP Counter 2	ZeroX Counter 1	ZeroX Counter 2
Bits: 2	2	2	2	32	32

図 7.26 ISP 情報タイプ EIB のためのサーチ情報フォーマット

32 ビットの ZeroX Counter 1 フィールドと、2 ビットの SP Counter 1 フィールドは、内部ゼロクロスカウンターと、BM の内部 Sync Point カウンターの値を含み、自身のシステムの ISP Window のタイミングを示す。BSS 内の全ての STA はこれらの 2 つのフィールドによって指定された ISP Window で ISP 信号を送信しない。

SP Counter 1 フィールドの値が「3」のとき、ZeroX Counter 1 フィールドと SP Counter 1 フィールドは無効である。

32 ビットの ZeroX Counter 2 フィールドと 2 ビットの SP Counter 2 フィールドは、内部ゼロクロスカウンターと、BM の内部 Sync Point カウンターの値を含み、非同期 Sync Point を示す。2 ビットの Search Periods フィールドは、サーチの期間を示す。Search Periods フィールドが「0」のとき、BSS 内の全ての STA はデータ送信を止め、ZeroX Counter 2 フィールドと SP Counter 2 フィールドのペアによって指定された Sync Point のみで他システムによって送信された ISP 信号の検出にトライする。Search Periods フィールドが n ($n=1, 2, 3$) のとき、BSS 内の全ての STA は ZeroX Counter 2 フィールドと SP Counter 2 フィールドのペアによって指定された Sync Point でデータ送信を止め、Sync Point で指定された n 同期区間開始の間、全ての Sync Point で他システムによって送信された ISP 信号の検出にトライする。

SP Counter 2 フィールドの値が「3」のとき、ZeroX Counter 2 フィールド、SP Counter 2 フィールド、Search Periods 2 フィールドは無効である。

7.2.2.4.5.4 共存 PHY リスト情報 (ISP Info ID = 3)

EIB の情報 ID (Information ID) が「5」であり、ISP Info ID が「2」である場合、EIB は ISP のためのオプションの共存 PHY リスト情報を示す。Network Manager がオプションの Time Slot Reuse (TSR) ISP 機能を使用するとき、この情報は使用される。

図 7.27 に共存 PHY リスト情報のための ISP 情報フィールドの内容を示す。

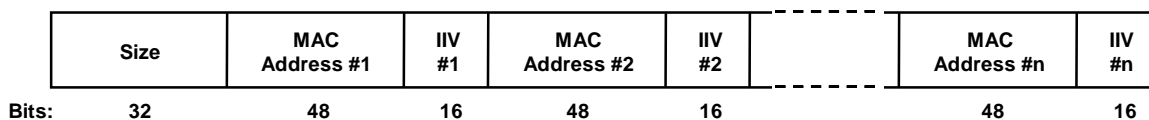


図 7.27 ISP 情報タイプ EIB のための共存 PHY リスト情報フォーマット

この情報は、以下のリスト、MAC アドレスのペアのリスト、IIV (Interference Index Vector) フィールドの要素の番号を示す 32 ビットサイズのフィールドで構成される。サイズ(Size)フィールドの値は、Network Manager を含むシステム内のノードの数と等しい。システム内の全てのノードの情報は、ここにリストアップされる。

48 ビットの MAC アドレスフィールドは、STA の実際の MAC アドレスを含む。

16 ビットの IIV フィールドは、隣接した MAC アドレスフィールドに対応する MAC アドレスのノードの IIV を含む。このフィールドの詳細を表 7.18 に示す。

表 7.18 IIV フィールド

フィールド名	ビット番号	ビット幅
Access State	0-2	3
IH-O State	3	1
IH-G State	4	1
IH-W State	5	1
(reserved)	6-14	9
TSR Flag	15	1

1 ビットの TSR Flag サブフィールドは、ノードの Time Slot Reuse (TSR)能力を示す。このフィールドが「1」に設定される場合、このノードが TSR の能力を持つことを意味する。

3 ビットの Access 状態サブフィールドは、現在の Sync Point で Access システムの同期についての情報を示す。このフィールドの各値の意味を表 7.19 に示す。

表 7.19 Access 状態サブフィールド

値 (binary)	定義
000	Access システム未検出
100	Access システム (TDM, Partial Bandwidth) 検出
110	Access システム (TDM, Full Bandwidth) 検出
101	Access システム (FDM, Partial Bandwidth) 検出
111	Access システム (FDM, Full Bandwidth) 検出
001	Access システム (FDM, Partial Bandwidth) 検出、しかしサポート不可能
011	Access システム (FDM, Full Bandwidth) 検出、しかしサポート不可能
010	(reserved)

1ビットの IH-O 状態サブフィールドは、このビットが「1」に設定される場合、現在の Sync Point で同期した IH-O システムからの ISP 信号をノードが検出したことを示す。このビットが「0」に設定される場合、そうでないことを示す。

1ビットの IH-G 状態サブフィールドは、このビットが「1」に設定される場合、現在の Sync Point で同期した IH-G システムからの ISP 信号をノードが検出したことを示す。このビットが「0」に設定される場合、そうでないことを示す。

1ビットの IH-W 状態サブフィールドは、このビットが「1」に設定される場合、現在の Sync Point で同期した IH-W システムからの ISP 信号をノードが検出したことを示す。このビットが「0」に設定される場合、そうでないことを示す。このフィールドは、In-home Wavelet STA から送信された EIB のためにいつも「1」である。

7.2.2.4.6 ブロックタイプの終わり

情報 ID (Information ID) フィールドが「255」の場合、EIB はブロックの終わりを示す。End of Blocks type EIB は、EIB リストの終わりを示す。ブロックの終わりは、例え EIB が全く無くても、ビーコンフレームのデータボディの終わりにいつも存在する。

End of Blocks type EIB のフォーマットを図 7.28 に定義する。Length フィールドは、この EIB タイプのためにいつも「4」である。

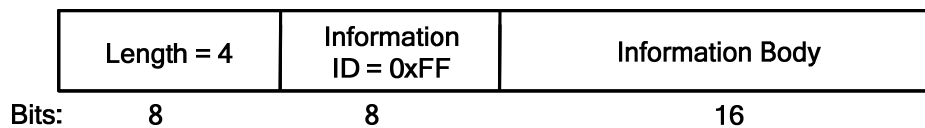


図 7.28 End of Block type EIB フォーマット

- Length フィールドの値は「4」である。
- 情報 ID フィールド (Information ID) の値は「0xFF」である。
- 情報ボディフィールド (Information Body) は「0」で満たされる。

7.2.3 ACK フレーム

ACK フレームのフレームフォーマットを図 7.29 に定義する。

ACK フレームは、データフレームの受信応答として使われる。ACK フレームは、受信 STA による正常受信や、データフレーム破棄を、送信 STA に知らせることができる。

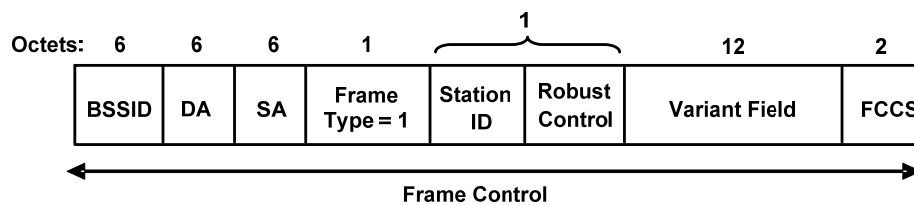


図 7.29 ACK フレームフォーマット

7.2.3.1 バリエーションフィールド

ACK フレームのバリエーションフィールドフォーマットを図 7.30 に定義する。

Type	Result Map	RS Correction Result	Frame CINTR Result	Bidirection Mode	Extra Indication	Extra Information
Bits: 1	31	16	16	1	2	29

図 7.30 バリエーションフィールドフォーマット (ACK frame)

1 ビットのタイプフィールド(Type)は、ACK フレームの応答タイプを示す。タイプフィールドが「0」の場合、ACK フレームは受信データフレームを受信したことに対する応答で、次のフィールドでデータフレームの受信結果を示す。フィールド値が「1」のとき、受信端末の状態(通常、受信リソースの不足)により、受信失敗であることを示す。

31 ビットの結果マップフィールド(Result Map)は、受信データフレームの各サブフレームの受信結果を示すフラグのセットである。結果マップフィールドのビットは、最初のブロックから始まるデータタイプの各サブフレームに一致する。サブフレームを正しく受け取ると対応する結果マップビットを「1」に設定し、そうでない場合は「0」に設定する。

送信したデータフレームのサブフレームに対応する結果マップフィールドのビットが全て「1」のとき、ACK フレームを受信した端末(つまり、データフレームを送信した端末)は、全てフレームボディの伝達が完了したことを意味する。

16 ビットの RS 訂正結果フィールド(RS correction result)は、受信されたデータフレームにおいてリードソロモン符号によって訂正されたバイト数を示す。

16 ビットのフレーム CINTR 結果フィールド(Frame CINTR result)は、受信されたデータフレームの CINTR 値を示す。

双方向モードフィールド (Bidirection Mode) は、バースト伝送に使用される。(9.6 参照)。このビットが「1」のとき、ACK フレームを送信する STA 以外の全ての STA は、WAIT_REVERSE_TIME の間、どんなフレームも送信してはいけない。

2 ビットの Extra Indication フィールドを表 7.20 に示す。Extra Indication field が「1」の場合、Extra Information は Extra Result Map を含む。

表 7.20 Extra Indication field

値	定義
0b00	Reserved
0b01	Extra Information は、Extra Result Map である
0b10 – 0b11	Reserved

29 ビットの Extra Information は、Extra Result が「0b01」のときの Extra Result Map を示す。Extra Result Map field は、サブフレームのカウンタが 31 以上であるとき、受信データフレームの各サブフレームのための結果の受信を示すフラグを設定する。Extra Result Map フィールドのビットは、32 番目のブロックから始まるデータタイプの各サブフレームに対応する。

7.2.4 チャンネルエスティメーション要求フレーム

チャンネルエスティメーション要求(RCE)フレームを図 7.31 に定義する。

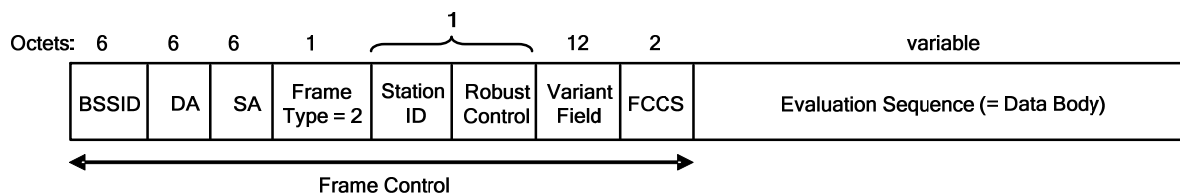


図 7.31 RCE フレームフォーマット

RCE フレームは、他の端末の MAC からチャンネルエスティメーションを要求するために使用される。RCE フレームは 1 つのサブフレームを持っている。RCE フレームボディフィールドは評価シーケンスを含んでおり、それは全て 2PAM で構成される。

7.2.4.1 バリエーションフィールド

RCE フレームのバリエーションフィールドフォーマットを図 7.32 に定義する。

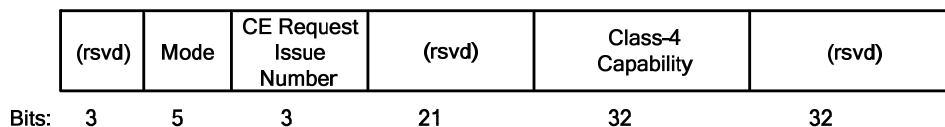


図 7.32 バリエーションフィールドフォーマット

5 ビットのモードフィールド(Mode)は、チャンネルエスティメーションモードを示す。現在のバージョンでは、固定値「0」が唯一の値として使用される。

CE 要求発行数フィールド(CE Request Issue Number)は、チャンネルエスティメーション要求の発行番号を示す。固定値「1」が入る。

16 ビットの Class-4 Capability フィールドは、class-4 functions の能力情報を示すフィールドである。表 7.21 に、class-4 Capability フィールドのビット割り当てを示す。このフィールドのビットが「1」の場合、そのビットに対応する機能は利用可能であることを意味する。

表 7.21 Class-4 Capability フィールドのビット割り当て

ビット	定義
0	Pilot symbol & PAM limit
1	Lower frequency
2	LDPC-CC
3	32PAM
4	Subframe concatenation
5	8-bit TMI
6	IEEE 1901 format Tone Map
7	複数 Tone Map
8-15	(reserved)

Class-4 Capability フィールドのビット 0 は、パイロットシンボル (pilot symbol(13.4.5.2.8 参照)) と PAM limit (7.2.1.1 参照)の能力を示す。このビットが「1」のとき、送信 STA はこの能力を持つ。

Class-4 Capability フィールドのビット 1 は、送信機が 1.8~4MHz の周波数を使用できるかどうかを示す。このビットは第一世代「HD-PLC」機器との互換性のために提供される。このバージョンでは、このビットはいつも「1」である。

Class-4 Capability フィールドのビット 2 は、LDPC-CC エンコーディングの能力を示す。値「1」は、送信 STA がデータ/管理フレームのユニキャスト送信のために LDPC-CC の能力を持つことを意味する。

Class-4 Capability フィールドのビット 3 は、オプションの 32PAM 変調の能力を示す。このビットが「1」のとき、送信 STA は 32PAM 変調を使用できる。

Class-4 Capability フィールドのビット 4 は、データフレームのためのサブフレーム連結の能力を示す。IEEE 1901 Wavelet は、この機能をサポートしている (9.4.2 参照)。このビットは、旧世代の「HD-PLC」機器との互換性のために提供される。このバージョンでは、このビットはいつも「1」である。

Class-4 Capability フィールドのビット 5 は、送信 STA が 8-bit TMI の能力を持っているか (このビットが「1」のとき) どうかを示す。送信 STA がデータ/管理フレームを送信するとき、送信 STA と受信 STA の両方が 8-bit TMI 能力を持っているならば、8-bit TMI は使用される。そうでなければ、STA は 5-bit TMI を使用する。

Class-4 Capability フィールドのビット 6 は、送信 STA が IEEE 1901 フォーマットのトーンマップで RCE/CER といくつかの管理フレームを送信するかどうかを示す。このビットは、旧世代の「HD-PLC」機器との互換性のために提供される。このバージョンでは、このビットはいつも「1」である。

Class-4 Capability フィールドのビット 7 は、STA が複数 ToneMap 能力を示す。このビットが「1」のとき、送信 STA はこの能力を持つ。

7.2.4.2 評価シーケンス

評価シーケンスフィールド (Evaluation Sequence) は、PHY によって挿入される評価コード設定のための場所である。このフィールドの内容の全ては PHY によって置き換えられるため、MAC ではこのフィールドの値は任意である。128 シンボルが、PHY レイヤーのチャンネル評価プロセスのための最小値である。このフィールドの長さは 128 シンボル以上である。

13.4.1.参照。

7.2.5 チャンネルエスティメーション応答フレーム

チャンネルエスティメーション応答 (CER) フレームフォーマットを図 7.33 に定義する。

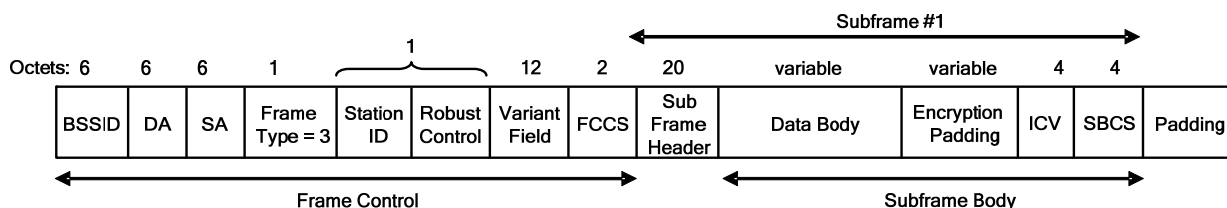


図 7.33 CER フレームフォーマット

CER フレームは、RCE 要求フレームの応答である。RCE フレームは 1 つのサブフレームを持っている。

7.2.5.1 バリエーションフィールド

CER フレームのバリエーションフィールドフォーマットを図 7.34 に定義する。

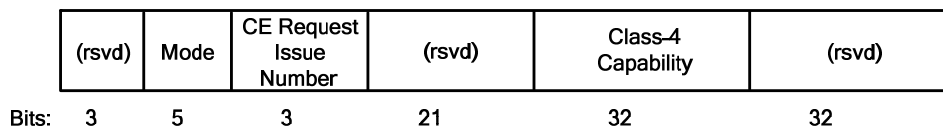


図 7.34 バリエーションフィールドフォーマット (CER フレーム)

5 ビットのモードフィールド (Mode) は、チャンネルエスティメーションモードを示す。現在のバージョンでは、固定値「0」が唯一の値として使用される。

3 ビットの CE 要求発行数フィールド (CE Request Issue Number) は、チャンネルエスティメーション要求の発行数を示す。固定値「1」が入る。

32 ビットの Class-4 Capability フィールドは、class-4 functions の能力情報を示すフィールドである。表 7.21 に、このバージョンでの class-4 functions のビット割り当てを示す。

7.2.5.2 サブフレームヘッダー

表 7.22 に CER フレーム内のサブフレームヘッダーの値を示す。

表 7.22 サブフレームヘッダーフィールドの値 (CER フレーム)

フィールド	値
IV	ランダム
タイムスタンプ (Time Stamp)	要求時のシステム時間
長さ (Length)	サブフレーム長
DBSI	0
シーケンス番号 (Sequence Number)	シーケンス番号 (Sequence Number)
サブフレーム番号 (Sub Frame Number)	1
受信シーケンス制御 (Receive Sequence Control)	0
ネットワーク鍵インデックス (Network Key Index)	0 - 255
Sub frame header check sequence	サブフレームヘッダーの 16bit-CRC

タイムスタンプフィールド (Time Stamp) は、MLME が CER フレーム送信を要求したときのシステム時刻の値を示す。

シーケンス番号フィールド (Sequence Number) は、CER フレームのシーケンス番号を含む。STA によって送信された各 CER フレームは、シーケンス番号を割り当てられる。STA は 1 つの modulo-65536 カウンターを維持し、そのカウンターは CER フレーム送信毎に 1 インクリメントされる。

7.2.5.3 データ ボディ

CER フレームのデータボディフォーマットを図 7.35 に定義する。

Tone Map	Total Bit PAM Level Down	Total Bit Max PAM Limit	(rsvd)	FEC Type	(rsvd)	Total Bit	RXTMI	(rsvd)	RSLen	5-bit RXTMI	DOF Mode Flag	(rsvd)
Bits: variable	48	64	24	4	4	16	8	24	8	5	1	2

図 7.35 データボディフォーマット(CER フレーム)

CER フレームのフレームボディは DOF モードで変調される。

トーンマップフィールド(Tone Map)は、各キャリアの変調タイプを示す。トーンマップフィールドでは、各キャリアに 4 ビット割り当てられる。最も低い周波数から最も高い周波数の順に、最初のバイトの下位 4 ビット、上位 4 ビット、2 バイト目の下位 4 ビット、上位 4 ビットのいうように、最後のバイトの上位 4 ビットまで割り当てられる。トーンマップフィールド長は、可

変長であるが4ビットの倍数である。トータルのサブキャリア数が460の場合、lengthは1840ビットである。このバージョンでは、トータルのサブキャリア数は460(1840ビット)である。しかし、最後の28サブキャリアは空である。(最初の432サブキャリアが利用可能である)

表 7.23 に示すように、キャリアに対する各ビットの1,2,3,4,5の値はそれぞれ2PAM, 4PAM, 8PAM, 16PAM, 32PAMを示す。値が「0」のときは、キャリアはマスクされ、伝送に使用されない。

表 7.23 変調タイプ

値	定義
0	Mask
1	2 PAM
2	4 PAM
3	8 PAM
4	16 PAM
5	32 PAM
6	(Reserved)
7	D2PAM
8-15	(Reserved)

48ビットの Total bit PAM level down フィールドは、トーンマップの各サブキャリアのレベルが下げられるとき、シンボル内のトータルビット長である3つの total bit フィールドを持つ。(7.2.1.1 参照)

表 7.24 Total bit PAM level down フィールド

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Total bit 1 level down	0-1	0-7	16	全てのサブキャリアの PAM が 1 レベルダウンするときのトータルビット値 (例えば、16PAM は 8PAM に下げられ、2PAM は 0 に下げられる)
Total bit 2 level down	2-3	0-7	16	全てのサブキャリアの PAM が 2 レベルダウンするときのトータルビット値 (例えば、16PAM は 4PAM に下げられ、4PAM と 2PAM は 0 に下げられる)
Total bit 3 level down	4-5	0-7	16	全てのサブキャリアの PAM が 3 レベルダウンするときのトータルビット値 (例えば、16PAM は 2PAM に下げられ、8PAM と 4PAM と 2PAM は 0 に下げられる)

64 ビットの Total bit Max PAM limit フィールドは、トーンマップの各サブキャリアの PAM タイプがあるタイプに制限されるとき、シンボル内のトータルビット長である 3 つの Total bit フィールドを持つ。(7.2.1.1 参照)

表 7.25 Total bit Max PAM limit フィールド

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Total bit Max 2PAM	0-1	0-7	16	全てのサブキャリアの PAM タイプを 2PAM までに制限するときのトータルビット値
Total bit Max 4PAM	2-3	0-7	16	全てのサブキャリアの PAM タイプを 4PAM までに制限するときのトータルビット値
Total bit Max 8PAM	4-5	0-7	16	全てのサブキャリアの PAM タイプを 8PAM までに制限するときのトータルビット値
Total bit Max 16PAM	6-7	0-7	16	全てのサブキャリアの PAM タイプを 16PAM までに制限するときのトータルビット値

4 ビットの FEC タイプフィールド (FEC Type) は、RCE フレーム受信によって決定される変調パラメータからの FEC パラメータを含む。表 7.26 にこれらの FEC タイプを示す。

表 7.26 FEC タイプ

値	定義
0	Reed-Solomon only
1	LDPC-CC(1/2)
2	LDPC-CC(2/3)
3	LDPC-CC(3/4)
4	LDPC-CC(4/5)
5 - 7	Reserved
8	Reed-Solomon & Convolutional encoding (1/2)
9	Reed-Solomon & Convolutional encoding (2/3)
10	Reed-Solomon & Convolutional encoding (3/4)
11	Reed-Solomon & Convolutional encoding (4/5)
12	Reed-Solomon & Convolutional encoding (5/6)
13	Reed-Solomon & Convolutional encoding (6/7)
14	Reed-Solomon & Convolutional encoding (7/8)
15	Reserved

16ビットのトータルビットフィールド (Total Bit) は、トーンマップが制限なしで使用される時、1シンボルにおけるトータルビット長を示す。

8ビットの受信トーンマップインデックスフィールド(receive tone map index (RXTMI))は、RCE受信端末によって構築されたトーンマップと一致したTMIを示す。STAは、ユニキャストデータフレームを送信する際は常に、フレームコントロールフィールドのTMIサブフィールドにRXTMI値を設定する。値は「0」～「255」が可能である。

8ビットのRSLenフィールドは、リードソロモンのシンボルサイズを示す。このバージョンでは、例えばFECタイプがLDPCであっても、トーンマップが有効であり、DOFモードが設定されていないときは、このフィールドの値はいつも「255」である。また、このバージョンでは、DOFモードが設定されているとき、値は「56」である。

5ビットのRXTMIフィールドは、RCE要求フレームを受信するSTAによって作られたトーンマップにマッチングするTMIを含む。5ビットのTMI (optional)が利用可能であるとき、このフィールドは使用される。このフィールドは、旧世代の「HD-PLC」機器のためのものである。値は、「0」～「31」が可能である。

1ビットのDOFモードフラグフィールド(DOF Mode Flag)は、決定された変調パラメータに従ってDOFモードを使用するかどうかを示すフラグである。DOFモードフラグフィールドが「1」のとき、通常DMTモードに設定される。DOFモードフラグフィールドが「0」のとき、DOFモードに設定される。DOFモードの場合、トーンマップフィールドは無効である。

7.2.6 管理フレーム

管理フレームのフレームフォーマットを図7.36に定義する。管理フレームは、1つのサブフレームを持つ。

管理メッセージは、データボディに含まれる。それぞれの管理メッセージのメッセージフォーマットは、バリエーションフィールドに書かれている管理サブタイプに依存する。

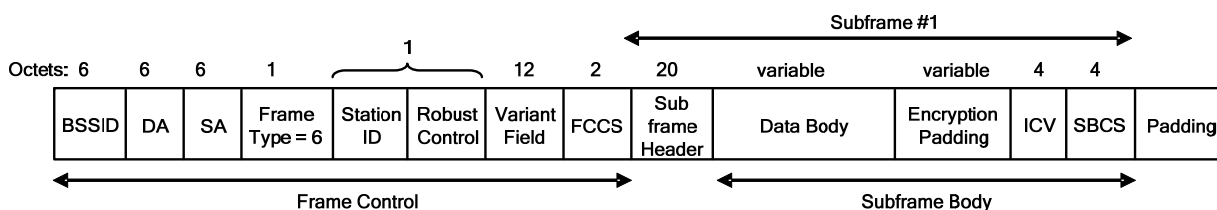


図 7.36 管理フレームフォーマット

7.2.6.1 バリエーションフィールド

管理フレームのバリエーションフィールドフォーマットを図7.37に定義する。

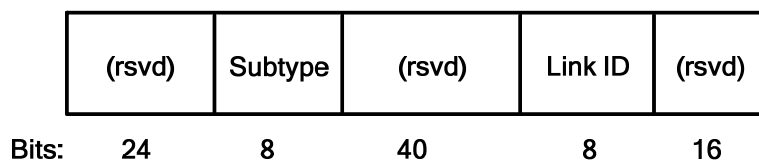


図 7.37 バリエーションフィールドフォーマット(管理フレーム)

8 ビットのサブタイプフィールド(Subtype)は、管理メッセージタイプを示す。有効な値と、それぞれの管理メッセージの詳細を表 7.27. に示す。

8 ビットのリンク ID フィールド(Link ID field)は、BSS 内でユニークな値となるリンク ID を示す。リンク ID は、帯域確保のときに、BM によって割り当てられ、帯域予約応答で送られる。

7.2.6.2 データ ボディ

データボディは管理メッセージで構成される。

(詳細は 7.3 参照)

7.3 管理情報

表 7.27 に管理メッセージサブタイプを示す。

表 7.27 管理メッセージサブタイプ

タイプ	カテゴリ	定義	Frame Body	暗号化
0	(Unsupported option)	帯域予約要求	○	○
1		帯域予約応答	○	○
2		帯域開放要求	○	○
3		帯域開放応答	○	○
4		帯域開放識別子	○	○
5	(Reserved)			
6	認証	認証要求	○	
7		チャレンジテキスト要求	○	
8		チャレンジテキスト応答	○	○
9		認証応答	○	○
10		認証解除要求		
11		認証解除通知	○	
12	チャンネルエステイメーション (Unsupported option)	チャンネルエステイメーション領域要求	○	○
13		チャンネルエステイメーション領域応答	○	○
14		チャンネルエステイメーション領域開放	○	○
15		無効 TMI 通知	○	○
16	BSS Probe (Unsupported option)	Probe Request		
17		Probe Response	○	○
18	暗号鍵	NEK Distribution Indication	○	○
19		NEK Distribution Response	○	○
20	EAPOL (Unsupported)	EAPOL message	○	
21	ダイナミックノッチ (Unsupported option)	ノッチ情報要求		
22		ノッチ情報応答	○	○
23		ノッチ変更要求	○	○
24		ノッチ変更応答		
25-27	(Reserved)			
28	認証	認証解除通知応答		
29	帯域管理 (Unsupported option)	Schedule Management Aging Notification	○	○
30		Schedule Management Aging Notification	○	○
31-32	(Reserved)			
33	BM 管理 (Unsupported option)	QoS Statistics Indication	○	○
34		BM Information Indication	○	○
35		BM Change 要求		
36		BM Change 応答	○	○
37	Network Initiation (Unsupported option)	BSSID 要求		
38		BSSID 応答	○	○
39	CX (Unsupported option)	CX Change Channel	○	○
40	ISP	ISP 情報	(*1)	
41-219	(Reserved)			
220-254	Vendor Specific			
255	Vendor Specific(HD-PLC)			

*1; ISP メッセージタイプによる

7.3.1 認証メッセージ

7.3.1.1 認証要求メッセージ

認証要求管理メッセージは、Non-BM STA が自分自身を認証するように BM に要求するときに使用される。このメッセージを受信すると、BM は認証要求を受け入れるかどうかをすぐに決める。

要求を受け入れるとき、BM は Non-BM STA にチャレンジ要求を送り返す。要求を受け入れないときは、BM は対応する結果コードの認証応答を送る。(表 7.33 参照)

このメッセージのコンテナ管理データフィールドを表 7.28 に示す。この端末は、自身の機能をこの管理データで BM に送るべきである。

表 7.28 認証要求管理メッセージ

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
QCFLAG	0	0	1	端末の BM 機能の有無
DNKC		1	1	動的ネットワーク鍵変更機能の有無
RSVD		2	1	(Reserved)
CEMODE		3-6	4	チャンネルエスティメーションモード
RSVD		7	1	(Reserved)
RSVD	1-3	0-7	24	(Reserved)
EIBs	可変	0-7	可変	Extend Information Blocks

7.3.1.1.1 QCFLAG フィールド

端末が BM 機能を持つ場合「1」に設定する。それ以外は「0」に設定する。このバージョンでは、この機能は利用可能でないため、このフィールドは常に「0」である。

7.3.1.1.2 DNKC フィールド

端末は BM からの指示に従って動的に NKI と暗号鍵を受け取り、変更することができる場合、「1」に設定する。それ以外は「0」に設定する。PSNA が利用可能な場合、フィールドは「1」でなければならない。旧世代の「HD-PLC」機器がこのフレームを送信する場合、フィールドは「0」である。

7.3.1.1.3 CE モードフィールド

端末が機能を有する論理ネットワーク内で使用可能なチャンネルエスティメーションのモードを示す。現在のバージョンでは、固定値「0x02」が入る。

7.3.1.1.4 EIB フィールド

EIB フィールドは、いくつかの拡張情報ブロック (Extended Information Blocks: EIB) を含む。例えば、以下の 3 つの EIB を含む場合、その長さは 96 ビットである。

表 7.29 EIB フィールド

フィールド名	オクテット 番号	ビット 番号	ビット幅	定義
Class-1&2	0-3	0-7	32	Class-1&2 Capability List type (Clause 7.2.2.4.1)
Class-3	4-7	0-7	32	Class-3 Capability List type (Clause 7.2.2.4.2)
End Block	8-11	0-7	32	End of Blocks type

7.2.2.4 を参照。CLASS-1&2 Capability List type と CLASS-3 Capability List type は、通常このフィールドで使用される。(7.2.2.4.1、7.2.2.4.2 参照)。End of Block は、例え EIB がなくても認証要求メッセージの終わりに存在する。

7.3.1.2 チャレンジテキスト要求メッセージ

チャレンジテキスト要求管理メッセージは、BM が新しい端末にチャレンジテキストを送るために使用される。このメッセージを受信すると、端末はチャレンジテキストを暗号化し、チャレンジテキスト応答管理メッセージで暗号メッセージを BM に送るべきである。

表 7.30 チャレンジテキスト要求管理メッセージ

フィールド名	オクテット 番号	ビット 番号	ビット幅	定義
LEN	0-1	0-7	16	チャレンジテキスト長
RSVD	2-3	0-7	16	(Reserved)
TEXT	可変	0-7	可変	チャレンジテキスト

7.3.1.2.1 チャレンジテキスト長フィールド

チャレンジテキスト長(LEN)フィールドは、以下の TEXT フィールドの長さをバイト単位で示す。この値は 0~1000 である。LEN フィールドの値が「0」の時は、チャレンジテキスト要求管理メッセージを破棄しなければならない。

7.3.1.2.2 チャレンジテキストフィールド

チャレンジテキスト(TEXT)フィールドはチャレンジテキストから構成される。チャレンジテキストの長さは「1」から「1000」でなければならない。このバージョンでは、この値はいつも「128」である。

7.3.1.3 チャレンジテキスト応答メッセージ

チャレンジテキスト応答管理メッセージは、暗号化されたチャレンジテキストを BM に送るために使用される。このメッセージを送る端末は認証要求している端末である。

表 7.31 チャレンジテキスト応答管理メッセージ

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
LEN	0-1	0-7	16	暗号化テキスト長 (Encrypted text length)
RSVD	2-3	0-7	16	(Reserved)
TEXT	可変	0-7	可変	暗号化テキスト (Encrypted text)

7.3.1.3.1 暗号テキスト長フィールド

暗号化テキスト長フィールド(LEN)は、以下の TEXT フィールドの長さをバイト単位で示す。その値は、0~1000である。LEN フィールドの値が「0」のときは、チャレンジテキスト応答管理メッセージを破棄しなければならない。

7.3.1.3.2 暗号テキストフィールド

暗号テキストフィールド (TEXT) は、暗号化されたチャレンジテキストで構成される。暗号テキストの長さは、1 から 1000 の間でなければならない。このバージョンでは、その値はいつも 128 である。

7.3.1.4 認証応答メッセージ

認証応答管理メッセージは、認証要求管理メッセージへの応答である。表 7.32 に認証応答の管理データフィールドを示す。RES フィールドが「0」でないとき（つまり BM が認証要求を断ったとき）は、残りのフィールドは無効である。

表 7.32 認証応答の管理メッセージ

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
RES	0	0-7	8	結果コード
NKI	1	0-7	8	ネットワーク鍵インデックス
KLEN	2	0-7	8	鍵長
RSV	3	0-7	8	(Reserved)
PERIOD	4-7	0-7	32	ピーコン周期
NEK	8-23	0-7	128	ネットワーク鍵
EIBs	可変	0-7	可変	Extend Information Blocks

7.3.1.4.1 結果フィールド

表 7.33 に認証応答の結果コードを示す。

表 7.33 認証応答の結果コード

値	定義
0	受領
1	暗号化失敗エラー
2	リソースエラー
3	登録済エラー
4	認証鍵なしエラー
5-254	(Reserved)
255	未定義エラー

RES フィールドは認証要求管理メッセージの成否を示し、要求が失敗したときは理由も示す。認証要求管理メッセージが成功ならば、このフィールドの値は「0」となり、成功しなければ「0」以外の値となる。

エラーコード「1」は、暗号化失敗を意味する。BM は、管理フレーム（チャレンジテキスト応答メッセージ）を受け取ると、自身で暗号化したテキストと、端末によって暗号化されたテキストとを比較する。2つのテキストが等しくないとき、BM はこのエラーコードを使用する。

エラーコード「2」は、新しい端末の認証情報を保持する領域が BM に無いために要求を受け入れることが出来ないことを意味する。

エラーコード「3」は、既に要求端末が BM に登録されているときに使用する。

エラーコード「4」は、要求端末の認証鍵を BM が持っていないことを意味する。

前述のいずれのエラーにも当てはまらない場合は、エラーコード「255」を使用する。エラーコード「5～254」は、将来のために確保されている。

7.3.1.4.2 ビーコン周期フィールド (PERIOD)

ビーコン周期フィールド (PERIOD) は、BM によって定義されるビーコンサイクルを 1.024 μ sec の単位で示す。

7.3.1.4.3 ネットワーク鍵インデックスフィールド

ネットワーク鍵インデックスフィールド(NKI)は、BSS 内での端末間の MSDU 転送で使用される暗号化/復号化のネットワーク鍵番号を示す。NKI=0 の場合、フレームが暗号化されていないことを表す。NKI=2～255 のいずれかの場合、フレームは NKI 番号に対する暗号鍵で暗号化されている。このバージョンでは、その値は 0～15 でサポートされる。

7.3.1.4.4 鍵長フィールド

鍵長フィールド(KLEN)は、論理ネットワークの現在のネットワーク鍵の長さを示すために使用される。このバージョンでは、その値は常に 128 である。

7.3.1.4.5 ネットワーク鍵フィールド

ネットワーク鍵フィールド(NEK)は、システム端末によって MSDU 転送に使用されるネットワーク鍵を示す。

7.3.1.4.6 EIB フィールド

EIB フィールドは、1 以上の拡張情報ブロック (Extended Information Blocks : EIBs) を含む可変長のフィールドである。例えば、以下の 3 つの EIB を持つ場合、その長さは 160 ビットである。

表 7.34 EIB フィールド

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
ISP Basic	0-7	0-7	64	ISP Information EIB (ISP info ID=0, 基本情報) (7.2.2.4.5.1 参照)
ISP 同期	8-15	0-7	64	ISP Information EIB (ISP info ID=1, 同期情報) (7.2.2.4.5.2 参照)
End Block	16-19	0-7	32	End of Blocks type

ISP Information EIB (基本情報) (7.2.2.4.5.1 参照)と、ISP Information EIB (同期 EIB) (7.2.2.4.5.2 参照)は、ISP 機能が有効な STA から送信される。

7.3.1.5 認証解除要求メッセージ

認証解除要求管理メッセージは、Non BM から BM へ送られる。認証解除要求管理メッセージを受け取ると、BM は即時に要求端末の認証解除を行う。既に認証解除済みのため、BM は応答メッセージを送り返さない。

認証解除要求管理メッセージは、データボディを持たない。

7.3.1.6 認証解除通知メッセージ

認証解除通知管理メッセージは、1 つ以上の端末の認証解除を BM が強制的に行ったことを示すために使用される表 7.35 にこのメッセージのデータボディフィールドを示す。

表 7.35 認証解除通知管理メッセージ

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
ADDR	0-5	0-7	48	MAC アドレス

7.3.1.6.1 MAC アドレスフィールド

MAC アドレスフィールドは、BM に強制的に認証解除された端末の MAC アドレスを示す。このフィールドが FF-FF-FF-FF-FF-FF の場合、現在の BSS における全ての端末は認証解除される。

7.3.1.7 認証解除通知応答メッセージ

認証解除通知応答メッセージは、認証解除通知メッセージの応答である。このメッセージはデータボディを持たない。

7.3.2 チャネルエスティメーションメッセージ

7.3.2.1 無効 TMI 通知メッセージ

無効 TMI 通知メッセージは、他の無効 TMI 端末に通知するために使用される。無効 TMI 通知メッセージを受け取った端末は、特定の TMI を無効にしなければならない。チャネルエスティメーションシーケンスが終わった後に、RCE 送信端末は無効 TMI 通知管理メッセージを RCE 受信端末に送る。

表 7.36 無効 TMI 通知管理メッセージ

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
TMI_VALID	0	0-7	8	有効 TMI
INV_NTMI	1	0-7	8	無効 TMI の数
TMI_INV[1]	3	0-7	8	無効 TMI #1
				:
TMI_INV[N]	N + 2	0-7	8	無効 TMI #N

7.3.2.1.1.1 有効 TMI フィールド

有効 TMI フィールド(TMI_VALID)は、チャネルエスティメーションの結果として有効な RXTMI を示す。このフレームを受信した端末は、このフィールド記載の RXTMI を解放してはならない。

7.3.2.1.1.2 無効 TMI 数 フィールド

無効 TMI 数フィールド(INV_NTMI)は、無効にされた TMI の数を示す。

7.3.2.1.1.3 無効 TMI フィールド

無効 TMI フィールドは、以降、端末が使用しない RXTMI を示す。このフレームを受信した端末は RXTMI としてこのフィールド記載の TMI を解放してもよい。

7.3.3 NEK アップデートメッセージ

PSNA(8 章参照)の動的鍵更新機能が利用可能でない場合、これらのメッセージは提供されない。IEEE 1901 と互換性がない旧世代の「HD-PLC」機器は、そのメッセージをサポートしない。

7.3.3.1 NEK 配布通知メッセージ

NEK 配布通知メッセージは、新しいネットワーク暗号鍵 (NEK) の情報を含み、BM から各 STA に送信される。NEK 配布通知メッセージのフォーマットを表 7.37. に示す。

表 7.37 NEK 配布通知メッセージ

フィールド名	オクテット 番号	ビット 番号	ビット幅	定義
NKI	0	0-8	8	NKI
KLEN	1	0-8	8	鍵長 (Key Length)
reserved	2-3	0-8	16	Reserved
SEQ	4-11	0-8	64	シーケンス番号 (Sequence Number)
NEK	4-19	0-8	128	NEK

7.3.3.1.1 NKI

NKI フィールドは、新しい NEK のネットワーク鍵インデックス (Network Key Index) を示す。このフィールドは、「2」～「255」の値をとり、現在の NEK の NKI 値と異なる。このフィールドは BM によって定義される。

7.3.3.1.2 KLEN

KLEN フィールドは、ビット単位で BM によって生成された新しい NEK の長さを示す。このバージョンでは、このフィールドはどんな場合でも「128」でなければならない。

7.3.3.1.3 SEQ

SEQ フィールドは、NEK 鍵配布のシーケンス番号を示す 64 ビットの番号である。STA と BM が連携するとき、この数は「1」に設定される。BM が特定の STA に鍵配布を送るたびに、それは「1」インクリメントされる。シーケンス番号の 1 つのインスタンスはそれぞれのユニークな STA のために BM によって維持される。

7.3.3.1.4 NEK

この NEK フィールドは、BM によって生成された新しい NEK を示す。

7.3.3.2 NEK 配布応答メッセージ

NEK 配布応答メッセージは、BM からの NEK 配布通知メッセージを受信した STA の新しい NEK の結果の情報を含む。NEK 配布応答メッセージのフォーマットを表 7.38 に示す。

表 7.38 NEK 配布応答メッセージ

フィールド名	オクテット 番号	ビット 番号	ビット幅	定義
NKI	0	0-8	8	NKI
Result	1	0-8	8	ACK

7.3.3.2.1 NKI フィールド

NKI フィールドは、BM からの NEK 配布通知メッセージによって与えられた NKI 値を示す。

7.3.3.2.2 結果フィールド

結果フィールド (Result) は、BMからそれぞれの STA に NEK 配布通知メッセージで送られた新しい NEK を保持する結果を示す。

このフィールドは「0」または「1」をとる。「0」は、STA が新しい NEK を保持することに成功したことを示す。「1」は、新しい NEK の保持に失敗したことを示す。

7.3.4 ISP 情報通知

ISP 情報通知は、情報 ID によって情報のいくつかのタイプを伝達可能である。表 7.39 に ISP 情報の構造を示す。ISP 機能が利用可能でない場合、これらのフレームはサポートされない。IEEE 1901 準拠でない旧世代の「HD-PLC」機器は、このメッセージをサポートしない。

表 7.39 ISP 情報通知

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅
ISP メッセージ ID (Message ID)	0	0-7	8
ISP 情報 (ISP Information)	可変	0-7	可変

8 ビットの ISP メッセージ ID(Message ID)は、通知内容を特定するフィールドである。有効な ID を表 7.40 に定義する。

表 7.40 メッセージ ID

値	定義
0	レポート検出(Detection Report)
1	リシンク開始(Start Re-sync)
2	リシンク終了(Re-sync Finished)
3	リシンク検出(Re-sync Detected)
4	リシンク送信要求(Re-sync Transmission Request)
5	ネットワーク状態要求(Network Status Request)
6	周波数変更(Change Frequency)
7-255	(reserved)

7.3.4.1 検出レポート通知(ISP Message ID = 0)

ISP 検出レポートは、In-home と Access システムの検出に関する情報をレポートするために、Non-BM STA によって BM に伝達される。

検出レポートのフォーマットを表 7.41 に示す。メッセージ ID フィールドの値はいつも「0」である。

表 7.41 ISP 検出レポート通知のデータボディ

フィールド名	オクテット 番号	ビット番号	ビット幅
Message ID	0	0-7	8
Transaction ID	1	0-7	8
(reserved)	2-4	0-7	24
Access State	5	0-2	3
IH-O State		3	1
IH-G State		4	1
IH-W State		5	1
(reserved)		6-7	2
Flags	6	0-7	8
Number of Out-of-sync Sequences	7	0-7	8
Out-of-sync Sequence List	可変	0-7	可変

7.3.4.1.1 トランザクション ID フィールド

8ビットのトランザクションIDフィールド(Transaction ID)は、ネットワーク状態要求メッセージ(Network Status Request message)に関連するこのメッセージのトランザクション識別子を含む。検出レポートメッセージ (Detection Report message) がネットワーク状態要求メッセージのために応答するとき、フラグフィールド (Flags) の 6 ビットは「1」であり、このフィールドの値は関連するネットワーク状態要求メッセージの値と同じである。このフラグフィールドの6ビットが「0」のとき、このフィールドは無効である。

7.3.4.1.2 Access state フィールド

3ビットの Access State フィールドは、現在の Sync Point で同期した Access システムについての情報を示すフィールドである。このフィールドの値を表 7.42 に定義する。

表 7.42 Access State フィールド

値 (binary)	定義
000	Access システムの検出なし
100	検出された Access システム (TDM, Partial Bandwidth)
110	検出された Access システム (TDM, Full Bandwidth)
101	検出された Access システム (FDM, Partial Bandwidth)
111	検出された Access システム (FDM, Full Bandwidth)
others	(reserved)

7.3.4.1.3 IH-O State フィールド

1ビットの IH-O State フィールドは、このビットが「1」に設定される場合、現在の Sync Point で同期している IH-O システムからの ISP 信号を検出したノードを示すフィールドである。検出しなかった場合は、値は「0」に設定される。

7.3.4.1.4 IH-G State フィールド

1 ビットの IH-G State フィールドは、このビットが「1」に設定される場合、現在の Sync Point で同期している IH-G システムからの ISP 信号を検出したノードを示すフィールドである。検出しなかった場合は、値は「0」に設定される。

7.3.4.1.5 IH-W State フィールド

1 ビットの IH-W State フィールドは、このビットが「1」に設定される場合、現在の Sync Point で同期している IH-W システムからの ISP 信号を検出したノードを示すフィールドである。検出しなかった場合は、値は「0」に設定される。このフィールドは、In-home Wavelet STA から送信された検出レポートメッセージ (Detection Report messages) のために、いつも「1」である。

7.3.4.1.6 Flag フィールド

このフィールドのそれぞれのビットの意味を表 7.43 に示す。Reserved ビットは、このバージョンではいつも「0」である。

表 7.43 Flag フィールド

ビット	定義
0	「1」 : ACF1 と ACF2 の ISP 信号が見えなくなったことを示す。
1	「1」 : ACF1 または ACF2 で検出された位相ベクトルが変化したことを示す。
2	「1」 : IOF1 の ISP 信号が見えなくなったことを示す。
3	「1」 : IGF1 の ISP 信号が見えなくなったことを示す。
4-5	(reserved)
6	「1」 : メッセージが受信されたネットワーク状態要求メッセージのための応答を示す。
7	「1」 : タイムスロットリソースが利用可能であることを示す。

7.3.4.1.7 Number of Out-of-sync Sequences フィールド

8 ビットの Number of Out-of-sync Sequences フィールドは、同期していない ISP シーケンスの検出数を示すフィールドである。また、これは、Out-of-sync Sequence List フィールドのための要素を示す。値は、「0」～「143」を指定できる。

7.3.4.1.8 Out-of-sync Sequences List フィールド

Out-of-sync Sequences List フィールドは、同期していない ISP シーケンスの検出のリストを示すフィールドである。このリストの要素の構造を表 7.44 に示す。

表 7.44 Out-of-sync Sequence List フィールドの要素

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	フィールド幅
ISP Offset	0	0-7	8
Access State	1	0-2	3
IH-O State		3	1
IH-G State		4	1
IH-W State		5	1
(reserved)		6-7	2

8 ビットの ISP Offset は、現在の Sync Point で同期していない ISP シーケンスのオフセットを示すサブフィールドである。このフィールドは、ISP Sync Point の番号において時間を示す。値は「1」～「143」を指定できる。

3 ビットの Access State サブフィールドは、その Sync Point で同期している Access システムについての情報を示す。そのオフセットは、現在の同期していない Sequence List フィールドの ISP Offset サブフィールドによって指定される。このフィールドの各値の意味を表 7.45 に示す。

表 7.45 Access State サブフィールド

Value (binary)	Definition
000	Access システム未検出
100	Access システム (TDM, Partial Bandwidth) の検出
110	Access システム (TDM, Full Bandwidth) の検出
101	Access システム (FDM, Partial Bandwidth) の検出
111	Access システム (FDM, Full Bandwidth) の検出
others	(reserved)

1 ビットの IH-O State サブフィールドは、このビットが「1」の場合、その Sync Point で同期した IH-O システムからの ISP 信号を検出したノードを示すサブフィールドである。そのオフセットは、現在の同期していない Sequence List フィールドの ISP Offset サブフィールドによって指定される。そうでない場合は、値は「0」に設定される。

1 ビットの IH-G State サブフィールドは、このビットが「1」の場合、その Sync Point で同期した IH-G システムからの ISP 信号を検出したノードを示すサブフィールドである。そのオフセットは、現在の同期していない Sequence List フィールドの ISP Offset サブフィールドによって指定される。そうでない場合は、値は「0」に設定される。

1 ビットの IH-W State サブフィールドは、このビットが「1」の場合、その Sync Point で同期した IH-W システムからの ISP 信号を検出したノードを示すサブフィールドである。そのオフセットは、現在の同期していない Sequence List フィールドの ISP Offset サブフィールドによって指定される。そうでない場合は、値は「0」に設定される。

7.3.4.2 リシンク開始メッセージ (ISP Message ID = 1)

リシンク開始メッセージ (Start Re-sync ISP management message) は、ISP リシンク手順が開始されたことを示すために BM によって Non-BM STA に送信される。このメッセージを受信した Non-BM STA は、ISP によって定義されたリシンク手順をすぐに開始する。

リシンク開始メッセージ (Start Re-sync ISP management message) のためのデータボディのフレームフォーマットを表 7.46 に示す。Message ID フィールドはいつも「1」である。

表 7.46 リシンク開始メッセージのデータボディ

フィールド名	オクテット 番号	ビット番号	ビット幅
Message ID	0	0-7	8
Transaction ID	1	0-7	8
(reserved)	2	0-7	8
SP Counter	3	0-7	8
ZeroX Counter	4-7	0-7	32

7.3.4.2.1 トランザクション ID フィールド

8ビットのトランザクション ID フィールド (Transaction ID field) は、以下のリシンク終了メッセージ (Re-sync Finished message) に、このメッセージを関連づけるトランザクション識別子を含む。BM 起動後の最初のリシンク開始メッセージのこのフィールドの値は「0」であり、それぞれのリシンク開始メッセージごとにインクリメントされる。

ゼロクロスカウンターフィールドと SP カウンターフィールド

32ビットの ZeroX Counter フィールドと 8ビットの SP Counter フィールドは、ISP 信号サーチの開始のタイミングを示すために内部ゼロクロスカウンターと BM の内部 Sync Point カウンターの値を含む。

7.3.4.3 リシンク終了メッセージ (ISP Message ID = 2)

リシンク終了 ISP 管理メッセージ (Re-sync Finished ISP management message) は、ISP リシンク手順が終了したことを示すために BM によって Non-BM STA に送信される。

リシンク終了メッセージ (Re-sync Finished message) のデータボディのフレームフォーマットを表 7.47 に示す。Message ID フィールドの値はいつも「2」である。

表 7.47 リシンク終了メッセージのデータボディ

フィールド名	オクテット 番号	ビット番号	フィールド幅
Message ID	0	0-7	8
Transaction ID	1	0-7	8
Access State	2	0-2	3
IH-O State		3	1
IH-G State		4	1
IH-W State		5	1
(reserved)		6-7	2
Next SP Counter	3	0-7	8
Next ZeroX Counter	4-7	0-7	32
Resync ZeroX Counter	8-11	0-7	32
Resync SP Counter	12	0-7	8
(reserved)	13	0-7	8
Number of Resync Signals	14	0-7	8
Number of Out-of-sync Sequences	15	0-7	8
Out-of-sync Sequence List	可変	0-7	16 * N

7.3.4.3.1 トランザクション ID フィールド

8ビットのトランザクション ID フィールド (Transaction ID field) は、このメッセージをリシンク開始メッセージ (Start Re-sync message) に関連付けるトランザクション識別子を含む。

7.3.4.3.2 共存情報のためのフィールド

3ビットの Access State フィールドは、新しい Sync Point と同期している Access システムについての情報を示す。

1ビットの IH-O State フィールドは、IH-O システムが新しい Sync Point で使用されているかどうかを示す。IH-O システムが共存するとき、このフィールドは「1」に設定される。そうでない場合は、「0」に設定される。

1ビットの IH-G State フィールドは、IH-G システムが新しい Sync Point で使用されているかどうかを示す。IH-G システムが共存するとき、このフィールドは「1」に設定される。そうでない場合は、「0」に設定される。

1ビットの IH-W State フィールドは、IH-W システムが新しい Sync Point で使用されているかどうかを示す。IH-W システムが共存するとき、このフィールドは「1」に設定される。そうでない場合は、「0」に設定される。このフィールドは、In-home Wavelet STA から送信されたリシンク終了メッセージのためにいつも「1」である。

8ビットの Next SP Counter フィールドは、次の IH-W ISP window における送信 STA の内部 Sync Point カウンターの値を含む。有効な値は、「0」、「1」、「2」である。

32ビットの Next ZeroX Counter フィールドは、次の IH-W ISP window における送信 STA の内部ゼロクロスカウンターの値を含む。

7.3.4.3.3 リシンク信号送信のためのフィールド

32ビットの Resync ZeroX Counter フィールドは、リシンク信号の送信を開始するために送信 STA の内部ゼロクロスカウンターの値を含む。

8ビットの Resync SP Counter フィールドは、リシンク信号の送信を開始するために送信 STA の内部 Sync Point カウンターの値を含む。有効な値は、「0」、「1」、「2」である。

8ビットの Number of Resync Signals フィールドは、どのくらいの時間 Non-BM STA がリシンク信号を選択されていない Sync Point に送信しなければならないかを示す。選択されていない Sync Point は、それが対応するリシンク開始管理メッセージを受信する前に同期した Non-BM STA の Sync Point と、このメッセージを受信しこのメッセージを示される前に ISP 信号サーチ期間の間に検出された Non-BM STA の Sync Point を含む。

8ビットの Number of Out-of-sync Sequences フィールドは、Out-of-sync Sequence List フィールドのサイズを示す。「1」～「143」が指定できる。

Out-of-sync Sequence List フィールドは、Non-BM STA がリシンク信号を送信しなければならない ISP シーケンスのリストを含む。それぞれの要素のサイズは16ビットである。それぞれの要素は、新しい Sync Point (ISP Offset サブフィールド)、IH-O システムの存在のフラグ (IH-O State サブフィールド)、IH-G システムの存在のフラグ (IH-G State サブフィールド)、IH-W システムの存在のフラグ (IH-W State サブフィールド) からの8ビットオフセット値を持つ。表 7.47 の値「N」は、Number of Out-of-sync Sequences フィールドの値と同じである。このリストの要素の構造を表 7.48 に示す。

表 7.48 Out-of-sync Sequence List フィールドの要素

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅
ISP Offset	0	0-7	8
(reserved)	1	0-2	3
IH-O State		3	1
IH-G State		4	1
IH-W State		5	1
(reserved)		6-7	2

7.3.4.4 リシンク検出メッセージ (ISP Message ID = 3)

リシンク検出 ISP 管理メッセージ (Re-sync Detected ISP management message) は、Non-BM STA が自身の ISP Window を検出したことを示すために Non-BM STA によって BM に伝達される。

リシンク検出メッセージのデータボディのフレームフォーマットを表 7.49 に示す。このメッセージは ISP Message フィールドを持たない。Message ID フィールドの値は、いつも「3」である。

表 7.49 リシンク検出 ISP 管理メッセージのデータボディ

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅
Message ID	0	0-7	8

7.3.4.5 リシンク送信要求メッセージ (ISP Message ID = 4)

リシンク送信要求 ISP 管理メッセージ (Re-sync Transmission Request ISP management message) は、リシンク ISP 信号を伝達するための Non-BM STA のコマンドのために BM によって Non-BM STA に伝達される。

リシンク送信要求メッセージのデータボディのフレームフォーマットを表 7.50 に示す。Message ID フィールドの値は、いつも「4」である。

Message ID フィールド以外のそれぞれのフィールドは、リシンク終了 ISP 管理メッセージのフィールドと同じである。

表 7.50 リシンク送信要求メッセージのデータボディ

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅
Message ID	0	0-7	8
Resync SP Counter	1	0-7	8
Resync ZeroX Counter	2-5	0-7	32
Number of Resync Signals	6	0-7	8
Number of Out-of-sync Sequences	7	0-7	8
Out-of-sync Sequence List	可変	0-7	16 * N

7.3.4.6 ネットワーク状態要求メッセージ (ISP Message ID = 5)

ネットワーク状態要求 ISP 管理メッセージ (Network Status Request ISP management message) は、Non-BM STA のネットワーク状態の要求をしている BM によって Non-BM STA に伝達される。Non-BM STA がこのメッセージを受信するとき、Non-BM STA はネットワーク状態を知らせるために検出レポート ISP 管理メッセージ (Detection Report ISP management message) を BM に送信する。

ネットワーク状態要求メッセージのデータボディのフレームフォーマットを表 7.51 に示す。Message ID フィールドの値は、いつも「5」である。

表 7.51 ネットワーク状態要求メッセージのデータボディ

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅
Message ID	0	0-7	8
Transaction ID	1	0-7	8

7.3.4.6.1 トランザクション ID フィールド

8 ビットのトランザクション ID フィールド (Transaction ID field) は、このメッセージの受信に応じて Non-BM STA によって送信されたこのメッセージを検出レポートメッセージ (Detection Report messages) に関連づけるトランザクション識別子を含むフィールドである。BM 起動後の最初のネットワーク状態要求メッセージ (Network Status Request message) のためのこのフィールドの値は「0」であり、それぞれのメッセージごとにインクリメントされる。

7.3.4.7 周波数変更メッセージ (ISP Message ID = 6)

周波数変更 ISP 管理メッセージ (Change Frequency ISP management message) は、BSS が使用している周波数帯が変更されることを示すために BM によって Non-BM STA に送信される。

周波数変更メッセージのデータボディのフレームフォーマットを表 7.52 に示す。Message ID フィールドの値は、いつも「6」である。

表 7.52 周波数変更メッセージのデータボディ

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅
Message ID	0	0-7	8
Frequency	1	0-7	8
(reserved)	2	0-7	8
SP Counter	3	0-7	8
ZeroX Counter	4-7	0-7	32

7.3.4.7.1 周波数フィールド

8 ビットの周波数フィールド (Frequency field) は、BSS が使用する周波数帯の種類を示す。このフィールドの有効な値を表 7.53 に示す。

表 7.53 周波数フィールド

ビット	定義
0	1.8 MHz – 28 MHz
1	10 MHz – 28 MHz
2	14 MHz – 28 MHz
3-255	(reserved)

7.3.4.7.2 ゼロクロスカウンターフィールドと SP カウンターフィールド

32 ビットの ZeroX Counter フィールドと、8 ビットの SP Counter フィールドは、周波数帯変更のタイミングを示すために、内部ゼロクロスカウンターと BM の内部 Sync Point カウンターの値を含む。

7.3.5 ベンダー固有メッセージ

ベンダー固有メッセージ (Vendor-specific message) は、個々のベンダーによって定義された管理メッセージを示す。全てのベンダー固有メッセージのサブタイプは、「241」～「255」である。

7.3.5.1 ベンダー固有メッセージ (「HD-PLC」)

サブタイプ「255」は、「HD-PLC」のために予約される。メッセージタイプは、ベンダー固有コード (vendor-specific code) に基づいて決定される。そのコードは、「7」または「8」のオクテット長を持つ ASCII 文字列から構成され、ベンダー固有コードフィールド (Vendor Specific Code field) を含む ID である。ベンダー固有コード長が「7」オクテットのとき、最後のオクテットは「0」が格納される。表 7.54 に、ベンダー固有メッセージのデータボディフォーマットを示す。

表 7.54 ベンダー固有メッセージ

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Vendor Specific Code	0 - 7	0 - 7	64	Identifier of the vendor-specific message (7 or 8-character ASCII 文字列)
Vendor Specific Data	可変	0 - 7	可変	可変長メッセージ

いくつかのベンダー固有コードは、このバージョンの仕様のために既に予約される。表 7.55 に予約されたベンダー固有コードを示す。これらのコードは、トラフィック情報収集、Keep-alive モニタリング、リモートコントロール、簡単設定などのアプリケーションプロトコルに使用される。

表 7.55 予約されたベンダー固有コード

Vendor Specific Code	定義
“IMFIDREQ”	トラフィック情報収集要求
“IMFIDRSP”	トラフィック情報収集応答
“IMFKAREQ”	Keep-alive モニタリング要求
“IMFKARSP”	Keep-alive モニタリング応答
“RMCMREQ”	リモートコントロール要求
“RMCMRSP”	リモートコントロール応答
“KPAIDREQ”	Keep-alive 通知
“EASYCONN”	簡単設定

8 セキュリティ

8.1 概要

IEEE 1901 標準は、1901 ネットワーク用の以下の3つのクラスのセキュリティアルゴリズムを作成し使用するために、このアルゴリズムを定義する。

- Device-based Security Network Association (DSNA) アルゴリズム (以下 DSNA アルゴリズムと呼ぶ)
- Pairwise-based Security Network Association (PSNA) アルゴリズム (以下 PSNA アルゴリズムと呼ぶ)
- Robust Security Network Association (RSNA) アルゴリズム (以下 RSNA アルゴリズムと呼ぶ)

最初の2つのメカニズムは2つの PHY 実装に合わせたものである。DSNA は、FFT PHY で使用される固定長 PHY ブロックに最適化されている。PSNA は、Wavelete PHY での可変長 PHY 送信に最適化されている。双方において、暗号化の単位は再送の単位に一致する。

IEEE 1901 準拠「HD-PLC」のセキュリティは PSNA のみをサポートする。このバージョンでは、PSNA が提供される。IEEE 1901 準拠ではない世代のデバイスは PSNA 機能をサポートしない（例えば動的鍵更新機能や可変 ICV 等）。RSNA や DSNA 仕様を知りたい場合は IEEE Std 1901-2010 を参照すること。

8.1.1 セキュリティ方法

PSNA セキュリティは Wavelet PHY システムの実装の際のみ必須であり、以下のアルゴリズムに準拠する。

- 8.3.1 に記載の PSNA CBC
- 8.4 に記載の確立と終了手順
- 8.4 に記載の鍵管理手順

8.2 暗号鍵と Nonce

「HD-PLC」で使用される暗号鍵は、128 ビット AES-CBC アルゴリズムのためである。「HD-PLC」は次の二つの暗号鍵を使用する。

- ペアワイズ鍵 (PWK)
- ネットワーク暗号鍵 (NEK)

両方の鍵ともに STA によって自動生成されるか、または、ユーザによって入力されたパスワードから生成される。PWK の生成するために使用されるパスワードは、ペアワイズパスワード (PPW) として知られる。NEK を生成するために使用されるパスワードは、ネットワーク暗号パスワード (NEP) として知られる。

8.2.1 ペアワイズ鍵 (PWK)

ペアワイズ鍵 (PWK) は、BM が新しい STA を BSS に認証するために使用する認証鍵である。BM と新しい STA の両方が、同じ PWK を共有しなければならない。PWK は、BM と新しい STA においてユニークである。個々の STA 内の PWK は、STA とそれに関連付けられた BM に対してユニークです。BM は、BSS が与えられた範囲で、全ての認証された STA に対する PWK を記憶する。

PWK は、STA のユーザによって入力されたペアワイズパスワード (PPW) から生成される。(8.2.2 を参照)。

BMと認証された STA は、不揮発性メモリに PWK を保存してもよい。BM と STA は、リセット又は、電源オフからの再起動後に、不揮発性メモリ内に保存された PWK を使ってお互いに再認証を行う。

8.2.2 ペアワイズ パスワード (PPW)

ペアワイズパスワード (PPW) は、ユーザによって入力されたパスワードで、PWK を生成するために使用される。PPW は、すべてアスキー文字である。PPW は STA 上のユーザインタフェースを使って入力される。PWK は、疑似乱数関数を使用したパスワードから導出され、そのシードはユーザによって入力された PPW である。

8.2.3 ネットワーク暗号鍵

ネットワーク暗号鍵 (NEK) は、「HD-PLC」フレームのデータ本体を暗号化するために使用される暗号鍵である。NEK は、BM を含む BSS 内の STA に対する共通鍵である。

NEK は、BM によって生成され、BM によって個々に認証された STA へ配布される。NEK は、STA の外で利用できるようにはされていないため、ユーザが STA に鍵の値を確かめる方法はない。

BM は、BM が最初に新しい STA を認証する際に、NEK を生成する。NEK は、シード値を使用して疑似乱数関数から生成される。1 つのケースとしては、ユーザから入力されるネットワークパスワード (NEP) が、シードとして使用される。もう 1 つのケースとしては、BM 自身で生成した乱数値がシードとして使用される。

一度 BM が NEK を生成すると、BM がリセットされ再起動するまでは NEK を更新しない。BM は STA の認証シーケンスの終了時点の一度限り、新しい STA に対して NEK を配布する。NEK は STA が再認証されるまでは、STA に配布されることのない。

8.2.4 ネットワーク暗号パスワード

ネットワーク暗号パスワード (NEP) は、適切なユーザインタフェースが装備された BM を介して、ユーザによって与えられる。NEP は、アスキー文字列である。

NEP は、疑似乱数関数に入力されるシードとして使用される。疑似乱数関数演算の結果は、暗号鍵として使用される。

8.2.5 Nonce

Nonce は疑似乱数値である。Nonce は疑似乱数関数より生成される。Nonce は、一度使用された後に再計算され、生成された値は 1 度限り使用される。Nonce はリプレイ攻撃を妨げるために使用される。

8.3 ペアワイズセキュリティネットワーク (PSN) データ機密性プロトコル

8.3.1 PSN association (PSNA) CBC 概要

PSNA CBC モードは、AEC 暗号アルゴリズムの CBC モードに基づく。PSNA CBC は、データの機密性のための AES アルゴリズムの CBC モードと、完全性のために暗号化された ICV を組み合わせる。PSNA CBC は MSDU の整合性を保護する。AES アルゴリズムは、FIPS PUB 197-2001 に定義されている。PSNA CBC 内で使用する全ての AES の処理は、128 ビット鍵と 128 ビットのブロックサイズの AES を使用する。PSNA CBC は、64 ビットの初期化ベクトルの演算においてユニークの Nonce を使用する。同じ初期化ベクトルでの暗号鍵の再利用は、全てのセキュリティ保障を無効にする。

このバージョンにおいては、「HD-PLC」セキュリティは Cmelia 暗号アルゴリズムをサポートしない。(IEEE Std 1901-2010 を参照)

8.3.2 データボディ暗号化ビットオーダー

データボディ(オクテット 0 の LSB)の時間の第 1 ビットは、FIPS PUB 197-2011 の 3.1 で定義された AES エンコーダのビット数 0 に対応しなければならない。

8.3.3 初期化ベクトル生成とビットオーダー

初期化ベクトルは、M 系列の生成多項式から生成される。

$$IV[n] = \{ a_{63}[n], a_{62}[n], a_{61}[n], \dots, a_1[n], a_0[n] \}, (0 \leq k \leq 63)$$

$$a_k[n+1] = \begin{cases} a_{63}[n] + a_{35}[n], & k = 33 \\ a_{32}[n] + a_{16}[n], & k = 16 \\ a_{15}[n] + a_{11}[n] + a_2[n] + a_0[n], & k = 0 \\ a_{k-1}[n], & k = \text{otherwise} \end{cases}$$

$$IV[0] = 0x5748563546253412$$

IV[n]は、システムクロック n 毎に計算される。初期化ベクトルの値は、参照される際に、IV[n]に設定される。

IV のオクテット数 0 の LSB は、FIPS PUB 197-2001 の 3.1 にて定義された AES エンコーダのビット数 0 に対応しなければならない。

8.3.4 PSNA CBC サブフレームフォーマット

図 8.1 は、PSNA CBC モードの時のサブフレームを表している。

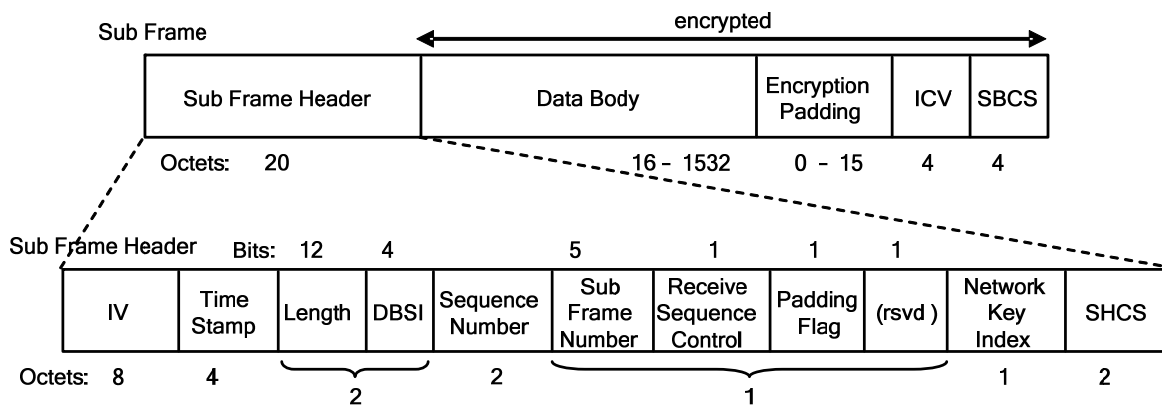


図 8.1 PSNA CBC モードのサブフレーム フォーマット

PSNA CBC モードの処理は、オリジナルのデータボディサイズを 28 オクテットまで拡張する。これは、最小パケットサイズが 60 から 80 へ増加することを意味する。最大パケットサイズは、1532 から 1560 まで増加する。28 オクテット内に含まれる拡張は、サブフレームヘッダーフィールドで 20 オクテット、ICV フィールドに対する 4 オクテット、そして SBCS フィールド 4 オ

クテットである。サブフレームヘッダーは、IV、シーケンス番号、ネットワーク鍵インデックス、そして SHCS フィールドである。

IV は、64 ビットの乱数である。このフィールドを 2 回繰り返すことにより、128 ビットの乱数に拡張し、拡張した数値は AES-CBC アルゴリズムのための初期化ベクトルとして使用される。

シーケンスナンバーは、ISC の下位 16 ビットをコピーした 16 ビット長のシーケンス番号である。

ICV は各データボディの 32 ビットのシーケンス番号である。シーケンス番号は、1 から始まり加算される。対応する暗号鍵が初期化されるか、参照される差異に、1 に初期化される。このフィールドは、整合性チェック、再生チェック、そしてデータボディの並べ替えに使用される。旧世代の「HD-PLC」装置は、固定 ICV 値をサポートし、かつ、特に固定値 0xCCCC をサポートしなければならない。また、ICV の値は可変であっても良い。

ネットワーク鍵インデックスは、8 ビットのインデックスであり、AES-CBC アルゴリズムの暗号鍵を識別するために使用される。

SHCS は、16 ビットのフィールドであり、CRC-16 の結果が設定されなければならない。

SBCS は、32 ビットのフィールドであり、暗号化したサブフレームの CRC-32 の結果が設定されなければならない。最大と ICV を含むが、SBCS 自身は除かれる。

8.3.5 PSNA CBC モードの暗号のカプセル化

PSNA CBC モードの暗号によるカプセル化プロセスを図 8.2 に示す。

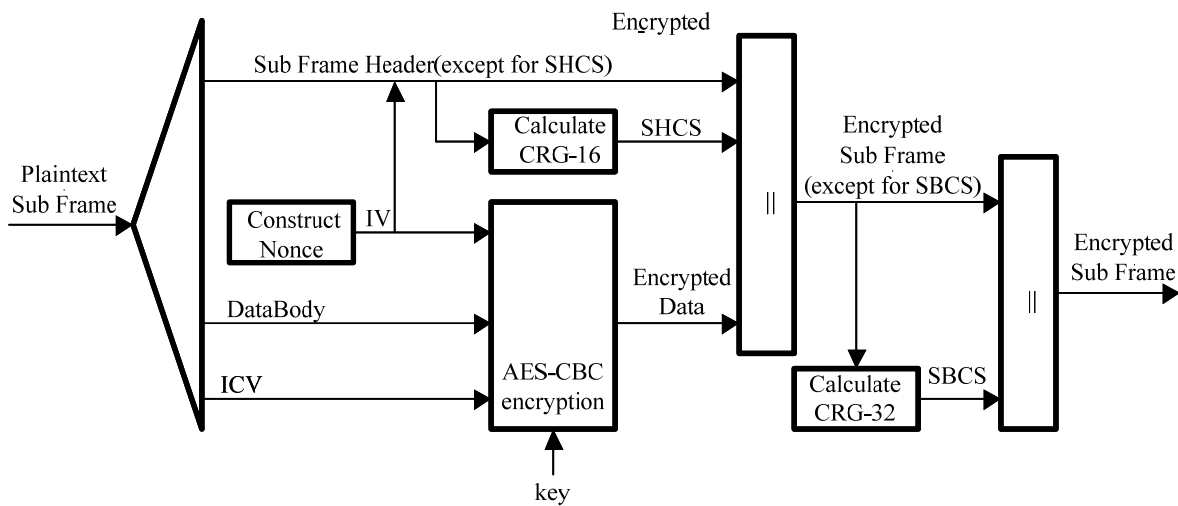


図 8.2 PSNA CBC モード カプセル化ブロックダイアグラム

PSNA CBC モードはデータボディと明文のサブフレームの ICV を暗号化し、次のステップに従い得られた暗号文をカプセル化する。

- 64 ビット乱数を計算し、サブフレームヘッダーの IV フィールドに結果を代入する。
- SHCS フィールドを除くサブフレームヘッダーの CRC-16 を計算し、サブフレームヘッダーの SHCS フィールドに結果を代入する。
- サブフレームヘッダーとデスティネーションアドレスのネットワーク鍵インデックスフィールドによって識別される暗号鍵によってデータボディと ICV を暗号化する。
- 更新された IV と、計算された SHCS、暗号データ(Encrypted Data)を、SBCS を除いてサブフレームヘッダーと組み合わせ、暗号化されたサブフレームを構成する。

e) 暗号データの CRC-32 を計算し、暗号化されたサブフレームの SBCS フィールドに結果を代入する。

PSNA CBC モード参照では、暗号化出力を生成するまでの、鍵、Nonce、データの処理を記述している。詳細は、8.3.5.1 から 8.3.5.4 を参照。

8.3.5.1 Nonce の構成

IV フィールドは、8 オクテットを占め、全てのビットは AES-CBC 用の初期ベクトルに使用される。Nonce は暗号化された安全なランダム乱数生成ジェネレータを使用することによって構成される。Nonce 生成の詳細については 8.4.2 を参照。

8.3.5.2 CRC-16 の計算

SHCS フィールドは、2 オクテットを占める。SHCS は SHCS 自身以外のサブフレームヘッダーの CRC-16 を記憶する。7.1.3.2.1.11 を参照のこと。

8.3.5.3 AES-CBC 暗号化

PSNA CBC モードは、AES アルゴリズムの CBC モードを使用する。AES-CBC 暗号には次の 4 つの入力がある。

- a) Key: ネットワーク鍵インデックスで識別される暗号鍵 (16 オクテット)
- b) Nonce: 8.3.5.1 に記載されている方法で構成された初期化ベクトル(16 オクテット)
- c) Data body: データボディ (MSDU と AES-CBC へのパディングを含む 60-1536 オクテット)
- d) ICV:ICV(4 オクテット)はデータボディのシーケンス番号 (旧世代の「HD-PLC」機器の場合は固定値 0xCCCCCCCC)

AES-CBC 暗号は、データの機密性とデータボディの整合性を提供する。データボディは ICV に連結され、連消されたデータは暗号化される。暗号化されたデータは、AES-CBC 暗号の出力である。

8.3.5.4 CRC-32 の計算

SBCS フィールドは 4 オクテットを占める。SBCS は SBCS 自身を除いて暗号化したサブフレームの CRC-32 を記憶する。

図 8.3 は、PSNA CBC モードの脱カプセル化処理 (復元) を示す。

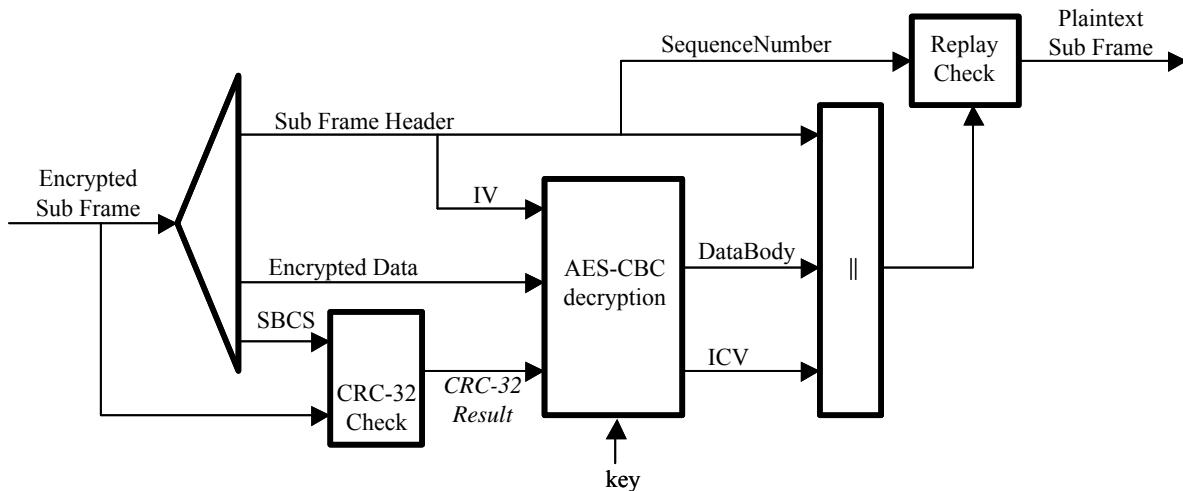


図 8.3 PSNA CBC モード 脱カプセル化ブロックダイアグラム

PSNA CBC モードは、データボディと暗号文サブフレームを復号化し、次のステップにしたがって平文サブフレームを脱カプセル化する。

- a) 暗号化サブフレームはサブフレームヘッダーと暗号化データに解析される。
- b) サブフレームは SBCS を含む。SBCS はサブフレームが正しいことを検証する。
- c) サブフレームヘッダーは、IV を含む。IV は暗号化のための初期化ベクトルとして使用される。
- d) データは、NKI とソースアドレスによって識別される鍵を使用して復号化される。
- e) ICV はデータボディの整合性チェックのために使用される。
- f) 受信者が処理する PSNA CBC モードから受け取ったサブフレームヘッダー、平文データボディ、そして平文 ICV は、平文サブフレームを構成するために、結合されてもよい。
- g) 復号化処理は検証によるサブフレームのリプレイ攻撃を妨げる。その検証は、サブフレームヘッダー内のシーケンス番号の値が、セッションを維持するために受信した 128 かそれ以上でのウィンドウの範囲内であることを確認することでなされる。

この処理の詳細は、8.3.5.5 から 8.3.5.8 を参照。

8.3.5.5 CRC-32 の確認

SBCS は、SBCS 自身を除いたサブフレームの CRC-32 を記憶する。CRC-32 チェックは、暗号データから CRC-32 を計算し、暗号化サブフレームに記憶された SBCS の値で計算された結果と比較する。もし、比較が成功すれば、PSNA CBC モードの脱カプセル化は継続される。

8.3.5.6 AES-CBC 復号化

AES-CBC 復号化は、AES-CBC 暗号と同じパラメータを使用しなければならない。

AES-CBC 復号化には 3 つの入力がある。

- Key: 暗号鍵 (16 オクテット) the encryption key (16 octets).
- Nonce: 8.3.5.1 に記載の方法で構成された初期ベクトル (8 オクテット)
- Encrypted data: 受信サブフレームからの暗号データ。暗号データは 4 オクテットの ICV を含む。

8.3.5.7 整合性チェック

AES-CBC 復号化処理はデータボディの整合性をチェックする。復号化された下位 16 ビットは、サブフレームヘッダー内のシーケンス番号と同じでなければならない。もし復号された ICV がその値と一致すれば、整合性チェックは成功である。旧世代の「HD-PLC」機器は IEEE 1901 には準拠しないため、ICV 固定値「0xCCCCCCCC」のみがサポートされる。

8.3.5.8 リプレイチェック

リプレイ検出を行うために、受信機は、復号化された ICV を解析する。以下の処理ルールは、リプレイを検出するために使用される。

- a) 各送信機は、各セッションのための単一のシーケンスカウンター (32 ビットカウンター) を維持しなければならない。
- b) ICV は、32 ビット単調加算の非負整数として実装されなければならない。対応する暗号鍵が初期化される時や、リフレッシュされる時は、「1」に初期化されなければならない。
- c) 受信機は各ストリームに受信ウィンドウセットを個別に維持しなければならない。受信機はピアーに対する暗号鍵がリセットされた時にウィンドウを初期化する。

受信ウィンドウの処理は次のように行われる。

- d) パケットを受信すると、受信機は、シーケンス番号を調べ、数値が先行する任意のパケットよりも大きい、最大差未満である場合には、高い配列値としてこれを記録し、パケットを受け入れる。この番号は SequenceNumberMax と呼ばれる。番号が最大許容差よりも大きい場合、そのパケットは廃棄される。
- e) もし、受信パケットのシーケンス番号が、受信した最大シーケンス番号よりも小さくかつ、(SequenceNumberMax – WindowSize) より大きい場合、または、同じシーケンス番号もう一つのパケットが受信されていない場合は、そのパケットは受け入れられる。
- f) もし、受信したパケットのシーケンス番号が (SequenceNumberMax – WindowSize) より小さければ、そのパケットは廃棄される。
- g) もし、パケットが受信され、同じシーケンス番号のもう一つのパケットが既に受信されていれば、そのパケットは破棄される。

Receive Window のサイズは、適切なインタフェースを介してプログラム可能なでなければならない。Receive Window のフェルトサイズは、128 でなければならない。

8.4 共有鍵 PSNA

本版において、「HD-PLC」のセキュリティは、PSNA 機能の共通鍵をサポートする。しかし、旧世代の「HD-PLC」機器は IEEE 1901 に準拠していないため、この機能は利用できない。

8.4.1 概要

PSNA セキュリティは2つの機能を持つ：

- BSS に対するアクセスコントロール：この機能は 8.4 に記載されている
- BSS に伝送されるプライベートデータのエンハンスメント：この機能は、8.5 に記載されている。

シングル暗号アルゴリズムとシングルハッシュ関数がセキュリティを提供する：

- 128ビット AES-CBC 暗号
- SHA-256 セキュア ハッシュ関数

セキュリティは、Nonce (8.2.5 参照) を使用することでも強化される。Nonce の使用が認証されていない STA からのリプレイ攻撃を防ぐ。

個々の STA は BSS へ参加し、他の STA と通信するために、共有のネットワーク暗号鍵を要求する。

8.4.2 暗号鍵と Nonce

PSNA を使用した全ての暗号鍵は、128 ビット AES-CBC アルゴリズム用である。PSNA は、以下の2つの暗号鍵を使用する。

- ペアワイズ鍵 (PWK)
- ネットワーク暗号鍵 (NEK)

PWK は、HLE によって設定することもできるし、あるいは、自動再生することもできる。NEK は自動的に生成される。

8.4.2.1 鍵生成必要要件

全ての鍵は、Cryptographically Secure Random Number Generator を使用して生成されるか、あるいは、CSPRNG IETF RFC 4086(又は、その後継版)が、実装ガイドランスに沿って使用されなければならない。RFC 4086 に含まれる一つの推奨として、Blum Blum Shab(BBS)アルゴリズムがある。もう一つの推奨は、RFC 4086 内で提案されている実装方式で、鍵生成に AES のようなプロッ

ク暗号を使用する方法である。この方法を用いると、ランダム開始データのブロックはランダム鍵を使用して暗号化される。ブロック暗号の出力は、導出された鍵として使用される。そして、ソースのランダムデータは加算されか、又は、修正され、次の鍵を生成するために再処理される。

8.4.2.2 ペアワイズ鍵 (PWK)

ペアワイズ鍵 (PWK) は、BM が BSS に対する新しい STA を認証するために使用する認証鍵である。BM と新しい STA の両方が、同じ PWK を共有しなければならない。PWK は BM と新しい STA の間では、ユニークである。個々の STA 内の PWK は、STA とその STA 自身が関連付けられた BM に対してユニークである。BM は、与えられた BSS 内にある全ての認証された STA に対する PWK を記憶する。

PWK は、HLE を介して STA ユーザによって入力されたペアワイズパスワード (PPW) から生成される。(8.2.2 を参照) PWK は、鍵交換プロトコルによっても生成されてもよい。BM と認証された STA は不揮発性メモリに PWK を記憶しても良い。BM と STA は、リセットあるいは電源オフからの再起動後に不揮発性メモリ内の PWK で、互いに再認証することができる。

8.4.2.3 ペアワイズ パスワード (PPW)

ペアワイズパスワード (PPW) は、ユーザによって入力されるパスワードであり、PWK を生成するために使用される。PPW は、STA 上に装備されたユーザインタフェースを介して入力される。

8.4.2.4 ネットワーク暗号鍵 (NEK)

ネットワーク暗号鍵 (NEK) は、PSNA フレームのデータボディを暗号化するために使用される暗号鍵である。NEK は、BM を含む BSS 内の全ての STA に対する共通鍵である。

NEK は BM によって生成され、BM によって認証された個々の STA に配送される。NEK は、STA の外で利用できるようにはされていないため、ユーザが STA に鍵の値を確かめる方法はない。

BM は、BM が初めて新しい STA を認証する際に、NEK を生成する。鍵生成に関する詳細は、8.4.2.1 を参照。

BM は、周期的に新しい NEK を生成し配送しても良い。これについての詳細は、8.4.7 を参照。

BM は、認証シーケンスの最後に一回のみ新しい STA に対して NEK を配送する。NEK は、STA が再認証されない限りは、再び STA に対して配送されることない。

8.4.2.5 Nonce

Nonce は疑似乱数である。Nonce は一度使用された後は再計算され、与えられた値は一回のみ使用される。Nonce はリプレイ攻撃を妨げるために使用される。Nonce の生成に関する詳細は 8.4.2.1 を参照。

8.4.3 PWK の共有方法

えられた BSS に対して認証されるために、新しい STA は PWK を得なければならない。PWK を得るためには二つの方法がある。それらは、以下の2つである。

- 本標準のスコープ外である上位レイヤーとの接続
- BM と STA の両方に入力された、いくつかのペアワイズパスワード (PPW)

8.4.3.1 HLE loading PWK

PSN は、ユーザから直接入力された PPW による PWK の生成をサポートする。ユーザは、適切なユーザインタフェースが装備された PSNA を介して PPW 文字を入力する。ユーザは BM と新しい STA に共通の PPW を入力しなければならない。

ユーザは、新しい STA に対して次の値を与えなければならない

- PPW
- 新しい STA が参加する BSS の BM の PLC アドレス

ユーザは、BM に次の値を与えなければならない：

- 新しい STA 上に入力されたものと同じ PPW
- 新しい STA の PLC アドレス

BM と新しい STA の両方は、PPW をシードに共通の疑似乱数発生関数から PWK を計算する。

BM と新しい STA の両方は、MLMIE_SAP に対して計算された PWK を登録する。

8.4.4 認証方法

PSNA は、STA を認証するために AES 暗号化を用いたチャレンジ応答方式を使用する。図 8.4 は、認証シーケンスを図式化したものである。

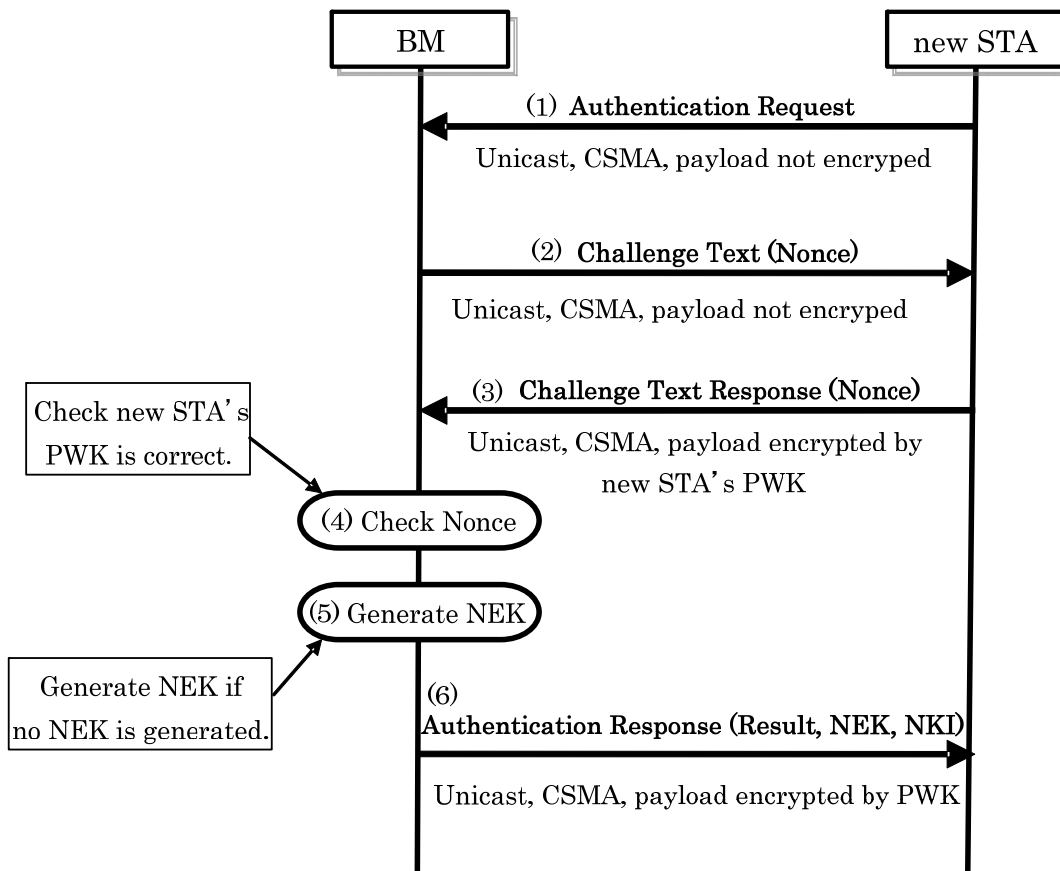


図 8.4 新 STA の認証メッセージシーケンス

- (1) BSS内に新たに追加された STA が、BMからのビーコンを受信した時、BMに対して認証要求メッセージが送信される。認証要求メッセージは暗号化されていない。
- (2) BM が、認証要求メッセージを受信すると、疑似乱数発生関数を使用して Nonce が生成される。この Nonce は、チャレンジテキストとして提供される 128 バイトのバイナリ値である。その後、BM は STA に対して生成された Nonce を含むチャレンジテキスト要求メッセージを送信する。チャレンジテキスト要求メッセージは暗号化されていない。
- (3) STA は、暗号鍵として使用する自身の PWK を使って AES-CBC でチャレンジテキスト要求の中に含まれた Nonce を暗号化する。その後、BM に対して暗号化された Nonce を含んだチャレンジテキスト応答メッセージを送る。
- (4) BM が、チャレンジテキスト応答メッセージを受信すると、メッセージ内に含まれかつ STA の PWK を使って暗号化された Nonce が正しいことを検証する。可能な検証方法の一例として、認証される対象の STA に対して記憶された PWK を使って Nonce を復号化する、その後、その結果がチャレンジテキスト応答メッセージ内に送られた Nonce と一致するか否かをチェックする。そして、Nonce が一致すれば、BM は STA を認証する。
- (5) もし BM がまだ NEK を生成していなければ、生成する。NEK に関する更なる情報は 8.4.4.1 を参照。
- (6) BM は、STA に対して認証応答メッセージを送る。認証応答メッセージは、認証結果を含む。もし、認証結果が正常であれば、メッセージは NEK を含む。NEK の機密性を維持するために、認証応答メッセージは BM の PWK を使って AES-CBC アルゴリズムで暗号化される。

8.4.4.1 ネットワーク暗号鍵の生成

PSNA において、BM のみが NEK を生成することができる。STA は、自身を認証し自身の NEK を使用して認証した BM から NEK を得る。BM は、BSS に属する最初の STA を認証した後、より正確には、第一の STA からの挑戦応答メッセージに含まれている Nonce が正しいことを確認した後、NEK を生成する。BM は、NEK のみを生成するが、この NEK は随時リフレッシュされてもよい。

自動生成は、鍵材料を生成するために 8.4.2.1 にて確立されたガイドラインを使用する。採取の 128 ビットは、NEK として使用される。

8.4.5 ペイロード暗号化

任意の論理ネットワーク内で、伝送されるフレームは、論理ネットワークを定義し、ネットワーク暗号鍵 (NEK) で暗号化されている。BSS に参加するために、すべての端末は、共通の NEK を共有しなければならない。

8.4.5.1 暗号化アルゴリズム

使用される暗号アルゴリズムは、IPS PUB の 197-2001 で指定された Advanced Encryption Standard (AES) でなければならない。暗号ブロック連鎖モード (CBC) が使用されなければならない。

8.4.5.2 ネットワーク暗号鍵インデックス

ネットワーク暗号鍵は、BM によってコントロールされる。BM は 1 から 15 のネットワーク暗号鍵に対して NKI を保持する能力を持たなければならない。NKI=1 は、PKW を示し、また、2 から 15 は、それらに対応する NEK を示す。NKI=0 は、フレームが暗号化されないことを示す。NKI は、暗号/復号鍵の番号を示す。

これは、どのネットワーク鍵が、送信または受信の過程において、どの暗号化に使用されるべきかを識別するために使用される。

8.4.5.3 暗号鍵利用

次のフレームが平文で送信される：

- 認証要求 (Authentication Request)
- チャレンジテキスト要求 (Challenge Text Request)
- ビーコン (Beacon)

PSNA は、PWK で次のフレームを暗号化する：

- 認証フレーム部(Challenge Response, Auth Response, NEK Update)

PSNA は、次にフレームに対して、NEK でペイロードも暗号化する：

- ビーコンフレーム、ベンダー特定のフレーム、認証フレームを除いた管理フレーム

もし、鍵交換プロトコルが鍵交換のためのいくつかのメッセージを暗号化する場合、そのプロトコルは、自身でメッセージを暗号化しなければならない。8.4 と 11.2.2 に記載の通り、いくつかの認証フレームは、PWK により暗号化される。

8.4.6 STA の認証解除

BM は、BM によって認証されるいずれの STA の認証をもキャンセルすることができる。BM は、STA への認証をキャンセルするために、認証解除要求メッセージを送る。

STA が認証解除要求メッセージを受信すると、記憶された NEK は消去されなければならない。

BM と STA は PWK を保持することができる。この PWK は、BM が再び STA を認証する時に使用しても良い。

BM は、特定の STA に認証解除要求メッセージを送ることができる、BM はユニキャストで、認証解除要求メッセージを送る。

認証解除要求メッセージを受信する特定の STA は、記憶された NEK を消去しなければならない。

そして、BM は BSS 内の全ての STA に認証解除要求メッセージを送ることもできる。この場合、BM はブロードキャストとして、認証解除要求メッセージを送る。認証解除メッセージを受信した全ての STA は、記憶された NEK を消去しなければならない。

認証をキャンセルされた STA は、8.4 に記載された認証フレーム交換によって再度認証されることができる。

8.4.7 ネットワーク暗号鍵の更新

生成された NEK の期限が失効する前に、BM は新しい NEK を生成し、全ての認証された STA に配布されなければならない。一度配布されると、全ての STA は、ビーコン内の Current NEK EIB によって新しい NEK の使用を開始するよう通知される。新しい NEK は、現在の NEK とは異なる NKI 値を有する。現在 NEK の寿命が無限大の場合は、NEK アップデートはオプションでもよい。

NEK のライフタイムは BM によって維持され、MLME によって指定されてもよい。

8.4.7.1 新しいネットワーク暗号鍵の生成

現在の NEK のライフタイム期限が切れる前に、BM は新しい NEK を生成しなければならない。NEK の詳細アルゴリズムは 8.4.4.1 を参照。BM は、現在の NEK の NKI 値とは異なった NKI 値を、新しい NEK に与える。

8.4.7.2 新しいネットワーク暗号鍵の分配

新しい NEK を生成した後、新しい NEK が使用されなければならないとき、BM は新しい NEK を配布し、全ての認証された STA に通知しなければならない。BM は、1 度に 1 つ、全ての認証された STA に新しい NEK を配布する。図 8.5 に新しい NEK 配布のメッセージシーケンスを示す。

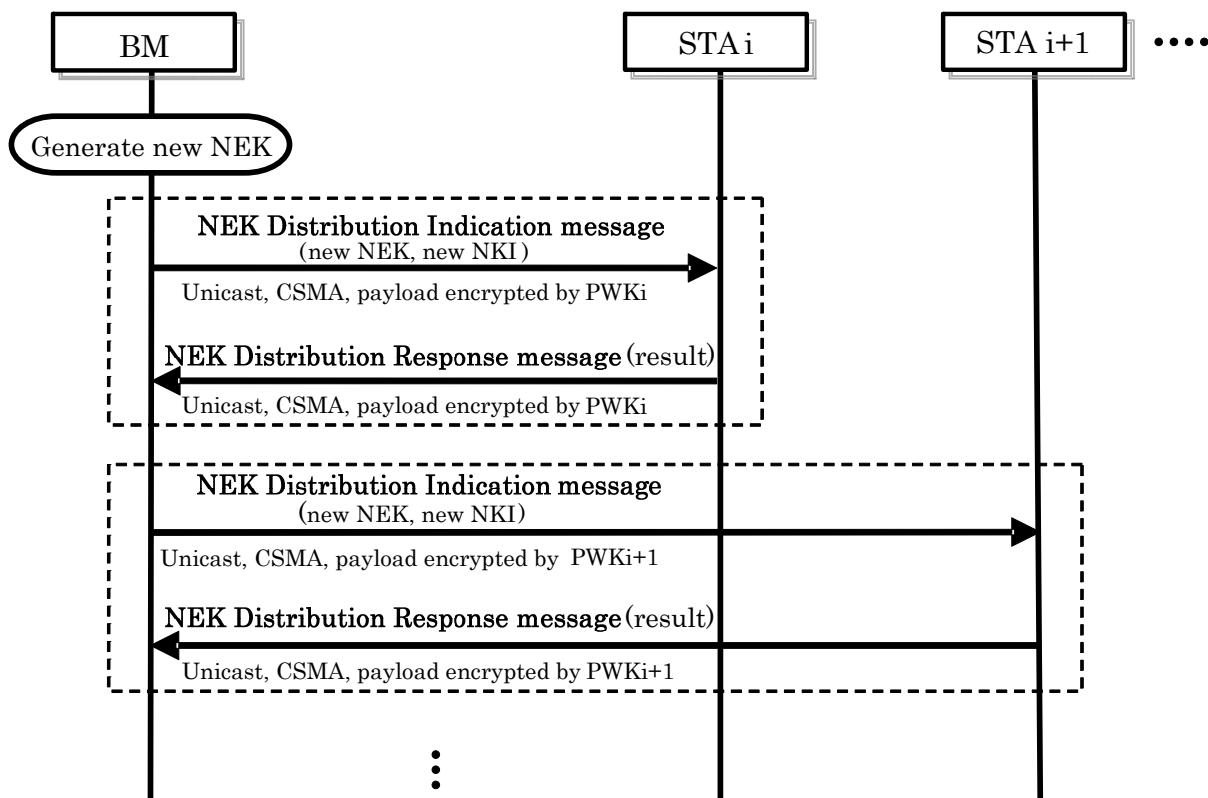


図 8.5 NEK 鍵更新

なりすましから守るために、BM は各 STA のための 64 ビットの反再生カウンターを維持する。この反再生カウンターは STA が BM とやり取りする時に「1」に初期化され、STA に送られた各メッセージあたり「1」インクリメントされる。また、各 STA は、この反再生カウンターを維持し、STA が BM とやり取りするとき「1」に初期化する。

BM は、NEK Distribution Indication メッセージを STA_i に送信する。このメッセージは新しい NEK と新しい NKI を含む。それは、BM と STA_i の間の PWK である PWK_i と共に AES-CBC によって暗号化される。また、NEK Distribution Indication メッセージに含まれているのは、64 ビットの反再生カウンターである。

STA_i が NEK Distribution Indication メッセージを受信するとき、STA_i は PWK_i と共にそのメッセージを解読する。それは、ローカルで維持されたシーケンス番号と等しいかそれ以上であると確認することによって、反再生チェックを実行する。シーケンス番号が期待された数より小さい場合、パケットは破棄される。それがローカルで維持されたシーケンス番号と等しいかそれ以上である場合、パケットは受け入れられ、そして受信されたパケットに含まれるローカルで維持されたシーケンス番号を設定する。シーケンス番号がローカルで維持されたシーケンス番号より小さい場合、パケットは破棄される。一度受け入れられると、STA は新しい NKI 値を保存する。そして、STA_i は NEK Distribution Response メッセージを BM に送信する。また、NEK Distribution Response メッセージは PWK_i と共に AES-CBC によって暗号化される。

BM が STA_i からの NEK Distribution Response メッセージの受信に成功するとき、STA_i への新しい NEK 配布は終了している。BM が STA_i からの NEK Distribution Response メッセージを受信しない、または BM が受信に失敗した場合、BM は同じ STA_i への NEK Distribution Indication メッセージの送信をリトライしなければならない。試行回数実行後、受信できなかった場合は、BM は新しい NEK を STA_i に配布するのを諦めてもよい。BM によって複数試行された後、新しい NEK の ACK 受信に失敗した STA は、再認証されなければならない。(11.2.2.2 を参照)。

STAi への配布が終了した後、BM は STAi+1 への配布を始める。このように、BM はあらゆる認証された STAs に新しい NEK を配布する。

8.4.7.3 新しいネットワーク暗号鍵の通知

新しい NEK の配送が完了した後、BM は全ての認証された STA に対して、新しい NEK がビーコンを介して使用されることを伝達する。

ビーコンフレームは、NKI 値を格納している、Current NEK EIB を含む。それぞれの STA は、この EIB から使用のために、正しい NKI を認識する。STA が、EIB に含まれた NKI が変更されたと認識すると、その後、STA はすべての以降の通信に対して新しく認識された NKI を使用しなければならない。

BM は NEK EIB が更新された時、新しい NEK を使用しなければならない。

STA がビーコン内に新しい NKI 値を見つけたとき、また、STA が新しい NKI によって認識される NEK を持っていないとき、STA は再認証されなければならない。

8.5 ペイロード暗号化

任意のロジカルネットワーク内では、送信されるフレームはロジカルネットワークを定義するネットワーク暗号鍵 (NEK) で暗号化され、1 つの BSS に参加するために、全ての端末は共通の NEK を共有しなければならない。

8.5.1 暗号化アルゴリズム

使用される暗号化アルゴリズムは、”The United States Federal Information Processing Standard (FIPS)”のセクション 197 に規定されている Advance Encryption Standard(AES)を使用しなければならない。また、The Cyber Block Chaining Mode (CBC)が使用されなければならない。

8.5.2 ネットワーク暗号鍵インデックス

ネットワーク暗号鍵は BM によってコントロールされる。BM は、ネットワーク暗号鍵 1 (固定)、2、そしてそれらに対応する暗号鍵のための NKI を管理する能力を持たなければならない。NKI=0 は、そのフレームが暗号化されていないことを示す。

8.5.3 暗号化されたペイロードメッセージ

「HD-PLC」は PWK で次のフレームのペイロードを暗号化する：

- 認証フレームのパート (Challenge RSP, Auth RSP)

認証における Challenge RSP と Auth RSP は、PWK によって暗号化される

「HD-PLC」は、以下のフレームに対して NEK でペイロードを暗号化する：

- ビーコンフレーム、バンダースペシフィックフレーム、認証フレーム以外の管理フレーム、
- データフレーム

もし、鍵交換プロトコルがかぎ鍵交換のためのいくつかのメッセージを暗号化するならば、プロトコルは自分自身でメッセージを暗号化しなければならない。いくつかの認証フレームは、8.4.4 に記載のように、PWK で暗号化される。

9 MAC サブレイヤー機能

9.1 MAC アーキテクチャー

MAC 機能はこの章で説明する。チャンネルアクセス機構 (CSMA/CA) を含む MAC サブレイヤーのアーキテクチャーを 9.1 章に記載する。

9.1.1 衝突回避キャリアセンス多重アクセス(CSMA/CA)

IEEE 1901 の MAC の基本のメディアアクセスプロトコルは、衝突回避キャリアセンス多重アクセス (*carrier sense multiple access with collision avoidance* : CSMA/CA) と呼ばれる手順である。

CSMA/CA プロトコルの下では、STA が送信する前に、他の STA が送信しているかを判断するためにメディアをセンスしなければならない。メディアが Busy と判断されなければ、送信を続けてよい。CSMA/CA 分配アルゴリズムは、最小の指定された持続時間のギャップを、隣接するフレームシーケンス間に設定しなければならない。送信 STA は、送信を試みる前に、ランダム待ち時間にこの最小の指定されたギャップ時間を加えた間メディアが Idle であることを確認する。メディアが Busy と判断すれば、STA は現在の送信が終わるまで、送信を延期しなければならない。送信延期、または送信が成功した後に再びすぐに送信を試みる前に、STA はランダムバックオフ期間を選択しなければならない、かつメディアが Idle の間、バックオフ期間カウンタをデクリメントしなければならない。

ACK を必要とするフレームの伝送の成功とは、送信されたフレームの宛先に記載された STA から受信された ACK フレームによるもの、または ACK が無いフレームか宛先にグループアドレスを記述されたフレームは送信だけで完了する。衝突を最小にする様々な状況 – ここではメディアが Idle であるかを判断した後と、データ送信の前の延期とバックオフの後のショートコントロールフレーム (RTS フレームと CTS フレーム) の送信と受信 – の下で、方法の改良を使用してもよい。CSMA/CA の詳細、延期、バックオフは、9.2 で説明する。このバージョンでは、RTS/CTS はサポートされていない。

「HD-PLC」は、プライオリティ CSMA と DVTP を基本とした IFS をサポートする。同時に 2 つのうち 1 つのメカニズムが選択される。

9.1.2 連結とフラグメンテーション概要

MSDU を区切る過程であり、小さなデータブロック内の MAC プロトコルデータユニット (MPDU) はフラグメンテーションと呼ばれる。フラグメンテーションは、チャンネル特性がロングフレームの受信信頼性を制限する場合、MPDU の送信確率の増加により、信頼性増加のために元の MPDU 長より小さいデータブロックまたは MPDU を作成する。端末(STA)は、与えられたアロケーションにおいて利用可能な時間の最適化のためにフラグメンテーションを使用してもよい。いくつかの状況では、フラグメンテーションは効率を向上させるために連結と組み合わせて使用できる。

データブロックをひとつの MSDU に再結合させる過程はデフラグメンテーションと呼ばれる。

9.2 プライオリティ CSMA/CA に基づく IFS

極端な QoS 要件を持ったデータ(例えば、厳しい伝送速度、とても低い遅延または低いジッター)は、通常割り当てられた帯域幅上で、すなわち、コンテンツンフリー期間(CFP)の間、伝送される。それほど厳しくない QoS 要件を持っているデータと管理フレームは、通常コンテンツン期間(CP)の間、CSMA/CA を使用して伝送される。しかし、これらのフレームには極端な要件がなくても、状況によりそれらの要求は変わる。プライオリティ CSMA/CA は、帯域幅の割り当てを必要しないで、あるフレームのスループットを向上に使用される。

CSMA/CA オペレーションのための適切な時間を提供するために、BM スケジューラはそれぞれのビーコンサイクルの間に、少なくとも MIN_CP_TIME [msec] の CP を少なくとも 1 つ割り当てなければならない。

9.2.1 インター フレーム スペース(Inter-frame space : IFS)

インターフレームスペース(IFS)は、電力線メディア上のフレーム間の時間間隔である。STA は、指定された期間、CS 機能を使用してメディアが Idle であることを確認しなければならない。「HD-PLC」は以下の 3 つの IFSs を指定する。

- CIFS (Contention Inter-Frame Space)
- SIFS (Sequential Inter-Frame Space)
- RIFS (Reply Inter-Frame Space)

図 9.1 に、フレーム送信 (Frame Transmission)、CIFS、SIFS、RIFS の関係を示す。

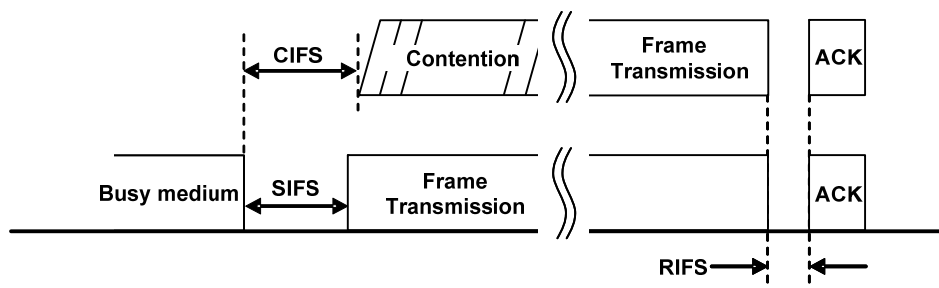


図 9.1 インターフレームスペース(Inter-frame Spaces)

9.2.1.1 CIFS

CP の中では、STA がデータフレーム/管理フレーム/RCE フレーム/CER フレームの伝達を開始する前に、メディアが Idle 状態に入った後に、STA は CIFS 時間待たなければならない。

9.2.1.2 SIFS

CFP の中では、STA がデータフレーム/管理フレーム/RCE フレーム/CER フレーム/ストリームエンドフレームの伝達を開始する前に、STA 自身の送信後にメディアが Idle 状態に入った後に、STA は SIFS 時間待たなければならない。

9.2.1.3 RIFS

STA が ACK フレームの伝達を開始する前に、送信後(ACK が意図する)にメディアが Idle 状態に入った後に、STA は RIFS 時間待たなければならない。

9.2.2 キャリア センス メカニズム

メディアの状態を決定するために、物理キャリアセンスとバーチャルキャリアセンス(CS)を使用する。いずれかのキャリアセンスによってメディアがビジーと示されたとき、メディアは Busy と考えるべきである。そうでないときは、メディアは Idle と考えなければならない。

物理キャリアセンスメカニズムは、PHY によって提供されなければならない。この情報がどう MAC に伝えられるかという情報は、13 章を参照。物理 CS の詳細は、個別の PHY 仕様において提供される。Wavelet PHY においては、例えば、物理 CS は初めにプリアンブルを検出し、次にフレームコントロールを読むために十分な時間を Busy として割り当てる。

バーチャル CS メカニズムは、MAC によって提供されなければならない。このメカニズムは、ネットワークアロケーションベクトル (Network Allocation Vector : NAV) と呼ばれる。「NAV」の区間は、割り当ての過程を参照するのではなく、既に起こった配分(CSMA によって)すなわちどのくらい長い間メディアが「Busy」になるかを伝える。

バーチャル CS メカニズムは、フレームコントロール検出などの手段によって、メディアが Busy と仮定する期間を追跡する。バーチャル CS は、以下の状態を Busy と仮定しなければならない。応答を要求しないフレームコントロールが検出された場合、フレーム長の期間は FL フィールドの内容から仮定される。応答を要求するフレームコントロールが検出された場合、フレーム長の期間の合計は RIFS と ACK フレーム長と同様に FL フィールドの内容から仮定される。

NAV は、実際のデータ交換の前に RTS/CTS フレームで示される持続時間情報に基づいて、メディア上の将来のトラフィックの予測を続ける。また、持続時間情報は、CP の間に送られたほとんど全てのフレームの MAC ヘッダーで入手可能である。送信されたフレームの値を使用する NAV の設定メカニズム、および RTS/CTS を使用する NAV の設定メカニズムは 9.2.5 を参照。CS メカニズムは、メディアの状態の Busy/Idle を決定するために、NAV 状態と STA の送信状態を物理 CS 併用する。NAV は、一定のレートでゼロまでカウントするカウンターとして考えてもよい。カウンターがゼロのとき、バーチャル CS の表示はメディアが Idle であることを示す。カウンターがゼロでないとき、この表示は Busy を示す。メディアは、STA が送信しているとき、Busy であると決定しなければならない。

9.2.3 メディア アクセス メカニズム

図 9.2 に基本的なアクセスメカニズムと CSMA/CA のメディア状態を示す。STA は、NAV 保護期間の間メディアが Busy 状態であると認識しなければならない。メディアは、NAV 時間終了後、Idle 状態に入る。Idle 状態の初めに、STA は CIFS の持続時間待たなければならない。その後、フレームを送信したい STA はメディアのためにコンテンションを開始しなければならない。

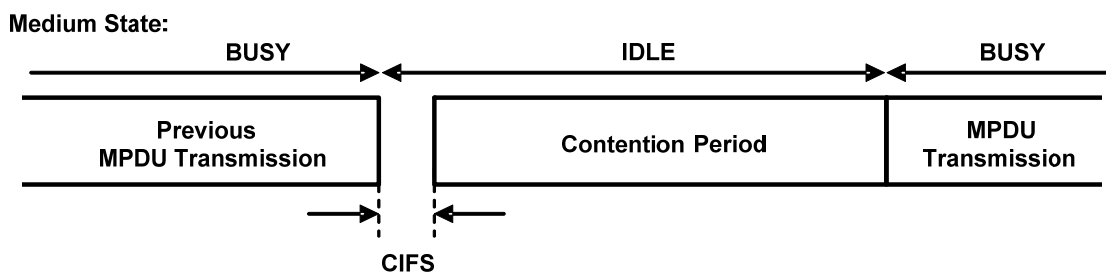


図 9.2 CSMA/CA のための基本的なアクセスメカニズム

9.2.3.1 コンテンション期間

CP の間、衝突の頻度を減少させるために 3 つのメカニズムが動作する。1) CSMA/CA アクセス、2) 優先制御 CSMA/CA、3) DVTP アクセス。

基本的な CSMA/CA アクセスは、Contention Window (CW) を使用してランダムバックオフを組み込まなければならない。CP の間、最初に送信する準備ができていそれぞれの STA はランダムな長さの期間の間待つ。バックオフ間隔が完了後、STA はフレームのプリアンブル検出によってメディア上でフレーム検出を試みる。STA がプリアンブルを検出した場合、NAV 値を計算

する。STA は NAV 値終了によって示された期間まで再送信を試みてはならない。STA がメディア上のフレームを検出しない場合、調停期間に入る。その期間終了後、及び STA がまだメディア上のフレームを検出しないときのみ、STA は送信してよい。さらに、基本的なアクセス手順は、効率的な送信をサポートするためにダイナミック CW とフレーム長コントロール (Frame Length(FL)control) を含む。ダイナミック CW と FL コントロールを含むランダムバックオフアルゴリズムは、9.2.7. で詳しく説明する。

CSMA/CA 優先制御は、コンテンション期間で、GAP 状態と CONTENTION 状態の 2 つの状態を必要とする。これらの 2 つの状態は、厳密な優先制御を実現するために使用される。優先制御の詳細なメカニズムを 9.2.8. に示す。

ダイナミックバーチャルトークンパッシング (Dynamic virtual token passing : DVTP) アクセス手順は、コンテンション期間に 2 つの時間インターバルを必要とする。その 2 つは、コンテンション期間と調停(arbitration)期間である。これらの 2 つの期間は、非衝突アクセスと厳密な優先制御の両方を可能にする。DVTP メカニズムを 9.3. に示す。

9.2.4 ACK (Acknowledgments)

あるフレームは、受信フレームの FCCS が正しい場合、受信 STA の受信通知(一般的には ACK フレーム)の応答を必要とする。この技術は、肯定応答として知られている。

期待された ACK フレーム受信がない時、エラーが発生したフレームの交換の起動を STA に指示する。送信先 STA は正しいフレームを受信したかもしれないが、ACK フレームの送信か受信でエラーが発生したかもしれないことに注意する。フレーム交換の開始者にとって、この条件は初期のフレームに発生するエラーと判別不能である。

DA フィールドの値が STA 自身の MAC アドレスと等しいユニキャストのデータフレームを受信した STA は、データフレームの送信 STA に ACK フレームを返送しなければならない。ACK フレームは、そのデータフレームのそれぞれのサブフレームに受信結果を含んでいる。受信 STA は、例えデータフレーム内の全てのサブフレームが SHCS または SBCS が誤っていたにしても、ACK フレームを送り返さなければならない。しかし、受信したフレームの FCCS が誤っていた場合 (受信したフレームから計算された受信機の値と一致しないフレームの FCCS フィールドの値によって示されるように)、ACK フレームを送り返してはならない。

期待された ACK フレーム受信ない時は、データフレームの FC が、送信先 STA によって正しく受信されない、またはデータフレームの送信 STA が ACK フレームを受信できないことを示す。これらの 2 つのエラーは送信機 STA によって区別できない。

図 9.3 に CSMA/CA の ACK 手順を示す。

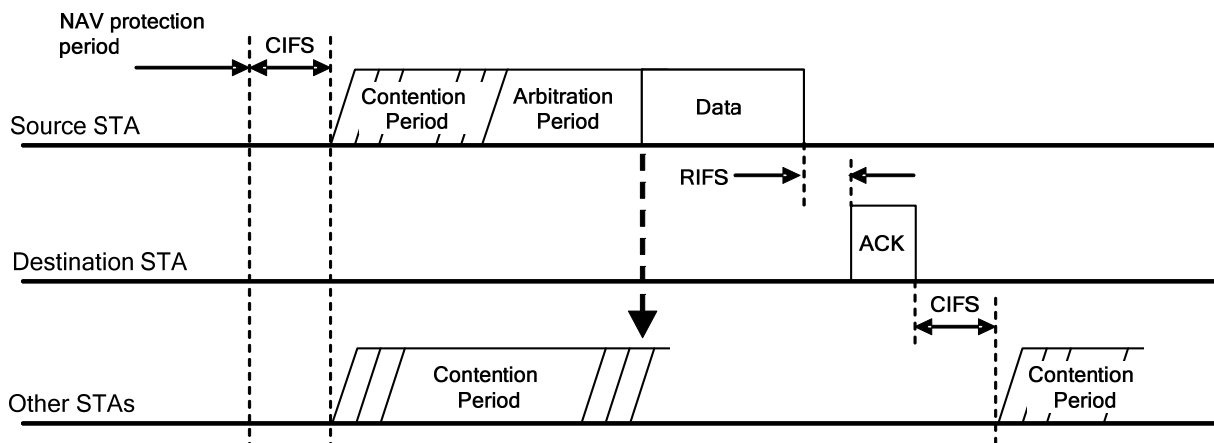


図 9.3 ACK 手順

ACK を必要とするフレームの受信では、STA は ACK フレームを作成し、受信したフレームの送信機 STA に送らなければならない。ACK フレームは、データフレーム受信の最後から RIFS の後に、送信を開始しなければならない。

9.2.5 NAV

送信されたフレームを検出する STA は、ある期間、自身のフレーム送信をしないように NAV 値を計算しなければならない。図 9.4 に、データフレームの受信の間の NAV の効果を示す。NAV 保護期間は、FC 検出後に受信したフレームの FL(t1) の最後で開始される。

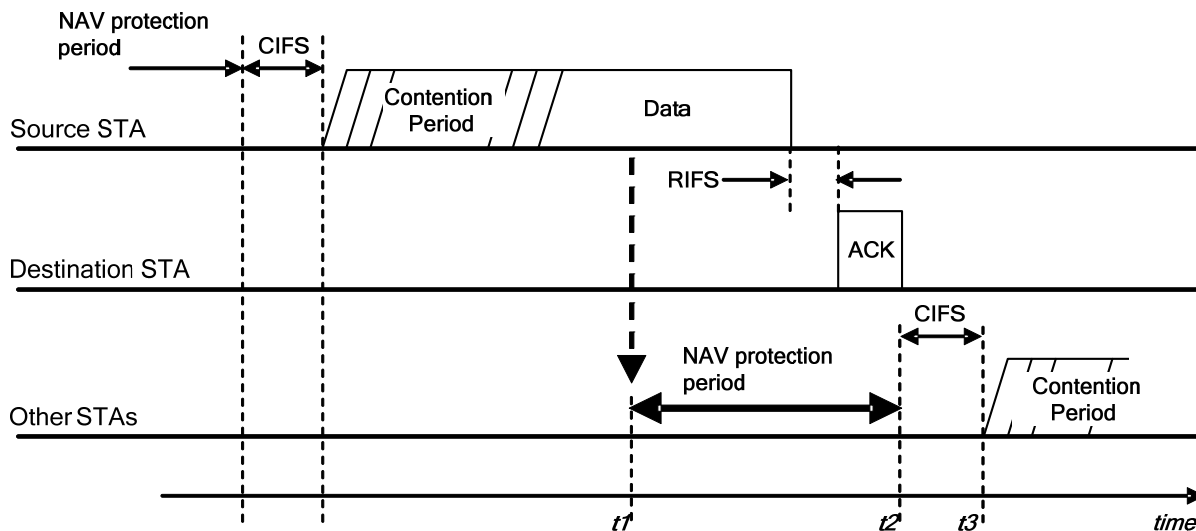


図 9.4 NAV 計算

9.2.5.1 ACK を期待するデータ/管理フレーム

ACK を期待するデータ管理フレームを受信した場合、NAV 値は以下の値の合計で定義される。

- データフレーム長
- RIFS
- ACK フレーム長

データフレーム長は、SYMBOL_TIME に、PHY-RXSTART 表示プリミティブ中の RXVECTOR の LENGTH 値を掛けることによって計算される。Length 値は PPDU からの FL 値であり、メディア上で FL シンボルの終わりから測定されなければならない。

RIFS の長さは、RIFS_LEN によって定義された固定の値である。

ACK フレーム長は、SYMBOL_TIME に SHORTFRAME_LEN を掛けることによって計算される。

9.2.5.2 ACK フレーム

メディア状態が Idle のときに STA が ACK フレームを受信した場合、STA も NAV 保護期間を設定する。この場合、NAV 値は ACK フレームの長さと同じ。

9.2.5.3 その他のフレーム

ACK フレームを期待するデータ/管理フレーム以外のフレームを受信する場合、NAV 値は受信フレーム長と同じ。

受信フレーム長は、SYMBOL_SIZE に、PHY-RXSTART 表示プリミティブ中の RXVECTOR の LENGTH 値を掛けることによって計算される。Length 値は PPDU からの FL 値であり、メディア上で FL シンボルの終わりから測定されなければならない。

9.2.6 衝突 (collisions)

ランダムバックオフは、送信フレームの衝突確率を減らすためのランダムな送信タイミングを設定する。しかし、衝突は完全には避けられない。衝突が起こったとみなすのは、以下の状況の場合である。

- 応答が必要なフレームの送信後、RIFS 経過するまでに、ACK フレームが受信されない場合
- 応答が必要なフレームの送信後、RIFS 経過するまでに、ACK フレーム以外のフレームを受信した場合
- 受信したフレームのフレームコントロールチェックシーケンスでエラーが検出された場合
- 受信フレームの FL フィールドにエラー値(0xffff)が検出される。

PLC ネットワークで、伝送エラーと衝突によるフレーム故障を区別できないことに注意する。

ノードが衝突を検出する場合、ノードは NAV を MAX_FRAME_LENGTH 値に設定し、かつ NAV 保護期間待たなければならない。

9.2.7 CSMA/CA アクセス手順

CP 期間にフレームを送信しようとする端末は、バックオフが始まるタイミングで検出しなければならない。端末がフレームを送り始めるときに、他の端末はバーチャルキャリアセンスによってビジー状態を決定する。フレーム送信の終わりから CIFS 経過後にバックオフが始まる。

2 つ以上の端末が同時に通信を開始するとき、受信端末はメディアで送信されたフレームの衝突のためにフレームを正しく受信できない。そのようなフレーム衝突を緩和するために、送信開始時間バックオフが端末にランダムに与えられるバックオフは、CSMA/CA のために使用される。

全ての端末は、CSMA/CA のプライオリティレベルに対応した送信キューを持ってよい。端末のためのそれぞれの送信キューは、マルチランダムバックオフ手順を使用することで同時に実行してよい。

9.2.7.1 パラメータ

ランダムバックオフは、以下のパラメータを使用する。

UP : ユーザプライオリティ

INTP : 内部プライオリティ

CW(INTP) : コンテンションウィンドウ (Contention Window)

BC : バックオフカウンター

FLL : フレーム長リミット (Frame Length Limit)

9.2.7.1.1 ユーザプライオリティ (User Priority : UP)

ユーザプライオリティ (UP) は、MSDU がどのようにハンドルされるかを示す 8 レベルのプライオリティによって定義される。UP は、MAC の上位層で TSPEC に関連する MSDU に割り当てられる。デフォルト値は「3」である。

9.2.7.1.2 内部プライオリティ (Internal Priority : INTP)

内部プライオリティ (INTP) は、MSDU が現在の PLC システムのアクティビティに対応しながらどのようにハンドルされるかを示す 16 レベルのプライオリティによって定義される。INTP は、ダイナミックに UP とメディアの使用状態の両方に関連する MSDU に割り当てられる。UP は、上記で示すように 8 レベルに分割されている。メディア使用状態は、下記に示すような 3 つの状態を持ち、STA はフレームコントロールのプライオリティフィールドの値を検出することによってメディア状態値を決定することができる。

Condition 1 : 自身の STA を除いてデータフレームを送信する STA がない

Condition 2 : メディアにデフォルト UP データフレームのみが存在する

Condition 3 : デフォルト (UP = 3) より高いプライオリティの STA が存在する

INTP はそれぞれのキューによって全てのビーコン周期でダイナミックに変更される。INTP の値は表 9.1 に示すようにそれぞれのキューで選択される。

表 9.1 UP とメディア使用状態のマトリックスからの INTP 値

		メディア使用状態 (Medium usage condition)		
		Condition 1	Condition 2	Condition 3
UP	7	14	13	13
	6	14	14	14
	5	14	11	10
	4	14	11	8
	3	14	8	8
	2	14	4	6
	1	14	1	0
	0	14	0	0

9.2.7.1.3 Contention Window (CW)

CW は送信確率を決定する値である。STA は最初のフレーム送信試行毎に CW を設定する。

CW は INTP に対応しているので、CW 値はそれぞれのビーコン周期でダイナミックに変化する。INTP と CW の関係を表 9.2. に示す。CW 値は、フレームタイプ (データ/管理) に依存する。

表 9.2 INTP と CW の関係

INTP	CW data	CW management
15	3	3
14	7	7
13	11	11
12	15	15
11	19	19
10	23	23
9	27	27
8	31	31
7	35	35
6	39	39
5	47	47
4	56	56
3	66	66
2	77	77
1	89	89
0	512	102

9.2.7.1.4 バックオフカウンタ (Backoff counter : BC)

バックオフカウンタ(BC)は、それぞれのバックオフスロットのためにデクリメントされる。端末は、全ての有効な送信キューのそれぞれのバックオフスロットのために「0」～「1」の間でランダムに値を決定でき、ランダム値が $1/BC$ より小さければ送信キューのフレームを送ることができる。最初にフレーム送信を試行する際に、BCにCWが設定される。

9.2.7.1.5 フレーム長リミット (Frame Length Limit : FLL)

最大フレーム長は、INTP 値によって制限される。これは同じ時間に多くのUPが存在する環境で伝送効率を得るためである。

FLLがINTPに対応しているので、FL値はそれぞれのビーコン周期でダイナミックに変化する。INTPとFLLの関係を表9.3.に示す。

表 9.3 INTP と FLL の関係

INTP	FLL (symbol)
15	-
14	589
13	589
12	589
11	589
10	589
9	589
8	389
7	389
6	389
5	389
4	389
3	389
2	389
1	389
0	389

9.2.7.2 バックオフ手順

MACレイヤーにおいて、スロットは物理的なキャリアセンスを利用してメディア状態を決定する最小単位でなければならない。コンテンツン期間にフレームを送信するSTAは、以下のアルゴリズムに基づいて、フレームを送るかどうかを決定しなければならない。

1. 送信データがキューに入れられた後、STAはUP値とメディア使用状態の両方からINTPを設定する。
2. STAはINTPに基づくCWとFLLを決定する。
3. STAはCWと等しいBCを設定する。

4. STAはメディア状態がIDLEになるまで待ち、コンテンション期間を開始する。
5. コンテンション期間でバックオフが開始された後、STAはメディア状態(BUSY/IDLE)を決定するためにキャリアセンスしなければならない。
6. STAはランダムに「0」～「1」の間の値を決める。その値が「1/BC」より小さい場合はステップ7に進み、大きい場合はステップ8に進む。ステップ6でフレームを送る前にメディア状態がBusyになれば、STAはBC値をキープしステップ4に戻る。
7. フレームを送信後、送信キューはステップ1に戻る。
8. 送信キューはBCをデクリメントし、1バックオフスロットタイム待ち、ステップ6に戻る。

ステップ7で送信したフレームが衝突したと判断した場合（例えばACKを受信しなかった場合）、CWは別の衝突の可能性を減らすために、ステップ1でINTP-1の値によって設定され、手順はステップ2に従う。

9.2.7.3 送信試行決定

CP中にフレームを送信する前に、端末は伝送時間(T_S)とCPの残り時間(T_{CP})を比較しなければならない。 T_S は、端末がアクセスを行う前に計算されなければならない。 $T_S > T_{CP}$ である場合、端末はアクセスをしてはいけない。

T_S は次の通りに計算しなければならない。但し、PDU_TimeとACK_Timeは、それぞれ、(データ)PDU送信時間とACKフレーム送信時間を意味する。また、BCは、バックオフカウンターの値を表している。フレーム送信時間は、PHYに必要なプリアンブルなどのオーバーヘッドを含む。

ACKありの送信

$$T_S = BC \times \text{SLOT_TIME} + \text{PDU_Time} + \text{RIFS} + \text{ACK_Time} + \text{CIFS}$$

ACKなしの送信

$$T_S = BC \times \text{SLOT_TIME} + \text{PDU_Time} + \text{CIFS}$$

送信を許可された端末Aを除いた、全ての端末は、端末Aから送信されたフレームのデリミタを検出してフレーム長フィールド(FL)から、PDU_Timeを算出し、次のようにNAV(Network Allocation Vector) T_n を設定しなければならない。NAVが期限切れになるまで、端末はフレームを送ってはいけない。デリミタを検出することができない端末は、物理的なキャリアセンスを利用してメディア状態を検出する。メディア状態がIDLEになると、端末は次の送信許可獲得競争を始める。

ACKありの送信

$$T_n = \text{PDU_Time} + \text{RIFS} + \text{ACK_Time} + \text{CIFS}$$

ACKなしの送信

$$T_n = \text{PDU_Time} + \text{CIFS}$$

9.2.8 優先制御を備えた CSMA/CA

Quality of Service (QoS)の簡単な実現のために、CSMA アーキテクチャに基づいて優先制御メカニズムを提供する。優先制御メカニズムは、コンテンション期間に追加された、GAP 状態と CONTENTION 状態(図 9.5 参照)の 2つの状態を持ち、高いユーザープライオリティ（特に UP=7 と 6）と、他のプライオリティの間で、送信機会を完全に分ける。GAP 状態を使用することにより、より高い UP データは、他のより低い UP データは、GAP 状態の最後まで待つので、すぐにバックオフメカニズムである CONTENTION 状態を開始できないため、他のより低い UP データと競合しない。このメカニズムを図 9.6.に示す。

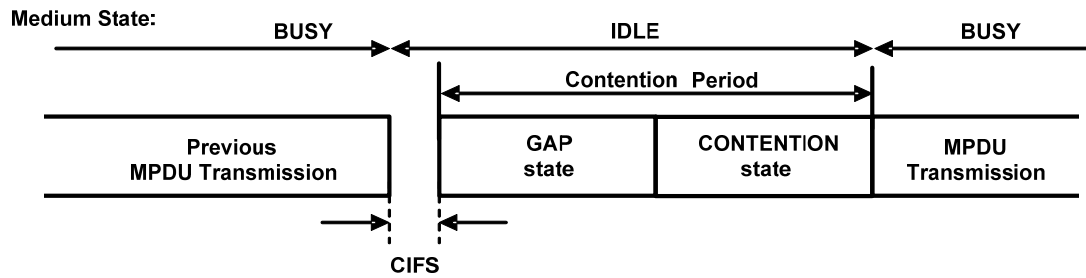


図 9.5 優先制御のメディア状態

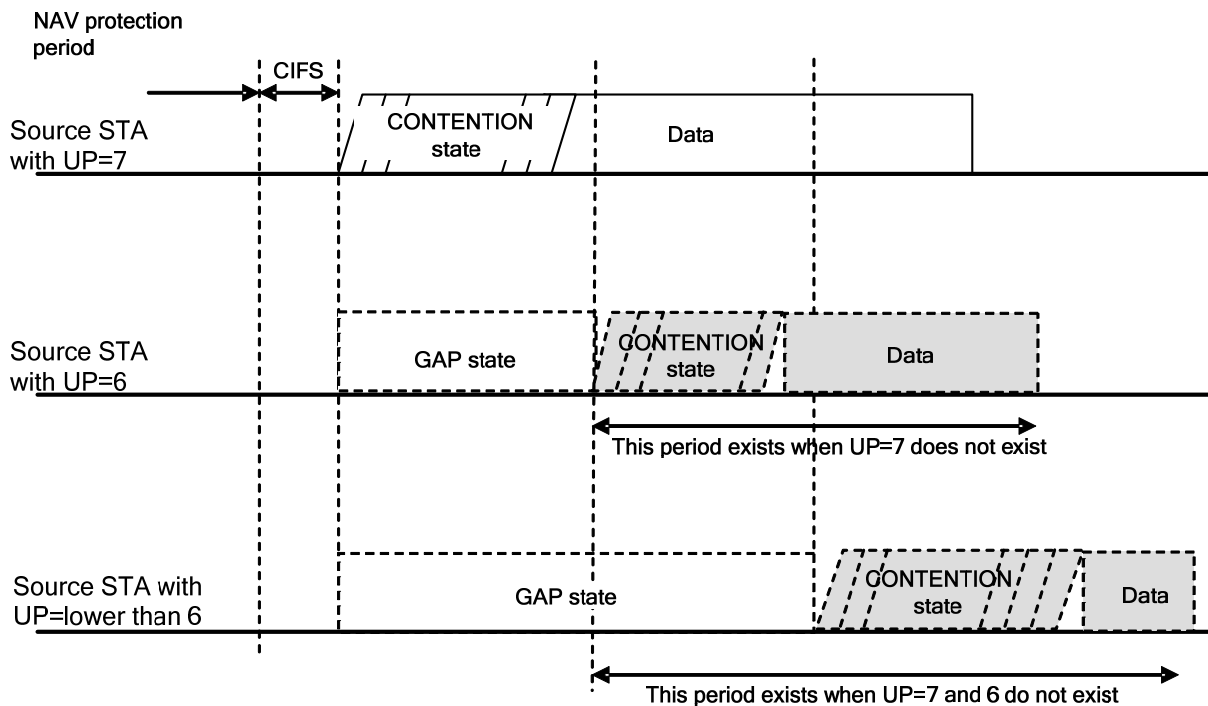


図 9.6 優先制御手順

図 9.6 に示すように、UP=7 のデータは CIFS に続いてすぐに CONTENTION 状態を開始する。一方、UP=6 または UP=5 以下のデータは、CIFS に続いて GAP 状態を開始する。これは、UP=7 のデータのみが、より低い UP の GAP 状態においてデータ送信

のためのコンテンションを開始できることを意味する。図 9.6 の場合、UP=7 の STA は、コンテンションにて送信権を得て、データを送信する。そのため、他の STA は Busy 状態になる。UP=7 のデータがなければ、UP=6 の STA はコンテンションを開始するために GAP 状態の終わりまで待つ。UP=5 以下の STA の場合、GAP 状態間隔が異なるので GAP 状態の終わりまで更に待つ。

待ち時間（GAP 状態間隔）は、SLOT_TIME 単位の値によって定義される。待ち時間はデータUPと、メディアUP状態の両方に関連してダイナミックに変化する。メディアUP状態は表 9.4 で示すように 4 つの状態で定義される。待ち時間を表 9.5 に示す。

CONTENT 状態の手順と、関連する GAP 状態を除きたいいくつかのパラメータ設定方法は、基本的な CSMA/CA アクセスと完全に同じである。

表 9.4 メディア UP 状態

	UP detected the frame both in the medium and own STA's internal queue		
	UP = 7	UP = 6	UP = lower than 5
UP Condition 1	Present	Present	N/A
UP Condition 2	Present	Absent	N/A
UP Condition 3	Absent	Present	N/A
UP Condition 4	Absent	Absent	N/A

表 9.5 待ち時間定義 (単位: slots)

		メディア UP 状態			
		UP Condition 1	UP Condition 2	UP Condition 3	UP Condition 4
UP	7	0	0	N/A	N/A
	6	7	N/A	0	N/A
	5 - 0	19	9	7	0

9.3 DVTP

DVTP (Dynamic Virtual Token Passing)は、キャリアセンスとバーチャルトークン技術に基づいたオプションのメディアアクセスメカニズムである。DVTP メカニズムが CP で利用可能であるとき、IFS ベースのプライオリティ CSMA/CA は CP の間使用可能ではない。それらは代替である。

DVTP が使用されるとき、BM を含むそれぞれの STA は異なるタイミングでフレームの送信を開始することができる。そして BSS 内の全ての STA は一般的に衝突なしでフレームを送信できる。優先されるメディアアクセスは、IEEE 802.1D user priority と同じ 8 レベルのプライオリティで達成される。

BSS の全ての STA が DVTP の機能を持つときのみ、BM は BSS 内の全ての STA が CSMA/CA の代わりに DVTP を使用しなければならないと宣言することができる。BM は、ビーコンフレームの DVTP 情報 EIB によって、DVTP が使用されていることを、BSS 内の全ての STA に知らせる。

CSMA/CA を使用している STA がビーコンフレームの DVTP 情報 EIB を受信したとき、STA はメディアアクセスメカニズムを DVTP にすぐに変更しなければならない。STA が DVTP 情報 EIB を含まないビーコンフレームを受信したとき、DVTP を使用する STA はメディアアクセスメカニズムを CSMA/CA にすぐに変更しなければならない。

9.3.1 基本的なアクセス構造

DVTP は、MPDU を検出するために MAC サブレイヤーによってバーチャルキャリアセンス（VCS）メカニズムを使用する。バーチャルキャリアセンスメカニズムは、チャンネル占有が予想される持続時間を追跡することによって、MAC により提供される。バーチャルキャリアセンスは、受信したまたは衝突したフレームの FL フィールドの内容によって設定される。この場合、バーチャルキャリアセンスはメディアの Busy 状態の予想される持続時間を追跡する。また、端末が送信するとき、メディアは Busy も考慮しなければならない。図 9.7 は、MPDU が送信された、または調停期間（Arbitration period）中で検出されたケースの各々のこれらの状態が発生した場所を示す。

STA は、メディアが NAV 保護期間の間 Busy 状態であると認識しなければならない。NAV 値の計算を 9.3.3 に定義する。メディア状態は、NAV 時間終了後 Idle 状態に入る。Idle 状態のはじめに、STA は CIFS 時間の間待たなければならない。その後、フレームを送信したい STA はコンテンション期間に入るべきである。

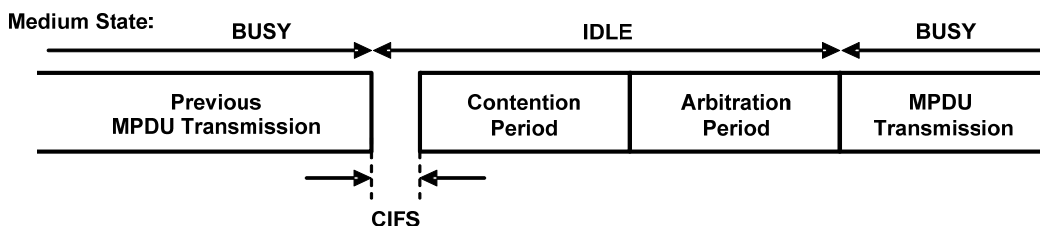


図 9.7 DVTP の基本的なアクセスメカニズム

9.3.1.1 コンテンション（Contention）期間

コンテンション期間は、衝突の頻度を下げるために指定される。DVTP は隣家 BSS がない状態で、衝突なしメディアアクセスを基本的に提供するが、他の STA の検出欠損のため衝突は起こるかもしれない。マルチ BSS ネットワークでは、衝突は起こるであろう。

コンテンション期間の間、各 STA はランダムバックオフを実行し、フレームのプリアンプルの検出でフレームを見つけなければならない。STA がコンテンション期間内にフレームを検出すると、STA は NAV 値を計算し、NAV 保護期間が終了するまでどんなフレームも送信しなくてよい。STA がコンテンション期間内でいかなるフレームも検出しない場合、STA は調停期間（Arbitration period）に入る。

コンテンション期間の長さは、STID と連続衝突カウント（Consecutive Collision Count : CCC）に依存する。コンテンション期間の長さの計算を 9.3.4 に示す。

9.3.1.2 調停（Arbitration）期間

調停期間（Arbitration period）は、各 STA が送信したいフレームの STID とプライオリティに従って、STA 間の調停のために使用される。STID を持つ各 STA は、同じプライオリティフレームの STID 値に従ってメディアのアクセス権を順番に得る。より高いプライオリティフレームは、STID から決定される順番より早く送信してよい。

調停期間（Arbitration period）の間、各 STA はフレームのプリアンプルの検出でフレームを見つけなければならない。STA が調停期間（Arbitration period）内にフレームを検出すると、STA は NAV 値を計算し、NAV 保護期間が終わるまでどんなフレームも送信することができない。STA が調停期間（Arbitration period）内に検出されなければ、STA はフレームを送信することができる。

調停期間（Arbitration period）の長さは、STID、自身のネットワークのアクティブな STA の数、フレームのプライオリティに依存する。調停期間（Arbitration period）の長さの計算を 9.3.5 に示す。

9.3.2 ACK (Acknowledgments)

DA フィールドの値が STA 自身の MAC アドレスと等しいユニキャストデータフレームを受信した STA は、ACK フレームをデータフレームの送信 STA に送り返さなければならない。ACK フレームは、データフレームにおける各サブフレームの受信の結果を含む。受信 STA は、例えデータフレームにおけるサブフレームの全てが FCS が誤りのため無効であっても、ACK フレームを送り返さなければならない。

期待された ACK フレームが受信されないことは、データフレームの FC が送信先 STA によって正しく受信しなかったことを、またはデータフレームの送信 STA が ACK フレームを受信できないことを示す。送信 STA は、これらの 2 つのエラーを区別できない。

図 9.8 に DVTP の ACK 手順を示す。

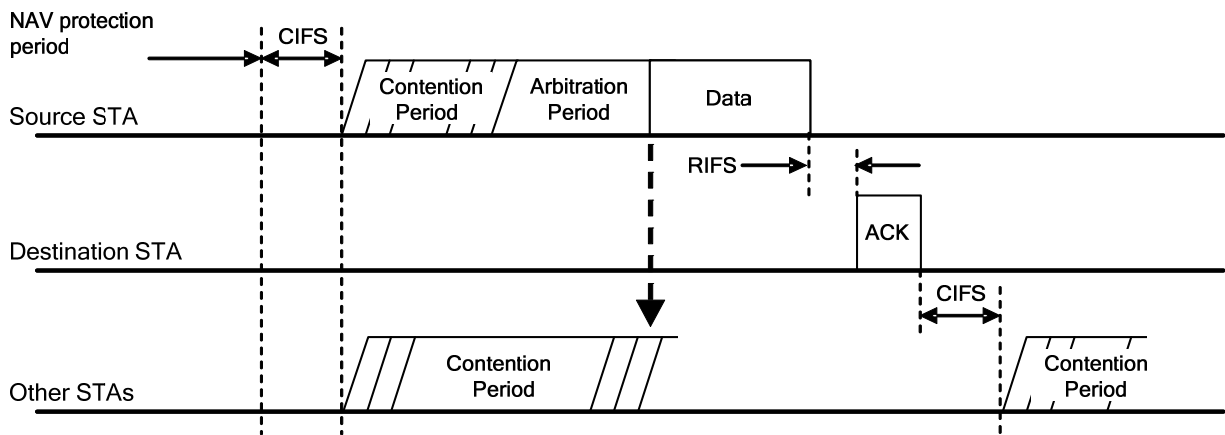


図 9.8 ACK 手順

ACK を必要とするフレームの受信では、STA は ACK フレームを作成し、受信したフレームの送信 STA に送信しなければならない。ACK フレームは、データフレーム受信の終わりからの RIFS 後に送信を開始しなければならない。

9.3.3 NAV

送信されたフレームを検出する STA は、ある期間フレームの送信を自身で禁じるために NAV 値を計算しなければならない。

図 9.9 にデータフレーム受信による NAV を示す。

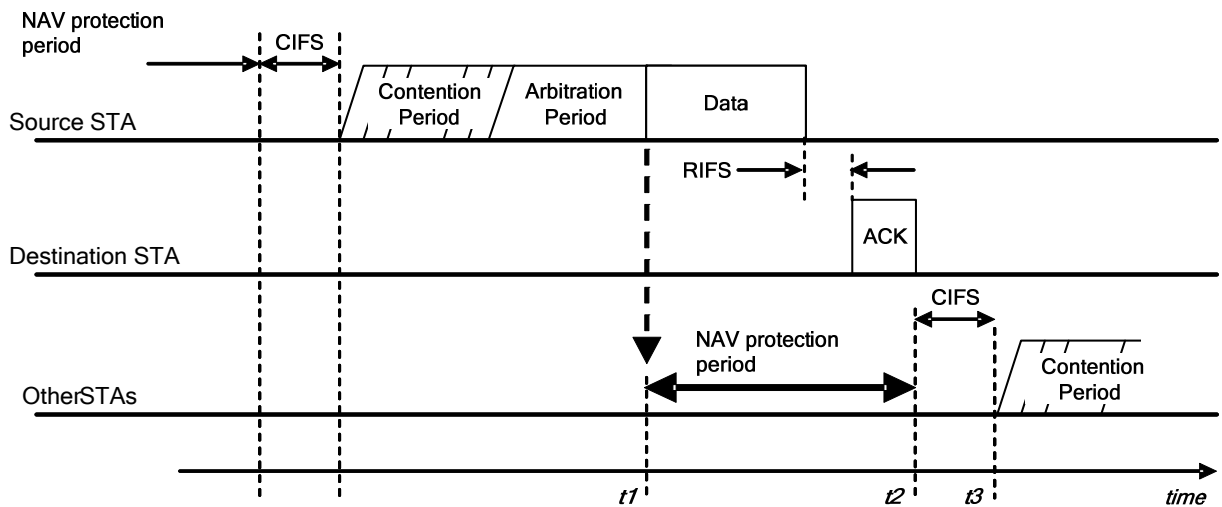


図 9.9 NAV 計算

9.3.3.1 フレーム受信による NAV の計算

9.3.3.1.1 ACK を期待するデータ/管理フレーム

ACK を期待するデータフレームまたは管理フレームを受信した場合、NAV 値は以下の値の合計で定義される。

- データフレーム長

- RIFS
- ACK フレーム長

データフレーム長は、SYMBOL_TIME に、PHY-RXSTART 表示プリミティブ中の RXVECTOR の LENGTH 値を掛けることによって計算される。

RIFS の長さは、RIFS_LEN によって定義された固定の値である。

ACK フレーム長は、SYMBOL_TIME に SHORTFRAME_LEN を掛けることによって計算される。

9.3.3.1.2 ACK フレーム

メディア状態が Idle のときに STA が ACK フレームを受信した場合、STA はまた NAV 保護期間を設定する。この場合、NAV 値は ACK フレームの長さと同じ。

ACK フレーム長は、SYMBOL_SIZE に SHORTFRAME_LEN を掛けることによって計算される。

9.3.3.1.3 その他のフレーム

ACK フレームを期待するデータフレームまたは管理フレーム以外の他のフレームを受信する場合、NAV 値は受信フレーム長と同じ。

受信フレーム長は、SYMBOL_SIZE に PHY-RXSTART 表示プリミティブ中の RXVECTOR の LENGTH 値を掛けることによって計算される。

9.3.4 ランダムバックオフ

9.3.4.1 ランダムバックオフ手順

フレーム送信したい STA は、メディア状態を決定するために CS メカニズムを呼び出さなければならない。メディアが Busy 状態であれば、STA はメディア状態が Idle となるまで待たなければならない。メディア状態が Idle 状態の時、STA はコンテンション期間を開始できる。コンテンション期間の長さ、すなわちバックオフ時間は、ランダム値のバックオフカウント (BC) を SLOT_TIME に掛けることによって計算される。STA が最初に DVTP によってフレームを送信したいとき、または BC 値が「0」と等しいとき、BC 値は $K(n, c)$ で開始される。BC 値は、全ての SLOT_TIME 時間によって 1 ずつデクリメントされる。どのように $K(n, c)$ を定義するかを 9.3.4.2 に示す。

STA がコンテンション期間にどんなフレームも検出しなければ、すなわち BC が「0」になれば、STA は調停期間 (arbitration period.) に入る。そうでない場合は、STA は受信フレームから NAV 値を計算しなければならない。後者の場合、BC のデクリメントは中断されなければならない。

9.3.4.2 ランダムバックオフ値

ランダムバックオフスロット $K(n, c)$ の最大値を、表 9.6. に示す。 $K(n, c)$ は、「0」から最大値まででランダムに選択される。

表 9.6 では、パラメータ「 n 」は STID 値である。どんな STID も割り当てられていない STA のために、それは $n=0$ を使用しなければならない。アクティブ STA、すなわち STID を割り当てられる STA は、「 n 」に STID 番号または「0」を使用できる。

表 9.6 のパラメータ「 c 」は、連続衝突カウント（Consecutive Collision Count : CCC）である。CCC は、各 STA で「0」に初期化されなければならない。かつ、CCC は STA からの送信フレームが失敗だったとき、インクリメントされなければならない。STA からのフレームの送信が成功するとき、CCC は「0」で再び始めなければならない。

表 9.6 $K(n, c)$ の最大値

		c						
		0	1	2	3	4	5	6 ≥
n	0	7 (ユニキャスト用) 15 (ブロードキャスト/マルチキャスト用)	15	31	63	127	255	512
	Not 0	0	15	31	63	127	255	512

9.3.5 調停制御 (Arbitration Control)

9.3.5.1 待ち時間 $W(n)$ (Waiting time $W(n)$)

STID n が割り当てられる STA と、どんな STID も割り当てられない STA は、調停状態 (Arbitration state) の始まりからの待ち時間 $W(n)$ の後、メディア状態が Busy でなければ、データまたは管理フレームを送信してもよい。どんな STID も割り当てられない STA は、 $n=0$ を使用しなければならない。

9.3.5.1.1 $W(n)$ (隣家 BSS なし)

隣家 BSS がいないとき、STID n をもつ STA のための待ち時間 $W(n)$ は、以下で与えられる。

$$W(n) = \left(h + \left\lceil \frac{d-h}{N+1} \right\rceil (N+1) \right) T_s \quad (i=0, 1, \dots, N, \text{ and } d \neq 0 \text{ or } h \neq N+1),$$

$$W(n) = (N+1) T_s \quad (i=0, 1, \dots, N, \text{ and } d=0 \text{ and } h=N+1).$$

ここで

N アクティブ STA の総数

T_s SLOT_TIME_DVTP と同じ長さを持つ時間単位

$H(p, N)$ プライオリティから決定するランダム整数

$d = H(p(M) - p(i), N)$, and

$$h = \begin{cases} n(i) - n(j) & n(i) > n(j) \\ (N+1) + n(i) - n(j) & n(i) < n(j) \\ N+1 & n(i) = n(j) \end{cases}.$$

d と h のための上記方程式での、 $n(i)$, $n(j)$, $p(i)$, $p(M)$ は以下のとおり定義される。

- $n(i)$ STA i に割り当てられた STID
- $n(j)$ 同じ BSS 内の DVTP ドメインで前もってデータフレームを送信する STA j に割り当てられた STID
- $p(i)$ STA i が送信したいフレームのプライオリティ
- $p(M)$ STID を割り当てられた全ての STA (BM を含む) の中で最も高いプライオリティ

上記方程式 $W(n)$ で、 $\lceil q \rceil$ は q と等しいかそれ以上の最小整数を示す。 $p(M)$ は Current Highest Priority フィールドの値と同じであり、 N は最近受信されたビーコンフレームを含む情報ブロック (EIB) で拡張された DVTP においてのそれぞれの Active Station Count フィールドの値と同じである。

$H(p, N)$ は、それぞれの待ち時間 $W(n)$ のために、最小値 (表 9.7) と最大値 (表 9.8) の間でランダムに決定される。

表 9.7 $H(p, N)$ の最小値

		N														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$p(M) - p(i)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	0	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3	0	2	3	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10
	4	0	5	6	7	8	9	10	10	11	11	12	12	13	13	14
	5	0	6	7	12	13	14	15	23	24	24	25	25	26	26	27
	6	0	9	10	19	20	21	22	38	39	39	40	40	41	41	42
	7	0	12	13	26	27	28	29	53	54	54	55	55	56	56	57

表 9.8 $H(p, N)$ の最大値

		N														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$p(M) - p(i)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	2	0	5	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10
	3	0	5	6	11	12	12	13	21	22	22	23	23	24	24	25
	4	0	8	9	14	15	16	17	25	26	26	27	27	28	28	29
	5	0	9	10	19	20	21	22	38	39	39	40	40	41	41	42
	6	0	12	13	26	27	28	29	53	54	54	55	55	56	56	57
	7	0	15	16	33	34	35	36	68	69	69	70	70	71	71	72

9.3.5.1.2 $W(n)$ (1 以上の隣家 BSS あり)

自身の BSS のまわりに 1 以上の隣家 BSS が動作しているとき、待ち時間 $W(n)$ は以下で与えられる。

$$W(n) = \left(h + \left\lceil \frac{d' - h}{N + 1} \right\rceil (N + 1) \right) Ts \quad (i = 0, 1, \dots, N, \text{ and } d' \neq 0 \text{ or } h \neq N + 1),$$

$$W(n) = (N + 1) Ts \quad (i = 0, 1, \dots, N, \text{ and } d' = 0 \text{ and } h = N + 1).$$

ここで

N アクティブ STA の総数

Ts SLOT_TIME_DVTP と同じ長さを持つ時間単位

$H'(p)$ プライオリティから決定するランダム整数

$$d' = H'(p(i)), \text{ and}$$

$$h = \begin{cases} n(i) - n(j) & n(i) > n(j) \\ (N + 1) + n(i) - n(j) & n(i) < n(j) \\ N + 1 & n(i) = n(j) \end{cases}.$$

d' と h のための上記方程式での、 $n(i)$, $n(j)$, $p(i)$ は以下のとおり定義される。

$n(i)$ STA i に割り当てられた STID

$n(j)$ 同じ BSS 内の DVTP ドメインで前もってデータフレームを送信する STA j に割り当てられた STID

$p(i)$ STA i が送信したいフレームのプライオリティ

上記方程式 $W(n)$ で、 $\lceil q \rceil$ は q と等しいかそれ以上の最小整数を示す。 $p(M)$ は Current Highest Priority フィールドの値と同じであり、 N は最近受信されたビーコンフレームを含む DVTP EIB においてのそれぞれの Active Station Count フィールドの値と同じである。

$H'(p)$ は、それぞれの待ち時間 $W(n)$ のために表 9.9 でランダムに決定される。

表 9.9 $H'(p)$ (隣家ネットワーク)

	p(i)							
	7	6	5	4	3	2	1	0-
Min	0	15	15	16	30	30	38	62
Max	7	7	31	31	31	63	63	63

9.3.6 端末 ID (Station ID : STID) 管理

9.3.6.1 割り当て

BM は、STA からの要求に従って STA のための STID を割り当てる。BM はいつも STID=1 を持つ。BM が DVTP ドメインの BSS 内の STA からのデータまたは管理フレームを検出するとき、検出されたフレームの QoS Control フィールドの STID が「0」に設定されれば、BM は STID を割り当てるためにフレームを送信 STA からの要求と見なさなければならない、更に BM 自身を

含むアクティブ STA の 1 以上のカレント番号である STID を割り当てなければならない。Non-BM STA から他の Non-BM STA までのデータまたは管理フレームは、上で説明したフレーム検出のターゲットにならない。アクティブ STA の総数は、現在の最大 SSID と等しい。

例え、BM が STA から STID 割り当て要求として認識されるフレームを受信しても、アクティブ STA の総数が MAX_ACTIVE_STA_COUNT と等しいならば、新しい STID を割り当ててはいけない。

9.3.6.2 STID 表示

9.3.6.2.1 STA による表示

DVTP ドメインで送信される、全てのデータフレーム、ACK フレーム、RCE フレーム、CER フレーム、管理フレームは、7.1.7.5. に記載の QoS Control フィールドを持つ。DVTP ドメインの間、BM によって STID を割り当てられた STA は、データフレーム、RCE フレーム、CER フレーム、管理フレームの送信のための QoS Control フィールドの STID サブフィールドに、割り当てられた STID を設定しなければならない。STID を割り当てられない STA は、データフレームと管理フレームを送信するために STID サブフィールドに「0」を設定しなければならない。STA は、対応する受信されたデータフレームと管理フレームと同じ ACK フレームに、STID を設定しなければならない。

9.3.6.2.2 BM による表示

BM は、DVTP ドメインにおいて BM によって最近検出されたフレームに書かれた STID の BSS の全ての STA に知らせなければならない。BM は、ビーコンフレームのためにオプションの DVTP EIB の Last Station ID フィールドにこの情報を設定する。また、BM は、ビーコンフレームのためにオプションの DVTP EIB の Active Station Count フィールドと Active Station List フィールドで、アクティブ STA の現在の番号と、全てのアクティブ STA の MAC アドレスのリストの BSS での全ての STA に知らせなければならない。

9.3.6.3 割り当てられた STID の削除

9.3.6.3.1 STA による削除

STID を割り当てられた STA が DVTP_DELETION_TIME で定義された期間にどんなフレームも送信しないとき、BM は割り当てられた STID を削除してもよい。DVTP_DELETION_TIME の値は、6 秒以上でなければならない。

9.3.6.3.2 STA による破棄

Non-BM STA は、以下の場合に割り当てられた STID を破棄しなければならない。

1. 最近受信したビーコンフレームの DVTP EIB の Active Station Count フィールドの値が、割り当てられた STID より小さい。
2. 最近受信したビーコンフレームの DVTP EIB の Active Station List フィールドに自身の MAC アドレスがない。

9.3.6.4 情報更新カウント

BM が新しい STID を割り当てるか、割り当てられた STID を削除するとき、BM はビーコンフレームの DVTP EIB の Information Update Count フィールドの値をインクリメントしなければならない。

9.3.7 プライオリティ

BM はビーコンフレームの DVTP EIB の Current Highest Priority フィールドを使用しアクティブ STA 間で最も高いプライオリティを知らせなければならない。この値は、BSS の全ての STA によって $W(i)$ を計算するために $p(M)$ として使用される。

9.4 連結 (Concatenation)

「HD-PLC」は 1-level 連結をサポートする。2-level はサポートされない。2-level を知る必要がある場合は、IEEE Std 1901-2010 を参照のこと。

MAC レイヤーは、送信のためのシングルフレームシリーズにおいて複数の MAC フレームを格納することによって効率を向上させるために MAC フレームを連結する。連結はデータ MPDU にのみ実行され、フレームボディに複数のサブフレームを格納するサブフレーム連結と、単一のサブフレームに複数の MAC フレームを格納する MAC フレーム連結を含む。

連結は、送信権が得られたとき、以下の値のいずれも超えられていない限り、実行できる。

- 集められたサブフレームの最大数(MAX_SUBFRAMES)
- 最大フレーム長(MAX_FRAME_LENGTH)
- ビーコン送信開始までの時間

9.4.1 サブフレーム連結

サブフレームの集合は、単一のフレームボディでの複数のサブフレームを格納することを指す。

サブフレームは、「HD-PLC」の MAC selective-ARQ における再送信ユニットであり、受信 STA がサブフレームの SHCS または SBCS のどちらかに全くエラーを検出しないとき、それは ACK の SFN (サブフレーム番号) の応答に対応するビットを「1」に設定することによってサブフレームの正常な受信を報告する。送信 STA は、送信エラーとして送られたにもかかわらず、ACK フレームにおいて「1」に設定されず、サブフレームブロックでのデータを再送信する SFN に対応するサブフレームを取り扱う。図 9.10 にサブフレームの集合を示す。

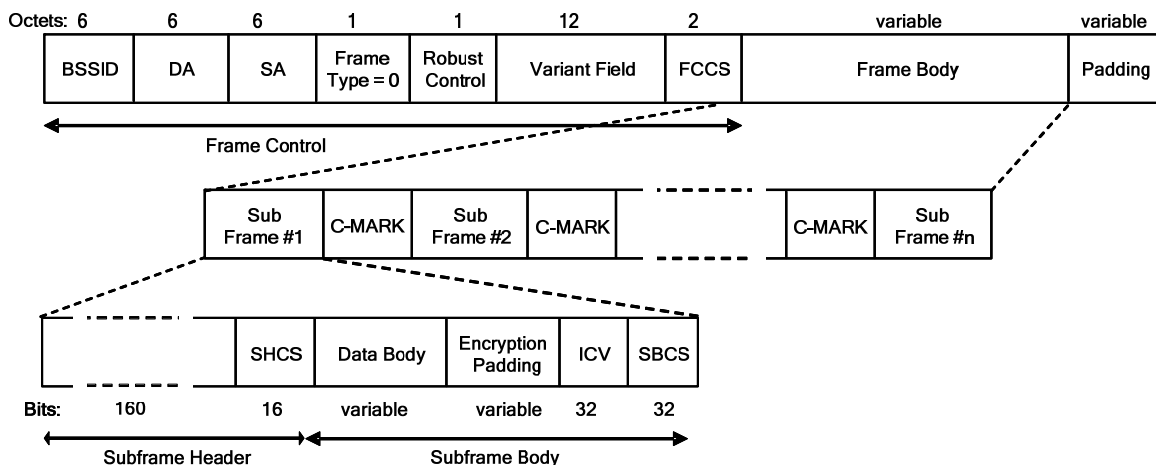


図 9.10 Subframe Aggregation

2以上集められたサブフレームから構成されるフレームを送信するとき、唯一のエラーがデータボディフィールドにあるが、サブフレームヘッダーにエラーがなければ、次のサブフレームヘッダーの位置は成立することができる。この場合、受信 STA は、エラー後に受信したデータの C-mark パターンのためにサーチし、C-mark がサブフレームヘッダーとして発見される位置に続くデータを使用し、受信したフレームの解析を続ける。

サブフレームのデータボディフィールドは、以下の1つを格納する。

- Aggregated MSDU
- Single MSDU

データボディ構造情報フィールド (Data Body Structure Information field : DBSI)は、データボディフィールドの格納状態を提供する。フレームフォーマットと DBSI フィールドの詳細は 7.1.3.2.1.4.を参照。

9.4.2 アグリゲーション型のデータボディフォーマット

MAC レイヤーは、例えば、ショートフレームを送信する場合、効率を向上させるためにひとつのサブフレームのデータボディフィールド中に複数の MSDU を格納し MSDU 連結を行う。図 9.11 にサブフレームのデータボディフォーマットを示す。いくつかの旧世代の「HD-PLC」機器はこの機能をサポートしない。

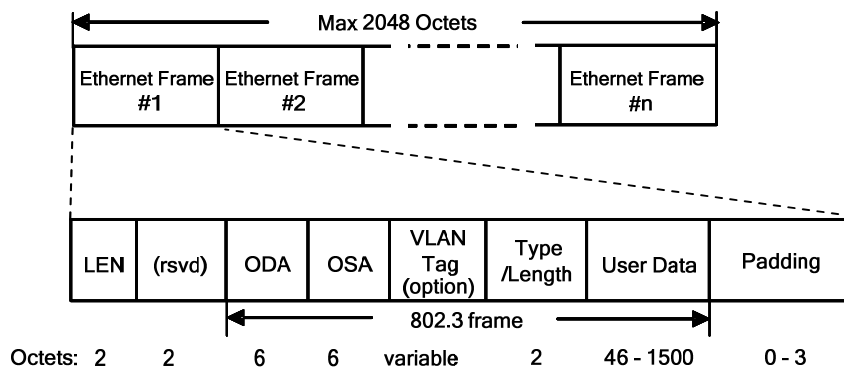


図 9.11 MSDU Aggregation

表 9.10 に、集められた MSDU の内容を示す。表中の Padding フィールドは、Unit Length フィールドから Padding フィールドまでのオクテット数が 4 の倍数であるように挿入されたゼロの、0 から 3 までのオクテットで構成される。いくつかのデータユニットは、アグリゲート後に最大 2,048 オクテットを 1 つのサブフレームに格納できる。

表 9.10 MSDU Aggregation フォーマット (Data Unit)

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Length	0-3	0-7	32	データユニット長 (ODA からユーザデータまで)
ODA	4-9	0-7	48	ブリッジ送信先アドレス(ieee802.3)
OSA	10-15	0-7	48	ブリッジ送信元アドレス (ieee802.3)
VLAN Tag	Var or none	0-7	variable or 0	VLAN タグ (ieee802.3)
Type/Length	Var or 16-17	0-7	16	Type or Length (ieee802.3)
User Data	Var	0-7	variable	ieee802.3 のユーザデータ
Padding	Var		0,8,16,24	Padding for keeping 4 octets boundary

サブフレームヘッダーの DBSI フィールドは、サブフレームのデータボディに格納された (0 以上の) MSDU の数を示す。しかし、DBSI フィールドの値が7であれば、格納されたデータユニットの数は7または7以上である。アグリゲーション型の場合、DBSI 値は「1」～「7」である。

9.4.3 シングル MSDU のデータボディフォーマット

レングス情報なしで1個だけの MSDU を格納するフォーマットは、1 個の MSDU を格納するデータボディフォーマットとして定義される。このフォーマットにおいて、DBSI フィールドの FLAG と AG_NUM フィールドはどちらも「0」に設定される。図 9.12 にサブフレームフォーマットを示す。全ての「HD-PLC」機器はこのデータボディフォーマットをサポートする。

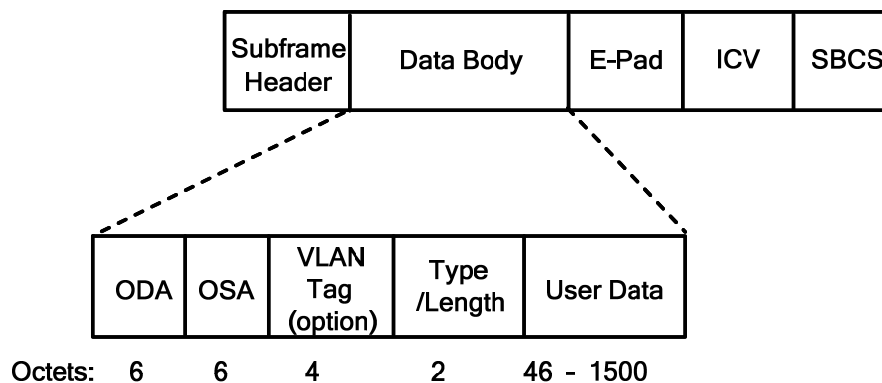


図 9.12 Single MSDU フォーマット

9.5 信頼性があるフレーム伝送

9.5.1 シーケンス番号

MAC がデータ/管理フレームを送信するとき、MAC はシーケンス番号(SN)とサブフレーム番号を使ってサブフレームの送信を制御する。

シーケンス番号は、リンクに関する、MSDU、フラグメント MSDU、連結 MSDU、及び管理メッセージを識別する。シーケンス番号は「0」から始まり、MSDU、フラグメント MSDU、連結 MSDU、管理メッセージ毎にインクリメントされる。SN はサブフレームヘッダーのシーケンス番号フィールドを格納する。MSDU/フラグメント MSDU/アグリゲート MSDU/管理メッセージのシーケンス番号は、もし、MSDU/フラグメント MSDU/連結 MSDU/管理メッセージ他の Data/管理フレーム中で再送されたとしても、変えてはならない。

サブフレーム番号は、MSDU、フラグメント MSDU、連結 MSDU、管理メッセージを、データまたは管理フレームの中で識別する。データフレームに関しては、サブフレーム番号はそれぞれのデータフレームの最初のサブフレームで「1」から始まり、データフレーム内のそれぞれのサブフレームによって 1 ずつインクリメントされる。管理フレームのサブフレーム番号はいつも「1」である。なぜなら管理フレームのサブフレームは最大 1 だからである。この値は、サブフレームヘッダーのサブフレーム番号フィールドに格納される。ある MSDU、フラグメント MSDU、連結 MSDU のためのサブフレーム番号は、全ての送信でユニークであるというわけではない。

9.5.2 ACK フレーム応答

MAC は、エラーの無いフレームコントロール (すなわち FCCS チェックエラーが無いフレームコントロール) のためのデータ/管理フレームを受信し、ACK フレームが要求されているならば、データ/管理フレーム受信完了から RIFS 時間が経過したとき、ACK フレームを応答として送信する。

ACK フレームは、データフレームの各サブフレームが正しく受け取られたかどうかを示す 31 ビットの結果マップフィールドを持っている。結果マップフィールド (Result Map field) のビット n は、サブフレーム番号 $n+1$ ($n=0, 1, 2, \dots, 30$) を持つサブフレームに対応する。値「1」は、結果マップフィールド (Result Map field) で正しく受信されるサブフレームに対応するそれぞれのビットのために設定される。値「0」はそうでない場合に設定される。データ/管理フレームのサブフレームのサブフレーム番号が ACK フレームの結果マップフィールド (Result Map field) のサイズより小さいなら、結果マップフィールド (Result Map field) の残りのビットは「0」に設定しなければならないことに注意する。

ACK フレームの拡張識別フラグと拡張情報フィールドを使用する場合、拡張結果マップは利用可能であり、31 番目以上のサブフレームのエラーを知らせることを有効にする。IEEE 1901 準拠でない旧世代の「HD-PLC」機器は、拡張結果マップをサポートしない。

9.5.3 再送

リンクに関連する MSDU が確実な配信を必要とする場合、ACK フレームを受信した STA の MAC は、結果マップビットの値を確認しなければならない。結果マップのビットが「1」に設定される場合、MAC サブレイヤーはビットに対応する MSDU、フラグメント MSDU、連結 MSDU、管理メッセージが送信先 STA での受信に成功したとみなし、MSDU、フラグメント MSDU、連結 MSDU、管理メッセージを破棄する。結果マップに対応するビットが「0」の MSDU、フラグメント MSDU、連結 MSDU、

管理メッセージは、必要であれば宛先 STA に再送しなければならない。MSDU、フラグメント MSDU、連結 MSDU の再送は、データフレーム内に新しい MSDU、フラグメント MSDU、連結 MSDU をアグリゲートすることができる。

MAC は、例えば MSDU の最大送信時間が終了までに宛先 STA での受信に成功しない場合、MSDU を破棄しなければならない。それぞれの MSDU の最大送信時間のフォルト値は MAX_TXTIME で定義される。このパラメータは、それぞれの分類のためにデフォルト値から変更することができる。

ロスなしのフレーム送信がリンクのために要求されるなら（たとえば AV ストリーム伝送）、チャンネルエスティメーションシーケンスはリンクのためにより良いパラメータを得るために実行されるべきである。

9.6 双方向送信 (Bidirectional Transmission)

このバージョンにおいて、DVTP 機能が BSS で有効であるなら、この機能はサポートされない。

双方向通信の効率を改善するシステムはオプションとしてサポートされる。これは、CSMA のバックオフ手順と衝突のための通信効率の減少を避ける。データフレームを受信した STA が ACK フレームを返すとき、ACK フレームの送信直後に ACK フレームを送信することを知らせる旨を埋め込むことによって、バックオフ手順は省略され、衝突は避けられる。STA A と STA B の 2 つの STA で構成される双方向送信のシーケンスを図 9.13 に示す。

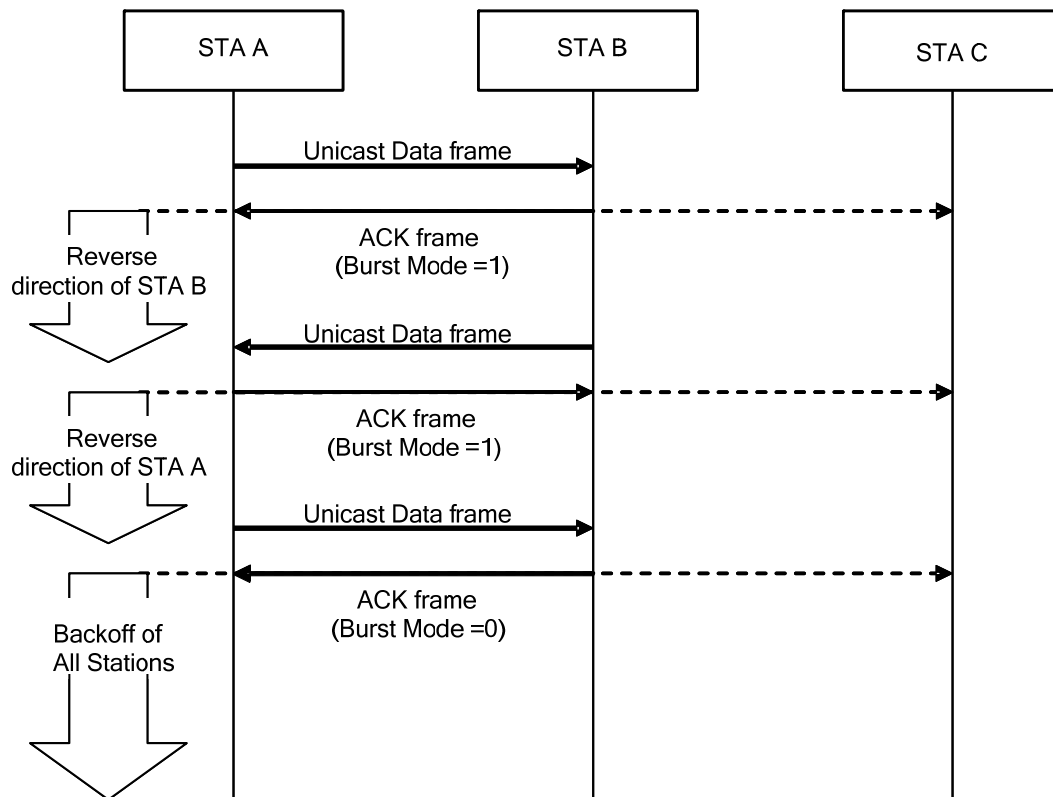


図 9.13 双方向伝送シーケンス

STA からの順方向のユニキャストデータフレームが受信されれば、STA B は STA A への逆方向のユニキャストデータフレームの送信を実行するかどうかを決定する。実行されるとき、STA B は ACK フレームの双方向モードフラグ (Bidirection Mode flag)

の値を「0x1」と設定し、それを STA A に返す。STA B からの ACK フレームを受信した全ての端末は、STA B と STA A の間の双方向送信 (Bidirectional Transmission) が双方向モードフラグ (Bidirection Mode flag) によって開始されることを知り、ビーコンを除く全てのフレームを送信することなく ACK フレーム受信後に WAIT_REVERSE_TIME のスタンバイを実行する。これは、STA B からのユニキャストフレームで衝突を避けるためである。STA B は、ACK フレーム送信後と CIFS 時間進行後すぐにユニキャストデータフレームを STA A に送信する。このユニキャストデータフレームは受信され、ACK フレームの双方向モードフラグ (Bidirection Mode flag) に「0x1」の値が設定され、逆方向のユニキャストデータフレームをすぐに送信する交換のシリーズは、双方向送信 (Bidirectional Transmission) と呼ばれる。

同様に、STA A は、STA B からの逆方向のユニキャストデータフレームを受信してよく、さらに ACK フレームの双方向モードフラグ (Bidirection Mode flag) に「0x1」の値を設定してよく、そして STA A から STA B への逆方向のユニキャストデータフレームをすぐに送信してよい。これはまた、双方向送信 (Bidirectional Transmission) である。STA A のユニキャストデータフレームを受信した STA B が、STA A へのユニキャストデータフレームを全く持っていないとき、返送するための ACK フレームの双方向モード (Bidirection Mode) の値は「0x0」に設定される。この場合、全ての端末は、双方向送信 (Bidirectional Transmission) が実行されず、すべての端末がいつもの CSMA のバックオフ手順の送信に戻ることを知る。

受信された ACK フレームの双方向モードフラグ (Bidirection Mode flag) が「0x1」のとき、送信された ACK フレームが逆方向のユニキャストデータフレームを送信する STA はスタンバイになる。しかし、WAIT_REVERSE_TIME の進行の間、メディアで何も検出しなければ、全ての STA はスタンバイ終了後すぐにバックオフ手順に戻る。双方向送信 (Bidirectional Transmission) を図 9.14. に示す。

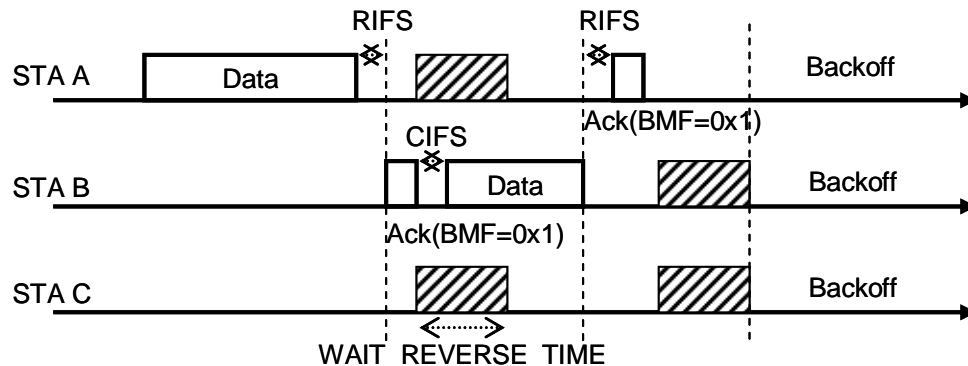


図 9.14 双方向送信 (Bidirectional Transmission)

双方向送信 (Bidirectional Transmission) は TCP のような 2 方向通信プロトコルには役に立つが、ネットワーク上にただ 1 つの 1 方向通信のみが存在するとき、双方向送信 (Bidirectional Transmission) を実行する必要はない。以下の状況の場合、双方向送信 (Bidirectional Transmission) は実行すべきでない。すなわち、ACK フレームの双方向モードフラグ (Bidirection Mode flag) の値を「0x0」にすべきである。

- 反対方向へのユニキャストデータフレームが存在しないとき
- ネットワーク上に 3 以上の STA が存在し、それらの STA がいつも大きな送信を実行し、ネットワークトラフィック上に重い負荷がかけられるとき

ACK フレームの双方向モードフラグ (Bidirection Mode flag) を「0x1」に設定する状況に関して、逆方向の送信フレームが固定されるより蓄積されるか、またはそれが TCP としてより高いレベルのプロトコルであるかをチェックすることが望ましい。

9.7 順序制御機能

2つの STA の間での連続したフレーム送信では、常にシーケンス番号通りに送信先 STA で受け取られるというわけではない。「HD-PLC」では、フレームによる通信を行う際、送信側の PLC パケットにシーケンス番号を付与する。受信側では、到着したパケットのシーケンス番号をチェックすることによって、パケットの到着順序が入れ違った場合にもデータを正しく再現することができる。また、重複パケット破棄機能により、同じシーケンス番号のフレーム受信を回避することも可能である。

9.7.1 順序制御 : Reorder あり

あるリンクに対応する MSDU が、上位層から MAC まで送信 STA の MA-UNITDATA 要求プリミティブによって伝送されたフレームと同じオーダーの、受信 STA の上位層に伝送しなければならないなら、送信 STA はサブフレームヘッダーの受信シーケンスコントロールフィールド (Receive Sequence Control field) を「1」に設定する。MAC または受信 STA はこのフィールドをチェックしなければならない。受信シーケンスコントロールフィールド (Receive Sequence Control field) が「1」に設定されるなら、受信 STA は受信したシーケンス番号と到着するシーケンス番号を比較しなければならない。そしてそれらがマッチするなら、上位層へ通知するか、またはブリッジを実行する。もし、期待するシーケンス番号でなかった場合には、期待するシーケンス番号が受信されるまでもしくは一定時間経過するまで一時的に保存される。

また、重複するシーケンス番号が受信された場合には、無条件でパケットを破棄する。

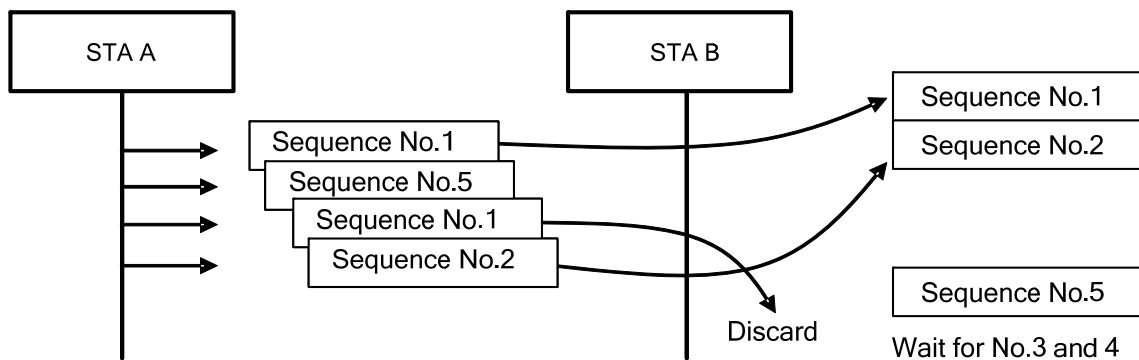


図 9.15 順序制御シーケンス(reordering あり)

9.7.2 順序制御 : Reorder なし

受信 STA の MAC から上位層まで MA-UNITDATA 識別プリミティブによる伝送オーダーがケアされなくて良いなら、送信 STA はサブフレームヘッダーの受信シーケンスコントロールフィールド (Receive Sequence Control field) を「0」に設定する。受信 STA の MAC は、すぐに受信した MSDU を上位層に伝送できる。

また、重複するシーケンス番号が受信された場合には、無条件でパケットを破棄する。

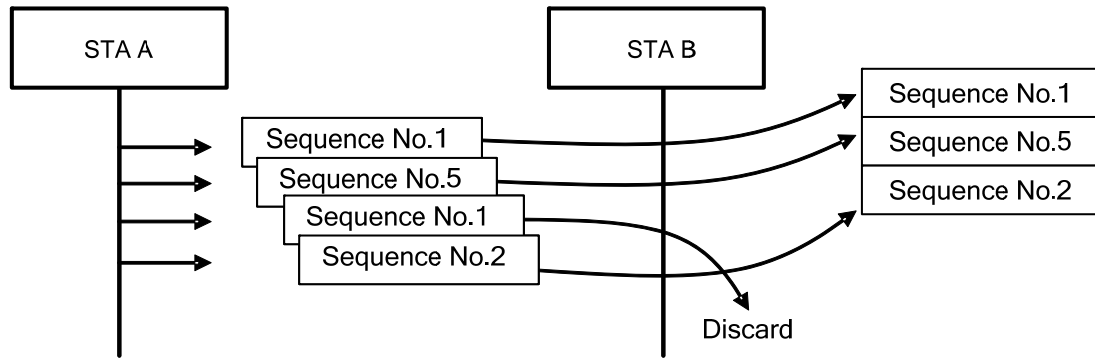


図 9.16 順序制御シーケンス (reordering なし)

9.7.3 重複チェック

フレーム内の Reordering フィールドの有効/無効に関係なく、重複したシーケンス番号のフレーム受信は回避する。重複チェックでは、ノーマル/DOF モード共に重複シーケンス番号は破棄されるが、処理フローは若干異なる。DOF モードでは、フレームの連結送信は許されていないため重複するシーケンス番号は 1 つ前の番号に特定することができる。一方、ノーマルモードでは、フレームの連結送信(最大 MAX_SUBFRAMES まで)が許されているため、重複するシーケンス番号は、指定再送回数により複数のシーケンス番号をチェックする必要があるからである。

9.8 リンクステータス機能

アプリケーションや MAC ユーザがネットワーク接続ステータスを検出できるように、MAC はリンクステータス機能を提供しなければならない。

リンクステータス状態としては ACTIVE と NON ACTIVE が定義される。端末は、ACTIVE 状態において連続 POST_GUARD_SIZE の間、自信が属する BM から有効なビーコンのフレームコントロールを受信できなかった場合、リンクステータス状態を NON ACTIVE にしなければならない。端末は、NONACTIVE 状態において自身が属する BM から有効なビーコンのフレームコントロールを受信できれば、直ちに ACTIVE 状態にならなければならない。

9.9 ブロードキャスト・マルチキャスト通信

PLCでブロードキャスト通信を行う場合、フレームを複数端末が同時に受信できる必要があるため、通常はDOFモードで送信しなければならない。DOFモードで送信されたブロードキャストフレームを受信した端末は、その応答を返してはならない。図9.17に、端末Aから同一ネットワーク内の端末(端末B、及び端末C)にブロードキャストフレームを送信した場合を示す。端末AはブロードキャストフレームをFC内のDAフィールドに「0xffffffffffff」を設定しフレームをブロードキャスト送信する。端末B及び端末CはFC内のDAフィールドを確認しブロードキャストフレームを受信する。端末Bおよび端末Cは当該フレームに対する応答フレームを送信してはいけない。

ブロードキャストフレームはダイバーシティモードで送信することによりロバスト性を向上させているが、応答フレームによるデータ到達確認ができないため、確実なフレーム配信を保障することはできない。また、DOFモードで送信することにより冗長性が増し、通信帯域を不必要に利用する場合もある。このような影響を軽減する方法として多重送信機能やユニキャスト変換機能をサポートしてもかまわない。

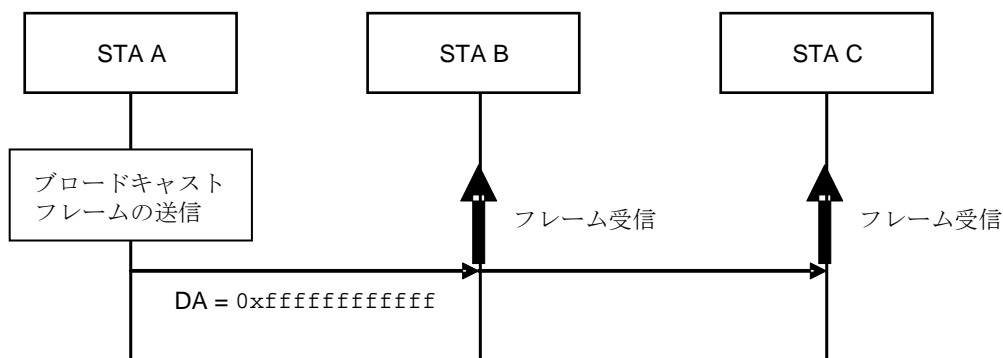


図 9.17 ブロードキャスト通信

9.9.1 多重送信機能

ブロードキャストフレーム、マルチキャストフレームのフレーム配信の確実性を向上するために、同一フレームをPLC回線上で複数回送信できる。受信側では最初に受信したもののみ有効とし、2回目以降に破棄したものについては破棄しなければならない。図9.18に同一ブロードキャストフレームを3回多重送信した場合について示す。端末Bでは3つのフレームを全て正常受信しており、この場合、2つ目及び3つ目のフレームは破棄しなければならない。一方端末Cでは1つ目のフレームは何らかの影響により受信失敗し、2つ目及び3つ目のフレームを正常受信したとする。このとき、端末Cは3つ目のフレームを破棄しなければならない。

なお、同一フレームの送信回数については実装依存、かつ送信回数を多くすればするほど配信の確実性は増すものの通信帯域の使用量が増加することを考慮しなければならない。

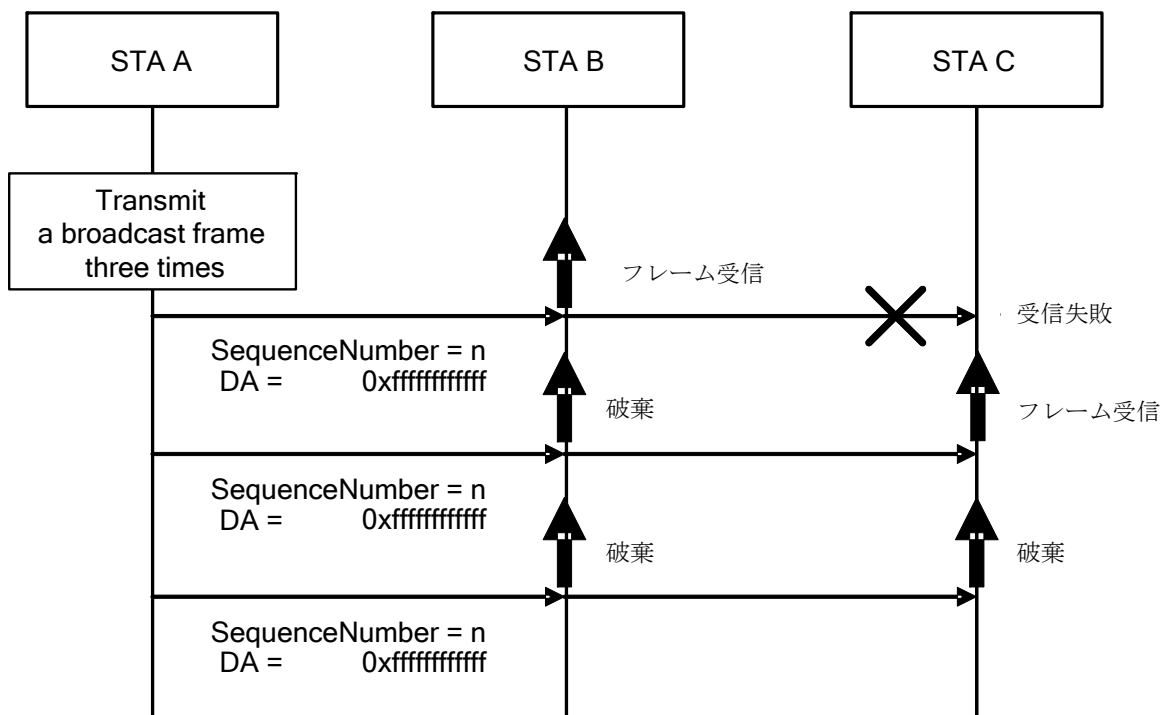


図 9.18 ブロードキャスト通信 (多重送信)

9.9.2 ユニキャスト変換機能

イーサネット「HD-PLC」ブリッジなどにおいてイーサネットのブロードキャストフレームやマルチキャストフレームを PLC ネットワークに転送する場合、利用帯域や配信の信頼性を保障するために、同一フレームをユニキャストで複数のあて先に送信する機能をサポートする。

図 9.19 および図 9.20 に一例を示す。図 9.19 は、ブロードキャストのイーサネットフレームをユニキャスト変換する場合である。イーサネットのブロードキャストフレームを受信した端末 A は PLC ネットワーク内の全ての端末に当該フレームを送信する必要があるため、全ての端末にフレームをユニキャストで送信する。ユニキャストで受信した各端末(端末 B、C、D)はそれぞれ ACK フレームを返信しなければならない。その結果、再送制御による確実なフレーム配信が可能となる。

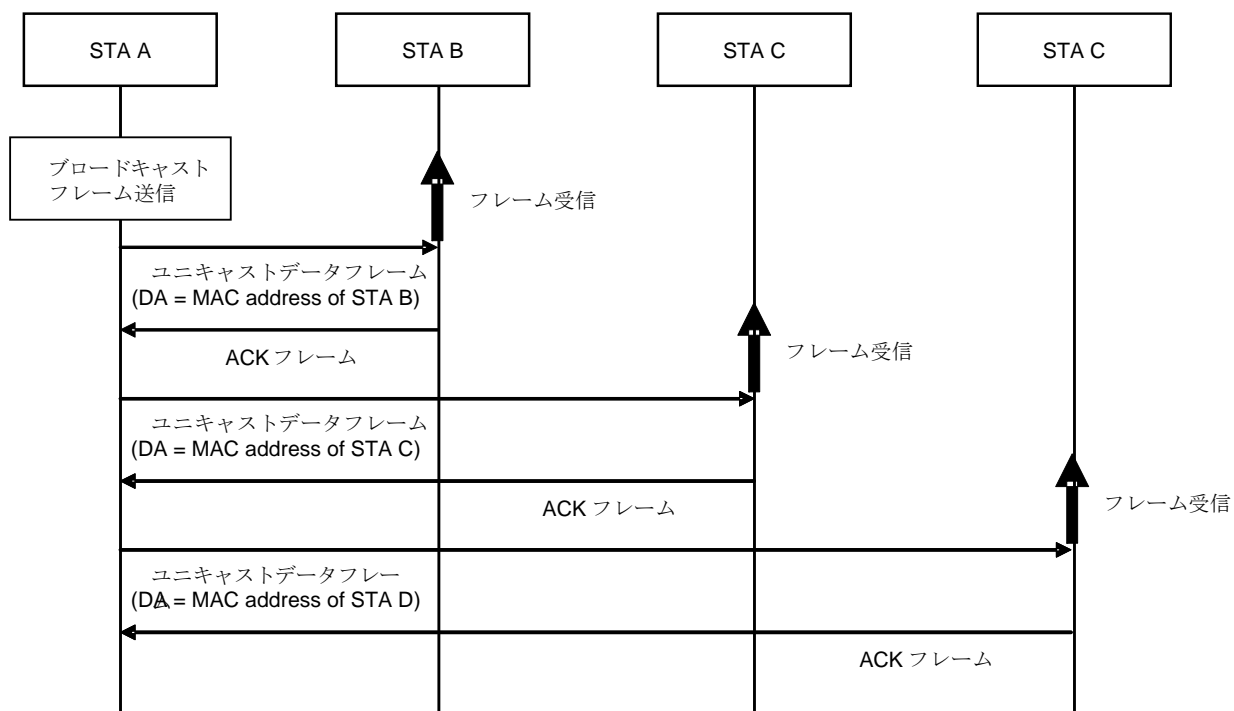


図 9.19 ブロードキャスト→ユニキャスト変換

図 9.20 はマルチキャストのイーサネットフレームをユニキャスト変換する場合である。通常マルチキャストフレームのイーサネットフレームを受信した PLC 端末は、PLC ネットワーク内の全ての端末に当該フレームをダイバーシティモードでブロードキャストすることで配信する。しかしながら、マルチキャストフレームを受信した端末 A がマルチキャストフレームの受信端末が端末 B および端末 D のブリッジ先にのみ存在することを知り得た場合、端末 A は当該フレームを端末 B 及び端末 D にのみデータフレームをユニキャスト通信してもかまわない。このとき当該データフレームを受信した端末 B および端末 D はそれぞれ ACK フレームを返信し、必要に応じて再送制御を実行することができる。その結果、確実なフレーム配信が可能となる。

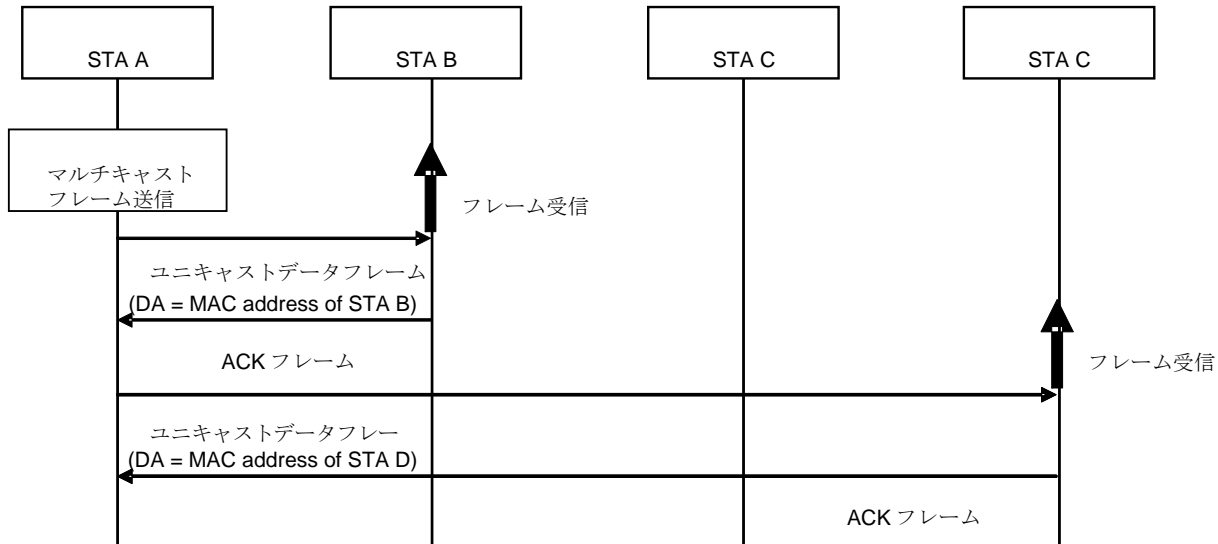


図 9.20 マルチキャスト→ユニキャスト変換

9.10 チャンネルエスティメーション機能

チャンネルエスティメーションの目的は、データ送信時にチャンネルの状態を評価することである。このセクションではチャンネルエスティメーション機能の手順を説明する。チャンネルエスティメーション手順は、電力線通信メディアを有効に利用することによって、最大限のスループットを達成する。そして、最適な変調パラメータなどの情報を送信端末に与えることによって、有効に利用することが可能となる。

9.10.1 基本手順

チャンネルエスティメーションを実行する STA は、チャンネルエスティメーション要求 (RCE : Request Channel Estimation) フレームを評価ターゲットの STA に送信する。フレームは管理フレームと同じタイプを持つ。RCE フレームは、それが RCE フレームを受信する STA が、CINR 特性を得て、トーンマップ (キャリアと変調/復調情報のようなパラメータで構成される) を決定することを引き起こす評価フレームとして機能する評価シーケンスを含む。

1. 送信 STA は、エスティメーションのためにチャンネルエスティメーション要求 (RCE : Request Channel Estimation) フレームを受信 STA に送る。
2. RCE の受信において、受信 STA は RCE フレームの評価シーケンスを分析することによって新しいトーンマップを作成する。また、受信 STA は作成したトーンマップに対応するトーンマップインデックス (TMI) を作成する。
3. 受信 STA は、RCE フレームを受信後、CE_RSP_WAIT_TIME 内のチャンネルエスティメーション応答 (CER : Channel Estimation Response) フレームを備えた送信 STA に、TMI と一緒に新しいトーンマップを送る。
4. 送信 STA と受信 STA は、新しいトーンマップで通信を開始できる。

図 9.21 にこのシーケンスを示す。

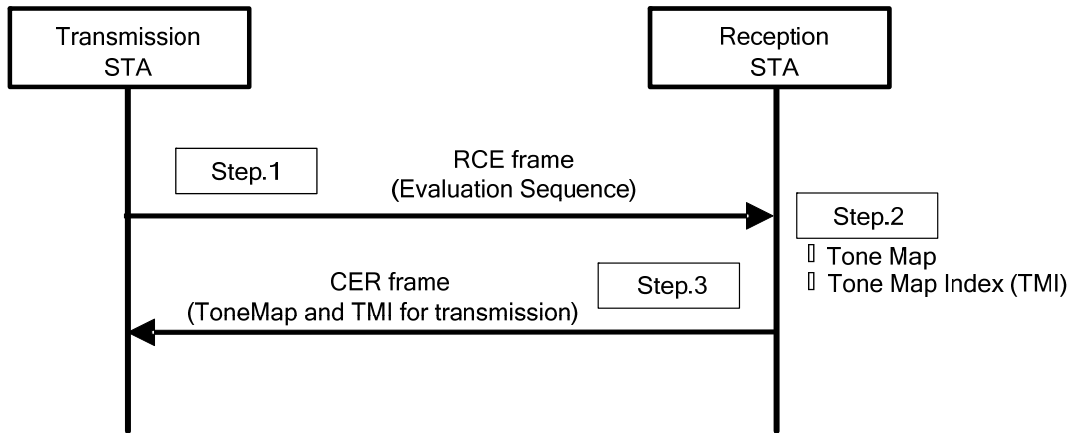


図 9.21 基本的なチャネルエスティメーション手順

9.10.2 トーンマップの開放

送信端末と受信端末でトーンマップの管理を行う場合、受信端末は RXTMI の開放タイミングを独自で判断することは困難である。そのため、送信端末は受信端末に非適用のトーンマップ(RXTMI)の開放通知を発行しなければならない。

9.10.3 実行基準

データ通信の対象となる端末との間において、次の条件のうち 1 つでも当てはまる場合、チャネルエスティメーションを実行しなければならない。

- トーンマップが無い
- トーンマップは有るが、無効

データ通信の対象となる端末との間において、次の条件のうち 1 つでも当てはまる場合、チャネルエスティメーションを実行すべきである。

- 伝送性能が不十分
- 電力線チャネル特性の改善または劣化が検出されている

9.10.3.1 トーンマップ無効条件

1. 現在のトーンマップが CE_TM_LIFETIME 時間経過した場合

電力線メディアの状態は変化するため、CE_TM_LIFETIME 時間より前に獲得したトーンマップは、現在の状態を反映していないとみなして破棄されなければならない。従って、すべての端末は、例え通信時状態が良好であっても、トーンマップが有効である期間にチャネルエスティメーションを実行するべきである。ただし、トーンマップが無効であっても、DOF モードを利用した通信は可能である。

9.10.4 チャンネルエスティメーション実施制限 (Informative)

チャンネルエスティメーションの実施は、メディアトラフィックに大きな負荷をかける。従って、同じ端末に対して頻繁にチャンネルエスティメーションを実施することは制限されるべきである。端末は、CE_TRY_TIME で定義された間隔内の同じアドレスに MAC_CE_TRY_NUM RCE フレーム以上送ることはあってはならない。

9.11 複数ネットワーク管理

9.11.1 隣家ネットワーク間の同期

BSSは、BMによって管理される2種類の動作モードを持つ。Non-BM STAは、BMが送信するビーコンフレーム内の Beacon MODE フィールドの値で、現在の BSS の動作モードを知る。

9.11.1.1 スタンドアロンモード

BMが他の BSS からのビーコンフレームを検出しない場合、BMはスタンドアロンモードに設定する。BM付近に既存のネットワークがないか、あるいは既存のネットワークがあってもBMがいずれの他の BSSID を有するフレームを全く検出できない場合にこのようなことが起こる。スタンドアロンモードで動作している BM は、自分でタイミングを生成し、他のネットワークと無関係に周期的なビーコンを送信する。QoS 制御としては、プライオリティ CSMA による動作が可能である。

9.11.1.2 サブネットモード

スタンドアロンモードで動いている BSS は、他の既存の BSS を検出した場合、BMは BSS をサブネットモードに設定する。スタンドアロンモードでは、以下のモードが準備されており、異なった BSS 間のネットワーク共存は実現される。

— CSMA Only モード

CSMA Only モードでは、QoSはプライオリティ CSMA による動作のみ行う。

BSS が別の既存の BSS を検出する場合、次の2ステップを操作する。第1ステップは、BSS 内のシステムタイミングの同期である。第2ステップは、サブネットモード動作の選択である。ビーコンの衝突を抑えるために、Post Guard field の値は更新された値より大きい値であってもよい。

一方、サブネットモードで動作中に他の BSS を検出しなくなった場合、BMは BSS をスタンドアロンモードに設定してもよい。

サブネットモードの概要を表 9.11 に示す。そして、詳細は以下のサブセクションで説明する。

表 9.11 サブネットモード概要

サブネットモード	CSMA Only モード
Beacon cycle separation	Two Region — Beacon — Normal CSMA
QoS	Only Priority CSMA
Restrictions	N/A

9.11.1.2.1 CSMA Only モード

図 9.22 に CSMA Only モードを示す。

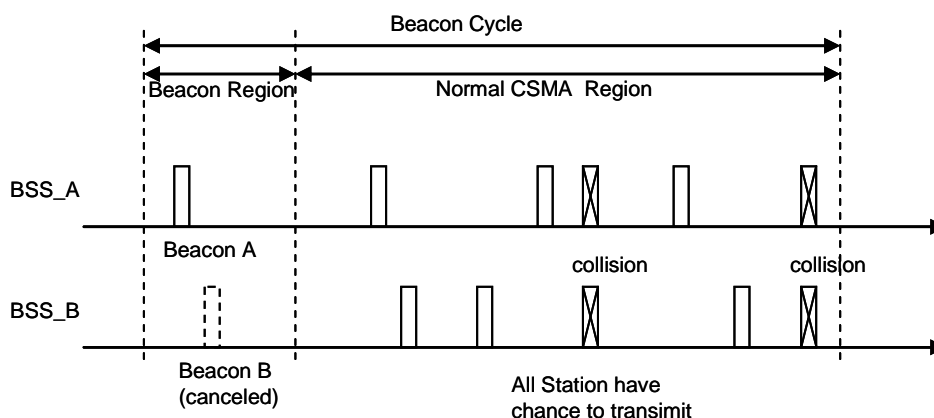


図 9.22 CSMA Only モード

CSMA Only モードでは、ビーコン周期はビーコンをノーマル CSMA 領域から構成される。

ビーコン領域は、各 BSS のために BM のビーコン送信を制限された固定期間の領域である。各 BSS の BM は、バックオフ手順を実行し、コンテンションを勝ち取った後に自身の BSS のみに記述されたビーコンを送信する。コンテンションを失う BSS は、ビーコン同期プロセスとしてそれらのタイマーを更新する。各 BSS に属する Non-BM STA は、それら自身の BSS に記述されたビーコンのみを受信する。Non-BM STA は、受信したビーコンから現在の動作モードを決定し、それに続くビーコン周期の使用方法を検出する。ビーコン領域でコンテンションを失う BSS では、STA は、それらのポストガード機能によって最後に受信したビーコン情報から現在の動作モードを決定し、それに続くビーコン周期の使用方法を検出する。サブネットモードでは、ポストガード値はネットワーク数に従って適宜インクリメントできる。

ノーマル CSMA 領域では、全ての STA はノーマル CSMA 動作を使用することでアクセスを実行する。QoS 機能をサポートする端末は、プライオリティ情報を示すために、FC のプライオリティフィールドを構成することによってプライオリティ CSMA を使用することで優先制御を実行できる。

9.11.2 BSS 間のビーコン同期

ISP が利用可能であるとき、ISP が別の同期メカニズムをサポートするため、この機能は動作する必要がない。

BM が他の BSS からのビーコンを受信しないとき、BM は他のネットワークに関係なくビーコンを自身のタイミングで作成して定期的を送信する。BM が他の BSS からのビーコンを受信するなら、2 つの BSS のビーコン周期は同期すべきである。BM が同期を試みないなら、関連する STA によってビーコン受信は影響を受けるかもしれない。

BSS 間のビーコン同期プロセスは以下の通りである。

それぞれの BM は、他の BSS からのビーコンフレームが検出されたかどうかを個別に決定する。ビーコンフレームが検出されない場合、BM は BSS 間のビーコン同期を開始しない。BM が他の BSS からのビーコンフレームを受信することによって他の BSS を検出する限り、それは BSS 間でビーコン同期を動作する。

ビーコンを送信する前、かつ送信直前にそのビーコンフレームのタイムスタンプフィールド (Time Stamp field) のローカル時間を設定する前に、BM 端末はいつもランダムバックオフ手順を開始する。

BM が他の BM からのビーコンを受信するとき、それは受信したタイムスタンプフィールド (Time Stamp field) からのビーコン送信時間を読む。次に、それは得られたビーコンフレーム送信時間と自身のタイマー値の間の中間値を計算し、中間値に自身のタイマーをリセットする。(例えば、中間値=自身のローカルタイマー値+他の BSS からの送信時間/2) このプロセスは、それらのタイマーでお互いに着実に BM を同期させる。

各 BM は、ビーコン周期の開始時間と、ビーコンフレームに含まれるそれぞれの領域 (ビーコン領域、ノーマル CSMA 領域、controlled CSMA 領域) の開始時間を取得する。次のビーコン開始時間は、ビーコン周期の開始時間にビーコン周期時間を加えることによって取得されることに注意する。

各 Non-BM STA は、関連していない BSS からのビーコンに従ってそのタイマーを変更してはいけない。

図 9.23. にネットワーク間の同期の例を示す。

5 つの隣家ネットワーク A, B, C, D, E が存在する。A, B, C の BM は、お互いのビーコンを聞くことができる。そして A と B の BM は、D と E のビーコンを聞くことができない。また、C, D, E の BM は、お互いのビーコンを聞くことができる。更に、D と E の BM は A と B のビーコンを聞くことができない。全ての 5 つのネットワークは、複数のビーコン周期期間を通して渡されることにより 1 つのシステムタイミングと最終的に同期する。最初は、C の BM は、A と B のネットワークをシステムタイミング「X」に同期させる。そして、D, C の BM によって送信されたビーコンフレームを受信する C の BM は、システムタイミング「Y」に同期を開始する。(C の BM は、D の送信時間を得て、X と Y の中間値を計算し、中間タイミング値「Z」 $(X+Y/2)$ に同期する。) C の BM がビーコンフレームを送信するとき、他の BM はそれを受信し、それらのタイマーをビーコンタイマー値に同期させる。D と E が新しいタイミング「W」に同期している間、A と B は、中間値を計算し、新しいシステムタイミング「V」に同期する。全てのネットワークは、このプロセスを繰り返して、最終的に同じシステムタイミングに同期する。

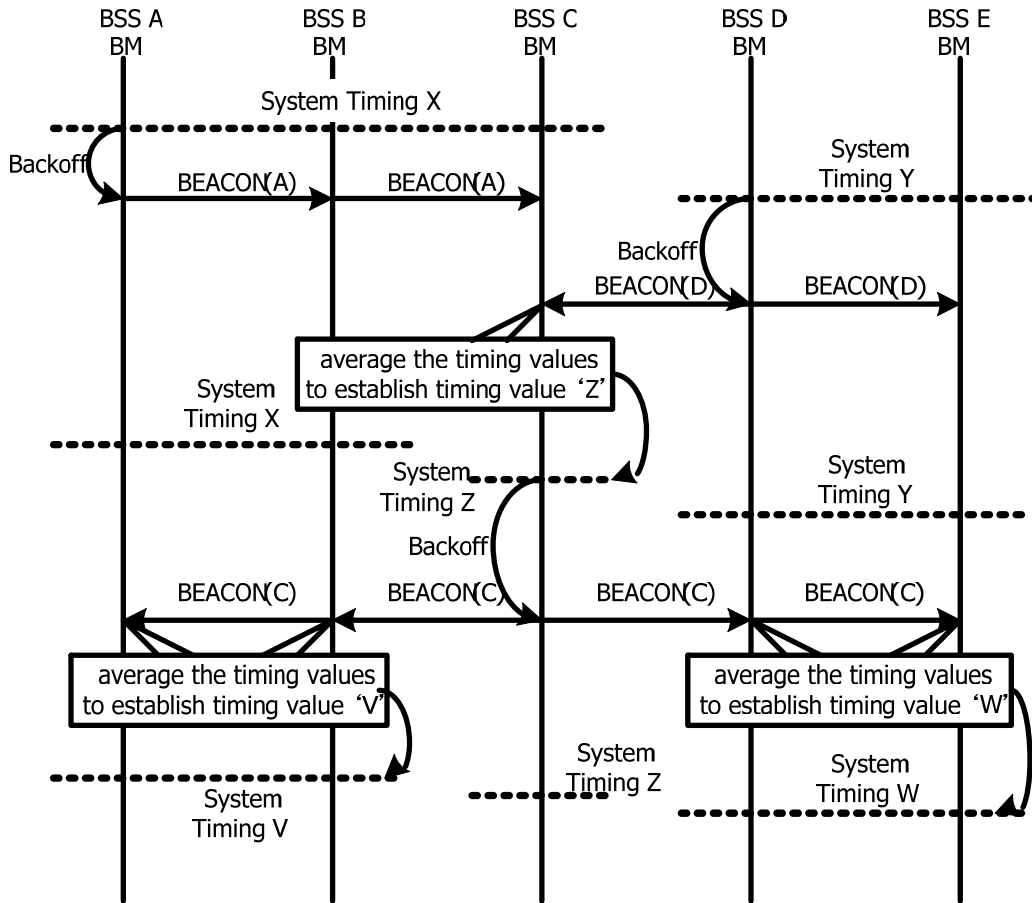


図 9.23 システムタイミングの同期

9.12 Class capability 情報による機能 Switching

9.12.1 概要

機能 switching には、以下の機能がある。

- BM または各 STA によってハンドルされたそれぞれの機能の Capability 情報のネゴシエーション
- BSS 内の全ての STA または通信する STA とのネゴシエーションの結果の通知
- 受信した結果に従った対応する機能の ON/OFF

機能は、ネゴシエーションの領域によって分類される。

9.12.1.1 機能のクラス

機能は、ネゴシエーションの領域によって 4 つのクラスに分類される。

表 9.12 機能クラス

クラス	ネゴシエーション領域	Notes
Class-1	同じ BSS と隣家 BSS の全ての STA	
Class-2	同じ BSS と、ビーコンフレームが直接届く隣家 BSS の全ての STA	
Class-3	同じ BSS の全ての STA	同じ BSS の全ての STA がこのクラスで機能をハンドルするとき、動作する。そうでない場合は動作しない。
Class-4	送信 STA と受信 STA	送信 STA と受信 STA の両方がこのクラスで機能をハンドルするとき、動作する。そうでない場合は動作しない。

表 9.13 に、このバージョンの Capability (機能) リストを示す。

表 9.13 Capability リスト

クラス	機能	ビット割り当て
Class-1	DVTP	Assigned to bit-0
	ISP	Assigned to bit-1
	Relative power levels transmission	Assigned to bit-2
Class-2	<i>No functions assigned</i>	
Class-3	自動接続	Assigned to bit-0
	Sequential ICV	Assigned to bit-1
	LDPC broadcast	Assigned to bit-2
	Dynamic Key Update	Assigned to bit-4
Class-4	Pilot symbol & PAM limit	Assigned to bit-0
	Lower frequency	Assigned to bit-1
	LDPC-CC	Assigned to bit-2
	32PAM	Assigned to bit-3
	Subframe concatenation	Assigned to bit-4
	8-bit TMI	Assigned to bit-5
	IEEE 1901 format Tone Map	Assigned to bit-6

9.12.1.2 ネゴシエーション (Negotiation)

新しい STA が BSS に参加し BSS の BM から認証される時、BM は class1, class2, class3 capability の Capability 情報を新しい STA とネゴシエーションする。ネゴシエーション機能のために、新しい STA と BM は認証メッセージによって Capability 情報を交換する。新しい STA は、新しい STA によってハンドルされた Capability 情報を送信し、BM は、BSS 内の新しい STA を含む全ての STA によってハンドルされた Capability 情報を送信する。

STA が他の STA と通信するとき、STA は class 4 機能の Capability 情報を他の STA とネゴシエーションする。ネゴシエーション機能のために、両方の STA はチャンネルエスティメーションメッセージ (RCE フレームと CER フレーム) でお互いに Capability 情報を交換する。そして、それらは両方の STA によってハンドルされた共通の機能を決める。

Capability 情報は、ビットマップである。それは、それぞれのビットが STA または BSS のためにハンドルされるかされないかを割り当てられた機能を示す。

BM または STA は、ネゴシエーションのために 2 つのビットマップ間で「AND」動作を計算する。

9.12.1.3 通知

class-1, class-2, class-3 capability では、ネゴシエーションの結果はビーコンによって BSS 内の全ての STA に通知される。

ビーコンは Class-1&2 Capability List EIB (7.2.2.4.1) と、Class-3 Capability List EIB (7.2.2.4.2) を含む。Class-1&2 Capability List EIB は、class-1 and class-2 機能と class-2 機能に関するネゴシエーションの結果を示す。

class-4 機能では、チャンネルエスティメーションシーケンスによってそれぞれの STA でネゴシエーションされる。それで、STA はどんな追加通知も必要としない。

9.12.1.4 再ネゴシエーション (Re-negotiation)

STA が BSS を離れそれを BM が検出するとき、BM は class-1, class-2, class-3 機能を再びネゴシエーションする。BM は、離れた STA の情報以外の Capability 情報を計算する。BM は、認証解除の準備のために、それぞれの認証された STA の全ての Capability 情報を格納しなければならない。

9.12.2 Class-1, 2, and class-3 Capabilities

9.12.2.1 BSS でのネゴシエーション (Negotiation)

図 9.24 に、BM が class-1, 2 と class-3 capability の情報を、どのように STA と隣家 BM とネゴシエーションするかを示す。

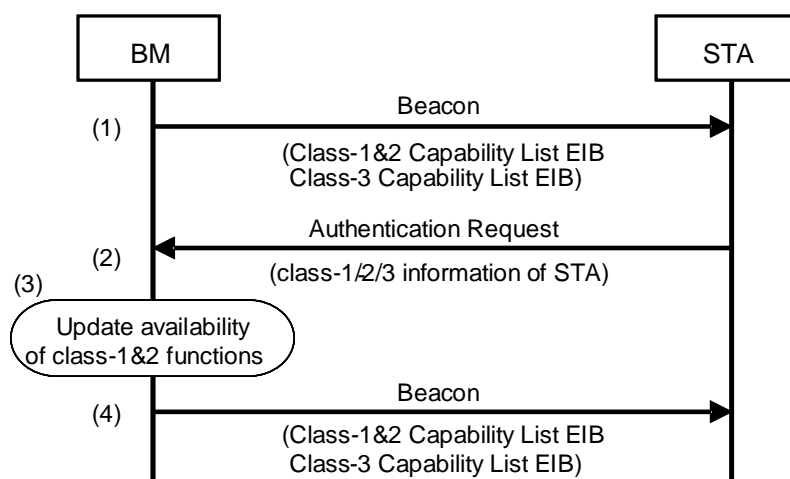


図 9.24 BSS での Class 1-3 機能のネゴシエーション

1. BM は、BM によってハンドルされた class-1 と class-2 capability に関する情報を、ビーコンフレーム内の Class-1&2 Capability List EIB に入れる。また、BM は、BM によってハンドルされた class-3 capability に関する情報を、ビーコンフレーム内の Class-3 Capability List EIB に入れる。
2. STA が BM によって認証されるとき、STA は、STA によってハンドルされた class-1, 2 と class-3 capability に関する情報を、認証要求管理フレームに入れる。BM はフレームから情報を得る。
3. BM は、現在の capability リストと、受信した認証要求管理フレームの class-1/2/3 情報に従って、どの機能が利用可能であるかを決定する。

4. BM は、class-1 と class-2 capability の更新された情報を、ビーコンフレームの Class-1&2 Capability List EIB に入れる。また、class-3 capability の更新された情報を、ビーコンフレームの Class-3 Capability List EIB に入れる。

BM がより多くの STA を認証するなら、BM は新しい STA、BM、認証された STA の間で情報をネゴシエーションし、BM はネゴシエーションされた情報をビーコンに入れる。

9.12.2.2 BSS 間のネゴシエーション (Negotiation)

図 9.25 に、class 1-3 capability の情報を、BM がどうやって他の BM とネゴシエーションするかを示す。BM が他の BM からのビーコンフレームを受信するとき、BM はそれぞれ n ビーコンの間に共通の情報を見つけ、BM は共通の情報をビーコンフレーム内の Class-1&2 Capability List EIB に入れる。

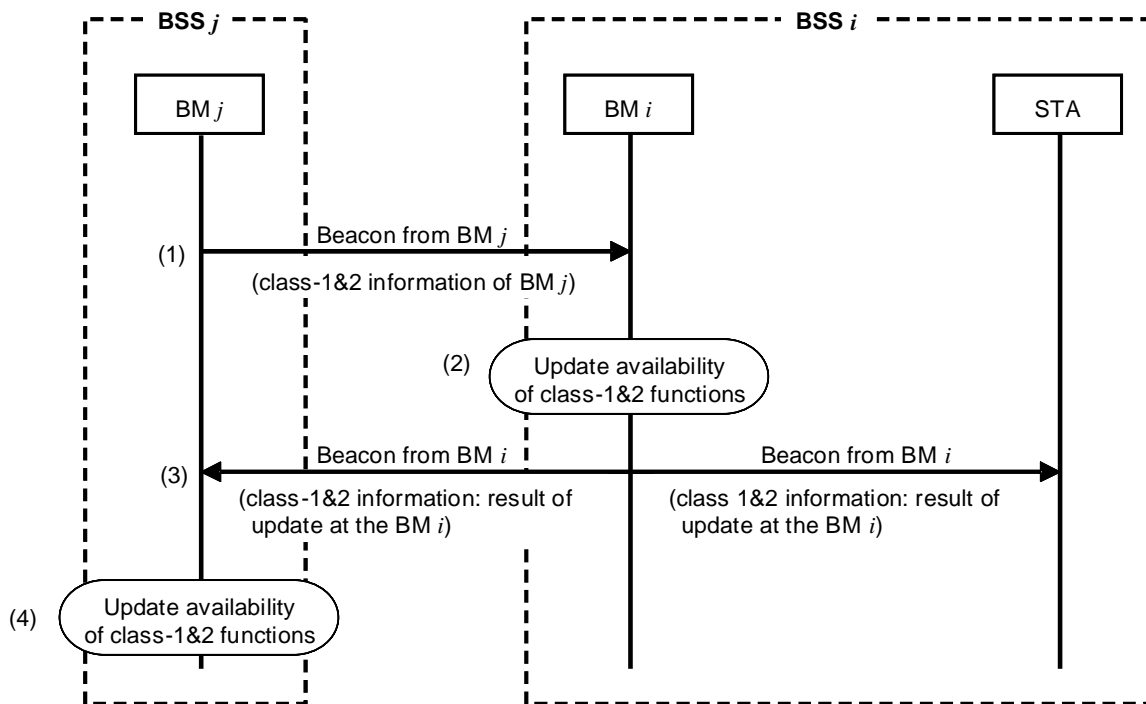


図 9.25 BSS 間の Class 1-3 機能のネゴシエーション

1. BM i が他の BM からのビーコンフレームを受信するとき、BM i はビーコンからネットモードフィールド (NetMode field) (7.2.2.1)を得る。BM i は、ビーコンフレームから Class-3 Capability List EIB を入手しない。なぜなら、class-3 機能の有用性は、隣家 BSS から独立しているからである。
2. BM i は、受信したビーコンの情報に従って、BSS i 内の全ての STA によってハンドルされるそれぞれ class-1 と class-2 機能のために、有用性を更新する。上記で説明されるように、class 3 capability は更新されない。

3. BM i は、更新結果を、ビーコン内の Class-1&2 Capability List EIB とネットモードフィールド (NetMode field) に入れる。
また、BM i は、Class-3 Capability List EIB をビーコンに入れる。次に、BM i は BSS i 内の STA にビーコンを送信し、また BM j はビーコンを受信する。
4. また、BM i からのビーコンを受信する BM j は、class-1 と class-2 capability に関する情報を更新する。更新結果は次の機会にビーコンで送られる。

9.12.2.3 BSS での STA への通知

ネゴシエーションの結果は、ビーコンフレームの Class-1&2 Capability List EIB と Class-3 Capability List EIB によって、全ての認証された STA に通知される。

9.12.2.4 他の BM への通知

class-1 と class-2 capability に関するネゴシエーションの結果は、ビーコンのネットモードフィールド (NetMode field) によって他の BM に通知される。BM は、結果をこのフィールドに入れ、ビーコンを送信する。

class-3 capability に関するネゴシエーションの結果は通知されない。なぜなら、class-3 機能の有用性は他の BSS から独立しているからである。

9.12.2.5 BSS での再ネゴシエーション (Re-negotiation)

図 9.26 に、STA の認証解除による再ネゴシエーション (Re-negotiation) を示す。

STA が BSS を離れると決めるとき、STA は認証解除要求メッセージを BM に送信する。BM がこのメッセージを受信するなら、BM は離れた STA 以外の全ての STA 間で class 1, class 2, class 3 機能の Capability 情報を再ネゴシエーション (Re-negotiation) する。

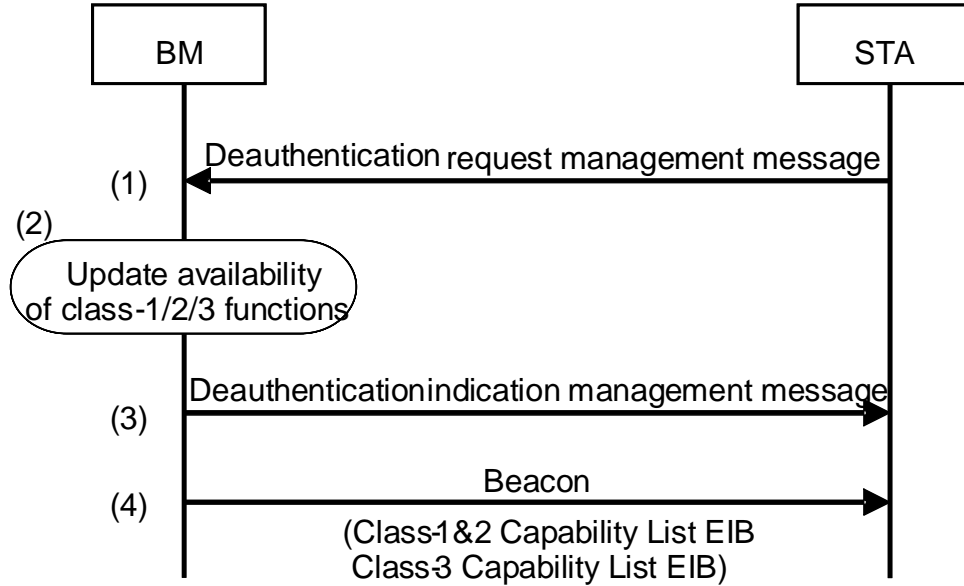


図 9.26 BSS での Class 1-3 機能の再ネゴシエーション(Re-negotiation)

1. STA が BSS を離れると決めるとき、STA は認証解除要求管理メッセージを BM に送信する。
2. BM が STA からの認証解除要求管理メッセージを受信するとき、BM は capability 情報を再び更新する。BM は、BM 自身と離れた STA 以外の認証された各 STA のそれぞれの Capability 情報から、BSS 内の共通の capability 情報を計算する。
3. ネゴシエーション後、BM は認証解除指示管理メッセージ (Deauthentication Indication Management message) を離れた STA に送る。
4. BM は、更新された Class-1&2 Capability List EIB と Class-3 Capability List EIB を含むビーコンを送信する。

9.12.3 Class-4 機能

9.12.3.1 ネゴシエーション (Negotiation)

図 9.27 に、送信 STA が class-4 機能の情報を、受信 STA とどのようにネゴシエーションするかを示す。

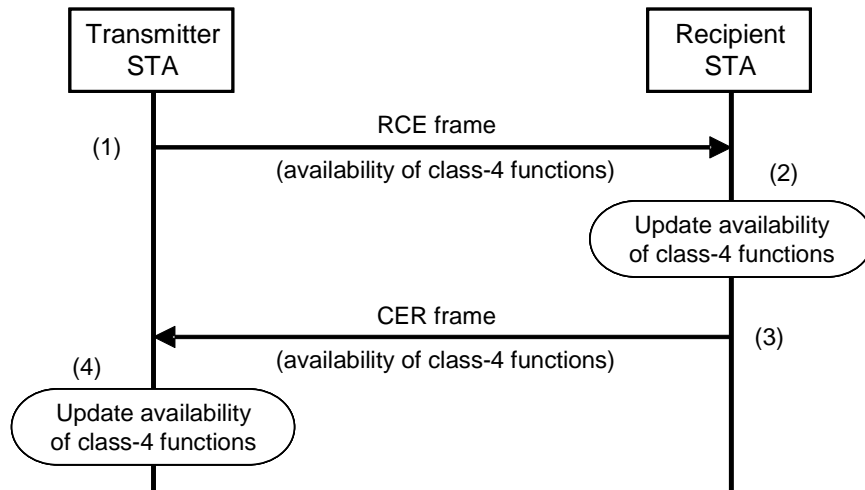


図 9.27 BSS での class-4 機能のネゴシエーション

1. 送信 STA は、送信 STA によってハンドルされた class-4 capability の情報を、RCE フレームに入れ、これを受信 STA に送信する。
2. 受信 STA は、メッセージから情報を得て、送信 STA と受信 STA の間で共通機能を見つけることによって、class-4 capability をネゴシエーションする。
3. 受信 STA は、受信 STA によってハンドルされた class-4 機能の情報を、CER フレームに入れ、これを送信 STA に送信する。
4. 送信 STA は、メッセージから情報を得て、送信 STA と受信 STA の間で共通機能を見つけることによって、class-4 capability をネゴシエーションする。

9.12.3.2 通知

送信 STA と受信 STA は直接情報を交換するので、それは通知メッセージを必要としない。

10 レイヤー管理

10.1 管理モデルの概要

MAC サブレイヤーと PHY の双方は、概念的に各々 MLME と PLME と呼ばれる管理エンティティを含む。これらのエンティティは、レイヤー管理機能を通じ、レイヤー管理サービスインタフェースを提供する。

正常な MAC 動作を提供するために、SME がそれぞれの STA に存在する。SME は、分かれた管理プレーン（または“off to the side”）に見られるレイヤー非依存のエンティティである。SME の正確な機能はこの標準では明記されない。しかし、一般的にこのエンティティは様々なレイヤー管理エンティティ（LME）からのレイヤー依存のステータスの集りのような機能に責任を負うこととして見ることができ、同様に、レイヤー固有パラメータの値を設定する。SME は、ジェネラルシステム管理エンティティに代わり、一般的にそのような機能を行い、標準管理プロトコルを実行する。図 10.1 は、管理エンティティ間の関係を示す。

このモデル内の各種のエンティティは、いくつかの箇所で相互にやり取りを行う。これらの相互作用の決まりは、定義されたプリミティブが交換される SAP を通じて、この標準内で明確に定義される。図 10.1 で示される MAC-MLME 間や PLCP-PLME 間のような他の相互作用は、この標準内では明確には定義されない。これら MAC と PHY の LME が MAC サブレイヤーと PHY 全体へ統合される特別な方法は、この仕様書内では明記しない。

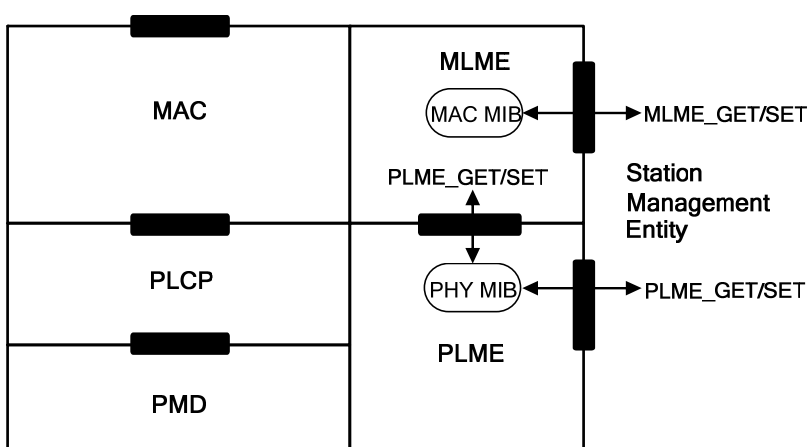


図 10.1 GET and SET operations

このモデルにおける管理 SAP を以下に示す。

- SME-MLME SAP
- SME-PLME SAP
- MLME-PLME SAP

後者の 2 つの SAP は同一のプリミティブをサポートする。実際、MLME や SME によって直接使用される単独の SAP（PLME と呼ばれる）として見るができる。このやり方で、PLME 機能が MLME（SME の代わりに）によって制御されるような共通の実装アプローチが期待されるようにこのモデルは示している。特に、PHY インプリメンテーションは MAC と MLME とのそれらのインタフェース以外に個別のインタフェースを定義するようには要求されない。

10.2 MLME SAP インタフェース

MLME SAP インタフェースは、MLME (MAC レイヤー管理エンティティ) が SME (端末管理エンティティ) に提供するサービスである。

これらのサービスは抽象的に記述されており、任意の特定の実装や公開されたインタフェースを意味するものではない。

詳細な説明は、IEEE Std 1901-2010 の section 9.3 を参照のこと。

10.3 PLME SAP インタフェース

PLME SAP インタフェースは、PHY MIB 属性上のプリミティブとして、PLME-RESET、PLME-CHARACTERISTICS、PLMEGET、PLMESET と PHY 特有のプリミティブである Tone Map Control、Reset、PHY-dependent characteristics から構成される。

これらのサービスは抽象的に記述されており、任意の特定の実装や公開されたインタフェースを意味するものではない。

詳細な説明は、IEEE Std 1901-2010 の section 9.4 を参照のこと。

11 MLME

11.1 BSS システム

単一の BSS 内の全ての STA は、ここで定義されるメカニズムを使用して共通タイマーを同期させるべきである。非 BM STA は、BM の存在をチェックし、ビーコンフレームを受信することによって自身の BSS を検出でき、BSS に加わることができる。

11.1.1 同期

BSS 同期機能(BSF)は、1つの BSS 内ですべての STA の時間を同期させる。すべての STA は、1つのローカルの BSF タイマーを維持しなければならない。

11.1.1.1 BSF

BM は、BSF のタイミングマスターとならなければならない。BM は、1つの BSS の中で BM でない STA の BSF タイマーを同期させるために、BSF タイマーのコピーを含むビーコンと呼ばれる特別なフレームを、一定期間ごとに送信しなければならない。受信側の Non-BM STA は、その BSS に情報提供する BM から送られたビーコン内のタイミング情報を常時受け付けなければならない。もし Non-BM STA の BSF タイマーが、受信したビーコンフレームのビーコンオフセットと異なるなら、受信側 STA はローカルの BSF タイマーをビーコンオフセットの値に設定しなければならない。

ビーコンは、ビーコン周期ごとに一度、BM による送信のために生成されなければならない。

11.1.1.2 同期の維持

各 STA は、TU 単位で BSF タイマーをインクリメントする。BSF タイマーは、ビーコン周期の値に達したときまたはそれを越えたときに 0 に戻る。BSS 内の Non-BM STA は、各ビーコン周期におよそ 1 回、その属する BSS のための 1 つのビーコンフレームを受信することを期待する。BM は、ビーコン周期内にビーコンフレームを送信する。送信する BM は、ビーコンフレームのビーコンオフセットを、ちょうどフレームが送信される前に BSF タイマーに設定する。属するビーコンフレームを受信する Non-BM STA は、受信したビーコンオフセット値に電力線上で期待される通信ディレイの合計値を加えることにより、自身の BSF タイマーを更新する。この機構により、BSS 内の全ての STA が、BSF タイマーに常に同期することができる。

11.1.2 BSS でのビーコン生成

各ビーコンはまた、Post Guard と Schedule Information field を含む。Post Guard の値は、ビーコンフレーム情報が有効であると期待できる間の、ビーコン周期の数としての時間周期を示す。BM は、BSF タイマー値が 0 で、ランダムバックオフを開始し、ビーコン周期が終了する前にビーコンフレームを送信する。このランダムバックオフのコンテンションウィンドウは BP_CW である。この機構は、他の BSS から BM によって送信されるビーコンフレームとの衝突を避けるために設計されている。

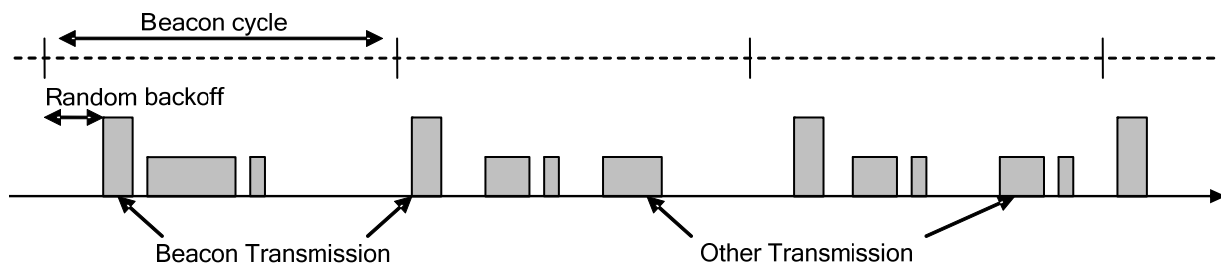


図 11.1 Beacon 周期

11.1.3 スキャン

STA は、その周辺で利用可能な BSS を検索するため、MLME-SCAN 要求プリミティブによる指示に従ったスキャン動作を実行しなければならない。STA は、BSSID かユーザフレンドリーネームで示される個別の BSS をスキャンすることができ、または自身によって感知可能な全ての BSS をスキャンすることができる。後者の場合、ユーザは、見つけた BSS のリストから 1 つの BSS を選択することができる。STA は、特定の BSS のメンバーとなるため、その通信媒体をスキャンしなければならない。1 つ以上の BSS がスキャン動作により発見された場合、MLME は BSSID のリストを含む MLME-SCAN 承認プリミティブにより SME に応答する。ユーザフレンドリーネームは、ある BSSID に関連して応答することが可能である。

スキャン動作の時間は MLME により決定される。スキャン時間は、MLME-SCAN 要求プリミティブの中の MinScanningTime パラメータ以上、または MaxScanningTime パラメータ以下でなければならない。

BSSID パラメータまたは BSSName パラメータが MLME-SCAN 要求プリミティブで特定され、STA が特定の BSSID を持つビーコンフレームかプローブ応答管理メッセージを受信するという条件を満たす BSS、または MLME-SCAN 要求プリミティブにより特定されるユーザフレンドリーネームを含む BSS が発見される場合、MLME により生成される MLME-SCAN 承認プリミティブの ResultCode パラメータは、SUCCESS に設定されなければならない。BSS が特定の BSSID、BSSName と一致した場合、ResultCode は FAILURE に設定されなければならない。

BSSID と BSSName の両方のパラメータが MLME-SCAN 要求プリミティブで特定されない場合、1 つ以上の有効なビーコンフレームまたはプローブ応答管理メッセージが受信されるなら、MLME で生成される MLME-SCAN 承認プリミティブの ResultCode は SUCCESS に設定されなければならない。スキャン期間の間に有効なビーコンフレームやプローブ応答管理メッセージが受信されない場合、ResultCode パラメータは FAILURE に設定されなければならない。

BSSID パラメータと BSSName パラメータの両方が MLME-SCAN 要求プリミティブで特定される場合、MLME は即座に MLME-SCAN 承認プリミティブによる要求に応答しなければならず、その承認プリミティブの ResultCode パラメータは INVALID_PARAMETERS に設定されなければならない。

11.1.3.1 受動的スキャン

ScanType パラメータが受動的スキャンを示す場合、STA は MaxChannelTime パラメータによって定義される最大期間以下でスキャンされる各チャネルを感知しなければならない。

SME が MLME-SCAN 要求プリミティブによってスキャン動作を要求し、ScanType パラメータが PASSIVE に設定されている場合、MLME はビーコンフレームを受信するためスキャン時間の間、通信媒体を感知しなければならない。

スキャン時間が過ぎた後、MLME は発見した BSS に通知するため、SME に対し MLME-SCAN 承認プリミティブを応答しなければならない。

11.1.4 ビーコン受信

Non-BM STA は、受信したビーコンフレームの BSSID と自身が属する BSS の BSSID を比較することによって、そのビーコンフレームが、自身が属する BSS によって発行されたかどうかを見つけ出す。BM のビーコンフレーム送信の干渉を避けるため、Non-BM STA は、BSF タイマー値が 0 の時に開始するビーコン期間の間、ビーコンフレーム送信が完了するまでいかなるフレームも送信することができない。しかしながら、Non-BM STA は、たとえビーコン期間が終了してなくても一旦ビーコンフレームが正常に受信されるとフレームを送信することを許可される。

BM からビーコンフレームを受信することにより、Non-BM STA は BSS のシステム情報を獲得し、BSS に参加し、データを送受信することができる。例え Non-BM STA がビーコンフレームの受信に失敗する場合でも、最後に受信したビーコンフレーム内のポストガード値で示されたビーコン周期の数によって定義される期間の間、その残った有効なビーコンを扱うことによりデータ送受信ができる。逆に、最後のビーコンフレームを受信し Non-BM STA が BM からのビーコンフレーム受信ができないまま、ポストガード値で示されるビーコン周期の数によって定義される間隔が経過したら、最後に受信して残る無効なビーコンを処理する必要があり、全てのフレーム通信は禁止される。

BSS への参加は、STA が登録処理を完了し、BM によって認証された後にのみ可能である。

11.2 端末登録および認証

Non-BM STA として動作する端末が 1 つの BSS とこれを制御する BM を検出するとき、登録と認証の要求を BM に対して発行する。BSS に参加するすべての Non-BM STA は、BM に登録されていなければならない。端末登録は SME (Station Management Entity 端末管理エンティティ) と MLME により提供される。

11.2.1 端末登録

Non-BM STA が BSS に参加するためには、予め登録されている必要がある。もし登録プロセスが完了してなかったら、Non-BM STA が BSS に参加しようとしても認証の際に BM に拒否される。登録は、ペアワイズキーが提供する SME、及び MLME への対応する MAC アドレスから構成される。

11.2.1.1 BM

BM の SME は、MLME-SETPWK 要求プリミティブで特定することにより、BM の MLME によって登録された、一対で構成される生成された 128 ビット PWK と 48 ビット MAC アドレスを提供する。各々の対は、STA 登録を示す。MLME は、最大 128 個の登録を許可する。この数字を越えた時、MLME は MLME-SETPWK 確認プリミティブで障害を示すことにより SME に通知する。登録が成功の時は、MLME は、MLME-SETPWK 確認プリミティブで成功を示すことにより、SME に通知する。たとえ登録成功の場合であっても、それに続く認証プロセスは、もし PWK が Non-BM STA に設定されている PWK と同一でなければ失敗する。

11.2.1.2 Non-BM STA

Non-BM STA の SME は、生成された 128 ビットの PWK と、MLME-SETPWK 要求プリミティブで特定することにより、Non-BM STA の MLME への BM の 48 ビット MAC アドレスを提供する。MLME は、1 つの BM を登録できるのみである。もし MLME が BM の登録に失敗したら、MLME-SETPWK 確認プリミティブで障害を示すことにより SME に通知する。もし登録が成功したら、MLME は MLME-SETPWK 確認プリミティブで成功を示すことにより SME に通知する。たとえ登録成功の場合であっても、それに続く認証プロセスは、もし PWK が BM に設定されている PWK と同一でなければ失敗する。

11.2.2 端末認証手順

11.2.2.1 初期認証

BM は次の手続きにて端末を認証する。(図 11.2.を参照のこと)

1. BM の SME は、認証される Non-BM STA の PWK を、MLME-SETPWK 要求プリミティブを使用して MLME に設定する。SME は、ユーザによる手入力、簡単設定メカニズム(Annex C)、または他のメカニズムを通して PWK を入手することができる。SME はまた、ローカルのメモリに PWK を記憶することができる。NKI 値が“1”の時は、PWK が割り当てられる。MLME は、MLME-SETPWK 確認プリミティブに Result パラメータを設定して SME に返す。もし STA のアドレスとペアワイズキーが無効であれば、Result パラメータには INVALID_PARAMETERS が設定される。さもなければ Result には SUCCESS が設定される。
2. 新しい Non-BM STA の SME は、MLME-AUTHENTICATE 要求プリミティブを使用して、BM による自身の認証を要求する。
3. この要求を受信すると、MLME は認証要求(Authentication Request)管理メッセージを生成し、MAC に送信する。MAC サブレイヤは、受信した管理メッセージを含む管理 MPDU(Management MPDU)を生成し、MPDU を関係する BSS の BM に送信する。BM の MAC アドレスは、BM からのビーコンフレームにより認知でき、または手入力により設定できる。
4. BM の MAC が Management MPDU を認証要求(Authentication Request)管理メッセージとともに受信するとき、MAC はメッセージを MLME に送信する。
5. 認証要求(Authentication Request)管理メッセージを受信すると、BM の MLME はチャレンジテキスト、及び平文の（暗号化されてない）チャレンジテキストを含むチャレンジテキスト要求(Challenge Text Request)管理メッセージを生成し、そのメッセージを MAC に送信する。BM の MAC は管理メッセージを含む管理 MPDU(Management MPDU)を生成し、MPDU を要求する STA に送信する。チャレンジテキストをどのように作り出すかは、この仕様では定義されていない。
6. Non-BM STA の MAC がチャレンジテキスト(Challenge Text)要求メッセージを含む管理フレームを受信するとき、MAC はそのメッセージを MLME に送信する。
7. 要求管理メッセージを受信すると、新しい Non-BM STA の MLME は、Pair-Wise キー(PWK)とともにそのメッセージにあるチャレンジテキストを暗号化し、暗号化されたテキストを含むチャレンジテキスト(Challenge Text)応答管理メッセージを生成する。MLME はそのメッセージを MAC に送信する。MAC は、受信した管理メッセージを含む管理 MPDU(Management MPDU)を生成し、MPDU を BM に送信する。
8. BM の MAC がチャレンジテキスト(Challenge Text)応答メッセージを含む管理フレームを受信するとき、MAC はそのメッセージを MLME に送信する。
9. BM の MLME は、ステップ 1 で PWK セットによってチャレンジテキストを暗号化し、チャレンジテキスト(Challenge Text)応答メッセージに含まれるものと比較する。もし 2 つの暗号化されたテキストが同じなら、MLME は現在のネットワーク暗号キー(Network Encryption Key : NEK)とともに認証応答管理メッセージを生成する。さもなければ、MLME はまたエラーコ

ードとともにそのメッセージを生成する。MLMEはそのメッセージをMACに送信する。BMのMACは、受信した管理メッセージを含む管理MPDU(Management MPDU)を生成し、MPDUを要求するSTAに送信する。

10. Non-BM STAのMACが認証応答メッセージを含む管理フレームを受信するとき、MACはそのメッセージをMLMEに送信する。MLMEは、MLME-AUTHENTICATE 確認プリミティブを使用して、SMEに認証要求の結果を通知する。

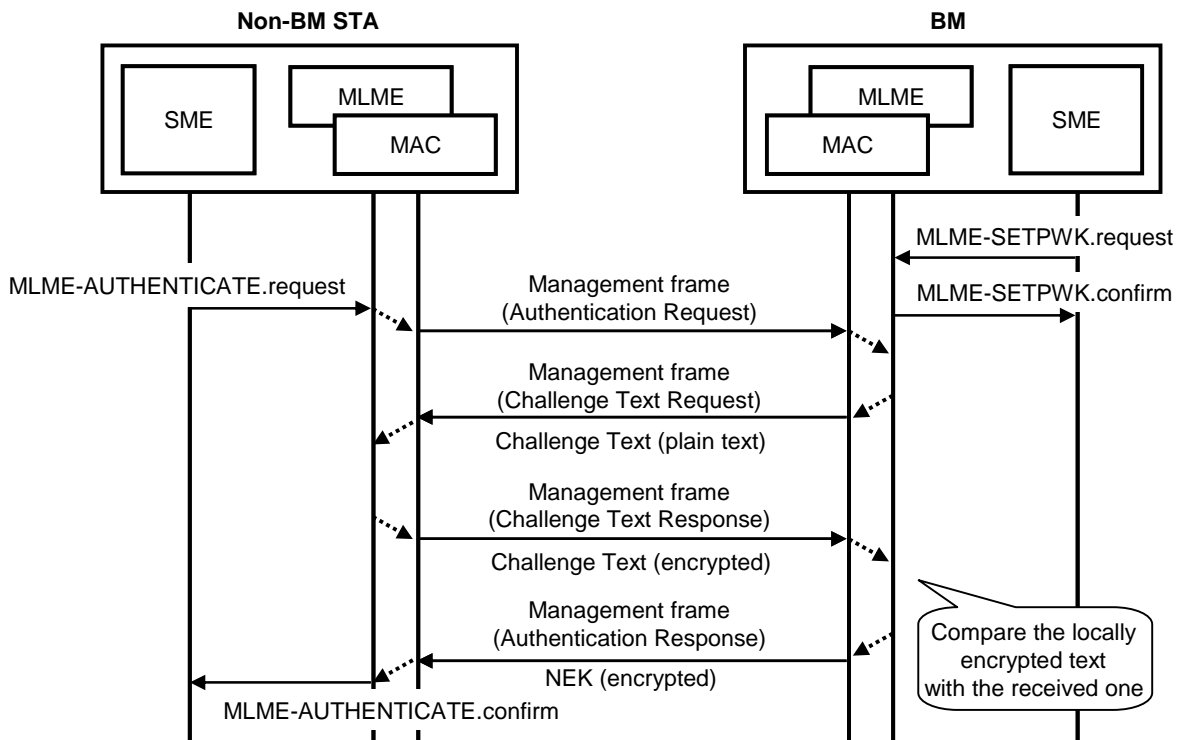


図 11.2 端末認証

上記の本文及び図において、管理フレームに戻される ACK フレームは省略されている。

もし BM がリソース不足またはその他何らかの理由により認証要求を受け付けることができないなら、BM は認証要求メッセージへの返答として認証応答管理メッセージを送信することになる。BM は応答メッセージの結果フィールドを 0 以外のエラーコードに設定しなければならない。設定可能なエラーコードは表 7.33. に定義されている。フレーム交換については図 11.3 を参照の事。管理フレームに戻される ACK フレームは図では省略されている。

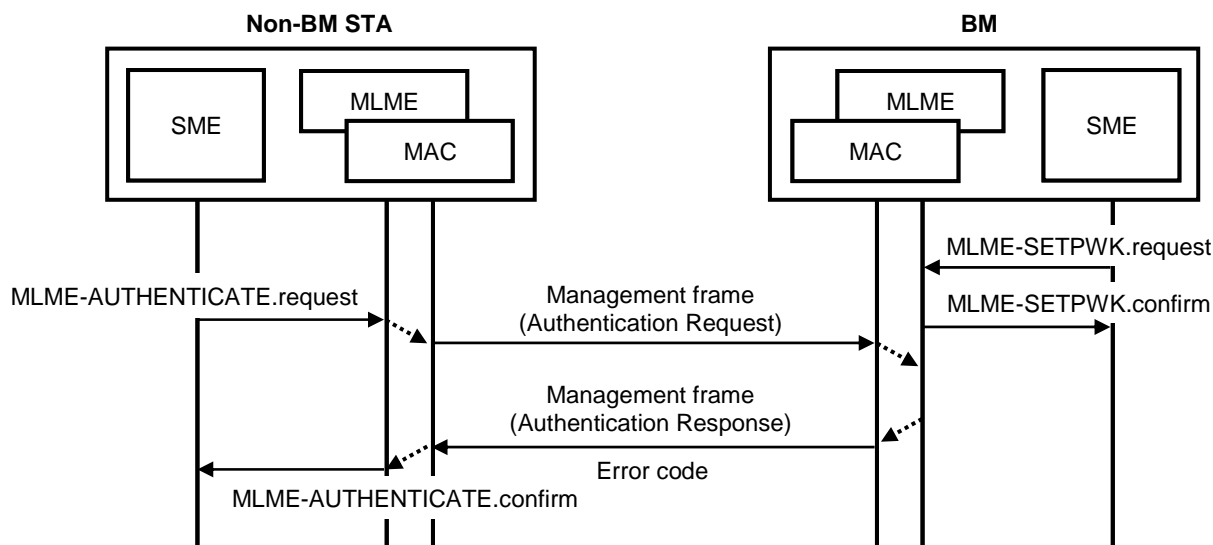


図 11.3 端末認証(failed case)

もし新しい端末が認証要求を発行する AUTH_CT_REQ_WAIT_TIME の期間内に、(認証応答またはチャレンジテキスト要求からなる)BM からの応答を受信しないならば、その新しい端末は認証試行の失敗を決定しなければならない。逆に、もし新しい端末がチャレンジテキスト要求管理メッセージを受け取るなら、AUTH_CT_RSP_WAIT_TIME の期間内にチャレンジテキスト応答と共に返答しなければならない。もし新しい端末がチャレンジテキスト応答管理メッセージを返したあとの AUTH_RSP_WAIT_TIME の期間内に認証応答を受信しないなら、認証試行の失敗を決定しなければならない。認証試行の失敗を決定する新しい端末は、AUTH_START_WAIT_TIME の最小値を待った後に、新しい認証要求を発行できる。

次の表は、認証及び登録に使用されるタイマーを列記している。

表 11.1 認証機能のためのタイマー

タイマー	値	定義
Challenge request wait timer	AUTH_CT_REQ_WAIT_TIM (default: 1,000 ms)	Non-BM STA による管理フレーム(認証要求)の送信の開始。このタイマーがタイムアウトするとき、認証処理は最初から繰り返される。
Challenge response wait timer	AUTH_CT_RSP_WAIT_TIME (default: 1,000 ms)	BM による管理フレーム(チャレンジテキスト要求)の送信の開始。このタイマーがタイムアウトするとき、認証処理はリセットされる。
Authentication response wait timer	AUTH_RSP_WAIT_TIME (default: 1,000 ms)	Non-BM STA による管理フレーム(チャレンジテキスト応答)の送信の開始。このタイマーがタイムアウトするとき、認証処理は最初から繰り返される。
Authentication start wait timer	AUTH_START_WAIT_TIME (default: 1,000 ms)	Non-BM STA による認証の試みが失敗するとき、次の認証処理開始まで待つ時間。

Non-BM STA は、複数の登録手続きを同時に実行できない。BM が認証手続きの状態を適切に反映していないフレームを受信するとき、—例えば認証要求を登録プロセスが既に進行中の Non-BM STA から受信されるとき—、受信されたフレームは破棄される。

11.2.2.2 再認証

再認証手続きが完了した後、再認証手続きをより簡単にするために、BM は一対の MAC アドレスと新しい STA の PWK を保存できる。認証された端末情報とともに再認証手続きは以下の通り (図 11.4. を参照の事)

1. 新しい Non-BM STA の SME は、MLME-AUTHENTICATE 要求プリミティブを使用して、BM によって自身の認証を要求する。
2. この要求を受信すると、MLME は認証要求管理メッセージを生成し、MAC に送信する。MAC サブレイヤは、受信した管理メッセージを含む管理 MPDU(Management MPDU)を生成し、MPDU を関係する BSS の BM に送信する。BM の MAC アドレスは、BM からのビーコンフレームによって認知されることができ、または手入力により設定できる。
3. BM の MAC が認証要求管理メッセージとともに管理 MPDU(Management MPDU)を受信する時、MAC はそのメッセージを MLME に送信する。
4. 認証要求管理メッセージを受け取ると、BM の MLME は 要求する STA の MAC アドレスを認証される端末のテーブルから検索する。もし MLME がテーブルに MAC アドレスを見つけたなら、MLME は 現在のネットワーク暗号キー(Network Encryption Key : NEK)とともに認証応答管理メッセージを生成し、そのメッセージを MAC に送信する。BM の MAC は、受信した管理メッセージを含む管理 MPDU(Management MPDU)を生成し、MPDU を要求する STA に送信する。
5. Non-BM STA の MAC が認証応答メッセージを含む管理フレームを受信するとき、MAC はそのメッセージを MLME に送信する。MLME は、MLME-AUTHENTICATE 確認プリミティブを使用して、SME に認証要求の結果を通知する。

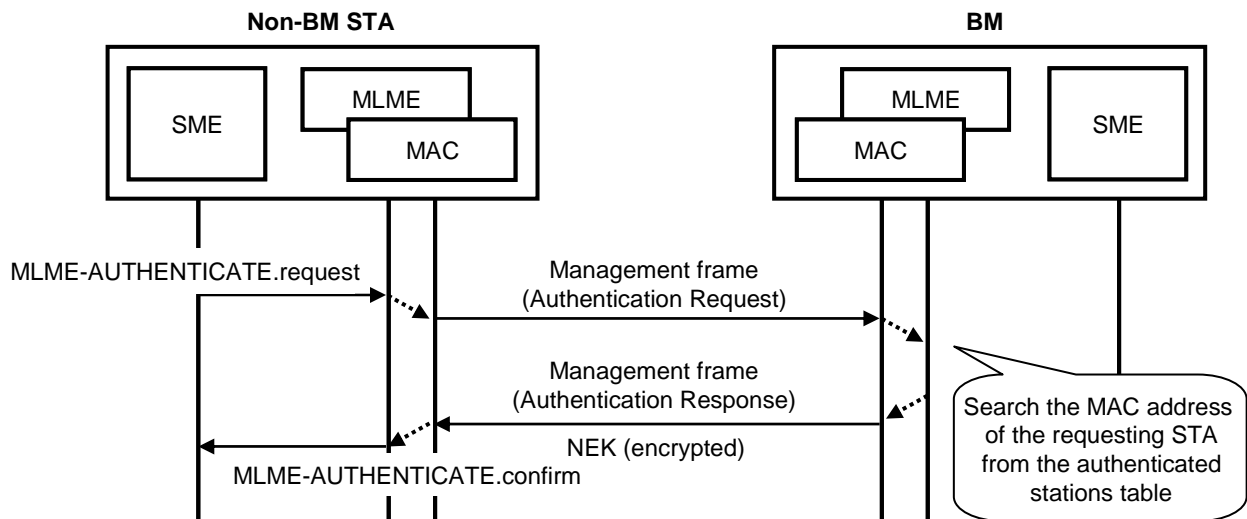


図 11.4 端末再認証

上記の本文と図において、管理フレームに返す ACK フレームは省略されている。

BMは、メモリの制限またはその他何らかの理由により、対のMACアドレスと要求するSTAのPWKを消失するかもしれない。この場合、11.2.2.1に記述された手続きが実行されることになる。

11.2.3 認証解除手順

11.2.3.1 Non-BM 端末による認証解除

BMはBSS内のすべてのSTAの状態を正確に知るのが望ましい。STAがBSSを離れて、なぜSTAと通信できないかの理由をBMに知らせるためSTAがBSSを離れるとき、STAは認証解除手続きを実行すべきである。

BSSを離れるSTAは、管理フレームによりBMに認証解除要求管理メッセージを送信すべきである。認証会場要求に対する応答メッセージは無い。離れるSTAとBM間の手続きは以下の通り。

1. 離れるSTAのSMEは、MLME-DEAUTHENTICATE要求プリミティブを使用して、BSSから自身の認証解除を要求する。
2. この要求を受信すると、MLMEは認証解除要求管理メッセージを生成し、MACに送信する。MLMEはまたSMEへのMLME-DEAUTHENTICATE確認プリミティブを生成する。MACサブレイヤーは、そのメッセージを含む管理MPDU(Management MPDU)を生成し、MPDUを関係するBSSのBMに送信する。
3. BMのMACが認証解除要求管理メッセージとともに管理MPDU(Management MPDU)を受信するとき、MACはそのメッセージをMLMEに送信する。
4. 認証解除要求管理メッセージを受信すると、BMのMLMEはSTAを認証解除する。

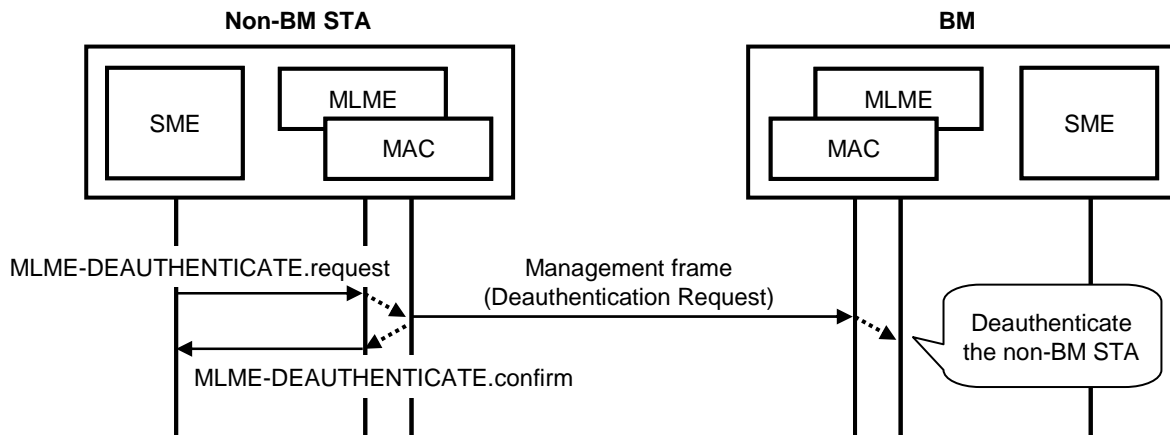


図 11.5 端末認証解除 (Non-BM STA による)

上記の本文と図において、管理フレームに返されるACKフレームは省略されている。

MACが認証解除要求メッセージのACKフレームを受信するまで、MLMEはMLME-DEAUTHENTICATE確認プリミティブをSMEに送信することを待つことができる。この場合、MLMEは、MLME-DEAUTHENTICATE確認プリミティブをSMEに対し、MACがACKフレームを受信するか、待機タイマーが切れる直後に送信しなければならない。もし待機タイマーが切れるなら、MLME-DEAUTHENTICATE確認プリミティブのResultCodeパラメータはTIMEOUTに設定されなければならない。もし待機タイマーが切れる前またはMLMEが認証解除要求管理メッセージを送信した直後にMLME-DEAUTHENTICATE確認プ

リミティブを返す前に MAC が ACK フレームを受信するなら、ResultCode パラメータは SUCCESS に設定されなければならない。

11.2.3.2 BM による認証解除

BM は、認証解除通知管理メッセージを使用して、強制的に端末を認証解除できる。Non-BM STA は、BM による認証解除を拒否できない。

BM による認証解除には 3 つの手続きがある。そのうち 2 つの手続きは、特定の STA を認証解除するのに使用される。最後の 1 つの手続きは、BSS 中のすべての STA を認証解除するのに使用される。

11.2.3.2.1 STA を指定する認証解除通知 (ブロードキャストを使用)

1 番目の手続きは、ブロードキャストの方法により特定の STA を認証解除するのに適用される。BM は、BSS 中のすべての STA に対し、特定の STA が認証解除中であることを通知することができる。

手続きは以下の通り。(図 11.6 を参照のこと。)

1. BM の MLME は認証解除通知管理メッセージを生成し、MAC に送信、また MLME-DEAUTHENTICATE 確認プリミティブを生成し、SME に送信する。MAC は管理フレームを使用してそのメッセージをブロードキャストを使用して特定の Non-BM STA に送信する。

Non-BM STA の MAC が管理フレームを受信するとき、MAC はその管理メッセージを MLME に送信する。MLME は、MLME-DEAUTHENTICATE 表示プリミティブを生成し、それを SME に送信する。

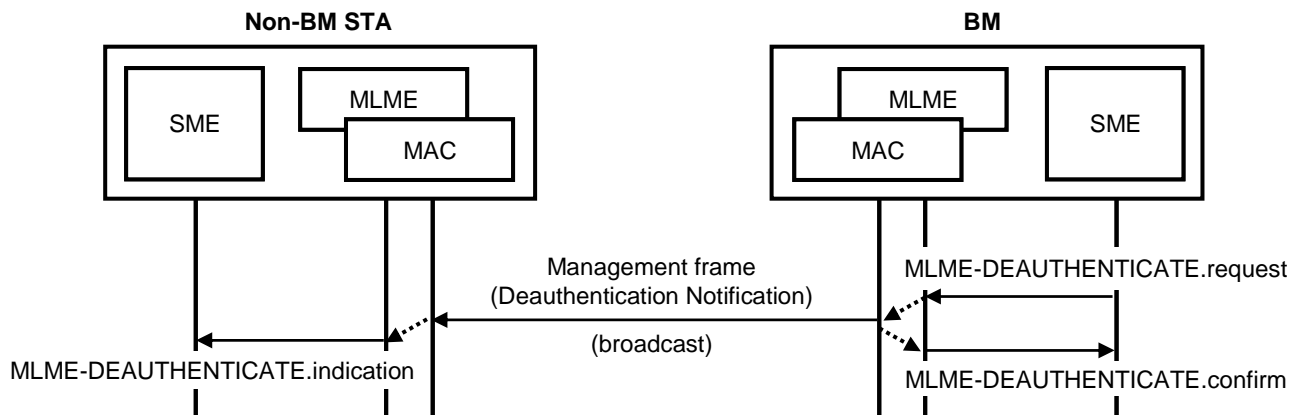


図 11.6 ブロードキャストを使用した特定の STA の認証解除(BM による)

上記の本文及び図において、管理フレームに返す ACK フレームは省略されている。

他の Non-BM STA は、認証解除した STA の情報を削除できる。

11.2.3.2.2 STA を指定する認証解除通知 (ユニキャストを使用)

2番目の手続きは、ユニキャストの方法で特定の STA を認証解除するのに適用される。BM は、認証解除中の STA からの応答メッセージを受信できる。

手続きは以下の通り。(図 11.7.を参照の事)

1. BM の MLME は、認証解除通知管理メッセージを生成し、MAC に送信する。MAC は、管理フレームを使ってそのメッセージをユニキャストを使用して特定の Non-BM STA に送信する。
2. Non-BM STA の MAC が管理フレームを受信するとき、MAC は管理メッセージを MLME に送信する。MLME は MLME-DEAUTHENTICATE 表示プリミティブを生成し、SME に送信する。MLME はまた認証解除通知応答管理メッセージを生成し、MAC に送信する。
3. 認証解除された STA の MAC は、管理フレームを使用して、認証解除通知応答管理メッセージを BM に送信する。
4. BM の MAC が管理フレームを受信するとき、MAC は管理メッセージを MLME に送信する。MLME は、MLME-DEAUTHENTICATE 確認プリミティブを生成し、SME に送信する。

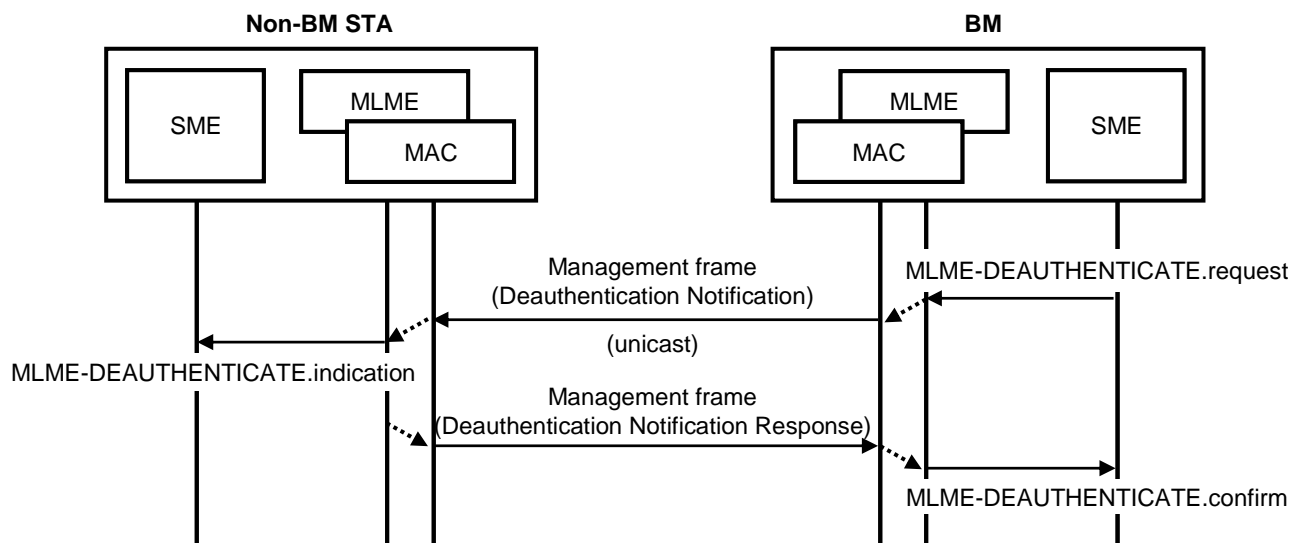


図 11.7 ユニキャストを使った特定の STA の認証解除(BM による)

上記の本文及び図において、管理フレームに返される ACK フレームは省略されている。

BM が認証解除通知管理メッセージを送信した後の DEAUTH_IND_RSP_WAIT_TIME の期間内に、認証解除通知応答管理メッセージを受信しないとき、BM は認証解除シーケンスを止めることができる。

認証解除された STA は、できるだけ早く応答メッセージを送信すべきである。

11.2.3.2.3 全ての Non-BM STA のための認証解除通知

3番目の手続きは、BSS 中のすべての STA を認証解除するのに適用される。

手続きは以下の通り。(図 11.8.を参照の事)

1. BM の MLME は認証解除通知管理メッセージを生成し、MAC に送信、また MLME-DEAUTHENTICATE 確認プリミティブを生成し、SME に送信する。MAC は、管理フレームを使ってそのメッセージをブロードキャストで送信する。
2. Non-BM STA の MAC が管理フレームを受信するときは、MAC は管理メッセージを生成し MLME に送信する。MLME は、MLME-DEAUTHENTICATE 表示プリミティブを作成し、SME に送信する。

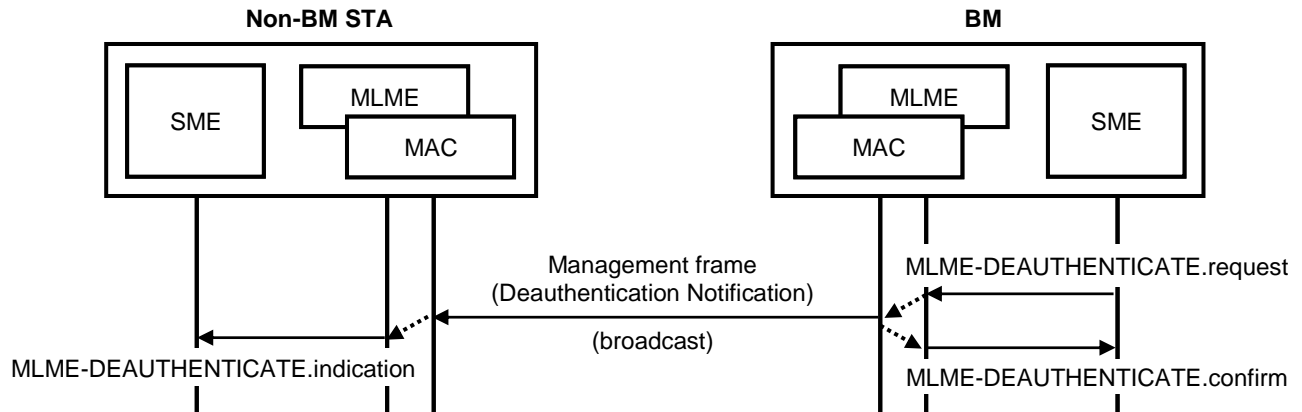


図 11.8 すべての STA の認証解除 (BM による)

上記のテキスト及び図において、管理フレームに返す ACK フレームは省略されている。

BM は、認証解除通知管理メッセージを送った後、すべての Non-BM STA の登録情報は削除できる。

11.3 同期

2つのタイプの同期機能がある。

- BSS 同期機能(BSS Synchronization Function : BSF)
- ネットワーク時間ベース同期機能(Network Time Base Synchronization Function : NTBSF)

BSS 同期機能(BSF)は、ビーコン期間を基に、1つの BSS の期間内ですべての STA の時間を同期させる。BSF は、アクセス手段や TDMA 時間配分などのタイミングを同期させるのに使用される。すべての STA は、ビーコンフレームのビーコンオフセットフィールドを使用することにより、ローカルの BSF タイマーを維持しなければならない。この機能の詳細は 11.1 で記述されている。

ネットワーク時間ベース同期機能(NTBSF)は、すべての STA のタイマーを同期させる。これはビーコン期間に関連せず、より長い間隔をカウントできるローカルなタイマーに関連する。NTBSF は、ジッタ制御機能を実行し、より上位のレイヤのタイミング同期の目的のために、タイマー情報を提供する。

両方の同期機能は、1 TU クロック(1.024 μsec)毎に測定されるタイマーを基にしている。それぞれ NTB は 32 ビットタイマーなければならない、BSF タイマーは 16 ビットタイマーでなければならない。

11.3.1 NTB 同期の維持

ネットワーク時間ベース同期機能(NTBSF)は、1つのBSS内ですべてのSTAの時間を同期させる。すべてのSTAは、ローカルなBSFタイマーを維持しなければならない。

BMは、NTBSFのタイミングマスターとならなければならない。BMは、BSS内のNon-BM STAのNTBを同期させるためのNTBタイマーのコピーを含む、ビーコンと呼ばれる特別なフレームを周期的に送信しなければならない。受信するNon-BM STAは、常にそのBSSをつかさどるBMから送られるビーコンのタイミング情報を受け付けなければならない。もしNon-BM STAのNTBが、受信したビーコンフレームのTime stampフィールドと違うなら、受信するSTAは、そのローカルのBSFタイマーを受信したTime stampに実際の遅延オフセットを加えた値に設定しなければならない。遅延オフセットは、以下に記載の正確性の範囲内で保持するように計算された値でなければならない。(実際の遅延オフセットの値は実装に依存する)

各々のSTAは、TU(1.024 μ sec)単位でNTBをインクリメントする。NTBは32ビットタイマーの最大値に達したときに0に反転する。BMは、ビーコン期間内にビーコンフレームを送る。そういうわけでNon-BM STAは、もしビーコンフレームを受信できれば、絶えずNTBタイマーをビーコン期間ごとに更新できる。

11.3.2 精度

有効なFCSとBSSID、またはSSIDとともにビーコンフレームを受信すれば、STAは続く正確性に従ってNTB_STAとBSFタイマーを更新しなければならない。

受信したタイムスタンプ値とビーコンオフセット値は、遅延オフセットを加えることにより調整される必要がある。遅延オフセット値は、タイムスタンプの最初のビットがMAC/PHYインタフェースで受信されてからの時間を加えた、ローカルPHY成分を通じた受信側STAの内部処理遅延に依存する。

NTB_STAタイマーはそのとき、タイムスタンプの調整された値に設定されなければならない、BSFタイマーはそのときビーコンオフセットの調整された値に設定されなければならない。NTB_STAとBSRタイマーの正確性は10 μ s以下であるべきであり、ジッタはまた10 μ s以下に補償されるべきである。そのときジッタ制御と上位レイヤタイミング制御は、10 μ s以下の正確さを補償されるべきではない。

11.4 パワーマネジメント

すべてのSTAは、2つの異なるパワーマネジメントモードの一つの状態にあることができる:

- アクティブモード (Active Mode, AM): STAはいつでもフレームを送受信できる。
- パワーセーブモード (Power Save Mode, PSM): STAは送受信できず、非常に小さい電力を消費する。

STAのパワーマネジメントモードは、MLME-POWERMGT要求のPowerManagementModeパラメータによって選択される。いったんSTAがパワーマネジメントモードを更新すれば、MLMEは動作の成功を示すMLME-POWERMGT確認を発行しなければならない。

「HD-PLC」システムにおいて、STAはEthernet Linkが検出されないとき、STAはPSMに入ることを決定することができる。もしEthernet LinkステータスがACTIVEになれば、STAはパワーマネジメントモードをAMに変更し、初めに動作を開始する。

12 PHY サービス仕様

12.1 スコープ

「HD-PLC」MACへ提供するPHYサービスは、この章で記述する。「HD-PLC」の将来バージョンの一部として、異なるPHYを定義することができる。各PHYは、以下の2つのプロトコル機能から成ることができる。:

- a) PHYコンバージェンス機能(その機能はPMDシステムの能力をPHYサービスに適合させる)

この機能はPLCPによってサポートされる。(PLCPは関連PMDシステムを使用することで、2個以上のSTAの間の送受信ユーザデータと管理情報に適したフレームフォーマットに「HD-PLC」MPDUをマッピングする方法を定義する)

- b) PMDシステム(その機能は、送受信データの方法、2個以上のSTAの間の電力線の特性を定義する)

各PMDサブレイヤーは、ユニークなPLCPの定義を必要としてもよい。もし、PMDサブレイヤーが既に定義されたPHYサービスを提供するなら、PHYコンバージェンス機能はなくてもよい。

12.2 PHY サービス

「HD-PLC」アーキテクチャのリファレンスモデルは図5.2に示されている。ほとんどのPHYサービスは、次の3つの機能エンティティを含んでいる。PMD機能、PHYコンバージェンス機能、レイヤー管理機能である。

図5.2に示されるように、PHY-SAPと呼ばれるSAPを通してSTAのMACエンティティにPHYサービスを提供する。PLCPサブレイヤーとPMDサブレイヤーの間のインタフェースを記述するプリミティブの集合については13.7で定義する。このプリミティブの集合をPMD_SAPと呼ぶ。

12.3 PHY プリミティブ

12.3.1 概要

表12.1にピアツーピアインタラクションのためのプリミティブを示す。

表12.2にサブレイヤー間インタラクションのためのプリミティブを示す。

表12.3に1つ以上のPHY-SAPサービスプリミティブで使用されるパラメータを示す。

表 12.1 PHY-SAP ピアツーピアサービスプリミティブ

Primitive	Request	Indicate	Confirm
PHY-DATA	X	X	X

表 12.2 PHY-SAP サブレイヤー間サービスプリミティブ

Primitive	Request	Indicate	Confirm
PHY-TXPRS	X		X
PHY-RXPRS	X		X
PHY-SEARCHPPDU	X		X
PHY-TXSTART	X		X
PHY-TXEND	X		X
PHY-CCARESET	X		X
PHY-CCA		X	
PHY-RXSTART		X	
PHY-RXEND		X	

表 12.3 PHY-SAP サービスプリミティブパラメータ

Parameter	Associated primitives	Value
DATA	PHY-DATA.request PHY-DATA.indication	Octet value X'00'-X'FF'
TXVECTOR	PHY-TXSTART.request	A set of parameters
STATUS	PHY-CCA.indication	BUSY, IDLE
RXVECTOR	PHY-RXSTART.indication	A set of parameters
RXERROR	PHY-RXEND.indication	NoError, FormatViolation, Carrier-Lost, UnsupportedRate
DATA_VALID_FLAG	PHY-DATA.indication	VALID/INVALID
CLK_CORRECTION	PHY-SEARCHPPDU.request	0 to 255
HYBRID_FLAG	PHY-SEARCHPPDU.request	0 or 1

12.3.2 Vector

いくつかのサービスプリミティブはパラメータ vector を含む。表 12.4 はパラメータ vector の各々において MAC または PHY によって要求されるパラメータ値である。

表 12.4 Vector

Parameter	Associate vector	Value
TMI	RXVECTOR	0-255
TMI_TX	TXVECTOR	0-255
TMI_RX	TXVECTOR	0-255
LENGTH	TXVECTOR, RXVECTOR	0 to 2 ³²
TXPWR_LEVEL	TXVECTOR	1-8
BIT_INT	TXVECTOR	0, 1
PILOT_SYM	TXVECTOR	0, 1
RSSI	RXVECTOR	0-RSSI maximum

12.3.2.1 TXVECTOR

12.3.2.1.1 TXVECTOR TMI_TX

TXVECTOR TMI_TX パラメータは送信トーンマップインデックスを含む。

12.3.2.1.2 TXVECTOR TMI_RX

TMI_RX パラメータは送信先 STA の受信トーンマップインデックスを含む。

12.3.2.1.3 TXVECTOR LENGTH

このパラメータは PHY が送信するように MAC が要求している MPDU のフレームボディのオクテット数を示すのに使用される。送信開始の要求を受け取った後に MAC と PHY の間に生じる転送のオクテット数を決定するために、この値は PHY によって使用される。

12.3.2.1.4 TXVECTOR TXPWR_LEVEL

TXPWR_LEVEL パラメータに許される値は 1-8 の範囲である。このパラメータは、MIB で定義された使用可能な TxPowerLevel 属性のうちのどれを送信に使用しなければならないかを示すのに使用される。

12.3.2.1.5 TXVECTOR PILOT_SYM

PILOT_SYM パラメータはフレームボディシンボルの間にパイロットシンボルを挿入するかしないかを示すのに使用される。値が 1 のときにパイロットシンボルを挿入する。

12.3.2.2 PHY RXVECTOR

12.3.2.2.1 RXVECTOR TMI

TMI パラメータは受信トーンマップインデックスを含む。

12.3.2.2.2 RXVECTOR RSSI

RSSI パラメータに許される値は 0 - RSSI maximum の範囲である。このパラメータは PHY によって測定される受信信号のエネルギーである。RSSI は PLCP プリアンブル受信時に測定しなければならない。RSSI は相対的に使用されることを意図して、受信パワーの単調増加関数でなければならない。

12.3.3 PHY-SAP 詳細機能仕様

以下のサブセクションでは各 PHY プリミティブによって提供されるサービスについて説明する。

12.3.3.1 PHY-DATA.request

12.3.3.1.1 機能

このプリミティブは MAC サブレイヤーからローカル PHY エンティティへの 1 オクテットのデータ転送を定義する。

12.3.3.1.2 サービスプリミティブのセマンティクス

このプリミティブは次のパラメータを提供する:

```
PHY-DATA.request(  
    DATA  
)
```

DATA パラメータは 0x00 から 0xFF の 1 オクテットである。

12.3.3.1.3 発生時期

1 オクテットのデータを PHY エンティティに転送するために MAC サブレイヤーがこのプリミティブを発生させる。このプリミティブは PHY からの送信初期化応答 (PHY-TXSTART.confirm) に続いて発行できる。

12.3.3.1.4 受信効果

PHY エンティティによるこのプリミティブの受信は PLCP 送信ステートマシンに 1 オクテットのデータを送信させる。PHY エンティティは 1 オクテットを受信したとき、MAC サブレイヤーに PHY-DATA.confirm を発行する。

12.3.3.2 PHY-DATA.indication

12.3.3.2.1 機能

このプリミティブは PHY からローカル MAC エンティティへのデータ転送を示す。

12.3.3.2.2 サービスプリミティブのセマンティクス

このプリミティブは次のパラメータを提供する:

```
PHY-DATA.indication (  
    DATA  
)
```

DATA パラメータは 0x00 から 0xFF の 1 オクテットである。

12.3.3.2.3 発生時期

ローカル MAC エンティティに受信データオクテットを転送するために、受信している PHY エンティティが PHY-DATA.indication を発生させる。

12.3.3.2.4 受信効果

MAC によるこのプリミティブの受信効果は明記しない。

12.3.3.3 PHY-DATA.confirm

12.3.3.3.1 機能

このプリミティブは、MAC エンティティから PHY へのデータ転送を確認するために PHY がローカル MAC エンティティに発行する。

12.3.3.3.2 サービスプリミティブのセマンティクス

プリミティブのセマンティクスは以下のとおりである：

PHY-DATA.confirm

このプリミティブにパラメータは無い。

12.3.3.3.3 発生時期

PLCP が MAC エンティティから PHY へのデータ転送を完了したとき、PHY はこのプリミティブを MAC エンティティに発行する。PHY は MAC サブレイヤーによって発行されたすべての PHY-DATA.request プリミティブに応じてこのプリミティブを発行する。

12.3.3.3.4 受信効果

MAC によるこのプリミティブの受信は、MAC に次の MAC エンティティ要求を開始させる。

12.3.3.4 PHY-TXSTART.request

12.3.3.4.1 機能

このプリミティブは MAC サブレイヤーによる PHY エンティティへの MPDU 送信開始の要求である。

12.3.3.4.2 サービスプリミティブのセマンティクス

このプリミティブは次のパラメータを提供する：

```
PHY-TXSTART.request(  
    TXVECTOR  
)
```

TXVECTOR は MPDU を送信するために MAC サブレイヤーがローカル PHY エンティティに提供するパラメータのリストを表す。この vector は PLCP と PHY 管理のパラメータの両方を含む。要求される PHY パラメータは 12.3.2.参照。

12.3.3.4.3 発生時期

MAC サブレイヤーは MPDU の送信を開始する必要があるとき、このプリミティブを PHY エンティティに発行する。

12.3.3.4.4 受信効果

PHY エンティティによるこのプリミティブの受信効果は、ローカル送信ステートマシンを開始させることである。

12.3.3.5 PHY-TXSTART.confirm

12.3.3.5.1 機能

このプリミティブは、送信開始を確認するために PHY がローカル MAC エンティティに発行する。PHY は MAC サブレイヤーによって発行されたすべての PHY-TXSTART.request プリミティブに応じてこのプリミティブを発行する。

12.3.3.5.2 サービスプリミティブのセマンティクス

プリミティブのセマンティクスは以下のとおりである:

PHY-TXSTART.confirm

このプリミティブにパラメータは無い。

12.3.3.5.3 発生時期

PHY は MAC エンティティから PHYTXSTART.request を受信し、MAC からの送信データオクテットの受入を開始する準備ができており、

このプリミティブを MAC エンティティに発行する。

12.3.3.5.4 受信効果

MAC エンティティによるこのプリミティブの受信は、MAC にデータ転送を開始させる。

12.3.3.6 PHY-TXEND.request

12.3.3.6.1 機能

このプリミティブは、MAC サブレイヤーによる PHY エンティティへの MPDU 送信完了の要求である。

12.3.3.6.2 サービスプリミティブのセマンティクス

プリミティブのセマンティクスは以下のとおりである:

PHY-TXEND.request

このプリミティブにパラメータは無い。

12.3.3.6.3 発生時期

MACサブレイヤーは転送されているMPDUの最後のPHY-DATA.confirmをローカルPHYから受信したとき、このプリミティブを発生させる。

12.3.3.6.4 受信効果

ローカルPHYエンティティによるこのプリミティブの受信効果は、送信ステートマシンを停止することである。

12.3.3.7 PHY-TXEND.confirm

12.3.3.7.1 機能

このプリミティブは送信完了を確認するためにPHYがローカルMACエンティティに発行する。PHYはMACサブレイヤーによって発行されたすべてのPHY-TXEND.requestプリミティブに応じてこのプリミティブを発行する。

12.3.3.7.2 サービスプリミティブのセマンティクス

リミティブのセマンティクスは以下のとおりである:

PHY-TXEND.confirm

このプリミティブにパラメータは無い。

12.3.3.7.3 発生時期

最終データオクテットを含んでいるシンボルが転送されたことを示す最終データオクテットの最終ビットの終了を送信した直後に、PHYがPHYTXEND.requestを受信したとき、このプリミティブはPHYによってMACエンティティに発行される。

12.3.3.7.4 受信効果

MACエンティティによるこのプリミティブの受信はコンテンションバックオフプロトコルの時間リファレンスを提供する。

12.3.3.8 PHY-CCARESET.request

12.3.3.8.1 機能

このプリミティブはMACサブレイヤーによるローカルPHYエンティティへのCCAステートマシンのリセットの要求である。

12.3.3.8.2 サービスプリミティブのセマンティクス

プリミティブのセマンティクスは以下のとおりである:

PHY-CCARESET.request

このプリミティブにパラメータは無い。

12.3.3.8.3 発生時期

このプリミティブはNAVタイマの終わりでローカルPHYエンティティのためにMACが発生させる。

12.3.3.8.4 受信効果

PHY エンティティによるこのプリミティブの受信効果は、受信フレームの終わりに PLCP CS/CCA タイマを適切な状態にリセットすることである。

12.3.3.9 PHY-CCARESET.confirm

12.3.3.9.1 機能

このプリミティブは、CCA ステートマシンのリセットを確認するために PHY がローカルの MAC エンティティに発行する。

12.3.3.9.2 サービスプリミティブのセマンティクス

プリミティブのセマンティクスは以下のとおりである：

PHY-CCARESET.confirm

このプリミティブにパラメータは無い。

12.3.3.9.3 発生時期

PHY は PHY-CCARESET.request を受信したとき、このプリミティブを MAC エンティティに発行する。

12.3.3.9.4 受信効果

MAC によるこのプリミティブの受信効果は明記しない。

12.3.3.10 PHY-CCA.indication

12.3.3.10.1 機能

このプリミティブは、PHY によるローカル MAC エンティティへのメディア状態の指示である。

12.3.3.10.2 サービスプリミティブのセマンティクス

このプリミティブは次のパラメータを提供する：

PHY-CCA.indication (
STATE
)

STATE パラメータは次の値の 1 つになりえる：

BUSY: チャネルは利用可能でない。

IDLE: チャネルは利用可能である。

12.3.3.10.3 発生時期

チャネル状態が変化したときに、PHY はこのプリミティブを発生させる。

12.3.3.10.4 受信効果

MACによるこのプリミティブの受信効果は明記しない。

12.3.3.11 PHY-RXSTART.indication

12.3.3.11.1 機能

このプリミティブは、PHYによるローカル MAC エンティティへの指示であり、PLCP が有効な PLCP ヘッダーを受けたという指示である。

12.3.3.11.2 サービスプリミティブのセマンティクス

プリミティブは次のパラメータを提供する:

```
PHY-RXSTART.indication (  
    RXVECTOR  
)
```

RXVECTOR は、有効な PLCP ヘッダーを受信して PHY がローカル MAC エンティティに提供するパラメータリストを表す。必要なパラメータは 12.3.2 に記載されている。

12.3.3.11.3 発生時期

PHY が新たな PPDU の開始において PLCP ヘッダーを有効にしたとき、ローカル PHY エンティティは MAC サブレイヤーに対してこのプリミティブを発生させる。

12.3.3.11.4 受信効果

MACによるこのプリミティブの受信効果は明記しない。

12.3.3.12 PHY-RXEND.indication

12.3.3.12.1 機能

このプリミティブは、PHYによるローカル MAC エンティティへの指示であり、MPDU の受信が完了したという指示である。

12.3.3.12.2 サービスプリミティブのセマンティクス

このプリミティブは次のパラメータを提供する:

```
PHY-RXEND.indication (  
    RXERROR  
)
```

RXERROR パラメータは以下の値の 1 つを伝える:

NO ERROR: MPDU を正しく受信した。

FORMAT VIOLATION: 受信した PPDU のフォーマットに誤りが有った。

CARRIER LOST: MPDU の受信中に PHY がキャリアをロスした。

UNSUPPORTED RATE: サポートしていないデータレートを検出した。

12.3.3.12.3 発生時期

受信ステートマシンが誤り無し、または、誤り有りを受信を終了したことを MAC に示すために PHY はこのプリミティブを発生させる。

12.3.3.12.4 受信効果

このプリミティブの受信効果は、MAC が IFS 処理を始めることである。

13 Wavelet OFDM PHY レイヤー

13.1 Wavelet OFDM システム

この章は Wavelet OFDM システムにおける PHY レイヤーについて定義する。周波数選択性および狭帯域ノイズに対する強耐性を持ち、またガードインターバル(GI)不要という特徴を活かすことにより周波数利用効率が向上可能な Wavelet OFDM を変調方式として選定した。従来の OFDM より遥かに低いサイドローブが、よいノイズ除去とスペクトラム漏洩制限によって、狭帯域ノイズに対して強い。

直接ベースバンド、またはバンドパスキャリアを変調することによって Wavelet-OFDM フレームを送信することができる。宅内用ではベースバンドは必須であり、バンドパスはオプションである。アクセスシステム用では、バンドパスはベースバンドと同様に推奨される。ベースバンドは、基本的に固定の広帯域周波数帯域幅であるが、固定の広帯域周波数幅での動作と互換性がある可変帯域幅で動作してもよい。バンドパスは周波数アジャイルで動作をし、広範囲な周波数レンジに渡って可変バンド幅で動作する。このアジリティは保証された QoS リンクのためにチャンネル配分を許可する。

Wavelet OFDM PHY は、以下の 2 つのプロトコル機能から成る:

- a) PHY コンバージェンス機能。この機能は PMD システムの能力を PHY 機能に適合させる。また、この機能は PHY レイヤーコンバージェンスプロトコル(PLCP)によってサポートされ、2 個以上の端末間で関連 PMD システムを使い、ユーザデータと管理情報を送受信するための適切なフレームフォーマットに PSDU をマッピングする方法を定義される。
- b) PAD システム。この機能は、Wavelet OFDM を使用する 2 個以上の端末の間の電力線を通じてデータを送受信する特性と方法を定義する。

13.1.1 特徴

In-home ベースバンド Wavelet OFDM PHY は、DC~31.25[MHz]の周波数帯にて均等間隔で 512 個のキャリアを配置し、1.8[MHz]~28[MHz]の周波数帯を使用する。アマチュア無線のためのノッチを使用するときは、2[MHz]~28[MHz]の 360 個のキャリアが情報伝達に使用される。ハイスピードモードでは、全てのキャリアについて一次変調として M-PAM (M: 2, 4, 8, 16, 32) を適用できる。ダイバーシティモードでは、一次変調として全てのキャリアについて 2PAM を適用でき、周波数ダイバーシティにより劣悪な環境下で動作させるための性能改善システムを提供することができる。また、FEC はリードソロモンエンコーダ/デコーダと畳込みエンコーダ/Viterbi デコーダまたは LDPC-CC エンコーダ/デコーダを含む。

13.1.2 PHY 機能

図 5.2 のリファレンスモデルに Wavelet OFDM PHY のアーキテクチャが描かれている。Wavelet OFDM PHY は PMD 機能、PHY コンバージェンス機能、レイヤー管理機能の 3 つの機能を含んでいる。13.1.2.1 から 13.1.2.4 でこれらの機能を説明する。12 章の PHY サービスプリミティブを通して Wavelet OFDM PHY サービスを MAC に提供する。

13.1.2.1 PLCP サブレイヤー

Wavelet PHY レイヤーコンバージェンスプロトコル(PLCP) PMD サブレイヤーへの最小の依存で MAC が動作すること可能にする。この機能はチャンネルエスティメーション機能と MPDU 連結を含む追加機能を提供すると同様に MAC サービスへの PHY サービスインタフェースを簡単にする。

13.1.2.2 PMD サブレイヤー

PMD サブレイヤーは 2 個以上の端末間でデータの送受信を行う手段を提供する。この章はベースバンド Wavelet OFDM 変調を使用する電力線通信に関係している。

13.1.2.3 PLME

PLME は MLME とともにローカル PHY 機能の管理を行う。

13.1.2.4 サービス仕様方法

図とステートダイアグラムで表現するモデルは、提供される機能のイラストであることを意図する。

モデルと実装とを区別するのは重要である。モデルは表示の簡単と明快のために最適化されている。実装方法は Wavelet OFDM PHY の開発者に任されている。

レイヤーまたはサブレイヤーのサービスは次の上位レイヤー(または、サブレイヤー)のユーザに提供する能力の集合である。抽象的なサービスは、各サービスを特徴づけるサービスプリミティブとパラメータを説明することによって明確にされる。この定義はどんな特定の実装からも独立している。

13.2 特定の機能パラメータリスト

このサブセクションでは Wavelet OFDM システムによって「HD-PLC」MAC に提供される PHY サービスについて説明する。

13.2.1 イントロダクション

「HD-PLC」MAC のアーキテクチャは PHY とは独立であるように意図する。いくつかの PHY 実装は PMD 要求を満たすために MAC サブレイヤーで動作するメディア管理ステートマシンを要求する。これらの PHY 依存の MAC ステートマシンは MLME として定義されるサブレイヤーに属する。実装では、ノーマル PHY-SAP プリミティブの一部として、MLME が PLME と互いに作用する必要があっても良い。これらのインタラクションは TXVECTOR と RXVECTOR として PHY サービスプリミティブに定義されている PLME パラメータリストによって定義される。これらのパラメータリストと値は各 PMD のための PHY 仕様で定義される。このサブセクションでは Wavelet OFDM PHY の TXVECTOR と RXVECTOR について記述する。

13.2.1.1 TMI

トーンマップインデックス (TMI) フィールドには、伝送のためにフレームボディを変調するのに使用するトーンマップ ID がある。“0” TMI はフレームボディがダイバーシティモードで変調されているか、または、MPDU にフレームボディが無いことを意味する。TMI は 1 シンボルの長さである。

13.2.1.2 フレーム長

フレーム長 (FL) は現在のフレームボディの長さをシンボル数で示す。このフィールドはフレームコントロールの後に 1 シンボルの長さで送信される。送信機では、TXVECTOR の LEGNTH と TXVECTOR の TMI_TX が示す送信トーンマップを用いて FL を計算する。受信機では、FL と RXVECTOR の TMI が示す受信トーンマップ用いて RXVECTOR の LENGTH を計算する。フレーム長は、13.3.2.2 の式で計算する。

13.2.2 TXVECTOR パラメータ

PHY-TXSTART.request サービスプリミティブにおける TXVECTOR パラメータリストの一部として表 13.1 のパラメータを定義する。

表 13.1 TXVECTOR パラメータ

Parameter	Associate primitive	Value
LENGTH	PHY-TXSTART.request (TXVECTOR)	1 - 65535
TMI_TX	PHY-TXSTART.request (TXVECTOR)	0-255
TMI_RX	PHY-TXSTART.request (TXVECTOR)	0-255
PILOT_SYM	PHY-TXSTART.request (TXVECTOR)	0, 1

13.2.2.1 TXVECTOR LENGTH

LENGTH パラメータに許される値は 1 - 65535 の範囲である。このパラメータは PHY が送信するように MAC が要求している MPDU のフレームボディのオクテット数を示すのに使用される。送信開始の要求を受け取った後に MAC と PHY の間に生じる転送のオクテット数を決定するために、この値は PHY によって使用される。

13.2.2.2 TXVECTOR TMI_TX

TXVECTOR TMI_TX パラメータは送信トーンマップインデックスを含む。

13.2.2.3 TXVECTOR TMI_RX

TXVECTOR TMI_RX パラメータは送信先 STA の受信トーンマップインデックスを含む。

13.2.2.4 TXVECTOR PILOT_SYM

TXVECTOR PILOT_SYM パラメータはフレームボディのシンボルの間にパイロットシンボルを挿入するかしないかを示すのに使用される。値が 1 のときにパイロットシンボルを挿入する。

13.2.3 RXVECTOR パラメータ

PHY-RXSTART.indicate サービスプリミティブにおける RXVECTOR パラメータリストの一部として表 13.2 のパラメータを定義する。

表 13.2 RXVECTOR パラメータ

Parameter	Associate primitive	Value
LENGTH	PHY-RXSTART.indicate (RXVECTOR)	1-65535
RSSI	PHY-RXSTART.indicate (RXVECTOR)	0-RSSI maximum
TMI	PHY-RXSTART.indicate (RXVECTOR)	0-255

13.2.3.1 RXVECTOR LENGTH

LENGTH パラメータに許される値は 1-65535 の範囲である。このパラメータは PPDU 中の PLCP が受信した PSDU の F-pad 付きフレームボディのオクテット数を示すのに使用される。MAC と PLCP は受信 PSDU の転送中に 2 つのサブレイヤー間に生じる転送のオクテット数を決定するためにこの値を使用する。

13.2.3.2 RXVECTOR RSSI

RSSI パラメータに許される値は 0 - RSSI maximum の範囲である。このパラメータは PHY によって測定される受信信号のエネルギーである。RSSI は PLCP プリアンブル受信中に測定しなければならない。RSSI は相対的に使用されることを意図して、受信パワーの単調増加関数でなければならない。

13.2.3.3 RXVECTOR TMI

RXVECTOR TMI パラメータは受信トーンマップインデックスを含む。TMI はフレームボディの伝送速度を決定する。

13.3 PLCP サブレイヤー

13.3.1 イントロダクション

このサブセクションでは PSDU から PPDU へと PPDU から PSDU へ変換するコンバージェンス手順を提供する。送信中、PPDU を作成するために PLCP プリアンブルとヘッダーと PSDU が提供されなければならない。受信機では、PLCP プリアンブルとヘッダーは、PSDU の復調ために処理される。

13.3.2 PLCP フレームフォーマット

図 13.1 は Wavelet OFDM PLCP プリアンブル、TMI、フレームコントロール、フレーム長、フレームボディ、およびパッドビットを含む PPDU のフレームフォーマットを示す。

プリアンブルは 11~17 OFDM シンボルから成る。TMI と FL はそれぞれ 1 OFDM シンボルである。そして、フレームコントロールは 8 OFDM シンボルである。TMI シンボルは 1 ビットの No-payload フラグ、8 ビットの TMI (または 5 ビットの TMI)、および 6 ビットのテイルから成る。No-payload フラグはプリアンブル、TMI、および FC だけが送信されることを意味する。DOF モードの TMI 値は常に 0 である。フレームコントロールは 34 バイトのフレーム制御情報とテイルである。FL シンボルは 16 ビットの FL、8 ビットの CRC および 6 ビットのテイルから成る。フレームボディは可変データと 6 ビットのテイルから成る。すべてのテイルビットを 0 とする。

FL はフレームボディと F-pad のシンボル数を示す。そして、FL はフレームコントロールと共に共通情報として BSS のすべての STA で参照される。FL は LENGTH_FB と送信トーンマップを用いて計算されるので、計算のために遅延を必要とする。

LENGTH_FB は情報バイト数を示している。したがって、実装を簡単にするようにフレームコントロールとフレームボディの間に FL を割り当てる。受信時に PHY レイヤーで FL 誤りが検出されたら、FL 値は “0xFFFF” に設定される。

変調に関して、TMI と FL はダイバーシティモードと符号化率 $R = 1/2$ の畳み込み符号で送信される。フレームコントロールはダイバーシティモードと接続符号($R = 1/2, RS(50, 34)$)で送信される。また、フレームボディの FEC はリードソロモン符号($RS(255,239)$)、または接続符号(R は可変, $RS(255,239)$)、または LDPC 符号(R は可変)である。フレームボディのダイバーシティモードの場合、接続符号($R = 1/2, RS(56, 40)$)、または LDPC 符号($R = 1/2$)が使用される。フレームボディとパッドビットは TMI フィールドで決定されるデータレートで送信され、複数 PAM の Wavelet OFDM シンボルまたはフレームボディのダイバーシティモードを構成してもよい。ダイバーシティモードでは 2PAM だけが使用される。PPDU フレームのフレームボディを復号するために TMI、フレームコントロール、FL が要求される。TMI、フレームコントロール、FL、フレームボディの各フィールドの終わりには 6 ビットのテイルがある。しかしながら、RCE フレームの PPDU フレームフォーマットにはフレームボディと F-pad のテイルが無い。13.4 に各フィールドの詳細を記述する。

フレームボディでは接続符号の代わりに LDPC-CC を使用することができる。使用時はフレームボディのテイルを LDPC-CC のテイルに置き換える。LDPC-CC の場合、テイルと F-pad はすべて 0 のビットから成る。表 13.5 参照。

Preamble	TMI (No-payload flag : 1 bit TMI : 8 bits Tail : 6 bits)	Frame Control (Info. : 34 bytes Tail : 6 bits)	FL (FL : 16 bits CRC : 8 bits Tail : 6 bits)	Frame Body (Data : Variable Tail : 6 bits)	F-pad
----------	--	--	---	--	-------

図 13.1 PPDU フレームフォーマット

13.3.2.1 PPDU エンコード・デコード処理の概要

エンコード処理は多くの詳細なステップで構成され、後のサブセクションで完全に説明される。次の概要は物理層コンバージェンス手順詳細の理解を容易にすること意図する。

- a) PPDU プリアンブルフィールドを生成する。ショートプリアンブルを含むプリアンブルはトレーニングに使用される(2.5+11) Wavelet OFDM シンボルで構成される。詳細は 13.4.5.2.3 参照。
- b) 適切なビットフィールドを埋めることで TMI フィールド、フレームコントロールフィールド、フレーム長フィールドから PPDU ヘッダーフィールドを生成する。PPDU ヘッダーの TMI フィールドとフレーム長フィールドは符号化率 $R = 1/2$ の畳み込み符号によって符号化され、2PAM で変調される。フレームコントロールは接続符号(符号化率 $R = 1/2$ 、 $RS(50,34)$)で符号化され、2PAM で変調される。
- c) トーンマップ情報からフレーム長を計算する。詳細は 13.3.2.2 参照。

- d) スクランブル系列を生成し、データビットとの XOR 演算を行う。詳細は 13.4.2 参照。
- e) スクランブルされたデータを接続エンコーダ(R, RS(56,40) or RS(255,239))または LDPC エンコーダで符号化する。所望の符号化率するために(パンクチャパターンにより選択された)エンコーダ出力を省く(パンクチャ)。あるいはスクランブルされたデータをリードソロモンエンコーダ(RS(255,239))のみで符号化する。詳細は 13.4.3 参照。
- f) 各シンボルの符号化されたデータのインターリーブ(並べ替え)を行う。詳細は 13.4.3.3 参照。
- g) トーンマップ情報と変調方式に従い符号化され、インターリーブされたデータを各キャリアに割り当てる。詳細は 13.4.5 参照。
- h) IDWT(inverse discrete wavelet transform)を使用して、指定された帯域幅の適切なクロックレートでキャリアを時間領域に変換する。詳細は 13.4.5.3 参照。

送信されるフレームの例が図 13.1.である。

13.3.2.2 変調依存パラメータ

チャンネルエスティメーション要求フレーム(RCE フレーム)は推定系列のための Wavelet OFDM シンボルを含む、または言い換えれば、CINR 特性が得られ、トーンマップ情報などのパラメータを決定できるように STA は CE 要求を送る。9.10 チャンネルエスティメーション (CE) 機能参照。

フレームコントロールに書かれた送信先アドレスが受信 STA のアドレスに合っているなら、フレームボディに格納された推定系列を使用するチャンネルエスティメーション実行とトーンマップや FEC などのパラメータ決定後、トーンマップパラメータを格納する CER フレームを返さなければならない。この操作で送信元 STA と送信先 STA のトーンマップは共有される。

トーンマップは各キャリアで作成され、変調タイプ、FEC タイプ、ダイバーシティモードフラグを含む。7.2.5.3 参照。

どのように DATARATE とフレーム長を計算するか例を示す。

畳み込み符号の可能な符号化率(conv_rate): 1/2, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 6/7, 7/8.

RS 符号の可能な符号化率(rs_rate): 40/56, 239/255.

LDPC-CC 符号の可能な符号化率(ldpc-cc_rate): 1/2, 2/3, 3/4, 4/5.

DATARATE は以下の通り計算される。

1 番目として、リードソロモン符号と接続符号の DATARATE の計算を示す。

$DATARATE \text{ (Mbps)} = \text{symbols} \times \text{conv_rate} \times \text{rs_rate} / \text{symbol_duration}$

$\text{symbol_duration} = \text{number_subcarriers} / \text{sample_rate}$

symbits = シンボルあたりのビット数

特に、DOF モードの場合では、symbits = 84 を設定する。

すべて 8PAM (360 キャリア)、rs_rate (239/255) の例

$$\text{symbits} = 360 \times 3 = 1080$$

$$\text{DATARATE} = 1080 \times 3/4 \times 239/255 / 8.192 = 92.67 \text{ [Mbps]}$$

すべて 8PAM (360 キャリア)、rs_rate(239/255)、conv_rate(3/4) の例

$$\text{symbits} = 360 \times 3 = 1080$$

$$\text{DATARATE} = 1080 \times 3/4 \times 239/255 / 8.192 = 92.67 \text{ [Mbps]}$$

DOF (360 キャリア、ダイバーシティ 2PAM、conv_rate=1/2、rs_rate=40/56)

$$\text{symbits} = 84$$

$$\text{DATARATE} = 84 \times 1/2 \times 40/56 / 8.192 = 3.66 \text{ [Mbps]}$$

2 番目の例として、LDPC-CC 符号化率 3/4 と前の例の同じシナリオを使用する DATARATE の計算を示す。

すべて 8PAM (360 キャリア)、ldpc-cc_rate = 3/4、

$$\text{symbits} = 360 \times 3 = 1080$$

$$\text{DATARATE} = 1080 \times 3/4 / 8.192 = 98.88 \text{ [Mbps]}$$

DOF (360 キャリア、ダイバーシティ 2PAM, ldpc-cc_rate=1/2)

$$\text{symbits} = 84$$

$$\text{DATARATE} = 84 \times 1/2 / 8.192 = 5.13 \text{ [Mbps]}$$

それぞれのフレーム長は以下の通り計算される。

RS 符号のブロック数は次式で定義される。

$$\text{RS_NUM} = \text{roundup}(\text{LENGTH} / (\text{RS_LEN} - 16))$$

高速変調モードでは RS_LEN は 255 である。

$$\text{RS_LEN} = 255$$

FEC が RS だけであれば、

$$\text{フレーム長 (symbols)} = \text{roundup} (255 \times \text{RS_NUM} \times 8 / \text{symbits})$$

FEC 接続符号であれば、

$$\text{フレーム長 (symbols)} = \text{roundup} (((255 \times \text{RS_NUM} \times 8 + 6) / \text{conv_rate}) / \text{symbits})$$

変調が DOF のとき、RS_LEN=56。

この場合、

$$\text{フレーム長(symbols)} = \text{roundup}(((56 \times \text{RS_NUM} \times 8 + 6) / (1/2)) / \text{floor}(\text{symbits} / 4))$$

FEC が LDPC-CC の場合:

LDPC-CC のテイルビット LDPC-CC_TB については表 13.5 参照。

$$\text{フレーム長(symbols)} = \text{roundup}(((\text{LB_NUM} \times 255 \times 8 / \text{ldpc-cc_rate} + \text{LDPC-CC_TB}) / \text{symbits}))$$

パイロットシンボルが挿入される場合にはフレームボディのフレーム長に Pilot_LEN_total を加える必要がある。

Pilot_LEN_total はパイロットシンボルの合計で、以下の通り計算する。

$$\text{Pilot_LEN_total} = \text{Pilot_LEN} \times \text{floor}((\text{フレームボディのフレーム長} - 1) / \text{pilot_interval})$$

13.4.5.2.8 の場合は、

$$\text{Pilot_LEN} = 9$$

$$\text{pilot_interval} = 128$$

13.4 PHY エンコーダ

13.4.1 RCE フレームのジェネレータ

RCE フレームの評価データのジェネレータを図 13.2 に示す。評価データは次の生成多項式で生成されなければならない(PN15 コード)。各 RCE フレームでジェネレータはすべて「1」に初期化される。評価データはスクランブラ、FEC エンコーダ、パンクチャ、インターリーブを通過せずに、マッピングブロックに直接入力される。

$$S(x) = x^{15} + x^{14} + 1$$

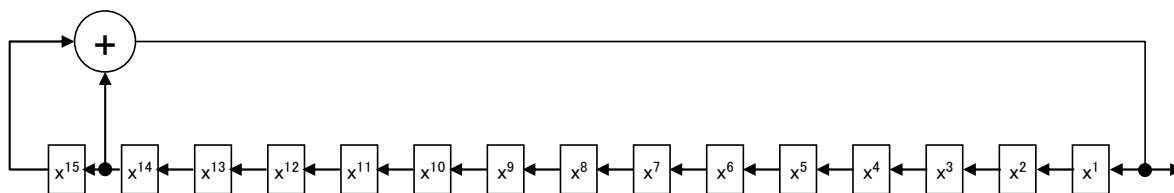


図 13.2 ジェネレータ

13.4.2 スクランブラ (Scrambler)

スクランブラの構成図を図 13.3 に示す。フレームボディのデータは、次の生成多項式を利用し、スクランブルされなければならない。(PN7 コード):

$$S(x) = x^7 + x^4 + 1$$

スクランブラの中のビットは、各フレームの処理開始時にすべて初期化されなければならない。各シンボルについて、データスクランブラに入力される最初のビットは、シンボルの MSB となる。

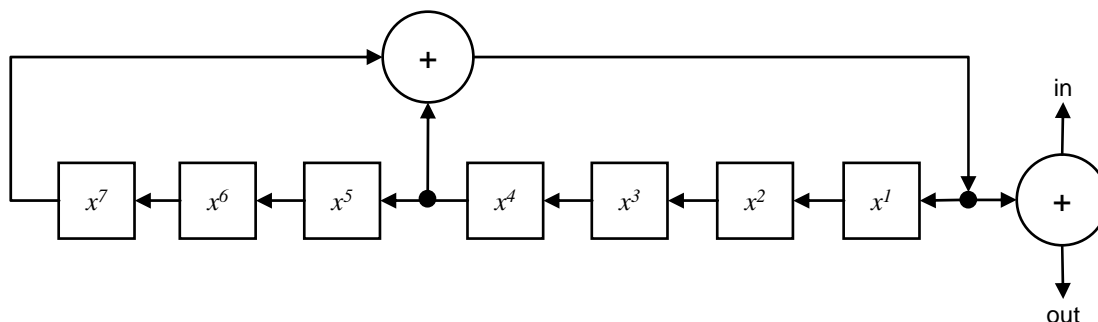


図 13.3 スクランブラ

13.4.3 接続エンコーダ

13.4.3.1 リードソロモンエンコーダ

以下のリードソロモン (n, k) エンコーダは、フレームコントロールブロックとフレームボディブロックとに対して適用される。

フィールド生成多項式

$$P(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1 \quad \text{Field} = \text{GF}(2^m), m = 8$$

コード生成多項式

$$G(x) = \{x - \alpha^r\} \{x - \alpha^{(r+1)}\} \{x - \alpha^{(r+2)}\} \dots \{x - \alpha^{(2t+r-1)}\}$$

$$\text{where } t = 8, r = 0$$

コード長 (max.)

$$n = 2^m - 1 = 255$$

ビット数 (max.)

$$k = n - 2t = 239$$

符号化率

$$(n, k) = (255, 239) \quad \text{for Frame body (non-DOF)}$$

$$(56, 40) \quad \text{for Frame body (DOF)}$$

$$(52, 36) \quad \text{for Frame Control}$$

13.4.3.2 畳込みエンコーダ / パンクチャド

PPDU の、TMI (Tone Map Index)、フレーム長、フレームコントロールブロック、及びフレームボディブロックでは、畳込み符号化が行われる。

エンコーダの符号化率は 1/2、拘束長は 7、また生成多項式は図 13.4 に示すように、171 と 133 (8 進) である。畳込みエンコーダは、各データフィールドの始まりで 0 ステートにリセットされるまた、各データフィールドの最後で 0 ステートに収束させるための 6 ビットのテイルビットを挿入する。

エンコーダの出力は表 13.3. に示すパンクチャパターンに従い、パンクチャド符号化することも可能である。

パンクチャド符号化はパンクチャドパターン「0」に従い、畳込みエンコーダの出力ビットを間引く。

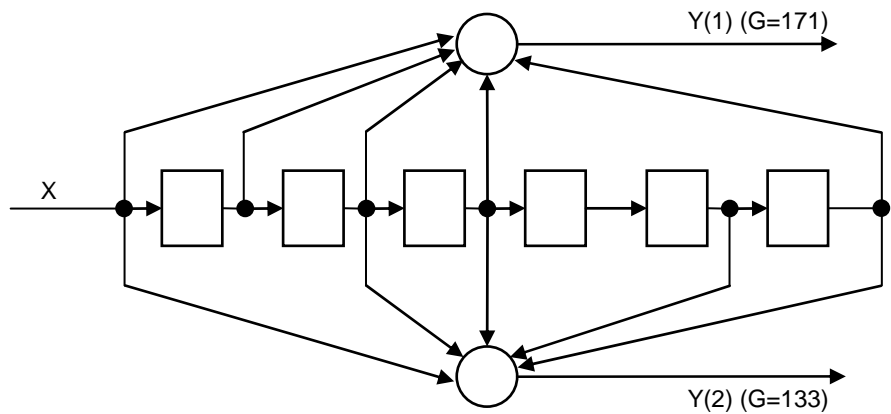


図 13.4 畳込みエンコーダ

表 13.3 パンクチャドパターン

Coding Rate	Puncture Pattern (Y(1))	Puncture Pattern (Y(2))
2/3	10	11
3/4	101	110
4/5	1000	1111
5/6	10101	11010
6/7	100101	111010
7/8	1000101	1111010

畳込み符号の符号化率はチャネルエスティメーションに基づいて選択されるが、符号化率 1/2 は他の全ての場合で使用される。特にフレームコントロールとフレームボディに対して、リードソロモン符号との接続で使用される。

符号化率 1/2 to 7/8 for Frame body (not DOF)
 1/2 for TMI, Frame Control, FL and DOF

13.4.3.3 インターリーブ

パンクチャドブロックまたは LDPC エンコーダブロックの出力は、インターリーブブロックによってインターリーブされる。しかし、リードソロモン符号化データはリードソロモンモードのみの場合でインターリーブされるべきではない。

13.4.3.3.1 ビットインターリーブ

畳込み(パンクチャド)または LDPC 符号化されたデータは、シンボルのビット番号に対するブロックサイズに応じて、ブロックインターリーブによってインターリーブされるべきである。

図 13.5 は、ビットインターリーブメモリを示しており、1 シンボル当たりのビット数 $N=100$ 、インターリーブデプス $D=8$ とする。メモリの縦方向のサイズは D 、横方向のサイズは $S = \text{round}(N/D)$ である。ビットインターリーブ入力データは、入力された順番にメモリの横方向に書き込まれる。M 行目までは、各行に書き込まれるビット数は S であるが、(M+1) 行目以降は、 $S-1$ ビットのデータを書き込む。ここで、 $M = \text{mod}(N, D)$ とする。N ビットのデータを全て書き込んだ後、メモリの 1 行目から縦方向にデータを順次読み込むことにより、ビットインターリーブデータとして、図 13.6 のようなデータを得ることができる。ビットインターリーブすることで、狭帯域干渉やバーストノイズなどにより発生するバースト誤りをランダム化することで、Viterbi デコーダの訂正能力を有効的に引き出すことができる。インターリーブデプス D は、変調モードおよびシンボル種によって変化する。フレームコントロール部および DOF のフレームボディに対して、 $D=8$ 、DOF 以外のフレームボディに対して $D=16$ となる。

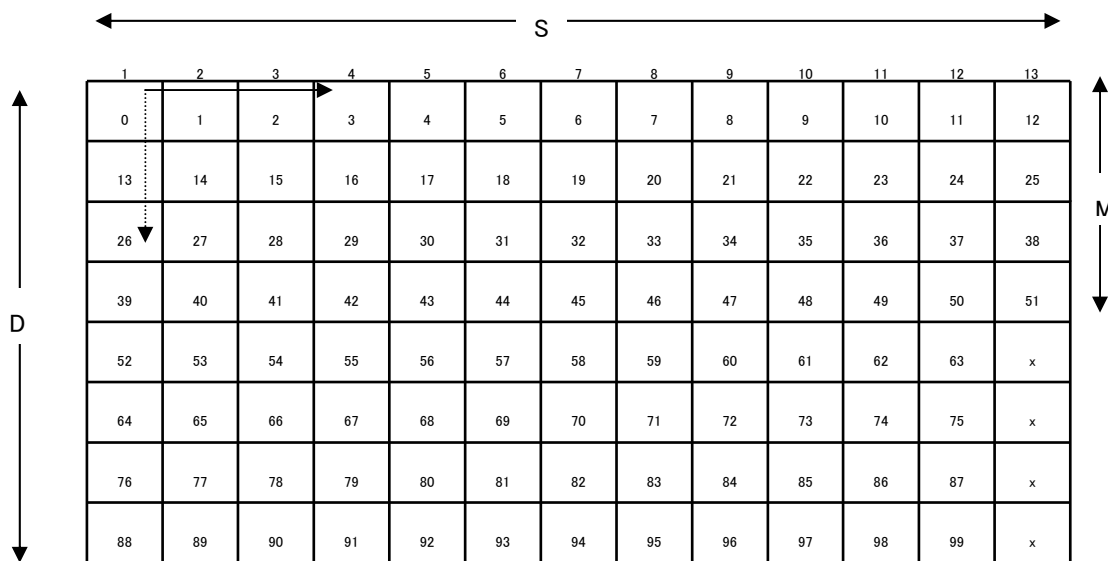


図 13.5 ビットインターリーブメモリ

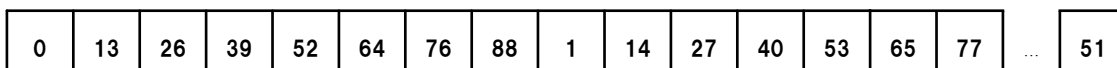


図 13.6 ビットインターリーブ出力データ

13.4.4 低密度パリティ検査多項式によって定義された畳み込み符号

LDPC-CC (low-density parity-check convolutional codes) は低密度パリティ検査多項式によって定義された畳み込み符号である。このサブセクションは、高性能 ECC(Error Correction Code)として BPL システムで任意に使用される LDPC-CC について説明する。LDPC-CC は接続符号(RS 符号+畳み込み符号)の代わりに使用される。

FEC ブロック図を図 13.7 に示す。FEC ブロックは LDPC-CC エンコーダで構成されて、ペイロードデータ長は M ビット、符号ビット長は z ビットである。

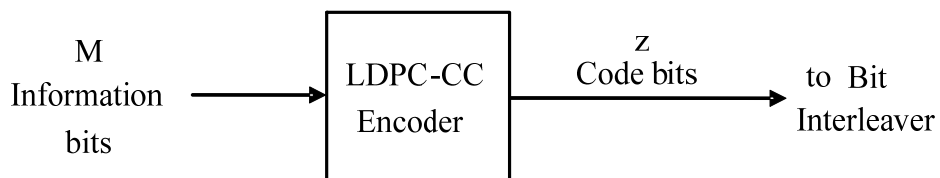


図 13.7 FEC エンコーダ

13.4.4.1 LDPC-CC エンコーディング

ペイロードデータは LDPC-CC エンコーダによって符号化される。LDPC-CC エンコーダを図 13.8 に示す。

LDPC-CC エンコーダ: - ペイロード入力 M ビットで出力は“システムティックビット (M ビット)”と“パリティビット ($z-M$ ビット)”である。LDPC-CC エンコーダの符号化率は $(N-1)/N$ である。

LDPC 畳み込み符号化は以下のとおりである。

1. 情報ビット (M ビット) はシステムティックビット (M ビット) と、要素エンコーダの入力となる。
2. 要素エンコーダは“情報ビット (M ビット)”に符号化の処理を実行して、“パリティビット ($z-M$ ビット)”を出力する。

LDPC-CC エンコーダはシステムティックビットとパリティビットで構成される“符号ビット”を出力する。

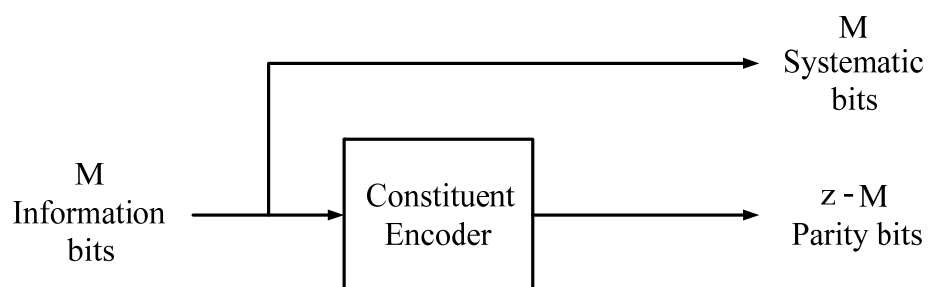


図 13.8 LDPC 畳み込みエンコーダの構成

LDPC-CCはパリティ検査行列 \mathbf{H} によって定義される。符号化率 $R = b/c$ ($b < c$)の LDPC-CC の検査行列の転置 \mathbf{H}^T の概説を以下に示す。

$$\mathbf{H}^T = \begin{bmatrix} \cdots & & & & & & & & \\ & \mathbf{H}_0^T(t-m_s) & \cdots & \mathbf{H}_{m_s}^T(t) & & & & & \\ & & \ddots & & \ddots & & & & \\ & & & \mathbf{H}_0^T(t) & \cdots & \mathbf{H}_{m_s}^T(t+m_s) & & & \\ & & & & & \ddots & & & \\ & & & & & & \ddots & & \\ & & & & & & & & \ddots \end{bmatrix}$$

$\mathbf{H}_i^T(t)$ ($i = 0, 1, \dots, m_s$)は $c \times (c - b)$ の周期的時変行列であり、 m_s は LDPC-CC メモリ長である。周期が T_s のときすべての i と t に対して $\mathbf{H}_i^T(t) = \mathbf{H}_i^T(t+T_s)$ を満足する。

検査多項式に基づく符号化率 $R = (N - 1) / N$ の LDPC-CC が使用される。時刻 j における情報ビット X_1, X_2, \dots, X_{N-1} とパリティビット P をそれぞれ $X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{N-1,j}, P_j$ と表し、ベクトル $u_j = (X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{N-1,j}, P_j)$ とする。情報ビット X_1, X_2, \dots, X_{N-1} の多項式をそれぞれ $X_1(D), X_2(D), \dots, X_{N-1}(D)$ とする。 D は遅延演算子である。次のパリティ検査多項式を考える。

$$\begin{aligned} & (D^{a_{1,1}} + D^{a_{1,2}} + \cdots + D^{a_{1,r_1}} + 1)X_1(D) + (D^{a_{2,1}} + D^{a_{2,2}} + \cdots + D^{a_{2,r_2}} + 1)X_2(D) \\ & + \cdots + (D^{a_{N-1,1}} + D^{a_{N-1,2}} + \cdots + D^{a_{N-1,r_{N-1}}} + 1)X_{N-1}(D) \\ & + (D^{b_1} + D^{b_2} + \cdots + D^{b_s} + 1)P(D) = 0 \end{aligned}$$

ここで $a_{p,q}$ ($p = 1, 2, \dots, N-1; q = 1, 2, \dots, r_p$) と b_p ($p = 1, 2, \dots, s$) は自然数である。 $y \neq z$ ($y, z = 1, 2, \dots, s$)である (y, z) に対して $a_{p,y} \neq a_{p,z}$ を満足する。 $y \neq z$ ($y, z = 1, 2, \dots, s$)である (y, z) に対して $b_y \neq b_z$ を満足する。符号化率 $R = (N - 1) / N$ の LDPC-CC のための方程式に基づく 3 つの異なるパリティ検査多項式を次のように表す。

$$\begin{aligned} & A_{X_{1,i}}(D)X_1(D) + A_{X_{2,i}}(D)X_2(D) + \cdots \\ & + A_{X_{N-1,i}}(D)X_{N-1}(D) + B_i(D)P(D) = 0 \end{aligned}$$

ここで $i = 0, 1, 2$ である。時刻 j における $X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{N-1,j}, P_j$ に対して、次のパリティ検査多項式を満足する。

$$\begin{aligned} & A_{X_{1,k}}(D)X_1(D) + A_{X_{2,k}}(D)X_2(D) + \cdots \\ & + A_{X_{N-1,k}}(D)X_{N-1}(D) + B_k(D)P(D) = 0 \quad (k = j \bmod 3) \end{aligned}$$

サポートしなければならない LDPC-CC の符号化率を表 13.4 に示す。

表 13.4 符号化率

Coding rates	1/2, 2/3, 3/4, 4/5
--------------	--------------------

以下に符号化率 $R = 1/2, 2/3, 3/4, 4/5$ のパリティ検査多項式を示す。

符号化率 $R = 1/2$:

パリティ検査多項式は次のとおりである:

$k = 0$

$$A_{X_{1,0}}(D)X_1(D) + B_0(D)P(D) = (D^{214} + D^{185} + 1)X_1(D) + (D^{215} + D^{145} + 1)P(D) = 0$$

$k = 1$

$$A_{X_{1,1}}(D)X_1(D) + B_1(D)P(D) = (D^{160} + D^{62} + 1)X_1(D) + (D^{206} + D^{127} + 1)P(D) = 0$$

$k = 2$

$$A_{X_{1,2}}(D)X_1(D) + B_2(D)P(D) = (D^{196} + D^{143} + 1)X_1(D) + (D^{211} + D^{119} + 1)P(D) = 0$$

符号化率 $R = 2/3$:

パリティ検査多項式は次のとおりである:

$k = 0$

$$A_{X_{1,0}}(D)X_1(D) + A_{X_{2,0}}(D)X_2(D) + B_0(D)P(D) = \\ (D^{214} + D^{185} + 1)X_1(D) + (D^{194} + D^{67} + 1)X_2(D) + (D^{215} + D^{145} + 1)P(D) = 0$$

$k = 1$

$$A_{X_{1,1}}(D)X_1(D) + A_{X_{2,1}}(D)X_2(D) + B_1(D)P(D) = \\ (D^{160} + D^{62} + 1)X_1(D) + (D^{226} + D^{209} + 1)X_2(D) + (D^{206} + D^{127} + 1)P(D) = 0$$

$k = 2$

$$A_{X_{1,2}}(D)X_1(D) + A_{X_{2,2}}(D)X_2(D) + B_2(D)P(D) = \\ (D^{196} + D^{143} + 1)X_1(D) + (D^{115} + D^{104} + 1)X_2(D) + (D^{211} + D^{119} + 1)P(D) = 0$$

符号化率 $R = 3/4$:

パリティ検査多項式は次のとおりである:

$k = 0$

$$A_{X_{1,0}}(D)X_1(D) + A_{X_{2,0}}(D)X_2(D) + A_{X_{3,0}}(D)X_3(D) + B_0(D)P(D) = \\ (D^{214} + D^{185} + 1)X_1(D) + (D^{194} + D^{67} + 1)X_2(D) \\ + (D^{196} + D^{68} + 1)X_3(D) + (D^{215} + D^{145} + 1)P(D) = 0$$

$k = 1$

$$\begin{aligned}
& A_{X_{1,1}}(D)X_1(D) + A_{X_{2,1}}(D)X_2(D) + A_{X_{3,1}}(D)X_3(D) + B_1(D)P(D) = \\
& (D^{160} + D^{62} + 1)X_1(D) + (D^{226} + D^{209} + 1)X_2(D) \\
& + (D^{98} + D^{37} + 1)X_3(D) + (D^{206} + D^{127} + 1)P(D) = 0
\end{aligned}$$

$k=2$

$$\begin{aligned}
& A_{X_{1,2}}(D)X_1(D) + A_{X_{2,2}}(D)X_2(D) + A_{X_{3,2}}(D)X_3(D) + B_2(D)P(D) = \\
& (D^{196} + D^{143} + 1)X_1(D) + (D^{115} + D^{104} + 1)X_2(D) \\
& + (D^{176} + D^{136} + 1)X_3(D) + (D^{211} + D^{119} + 1)P(D) = 0
\end{aligned}$$

符号化率 $R=4/5$:

パリティ検査多項式は次のとおりである:

$k=0$

$$\begin{aligned}
& A_{X_{1,0}}(D)X_1(D) + A_{X_{2,0}}(D)X_2(D) + A_{X_{3,0}}(D)X_3(D) \\
& + A_{X_{4,0}}(D)X_4(D) + B_0(D)P(D) = \\
& (D^{214} + D^{185} + 1)X_1(D) + (D^{194} + D^{67} + 1)X_2(D) + (D^{196} + D^{68} + 1)X_3(D) \\
& + (D^{217} + D^{122} + 1)X_4(D) + (D^{215} + D^{145} + 1)P(D) = 0
\end{aligned}$$

$k=1$

$$\begin{aligned}
& A_{X_{1,1}}(D)X_1(D) + A_{X_{2,1}}(D)X_2(D) + A_{X_{3,1}}(D)X_3(D) \\
& + A_{X_{4,1}}(D)X_4(D) + B_1(D)P(D) = \\
& (D^{160} + D^{62} + 1)X_1(D) + (D^{226} + D^{209} + 1)X_2(D) + (D^{98} + D^{37} + 1)X_3(D) \\
& + (D^{71} + D^{34} + 1)X_4(D) + (D^{206} + D^{127} + 1)P(D) = 0
\end{aligned}$$

$k=2$

$$\begin{aligned}
& A_{X_{1,2}}(D)X_1(D) + A_{X_{2,2}}(D)X_2(D) + A_{X_{3,2}}(D)X_3(D) \\
& + A_{X_{4,2}}(D)X_4(D) + B_2(D)P(D) = \\
& (D^{196} + D^{143} + 1)X_1(D) + (D^{115} + D^{104} + 1)X_2(D) + (D^{176} + D^{136} + 1)X_3(D) \\
& + (D^{212} + D^{187} + 1)X_4(D) + (D^{211} + D^{119} + 1)P(D) = 0
\end{aligned}$$

$X_k(D)$ ($k=1,2,\dots,N-1$) が“システムティックビット”を表して、 $P(D)$ が“パリティビット”を表す。LDPC-CC エンコーダは周期 3 の時変畳み込みエンコーダである。

次式を使用して任意に LDPC-CC エンコーダを構成できる。

$$\begin{aligned}
x_t &= [X_{1,t}, X_{2,t}, \dots, X_{N-1,t}] \\
p_t &= \sum_{i=0}^{M-1} H_{x,i} x_{t-i}^T + \sum_{i=0}^{M-1} H_{p,i} p_{t-i}
\end{aligned}$$

LDPC-CC エンコーダの初期状態は全ゼロ状態であり、次を意味する。

$$\begin{aligned} x_t &= 0 \\ p_t &= 0, t \leq 0 \end{aligned}$$

LDPC-CCは同じエンコーダ構成で“可変長 M 情報ビット符号化”をサポートする。

13.4.4.1.1 LDPC-CC エンコーダの一例

符号化率 $R=1/2$ の LDPC-CC エンコーダの一例を図 13.9 に示す。LDPC-CC エンコーダは時変組織畳み込みエンコーダである。LDPC-CC エンコーダは図 13.9 に示すように、情報ビットのシフトレジスタ、パリティビットのシフトレジスタ、重みコントローラ、加算器、重み乗算器で構成される。LDPC-CC 符号化の複雑さは検査行列 \mathbf{H} の行重みに比例する。

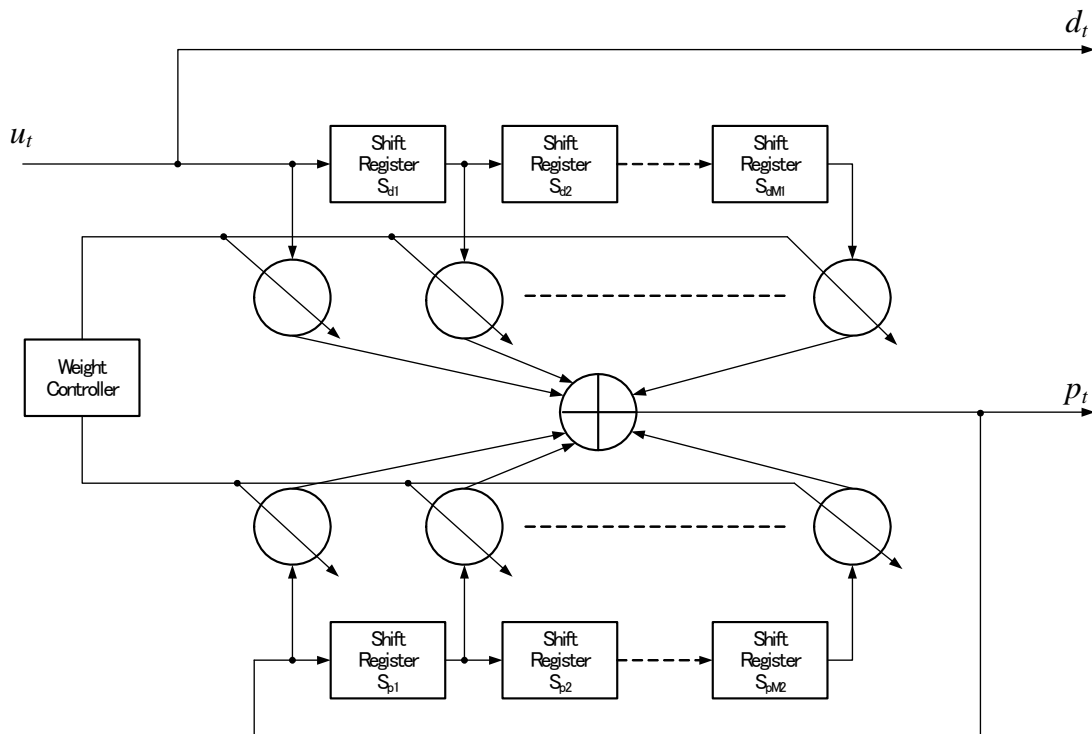


図 13.9 LDPC-CC エンコーダの構成(例)

13.4.4.2 エンコーディング ターミネーション (Encoding termination)

ゼロテイルで符号化を終端する。ゼロテイル終端は全“0” m_z ビットの情報ビットを加えることで LDPC-CC エンコーダによって行われる。 m_z は符号化率と情報長に依存する。テイルビットの m_z ビットは“0”であることが受信側で既知なので送信から除かれるが、テイルビット符号化により得られるパリティビットは送信される。テイルビット符号化の送信ビット数が m_t として表されるとき、符号化率 $R=(N-1)/N$ の m_z は次のように表される。

$q=0$:

$$m_z = (N-1)m_t$$

$q \neq 0$:

$$m_z = (N-1)m_t + (N-1) - q$$

q は情報サイズを I_s と表したとき $q = I_s \bmod n-1$ である。テイルビット符号化の送信ビット数 m_t を表 13.5 に示す。

表 13.5 テイルビット符号化の送信ビット数

Coding rate	テイルビット符号化の送信ビット数
1/2	$m_t = 440$ bits
2/3	$m_t = 540$ bits (when $I_s \leq 255$ Bytes) $m_t = 380$ bits (when $I_s > 255$ Bytes)
3/4	$m_t = 540$ bits (when $I_s \leq 255$ Bytes) $m_t = 380$ bits (when $I_s > 255$ Bytes)
4/5	$m_t = 680$ bits (when $I_s \leq 255$ Bytes) $m_t = 620$ bits (when $255 \text{ Bytes} < I_s \leq 510 \text{ Bytes}$) $m_t = 380$ bits (when $I_s > 510$ Bytes)

13.4.4.3 FEC タイプフィールド

FEC(forward error correction)タイプフィールドは受信 RCE フレームで決定される変調パラメータから FEC タイプパラメータを示す。

表 13.6 FEC タイプ

値	定義
0	Reed-Solomon only
1	LDPC-CC(1/2)
2	LDPC-CC(2/3)
3	LDPC-CC(3/4)
4	LDPC-CC(4/5)
5-7	(Reserved)
8	Reed-Solomon & Convolutional encoding (1/2)
9	Reed-Solomon & Convolutional encoding (2/3)
10	Reed-Solomon & Convolutional encoding (3/4)
11	Reed-Solomon & Convolutional encoding (4/5)
12	Reed-Solomon & Convolutional encoding (5/6)
13	Reed-Solomon & Convolutional encoding (6/7)
14	Reed-Solomon & Convolutional encoding (7/8)
15	(Reserved)

13.4.5 Wavelet OFDM

このセクションは、FEC から来るビットストリームを入力し、AFE(analog front end)へデータを出力するまでの処理を定義する。

マッピングブロックは、出力するデータグループを入力し、データを座標ポイントに配置する。

IDW(inverse discrete wavelet transform)ブロックは、キャリア(離散時間型)上にて座標ポイントの変調を実行するものである。プリアンブルフィールドは、同期やその他の目的に使用されるプリアンブル信号を定義する。ランプフィールドは、埔里アンブルの立ち上がり時に使用される。

13.4.5.1 マッピング

マッピングブロックは、TMI(変調方式2PAM)、フレームコントロール(2PAM)、FL(2PAM)、およびフレームボディ(2PAM, 4PAM, 8PAM, 16PAM, 32PAM)についてマッピングする。TML、FL、およびフレームコントロールに関するマッピングは常にダイバーシティモードを使用する。フレームボディに関するマッピングは、ダイバーシティモードにおいて変調方式2PAMを使った、DOF(Diversity-OFDM for the frame body)、ADOF、およびD2PAM(Double-2PAM)、ハイスピードモードにおいて変調方式2~32PAMについて行う。表 13.7 は、各タイプにおける変調方式の一覧を示す。

マッピングは、設定したトーンマスクおよびトーンマップに従わなければならない。トーンマスクは使用するキャリアを指定する。トーンマップは変調タイプ(2PAM, 4PAM, 8PAM, 16PAM, 32PAM)を指定する。トーンマップは通信状態に応じて全てのキャリアについて変調タイプを変更することを許可する。

例えば、低 CINR (carrier to interference and noise ratio)状態にあるキャリアは低レート変調タイプ(例えば 2 PAM) を利用することにする、もしくはマスクを施すことが可能である。また、高 CINR 状態にあるキャリアは高レート変調タイプ(例えば 32 PAM) を使用することができる。フレームボディについての変調タイプの選択メカニズムは、トーンマップによって適応されるが、プリアンブル、TMI、FL、フレームコントロールについての変調タイプの選択メカニズムはトーンマスクのみによってしか適応されない。表 13.8 は、トーンマップ/トーンマスク適用範囲を示す。ハイスピードモードではノーマルマッピングが使用されるが、ダイバーシティモードでは繰り返しマッピングが使用されることに注意する。

表 13.7 各タイプにおける変調方式一覧

情報タイプ	ビット/キャリア	変調タイプ	モード
TMI and FL	1	2 PAM	Diversity
Frame Control	1	2 PAM	
Frame Body	1	DOF, ADOF	
	1	D2PAM*	High-speed
	1	2 PAM	
	2	4 PAM	
	3	8 PAM	
	4	16 PAM	
	5	32PAM	

表 13.8 トーンマップ/トーンマスク適用範囲

トーンマスク(Tone MASK)	トーンマップ(Tone MAP)
全てのタイプに適用	フレームボディフィールドに適用
	SYNCP, SYNCM, TMI, FL, フレームコントロールには適用せず

13.4.5.1.1 2 PAM, 4 PAM, 8 PAM, 16 PAM, 32PAM マッピング

ビットインターリーバから出力されたデータビットは、各キャリアについて変調タイプを定義したトーンマップに従い、PAM (2 PAM, 4 PAM, 8 PAM, 16 PAM, 32PAM)についてマッピングされなければならない。図 13.10 に各変調タイプにおける信号配置点を図示する。2PAM マッピングにおいて、値“0”は振幅“-1”に、値“1”は振幅“+1”に割り当てる。4PAM マッピングでは、マッピングブロックへ入力される最初のデータは MSB として使用され 2 ビットデータを生成する。値“00”, “01”, “11”, “10” は、それぞれ振幅 $-3/\sqrt{5}$, $-1/\sqrt{5}$, $+1/\sqrt{5}$, $+3/\sqrt{5}$ に割り当てる。8PAM マッピングでは、マッピングブロックへ入力される最初のデータは MSB として使用され 3 ビットデータを生成する。値“000”, “001”, “011”, “010”, “110”, “111”, “101”, “100”は、それぞれ振幅 $-7/\sqrt{21}$, $-5/\sqrt{21}$, $-3/\sqrt{21}$, $-1/\sqrt{21}$, $+1/\sqrt{21}$, $+3/\sqrt{21}$, $+5/\sqrt{21}$, $+7/\sqrt{21}$ に割り当てる。16PAM マッピングでは、マッピングブロックへ入力される最初のデータは MSB として使用され 4 ビットのデータを生成する。値“0000”, “0001”, “0011”, “0010”, “0110”, “0111”, “0101”, “0100”, “1100”, “1101”, “1111”, “1110”, “1010”, “1011”, “1001”, “1000”は、それぞれ振幅 $-15/\sqrt{85}$, $-13/\sqrt{85}$, $-11/\sqrt{85}$, $-9/\sqrt{85}$, $-7/\sqrt{85}$, $-5/\sqrt{85}$, $-3/\sqrt{85}$, $-1/\sqrt{85}$, $+1/\sqrt{85}$, $+3/\sqrt{85}$, $+5/\sqrt{85}$, $+7/\sqrt{85}$, $+9/\sqrt{85}$, $+11/\sqrt{85}$, $+13/\sqrt{85}$, and $+15/\sqrt{85}$ に割り当てる。32PAM マッピングでは、マッピングブロックへ入力される最初のデータは MSB として使用され 5 ビットのデータを生成する。値“00000”, “00001”, “00011”, “00010”, “00110”, “00111”, “00101”, “00100”, “01100”, “01101”, “01111”, “01110”, “01010”, “01011”, “01001”, “01000”, “11000”, “11001”, “11011”, “11010”, “11110”, “11111”, “11101”, “11100”, “11100”, “10100”, “10101”, “10111”, “10110”, “10010”, “10011”, “10001”, “10000”は、それぞれ振幅 $-31/\sqrt{341}$, $-29/\sqrt{341}$, $-27/\sqrt{341}$, $-25/\sqrt{341}$, $-23/\sqrt{341}$, $-21/\sqrt{341}$, $-19/\sqrt{341}$, $-17/\sqrt{341}$, $-15/\sqrt{341}$, $-13/\sqrt{341}$, $-11/\sqrt{341}$, $-9/\sqrt{341}$, $-7/\sqrt{341}$, $-5/\sqrt{341}$, $-3/\sqrt{341}$, $-1/\sqrt{341}$, $+1/\sqrt{341}$, $+3/\sqrt{341}$, $+5/\sqrt{341}$, $+7/\sqrt{341}$, $+9/\sqrt{341}$, $+11/\sqrt{341}$, $+13/\sqrt{341}$, $+15/\sqrt{341}$, $+17/\sqrt{341}$, $+19/\sqrt{341}$, $+21/\sqrt{341}$, $+23/\sqrt{341}$, $+25/\sqrt{341}$, $+27/\sqrt{341}$, $+29/\sqrt{341}$, $+31/\sqrt{341}$ に割り当てる。

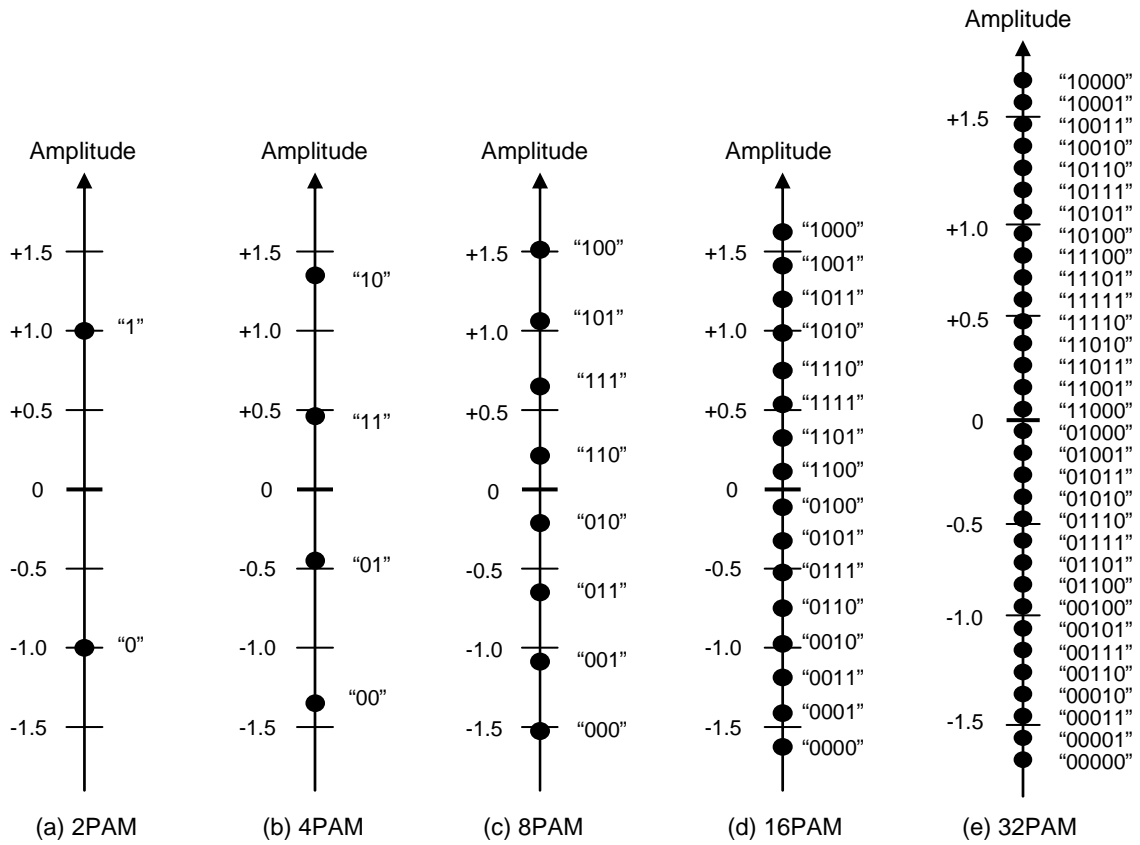


図 13.10 マッピング

表 13.9 各変調タイプにおけるエンコード方式一覧

変調タイプ	入力ビット(Input Bits)	出力振幅レベル (Output Amplitude Level)
32PAM	“00000“	$-31/\sqrt{341} \approx -1.6787$
	“00001“	$-29/\sqrt{341} \approx -1.5704$
	“00011“	$-27/\sqrt{341} \approx -1.4621$
	“00010“	$-25/\sqrt{341} \approx -1.3538$
	“00110“	$-23/\sqrt{341} \approx -1.2455$
	“00111“	$-21/\sqrt{341} \approx -1.1372$
	“00101“	$-19/\sqrt{341} \approx -1.0289$
	“00100“	$-17/\sqrt{341} \approx -0.9206$
	“01100“	$-15/\sqrt{341} \approx -0.8123$
	“01101“	$-13/\sqrt{341} \approx -0.7040$
	“01111“	$-11/\sqrt{341} \approx -0.5957$
	“01110“	$-9/\sqrt{341} \approx -0.4874$
	“01010“	$-7/\sqrt{341} \approx -0.3791$
	“01011“	$-5/\sqrt{341} \approx -0.2708$
	“01001“	$-3/\sqrt{341} \approx -0.1625$
	“01000“	$-1/\sqrt{341} \approx -0.0542$
	“11000“	$+1/\sqrt{341} \approx +0.0542$
	“11001“	$+3/\sqrt{341} \approx +0.1625$
	“11011“	$+5/\sqrt{341} \approx +0.2708$
	“11010“	$+7/\sqrt{341} \approx +0.3791$
	“11110“	$+9/\sqrt{341} \approx +0.4874$
	“11111“	$+11/\sqrt{341} \approx +0.5957$
	“11101“	$+13/\sqrt{341} \approx +0.7040$
	“11100“	$+15/\sqrt{341} \approx +0.8123$
	“10100“	$+17/\sqrt{341} \approx +0.9206$
	“10101“	$+19/\sqrt{341} \approx +1.0289$
	“10111“	$+21/\sqrt{341} \approx +1.1372$
	“10110“	$+23/\sqrt{341} \approx +1.2455$
	“10010“	$+25/\sqrt{341} \approx +1.3538$
	“10011“	$+27/\sqrt{341} \approx +1.4621$
	“10001“	$+29/\sqrt{341} \approx +1.5704$
	“10000“	$+31/\sqrt{341} \approx +1.6787$

13.4.5.1.2 ダイバーシティモード

ダイバーシティモードには、フレームコントロールダイバーシティモード、TMI/FL ダイバーシティモード、フレームボディダイバーシティモードの 3 つのダイバーシティモードがある。また、フレームボディダイバーシティモードとして、DOF (Diversity-OFDM for Frame body)モードと D2PAM (Double-2PAM) ダイバーシティモードの 2 つのモードがある。

13.4.5.1.2.1 フレームコントロール ダイバーシティモード

フレームコントロールのダイバーシティモードでは、データは異なるキャリアを使用して複数回繰り返し送信される。

有効キャリア数を N_c 、送信されるフレームコントロールのデータ数を $N_b (= 816 (= 812 \text{ データビット} + 4 \text{ パディングビット}))$ (固定値)、フレームコントロール送信に使用されるシンボル数を $L (= 8)$ (固定値)、入力データを $\text{in}[i]$ とすると、フレームコントロールにおける m 番目のシンボルデータ $K_m[i]$ は、以下の数式で示される。 C_{offset} は、最初の入力データのオフセット値を表す。

$$K_m[i] = \text{in}[S \times m + \text{mod}(C_{\text{offset}} + i, S)] \quad 0 \leq i \leq N_c - 1, \quad 0 \leq m \leq L - 1$$

ここで $S = 102 (= N_b / L)$, $C_{\text{offset}} = 80$ (固定値)

図 13.11 は、フレームコントロール送信データの一例を示したものである。1 シンボル目の(トーンマスクにより示される)有効キャリアは $\text{in}[0]$ から $\text{in}[101]$ までの 102 ビットのデータが、低域から順次割り当てられる。102 ビットのデータを割り当てた後、データ $\text{in}[0]$ から再び割り当てることによりシンボル内で同一のデータが繰り返し送信される。同様に、2 シンボル目は $S = 102$ より、102 ビットだけシフトした $\text{in}[102]$ から 102 ビットのデータを繰り返し送信する。最終シンボルである 8 シンボル目では、 $\text{in}[714]$ からデータを割り当てる。同一データを異なる周波数で送信することによって、低 SN 時や狭帯域干渉環境下での伝送性能向上が実現できる。

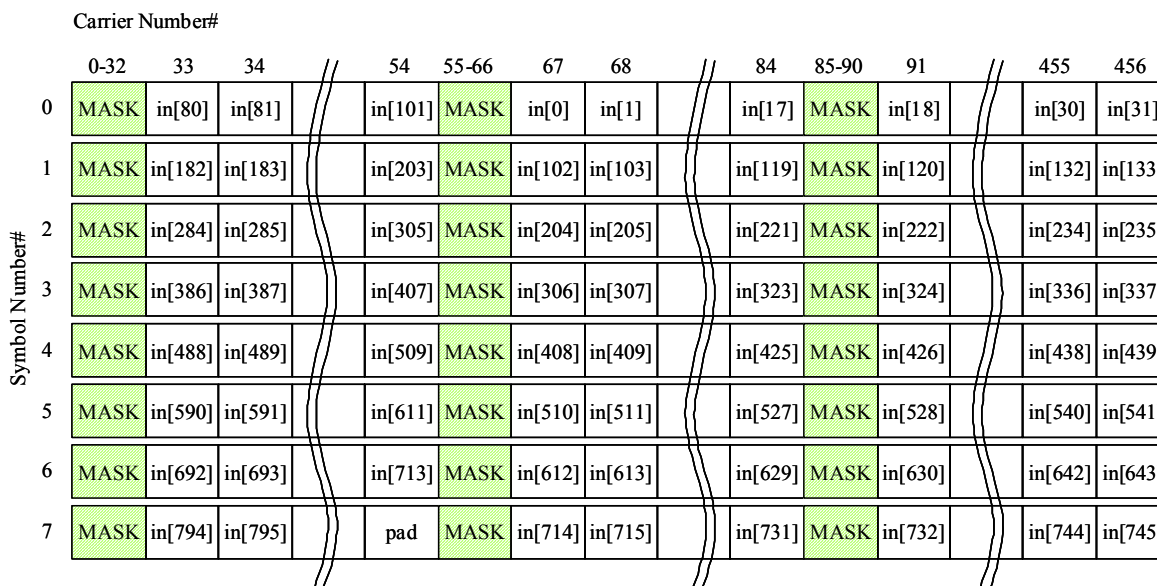


図 13.11 フレームコントロール送信データの一例

13.4.5.1.2.2 TMI/FL ダイバーシティモード

TMI と FL のダイバーシティモードは、1 シンボルの中で TMI または FL ビットデータを単に N 回繰り返すことにより周波数ダイバーシティゲインを得ることができる。TMI と FL モードにおけるシンボルデータは、13.4.5.1.2.1 フレームコントロールダイバーシティモードにおける数式に $L=1$ を固定化したものと同一になる。

8-bit TMI に対して、 $S = 30$ (固定値)、 $C_{\text{offset}} = 8$ (固定値)である。5-bit TMI に対して、 $S = 24$ (固定値)、 $C_{\text{offset}} = 2$ (固定値)である。

図 13.12 は、TMI 送信データの一例である。

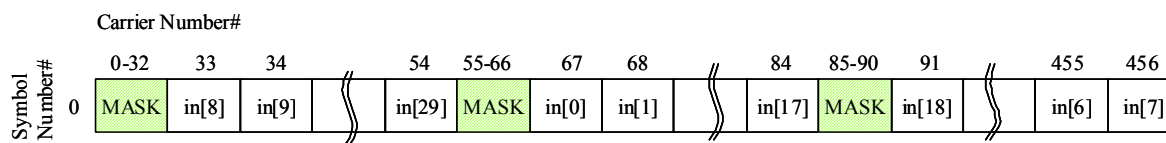


図 13.12 TMI 送信データの一例

FL に対して、 $S = 60$ (固定値)、 $C_{\text{offset}} = 38$ (固定値)である。図 13.13 は、FL 送信データの一例である。

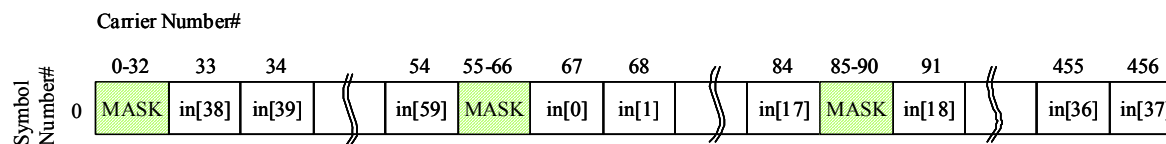


図 13.13 FL 送信データの一例

13.4.5.1.2.3 フレームボディ ダイバーシティモード

フレームボディダイバーシティモードとして、DOF (Diversity-OFDM for the Frame body) と D2PAM (Double-2PAM) の 2 種類のモードを備えている。

13.4.5.1.2.4 DOF モード

DOF モードでは、データは異なるキャリアを使用して 4 回繰り返して送信される。

入力データを $in[i]$ とすると、フレームボディにおける m 番目のシンボルデータ $K_m[i]$ は、以下の数式で示される。 C_{offset} は、最初の入力データのオフセット値を表す。 N_p は、フレームボディのシンボル数を表す。

$$K_m[i] = in[S \times m + \text{mod}(C_{offset} + i, S)] \quad 0 \leq i \leq N_c - 1, \quad 0 \leq m \leq N_p - 1$$

ここで、 $S = 84$ (固定値), $C_{offset} = 62$ (固定値)。

図 13.14 は、フレームボディダイバーシティ送信データの一例を示したものである。1 シンボル目の(トーンマスクにより示される)有効キャリアは $in[0]$ から $in[83]$ までの 84 ビットのデータが、低域から順次割り当てられる。 $S=84$ ビットのデータを割り当てた後、データ $in[0]$ から再び割り当てることにより、シンボル内で同一データが繰り返し送信される。同様に、2 シンボル目は $S=84$ より、84 ビットだけシフトした $in[84]$ から 84 ビットのデータを繰り返し送信する。同一データを異なる周波数で送信することにより低 SN 時や狭帯域干渉下での伝送性能向上が実現できる。 $S=84$ は DOF モードでの固定値である。このモードの変調と FEC は、2PAM と接続符号(符号化率 1/2, RS(56,40))でなければならない。2PAM と LDPC-CC (符号化率 1/2, 2/3, 3/4, 4/5) は、オプションとして、ADOF の場合に使用される。

		Carrier Number#														
		0-32	33	34	54		55-66	67	68	84		85-90	91	455		456
Symbol Number#	0	MASK	in[62]	in[63]	in[83]		MASK	in[0]	in[1]	in[17]		MASK	in[18]	in[0]		in[1]
	1	MASK	in[146]	in[147]	in[167]		MASK	in[84]	in[85]	in[101]		MASK	in[102]	in[84]		in[85]
	2	MASK	in[230]	in[231]	in[251]		MASK	in[168]	in[169]	in[185]		MASK	in[186]	in[168]		in[169]
	3	MASK	in[314]	in[315]	in[335]		MASK	in[252]	in[253]	in[269]		MASK	in[270]	in[252]		in[253]

図 13.14 フレームボディダイバーシティ送信データの一例

13.4.5.1.2.5 D2PAM モード

D2PAM モードでは、隣接するサブキャリアペアにデータビットが割り当てられる。サブキャリアペアは $(2n-1)$ 番目と $(2n)$ 番目のサブキャリアとなる。(但し、 $1 \leq n \leq (M/2-1)$ 、 M はチャネル数 ($0 \sim M-1$)). 具体的には、サブキャリアの通信品質はそれぞれ受信側でのチャネルエスティメーションで計算され、しきい値と比較される。比較結果に基づいて、2PAM のしきい値より低い通信品質のサブキャリアが検出、抽出される。最終的に、抽出された結果に基づいて隣接するサブキャリアペアに同じデータビットが割り当てられる。

13.4.5.2 ベースバンドシンボル生成

IDWT ブロックおよび Ramp ブロックの出力信号についての数式を定義する。以下では、 N_{used} を 512 とする。

13.4.5.2.1 ランプ処理

プリアンブルデータは周知のデータ(例えば SYNCNP)で生成され、連続したシンボルから成り、受信機側でキャリア検出、同期、等化などに使用される。送信機側の IDWT は(位相回転後)プリアンブルデータを変調して、複数のサブキャリアを発生させて、サブキャリアの時間波形の合成波形を出力する。図 13.15 に示すように、合成波形の基準位置からあらかじめ決められた遅延(3 シンボル)で合成波形にランプ処理が実行され、合成波形の長さは短くなる。より具体的に、合成波形にランプ関数を乗じることでランプ処理は実行される。ランプ関数は遅延期間には 0 であり、基準位置からあらかじめ決められた遅延で合成波形を立ち上げる。基準位置は合成波形の開始位置として定義される。特に、開始位置は合成波形の最初の立ち上がりエッジである。

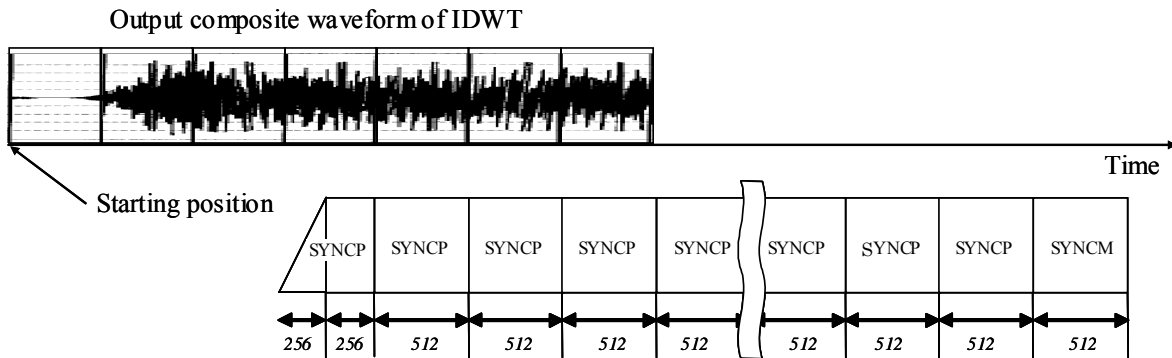


図 13.15 ランプ処理と IDWT 出力波形の関係のイメージ

13.4.5.2.2 ショートプリアンブル

図 13.16 にショートプリアンブル構成を示す。以下の記述では、ランプ処理は遅れ時間の後に実施される。SYNCNP 部は単に \sin 波に +1 を乗じたシンボルを適用する。通常のプリアンブルに加えて使用することが可能である。SYNCNP シンボルで構成され、長さはランプ処理シンボルを含んで 2.5 シンボルである。以下に、時間領域波形データ $S_{msp}[n]$ の式を示す。以下の数式で、“ n ” は離散的な波形データでサンプル位置であり、“ msp ” はショートプリアンブルのシンボル番号、そして“ c ” はサブキャリア番号である。“ $h(n)$ ”(式の $h(n)$ は $h_{512}(n)$) は、Wavelet 機能のプロトタイプフィルタのフィルタ係数である。表 13.10 は、表 13.11. 記載の中心周波数に対応したプロトタイプフィルタのフィルタ係数“ $h(n)$ ”の一覧である。“ $w[n]$ ” は、ランプ処理のためのフィルタであり、フレームの最初のシンボルにのみ適用される。“ θ_c ” は、ピーク抑圧のための位相ベクトルであり、その値は表 13.11 に示される。

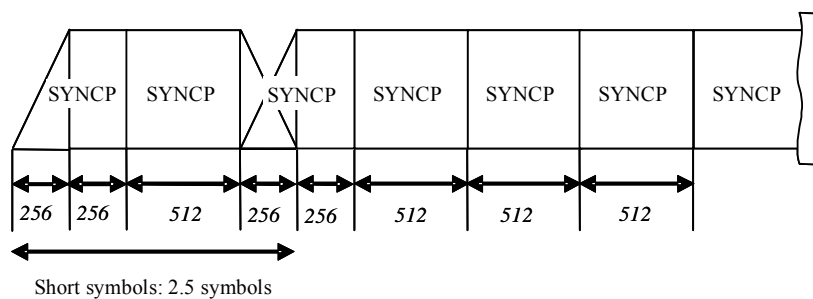


図 13.16 ショートプリアンブル信号

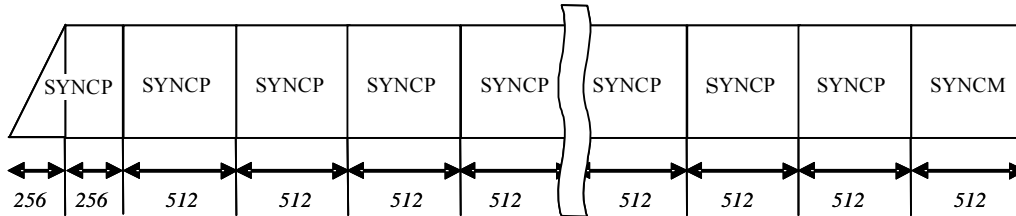
$$S_{msp}[n] = \frac{w[n]}{8} \times \left\{ \sum_{k=0}^3 \sum_{c=1}^{\text{floor}\{(N_{\text{used}}-1)/8\}} h(n+512k) \times \cos \left[\frac{\pi}{512} \times \left\{ (n+512k) + \frac{512+1}{2} \right\} \times \left\{ (8c-1) + \frac{1}{2} \right\} + \theta_{(8c-1)} \right] \times \text{Tone_MASK}(8c-1) \right. \\ \left. + \sum_{k=0}^3 \sum_{c=1}^{\text{floor}\{(N_{\text{used}}-1)/8\}} h(n+512k) \times \cos \left[\frac{\pi}{512} \times \left\{ (n+512k) + \frac{512+1}{2} \right\} \times \left\{ 8c + \frac{1}{2} \right\} + \theta_{(8c)} \right] \times \text{Tone_MASK}(8c) \right\}$$

for $0 \leq n < 512$ and $0 \leq msp < 3$

$$w[n] = \begin{cases} \frac{n}{256} & (msp = 0 \text{ and } n < 256) \\ 1 & (msp = 0 \text{ and } n > 255) \\ 1 & (msp = 1) \\ \frac{255-n}{256} & (msp = 2 \text{ and } n < 256) \\ 0 & (msp = 2 \text{ and } n > 255) \end{cases}$$

13.4.5.2.3 プリアンブル

図 13.17 にプリアンブル構成を示す。以下の記述では、ランプ処理は遅れ時間の後に実施される。SYNCP 部は単に sin 波に+1 を乗じたシンボルを適用し、SYNCP 部は sin 波に-1 を乗じたシンボルを適用する。プリアンブルは、 N_{SYNCP} の SYNCP シンボル(ランプ処理シンボルを含む)とそれらに続く SYNCP シンボルで構成される。1 番目のシンボルはランプブロックによってランプ処理される。



プリアンブル (11 シンボル)

図 13.17 プリアンブル信号

プリアンブル長は 11~17 シンボルの可変である(N_{SYNCP} は 10~16 の可変)。以下に、時間領域波形データ $S_{mp}[n]$ の数式を示す。以下の数式で、“mp” はプリアンブルのシンボル番号である。

$$S_{mp}[n] = \frac{w[n]}{16} \times \sum_{k=0}^3 \text{sign} \sum_{c=0}^{N_{\text{used}}-1} h(n+512k) \times \cos \left[\frac{\pi}{512} \times \left\{ (n+512k) + \frac{512+1}{2} \right\} \times \left\{ c + \frac{1}{2} \right\} + \theta_c \right] \times \text{Tone_MASK}(c)$$

for $0 \leq n < 512$ and $0 \leq mp < 11$

{Tone_MASK(2x+1) と Tone_MASK 2(x+1) は同じ設定である。(x: 整数)}

$$w[n] = \begin{cases} \frac{n}{256} & (mp = 0 \text{ and } n < 256) \\ 1 & (mp = 0 \text{ and } n > 255) \\ 1 & (\text{upto } mp = 11 \text{ or } 17) \end{cases}$$

$$sign = \begin{cases} -1 & (k = 0 \text{ and } mp = 10) \\ 1 & \text{Other} \end{cases}$$

13.4.5.2.4 TMI シンボル

以下に TMI シンボル $S_{mt}[n]$ に関する時間領域波形信号の数式を示す。この数式における“ mt ”は、TMI のシンボル番号であり、 $PAM_m(c)$ はマッピングブロックから各サブキャリアに割り当てられた信号配置として定義される。TMI シンボルは 1 個のシンボルで構成される。

$$S_{mt}[n] = \frac{1}{16} \times \sum_{k=0}^3 \sum_{c=0}^{N_{used}-1} h(n+512k) \times PAM_{mt-k}(c) \times \cos \left[\frac{\pi}{512} \times \left\{ (n+512k) + \frac{512+1}{2} \right\} \times \left(c + \frac{1}{2} \right) + \theta_c \right] \times \text{Tone_MASK}(c)$$

for $0 \leq n < 512$
{Tone_MASK (2x+1) と Tone_MASK 2(x+1) は同じ設定である。 (x: 整数)}

$$\begin{aligned} mt-k \leq -2 & \quad PAM_{mt-k}(c) = 1 \\ mt-k = -1 & \quad PAM_{-1}(c) = -1 \\ mt-k = 0 & \quad PAM_0(c) = \text{PAM Results of TMI} \end{aligned}$$

13.4.5.2.5 フレームコントロール

以下にフレームコントロールシンボル $S_{mf}[n]$ に関する時間領域波形信号の数式を示す。この数式における“ mf ”は、フレームコントロールのシンボル番号であり、 $PAM_{mf-k}(c)$ はフレームコントロール番号 $mf-k$ についてマッピングブロックから各サブキャリアに割り当てられた信号配置として定義される。フレームコントロールシンボルは、8 個のシンボルで構成される。(mf=0 to 7).

$$S_{mf}[n] = \frac{1}{16} \times \sum_{k=0}^3 \sum_{c=0}^{N_{used}-1} h(n+512k) \times PAM_{mf-k}(c) \times \cos \left[\frac{\pi}{512} \times \left\{ (n+512k) + \frac{512+1}{2} \right\} \times \left(c + \frac{1}{2} \right) + \theta_c \right] \times \text{Tone_MASK}(c)$$

for $0 \leq n < 512$
{Tone_MASK (2x+1) と Tone_MASK 2(x+1) 同じ設定である。 (x: 整数)}

$$\begin{aligned} mf-k = -3 & \quad PAM_{-3}(c) = 1 \\ mf-k = -2 & \quad PAM_{-2}(c) = -1 \\ mf-k = -1 & \quad PAM_{-1}(c) = \text{PAM Results of TMI} \\ mf-k \geq 0 & \quad PAM_{mf-k}(c) = \text{PAM Results of Mac Header} \end{aligned}$$

13.4.5.2.6 FL シンボル

以下にフレーム長(FL)シンボル $S_{mf}[n]$ に関する時間領域波形信号の数式を示す。この数式における“ mf ”は、FL のシンボル番号であり、 $PAM_m(c)$ はマッピングブロックから各サブキャリアに割り当てられた信号配置として定義される。FL シンボルは 1 個のシンボルで構成される。

$$S_{mfl}[n] = \frac{1}{16} \times \sum_{k=0}^3 \sum_{c=0}^{N_{used}-1} h(n+512k) \times PAM_{mfl-k}(c) \times \cos \left[\frac{\pi}{512} \times \left\{ (n+512k) + \frac{512+1}{2} \right\} \times \left(c + \frac{1}{2} \right) + \theta_c \right] \times \text{Tone_MASK}(c)$$

for $0 \leq n < 512$

{Tone_MASK(2x+1) と Tone_MASK 2(x+1) は同じ設定である。(x: 整数)}

$mfl-k = -3$	$PAM_{-3}(c) =$ PAM Results of Mac Header5
$mfl-k = -2$	$PAM_{-2}(c) =$ PAM Results of Mac Header6
$mfl-k = -1$	$PAM_{-1}(c) =$ PAM Results of Mac Header7
$mfl-k = 0$	$PAM_0(c) =$ PAM Results of FL

13.4.5.2.7 フレームボディ

以下にフレームボディ $S_{md}[n]$ に関する時間領域波形信号の数式を示す。この数式における“ md ”は、フレームボディのシンボル番号であり、 $PAM_{md-k}(c)$ はフレームボディのシンボル番号についてマッピングブロックから各サブキャリアに割り当てられた信号配置として定義される。

$$S_{md}[n] = \frac{1}{16} \times \sum_{k=0}^3 \sum_{c=0}^{N_{used}-1} h(n+512k) \times PAM_{md-k}(c) \times \cos \left[\frac{\pi}{512} \times \left\{ (n+512k) + \frac{512+1}{2} \right\} \times \left(c + \frac{1}{2} \right) + \theta_c \right] \times \text{Tone_MASK}(c)$$

for $0 \leq n < 512$

{Tone_MASK(2x+1) と Tone_MASK 2(x+1) は同じ設定である。(x: 整数)}

$md-k = -3$	$PAM_{-3}(c) =$ PAM Results of Mac Header6
$md-k = -2$	$PAM_{-2}(c) =$ PAM Results of Mac Header7
$md-k = -1$	$PAM_{-1}(c) =$ PAM Results of FL
$md-k \geq 0$	$PAM_{md-k}(c) =$ PAM Results of Frame body

13.4.5.2.8 パイロットシンボル

図 13.18 にパイロットシンボルを使用するフレームボディの一例を示す。9 シンボル(8SYNCP+SYNCP)からなるプリアンブルと同じタイプの信号を使用することができて、フレームボディの 128 シンボル毎に挿入される。各フレームボディは 128 シンボルから成る。受信機側の受信信号に基づいて得られる情報(チャネルエスティメーション結果、等化器情報、誤り率、再送率、伝送速度など)の使用により、パイロットシンボルがフレームボディに挿入されるかどうか決定される。

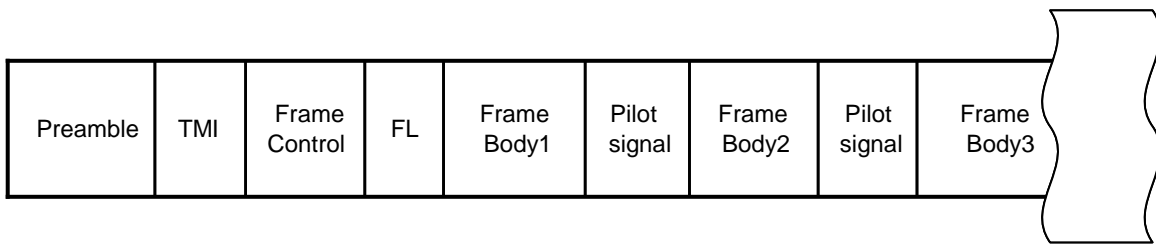


図 13.18 パイロット信号を使用するフレームボディの一例

13.4.5.3 IDWT

前のセクションで言及されるように、ベースバンドの場合、送信 IDWT はコサイン変調フィルタバンク (CMFB) の合成側である。The CMFB は互いに直交する多くの実係数 Wavelet フィルタを含む。図 13.19 に示すように、CMFB はマッピングユニットから並列データを入力するための離散コサイン変換 (タイプ IV)、実係数を持つポリフェーズフィルタを含み離散コサイン変換 (タイプ IV) の出力データを入力するプロトタイプフィルタ、プロトタイプフィルタの出力データを入力するための M アップサンブラ、アップサンブラの出力データを入力するための $M-1$ 個の遅延素子を含む。表 13.10 は 2~30 [MHz] 帯域のベースバンド通信の場合に CMFB の合成フィルタバンクで使用されるプロトタイプフィルタ係数を示す。

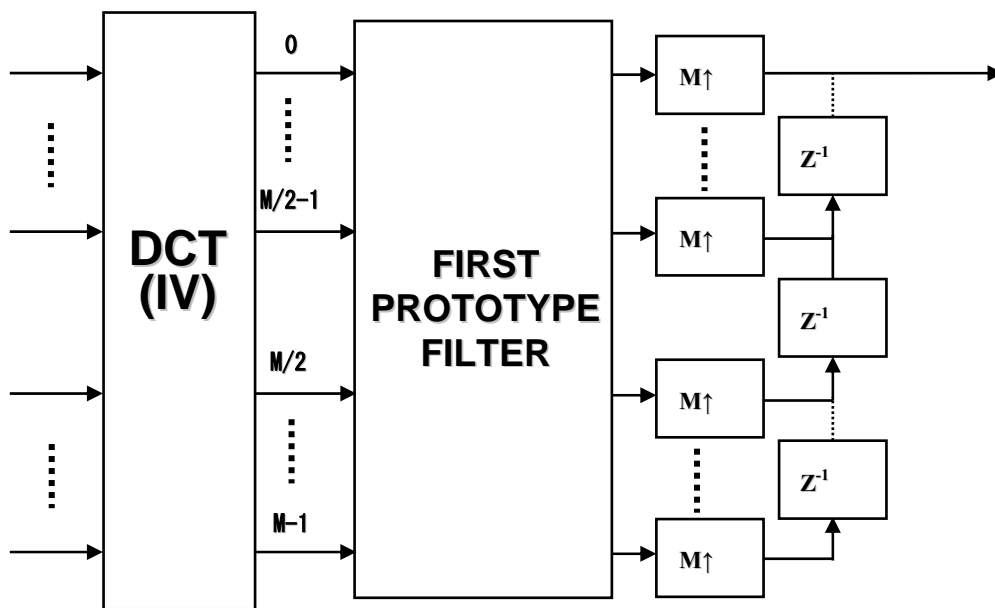


図 13.19 合成 CMFB

表 13.11 はベースバンド通信の IDWT で生成されるキャリア周波数と使用される位相ベクトルを示す。表 13.11 で、背景が灰色のキャリア番号はマスクされるキャリアを示す。

表 13.10 プロトタイプフィルタ係数 (h(n))

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
0	0.0637519757082690	821	0.0175488675065881	1642	-0.1098704830430290	2463	-0.4204564245057440	3284	-0.7940323701502710
1	0.0637518096657102	822	0.0174595650226738	1643	-0.1101453048922820	2464	-0.4209132007186810	3285	-0.7943899978443860
2	0.0637514775811254	823	0.0173702632948687	1644	-0.1104204277456600	2465	-0.4213700946440900	3286	-0.7947471509786650
3	0.0637509794555801	824	0.0172809626929461	1645	-0.1106958514798920	2466	-0.4218271059726050	3287	-0.7951038296568240
4	0.0637503152906730	825	0.0171916635869382	1646	-0.1109715759713770	2467	-0.4222842343946330	3288	-0.7954600339825880
5	0.0637494850885350	826	0.0171023663471346	1647	-0.1112476010961880	2468	-0.4227414796003550	3289	-0.7958157640596970
6	0.0637484888518303	827	0.0170130713440817	1648	-0.1115239267300700	2469	-0.4231988412797240	3290	-0.7961710199918990
7	0.0637473265837557	828	0.0169237789485816	1649	-0.1118005527484380	2470	-0.4236563191224660	3291	-0.7965258018829520
8	0.0637459982880409	829	0.0168344895316924	1650	-0.1120774790263850	2471	-0.4241139128180790	3292	-0.7968801098366260
9	0.0637445039689482	830	0.0167452034647261	1651	-0.1123547054386730	2472	-0.4245716220558360	3293	-0.7972339439566970
10	0.0637428436312728	831	0.0166559211192483	1652	-0.1126322318597400	2473	-0.4250294465247760	3294	-0.7975873043469510
11	0.0637410172803427	832	0.0165666428670772	1653	-0.1129100581637000	2474	-0.4254873859137150	3295	-0.7979401911111810
12	0.0637390249220187	833	0.0164773690802836	1654	-0.1131881842243400	2475	-0.4259454399112380	3296	-0.7982926043531870
13	0.0637368665626943	834	0.0163881001311888	1655	-0.1134666099151240	2476	-0.4264036082057020	3297	-0.7986445441767750
14	0.0637345422092956	835	0.0162988363923648	1656	-0.1137453351091920	2477	-0.4268618904852340	3298	-0.7989960106857580
15	0.0637320518692818	836	0.0162095782366331	1657	-0.1140243596793590	2478	-0.4273202864377320	3299	-0.7993470039839530
16	0.0637293955506448	837	0.0161203260370637	1658	-0.1143036834981180	2479	-0.4277787957508650	3300	-0.7996975241751820
17	0.0637265732619087	838	0.0160310801669746	1659	-0.1145833064376410	2480	-0.4282374181120720	3301	-0.8000475713632710
18	0.0637235850121311	839	0.0159418409999310	1660	-0.1148632283697760	2481	-0.4286961532085610	3302	-0.8003971456520490
19	0.0637204308109017	840	0.0158526089097438	1661	-0.1151434491660500	2482	-0.4291550007273100	3303	-0.8007462471453490
20	0.0637171106683433	841	0.0157633842704702	1662	-0.1154239686976700	2483	-0.4296139603550660	3304	-0.8010948759470030
21	0.0637136245951110	842	0.0156741674564111	1663	-0.1157047868355200	2484	-0.4300730317783470	3305	-0.8014430321608490
22	0.0637099726023930	843	0.0155849588421115	1664	-0.1159859034501660	2485	-0.4305322146834380	3306	-0.8017907158907230
23	0.0637061547019099	844	0.0154957588023594	1665	-0.1162673184118530	2486	-0.4309915087563930	3307	-0.8021379272404610
24	0.0637021709059150	845	0.0154065677121847	1666	-0.1165490315905090	2487	-0.4314509136830350	3308	-0.8024846663139000
25	0.0636980212271942	846	0.0153173859468588	1667	-0.1168310428557400	2488	-0.4319104291489530	3309	-0.8028309332148760
26	0.0636937056790661	847	0.0152282138818930	1668	-0.1171133520768370	2489	-0.4323700548395070	3310	-0.8031767280472240
27	0.0636892242753819	848	0.0151390518930389	1669	-0.1173959591227720	2490	-0.4328297904398230	3311	-0.8035220509147750
28	0.0636845770305253	849	0.0150499003562862	1670	-0.1176788638621970	2491	-0.4332896356347930	3312	-0.8038669019213580
29	0.0636797639594125	850	0.0149607596478628	1671	-0.1179620661634520	2492	-0.4337495901090780	3313	-0.8042112811708020
30	0.0636747850774927	851	0.0148716301442335	1672	-0.1182455658945560	2493	-0.4342096535471050	3314	-0.8045551887669260
31	0.0636696404007469	852	0.0147825122220993	1673	-0.1185293629232170	2494	-0.4346698256330690	3315	-0.8048986248135510
32	0.0636643299456894	853	0.0146934062583970	1674	-0.1188134571168220	2495	-0.4351301060509270	3316	-0.8052415894144890
33	0.0636588537293663	854	0.0146043126302970	1675	-0.1190978483424480	2496	-0.4355904944844080	3317	-0.8055840826735460
34	0.0636532117693567	855	0.0145152317152043	1676	-0.1193825364668540	2497	-0.4360509906170020	3318	-0.8059261046945260
35	0.0636474040837718	856	0.0144261638907563	1677	-0.1196675213564870	2498	-0.4365115941319650	3319	-0.8062676555812210

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
36	0.0636414306912555	857	0.0143371095348221	1678	-0.1199528028774790	2499	-0.4369723047123220	3320	-0.8066087354374200
37	0.0636352916109838	858	0.0142480690255024	1679	-0.1202383808956490	2500	-0.4374331220408580	3321	-0.8069493443669000
38	0.0636289868626656	859	0.0141590427411280	1680	-0.1205242552765050	2501	-0.4378940458001260	3322	-0.8072894824734330
39	0.0636225164665416	860	0.0140700310602586	1681	-0.1208104258852400	2502	-0.4383550756724410	3323	-0.8076291498607810
40	0.0636158804433850	861	0.0139810343616833	1682	-0.1210968925867390	2503	-0.4388162113398850	3324	-0.8079683466326950
41	0.0636090788145017	862	0.0138920530244180	1683	-0.1213836552455710	2504	-0.4392774524843010	3325	-0.8083070728929170
42	0.0636021116017294	863	0.0138030874277061	1684	-0.1216707137259980	2505	-0.4397387987872980	3326	-0.8086453287451770
43	0.0635949788274382	864	0.0137141379510167	1685	-0.1219580678919700	2506	-0.4402002499302450	3327	-0.8089831142931950
44	0.0635876805145306	865	0.0136252049740439	1686	-0.1222457176071260	2507	-0.4406618055942790	3328	-0.8093204296406780
45	0.0635802166864411	866	0.0135362888767058	1687	-0.1225336627347990	2508	-0.4411234654602940	3329	-0.8096572748913210
46	0.0635725873671366	867	0.0134473900391444	1688	-0.1228219031380090	2509	-0.4415852292089520	3330	-0.8099936501488060
47	0.0635647925811160	868	0.0133585088417239	1689	-0.1231104386794690	2510	-0.4420470965206720	3331	-0.8103295555168010
48	0.0635568323534104	869	0.0132696456650299	1690	-0.1233992692215850	2511	-0.4425090670756400	3332	-0.8106649910989590
49	0.0635487067095829	870	0.0131808008898690	1691	-0.1236883946264530	2512	-0.4429711405538000	3333	-0.8109999569989200
50	0.0635404156757288	871	0.0130919748972675	1692	-0.1239778147558640	2513	-0.4434333166348580	3334	-0.8113344533203070
51	0.0635319592784753	872	0.0130031680684708	1693	-0.1242675294713000	2514	-0.4438955949982830	3335	-0.8116684801667270
52	0.0635233375449816	873	0.0129143807849424	1694	-0.1245575386339390	2515	-0.4443579753233020	3336	-0.8120020376417720
53	0.0635145505029392	874	0.0128256134283629	1695	-0.1248478421046520	2516	-0.4448204572889060	3337	-0.8123351258490150
54	0.0635055981805710	875	0.0127368663806291	1696	-0.1251384397440040	2517	-0.4452830405738420	3338	-0.8126677448920130
55	0.0634964806066323	876	0.0126481400238539	1697	-0.1254293314122560	2518	-0.4457457248566210	3339	-0.8129989848743050
56	0.0634871978104100	877	0.0125594347403639	1698	-0.1257205169693630	2519	-0.4462085098155110	3340	-0.8133315758994090
57	0.0634777498217228	878	0.0124707509127000	1699	-0.1260119962749780	2520	-0.4466713951285410	3341	-0.8136627880708260
58	0.0634681366709213	879	0.0123820889236157	1700	-0.1263037691884480	2521	-0.4471343804734990	3342	-0.8139935314920360
59	0.0634583583888880	880	0.0122934491560763	1701	-0.1265958355688190	2522	-0.4475974655279310	3343	-0.8143238062664990
60	0.0634484150070368	881	0.0122048319932581	1702	-0.1268881952748320	2523	-0.4480606499691410	3344	-0.8146536124976530
61	0.0634383065573138	882	0.0121162378185479	1703	-0.1271808481649280	2524	-0.4485239334741930	3345	-0.8149829502889170
62	0.0634280330721960	883	0.0120276670155413	1704	-0.1274737940972440	2525	-0.4489873157199080	3346	-0.8153118197436850
63	0.0634175945846928	884	0.0119391199680423	1705	-0.1277670329296170	2526	-0.4494507963828660	3347	-0.8156402209653300
64	0.0634069911283446	885	0.0118505970600625	1706	-0.1280605645195820	2527	-0.4499143751394020	3348	-0.8159681540572020
65	0.0633962227372236	886	0.0117620986758199	1707	-0.1283543887243730	2528	-0.4503780516656100	3349	-0.8162956191226260
66	0.0633852894459336	887	0.0116736251997382	1708	-0.1286485054009270	2529	-0.4508418256373400	3350	-0.8166226162649050
67	0.0633741912896095	888	0.0115851770164456	1709	-0.1289429144058770	2530	-0.4513056967302000	3351	-0.8169491455873140
68	0.0633629283039180	889	0.0114967545107746	1710	-0.1292376155955590	2531	-0.4517696646195530	3352	-0.8172752071931050
69	0.0633515005250569	890	0.0114083580677600	1711	-0.1295326088260100	2532	-0.4522337289805160	3353	-0.8176008011855040
70	0.0633399079897554	891	0.0113199880726390	1712	-0.1298278939529690	2533	-0.4526978894879670	3354	-0.8179259276677110
71	0.0633281507352740	892	0.0112316449108498	1713	-0.1301234708318760	2534	-0.4531621458165340	3355	-0.8182505867428960
72	0.0633162287994045	893	0.0111433289680307	1714	-0.1304193393178730	2535	-0.4536264976406020	3356	-0.8185747785142060

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
73	0.0633041422204698	894	0.0110550406300195	1715	-0.1307154992658060	2536	-0.4540909446343130	3357	-0.8188985030847560
74	0.0632918910373239	895	0.0109667802828522	1716	-0.1310119505302250	2537	-0.4545554864715600	3358	-0.8192217605576350
75	0.0632794752893521	896	0.0108785483127621	1717	-0.1313086929653830	2538	-0.4550201228259930	3359	-0.8195445510359020
76	0.0632668950164706	897	0.0107903451061792	1718	-0.1316057264252360	2539	-0.4554848533710140	3360	-0.8198668746225860
77	0.0632541502591266	898	0.0107021710497290	1719	-0.1319030507634460	2540	-0.4559496777797800	3361	-0.8201887314206860
78	0.0632412410582984	899	0.0106140265302318	1720	-0.1322006658333790	2541	-0.4564145957251990	3362	-0.8205101215331720
79	0.0632281674554951	900	0.0105259119347014	1721	-0.1324985714881090	2542	-0.4568796068799350	3363	-0.8208310450629800
80	0.0632149294927565	901	0.0104378276503448	1722	-0.1327967675804110	2543	-0.4573447109164040	3364	-0.8211515021130170
81	0.0632015272126536	902	0.0103497740645607	1723	-0.1330952539627730	2544	-0.4578099075067730	3365	-0.8214714927861550
82	0.0631879606582879	903	0.0102617515649386	1724	-0.1333940304873820	2545	-0.4582751963229610	3366	-0.8217910171852350
83	0.0631742298732916	904	0.0101737605392583	1725	-0.1336930970061400	2546	-0.4587405770366420	3367	-0.8221100754130650
84	0.0631603349018276	905	0.0100858013754885	1726	-0.1339924533706500	2547	-0.4592060493192370	3368	-0.8224286675724170
85	0.0631462757885896	906	0.0099978744617863	1727	-0.1342920994322270	2548	-0.4596716128419220	3369	-0.8227467937660320
86	0.0631320525788014	907	0.0099099801864959	1728	-0.1345920350418920	2549	-0.4601372672756220	3370	-0.8230644540966130
87	0.0631176653182178	908	0.0098221189381479	1729	-0.1348922600503780	2550	-0.4606030122910130	3371	-0.8233816486668280
88	0.0631031140531237	909	0.0097342911054579	1730	-0.1351927743081240	2551	-0.4610688475585210	3372	-0.8236983775793120
89	0.0630883988303346	910	0.0096464970773265	1731	-0.1354935776652810	2552	-0.4615347727483230	3373	-0.8240146409366600
90	0.0630735196971960	911	0.0095587372428374	1732	-0.1357946699717070	2553	-0.4620007875303440	3374	-0.8243304388414320
91	0.0630584767015842	912	0.0094710119912569	1733	-0.1360960510769740	2554	-0.4624668915742610	3375	-0.8246457713961510
92	0.0630432698919053	913	0.0093833217120329	1734	-0.1363977208303640	2555	-0.4629330845494980	3376	-0.8249606387032990
93	0.0630278993170957	914	0.0092956667947940	1735	-0.1366996790808700	2556	-0.4633993661252260	3377	-0.8252750408653240
94	0.0630123650266218	915	0.0092080476293485	1736	-0.1370019256771950	2557	-0.4638657359703700	3378	-0.8255889779846320
95	0.0629966670704803	916	0.0091204646056832	1737	-0.1373044604677570	2558	-0.4643321937535980	3379	-0.8259024501635890
96	0.0629808054991977	917	0.0090329181139631	1738	-0.1376072833006850	2559	-0.4647987391433280	3380	-0.8262154575045240
97	0.0629647803638302	918	0.0089454085445298	1739	-0.1379103940238210	2560	-0.4652653718077250	3381	-0.8265280001097230
98	0.0629485917159645	919	0.0088579362879006	1740	-0.1382137924847220	2561	-0.4657320914147020	3382	-0.8268400780814320
99	0.0629322396077163	920	0.0087705017347681	1741	-0.1385174785306570	2562	-0.4661988976319190	3383	-0.8271516915218540
100	0.0629157240917317	921	0.0086831052759988	1742	-0.1388214520086100	2563	-0.4666657901267800	3384	-0.8274628405331530
101	0.0628990452211862	922	0.0085957473026317	1743	-0.1391257127652800	2564	-0.4671327685664390	3385	-0.8277735252174470
102	0.0628822030497848	923	0.0085084282058786	1744	-0.1394302606470790	2565	-0.4675998326177930	3386	-0.8280837456768130
103	0.0628651976317624	924	0.0084211483771219	1745	-0.1397350955001380	2566	-0.4680669819474870	3387	-0.8283935020132850
104	0.0628480290218829	925	0.0083339082079141	1746	-0.1400402171703010	2567	-0.4685342162219090	3388	-0.8287027943288530
105	0.0628306972754401	926	0.0082467080899771	1747	-0.1403456255031280	2568	-0.4690015351071950	3389	-0.8290116227254590
106	0.0628132024482568	927	0.0081595484152007	1748	-0.1406513203438990	2569	-0.4694689382692220	3390	-0.8293199873050040
107	0.0627955445966852	928	0.0080724295756420	1749	-0.1409573015376080	2570	-0.4699364253736140	3391	-0.8296278881693430
108	0.0627777237776069	929	0.0079853519635246	1750	-0.1412635689289660	2571	-0.4704039960857380	3392	-0.8299353254202830
109	0.0627597400484322	930	0.0078983159712368	1751	-0.1415701223624060	2572	-0.4708716500707070	3393	-0.8302422991595860

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
110	0.0627415934671011	931	0.0078113219913315	1752	-0.1418769616820750	2573	-0.4713393869933730	3394	-0.8305488094889660
111	0.0627232840920820	932	0.0077243704165251	1753	-0.1421840867318400	2574	-0.4718072065183350	3395	-0.8308548565100910
112	0.0627048119823727	933	0.0076374616396960	1754	-0.1424914973552880	2575	-0.4722751083099330	3396	-0.8311604403245820
113	0.0626861771974995	934	0.0075505960538840	1755	-0.1427991933957240	2576	-0.4727430920322500	3397	-0.8314655610340070
114	0.0626673797975178	935	0.0074637740522891	1756	-0.1431071746961750	2577	-0.4732111573491120	3398	-0.8317702187398890
115	0.0626484198430117	936	0.0073769960282711	1757	-0.1434154410993860	2578	-0.4736793039240840	3399	-0.8320744135437010
116	0.0626292973950936	937	0.0072902623753477	1758	-0.1437239924478240	2579	-0.4741475314204770	3400	-0.8323781455468650
117	0.0626100125154050	938	0.0072035734871943	1759	-0.1440328285836760	2580	-0.4746158395013370	3401	-0.8326814148507550
118	0.0625905652661155	939	0.0071169297576426	1760	-0.1443419493488530	2581	-0.4750842278294580	3402	-0.8329842215566900
119	0.0625709557099233	940	0.0070303315806797	1761	-0.1446513545849850	2582	-0.4755526960673680	3403	-0.8332865657659420
120	0.0625511839100550	941	0.0069437793504471	1762	-0.1449610441334250	2583	-0.4760212438773400	3404	-0.8335884475797280
121	0.0625312499302653	942	0.0068572734612399	1763	-0.1452710178352490	2584	-0.4764898709213840	3405	-0.8338898670992160
122	0.0625111538348374	943	0.0067708143075051	1764	-0.1455812755312560	2585	-0.4769585768612510	3406	-0.8341908244255170
123	0.0624908956885823	944	0.0066844022838418	1765	-0.1458918170619700	2586	-0.4774273613584300	3407	-0.8344913196596920
124	0.0624704755568393	945	0.0065980377849991	1766	-0.1462026422676350	2587	-0.4778962240741510	3408	-0.8347913529027480
125	0.0624498935054756	946	0.0065117212058755	1767	-0.1465137509882230	2588	-0.4783651646693790	3409	-0.8350909242556360
126	0.0624291496008861	947	0.0064254529415181	1768	-0.1468251430634280	2589	-0.4788341828048220	3410	-0.8353900338192550
127	0.0624082439099937	948	0.0063392333871212	1769	-0.1471368183326710	2590	-0.4793032781409210	3411	-0.8356886816944460
128	0.0623871765002492	949	0.0062530629380259	1770	-0.1474487766350970	2591	-0.4797724503378580	3412	-0.8359868679819970
129	0.0623659474396306	950	0.0061669419897181	1771	-0.1477610178095770	2592	-0.4802416990555510	3413	-0.8362845927826380
130	0.0623445567966439	951	0.0060808709378286	1772	-0.1480735416947080	2593	-0.4807110239536550	3414	-0.8365818561970430
131	0.0623230046403224	952	0.0059948501781312	1773	-0.1483863481288150	2594	-0.4811804246915610	3415	-0.8368786583258300
132	0.0623012910402267	953	0.0059088801065421	1774	-0.1486994369499480	2595	-0.4816499009283970	3416	-0.8371749992695590
133	0.0622794160664449	954	0.0058229611191191	1775	-0.1490128079958850	2596	-0.4821194523230270	3417	-0.8374708791287310
134	0.0622573797895923	955	0.0057370936120600	1776	-0.1493264611041320	2597	-0.4825890785340490	3418	-0.8377662980037890
135	0.0622351822808113	956	0.0056512779817022	1777	-0.1496403961119230	2598	-0.4830587792197990	3419	-0.8380612559951190
136	0.0622128236117713	957	0.0055655146245208	1778	-0.1499546128562190	2599	-0.4835285540383460	3420	-0.8383557532030460
137	0.0621903038546688	958	0.0054798039371289	1779	-0.1502691111737110	2600	-0.4839984026474930	3421	-0.8386497897278360
138	0.0621676230822272	959	0.0053941463162752	1780	-0.1505838909008210	2601	-0.4844683247047790	3422	-0.8389433656696930
139	0.0621447813676965	960	0.0053085421588439	1781	-0.1508989518736970	2602	-0.4849383198674750	3423	-0.8392364811287630
140	0.0621217787848537	961	0.0052229918618533	1782	-0.1512142939282200	2603	-0.4854083877925870	3424	-0.8395291362051280
141	0.0620986154080023	962	0.0051374958224550	1783	-0.1515299168999990	2604	-0.4858785281368540	3425	-0.8398213309988120
142	0.0620752913119722	963	0.0050520544379320	1784	-0.1518458206243740	2605	-0.4863487405567470	3426	-0.8401130656097740
143	0.0620518065721199	964	0.0049666681056994	1785	-0.1521620049364190	2606	-0.4868190247084700	3427	-0.8404043401379120
144	0.0620281612643282	965	0.0048813372233013	1786	-0.1524784696709360	2607	-0.4872893802479600	3428	-0.8406951546830600
145	0.0620043554650062	966	0.0047960621884118	1787	-0.1527952146624590	2608	-0.4877598068308840	3429	-0.8409855093449880
146	0.0619803892510892	967	0.0047108433988321	1788	-0.1531122397452570	2609	-0.4882303041126420	3430	-0.8412754042234050

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
147	0.0619562627000385	968	0.0046256812524908	1789	-0.1534295447533280	2610	-0.4887008717483650	3431	-0.8415648394179550
148	0.0619319758898413	969	0.0045405761474420	1790	-0.1537471295204060	2611	-0.4891715093929140	3432	-0.8418538150282130
149	0.0619075288990110	970	0.0044555284818649	1791	-0.1540649938799570	2612	-0.4896422167008800	3433	-0.8421423311536950
150	0.0618829218065863	971	0.0043705386540624	1792	-0.1543831376651790	2613	-0.4901129933265870	3434	-0.8424303878938460
151	0.0618581546921322	972	0.0042856070624602	1793	-0.1547015607090070	2614	-0.4905838389240860	3435	-0.8427179853480500
152	0.0618332276357387	973	0.0042007341056053	1794	-0.1550202628441090	2615	-0.4910547531471580	3436	-0.8430051236156210
153	0.0618081407180218	974	0.0041159201821657	1795	-0.1553392439028870	2616	-0.4915257356493140	3437	-0.8432918027958060
154	0.0617828940201226	975	0.0040311656909289	1796	-0.1556585037174800	2617	-0.4919967860837910	3438	-0.8435780229877870
155	0.0617574876237075	976	0.0039464710308007	1797	-0.1559780421197600	2618	-0.4924679041035580	3439	-0.8438637842906760
156	0.0617319216109684	977	0.0038618366008047	1798	-0.1562978589413370	2619	-0.4929390893613110	3440	-0.8441490868035170
157	0.0617061960646220	978	0.0037772628000805	1799	-0.1566179540135570	2620	-0.4934103415094710	3441	-0.8444339306252880
158	0.0616803110679103	979	0.0036927500278831	1800	-0.1569383271675000	2621	-0.4938816602001900	3442	-0.8447183158548920
159	0.0616542667045997	980	0.0036082986835822	1801	-0.1572589782339870	2622	-0.4943530450853450	3443	-0.8450022425911700
160	0.0616280630589820	981	0.0035239091666601	1802	-0.1575799070435740	2623	-0.4948244958165400	3444	-0.8452857109328870
161	0.0616017002158734	982	0.0034395818767117	1803	-0.1579011134265540	2624	-0.4952960120451050	3445	-0.8455687209787400
162	0.0615751782606147	983	0.0033553172134424	1804	-0.1582225972129590	2625	-0.4957675934220960	3446	-0.8458512728273550
163	0.0615484972790712	984	0.0032711155766682	1805	-0.1585443582325590	2626	-0.4962392395982950	3447	-0.8461333665772860
164	0.0615216573576327	985	0.0031869773663136	1806	-0.1588663963148630	2627	-0.4967109502242090	3448	-0.8464150023270170
165	0.0614946585832131	986	0.0031029029824113	1807	-0.1591887112891200	2628	-0.4971827249500700	3449	-0.8466961801749570
166	0.0614675010432508	987	0.0030188928251004	1808	-0.1595113029843170	2629	-0.4976545634258340	3450	-0.8469769002194460
167	0.0614401848257079	988	0.0029349472946259	1809	-0.1598341712291800	2630	-0.4981264653011820	3451	-0.8472571625587470
168	0.0614127100190707	989	0.0028510667913373	1810	-0.1601573158521780	2631	-0.4985984302255170	3452	-0.8475369672910540
169	0.0613850767123493	990	0.0027672517156879	1811	-0.1604807366815170	2632	-0.4990704578479670	3453	-0.8478163145144830
170	0.0613572849950775	991	0.0026835024682329	1812	-0.1608044335451480	2633	-0.4995425478173840	3454	-0.8480952043270780
171	0.0613293349573128	992	0.0025998194496295	1813	-0.1611284062707580	2634	-0.5000146997823410	3455	-0.8483736368268090
172	0.0613012266896363	993	0.0025162030606347	1814	-0.1614526546857810	2635	-0.5004869133911320	3456	-0.8486516121115680
173	0.0612729602831524	994	0.0024326537021049	1815	-0.1617771786173890	2636	-0.5009591882917770	3457	-0.8489291302791740
174	0.0612445358294887	995	0.0023491717749945	1816	-0.1621019778924970	2637	-0.5014315241320150	3458	-0.8492061914273700
175	0.0612159534207963	996	0.0022657576803550	1817	-0.1624270523377640	2638	-0.5019039205593060	3459	-0.8494827956538210
176	0.0611872131497493	997	0.0021824118193337	1818	-0.1627524017795900	2639	-0.5023763772208330	3460	-0.8497589430561160
177	0.0611583151095446	998	0.0020991345931727	1819	-0.1630780260441200	2640	-0.5028488937634960	3461	-0.8500346337317680
178	0.0611292593939020	999	0.0020159264032081	1820	-0.1634039249572410	2641	-0.5033214698339200	3462	-0.8503098677782100
179	0.0611000460970642	1000	0.0019327876508681	1821	-0.1637300983445860	2642	-0.5037941050784450	3463	-0.8505846452927990
180	0.0610706753137965	1001	0.0018497187376729	1822	-0.1640565460315300	2643	-0.5042667991431340	3464	-0.8508589663728140
181	0.0610411471393864	1002	0.0017667200652327	1823	-0.1643832678431930	2644	-0.5047395516737680	3465	-0.8511328311154520
182	0.0610114616696443	1003	0.0016837920352473	1824	-0.1647102636044430	2645	-0.5052123623158460	3466	-0.8514062396178340
183	0.0609816190009026	1004	0.0016009350495048	1825	-0.1650375331398890	2646	-0.5056852307145860	3467	-0.8516791919770000

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
184	0.0609516192300157	1005	0.0015181495098797	1826	-0.1653650762738880	2647	-0.5061581565149230	3468	-0.8519516882899100
185	0.0609214624543603	1006	0.0014354358183335	1827	-0.1656928928305430	2648	-0.5066311393615130	3469	-0.8522237286534440
186	0.0608911487718350	1007	0.0013527943769117	1828	-0.1660209826337020	2649	-0.5071041788987250	3470	-0.8524953131644000
187	0.0608606782808601	1008	0.0012702255877439	1829	-0.1663493455069610	2650	-0.5075772747706480	3471	-0.8527664419194960
188	0.0608300510803776	1009	0.0011877298530423	1830	-0.1666779812736640	2651	-0.5080504266210850	3472	-0.8530371150153670
189	0.0607992672698511	1010	0.0011053075751006	1831	-0.1670068897568990	2652	-0.5085236340935580	3473	-0.8533073325485680
190	0.0607683269492657	1011	0.0010229591562931	1832	-0.1673360707795040	2653	-0.5089968968313010	3474	-0.8535770946155700
191	0.0607372302191276	1012	0.0009406849990729	1833	-0.1676655241640640	2654	-0.5094702144772690	3475	-0.8538464013127600
192	0.0607059771804645	1013	0.0008584855059717	1834	-0.1679952497329140	2655	-0.5099435866741260	3476	-0.8541152527364440
193	0.0606745679348248	1014	0.0007763610795980	1835	-0.1683252473081360	2656	-0.5104170130642560	3477	-0.8543836489828430
194	0.0606430025842782	1015	0.0006943121226363	1836	-0.1686555167115620	2657	-0.5108904932897530	3478	-0.8546515901480960
195	0.0606112812314148	1016	0.0006123390378457	1837	-0.1689860577647720	2658	-0.5113640269924270	3479	-0.8549190763282530
196	0.0605794039793460	1017	0.0005304422280592	1838	-0.1693168702890970	2659	-0.5118376138138030	3480	-0.8551861076192840
197	0.0605473709317032	1018	0.0004486220961819	1839	-0.1696479541056160	2660	-0.5123112533951160	3481	-0.8554526841170710
198	0.0605151821926384	1019	0.0003668790451909	1840	-0.1699793090351620	2661	-0.5127849453773160	3482	-0.8557188059174100
199	0.0604828378668239	1020	0.0002852134781328	1841	-0.1703109348983140	2662	-0.5132586894010660	3483	-0.8559844731160140
200	0.0604503380594524	1021	0.0002036257981237	1842	-0.1706428315154060	2663	-0.5137324851067380	3484	-0.8562496858085060
201	0.0604176828762364	1022	0.0001221164083478	1843	-0.1709749987065210	2664	-0.5142063321344200	3485	-0.8565144440904250
202	0.0603848724234083	1023	0.0000406857120557	1844	-0.1713074362914940	2665	-0.5146802301239070	3486	-0.8567787480572200
203	0.0603519068077205	1024	-0.0000407122427553	1845	-0.1716401440899120	2666	-0.5151541787147090	3487	-0.8570425978042550
204	0.0603187861364449	1025	-0.0001223554084305	1846	-0.1719731219211140	2667	-0.5156281775460430	3488	-0.8573059934268050
205	0.0602855105173728	1026	-0.0002042903084702	1847	-0.1723063696041920	2668	-0.5161022262568380	3489	-0.8575689350200560
206	0.0602520800588151	1027	-0.0002865171352329	1848	-0.1726398869579910	2669	-0.5165763244857350	3490	-0.8578314226791060
207	0.0602184948696020	1028	-0.0003690360803726	1849	-0.1729736738011080	2670	-0.5170504718710800	3491	-0.8580934564989630
208	0.0601847550590826	1029	-0.0004518473348406	1850	-0.1733077299518950	2671	-0.5175246680509310	3492	-0.8583550365745480
209	0.0601508607371252	1030	-0.0005349510888859	1851	-0.1736420552284570	2672	-0.5179989126630530	3493	-0.8586161630006880
210	0.0601168120141165	1031	-0.0006183475320547	1852	-0.1739766494486530	2673	-0.5184732053449220	3494	-0.8588768358721230
211	0.0600826090009628	1032	-0.0007020368531927	1853	-0.1743115124300970	2674	-0.5189475457337200	3495	-0.8591370552835010
212	0.0600482518090879	1033	-0.0007860192404442	1854	-0.1746466439901580	2675	-0.5194219334663350	3496	-0.8593968213293800
213	0.0600137405504349	1034	-0.0008702948812534	1855	-0.1749820439459590	2676	-0.5198963681793670	3497	-0.8596561341042260
214	0.0599790753374647	1035	-0.0009548639623648	1856	-0.1753177121143790	2677	-0.5203708495091170	3498	-0.8599149937024110
215	0.0599442562831565	1036	-0.0010397266698239	1857	-0.1756536483120530	2678	-0.5208453770915960	3499	-0.8601734002182190
216	0.0599092835010076	1037	-0.0011248831889775	1858	-0.1759898523553710	2679	-0.5213199505625210	3500	-0.8604313537458380
217	0.0598741571050330	1038	-0.0012103337044749	1859	-0.1763263240604810	2680	-0.5217945695573140	3501	-0.8606888543793660
218	0.0598388772097656	1039	-0.0012960784002675	1860	-0.1766630632432860	2681	-0.5222692337111010	3502	-0.8609459022128040
219	0.0598034439302558	1040	-0.0013821174596102	1861	-0.1770000697194460	2682	-0.5227439426587150	3503	-0.8612024973400630
220	0.0597678573820716	1041	-0.0014684510650619	1862	-0.1773373433043800	2683	-0.5232186960346930	3504	-0.8614586398549580

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
221	0.0597321176812980	1042	-0.0015550793984857	1863	-0.1776748838132630	2684	-0.5236934934732750	3505	-0.8617143298512100
222	0.0596962249445374	1043	-0.0016420026410499	1864	-0.1780126910610270	2685	-0.5241683346084050	3506	-0.8619695674224450
223	0.0596601792889091	1044	-0.0017292209732280	1865	-0.1783507648623650	2686	-0.5246432190737320	3507	-0.8622243526621950
224	0.0596239808320494	1045	-0.0018167345748002	1866	-0.1786891050317260	2687	-0.5251181465026060	3508	-0.8624786856638940
225	0.0595876296921113	1046	-0.0019045436248531	1867	-0.1790277113833190	2688	-0.5255931165280810	3509	-0.8627325665208840
226	0.0595511259877641	1047	-0.0019926483017807	1868	-0.1793665837311100	2689	-0.5260681287829110	3510	-0.8629859953264070
227	0.0595144698381938	1048	-0.0020810487832851	1869	-0.1797057218888280	2690	-0.5265431828995550	3511	-0.8632389721736100
228	0.0594776613631027	1049	-0.0021697452463767	1870	-0.1800451256699590	2691	-0.5270182785101720	3512	-0.8634914971555430
229	0.0594407006827092	1050	-0.0022587378673755	1871	-0.1803847948877500	2692	-0.5274934152466190	3513	-0.8637435703651600
230	0.0594035879177474	1051	-0.0023480268219106	1872	-0.1807247293552070	2693	-0.5279685927404600	3514	-0.8639951918953140
231	0.0593663231894677	1052	-0.0024376122849219	1873	-0.1810649288850970	2694	-0.5284438106229530	3515	-0.8642463618387630
232	0.0593289066196357	1053	-0.0025274944306599	1874	-0.1814053932899500	2695	-0.5289190685250590	3516	-0.8644970802881660
233	0.0592913383305329	1054	-0.0026176734326869	1875	-0.1817461223820530	2696	-0.5293943660774390	3517	-0.8647473473360820
234	0.0592536184449559	1055	-0.0027081494638769	1876	-0.1820871159734590	2697	-0.5298697029104520	3518	-0.8649971630749710
235	0.0592157470862166	1056	-0.0027989226964170	1877	-0.1824283738759800	2698	-0.5303450786541540	3519	-0.8652465275971970
236	0.0591777243781421	1057	-0.0028899933018075	1878	-0.1827698959011900	2699	-0.5308204929383030	3520	-0.8654954409950180
237	0.0591395504450742	1058	-0.0029813614508622	1879	-0.1831116818604270	2700	-0.5312959453923520	3521	-0.8657439033605980
238	0.0591012254118695	1059	-0.0030730273137100	1880	-0.1834537315647890	2701	-0.5317714356454530	3522	-0.8659919147859960
239	0.0590627494038993	1060	-0.0031649910597944	1881	-0.1837960448251390	2702	-0.5322469633264520	3523	-0.8662394753631730
240	0.0590241225470493	1061	-0.0032572528578749	1882	-0.1841386214521030	2703	-0.5327225280638980	3524	-0.8664865851839870
241	0.0589853449677194	1062	-0.0033498128760270	1883	-0.1844814612560690	2704	-0.5331981294860300	3525	-0.8667332443401960
242	0.0589464167928235	1063	-0.0034426712816435	1884	-0.1848245640471910	2705	-0.5336737672207870	3526	-0.8669794529234530
243	0.0589073381497899	1064	-0.0035358282414339	1885	-0.1851679296353860	2706	-0.5341494408958010	3527	-0.8672252110253130
244	0.0588681091665602	1065	-0.0036292839214269	1886	-0.1855115578303330	2707	-0.5346251501384000	3528	-0.8674705187372250
245	0.0588287299715898	1066	-0.0037230384869687	1887	-0.1858554484414810	2708	-0.5351008945756080	3529	-0.8677153761505360
246	0.0587892006938479	1067	-0.0038170921027258	1888	-0.1861996012780380	2709	-0.5355766738341420	3530	-0.8679597833564920
247	0.0587495214628163	1068	-0.0039114449326841	1889	-0.1865440161489810	2710	-0.5360524875404120	3531	-0.8682037404462310
248	0.0587096924084908	1069	-0.0040060971401501	1890	-0.1868886928630500	2711	-0.5365283353205240	3532	-0.8684472475107900
249	0.0586697136613795	1070	-0.0041010488877511	1891	-0.1872336312287540	2712	-0.5370042168002740	3533	-0.8686903046411020
250	0.0586295853525036	1071	-0.0041963003374365	1892	-0.1875788310543650	2713	-0.5374801316051560	3534	-0.8689329119279930
251	0.0585893076133971	1072	-0.0042918516504781	1893	-0.1879242921479230	2714	-0.5379560793603500	3535	-0.8691750694621860
252	0.0585488805761061	1073	-0.0043877029874702	1894	-0.1882700143172320	2715	-0.5384320596907320	3536	-0.8694167773342980
253	0.0585083043731894	1074	-0.0044838545083309	1895	-0.1886159973698670	2716	-0.5389080722208690	3537	-0.8696580356348390
254	0.0584675791377176	1075	-0.0045803063723024	1896	-0.1889622411131670	2717	-0.5393841165750170	3538	-0.8698988444542160
255	0.0584267050032737	1076	-0.0046770587379515	1897	-0.1893087453542400	2718	-0.5398601923771270	3539	-0.8701392038827260
256	0.0583856821039522	1077	-0.0047741117631706	1898	-0.1896555098999590	2719	-0.5403362992508350	3540	-0.8703791140105630
257	0.0583445105743593	1078	-0.0048714656051780	1899	-0.1900025345569690	2720	-0.5408124368194720	3541	-0.8706185749278100

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
258	0.0583031905496127	1079	-0.0049691204205183	1900	-0.1903498191316800	2721	-0.5412886047060550	3542	-0.8708575867244470
259	0.0582617221653415	1080	-0.0050670763650634	1901	-0.1906973634302720	2722	-0.5417648025332910	3543	-0.8710961494903410
260	0.0582201055576857	1081	-0.0051653335940134	1902	-0.1910451672586940	2723	-0.5422410299235780	3544	-0.8713342633152570
261	0.0581783408632965	1082	-0.0052638922618963	1903	-0.1913932304226620	2724	-0.5427172864989980	3545	-0.8715719282888470
262	0.0581364282193358	1083	-0.0053627525225695	1904	-0.1917415527276630	2725	-0.5431935718813260	3546	-0.8718091445006560
263	0.0580943677634760	1084	-0.0054619145292194	1905	-0.1920901339789540	2726	-0.5436698856920200	3547	-0.8720459120401190
264	0.0580521596339001	1085	-0.0055613784343635	1906	-0.1924389739815610	2727	-0.5441462275522290	3548	-0.8722822309965650
265	0.0580098039693012	1086	-0.0056611443898493	1907	-0.1927880725402800	2728	-0.5446225970827840	3549	-0.8725181014592080
266	0.0579673009088826	1087	-0.0057612125468565	1908	-0.1931374294596780	2729	-0.5450989939042080	3550	-0.8727535235171570
267	0.0579246505923575	1088	-0.0058615830558965	1909	-0.1934870445440910	2730	-0.5455754176367050	3551	-0.8729884972594070
268	0.0578818531599489	1089	-0.0059622560668135	1910	-0.1938369175976290	2731	-0.5460518679001680	3552	-0.8732230227748440
269	0.0578389087523889	1090	-0.0060632317287850	1911	-0.1941870484241690	2732	-0.5465283443141730	3553	-0.8734571001522430
270	0.0577958175109197	1091	-0.0061645101903224	1912	-0.1945374368273630	2733	-0.5470048464979810	3554	-0.8736907294802680
271	0.0577525795772920	1092	-0.0062660915992716	1913	-0.1948880826106340	2734	-0.5474813740705380	3555	-0.8739239108474700
272	0.0577091950937660	1093	-0.0063679761028139	1914	-0.1952389855771750	2735	-0.5479579266504740	3556	-0.8741566443422900
273	0.0576656642031104	1094	-0.0064701638474662	1915	-0.1955901455299520	2736	-0.5484345038561020	3557	-0.8743889300530540
274	0.0576219870486026	1095	-0.0065726549790817	1916	-0.1959415622717060	2737	-0.5489111053054160	3558	-0.8746207680679790
275	0.0575781637740288	1096	-0.0066754496428509	1917	-0.1962932356049470	2738	-0.5493877306160980	3559	-0.8748521584751660
276	0.0575341945236830	1097	-0.0067785479833017	1918	-0.1966451653319600	2739	-0.5498643794055060	3560	-0.8750831013626050
277	0.0574900794423674	1098	-0.0068819501443006	1919	-0.1969973512548030	2740	-0.5503410512906850	3561	-0.8753135968181690
278	0.0574458186753924	1099	-0.0069856562690524	1920	-0.1973497931753070	2741	-0.5508177458883580	3562	-0.8755436449296230
279	0.0574014123685758	1100	-0.0070896665001021	1921	-0.1977024908950770	2742	-0.5512944628149300	3563	-0.8757732457846110
280	0.0573568606682431	1101	-0.0071939809793343	1922	-0.1980554442154920	2743	-0.5517712016864870	3564	-0.8760023994706680
281	0.0573121637212270	1102	-0.0072985998479745	1923	-0.1984086529377050	2744	-0.5522479621187970	3565	-0.8762311060752120
282	0.0572673216748674	1103	-0.0074035232465897	1924	-0.1987621168626450	2745	-0.5527247437273030	3566	-0.8764593656855460
283	0.0572223346770112	1104	-0.0075087513150887	1925	-0.1991158357910120	2746	-0.5532015461271310	3567	-0.8766871783888560
284	0.0571772028760123	1105	-0.0076142841927232	1926	-0.1994698095232860	2747	-0.5536783689330860	3568	-0.8769145442722160
285	0.0571319264207306	1106	-0.0077201220180876	1927	-0.1998240378597180	2748	-0.5541552117596500	3569	-0.8771414634225800
286	0.0570865054605330	1107	-0.0078262649291209	1928	-0.2001785206003360	2749	-0.5546320742209830	3570	-0.8773679359267890
287	0.0570409401452922	1108	-0.0079327130631061	1929	-0.2005332575449450	2750	-0.5551089559309250	3571	-0.8775939618715650
288	0.0569952306253871	1109	-0.0080394665566713	1930	-0.2008882484931240	2751	-0.5555858565029920	3572	-0.8778195413435140
289	0.0569493770517023	1110	-0.0081465255457905	1931	-0.2012434932442290	2752	-0.5560627755503750	3573	-0.8780446744291250
290	0.0569033795756282	1111	-0.0082538901657843	1932	-0.2015989915973920	2753	-0.5565397126859440	3574	-0.8782693612147690
291	0.0568572383490603	1112	-0.0083615605513197	1933	-0.2019547433515230	2754	-0.5570166675222450	3575	-0.8784936017866980
292	0.0568109535243997	1113	-0.0084695368364118	1934	-0.2023107483053080	2755	-0.5574936396714980	3576	-0.8787173962310480
293	0.0567645252545522	1114	-0.0085778191544236	1935	-0.2026670062572090	2756	-0.5579706287456000	3577	-0.8789407446338360
294	0.0567179536929286	1115	-0.0086864076380676	1936	-0.2030235170054680	2757	-0.5584476343561200	3578	-0.8791636470809590

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
295	0.0566712389934443	1116	-0.0087953024194050	1937	-0.2033802803481030	2758	-0.5589246561143050	3579	-0.8793861036581960
296	0.0566243813105192	1117	-0.0089045036298479	1938	-0.2037372960829090	2759	-0.5594016936310750	3580	-0.8796081144512050
297	0.0565773807990772	1118	-0.0090140114001583	1939	-0.2040945640074620	2760	-0.5598787465170210	3581	-0.8798296795455280
298	0.0565302376145466	1119	-0.0091238258604504	1940	-0.2044520839191130	2761	-0.5603558143824100	3582	-0.8800507990265830
299	0.0564829519128592	1120	-0.0092339471401901	1941	-0.2048098556149940	2762	-0.5608328968371800	3583	-0.8802714729796690
300	0.0564355238504505	1121	-0.0093443753681959	1942	-0.2051678788920160	2763	-0.5613099934909430	3584	-0.8804917014899660
301	0.0563879535842595	1122	-0.0094551106726396	1943	-0.2055261535468670	2764	-0.5617871039529820	3585	-0.8807114846425320
302	0.0563402412717284	1123	-0.0095661531810470	1944	-0.2058846793760150	2765	-0.5622642278322500	3586	-0.8809308225223030
303	0.0562923870708024	1124	-0.0096775030202983	1945	-0.2062434561757090	2766	-0.5627413647373750	3587	-0.8811497152140940
304	0.0562443911399295	1125	-0.0097891603166291	1946	-0.2066024837419760	2767	-0.5632185142766500	3588	-0.8813681628025990
305	0.0561962536380602	1126	-0.0099011251956307	1947	-0.2069617618706240	2768	-0.5636956760580440	3589	-0.8815861653723910
306	0.0561479747246476	1127	-0.0100133977822507	1948	-0.2073212903572400	2769	-0.5641728496891920	3590	-0.8818037230079170
307	0.0560995545596469	1128	-0.0101259782007942	1949	-0.2076810689971940	2770	-0.5646500347773990	3591	-0.8820208357935040
308	0.0560509933035151	1129	-0.0102388665749236	1950	-0.2080410975856340	2771	-0.5651272309296410	3592	-0.8822375038133570
309	0.0560022911172113	1130	-0.0103520630276597	1951	-0.2084013759174900	2772	-0.5656044377525590	3593	-0.8824537271515560
310	0.0559534481621960	1131	-0.0104655676813824	1952	-0.2087619037874720	2773	-0.5660816548524650	3594	-0.8826695058920580
311	0.0559044646004308	1132	-0.0105793806578313	1953	-0.2091226809900740	2774	-0.5665588818353390	3595	-0.8828848401186960
312	0.0558553405943788	1133	-0.0106935020781059	1954	-0.2094837073195690	2775	-0.5670361183068260	3596	-0.8830997299151790
313	0.0558060763070039	1134	-0.0108079320626671	1955	-0.2098449825700130	2776	-0.5675133638722380	3597	-0.8833141753650920
314	0.0557566719017706	1135	-0.0109226707313368	1956	-0.2102065065352430	2777	-0.5679906181365560	3598	-0.8835281765518960
315	0.0557071275426440	1136	-0.0110377182032994	1957	-0.2105682790088790	2778	-0.5684678807044240	3599	-0.8837417335589260
316	0.0556574433940897	1137	-0.0111530745971020	1958	-0.2109302997843240	2779	-0.5689451511801540	3600	-0.8839548464693920
317	0.0556076196210727	1138	-0.0112687400306551	1959	-0.2112925686547620	2780	-0.5694224291677210	3601	-0.8841675153663780
318	0.0555576563890585	1139	-0.0113847146212334	1960	-0.2116550854131620	2781	-0.5698997142707660	3602	-0.8843797403328450
319	0.0555075538640119	1140	-0.0115009984854759	1961	-0.2120178498522750	2782	-0.5703770060925950	3603	-0.8845915214516240
320	0.0554573122123973	1141	-0.0116175917393877	1962	-0.2123808617646330	2783	-0.5708543042361770	3604	-0.8848028588054220
321	0.0554069316011781	1142	-0.0117344944983391	1963	-0.2127441209425560	2784	-0.5713316083041430	3605	-0.8850137524768200
322	0.0553564121978168	1143	-0.0118517068770675	1964	-0.2131076271781450	2785	-0.5718089178987900	3606	-0.8852242025482710
323	0.0553057541702746	1144	-0.0119692289896773	1965	-0.2134713802632850	2786	-0.5722862326220750	3607	-0.8854342091021000
324	0.0552549576870113	1145	-0.0120870609496411	1966	-0.2138353799896460	2787	-0.5727635520756200	3608	-0.8856437722205060
325	0.0552040229169847	1146	-0.0122052028697996	1967	-0.2141996261486820	2788	-0.5732408758607040	3609	-0.8858528919855610
326	0.0551529500296512	1147	-0.0123236548623633	1968	-0.2145641185316320	2789	-0.5737182035782730	3610	-0.8860615684792070
327	0.0551017391949647	1148	-0.0124424170389120	1969	-0.2149288569295180	2790	-0.5741955348289310	3611	-0.8862698017832590
328	0.0550503905833768	1149	-0.0125614895103960	1970	-0.2152938411331490	2791	-0.5746728692129420	3612	-0.8864775919794030
329	0.0549989043658364	1150	-0.0126808723871369	1971	-0.2156590709331200	2792	-0.5751502063302300	3613	-0.8866849391491960
330	0.0549472807137899	1151	-0.0128005657788280	1972	-0.2160245461198070	2793	-0.5756275457803810	3614	-0.8868918433740680
331	0.0548955197991803	1152	-0.0129205697945350	1973	-0.2163902664833770	2794	-0.5761048871626380	3615	-0.8870983047353170

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
332	0.0548436217944476	1153	-0.0130408845426964	1974	-0.2167562318137790	2795	-0.5765822300759040	3616	-0.8873043233141120
333	0.0547915868725282	1154	-0.0131615101311249	1975	-0.2171224419007500	2796	-0.5770595741187380	3617	-0.8875098991914930
334	0.0547394152068547	1155	-0.0132824466670069	1976	-0.2174888965338130	2797	-0.5775369188893610	3618	-0.8877150324483710
335	0.0546871069713557	1156	-0.0134036942569040	1977	-0.2178555955022760	2798	-0.5780142639856470	3619	-0.8879197231655230
336	0.0546346623404558	1157	-0.0135252530067536	1978	-0.2182225385952360	2799	-0.5784916090051310	3620	-0.8881239714235990
337	0.0545820814890751	1158	-0.0136471230218689	1979	-0.2185897256015740	2800	-0.5789689535450010	3621	-0.8883277730311550
338	0.0545293645926289	1159	-0.0137693044069405	1980	-0.2189571563099610	2801	-0.5794462972021050	3622	-0.8885311408844580
339	0.0544765118270279	1160	-0.0138917972660362	1981	-0.2193248305088520	2802	-0.5799236395729430	3623	-0.8887340622478840
340	0.0544235233686772	1161	-0.0140146017026019	1982	-0.2196927479864920	2803	-0.5804009802536730	3624	-0.8889365414735150
341	0.0543703993944772	1162	-0.0141377178194626	1983	-0.2200609085309140	2804	-0.5808783188401060	3625	-0.8891385786413420
342	0.0543171400818221	1163	-0.0142611457188227	1984	-0.2204293119299350	2805	-0.5813556549277100	3626	-0.8893401738312250
343	0.0542637456086006	1164	-0.0143848855022664	1985	-0.2207979579711650	2806	-0.5818329881116060	3627	-0.8895413271228900
344	0.0542102161531951	1165	-0.0145089372707591	1986	-0.2211668464419990	2807	-0.5823103179865660	3628	-0.8897420385959300
345	0.0541565518944818	1166	-0.0146333011246471	1987	-0.2215359771296200	2808	-0.5827876441470190	3629	-0.8899423083298070
346	0.0541027530118307	1167	-0.0147579771636595	1988	-0.2219053498210010	2809	-0.5832649661870440	3630	-0.8901421364038470
347	0.0540488196851043	1168	-0.0148829654869072	1989	-0.2222749643029050	2810	-0.5837422837003740	3631	-0.8903415228972450
348	0.0539947520946587	1169	-0.0150082661928847	1990	-0.2226448203618810	2811	-0.5842195962803940	3632	-0.8905404678890600
349	0.0539405504213422	1170	-0.0151338793794711	1991	-0.2230149177842690	2812	-0.5846969035201380	3633	-0.8907389714582200
350	0.0538862148464961	1171	-0.0152598051439294	1992	-0.2233852563561980	2813	-0.5851742050122950	3634	-0.8909370336835140
351	0.0538317455519536	1172	-0.0153860435829081	1993	-0.2237558358635860	2814	-0.5856515003492020	3635	-0.8911346546436020
352	0.0537771427200400	1173	-0.0155125947924418	1994	-0.2241266560921410	2815	-0.5861287891228450	3636	-0.8913318344170040
353	0.0537224065335723	1174	-0.0156394588679513	1995	-0.2244977168273620	2816	-0.5866060709248620	3637	-0.8915285730821090
354	0.0536675371758591	1175	-0.0157666359042450	1996	-0.2248690178545360	2817	-0.5870833453465410	3638	-0.8917248707171690
355	0.0536125348307003	1176	-0.0158941259955190	1997	-0.2252405589587430	2818	-0.5875606119788160	3639	-0.8919207274002990
356	0.0535573996823864	1177	-0.0160219292353578	1998	-0.2256123399248490	2819	-0.5880378704122710	3640	-0.8921161432094810
357	0.0535021319156993	1178	-0.0161500457167352	1999	-0.2259843605375160	2820	-0.5885151202371390	3641	-0.8923111182225600
358	0.0534467317159108	1179	-0.0162784755320147	2000	-0.2263566205811920	2821	-0.5889923610432980	3642	-0.8925056525172420
359	0.0533911992687836	1180	-0.0164072187729505	2001	-0.2267291198401200	2822	-0.5894695924202760	3643	-0.8926997461711020
360	0.0533355347605697	1181	-0.0165362755306878	2002	-0.2271018580983310	2823	-0.5899468139572450	3644	-0.8928933992615720
361	0.0532797383780114	1182	-0.0166656458957634	2003	-0.2274748351396490	2824	-0.5904240252430250	3645	-0.8930866118659510
362	0.0532238103083403	1183	-0.0167953299581063	2004	-0.2278480507476890	2825	-0.5909012258660820	3646	-0.8932793840614000
363	0.0531677507392773	1184	-0.0169253278070393	2005	-0.2282215047058580	2826	-0.5913784154145260	3647	-0.8934717159249420
364	0.0531115598590322	1185	-0.0170556395312783	2006	-0.2285951967973550	2827	-0.5918555934761140	3648	-0.8936636075334620
365	0.0530552378563037	1186	-0.0171862652189339	2007	-0.2289691268051700	2828	-0.5923327596382450	3649	-0.8938550589637070
366	0.0529987849202787	1187	-0.0173172049575111	2008	-0.2293432945120860	2829	-0.5928099134879640	3650	-0.8940460702922860
367	0.0529422012406327	1188	-0.0174484588339114	2009	-0.2297176997006790	2830	-0.5932870546119590	3651	-0.8942366415956700
368	0.0528854870075291	1189	-0.0175800269344317	2010	-0.2300923421533150	2831	-0.5937641825965610	3652	-0.8944267729501910

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
369	0.0528286424116187	1190	-0.0177119093447668	2011	-0.2304672216521570	2832	-0.5942412970277440	3653	-0.8946164644320410
370	0.0527716676440400	1191	-0.0178441061500085	2012	-0.2308423379791560	2833	-0.5947183974911240	3654	-0.8948057161172730
371	0.0527145628964187	1192	-0.0179766174346468	2013	-0.2312176909160590	2834	-0.5951954835719600	3655	-0.8949945280818020
372	0.0526573283608674	1193	-0.0181094432825710	2014	-0.2315932802444060	2835	-0.5956725548551510	3656	-0.8951829004014030
373	0.0525999642299853	1194	-0.0182425837770699	2015	-0.2319691057455310	2836	-0.5961496109252390	3657	-0.8953708331517080
374	0.0525424706968581	1195	-0.0183760390008319	2016	-0.2323451672005590	2837	-0.5966266513664040	3658	-0.8955583264082140
375	0.0524848479550577	1196	-0.0185098090359471	2017	-0.2327214643904100	2838	-0.5971036757624690	3659	-0.8957453802462730
376	0.0524270961986417	1197	-0.0186438939639068	2018	-0.2330979970957990	2839	-0.5975806836968940	3660	-0.8959319947410980
377	0.0523692156221533	1198	-0.0187782938656041	2019	-0.2334747650972350	2840	-0.5980576747527800	3661	-0.8961181699677620
378	0.0523112064206214	1199	-0.0189130088213354	2020	-0.2338517681750180	2841	-0.5985346485128670	3662	-0.8963039060011970
379	0.0522530687895593	1200	-0.0190480389108003	2021	-0.2342290061092470	2842	-0.5990116045595320	3663	-0.8964892029161910
380	0.0521948029249659	1201	-0.0191833842131029	2022	-0.2346064786798120	2843	-0.5994885424747910	3664	-0.8966740607873930
381	0.0521364090233242	1202	-0.0193190448067514	2023	-0.2349841856663980	2844	-0.5999654618402970	3665	-0.8968584796893090
382	0.0520778872816015	1203	-0.0194550207696601	2024	-0.2353621268484870	2845	-0.6004423622373420	3666	-0.8970424596963040
383	0.0520192378972490	1204	-0.0195913121791490	2025	-0.2357403020053550	2846	-0.6009192432468510	3667	-0.8972260008826010
384	0.0519604610682020	1205	-0.0197279191119449	2026	-0.2361187109160720	2847	-0.6013961044493890	3668	-0.8974091033222770
385	0.0519015569928789	1206	-0.0198648416441820	2027	-0.2364973533595040	2848	-0.6018729454251550	3669	-0.8975917670892710
386	0.0518425258701815	1207	-0.0200020798514026	2028	-0.2368762291143130	2849	-0.6023497657539820	3670	-0.8977739922573750
387	0.0517833678994943	1208	-0.0201396338085577	2029	-0.2372553379589560	2850	-0.6028265650153410	3671	-0.8979557789002420
388	0.0517240832806846	1209	-0.0202775035900074	2030	-0.2376346796716850	2851	-0.6033033427883350	3672	-0.8981371270913780
389	0.0516646722141021	1210	-0.0204156892695222	2031	-0.2380142540305500	2852	-0.6037800986517020	3673	-0.8983180369041470
390	0.0516051349005784	1211	-0.0205541909202829	2032	-0.2383940608133960	2853	-0.6042568321838150	3674	-0.8984985084117680
391	0.0515454715414270	1212	-0.0206930086148817	2033	-0.2387740997978630	2854	-0.6047335429626760	3675	-0.8986785416873180
392	0.0514856823384429	1213	-0.0208321424253229	2034	-0.2391543707613890	2855	-0.6052102305659250	3676	-0.8988581368037270
393	0.0514257674939025	1214	-0.0209715924230233	2035	-0.2395348734812070	2856	-0.6056868945708290	3677	-0.8990372938337840
394	0.0513657272105628	1215	-0.0211113586788128	2036	-0.2399156077343490	2857	-0.6061635345542920	3678	-0.8992160128501290
395	0.0513055616916620	1216	-0.0212514412629357	2037	-0.2402965732976410	2858	-0.6066401500928450	3679	-0.8993942939252600
396	0.0512452711409182	1217	-0.0213918402450502	2038	-0.2406777699477080	2859	-0.6071167407626530	3680	-0.8995721371315290
397	0.0511848557625298	1218	-0.0215325556942305	2039	-0.2410591974609710	2860	-0.6075933061395110	3681	-0.8997495425411430
398	0.0511243157611752	1219	-0.0216735876789659	2040	-0.2414408556136480	2861	-0.6080698457988420	3682	-0.8999265102261620
399	0.0510636513420122	1220	-0.0218149362671631	2041	-0.2418227441817560	2862	-0.6085463593157000	3683	-0.9001030402585010
400	0.0510028627106779	1221	-0.0219566015261449	2042	-0.2422048629411080	2863	-0.6090228462647690	3684	-0.9002791327099310
401	0.0509419500732882	1222	-0.0220985835226529	2043	-0.2425872116673140	2864	-0.6094993062203610	3685	-0.9004547876520720
402	0.0508809136364380	1223	-0.0222408823228469	2044	-0.2429697901357840	2865	-0.6099757387564170	3686	-0.9006300051564030
403	0.0508197536072004	1224	-0.0223834979923057	2045	-0.2433525981217240	2866	-0.6104521434465040	3687	-0.9008047852942520
404	0.0507584701931267	1225	-0.0225264305960280	2046	-0.2437356354001380	2867	-0.6109285198638190	3688	-0.9009791281368010
405	0.0506970636022459	1226	-0.0226696801984330	2047	-0.2441189017458310	2868	-0.6114048675811830	3689	-0.9011530337550870

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
406	0.0506355340430648	1227	-0.0228132468633610	2048	-0.2445023969334020	2869	-0.6118811861710480	3690	-0.9013265022199970
407	0.0505738817245669	1228	-0.0229571306540741	2049	-0.2448861207372520	2870	-0.6123574752054860	3691	-0.9014995336022720
408	0.0505121068562134	1229	-0.0231013316332569	2050	-0.2452700729315790	2871	-0.6128337342562010	3692	-0.901672127925050
409	0.0504502096479414	1230	-0.0232458498630169	2051	-0.2456542532903800	2872	-0.6133099628945180	3693	-0.9018442854011410
410	0.0503881903101650	1231	-0.0233906854048852	2052	-0.2460386615874500	2873	-0.6137861606913880	3694	-0.9020160059584760
411	0.0503260490537740	1232	-0.0235358383198180	2053	-0.2464232975963850	2874	-0.6142623272173870	3695	-0.9021872897146580
412	0.0502637860901339	1233	-0.0236813086681957	2054	-0.2468081610905780	2875	-0.6147384620427140	3696	-0.9023581367396880
413	0.0502014016310858	1234	-0.0238270965098250	2055	-0.2471932518432220	2876	-0.6152145647371920	3697	-0.9025285471034150
414	0.0501388958889461	1235	-0.0239732019039385	2056	-0.2475785696273110	2877	-0.6156906348702670	3698	-0.9026985208755410
415	0.0500762690765060	1236	-0.0241196249091964	2057	-0.2479641142156350	2878	-0.6161666720110070	3699	-0.9028680581256200
416	0.0500135214070311	1237	-0.0242663655836857	2058	-0.2483498853807860	2879	-0.6166426757281040	3700	-0.9030371589230540
417	0.0499506530942614	1238	-0.0244134239849228	2059	-0.2487358828951570	2880	-0.6171186455898690	3701	-0.9032058233370960
418	0.0498876643524108	1239	-0.0245608001698522	2060	-0.2491221065309370	2881	-0.6175945811642360	3702	-0.9033740514368510
419	0.0498245553961670	1240	-0.0247084941948485	2061	-0.2495085560601180	2882	-0.6180704820187600	3703	-0.9035418432912710
420	0.0497613264406911	1241	-0.0248565061157164	2062	-0.2498952312544910	2883	-0.6185463477206150	3704	-0.9037091989691600
421	0.0496979777016169	1242	-0.0250048359876918	2063	-0.2502821318856480	2884	-0.6190221778365970	3705	-0.9038761185391700
422	0.0496345093950513	1243	-0.0251534838654416	2064	-0.2506692577249810	2885	-0.6194979719331190	3706	-0.9040426020698040
423	0.0495709217375736	1244	-0.0253024498030657	2065	-0.2510566085436810	2886	-0.6199737295762150	3707	-0.9042086496294130
424	0.0495072149462349	1245	-0.0254517338540966	2066	-0.2514441841127420	2887	-0.6204494503315370	3708	-0.9043742612861970
425	0.0494433892385587	1246	-0.0256013360715001	2067	-0.2518319842029570	2888	-0.6209251337643560	3709	-0.9045394371082060
426	0.0493794448325398	1247	-0.0257512565076767	2068	-0.2522200085849210	2889	-0.6214007794395590	3710	-0.9047041771633360
427	0.0493153819466438	1248	-0.0259014952144614	2069	-0.2526082570290280	2890	-0.6218763869216520	3711	-0.9048684815193330
428	0.0492512007998077	1249	-0.0260520522431251	2070	-0.2529967293054760	2891	-0.6223519557747560	3712	-0.9050323502437910
429	0.0491869016114389	1250	-0.0262029276443743	2071	-0.2533854251842610	2892	-0.6228274855626100	3713	-0.9051957834041530
430	0.0491224846014150	1251	-0.0263541214683532	2072	-0.2537743444351830	2893	-0.6233029758485690	3714	-0.9053587810677080
431	0.0490579499900838	1252	-0.0265056337646427	2073	-0.2541634868278410	2894	-0.6237784261956030	3715	-0.9055213433015920
432	0.0489932979982625	1253	-0.0266574645822623	2074	-0.2545528521316360	2895	-0.6242538361662960	3716	-0.9056834701727910
433	0.0489285288472379	1254	-0.0268096139696702	2075	-0.2549424401157730	2896	-0.6247292053228500	3717	-0.9058451617481370
434	0.0488636427587653	1255	-0.0269620819747640	2076	-0.2553322505492570	2897	-0.6252045332270770	3718	-0.9060064180943070
435	0.0487986399550692	1256	-0.0271148686448816	2077	-0.2557222832008920	2898	-0.6256798194404060	3719	-0.9061672392778280
436	0.0487335206588424	1257	-0.0272679740268014	2078	-0.2561125378392890	2899	-0.6261550635238780	3720	-0.9063276253650710
437	0.0486682850932455	1258	-0.0274213981667437	2079	-0.2565030142328580	2900	-0.6266302650381460	3721	-0.9064875764222550
438	0.0486029334819071	1259	-0.0275751411103703	2080	-0.2568937121498120	2901	-0.6271054235434770	3722	-0.9066470925154440
439	0.0485374660489231	1260	-0.0277292029027862	2081	-0.2572846313581660	2902	-0.6275805385997510	3723	-0.9068061737105500
440	0.0484718830188564	1261	-0.0278835835885395	2082	-0.2576757716257360	2903	-0.6280556097664560	3724	-0.9069648200733280
441	0.0484061846167370	1262	-0.0280382832116227	2083	-0.2580671327201430	2904	-0.6285306366026940	3725	-0.9071230316693800
442	0.0483403710680609	1263	-0.0281933018154724	2084	-0.2584587144088100	2905	-0.6290056186671770	3726	-0.9072808085641550

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
443	0.0482744425987905	1264	-0.0283486394429715	2085	-0.2588505164589600	2906	-0.6294805555182270	3727	-0.9074381508229440
444	0.0482083994353541	1265	-0.0285042961364478	2086	-0.2592425386376220	2907	-0.6299554467137760	3728	-0.9075950585108870
445	0.0481422418046450	1266	-0.0286602719376769	2087	-0.2596347807116250	2908	-0.6304302918113660	3729	-0.9077515316929650
446	0.0480759699340222	1267	-0.0288165668878809	2088	-0.2600272424476050	2909	-0.6309050903681450	3730	-0.9079075704340060
447	0.0480095840513091	1268	-0.0289731810277302	2089	-0.2604199236119960	2910	-0.6313798419408740	3731	-0.9080631747986810
448	0.0479430843847939	1269	-0.0291301143973440	2090	-0.2608128239710390	2911	-0.6318545460859190	3732	-0.9082183448515080
449	0.0478764711632285	1270	-0.0292873670362902	2091	-0.2612059432907750	2912	-0.6323292023592530	3733	-0.9083730806568470
450	0.0478097446158292	1271	-0.0294449389835874	2092	-0.2615992813370520	2913	-0.6328038103164600	3734	-0.9085273822789020
451	0.0477429049722754	1272	-0.0296028302777044	2093	-0.2619928378755190	2914	-0.6332783695127260	3735	-0.9086812497817200
452	0.0476759524627096	1273	-0.0297610409565613	2094	-0.2623866126716280	2915	-0.6337528795028470	3736	-0.9088346832291950
453	0.0476088873177373	1274	-0.0299195710575300	2095	-0.2627806054906360	2916	-0.6342273398412220	3737	-0.9089876826850610
454	0.0475417097684266	1275	-0.0300784206174351	2096	-0.2631748160976040	2917	-0.6347017500818580	3738	-0.9091402482128960
455	0.0474744200463074	1276	-0.0302375896725546	2097	-0.2635692442573940	2918	-0.6351761097783660	3739	-0.9092923798761220
456	0.0474070183833716	1277	-0.0303970782586202	2098	-0.2639638897346760	2919	-0.6356504184839590	3740	-0.9094440777380030
457	0.0473395050120726	1278	-0.0305568864108178	2099	-0.2643587522939210	2920	-0.6361246757514580	3741	-0.9095953418616470
458	0.0472718801653248	1279	-0.0307170141637892	2100	-0.2647538316994030	2921	-0.6365988811332860	3742	-0.9097461723100030
459	0.0472041440765037	1280	-0.0308774615516314	2101	-0.2651491277152050	2922	-0.6370730341814680	3743	-0.9098965691458630
460	0.0471362969794448	1281	-0.0310382286078981	2102	-0.2655446401052080	2923	-0.6375471344476340	3744	-0.9100465324318600
461	0.0470683391084439	1282	-0.0311993153656003	2103	-0.2659403686331020	2924	-0.6380211814830150	3745	-0.9101960622304720
462	0.0470002706982567	1283	-0.0313607218572068	2104	-0.2663363130623790	2925	-0.6384951748384440	3746	-0.9103451586040150
463	0.0469320919840983	1284	-0.0315224481146444	2105	-0.2667324731563360	2926	-0.6389691140643550	3747	-0.9104938216146490
464	0.0468638032016426	1285	-0.0316844941692996	2106	-0.2671288486780750	2927	-0.6394429987107840	3748	-0.9106420513243760
465	0.0467954045870224	1286	-0.0318468600520182	2107	-0.2675254393905010	2928	-0.6399168283273660	3749	-0.9107898477950380
466	0.0467268963768289	1287	-0.0320095457931068	2108	-0.2679222450563270	2929	-0.6403906024633400	3750	-0.9109372110883170
467	0.0466582788081113	1288	-0.0321725514223326	2109	-0.2683192654380660	2930	-0.6408643206675380	3751	-0.9110841412657390
468	0.0465895521183765	1289	-0.0323358769689250	2110	-0.2687165002980400	2931	-0.6413379824883990	3752	-0.9112306383886680
469	0.0465207165455889	1290	-0.0324995224615757	2111	-0.2691139493983740	2932	-0.6418115874739540	3753	-0.9113767025183110
470	0.0464517723281694	1291	-0.0326634879284389	2112	-0.2695116125009980	2933	-0.6422851351718360	3754	-0.9115223337157130
471	0.0463827197049960	1292	-0.0328277733971331	2113	-0.2699094893676480	2934	-0.6427586251292760	3755	-0.9116675320417610
472	0.0463135589154027	1293	-0.0329923788947409	2114	-0.2703075797598630	2935	-0.6432320568931010	3756	-0.9118122975571810
473	0.0462442901991797	1294	-0.0331573044478098	2115	-0.2707058834389890	2936	-0.6437054300097370	3757	-0.9119566303225400
474	0.0461749137965725	1295	-0.0333225500823530	2116	-0.2711044001661770	2937	-0.6441787440252030	3758	-0.9121005303982450
475	0.0461054299482817	1296	-0.0334881158238500	2117	-0.2715031297023840	2938	-0.6446519984851180	3759	-0.9122439978445400
476	0.0460358388954632	1297	-0.0336540016972473	2118	-0.2719020718083700	2939	-0.6451251929346960	3760	-0.9123870327215110
477	0.0459661408797271	1298	-0.0338202077269589	2119	-0.2723012262447030	2940	-0.6455983269187440	3761	-0.9125296350890830
478	0.0458963361431376	1299	-0.0339867339368671	2120	-0.2727005927717550	2941	-0.6460713999816660	3762	-0.9126718050070190
479	0.0458264249282128	1300	-0.0341535803503228	2121	-0.2731001711497040	2942	-0.6465444116674600	3763	-0.9128135425349220

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
480	0.0457564074779241	1301	-0.0343207469901471	2122	-0.2734999611385350	2943	-0.6470173615197180	3764	-0.9129548477322330
481	0.0456862840356961	1302	-0.0344882338786308	2123	-0.2738999624980360	2944	-0.6474902490816250	3765	-0.9130957206582320
482	0.0456160548454061	1303	-0.0346560410375354	2124	-0.2743001749878030	2945	-0.6479630738959600	3766	-0.9132361613720380
483	0.0455457201513833	1304	-0.0348241684880943	2125	-0.2747005983672370	2946	-0.6484358355050930	3767	-0.9133761699326060
484	0.0454752801984095	1305	-0.0349926162510131	2126	-0.2751012323955440	2947	-0.6489085334509890	3768	-0.9135157463987320
485	0.0454047352317177	1306	-0.0351613843464698	2127	-0.2755020768317390	2948	-0.6493811672752010	3769	-0.9136548908290490
486	0.0453340854969922	1307	-0.0353304727941160	2128	-0.2759031314346400	2949	-0.6498537365188780	3770	-0.9137936032820270
487	0.0452633312403681	1308	-0.0354998816130775	2129	-0.2763043959628710	2950	-0.6503262407227560	3771	-0.9139318838159740
488	0.0451924727084311	1309	-0.0356696108219548	2130	-0.2767058701748650	2951	-0.6507986794271630	3772	-0.9140697324890360
489	0.0451215101482171	1310	-0.0358396604388239	2131	-0.2771075538288590	2952	-0.6512710521720170	3773	-0.9142071493591960
490	0.0450504438072114	1311	-0.0360100304812366	2132	-0.2775094466828960	2953	-0.6517433584968270	3774	-0.9143441344842730
491	0.0449792739333491	1312	-0.0361807209662219	2133	-0.2779115484948270	2954	-0.6522155979406880	3775	-0.9144806879219260
492	0.0449080007750141	1313	-0.0363517319102855	2134	-0.2783138590223070	2955	-0.6526877700422870	3776	-0.9146168097296480
493	0.0448366245810387	1314	-0.0365230633294115	2135	-0.2787163780227990	2956	-0.6531598743398960	3777	-0.9147524999647690
494	0.0447651456007039	1315	-0.0366947152390625	2136	-0.2791191052535740	2957	-0.6536319103713790	3778	-0.9148877586844570
495	0.0446935640837383	1316	-0.0368666876541805	2137	-0.2795220404717050	2958	-0.6541038776741840	3779	-0.9150225859457160
496	0.0446218802803182	1317	-0.0370389805891875	2138	-0.2799251834340770	2959	-0.6545757757853470	3780	-0.9151569818053850
497	0.0445500944410666	1318	-0.0372115940579860	2139	-0.2803285338973770	2960	-0.6550476042414910	3781	-0.9152909463201400
498	0.0444782068170538	1319	-0.0373845280739596	2140	-0.2807320916181010	2961	-0.6555193625788250	3782	-0.9154244795464930
499	0.0444062176597961	1320	-0.0375577826499741	2141	-0.2811358563525520	2962	-0.6559910503331440	3783	-0.9155575815407920
500	0.0443341272212557	1321	-0.0377313577983778	2142	-0.2815398278568380	2963	-0.6564626670398270	3784	-0.9156902523592190
501	0.0442619357538408	1322	-0.0379052535310018	2143	-0.2819440058868750	2964	-0.6569342122338400	3785	-0.9158224920577940
502	0.0441896435104046	1323	-0.0380794698591614	2144	-0.2823483901983870	2965	-0.6574056854497310	3786	-0.9159543006923700
503	0.0441172507442450	1324	-0.0382540067936565	2145	-0.2827529805469020	2966	-0.6578770862216330	3787	-0.9160856783186360
504	0.0440447577091044	1325	-0.0384288643447717	2146	-0.2831577766877580	2967	-0.6583484140832640	3788	-0.9162166249921180
505	0.0439721646591695	1326	-0.0386040425222778	2147	-0.2835627783760970	2968	-0.6588196685679230	3789	-0.9163471407681730
506	0.0438994718490704	1327	-0.0387795413354317	2148	-0.2839679853668690	2969	-0.6592908492084920	3790	-0.9164772257019960
507	0.0438266795338806	1328	-0.0389553607929773	2149	-0.2843733974148340	2970	-0.6597619555374360	3791	-0.9166068798486140
508	0.0437537879691164	1329	-0.0391315009031471	2150	-0.2847790142745540	2971	-0.6602329870868020	3792	-0.9167361032628910
509	0.0436807974107368	1330	-0.0393079616736607	2151	-0.2851848357004030	2972	-0.6607039433882170	3793	-0.9168648959995240
510	0.0436077081151428	1331	-0.0394847431117274	2152	-0.2855908614465570	2973	-0.6611748239728900	3794	-0.9169932581130430
511	0.0435345203391770	1332	-0.0396618452240464	2153	-0.2859970912670050	2974	-0.6616456283716110	3795	-0.9171211896578140
512	0.0434612343401233	1333	-0.0398392680168064	2154	-0.2864035249155390	2975	-0.6621163561147480	3796	-0.9172486906880370
513	0.0433878503757070	1334	-0.0400170114956880	2155	-0.2868101621457600	2976	-0.6625870067322530	3797	-0.9173757612577420
514	0.0433143687040934	1335	-0.0401950756658626	2156	-0.2872170027110750	2977	-0.6630575797536500	3798	-0.9175024014207980
515	0.0432407895838882	1336	-0.0403734605319942	2157	-0.2876240463646990	2978	-0.6635280747080500	3799	-0.9176286112309030
516	0.0431671132741366	1337	-0.0405521660982396	2158	-0.2880312928596560	2979	-0.6639984911241370	3800	-0.9177543907415900

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
517	0.0430933400343235	1338	-0.0407311923682495	2159	-0.2884387419487750	2980	-0.6644688285301730	3801	-0.9178797400062260
518	0.0430194701243725	1339	-0.0409105393451679	2160	-0.2888463933846940	2981	-0.6649390864540010	3802	-0.9180046590780090
519	0.0429455038046459	1340	-0.0410902070316346	2161	-0.2892542469198570	2982	-0.6654092644230390	3803	-0.9181291480099720
520	0.0428714413359438	1341	-0.0412701954297843	2162	-0.2896623023065170	2983	-0.6658793619642790	3804	-0.9182532068549780
521	0.0427972829795044	1342	-0.0414505045412477	2163	-0.2900705592967330	2984	-0.6663493786042950	3805	-0.9183768356657250
522	0.0427230289970031	1343	-0.0416311343671527	2164	-0.2904790176423730	2985	-0.6668193138692320	3806	-0.9185000344947430
523	0.0426486796505523	1344	-0.0418120849081242	2165	-0.2908876770951110	2986	-0.6672891672848120	3807	-0.9186228033943940
524	0.0425742352027006	1345	-0.0419933561642855	2166	-0.2912965374064310	2987	-0.6677589383763330	3808	-0.9187451424168710
525	0.0424996959164333	1346	-0.0421749481352580	2167	-0.2917055983276210	2988	-0.6682286266866650	3809	-0.9188670516142010
526	0.0424250620551707	1347	-0.0423568608201632	2168	-0.2921148596097800	2989	-0.6686982316862550	3810	-0.9189885310382410
527	0.0423503338827690	1348	-0.0425390942176219	2169	-0.2925243210038130	2990	-0.6691677529531220	3811	-0.9191095807406810
528	0.0422755116635189	1349	-0.0427216483257558	2170	-0.2929339822604330	2991	-0.6696371899928570	3812	-0.9192302007730420
529	0.0422005956621458	1350	-0.0429045231421877	2171	-0.2933438431301600	2992	-0.6701065423286260	3813	-0.9193503911866780
530	0.0421255861438089	1351	-0.0430877186640424	2172	-0.2937539033633230	2993	-0.6705758094831680	3814	-0.9194701520327710
531	0.0420504833741015	1352	-0.0432712348879474	2173	-0.2941641627100570	2994	-0.6710449909787910	3815	-0.9195894833623380
532	0.0419752876190494	1353	-0.0434550718100327	2174	-0.2945746209203070	2995	-0.6715140863373770	3816	-0.9197083852262250
533	0.0418999991451121	1354	-0.0436392294259330	2175	-0.2949852777438240	2996	-0.6719830950803770	3817	-0.9198268576751080
534	0.0418246182191807	1355	-0.0438237077307868	2176	-0.2953961329301670	2997	-0.6724520167288160	3818	-0.9199449007594960
535	0.0417491451085788	1356	-0.0440085067192379	2177	-0.2958071862287020	2998	-0.6729208508032850	3819	-0.9200625145297280
536	0.0416735800810614	1357	-0.0441936263854359	2178	-0.2962184373886060	2999	-0.6733895968239480	3820	-0.9201796990359730
537	0.0415979234048144	1358	-0.0443790667230366	2179	-0.2966298861588600	3000	-0.6738582543105380	3821	-0.9202964543282310
538	0.0415221753484550	1359	-0.0445648277252030	2180	-0.2970415322882550	3001	-0.6743268227823550	3822	-0.9204127804563310
539	0.0414463361810299	1360	-0.0447509093846054	2181	-0.2974533755253880	3002	-0.6747953017582700	3823	-0.9205286774699350
540	0.0413704061720164	1361	-0.0449373116934229	2182	-0.2978654156186660	3003	-0.6752636907567210	3824	-0.9206441454185310
541	0.0412943855913209	1362	-0.0451240346433431	2183	-0.2982776523163030	3004	-0.6757319892957140	3825	-0.9207591843514390
542	0.0412182747092788	1363	-0.0453110782255632	2184	-0.2986900853663200	3005	-0.6762001968928220	3826	-0.9208737943178110
543	0.0411420737966542	1364	-0.0454984424307908	2185	-0.2991027145165460	3006	-0.6766683130651850	3827	-0.9209879753666250
544	0.0410657831246393	1365	-0.0456861272492441	2186	-0.2995155395146200	3007	-0.6771363373295100	3828	-0.9211017275466900
545	0.0409894029648541	1366	-0.0458741326706532	2187	-0.2999285601079850	3008	-0.6776042692020680	3829	-0.9212150509066440
546	0.0409129335893459	1367	-0.0460624586842594	2188	-0.3003417760438960	3009	-0.6780721081986990	3830	-0.9213279454949550
547	0.0408363752705888	1368	-0.0462511052788180	2189	-0.3007551870694120	3010	-0.6785398538348050	3831	-0.9214404113599200
548	0.0407597282814834	1369	-0.0464400724425966	2190	-0.3011687929314030	3011	-0.6790075056253550	3832	-0.9215524485496650
549	0.0406829928953563	1370	-0.0466293601633772	2191	-0.3015825933765460	3012	-0.6794750630848810	3833	-0.9216640571121430
550	0.0406061693859597	1371	-0.0468189684284567	2192	-0.3019965881513230	3013	-0.6799425257274800	3834	-0.9217752370951400
551	0.0405292580274710	1372	-0.0470088972246470	2193	-0.3024107770020290	3014	-0.6804098930668120	3835	-0.9218859885462660
552	0.0404522590944920	1373	-0.0471991465382758	2194	-0.3028251596747620	3015	-0.6808771646161000	3836	-0.9219963115129610
553	0.0403751728620491	1374	-0.0473897163551878	2195	-0.3032397359154310	3016	-0.6813443398881290	3837	-0.9221062060424970

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
554	0.0402979996055925	1375	-0.0475806066607444	2196	-0.3036545054697510	3017	-0.6818114183952490	3838	-0.9222156721819680
555	0.0402207396009956	1376	-0.0477718174398251	2197	-0.3040694680832460	3018	-0.6822783996493670	3839	-0.9223247099783010
556	0.0401433931245549	1377	-0.0479633486768278	2198	-0.3044846235012480	3019	-0.6827452831619580	3840	-0.9224333194782500
557	0.0400659604529893	1378	-0.0481552003556695	2199	-0.3048999714688950	3020	-0.6832120684440510	3841	-0.9225415007283940
558	0.0399884418634397	1379	-0.0483473724597869	2200	-0.3053155117311350	3021	-0.6836787550062420	3842	-0.9226492537751450
559	0.0399108376334691	1380	-0.0485398649721373	2201	-0.3057312440327220	3022	-0.6841453423586820	3843	-0.9227565786647380
560	0.0398331480410607	1381	-0.0487326778751982	2202	-0.3061471681182200	3023	-0.6846118300110850	3844	-0.9228634754432380
561	0.0397553733646196	1382	-0.0489258111509699	2203	-0.3065632837319980	3024	-0.6850782174727230	3845	-0.9229699441565370
562	0.0396775138829703	1383	-0.0491192647809739	2204	-0.3069795906182340	3025	-0.6855445042524280	3846	-0.9230759848503530
563	0.0395995698753574	1384	-0.0493130387462551	2205	-0.3073960885209140	3026	-0.6860106898585900	3847	-0.9231815975702340
564	0.0395215416214449	1385	-0.0495071330273819	2206	-0.3078127771838330	3027	-0.6864767737991570	3848	-0.9232867823615520
565	0.0394434294013159	1386	-0.0497015476044468	2207	-0.3082296563505910	3028	-0.6869427555816340	3849	-0.9233915392695090
566	0.0393652334954715	1387	-0.0498962824570668	2208	-0.3086467257645970	3029	-0.6874086347130850	3850	-0.9234958683391310
567	0.0392869541848313	1388	-0.0500913375643848	2209	-0.3090639851690690	3030	-0.6878744107001290	3851	-0.9235997696152730
568	0.0392085917507323	1389	-0.0502867129050693	2210	-0.3094814343070300	3031	-0.6883400830489440	3852	-0.9237032431426140
569	0.0391301464749284	1390	-0.0504824084573157	2211	-0.3098990729213120	3032	-0.6888056512652620	3853	-0.9238062889656640
570	0.0390516186395904	1391	-0.0506784241988466	2212	-0.3103169007545560	3033	-0.6892711148543700	3854	-0.9239089071287540
571	0.0389730085273052	1392	-0.0508747601069125	2213	-0.3107349175492090	3034	-0.6897364733211130	3855	-0.9240110976760460
572	0.0388943164210757	1393	-0.0510714161582928	2214	-0.3111531230475240	3035	-0.6902017261698900	3856	-0.9241128606515250
573	0.0388155426043196	1394	-0.0512683923292952	2215	-0.3115715169915660	3036	-0.6906668729046520	3857	-0.9242141960990030
574	0.0387366873608696	1395	-0.0514656885957583	2216	-0.3119900991232030	3037	-0.6911319130289070	3858	-0.9243151040621190
575	0.0386577509749727	1396	-0.0516633049330503	2217	-0.3124088691841140	3038	-0.6915968460457150	3859	-0.9244155845843360
576	0.0385787337312904	1397	-0.0518612413160709	2218	-0.3128278269157830	3039	-0.6920616714576900	3860	-0.9245156377089450
577	0.0384996359148965	1398	-0.0520594977192513	2219	-0.3132469720595030	3040	-0.6925263887669990	3861	-0.9246152634790610
578	0.0384204578112786	1399	-0.0522580741165550	2220	-0.3136663043563730	3041	-0.6929909974753610	3862	-0.9247144619376240
579	0.0383411997063367	1400	-0.0524569704814785	2221	-0.3140858235473020	3042	-0.6934554970840450	3863	-0.9248132331274020
580	0.0382618618863824	1401	-0.0526561867870521	2222	-0.3145055293730030	3043	-0.6939198870938770	3864	-0.9249115770909860
581	0.0381824446381393	1402	-0.0528557230058398	2223	-0.3149254215739990	3044	-0.6943841670052290	3865	-0.9250094938707930
582	0.0381029482487418	1403	-0.0530555791099406	2224	-0.3153454998906190	3045	-0.6948483363180250	3866	-0.9251069835090640
583	0.0380233730057350	1404	-0.0532557550709890	2225	-0.3157657640629990	3046	-0.6953123945317410	3867	-0.9252040460478680
584	0.0379437191970741	1405	-0.0534562508601557	2226	-0.3161862138310850	3047	-0.6957763411454030	3868	-0.9253006815290950
585	0.0378639871111242	1406	-0.0536570664481477	2227	-0.3166068489346260	3048	-0.6962401756575840	3869	-0.9253968899944620
586	0.0377841770366591	1407	-0.0538582018052096	2228	-0.3170276691131810	3049	-0.6967038975664080	3870	-0.9254926714855120
587	0.0377042892628619	1408	-0.0540596569011241	2229	-0.3174486741061160	3050	-0.6971675063695470	3871	-0.9255880260436090
588	0.0376243240793233	1409	-0.0542614317052120	2230	-0.3178698636526030	3051	-0.6976310015642240	3872	-0.9256829537099450
589	0.0375442817760423	1410	-0.0544635261863334	2231	-0.3182912374916230	3052	-0.6980943826472070	3873	-0.9257774545255340
590	0.0374641626434248	1411	-0.0546659403128883	2232	-0.3187127953619600	3053	-0.6985576491148130	3874	-0.9258715285312150

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
591	0.0373839669722838	1412	-0.0548686740528170	2233	-0.3191345370022110	3054	-0.6990208004629040	3875	-0.9259651757676510
592	0.0373036950538384	1413	-0.0550717273736011	2234	-0.3195564621507740	3055	-0.6994838361868930	3876	-0.9260583962753310
593	0.0372233471797134	1414	-0.0552751002422637	2235	-0.3199785705458570	3056	-0.6999467557817360	3877	-0.9261511900945640
594	0.0371429236419394	1415	-0.0554787926253698	2236	-0.3204008619254760	3057	-0.7004095587419360	3878	-0.9262435572654870
595	0.0370624247329515	1416	-0.0556828044890280	2237	-0.3208233360274520	3058	-0.7008722445615420	3879	-0.9263354978280570
596	0.0369818507455890	1417	-0.0558871357988899	2238	-0.3212459925894110	3059	-0.7013348127341470	3880	-0.9264270118220590
597	0.0369012019730956	1418	-0.0560917865201514	2239	-0.3216688313487910	3060	-0.7017972627528910	3881	-0.9265180992870980
598	0.0368204787091180	1419	-0.0562967566175530	2240	-0.3220918520428310	3061	-0.7022595941104550	3882	-0.9266087602626030
599	0.0367396812477060	1420	-0.0565020460553808	2241	-0.3225150544085800	3062	-0.7027218062990680	3883	-0.9266989947878280
600	0.0366588098833116	1421	-0.0567076547974670	2242	-0.3229384381828940	3063	-0.7031838988105000	3884	-0.9267888029018490
601	0.0365778649107890	1422	-0.0569135828071899	2243	-0.3233620031024330	3064	-0.7036458711360660	3885	-0.9268781846435660
602	0.0364968466253935	1423	-0.0571198300474752	2244	-0.3237857489036650	3065	-0.7041077227666210	3886	-0.9269671400517010
603	0.0364157553227816	1424	-0.0573263964807968	2245	-0.3242096753228650	3066	-0.7045694531925660	3887	-0.9270556691647990
604	0.0363345912990101	1425	-0.0575332820691768	2246	-0.3246337820961130	3067	-0.7050310619038410	3888	-0.9271437720212300
605	0.0362533548505358	1426	-0.0577404867741861	2247	-0.3250580689592970	3068	-0.7054925483899300	3889	-0.9272314486591840
606	0.0361720462742148	1427	-0.0579480105569460	2248	-0.3254825356481100	3069	-0.7059539121398580	3890	-0.9273186991166760
607	0.0360906658673022	1428	-0.0581558533781270	2249	-0.3259071818980510	3070	-0.7064151526421890	3891	-0.9274055234315420
608	0.0360092139274516	1429	-0.0583640151979517	2250	-0.3263320074444270	3071	-0.7068762693850290	3892	-0.9274919216414410
609	0.0359276907527146	1430	-0.0585724959761934	2251	-0.3267570120223500	3072	-0.7073372155255860	3893	-0.9275778937838550
610	0.0358460966415400	1431	-0.0587812956721778	2252	-0.3271821953667370	3073	-0.7077977127924680	3894	-0.9276634398960870
611	0.0357644318927737	1432	-0.0589904142447833	2253	-0.3276075572123130	3074	-0.7082577149148700	3895	-0.9277485600152650
612	0.0356826968056579	1433	-0.0591998516524419	2254	-0.3280330972936080	3075	-0.7087172219774850	3896	-0.9278332541783350
613	0.0356008916798307	1434	-0.0594096078531392	2255	-0.3284588153449580	3076	-0.7091762340651850	3897	-0.9279175224220690
614	0.0355190168153258	1435	-0.0596196828044158	2256	-0.3288847111005040	3077	-0.7096347512630200	3898	-0.9280013647830590
615	0.0354370725125716	1436	-0.0598300764633671	2257	-0.3293107842941950	3078	-0.7100927736562150	3899	-0.9280847812977200
616	0.0353550590723910	1437	-0.0600407887866444	2258	-0.3297370346597830	3079	-0.7105503013301720	3900	-0.9281677720022860
617	0.0352729767960006	1438	-0.0602518197304557	2259	-0.3301634619308280	3080	-0.7110073343704660	3901	-0.9282503369328160
618	0.0351908259850105	1439	-0.0604631692505657	2260	-0.3305900658406940	3081	-0.7114638728628470	3902	-0.9283324761251900
619	0.0351086069414236	1440	-0.0606748373022970	2261	-0.3310168461225520	3082	-0.7119199168932370	3903	-0.9284141896151080
620	0.0350263199676352	1441	-0.0608868238405300	2262	-0.3314438025093770	3083	-0.7123754665477290	3904	-0.9284954774380920
621	0.0349439653664322	1442	-0.0610991288197047	2263	-0.3318709347339490	3084	-0.7128305219125890	3905	-0.9285763396294860
622	0.0348615434409930	1443	-0.0613117521938195	2264	-0.3322982425288570	3085	-0.7132850830742500	3906	-0.9286567762244560
623	0.0347790544948867	1444	-0.0615246939164341	2265	-0.3327257252626490	3086	-0.7137391501193170	3907	-0.9287367872579870
624	0.0346964988320727	1445	-0.0617379539406680	2266	-0.3331533837590450	3087	-0.7141927231345590	3908	-0.9288163727648870
625	0.0346138767569000	1446	-0.0619515322192021	2267	-0.3335812166585250	3088	-0.7146458022069170	3909	-0.9288955327797830
626	0.0345311885741068	1447	-0.0621654287042796	2268	-0.3340092240567370	3089	-0.7150983874234930	3910	-0.9289742673371260
627	0.0344484345888201	1448	-0.0623796433477059	2269	-0.3344374056852930	3090	-0.7155504788715570	3911	-0.9290525764711850

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
628	0.0343656151065552	1449	-0.0625941761008492	2270	-0.3348657612756090	3091	-0.7160020766385440	3912	-0.9291304602160510
629	0.0342827304332147	1450	-0.0628090269146422	2271	-0.3352942905589060	3092	-0.7164531808120500	3913	-0.9292079186056350
630	0.0341997808750884	1451	-0.0630241957395812	2272	-0.3357229932662130	3093	-0.7169037914798340	3914	-0.9292849516736700
631	0.0341167667388527	1452	-0.0632396825257276	2273	-0.3361518691283590	3094	-0.7173539087298180	3915	-0.9293615594537090
632	0.0340336883315702	1453	-0.0634554872227084	2274	-0.3365809178759800	3095	-0.7178035326500820	3916	-0.9294377419791240
633	0.0339505459606888	1454	-0.0636716097797168	2275	-0.3370101392395160	3096	-0.7182526633288690	3917	-0.9295134992831090
634	0.0338673399340414	1455	-0.0638880501455126	2276	-0.3374395329492130	3097	-0.7187013008545760	3918	-0.9295888313986780
635	0.0337840705598455	1456	-0.0641048082684227	2277	-0.3378690987351200	3098	-0.7191494453157620	3919	-0.9296637383586640
636	0.0337007381467022	1457	-0.0643218840963424	2278	-0.3382988363270890	3099	-0.7195970968011410	3920	-0.9297382201957220
637	0.0336173430035964	1458	-0.0645392775767353	2279	-0.3387287454547780	3100	-0.7200442553995830	3921	-0.9298122769423250
638	0.0335338854398954	1459	-0.0647569886566339	2280	-0.3391588258476490	3101	-0.7204909212001120	3922	-0.9298859086307680
639	0.0334503657653491	1460	-0.0649750172826408	2281	-0.3395890772349670	3102	-0.7209370942919090	3923	-0.9299591152931650
640	0.0333667842900890	1461	-0.0651933634009287	2282	-0.3400194993458030	3103	-0.7213827747643060	3924	-0.9300318969614500
641	0.0332831413246280	1462	-0.0654120269572414	2283	-0.3404500919090300	3104	-0.7218279627067860	3925	-0.9301042536673760
642	0.0331994371798593	1463	-0.0656310078968938	2284	-0.3408808546533250	3105	-0.7222726582089870	3926	-0.9301761854425160
643	0.0331156721670567	1464	-0.0658503061647735	2285	-0.3413117873071680	3106	-0.7227168613606950	3927	-0.9302476923182620
644	0.0330318465978731	1465	-0.0660699217053406	2286	-0.3417428895988460	3107	-0.7231605722518450	3928	-0.9303187743258280
645	0.0329479607843407	1466	-0.0662898544626283	2287	-0.3421741612564460	3108	-0.7236037909725220	3929	-0.9303894314962440
646	0.0328640150388702	1467	-0.0665101043802438	2288	-0.3426056020078590	3109	-0.7240465176129590	3930	-0.9304596638603620
647	0.0327800096742502	1468	-0.0667306714013692	2289	-0.3430372115807810	3110	-0.7244887522635360	3931	-0.9305294714488530
648	0.0326959450036468	1469	-0.0669515554687610	2290	-0.3434689897027100	3111	-0.7249304950147760	3932	-0.9305988542922040
649	0.0326118213406026	1470	-0.0671727565247521	2291	-0.3439009361009460	3112	-0.7253717459573510	3933	-0.9306678124207260
650	0.0325276389990368	1471	-0.0673942745112513	2292	-0.3443330505025950	3113	-0.7258125051820750	3934	-0.9307363458645460
651	0.0324433982932441	1472	-0.0676161093697441	2293	-0.3447653326345640	3114	-0.7262527727799060	3935	-0.9308044546536110
652	0.0323590995378945	1473	-0.0678382610412943	2294	-0.3451977822235630	3115	-0.7266925488419430	3936	-0.9308721388176860
653	0.0322747430480327	1474	-0.0680607294665427	2295	-0.3456303989961050	3116	-0.7271318334594290	3937	-0.9309393983863550
654	0.0321903291390774	1475	-0.0682835145857094	2296	-0.3460631826785070	3117	-0.7275706267237440	3938	-0.9310062333890230
655	0.0321058581268205	1476	-0.0685066163385938	2297	-0.3464961329968850	3118	-0.7280089287264130	3939	-0.9310726438549100
656	0.0320213303274273	1477	-0.0687300346645751	2298	-0.3469292496771620	3119	-0.7284467395590950	3940	-0.9311386298130580
657	0.0319367460574352	1478	-0.0689537695026127	2299	-0.3473625324450590	3120	-0.7288840593135880	3941	-0.9312041912923250
658	0.0318521056337535	1479	-0.0691778207912471	2300	-0.3477959810261040	3121	-0.7293208880818300	3942	-0.9312693283213900
659	0.0317674093736627	1480	-0.0694021884686006	2301	-0.3482295951456230	3122	-0.7297572259558900	3943	-0.9313340409287480
660	0.0316826575948139	1481	-0.0696268724723775	2302	-0.3486633745287460	3123	-0.7301930730279780	3944	-0.9313983291427140
661	0.0315978506152287	1482	-0.0698518727398653	2303	-0.3490973189004050	3124	-0.7306284293904340	3945	-0.9314621929914200
662	0.0315129887532975	1483	-0.0700771892079342	2304	-0.3495314279853330	3125	-0.7310632951357340	3946	-0.9315256325028180
663	0.0314280723277806	1484	-0.0703028218130391	2305	-0.3499657015080670	3126	-0.7314976703564850	3947	-0.9315886477046760
664	0.0313431016578061	1485	-0.0705287704912190	2306	-0.3504001391929420	3127	-0.7319315551454280	3948	-0.9316512386245830

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
665	0.0312580770628699	1486	-0.0707550351780980	2307	-0.3508347407640990	3128	-0.7323649495954330	3949	-0.9317134052899420
666	0.0311729988628356	1487	-0.0709816158088865	2308	-0.3512695059454750	3129	-0.7327978537995010	3950	-0.9317751477279780
667	0.0310878673779331	1488	-0.0712085123183810	2309	-0.3517044344608140	3130	-0.7332302678507630	3951	-0.9318364659657310
668	0.0310026829287584	1489	-0.0714357246409642	2310	-0.3521395260336580	3131	-0.7336621918424750	3952	-0.9318973600300610
669	0.0309174458362734	1490	-0.0716632527106073	2311	-0.3525747803873510	3132	-0.7340936258680250	3953	-0.9319578299476440
670	0.0308321564218045	1491	-0.0718910964608687	2312	-0.3530101972450360	3133	-0.7345245700209250	3954	-0.9320178757449740
671	0.0307468150070429	1492	-0.0721192558248965	2313	-0.3534457763296610	3134	-0.7349550243948120	3955	-0.9320774974483650
672	0.0306614219140432	1493	-0.0723477307354270	2314	-0.3538815173639720	3135	-0.7353849890834510	3956	-0.9321366950839450
673	0.0305759774652235	1494	-0.0725765211247869	2315	-0.3543174200705150	3136	-0.7358144641807290	3957	-0.9321954686776610
674	0.0304904819833643	1495	-0.0728056269248933	2316	-0.3547534841716390	3137	-0.7362434497806550	3958	-0.9322538182552790
675	0.0304049357916085	1496	-0.0730350480672539	2317	-0.3551897093894910	3138	-0.7366719459773630	3959	-0.9323117438423800
676	0.0303193392134599	1497	-0.0732647844829685	2318	-0.3556260954460200	3139	-0.7370999528651060	3960	-0.9323692454643640
677	0.0302336925727837	1498	-0.0734948361027288	2319	-0.3560626420629760	3140	-0.7375274705382610	3961	-0.9324263231464470
678	0.0301479961938051	1499	-0.0737252028568191	2320	-0.3564993489619060	3141	-0.7379544990913210	3962	-0.9324829769136640
679	0.0300622504011090	1500	-0.0739558846751172	2321	-0.3569362158641600	3142	-0.7383810386189010	3963	-0.9325392067908660
680	0.0299764555196395	1501	-0.0741868814870948	2322	-0.3573732424908850	3143	-0.7388070892157310	3964	-0.9325950128027200
681	0.0298906118746991	1502	-0.0744181932218178	2323	-0.3578104285630320	3144	-0.7392326509766610	3965	-0.9326503949737130
682	0.0298047197919482	1503	-0.0746498198079478	2324	-0.3582477738013470	3145	-0.7396577239966580	3966	-0.9327053533281450
683	0.0297187795974046	1504	-0.0748817611737412	2325	-0.3586852779263780	3146	-0.7400823083708000	3967	-0.9327598878901370
684	0.0296327916174428	1505	-0.0751140172470508	2326	-0.3591229406584710	3147	-0.7405064041942850	3968	-0.9328139986836240
685	0.0295467561787933	1506	-0.0753465879553269	2327	-0.3595607617177740	3148	-0.7409300115624220	3969	-0.9328676857323600
686	0.0294606736085423	1507	-0.0755794732256163	2328	-0.3599987408242310	3149	-0.7413531305706330	3970	-0.9329209490599130
687	0.0293745442341307	1508	-0.0758126729845640	2329	-0.3604368776975860	3150	-0.7417757613144550	3971	-0.9329737886896700
688	0.0292883683833541	1509	-0.0760461871584138	2330	-0.3608751720573820	3151	-0.7421979038895330	3972	-0.9330262046448350
689	0.0292021463843611	1510	-0.0762800156730080	2331	-0.3613136236229620	3152	-0.7426195583916240	3973	-0.9330781969484270
690	0.0291158785656542	1511	-0.0765141584537891	2332	-0.3617522321134660	3153	-0.7430407249165950	3974	-0.9331297656232810
691	0.0290295652560880	1512	-0.0767486154257993	2333	-0.3621909972478310	3154	-0.7434614035604220	3975	-0.9331809106920510
692	0.0289432067848689	1513	-0.0769833865136822	2334	-0.3626299187447970	3155	-0.7438815944191880	3976	-0.9332316321772050
693	0.0288568034815548	1514	-0.0772184716416823	2335	-0.3630689963228970	3156	-0.7443012975890840	3977	-0.9332819301010300
694	0.0287703556760541	1515	-0.0774538707336462	2336	-0.3635082297004670	3157	-0.7447205131664090	3978	-0.9333318044856260
695	0.0286838636986255	1516	-0.0776895837130231	2337	-0.3639476185956360	3158	-0.7451392412475640	3979	-0.9333812553529120
696	0.0285973278798768	1517	-0.0779256105028649	2338	-0.3643871627263350	3159	-0.7455574819290590	3980	-0.9334302827246220
697	0.0285107485507650	1518	-0.0781619510258277	2339	-0.3648268618102900	3160	-0.7459752353075040	3981	-0.9334788866223060
698	0.0284241260425951	1519	-0.0783986052041711	2340	-0.3652667155650260	3161	-0.7463925014796150	3982	-0.9335270670673320
699	0.0283374606870196	1520	-0.0786355729597605	2341	-0.3657067237078650	3162	-0.7468092805422100	3983	-0.9335748240808810
700	0.0282507528160383	1521	-0.0788728542140656	2342	-0.3661468859559250	3163	-0.7472255725922070	3984	-0.9336221576839530
701	0.0281640027619970	1522	-0.0791104488881629	2343	-0.3665872020261240	3164	-0.7476413777266260	3985	-0.9336690678973630

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
702	0.0280772108575876	1523	-0.0793483569027345	2344	-0.3670276716351750	3165	-0.7480566960425870	3986	-0.9337155547417390
703	0.0279903774358467	1524	-0.0795865781780703	2345	-0.3674682944995870	3166	-0.7484715276373090	3987	-0.9337616182375310
704	0.0279035028301559	1525	-0.0798251126340673	2346	-0.3679090703356680	3167	-0.7488858726081080	3988	-0.9338072584049980
705	0.0278165873742402	1526	-0.0800639601902311	2347	-0.3683499988595200	3168	-0.7492997310524000	3989	-0.9338524752642210
706	0.0277296314021681	1527	-0.0803031207656758	2348	-0.3687910797870450	3169	-0.7497131030676950	3990	-0.9338972688350920
707	0.0276426352483506	1528	-0.0805425942791248	2349	-0.3692323128339370	3170	-0.7501259887516010	3991	-0.9339416391373210
708	0.0275555992475407	1529	-0.0807823806489114	2350	-0.3696736977156900	3171	-0.7505383882018200	3992	-0.9339855861904340
709	0.0274685237348330	1530	-0.0810224797929795	2351	-0.3701152341475920	3172	-0.7509503015161490	3993	-0.9340291100137700
710	0.0273814090456623	1531	-0.0812628916288838	2352	-0.3705569218447260	3173	-0.7513617287924780	3994	-0.9340722106264880
711	0.0272942555158041	1532	-0.0815036160737906	2353	-0.3709987605219720	3174	-0.7517726701287900	3995	-0.9341148880475570
712	0.0272070634813727	1533	-0.0817446530444780	2354	-0.3714407498940060	3175	-0.7521831256231600	3996	-0.9341571422957670
713	0.0271198332788219	1534	-0.0819860024573376	2355	-0.3718828896752990	3176	-0.7525930953737520	3997	-0.9341989733897180
714	0.0270325652449430	1535	-0.0822276642283734	2356	-0.3723251795801160	3177	-0.7530025794788250	3998	-0.9342403813478310
715	0.0269452597168655	1536	-0.0824696382732039	2357	-0.3727676193225190	3178	-0.7534115780367230	3999	-0.9342813661883380
716	0.0268579170320552	1537	-0.0827119245070609	2358	-0.3732102086163640	3179	-0.7538200911458820	4000	-0.9343219279292880
717	0.0267705375283146	1538	-0.0829545228447923	2359	-0.3736529471753010	3180	-0.7542281189048230	4001	-0.9343620665885450
718	0.0266831215437816	1539	-0.0831974332008608	2360	-0.3740958347127760	3181	-0.7546356614121560	4002	-0.9344017821837880
719	0.0265956694169290	1540	-0.0834406554893454	2361	-0.3745388709420290	3182	-0.7550427187665790	4003	-0.9344410747325120
720	0.0265081814865643	1541	-0.0836841896239413	2362	-0.3749820555760940	3183	-0.7554492910668710	4004	-0.9344799442520270
721	0.0264206580918282	1542	-0.0839280355179612	2363	-0.3754253883278010	3184	-0.7558553784119000	4005	-0.9345183907594560
722	0.0263330995721946	1543	-0.0841721930843352	2364	-0.3758688689097700	3185	-0.7562609809006170	4006	-0.9345564142717400
723	0.0262455062674701	1544	-0.0844166622356122	2365	-0.3763124970344190	3186	-0.7566660986320560	4007	-0.9345940148056340
724	0.0261578785177924	1545	-0.0846614428839590	2366	-0.3767562724139570	3187	-0.7570707317053320	4008	-0.9346311923777070
725	0.0260702166636309	1546	-0.0849065349411627	2367	-0.3772001947603890	3188	-0.7574748802196450	4009	-0.9346679470043440
726	0.0259825210457849	1547	-0.0851519383186295	2368	-0.3776442637855110	3189	-0.7578785442742740	4010	-0.9347042787017450
727	0.0258947920053839	1548	-0.0853976529273865	2369	-0.3780884792009140	3190	-0.7582817239685770	4011	-0.9347401874859240
728	0.0258070298838862	1549	-0.0856436786780816	2370	-0.3785328407179800	3191	-0.7586844194019950	4012	-0.9347756733727090
729	0.0257192350230788	1550	-0.0858900154809845	2371	-0.3789773480478870	3192	-0.7590866306740430	4013	-0.9348107363777460
730	0.0256314077650761	1551	-0.0861366632459868	2372	-0.3794220009016020	3193	-0.7594883578843190	4014	-0.9348453765164930
731	0.0255435484523200	1552	-0.0863836218826026	2373	-0.3798667989898870	3194	-0.7598896011324930	4015	-0.9348795938042230
732	0.0254556574275788	1553	-0.0866308912999697	2374	-0.3803117420232960	3195	-0.7602903605183170	4016	-0.9349133882560250
733	0.0253677350339464	1554	-0.0868784714068491	2375	-0.3807568297121760	3196	-0.7606906361416120	4017	-0.9349467598868010
734	0.0252797816148420	1555	-0.0871263621116263	2376	-0.3812020617666640	3197	-0.7610904281022810	4018	-0.9349797087112700
735	0.0251917975140093	1556	-0.0873745633223117	2377	-0.3816474378966900	3198	-0.7614897365002950	4019	-0.9350122347439620
736	0.0251037830755156	1557	-0.0876230749465410	2378	-0.3820929578119770	3199	-0.7618885614357010	4020	-0.9350443379992250
737	0.0250157386437517	1558	-0.0878718968915762	2379	-0.3825386212220380	3200	-0.7622869030086200	4021	-0.9350760184912190
738	0.0249276645634305	1559	-0.0881210290643048	2380	-0.3829844278361770	3201	-0.7626847613192420	4022	-0.9351072762339210

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
739	0.0248395611795867	1560	-0.0883704713712426	2381	-0.3834303773634910	3202	-0.7630821364678290	4023	-0.9351381112411200
740	0.0247514288375763	1561	-0.0886202237185320	2382	-0.3838764695128650	3203	-0.7634790285547150	4024	-0.9351685235264200
741	0.0246632678830756	1562	-0.0888702860119438	2383	-0.3843227039929800	3204	-0.7638754376803020	4025	-0.9351985131032410
742	0.0245750786620807	1563	-0.0891206581568774	2384	-0.3847690805123020	3205	-0.7642713639450600	4026	-0.9352280799848150
743	0.0244868615209069	1564	-0.0893713400583616	2385	-0.3852155987790920	3206	-0.7646668074495290	4027	-0.9352572241841900
744	0.0243986168061878	1565	-0.0896223316210550	2386	-0.3856622585013980	3207	-0.7650617682943160	4028	-0.9352859457142280
745	0.0243103448648747	1566	-0.0898736327492456	2387	-0.3861090593870600	3208	-0.7654562465800930	4029	-0.9353142445876050
746	0.0242220460442357	1567	-0.0901252433468535	2388	-0.3865560011437080	3209	-0.7658502424076000	4030	-0.9353421208168110
747	0.0241337206918558	1568	-0.0903771633174292	2389	-0.3870030834787620	3210	-0.7662437558776400	4031	-0.9353695744141500
748	0.0240453691556354	1569	-0.0906293925641553	2390	-0.3874503060994310	3211	-0.7666367870910820	4032	-0.9353966053917420
749	0.0239569917837896	1570	-0.0908819309898469	2391	-0.3878976687127120	3212	-0.7670293361488590	4033	-0.9354232137615190
750	0.0238685889248481	1571	-0.0911347784969522	2392	-0.3883451710253940	3213	-0.7674214031519650	4034	-0.9354493995352270
751	0.0237801609276544	1572	-0.0913879349875528	2393	-0.3887928127440550	3214	-0.7678129882014570	4035	-0.9354751627244280
752	0.0236917081413644	1573	-0.0916414003633641	2394	-0.3892405935750590	3215	-0.7682040913984550	4036	-0.9355005033404980
753	0.0236032309154465	1574	-0.0918951745257361	2395	-0.3896885132245610	3216	-0.7685947128441380	4037	-0.9355254213946240
754	0.0235147295996806	1575	-0.0921492573756544	2396	-0.3901365713985060	3217	-0.7689848526397440	4038	-0.9355499168978100
755	0.0234262045441575	1576	-0.0924036488137396	2397	-0.3905847678026220	3218	-0.7693745108865730	4039	-0.9355739898608740
756	0.0233376560992780	1577	-0.0926583487402489	2398	-0.3910331021424320	3219	-0.7697636876859820	4040	-0.9355976402944460
757	0.0232490846157525	1578	-0.0929133570550758	2399	-0.3914815741232430	3220	-0.7701523831393860	4041	-0.9356208682089720
758	0.0231604904445998	1579	-0.0931686736577512	2400	-0.3919301834501490	3221	-0.7705405973482560	4042	-0.93564636736147100
759	0.0230718739371473	1580	-0.0934242984474442	2401	-0.3923789298280340	3222	-0.7709283304141220	4043	-0.9356660565217330
760	0.0229832354450291	1581	-0.0936802313229616	2402	-0.3928278129615680	3223	-0.7713155824385680	4044	-0.9356880169399280
761	0.0228945753201863	1582	-0.0939364721827490	2403	-0.3932768325552100	3224	-0.7717023535232310	4045	-0.9357095548789950
762	0.0228058939148658	1583	-0.0941930209248918	2404	-0.3937259883132030	3225	-0.7720886437698060	4046	-0.9357306703484490
763	0.0227171915816198	1584	-0.0944498774471148	2405	-0.3941752799395810	3226	-0.7724744532800400	4047	-0.9357513633576180
764	0.0226284686733051	1585	-0.0947070416467837	2406	-0.3946247071381600	3227	-0.7728597821557310	4048	-0.9357716339156450
765	0.0225397255430817	1586	-0.0949645134209048	2407	-0.3950742696125450	3228	-0.7732446304987320	4049	-0.9357914820314830
766	0.0224509625444136	1587	-0.0952222926661259	2408	-0.3955239670661290	3229	-0.7736289984109450	4050	-0.9358109077139040
767	0.0223621800310664	1588	-0.0954803792787365	2409	-0.3959737992020870	3230	-0.7740128859943230	4051	-0.9358299109714910
768	0.0222733783571078	1589	-0.0957387731546693	2410	-0.3964237657233830	3231	-0.7743962933508710	4052	-0.9358484918126390
769	0.0221845578769061	1590	-0.0959974741894996	2411	-0.3968738663327650	3232	-0.7747792205826410	4053	-0.9358666502455600
770	0.0220957189451303	1591	-0.0962564822784463	2412	-0.3973241007327680	3233	-0.7751616677917330	4054	-0.9358843862782780
771	0.0220068619167482	1592	-0.0965157973163720	2413	-0.3977744686257110	3234	-0.7755436350802980	4055	-0.9359016999186310
772	0.0219179871470272	1593	-0.0967754191977847	2414	-0.3982249697136980	3235	-0.7759251225505320	4056	-0.9359185911742710
773	0.0218290949915320	1594	-0.0970353478168367	2415	-0.3986756036986200	3236	-0.7763061303046760	4057	-0.9359350600526620
774	0.0217401858061252	1595	-0.0972955830673267	2416	-0.3991263702821490	3237	-0.7766866584450200	4058	-0.9359511065610830
775	0.0216512599469656	1596	-0.0975561248426989	2417	-0.3995772691657450	3238	-0.7770667070738970	4059	-0.9359667307066260

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
776	0.0215623177705082	1597	-0.0978169730360446	2418	-0.4000283000506500	3239	-0.7774462762936840	4060	-0.9359819324961980
777	0.0214733596335030	1598	-0.0980781275401022	2419	-0.4004794626378920	3240	-0.7778253662068020	4061	-0.9359967119365170
778	0.0213843858929946	1599	-0.0983395882472578	2420	-0.4009307566282810	3241	-0.7782039769157170	4062	-0.9360110690341170
779	0.0212953969063208	1600	-0.0986013550495454	2421	-0.4013821817224120	3242	-0.7785821085229330	4063	-0.9360250037953440
780	0.0212063930311130	1601	-0.0988634278386485	2422	-0.4018337376206620	3243	-0.7789597611310000	4064	-0.9360385162263570
781	0.0211173746252946	1602	-0.0991258065058992	2423	-0.4022854240231940	3244	-0.7793369348425060	4065	-0.9360516063331310
782	0.0210283420470801	1603	-0.0993884909422797	2424	-0.4027372406299500	3245	-0.7797136297600810	4066	-0.9360642741214520
783	0.0209392956549756	1604	-0.0996514810384223	2425	-0.4031891871406580	3246	-0.7800898459863930	4067	-0.9360765195969210
784	0.0208502358077762	1605	-0.0999147766846102	2426	-0.4036412632548290	3247	-0.7804655836241490	4068	-0.9360883427649510
785	0.0207611628645671	1606	-0.1001783777707780	2427	-0.4040934686717530	3248	-0.7808408427760950	4069	-0.9360997436307690
786	0.0206720771847215	1607	-0.1004422841865120	2428	-0.4045458030905060	3249	-0.7812156235450130	4070	-0.9361107221994160
787	0.0205829791279009	1608	-0.1007064958210510	2429	-0.4049982662099430	3250	-0.7815899260337240	4071	-0.9361212784757460
788	0.0204938690540534	1609	-0.1009710125632880	2430	-0.4054508577287040	3251	-0.7819637503450830	4072	-0.9361314124644270
789	0.0204047473234137	1610	-0.1012358343017650	2431	-0.4059035773452070	3252	-0.7823370965819810	4073	-0.9361411241699390
790	0.0203156142965018	1611	-0.1015009609246830	2432	-0.4063564247576530	3253	-0.7827099648473450	4074	-0.9361504135965760
791	0.0202264703341228	1612	-0.1017663923198950	2433	-0.4068093996640250	3254	-0.7830823552441340	4075	-0.9361592807484470
792	0.0201373157973655	1613	-0.1020321283749090	2434	-0.4072625017620870	3255	-0.7834542678753420	4076	-0.9361677256294710
793	0.0200481510476025	1614	-0.1022981689768880	2435	-0.4077157307493810	3256	-0.7838257028439940	4077	-0.9361757482433840
794	0.0199589764464885	1615	-0.1025645140126520	2436	-0.4081690863232320	3257	-0.7841966602531490	4078	-0.9361833485937320
795	0.0198697923559601	1616	-0.1028311633686770	2437	-0.4086225681807460	3258	-0.7845671402058970	4079	-0.9361905266838770
796	0.0197805991382351	1617	-0.1030981169310950	2438	-0.4090761760188050	3259	-0.7849371428053580	4080	-0.9361972825169940
797	0.0196913971558115	1618	-0.1033653745856970	2439	-0.4095299095340760	3260	-0.7853066681546810	4081	-0.9362036160960680
798	0.0196021867714668	1619	-0.1036329362179310	2440	-0.4099837684230020	3261	-0.7856757163570460	4082	-0.9362095274239030
799	0.0195129683482572	1620	-0.1039008017129040	2441	-0.4104377523818060	3262	-0.7860442875156620	4083	-0.9362150165031110
800	0.0194237422495171	1621	-0.1041689709553800	2442	-0.4108918611064920	3263	-0.7864123817337660	4084	-0.9362200833361200
801	0.0193345088388580	1622	-0.1044374438297850	2443	-0.4113460942928400	3264	-0.7867799991146190	4085	-0.9362247279251700
802	0.0192452684801678	1623	-0.1047062202202050	2444	-0.4118004516364120	3265	-0.7871471397615150	4086	-0.9362289502723170
803	0.0191560215376102	1624	-0.1049753000103840	2445	-0.4122549328325470	3266	-0.7875138037777680	4087	-0.9362327503794270
804	0.0190667683756239	1625	-0.1052446830837280	2446	-0.4127095375763600	3267	-0.7878799912667210	4088	-0.9362361282481820
805	0.0189775093589217	1626	-0.1055143693233060	2447	-0.4131642655627480	3268	-0.7882457023317400	4089	-0.9362390838800730
806	0.0188882448524895	1627	-0.1057843586118470	2448	-0.4136191164863840	3269	-0.7886109370762170	4090	-0.9362416172764100
807	0.0187989752215866	1628	-0.1060546508317430	2449	-0.4140740900417180	3270	-0.7889756956035660	4091	-0.9362437284383120
808	0.0187097008317432	1629	-0.1063252458650490	2450	-0.4145291859229780	3271	-0.7893399780172230	4092	-0.9362454173667140
809	0.0186204220487613	1630	-0.1065961435934840	2451	-0.4149844038241700	3272	-0.7897037844206480	4093	-0.9362466840623610
810	0.0185311392387127	1631	-0.1068673438984310	2452	-0.4154397434390740	3273	-0.7900671149173230	4094	-0.9362475285258150
811	0.0184418527679391	1632	-0.1071388466609350	2453	-0.4158952044612510	3274	-0.7904299696107480	4095	-0.9362479507574480
812	0.0183525630030505	1633	-0.1074106517617090	2454	-0.4163507865840340	3275	-0.7907923486044450		

n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)	n	h(n)
813	0.0182632703109254	1634	-0.1076827590811300	2455	-0.4168064895005360	3276	-0.7911542520019560		
814	0.0181739750587088	1635	-0.1079551684992420	2456	-0.4172623129036450	3277	-0.7915156799068410		
815	0.0180846776138128	1636	-0.1082278798957520	2457	-0.4177182564860210	3278	-0.7918766324226800		
816	0.0179953783439146	1637	-0.1085008931500390	2458	-0.4181743199401060	3279	-0.7922371096530670		
817	0.0179060776169563	1638	-0.1087742081411460	2459	-0.4186305029581110	3280	-0.7925971117016170		
818	0.0178167758011440	1639	-0.1090478247477830	2460	-0.4190868052320270	3281	-0.7929566386719600		
819	0.0177274732649470	1640	-0.1093217428483320	2461	-0.4195432264536160	3282	-0.7933156906677400		
820	0.0176381703770973	1641	-0.1095959623208420	2462	-0.4199997663144180	3283	-0.7936742677926190		

Note 1: Wavelet プロトタイプフィルタには $4 \cdot M$ の係数がある。表 13.10 に $4 \cdot M$ 係数の半分だけを示す。

Note 2: $h_{512}(x) = 0.5 \cdot \{h(4x+1) + h(4x+2)\}$, $0 \leq x < 2M$, $h_{512}(4M-1-x) = h_{512}(x)$

表 13.11 キャリア周波数(1/9)

キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]
0	30.51757813	0	205	12542.72461	0	410	25054.93164	π	615	37567.13867	0
1	91.55273438	π	206	12603.75977	0	411	25115.9668	0	616	37628.17383	0
2	152.5878906	π	207	12664.79492	0	412	25177.00195	0	617	37689.20898	π
3	213.6230469	π	208	12725.83008	0	413	25238.03711	0	618	37750.24414	π
4	274.6582031	π	209	12786.86523	0	414	25299.07227	0	619	37811.2793	π
5	335.6933594	0	210	12847.90039	0	415	25360.10742	0	620	37872.31445	π
6	396.7285156	0	211	12908.93555	π	416	25421.14258	0	621	37933.34961	π
7	457.7636719	0	212	12969.9707	π	417	25482.17773	π	622	37994.38477	π
8	518.7988281	0	213	13031.00586	0	418	25543.21289	π	623	38055.41992	π
9	579.8339844	π	214	13092.04102	0	419	25604.24805	0	624	38116.45508	π
10	640.8691406	π	215	13153.07617	π	420	25665.2832	0	625	38177.49023	π
11	701.9042969	π	216	13214.11133	π	421	25726.31836	π	626	38238.52539	π
12	762.9394531	π	217	13275.14648	0	422	25787.35352	π	627	38299.56055	0
13	823.9746094	π	218	13336.18164	0	423	25848.38867	0	628	38360.5957	0
14	885.0097656	π	219	13397.2168	π	424	25909.42383	0	629	38421.63086	0
15	946.0449219	π	220	13458.25195	π	425	25970.45898	0	630	38482.66602	0
16	1007.080078	π	221	13519.28711	0	426	26031.49414	0	631	38543.70117	0
17	1068.115234	π	222	13580.32227	0	427	26092.5293	0	632	38604.73633	0
18	1129.150391	π	223	13641.35742	0	428	26153.56445	0	633	38665.77148	π
19	1190.185547	0	224	13702.39258	0	429	26214.59961	0	634	38726.80664	π

キ ャ リ ア 番 号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キ ャ リ ア 番 号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キ ャ リ ア 番 号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キ ャ リ ア 番 号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]
20	1251.220703	0	225	13763.42773	π	430	26275.63477	0	635	38787.8418	π
21	1312.255859	π	226	13824.46289	π	431	26336.66992	0	636	38848.87695	π
22	1373.291016	π	227	13885.49805	π	432	26397.70508	0	637	38909.91211	π
23	1434.326172	π	228	13946.5332	π	433	26458.74023	0	638	38970.94727	π
24	1495.361328	π	229	14007.56836	0	434	26519.77539	0	639	39031.98242	0
25	1556.396484	0	230	14068.60352	0	435	26580.81055	π	640	39093.01758	0
26	1617.431641	0	231	14129.63867	0	436	26641.8457	π	641	39154.05273	0
27	1678.466797	π	232	14190.67383	0	437	26702.88086	π	642	39215.08789	0
28	1739.501953	π	233	14251.70898	0	438	26763.91602	π	643	39276.12305	π
29	1800.537109	π	234	14312.74414	0	439	26824.95117	π	644	39337.1582	π
30	1861.572266	π	235	14373.7793	π	440	26885.98633	π	645	39398.19336	π
31	1922.607422	0	236	14434.81445	π	441	26947.02148	0	646	39459.22852	π
32	1983.642578	0	237	14495.84961	π	442	27008.05664	0	647	39520.26367	0
33	2044.677734	0	238	14556.88477	π	443	27069.0918	π	648	39581.29883	0
34	2105.712891	0	239	14617.91992	0	444	27130.12695	π	649	39642.33398	0
35	2166.748047	0	240	14678.95508	0	445	27191.16211	π	650	39703.36914	0
36	2227.783203	0	241	14739.99023	π	446	27252.19727	π	651	39764.4043	π
37	2288.818359	π	242	14801.02539	π	447	27313.23242	0	652	39825.43945	π
38	2349.853516	π	243	14862.06055	π	448	27374.26758	0	653	39886.47461	0
39	2410.888672	π	244	14923.0957	π	449	27435.30273	π	654	39947.50977	0
40	2471.923828	π	245	14984.13086	0	450	27496.33789	π	655	40008.54492	π
41	2532.958984	π	246	15045.16602	0	451	27557.37305	π	656	40069.58008	π
42	2593.994141	π	247	15106.20117	0	452	27618.4082	π	657	40130.61523	π
43	2655.029297	π	248	15167.23633	0	453	27679.44336	0	658	40191.65039	π
44	2716.064453	π	249	15228.27148	0	454	27740.47852	0	659	40252.68555	π
45	2777.099609	0	250	15289.30664	0	455	27801.51367	π	660	40313.7207	π
46	2838.134766	0	251	15350.3418	0	456	27862.54883	π	661	40374.75586	0
47	2899.169922	0	252	15411.37695	0	457	27923.58398	0	662	40435.79102	0
48	2960.205078	0	253	15472.41211	π	458	27984.61914	0	663	40496.82617	0
49	3021.240234	0	254	15533.44727	π	459	28045.6543	π	664	40557.86133	0
50	3082.275391	0	255	15594.48242	π	460	28106.68945	π	665	40618.89648	π
51	3143.310547	π	256	15655.51758	π	461	28167.72461	π	666	40679.93164	π
52	3204.345703	π	257	15716.55273	0	462	28228.75977	π	667	40740.9668	0
53	3265.380859	π	258	15777.58789	0	463	28289.79492	π	668	40802.00195	0

キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]
54	3326.416016	π	259	15838.62305	0	464	28350.83008	π	669	40863.03711	π
55	3387.451172	π	260	15899.6582	0	465	28411.86523	π	670	40924.07227	π
56	3448.486328	π	261	15960.69336	π	466	28472.90039	π	671	40985.10742	π
57	3509.521484	π	262	16021.72852	π	467	28533.93555	0	672	41046.14258	π
58	3570.556641	π	263	16082.76367	0	468	28594.9707	0	673	41107.17773	0
59	3631.591797	0	264	16143.79883	0	469	28656.00586	0	674	41168.21289	0
60	3692.626953	0	265	16204.83398	π	470	28717.04102	0	675	41229.24805	π
61	3753.662109	0	266	16265.86914	π	471	28778.07617	0	676	41290.2832	π
62	3814.697266	0	267	16326.9043	0	472	28839.11133	0	677	41351.31836	π
63	3875.732422	0	268	16387.93945	0	473	28900.14648	π	678	41412.35352	π
64	3936.767578	0	269	16448.97461	0	474	28961.18164	π	679	41473.38867	0
65	3997.802734	0	270	16510.00977	0	475	29022.2168	π	680	41534.42383	0
66	4058.837891	0	271	16571.04492	0	476	29083.25195	π	681	41595.45898	0
67	4119.873047	0	272	16632.08008	0	477	29144.28711	π	682	41656.49414	0
68	4180.908203	0	273	16693.11523	0	478	29205.32227	π	683	41717.5293	π
69	4241.943359	π	274	16754.15039	0	479	29266.35742	π	684	41778.56445	π
70	4302.978516	π	275	16815.18555	0	480	29327.39258	π	685	41839.59961	π
71	4364.013672	π	276	16876.2207	0	481	29388.42773	0	686	41900.63477	π
72	4425.048828	π	277	16937.25586	0	482	29449.46289	0	687	41961.66992	0
73	4486.083984	π	278	16998.29102	0	483	29510.49805	0	688	42022.70508	0
74	4547.119141	π	279	17059.32617	π	484	29571.5332	0	689	42083.74023	π
75	4608.154297	π	280	17120.36133	π	485	29632.56836	0	690	42144.77539	π
76	4669.189453	π	281	17181.39648	π	486	29693.60352	0	691	42205.81055	π
77	4730.224609	0	282	17242.43164	π	487	29754.63867	0	692	42266.8457	π
78	4791.259766	0	283	17303.4668	π	488	29815.67383	0	693	42327.88086	0
79	4852.294922	0	284	17364.50195	π	489 *1	29876.70898	0	694	42388.91602	0
80	4913.330078	0	285	17425.53711	0	490 *1	29937.74414	0	695	42449.95117	π
81	4974.365234	0	286	17486.57227	0	491 *1	29998.7793	π	696	42510.98633	π
82	5035.400391	0	287	17547.60742	π	492 *1	30059.81445	π	697	42572.02148	0
83	5096.435547	π	288	17608.64258	π	493	30120.84961	π	698	42633.05664	0
84	5157.470703	π	289	17669.67773	0	494	30181.88477	π	699	42694.0918	π
85	5218.505859	π	290	17730.71289	0	495	30242.91992	π	700	42755.12695	π
86	5279.541016	π	291	17791.74805	π	496	30303.95508	π	701	42816.16211	0
87	5340.576172	π	292	17852.7832	π	497	30364.99023	π	702	42877.19727	0

キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]
88	5401.611328	π	293	17913.81836	0	498	30426.02539	π	703	42938.23242	π
89	5462.646484	π	294	17974.85352	0	499	30487.06055	0	704	42999.26758	π
90	5523.681641	π	295	18035.88867	0	500	30548.0957	0	705	43060.30273	π
91	5584.716797	0	296	18096.92383	0	501	30609.13086	0	706	43121.33789	π
92	5645.751953	0	297	18157.95898	π	502	30670.16602	0	707	43182.37305	0
93	5706.787109	0	298	18218.99414	π	503	30731.20117	0	708	43243.4082	0
94	5767.822266	0	299	18280.0293	0	504	30792.23633	0	709	43304.44336	0
95	5828.857422	π	300	18341.06445	0	505	30853.27148	π	710	43365.47852	0
96	5889.892578	π	301	18402.09961	π	506	30914.30664	π	711	43426.51367	π
97	5950.927734	0	302	18463.13477	π	507	30975.3418	π	712	43487.54883	π
98	6011.962891	0	303	18524.16992	π	508	31036.37695	π	713	43548.58398	0
99	6072.998047	0	304	18585.20508	π	509	31097.41211	0	714	43609.61914	0
100	6134.033203	0	305	18646.24023	0	510	31158.44727	0	715	43670.6543	0
101	6195.068359	0	306	18707.27539	0	511	31219.48242	0	716	43731.68945	0
102	6256.103516	0	307	18768.31055	0	512	31280.51758	0	717	43792.72461	0
103	6317.138672	0	308	18829.3457	0	513	31341.55273	π	718	43853.75977	0
104	6378.173828	0	309	18890.38086	π	514	31402.58789	π	719	43914.79492	0
105	6439.208984	π	310	18951.41602	π	515	31463.62305	π	720	43975.83008	0
106	6500.244141	π	311	19012.45117	π	516	31524.6582	π	721	44036.86523	0
107	6561.279297	π	312	19073.48633	π	517	31585.69336	0	722	44097.90039	0
108	6622.314453	π	313	19134.52148	0	518	31646.72852	0	723	44158.93555	π
109	6683.349609	π	314	19195.55664	0	519	31707.76367	0	724	44219.9707	π
110	6744.384766	π	315	19256.5918	0	520	31768.79883	0	725	44281.00586	0
111	6805.419922	π	316	19317.62695	0	521	31829.83398	π	726	44342.04102	0
112	6866.455078	π	317	19378.66211	0	522	31890.86914	π	727	44403.07617	π
113	6927.490234	π	318	19439.69727	0	523	31951.9043	π	728	44464.11133	π
114	6988.525391	π	319	19500.73242	0	524	32012.93945	π	729	44525.14648	0
115	7049.560547	0	320	19561.76758	0	525	32073.97461	π	730	44586.18164	0
116	7110.595703	0	321	19622.80273	0	526	32135.00977	π	731	44647.2168	π
117	7171.630859	0	322	19683.83789	0	527	32196.04492	π	732	44708.25195	π
118	7232.666016	0	323	19744.87305	π	528	32257.08008	π	733	44769.28711	0
119	7293.701172	0	324	19805.9082	π	529	32318.11523	π	734	44830.32227	0
120	7354.736328	0	325	19866.94336	π	530	32379.15039	π	735	44891.35742	0
121	7415.771484	π	326	19927.97852	π	531	32440.18555	0	736	44952.39258	0

キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]
122	7476.806641	π	327	19989.01367	0	532	32501.2207	0	737	45013.42773	π
123	7537.841797	π	328	20050.04883	0	533	32562.25586	π	738	45074.46289	π
124	7598.876953	π	329	20111.08398	π	534	32623.29102	π	739	45135.49805	π
125	7659.912109	π	330	20172.11914	π	535	32684.32617	π	740	45196.5332	π
126	7720.947266	π	331	20233.1543	0	536	32745.36133	π	741	45257.56836	0
127	7781.982422	0	332	20294.18945	0	537	32806.39648	0	742	45318.60352	0
128	7843.017578	0	333	20355.22461	π	538	32867.43164	0	743	45379.63867	0
129	7904.052734	0	334	20416.25977	π	539	32928.4668	π	744	45440.67383	0
130	7965.087891	0	335	20477.29492	π	540	32989.50195	π	745	45501.70898	0
131	8026.123047	π	336	20538.33008	π	541	33050.53711	π	746	45562.74414	0
132	8087.158203	π	337	20599.36523	0	542	33111.57227	π	747	45623.7793	π
133	8148.193359	π	338	20660.40039	0	543	33172.60742	0	748	45684.81445	π
134	8209.228516	π	339	20721.43555	π	544	33233.64258	0	749	45745.84961	π
135	8270.263672	0	340	20782.4707	π	545	33294.67773	0	750	45806.88477	π
136	8331.298828	0	341	20843.50586	0	546	33355.71289	0	751	45867.91992	0
137	8392.333984	0	342	20904.54102	0	547	33416.74805	0	752	45928.95508	0
138	8453.369141	0	343	20965.57617	π	548	33477.7832	0	753	45989.99023	π
139	8514.404297	π	344	21026.61133	π	549	33538.81836	π	754	46051.02539	π
140	8575.439453	π	345	21087.64648	π	550	33599.85352	π	755	46112.06055	π
141	8636.474609	0	346	21148.68164	π	551	33660.88867	π	756	46173.0957	π
142	8697.509766	0	347	21209.7168	π	552	33721.92383	π	757	46234.13086	0
143	8758.544922	π	348	21270.75195	π	553	33782.95898	π	758	46295.16602	0
144	8819.580078	π	349	21331.78711	π	554	33843.99414	π	759	46356.20117	0
145	8880.615234	π	350	21392.82227	π	555	33905.0293	π	760	46417.23633	0
146	8941.650391	π	351	21453.85742	π	556	33966.06445	π	761	46478.27148	0
147	9002.685547	π	352	21514.89258	π	557	34027.09961	0	762	46539.30664	0
148	9063.720703	π	353	21575.92773	0	558	34088.13477	0	763	46600.3418	0
149	9124.755859	0	354	21636.96289	0	559	34149.16992	0	764	46661.37695	0
150	9185.791016	0	355	21697.99805	0	560	34210.20508	0	765	46722.41211	π
151	9246.826172	0	356	21759.0332	0	561	34271.24023	0	766	46783.44727	π
152	9307.861328	0	357	21820.06836	0	562	34332.27539	0	767	46844.48242	π
153	9368.896484	π	358	21881.10352	0	563	34393.31055	π	768	46905.51758	π
154	9429.931641	π	359	21942.13867	π	564	34454.3457	π	769	46966.55273	0
155	9490.966797	0	360	22003.17383	π	565	34515.38086	π	770	47027.58789	0

キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]
156	9552.001953	0	361	22064.20898	π	566	34576.41602	π	771	47088.62305	0
157	9613.037109	π	362	22125.24414	π	567	34637.45117	π	772	47149.6582	0
158	9674.072266	π	363	22186.2793	0	568	34698.48633	π	773	47210.69336	π
159	9735.107422	π	364	22247.31445	0	569	34759.52148	π	774	47271.72852	π
160	9796.142578	π	365	22308.34961	π	570	34820.55664	π	775	47332.76367	0
161	9857.177734	0	366	22369.38477	π	571	34881.5918	0	776	47393.79883	0
162	9918.212891	0	367	22430.41992	π	572	34942.62695	0	777	47454.83398	π
163	9979.248047	π	368	22491.45508	π	573	35003.66211	0	778	47515.86914	π
164	10040.2832	π	369	22552.49023	0	574	35064.69727	0	779	47576.9043	0
165	10101.31836	π	370	22613.52539	0	575	35125.73242	0	780	47637.93945	0
166	10162.35352	π	371	22674.56055	π	576	35186.76758	0	781	47698.97461	0
167	10223.38867	0	372	22735.5957	π	577	35247.80273	0	782	47760.00977	0
168	10284.42383	0	373	22796.63086	0	578	35308.83789	0	783	47821.04492	0
169	10345.45898	0	374	22857.66602	0	579	35369.87305	0	784	47882.08008	0
170	10406.49414	0	375	22918.70117	0	580	35430.9082	0	785	47943.11523	0
171	10467.5293	π	376	22979.73633	0	581	35491.94336	π	786	48004.15039	0
172	10528.56445	π	377	23040.77148	0	582	35552.97852	π	787	48065.18555	0
173	10589.59961	π	378	23101.80664	0	583	35614.01367	π	788	48126.2207	0
174	10650.63477	π	379	23162.8418	0	584	35675.04883	π	789	48187.25586	0
175	10711.66992	0	380	23223.87695	0	585	35736.08398	π	790	48248.29102	0
176	10772.70508	0	381	23284.91211	π	586	35797.11914	π	791	48309.32617	π
177	10833.74023	π	382	23345.94727	π	587	35858.1543	π	792	48370.36133	π
178	10894.77539	π	383	23406.98242	0	588	35919.18945	π	793	48431.39648	π
179	10955.81055	π	384	23468.01758	0	589	35980.22461	0	794	48492.43164	π
180	11016.8457	π	385	23529.05273	π	590	36041.25977	0	795	48553.4668	π
181	11077.88086	0	386	23590.08789	π	591	36102.29492	0	796	48614.50195	π
182	11138.91602	0	387	23651.12305	0	592	36163.33008	0	797	48675.53711	0
183	11199.95117	π	388	23712.1582	0	593	36224.36523	0	798	48736.57227	0
184	11260.98633	π	389	23773.19336	π	594	36285.40039	0	799	48797.60742	π
185	11322.02148	0	390	23834.22852	π	595	36346.43555	π	800	48858.64258	π
186	11383.05664	0	391	23895.26367	0	596	36407.4707	π	801	48919.67773	0
187	11444.0918	π	392	23956.29883	0	597	36468.50586	π	802	48980.71289	0
188	11505.12695	π	393	24017.33398	π	598	36529.54102	π	803	49041.74805	π
189	11566.16211	0	394	24078.36914	π	599	36590.57617	π	804	49102.7832	π

キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]	キャリア番号	中心周波数 [KHz]	位相角 [rad.]
190	11627.19727	0	395	24139.4043	0	600	36651.61133	π	805	49163.81836	0
191	11688.23242	π	396	24200.43945	0	601	36712.64648	π	806	49224.85352	0
192	11749.26758	π	397	24261.47461	0	602	36773.68164	π	807	49285.88867	0
193	11810.30273	π	398	24322.50977	0	603	36834.7168	0	808	49346.92383	0
194	11871.33789	π	399	24383.54492	π	604	36895.75195	0	809	49407.95898	π
195	11932.37305	0	400	24444.58008	π	605	36956.78711	0	810	49468.99414	π
196	11993.4082	0	401	24505.61523	π	606	37017.82227	0	811	49530.0293	0
197	12054.44336	0	402	24566.65039	π	607	37078.85742	π	812	49591.06445	0
198	12115.47852	0	403	24627.68555	π	608	37139.89258	π	813	49652.09961	π
199	12176.51367	π	404	24688.7207	π	609	37200.92773	0	814	49713.13477	π
200	12237.54883	π	405	24749.75586	0	610	37261.96289	0	815	49774.16992	π
201	12298.58398	0	406	24810.79102	0	611	37322.99805	0	816	49835.20508	π
202	12359.61914	0	407	24871.82617	π	612	37384.0332	0	817	49896.24023	0
203	12420.6543	0	408	24932.86133	π	613	37445.06836	0	818	49957.27539	0
204	12481.68945	0	409	24993.89648	π	614	37506.10352	0			

13.5 PMD

13.5.1 送信機と受信機のブロック図

Wavelet PHY の送信機と受信機の一般的なブロック図を図 13.20 に示す。送信機の PHY は MAC サブレイヤーからの入力を受け取る。受信機の PHY は出力を MAC サブレイヤーへ提供する。送信機の PHY はスクランブラブロック、リードソロモンエンコーダブロック、畳み込みエンコーダブロック、パンクチャブロック、ビットインターリーブブロック、マッピングブロック、IDWT (Inverse Discrete Wavelet Transformer)ブロック、プリアンブル挿入ブロック、ランプブロック、AFE (Analog Front End) ブロックを含む。LDPC エンコーダはオプションである。スクランブラブロックは MAC サブレイヤーから受け取ったデータにスクランブル処理を行う。スクランブル処理されたデータは、リードソロモンエンコーダブロック、畳み込みエンコーダブロック、パンクチャブロックを使用することで接続符号として符号化されるか、または、LDPC エンコーダを使用することで LDPC 符号として符号化される。ビットインターリーブブロックはパンクチャブロックから出力されたデータをインターリーブする。しかしながら、リードソロモンモードの場合にはリードソロモンエンコーダだけを使用してスクランブル処理されたデータを符号化する。畳み込みエンコーダとパンクチャとビットインターリーブの 3 ブロックはこのモードでは使用しない。RCE フレームの評価データはマッピングブロックに直接入力される。マッピングブロックは Wavelet OFDM の各サブキャリアの信号点データにインターリーブブロックからの出力をマッピングする。IDWT ブロックは時間波形データを生成するようにマッピングブロックによってマッピングされた各サブキャリアの信号点データを基に、互いに直交する Wavelet 波形によって各サブキャリアを変調する。プリアンブル挿入ブロックは IDWT ブロックによってあらかじめ生成されたプリアンブルを挿入する。ランプブロックは IDWT ブロックの出力合成波形にランプ処理を行う。AFE ブロックは時間波形データをアナログの時間波形信号に変換する。受信機側では逆の操作をする。

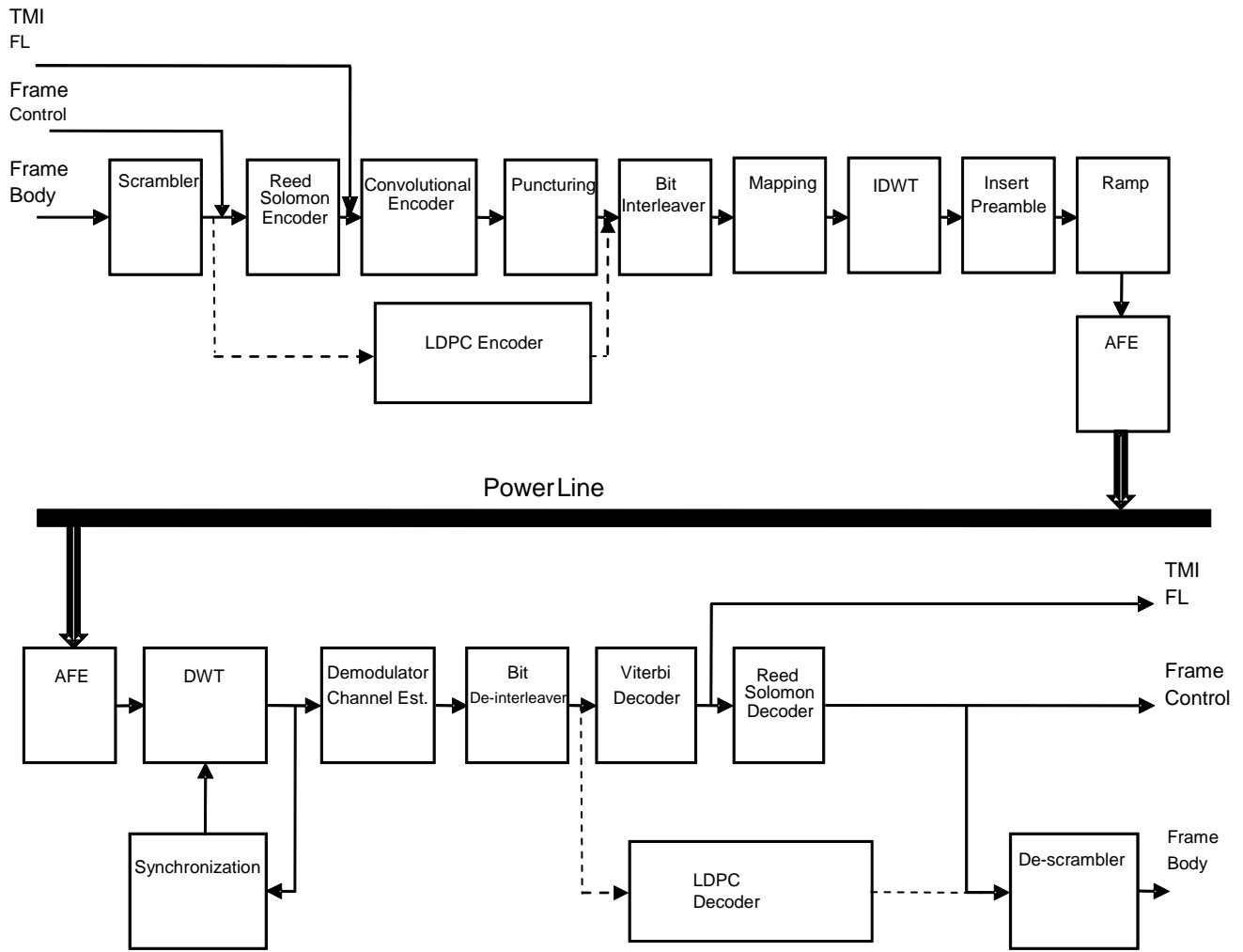


図 13.20 Wavelet OFDM PHY の送信機と受信機

13.5.2 主な仕様

表 13.12 に Wavelet OFDM PHY の主な仕様を記載する。

表 13.12 Wavelet OFDM の主な仕様

Communication Method	Wavelet OFDM
Subcarrier Spacing [kHz]	61.03515625
Symbol Length [μ s]	8.192
Primary Modulation (per subcarrier)	32 PAM to 2 PAM
Frequency Range Used [MHz]	2 to 28
Maximum PHY Transmission Rate [Mbps] (with HAM notches and no FEC)	220
Forward Error Correction (FEC)	Reed-Solomon encoder/decoder and convolutional encoder/Viterbi decoder or LDPC-CC encoder / decoder:
Diversity Mode	Provided

13.5.3 相対的な送信パワーレベル

漏洩の規定は、準尖頭電力や平均電力を使用して測定される。各情報タイプはそれぞれ異なる波形なので、同じ平均電力レベルのときに異なる準尖頭電力となる。その結果、同じ準尖頭電力とするためには各情報タイプの平均電力を調整しなければならない。例として、各情報タイプの平均電力を表 13.13 で定義する。これらのレベルは各国の規制によって定義される。例えば、日本ではすべての情報タイプがデフォルトレベルである。

表 13.13 北米における相対的な送信パワーレベル

情報タイプ	サブキャリアごとの平均送信パワーレベル [dB]
Preamble, Postamble, Pilot signal	0 (default level)
TMI, Frame control, FL	4
Frame Body	3

13.5.4 送信スペクトラム

送信パワースペクトラムは各国の法規制で定められたノイズレベルを満足できる送信レベル以下に設定しなければならない。

図 13.21 と 表 13.14 に送信スペクトラムの一例を示す。絶対値レベルについては、製品ごとに規定されることになる。また、

アマチュア無線等のスペクトルの保護適用として、表 13.15 で背景が灰色のキャリア番号として定義された全てのキャリアについてマスクを施す。これらのマスクキャリアは常に出力されない。

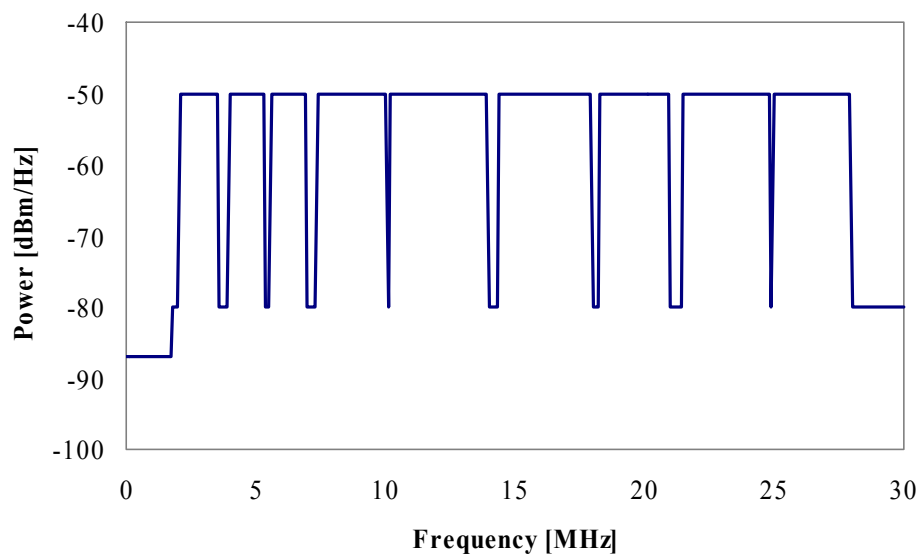


図 13.21 送信スペクトラムマスクの一例(up to 30 [MHz])

表 13.14 送信スペクトラムリミットの一例(up to 30[MHz])

周波数 [MHz]	PSD Limit [dBm/Hz] (一例値)	Notes
$0.15 < F \leq 1.710$	-87	AM ラジオ放送
$1.710 < F < 1.810$	-80	AM 放送と アマチュア無線
$1.810 \leq F \leq 1.913$	-80	アマチュア無線
$1.913 < F < 3.500$	-50	Wavelet OFDM キャリア
$3.500 \leq F \leq 4.000$	-80	アマチュア無線
$4.000 < F < 5.300$	-50	Wavelet OFDM キャリア
$5.300 \leq F \leq 5.450$	-80	アマチュア無線
$5.450 < F < 7.000$	-50	Wavelet OFDM キャリア
$7.000 \leq F \leq 7.300$	-80	アマチュア無線
$7.300 < F < 10.100$	-50	Wavelet OFDM キャリア
$10.100 \leq F \leq 10.150$	-80	アマチュア無線
$10.150 < F < 14.000$	-50	Wavelet OFDM キャリア
$14.000 \leq F \leq 14.350$	-80	アマチュア無線
$14.350 < F < 18.068$	-50	Wavelet OFDM キャリア
$18.068 \leq F \leq 18.168$	-80	アマチュア無線
$18.168 < F < 21.000$	-50	Wavelet OFDM キャリア
$21.000 \leq F \leq 21.450$	-80	アマチュア無線
$21.450 < F < 24.890$	-50	Wavelet OFDM キャリア
$24.890 \leq F \leq 24.990$	-80	アマチュア無線
$24.990 < F < 28.000$	-50	Wavelet OFDM キャリア
$28.000 \leq F \leq 29.700$	-80	アマチュア無線
$29.700 < F \leq 30.000$	-80	未使用キャリア

表 13.15 マスクキャリア(2 ~ 30 [MHz])

キャリア ア番号	中心周波数 [kHz]	キャリア ア番号	中心周波数 [kHz]	キャリア ア番号	中心周波数 [kHz]
0	30.51757813	114	6988.525391	462	28228.75977
1	91.55273438	115	7049.560547	463	28289.79492
2	152.5878906	116	7110.595703	464	28350.83008
3	213.6230469	117	7171.630859	465	28411.86523
4	274.6582031	118	7232.666016	466	28472.90039
5	335.6933594	119	7293.701172	467	28533.93555
6	396.7285156	120	7354.736328	468	28594.9707
7	457.7636719	163	9979.248047	469	28656.00586
8	518.7988281	164	10040.2832	470	28717.04102
9	579.8339844	165	10101.31836	471	28778.07617
10	640.8691406	166	10162.35352	472	28839.11133
11	701.9042969	227	13885.49805	473	28900.14648
12	762.9394531	228	13946.5332	474	28961.18164
13	823.9746094	229	14007.56836	475	29022.2168
14	885.0097656	230	14068.60352	476	29083.25195
15	946.0449219	231	14129.63867	477	29144.28711
16	1007.080078	232	14190.67383	478	29205.32227
17	1068.115234	233	14251.70898	479	29266.35742
18	1129.150391	234	14312.74414	480	29327.39258
19	1190.185547	235	14373.7793	481	29388.42773
20	1251.220703	236	14434.81445	482	29449.46289
21	1312.255859	293	17913.81836	483	29510.49805
22	1373.291016	294	17974.85352	484	29571.5332
23	1434.326172	295	18035.88867	485	29632.56836
24	1495.361328	296	18096.92383	486	29693.60352
25	1556.396484	297	18157.95898	487	29754.63867
26	1617.431641	298	18218.99414	488	29815.67383
27	1678.466797	339	20721.43555	489	29876.70898
28	1739.501953	340	20782.4707	490	29937.74414
29	1800.537109	341	20843.50586	491	29998.7793
30	1861.572266	342	20904.54102		
31	1922.607422	343	20965.57617		
32	1983.642578	344	21026.61133		
57	3509.521484	345	21087.64648		

58	3570.556641	346	21148.68164		
59	3631.591797	347	21209.7168		
60	3692.626953	348	21270.75195		
61	3753.662109	349	21331.78711		
62	3814.697266	350	21392.82227		
63	3875.732422	351	21453.85742		
64	3936.767578	352	21514.89258		
65	3997.802734	443	27069.0918		
66	4058.837891	444	27130.12695		
85	5218.505859	445	27191.16211		
86	5279.541016	446	27252.19727		
87	5340.576172	457	27923.58398		
88	5401.611328	458	27984.61914		
89	5462.646484	459	28045.6543		
90	5523.681641	460	28106.68945		
113	6927.490234	461	28167.72461		

13.5.5 ノッチ及びパワーコントロール

Wavelet OFDM を使用して 2 つ以上のサブキャリアを制御することで、-35 [dB] までの様々なパワーレベルの帯域を作り、同じ周波数帯域を使用する他のシステム(例えば短波放送)への干渉を著しく減少させる。したがって Wavelet OFDM は単に未使用にするサブキャリアの変更で、様々な国の規制や規制の変化に柔軟に適応できる。図 13.22 ではアマチュア無線のためにマスク処理でノッチが形成されている。表 13.16 は、パワーコントロールマップのサブキャリア毎のパワーコントロール値の例である。パワーコントロールは少なくとも数 dB ステップで制御すべきである。パワーコントロールマップはマスクされないキャリアだけに適用される。デフォルト値を使用することと制御しないことは同じことである。

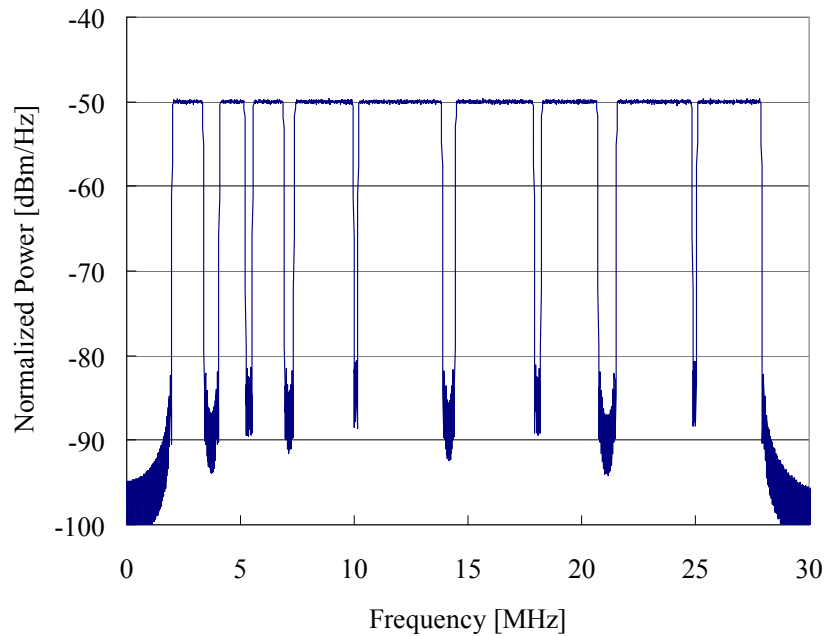


図 13.22 Wavelet OFDM(ノッチ有り)の送信スペクトラムの一例 (up to 30 [MHz])

表 13.16 パワーコントロールマップの一例

HEX	TX Power Control [dB]	HEX	TX Power Control [dB]	HEX	TX Power Control [dB]	HEX	TX Power Control [dB]
7F	5.95	5F	3.43	3F	-0.14	1F	-6.30
7E	5.88	5E	3.34	3E	-0.28	1E	-6.58
7D	5.81	5D	3.25	3D	-0.42	1D	-6.88
7C	5.74	5C	3.15	3C	-0.56	1C	-7.18
7B	5.67	5B	3.06	3B	-0.71	1B	-7.50
7A	5.60	5A	2.96	3A	-0.86	1A	-7.82
79	5.53	59	2.86	39	-1.01	19	-8.16
78	5.46	58	2.77	38	-1.16	18	-8.52
77	5.39	57	2.67	37	-1.32	17	-8.89
76	5.31	56	2.57	36	-1.48	16	-9.28
75	5.24	55	2.46	35	-1.64	15	-9.68
74	5.17	54	2.36	34	-1.80	14	-10.10
73	5.09	53	2.26	33	-1.97	13	-10.55
72	5.01	52	2.15	32	-2.14	12	-11.02
71	4.94	51	2.05	31	-2.32	11	-11.51
70	4.86	50	1.94	30	-2.50	10	-12.04
6F	4.78	4F	1.83	2F	-2.68	0F	-12.60
6E	4.70	4E	1.72	2E	-2.87	0E	-13.20
6D	4.62	4D	1.61	2D	-3.06	0D	-13.84
6C	4.54	4C	1.49	2C	-3.25	0C	-14.54
6B	4.46	4B	1.38	2B	-3.45	0B	-15.30
6A	4.38	4A	1.26	2A	-3.66	0A	-16.12
69	4.30	49	1.14	29	-3.87	09	-17.04
68	4.22	48	1.02	28	-4.08	08	-18.06
67	4.13	47	0.90	27	-4.30	07	-19.22
66	4.05	46	0.78	26	-4.53	06	-20.56
65	3.96	45	0.65	25	-4.76	05	-22.14
64	3.88	44	0.53	24	-5.00	04	-24.08
63	3.79	43	0.40	23	-5.24	03	-26.58
62	3.70	42	0.27	22	-5.49	02	-30.10
61	3.61	41	0.13	21	-5.75	01	-36.12
60	3.52	40	0.00 (Default)	20	-6.02	00	Off (No signal)

さらに、提案された MAC と PHY がパワーコントロール機能を提供するので、柔軟にノッチを形成することができる、そして、各サブキャリアに適用するパワーを独立に制御することでノッチ帯域幅を制御できる。

ノッチとパワーコントロールが動的に制御されるなら、特定のサブキャリアが他のシステムにより発生した狭帯域ノイズと同じ周波数であり、狭帯域ノイズのノイズレベルが受信側であらかじめ決められた値と同じかそれ以上のときには特定のサブキャリアを使用しない。

13.5.5.1 Static パワーコントロール

表 13.15 で定義されたキャリアはアマチュア無線帯域の保護のために常にマスクされる。マスクされるこれらのキャリアはいつでも出力されない。各 2 サブキャリアは表 13.17 に示す MIB 属性によって 0 ~ -35 [dB] の間で制御される。要求される '1901 Tx power level X' マップの数は変数 '1901 Map number supported power levels' の値から与えられる。初期化では、これらの多くのマップが変数 '1901 current Tx power level map' にコピーされる。送信パワースペクトラムは '1901 current Tx power level map' によって制御される。

13.5.5.1.1 STA スタンドアロン ダイナミックノッチ

ダイナミックノッチは「HD-PLC」と短波ラジオ放送の間の干渉の減少を供給する。干渉されるキャリアの '1901 current Tx power level map' は 35 [dB] 下に設定される。

ダイナミックノッチを備えた「HD-PLC」モデムは周期的にイングレスを感知して短波ラジオ放送信号の存在を識別する。受信可能信号を検出するために使用するしきい値とセンシングの周波数は以下の手順で指定される。

ノイズフロアの少なくとも 14 [dB] 上に信号があるなら、信号イングレスを受信可能なラジオ放送として識別しなければならない。

ノイズフロアより 14 [dB] という条件が満たされているなら、受信可能と識別される放送信号イングレスのしきい値は、「HD-PLC」モデムが接続されているソケットで測定して -95 [dBm] である。

受信可能なラジオ放送が開始した 15 秒後までにノッチを形成しなければならない。ノッチを形成した周波数は、ラジオ放送が受信可能と識別されなくなってから 180 秒経過するまで使用を再開すべきでない。

少なくとも ITU-R または各地域で定義されたラジオ放送の周波数割り当てにおいてダイナミックノッチは動作する。

例えば、次の周波数帯範囲である。

2300 - 2498 [kHz], 3200 - 3400 [kHz], 3900 - 4050 [kHz],
4750 - 5110 [kHz], 5750 - 6200 [kHz], 7200 - 7700 [kHz],
9300 - 9950 [kHz], 11550 - 12100 [kHz], 13550 - 13900 [kHz], 15050 - 15850 [kHz],
17400 - 17900 [kHz], 18900 - 19020 [kHz], 21450 - 21850 [kHz], 25650 - 26100 [kHz]

ラジオ放送がこれらの周波数帯で受信可能と識別されたら、'1901 notch map' に設定し、'1901 current Tx power level map' を設定することで識別されたラジオ放送に対応するキャリアのパワーを 35 [dB] 下げなければならない。したがって、ラジオ放送のためのノッチが電力線通信の送信スペクトラムに形成される。

2つの未使用サブキャリアが深さ 35 [dB] のノッチを可能にする。(図 13.23)

図 13.23 にノッチ周波数特性の一例を示す。

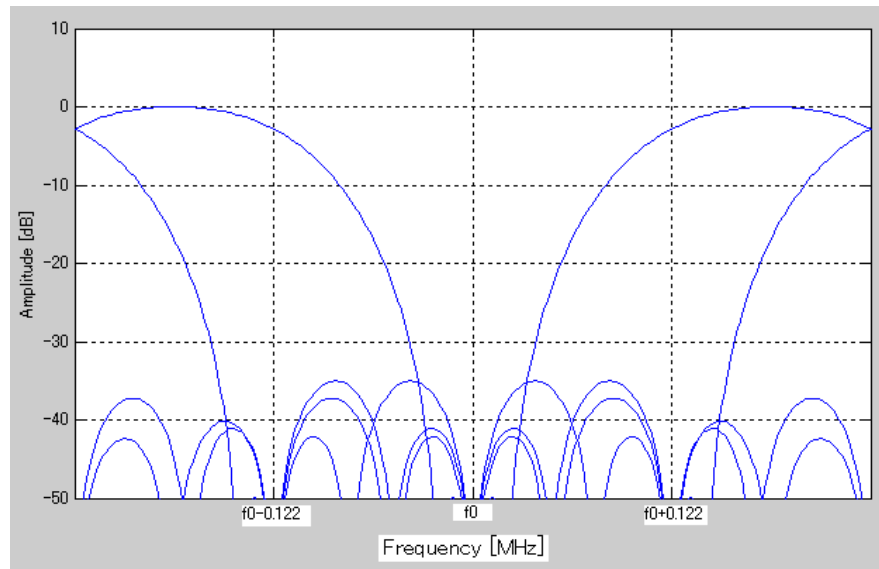


図 13.23 ノッチ周波数特性

表 13.17 パワーコントロールの MIB 属性

Managed object	デフォルト値 / 範囲	Operational Semantics
1901 PHY Tx Power Table		
1901 Map number supported power levels	Implementation dependent	Static
1901 Tx power level map 1	Implementation dependent	Static
1901 Tx power level map 2	Implementation dependent	Static
1901 Tx power level map 3	Implementation dependent	Static
1901 Tx power level map 4	Implementation dependent	Static
1901 Tx power level map 5	Implementation dependent	Static
1901 Tx power level map 6	Implementation dependent	Static
1901 Tx power level map 7	Implementation dependent	Static
1901 Tx power level map 8	Implementation dependent	Static
1901 current Tx power level map	Implementation dependent	Dynamic
1901 notch map	Implementation dependent	Dynamic
1901 PHY Wavelet OFDM Table		
1901 DN threshold	Implementation dependent	Dynamic

13.5.6 システムクロック周波数許容誤差

システムクロックは、各デバイスで信号処理に使用される電気クロック信号である。システムクロック周波数許容誤差は最大 $\pm 25\text{ppm}$ であるものとする。

13.6 PLME

13.6.1 PLME_SAP サブレイヤー管理プリミティブ

MIB 属性は表 13.18 で定義された PLME-GET、PLME-SET、PLME-RESET プリミティブと 10.3 で定義された PLME-CHARACTERISTICS プリミティブでアクセスされる。

13.6.2 PHY MIB

すべての Wavelet OFDM PHY MIB 属性は表 13.18 で定義された特定の値と共にセクション 13 で定義される。表 13.18 の “Operational semantics” の列には 2 つのタイプ static と dynamic が入る。Static MIB は与えられた PHY 実装のために固定であり、修正できない。Dynamic MIB 属性は管理エンティティによって修正できる。

表 13.18 MIB 属性デフォルト値 / 範囲

Managed object	デフォルト値 / 範囲	Operational Semantics
1901 PHY Operation Table		
1901 PHY type	Wavelet OFDM (1)	Static
1901 Current reg domain	Implementation dependent	Dynamic
1901 Current frequency band	Implementation dependent	Dynamic
1901 Temp type	Implementation dependent	Static
1901 PHY Tx Power Table		
1901 Number supported power levels	Implementation dependent	Static
1901 Tx power level 1	Implementation dependent	Static
1901 Tx power level 2	Implementation dependent	Static
1901 Tx power level 3	Implementation dependent	Static
1901 Tx power level 4	Implementation dependent	Static
1901 Tx power level 5	Implementation dependent	Static
1901 Tx power level 6	Implementation dependent	Static
1901 Tx power level 7	Implementation dependent	Static
1901 Tx power level 8	Implementation dependent	Static
1901 current Tx power level	Implementation dependent	Dynamic
1901 Reg Domains Supported		
1901 Reg domains supported	Implementation dependent	Static
1901 Frequency bands supported	Implementation dependent	Static
1901 Supported Data Rates Tx Table		
1901 Supported data rates Tx value	Refer to 13.3.2.2 Modulation-dependent parameters	Static
1901 Supported Data Rates Rx Table		
1901 Supported data rates Rx value	Refer to 13.3.2.2 Modulation-dependent parameters	Static
1901 PHY Wavelet OFDM Table		
1901 Current frequency	Implementation dependent	Dynamic
1901 TI threshold	Implementation dependent	Dynamic
1901 Channel starting factor	Implementation dependent	Dynamic

13.6.3 TXTIME 計算

PLME-TXTIME.confirmプリミティブによって返されるTXTIMEパラメータの値は次式に従って計算しなければならない。

$$\text{TXTIME} = T_{\text{SPREAMBLE}} + T_{\text{PREAMBLE}} + T_{\text{TMI}} + T_{\text{PH}} + T_{\text{FL}} + T_{\text{SYM}} \times (\text{FL} + 3)$$

T_{SYM} はシンボル長の時間である: 8.192 [μs]

$T_{\text{SPREAMBLE}}$ はショートプリアンプルの時間である: 2.5×8.192 [μs]

T_{PREAMBLE} はプリアンプルの時間である: $(11 \sim 17) \times 8.192$ [μs]

T_{TMI} はTMIの時間である: 1×8.192 [μs]

T_{PH} はフレームコントロールの時間である: 8×8.192 [μs]

T_{FL} はFLの時間である: 1×8.192 [μs]

FLの式を 13.3.2.2 に示す。

13.7 PMD サブレイヤー機能

13.7.1 適用範囲

このサブセクションはWavelet OFDM PHYのためにPLCPに提供されるPMD機能について説明する。また、このサブセクションで定義されるのはこの仕様に従うインプリメンテーションの相互接続性に必要な機能および電気的特性である。Wavelet OFDM PHYとこの仕様の関係を、図 13.24に示す。

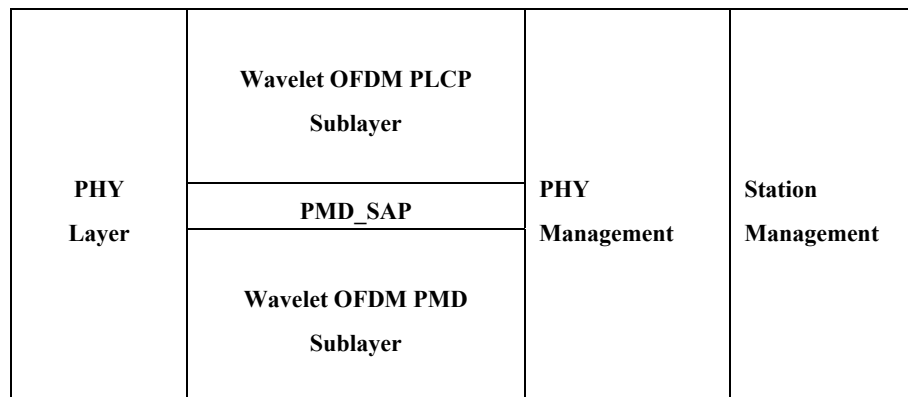


図 13.24 PMD サブレイヤーリファレンスモデル

13.7.2 機能概要

Wavelet OFDM PMD サブレイヤーは PLCP サブレイヤーサービスプリミティブを受け取り、データを送信するかまたは媒体から受信する手段を提供する。結合された Wavelet OFDM PMD サブレイヤープリミティブの機能と受信機能のパラメータは PLCP サブレイヤーに伝えられるデータストリーム、タイミング情報、関連する受信信号パラメータに帰着する。同様の機能をデータ伝送に提供しなければならない。

13.7.3 インタラクション概要

PMDへの「HD-PLC」 PLCPサブレイヤに関連するプリミティブは、2つの基本的なカテゴリに分類さる:

- a) PLCPピアツーピアインタラクションをサポートするサービスプリミティブ
- b) サブレイヤー間インタラクションをサポートするサービスプリミティブ

13.7.4 基本機能とオプション

特に明記しない限り、このサブセクションで記述されるサービスプリミティブの全ては必須である。

13.7.4.1 PMD_SAP ピアツーピアサービスプリミティブ

表 13.19 はピアツーピアインタラクションのためのプリミティブを示す。

表 13.19 PMD_SAP ピアツーピアサービスプリミティブ

Primitive	Request	Indicate	Confirm	Response
PMD_Data	○	○	--	--

13.7.4.2 PMD_SAP サブレイヤー間サービスプリミティブ

表 13.20 はサブレイヤー間インタラクションのためのプリミティブを示す。

表 13.20 PMD_SAP サブレイヤー間サービスプリミティブ

Primitive	Request	Indicate	Confirm	Response
PMD_TXSTART	○	--	--	--
PMD_TXEND	○	--	--	--
PMD_TX_TMI_T	○	--	--	--
PMD_TX_TMI_R	○	--	--	--
PMD_RX_TMI	○	--	--	--
PMD_RSSI	--	○	--	--

13.7.4.3 PMD_SAP サービスプリミティブパラメータ

表 13.21はひとつ以上のPMD_SAPサービスプリミティブで使用されるパラメータを示す。

表 13.21 PMD プリミティブのパラメータ

パラメータ	Associate primitive	値
TXD_UNIT	PMD_DATA.request	One(1), Zero(0): one wavelet OFDM symbol value
RXD_UNIT	PMD_DATA.indicate	One(1), Zero(0): one wavelet OFDM symbol value
TX_TMI_T	PMD_TX_TMI_T.request	0-255
TX_TMI_R	PMD_TX_TMI_R.request	0-255
RX_TMI	PMD_RX_TMI.request	0-255
RSSI	PMD_RSSI.indicate	0-8 bits of RSSI

13.7.5 PMD_SAP 詳細機能仕様

このサブセクションでは各 PMD によって提供される機能を説明する。

13.7.5.1 PMD_DATA.request

13.7.5.1.1 機能

このプリミティブはPLCPサブレイヤーからPMDエンティティへのデータ転送を定義する。

13.7.5.1.2 サービスプリミティブのセマンティクス

このプリミティブは次のパラメータを提供しなければならない:

PMD_DATA.request(TXD_UNIT)

TXD_UNITパラメータはWavelet OFDM変調の1シンボルのための0と1の組合せnビットでなければならない。C-MPDU(coded MPDU)の長さがnビットより短いなら、Wavelet OFDMシンボルを形成するために0ビットが加えられる。このパラメータはWavelet OFDM送信シンボルにエンコードされるようにPHYによって順番に使用されなければならないひと組のデータを表す。

13.7.5.1.3 発生時期

Wavelet OFDMシンボルの送信を要求するためにPLCPサブレイヤーでこのプリミティブを発生させなければならない。このプリミティブのデータクロックはWavelet OFDMシンボルクロックに基づいてPMDレイヤーによって供給されなければならない。

13.7.5.1.4 受信効果

PMD がデータ送信を実行する。

13.7.5.2 PMD_DATA.indicate

13.7.5.2.1 機能

このプリミティブはPMDエンティティからPLCPサブレイヤーへのデータ転送を定義する。

13.7.5.2.2 サービスプリミティブのセマンティクス

このプリミティブは次のパラメータを提供しなければならない:

`PMD_DATA.indicate(RXD_UNIT)`

RXD_UNITパラメータは0または1でなければならない。RXD_UNITパラメータはPMDエンティティによってFECの復号後に信号フィールドビットかデータフィールドビットのどちらかを表さなければならない。

13.7.5.2.3 発生時期

このプリミティブはPMDエンティティで発生し、PLCPサブレイヤーへ受信データを送る。このプリミティブのデータクロックはWavelet OFDMシンボルクロックに基づいてPMDレイヤーによって供給されなければならない。

13.7.5.2.4 受信効果

PLCPサブレイヤーは、PLCPの一部として回復されるビットを解釈するか、あるいはMPDUの一部としてデータをMACサブレイヤーへ渡す。

13.7.5.3 PMD_TXSTART.request

13.7.5.3.1 機能

PHY PLCPサブレイヤーで発生するこのプリミティブはPMDレイヤーでPPDU送信を開始する。

13.7.5.3.2 サービスプリミティブのセマンティクス

このプリミティブは次のパラメータを提供しなければならない:

`PMD_TXSTART.request`

13.7.5.3.3 発生時期

PPDUのPMDレイヤー送信を開始するためにPLCPサブレイヤーでこのプリミティブを発生させなければならない。PMD_TXSTARTコマンドを発行するまえにPHY-TXSTARTプリミティブをPLCPサブレイヤーに提供しなければならない。

13.7.5.3.4 受信効果

PMD_TXSTARTはPMDサブレイヤーでPPDUの送信を開始する。

13.7.5.4 PMD_TXEND.request

13.7.5.4.1 機能

このプリミティブはPHY PLCPサブレイヤーで発生し、PMDレイヤーでPPDU送信を終了する。

13.7.5.4.2 サービスプリミティブのセマンティクス

このプリミティブは次のパラメータを提供しなければならない:

`PMD_TXEND.request`

13.7.5.4.3 発生時期

PPDUのPMDレイヤー送信を終了するためにPLCPサブレイヤーでこのプリミティブを発生させなければならない。

13.7.5.4.4 受信効果

PMD_TXENDはPMDサブレイヤーでPPDUの送信を終える。

13.7.5.5 PMD_TX_TMI_T.request

13.7.5.5.1 機能

このプリミティブはPHY PLCPサブレイヤーで発生し、Wavelet OFDM PHYが送信に使用しなければならないTMIを選択する。

13.7.5.5.2 サービスプリミティブのセマンティクス

このプリミティブは次のパラメータを提供しなければならない:

PMD_TX_TMI_T.request (TX_TMI_T)

TX_TMI_TはMPDU送信に使用しなければならないWavelet OFDM PHY TMIを選択する。Wavelet OFDM PHY TMIに関する詳細は13.3.2.2を参照。

13.7.5.5.3 発生時期

送信元STAで信号を送信するためにPLCPサブレイヤーでこのプリミティブを発生させなければならない。

13.7.5.5.4 受信効果

TX_TMI_Tの受信はすべてのその後のMPDU送信に使用しなければならないTMIを選択する。このTMIは送信だけに使用しなければならない。

13.7.5.6 PMD_TX_TMI_R.request

13.7.5.6.1 機能

このプリミティブはPHY PLCPサブレイヤーで発生し、送信先STAでWavelet OFDM PHYが受信に使用しなければならないTMIを選択する。

13.7.5.6.2 サービスプリミティブのセマンティクス

このプリミティブは次のパラメータを提供しなければならない:

PMD_TX_TMI_R.request (TX_TMI_R)

TX_TMI_Rは送信先STAでMPDU受信に使用しなければならないWavelet OFDM PHY TMIを選択する。Wavelet OFDM PHY TMIに関する詳細は13.3.2.2を参照。

13.7.5.6.3 発生時期

送信先STAでPPDUのMPDU部分に使用される現在のWavelet OFDM PHY TMIを設定するためにPLCPサブレイヤーでこのプリミティブを発生させなければならない。

13.7.5.6.4 受信効果

TX_TMI_Rの受信は送信先STAでのすべてのその後のMPDU受信に使用しなければならないTMIを選択する。このTMIは送信先STAでの受信だけに使用しなければならない。

13.7.5.7 PMD_RX_TMI.request

13.7.5.7.1 機能

このプリミティブはPHY PLCPサブレイヤーで発生し、Wavelet OFDM PHY受信に使用しなければならないTMIを選択する。

13.7.5.7.2 サービスプリミティブのセマンティクス

このプリミティブは次のパラメータを提供しなければならない:

PMD_RX_TMI.request (RX_TMI)

RX_TMIはMPDU受信に使用しなければならないWavelet OFDM PHY TMIを選択する。Wavelet OFDM PHY TMIに関する詳細は13.3.2.2を参照。

13.7.5.7.3 発生時期

送信元STAで信号を受信するためにPLCPサブレイヤーでこのプリミティブを発生させなければならない。

13.7.5.7.4 受信効果

RX_TMIの受信はすべてのその後のMPDU受信に使用しなければならないTMIを選択する。このTMIは受信だけに使用しなければならない。

13.7.5.8 PMD_RSSI.indicate

13.7.5.8.1 機能

このプリミティブはPMDサブレイヤーで発生し、受信信号強度をPLCPとMACエンティティに提供する。

13.7.5.8.2 サービスプリミティブのセマンティクス

このプリミティブは次のパラメータを提供しなければならない:

PMD_RSSI.indicate(RSSI)

RSSIはWavelet OFDM PHYが受信した信号エネルギーの大きさでなければならない。最大8ビット(256レベル)のRSSIをサポートする。

13.7.5.8.3 発生時期

Wavelet OFDM PHYが受信状態のときにPMDでこのプリミティブを発生させなければならない。MACエンティティにパラメータを提供しなければならないPLCPが連続的に利用可能でなければならない。

13.7.5.8.4 受信効果

情報のみのためにPLCPレイヤーにこのパラメータを提供しなければならない。CCAの一部としてRSSIを使用しても良い。

14 Inter system protocol (ISP)

14.1 ISP 概要

Inter-System Protocol (ISP) は、Time Domain Multiplex (TDM)と呼ばれる時間領域、Frequency Domain Multiplex (FDM)と呼ばれる周波数領域、またはその両方において、システム間で電力線リソースの共有を可能にする。ISP は 4 つまでの相互運用性の無いシステム間の共存をサポートする。

ISP 信号によって使用される周波数は、2MHz～30MHz である。

各共存システムのリソースの配分は、以下の要因で決定される。

- 電力線上のシステムの数
- システムのタイプ
- Access システムの帯域要求

次のセクションから ISP のプロトコルについて詳細を説明する。

14.1.1 共存信号

共存信号は、共存システムの存在の有無、リソースの要求、再同期の要求のやり取りに使用される。また、定期的に繰り返される ISP Window を使用することにより実行される。各 PLC システムは、共存のためラウンドロビン方式で特定の ISP Window を割り当てられる。

各 ISP Window は、2 つの ISP Field から構成される。共存システムは、割り当てられた Window のフィールド内で ISP 信号を送信し、他のシステムに割り当てられた Window のフィールド内の信号をモニタする。

ISP 信号は、指定された位相の中から 1 つを選択し送信できる。これは ISP Field によって送られる情報の種類を示す。ISP 信号はデコードされるのではなく単に検出される。

14.1.2 ネットワーク状態

他のシステムに割り当てられた ISP Window の中で送信される信号をモニタすることによって、共存システムは電力線上に存在する共存システムの数とタイプとリソース要求を測定できる。

自分自身の ISP Window(第 2 フィールド)内の信号をモニタすることによって、共存システムは他の共存システムの 1 つからの再同期(リシンク)要求を検出することができる。

この一連の情報は、ネットワーク状態と呼ばれる。ネットワーク状態は、各共存システムへのリソース配分の決定に使用される。

14.1.3 リソース 割り当て

ISP は、時間領域(TDM)または周波数領域(FDM)またはその両方で、システムを共存させることが可能である。

14.1.3.1 周波数領域多重化 (Frequency domain multiplexing : FDM)

ISP の中で、FDM は Access システムによってのみ利用開始が可能である。FDM は 2 つの周波数帯で構成される。高域側の帯域は、In-home システムによって共有され、低域側の帯域は Access システムのために予約される。2 つの FDM 領域の分割点は、Access システムのリソース要求によって選択される。

14.1.3.2 時間領域多重化(Time domain multiplexing : TDM)

ISP は、In-home システム同士の共存、または In-home システムと Access システム間の共存を実現するため TDM を利用する。時間領域のリソースの配分は 14.5. で説明する。

各 ISP Window の間の区間は小さなユニット分割されている。そのサブユニットは、TDM のリソース割り当てで利用される。

14.1.4 起動と再同期手続き

システムが適切な ISP Window に同期し、効果的に共存するために ISP は以下を定義する。

- システム起動の手順
- 異なった ISP Window に再同期(リシンク)するためのトリガーと手順

14.1.5 パワーコントロール

状況によっては、システム内の ISP 機器は、ISP 信号の送信を止め、ネットワーク状態のモニタを続けてもよい。

14.2 共存信号定義

ISP 信号の重要なポイントは以下の通りである。

- サンプル周波数は 100 MHz である。
- 信号は 16 の連続する OFDM シンボルから構成される。
- 全て '1' の BPSK データによって形成された各 OFDM シンボルは、512 ポイントの Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) を使用してキャリア波形に変調される。
- 送信スペクトラムマスクによって帯域外の信号を減少させるために、窓関数 $W(n)$ がドメインシンボルに掛けられる。

ISP 信号を図 14.1 に示す。

以下の理由で、ISP 信号は、通常の通信で使用されるパワーより 8dB 低いパワーで設定されなければならない。

- h) すべての端末が同時に ISP 信号を送信した場合においても放射妨害レギュレーションへの不適合を避けるために送信パワーは低く抑えられている。
- i) ISP 信号の検出は、とても正確であり、小さな S/N 比でも検出できる。しかし、ISP の目的は、干渉が起こればシステム間のメディアの共有を可能にすることである。もし、1 つのシステムからのエネルギーが他のシステムにノイズレベル以下で届く場合、実際の干渉は無く、両方のシステムは ISP を必要とすること無しに同時にチャネルを使用できる。(帯域幅の 50% 以上のロス避けて)。時々、帯域幅の減少を引き起こしているなんらかの干渉があるかもしれない。しかし、チャネルの 50% を直接ロスするよりは良い。

Access システムがスペクトラムの一部を使用するとき、システムのノード数によって放射レギュレーションに違反しないなら、より高いパワーを使用してもよい。

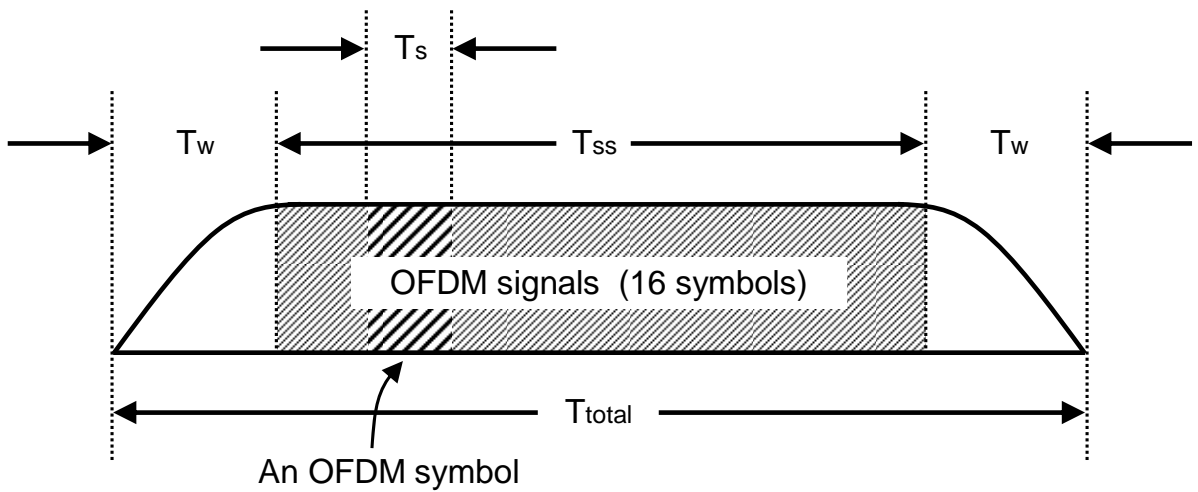


図 14.1 ISP 信号のタイミング

表 14.1 ISP 信号のパラメータ

Symbol	Description	Time Samples	Time (μs)
Ts	IFFT 間隔	512	5.12
Tss	OFDM シンボル持続時間	Ttotal - 2 * Tw	Ttotal - 2 * Tw
Tw	Windowing duration	less than or equal to 1024	less than or equal to 10.24
Ttotal	ISP 信号間隔	8192	81.92

14.2.1 信号生成

ISP 信号は以下の方程式で定義される。n は時間上でのサンプル点として定義する。

$$S_I(n) = N_c \cdot W(n) \cdot \sum_{C_a} \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot C_a \cdot n}{512} + \phi(C_a)\right)$$

$$0 \leq n < 8192$$

Nc: normalization factor 正規化要素

W(n): 窓関数

Ca: キャリアインデックス

∅(Ca): 位相ベクトル

窓関数 W(n) の選択は、実装に依存する。W(n) は、以下の必要条件を満たすために選択されなければならない。

$$W(n) = 1 \text{ for } 1024 \leq n < 7168$$

W(n) は、送信スペクトラムマスクに従うために ISP 信号を使用可能にしなければならない。

上述の方程式で使用されるキャリア周波数は、以下の表で示される。表 14.2 の値は標準であり、14.10.1.2. で詳細に示すクロック耐性による。2～30MHz の範囲内の送信スペクトラムマスクによって常にマスクされているキャリアには、キャリア番号の背景を灰色としている。追加キャリアはローカルレギュレーションや要求による機器によってマスクしてもよい。

各キャリアの周波数が以下の式に対応することに注意しなければならない。

$$f_k = k \frac{f_s}{N_{IFFT}} = k \frac{100}{512} \text{MHz} = k \cdot 195.3125 \text{kHz}$$

k はキャリアインデックスである。

表 14.2 ISP 信号キャリア周波数

Ca	周波数 [kHz]	Ca	周波数 [kHz]	Ca	周波数 [kHz]	Ca	周波数 [kHz]
0	0.0000	64	12500.0000	128	25000.0000	192	37500.0000
1	195.3125	65	12695.3125	129	25195.3125	193	37695.3125
2	390.6250	66	12890.6250	130	25390.6250	194	37890.6250
3	585.9375	67	13085.9375	131	25585.9375	195	38085.9375
4	781.2500	68	13281.2500	132	25781.2500	196	38281.2500
5	976.5625	69	13476.5625	133	25976.5625	197	38476.5625
6	1171.8750	70	13671.8750	134	26171.8750	198	38671.8750
7	1367.1875	71	13867.1875	135	26367.1875	199	38867.1875
8	1562.5000	72	14062.5000	136	26562.5000	200	39062.5000
9	1757.8125	73	14257.8125	137	26757.8125	201	39257.8125
10	1953.1250	74	14453.1250	138	26953.1250	202	39453.1250
11	2148.4375	75	14648.4375	139	27148.4375	203	39648.4375
12	2343.7500	76	14843.7500	140	27343.7500	204	39843.7500
13	2539.0625	77	15039.0625	141	27539.0625	205	40039.0625
14	2734.3750	78	15234.3750	142	27734.3750	206	40234.3750
15	2929.6875	79	15429.6875	143	27929.6875	207	40429.6875
16	3125.0000	80	15625.0000	144	28125.0000	208	40625.0000
17	3320.3125	81	15820.3125	145	28320.3125	209	40820.3125
18	3515.6250	82	16015.6250	146	28515.6250	210	41015.6250
19	3710.9375	83	16210.9375	147	28710.9375	211	41210.9375
20	3906.2500	84	16406.2500	148	28906.2500	212	41406.2500
21	4101.5625	85	16601.5625	149	29101.5625	213	41601.5625
22	4296.8750	86	16796.8750	150	29296.8750	214	41796.8750
23	4492.1875	87	16992.1875	151	29492.1875	215	41992.1875
24	4687.5000	88	17187.5000	152	29687.5000	216	42187.5000
25	4882.8125	89	17382.8125	153	29882.8125	217	42382.8125
26	5078.1250	90	17578.1250	154	30078.1250	218	42578.1250
27	5273.4375	91	17773.4375	155	30273.4375	219	42773.4375
28	5468.7500	92	17968.7500	156	30468.7500	220	42968.7500
29	5664.0625	93	18164.0625	157	30664.0625	221	43164.0625
30	5859.3750	94	18359.3750	158	30859.3750	222	43359.3750
31	6054.6875	95	18554.6875	159	31054.6875	223	43554.6875

表 14.2 ISP 信号キャリア周波数

Ca	周波数 [kHz]	Ca	周波数 [kHz]	Ca	周波数 [kHz]	Ca	周波数 [kHz]
32	6250.0000	96	18750.0000	160	31250.0000	224	43750.0000
33	6445.3125	97	18945.3125	161	31445.3125	225	43945.3125
34	6640.6250	98	19140.6250	162	31640.6250	226	44140.6250
35	6835.9375	99	19335.9375	163	31835.9375	227	44335.9375
36	7031.2500	100	19531.2500	164	32031.2500	228	44531.2500
37	7226.5625	101	19726.5625	165	32226.5625	229	44726.5625
38	7421.8750	102	19921.8750	166	32421.8750	230	44921.8750
39	7617.1875	103	20117.1875	167	32617.1875	231	45117.1875
40	7812.5000	104	20312.5000	168	32812.5000	232	45312.5000
41	8007.8125	105	20507.8125	169	33007.8125	233	45507.8125
42	8203.1250	106	20703.1250	170	33203.1250	234	45703.1250
43	8398.4375	107	20898.4375	171	33398.4375	235	45898.4375
44	8593.7500	108	21093.7500	172	33593.7500	236	46093.7500
45	8789.0625	109	21289.0625	173	33789.0625	237	46289.0625
46	8984.3750	110	21484.3750	174	33984.3750	238	46484.3750
47	9179.6875	111	21679.6875	175	34179.6875	239	46679.6875
48	9375.0000	112	21875.0000	176	34375.0000	240	46875.0000
49	9570.3125	113	22070.3125	177	34570.3125	241	47070.3125
50	9765.6250	114	22265.6250	178	34765.6250	242	47265.6250
51	9960.9375	115	22460.9375	179	34960.9375	243	47460.9375
52	10156.2500	116	22656.2500	180	35156.2500	244	47656.2500
53	10351.5625	117	22851.5625	181	35351.5625	245	47851.5625
54	10546.8750	118	23046.8750	182	35546.8750	246	48046.8750
55	10742.1875	119	23242.1875	183	35742.1875	247	48242.1875
56	10937.5000	120	23437.5000	184	35937.5000	248	48437.5000
57	11132.8125	121	23632.8125	185	36132.8125	249	48632.8125
58	11328.1250	122	23828.1250	186	36328.1250	250	48828.1250
59	11523.4375	123	24023.4375	187	36523.4375	251	49023.4375
60	11718.7500	124	24218.7500	188	36718.7500	252	49218.7500
61	11914.0625	125	24414.0625	189	36914.0625	253	49414.0625
62	12109.3750	126	24609.3750	190	37109.3750	254	49609.3750
63	12304.6875	127	24804.6875	191	37304.6875	255	49804.6875

14.2.2 位相ベクトル

ISP プロトコルは、5 つの異なった信号位相を示す。それら全ては、以前に定義された OFDM シンボルであるが、各キャリアで異なる位相を使用する。

各位相ベクトルの詳細な定義を以下の表に示す。表の“Start No.” は、基準の表に示されているオリジナルの位相ベクトルが、対応する位相ベクトルのためにどのようにシフトするかを示している。すなわち、“Start No.”が m であれば、最初のサブキャリアの位相はキャリアインデックスが $(i+m) \bmod 256$ である位相基準と等しい。

位相ベクトル基準は以下の通りである。なお、常にマスクされているキャリアは、キャリア番号の背景を灰色としている。

表 14.3 ISP 信号位相ベクトル基準

Ca	$\emptyset(\text{Ca})$	Ca	$\emptyset(\text{Ca})$	Ca	$\emptyset(\text{Ca})$	Ca	$\emptyset(\text{Ca})$	Ca	$\emptyset(\text{Ca})$	Ca	$\emptyset(\text{Ca})$	Ca	$\emptyset(\text{Ca})$	Ca	$\emptyset(\text{Ca})$
0	π	32	0	64	0	96	0	128	0	160	0	192	0	224	π
1	0	33	0	65	0	97	π	129	0	161	0	193	0	225	π
2	0	34	0	66	0	98	π	130	0	162	0	194	π	226	π
3	0	35	0	67	π	99	π	131	0	163	0	195	0	227	π
4	0	36	0	68	0	100	π	132	0	164	π	196	π	228	π
5	0	37	π	69	π	101	π	133	0	165	π	197	0	229	π
6	0	38	π	70	0	102	π	134	π	166	0	198	π	230	π
7	π	39	0	71	π	103	π	135	0	167	0	199	0	231	0
8	0	40	0	72	0	104	0	136	0	168	π	200	π	232	0
9	0	41	π	73	π	105	0	137	0	169	π	201	π	233	0
10	0	42	π	74	π	106	0	138	π	170	0	202	π	234	0
11	π	43	0	75	π	107	0	139	0	171	π	203	π	235	π
12	0	44	π	76	π	108	π	140	0	172	0	204	π	236	π
13	0	45	0	77	π	109	π	141	π	173	π	205	0	237	π
14	π	46	π	78	0	110	π	142	π	174	0	206	π	238	0
15	π	47	0	79	π	111	0	143	0	175	0	207	0	239	π
16	0	48	0	80	0	112	π	144	0	176	π	208	0	240	π
17	0	49	π	81	0	113	π	145	0	177	π	209	π	241	π
18	0	50	π	82	π	114	π	146	π	178	π	210	0	242	π
19	π	51	π	83	0	115	π	147	0	179	0	211	π	243	0
20	0	52	0	84	π	116	0	148	π	180	0	212	0	244	0
21	π	53	0	85	0	117	0	149	π	181	π	213	0	245	π
22	π	54	π	86	0	118	π	150	π	182	π	214	0	246	0
23	π	55	π	87	0	119	0	151	0	183	π	215	π	247	π
24	0	56	π	88	π	120	π	152	π	184	π	216	π	248	π
25	π	57	π	89	π	121	π	153	0	185	0	217	0	249	0
26	0	58	0	90	0	122	0	154	π	186	π	218	π	250	0
27	π	59	π	91	π	123	0	155	π	187	π	219	π	251	π
28	π	60	π	92	π	124	π	156	0	188	0	220	π	252	0
29	0	61	0	93	π	125	0	157	π	189	π	221	0	253	0
30	π	62	π	94	0	126	0	158	π	190	0	222	0	254	0
31	π	63	0	95	0	127	π	159	0	191	0	223	0	255	0

他の信号は以下のように定義される。

表 14.4 ISP 信号位相ベクトルオフセット

Phase Vector	Start No.	PAR (dB)	Use
Phase 1	1	7.61	access
Phase 2	2	7.97	IH-W and resync
Phase 3	14	7.47	IH-O and resync
Phase 4	42	7.43	access and FDM interference
Phase 5	58	7.45	IH-G and resync

信号の Peak to Average Ratio (PAR) は以下のように定義される。

$$PAR = 20 \cdot \log_{10} \frac{V_{peak}}{V_{rms}}$$

14.2.3 Power sync point

Sync Point とは、AC 電源のゼロクロス点と関連した 0 度、60 度、120 度、180 度のポイントで定義される。単相電源と三相電源の Sync Point を、それぞれ図 14.2 と図 14.3 に示す。連続した Sync Point の間隔は、T0 で与えられる。最初の ISP Field は、Sync Point のあと ISP_OFFSET 時間で始まる。

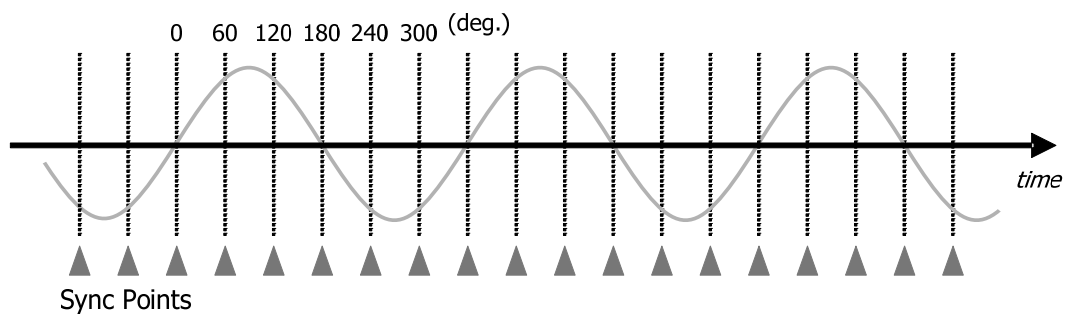


図 14.2 Sync points (単相電源)

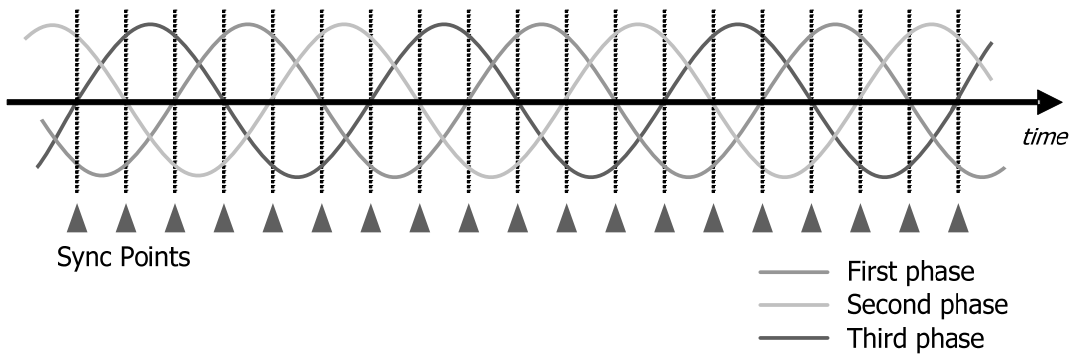


図 14.3 Sync points (三相電源)

14.3 共存信号スキーム

共存信号は、定期的な繰り返しの ISP Window によって実行され、システムの存在、リソース要件、同期要求などの情報を伝達するために使用される。各 PLC システムカテゴリには特定の ISP Window が割り当てられる。

各 ISP Window は 2 つの ISP Field で構成される。共存システムは割り当てられた Window のフィールドの中で ISP 信号を送信し、他のシステムに割り当てられた Window のフィールドの中で信号をモニタする。

ISP 信号は、指定された位相の範囲から 1 つを選択し、送信する。これは信号によって伝えられる追加情報を示す。ISP 信号はデコードされるのではなく単に検出される。

共存システム間の情報の書き換えは ISP 信号だけに制限される。その結果、ここで説明された共存スキームは BPL システムのセキュリティに影響を与えない。

14.3.1 ISP Window

ISP Window は、共存している PLC 機器が ISP 信号の送信と検出のために使用する時間領域である。ISP Window は、電源周期のゼロクロス点からの固定のオフセット値 T_{off} の時間後に与えられる。また、(AC_CYCLE で与えられるライン周期期間) T_{ISP} の倍数で与えられる期間で周期的に発生する。4 つの連続した T_{ISP} によって形成された期間は、 T_H によって与えられる。電源 1 周期あたり 2 つのゼロクロス点がある。三相電源では、利用可能なゼロクロス点は 6 つとなる。14.6.1.2 に、共通のゼロクロス点で同期する共存システムを実現する技術を示す。

ISP Window は、2 つの ISP Field で構成される。ISP Window と ISP Field を、図 14.4 に示す。

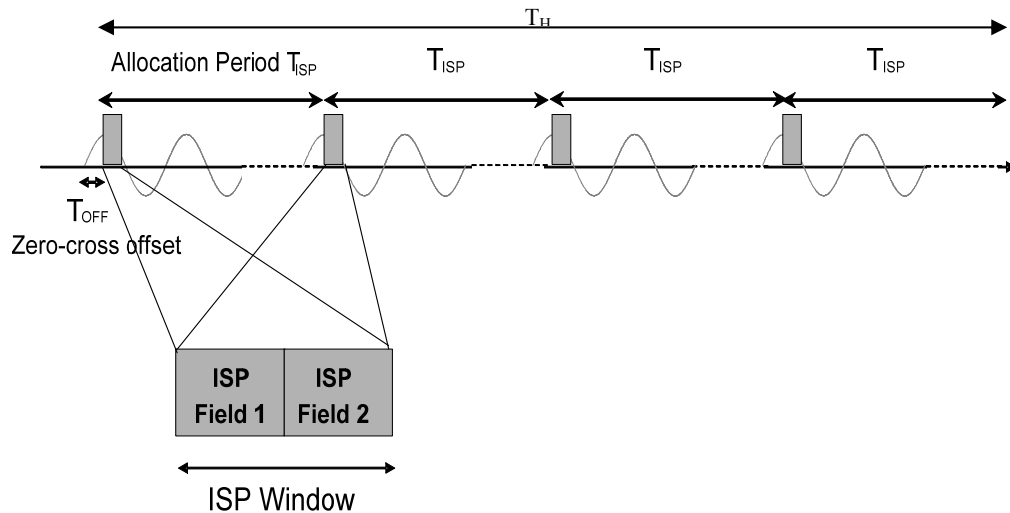


図 14.4 ISP Window と ISP field の概念

各共存システムには、固有の ISP Window が配分される。図 14.5 のように、Access 用, IH-W (Wavelet) 用, IH-O (OFDM) 用, IH-G (G.hn) 用がこの順番で配置される。IH-G 用の ISP Window の次は Access 用に戻り、同種方式の ISP Window が 4 つ毎に出現する。

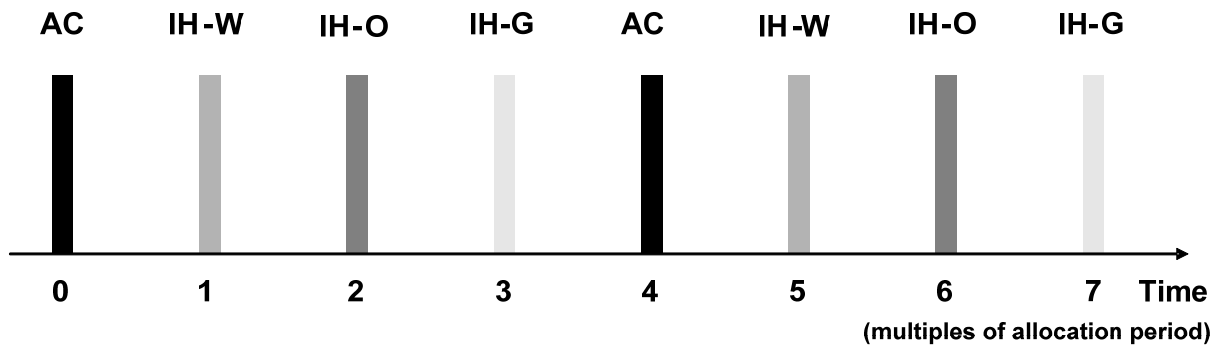


図 14.5 ISP Window の周期性

$4 \cdot T_{ISP}$ の周期の中で、同じシステムに属する端末は、システムに割り当てられた ISP Window において、同時に ISP 信号を送信する。

全ての端末は、ネットワーク状態を知るために ISP Window をモニタする。

他の端末とアクティブリンクしていないとき、他の同期していないシステムの存在を検出するために ISP Window の領域外で継続的に ISP 信号をスキャンする。同期していないシステムが検出されれば、リリンクプロセスが動作する。

送信のためにチャネルを使用していない In-Home システムの単独機器は、

- 自身の ISP Window の ISP 信号は送信しない
- 非同期システムの出現を検出するために、自身の ISP Window の領域外で、ISP 信号の継続的なスキャンをしなければならない

14.3.2 ISP Field

ISP Window は 2 つの ISP Field で構成される。端末は、これらのフィールドで ISP 信号を送信する。各フィールドの中の信号は、固有の状態や要求を伝えるために定義された位相で送信される。システムカテゴリ、フィールド、信号位相の組み合わせが、ネットワーク状態を決定づける。

ISP は 4 つの相互運用性のないシステムを共存させることを可能にする。具体的には、ISP は、PLC Access システム、I H-G システム、IH-W システム、IH-O システムの 4 つのシステムを共存できる。

ISP Window は、図 14.9 に示すような、3 つの TDMU (例えば、TDMU #0, TDMU #1, TDMU #2) で構成されるアロケーション区間の T_{ISP} 内にある、TDMU #0, TDMU #3, TDMU #6, TDMU #9 の始めに位置する。

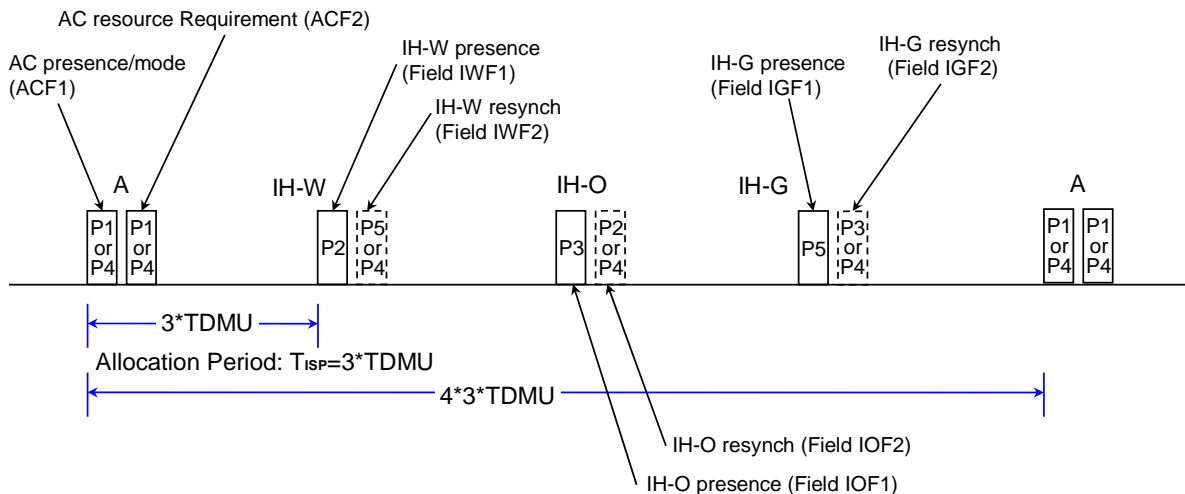


図 14.6 ISP field

図 14.6 に ISP Field を示す。実線は、適切なシステムカテゴリに属する PLC 機器が存在する場合、ISP 信号がいつも送信されるフィールドを示す。点線枠は、ISP 信号が存在する場合と、ない場合があるフィールドを示す。

14.3.2.1 Access システム

1901 Access システムに割り当てられた ISP Window には ACF1 と ACF2 がある。これらのフィールド内の、位相の組合せと、そのときのネットワーク状態の内容を表 14.5 に示す。“Ph1”は ISP 信号の位相が 1 であることを表し、“Ph4”は ISP 信号の位相が 4 であることを表す。

表 14.5 Meaning of the 1901 access ISP Window fields

ACC ISP Window		ネットワーク状態の内容
ACF1	ACF2	
Ph1	Ph1	Access TDM request Partial Bandwidth
Ph1	Ph4	Access TDM request Full Bandwidth
Ph4	Ph1	Access FDM below 10 MHz on all TDMSs
Ph4	Ph4	Access FDM below 14 MHz on all TDMSs

Access システムは、表 14.4 に示すように、4 種のネットワーク状態を指し示す ISP 信号が使用可能である。

- ACF1:Access の存在と、TDM か FDM のどちらが使われているかを示す
- ACF2: 割り当てられたリソースが Full(TDMFull 帯域、FDM 14MHz 以下)であるか、Partial(TDM Partial 帯域、FDM 10MHz 以下)であるかを示す

14.3.2.2 In-home システム

2つの In-Home システムカテゴリに割り当てられた ISP Window は、IWF1, IWF2, IOF1, IOF2, IGF1, IGF2 である。ISP 信号の存在と位相の組合わせを表 14.6, 表 14.7, 表 14.8 に示す。

表 14.6 1901 In-home Wavelet ISP Window field の内容

1901 In-Home Wavelet ISP Window		ネットワーク状態の内容
IWF1	IWF2	
Ph2		1901 In-Home Wavelet System present
Ph2	Ph5	1901 In-Home Wavelet System must start resync procedure
Ph2	Ph4	1901 In-Home Wavelet interference threshold exceeded

表 14.7 1901 In-home OFDM ISP Window field の内容

1901 In-Home OFDM ISP Window		ネットワーク状態の内容
IOF1	IOF2	
Ph3		1901 In-Home OFDM System present
Ph3	Ph2	1901 In-Home OFDM System must start resync procedure
Ph3	Ph4	1901 In-Home OFDM interference threshold exceeded

表 14.8 ITU-T G.hn ISP Window field の内容

ITU-T G.hn ISP Window		ネットワーク状態の内容
IGF1	IGF2	
Ph5		ITU-T G.hn System present
Ph5	Ph3	ITU-T G.hn System must start resync procedure
Ph5	Ph4	ITU-T G.hn interference threshold exceeded

表 14.6, 表 14.7, 表 14.8 から、ITU-T G.hn と 1901 In-Home システムは、規定のネットワーク状態を指し示す ISP 信号を使用可能である。

- IGF1/IWF1/IOF1: 存在を示す
- IGF2/IWF2/IOF2: 干渉が閾値を超えるかどうかを示す
- 他のシステムは、IGF2 の Ph3 の信号の送信によって参入するためのリシンクの開始を、IH-G システムに要求しなければならない。同様に、他のシステムは、IHWF2 の Ph5 の信号の送信によって参入するためのリシンク開始を IH-W システムに要求し、また IOF2 の Ph2 の信号の送信によって参入するためのリシンク開始を IH-O システムに要求しなければならない。

14.3.2.3 ISP 信号配置

同期、ゼロクロス検出、位相シフト等の変化を吸収するために、ISP 信号の送信時間は ISP Window の時間より小さい。ISP 信号は ISP Field の中央に配置して送信すべきである。ISP Field の構造を図 14.7 に示す。

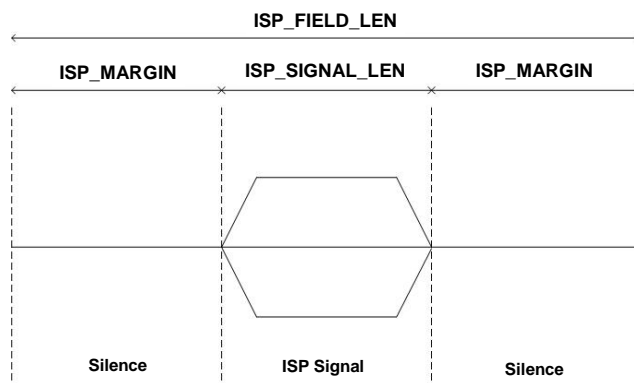


図 14.7 ISP Field の構成: ISP Signal と 2 つの ISP マージン (サイレンス期間)

14.3.3 ネットワーク状態

他のシステムに割り当てられた ISP Window の中で送信される信号をモニタすることによって、電力線上に存在する他の共存システムとリソース要求の数とタイプを確認できる。

自分自身の ISP Window(第 2 フィールド)の中の信号をモニタすることによって、他の共存システムからの再同期(リシンク)要求を検出することができる。

電力線上のシステムについての情報は以下を含む。

- In-Home システム
 - 存在
 - 他システムからのリシンク要求
 - Access システムに対して、“干渉の閾値を超える”(表 14.5, 表 14.6, 表 14.7 に示す)
- Access システム
 - 存在
 - TDM/FDM
 - Full/partial リソース割り当て要件

これらの情報は、ネットワーク状態と呼ばれる。このネットワーク状態は各共存システムのリソース割り当て決定に使用される。

ISP 機器は、全ての $4 \cdot T_{ISP}$ のネットワーク状態と、全ての T_{ISP} のネットワーク状態の更新を決定できる。PLC 機器のネットワーク状態は、その瞬間に媒体を共有している各システムによって検出され、決定される。

ISP 機器は、ISP Field に適切な位相で少なくとも VALID_SIGNAL_COUNT の連続する ISP 信号を検出する場合、システムが存在することを認識しなければならない。また、それによってネットワーク状態を更新しなければならない。

ISP 機器は、同期期間で 5 回連続して信号を検出できなかった場合、システムが存在しないと認識しなければならない。また、それによってネットワーク状態を更新しなければならない。

図 14.8 に例を示す。ISP 信号は IH-W に割り当てられた ISP Window で送信されない。従って、Access システムと IH-O と IH-G は IH-W の ISP Window を検出せず IH-W は存在しないと推測する。ネットワーク状態 = {access, IH-O, IH-G} この場合、1901 Access, IH-O, IH-G は、事前に定義されたポリシーによって IH-W に割り当てられるリソースを共有できる。

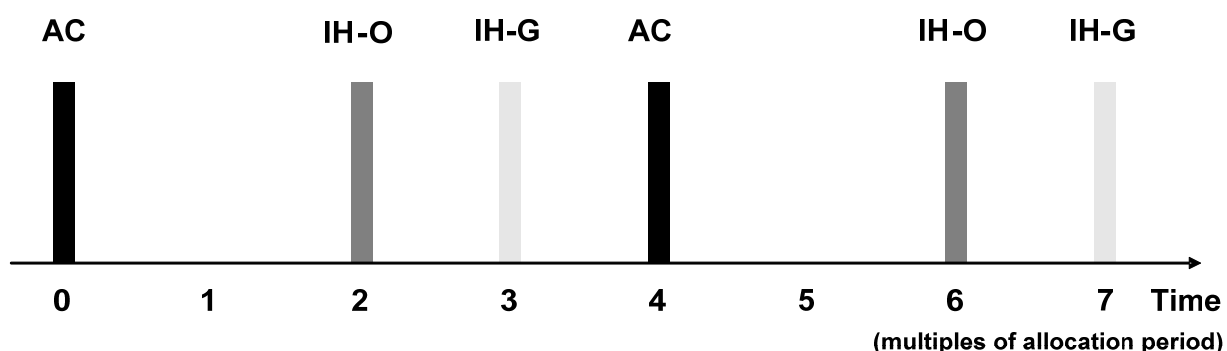


図 14.8 IH-W システムが存在しないときの ISP Window シーケンス

14.4 共存リソース

14.4.1 ISP 共存リソース

ISP は、時間領域(TDM)または/かつ周波数領域(FDM)で共存するシステムを実現する。このセクションでは、共存システムに割り当て可能なリソースを定義する。

14.4.1.1 周波数領域多重化 (Frequency domain multiplexing : FDM)

ISP の中で、FDM は Access システムによってのみ利用開始可能である。FDM は 2 つの周波数帯で構成される。高域側の帯域は、In-home システムによって共有され、低域側の帯域は Access システムのために予約される。

2 つの FDM 領域の分割点の 1 つは、FDM モードの「Full 帯域幅」と「Partial 帯域幅」を、Access システムによって示される。

「Full 帯域幅」の分割点は 14 MHz であり、「Partial 帯域幅」の分割点は 10 MHz である。Access システムによって選ばれているモードは総合的な帯域幅要件に依存する。

14.4.1.2 時間領域多重化 (Time domain multiplexing : TDM)

ISP は、In-home システム同士の共存、または In-home システムと Access システム間の共存を実現するために TDM を利用する。各 Access システムは、「Full 帯域幅」か「Partial 帯域幅」として TDM のリソース要件を示してよい。この要求は共存システム間の TDM リソース割り当てに影響を与える。

In-home と Access システムのための全体的な同期期間は TH であり、TH 中に、4つの ISP のウィンドウがある。ISP のウィンドウ期間は、さらに3つ TDM ユニット (TDMUs) に分割されるので、各 TH 期間は、TDMU#0 から TDMU#11 に割付された12の TDMU が存在する。各 TDMU はさらに TDMS #0 から TDMS #7 まで割り付けられた8つの TDM スロット (TDMS) に分割されている。

2つの隣接した TDMS が異なる PLC システムカテゴリに割り当てられる場合、サイレンスマージンは TDMS 境界におかれる。TDMS のサイレンスマージンは、ISP マージン期間であり (14.4.2 参照)、TDMS の先頭に挿入しなければならない。

ネットワーク状態によって、各 TDMU 内の TDMS は、特定のシステムカテゴリに割り当てられる。同じ TDMS は、各 TDMU の同じシステムカテゴリに割り当てられる。(例えば、“1901 Access” は、各 TDMU の“TDMS#3”と“TDMS#4”に割り当てることができる)。

PLC 機器によって検出されたネットワーク状態は、同じシステムの他の PLC 機器によって検出されたネットワーク状態と異なるかもしれない。

全体的な ISP TDM の構造を図 14.9 に示す。TDMU の構造を図 14.10 に示す。

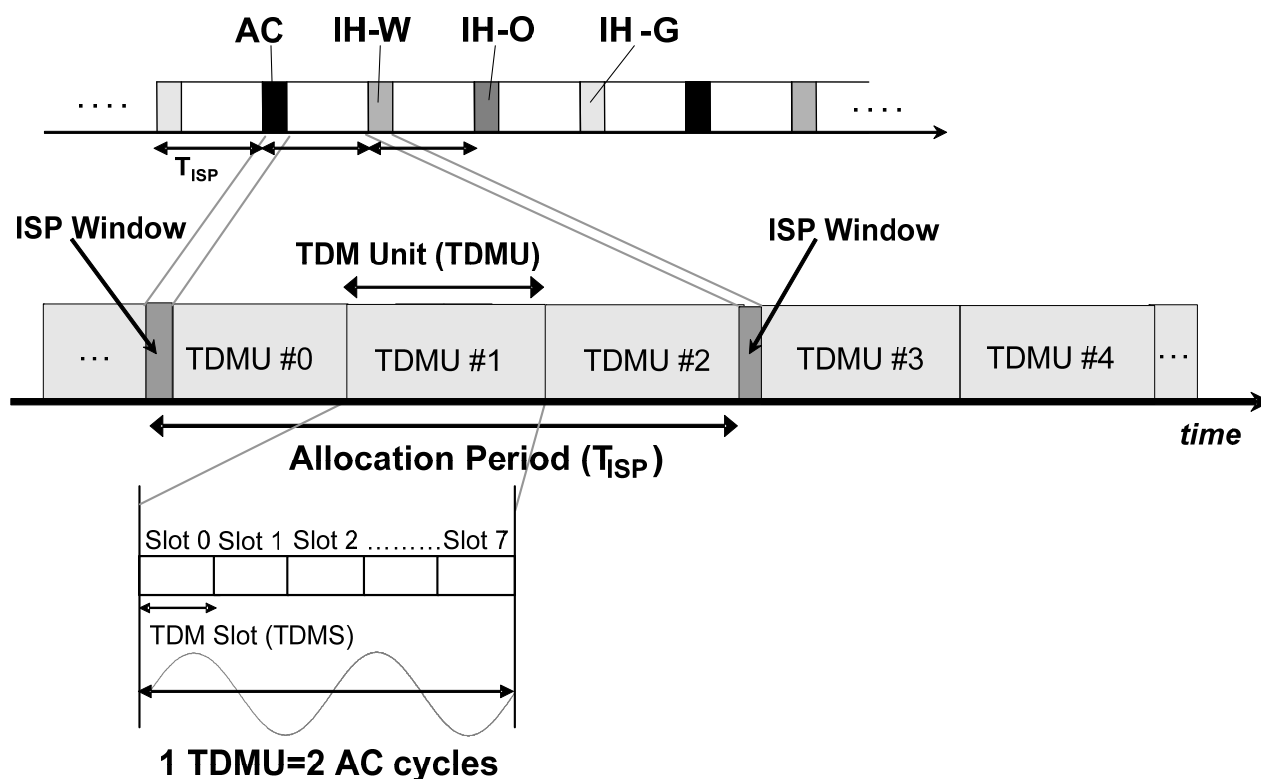


図 14.9 一般的な TDMA 構造

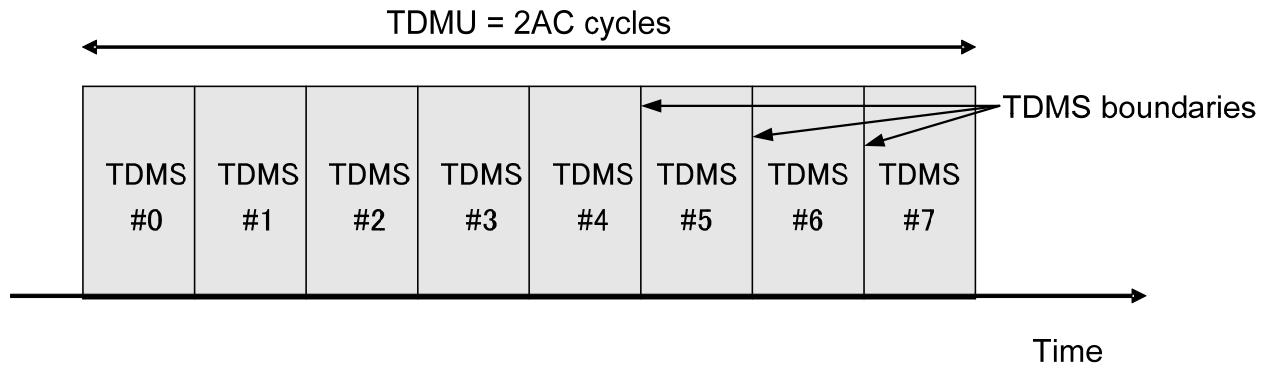


図 14.10 PLC システムカテゴリによって排他的に使用される TDMU の各 TDMS の構造

14.4.2 パラメータ

このセクションでは ISP パラメータの値を指定する。これらのパラメータは本章内の各節において参照されている。

以下の表は、AC 周期を AC_CYCLE と一般化したタイミングパラメータを示している。

表 14.9 パラメータ仕様 1 (同期)

パラメータ	定義	値
AC_CYCLE	AC 電源周期	
T_0	Sync Point 間隔	$(1/6)*AC_CYCLE$
TDM_UNIT_LEN	TDM Unit の時間長	$2*AC_CYCLE$
TDM_SLOT_LEN	TDM Slot の時間長	$(1/8)*TDM_UNIT_LEN$
T_{ISP}	ISP Windows の期間	$3*TDM_UNIT_LEN$
T_H	In-Home システムと Access システムの同期期間	$4*T_{ISP}$ $(24*AC_CYCLE)$
VALID_SIGNAL_COUNT	ISP 信号が有効であると判断するのに必要な、連続した ISP Window の最小検出数	2
VALID_SIGNAL_COUNT_SEARCH	ISP_STARTUP_TIME または ISP_RESYNC_WAIT の ISP 信号が有効と判断するのに必要な連続した ISP Window の最小検出数	1
SYSTEM_NOT_DETECTED	ISP 信号がもはや有効ではないと判断するのに必要な、ISP Window の連続非検出数	5

表 14.10 パラメータ仕様 2 (ISP Window)

パラメータ	定義	値
ISP_FIELD_LEN	ISP field の時間長	245.76 μ s
ISP_SIGNAL_LEN	ISP 信号の時間長	81.92 μ s
ISP_MARGIN	ISP 信号の両側にある ISP field のマージン	81.92 μ s
T_{OFF}	Sync Point から ISP Window の始まりまでのオフセット長	200 μ s

表 14.11 パラメータ仕様 3 (起動とリシンク)

パラメータ	定義	値
ISP_STARTUP_TIME	Access と In-home システムが他のシステム(システムはこの間どんな信号も送信してはいけない)からの ISP 信号をサーチする持続時間。	$2T_H$
ACCESS_ENTER_TIME	Access システムが非同期システムに連続してリシンク信号を送信する持続時間。	$10T_H$
RESYNC_SIG	リシンクを試みるこれらのシステムに、現在のシステムによって送信されるリシンク信号のランダムセレクト数 M 最小値 = RESYNC_SIG_MIN (5) 最大値 = RESYNC_SIG_MAX (10)	5~10
ISP_RESYNC_WAIT	リシンク信号の受信後、In-home システムがネットワークの全ての ISP 信号とデータ送信を止める持続時間	$1 T_H$
RESOURCE_RE-ALLOCATION_TIME	新しいネットワーク状態の検出後、Access と In-home システムがこれらのリソースを再割り当てする持続時間	T_H

14.4.3 ISP FDM/TDM モード

Access・システムが FDM モードで動作している場合、Access と In-home システム間において、干渉によって問題が発生する可能性がある。このような問題が発生した場合は、ISP は、以下の機能により問題を解決できる。

FDM Access システムは、以下のために他の ISP Window の全てのフィールドをモニタしなければならない。

— In-home システムの存在の検出

— Access FDM 帯域によって引き起こされる干渉レベルの検出(“干渉閾値を超える”または“干渉閾値を越えない”)

FDM Access システムは、In-home 機器が適切な ISP Window での送信によって干渉レベルを発信し始める 5 秒以内に、In-home 機器においての FDM の干渉レベル値を検出しなければならない。

In-home 機器が「干渉閾値を超えた」という情報 (適切な ISP Window の両フィールドの信号によって) を発信すると、Access システムは TDM モードに入り、Access Field はそれを指し示す信号でなければならない。Access システムは、全体の帯域幅よりむしろ FDM モードで使用される周波数範囲だけを利用し続けても良い。In-home システムは、Access システムと同期しなければならない。

14.5 ISP リソース割り当て

ISP は、時間領域(TDM)または周波数領域(FDM)によってシステムを共存させる。このセクションでは、リソース割り当てを定義する。

14.5.1 Access システム用の TDM リソース 割り当て ガイドライン

Access と In-home システムのグループの間で共有されるリソースのポリシーは、以下のルールを基本とする。(「50-50 共有ルール」と呼ぶ)

Access システムが利用可能なリソースの 50%かそれ以上を要求し、In-home システムのグループが利用可能なリソースの 50%かそれ以上を要求するとき、Access システムは通常リソースの 50%を受け取らなければならない、In-home システムのグループは通常リソースの 50%を受け取らなければならない。

Access システムまたは In-home システムのグループは、他のシステムによる要求がなければ 50%を超える追加リソースを使用してもよい。

14.5.2 一般的な TDM リソース 割り当て ガイドライン

TDMS 割り当ての一般的手順は、フルネットワーク状態{access, IH1, IH2, IH3}の場合のための TDMS の割り当てから始めて、その後、存在するシステムに対して、存在しなくなったシステムの TDMS を割り当てることによって他の割り当てを作成する。TDM リソースは図 14.11 に従って割り当てられなければならない。この表の右側は、どのシステムが TDMU 内のどの TDMS を割り当てられるかを示す。左側は、電力線上にどんなシステムが存在するかを示す。(すなわち、ネットワーク状態) 各システムはネットワーク状態を決定し、それに従ってリソースの使用を調整する。各システムは、ネットワーク状態に従って図 14.11 の TDMS 仕様を使用し、他のシステムに割り当てられた TDMS を使用してはならない。ネットワーク状態が変化することによって、システムは RESOURCE_RE-ALLOCATION_TIME で与えられる持続時間以内にリソースの使用を変更しなければならない。

Index	ISP Field					TDM Slot number							
	ACC	IH-W	IH-O	IH-G	BW	0	1	2	3	4	5	6	7
1	-	-	-	IH-G		IH-G	IH-G	IH-G	IH-G	IH-G	IH-G	IH-G	IH-G
2	-	IH-W	-	-		IH-W	IH-W	IH-W	IH-W	IH-W	IH-W	IH-W	IH-W
3	-	-	IH-O	-		IH-O	IH-O	IH-O	IH-O	IH-O	IH-O	IH-O	IH-O
4	-	IH-W	-	IH-G		IH-W	IH-W	IH-G	IH-W	IH-W	IH-G	IH-G	IH-G
5	-	IH-W	IH-O	-		IH-W	IH-W	IH-O	IH-O	IH-O	IH-W	IH-W	IH-O
6	-	-	IH-O	IH-G		IH-G	IH-O	IH-O	IH-O	IH-O	IH-G	IH-G	IH-G
7	-	IH-W	IH-O	IH-G		IH-W	IH-W	IH-O	IH-O	IH-O	IH-G	IH-G	IH-G
8	ACC	-	-	-	FB	ACC	ACC	ACC	ACC	ACC	ACC	ACC	ACC
9	ACC	-	-	IH-G	PB	IH-G	IH-G	IH-G	IH-G	ACC	ACC	IH-G	IH-G
10	ACC	-	-	IH-G	FB	IH-G	IH-G	IH-G	ACC	ACC	ACC	ACC	IH-G
11	ACC	IH-W	-	-	PB	IH-W	IH-W	IH-W	IH-W	ACC	ACC	IH-W	IH-W
12	ACC	IH-W	-	-	FB	IH-W	IH-W	IH-W	ACC	ACC	ACC	ACC	IH-W
13	ACC	-	IH-O	-	PB	IH-O	IH-O	IH-O	IH-O	ACC	ACC	IH-O	IH-O
14	ACC	-	IH-O	-	FB	IH-O	IH-O	IH-O	ACC	ACC	ACC	ACC	IH-O
15	ACC	IH-W	-	IH-G	PB	IH-W	IH-W	IH-G	IH-W	ACC	ACC	IH-G	IH-G
16	ACC	IH-W	-	IH-G	FB	IH-W	IH-W	IH-G	ACC	ACC	ACC	ACC	IH-G
17	ACC	IH-W	IH-O	-	PB	IH-W	IH-W	IH-O	IH-O	ACC	ACC	IH-W	IH-O
18	ACC	IH-W	IH-O	-	FB	IH-W	IH-W	IH-O	ACC	ACC	ACC	ACC	IH-O
19	ACC	-	IH-O	IH-G	PB	IH-G	IH-O	IH-O	IH-O	ACC	ACC	IH-G	IH-G
20	ACC	-	IH-O	IH-G	FB	IH-G	IH-O	IH-O	ACC	ACC	ACC	ACC	IH-G
21	ACC	IH-W	IH-O	IH-G	PB	IH-W	IH-W	IH-O	IH-O	ACC	ACC	IH-G	IH-G
22	ACC	IH-W	IH-O	IH-G	FB	IH-W	IH-W	IH-O	ACC	ACC	ACC	ACC	IH-G

図 14.11 リソース割り当て(Resource allocation)

ISP Window は、全ての TDMU#0, TDMU#3, TDMU#6, TDMU#9 において、TDMS#0 に位置することに注意しなければならない。従って、TDMS#0 で発生するシステムカテゴリは、ISP Window の間はデータを全く送信することができないため、ほんの僅かに不利になる。

14.6 起動とリシンク(再同期)手順

システムが適切な ISP Window に同期することを可能にし、有効に共存するために ISP を定義する。

- システムの起動手順
- 異なる ISP Window へのリシンク(再同期)のトリガーと手順

14.6.1 起動手順

新しい端末が PLC システムに参加し(例えば、停電の後に)、グローバル起動が要求される場合に、このセクションは関係する。起動手順は、新しい端末が既に ISP 信号を送信している他のネットワークの存在を検出し、既存のネットワークと調整することができることを確実にする。

14.6.1.1 Access システムのための起動手順

この仕様書では、Access システムの存在は 1 つであることを前提としているので、新しい Access 端末がネットワークに参加しても、2 つの非同期 Access ネットワークを検出はしない。また、Access システムは比較的大きな地域に設置されるため、様々な In-home システムと同じ電力線メディアを占有する可能性がある。

Access システムはその地域で始めて、または新しい Access 端末が既存の Access ネットワークに参加するときに設置される場合、Access 端末は Access ネットワークに関するこの仕様書で定義された起動手順に従わなければならない。

- Access 端末は、全ての Sync Point 持続時間 ISP_STARTUP_TIME で与えられる期間で、全ての Sync Point において他のシステムからの ISP 信号をサーチしなければならない。
- 一度 Access 端末が Access ネットワークへの参加が成功し、ISP_STARTUP_TIME の持続時間が終了すると、どんな In-home システムの存在と状態を通知するメッセージを Access BM に送信する。
- 更に、Access BM は、Access ネットワークのモードと、ISP Access Field で送信される ISP 信号のタイミングを示す新しい端末にメッセージを送信する。
- In-home システムが Access システムと同期していないことを検出されると、リシンク信号は ACCESS_ENTER_TIME のための非同期 In-home システムのリシンクフィールドで送信される。
- 新しい Access 端末は、Access ネットワークへ参加するための管理メッセージの送信と受信を制限されなければならない。また、非同期 In-home ネットワークのリシンクを含んでいる。

Access システムは、全体的なリシンクの開始を可能にすべきである。

14.6.1.2 In-home システムのための起動手順

新しい In-home システムが、始めて、または新しい In-home 端末が既存の In-home ネットワークへ参加するときに設置される場合、In-home 端末は In-home ネットワークに関するこの仕様書で定義された起動手順に従わなければならない。

- In-home 端末は、ISP_STARTUP_TIME で与えられる期間、全ての Sync Point で他のシステムからの ISP 信号をサーチしなければならない。
- In-home システムは、下記のルールに従って同期する ISP シーケンスを決定する。
 - ISP シーケンスが ISP_STARTUP_TIME によって与えられるサーチ期間の間全く検出されない場合、In-home システムの BM は ISP Window のタイミングを決定し、割り当てられた ISP Window で ISP 信号の送信を開始する。
 - 1 つの ISP シーケンスがサーチ期間の間で検出される場合
 - 検出されたシーケンスがリシンク要求を含まない場合、In-home システムの BM は検出されたシーケンスを自動追跡し、割り当てられた ISP Window で ISP 信号の送信を開始する。
 - 検出されたシーケンスがリシンク要求を含む場合、In-home システムの BM は起動手順に再度入り、もう 1 度 ISP 信号のサーチを開始する。
 - 2 つ以上の ISP シーケンスがサーチ期間の間で検出される場合
 - ISP シーケンスの 1 つが Access システムを含む場合、In-home システムの BM はこのシーケンスを自動追跡し、割り当てられた ISP Window で ISP 信号の送信を開始する。
 - ISP シーケンスが Access シーケンスを含んでいない場合
 - リシンク要求を含んでいない ISP シーケンスが 1 つのみの場合、In-home システムの BM はこのシーケンスを選択し自動追跡し、割り当てられた ISP Window で ISP 信号の送信を開始する。

- リシンク要求を含んでいない ISP シーケンスが 2 つ以上の場合、In-home システムのネットワーク管理はこれらのシーケンスから 1 つを選択し、それを自動追跡し、割り当てられた ISP Window で ISP 信号の送信を開始する。BM は、存続する ISP シーケンスで(適宜)位相ベクトル Ph5, Ph2, Ph3 のリシンク信号を送信しなければならない。リシンク送信数(RESYNC_SIG)は、RESYNC_SIG_MIN と RESYNC_SIG_MAX の間でランダムに選択される。
 - リシンク要求を含む In-home ISP シーケンスが無い場合、In-home システムの BM は起動手順に再度入りもう一度 ISP 信号のサーチを開始する。
- 一度 In-home 端末の In-home ネットワークへの参入が成功し ISP_STARTUP_TIME 持続時間が終了すると、それが In-home ネットワークの BM でない場合、それはシステム特定の管理メッセージを Access や In-home システムの存在や状態を通知する BM へ送信する。新しい端末は、送られて来たシステム特定の管理メッセージで示される指示に従う。
- BM が直接または間接的に Access システムの存在を検出する場合、システム特有の管理メッセージを受け取るの、それは Access システムと同期するために 14.6.2 で定義されるリシンク手順をすぐに実行しなければならない。
- BM は直接または間接的に非同期の In-home システムの存在を検出する場合、システム特有の管理メッセージを受け取るの、それは 14.6.2 で定義されるリシンク手順をすぐに実行しなければならない。
- ISP 信号を送信しない新しい In-home 端末は、In-home ネットワークへ参加し、この記述の手順が完了するまでの ISP 管理のための、管理メッセージの送信と受信を制限されなければならない。これは非同期の In-home ネットワークのリシンクを含む。新しい端末が同じカテゴリ (Access, IH-W, IH-O, IH-G) の ISP 信号を検出するとき、ISP 信号の送信を開始するまでどんなフレームも送信してはならない。

14.6.2 ISP リシンク(再同期)手順

- システムの全ての端末は、その端末に属するシステムと同期していないかもしれない他のシステムの存在を検出するために、端末がアクティブに送信または受信しているかどうかを全ての Sync Point でモニタすべきである。
- Access システムがリシンクできないことに注意する。
- Access システムと同期する In-home システムは、リシンクしてはならず、リシンクフィールドで送信されたリシンク信号を無視しなければならない。リシンクはいつも BM によってハンドリングされる。

14.6.2.1 Access からのリシンク要求

- 非同期 In-home システムが Access システムに属する端末によって検出される場合、端末はすぐに Access BM に非同期の In-home システムが検出されたというメッセージを送信すべきである。
- 非同期 In-home システムに検出された Access 端末は、In-home システムのフィールドで、RESYNC_MAX 時間の間、In-home システムが 1901 In-home Wavelet であれば ISP Ph5、1901 In-Home OFDM であれば ISP Ph2、ITU-T G.hn システムであれば ISP Ph3 のリシンクを送信しなければならない。
- 同時に、Access 端末は、In-home システムが同期しなければならない基準を提供するために、自身の ISP シーケンス(すなわち、Access の ISP Window での ISP 信号)で送信し続けなければならない。

14.6.2.2 In-home による Window 内でのリシンク信号の検出

以下の手順によって、In-home システムがリシンク手順を始めるかどうかを BM によって決定される。

- In-home システムが Access システムと既に同期していれば、それはリシンク要求を無視しなければならない。
- その ISP Window のリシンクフィールドで ISP リシンク信号(Ph5 or Ph2 or Ph3)を検出した In-home 端末は、すぐにリシンク信号を検出されたことを示す ISP_ResyncDetected メッセージを、BM に送らなければならない。

— その ISP Window でリシンク信号を検出するか、ISP_ResyncDetected メッセージを受信し、Access システムと同期せず、前の Access ISP Window と次の ISP Window の間でリシンク信号を送信しない BM は、すぐにリシンク手順を開始しなければならない。

BM はリシンクの間以下に従わなければならない。

- a) BM は ISP_StartResync メッセージをシステム内の全ての端末に送信する。全ての端末は ISP 信号の送信を中断し、ISP_RESYNC_WAIT の間、全ての Sync Point で ISP 信号をサーチする。
- b) BM はまた ISP 信号の送信を中断し、ISP_RESYNC_WAIT の間、全ての Sync Point で ISP 信号のサーチを開始する。
- c) ISP_RESYNC_WAIT の後、Access システムが検出されて BM が Access システムと同期する場合、ISP 信号とデータの送信を再び始め、全ての端末への ISP_ResyncFinished 管理メッセージを送信する。この場合、リシンク手順はこのステップで終了する。
- d) BM が ISP_RESYNC_WAIT の間に Access システムを検出しない場合、BM はデータと ISP 信号(リシンク手順開始前の同じ Sync Point で)の送信を再び開始する。BM は 2 番目の ISP_RESYNC_WAIT 期間を始める。
- e) 2 番目の ISP_RESYNC_WAIT 後、BM は最初の ISP_RESYNC_WAIT 期間での検出と、2 番目の ISP_RESYNC_WAIT の間端末 (ISP_DetectionReport メッセージを使用する)によって通知することから、自動追跡しなければならない Sync Point を決定する。端末が Access ISP シーケンスを検出する場合、BM は Access シーケンスを選択する。さもなければ、この状態の前にリシンク信号を含まず、同じ Sync Point でない Sync Point は選択される。BM はデータの送信を再開し、全ての端末に ISP_ResyncFinished 管理メッセージを送信する。
- f) BM が、検出することと、上記の状態を満たす ISP シーケンスの通知のどちらでもない場合、BM は現在の Sync Point で同期し続ける。

端末は、リシンクの間、以下に従わなければならない。

- 1) BM からの ISP_StartResync メッセージを受け取った直後、In-home 端末は全ての ISP 信号とフレームの送信を停止し、ISP_RESYNC_WAIT の間 ISP 信号をサーチする。
- 2) ISP_RESYNC_WAIT の後、ISP シーケンスがサーチ期間に検出された場合、端末は ISP_DetectionReport を BM に送信する。
- 3) 端末は、BM からの ISP_ResyncFinished 管理メッセージ受信後に ISP 信号の送信を再び開始する。端末が同期した Sync Point は、ISP_ResyncFinished 管理メッセージによって通知される。

リシンク手順のすぐ後に、BM と全ての端末は、検出されたが選択されなかったこれらの Sync Point と、リシンク手順開始前にシステムが同期した Sync Point の両方に、リシンク要求信号を送信しなければならない。リシンク信号(RESYNC_SIG)の数は、BM によって決定される。BM のシステムが Access システムと同期していれば、RESYNC_SIG はいつも RESYNC_SIG_MAX と等しい。さもなければ、BM は RESYNC_SIG_MIN と RESYNC_SIG_MAX の間の RESYNC_SIG の値をランダムに決め、ISP_DirectResyncTransmission メッセージを使用して全ての端末にこれを送信しなければならない。

14.6.2.3 In-home システムによる非同期 Access システムの検出

In-home システムが非同期 Access システムの存在を検出する場合、In-home システムは以下の手順に従わなければならない。

- In-home システムは、Access システムに対して、対応する ISP Window で ISP 信号を送信し、同期する。
- また BM は、ISP_IndicateState message メッセージを、共存情報と自身のシステムの次の ISP Window の位置を通知するために、同じシステム内の全ての端末に送信する。

- BM は、Access システムが検出される前に In-home システムが同期した ISP シーケンスのリシンクフィールドで位相ベクトル Ph5、Ph2、Ph3 で ISP 信号を送信する。リシンク信号は RESYNC_SIG_MAX の各非同期 ISP シーケンスのために送信される。
- BM は Access システムが検出される前に In-home システムが同期した ISP シーケンスでリシンク信号を送信するように端末に命じるために、ISP_DirectResyncTransmission メッセージを送信する。リシンク信号の送信数は RESYNC_SIG_MAX であり、それは ISP_DirectResyncTransmission メッセージの中に含まれている。
また、検出された Access システムと同期しなかった非同期 In-home システムを検出した端末は、検出された In-home システムに対応する Sync Point にリシンク信号を送信しなければならない。また、リシンク信号の送信数は RESYNC_SIG_MAX で指定される。

14.6.2.4 In-home システムによる非同期 In-home システムの検出

In-home システムが1つ以上の非同期 In-home ISP シーケンスの存在を検出し、非同期 Access システムの存在を検出しない場合、In-home BM は自身のリシンク手順を開始するか、非同期システムに自身へのリシンクを要求するかを選択してよい。

BM が前者を選択する場合、In-home システムは以下の手順に従わなければならない。

- BM は、同期するために検出された ISP シーケンスの1つを選択し、検出された ISP シーケンスの対応する ISP Window で ISP 信号を送信する。
- また、BM は、共存状態と次の ISP Window(そのシステムの)の位置を通知するために全ての端末に、ISP_IndicateState メッセージを送信する。
- BM は、どんな ISP シーケンスも選択されていなく、以前に同期した In-home システムの ISP Windows で、端末に(適宜)位相ベクトル Ph5、Ph2、Ph3 でリシンク信号を送信するように命令するために ISP_DirectResyncTransmission メッセージを送信する。RESYNC_SIG の値は、BM によって RESYNC_SIG_MIN と RESYNC_SIG_MAX の間でランダムに選択され、ISP_DirectResyncTransmission メッセージの中に含まれる。
- 全ての端末は前の ISP シーケンスでどんな信号の送信も停止する。

BM がその Sync Point の保持と他のシステムへの同期要求を決定するとき、In-home システムは以下の手順に従わなければならない。

- BM は、非同期システムを検出するためのリシンク信号の送信を、同じシステム内の全ての端末に命令するために、ISP_DirectResyncTransmission メッセージを端末に送信する。リシンク送信(RESYNC_SIG)数は、BM によって RESYNC_SIG_MIN と RESYNC_SIG_MAX の間でランダムに選択され、ISP_DirectResyncTransmission メッセージの中で端末に通信される。
- また、BM は、RESYNC_SIG 時間のために BM が検出した非同期システムへのリシンク信号を送信する。

14.7 ISP EMI コントロール手順

ISP の割り当ての結果として、システム内の端末は、ネットワーク状態をモニタし続けるなら、特定の条件下では ISP 信号の送信を停止しても良い。ネットワーク内に含まれる端末は、ISP 信号の連続的な送信を避けてもよい。

端末は、ネットワーク状態に基づいた自主的な決定をすることができる。ネットワーク状態が1つのシステムカテゴリのみを含む場合、端末は非同期システムまたは新しいネットワーク状態のためにスキャンし続けている間、ISP の送信を一時的に止めることが出来る。また、端末は(上記の条件下で)ISP 信号を確率 p ($p < 1$) で(間引いて)送信してもよい。検出されているネットワークの状態が変化し、他のシステムが出現した場合、端末は ISP 信号の送信を再開すべきである。

システムは、必要に応じて、データ通信と ISP 信号のパワー制御を実行してもよい。

14.8 ISP タイムスロット再利用

全ての端末は検出したネットワーク状態について BM に通知する。端末はリシンク後、ネットワーク状態が変化するときいつも起動を通知する。

BM はその領域で全ての端末に関連づけられたネットワーク状態のリストを維持する。BM はネットワーク状態の最も悪い状態、すなわちシステムに関連付けられた最もわずかな TDMS に関連付けられるネットワーク状態を、ビーコンで示す。

端末が TDMA リンクを確立する要求をするとき、BM の介在が必要である。BM はその領域の全ての端末に関連するネットワーク状態のリストを維持するので、BM はそれらの共通の TDMS の送信と受信を任意に通知することができる。

14.9 一般的な管理メッセージ

14.9.1 状態表示メッセージ

このサブセクションの管理メッセージは BM と端末の間の状態情報を検出する ISP 信号の伝達に使用される。

表 14.12 ISP 状態表示メッセージ

Message	Direction
ISP_IndicateState	BM → STAs
ISP_DetectionReport	STAs → BM

14.9.1.1 ISP_IndicateState

14.9.1.1.1 機能

BM は、ISP_IndicateState 管理メッセージを使用して、現在の共存状態と、自身のシステムの次の ISP Window の位置を端末に通知する。

このメッセージはいくつかのパラメータを持つ。

- 利用可能な周波数帯域と TDMS を決定するための端末の十分な情報
- 次の ISP Window の位置

14.9.1.1.2 発生時期

BM はこのメッセージを生成し、同じシステムの全ての端末に送信する。このメッセージは、同期するシステムの Sync Point の変化に先立って、新しい端末に送信し、全ての端末はいつも共存状態を変化させなければならない。

14.9.1.1.3 受信効果

このメッセージを受信する端末は、受信されたメッセージと端末が自分自身で検出した ISP 信号の両方によってその共存状態を更新する。また、端末はメッセージの中に含まれる情報によって ISP Window の位置を更新する。

14.9.1.2 ISP_DetectionReport

14.9.1.2.1 機能

端末は、ISP_DetectionReport 管理メッセージを使用し、ISP 信号を検出するために関連する情報を BM を示す。

このメッセージのためのパラメータは、2つのカテゴリに分類される。ISP_DetectionReport メッセージは、これらのカテゴリの1つまたは両方に関連する情報を含んでよい。

最初のカテゴリは、端末自身と同じ Sync Point に同期する、検出された ISP 信号の情報で構成される。最初のカテゴリのパラメータは以下の通りである。システム自身の技術を示す状態パラメータは必要ない。

- Access システム状態 (TDMFull, TDMPartial, FDMFull, FDMPartial, 未検出)
- 各技術のための In-home システム(検出, 未検出)

2番目のカテゴリは端末自身と異なる Sync Point で同期した検出された ISP 信号の情報で構成される。2番目のカテゴリのパラメータは以下の通りである。2番目のカテゴリ情報は、以下のパラメータの設定リストであってよい。

- Access システム状態 (TDMFull, TDMPartial, FDMFull, FDMPartial, 未検出)
- 各技術のための In-home システム状態 (検出, 未検出)
- リシンクフラグ(リシンク信号検出, 未検出)
- 現在の Sync Point への Sync Point オフセット

14.9.1.2.2 発生時期

端末はこのメッセージを作成し、以下のときに BM に送信する。

- BM からの通信された共存状態が、ISP 信号の検出位置によって端末で決定された共存状態と異なる。
- 端末が1台以上の非同期システムを検出する。
- 端末が、RE-SYNC 状態で ISP_RESYNC_TIME サーチ期間を終了する。

14.9.1.2.3 受信効果

BM がこのメッセージを端末から受信するとき、それは共存状態を更新するか、メッセージに含まれる情報に応じてリシンク手順を開始しなければならない。

14.9.2 再同期メッセージ

このサブセクションで定義される管理メッセージはリシンク手順で使用される。

表 14.13 ISP リシンクメッセージ

Message	Direction
ISP_StartResync	BM → STAs
ISP_ResyncFinished	BM → STAs
ISP_ResyncDetected	STAs → BM
ISP_DirectResyncTransmission	BM → STAs

14.9.2.1 ISP_StartResync

14.9.2.1.1 機能

ISP_StartResync 管理メッセージは、BM がリシンク手順を開始したことを端末に通知するために使用される。

14.9.2.1.2 発生時期

BM がリシンク手順を開始するとき、BM はこのメッセージを作成し、同じシステムの全ての端末に送信する。

14.9.2.1.3 受信効果

このメッセージを受信した端末は RE-SYNC 状態に入る。

14.9.2.2 ISP_ResyncFinished

14.9.2.2.1 機能

ISP_ResyncFinished 管理メッセージは、BM によってリシンク手順が終了されたことを端末へ通知するために使用される。

このメッセージは、同期しなければならないシステムへの新しい Sync Point を示すパラメータと、リシンク信号の送信数のパラメータを含んでもよい。

14.9.2.2.2 発生時期

BM がこのメッセージを作成し、BM がリシンク手順を終了し ACTIVE 状態に入るとき、同じシステムの全ての端末に送信する。

14.9.2.2.3 受信効果

このメッセージを受信する端末は ACTIVE 状態に入る。このメッセージにシステムが同期しなければならない Sync Point が含まれている場合、端末はすぐに指定された Sync Point を自動追跡しなければならない。さもなければ、端末は、BM が端末に送る ISP_InformStat 管理メッセージによって新しい Sync Point を自動追跡する。

また、端末は、サーチ期間に検出された Sync Point でリシンク信号の送信を開始する。リシンク手順の前にシステムが同期する Sync Point は、また、リシンク信号送信の目標になる。このメッセージによって示される Sync Point のリシンクフィールドでは、信号送信してはならない。

14.9.2.3 ISP_ResyncDetected

14.9.2.3.1 機能

ISP_ResyncDetected 管理メッセージは、自身の ISP Window でリシンク信号を検出したことを BM に通知するために端末によって使用される。

14.9.2.3.2 発生時期

端末はこのメッセージを作成し、自身の ISP Window で端末がリシンク信号を検出するとき BM に送信する。

14.9.2.3.3 受信効果

このメッセージを受信する BM は、リシンク手順を開始してもよい。

14.9.2.4 ISP_DirectResyncTransmission

14.9.2.4.1 Function

TISP_DirectResyncTransmission 管理メッセージは、非同期 ISP Window にリシンク信号を送信するための端末への命令に使用される。

このメッセージには、リシンク信号の送信数を端末に通知するパラメータがある。

14.9.2.4.2 発生時期

BM がこの信号を作成して、BM が自身のシステムで非同期システムを作成すると決定するとき同じシステム内の全ての端末に送信する。

14.9.2.4.3 受信効果

この信号を受信した端末は、メッセージの内容によって非同期システムにリシンク信号の送信を開始する。

14.10 信号の送信および検出

以下の仕様は、完全な性能を維持する相互運用性のための最低限の送信技術要求を確立するものである。他の方法で述べられていない場合、送信機の仕様はラインとニュートラルの末端は 50Ω 負荷とする。全ての送信機の出力電圧はスプリアス送信と同様に、ラインの末端でニュートラル末端と共に測定された電圧として明示される。

14.10.1 信号送信

14.10.1.1 送信 PSD

PSD は、そのシステムが使用される国のレギュレーションを遵守し、各国や各地域のレギュレーションに準拠した送信スペクトラムマスクを利用する。ISP 信号は、基本的には、静的な送信スペクトラムマスクに従ったキャリアで構成するが、データ通信モデム側にダイナミックノッチが実装されている場合は、ISP 送信スペクトラムマスクにも、データ送信のために適用された同じノッチを含むことが望ましい。全ての端末は、少なくとも 30dB の深さのスペクトラムノッチを実現するマスクを遵守するために設定可能なパワーマスクを使用しなければならない。FDM モードを使用するとき、未使用の周波数帯域(#x or #y)への出力があるかもしれない漏洩信号レベルは、図 14.12 に示される。 f_s は Access と In-home BPL の間の分割周波数であり、「w」は 6MHz である。 $10\text{ kHz (dBm/10 kHz)}$ または 9 kHz (dBm/9 kHz) の分解能帯域幅と、RMS 検出器を備えた機器を使用して、制限値を測定する。実線は、測定の平均値でなければならない。点線は測定の Maxhold でなければならない。

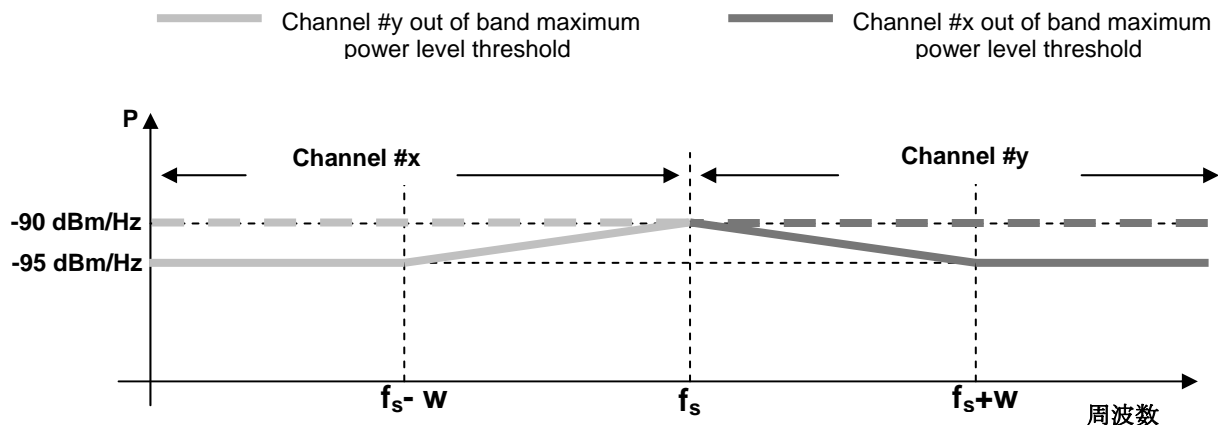


図 14.12 漏洩信号レベル

14.10.1.2 クロック周波数許容誤差

クロック周波数許容誤差は、最大±100 ppm でなければならない。

14.10.2 信号検出

以下の最低限の性能要求があるアルゴリズムを使用し ISP 信号を検出しなければならない。

- ISP 信号は、SNR が 5dB 以上での AWGN において、99%の検出を成功しなければならない。
- 間違った位相である ISP 信号の検出確率は、SNR が 0dB 以上での AWGN において、1%以下でなければならない。
- AWGN において ISP 信号以外に信号がないときの ISP 信号の検出確率は、全ての 100 の同期期間毎で 1 以下でなければならない。

受信された ISP 信号エラーレートは、ノイズなし(妨害信号を含む)、または信号レベルが-124 dBm/Hz 以下になるまでの信号減衰で、1%を超えてはならない。10 kHz (dBm/10 kHz) または 9 kHz (dBm/9 kHz)の分解能帯域幅と、peak-hold 検出器を備えた機器を使用して、制限値を測定する。

Annex A ブリッジ

MAC レイヤーは、「HD-PLC」ネットワークと他のネットワーク(イーサネットまたはイーサネット対応のアドレスシステムを用いるネットワーク)とのブリッジをサポートしなければならない。

A.1ブリッジネットワーク

図 A.1 は、「HD-PLC」ネットワークとイーサネットネットワークを接続するブリッジを用いたネットワークの構成を示す。各イーサネットネットワークとの通信は、この章で定義するブリッジを通して実行される。

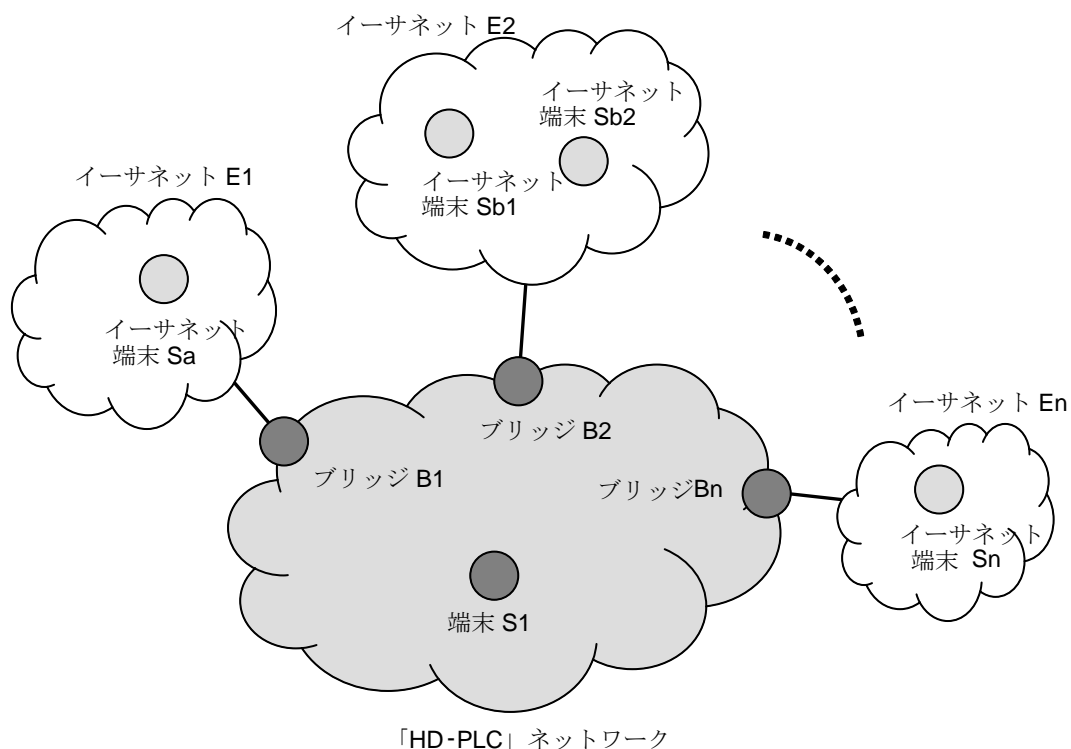


図 A.1 「HD-PLC」イーサネットブリッジ

A.2 ブリッジ操作

ブリッジ端末は、データの送信先アドレスに基づいて、イーサネットネットワークから、「HD-PLC」ネットワーク内のどのブリッジ端末もしくはどの「HD-PLC」端末にデータを送るかを決定する機能を持たなければならない。この決定は、送信先アドレスと、データが送信されるべきブリッジ端末また「HD-PLC」端末のアドレスとが一致するテーブルに基づかなければならない。各ブリッジ端末はこのテーブルを持たなければならない。

図 A.2 は図 A.1 に示すネットワーク構造において、イーサネット E1 の端末 Sa からイーサネット E2 の端末 Sb1 へ「HD-PLC」ネットワーク経由でデータを送信するためのブリッジ操作を示す。

「HD-PLC」ブリッジ端末 B1 が端末 Sa から端末 Sb1 に送信されたデータを受け取ると、ブリッジ端末 B1 はそのテーブルを参照して、ブリッジ端末 B2 がデータを端末 Sb1 へ送信することができる。ブリッジ端末 B1 は、端末 Sa から受け取ったデータに「HD-PLC」送信先アドレスがブリッジ端末 B2 である MAC ヘッダーを追加し、それを「HD-PLC」ネットワークに送る。ブリッジ端末 B2 がこのデータを受け取ると、データが自身宛である事を確認するためにデータの送信先アドレスをチェックし、それから、イーサネット E2 に送り、そこで、端末 Sb1 がデータを受け取る。これにより、端末 Sa から端末 Sb1 までのデータ伝送が完了する。

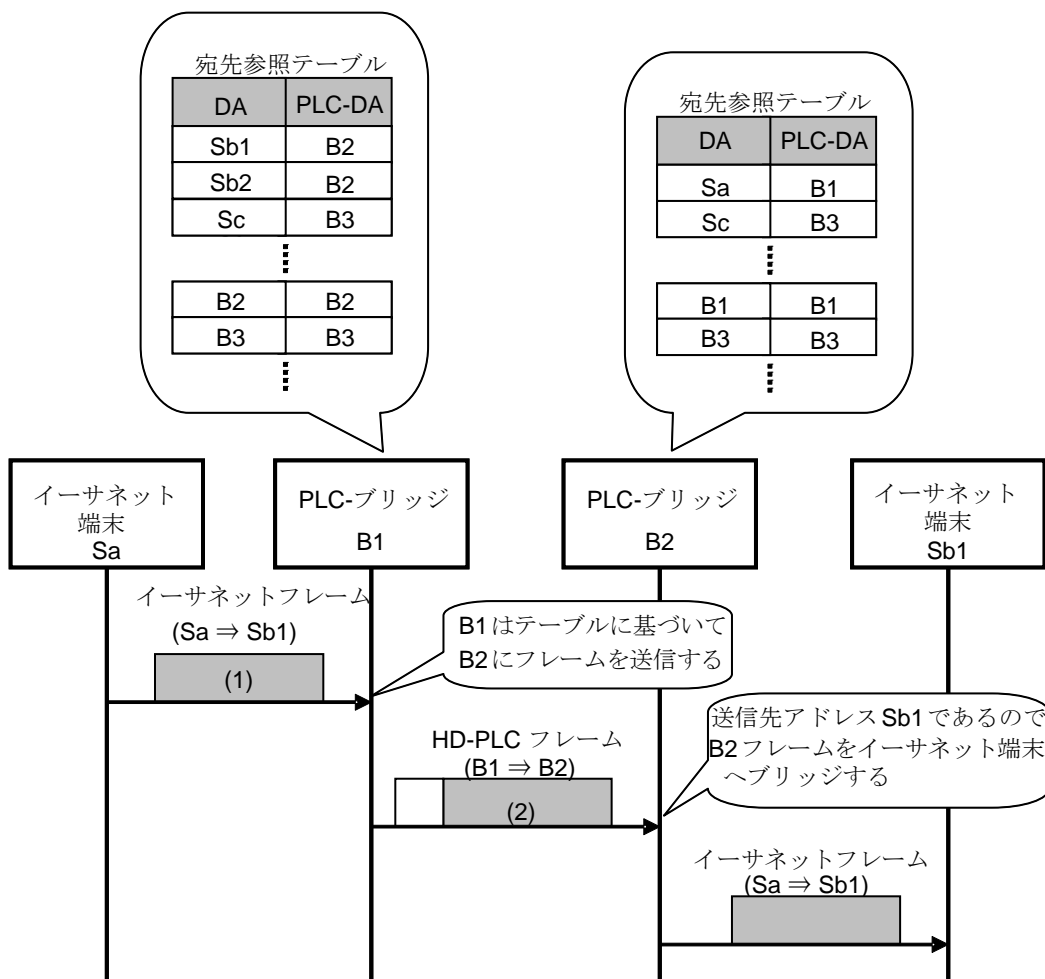


図 A.2 ブリッジ操作例

A.3 送信先テーブル作成手順例

送信先テーブルは、イーサネット端末から ARP(アドレスリゾリューションプロトコル)を使って作ることができる。図 A.3 はこのテーブルの作成手順を示す。

1. データを送る前に、イーサネット端末 Sa は Sb1 を目標とする ARP 要求フレームをブロードキャストする。
2. ブリッジ端末 B1 は ARP 要求フレームを受け取り、このフレームを PLC にブロードキャストする。

3. ブリッジ端末 B2 は、ARP 要求フレームを受け取り、端末 Sa へのフレームは、端末 B1 に送るべきであることを知り、それに応じてディスティネーションテーブルを更新し、ARP 要求フレームをイーサネット E2 に送る。
4. イーサネット端末 Sb1 がこの ARP 要求を受け取ると、端末 Sb1 は ARP 応答を端末 Sa へユニキャストする。
5. ブリッジ端末 B2 が ARP 応答を受け取ると、端末 B2 は、作成されたディスティネーション(宛先)テーブルを確認し、ARP 応答を端末 B1 に送らなければならないと決める。端末 B2 は、フレームに MAC ヘッダー追加し、端末 B1 にユニキャストする。
6. ブリッジ端末 B1 はこのフレームを受け取り、端末 Sb1 へのフレームは端末 B2 に送られるべきであると決定し、それに応じて送信先テーブルを更新し、ARP 要求フレームをイーサネットに送る。

送信先テーブルが作成されたので、端末 Sa と端末 Sb1 との通信は端末 B1 と端末 B2 経由で実施さる。

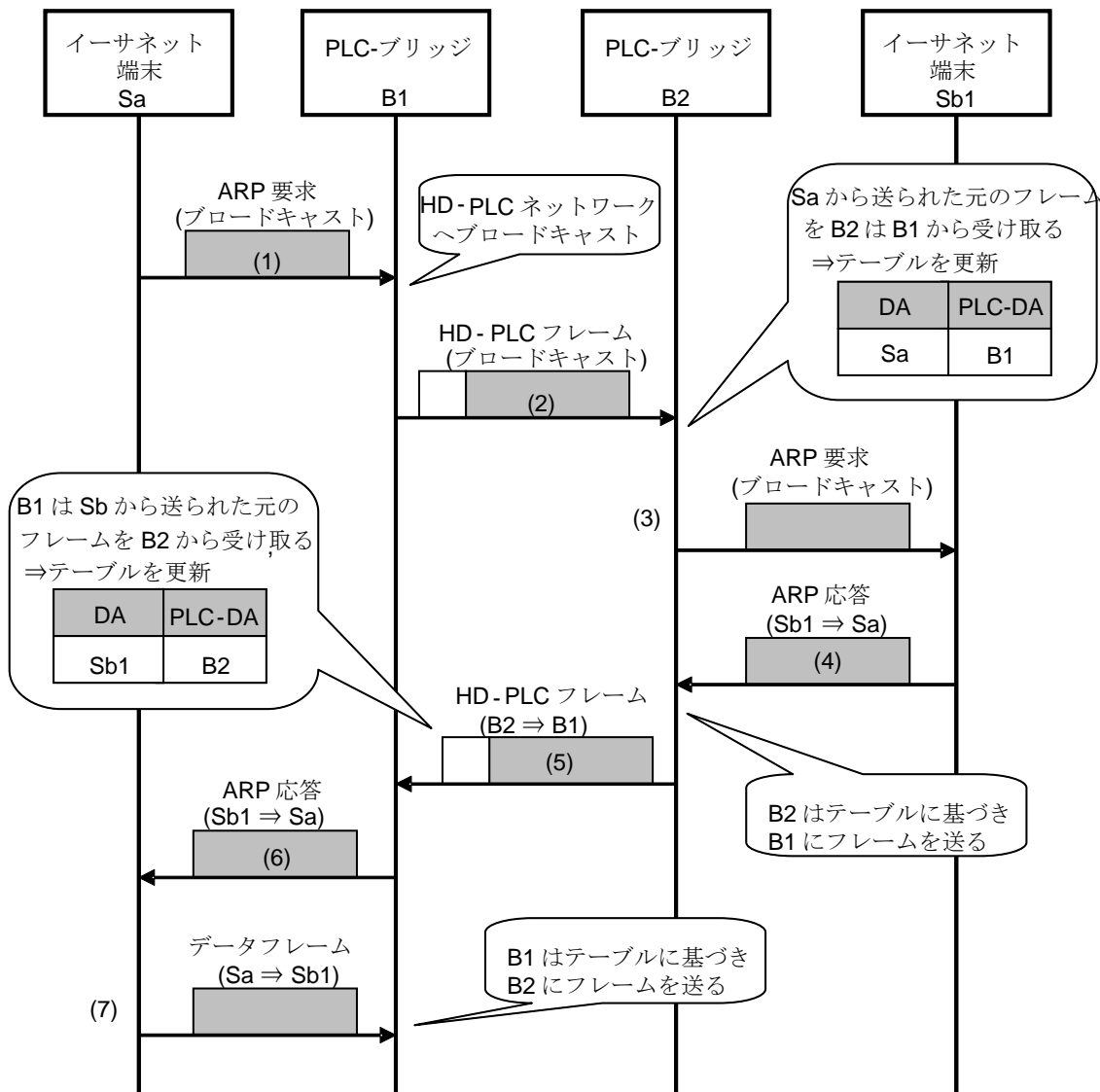


図 A.3 Example of bridge operation

なお、ARP フレーム以外に全ての自己宛フレームから参照テーブルを作成してもよい。

Annex B リモートコントロール

B.1 機能

リモートコントロールは、管理メッセージを STA に送ることによって、もう一つの STA の MLME/PLME を構成するしくみを提供する。図 B.1 は、リモートコントロールのしくみを描いている。図 B.1 において PLME は省略されている。

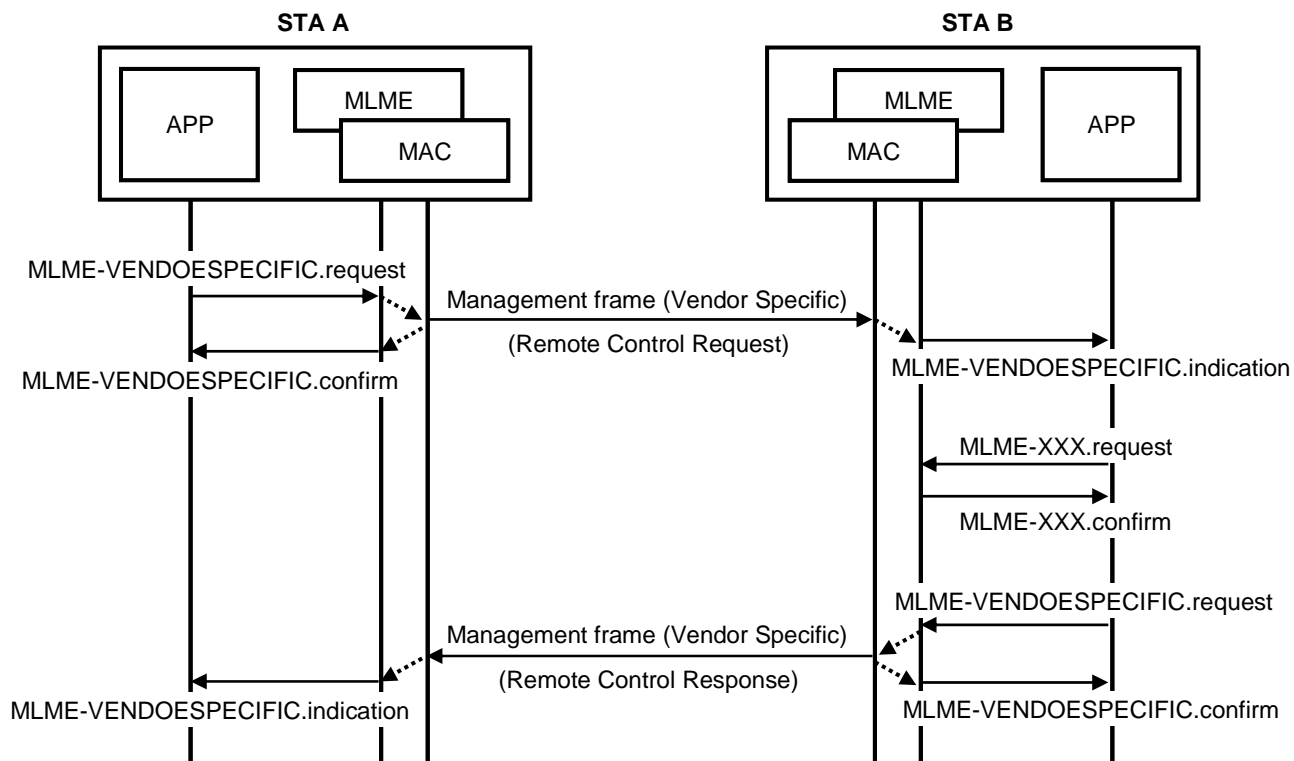


図 B.1 リモートコントロールシーケンス

B.2 フレームフォーマット

B.2.1 リモートコントロール要求メッセージ

リモートコントロール要求メッセージは、もう一つの STA の MLME にコントロールコマンドを書き込むのに使用される。それは以前に MAC_SAP または他のインタフェースから MLME に書かれたコマンドコントロールを、PLC 経由でもう一つの STA の MLME に書き込む機能性を実装する。このメッセージは、ベンダー特有管理メッセージとして送信される。このメッセージのベンダー特有コードは“RMCMREQ”。このメッセージのデータ本体フィールドは、図 B.2 のように定義される。

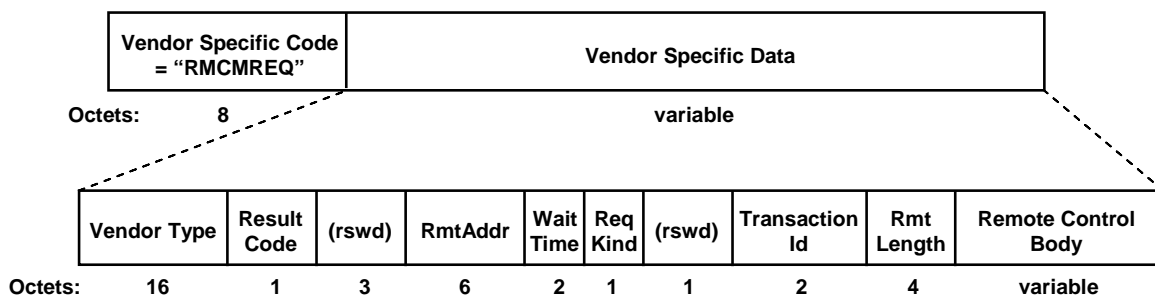


図 B.2 リモートコントロール要求メッセージフォーマット

Vendor Type(ベンダータイプ)フィールドは、リモートコントロール要求メッセージを使用して、ベンダーのタイプを示す。それは、16 文字の ASCII ストリングからなる。リモートコントロール仕様は、ベンダーによって変わる。Panasonic であれば、ベンダータイプフィールドは“Panasonic”と規定される。

Result Code(結果コード)フィールドは、リモートコントロール要求の結果を示す。リモートコントロールメッセージ要求であれば、結果コードフィールドの値は 0 に固定される。

RmtAddr(リモートアドレス)フィールドは、送信先(ターゲット PLC)の MAC アドレスを示す。

WaitTime(待ち時間)フィールドは、リモートコントロール要求を発行する STA の応答待ち時間を示す。有効値の範囲は 1 から 4,095 まで。有効範囲外の値は、不正と見なされる。単位は 100 msec。リモートコントロール応答メッセージがこの時間以内に受信されない場合、要求は失敗と見なされる。

Req Kind(要求種類)フィールドは、どのインタフェースが要求を起こすかを示す ID を保存する。

Transaction Id(トランザクション ID)フィールドは、リモートコントロール管理メッセージの ID を示す。リモートコントロール要求に回答している時、回答は要求と同じトランザクション ID を規定する。

Rmt Length(リモート長)フィールドは、リモートコントロール本体を示す。有効値の範囲は 4 から 1,024 まで。有効範囲外の値は不正と見なされる。

リモートコントロール本体は、他の STA の MLME に書かれるコマンドコントロールを保存する。その長さは Rmt Length フィールドによって規定され、4 から 1,024 まで可能。

B.2.2 リモートコントロール応答メッセージ

リモートコントロール応答メッセージは、もう一つの STA からの MLME コントロールコマンドに回答するために使用される管理メッセージである。このメッセージは、ベンダー特有管理メッセージとして送信される。このメッセージのベンダー特有コードは“RMCMRSP”。このメッセージのデータ本体フィールドは、図 B.3 で定義されている。

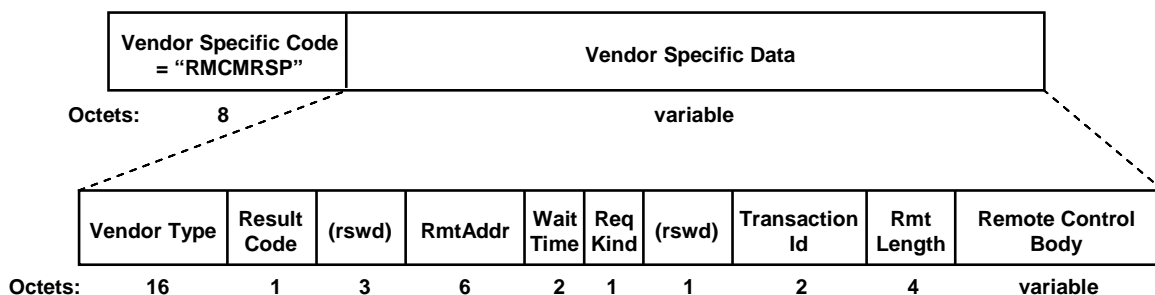


図 B.3 リモートコントロール応答メッセージフォーマット

Vendor Type(ベンダータイプ)フィールドは、リモートコントロールメッセージを使用するベンダーのタイプを示す。それは16文字のASCIIストリングから成る。リモートコントロールの仕様はベンダーによって変わる。パナソニックであれば、Vendor Type フィールドは、“Panasonic”と規定される。

Result Code(結果コード)フィールドは、リモートコントロール要求の結果を示す。表 B.1 に、結果コード値の定義を示す。

表 B.1 Ack Info における定義

値	定義
0	Success
1	Invalid Parameters

RmtAddr(リモートアドレス)フィールドは、応答を受信する機器のPLC MACアドレスを規定する。

Req Kind(要求種類)フィールドは、どのインタフェースが要求を起こしたかを示すIDを保存する。リモートコントロール応答を受信したSTAのMLMEは、その結果及びこの応答のRemote Control本体を、要求を起こしたインタフェースに報告する。

Transaction Id(トランザクションID)フィールドは、リモートコントロール管理メッセージのIDを示す。リモートコントロール要求に応答するとき、その応答は要求と同じトランザクションIDを指定する。

Rmt Length(リモート長)フィールドは、リモートコントロール本体を示す。有効値の範囲は4から1,024まで。有効値をはずれた値は不正と見なされる。

Remote Control 本体は、他のSTAのMLMEからの応答のためのコマンドコントロールを保存する。その長さはRmt Lengthフィールドによって規定され、4から1,024まで可能。

Annex C 簡単設定

簡単設定は、ユーザによる認証鍵の入力設定不要で、端末の登録、認証を実現するための機構である。さらに、ユーザによるネットワーク鍵の入力設定不要で、親機と認証成功端末間でネットワーク鍵を安全に共有化する。以降、このネットワーク鍵を使った暗号化通信によって、PLC ネットワーク内のセキュア通信を実現する。

この仕様書では、この機能とフレームフォーマットの概要を示す。

C.1機能

C.1.1 登録

図 C.1 に示すシーケンスに従って、AO 及び BSS への新しい端末は、それらの間で「予め共有された」(pre-shared)認証鍵として使用される固有鍵 K1 を作成し共有する。

疑似的ランダムに生成される固有鍵が生成された後に、BM は新しい端末の MAC アドレスと新しい鍵 K1 を保存する。これは、BM に伴う STA のための登録プロセスを構成する。

新しい STA は、BM の MAC アドレスと鍵 K1 を保存する。

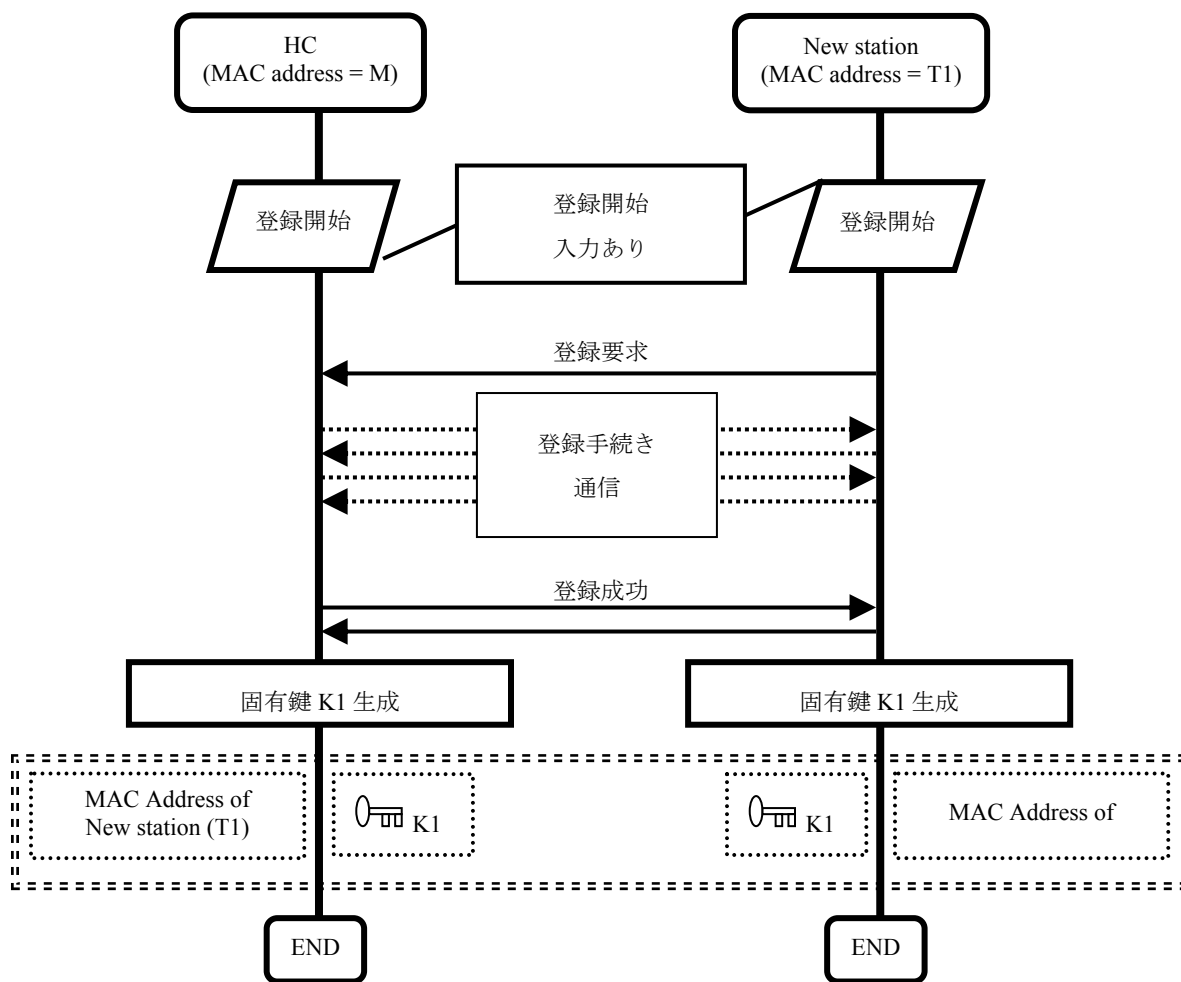


図 C.1 登録シーケンス

C.1.2 認証

新しい端末が BM により登録された後、新しい端末は認証プロセスを開始する。(図 C.2)

新しい STA は、BM からのビーコンフレームを受信した後、認証要求フレームを送信する。このフレーム受信において、BM は(平文の)チャレンジテキストを含むチャレンジ要求フレームをもって応答する。

新しい端末は、固有鍵 K1 によって、チャレンジテキストを暗号化し、それをチャレンジ応答フレームとともに送る。BM はまた、自身の固有鍵 K1 でチャレンジテキストを暗号化し、チャレンジ応答フレームにて受信したテキストと比較する。もし両方のテキストが同じなら、BM は新しい鍵 K2 を作成して暗号化し、これをさしあたり K1 で暗号化した認証応答フレームの中で端末に送る。端末はそのとき、続く暗号化されたフレームのため同じ K2 を計算することができる。

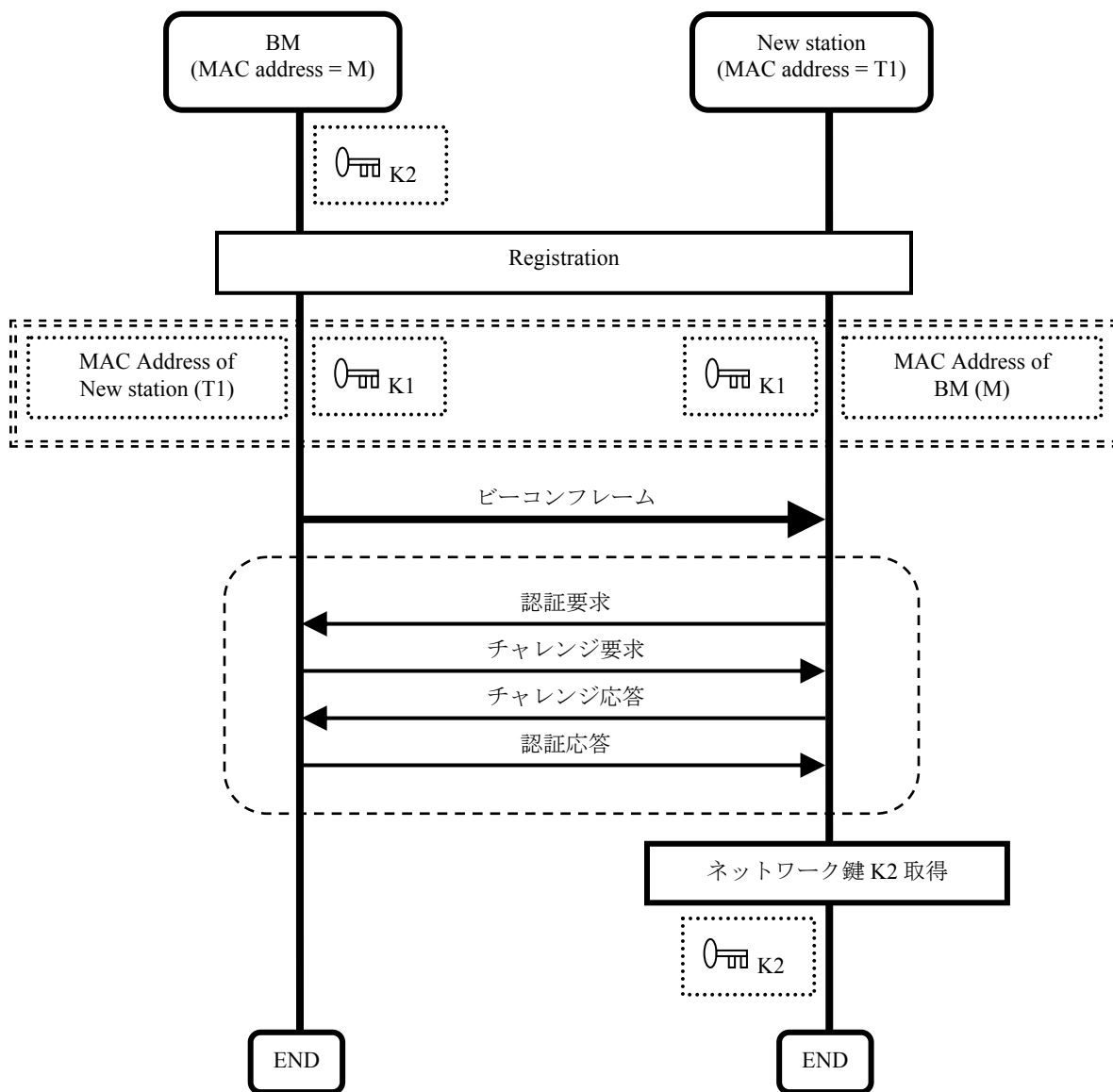


図 C.2 認証シーケンス

C.2 フレームフォーマット

C.2.1 簡単設定メッセージ

簡単設定メッセージは、簡単設定の確立の際に使用される管理メッセージである。簡単設定メッセージは、さらに 13 タイプのサブメッセージに分割され、そのそれぞれが少なくとも 1 つのフィールドを含む。このメッセージは、ベンダー固有管理メッセージとして送信される。このメッセージのベンダー固有コードは“EASYCONN”。このメッセージのデータ本体フィールドは、図 C.3 のように定義される。

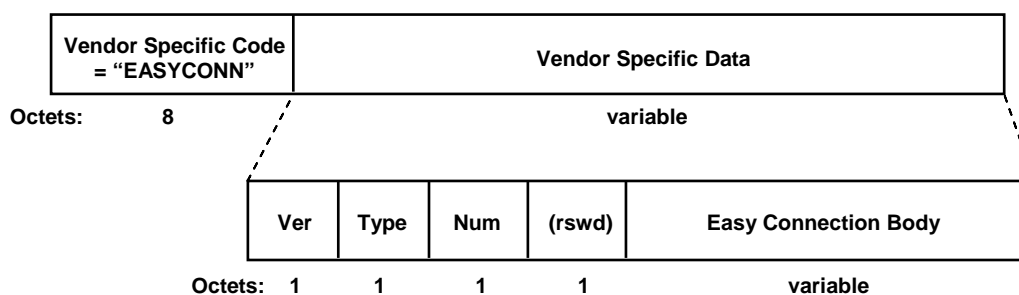


図 C.3 簡単設定メッセージフォーマット

Ver フィールドは、簡単設定プロトコルのバージョンを示す。

Type フィールドは、簡単設定サブメッセージのタイプを示す。表 C.1 に、サブメッセージのタイプを示す。

表 C.1 簡単設定メッセージタイプ

Type フィールドの値	メッセージタイプ
1	Authentication Request
2	Authentication Request Confirmation
3	Authentication Response
4	Challenge Response
5	Key Generation Request
6	Key Generation Response
7	Authentication Result Indication
8	Confirmation Request
9	Confirmation Response
10	Range Change Request
128	Simplified Easy Connection Register Request
129	Simplified Easy Connection Register Response
130	Simplified Easy Connection Register Response Ack

Num フィールドは、Easy Connection 本体に保存されたフィールドの数を示す。

Easy Connection 本体は、簡単設定サブメッセージを保存し、少なくとも 1 つのフィールドからなる。

C.2.1.1 認証要求タイプ

認証要求サブメッセージは、簡単設定シーケンスにおける認証要求を含む。この要求は、通常の「HD-PLC」認証シーケンスにおける認証要求とは異なる。表 C.2 は、このサブメッセージタイプに含まれるフィールドを示す。

表 C.2 認証要求

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
SetupNum	0-7	0-7	64	Setup System Number
AuthKeyAlgo	8-15	0-7	64	Authentication key generation algorithm
AuthKeyNum	16-23	0-7	64	Authentication key number
EncryptAlgo	24-31	0-7	64	Encryption algorithm
TransAlgo	32-39	0-7	64	Transmission key generation algorithm
HashFunc4	40-47	0-7	64	Hash function Number(4)
UpdateKey4	48-51	0-7	64	Key updating method(4)

C.2.1.2 認証要求確認タイプ

認証要求確認サブメッセージは、簡単設定シーケンスにおいて、認証要求の受信を報告するのに使用される。表 C.3 は、このサブメッセージタイプに含まれるフィールドを示す。

表 C.3 認証要求確認

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
AuthKeyNum	0-7	0-7	64	Authentication key number
SetupNum	8-15	0-7	64	Setup system number

C.2.1.3 認証応答タイプ

認証応答サブメッセージは、簡単設定シーケンスへの応答を示す。この応答は、認証シーケンスにおける認証応答とは異なる。表 C.4 は、このサブメッセージタイプに含まれるフィールドを示す。

表 C.4 認証応答

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
SetupNum	0-7	0-7	64	Setup system number
CT	8-155	0-7	1184	Challenge Text
HashFunc1	156-179	0-7	192	Hash function Number(4)

C.2.1.4 チャレンジ応答タイプ

チャレンジ応答サブメッセージは、簡単設定シーケンスにおける認証要求への応答を示す。

表 C.5 チャレンジ応答

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
CtResponse	0-147	0-7	1184	Hashed Challenge Text

C.2.1.5 鍵生成要求タイプ

鍵生成要求サブメッセージは、簡単設定シーケンスにおける鍵の生成を要求するのに使用される。表 C.6 は、このサブメッセージタイプに含まれるフィールドを示す。

表 C.6 鍵生成要求

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
KeyAlgo	0-23	0-7	192	Key generation algorithm
EncryptInfo	24-171	0-7	1184	Key generation Information
StartTime	172-195	0-7	192	Start time when the key is used
KeyLimit	196-219	0-7	192	Key expiration date
UpdateKey1	220-244	0-7	192	Key updating method(1)

C.2.1.6 鍵生成応答タイプ

鍵生成応答サブメッセージは、簡単設定シーケンスにおける鍵生成要求への応答として使用される。表 C.7 は、このサブメッセージタイプに含まれるフィールドを示す。

表 C.7 鍵生成応答

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
KeyRsp	0-7	0-7	64	Response

C.2.1.7 認証結果表示タイプ

認証結果表示サブメッセージは、簡単設定シーケンスの中で、登録の結果を報告するのに使用される。通常の「HD-PLC」認証シーケンスには無関係である。表 C.8 は、このサブメッセージタイプに含まれるフィールドを示す。

表 C.8 認証結果表示

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
AuthRes	0-23	0-7	192	Authentication Result
MacAddr	24-51	0-7	224	PLC Mac Address

C.2.1.8 確認要求タイプ

確認要求サブメッセージは、簡単設定シーケンスの中の確認要求に使用される。表 C.9 は、このサブメッセージタイプに含まれるフィールドを示す。

表 C.9 確認要求

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
ConfReason	0-23	0-7	192	Confirmation Reason

C.2.1.9 確認応答タイプ

確認応答サブメッセージは、簡単設定シーケンスにおける確認要求への応答を示す。表 C.10 は、このサブメッセージタイプに含まれるフィールドを示す。

表 C.10 確認応答

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
ConfAnswer	0-23	0-7	192	Confirmation Answer

C.2.1.10 範囲変更要求タイプ

範囲変更要求サブメッセージは、簡単設定シーケンスの中で、確認要求への応答を示す。表 C.11 は、このサブメッセージタイプに含まれるフィールドを示す。

表 C.11 Range Change 要求

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
SetupNum	0-7	0-7	64	Setup system number

C.2.1.11 Simplified Easy Connection 登録要求、登録応答、登録応答 ACK タイプ

範囲変更要求サブメッセージは、Simplified Easy Connection シーケンスの中で、登録要求を示す。表 C.12 は、このサブメッセージタイプに含まれるフィールドを示す。

表 C.12 Simplified Easy Connection 登録要求、登録応答、登録応答

フィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Num	0-7	0-7	8	The field number is always set to 1

C.2.1.12 フィールド

次の表は、それぞれのサブメッセージタイプに含まれるフィールドに関する詳細情報を示す。

表 C.13 Setup System Number フィールド

サブフィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Id	0	0-7	8	Field Identifier(The Value is "0x1")
Encrypt	1	0-7	8	Encryption Flag(The Value is "0x0")
Length	2-3	0-7	16	Field body length(The Value is "0x4")
Mode	4	0-7	8	Setup system number
Range	5	0-7	8	Transmission distance
Type	6	0-7	8	Message Type
Reserved	7	0-7	8	Reserved

表 C.14 AuthKeyAlgo フィールド

サブフィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Id	0	0-7	8	Field Identifier(The Value is "0x2")
Encrypt	1	0-7	8	Encryption Flag(The Value is "0x0")
Length	2-3	0-7	16	Field body length (The Value is "0x4")
AlgorithmNum	4	0-7	8	Algorithm number
Reserved	5-7	0-7	24	Reserved

表 C.15 AuthKeyNum フィールド

サブフィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Id	0	0-7	8	Field Identifier(The Value is "0x3")
Encrypt	1	0-7	8	Encryption Flag(The Value is "0x0")
Length	2-3	0-7	16	Field body length (The Value is "0x4")
Key	4-7	0-7	32	Authentication key number

表 C.16 EncryptAlgo フィールド

サブフィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Id	0	0-7	8	Field Identifier(The Value is "0x4")
Encrypt	1	0-7	8	Encryption Flag(The Value is "0x0")
Length	2-3	0-7	16	Field body length (The Value is "0x4")
AlgorithmNum	4	0-7	8	Algorithm number
Reserved	5-7	0-7	24	Reserved

表 C.17 TransAlog フィールド

サブフィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Id	0	0-7	8	Field Identifier(The Value is "0x5")
Encrypt	1	0-7	8	Encryption Flag(The Value is "0x0")
Length	2-3	0-7	16	Field body length (The Value is "0x4")
Algorithm1	4	0-7	8	Algorithm number 1
Algorithm2	5	0-7	8	Algorithm number 2
Algorithm3	6	0-7	8	Algorithm number 3
Algorithm4	7	0-7	8	Algorithm number 4

表 C.18 HashFunc4 フィールド

サブフィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Id	0	0-7	8	Field Identifier(The Value is "0x6")
Encrypt	1	0-7	8	Encryption Flag(The Value is "0x0")
Length	2-3	0-7	16	Field body length (The Value is "0x4")
Hash1	4	0-7	8	Hash function number 1
Hash 2	5	0-7	8	Hash function number 2
Hash 3	6	0-7	8	Hash function number 3
Hash 4	7	0-7	8	Hash function number 4

表 C.19 UpdateKey4 フィールド

サブフィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Id	0	0-7	8	Field Identifier(The Value is "0x7")
Encrypt	1	0-7	8	Encryption Flag(The Value is "0x0")
Length	2-3	0-7	16	Field body length (The Value is "0x4")
Update1	4	0-7	8	Key updating method number 1
Update2	5	0-7	8	Key updating method number 2
Update3	6	0-7	8	Key updating method number 3
Update4	7	0-7	8	Key updating method number 4

表 C.20 CT フィールド

サブフィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Id	0	0-7	8	Field Identifier(The Value is "0x8")
Encrypt	1	0-7	8	Encryption Flag(The Value is "0x1")
Length	2-3	0-7	16	Field body length (The Value is "0x80")
Easy_IV	4-19	0-7	128	IV for CT Field
Challenge	20-147	0-7	1024	Challenge Text

表 C.21 HashFunc1 フィールド

サブフィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Id	0	0-7	8	Field Identifier(The Value is "0x9")
Encrypt	1	0-7	8	Encryption Flag(The Value is "0x1")
Length	2-3	0-7	16	Field body length (The Value is "0x4")
Easy_IV	4-19	0-7	128	IV for HashFunc1 Field
Hash	20	0-7	8	Hash function number
Reserved	21-23	0-7	24	Reserved

表 C.22 CtResponse フィールド

サブフィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Id	0	0-7	8	Field Identifier(The Value is "0xA")
Encrypt	1	0-7	8	Encryption Flag(The Value is "0x1")
Length	2-3	0-7	16	Field body length (The Value is "0x80")
Easy_IV	4-19	0-7	128	IV for CtResponse Field
Challenge	20-147	0-7	1024	Hashed Challenge Text

表 C.23 KeyAlgo フィールド

サブフィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Id	0	0-7	8	Field Identifier(The Value is "0xB")
Encrypt	1	0-7	8	Encryption Flag(The Value is "0x1")
Length	2-3	0-7	16	Field body length (The Value is "0x4")
Easy_IV	4-19	0-7	128	IV for KeyAlgo Field
AlgorithmNum	20	0-7	8	Algorithm number
Reserved	21-23	0-7	24	Reserved

表 C.24 EncryptInfo フィールド

サブフィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Id	0	0-7	8	Field Identifier(The Value is "0xC")
Encrypt	1	0-7	8	Encryption Flag(The Value is "0x1")
Length	2-3	0-7	16	Field body length (The Value is "0x80")
Easy_IV	4-19	0-7	128	IV for EncryptInfo Field
Data	20-147	0-7	1024	Key generation information

表 C.25 StartTime フィールド

サブフィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Id	0	0-7	8	Field Identifier(The Value is "0xD")
Encrypt	1	0-7	8	Encryption Flag(The Value is "0x1")
Length	2-3	0-7	16	Field body length(The Value is "0x4")
Easy_IV	4-19	0-7	128	IV for StartTime Field
Kind	20	0-7	8	Kind of key start time
Reserved	21	0-7	8	Reserved
Time	22-23	0-7	16	Key start time

表 C.26 KeyLimit フィールド

サブフィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Id	0	0-7	8	Field Identifier(The Value is "0xE")
Encrypt	1	0-7	8	Encryption Flag(The Value is "0x1")
Length	2-3	0-7	16	Field body length (The Value is "0x4")
Easy_IV	4-19	0-7	128	IV for KeyLimit Field
Time	20-23	0-7	32	Expiration date time

表 C.27 UpdateKey1 フィールド

サブフィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Id	0	0-7	8	Field Identifier(The Value is "0xF")
Encrypt	1	0-7	8	Encryption Flag(The Value is "0x1")
Length	2-3	0-7	16	Field body length(The Value is "0x4")
Easy_IV	4-19	0-7	128	IV for UpdateKey Field
Update	20	0-7	8	Key updating method number
Reserved	21-23	0-7	24	Reserved

表 C.28 KeyRsp フィールド

サブフィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Id	0	0-7	8	Field Identifier(The Value is "0x10")
Encrypt	1	0-7	8	Encryption Flag(The Value is "0x0")
Length	2-3	0-7	16	Field body length(The Value is "0x4")
Result	4	0-7	8	Result(OK:1,NG:0)
Reserved	5-7	0-7	24	Reserved

表 C.29 AuthRes フィールド

サブフィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Id	0	0-7	8	Field Identifier(The Value is "0x11")
Encrypt	1	0-7	8	Encryption Flag(The Value is "0x1")
Length	2-3	0-7	16	Field body length(The Value is "0x4")
Easy_IV	4-19	0-7	128	IV for AuthRes Field
Result	20	0-7	8	Result(OK:1,NG:0)
Reserved	21-23	0-7	24	Reserved

表 C.30 ConfReason フィールド

サブフィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Id	0	0-7	8	Field Identifier(The Value is "0x12")
Encrypt	1	0-7	8	Encryption Flag(The Value is "0x1")
Length	2-3	0-7	16	Field body length(The Value is "0x4")
Easy_IV	4-19	0-7	128	IV for ConfReason Field
Reason	20	0-7	8	Reason(Auth info confirmation:1)
Reserved	21-23	0-7	24	Reserved

表 C.31 ConfAnswer フィールド

サブフィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Id	0	0-7	8	Field Identifier(The Value is "0x13")
Encrypt	1	0-7	8	Encryption Flag(The Value is "0x1")
Length	2-3	0-7	16	Field body length(The Value is "0x4")
Easy_IV	4-19	0-7	128	IV for ConfAnswer Field
Result	20	0-7	8	Result(OK:1,NG:0)
Reserved	21-23	0-7	24	Reserved

表 C.32 MacAddr フィールド

サブフィールド名	オクテット番号	ビット番号	ビット幅	定義
Id	0	0-7	8	Field Identifier(The Value is "0x14")
Encrypt	1	0-7	8	Encryption Flag(The Value is "0x1")
Length	2-3	0-7	16	Field body length(The Value is "0x4")
Easy_IV	4-19	0-7	128	IV for CT Field
MacAddr	20-25	0-7	48	PLC Mac Address
Reserved	26-27	0-7	16	Reserved