

第1章

USB1.xの物理層から通信プロトコルまで

USB データ転送
プロトコルの基礎知識

水越 幸弘

見
本

1. USB規格事始め

● USBでなにができるか

USB(Universal Serial Bus)は、以下に示すような特徴をもっています。

- 3種類のバス速度(1.5Mbps, 12Mbps, 480Mbps)
- 低価格なシステムが実現可能
- ハブを使った自由なレイアウトが可能
- プラグ&プレイに対応
- パワー・マネージメントが可能
- リアルタイム系のマルチメディア・データをサポート

USBの仕様書としては、これまでに以下のものがリリースされています。

- USB1.0仕様書(1996年1月リリース)
- USB1.1仕様書(1998年9月リリース)
- USB2.0仕様書(2000年4月リリース)

1.5Mbpsと12Mbpsの2種類のバス速度をもつUSB 1.x仕様は、接続にUSB以前のシリアル・ポートやパラレル・ポートのような比較的低速なバスを用いたパソコン周辺機器で採用されました。現在までに、以下のようなUSB1.x対応製品が発売されています。

- キーボードやマウスなどの入力機器
- ゲームパッドやジョイスティック
- オーディオ(スピーカ, マイク, ヘッドセットなど)
- デジタル・スチル・カメラ
- モデム, ISDNターミナル・アダプタ, ネットワーク・アダプタなどのネットワーク機器
- 低価格のデジタル・ビデオ・カメラ
- 家庭向けのプリンタ
- 家庭向けのスキャナ
- ZIPやFDDなどの低速なマストレージ

- 各種ポータブル機器(PDA, MP3プレーヤなど)
- そのほか各種多様な製品

一方、USB1.xの成功を踏まえて、USB2.0という新しい仕様が策定されました。バス速度が480MbpsというUSB1.xの40倍のバス速度が追加され、各社からUSB2.0のハイ・スピード対応デバイスがリリースされています。

このUSB2.0がねらっているアプリケーションの例としては、以下のものがあります。

- ハードディスク, DVDドライブ, CD-ROMドライブ, MOドライブなどの高速なマストレージ
- 100Base-TX NIC(ネットワーク・カード)
- ハイエンドのカラー・プリンタ, イメージ・スキャナ
- フルモーションのビデオ
- ブロードバンド・ネットワーク機器
- 各種ポータブル機器(PDA, MP3プレーヤなど)
- そのほか各種多様なマルチメディア周辺機器

このように、USB2.0までのアプリケーションを含めると、現在、パソコン周辺で使われている機器のほとんどが含まれていることがわかります。USBは、USB以前のパソコンで必要としていたさまざまなインターフェースを一つにまとめ、ユーザが機器ごとに使い分けなければならなかった状況を改善したといえます。

● USB1.xとUSB2.0の適用範囲

USB2.0対応システムは、USB1.1までの機器を完全にサポートします。USB1.xデバイスは、USB2.0と比較すると圧倒的に速度は低下します。しかし、USB2.0は巧妙なプロトコルと構成によって、USB1.xデバイスが混在していてもシステム全体のパフォーマンスは低下することのないように仕様追加が行われました。

さらに、USB1.x対応機器をUSB2.0システムで使用する事のメリットがあるように、USB1.x仕様が、

表1 USB関連の参照URL

USBインプリメンターズ・フォーラムのトップページ	http://www.usb.org/
開発者向けのトップページ	http://www.usb.org/developers/
開発者向けドキュメント	http://www.usb.org/developers/docs.html
USB2.0情報	http://www.usb.org/developers/usb20/

USB2.0仕様のサブセットになっています。

USBケーブルの電気的仕様に準拠していれば、USB 1.1とUSB2.0は同じケーブルを使用します。

ただし、USB2.0規格制定の段階で市場に出たUSBケーブルの中には、USB1.xまでのシステムでは問題が発生しなくても、USB2.0の機器を接続すると問題が発生するようなものが出回っているようです。

● USBとIEEE1394の比較

USBとよく比較される規格としてIEEE1394(Fire Wire/i.LINK)があります。USBとIEEE1394は、アプリケーションを住み分けることとなります。

USBは、あくまでも比較的価格低価格なパソコン周辺機器の実現をねらっており、デバイス側のコストを抑えることができます。

そしてUSBは、後の説明にあるように、パソコンを中心としたトポロジ(形状)をとっており、テレビ、ビデオ、DVDプレーヤなどのAV機器や家電のように対等な関係で相互の通信を必要とする機器へは対応できません。

またIEEE1394は、開発当初から高速化をめざしており、現在でも、ギガビット1394と呼ばれる800Mbpsや1.6Gbps、3.2Gbpsが規格化されており、ハイエンドもしくは家庭内のAVシステムに適用できるような仕様になっています。

コスト要求の厳しいマウスやキーボードから、放送や映画業界で使われる機器のようなハイエンドまでのすべてのカテゴリを一つの仕様でまかなうのではな

く、それぞれのアプリケーションの要件によって、選択することになると思います。

● USBインプリメンターズ・フォーラムとUSB仕様書

USB仕様は、USBインプリメンターズ・フォーラム(USB-IF)によって制定されています。制定されたUSBのコア仕様書は、フォーラムのWebサイトで公開されています(表1)。

公開されているUSB仕様は、USBデバイスの共通特性を記述した一つのコア仕様と、アプリケーションごとに特性を記述した複数のデバイス・クラス仕様に分かれています。

USBコア仕様は、USBホスト、ハブ、デバイスおよび伝送路に関する共通仕様を規定しています。それにはUSB通信の概要、機能、バス・ドライバ、コネクタ、伝送路などの物理的および電気的仕様、プロトコル仕様、すべてのUSBデバイスがもつべき共通の標準デバイス・リクエスト(コマンドとレスポンス)仕様などが記述されています。

USB2.0コア仕様書の構成は、表2のとおりです。第4章でUSBコア仕様の概要が把握できます。USB機器の開発者なら、第5章を注意深く読む必要があります。またハードウェア開発者は第7章を、ファームウェア開発者は第8章および第9章を十分に理解しておく必要があります。ファームウェアが守るべきタイミングの一部が第7章に記述されています。ファームウェア開発者は、この部分も理解する必要があります。

コラム1 USB1.0とUSB1.1の違い

USB1.0からUSB1.1への改版は、インタラプト・アウト転送など追加仕様もありましたが、そのほとんどは、USB1.0での仕様のあいまいさの除去でした。電気的仕様(USB規格書の第7章)はより詳細に書き換えられました。プロトコル(同第8章)は、デフォルト・パイプのSTALL動作やコントロール転

送のデータ・ステージの動作記述、デバイス・フレームワーク(同第9章)ではリクエスト・エラーの場合の各ステートでの処理記述が追加されました。そして、ハブ仕様(同第11章)は、全面的に書き換えられました。

表2 USB2.0 コア仕様書の構成

第1章	イントロダクション	USB仕様の目的や対象者
第2章	用語	関連用語の解説
第3章	背景	USBが要求される背景とUSBに求められるもの
第4章	アーキテクチャ概要	USBシステム全体の概要
第5章	USBデータ・フロー・モデル	論理的通信モデル、エンドポイント、パイプ、四つの転送タイプの説明とホストのスケジューリングおよびバス・バンド幅に関する考察
第6章	機械的仕様	コネクタ、ケーブルに関する機械的/電気的仕様
第7章	電気的仕様	信号伝送、配電に関するAC/DC特性
第8章	プロトコル	パケット定義、エラー検出再送を含むトランザクション・フォーマット詳細説明
第9章	USBデバイス・フレームワーク	デバイスのステートとデバイス・リクエスト、および標準デバイス・リクエストと標準ディスクリプタの詳細説明
第10章	USBホスト	ホストハードおよびソフトの役割と動作
第11章	ハブ仕様	ハブポートの動作、リクエストとディスクリプタ
付録A	トランザクションの具体例	プロトコルの理解を助けるためのスプリット・トランザクションの具体例
付録B	ステート・マシン定義の例	第8章と第11章のステート・マシンを定義した具体例
付録C	リセット・プロトコルのステート・ダイアグラム	7.1.7.5で定義されているバス・リセットのシーケンスの仕様の追加的な説明・とくに、HS/FS/LSデバイスを認識するメカニズム

2. バス速度とトポロジ

USBシステムは、パソコン周辺機器を狙ったインターフェースであり、それ以外の用途での使用を想定していません。このため、1台のホストと複数のデバイスを接続するトポロジのみで、デバイス間で直接通信することすらできません。しかし、多くの種類のパソコン周辺機器を、安価で手軽なシステムとして実現するために最適化されています。

● バス速度

USB2.0では、以下の3種類のバス速度が定義されています。

▶ ロー・スピード(LS)

1.5Mbpsのバス速度です。マウスなどのようにコストを重視する機器に利用され、ケーブルもシールドやツイストの必要がありません。従来のインターフェースを利用したものと比較してもコスト競争力を保てる

ようにしました。ロー・スピード・デバイスをUSBシステムに接続できるようにしたことは、マウス、キーボード、ゲームパッドなどの入力装置をレイアウト・フリーにした使い勝手の面からのメリットも加えて、USBを普及させた理由でしょう。

▶ フル・スピード(FS)

12Mbpsのバス速度です。USB1.1までの仕様策定時において、低価格で、使い勝手が良く、多くのパソコン周辺機器で必要十分な速度でした。さらに、新しいタイプのパソコン周辺機器開発を促進するための新しいバスとして定義されたものです。

USB2.0仕様策定時に追加されたハイ・スピードが定義されても、12Mbpsのバス速度で十分なパソコン周辺機器も多く存在し、今後多くのUSBデバイスで採用されることでしょう。

▶ ハイ・スピード(HS)

480Mbpsのバス速度で、USB2.0仕様で追加された仕様です。ハードディスク・ドライブ、DVDドライ

コラム2 USBロゴマーク

USB-IFメンバに対しては3～4カ月に1回、USB Compliance Workshopsという相互接続性のテストの場が定期的に世界各国で開催されています。ここを通過したデバイスは、USBロゴを使用できます。USB-IFロゴ認証のためのテストを請け負うNTSL、MCCI、NTS/XXCAL、Professional Multimedia

Testing Centreのようなテストング・ラボがあり、USB-IFのWebサイトでも紹介されています。随時、受け付けができるようなので、こちらを活用しても良いでしょう。NSTLのようにPreTestを請け負うところもあるようです。

ブなどの高速なバスを必要とするマストレージ機器、フルモーション・ビデオなどのマルチメディア・データ、ハイエンドのカラー・イメージ・プリンタなど、現時点からしばらくの間は、ほとんどのパソコン周辺機器で必要十分なバス速度を誇るでしょう。

● バス・トポロジ(接続形態)

USB仕様において、複数の観点のバス・トポロジがあります。USB仕様を理解する場合には、複数のバス・トポロジに留意する必要があります。

USB仕様では、一つのUSBシステムの中に複数のホストを入れたり、通信経路に複数のバスをもたせたり、ループ状のリンクをはかることはできません。コネクタとして、ホスト側およびハブの下位ポート(Aタイプ)とデバイス側(Bタイプ)の、二つの形状が定義されています。USBケーブルの両端のコネクタ形状が異なることによって、エンド・ユーザがまちがった接続を行うことを回避しています。また、デバイスには、ケーブルが結合された状態でアセンブリされたものもあり、この場合にはAタイプのプラグが付いています。

なお、2000年10月にリリースされたUSB 2.0 Specification Engineering Change Notice(ECN)において、ミニBコネクタの仕様が追加されました。このBコネクタは、従来までのBタイプ・コネクタに比較して、非常に小さな形状であり、小さなケースのハンドヘルドおよびモバイル機器をねらったものです。図1と図2にUSBコネクタの形状やピン配置を、写真1にコネクタの外観を示します。

▶ 物理的なバス・トポロジ

これについては、エンド・ユーザも意識する必要が

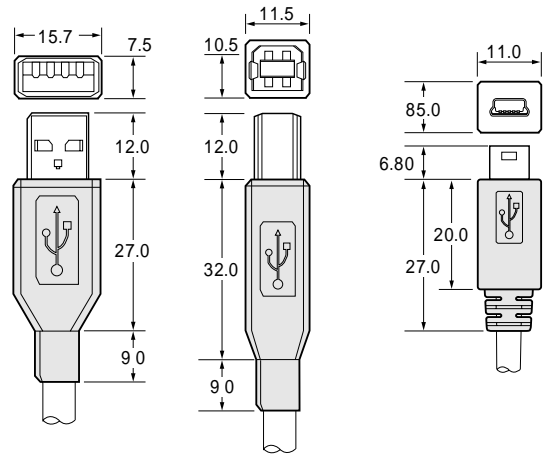
あります。

ホストを唯一のバス・マスタとして、バス分岐点にハブ(リピータ)を配置して末端にUSBデバイスがぶら下がるという階段状のスター型のバスを構成します(図3)。

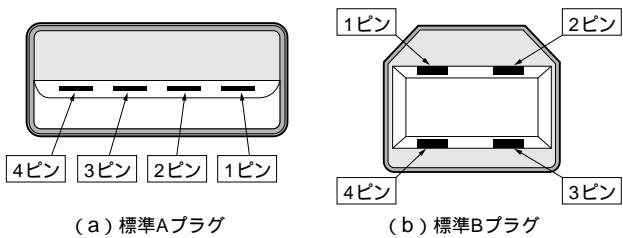
一つのUSBシステムの中では、1台のホストと最大127台までのUSB機器(ハブおよびデバイス)を接続できます。ハブは5段までチェーンでき、ハブ-ハブ間、およびハブ-デバイス間をケーブルで接続します。ケーブル長は一般的に5mまでですが、USB仕様にはケーブル長の制限がなく、遅延や減衰などの電気的な仕様が満たされればよいことになっています。

▶ USB2.0で追加されたバス・トポロジ

ハイ・スピード対応ハブのダウン・ストリーム(デ

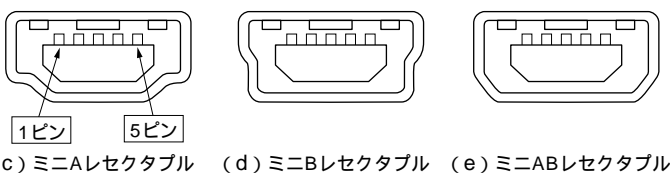


(a) シリーズAプラグ (b) シリーズBプラグ (c) シリーズミニBプラグ
図1 USBコネクタ



ピン番号	信号名
1	V_{BUS}
2	- Data(D-)
3	+ Data(D+)
4	GND

(f) A/Bプラグ・ピン配置



ピン番号	信号名
1	V_{BUS}
2	- Data(D-)
3	+ Data(D+)
4	ID(NC)
5	GND

(g) ミニA/Bプラグ・ピン配置

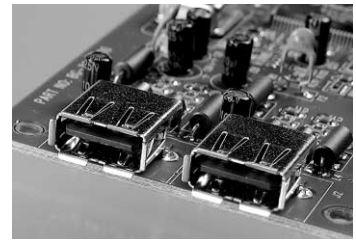
図2 USBコネクタのピン配置



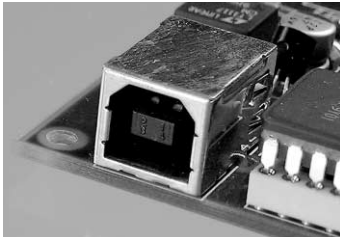
(a) 標準Aプラグ



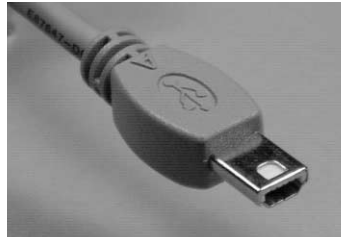
(b) 標準Bプラグ



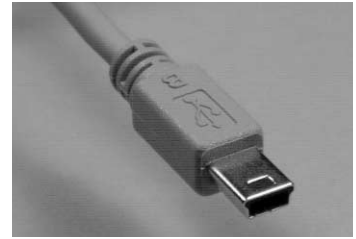
(c) 標準Aレセクタブル



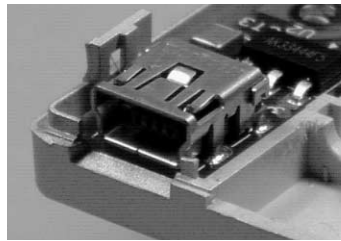
(d) 標準Bレセクタブル



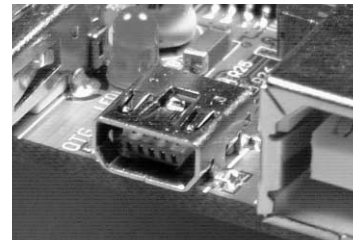
(e) ミニAプラグ



(f) ミニBプラグ



(g) ミニBレセクタブル



(h) ミニABレセクタブル

写真1
USBコネクタの外観

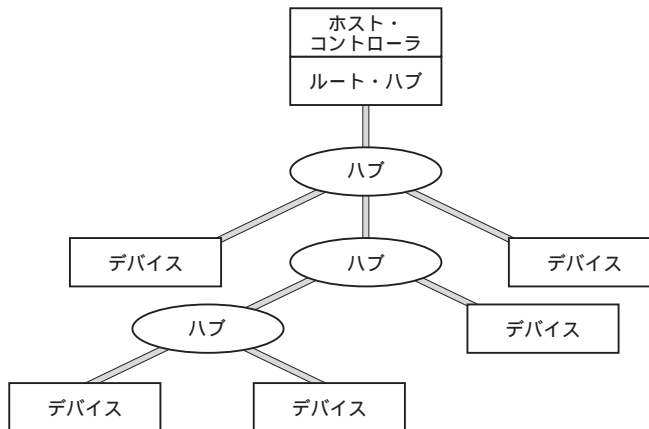


図3
USBのバス・トポロジ

バイスを接続する側)ポートは、フル・スピードとロー・スピード対応のハブやデバイスも接続可能です(図4)。このため、USB2.0対応のシステムでは、USB1.1のハブやデバイスをそのまま利用することができます。

ハイ・スピード対応ハブは、フル・スピードと

ロー・スピード・デバイスのために、ハイ・スピードで転送されてきたデータを一時蓄えておくという、USB1.xのホスト機能を代行する機能をもちます(図4のの部分)。この機能により、ハイ・スピードとフル・スピード、ロー・スピードが混在したシステムにおいて、ハイ・スピードのパフォーマンスの低下を防

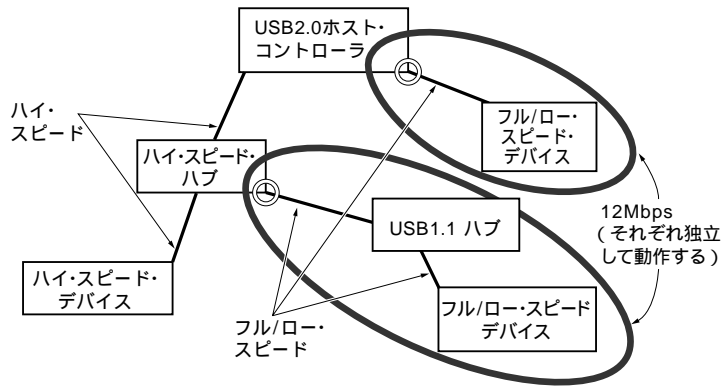


図4
USB 2.0 のバス・トポロジ

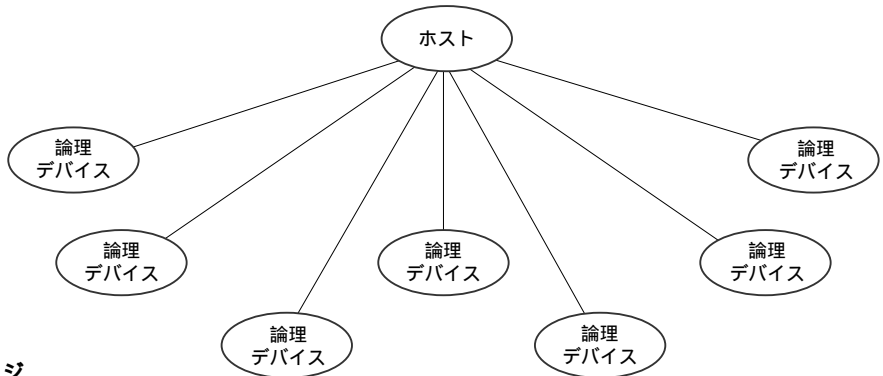


図5
USB の論理的バス・トポロジ

ぎます。またフル・スピードとロー・スピード・デバイスにとっても、独立して12Mbpsのバンド幅を占有できるというメリットがあります。

後述しますが、ハイ・スピード・デバイスは、少なくとも最初はフル・スピード・デバイスとして通信する必要があります。このため、ハイ・スピード・デバイスは、従来のUSB 1.xシステムにも対応できるようにしたり、もしくは対応していないという警告をパソコンに表示することができます。

▶ 論理的なバス・トポロジ

これは、デバイス開発者が機能を実現するにあたって、ホスト側アプリケーション・ソフトウェアも含めたデバイス側システム設計時に、意識する必要があるバス・トポロジです。

物理的なバス・トポロジは階段状のスター型をとります。しかし、論理的なバス・トポロジにおいては、ハブの存在が削除され、一つのホストと複数のデバイスを接続している1対多の通信のように抽象化されます(図5)。この抽象化は、ホストとハブの処理によって実現されています。USBプロトコル仕様を理解するには、この観点のバス・トポロジを理解する必要があります。

あります。

USBデバイスを利用するホストのクライアント・ソフトウェア(デバイス・ドライバなど)を作成する場合には、各デバイスごとに、独立したものとする必要があります。この観点において、トポロジは1対1の通信のように抽象化されます(図6)。

● USBのドライバ/レシーバ

図7にハイ・スピード対応のドライバとレシーバを示します。図中の網掛け部分がUSB 2.0で追加されたハイ・スピードに対応した部分です。それ以外のドライバとレシーバは、フル/ロー・スピードで使われるものと同じです。

またホスト側とターゲット側では、D+ / D- の各信号ラインへのプルアップおよびプルダウン処理が異なります。図8に示すように、ホスト側はどちらもプルダウンします。またターゲット側はロー・スピード対応の場合はD- をプルアップ、フル/ハイ・スピード対応の場合はD+ をプルアップします。

● 四つの転送タイプとその特徴

USBシステムの物理的なバス・トポロジから、論理的なバス・トポロジを実現するために、最下層のプ

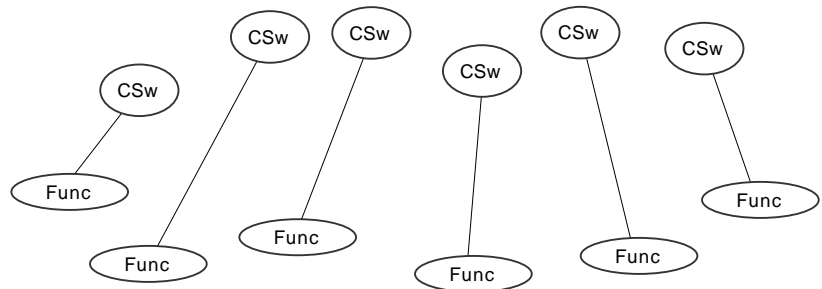


図6
クライアント・ソフトウェア
とファンクションの関係

CSw : クライアント・ソフトウェア
Func : ファンクション

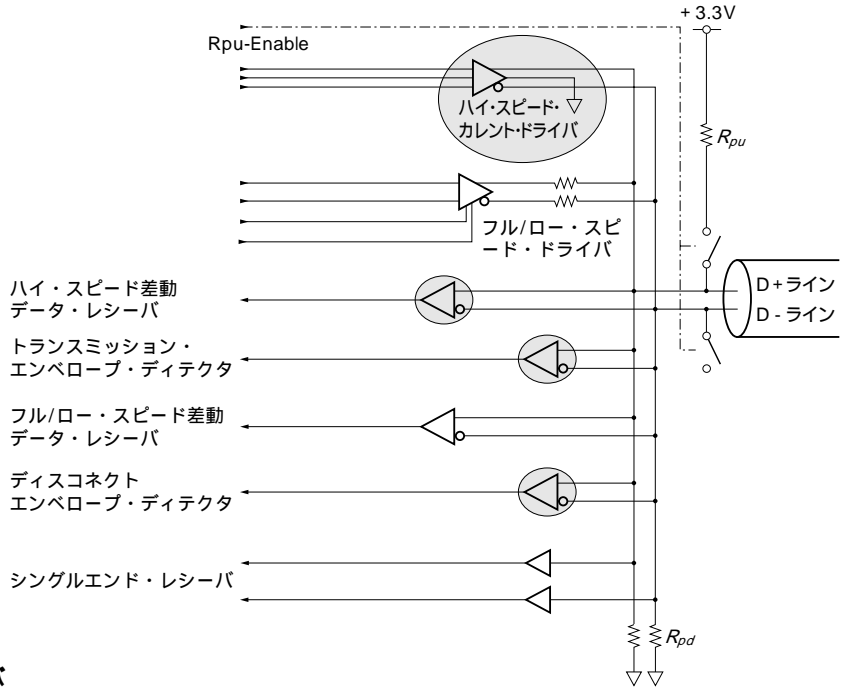


図7
ハイ・スピード対応トランシーバ

ロトコルでは、ホストと各デバイスが時分割で通信して、ホストがスケジューリングを行います。

このスケジューリングは、ホストのシステムに任されていますが、複数の多様なデバイスが混在するシステム構成のUSBバスにおいては、バス利用率とそれぞれのデバイスのパフォーマンスを下げないように、アプリケーションの特徴に合わせて選択できる4種類のデータ転送タイプを定義しています。

▶ コントロール転送

コントロール転送は突発的で非周期的な通信のうち、リクエスト-レスポンス形態の双方向通信です。

標準デバイス・リクエストと呼ぶコントロール転送を使用したやり取りが定義されています。これは、おもにホストがデバイスをプラグ&プレイするために使

用され、すべてのUSBデバイスは、このリクエストに対応する必要があります。

ほかの転送タイプに比べて、コントロール転送のプロトコル上の通信オーバーヘッドが大きく、ハイ・スピードやフル・スピードでの大きなデータの転送には向きません。ただし、ほかの転送タイプとの組み合わせにより、デバイスを制御するプロトコルを実現できます。たとえば、ほかの転送タイプでの通信中にデバイス制御が可能になります。

▶ バルク転送

バルク転送は突発的で非周期的な通信のうち、遅延が問題にならない大量のデータを転送する用途で使います。たとえば、プリンタの印字データやスキャナのイメージ・データやストレージ機器のデータ転送など

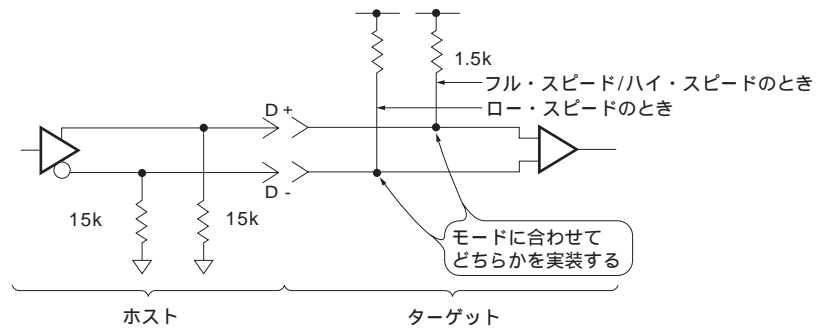


図8 USBのプルアップ/プルダウン

表3 使用可能な転送タイプ

バス速度	コントロール転送	バルク転送	インタラプト転送	アイソクロナス転送
ロー・スピード (1.5Mbps)		×		×
フル・スピード (12Mbps)				
ハイ・スピード (480Mbps)				

: 使用可能 × : 使用不可

で使います。

ほかの転送タイプよりスケジューリングの優先度が低くなりますが、ほかの転送の空き時間をすべて使用することができます。

▶ インタラプト(割り込み)転送

非周期で低頻度のイベントを、ホスト-デバイス間で通知するために使用します。たとえば、マウスやキーボードの入力データがあります。

この転送タイプの名前から連想されるイメージとは異なり、インタラプト(割り込み)転送は周期的なホストのポーリングによって処理され、そのポーリング間隔はデバイス側からホストに申告します。

▶ アイソクロナス転送

連続的で周期的な通信に使用します。通信経路を確立した後は、限定的なレイテンシ(遅延)で一定の転送レートが保証されます。動画や音声データのようなリアルタイム性を必要とするストリーミング・データに使われます。この転送タイプは、エラー発生を検出するためのCRCエラー・チェックのみが行われ、再送手順をもちません。ただし、USBシステムは信頼性が高いバスで、ほとんどの転送が成功し、現実のシステムでは転送エラーが問題にならないようになっています。転送データを保証しないことによって再送のための遅延が発生せず、転送レートを保証することができるのです。

● 使用可能な転送タイプとバス速度検出方法

USB2.0では、ハイ・スピード、フル・スピード、ロー・スピードの3種類のデバイスが存在します。そして、このデバイスのバス速度を検出するには、ハブが大きな役割を担っています。

▶ 各バス速度で使用可能な転送タイプ

ロー・スピード・デバイスを、低コストで実現できるように、最大限の配慮がされています。このため、ロー・スピード・デバイスは、コントロール転送とインタラプト(割り込み)転送のみが使用可能になっています(表3)。

▶ サポートするバス速度の検出

デバイスがサポートするバス速度の検出は、ハブが行います。USBは二つの信号ライン(D+/D-)が逆の位相で動く差動バスです。ロー・スピード・デバイスは、デバイス側のD-ラインをプルアップします。フル・スピード・デバイスでは、デバイス側のD+ラインをプルアップします。

ハイ・スピード・デバイスの検出は、ハイ・スピード・デバイスとハイ・スピード・ハブの間で、ネゴシエーションが行われます(図9)。

ハブのポートに任意のUSBデバイスを接続すると、ハブが接続を検出し、まず、USBバス・リセット(D+/D-とも0の状態)を発行します。このバス・リセットを検出したハイ・スピード・デバイスは、D+ラインを一時的にプルアップし、フル・スピード・デ

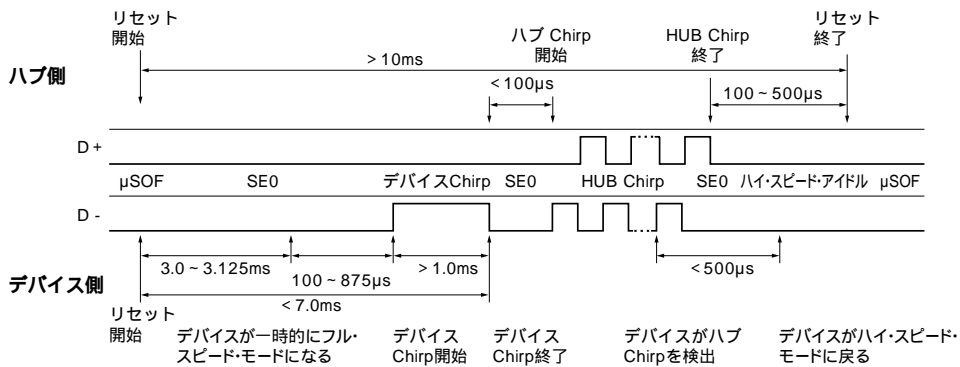


図9 ハイ・スピード・ハブとハイ・スピード・デバイスとのリセット手順

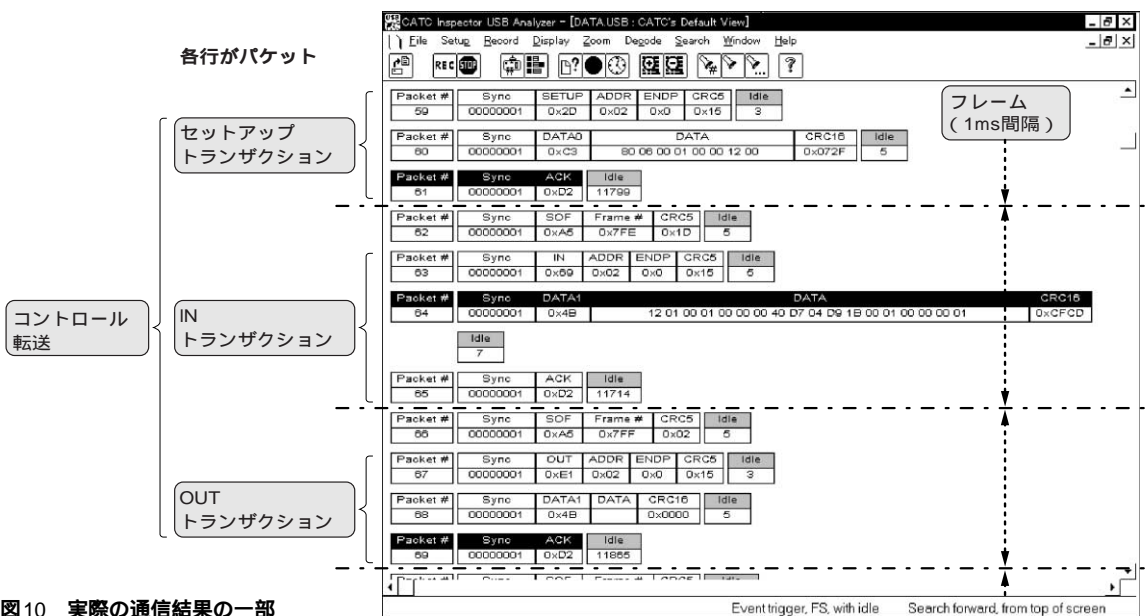


図10 実際の通信結果の一部

バイスと同様の状態にします。この状態に切り替えて、フル・スピード・モード中のハイ・スピード・デバイスがリセット状態を確認したら、D+ /D- ラインを差動 0 (Kステート) にドライブします。この動作をデバイス Chirp と呼びます。

ハイ・スピード・ハブ・ポートはデバイス Chirp を受け取ると、デバイス側の Chirp が終了した後に、ハブが D+ /D- ラインを差動 0 (Kステート) と差動 1” (Jステート) を交互にドライブする動作を繰り返します (ハブ Chirp)。

デバイスとハブがおたがいに Chirp を確認しあうと、ハイ・スピードで通信が始められるようになり、ハブとデバイスがハイ・スピード通信モードになります。

3. パケット, トランザクション, トランスファ

USBシステムにおいて、通信はホストのUSBプロトコル・スタック・ソフトウェアが主導権を握っています。つまり、たとえデバイス側からデータを送信する場合であっても、ホストがデバイスに対してバスの使用权を与えてからデバイスがデータを送信するのです。

USBバス上では、パケットという単位で、データを送受信します。いくつかのパケットによって、トランザクションという単位の通信を構成します。さらに、いくつかのトランザクションが集まって、一つの転送 (トランスファ) を構成します (図10)。

SOF(PID : A5h)										
8ビット	8ビット	11ビット				5ビット				
SYNC	PID	Frame Number				CRC5				
OUT(PID : E1h), IN(PID : 69h), SETUP(PID : 2Dh), PING(B4h)										
8ビット	8ビット	7ビット	4ビット	5ビット						
SYNC	PID	ADDR	ENDP	CRC5						
DATA(PID : C3h), DATA1(PID : 4Bh), DATA2(PID : 87h), MDATA(PID : 0Fh)										
8ビット	8ビット	0 ~ 1024バイト					5ビット			
SYNC	PID	DATA					CRC5			
ACK(PID : D2h) NAK(PID : 5Ah) STALL(PID : 1Eh) NYET(PID : 96h) ERR(PID : 3Ch) PRE(PID : 3Ch)										
8ビット	8ビット									
SYNC	PID									
SPLIT(PID : 78h)										
8ビット	8ビット	7ビット	1	7	1	1	2	5ビット		
SYNC	PID	Hub Addr	SC	Port	S	E/U	ET	CRC5		

図11 パケットのフォーマット

ホストは複数の転送を同時に処理することによって、複数のデバイスをサポートしたり、一つのデバイスで複数の転送を組み合わせたシステムを構築することができます。

● パケットの構成

ホストやデバイスがバスの時間を確保する単位です。同期(SYNC)パターンで始まり、EOP(D+ / D- 信号線がともに0の状態が1ビット時間以上続き、その後、アイドル状態になる)までの時間的に連続したビット列で構成される片方向の通信単位です(図11)。

▶ 同期(SYNC)パターン

先頭の同期(SYNC)パターンは、7回のビット値0と1回のビット値1からなる1バイトのデータ・パターンで、80hに相当するデータになります。この同期パターンの間に、受信側のロジック回路が内部のビット・クロックを調整します。

▶ PID(パケット識別子)

同期(SYNC)パターンのすぐ後に、PID(パケット識別子)が続き、パケットの種類を示します。PIDのデータ値は、PID番号4ビットとそれをビット反転した値4ビットを続けることにより、PID値の保護を行っています。

PIDの一覧を表4に示します。この中で、PID名が斜体になっているものが、USB2.0で追加されたもので、ハイ・スピード・デバイスのトランザクションのみ使用されます。

● USB1.x仕様でのトランザクション(クラシック・トランザクション)

トランザクションは、ホストがスケジューリングす

る単位で、また、コントロール、バルク、インタラプト(割り込み)、アイソクロナス転送を構成する単位にもなります。

USB2.0仕様において、USB1.1仕様に重要な仕様が追加されました。USB2.0仕様におけるトランザクションを理解する前に、そのベースとなったUSB1.x仕様を理解する必要があります。

なお、USBの通信方向のIN/OUTというフレーズは、ホストを中心にしたものであり、デバイス側にとっては、IN方向がデータ送出、OUT方向がデータ受信になることに注意してください。

▶ トランザクションの種類とフェーズ

USB1.x仕様で定義されていたフォーマットを図12に示します。図12のように、トランザクションはトークン・パケットで始まり、フェーズを遷移します。

(a) INトランザクション

● トークン・フェーズ

ホストがINトークン・パケットを発行します。

● データ・フェーズ

指定されたデバイスは、データ送信可能であれば、DATA0またはDATA1データ・パケットを発行します。デバイス側でデータの送信の準備が未完了でデータ送信できない場合には、NAKハンドシェイク・パケットを応答して、ホストからのリトライを待ちます。ほかの原因のエラーなどで、データの応答ができない場合には、STALLハンドシェイク・パケットを応答します。

● ハンドシェイク・フェーズ

ホストはデータ・フェーズのデータ・パケットを正

表4 バケットの種類と意味

PIDタイプ	PID名	PID値 [3:0]	発行元	説明
トークン	OUT	0001	ホスト	ホストからデバイス方向への送信トランザクションを開始する
	IN	1001	ホスト	デバイスからホスト方向への送信トランザクションを開始する
	SOF	0101	ホスト	フレームの開始を示す .FSでは1msごとに生成される .HSでは125 μ sごとに生成される
	SETUP	1101	ホスト	コントロール転送のリクエストを発行する
データ	DATA0	0011	ホスト/デバイス	偶数PIDのデータ・バケット
	DATA1	1011	ホスト/デバイス	偶数PIDのデータ・バケット
	DATA2	0111	ホスト/デバイス	ハイ・スピードのアイソクロナス転送でのみ用いるデータ・バケット
	MDATA	1111	ホスト/デバイス	ハイ・スピードのアイソクロナス転送でのみ用いるデータ・バケット
ハンドシェイク	ACK	0010	ホスト/デバイス	エラーなしデータ・バケットを受信したことを送信側に通知する
	NAK	1010	デバイス	通信エラーや処理中などの理由で、デバイス側でデータの送受信に失敗したことを送信側(ホスト)に通知する
	STALL	1110	デバイス	デバイス側の何らかの異常状態のために、通信の続行できないことを送信側(ホスト)に通知する
	NYET	0110	デバイス	ハイ・スピードのPINGフロー制御とスプリット・トランザクションで使用するPIDで、受信側の準備がまだできていないことを通知する
特殊	PRE	1100	ホスト	ホストがLS通信を開始する(PREAMBLE)
	ERR	1100	デバイス	ハイ・スピードのスプリット・トランザクションにおいて、ハブがホストにエラーを報告する
	SPLIT	1000	ホスト	ハイ・スピードのスプリット・トランザクションで使用する
	PING	0100	ホスト	ハイ・スピードのPINGフロー制御において、受信側の状況を調べる
	Reserved	0000	-	(未使用)

PID名の斜体文字：USB2.0で追加されたもの

常に受信すると、ACKハンドシェイク・バケットを発行します。デバイスは、ACKハンドシェイク・バケットを受信すると、データ転送が成功したと判断します。

(b) OUTトランザクション

- トークン・フェーズ

ホストがOUTトークン・バケットを発行します。

- データ・フェーズ

ホストはOUTトークンに続いて、デバイスの状態に関係なく、DATA0またはDATA1データ・バケットでデータ送信を行います。

- ハンドシェイク・フェーズ

デバイスは、データ・フェーズのデータ・バケットの受信に成功すると、ACKハンドシェイク・バケットを発行します。デバイス側でデータ受信の準備が完了であり、受信できない場合には、NAKハンドシェイク・バケットを応答して、ホストからのリトライを待ちます。ほかの原因のエラーなどで、データの受信ができない場合には、STALLハンドシェイク・バケットを送信します。

(c) セットアップ・トランザクション

- トークン・フェーズ

ホストがSETUPトークン・バケットを発行します。

- データ・フェーズ

ホストはSETUPトークンに続いて、DATA0データ・バケットを送信します(つねに、DATA0データ・バケットのデータは8バイト)。

- ハンドシェイク・フェーズ

デバイスは、セットアップ・トランザクションのデータ・フェーズをかならずACK応答で受理する必要があります。NAKやSTALL応答をしてはなりません。

(d) アイソクロナス・トランザクション(IN)

- トークン・フェーズ

ホストがINトークン・バケットを発行します。

- データ・フェーズ

デバイスは、DATA0データ・バケットでデータ送信を行います。ハンドシェイク・フェーズをもたないことからわかるように、デバイス側ではデータの送信が成功したことを知るできません。

(e) アイソクロナス・トランザクション(OUT)

- トークン・フェーズ

ホストがOUTトークン・バケットを発行します。

- データ・フェーズ

ホストは、OUTトークンに続いてDATA0デー

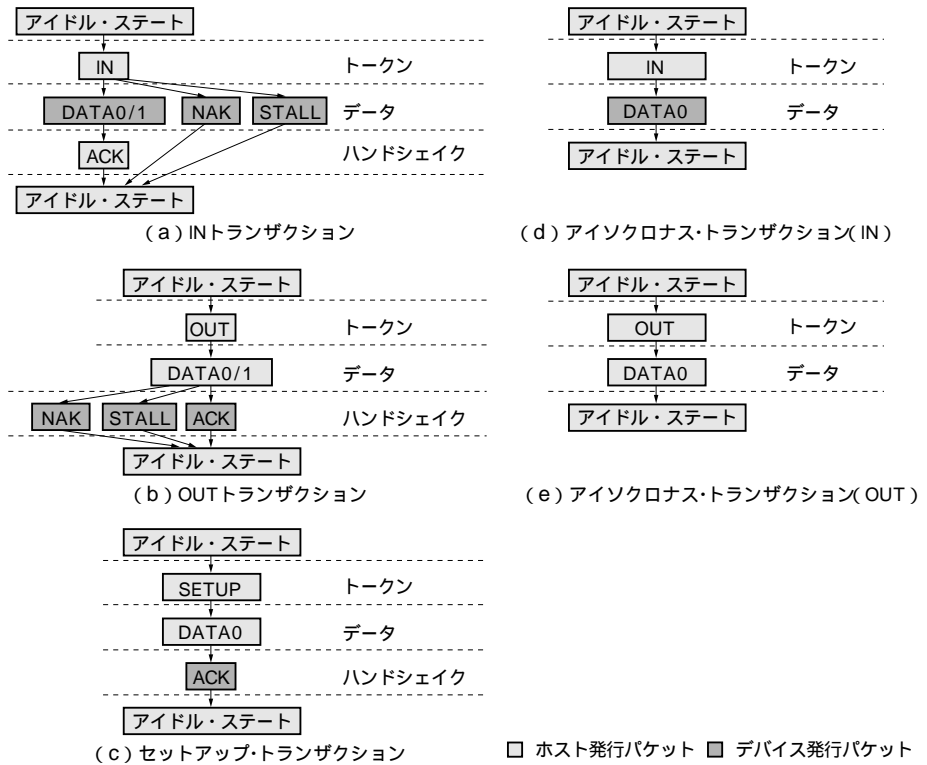


図12 トランザクションのフォーマット (USB1.x)

タ・パケットでデータ送信を行います。ハンドシェイク・フェーズをもたないことからわかるように、ホスト側ではデータの送信が成功したことを知る事ができません。

▶ ロー・スピードへの切り替え

USB1.x仕様のトランザクション(クラシック・トランザクション)において、トランザクションを構成するフェーズのためのパケットの前に、PRE(PREAMBLE)パケットが先行することがあります。

このPREパケットは、それに続くパケットがロー・スピードのパケットであることを示します。ハブは、ロー・スピード・デバイスが接続されたポートに、通常のフル・スピードの信号を渡しません。ただし、PREパケットを受信したハブは、ロー・スピード・デバイスが接続されたポートを有効にして、次に続くロー・スピードの一つのパケットを、ロー・スピード・デバイスに渡します。

ロー・スピード・デバイスが発行するパケットは、つねにロー・スピードであり、PREパケットを先行させません。

▶ SOFパケット、フレーム、スケジューリング

USBホストは、フレームという単位を作り、トラ

ンザクションをスケジューリングします。USB1.x仕様におけるトランザクション(クラシック・トランザクション)のために、1ms単位のフレームを作り、複数のトランザクションを編成して一つのフレームを作ります。

ホストがフレームを開始するとき、SOFパケットを発行します。アイソクロナス転送時には、このSOFパケットを利用して、同期処理を行います。また、ロー・スピード・デバイスが不用意にパワー・マネジメントのサスペンド状態に入らないようにするために、ハブがSOFパケットを受信すると、ロー・スピード・デバイスが接続されたポートのD+/D-信号線をトグルするキープ・アラライブを生成します。

● USB2.0仕様でのトランザクション

USB2.0のハイ・スピードで動作しているバス上を流れるトランザクション・フォーマットは、USB1.x仕様に大きな仕様追加が行われています。

ただし、従来までのUSB1.x仕様のデバイス(フル・スピードおよびロー・スピード)において、これらの追加仕様を意識することはありません。フル・スピードおよびロー・スピードで動作しているバス上は、USB1.x仕様までのプロトコルとまったく同じに

なります。

▶ μフレーム

フル・スピード・バスにおけるフレームは1msごとでしたが、ハイ・スピードのバンド幅を有効に活用するため、ハイ・スピード・バス上のフレームの周期は、従来の1/8の長さである125μsになりました(μフレーム)。これにより、アイソクロナス転送を行うハイ・スピード・デバイスにとって、1msのフレームより、要求されるバッファ・サイズを減らすことが可能になります。

μフレームにおいて、SOFパケットのPIDは、フル・スピード・バスのSOFと同じものを使用します。ハイ・スピード・バス上のμフレームでは、8回の連続した同じフレーム番号をもつSOFパケットが発行

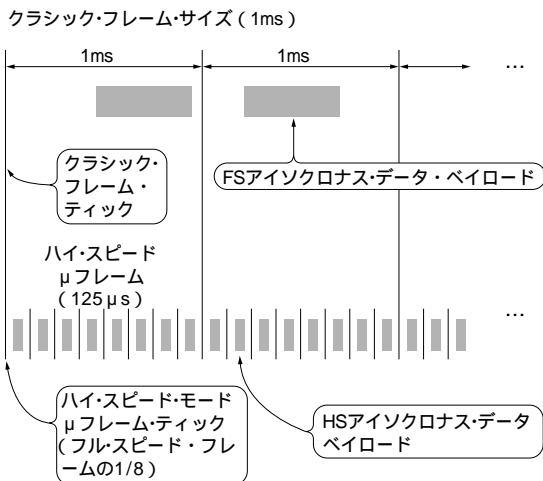


図13 μフレームとクラシック・フレーム

されます(図13)。

ハイ・スピード・デバイスが、μフレームによる同期処理を必要とする場合、フレーム番号の変化したSOFパケットをμフレームの開始の0フレームとして、それに続く七つの同じフレーム番号のSOFパケットを1から7として扱うことができます。

▶ スプリット・トランザクション

ハイ/フル・スピード、ロー・スピードが混在する状況下において、ホストからフル/ロー・スピード・デバイスにデータを転送するときには、USB2.0で新たに導入されたスプリット・トランザクションという

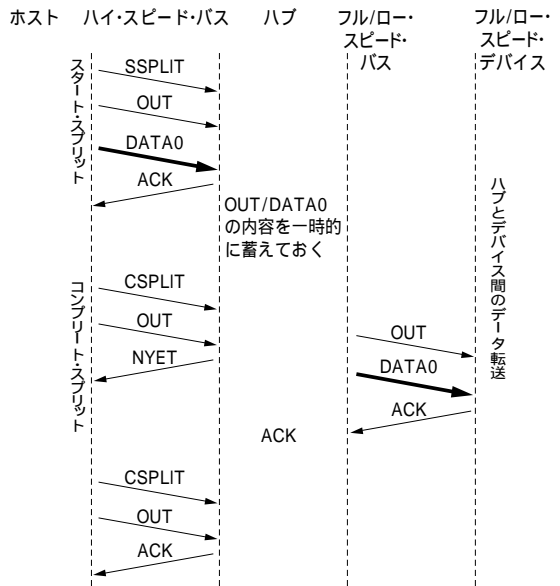
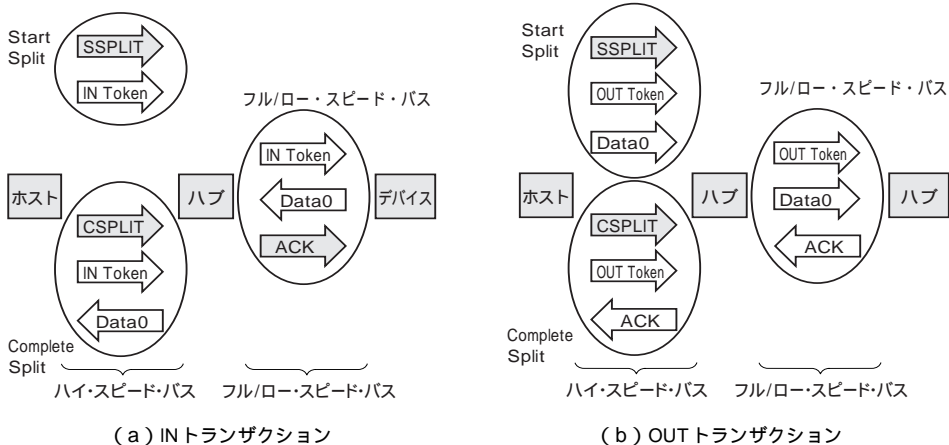


図15 スリット・トランザクションの例



(a) INトランザクション (b) OUTトランザクション

USB2.0 コア仕様書の Appendix A にはスプリット・トランザクションの具体例が示されている

図14 ハイ・スピード・スプリット・トランザクション