

SD/HD デジタル・ビデオ信号測定入門

目次

| | | | |
|-----------------------------------|----|------------------------------|----|
| はじめに | 1 | ビデオ測定 | 41 |
| 従来のテレビ方式 | 1 | モニタリングおよび測定ツール | 41 |
| 「新しい」デジタル・テレビ方式 | 2 | デジタルおよびアナログ信号の波形モニタリング | 42 |
| アナログ・ビデオの各種数字表現 | 2 | ビデオ信号劣化の評価 | 42 |
| コンポーネント・デジタル・ビデオ | 2 | ビデオ振幅 | 42 |
| アナログからデジタルへの移行 | 3 | 信号振幅 | 43 |
| RGBコンポーネント信号 | 3 | 周波数応答 | 45 |
| ガンマ補正 | 4 | 群遅延歪み（および各種輝度信号歪み） | 45 |
| CRT応答の補正を超えるガンマ補正 | 5 | 非直線歪み | 46 |
| R'G'B'をルミナンス信号および色差信号に変換 | 5 | 微分利得（DG: Differential Gain） | 47 |
| デジタル・ビデオのインタフェース | 7 | 微分位相（DP: Differential Phase） | 47 |
| 601サンプリング | 9 | デジタル・システム・テスト | 47 |
| パラレル・デジタル・インタフェース | 11 | ストレス・テスト | 47 |
| シリアル・デジタル・インタフェース（SDI） | 12 | ケーブル長によるストレス・テスト | 47 |
| SDのデジタル化手法に基づくHDビデオ | 14 | SDIチェック・フィールド・テスト信号 | 48 |
| タイミングと同期 | 17 | インサースビス・テスト方法 | 48 |
| アナログ・ビデオのタイミング | 17 | アイ・パターン・テスト | 50 |
| 水平同期タイミング | 18 | ジッタ・テスト | 52 |
| 垂直同期タイミング | 20 | SDIステータス表示 | 56 |
| アナログHDコンポーネント・ビデオの各種パラメータ | 24 | ケーブル長測定 | 55 |
| デジタル・スタジオの各種走査フォーマット | 25 | ビデオ・ソース間のタイミング | 57 |
| セグメント化されたフレームの各種プロダクション用フォーマット | 25 | コンポーネント信号のチャンネル間タイミング | 58 |
| デジタル・スタジオの同期とタイミング | 27 | カラー・バー信号を使用したタイミング表示方法 | 58 |
| テレシネの同期 | 30 | ライトニング表示を使用したタイミング測定 | 58 |
| デジタル・オーディオ | 31 | ポータイル表示測定 | 59 |
| （SD）コンポーネント・デジタル・ビデオのエンベデッド・オーディオ | 32 | デジタル・テレビ・システム | 61 |
| （SD）エンベデッド・オーディオの拡張データ・パケット | 33 | RGB信号およびY&C色差信号 | 61 |
| システム化されたAES/EBUオーディオ | 34 | コンポーネント・ゲイン・バランス | 61 |
| HDエンベデッド・オーディオの基本構造 | 35 | ベクトル表示 | 61 |
| （HD）オーディオ・コントロール・パケット | 37 | ライトニング表示 | 63 |
| マルチチャンネル・オーディオをモニタする方法 | 38 | ダイヤモンド表示 | 64 |
| 5.1サラウンド・サウンドのオーディオ・チャンネル | 38 | アローヘッド表示 | 65 |
| サラウンド・サウンド表示 | 39 | フォーマットのモニタ方法 | 66 |
| | | 制限の定義 | 68 |
| | | まとめ | 69 |

| | | | |
|---|----|--|----|
| 付録A — カラーおよびカラリメトリ | 70 | 付録D — 参照したテレビに関連する標準規格書および 勧告資料 | 79 |
| 白 | 71 | 付録E — 参考文献 | 80 |
| 赤、緑、および青のコンポーネント | 71 | 付録F — 用語集 | 81 |
| ガンマットのリーガル (legal) とバリッド (valid) | 74 | 著者のプロフィール | 87 |
| フォーマット変換表 | 76 | 免責条項 | 87 |
| 付録B — テレビジョン・システムで使用される 各種クロック周波数の相互関係 | 77 | | |
| 付録C — SD仕様のアナログ・コンポジット・ビデオ・ パラメータ | 78 | | |

はじめに

デジタル・テレビを複雑な技術の集合体のようなものと思い込んでいる読者の皆様も多いのではないのでしょうか。しかし、実際にテレビ画面で映像を視聴すると、画質や音質は各段に向上していますが、以前から馴染みのあるものと感じられます。テレビ・エンジニアは、このような各種の品質改善を当初から追求してきました。デジタル・テレビが登場したことによってコンテンツの品質は良くなり、芸術的パフォーマンスを高品質の映像と音声で視聴者に届けられるようになりました。デジタル・テレビが従来のテレビ方式と比べて新しいのは、コンテンツを伝送する方法が異なるテレビ方式と換言できます。

テレビ・コンテンツがどのように伝達されるかがそんなに重要な問題でしょうか？アーティストや視聴者（および多くの広告主）は、おそらく信号がどの経路を通過して伝達されるか、ほとんど問題にしていません。彼らは技術的な詳細を知らなくても、デジタル・テレビの性能が向上していくなかで利益を享受しています。しかし、技術が発達していくなかで面白いことが起こってきました。それは、テレビ業界を技術的な側面で支援する業務に従事している私たちにとっては、大変興味深いことです。そして、過去60数年に渡り、テレビ技術は飛躍的な進歩を遂げ、膨大な利益を生んできました。特に、近年20年間のデジタル化による著しい進化は目を見張るものがあります。

デジタル・テレビの信号は、番組プログラムのビデオ信号、デジタル・オーディオ信号および関連する補助データ信号で構成されています。アナログ・テレビの世界では、ビデオとオーディオが送信元から家庭のテレビ受信機まで、別々の伝送路に分離されて伝送されています。デジタル信号では、データ・ストリームとしてビデオ、オーディオ、その他の信号を多重して送出することができます。私たちが知らなければならないことは、必要なデータがどのように構築されているかということです。

従来のテレビ方式

私たちは従来のテレビ要素をアナログ・ビデオとアナログ・オーディオに分けて考えることができます。デジタル・テレビはアナログ技術に基づいて構築されており、デジタル・テレビを理解する場合、アナログ・テレビで既に知っていることに基づいて理解することが可能です。カメラ・レンズに入る光やマイクに入る音声は、今でもアナログです。ディスプレイに表示される光や耳に届く音声もアナログ現象です。

アナログ・ビデオは、僅かな値で（連続的に）「サンプリング（標準化）」したものであるといえます。明るさの値は電圧(V)で示します。そして、追加される情報としてサンプリングした色情報があります。それぞれのサンプリング・データは受信機で再構成されて、ディスプレイにオリジナルの画像を再現します。アナログ・ビデオは、画像を生成するために必要なすべての「データ（情報）」を含んだ、電圧値の「シリアル（連続的な）」ストリーム信号として伝達されます。そのため、少し表現を代えたり、僅かな異なる処理を施すだけで、過去50年間学んできたアナログ技術をデジタルにも活用できます。私たちは、デジタル・ビデオがアナログ・ビデオとそんなに大きく変わらないことに気付くでしょう。

テレビ方式はアナログの光で始まり、アナログの光で終わるのであれば、なぜデジタル・ビデオを使用する必要があるのでしょうか？ほとんどの場合、カメラ・センサは今でもアナログ・ビデオを生成しています。現在は、記録や伝送などの過程で品質が劣化しないようにビデオの瞬時値をデジタルで表現しています。コンピュータで生成されるビデオまたはCG画像のように、映像が最初からデジタル・フォーマットである場合のような新しいデジタル・テレビ・システムではアナログ処理を介在することなくディスプレイに表示します。

私たちは、現在まで、NTSC、PALまたはSECAMのアナログ・テレビ信号を送受信していますが、高品質で効率的なテレビ信号を家庭に配信するために既にデジタル放送もサービス開始しています。デジタル・テレビは日常生活に欠かせないインフラ要素になっています。一部の人はそれを利用し、テレビの進歩に貢献しています。また、大多数の人々はその技術的な詳細を知る必要もなくそれを利用しています。

「新しい」デジタル・テレビ方式

デジタル信号は、初期の頃はテスト信号発生器やキャラクタ・ゼネレータなどの装置内部で使用されていましたが、その後、システム全体で使用されるようになりました。本入門書では、分かりやすくするためにテレビのビデオ信号に関係する部分を最初に説明します。オーディオも同様にデジタル処理されるようになり、テレビ受信機ではデジタル・データ・ストリームとして再生されます。デジタル・オーディオについては、後の章で説明します。

デジタル・ビデオはアナログ・ビデオを単純に拡張して応用したものです。アナログ・ビデオを理解していれば、デジタル・ビデオの制作、取扱い、各種プロセス、およびアナログ・ビデオからデジタル・ビデオ、デジタル・ビデオからアナログ・ビデオへの変換などについても容易に理解できます。アナログ・ビデオとデジタル・ビデオには同じ制約事項が多数あり、デジタル領域で発生する数多くの問題はアナログ・ソース・ビデオが不適切なことが原因で発生します。そのため、アナログおよびデジタル・ビデオ機器の設計や動作を検証するには、標準規格を参照することが重要です。

アナログ・ビデオの各種数値表現

初期のデジタル・ビデオは、NTSCまたはPALのコンポジット・アナログ・ビデオ信号を単にデジタル表現したものに過ぎませんでした。標準規格には、動作制限や各電圧レベルを表現した数値データの規定や各種数値（データ）の生成方法および復元方法が示されていました。データが高速であったため、デジタル・ビデオ・データを8ビットまたは10ビット・バスで内部処理するのが一般的でした。さらに、初期の規格では、外部接続にマルチ・ワイヤ（パラレル）形式による接続が行われていました。また、規格には受信機や転送データの同期を取ったり、エンベデッド・オーディオなどの追加サービスを行うために、各種補助データや制御用データが定義されていました。後に、さらに高速なデータ処理が実用化されたため、シングル・ワイヤ・コンポジット・シリアル・インタフェース規格が開発されました。デジタル・ビデオは、基本的にビデオ信号の速度に対応して処理できる数値データとそれに必要な補助データを組み合わせたものです。

コンポーネント・デジタル・ビデオ

初期のアナログ特殊効果装置の設計エンジニアは、可能な限りRGBのビデオ・チャンネルに分離して処理することにメリットがあることを十分認識していました。NTSCおよびPALの符号化／復号化処理は透明性が高くないために、エンコードおよびデコードを何回も繰り返すと徐々に信号が劣化します。カメラの信号は、まずRGB信号を独立したチャンネルとして処理することから始まります。そして、その信号を家庭に送信するわけですが、それらの信号をNTSCまたはPALにエンコードする前には、できるだけ少ないフォーマットで処理するシステムが最もよい方法だと言えます。しかし、放送設備で映像信号をRGB個別チャンネルで取り扱うことは、ロジスティックの問題や信頼性の問題を発生します。現実的な視点から見れば、これらの3つの信号は1本のワイヤ、または一般的な1本の同軸ケーブルにまとめる必要があります。このため、これらの3つのコンポーネントであるRGBのビデオ・チャンネルを単純にマトリクス化し、ルミナンス信号と2つの色差信号で構成されたコンポーネント信号に変換して、これらをデジタル化し、シングル同軸ケーブル用にデータを多重します。このデータ信号は、従来のNTSCまたはPALコンポジット・ビデオと同じように取り扱うことができます。現在、私たちはデータ・レートの高いストリームを処理しています。このデータ信号には、NTSCまたはPALビデオ信号の5～6MHzより高い周波数成分が含まれていますが、適度な距離では特別な処理を行うことなく、劣化なく送受信できます。ビデオ信号がデジタル領域にあるときには、簡単に各コンポーネント情報を抽出できるため、損失やチャンネル間の相互作用の影響を受けることなくデジタル領域で再生できます。

このようなコンポーネント処理および関連する各種デジタル技術は、ビデオ情報の品質向上において多大な貢献をした上、高速デジタル・デバイスの出現によって、HDビデオをサービスできる帯域をも確保できるようになりました。また、各種圧縮アルゴリズムを利用してデータの総量を削減することも可能になりました。現在は、高品質なアナログ・ビデオ伝送に必要な帯域内で、HDビデオと付帯のマルチチャンネル・オーディオをデジタル伝送することができます。ビデオ圧縮に関する解説に関しては、数多くの出版物（参考文献を参照）に掲載されていますので、本入門書では扱いません。

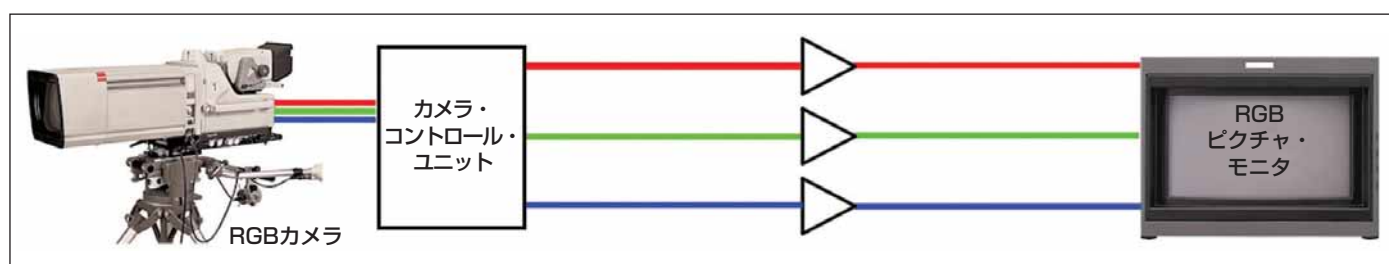


図1. モニタに直接接続されたカメラのRGB信号

アナログからデジタルへの移行

デジタル・データ・ストリームは、個別コンポーネントに簡単に分離できます。アナログでも同等な機能を実現しています。ここではアナログ・ビデオとデジタル・ビデオの両方式を解説し、比較しながら、これらの類似点を説明します。

NTSCおよびPALビデオ信号は3つのカメラ・チャンネル（RGBの原色コンポーネント）を合成した信号で、輝度情報（ルミナンス）にサブキャリアを用いて変調された色情報（クロミナンス）を重畳したものです。コンポジット信号の3番目の方式にSECAM方式があります。この方式では、クロミナンス情報に周波数変調されたサブキャリアのペアを使用します。NTSC、PALまたはSECAMを理解することは有用なことです。コンポジット・ビデオの新しい研究に投資する必要はありません。

RGBコンポーネント信号

ビデオ・カメラは、画像の光を3原色（RGB）に分割します。カメラのセンサは、これらの単色画像をそれぞれ個別の電気信号に変換します。そして、画像の左端と画像の最上部を示す同期情報が信号に付加されます。カメラに合わせてディスプレイを同期させる情報

はGチャンネルに付加されるか、または3つのチャンネルすべてに付加されます。あるいは個別に伝送される場合もあります。

図1に示すように最も簡単な放送網はカメラからのR、G、Bを画像モニタに直接送るマルチワイヤ方式です。マルチワイヤ接続は小型で固定構成されたサブシステムで使用されています。

この方法により、カメラからの高品質画像をディスプレイで再生できます。しかし、3つの分離チャンネルの信号を伝送する場合、各チャンネルのゲイン、DC（直流）オフセット、時間遅延および周波数レスポンスなどすべての特性が同一のものを使用する必要があります。チャンネル間のゲイン誤差やDCオフセット誤差は、ディスプレイで表示される色を微妙に変化させます。また、さまざまなケーブル長またはカメラからディスプレイへの各信号の経路によって発生するタイミング・エラーが原因で、システムは不安定になります。これにより、画像品質の低下またはブラーリング（ぼやけ）が生じ、さらに最悪の場合、チャンネル間のタイミング・オフセットが発生し、画像が複数重なって表示されます。チャンネル間の周波数レスポンスの差異も同様に、画像過渡応答に問題を発生します。そのため、3つのチャンネルを1つのものとして扱う必要があります。

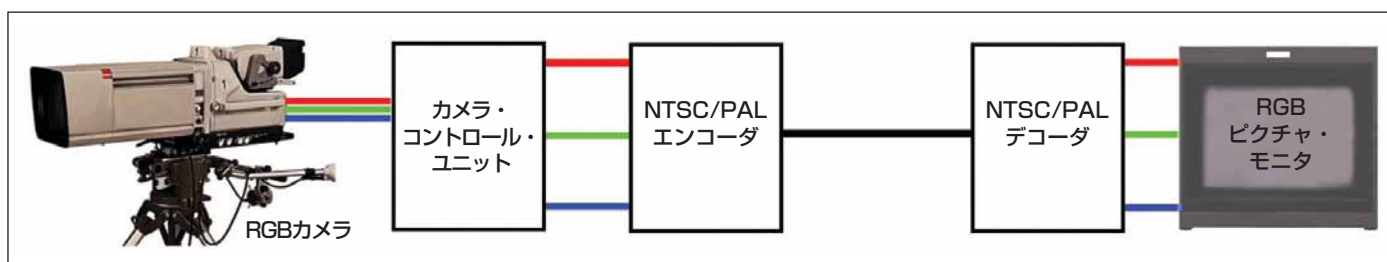


図2. 同軸ケーブル1本で伝送するためにエンコードされたNTSCまたはPAL信号

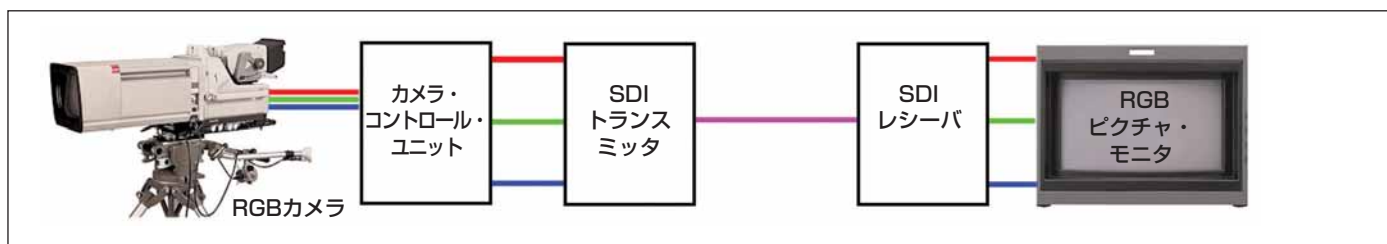


図3. アナログ信号の劣化を防ぐデジタル伝送 (SDI)

NTSCまたはPALのエンコーダおよびデコーダ (図2) は、信号をテレビ施設内で1本のケーブルで伝送できること以外、処理の単純化において何の効果もありません。システムの帯域幅は、4.2MHz (NTSC) または5.0~5.5MHz (PAL) をもち、3つのビデオ信号のエネルギーをこの帯域内に納めています。一本のケーブルにすることにより、ビデオ・ルーティングは単純化できますが、信号経路が長くなればなるほど周波数応答特性や (システム) タイミングには注意が必要になります。NTSCまたはPALコンポジット信号のクロミナンス信号およびルミナンス信号は、4.2MHz、5.0/5.5MHz 信号を共有するため、クロミナンスとルミナンスの干渉を考慮しなければなりません。

コンポーネント・デジタル方式のエンコーダとデコーダに置き換えることにより、最新の放送網 (図3) では複雑さを排除でき、パフォーマンスが向上します。同軸ケーブル1本による伝送速度は、SD信号では270Mbps、HD信号では1.485Gbpsあるいはそれ以上になります。アナログ放送として送出する際は、SD信号は従来の伝送用にアナログNTSCまたはPALに変換します。HD信号は、既存のNTSCまたはPAL方式にダウンコンバートする必要があります。

ガンマ補正

ビデオ信号を処理する上では、ビデオ・ディスプレイが各画素の明るさを正確に再現しているかを考慮しなければなりません。CRT (Cathode Ray Tube) ディスプレイは、本質的に非線形のデバイスなので、光出力と電圧 (入力信号) の関係は、直線的な比例関係ではありません。この関数は「デバイス・ガンマ特性」と呼ばれています。テレビ・システムでは、最終的に線形応答を得るために補正が行われています。カメラのRGB信号はCRTの逆特性でガンマ補正されます。ガンマ補正された信号は、R'、G'、およびB'で表されます。記号 (') は、時々誤って削除される場合があります。本入門書では規格書に従って正確に使用します。

最近では、LCDやプラズマ・ディスプレイなどの新しい表示技術やデバイス装置などが、普及するようになってきました。そのためガンマ補正はいずれ不要になるときがくるかもしれません。

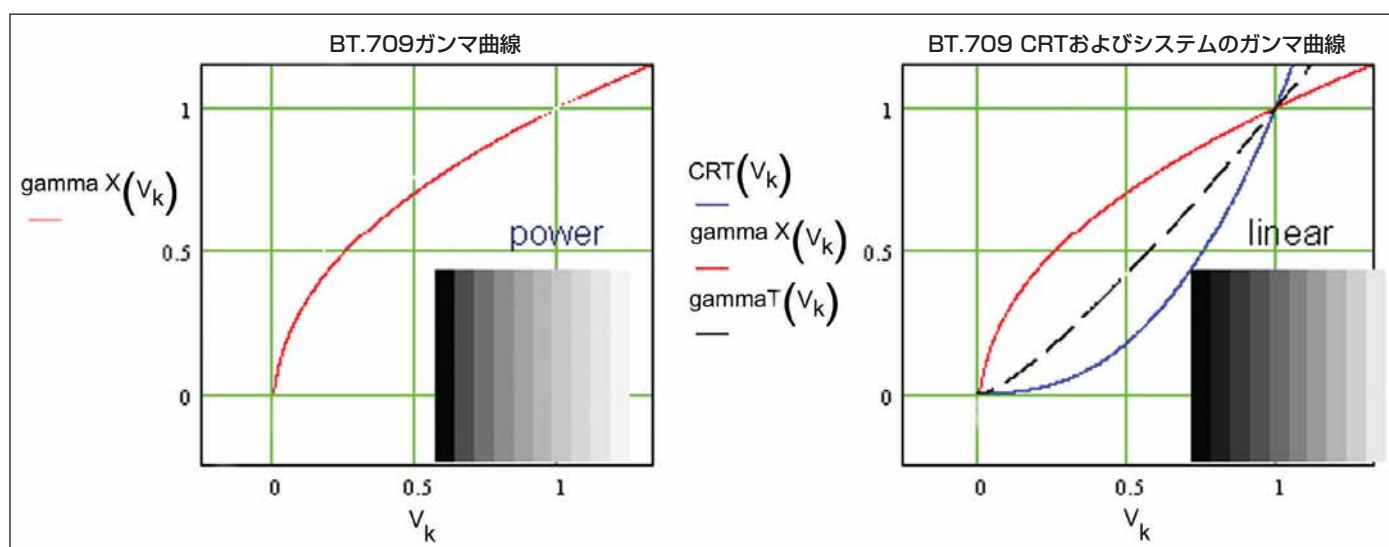


図4. BT.709ガンマ補正によるCRTディスプレイ応答特性

CRT応答の補正を超えるガンマ補正

CRT特性のためのガンマ補正は、人間の知覚応答に対してほぼ適切なものとなっています。この理由から、ガンマ補正を行っている機器やシステムを評価する場合は注意が必要です。

図4は、デジタルHDビデオ規格の1つであるITU-R BT.709で、ガンマ補正値が0.45に規定されています。このガンマ補正は、CRTの非線形応答特性を補正するために行われます。CRTのガンマは2.2から2.6の特性を持ち、ほとんどのCRTは約2.5の値を持っています。この結果、システム・ガンマは約1.2となり、通常の視聴環境においてほぼ理想的な条件となっています。

R'G'B'をルミナンス信号および色差信号に変換

RGBのビデオ・コンポーネントは、カメラの撮像素子の特性に依存します。しかし、3つのコンポーネントを並列に伝送する方式では全チャンネルの周波数帯域幅を同じにしなければならないため、帯域幅効率がよい方法とは言えません。人間の視覚は、色の变化より明度ディテールの変化を敏感に感知します。そのため、ルミナンス情報に全帯域幅を割り当て、残りの有効な帯域に色差情報を割り当てることにより帯域幅効率を改善することができます。

コンポーネント・ビデオ信号をルミナンス信号と色差信号に変換することによって、伝送しなければならない情報量を減少させています。輝度信号のディテールを表すルミナンス (Y) を全帯域幅の1つのチャンネルでカバーし、2つの色差チャンネル (R'-Y'とB'-Y') をルミナンス・チャンネルの帯域幅の約半分に制限することで、十分な色情報を表示することができます。R'G'B'とY'、R'-Y'、B'-Y'間は簡単な線形マトリクスで変換可能で、色差チャンネルの帯域幅制限はマトリクス後に行われます。これらの各チャンネルがディスプレイ表示用にR'G'B'に復元されると、明るさの情報は全帯域幅で復元され、色情報は周波数制限されて復元されることになります。以下の段落で表1および表2で紹介するエンコーダやデコーダで使用されるR'G'B'からY'、R'-Y'、B'-Y'への変換プロセスについて説明します。

アナログ変換に一般的に使用されるY'、R'-Y'、B'-Y'信号

| フォーマット | 1125/60/2 : 1, 720/60/1 : 1 | | 525/59.94/2 : 1, 625/50/2 : 1, 1250/50/2 : 1 | |
|---------------------------------------|--|---|--|--|
| Y' | 0.2126 R'+0.7152 G'+0.0722 B' | | 0.299 R'+0.587 G'+0.114 B' | |
| R'-Y' | 0.7874 R'-0.7152 G'-0.0722 B' | | 0.701 R'-0.587 G'-0.114 B' | |
| B'-Y' | -0.2126 R'-0.7152 G'+0.9278 B' | | -0.299R'-0.587 G'+0.886 B' | |
| Y'、P'b、P'rアナログ・コンポーネント | | | | |
| フォーマット | 1125/60/2 : 1 (SMPTE 240M) | 1920×1080 (SMPTE 274M) 1280 ×720 (SMPTE 296M) | 525/59.94/2 : 1, 625/50/2 : 1, 1250/50/2 : 1 | |
| Y' | 0.212R'+0.701G'+0.087B' | 0.2126R'+0.7152G'+0.0722B' | 0.299R'+0.587G'+0.114B' | |
| P'b | (B'-Y') /1.826 | [0.5/(1-0.0722)] (B'-Y') | 0.564 (B'-Y') | |
| P'r | (R'-Y') /1.576 | [0.5/(1-0.2126)] (R'-Y') | 0.713 (R'-Y') | |
| 拡張Y'、C'b、C'r、およびデジタル量子化用のオフセット | | | | |
| フォーマット | 1920×1080 (SMPTE 274M) 1280×720 (SMPTE 296M) | | 525/59.94/2 : 1, 625/50/2 : 1, 1250/50/2 : 1 | |
| Y' | 0.2126 R'+0.7152 G'+0.0722 B' | | 0.299 R'+0.587 G'+0.114 B' | |
| C'b | 0.5389 (B'-Y') +350mV | | 0.564 (B'-Y') +350mV | |
| C'r | 0.6350 (R'-Y') +350mV | | 0.713 (R'-Y') +350mV | |

表1. ルミナンスおよびクロミナンス信号のビデオ・コンポーネント変換式

| コンポーネント | 近似値 (SMPTE 170MおよびITU-R BT.470-6) |
|----------|--------------------------------------|
| Y | 0.299 R'+0.587 G'+0.114 B' |
| NTSC I | -0.2680 (B'-Y') +0.7358 (R'-Y') |
| NTSC Q | +0.4127 (B'-Y') +0.4778 (R'-Y') |
| PAL U | 0.493 (B'-Y') |
| PAL V | 0.877 (R'-Y') |
| SECAM Dr | -1.902 (R'-Y') |
| SECAM Db | 1.505 (B'-Y') |

表2. コンポジット・ビデオのためのルミナンスおよびクロミナンス信号の変換式

ガンマ補正されたR'G'B'コンポーネント信号は、ガンマ補正したルミナンス信号 (Y') と、2つの色差信号 (R'-Y', B'-Y') を得るためにマトリクス処理されます。ルミナンスおよび色差信号は、R'、G'およびB'から導き出され、表1 (各係数の単位はV (ボルト)) に示された値になります。

表1は、R'G'B'からY'、(R'-Y')、(B'-Y') に変換するために使用する電圧範囲を示しています。ルミナンス信号は、0~700mVのダイナミック・レンジを持っています。色差信号R'-Y'とB'-Y'は、各種コンポーネント・フォーマットへの変換用のスケーリング・ファクタにより、異なるダイナミック・レンジを持っている場合があります。Y'P'bP'rで表すアナログ・コンポーネント・フォーマットでは、両方の色差信号ともに±350mVのダイナミック・レンジを持ちます。これにより、ビデオ信号の処理がより簡単になります。これらのアナログY'P'bP'r信号データ値を基にして、デジタル標準規格に使用されるY'C'bC'r信号データ値が策定されています。モノクロ・ビデオ信号 (Y')、および輝度情報を持たないクロミナンス信号情報 (C'b、C'r) は、デジタル変換のために最適な値にスケーリングされています。

その他の多くの色差信号フォーマットが、さまざまなアプリケーションに使用されています。特に、コンポジットPAL、SECAMおよびNTSCのエンコーディングに使用されている係数は、表2に示されているように異なります。

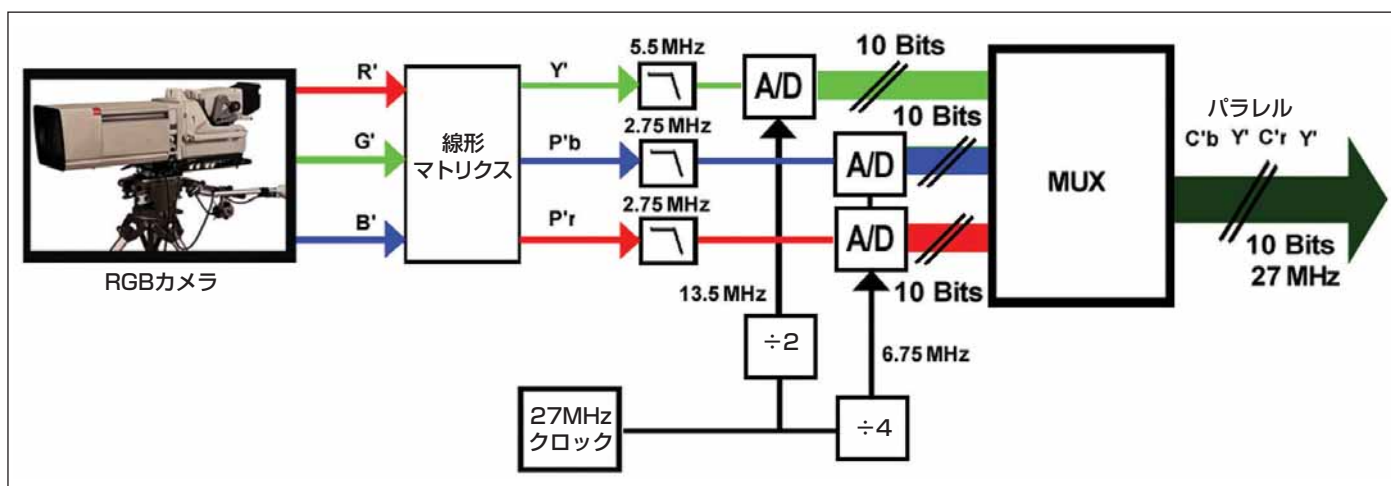


図5. RGBカメラ・ビデオ信号のデジタル化プロセス

デジタル・ビデオのインタフェース

アナログ・ビデオ・システムで使用されるデジタル・インタフェースを、これから簡単に説明します。図5から図8のブロック図は、ビデオ・プロダクション装置がどのようにデジタル・コンポーネント・ビデオ信号を処理していくのかを説明したものです。これらのブロック図はSDビデオ・システムを図解していますが、HDビデオ・フォーマットの内容も含んでいます。HDフォーマットでは、サンプリング・レートおよびデータ・レートがさらに高速になります。そして、ルミナンスおよびクロミナンス信号の各々10ビット・バスは、高いデータ・レートで動作する回路になっています。

ガンマ補正されたRGB信号（図5）は、線形マトリクスでルミナ

ス（Y'）信号、および2つのクロミナンス信号（P'bP'r）に変換されます。人間の目は、色情報の変化より輝度細部の変化の方を敏感に感知します。Y'信号は、高い帯域幅（SDでは5.5MHz）でシステムを介して伝送されます。ルミナンスおよびクロミナンス信号は、ロー・パス・フィルタにより帯域制限されて、サンプリング（デジタル化）の際にエイリアシングを引き起こす高周波数成分を除去します。このようにフィルタ処理されたルミナンス信号は、13.5MHzレートでサンプリングされ10ビットで量子化されます。2つのクロミナンス信号チャンネルはフィルタ処理された後、AD変換により6.75MHzでサンプリングされて、2つの6.75Mbpsデータ・ストリームを生成します。そして、これらの3つのビデオ信号は27Mbpsの1つの10ビット・パラレル・データ・ストリームに多重されます。

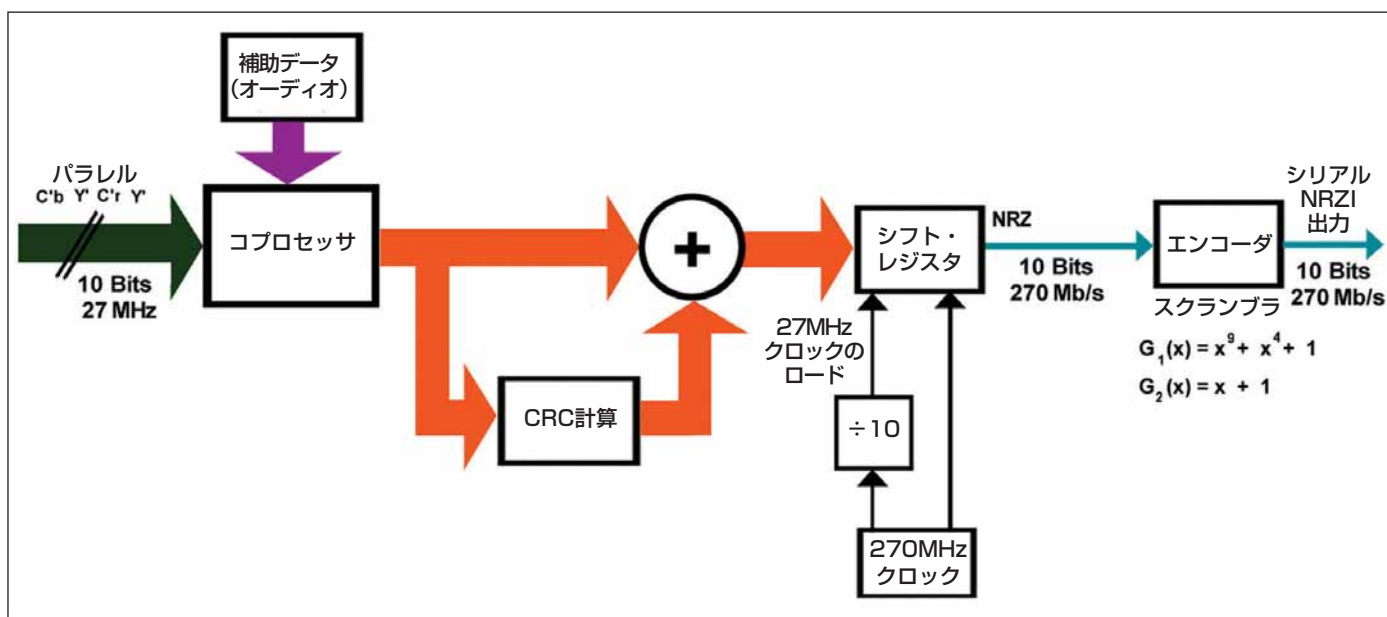


図6. パラレル・データ・ストリームのシリアル化処理 (パラレル・シリアル変換)

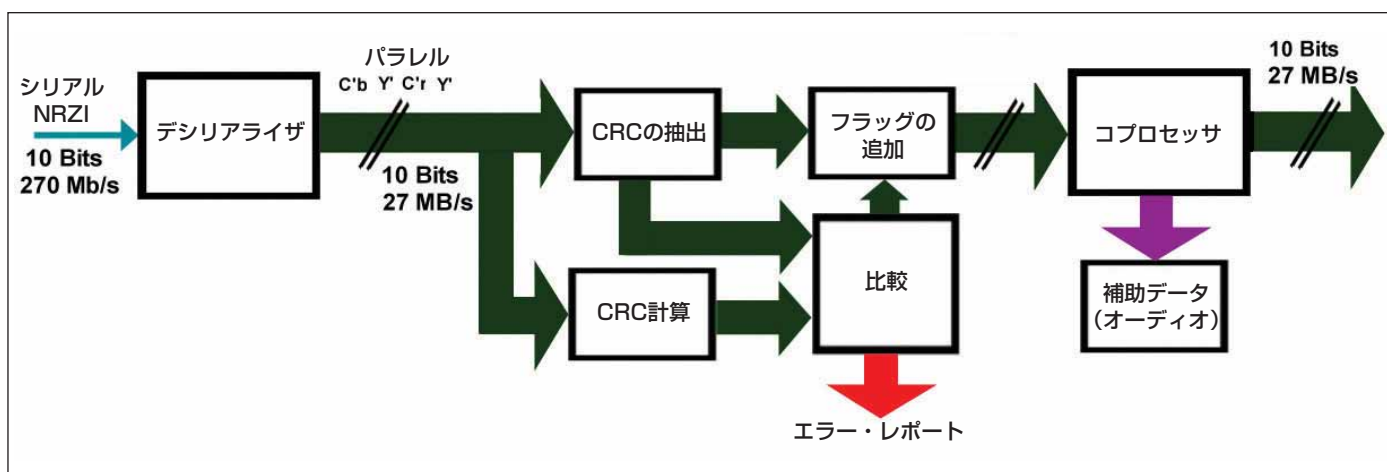


図7. SDI受信機におけるシリアル・ビデオ・データのデシリアル化処理 (シリアル・パラレル変換)

コプロセッサ (図6) は、タイミング・リファレンス信号 (TRS)、AES/EBUフォーマット化されたデジタル・オーディオ信号、およびその他の各種補助データを付加するために使用されます。また、データに対してチェックサムを計算して、パラレル・データ・ストリームに付加します。

27Mbpsの10ビット・パラレル・ストリームは、シフト・レジスタ、またはシリアライザ (パラレル・シリアル変換器) に読み込まれ、270Mbpsのシリアル・データ・ストリームになります。さらに、伝送を効率的に行うため、ITU-R.BT-656/SMPTE 259Mに準拠したスクランブル処理が施されます。ITU-R.BT-656/SMPTE 259Mに準拠するSD-SDI信号は、約300mまでの標準的なビデオ用の同軸ケーブルで伝送できます。また、SMPTE

292Mに準拠する1.485Gbpsのデータ・レートを持つHD-SDI信号では、約100mに限定されます。

受信機内部 (図7) では、入力された270Mbpsシリアル・データ信号は、ケーブル損失の等化が施された後、NRZI信号エッジから270MHzのクロックを再生します。デシリアライザ (シリアル・パラレル交換器) はエンコーダのスクランプリング・アルゴリズムを使用してスクランブルを解除して、27Mbpsの10ビット・データ・ストリームを出力します。受信機が抽出した受信データから生成したチェックサムと伝送されたチェックサムとを比較し、エラーが報告されるとエラー・フラッグがデータ・ストリームに付加されます。また、コプロセッサはオーディオおよび他の補助データを抽出します。

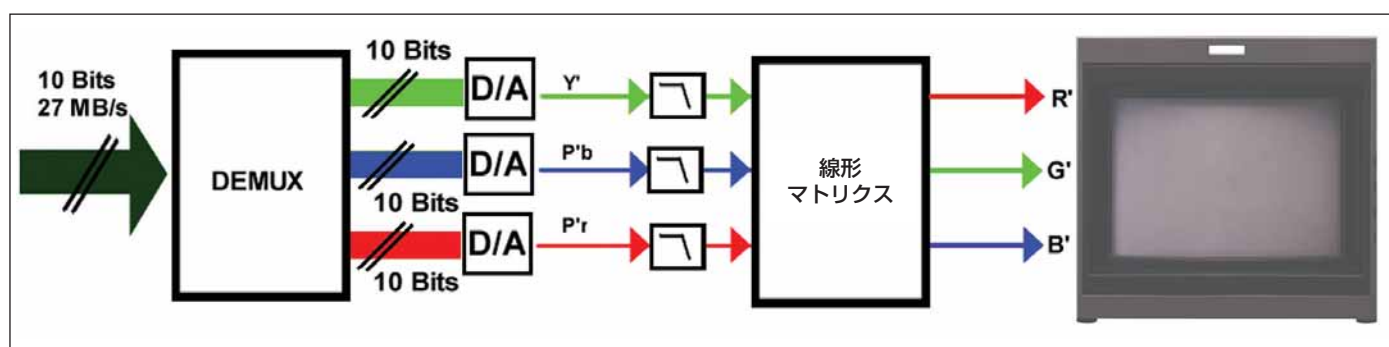


図8. パラレル・データからアナログR'G'B'信号に復元

10ビット・データはデジタル・ルミナンスおよびクロミナンス信号のデータ・ストリームに分離され（図8）、3つのデジタル/アナログ変換器でアナログ信号に変換されて帯域制限を施された後、マトリックス処理によりディスプレイ表示用のR'G'B'信号を生成します。

ここで説明した内容は、システムがどのように動作するのかを理解するのに役立ちます。続いて、デジタル・インタフェースの詳細について説明します。

601サンプリング方式

ITU-R BT.601は、SMPTE/EBU合同特別委員会（タスク・フォース）によって策定された625/50および525/60テレビ・システム対応のデジタル・コンポーネント・ビデオ用のサンプリング規格です。この作業は、1981年にSMPTEによって行われた一連のテストで終了し、CCIR勧告601（現在はITU-R BT.601）として周知されています。この規格書には、525および625ライン信号で使用されるサンプリング方法が規定されています。これは、ルミナンス信号に対して13.5MHz、色差信号に対して6.75MHzでの直交サンプリングを規定しています。サンプリングされたデータ値は、それぞれルミナンス信号（Y'）と色差信号（C'bとC'r）になります。この13.5MHzサンプリング・レートは、525および625の両方式に共通している周波数の倍数であることで採用されました。（付録B - テレビ・クロックの相互関係を参照してください。）

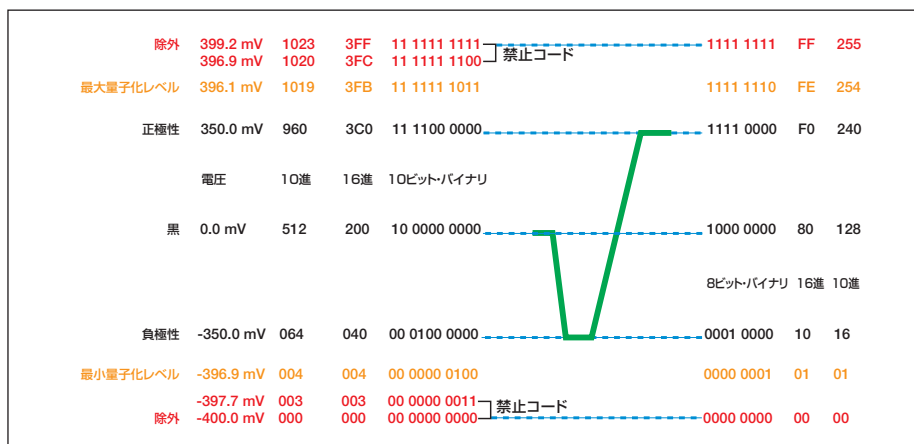


図9. 色差信号の量子化レベル

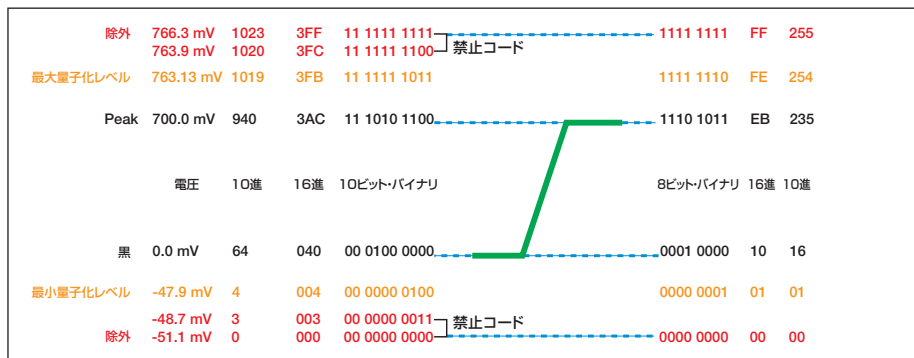


図10. ルミナンス信号の量子化レベル

多くの製品では10ビットのサンプリングが使用されていますが、ITU-R BT.601では8ビットのサンプル（256レベル、00_h～FF_h）、および10ビット・サンプル（1024レベル、000_h～3FF_h）のどちらも容認しています。相互に運用性を持たせるために、8ビット・データの下位に“0”を2ビット付加して10ビット・データにしたり、10ビットの値の下位2ビットをまるめて8ビット・データとして運用することができます。ルミナンス信号の公称振幅は0～700mVです。10ビットでは、黒レベルの0Vは040_h、ピーク白レベルの700mVは3AC_hです。この範囲を超えたレベル（-48mV～+763mV）も許容されていますが、3FF_hと000_hは除外されます。また8ビット系との互換性を保つために、000_h～003_h、3FC_h～3FF_hの値も除外されています。これらは同期用データとして予約（Reserve）されます。色差信号は±350mVの振幅をもち、-350mVは040_hに、+350mVは3C0_hとなります。ルミナンス信号と同様に、この範囲を超えたレベル（±396mV）も許容されていますが、000_h～003_h、3FC_h～3FF_hのデータは除外されています。

図11は、水平ブランキング期間のアナログ信号とデジタル・データ値を対比しています。また図12は、画像エリアとの空間的な位置関係を示しています。タイミング情報（TRS：Timing Reference Signal）は、EAV（End of Active Video）とSAV（Start of Active Video）の同期ワードで示され、アナログ信号における同期信号を量子化したデータは存在しません。水平ブランキング期間および垂直ブランキング期間は、オーディオやその他の補助データ用の多重エリアとして使用されます。EAVおよびSAVのデータは、それぞれ3FF_n、000_n、000_n、XYZの4ワードで構成され、有効映像期間の最後と最初に位置します。4番目のワード（XYZ）には、同期情報を提供するF、V、Hの各制御ビットが含まれます。補助（ANC）データ・パケットは、ワードの開始ヘッダ：000_n、3FF_n、3FF_nによって識別されます。

XYZワードは、8ビット信号パスとの相互運用性を維持するため、下位2ビットが“0”の10ビットのワードです。SDビデオの「XYZ」ワードには、以下のF、V、Hビットの制御情報が含まれています。

- ビット8－（F-ビット）0:フィールド1、1:フィールド2
- ビット7－（V-ビット）0:有効映像期間、1:垂直ブランキング期間
- ビット6－（H-ビット）0:SAV シーケンス、1:EAVシーケンス

パラレル・デジタル・インタフェース

ITU-R BT.601サンプリング方式で処理されたビデオ・データに関しては、525/59.94フォーマットはSMPTE 125M規格、625/50フォーマットはEBU Tech. 3267規格として個別に標準化されています。またこれらは、CCIR（現在ITU）によりITU-R BT.656として国際規格に採用されています。この勧告書には、パラレル・ハードウェア・インタフェースについても説明されています。パラレル・インタフェースには、11のツイスト・ペアと25ピンDコネクタが使用されます。パラレル・インタフェースは、Cb、Y'、Cr、Y'シーケンスを多重し、27Mbpsのデータ・レートで信号を生成します。タイミング・シーケンスのSAV（Start of Active Video）とEAV（End of Active Video）は各ラインに付加されます。525と625方式の有効ラインには、720のルミナンス・サンプル・データと水平ブランキング期間に補助データが含まれています。

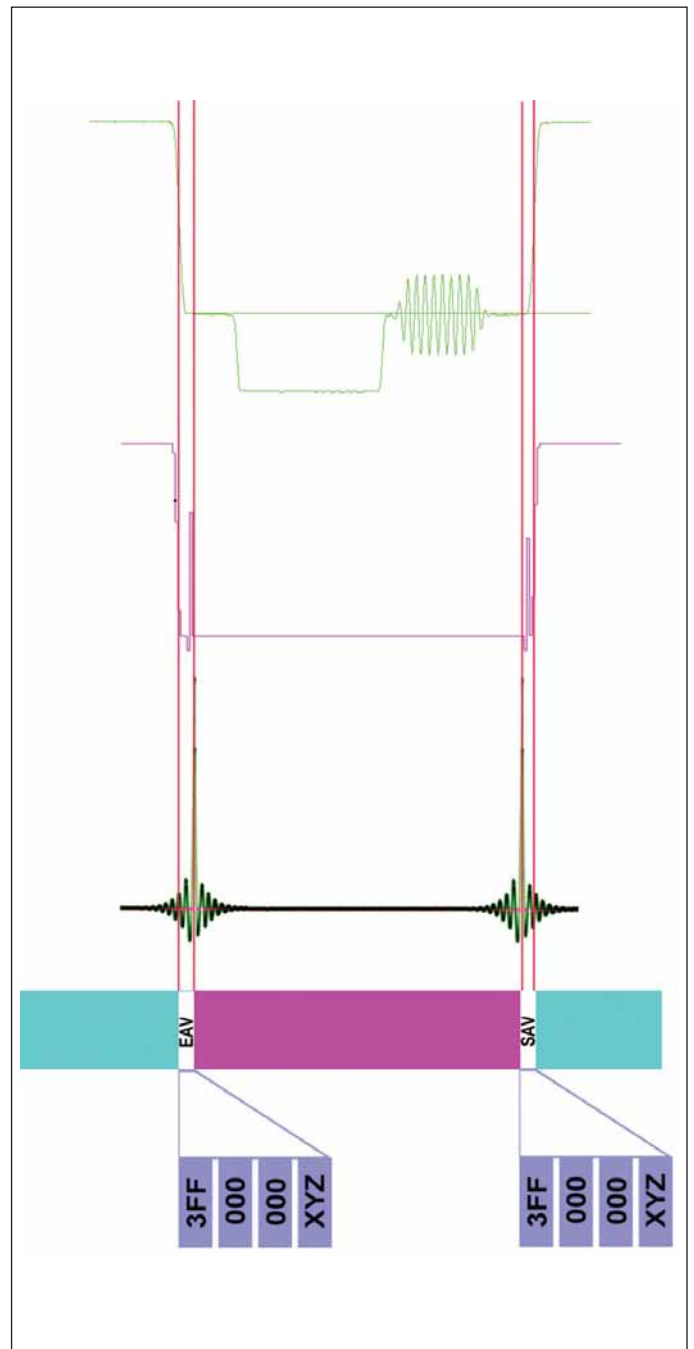


図11. デジタル水平ブランキング期間

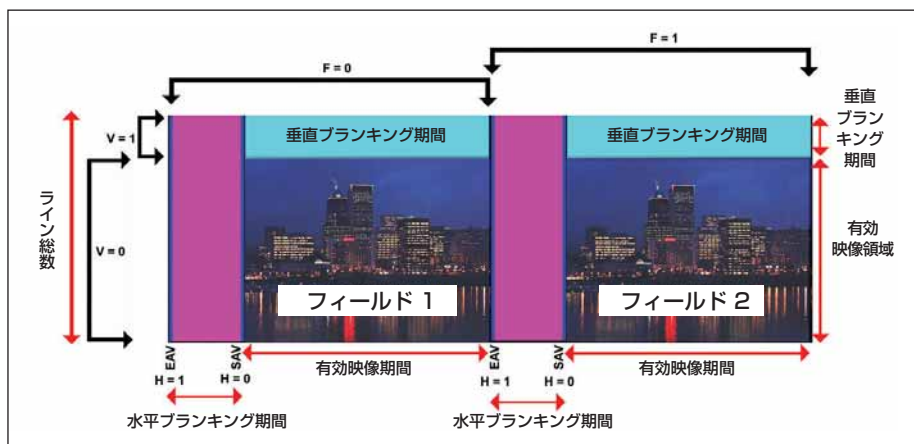


図12. 2: 1にインタレースされたデジタル映像フレーム

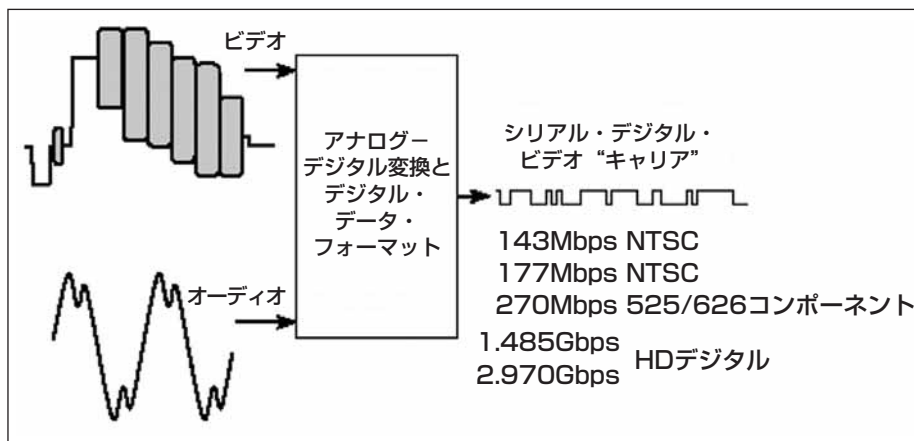


図13. アナログ情報のデジタル化概念

多数のケーブルやパッチング・パネルを必要とするため、固定されたデジタル・スタジオ装置などで利用されています。

シリアル・デジタル・インタフェース (SDI)

フォーマットにかかわらず、同軸ケーブル1本で行なうデータ伝送では、明確な必要条件が求められます。データ・レートが比較的高いという理由だけで、信号をそのまま伝送すると、信頼性の高い受信は難しくなります。高い信頼性でクロックを復元するためには、十分なエッジがあること、伝送信号の低周波数（帯域）成分を最小化すること、RF放射を最小限に抑えるためにエネルギー・スペクトルを拡散することが要求されます。このために、シリアル・デジタル・インタフェースはスクランブル処理およびNRZI変換技術が採用されています。このシリアル・インタフェースは、SDコンポーネントおよびエンベデッド・デジタル・オーディオを含むコンポジット信号に対してANSI/SMPTE 259M、ITU-R BT.656、EBU Tech. 3267で定義されています。また、HD信号を伝送するために、このシリアル・インタフェースを拡張したバージョンが規定されています。

概念的には、このシリアル・デジタル・インタフェースはスタジオ設備を構築するための伝送システムのひとつであると換言できます。ベースバンド・ビデオ信号およびオーディオ信号は各々デジタル化されて結合され、図13で示すようにシリアル・デジタル・ビデオ信号になります。これは、厳密に言うとはベースバンド・デジタル信号であり、搬送波上で変調された信号を扱った（RF）伝送システムではないことに注意してください。ビット・レートは、デジタル・データのクロック・レートによって決定されます。SDコンポーネント・デジタルでは270Mbps、HDフォーマットでは1.485Gbps（または2.97Gbps）になります。（その他のレートとして、NTSCおよびPALコンポジット・シリアル・インタフェース用の143Mbpsおよび177Mbpsが使用されていますが、これらについては本入門書では省略します。）

アナログ信号コンポーネントのサンプリングされた平行データは、図14で示すようなプロセスで処理されてシリアルデータ・ストリームに変換されます。平行・クロックによりサンプルデータはシフトレジスタに読み込まれ、各10ビット・ワードのシリアルデータに変換されます。データレートは平行・クロックの10倍となり、LSBから順次出力されます。8ビットで量子化された場合は、10ビット・ワードとして扱えるように下位2ビットにゼロ「0」を挿入します。コンポーネント・フォーマットでは、平行・インタフェース上のEAVとSAVIは、ワードデータによるフレーミング動作を識別するために独自のシーケンスに変換されます。EAVおよびSAVの符号化については、本書のデジタル・スタジオ同期およびタイミングのセクションで説明します。オーディオなどの補助データが平行信号に挿入されている場合はそれもシリアル・ストリームに多重され、伝送されます。

シリアル化されたデータ・ストリームは、以下のG1(X)多項式によりスクランブルされ、G2(X)でNRZI (Non-Return to Zero Inverted) に符号化されます。

$$G_1(X) = X^9 + X^4 + 1$$

$$G_2(X) = X + 1$$

信号をスクランブルすることでDC成分を低減し、クロックの復元を安定して行えるようにトランジションを増やします。また、NRZIに変換することで、信号の極性を意識しなくてよくなります。

受信機においては、このアルゴリズムの逆プロセスとしてシリアル/平行変換が行われて、元のデータが出力されます。別にクロック・ラインを持つ平行・システムと異なり、シリアル・デジタル伝送システムでは、クロックをストリーム中に内包し受信機で再生して使用します。データをスクランブルすることにより、トランジションは多くなり、安定したクロック再生が容易に行えます。システムのストレス・テスト (デジタル・システムのテストのセクションを参照) では、高いDC成分を持つシーケンスとトランジションの回数を最小にした特異なテスト信号 (パソジカル信号) が開発されており、それを使用してSDI受信機の回路の性能をテストできます。シリアル・デジタル・システムの機器は、この信号によってストレスが与えられても障害を発生しないように設計されています。

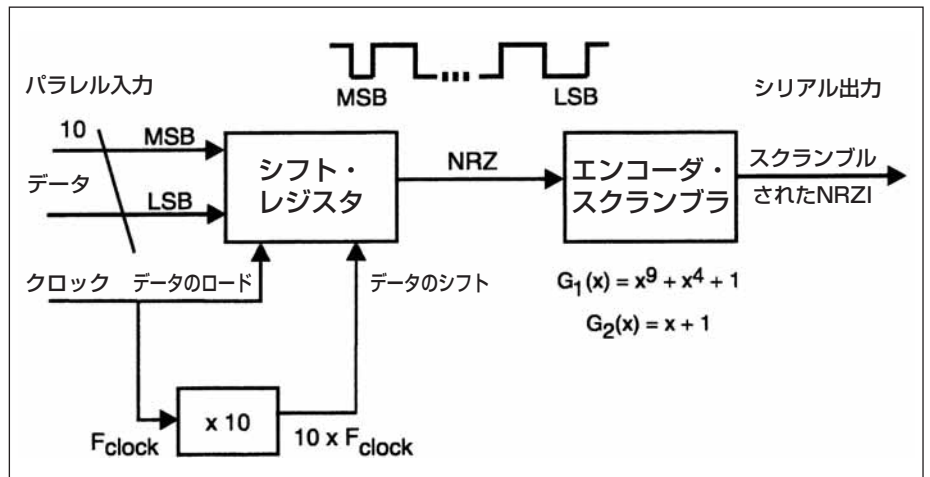


図14. 平行/シリアル変換

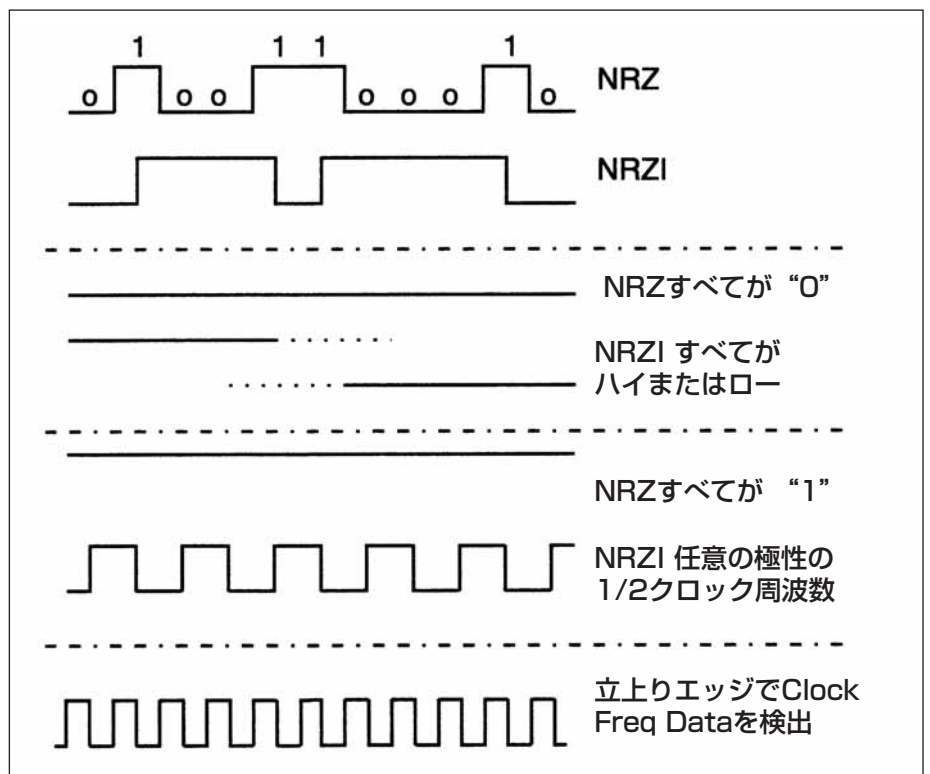


図15. NRZとNRZIとの関係

NRZIへ符号化すると、シリアル・データ・ストリームの極性を意識しなくて済みます。NRZ (non return to zero) の論理レベルは、high = "1"、low = "0" を使用します。伝送システムでは、受信機で信号の極性を意識しない方式が便利です。NRZIでは、図15で示すように、"1" を表すためにデータ・トランジションが起こり、データ"0" ではトランジションは起こりません。信号の極性に関係なく、トランジションを検出することでデータを認識できるようになります。NRZIの符号化によるもう一つのメリットは、すべて"1" が並んだ信号でもクロック周期ごとにトランジションを発生せさせることができるということです。そして、それはクロック周波数の半分の周波数の矩形波になります。しかし、連続した"0" ではトランジションを発生しないのでスクランブルが必要になります。受信機でクロック周波数の矩形波の立上りエッジはデータ検出に使用されます。

シリアル・デジタル・インタフェースは、適切に設計された75Ωのビデオ・ケーブル、コネクタおよびパッチ・パネルを使用する必要があります。一例として、T型コネクタなどで終端されていない機器を接続すると、アナログ・ビデオでは反射による影響は発見できませんが、シリアル・デジタル・ビデオでは、データ・エラーを引き起こす可能性があります。

パラレルおよびシリアル・コンポーネント・ビデオに関する内容は、基本的にはSDおよびHDフォーマットどちらにも共通です。サンプリングと量子化、同期、フォーマットという意味においては概念的にはほぼ同じです。サンプリング・レートがより高いHDフォーマットでは、補助データに使用できるデータ領域は多くなります。HDフォーマットでは、ラインのナンバリング・ワードおよびエラー・チェック・ワードを持ち、マルチチャンネルのオーディオに割り当てることができる十分な領域を持っています。しかし、原理はSDでもHDフォーマットでも同じです。1つのコンポーネント・デジタル・フォーマットを理解しておく、その他のものを理解することは簡単です。本入門書では、その違いを示していきます。デジタルSDおよびHDビデオのフォーマットの違いを説明し、タイミングおよび同期のセクションで比較します。

SDのデジタル化手法に基づくHDビデオ

デジタルHDへ移行していく上で、私たちはSDで学んだ基本原理を応用していくことができ、HDTVの特定な要件に対して当てはめることができます。アナログ信号をサンプリングする方法は、同じ原理を応用し、より高いチャンネル周波数とサンプル・レートを使用します。デジタル信号を処理する方法も同じ原理です。より高いデータ・レートで処理するため、システム設計には多くの注意が必要になります。

HDテレビにはさまざまなフォーマットが存在しています。これは、放送エンジニアに幅広い柔軟性を与えますが、放送システムをますます複雑にしている原因にもなっています。

HDビデオの作成および処理のために走査フォーマット、アナログ・インタフェース、パラレル・デジタル・インタフェースおよびシリアル・デジタル・インタフェースが規格化されています。主な規格は以下のとおりです。

- **ANSI/SMPTE 240M, Television — Signal Parameters — 1125-Line High-Definition Production Systems (1125ラインHDシステムのスタジオアナログ規格)**：60Hzおよび59.94Hzのフィールド・レートで走査線数1125 (アクティブ1035) システムで動作するアナログ・ビデオ信号の基本仕様が定義されています。
- **SMPTE 260M Television — Digital Representation and Bit-Parallel Interface — 1125/60 High Definition Production System (1125/60 HDシステムの符号化およびパラレル・インタフェース規格)**：ANSI/SMPTE 240Mによるアナログ形式で定義された1125/60 HD信号の量子化レベルについて定義されています。
- **ANSI/SMPTE 274M Television — 1920×1080 Scanning and Analog and Parallel Digital Interfaces for Multiple Picture Rates (1920×1080フォーマットのスタジオアナログ規格、符号化並びにパラレル・デジタル・インタフェース規格)**：1920ピクセル×1080ラインの有効映像領域と16：9のアスペクト比を持つ一連の走査フォーマットが定義されています。
- **ANSI/SMPTE 292M Television — Bit-Serial Digital Interface for High-Definition Television Systems (HDTVシステムに使用するシリアル・デジタル・インタフェース (SDI) 規格)**：1.485Gbpsおよび1.485/1.001Gbpsで動作するHDコンポーネント信号に使用するビット・シリアル・デジタル同軸ケーブルおよび光ファイバ・インタフェースが定義されています。
- **ANSI/SMPTE 296M Television — 1280 x 720 Scanning, Analog and Digital Representation and Analog Interface (1280×720フォーマットのスタジオアナログ規格、符号化並びにアナログ・インタフェース規格)**：1280ピクセル×720ラインの有効映像領域と16：9のアスペクト比を持つ一連のプログレッシブ走査フォーマットが定義されています。1280ピクセル×720ラインの有効映像領域と16：9のアスペクト比を持つ一連の走査フォーマットが定義されています。
- **ANSI/SMPTE 372M Television — Dual Link 292M Interface (HD-SDIのデュアル・リンク規格)**：2つのHD-SDIリンクを使用した10または12ビット・フォーマットで1080i/p Y'Cb'Cr'/R'G'B'フォーマットおよび伝送方式が定義されています。
- **ANSI/SMPTE 424M Television — 3Gb/s Signal/Data Serial Interface (3Gbps-SDIシングル・リンク規格)**：一本の同軸インタフェースで3Gbpsシリアル・デジタル信号を伝送する方法が定義されています。
- **ANSI/SMPTE 425M Television — 3Gb/s Signal/Data Serial Interface — Source Image Format Mapping (3Gbps-SDI — ソース画像フォーマットのマッピング規格)**：3Gbpsのシングル転送インタフェース上で1920×1080および2048×1080画像フォーマットを伝送する方法が定義されています。

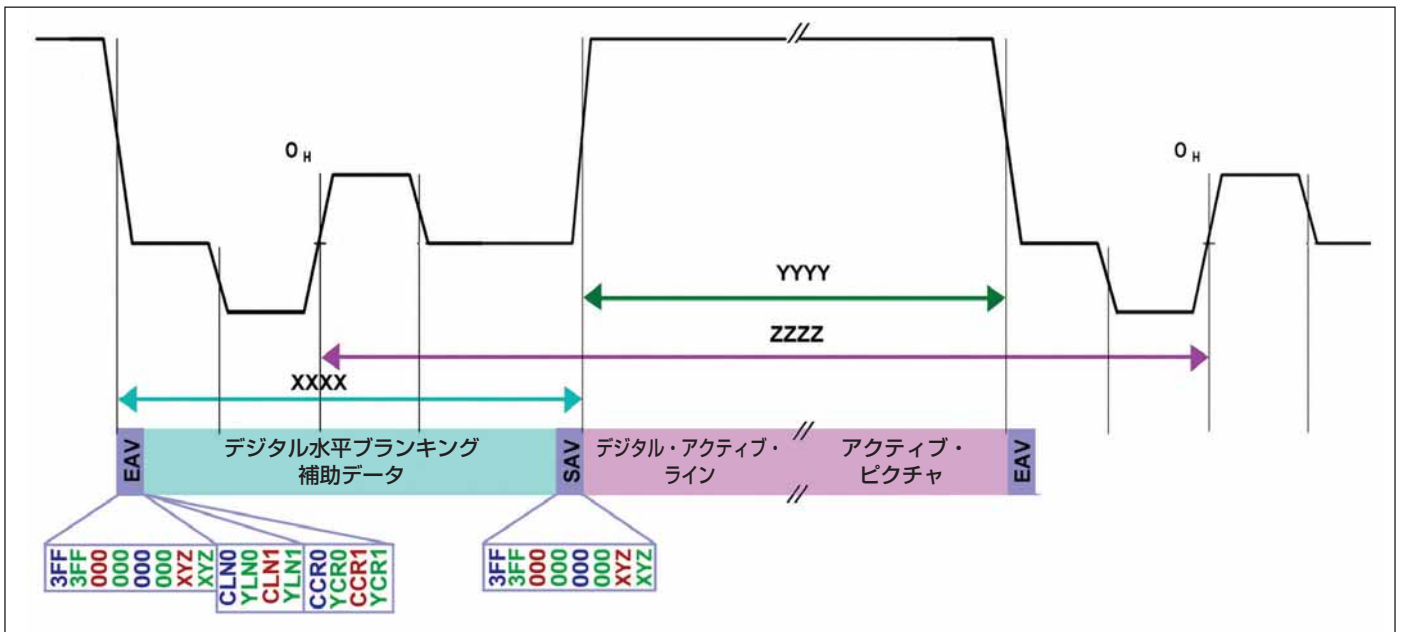


図16. デジタルHD走査線の同期データ対アナログ信号の関係

| ワード | 9 (MSB) | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 (LSB) |
|-----|---------|----------|----------|----------|-----|----|----|----|----------|----------|
| LN0 | 反転 B8 | L6 | L5 | L4 | L3 | L2 | L1 | L0 | R (0) | R (0) |
| LN1 | 反転 B8 | R (0) | R (0) | R (0) | L10 | L9 | L8 | L7 | R (0) | R (0) |

表3. ライン番号ワード

HDビデオのアナログRGBコンポーネントの帯域幅は、1080インタレースおよび720プログレッシブ走査では30MHz、1080プログレッシブ走査では60MHzです。このため、高いサンプル・レートでマトリクス化されたルミナンス信号と色差信号をデジタル化する必要があります。30MHzの帯域幅を持つルミナンスは、74.25MHzでサンプリングされ、15MHzの帯域幅を持つ色差信号は半分の37.125MHzでおおの10ビットの分解能でサンプリングされます。YとC'b、C'rワードはSDと同じようにC'b、Y、C'r、Yの順に平行・ストリームとなり、スクランブル処理、NRZI変換を経て、1.485Gbpsのデータ・ストリームにシリアル化されます。59.94Hz、29.97Hz、23.98Hzのフレーム・レートを持つフォーマットでは、クロック・レートを1.001で除算する必要があります。

クロミナンスおよびルミナンス信号の量子化レベル（図9および10を参照）は、SDとHD信号に使用するものと同じです。10進数の10ビット・コードワード0、1、2、3および1020、1021、1022、1023は値として除外されています。EAVおよびSAVのコードワードは、SDとHDに対して同じように機能します。

HDフォーマットのEAVおよびSAVに追加されたデータ・ワードは、

ルミナンスと2つの色差信号チャンネルごとにライン番号の付加と、ラインごとのデータ誤り検出用途に使用されます。

図16は、HDビデオ信号における水平走査線（ライン）のデータ構造とアナログHDビデオのタイミング関係を図解しています。

HDフォーマットでは、4-ワードEAVシーケンスの後に2-ワードのライン番号（LN0およびLN1）と、それに続く2-ワードのCRC（YCR0とYCR1）データが付加されます。表3で示すようにLN0とLN1は、ライン番号をL0からL10の11ビット・バイナリ値で表現しています。たとえば、ライン1125（10001100101b）LN0 = 394_hおよびLN1 = 220_hになります。

HDでのCRCチェックは、各ラインのルミナンスおよびクロミナンス信号に対して個別に実行されます。初期値をゼロ（0）として有効ライン・ワードの始まりからライン番号ワードLN1の最後のワードに対し、計算式CRC(X) = X¹⁸+X⁵+X⁴+1を用いて演算されます。CRC値はデジタル・アクティブ・ラインのデータ誤りの検出に使用されます。その後、表4で示すように4ワードに配分されます。ルミナンスのCRC値はYCR0とYCR1に、色差のCRC値はCCR0とCCR1に配置されます。

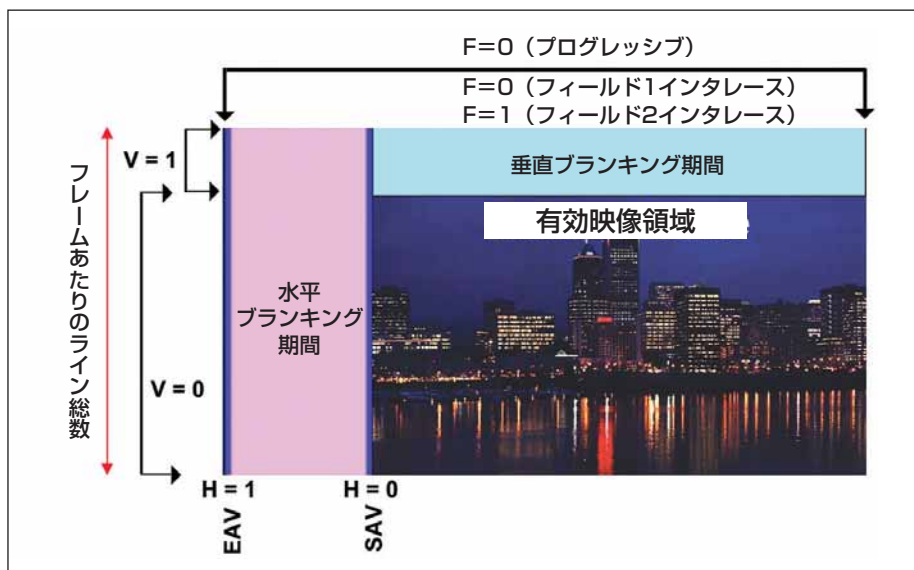


図17. V、F、およびHビット値が示すデジタル・フレームの空間レイアウト

| ワード | 9 (MSB) | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 (LSB) |
|------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| YCR0 | 反転 B8 | CRC8 | CRC7 | CRC6 | CRC5 | CRC4 | CRC3 | CRC2 | CRC1 | CRC0 |
| YCR1 | 反転 B8 | CRC17 | CRC16 | CRC15 | CRC14 | CRC13 | CRC12 | CRC11 | CRC10 | CRC9 |
| CCR0 | 反転 B8 | CRC8 | CRC7 | CRC6 | CRC5 | CRC4 | CRC3 | CRC2 | CRC1 | CRC0 |
| CCR1 | 反転 B8 | CRC17 | CRC16 | CRC15 | CRC14 | CRC13 | CRC12 | CRC11 | CRC10 | CRC9 |

表4. HDフォーマットのルミナンスおよびクロミナンス信号のCRCワード

ルミナンスおよびクロミナンス信号のCRC値により、伝送されたビデオ信号のデータ誤りエラー発生の有無を測定器を使用してチェックすることができます。

SDフォーマットでは、EAVはXYZで終了し、ライン番号を示すワードを持ちません。また、アクティブ画像領域のCRCおよびフル・フィールド領域のCRC（垂直期間信号のスイッチングのために用意された時間を除いて）は、SMPTE RP-165で規格されており、垂直ブランキング期間でフィールドごとに1回ずつ挿入されます（オプション）。

EAVおよびSAV（図17）間の水平ブランキング・エリアのすべてのワードは、補助データを使用しない限りブラック（ $Y'=040_h$ 、 $C'b$ および $C'r=200_h$ ）となります。

タイミングと同期

関連する各種標準規格書によって、エンド・トゥー・エンドのビデオ・チェーンにあるすべての機器間の相互交換や相互運用を可能にするために仕様が規定されています。これらの標準仕様により、相互運用における問題をなくし、経済的な運用が可能になります。これらの規格は、番組の制作から家庭での視聴に及ぶすべての機器に適用される必要があります。

米国規格協会（ANSI）、映画テレビ技術者協会（SMPTE）、オーディオ技術学会（AES）、および国際電気通信連合（ITU）は、ビデオやオーディオに関する参照規格や勧告を公表しています。「付録D — テレビに関する参照規格」に列挙されている代表的な標準規格書や勧告書には、互換性や規制順守に関する項目が定義されています。これらの団体で発行された標準規格書は、各システムの仕様を的確に説明するのに非常に役立ちます。以下は、標準化された数多くのフォーマットを幅広く理解するために、これらの規格について説明したものです。

正しくビデオ画像を作成、伝送、および視聴するためには、すべての機器の同期を取る必要があります。テレビ・カメラは、画面の特定位置の画像をサンプリングします。受像機のディスプレイに表示する際は、カメラでサンプリングされた位置と同じ位置に表示しなければなりません。同期信号により、複数のカメラやビデオ装置と同期をとることができ、ディスプレイは画像を正常な位置に表示することができます。

カメラと最終ディスプレイは撮像素子と表示素子の走査方法が一致していなければなりません。また、カメラは走査の開始タイミングをディスプレイに供給し、ディスプレイは正確に表示を開始する必要があります。同期は水平ライン毎に1回、フレーム毎に1回（2：1のインタレース・フォーマットでは2回）の同期情報により行われます。放送局などのスタジオ設備では、同期情報はマスタ同期信号発生器から供給されます。小規模システムでは、1台のカメラから別のビデオ・ソースに同期情報を供給する場合があります。

アナログ・ビデオのタイミング

SDアナログ・コンポジット映像信号方式には、PAL-M方式、PAL-N方式、セットアップ付NTSC方式、セットアップ無しNTSC方式、SECAM方式の6種類があります。さらに、一部の国では放送用の伝送帯域幅の広域化により、より高いビデオ帯域幅を持たせている場合があります。SECAM方式採用国のスタジオ制作では、コンポーネント信号フォーマットまたはPAL方式でビデオ制作が行われ、伝送のためにSECAM方式に変換しています。SECAM方式とPAL方式のビデオ・フォーマット仕様は同じですが、クロミナンス信号情報をルミナンス・ビデオに変調する方法に違いがあります。

スタジオのビデオ信号は連続したストリーム情報ですが、別の機器とタイミングを一致させるために遅延などの調整を施すことがあります。また、VTRなどに一旦記録して再生することもあります。しかし、それを送信する際は、受像機で表示に必要なすべての情報をリアルタイムに伝送する必要があります。ビデオ信号は、画像情報として正確に画像を再現するためのタイミング情報を含んでいる必要があります。タイミング情報には、各走査ラインの開始を示す水平同期パルスまたはデータ・ワードと画面の最上部（フレームの開始）を示す垂直同期パルスがあります。

NTSCまたはPALコンポジット・ビデオ・フォーマットでは、ビデオおよびタイミング情報を簡単に確認できます。ビデオ波形モニターには、ビデオ水平ライン、水平ブランキング期間、全ラインのスweep（垂直レート）、または垂直ブランキング期間のラインを表示するためにスweep・レート（掃引速度）があらかじめ設定されているため、簡単に波形を観測することができます。コンポジット・アナログ・ビデオは、ルミナンス・ビデオと同期情報が時分割多重されたものと言えます。またクロミナンス情報は、2つの色差チャンネルを周波数分割多重したものと言えます。

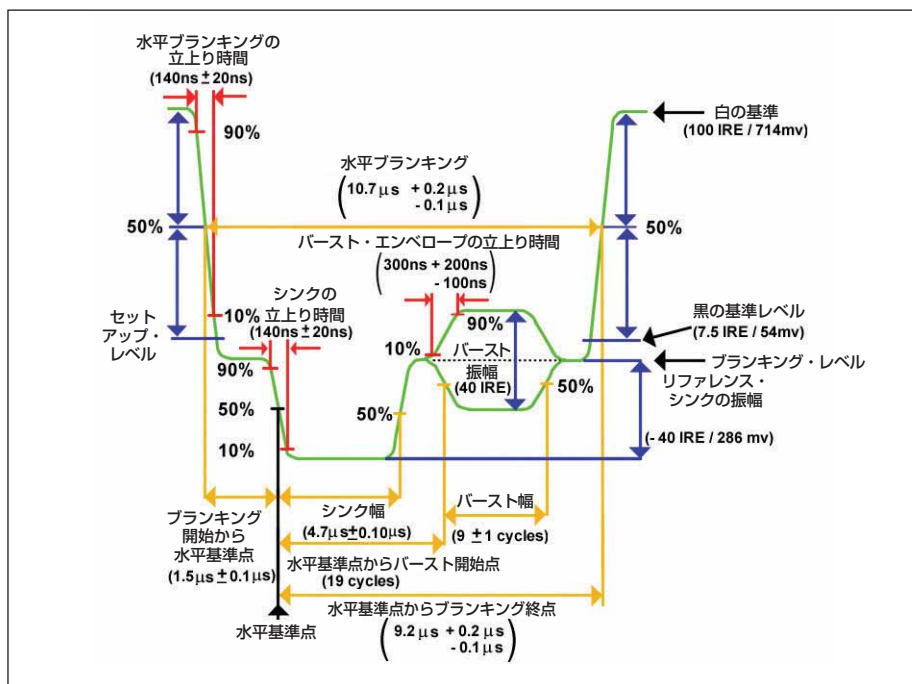


図18. NTSC方式の水平ブランキング期間

水平同期タイミング

525/59.94 NTSC方式 (図18) と625/50 PAL方式 (図19) の走査フォーマットに関する水平同期タイミング信号の考え方は大体同じです。これは、1900年代の中頃に使用されていたカメラやディスプレイ機器の技術的制約のなかで開発されたものです。水平ブランキング期間は1ライン毎に1回発生し、垂直ブランキング期間では垂直同期用に修正されています。

水平同期のフロント・ポーチ部分 (ブランキング開始から水平基準点) は、ビデオの各ラインで表示装置のビームがスクリーンの右端で走査を終了する時間を規定しています。同期パルスの立下りエッジ (または、リーディング・エッジ (leading edge)) の50%ポイントがシステム上のタイミング・リファレンス (Horizontal Reference) を示し、ビーム走査を開始する指標になっています。ブランキング期間 (Horizontal Blanking) では、表示装置を発光させません。リファレンス白レベル (Ref. White Level) と黒レベル (Ref. Black Level) が規定されています。国によってはリファレンス黒レベルを7.5 IREまたは0 IREで運用しています。カラー・バースト・サブキャリア (Color Burst) はクロミナンス信号情報の復調用に、受信機のカラー・サブキャリアの同期を取るためのリファレンス信号として使用されます。

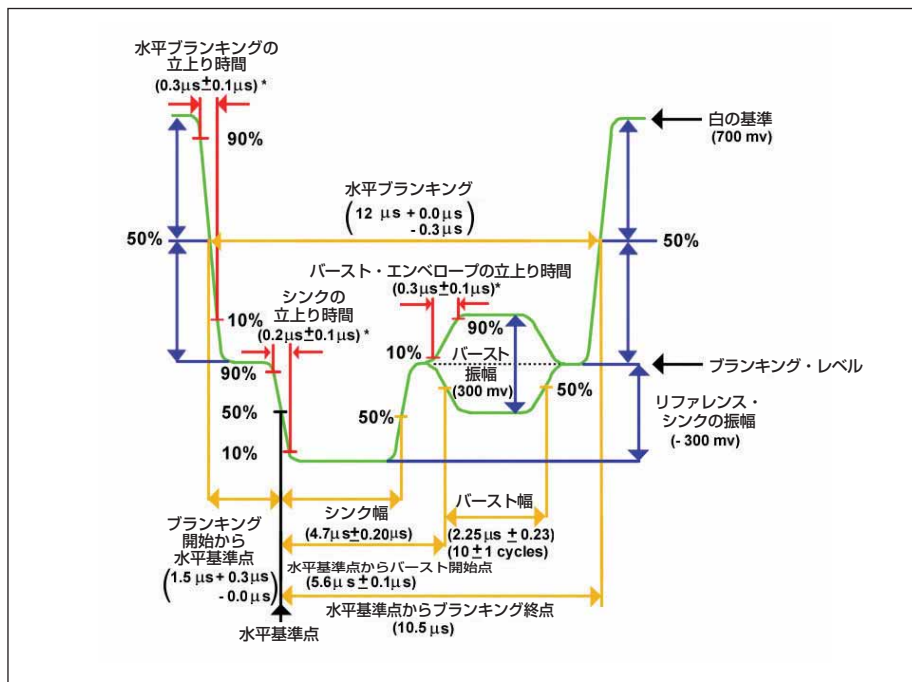


図19. PAL方式の水平ブランキング期間

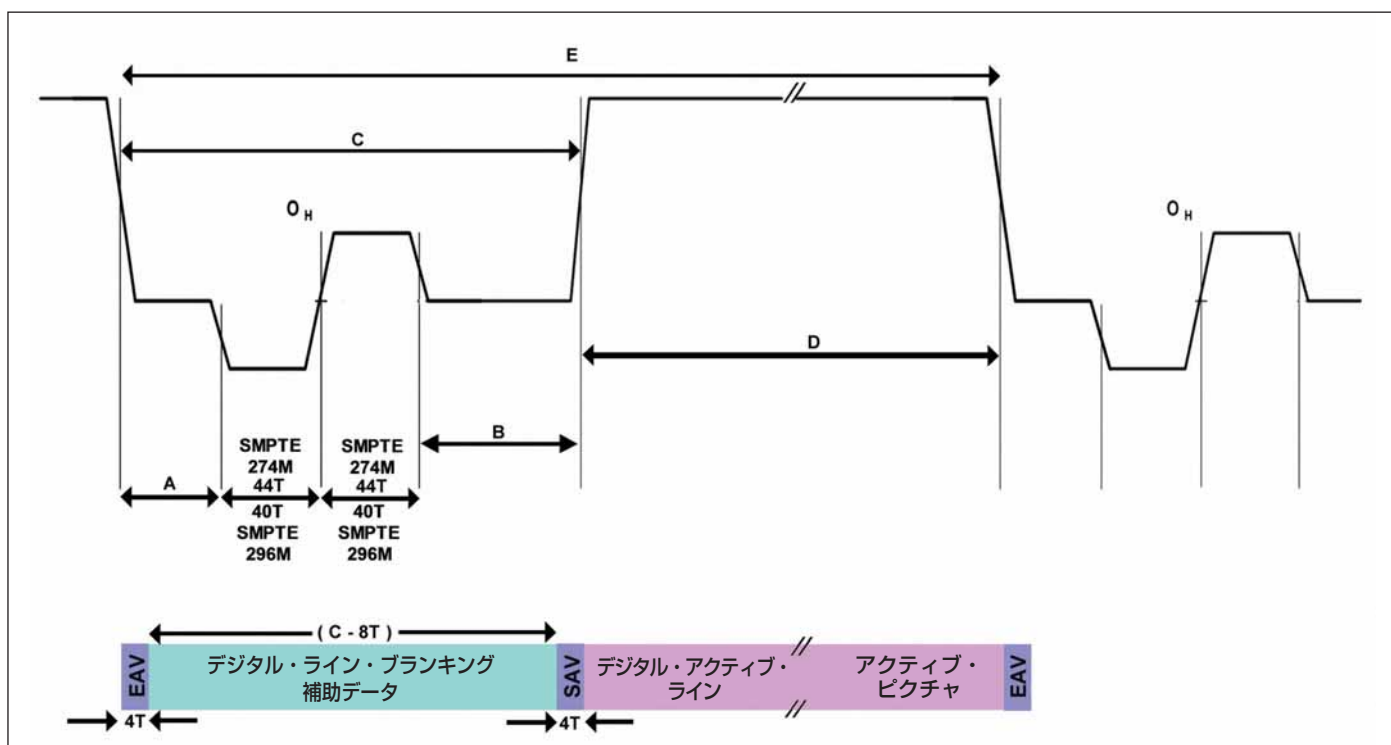


図20. HDビデオ信号の水平同期タイミング

従来のアナログ・ビデオの水平走査線（ライン）は、2値（バイレベル）同期パルスの立下りエッジ（または、リーディング・エッジ（leading edge））の50%ポイントで始まり、次の水平ビデオ・ラインの同じポイントで終了します。HDビデオ方式のアナログ信号フォーマットの同期信号は、最初にブランキング・レベル以下のパルスとそれに続くブランキング・レベルを超えるパルスで構成された3値（トライレベル）同期パルスが使用されます。3値シンクでは、低いパルスから高いパルスへ遷移する立上がり部分（OH）をタイミング・リファレンスとして使用します（図20および表5）。

タイミング信号に対する画像の空間的位置関係を、図21に示します。プログレッシブ走査方式の1：1フォーマットでは、フレームを最上部から最下部へ一度で走査します。インタレース走査の2：1フォーマットでは、最上部から最下部への最初のパスで半分のラインを走査し、2回目の走査で、前に走査したライン間を走査します。

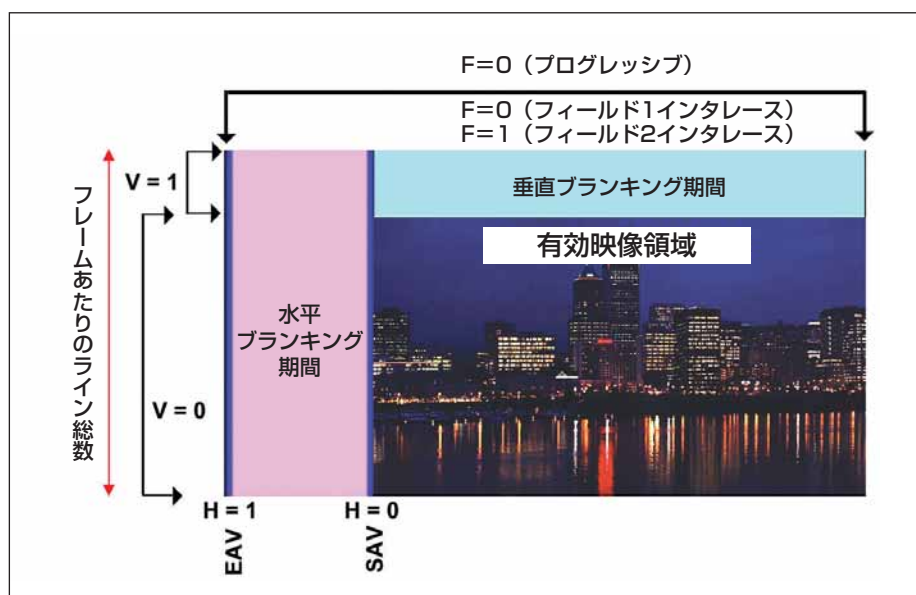


図21. ビデオ・フレームの空間レイアウト

| フォーマット | サンプリング周波数 (MHz) (1/T) | A | B | C | D | E |
|---------------------|-----------------------|-------|------|-------|-------|-------|
| 1920×1080 60 1:1 | 148.5 | 44T | 148T | 280T | 1920T | 2200T |
| 1920×1080 59.94 1:1 | 148.5/1.001 | 44T | 148T | 280T | 1920T | 2200T |
| 1920×1080 60 2:1 | 74.25 | 44T | 148T | 280T | 1920T | 2200T |
| 1920×1080 59.94 2:1 | 74.25/1.001 | 44T | 148T | 280T | 1920T | 2200T |
| 1920×1080 30 1:1 | 74.25 | 44T | 148T | 280T | 1920T | 2200T |
| 1920×1080 29.97 1:1 | 74.25/1.001 | 44T | 148T | 280T | 1920T | 2200T |
| 1920×1080 50 1:1 | 148.5 | 484T | 148T | 720T | 1920T | 2640T |
| 1920×1080 50 2:1 | 74.25 | 484T | 148T | 720T | 1920T | 2640T |
| 1920×1080 25 1:1 | 74.25 | 484T | 148T | 720T | 1920T | 2640T |
| 1920×1080 24 1:1 | 74.25 | 594T | 148T | 830T | 1920T | 2750T |
| 1920×1080 23.98 1:1 | 74.25/1.001 | 594T | 148T | 830T | 1920T | 2750T |
| 1280×720 60 1:1 | 74.25 | 70T | 220T | 370T | 1280T | 1650T |
| 1280×720 59.94 1:1 | 74.25/1.001 | 70T | 220T | 370T | 1280T | 1650T |
| 1280×720 50 1:1 | 74.25 | 400T | 220T | 700T | 1280T | 1980T |
| 1280×720 30 1:1 | 74.25 | 1720T | 220T | 2020T | 1280T | 3300T |
| 1280×720 29.97 1:1 | 74.25/1.001 | 1720T | 220T | 2020T | 1280T | 3300T |
| 1280×720 25 1:1 | 74.25 | 2380T | 220T | 2680T | 1280T | 3960T |
| 1280×720 24 1:1 | 74.25 | 2545T | 220T | 2845T | 1280T | 4125T |
| 1280×720 23.98 | 74.25/1.001 | 2545T | 220T | 2845T | 1280T | 4125T |

表5. HDビデオ方式のサンプリング・クロック・サイクル (T) とライン・タイミング

垂直同期タイミング

垂直同期タイミングは、水平同期パルスの形状と発生頻度を変更し、等化パルスを追加しています。垂直ブランキング期間（図22のNTSC方式、図23のPAL方式）には20～25のビデオ・ラインがあり、波形モニタで2フィールド表示すると画面の中央に表示されます。

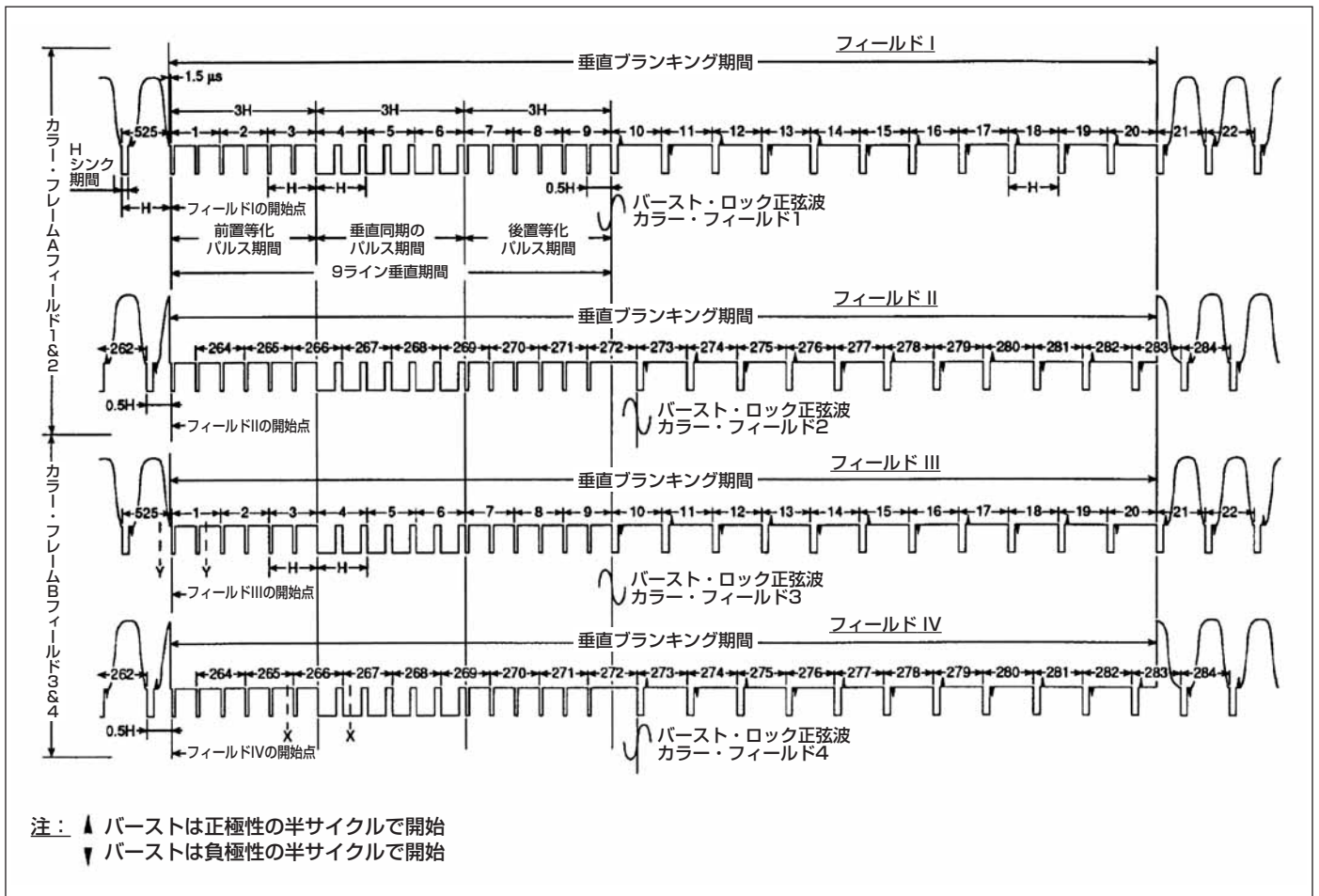


図22. NTSC方式の垂直ブランキング期間

図22と図23で示されている複数のパターンは、NTSCとPALフォーマットの2:1インタレース方式で最初のビデオ・ラインの開始位置が画面の左端から始まる場合と、画面の中央から開始する場合を表しています。カラー・サブキャリア信号をディスプレイ上で目立たせなくするために、垂直同期に対し位相が変化するように周波数が決定されています。NTSCでは4フィールド、PALでは8フィールドで元の位相関係に戻ります。

図22には、4フィールドNTSCカラー・フレームが示されています。カラー・サブキャリアは4つのフィールドの後に垂直同期と同じ位相関係に戻ります。

図23は、インタレースされたフレームを生成するPAL垂直ブランキング期間を示しています。25HzオフセットされたPALサブキャリアの位相は、8フィールド後に垂直同期と同じ位相関係になります。SECAMの水平および垂直同期タイミングはPALとよく似ていますが、クロミナンス信号をルミナンス信号に変調する方法が異なります。

PALまたはNTSCの垂直同期パターンとカラー・サブキャリアの位相関係は、ビデオ・ソースを切り替えたり合成する場合に考慮する必要があります。

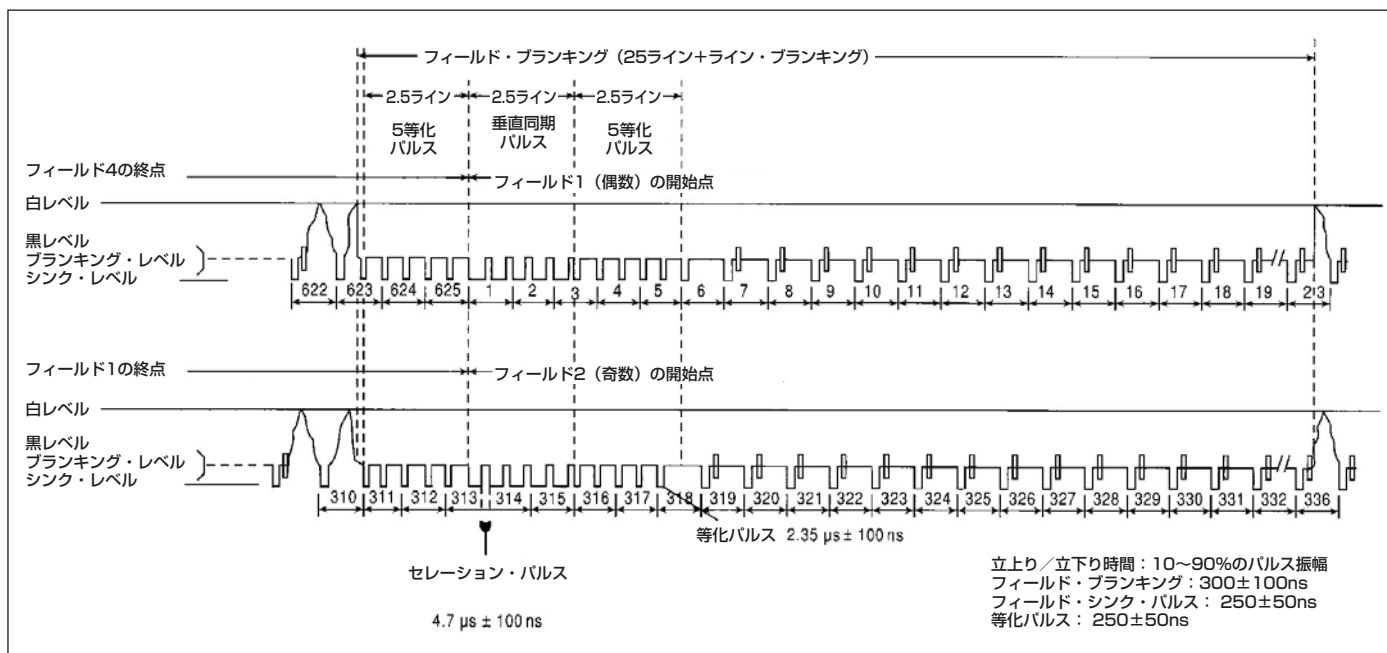


図23. PAL方式の垂直ブランキング期間

この関係は、SCH (Subcarrier-to-Horizontal) 位相と呼ばれています。コンポーネント・ビデオでは、クロミナンス情報が変調されたサブキャリアで表現されていないので、カラー画像を構成する3つのチャンネルのタイミングに注意を払う必要があります。

NTSCのライン番号は、ビデオの最後のフルラインの後にくる最初の垂直等化パルスで始まり、各フィールド (262.5ライン) が続きます。PALやほとんどのアナログHDフォーマットのライン番号は、

最後のビデオのハーフ・ラインの後の垂直同期パルスで始まり、そのカウントはフルフレーム (PALでは625ライン) を通して連続して行われます。HDには、図24に示すとおりプログレッシブとインタレースの走査フォーマットがあります。HDでは3値 (トライレベル) 同期パルスが使用されているため、垂直同期パルスの5つのラインは、SDとわずかに異なります。

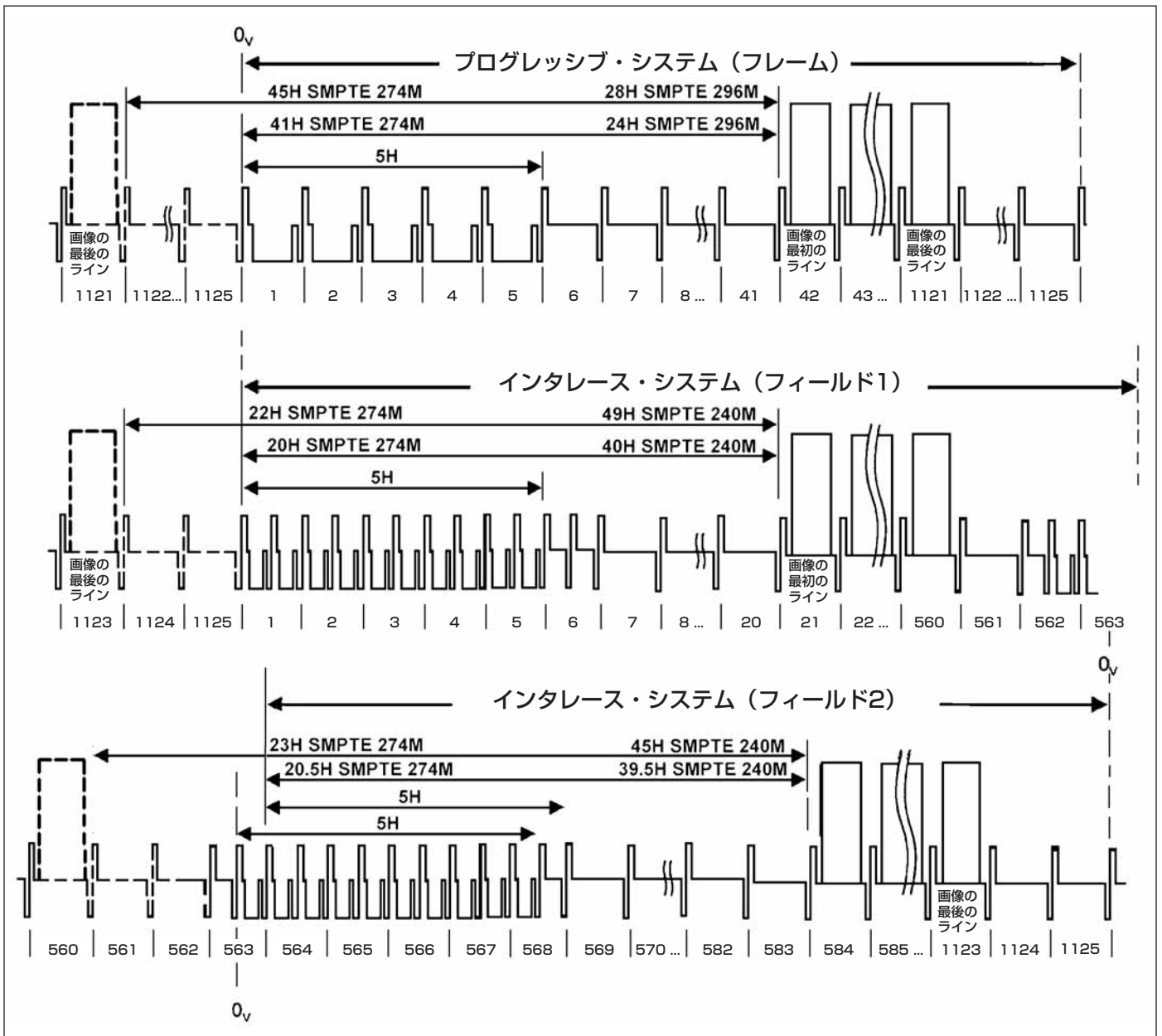


図24. アナログHD方式の垂直ブランキング期間

| | 1125/60/2:1 (1125/59.94/2:1) | 1125/50/2:1 | 750/60/1:1 (750/59.94/1:1) | 750/50/1:1 |
|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| 同期信号タイプ | トライレベル極性 | トライレベル極性 | トライレベル極性 | トライレベル極性 |
| 水平タイミング、立上り 50%エッジ | タイミング50ポイント、 立上り50%エッジ | タイミング50ポイント、 立上り50%エッジ | タイミング50ポイント、 立上り50%エッジ | タイミング50ポイント |
| 合計ライン数/フレーム | 1125 | 1125 | 750 | 750 |
| アクティブ・ビデオ・ ライン数/フレーム | 1080 | 1080 | 720 | 720 |
| フィールド周波数 | 60 (59.94) Hz | 50Hz | 60 (59.94) Hz | 50Hz |
| ライン周波数 | 33.750kHz (33.7163kHz) | 28.125kHz | 45kHz (44.955kHz) | 37.5 kHz |
| ライン周期 | 29.6296 μ s (29.6593 μ s) | 35.556 μ s | 22.222 μ s (22.2444 μ s) | 22.667 μ s |
| ライン・ブランキング | 3.771 μ s (3.775 μ s) | 9.697 μ s | 4.983 μ s (4.988 μ s) | 9.428 μ s |
| タイミング・リファレンス からSAVまでの期間 | 2.586 μ s (2.588 μ s) | 2.586 μ s | 3.502 μ s (3.505 μ s) | 3.502 μ s |
| EAVからタイミング・ リファレンスまでの期間 | 1.185 μ s (1.186 μ s) | 7.084 μ s | 1.481 μ s (1.485 μ s) | 5.926 μ s |
| ネガティブ同期信号幅 | 0.593 μ s | 0.593 μ s | 0.538 μ s | 0.538 μ s |
| ポジティブ同期信号幅 | 0.593 μ s | 0.593 μ s | 0.538 μ s | 0.538 μ s |
| 同期信号振幅 | \pm 300mV | \pm 300mV | \pm 300mV | \pm 300mV |
| 同期立上り/立下り | 0.054 μ s | 0.054 μ s | 0.054 μ s | 0.054 μ s |
| フィールド周期 | 16.67ms (16.68ms) | 20ms | 16.67ms (16.68ms) | 20ms |
| フィールド・ブランキング幅 | 45ライン | 45ライン | 30ライン | 30ライン |
| ビデオ信号の振幅 | 700mV | 700mV | 700mV | 700mV |
| 公称信号帯域幅 | 30MHz R, G, B 30MHz | 30MHz R, G, B 30MHz | 30MHz R, G, B 30MHz | 30MHz R, G, B 30MHz |

表6. アナログHD方式のタイミング・パラメータ

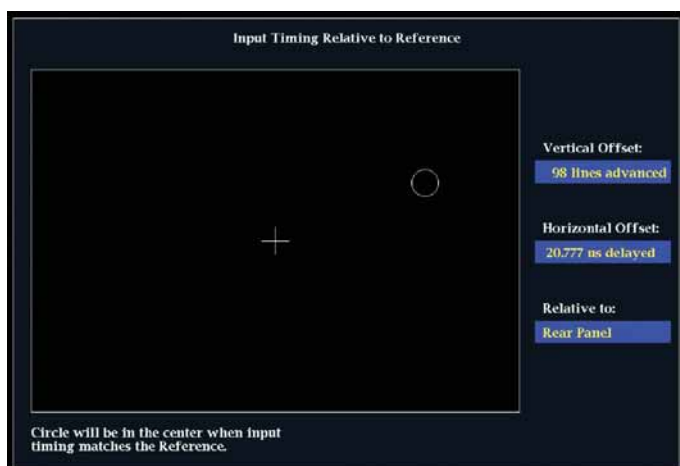


図25. WVR7120/WFM7120型の (システム) タイミング表示の例



図26. (システム) タイミング表示の解説

アナログHDコンポーネント・ビデオの各種パラメータ

ANSI/SMPTE 240Mには、1125/60 (59.94) /2 : 1フォーマットのアナログHDビデオが定義されています。ITU-R BT.709 (Part 1) には、1125/60/2 : 1と1250/50/2 : 1の両方が承認されています (しかし、1250/50/2 : 1フォーマットは使用されていません)。これらのアナログ・レート、それに相当するデジタルのタイミングとの関係を表6に示します。

当社は、WFM/WVRシリーズ波形モニター/ラスタライザでアナログ映像/デジタル映像のシステム・タイミングを検証する独自の方法を開発しました。このシステム・タイミング表示には、外部リファレンス信号と入力信号の相対タイミングをグラフィック表示するとともに、2つの信号間の時間差をリードアウト表示します。入力信号には、HD-SDI、SD-SDIまたはアナログ・コンポジット信号をサポートし、外部リファレンス入力としてアナログ・ブラック・バースト同期信号またはトライレベル同期信号が使用されます。

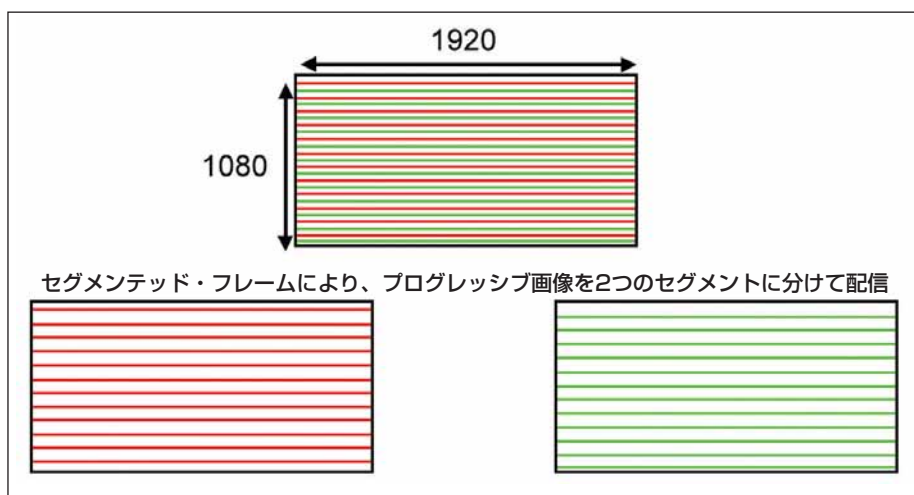


図27. プログレッシブ・フレームのセグメント変換

このシステム・タイミングはグラフィカルに表示されますが、中央のクロスヘアはリファレンス入力のタイミングを示し、入力信号のタイミングは円カーソルで表示されます。1ライン以上のタイミング差は垂直ラインの偏差として示され、1ライン以下のタイミング・エラーは水平方向の偏差として示されます（図26）。入力とリファレンス信号のタイミングが一致すると、円カーソルとクロスヘアが重なり、カーソルの色が白色から緑色に変わります。

このタイミング測定では、オフセットを与えることが可能です。通常、波形モニタの後部パネル入力端子でリファレンス入力と被測定信号のタイミングが一致したときにゼロになります。測定値にオフセットを適用する方法もあります。このモードでは、一度計測したタイミングを保存しておき、この保存した値をオフセットとしてタイミング計測を行うものです。これはルータなど、遅延を発生する装置を含むシステムのタイミングを調整するとき特に有用です。ルータの入力信号の1つをマスタとして、外部リファレンスとのタイミングをWVRシリーズまたはWFM7x20/6120型で測定します。マスタ信号の測定値をタイミング・オフセットとして保存し、マスタ入力に対する他の信号の相対タイミング測定を行うことができます。円カーソルとクロスヘアが重なり、円が緑色に変わるまで入力信号の水平および垂直タイミングを調整します。タイミングの微調整は、画面左側にある読み取り数値を見ながら行います。これにより、ルータへの各入力はマスタ入力信号と一致させることができます。この直感的な表示を使用すると、ビデオ・システムのタイミング調整する時間を節約できます。

デジタル・スタジオの各種走査フォーマット

さまざまなフォーマットのビデオ走査規格が規定されています。この規格は、ビデオ業界での互換性を待たせることを目標にしたものです。同時に、これは汎用走査フォーマットがないことを意味し、

各地域で、使用可能な走査方式のすべてに互換性を持たせたテレビ受像機を製造することになり、実際に受像機製造メーカーはこの方向に進んでいます。これにより、世界市場向けに番組を制作している関連企業は複雑な問題に直面しています。

フォーマット変換に適した様々なデジタル・レートが存在します。ITU-R BT.709 Part2には、フレーム・レートだけでなく、デジタル仕様の正方形画素構造、共通の画像パラメータ値を持つCIF（共通画像フォーマット：Common Image Format）が定義されています。この勧告では、60、59.94、50、30、29.97、25、24、および23.976Hzのフレーム・レートのすべてに対して有効画像ライン1080、水平画素数1920でアスペクト比16（幅）×9（高さ）が規定されています。SMPTE RP 211はSMPTE 274Mを拡張し、1920×1080ファミリを30、29.97、25、24および23.976Hzの1920×1080のセグメント化されたプロダクション用のフォーマットを規定しています。これらのCIFレートは表7の1920×1080レートになります。表の1280×720レートは、ANSI/SMPTE 296Mに定義されています。SMPTE 293Mには、720×483プログレッシブ・レートが定義されています。この表にリストされたフレーム・レートおよびサンプリング周波数は、少数点第2位または第3位で四捨五入されています。非整数のフレーム・レートの場合、正確なフレームとサンプリング周波数は、1.001で除算された値になります。

セグメント化されたフレームの各種プロダクション用フォーマット

走査フォーマット表の一部の形式は、1：1SFと命名されています。

「SF」は、SMPTE RP211で規定されるセグメンテッド・フレームを指します。セグメンテッド・フレーム・フォーマットでは、プログレッシブ・フォーマットのように画像は順次走査による1フレームとしてキャプチャされます。しかし、伝送する場合は1フィールドで偶数ライン、次のフィールドで奇数ラインのように、交互にインタレース方式で走査されます。ラインの割り当ては、インタレース方式と同じですが、2つのフィールドを一回でキャプチャするため、インタレース方式において動きにより発生する空間上のミス・レジストレーション劣化を排除できます。これはプログレッシブ走査の利点を生かし、必要な信号処理量を減らし、ディスプレイの表示レートを2倍にします（24Hzから30Hzのフリッカを減少できます）。セグメンテッド・フレーム・フォーマットはそのまま取り扱うか、または図27示されているプログレッシブ・フォーマットに簡単に変換できます。

| システム名 | アクティブ・ ライン当たりの ルミナンス または R'G'B' サンプル数 | フレーム 当たりの アクティブ・ ライン数 | フレーム・ レート (Hz) | 走査 フォーマット | ルミナンス または R'G'B' サンプリング 周波数 (MHz) | ライン総数 当たりの ルミナンス・ サンプル数 | アナログ同期 の基準 タイミング・ ワード | フレーム 当たりの ライン総数 |
|-------------------------|--|--------------------------------|----------------------|--------------|--|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| 1920×1080/60/1:1 | 1920 | 1080 | 60.00 | プログレッシブ | 148.500 | 2200 | 2008 | 1125 |
| 1920×1080/59.94/1:1 | 1920 | 1080 | 59.94 | プログレッシブ | 148.352 | 2200 | 2008 | 1125 |
| 1920×1080/50/1:1 | 1920 | 1080 | 50.00 | プログレッシブ | 148.500 | 2640 | 2448 | 1125 |
| 1920×1080/60/2:1 | 1920 | 1080 | 30.00 | 2:1インタレース | 74.250 | 2200 | 2008 | 1125 |
| 1920×1080/59.94/2:1 | 1920 | 1080 | 29.97 | 2:1インタレース | 74.176 | 2200 | 2008 | 1125 |
| 1920×1080/50/2:1 | 1920 | 1080 | 25.00 | 2:1インタレース | 74.250 | 2640 | 2448 | 1125 |
| 1920×1080/30/1:1 | 1920 | 1080 | 30.00 | プログレッシブ | 74.250 | 2200 | 2008 | 1125 |
| 1920×1080/29.97/1:1 | 1920 | 1080 | 29.97 | プログレッシブ | 74.176 | 2200 | 2008 | 1125 |
| 1920×1080/25/1:1 | 1920 | 1080 | 25.00 | プログレッシブ | 74.250 | 2640 | 2448 | 1125 |
| 1920×1080/24/1:1 | 1920 | 1080 | 24.00 | プログレッシブ | 74.250 | 2750 | 2558 | 1125 |
| 1920×1080/23.98/1:1 | 1920 | 1080 | 23.98 | プログレッシブ | 74.176 | 2750 | 2558 | 1125 |
| 1920×1080/30/1:1sF | 1920 | 1080 | 30 | プログレッシブ (sF) | 74.250 | 2200 | 2008 | 1125 |
| 1920×1080/29.97/1:1sF | 1920 | 1080 | 29.97 | プログレッシブ (sF) | 74.176 | 2200 | 2008 | 1125 |
| 1920×1080/25/1:1sF | 1920 | 1080 | 25 | プログレッシブ (sF) | 74.250 | 2640 | 2448 | 1125 |
| 1920×1080/24/1:1sF | 1920 | 1080 | 24 | プログレッシブ (sF) | 74.250 | 2750 | 2558 | 1125 |
| 1920×1080/23.98/1:1sF | 1920 | 1080 | 23.98 | プログレッシブ (sF) | 74.176 | 2750 | 2558 | 1125 |
| 1280×720/60/1:1 | 1280 | 720 | 60.00 | プログレッシブ | 74.250 | 1650 | 1390 | 750 |
| 1280×720/59.94/1:1 | 1280 | 720 | 59.94 | プログレッシブ | 74.176 | 1650 | 1390 | 750 |
| 1280×720/50/1:1 | 1280 | 720 | 50.00 | プログレッシブ | 74.250 | 1980 | 1720 | 750 |
| 1280×720/30/1:1 | 1280 | 720 | 30.00 | プログレッシブ | 74.250 | 3300 | 3040 | 750 |
| 1280×720/29.97/1:1 | 1280 | 720 | 29.97 | プログレッシブ | 74.176 | 3300 | 3040 | 750 |
| 1280×720/25/1:1 | 1280 | 720 | 25.00 | プログレッシブ | 74.250 | 3960 | 3700 | 750 |
| 1280×720/24/1:1 | 1280 | 720 | 24.00 | プログレッシブ | 74.250 | 4125 | 3865 | 750 |
| 1280×720/23.98/1:1 | 1280 | 720 | 23.98 | プログレッシブ | 74.176 | 4125 | 3865 | 750 |
| 625/50/2:1 (BT.601) | 720 | 581 | 25.00 | 2:1インタレース | 13.500 | 864 | 732 | 625 |
| 525/59.94/2:1 (BT.601) | 720 | 483 | 29.97 | 2:1インタレース | 13.500 | 858 | 736 | 525 |
| 720×483/59.94/1:1/4:2:2 | 720 | 483 | 59.94 | プログレッシブ | 2×13.500 | 858 | 736 | 525 |
| 720×483/59.94/1:1/4:2:0 | 720 | 483 | 59.94 | プログレッシブ | 18.000 | 858 | 736 | 525 |

表7. スタジオ・デジタル・ビデオ・フォーマット



図28. 270Mbps EAVタイミング・リファレンス・パケットのアナログ・ルミネランス・チャンネル信号表示

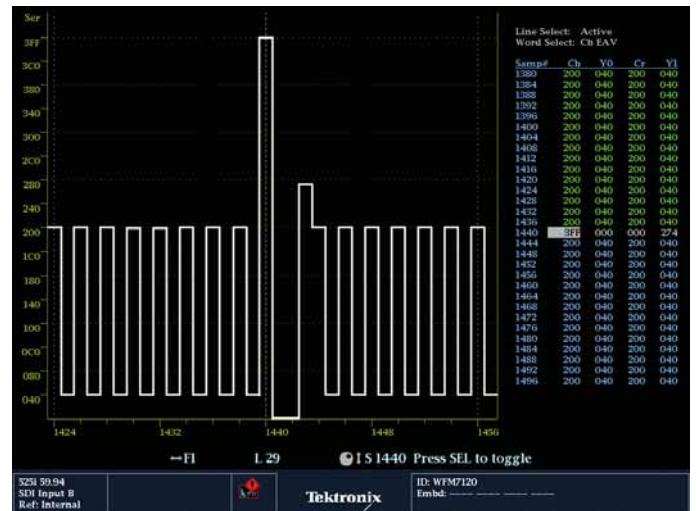


図29. 270Mbps EAVタイミング・リファレンス・パケットの(多重された) データ表示

| Bit Number | 9 (MSB) | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 (LSB) |
|------------|-----------|---|---|---|----|----|----|----|-----------|-----------|
| Function | Fixed (1) | F | V | H | P3 | P2 | P1 | P0 | Fixed (0) | Fixed (0) |

表8. EAV/SAVの“XYZ”ワードの構造

デジタル・スタジオの同期とタイミング

アナログ信号の同期信号を見ると、受像管でビームがトレースした後に再び先頭に戻るためのリトレース時間が適切に確保されていることがわかります。デジタル・コンポーネントのスタジオ用フォーマットでは、同期信号は、マルチチャンネル・オーディオ、エラー・チェック・サムおよびその他の補助データと同じ領域にある固有のワード・パターンで構成されます。デジタル波形モニタの(EAV/SAV表示設定を)PASSモードで見ると、これらのデジタル・タイミング・パケットがビデオ波形として(図28および図11を参照)、各水平ラインの終わりにショート・パルスとして表示されます。データ・ワードはアナログ表示システムのバンドパスより高いクロック・レートで発生するため、アナログで表現するとリングングが発生します。WFM7120/6120型のオプションDATでこれらのデータ・ワードのDATAビュー表示が可能のため(図29参照)、各ワードとその値を正確に特定できます。

アナログとデジタル・ビデオを比較する場合、主なタイミングの定義について理解しておく必要があります。

1. デジタル・ビデオのラインでは、EAV (End of Active Video) データ・パケットの3FFhが最初のワードで始まり、ビデオ・データのラインの最後のワードで終わります。デジタル・ライン番号は垂直ブランキングの最初のラインから始まります。

- デジタル・ビデオ・ラインのサンプル番号は、アクティブ・ビデオの最初のワード(サンプル0)で始まります。それはSAV (Start of Active Video) シーケンスの4ワードに続く最初のワードです。そのため、ライン番号はサンプル番号がゼロに戻ると同時に変化します。
- デジタル・タイミングと違い、アナログ・ラインは2値シンクのリーディング・エッジ(leading edge)の50%ポイントまたは3値シンクの立ち上がりで0mVとクロスするタイミングでスタートし、そこで終わります。アナログ・タイミング・リファレンスは、デジタル・タイミング・リファレンス(EAV)の後で、(しかも、SAV直後の)デジタル・ラインの最初のデータの前に位置します。このデジタル信号でのブランキング期間は補助データのために割り当てられます。アナログ・タイミング・リファレンスに相当するデジタル・サンプル・ワードの位置はデジタル規格で規定されています。

デジタル・ビデオの同期情報は、独自の3つのワード・パターン3FFh(ワードの全ビットが1)、000h(すべてがゼロ)、000h(すべてがゼロ)で始まるEAVシーケンスおよびSAVシーケンスによって構成され、表8に示す4番目の「XYZ」ワードが後に続きます。

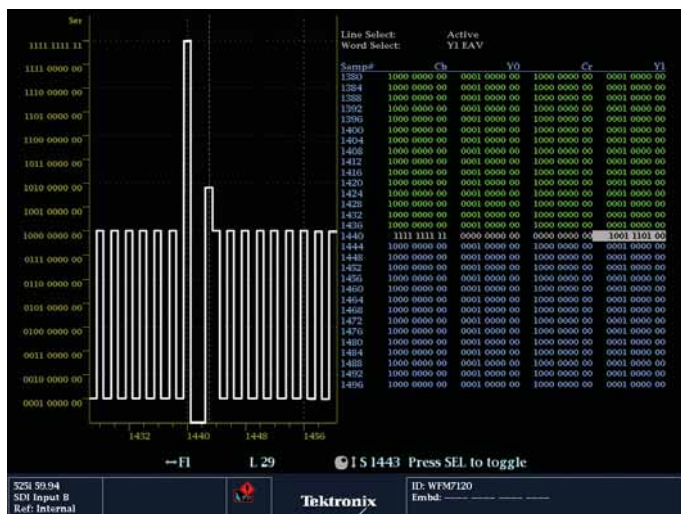


図30. 「XYZ」ワードのバイナリ表示例

「XYZ」ワードは、下位2ビットを“0”とした10ビット・ワードです。

- **ビット9** — (固定ビット) 常時1に固定
- **ビット8** — (Fビット) プログレッシブ・システムでは常時0、インタレース・システムではフィールド1に対して0、フィールド2に対して1になります。
- **ビット7** — (Vビット) 垂直ブランキング期間では1、アクティブ・ビデオ・ライン中は0です。
- **ビット6** — (Hビット) 1はEAVシーケンスを示し、0はSAVシーケンスを示します。
- **ビット5、4、3、2** — (プロテクション・ビット) F、V、Hビットのデータのエラー訂正に使用されます。
- **ビット1、0** — (固定ビット) 10ビット系と8ビット系の両方で利用可能とするためにゼロ(0)に設定されます。

| フォーマット | F=0 | F=1 | V=1 | V=0 |
|------------|----------|--------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| 1920×1080P | 常時=0 | — | ライン1~41、 1122~1125 | ライン42~ 1121 |
| 1280×720P | 常時=0 | — | ライン1~25、 746~750 | ライン26~ 745 |
| 1920×1080i | ライン1~563 | ライン564~ 1125 | ライン1~20、 561~583、 1124~1125 | ライン41~ 557、603~ 1120 |
| 1035i | ライン1~563 | ライン564~ 1125 | ライン1~40、 558~602、 1121~1125 | ライン41~ 557、603~ 1120 |
| 525/60 | ライン4~265 | ライン1~3、 266~525 | ライン1~19、 264~282 | ライン20~ 263、283~ 525 |
| 625/50 | ライン1~312 | ライン313~ 625 | ライン1~22、 311~335、 624~625 | ライン23~ 310、336~ 623 |

表9. デジタル信号の垂直タイミング情報

| | フィールド・ライン | 525 ライン | 625 ライン | 1080P ライン | 1080i ライン | 1035i ライン | 720P | SAV | EAV | 9 | F | V | H | P3 | P2 | P1 | P0 | 1 | 0 |
|--------------|-----------|-----------------|--------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-----------------|------|------|---|---|---|---|----|----|----|----|---|---|
| アクティブ・ビデオ | 1 | 20~236 | 23~310 | 42~1121 | 21~560 | 41~557 | 26~745 | 200h | | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | | 274h | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| フィールド・ブランキング | 1 | 4~19 264~265 | 1~22 311~312 | 1~41 1122~1125 | 1~20 561~563 | 1~40 558~563 | 1~25 746~750 | 2ACh | | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | | 2D8h | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| アクティブ・ビデオ | 2 | 283~525 | 336~623 | — | 584~1123 | 603~1120 | — | 31Ch | | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | | 368h | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| フィールド・ブランキング | 2 | 1~3 266~282 | 624~625 313~335 | — | 1124~1125 564~583 | 1121~1125 564~602 | — | 3B0h | | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | | 3C4h | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

1125 (1080)、750 (720)、525および625フォーマット

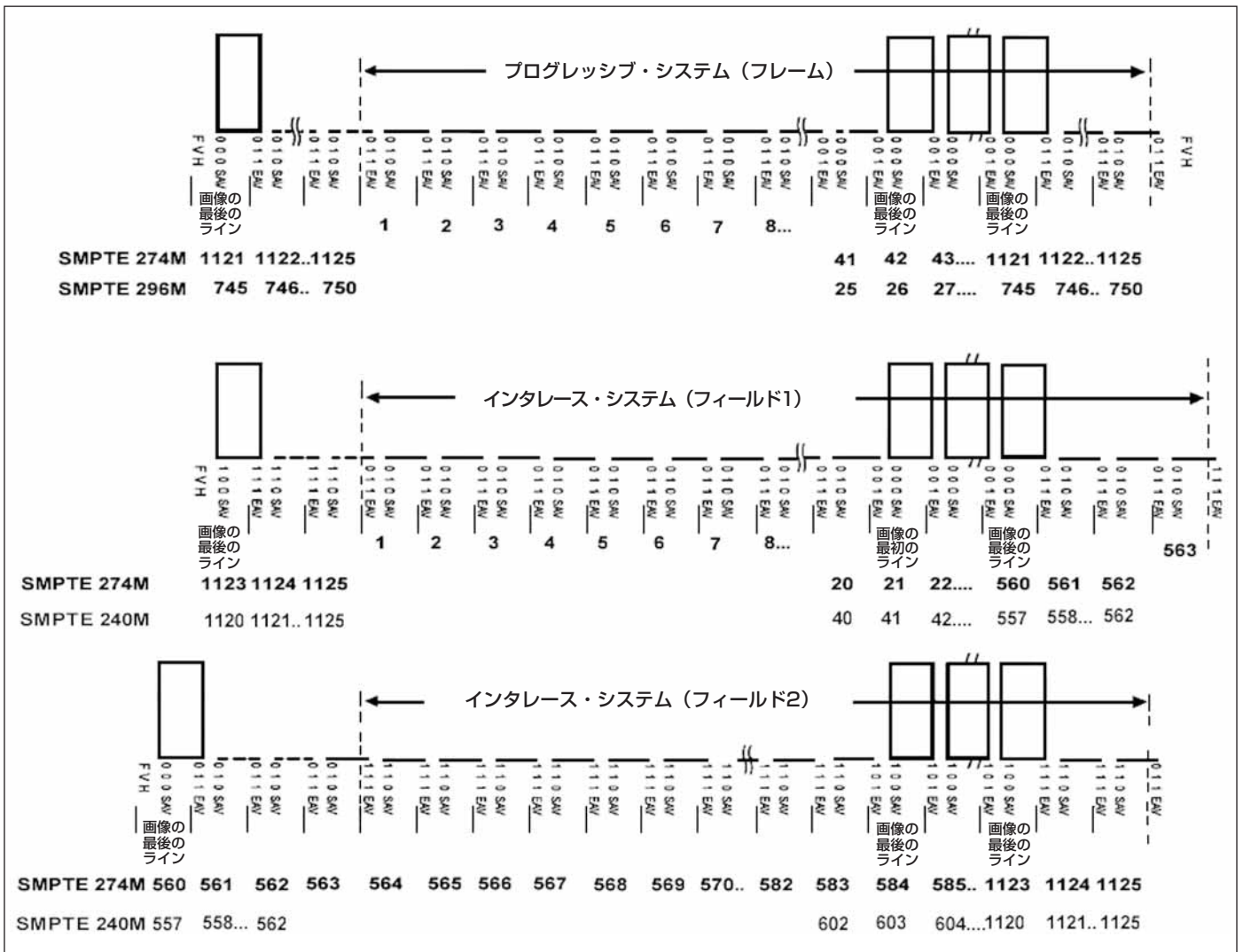


図31. HDデジタルの垂直タイミング

図30でのXYZワードは、バイナリ値1001110100となっています。この例では、ビット8、7および6は、このXYZワードがフィールド1、アクティブ・ビデオ・ラインでEAVシーケンスであることを示しています。次のフィールドの同じラインのXYZワードはビット8がバイナリ1となり1101101000になります。プロテクション・ビット5~2はエラー訂正のために変化します。

表9に、代表的なフォーマットのXYZワード・パターン例を示します。HD垂直期間のレイアウトを図31に示します。

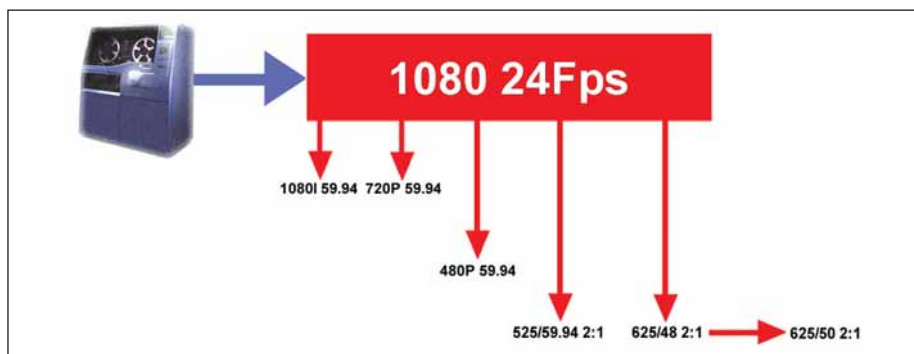


図32. HDテレシネによるフォーマット変換例

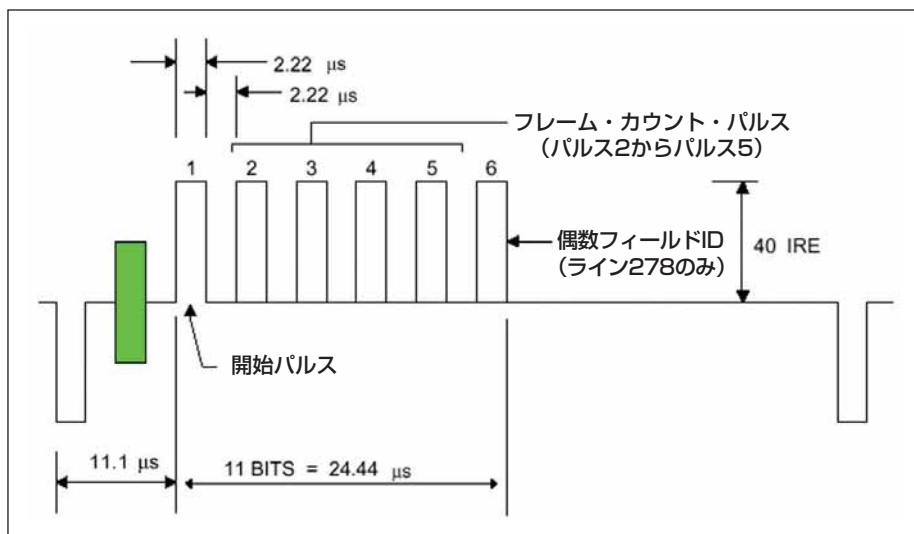


図33. SMPTE 318M規定のタイミング・リファレンス同期情報イメージ

| 10フィールド・シーケンス | パルス・ポジション | | | | | | ライン・ポジション |
|---------------|-----------|---|---|---|---|---|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | ライン15 フィールド1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | ライン278 フィールド2 |
| 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | ライン15 フィールド1 |
| 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | ライン278 フィールド2 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | ライン15 フィールド1 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | ライン278 フィールド2 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | ライン15 フィールド1 |
| 7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | ライン278 フィールド2 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | ライン15 フィールド1 |
| 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | ライン278 フィールド2 |

表10. SMPTE 318M規定の10フィールド・タイミング・シーケンス

テレシネの同期

HDビデオへの移行により、番組素材のマスターリングやアーカイブにとっても便利なフォーマットが開発されてきました。たとえば、23.98Hzの1080プログレッシブでフィルムフレームをデジタル・ファイルに直接変換できるようになりました。このフォーマットのデジタル・マスタからいずれかの配信フォーマットに変換することが可能です。

マルチフォーマット・システムの同期を取るために使用する標準リファレンスは、59.94Hzのフィールド周波数を持つNTSCブラック・バーストです。23.98Hz (24/1.001) または48kHzで動作する装置と同期を取るために、ブラック・バースト信号中のSMPTE 318Mで規定された10フィールドIDシーケンスを利用します。図33にタイミング・リファレンス用同期信号が示されており、NTSC 525/59.94Hz信号のライン15と278に、このラインが挿入されます。最初のパルス (1) は10フィールドIDシーケンスの先頭を示します。次のパルス (2-5) がフレーム・カウントとなります。最後のパルス (6) はライン15 (フィールド1) では"0"、ライン278 (フィールド2) では"1"となります。表10はパターンを示します。

当社のTG700型TVゼネレータ・プラットフォームは、AGL7型アナログGENロック・モジュールを用いてSMPTE 318Mの信号にGENロックでき、BG7型ブラック・バースト・ゼネレータによりSMPTE 318Mに準拠した、10フィールドID付のブラック信号を出力します。(補足：10フィールドIDシーケンス情報は、既述したテレシネ関連の23.976Hz (24/1.001) フレームを2-3プルダウン方式で59.94Hzシステムに変換したり、デジタル・オーディオ48kHzデータと映像フレームとの同期関係を検証する際に有用です。詳細はSMPTE 318M; Synchronization of 59.94- or 50-Hz Related Video and Audio Systems in Analog and Digital Areas - Reference Signalsをご参照ください。)

デジタル・オーディオ

デジタル・インタフェースは、デジタル・ビデオに複数チャンネルのデジタル・オーディオを多重することができるという長所があります。多数の機器を扱う大規模なシステムでは、デジタル・オーディオを別々にルーティングすることはコストの増加を招くため、ビデオとオーディオを1本のケーブルで取り扱うことのできるエンベデッド・オーディオ方式は特に有効です。小規模なシステムでは、ビデオとオーディオを分離して取り扱うほうが、マルチプレクサやデマルチプレクサをいろいろ揃える必要がないため経済的な場合があります。デジタル・オーディオ処理は、ANSI/SMPTE 272Mに525/60および625/50フォーマット(259M)におけるAES/EBUデジタル・オーディオの補助信号領域への多重方法、ANSI/SMPTE 299MにHDTV(292M)における24ビット・デジタル・オーディオ・フォーマットについて定義されています。

2chから16chのAES/EBUのオーディオ・チャンネルがペアで伝送され、4チャンネル毎のグループに分けて多重されます。各グループは、補助データIDで識別されます。オーディオは48kHzのビデオに同期したクロックでサンプリングされます。また、32kHzから48kHzの同期または非同期クロックでのサンプリングもオプションとして可能です。

各種補助データは、図34で示すパケット構造にフォーマットされて、ビデオ・データ・ストリームに多重されます。各データ・ブロックは、最大255ユーザ・データ・ワードを持つことができ、(コンポーネント・ビデオの場合) 7つのオーバーヘッド・ワードを含んでも、十分な大きさのデータ領域を持ちます。コンポジット・デジタルでは、垂直同期パルス期間に255フルワードを多重できます。

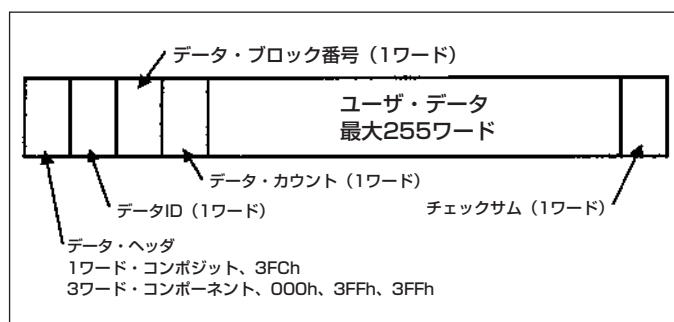


図34. 補助データのバケット構造

この補助データ・パケットのはじめにはビデオ・データと異なる独自のヘッダ情報があり、同期目的に使用されます。コンポーネント・ビデオでは、000_h、3FF_h、3FF_hの3つのワード・ヘッダが使用されます。データ・パケットの(ユーザ・データ用途を示す)各タイプは、Data ID (DID) ワードで識別され、そのいくつかはエンベデッド・オーディオで使用されます。DBN (データ・ブロック番号: Data Block Number) はオプションのカウンタで、データ欠落の検出に利用可能です。一例として、垂直期間でスイッチングされ、DBNの連続性が失われた場合、受信機は一時的な「クリック音」または「ポップ音」を除去する処理をオーディオ・データに施すことができます。データの前にパケットのデータ総数を示すData Countワードがあります。データの最後にデータ・パケットのエラーを検出するチェックサム (Checksum) ワードがあります。

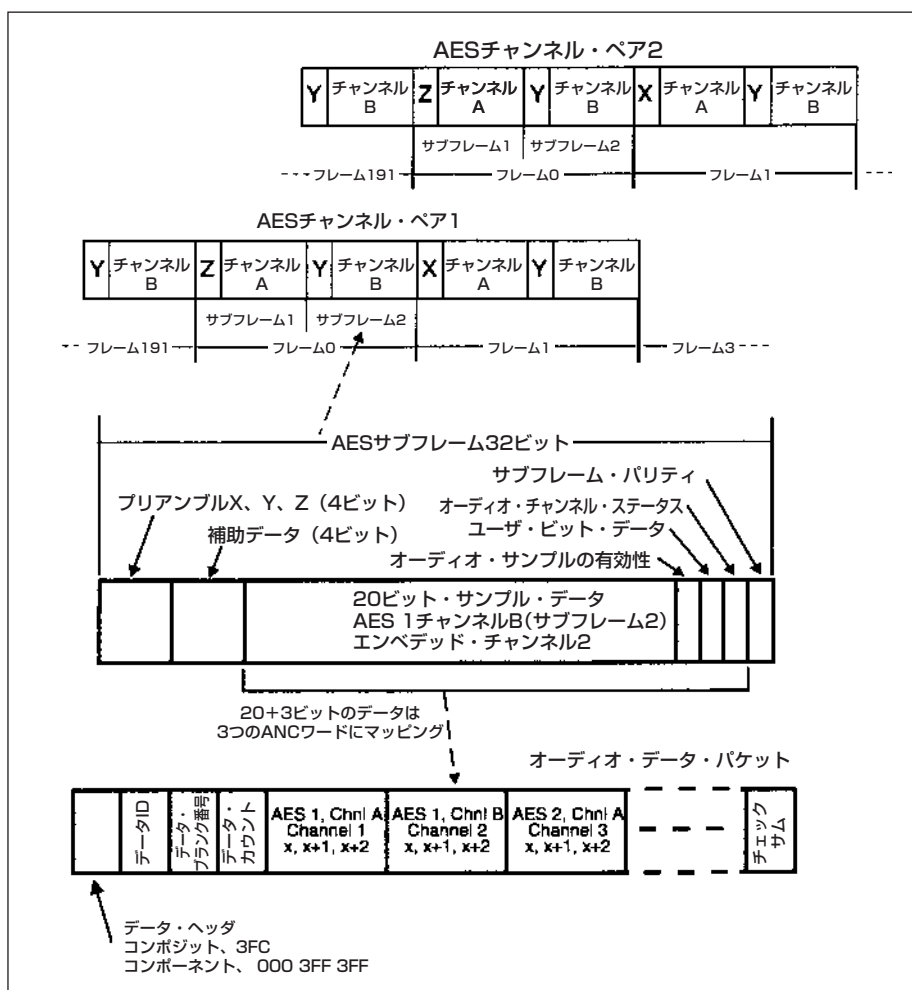


図35. (SD) エンベデッド・オーディオの基本構造

| Bit | X | X+1 | X+2 |
|-----|-------------|--------|--------------|
| b9 | B8の反転 | B8の反転 | B8の反転 |
| b8 | aud 5 | aud 14 | P |
| b7 | aud 4 | aud 13 | C |
| b6 | aud 3 | aud 12 | U |
| b5 | aud 2 | aud 11 | V |
| b4 | aud 1 | aud 10 | aud 19 (MSB) |
| b3 | aud 0 (LSB) | aud 9 | aud 18 |
| b2 | ch 1 | aud 8 | aud 17 |
| b1 | ch 0 | aud 7 | aud 16 |
| B0 | Z | aud 6 | aud 15 |

表11. (SD) エンベデッド・オーディオ・データのビット配置 (20ビット音声)

(SD) コンポーネント・デジタル・ビデオのエンベデッド・オーディオ

エンベデッド・オーディオと利用可能なオプションについて、SDはANSI/SMPTE 272Mに、そしてHDスタジオ・デジタル・フォーマットはANSI/SMPTE 299Mに定義されていますので、これらの標準規格書の最新版を参照してください。AES2チャンネルをソースとするエンベデッド・オーディオの基本構造を図35に示します。

オーディオ・データ・パケットは、1chあるいは最大4chまでのオーディオ・チャンネルを含みます。各チャンネルは、AESサブフレームの23ビット (20ビット・オーディオとV, U, Cビット) データが表11に示されるように3つの10ビット・ワード (X, X+1, X+2) にマッピングされます。

ビット9は、ワード値 (3FFh~3FChまたは003h~000h) が使用されないように常にビット8の反転データになります。Zビットは、192フレームのAESブロックの最初のフレームに対応して「1」に設定されます。エンベデッド・オーディオのチャンネルは、基本的に独立しており、そのためZビットは同じAESソースから生じた場合でもチャンネル毎に「1」が設定されます。C, UおよびVビットは、AES信号データに基づいてマッピングされます。しかし、パリティ・ビット (P) はAES (サブフレームの) パリティ・ビットではありません。ワード

X+2のビット8は、ワードX, X+1のb9を除く18ビットおよびワードX+2のb9を除く8ビット、合わせて26ビットに対して偶数パリティになります。

規格を完全に満足していない旧式の装置のために、オーディオ・データ・パケットの伝送にはいくつかの制約があります。RP 168に定義されている通常の垂直期間スイッチング・ラインに続く、水平補助 (HANC) データ・スペースでは、オーディオ・データ・パケットは伝送されません。また、それらはRP 165に定義されたエラー検出チェックワード (EDH) に指定された補助データ・スペースでも伝送されません。これらの制約に配慮して、ビデオ・フィールド全体に可能な限り均等になるようにデータは配分されるべきです。このため、受信機のバッファ・サイズを最小限まで抑えることは重要なことです。コンポジット・デジタル・システムで24ビット・オーディオを転送する場合は、各オーディオ・データ・パケットに3つか4つのオーディオ・サンプルが含まれることとなります。

(SD) エンベデッド・オーディオの拡張データ・パケット

フル機能を備えた (SD) エンベデッド・オーディオは、以下を含み、既述の規格で定義されています。

- AES補助の4ビット (オーディオ・サンプルを24ビットに拡張するために使用) の伝送
- 非同期クロック動作に対応
- 48kHz以外のサンプリング周波数に対応
- 各チャンネルに対するオーディオ・ビデオ遅延情報の伝送
- コンポーネント・デジタルにおける16チャンネルまでのData IDを規定
- 525ライン方式の「オーディオ・フレーム」のカウンタ

これらの機能を実現するために2つの追加データ・パケットが定義されています。拡張データ・パケットは、2chオーディオ・サンプルのAES補助ビット (4ビット×2) を1つのワードにフォーマットして、伝送します (図36)。

この拡張データ・パケットは、関連するオーディオ・データ・パケットとして同じ補助データ・スペースに配置され、オーディオ・データ・パケットの直後に置く必要があります。

図37で示されたオーディオ・コントロール・パケットは、フィールド毎に1回、垂直期間スイッチング後、2番目の水平補助 (HANC) データ・スペースに挿入されます。それには、オーディオ・フレーム番号、サンプリング周波数、アクティブ・チャンネルおよび各チャンネルの相対オーディオ・ビデオ遅延に関する情報が含まれます。オーディオ・コントロール・パケットの伝送は48kHzの同期サンプルの場合は省くことができますが、それ以外のサンプル・モードでは、モードが使用されているかを示すため必ず付加しなければなりません。

オーディオ・フレーム番号は、525ラインの毎秒29.97フレームで処理されます。5つのフレームには8008オーディオ・サンプルがあります。これはフレーム当たり非整数分のサンプルがあることを意味します。オーディオ・フレーム・シーケンスは、一定のサンプル数を持つフレームのシーケンスで、フレーム番号は、特別なフ

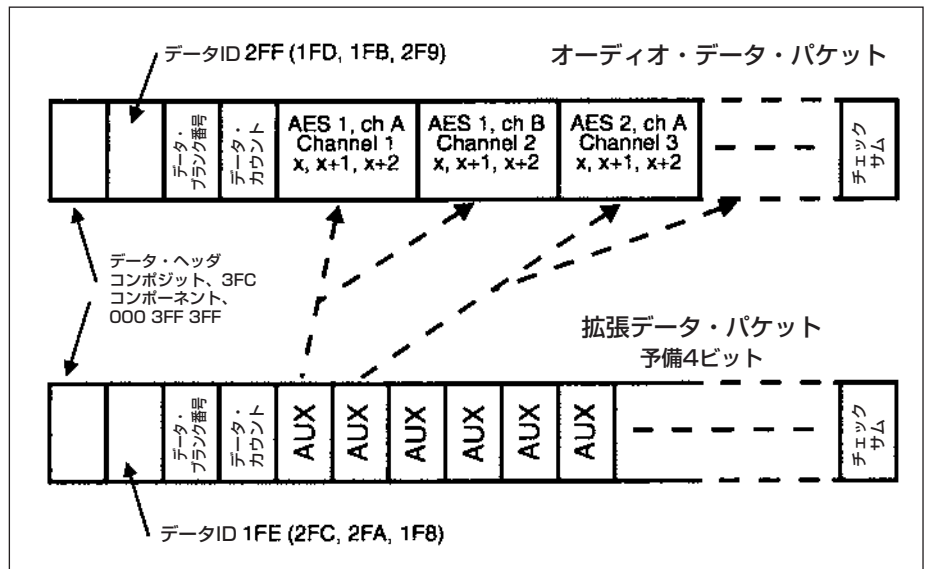


図36. (SD) エンベデッド・オーディオの拡張データ・パケット構造

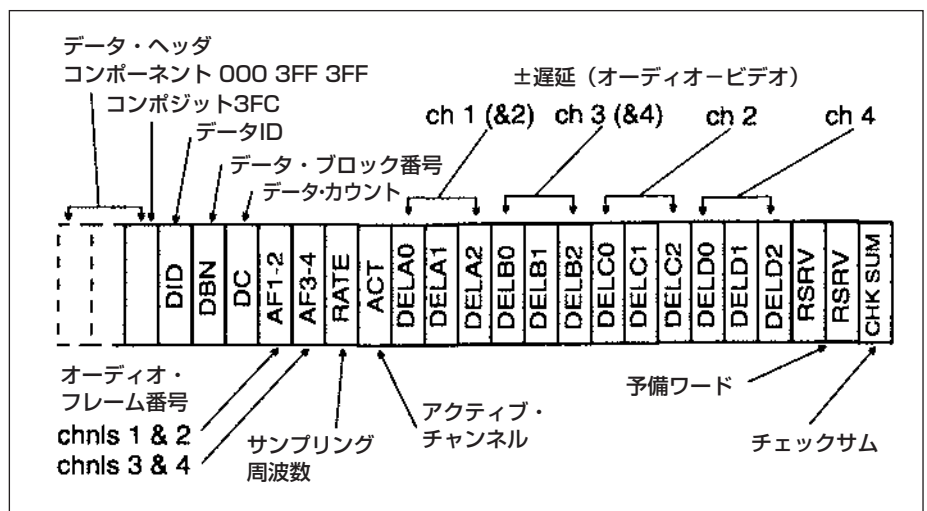


図37. オーディオ制御パケットのフォーマット

フレームがシーケンスの中のどこにあるかを示しています。デジタル・ビデオ・レコーダのような装置では、バッファがオーバー/アンダー・フローを起さないように同期処理が必要になるので、入力ソースを切り替える場合などで重要になります。頻りに切り替えを実行する場合、受信装置は、切り替えが実行されることでシーケンスが壊れたときにサンプルを付加したり、欠落させるように設計されています。これは、切り替えのタイミング検出により対処します。補助データ・フォーマット構造の中のデータ・ブロック番号、およびオーディオ・コントロール・パケットのオーディオ・フレーム番号ワードの未使用ビットを含めてフレーム・カウンタを使用することで容易に実現できます。

| | オーディオ・チャンネル | オーディオ・データ・パケット | 拡張データ・パケット | オーディオ制御パケット |
|-------|-------------|------------------|------------------|------------------|
| グループ1 | 1~4 | 2FF _h | 1FE _h | 1EF _h |
| グループ2 | 5~8 | 1FD _h | 2FC _h | 2EE _h |
| グループ3 | 9~12 | 1FB _h | 2FA _h | 2ED _h |
| グループ4 | 13~16 | 2F9 _h | 1F8 _h | 1EC _h |

表12. (SD) エンベデッド・オーディオ・チャンネル/グループとData ID値

オーディオ・コントロール・パケットに含まれるオーディオ遅延情報は、デフォルトのチャンネル・ペア・モードを使用します。つまり、チャンネル2の遅延がチャンネル1と等しくない場合以外は、ディレイA (DELA0-2) がチャンネル1およびチャンネル2の両方に使用されるということです。等しくない場合、チャンネル2の遅延はディレイCに置かれます。サンプリング周波数はペアの各チャンネルで同じにならなければなりません。したがって、「ACT」のデータには2つの値のみが提供され、一つはチャンネル1と2に、もう一つはチャンネル3と4用となります。

コンポーネント・デジタル・システムのオーディオ・チャンネルは最大16chまで多重できますが、このエンベデッド・オーディオは4チャンネル毎にオーディオ・グループに分割されています。グループに対する3種類のデータ・パケットと対応するData ID (DID) 値を表12に示します。

コンポーネント・デジタル・ビデオでは、多くの補助データ・スペース/ラインが使用できるため、オーディオ・デマルチプレクサの受信バッファには重大な問題が起こりません。コンポジット・デジタル・ビデオでは、利用できる領域が少なく、拡張オーディオを伝送する場合には特に問題となります。このため、規格では、チャンネル当たり48サンプルの旧タイプ装置を考慮して、アクティブ・チャンネル当たり64サンプルの(最小)受信バッファを定義しています。

システム化されたAES/EBUオーディオ

シリアル・デジタル・ビデオとオーディオは、テレビ放送局だけでなく制作やポストプロダクションの設備においても常識になっています。ほとんどの場合、ビデオとオーディオは一体化したソースで、それらを1つのデータ・ストリームとして処理することが一番望ましいことです。1つの例ですが、デジタル領域で信号を処理するメリットとして、シリアル・デジタル・ビデオのルーティング・スイッチャでまとめて切り替えることができるということがあります。オーディオ・ソースを個別に処理する方がよいときには、簡単にデジタル・オーディオを分離でき、AES/EBUデジタル・オーディオのルーティング・スイッチャを使用して個別に切り替えることができます。

受信側では、多重されたオーディオがシリアル・デジタル・ルーティング・スイッチャから送られてきた後、ストリームからオーディオを抽出する必要があります。これは、編集やオーディオ調整およびその他の処理を行うときに必要です。これには、シリアル・デジタル・ビデオからAES/EBUオーディオを抽出するデマルチプレクサを使用します。標準的なデマルチプレクサの出力には、シリアル・デジタル・ビデオBNC出力と2ペアのステレオAES/EBUデジタル・オーディオ信号用のコネクタが装備されています。

HDエンベデッド・オーディオの基本構造

HD環境におけるAES/EBUデジタル・オーディオ対応では、(SDと比べて)いくつかの類似点と相違点があります。補助データ・パケットの基本的な構造は、HDでも同じです。しかし、24ビットのフル・オーディオ・データとして送信され、SDのように20ビットのオーディオ・データと4ビットの拡張パケットに分割されないという点が異なります。このため、HDで使用されるビットの合計数は29ビット (SDの23ビットと比較)、オーディオ・データの24ビットは、C、V、UおよびZビット・フラグ情報と共に4つの補助データ・ワードの内に配置されます。さらに、CLKおよびECCワードが、図38に示すようにパケット内に付加されます。24ビットのフル・オーディオ・データはユーザ・データ内で伝送されるため、HDでは拡張データ・パケットは使用しません。

補助データ・パケット構造は SMPTE 291Mで定義され、Ancillary Data Flag (ADF: 補助データ・フラグ) が000_h、3FF_h、3FF_hの3つのワード値を持たなければなりません。1つのDID (データ識別) ワードは、表13で示すようにオーディオ・データのグループを識別するために以下の値を持ちます。DBNはデータ・ブロック番号を示し、DC (データ・カウント) は常に218_hとなります。User Data Word (UDW: ユーザ・データ・ワード) は常に24ワードで構成され、図38で示されるような構造をしています。最初の2つのワード、UDW0とUDW1は、オーディオ・クロックの位相データを示し、オーディオ・サンプリング・クロックの再生時に利用されます。このデータは、EAVの最初のワードとオーディオ・サンプルに関連するビデオ・サンプル間のビデオ・クロック数を示したものです。

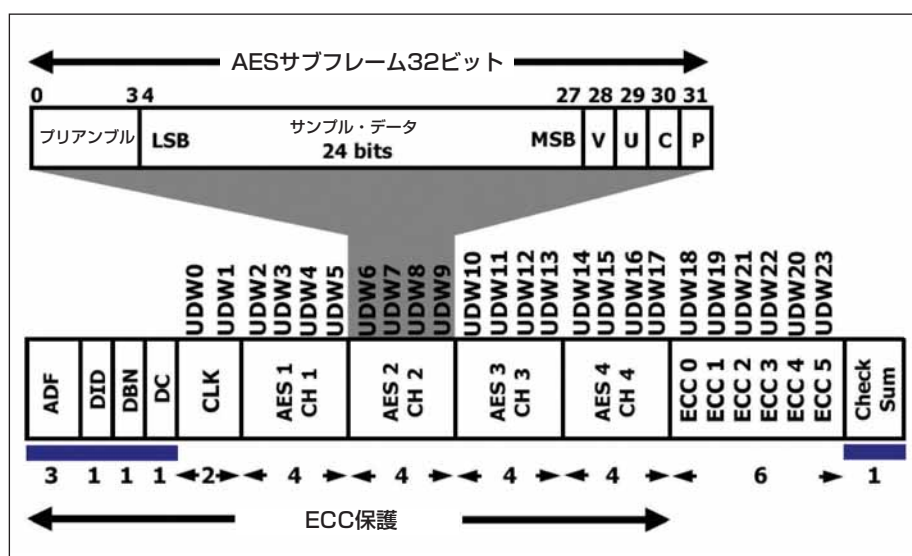


図38. HDエンベデッド・オーディオ・データの packets 構造

| | オーディオ・チャンネル | オーディオ・データ・パケット | オーディオ・コントロール・パケット |
|-------|-------------|------------------|-------------------|
| グループ1 | 1~4 | 2E7 _h | 1E3 _h |
| グループ2 | 5~8 | 1E6 _h | 2E2 _h |
| グループ3 | 9~12 | 1E5 _h | 2E1 _h |
| グループ4 | 13~16 | 2E4 _h | 1E0 _h |

表13. (HD) 16チャンネルに対応するData ID値

| ビット | UDW2 | UDW3 | UDW4 | UDW5 |
|-----|--------------|----------|----------|--------------|
| B9 | B8の反転 | B8の反転 | B8の反転 | B8の反転 |
| B8 | 偶数パリティ | 偶数パリティ | 偶数パリティ | 偶数パリティ |
| B7 | AUD1 3 | AUD 111 | AUD 119 | P1 |
| B6 | AUD1 2 | AUD 110 | AUD 118 | C1 |
| B5 | AUD1 1 | AUD 1 9 | AUD 1 17 | U1 |
| B4 | AUD1 0 (LSB) | AUD 18 | AUD 116 | V1 |
| B3 | Z | AUD1 7 | AUD1 15 | AUD1 23(MSB) |
| B2 | 0 | AUD1 6 | AUD1 14 | AUD1 22 |
| B1 | 0 | AUD1 5 | AUD1 13 | AUD1 21 |
| B0 | 0 | AUD1 4 | AUD1 12 | AUD1 20 |
| ビット | UDW6 | UDW7 | UDW8 | UDW9 |
| B9 | B8の反転 | B8の反転 | B8の反転 | B8の反転 |
| B8 | 偶数パリティ | 偶数パリティ | 偶数パリティ | 偶数パリティ |
| B7 | AUD2 3 | AUD 2 11 | AUD 219 | P2 |
| B6 | AUD2 2 | AUD 2 10 | AUD 218 | C2 |
| B5 | AUD2 1 | AUD 2 9 | AUD 2 17 | U |
| B4 | AUD2 0 (LSB) | AUD 2 8 | AUD216 | V2 |
| B3 | 0 | AUD2 7 | AUD2 15 | AUD2 23(MSB) |
| B2 | 0 | AUD2 6 | AUD2 14 | AUD2 22 |
| B1 | 0 | AUD2 5 | AUD2 13 | AUD2 21 |
| B0 | 0 | AUD2 4 | AUD2 12 | AUD2 20 |
| ビット | UDW10 | UDW11 | UDW12 | UDW13 |
| B9 | B8の反転 | B8の反転 | B8の反転 | B8の反転 |
| B8 | 偶数パリティ | 偶数パリティ | 偶数パリティ | 偶数パリティ |
| B7 | AUD3 3 | AUD 311 | AUD 319 | P3 |
| B6 | AUD3 2 | AUD 310 | AUD 318 | C3 |
| B5 | AUD3 1 | AUD 3 9 | AUD 3 17 | U3 |
| B4 | AUD3 0 (LSB) | AUD 38 | AUD 316 | V3 |
| B3 | Z | AUD3 7 | AUD3 15 | AUD3 23(MSB) |
| B2 | 0 | AUD3 6 | AUD3 14 | AUD3 22 |
| B1 | 0 | AUD3 5 | AUD3 13 | AUD3 21 |
| B0 | 0 | AUD3 4 | AUD3 12 | AUD3 20 |
| ビット | UDW14 | UDW15 | UDW16 | UDW17 |
| B9 | B8の反転 | B8の反転 | B8の反転 | B8の反転 |
| B8 | 偶数パリティ | 偶数パリティ | 偶数パリティ | 偶数パリティ |
| B7 | AUD4 3 | AUD 4 11 | AUD 419 | P4 |
| B6 | AUD4 2 | AUD 410 | AUD 418 | C4 |
| B5 | AUD4 1 | AUD 4 9 | AUD 4 17 | U4 |
| B4 | AUD4 0 (LSB) | AUD 4 8 | AUD416 | V4 |
| B3 | 0 | AUD4 7 | AUD4 15 | AUD4 23(MSB) |
| B2 | 0 | AUD4 6 | AUD4 14 | AUD4 22 |
| B1 | 0 | AUD4 5 | AUD4 13 | AUD4 21 |
| B0 | 0 | AUD4 4 | AUD4 12 | AUD4 20 |

表14. (HD) エンベデッド・オーディオ・データのビット配置

各オーディオ・データのサブフレーム情報は、表14のように4つのUDWサンプル内に配分されます。

フル・プリアンブル・データは4つのワードでは搬送されず、Zビット・インジケータが192フレームの先頭を示すだけであることに注意してください。また、パリティ・ビットはSDとは違い、32ビット・サブフレーム内で使用されたデータです。

ECC (Error Correction Codes : 誤り訂正コード) は、ADFからUDW17までの24ワード内のエラーを検出するために使用されます。その値は、BCHコード生成回路で24ワードのデータB0~B7の8ビット・データを計算したECCの6ワードが使用されます。

(HD) エンベデッド・オーディオの補助データ情報は、色差Cb/Crの水平補助データ・スペース内に多重されます。CbYCrY*全体に渡って補助オーディオ・データを多重するSDとは違い、Y補助データ・スペースはフィールド毎に1回発生するオーディオ・コントロール・パケットにのみ使用されます。このコントロール・パケットは、Yデータの切り替えポイントの後の2番目のラインに置かれます。切り替えポイント位置は、HD信号のフォーマットにより異なります。たとえば、1080/60i方式では補助データはスイッチング・ポイントのライン7 (569) の次のライン8 (570) には置かれません。

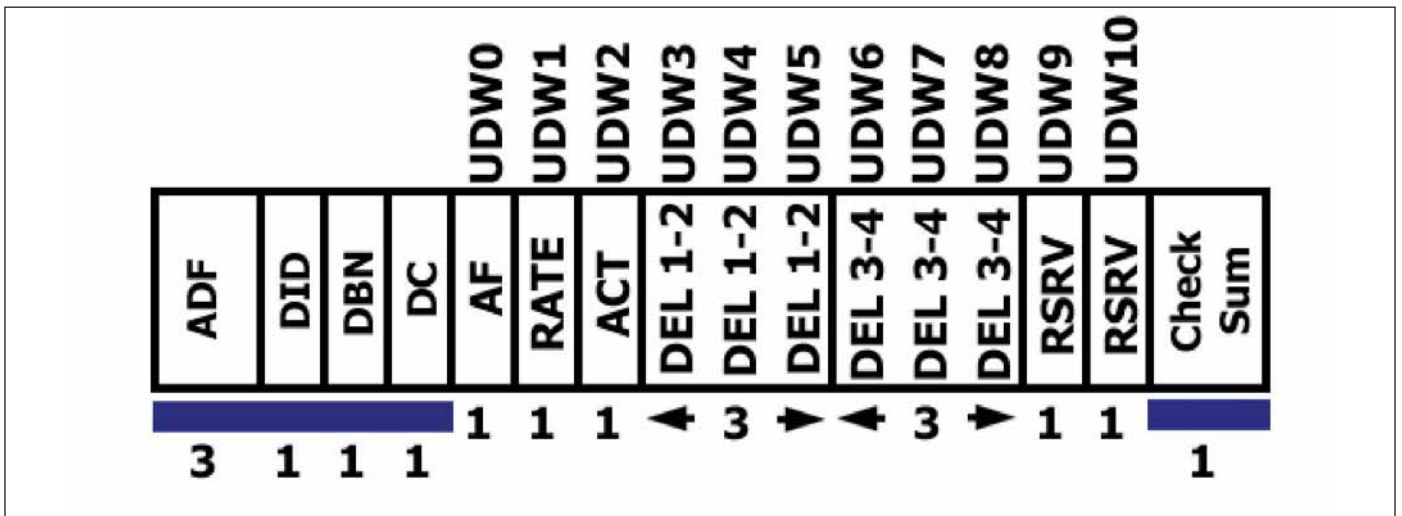


図39. (HD) オーディオ・コントロール・パケットの構造

(HD) オーディオ・コントロール・パケット

オーディオ・コントロール・パケットは、オーディオ・データを復号化するプロセスで使用される追加情報を搬送し、その構造はSDと同じです。図39にその構造が示されており、次の情報が含まれます。補助データ・フラグ（Ancillary Data Flag）には、000h、3FFh、3FFhの3つのワードが配置されます。1つのDIDワードには表13で示すオーディオ・データ・グループを識別する値が含まれます。DBNは常に200hで、DCは常に10Bhです。UDWは、5種類のデータ・タイプの11ワードで構成されます。オーディオ・フレーム番号データ（AF）は、ビデオ・フレームの連番を示し、非整数のオーディオ・サンプル数の検出に利用します。RATEは、オーディオ・サンプリング・レートおよび同期/非同期を示します。ACTワードはグループ内のアクティブ・チャンネルを示します。DELM-nは、各チャンネル・ペア1&2および3&4のビデオに対する、累積したオーディオ遅延の総量をオーディオ・サンプル数で示します。図40は、WVRシリーズでデコード表示されたオーディオ・コントロール・パケット情報を示しています。

これは、SDで 사용되는ものとはわずかに異なるフォーマットです。2ワードのRSRV（Reserved）は、現時点では将来のためにリザーブされています。

| Audio Control Packet Display | | | | |
|------------------------------|-------------|------------|--------------|---------------|
| | Group 1 | Group 2 | Group 3 | Group 4 |
| DID: | 0xe3 (1e3) | 0xe2 (2e2) | 0xe1 (2e1) | 0xe0 (1e0) |
| Data Block: | 0x00 (200) | 0x00 (200) | 0x00 (200) | 0x00 (200) |
| Data Count: | 11 | 11 | 11 | 11 |
| Field / Line: | F1 / 19 | F1 / 19 | F1 / 19 | F1 / 19 |
| Checksum: | 0x2ff | 0x1f5 | 0x200 | 0x2ff |
| Should Be: | 0x2ff | 0x1f5 | 0x200 | 0x2ff |
| Channel | Audio Frame | Rate (kHz) | Active Chan | Delay Samples |
| 1-2, 3-4 | 2 | Sync 48 | 1-2, 3-4 | —, — |
| 5-6, 7-8 | 5 | Sync 48 | 5-6, — | —, — |
| 9-10, 11-12 | 5 | Sync 48 | 9-10, 11-12 | —, — |
| 13-14, 15-16 | 5 | Sync 48 | 13-14, 15-16 | —, — |

図40. (HD) オーディオ・コントロール・パケットの表示例

マルチチャンネル・オーディオをモニタする方法

オーディオ・モニタは、通常信号のオーディオ・レベルをモニタリングし、規定レベル内にあることを確認します。ステレオの場合はチャンネル間の相互関係もモニタする必要があり、バランスが取れたステレオ・イメージを確保することが必要です。フェーズ（リサージュ）表示が2つのチャンネルの相互関係のモニタに使用されます。

マルチチャンネルのサラウンド・サウンド・オーディオ技術が開発され、臨場感は大きく向上しています。サラウンド・サウンド技術は、ホーム・シアタ用にデジタル・テレビやデジタル・ビデオで採用されています。画像品質の向上とサラウンド・サウンドが組み合わせられ、視聴者はより高品質な視聴環境を得ることができます。

オーディオ制作では、音声の視覚によるモニタは聴覚によるモニタを補完し、オーディオ制作／調整の現場ではコンテンツの正確な調整作業を手助けします。放送施設では、マルチチャンネル・オーディオ・コンテンツの異常がビジュアル表示されるため、問題を即座に特定できます。

5.1 サラウンド・サウンドのオーディオ・チャンネル

ここ数年、映画業界ではシネマのオーディオ標準形式としてマルチチャンネル・オーディオ・システムを採用しています。徐々に家庭向けのサラウンド・サウンドが普及し始め、映画のような素晴らしい効果が楽しめるようになってきました。このように、消費者のニーズによって5.1サラウンド・サウンドのオーディオがステレオに取って代わるようになってきました。DVDIは通常5.1オーディオを採用しており、デジタル放送でも5.1オーディオ・フォーマットで配信し、放送するようになりました。しかし、従来は5.1マルチチャンネル・オーディオ・システムで音源の場所を特定して観測することはありません。それぞれのチャンネルには重要な役割があります（図41を参照）。

- 左（L）と右（R）チャンネルは、視聴者（中央位置）の前方に左右に分けて配置し、対（ペア）で駆動して、音楽の主要なパートを担当します。これらはステレオ・システムと同じ働きをします。
- 中央（C）チャンネルは主にセリフを流し、視聴者の前方で中央部に位置したスピーカを駆動します。
- 左サラウンド（Ls）および右サラウンド（Rs）チャンネルは、視聴者の横または後方に配置され、スピーカをペアで駆動します。これらは空間を演出する音響効果または環境音響を担当します。

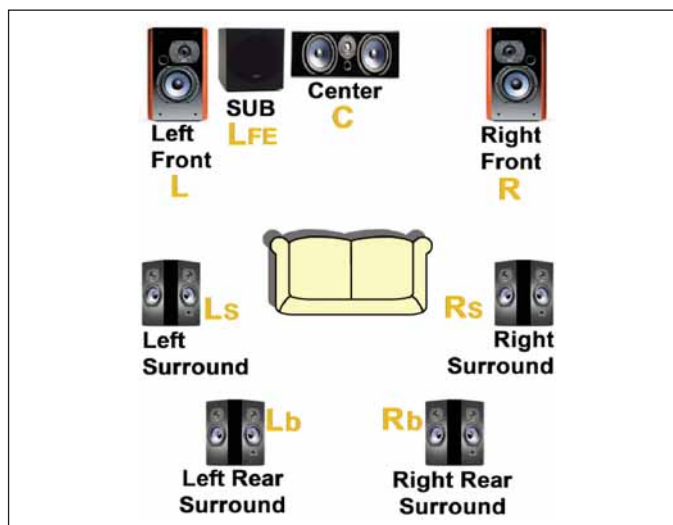


図41. マルチチャンネル・サラウンド・サウンド・スピーカの配置例

- 低周波数効果（LFE）チャンネルは、低周波数による特殊効果、たとえば、爆発音などを演出するために使用します。低域専用のスピーカ（サブウーファ）を、視聴者の前方に配置し、高出力で駆動します。

5.1マルチチャンネル・オーディオの「5」の部分でL、R、C、LsおよびRsチャンネルを形成します。これらでサラウンド・サウンドを作り出します。また、これらはスピーカ間に音像を定位させるファントム音源を創り出すことができます。150Hz以下では音像の定位が不明確になります。LFEチャンネル（5.1オーディオの「.1」）は、これらのダイナミックな音響効果を得るために限定して使用されます。

このチャンネルに使用されるスピーカはサブウーファと呼ばれ、サラウンド・サウンド・システムではLow Frequency Effect（低周波数効果）チャンネルとして扱われます。視聴者が使用するサテライト・スピーカのサイズにより特性が異なるため、サテライト・スピーカに合わせてLFEは異なる役割を担当します。たとえば、小型サテライト・スピーカは十分な低音を再生できないため、サテライト・チャンネルの低域成分をLFEチャンネルに振り分けます。大型スピーカなど十分な低音を再生できる場合、低音をLFEチャンネルに向ける必要がなくなります。

マルチチャンネル・オーディオ・システムへの拡張が続くと、さらにチャンネルが追加されていくことになるでしょう。現在、6.1または7.1チャンネル・システムが使用されています。6.1チャンネル・オーディオでは、後方と中央にバック・サラウンド・チャンネルが追加されます。7.1オーディオ・システムでは、スピーカが左後方サラウンド (Lb) および右後方サラウンド (Rb) にバック・サラウンド・チャンネルが追加されます。また、従来の2チャンネル・ステレオのために、マルチチャンネル・オーディオをダウンミックスする必要があります。これは標準的なステレオ・ミックスではLo-Roとして示され、Dolby Pro-Logic™のステレオ・ダウンミックスでは、Lt (Left-total) - Rt (Right-total) と表示されます。

サラウンド・サウンド表示

サラウンド・サウンド表示は、5.1オーディオ・システムの5つのプライマリ・チャンネルのレベルをRMS信号レベルで表示します。このRMS値は重み付けフィルタを適用することもできます。A-weightingフィルタで重み付けすることにより、人間の聴覚系の周波数応答にあわせたオーディオ・レベルを得ることができます。

画面の中心からコーナに向かった4つのスケールにL、R、LsおよびRsチャンネルのオーディオ・レベルが表示されます。画面の左上、右上、左下、右下は、L、R、LsおよびRsチャンネルのそれぞれが0dBFSになっていることを示します。画面の中心は-65dBFSを示します。チャンネルの信号レベルにしたがってそのチャンネルの中心から画面のコーナに向かってインジケータが伸びます。各スケール (目盛) は10dB間隔になっています。ユーザが定義したテスト・アライメント・レベルのマーカは、通常-20dBFSまたは-18dBFSに規定されています。

ディスプレイは、各インジケータを結び、インジケータを頂点とするTVI (Total Volume Indicator) と呼ばれる多角形を作ります。TVIはメインとサラウンド・チャンネル間のレベル・バランスを示し、サラウンド・サウンドのトータル・バランスを示します。TVIは、以下のルールにしたがい、隣接するチャンネルの信号間の相関を示します。

- 2つの隣接チャンネルのレベル・インジケータを結ぶ直線は、これらのチャンネルが信号とは相関がない、つまり相関係数は0.0であることを示しています。

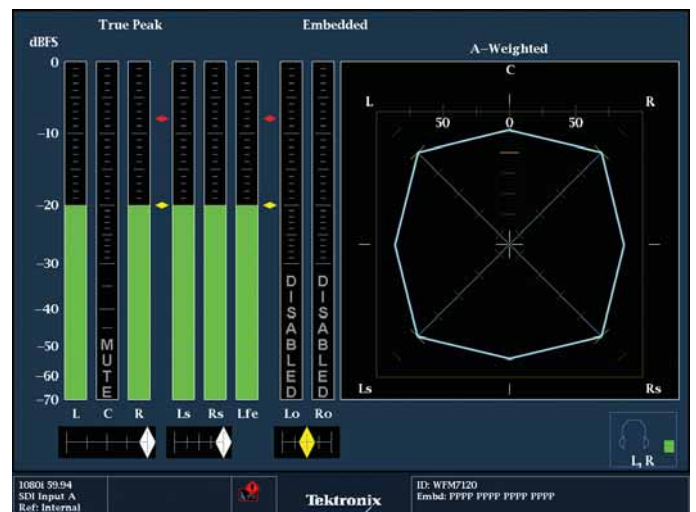


図42. L、R、LsおよびRs用のテスト音を使用したサラウンド・サウンド表示例

- 2つの信号間の相関係数が+1.0に近づくほど、レベル・インジケータを結ぶ線は中心から音源の方向に向かって外側に湾曲していきます。
- 信号が位相外れ (逆相) の状態に向かう (つまり相関係数が-1.0に近づく) と中心に向かって内側に湾曲し、トータル・サウンド・ボリュームに位相ずれによる有害な干渉と減衰が発生していることを示します。

L、R、LsおよびRsチャンネルそれぞれに、振幅と周波数が同一で、同相の信号が入力されると、図42に示すような特有の八角形の表示になります。これにより、そのチャンネルが適切に調整されているかどうかを素早く確認できます。

センタ・チャンネルは、サラウンド・サウンド・システムでは特別な役割を持っています。サラウンド・サウンド表示は、このチャンネルを別に扱います。センタ・チャンネルのオーディオ・レベルのオーディオ・レベルは、左右チャンネルのオーディオ・レベル・インジケータに挟まれた黄色の直線として表示されます。この表示は、LとCレベル・インジケータの両端と、CとRレベル・インジケータの両端を結ぶCVI (Center Volume Indicator) を形成します。

画面の周囲に表示されるPSI (Phantom Source Indicator) は、音像の定位をビジュアル化するのに役立ちます。4つのPSIは、L/R、L/Ls、Ls/Rs、R/Rsの隣接チャンネル・ペアによって形成される潜在的なファントム・サウンド・ソースの特性を示します。これら4つのPSIは同じように動作します。個々のPSIには、ファントム・ソース位置ポイントと呼ばれる潜在的な定位の位置を示す白色のメモリで構成されています。この位置ポイントの両端に伸びる可変長の直線は、聴取者がこの音源の定位位置を知覚する範囲を示します。隣接するチャンネル・ペアが+1の相関を持つ場合、2つのスピーカ間の正確な位置にファントム・サウンド音像を創り出します。ファントム・ソース位置ポイントは、隣接チャンネル・ペアに関連する側に現れます。

白い目盛の位置は、隣接チャンネルの信号間のレベルの関係により異なります。隣接チャンネル・ペア信号間の相関が弱くなると、関連するファントム・サウンド・ソースの位置が不安定になります。

これを示すため、PSI白色のメモリから、そのチャンネル・ペアの各コーナに向かう可変長の線になります。相関係数が特定のスレシールド値を超えると、この直線の色が変化します。

相関係数が0.9以上になると、PSIは非常に短い白い線になり、明確な定位を持ったファントム・ソースであることを示します。信号相関が0.9以下になると、線は緑色になります。相関が減少するにしたがって、ファントム・ソース位置ポイントの両端は長く伸び、ファントム・ソースの位置が曖昧になっていくことを示します。線が画面のコーナに到達すると、信号の相関が減少してもそれ以上伸びません。ファントム音像定位を示すポイントは、隣接チャンネル間のレベル・バランスにより定められた位置に留まります。その結果、その目盛が側面の中間に位置しない限り、コーナに到達した先の片端は、もう片方より先に伸びることはありません。

相関係数が0.2以下になると、線は黄色に変化します。信号が完全に相関がなくなる、つまり相関値が0になるとその線は表示画面のある側面全体に広がります。これは、隣接チャンネルが拡散した周囲音として知覚される音を創り出していることを示します。この

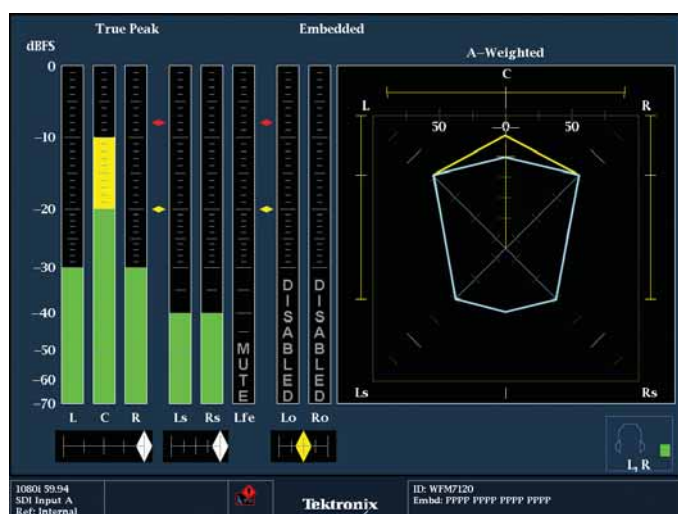


図43. ライブ・オーディオ信号を使用したサラウンド・サウンド表示例

チャンネル・ペアはファントム・サウンド・ソースを創り出しませんが、白い目盛は依然としてチャンネル間のレベル・バランスを示します。信号相関が-1に向かってさらに減少しても、PSIまたはファントム・ソース位置ポイントの位置と長さは変わりません。その相関が-0.3以下になるとPSIは赤色に変化し、好ましくない位相外れ（逆相）状態を示します。

図43は、センタ・チャンネルが左右チャンネルと比較して支配的な（優勢な）サウンドを持つライブ信号を示しています。L-LsおよびR-Rsはそれらが直線で結ばれ、チャンネル間に相関がないことを示します。L-RとLs-Rsはわずかに支配的であり、多角形を外側に広げています。画面両端に表示された白いメモリによって、前面（L-R）の方が後方（Ls-Rs）より支配的であることを示します。下端のPSIは、Rs-Lsが相関を持ち同一であることを示しています。サラウンド・サウンド表示は、サラウンド・サウンド・システムの複数のチャンネル間の相互作用を示す直感的なインタフェースです。

ビデオ測定

モニタリングおよび測定ツール

デジタル・テレビ信号は、連続的に発生する数値データで構成された高速ストリームであるといえます。幸いにも、ビデオ信号に含まれる各種補助データ情報などは繰り返し性が高く、読み取りやすい形で表示することにより、内容を理解することができます。デジタル・データをビジュアル化し、アナログ的に表示することは非常に有効です。

従来のSDデジタル・ビデオおよび最新のHDデジタル・ビデオも共に、アナログ・ビデオ方式をベースにしているため、基本的に良く似ています。時代とともに様々な改良が続けられてきていますが、今でもビデオ素材はビデオ・カメラやフィルムから制作されています。今日では、コンピュータを使用して制作される場合も多くなりました。デジタル・ビデオの（従来方式との）基本的な違いは、アナログ・ビデオを数値データに変換し、ビデオ・データに用途などを記述した各種補助データを付加して、システム構築できるなど迅速な処理が可能なところにあります。ライブ・カメラやテレシネなどでは、光センサにより光のアナログ値をビデオ・ラインに基いて数値データに変換しています。アナログ・ビデオの場合は波形モニタでこの信号をモニタできますが、デジタル・ビデオの場合は各種装置からデジタル・データとして出力されることが多くなっています。コンピュータでビデオを制作する場合は、最初からデジタル・データになっています。これらのデータは、同軸ケーブルや光ファイバ経由で情報源の装置から目的の装置に伝送されます。このデータの物理層の特性は、広帯域オシロスコープを使用すれば直接モニタできます。または、データ情報が抽出できれば、ビデオ信号としてモニタすることができます。

ビデオを扱う際、ビデオ信号をモニタすることが重要となります。見慣れたアナログ表示でビデオを確認するには、それぞれの規格に準拠して信号をデコードできる高品質な波形モニタが必要になります。当社は、1RUサイズのSDおよびHDコンポーネント・デジタル・ビデオ用のWVR7120/7020/6020型波形ラスタライザ（図44）、および3RUハーフラック・サイズで、多くのデジタル・フォーマットに対応可能なWFM7120/7020/6120型波形モニタ（図45）を提供しています。



図44. WVRシリーズSD/HDデジタル波形ラスタライザ



図45. WFM7120/7020/6120型SD/HDデジタル波形モニタ



図46. TG700型信号ゼネレータ本体と各種モジュール

カメラやテレシネがビデオ・データを適切に生成し、補助データが正確に付加されているかどうかを確認する必要があります。また、トランスポート（物理）層のアナログ特性を評価したい場合もあります。当社のデジタル・オプションを備えたVM700T型、WFM6120型およびWFM7120型は、トランスポート層の詳細なデータ解析結果やアイ・パターンを表示することができます。

テスト信号ゼネレータは2つの目的を持っています。一つは、適切なリファレンス・ビデオ信号を使用して信号処理や伝送路を評価すること、もう一つは高品質の基準信号を発生させることです。図46に示されている当社TG700型TVゼネレータ・プラットフォームは、アナログおよびデジタル、SDおよびHD信号フォーマットと各種の信号を出力することができます。

これらのツールを使用することにより、伝送システム、ビデオ処理機器、視聴者用の受信装置が規格に適合しているかを確認することができます。ビデオ・システムの動作を明確にすることができるため、信頼性を高め、作業効率を向上させることができます。

デジタルおよびアナログ信号の波形モニタリング

ビデオ信号を、時間に対する振幅応答波形として観測することは、アナログとデジタル・ビデオの両方でとても有用です。オシロスコープや波形モニタは、アナログ・ビデオを時間に対する信号電圧の変化として表示します。波形モニタは、水平ラインまたは垂直フィールドに同期した表示ができます。デジタル波形モニタは、アナログ波形モニタと同様、入力データ信号から抽出したビデオ情報を表示できます。

アナログの場合は直接、デジタルの場合はデータをデコードし信号を確認します。

測定するシステムによって、特別な測定を必要とする場合があります。クロミナンス信号を測定する場合、NTSCまたはPALカラー情報を復調して、アナログ・ベクトルスコープに表示します。デジタル・コンポーネント信号の色差チャンネルのX対Y表示を確認する場合、コンポーネント信号からアナログ・ベクトル表示をシミュレートします。デジタル信号のデータ・コンテンツを数値またはロジック・レベルで直接見たい場合もあります。さらに、アナログまたはデジタル信号のガマットを見たい場合もあります。ガマットについては、付録Aで詳しく説明しています。

ビデオ信号劣化の評価

アナログNTSC信号またはPAL信号で問題とされた信号劣化の中には、SDコンポーネント・ビデオではさほど重要ではないものがあります。今後、我々がHDビデオ方式に移行する場合には、より基本的な理由により、各種信号劣化の中でより重要になる要素があります。実際の各種アナログ的な劣化の影響を考えると、それらは同様に扱える場合もあります。アナログ方式では、カラー・ビデオ品質の劣化を避ける為にビデオ信号の完全性（Signal Integrity）を追求してきましたが、HDデジタル・ビデオでは信号の欠落などが劣化評価に関係します。

ビデオ振幅

テレビ・システムにおいて、利得の単一性（Unity Gain;ユニティ・ゲイン）の概念は最も基本的なことです。標準化されたビデオ振幅により、システム構成機器のS/Nを最適化したり、装置間の素材のやり取りを自由に行ったりすることができます。オシロスコープをベースにしたビデオ波形モニタは、ビデオ振幅測定に使用できます。単にシステムの最終装置の出力レベルを調整するだけでは不十分です。システムを構成している全装置の入出力を適切に調整する必要があります。

デジタル・フォーマットでは、ビデオ振幅の維持はさらに重要です。良質な画像のためのデジタル処理に使用される十分な量子化レベルは、適正なアナログ・ビデオ振幅によって得られます。入力信号の振幅が不十分だと、量子化の範囲を容易に越えてしまいます。カラー・バランス、コントラストおよび明るさは適切に調整されなければなりません。他のビデオ・フォーマットに変換するには、変換で発生するガマット・エラーを考慮する必要があります。適切に設計されたユニティ・ゲインのビデオ・システムでは、ビデオ振幅の調整は装置の出力側で調整されます。

アナログ領域では、各フォーマットによりビデオ振幅は明確に定義され、波形モニターにより確認できます。NTSC信号は、シンク・チップからホワイト・レベルまで140IREで通常1Vです。NTSCビデオのルミナンス範囲(図47)は0~100IRE (714.3mV)、あるいは7.5IRE (53.5mV) ~100IREとなります。カラー情報を多重した場合も、信号振幅はこの範囲に収められます。NTSC同期信号の振幅は、40IRE (-285.7~0mV)です。NTSCビデオ信号は一般的にブランキング・レベルでクランプされ、0mV以下のアクティブ・ビデオ信号を発生しないように設定されます。

また、PAL信号では、ビデオ・ルミナンス範囲は0~700mV、シンクは-300mVで、セットアップなしで1Vの振幅を持ちます。信号は0mVでクランプされ、ブラック・レベルとなります。クロミナンス情報はこの範囲に収められます。

ビデオ振幅は、システムの処理ステージごとにチェックされます。基準の振幅を持つアナログ・テスト信号(カラー・バー信号など)で各ステージの出力レベルを調整します。

各国では、国際協定に基づき放送(無線)通信規格を策定しています。NTSC、PALおよびSECAMは、シンク・チップをピーク出力とし、白レベルを最小出力となるように変調します。この変調方式は効率的で、可視ノイズを削減させますが、非線形特性に敏感になります。ビデオ・レベルは、ホワイトとカラー・コンポーネントのピークが最小出力となるため、シンク・チップと適切なバランスを取り、送出力を制御する必要があります。ビデオ・レベルが低すぎるとビデオ信号/ノイズ比は高まり、消費電力は増加します。ビデオ・レベルが高すぎると、キャリアはゼロ出力に近い状態になり、トランスミッタで多くの歪みを発生し、画質の低下を招きます。

信号振幅

アナログ・システムでは、スタジオの各種装置間でやりとりされるビデオ信号は、映像と直接関係する電圧の変化を示しています。アナログ・ビデオ波形モニターを使用すれば、様々なタイミング・パターンに応じたアナログ・ビデオ信号の電圧レベルを容易に観測できます。

デジタル・ビデオ・システムでは、ビデオ信号とはトランスポート層のデータ「キャリア」で、映像情報を含んだデータ・ストリームのことです。ここでいうデータとは、クロックに同期したデジタル・パターン(ハイとロー)で表現される、コンテンツ情報を含んだ一連のアナログ的な電圧変化(図48および49)と言えます。ト

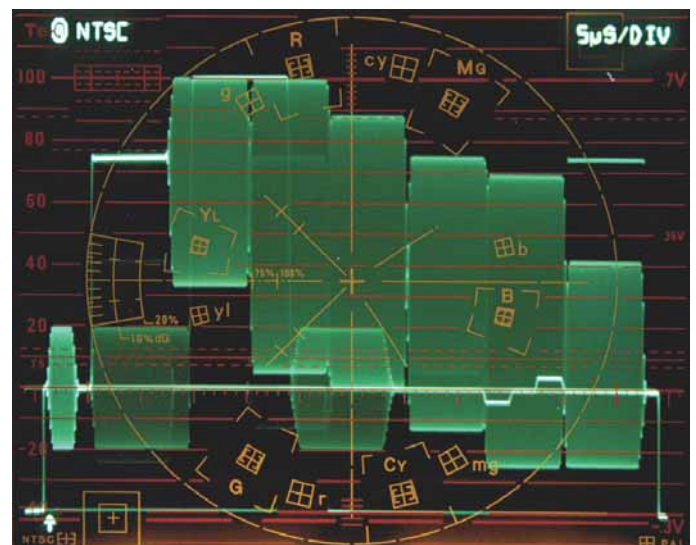


図47. 適正に調整されたコンポジット・ビデオ振幅 (NTSC、セットアップなし)

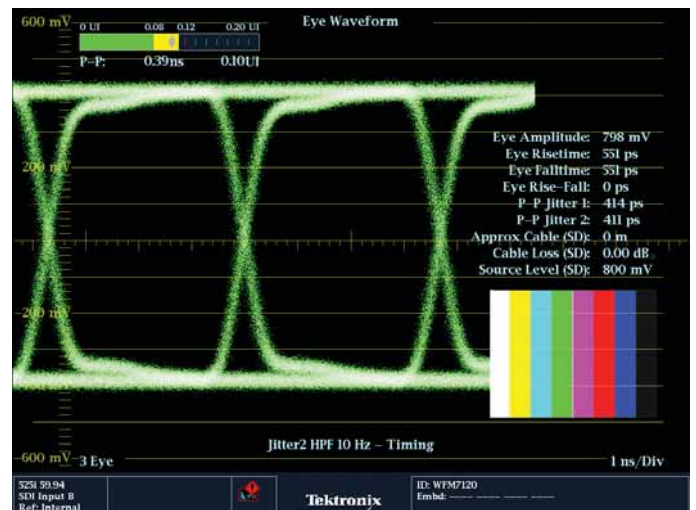


図48. WFM7120型で表示された適正な270Mbpsデータ信号

ランスポート層では、デジタル信号の振幅は800mV_{p-p}レベルで、クロック周波数の半分の周波数成分を持ち、受信側で適切なケーブル補正処理が施されます。

広帯域オシロスコープ、または当社SD/HDフォーマット用のWFM7120型、WFM6120型あるいはWVR7120型オプションEYEなどのビデオ波形モニタを使用すれば、トランスポート層のデジタル信号を表示させることができます。アイ・パターン・モードでは、波形モニタはサンプリング・オシロスコープとして動作します。高速で変化する一連のデジタル・データをこのモードで観測すると、波形が重ね合わされ、モニタ上には、目のような形状のアイ・パターンが表示されます。テスト対象機器の出力特性をアイ・パターンで評価する際は、非補正モード（non-equalized mode）にするために短い同軸ケーブルを使用します。長いケーブルを使用した場合は、ケーブルの特性により波形が歪み、データを認識できなくなる恐れがあるため、補正モードを適用する必要があります。この補正モードは、システムの動作限界を確認する場合には有効ですが、テスト対象機器の出力信号の特性を適正に評価することはできません。また、波形モニタのオプションPHYを使用すれば、ジッタ波形表示およびアイ・パターン振幅などの自動測定機能により、トランスポート層の詳細測定を行うことができます。

データ・トランスポート・ストリームとしては、ITU-R BT.601規格のSDコンポーネント・ビデオでは、270Mbps、HDフォーマット（SMPTE 292M）に対しては最高1.485Gbpsのレートでデータ伝送されます。この速度で電圧レベルが変化し、波形モニタで表示するために重ねて表示されます（図48）。アイ開口に影響を及ぼすエラーや歪み、さらに受信機側でのデータの復元を困難にするエラーや歪みを判断することができます。複数のデジタル・フォーマットに対応したWFM7120/6120型のデジタル波形モニタは、アイ・パターン・モードではいくつかのスweepを選択でき、ワード、ラインおよびフィールドで表示が可能であるため、障害の確認を容易に行うことができます。

デジタル・ビデオ波形表示では、従来のアナログ波形（ベースバンド・ビデオ）と同じように見えますが、これはトランスポート層の数値データをアナログ的に表現した波形です。デジタル・データは、アナログ・コンポーネント・ビデオとしてデコードされて表示されます。これはビデオ信号のモニタリングには有効ですが、これで発見されるエラーの多くはアナログ領域で初期に引き起こされたものです。

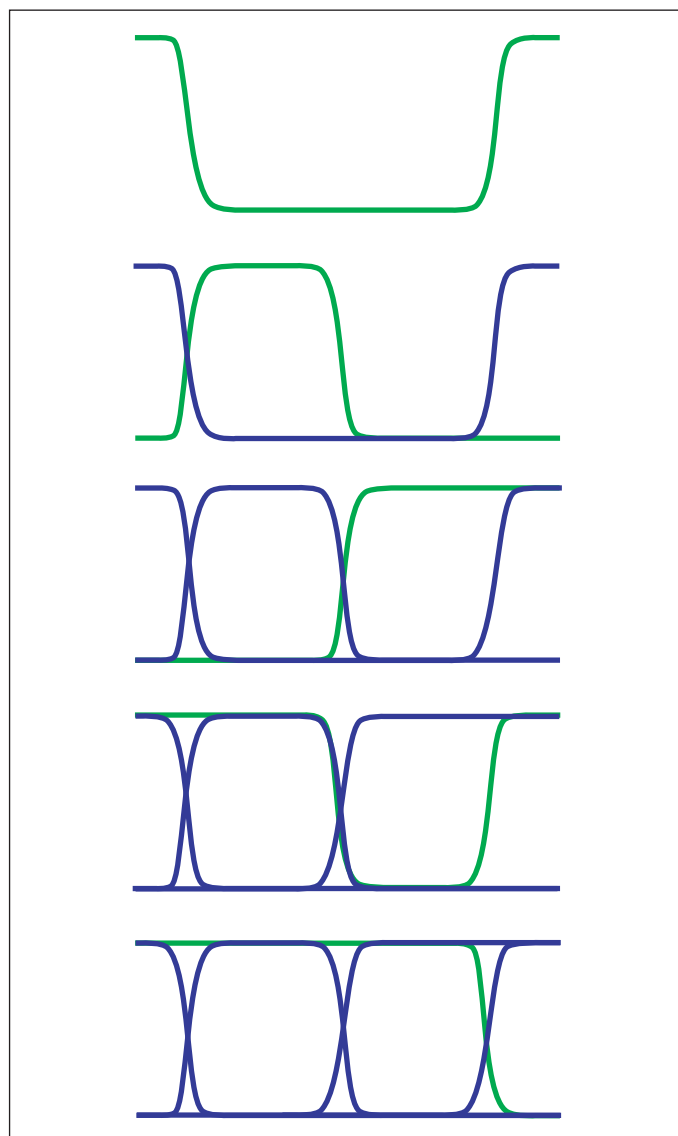


図49. アイ・ダイアグラム表示

周波数応答

アナログ・ビデオ・システムで、長いケーブルなどを使用する際に周波数特性を補正することがあります。この目的は、システムの各ステージの周波数応答を「フラット」にするということです。マルチバースト信号（図50）は、補正調整を素早く行うために使用できます。マルチバースト信号の周波数パケットが出力段階で同じ振幅になるように増幅器を調整することで、フラットな特性を得ることができます。

デジタル・システムでは、高周波成分の損失はトランスポート・データ・ストリーム（トランスポート層）にのみ影響して、データ数値（データ層）には影響を及ぼしません。しかし、高周波成分の損失が大きくなるとデータ数値が復元できなくなり、画像情報を正確に再生できなくなります。受信機のケーブル・イコライザ機能によって、入力直後に高周波成分の損失量を補正できます。システム設計時にはデータの欠落が起こらないように、ケーブル長に注意を払わなければなりません。デジタル・システムでは、アナログ・ビデオ・システムのような周波数応答の調整は必要ありません。

群遅延歪み（および各種輝度信号歪み）

アナログSDシステムでは、およそ10MHzの帯域幅をもち、主要なエネルギーである0～6MHz範囲の周波数応答を特に注意し、フラットにしています。群遅延エラーは、包絡線遅延と呼ばれることもあります。ある周波数の信号が別の周波数の信号に対して、伝達する時間が異なることに起因して現れます。この影響は、帯域幅を制限することによっても発生することがあります。画像に現れる影響は、輝度レベルが急速に変化する際、オーバーシュートまたはラウンディングとして現れます。コンポジットNTSCまたはPALテレビ方式では、画像の色はルミナンスの急激な変化により左右に位置ずれを生じます。群遅延エラーは、NTSC/PALエンコーダ、サウンドノッチ・フィルタおよびテレビ局の送信機における残留側波帯フィルタによっても引き起こされます。また、テレビ受信機内のクロミナンス・デコード用バンドパス・フィルタも原因の一つです。

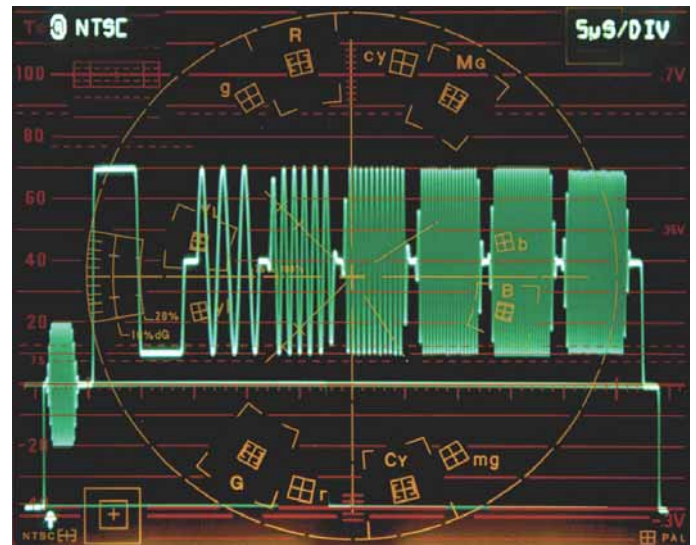


図50. 各周波数で同一振幅のマルチバースト信号（1H表示）

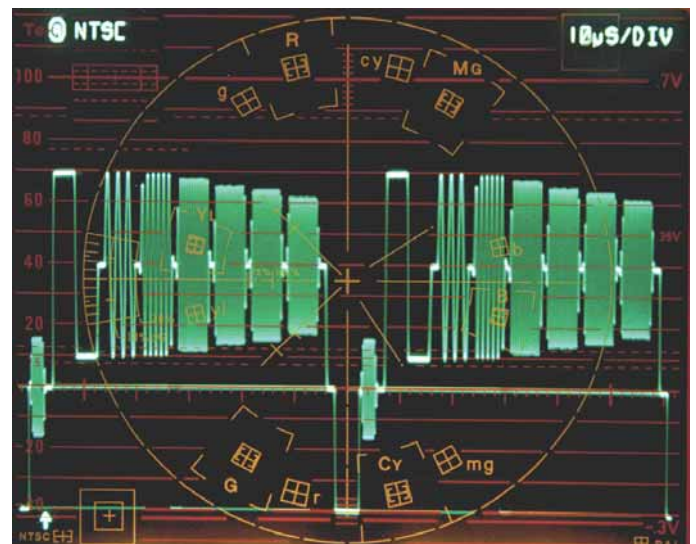


図51. 周波数ロールオフ応答を示すマルチバースト信号（2H表示）

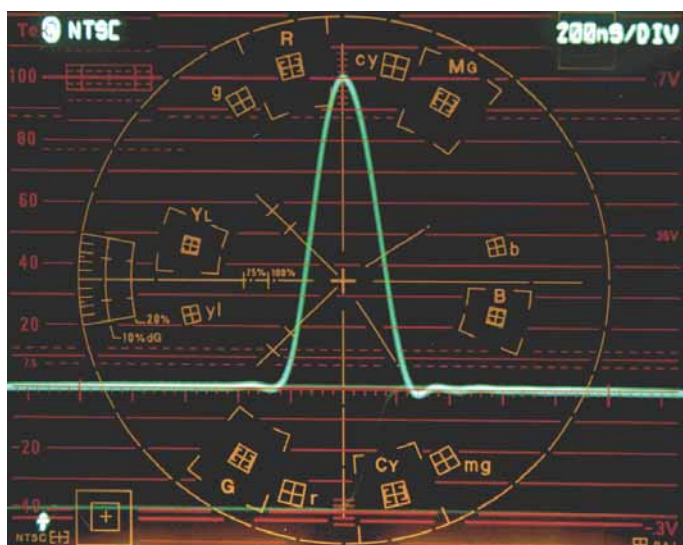


図52. 適切な2Tパルス (1H MAG表示)

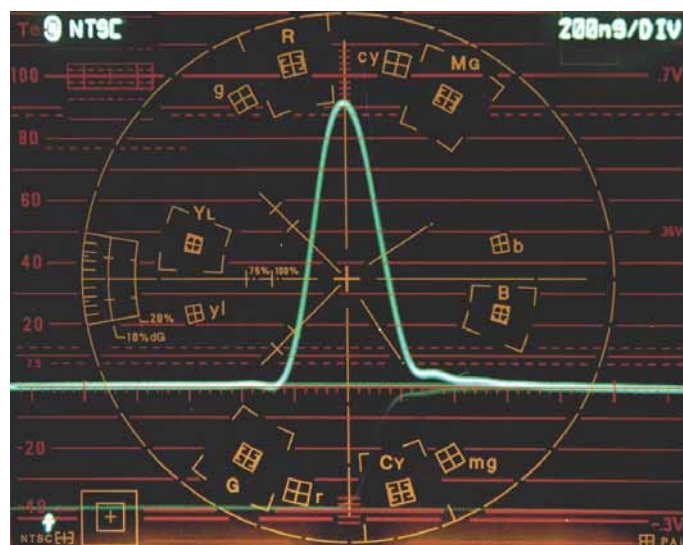


図53. 2Tパルス (劣化の例)

実際の運用では、群遅延応答の制御は主にアナログ・トランスミッタ設備を中心に行われます。しかし、群遅延のチェックは個々の機器について日常的に行う必要があります。スタジオ設備の群遅延エラーは、パルス・バー・テスト信号で簡単にチェックできます (図52)。このテストには、2Tパルスや立上り特性が調整されたホワイト・バーを使用します。システム帯域幅の半分のエネルギーを持つ2Tパルスは、低レベルのリングングを引き起こします。リングングは左右対称にならなければなりません。群遅延歪みがある場合にはエッジは歪み、左右非対称になります (図53)。高周波数エネルギーに遅延が発生すると、2Tパルスの右側に後にリングングが発生します。

コンポジット・パルス・バー・テスト信号は、システム位相応答の測定に大変役に立ちます。コンポジット・システムのテストでは、サブキャリア周波数で変調された12.5Tまたは20Tパルスにより、クロミナンス信号・ルミナンス信号の遅延およびサブキャリア周波数と低周波数成分の相対ゲインの両方を素早くチェックできます。ベースラインが平坦な場合は、ゲインと遅延の両方が適切であることを示しています。システムからのベースラインが上方に湾曲している場合は、サブキャリア周波数のゲインが低下していることを示しています。下方へ湾曲している場合は、サブキャリア周波数のゲインが高まっていることを示しています。初めに上方へ湾曲し、最後に下方に湾曲する場合は、サブキャリア周波数に遅延が発生していることを示しています。その逆も同様です。

ビデオ帯域全体の群遅延測定は、マルチパルスまたは $\text{Sin}(x)/x$ パルスを使用して測定することができます。

デジタル・ビデオ・システムのコンポーネントでは、アナログ→デジタル変換、あるいはデジタル→アナログ変換の際に、アンチエイリアスおよび量子化ノイズ除去のためローパス・フィルタが使用されます。カットオフ周波数は、標準的なSDコンポーネント・ビデオ・チャンネルでは約5.75MHzおよび2.75MHzです。デジタルHDフォーマットでのカットオフ周波数は、ルミナンスに対して約30MHz、クロミナンスに対して15MHzです。通常、デジタル装置のこれらのローパス・フィルタを調整することはありません。

非直線歪み

アナログ回路では、非線形なゲイン特性はさまざまな形で画像品質に影響を及ぼします。増幅器のゲインが動作レベル (差動ゲイン) で異なると、NTSCまたはPALビデオ・フォーマットで彩度のエラーとなります。アナログ・コンポーネントでは、輝度や色相が変化します。(補足: ITU-R BT.1439では、平均映像レベル (APL)、輝度/色信号振幅の変化に依存した劣化を非直線歪み (NLD; Non-Linear Distortion)、APLや振幅に依存しない劣化を直線歪み (LD; Linear Distortion) に分類しています。主なLDは、周波数応答歪みや群遅延歪み (及び各種輝度波形歪み) などで、NLDは微分利得 (DG) や微分位相 (DP) などが良く知られています。)

微分利得 (DG: Differential Gain)

微分利得は、ゲイン特性が直線でないことにより発生し、アナログ領域で問題となります。デジタル領域では発生しません。しかし、不適切なレベルの輝度および色差信号をアナログ→デジタル変換すると、クリッピングが発生し、ガマット・エラーとなります。ガマットに関しては、付録A — を参照してください。

微分位相 (DP: Differential Phase)

ビデオ信号レベルによって遅延時間が変化すると、微分位相エラーが発生します。これはアナログ領域の問題で、デジタル領域では発生しません。NTSC方式では、輝度（信号レベル）の変化がカラー・サブキャリアの瞬時位相（微分位相）を変化させることにより、色相の変化を引き起こします。PAL方式では、この色調シフト（変化）はラインごとに逆方向になるため平均化されます。コンポーネント・ビデオ信号では、3つのチャンネルのどれにエラーが発生したかにより影響は異なりますが、（通常）カラー・フリッジ（Color Fringing Effects）が発生します。HDシステムでは、輝度レベルの急激な変化によるリングングやオーバーシュートなどが発生することがあります。

デジタル・システム・テスト

ストレス・テスト

徐々に劣化するアナログ・システムとは違い、デジタル・システムは障害が発生するとただちに映像がクラッシュする傾向があります。従来、SDI信号の動作限界を測定するインサービス・テストがなく、システムの評価を行うにはアウト・オブ・サービスでストレス・テストを行う必要がありました。ストレス・テストは、障害が発生するまでデジタル信号に対して複数のパラメータを変化させます。シリアル・デジタル・ビデオ規格（SMPTE 259MまたはSMPTE 292M）で示された一番わかりやすいストレス・テストは、エラーの兆候が現われるまでケーブル長を付加していく方法です。その他のテスト方法として、振幅または立上り時間を変化させたり、信号にノイズやジッタを付加する方法があります。これらの各テストは、受信機のパフォーマンス、特にイコライザの適応レンジや精度、受信機のノイズ特性などをさまざまな側面から評価できます。



図54. 長いケーブルを使用した場合のアイ・パターン表示 (WFM7120型)

様々な実験の結果、SDIチェック・フィールド信号と併用して使用される場合、以下のセクションで説明するように、実際の動作に即したケーブル長テストが最も効果的なストレス・テストです。振幅を変化させたり、ジッタを付加するストレス・テストによる受信機能力のチェックなどは装置の評価には非常に有用ですが、システム動作のチェックにはそれ程有効ではありません。また、ノイズを付加したり、または立上り時間を変化させるテストなども、デジタル・システムのストレス・テストとして大きな効果は期待できません。

ケーブル長によるストレス・テスト

ケーブル長によるストレス・テストでは、実際と同軸ケーブルまたはケーブル・シミュレータを使用します。同軸ケーブルの使用は、最も単純で実用的な方法です。エラー発生の有無をチェックするだけでよく、クラッシュ・ポイントが明確にわかります。エラー測定の結果はエラー曲線（ケーブル長対エラー発生回数）の立上りの鋭さで決まります。施設内のケーブルによる動作チェックは、波形モニタで簡単に済みます。インサービス・チェックでは、伝送経路を変えた場合どのような影響があるかをチェックできます。図54では、ケーブルを延長したときの影響を示しています。

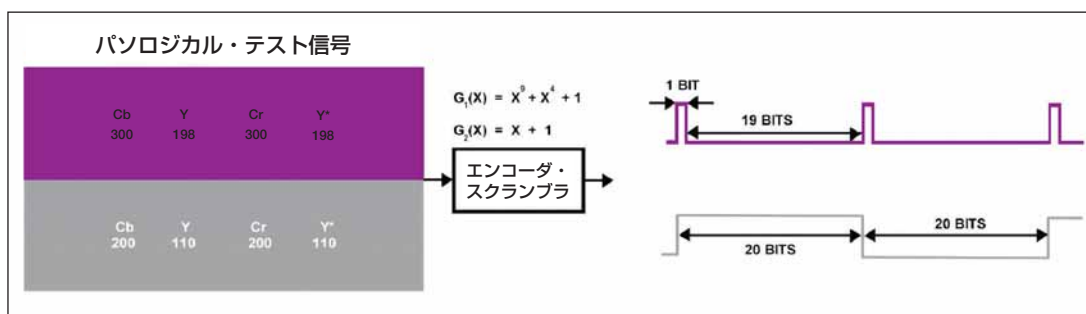


図55. SDIチェック・フィールド「パソロジカル・テスト信号」

SDIチェック・フィールド・テスト信号

SDIチェック・フィールド信号(または「パソロジカル (pathological; 病的な) テスト信号」として知られています)はフル・フィールドのテスト信号で、アウト・オブ・サービスで行うテストです。シリアル・デジタル・システムでは適正に受信するのが困難な信号で、システムの評価では重要なテスト項目のひとつになっています。SDIチェック・フィールドは、2つのフィールドに分割された領域で最大のDC成分を持つように作られた信号です。SDIチェック・フィールドでは、1の後に0が19並んだ(または0の後に1が19個並んだ)ビット・シーケンスを発生させ、イコライザの動作をテストします。このビット・シーケンスはフルラインで構成され、EAVパケットで終了します。このシーケンスでは、信号を処理する装置および伝送システムの受信機能にストレスを与えるDC成分を多く含んだパターンとなります。このテスト信号は、ルミナンスは198h、両クロミナンス・チャンネルは300hで、ピクチャ・モニタ上には画面上部に、紫色で表示される領域です。SDIチェック・フィールド信号の画面下部は、20個の1の後に20個の0が並んだビット・シーケンスで、フェーズ・ロック・ループの性能をチェックするために使用されます。クロックは信号の“1”、“0”の変化により再生されますが、このパターンは、変化の頻度を最小にします。テスト信号のこの部分は、設定されたルミナンス信号を110h、両クロミナンス・チャンネル200hであり、ピクチャ・モニタ上には画像下部にグレーの領域として表示されます。一部のテスト信号ゼネレータは、緑色で表示される信号を用いることもありますが、同じ結果を

得ることができます。コンピュータにより作られた画像には、このような再生の難しい信号を含むことがあります。そのため、SDIチェック・フィールド・テスト信号による検証は重要です。SDIチェック・フィールド・テスト信号はコンポーネント・デジタル規格には(完全に)準拠していますが、コンポジット信号では帯域外の信号成分が含まれます。(SD仕様の)SDIチェック・フィールド(図55)は、SMPTE RP178、HD仕様はSMPTE RP198に定義されています。

インサービス・テスト方法

CRC (Cyclic Redundancy Coding) はデータが正常に伝送されたかどうかチェックするために使用され、警報などに利用されます。HDフォーマットでは、CRCは各ビデオ・ライン毎に付加されています。SDフォーマットの各フィールドにはオプションとして挿入することができます。受信機は、伝送されたCRCと受信されたデータから、計算されたCRCを比較します。SDフォーマットでは、CRC値は垂直期間に挿入されます。SMPTE RP165は、オプションとしてSDビデオ・フォーマット用 (EDH ; Error Detection Handling) のデータ・エラーの検出および処理について定義しています。フィールド毎に1回フル・フィールド (FF) およびアクティブ・ピクチャ (AP) データに対して別々にチェックします。フル・フィールド・チェックは、垂直期間 (525ライン規格ではライン9-11、または625ライン規格ではライン5-7) を除いて、すべてのデータを対象にしています。

| Video Session | | | | |
|-------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|
| Input: | SDI A | Data Collect: | Running | |
| Signal: | Locked | Run Time: | 2 d, 18:41:54 | |
| Format: | Auto 525i 59.94 | | | |
| 352M Payload: | None | | | |
| SAV Place Err: | OK | Ancillary Data: | None | |
| Field Length Err: | OK | Stuck Bits: | ----- | |
| Line Length Err: | OK | F2 AP CRC: | 2532h | |
| F1 AP CRC: | 2532h | | | |
| Statistics | Status | Err Secs | Err Fields | % Err Fields |
| RGB Gamut Error | OK | 0 | 0 | 0.0000 % |
| Cmpst Gamut Error | OK | 0 | 0 | 0.0000 % |
| Luma Gamut Error | OK | 0 | 0 | 0.0000 % |
| FF CRC Error | Error | 74 | 4407 | 0.0931 % |
| AP CRC Error | Error | 52 | 3091 | 0.0653 % |
| EDH Error | Error | 74 | 4407 | 0.0931 % |

Changed since reset: Yes
Press "Select" to reset. Any "arrow key" stops/starts.

525i 59.94 SDI Input A Ref: Internal **EDH Alarm** ID: WVR Audio In: Dolby J/Emh364 **Tektronix**

図56. EDH値を示すSD信号のビデオ・セッション画面 (WVR7120型)

アクティブ・ピクチャ・チェックは、SAVとEAVを除くアクティブ・ビデオ・データ・ワードを対象にします。ハーフ・ラインのアクティブ・ビデオは、アクティブ・ピクチャ・チェックの対象としません。デジタル・モータは、EDH CRC、AP (Active Picture) またはFF (Full Field) のCRCエラー (図56) を表示できます。HDフォーマットでは、ルミネランス信号とクロミネランス信号のCRCはアクティブ・デジタル・ラインやそれに続くEAVのデータ誤りを検出することができます (SMPTE 292M)。そのため、CRCチェックはY-CRCとC-CRCに対してライン毎に行われます。このCRCにより、ユーザは伝送経路で受信したエラー数をモニタできます。エラー数が増加した場合は注意が必要です。エラーが1時間毎または1個から1分毎に1個と増えた場合には、システム

| Video Session | | | | |
|----------------------|-------------------------------|---------------|---------------|--------------|
| Input: | SDI A | Data Collect: | Running | |
| Signal: | Locked | Run Time: | 0 d, 01:44:41 | |
| Format: | Auto 1080i 59.94 - HD SDI 422 | | | |
| 352M Payload: | None | | | |
| SAV Place Err: | OK | Y Stuck Bits: | ----- | |
| Field Length Err: | OK | C Stuck Bits: | ----- | |
| Line Length Err: | OK | | | |
| Line Number Err: | OK | | | |
| Ancillary Data: | Y and C Present | | | |
| Statistics | Status | Err Secs | Err Fields | % Err Fields |
| RGB Gamut Error | OK | 60 | 2706 | 1.0699 % |
| Cmpst Gamut Error | C- | 4223 | 252360 | 99.7778 % |
| Luma Gamut Error | OK | 64 | 3450 | 1.3641 % |
| Y Chan CRC Error | OK | 60 | 3733 | 0.7370 % |
| C Chan CRC Error | OK | 60 | 3732 | 0.7368 % |
| Y Anc Checksum Error | OK | 33 | 73 | 0.0144 % |
| C Anc Checksum Error | OK | 41 | 3108 | 0.6136 % |

Changed since reset: N/A row key" stops/starts.

1080i 59.94 SDI Input A Ref: Internal **Cmpst Gamut Error** ID: WFM7120 Embd: FFFF FFFF FFFF FFFF **Tektronix**

図57. CRC値を示すHD信号のビデオ・セッション画面 (WFM7120型)

はデジタル・クリフに近づいていることとなります。システムがデジタル・クリフを起す前に伝送経路を調査し、エラーの原因を特定しなければなりません。図57はWFM7120型のビデオ・セッションを表示しており、HD信号のYとCチャンネルで発生したCRCエラーの累積数を示しています。また、累積されたエラー数だけでなく、フィールド数および時間も表示されます。時間をリセットするとモニタリングを再開します。多数のCRCエラーの発生を確認したならば、アイ・パターンおよびジッタ表示を使用して、伝送経路を詳細に調査する必要があります。エラーが分または秒単位で発生している場合は、システムはデジタル・クリフに近づいており、ディスプレイ上でもエラーが確認できる状態になっているかもしれません。

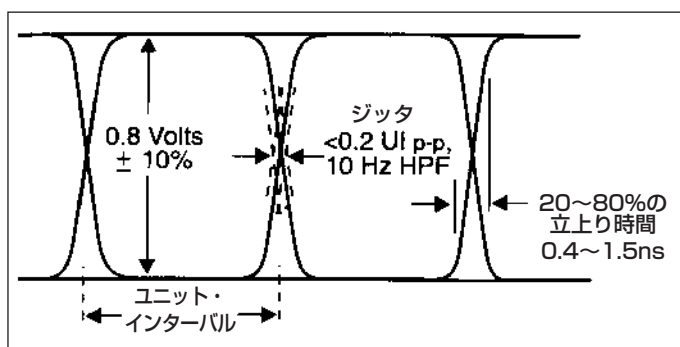


図58. アナログ・トランスポート層のアイ・パターン表示

アイ・パターン・テスト

アイ・パターン（図58）は、伝送路の信号をオシロスコープと同じように表示します。データを正確に受信するには、信号のハイとローを受信機で確実に検出できなければなりません。アイ・パターン表示では、信号振幅、立上り時間およびオーバーシュートを測定できます。またアイ・パターンは、クロックに対するジッタを測定できます。機器の出力特性を測定する最も良い方法は、信号がノイズや周波数ロールオフによって影響を受けない送信端で行う方法です。振幅、立上り時間およびジッタに関する仕様は SMPTE259M、SMPTE292M、および RP184 などの関連規格に定義されています。周波数、周期は、シリアライゼーション・プロセスではなく、同期信号ゼネレータによって決定されます。ユニット・インターバル（UI）は隣接する2つの信号遷移間の時間幅として定義され、クロック周波数の逆数になります。ユニット・インターバルは、デジタル・コンポーネント525および625（SMPTE 259M）では3.7ns、HD（SMPTE 292M）では673.4psです。受信機は、信号が各アイ・パターン表示の中心部で「ハイ」または「ロー」になっているかどうかを判断し、シリアル・データを検出します。信号のノイズやジッタは伝送チャンネルにより増加するため、データの「ハイ」、「ロー」の判定ポイントはアイ（開口部）の中心が最適となります（図59を参照）。受信機によっては、各トランジション・ポイントからの固定時間によりポイントを設定します。アイ（開口部）が閉じていくと、エラーが発生する可能性が高

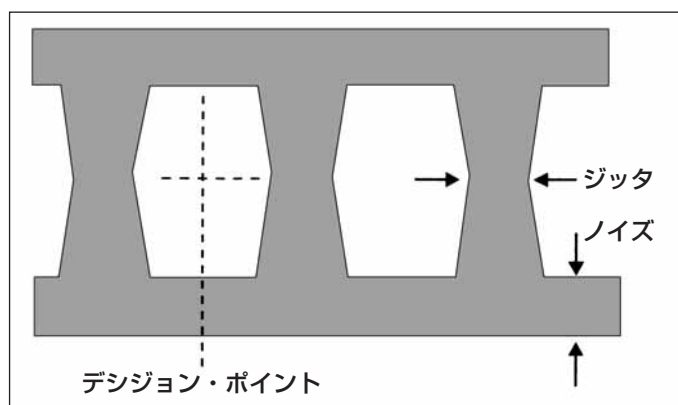


図59. シリアル信号のデータ復元

くなります（前方誤り訂正（FEC：forward error correction）を備えた通信システムでは、アイ・パターンがほぼ閉じた状態でもデータは正確に復元できます）。シリアル・デジタル・ビデオを適切に伝送するためには非常に低いエラー率が必要で、そのためには、アイ（開口部）が十分開いた状態であることが必要です。許容可能な（アライメント）ジッタは、0.2UIと規定されています。これは、デジタル・コンポーネント525と625方式では740ps、デジタルHDでは134.7psです。デジタル・システムでは、このジッタ仕様を超えても動作しますが、障害が発生する可能性が高くなります。デジタル・システムでの基本的な処理では、システムを正常に保つために信号を高品質の状態に維持することが重要です。受信機は、受信信号のハーフ・クロック周波数成分に基づいて必要な周波数応答の補正（等化）を予測します。この際、信号振幅は重要な要素で、送信端で振幅が不適切な場合は受信端の等化処理が不適切なものになってしまい、信号歪みを引き起こします。アイ・パターン表示の立上り時間測定は、20%と80%のレベルと交差する時間を測定します。立上り時間が不適切に早い場合、リングングやオーバーシュートなどの信号歪みを引き起こします。または、あまりに遅いとデータをサンプリングするための有効時間が減少します。オーバーシュートは、送信端または受信端でインピーダンスの不連続またはリターン・ロスが発生すると引き起こされます。そのため、計測器には正確な終端処理が施されていなければなりません。



図60. 未終端のアイ・パターン表示 (WFM7120型)

特に1.485Gbps以上のHDデータ・レートでは、ケーブル損失により、反射による波形歪みが目立たなくなることがあります。このため、インサービスにおけるアイ・パターンのモニタリングでは、計測器内部で終端処理します。アウト・オブ・サービスで伝送経路をテストする場合、送信機としてテスト信号ゼネレータを使用し、アイ・パターンを表示できる波形モニタを受信機として使用することができます。アイ・パターン・テストには、トランスポート層のデータ・レートを越えた周波数特性を持つ広帯域オシロスコープが必要です。当社のVM700T型、WVR7120型およびWFM7120/WFM6120型は、SD (270Mbpsデータ) のアイ・パターン測定が可能で、WVR7120型またはWFM7120型はHD 1.485Gbpsデータ・ストリームのアイ・パターン測定が可能です。これらのデジタル波形モニタには、アイ・パターンを測定するだけでなくビデオ・データを抽出して表示できるという大きな利点があります。アイ・パターンは、10ビット/20ビットデータ・ワードと関連のないジッタを表示するための3-データ・ビット・オーバーレイ (3アイ・モード) と、データ・ワードに相関を持つジッタを表示する10アイ (SD) /20アイ (HD) モードを持っています。また、波形モニタのスweepをビデオ・ラインまたはフィールド・レートと同期させることにより、水平または垂直ビデオ情報と相関関係を持つデータ・ストリームのDCシフトを簡単に確認することができます。

アイ表示の特性を明確に理解すると、アイ・パターンを利用した信号経路のトラブルシューティングが迅速に行えます。クロック・

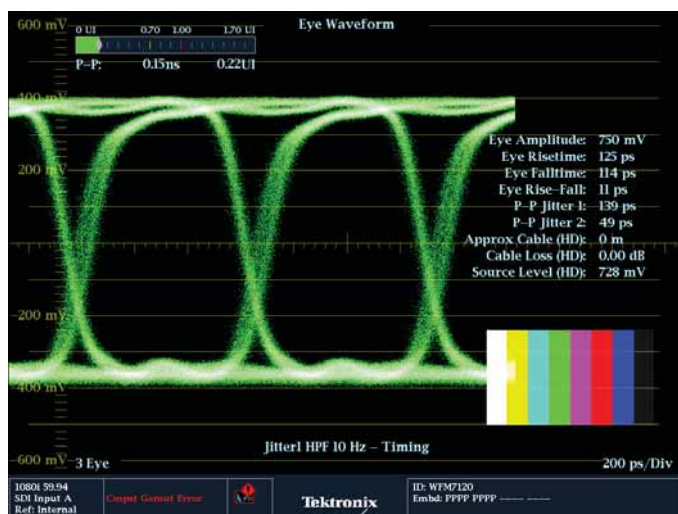


図61. 非対称のアイ・パターン表示 (WFM7120型)

レートが高いHD-SDIシステムで最も重要なことは、終端処理を適切に行うことです。終端が不適切だとエネルギーのすべてが受信終端または機器で吸収されなくなり、残りのエネルギーはケーブルに沿って反射し、定在波を発生させます。また、反射は信号内にリングングを発生させ、図60で示すようにアイ・パターン表示ではオーバーシュートやアンダーシュートとして現れます。それ自身は受信エラーを引き起こしませんが、アイ開口部を狭め、受信機のクロックやデータを復元する能力を低下させます。

アイ・パターン表示では、通常50%ポイント付近でクロス・ポイントが現れます。信号トランジションの立上り時間または立下り時間が対称でない場合、アイ・パターン表示のクロス・ポイントはトランジションの不均等の割合にしたがって50%ポイントから離れていきます。このような信号は、機器内のACカップリングによって、データ判定の最適レベルを変化させてノイズ・マージンを減少させます。通常、SDI信号の立上り時間と立下り時間は対称になっていますが、非対称ライン・ドライバや光信号ソース (レーザなどの応用装置) には、図61のように非対称トランジションが使用されています。しかし、これらのソースの非対称は信号の立上り時間と立下り時間には大きな影響を与えません。それより、ケーブルなどによる減衰特性が信号のトランジション時間に大きな影響を与えます。そのような場合、適切な補正またはその他の調整を行わなければ、受信機のノイズ・マージンを減少させて、エラーを発生する恐れがあります。

機器間のケーブルを延長すると、ケーブルに応じて振幅の減衰と周波数の損失を引き起こし、信号の立上り／立下り時間が遅くなります。ケーブルを延長すると、アイ開口部は狭まり、はっきり確認できなくなります。しかし、この信号ではまだ、ケーブル等化器（イコライザ）によりデータ・ストリームを改善できるため、適切な受信が可能です。SDI信号が図54のようにケーブルの延長で劣化すると、アイ開口部ははっきりと確認できなくなります。この場合、WFM7120型、WFM6120型の等化アイ・モード（Equalized Eye Mode）により、ユーザはイコライザで図62に示すように信号を補正した後のアイ・パターンを確認できます。このため、適切な適応イコライザを装備した受信機はこの信号を復元できます。しかし、すべての受信機に同じ設計が施されているとは限らないので、注意が必要です。波形モニタのイコライザを使用した状態でアイ開口部が部分的または完全に閉じている場合、受信機ではクロックやデータの復元は困難です。この場合、受信機でデータ・エラーが発生する可能性はさらに増えます。データ・エラーはスパークル（sparkle）ノイズ、ラインの欠落、画像のフリーズを引き起こします。この時点で信号経路の末端付近にある受信装置などはSDI信号からクロックやデータの抽出に問題が発生する可能性があります。信号の物理層で正常状態を維持できれば、この種の問題は発生しなくなります。波形モニタでアイ・パターンやジッタが測定できると、これらの問題のトラブルシューティングがしやすくなります。

ジッタ・テスト

シリアル・ビデオ・データでは、データとは独立したクロック・ラインが存在しないため、データ・トランジションを検出することにより基準クロックを生成します。これは、入力信号に対してほぼリアルタイムでロックする高い帯域のオシレータ（SD信号では5MHz帯域の270MHzオシレータ）でPLLを実現します。生成されたク

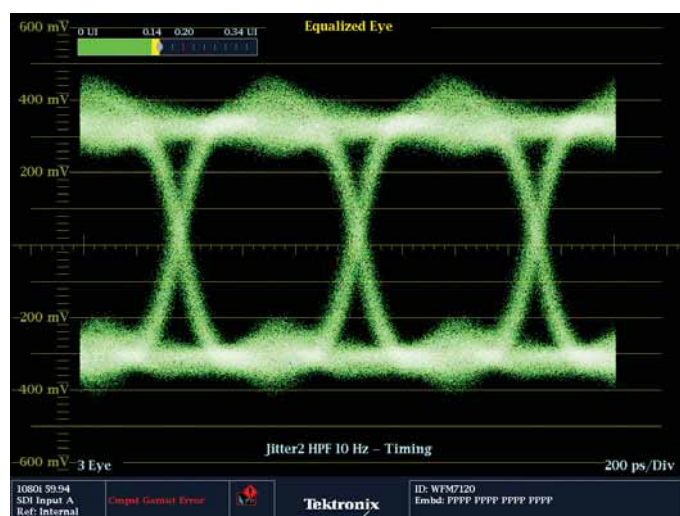


図62. イコライズ処理したアイ・パターン表示（WFM7120型）

ロックは、応答を平均化するための低い帯域のオシレータ（SD信号では10Hz帯域の270MHzオシレータ）を駆動します。タイミング・ジッタは、10Hz以上の周波数成分を持ったジッタです。この測定では、元のリファレンス・クロックと比較することが望ましいのですが、実際には不可能なため、前述の低い帯域のオシレータをリファレンスとして使用します。相対（Relative）ジッタは、信号自身から生成されたクロックに対するジッタとして定義されます。この生成されたクロックはクロック・リカバリ回路の帯域までの入力信号に追従します。通常、SDでは1kHz、HD信号に対しては100kHzまで追従するため、測定されたアライメント・ジッタには、この周波数以上のジッタが含まれます。アライメント・ジッタの増大は、信号のラッチ・タイミングのマーヅンの減少を招きます。

WFM6120型 (図61)、WFM7120型、VM700T型などの当社計測器は、各種ハイパス・フィルタを使用してジッタを分離できます。SDビデオのタイミング・ジッタの測定では10Hz~5MHzのフル帯域幅で測定し、1kHz~5MHzのアライメント・ジッタの測定では1kHz (-3dB) ハイパス・フィルタが使用されます。また、ジッタ成分をさらに分離するために、他のカットオフ周波数を持ったハイパス・フィルタを使用することもできます。これらの測定では、ジッタ振幅を数値で直接読み取ることができるほか、測定されたジッタ量を波形として表示できるため、ジッタの原因を特定するのに役立ちます。単一の機器あるいは信号経路で規格以下のジッタに抑えられていなければならないのはもちろんですが、複数の機器を通過することでジッタが累積 (ジッタ増大) し、障害が引き起こされる可能性があるため注意が必要です。シリアル・デジタル・システムのジッタ測定法については、SMPTE RP184、EG33およびRP192などに解説されています。

SDI信号内のジッタ量によりアイ開口部は狭められ、最後には閉じてしまう可能性があり、信号のデータ識別を困難にします。自動測定またはカーソルを使用した測定では、1UIまでの測定となります。また、突発的に起こるジッタをアイ・パターン表示を利用して計測することは困難です。

WFM7120型およびWFM6120型オプションEYEを使用すれば、アイ・パターン表示でジッタ量を読み取ることができます。ジッタの単位は、ユニット・インターバルまたは時間が選択できます。運用中のモニタリングでは、図64に示すジッタ・バー表示により、SDI信号の状態をビジュアルに監視できます。バーが赤色に変化した場合、システムに潜在的な問題があることを警告しています。このしきい値は、システムに合わせて設定できます。



図63. 2フィールド・レートのジッタ波形表示モード (WFM7120型)

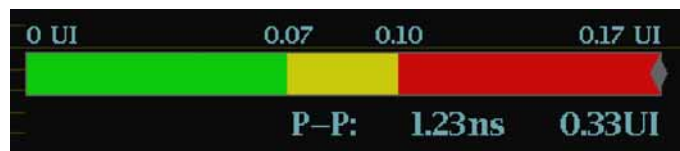


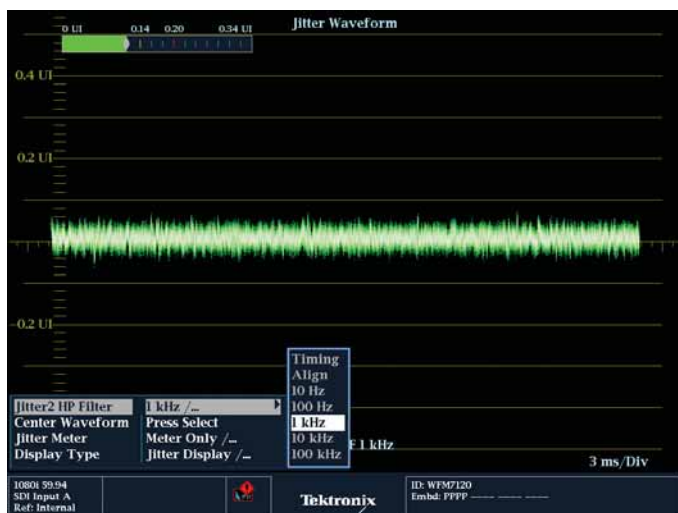
図64. ジッタ・バー測定表示



10Hzフィルタによるジッタ波形表示



100Hzフィルタによるジッタ波形表示



1kHzフィルタによるジッタ波形表示



100kHzフィルタによるジッタ波形表示

図65. 異なるフィルタを使用したジッタ波形表示の例

WFM6120型およびWFM7120型オプションPHYに装備されているジッタ波形表示を使用して、アイ・パターン表示やジッタ値読み取り機能に加え、信号に含まれるジッタの特性をより詳細に調べることができます。ジッタ波形は、ビデオ・レートに応じて1ライン、2ライン、1フィールドまたは2フィールドで表示できます。システム内のジッタをチェックする場合、2フィールド表示を選択し、適切なゲインを設定します。ジッタが少なければトレースは水平ラインになるはずですが、ゲインを10倍に拡大することで、システム内のノイズを表示できます。これは本来ランダムになるはずですが、特定のパターンを示す場合は、フィールドと相関を持つジッタが発生する要因をシステムが持っていることを示します。

この波形モニターでは10Hz、100Hz、1kHz、10kHzおよび100kHzの各種フィルタが使用できます。これらのフィルタは問題を特定するのに役立ちます。図65の例では、さまざまなフィルタが使用され、ジッタの読み値とジッタ波形表示が示されています。10Hzに設定したフィルタを使用すると、0.2UIのジッタがフィールド・レートで、突発的なジッタが発生していることが波形表示でわかります。100Hzフィルタが使用されると、ジッタ成分の一部

が取り除かれ、安定した波形となります。測定では、0.12UIを示しています。しかし、フィールド・レートでの変動は未だ存在しています。1kHzの適用ではジッタ成分はさらに減少し、トレースはもっとフラットなラインになりますが、フィールド・レートの変動がこの場合でも存在しています。ジッタの読み値は、100Hzと1kHzのフィルタでは大きな変化は見られませんでした。100kHzのフィルタでは、ジッタ読み値は0.07UIとかなり低くなっています。この場合、機器の出力信号は正常動作できる許容範囲におさまっており、安定した信号を提供しています。通常、バンドパス帯域を狭くする（ハイパス・フィルタのカットオフ周波数を上げる）ことで、ジッタ測定値は小さくなります。

これらのフィルタを使用することにより、ユーザはジッタ成分が持つ周波数成分がどのバンドにあるかを判断できます。これは、伝送経路上のどの機器がジッタを発生しているかを特定するのに役立ちます。通常、受信機のPLL (phase lock loop) は、入力信号に追従するため、低周波数成分のジッタは大きな問題となりません。しかし、高周波のジッタ成分はPLLで追尾することは難しく、受信機で障害を引き起こす可能性があります。

SDIステータス表示

SDIステータス表示には、図66のようなSDI物理層の測定結果概要が表示されます。WFM7120/6120型およびWVR7120型オプションEYEでは、タイミング・ジッタとアライメント・ジッタを同時に表示することができます。これらの機器では、入力されたSDI信号にしたがってアライメント・ジッタのフィルタ設定（HD：100kHzとSD：1kHz）を自動的に変更します。さらに、ケーブル損失メータもSDIステータス表示に表示されます。オプションPHYでは、アイ・パターン振幅、立上り時間、立下り時間、立上り-立下り時間差、オーバーシュート測定などが自動的に行われます。この自動測定により、正確かつ信頼性の高い物理層の測定が行えます。

ケーブル長測定

ケーブル長測定は、伝送システムの各種装置の動作マージンを数値化するのに利用されます。ほとんどのビデオ機器製造メーカは、機器の性能を、特定のケーブルを想定してそのケーブル長について仕様を規定しています。たとえば、「受信装置の等化範囲 - 標準SD：タイプ8281ケーブルでは250mまで；HD：タイプ8281ケーブルでは100mまで」のように規定しています。図66の例では、規定されたケーブル・タイプは8281ケーブルです。この場合、装置製造メーカにより規定されたタイプのケーブルに波形モニタを接続して、ケーブル長を測定します。計測器の読み値が80mであれば、装置は少なくとも100mで動作を保証していますから、20mのマージンがあるということが分かります。測定値が100mを超えている場合は、製造メーカの推奨条件を満たしていないことになります。システム全体では、さまざまなタイプのケーブルが使用されます。しかし、製造メーカは最もよく使用されているケーブル・タイプに合わせて装置の仕様を規定しており、この測定をする場合にシステムで使用するタイプのケーブルを用意する必要はありません。WFM7120型およびWFM6120型は、良く使われているケーブル・タイプ（Belden 8281, 1505, 1694A, 1855A, Image

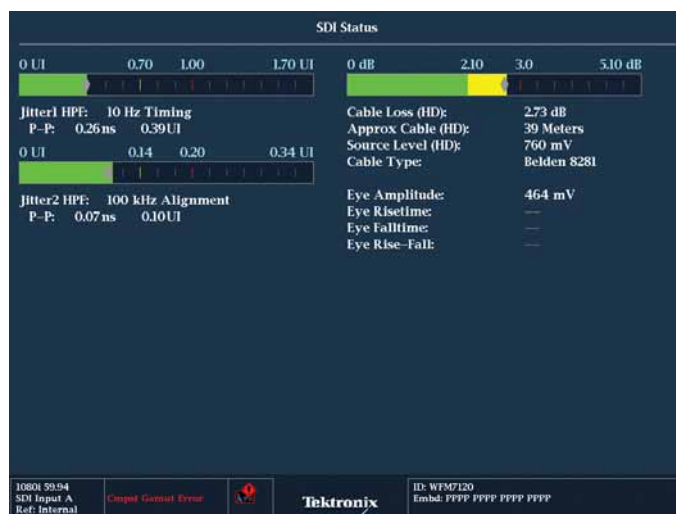


図66. SDIステータス表示 (WFM7120型)

1000 and Canare L-5CFB) に対応しています。設定メニューから適切なケーブル・タイプを簡単に選択できます。ケーブル・タイプを選択し、測定器にSDI信号を入力すると、ケーブル損失、ケーブル長および推定出力信号レベルを測定できます。

- ケーブル損失は、ケーブル長に応じて信号損失をdB（デシベル）で示します。値が0dBならば減衰がないことを示します。値が-3dBの場合は、装置が振幅800mVの信号を出力した場合、測定点での振幅は約565mVになります。
- ケーブル長は、ソース信号と波形モニタ間のケーブル長を示します。計測器は、入力信号レベルと選択されたケーブル・タイプに基づいてケーブル長を計算します。
- ソース・レベルは、装置の出力振幅を計算します。ユーザが選択した特定タイプのケーブルに基づいて推測します。

この測定は、システムの検証や装置性能の確認に最適です。装置の性能仕様を知ることにより、ユーザは機器が許容範囲内で運用されているかどうかを判断することができます。たとえば、図66に示すように、計測器がケーブル長を62mと測定した場合、8281ケーブルで長さが少なくとも100mまで動作する仕様のこの機器に対し、38mのマージンを持って運用していることを示します。この測定は、連続した長さのケーブルを推測できます。場合によっては、この測定は複数の機器が接続された信号経路で行うことができます。この場合、各リンクはケーブルの一方にテスト信号ソースを接続し、別の端に測定器を接続して各々測定します。システムの各リンクで適切な長さのケーブルが使用され、システムが各信号経路間で十分なマージンを持っているかどうかを確認できます。伝送距離が、ケーブル製造メーカーによって規定された最大長を超える場合は、信号品質を維持するためにアクティブ機器を追加する必要があります。

ビデオ・ソース間のタイミング

スムーズにビデオ・ソースを切り替えたり、合成する場合は、各ソースのタイミングが管理されている必要があります。スタジオ内で使用される機器のシリアル・デジタル・ビデオ信号間の相対タイミングは数ナノ秒から数ビデオ・ラインあります。この相対タイミングは、波形モニタを外部ソースに同期させ、画素の相対位置を比較することにより測定できます。

信号経路のタイミング差の測定は、TG700型のモジュールDVG7型デジタル・ビデオ・ゼネレータのアクティブ・ピクチャ・タイミング・テスト信号を外部リファレンスに同期したWFM6120型またはWFM7120型波形モニタで、タイミング・カーソルとライン選択機能を用いて測定することにより行うことができます。アクティブ・ピクチャ・タイミング・テスト信号は、以下のラインにルミナンス・ホワイト・バーを持っています。



図67. 緑／マゼンタ変化点におけるチャンネル間のタイミング測定

- 525ライン信号：ライン21、262、284および525
- 625ライン信号：ライン24、310、336および622
- 1250、1125および750ライン・フォーマット：各フィールドの最初および最後のアクティブ・ライン

カメラ、テレシネまたはビデオ・レコーダなどの信号ソース機器の相対タイミングは、アナログ表示させた垂直ブランキング中のSAVタイミング・リファレンスを使用して測定できます。波形モニタCONFIGメニューのSDI入力のEAV/SAVを「PASS」モードに設定すると、タイミング・リファレンス信号の波形表示ができます。

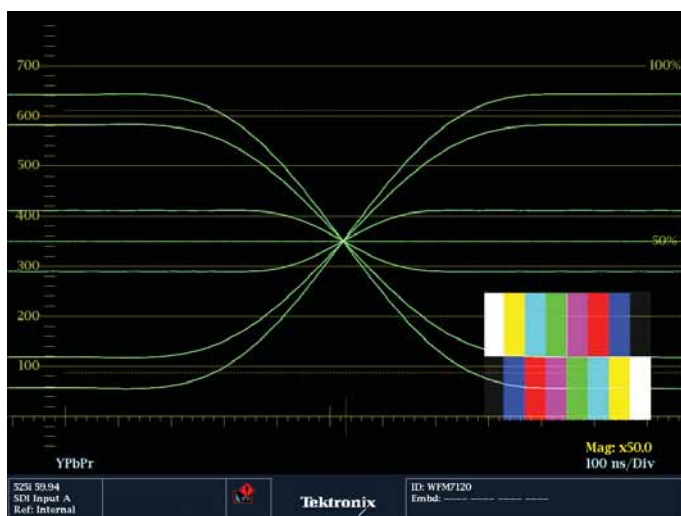


図68. TG700型のリバーズ・カラー・バー信号 (H MAG, OVERLAY)

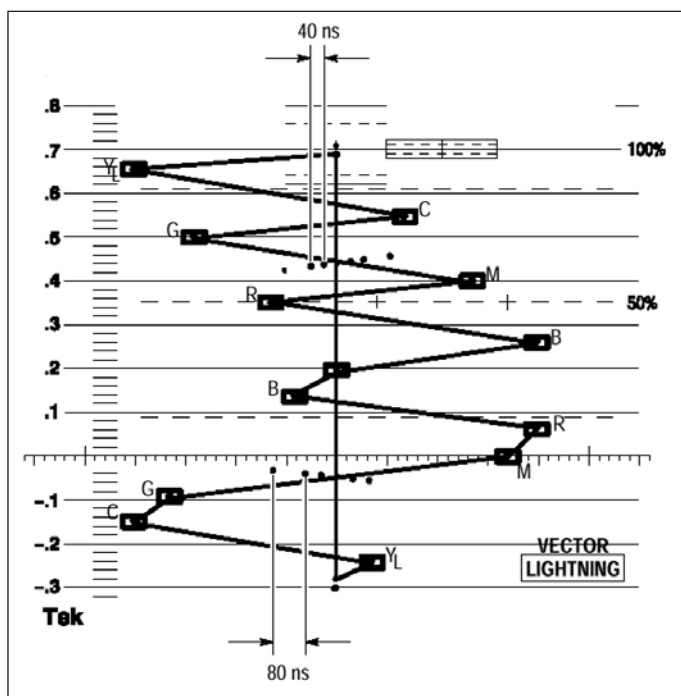


図69. 100%カラー・バー信号のライトニング表示

コンポーネント信号のチャンネル間タイミング

コンポーネント信号を構成する各チャンネル間のタイミング差は、その差が小さくとも問題を引き起こしてしまいます。信号はデジタル領域でモニタできますが、タイミング・エラーはアナログ・ソースに起因しています。アナログ・コンポーネントはさまざま

なケーブルやルーティング・スイッチャを通過してくるため、装置が厳格に調整され適切な接続を行わないとタイミング・エラーが発生します。コンポーネント信号のチャンネル間のタイミングをチェックする方法はいくつかあります。カラー・バーのテスト信号のトランジションを用いて以下で説明する方法で検証できます。当社のコンポーネント波形モニタには、それに代わる効率的で正確な測定方法が2つ用意されています。標準カラー・バー・テスト信号を使用するライトニング表示と、ポータイ表示です。

カラー・バー信号を使用したタイミング表示方法

正確に校正された波形モニタでは、3つのチャンネルすべてのトランジションが同時に起こるかを確認できます。たとえば、カラー・バー信号は、緑のバーとマゼンタのバー間の境界で3つのチャンネルが同時に変化します (図68参照)。

緑-マゼンタの変化点を利用してタイミングをチェックする手順を以下に示します。

1. 被測定システムからのカラー・バー信号を波形モニタに接続します。
2. 波形モニタをPARADEモードにし、1 LINEスイープに設定します。
3. トレースの表示位置を調整し、チャンネル1の緑-マゼンタ変化の中心が350mVライン上にくるようにします。
4. チャンネル2とチャンネル3の位置を調整し、色差チャンネルのゼロ・レベルが350mVライン上にくるようにします。
5. WAVEFORM OVERLAYと水平MAGを選択します。
6. 波形を水平方向に移動し、変化点が画面中央に表示されるように調整します。3つの波形すべてが同じタイミングで350mVラインと交差しなければなりません。

当社のTG700型およびTG2000型テスト信号ゼネレータは、各フィールドの半分で左右逆転したカラー・バー・パターンの特異なリバーズ・バー・テスト信号を出力できます。この信号により、3つの信号の交差ポイントを比較してタイミング差を簡単に確認できます。図68に結果を示します。

ライトニング表示を使用したタイミング測定

図69に示す当社独自のライトニング表示を使用すると、チャンネル間のタイミングを素早く正確に確認できます。カラー・バー・テスト信号を使用するライトニング表示には、タイミング誤差を示す目盛があります。緑/マゼンタを結ぶ線は、7つのドットの中心を通過しなければなりません。

このドットを使用することにより、タイミング差をチェックすることができます。SDコンポーネント・ビデオでは、ドットの狭い間隔はタイミング差40nsを示し、広いドット間隔は80nsのタイミング差を示します。色差信号がルミナンス信号と一致しない場合は、カラー間を結ぶ線は湾曲します。この曲がり具合がルミナンス信号と色差信号間の相対信号遅延を表しています。表示の上半分はYタイミングに対するPbを、下半分はYタイミングに対するPrを測定したものです。トランジションが黒方向に向かって湾曲している場合は、色差信号がルミナンス信号に対して遅延していることを示しています。トランジションが白方向に曲がっているときは、色差信号がルミナンス信号に対して先行していることを示しています。

ボータイ表示測定

ボータイ測定では、ルミナンス・チャンネルとクロミナンス・チャンネルに、わずかに異なる周波数信号を持つ特殊なテスト信号を使用します。SDシステム用のテスト信号には、ルミナンス・チャンネルに500kHzの正弦波パケットを持ち、2つのクロミナンス・チャンネルに502kHzの正弦波パケットを持っています（図70）。その他の周波数のパケットは感度の異なる測定のために使用します。

HDコンポーネント・システムをテストするため、さらに高いパケット周波数を使用します。一部のルミナンス・チャンネルのラインに設けられたマーカは、相対タイミング誤差を測定するための目盛として使用します。中心の高いマーカはタイミング差ゼロを示し、500kHzと502kHzのパケット周波数を使用した場合は、その他のマーカは20ns間隔の目盛として機能します。3つの正弦波パケットは、それらの中心で位相が正確に一致するように生成されます。周波数オフセットが与えられているため、2つのクロミナンス・チャンネルとルミナンス・チャンネル中央から離れるにしたがって位相がずれていきます。

波形モニターは、ボータイ表示の左半分でルミナンス・チャンネルと1つのクロミナンス・チャンネルの差分を表示し、右半分でルミナンス・チャンネルから2番目のクロミナンス・チャンネルの差分



図70. ボータイ・テスト信号

を表示します。それぞれの減算結果は、2つのコンポーネントが正確に位相が合っているポイントでヌル（null：振幅が最小）になります。クロミナンス・チャンネルとルミナンス・チャンネル間で相対タイミング差を持っていると、ヌル・ポイントは中心から離れます。中心の左へシフトしている場合はクロミナンス・チャンネルがルミナンス・チャンネルに先行しており、右にシフトしている場合は遅延していることがわかります。

ヌル・ポイントはそれが位置する場所に関係なく、2つの正弦波パケットの振幅が同じならゼロ振幅になります。相対振幅誤差などにより、ヌルが最小にならなったり、広がると、タイミングを正確に評価することが難しくなります。正確なタイミング測定が必要な場合は、まず被測定装置の振幅を調整する必要があります。ルミナンス・チャンネルとクロミナンス・チャンネルのゲインを調整し、左右の両ボータイのヌル・ポイントの振幅をゼロにすることで、ゲイン差が0となります。



図71. ボータイ表示の例：Yに対して55ns遅延したPb、50ns先行したPr

ボータイ・テスト信号を使用したボータイ表示には、2つの利点があります。その1つは、波形比較やライトニング測定より優れたタイミング分解能を得ることができます。2つ目は、タイミング差が読み取りやすくなっています。

ボータイ・テスト信号は一種の無効信号と言えますが、色差フォーマットにのみ正当(リーガル)な信号であることに注意してください。この信号をRGBまたはコンポジット・フォーマットに変換すると不正(イリーガル)になります。RGBで内部処理する装置では、副次的な悪影響が発生する場合があります(リーガル信号の考え方については、付録Aを参照してください)。

ボータイ・テスト方法は、相対振幅および相対タイミングを評価するために使用され、ボータイ表示モードを装備した当社の1765型、VM700T型オプション30、WFM601型およびWFM7120/6120型など、コンポーネント波形モニタで行うことができます。



図72. ボータイ表示：Prゲイン誤差対Y

ボータイ表示の左側(図71)ではYとPb、右側ではYとPrの相対タイミング差が示されます。この例では、PrがYに対し50ns先行していますが、これは通常、許容範囲内です。

ボータイ・テストを行うには、被測定装置にコンポーネント・ゼネレータからの信号を入力し、装置の出力を波形モニタに接続します。BOWTIE表示を起動します。ボータイ・パターンがゼロ振幅の点(ヌル・ポイント)を持ちます。そのヌル・ポイントが各パターンの中央にある場合は、相対振幅とチャンネル間タイミングは適切です。チャンネル間タイミング・エラーが発生すると、そのヌル・ポイントの位置が移動します(図71)。相対振幅エラーを持つ場合(図72)は、ヌル・ポイントの振幅が完全に0となりません。ヌル・ポイントの位置と振幅を観測することにより、チャンネル間の振幅およびタイミング差の発生を確認することができます。

デジタル・テレビ・システム



図73. 100%カラー・バーのR'G'B'パレード表示 (WFM7120型)



図74. 100%カラー・バーのY'C'b'C'r'パレード表示 (WFM7120型)

RGB信号およびY&色差信号

カラー調整ではRGBフォーマットで装置を調整しますが、エンジニアはデジタル・ビデオにマトリクス変換された信号をアナログ的な表現で確認したい場合があります。デジタル信号は通常、ルミノナンス (Y) 信号と2つのクロミナンス・コンポーネント (C'bC'r) を直接量子化して、さらに時間的に多重化したものです。これらの3つのデジタル・コンポーネントはアナログ信号に変換でき、ルミノナンス信号と2つの色差信号波形のパレード表示、またはマトリクス変換したRGB波形を表示できます。2つの表示フォーマットの例を、図73および図74に示します。

コンポーネント・ゲイン・バランス

コンポーネント信号のゲイン・バランスとは、チャンネル間のレベル・ゲインの一致を言います。コンポーネントのいずれかに振幅エラーがあると、それは画像の色相、彩度に影響を与えます。Y色差フォーマットでは、RGB信号からマトリクスにより各コンポーネント (Y'C'bC'r) を作り出すため、個々のチャンネルのゲインをどのように調整したらよいかの問題が生じます。この調整を簡単に行えるようにいくつかの表示方法が開発されています。

ベクトル表示

コンポジット (NTSCまたはPAL) 方式では、クロミナンス振幅をモニタリングするためにベクトル表示 (図75) が長い間使用され

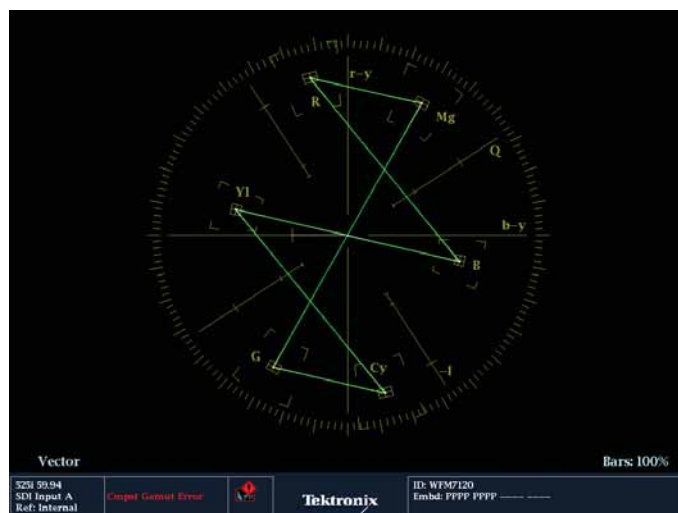


図75. NTSCベクトルスコープ表示

てきました。コンポジット・ベクトル表示は、2つの復調されたカラー・コンポーネント、R-Yを垂直軸、B-Yを水平軸とするX-Y表示を行います。復調位相を調整し、位相基準としてカラー・バースト信号を中心から左側の水平軸に配置します。

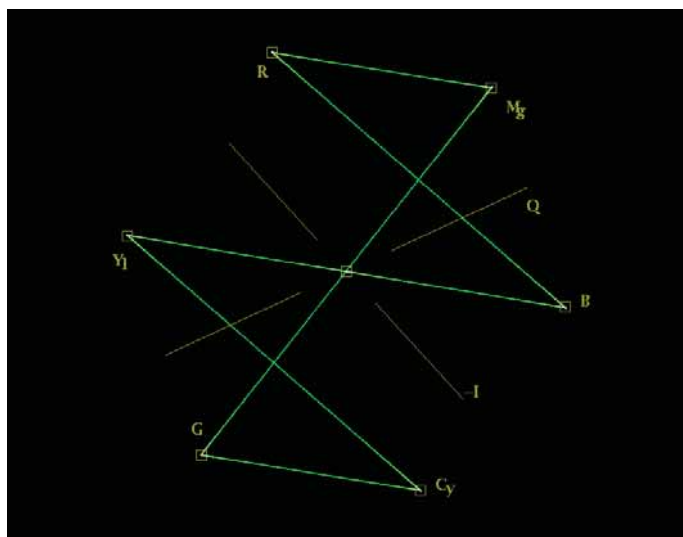


図76. コンポーネント・ベクトル表示

コンポーネント・システムにおいても同様に表示できます（図76）。垂直軸をP'rまたはC'r、水平軸をP'bまたはC'bとしたX-Y表示（図77）を行います。カラー・バーの各色に対するターゲット・ボックス目盛が用意されており、各色がこの目盛と合っているかどうかで振幅を確認できます。カラー・コンポーネントのいずれかに間違った振幅があると、それらが生成されたドットはターゲット・ボックス内に入らなくなります。調整が正確に行われていれば、ソース信号振幅はベクトル目盛に一致します。75%および100%のカラー・バーが使用できます。

色相の測定は、極座標での相対位相測定として行うことができます。各色を示すポイントは、クロミナンス信号の振幅を増すことで中心から外側に移動します。また、あるポイントから他のポイントを結ぶ線からタイミングに関する情報を得ることができます。コンポーネント間のタイミング差により、各色を結ぶ線に湾曲や、ループが発生します。タイミング差の発生を確認したら、ライトニングまたはボータイを使用してタイミング差を測定できます。

2軸を使用した従来のベクトル表示は2つの色差コンポーネントを測定したり、調整したりするのにとても便利ですが、ルミナンス・ゲインの評価またはクロミナンス/ルミナンス・ゲインの比較を行うことは想定していません。ルミナンス・チャンネルが完全に欠落しても、ベクトル表示は同じように見えてしまいます。

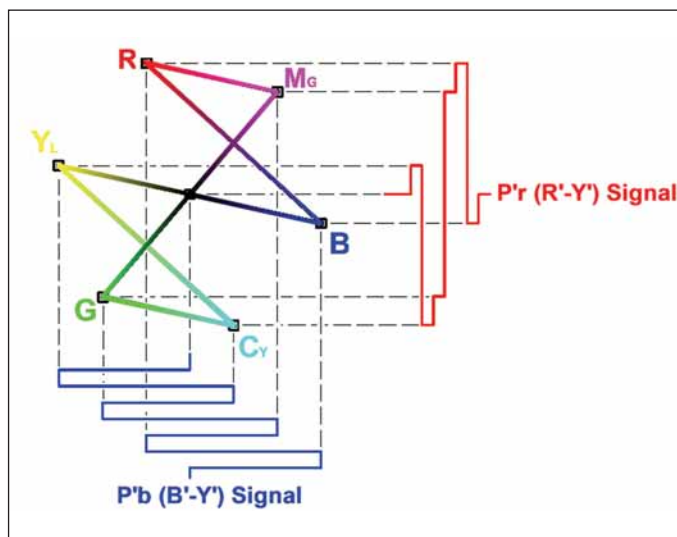


図77. コンポーネント・ベクトル表示の解説

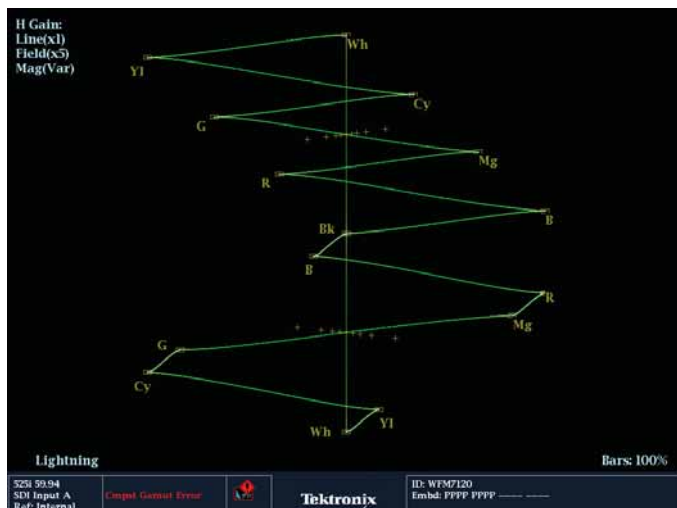


図78. 当社独自のライトニング表示

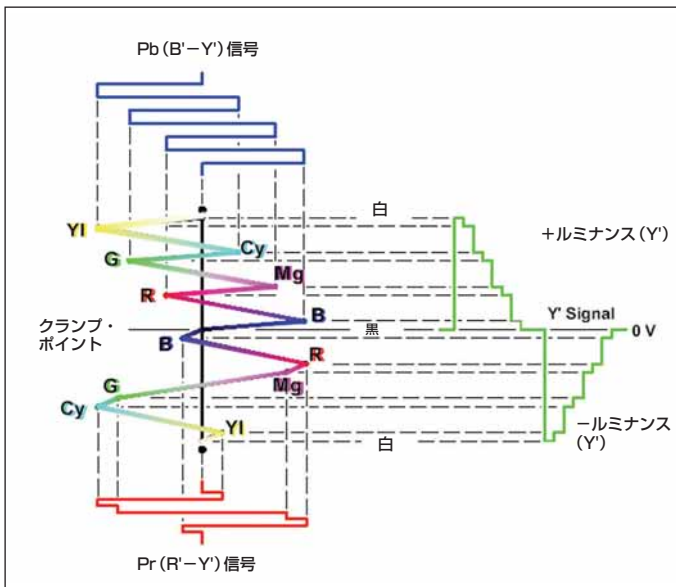


図79. 当社独自のライトニング表示の解説

ライトニング表示

3次元での表示方法がコンポーネント信号のモニタリングに適しているため、当社は1つのディスプレイに3つの信号チャンネルの相互の振幅とチャンネル間のタイミング情報を表示する独自の方法、ライトニング表示（図78）を開発しました。この測定では、テスト信号として標準カラー・バーを用います。

ライトニング表示では、画面を2つのベクトル表示に分け、上半分にY'対P'bまたはC'b、下半分に反転したY'対P'rまたはC'rを表示し

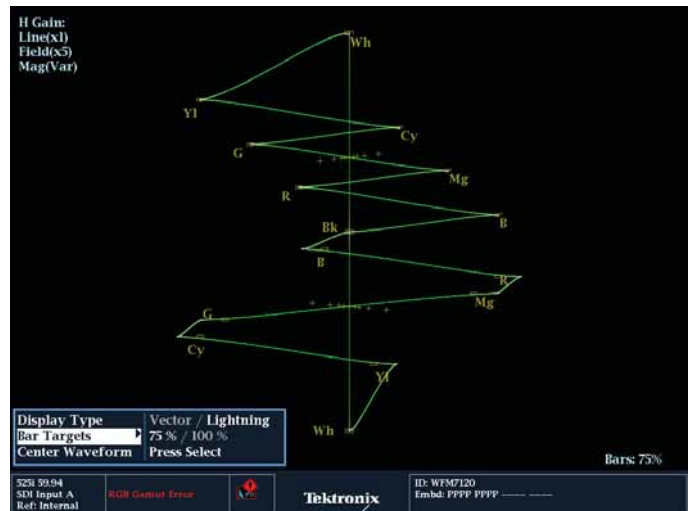


図80. P'rゲイン・エラーによるライトニング表示

ます（図79）。画面の中央の明るいドットはブランキング・レベル（信号ゼロ）です。ルミナンスが増加すると画面の上半分では上方に、下半分では下方に向かいます。ルミナンス・ゲインが高すぎると、垂直方向に拡大表示されます。P'rまたはC'rゲインが高すぎると、表示の下半分が水平方向に拡大されます。P'bまたはC'bが高すぎると、上半分が水平方向に拡大表示されます。また、チャンネル間のタイミング差を観測するために、緑／マゼンタの変化点のトレース軌跡で見分けられるようにドット・マーク目盛を追加しています。コンポーネント間にタイミング差がない場合、緑とマゼンタを結ぶ変化点の軌跡は、タイミング・ドット・マークの中央ドット上を交差します。

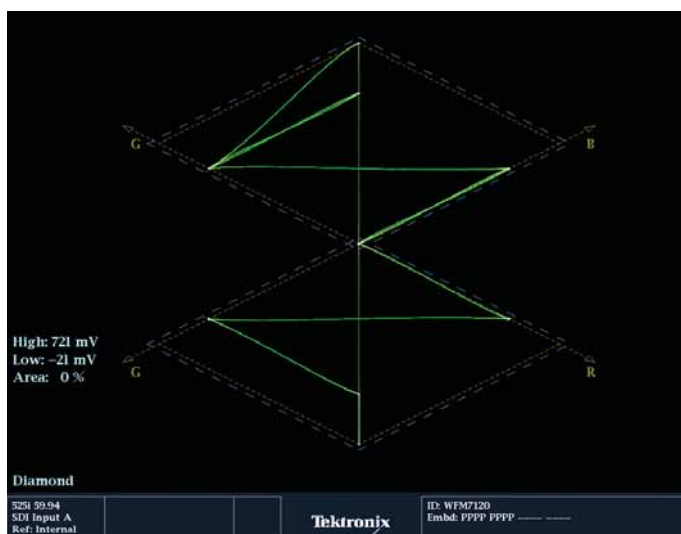


図81. 75%カラー・バーのダイヤモンド表示

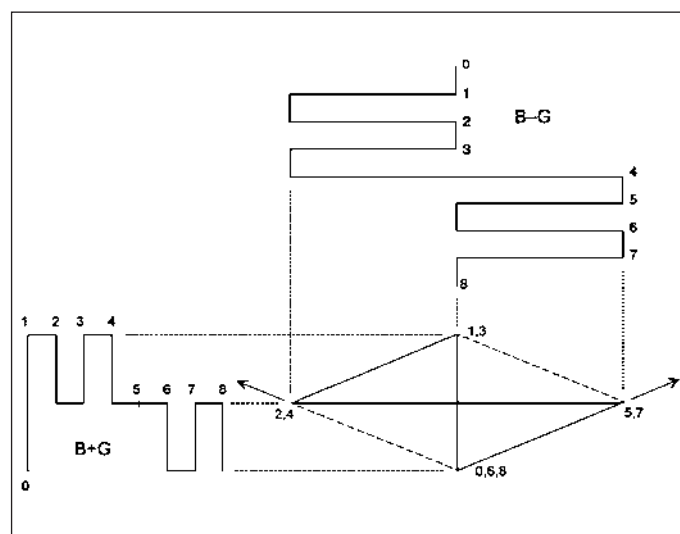


図82. ダイヤモンド表示の解説、上半分

ダイヤモンド表示

当社独自のダイヤモンド表示（図81）により、映像コンテンツ制作の最終段階の前に、無効な色成分（インバリッド：invalid）を検出する信頼性の高い監視方法を提供しています。ビデオ信号は（表示装置内部では）最終的にR'G'B'フォーマットに変換されて表示されます。システム全体を通じて、このフォーマットで処理されていれば、モニタリングはとても簡単です。なぜなら、各処理毎に制限を超えないように信号レベルを適正に管理することで実現できます。しかし、ほとんどのスタジオ・システムでは、データ伝送や各種処理にY'、Cb'、Cr'フォーマットを使用しても、放送時にはその信号はPAL方式またはNTSC方式のビデオ信号に変換されています。言換えれば、すべてのカラー・ビデオ信号は最終的にはピクチャ・モニタ内部ではR'G'B'フォーマットに変換されて映像を表示しています。

当社のダイヤモンド表示は、R'、G'、B'信号を組み合わせることによって生成しています。入力されたビデオ信号がその他のフォーマットの場合は、R'、G'、B'に変換されます。これは100%カラー・バーを取り扱えるフォーマットの有効（バリッド；valid）で正当（リーガル；legal）な信号に変換できます。（その他に、明らかに除外しなければならないものとして、NTSC方式関連の法定規格があります。ゼロRFキャリアに近づくホワイト・レベルを含む100%カラー・バーのような信号は想定されていません（アローヘッド表示を参照して下さい）。

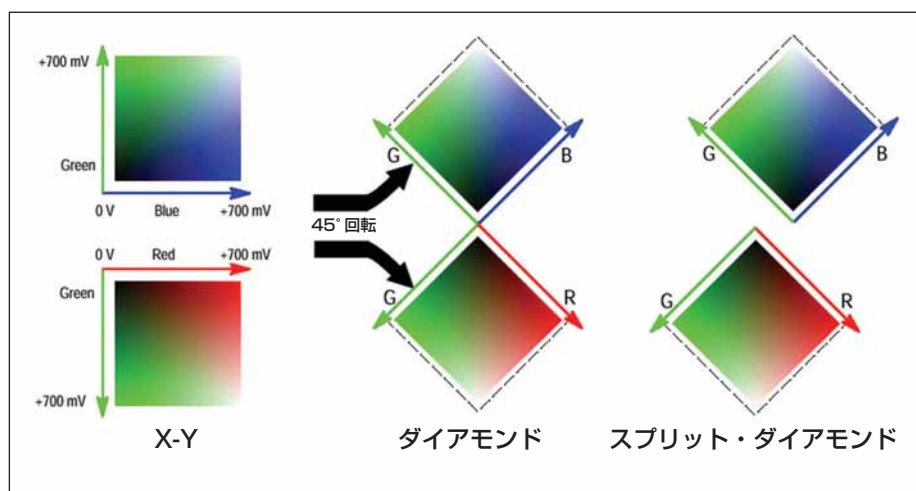


図83. (リーガルな) カラー・スペースのダイヤモンド表示

ダイヤモンド表示（図81および82）では、2つのダイヤモンドが表示されます。下半分には、- (R'+G') を垂直軸、およびR'-G'を水平軸として表示します。表示信号は1.5MHz（SDの場合、HDはより広帯域の）ローパス・フィルタが使用され、帯域外の信号を除去します。

3つのコンポーネントすべてが正常であれば、ピーク・ホワイト（700mV）とブラック（0V）間の領域に表示されるはずですが（図83を参照）。ピクチャ・モニタは、標準の適用範囲（ガマット；Gamut）から外れた場合には、さまざまな方法で対処します。信号をガマット内に収めるには、すべての信号のベクトルはG-BおよびG-Rで表すダイヤモンドの規定範囲内に存在しなければなりません。

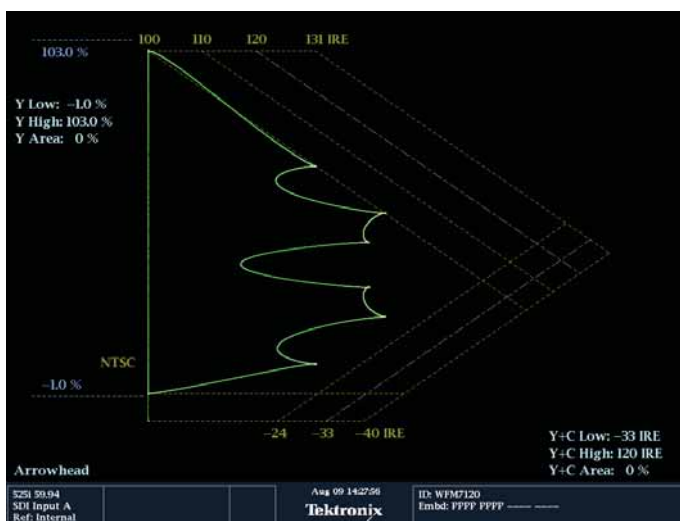


図84. 当社独自のアローヘッド表示 (NTSC方式の75%コンポーネント・カラー・バー)

ベクトルがダイヤモンドの規定範囲を超える場合は、それはガマット・エラーということになります。緑 (G) の振幅のエラーは両ダイヤモンド表示に同等に影響しますが、青 (B) のエラーは上部のダイヤモンド表示に、赤 (R) は下部のダイヤモンド表示にのみ影響を与えます。カラー・バー・テスト信号を使用すると、タイミング・エラーを色変化点をつなぐ軌跡の湾曲として確認できます。ダイヤモンド表示では、白黒信号が垂直ライン上に表示されます。しかし、黒レベルを超える成分が多い場合はもう一方のダイヤモンド表示で隠れてしまいます。このような黒レベル付近のガマット・エラーを観測する場合は、上下のダイヤモンドの位置をずらしたスプリット・ダイヤモンド表示に切り換えることができます。

ダイヤモンド表示を使用することで、ビデオ・コンポーネント信号をRGBガマット内に収めるように調整する必要があります。ダイヤモンド表示は、テスト信号と同様にライブ信号にも適用できます。

アローヘッド表示

NTSC方式のビデオ伝送規定は100%カラー・バーには対応していないので、R'、G'、B'フォーマットに適合しているように見えるビデオ信号であっても、NTSCトランスミッタで振幅変調した際に、忠実に送信できるかどうかはわかりません。従来のビデオ信号はNTSC方式にエンコードされ、専用の波形モニターで観測していました。当社のアローヘッド表示 (図84、85および86) を使用すれば、コンポジット・エンコーダを使用せず、コンポーネント信号からNTSCおよびPALコンポジット・ガマット情報を直接表示することができます。

アローヘッド表示は、左下端をブランキングとし、垂直軸の上方に輝度 (ルミナンス) 信号振幅をプロット表示します。左端をゼロ・サブキャリアとして、各ルミナンス・レベルにおける色信号 (クロミナンス) のサブキャリアの振幅を水平軸にプロット表示します。

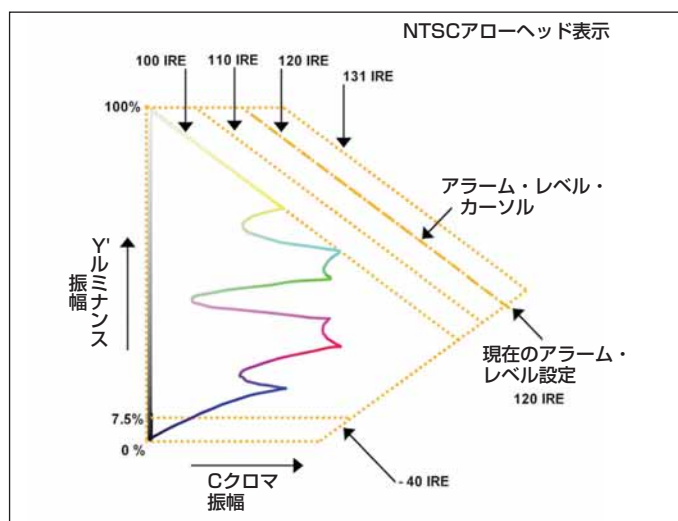


図85. NTSC用アローヘッド表示の解説

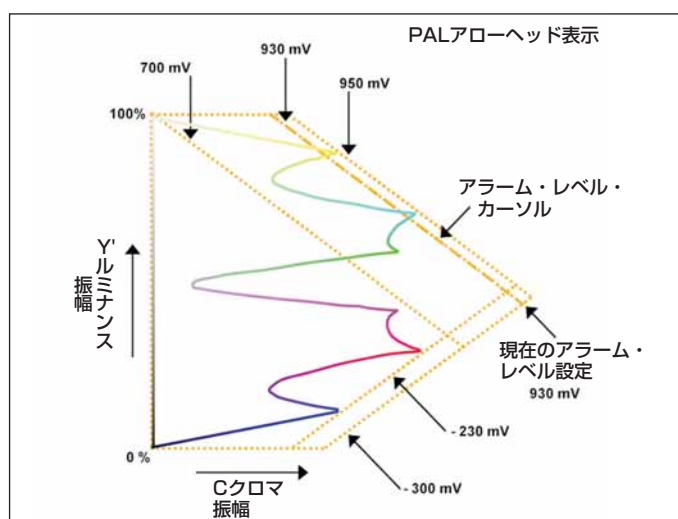


図86. PAL用アローヘッド表示の解説

右上方の斜線スケールは、100%カラー・バーのルミナンス+サブキャリアの全振幅を表す目盛です。右下方の斜線スケールは、シンク・チップ部分 (最大送信電力に関連) のルミナンス+サブキャリアを示します。これらの目盛は、信号がNTSCまたはPAL方式のコンポジット信号に変換される際に、ルミナンス信号+カラー・サブキャリアがどのような振幅状態になっているかを示す信頼性の高い指標を提供してくれます。さらに、調整可能な変調度アラーム機能が搭載されているので、コンポジット信号が限界に近づくと警告します。ビデオ・オペレータは、コンポーネント信号がコンポジット送信システムでどのように処理されるか確認できるため、制作中に必要な修正を施すことができます。



図87. HD用の100%カラー・バー信号 (YPbPr)



SD用の100%カラー・バー信号 (YPbPr)

ガンマットのモニタ方法

ガンマットのモニタリングは、ポストプロダクションでの各種編集処理段階や放送局への番組素材納品時、保存時、サービス前の検証時などに非常に重要です。元のビデオ素材は、HD RGBからHD YPbPrやSD YPbPrおよびコンポジットへとさまざまなフォーマットやカラー・スペースに変換されていきます。それぞれは、有効なカラー・スペース範囲、電圧レベルを持っています。図87は、YPbPr信号のHDとSDの100%カラー・バーを示しています。信号レベルの違い、特に緑色からマゼンタ色への変化点に注意を払う必要があります。表1に示すように、エンコードに用いる変換式はビデオ・フォーマットにより異なります。HD信号は通常、ITU-R BT.709に規定されている変換式を使用し、SD信号はITU-R BT.601 (SMPTE125M) に規定されている変換式を使用します。変換式の違いにより、カラー・バー信号のビデオ・レベルに差異が生じます。そのため、他のフォーマットに変換する場合は、このレベル差を考慮しなければなりません。

ポストプロダクションの各種プロセスでは、信号が経由するさまざまなフォーマットおよびカラー変換プロセスを通して作成されるビデオ画像、グラフィック、およびタイトルなどの全てがガンマット内に収まっている必要があります。また、素材の色忠実度が確保されることは重要です。たとえば、HDの制作環境でRGBフォーマットを使用して深いマゼンタ色の背景をCG制作する場合などは注意が必要です。このような信号は、ポストプロダクションの各種プロセスの中でさまざまなカラー・スペース変換処理を経由することになります。この信号がコンポジット信号として最終的に放映された時に、画像の色忠実度が失われた場合、ビデオ処理により画像に歪みができるため、濁ったマゼンタ色で背景が表示されることとなります。放送システム内で行われる各種の処理では、忠実にオリジナルのRGBカラーを変換できないため、最終ディスプレイ上で元の画像の色情報を正確に再現することが難しくなります。

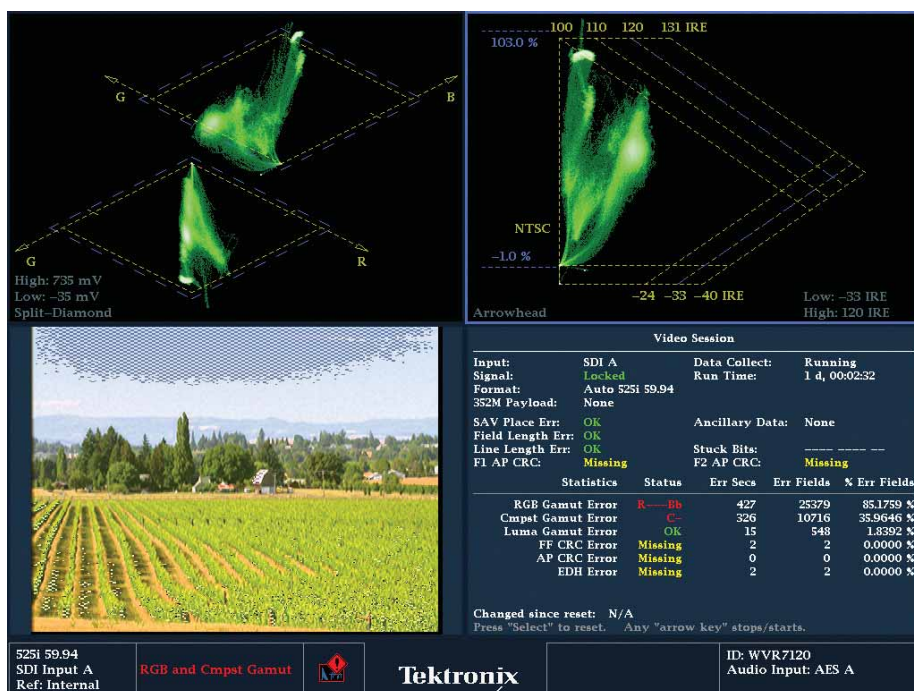


図88. WVR7120型が示す各種ガマット・エラーの例

当社の波形モニターを使用すれば、ビデオ信号内にある各種ガマット・エラーを検出できます。ビデオ信号のプロセスによって、いくつかのアプローチがあります。

波形モニターのステータス・バーの欄には、簡単なガマット・アラームが表示されます。ビデオ・セッション表示では、エラーのタイプを判定することができ、大文字と小文字により、どのコンポーネント成分がガマットの規定範囲を超えているかを示します。たとえば、図88ではステータス・バーにRGBエラーとコンポジット・ガマット・エラーが赤くハイライトされています。ビデオ・セッション表示にはR---Bbが示されています。大文字の「R---B」は、赤色（R）と青色（B）がガマットの上限を超えていることを示し、小文字の「b」は青色（B）チャンネルがガマットの下限を超えていることを示しています。WVR7120型のスプリット・ダイヤモンド表示を見ながら、カラー・コレクタを使用して青色点線の（適正なガマット範囲を示す）境界ボックスに信号が収まるように、赤（R）と青

（B）コンポーネントのゲインを調整します。青（B）チャンネルのブラック・レベルを調整することで、点線の境界ボックス内に収まるように青（B）チャンネルの下限を調整します。このプロセスでは、この調整によって他のガマット・エラーを引き起こさないことを確認する必要があります。ピクチャ表示上には、ガマット・エラーが発生している箇所をブライต์・アップすることができます。図88のピクチャ表示を参照してください。

同様のプロセスを、コンポジット・ガマット・エラーでも行うことができます。この例では、ルミナンス信号は制限内にあります。しかし、大文字「C」はクロミナンスの上限を超えていることを示しています。アローヘッド表示を使用し、波形トレースを表示の境界ボックス内に収まるようにプロセス・アンプを調整します。この調整の際、別のエラーが発生しないように注意する必要があります。波形モニターを利用することで、信号をアナログ・コンポジットに変換せずにコンポジット・ガマットを調整できます。

番組コンテンツを納品するメディアが指定されている場合は、テープなどのメディア上の品質保証（QA）作業は、放送システムでは重要な部分です。放送局や番組提供者は番組が規格に準拠し、放送局または番組提供者が独自に設定された仕様を遵守する必要があります。これらの規格/仕様には、ロゴ、タイトル、グラフィックの位置などがありますが、ビデオやオーディオ・レベルの技術的要件を含む場合もあります。現在、EBU-R103によるRGBガマットおよびルミナンス・レベルに関する仕様があります（図89）。当社の最新の波形モニターやラスタライザは、EBU-R103に記述されたガマット・パラメータに対応しています。この仕様では、RGBガマットのスレシールドを±5%（735mV～-35mV）、エリア制限を1%、ルミナンス信号に対しては103%と-1%に規定しています。ただし、EBU R103はコンポジット・ガマットに関しては規定していませんので注意してください。ユーザは、コンテンツ制作や放送局の要件に応じて、ガマット仕様を選択できます。

| | |
|-------------------------------|--------------|
| Diamond High | 735 mV /... |
| Diamond Low | -35 mV /... |
| Diamond Area | 1 % /... |
| Reset Diamond Defaults | Press SEL |
| Arrowhead NTSC Min | -33 IRE /... |
| Arrowhead NTSC Max | 120 IRE /... |
| Arrowhead PAL Min | -230 mV /... |
| Arrowhead PAL Max | 930 mV /... |
| Arrowhead Area | 0 % /... |
| Reset Arrowhead NTSC Defaults | Press SEL |
| Reset Arrowhead PAL Defaults | Press SEL |
| Luma Min | -1.0 % /... |
| Luma Max | 103.0 % /... |
| Luma Area | 1 % /... |
| Reset Luma Defaults | Press SEL |
| Reset EBU-R103 Defaults | Press SEL |

図89. EBU-R103のガマット仕様（WVR7120型）

制限の定義

| | 説明 | 可変範囲 | EBU R103 | 当社デフォルト |
|---------------|---|------------------|----------|---------|
| ダイヤモンドHigh | RGBコンポーネント映像レベルがガマット範囲を超える最大レベル | 756mV 630mV | 735mV | 721mV |
| ダイヤモンドLow | RGBコンポーネント映像レベルがガマット範囲を超える最小レベル | +35mV -50mV | -35mV | -21mV |
| エリア | ガマット範囲を超えるピクセル数のパーセンテージを指定する。 この範囲内であれば、ガマット・エラーにしない。 | 0～10% | 1% | 0% |
| アローヘッドNTSC 最小 | SDI信号から生成されたNTSCコンポジット映像信号の最小許容レベル | -10IRE -50IRE | | -24IRE |
| アローヘッドNTSC 最大 | SDI信号から生成されたNTSCコンポジット映像信号の最大許容レベル | 135IRE 90IRE | | 120IRE |
| アローヘッドPAL 最小 | SDI信号から生成されたPALコンポジット映像信号の最小許容レベル | -100mV -400mV | | -230mV |
| アローヘッドPAL 最大 | SDI信号から生成されたPALコンポジット映像信号の最大許容レベル | 950mV 630mV | | 930mV |
| アローヘッド・エリア | ガマット範囲を超えるピクセル数のパーセンテージを指定する。この範囲内であればガマット・エラーにしない。 | 0～10% | 0% | |
| Luma 最小 | SDIのルミナンスおよびSDI信号から生成されたコンポジット映像信号に対する輝度信号の最小許容レベル | +5% -6% | -1% | -1% |
| Luma 最大 | SDIのルミナンスおよびSDI信号から生成されたコンポジット映像信号に対する輝度信号の最大許容レベル | 108% 90% | 103% | 103% |
| Luma エリア | ルミナンス映像レベルがガマット範囲を超えるピクセル数のパーセンテージを指定する。 この範囲内であれば、ガマット・エラーにしない。 | 0～10% | 1% | 0% |


| VIDEO CONTENT | Screen | | | SNMP | Ground |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | Text/Icon | Logging | Beep | Trap | Closure |
| RGB Gamut | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Composite Gamut | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Luma Gamut | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | | | | | |

図90. ビデオ・コンテンツ・アラーム（ガマット）設定

測定値が設定したリミット値を越えたことを警告する機能は、運用上重要です。波形モニターでは、これらのアラームは、図90に示すとおり、さまざまな方法（画面上にテキスト・アイコン、ロギング、ビーブ音、SNMPトラップ出力またはグランド・クロージャ接点出力）で通知することができます。ロギングを選択すると、計測器の内部時計またはタイムコードを使用して、アラーム状況が発生した時間をエラー・ログに記録を残すことができます。記録されたタイムコードにより、プログラム素材のどの箇所エラーが発生したかを簡単に特定できます。エラー・ログの内容は、外部のコンピュータにネットワークを介して転送でき、印刷したり、レポートに添付できます。

まとめ

本入門書は、テレビ・システムのアナログからデジタルへの移行、そしてさまざまなHDビデオ・フォーマットに関連する基礎的な技術内容を解説したものです。

デジタル・テレビへの移行はさまざまな課題を抱えているとはいえ、結果的に、業界に大きな長期的収益をもたらすものと期待されています。移行期においては、放送局や制作スタジオは、現在SDおよびHDビデオ・フォーマットの両方を取り扱わなければなりません。しかし、新しいデジタル・フォーマット、HDビデオ・フォーマットへの自然な流れは、コンテンツ制作者には創造性を高める優れたツール、エンジニアにはより高い性能と信頼性を実現する技術力、また消費者には刺激的なコンテンツの視聴環境を提供します。

これらの相乗効果によりビデオ産業は成長し、新しい成功をもたらすでしょう。

付録A — カラーおよびカラリメトリ

テレビの色の表示は、1931年にCIE (国際照明委員会: Commission Internationale de L'Éclairage) により定義された規格に基づいています。このシステムは、3原色 (赤、緑、青) の加法混色とのカラー・マッチングに関する実験に基づいています。この実験における被験者の平均を、等色関数グラフ (図A1) に示します。RGBの三刺激値はガマツ制限によって抑制され、すべての色を作成することはできません。フルレンジの色を作成するためには、RGBの負のレベルが必要です。これはテレビの測色に対しては不適切なモデルです。CIEは主なXYZ三刺激値の理想的なセットを規定しました。これらの値はすべて、値Yが加法混色のルミナンスに比例する場合、RGB三刺激値から変換された正のレベルを持ちます。この仕様は、今日のビデオ規格内の色の基本として使用されています。

CIEは、以下の変換式で規定されるように、ルミナンスの相対値にすべての色の値xとyの2次元表示を得るため、XYZ三刺激値の正規化手順を標準化しました。図A2で示すように、色は (x, y) 色度図のポイントとして表示されます。

$$x = X / (X+Y+Z)$$

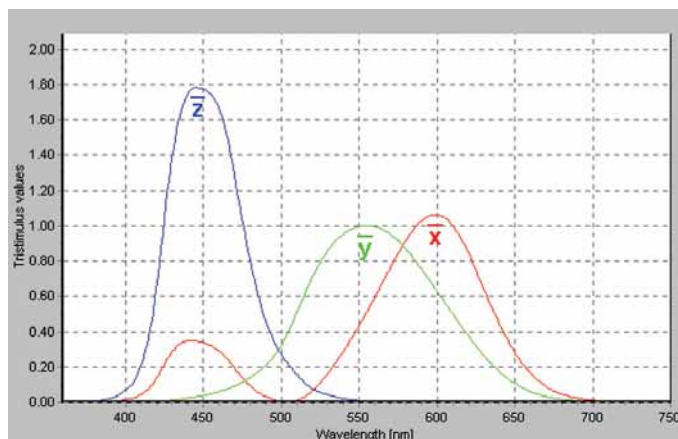
$$y = Y / (X+Y+Z)$$

$$z = Z / (X+Y+Z)$$

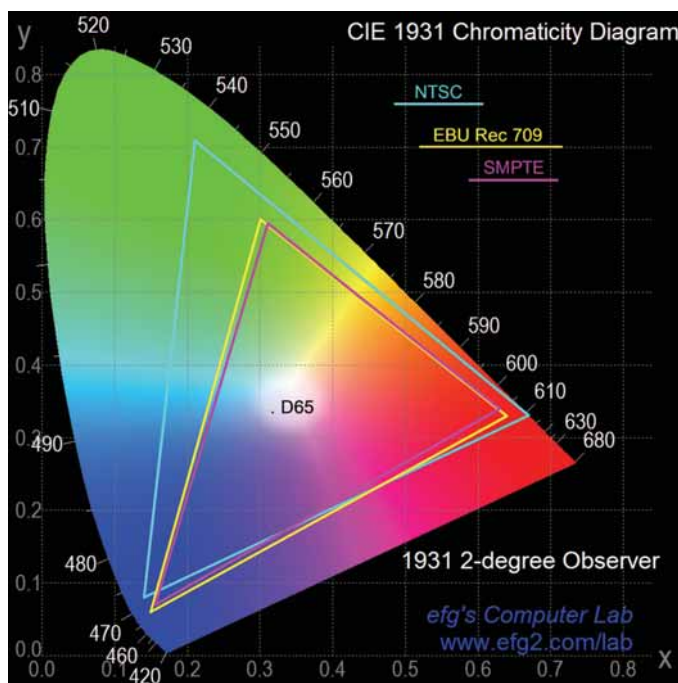
$$1 = x+y+z$$

ビデオ・フォーマットによって、色を表示できるさまざまなパラメータが定義されています。図A2の色分けした三角形 (SMPTE = 赤、EBU/PAL/SECAM = 黄、NTSC 1953 = 青) は、表A1のx、y座標を規定しています。

選択されたx、y座標は、CRTの製造メーカーで使用される蛍光体によって異なります。1953年に規定されたNTSCの蛍光体は、より明るいディスプレイの要求に応じて、EBUおよびSMPTE規定のものに取って代わられています。



図A1. CIE 1931等色関数 (2度視野)



図A2 . SMPTE、EBU/PAL/SECAMおよびNTSC 1953の座標値を持つCIE xy色度

ホワイト

色の定義で考慮すべき重要なことは、システムの白色点です。各フォーマット内で白色点は赤、緑、青を同量で付加されなければならないことが定義されています。

CIEは1931年にいくつかの標準光源を定義しました。

- 標準光A：2854Kの色温度を持つタンブステン電球
- 標準光B：4870Kの色温度を持つ正午太陽光に近似したモデル
- 標準光C：6740Kの色温度を持つ平均昼光に近いモデル
- 標準光D₆₅：6504Kの色温度を持つ平均昼光モデル

イルミナントC（標準光C）は、NTSCのオリジナルの定義で使用されていました。CIEは、後に昼光Dシリーズと呼ばれる一連の昼光イルミナントを定義しました。6504Kの色温度を持つイルミナントD65、およびわずかに異なるx、y座標は今日のビデオ規格で主要規格になっています。

各ソース（光源）は白色点を持ち、色度ダイアグラムのx、y値が適用されます。

| | | |
|-----------|--------------|--------------|
| イルミナントA | $x = 0.4476$ | $y = 0.4075$ |
| イルミナントB | $x = 0.3484$ | $y = 0.3516$ |
| イルミナントC | $x = 0.3101$ | $y = 0.3162$ |
| イルミナントD65 | $x = 0.3127$ | $y = 0.3290$ |

現行の規格では、テレビ・スタジオはイルミナントD65のソース（光源）を使用することが推奨されています。しかし実際には、スタジオの照明はイルミナントD65になっておらず、そのためカメラのホワイト・バランスを補正する赤、緑、青のコンポーネントのゲインを調節できません。

| SMPTE | 赤 | | 緑 | | 青 | |
|-----------|--------------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| | Xr | Yr | Xg | Yg | Xb | Yb |
| | 0.630 | 0.340 | 0.310 | 0.595 | 0.155 | 0.070 |
| イルミナントD65 | $x = 0.3127$ | | $y = 0.3290$ | | | |
| EBU | 赤 | | 緑 | | 青 | |
| Rec 709 | Xr | Yr | Xg | Yg | Xb | Yb |
| | 0.640 | 0.330 | 0.300 | 0.600 | 0.150 | 0.060 |
| イルミナントD65 | $x = 0.3127$ | | $y = 0.3290$ | | | |
| PAL/SECAM | 赤 | | 緑 | | 青 | |
| | Xr | Yr | Xg | Yg | Xb | Yb |
| | 0.64 | 0.330 | 0.290 | 0.60 | 0.150 | 0.060 |
| イルミナントD65 | $x = 0.3127$ | | $y = 0.3290$ | | | |
| NTSC | 赤 | | 緑 | | 青 | |
| (1953) | Xr | Yr | Xg | Yg | Xb | Yb |
| | 0.670 | 0.330 | 0.210 | 0.710 | 0.140 | 0.080 |
| イルミナントC | $x = 0.3101$ | | $y = 0.3162$ | | | |

表A1. ビデオ・フォーマットのCIE x、y座標値

赤、緑、および青のコンポーネント

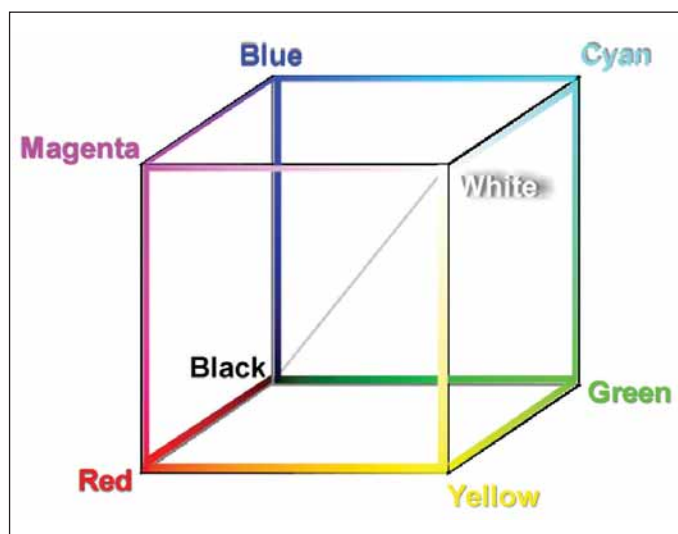
カラー・カメラは通常、画像の光を解析して3原色（赤、緑、青）のビデオ信号を生成します。ガンマ補正を施されたR'G'B'信号によって画像情報の大部分が搬送され、この情報すべてが完全な画像を再生するために必要となります。このため、これらはカラー・ビデオ信号の「コンポーネント」と呼ばれます。完全な画像を再現するには各コンポーネントが必要ですが、それらは全体の一部であり、すべてではありません。R'G'B'コンポーネント信号は、モニタまたはテレビで画像を表示するためにテレビ・システムの出力で再度利用されます。

ビデオ・エンジニアの主な作業の1つに、これらのコンポーネント信号の搬送があり、各種画像処理を経て受像機に配信されます。一部の装置では、カメラ（またはカメラ制御ユニット）からRGB信号のまま取り扱っていましたが、現在ビデオはほとんど常に変換され、または記録され、相互接続または長距離伝送のために他のフォーマットにエンコードされます。

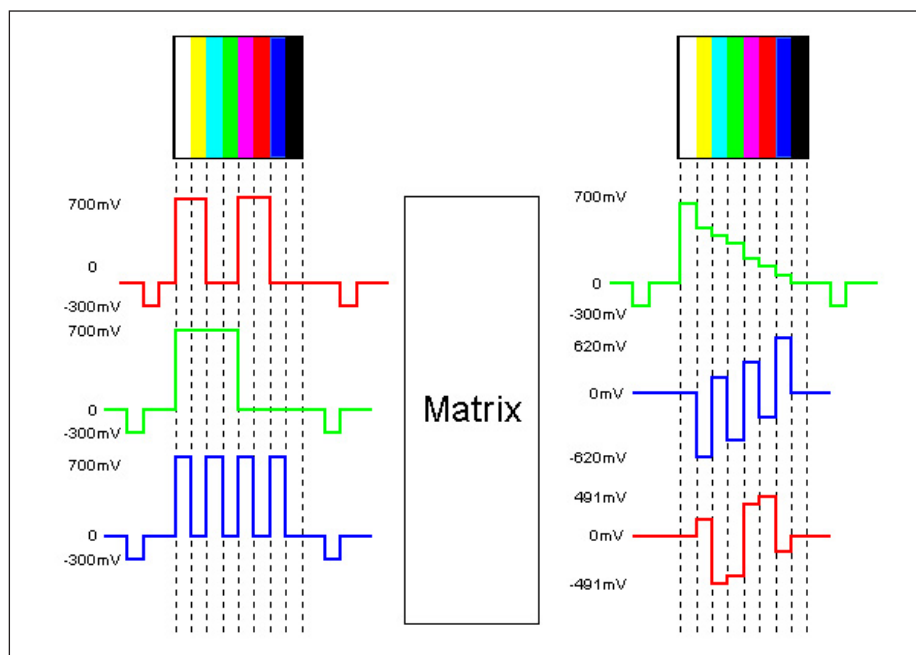
赤、緑、青の原色を表現する方法に、3次元のR'G'B'カラー・キューブを使用して表現する方法があります。すべての色は、図A3で示されているようにRGBカラー・キューブの制限内に表現できます。

カラー・テレビ・システムは、従来の白黒テレビ受像機と互換性を持つように開発されました。ルミノス信号Y'を修正したガンマは、モノクロ画像として白黒受像機で再生できるように赤（R）、緑（G）、青（B）から作成されます。モノクロまたはルミノス・チャンネルと2つのカラー・チャンネル間の差異を知ることで、カラー受像管に映し出す赤、緑、青を復元します。人間の視覚の緑色反応は明るさに対して鋭く反応するために、色情報の多くがルミノス信号を作成するために使用され、残りの赤、青の色差チャンネルは低帯域幅で送信されます。

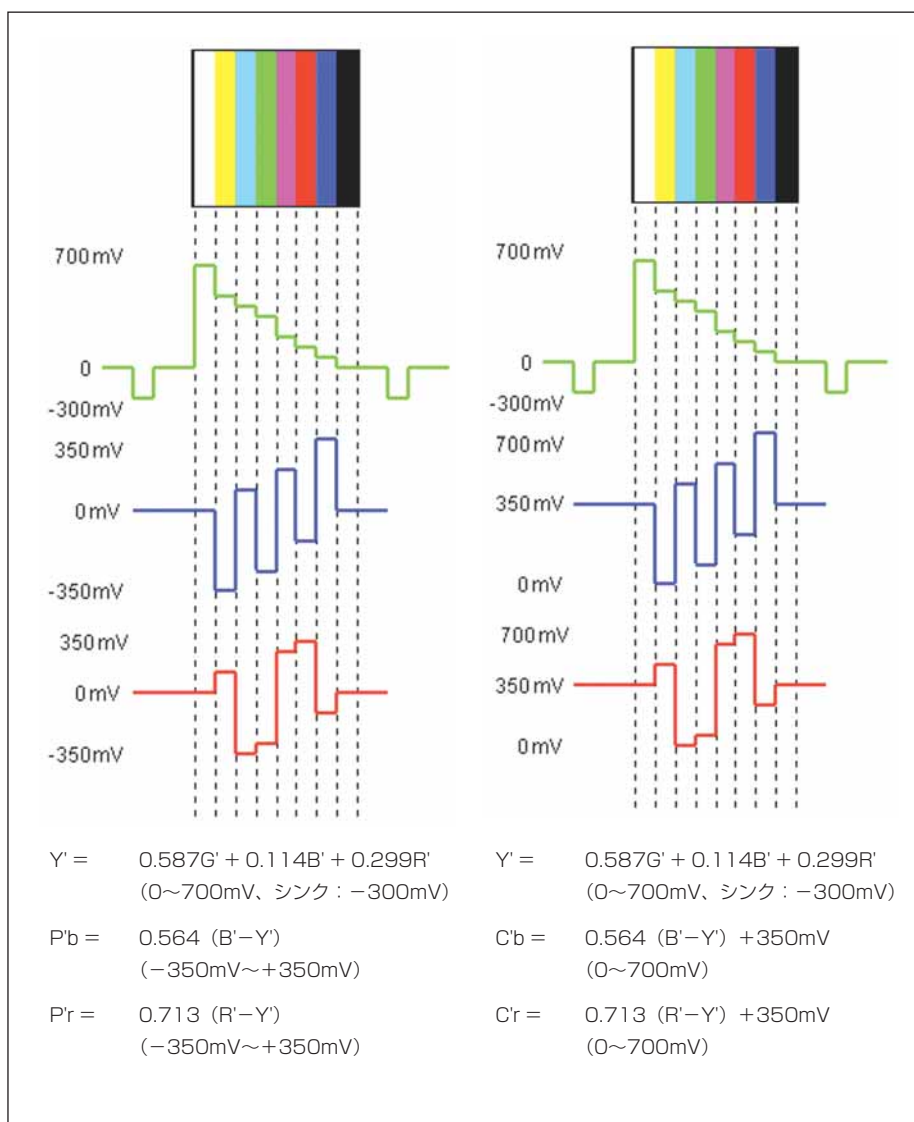
ルミノス信号と2つの色差信号には、オリジナル画像の広い範囲の色を表現するために必要な情報がすべて含まれています。3つのコンポーネント（R'、G'、B'）の基本セットは、図A4で示されるように簡単なマトリクスによって3つのコンポーネント（Y'、B'-Y'、R'-Y'）の新しいセットに変換されます。色差コンポーネント・フォームは、R'G'B'より2つの点で優れています。一つは、必要な情報を搬送するために実質的に帯域幅をより小さくすることができます。画像のすべての詳細をルミノス信号に多重して搬送するため、色差システムでは高帯域のチャンネルが1つ必要とするだけです。一方でR'G'B'システムでは、3つのチャンネルすべてが高い帯域幅を必要とします。2番目に、ゲイン歪みによる影響がR'G'B'に対して少ないことです。



図A3. R'G'B'カラー・キューブ



図A4. R'G'B'信号とY色差信号のマトリクス変換



図A5. 量子化用に拡張およびオフセットされた色差信号

色差信号セットの1つのチャンネルのレベルが低い場合は、色相または彩度の変化をもたらすだけです。しかし、R'G'B'ではゲイン歪みにより、明らかに間違っただけの色画像を作り出します。R'G'B'を1つのルミナンス信号と2つの色差信号にトランスコーディングする考え方は、非常に有益であることが証明されています。これは、既存のコンポーネント・ビデオ・フォーマット、世界中のコンポジット放送規格の基本になっています。

SDビデオ信号に関しては下記の変換式になります（また、図A5を参照）：

- $Y' = 0.587G' + 0.114B' + 0.299R'$
輝度レベル0~700mV
同期レベル — 300mV
- $B' - Y' = -0.587G' + 0.866B' - 0.299R'$
色レベル-620~+620mV
- $R' - Y' = -0.857G' - 0.114B' + 0.701R'$
色レベル-491~+491mV

コンポーネント・ビデオの世界では、ルミナンス信号の大部分が緑チャンネル情報から作り出されるため、コンポーネントR'G'B'信号はG'B'R'とも呼ばれています。その意味では、Y'P'bP'rとG'B'R'の間で対応関係があります。

色差信号値（図A5）は、さまざまなシステムで処理しやすいように±350mVにスケールリングされます。このアナログ・コンポーネント信号はY'P'bP'rで表されます。色差信号にオフセットを導入するデジタル・コンポーネント・システムでは、Y'C'bC'rで表現される場合があります。

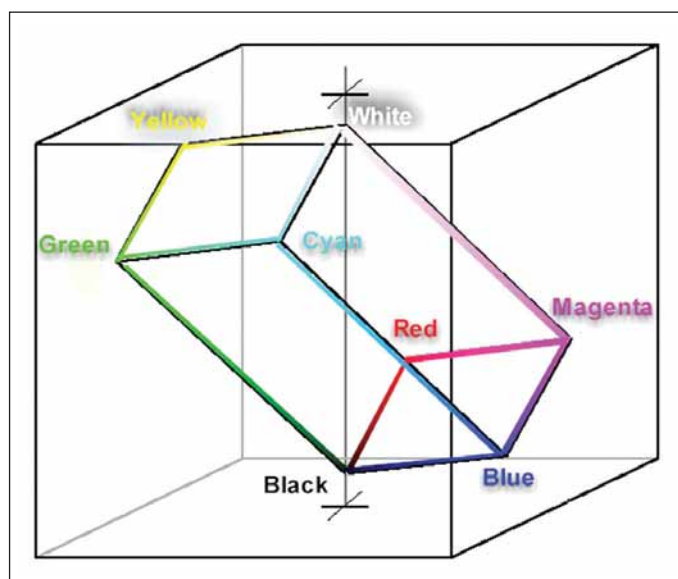
このマトリクス化とスケーリングを行うと、RGBに再度変換する際にY'C'bC'r信号のすべての値を使用できません。図A6で示すように、Y'C'bC'r領域の全信号値の約25%のみがRGB領域の色の全ガマットを表現するために使用されます。このため、フォーマット変換プロセスでは、ダイナミック・レンジを超えないように注意する必要があります。

ガマットのリーガル (legal) とバリッド (valid)

用語としてのガマットは、撮影対象が基準ホワイト (NTSC/PALでのイリミナントD65) で照射される時、テレビ・システムによって再生できる色の範囲またはガマットを指すときに使用されます。このガマットは、既知のシステムの色度値または色度座標で定義されています。さまざまな彩度の色のこの範囲は赤 (R)、緑 (G)、青 (B) またはR'G'B'信号値によって画像モニタに再生されます。値が同等になる、つまりR'=G'=B'になると、画像は正しく調整された画像モニタではグレー (無色) になります。それ以外は色が付き、再生可能な色のガマット内のすべての色がR'G'B'信号の値を個別に調整することにより表示されます。

R'G'B'信号の値がこれらの色を直接表現しますので、用語としてのガマットは、適正レベル (リーガル) の0と700mVにあるR'G'B'信号のすべての組み合わせによって表現される色の範囲を言うときに使用されます。この電圧範囲外に拡張されたR'G'B'信号は、特定のモニタでは希望する色を作り出せませんが、有効 (バリッド) な色表現範囲 (ガマット) 外になってしまいます。これらは、それに続く信号処理でクリップおよび圧縮され、その他の画像モニタで表示すると色を歪めてしまいます。

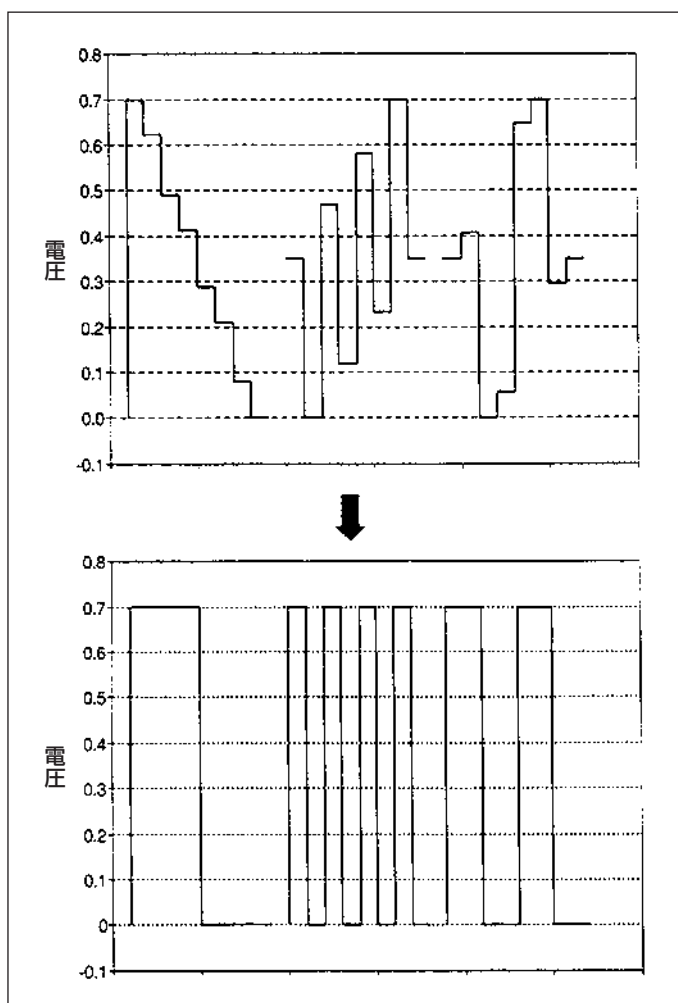
そのため、R'G'B'領域では、上限または下限を超えるいずれかのチャンネルは、色がカラー・ガマットを超えるため無効 (invalid ; インバリッド) 信号になります。また、1つ以上のコンポーネント



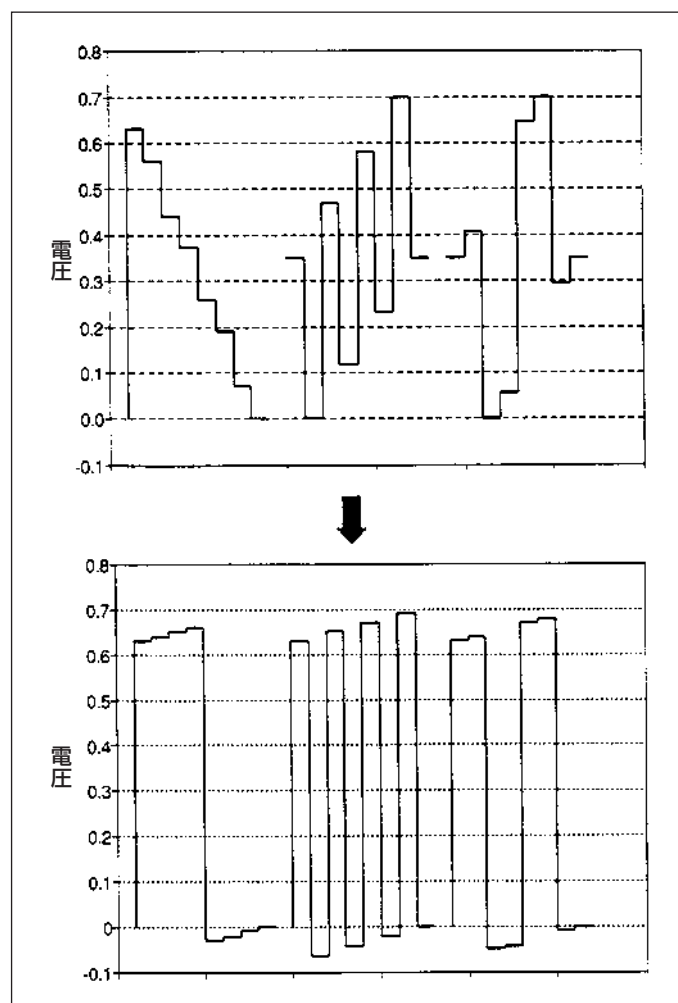
図A6. Y'C'bC'r の3Dカラー・スペース

が正当な振幅範囲を超える場合は、不適当な信号レベル (illegal ; イリーガル) になります。

リーガルな信号とは、使用しているフォーマットに対して信号電圧の制限に違反していない信号のことです。つまり、そのフォーマットで許容される信号制限内の信号ということです。そのため、Y'C'bC'rのようなY&色差信号フォーマットの場合はリーガルな信号であっても、カラー・ガマットを超える色成分を生成できるということでインバリッドになることがあります。このような信号は、R'G'B'にトランスコードされる時インバリッド信号を常に作り出すこととなります。



図A7. リーガルなY&C色差信号がバリッドなRGB信号に変換される例



図A8. リーガル信号でもフォーマット変換によってインバリッドになる例

バリッドな信号とは、カラー・ガマット内にあり、他のフォーマットに変換されてもリーガルな信号です。バリッド信号は常にリーガルですが、リーガルな信号が常にバリッドであるとは限りません。後者のケースは多くの場合、Y色差フォーマットのコンポーネントをRGB方式に変換する際に発生します。

図A7およびA8は、Y&C色差コンポーネント信号の単純なゲイン歪みがどのようにしてインバリッドな信号になるのかを説明しています。図A7には、リーガルかつバリッドなY&C色差信号（上部）と変換されてリーガルなRGB信号（下部）が示されています。図A8は、Y&C色差信号（上部）のルミネランス・チャンネルが歪んでいること

を示しています。これは90%の相対ゲインを持っています。この歪んだ信号がRGBフォーマット（下部）にトランスコードされると、結果はイリーガルな信号になります。3つのコンポーネントすべてが最小許容信号レベル以下になります。このような歪んだY&C色差信号はリーガルなRGB信号に変換できませんので、それはインバリッドとなります。別の形状の歪みが発生した場合も、インバリッド信号を作り出す場合があります。

バリッドな信号は、振幅に関連する問題を引き起こさずに変換、エンコーディング、またはビデオ・システムの入力に有効に使用できます。

フォーマット変換表

以下の変換表は、Y'P'bP'r値とG'B'R'との変換がどのように計算されるかを示しています。表A2では、100%カラー・バー値のG'B'R'からY'P'bP'rへの変換を示しています。R'G'B' (0~700mV) の範囲内であれば、変換プロセスではY'P'bP'rのアナログ・ダイナミック・レンジ (ルミネランス・チャンネルでは0~700mV、色差チャンネルでは±350mV) を超さない信号になります。この信号は、リーガルかつバリッドな信号と言えます。このような信号は、R'G'B'にトランスコードされる場合、常にリーガルなR'G'B'信号を作り出します。

信号がフォーマットのダイナミック・レンジを超すと、イリーガル信号になります。表A3には、Y'P'bP'r領域でリーガルな信号が示されています。しかし、これらの値をG'B'R'に変換すると値の一部は無効になり、G'B'R'のダイナミック・レンジ0~700mVを超えてしまいます。そのため、ガマット以外の色を表示します。信号歪みは特定のフォーマット範囲内の信号のみに対応し、他のフォーマットを考慮していない装置で処理されると発生し、ダイナミック・レンジを超える信号はクリップされます。当社は、オペレータやエンジニアがリーガルでバリッドな信号を確保できるように、専用の表示方法を開発しています。

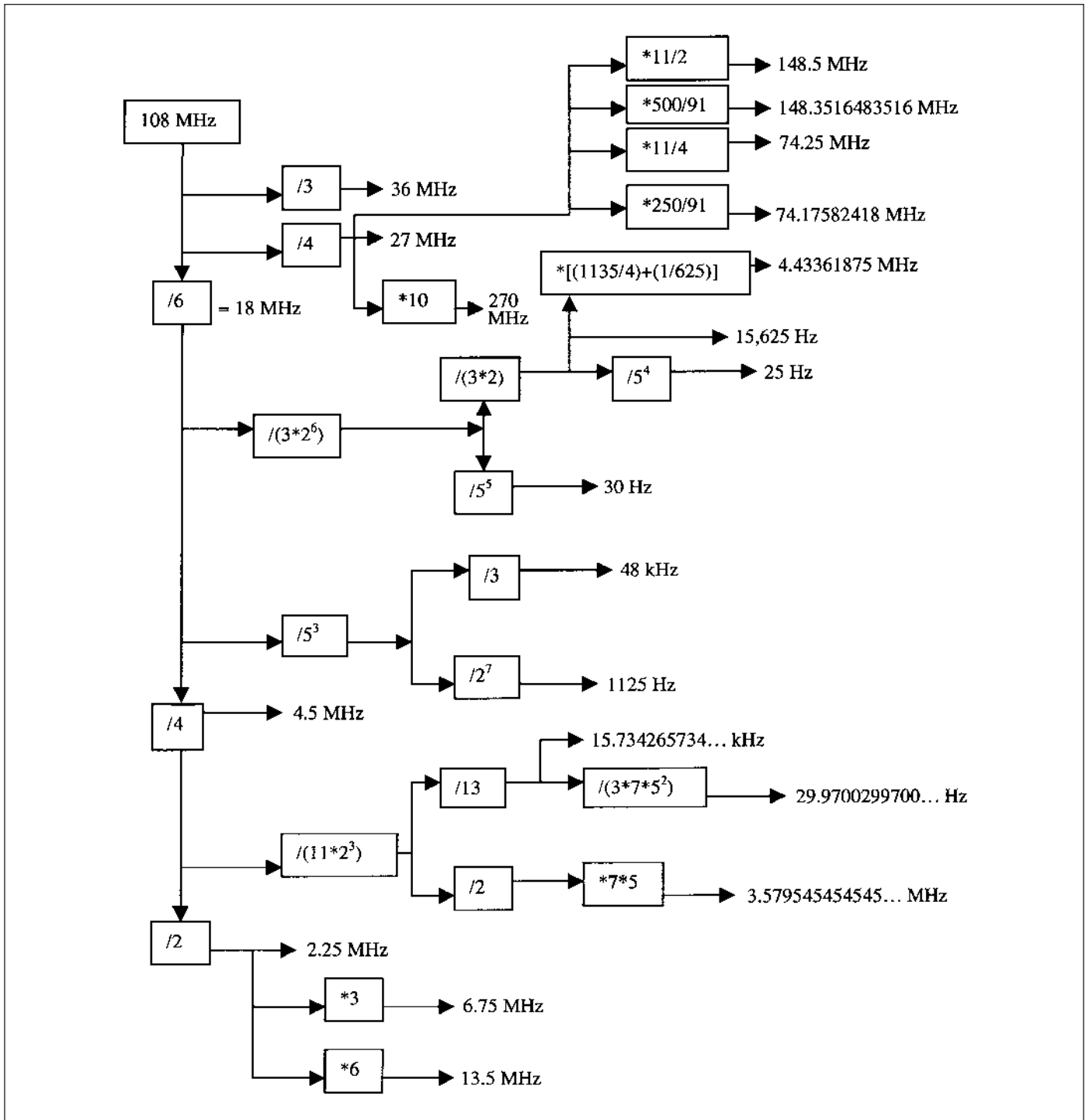
| 100%カラー・バー | | | | | | |
|------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| カラー | G' (mV) | B' (mV) | R' (mV) | Y' (mV) | P'b (mV) | P'r (mV) |
| ホワイト | 700 | 700 | 700 | 700 | 0 | 0 |
| 黄 | 700 | 0 | 700 | 620.2 | -350 | 56.7 |
| シアン | 700 | 700 | 0 | 490.7 | 118.3 | -350 |
| 緑 | 700 | 0 | 0 | 410.9 | -231.7 | -293.3 |
| マゼンタ | 0 | 700 | 700 | 289.1 | 231.7 | 293.3 |
| 赤 | 0 | 0 | 700 | 209.3 | -118.3 | 350 |
| 青 | 0 | 700 | 0 | 79.8 | 350 | -56.7 |
| 黒 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

表A2. リーガルでバリッドなY'P'bP'r 信号に相当するリーガルでバリッドなG'B'R'信号

| Y' (mV) | P'b (mV) | P'r (mV) | G' (mV) | B' (mV) | R' (mV) | カラー |
|---------|----------|----------|---------|---------|---------|-------|
| 700 | 350 | 350 | 330 | 1320 | 1911 | 不正GBR |
| 700 | -350 | -350 | 1070 | 80 | 160 | 不正GBR |
| 700 | 0 | 350 | 450 | 700 | 1191 | 不正GBR |
| 700 | 0 | -350 | 950 | 700 | 160 | 不正GBR |
| 700 | 350 | 0 | 580 | 1320 | 700 | 不正GBR |
| 700 | -350 | 0 | 820 | 80 | 700 | 不正GBR |
| 700 | 0 | 0 | 700 | 700 | 700 | 白 |
| 0 | 350 | 350 | -370 | 620 | 491 | 不正GBR |
| 0 | -350 | -350 | 370 | -620 | 491 | 不正GBR |
| 0 | 0 | 350 | -250 | 0 | 491 | 不正GBR |
| 0 | 0 | -350 | 250 | 0 | -491 | 不正GBR |
| 0 | 350 | 0 | -120 | 620 | 0 | 不正GBR |
| 0 | -350 | 0 | 120 | -620 | 0 | 不正GBR |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 黒 |

表A3. リーガルでインバリッドなY'P'bP'r信号に相当するイリーガルなG'B'R'信号

付録B — テレビジョン・システムで使用される各種クロック周波数の相互関係

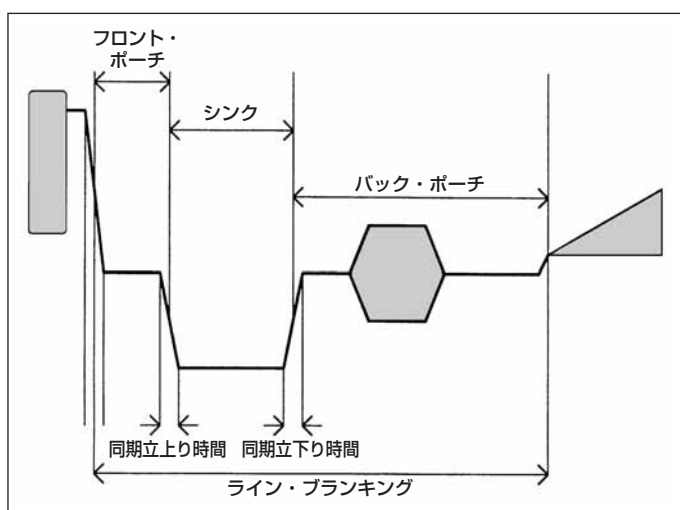


図B1. ビデオ信号に関連する各種クロック

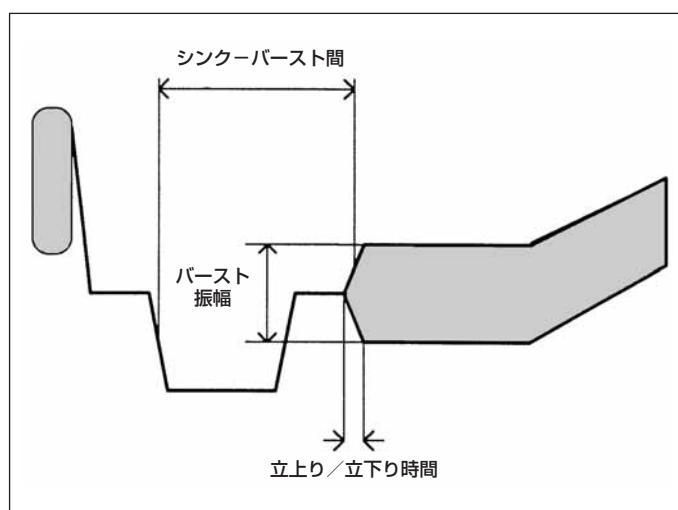
付録C — SD仕様のアナログ・コンポジット・ビデオ・パラメータ

| | PAL B/G | NTSC | SECAM | PAL-M | PAL-N |
|------------------------|-----------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------------|
| シンク・タイプ | 負極性 2値 | 負極性 2値 | 負極性 2値 | 負極性 2値 | 負極性 2値 |
| サブキャリア周波数 (MHz) | 4.43361875 | 3.579545 | 4.406250 | 3.57561149 | 3.58205625 |
| ライン/フレーム | 625 | 525 | 625 | 525 | 625 |
| フィールド周波数 (Hz) | 50.00 | 59.94 | 50.00 | 59.94 | 50.00 |
| ライン周波数 (kHz) | 15.625 | 15.734264 | 15.625 | 15.734264 | 15.625 |
| ライン周期 (μ) | 64.000 | 63.555 | 64.000 | 63.555 | 64.000 |
| ライン・ブランキング (μ) | 12.05 | 10.90 | 12.05 | 10.90 | 12.05 |
| バック・ポーチ (μ) | 5.8 | 4.7 | 5.8 | 4.7 | 5.8 |
| フロント・ポーチ (μ) | 1.55 | 1.50 | 1.55 | 1.50 | 1.55 |
| 同期幅 (μ) | 4.7 | 4.7 | 4.7 | 4.7 | 4.7 |
| 同期振幅 (mV) | -300 | -286 | -300 | -286 | -300 |
| 同期振幅 (IRE) | -43 | -40 | -43 | -40 | -43 |
| 同期立上り/立下り (μ) | 0.200 | 0.140 | 0.200 | 0.140 | 0.250 |
| シンク対バースト (μ) | 5.6 | 5.3 | - | 5.8 | 5.6 |
| バーストの継続時間 (μ) | 2.25 \pm 0.23 | 2.51 \pm 0.28 | - | 2.25 \pm 0.23 | 2.51 \pm 0.28 |
| バーストの継続時間 (SCのサイクル) | 10 \pm 1 | 9 \pm 1 | - | 9 \pm 1 | 9 \pm 1 |
| バースト振幅 (mV) | 300 | 286 | 166 | 286 | 300 |
| フィールド周期 (μ) | 20 | 16.6833 | 20 | 16.6833 | 20 |
| フィールド・ブランキング (ライン数) | 25 | 21 | 25 | 21 | 25 |

表C1. SD仕様の各種コンポジット・ビデオ・パラメータ



図C1. PALおよびNTSC方式の水平ブランキング期間



図C2. SECAM方式の水平ブランキング期間

付録D — 参照したテレビに関連する標準規格書および勧告資料

- ANSI S4.40-1992, Digital Audio Engineering** – Serial Transmission Format for Two-Channel Linearly Represented Digital Audio Data (AES-3)
- ANSI/SMPTE 125M-1995, Television** – Component Video Signal 4:2:2 - Bit-Parallel Digital Interface
- ANSI/SMPTE 170M-2004, Television** – Composite Analog Video Signal - NTSC for Studio Applications
- ANSI/SMPTE 240M-1999, Television** – Signal Parameters - 1125-Line High-Definition Production Systems
- ANSI/SMPTE 259M-2006, Television** – 10-Bit 4:2:2 Component and 4fsc NTSC Composite Digital Signals - Serial Digital Interface
- SMPTE 260M-1999, Television** – Digital Representation and Bit-Parallel Interface - 1125/60 High Definition Production System
- ANSI/SMPTE 272M-2004, Television** – Formatting AES/EBU Audio and Auxiliary Data into Digital Video Ancillary Data Space
- ANSI/SMPTE 274M-2005, Television** – 1920 x 1080 Scanning and Analog and Parallel Digital Interfaces for Multiple Picture Rates
- ANSI/SMPTE 291M-1998, Television** – Ancillary Data Packet and Space Formatting
- ANSI/SMPTE 292M-1998, Television** – Bit-Serial Digital Interface for High-Definition Television Systems
- ANSI/SMPTE 293M-2003, Television** – 720 x 483 Active Line at 59.94-Hz Progressive Scan Production – Digital Representation
- ANSI/SMPTE 294M-2001, Television** – 720 x 483 Active Line at 59.94-Hz Progressive Scan Production – Bit-Serial Interfaces
- ANSI/SMPTE 295M-1997, Television** – 1920 x 1080 50 Hz - Scanning and Interface
- ANSI/SMPTE 296M-2001, Television** – 1280 x 720 Scanning, Analog and Digital Representation and Analog Interface
- ANSI/SMPTE 299M-2004, Television** – 24-Bit Digital Audio Format for HDTV Bit-Serial Interface
- ANSI/SMPTE 305M- 2005, Television** – Serial Data Transport Interface (SDTI)
- ANSI/SMPTE 310M- 2004, Television** – Synchronous Serial Interface for MPEG-2 Digital Transport Stream
- SMPTE 318M-1999** – Synchronization of 59.94 or 50 Hz Related Video and Audio Systems in Analog and Digital Areas - Reference Signals
- ANSI/SMPTE 320M- 1999, Television** – Channel Assignments and Levels on Multichannel Audio Media
- ANSI/SMPTE 346M- 2000, Television** – Time Division Multiplexing Video signals and Generic Data over High Definition Television Interfaces
- ANSI/SMPTE 347M- 2001, Television** – 540Mb/s Serial Digital Interface - Source Image Format Mapping
- ANSI/SMPTE 348M- 2005, Television** – High Data rate Serial Data Transport Interface (HD-SDTI)
- ANSI/SMPTE 349M- 2001, Television** – Transport of Alternate Source Image Formats through SMPTE292
- ANSI/SMPTE 352M- 2002, Television** – Video Payload Identification for Digital Television Interfaces
- ANSI/SMPTE 372M- 2002, Television** – Dual Link 292M Interface for 1920x1080 Picture Raster
- ANSI/SMPTE 424M- 2006, Television** – 3 Gb/s Signal/Data Serial Interface
- ANSI/SMPTE 425M- 2006, Television** – 3 Gb/s Signal/Data Serial Interface - Source Image Format Mapping
- CIE Publication No 15.2, Colorimetry** – Second Edition (1986), Central Bureau of the Commission Internationale de L'Eclairage, Vienna, Austria.
- ITU-R BT.601-5- 1995** – Studio Encoding Parameters of Digital Television for Standard 4:3 and Wide-Screen 16:9 Aspect Ratios
ITU-R BT.656-4 - Interfaces for Digital Component Video Signals in 525-line and 625-line Television Systems Operating at the 4:2:2 Level of Recommendation ITU-R BT-601 (Part A)
- ITU-R BT.709-5-2002** – Parameter Values for the HDTV Standards for Production and International Programme Exchange
ITU-R BT.1120-2 - Digital Interfaces for 1125/60 and 1250/50 HDTV Studio Signals
- SMPTE Engineering Guideline EG33-1998** – Jitter characteristics and measurements
- SMPTE RP160-1997** – Three-Channel Parallel Analog Component High-Definition Video Interface
- SMPTE RP165-1994** – Error Detection Checkwords and Status Flags for Use in Bit-Serial Digital Interfaces for Television
- SMPTE RP168-1993** – Definition of Vertical Interval Switching Point for Synchronous Video Switching
- SMPTE RP177-1993** – Derivation of Basic Television Color Equations
- SMPTE RP178-1996** – Serial Digital Interface Checkfield for 10-Bit 4:2:2 Component and 4fsc Composite Digital Signals
- SMPTE RP184-1996** – Specification of Jitter in Bit-Serial Digital Interfaces
- SMPTE RP186-1995** – Video Index Information Coding for 525- and 625- Line Television Systems
- SMPTE RP187-1995** – Center, Aspect Ratio and Blanking of Video Images
- SMPTE RP192-1996** – Jitter Measurement Procedures in Bit-Serial Digital Interfaces
- SMPTE RP198-1998** – Bit-Serial Digital Checkfield for Use in High-Definition Interfaces
- SMPTE RP211-2000** – Implementation of 24P, 25P, and 30P Segmented Frames for 1920 x 1080 Production Format
- SMPTE RP218-2002** – Specification for Safe Area and Safe Title Areas for Television Systems
- SMPTE RP219-2002** – High Definition, Standard Definition Compatible Color Bar Signal

付録E — 参考文献

Margaret Craig, **Television Measurements, NTSC Systems**, Tektronix, 1994

Margaret Craig, **Television Measurements, PAL Systems**, Tektronix, 1991

Keith Jack, **Video Demystified, A Handbook for the Digital Engineer**, HighText Interactive, 1996

David K. Fibush, **A Guide to Digital Television Systems and Measurements**, Tektronix 1997

David K. Fibush, Tektronix, **Video Testing in a DTV World**, SMPTE Journal, 2000

Earl F. Glynn, **efg's Computer Lab**, <http://www.efg2.com/Lab>

John Horn, **Solving the Component Puzzle**, Tektronix, 1997

Charles Poynton, **A Technical Introduction to Digital Video**, John Wiley & Sons, 1996

Charles Poynton, **Frequently Asked Questions about Color**, www.inforamp.n/~poynton, 1999

Charles Poynton, **A Guided Tour of Color Space**, 1997

Charles Poynton, **YUV and Luminance considered harmful: A plea for precise terminology in video**, 2000

Guy Lewis, **Applied Technology, Color and the Diamond Display**, Broadcast Engineering, November 1994

Michael Robin, **Video Concepts**, Miranda Technologies, 1999

Michael Robin and Michel Poulin, **Digital Television Fundamentals, Design and Installation of Video and Audio Systems**, McGraw-Hill, 1997

Peter D. Symes, **Video Compression, Fundamental Compression Techniques and an Overview of the JPEG and MPEG Compression Systems**, McGraw-Hill, 1998

Jerry C. Whitaker, **Television Engineering Handbook, Featuring HDTV Systems**, Revised Edition by K. Blair Benson, McGraw-Hill, 1992

付録F — 用語集

4:2:2 — コンポーネント・デジタル・ビデオの一般的なフォーマットに使用される。フォーマットの詳細はITU-R BT.601規格書に規定されている。4:2:2は、2つの色差チャンネルと信号ルミナンス・チャンネルのサンプリング周波数レートを表す。4つのルミナンス・サンプルに対して、各色差チャンネルは半分の2つのサンプルで構成される。ITU-R BT.601を参照。

4fsc — コンポジット・デジタル・システムに使用される4倍のサブキャリアのサンプリング・レート。NTSCでは、14.3MHz、PALでは17.7MHzになる。(コンポーネント・デジタル・システムのサンプリングは、525/60および625/50フォーマットではルミナンスに対して13.5MHz、クロミナンス信号に対して6.75 MHz)。

AES/EBUオーディオ — オーディオ技術学会 (AES) およびヨーロッパ放送連合 (EBU) により共同で実施されたデジタル・オーディオ規格の名称。

アルゴリズム — 有限ステップ数で問題を解決するルールまたはプロセス。

エイリアシング — デジタル・ビデオの不十分なサンプリング・レートまたは性能の低いフィルタにより引き起こされる画像劣化。画像の斜線のジャギー (ギザギザ) や画像細部のきらめき (twinkling) や輝度変化として現れる。

アナログ — 2進数0と1で表す離散的なデジタル信号と対照的なもので、連続的に変化する信号を表す形容詞。

補助データ — ビデオ信号またはプログラムをサポートするデータ。水平、垂直ブランキング期間にビデオ信号に時分割多重される。補助データは、水平ブランキングのEAVとSAVパケットの間および垂直ブランキングのなかに挿入されて送信される。補助データには、チェックサム、マルチチャンネル・デジタル・オーディオおよびその他の各種データがある。

非同期 — クロックに同期しない伝送手順。デジタル・ビデオは、復号化するためにサンプリング・クロック情報をデジタル信号のトランジションから抽出する必要があるため、非同期型ではない。

A/D変換器 (アナログ-デジタル) — デジタル・サンプリングを利用した回路。アナログ信号をデジタル表現に変換する。

帯域幅 — 1) 周波数の上限と下限の差。2) 回路や電子システムが信号損失3dB以下で機能できる全周波数範囲。3) 伝送路/伝送システムの情報搬送能力と相関。

ベースライン・シフト — 信号のDCレベルのシフトで引き起こされる低周波数ひずみの一種。

ビット — 1または0の2進表現の最小単位。ピクセルの量子化されたレベルの1つ。

ビット・パラレル — ワイヤの各ペアがシングル・ビットを搬送するマルチ・コンダクタ・ケーブルによるデジタル・ビデオのバイト伝送。この規格はSMPTE 125M、EBU 3267-EおよびITU-R BT.656に定義されている。

ビット・シリアル — 同軸ケーブル (または、光ファイバ) のようなシングル・コンダクタ・ケーブルによるデジタル・ビデオのビット伝送。このSD規格はITU-R BT.656に定義されている。

ビットずれ — 1) シリアル信号のワード・フレーミングが喪失したとき発生する。そのため、ビットの相対値が不適切になる。これにより、次のシリアル信号、コンポジット信号ではTRS-ID、コンポーネント信号ではEAV/SAVでリセットされる。2) 修復されたクロック位相がビットを欠落するほどドリフトしたときのシリアル・ビット・ストリームの誤った読み込み。3) 1つ以上のビットが残りのビットとの関係で時間が足りなくなったときパラレル・デジタル・データ・バスに発生する現象。この結果、データにはエラーが起きる。これはほとんどケーブルの長さの違いで発生する。

ビット・ストリーム — 回線上で伝送されるビットの連続した列。

BNC — 「Baby N connector」の略語。テレビで広く使用されている同軸ケーブル用のコネクタ。

輝度信号 — ルミナンス信号 (Y) と同じ。この信号は画像の各ポイントの光量に関する情報を搬送する。

バイト — 8ビットで構成されたデジタル情報単位。

ケーブル等化 — 同軸ケーブルで高周波損失を補正するために、ビデオ増幅器の周波数特性を変更するプロセス。

CCIR — 国際無線諮問委員会 (International Radio Consultative Committee)。現在、国際電気通信連合 (ITU)。

CCIR-601 — ITU-R BT.601を参照のこと。

CCIR-656 — ITU-R BT.656を参照のこと。

Channel Coding (通信路符号化) — データ・ストリームの1と0が伝送路で表現される方法を示す。

クロマ・キー — ビデオ画像の一部を他の画像と置換するために行われる制御プロセス。制御信号はビデオ信号のクロミナンス特性から作成される。

クロミナンス信号、クロマ — コンポジット・ビデオ信号の変調されたサブキャリアのサイドバンド。また、コンポーネント・システムの色差信号を説明するときにも使用される。つまり、ピクセルの色相および彩度に関する情報を搬送する。

クロック・ジッタ — 入力デジタル信号からタイミング情報を再構成すること。

クロック再生 — 入力デジタル信号からタイミング情報を再構成すること。

同軸ケーブル — 信号搬送導体の同心ペアを持つ伝送ライン。内部導体と導電性のある外部金属製シースで構成されています。シースは、内部導体の信号に影響を与える外部放射を防ぎ、伝送ライン放射を最小限まで抑えるのに役立ちます。

コーディング (符号化) — ビデオ信号の各レベルを数字で表現する2進数形式。

Coefficients (係数) — 量的方法で物理システムのプロパティ (特性) を表現する数。

色補正 — テレビ画像のカラーリングが電子的に変更される、または補正されるプロセス。修正したビデオがその後の処理または伝送システムの制限を超えないように注意する必要があります。

色差信号 — 色情報のみを搬送するビデオ信号。R-YおよびB-Y、IおよびQ、UおよびV、PrおよびPbなどがあります。

コンポーネント・ビデオ信号 — 通常は要素信号の総称。それぞれはフルカラー画像を生成するために必要な情報の一部を表す。R、G、B；Y、I、Q；またはY、B-Y、R-Yなどがある。

コンポーネント・アナログ — カメラ、ビデオ・テープ・レコーダなどの符号化されていない出力。緑、青、赤 (GBR) の3原色信号で構成されている。その信号は必要な画像情報すべてをまとめて搬送する。一部のコンポーネント・ビデオ・フォーマットでは、これらの3つのコンポーネントはルミナンス信号と2つの色差信号に変換される。Y、B-YおよびR-Yなどがある。

コンポーネント・デジタル — コンポーネント・アナログ信号セットのデジタル表現。ほとんどの場合、Y'CbCr'で表現される。SDの符号化パラメータはITU-R BT.601で規定されている。SDフォーマットに関して、パラレル・インタフェースはITU-R BT.656およびSMPTE 125M (1991) で規定されている。

コンポジット・アナログ — NTSCまたはPALビデオなどにエンコードされたビデオ信号。水平および垂直同期情報が含まれている。

コンポジット・デジタル — NTSCまたはPALビデオなどをデジタ

ル・エンコードされたビデオ信号。水平および垂直同期情報が含まれている。

輪郭劣化 (contouring) — 粗悪なレベルで量子化したため発生するビデオ画像の異常。擬似輪郭など。

クロス・カラー — コンポジット信号を符号化するとき、色情報として解釈される高周波ルミナンス情報からもたらされるスプリアス信号。一般的な例として、ベネチアン・ブラインドやストライプのシャツなどの上に見える「レインボー」などがある。

クロス・ルミナンス — 色の付いたエリアの「ドットクロール」または「ビジーエッジ」などルミナンスとして解釈されるコンポジット・クロミナンス信号の結果として、Yチャンネルで発生するスプリアス信号。

デコーダ — 符号化されたソースからコンポーネント信号を再生する機器。コンポーネント信号がコンポジット・クロマ・キーイングまたは色補正装置などのコンポジット・ソースから提供される場合、デコーダが表示やさまざまな処理ハードウェアで使用される。また、圧縮信号からビデオを抽出するための機器を指すときにも使用される。

遅延 (ディレイ) — 機器や導体を通過するために必要な時間。

デマルチプレクサ (デマックス) — マルチプレクス (多重) され、シングル・チャンネルに伝送された多重信号を2つ以上の信号に分離するために使用する機器。

直-並列変換器 — シリアル (直列) デジタル情報をパラレルに変換する機器。

微分利得 (DG) — ルミナンス信号レベルの変化によって引き起こされるクロミナンス振幅の変化。

微分位相 (DP) — ルミナンス信号レベルの変化によって引き起こされるクロミナンス位相の変化。

デジタル・コンポーネント — 各ピクセルの値が一連の数字で表現されるコンポーネント信号。

デジタル・ワード — システムで1つのエンティティとして取り扱われるビット数。

離散 (ディスクリット) — 個別のアイデンティティ。個別の回路のコンポーネント。

ディザ — サンプリングする前にアナログ信号に付加される不規則な低レベル信号 (振動)。1つの量子化レベル振幅のホワイト・ノイズ。

ディザ・コンポーネント符号化 — アナログ信号レベルのわずかなホワイト・ノイズ（1つの量子化レベル振幅）を加え、スムーズなトランジションをもった量子化を得る方法。

ドリフト — 回路コンポーネントの変化や経年劣化が原因である期間出力に表れる穏やかなシフトまたは変化。コンポーネントの熱的不安定さで引き起こされる変化。

D/A変換器（デジタル-アナログ） — デジタル信号をアナログ信号に変換する機器。

DVTR — デジタル・ビデオ・テープ・レコーダの略語。

EAV — コンポーネント・デジタル・システムのアクティブ・ビデオの終了。2つのタイミング・リファレンス・パケット（EAVおよびSAV）のうちのひとつ。

EBU — ヨーロッパ放送連合（European Broadcasting Union）。ヨーロッパの放送局の組織で、625/50ラインのテレビ・システムの技術ステートメントおよび勧告書を作成。

EBU TECH.3267-E — 625ラインのデジタル・ビデオ信号の平行・インタフェースのEBU勧告。初期のものが改版されたもの。

EBU Tech.3246-Eは、CCIR-601（現在ITU-R BT.601）から生まれたもの。CCIR-656（ITU-R BT.656）規格に貢献。

EDH（エラー検出および処理） — SDシリアル・デジタル信号の不正確さを認定するために、SMPTE RP 165が提案された。これはシリアル・デジタル装置に組み込まれ、簡単なLEDエラー・インジケータを用いる。

等化（EQ） — 同軸ケーブルの高周波数損失を補正するためにビデオ増幅器の周波数特性を修正するプロセス。

エンベデッド・オーディオ — デジタル・オーディオは、補助データに割り当てられるときにシリアル・デジタル・データ・ストリームに多重される。

エンコーダ — コンポーネント信号一式から単色（コンポジット）信号を形成するために使用される機器。エンコーダは、コンポーネント・フォーマットであるコンポジット出力がソース（または記録）から要求されるときは常に使用される。または、ビデオ圧縮に使用される機器を指す。

エラー・コンシールメント — エラー訂正に失敗したとき使用される手法（エラー訂正を参照）。エラー・ピクセルを周囲のピクセルで合成されたデータと取り替えられる。

エラー訂正 — 検出され、訂正されるエラーのレベルをある一定まで許容するためにデータにオーバーヘッドを付加するスキーム。

アイ・パターン — データ信号のハイ（高）とロー（低）を重ねた一種のオシロスコープの波形表示。表示パターンが（アイ）のような形状を表示する。波形により、トランスポート層のアナログ・パフォーマンスを評価できる。

フィールド時間（線形）歪み — 垂直走査のタイム・フレームに発生するビデオ信号振幅の不正な変化（60Hz時に16.66ms）。

フォーマット、相互接続 — 指定システムの装置の相互接続に使用される信号の構造。さまざまなフォーマットでさまざまな信号コンポジット、リファレンス・パルスなどが使用される。

フォーマット、走査 — アナログおよびSDデジタルでは、ラインの合計数とフィールド・レート。つまり625/50で表す。デジタルHDでは、ルミナンスのピクセル数、アクティブ・ビデオ・ライン、フィールド・レート、およびフレーム当たりのフィールド数。つまり1280/720/59.94/2:1で表す。

フォーマット変換 — 符号化／復号化およびデジタル・レートの再サンプリングの両方のプロセス。

周波数変調 — 変調信号の振幅変動にしたがって周波数を変化させることにより、正弦波または「キャリア」を変調させること。

周波数応答のロールオフ — 伝送むすみの一種で、高周波数コンポーネントの振幅が維持されないことにより発生。

ゲイン — 電気信号の強度の増減。ゲインはデシベルで表す。

ガンマ — 入力対出力の伝送特性。テレビ・システムでは、ガンマ補正は送信元で行われ、CRTおよび人間の視覚を補償するために暗い領域のゲインを上げる。送信元でガンマを修正すると送信先でノイズの発生を抑えることができ、満足のいく映像を搬送するために必要なビット数を減らすことができる。

ガンマット — ビデオ信号で許容される各種色の表現範囲。有効（バリッド）なカラー・ガンマットは正当（リーガル）な値のR'G'B'信号の組み合わせすべてで表現できる（すべての）色空間として定義される。その他のフォーマットの信号では、正当（リーガル）な制限内ある信号でもガンマット範囲を超えて無効（インバリッド）な信号になる場合がある。R'G'B'にトランスコードされる場合、これらの信号はR'G'B'の正当な制限外（イリーガル）になる。これらはクリッピング、クロストーク、またはその他の歪みを引き起こす。

G'B'R'、G'B'R'フォーマット — R'G'B'と同じ信号。その色の並びはSMPTE規格のコネクタの機械的な配置順を示すために並び替えられたもの。波形モニタのパレード表示はこの順番が反映されたもの。

群遅延 — 周波数に対して伝播遅延が異なることによる歪み。

水平期間 (水平ブランキング、期間) — ラインと有効映像間の期間。

相互接続フォーマット — フォーマットを参照。

相互接続規格 — 標準規格を参照。

インタレース走査 — 画像がキャプチャされ、2つのフィールドで表示される走査フォーマット。最初のフィールドが水平方向に1ラインおきに走査され、2番目のフィールドで最初のフィールドのライン間を埋める。各フィールドのラインがお互いのラインの間に表示される。

補間 — デジタル・ビデオでは、隣接ピクセルの値を数学的に操作する手法。画像に新しいピクセルを作成する。

無効 (インバリッド) 信号 — 有効 (バリッド) 信号を参照。

I/O — 入力/出力の略語。通常、機器へまたは機器から情報またはデータ信号を送信すること。

ITU-R — 国際電気通信連合の無線通信部門 (以前はCCIR)。

ITU-R BT.601 — SMPTE 125M (以前はRP-125) および EBU 3246E規格に基づいて策定されたSDコンポーネント・デジタル・テレビ向けの国際標準規格。ITU-R BT.601には、サンプリング・システム、マトリクス値、およびY、B-Y、R-YおよびGBRコンポーネント・デジタル・テレビの両方に対するフィルタ特性が定義されている。

ITU-R BT.656 — ITU-R BT.601用の物理パラレルおよびシリアル相互接続スキーム。ITU-R BT.656では、パラレルとシリアル・インタフェースの両方で使用されるブランキング、同期、多重化スキームと同様にパラレル・コネクタ・ピン配列が定義されている。反射はEBU Tech 3267 (625ライン信号) およびSMPTE 125M (パラレル525) とSMPTE 259M (シリアル525) に定義されている。

ジャギー — 斜線に現われる階段状のギザギザを表す俗語。不十分なフィルタリング、ナイキスト理論の違反、不十分な補間が原因で引き起こされる。

ジッタ — 好ましくない不規則信号の時間的な変化。

キーイング — 1つのテレビ画像の一部を他の画像のビデオ信号と置き換えるプロセス。たとえば、クロマ・キーイングやインサクション・キーイングなどがある。

適正 (リーガル) / 不正 (イリーガル) — 信号が使用されたフォー

マットの適切なガマット以内にある場合、適正レベルの信号である。適正な信号は信号チャンネルのどれかのフォーマットで規定された電圧制限を超えない。不正な信号とは1つ以上のチャンネルが電圧制限外にある信号を言う。リーガルであっても、有効 (バリッド) とは限らない。

ルミナンス (Y) — 各ピクセルの光量情報を持つビデオ信号。モノクロ・カメラによって提供される信号と同じ。YはR'、G'、B'信号の加重和として生成される。

MAC — 多重されたアナログ・コンポーネント・ビデオ。これは、コンポーネント・アナログ・ビデオを同軸、ファイバまたは衛星チャンネルなどシングル送信チャンネルに時分割多重する手法。通常、時間圧縮を可能にするデジタル処理を対象にしている。

マイクロ秒 (μs) — 100万分の1秒: 1×10^{-6} または0.000001秒。

モノクローム (白黒) 信号 — 通常、白黒信号。コンポジットまたはコンポーネント・カラー信号のルミナンス部分を指す場合もある。

MPEG — Motion Pictures Expert Group。圧縮動画とオーディオを標準化するために策定された業界専門家の国際グループ。

マルチレイヤ効果 — 複数のビデオ画像をコンポジット画像に合成できる混合/効果に使用する一般用語。

マルチプレクサ (マックス) — 2つ以上の電気信号を1つの信号、コンポジット信号に合成 (多重) する機器。

ナノ秒 (ns) — 10億分の1秒。 1×10^{-9} または0.000000001秒。

ニュートラル・カラー — 色のない黒から白までの階調レベルの範囲。R'G'B'信号がすべて同じレベルとなる。色差フォーマットでは、色差信号はゼロになる。

NICAM (near instantaneous companded audio multiplex) — ポイント間リンクのためにBBCが独自に開発したデジタル・オーディオ符号化方式。後に開発されたNICAM 728は、家庭用テレビ受信機向けにステレオ・デジタル・オーディオを組込むために、欧州の数カ国で採用されている。

非線形符号化 — 小振幅信号に割り当てられた量子化レベルが相対的に大きいほど、相対的に信号ピークを少なくする。

非線形 (非直線) — 信号振幅に対して一次関数以外の関数として変化するゲインを持つこと。

NRZ — NRZ (Non return to zero)。極性に影響を受ける符号化方式。0 = ロジック低、1 = ロジック高。

NRZI — NRZI (Non return to zero inverse)。極性に影響を受けないデータ符号化の方式。0 = ロジック変化なし、1 = 1ロジック・レベルからその他にトランジション。

NTSC (米国テレビ・システム委員会：National Television Systems Committee) — NTSCテレビ・システムの規格を策定した団体。北米、日本および南米の一部で主に採用されているカラー・テレビ放送のアメリカ方式が規定されている。

ナイキスト・サンプリング定理 — 逐次サンプリング間のインターバルが、被サンプリング信号が持つ最も高い周波数の周期の半分と同じか、またはそれ以下でなければならない。

直交サンプリング — 各ラインのサンプルが同じ水平位置 (co-timed) にくるようにサンプリングすること。

PAL (線極性反転方式：Phase Alternate Line) — カラー・テレビ・システムの名称。カラー送信で発生する色相エラーを最小化するために、ラインごとに位相を反転する方式。

パラレル・ケーブル — パラレル・データを搬送するマルチ導体ケーブル。

パッチ・パネル — 送信元と送信先、およびそれらを相互接続するケーブルに使用するパネル・レセプタクルを使用して信号をルーティングするための端子盤。

ピーク・トゥー・ピーク — 電気信号の正と負の最も高いところの間の振幅 (電圧) 差。

位相歪み — フィルタ、増幅器、電離層変化など、さまざまなインピーダンス素子を通過するため、信号内のさまざまな周波数成分の遅延が異なることにより引き起こされる画像欠陥。この画像の欠陥は、コントラストが急変したような場合によく起こり、回折により引き起こされるような「フリリング：しま」が現われる。

位相誤差 — 他の信号との関連で信号の不適切な相対的タイミングによって引き起こされる画像欠陥。

位相シフト — 他の信号との関連で信号の相対的タイミングが移動すること。

ピクセル — デジタル・ビデオ画像を構成する最小領域。画面の1つのポイント。画像の1つのサンプル・ワードから導かれ画像素子。

PRBS — 擬似ランダム2進法シーケンス (Pseudo Random Binary Sequence)。

原色 — 通常、システムの制限内でフル・レンジの色を作成するために合成される3つの色。非原色のすべては2つ以上の原色を混合したものである。テレビで言う原色は赤、緑、青と規定されている。

プロダクション・スイッチャ (画像ミキサ — ビデオ信号切り替え器。また、キーイングおよびマッティング (合成) が可能な機器。

プログレッシブ走査 — 画像が最上部から最下部まで1回の走査でキャプチャする走査フォーマット。

伝搬遅延 (経路長) — 信号が装置の一部から回線、または1本のケーブルを伝達するのにかかる時間。

量子化 — 連続したアナログ入力を一連の離散的な出力レベル変換するプロセス。

量子化ノイズ — 量子化処理で引き起こされるノイズ (オリジナルまたは適切な値との信号の偏差)。シリアル・デジタルでは、信号が存在するところにある粒状タイプのノイズ。

レート変換 — 通常、サンプル・レートを別のレートに変換する処理。コンポーネント・フォーマットのデジタル・サンプル・レートは13.5MHz。コンポジット・フォーマットではNTSCは14.3MHz、PALは17.7MHz。

Rec. 601 — ITU-R BT.601を参照。

リクロッキング — 再生されたクロックでデータをクロッキングする処理。

解像度 — デジタル信号の解像度はビット数 (4、8、10など) で決定されます。

4-ビット=16分の1の解像度

8-ビット=256分の1の解像度

10-ビット=1024分の1の解像度

8ビットが放送用テレビで適用できる最小ビットです。RP 125 - SMPTE 125Mを参照してください。

RGB、RGBフォーマット、RGB方式 — 信号が各原色を使用して設定される基本パラレル・コンポーネント・セット。または、関連する装置、相互接続フォーマット、または規格を呼ぶときに使用される。SMPTE相互接続規格の接続の機械的順番の名残として、同じ信号を「GBR」と呼ぶこともある。

立上り時間 — 信号がある状態から他の状態へ遷移するためにかかる時間。通常、遷移の10%から90%の間で測定される。短いまたは速い立上り時間は伝送チャンネルではより大きい帯域幅を必要とする。

ルーティング・スイッチャ — 入力信号を選択した出力にルーティングする電子機器。

サンプリング — アナログ信号をキャプチャ (サンプル) するプロセス。

サンプリング周波数 — 所定の時間周期で行われる離散的なサンプル測定数。ビデオではメガヘルツ (MHz) で表現される。

SAV — コンポーネント・デジタル・システムの有効映像の開始位置。2つのEAVとSAVのタイミング・リファレンス・パケットのうちの1つ。

走査変換 — 走査フォーマットを別のフォーマットに変換するためにビデオ信号をリサンプリングする処理。

スコープ — オシロスコープ (波形モニター) の短縮形。またはテレビ信号を測定するために使用されるベクトルスコープ機器。

スクランプリング — 1) シリアル・デジタル信号に関連する低周波数パターンに分解するために、予定のスキームにしたがってデジタル・データを置き換えるか、または反転すること。2) デジタル信号をより良いスペクトル分布にするためにシャッフルすること。

セグメンテッド・フレーム — プログレッシブ・フォーマットとして、画像が1回の走査で1フレームをキャプチャ (捕捉) する走査フォーマット。しかし、インタレース・フォーマットでは1フィールドとして偶数ラインを走査し、その後次のフィールドは奇数ラインで走査される。

シリアル・デジタル — シリアル形式で伝送されるデジタル情報。シリアル・デジタル・テレビ信号を略式で呼ぶときに使用する。

並-直列変換器 — パラレル・デジタル情報をシリアル・デジタルに変換する機器

SMPTE (映画テレビ技術者協会 : Society of Motion Picture and Television Engineers) — テレビおよび映画産業向けに標準規格を勧告する専門団体。

SMPTEフォーマット、SMPTE規格 — コンポーネント・テレビでは、これらの用語はパラレル・コンポーネント・アナログ・ビデオを相互接続するためのSMPTE規格を指す。

規格、相互接続規格 — 電圧レベルなど、特殊なタイプの装置の入力/出力要件が規定されている規格。一部の規格は専門家グループまたは政府機関 (SMPTEまたはEBUなど) によって策定されたもの。あるいは装置ベンダやユーザによって決定されたもの。

スチール・ストア — ビデオの特定フレームの保存に使用する機器。

同期 — 送受信端でビットとキャラクタ・ストリームが同期クロックに正確に合わせることによって実行される伝送手順。シリアル・データ・ビデオでは、同期受信機のサンプル・クロックは入力データ信号のトランジションから抽出される。

同期ワード — 同期ビット・パターン。通常データ・ビット・パターンとは異なり、テレビ信号のリファレンス・ポイントを特定するために使用される。また、シリアル受信機のワード・フレーミングを円滑に行うために使用される。

テレシネ — 映画フィルムをビデオ信号に変換する機器。

時間的エイリアシング — サンプリングされた画像がフレーム・レートより速く動きすぎると発生する、目に見える画像の欠陥。

タイム・ベース・コレクタ — タイム・ベース・エラーを修復するために使用する機器。テープ・レコーダから出力されるビデオのタイミングを安定化させる。

TDM (時分割多重 : Time Division Multiplex) — 1つのチャンネルで複数の信号を管理。各信号の一部分を交互に送り、時間ブロックに各部分が割り当てられる。

時分割多重化 — デジタル・ビデオの場合、3つのビデオ・チャンネルでデータを連続的にインターリーブする技術。それは符号化され、一緒に使用される。コンポーネント・デジタル・フォーマットでは、その並びはY、Cb、Y、Cr、Y、Cbなどになります。この場合、Yは、色差チャンネルのどちらかの合計データ量 (詳細) の2倍になる。補助データは、非ビデオ時間のデータ・ストリームに時分割多重される。

TRS — コンポジット・デジタル・システム (4ワード長) のタイミング・リファレンス信号。コンポーネント・ビデオでは、EAVおよびSAVがタイミング・リファレンスを提供する。

TRS-ID (timing reference signal identification) — コンポジット・デジタル・システムのタイミングを維持するために使用されるリファレンス信号。4ワード長の信号。

トランケーション — デジタル・システムでの最下位有効ビットの削除。

有効な信号 — 表現されるすべての色が有効なカラー・ガマット内に位置しているビデオ信号。有効信号はRGBまたは他のフォーマットに変換されたときでも依然有効でなければならない。バリッド信号は常にリーガルだが、リーガルな信号が常にバリッドであるとは限らない。有効でない信号は現行フォーマットでは問題なく処理されるが、信号が新しいフォーマットに変換されると問題を発生する。

有効 (バリッド) / 無効 (インバリッド) — 有効信号とは2つの制限を満たした信号。現行フォーマットで有効で、他のカラー信号フォーマットに適切に変換されたときでも有効であること。

VTR (ビデオ・テープ・レコーダ) — 磁気テープに記録されたオーディオおよびビデオ信号を再生できる機器。

波形 — 電圧または電流と時間との関係をグラフ表示したものの。

ワード — 「バイト」を参照。

Y、C1、C2 — CAV信号の汎用セット。Yはルミナンス信号、C1は1番目の色差信号、およびC2は2番目の色差信号。

Y'、C'b、C'r — デジタル・コンポーネント・フォーマットに使用される色差信号のガンマ補正セット。

Y、I、Q — NTSC方式のために1953年に規定されたCAV信号のセット。Yはルミナンス信号、Iは1番目の色差信号、およびQは2番目の色差信号。

Y、Pb、Pr — SMPTEアナログ・コンポーネント規格のために規定された (Y R-Y B-Y) のバージョン。

Y、R-Y、B-Y — NTSC方式の一部のコンポジット・エンコーダおよびほとんどのコンポジット・デコーダと同様にPAL方式で使用されるCAV信号のセット。Yはルミナンス信号、R-Yは1番目の色差信号、およびB-Yは2番目の色差信号。

Y、U、V — PAL方式で使用されるルミナンスコンポーネントおよび色差コンポーネント。Y'、P'b、P'rと同じものとして、説明などでよく間違っ使用される。

著者のプロフィール

Guy Lewis氏は、ベイラー大学およびテキサス農工大で物理、数学および通信学を学び、テレビ局でチーフ・エンジニアおよびテレビジョン・グループのエンジニアリング・ディレクタを務めた。RCAで放送分野のエンジニア、販売管理、さらに製品ライン管理を20年勤めて、テクトロニクスに入社。テクトロニクスを1999年に退社するまでプロダクト・マーケティング・マネージャ、テレビジョン試験、テレビ波形モニタリングおよびベースバンド信号生成に関連する製品開発の責任者を歴任。

Michael Waidson氏は、英国カンタベリーにあるケント大学から通信学のB.S.を取得。民生テレビの電子メーカで12年間デジタル・ビデオ部門の高品位テレビ受信機設計に携わってきた。その後、欧州および米国のテレビ放送業界で従事。現在は、テクトロニクスのビデオ事業部のアプリケーション・エンジニア。

免責条項

本書において、デジタル・テレビによって実行されるさまざまな処理が説明されています。機器は日々改良され機能強化されています。優秀なエンジニアによって高パフォーマンスで経済的な技術が開発されてきました。ここで重要なことは、高度化していくなかで経済的な互換性を確保するために進化し続ける標準規格に準拠していくことです。

本書は信頼できる文献の情報を利用して解説を加えたものです。また、標準化された数多くのフォーマットを理解することを目的に記載されたものです。情報の正確性や完全性については、テクトロニクスおよび著者のいずれも保証するものではなく、さらに本書を使用して発生したあらゆる過失および不注意に対して責任を負うものではありません。特定の情報に関しては、業界標準化団体に直接相談されることをお勧めいたします。

Tektronix お問い合わせ先：

日本

本社 03-6714-3111
SA営業統括部 03-6714-3004
ビデオ計測営業部 03-6714-3005

大宮営業所 048-646-0711
仙台営業所 022-792-2011
神奈川営業所 045-473-9871
東京営業所 042-573-2111
名古屋営業所 052-581-3547
大阪営業所 06-6397-6531
福岡営業所 092-472-2626
湘南カスタマ・サービス・センタ 0120-7-41046

地域拠点

米国 1-800-426-2200
中南米 52-55-542-4700
東南アジア諸国／豪州 65-6356-3900
中国 86-10-6235-1230
インド 91-80-2227-5577
欧州 44-0-1344-392-400
中近東／北アフリカ 41-52-675-3777
他30カ国

Updated 02 September 2008

詳細について

当社は、最先端テクノロジーに携わるエンジニアのために、資料を用意しています。当社ホームページ(www.tektronix.co.jp)またはwww.tektronix.comをご参照ください。



TEKTRONIXおよびTEKは、Tektronix, Inc.の登録商標です。記載された商品名はすべて各社の商標あるいは登録商標です。

02/09

25Z-14700-5



Enabling Innovation

日本テクトロニクス株式会社

東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟6階 〒108-6106
製品についてのご質問・ご相談は、お客様コールセンターまでお問い合わせください。

TEL 03-6714-3010 E-mail ccc.jp@tektronix.com

電話受付時間／9:00～12:00・13:00～18:00 月曜～金曜(休祝日は除く)

当社ホームページをご覧ください。www.tektronix.co.jp
製品のFAQもご覧ください。www.tektronix.co.jp/faq/

■ 記載内容は予告なく変更することがありますので、あらかじめご了承ください。

© Tektronix