

ガマット測定入門

色とガマット (Gamut) を理解するために



色の概念

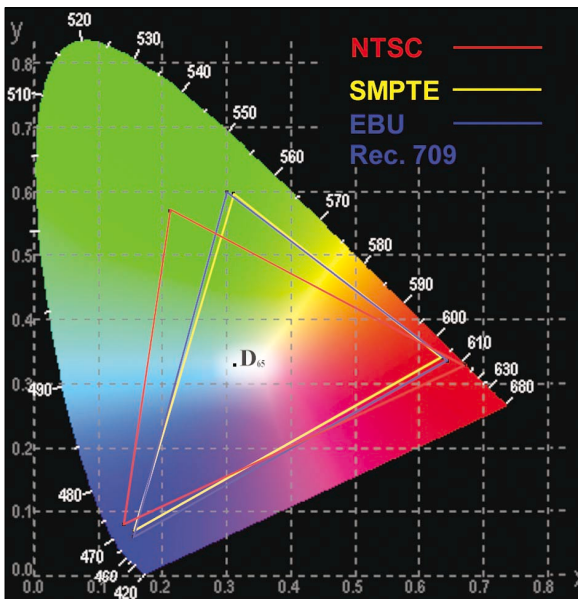


図1. NTSC、SMPTE、EBU Rec. 709で用いられる色座標によるCIE XY色度図

テレビの色表示は、CIE (国際照明委員会) が1931年に定めた規格に基づいています。CIEは、基本となる三刺激値XYZを定めました。この三刺激値はR'G'B'から変換されたすべての正の数値で、Yは加色混合のルミナンスに比例します。この仕様は今日のビデオ規格の色基準として用いられています。

表1. ルミナンスおよびクロマ・ビデオ・コンポーネント

アナログ・エンコーディングで共通に使用されているY'、R'-Y'、B'-Y'			
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'	-0.299 R'-0.587 G'+0.886 B'	
アナログ・コンポーネントY'、P'b、P'r			
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'	0.212 R'+0.701 G'+0.087 B'	0.2126 R'+0.7152 G'+0.0722 B'	0.299 R'+0.587 G'+0.114 B'
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')
デジタル量子化のためにスケーリングおよびオフセットされたY'、C'b、C'r			
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2. 各フォーマットにおけるCIE XY座標値

SMPTE	赤 (R)	緑 (G)	青 (B)
	xr yr 0.630 0.340	xg yg 0.310 0.595	xb yb 0.155 0.070
イルミナントD65	x=0.3127 y=0.3290		
EBU Rec 709	赤 (R)	緑 (G)	青 (B)
	xr yr 0.640 0.330	xg yg 0.300 0.600	xb yb 0.150 0.060
イルミナントD65	x=0.3127 y=0.3290		
PAL/SECAM	赤 (R)	緑 (G)	青 (B)
	xr yr 0.64 0.330	xg yg 0.290 0.60	xb yb 0.150 0.060
イルミナントD65	x=0.3127 y=0.3290		
NTSC (1953)	赤 (R)	緑 (G)	青 (B)
	xr yr 0.670 0.330	xg yg 0.210 0.710	xb yb 0.140 0.080
イルミナントC	x=0.3101 y=0.3162		

CIEは、XYZの三刺激値を正規化して、次の式で指定されるルミナンスの相対値に対してすべての色のxおよびyの値の2次元プロットを求めるための手順を標準化しました。

$$x=X/(X+Y+Z)$$
$$y=Y/(X+Y+Z)$$
$$z=Z/(X+Y+Z)$$
$$1=x+y+z$$

表3

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

各フォーマットで再現可能なすべての色を示すさまざまなビデオ・フォーマットについて限度が定められています。

図1の色分けされた三角形 (SMPTEフォーマットは黄、EBU/PAL/SECAMフォーマットは青、NTSC 1953フォーマットは赤) は、表2のxy座標で指定されています。

白 (各フォーマットのシステムの白い点) は、同量の赤、緑、青を加えることで定められます。CIEは1931年に表3に示されている標準光源を定めました。

- 光源A：色温度2854Kのタングステン・フィラメント電球
- 光源B：色温度4800Kの正午の太陽光のモデル
- 光源C：色温度6504Kの平均昼光のモデル

イルミナントC (光源C) は、NTSCの当初の定義に使用されていました。その後、CIEは、デイルイトDシリーズと呼ばれる一連の昼光イルミナントを定めました。今日では、色温度6504Kで、少し異なるxy座標を持つイルミナントD65が主に使用されています。

赤、緑、青の原色は、3次元の色立方体にマッピングできます。すべての色は、R'G'B'色立方体の限度内で表すことができます。

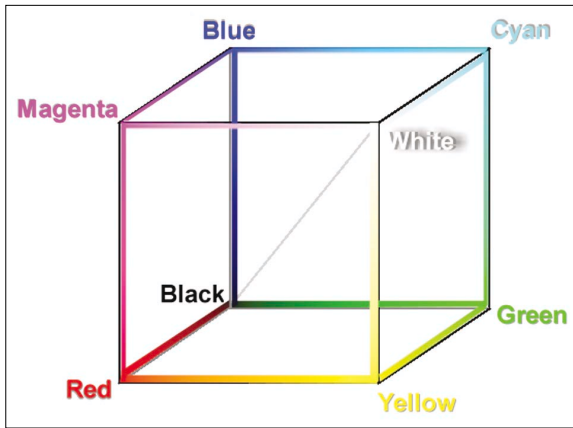


図2

表1に示されているR'G'B'空間からY'P'b P'r空間に色の値を変換する式を使用すると、色の範囲を制限できます。R'G'B'領域内の色のすべてのガマットを表現するには、Y'P'b P'r領域で可能な全信号値のわずか25%のみを使用します。フォーマット間の変換を行うときには、信号の動的ガマットを超えないように注意が必要です。

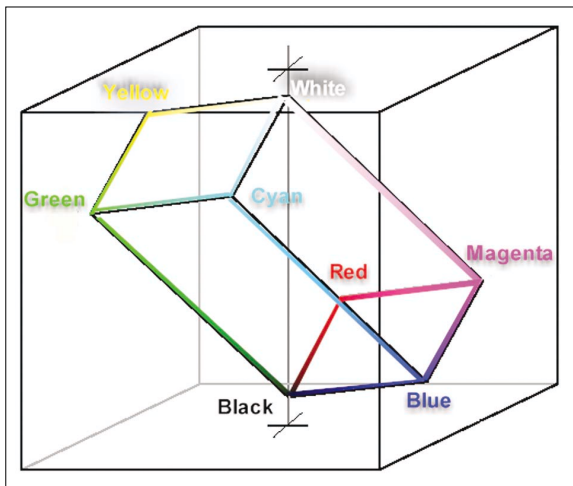


図3

定 義

1. **ガマット (GAMUT)** —— ビデオ信号で再現できる色の範囲です。バリッド・カラー・ガマットは、R'G'B'信号のリーガル値の組合せによって表現可能なすべての色であると定義されます。他のフォーマットのビデオ信号は、リーガルな限度内でも、バリッド・ガマット外の色を表現できます。これらの信号をR'G'B'信号にフォーマット変換すると、リーガルなR'G'B'限度を超えます。これにより、クリッピング、クロストークなどの歪みが発生することがあります。R'G'B'の許容範囲は0~700mV、Y'P'bP'rの許容範囲はルミナンス (Y') が0~700mV、色差 (P'b/P'r) が±350mVです。
2. **リーガル/イリーガル** —— 使用されているフォーマットに適したガマット内に信号があれば、その信号はリーガルです。リーガル信号は、信号チャンネルのフォーマットに対して規定されている電圧限度を超えることはありません。イリーガル信号とは、1つ以上のチャンネルで限度を超える信号です。リーガル信号でもバリッド信号でないことがあります。
3. **バリッド信号** —— 表現するすべての色が有効なカラー信号の領域内にあるビデオ信号です。バリッド信号は、R'G'B'や他のフォーマットに変換されてもリーガル信号のままです。バリッド信号は必ずリーガル信号ですが、リーガル信号は必ずしもバリッド信号ではありません。バリッドでない信号は、現在のフォーマットでは問題なく処理されますが、他のフォーマットに変換したときに問題が生じる可能性があります。

ライトニング表示

当社が開発したライトニング表示は、3チャンネル・コンポーネント信号の振幅とチャンネル間タイミングの両方の情報を1つの画面に表示します。このユニークなライトニング表示の測定に必要なテスト信号は標準カラー・バー信号1つだけです。ライトニング表示は、画面の上半分にP'b(X軸)とルミナンス(Y軸)を、下半分にP'r(X軸)と反転ルミナンス(Y軸)をプロットします。いわば、1画面で2種類のベクトル表示を行うようなものです。画面の中心にある明るいドットがブランキング・レベル(ゼロ信号レベル)です。ルミナンスが大きくなると、画面の上半分では上に向かって、下半分では下に向かってプロットされます。

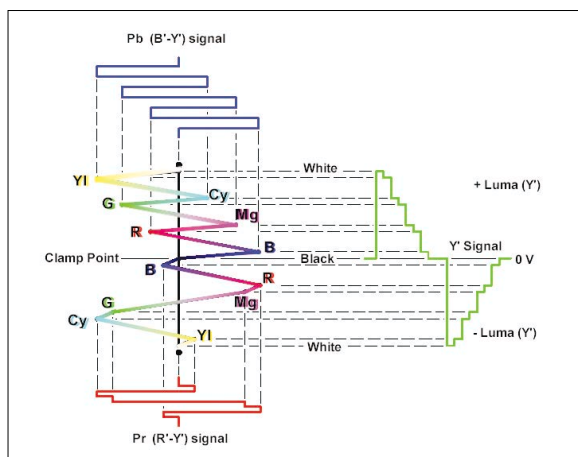


図4

正しいライトニング表示

ライトニング表示は、短時間で簡単にテープ調整を行うのに理想的なツールです。75%または100%の標準カラー・バー信号を使用し、波形モニターで適切なスケールを選択して、すべてのカラー・コンポーネントがボックス内に入るようにします。

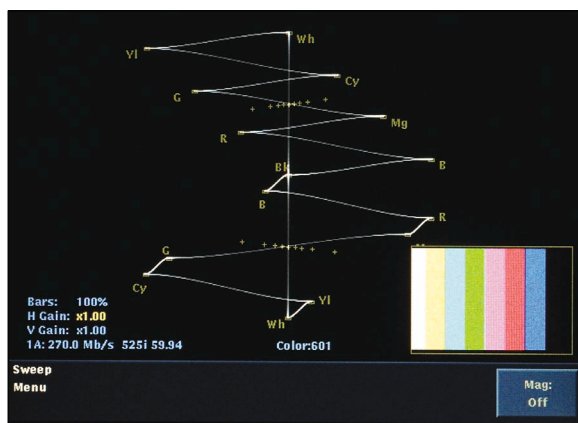


図5

図6は、ルミナンスの振幅エラーを示しています。上側と下側のトレース両方がそれぞれの目盛ボックスを超えているためです。各コンポーネントがボックス内に収まるまでルミナンス信号の振幅を小さくします。

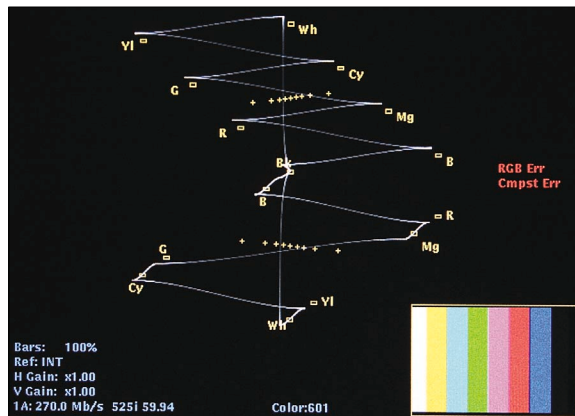


図6

図7では、ライトニング表示の上半分にエラーが示されています。トレースが目盛ボックス内に収まっていません。具体的には、各トレースが対応するボックスに収まるまでP'bチャンネルのゲインを調整する必要があるP'b振幅エラーを表しています。同様に、この表示の下半分のみがエラーである場合、これはP'rチャンネルのゲイン・エラーであることを示しています。

ゲインと緑(G)とマゼンタ(Mg)のトランジションの振幅が正しいカラー・バー信号を使用すると、ライトニング表示はチャンネル間タイミング測定にも使用できます。WFM700シリーズには、タイミング測定に使用できる9つのクロスヘア目盛が緑(G)とマゼンタ(Mg)のトランジション付近にあります。

色差信号がルミナンスと一致しない場合、カラー・ドット間のトランジションは曲がります。どの程度曲がっているかによって、ルミナンスと色差信号間の相対的な信号遅延を表します。表示の上半分はP'bからY'へのタイミング、下半分はP'rからY'へのタイミングを測定します。トランジションが黒(Bk)の方に曲がっている場合、色差信号はルミナンスと比べて遅れています。トランジションが白(Wh)の方に曲がっている場合、色差信号はルミナンス信号より進んでいます。

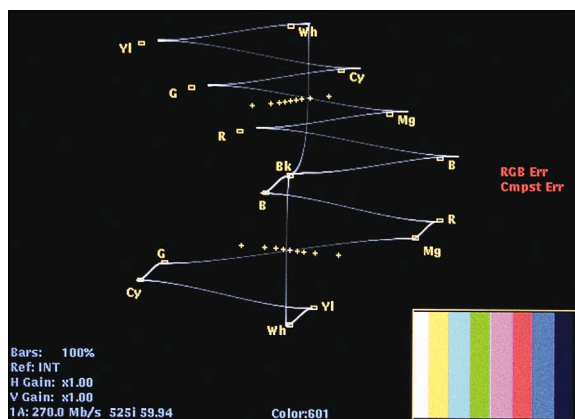


図7

図8では、表示の上半分が中心から外側へ湾曲しています。これは、P'b信号がルミナンス信号より進んでいるP'bチャンネルのタイミング・エラーを表しています。トランジションは3番目のクロスヘアと交差しているので、タイミング・エラーが表4より74nsであることがわかります。表示の下半分では、緑 (G) とマゼンタ (Mg) のトランジションは中心にあるマークと交差していて、ルミナンス信号とP'r信号にはタイミング・エラーはありません。

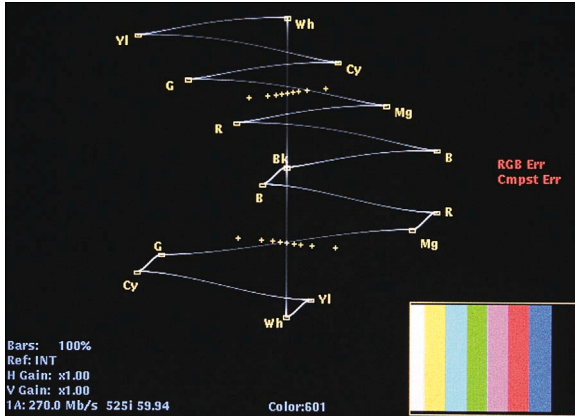


図8

図9では、トレースは表示の上半分が中心から内側に湾曲していて、P'bチャンネルにタイミング・エラーがあることを表しています。P'b信号はルミナンス信号より遅れています。トレースは3番目のクロスヘアと交差しているので、タイミング・エラーが表4より74nsであることがわかります。表示の下半分では、緑とマゼンタのトランジションは中心にあるクロスヘアと交差していて、ルミナンス信号とP'r信号間にはタイミング・エラーはありません。

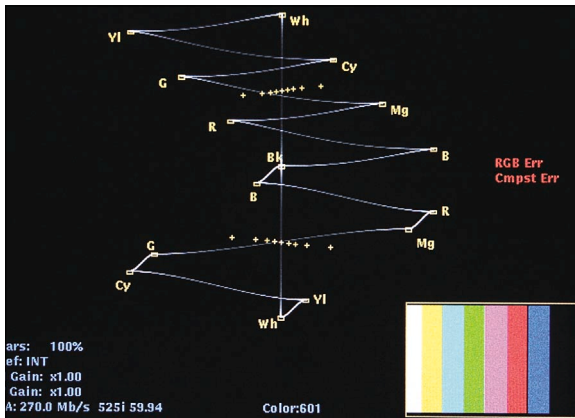


図9

表4. ライトニング表示のタイミング・クロスヘア位置

目 盛	WFM700シリーズ HD信号	WFM700シリーズ SD信号	WFM601シリーズ
中心位置	0s	0s	0s
1番目のマーク	2ns	20ns	40ns
2番目のマーク	5s	40ns	80ns
3番目のマーク	13.5ns (1 luma sample)	74ns (1 luma sample)	160ns
4番目のマーク	27ns (1 chroma sample)	148ns (1 chroma sample)	なし

ダイヤモンド表示

正しいダイヤモンド表示

100%カラー・バー信号を使用した当社のダイヤモンド表示です。100%カラー・バー信号の0~700mVの信号範囲は、目盛内にちょうど収まっています。100%カラー・バー信号はR'G'B'カラー空間のマット内にあると考えられています。

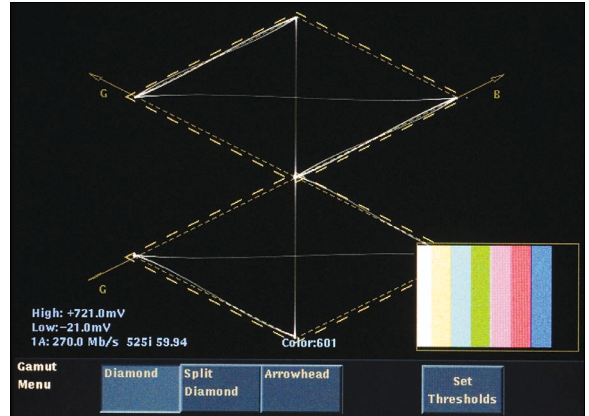


図10

ダイヤモンド表示は、R'、G'、B'の信号を組合せて作られます。ビデオ信号が他のフォーマットの場合、コンポーネントはR'、G'、B'に変換されます。(R'G'B'は、100%カラー・バー対応の任意のフォーマットであれば、バリッドでリーガルな信号に変換できます。) 3つのコンポーネント全部を予想どおりに表示するには、このコンポーネントは0V~700mVでなければなりません。ピクチャ・モニタは標準領域 (ガマット) を外れた場合、さまざまな方法で対応します。信号をガマットに収めるには、すべての信号ベクトルがG-BダイヤモンドおよびG-Rダイヤモンド内になければなりません。ベクトルがダイヤモンドを超えた場合、それはガマット外になります。緑 (G) の振幅エラーは両方のダイヤモンドに同じように影響を与えますが、青 (B) のエラーは上のダイヤモンドにのみ、赤 (R) のエラーは下のダイヤモンドにのみ影響します。カラー・バー・テスト信号を使用すると、タイミング・エラーをトランジションの曲がりとして見ることができます。

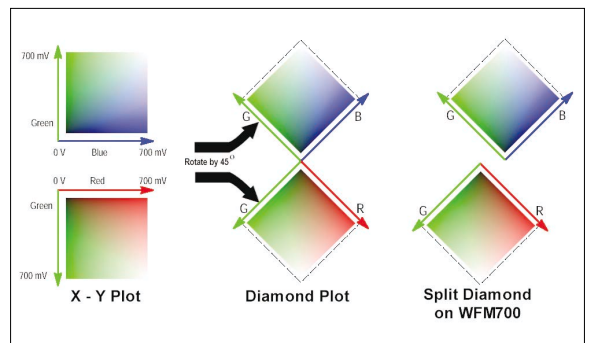


図11

ガマット測定入門

図12において、カラー・バー信号は、上側と下側両方のダイヤモンドをG'軸方向に超えています。したがって、緑(G)のチャンネル内に振幅エラーがあり、波形が目盛内に収まるように信号ゲインを修正する必要があります。B'とR'のコンポーネントは目盛内、つまり正しい限度内に収まっていることに注意してください。

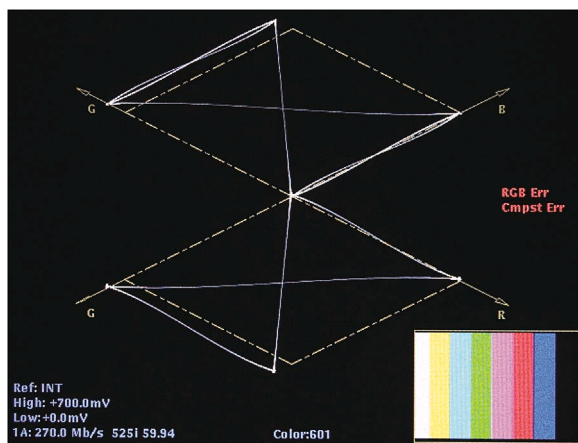


図12

図13では、ダイヤモンド表示は下側の表示のR'軸方向のエラーのみを示しています。これは、赤(R)のチャンネルの振幅エラーを表しています。赤(R)のチャンネルのゲインを調整して目盛内に収まるようにする必要があります。同様に、上側の波形だけがB'軸方向に限度を超えた場合は、青(B)の振幅エラーを表示します。

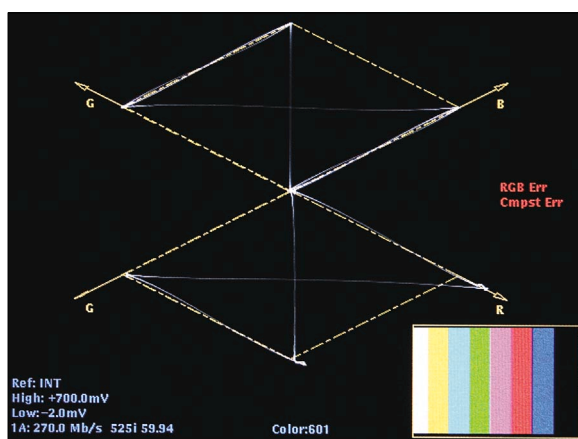


図13

図14に示すように、WFM700シリーズではダイヤモンド表示に改良を加えたスプリット・ダイヤモンド表示も採用しています。スプリット・ダイヤモンド表示では、上側と下側のコンポーネントをわけるため、黒の領域のガマット・エラーを容易に観察できます。

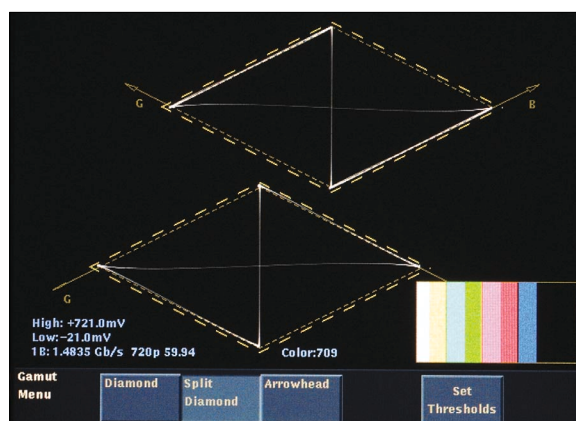


図14

WFM700シリーズのダイヤモンド表示は、SDとHDの両方に使用できます。HDフォーマットを使用した図15の例では、NTSC SMPTEカラー・バー信号は、R'G'B'カラー空間に変換されるとリーガルではなくなります。波形は黒の領域の目盛を超えています。下側の青いバーがR'G'B'限度を超え、0mVを下回するためです。

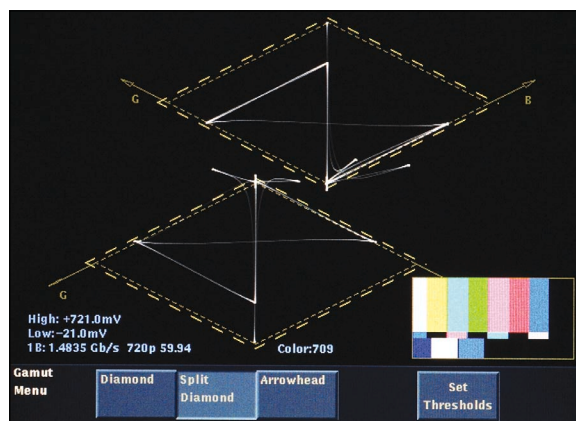


図15

ダイヤモンド表示およびスプリット・ダイヤモンド表示は、ライブ信号とテスト信号双方に使用でき、R'G'B'ガマット監視を簡単に行える能力では群を抜いています。図16に示すように、この信号では、上側のG'軸に沿ってに小さな違反があります。オペレータは、この状態が要件の許容範囲であるかどうかを簡単に判断できます。WFM700シリーズを使用すると、プロダクション規格に適したガマット・スレッショルド・リミットを選択できます。

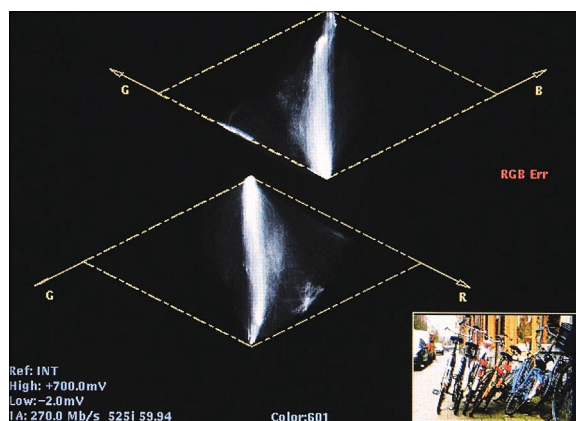


図16

図17では、信号の赤 (R) のバランスが大きいくずれ、下側のダイヤモンドの目盛を超えています。下側のダイヤモンドでトレースが右にオフセットされていることにも注意してください。赤 (R) のバランスが不適切なのは、赤 (R) のチャンネルの黒 (Bk) レベルのオフセットが原因で、カラー・コレクトが必要です。

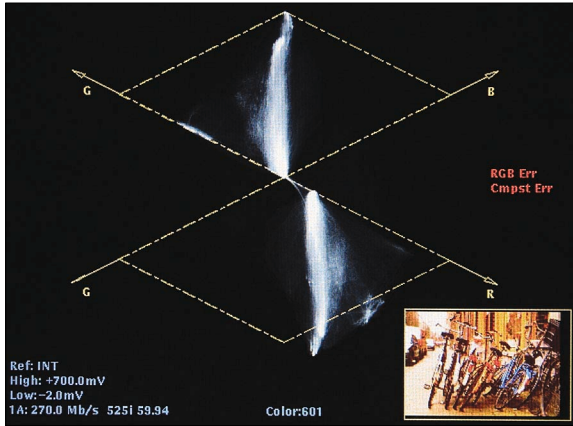


図17

図18では、信号の青 (B) のバランスが大きいくずれ、上側のダイヤモンドの目盛を超えています。上側のダイヤモンドでトレースが右にオフセットされていることに注意してください。青 (B) のバランスが不適切なのは、青 (B) のチャンネルの黒 (Bk) レベルのオフセットが原因で、カラー・コレクトが必要です。

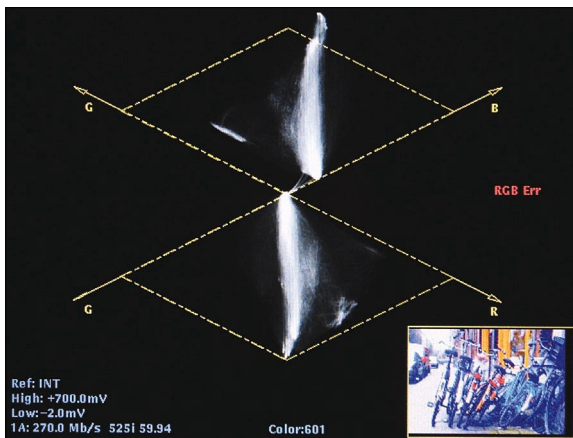


図18

図19では、信号の緑 (G) のバランスが不適切なことを表すエラーを示しています。信号は上下のダイヤモンド両方で左にオフセットされ、黒 (Bk) の領域内における緑 (G) のセットアップ・エラーを表しています。不適切なバランスを修正するには、信号のカラー・コレクトが必要です。

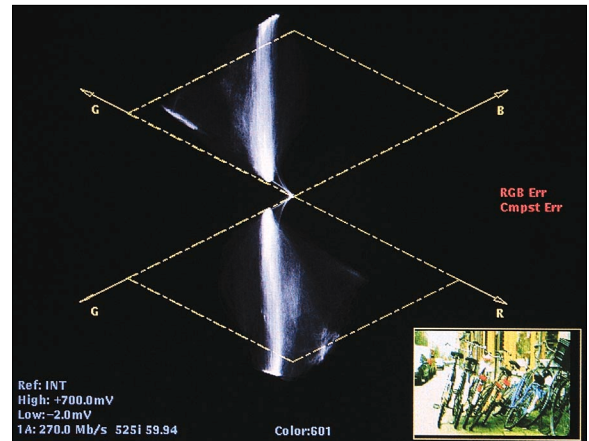


図19

図20は、標準定義色の全種類を含んでいるTG700シリーズTVゼネレータで生成したカラー・パレット信号です。この色範囲はスプリット・ダイヤモンド表示の目盛を完全に埋めています。

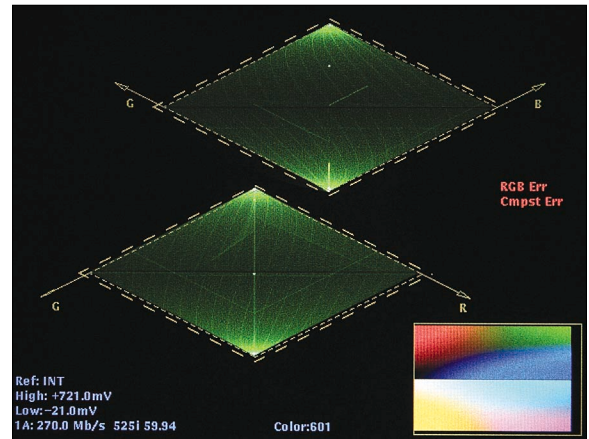


図20

ダイヤモンド表示は、カメラのバランスを簡単にとるために不可欠なツールです。R'=G'=B'のとき、グレー値を生成します。したがって、信号が正しく調整されていれば、生成されたグレー・スケールは図21に示すように、上下両方のダイヤモンドで垂直線を形成します。誤差はダイヤモンド表示内で簡単に確認できます。

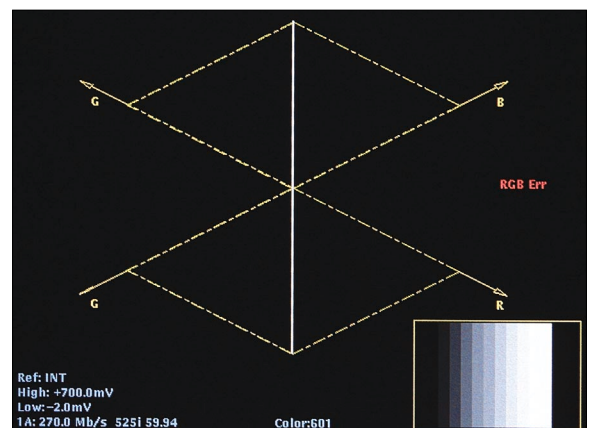


図21

ガマット測定入門

図22の場合、下側のダイヤモンドが垂直軸から赤 (R) の軸方向へずれているので、カメラの赤 (R) バランスが不適切であることが判ります。この不適切なバランスを修正するためには、カメラを調整する必要があります。

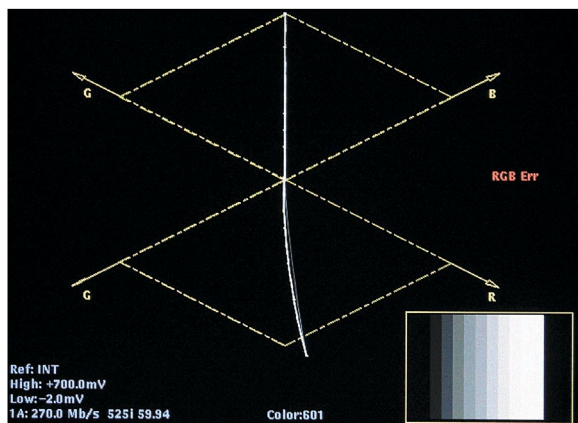


図22

カメラのレンズにキャップをはめると信号は黒 (Bk) になり、ダイヤモンド表示では目盛の中心にドットが表示されます。図23の場合、キャップをはめることにより下側のダイヤモンドの赤 (R) の軸方向にトレースが生じています。これは赤 (R) のチャンネルにセットアップ・エラーがあり、ドットが中心に表示されるまで調整する必要があります。



図23

カラー・バーのようなテスト信号を使用すると、ダイヤモンド表示でタイミング・エラーを検出できます。図24において、上側のダイヤモンドの水平方向の湾曲は、青 (B) のチャンネルのタイミング・エラーを表しています。青 (B) のチャンネルのタイミングずれによって、それぞれの色の境界でのトランジションが大きくなり、これによりダイヤモンド表示の各トランジションで少し湾曲が生じることに注意してください。下側の水平方向のトランジションで湾曲が生じた場合、赤のチャンネルのタイミング・エラーを示します。このタイミング・エラーはダイヤモンド表示では測定できません。ただタイミング・エラーの有無を示しているだけです。

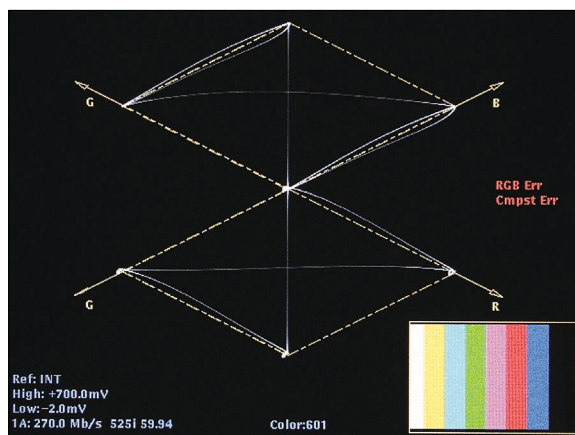


図24

アローヘッド表示

当社が開発したアローヘッド表示は、コンポジット・エンコーダを使用せずに、コンポジット・カラー空間のガマット状態を表示します。アローヘッド表示は、左下端をブランキングとして、垂直軸上にルミナンスをプロットします。左端をゼロ・サブキャリアとして、各ルミナンス・レベルにおけるクロマ・サブキャリアの振幅を水平軸上にプロットします。上側の斜線は、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。下側の斜目盛は、シンク・チップ(最大送信電力)に伸びるルミナンス+サブキャリアを表しています。調整可能な変調度アラーム設定には、コンポジット信号が限度に近づいていることを警告する機能があります。

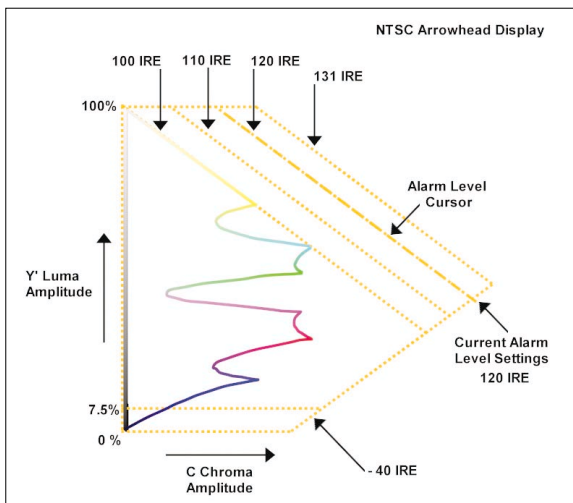


図24

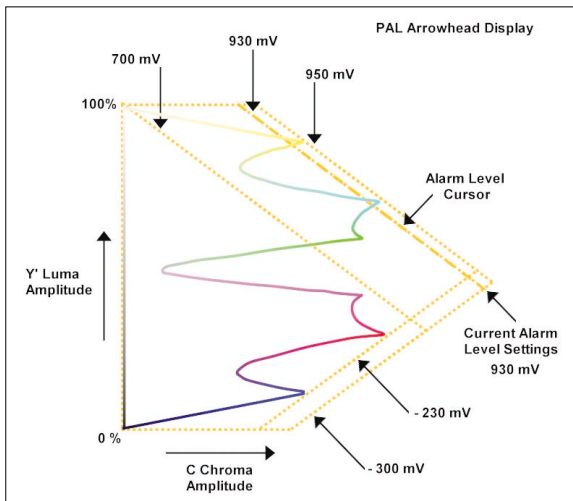


図25

正しいアローヘッド表示

NTSCアローヘッド表示は、100%カラー・バー信号を構成しているルミナンス振幅とクロマ振幅を示します。図26では、100%カラー・バーが120IREのアラーム・スレッショルドを超えていることに注意してください。NTSCカラー空間内では、100%カラー・バー信号は送信には適さず、システムを飽和させます。したがって、NTSCシステムでは通常75%バー (SMPTEカラー・バーなど) を使用します。WFM700シリーズのアローヘッド表示は、SDだけではなく、SDにダウンコンバート可能な放送や配信用のHDビデオ信号にも使用できます。

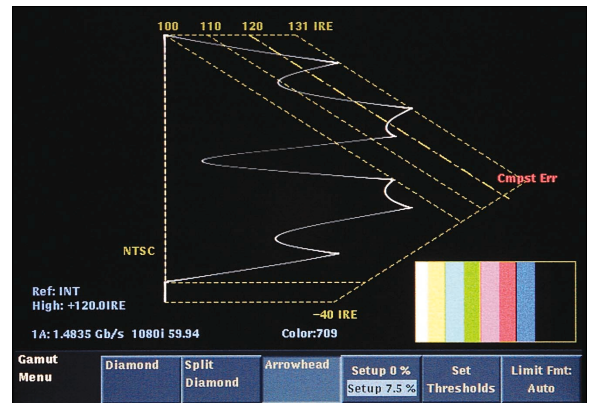


図26

図27は、NTSC SMPTEカラー・バー信号のアローヘッド表示です。この場合、信号は目盛限度内にあるので、送信システムを簡単に通過します。この表示はMPTEカラー・バーがR'G'B'カラー空間内のガマット外であることを示しているのに注意してください。

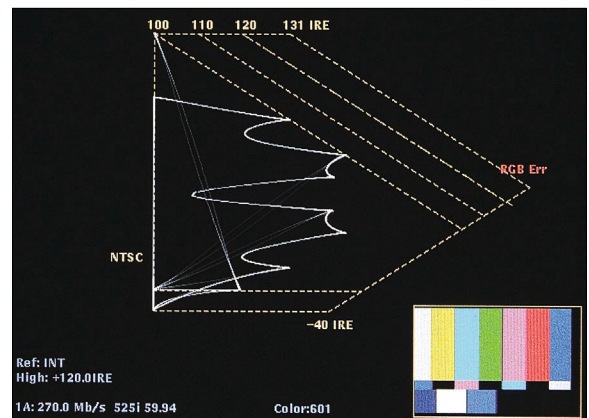


図27

PALアローヘッド表示は、使用するカラー空間が異なるため、目盛のリミットが異なります。この場合、PAL 100%カラー・バー信号は、目盛の930mVレベル内にあります。WFM700シリーズでは、NTSCが90~135.7IRE、PALが630~950mVの範囲でスレッショルドを設定できます。また、放送フォーマットに合わせて0~7.5%でセットアップの調整ができます。この場合、スレッショルドは840mVに設定されています。

ガマット測定入門

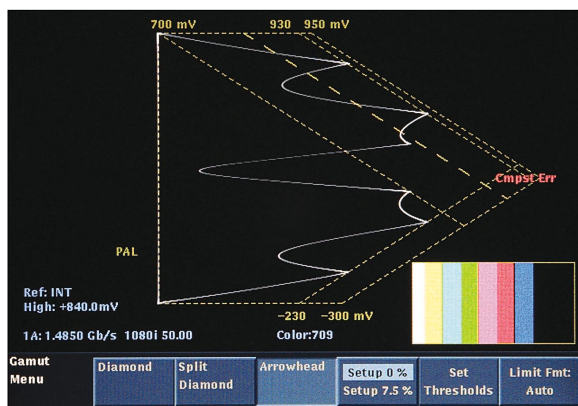


図28

アローヘッド表示は、テスト信号とライブ・コンテンツの両方に使用できます。図29では、スレッシュホールドが120IREに設定されていて、この信号はバリッドなコンポジットNTSCカラー・空間を超えています。NTSC送信システム内のクリッピングを防止するため、信号のレベルを調整する必要があります。

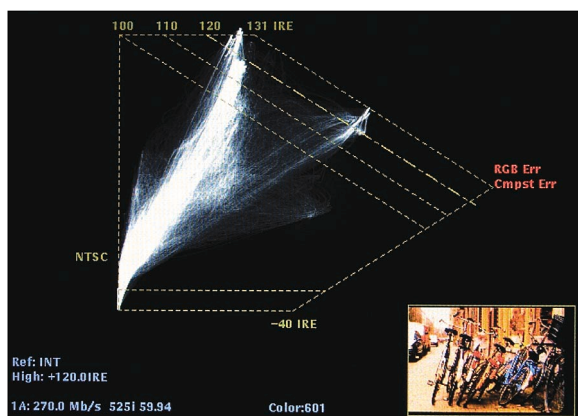


図29

図30に示すように、WFM700シリーズには、デジタル入力信号からコンポジット信号波形を再現する擬似コンポジット波形モードがあります。この機能により、見慣れたコンポジット信号を見ることができます。

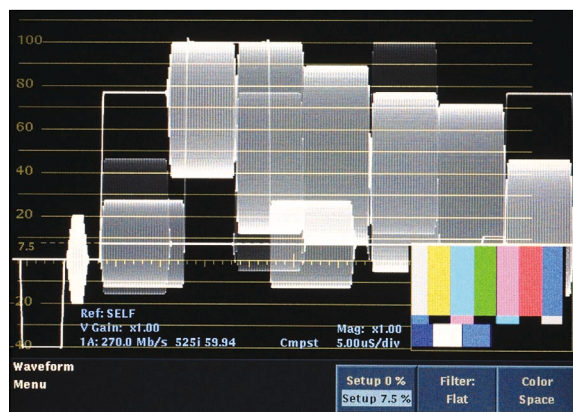


図30

関連製品

WFM700シリーズ マルチ波形モニタ



- 1台でHD信号とSD信号をモニタと測定
- HDおよびSDアイ・パターン測定とジッタ表示
- モジュラ方式による機能拡張
- ガマット計測のためのダイヤモンド表示&アローヘッド表示
- 入力信号の確認が容易なサムネイル・ピクチャ表示
- SD/HD-SDI信号の擬似コンポジット表示

WVR600Aシリーズ 波形ラスタライザ



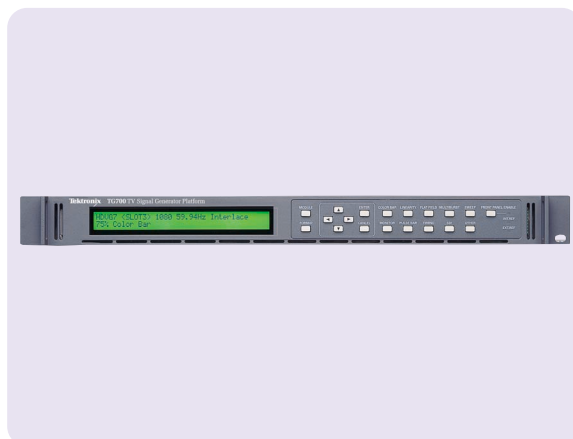
- 1Uラックマウント型波形モニタ
- シリアル・デジタル・インタフェース (SDI) とコンポジット信号に対応
- アナログ、デジタル、エンベデッドの各オーディオ入力に対応 (オプション)
- 4画面の任意設定が可能なマルチ・スクリーン機能
- ガマット計測のためのダイヤモンド表示&アローヘッド表示
- CRC/EDH/GAMUTエラー検出とアラーム出力

1700シリーズ 波形ベクトル・モニタ



- PAL、NTSC方式対応
- さまざまなニーズに応える幅広い機種
- 最高8つのコンポジット入力チャンネルまたは2つのコンポジット入力チャンネル

TG700型 TVゼネレータ・プラットフォーム



- マルチフォーマットでアナログおよびデジタルのテスト信号発生
- モジュラ方式で拡張可能なプラットフォーム
- リファレンス・ゼネレータのニーズをサポートする理想的なチャンネル構成と性能

*すべての会社名および製品名は、各社の商標です。



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合せください。

TEL 03-6714-3010 FAX 0120-046-011

電話受付時間 / 9:00~12:00・13:00~19:00 月曜~金曜(祝日は除く)

当社ホームページをご覧ください。 <http://www.tektronix.co.jp/>
お客様コールセンター ccc.jp@tektronix.com

●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。

SP-0401-04 2004年1月発行