

ダイヤモンド表示を使用した イリールガル・カラーの監視

日本テクトロニクス株式会社

はじめに

コンポーネント・ビデオ信号の“カラー・ガマト”監視は、ビデオ製作の現場ではそれほど重要視されていません。しかし、CG（コンピュータ・グラフィックス）などでビデオを製作している人であれば、RGB カラー・ガマト障害が生じたときにすぐその重要性に気付くはずです。すばらしい、活気あふれる色の映像を作り上げたとしても、カラー・ガマト障害があると、伝送または記録したときに色の輝きを失い、コンピュータ・ディスプレイやスタジオ・モニタに向って映像を製作してきた労力がすべて無駄になってしまう恐れがあります。

カラー・ガマト障害の影響を理解するには、当社の“ダイヤモンド表示”が便利です。ダイヤモンド表示は、ガマト障害を測定するために開発された新しいコンポーネント・ベクトル表示で、図1に示すように破線で示される目盛がダイヤモンドを2つ縦に並べたような形状になっています。RGB 信号または色差信号にカラー・ガマト障害があると、一方または両方のダイヤモンド目盛の外側にトレースが飛び出します。カラー・ガマト障害がない場合には、トレースはすべてダイヤモンド目盛の内側に表示されます。ダイヤモンド表示機能は、当社 1760 シリーズ波形ベクトル・モニタと WFM601 型シリーズのシリアル・コンポーネント・デジタル波形モニタに搭載されています。ダイヤモンド表示を使用すると、カラー・ガマトのほかにはチャンネル間の利得誤差やタイミング誤差、そしてブラック・バランスまで観測することができます。この小冊子では、ダイヤモンド表示の原理とその使い方についてご紹介します。

ダイヤモンド表示の原理

図1に100%カラー・バー信号のダイヤモンド表示を示します。この図だけではダイヤモンド表示の原理は分かりにくい場合は、波形のないダイヤモンド目盛だけの図（図2）をご覧ください。図2からは、上側のダイヤモンド目盛は緑（G）と青（B）の成分から構成され、下側のダイヤモンド目盛は緑（G）と赤（R）の成分から構成されていることが確認できます。

上側のダイヤモンド目盛は緑（G）と青（B）を組み合わせるため、垂直軸は $B+G$ 、水平軸は $B-G$ になっています。100%カラー・バー信号の $B+G$ と $B-G$ 波形、そしてこれらを組み合わせるとどのようにダイヤモンド表示が得られるかを図3に示します。

図3では、波形上の各点とそれに対応するダイヤモンド表示上の各点にそれぞれ番号が付けられています。番号の順番にトレースしていくと、100%カラー・バー信号のダイヤモンド表示がどのように描かれるかがわかります。同様に、下側のダイヤモンド目盛の垂直軸は $R+G$ 、水平軸は $- (R+G)$ になっています。

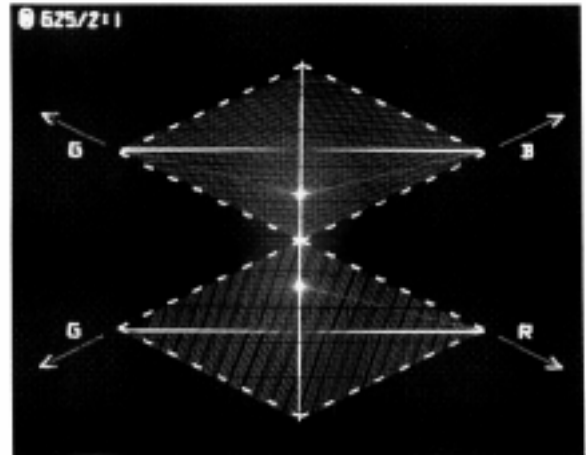


図1. カラー・パレット信号のダイヤモンド表示
当社テスト・パターン・ジェネレータが発生するカラー・パレット信号は、リーガル・カラーになるように設計されています。図で示すように、トレースはすべてダイヤモンド目盛の内側に表示されます。

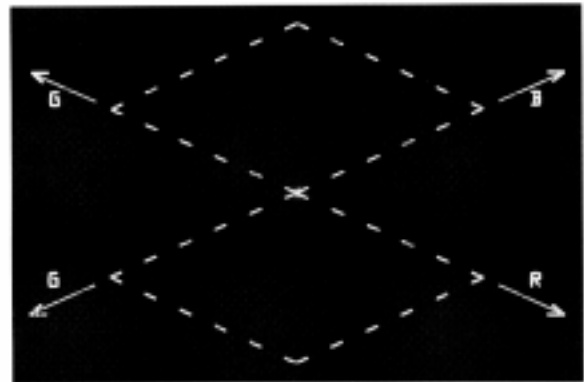


図2. ダイヤモンド目盛
ガマト・リミットを表示目盛は、ダイヤモンドを縦に2つ並べたような形状になっているため、ダイヤモンド表示と呼ばれています。

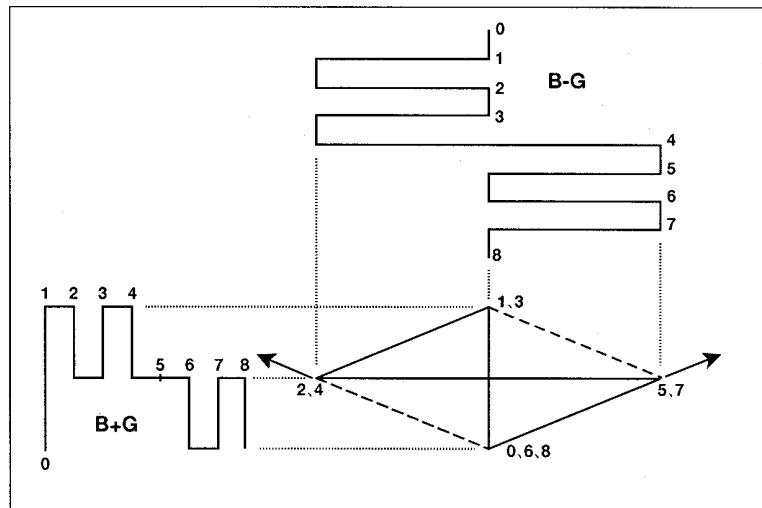


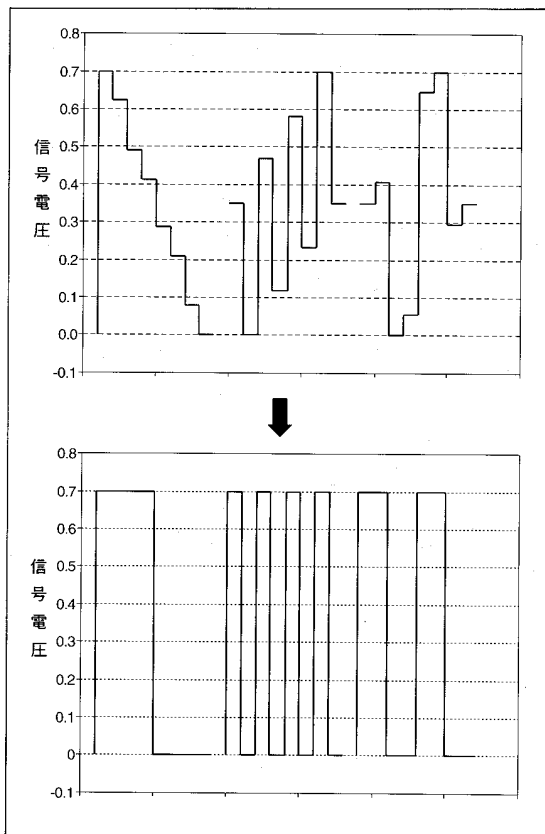
図3. ダイヤモンド表示の原理
上半分は垂直軸が $B+G$ 、水平軸が $B-G$ で描画されます。下半分は図に示されていませんが、垂直軸が $R+G$ 、水平軸が $-(R+G)$ で描画されます。図中の波形は、100%カラー・バー信号の $B+G$ と $B-G$ 信号をそれぞれ示しています。

ガマト、リーガル、バリッド

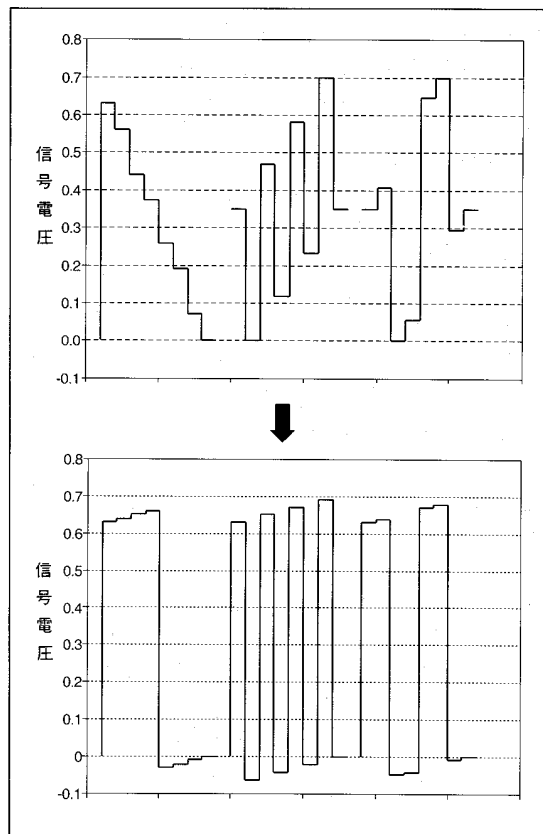
“ガマト”という言葉は、被写体を基準白（NTSCとPALの場合は色温度が6500°の標準光D）で照らしたときに、テレビジョン・システムで再現される色の範囲または全域（ガマト）を表すために使われます。このガマトは色度値、またはテレビジョン・システムが採用しているCIE色度座標で定義されています。この色の範囲は、赤、緑、青またはRGB信号の値に従って、ピクチャ・モニタ内部で再現されます。同じ値（ $R=G=B$ ）のときは色がなくなり、適切に調整されているピクチャ・モニタ上では、白黒映像または基準白（グレー・スケール）が映し出されます。その他のときには色が付き、RGB信号のそれぞれの値に応じて、カラー・ガマト・リミット内のすべての色が映し出されます。RGB信号の値によって直接色が決まるので“ガマト”という言葉はRGB信号の電圧範囲を示すために使われることもあります。規定された電圧範囲またはガマト電圧範囲を越えたRGB信号は、特定のピクチャ・モニタ上では適切な色（適切であっても、カラー・ガマト・リミットの外側の色）で表示される場合がありますが、その後の信号処理でクリップあるいは圧縮され、他のピクチャ・モニタに表示したときには色はかなり歪められてしまいます。

例えばRGBシステムでは、ガマト電圧範囲の上限は714mV（NTSC）または700mV（PAL）で、下限は0mV（セットアップなし）または54mV（セットアップ付き）になっています。RGB信号のいずれかのチャンネルがガマト・リミットの上限または下限を越えるとガマト障害が生じる“イリーガル”信号になります。

特定のテレビジョン方式で決められている電圧範囲内の信号を“リーガル”信号といいます。言い替えれば、ガマト・リミット内の信号がリーガル信号です。しかし、リーガル信号は Y 、 P_B 、 P_R のような色差信号フォーマットでは、“インバリッド”になる可能性があります。カラー・ガマト・リミット内の信号を“バリッド”信号といい、この信号は他のフォーマットに変換したときでも必ずリーガル信号になります。バリッド信号は常にリーガルですが、リーガル信号は必ずしもバリッドとは限りません。リーガル信号を色差信号フォーマットからRGBフォーマットに変換する際に、インバリッド信号が生じることがあります。次に、色差信号のごくわずかな利得歪みから、どのようにリーガルでインバリッドな信号が生じるかを説明します。図A（上図）は、色差信号フォーマットの100%カラー・バー信号です。この信号はリーガルで、しかもバリッドなので、RGBフォーマットに変換しても図A（下図）のようにリーガル信号になります。一方、図B（上図）は色差信号のルミナンス・チャンネル（ Y ）が歪んでいて、利得が約90%しかありません。この歪んだ信号をRGBに変換すると図B（下図）のように3チャンネルとも最小許容信号レベルより下になってしまい、結果としてイリーガル信号になります。歪みのある色差信号はリーガルRGB信号に変換できないので、インバリッド信号と言えます。また、他のフォーマットの歪んだ信号もインバリッド信号を作り出します。



図A. RGBバリッド信号
リーガルでバリッドな色差信号（上図）は、リーガルRGB信号（下図）に変換されます。



図B. RGBインバリッド信号
リーガルですが、インバリッドな色差信号（上図）はRGB信号に変換したときにイリーガル信号（下図）になります。

周波数帯域の考慮

色差信号フォーマットは、各チャンネルの周波数帯域が異なっています。通常、ルミナンス・チャンネル(Y)は、色差チャンネル(P_B 、 P_R または $B-Y$ 、 $R-Y$)の少なくとも2倍の周波数帯域になっています。色差信号フォーマットから RGB 信号フォーマットに変換した場合(ピクチャ・モニタ内部で行われる)、トランジエントの立ち上がり時間が一致していないので、RGB 信号のトランジエントが歪んでしまい、瞬間的にバリッド範囲を越えてガマト障害が生じます。このようなトランジエントで生じるレベル・クリッピングは小さく、映像への影響も少ない

ので、RGB システムでのガマト障害はそれほど大きな問題にはなりません。しかし、ハードウェアで構成されたレベル・ディテクタは、このトランジエントが原因で生じるガマト障害をもエラーとして検出してしまいます。ガマト障害の誤ったアラームを最小に抑えるため、ダイヤモンド表示の回路に1.5MHzのロー・パス・フィルタを組み込み、トランジエントで生じるガマト・エラーを少なくしています。これにより、映像への影響が最も小さい高速トランジエントでなく、幅広い領域で長時間に渡って視覚的な乱れを生む障害に注意を集中して、主観的に許容できるガマト障害の程度をオペレータが判断することができます。図4にダイヤモンド表示回路のブロック構成を示します。

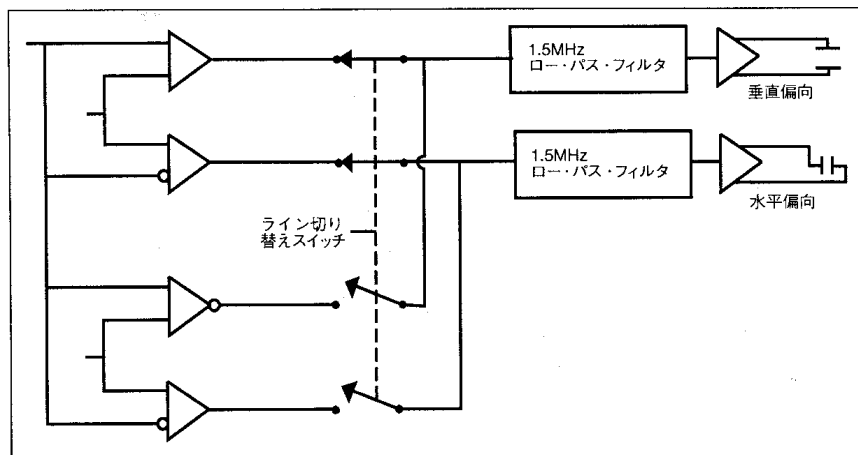


図4. ダイヤモンド表示回路のブロック構成
わずかなガマト障害のエラー表示を最小限に抑えるため、ガマト範囲を越えても映像にあまり乱れを与えない、高周波のトランジエントをロー・パス・フィルタで減少させています。

ガマト障害の判断

ダイヤモンド表示は、いくつかの理由から最も確実で、使いやすい RGB ガマト障害インジケータと言えます。ダイヤモンド表示の上半分は青(B)信号成分と緑(G)信号成分のレベルを示し、下半分は赤(R)信号成分と緑(G)信号成分のレベルを示すので、チャンネルが識別しやすく、RGB 信号を操作してエラーが生じたチャンネルを簡単に知ることができます。また、ダイヤモンド表示は誤ったアラームを出すことがほとんどなく、ガマト・エラーを見逃すこともありません。さらに、ダイヤモンド表示は、発生したガマト障害の程度を主観的に評価するときにも使用できます。ダイヤモンド表示は映像の色付けの影響をモニタリングするためのツールで、測定ツールではありません。

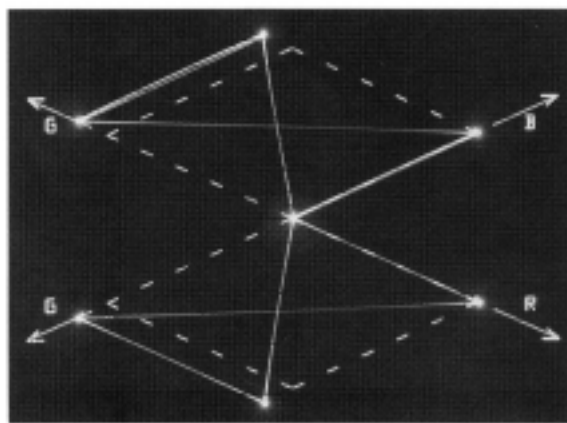


図5. 緑(G)チャンネルのガマト・エラー例
信号レベルが高過ぎて、緑(G)チャンネル上でガマト・エラーが生じると、ダイヤモンド表示の上半分と下半分の両方にその影響が現れます。トレースは緑(G)軸だけが外側にずれ、青(B)軸と赤(R)軸は目盛線の通りに描かれます。

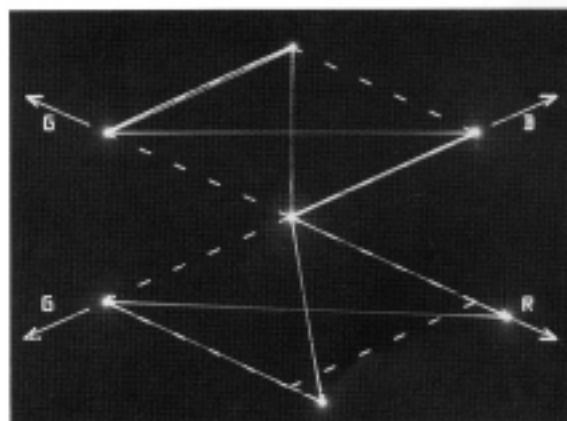


図6. 赤(R)チャンネルのガマト・エラー例(1)
ガマト・エラーが赤(R)チャンネルで生じた場合には、ダイヤモンド表示の下半分のみに影響が現れ、トレースは赤(R)軸だけが外側にずれて描かれます。

●エラー・チャンネルの識別

ダイヤモンド表示を利用すると、ガマト・リミットを越えた RGB チャンネルを識別して、簡単に調整することができます。緑 (G) チャンネルはダイヤモンド表示の上側と下側の両方で使用されており、緑 (G) チャンネルのガマト障害はダイヤモンド表示の上半分と下半分の両方に同じ影響を及ぼします。図 5 では、100%カラー・バー信号の緑 (G) チャンネルが約 25%高く、緑 (G) 軸方向に歪んでいます。青 (B) と赤 (R) は適切な位置に表示されており、正しく調整されていることがわかります。

赤 (R)チャンネルでガマト・エラーが生じたときのダイヤモンド表示が図 6 です。赤 (R) チャンネルの影響はダイヤモンド表示の下半分だけで、赤 (R) 軸方向に歪んでいます。図 7 はルミナンス階段波信号で同じエラーが生じたときのダイヤモンド表示で、図 6 と同じように赤 (R) 軸方向が歪んでいます。

●主観評価

ダイヤモンド表示の最も重要な特徴の一つが、ガマト障害の主観的な評価が行えることです。従来のガマト・インジケータはハードウェアのレベル・ディテクタで構成されていたため、映像にそれほど影響しないごく小さなガマト障害と、注意しなければいけない深刻なガマト障害を区別することができませんでした。

ダイヤモンド表示では、小さなガマト障害は目盛の外側にかすかな線または点として表示されます (図 8 参照)。反対に、大きなガマト障害は目盛の外側に明るい線または点として表示されます (図 9 参照)。このため、ガマト・リミットを越えた信号の程度を主観的に評価することができます。

例えば、図 8 のガマト障害は十分に小さく、最終的なビデオ作品にほとんど影響を及ぼさないもので、それほど気にする必要はありません。ハードウェアのガマト・インジケータは大小に関係なくすべての障害を認知するため、ダイヤモンド表示と同じ感覚では使用できません。ガマト・インジケータ以外に手がかりがないと、エラーの程度を調べるために、ガマト・インジケータが消灯するまで機器を調整しなくてはなりません。

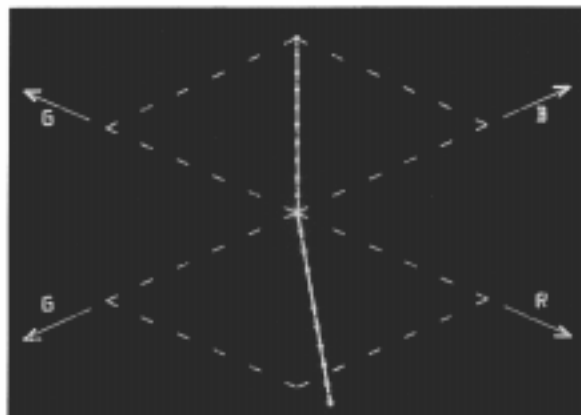


図7. 赤 (R) チャンネルのガマト・エラー例 (2)

図6と同じ赤 (R) チャンネルのガマト・エラーが生じているときに、ルミナンス階段波信号をダイヤモンド表示で観測すると、中央の垂直ルミナンス軸から赤 (R) 軸に向かってトレースが曲って描かれます。

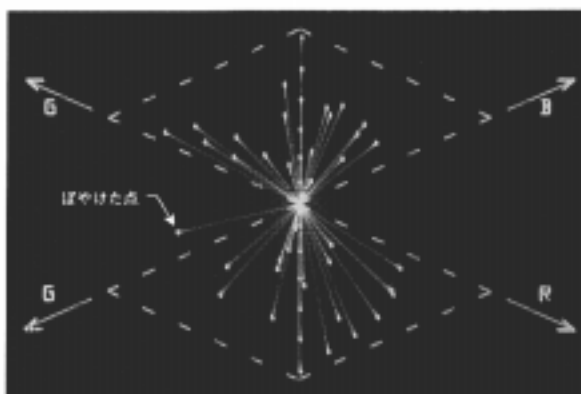


図8. ガマト・エラー判断 (映像にあまり影響がない場合)

カラー・パレット信号をダイヤモンド表示で観測した図です。カラー・パレット信号は、カラー・チェック・チャートに似せて作られたテスト信号です。この図では、1カラー・チップ (チャート上のある1色の領域) に相当する約16ラインの水平期間で、連続した2ラインに渡ってガマト・エラーが発生するようにカラー・パレット信号が操作されています。このガマト・エラーはぼやけた点となってダイヤモンド表示上に現れるので、映像にそれほど影響がないことが判断できます。

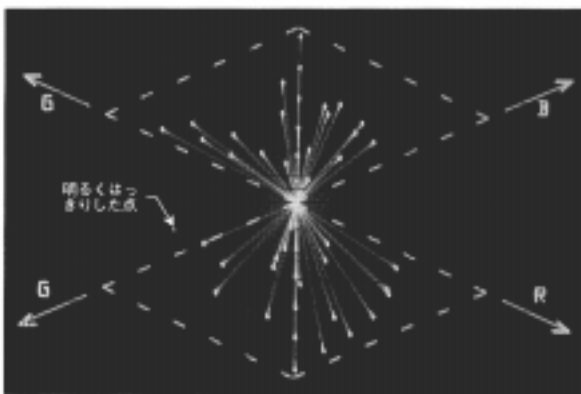


図9. ガマト・エラー判断 (映像に大きな影響がある場合)

1カラー・チップ全体 (54ライン) でガマト・エラーが生じるように操作したカラー・パレット信号を、ダイヤモンド表示で観測した図です。図8と比べて、ガマト・エラーが明るくはっきりした点となって現れています。このガマト・エラーは、伝送または記録したときに、映像およびビデオ信号の品質をかなり劣化させます。

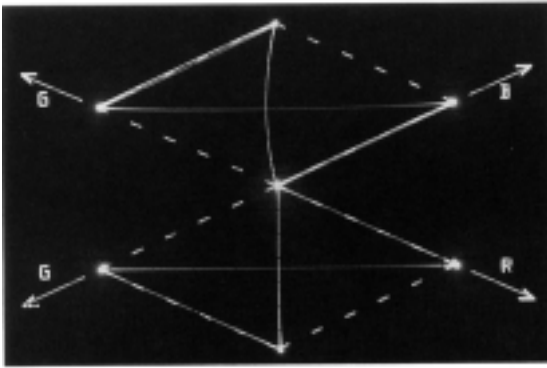


図10. チャンネル間タイミング誤差の監視(1)
100%カラー・バー信号で青(B)チャンネルに20nsの遅延が生じたときのダイヤモンド表示です。黒から白へのトランジェントを示すトレースが左側に曲っています。

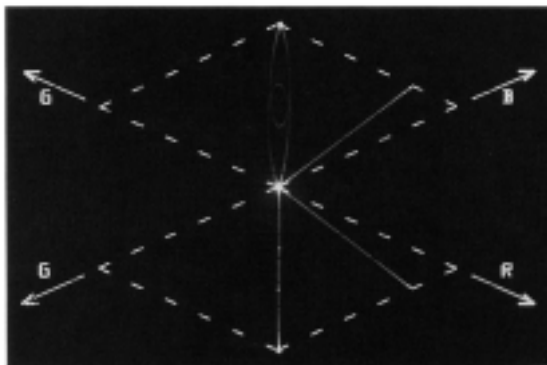


図11. チャンネル間タイミング誤差の監視(2)
パルス&バー信号で青(B)チャンネルに図10と同じ20nsの遅延が生じたときのダイヤモンド表示です。図10と異なり、黒から白へのトランジェントを示すトレースが左右両側に曲っています。これは、RGBパルス&バー信号の構成の違いによる影響です。

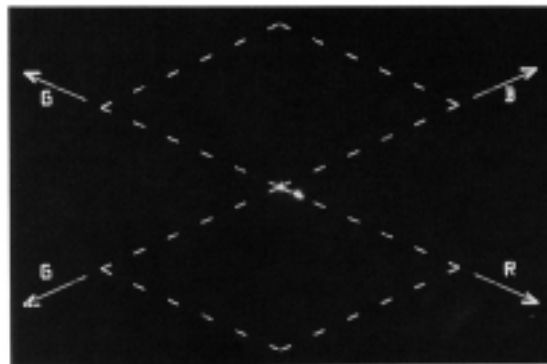


図12. ブラック・バランスの監視(オフライン調整時)
TVカメラのレンズにキャップを取り付けて、ブラック・バランスを調整しているときのダイヤモンド表示です。黒を示す中央の点が赤(R)軸方向にずれているので、赤(R)チャンネルの信号レベルが高過ぎることがわかります。

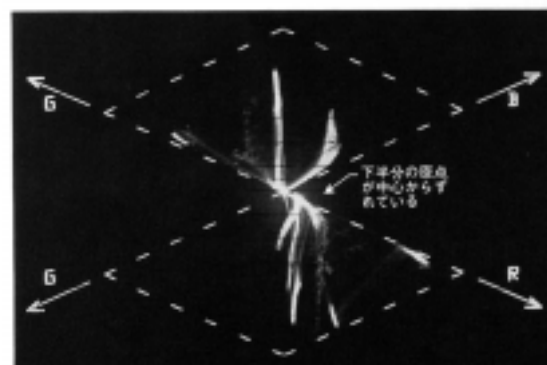


図13. ブラック・バランスの監視(オンライン放送時)
ライブ・ビデオ信号のモニタ中でも、ブラック・バランスを監視できます。図12と同様に、下半分の座点が赤(R)軸方向にずれているので、赤(R)チャンネルの信号レベルが高過ぎることがわかります。

タイミング誤差

コンポーネント・ビデオ・システムでは、チャンネル間のタイミングに誤差があると、くっきりとした鮮明な映像を得ることができません。ダイヤモンド表示では、タイミング誤差は曲ったトランジェントとして現れます。青(B)チャンネルでの20ns遅延のような比較的小さなタイミング誤差でさえ、ダイヤモンド表示で判断することができます(図10と図11参照)。

また、青(B)チャンネルのタイミング誤差は、ダイヤモンド表示の上半分에만影響します。トレースの曲った方向と大きさからタイミング誤差を定量的に測定することは不可能ですが、ダイヤモンド表示の上半分だけに影響が現れている場合は青(B)チャンネルでタイミング誤差が生じていることがわかります。同様に、赤(R)チャンネルでのタイミング誤差は、ダイヤモンド表示の下半分에만影響します。

ブラック・バランス

チャンネル間のタイミング誤差と同じように、ブラック・バランスもダイヤモンド表示で簡単に観測することができます。真の黒を含んだ信号は、上下2つのダイヤモンド目盛の接点と、ちょうど同じ位置に点が表示されます。ブラック・バランスが得られていない場合には、レベルが高過ぎるコンポーネント成分の方向に中心点がずれて表示されます。

TVカメラのレンズにキャップを取り付けて、ブラック・バランスを調整しているときのダイヤモンド表示を図12に示します。図12では、中心点が赤(R)軸方向にずれているので、赤(R)チャンネルの信号レベルが高過ぎることがわかります。ダイヤモンド表示はオフラインのカメラ調整時だけでなく、オンラインでライブの映像に影響しているときでも、図13のようにブラック・バランスを監視することができます。

ガンマ調整とグレー・スケールのトラッキング

ダイヤモンド表示はガンマ調整にも利用できます。この測定では、ルミナンスについて十分に理解しておく必要があります。次に、ダイヤモンド表示のルミナンスについて説明します。

ダイヤモンド表示の垂直軸は、真のルミナンスではありませんが、青(B)と緑(G)が等しいときは上側の垂直軸上に、赤(R)と緑(G)が等しいときは下側の垂直軸上に点が表示されます。このため、白黒信号($R=B=G$)は上下両方の垂直軸に沿ってトレースが描かれるので、ダイヤモンド表示でグレー・スケールを調整できます。

青と緑が正確に一致したときだけ、ダイヤモンド表示の中心点から上側に向って直線的にトレースが描かれます。同様に、赤と緑が正確に一致したときだけ、ダイヤモンド表示の中心点から下側に向って直線的にトレースが描かれます。RGBシステムでは、 $R=G=B$ のときのみ結果が白または白黒信号になります。

任意のチャンネル利得誤差がある場合は、ダイヤモンド表示ではトレースが垂直軸からそれて曲って描かれます。図14に標準のグレー・スケール・チャートをTVカメラで影響したときのダイヤモンド表示を示します。被写体の暗部が明るく写るように緑(G)チャンネルのガンマが調整されています。赤(R)と青(B)のガンマ調整が間違っているため、図14では上下両方のダイヤモンド表示に影響が現れています。ダイヤモンド表示上のトレースが直線になるように赤(R)と青(B)チャンネルを調整するだけで、簡単に黒から白までのガンマ特性が緑(G)チャンネルと等しくなります。

ダイヤモンド表示では実際のガンマ特性は測定できないので、ガンマ特性の校正には、従来通り波形表示を使用しなければなりません。しかしピクチャ・モニタ上で特殊な効果を得るためにガンマを調整するときには、ダイヤモンド表示を使用すると、赤(R)チャンネルと青(B)チャンネルのガンマ特性を緑(G)チャンネルに非常に簡単に合わせることができます。

ダイヤモンド表示と他のコンポーネント表示の比較

コンポーネント信号用の波形モニタには、各種の測定やモニタリングに応じて、数種類のコンポーネント表示が用意されていますが、次のような場合はダイヤモンド表示の表示の方が優っています。

●ガマト／振幅モニタリング

ビデオ制作現場では、信号のレベル測定にバレード表示やオーバーレイ表示のような従来の波形モニタ表示モードが用いられていますが、ダイヤモンド表示のようなガマト監視は行えません。(チャンネル間の利得差測定にはボウタイ表示(図15参照)が便利ですが、信号のリーガル／イリーガル判断には適していません。また、ボウタイ表示は専用のテスト信号を使用しますが、一方ダイヤモンド表示はどのような場合でも確実にガマト・リミットをモニタできます。図16のライトニング表示は色差信号フォーマットのモニタや利得調整に使われていますが、RGB信号には使用できません。

●タイミング誤差

ボウタイ表示とダイヤモンド表示は、わずか20nsの小さなタイミング誤差でも簡単に見つけ出すことができます。ボウタイ・テスト信号をボウタイ表示で観測すると、テスト信号の校正されたタイミング・マーカを使用して、ダイヤモンド表示より高い分解能でタイミング誤差を測定できます。水平拡大器を使用すれば、波形モニタのオーバーレイ・モードでも20nsのタイミング誤差は観測できますが、ボウタイ表示やダイヤモンド表示のような高い分解能では測定できません。

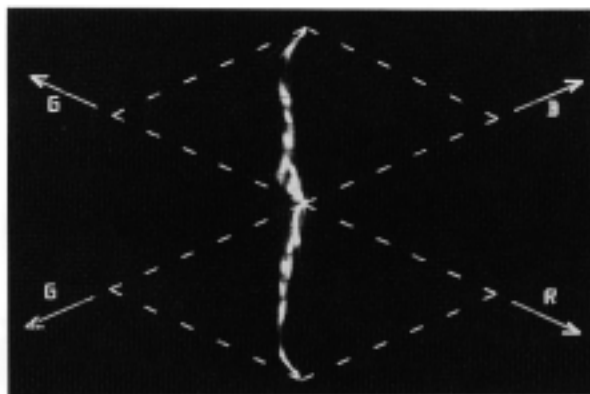


図14. ガンマ調整
青と赤のガンマを緑と一致するように調整すると、白黒信号になり、ダイヤモンド表示の垂直軸に沿ってトレースが描かれます。

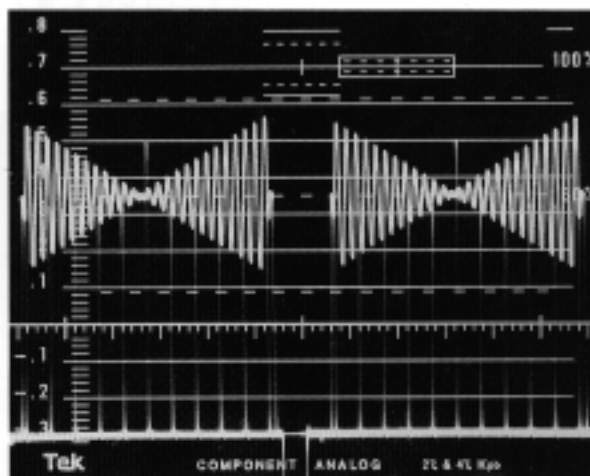


図15. ボウタイ表示
ボウタイ表示では、チャンネル間の利得誤差やタイミング誤差を正確に測定できますが、専用のボウタイ・テスト信号が必要です。また、ガマト・エラーはボウタイ表示では判別できません。

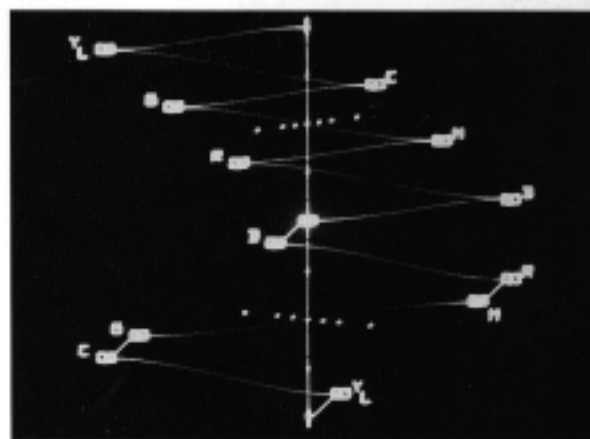


図16. ライトニング表示
ライトニング表示は、ルミナンスとB-Y、R-Yの情報がすべて一画面に表示されるので、色差信号の監視や調整に便利ですが、ガマト・エラーは判別できません。

色差空間における RGB モニタリング

シリアル・デジタル・ビデオ信号（コンポジットまたは色差コンポーネント）の出現により、ダイヤモンド表示の必要性に疑問を持たれるかもしれません。アナログ・コンポーネント記録機器は、事実上すべて色差フォーマットで動作しているので、ダイヤモンド表示に対する疑問は一層大きくなると思います。しかし、RGB 色空間における信号モニタリングは非常に重要です。

RGB での信号伝送があまりなくても、ビデオ機器の操作パネルには R、G、B を調整するためのつまみがあります。コンピュータ・ワークステーションやペイント・システムは RGB 色空間で動作しているので、ひんばんにイリール・ビデオ信号を生み出す恐れがあります。カメラ・コントロール・ユニット（CCU）やカラー・コレクタ、ガンマ・コレクタなどの機器もまた、RGB 色空間で調整しなければいけません。これらの機器をモニタするには、ダイヤモンド表示が必要です。

当社 1760 シリーズはアナログ・コンポーネント信号用の波形ベクトル・モニタで、RGB 信号と色差コンポーネント信号のどちらでも測定できます。RGB 信号は、直接ダイヤモンド表示で観測できます。また、1760 シリーズは内部にトランスコーダを内蔵しているので、色差コンポーネント信号も RGB 信号に変換して観測することができます。

当社 WFM601 型シリーズのシリアル・コンポーネント波形モニタは、シリアル・デジタル・コンポーネント（色差）信号をアナログに変換して波形やベクトルを表示できます。

1760 シリーズと同様にトランスコーダを内蔵しているので、色差コンポーネント信号から RGB 信号に変換して、ダイヤモンド表示や従来のパレード／オーバーレイ表示で観測することもできます。

最後に

今日では、事実上すべてのコンポーネント・ビデオ伝送に、標準色差フォーマットの 1 つが幅広く使われていますが、その一方では、RGB 色空間における信号観測が必要になって来ています。コンピュータがビデオ制作で一層幅広く使われるようになり、イリール・ビデオ信号を誤って作り出してしまう頻度が多くなって来ています。ダイヤモンド表示は、ガマト障害を監視する最も優れたツールです。ダイヤモンド表示を使用すると、カラー補正やグレー・スケール・トラッキング調整、CCU のブラック・バランス調整などが非常に簡単に行えます。簡単に RGB 色空間でビデオ信号を直接モニタする手段として、ダイヤモンド表示の必要性がますます高まると思われます。RGB 信号と色差信号、アナログ信号とデジタル信号にかかわらず現在のビデオ制作施設で直面する問題を解決するツールとして、ダイヤモンド表示が役立つと思われます。

©1999, Tektronix Japan, Ltd

●不許複製

Tektronix

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。

ダイヤモンド表示を使用したイリール・カラーの監視