

Dual Link (SMPTE 372M) ソリューション



はじめに

デジタル信号処理がこれだけ進歩しているにもかかわらず、ハイエンド・プロダクションの分野では未だにフィルムが入手可能な主力メディアとして優位を保っています。デジタル化への移行が進んでいますが、デジタル・シネマやハイエンドのポスト・プロダクションなどのさまざまなアプリケーションでは、映画コンテンツのデータ転送、視覚効果およびカラー補正の分野が目覚しく進歩しています。映画素材の「フィルムらしい画質」を実現するために、2Kまたは4K画像フォーマットのようにさらに高い画像解像度の追求が行われています。このような映画素材の高解像度デジタル配信用のマスタを手に入れることができるようになれば、デジタル・シネマからHDまたはSDフォーマットなどに変換することにより、番組向けにさまざまなフォーマットに複製して幅広い分野で利用することができるようになります。

Dual Link (SMPTE 372M) ソリューション

▶ アプリケーション・ノート

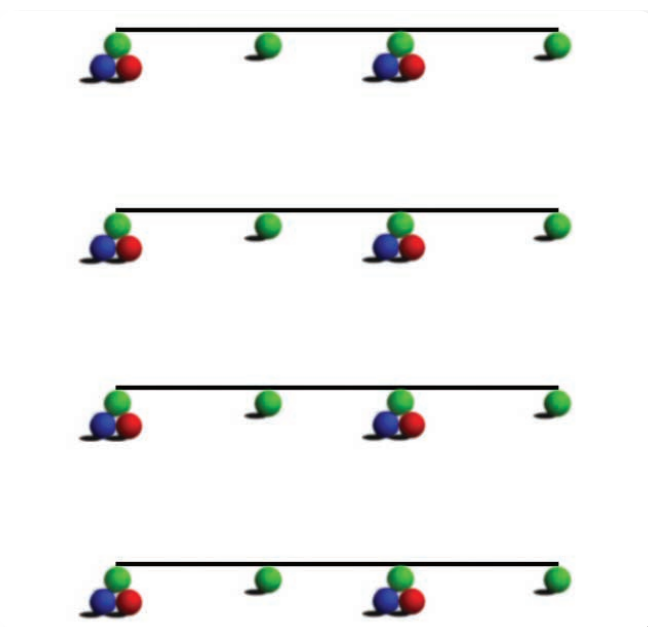
信号フォーマット・サンプリング構造／ピクセル深度	フレーム／フィールド・レート
4:2:2 Y'C'bC'r 10-bit	60 59.94および50 プログレッシブ
4:4:4 R'G'B' 10-bit 4:4:4 R'G'B' + (A) 10-bit	30, 29.97, 25, 24, 23.98 プログレッシブpSF 60 59.94および50 インタレース
4:4:4 Y'C'bC'r 10-bit 4:4:4 Y'C'bC'r + (A) 10-bit	
4:4:4 R'G'B' 12-bit	
4:4:4 Y'C'bC'r 12-bit	
4:2:2 Y'C'bC'r (A) 12-bit	

▶ 表1：SMPTE 372Mで規定されたDual Link対応の映像フォーマット

これらの高解像度フォーマットのデータ配信を実現するためには、機器間で信号の送受信を可能にするさまざまな手法が必要になります。1つの方法として、SMPTE (Society of Motion Picture & Television Engineers) 372MのDual Linkフォーマット用に規定されたHD (高解像度) シリアル・デジタル・インタフェース (SDI) を複式で使用方法があります (表1を参照)。

このようにさまざまな映像フォーマットは、SMPTE 292Mで標準化されたHD-SDI信号にマッピングされます。通常、SMPTE 292Mは、各サンプルに対して10-bitワードを持つ4:2:2サンプリング構造を使用してY'C'bC'r信号を転送する場合に使用します。この4:2:2サンプリング構造は図1に図解されており、各色差信号 (C'bおよびC'r) の周波数の2倍のルミナンス信号 (Y') のサンプリングで構成されています。オリジナルR'G'B'信号からこのフォーマット変換を実行することで、信号の単純な帯域圧縮処理が行えます (例えば、HD信号の各R'G'B'チャンネルがそれぞれ30MHzの場合、合計の周波数帯域幅は90MHzになります。しかし、Y'C'bC'rで30MHzのフル帯域チャンネル (Y') が1つと15MHzの色差信号が2つ存在する場合は、合計の帯域幅は60MHzになります)。

HD信号の場合、74.25MHzのサンプリング周波数がY'に使用され、その半分のレート (37.125MHz) が色差信号に使用されます。インタフェースのビット・レートを計算する場合、毎秒30フレーム時の1920×1080のプログレッシブ・フォーマットを考えなければなりません。



▶ 図1：4:2:2サンプリング構造

データ・レートの計算

30プログレッシブ・フレーム／秒

×ライン当たり2200ワード (1920アクティブ画像データ)

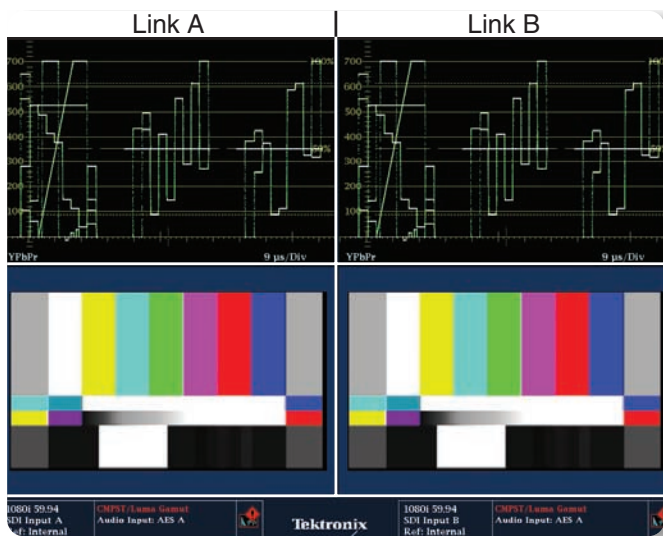
×1125ライン (1080アクティブ画像データ)

×ワード当たり10ビット

×サンプル当たり2ワード (1Y'および1C'bまたはC'r)

=1.485Gbps

その他のフレーム・レートの場合には、ライン当たりのワード数は同じデータ・レートを維持するために調整されます (例えば、25pで2640ワード、または24pで2750ワードです)。59.94Hz、29.97Hzまたは23.98Hzのようにフレーム・レートが端数の場合、フレーム・レートは1.001で除算されます。そのため、サンプリング・レートも同じ数で除算されます。これらのフォーマットの全データ・レートは1.4835Gbpsになります。Dual Linkフォーマットの場合はデータ・レートが合計で2.97Gbpsまたは2.97/1.001GbpsになるHD-SDI信号が2つ存在します。さらに、さまざまなフォーマットのカラー・コンポーネントは、2つのリンク間でマッピングされます。プライマリ・リンクは「Link A」と定義され、セカンダリ・リンクは「Link B」と定義されます。



▶ 図2：4：2：2 10-bit 1920×1080 60p SMPTE RP219カラー・バー信号のLink AおよびBの波形表示例

Link A	C'b ₀ : 0-9	Y' ₀ : 0-9	C'r ₀ : 0-9	Y' ₁ : 0-9	C'b ₂ : 0-9	Y' ₂ : 0-9	C'r ₂ : 0-9
Link B	C'b ₀ : 0-9	Y' ₀ : 0-9	C'r ₀ : 0-9	Y' ₁ : 0-9	C'b ₂ : 0-9	Y' ₂ : 0-9	C'r ₂ : 0-9

▶ 表2：ファースト・プログレッシブ・フォーマットのLink AおよびBのデータ構造

Digital Interface	1	...	20	...	560	561	562	563	564	...	1123	1124	1125	1
Link A	2	...	40	...	1120	1122	1124	1	3	...	1121	1123	1125	2
Link B	3	...	41	...	1121	1123	1125	2	4	...	1122	1124	1	3

▶ 表3：Link AとLink B間で分割されたプログレッシブ画像フォーマット

Dual Linkファースト・プログレッシブ・フォーマット (Y'C'bC'r 4:2:2 10-bit @ 60p, 59.94p, 50p)

ファースト・プログレッシブ・フォーマットのマッピングは、HD-SDI信号の4：2：2 10ビット・フォーマットと同じ構造になっています。そのため、データ・ストリームはLink AとLink Bで等しく分割されます。HD用波形モニタ上では、各リンクの各種トレース表示は、図2に示すように1920×1080インタレース信号と同じように見えます。

表2に、サンプルが2つのLink AとBの間でどのようにマッピングされているかを示します。この場合、ファースト・プログレッシブ・フォーマットはHD-SDIサンプル構造と一致しています。このフォーマットで重要なことは、オリジナル画像はフル・フレーム・プログレッシブ画像としてスキャンされ、既存のHD-SDIインフラ全体で簡単に転送できるように2つのリンク間で既に分割されていることです。そのため、2つのリンク間のラインのマッピングは規格にしたがってキャラクタライズされます。表3に示すように、画像がHD-SDIインタフェースの2つのデジタル・フィールド間で分割される方法との違いに注意してください。

Dual Link (SMPTE 372M) ソリューション

▶ アプリケーション・ノート



▶ 図3：R'G'B' (A) 4:4:4:4フォーマットのDual Link AおよびB信号の波形表示例

60/59.94pおよび50pの3つのファースト・プログレッシブ・フレーム・レート用の一定のデータ・レートを維持するために、ブランキング・インターバルは変更されます。60/59.94pの場合は、1ライン当たり合計2200ワードが使用されます。50pフォーマットでは、1ライン当たり合計2640ワードが使用されます。

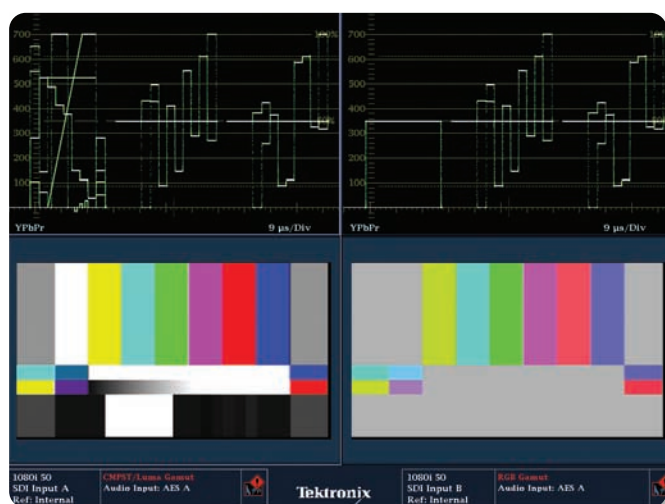
R'G'B' 4:4:4およびR'G'B' (A) 4:4:4:4 10-bit (30、29.97、25、24、23.98プログレッシブ PsF、60 59.94および50インタレース)

Dual Linkフォーマットを主に使用する場合は、オリジナル素材の品質を確保するために23.98p/24p時のR'G'B'素材に基づいた映画を送信しなければなりません。この方法では、Y'C'bC'r カラー・スペースへのフォーマット変換時に解像度ロスは発生しません。しかし、R'G'B'信号は4:4:4のサンプリング構造を持ち、この構造は2つの4:2:2 HD-SDIデータ・ストリームに適合しなければなりません。これを可能にするために、Link A [Y] データ・スペースをG'チャンネルで満たし、[C'b/C'r] データ・スペースは偶数のB'およびR'チャンネルでそれぞれ満たされます。Link Bでは、[Y] チャンネルのデータ・スペースはオプションのAlphaチャンネルのデータで満たすことが可能で、[C'b/C'r] データ・スペースは表4で示すように奇数のB'およびR'チャンネルのサンプルで満たされます。Alphaチャンネルはデータ・ストリームの伝送にも使用できますが、またポスト・プロダクションではデジタル合成処理用のキー (Key) 信号チャンネルとして使用できます。このAlphaチャンネルが存在しない場合、その値はブランキング・レベル64Hに設定する必要があります。

各Dual Link信号を波形モニタに表示する場合、2つのリンクを同時表示できるWFM7120型オプションSIMを使用すれば、図3で示すように波形表示できます。Y'チャンネル値は正確なレベルを示しますが、C'b/C'r値は信号の本当のレベルを示しません。これは2つのDual Link信号を単一の信号として統合して表示する必要があるからです。

Link A	B' ₀ :0-9	G' ₀ :0-9	R' ₀ :0-9	G' ₁ :0-9	B' ₂ :0-9	G' ₂ :0-9	R' ₂ :0-9
Link B	B' ₁ :0-9	A ₀ :0-9	R' ₁ :0-9	A ₁ :0-9	B' ₃ :0-9	A ₂ :0-9	R' ₃ :0-9

▶ 表4：R'G'B' (A) 4:4:4:4 10-bitフォーマットのデータ構造



▶ 図4: Y'C'bC'r (A) 4:4:4:4 10-bitフォーマットのDual Link A およびB信号の波形表示例

Link A	C'b ₀ : 0-9	Y' ₀ : 0-9	C'r ₀ : 0-9	Y' ₁ : 0-9	C'b ₂ : 0-9	Y' ₂ : 0-9	C'r ₂ : 0-9
Link B	C'b ₁ : 0-9	A ₀ : 0-9	C'r ₁ : 0-9	A ₁ : 0-9	C'b ₃ : 0-9	A ₂ : 0-9	C'r ₃ : 0-9

▶ 表5: Y'C'bC'r (A) 4:4:4:4 Dual Linkフォーマットのデータ構造

Y'C'bC'r 4:4:4およびY'C'bC'r (A)4:4:4:4 10-bit (30、29.97、25、24、23.98プログレッシブ PsF、60 59.94および50インタレース)

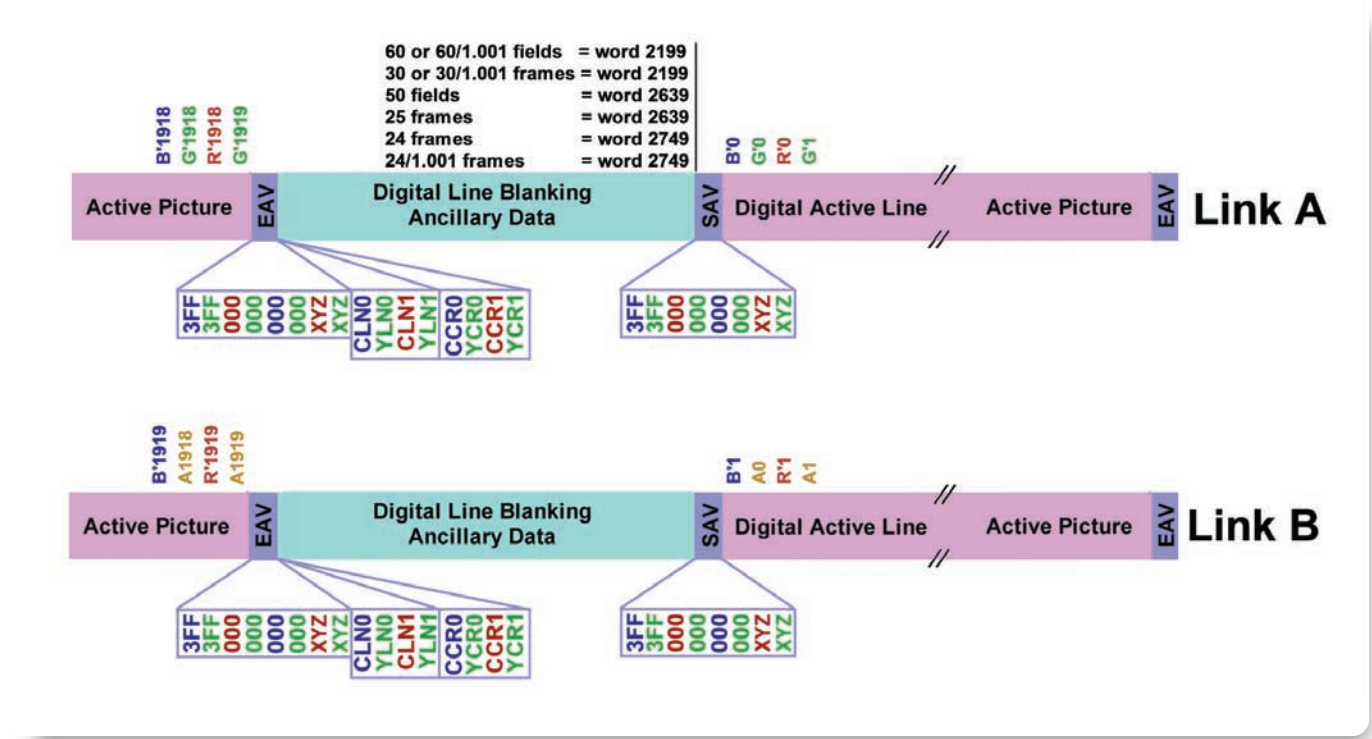
このフォーマットの構造は、表5で示すようにR'G'B' (A) 4:4:4:4とよく似ています。Link A [Y] のデータ・スペースはY'チャンネルで満たされ、[C'b/C'r] のデータ・スペースは偶数番号のC'bおよびC'rチャンネルでそれぞれ満たされます。Link Bでは、[Y] チャンネルのデータ・スペースはオプションのAlphaチャンネルのデータで満たすことができ、[C'b/C'r] のデータ・スペースは奇数番号のC'bおよびC'rのサンプルで満た

されます。しかし、このフォーマットはHD-SDIデータ・ストリームのY'C'bC'rフォーマットと一致しているため、Link Aはその信号を表し、HD波形モニタに表示できます。Link B信号のトレースは、図4の写真に示されるようにAlphaチャンネルの値に依存します。WFM7120/7020型では、信号もDual Link信号からシングルHD-SDI信号にダウン・コンバートできます。この信号は簡単なモニタリングに使用するために波形モニタから出力させることができるため、新たにDual Linkピクチャ・モニタを用意する必要はありません。

Dual Link (SMPTE 372M) ソリューション
▶ アプリケーション・ノート



▶ 図5：リンクABの統合データおよび個別データの表示例



フレーム／フィールド・レート	ライン当りの総ワード数	ライン当りの総アクティブ・ワード数
60または60/1.001フィールド 30または30/1.001フィールド	2200	1920
50フィールド 25フレーム	2640	1920
24または24/1.001フィールド	2750	1920

▶ 表6：さまざまなフレーム・レートのライン当りのワード総数

データ構造

オプションDATを搭載したWFM7020／WFM7120型のみ、測定メニューのデータ・リストを表示でき、データ・モードの各リンクの構造または図5に示すように統合データを確認できます。これにより、ユーザは2つのリンク間のデータ値の組み合わ

せを見ることができ、サンプル長やストリームの構造を確認できます。表6にさまざまなフレーム・レートのワード総数を示し、図6はデータがR'G'B' (A) 4:4:4:4フォーマットの2つのリンクにどのように分割されたかを示します。他のDual Linkフォーマットでも同様の表示が可能です。

Dual Link (SMPTE 372M) ソリューション

▶ アプリケーション・ノート

Link A	B'0 : 2-11	G'0 : 2-11	R'0 : 2-11	G'1 : 2-11	B'2 : 2-11	G'2 : 2-11	R'2 : 2-11
Link B	B'1 : 2-11	R'G'B'0 : 0-1	R'1 : 2-11	R'G'B'1 : 0-1	B'3 : 2-11	R'G'B'2 : 0-1	R'3 : 2-11

▶ 表7 : RGB 12-bitフォーマットのチャンネル表記

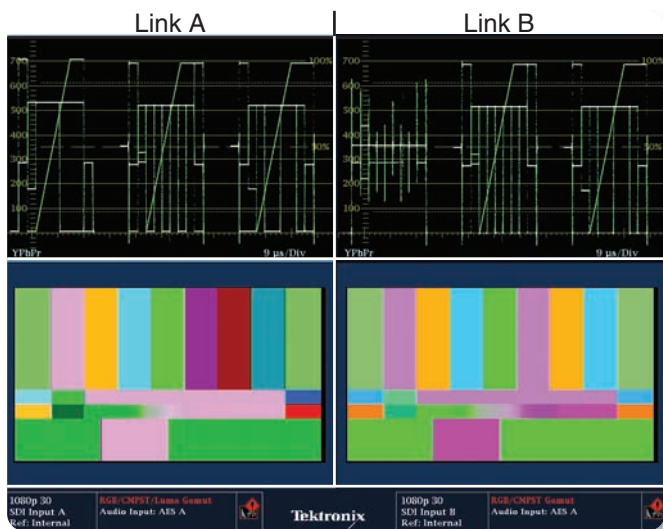
Bit Number										
Word	9 (MSB)	8	7	6	5	4	3	2	1	0 (LSB)
	Not B8	EP	G'n:1	G'n:0	B'n:1	B'n:0	R'n:1	R'n:0	Reserved	Reserved

▶ 表8 : R'G'B' 0-1 bitのマッピング構造

R'G'B' 4 : 4 : 4 12-bit (30、29.97、25、24、23.98プログレッシブPsF、60 59.94および50インターレース)

信号のダイナミック・レンジを広げるために、12-bitデータ・フォーマットがDual Link規格には用意されています。ここでの問題は、各リンクのデータ構造が10-bitワードに適合しているということです。それにより、両リンクの10-bitワードを使用して12-bitデータを伝送する方法が定義されています。R'G'B' 4 : 4 : 4 12-bitの場合、MSB（最上位ビット） 2-11は10-bitワードで伝送されます。各R'G'B'チャンネルの追加の2ビット

は、表7に示すようにLink BのY'チャンネルに統合されます。Link AはG'チャンネルのビット2-11およびB'とR'の偶数番号のサンプル値を伝送します。Link Bでは、AlphaチャンネルはR'G'B'サンプルの統合ビット0-1によって置き換えられます。B'およびR'ビット2-11の奇数番号のサンプル値は [C'b/C'r] ワードで伝送されます。統合R'G'B' 0-1データは、表8に定義されているように10-bitワードにマッピングされます。EP（Even Parity）がビット7-0に対して偶数パリティを示すと予備（Reserved）値はゼロ（0）に設定され、ビット9はビット8によって反転します。



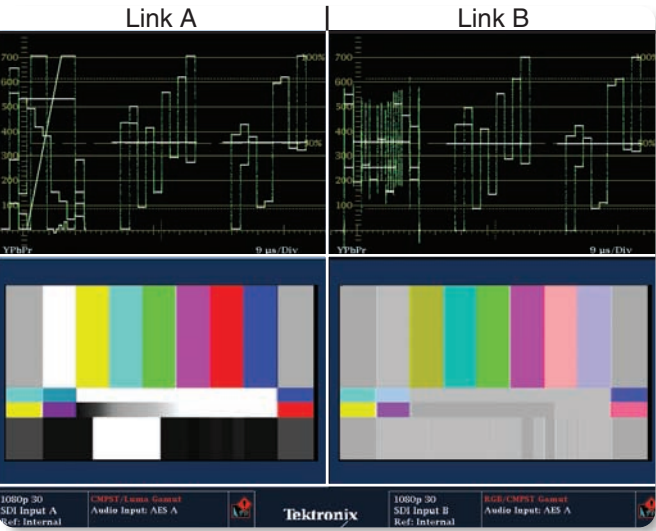
▶ 図7: R'G'B' 4:4:4 12-bitフォーマットのDual Link AおよびB信号の波形表示

1111 1111 1111	FFF	4095	Excluded	766.3mv	1023	3FF	11 1111 1111	reserved values	1111 1111	FF	255
			Highest Quantized Level	763.9mv	1020	3FC	11 1111 1100		1111 1110	FE	254
				763.13mv	1019	3FB	11 1111 1011				
1110 1011 0000	EB0	3760	Peak	700.0mv	940	3AC	11 1010 1100		1110 1011	EB	235
Binary 12 Bit	Hex	Decimal		Voltage	Decimal	Hex	Binary 10 Bit		8 Bit Binary	Hex	Decimal
0001 0000 0000	100	256	Black	0.0mv	64	040	00 0100 0000	reserved values	0001 0000	10	16
			Lowest Quantized Level	-47.9mv	4	004	00 0000 0100		0000 0001	01	01
0000 0000 0000	000	0	Excluded	-48.7mv	3	003	00 0000 0011		0000 0000	00	00
				-51.1mv	0	000	00 0000 0000				

▶ 図8: 10および12ビットのルミナンス信号の量子化レベル

ほとんどの人がSDIフォーマットで使用される10-bit値はよく理解しています。しかし、多くのユーザは12-bit値のビデオ信号の取り扱いには慣れていません。そこで、図8に10-bit値と

12-bit値のレベル値の差異を理解するために便利な情報を載せておきます。



▶ 図9：Y'CbCr 4:4:4 12-bitフォーマットのDual Link AおよびB信号の波形表示例

Link A	C'b ₀ : 2-11	Y'o: 2-11	C'r ₀ : 2-11	Y' ₁ : 2-11	C'b ₂ : 2-11	Y' ₂ : 2-11	C'r ₂ : 2-11
Link B	C'b ₁ : 2-11	Y'CbCr ₀ : 0-1	C'r ₁ : 2-11	Y'CbCr ₁ : 0-1	C'b ₃ : 2-11	Y'CbCr ₂ : 0-1	C'r ₃ : 2-11

▶ 表9：YCbCr 12-bitフォーマットのチャンネル表記

Bit Number										
Word	9 (MSB)	8	7	6	5	4	3	2	1	0 (LSB)
	Not B8	EP	Y'n:1	Y'n:0	C'b'n:1	C'b n:0	C'r n:1	C'r n:0	Reserved	Reserved

▶ 表10：Y'CbCr 0-1 bitのマッピング構造

Y'CbCr 4 : 4 : 4 12-bit (30、29.97、25、24、23.98プログレッシブPsF、60 59.94および50インタレース)

Y'CbCr 12-bitのデータ構造は、G'がY'、B'がCb、R'がCrに等しい場合に、G'B'R' 12-bit構造とよく似ています。表9に

Y'CbCrサンプル用チャンネル・マッピングが示され、表10には10-bitデータ・ワードのビット0-1のマッピング構造が示されています。図9には、WFM7120型オプションSIMを使用し2つのリンク信号の波形が示されています。

Link A	C'b ₀ : 2-11	Y' ₀ : 2-11	C'r ₀ : 2-11	Y' ₁ : 2-11	C'b ₂ : 2-11	Y' ₂ : 2-11	R' ₂ : 2-11
Link B	A ₀	Y'C'bC'r ₀ : 0-1	A ₁	Y' ₁ : 0-1	A ₂	Y'C'bC'r ₂ : 0-1	A ₃

▶ 表11: Y'C'bC'r (A) 4:2:2:4 12-bitフォーマットのチャンネル表記

Bit Number										
Word	9 (MSB)	8	7	6	5	4	3	2	1	0 (LSB)
	Not B8	EP	Y'n:1	Y'n:0	C'b n:1	C'b n:0	C'r n:1	C'r n:0	Reserved	Reserved

▶ 表12: Y'C'bC'r 0-1 bitのマッピング構造

Bit Number										
Word	9 (MSB)	8	7	6	5	4	3	2	1	0 (LSB)
	Not B8	EP	Y'n:1	Y'n:0	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved

▶ 表13: Y' 0-1 bitのマッピング構造

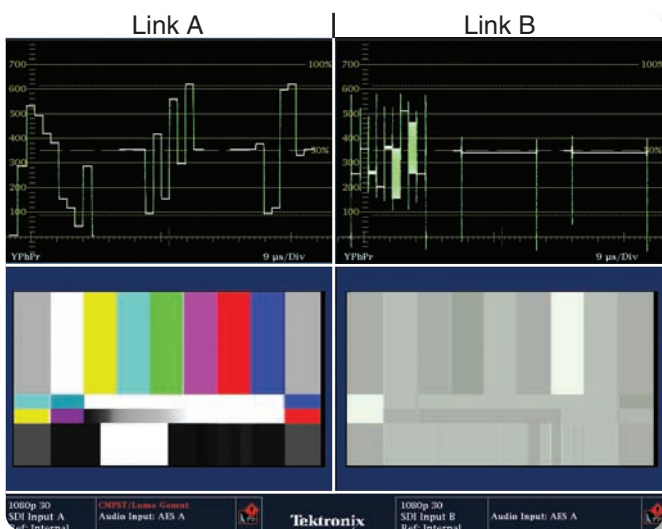
Y'C'bC'r (A) 4:2:2:4 12-bits (30、29.97、25、24、23.98プログレッシブ PsF、60 59.94および50インタレース)

AlphaチャンネルとYCbCr 12-bitデータを伝送するために必要なアプリケーションでは、SDI構造が10-bitに制限される中で、次のような12-bitのデータ・ストリームが定義されています。Y'C'bC'rビットのMSB 2-11はLink Aで伝送されて、SDI信号

のC'bY'C'rY'*多重方法と同じ構造になります。10-bit AlphaチャンネルとY'nC'bnC'mとYn+1のLSBはLink Bで表11に示すようにマッピングされて伝送されます。Y'C'bC'rサンプルの0-1ビットは、表12で定義されるように10-bitワードで伝送されます。Y'*サンプルの追加ビットは、表13に示すようにマッピングされます。

Dual Link (SMPTE 372M) ソリューション

▶ アプリケーション・ノート



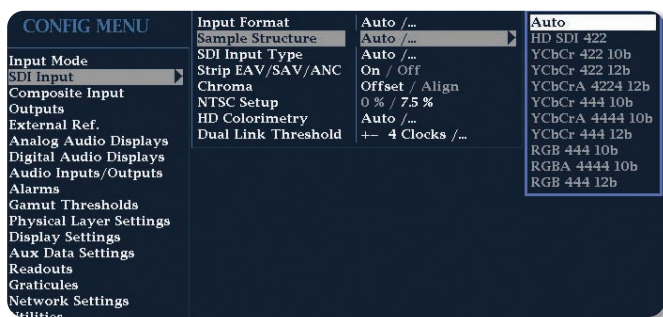
▶ 図10: Y'C'bC'r (A) 4:2:2:4 12-bitフォーマットのDual Link AおよびB信号の波形表示例

Dual Link規格に準じた様々なフォーマットが使用される場合は、2つのリンクで接続されているフォーマットを特定することは困難です。しかし、ユーザが2つのリンクの構造をよく理解している場合はカラー・バー信号の波形表示を認識できるかもしれません。既述の図(2、3、4、7、9、10)を例として使用して、2つのリンク間で転送される映像フォーマットのタイプを特定することができます。しかし、カラー・バー信号は「ライブ」素材より容易に特定できます。WFMシリーズおよびWVRシリーズのVideo Session表示の自動検出機能によって、識別信号のペイロードを特定でき、映像フォーマットに関する情報を表示して、ビデオ・ペイロード識別(VPID)情報が信号内に存在することを示します。多くのビデオ設備では、適切なDual Link AおよびB信号がルーティング・スイッチャによって適切な送信先に転送されているかを確認することは時々困難な場合があります。オペレータのミスによってリンクがスワップしたり、どちらかのリンク(AまたはB)が適切に送信されない場合もあります。Video Session表示機能により、ユーザに警報を出して問題のタイプを知らせることもできます。(図11はWFM7120型のVideo Session表示によるLink AおよびBのエラー・メッセージ表示の例です) 測定器では、Link Aは最優



▶ 図11: WFM7120型のVideo Session表示によるLink AおよびBのエラー・メッセージ例

先信号であり、Dual Link信号を適切に統合するために存在しなければならないことが前提です。Link Bに不適切なフォーマットまたは間違ったビデオ・ペイロード識別があるとVideo Session表示にはLink Errorと表示されます。Link Bが不明の場合は「partial Dual Link」とエラー・メッセージが表示されます。



▶ 図12：サンプリング構造の選択メニュー

ビット	バイト1	バイト2	バイト3	バイト4
ビット7	1	インタレース (0) または プログレッシブ (1) トランスポート	予備	予備
ビット6	0	インタレース (0) または プログレッシブ (1) ピクチャ	予備	チャンネル割り当て Link A (0) Link B (1)
ビット5	0	予備	予備	予備
ビット4	0	予備	予備	ダイナミック・レンジ 100% (0 _n), 200% (1 _n) 400% (2 _n), 予備 (3 _n)
ビット3	0	ピクチャ・レート (表15)	サンプリング構造 (表16)	予備
ビット2	1			ビット深度 8-bit (0 _n), 10-bit (1 _n) 12-bit (2 _n), 予備 (3 _n)
ビット1	1			
ビット0	1			

▶ 表14：SMPTE 352Mのビデオ・ペイロード識別 (VPID) 情報 (1080システム)

SMPTE372M標準規格は、SMPTE 352Mで規定するビデオ・ペイロード識別 (VPID) 情報が伝送データ内に存在することを推奨しています。しかし、ビデオ機器によっては補助データを伝送しないものがあります。この場合、ユーザはフォーマットを適切なサンプリング構造に強制的にマニュアル設定しなければなりません。これは、図12で示すように測定器の設定メニューで実行することができます。ユーザがフォーマットを承知している場合、メニューからそれを直接選択できます。または、サンプリング構造のどれかを選択し、適切なトレース表示またはピクチャが表示されるまでピクチャまたは波形表示を行うことによって適切なフォーマットを確認できます。

SMPTE 352Mのビデオ・ペイロード識別 (VPID) 情報

Dual Linkフォーマットの自動フォーマット検出を簡単にするために、WVRシリーズおよびWFMシリーズはSMPTE 352M

データ・パケットのデータ値を表示し、図11に示すようにこのペイロード識別情報を解釈して表示します。SMPTE 352Mの補助データ・パケットには、ピクチャ・レート、サンプリング構造、ダイナミック・レンジ、ビット深度およびチャンネル割り当てを理解するために使用される4バイトの情報が含まれています。この補助 (ANC) データ・パケットは、SMPTE 291Mに準拠し、データID (DID) の41_nとセカンダリ・データIDの01_nによって識別されます。波形モニタのANCデータ表示機能を使用して、ユーザは該当の補助データ・パケットを表示して、その補助データが存在するラインおよびフィールドの位置を確認することができます。1080フォーマットの場合、このパケットはフィールド1のライン10およびフィールド2のライン572の位置に配置されます。この補助データ表示機能により、すべての使用可能なデータ・パケットを選択してスクロール表示できます。

1920×1080ビデオ・フォーマットの場合、バイト1が87_nに設定され、バイト2-4の構造は表14に示されているとおりです。

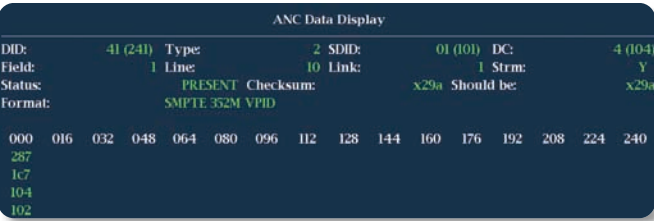
Dual Link (SMPTE 372M) ソリューション
▶ アプリケーション・ノート

値	ピクチャ・レート
0 _h	未定義
1 _h	予備
2 _h	24/1.001
3 _h	24
4 _h	予備
5 _h	25
6 _h	30/1.001
7 _h	30
8 _h	予備
9 _h	50
A _h	60/1.001
B _h	60
C _h	予備
D _h	予備
E _h	予備
F _h	予備

▶ 表15：ピクチャ・レート

値	サンプリング構造
0 _h	4：2：2 [デフォルト] (YCbCr)
1 _h	4：4：4 (YCbCr)
2 _h	4：4：4 (GBR)
3 _h	4：2：0
4 _h	4：2：2：4 (YCbCrA)
5 _h	4：4：4：4 (YCbCrA)
6 _h	4：4：4：4 (GBRA)
7 _h	予備
8 _h	4：2：2：4 (YCbCrD)
9 _h	4：4：4：4 (YCbCrD)
A _h	4：4：4：4 (GBRD)
B _h	予備
C _h	予備
D _h	予備
E _h	4：4：4：4 (GBRA) 2048×1080
F _h	予備

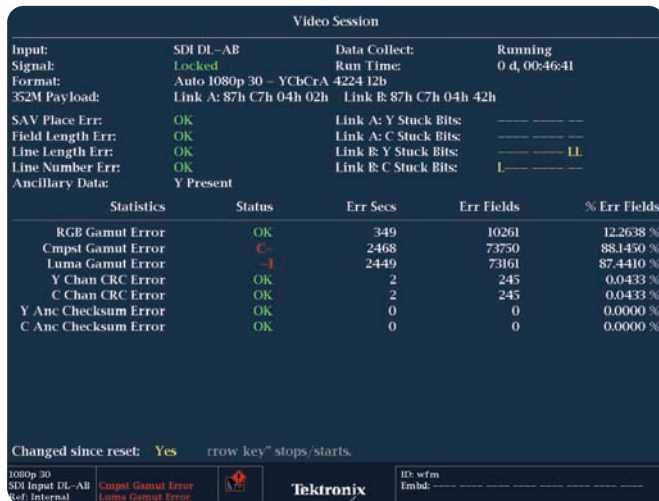
▶ 表16：サンプリング構造



▶ 図13：SMPTE 352Mペイロード部分のANCデータ (補助データ) 表示例

表15に、ピクチャ・レート値、表16にサンプリング構造が定義されています。この表の情報を使用すれば、SMPTE 352Mのペイロードを解析できます。例えば、図13の情報を使用して、補助データ表示から信号のフォーマットを判定できます。パケットの4つのバイトは287_h、1C7_h、104_h、102_hです。パケット287_hの最初のバイトはこれが1080フォーマットであることを示します。2番目のバイトの1C7_hは表14から2つの部分に分けられていることを示しています。まず、C_h値（2進数では1100）として、プログレッシブ・トランスポート（1）とプログレッシブ・ピクチャ（1）を定義します。次に、ピクチャ・

レートは7_hで表15の30レートを示します。3番目のバイトは104_hです。表14から、上位ビット値はリザーブされます。4_hの下位ビット値は表16に示すように4：4：4：4 Y'C'bC'rAフォーマットと一致します。最後に4番目のバイトは102_hです。表14の上位値0はLink Aを示し、2_hの値は12-bitのビット深度を持つ100%ダイナミック・レンジを示します。そのため、図14に示すようにビデオ・ペイロード情報を解析して表示できます（Video Session Display に1080p30 - Y'C'bC'rA 12bとフォーマット表示）。



▶ 図14： SMPTE352Mペイロードを示すビデオ・セッション表示例



▶ 図15： Link AとB間のチャンネル間タイミング

さまざまな補助データを2つのリンクに多重して伝送することができます。例えば、エンベデッド・オーディオを2つのリンクに水平補助 (HANC) データとして、最高32チャンネルまでサポートできます。Link Aは、Link Bに比べて上位のプライオリティを持っており、最初の16チャンネルがLink A内に置かれなければならないこと、およびオーディオ・データがリンク間で分割されてはいけません。24チャンネルの場合、最初の16チャンネルがLink Aに埋め込まれる必要があり、残りの8チャンネルはLink Bに埋め込まれる必要があります。

当社のTG700型マルチフォーマット・ゼネレータは、HDLG7モジュールを使用してDual Link用のさまざまなテスト信号を発生することができます。このモジュールにはアップコンバート機能があるため、HDVG7モジュールのシングル (HD-SDI) 出力を任意のDual Linkフォーマットに変換して出力できます。このモードでは、シングルHD-SDI入力のエンベデッド・オーディオもDual Linkフォーマットに変換して32チャンネルまで出力できます。

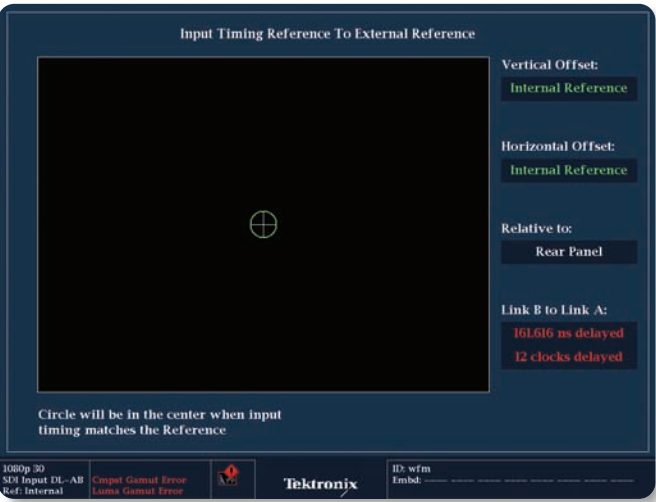
Dual Linkのチャンネル間タイミング

ビデオ施設の中には、2つのリンクが異なる別々の経路で敷設される場合があります。このような場合には2つのリンク間でタ

イミング・エラーを引き起こす可能性があります。SMPTE 372M規格によれば、各種機器の信号出力側では2つのリンク間の許容タイミング差異が40nsを超えてはいけずと規定されていますが、(受信側での) 2つのリンク間の最大タイミング許容差異は規定されていません。そのため、機器へ入力するときのタイミング差異の許容範囲をチェックしたり、2つのDual Link信号を伝送する経路の電気的長さが同一であることを機器の性能／仕様から確認しておくことは重要です。例えば、TG700型のHDLG7モジュールを使用するとユーザは最高±200nsの範囲で2つのリンク間のタイミング差異を調整できます。機器や装置によっては、内部バッファによって入力で発生したチャンネル間のタイミング差異をうまく調整してくれる場合があります。しかし、使用する各種機器の仕様範囲を超えないように注意しなければなりません。また、Dual Link信号が適正に取込めない場合もあるので注意が必要です。例えば、WFM 7120型には、30クロック分のバッファが搭載されています。このタイミング差異が限度を超えるとチャンネル間でシフトが起こり、図15に示すようにデータは正確に表示できません。この例では、エラーを発生させるために、かなり長いケーブルをLink Bに使用しました。ピクチャ表示のY-Cシフトと波形表示のチャンネル内のノイズに注目してください。

Dual Link (SMPTE 372M) ソリューション

▶ アプリケーション・ノート



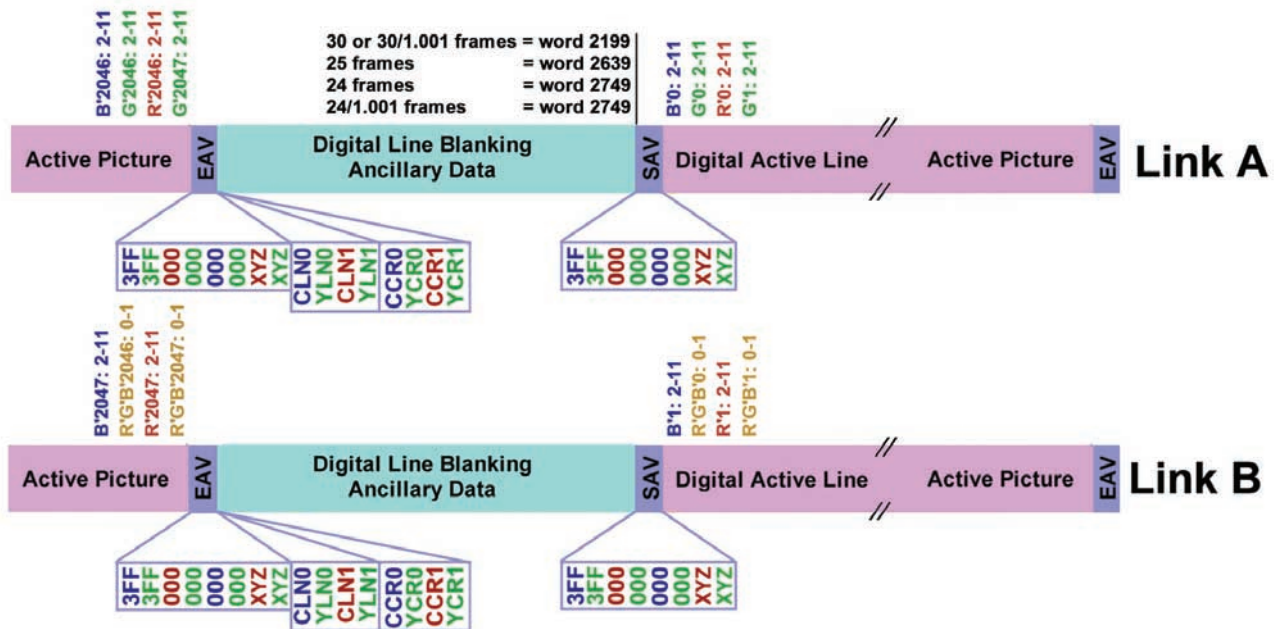
▶ 図16：Dual Link信号のチャンネル間タイミングの測定例

フレーム／フィールド・レート	ライン当りの総ワード数	ライン当りの総アクティブ・ワード数	Hブランキング
60または60/1.001フィールド 30または30/1.001フレーム	2200	2048	152
50フィールド 25フレーム	2640	2048	592
24または24/1.001フィールド	2750	2048	702

▶ 表17：2048×1080フォーマット用のラインおよびブランキング・インターバル当たりのワード総数

WFMおよびWVRシリーズでは、タイミング表示機能を使用してDual Link信号が図16に示すように入力されると、Link Aとそれに関連するLink B間のチャンネル間タイミング差異を自動計測して表示できます。このとき、Link BとLink A間のチャンネル間タイミング差異として、合計161ns（12クロック）が測定されました。チャンネル間のタイミング測定により、2つの

リンク間のタイミングを測定するので、リファレンスと入力信号間の（システム）タイミング測定に直接影響を与えることはありません。これらの計測機器を使用すると、2つのチャンネル間のタイミングが、特定のクロック・サンプル数を超えたときにアラーム表示するしきい値を設定することができます。



▶ 図17: 2048×1080 R'G'B' 12-bit Dual Linkデータ構造のフォーマット

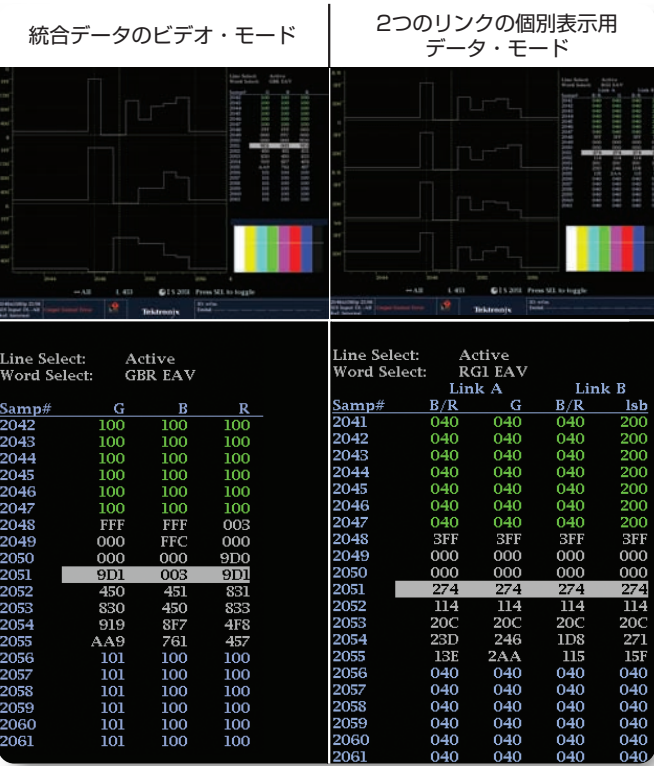
追加フォーマット

Dual Linkのトランスポート・インタフェース能力をさらに拡張するためのフォーマットが、オリジナルSMPTE 372M規格に追加されました。例えば、2048×1080フォーマットはさまざまなフレーム・レート（24/1.001、24、25、30/1.001、30）に対応した2つのリンクの構造に適合できます。この場合、ライン当たり2048サンプルに適合するためにブランキング期間は短縮されますが、2048×1080と1920×1080間のフ

レームのワード数は同じになります。図17に、12-bit R'G'B'フォーマットの2048×1080信号用のデータ構造が示されています。この場合、デジタル・ライン・ブランキングはアクティブ・ライン・サンプル数が大きくならないようにより小さくなります。そのため、場合によっては、エンベデッド・オーディオを水平補助データ・スペースに多重するとき、1920×1080フォーマットよりさらに制限が加えられる可能性があります。

Dual Link (SMPTE 372M) ソリューション

▶ アプリケーション・ノート



▶ 図18：2048×1080 R'G'B' 12-bit Dual LinkフォーマットのEAVデータ表示モードの例

図18は、2048×1080 R'G'B' 12-bitフォーマットのEAV (End of Active Video) サンプルのデータ構造を表しています。データ・モードとビデオ・モードの両方が、Dual Linkフォーマットの統合データと各リンクの構造を説明するために示されています。これらの図は、12-bit信号への統合データ・ストリームをルックアップする機能、または10-bitデータ・ストリームとして2つのリンクを個別に表示する機能を説明しています。

まとめ

Dual Linkフォーマットを使用することにより、多くのビデオ設備では既存のHD-SDIインフラを利用して拡張された高解像度の映像フォーマットを伝送することができます。これらのDual Linkフォーマットを適正に運用するためには、チャンネル間のタイミング・エラーが伝送経路で発生していないことを確認することはもちろんですが、2つの信号を統合して処理する各種機器で問題を引き起こすことが無いことを検証する必要があります。加えて、適正な信号がLink AおよびLink Bにそれぞれ接続されなければならないことにも注意してください。WFM7x20シリーズおよびWVR7x20シリーズを使用すれば、Dual Link信号の伝送中のエラーを特定したり、リンクの個別データまたは統合データを詳細にモニタリングすることができます。

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
仙台オフィス 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
京都オフィス 075-323-9048
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 01 June 2007

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。

02/08 EA/WOW

25Z-21314-0

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。

2008年1月発行 © Tektronix