

リーダー電子 技術情報シリーズ Vol.03

SDIによる4K伝送

- 01 4Kとは
- 02 4Kの説明(3Gクワッドリンク)
- 03 4Kの説明(3Gデュアルリンク)
- 04 4Kの説明(12Gシングルリンク)
- 05 4Kの測定
- 06 用語集

本書の内容は2020年7月現在のものです。

記載されている会社名および各商品名は、各社の商標または登録商標です。

01 4K とは

4K の概要について

概要

「4K」とは画素の数のことを表し、ここでは横の画素数のことを言っています。「K」が「1,000」を表すことから、「4K」=「4,000」となり、横の画素数が約4,000であることを表しています。

現行方式であるフルHDでは、画素数が1920×1080であるのに対し、4KではフルHDの4倍である3840(または4096)×2160にまで拡大されるため、より精細な表示ができるようになります。

本書では、主にこの4K信号の伝送について述べています。4K信号の伝送にはSDI、HDMI、ディスプレイポートなど、さまざまな形式が用いられますが、ここではSDIについて記述しています。

規格

映像の画質は、「解像度」、「ビット深度」、「フレームレート」、「色域」、「輝度」の5つの要素で決まると考えられています。

1990年、現行方式であるフルHDに関する基準が、ITU-R BT.709によって規格化されました。その後の2012年、4K/8Kに関する基準がITU-R BT.2020によって規格化されました。これによって「解像度」だけでなく、「ビット深度」、「フレームレート」、「色域」が進化し、より高画質な映像を視聴できるようになりました。

以下の図は規格に対する5要素の値をレーダーチャートで表したもので、5角形が大きいほど高画質となります。

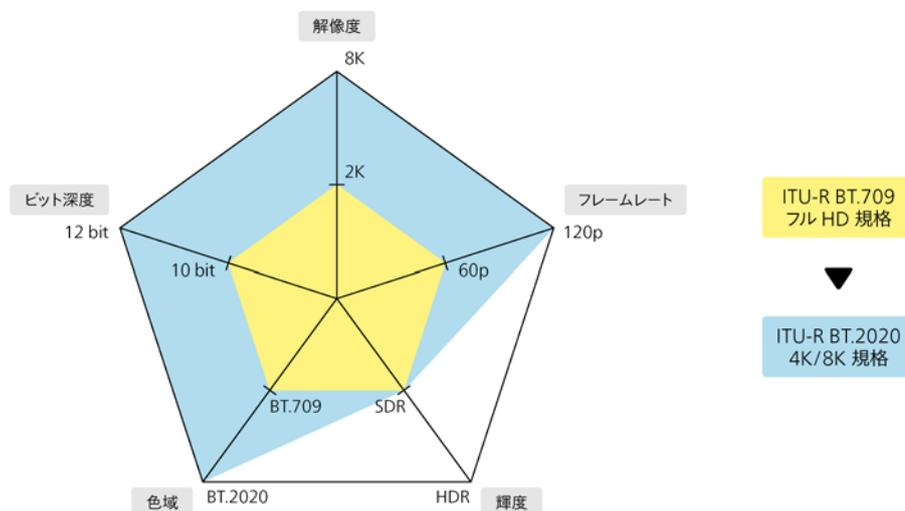


図 | レーダーチャート

ここからは「解像度」、「ビット深度」、「フレームレート」、「色域」について、さらに説明します。

解像度

解像度とは、画素数のことを言います。現行方式であるフルHD(2K)では 1920×1080 であるのに対し、4K ではフルHD の4倍である 3840 (または 4096) $\times 2160$ にまで拡大されます。

同じサイズのディスプレイで考えると、画素数が多いほど1画素あたりの面積が小さくなるため、より精細な表示ができるようになります。



図 | 4K (イメージ)

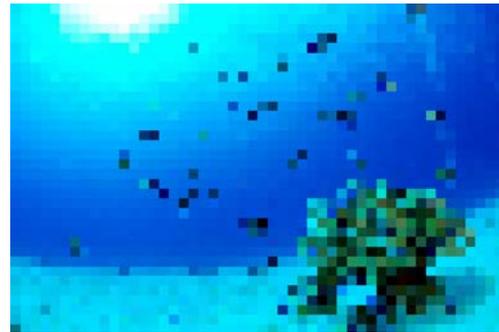


図 | 2K (イメージ)

なお、4K のフォーマットは、解像度によってテレビ放送用とデジタルシネマ用の2つに分けることができます。

ITU-R*が定めたテレビ放送用の4Kは「4K UHD TV*」と呼ばれ、その解像度は 3840×2160 です。一方、DCI*が定めたデジタルシネマ用の4Kは「DCI 4K」と呼ばれ、その解像度は 4096×2160 です。

本書では、これらを総称して「4K」と呼んでいます。

* ITU; International Telecommunication Union

* UHD TV; Ultra High Definition Television

* DCI; Digital Cinema Initiatives

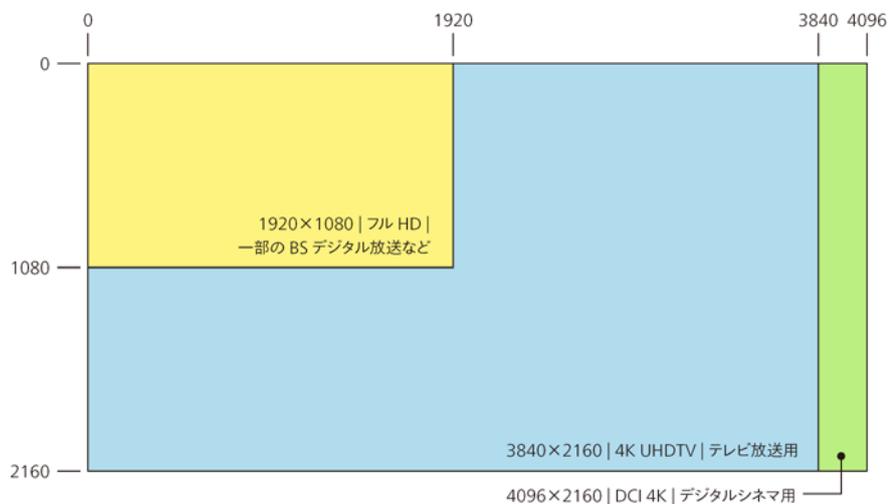


図 | 解像度

ビット深度

ビット深度とは、ある単位当たりのビット数のことで、ここでは1画素あたりの色の数を指します。たとえば8bitだと、RGBのそれぞれに8bit=2⁸=256 階調が割り当てられるため、256(R)×256(G)×256(B)=約1677万色の表現が可能です。現行方式であるフルHDでは8bitであるのに対し、4Kでは12bitまで定義されています。

ビット深度が高いほど多くの色を表示できるため、よりなめらかなグラデーション表示ができるようになります。



図 | 12bit (イメージ)



図 | 8bit (イメージ)

フレームレート

フレームレートとは、1秒間あたりのコマ数のことを言います。映画では24p、現行方式であるフルHDでは30p相当がよく使われていますが、4Kでは120pまで定義されています。

フレームレートが高いほど、よりなめらかな動きを表示できるようになります。

色域

色域とは、表現できる色の範囲のことを言います。以下の馬蹄形は CIE 色度図と言い、人間の目で認識できる色の範囲を示しています。現行方式であるフル HD では BT.709(=sRGB)という三角形で囲まれた範囲の色を表現できますが、4K では BT.2020 の範囲まで拡大されます。三角形が大きいほど広い色域をカバーできるため、よりリアルな色を表示できるようになります。

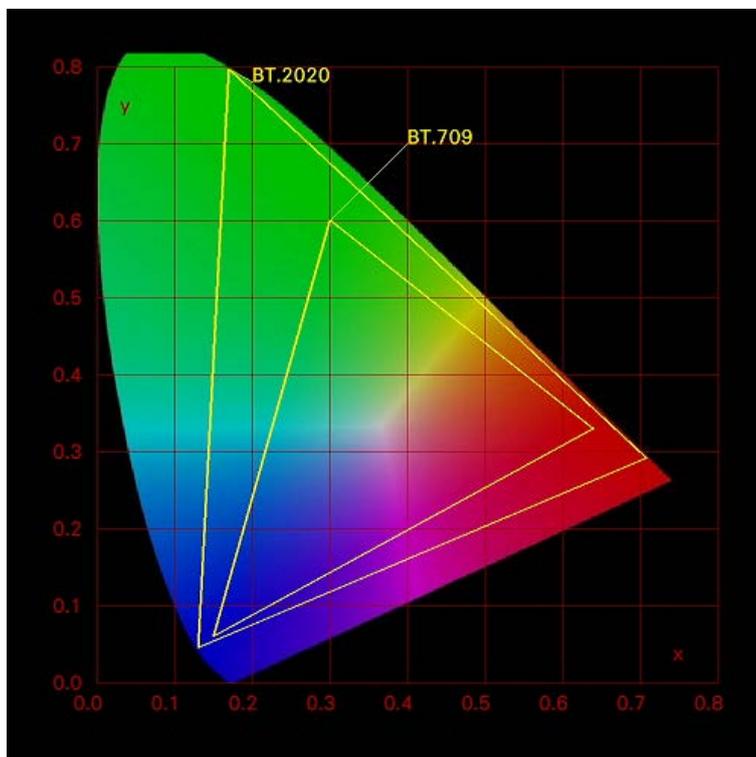


図 | CIE 色度図 (LV5600)

SDI 映像分割方式

4K 映像は映像を 4 分割して伝送しますが、その分割方式は「スクエアディビジョン方式」と「2 サンプルインターリーブ方式」の 2 種類あります。

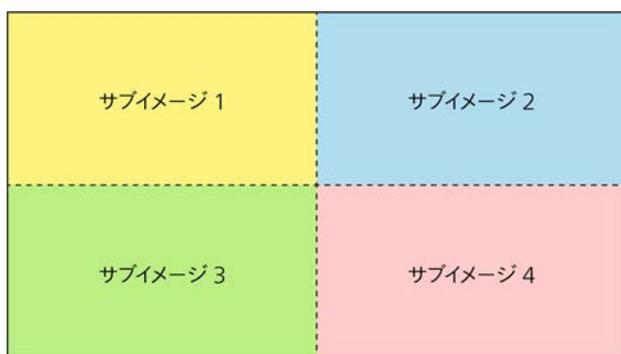
なお、4 分割したうちの 1 つをサブイメージと呼びます。

スクエアディビジョン方式

映像を上下左右に 4 分割する方式です。

映像加工の際、通常 1 フレームの遅延が発生します。

1 つのサブイメージからは、映像全体を確認できません。



サブイメージ 1



サブイメージ 2



サブイメージ 3



サブイメージ 4



図 | スクエアディビジョン方式

2 サンプルインターリーブ方式

映像を2サンプルずつ抜き出して4分割する方式です。
 映像加工の際、2ラインの遅延で処理することができます。
 1つのサブイメージで、映像全体を確認できます。



1	1	2	2	1	1	2	2
3	3	4	4	3	3	4	4
...							
1	1	2	2	1	1	2	2
3	3	4	4	3	3	4	4



サブイメージ1



サブイメージ2



サブイメージ3



サブイメージ4



図 | 2 サンプルインターリーブ方式

ライン番号とサンプル番号について

ここで、4K 信号のライン番号とサンプル番号について説明します。

ライン番号とサンプル番号がどのように定義されているか、また、当社波形モニターLV5600 のデータダンプ表示ではこれらをどのように表示しているか、以下の条件を例に説明します。

条件

映像分割方式	: スクエアディビジョン方式
フォーマット	: 3G-A
カラーシステム	: YCbCr 4:2:2
量子化精度	: 10bit
イメージ	: 3840×2160
フレーム周波数	: 59.94P

はじめに、3840×2160 画素の 4K 映像を考えます。

横軸の画素は「サンプル」と呼び、3840 画素をサンプル番号 0～3839 で表します。

縦軸の画素は「ライン」と呼び、2160 画素をライン番号 0～2159 で表します。

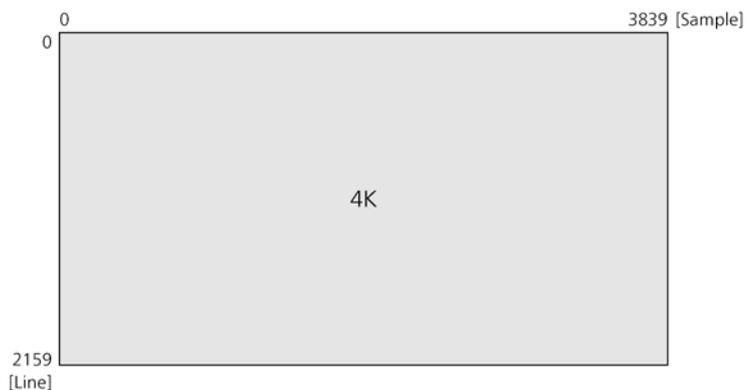


図 | 4K 映像

次に、スクエアディビジョン方式に従って、4K 映像を 4 つのサブイメージに分割します。
サンプル番号 0~1919、ライン番号 0~1079 からなる、1920×1080 画素のサブイメージに分割できます。

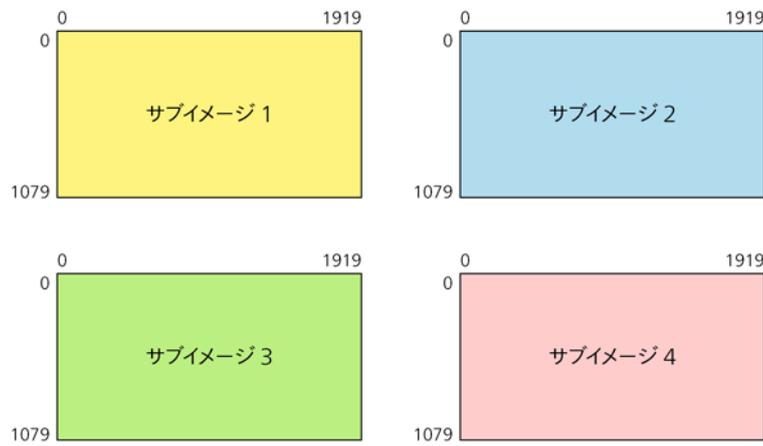


図 | サブイメージ

分割したサブイメージを 3G-A にマッピングする際、それぞれにブランキングを付加します。

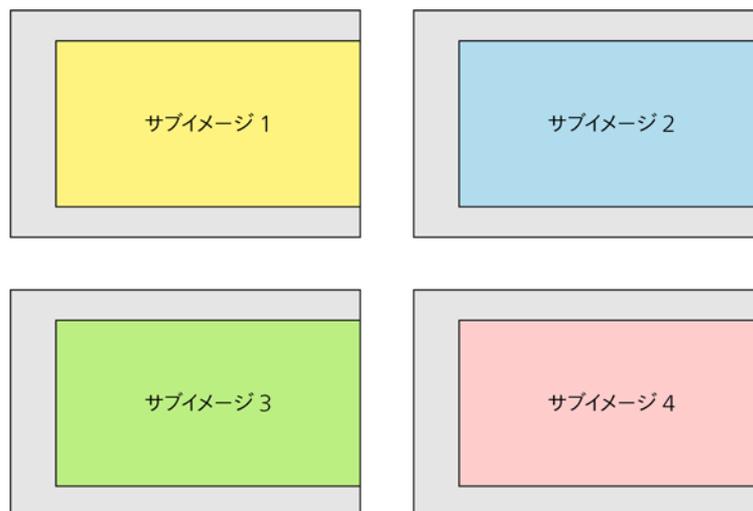


図 | サブイメージ

このとき、サブイメージ 1 のサンプル番号、およびライン番号は以下のようになります。
ブランキングを除くピクチャー部分をアクティブピクチャーと呼び、ここではサンプル番号 0~1919、
ライン番号 42~1121 からなる、1920×1080 画素の映像がアクティブピクチャーとなります。
なお、サブイメージ 2~4 についても同様です。

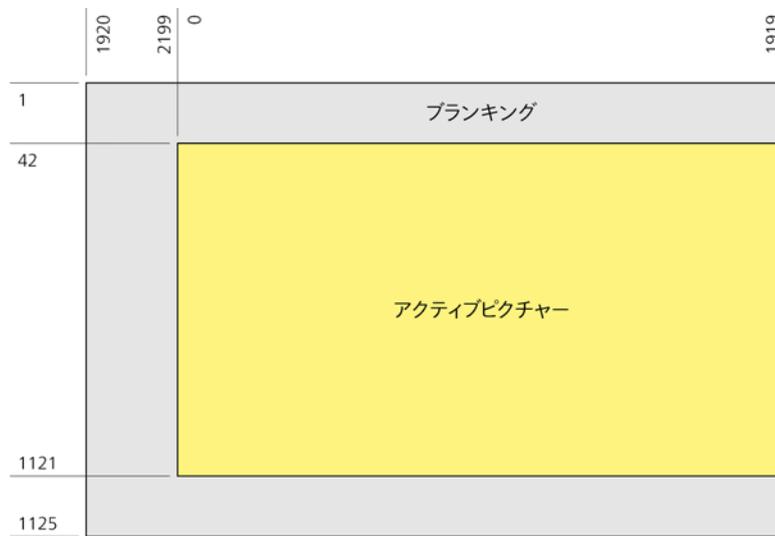


図 | サブイメージ

以上をふまえて、LV5600 のデータダンプ表示を確認します。ライン番号とサンプル番号が示す意味は、[F5] LINK によって以下のように異なります。

[F5] LINK が PICTURE のとき

4K 映像のライン番号とサンプル番号を示します。

ライン番号は「PIC LINE」と表示され、0～2159 の範囲で可変できます。

サンプル番号は「PIC SAMPLE」と表示され、0～3839 の範囲で可変できます。



図 | 4K 映像

3840x2160/59.94P YCbCr(422) 10bit 3G-A QUAD(SQ)		SDI A-D		TIME: 14:58:54
DATA DUMP	PIC LINE No.0	Y	Cb	Cr
	PIC SAMPLE			
< 0>	040	200		
< 1>	040		200	
< 2>	040	200		
< 3>	041		200	
< 4>	0CB	200		
< 5>	1F6		200	
< 6>	321	200		
< 7>	3AB		200	
< 8>	3AC	200		
< 9>	3AC		200	
< 10>	3AC	200		
< 11>	3AC		200	
< 12>	3AC	200		
< 13>	3AC		200	
< 14>	3AC	200		
< 15>	3AC		200	
< 16>	3AC	200		
< 17>	3AC		200	
< 18>	3AC	200		
< 19>	3AC		200	

F1 JUMP	F2 FD 1CLICK	F3 FD FUNCTION LINE	F4	F5 LINK	F6	F7 up menu
END	1	LINE		PICTURE		

図 | 3G-A データダンプ

[F5] LINK が 1[A]、2[B]、3[C]、4[D]のとき

サブイメージ 1~4 にブランキングを付加した状態のライン番号とサンプル番号を示します。

ライン番号は「LINE」と表示され、1~1125 の範囲で可変できます。

サンプル番号は「SAMPLE」と表示され、0~2199 の範囲で可変できます。

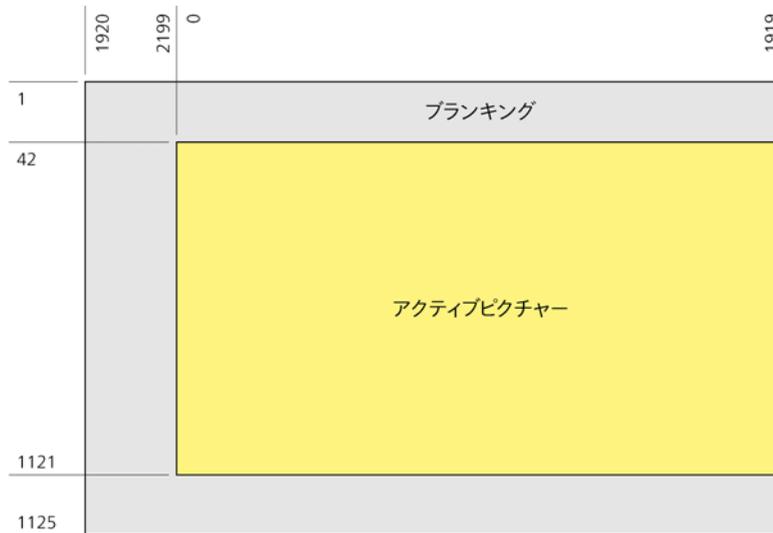


図 | サブイメージ

The screenshot shows the '3G-A データダンプ' (3G-A Data Dump) menu. At the top, it displays '3840x2160/59.94P YCbCr(422) 10bit 3G-A QUAD(SQ)', 'SDI A-D', and 'TIME: 14:59:50'. The main content is a table with columns 'LINE No.1', 'SAMPLE', 'Y', and 'Cb/Cr'. The 'LINE No.1' column is highlighted with a blue box, and the 'SAMPLE' column is also highlighted. The 'Y' and 'Cb/Cr' columns show values like 3FF, 000, 2AC, and 040. On the right side, blue lines with labels point to 'LINE (1 ~ 1125)', 'SAMPLE (0 ~ 2199)', and 'LINK 1[A]' at the bottom of the screen. The bottom of the screen shows a navigation bar with buttons: JUMP (SAV), FD 1CLICK (1), FD FUNCTION LINE, DISPLAY SERIAL, LINK 1[A], and up menu.

図 | 3G-A データダンプ

以上が 3G-A の場合の説明ですが、フォーマットが 3G-B-DL で、[F5] LINK が 1[A]、2[B]、3[C]、4[D] の場合は注意が必要です。

3G-B-DL の構造は以下のとおりストリーム 1、2 からなりますが、ここに割り当てられている「ピクチャーのライン番号」と、これらを伝送する「伝送時のライン番号」とが異なるのです。

たとえば「ピクチャーのライン番号 42」のデータは、「ストリーム 1 のライン番号 21」と「ストリーム 2 のライン番号 583」で伝送されることがわかります。

ピクチャーのライン番号		伝送時の ライン番号
Stream 1	Stream 2	
2	3	1
4	5	2
⋮	⋮	⋮
38	39	19
40	41	20
42	43	21
44	45	22
⋮	⋮	⋮
1118	1119	559
1120	1121	560
1122	1123	561
1124	1125	562
1	2	563
3	4	564
5	6	565
⋮	⋮	⋮
39	40	582
41	42	583
43	44	584
45	46	585
⋮	⋮	⋮
1119	1120	1122
1121	1122	1123
1123	1124	1124
1125	1	1125

「ピクチャーのライン番号」と「伝送時のライン番号」の関係は、以下のとおり表すことができます。

ピクチャーのライン番号	伝送時のライン番号	
	ストリーム 1	ストリーム 2
1	563	1125
m (2~1124 の偶数)	m/2	m/2+562
n (3~1125 の奇数)	(n+1)/2+562	(n-1)/2

このことは、LV5600 の[F4] DISPLAY を切り換えることによって確認できます。

たとえば[F4] DISPLAY を PICTURE にして、ライン番号を 42 にしてから STREAM1 に切り換えると、ライン番号 21 が表示されます。同様に STREAM2 に切り換えると、ライン番号 583 が表示されます。

[F4] DISPLAY が PICTURE のとき

ライン番号は「PIC LINE」と表示され、ピクチャーのライン番号を示します。

1~1125 の範囲で可変できます。

The screenshot shows the 3G-B-DL data dump interface. At the top, it displays technical specifications: 3840x2160/59.94P YCbCr(422) 10bit 3G-B-DL QUAD(SQ), SDI A-D, and TIME: 15:05:02. The main display area is titled 'DATA DUMP' and shows a list of data fields. A blue box highlights the 'PIC LINE No.42' section, which includes a 'SAMPLE' column and values for Y and Cb/Cr. The 'PIC LINE' is indicated as being in the range of 1 to 1125. The 'SAMPLE' is indicated as being in the range of 0 to 2199. At the bottom, a control panel shows the 'DISPLAY' menu with 'PICTURE' selected, and the 'LINK' field showing '1[A]'. The 'DISPLAY' label is also indicated by a blue line pointing to the control panel.

図 | 3G-B-DL データダンプ

[F4] DISPLAY が STREAM1 のとき

ライン番号は「I/F LINE」と表示され、ストリーム 1 で伝送する際のライン番号を示します。
1～1125 の範囲で可変できます。

3840x2160/59.94P YCbCr(422) 10bit 3G-B-DL QUAD(SQ) SDI A-D TIME: 15:05:53

DATA DUMP		I/F LINE No.21	SAMPLE	Y	Cb/Cr
[EAV]		<1920>		3FF	3FF
[EAV]		<1921>		000	000
[EAV]		<1922>		000	000
[EAV]		<1923>		274	274
LN	LN	<1924>		254	254
LN	LN	<1925>		200	200
CRC	CRC	<1926>		18F	1C3
CRC	CRC	<1927>		26F	1BB
	ADF	<1928>		040	000
	ADF	<1929>		040	3FF
	ADF	<1930>		040	3FF
	DID	<1931>		040	2E7
	DBN	<1932>		040	19E
	DC	<1933>		040	218
	UDW	<1934>		040	288
	UDW	<1935>		040	104
	UDW	<1936>		040	2A0
	UDW	<1937>		040	299
	UDW	<1938>		040	299
	UDW	<1939>		040	20F

Bottom bar: JUMP EAV, FD 1CLICK 1, FD FUNCTION LINE, DISPLAY STREAM1, LINK 1[A], up menu

図 | 3G-B-DL データダンプ

[F4] DISPLAY が STREAM2 のとき

ライン番号は「I/F LINE」と表示され、ストリーム 2 で伝送する際のライン番号を示します。
1～1125 の範囲で可変できます。

3840x2160/59.94P YCbCr(422) 10bit 3G-B-DL QUAD(SQ) SDI A-D TIME: 15:07:04

DATA DUMP		I/F LINE No.583	SAMPLE	Y	Cb/Cr
[EAV]		<1920>		3FF	3FF
[EAV]		<1921>		000	000
[EAV]		<1922>		000	000
[EAV]		<1923>		3C4	3C4
LN	LN	<1924>		11C	11C
LN	LN	<1925>		210	210
CRC	CRC	<1926>		2A1	2ED
CRC	CRC	<1927>		12C	2F8
	ADF	<1928>		040	000
	ADF	<1929>		040	3FF
	ADF	<1930>		040	3FF
	DID	<1931>		040	2E7
	DBN	<1932>		040	17A
	DC	<1933>		040	218
	UDW	<1934>		040	235
	UDW	<1935>		040	205
	UDW	<1936>		040	250
	UDW	<1937>		040	2BB
	UDW	<1938>		040	11A
	UDW	<1939>		040	180

Bottom bar: JUMP EAV, FD 1CLICK 1, FD FUNCTION LINE, DISPLAY STREAM2, LINK 1[A], up menu

図 | 3G-B-DL データダンプ

4K 信号の種類

4K 信号には様々な形式がありますが、本書では以下の 4K 信号について説明します。

4K 信号	信号構成	規格	映像分割方式
3G クワッドリンク	「3G-SDI レベル A」 ×4 または 「3G-SDI レベル B デュアルリンク マッピング」 ×4	SMPTE ST 425-5	スクエアディビジョン または 2 サンプルインターリーブ
3G デュアルリンク (4K/30p まで)	「3G-SDI レベル B デュアルストリーム マッピング」 ×2	SMPTE ST 425-3	スクエアディビジョン または 2 サンプルインターリーブ
12G シングルリンク	「12G-SDI」 ×1	SMPTE ST 2082-10	2 サンプルインターリーブ

02 4K の説明 (3G クワッドリンク)

4本の3G-SDIレベルAからなる4Kについて

4本の3G-SDIレベルBデュアルリンクマッピングからなる4Kについて

3G クワッドリンクについて

3G クワッドリンクとは、4本の「3G-SDI レベルA(以下、3G-A)」または「3G-SDI レベルB デュアルリンクマッピング(以下、3G-B-DL)」を使用して4K信号を伝送する方式です。

4K映像(Source image)はスクエアディビジョン方式、または2サンプルインターリーブ方式で4つのサブイメージに分割され、3G-Aまたは3G-B-DLで伝送されます。ただし、スクエアディビジョン方式の場合は4Kと認識されないため、注意が必要です。

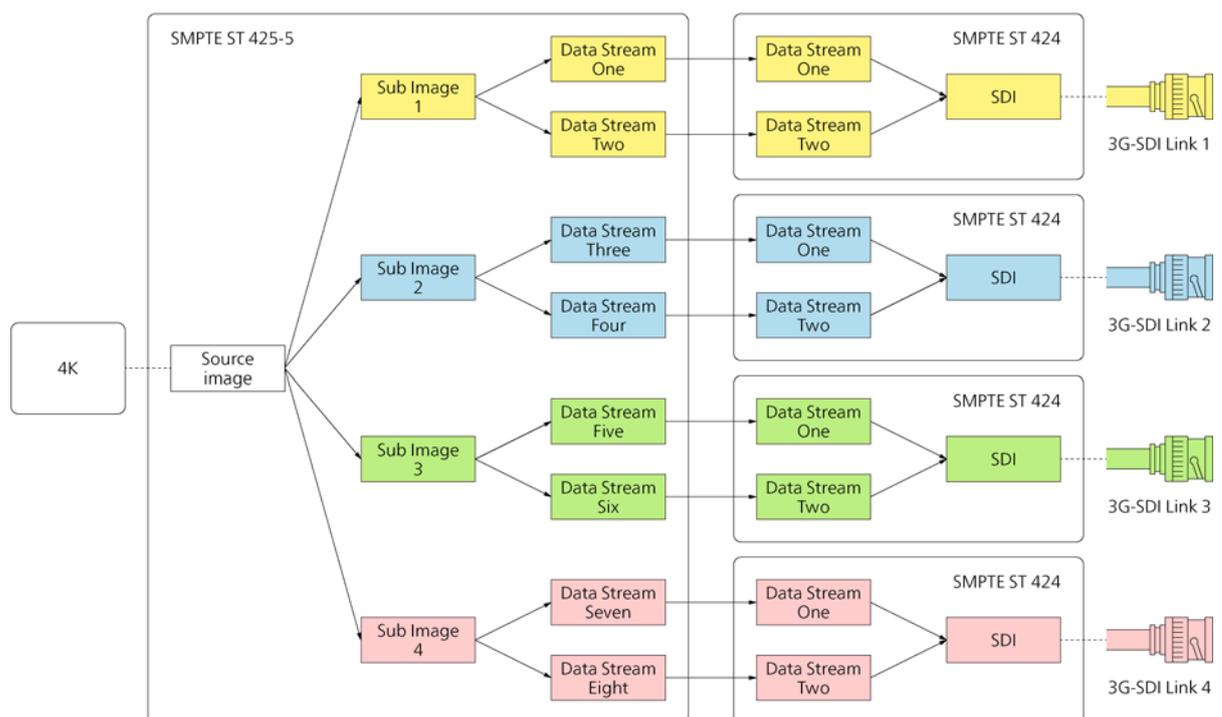
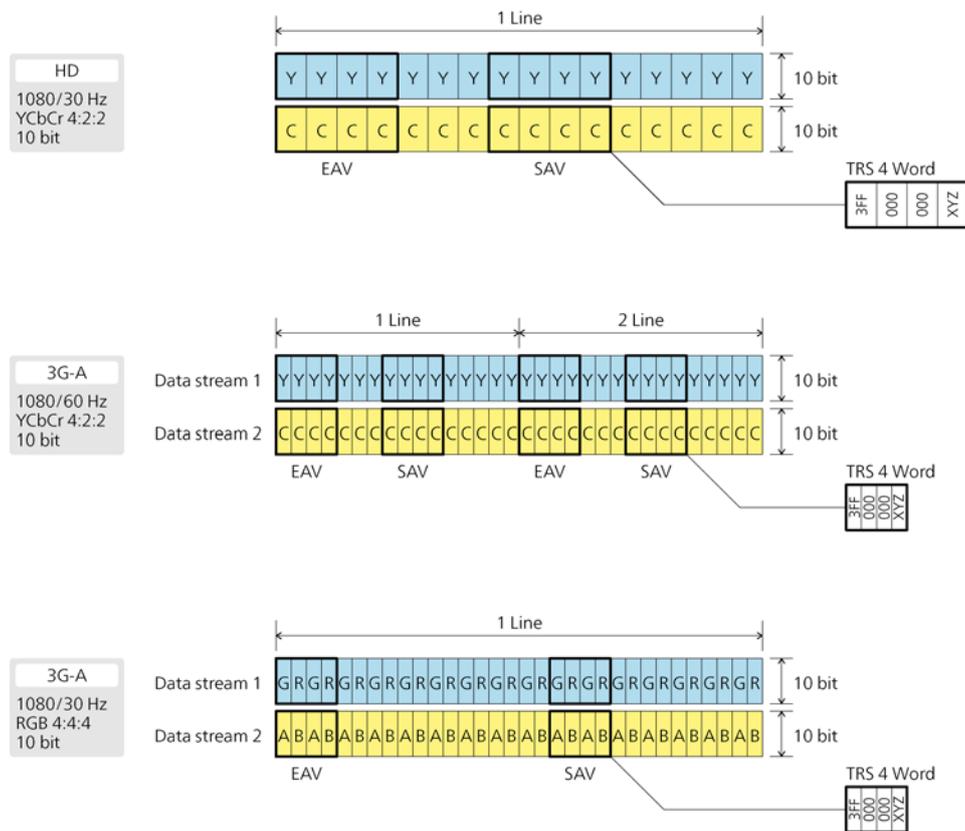


図 | SMPTE ST 425-5 より

3G-A とは

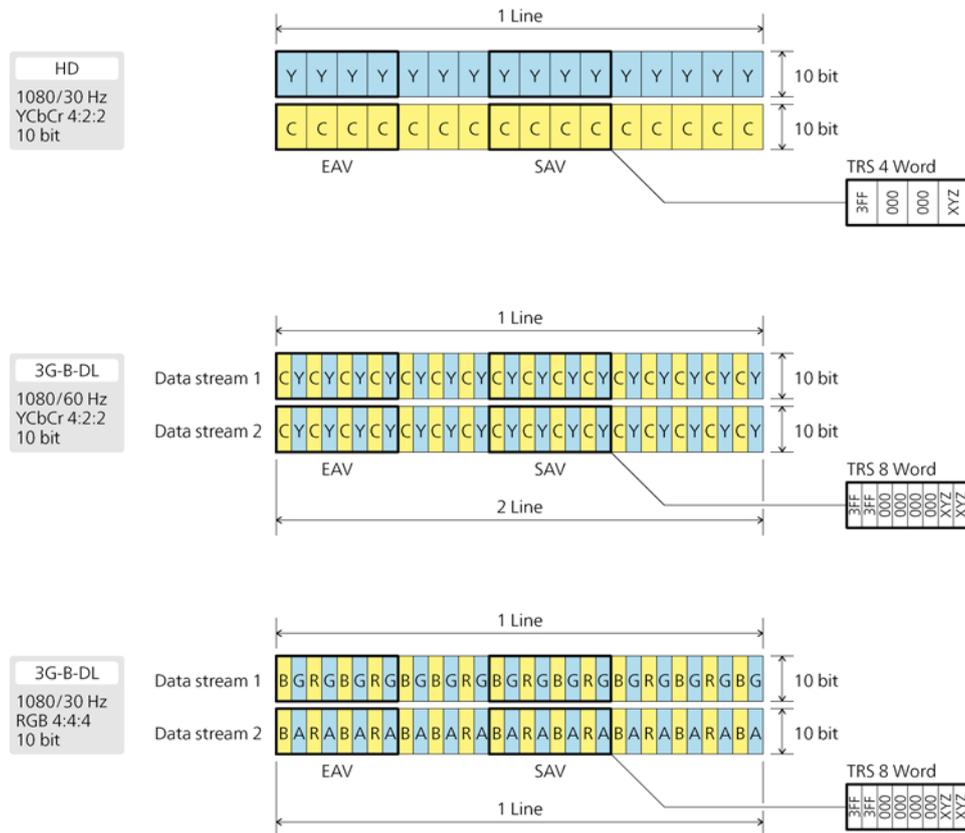
3G-SDI とは、HD-SDI の 2 倍の伝送レートを持つフォーマットで、3G-A と 3G-B の 2 種類があります。以下に 3G-A のデータ構造例を、HD の構造と合わせて示します。



なお、EAV は「End of Active Video」の略で有効映像期間の終わりを意味し、SAV は「Start of Active Video」の略で有効映像期間の始まりを意味します。そして EAV と SAV を総称して TRS(Timing Reference Signal)と呼んでいます。

3G-B-DL とは

3G-B とは、HD-SDI のデータ構造 2 本を 1 本にまとめた形式で、3G-B-DL は、HD-SDI デュアルリンクを 1 本で伝送することができます。以下に 3G-B-DL のデータ構造例を、HD の構造と合わせて示します。



03 4K の説明 (3G デュアルリンク)

2本の3G-SDI レベルB デュアルストリームマッピングからなる4Kについて

3G デュアルリンクについて

3G デュアルリンクとは、2本の「3G-SDI レベルB デュアルストリームマッピング(以下、3G-B-DS)」を使用して4K信号を伝送する方式です。

4K映像(Source image)はスクエアディビジョン方式、または2サンプルインターリーブ方式で4つのサブイメージに分割され、3G-B-DSで伝送されます。ただし、スクエアディビジョン方式の場合は4Kと認識されないため、注意が必要です。

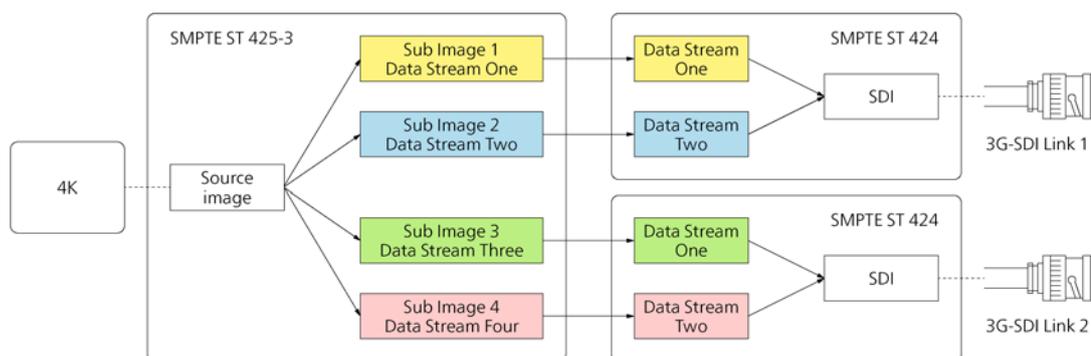


図 | SMPTE ST 425-3 より

04 4K の説明 (12G シングルリンク)

1本の12G-SDIからなる4Kについて

12G シングルリンクについて

12G シングルリンクとは、1本の「12G-SDI(以下、12G)」を使用して4K信号を伝送する方式です。

4K映像(Source image)は2サンプルインターリーブ方式で4つのサブイメージに分割され、マルチプレクス後に12Gで伝送されます。

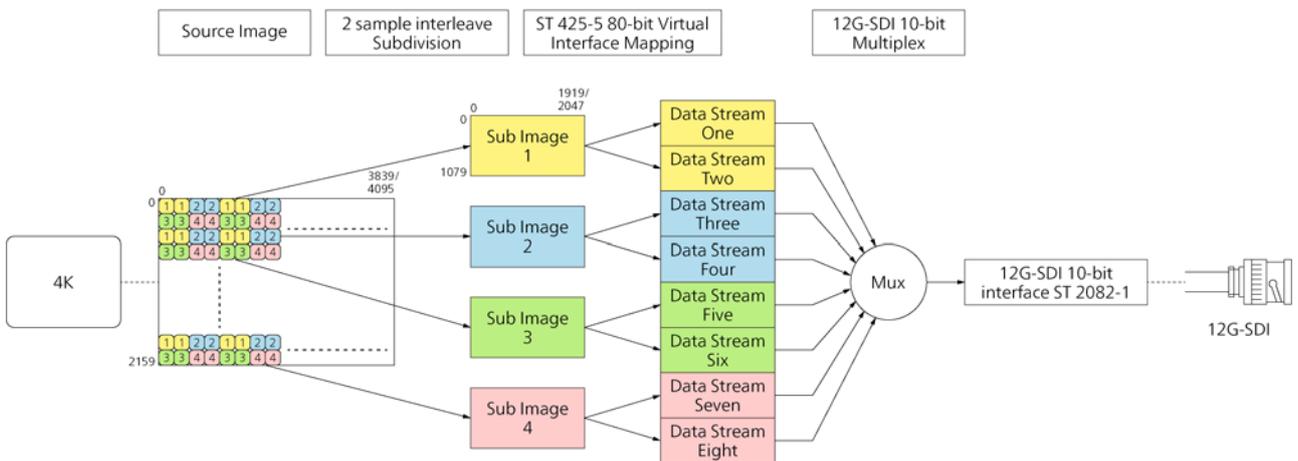


図 | SMPTE ST 2082-10 より

なお、上記のマルチプレクスは、以下のようにサブイメージ 4→2→3→1 の順に行われます。

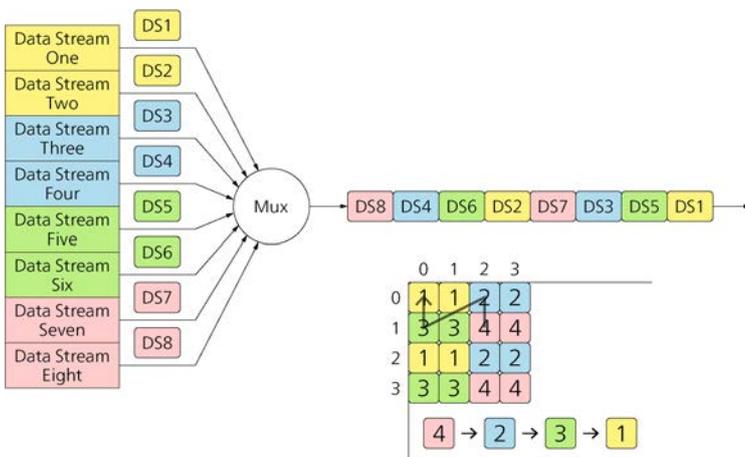


図 | マルチプレクス

12G の特性

12G-SDI の主な電気的特性を、3G-SDI および HD-SDI の特性と合わせて以下に示します。
立ち上がり時間、および立ち下がり時間は、振幅の 20%と 80%間の時間を指します。
また、タイミングジッタは 10Hz 以上、アライメントジッタは 100kHz 以上のジッタを指します。

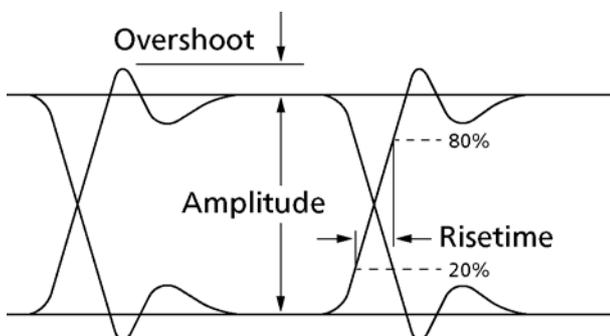


図 | アイパターン

項目	12G-SDI	3G-SDI	HD-SDI
規格	SMPTE ST 2082-1	SMPTE ST 424	SMPTE ST 292-1
振幅	800mV ± 10%	800mV ± 10%	800mV ± 10%
オーバーシュート	10%以下	10%以下	10%以下
立ち上がり時間	45ps 以下	135ps 以下	270ps 以下
立ち下がり時間			
立ち上がり時間と 立ち下がり時間の差	18ps 以下	50ps 以下	100ps 以下
タイミングジッタ	8UI 以下	2UI 以下	1UI 以下
アライメントジッタ	0.3UI 以下	0.3UI 以下	0.2UI 以下
リターンロス	15dB 以上 (5M~1.485GHz) 10dB 以上 (1.485G~3GHz) 7dB 以上 (3G~6GHz) 4dB 以上 (6G~12GHz)	15dB 以上 (5M~1.485GHz) 10dB 以上 (1.485G~2.97GHz)	15dB 以上 (5M~1.485GHz)

05 4K の測定

当社測定器を使用した 4K 信号の出力、および測定について

ここでは例として、当社の信号発生器 LT4610 から出力した 4K 信号を、当社の波形モニター LV5600 を使用して測定する手順を説明します。3 つのケース「3G クワッドリンク」、「3G デュアルリンク」、「12G シングルリンク」に分けて説明しています。

4K 信号の出力には、LT4610 のほかに LT4610-SER02 が必要です。

4K 信号の測定には、LV5600 のほかに LV5600-SER28 が必要です。12G の測定には、さらに LV5600-SER29 が必要です。

3G クワッドリンクの測定

LT4610 の設定

12G OPTION > SDI 1 > FORMAT > SYSTEM > 3G を以下のいずれかにします。

設定後、STRUCTURE や RATE で、カラーシステム、量子化制度、フレーム周波数を変更できます。

- ・ 3G(QL)-A 3840x2160 Square
- ・ 3G(QL)-A 3840x2160 2Sample
- ・ 3G(QL)-A 4096x2160 Square
- ・ 3G(QL)-A 4096x2160 2Sample
- ・ 3G(QL)-B-DL 3840x2160 Square
- ・ 3G(QL)-B-DL 3840x2160 2Sample
- ・ 3G(QL)-B-DL 4096x2160 Square
- ・ 3G(QL)-B-DL 4096x2160 2Sample

LV5600 の設定

[SYS] > [F1] SIGNAL IN OUT > SDI IN SETUP1 タブの System を「4K 3G Quad Link」にします。

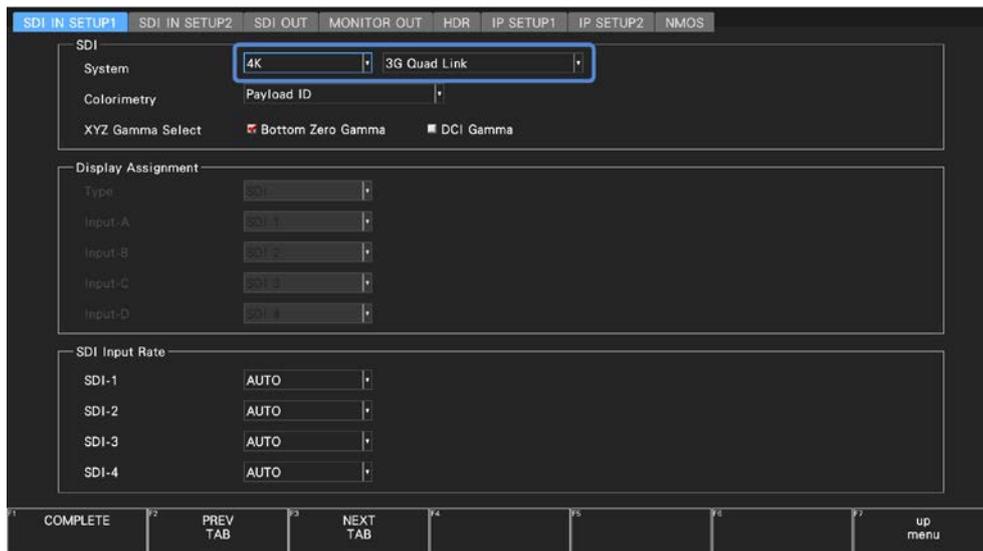


図 | SDI IN SETUP1

接続

LT4610 の端子 1~4 を、LV5600 の SDI INPUT 1~4 に接続します。

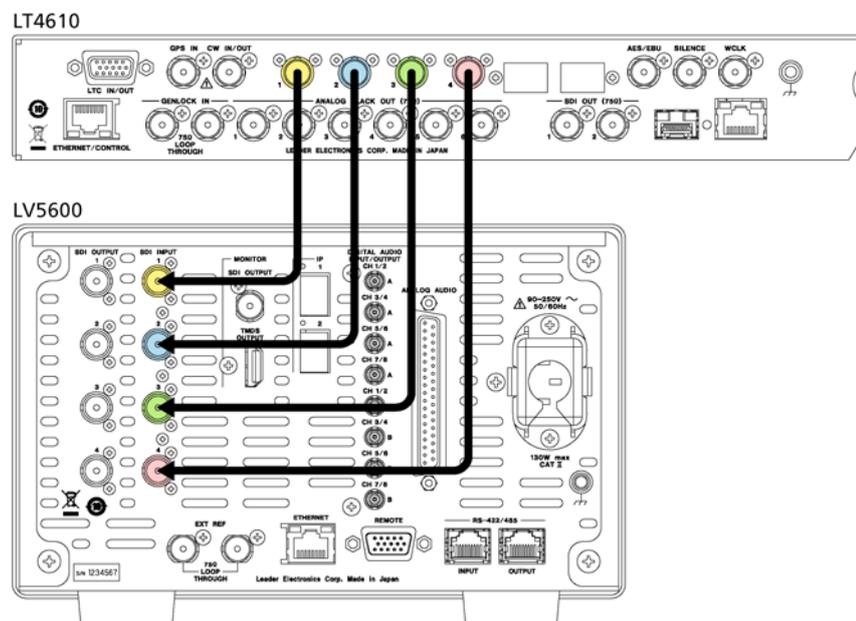


図 | 3G クワッドリンクの接続

測定

LV5600 に 4K 信号の測定画面が表示されます。

映像分割方式は自動で認識し、フォーマットに(2S)または(SQ)を表示します。

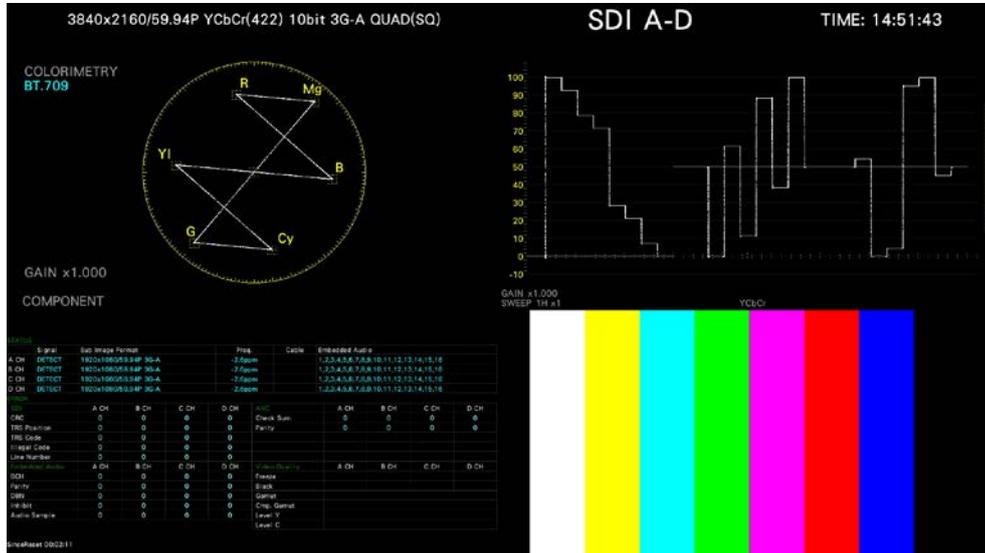


図 | 3G クワッドリンク測定画面

3G デュアルリンクの測定

LT4610 の設定

12G OPTION > SDI 1 > FORMAT > SYSTEM > 3G を以下のいずれかにします。

設定後、STRUCTURE や RATE で、カラーシステム、量子化制度、フレーム周波数を変更できます。

- ・ 3G(DL)-B-DS 3840x2160 Square
- ・ 3G(DL)-B-DS 3840x2160 2Sample
- ・ 3G(DL)-B-DS 4096x2160 Square
- ・ 3G(DL)-B-DS 4096x2160 2Sample

LV5600 の設定

[SYS] > [F1] SIGNAL IN OUT > SDI IN SETUP1 タブの System を「4K 3G Dual Link」にします。

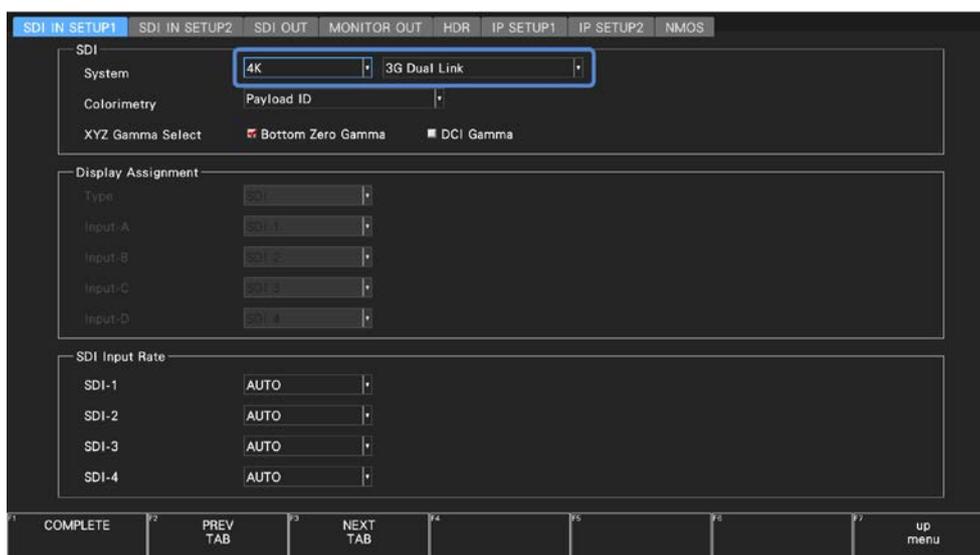


図 | SDI IN SETUP1

12G シングルリンクの測定

LT4610 の設定

12G OPTION > SDI 1 > FORMAT > SYSTEM > 12G を以下のいずれかにします。

設定後、STRUCTURE や RATE で、カラーシステム、量子化制度、フレーム周波数を変更できます。

- ・ 12G 3840x2160 12G
- ・ 12G 4096x2160 12G

LV5600 の設定

[SYS] > [F1] SIGNAL IN OUT > SDI IN SETUP1 タブの System を「4K 12G」にします。

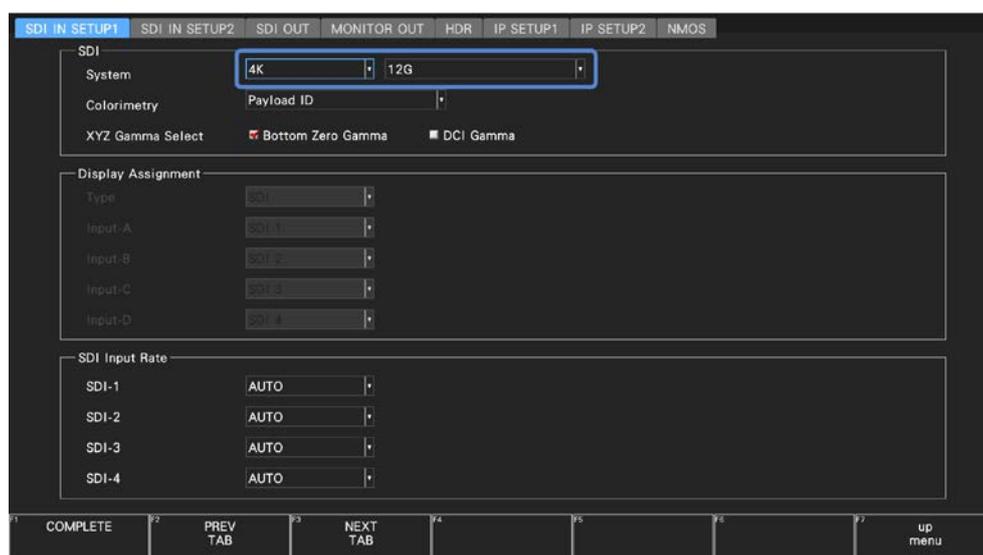


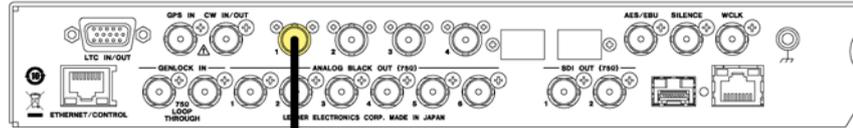
図 | SDI IN SETUP1

接続

LT4610 の端子 1 を、LV5600 の SDI INPUT 1 に接続します。

SDI INPUT 2~4 に接続することもできますが、1~4 に入力した 4K 信号を同時に測定することはできません。

LT4610



LV5600

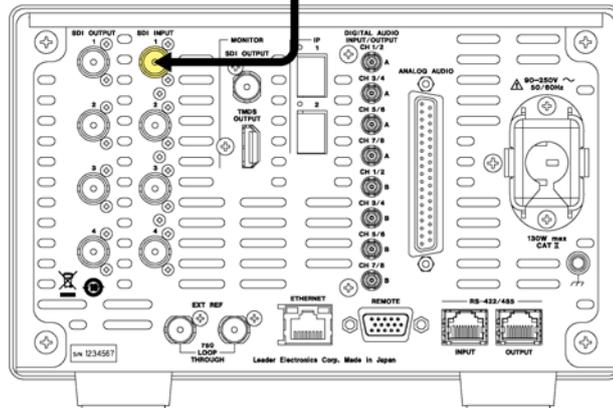


図 | 12G シングルリンクの接続

測定

LV5600 に 4K 信号の測定画面が表示されます。

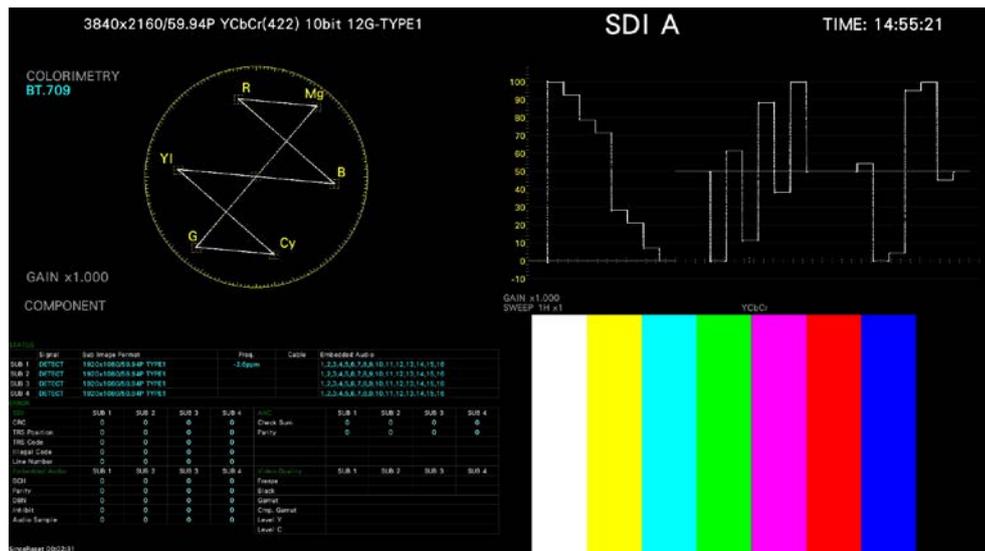


図 | 12G シングルリンク測定画面

06 用語集

4K に関する用語について

用語	説明
2 サンプルインターリーブ	映像を 2 サンプルずつ抜き出して 4 分割する方式。
スクエアディビジョン	映像を上下左右に 4 分割する方式。

リーダー電子株式会社

住所 | 〒223-8505 神奈川県横浜市港北区綱島東 2-6-33
電話 | 045-541-2122
メール | sales@leader.co.jp
URL | www.leader.co.jp
発行 | 2020 年 7 月 9 日 初版