

デジタルシネマ制作関連規格の動向

川上 一郎

今月に入ってから、ディズニーが20世紀FOXの買収合意を発表し、ネット配信大手のHULUを傘下に収めると同時に、FOXが映像化権利を手中にしていたマーベルコミックスの人気作品をも手にしたことが話題を呼んでいる。この、ハリウッド再編に関わる話題については別途お知らせすることにして、今月号ではデジタルシネマ制作関連での規格動向について紹介していく。

最初に紹介するのは、Windowsマシンが主流となる以前から活動していた、いわゆるPCモニターの各種規格を策定していたVESA(Video Electronics Standards Association)が先月発表したHDR対応モニターに関する規格(VESA High-performance Monitor and Display Compliance Test Specification (Display HDR CTS), Version 1.0, 27 November, 2017, www.vesa.org)である。PC黎明期には、各社のPCモニターは映像関連信号の互換性は皆無であり、いわゆるPC-AT互換機と称する機種が主流となり出した頃からVESA規格対応のPCモニターが一般的となってきた。最近では、家庭用TVでも、背面の取り付け穴位置がVESA規格準拠となってきたために、壁掛けアタッチメントや、マルチ画面で作業する方のマルチアーム型ディスプレイスタンドの取り付けに苦労することも無くなってきた。

この一方で、VESA規格は同期信号の極性や最低保持時間幅等の詳細定格について

は規定しなかったことから、例えば講演会場のプロジェクターでWindowsマシンでは正常に認識されたものの、Macは認識されなかったりした問題がよく起きていたことが思い出される。

このVESA規格団体が、HDR対応のハイ・パフォーマンス・モニターに認定規格を公表した。図に示しているように、この認証テストをクリアしたディスプレイには左側に示す認証ロゴが表示できるようになるために、来年の店頭に並ぶ各種PCモニターやノートPC、そしてディスプレイ一体型PCなどに、この認証マーク付き製品が並ぶことになる。

この認証テストの環境条件は、推奨室温が21℃で、180カンデラの輝度で30分白色を表示し、予熱時間とすることが規定されている。

認証マークの400,600,1000は、全面・黒(RGB輝度信号最低値:コード値=0)を60秒間表示するリセットタイム経過後に、全面・白(RGB輝度信号最高値:コード値=1023)を2秒・全画面黒を10秒間の表示を繰り返し行った場合の全面・白表示での最低輝度を示している。この繰り返し時間は、バックライトの点灯方式が冷陰極管(通常の蛍光灯が加熱型の陰極であるのに対して、加熱を必要としない陰極を使用する)では点灯当初の輝度が低い傾向がある。また、LED光源によるバックライトでも同様に点灯当初は輝度が低い。

さらに、バックライト輝度を表示画面に

合わせて輝度変調をかけるアクティブ制御型バックライトが主流となってきていることから、30分最高輝度を表示し続けた時の最高輝度についても各階層別に定義されている。DisplayHDR400では、長時間応答での最高輝度低下が320カンデラと規定されており短時間応答の80%としているが、DisplayHDR1000では600カンデラと60%許容範囲を広げており、VESA加盟各社のPCモニターの現状が垣間見える規格である。

コーナーボックスのテストは、四隅に画面面積の2.5%に相当する白色表示エリアを設けて、DisplayHDR400ではコード値=668、DisplayHDR600とDisplayHDR1000ではコード値=712の白色を表示したときの画面中央部の黒の最大輝度を規定しており、DisplayHDR400では0.40カンデラ、DisplayHDR600では0.10カンデラ、DisplayHDR1000では0.05カンデラと規定している。この規定は、バックライトの輝度制御が画面全体で行われている場合には非常に厳しい規格値であり、最低でもブロックごとのバックライト輝度制御が行われていないと達成できないことになる。

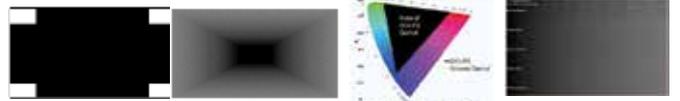
トンネルパターンでの黒レベル輝度については、画面中心部のコード値=16の黒を表示し、32段階で外周部がコード値=515となる段階的に中心部が黒くなっていくトンネルパターンで画面中心部の輝度が0.10カンデラとなることを要求してい

ディスプレイ HDR の特性階層要約

階層	短時間応答の 最低輝度	長時間応答の 最低輝度	コーナーボックス 最大黒レベル輝度	トンネルパターン 最大黒レベル輝度	ギャマットカバー率	最小ビット幅
 DisplayHDR™ 400	400	320	0.40	0.10	95% ITU-R BT.709	映像信号処理は10ビット ドライバーICは8ビット
 DisplayHDR™ 600	600	350	0.10	0.10	99% ITU-R BT.709 and 99% DCI-P3 D65	映像信号処理は10ビット 8 + 2bの量子化誤差処理 ドライバーICは8ビット
 DisplayHDR™ 1000	1000	600	0.05	0.10	99% ITU-R BT.709 and 99% DCI-P3 D65	映像信号処理は10ビット 8 + 2bの量子化誤差処理 ドライバーICは8ビット

全面黒で60秒経過後に
全面白2秒と全面黒10秒
ループ再生時最高輝度

全面黒で60秒経過後に
全面白を30分表示後の
最高輝度



HDMI2.1 の概要



4K48/50/60	4K100/120	8 MPixels
5K48/50/60	5K100/120	11 MPixels
8K48/50/60	8K100/120*	33 MPixels
10K48/50/60*	10K100/120*	44 MPixels

* Require Display Stream Compression (DSC)



Dynamic HDR image descriptor in metadata can be specific to each individual scene...



or even on a frame-by-frame basis

simulated images

SMPTE UHDTV 信号関連規格の概要

マルチリンク 3G SDI規格

映像フォーマット	フレームレート (名目上)	SDI規格	
		10-bit 4:2:0 10-bit 4:2:2	12-bit 4:2:0 12-bit 4:2:2 12-bit 4:4:4 10bit 4:4:4:(4)
UHDTV1	50,60	ST 425-5 Quad-link 3G	
	24,25,30	ST 425-3 Dual-link 3G	ST 425-5 Quad-link 3G

SMPTE ST435 シングルリンク10.692G光SDIリンク

映像フォーマット	フレームレート (名目上)	SDI規格	
		10-bit 4:2:0 10-bit 4:2:2	12-bit 4:2:0 12-bit 4:2:2 12-bit 4:4:4 10-bit 4:4:4
UHDTV1	24,25,30	ST 435-1 Single-link 10G	

シングル&マルチリンク6G SDI規格

映像フォーマット	フレームレート (名目上)	SDI規格	
		10-bit 4:2:0 10-bit 4:2:2	12-bit 4:2:0 12-bit 4:2:2 12-bit 4:4:4 10-bit 4:4:4:(4)
UHDTV2	22,25,30	ST 2081-12 Quad-link 6G SDI	
UHDTV1	100,120		
UHDTV1	50,60	ST 2081-11 Dual-link 6G SDI	ST 2081-12 Quad-link 6G SDI
	24,25,30	ST 2081-10 Single-link 6G SDI	ST 2081-11 Dual-link 6G SDI

25G 光SDIリンク

映像フォーマット	フレームレート (名目上)	SDI規格	
		10-bit 4:2:0 10-bit 4:2:2 10-bit 4:4:4	12-bit 4:2:0 12-bit 4:2:2 12-bit 4:4:4
UHDTV1	24,25,30 50,60	ST 2062-1 Single-link 25G	

シングル&マルチリンク12G SDI規格

映像フォーマット	フレームレート (名目上)	SDI規格	
		10-bit 4:2:0 10-bit 4:2:2	12-bit 4:2:0 12-bit 4:2:2 12-bit 4:4:4 10-bit 4:4:4:(4)
UHDTV2	50,60	ST 2081-12 Quad-link 12G SDI	
UHDTV2	24,25,30	ST 2082-11	ST 2082-12
UHDTV1	100,120	Dual-link 12G SDI	Quad-link 12G SDI
UHDTV1	50,60	ST 2082-10 Single-link 12G SDI	ST 2082-11 Dual-link 12G SDI
	24,25,30		ST 2082-10 Dual-link 12G SDI

ST 2036-4 マルチリンク 10.692Gb/s 光SDI規格

映像フォーマット	フレームレート (名目上)	10.692Gb/s SDI規格		
		10-bit /12-bit 4:2:0	10-bit /12-bit 4:2:2	10-bit /12-bit 4:4:4
UHDTV2	100,120	ST 2036-4 12-link 10G	ST 2036-4 16-link 10G	ST 2036-4 24-link 10G
	50,60	ST 2036-4 6-link 10G	ST 2036-4 8-link 10G	ST 2036-4 12-link 10G
UHDTV2	24,25,30	ST 2036-4 4-link 10G		ST 2036-4 6-link 10G
UHDTV1	100,120			
UHDTV1	50,60	ST 2036-4 3-link 10G		ST 2036-4 3-link 10G
	24,25,30	ST 2036-4 3-link 10G		ST 2036-4 3-link 10G

UHDTVシステム構成

分類	システム構成要件	輝度/RGBの 水平サンプル数	フレーム内 走査線数	フレームレート (HZ)
UHDTV1	3840x2160/23.98/p	3840	2160	24/1.001
	3840x2160/24/p	3840	2160	24
	3840x2160/25/p	3840	2160	25
	3840x2160/29.97/p	3840	2160	30/1.001
	3840x2160/30/p	3840	2160	30
	3840x2160/50/p	3840	2160	50
	3840x2160/59.94/p	3840	2160	60/1.001
	3840x2160/60/p	3840	2160	60
	3840x2160/100/p	3840	2160	100
	3840x2160/119.88/p	3840	2160	120/1.001
UHDTV2	3840x2160/120/p	3840	2160	120
	7680x4320/23.98/p	7680	4320	24/1.001
	7680x4320/24/p	7680	4320	24
	7680x4320/25/p	7680	4320	25
	7680x4320/29.97/p	7680	4320	30/1.001
	7680x4320/30/p	7680	4320	30
	7680x4320/50/p	7680	4320	50
	7680x4320/59.94/p	7680	4320	60/1.001
	7680x4320/60/p	7680	4320	60
	7680x4320/100/p	7680	4320	100
UHDTV1	7680x4320/119.88/p	7680	4320	120/1.001
	7680x4320/120/p	7680	4320	120

シングル&マルチリンク24G SDI規格

映像フォーマット	フレームレート (名目上)	SDI規格	
		10-bit 4:2:0 10-bit 4:2:2	12-bit 4:2:0 12-bit 4:2:2 12-bit 4:4:4 10-bit 4:4:4
UHDTV2	100,120	ST 2083-12 Quad-link 24G SDI	ST 2083-13 Octal-link 24G SDI
UHDTV2	50,60	ST 2083-11 Dual-link 24G SDI	ST 2083-12 Quad-link 24G SDI
UHDTV1	24,25,30	ST 2083-10 Single-link 24G SDI	ST 2083-11 Dual-link 24G SDI
UHDTV1	100,120		
UHDTV1	24,25,30,50,60		ST 2083-10 Single-link 24G SDI

ディスプレイインターフェースの比較

	VGA	DVI	HDMI	DisplayPort
コネクター形状	15ピンD型	24ピン3列形式+4ピン マイクロクロスセクション	19ピン2列	20ピン2列
帯域	150+MHz	4.8Gb/9.6Gb	4.8Gb/HDMI1.2 9.6Gb/HDMI1.3	10.8GB
電気定格	0.7Vp-p	3/6線TMDS+クロック	3線TMDS+クロック	PCI-Express,1/2/4データ
オーディオ対応	無し	無し	対応 HDMI-A	オプション
コンテンツ セキュリティ	無し	HDCP**(Opt)	HDCP**(Opt)	HDCP**(Opt)
その他の チャンネル	VESA DDC	VESA DDC	VESA DDC +CEO	AUXチャンネル (1M b/sec)
管理団体	無し : DDCバージョンはVESA	Digital Display Working Group	HDMI Founders	VESA

る。このテストパターンについても、コーナーボックスパターンと同様に、ブロック別のバックライト輝度制御が行われていないと達成できないことになる。

色空間の再現性については DisplayHDR400 では ITU-R BT.709 の 95% 以上を要求しており、DisplayHDR600 と DisplayHDR1000 については 99% 以上の色域再現性を要求しており、DCI P3 D65 についても 99% をカバーすることを推奨している。

映像信号のビット幅については DisplayHDR400 では GPU 迄の映像信号処理回路について 10 ビットの信号帯域を要求しているが、最終段の DA コンバータ IC については 8 ビットも許容している。

なお、DisplayHDR600 と DisplayHDR1000 については GPU 部での画郭変換ディザリング処理に於いて 8 ビット + 2 ビットのビット拡張を要求しており、オブジェクト輪郭部分での円滑なディザリング処理が必要としており、一歩前進と言えるところであるが、筆者の見解としては最終段の DA コンバータについても 10 ビットを要求して欲しいところである。

いわゆる PC モニターについても、今回の DisplayHDR 認証が定義されたことで、より高コントラストで画質再現性がある程度担保されることになることから、今後の編集工程における画像モニターも、この認証マーク付き PC モニターを採用することで映像編集の品質管理に VESA が貢献することを期待している。

さて、民生用映像機器については HDMI インターフェースがコンテンツ保護機能対応であることに加えて、3 本のデータラインが TMDs (Transition Minimized Differential Signaling: プラス・マイナスデータ線とシールド線の三線構成で高速データ転送を行う信号形式-) で有ることから高速伝送に適しており、また HDMI 団体を構成するメンバーにのみ詳細規格が開示される非公開規格であることから、自社製品の囲い込み (たとえば A 社のテレビに A 社のビデオデッキを HDMI ポート 1 に A 社

製の HDMI ケーブルで接続すると 1 台のリモコンで全てが操作できるなどの拡張機能を持たせる事ができる) が容易にできることから急速に普及している。

ディスプレイインターフェースの比較を表に示しているが、PC モニター用インターフェースとして最初に普及した VGA は 15 ピンの D 型コネクタを使用し、信号伝送帯域は 150MHz であった。オーディオ信号への対応が無く、かつ DVD やブルーレイ映像に要求されるコンテンツセキュリティ規格への対応が無いことから民生用機器への展開が無かったことからプリンター用インターフェースのセントロニクスと同様に最新の機器ではほとんどサポートされていない。

VGA に続くインターフェースとして登場した DVI インターフェースは、DVI-I が 4.8Gbps・DVI-D が 9.6Gbps と広帯域であったが、VGA と同様に民生用機器への展開が無かったことから、最近のデスクトップ PC でもほとんどサポートされていない。

DisplayPort は PCI-Express に依存した信号形式であり、民生用機器には全く対応していないが、CG 関係やワークステーション関係のマルチディスプレイ環境ではカスケード接続ができることからグラフィックカードへの実装は多い。一例として NVIDIA Quadro P6000/24GB では Display Port が 4 チャンネルに DVI-D が 1 チャンネル実装されている。また、ASUS の最新ビデオカード STRIX-GTX1060-06G-GAMING では DisplayPort 1.4 が 2 チャンネル、HDMI 2.0 が 2 チャンネル、そして DVI-D が 1 チャンネルとなっている。今後の VR/AR ブームの展開とともに PC 用グラフィックカードでメインとなるインターフェースについてもカバーできる信号帯域の差で何が主流となって来るのかは注目される所である。

HDMI 1.4 では、信号伝送帯域が 10.2Gbps であったが HDMI 2.0 では 18Gbps に、そして先般アナウンスされた

HDMI 2.1 では 48Gbps にまで伝送帯域を高速化してきており、4K/8K のさらに次世代となる 10K (10240x4320) 映像までをターゲットにしている。

そして、カットごとの HDR 対応を可能とするダイナミック HDR をサポートすると表明しており、この HDMI 2.1 対応テレビが普及すれば欧州放送連合が推奨しているハイブリッド・ログ・ガンマによるスポーツ実況中継での HDR 対応が家庭に届くことになる。

屋外でのスポーツ中継では、直射日光の入り込む観客席と日陰のグラウンドとの輝度帯域の違いが大きな問題となり、肉眼では問題無く認識できる輝度範囲でも、放送用映像信号で再現可能な輝度帯域に圧縮されると“白飛び”、“黒つぶれ”の全く見るに堪えない映像となってしまふ。

カットごとに HDR の ON/OFF が制御できれば、スポーツ中継でのダイナミックガンマが威力を発揮することになり、自由視点映像との組み合わせを含めてスポーツ中継が持つ映像としての市場価値拡大に直結する話題である。

シーンごとでの HDR 適用有無だけの制御であれば、映画制作関係者から良く言われる作品としての映像表現を高めるために“レンダリングをきっちりやれば良いだけの話”で終わってしまう危うさを HDR は秘めていることから、ハイブリッドガンマによる屋外スポーツ中継での階調再現性改善こそが本来の役目であると筆者は考えている。

さて、HDMI 2.1 の 48Gbps について、MAC を愛用されている方々は“なんだ、Thunderbolt より少し早いだけか”と感じられるであろう。汎用データインターフェースでは、Intel が Thunderbolt 3.0 のコネクタを USB 3.1 タイプ C と共通化 (実際には Thunderbolt 3.1 が 1 ピン多い構成となっているが識別に使用されるだけで実用的にはコンパチと言って良い) したことから映像クリエイター系の方々にとっては、一挙に汎用性が高まった事に加えて、タブレットや 2in1 PC、ノート PC 等の汎用イ

ンターフェイスが雪崩を打って切り替わっている現状がある。

この現象を考えると、映像信号専用インターフェイスとしての市場規模より、コネクタ互換でより高速なインターフェイス規格ができれば一気に市場が拡大し、合わせて信号用 IC の価格も安価となることから専用インターフェイスも終焉の時代を迎えることも十分に考えられる。

ここまでは、民生用映像信号の話題であったが、先般の InterBEE2017 でも 12G-SDI インターフェイス製品が展示されだしてきている。SMPTE が UHD TV 関連の SMPTE 関連規格をダイアグラムとしてまとめた "UHD TV Ecosystem Reference Diagram" に記載された関連規格の現状を紹介させていただく。

まず、UHD TV システム構成の表を見ていただくといわゆる 4K 映像を UHD TV 1 としてまとめてあり、毎秒 23.98 フレームのプロレシブ映像から毎秒 120 フレームのプログレシブ映像まで 11 種類の映像フォーマットが定義されている。同様に 8K 映像も同様なフレームレートが 11 種類定義されているが、ブラウン管を電子線掃引で発光させていた時代の名残である中途半端なフレームレートも未だに規格として存在を続けている。

たとえば、家庭に届いている映像は毎秒 59.94 フレームであるが、このフレームレートは 60/1.001 として定義されており、米国で始まった NTSC によるテレビ放送が商用電源周波数と同じ 60Hz であったことから、電磁石に残る残存磁気の影響を緩和するためにテレビ側の掃引周波数を 1001 分の 1 ずらしたことに起因している。ブラウン管テレビはとくに生産を中止し、アナログ放送も終焉を迎えているにもかかわらず、この 1001 分の 1 だけが生き残っていることは、滑稽であるといえる。過去の規格や現場で使用されている放送関連機器の現状からうやむやにされているのが実態である。

また、ブラウン管時代の名残である、水平・垂直のブランキング時間定義もそのまま

あり、ノンリニア編集では、このブランキング部分を一切無くして伝送帯域確保を図っている。同様にネットワーク回線を使用した映像編集では、ネットワークプロトコルを全て UDP (ユーザーが独自に定義したパケット長で送受信を行い、パケットごとのエラー訂正などの冗長部分を排除して伝送効率を上げる) とすることが一般的に行われている。

さて、HDTV 放送時代には 1.5G の SDI インターフェイスで充分であった信号帯域が 4K では 3G-SDI が必須となり、10-bit 4:2:0&4:2:2 では 50・60 フレームの映像伝送には Quad-Link で 4 本の伝送ケーブルが必要となるが、12bit 4:4:4 の 50/60 フレーム伝送には対応できず、24/25/30 フレームの伝送までしか対応できない。

6G の SDI ケーブルでは、UHD TV 2 (8K) 映像伝送には 10bit 4:2:2 で 30 フレームに対応するには Quad-Link で 4 本の伝送ケーブルが必要となるが、12bit 伝送には対応できない。なを、6G の Quad-Link で 4K 映像 120 フレームの伝送が可能であり、スポーツ中継などで競技場全体を俯瞰し、かつスロー再生対応可能な映像伝送にも対応できる。また、4K 映像であれば 60 フレームの 12bit4:4:4 映像や 10bit4:4:4(4) が Quad-Link で伝送できる。

筆者註：10bit4:4:4(4) の、(4) はオーバーレイ用信号であり、クロマキー信号やテロップ等の映像信号に使用される)

今回の InterBEE2017 でも各社のブースに展示された 12G の SDI 規格では 8K-10bit4:2:2 の 50/60 フレームが Quad-Link で伝送可能となり 12bit4:4:4 も 30 フレーム迄は伝送可能となる。4K 映像では、12bit4:4:4 の 120 フレーム映像が Quad-Link で伝送可能となるためにスロー再生用 4K カメラの非圧縮収録には威力を発揮しそうである。

まだ製品化は先となりそうであるが 24G の SDI であれば 8K 映像の 12bit4:4:4 で 120 フレームが Octal-Link (8 本) で伝

送できるために、スーパーボールや欧州サッカー選手権などのビッグイベントマスター映像収録には登場しそそうである。

光ファイバーによる SDI データリンクでも、従来の 10.692G の ST435-1 に変わる 25G の規格 (ST2062-1) が制定されており、4K 映像であれば 60 フレームまでの 12bit 4:4:4 が伝送可能である。

また、10.692G 光リンクの多重化についても ST2036-4 が制定され、8K 映像 120 フレームも 12bit4:4:4 が 24 本の多重リンクで伝送可能となっている。4K 映像の 120 フレーム伝送では 12bit4:4:4 が 6 本の多重リンクで伝送できる。

25G 光リンクについても多重化伝送の規格が策定され対応製品が上市されれば 120 フレームでの 12bit4:4:4 が 10 本で伝送できることになり現場でのハンドリングも格段にスマートとなってくる。

民生用映像信号インターフェイスについては放送用機器の市場規模に比べると数十倍から百倍程度まで市場規模が大きくなることに加えて、信号の伝送距離が数メートル程度であることから数多くの企業が参入し、かつ価格競争の激しさ、そして各団体の生き残りをかけた次世代製品の開発意欲も強い。したがって、伝送距離さえ問題無ければ HDMI 2.1 は 3 線で 48Gbps であり、2 本で 96Gbps、4 本で 192Gbps に到達することから、HDMI 2.1 の多重化アダプターを開発する方が 8K 映像のハンドリングには有利となる可能性が高い。

その意味では、SMPTE による映像信号インターフェイスの規格策定も業界の主導権を握るポジションでは無くなってきたのではと感じさせる今日この頃である。すでに、SDI 信号については旧来の専用 IC を使用する回路設計ではなく、FPGA で直接ハンドリングできる時代であり、民生用機器の多重化・信頼性向上、そして伝送距離の延長などの方向に注力するほうが、よりスマートと考えている。

Ichiro Kawakami
デジタル・ルック・ラボ