

**Panasonic の考える  
スタジオシステム  
SDR/HDR Hybrid  
オペレーション Ver 1.3c**

2017 年 8 月

パナソニック株式会社

メディアエンターテインメント事業部

## 概要

映像の高画質化は、映像制作者、映像機器メーカーの常に追い求める事であり、これまで解像度の向上、圧縮技術の発展など、各種のアプローチを取ってきた。

近年、映像表示技術の発展により、表現できるダイナミックレンジの伸長、色域の拡大など、これまでのテレビジョン映像信号のベースを超える映像表現が可能になってきている。

社会インフラとしての地上波放送の規格を変える事は簡単ではないが、インターネット映像配信など新規の映像配信方法では、解像度、ダイナミックレンジ、色域の拡大を図った UHD/HDR/BT.2020 規格による映像の配信が計画されている。

一方で、現状の地上波放送に代表される通常のハイビジョン映像の制作時に、大きなコストアップなしに、新規格(UHD, HDR, BT.2020 色域)での映像制作が同時にできる事が望ましい。

本稿では、この実現に向けた パナソニックとしての映像制作機器への技術開発を説明する。

## HDR でのライブ放送

HDR 映像を制作する際に、ポストプロダクションのプロセスが入り、撮影と、放送(上映)に数日レベルのタイムラグがある場合と、数フレームから数秒遅れでのライブ放送(上映)を基本とする場合では、その取扱いが大きく事なる。

前者のポストプロダクションでの HDR 映像制作(グレーディング)は、すでに各種ツールが充実しており、時間をかけてモニターで映像の推敲を行い、結果を視聴者に見せる事ができるので失敗は少ない。

後者のライブ放送の場合は、基本的に映像品質はカメラで確定し、演出的効果をスイッチャーで加えていく事となる。ほぼリアルタイムで映像品質を確定し、そのまま視聴者に見せる事になるため、失敗(予期せぬ品質の映像を見せてしまう)のない様、映像品質を即時に決める機能がカメラに求められる。

ライブ放送において、概要で述べたように、新規の映像配信システムへの新規格(UHD, HDR, BT2020 色域)映像と、既存の映像(HD, SDR, BT.709 色域)を同時に制作するには、カメラシステムには 両規格の映像を無理なくつくる機能が求められる。

注)

本稿では 新規格映像として UHD, HDR, BT.2020 色域を常にパッケージとして説明を進めるが、解像度、ダイナミックレンジ、色域は別々にも取り扱う事ができる。つまり、HD 解像度で HDR 映像、BT.709 色域という映像も実際の場合では使用されると思われる

## ライブ放送での HDR BT.2084 か HLG か？

HDRには 表示系を基準とした BT.2084 (PQ)の規格と 撮影系での用途を考慮した HLG(Hybrid Log Gamma) がある。

BT.2084 ではディスプレイの画面上で明るさを絶対値で規定する。映画等のパッケージメディアを制作者の意図通り見せるにはわかりやすいシステムであり、ポストプロダクションのグレーディングで画を作りこめる場合には適切な規格となっている。

映画の HDR 配布のパッケージメディアとして考えられる UHD ブルーレイディスクでは、この PQ からのサブセットとして HDR10 が基本的に同じガンマ特性で規格化されている。

一方でライブ放送の場合は、現行のテレビシステム(HD 解像度、SDR、BT.709 色域)との同時出力を考え、各種の輝度性能を持つ TV でもその最大限のダイナミックレンジを活用する相対的な輝度表現である HLG が使用される。

注)

現行の HD SDR テレビジョン信号では 黒からピーク輝度までを信号の 100%内に入れて表現する相対的なシステムになっている。

加えて、HLG は現行の SDR 信号との互換性も、ある程度考慮された信号規格となっている。

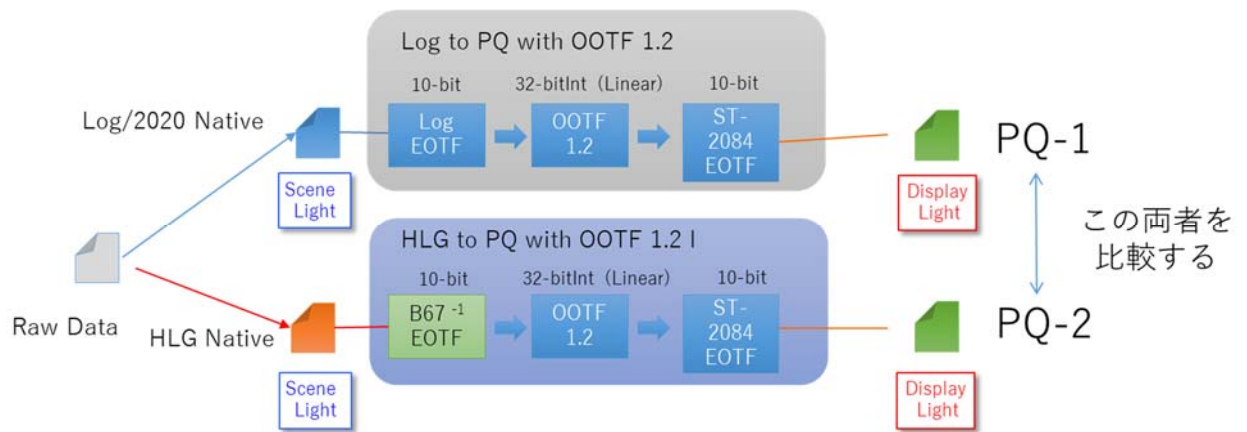
この様に、放送(配信)されるライブ UHD HDR 信号は、HLG 特性が基本となる。この信号規格としては ITU-R BT.2100 として PQ とともに規定されている。

	BT.709	BT.2020	BT.2100
解像度	HD	4K, 8K	HD, 4K, 8K
フレーム周波数	24/1.001, 24, 25, 30/1.001, 30 50, 60/1.001, 60	24/1.001, 24, 25, 30/1.001, 30 50, 60/1.001, 60 120/1.001, 120	24/1.001, 24, 25, 30/1.001, 30 50, 60/1.001, 60 120/1.001, 120
表示方式	Interlace Progressive	Progressive	Progressive
ダイナミックレンジ	SDR	SDR	HDR PQ (BT.2084) HLG
色域	BT.709	BT.2020	BT.2020
ビット	8, 10 bit	10, 12 bit	10, 12 bit

## ライブ カメラ出力 HLG で出すか？ Log で出すか？

HDR 放送は HLG 規格で配信されるにしても、同じコンテンツがブルーレイのパッケージメディアとして後日販売される事は多くある。このブルーレイHDRはPQベースのHDR10でエンコードされる事になる。この為、カメラ出力をLogで出しておいたほうが、その後のHDRグレーディングに有利との見方はあるが、実質的に HLG 出力から ST.2084 グレーディングした場合と、Log撮影データから ST.2084 グレーディングした場合に、どれだけの有意差があるか検証を行った。

結果的には、コンテンツが 1000nits 以下で制限されている場合は、HLG からのグレーディングとLogからのグレーディングで完成した ST.2084 コンテンツには差は認められなかった。



この作成方式の違いに差が出る可能性としては

- (1) 1000 nits を大幅に超える高輝度部分が映像に含まれる場合、HLG では表現が困難
  - (2) Log の持つ階調分解能が HLG の 10bit を通す事で損なわれる
- の 2 点が考えられる。

現状、最新の民生用 TV セットの輝度が 1000nits を一定の上限にしていること、ITU 等でも PQ と HLG の変換時の想定として TV セットの輝度は 1000nits 前提となっていること、また 1000nits 以上の高輝度は映像制作者にも視聴者にも眩しすぎて目が疲れる、と言われる状況から (1) は実質的に問題ないと考える。

また (2) においても 実際の信号交換、配信が 422 10bit をベースに行われる事、モニターの階調表現力に制限がある事から、問題は無いと考えられる。

さらに、スイッチャーシステムを Log ベースで構成した場合、回線から送られてきた HLG を Log に変換し、再度 HLG に変換する操作が必要になることから、機材の必要性、変換誤差の問題等が出てくる。

将来の技術進歩のため、Log で出力する事をまったく否定するものではないが、カメラから HLG をそのまま出す事で下記のメリットがあり、現状ではこのメリットを活かす方が有利と思われる。

- (1) カメラ出力をそのまま配信に使える。Log から HLG への変換機材は必要ない。そのまま記録し、再生信号を配信に使用する事も可能となる。
- (2) カメラ出力をそのまま HLG 対応モニターに送る事ができ、撮影時の映像の確認が容易
- (3) 映像確認用にはガンマ変換機能を持っていない市販の TV も使用できる。
- (4) Log のモニターではディスプレイの最大輝度の違いにより表示される情報が異なるが、HLG のモニターでは信号全域の表示が担保されている
- (5) システムを HLG に統一することで、変換機材の要否、変換誤差の問題等を考慮

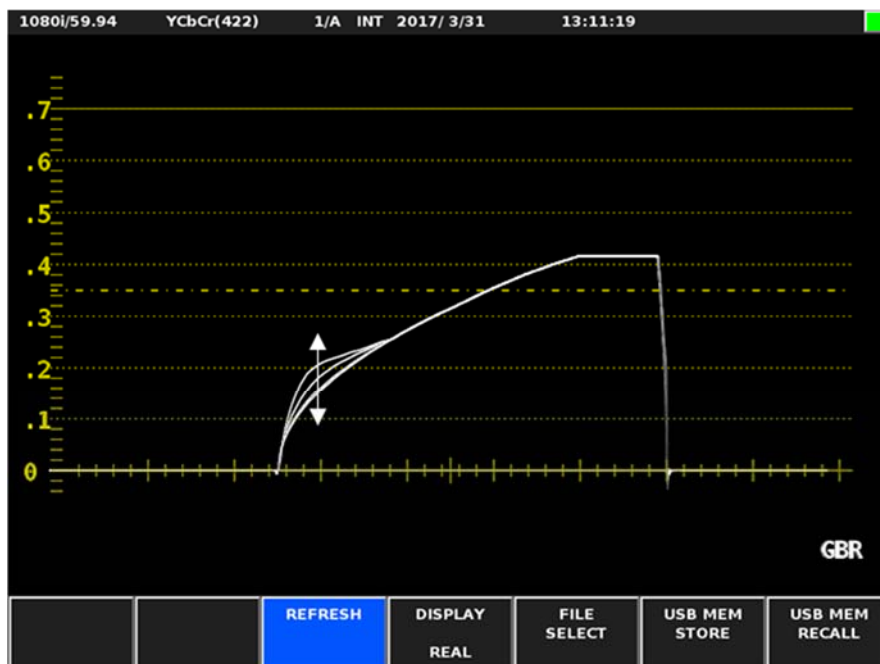
する必要がなくなる。

## ライブ カメラ出力 HLG 信号 画作り機能

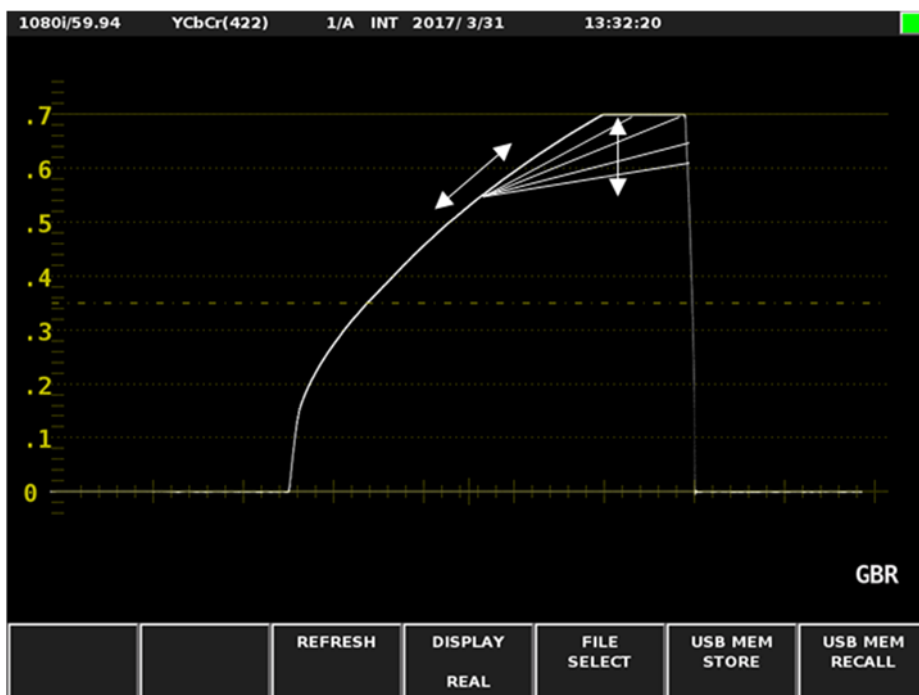
これまでの SDR 撮影において、表現力を高めるために、スタジオカメラには、ブラックガンマ、ニー調整、カラーマトリックスの調整など各種の画作り機能が装備されている。

HDR 撮影においても、シーンによっては 同様の画作り機能が期待される。

当社の HDR 対応スタジオカメラでは ブラックガンマとニー調整、カラーマトリックスなど SDR と同様な画質調整機能を持っており、シーン、作り手の感性に応じて、適切な画作りの出来る構成になっている。この画の確認のためにも、スタジオカメラからの HDR 出力はそのままモニターできる HLG で出力するのが適切と考えている。



MASTER BLACK GAMMAの可変例(HDR信号)



Kneeの可変例(HDR信号)

## スタジオカメラ SDR/HDR Hybrid(同時出力) オペレーション

ライブ番組やイベントの放送、配信の場合、地上波放送は HD-SDR であるが、プライム配信は UHD-HDR(または HD-HDR)で同時に行われる事が想定される。

SDR/HDR の同時放送において、それぞれ SDR と HDR の別のカメラ、別の信号処理システムを設ける事は 2 重のコストが掛かってしまい非現実的であり、1 台のカメラから SDR と HDR の信号が同時に出力される事が望ましい。

カメラの絞り調整は一つしかないが、オペレーター(カメラマン、または VE:ビデオエンジニア)は SDR/HDR 共にレベル調整の成り立った(それぞれの表現力を活かした) SDR と HDR の映像となるよう、絞り調整をしなければならない。

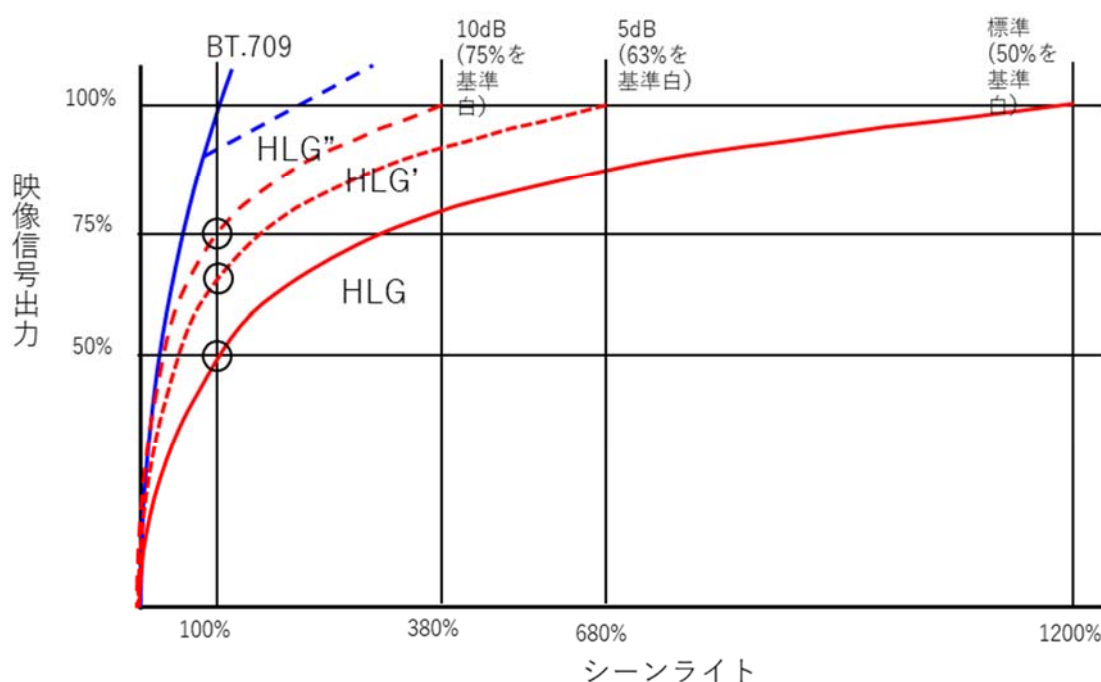
基本的には、オペレーターは HDR, SDR 双方の映像を確認し、100%以上の領域で HDR 特性が出ている事を確認しながら、SDR 映像で 100%以下でも映像として表現できている事を確認する必要がある。

SDR/HDR Hybrid オペレーションのできるカメラとしては、上記の絞り調整をオペレーターが迷いなくできるような機能をカメラに持たせる必要がある。このためにはカメラから出る HDR 信号と SDR 信号の関係性をしっかり定義する機能開発が必要となる。SDR と HDR(HLG)のガンマカーブは厳密に規定されているので、このカーブに沿った信号を出

せば良いと考えられがちであるが、規定通りに出力した場合、同じ 100%の映像を撮影した場合には、HDR 対応モニターの方が SDR 対応モニターより暗く映る。また、SDR-TV における信号の規格は 100%最大輝度 100nits を想定しているが、現実にはTVが持つ輝度いっぱいまで明るくして表示するため、HDR 対応モニターより SDR モニターの方が明るくなるという逆転現象が起きてしまう。

以下、グラフを用いて詳細に説明する。

## EOTF(カメラ側のガンマカーブ)



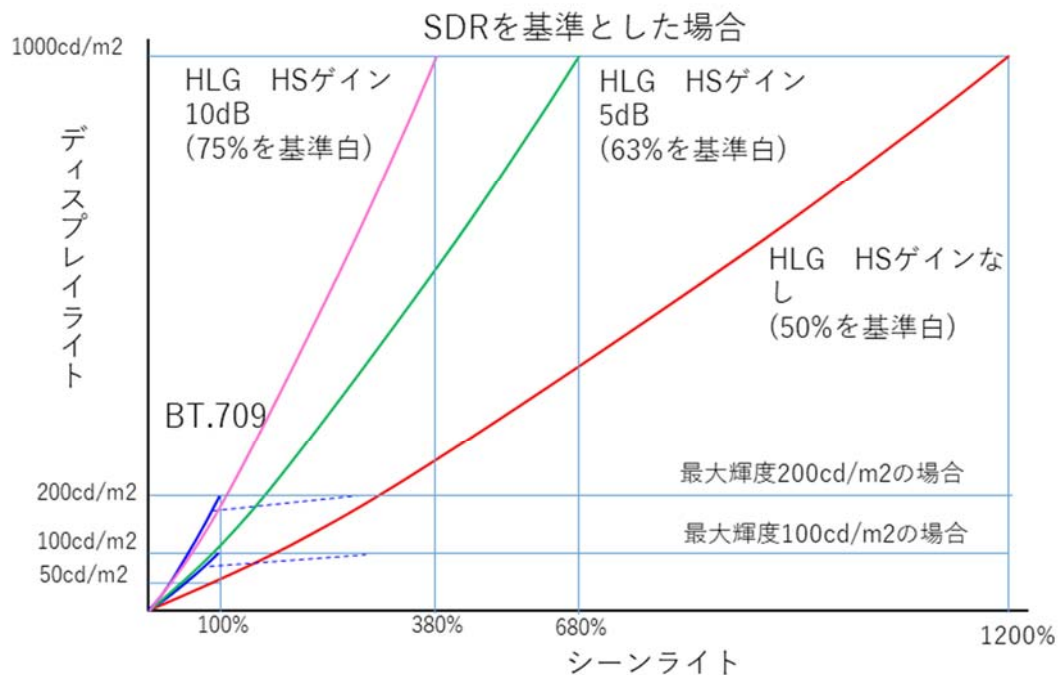
上図は SDR (BT.709 青色)とHDR (HLG/STD-B67、赤色)の基本的なガンマカーブ特性である。

SDR における 100%は HDR では 50%となっているが、このグラフはカメラ側の変換カーブ(OETF)であることに注意する必要がある。

モニター上での、シーンライト(撮影しようとする被写体の明るさ)と、モニター表示の明るさの関係(OOTF)は以下のグラフで示される。



## OOTF(被写体とディスプレイ表示の関係)



シーンライト 100%のレベルの 白い物体が撮影された場合、SDR-TV が 規格通り 100nitsで表示し、HDR-TV が1200%を 1000nits で表示すると

白い物体のレベル SDR-TV 画面上 100nits

白い物体のレベル HDR-TV 画面上 50nits (SDR-TV の半分の明るさ)

となり、通常の明るさレベルにおいては、SDR-TV の方が明るく表現されることになる(青色の線)。さらに、現状の民生用 SDR-TV では画面の最高輝度はさらに高いものが多いこと、SDR-TV の方が明るく見えてしまい、HDRらしさが表現できないことになる。

これを避けるために、HLG映像とSDR映像間であらかじめ一定のゲイン差をつけておき、SDR映像をベースに映像調整を行うことが想定されている。これにより、SDR映像は従来同様の映像を得つつ、HLG映像ではHDRのハイダイナミックレンジを有効に活用した画作りが可能となる。

HDR映像とSDR映像のゲイン差については運用により最適値を設定する必要があるが、番組交換などを考慮すると、最終的には固定値になることが想定される。

SDR/HDR 同時出力オペレーションにおける SDR 信号の HDR 信号へのマッピング法について検討が進んでおり、100% SDR 信号を 75% HLG 信号(ピーク 1000 cd/m<sup>2</sup> で 200 cd/m<sup>2</sup> 相当)に対応する案(ピンクの線)と、100% SDR 信号を 63% HLG 信号(ピーク 1000 cd/m<sup>2</sup> で 100 cd/m<sup>2</sup> 相当)に対応する案(緑の線)が具体的に検討されている。

## HLG での OOTF と SDR の OOTF の違いについて

映像システムにおいては、現実のシーン(リニア信号)をカメラで一旦電気信号に変換し、その電気信号をモニターでディスプレイの光(リニア信号)に変換している。カメラ側での変換を OETF(Opto-Electronic Transfer Function)、モニター側での変換を EOTF(Electro-Optical Transfer Function)と呼び、通常はカメラ側では暗部を持ち上げた特性が、モニター側では逆にハイライトを持ち上げた特性が適用される。

従来の SDR システム(BT.709)においては、カメラ側の OETF が約 0.45(1/2.2)、モニター側の EOTF が CRT の特性から 2.4 となっており完全な逆特性になっておらず、1.2 のガンマが残った形となっているが、これはシステム全体の特性として、OOTF(Opto-Optical Transfer Function)と呼ばれている。このように、OOTF は現実のシーンとディスプレイの光の間の変換関数であって、かならずしもリニアな関係ではない。OOTF は、現実のシーンとモニターディスプレイとの End to End の映像変換を表しており、意図・表現に関する調整を含むものとなる。

ここで、従来の SDR 規定では OOTF は R,G,B それぞれの信号に対してガンマを適用する形となっていたが、BT.2020 における HLG 規定では、輝度に対してのみガンマを適用する形に変更されている。これは各コンポーネントに個別にガンマカーブを適用すると色歪が発生するため、それを避けるためである。また、OOTF のガンマ値はディスプレイのピーク輝度に応じて変更される。これは、映像信号を表示する際に、ディスプレイのピーク輝度によらず知覚的に同様の見え方を再現するためとなっている。

この HLG と SDR の OOTF の違いによる見え方の違いは、具体的には HLG の方が色が薄く見える等で現れるが、上記のように新しい方式を運用する上での意図的な仕組みによるものであり、その信号をもとに受信機側でも民生セットの設計・画作りが行われることを考えると、送出側では補正等を行わず、規定を順守した運用が望ましいと考える。

## HDR 映像調整で SDR 映像を確立するゲインと Knee の制御

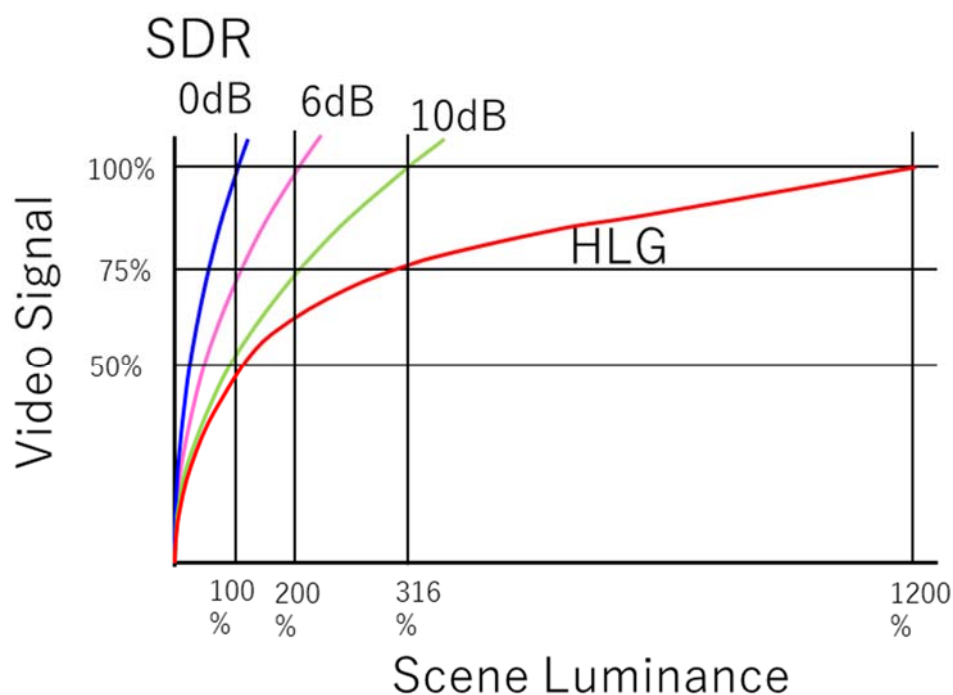
前章では、SDR と HDR のサイマル出力では SDR と HDR の信号にシーンに応じたゲイン差を設ける事が必要な事を説明した。

画面が明るく高輝度物体が多くある場合(ダイナミックレンジが広い被写体)に対しては、SDR と HDR には約-10dB のゲイン差を設け、HDR の 75%点を SDR における 100%レベルに設定すると、SDR と HDR 映像 共に成立しやすい条件となる。

また、ダイナミックレンジのもう少し狭い映像ではゲイン差を下げた設定が適切となる。

この様に、シーンに応じて SDR と HDR の変換に適切なゲイン差を設定する事が両方の特性を引き出し、SDR 映像の確認で、それに応じた HDR 映像を作る実際的な解となる。

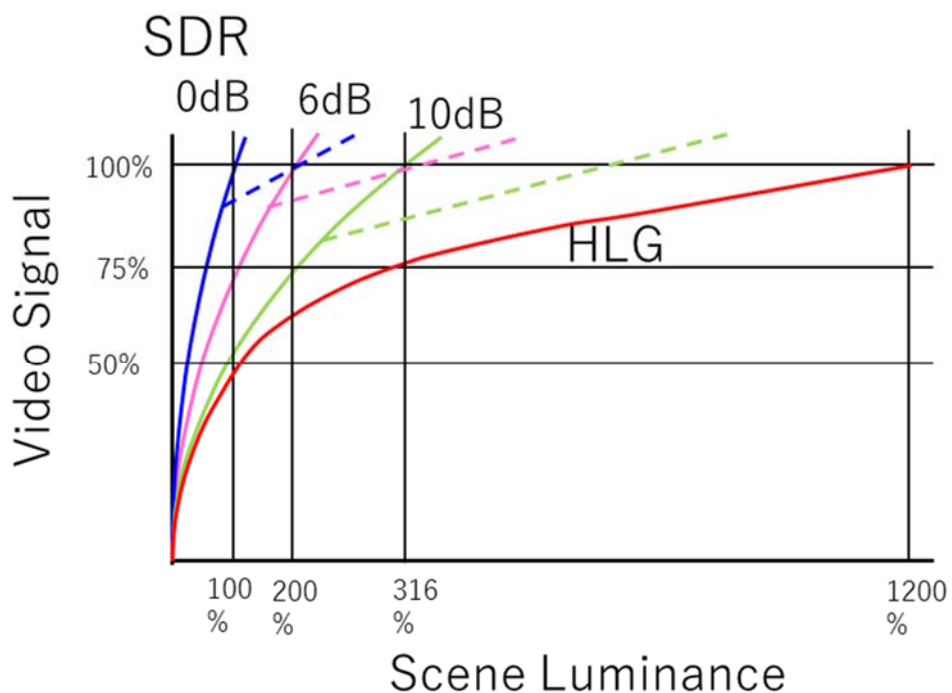
ただし撮影時 ダイナミックにこのゲインを変える事は推奨しない。できるだけ固定のゲイン差で撮影し、大きく撮影環境が変わった場合(屋外撮影において 晴天から曇天に変わったなど) にのみ、ゲイン差を変える程度の追従が適切と思われる。  
この辺りは、SDR, HDR の同時撮影の経験を積んでいく事で、ノウハウが蓄積されると思われる。



### Knee 制御

ゲイン差の制御に加え、SDR ガンマ設定においては、その Knee ポイントを調整する事で SDR 映像におけるダイナミックレンジの表現領域を広げる事ができる。

元々の SDR 撮影、表示において、信号規格内でダイナミックレンジを広げる手法として確立された 変換時に Knee 調整を 取り入れる事でより HDR 映像から、表現力を持った SDR 映像変換が可能となる。



## 色域の変換 BT.2020 とBT.709 色域

BT.2020で規格化されている UHD(3840x2160)信号は、HDRのダイナミックレンジを持つと同時に、色域においてもこれまでのBT.709規格より広い色域(BT.2020色域と呼ばれる)を持つ事が推奨されている。

近年、TVを代表とする表示装置での色域の拡大は進められており、将来BT.2020色域はより広範囲で使用されると思われる。スタジオシステム系においてもカメラ出力、スイッチャーなどビジョンミキサーの性能でも、このBT.2020色域への対応が求められており、BT.709またはBT.2020の色域を選択できる必要がある。

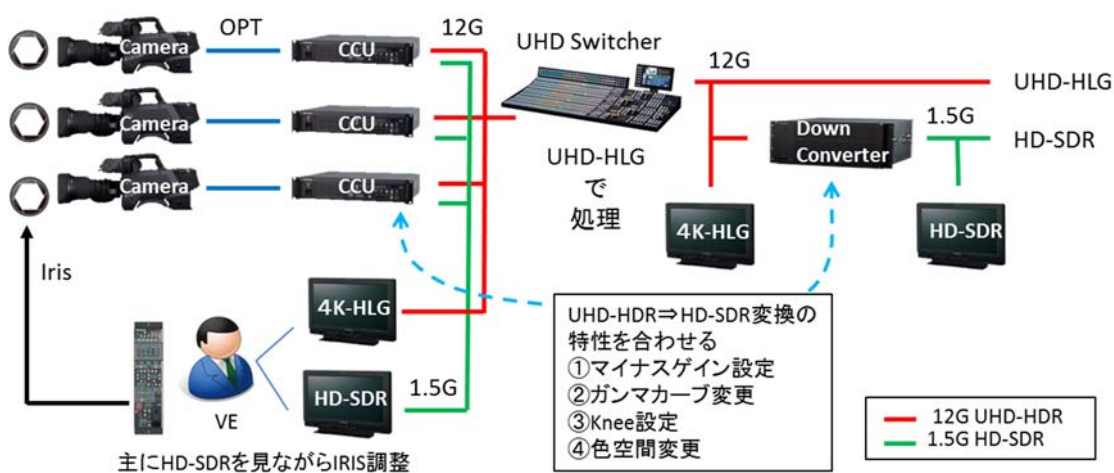
モニター側の色域がBT.2020である場合、カメラ側の色域をBT.2020に設定することで従来のBT.709色域を越える鮮やかな色も正しく伝送表示することができる。カメラの色域と、モニター側の色域が一致しないと正確な色再現とならないので注意が必要である。

## SDR/HDR サイマル放送時のVEオペレーション

UHD-HDR/BT.2020とHD-SDR/BT.709のサイマル放送を実施する場合の具体的な運用について以下に記す。

- 1) UHD-HDRとHD-SDRのサイマル運用を想定する場合、それぞれのフォーマットに適した映像出力レベルを考慮する必要がある。

- 2) このため、前述のように、UHD-HDR映像とHD-SDR映像間であらかじめ一定のゲイン差をつけておき、HD-SDR映像をベースにビデオエンジニアが映像調整を行う。これにより、HD-SDR映像は従来同様の映像を得つつ、UHD-HDR映像ではHDRのハイダイナミックレンジを有効に活用した画作りが可能となる。
- 3) UHD-HDR映像とHD-SDR映像のゲイン差については、スタジオカメラにおけるCCUのダウンコン部にてこれを実現する。合わせて、ガンマカーブの変換、色域変換やKnee処理についてもここで行う。
- 4) CCUのダウンコン部での処理設定値は、スイッチャー後段に設置される新規開発のダウンコンバーターに対しても同じ値が設定される。これにより、カメラからのHD出力と、最終ダウンコンバーターからの本線HD出力を同等に扱うことが可能となる。



## SDR/HDR Hybrid オペレーションでのスイッチャー

ここまでの説明では、スタジオカメラから SDR と HDR の信号を出力し、どちらも映像として十分な表現力を持つ為にカメラシステムが装備すべき機能について述べてきた。この場合、それぞれの SDRとHDR 信号としては成立しているが、サイマル放送(同時放送)を考える場合、カメラの後には 複数の映像信号を切り替え、映像効果やテロップ挿入を行うスイッチャーがあり、このスイッチャーで、SDR/HDR の Hybridオペレーションを、どう行うかが次の議論になる。その際のシステム構成としてはいくつか考えられる。

### UHD-HDR と HD-SDR のパラレル運用

HD-SDR と UHD-HDR それぞれの信号を処理するスイッチャーが並列で動いており、それぞれ最適な信号処理をする構成が考えられる。この構成は、独立システムによる安心感、最短遅延にてシステムを構成できる等の利点があるが、2 系統のシステムを持た

なければならない等コスト面でのデメリットがある。

### UHD-HDR を主とした運用

この方法は、処理をすべて UHD-HDR ベースで行い、最後に HD-SDR への変換を行う方法である。この場合のメリットとしてスイッチャーの信号処理エンジンは一つで済むが、SDR 変換時のパラメーターは一つとなり、前述の撮影シーンに応じてカメラ側のゲインや Knee を変えるという事は困難になる。ただし、画作りという観点で、基本のゲイン差や Knee 設定はシステムで一つとし、必要に応じてオフセットという観点で個別に変更するという事は十分に考えられる。

どの方法で進めるかは、許されるコストと、期待される画質のバランスとなり、今後、経験を通じて決まっていくと思われる。

どちらの方式も、UHD-HDR 処理については現状すべての入力映像を HDR で用意する事は難しく、過去のコンテンツの再利用や、現場からの映像は SDR で提供される場合も多い。このため、スイッチャーの内部処理としては、入力系の信号はすべて HDR 特性に変換した上で、特殊効果処理等を行い、HDR 本線信号として出力するとともに、サイマル用途として SDR の放送用ガンマを当てて出力する形となる。スイッチャーの前後では、ガンマや色域の変換が必要になることから、当社では、スイッチャーの周辺機器としてボード追加型で各種変換機能を提供するラックマウント式の信号変換機器を提供していく予定である。

## まとめ

本稿では SDR と HDR の同時配信を可能にするための 2017 年春の時点での問題点と解決案について述べてきた。この同時配信は先進的なオペレーションを目指している放送局の関心事であり、各種の研究、討議が進んでいる。理想的な解 と 実際的なオペレーションを両立させるシステムの実現のために、今後も検討が進められ、場合によっては本稿とは別のアプローチが、実現するかもしれない。

パナソニックとしては ユーザーである放送局、映像提供業者の皆様と一緒に議論、検討を重ね、よりよいシステムの構築に向け、柔軟に対応していきたい。