

Beyond HDR

—きらめきも質感も、見たままに届ける。映像体験への実験的挑戦—

鈴木 健太郎	株式会社ポリフォニー・デジタル
廣田 洋一	ソニー株式会社
内村 創	株式会社ポリフォニー・デジタル
安富 健一郎	株式会社ポリフォニー・デジタル
菅井 千尋	ソニー株式会社

みなさんこんにちは。私は、株式会社ポリフォニー・デジタルの鈴木健太郎です。

これから、「BeyondHDR きらめきも質感も、見たままに届ける。映像体験への実験的挑戦」と題しまして、発表いたします。

本日の流れ

- **イントロダクション**

- HDRゲームを取り巻く話
- そもそもHDRとは？なぜ10,000nits？

- **HDRと表示系**

- 表示のブレイクスルー
- ゲームでの実例（Gran Turismo）

- **HDRと撮像系**

- 撮像のブレイクスルー
- 撮像x表示の一気通貫

- **まとめ**

本日の流れは画面のようになっています。

最初に、イントロダクションとしてHDRゲームを取り巻く話、そもそもHDRとは？なぜ10,000nitsか、といった話をします。

次に、HDRと表示系としまして、表示のブレイクスルーとそのゲームでの実例についての話をします。

最後に、HDRと撮像系としまして、撮像のブレイクスルーと撮像と表示の一気通貫についての話をします。

つまり

- 10,000 nitsを超える輝度のディスプレイをつくりました
- Gran Turismo 7を出したらめっちゃ良かったです
- HDRを撮像できるカメラもつくりました
- 撮像から表示までをHDRで一気通貫に実現できました
- インタラクティブセッション展示してます。ぜひ見にきてください！

つまり、今回われわれは 10,000 nitsを超える輝度のディスプレイを作ったのですが、これでGran Turismo 7を表示してみたところとても良かった、という趣旨の発表になります。

加えて、HDRを撮像できるカメラも作り、これにより撮像から表示までHDRで一気通貫に実現できました。

今回の映像については、インタラクティブ展示しているので、ぜひ見に来てください。



まず最初に、今回試作した超高輝度ディスプレイでの映像体験が、客観的にどのようなものかを映像にしましたのでご覧ください。

ここで大事なのは、トンネルや夜間はしっかりとした画質で描画しつつ、昼間の明るいシーンとの大きな輝度差も表現できるという点です。ただ明るいディスプレイではないということは強調しておきたいと思います。



これを



このように明るくするディスプレイではなく



このように、豊かにコントラストが満ちた映像にすることができるディスプレイです



ギラギラと眩しいことがHDRではなく、眩しい光まで出せるキャパシティを利用して表現の密度を増やすのがHDRです

イントロダクション Part 1

HDRゲームを取り巻く話

HDRゲームのはじまり

- コンソールでHDR出力が使われ始めたのは、PS4 / Xbox One世代の中盤から
 - PS4の全モデルHDR対応が2016年9月であった
- 2016年前後に、ゲーム機・テレビ・映像規格がほぼ同時に動き始めた
 - HDR10は2015年
- つまりHDRゲームは、すでに10年近い実運用の歴史がある

2015年、TVモニタのHDR映像の規格として、HDR10が策定されました。コンソール機の世代としては、PS4やXBox Oneの中盤になります。つまり、HDRゲームは、すでに10年近く、実運用されてきているのです。意外と長いですね。

テレビと規格の整備

- ハイエンド以外の民生テレビもHDR対応が進んだ
- HDR10を中心に、入力信号・メタデータ・表示性能の前提が扱いやすくなっていった
- 「HDR対応テレビにつなげば出せる」環境が、まず家庭向けに成立した！

HDR 10

ここで重要だったことがあります。
後述する、DisplayHDRなどの規格の助けもあり、
ローエンドからハイエンド、PCモニタまで含め、
様々な映像表示装置がHDRに対応した、という点です。

画質や性能はさまざまではありましたが、
とりあえずゲーム機を対応テレビにつなげばHDR出力になる、という環境が、
限られたプロ向けだけでなく、一般のご家庭にも出現したわけです。

PCゲーム側の進展

- PC側では、Windows 10 Creators UpdateでPCゲーム / メディア向けのHDR・WCGサポートが追加された
 - ただしPCでは、OS・GPU・ドライバ・ディスプレイ・ゲーム側対応がそろう必要がある
- ディスプレイ側では、2017年にVESA DisplayHDRが策定
- その後もWindows側ではAuto HDRやHDR Calibrationなど、ゲーム向けHDR体験を改善する機能が段階的に追加されていった

PCのHDR対応も、同時期に進みました。
Windows 10 Creators Update以降、ゲームやメディア再生時にHDRや広色域がサポートされるようになりました。

PCでのHDRは、OSやGPU、ドライバ、ディスプレイ、そしてゲームソフトウェアすべてで対応する必要があり、
コンソールゲームと比較すると多少複雑でしたが、
AutoHDRやキャリブレーション機能など、HDR体験を改善する機能が段階的に追加されてきました。

HGiG (HDR Gaming Interest Group)

- HGiGはゲーム業界とTV/ディスプレイ業界の有志企業によるグループとして発足
 - 目的は、HDRゲームのユーザー体験を改善するためのベストプラクティスを整理・公開すること
 - 標準化団体ではなく、HDR規格や認証プログラムを作る団体ではない
- 2018年に、HDRゲームの制作・配信に関するガイドライン案を公開した



ここで、HGIGという活動について触れておきたいと思います。

簡単に言ってしまうと、HGIGは、HDRでのゲーム体験を良いものにするために、ゲーム業界とTV・ディスプレイ業界の有志企業によって発足したグループです。

2016年と2017年に会合を開き、HDRゲームのユーザー体験を改善するためのベストプラクティスを整理し、HDRゲームの制作や配信に関するガイドライン案を公開しました。

当時のHDRゲームの状況

- PS4/Xbox One/Windows 10世代でHDRゲームは増えていった
- HDR対応ゲームであっても、ユーザー体験が常に良好とは限らなかった
 - ゲームは映画と違い、インタラクティブなコンテンツ。
没入性が高く、時として競技性もある
 - 明部や暗部の見え方が変わると、演出だけでなくゲームプレイにも影響することもある
- 表示デバイスごとのHDR出力の差を、
ゲーム体験上の問題として扱う必要があった

なぜこんな会合をしたかという、当時のHDRゲーム体験は、少しカオスに陥りかけていたのです。

HDR信号の出力に対応した、という意味ではHDRゲームの数は増えてきていました。

しかし、それは良好なユーザー体験を意味しませんでした。

モニタや設定の組み合わせによっては、映像が暗すぎたり、明るすぎたりしてしまっただけです。

ゲームはインタラクティブで没入性が高く、同時に競技性があることもあります。

モニタの設定や、エフェクトの設定によって、暗部や明部の見え方が変わってしまうと、

意図しない演出になってしまったり、ゲームプレイに影響してしまうことがあるのです。

つまり、表示デバイスごとのHDR出力の差を、ゲーム体験上の問題として扱う必要がありました。

HGiGが示したベストプラクティス

- HDRディスプレイごとに出力特性に差があることを前提に考える
 - すべてのディスプレイが同じようにHDRを処理・出力するとは考えない

Display Category Definitions

Category 1 Display	Category 2 Display	Category 3 Display	Category 4 Display
			
Category1 • MinTnL = 0.1nits • MaxTnL = 600nits	Category2 • MinTnL = 0.1nits • MaxTnL = 1000nits	Category3 • MinTnL = 0.1nits • MaxTnL = 4000nits	Category4 • MinTnL = 0nits • MaxTnL = 10000nits

- Display Categories are used when full luminance values are not available.
- The Categories define default luminance values.
- In all Categories, MaxFTML=600 nits.

(c) Microsoft Corporation and Sony Interactive Entertainment, all rights reserved

<https://www.hgig.org/doc/ForBetterHDRGaming.pdf>

HGiGで示されたベストプラクティスは、ディスプレイごとに出力特性に差があることは、避けられない前提として考えよう、ということでした。

実際、出力デバイスは、画素構造や目標価格などによって、どうしても映像品質に差が発生してしまいます。

HDRに対応することによって、この差がより大きくなることは避けられないのです。

そこで、表示デバイスごとのHDR出力性能の差を、ゲーム側にフィードバックする仕組みが提案されました。

HGiGが示したベストプラクティス

- プラットフォーム（コンソール）側は、ディスプレイのHDR特性をゲームに渡す
 - ディスプレイ識別、データベース、キャリブレーション、APIを通じてMaxTML/MaxFFTML/MinTMLなどをゲームに渡す
- ゲーム側は、接続ディスプレイのHDR特性を取得する
 - 上記パラメータを取得し、トーンマッピング入力とする
- ゲームプレイ上重要な要素は、階調を保持できる範囲に描画する
 - 大きな面積ではPrimaryHDRRange
 - 小さな面積の強いハイライトではExtendedHDRRange

具体的には、以下のような方法です。

まず、コンソールなどのプラットフォーム側は、ディスプレイのHDR特性をゲームに渡します。
さまざまな方法、HDMIの識別子や、データベース、キャリブレーションによる計測などで得られた性能値を、ゲーム側にAPIを経由して通知します。

ゲーム側はこのパラメータを取得し、
ゲームプレイ上重要な要素の明るさを調整することで、
視認性を保証することができます。

エフェクトなど、小さな面積の強いハイライトについての性能値を利用することで、
ゲームプレイを阻害せず、インパクトのある描写も可能になります。

HDR Rangeについて

- Primary HDR Range (MinTML ~ MaxFFTML)
 - 全画面でも階調を保持できる範囲。上限がMaxFFTML。
- Extended HDR Range (MinTML ~ MaxTML)
 - 小さい範囲だけなら階調を保持できる範囲。上限がMaxTML。

MinTML	Min Tone Map Luminance
MaxFFTML	Max Full Frame Tone Map Luminance
MaxTML	Max Tone Map Luminance

※ 一般に MaxFFTML < MaxTML となる

一般に、HDRテレビには、全画面の白はそれほど明るくできないが、一部分だけの白ならばかなり明るくできる、という特性があります。また、黒つぶれのしやすさもテレビごとに大きな差があります。

そこで、HGIGでは、テレビの性能を3つの値で規定しました。

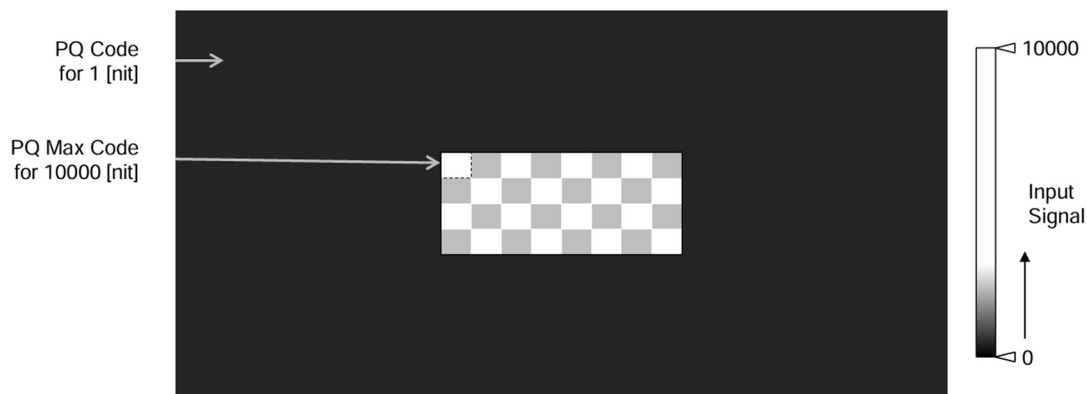
値としては、
MaxTML - 小さな領域で出せる最大輝度
MaxFFTML - 全画面で出せる最大輝度
MinTML - 黒と識別できる最小輝度
の三つです。

これらに基づいたHDRの範囲を、Primary HDR Rangeと、Extended HDR Rangeと呼びます。

この2つがどの程度乖離するかは、機種や、画質設定によって大きく異なります。

(2) MaxToneMapLuminance

- The value indicates max luminance in 10% area of display.
- Max 12 bit BT.2100 PQ code value at which display perceptually preserves the checker box.
- Same operation as for MaxFFTML. Expect MaxTLM≠MaxFFTML.



(c) Microsoft Corporation and Sony Interactive Entertainment, all rights reserved

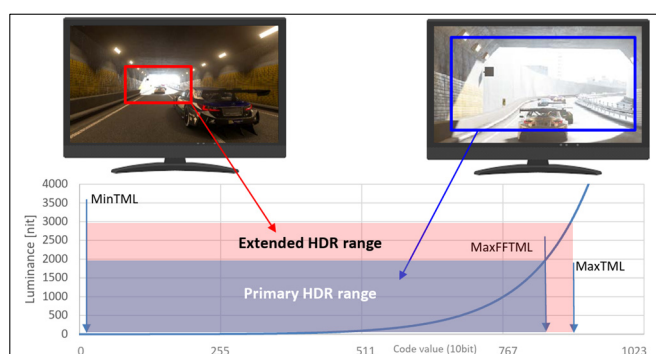
<https://www.hgig.org/doc/ForBetterHDRGaming.pdf>

これはHGIGの提案したキャリブレーションパターンと、その解説です。

背景は実は黒ではありません。1ニットの指定になっています。
これは、部分駆動バックライトなどをオフにさせないためです。
高輝度エリアを10%に小さくしているのは、Extended HDR Rangeを計測したい
ためです。
よく見るあのパターンにはこういう意図や設計があったのですね。

HGiGが示したベストプラクティス

- ディスプレイ側は、Game Mode時に重要範囲の階調を保持する
 - Primary HDR Range / Extended HDR Range内のディテールとグラデーションを保つ



<https://www.hgig.org/doc/ForBetterHDRGaming.pdf>

実は、HGIGは、ディスプレイ側にもベストプラクティスを提案しています。

ゲームモードの時は、MinTLMからMaxTLMまでの範囲に関してはディテールとグラデーションを保つように動作することを提案しているのです。

こうにして、HDRでのゲーム時でも、ディスプレイのHDR性能の差によってゲームプレイが阻害されないことを担保しようという取り組みが、HGIGの提案です。

現在の状況

- 今では多くのゲームタイトルがHDR出力をサポートしている
 - モバイルでのサポートも進んでいる
- 一方で、表示デバイスの性能差はやはりまだまだ大きく、コンテンツ側のサポートの幅もゲームによってさまざま
- プレイヤーのほうが高性能なHDRディスプレイを持っていることもある
- 結果、「HDRゲーム」をめぐる状況は依然として複雑である
- **ならば、理想のHDRを知っておきたい**

それを踏まえたうえで、現在のHDRゲーミングの状況はどうなっているかをまとめました。

今では非常に多くのゲームタイトルがHDR出力をサポートするようになりました。

スマートフォンを代表とするモバイルでのHDRサポートも進んでいますので、もはや気づかないうちにHDRでゲームがプレイできている状況になりつつあります。

しかし、表示デバイスの性能差はまだまだ大きく、コンテンツ側のサポートの幅もゲームによって様々です。デバイスの進化も激しく、時として、プレイヤーのほうが制作者よりも高性能なHDRディスプレイを持っているといった状況が発生したりしています。

結果として、HDRゲームをめぐる状況は、依然として非常に複雑です。

そんな状況でも、プレイヤーの皆さんにできるだけ良いHDRゲーム体験を提供するため、我々は、理想のHDR体験を知っておきたい、と兼ねてから望んできました。

ImmersiveとHDR

- ・ **ゲームは没入型コンテンツと親和性が高い**

- ・ プレイヤーが画面を操作する、双方向メディアであるため
- ・ とりわけGTはドライビングシミュレータであり、実車を所有し、運転しているかのような**疑似体験のリアリティ**を重視した、没入型ゲームの筆頭格

- ・ **HDRは没入度を上げる**

- ・ 反射で見るメディア、紙や写真では出せない眩しさ
- ・ 実際の目で見える世界のような体感

というのも、我々は、ゲームはHDRと非常に親和性が高いと考えているからです。

ゲームは、プレイヤーによる操作がインタラクティブに反映される双方向メディアです。

没入型コンテンツととても親和性が高いです。

とりわけ、GranTurismoのようなタイトルは、ドライビングシミュレーターですから、

実車を所有し、運転しているかのような、疑似体験のリアリティを重視した、没入型ゲームとなっています。

HDRは、現実世界のような眩しさ・きらめきを体験することができますので、より現実に近い体験に近づき、没入度を上げる手助けになります。



なぜ高輝度ディスプレイなのか

現実世界に存在する輝度範囲をそのまま表示して、
体験してみたいという思いが昔からありました。
それと同時に、ただ映像を明るく表示するのではなく、
夜景を映すクルマのボディのように、暗い中にもきちんと表情がある光景と、
鮮烈なハイライトを同時に表示したい、という願いがありました。

今回の超高輝度ディスプレイは、この願いを叶えてくれるデバイスです。



SDR環境向けへの無理やりなイメージではありますが、今回の超高輝度ディスプレイをシミュレートすると、このようになります。

左から、
SDRディスプレイ
一般的なHDRディスプレイ、
今回の超高輝度ディスプレイ
です。

暗部がしっかりと描写されつつ、まばゆいばかりの高輝度が同時に存在する、本当のHDR映像が体験できます。

HDRの理想像を見てみたい、という欲求

- ポリフォニー・デジタル
 - HDRゲームが本来持つはずの魅力、どこまでいけるかを知りたい
- ソニー
 - 新しいディスプレイデバイスの性能を活かすコンテンツが欲しい

ポリフォニー・デジタルでは、HDRでのゲーム体験が本来持つはずの魅力の、理想像を見てみたいという強い欲求を持っていました。様々な複雑な制約を取り払ったら、どのくらいの体験になるのかが知りたかったわけです。

ちょうどそのころ、超高輝度ディスプレイをソニーが試作したという話を聞きつけ、相談に行きました。デバイスはあるがコンテンツがない、という状況だということで、両社の需要がちょうど合致していたため、今回のコラボレーションに至りました。

クリエイターの意図を届ける

- ソニーの表示技術では、クリエイターの制作意図を再現することが重要なテーマになっている
 - 明るさだけでなく、光、闇、色彩、階調をどう見せるかが問われる
- HDRでは、ハイライトや暗部のニュアンスまで含めて、見え方の忠実さがより重要になる
- 今回の超高輝度表示も、その考え方の延長線上にある

ソニーの表示技術では、クリエイターの制作意図を再現することが重要なテーマになっています。

これは、光や明るさだけでなく、漆黒の闇の中での微細な黒の差や、鮮やかなだけでない繊細な色彩、そして中間階調まで含めて、制作者が作り込んだ映像を、どう見せるかというテーマです。

特にHDRにおいては、ハイライトだけでなく、暗部のニュアンスまで含めて忠実に見えることが重要になります。

今回の超高輝度ディスプレイも、その考え方の延長線上にあります。

HDR出力の進化に伴い入力の変化も必要

- クリエイターが現実の強い光・反射・煌めきを扱うにあたって、それらを捉えるデバイスも重要になる
- ソニーは表示デバイスだけでなく、カメラやイメージセンサーも手がける
- HDRの文脈において、センサー側でも、高コントラスト環境で階調をどう残すかが重要なテーマになる

ただ、映像は無から生み出すことはできません。
よいHDR出力デバイスがあるならば、そこに入力するためのHDR撮影デバイスもまた重要です。

例えばゲームにおいても、現実と同様の強い光、反射やきらめきを扱うためには、それを捉えるデバイスでデータにすることが重要になってきます。
高コントラストなHDR画像をリッチな階調でどのように取得するかというテーマにも取り組む必要があります。
さいわい、ソニーは表示デバイスだけでなく、カメラやイメージセンサーも手掛けられていますので、
今回、撮影から出力までの一気通貫したHDRワークフローも実現することができました。

HDR出力の進化に伴い入力の変化も必要

- ポリフォニー・デジタルとしても、リファレンス取材先で見た光や質感をどう持ち帰るかは、制作上の大きな意味を持つ
 - ある種のゲーム制作においては出力だけでなく入力、つまりカメラの進化も重要
- HDR出力（表示デバイス）と入力（カメラ）、両方重要！
 - 少し縁遠い人もいるかもしれませんが、ご興味を持っていただけると嬉しいです



ポリフォニー・デジタルは、リファレンス取材先で見た、光や質感をどう持ち帰るかというテーマに長らく取り組んできました。同様の取り組みをされたり、いろいろな悩みを抱えている開発者の方も多くいらっしゃるのではないかと思います。ゲームの出力の進化には、撮影デバイスの進化もまた重要なのです。業務上少し縁遠いかたもいらっしゃるかもしれませんが、ぜひ本講演を通じて、ご興味を持っていただけると嬉しいです。

イントロダクション Part 2

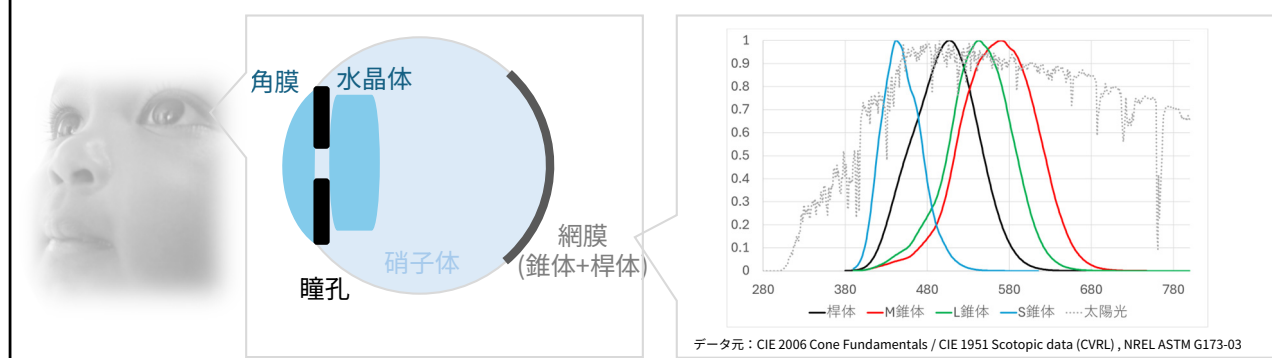
そもそもHDRとは？ なぜ 10,000 nits？

ここからはソニーの廣田が

HDRとはなにか、全般的なイントロをお話しさせていただきます

光の感じ方

- 目: 角膜+水晶体(レンズ)、瞳孔(絞り)⇒網膜(センサー)
- メインセンサー: 錐体細胞⇒フルカラー (Red, Green, Blue)
- 高感度センサー: 桿体細胞⇒暗闇専用(モノクロ)

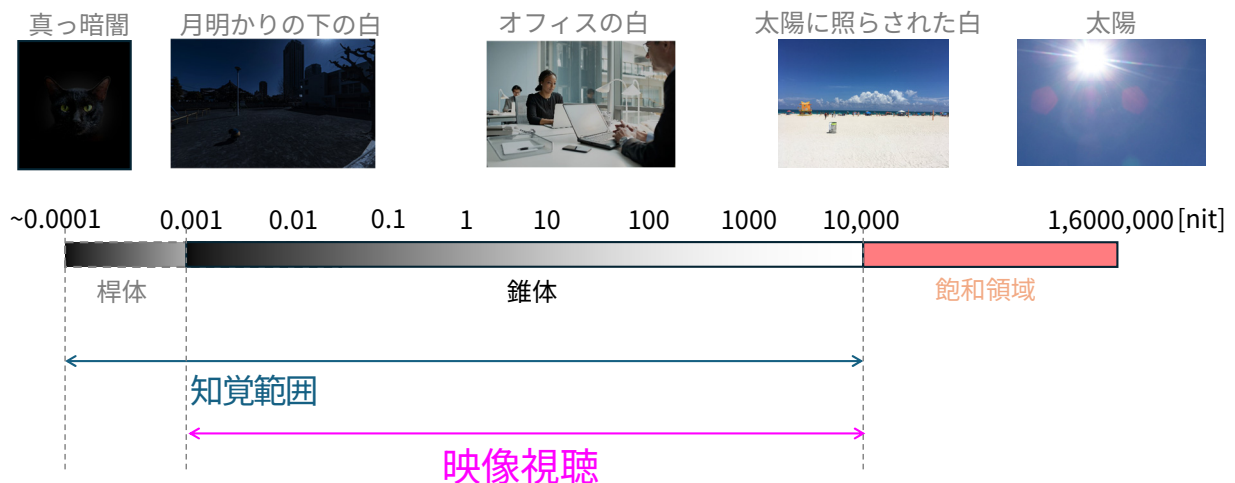


HDRは光に関する話なので、まずは人間の光の感じ方についてお話します。人間の目に入った光は、角膜と水晶体、その間にある瞳孔を通して、網膜の上に結像します。それぞれ、レンズ、絞り、イメージセンサーに対応しており、よく言われる通り、まさにカメラの構造になっています。

一般的な環境では網膜上のメインセンサーとなる錐体（すいたい）が主に動作します。L、M、Sという3つの錐体（すいたい）が、それぞれ違う波長に反応する特性を持っており、Red/Green/Blueからなるフルカラーの色として認識することができます。

網膜にあるもう一つのセンサー、桿体（かんたい）は暗闇に特化した超高感度センサーです。色を認知することはできませんが、ちょうど500nmという太陽光のピーク波長に合っていることで月明かりでも効率よく光を取り込むことができます。人間の進化の奥深さがうかがえます。

人間が見ることのできる輝度範囲



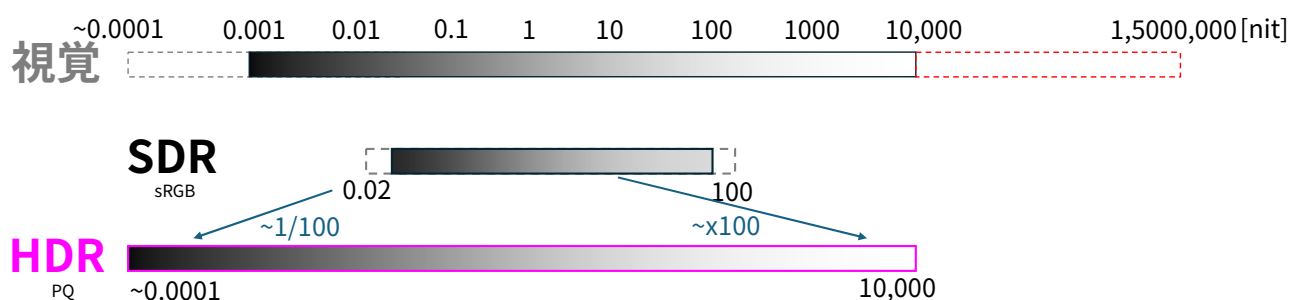
では、人間はどのくらいの明るさ、輝度を認識することができるでしょうか。輝度はnit(ニト)という単位で記述しますが、桿体(かんたい)は、0.0001~数nits、錐体(すいたい)は0.001~数万nitsの範囲を感知できるといわれています。それ以上は飽和しますが、特に太陽は16億nitsという桁違いの明るさで、日食を見るとときに減光フィルタが必要なのもうなずけるかと思います。

これらから人間の目の最大限の知覚範囲は、0.0001-10,000 nitsとなりますが、桿体は数nitsの輝度で飽和して機能しなくなること、またそこからの復帰にも長い時間がかかることから、それなりの明暗差がある一般的な映像視聴を前提とすれば、錐体のレンジである0.001-10,000 nitsあたりが実質的なレンジの目安になってきます。

画像: オフィス=office stock、他は自前

HDRがカバーする輝度範囲

- SDRは当時のブラウン管の制約を反映
- HDRは人間の視覚範囲をすべてカバー
- HDRは黒側と白側の表現力がそれぞれ**100倍以上**



それでは、HDRはどれくらいの輝度レンジをカバーしているのでしょうか。

従来のSDR(sRGB)は、基本は規格策定当時の表示デバイス、ブラウン管の輝度が基準となっており、そのレンジはおおよそ0.02-100 nitsあたりになります。

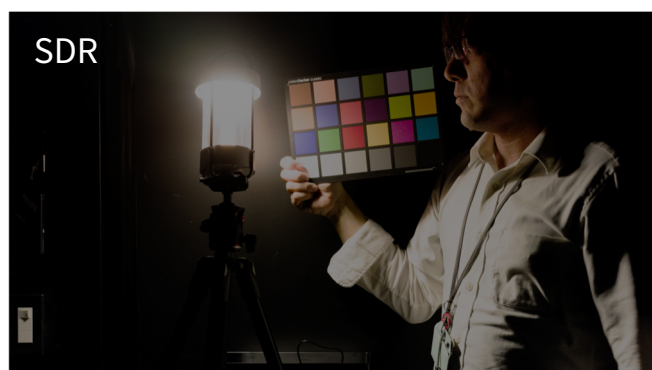
一方で、HDR(PQ)は0.0001~10,000 nits、人間の視覚の輝度範囲を完全にカバーしていることが分かります。

それもそのはずで、そもそもの基準がデバイスではなく、人間の視覚を詳細に計測した知見から来ているからです。

SDRと比較しても黒側、白側のダイナミックレンジが100倍以上に拡大しており、圧倒的な階調表現力を持っています。

HDRの具体的な効果

- 明暗差の表現の自由度が圧倒的に広がる
 - 発光と反射の描き分け（光源、光沢、服の反射など）
 - 暗～漆黒（黒髪、影など）



では、HDRによってこれだけの広大な輝度レンジを持つことで、具体的にはどんなメリットがあるのでしょうか。

下の2つの画像は、従来のSDRとHDRの違いを示したものです。

まずSDRは、明るいものは全て白になっていました。いわゆる白飛びです。ランタンも、照らされている白い服、指などすべて白くなっています。また、暗部も、髪の毛や影、暗闇などがすべてのっぺりとした黒になってしまっています。

これまでは、こういうものだとかきらめていた部分ですが、HDRではランタンの中が見えているなど、明確にそれらを描き分けられて、より見たままに近い再現が可能になります。

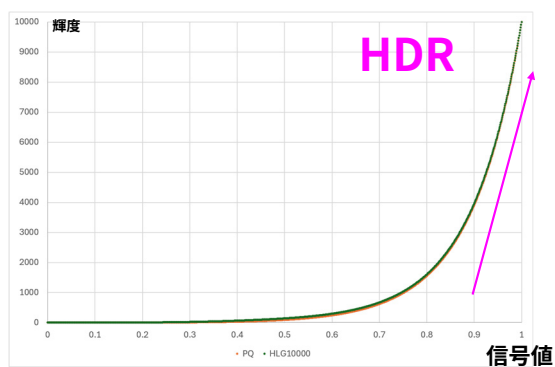
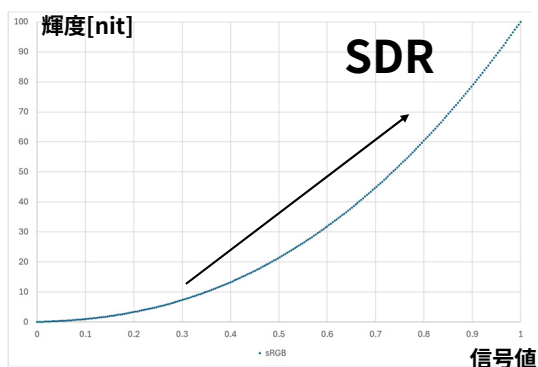
HDRがもたらす価値

- “光る絵の具”が追加されたようなもの
- いくらでも派手な画を作ることにはできるが…
- 現実の明るさのまま、忠実に再現できるようになることが価値

このHDRの価値はどう捉えるのがよいでしょうか。
従来の映像というキャンバスに、新たに光る絵の具”が追加された…HDRがもたらした進化はそう言い換えることもできるかと思います。
このHDRの圧倒的な表現力を手にすると、いくらでもド派手な映像を作ることが可能になりますが、
実際には、それらを脚色なく、現実の明るさに忠実に再現できることに、我々はHDRの意味があると考えています。

HDRの記録・伝送規格について

- PQ、HLGの2つのガンマカーブを定義
- 視覚特性に合わせ、明るいほど粗くすることでSDRより効率よく収録

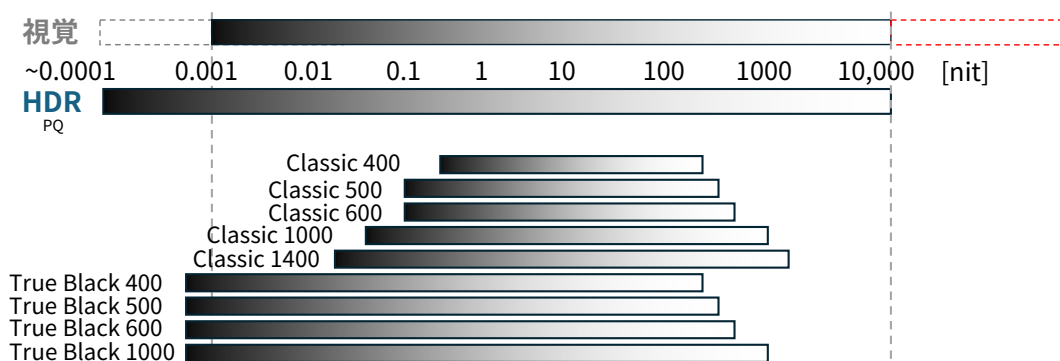


少し技術よりの話に移ります。HDRの規格はどうなっているのでしょうか。HDRはBT.2100という規格の中で定義されています。中でも、輝度の収録方法を表すガンマカーブが肝になりますが、PQとhybrid logの二つが規定されています。下のグラフは、信号値に対する輝度のカーブを描いたものです。左はSDRのガンマカーブで、右はHDRのガンマカーブですが、HDRは暗部のカーブが寝ていて非常に細くなっています。それが明るくなるほど急激にカーブが立ち上がって粗くなっています。人間の目が、“明るくなるほど輝度差に鈍感になっていく”ことを利用して効率よく収録していることが分かります。

HDR対応ディスプレイの規格例

- VESA “DisplayHDR”

- どれくらいHDRの規格をカバーできているか
- ハイライト側はかなり控えめな数値になっている



次に、HDRを表示するディスプレイの規格はどうでしょうか。

PCモニター向けには代表的なものとして、VESAが規定するdisplayHDR規格があります。

ここではおおざっぱに各ランクがどの程度の輝度範囲をカバーしているかを図示しています。

Classicとtrue blackに大別することができ、前者は通常の液晶ディスプレイ、後者は完全消灯できる自発光デバイスが念頭に置かれています。

True blackは黒側が視覚の下限を超えるスペックで定義されていることから、HDRにおいてハイライト側だけでなく暗部の再現性の高さも重要視されていることが分かるかと思います。

一方で、ハイライト側に関しては、1000 nits前後とかなり控えめな数値になっています。この点についてはこの後の”表示”のセクションにて触れていきます。

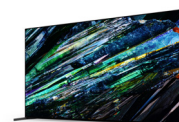
HDRの高いハードル

- コンテンツ、ディスプレイが揃って初めて成り立つ

- 規格物の宿命

- 同じHDRであっても狙った体験になるとは限らない

- 10,000 nitsのコンテンツ ⇒ 1,000 nitsのディスプレイ（白飛び）
- 1,000 nitsのコンテンツ ⇒ 4,000 nitsのディスプレイ（暗い）



<https://www.sony.co.jp/photodata/>

⇒10,000 nitsを超えるディスプレイを作ってしまうば？

このように様々な形で仕様が規定されているHDRですが、実際にその恩恵を受けるには高いハードルがあります。

まず、規格ものの宿命として、コンテンツとディスプレイ、双方がHDRに対応して初めて成り立つ体験です。

さらに、HDR対応であっても、狙った体験にならない場合があるのも複雑です。フルの10000 nitsを想定して作成されたコンテンツを1000 nitsのディスプレイで見ると、白飛びしてしまったり、一方で1000 nitsを想定して作成された場合、それを4000 nitsのディスプレイで見ても、ディスプレイの性能を生かしきれないということが起きます。HDRの規格が広すぎて、実際の機材でミスマッチが発生しやすいというのがややこしいところです。

ということで、今日はそんなミスマッチが起きないように10,000 nits以上に対応したディスプレイを作ってしまうばどうということが起きるか、というお話を軸に進めていきます。

HDRと表示系

表示のブレイクスルー

ここからは、表示のブレイクスルーと題して、HDR表示と、今回試作してみたディスプレイについてお話ししていきます。

規格と表示の実力のギャップ

- HDR規格は~10,000 nits (PQ)
- HDRに対応した一般的なディスプレイ（PCモニタ・テレビ）の最大輝度は1,000 nits程度

あらためて…HDRの規格は最大輝度10,000nitで規定されています。しかし、実情としては一般的なHDRに対応したディスプレイの全白輝度は1,000nit程度、特殊な業務用などをいれても数1,000nitが限界となっています。displayHDRの規定が最大1400 nitsなのもこのあたりの制約によるものと思われますが、なぜそのようなギャップが生じているか…軽く既存のディスプレイを”明るさ”という観点でおさらいしましょう。

液晶ディスプレイ

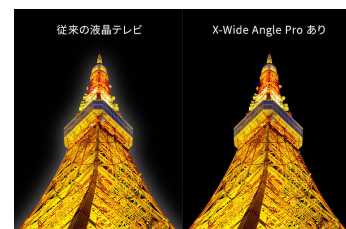
・概要

- ・ LEDバックライトがカラー液晶パネルを透過して表示



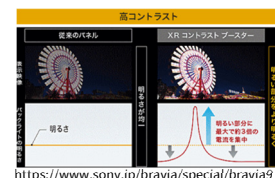
・黒再現△

- ・ バックライトの分割数<<画素数のため光が漏れ出る
- ・ バックライトの微細化により改善傾向



・最大輝度△

- ・ フィルタ構造のためエネルギーロスが大きい
- ・ 熱・消費電力の制約のため一部しか明るくできない



まずは液晶ディスプレイです。ほとんどの皆さんが日常的にご使用だと思えます。

仕組みを簡単に説明すると、一番裏側にバックライトがあり、その光が液晶パネルを透過することで、フルカラーの映像が画面上に表示されます。

黒表現についてはあまり優れているとは言えません。

バックライトを液晶で遮蔽するという都合上、うっすらと光が透けてしまうからです。

近年はmini-LEDバックライト方式による改善が図られていますが、それでもLEDの数が液晶の画素数よりも圧倒的に少ないため、画素の周りにLEDの光が漏れだす現象は避けられません。

また、最大輝度に関しても制約があり、バックライトを液晶パネルでこして使うというフィルタ構造のため、熱や消費電力がネックとなり限られた範囲しか明るくできないという限界があります。

夜景などはよいですが、真っ白な砂浜などの表示には不向きです。

OLED (有機EL) ディスプレイ

- 概要

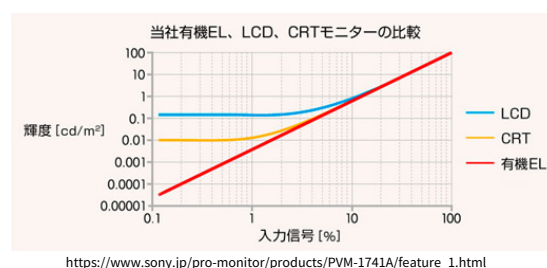
- 有機EL素子が自発光し、カラーフィルターを透過して表示

- 黒再現◎

- 画素レベルの点灯・消灯が可能

- 最大輝度×

- 発光による発熱で素子が劣化しやすい
- ごく一部しか明るくできない



次にOLEDです。

こちらは有機EL素子が自発光し、その光がカラーフィルターを透過してフルカラーの映像として表示されます。

よく知られている通り、黒再現は素晴らしいです。画素レベルでの点灯・消灯が可能で、深い黒を表示することができます。液晶に比べると圧倒的です。

一方で、最大輝度には大きな課題があります。

素子が熱に弱く、自身の発光による発熱の影響を抑えるためにごく一部しか明るくできないという制約があります。

したがって、星空のような点光源がまばらに存在するようなシーンでしか高輝度にできず、

画面全体が明るいシーンになると途端に画面がSDRレベルの輝度にまで落ち込んでしまいます。

LEDディスプレイ

- 概要

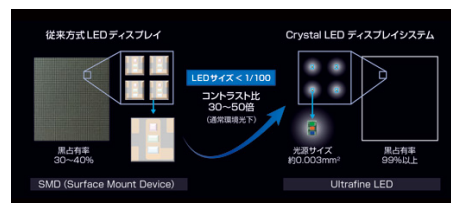
- 独立したRGBのLED素子が、ダイレクトに発光
- 小型化は難しくサイネージ用がメイン

- 黒○

- 画素レベルの点灯・消灯が可能
- 暗部が黒つぶれする

- 最大輝度◎

- 発光効率が非常に高く、輝度が上げられる



https://www.sony.jp/crystal-led/products/ZRD-1/feature_1.html

画素構造の例



<https://www.sony.jp/crystal-led/about/>

以上が、一般的なディスプレイの2台巨頭でしたが、ここでやや特殊な、しかし皆さんがよく目にしているディスプレイについて紹介したいと思います。LEDディスプレイと呼ばれるものです。

構造は非常にシンプルで、独立したRGBそれぞれの単色LED素子が、直接発光します。

LED素子を並べる実装工程があるために小型化は苦手ですが、サイネージなどの大型ディスプレイ用途として広く使われているものになります。

黒表現についてはOLEDほどではないものの比較的優れており、画素レベルの点灯消灯が可能で、深い黒を表現することができます。

ただ、OLEDと異なる点としては、ほんの少し光らせるといったことが非常に苦手で、黒つぶれが発生しやすい点が挙げられます。

一方で最大輝度については非常に優れています。素子がダイレクトにカラー発光し、発光効率が非常に高いためです。

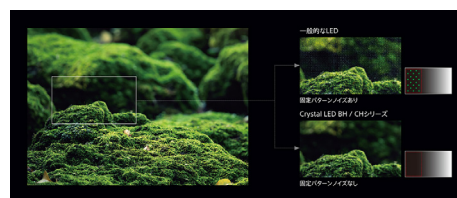
無機物のため熱にも強く、数1,000 nits以上の高輝度表現が可能です。

今回試作した超高輝度ディスプレイ

- 通常のモニターサイズにまで小型化したLEDディスプレイ
- 10,000 nitsを超える全白輝度を実現
- 黒つぶれを抑える階調表現技術により滑らかな暗部を再現



試作ディスプレイ



https://www.sony.jp/crystal-led/products/ZRD-CH12D/feature_1.html

階調表現技術の例

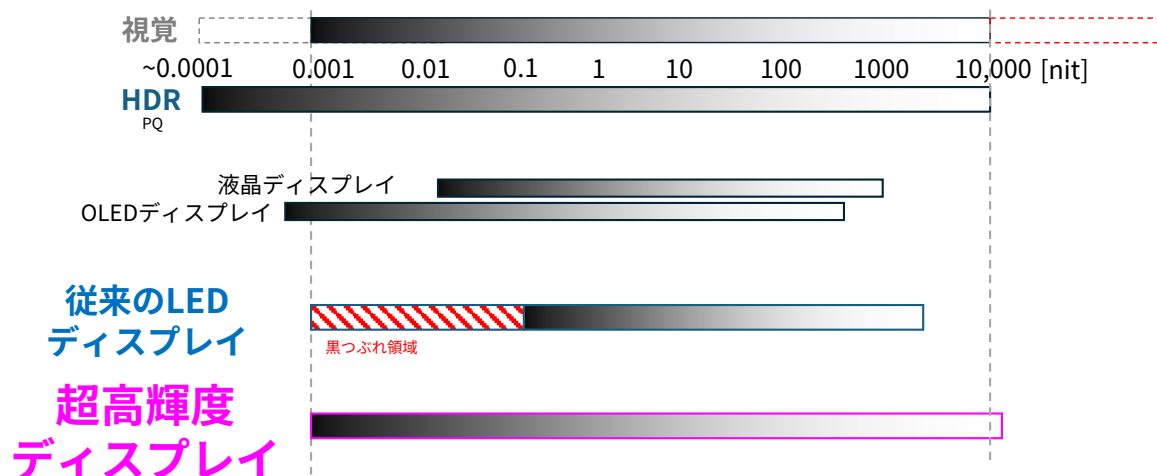
以上を踏まえて、今回作成した超高輝度ディスプレイについて説明したいと思います。

一言でいえば、通常のモニターサイズにまで小型化することのできたLEDディスプレイになります。

これにより、HDR規格の上限をカバーする10,000 nitsを超える全白輝度を実現しています。

また、課題であった暗部ですが、これまで社内開発してきた階調表現技術をこのディスプレイの特性に合わせて最適化することにより、より滑らかな暗部階調を再現することができるようになりました。

表示できる輝度範囲



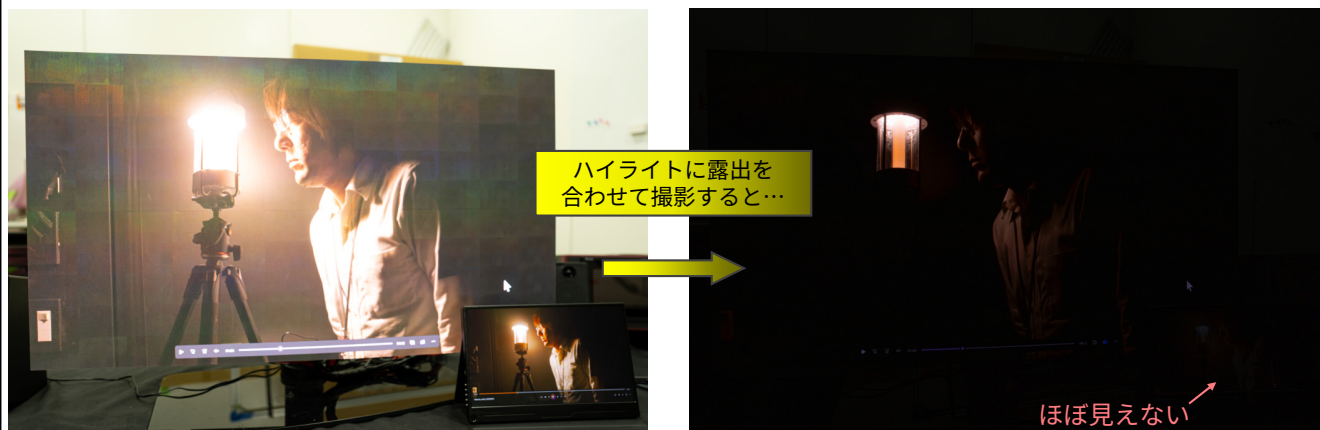
この超高輝度がディスプレイが表現できる範囲を視覚的に表現すると、このようになります。

液晶ディスプレイの範囲、OLEDは甘めに書いてもかなり限定された範囲に収まります。

一般的なLEDディスプレイは範囲としては広く見えるものの、ある輝度を下回ると黒つぶれが起きてしまい実質的にはかなり狭くなります。

今回のディスプレイは、より高い輝度を実現しつつ、さらに黒つぶれも抑えて、視覚の範囲をほぼカバーできるようになっているということが見て取れるかと思えます。

従来のディスプレイとの比較



右下が従来のディスプレイ(displayHDR400)

こちらはスライド上でも違いを表現できるよう、従来のdisplayHDR400のディスプレイとの比較をカメラで撮影した様子です。

通常の露出で撮影した画像が左で、それほど違いがないように見えますが、

右側のハイライト側に露出を合わせて撮影したものでは、超高輝度ディスプレイはまだライトが白飛びするくらい明るいのにに対して、displayHDR400のディスプレイはほぼ見えないくらいになっています。

いかにハイライト部分が明るく輝いているのかが分かるかと思います。

<補足>

ss 4倍

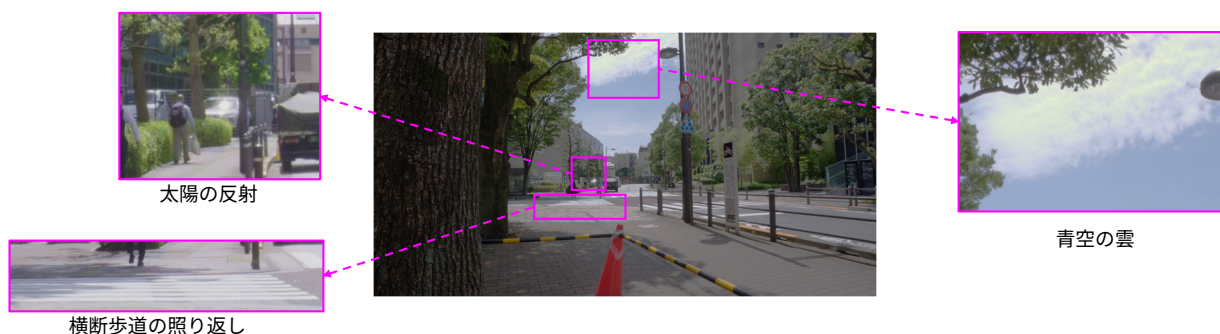
Aperture 8倍

露出補正 1

$4 \times 8 \times 8 / 2 = 100$ 倍くらい違う

実現できたこと

- これまで見えなかったものが見えるように
 - 各種ベンチマークで最上級の10,000 nitsモードが白飛びなく表現できる
 - “True Black”があるなら”True White”？
- “明るい”ではなく“まぶしい”という知覚



表示の話をまとめます。このHDRをほぼカバーする高輝度ディスプレイができたことによって、これまで見えなかったものが見えるようになりました。

いろんなHDRのベンチマーク映像があるのですが、今までは誰が使うのだろう？というような最上級の10,000 nitsモードでも白飛びなく、黒つぶれなく表示ができるようになったのは、純粹に感動するポイントでした。DisplayHDRのtrue blackと対比して、true whiteといってもよいのかもしれませんが。

ここからは、このディスプレイをゲームへとつなげるとどうなるのか、についてお話をしていきます。

HDRと表示系

ゲームでの実例（Gran Turismo）

ポリフォニーデジタルの安富です。ここからはゲームでの実例として、コンテンツクリエイターの立場からお話ししていきます

Gran Turismo について

- 1997年以来続く、ドライビングシミュレーターゲーム
- 最新作は2022年発売の Gran Turismo 7



CEDECにいらっしゃる皆さんには知られていてほしいと願うところですが、グランツーリスモシリーズは1997年からつづくドライビングシミュレーターで、最新作は7です



写実的でリアルなグラフィックと、



物理シミュレーションによるリアルな車両挙動を特徴としますが、



この場ではグラフィックに光をあててお話しします



私たちは現実のようなリアルなグラフィックを長年追求してきて、



作り手目線で、HDRがコンテンツにどのように貢献するか、という内容です

コンテンツ作りから見るHDR

- 輝度範囲が広い = 画面に表現できるコントラストのキャパが大きい
- 画面内に高コントラスト、鮮やかな色を大量に詰め込める



さて、HDRは表現できる輝度範囲が広い、と説明されましたが、コンテンツにとっては広い輝度範囲をつかって、高いコントラストを画面内にたくさん詰めこめる、ということにつきます
彩度の高さはRGBどうしのコントラストの高さですから、色も良くなりますね



きれいな夕陽に出会ったので、この風景を写真に収めたい

コントラストのキャパとはどういうことかということですね、たとえば夕焼けを写真に撮ると



夕空を見せようとする、山や雲が真っ黒

よくこうなります。目には見えているのに、地上が真っ黒になってしまったり



山並みを見せようとする、夕空が吹き飛ぶ

目には見えているのに、空が見えなくなったりする

ダイナミックレンジ

・現実の光

- ・ 夕焼けは明るい (高輝度)
- ・ 山並みは暗い (低輝度)
- ・ それぞれに豊かな色や階調、ディテールがあり、**肉眼には見える**

・写真の光

- ・ 空と山並みとの高いコントラストを再現できず、あふれてしまう

夕焼けと地上では輝度が数百倍ほど違っていて、しかもそれぞれに豊かな階調が含まれます
これが目には両方見えるんですが、写真ではどちらか片方しかまともに入らない

これは写真のコントラストのキャパが肉眼よりずっと小さいからです。専門的にはダイナミックレンジが低い、といいます



コントラストを圧縮して空を暗く、山並みを明るく整えれば両方見えるようになりますが、夕焼けの輝きは失われて、風景全体がノッペリしてしまいます
新しめのスマホはこういう写真が出ますが、これはこれでちょっと不自然で、
絵画っぽく見えますよね



空をとれば山は見えない。山をとれば空が見えない。強引に両方を見せれば夕陽の眩しさや迫力が消えます
そのままは入らないので、何かを犠牲にしなければトレードオフが発生します

HDRが解決するのは、まさにこの問題なんですけど…

伝統的な映像表現

- ダイナミックレンジ不足をカバーするため、**コンテンツ側の工夫**で光をリアルに再現する作法が歴史的に編み出されてきた

ここで重要なのは、このトレードオフは歴史的にずっとコンテンツ側で吸収されてきた、という事実です

被写体に合わせた適正露出



まず露出出し。カメラマンの基本技術ですが、撮影の時点ですでにトレードオフを取捨選択していますね
そのトレードオフを前提に、明暗が良い感じに分布する構図を選んでいるはず
です

カラー&コントラスト調整

- 映像のコンテキストに応じて、コントラストを再配分



うまく収まっても現実の光より絶対的なコントラストは下がるので、現像工程で調整をかけるのも定番です
光の関係を歪めて、少しでも迫力やリアリティを取り戻そうという考えです

伝統的な映像表現

- ダイナミックレンジ不足をカバーするため、**コンテンツ側の工夫**で光をリアルに再現する作法が歴史的に編み出されてきた
 - 被写体に合わせた**適正露出**
 - **カラー&コントラスト調整**
 - カメラワークや複数カットに分解

きりがないのでこのくらいにしますが、このような感じで撮影を伴う映像制作技術にはさまざまなダイナミックレンジ対策が含まれています
映画などではワンカットに収まらない光を複数カットで順番に説明したりもしますよね

伝統的な映像表現

- これらは長い歴史で様式美にまで高められた、**妥協の作法**
 - ダイナミックレンジ不足を避けることができなかったため、当然の流れだった
 - 経験の長い優秀なクリエイターほど、無意識に脳内で組み立てている

これらは本質的に妥協なんですけど、これまでキャパの小さなメディアしかなかったんで、当然の工程になっています

優秀なカメラマンや映画人はシーンを見た瞬間に、どうすればそれを小さなキャパに収めて伝えられるか、構図や露出、撮り方、仕上げを考え始めますつまり、メディアのダイナミックレンジの低さがコンテンツの作り方を規定し、発展させてきた面が大いにあるのです

伝統的な映像表現

- これらは長い歴史で様式美にまで高められた、**妥協の作法**
 - ダイナミックレンジ不足を避けることができなかったため、当然の流れだった
 - 経験の長い優秀なクリエイターほど、無意識に脳内で組み立てている
- 実写のリアリティ
 - 写真や映画のリアリティは**メディア依存の様式**であって、現実の光とは異なる
 - 暗黙の前提としてSDRに特化しているので、HDRとは相性が悪い

実写のリアリティはたいへんに高い説得力を持ちますが、これは銀塩フィルムの感光特性に由来するメディア依存の様式です
本質的にSDR前提なので、HDRには適用できません

私たちは長い歴史を経て実写のリアリズムにかなり慣れていて、訓練も受けていますので、作りたいイメージがすでにSDRだったりするんです
HDRコンテンツではこれらの常識をいちど解体する必要がある点に注意してください。私たちも例外ではありませんでした。

ゲームCGはどうか？

- ゲームCGが従来追求してきたリアリズムも、基本的には実写
 - 現実のカメラワークフローを模したアプローチが多い
 - 基本的には写真や映画と同じことをしたい

ゲームCGのリアリズムも基本的には写真に依存しています。写実的なCGをフォトリアリスティック、とまさに言いますよね
CGはメディアの中にしか存在できませんから、リアリズムの作法として実写を模倣したのは自然です

ですからリアルなグラフィックを指向する現代ゲームは現実のカメラシステムを模倣することが多く、GTもそうです

ゲームCGはどうか？

- ゲームCGが従来追求してきたリアリズムも、基本的には実写
 - 現実のカメラワークフローを模したアプローチが多い
 - 基本的には写真や映画と同じことをしたい
- ゲーム特有の事情
 - 映像コンテキストが**事前に決まらない**。プレイヤーがその場で自由に操作する
 - 白飛びや黒潰れで必要な情報が消えると**プレイアビリティ**に支障が出てマズイ

しかし、ゲームは映像のコンテキストが事前に決めにくい特徴があります。プレイヤーが好き勝手に操作するからです
そしてプレイアビリティという概念があり、プレイに必要な情報は常に残さなければなりません。いくらカッコよくても、遊びにくいのはダメです

ですから写真や映画のようにギリギリまで追い込んだ調整は困難で、安定性や一貫性が優先されることが多いです

ドライブゲームの事情

- GTのようなドライブゲームはカメラカット切替が期待できず、ワンカット撮影相当となるので、特に**露出ミスに直面しやすい**

- 昼と夜
- 晴と雨
- 順光と逆光
- 屋外とトンネル内
- 車外と車内

さらにドライブゲームというジャンルにも特徴があり、ずっと車に乗っている
ので場面転換、カット切替が期待できないという性質があります
視点変更機能はありますが、プレイヤーがそれを使う保証はありません。最悪
ワンカットの長回しとなります

GTが再現する光空間はバラエティ豊かです

GT7ではリアルタイムの時間天候変化が導入されて、24時間レースのコンテ
ンツもありますが、昼と夜、晴と雨とでは3桁4桁明るさが違います

高速で進入、脱出するトンネルもプレイアビリティを損ないやすく、視点が車
内にある場合は外の風景と内装の輝度差に頭を悩ませます



このような多くの光環境をワンカットで見せつつ遊びやすく見せねばならないので、ダイナミックレンジにまつわる条件は非常に厳しいものになりやすいです

Gran Turismo の事情

- ・ 塗装や材質の再現度、ニュアンスについて自動車メーカーの要求水準が高い
- ・ ボディ色が多彩。漆黒～純白、超高彩度が同時に画面に出てしまう



さらにGTは実在する自動車をゲーム内に預かる立場ですので、それが本物と似ていないとメーカーから非常にきびしい突っ込みがはいります

ブランドイメージを牽引するようなスーパーカーには自然界ではめったにない極端な色がよく使われますし、目立ってナンボのレーシングカーも主張の強い色が多い

そのような色を本物のように見せなければいけません

画面に登場する色の構成を自分たちで決められず、そのダイナミックレンジも非常に広いわけで、これは他のゲームに比べて厳しい条件です

Gran Turismo のポリシー

- **物理ベース、Scene-Referred 志向**

- 計測データを物理ベースで忠実に計算した出力にこだわる。リファレンス重視
- ほしい結果から逆算してデータをつくることを原則的にしない

最後にお話ししたクルマの忠実性がかなり決定的なのですが、このように意図的にコントロールできない要素が多いゲームでもあるので、私たちは多くのパートで忠実性を重視したアートディレクションをします

HDRの恩恵

- 極論すると、完璧なHDRでは映像側の露出補正が原理的に不要
- 肉眼が弁別できるコントラストほぼ全域をカバーする

HDRが私たちにとって魅力的なのは、カメラまわりの露出問題を原理的に解決してくれる点です

極論すると、理想的につくられたHDR映像は露出ミスがありません。明部から暗部まで、肉眼が見分けられるコントラスト全域が入るからです

HDRの恩恵

- ・ 明部は眩しいまま、暗部は暗いまま、内部階調もちゃんと見えるということ



明部は眩しいまま、暗部は暗いまま、それぞれが持つ階調も見えるということです

この画像はSDRなので手前のクルマの内装はほとんど真っ黒で様子がわかりませんが、HDRだとこのコントラストを保ったまま、ちゃんと階調が見えているのです

同様に、トンネル外の眩しい明部はこの画像では白飛びしていますが、ここにも眩しいなりに階調が見えています

HDRの恩恵

- **明部は眩しいまま、暗部は暗いまま、内部階調もちゃんと見えるということ**
 - 最大輝度が向上する結果、暗部を絶対的に沈めなくても十分なコントラストが出る
 - 派手な高輝度ばかり注目されがちだが、**よく見える暗部階調こそ白眉**

HDRは最大輝度が高いので、暗部が十分に明るくてもコントラストを確保できるというわけです

強烈な高輝度に目が行きがちですが、最大輝度が引き上げられることで階調を失わずにコントラストが出るのがHDRの本質です
その恩恵は真っ先に暗部に出ます。展示では高輝度に支えられた暗部階調をぜひ体験してください

HDRの恩恵

- **明部は眩しいまま、暗部は暗いまま、内部階調もちゃんと見えるということ**
 - 最大輝度が向上する結果、暗部を絶対的に沈めなくても十分なコントラストが出る
 - 派手な高輝度ばかり注目されがちだが、**よく見える暗部階調こそ白眉**
- トレードオフは大幅に緩和され、妥協を強いられるケースが減る
- 現実の光をそのまま肉眼で見る感覚に近付く

これによってSDRで悩まされたトレードオフのほとんどが解消してしまいます
十分なコントラストがあり、明部に注目すれば明部階調が見えて、暗部に注目すれば暗部階調が見える、という状態になります

HDRの恩恵

- **明部は眩しいまま、暗部は暗いまま、内部階調もちゃんと見えるということ**
 - 最大輝度が向上する結果、暗部を絶対的に沈めなくても十分なコントラストが出る
 - 派手な高輝度ばかり注目されがちだが、**よく見える暗部階調こそ白眉**
- トレードオフは大幅に緩和され、妥協を強いられるケースが減る
- 現実の光をそのまま肉眼で見る感覚に近付く
- **没入型ゲームの文脈ではたいへん都合がよい！**

これは現実の光の見え方に近く、GTのような没入型ゲームには非常に都合がよいです

HDRへの取り組み

- HDR開発を始めたのは2015年の秋、前作 GT Sport の開発時

私たちがHDRに取り組み始めたのは、いまから10年と少し前、2015年の秋です
プレイステーション4のGT Sportの開発が始まったばかりの時期でした

HDRへの取り組み

- HDR開発を始めたのは2015年の秋、前作 GT Sport の開発時
- しかし、最初に届いたHDRテレビの実測最大輝度は10,000 nitsどころか **1,000 nits** にも届かなかった
 - 性能不足のディスプレイも当面許容する、**未来志向の規格**だったため
 - 差がとても小さく、開発者ですらHDRとSDRを見間違えることがあった

先ほども規格と実力のギャップについてのお話がありましたが、初期のHDRテレビはハイエンド機種でも十分な性能がなく、先ほど説明したような十分なコントラストは出せませんでした

今となっては笑い話ですが、HDRの見え方を皆であれこれ議論していたら見ていたのはSDRだった、ということもよくありました

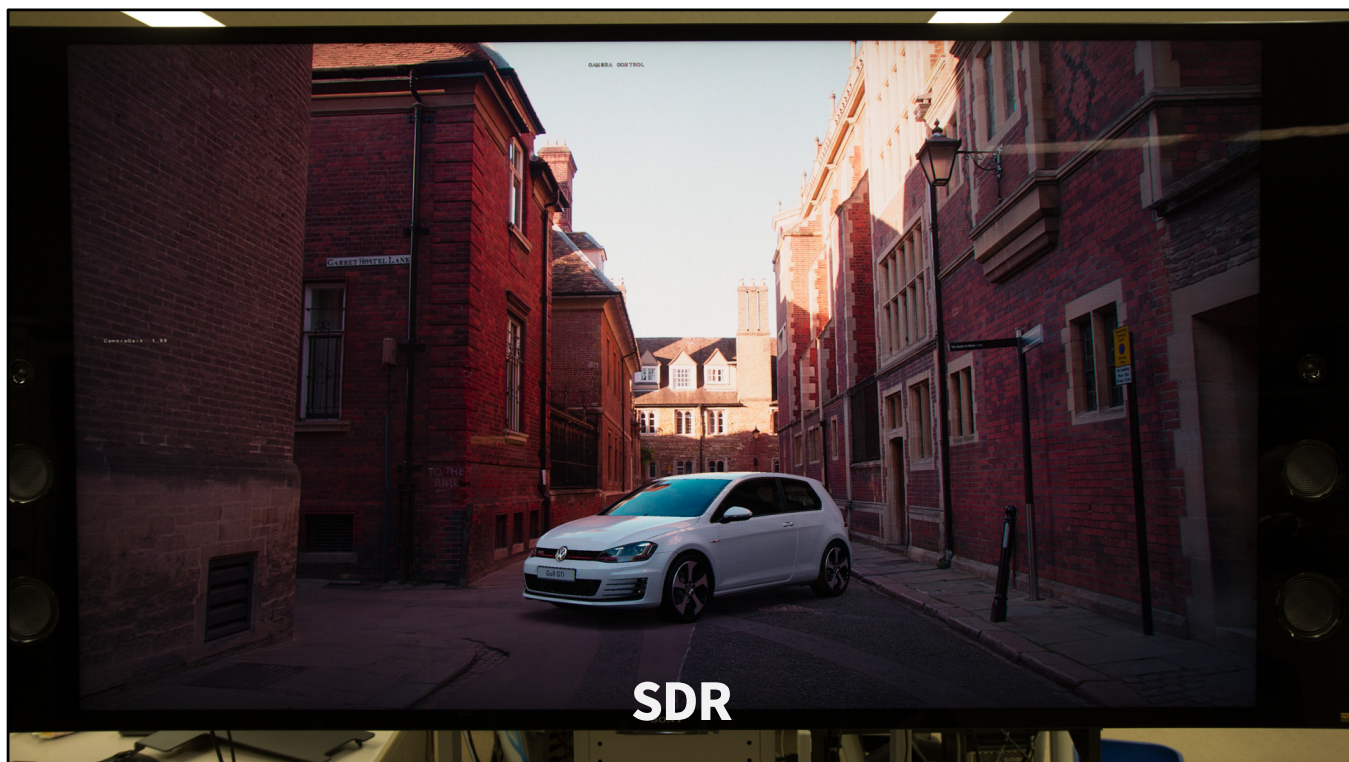
当時のSDR-HDR 比較画像

- 出力は **Sony Bravia X9300C** (2015年発売)
- トーンマッピング結果が SDR-HDR で一貫しているかのチェック



HDRテレビ画面をカメラで撮影した、GT Sport 当時の検証画像が発掘されたので、お見せしましょう
左がSDRで、右がHDRです

上下にオフィスの背景が写っていますが、画面内の白飛びはテレビで発生したもので、カメラではありません
なるほどHDRのほうが空の青がちゃんと出ていて、建物の日なたにも色が残っていますが、左のほうがパンチがあって良い、というひとも多そうですね



重ねて表示してみます。伝わりますか？
こうして比べるとHDRのほうが高級感があり、色がナチュラルっぽいのが何となくわかると思いますが、
コントラストが浅く見える、という感覚もわかると思います

これ、HDRでは影の中が明るくなる以上に空や日なたの輝度をもっと伸びていくはずなんです、性能不足で天井にあたってしまうと暗部が追い付いちゃうんですね



重ねて表示してみます。伝わりますか？
こうして比べるとHDRのほうが高級感があり、色がナチュラルっぽいのが何となくわかると思いますが、
コントラストが浅く見える、という感覚もわかると思います

これ、HDRでは影の中が明るくなる以上に空や日なたの輝度をもっと伸びていくはずなんですが、性能不足で天井にあたってしまうって暗部が追い付いちゃうんですね

それでも

- 見えない **10,000 nits** にこだわり、スケーラブルな開発を続けてきた
 - SDR-HDRシームレス、物理ベースのトーンマッピング実装にこだわった
- **GTの潜在的ダイナミックレンジ**
 - 内部HDRバッファはfp16、最大輝度は最低でも 65,536 nits、ダイナミックレンジは120dB
 - データは10,000 nitsを超えて定義があり、出そうと思えばもっと(適切に)出せる

それでも私たちはいつか出るはずの高輝度をあきらめずに開発を続け、SDRとHDRをまたいで一貫した実装にこだわりました

こんな開発をしている現場は非常に稀だったと思います
内部HDRバッファには十分なダイナミックレンジがあって、それが一貫して出力されるべきだ、というポリシーでもありました

HDRコンテンツのリアル

- 2026年現在も、大部分の民生用テレビは最大輝度 1,000 nits 前後
 - ハイエンド機でも 5,000 nits 未満が多い。規格と現実とは長く乖離したまま
- HDRコンテンツも実態を反映して 1,000 nits マスタリングが主流
 - 大部分が 1,000 nits、稀に 4,000 nits のマスタリングがある程度

さて、先ほども説明されたとおり一般に売られているHDRテレビは、ほとんどが1,000nits程度しか出ない製品です

これに伴い、コンテンツ側もボリュームゾーンを狙って最大1000 nits で意図通り見えるようにマスタリングされていることが多いです

ですから、素性が明らかで 10,000nits をフルに使い切るHDRコンテンツは非常にレアで、見つけるのは困難です
それで、デモ映像をつくるにあたって私たちに白羽の矢が立った、という経緯です

HDRコンテンツのリアル

- 2026年現在も、大部分の民生用テレビは最大輝度 1,000 nits 前後
 - ハイエンド機でも 5,000 nits 未満が多い。規格と現実とは長く乖離したまま
- HDRコンテンツも実態を反映して1,000 nits マスタリングが主流
 - 大部分が1,000 nits、稀に 4,000 nits のマスタリングがある程度
- 近年は 10,000 nits フルスペック輝度を出すとするテレビが出始めた
 - これを受けて、コンテンツ産業にも変化が出てくるかも

ただ、今年に入ってから 10000nits スペックを謳う製品がいよいよ現れはじまりました。実に10年かかりましたが、流れの変化を感じます
今後、コンテンツのつくりも変化していくかもしれませんね

GT meets 超高輝度ディスプレイ



ということで、ようやく本題です
丹精込めてつくったGTの映像を超高輝度ディスプレイに出力したらどうだった
のか？

GT meets 超高輝度ディスプレイ

- ついに現実が追いついた！
 - つくってきた映像のポテンシャルを、私たち自身も10年越しに(おそらく)完全な姿で見た
- 大筋では想像通りだったが、実際に見てはじめてわかることも多かった

素朴な感想ではありますが、開発を始めて10年越しに現実が追いつき、感無量でした

ここからはやや雑多な内容になりますが、作り手としての感想、展示をみるときに注目してほしいポイントを述べていきます

視て実感したこと

- 体感解像度が高い
 - パネルはFullHDだが、体感はもっと高い。コントラストが高いので自然とそうなる
 - 解像感 = 検出できるコントラストの周波数
- 質感表現が克明
 - スペキュラ輝度が本物っぽくなるため、質感の描き分けに優れる
 - 特に鏡面質感や金属質感の表現力、説明力が高い
 - 表示スケールが合えば、さわれそう

まず、体感解像度の高さです。展示のディスプレイは Full HD ですが、もっと高く感じられるはずです
これは自然なことで、コントラストが高ければ輪郭が取りやすくなるので解像感は上がります

それから質感の説得力が高いです。身近な高輝度といえばスペキュラ反射ですが、この強さと色が正しくなることで触れそうな実在感を持つようになります

画作りの変化

- 自動露出補正、コントラスト補正、ポストエフェクトは**不要となる方向**
 - SDR想定 of 画作りが残るとHDRの長所をスポイルしやすい
 - 従来のセオリーはいったんリセットする必要性を強く感じた

これは予想が実証された格好ですが、SDR前提の調整要素はネガティブに出やすいです

自動露出補正はダイナミックな光の変化をフラットに均してしまうので切りました

デモ映像の後半パートに収録されているOPムービーは 10,000nits マスタリングではあるのですが、SDRで見栄えするようにシネマティックな補正が若干加えられています

SDRで良い感じに見えた補正は暗部の黒ずみと過剰な彩度としてあらわれ、修正の必要を感じました

画作りの変化

- 構図、視線誘導の意味が変わる
 - 超高輝度HDRでは、現実のビジョンと同様に**明部と暗部を同時に観察できない**
 - カットひとつの意味が多義的、階層的になる
- 画面にかぶりつく超近接視聴で印象がかなり変わる。ぜひ試してみてください

もうひとつ重要な点は、見た部分が見える、という現実には似た見えかたです

SDRは見やすい低輝度ゆえに構図全体の情報をいっぺんに視認できるのですが、このテレビの映像はコントラストが高すぎて明部と暗部が同時に見えませんそれが生っぽいリアリティにもつながるのですが、どの部分に注目するかで印象がかなり変化するので、映像の見せかたは確実に変化すると思いました

画面に顔を近づけるとこの印象がさらに強まるので試してみてください。眩しいので無理のない範囲でお気をつけて…

その他

- 刺激が強く、長時間視聴は疲れやすい
 - 体験の強度は凄いが、凄すぎて負荷が高い
 - VRゲーミングとちょっと印象が似ている
- 適切に疲労を抑える工夫が今後のコンテンツ調整のメインになるのかも
 - SDRは負荷が低くて見やすい、ということも改めて感じられた

気になるのは刺激がすごいだけに疲れやすいことで、長時間視聴を想定するのなら何らかの工夫が必要と感じられました

SDRは人間のコントラスト知覚が安定的な輝度範囲だけを使うんですが、

その他

- 画面中央付近の高輝度はインパクトがあるが、刺激過多になりやすい
 - 直視できず、反射的に画面から目を背けてしまう
 - 眼に圧力や熱を感じる、かつてないリアリティがあるので短時間なら使い道あり
- 画面端付近の高輝度がかなり良い仕事をする
 - 視線の外から臨場感のあるコントラストを与えつつ、被写体を際立たせてくれる
- HDRにはHDRの調整作法があるはず

そしてやはり画面中央に視線が向きやすく、中央付近の高輝度は良くも悪くも攻撃性が高いです。インパクトがある、とも言えますが
いっぽう画面端に配された高輝度は十分な臨場感を残す割に攻撃性がマイルドで、これは扱いやすそうだという印象を持ちました

これはたまたまの感想にすぎませんが、HDRのコンテンツ制作にも今後こうした知見が蓄積されていくのだろうと思います



これが「画面端付近の高輝度」の例です
これは SpecII のオープニングのワンカットで、デモ映像にも入っています。
この画像では見えませんが、HDRでは右上に太陽が光っているのが見えます

メインの被写体はGT-Rのお尻で、この部分だけだと何てことない落ち着いた輝度分布なんですが、右上の眩しさのおかげでシーン全体が生っぽくリアルに見えつつ、きつくない
ぜひとも展示を見ていただきたいポイントです

HDRと撮像素子

撮像素子のブレークスルー

ソニーの廣田に戻ります。
少し話が変わりますが、ここからは撮像素子のブレークスルーとしてHDRがとれる
カメラについてお話しします

撮像（カメラ）とゲーム

- ゲームと実写の関係
 - CGであっても、リファレンス・素材としての実写は有用
- どうやって”見たままを丸ごと”持ち帰るか
 - カメラによって撮れる”実写”と”現実”はイコールではない
 - ⇒HDRのレンジを撮影することのできるカメラが必要

ゲームは基本CGであるものの、そのCGを作るためのリファレンス・素材として実写データが役に立つ場面も多いかと思います。

したがって、どうやってみたままのリアルなものを持ち帰るか、が撮像の大きな役割になります。

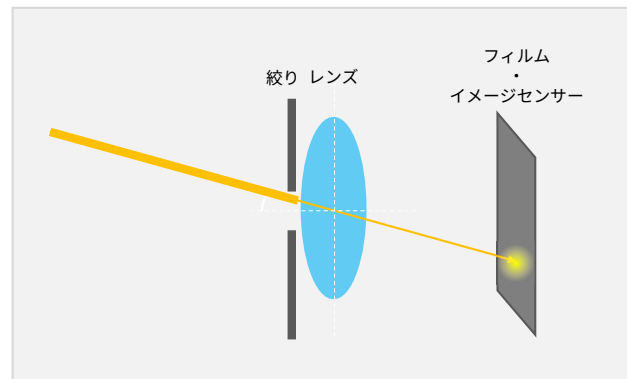
残念ながら現状の撮像技術で切り取ることのできる実写の品質は、まだまだ現実には届いていません。

その大きな要因が、先ほどのディスプレイと同様に、撮像にも輝度範囲に制限があることです。

では、なんとかHDRのレンジを撮れるカメラを作れないか、というのがこのセクションでのお話になります。

そもそも撮像とは

- 光の方向と量を面で記録する
- 光の方向
 - 面の位置が対応
- 光の量
 - フィルム: 感光した微粒子の密度で表現
 - イメージセンサー: 画素単位の信号**強度**



そもそも撮像とは何でしょうか。一言でいえば、光の方向と量を面で記録するものです。

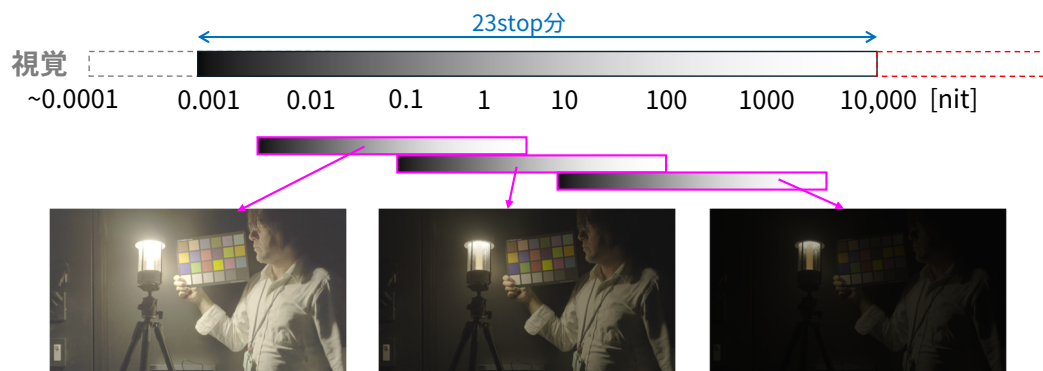
光がレンズや絞りを通過して、面、つまりフィルムやイメージセンサーに当たるわけですが、

その光の量は、フィルムでは感光した微粒子の密度、イメージセンサーでは画素単位の信号の強弱に対応します。

撮影出来る光量の範囲

- ダイナミックレンジ (stop数)

- $\text{stop数} = \log_2 \left(\frac{\text{検出できる最大の光量}}{\text{検出できる最小光量}} \right)$
- カメラは限られたstop数で、露出を調整して記録している



ではカメラはその光量をどれくらいの範囲でとらえられるのか - その指標はダイナミックレンジで定義されます。

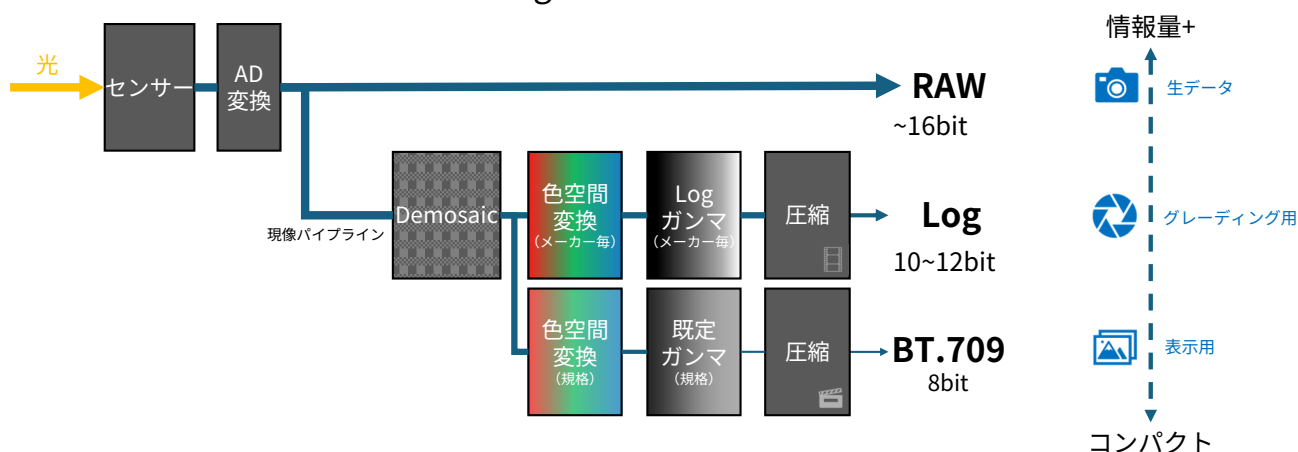
カメラの構造上、入ってくる光の量は絞りやシャッタースピードなどでコントロールすることができてしまうので、飽和せずに検出出来る最大の光量と、ノイズにうもれず検出できる最小の光量の比で性能を表します。

ストップ数という指標が良く使われ、1ストップ増えるごとに光の量のレンジは倍になります。

視覚の範囲全部を捉えるには23stop必要ですが、通常のスマートフォンなどのダイナミックレンジは10stop程度にすぎません。普段我々は意図した被写体がちゃんと写るように露出を調整して、ごく限られた範囲を記録していることになります。

動画記録フォーマットの種類

- 編集用途ならRAW、もしくはLogで記録



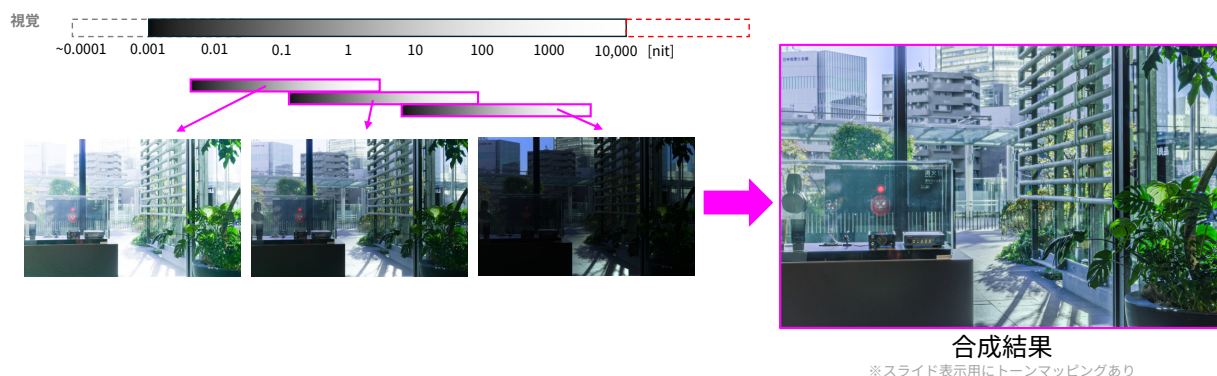
ここで、動画の記録フォーマットについても触れておきます。
カメラで使えるフォーマットにはいくつかありますが、処理系で表現したものがこのフローになります。大まかに3つあり、

- 最もセンサーの生データに近く情報量が多いのがRAW
- 次いで、ある程度データが整えられつつ情報量もかなり残っていて、グレーディングなどに使いやすいのがlog、
- 撮って出しの表示用がbt709

といった特徴があり、用途に応じてうまく使い分けるのが肝心です。
例えばHDRのような詳細な情報が要求される場合は、RAWもしくは、最低限log撮影が必要になってきます。

ダイナミックレンジ拡大へのアプローチ

1. ブラケット合成（露出をずらして足し合わせる、静止画用）



2. センサー自体の進化も進む

- 小型で16stopのものも（LOFICなど）

では、広大な視覚の輝度範囲をカバーするためには、どうやってダイナミックレンジを拡大すればいいのでしょうか。

一つはブラケット撮影です。

1回の撮影では範囲が足りないので、範囲をずらしながら撮っていった、最終的に明るいところから暗いところまでカバーできる画像を合成して作ります。しかし、この方法は撮影時刻がずれるので、基本的に静止物にしか使えないという制約があります。

もう一つのアプローチはもっとストレートで、センサー自体のダイナミックレンジを増やすというものです。

最新のLOFICと呼ばれる技術では16stopものレンジを持つものも出てきており、まだまだHDRの23stopには届きませんが、地道な努力が続けられています。

今回試作したHDRカメラ

- 高ダイナミックレンジなセンサーを2つ活用
- ほぼ視覚の輝度レンジをカバー
- 8KフルサイズのHDR動画を撮影可能



それでは、今回試作したHDR対応カメラについてお話していきます。

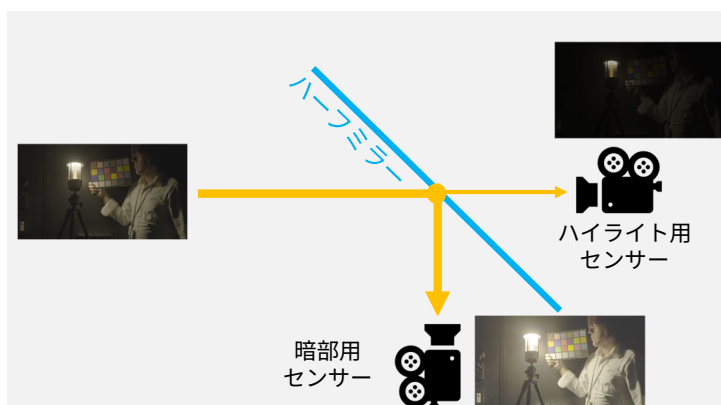
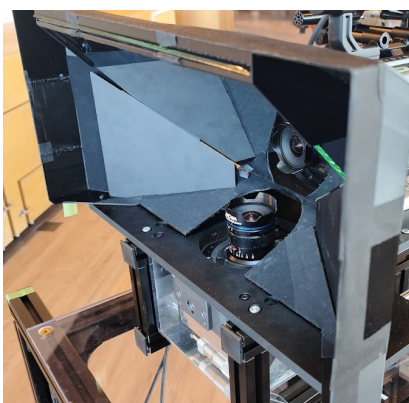
このカメラは、高ダイナミックレンジなセンサーを2つ活用することで、力業でダイナミックレンジを補っています。

これによりほぼ視覚の輝度レンジをカバーしつつ、8kフルサイズの動画を撮影可能となっています。

いかにも試作といういで立ちですが、なんとか現場に持ち運んで撮影することもできます。

技術的な工夫

- ハーフミラーを使って2つのカメラに光を分配
- 露出差のある動画を同期撮影し、フレームごとに合成



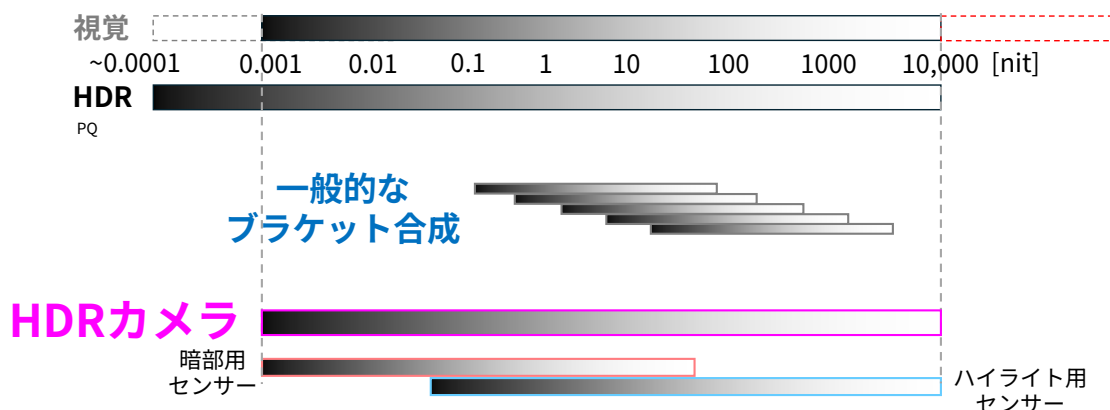
技術的な工夫を簡単に説明します。

まず、左の写真の下に見えているカメラは本物のカメラで、その上にあるハーフミラーの裏側にもう一台のカメラが隠れています。

構造は右の図のように非常にシンプルで、ハーフミラーで分岐された光が、2つのカメラのセンサーに入射して、それぞれが違う明るさで映像を捉えています。2つのカメラは同期しているため、毎フレームを合成することで、HDRの動画を作成することができる、という仕組みです。

ダイナミックレンジ

- 2つのセンサーで視覚の輝度範囲をほぼカバー



このHDRカメラでとれる輝度の範囲を図示したのがこちらです。
通常のセンサーだとダイナミックレンジが狭いため、多くの枚数の合成が必要となりますが、
今回は、最新の高ダイナミックレンジなセンサーを使うことで、たった2つのセンサーを組み合わせるだけで視覚のほぼ全輝度をカバーできています。

ダイナミックレンジの確認実験



実際に撮影してみた初期の原理実験の結果です。

左がハイライト用、中央が暗部用のセンサーの撮影結果で、右はその二つを合成したものです。

この映像は撮影後に明るさを持ち上げたり、抑えたりしてどの程度ちゃんと撮れているかを確認している様子ですが、

合成結果はそれぞれの良いとこどりをして、室内の暗部のノイズもなく、屋外の白飛びもなく、クリアに撮影できていることが分かります。

実現できたこと

- 見えているものをすべて記録でき、撮影時に露出調整する必要がない

※撮影後に露出を変更した例



まとめます。このHDRをほぼカバーするHDRカメラができたことによって、これまで残せなかったものが残せるようになりました。目に見えているものはほぼすべて記録できているので、撮影時に露出補正する必要すらないというのは、不思議な感覚を覚えます。

この映像はHDR合成後の動画の露出を変えたものです。暗い室内から、屋外の直射日光に照らされる白いビルまで余すことなく撮影できていることが分かるかと思います。

映像: INZONEの映り込みはPE広報・マーケティングチェック済み(6/22)

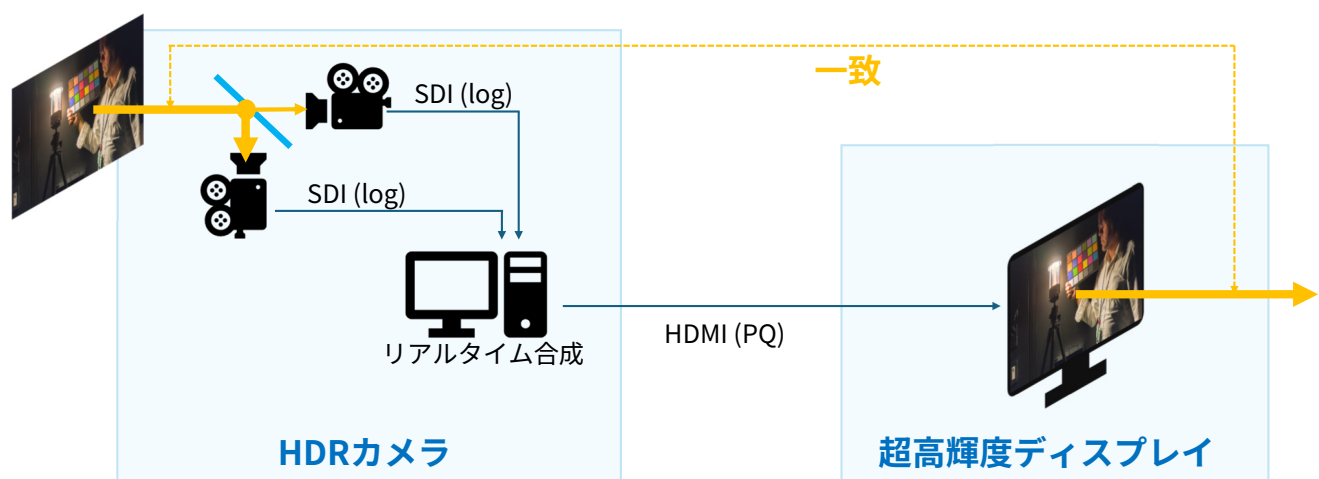
HDRと撮像系

撮像x表示の一気通貫

撮像と表示の一気通貫

HDRカメラと超高輝度ディスプレイの統合

- 目の前に見える**光**をリアルタイムにディスプレイ上に再現



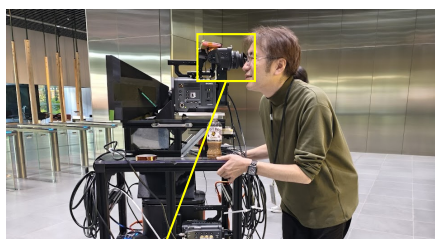
このHDRカメラと超高輝度ディスプレイを組みわせるとこんなことができます、
というお話をします。

HDRカメラをリアルタイム化し、処理結果をHDMIで超高輝度ディスプレイに
送って表示するというシステムを作りました。

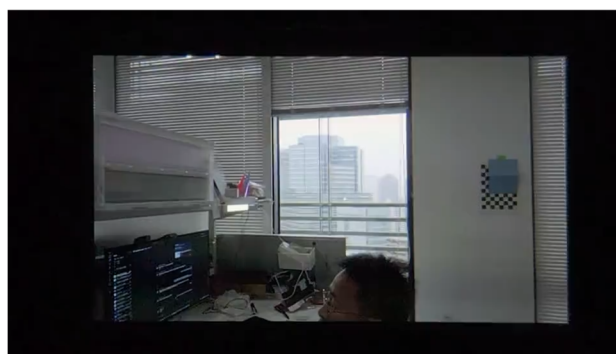
これにより、現実の光をスルーしてそのままディスプレイ上に再現できる環境
が整いました。

応用例: 実輝度EVFファインダー

- OLEDマイクロディスプレイを使った超高輝度なEVFファインダー
 - 全白輝度10,000 nits、フルHDで光学ファインダーに迫る視認性
 - 見たままの明るさで記録できる



ECX350F OLEDマイクロディスプレイ
0.44型 / 1920x1080pix / 10,000 nits

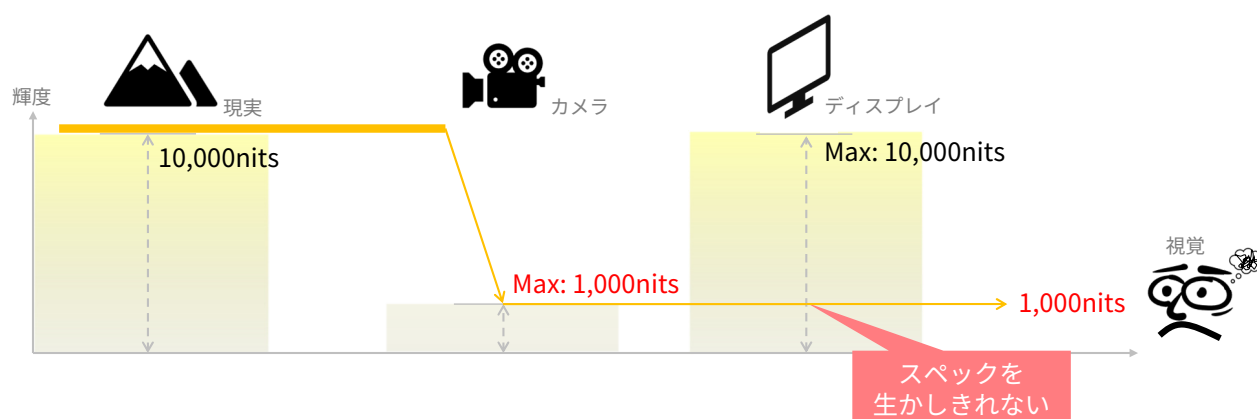


ファインダーを覗いた様子

では、具体的にどんなユースケースがありえるでしょうか。リアルタイムに見たいケースの一例としてファインダーへの応用例を試作してみました。実はOLEDでもマイクロディスプレイのように小さければ全白10,000 nits表示が可能なものが実在します。そのOLEDマイクロディスプレイをEVFとして組み込むことで、現場で見たままの明るさで記録できるカメラができました。右のデモ映像では、窓の外の世界は5000 nitsを超えているのですが、ファインダー越しと直視で同じ明るさになっているのが分かります。実際に使っていると、光学ファインダーを見ているのか、EVFを見ているのかよくわからない感覚に陥ることができます。

一気通貫がもたらすもの

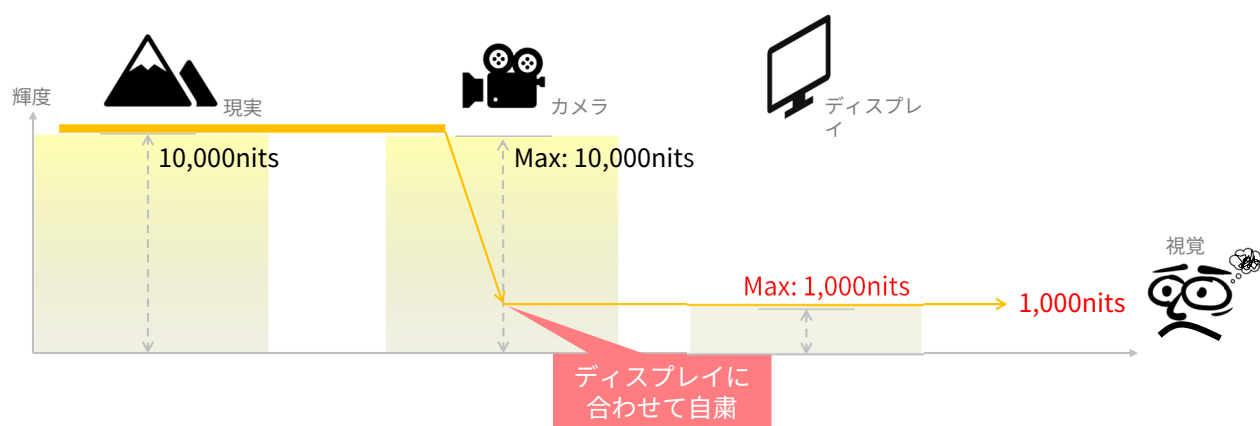
- 従来：カメラ・ディスプレイがボトルネックに



この一気通貫のフローができると何がうれしいのでしょうか。
これまではカメラ、とディスプレイ、それぞれがボトルネックとなり、規格があるにもかかわらず、すり合わせが必要でした。
結局フローの中で最も低い輝度に合わせて作りこむことになります。
このケースではカメラがボトルネックとなりディスプレイのスペックを生かし切れていません。

一気通貫がもたらすもの

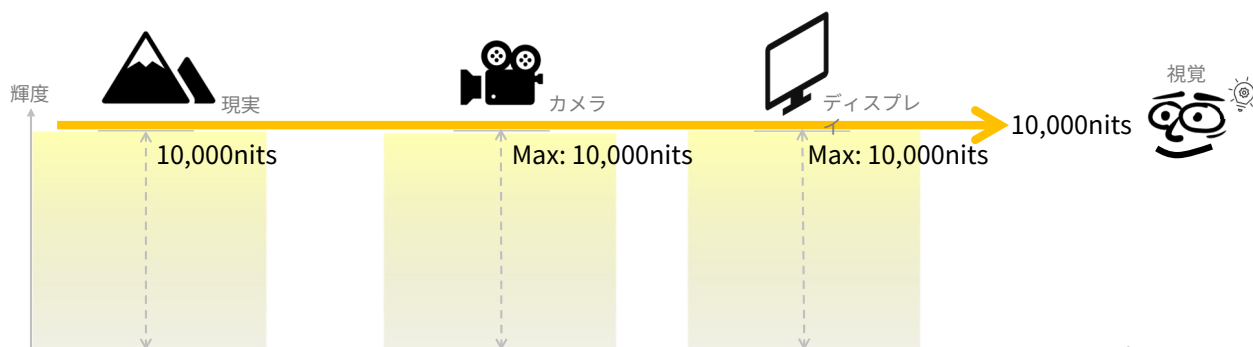
- 従来：カメラ・ディスプレイがボトルネックに



また、この例では、ディスプレイのスペックが低いゆえに、カメラ側が自粛する形で性能を抑えることになってしまいます。

一気通貫がもたらすもの

- 一気通貫：撮像から表示までが現実世界の輝度と一致



しかし今回の一気通貫のフローでは、撮像～表示までHDRの輝度をフルにサポートできているので、全体の一貫性を保つことができることが大きな利点です。

さらにそれだけでなく、人間の視覚範囲をカバーしているので、現実世界とも一致させることができ、後で見たときに記憶と違う、ということがおこりにくいです。

GT制作におけるメリット

- 現地の光のありようを、かなり忠実にスタジオに持ち帰れる望みがある
- **一貫性のあるエンドツーエンド設計の信頼感**
 - 結果に違和感があったとき、原因箇所の特定が大変！

ではGTの制作においてはどんなメリットがあるのでしょうか。

まず、現地の光のありようを、かなり忠実に持ち帰ることができることが期待できます。

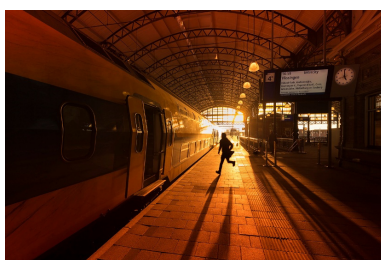
また、撮像から表示までを保証する設計によって、何か違和感があったときに原因がどこにあるかを見つけることも容易になると思われます。

エンタメ全般におけるメリット

- 輝度という軸で表現の幅が広がる
 - 10,000 nitsになると、“まぶしい”という新しい映像体験になる
- 体験がリアルに近づく
 - 現場を追体験しているような感覚が得られる



暗闇に揺らめくろうそく



逆光が差し込む屋内



手をかざしたくなるような光

ゲームに限らず、エンタメ全般においてはどのような役割を果たすことができるでしょうか。

これまでも映像は、解像度、色再現、コントラスト、フレームレートなどなど様々な軸で進化してきました。

今回の輝度範囲は、新たな軸として表現の幅を広げてくれます。

10,000 nitsになると“あかるい”ではなく、“まぶしい”という感覚があり、5,000 nitsなどとは明確に異なった知覚が体験できます

しっかりと人間の視覚の輝度範囲をカバーすることで、現場をリアルに追体験するような感覚が得られるようになると我々は考えています。

画像: office stock

まとめ

では、最後に、今日の発表のまとめとなります。

まとめ

- 10,000 nitsを超える超高輝度ディスプレイを試作しました。これは、高輝度から低輝度で非常にダイナミックレンジの広い映像を実現できるものとなりました
- Gran Turismo 7を表示したところ、これまで作ってきたデータの真価が発揮され、非常に良い体験を得ることができました
- さらに、HDRカメラも試作しました
- それらを組み合わせることで、これまでにない、入力と出力で一貫したHDR体験を得ることができました

まず、ソニー側で10,000 nitsを超える超高輝度ディスプレイを試作しました。これは、高輝度から低輝度で非常にダイナミックレンジの広い映像を実現できるものとなりました。

これを用いて、Gran Turismo 7を表示したところ、これまで作ってきたデータの真価が発揮され、非常に良い体験を得ることができました。

さらに、これまでよりも広いダイナミックレンジを撮像できる、HDRカメラも試作しました。

ディスプレイとカメラを組み合わせることで、これまでにない、入力と出力で一貫したHDR体験を得ることができました。

最後に言いたいこと

- 出力も入力も高ダイナミックレンジはいいぞ！
- 是非、今回の超高輝度ディスプレイによるGran Turismo映像を体験してみてください！
 - 会場出てすぐ、展示エリアまで、見に来てください！

最後に言いたいことはこれです。

出力も、入力も、高ダイナミックレンジであることはとても価値あることです。

是非、今回の超高輝度ディスプレイによるGran Turismo映像を体験してみてください！

会場出てすぐ、展示エリアにて展示中です。

発表は以上となります。ありがとうございました。

おわり