

BT.2020規格での映像制作： 認知に基づく映像のリアリティ

CGWORLD Conference 2015



Logoscope provides the workflows to manage video productions including shooting, editing, screening and visual effects for movie companies. We now focus on the construction of the **scene-linear workflow** based on **ACES** color space for digital cinema and TV-CM.

株式会社ロゴスコープは、Digital Cinema 映像制作における撮影・編集・VFX・上映に関するワークフロー構築およびコンサルティングを行っている。とりわけ**ACES**規格に準拠したシーンリニアワークフロー、高リアリティを可能にする **BT.2020** 規格を土台とした認知に基づくワークフロー構築に取り組んでいる。最近では、360度映像とVFXによる“**Virtual Reality Cinema**”のワークフローに力を入れている。また設立以来、博物館における収蔵品のデジタル化・デジタル情報の可視化にも取り組んでいる。

Logoscope



認知に基づく映像のリアリティ BT.2020規格での映像制作

CGWORLD vol.206
2015年10月号 26page
完売 - Sold out

Introduction

放送と映画の映像規格

映像制作に関する最新の研究を紹介する今回の特集。次世代の映像制作を理解するうえで欠かせないのが映像規格だ。解像度やフレームレートなど映像のパラメータを、既定する規格について、次世代の放送規格「BT.2020」と、これまでのデジタルシネマ規格「DCI規格」とを照らし合わせながら見ていこう。

執筆 亀村文彦 (ロゴスコープ)
テクニカルアーティスト

株式会社ロゴスコープ代表取締役。映像制作における撮影、編集、VFX、上映に関するワークフロー構築およびコンサルティング。映像制作は多岐にわたるデジタル技術の集大成であり、映像制作を円滑に進めるには、最新の技術と人材の育成が不可欠である。現在は、デジタルシネマワークフローの構築と運用の中心に携わっている。www.facebook.com/logoscope.jp

TOPIC 01

次世代の放送方式「Rec.ITU-R BT.2020」

「Rec.ITU-R BT.2020」(BT.2020 / Rec.2020とも呼ばれる)とは、UHDTV (Ultra-high-definition television)と呼ばれる次世代のデジタルビデオフォーマットに関するパラメータ(空間解像度やフレームレート、色空間、色深度など)が記述された規格である。ITU (International Telecommunication Union / 国際電気通信連合)によって、2012年8月23日に勧告化された。現在、そのパラメータを採用した各ハードウェア(Canon C500, SONY BVM-X 300など)やソフトウェア(Maya 2016, Nuke 9など)の発売もはじまっている。BT.2020の中では、解像度は8K(7,680×4,320)、4K(3,840×2,160)、フレームレートは最大120Hz、色域はHDTV標準のsRGB色空間の150%もの色域をもつ。これらのパラメータは2005年より規格化がはじまり、成熟を遂げつつあるデジタルシネマ規格(DCI)のパラメータを大きく超えるものである。放送と映画の境界を曖昧にする。BT.2020規格の詳細をまずは見ていこう。

TOPIC 02

UHDTV(BT.2020)とデジタルシネマ(DCI)の比較

UHDTV(BT.2020)、デジタルシネマ(DCI)に従来の放送規格HDTV(Rec.709)を加えて、各パラメータを比較したものが図1。BT.2020の最大8K(7,680×4,320)解像度は、Rec.709のHD(1,920×1,080)の16倍、DCI-4K(4,096×2,160)の3.75倍の画素比をもつ巨大な解像度だ。また、フレームレートの違いを考慮して、映像の1秒間あたりのデータ量(ビットレート)に換算して比較すると、8K-120Hzは映画のDCI-4K-24Hzの18.75倍、

Rec.709-60Hzと比べると38.4倍ものデータ量になる。次に色空間(カラースペース)に着目し、それぞれの三原色、およびホワイトポイントの値をまとめたのが図2。これらの値をxy色度図にプロットしたものが図3。UHDTV(BT.2020)が劇場の映画スクリーンで観賞するDCI-P3の約130%もの色域をもっていることがわかる。なお、Maya 2016やNuke9.0のColorspaceモードなどで、映像の1秒間あたりのデータ量(ビットレート)に換算して比較すると、8K-120Hzは映画のDCI-4K-24Hzの18.75倍、

図1 映像パラメータ比較表

Parameter	X	Y	h	h	3D	Hz	GB/s
BT.2020 8K	7680	4320	12	1	120	143.327232	
BT.2020 4K	3840	2160	12	1	120	35.831908	
DCI 4K(proposed)	4096	2160	12	1	60	19.1102976	
DCI 2K 3D(proposed)	2048	1080	12	2	60	9.5551488	
DCI 2K(proposed)	2048	1080	12	1	120	9.5551488	
DCI 4K	4096	2160	12	1	24	7.64411904	
Rec.709	1920	1080	10	1	60	3.78248	

図2 三原色・ホワイトポイントの値

Parameter	x	y
BT.2020		
Red	0.70800	0.29200
Green	0.17000	0.79700
Blue	0.15000	0.06000
White(D65)	0.31270	0.32900

Parameter	x	y
DCI-P3		
Red	0.68000	0.32000
Green	0.26500	0.69000
Blue	0.15000	0.06000
White(D65)	0.31400	0.33100

Parameter	x	y
Rec.709		
Red	0.64000	0.33000
Green	0.30000	0.60000
Blue	0.15000	0.06000
White(D65)	0.31270	0.32900

図3 三原色をプロットしたxy色度図

図4 1秒間あたりの映像のデータ量(ビットレート)比較図

Parameter	GB/s
BT.2020 8K	143.327232
BT.2020 4K	35.831908
DCI 4K	19.1102976
DCI 2K 3D	9.5551488
DCI 2K	9.5551488
DCI 4K	7.64411904
Rec.709	3.78248

図5 三原色をプロットしたxy色度図

図6 ハイフレームレートデジタルシネマ

図7 三原色をプロットしたxy色度図

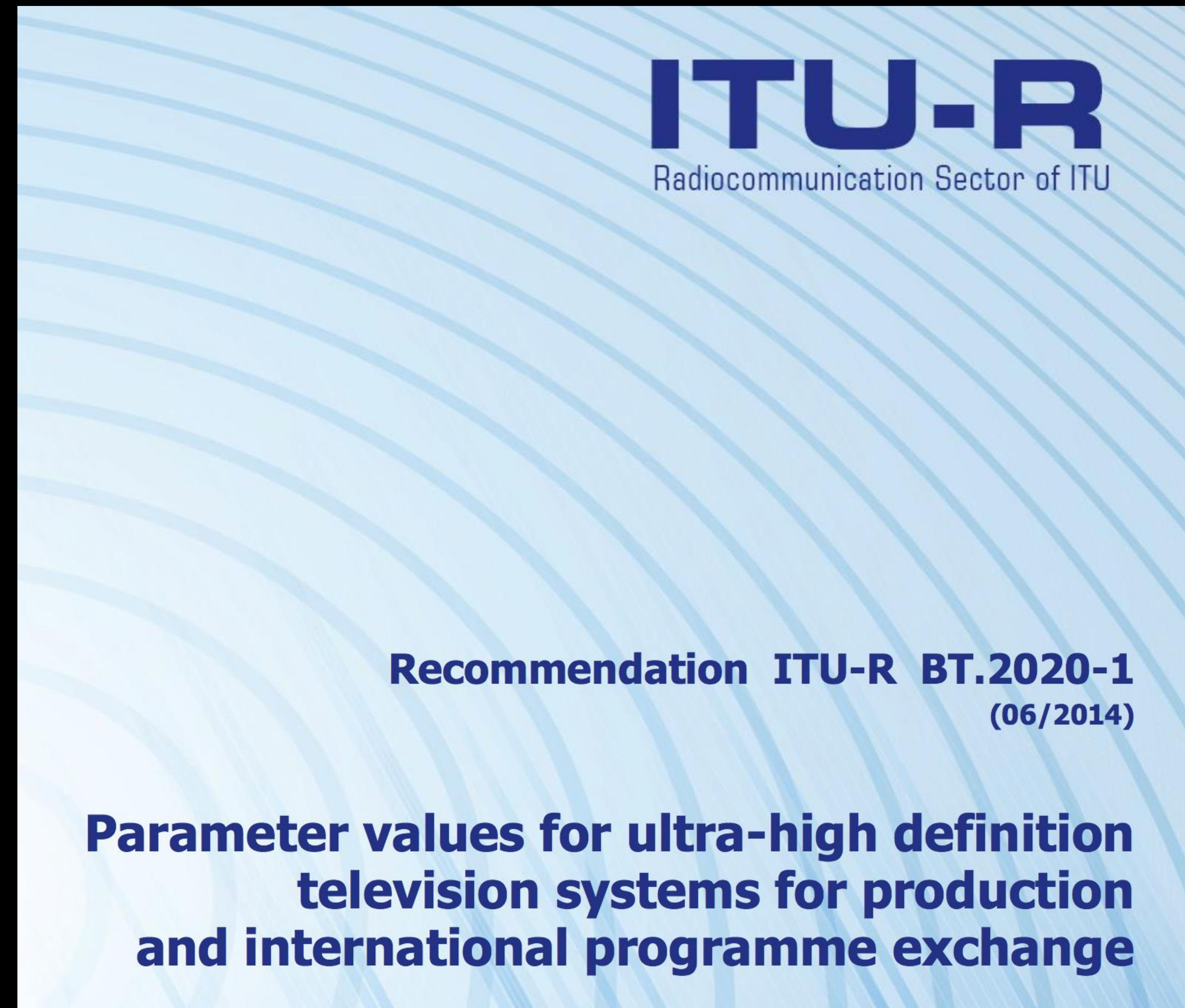
064 CGWORLD 2015_10

065

2015/11/22. Fumihiko Kamemura Logoscope Logoscope Ltd., kame@logoscope.co.jp

What's BT.2020

- 2012年にITU-Rによって制定された国際標準映像規格
- この放送規格は、国際的にUHDTV と呼ばれる
- 日本のNHKでは Super Hi-Vision の呼称



Beyond the Cinema Quality: Resolution

比較

01

空間解像度

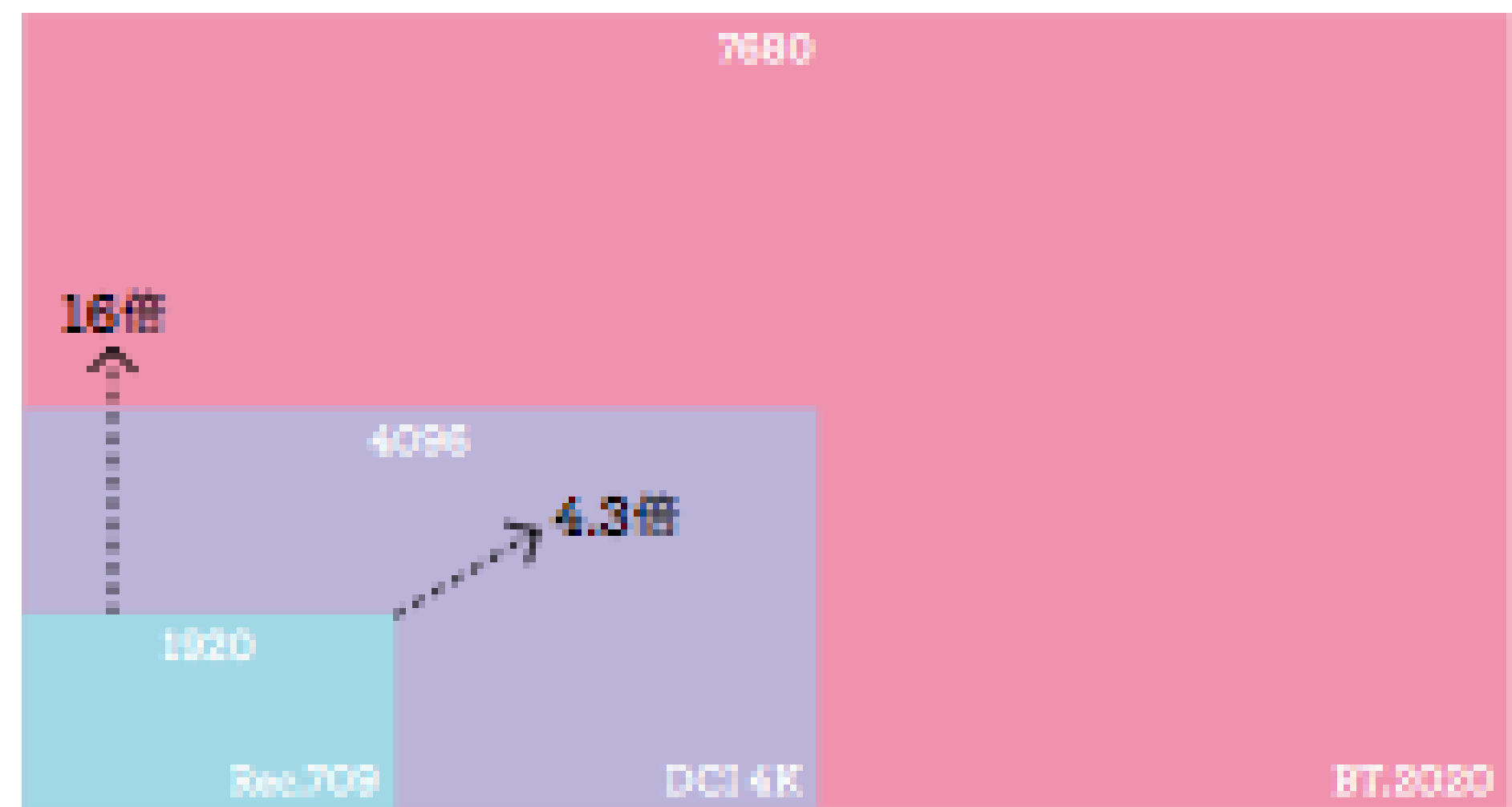
BT.2020の資料に記載された空間解像度パラメータ。8K (7,680 × 4,320) と 4K (3,840 × 2,160) のみ2つの解像度が規定されている

Parameter	Values	
Picture aspect ratio	16 : 9	
Pixel count Horizontal × vertical	7680 × 4320	3840 × 2160

表1 映像パラメータ比較表

Parameter	X	Y	bit	3D	Hz	Gb/s
BT.2020 8K	7680	4320	12	1	120	143.327232
BT.2020 4K	3840	2160	12	1	120	35.831000
DCI 4K(proposal) ※ FIB, Pickup を参照	4096	2160	12	1	60	19.1102976
DCI 2K 3D(proposal)	2048	1080	12	2	60	9.5551488
DCI 2K(proposal)	2048	1080	12	1	120	9.5551488
DCI 4K	4096	2160	12	1	24	7.64411904
Rec.709	1920	1080	10	1	60	3.73248

図1 空間解像度の比較図



Beyond the Cinema Quality: Refresh Rate

比較

02

時間解像度
(フレームレート)

BT.2020の資料に記載された時間解像度(フレームレート)のパラメータ。最大で120Hzのフレームレートが規定されている。またヨーロッパなど50Hzで放送がされている地域では100Hz、日本などの60Hz(59.94)地域では119.88Hzが使われることをコメントとして追加している

Parameter	Values
Frame frequency (Hz)	120, 60, 60/1.001, 50, 30, 30/1.001, 25, 24, 24/1.001
Scan mode	Progressive

POINT

従来の59.94Hzとの整合性を取るため、前述のように119.88Hzがコメントとして記載されている。日本でBT.2020が運用される場合、119.88Hzが主に用いられることになるだろう

Pick up

ハイレームレートデジタルシネマ

Frame Rates (DCI L3 [X], Proposed [P])			
EU/sec	2K2D	2K3D	4K2D
24	X	X	X
48	X	P	P
60	P	P	P
96	P		
120	P		

従来の映画のフレームレートである24Pを超えるハイレームレートデジタルシネマが公開されつつある。DCI (Digital Cinema Initiatives) では、ハイレームレートデジタルシネマにおけるパラメータ案を公表している(2015年6月に改訂/  を参照)。映画「ホビット」三部作では48P、3Dのフォーマットで制作、および一般上映が行なわれていたが、右記の表における48-2K3D (Proposed) のテーブルの規格案で制作されたことがわかる

出典: [High Frame Rates Digital Cinema Recommended Practice]
Approved for Distribution September 28, 2012; September 27, 2013; and July 16, 2015.
Digital Cinema Initiatives, LLC, Member Representatives Committee
www.dcinovies.com/Recommended_Practice

Beyond the Cinema Quality: Color

比較

03

色空間
(カラスペース)

BT.2020の資料に記載された色空間(カラスペース)のパラメータ。ホワイトポイントはRec.709を参照してD65 (x=0.3127, y=0.3290) が用いられている

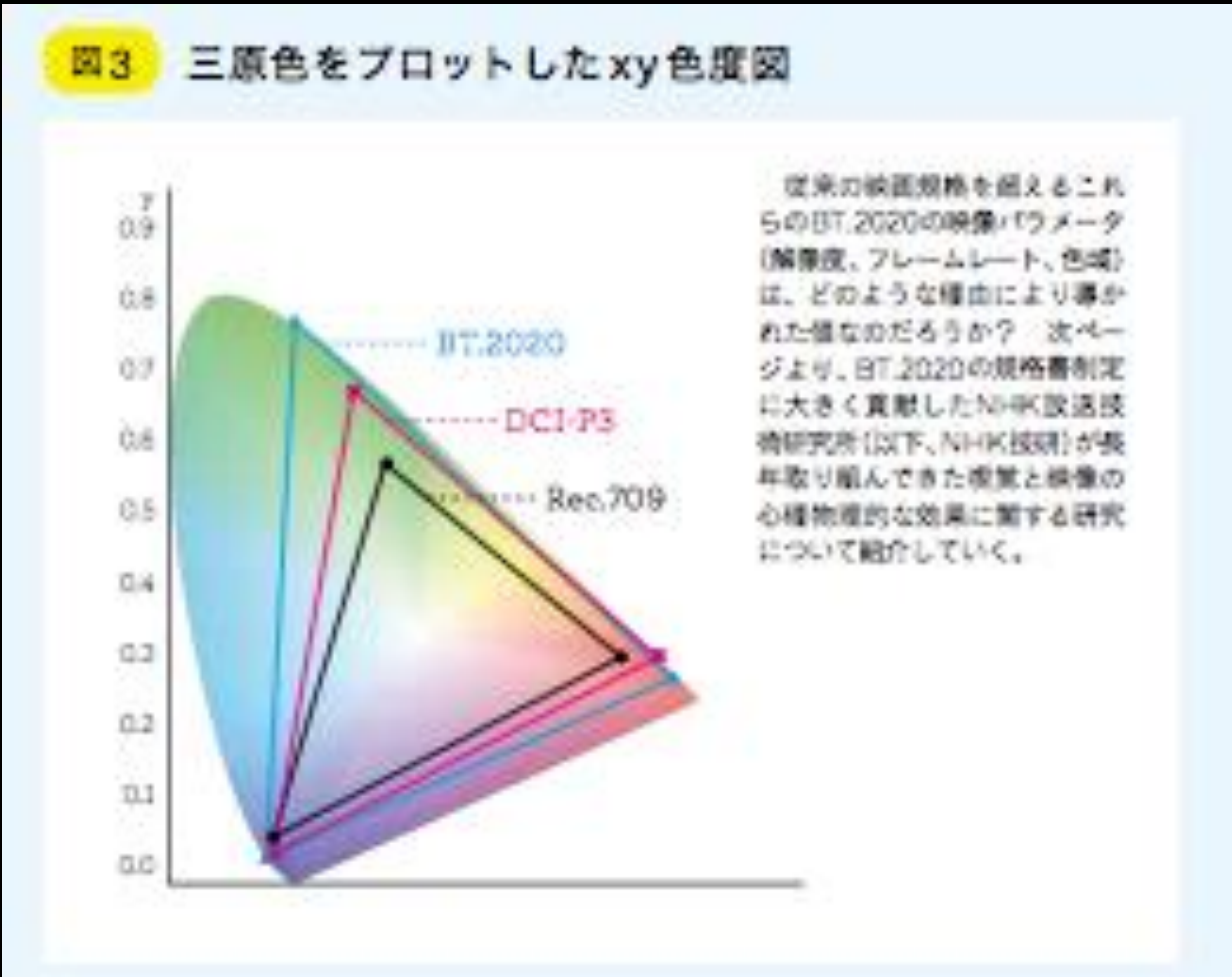
Parameter	Values		
Primary colours and reference white	Chromaticity coordinates (CIE, 1931)	x	y
	Red primary (R)	0.700	0.292
	Green primary (G)	0.170	0.787
	Blue primary (B)	0.131	0.046
	Reference white (D65)	0.3127	0.3290

表2 三原色・ホワイトポイントの値

BT.2020	x	y
Red	0.70000	0.29200
Green	0.17000	0.78700
Blue	0.13100	0.04600
white(D65)	0.31270	0.32900

DCI-P3	x	y
Red	0.68000	0.32000
Green	0.26500	0.69000
Blue	0.15000	0.06000
white(D65)	0.31400	0.35100

Rec.709	x	y
Red	0.64000	0.33000
Green	0.30000	0.60000
Blue	0.15000	0.06000
white(D65)	0.31270	0.32900



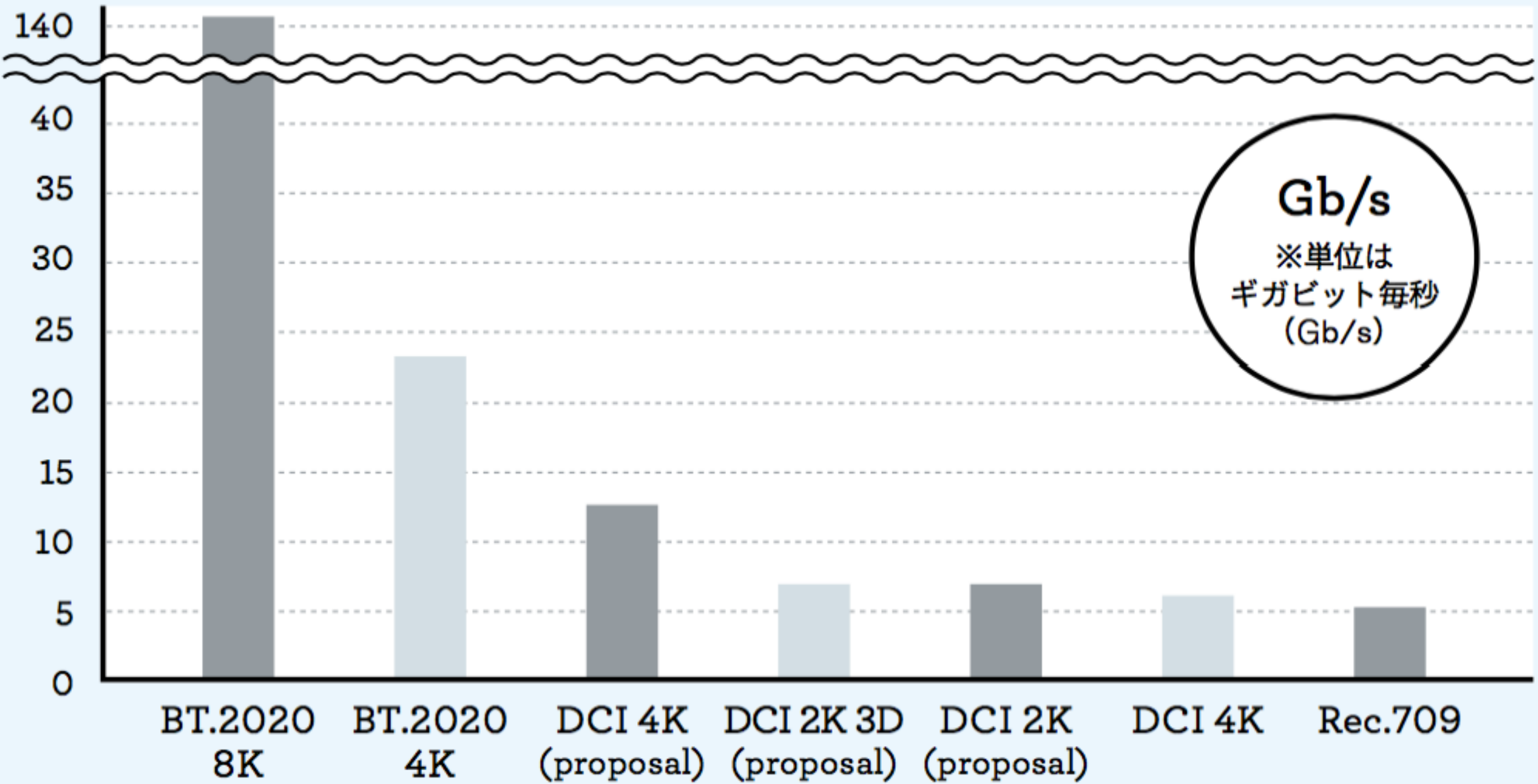
Beyond the Cinema Quality: Bit Rate

表1 映像パラメータ比較表

Parameter	X	Y	bit	3D	Hz	Gb/s
BT.2020 8K	7680	4320	12	1	120	143.327232
BT.2020 4K	3840	2160	12	1	120	35.831808
DCI 4K(proposal) ※FEB. (Pick up) を参照	4096	2160	12	1	60	19.1102976
DCI 2K 3D(proposal)	2048	1080	12	2	60	9.5551488
DCI 2K(proposal)	2048	1080	12	1	120	9.5551488
DCI 4K	4096	2160	12	1	24	7.64411904
Rec.709	1920	1080	10	1	60	3.73248

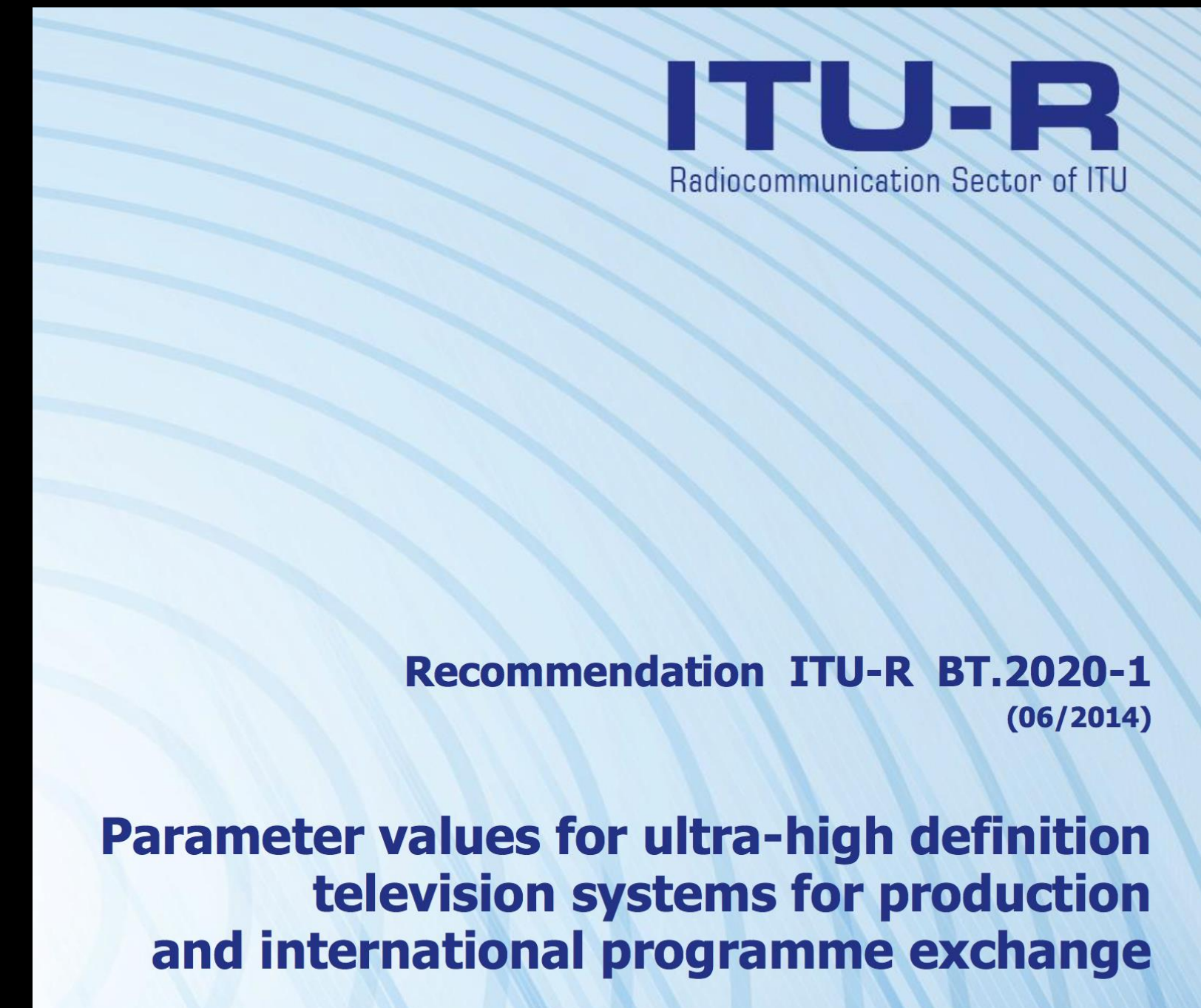
図2 1秒間あたりの映像のデータ量(ビットレート・最大値)比較図

ビットレート＝縦ピクセル数×横ピクセル数×bit数×フレームレート (fps)
(※3Dであれば2画面分の2倍の係数をかける)

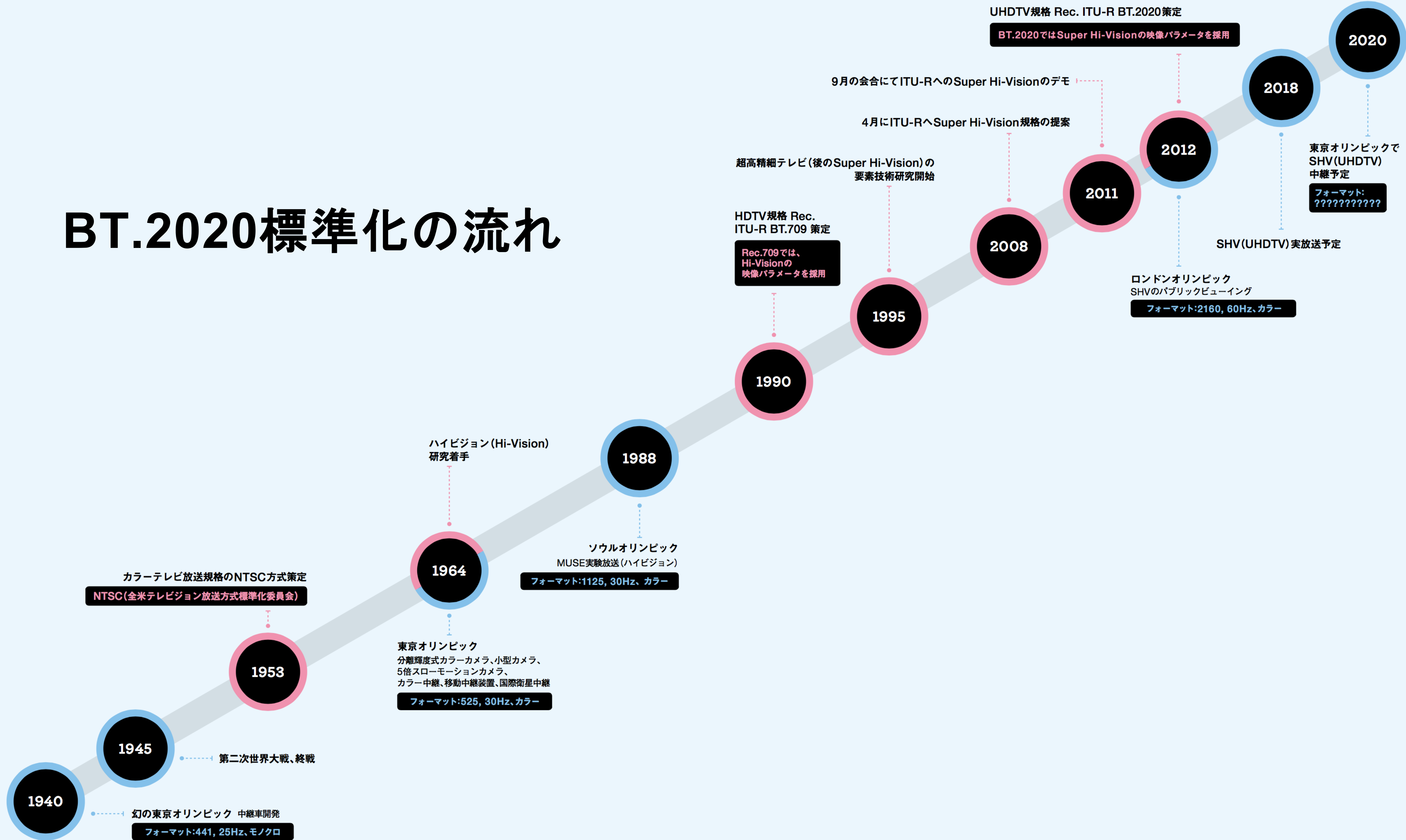


Standardization for BT.2020

- NHK技研は、次世代放送規格 Super Hi-Vision(SHV) の研究を1995年に開始。
- 2011年に、ITU-RへのSHVのデモ
- 2012 年にSHVのパラメータが、BT.2020として国際標準化



BT.2020標準化の流れ



UHD: Ultra High Definition

HFR: High Frame Rate

WCG: Wide Color Gamut

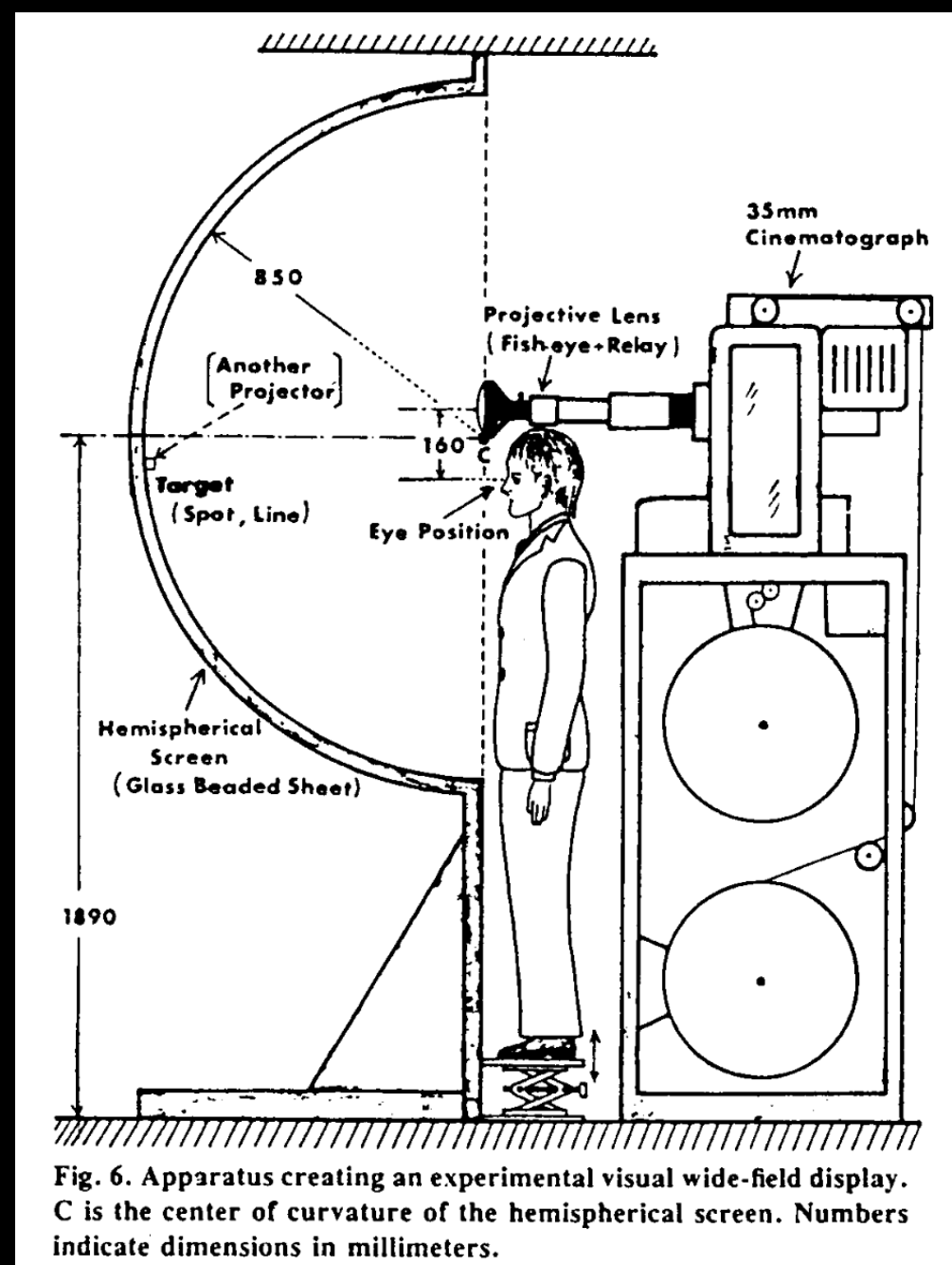
HDR: High Dynamic Range

臨場感

Sensation of Reality and Sense of “Being There”

Psychophysical Analysis of the “Sensation of Reality” Induced by a Visual Wide-Field Display

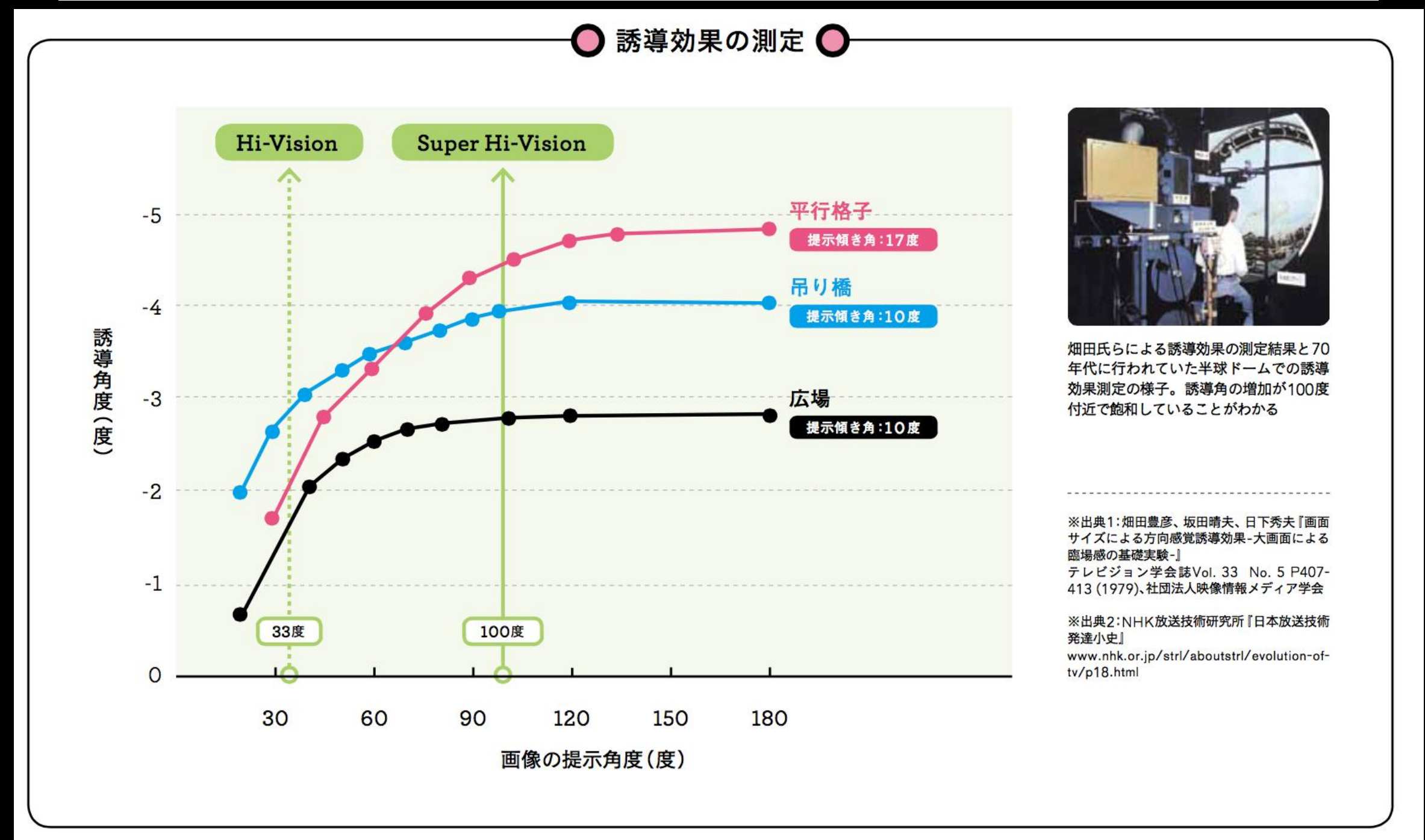
By TOYOHICO HATADA,* HARUO SAKATA,
and HIDEO KUSAKA



NHK技研では映像から体験できる究極の臨場感 (Sensation of Reality、またはSense of “Being There”) に必要な視角を導き出すため、1980年に畑田豊彦氏らが心理物理実験を行なっている。その実験とは半球状のドームに様々な画角(約15-180度)でスライドを傾けて提示して被験者に観察させた後、垂直感覚を問い実際の垂直線とずれた角度(誘導角)のデータを集めるというものだ。この誘導角が高いと人間の感覚が映像によって左右されたことになり、これを臨場感のひとつの効果であると考えることができる。この実験の結果、誘導角の増加は100度付近で飽和したため、“究極の臨場感”を視角

100度と設定している。当時、研究成果のインパクトは大きく、畑田氏らの論文は1981年のSMPTE Journal Award (※) を受賞した。この80年代は視角100度のディスプレイに必要な8K (7,680×4,320) を満たすのは技術的に困難だったが、Hi-Visionの仕様(1,920×1,080)である視角33度でも一定の効果が得られることが確認された。そして近年の技術進歩により視角100度の開発も視野に入ってきて、起ち上がったのがSuper Hi-Vision(7,680×4,320)の規格である。

※The SMPTE Journal Award
www.smpte.org/about/awards-programs/journal-winners



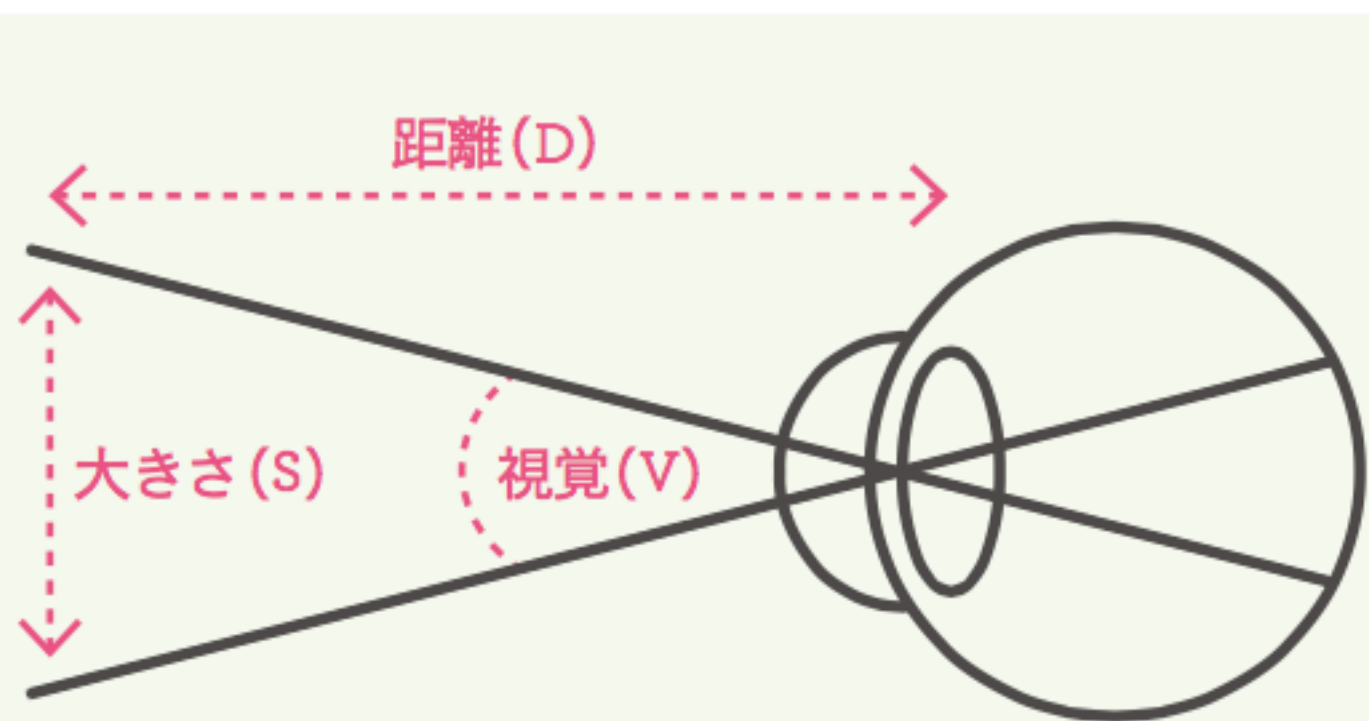
※出典1: 畑田豊彦、坂田晴夫、日下秀夫『画面サイズによる方向感覚誘導効果-大画面による臨場感の基礎実験-』 テレビジョン学会誌Vol.33No.5P407-413(1979)、社団法人映像情報メディア学会

Resolution and Human Visual Performances

用語
解説

1

視角 (Visual Angle)



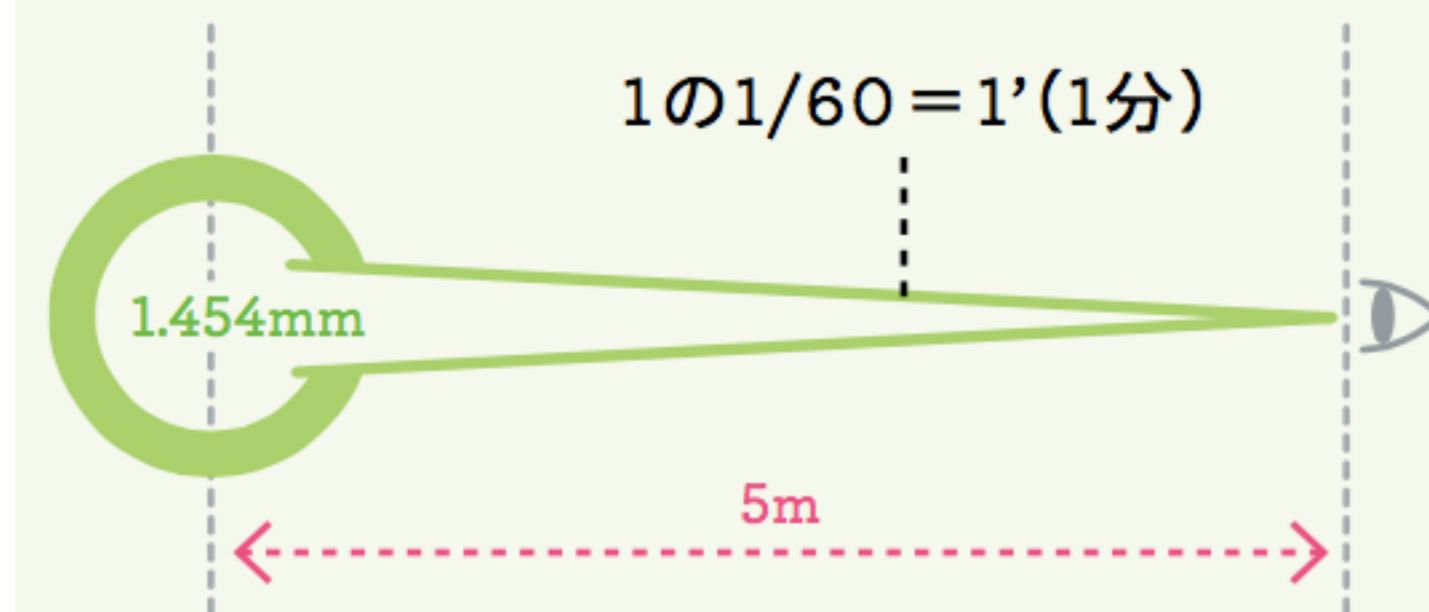
式1 $V = 2\arctan(S/2D)$

視角とは目に投影される物体がなす角度 (degree) のことで、物体の大きさをS、目と物体の距離をDとした場合、視角 (Visual Angle) は $V = 2\arctan(S/2D)$ で表すことができる

用語
解説

2

視力 (Visual Acuity)



式2 $VA = 1/V'$ 視角 (Visual Acuity) の単位は分

目および対象物が静止している場合の視力 (Visual Acuity) は、ある距離において弁別できる最小視角 (単位は分、1分は1/60度) の逆数で表現される。一般的な視力検査では、距離5mの位置に切れ目が1.454 mmのランドルト環が視認できれば、形成される視角は1.0となり、視力は逆数の1.0となる

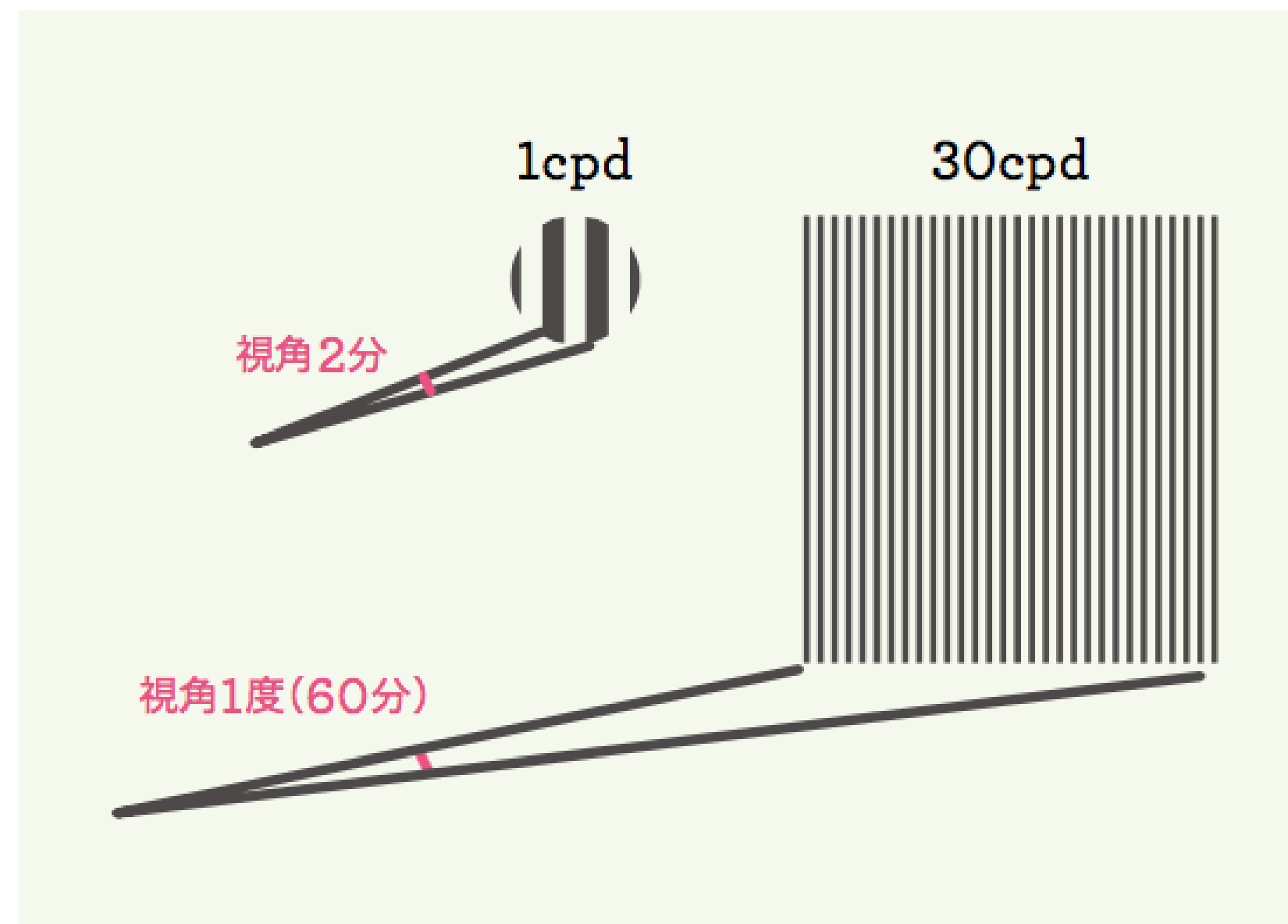
※出典1: 畑田豊彦、坂田晴夫、日下秀夫『画面サイズによる方向感覚誘導効果-大画面による臨場感の基礎実験-』テレビジョン学会誌Vol.33No.5P407-413(1979)、社団法人映像情報メディア学会

Resolution and Human Visual Performances

用語
解説

3

CPD (Cycles per degree) と
PPD (Pixel per degree)

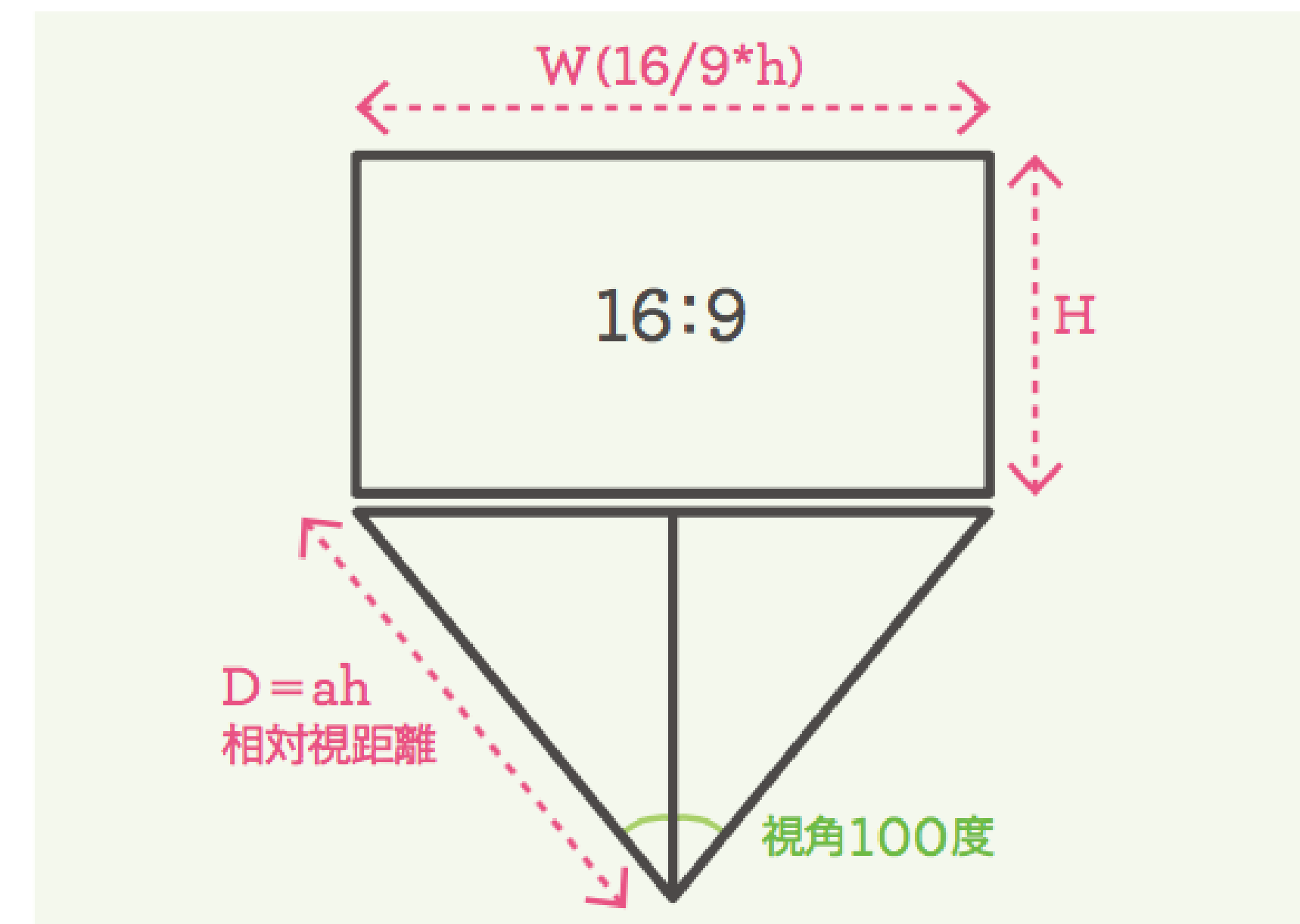


空間周波数 (CPD) とは視角1度あたりの縞数であり、cpd (Cycle per degree: 視角1度あたりの周波数) で表される。前述の式1、および、式2を元によると、視力1.0の人間では視角2分で1サイクルを弁別できることから、30cpd (視角1度辺り30サイクル) が標準的な人間 (視力1.0) の分解能であることがわかる。視角1度あたりのピクセル数であるppd (Pixel per degree) では、30cpdは60ppdに置き換えることができる

用語
解説

4

視角によって定まる
相対視距離



ディスプレイサイズとその係数で表す鑑賞距離のことを相対視距離と呼ぶ。一般的に相対視距離は、ディスプレイの縦サイズを基準とする。前述の式1を元に、16:9アスペクト比のディスプレイを視角100度で見るための相対視距離を求めると、約0.75H (H=ディスプレイの縦サイズ) となる。また 視角33度においては、約3.00Hとなる

臨場感

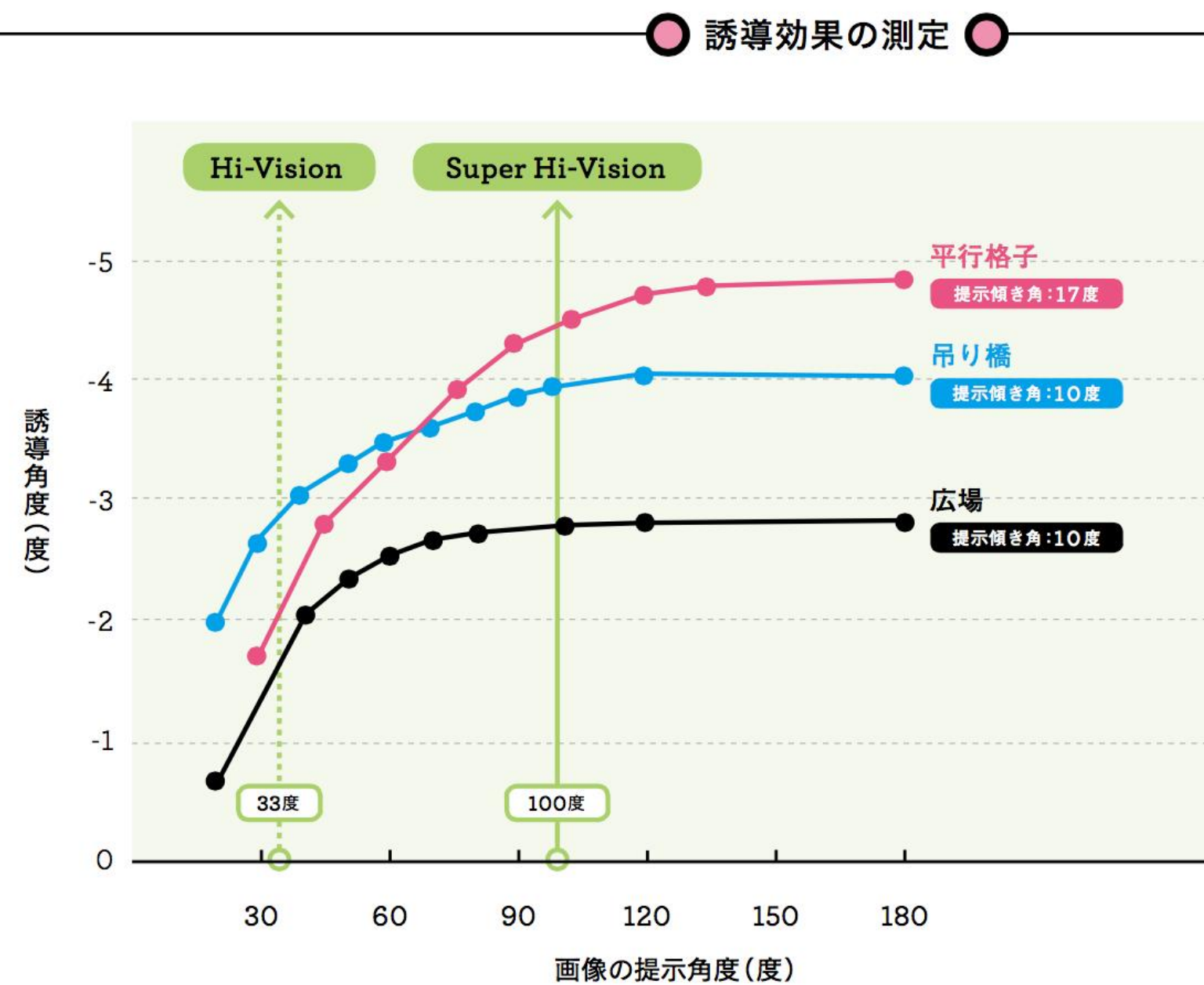
Sensation of Reality and Sense of “Being There”

NHK技研では映像から体験できる究極の臨場感 (Sensation of Reality、またはSense of “Being There”) に必要な視角を導き出すため、1980年に畑田豊彦氏らが心理物理実験を行なっている。その実験とは半球状のドームに様々な画角 (約15-180度) でスライドを傾けて提示して被験者に観察させた後、垂直感覚を問い実際の垂直線とずれた角度 (誘導角) のデータを集めるというものだ。この誘導角が高いと人間の感覚が映像によって左右されたことになり、これを臨場感のひとつの効果であると考えることができる。この実験の結果、誘導角の増加は100度付近で飽和したため、“究極の臨場感” を視角

100度と設定している。当時、研究成果のインパクトは大きく、畑田氏らの論文は1981年のSMPTE Journal Award (※)を受賞した。この80年代は視角100度のディスプレイに必要な8K (7,680×4,320) を満たすのは技術的に困難だったが、Hi-Visionの仕様 (1,920×1,080) である視角33度でも一定の効果が得られることが確認された。そして近年の技術進歩により視角100度の開発も視野に入ってきて、起ち上がったのがSuper Hi-Vision (7,680×4,320) の規格である。

※The SMPTE Journal Award
www.smpete.org/about/awards-programs/journal-winners

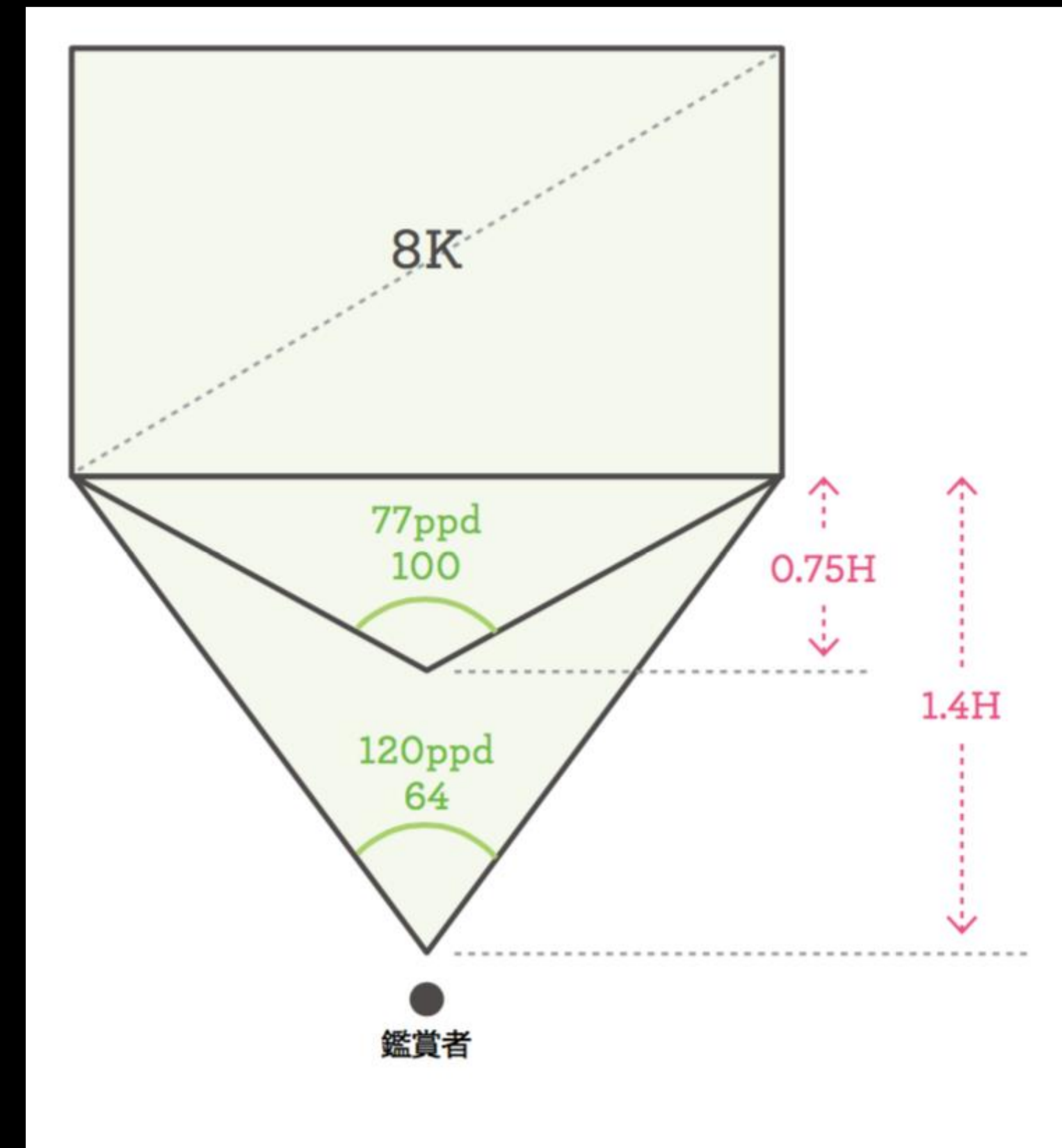
$$100\text{degree} \times 60\text{ppd} = 6000\text{pixel}$$



畑田氏らによる誘導効果の測定結果と70年代に行われていた半球ドームでの誘導効果測定の様子。誘導角の増加が100度付近で飽和していることがわかる

※出典1: 畑田豊彦、坂田晴夫、日下秀夫『画面サイズによる方向感覚誘導効果-大画面による臨場感の基礎実験-』テレビジョン学会誌Vol. 33 No. 5 P407-413 (1979)、社団法人映像情報メディア学会

※出典2: NHK放送技術研究所『日本放送技術発達小史』
www.nhk.or.jp/stri/aboutstri/evolution-of-tv/p18.html



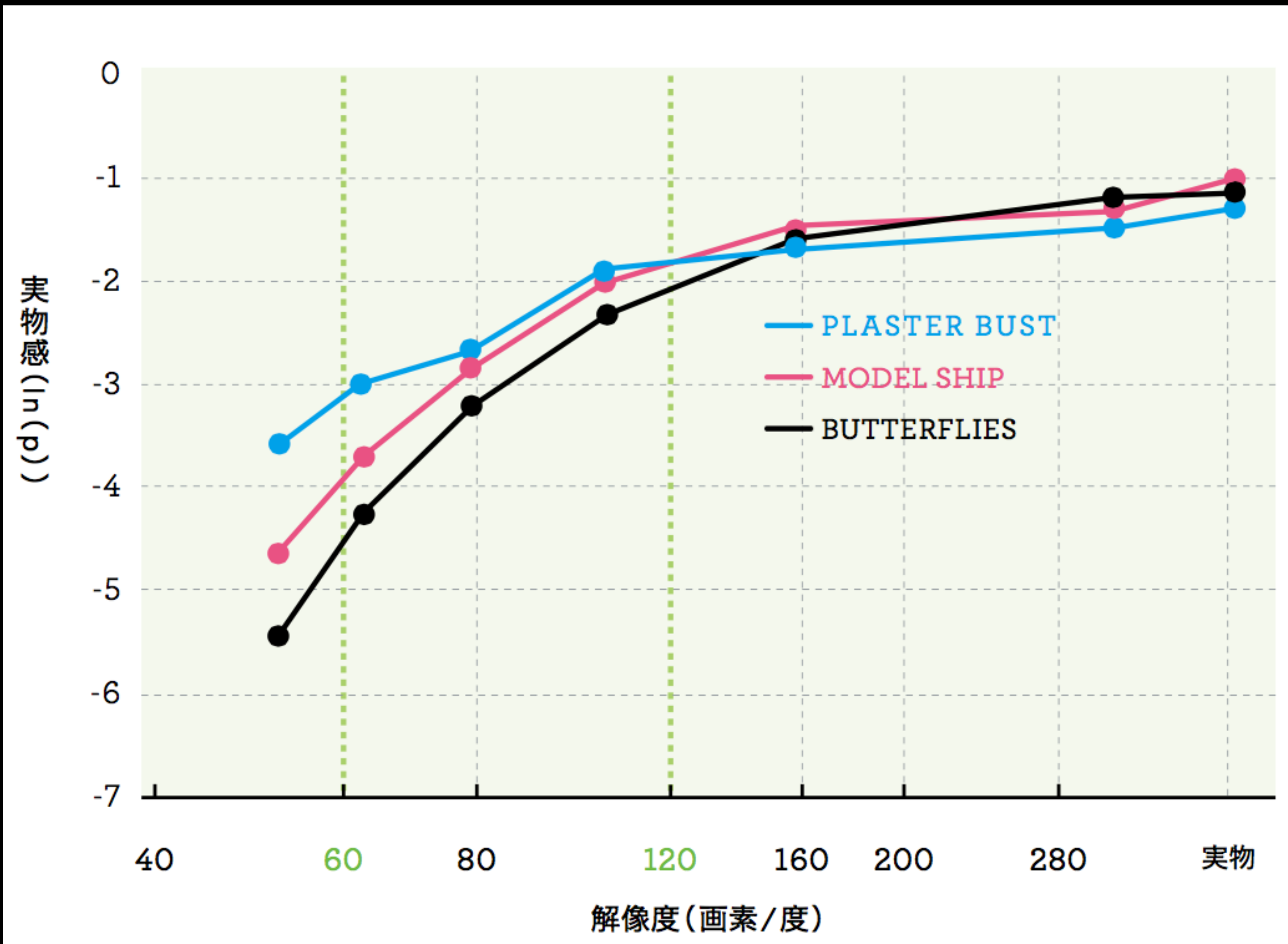
※出典1: 畑田豊彦、坂田晴夫、日下秀夫『画面サイズによる方向感覚誘導効果-大画面による臨場感の基礎実験-』 テレビジョン学会誌Vol.33No.5P407-413(1979)、社団法人映像情報メディア学会

Visual Effects in 8K Resolution

8K解像度は臨場感の高い視角100度での映像鑑賞を可能にすることがわかった。しかし、他にも人間の感覚にうったえかける効果があると栗田氏は語る。「8Kは 実物感 (Sensation of Realness) にも効果があります。実物感を得るには60ppd (=30cpd) だと幾分足りず、120ppd くらいは必要になってきます。実物感を得るのには解像度を増やす方法のほかに、視角100度より少し狭い角度で見る、つまり理想の相対視距離0.75H (16:9の画面の高さの0.75倍の距離) より少し遠くからディスプレイを見ることによって、より実物感の効果を得ることができます。臨場感と実物感の効果をひとつにしたグラフを見ると、8Kは臨場感、または実物感の点で、どの相対視距離に対してもある一定の効果が見られることがわかります。そのため現在、8Kは臨場感を味わいたい場合は100度で見る。実物感を味わいたい場合、それより少ない角度で見る、といった解釈に変わってきています」(栗田氏)

出典: 正岡顕一郎・西田幸博・菅原正幸・中須英輔
『Sensation of Realness From High-Resolution Images of Real Objects』Broadcasting, IEEE Transactions on (Volume:59, Issue:1) (2013)、IEEE

Sensation of Realness



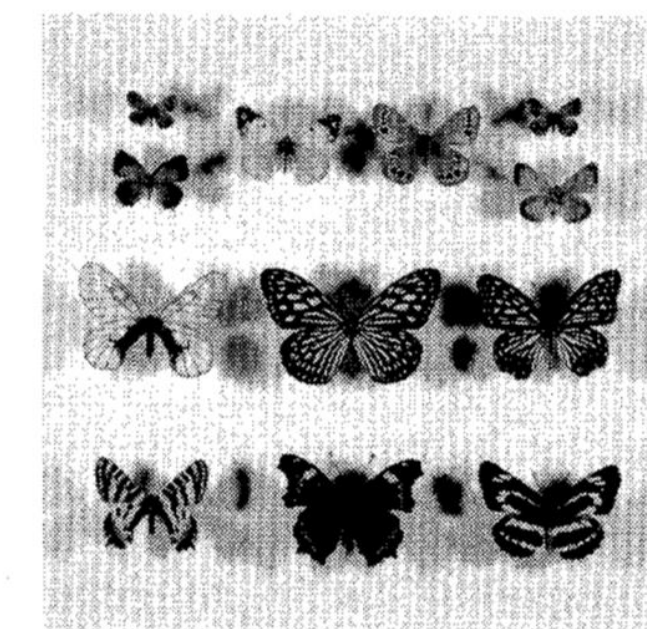
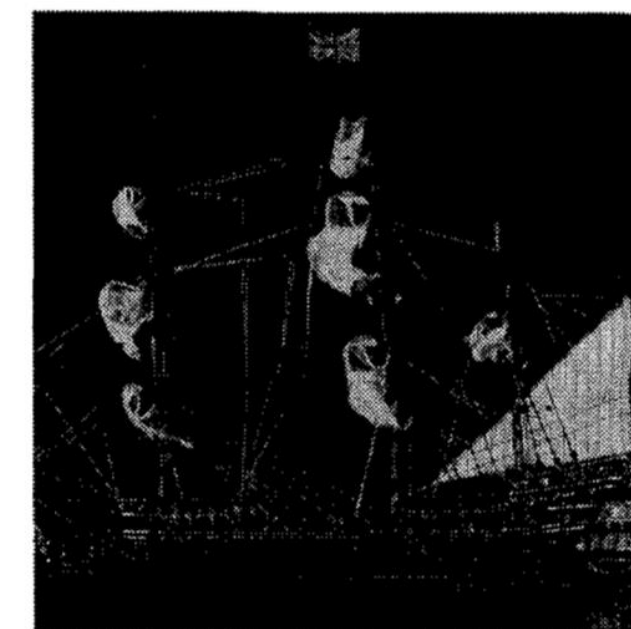
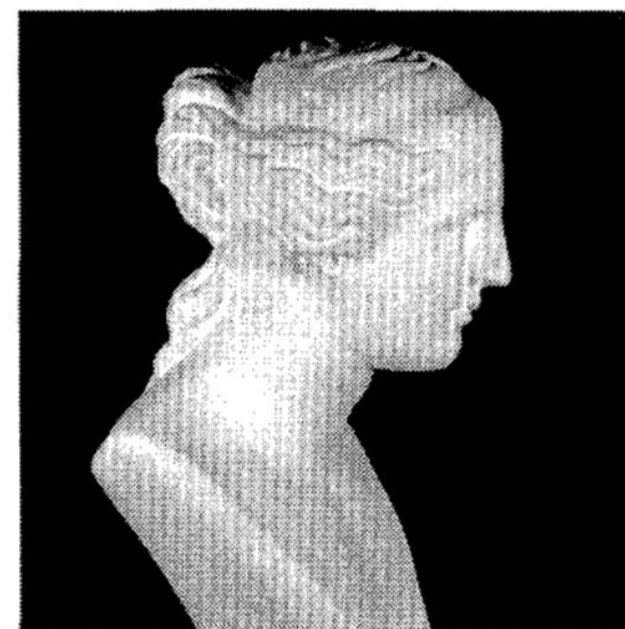
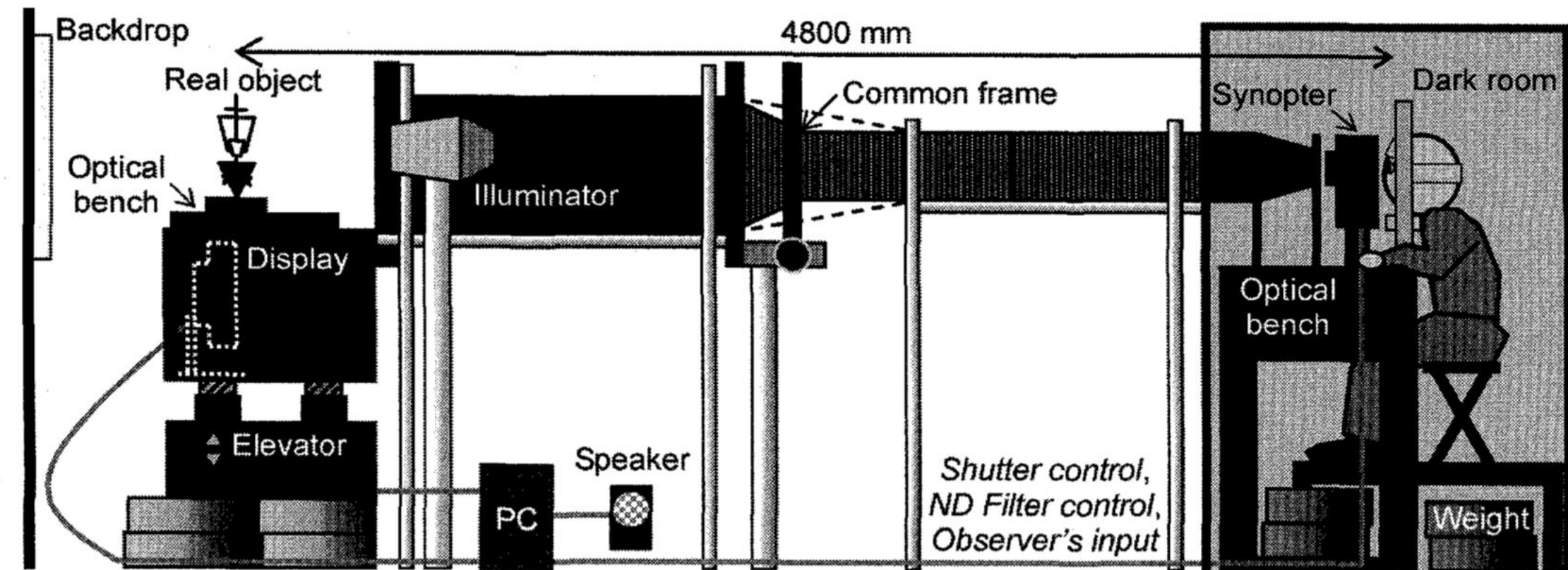
Sensation of Realness

NHK技研は映像による実物(Sensation of Realness)を提供するために、画像解像度と実物感の関係について、正岡顕一郎氏の主導の下、2011年に心理物理実験を行なっている。その実験では、特殊な装置を用いて被験者に照明された実物とそれに近似したパースペクティブ、輝度、色度、両眼視差を持つ撮影画像を被験者に提示するというものだ。撮影画像は26 cpdから155 cpdまでの様々な解像度にリサンプリングされて提示された。その結果、実物と画像の差が分らなくなる傾向は、視力1.0で画素の境界が見えない30 cpd (60 ppd) を超えてもなお上昇し、60 cpd(120 ppd)付近から緩やかに飽和することが判明した。この研究成果により、実物と見まごうような実物感の高い映像制作における、画像解像度の指標ができたことになる。

実物との比較による高解像度画像の実物感

正岡 顕一郎 西田 幸博 菅原 正幸 中須 英輔

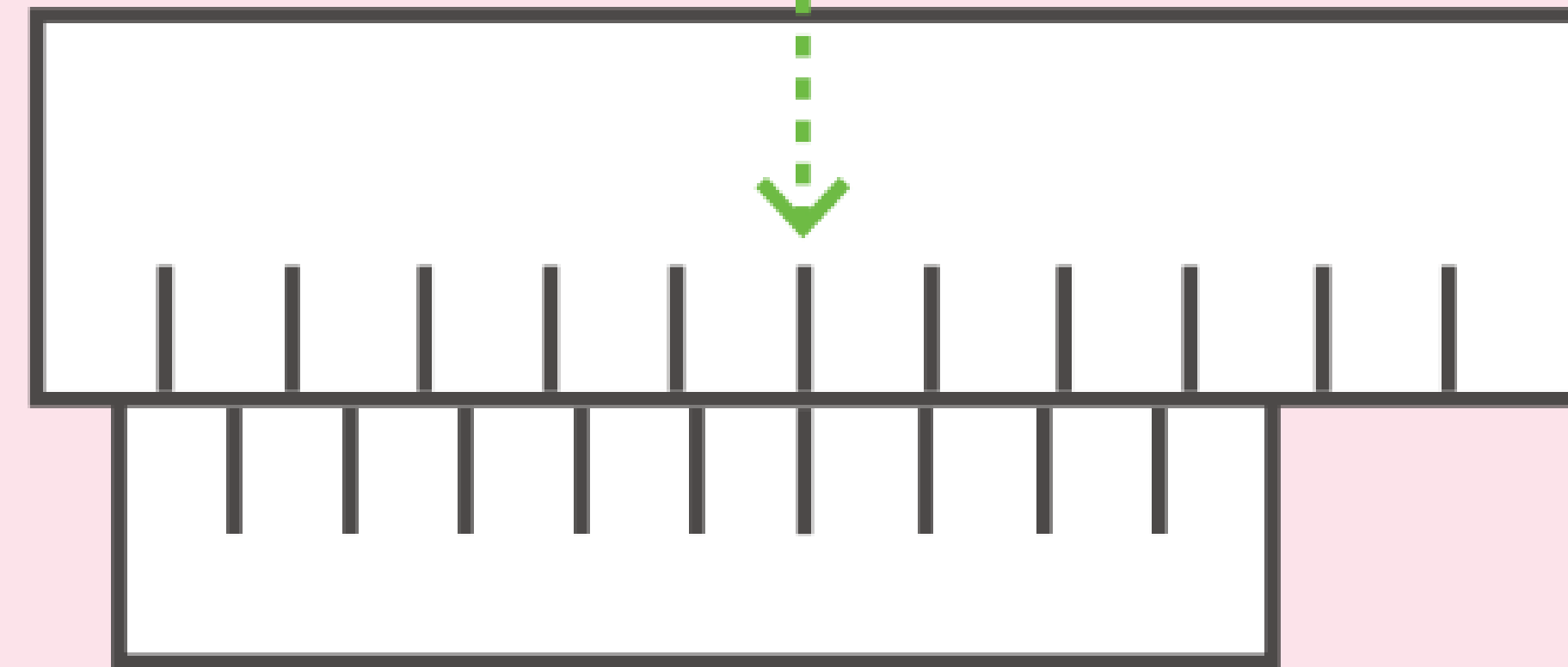
NHK 放送技術研究所 〒157-8510 東京都世田谷区砧 1-10-11



Hyper Acuity: Vernier Acuity

バーニア視力という言葉をご存知だろうか。3DCGアーティストが計測に用いるノギスにはこの視力を活かすような目盛りが刻まれている。人間の通常視力(分解能)は、前述の方法(75ページ「視力(Visual Acuity)」)で計ることができる。しかし、例えば線と線の境界のズレに対しては、通常視力を大きく超える精度で知覚することができる。これをバーニア視力と呼び、これは人の視細胞がもたらすHyper Acuityの1種とみなされている

ノギスは上下の目盛りが重なった部分を読み取るしくみだ。線と線のズレは認識しやすいため、高精度に目盛を読み取ることができる



https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%8E%E3%82%AE%E3%82%B9#/media/File:Using_the_caliper_new.gif

Hyper Acuity: Stereoscopic acuity



PERGAMON

Vision Research 39 (1999) 3049–3056

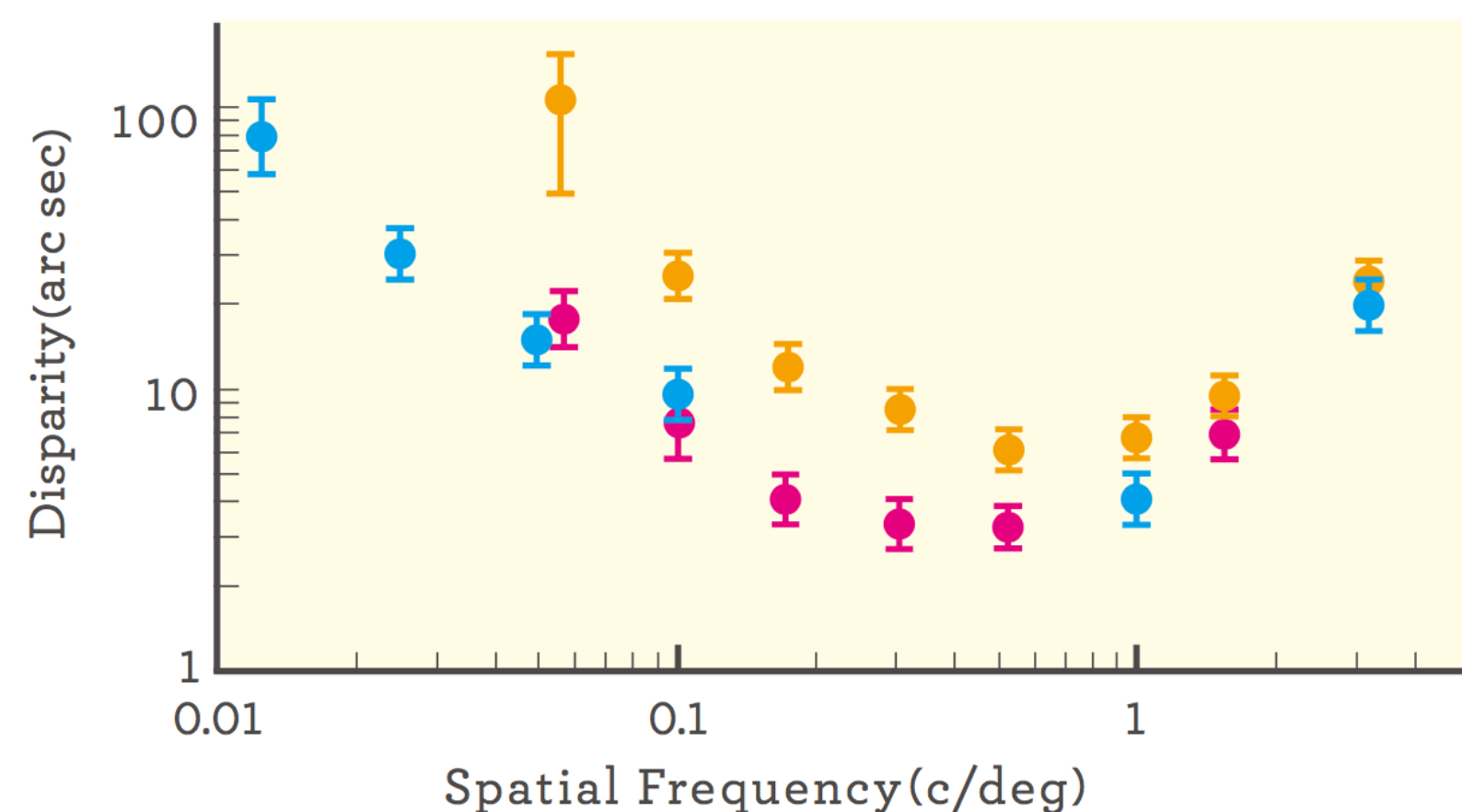
Vision
Research

www.elsevier.com/locate/visres

Sensitivity to horizontal and vertical corrugations defined by
binocular disparity

Mark F. Bradshaw ^{*,1}, Brian J. Rogers

図1 目が奥行きを感じる感度



マイクロ立体視映像はわずかな視差であるため、3D メガネを外すと通常の 2D 画像に見える。しかし、ピクセルの弁別ができないような相対視距離での観察条件においても3Dメガネをかけたときは左右の微小視差からしっかりと奥行きを感じる事ができる。黒木氏によると、1999 年の Mark F. Bradshaw の論文(※)では、通常の視力 1.0 の人の空間分解能が1分 (1/60 度) であるのに対し、奥行きを感じる視差に対する感度はそれをはるかに上回る角秒のオーダーであることが示されている **図1**。このようにHyper Acuityのような視覚の分解能を超える視差に対する感度はこれまで研究により明らかにされており、この視覚特性に基づいた技術が黒木氏のHFR Comfort 3Dである。映像制作において、映像および視覚効果 (Visual Effects) に携わるテクニカルアーティストは、自身の感覚に依拠しながらも、このような人間の視覚特性を利用したVisual Effectsの開発が求められるのではないだろうか。

https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%8E%E3%82%AE%E3%82%B9#/media/File:Using_the_caliper_new.gif

Depth Sensation

高解像度の画像は現実と見まがうような実物感を持つ画像であるが、その実物感に寄与すると思われる奥行き感 (Depth Sensation) も高めることが近年示唆されている。情報通信研究機構の認知心理学者、對馬淑亮氏 (心理学博士) は、解像度と奥行き感の関係をより明らかにするために、2014年に脳活動計測を含んだ基礎的な心理物理実験を行なった。実験では解像度の異なるふたつの陰影画像を被験者に提示して、2種類の課題を行なわせるというものだ。それぞれの課題は、“どちらがより高解像度か (解像度課題)” と “どちらがより奥行きを感じるか (奥行き課題)” であった。その結果、解像度課題をおこなった際は、解像度の変化に対して解像度感に違いがなかったにもかかわらず、奥行き課題の際は、解像度が高くなるにつれ奥行きを強く感じる事が判明した。

加えてfMRI (functional Magnetic Resonance Imaging) 装置に

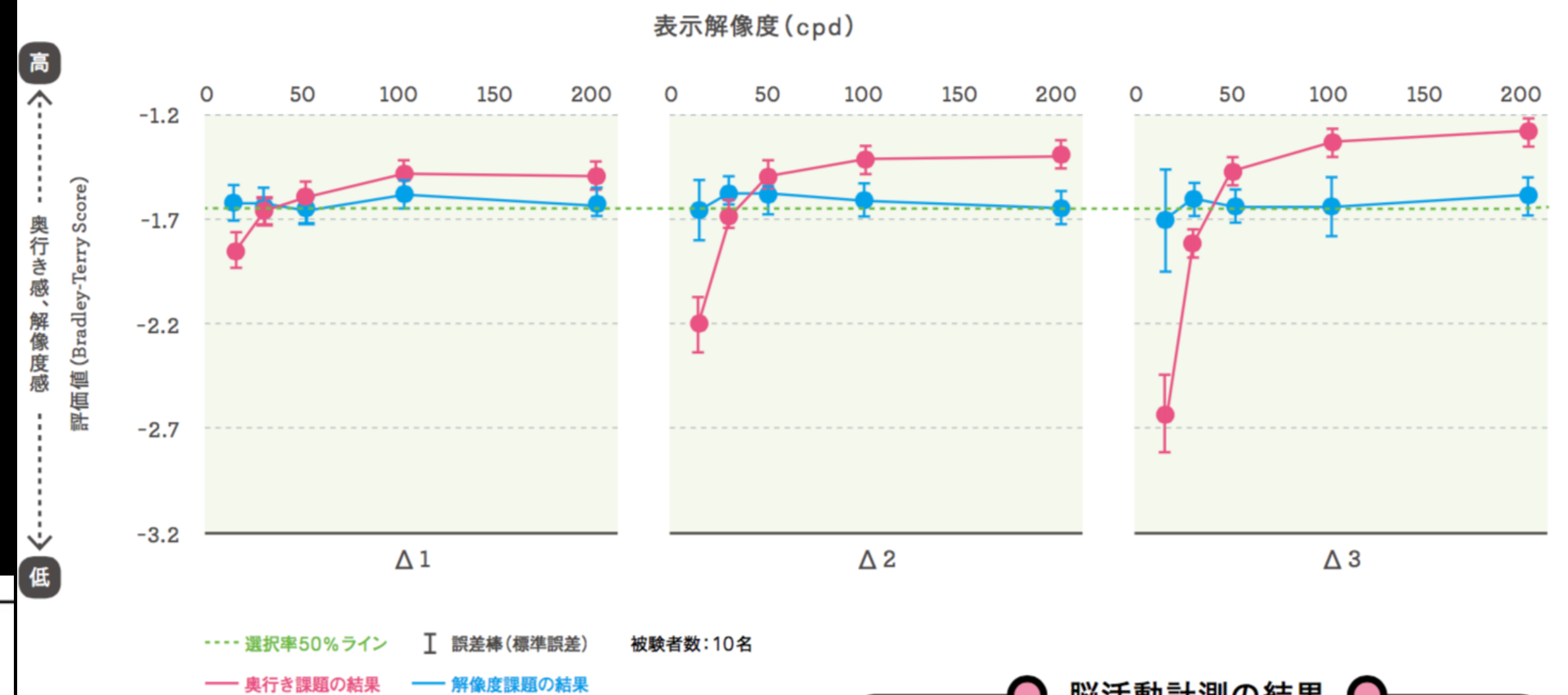
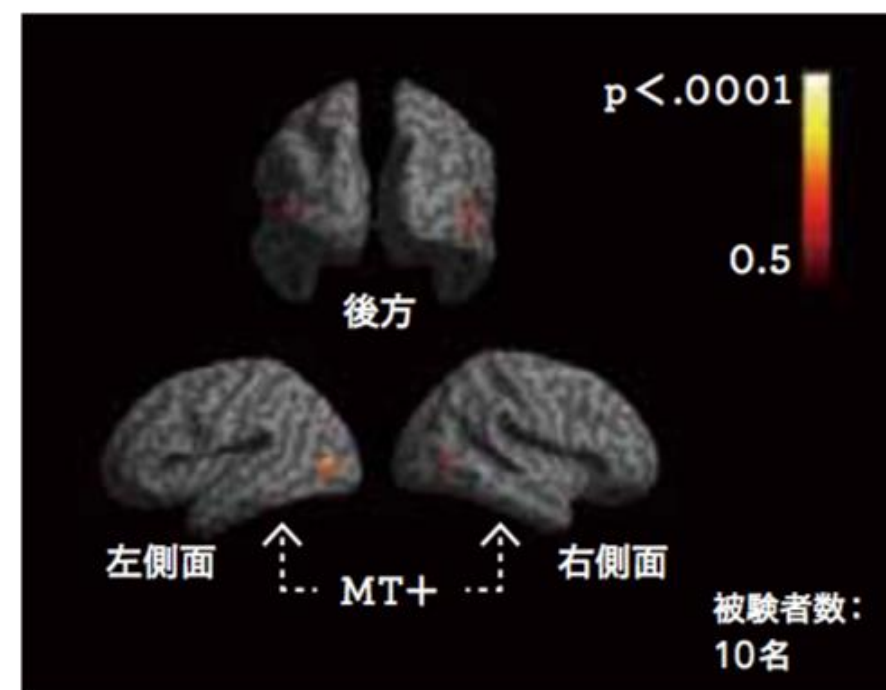
よって、課題を行なっているときの脳活動を計測したのだが、その結果、奥行き課題を行なっているときに、視覚野のMT+ (Middle Temporal Complex、第5次視覚野-V5) が有意に活動していることがわかった。第5次視覚野は運動の知覚や眼球運動における主要な役割があると考えられている箇所である。

この對馬氏の研究結果は、解像度と奥行き感の関係を心理物理学的、生理学的に明らかにしたものであったため、2014年のIDW (International Display Workshop) で、ディスプレイ関係のエンジニアや研究者に大きなインパクトを与えた。また、氏の研究は、注意を払うべき情報を変化させることで、潜在下に埋もれた情報を意識レベルまでに上げられる可能性があることを示唆しており、映像制作の現場で言語化できないノウハウの顕在化を可能にするテクニックのひとつとして、非常に有用になる可能性がある。

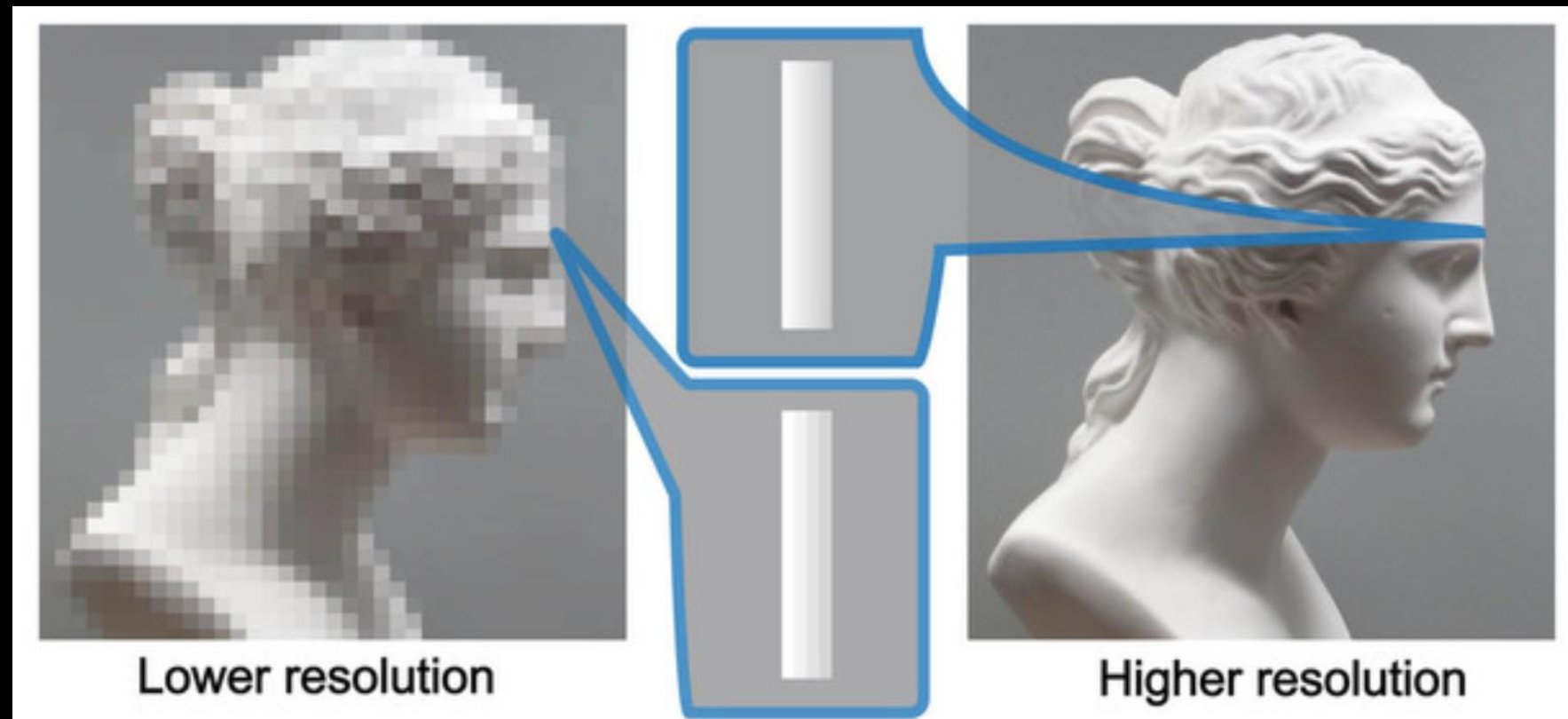
對馬氏らによる奥行き課題と解像度課題の結果を表した図 (実験で用いた陰影画像ごとに $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ の3つにグラフがわかるが、ここでは詳しくは省略)。および、脳活動の計測の結果。奥行き課題では解像度が高くなるにつれ、奥行きを強く感じていることがわかる。また、奥行きを行なっている際にMT+と呼ばれる部分の活動が大きくなっていることが明らかになった

※出典：小峯一晃、對馬淑亮、澤島康仁、比留間伸行『陰影画像の表示解像度と立体感の関係』NHK技研 R&D No.151 (2015)、51～52ページより画像とグラフを引用

脳活動計測の結果



脳活動計測の結果



Sensation(感覚)→ Perception(知覚)→ Cognition(認知)

- Sensation(感覚)

sensation and perception are stages of processing of the senses in human and animal systems, such as vision, auditory, vestibular, and pain senses. In other words, **sensations are the first stages in the functioning of senses to represent stimuli from the environment**, and perception is a higher brain function about interpreting events and objects in the world.

- Perception(知覚-視覚、聴覚、嗅覚、味覚、体性感覚、平衡感覚)

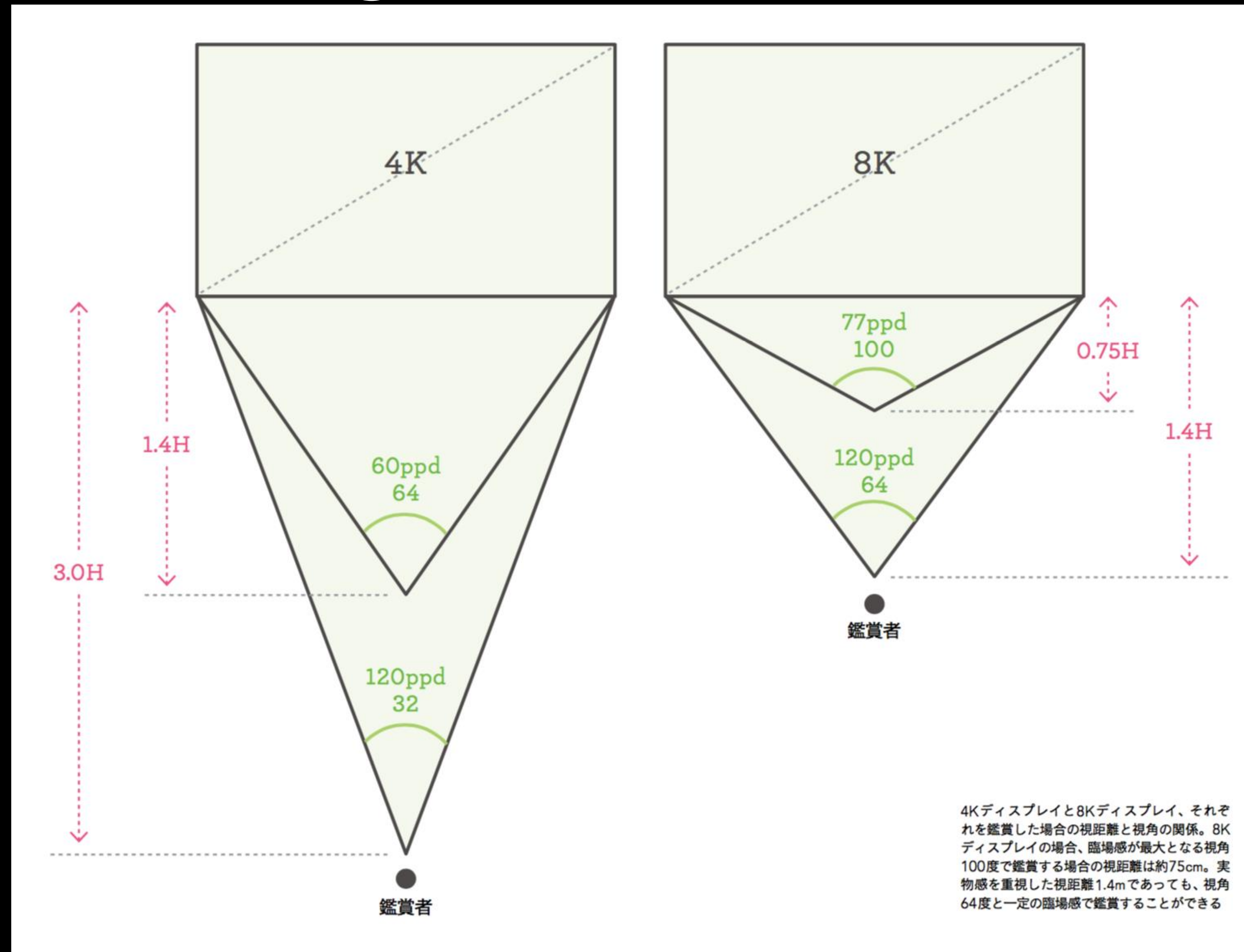
動物が外界からの刺激を感じ取り、意味づけすること。 **感覚情報に意味づけする過程**のことです。

- Cognition & Recognition(認識、 認知)

心理学では、認識とは、心的な過程のひとつで、 **外界から得た情報が意味づけされた上で意識に上る**ことを言う。ここで、外界からの情報が知覚である。これは、身体からの信号である感覚をもとに構成されたものとなる。この知覚に対して意味づけを行う過程には知性的能力（理性・悟性）や知識が介在し、同じ対象に対しても個人ごとに同じ認識をしているとは限らない。

認知（にんち）とは、心理学などで、人間などが外界にある対象を知覚した上で、それが何であるかを判断したり解釈したりする過程のこと。

Sense of “Being There” and Sense of Realness



UHD: Ultra High Definition

HFR: High Frame Rate

WCG: Wide Color Gamut

HDR: High Dynamic Range

Image Quality and Frame Rate

黒木氏はHFRの研究初期に、人間がどの程度の速さの動体まで知覚できるかを調査する心理物理実験を行なっている(※1)。その実験で黒木氏らは、実刺激(短形波チャート)を様々な速度で動かすスクリーンムーバー装置を開発した。またスクリーンムーバーをフィルム(24fps)とビデオ(24fps、および60i)で撮影して、実刺激と同じ輝度と大きさで投影できるスクリーンを横並びに設置した(図1)。この装置を用いた主観評価実験では、実刺激の場合、チャートの角速度が 30 dps (degree per sec) から弁別できる空間周波数 (cpd) が顕著に落ち始め、60dps で解像限界に達した。驚くべきことに撮影画像を投影した場合は 2~7 dps で限界に到達し、本来人間に備わっている動体に対する解像力と大きな開きがあることが明らかになった(図2)。我々が視る現実世界と映画フィルム、およびHD Videoという見慣れた映像フォーマットの差が、動体に関する解像度という点で明らかになった非常に重要な研究である。

一方で黒木氏らは 480 Hzで駆動する CRT ディスプレイに、62fps から 500fps までの様々なHFR 映像を表示し、モーションブラーやジャーキネス(75ページ参照)知覚に関する主観評価も行なっている。実験は 1,000fpsで撮影した画像シーケンスを、各フレームレートへ加算平均するというものだ。単純に加算平均されたオープンシャッター

の画像でのジャーキネス評価は125fpsで十分に改善したが、モーションブラー評価には幾分改善の余地があり、その飽和点は約250fpsとなった(図3)(図4)。ジャーキネス評価の素材を高速シャッター(1/500s)に変更すると、125fpsでは被写体によって感じるジャーキネスが250 fps で劇的に改善されることがわかった(図5)。これらの結果を基に、黒木氏は 24fps (映画)の倍数である 240fps を理想のフレームレートとしている。

このような心理物理実験における主観評価法では、被験者は意識に上がったものしか答えることができない。前述の「研究3:奥行き感(Depth Sensation)」でfMRIを用いた脳活動計測により、奥行き感と第5次視覚野との関係を明らかにしたように、黒木氏は 240fpsの科学的根拠を得るため、脳波(EEG-human electroencephalographic spectra)測定による客観的評価実験について論文にまとめている(※2)。その論文によれば、240fps の移動映像刺激を観察した脳波は 60fps と比較して、実移動刺激を観視した脳波に近い周波数特性(パワースペクトル特性)を示したという。黒木氏のような高品質映像と高臨場感の複雑な関係性を解き明かそうとする研究者たちは、客観的なデータに基づいた認知科学や生理学の領域までをもその研究対象としていることがわかる。

※1:Y. Kuroki, T. Nishi, S. Kobayashi, H. Oyaizu, S. Yoshimura [A psychophysical study of improvements in motion-image quality by using high frame rates] Journal of SID Vol. 15(2007)

図2~5は本論文より引用。図の詳細についてはこちらの論文をご覧ください

※2:黒木義彦「通常および高フレームレート映像刺激が脳波に及ぼす効果」、映像情報メディア学会誌 Vol. 67、映像情報メディア学会(2013)

図1 スクリーンムーバーと
投影スクリーンによる実験のしくみ

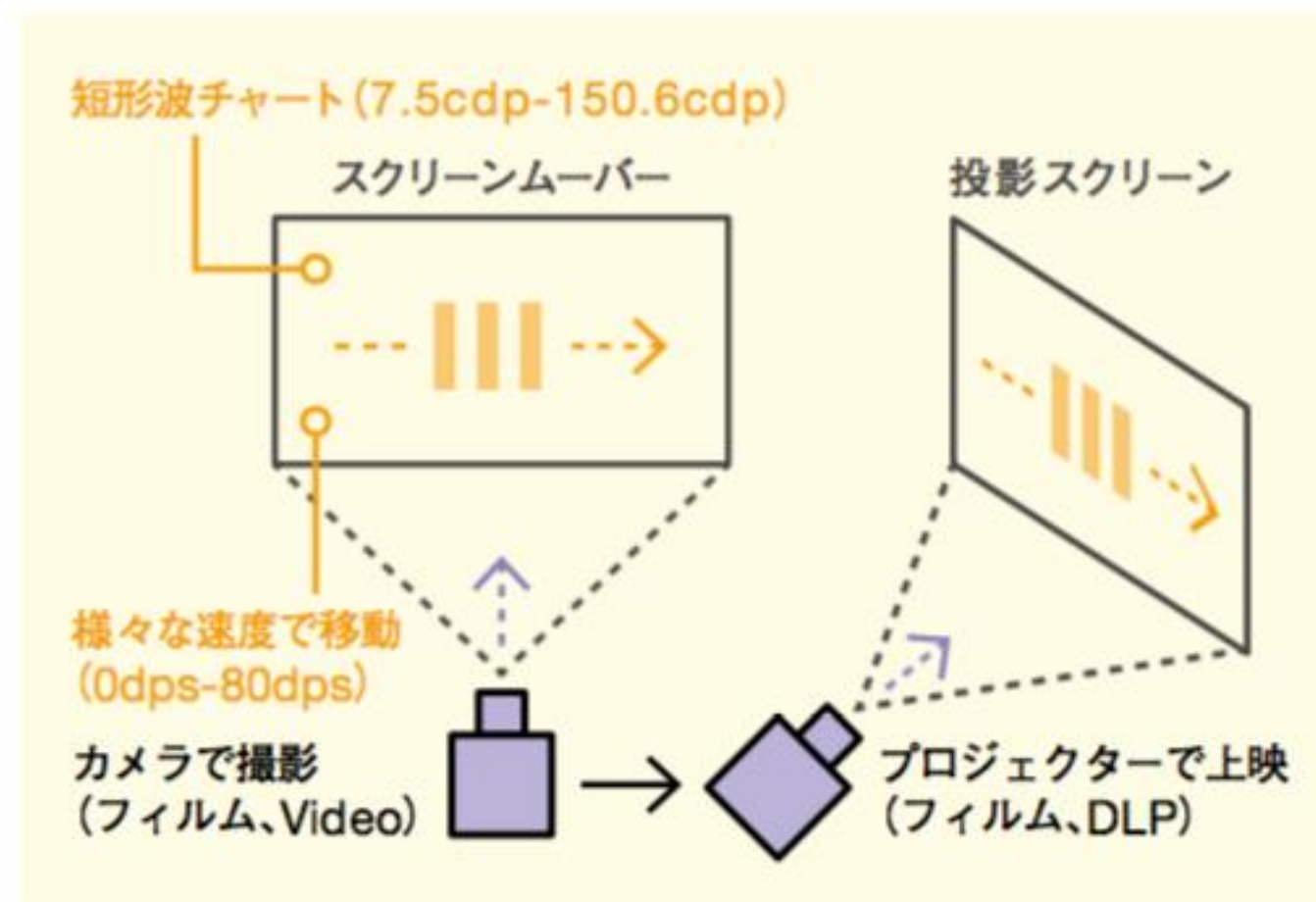
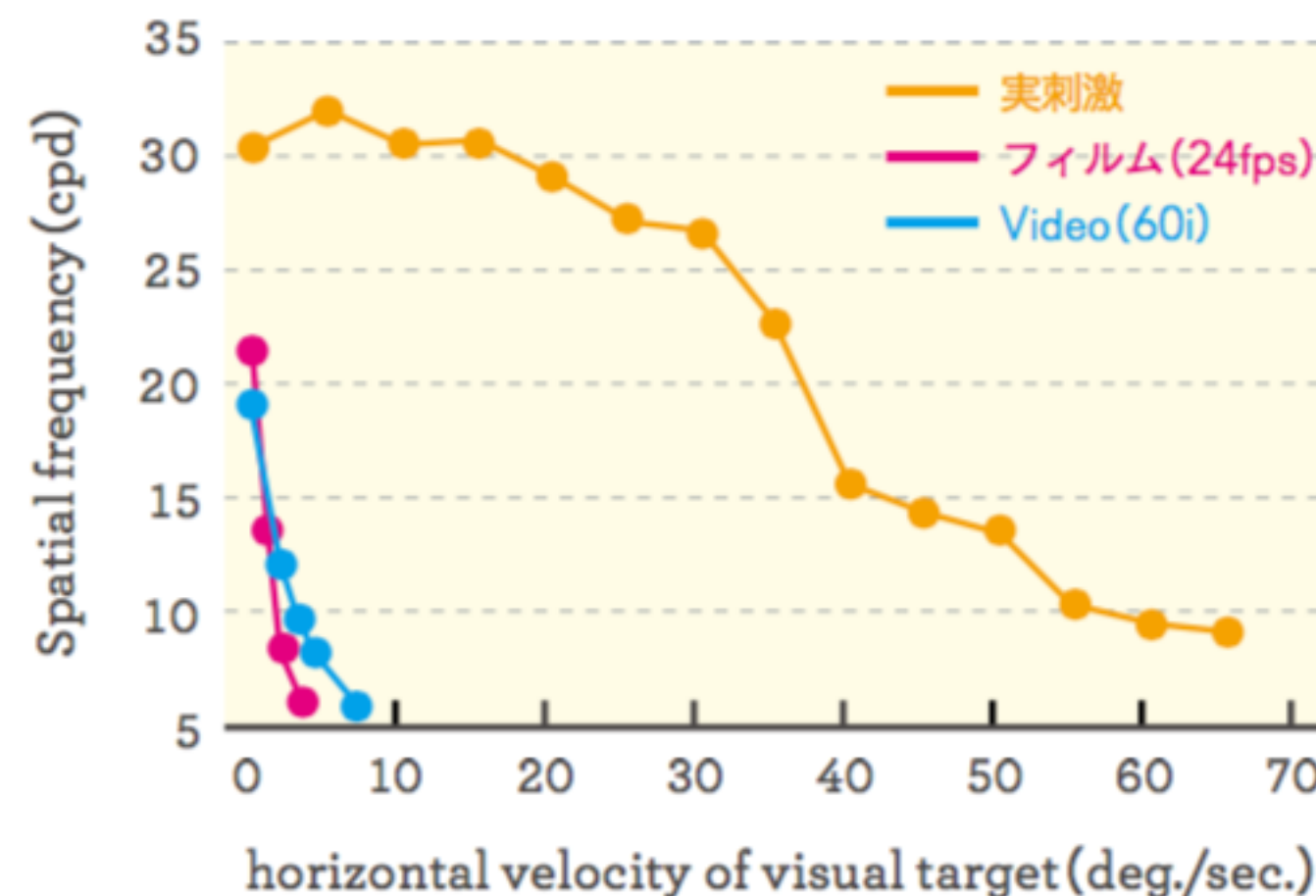


図2 横移動速度(dps)と
分解能(空間周波数-cpd)の関係



Frame-rate and the Effects in Video-production

Judder

Motion blur

Flickiness

Jerkiness
(Strobing)

Smearing
(Display motion
blur)

Cinematic Look
or
Realistic Look

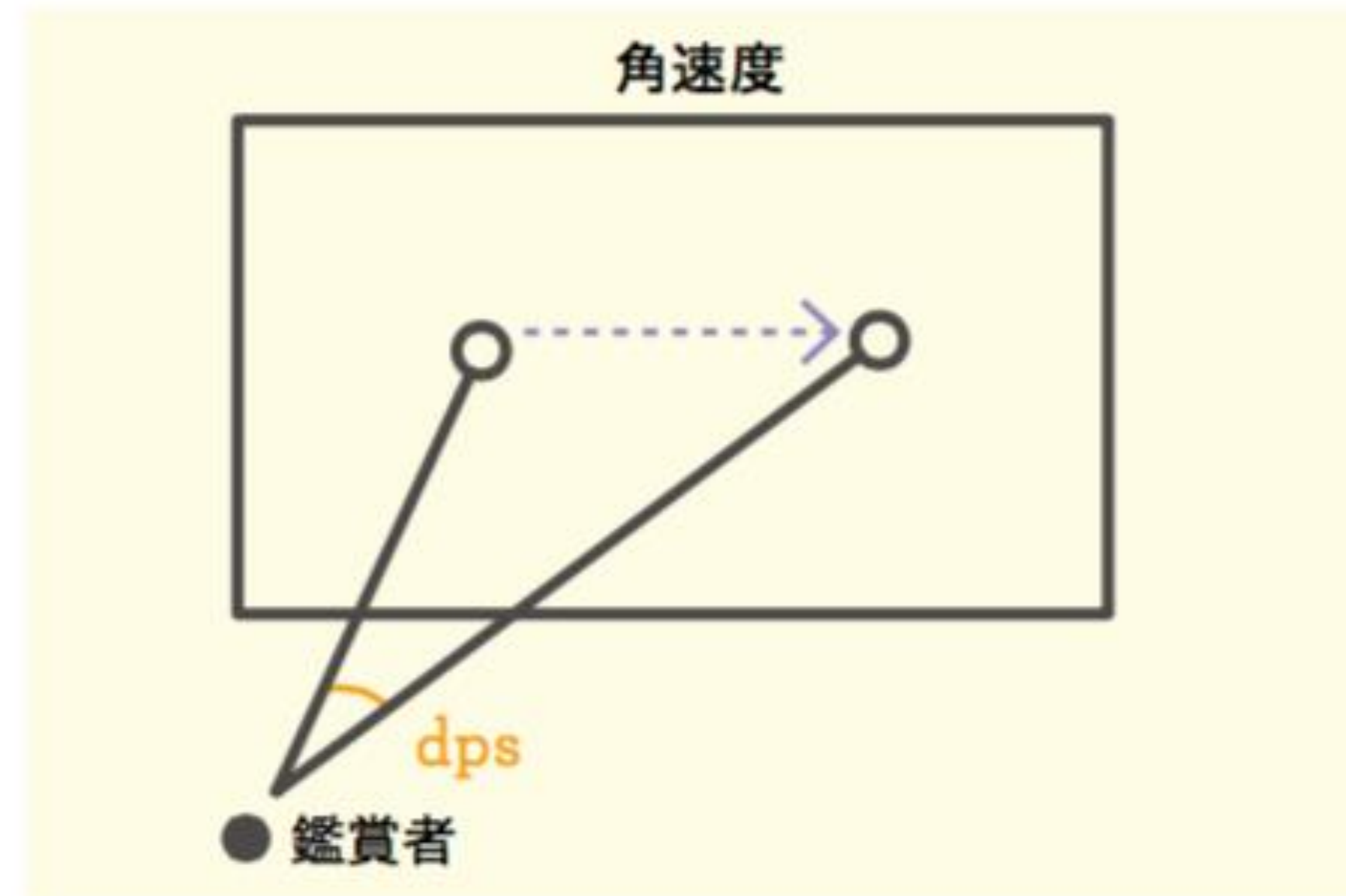
Technical Terms for High-frame Rate

用語
解説

1

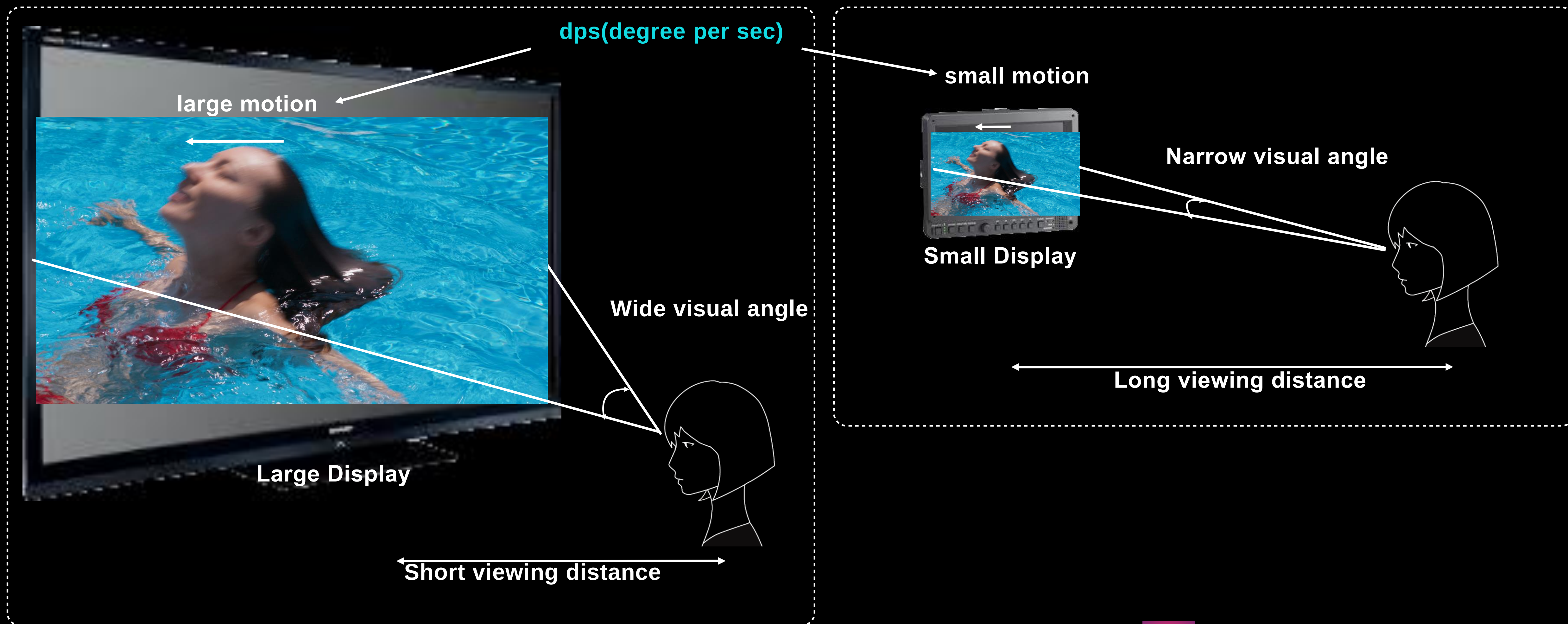
角速度

(dps-degree per sec)



本特集における角速度とは、ある物体が1秒間に移動する距離を視角 (Visual Angle) で表したものの。単位はdps (degree per sec)。 (※視角 (Visual Angle) についてはを69ページを参照)

Technical Terms for High-frame Rate



Technical Terms for High-frame Rate

用語
解説

3

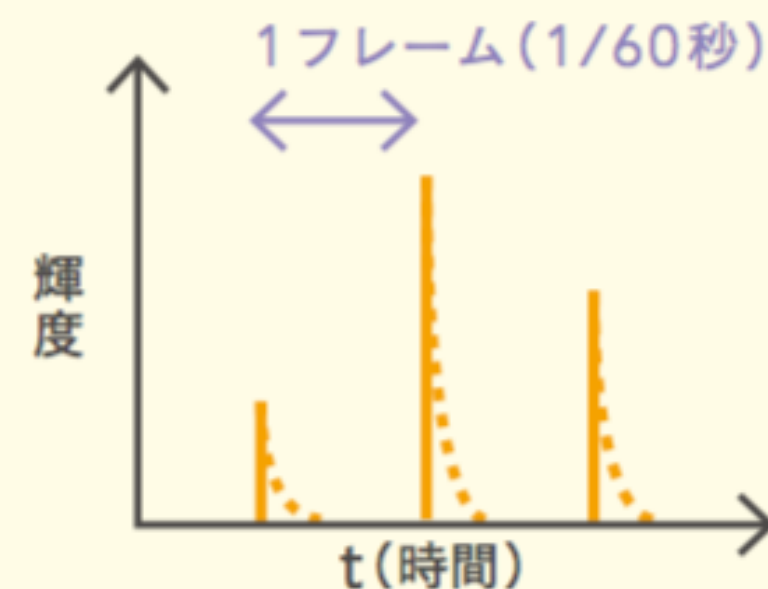
CRT(インパルス型)と LCD(ホールド型)ディスプレイ

CRTによる電子ビームと蛍光体による表示はある瞬間に画面の一点のみ発光し、残光特性も十分に少ないため、インパルス型表示と呼ばれる^a。一方で近年一般的な薄膜トランジスタ(TFT)により動作するアクティブマトリクス(AM)駆動のLCDは、図のように1フレーム間同じ輝度で表示され、このような表示方式のディスプレイをホールド型ディスプレイと呼ぶ。応答時間が遅いLCDでは、図の^bの点線のような表示となる

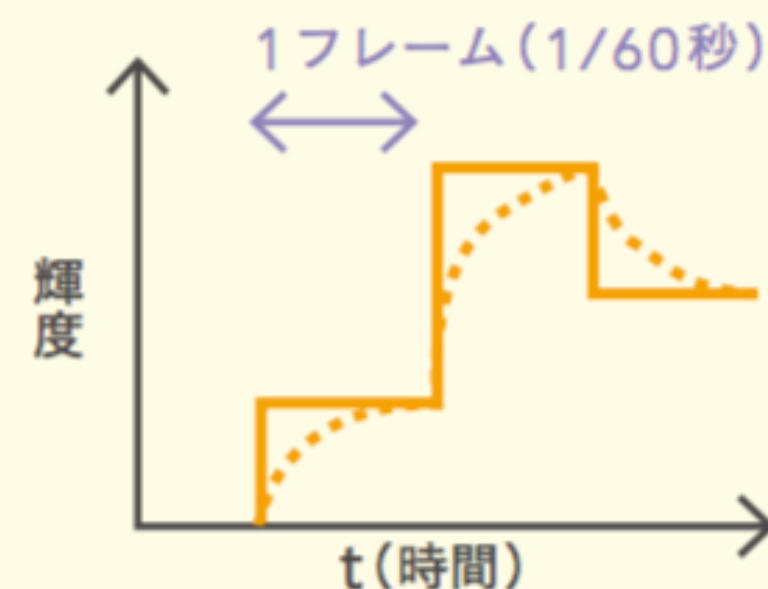
インパルス型とホールド型 ディスプレイの表示の比較

— 原理的な応答
- - - 実際の応答

a CRT(インパルス型)



b AM-LCD(ホールド型)



ホールド型ディスプレイを用いる映像システムの動画質改善に関する一検討

Motion Image Quality Improvement of Video Systems with Hold-type Displays

正会員 栗田 泰市郎[†]

Taichiro Kurita[†]

映像情報メディア学会誌 Vol. 64, No. 7(2010)

Technical Terms for High-frame Rate

用語
解説

3

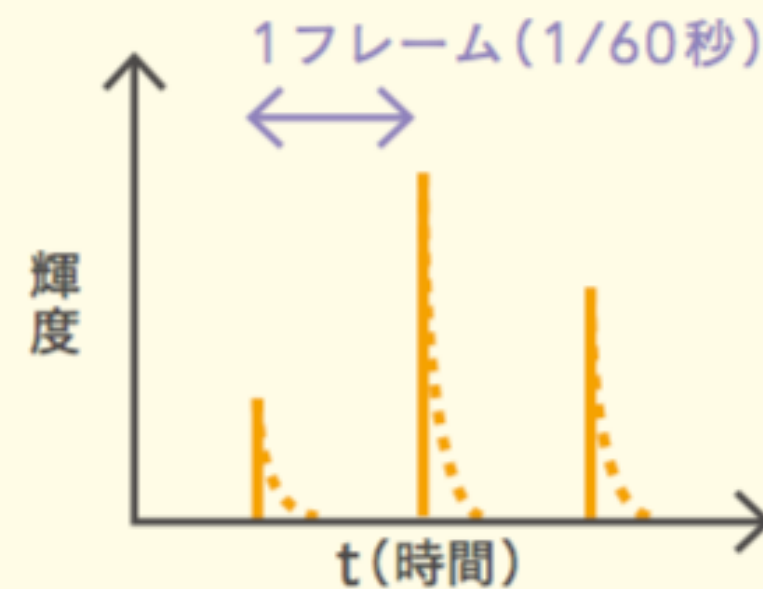
CRT(インパルス型)と LCD(ホールド型)ディスプレイ

CRTによる電子ビームと蛍光体による表示はある瞬間に画面の一点のみ発光し、残光特性も十分に少ないため、インパルス型表示と呼ばれる^a。一方で近年一般的な薄膜トランジスタ(TFT)により動作するアクティブマトリクス(AM)駆動のLCDは、図のように1フレーム間同じ輝度で表示され、このような表示方式のディスプレイをホールド型ディスプレイと呼ぶ。応答時間が遅いLCDでは、図の^bの点線のような表示となる

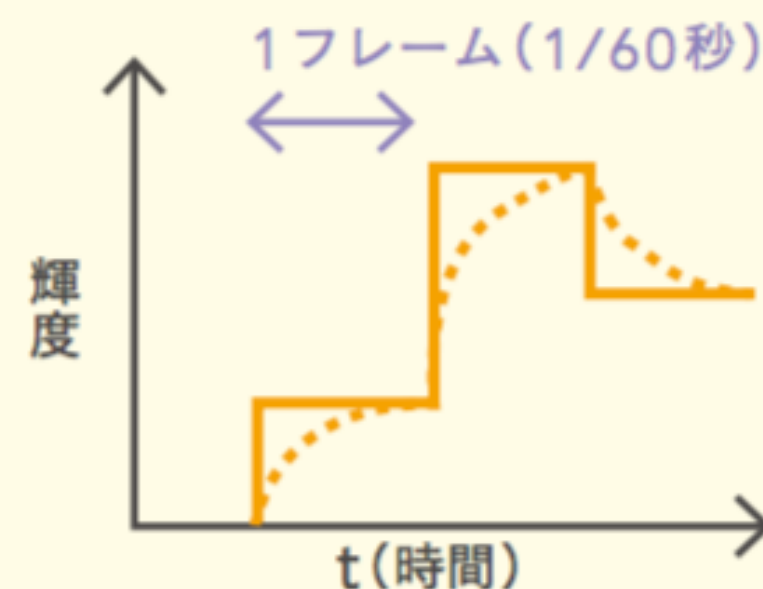
インパルス型とホールド型 ディスプレイの表示の比較

— 原理的な応答
- - - 実際の応答

a CRT(インパルス型)



b AM-LCD(ホールド型)

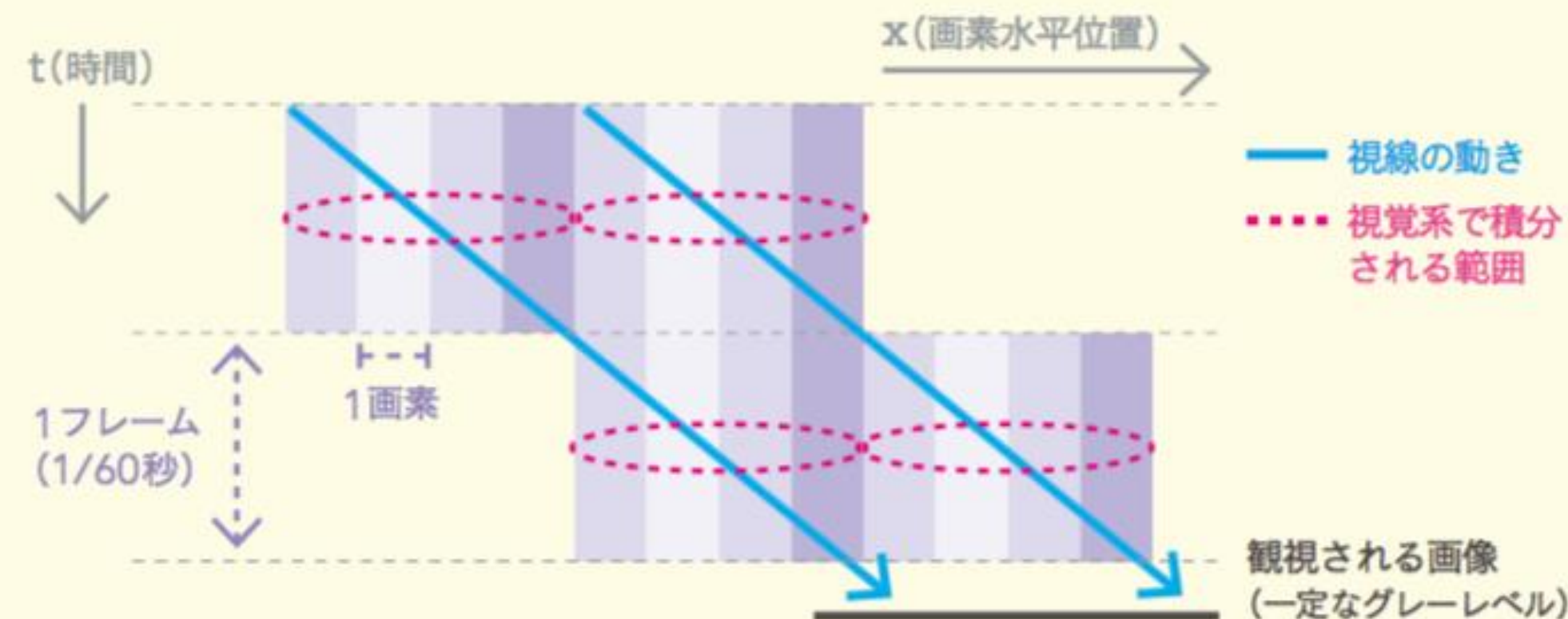


用語
解説

4

視線追従積分による動きぼやけ (視覚で起こるモーションブラー)

視線追従積分により動きぼやけを知覚するしくみ



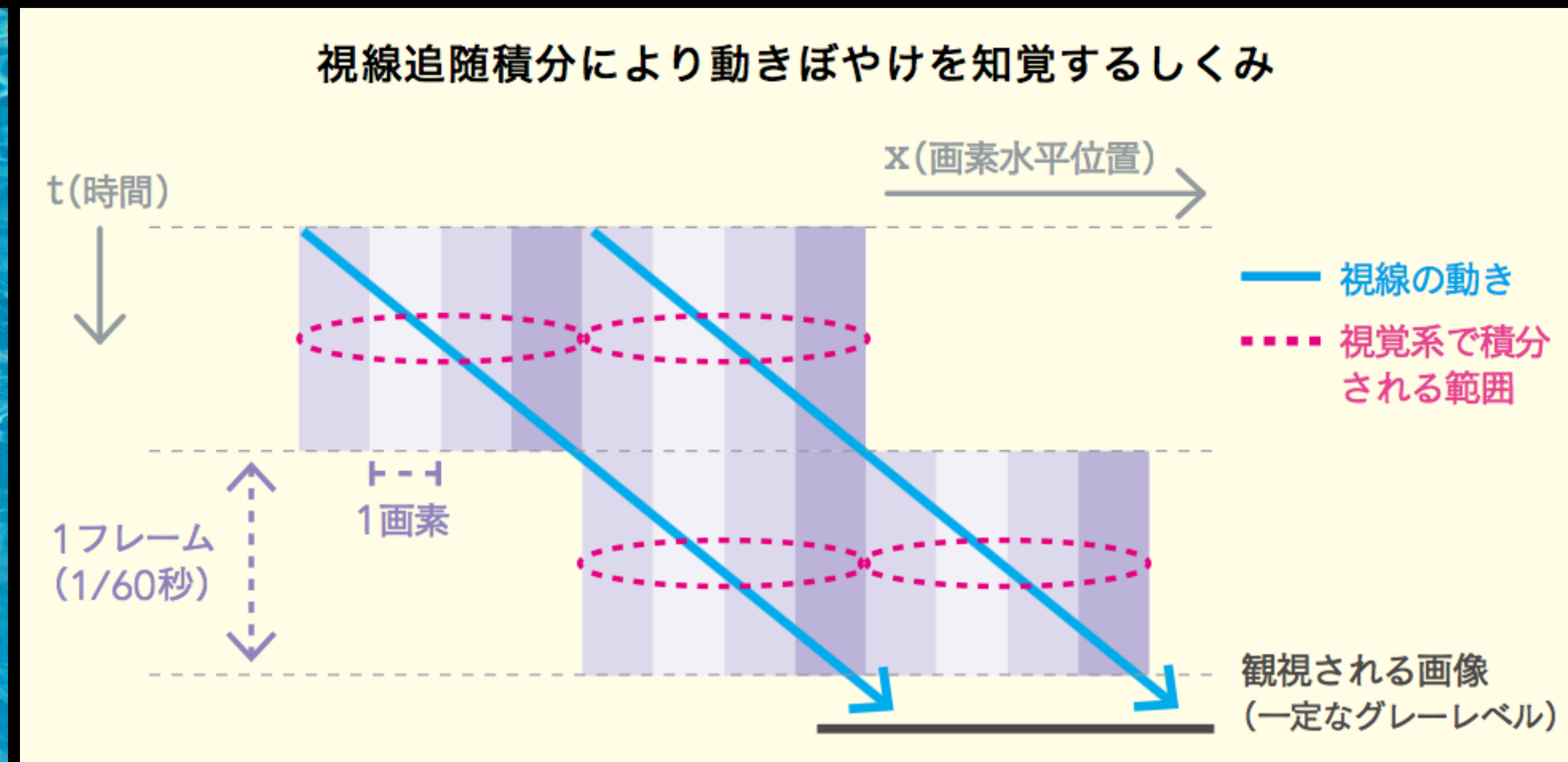
ホールド型ディスプレイで、視覚的な時間積分効果により、動体がぼやけて知覚される現象のこと。人間の視覚系では、画像の動きとそれを観察する人の眼球運動による視点移動はおおむね一致する。また1/60秒以内の光刺激はほぼ積分され知覚される特性を持つ。下記の図では、1/60秒のリフレッシュレートのホールド型ディスプレイにおいて、1フレーム辺り4ピクセル移動する場合の人間の視点移動を表している。図内の矢印のように観察者の視点は画像の動きと合わせて移動している間も、ホールド型のディスプレイでは1/60秒間画像が提示され続けている。その結果、観察者には4つのピクセルが平均化されて知覚され、本来あるはずのピクセルの縦縞模様は完全に見えなくなってしまう。詳細は 栗田氏の論文(※1)に掲載されているが、この頃の栗田氏の研究成果の発表により、2000年ごろからこの動きぼやけのメカニズムがディスプレイ関係者らに認知された。この現象はディスプレイ側で起こるモーションブラーとも考えられるが、現在、VR業界でもSmearing と呼ばれ問題視されている。なお、最近話題のOLED(有機ELディスプレイ、Organic Light Emitting Display)もホールド型ディスプレイであり、全く同様に動きぼやけを生じる

Motion Blur and Smearing(Display Motion Blur)

Motion Blur 24fps 180° Shutter



Smearing(Display motion blur)



図：CGWORLD vol.206 2015年10月号 第二特集 BT.2020規格での映像制作 — 認知に基づく映像のリアリティ, p.74
引用元：栗田泰市郎『ディスプレイの時間応答と動画表示画質』、VISION Vol. 24, No. 4、P154~163(2012)、日本視覚学会

Motion Blur and Smearing(Display Motion Blur)

Scene



Camera

FPS: Low
Shutter: Low



Motion
blur

Hold-type display



Scene



Camera

FPS: High
Shutter: High



Smearing
(Display motion
blur)

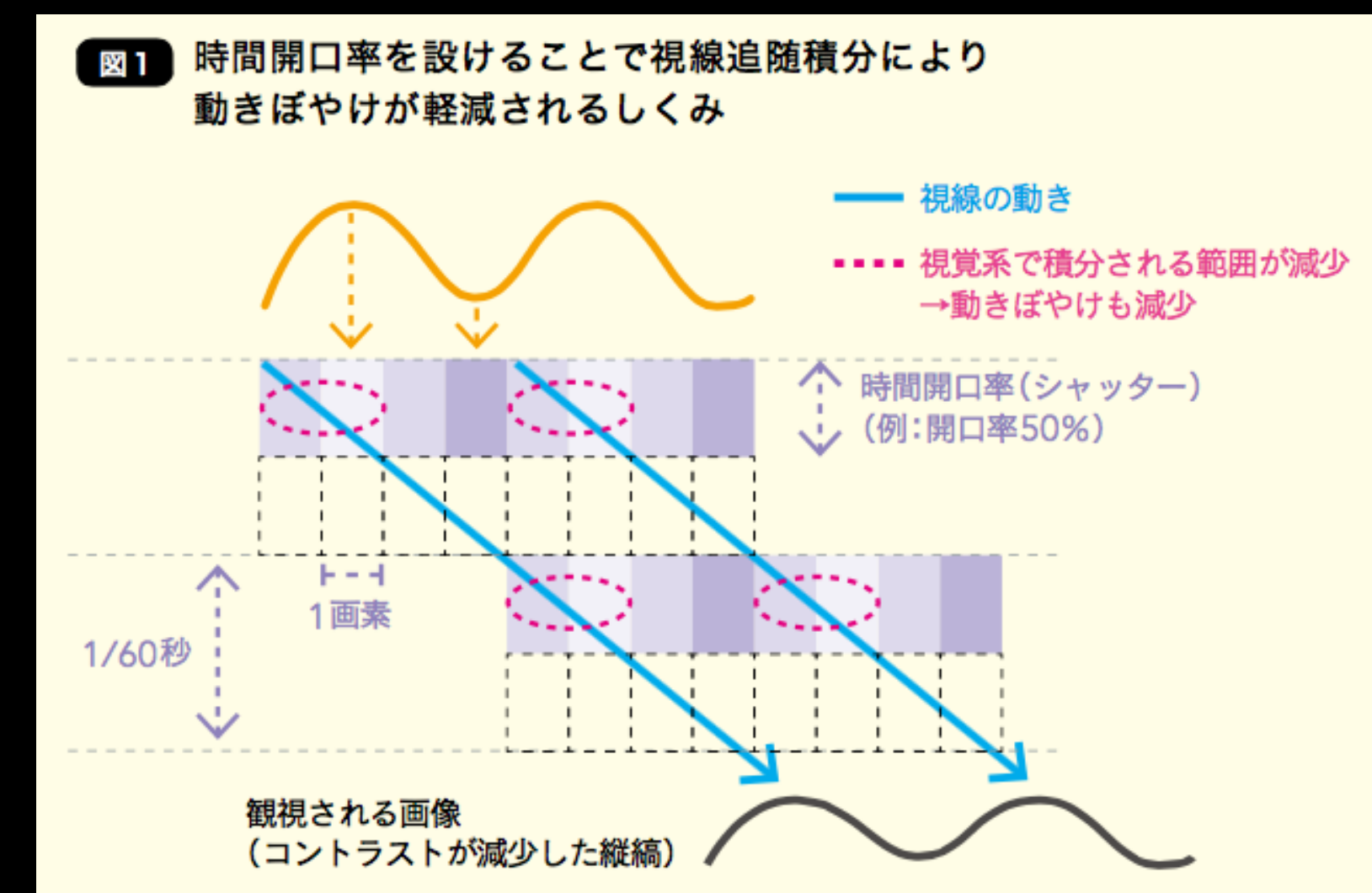


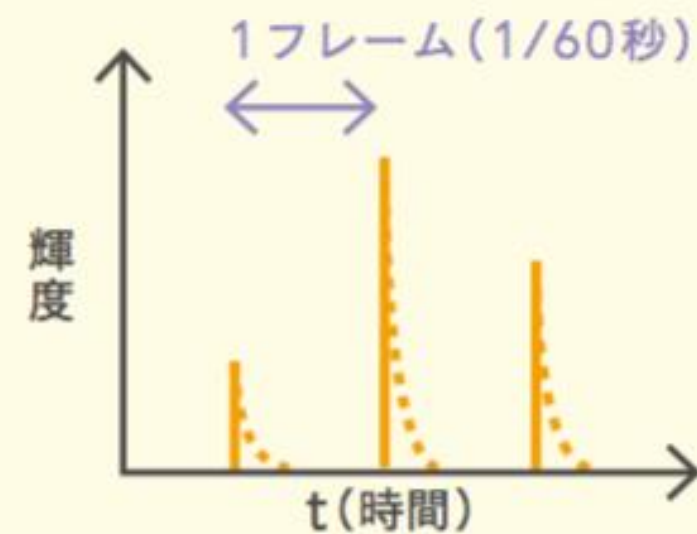
図 : CGWORLD vol.206 2015年10月号 第二特集 BT.2020規格での映像制作 — 認知に基づく映像のリアリティ, p.74
引用元 : 栗田泰市郎『ディスプレイの時間応答と動画表示画質』、VISION Vol. 24, No. 4、P154~163(2012)、日本視覚学会

Technical Terms for High-frame Rate

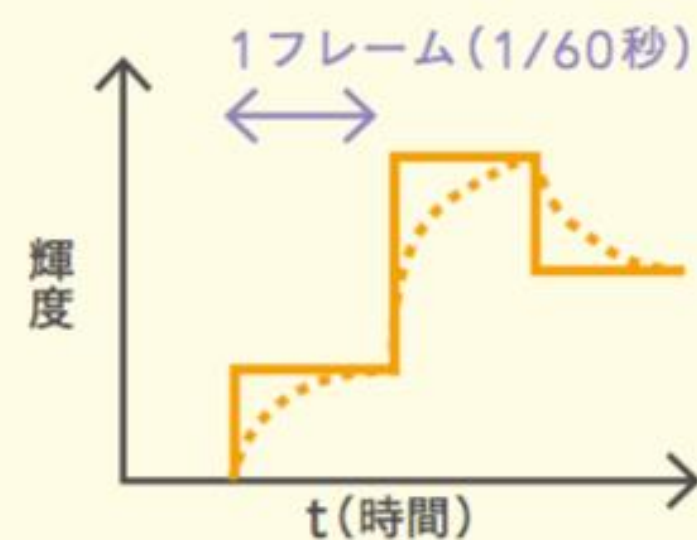
インパルス型とホールド型ディスプレイの表示の比較

— 原理的な応答
... 実際の応答

a CRT(インパルス型)



b AM-LCD(ホールド型)



用語
解説

5

時間開口率(シャッター)設定のためのバックライト点滅、および黒挿入

図1 時間開口率を設けることで視線追従積分により動きぼやけが軽減されるしくみ

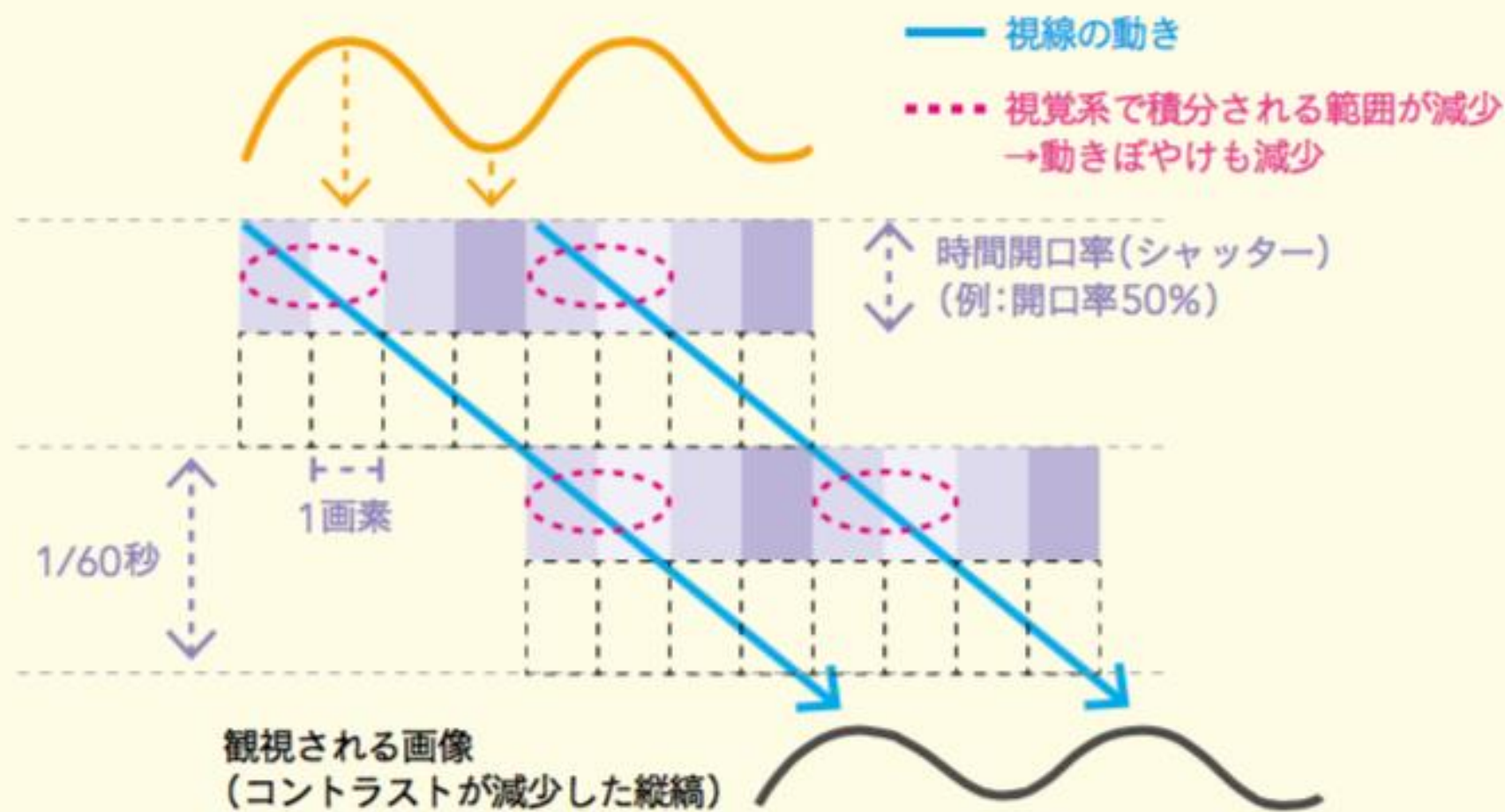
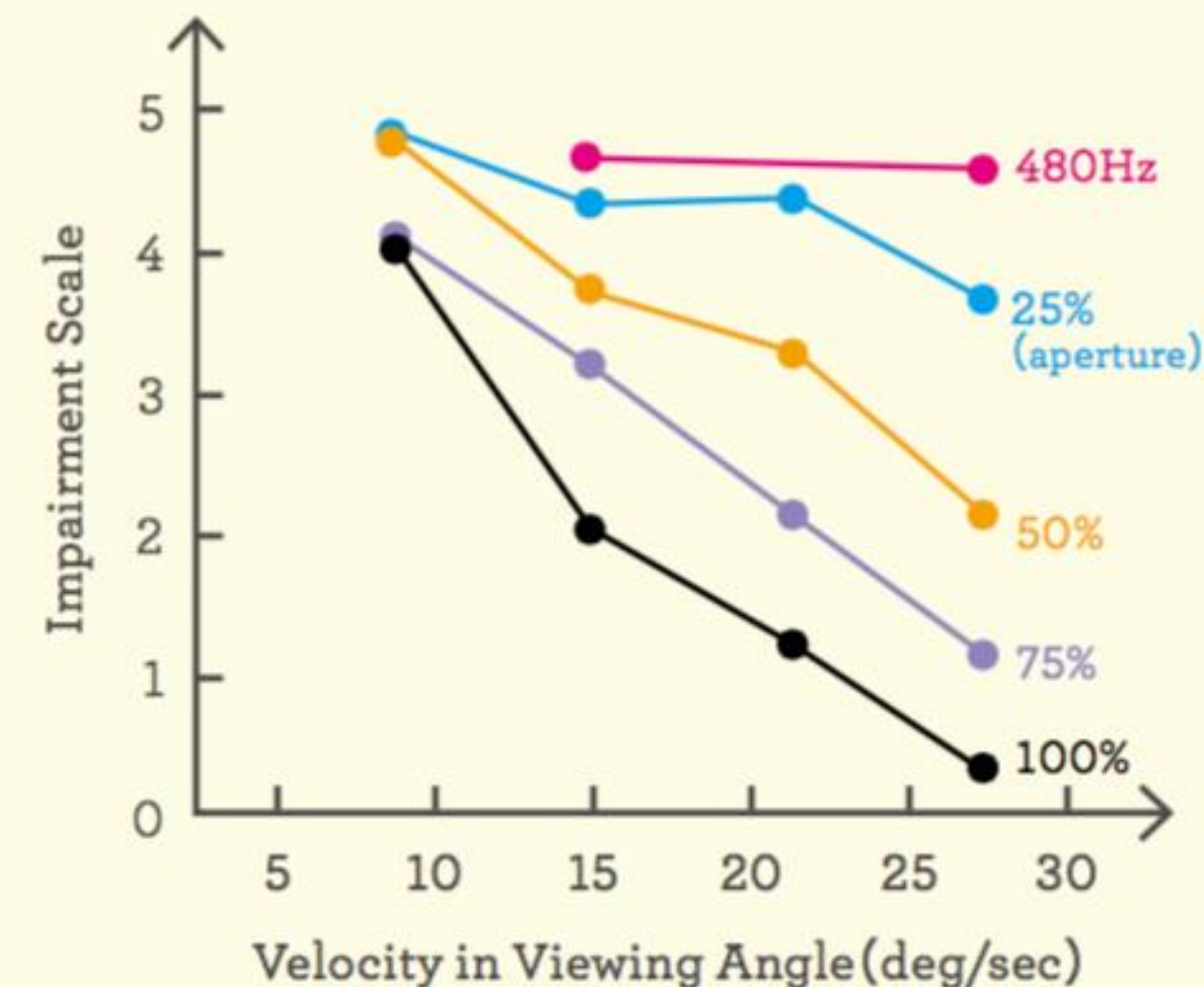


図2 時間開口率と動画質改善の関係



ホールド型ディスプレイの欠点を補うため、カメラのシャッターのように、1フレーム辺りの時間開口率(アパーチャ)を設けて、フレームごとの表示時間を短縮する方法がある。その具体的な手段として、LCDのバックライト点滅やフレーム間への黒挿入がある。下記の図1では、時間開口率が50%になった際の動体とそれを追隨する視点の関係を表している。前述の視線追従積分による動きぼやけの図に比べ、視覚で平均化されるピクセル範囲が半分になるため、視覚で起こるモーションブラーが軽減される。なお、図2は、時間開口率を設けることによる画質改善の度合いを主観評価したもので、縦軸が評価、横軸が移動物体の角速度(dps)である。開口率を上げていくと、動きの大きい画像を見た時の画質が大きく改善されていくことがわかる。

Technical Terms for High-frame Rate

100度90Hzは必要

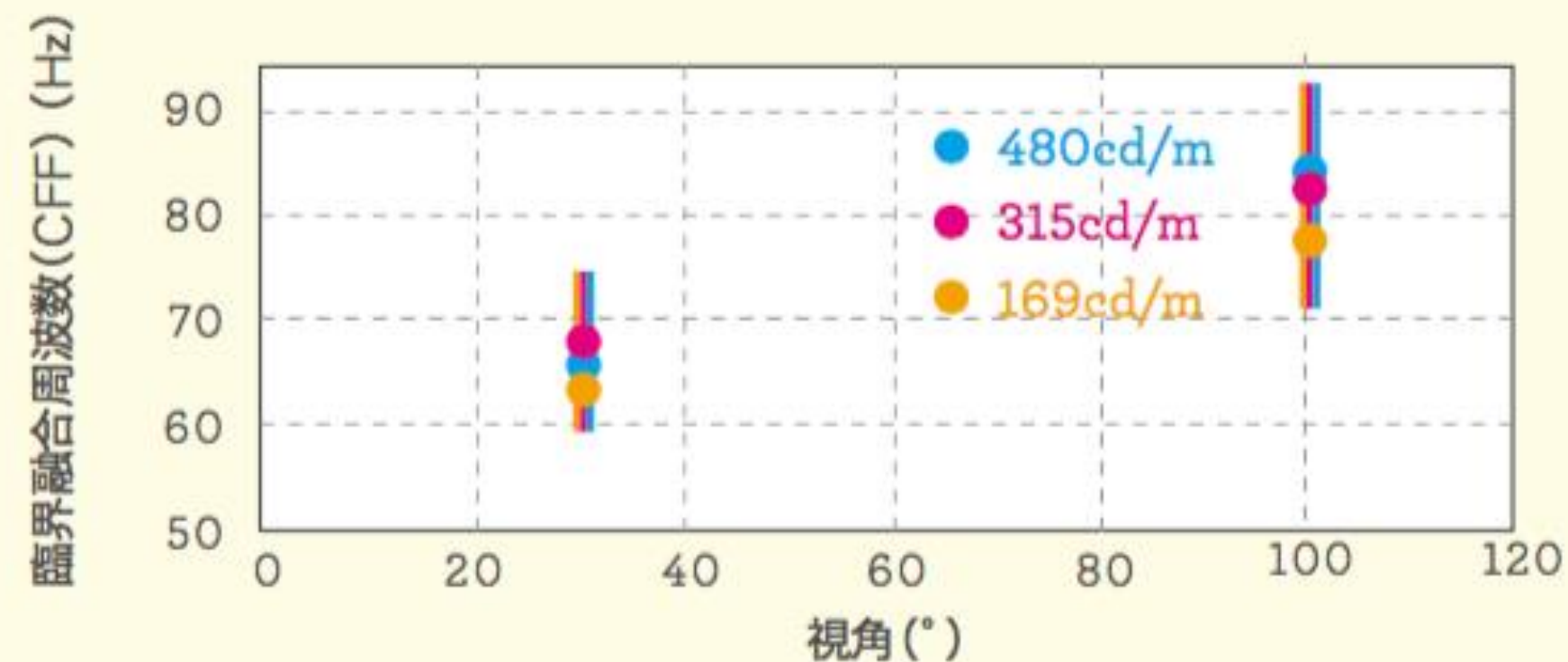
用語
解説

8

フリッカー(Flicker)

光の点滅を観察したときに知覚するちらつきのこと。光の点滅の周波数を高くしていったときに、フリッカー知覚がなくなる周波数を臨界融合周波数 (Critical Fusion Frequency/CFF) と呼ぶ。また点滅の平均輝度が上がるにつれてフリッカーを知覚しやすくなる。フリッカー知覚は周辺視で敏感なので、観察時の視角が大きい(大画面)と検知されやすい。図はNHK技研で行なわれたシャッター(時間開口率)を30%としたときの、視角30度、および、100度におけるCFFの実験結果である(※2)。視角100度、平均輝度480cd/m²の最もフリッカーを感じやすい条件でも、BT.2020の120Hzのフレームレートではフリッカー感じないことがわかる

視角と臨界融合周波数(CFF)の関係



視覚、輝度、周波数に依存するフリッカーアーティファクト
Contrast Sensitivity of the Human Eye and Its Effects on
Image Quality Author(s): Peter G. J. Barten

Contrast Sensitivity of the
HUMAN EYE
and Its Effects on Image Quality

Peter G. J. Barten

SMPTE EG 432-1:2010
Digital Source Processing — Color Processing for D-Cinema

Annex D (Informative) Reason for the Constant 2.6

One area that has been extensively studied in the field of visual perception is the question, "What is the minimum change in luminance that a person can see?" Although this may seem like a simple question, there are many variables that can alter the threshold of visibility of a pattern. For example, the type of pattern used will change the visibility of any luminance changes and the absolute luminance from which the change is made will change the visibility of the luminance changes. It has been found that the eye is not a good detector of absolute luminance changes, but is an excellent detector of relative luminance changes represented by the change in luminance divided by the average luminance. In the vision experiments designed to answer this question, it is common to use sinusoidal waves and to analyze the observer's response relative to the modulation, m , defined by the equation

$$m = \frac{L_{high} - L_{low}}{(L_{high} + L_{low})} = \frac{\Delta L}{2 * L_{average}} \quad (D-1)$$

where L_{high} and L_{low} are the maximum and minimum luminances in the sine wave, ΔL is the difference between L_{high} and L_{low} , and $L_{average}$ is the average of L_{high} and L_{low} . In any encoding scheme if the modulation of that encoding scheme, as calculated from the change in luminance encoded by a one code value change, is smaller than the Human Visual Modulation Threshold (HVMT), then that encoding scheme is capable of encoding all the information that a person can possibly see and that encoding scheme will not introduce image artifacts due to the encoding. Barten has derived an equation that predicts the HVMT of sine waves as a function of a large number of variables. It is this equation that was used to compare the HVMT and the modulation of any proposed encoding scheme. This HVMT as a function of luminance is shown in Figure D-1. The luminance range of interest for the projection of motion pictures in a theatre is from about 50 cd/m² to about 0.01 cd/m², a 5,000:1 luminance range. There is no simple equation that describes this curve.

Judder and Jerkiness(Strobing)

ANSI ATIS-0100801.02.1996(R2011)

3.2.9 jerkiness *: Motion that was originally smooth and continuous is perceived as a series of distinct "snapshots".

24 fps

72° Shutter

用語
解説

6 ストロボ効果(Strobing)または ジャーキネス(Jerkiness)

jerkiness: Motion that was originally smooth and continuous is perceived as a series of distinct "snapshots".

※参照: ANSI T1.801.02.1996

ストロボ効果(ストローピング、Strobing)またはジャーキネス(Jerkiness)とは、もともとスムーズであったものが離散的(スナップショット)に感じる現象のこと。ジャーキネスについては、ANSI (American National Standards Institute/米国国家規格協会) T1.801.02.1996に定義されている。本特集ではディスプレイを見る際に視覚的に離散的に感じる現象に対して、これらの用語を使用する

用語
解説

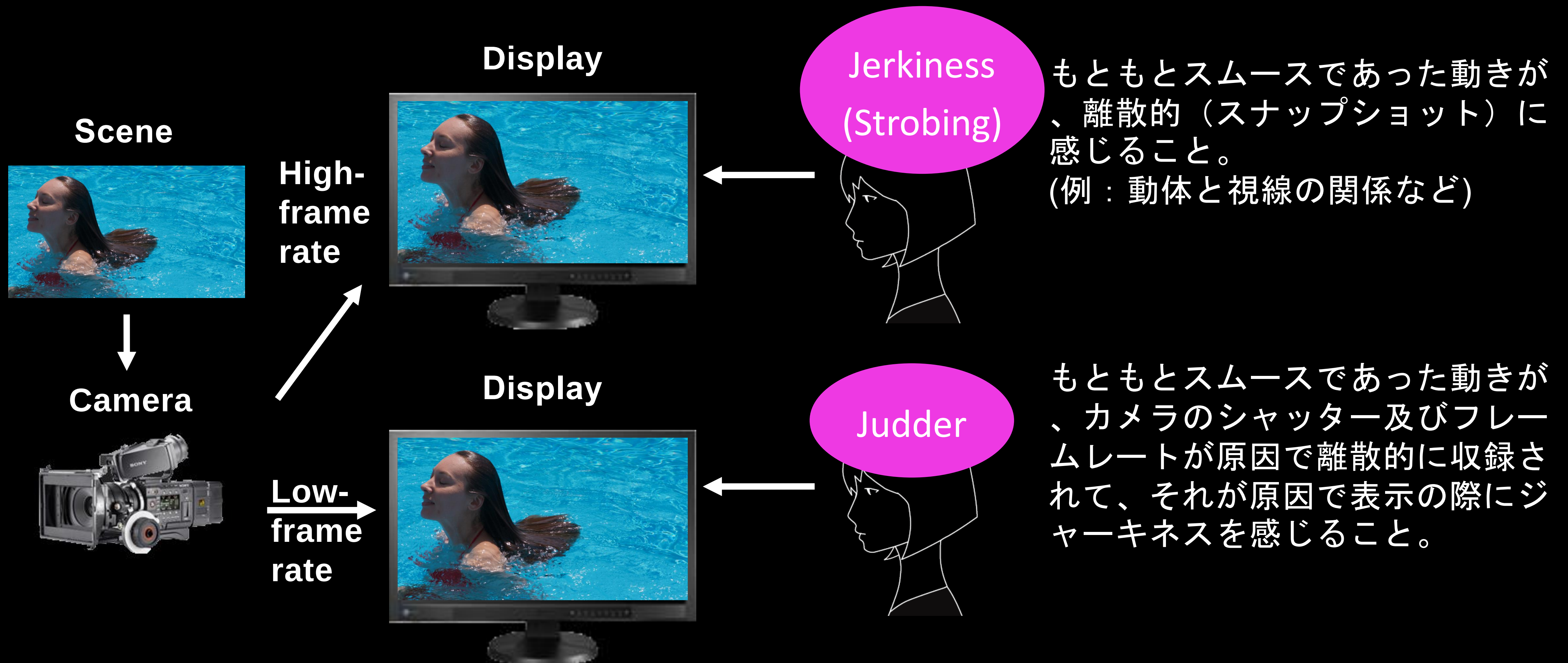
7 ジャダー(Judder)

本特集でのジャダー(Judder)という用語は、もともとスムーズであった動きが、カメラのシャッター、およびフレームレートが原因で離散的に収録されて、その表示の際にストローピングまたはジャーキネスを感じる。本特集ではカメラ、およびディスプレイの複合的原因で視覚的に離散的に感じる現象に対して、この用語を使用する

※参考 www.red.com/learn/red-101/camera-panning-speed



Judder and Jerkiness(Strobing)



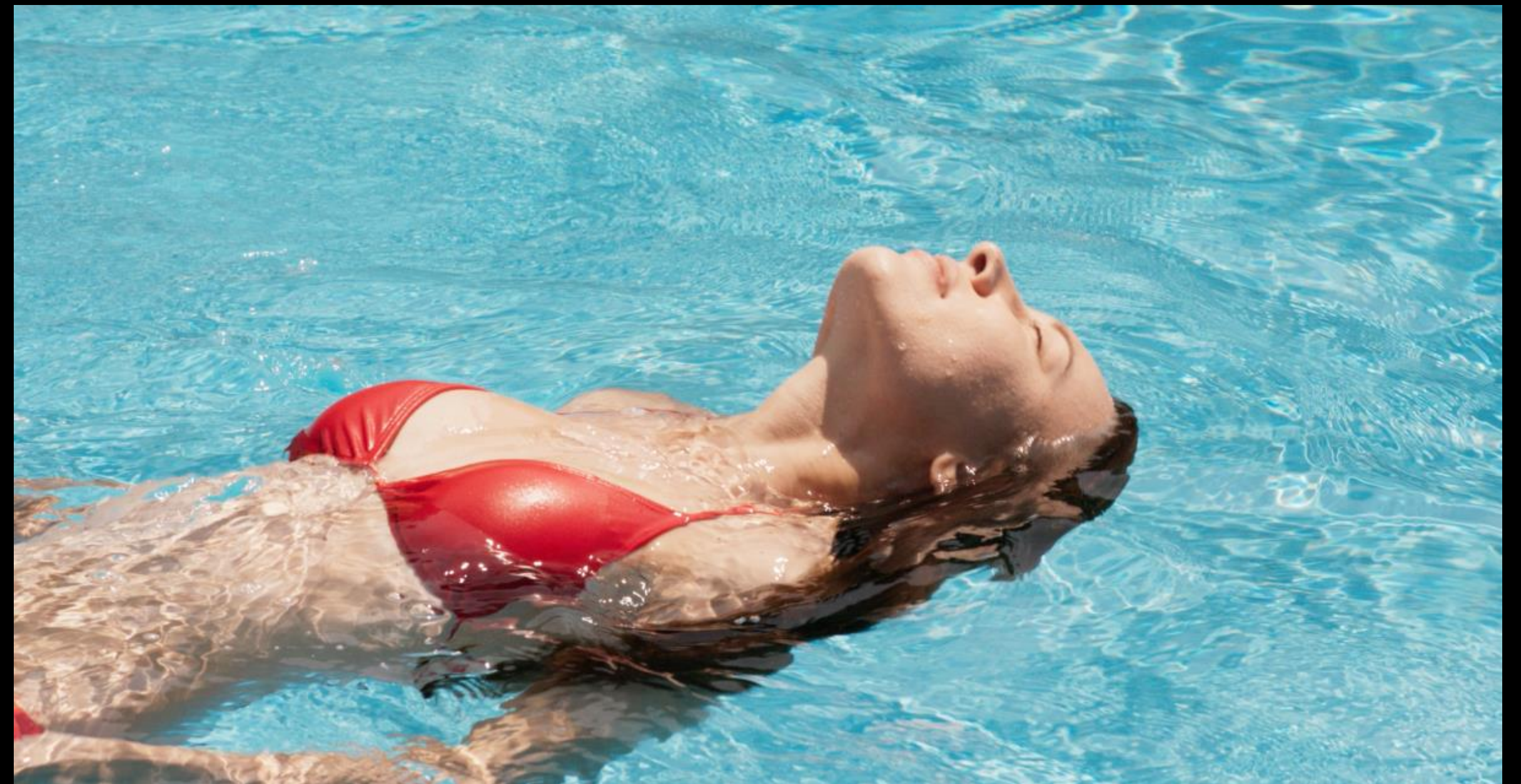
Online Editing

55 inch 4K Display
for Director



Master Monitor
for Editor

Adjusting motion blur parameters for correcting jerkiness



Correction of Jerkiness Artifact

Increasing jerkiness

Decreasing jerkiness

dps(degree per sec)

large motion

small motion

Narrow visual angle

Wide visual angle

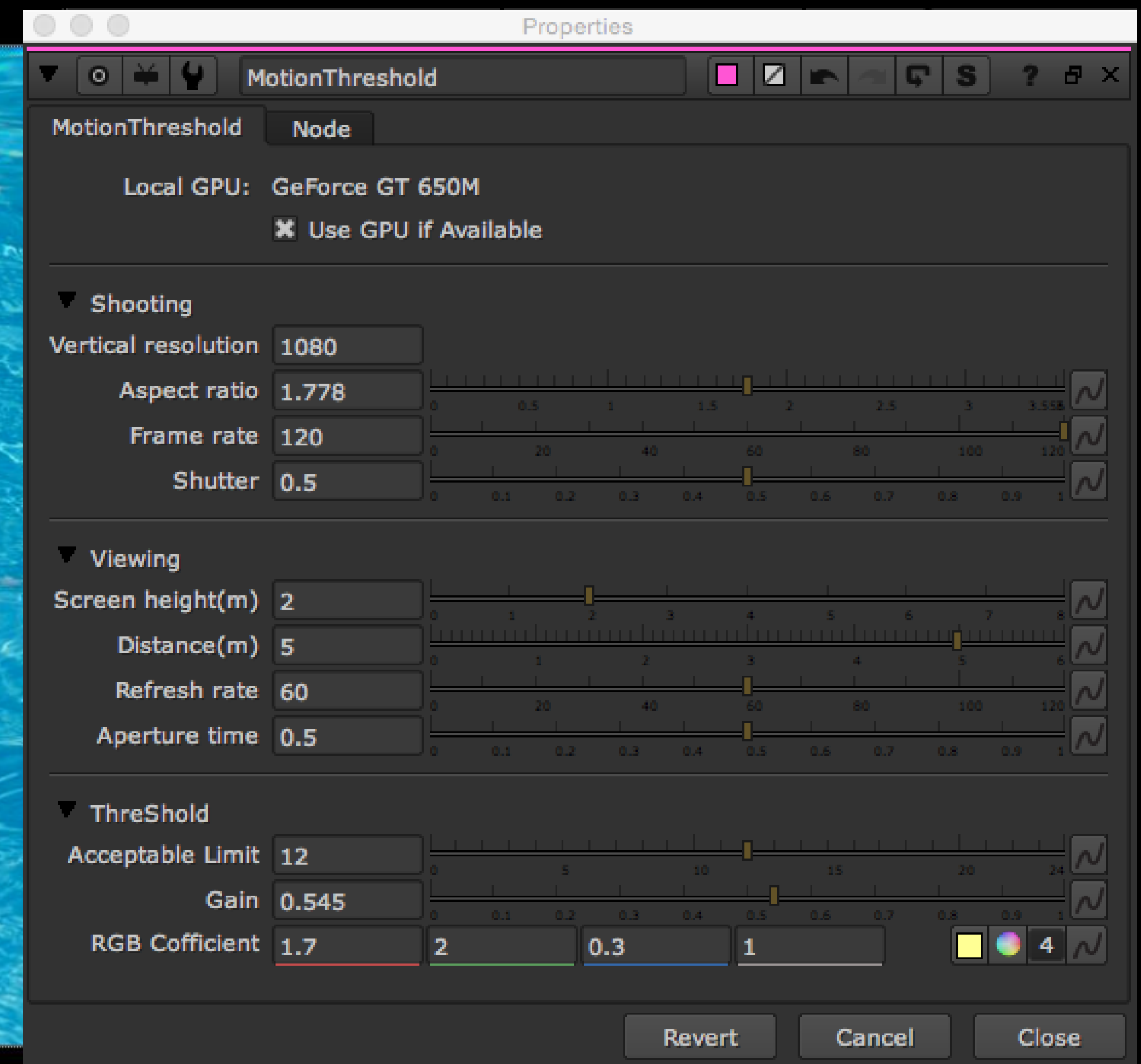
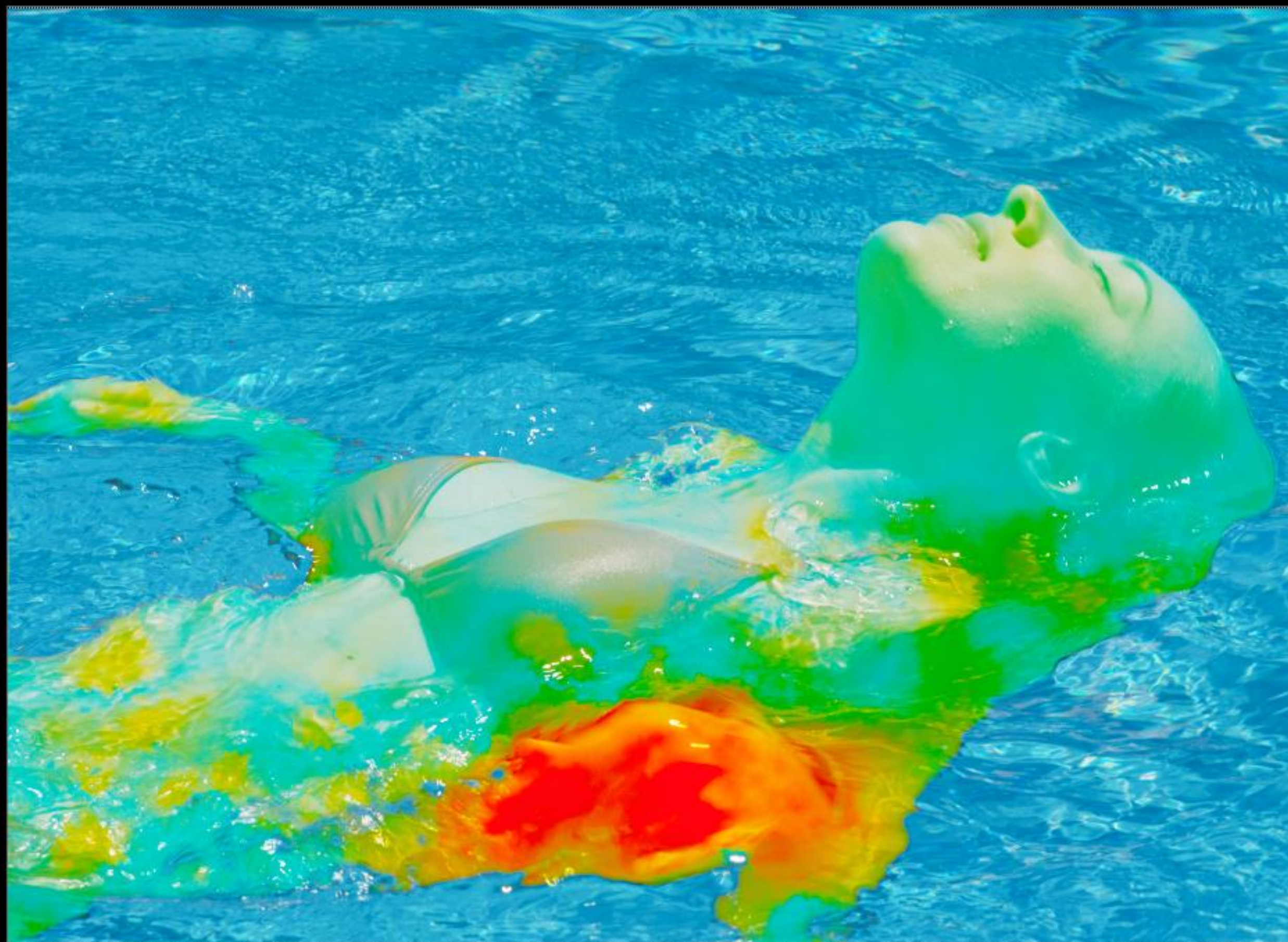
Small Display

Large Display

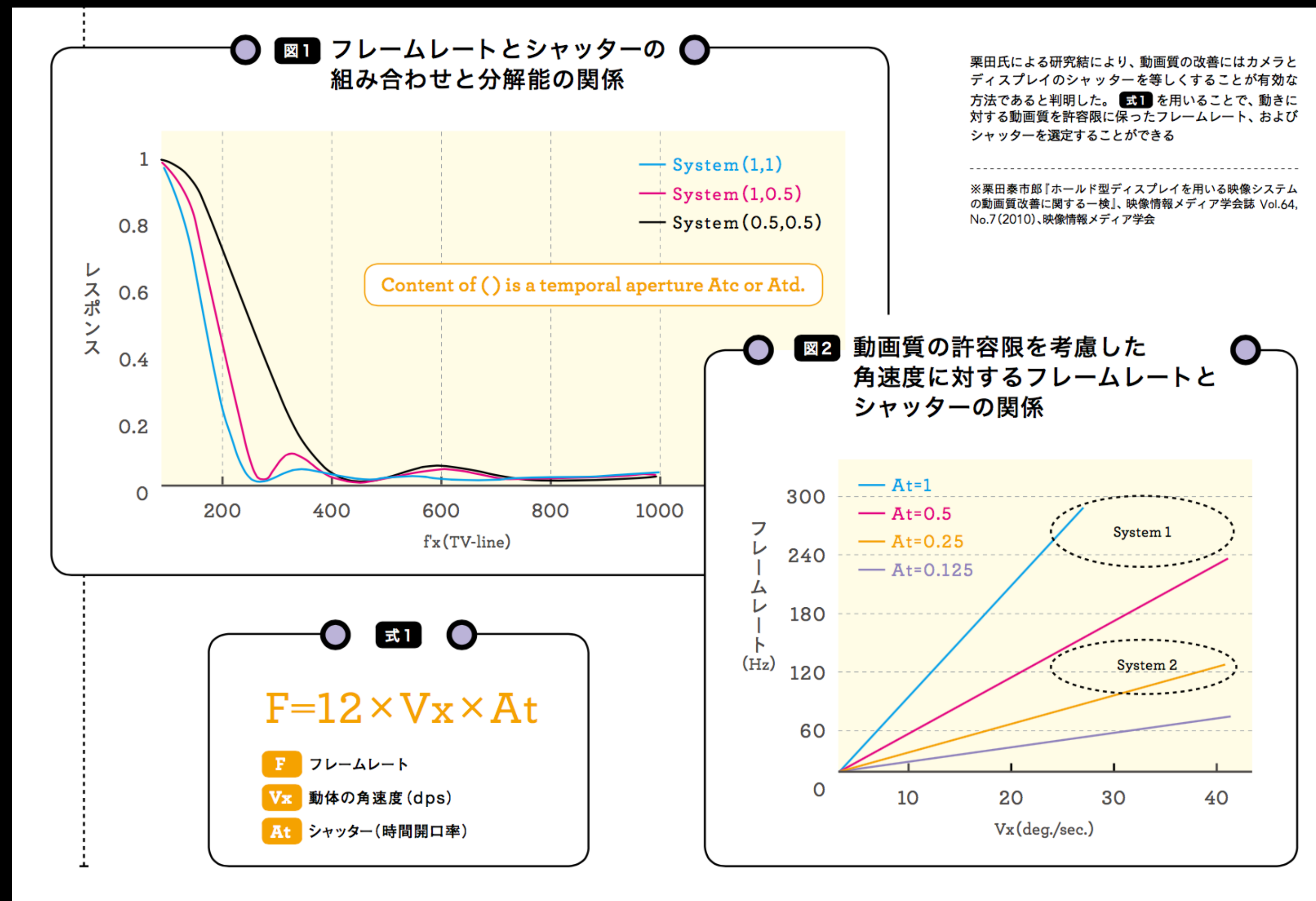
Long viewing distance

Short viewing distance

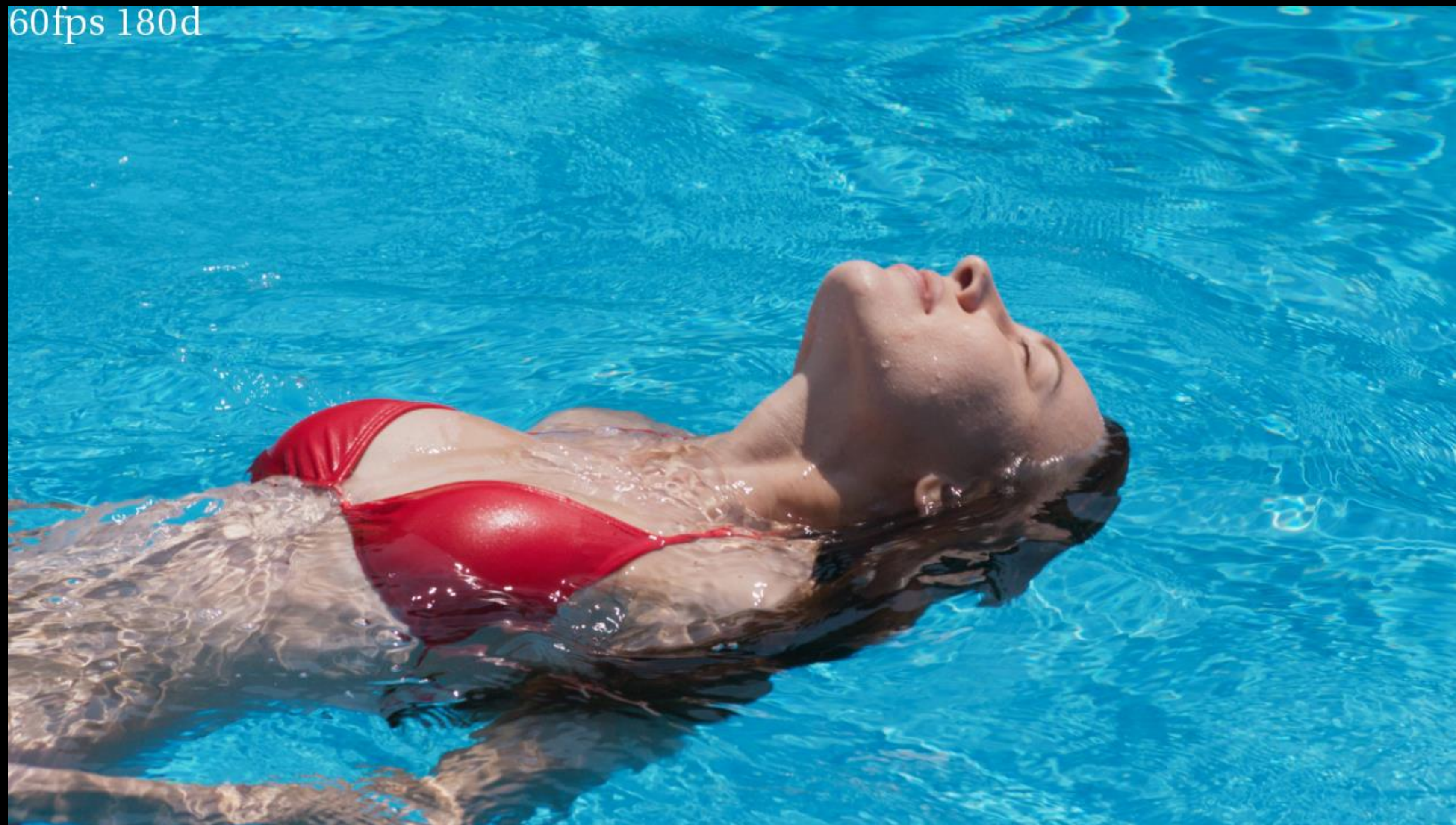
MotionThreshold Plug-ins (Nuke C++)



- ジャーキネスの許容値などの追加
- C++コードのリアルタイムエンジンへの実装とリアルタイム化
- アーティストがHFRを意識した表現



Cinematic Look and Realistic Look



Cinematic Look and Realistic Look

**Cinematic frame rate:
24 fps, 180° shutter**



Cinematic look

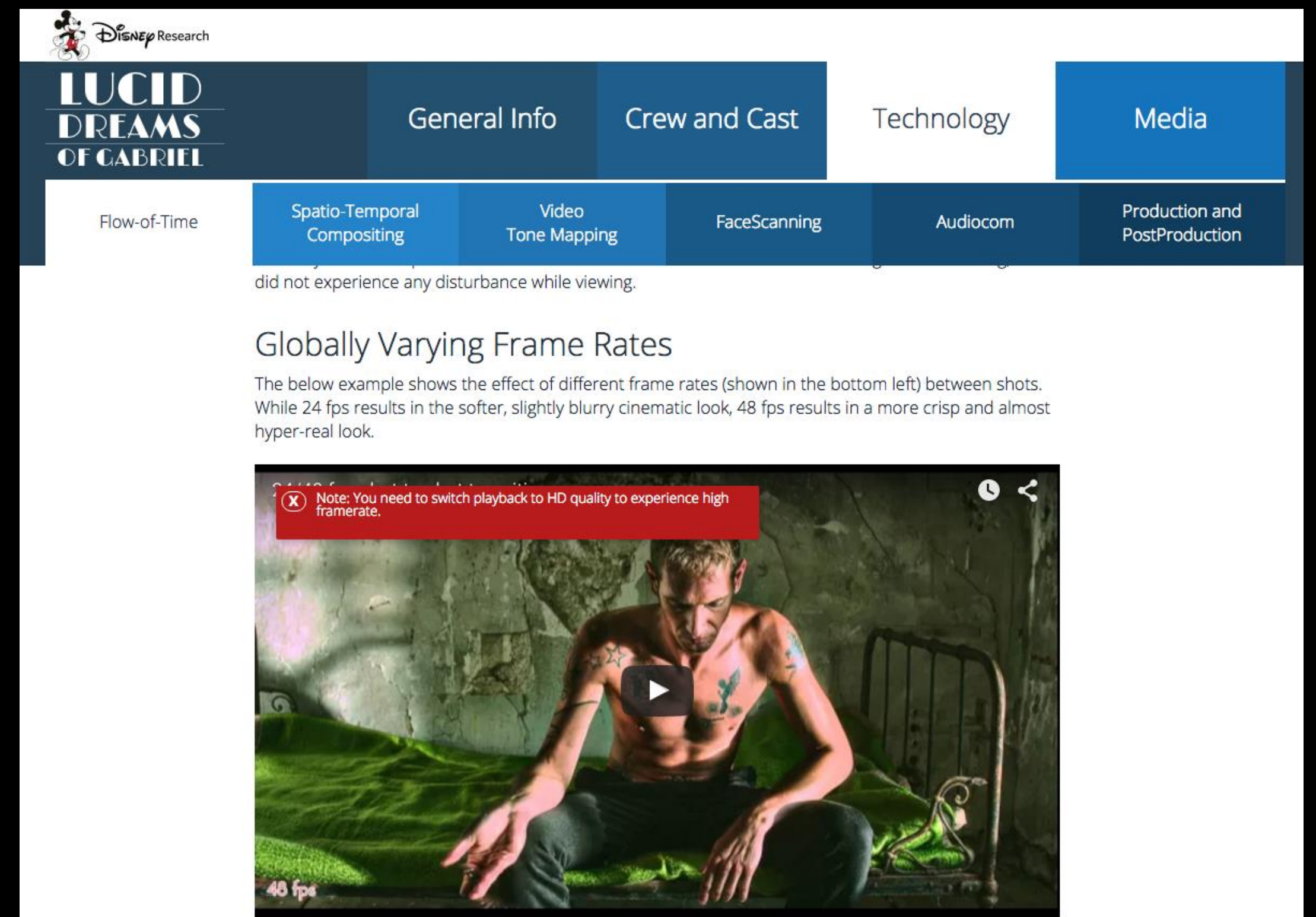
**High-frame rate:
High-speed shutter**



Realistic look

**Soap-opera
Plastic look**

Cinematic Look and Realistic Look



UHD: Ultra High Definition

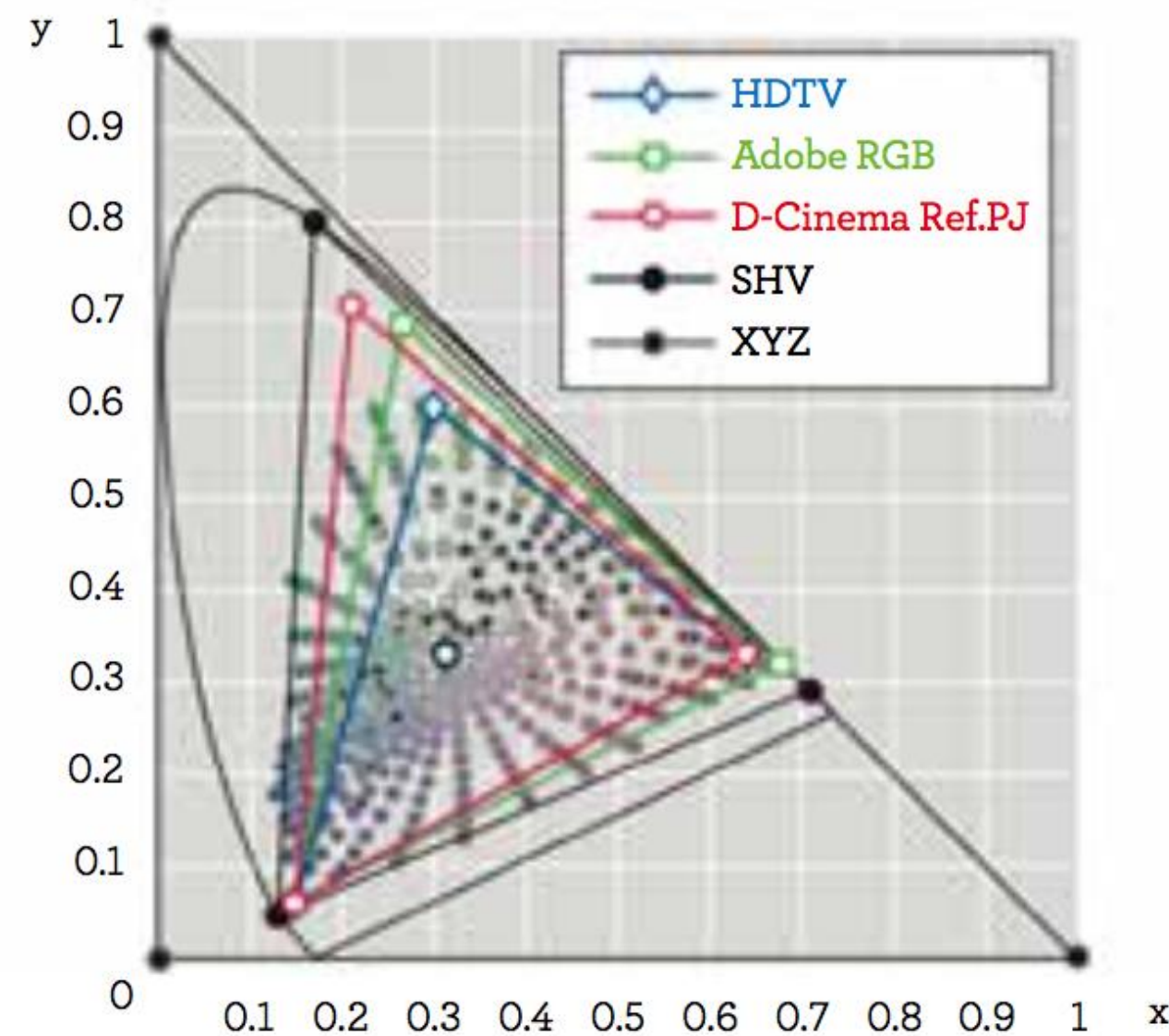
HFR: High Frame Rate

WCG: Wide Color Gamut

HDR: High Dynamic Range

WCG and Pointer Color

図1 ポインターカラーと各種の映像システムの三原色



最明色…ある色度 (x,y)に おいて最大の三刺激のYをもつ物体色のこと

※出典: 西田幸博『スーパーハイビジョンの映像パラメーターと国際標準化』、NHK技研 R&D, No.137(2013)、NHK放送技術研究所、図1の図を引用

表1 ポインターカラーと最明色の包含率

BT.2020	ポインターカラー(%)	最明色(%)
HDTV	74.4	35.9
Adobe RGB	90.3	52.1
D-Cinema Ref.PJ	91.4	53.6
SHV	99.9	75.8

M. R. Pointer

Research Division, Kodak Limited
Headstone Drive, Harrow
Middlesex, England, HA1 4TY

The Gamut of Real Surface Colours

WCG Color Pipeline

図1 三原色をプロットした xy 色度図

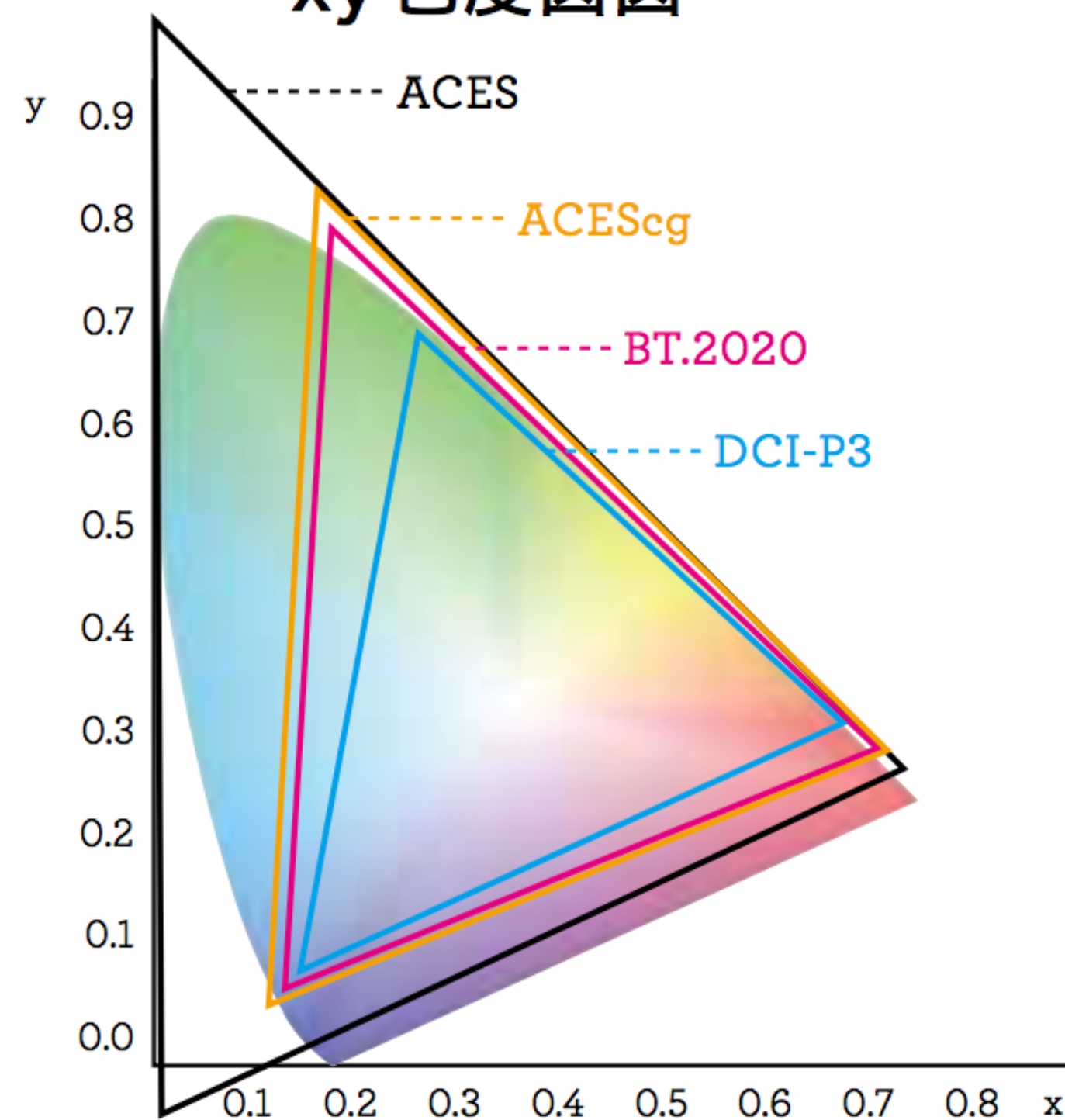
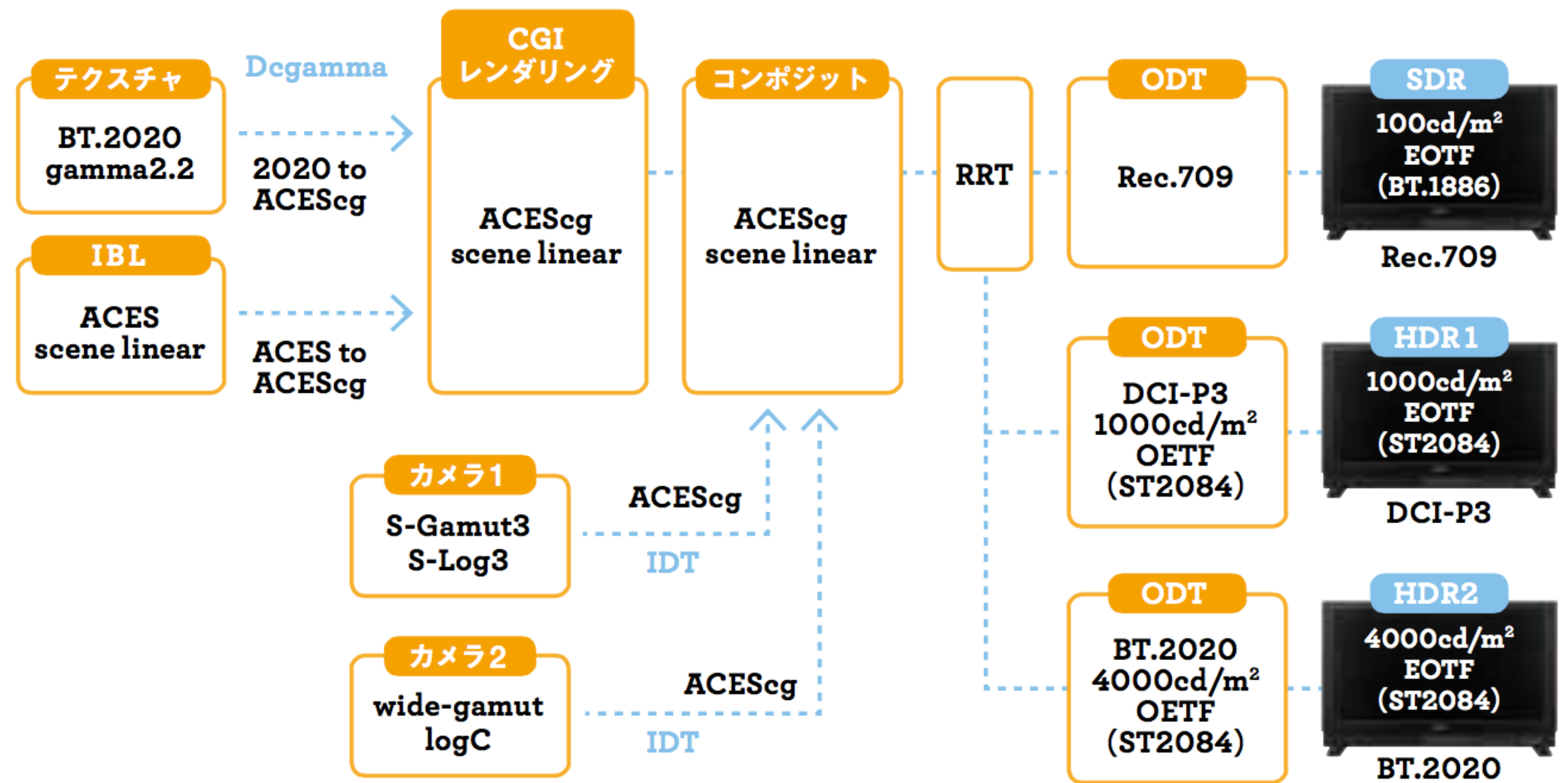


図2 BT.2020・HDR を念頭においたカラーパイプライン例

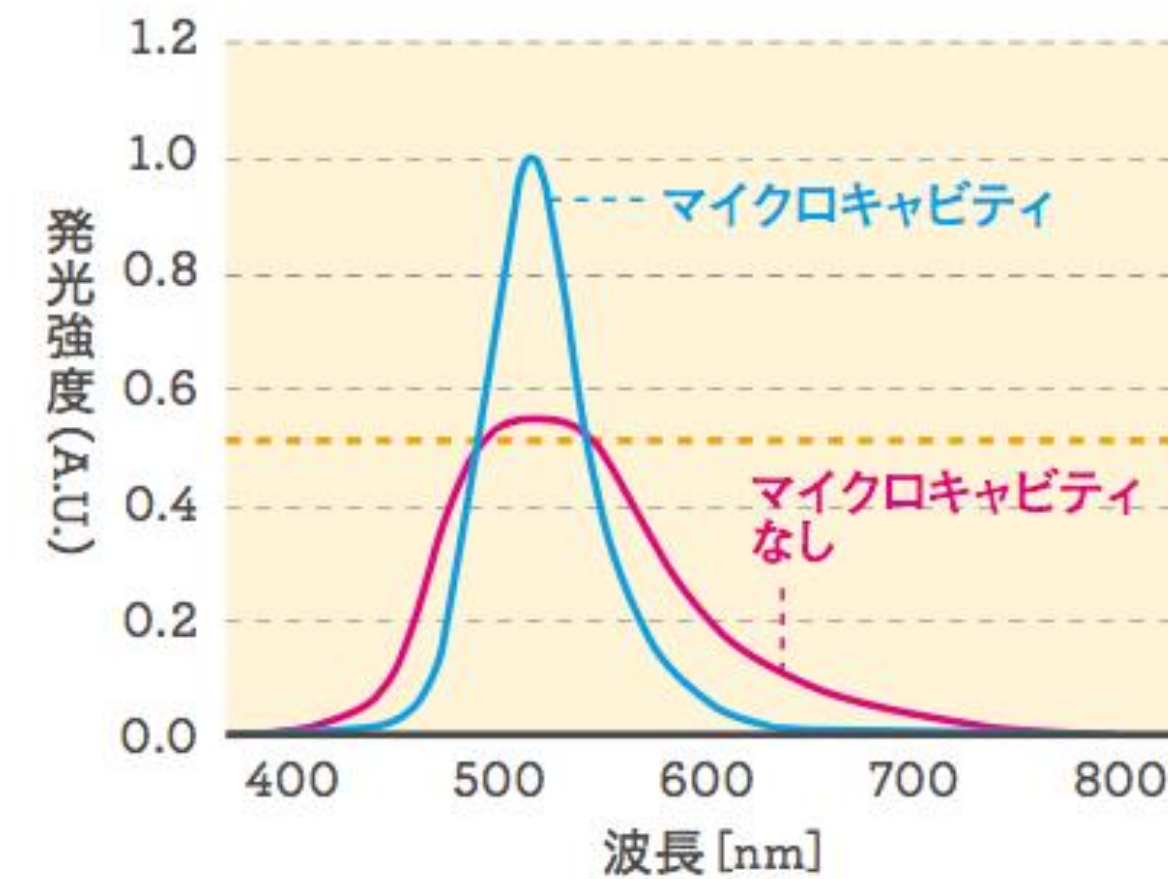
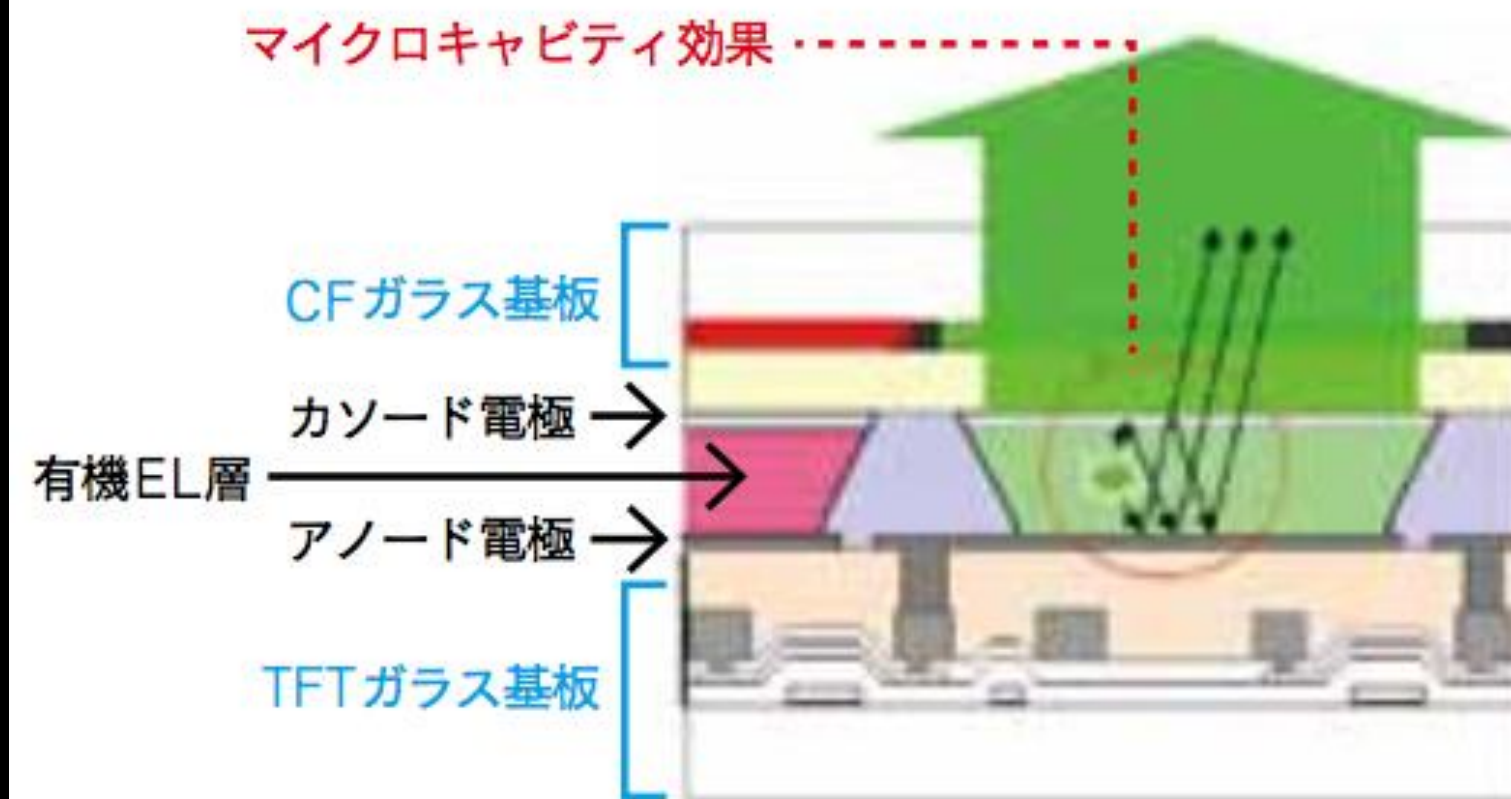


※: Specification S-2014-004 ACEScg, A Working Space for CGI Render and Compositing, DRAFT Version 1.0 December 19, 2014

WCG Display

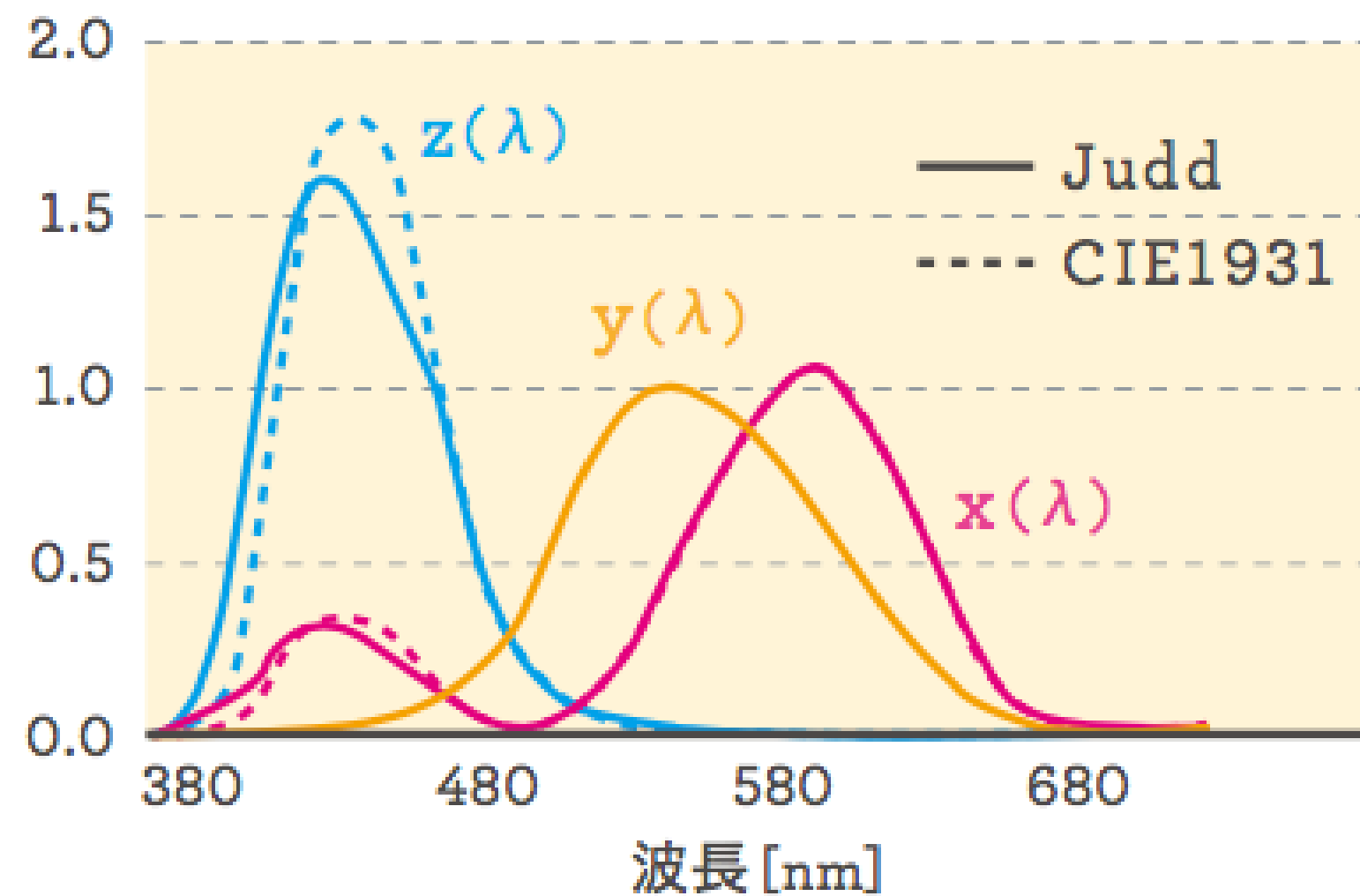


- 2014年 4月 | ● Production Hub Award of Excellence
● Post Magazine NAB Picks
- 2015年 6月 | ● The Cine Gear Expo Technical Award
- 2015年 8月 | ● HPA Engineering Excellence Award
● 日本映画テレビ技術協会 技術開発賞



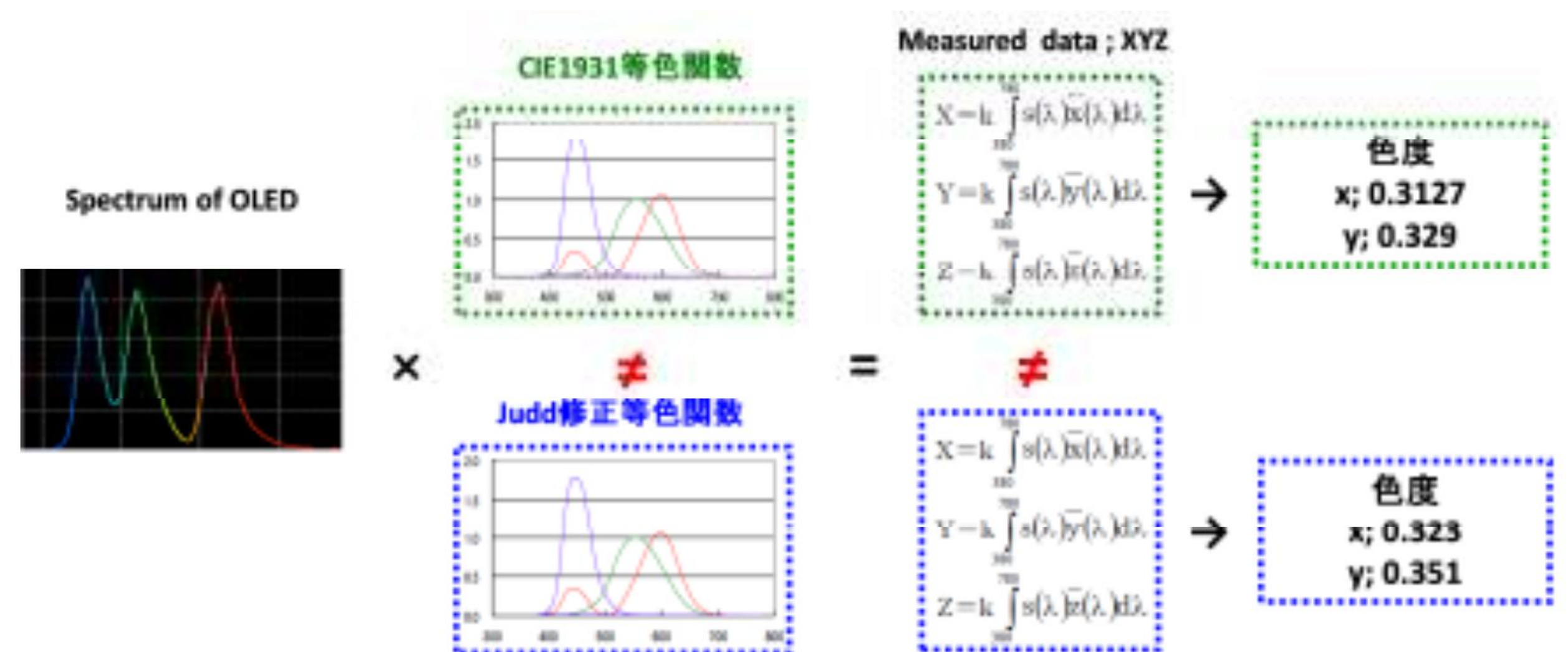
WCG and the Artifact

図2 CIE1931 等色関数と Judd 修正等色関数



5. Judd 修正等色関数を使つての CRT と OLED カラーマッチングとは？

光源のスペクトルが同じでも、等色関数を変えると色度点は異なる値を示します。具体的な例を図 7 に挙げますが、CIE1931 等色関数と Judd 修正等色関数を使用した場合は、



HDR Display



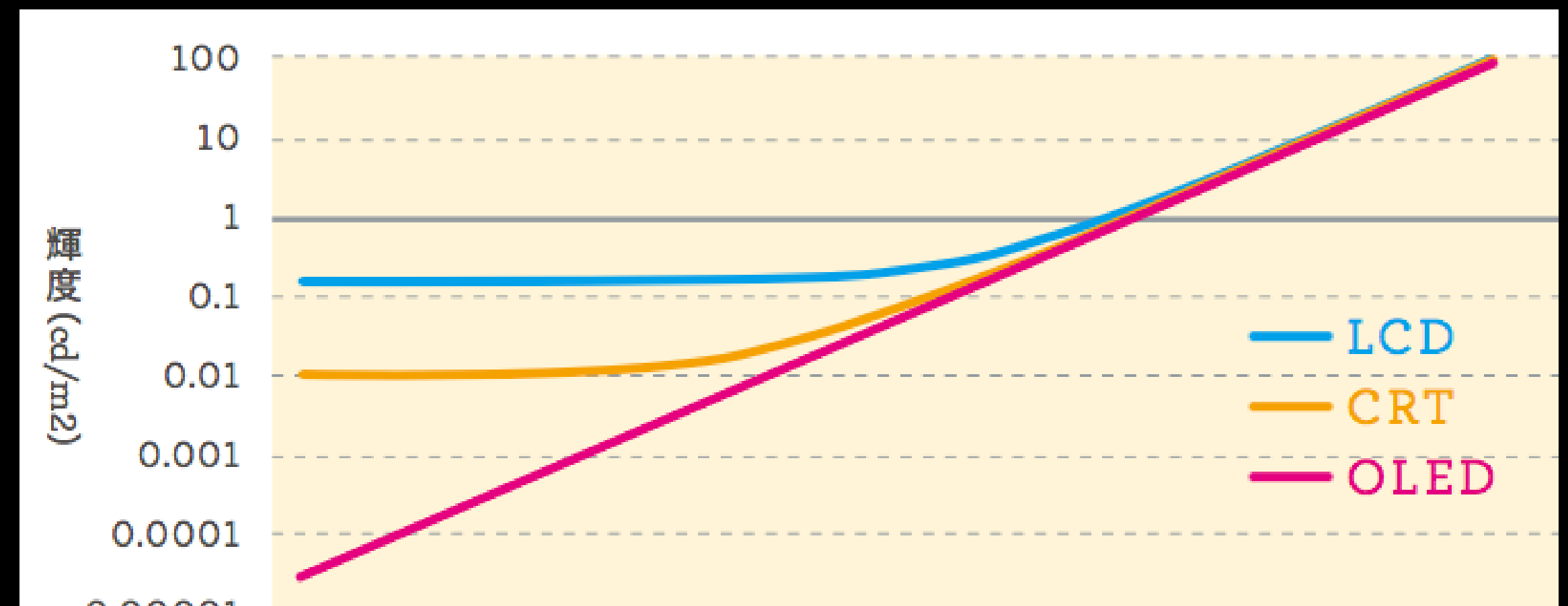
- 2014年 4月 | ● Production Hub Award of Excellence
● Post Magazine NAB Picks
- 2015年 6月 | ● The Cine Gear Expo Technical Award
- 2015年 8月 | ● HPA Engineering Excellence Award
● 日本映画テレビ技術協会 技術開発賞

	LCD	CRT	OLED
標準輝度(cd/m2)	100	100	100
最小輝度(cd/m2)	0.1	0.01	0.0001以下
コントラスト比	1000 : 1	1万 : 1	100万 : 1以上

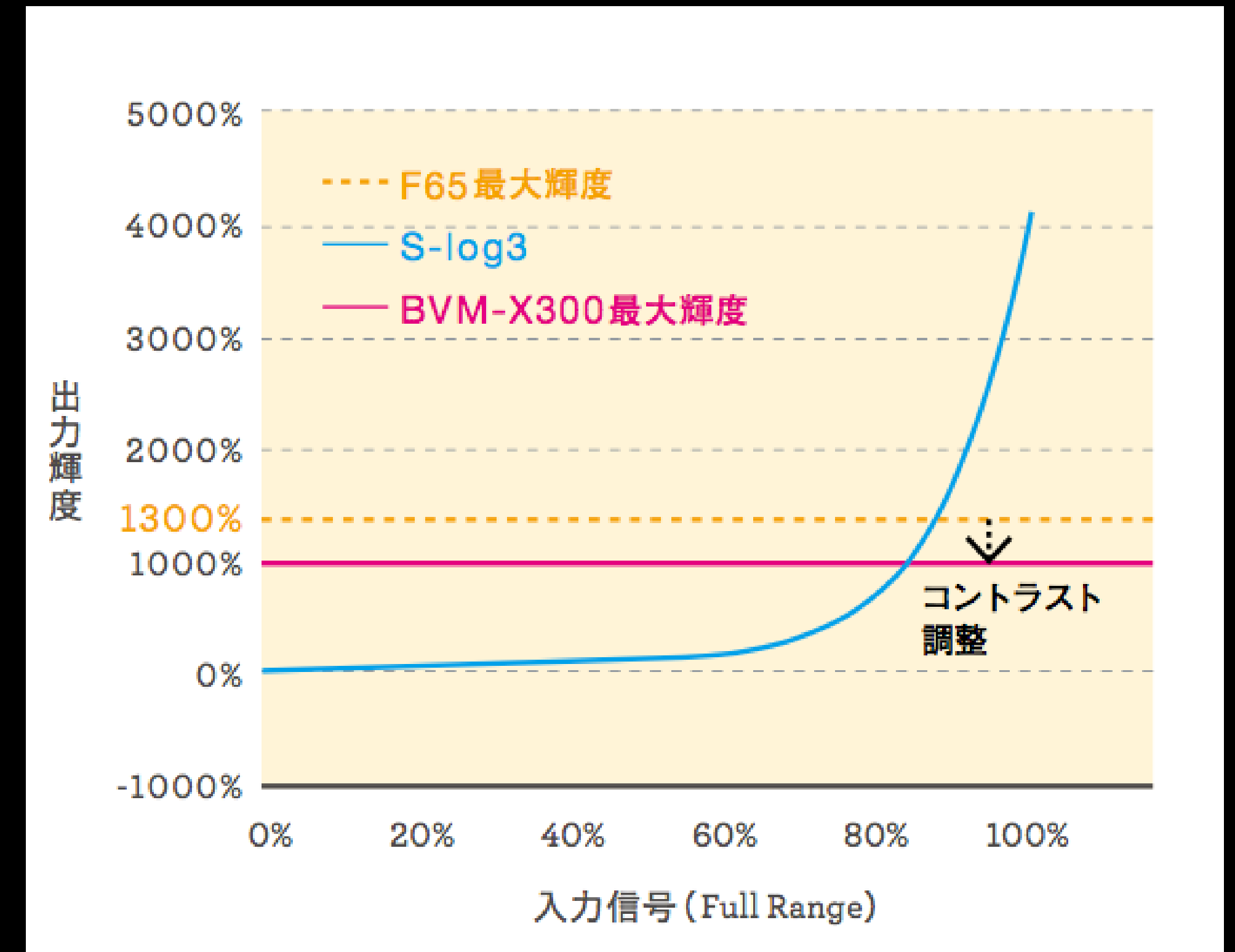
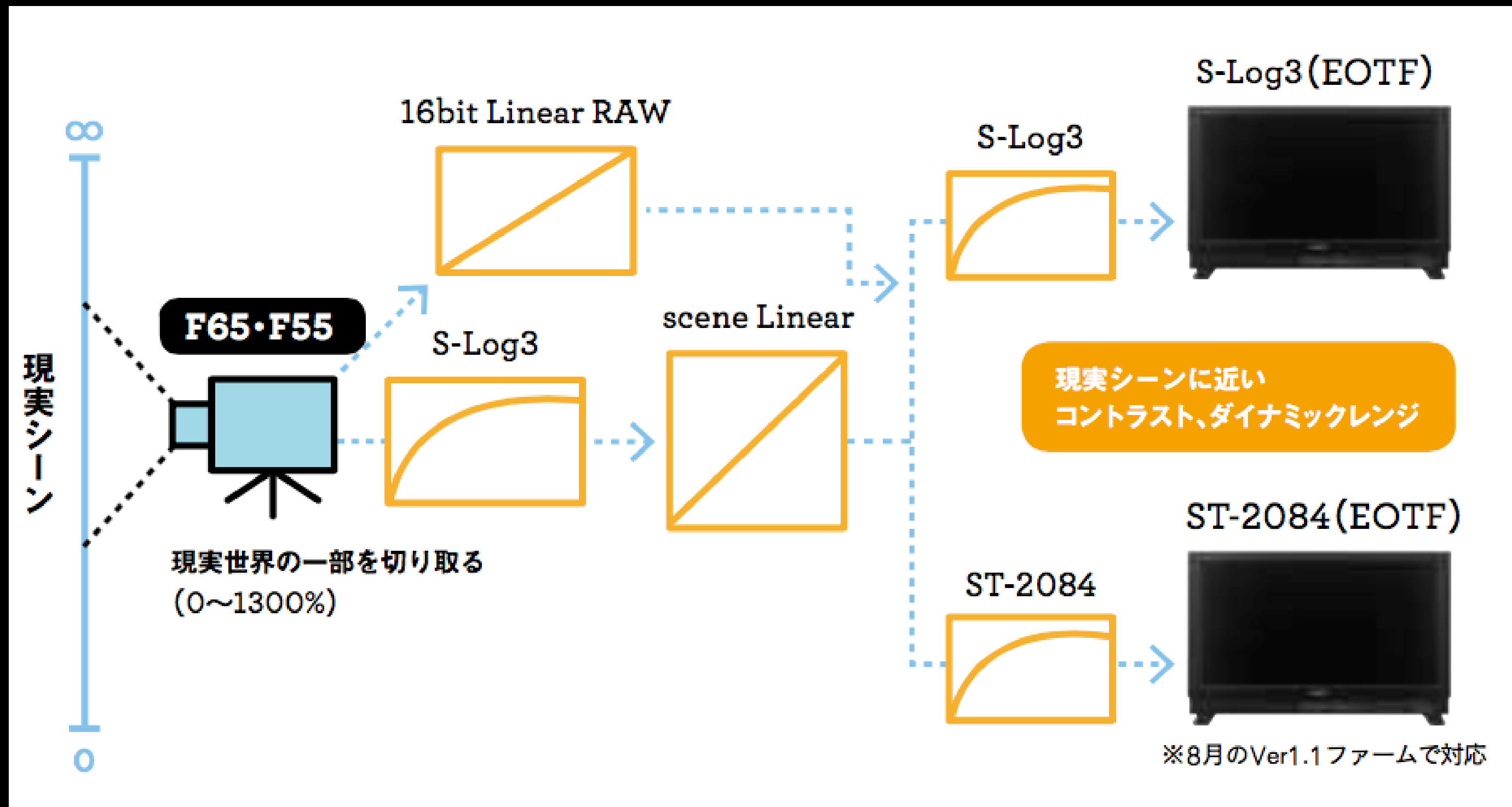
SMPTE ST 2084:2014

SMPTE STANDARD

High Dynamic Range Electro-Optical Transfer Function of Mastering Reference Displays



HDR Display



Conclusion

カメラ

高フレームレート化でジャダーとモーションブラーを同時に改善できるが、露光量の低下をとまなう

ハイフレームレート化

- ▲ モーションブラーの改善
- ▲ ジャダーの改善
- ▼ 露光量の低下

シャッター

- ▲ モーションブラーの改善
- ▼ 露光量の低下
- ▼ ジャダーの発生
- ▼ フリッカーの発生

BT.2020 規格の映像制作ワークフロー相関図

相対視距離

高解像度化で臨場感と実物感を同時に得られる

画面に近づく

- ▲ 臨場感の向上
- ▼ 実物感の低下

画面から離れる

- ▲ 実物感の向上
- ▼ 臨場感の低下

ディスプレイ

高フレームレート化でフリッカーとジャークネスを同時に改善できる

ハイフレームレート化

- ▲ フリッカーの改善
- ▲ ジャークネスの改善

シャッター
(黒挿入・バックライト点滅)

- ▲ モーションブラーの改善
- ▼ フリッカーの発生
- ▼ ジャークネスの発生
- ▼ 輝度低下(HDR化が困難)

高輝度化
(HDR)

- ▲ リアリティの向上
- ▼ フリッカーの発生
- ▼ ジャークネスの発生