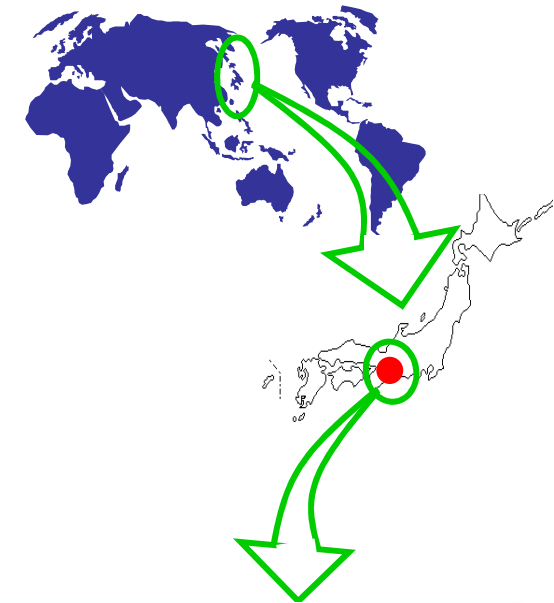


多原色ディスプレイの意義



シャープ株式会社
研究開発本部
ディスプレイシステム研究所
富沢 一成



Contents

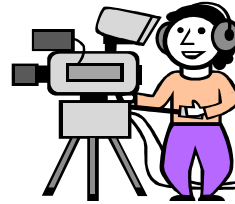
1. 現行規格の色域
2. (様々な)色再現目標
3. 多原色ディスプレイの色再現
4. 光利用効率
5. 冗長性の利用
 - 5-1 視野角改善
 - 5-2 解像度向上
6. 多原色ディスプレイの今後の取り組み
7. 理想的な映像システムの提案

1. 現行規格の色域

従来



被写体



カメラ

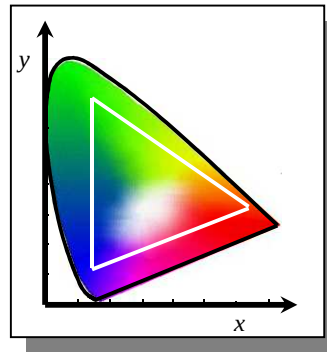


ディスプレイ

カラーテレビ「システム」規格に整合したディスプレイ

「NTSC規格」

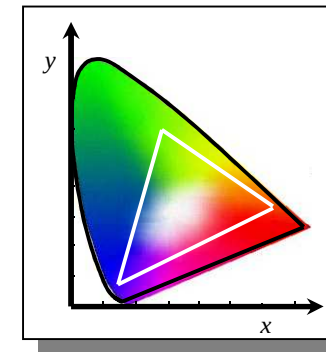
(a) NTSC方式のスタート時
1950年代～1965年代



人間の視覚特性を基に出来るだけ
理想的な色再現範囲を規格化

「ITU-BT.709」

(b) 現在:1965年以降、希土類蛍光体
ブラウン管テレビの登場以降
液晶テレビもこれに合わせている



NTSC規格通りでは明るいカラーブラウン管が出来ないので、色再現範囲の狭い希土類蛍光体を使用

60年前に、テレビをカラー化するために検討された、カラーテレビ「システム」規格が基準

- ・人間工学
- ・カラーテレビジョン方式
- ・伝送方式(NTSC、PALなど)

必ずしも、理想の色再現とは言えない。

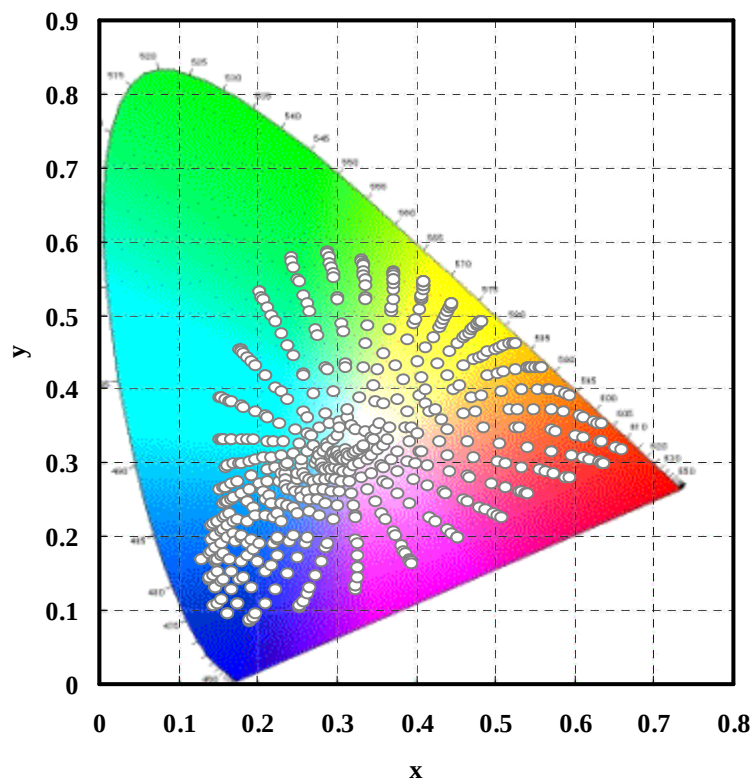
2. 色再現の目標 ① Pointer's data

Pointer's Color^{*1}

M. R. Pointer

Research Division, Kodak Limited
Standon Road, Harrow
Middlesex, England, HA1 4TY

The Gamut of Real Surface Colours



M. R. Pointerが報告した物体の表面色が存在する色の範囲(1980)。マンセル色票、塗料・印刷用インク用の顔料、園芸サンプル、色紙、プラスチック、テキスタイルなど各方面の表面色を分析しこの範囲を定めた。
実在する色の範囲を定めたことで、より実用的な色再現範囲の広さを示す指標として使われるようになってきた。

TABLE I. Psychometric-chroma, C^*_{uv} values of the maximum real colours as a function of hue angle h_{uv} and lightness L^* .

h_{uv}	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
0	5	60	73	89	104	116	127	130	124	112	97	83	68	50	35	18
10	5	70	85	118	133	143	149	151	149	138	120	98	68	50	33	16
20	5	80	46	85	87	105	122	141	153	143	138	95	75	55	36	15
30	2	20	34	46	59	73	86	98	113	126	138	130	96	68	41	20
40	5	17	30	43	53	65	73	85	95	107	116	126	123	105	63	28
50	5	14	22	31	39	48	58	69	81	93	102	111	119	120	96	56
60	3	15	25	34	44	53	61	69	76	85	93	101	109	115	116	70
70	3	10	20	30	39	47	55	64	70	78	86	95	102	109	117	105
80	3	14	22	30	37	45	52	60	67	75	83	90	97	104	110	116
90	5	15	23	31	39	47	55	64	71	77	84	91	95	100	105	106
100	5	13	23	32	41	49	57	64	71	78	85	93	100	106	104	75
110	3	12	22	32	41	50	59	67	75	83	89	95	102	103	91	56
120	3	14	26	37	49	60	69	76	83	89	95	100	103	93	83	32
130	3	15	27	40	50	63	74	83	90	95	100	104	98	78	53	25
140	3	20	33	44	56	66	75	83	90	95	97	93	82	66	44	22
150	5	19	33	44	55	67	78	88	92	91	87	79	69	55	38	21
160	5	18	29	40	51	62	69	75	80	81	78	72	64	53	41	25
170	3	20	33	45	54	66	74	80	85	85	83	76	67	55	38	21
180	16	30	42	52	60	66	70	74	75	72	66	57	47	33	18	
190	21	32	42	51	57	63	69	71	71	68	62	54	43	30	18	
200	18	29	40	50	58	64	69	70	66	60	52	41	30	16		
210	15	26	37	46	54	60	65	70	74	73	69	63	54	40	29	17
220	22	36	48	59	68	74	79	81	79	73	65	55	42	25	10	
230	25	39	52	65	77	84	89	91	88	81	71	57	41	24	7	
240	27	46	61	74	84	92	94	91	83	73	62	50	38	25	13	
250	45	60	75	89	99	102	97	90	80	68	57	45	32	18	4	
260	58	75	89	99	102	101	94	83	73	62	51	40	28	16	5	
270	69	84	95	100	98	90	83	74	65	56	46	35	25	16	7	
280	61	74	79	80	79	77	74	69	63	55	47	37	27	18	7	
290	65	76	83	86	86	83	79	72	65	56	46	36	25	15	4	
300	40	64	79	87	90	89	86	81	74	64	55	43	32	20	8	
310	36	59	74	87	95	96	94	88	79	69	57	45	34	22	10	
320	34	59	80	91	95	96	95	92	85	74	63	50	37	23	10	
330	35	58	78	90	96	101	104	102	94	85	74	60	44	27	9	
340	35	57	76	82	103	112	114	112	105	91	75	57	40	25	12	
350	43	62	80	95	107	118	120	114	105	90	75	56	40	26	13	

HUE

2. 色再現の目標 ② SOCS database

SOCS database^{*2}を用いた指標

IDW10 VHF4/ DES1-2 Masatsugu Teragawa et al.

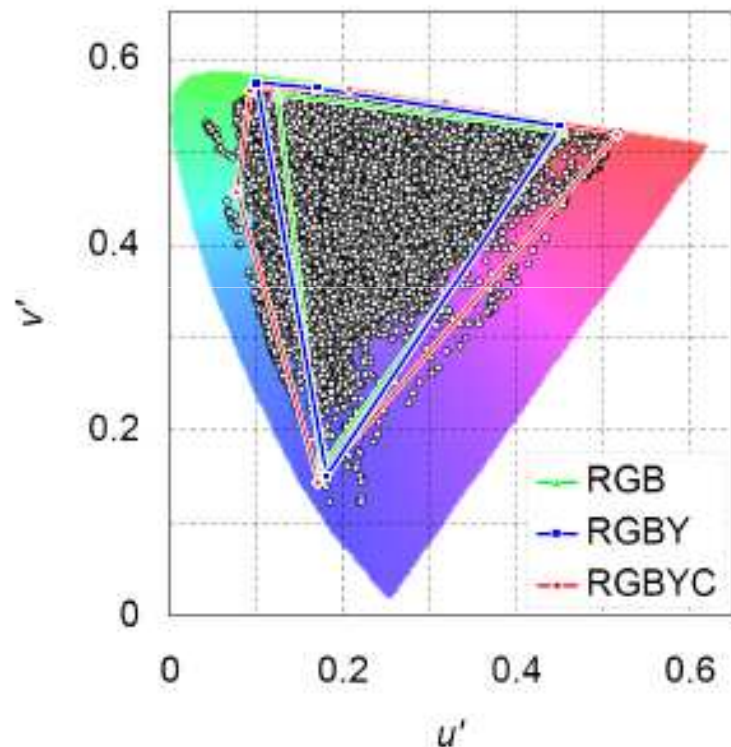


Fig. 1 Color gamut of SOCS and RGB, RGBY, RGBYC display

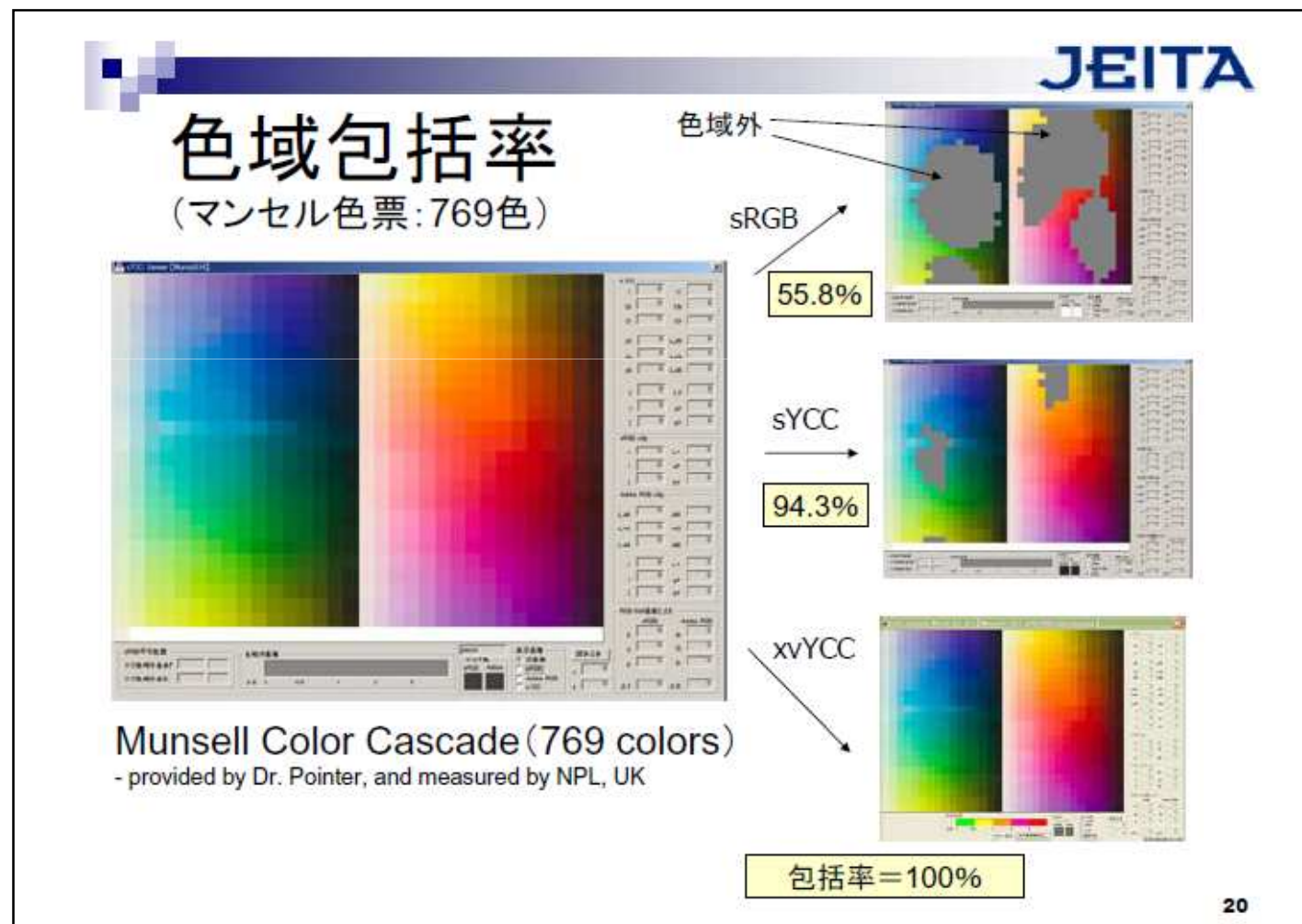
Table 1 Chroma C^*_{ab} value L^* maximum gamut of SOCS using illuminant D65 as a function of hue angle h_{ab} and lightness L^*

	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
0	40	56	64	58	66	75	79	68	66	56	54	41	33	30	21	7
10	46	54	65	72	80	75	78	71	64	60	54	44	38	23	11	10
20	50	63	66	78	85	89	83	74	68	56	60	41	37	29	19	11
30	32	48	68	83	91	91	94	91	85	72	61	53	32	37	20	8
40	19	33	38	51	58	74	90	88	104	86	72	65	47	46	25	13
50	18	22	36	42	49	59	72	79	86	93	106	79	85	52	25	9
60	18	21	34	49	48	55	64	73	87	82	83	111	108	87	36	13
70	18	23	28	38	43	52	57	67	69	75	90	96	111	112	41	21
80	14	22	35	37	43	48	61	63	71	80	87	97	98	107	113	93
90	19	33	38	33	45	50	57	69	73	78	86	90	97	106	105	109
100	17	25	34	41	44	51	57	66	75	77	86	87	91	99	101	68
110	6	26	33	48	45	52	60	71	74	75	81	90	90	86	54	49
120	13	22	45	39	50	58	78	75	70	74	72	78	79	66	51	27
130	23	30	38	48	65	64	72	82	80	79	84	86	70	49	48	20
140	35	50	46	59	70	80	82	84	82	81	70	65	58	48	34	14
150	32	45	52	62	70	81	84	84	70	70	62	63	48	41	25	13
160	51	66	76	53	64	67	74	72	66	57	54	47	37	32	27	14
170	40	32	42	48	52	62	62	62	59	52	47	42	39	37	21	11
180	28	45	54	40	46	58	62	57	56	47	47	44	31	26	25	15
190	37	37	52	36	45	47	51	51	47	51	46	41	36	27	22	9
200	20	39	30	36	40	46	55	52	43	45	46	43	35	22	24	5
210	18	33	39	35	40	45	51	49	48	49	45	42	35	27	21	15
220	31	27	31	35	43	45	53	51	50	50	47	43	33	30	16	7
230	29	37	32	44	45	46	52	55	53	47	45	39	33	27	18	12
240	31	35	43	46	44	51	57	55	55	49	39	36	25	23	18	7
250	33	29	46	50	49	54	51	47	46	42	37	29	26	18	14	3
260	33	43	52	58	52	56	52	45	43	36	32	28	22	17	3	4
270	40	43	58	57	52	56	50	46	48	34	32	23	25	18	1	3
280	56	60	59	56	72	57	49	45	41	38	26	31	23	15	8	9
290	73	76	72	82	60	56	53	48	46	42	37	28	24	21	7	3
300	82	84	68	64	69	60	57	51	46	39	37	33	23	17	19	6
310	76	75	85	87	65	66	72	60	57	47	45	38	26	24	19	4
320	59	76	78	78	90	78	77	76	65	59	49	39	39	29	23	13
330	59	61	79	80	78	72	76	75	68	64	55	49	41	30	21	6
340	44	53	72	60	70	76	73	76	71	64	57	47	38	32	19	6
350																

SOCSデータ*のD65光源で計算、最外殻を抽出し、pointer's dataの様に L^* 10毎HUEを 10° 毎にまとめた。

2.色再現の目標 ③ Muncell Color Cascade

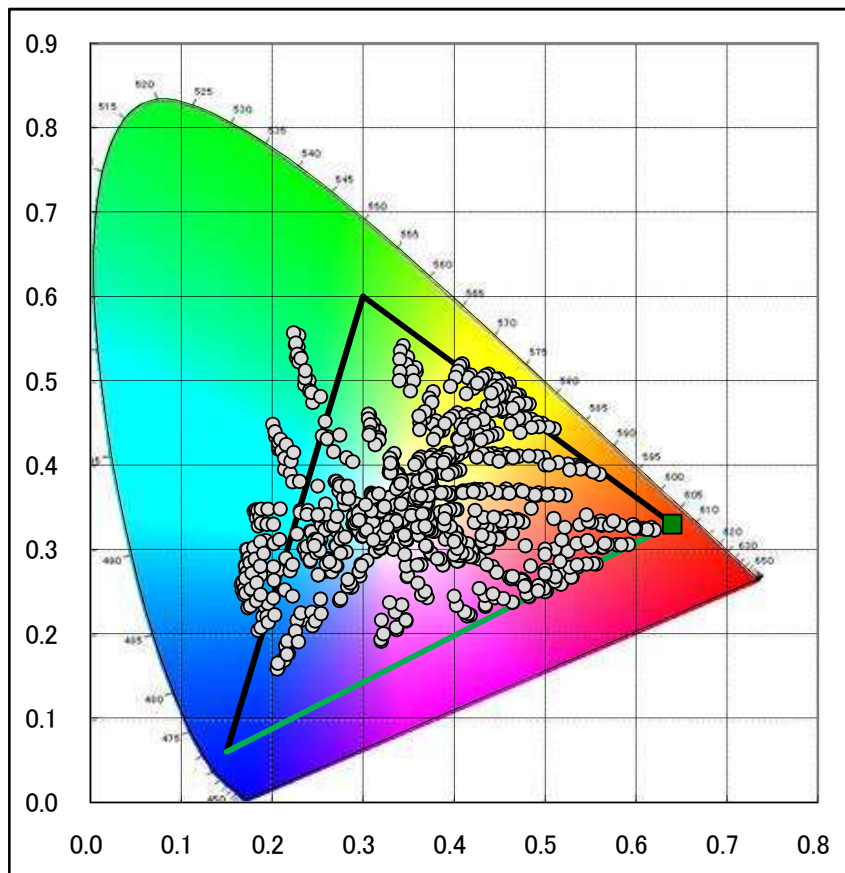
Muncell Color Cascade^{*3} *3) JEITA:電子情報技術産業協会資料



2. 色再現目標 ④ Japan Color

Japan Color 2007 ←「印刷における日本の色標準規格」

ISO12642チャートのコート紙のデータ



なお、
米国版は“SWOP”、
欧州版は“Euro Standard”

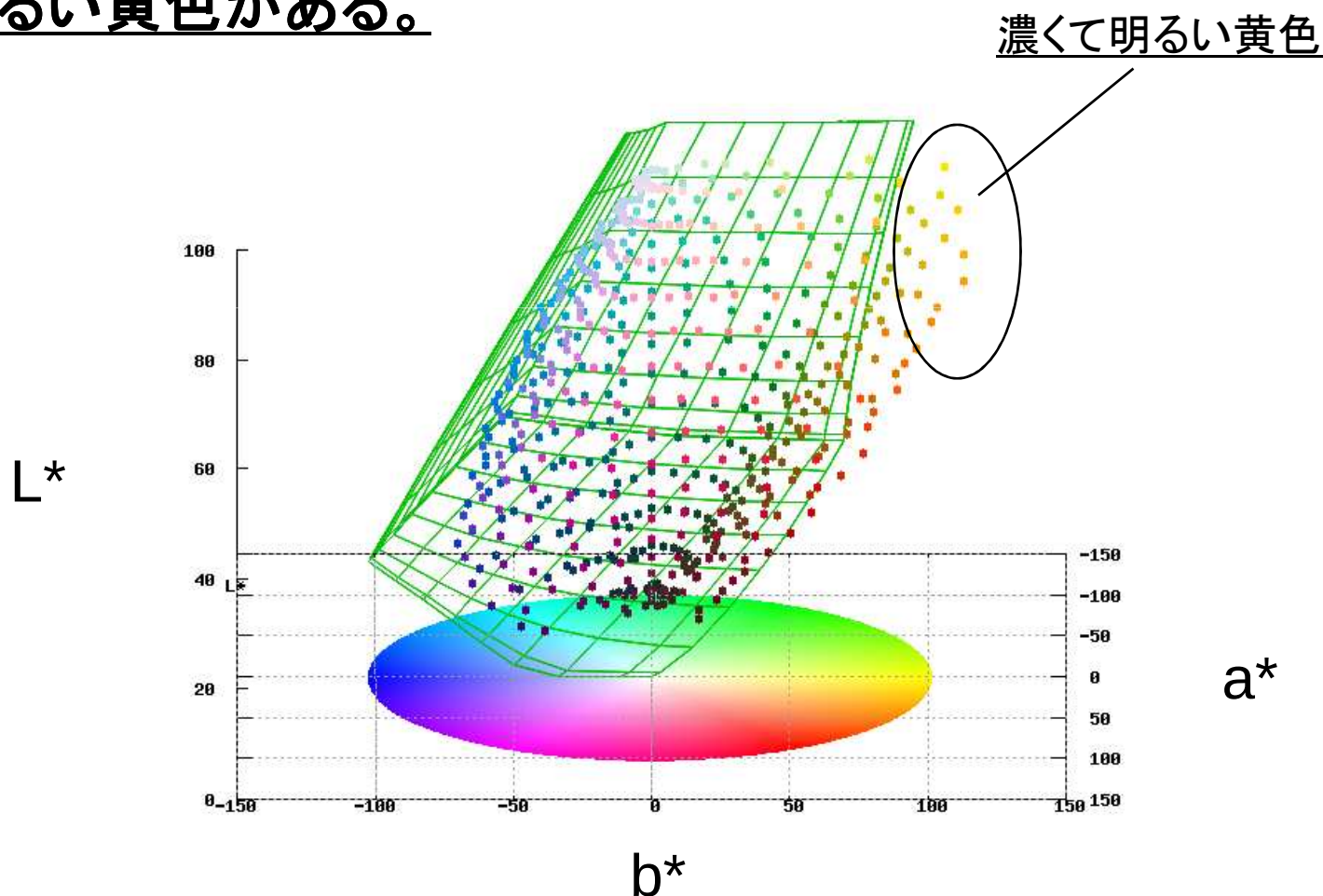
という標準規格がある

アート紙、コート紙、マットコート紙、上質紙の4種類で異なる。

2. 色再現目標 まとめ①

従来の3原色と比較するといずれの指標も次の共通点がある。

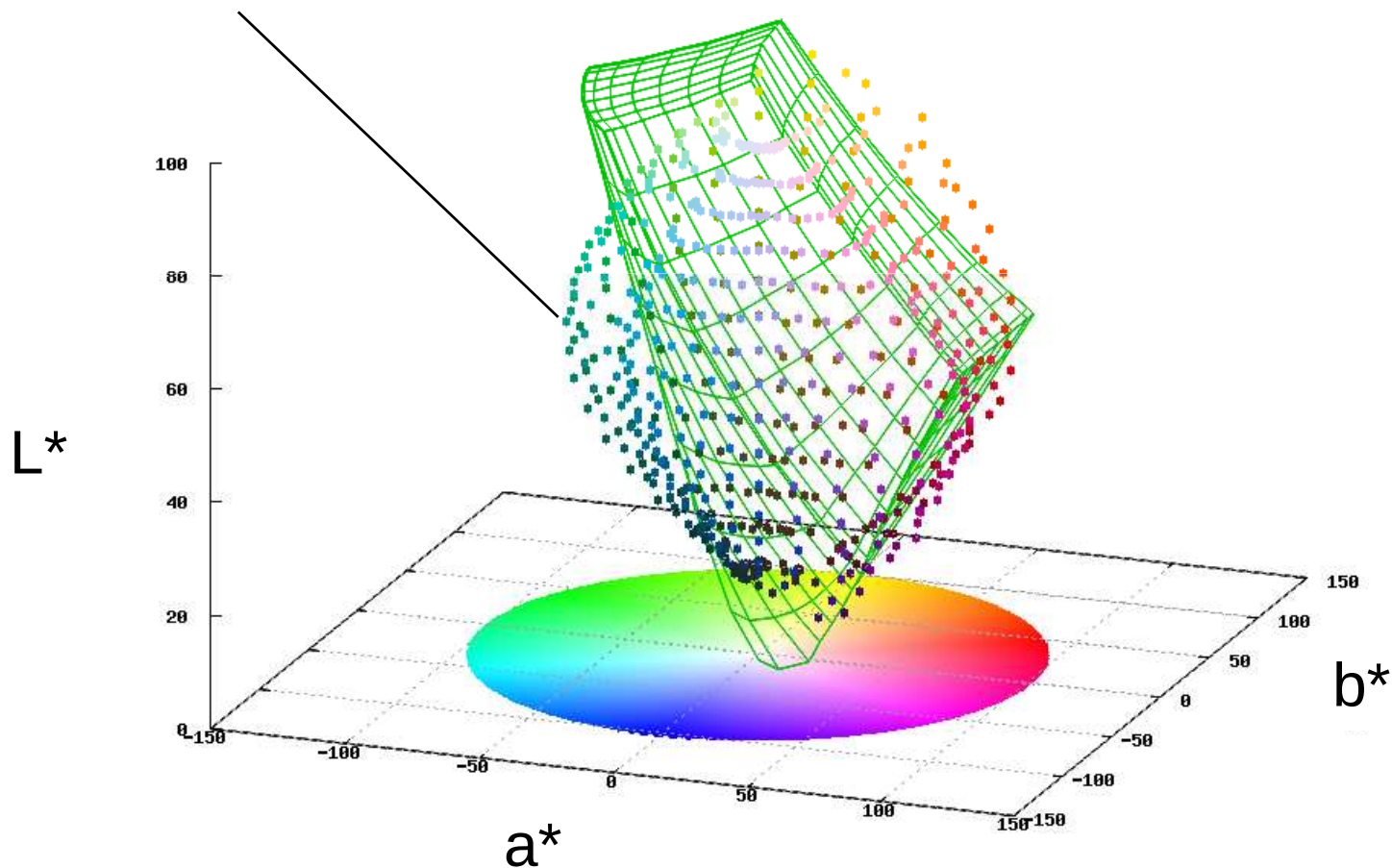
① 濃くて明るい黄色がある。



2. 色再現目標 まとめ②

従来の3原色と比較するといずれの指標も次の共通点がある。

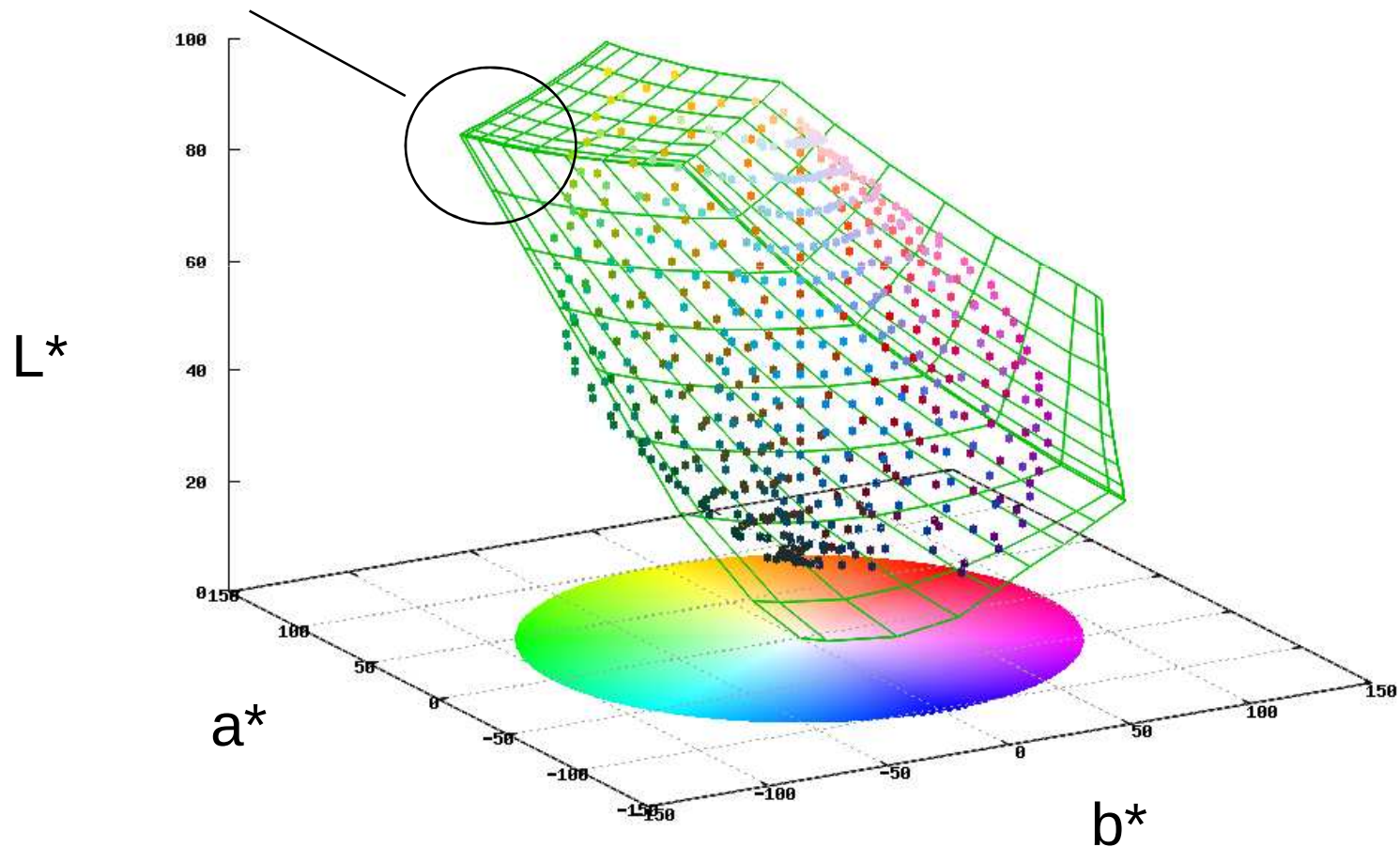
② シアン側の色域が広い。



2. 色再現目標 まとめ③

従来の3原色と比較するといずれの指標も次の共通点がある。

③ 明るい緑は存在しない。



3. 多原色ディスプレイの色再現(画素設計)

色再現目標の共通点を考慮すると多原色の設計が自然 !!

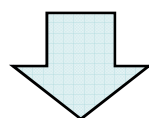
5色パネルの設計例

① 濃くて明るい黄色がある。

→ 黄色画素の追加

② シアン側の色域も広い。

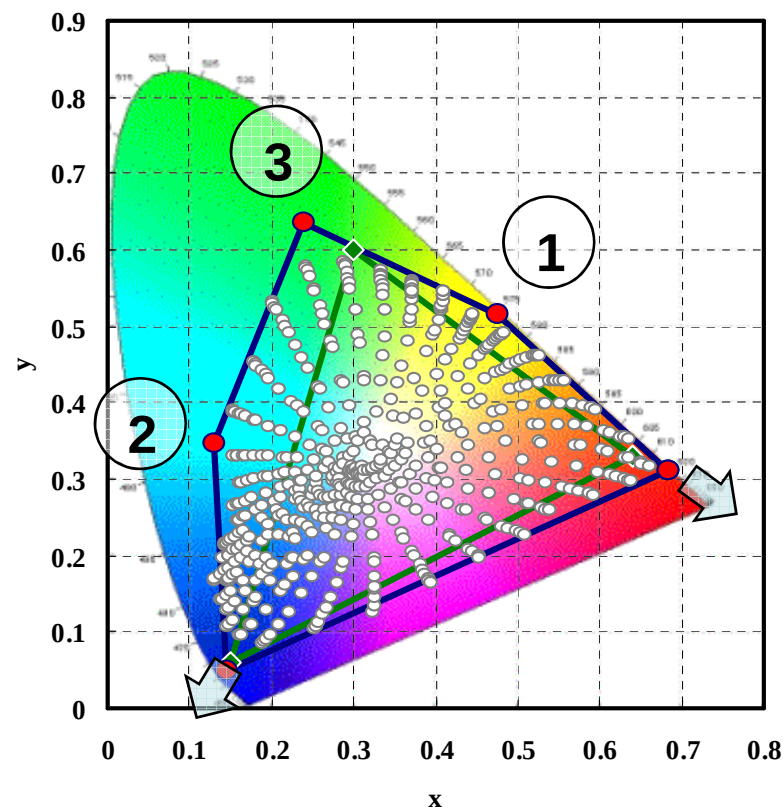
→ シアン画素を追加



相対的に緑画素の
輝度が低下。

③ そもそも、明るい緑は存在しない。

(青も同様)



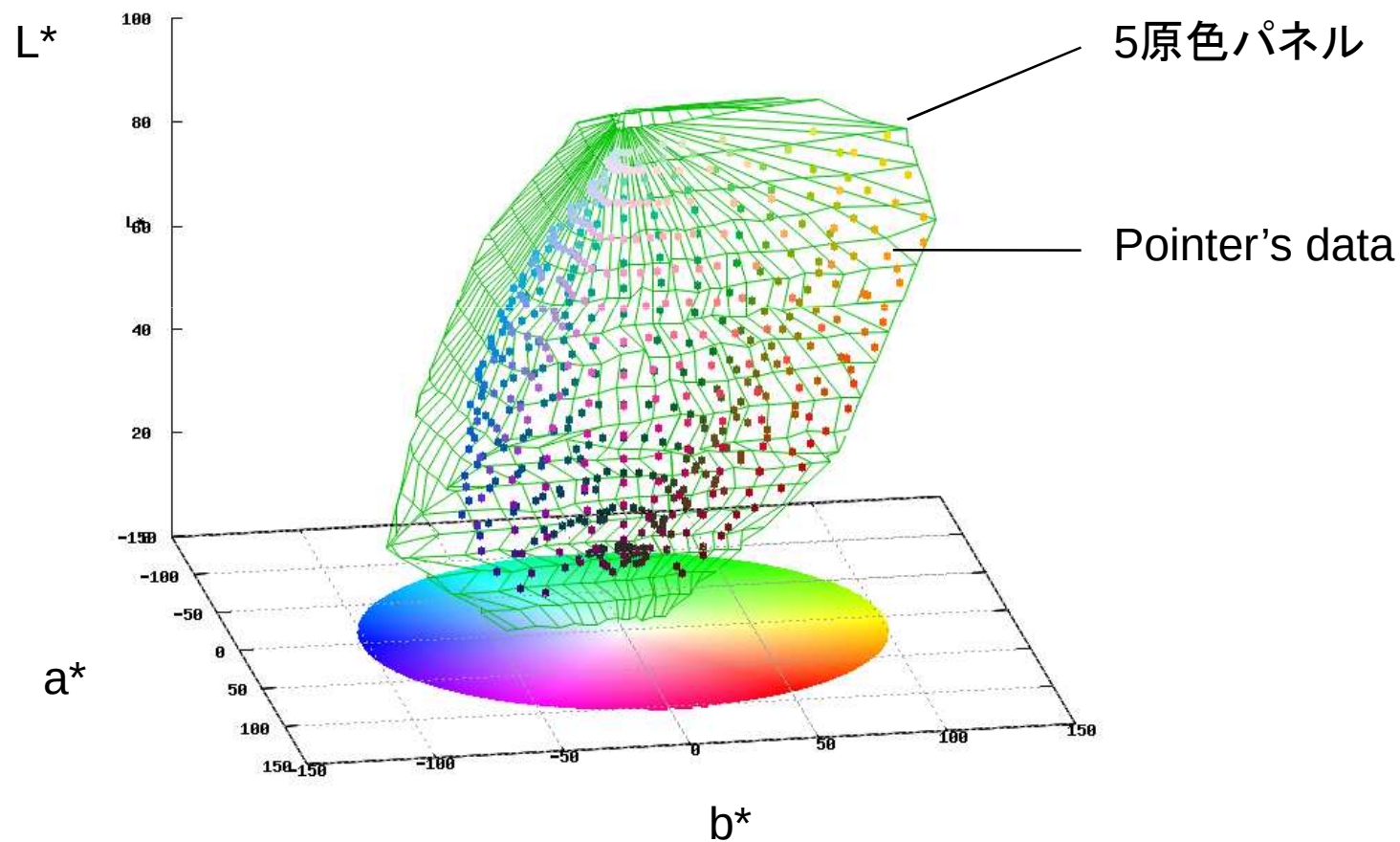
*赤色の輝度低下は、2画素使用したり面積比を変えたりすることでカバーすることが提案されています

*4。

←*4) Novel wide color gamut liquid crystal display with five-primary color (IDRC, 2008)

3. 多原色ディスプレイの色再現

5原色パネルは、効率よく物体色を包含できる。

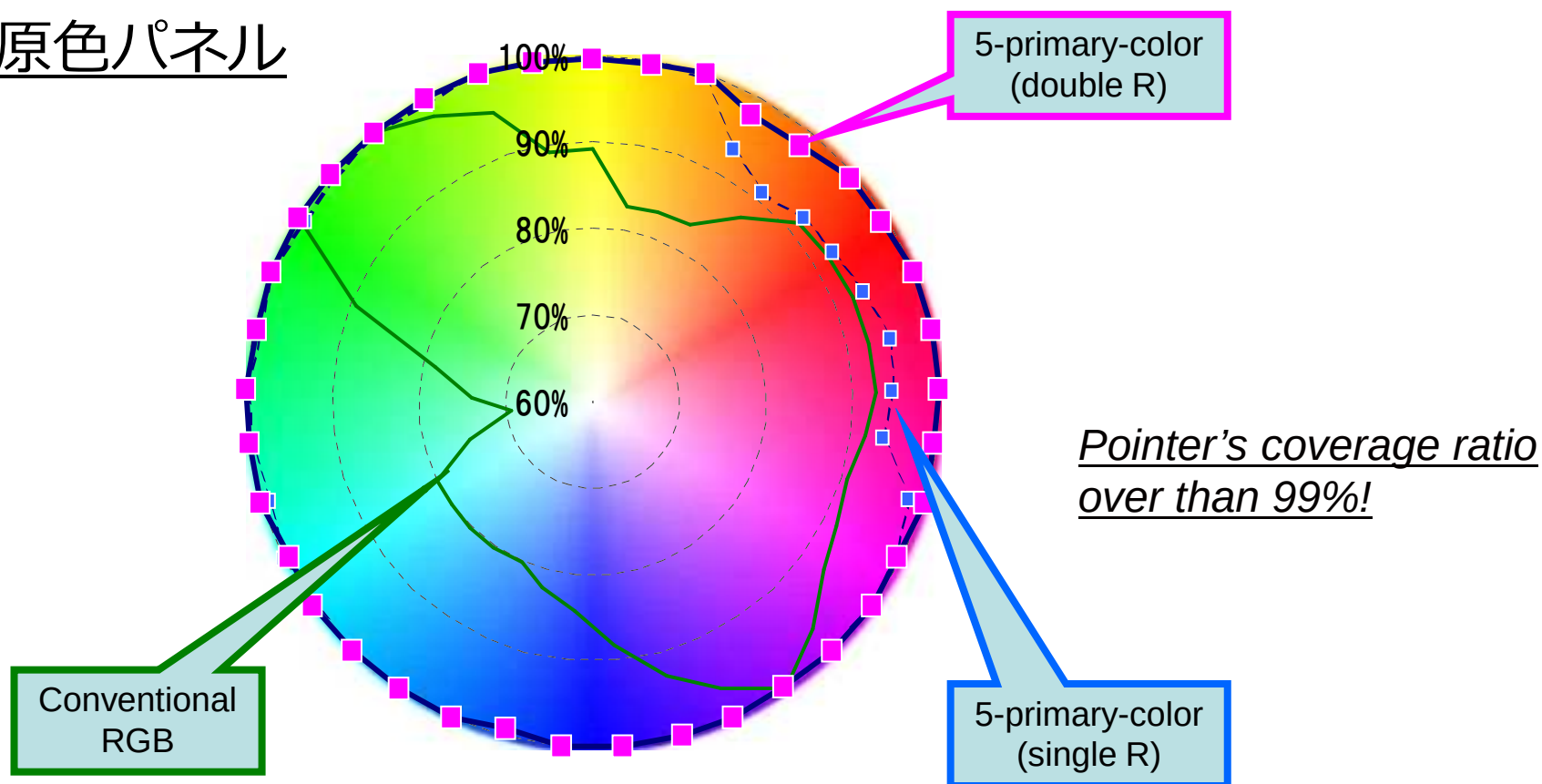


3. 多原色ディスプレイの色再現(包含率評価①)

Pointer's dataの包含率*4

*4) Novel wide color gamut liquid crystal display with five-primary color (IDRC, 2008)

5原色パネル



Color gamut vs. real surface colors
in CIE L*a*b* color space

3. 多原色ディスプレイの色再現(包含率評価②)

SOCSの包含率*5

*5) A New Evaluation Method of Color Reproduction Performance and Evaluation of Multi-Primary Color Display (IDW10 VHF4/ DES1-2)

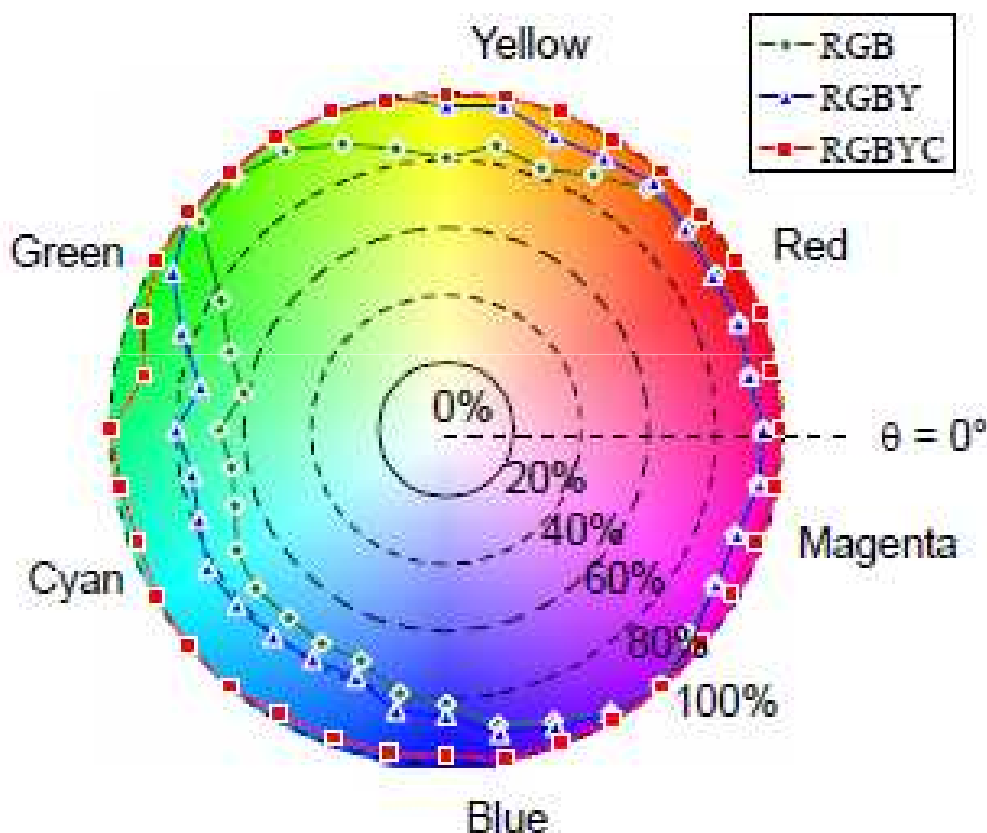


Fig. 2 Coverage ratio of RGB, RGBY, RGBYC display against SOCS

SOCS 包含率

RGB	84%
RGBY	90%
RGBYC	99%

3. 多原色ディスプレイの色再現(4原色)

4色パネルの設計例^{*6} (Japan Colorを包含させる場合)

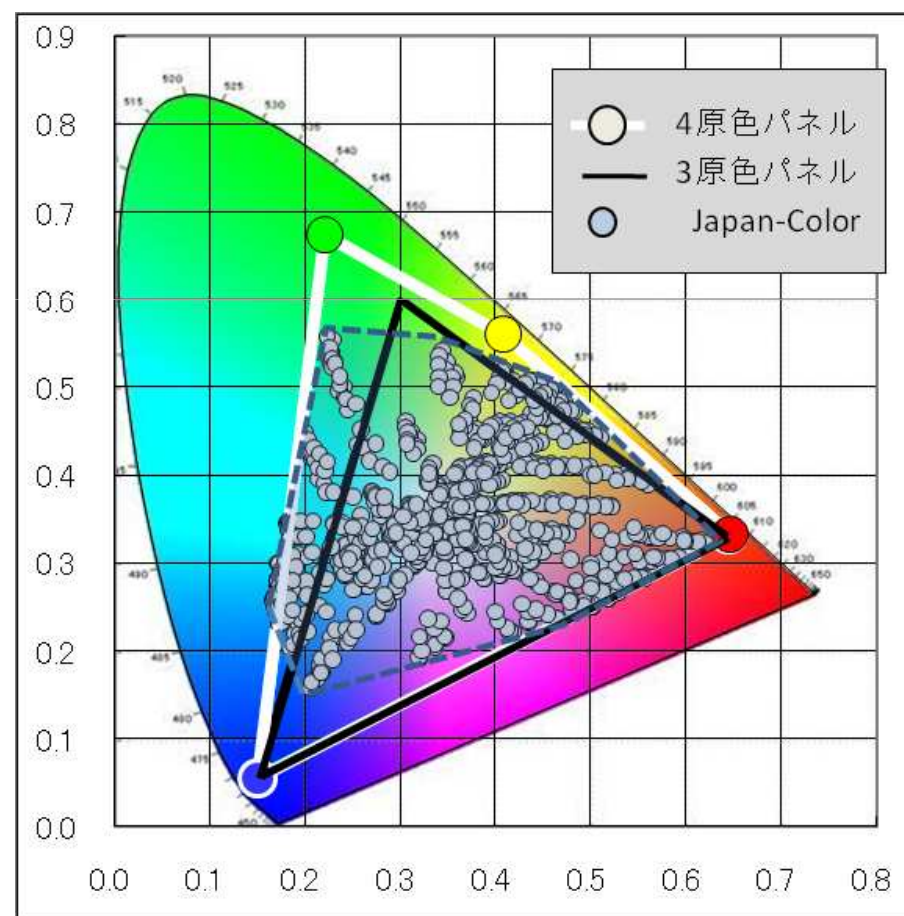
黄色を追加した結果、緑をシアン側に寄せることができる。



黄色とシアンの色域拡大を
両立できる。

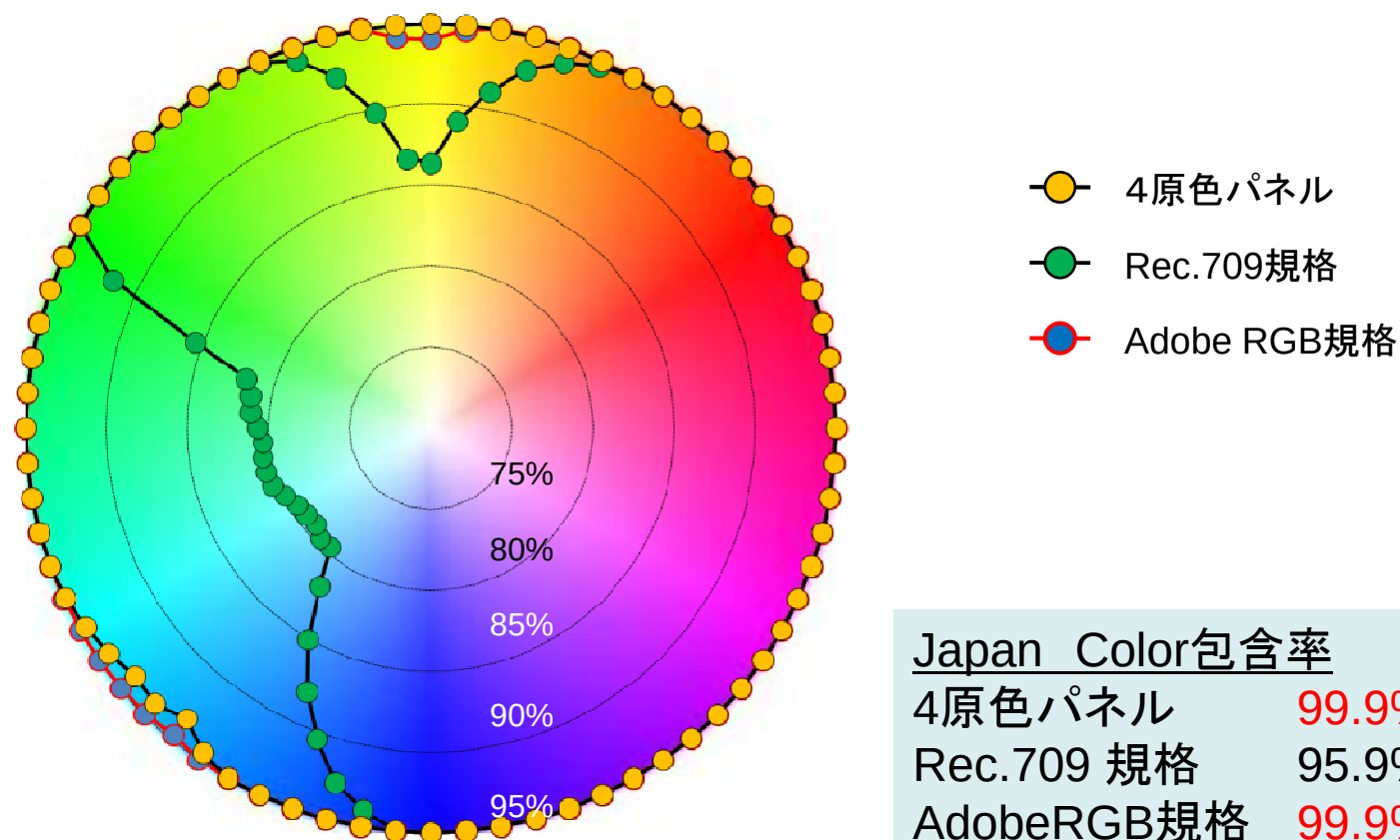
「枚葉印刷用ジャパンカラー2007」
オフセット枚葉印刷における標準印刷色

ISO12642チャートのコート紙のデータを
使用。



3. 多原色ディスプレイの色再現(包含率評価③)

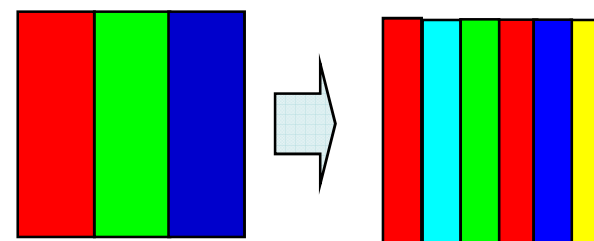
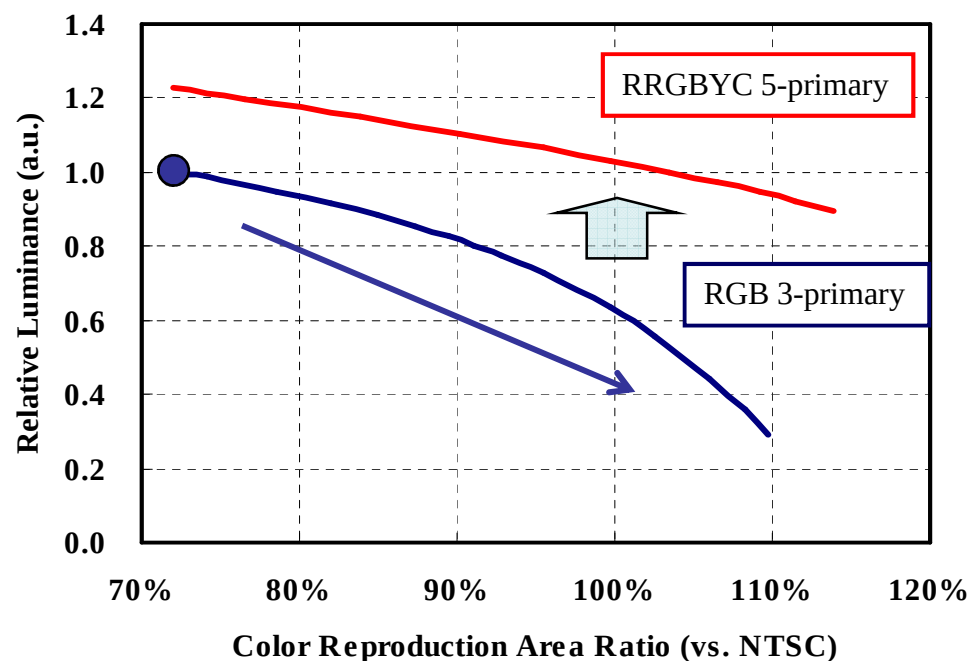
Japan Colorと4色パネルの比較



4原色パネルは、印刷物を表示するのに適したディスプレイの一つである。

4. 多原色ディスプレイの光利用効率

MPC can keep efficiency high when its color reproduction range extends to wider. → MPC have luminance efficiency better than RGB

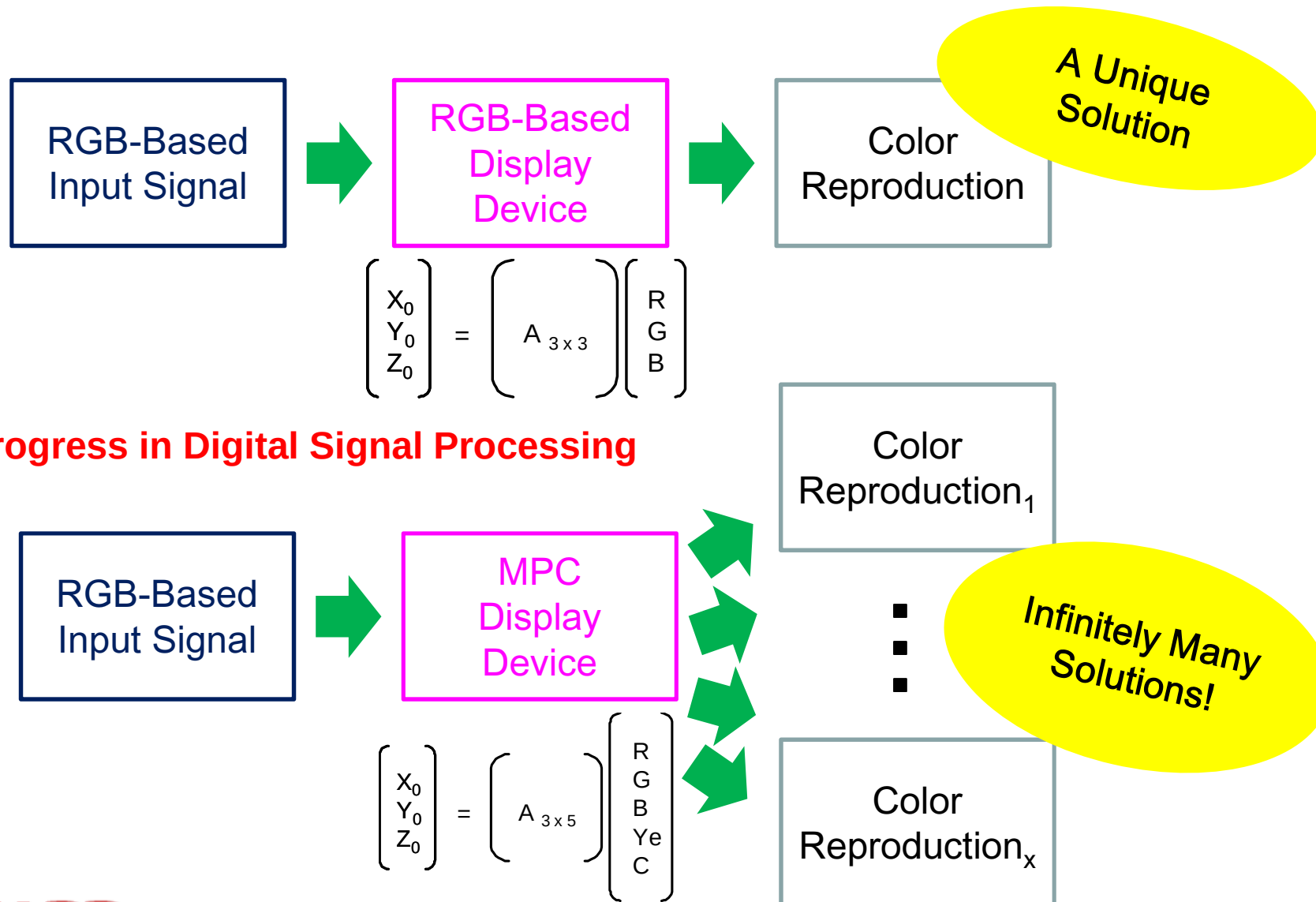


Each efficiency is calculated for CCFL light source (10,000K)

*It isn't considering aperture ratio

Relationship between luminance efficiency and color reproduction area ratio (vs. NTSC) in CIE 1931 x-y chromaticity diagram

5. 多原色ディスプレイの更なる可能性(色の冗長性)



5-1. 視野角性能の向上①

There are a large number of (R_1, R_2, G, B, Y, C) combinations to reproduce the designated color.

Ex. Color matching for 'Dark skin' (Macbeth Color Checker Chart)

$$(X_0, Y_0, Z_0) = (57.9, 50.7, 36.0)$$

→ $(u'_0, v'_0, Y_0) = (0.250, 0.492, 50.7)$

Table: Primary combinations to reproduce 'dark skin' color

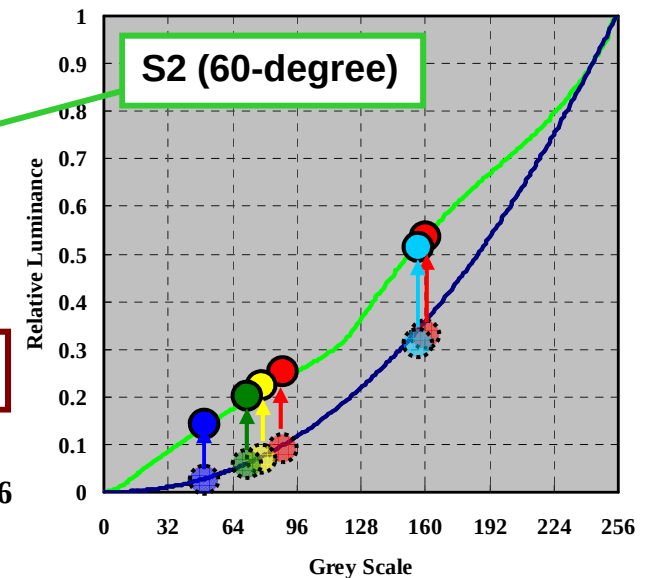
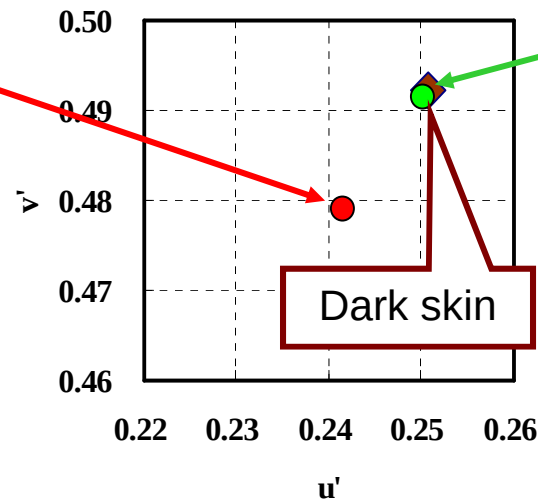
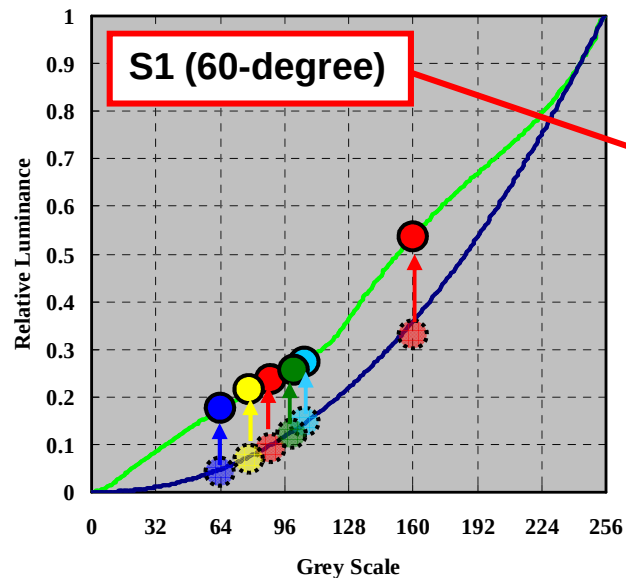
	Primary Combination						Display normal		
	R1	R2	G	B	Ye	C	u'_0	v'_0	Y_0
S1	144	81	99	62	70	102	0.250	0.492	50.7
S2	144	81	66	44	70	146	0.250	0.492	50.7
S3	144	81	39	31	70	163	0.250	0.492	50.7
S4	139	78	88	62	80	102	0.250	0.492	50.7
S5	139	78	48	45	80	146	0.250	0.492	50.7
.									
.									
RGB	125		85	68			0.250	0.492	50.7

All the combinations reproduce 'dark skin' color accurately to the display normal

5-1. 視野角性能の向上②

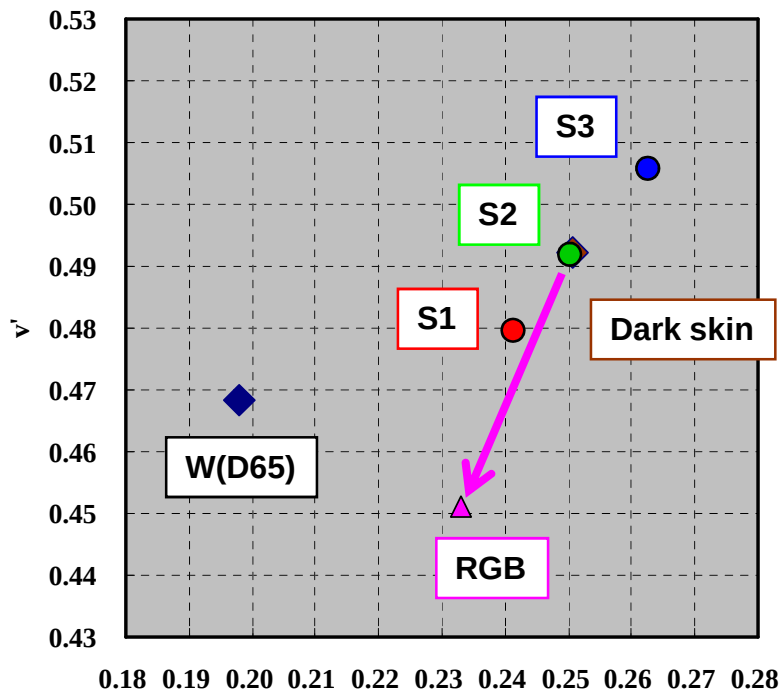
Each 'dark skin' color changes its appearance differently when it is watched from oblique direction.

	Primary Combination						Display normal			60-degree horizontal		
	R1	R2	G	B	Ye	C	u'_0	v'_0	Y_0	u'_{60}	v'_{60}	$\Delta u'v'_{60}$
S1	144	81	99	62	70	102	0.250	0.492	50.7	0.241	0.479	0.015
S2	144	81	66	44	70	146	0.250	0.492	50.7	0.250	0.492	0.001
S3	144	81	39	31	70	163	0.250	0.492	50.7	0.263	0.506	0.018
S4	139	78	88	62	80	102	0.250	0.492	50.7	0.241	0.481	0.016
S5	139	78	48	45	80	146	0.250	0.492	50.7	0.253	0.490	0.004



5-1. 視野角性能の向上③

$\Delta u'v'_{60}$ of skin colors are improved compared to an RGB reference.



Ref.	$\Delta u'v'_{60}$
RGB	0.044

prototype	$\Delta u'v'_{60}$
S1	0.015
S2	0.001
S3	0.018

Best !

We can select favor one

Color shift of each 'dark skin' (60-degree)
In $u'-v'$ diagram

5-1. 視野角性能の向上④

Good viewing angle performances have been achieved in the prototype.



normal view

Improved!



60-degree
(prototype)



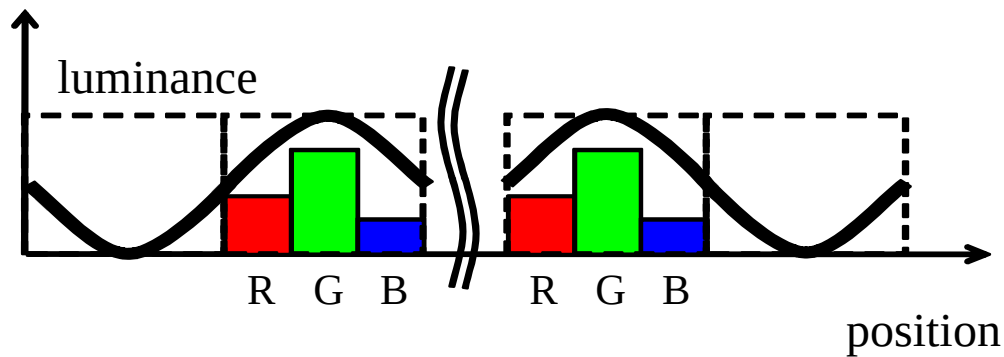
60-degree
(RGB Ref.)

Artifacts with bluish coloring of skin colors are eliminated in the prototype.

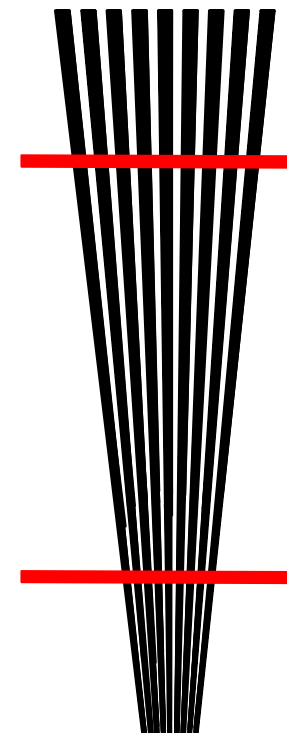
A comparison of the prototype with an RGB reference in 60-degree oblique view image

5-2. サブピクセルレンダリング①

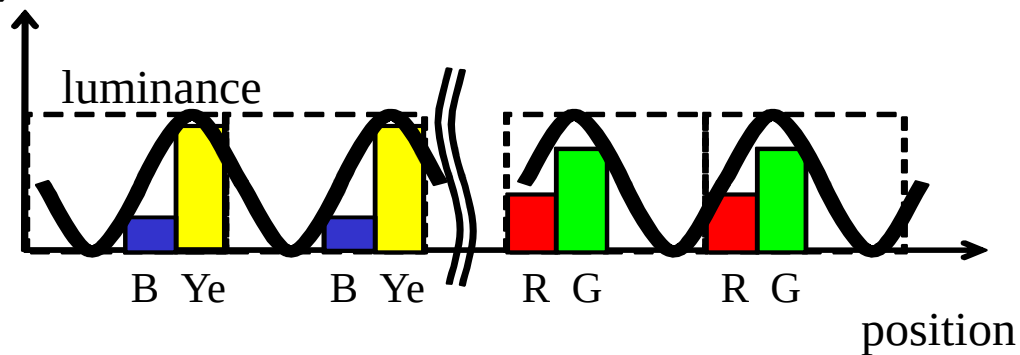
(a) 従来のRGB



解像度パターン



(b) 5原色のサブピクセルレンダリング処理



5-2. サブピクセルレンダリング②

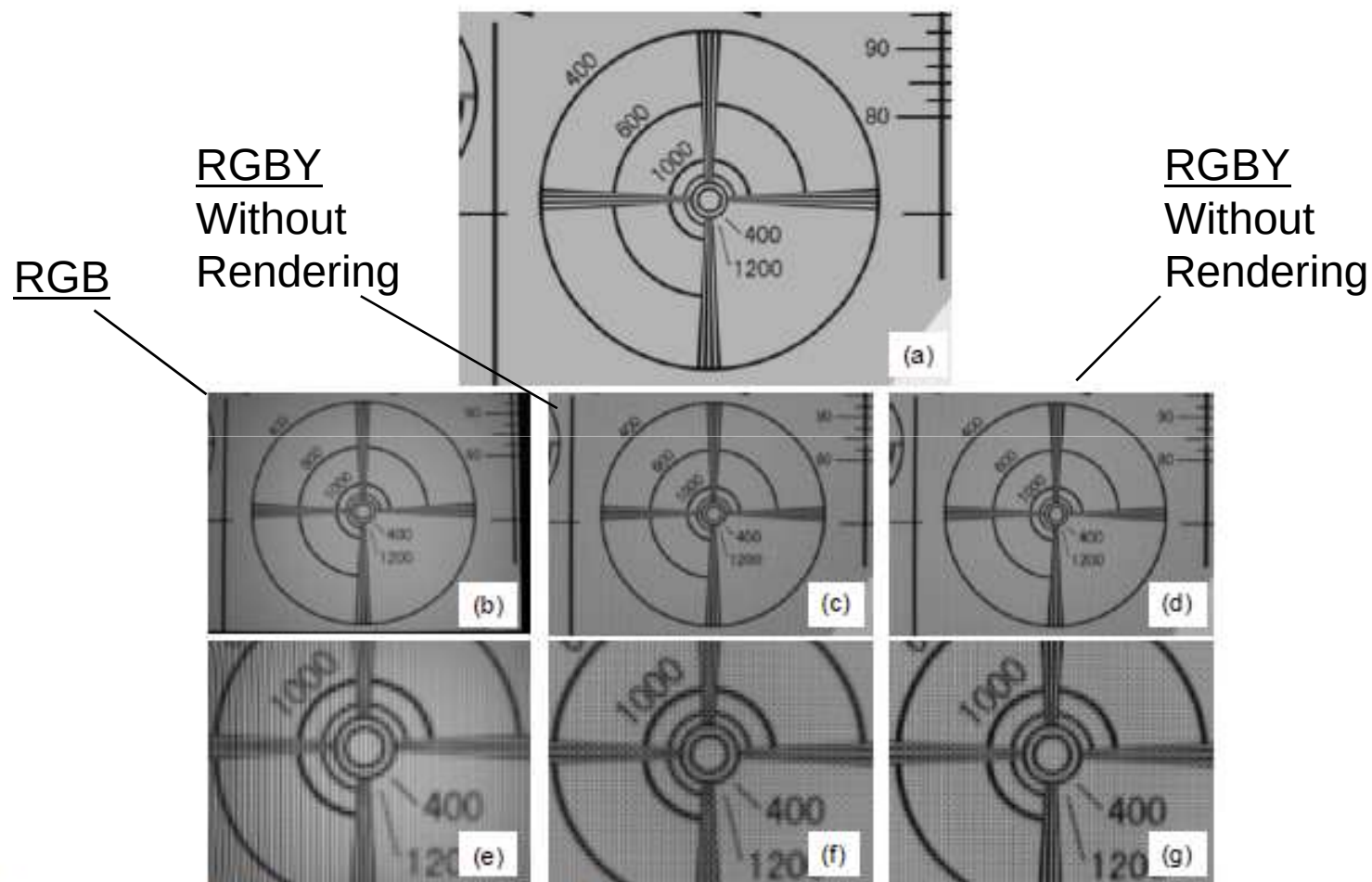


Fig.4 Results of High resolution rendering. (a)Input, (b)Conventional RGB, (c)4PC RGBYe without Rendering, (d)4PC RGBYe with Rendering, (e)partial zoom of (b), (f)partial zoom of (c), (g)partial zoom of (d)

6. 多原色ディスプレイの今後の取り組み MPCの計測方法の課題①

IEC61966-4 / FDIS

7 Spectral characteristics and intensity of the primaries and white stimuli

7.1 Characteristics to be measured

Special radiance distribution and corresponding tristimulus values for three primary colors, red - green - blue, as well as white.

7.2 Measurement conditions

The arrangement of the equipment shall be shown in Figure 1 with the spectroradiometer.

The colour signal shall be generated in such a way that the colour image center of the LCD under measurement.

Digital data for the background shall be $D_R = 0$, $D_G = 0$, $D_B = 0$.

7.3 Method of measurement

The centered colour patches shall be generated following the measurement steps as shown in Table 1, Where $M = 2^N - 1$ and N is the number of bits per channel.

Table 1 – Input data for peak primaries and white

steps	Colours	D_R	D_G	D_B
1	Peak red	M	0	0
2	Peak green	0	M	0
3	Peak blue	0	0	M
4	Peak white	M	M	M

If N=8bit
Then
M=255

IEC standard specified the measurement method only R, G, B, W colors.

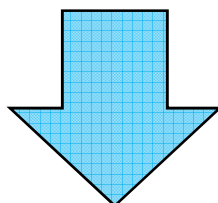
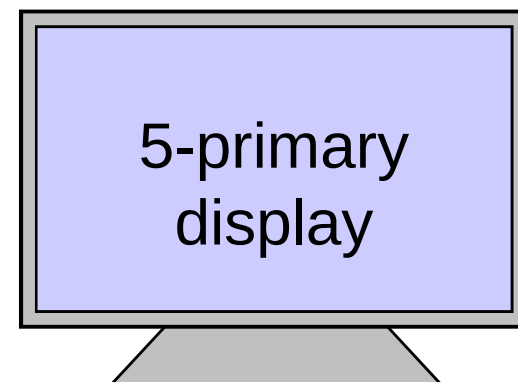
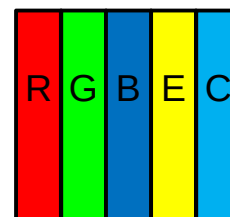
It does not specify measurement method Ye and Cy colors.

6. 多原色ディスプレイの今後の取り組み MPCの計測方法の課題②

Simply Extending the Use of Current Standard

Table 1 – Input data for peak primaries and white

steps	Colours	D_R	D_G	D_B
1	Peak red	M	0	0
2	Peak green	0	M	0
3	Peak blue	0	0	M
4	Peak white	M	M	M



Simply extending the
use of RGB-based
standard.

5	Peak yellow	M	M	0
6	Peak cyan	0	M	M

When N=8bit then M=255

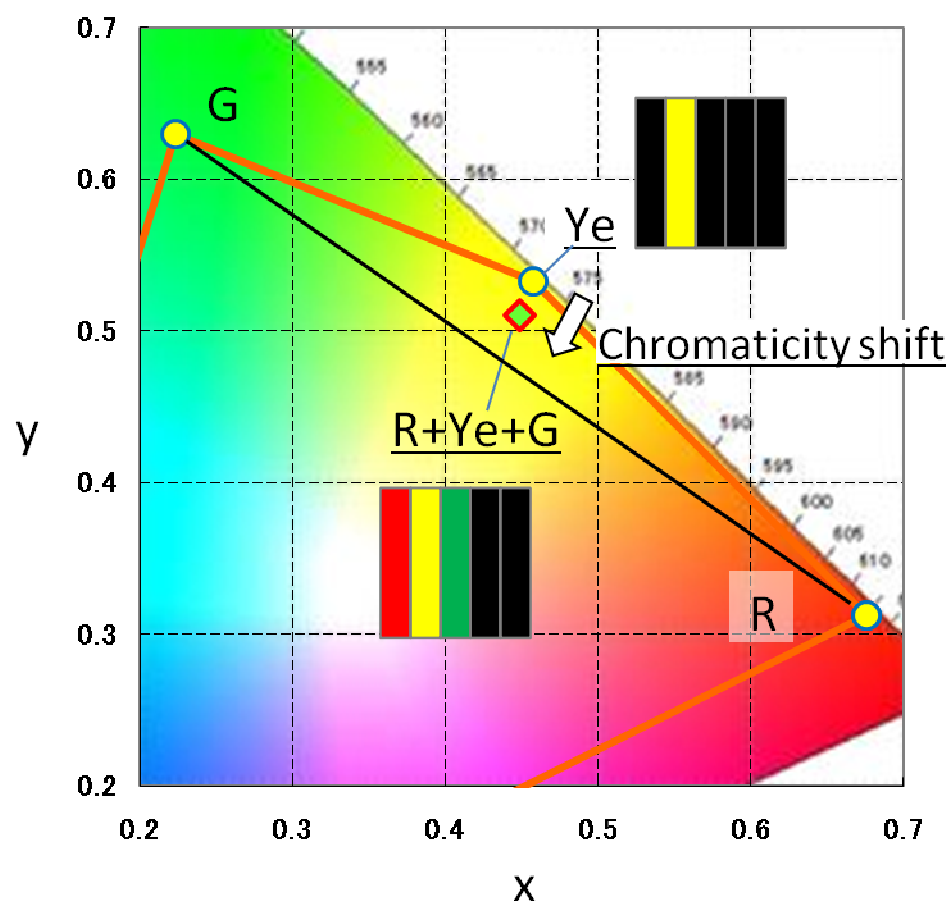
We may use
(255,255,0) input signal
to measure the gamut
of Ye-pixel.



6. 多原色ディスプレイの今後の取り組み MPCの計測方法の課題③

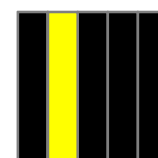
Case I: Reproduction of Yellow

MPC has two types of yellow reproduction.



Type1: Dark yellow

It is very saturated yellow



Ye pixel

Type2: Bright yellow

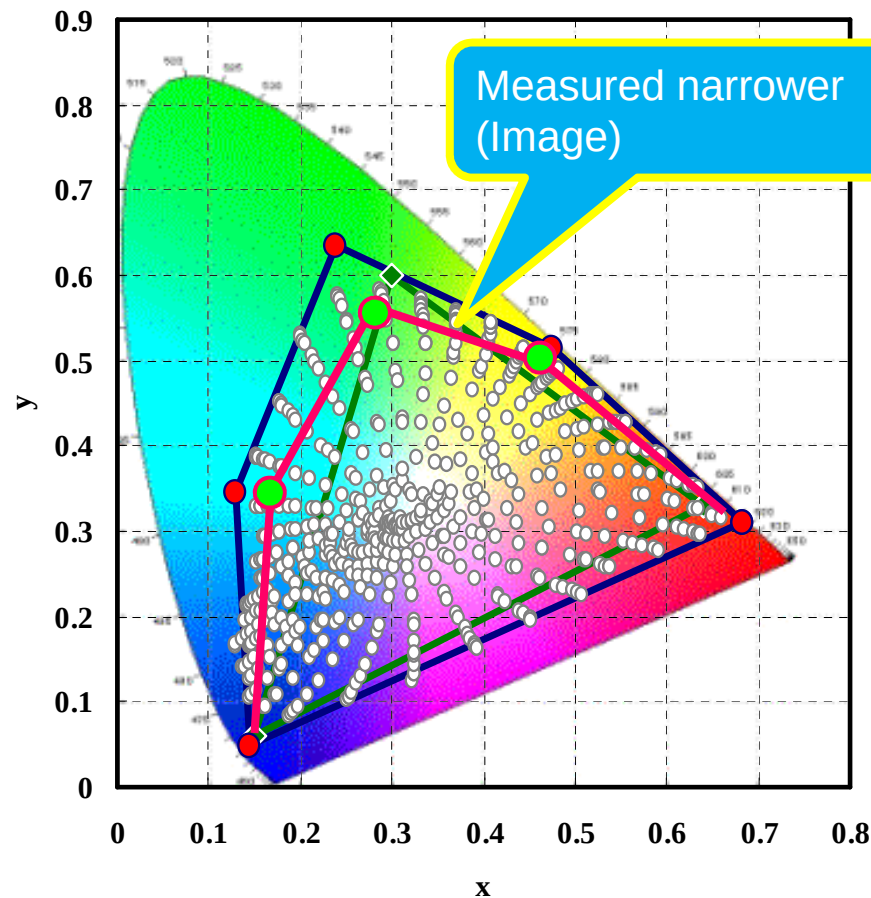
But it is not saturated.



R+Ye+G

6. 多原色ディスプレイの今後の取り組み MPCの計測方法の課題④

Current standards is not able to provide accurate evaluation of the color gamut of MPC displays



steps	Colours	D_R	D_G	D_B
1	Peak red	M	0	0
2	Peak green	0	M	0
3	Peak blue	0	0	M
4	Peak white	M	M	M

+

5	Peak yellow	M	M	0
6	Peak cyan	0	M	M

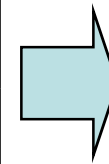
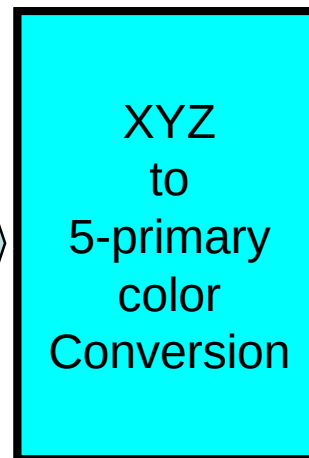
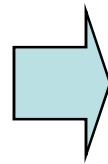
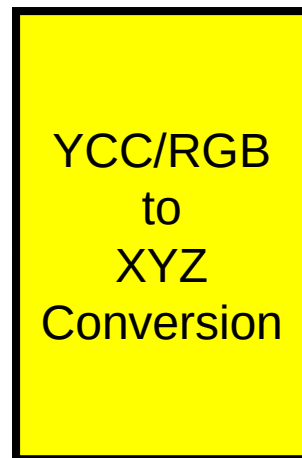
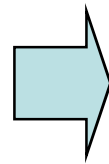
7. 理想的な多原色システムの提案①

現状のMPCシステムは、3原色の入力(xvYCC)を一度XYZに展開し、XYZに忠実に再現できるようにRGBYCの組み合わせを選びだしている。

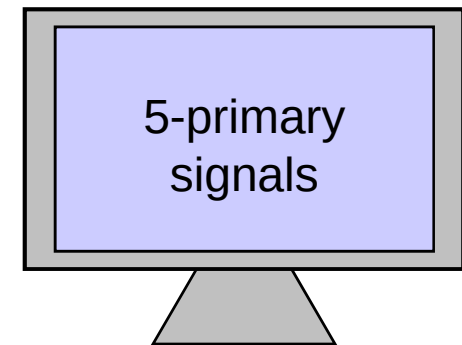
Input

3-primary signals :

- BT.709
- xvYCC
- Adobe RGB
- DCI



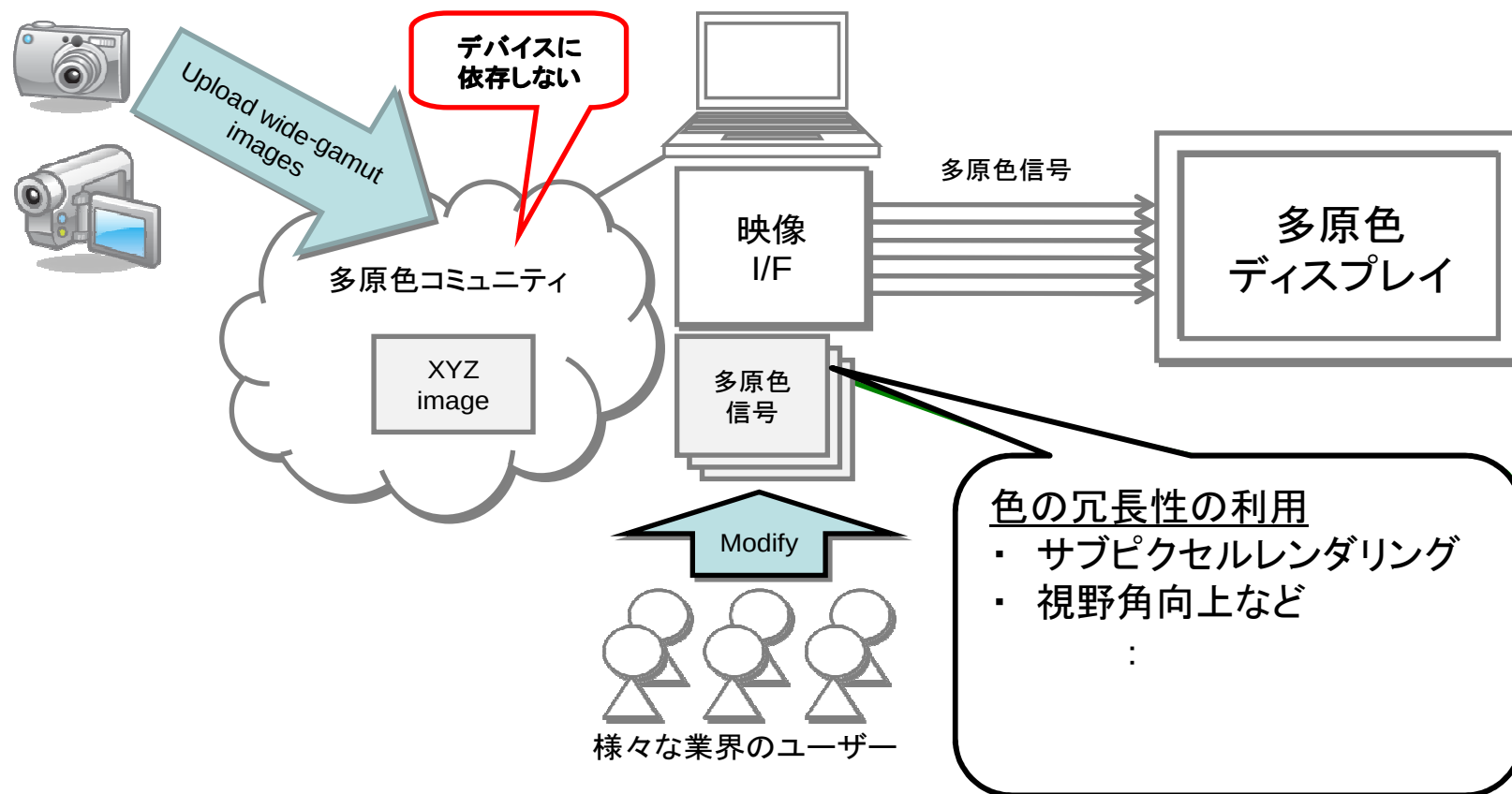
Output



Schematic diagram of the multi-primary color conversion circuits

7. 理想的な多原色システムの提案②

現在：3原色系システムで考えられた映像機材やコンテンツが標準的に使用されている。
将来：従来の枠を取り払った多原色コミュニティを構築することにより、撮像から表示に至る全てを刷新した、全く新しい映像表現システムの実現が可能となる。



Conclusions

1 現行規格の色域

- ・ 現行の規格は60年前に検討された規格であり、CRTの蛍光体の色再現範囲。
→ ディスプレイの色再現性能は向上しており、考え直すべき。

2 色再現の目標

- ・ Pointer, SOCS, Muncell Color Cascade, Japan Colorを紹介
→ いずれの色域も共通の特徴がある。

3 多原色ディスプレイの色再現

- ・ 多原色ディスプレイは色再現目標を効率よくカバーできる。

4 多原色ディスプレイの光利用効率

- ・ 多原色パネルは、低消費電力のパネル

5 多原色ディスプレイの更なる可能性

- ・ 色の冗長性を用いることにより、様々は特徴を創出できる。

6 今後の取り組み

- ・ 多原色パネルは色測定方法が決まっていない。

7 理想的な映像システムの提案

- ・ デバイスに依存しない色信号により、様々な用途とつなげることができる。

SHARP