

高品位な画像出力を実現するために、
まずは高品位な画像入力から

アイメジャー株式会社
代表取締役
一ノ瀬 修一

本データの著作権について

- 2025-1-24に実施された「山形大学インクジェット研究会 2024年度第2回交流会」のプログラム「高品位な画像出力を実現するために、まずは高品位な画像入力から」の資料です。

(1)著作権の所在

著作権は、一ノ瀬修一個人にあります。

(2)公開の目的

自学、自習を支援するために公開情報としてここに掲載します。
個人で学ぶためにダウンロード、複製することを許可します。

(3)出典記載義務、連絡義務

論文全体、もしくは一部を他の用途(書籍、雑誌、教育用資料、WEB、プログラムコード等)に利用する際には出典を明記してください。
また、場合によっては次の(4)の条件に抵触する可能性もありますので、利用が発生する前に必ず「[アイメジャー株式会社 一ノ瀬](#)」にご一報ください。

(4)図の部分複写、部分加工の禁止

論文の中には、当該論文への掲載のみを条件に認可して頂いた図が含まれています。従って、論文に含まれる図を部分的に複写、加工して他の用途に転用することを原則として禁止します。
どうしても利用する図がある場合は、利用が発生する前に必ず「[アイメジャー株式会社 一ノ瀬](#)」にご相談ください。



自己紹介

1986年にEPSONは普及価格帯のフルカラーイメージスキャナGT-3000を発売。この時からイメージスキャナの設計を担当。



アイメジャーの紹介

<1999年>

特殊イメージスキャナのメーカーとしてアイメジャーを創業。

IMAGE + MEASURE =  iMeasure



アイメジャーの紹介

- ヴァチカン教皇庁図書館向け
羊皮紙専用スキャナ
- 木簡研究者向け
赤外線イメージスキャナ
- 警察科捜研研究者向け
蛍光インキ用イメージスキャナ
- オルソスキャナ（独自特許技術）
株式会社シン技術コンサルと共同開発。
TOPPAN株式会社、京都国立博物館、
株式会社大入に納入。



経営理念

- 画測

デジタル画像で測る。デジタル画像で記録する。
デジタル画像で継承する。

- 拓知

デジタル技術を通じて人類の知の開拓と共有に貢献する。
アート作品を生み出す作家を支援する活動を展開します。



DAPCON 2021 産業賞 技術賞 受賞

<https://www.imeasure.co.jp/aboutus/news.html#20210824>



高品位な画像とは何か（1 / 2）

「デジタル」イメージング技術

アナログ

- 撮影と同時に画像（青焼き）
- 撮影と同時に潜像 → 現像（フィルム、電子写真）

デジタル

- 撮影と同時にデジタル画像
- デジタル画像 → 表示、印刷



高品位な画像とは何か (2 / 2)

デジタルイメージング技術 インクジェットの画像処理
2次元画像のデジタルデータ、具体的にはAdobe社の
Photoshop等で開いてディスプレイ上で見ることの出来る
画像データに限定。

品位を支える4つの要因

1. 細かさの記録
2. 濃淡の記録
3. 色の記録
4. 寸法の記録

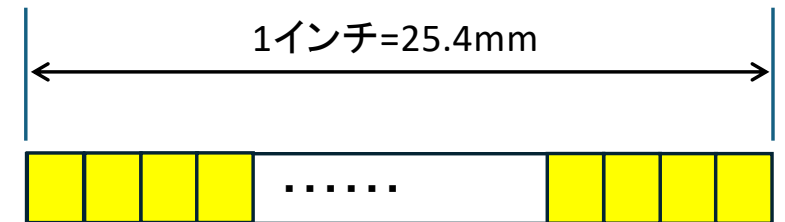
1. 細かさの記録

- 用語：光学解像度 resolution、分解能
- 単位：p p i Pixel Per Inch
- 推奨：400～600 ppi

※1インチ (25.4mm) あたりの画素数

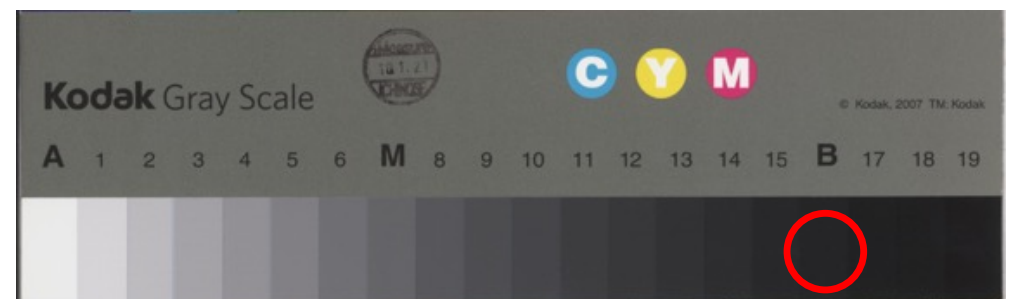
- $400 \text{ ppi} = 25.4\text{mm} / 400 = 0.064\text{mm}$
- $600 \text{ ppi} = 25.4\text{mm} / 600 = 0.042\text{mm}$

髪の毛は $70 \mu\text{m}$ 。 $0.07\text{mm} \rightarrow 363 \text{ ppi}$



2. 濃淡の記録

- 用語：階調、暗部ノイズ、飽和電荷量
- 単位：bit、S/N比、フォトン数／画素
- 推奨：Kodak Gray Scale チャート Aが飽和せずBも綺麗。
 - Kodak Gray Scale チャート
 - 番号 = 光学濃度 * 10
 - 光学濃度 (Optical Density OD値)
 - $OD = -\log(\text{反射率})$
 - 反射率 18% → OD 0.74
 - B 16 → OD 1.6
 - 反射率 = $10^{-1.6} = 2.5\%$



2-1. 濃淡の記録：階調

bit

- 1bit : 0,1
- 8bit : 0,1,2,...254,255
- 16bit : 0,1,2,...65534,65535

階調 = 2^N

- N=8 256階調 24bit Color $256^3=1670$ 万色
- N=10 1024階調 30bit Color $1024^3=10.7$ 億色
- N=16 65536階調 48bit Color $65536^3=281$ 兆色



2-2. 濃淡の記録：暗部ノイズ

ノイズの主要因は光ショットノイズである。

像を造る光子の数に依存するノイズ。

物理現象、ポアソン分布、不可避。

ノイズは信号量の平方根に比例する。

$$N = \sqrt{S}$$

		S/N 比			
×100		100 / 10	→	10 : 1	
×100		10,000 / 100	→	100 : 1	
×100		1,000,000 / 1000	→	1,000 : 1	

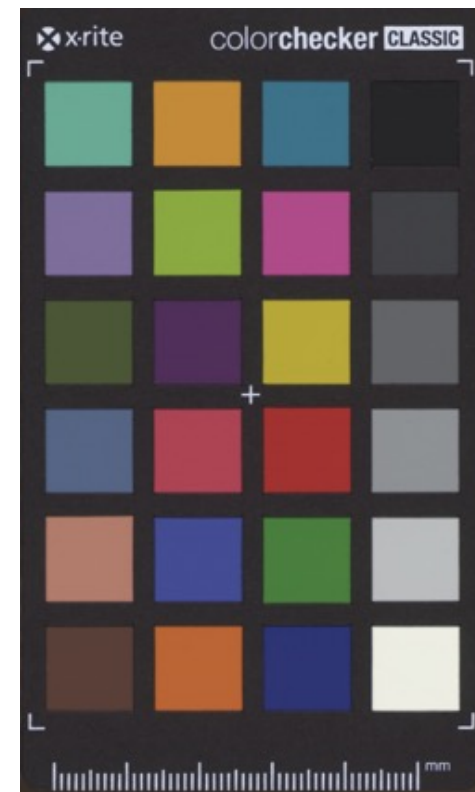
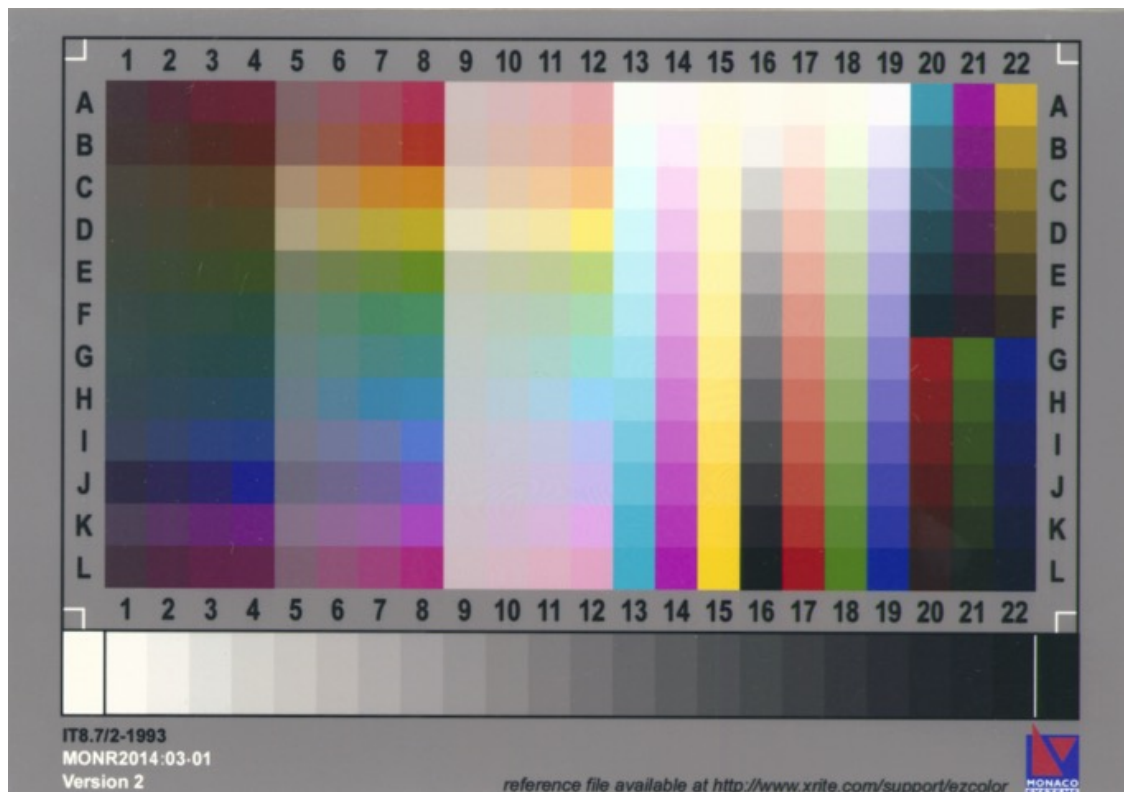
3. 色の記録

- 用語：Lab、色差、カラーチャート、ICCプロファイル
- 単位： ΔE (Lab)
- 推奨：イメージスキャナ方式での撮影
- イメージスキャナ方式の特徴
 - 光源と校正基準となる白色板を内蔵し「シェーディング補正」を行う。
 - ラインセンサ全画素の白チャートと黒チャートを記憶して補正。
 - 濃度計、測色計として機能する。
 - 繰り返し色再現性 $\Delta E < 1.0$



テストチャート IT-8 ・ マクベス

288色パッチ(色264色、グレースケール24色)



4. 寸法の記録

- 用語：寸法精度
- 単位：% パーセント
- 推奨：0.3%未満、1メートルあたり3ミリメートル未満
スケール（ものさし）を作品と一緒に写し込む。

補足：イメージスキャナを使った場合は、スキャン画像にスキャン解像度が組み込まれるため（TIFFデータ）、イメージスキャナの寸法精度において、寸法の記録を同時に行うことができる。

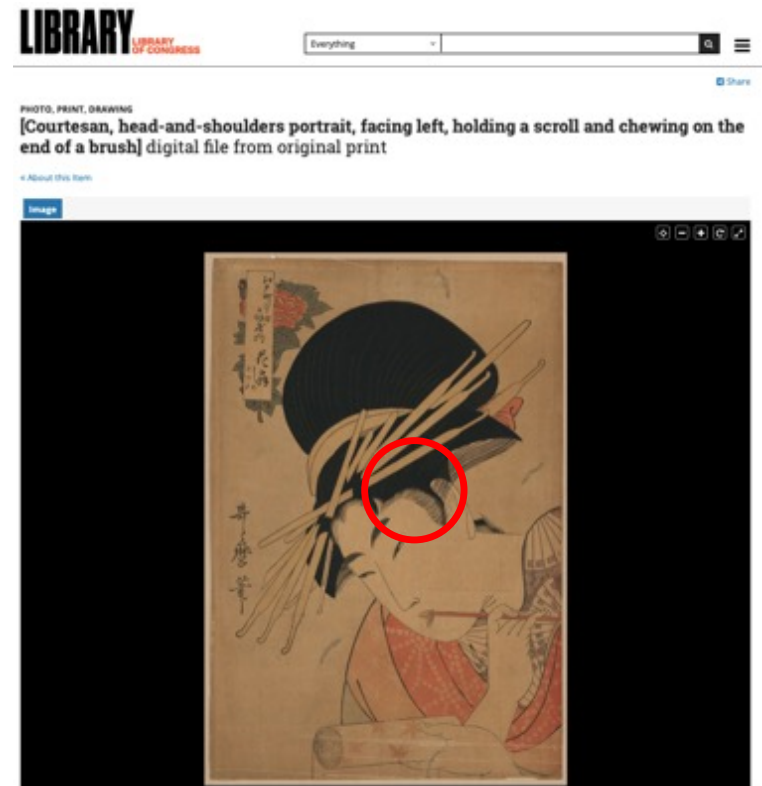
事例1：浮世絵のアーカイブ 光学解像度

現存する浮世絵の美人画、必要な光学解像度を測定する。

(1) 米国議会図書館データベースへアクセス。

<https://www.loc.gov/resource/jpd.02711/>

(2) TIFF画像をダウンロードする。
Download TIFF (93.1MB)



事例1：浮世絵のアーカイブ 光学解像度

計測結果

毛割4本分 / 0.71mm

→ 5.6本/mm

→ 1インチ (25.4mm) あたり142本

白黒の繰り返しなので画素数は2倍必要

→ 284 pixel per inch : ppi

■□■□

画素半分ずれると全てがグレーになって線が消える

モアレ現象

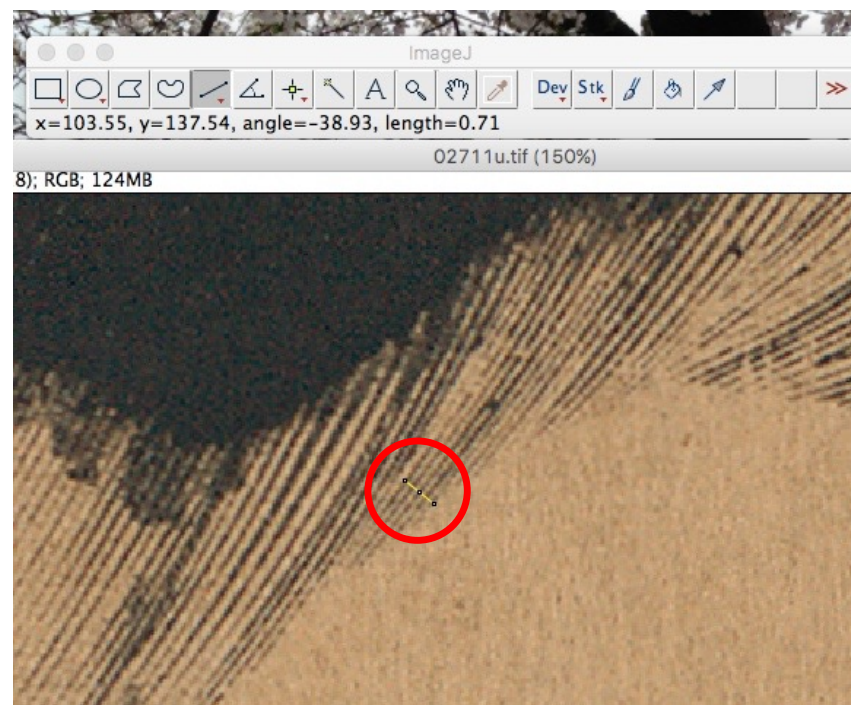
1本の毛割につき4画素以上が必要な解像度。

■ ■ □ □ ■ ■ □ □

→ $142 \times 4 = 568$ 約 600ppi

結論 最高級の浮世絵の撮影は600ppi以上の光学解像度が必要。

<http://imeasure.cocolog-nifty.com/blog/2017/08/post-3c55.html>



事例1：浮世絵のアーカイブ 光学解像度

カメラの必要画素数

A3サイズを600ppiで撮影する。

必要画素数：12 x 17インチ

→ 7,200 x 10,200 pixel

→ 7.2k x 10.2k pixel

→ 70 Mpixel

ベイヤー配列なら

1.5億画素 = 150MPixel

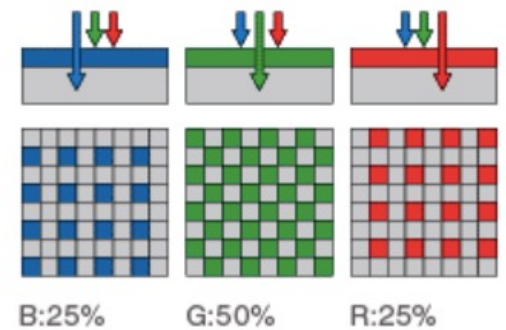
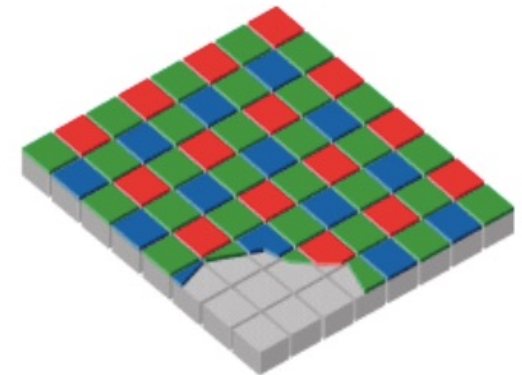
Green画素数 75Mpixel

Red画素数 37.5MPixel

Blue画素数 37.5MPixel

7千万画素カメラならPixelシフト撮影4回分割撮影

ベイヤー式イメージセンサーの
基本構造



事例2：印画紙を綺麗に撮影する 濃淡の記録

印画紙最大濃度	: 2.3
OD値	: 2.3
S/N	: 200/1
フォトン数	: 4万個
• シャッター速度	: 1/125
• 絞り	: F6
• センサ画素サイズ	: 8 μ m
• 原稿面上輝度	: 2,200 cd/m ²
• 照度	: 7千ルクス

出典：カラーイメージスキャナ的设计技術

<https://www.imeasure.co.jp/pdf/NihonGazouGakkai.pdf>

< 計算例 >

目標 S/N 比を光学的濃度(OD:Optical Density) 2.3 とする。

$$S/N = 10^{2.3} = 199.5$$

上述した式に各パラメータを代入する。

$$N_{\text{signal}} = 39811 \quad \sim \text{約 4 万電子。}$$

$$\eta \leftarrow 1.0$$

$$\lambda \leftarrow 555 \text{ [nm]} = 555 * 10^{-9} \text{ [m]}$$

$$V(\lambda) = 680 \text{ [lm/W]} \quad (\lambda = 555 \text{ nm にて})$$

$$S : \text{センサ 1 画素面積} \leftarrow (8 \mu\text{m})^2$$

$$T : \text{蓄積時間} \leftarrow 8 \text{ mS.}$$

$$F : \text{レンズ口径比} \leftarrow 6.0$$

$$\beta : \text{レンズ倍率} \leftarrow 0.189$$

$$\tau : \text{レンズ透過率} \leftarrow 0.55$$

目標原稿面上輝度(L) は $L = 2,231 \text{ [cd/m}^2 \text{]}$ 。

事例3. 濃淡の記録：暗部ノイズ

検出光学濃度限界に挑む

最大濃度3.0の15段ステップチャート
を2枚重ねてスキャン。

実験1： 1回スキャンした結果

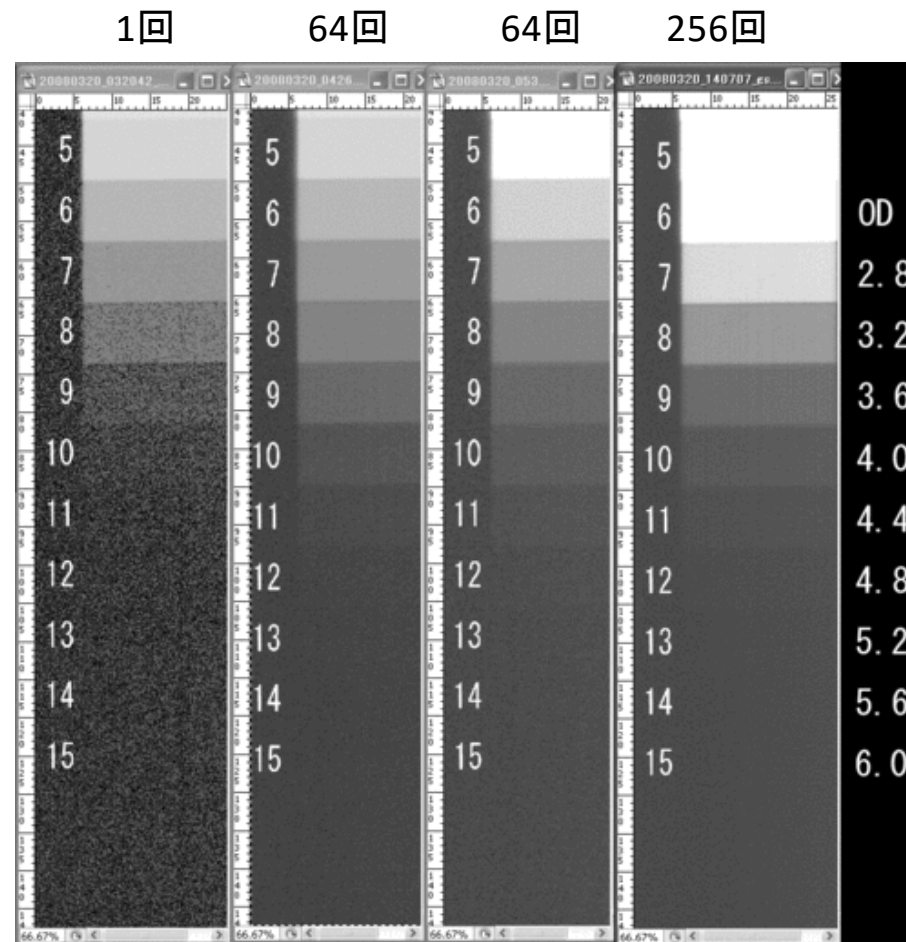
実験2： 64回加算平均した結果

実験3： 64回単純加算した結果

実験4： 256回単純加算した結果

※ 使用したイメージスキャナ ES-2200

※ 8 μ mピッチのCCDを使用。



事例3. 濃淡の記録：暗部ノイズ

1つの光子で1つの電子が発生と仮定

蓄積光子数：3万フォトン

$$OD = -\log(1 / 30,000) = 4.5$$

ショットノイズ：173

$$S/N = 173 / 1$$

$$OD値：-\log(1 / 173) = 2.2$$

64回 蓄積光子数：192万フォトン

ショットノイズ：1385

$$S/N = 1385 / 1$$

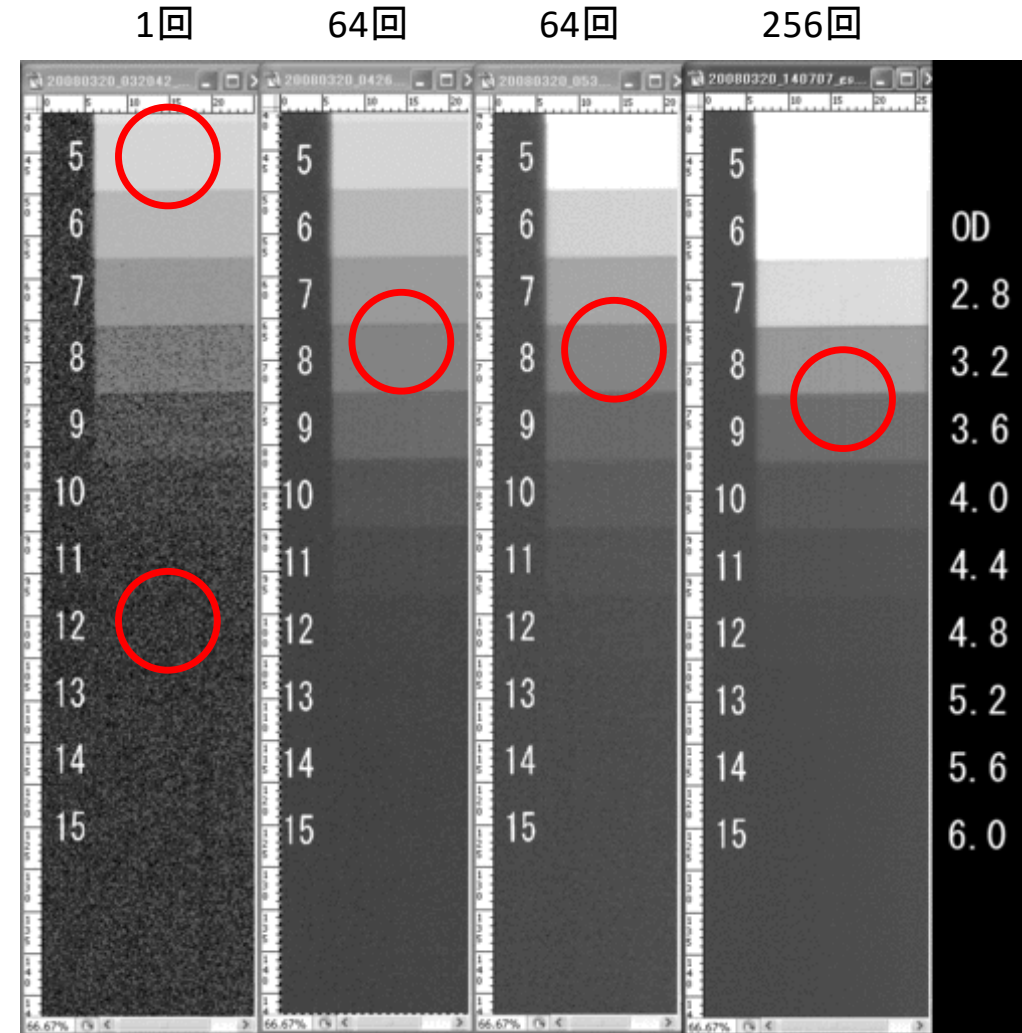
$$OD値：-\log(1 / 1385) = 3.1$$

256回 蓄積光子数：768万フォトン

ショットノイズ：2771

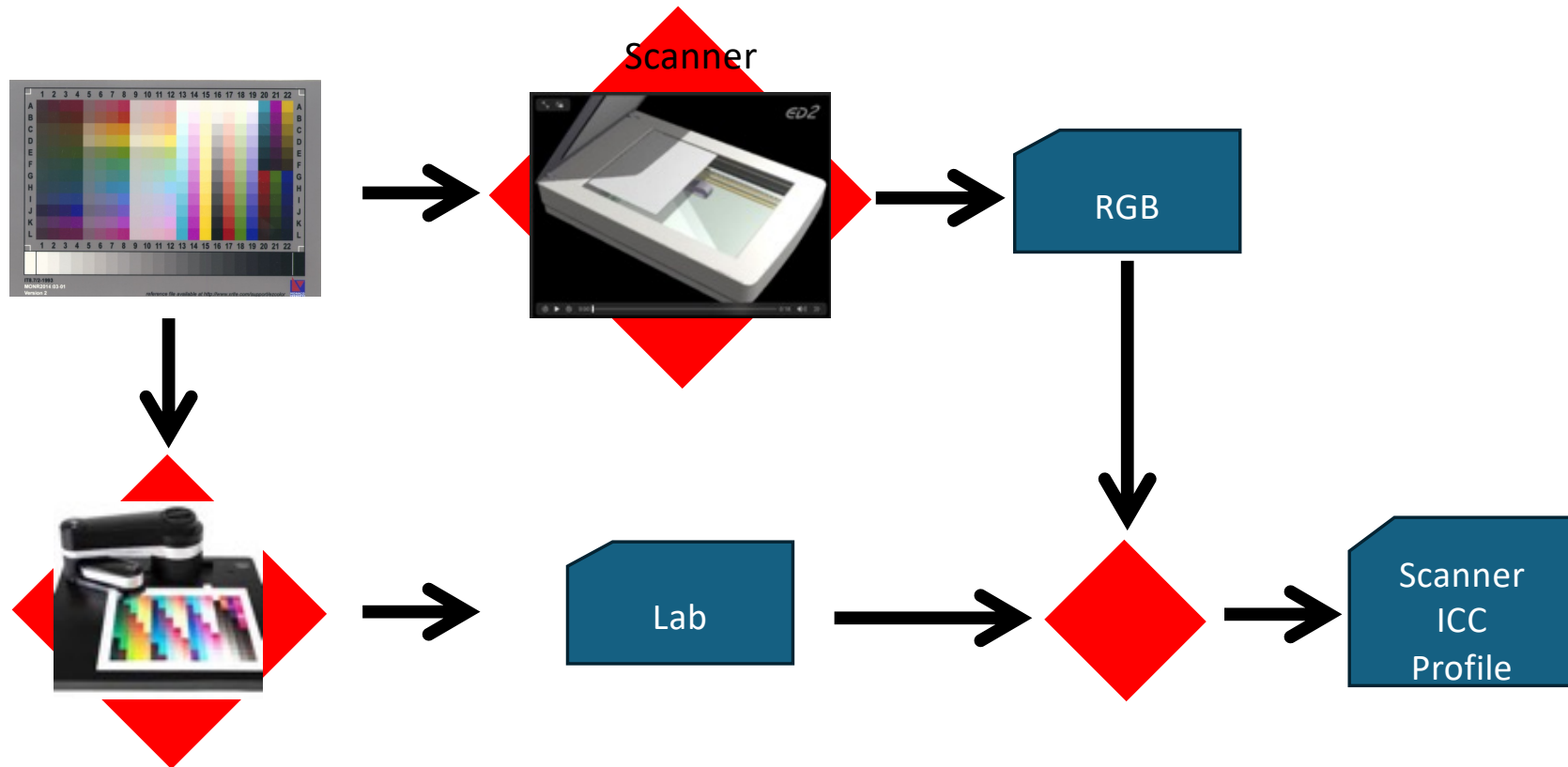
$$S/N = 2771 / 1$$

$$OD値：-\log(1 / 2771) = 3.4$$



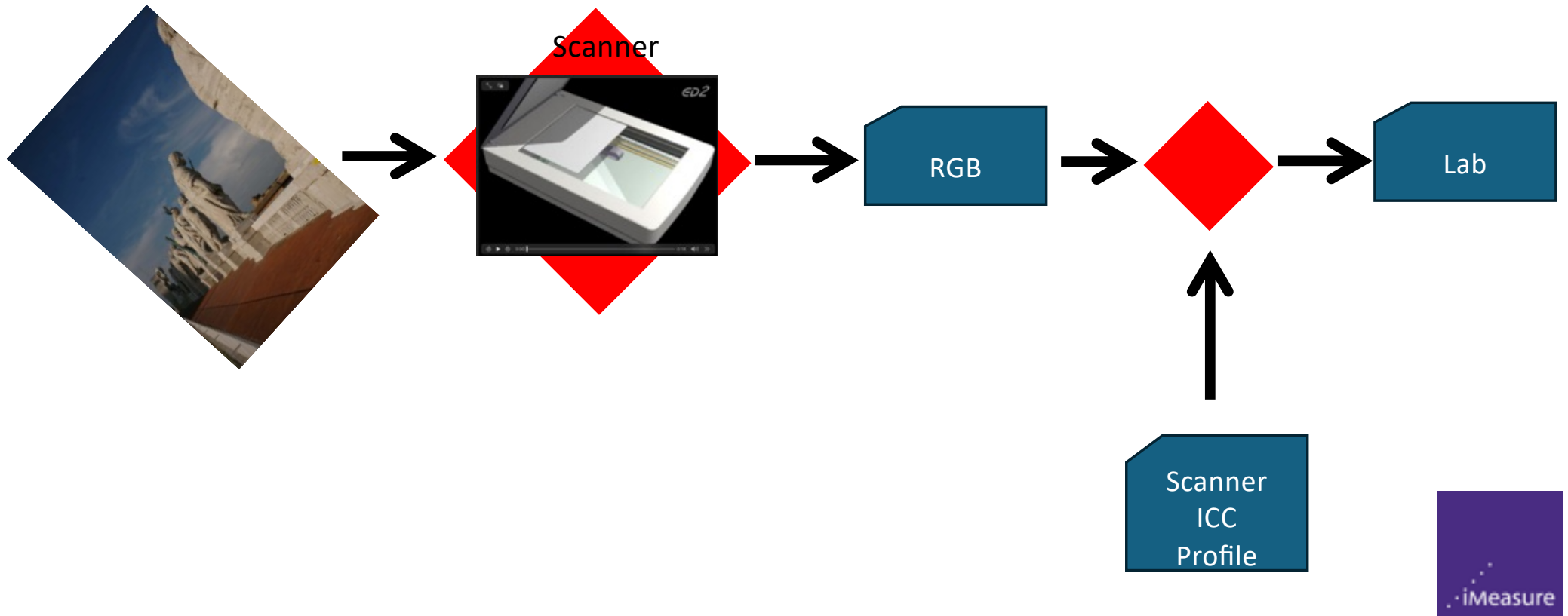
Color Management System

Scanner ICC profile の作り方



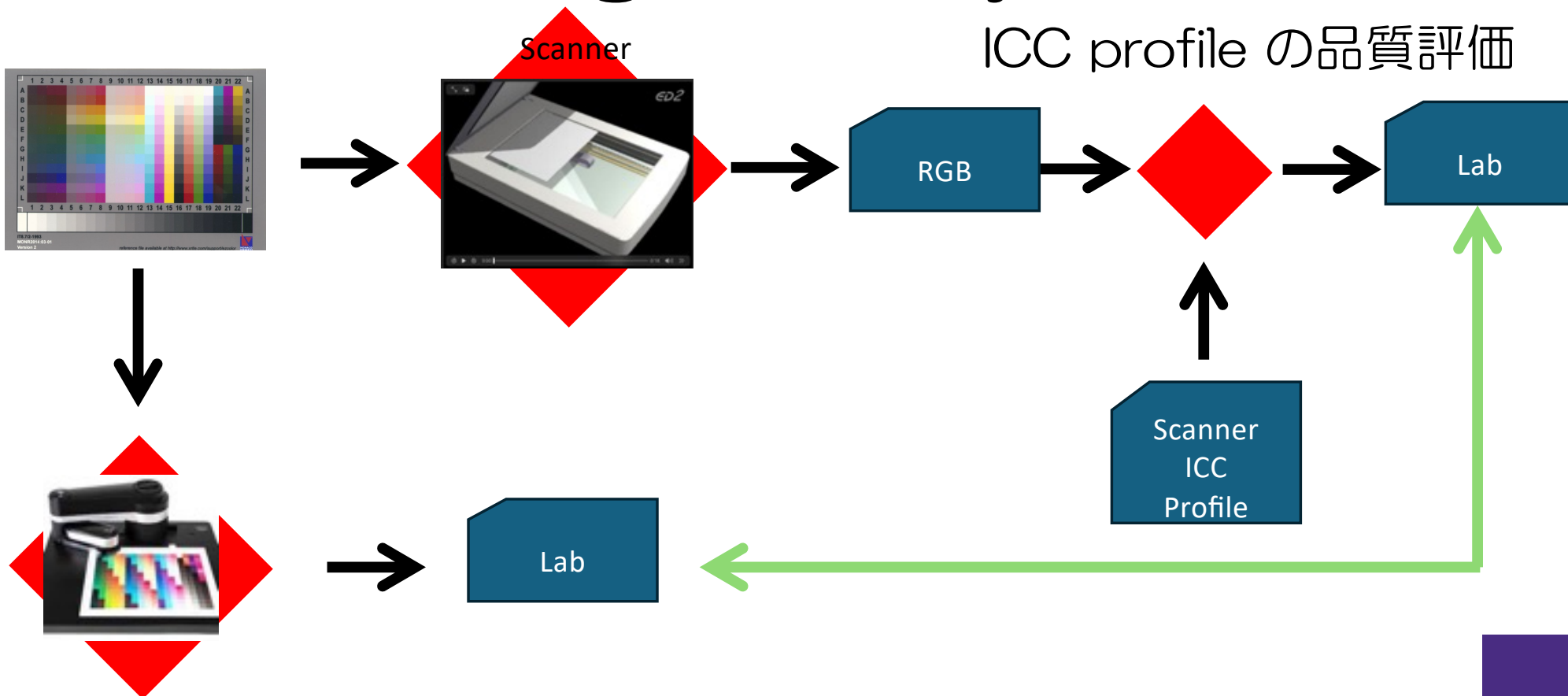
Color Management System

ICC profile があればスキャナは測色器に

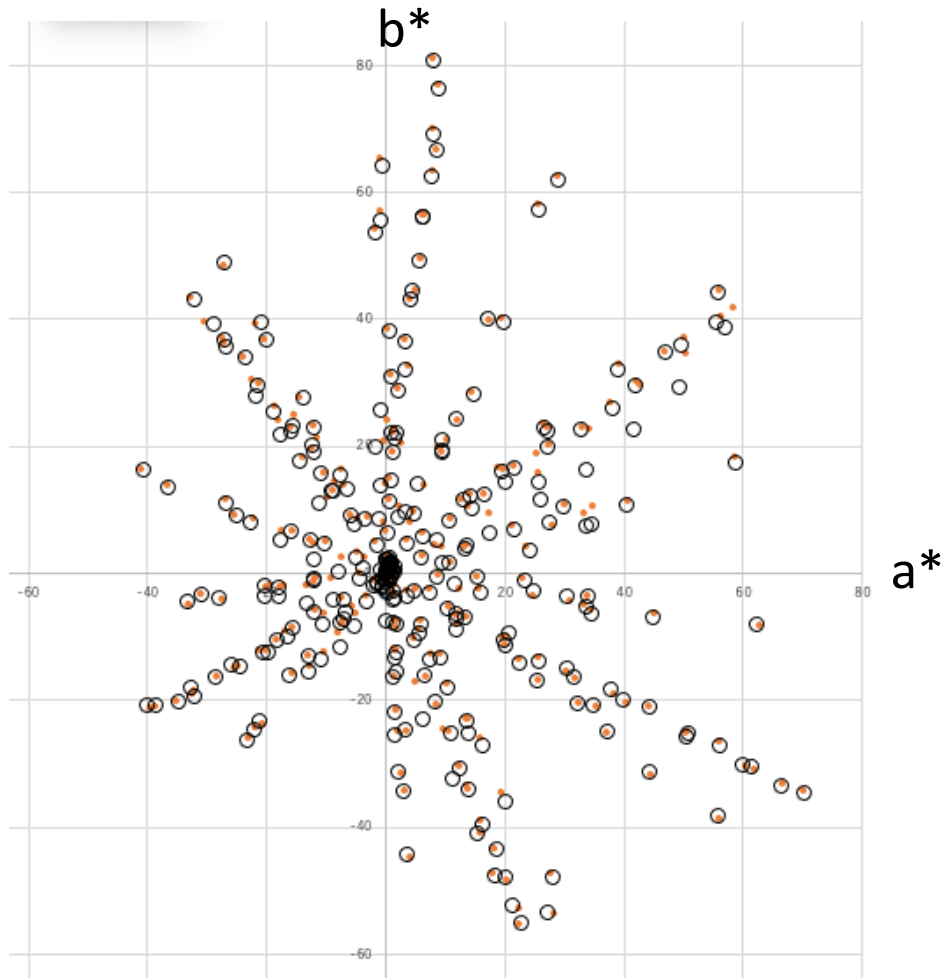


Color Management System

ICC profile の品質評価



Color Management System

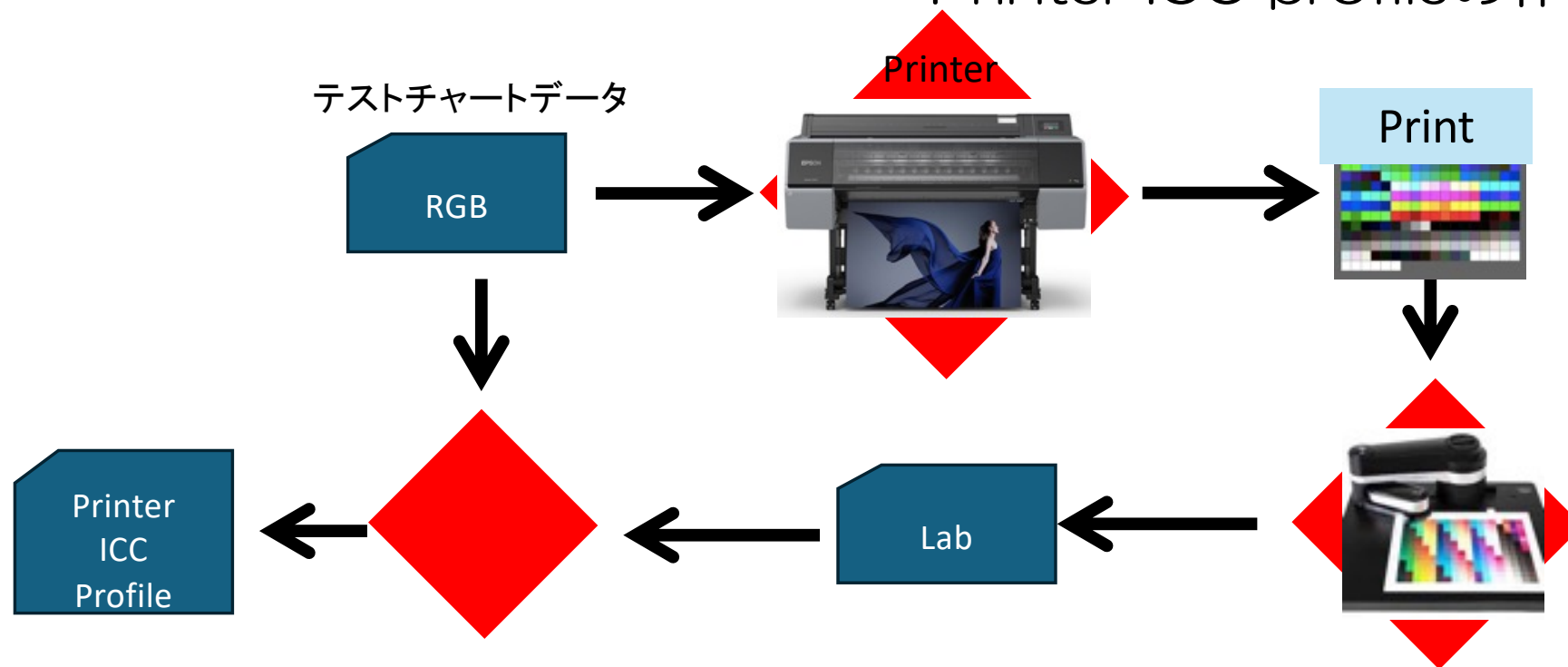


○ 測色値

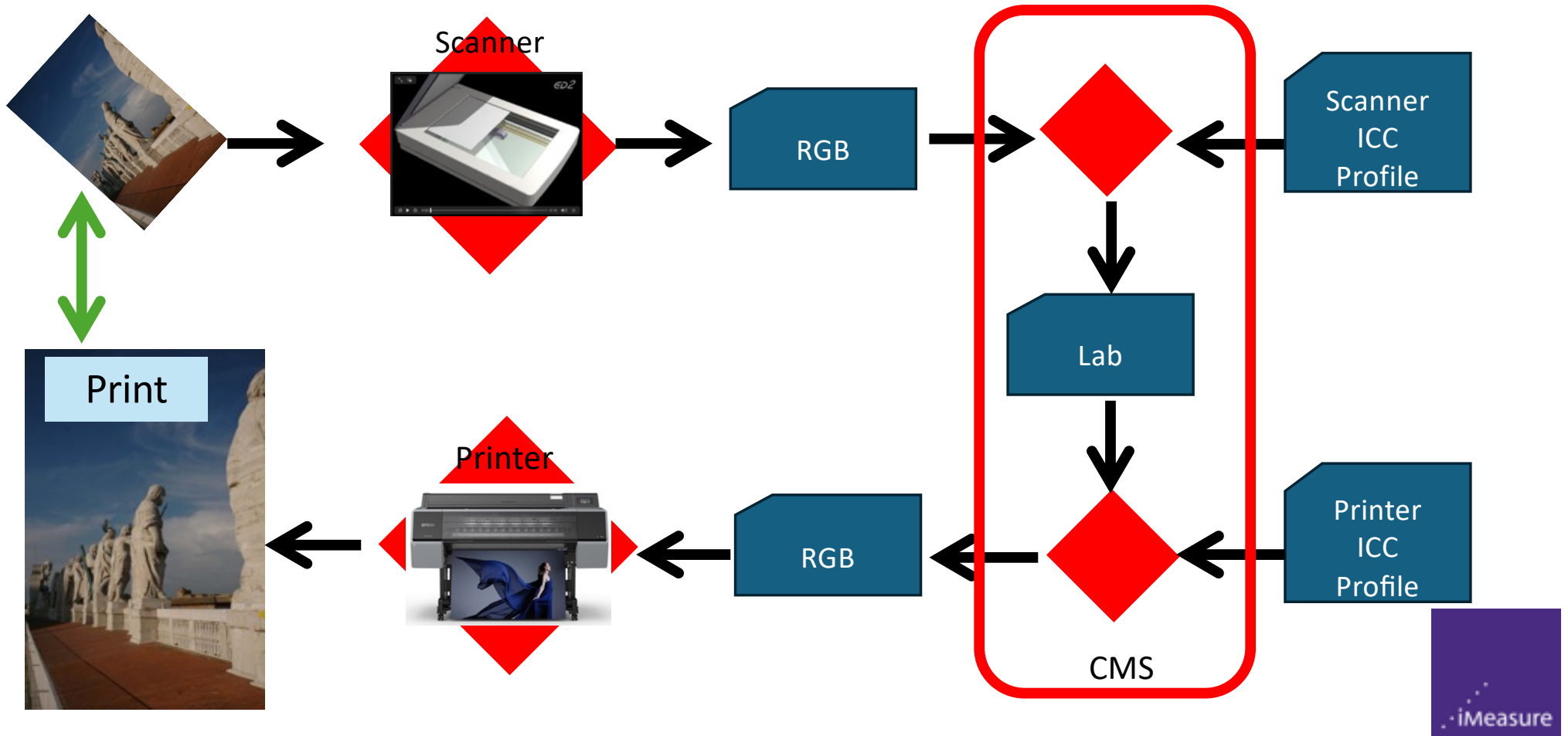
スキャン値(RGB)をICC profileを
使ってLabに変換した値

Color Management System

Printer ICC profileの作成



Color Management System 複製画の作成

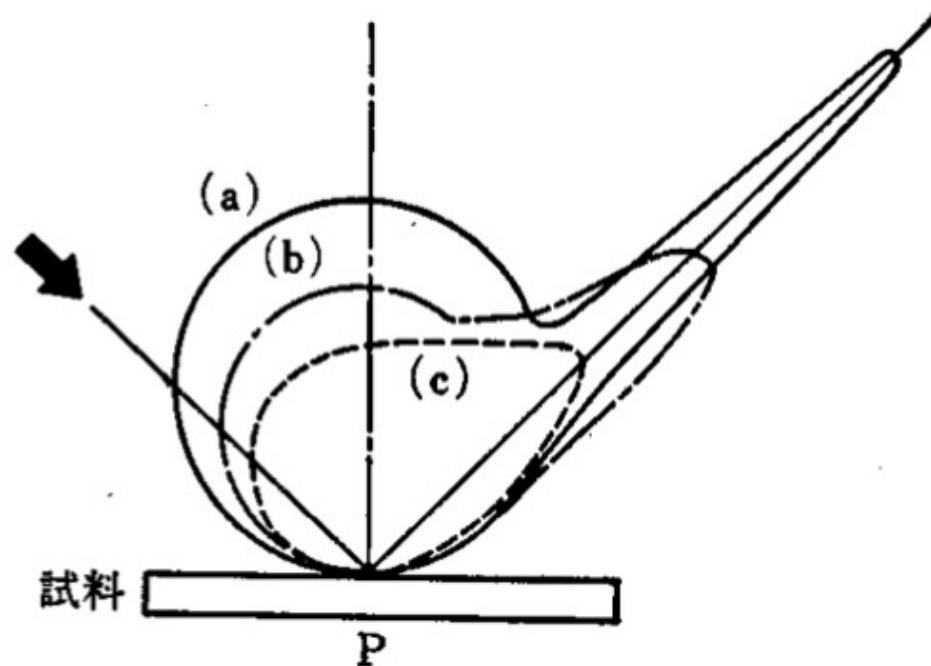


撮影機材と人間の目の特性

- 高品位な画像入力を支える撮影機材
- 高品位と感じる人間の目の特性

撮影機材 光源

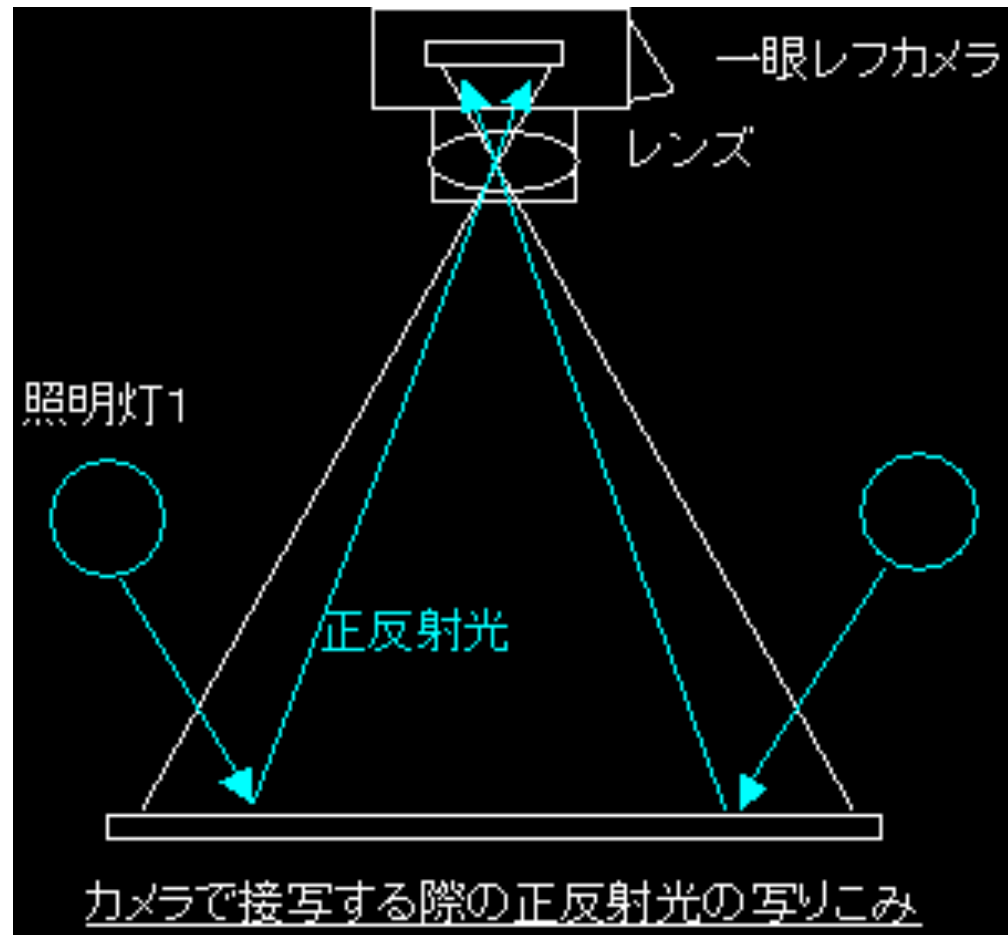
光沢度の違いによる反射光の配光分布



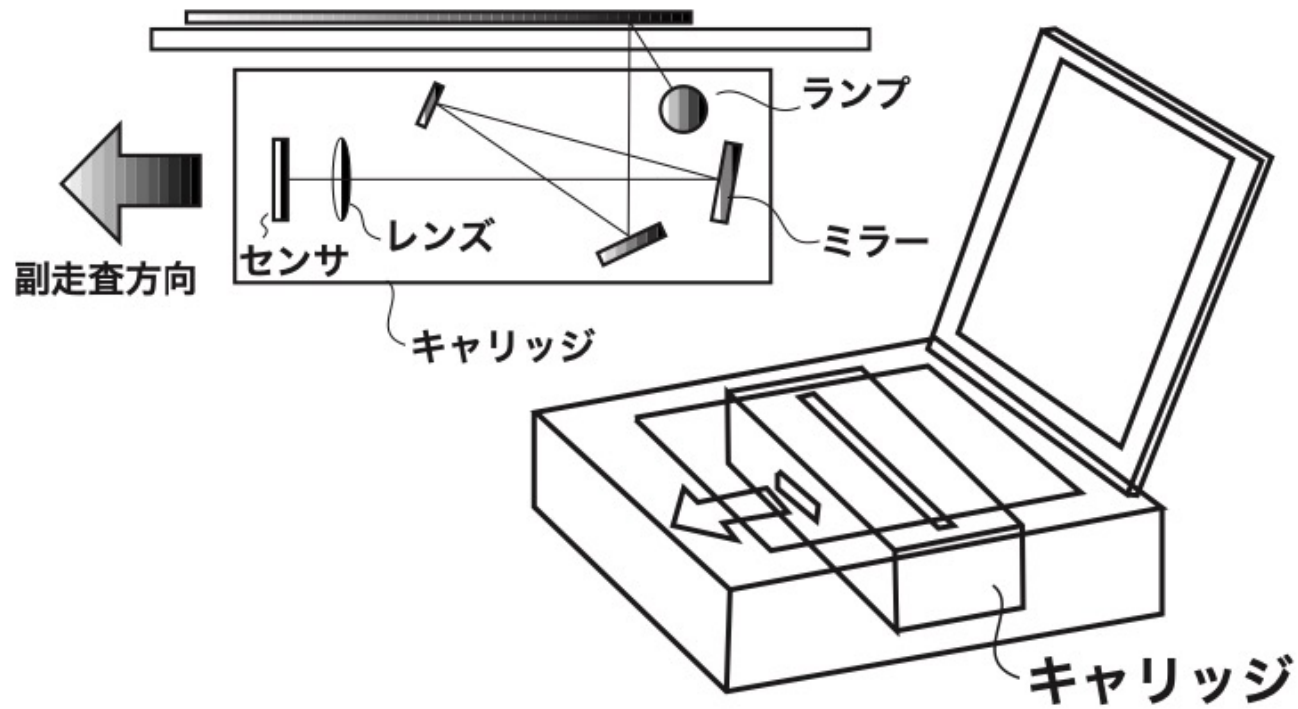
4) 応用物理学会光学懇話会編,「色の性質と技術」, 朝倉書店(1986), p88

撮影機材 光源

正反射と拡散反射

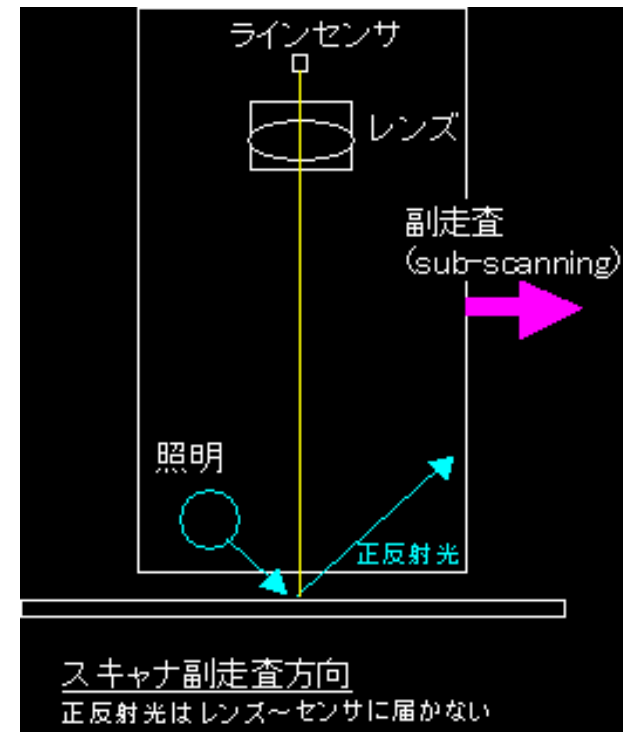
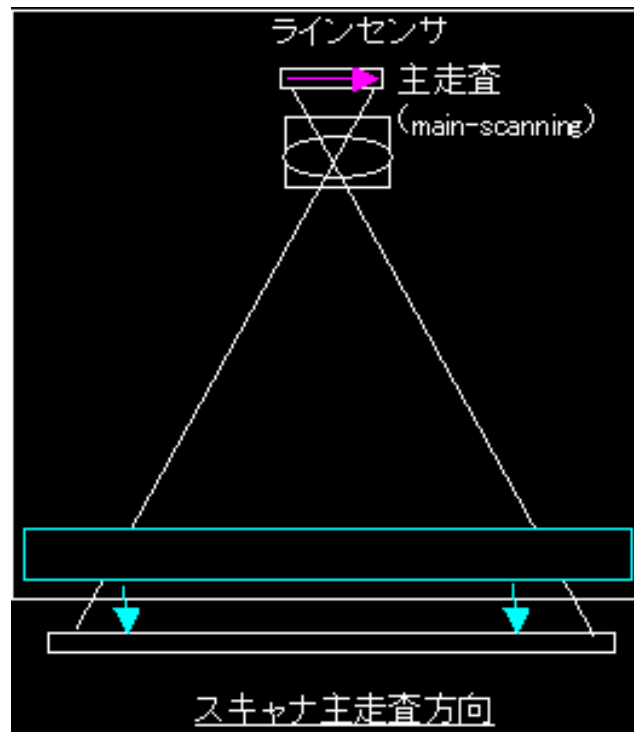


撮影技術 フラットベッドスキャナ（キャリッジ移動式）



撮影機材 光源

- 正反射と拡散反射
- 中心投影と正射投影



撮影機材 センサ

- シリコンフォトダイオード
- エネルギーギャップ：1.1eV
- 波長感度とエネルギーギャップ
- λ [nm] = 1240 / E [eV]
- 1120nm

14) 東芝 CCD リニアイメージセンサ TCD シリーズデータブック(1993)

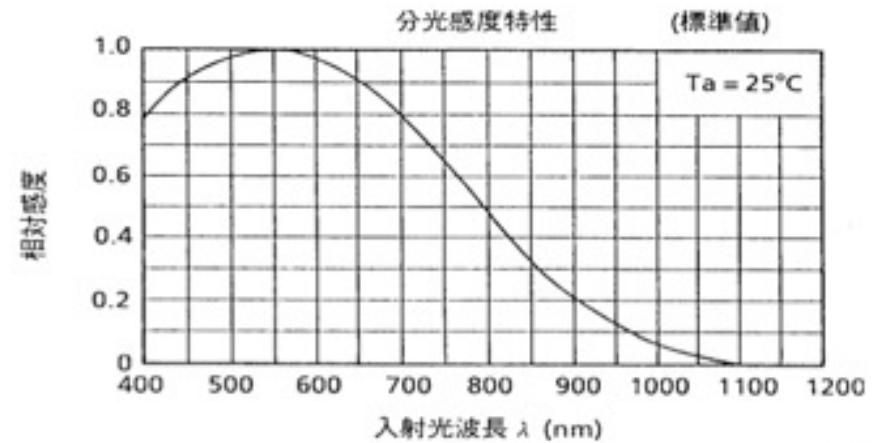


図18 シリコンフォトダイオードセンサの分光感度特性^{14), 17)}

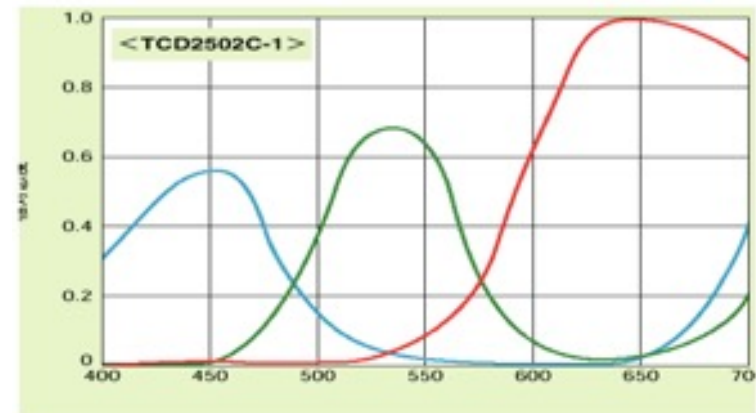
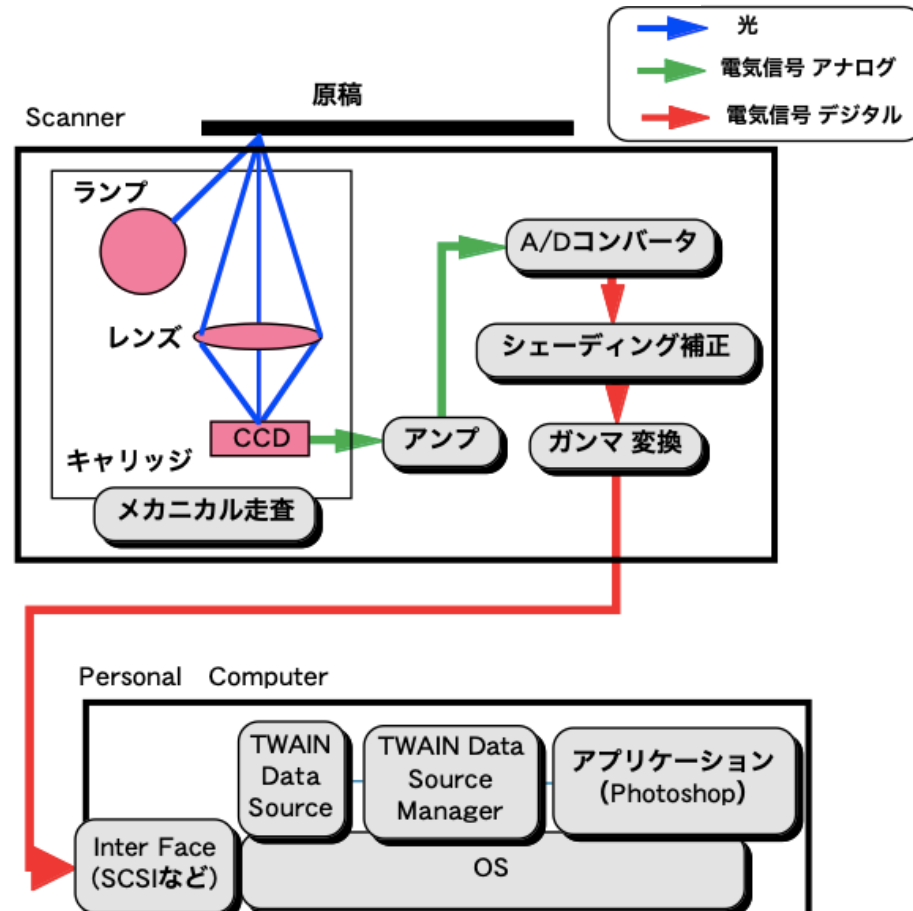


図17 カラーリニアイメージセンサの分光感度特性^{14), 17)}

イメージスキャナのワークフロー

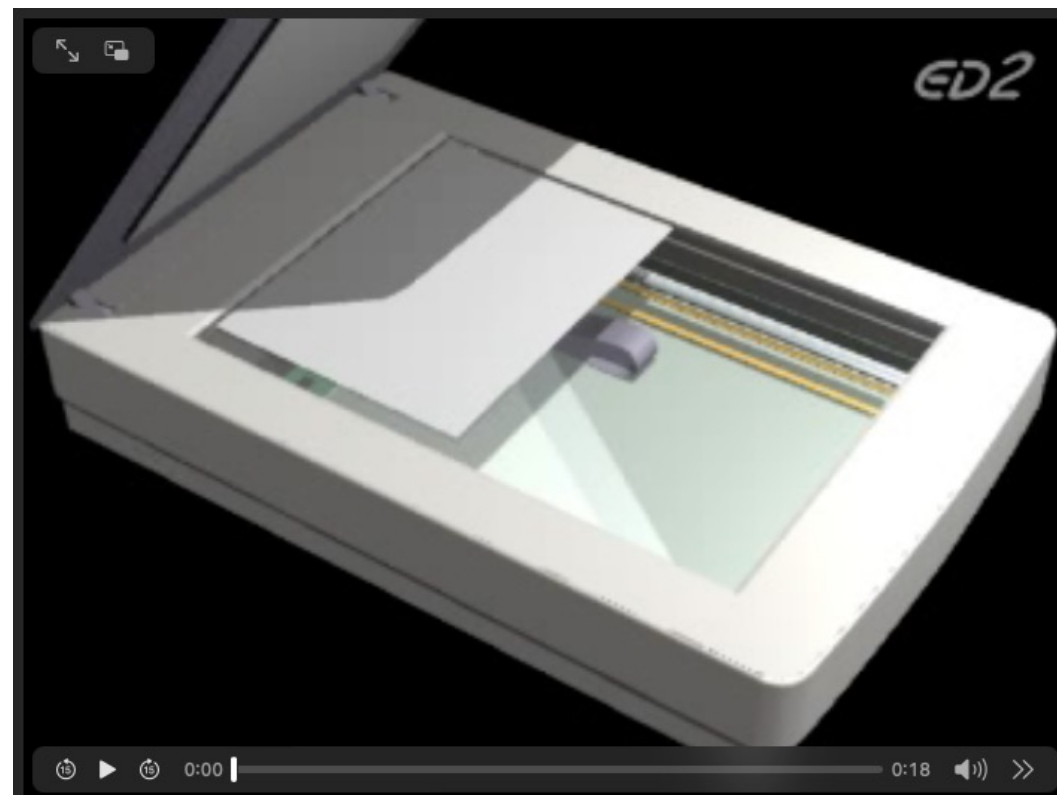


教材動画 イメージスキャナ

<http://www.sugilab.net/jk/joho-kiki/1306/1306-2-A.mpg>

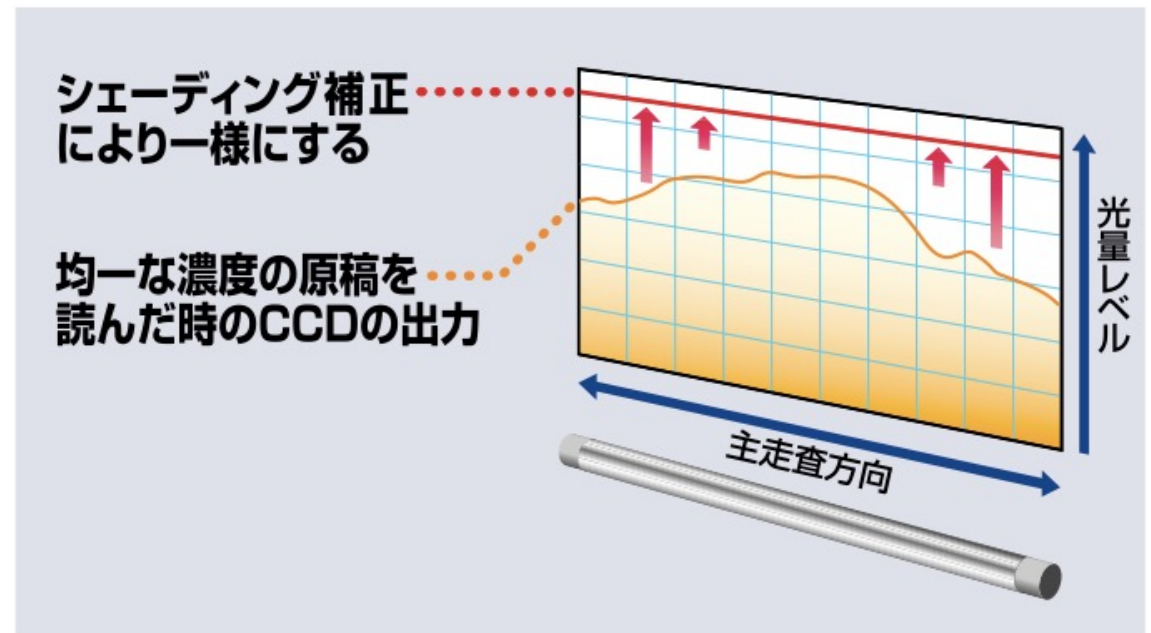
この動画の致命的な欠落とは？

シェーディング補正



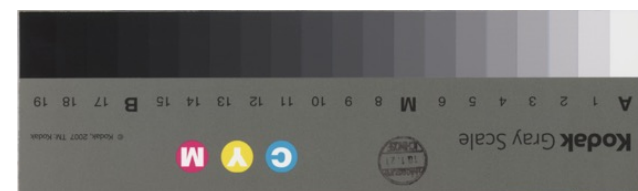
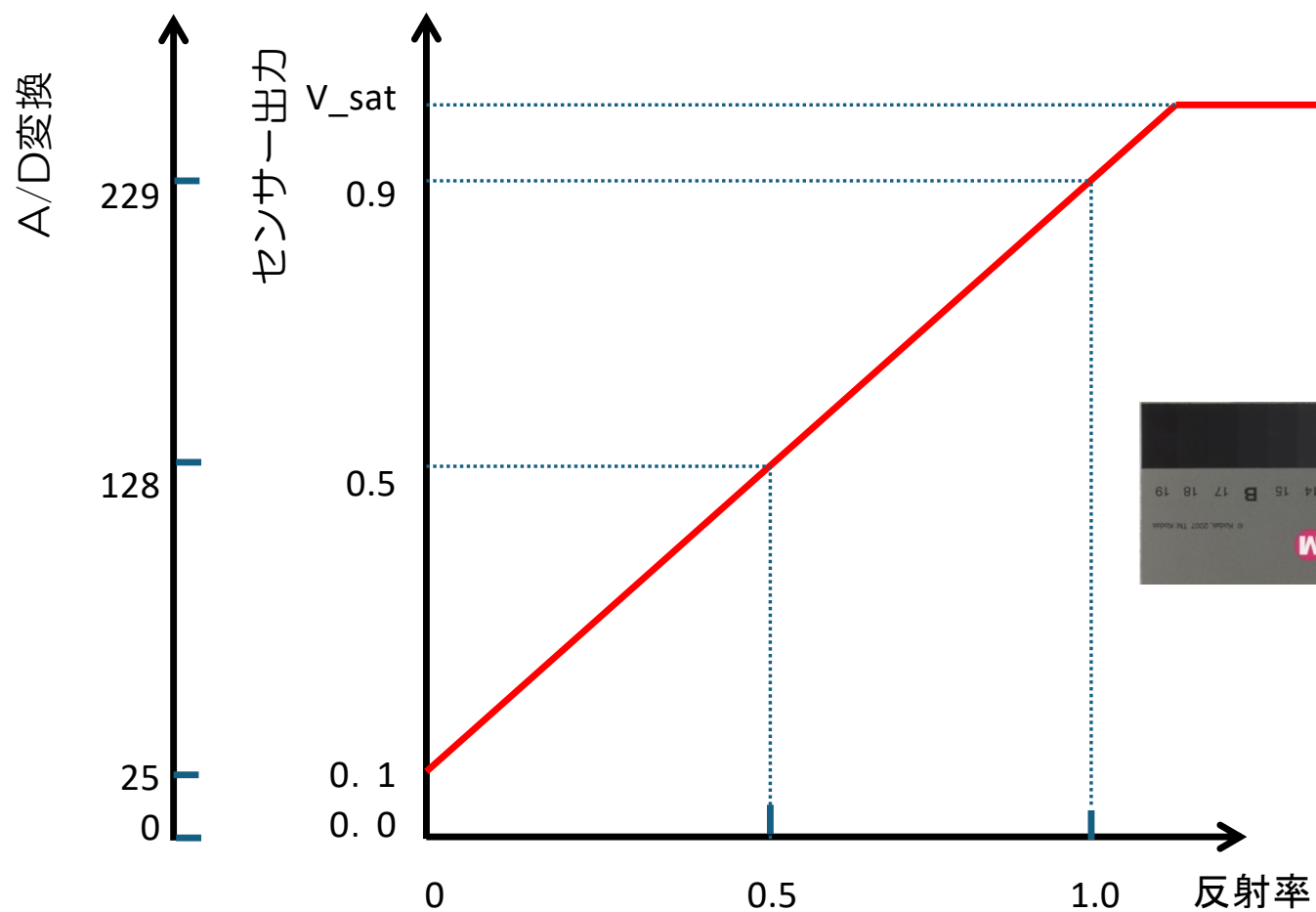
シェーディング補正

- [1] 光源の光量ムラ
- [2] レンズの周辺減光
- [3] センサの画素感度ムラ

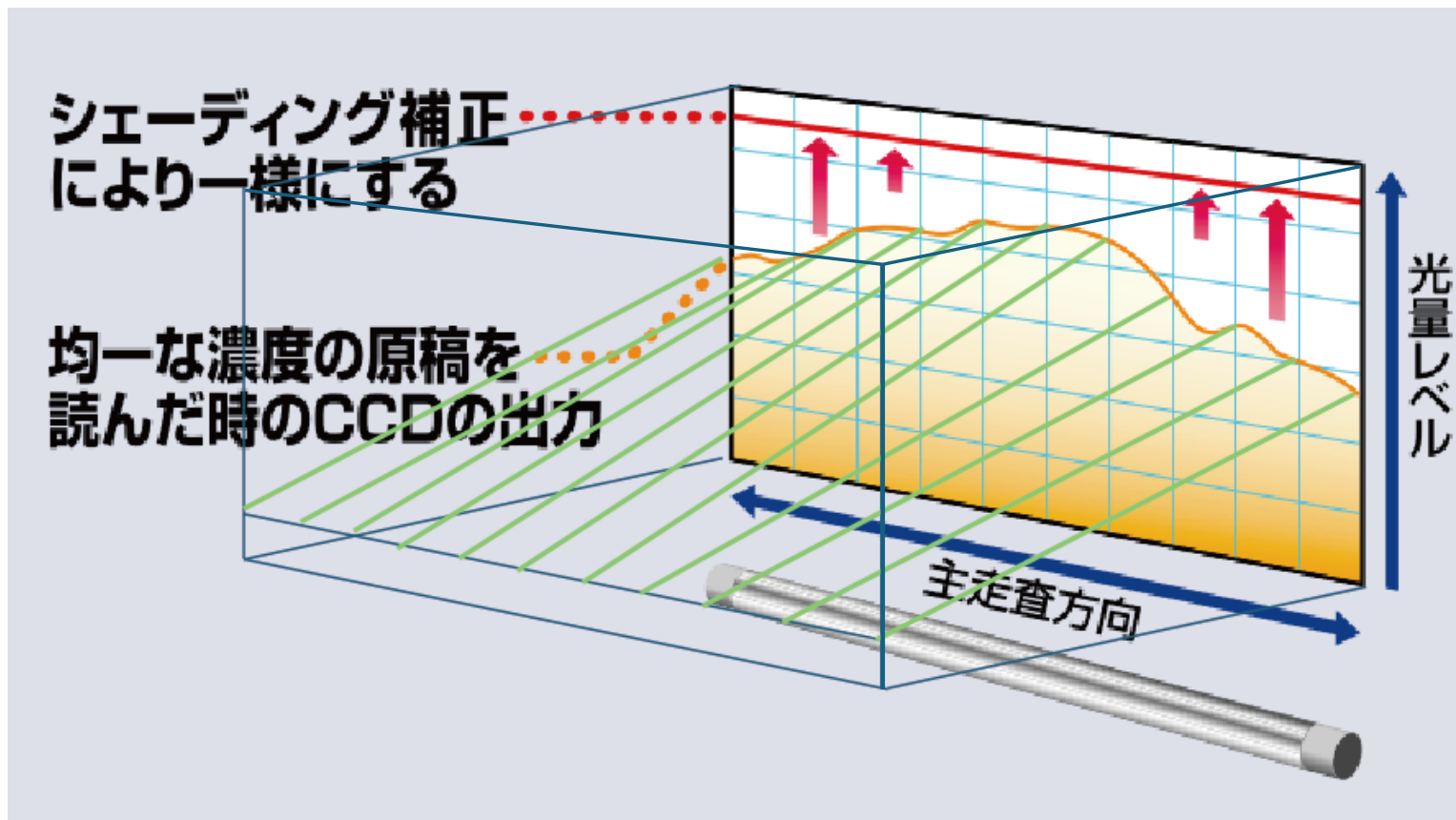


シェーディング補正 1

反射率とセンサー出力

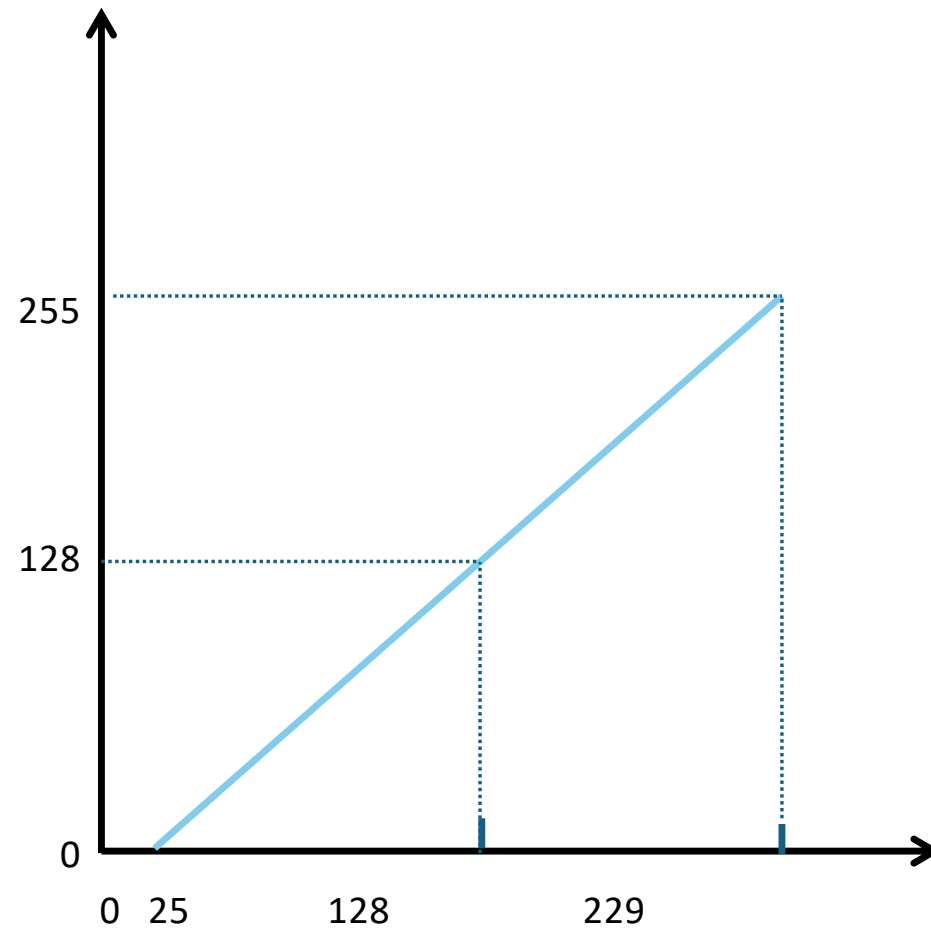


シェーディング補正 2 シェーディング補正の概念図



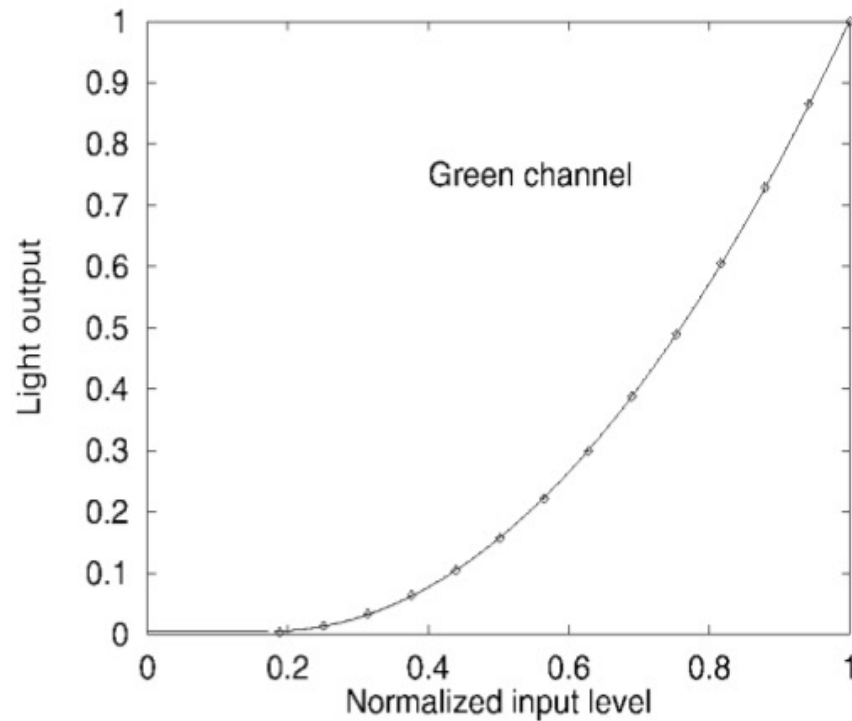
シェーディング補正 3

反射率とセンサー出力

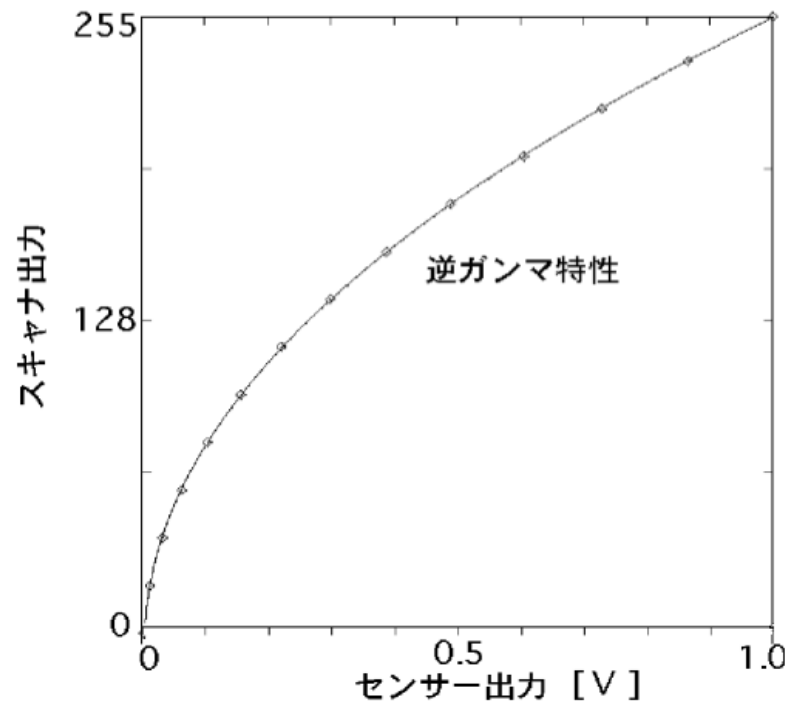


ガンマ補正

CRTの入出力特性

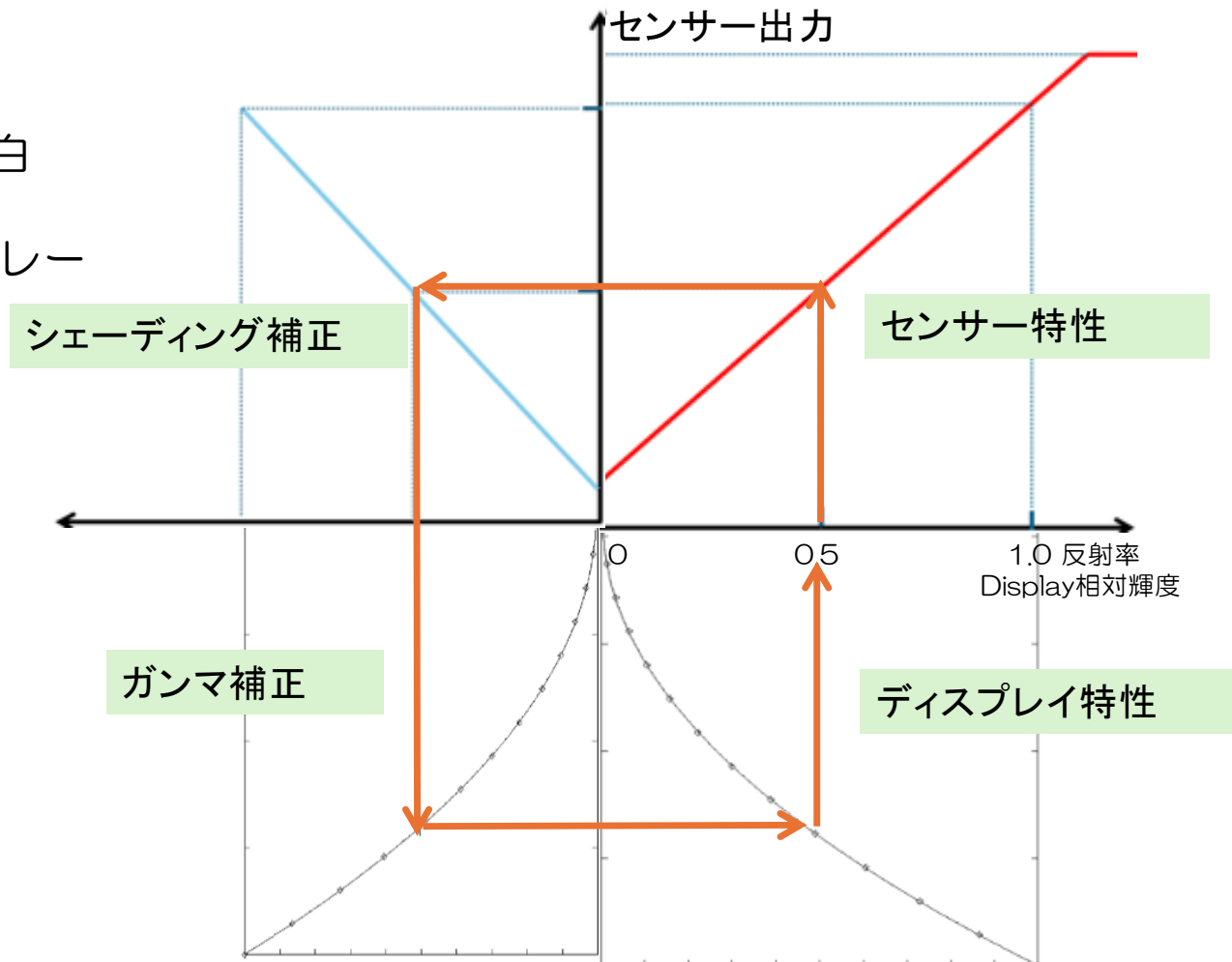


スキャナの持つ逆ガンマ特性



反射率チャートの撮像～ディスプレイ輝度

- 反射率100%の白
- 反射率50%のグレー
- 反射率0%の黒



事例4. 高精細複製画（レプリカ）の製作

- スキャナ側のICC profile、プリンタ側の ICC profile
- 【雑談】 絵画の複製事例

油彩画の撮影比較

スマホで撮影



ファインアーツスキャン



画像を受け取る人間の目の特性

- 高品位と感じる最終センサは、人間の視覚。
- 視覚の特性を整理する。

影

和三盆 鯛の木型 1



影

和三盆 鯛の木型 2



影

和三盆 鯛の木型 1



和三盆 鯛の木型 2



事例5. 安曇野ちひろ美術館の複製画



- 特殊照射光
- 高解像度スキャンニング
- 特殊印刷 → テクスチャーの複製

視力 定義

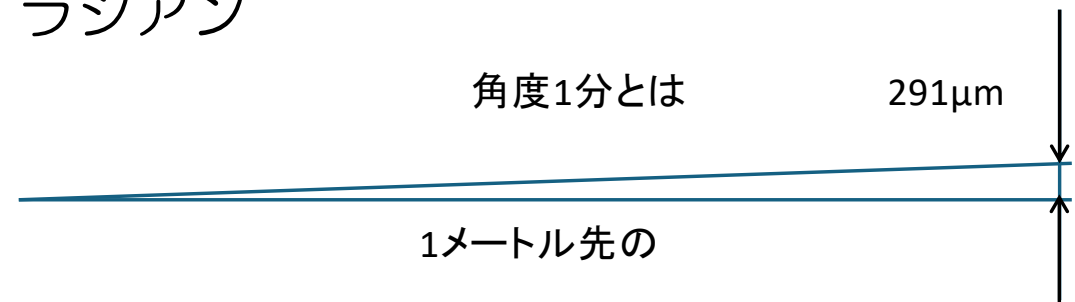
- 視力1と291（ニクイ）

視力1.0 角度1分を分解する視力。

1/60度は $\pi / (180 \times 60)$ ラジアン

= 0.000291

= 291 μ ラジアン

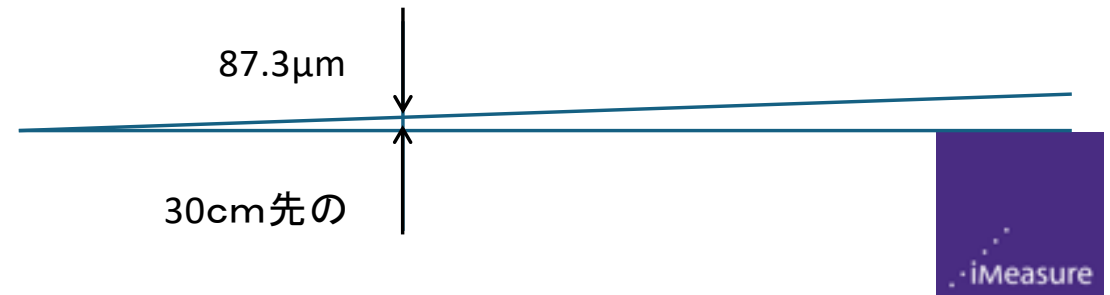


視力1の人が30 cm先の画像の分解能は？

300 mm \times 0.000291

= 0.0873 mm

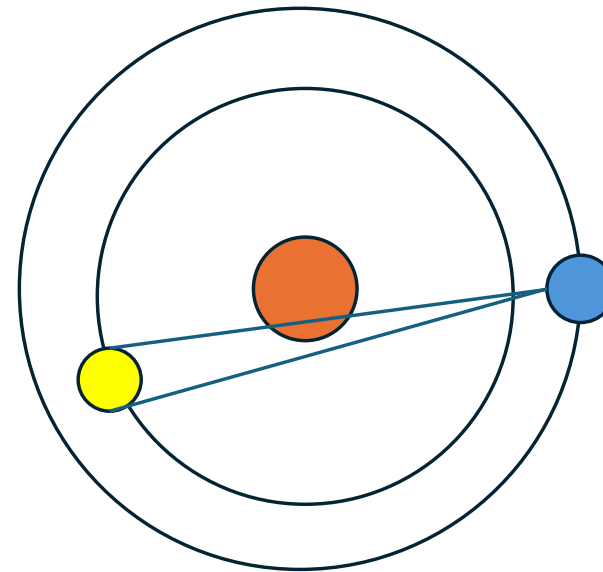
= 291 ppi



視力 定義

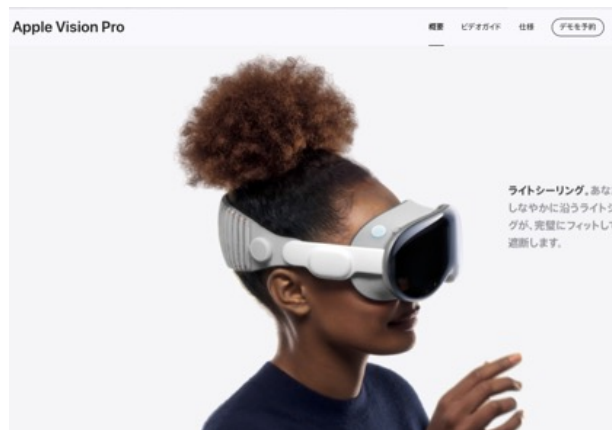
• 【雑談】 アニメ「チ。」 オクジーの視力は？ 6. 2

- 太陽-地球間： $150 * 10^6$ km
- 太陽-金星間： $108 * 10^6$ km
- 金星の直径： $12,104$ km
- 視角は = 47μ ラジアン
- 視力1 = 291μ ラジアン



高品位な画像を出力する最新ディスプレイ

- ディスプレイデバイスの進化
 - SONY Crystal LED 22ppi, 17ppi, 11ppi
ダイナミックレンジ 百万対1
- Apple Vision Pro
 - 2,300万ピクセル
 - 7.5ミクロンのピクセルピッチ



まとめ

高品位な画像出力を実現するために、まずは高品位な画像入力から

品位を支える4つの要因

- | | |
|-----------|------------------|
| 1. 細かさの記録 | 400 ~ 600 ppi |
| 2. 濃淡の記録 | OD 2.3、4万フォトン/画素 |
| 3. 色の記録 | $\Delta E < 1.0$ |
| 4. 寸法の記録 | $< 0.3\%$ |

A nighttime photograph of a cityscape with a comet streaking across the dark sky. The city lights are visible in the foreground and middle ground, including houses and buildings. The sky is a deep blue, and the comet's tail is a bright white streak.

ご静聴ありがとうございました

www.imeasure.co.jp