

2005.12.03

高速度現象における画像計測法 ーレンズ，光源，カメラ，画像処理

アンフィ（有）
安藤 幸司

概 要

1. 計測用画像システム

画像を用いた計測システムの考え方

2. 画像計測システムの構成要素

カメラ、レンズ、光源、トラバース機構、解析処理ソフトウェア

3. 光の単位

ルーメン、cd、W、など

4. 計測カメラの基本構成

CCDとMOS型撮像素子の撮像原理

計測用カメラの仕組み

高速度カメラの仕組み

5. レンズ

レンズの一般的性質

6. 画像ファイルと画像計測

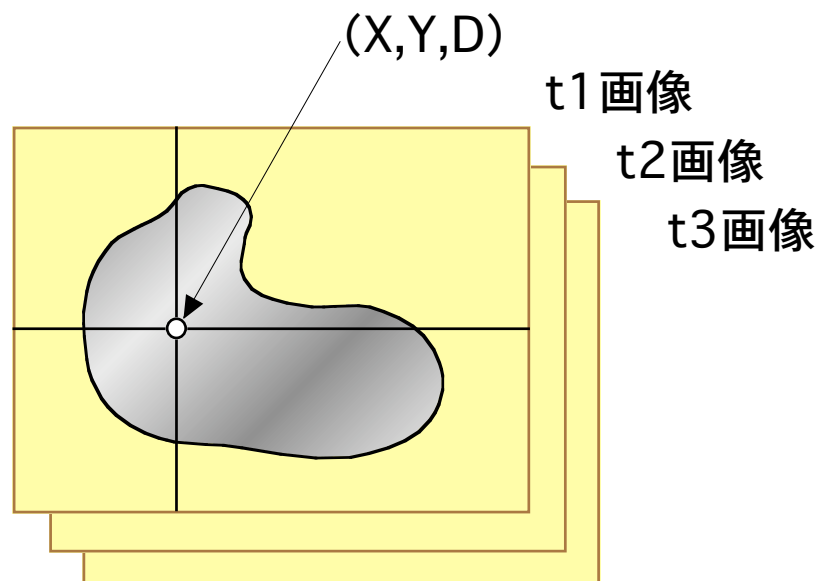
画像の考え方と画像ファイルフォーマット

7. 撮影手法

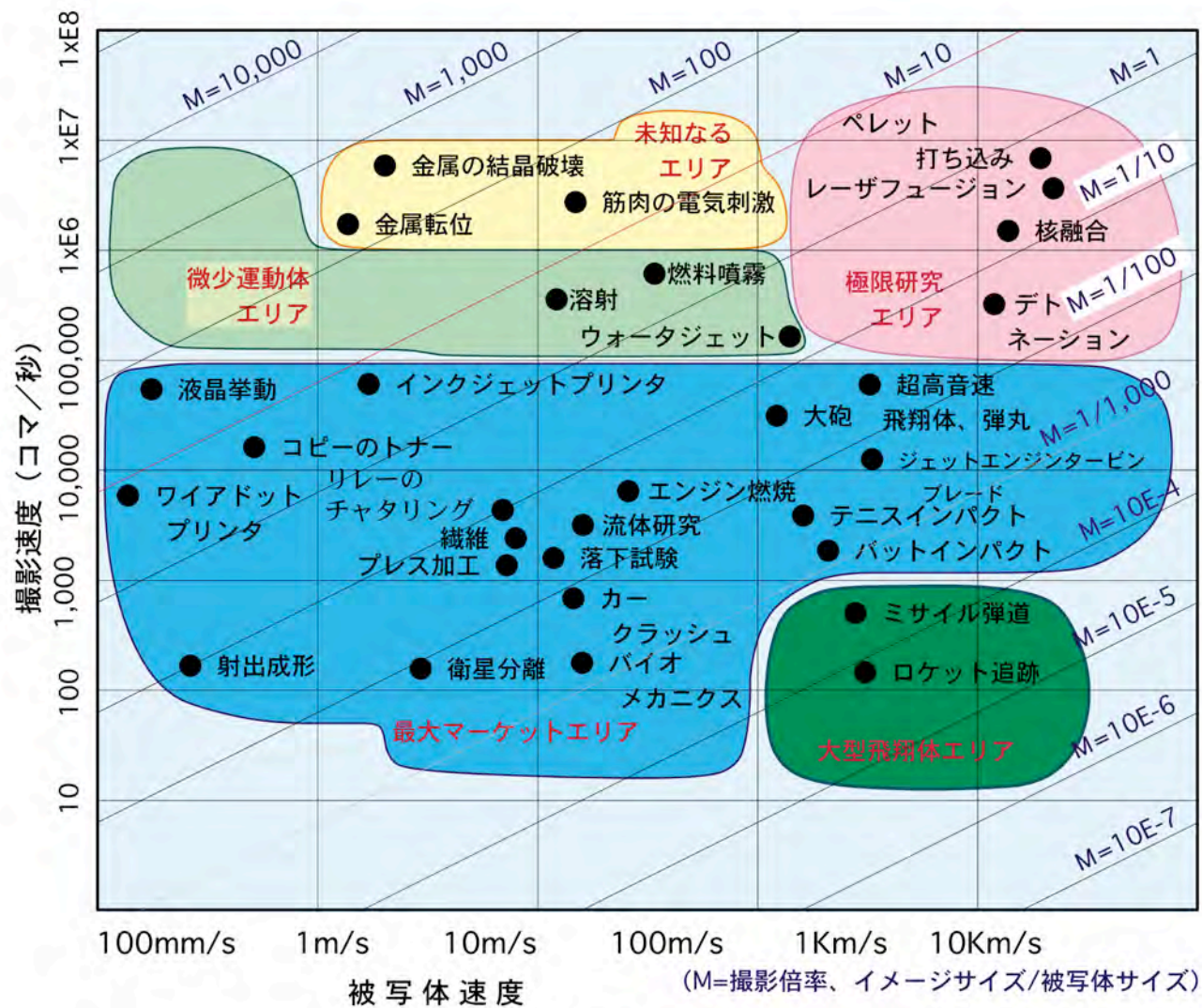
シャドウグラフ・シュリーレン撮影、レーザライトシート撮影

1. 計測用画像システムとは

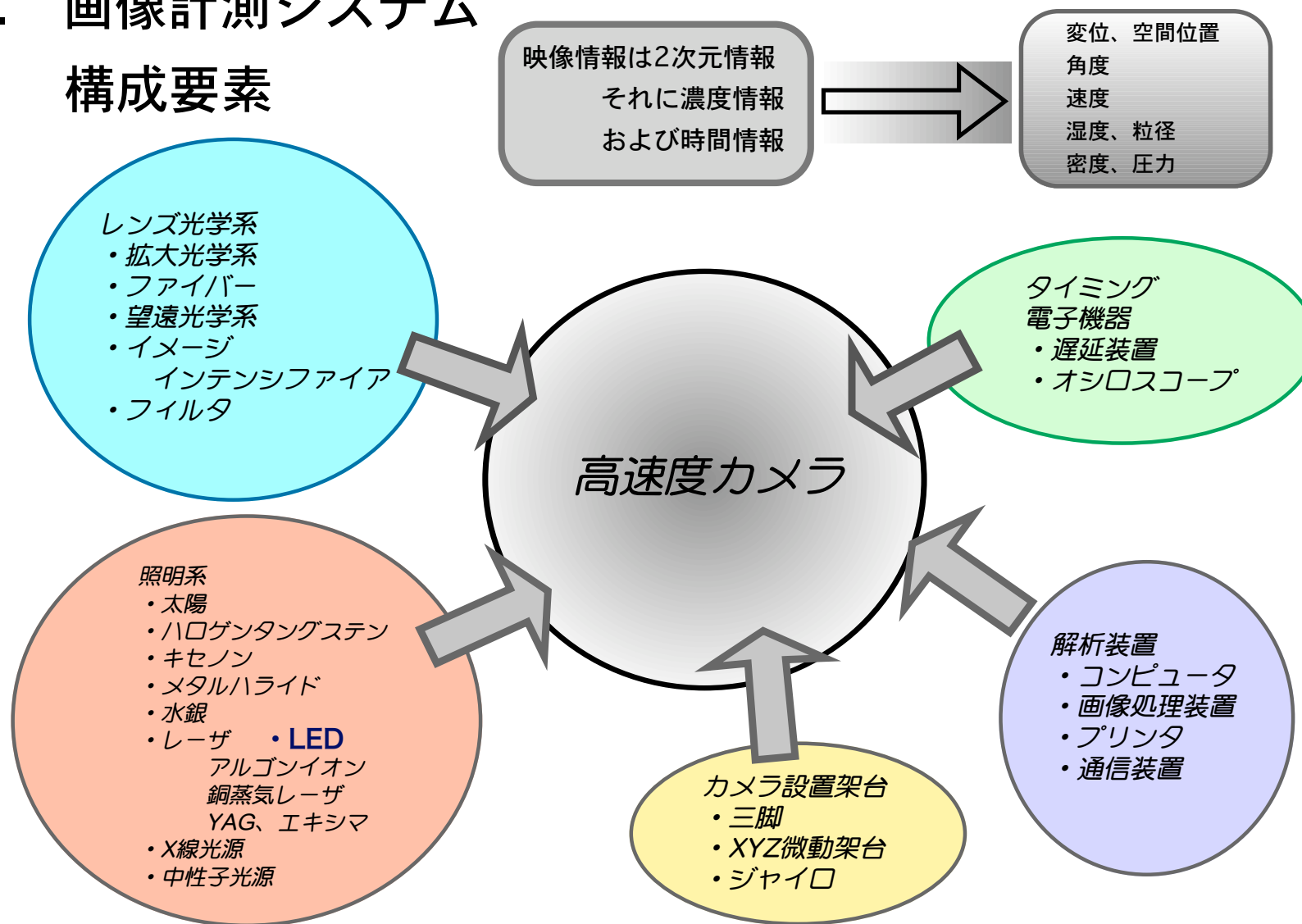
■ 画像情報



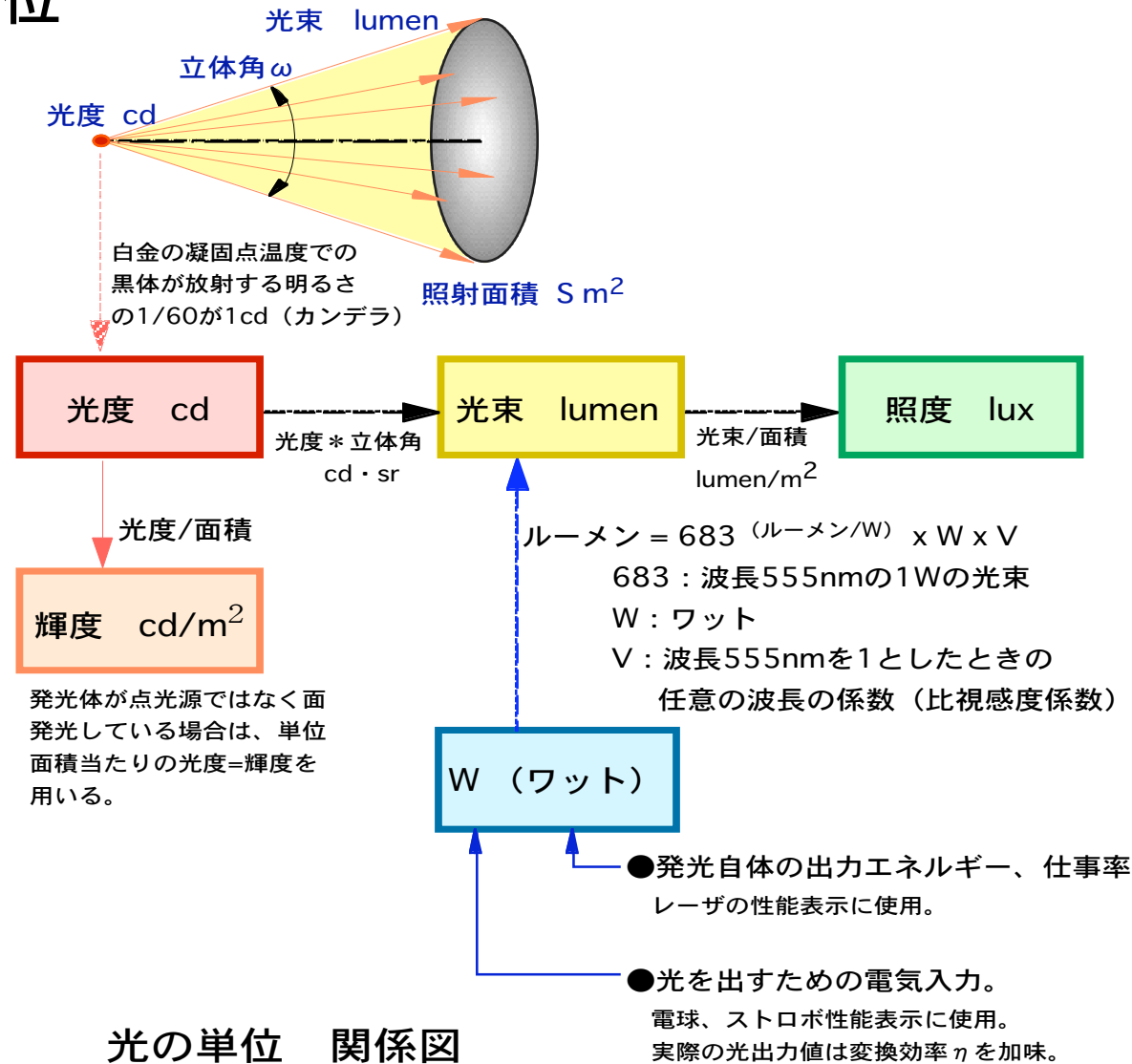
- 画像情報は、平面情報。
- 平面を細分化して (X,Y) の座標に濃度情報 (D) を加味。
- カラー情報があれば (D_B, D_G, D_R) (=青、緑、赤) の3情報を持つ。
- 時間履歴のわかった複数枚の画像から時間情報 (T) が得られる。
- 最終的には (X,Y,D,T) の四つの情報が与えられることになる。
- 複数台のカメラを用いると空間情報が得られ (X,Y,Z,D,T) 情報となる。



2. 画像計測システム 構成要素



3. 光の単位



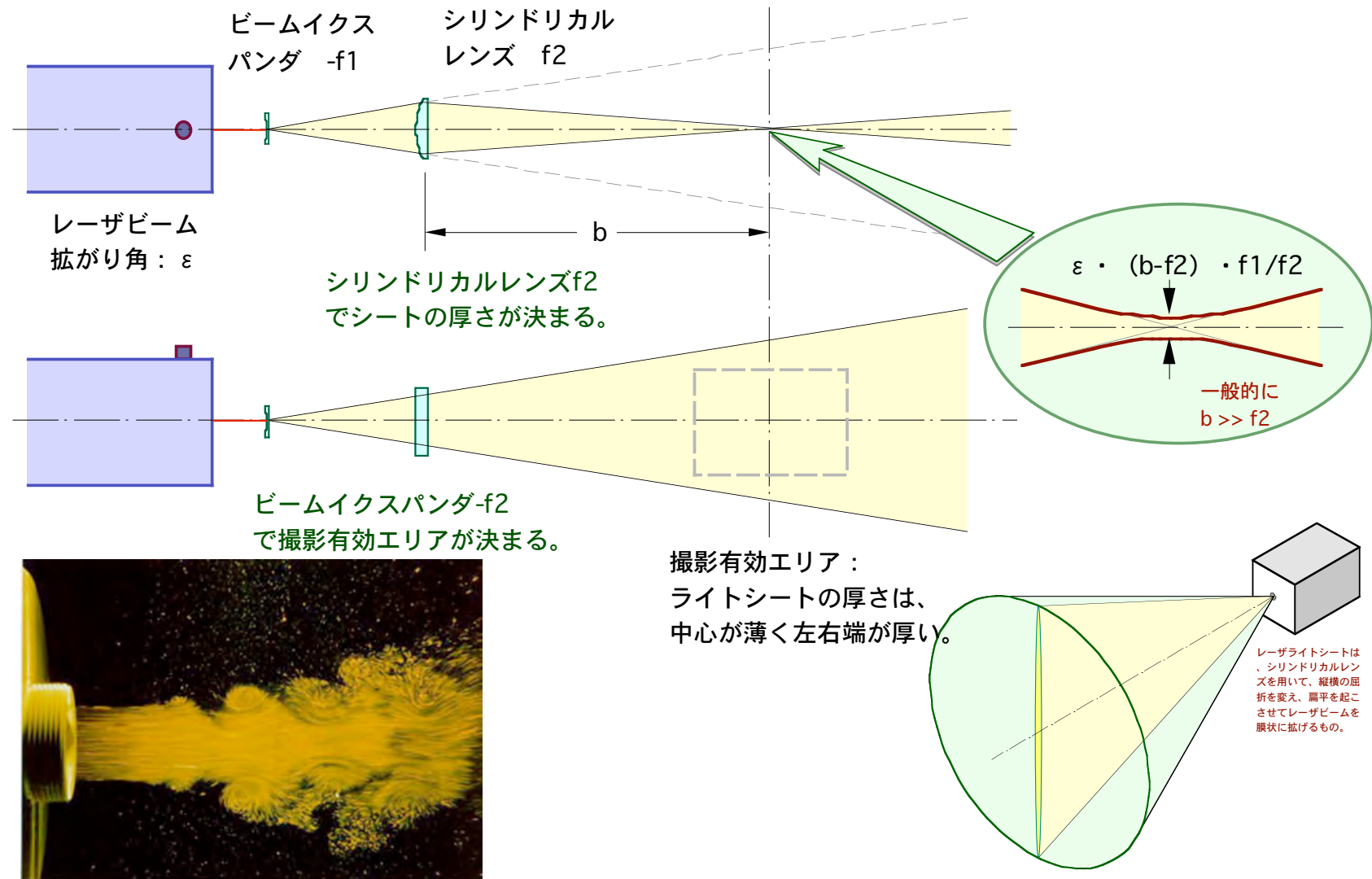
光源の種類

光源 \ 照度(ルクス)	10,000	100,000	1,000,000	10,000,000	100,000,000
太陽光					
タングステンランプ					
メタルハライドランプ					
キセノンランプ					
発光ダイオード					
レーザ					

光源 \ 撮影速度 (コマ/秒)	1,000	10,000	100,000	1,000,000	10,000,000
太陽光					
タングステンランプ					
メタルハライドランプ					
キセノンランプ					
発光ダイオード					
レーザ					

光源 \ 価格(円)	10,000	100,000	1,000,000	10,000,000	100,000,000
太陽光					
タングステンランプ					
メタルハライドランプ					
キセノンランプ					
発光ダイオード					
レーザ					

レーザライトシート原理図



撮影に必要な 被写体照度

$$E = \frac{235 \times F^2 \times (1 + M)^2}{\text{ISO} \times T}$$

E : 照度 (ルクス)

F : レンズ絞り

M : 撮影倍率

ISO : カメラ感度

T : カメラ露出時間 (sec.)

上の図は、

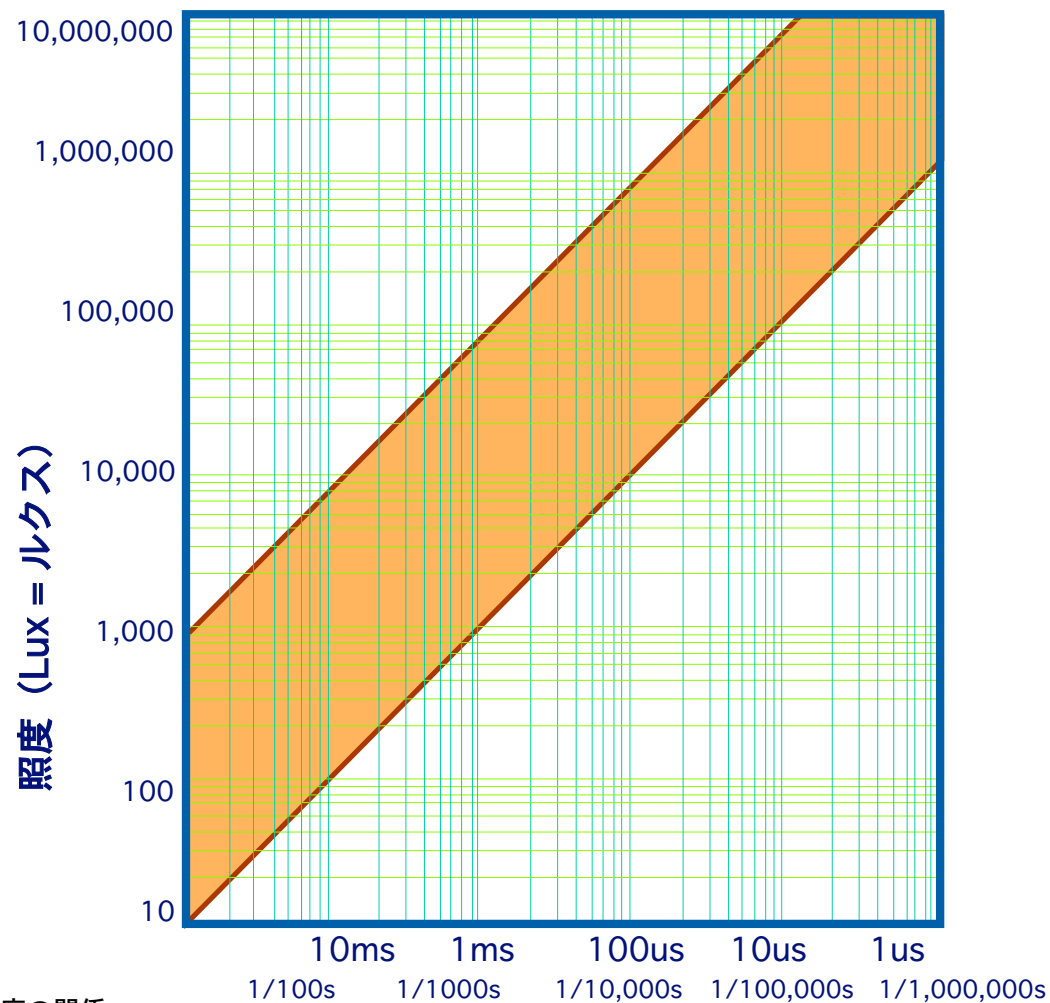
ASA100からASA400、

レンズ絞りF1.4~F5.6

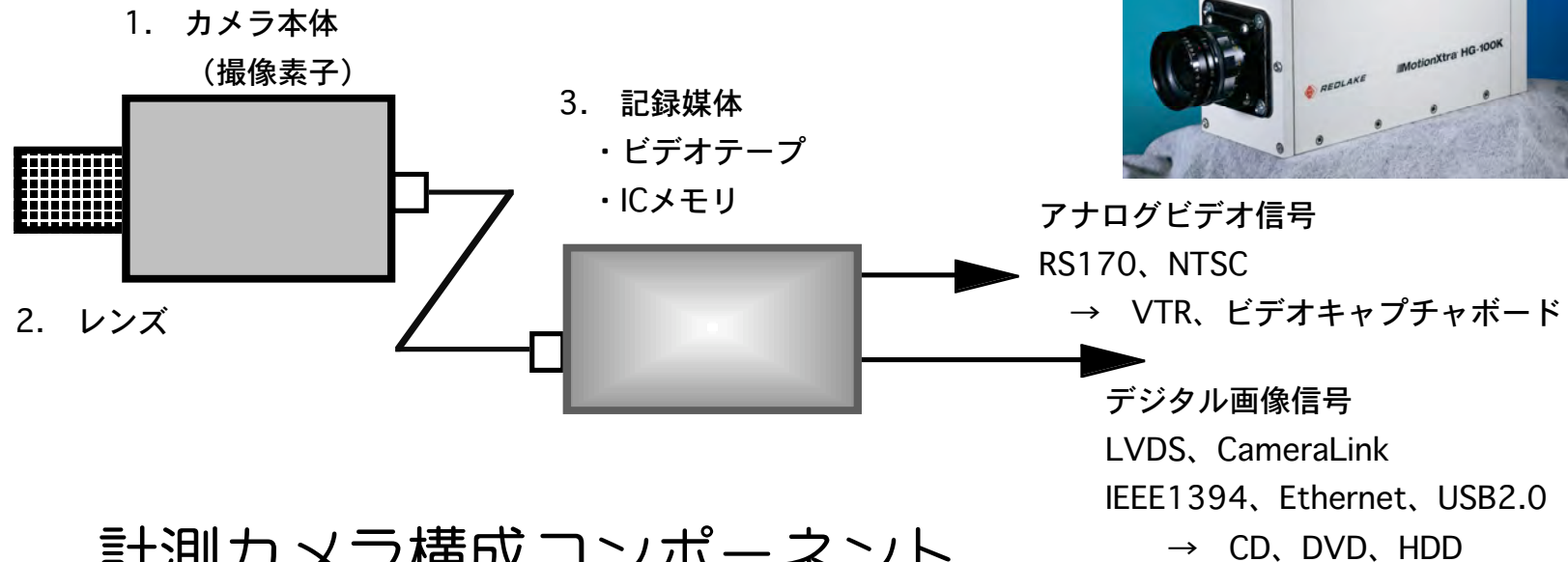
の範囲での露出時間と必要照度の関係

上図中の上限ラインは、ASA100、レンズ絞りF5.6

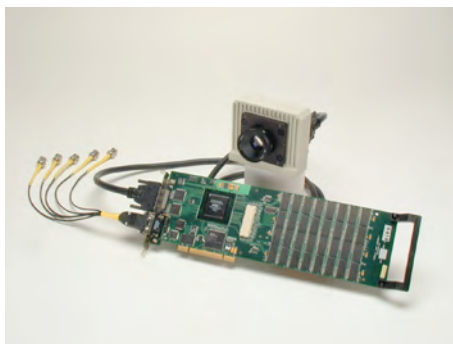
下限ラインは、ASA400、レンズ絞りF1.4の値を示す。



4. 計測カメラの基本構成



計測カメラ構成コンポーネント



高速度カメラの種類

カメラの方式	一般的な撮影速度	代表的カメラ	用途
①映画カメラ	24～150	ARRI 16SR, 535	映画撮影、特殊効果
②フィルム揺き落とし式カメラ	10～500	Photo Sonics 161PL	自動車安全実験
③ロータリプリズム式カメラ	300～10,000	nac E-10	エンジン燃焼研究
④ロータリミラー式カメラ	1,000～1,000,000	Cordin 126	爆発、放電
⑤連動シャッター/ オンチップメモリ式カメラ	1,000 ～100,000,000	IMACON468 島津 HPV-1	衝撃波、インクジェット
⑥高速度ビデオ（テープ式）カメラ	30～1,000	nac HSVシリーズ	製造工程機械の不具合
⑦高速度ビデオ（ICメモリ式）カメラ	30～100,000	Redlake HG-100K Photron, nac, Phantom	噴霧、燃焼、流れの可視化
⑧高速度ビデオ （PCIボード式）カメラ	30～10,000	Redlake MotionPro, Photron	

計測カメラ構成要素に求められる性能

1. カメラ本体 撮像素子

- ・平面性あって、画素にバラツキがないこと。
- ・十分な情報力を持っていること（解像力）。
- ・十分な階調を持っていること。
- ・必要に応じて色情報が得られること。
- ・十分な感度があること。
- ・十分な撮影速度を持つこと。
- ・十分な露出（シャッタ）が切れること。

2. レンズ

- ・歪みがないこと。
- ・明るい（光の集光が良い）こと。
- ・解像力が良いこと。
- ・互換性の高いレンズマウントであること。

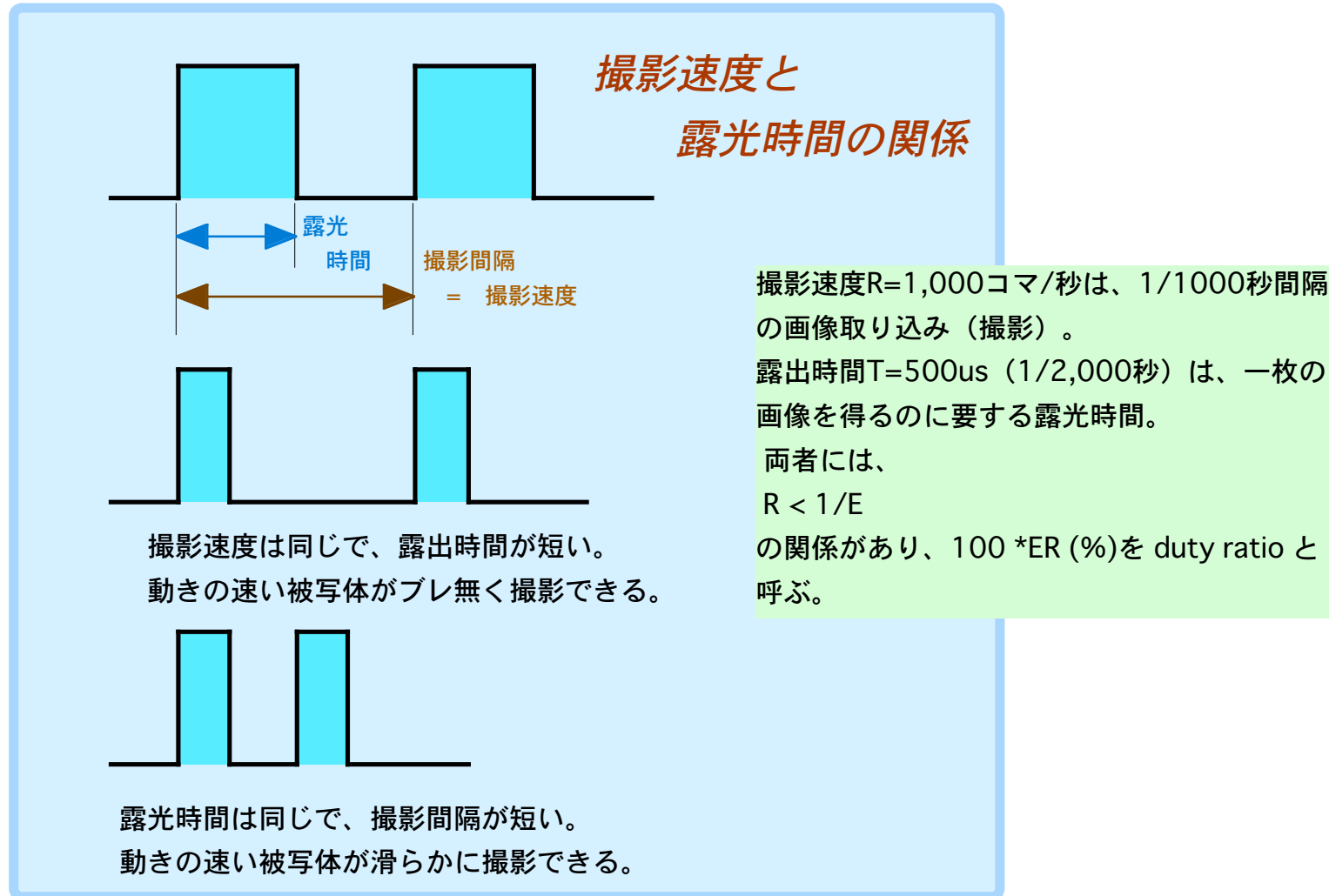
3. 記録媒体

- ・十分な記録時間があること。
- ・記録、再生のアクセスが容易。
- ・長期間の保存に耐えること。
- ・民生機器との互換性が良いこと。

4. 出力形態

- ・一般規格の情報出力であること

動画カメラの撮影速度と露光時間の関係



計測カメラ

1. フィルムカメラ

- ・ 「写ルンです」
- ・ ポラロイド・インスタントカメラ
- ・ チェキ
- ・ ライカサイズ 35mmカメラ
- ・ 6x7、6x6、6x45カメラ
- ・ 4x5、10x12 シートフィルムカメラ
- ・ 16mm、35mm、70mm映画カメラ
- ・ 120mm、210mmロールフィルムカメラ

2. CCDカメラ

- ・ 8mmビデオ
- ・ デジカメ
- ・ 放送局用カメラ
- ・ 高解像力カメラ
- ・ 高速度カメラ
- ・ 冷却型CCDカメラ
- ・ 電子シャッターカメラ

3. マルチスペクトルカメラ

- ・ 3-CCDカメラ
- ・ 赤外線、紫外線カメラ

4. CMOSカメラ

- ・ デジカメ
- ・ 高速度カメラ
- ・ 携帯電話カメラ

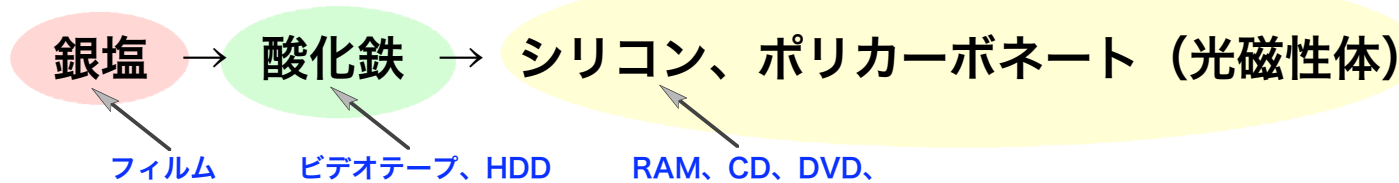
5. 撮像管カメラ

- ・ ビジコンカメラ
- ・ サチコンカメラ

6. 超高感度カメラ

- ・ イメージインテンシファイア付カメラ

画像記録材



カメラの目

=

感光物質

→

シリコン

Ag、Cs、Na、Te、Ga、As
硫化カドミウム (Cds)、一酸化鉛 (PbO)、セレン化カドミウム (CdCe)、三硫化アンチモン (Sb₂S₃)

シリコン結晶による

光の起電力の発見

(1940年米国ベル電話機研、ラッセル・オール
シリコン結晶の組成を調べている時、偶然の発見)

■ 光起電力効果

光電効果

■ 光導電効果

フォトン (光エネルギー $h\nu$) により電荷が発生。
セレン (Ce)、硫化カドミウム (Cds)
シリコン半導体 (Si)

フォトン (光エネルギー $h\nu$) により電気抵抗が変化。
ビジコンチューブに使われた三硫化アンチモン (Sb₂S₃)

カメラと周辺機器 - カメラ撮像素子

ビデオ撮像素子の種類と特徴

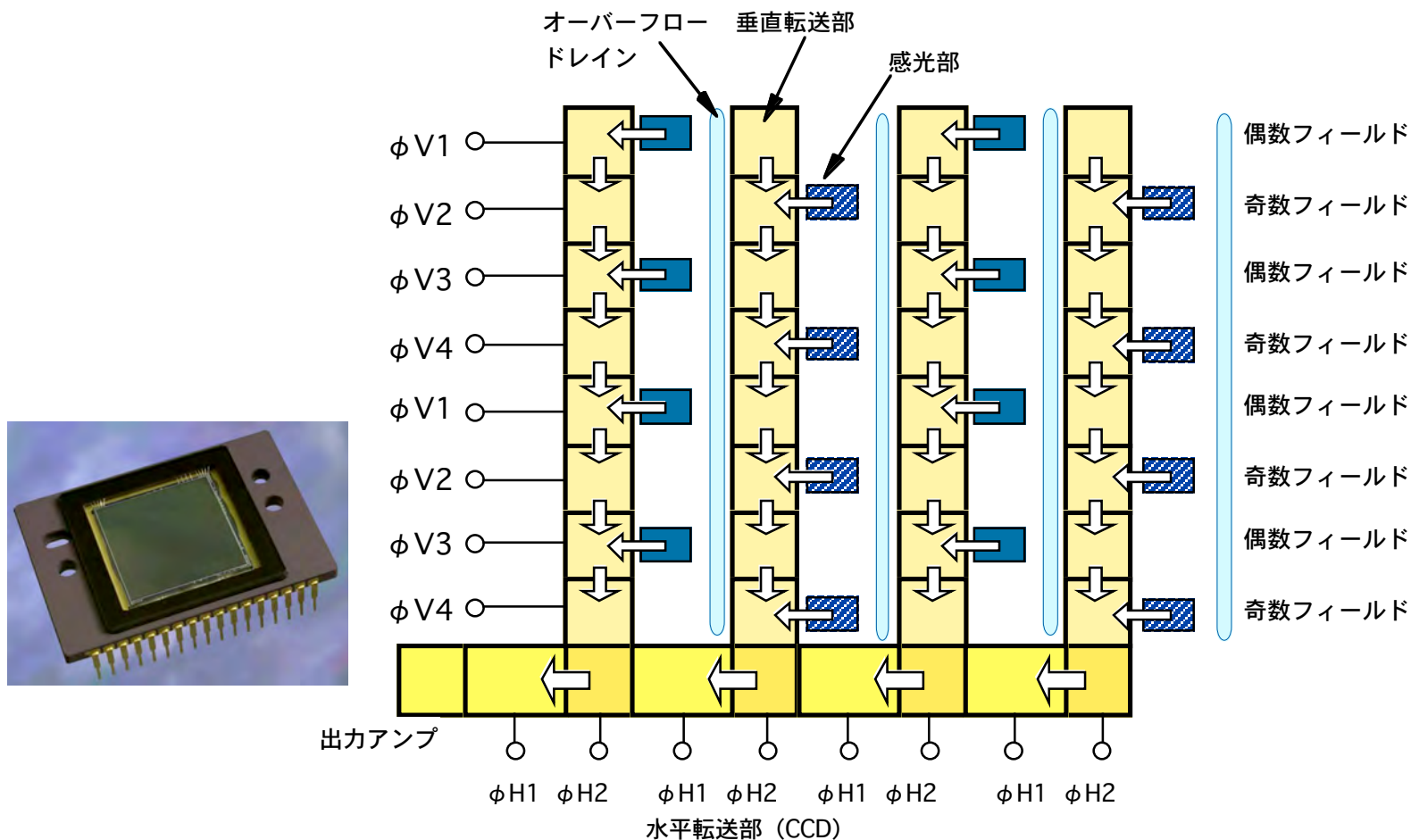
①電子撮像管

- **ビジコン** 最も一般的な撮像管
- **サチコン** NHKと日立の開発した高感度撮像管
- **カルニコン** 東芝の開発した高感度撮像管
- **プランビコン** フィリップス開発の低残像撮像管
- **イメージダイセクタ** 任意の偏向可能、残像無しの非蓄積管
- **SIT** RCAの開発した超高感度撮像管

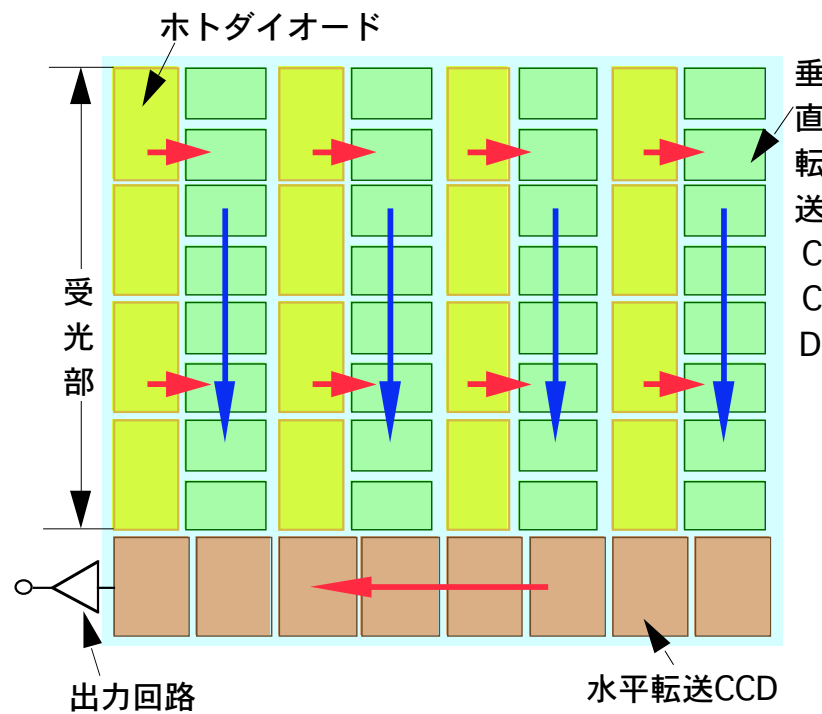
②固体撮像素子

- **インターラインCCD** 通常のCCDカメラ、Sonyが実用化
1ライン毎に読み出しレジスタに転送。高速シャッタ機能
比較的高速度（30～200コマ／秒）
- **フレーム
トランスファーCCD** 高解像力化に適応
低速度対応、セル（画素）間を蓄積電荷が移動。シャッタ機能なし
- **CMOS** 日立が実用化、
高速度対応（XYアドレス
スイッチング読み出し、低消費）
固有ノイズ、シャッタ問題をクリア。
- **CMD** オリンパスが開発
高速対応、2,000コマ／秒
シャッタ機能無し
- **ISIS** （島津・近畿大江藤剛治先生）

インターライン型CCD素子の撮像転送原理

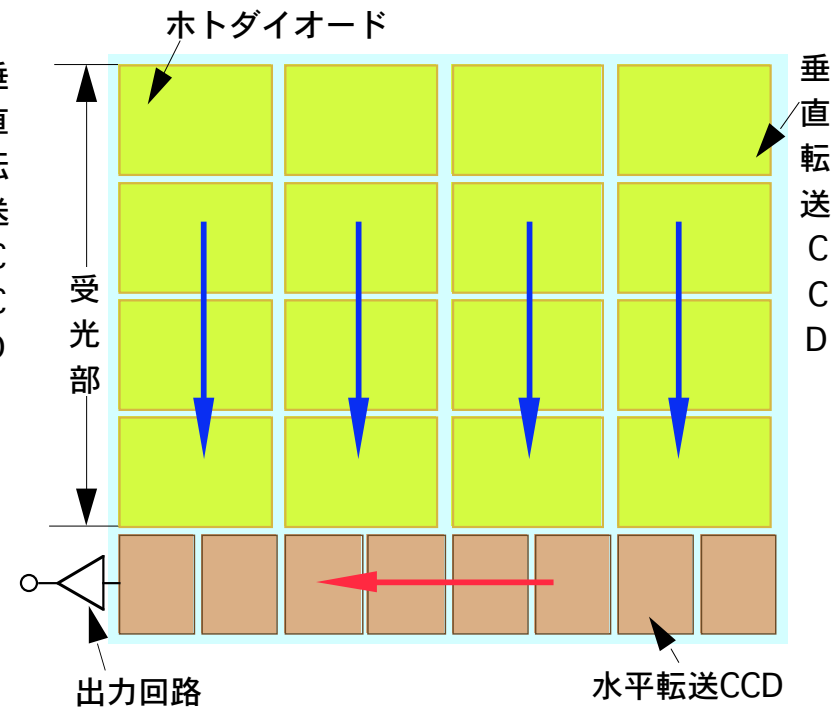


2種類のCCDの撮像方式・転送方式の違い



インターライン トランスファ型CCD (IT-CCD)

- ▲ 高速転送ができる
- ▲ 高速シャッタ可能
- ▲ 安価
- ▼ 開口率が低い
- ▼ 高画素化が不向き



フルフレームトランスファ型 CCD (FF-DCCD) (蓄積部なし)

- ▲ 受光容量が大きい
- ▲ 開口率 100%
- ▲ 高画素対応
- ▲ 転送ノイズが低い
- ▼ 高速転送不向き
- ▼ 高速シャッタ不可能

CMOS撮像素子

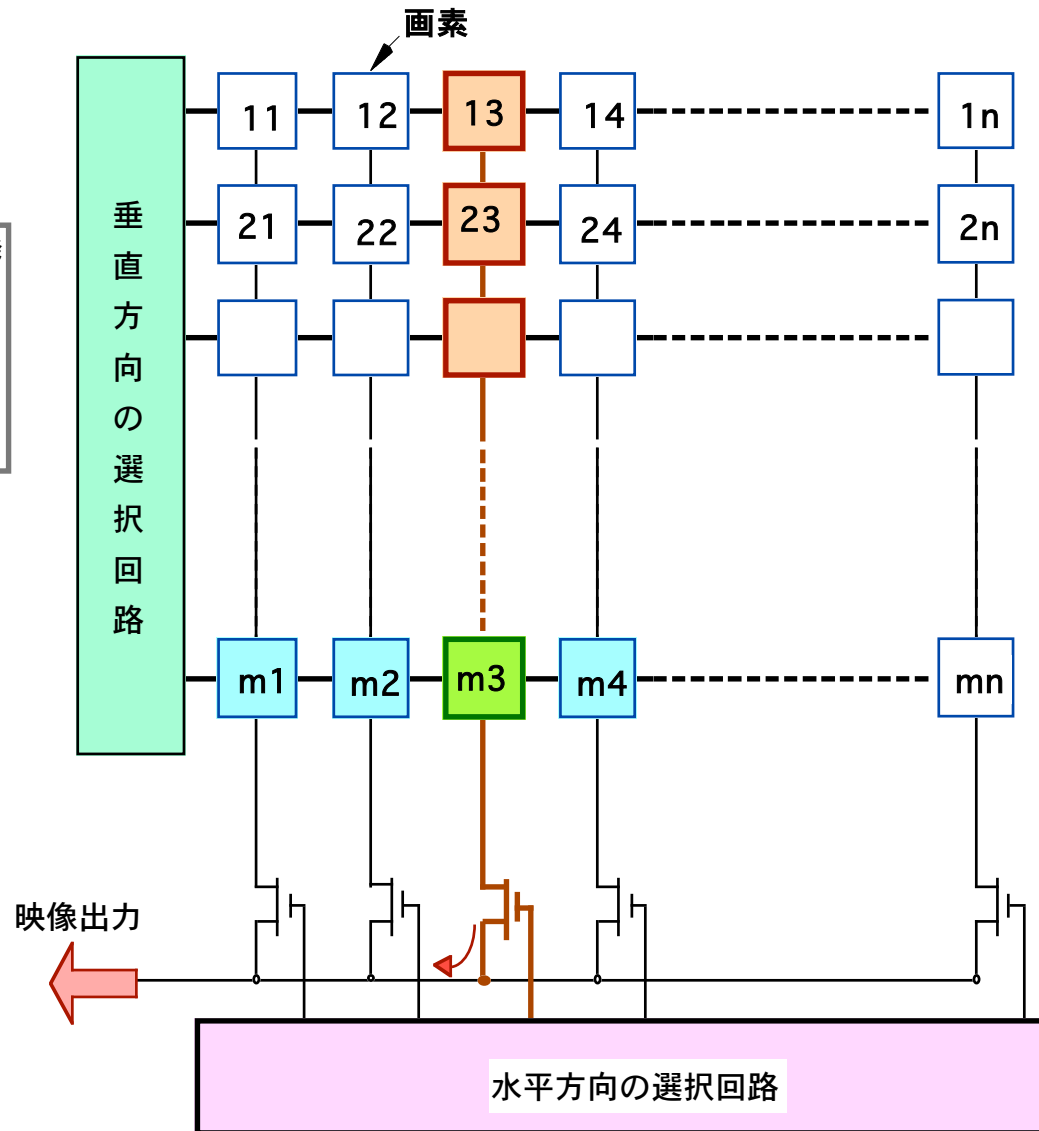
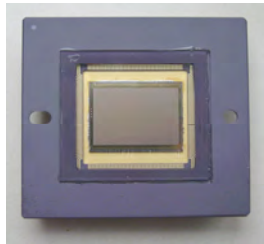
(Complementary Metal Oxide Semiconductor)

撮像方式・転送方式

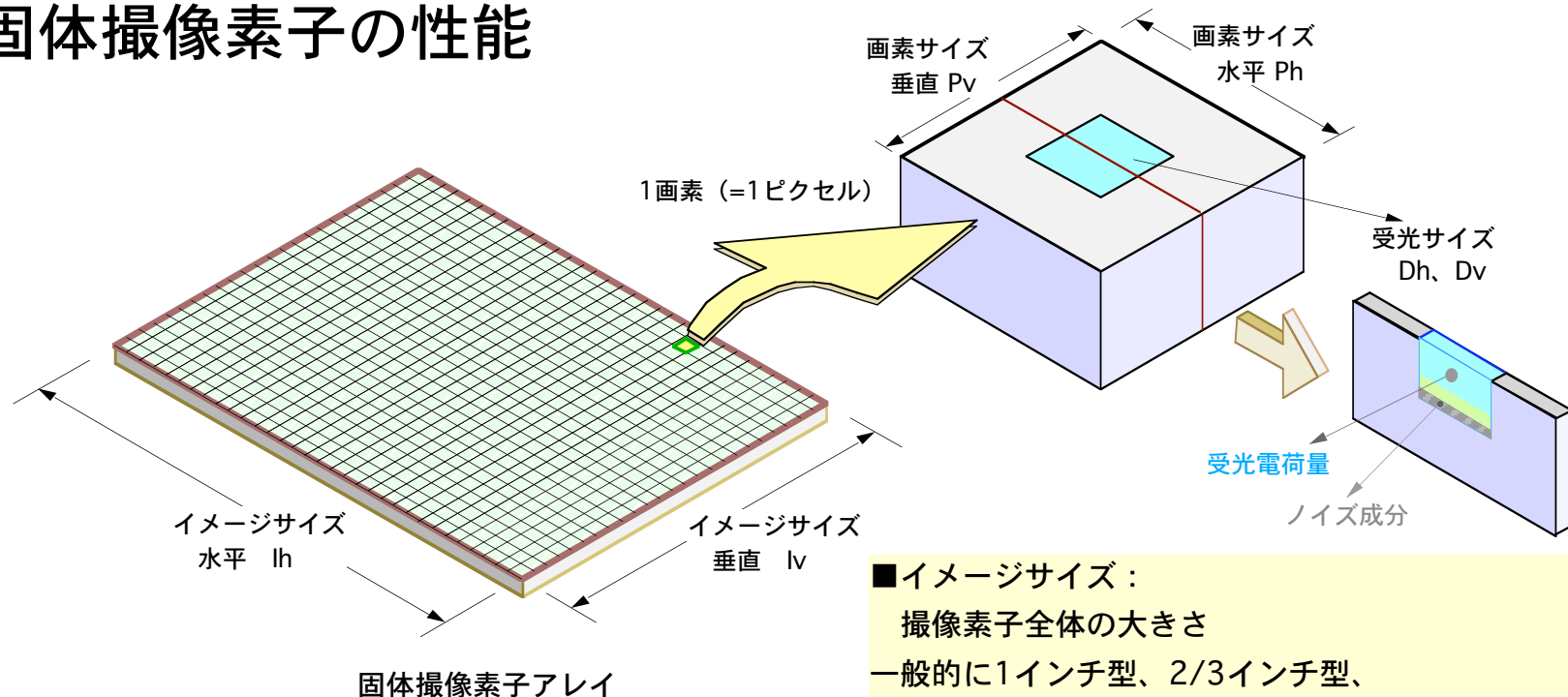
CMOS撮像素子はCCDと同年代の1970年代に開発されたが、画質が悪く1990年前半までに命はつきたかに見えたが、固有ノイズの除去に成功した1990年代末からは再び脚光を浴び始めている。
(高速度カメラのセンサーはほぼこのタイプの素子を使用。)

特徴：

- X-Yアドレス読み出しのため任意の取り出しが可能。
- CMOS技術で製作可能作りやすい
- 消費電力が低い
- トランジスタスイッチングによる読み出しのためスイッチングノイズがでやすい。
- 高速度走査可能
- 受光容量は低い



固体撮像素子の性能

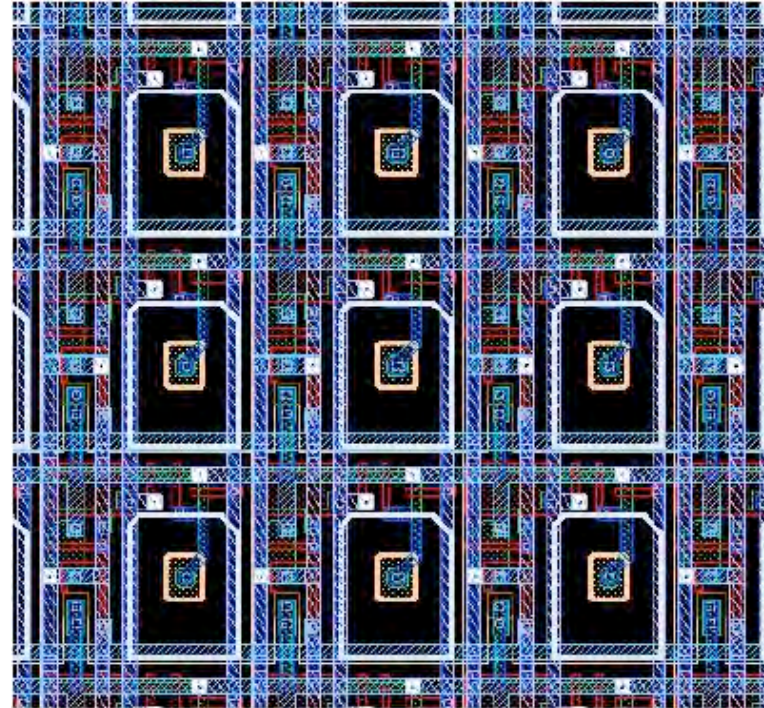


- 画素数 (pixels) :
画像を得る単位。縦x横の数で表す
- 画素サイズ :
一画素あたりの大きさを表す。
- 開口率 (Fill Factor) :
画素サイズあたり光が受ける面積の比。
フルフレームトランスファタイプは100%

- イメージサイズ :
撮像素子全体の大きさ
一般的に1インチ型、2/3インチ型、
1/2インチ型という呼び名で示される。
- 受光容量 (dwell) :
1画素に光を蓄えることができる能力。
エレクトロンで表されることが多い。
- 階調 :
受光した光のデジタル階調。8-16ビット
- S/Nおよびダイナミックレンジ :
受光した真の光成分とノイズ成分の比

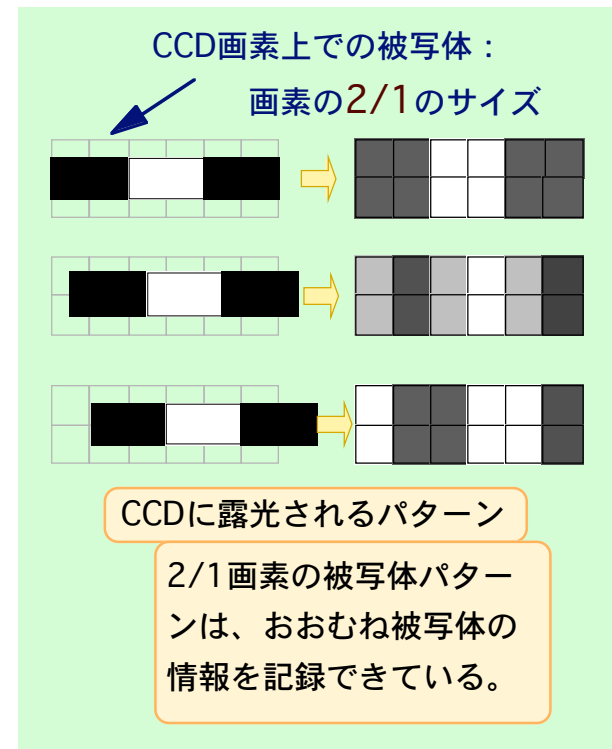
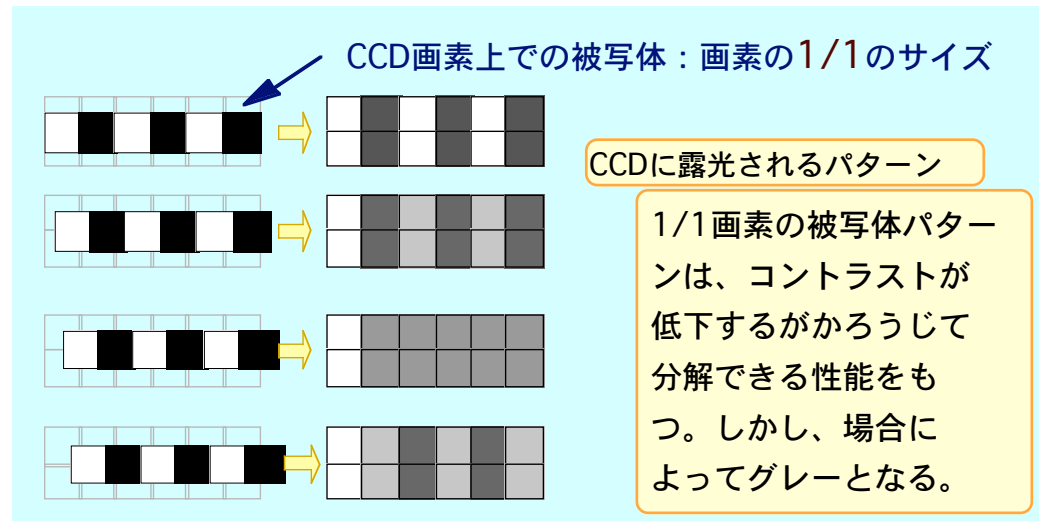
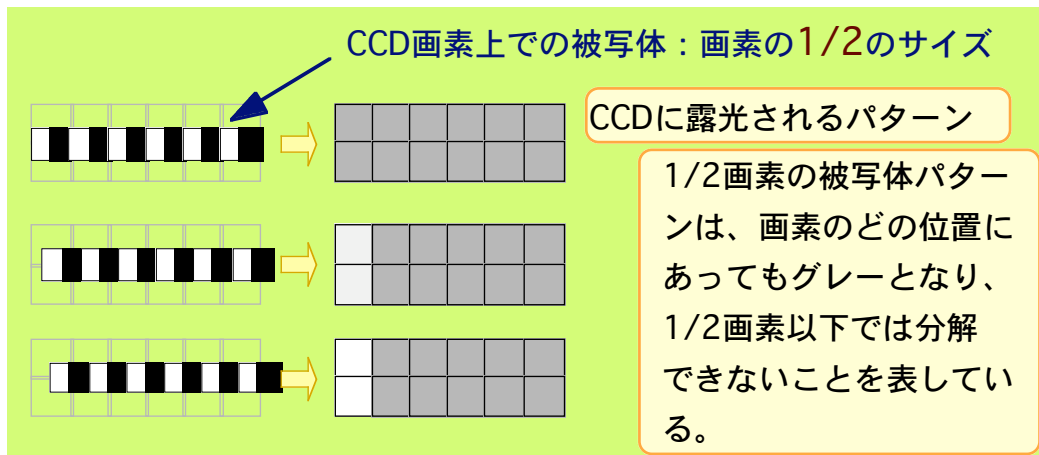
CMOS撮像素子の画素パターン

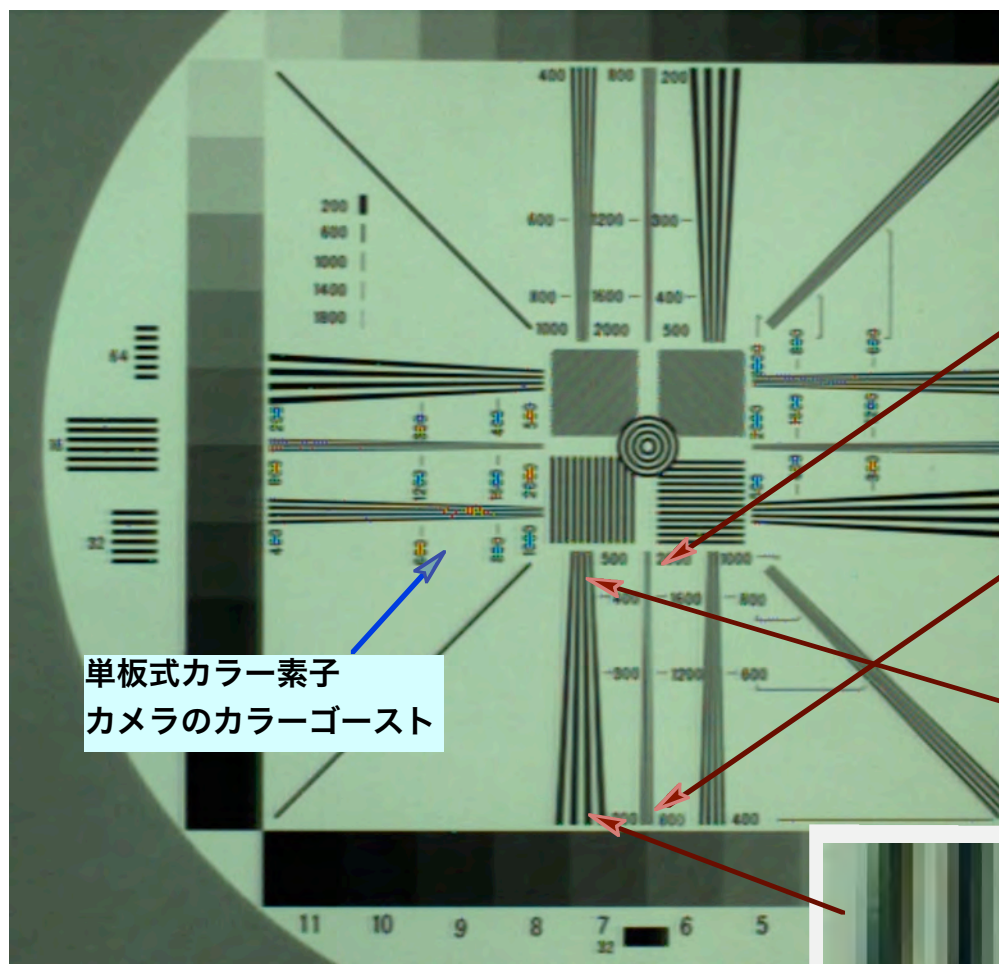
- 撮像素子の配列パターン
四角い窓が受光部。撮像素子の受光部は全面で受光するわけではなく、飛び飛びの受光部で光を受ける。
- 開口率 (Fill Factor) :
画素サイズあたり光が受ける面積の比。
フルフレームトランスファタイプは100%
- 受光された電荷は、転送回路で次段に送られる。
転送回路などの配線は、0.35 μ mルールで作られている。





CCDの解像力性能

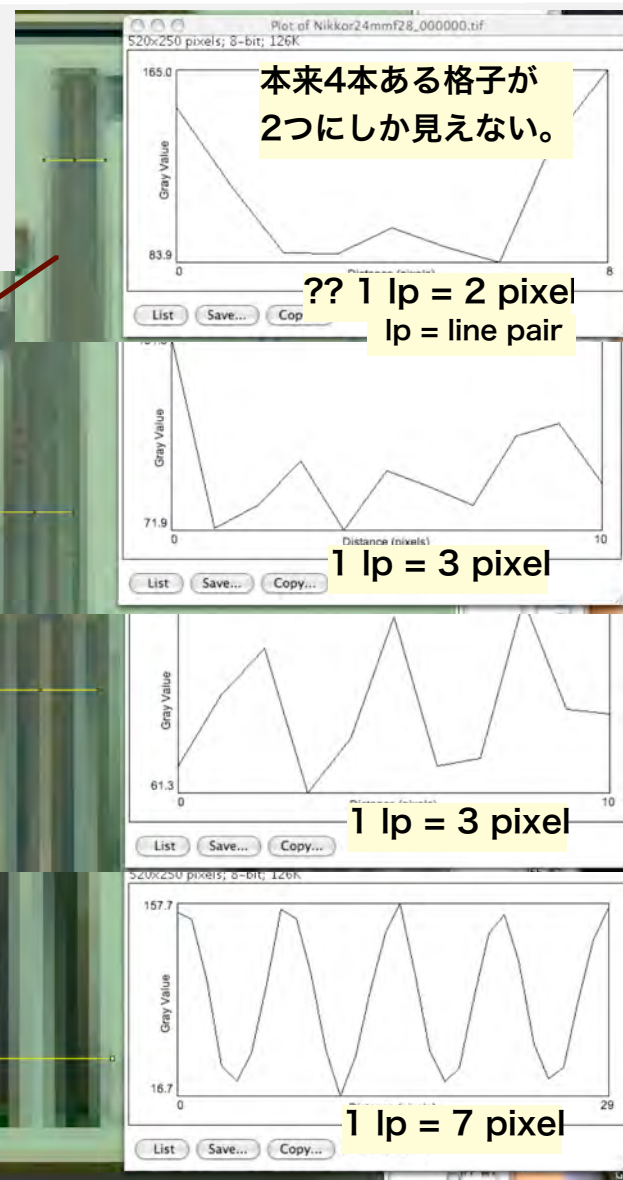




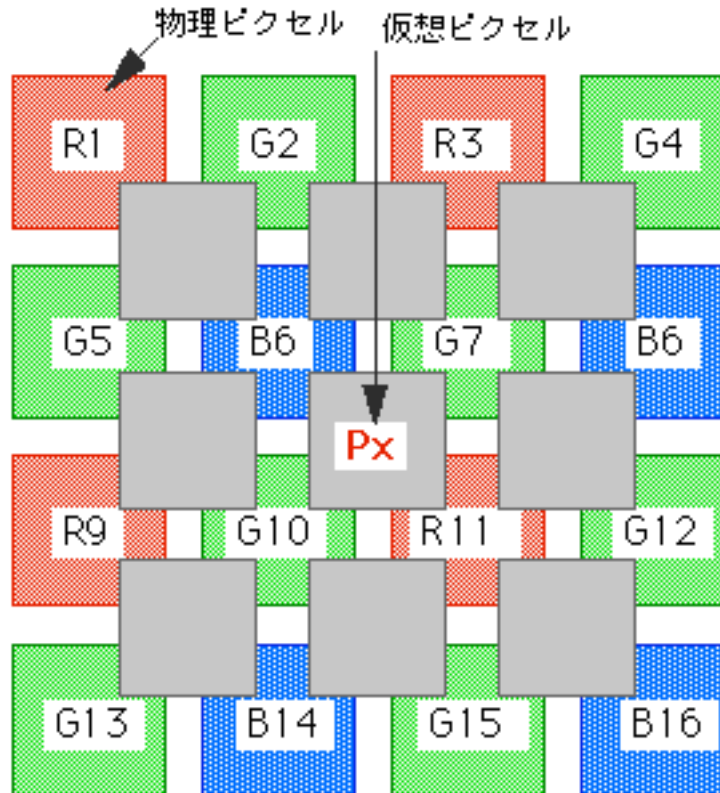
単板式カラー素子
カメラのカラーゴースト

カラーカメラによる 解像力チャート撮影

1組の格子 (1 lp)
を読み取るには4画素必要



単板式カラー撮像素子



カラーフィルタ方式CCD

- 一枚の固体撮像素子を使っている単板カラーカメラは、左のようなRGBモザイクフィルタが素子の上に貼り合わされている。
- 画像情報は、一旦白黒濃度情報として記録され、再生時カラー処理される。
- カラー情報は、仮想ピクセル (Px) の回りの画素のR,G,Bピクセル情報から算出される。
- この手法は、Bayer手法と呼ばれる。1960年代Kodak研究所にいたBryce Bayer博士が特許・考案したフィルタ処理。カラーフィルムの一手法だった。1993年に特許が切れる。

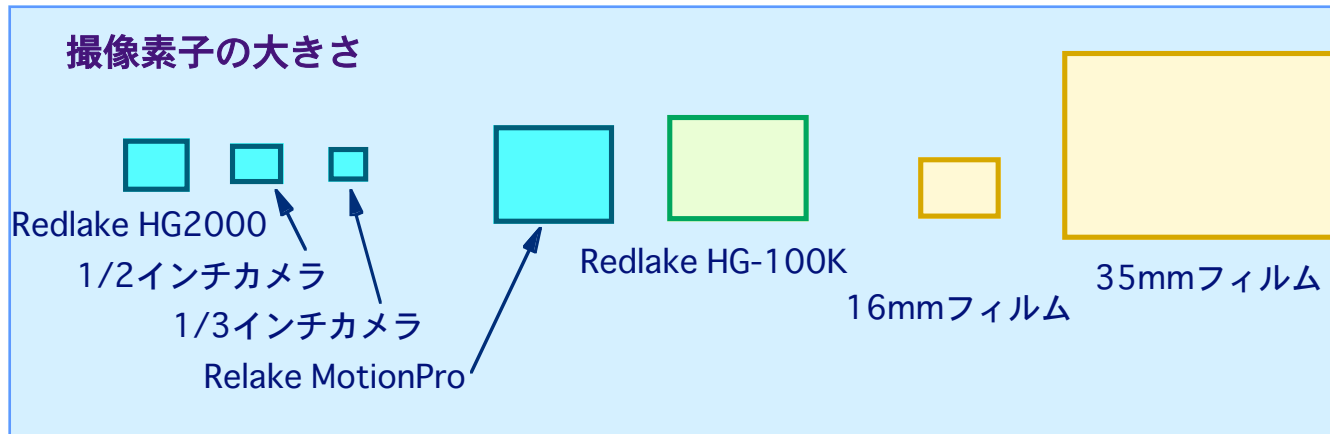
$$P_{\text{green}} = (G7 + G10)/2$$

$$P_{\text{red}} = (9 \cdot R11 + 3 \cdot R3 + 3 \cdot R9 + R1) / 16$$

$$P_{\text{blue}} = (9 \cdot B6 + 3 \cdot B8 + 3 \cdot B14 + B16) / 16$$

カラーフィルタは、RGB式の他にCMY（補色）式があるが、色合いが悪く現在のデジタルカメラはRGB式が主流である。

撮像素子の大きさ

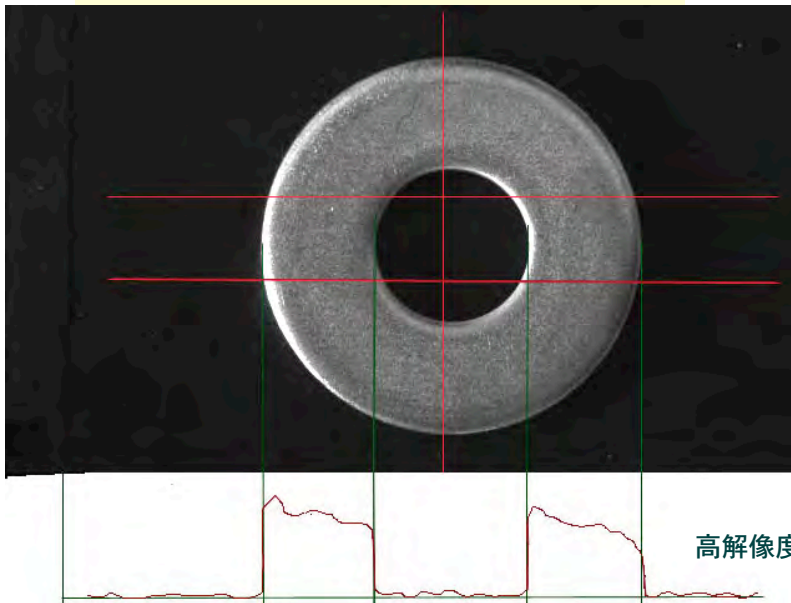


- ・ 基本的に撮像素子が大きいものほど画素数が多い。
- ・ 基本的に撮像素子が大きいものほど感度が良い。
- ・ 撮像素子が大きいものは、イメージサークルの大きいカメラレンズを使う必要がある。
- ・ 一般のCCDカメラは、1インチサイズ、2/3インチサイズ、1/2インチサイズ、1/3インチサイズ、1/4インチサイズがある。

計測用カメラの仕組み

特徴

- 撮像素子がメガピクセル
- 濃度/受光の品質が良好
- 画像ノイズが極小
- トリガ信号による取り込み
- デジタル出力
- 画像ボード対応
- 汎用の画像ファイルフォーマット対応



カメラモデルと性能

■インターライン型（電子シャッター）

ES 1.0 1008(H) x 1018(V) - 8/10 Bit - 30 FPS

ES 4.0/E 2048(H) x 2048(V) - 8 /10Bit - 15 FPS

ES11000 4008(H) x 2672(V) 12bit - 4.63 FPS

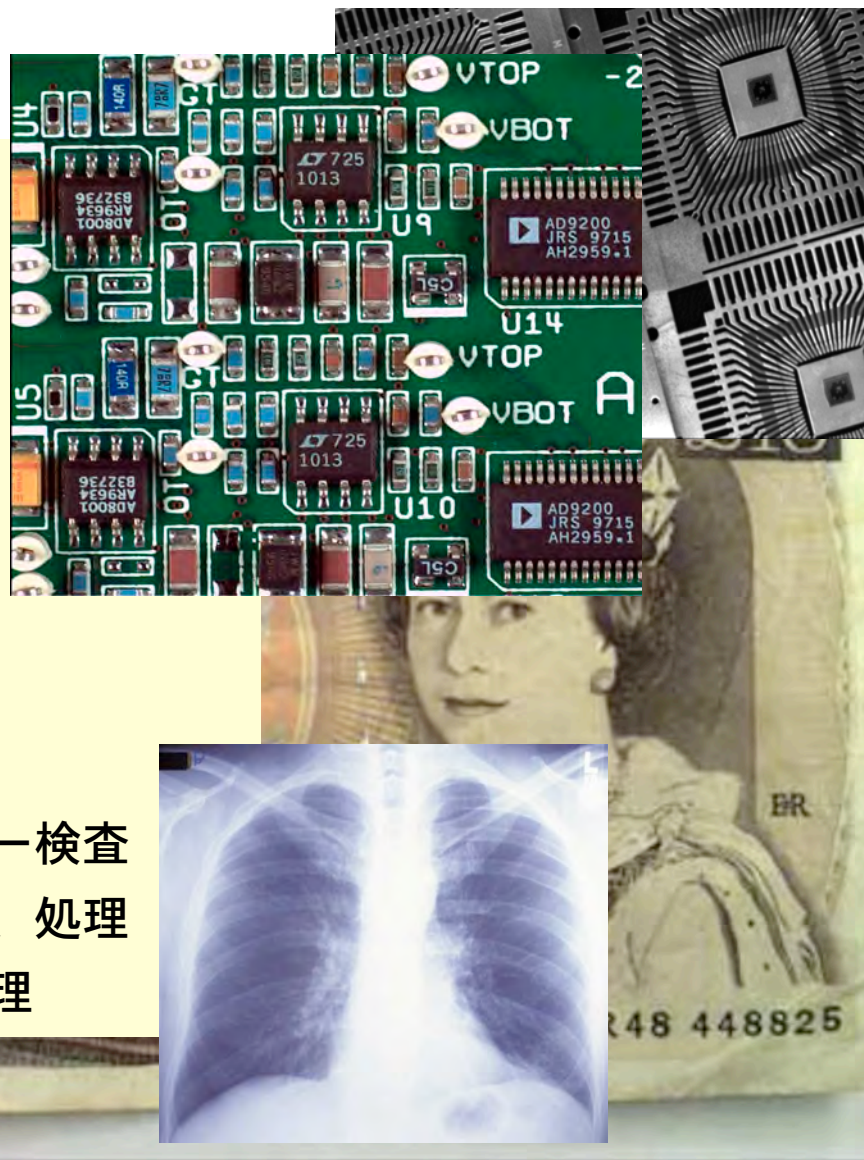
■フレームトランスファ（100%開口率）

1.6i 1534(H) x 1024(V) - 10 Bit - 5.5FPS

4.2i 1008(H) x 1018(V) - 8/10 Bit - 2.1FPS

計測用カメラの使われ方

- 撮像素子がメガピクセル
 - 微細な構造観察
 - ICパターンの製造チェック
 - 形状チェック
 - 微粒化の粒径分布
 - X線撮影（欠陥の検出）
 - 紙幣、指紋などの鑑識
- 濃度/受光の品質が良好
 - 液晶パネルの輝度測定
 - フラットパネルディスプレイ検査
- コンピュータによる操作、保存、処理
 - 計測の自動認識、識別、処理



高感度カメラ

高感度カメラとは？

- 微弱な光を検出
- 長時間露光でもS/Nが良好
- 素子を冷却



露出： 250us
ゲイン： 2
ビンニング： 2x2
レンズ絞り： F1.4



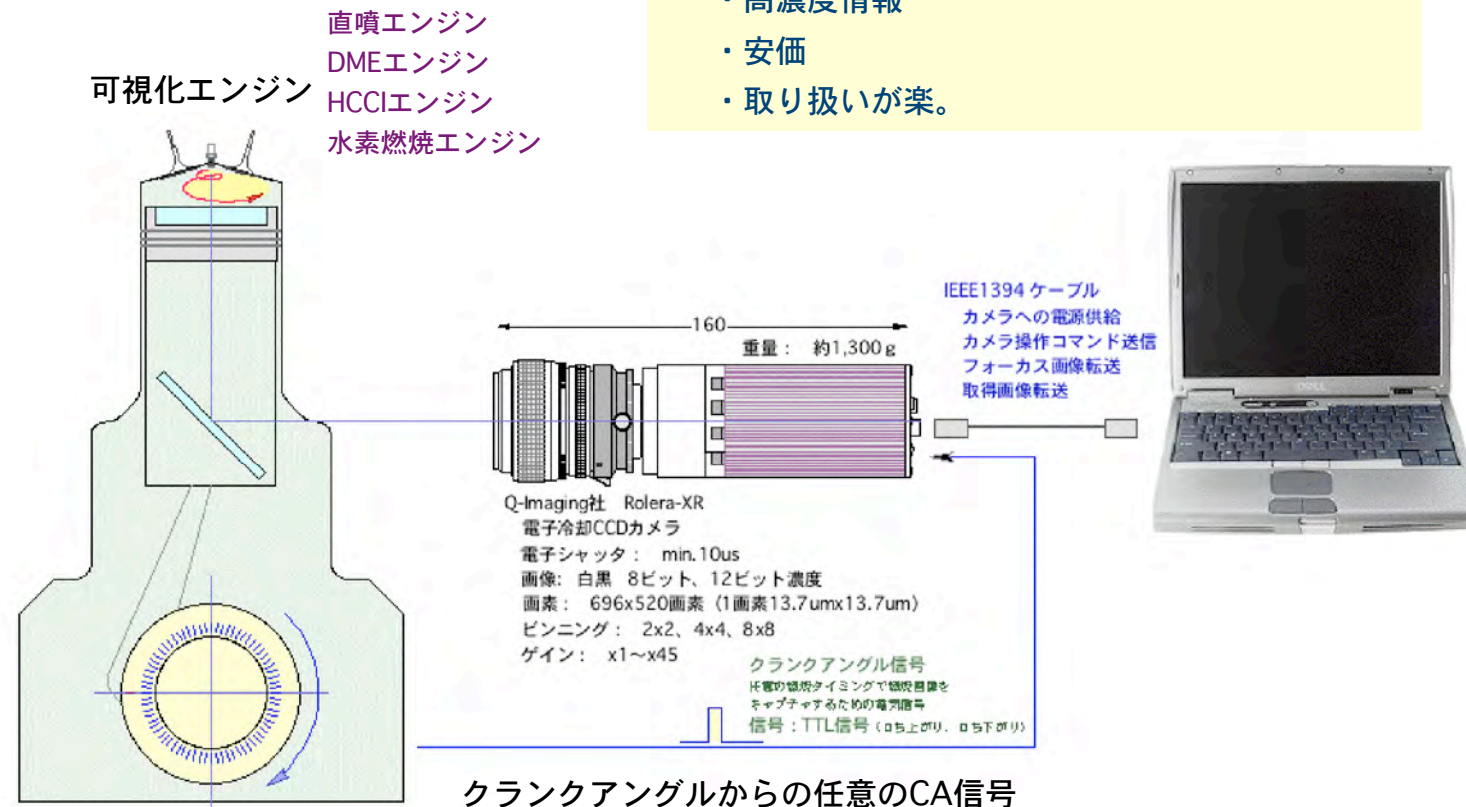
Q-Imaging Rolera 白黒カメラ



高感度カメラによる希薄燃焼への応用

高感度カメラは、I.I.付きカメラより感度はないものの

- ・ 高画質画質
- ・ 高濃度情報
- ・ 安価
- ・ 取り扱いが楽。



高速度カメラの仕組み

撮像素子： CMOS センサ

有効画素数： 1504x1128

最高解像度で1000コマ/秒の録画速度

スプリットフレーム録画で

100.000 コマ/秒の録画速度

高感度

電子シャッタ： <5 μ s

拡張メモリ可能

全方向100Gの耐G性能

録画中のライブ画像出力機能

メモリ保持用バックアップバッテリー内蔵

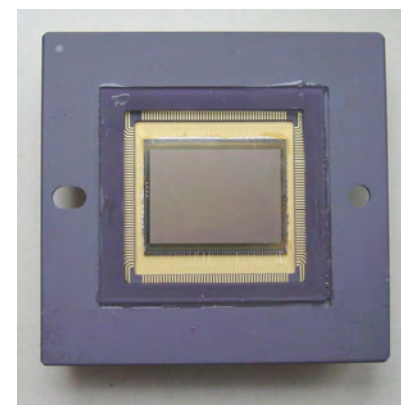
HG/CR2000 and HG-TX2000 に100% のコンパチビリティ

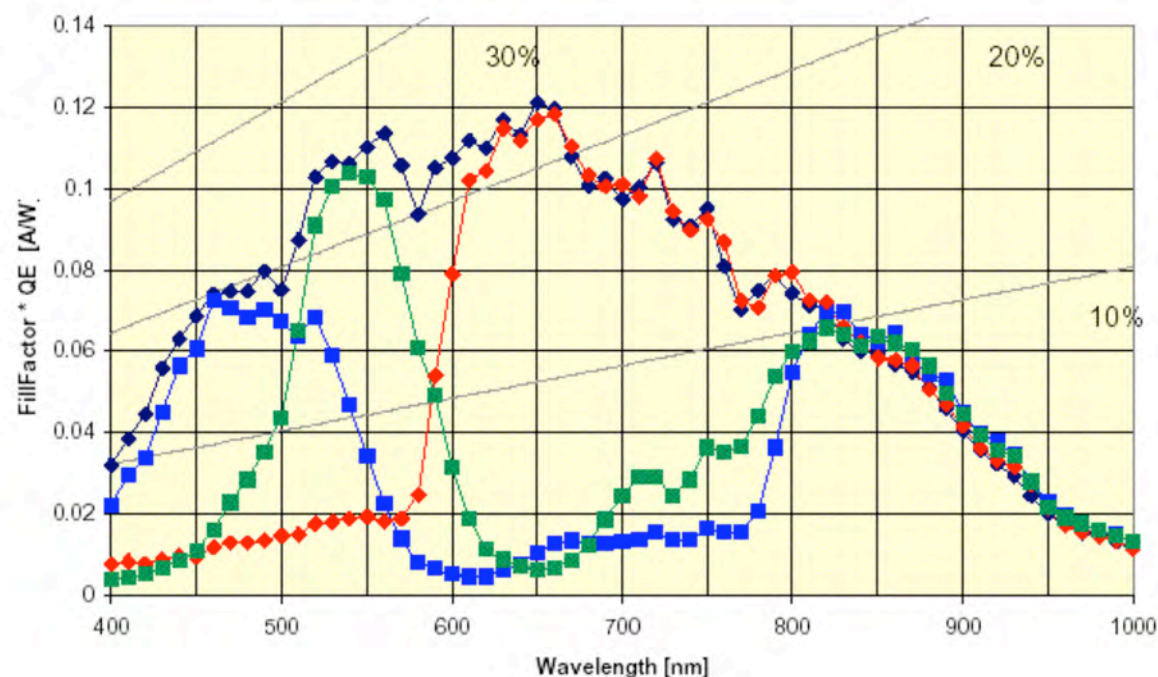
高速コミュニケーションの1000-Base-T-Ethernet

Bayer-2, TIFF 及びMotionJPEGの画像フォーマット出力



Redlake MASD model HG100K





Sensor design: 0,35 μm
 Pixel size: 12 x 12 μm
 フィルファクタ: 45%
 ダイナミックレンジ: 60+ dB

感度:

Color : 400 ASA相当
 (HG2000 / 200 ASA)

Mono : 1,600 ASA相当
 (HG2000 / 800 ASA)

Resolution:

max. Frame rate:

1504 x 1128

1.000 fps

フレームレートに応じて解像度を選択

800 x 600

3.000 fps

512 x 512

5.000 fps

416 x 312

10.000 fps

128 x 100

50.000 fps

水平32画素、垂直8ピクセル毎

32 x 44

100.000 fps

8-Pixel-Steps

5. レンズ - 代表的なレンズ



Cマウントレンズ



高性能Cマウントレンズ



放送局用ENGズームレンズ



Nikkor広角レンズ



Nikkor標準レンズ



Nikkor望遠レンズ



Nikkorズームレンズ



拡大撮影用
ベローズアタッチメント



拡大撮影用
接写リング



レンズフィルタ



大判カメラ用Nikkorレンズ

レンズ性能

■ レンズ焦点距離 (focal length)

- ・ 平行光束が収束して一点に集まるレンズ屈折力の値
- ・ 焦点距離が短いほど屈折力が高い。
- ・ 広い範囲を撮影する広角レンズは焦点距離が短い。

■ レンズ明るさ (F stop)

- ・ 光を集める能力。F値で示される。
- ・ 口径比とも呼ばれ、レンズ有効径を焦点距離で割ったもの
- ・ F1.0から1.4、2、2.8、4と $\sqrt{2}$ ずつ増えていく。

値が低いほど明るい。明るさの限界はF0.5

■ レンズマウント

- ・ レンズ装着の互換性を持たせるための取り付け規格
- ・ ビデオカメラでは、Cマウント、改良型のCSマウント
ENGカメラのSONYマウント、フィルムカメラでは
ニコンFマウント、ペンタックスKマウントがある。

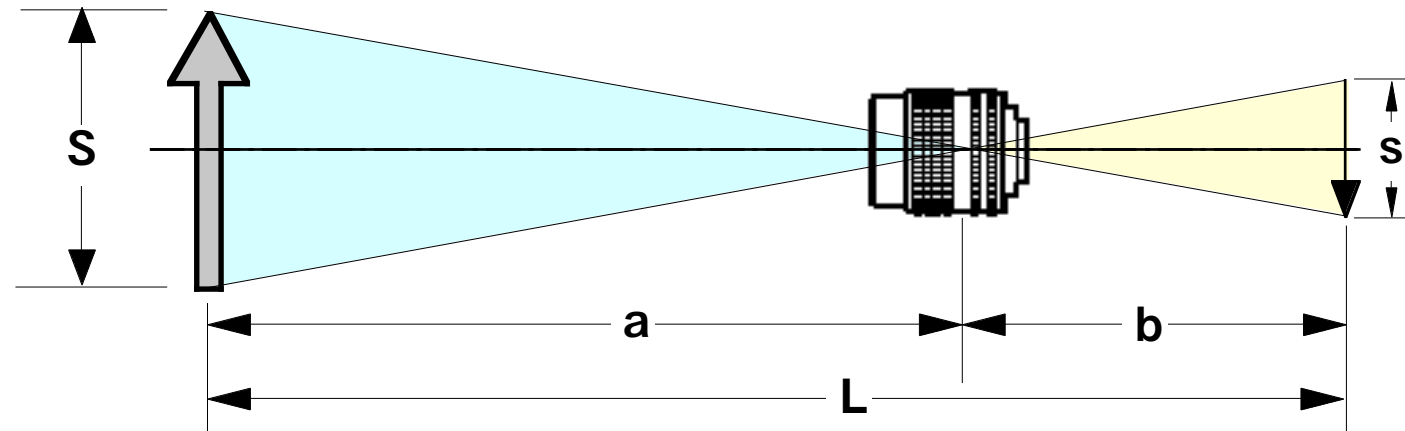
■ イメージサークル

- ・ 同じ焦点距離、レンズマウントでも撮像素子の大きさによって全てをカバーするレンズが必要。
- ・ ビデオカメラレンズでは撮像素子の大きさを2/3インチ、1/3インチと呼んでそのサイズにあったレンズを選択している。

■ レンズ収差

- ・ 非点収差、色収差、歪曲収差、コマ収差、像面湾曲、等。
収差のないレンズほど高性能。

レンズの選び方

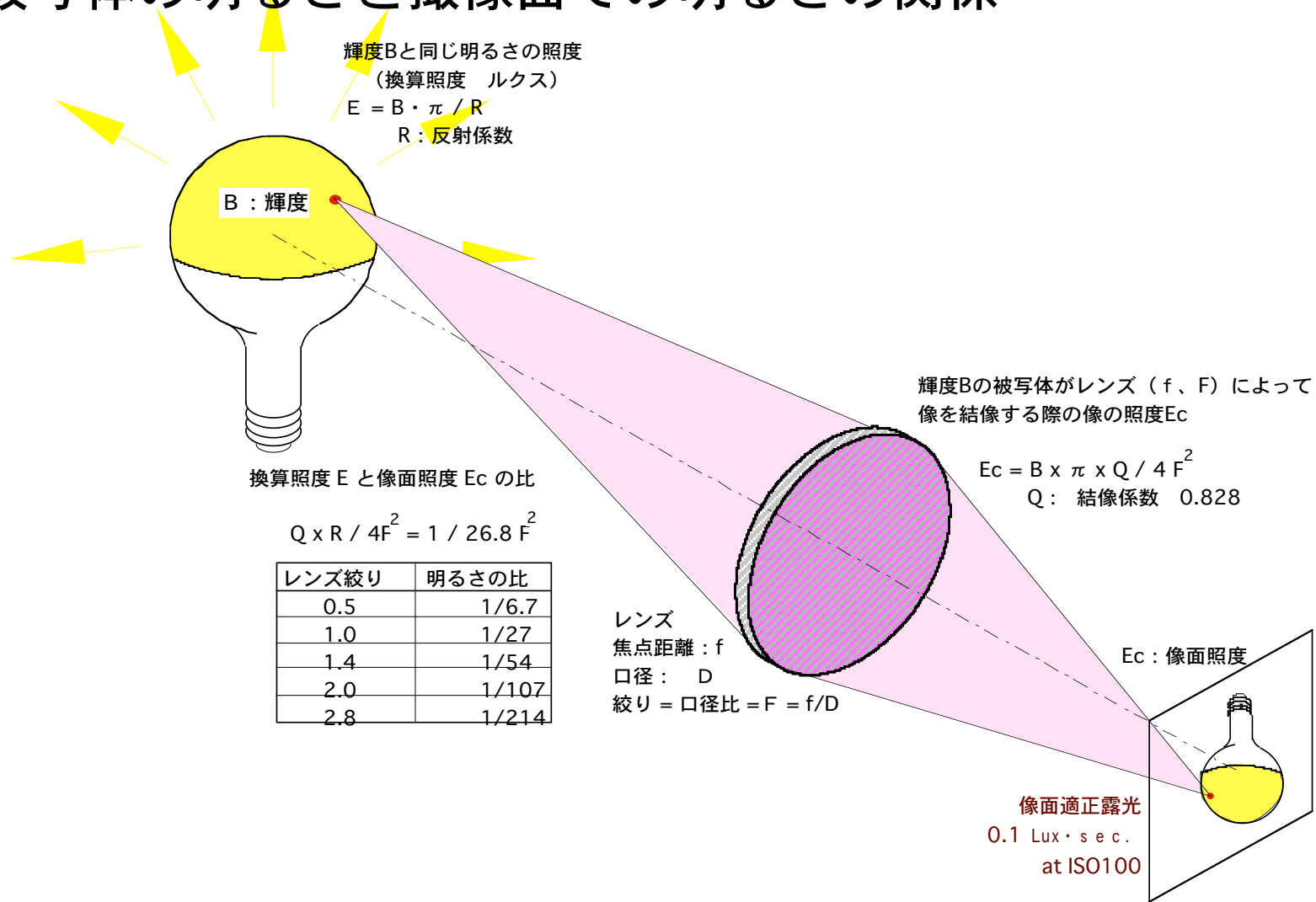


- $a = f \times (1 + 1/M)$
- $b = f \times (1 + M)$
- $L = a + b = f \times (2 + M + 1/M)$
- $M = s/S =$
撮像面の像の大きさ/被写体の大きさ
- $f =$ レンズ焦点距離

上式は、ガウスによるレンズの近似公式。

レンズは、被写体の大きさと撮影倍率、それに撮影距離で決定される。左式より、被写体が大きく、撮影倍率が低い場合は、レンズ中心から被写体までの距離は ∞ に近づき、レンズ中心から撮像面までは、レンズ焦点距離 $b = f$ となる。逆に被写体小さく拡大撮影するときは、撮影倍率が大きくなるため、被写体はレンズ中心から焦点位置に限りなく近くなり、レンズ中心から撮像面までの距離 b は大きくなる。ここでいうレンズ中心は光学的な中心でレンズによって異なる。

被写体の明るさと撮像面での明るさの関係



レンズの収差

収差

●単色での収差

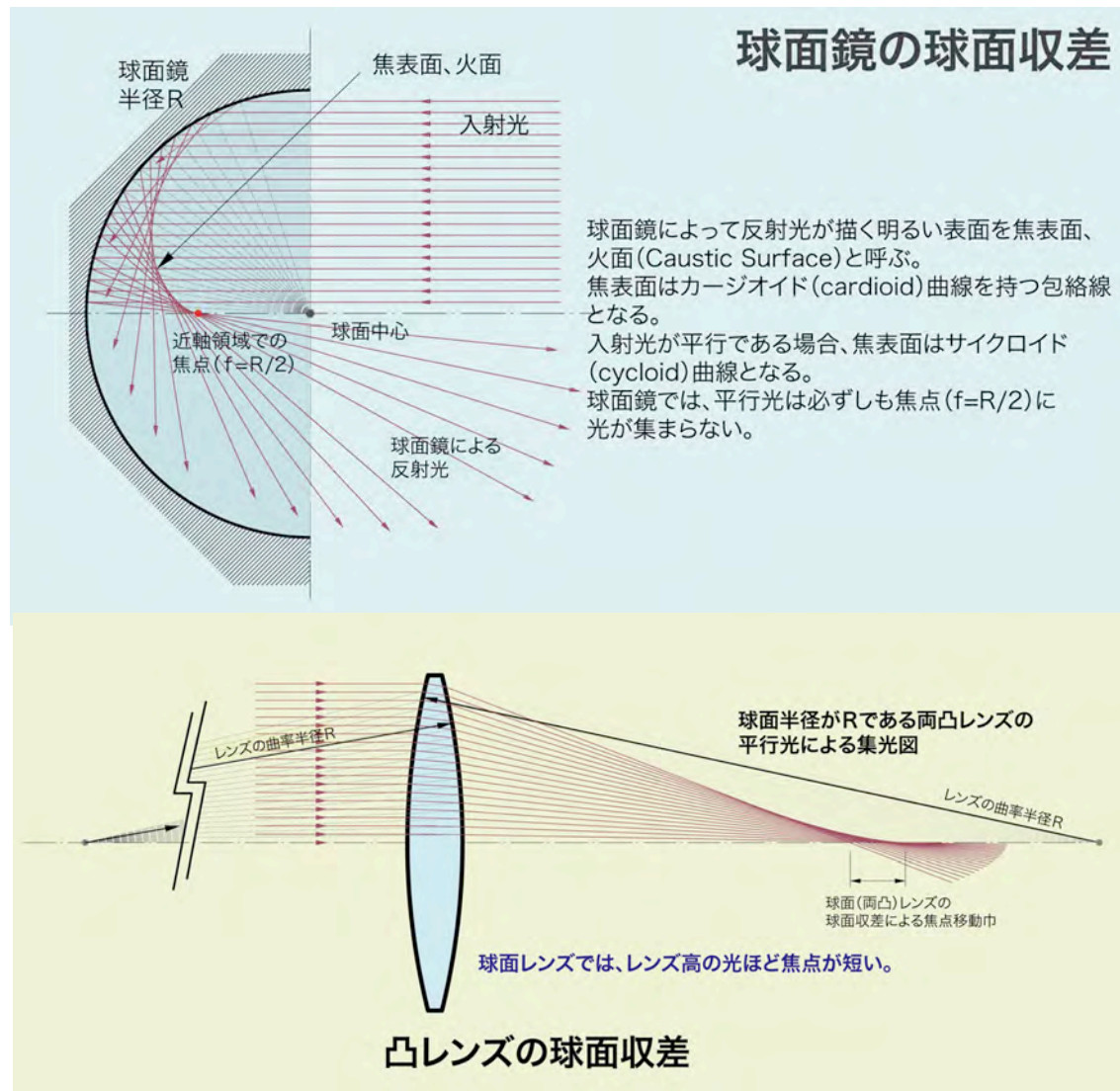
- 球面収差 - 軸上で焦点が合わない。
- 非点収差 - 光軸外で焦点が合わない。
- コマ収差 - 光軸外で放射状に彗星のような尾を引く。
- 歪曲収差 - 像の歪み。
- 像面湾曲 - 結像面上に像が集まらない。

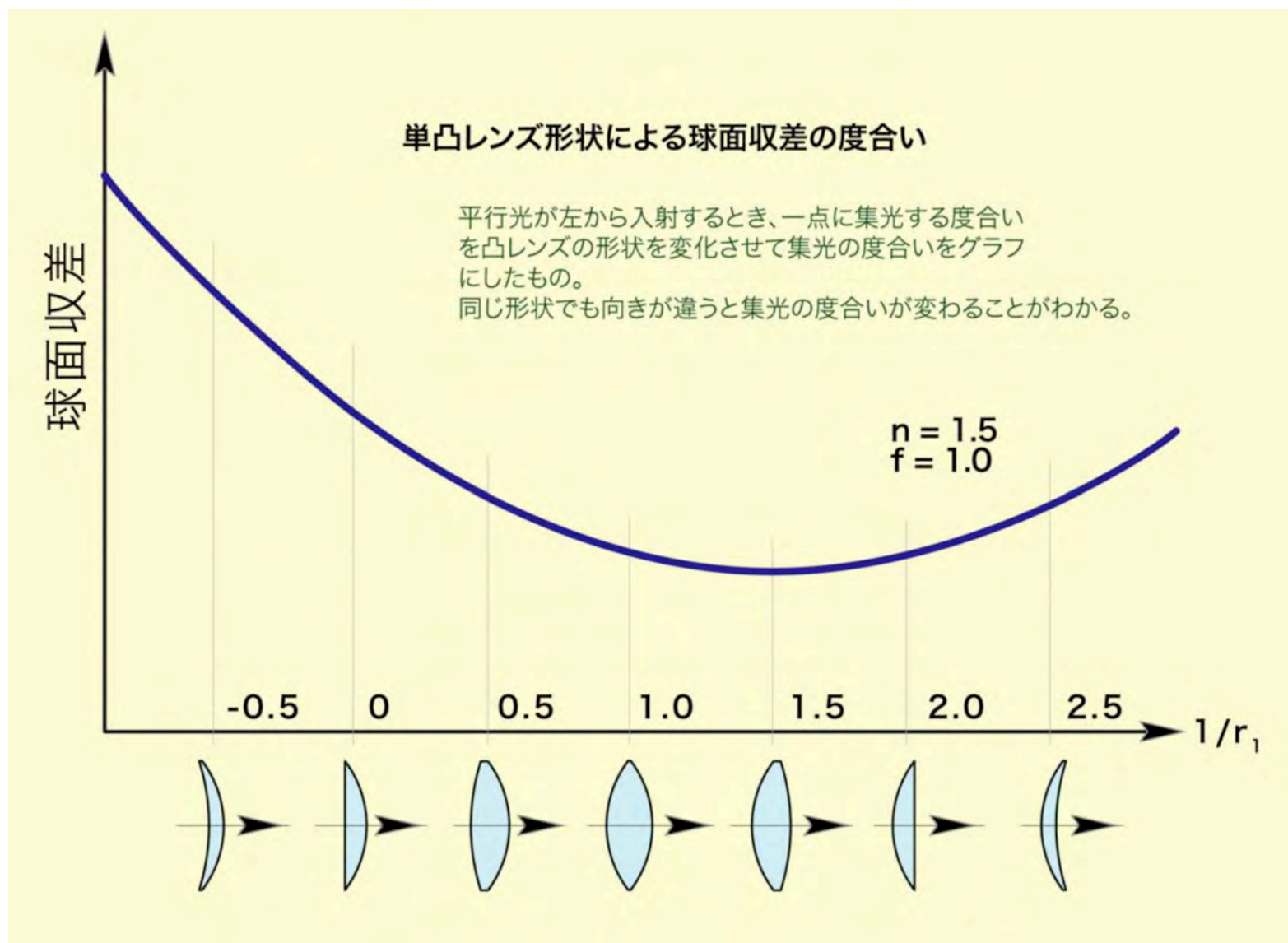
●多色の収差（色収差）

- 軸上収差 - 波長による屈折率の違いで光軸での焦点が合わない。
- 倍率色収差 - 色によって像の倍率が異なる。

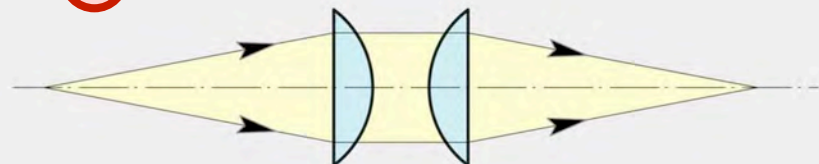
単色の5つの収差をザイデルの5収差という。

レンズの宿命 - 収差 (球面収差)



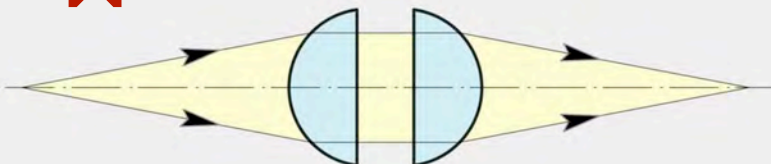


○ 良い組み合わせ



(A) 平凸レンズの凸面を背中合わせにした組み合わせ

✕ 悪い組み合わせ



(B) 平凸レンズの平面を背中合わせにした組み合わせ

光を集めるコンデンサーレンズの組み合わせ

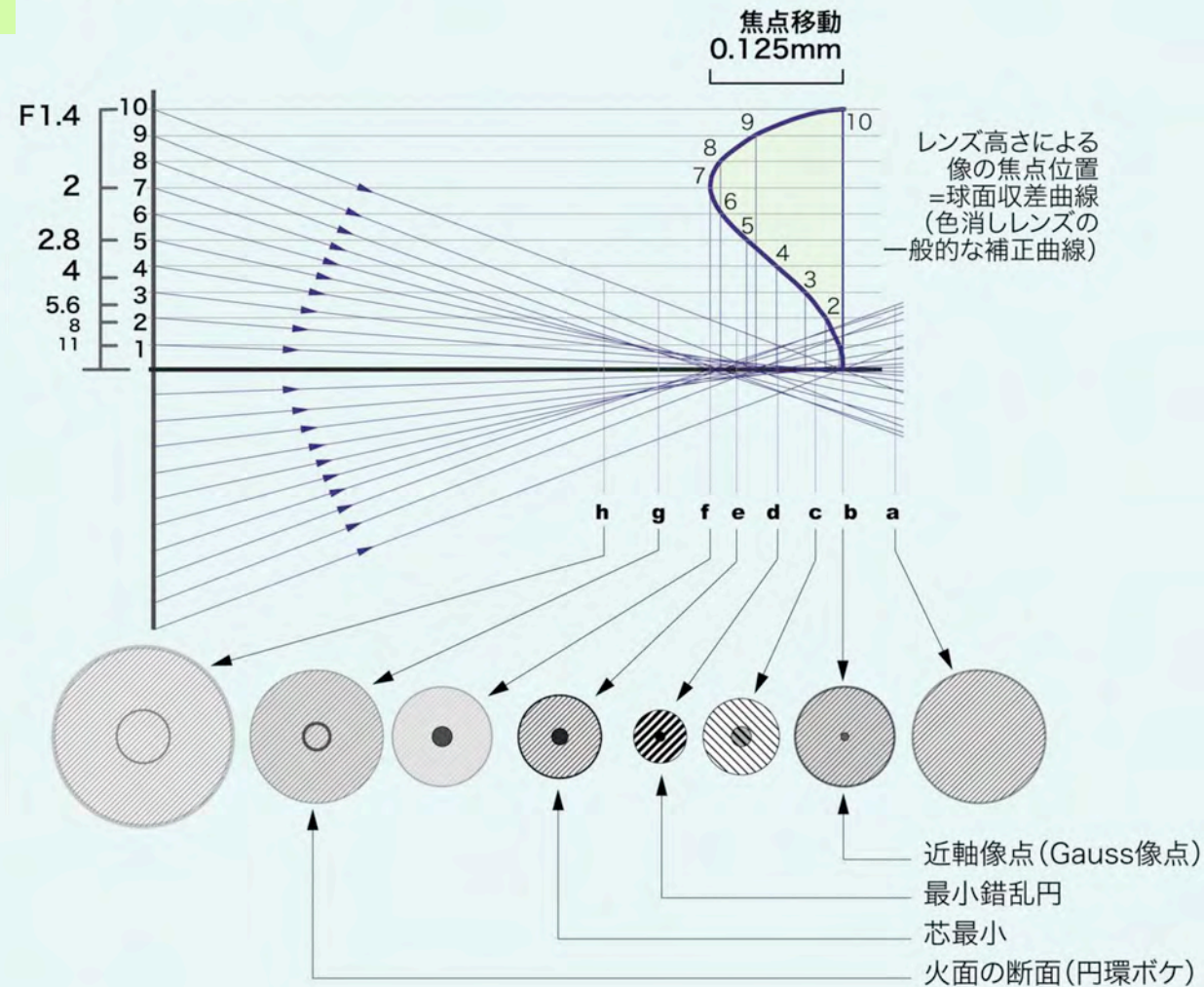


複数のレンズを用いて屈折を緩やかに行うと球面収差が著しく改善される。

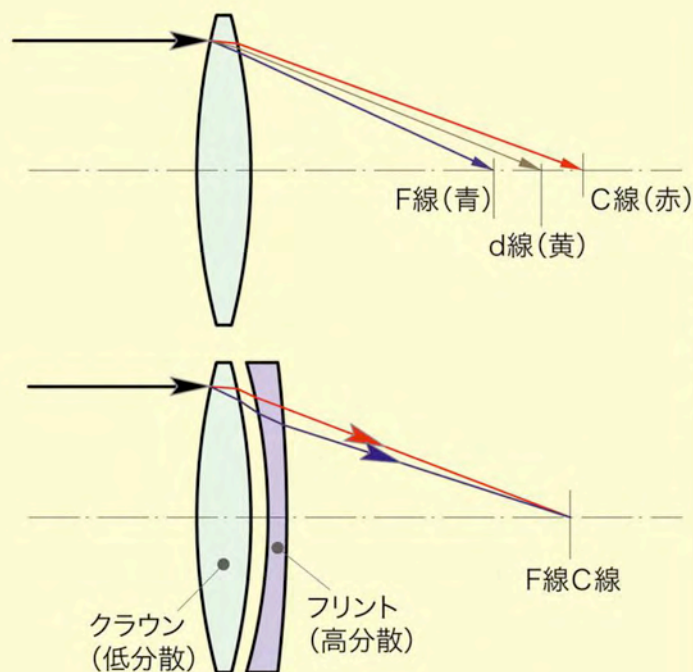
複数レンズによる球面収差向上

補正された レンズ

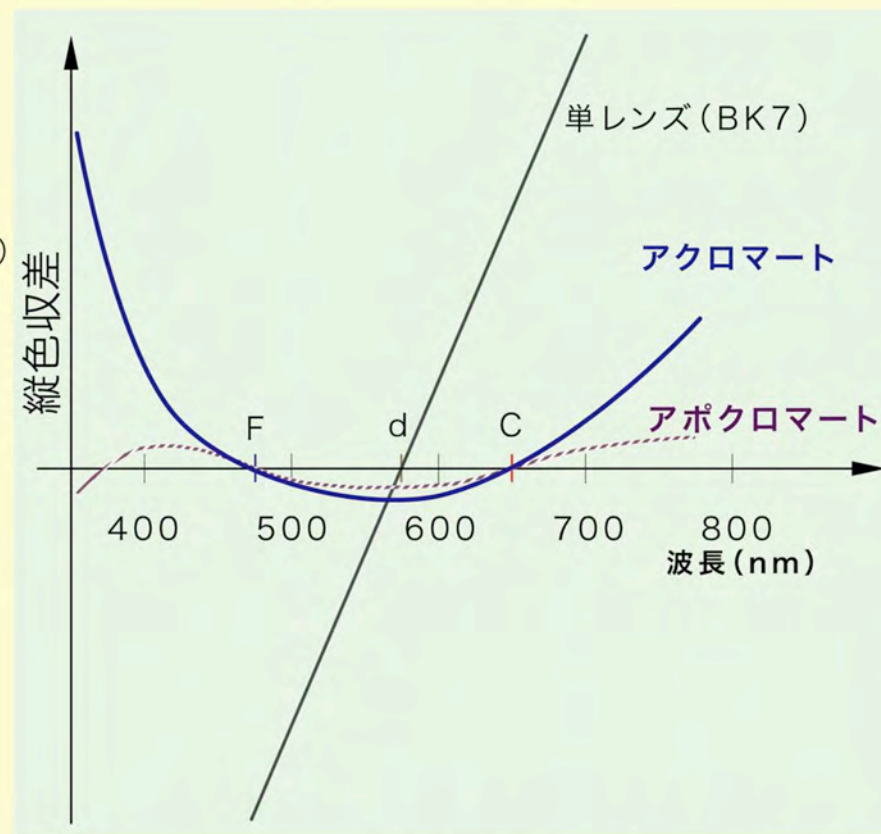
レンズ球面収差による 像点移動と像のボケ



色収差

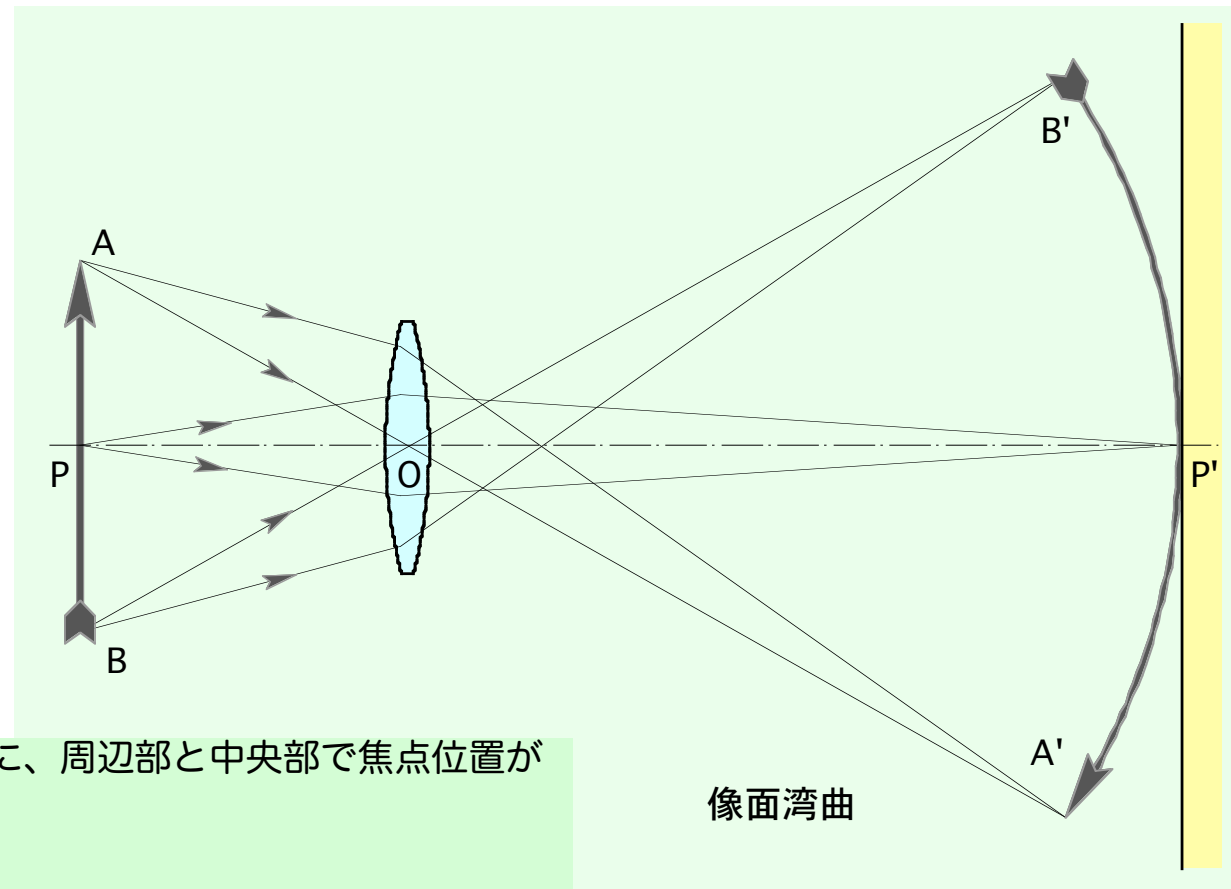


色収差と色消しレンズ



色収差レンズと色収差補正の度合い

像面湾曲



像が結像平面に結ばずに、周辺部と中央部で焦点位置が異なる現象。

ペッツバル和

$$-\sum (1/n_i \times f_i) = 1/\rho$$

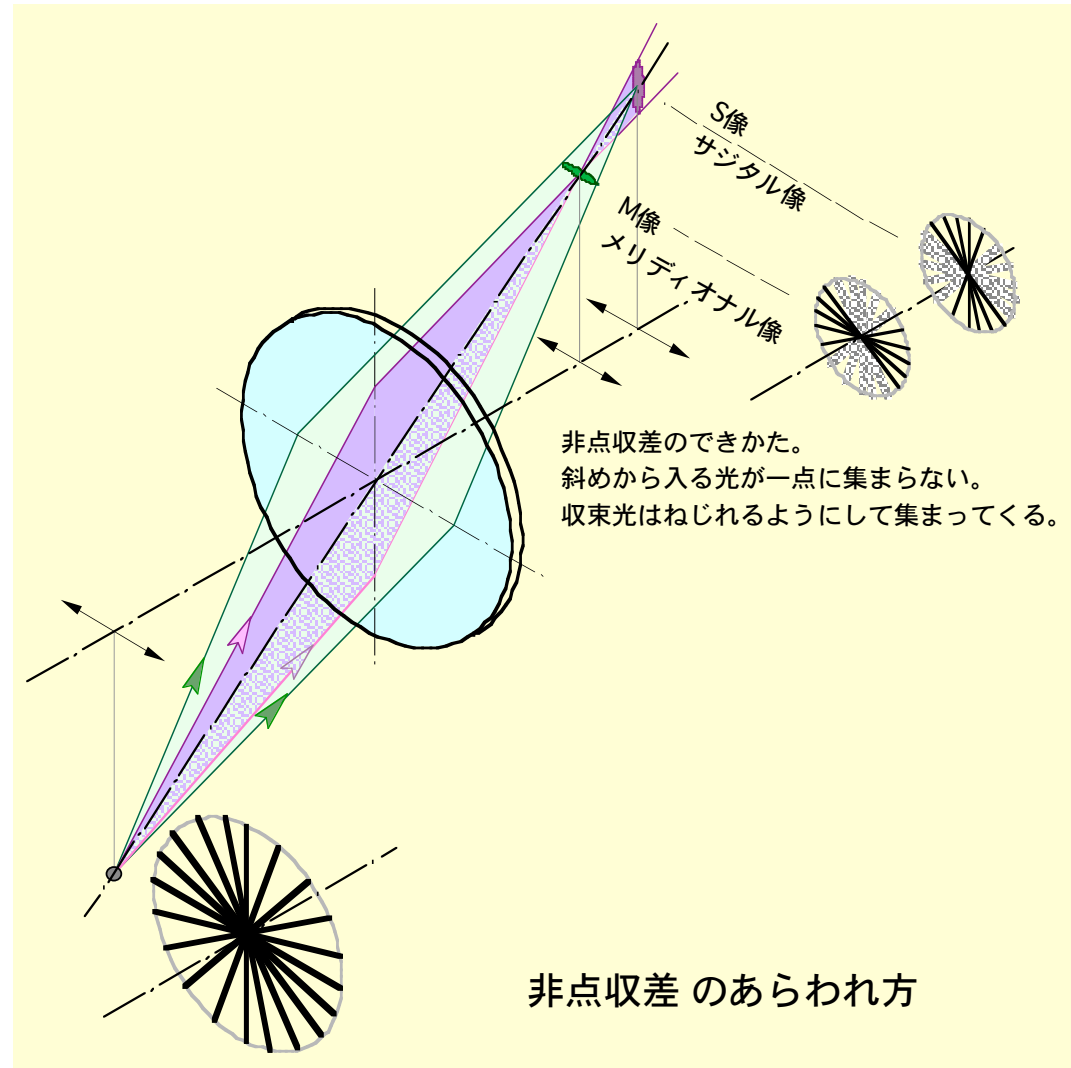
の $\rho=\infty$ の時、像面は平坦になる。

従って複数枚のレンズを使わないと、像面湾曲は除去できない。

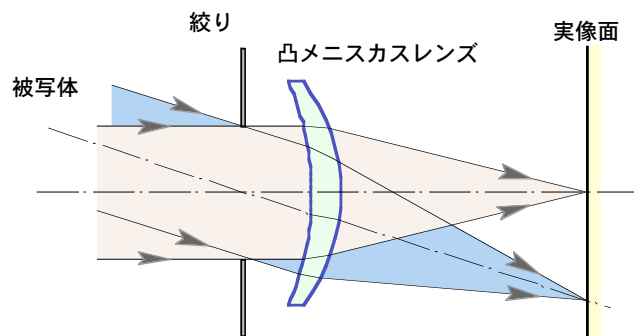
非点収差

人の乱視と同じ。
斜めから入る像が正しく結像しない。
写真レンズの宿命がこの非点収差。
非点収差を抑えるために絞りを絞ってきた。
絞り開放で非点収差の少ないレンズが優秀な写真レンズ。

非点収差を補正したレンズを開発したのは、1890年のことで、ドイツのCarl Zeiss社のルドルフ博士（Dr. Paul Rudolph：1858～1935）による。最後までやっかいな収差だった。



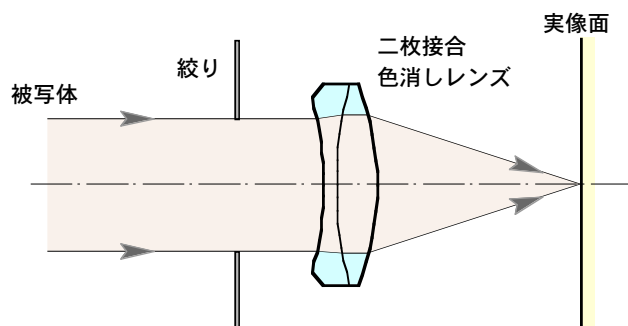
写真レンズの歴史 --- 写真レンズの歴史は、（周辺部）収差の克服の歴史



ウォラストン（1812年）の画像レンズ
カメラオブスキュラ用に開発。

写真レンズの初期に使われた。

メガネレンズに着想を得て、凸メニスカスレンズを逆向きに利用、絞り（F/16）をレンズの前に置いた。絞りを絞ると非点収差、コマ収差がとれ、そこそこの画質が得られる。



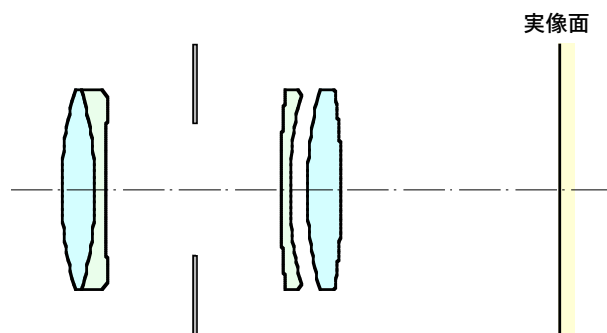
シェバリエ（1839年）の写真レンズ

ダゲールの写真カメラ用に開発。

構成はウォラストンに似ている。

絞り（F/17）をレンズの前に置いた。

凹メニスカスに凸レンズを組み合わせて色消しとした。
レンズは暗かった。



ペッツバル（1841年）の写真レンズ

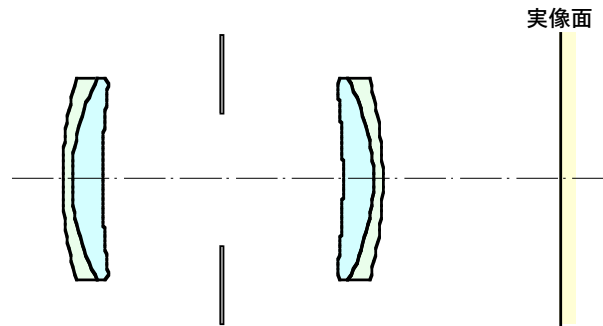
ダゲールの写真カメラ用に開発。

2群4枚構成の大口径（F/3.7）レンズ。

シェバリエレンズの21倍の明るさで収差も良くとれている。ツァイスのアナスタグマートレンズが開発される1980年までの50年間主役の地位にあった。

現在でもプロジェクターレンズに使われている。

写真レンズの歴史 - その2



ダールメイヤ（1866年）の写真レンズ

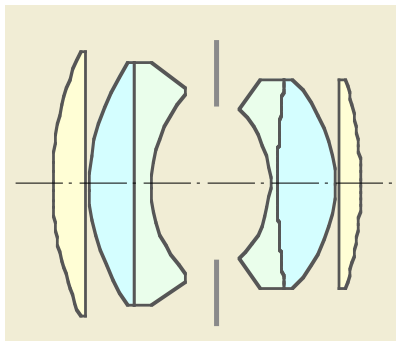
ラピッド・レクチニア。

同年、ドイツのスタインハイル社からもアプラナートレンズが発売。

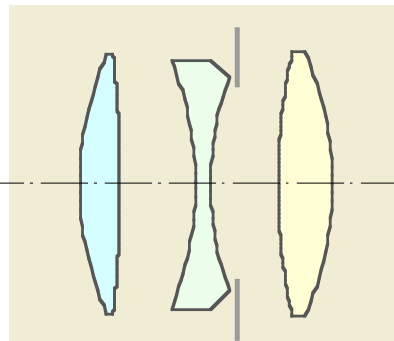
絞りはF/8。

メニスカス型の色消しレンズを絞りを挟んで対象型に配置。
対象型のため歪曲収差がない。

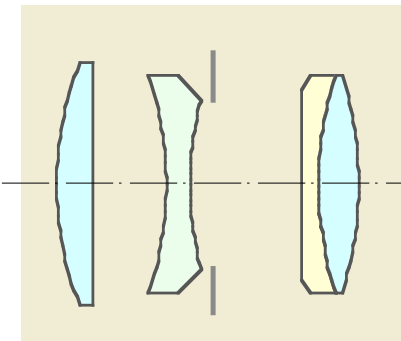
現在の代表的なレンズタイプ



ガウスタイプ



トリプレットタイプ

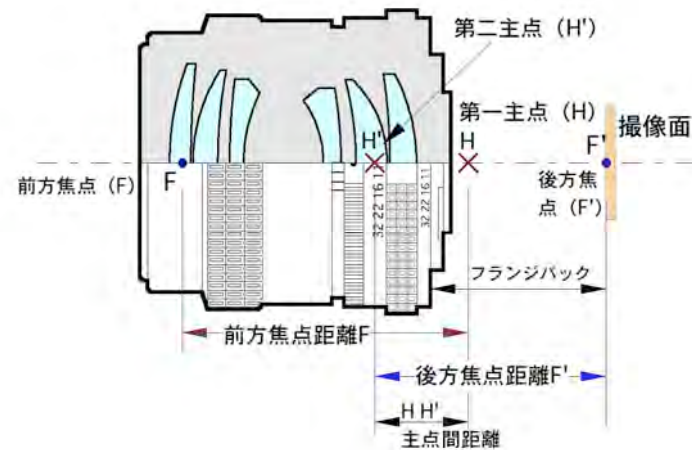


テッサータイプ

現在では、絞りを挟んで対象型をしたガウスタイプ、3つのレンズ群で構成されたトリプレットタイプ、トリプレットを発展させたテッサータイプで大所のレンズ設計がなされている。

実際の写真レンズと構造

レンズ： マイクロニッコールf55mmF2.8



レンズタイプはガウスタイプ。
周辺部まで画質が良好。
拡大撮影に適応。

究極の写真レンズ

- 航空カメラレンズ

画角： 120°

高度3,000mで10kmx10km

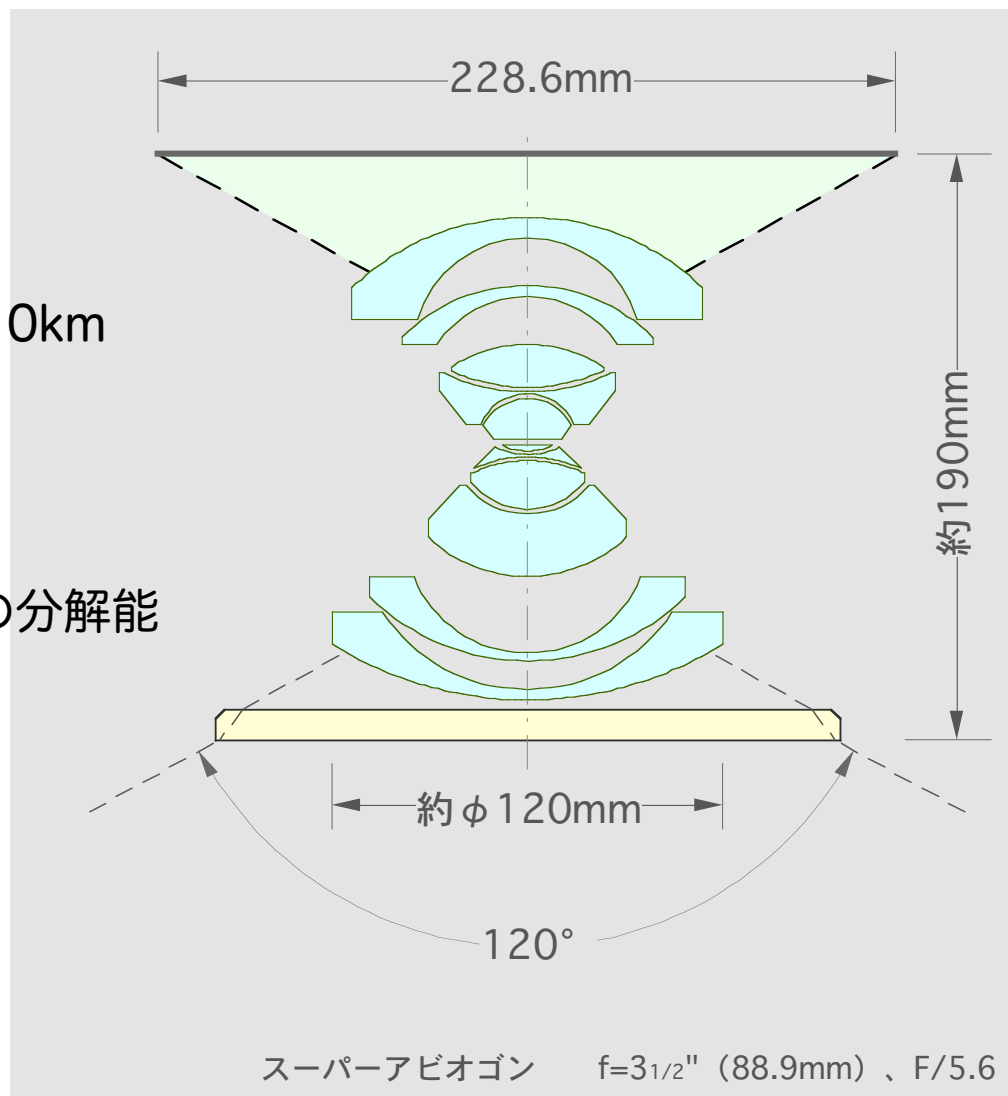
歪曲収差：0.013%

平均解像力：40 lp/mm

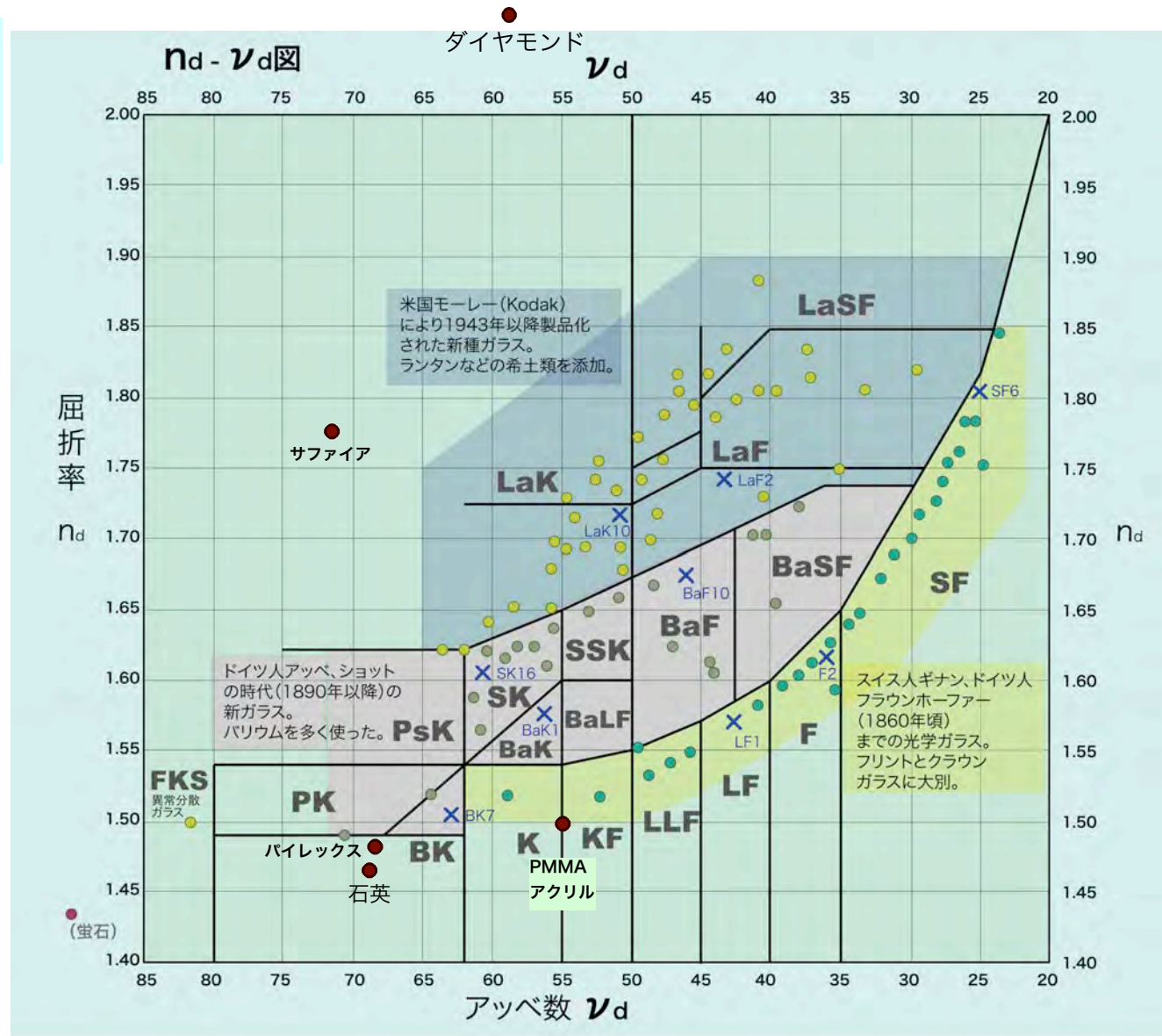
18,300分割。

10kmの範囲を12.5mの分解能

1968年製造、WILD社
Ludwig Bertele



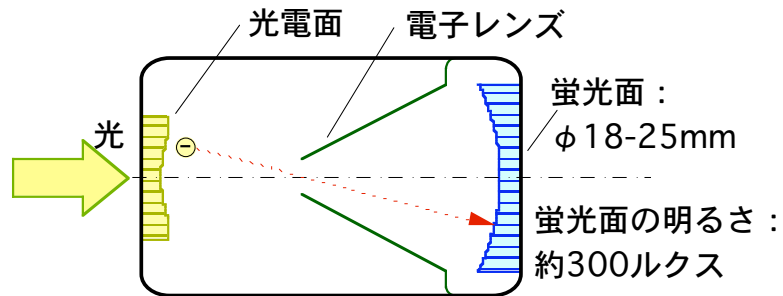
光学ガラス チャート



光増幅光学装置（イメージインテンシフィア） その1

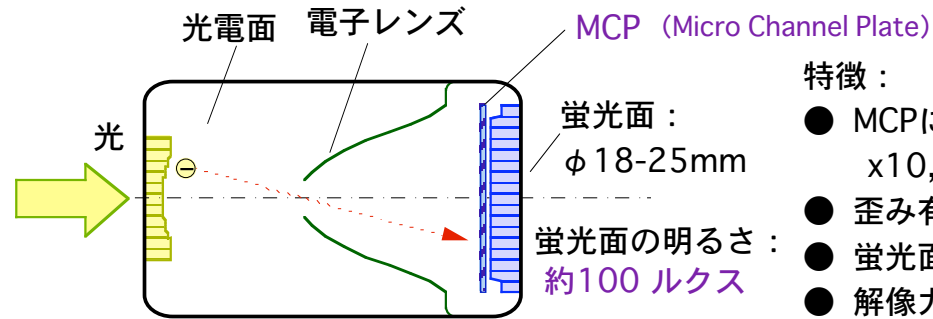
微弱な発光対象物を撮影するための光増幅装置。光が当てられない対象物や微弱発光撮影に使用。

Generation I 暗視用 1940年代（米国RCA社） --- 夜戦用



- 特徴：
- x10 - 200
 - 歪み有り 5-7%
 - 蛍光面輝度高い
 - 解像力 30 lp/mm

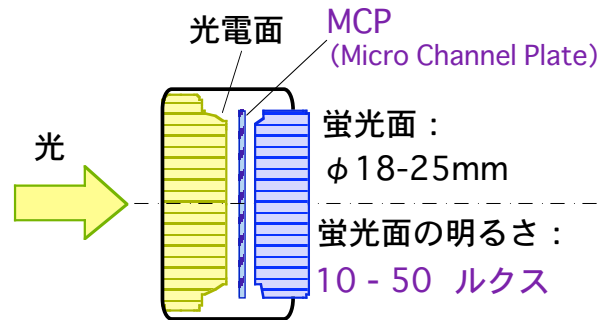
Generation II 1960 ~ 1970年代



- 特徴：
- MCPにより増幅度 x10,000 - 100,000
 - 歪み有り 5-7%
 - 蛍光面輝度低い
 - 解像力 Gen. I より落ちる

光増幅光学装置（イメージインテンシフィア） その2

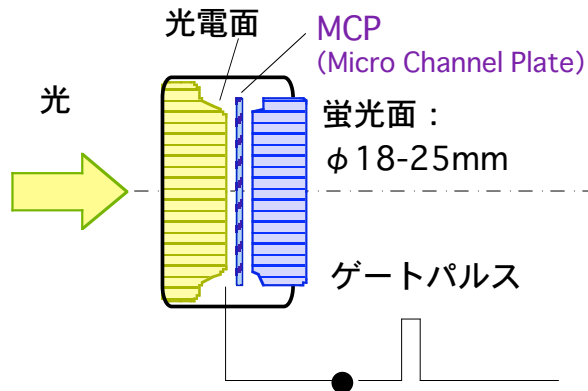
Generation III 1970年代



特徴：

- Gen. IIをコンパクト化電子レンズ不要。
- 増幅度 = Gen. II
- 歪み無 1%以下
- 蛍光面輝度さらに低い
- 解像力 Gen. I、Gen. IIより落ちる。 28 lp/mm
- ダイナミックレンジ 1:1000

Generation IV 1980年代



特徴：

- Gen. IIIの光電面・MCPに加える電圧をパルスにし短いシャッターリング可能。
- 増幅度 = Gen. II
- 歪み無 1%以下
- 蛍光面輝度低い
- 解像力 Gen. IIIに同じ
- ダイナミックレンジ 1:1000
- シャッターリング：5ns ～



光増幅装置は、カメラとレンズの間に装着する。レンズによって作られた光学像を光増幅装置によって明るくし、カメラ撮像面に再結像させる。

高速度カメラと光増幅光学装置を組み合わせた例

6. 画像ファイルと画像計測

●GIF

可逆性圧縮ファイルフォーマット。
256色。特許問題あり

●JPEG

非可逆性圧縮ファイルフォーマット、写真

●PICT

Mac用からスタート、72dpi

●TIFF

MS-DOSからスタート、コメントが自由に挿入可能

●EPS

Mac Post Scriptからスタート、広告・版下用

●BMP/DIB

Windowsからスタート、単純なビットマップ

その他に、RAW、PNG、PhotoCD、EXif、DICOMなどがある。

●Quick Time

Macからスタート。動画の標準ファイル

●AVI

Windowsからスタート。動画の標準ファイル

●Motion JPEG

BMPファイルの動画ストリーミング。7年前にサポート中止。2GBの壁。

●MPEG

JPEGの動画ストリーミング

DVD/CD-ROM用、画質は良いが再生専用。

静止画は間引きされていて、変化している画像部位だけを補間。

その他に、WMV (Windows Media Video File)、DV (Digital Video) がある。

画像計測ソフトウェア

画像処理ソフトウェアの最低必要事項

- 静止画像ファイルであるTIFF、JPEGファイルが読みとれること。
- 動画画像ファイルであるAVI、MJPEG、Quicktimeファイルが読みとれること。
- 処理する画像サイズ、画像濃度に特別の制約がないこと
- 処理結果を再び上記のファイルフォーマットで保存できること。
- 連番の静止画ファイルが時系列的に動画として再生できること。
- 画像の座標値、濃度値、時間情報が読みとれること。
- 読みとった値 (X,Y,D,T) は、CSVファイルで読み出せること。
- 基本的な画像処理（明るさ、コントラスト、二値化、ズーム、フィルタ）ができること。

代表的な画像処理ソフトウェア

ImageProPlus

汎用画像処理ソフトウェア。MS-DOSからリリース。
濃度処理向け。

Image Express

ターゲット自動読みとり機能でサブピクセルの読みとり精度
3次元計測（オプション）可能。変位処理向け。

MiDAS

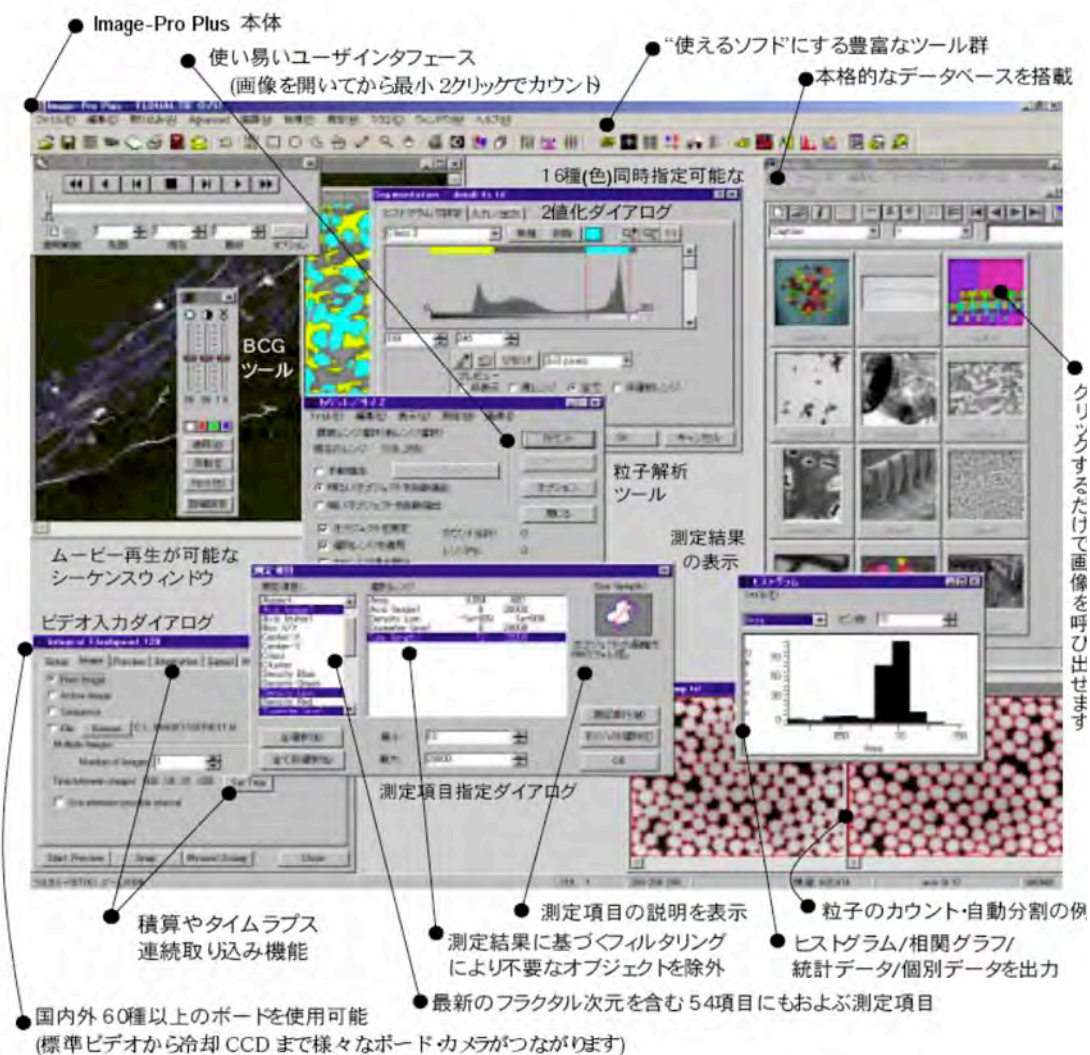
アナログデータと高速度カメラ画像の同時取り込み、再生
解析機能。

代表的な画像処理ソフトウェア

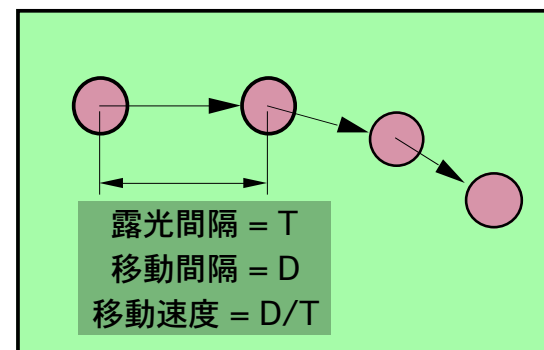
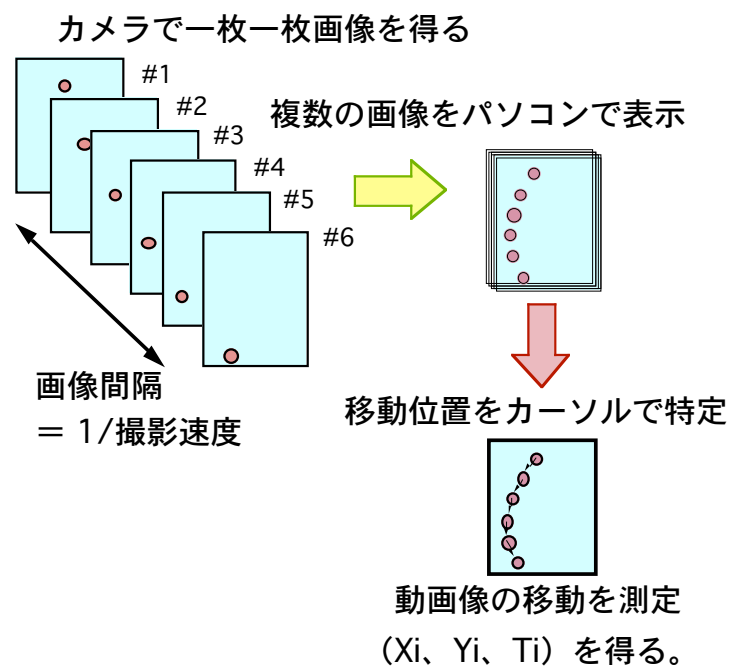
Image Pro Plus

多目的画像処理ソフトウェア。
多くの画像ファイルを扱うことができる。

画像強調、疑似カラー、フィルタ
などの各種画像処理が可能。



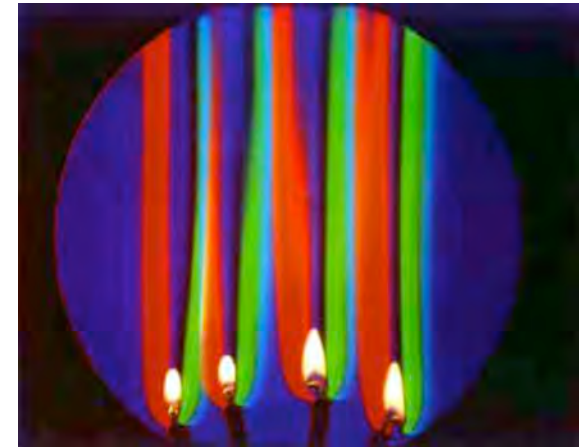
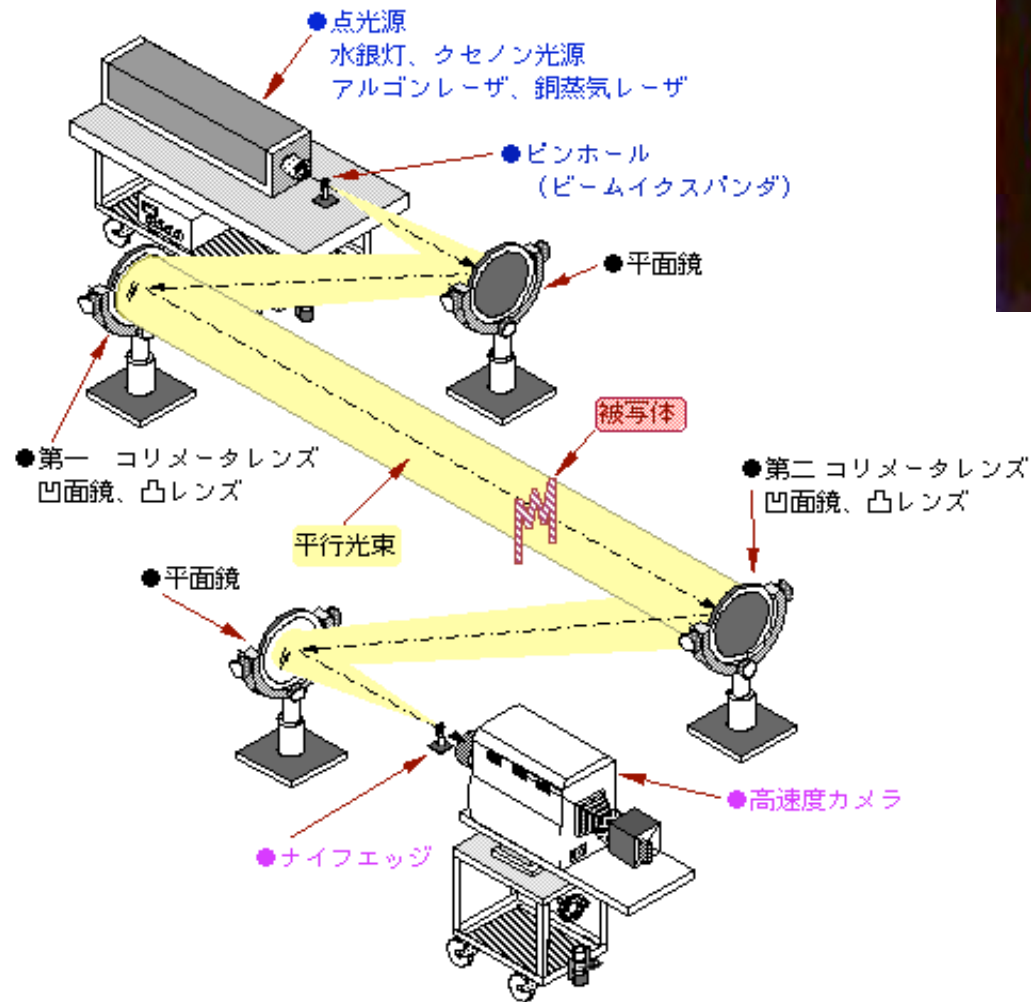
動画画像の解析手法



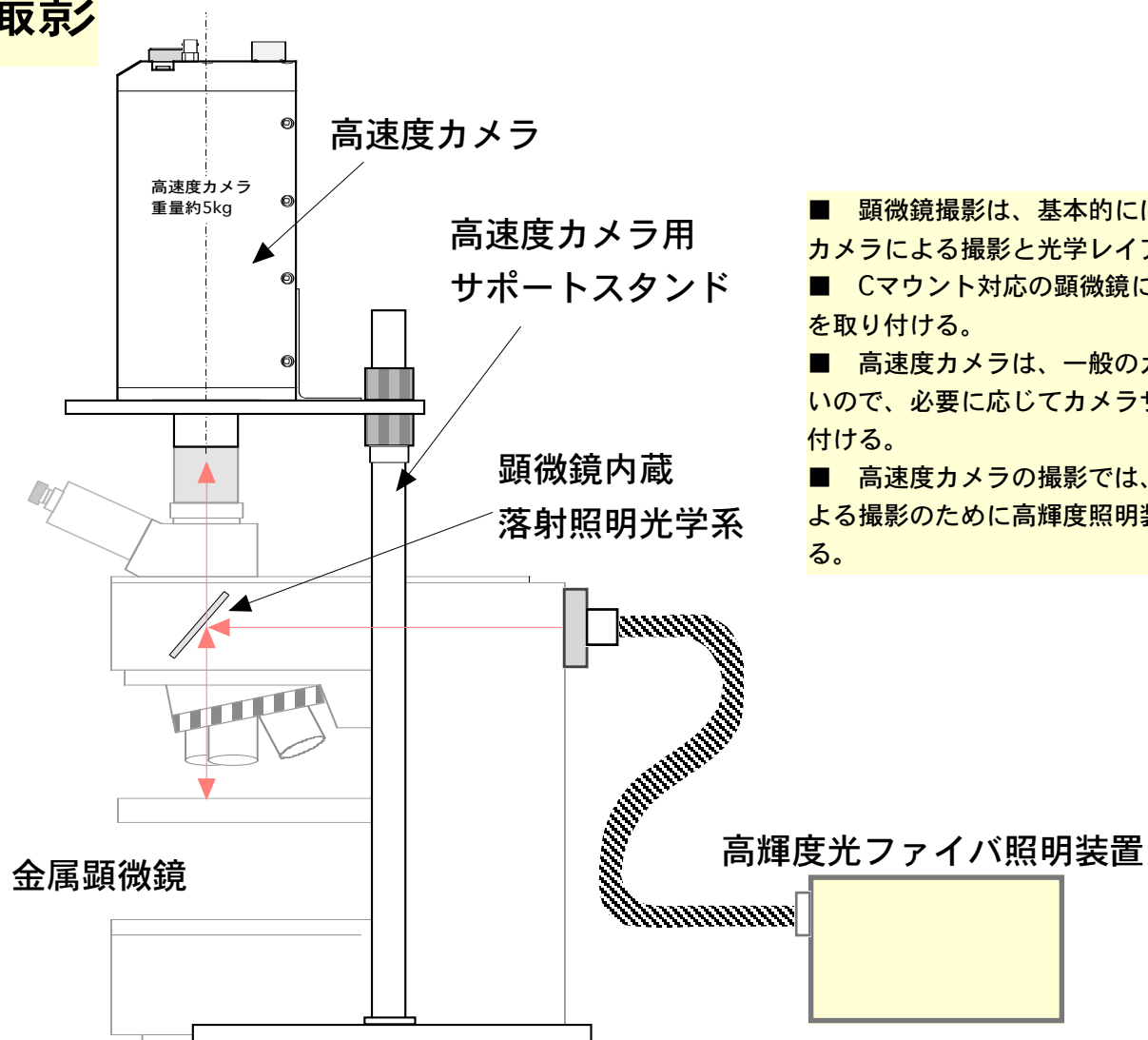
動画画像からの分析

7. 撮影手法 - シュリーレン撮影法

シュリーレン光学装置レイアウト



顕微鏡撮影



- 顕微鏡撮影は、基本的には通常のビデオカメラによる撮影と光学レイアウトは同じ。
- Cマウント対応の顕微鏡に高速度カメラを取り付ける。
- 高速度カメラは、一般のカメラより大きいので、必要に応じてカメラサポートを取り付ける。
- 高速度カメラの撮影では、短時間露光による撮影のために高輝度照明装置が必要となる。

さらなる画像計測の発展を祈ります。

