

デジカメ画像処理のしくみ

—進化を続けるデジカメ技術を解き明かす—

2011年11月10日

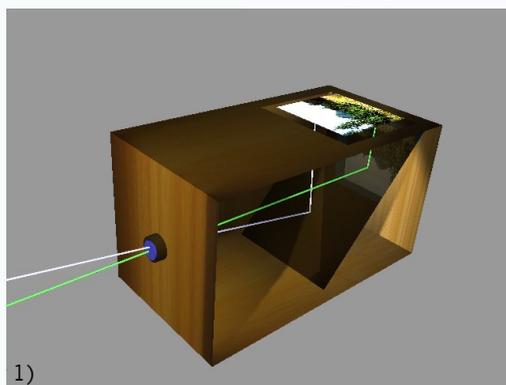
コンピュータ理工学部 ネットワークメディア学科

蚊野 浩

デジタルカメラを俯瞰する

デジカメ以前のカメラ的進化

ルネサンス期



カメラ・オブスクラ

絵画や測量のための補助具

1825年



写真技術の発明

(世界で最初の写真)

19世紀末

- **イーストマン**による
ロールフィルムの発明
- **エジソン**による**映画の発明**

銀塩フィルム技術

20世紀前半

- 1926年 **高柳**による**電子式テレビ受像機**の開発
- 1927年 **ファンズワース**による**電子式テレビ撮像機**の開発

テレビジョン技術

写真産業

映画産業

テレビ産業

デジカメ的なものの進化



電子スチルカメラ

1981年
ソニー
マビカ

1988年キヤノン QPICなど



1)

絶滅

デジカメ

カメラ応用商品

- デジタルビデオカメラ
- 携帯電話カメラ
- Webカメラ

1988年世界初のデジカメ
FUJIX DS-1P



2)

2MbitのSRAMカードに
フレーム画像を
5枚記録できた

1995年(デジカメ元年)
カシオQV-10



3)

25万画素CCD
2MBフラッシュ
320×240の画像を96枚記録
1.6インチ液晶モニター付き

2010年 例えばソニー
ミラーレス一眼 NEX-5



4)

1420万画素CMOS
32GBメモ리카ード
4592×3056の画像を7172枚記録
3.0インチ液晶モニター付き

1. カメラ技術はデジカメ的なものに収斂
2. ネットワークや通信と結びついて用途を拡大

1) <http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Canon-qpic-rc250.jpg> 2) <http://sts.kahaku.go.jp/sts/detail.php?key=902290310006&APage=1224> 3) <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/ja/a/a8/QV-10.jpg> 4) ソニーのWebサイトから

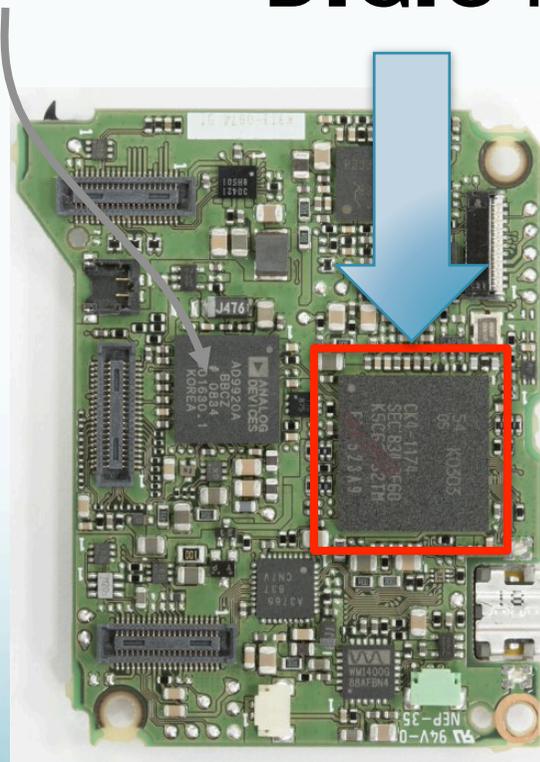
IXY 920ISのメイン基板

キヤノンの
画像処理エンジン

DIGIC4

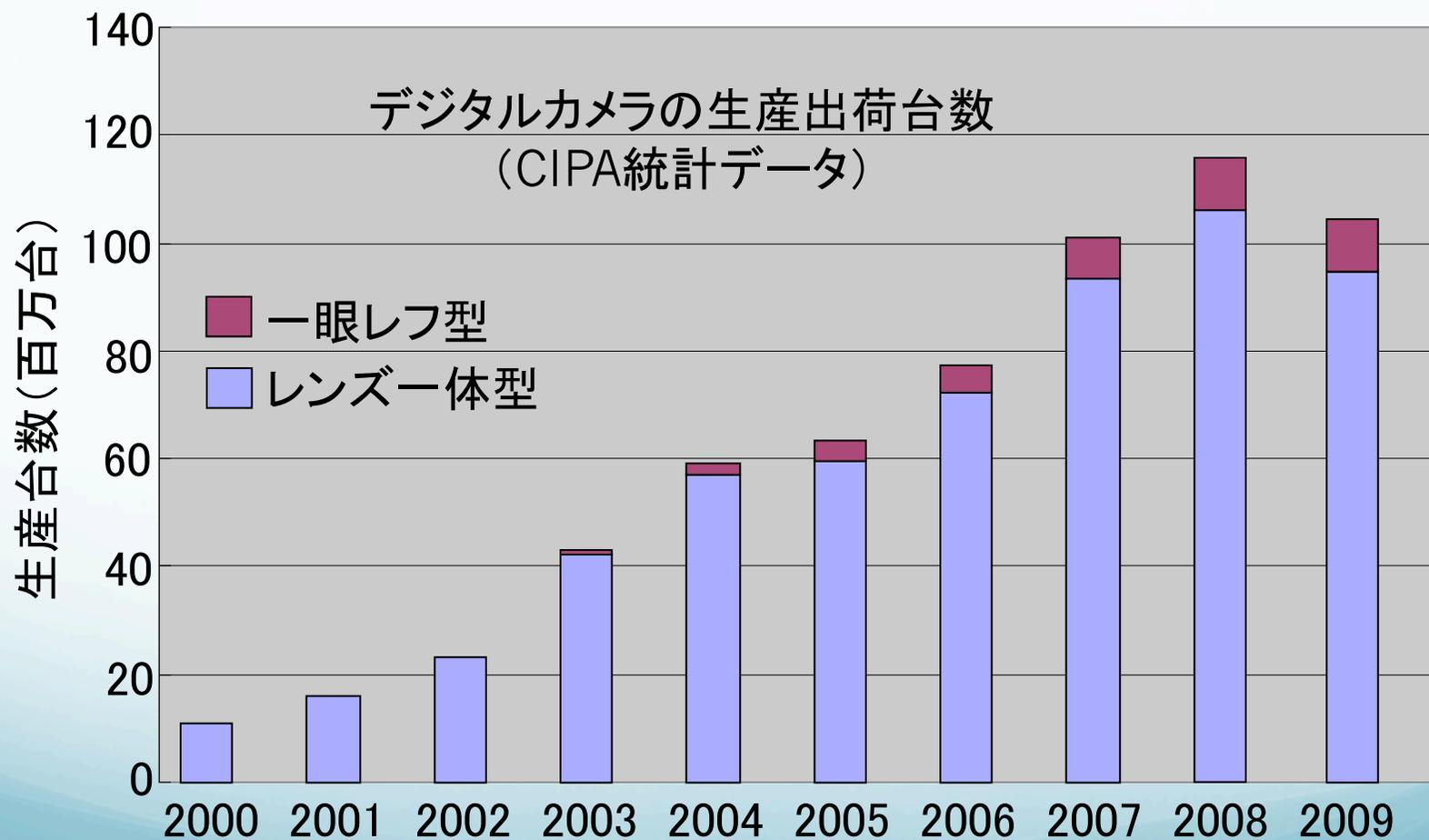
CCD信号処理プロセッサ

電源IC(DC/DCコンバータ)



製造年	2007年
チップサイズ	8.0 × 6.4mm
パッド数	463個
配線層	7層
設計ルール	65nm
ロジック部	18Mゲート
SRAM	約2Mビット
フラッシュ	約850Kビット

デジカメ産業の規模



(参考) デジタル家電産業の傾向 DVDソフトの例

- 1995年に始まったデジタル家電ブームが2010年までに成熟し、次世代に移行しつつある。DVDの場合、BL対HD DVDが決着し、映像産業は3Dに活路を求めるようになった。

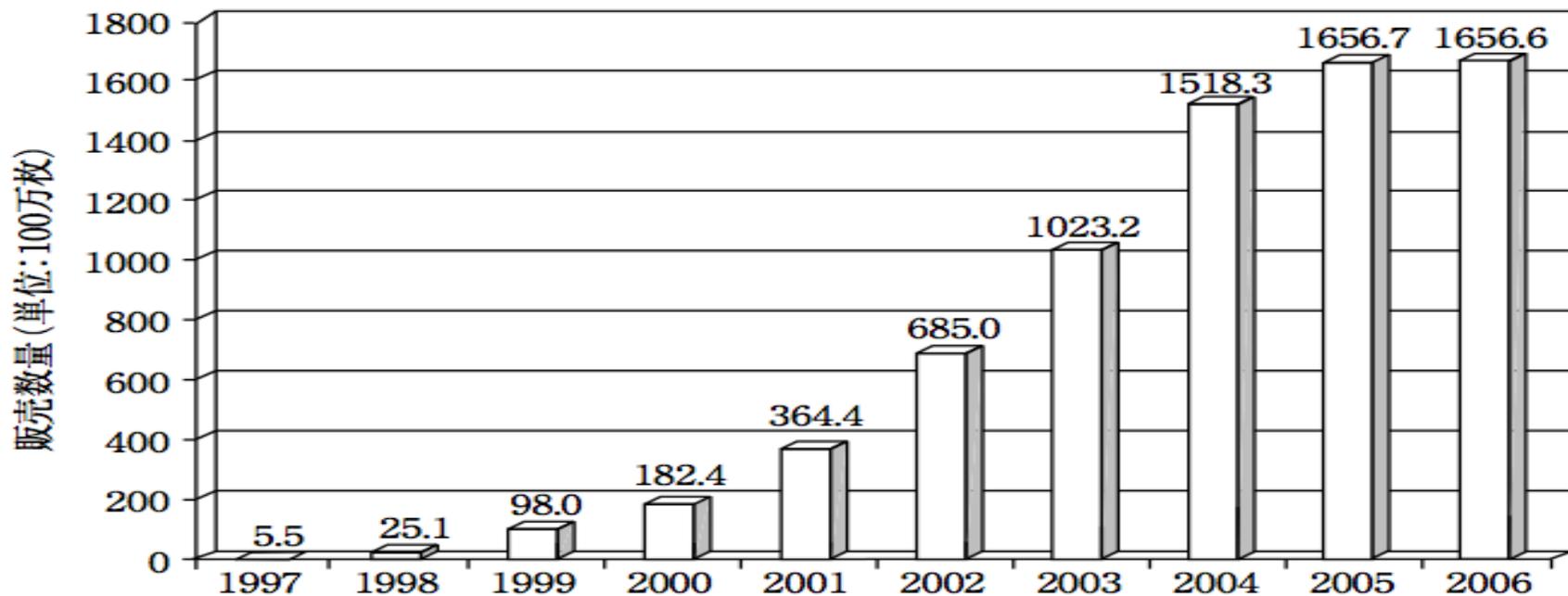


図1 米国におけるDVD映画ソフトの販売数量

デジカメの種類

レンズ一体型(コンパクト型)



簡単便利
おしゃれ



小型
一眼クラス

レンズ交換式
ミラーレス一眼



小型
高画質

一眼レフ



プロ仕様
高画質

小 ■
6.2mm
×
4.6mm

撮像素子

大
36mm
×
24mm

これらもデジタルカメラ



カメラ付き携帯



Webカメラ



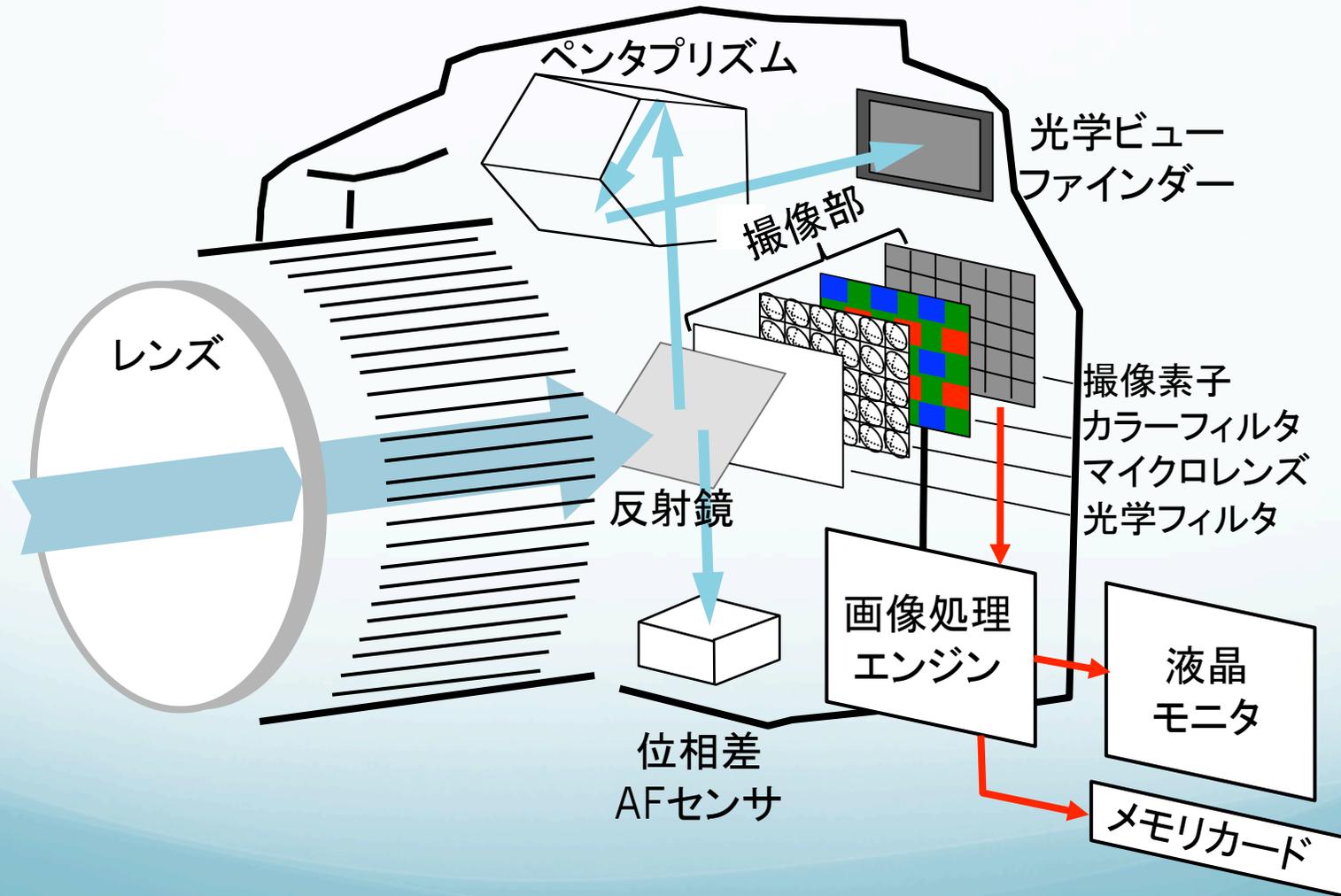
ネットワークカメラ

デジカメにおけるさまざまな進化

	1995年	2000年	2005年	2010年
セット		薄型 コンパクト	一眼 レフ	デジカメ ムービー ミラーレス 一眼
競争軸		画素数	手ぶれ補正	顔検出 ミラーレス
撮像素子	25万画素 CCD	200万	400万 CCD/CMOS	800万 1,000万超 裏面照射型
記録 メディア	フラッシュメモリ 2MB	メモ리카ード 8~64MB	DVD 4GB	メモ리카ード 64GB HDD 240GB

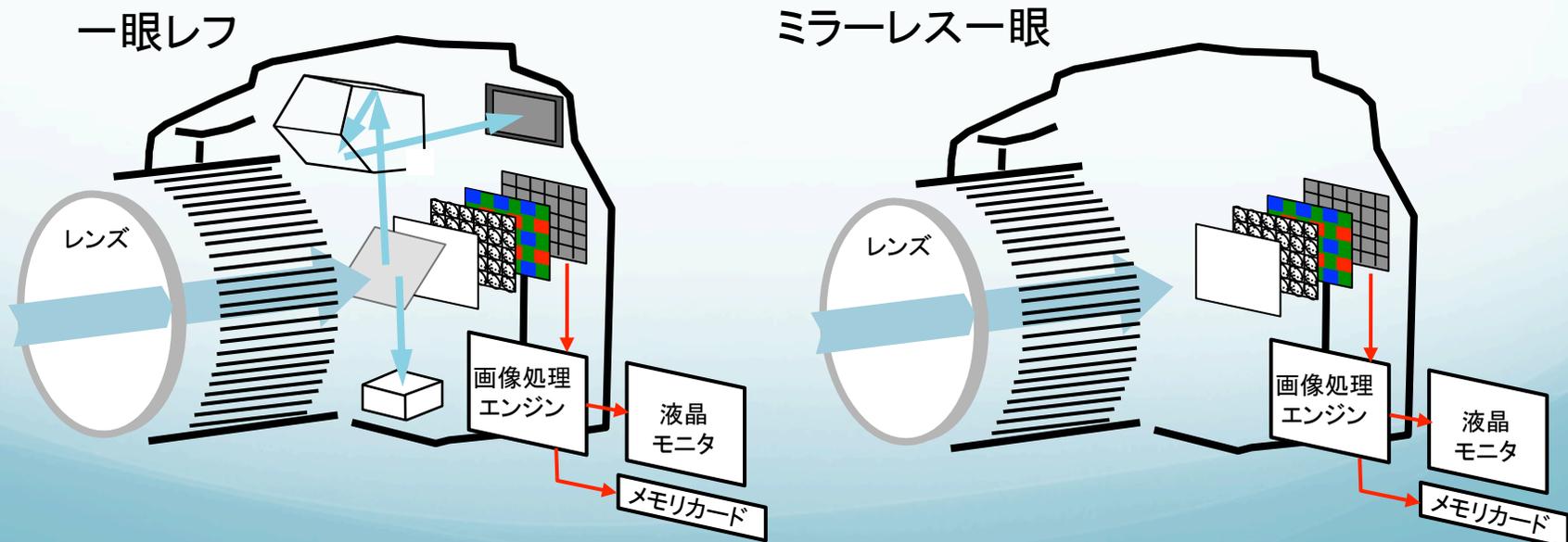
デジカメのしくみ

一眼レフのしくみ



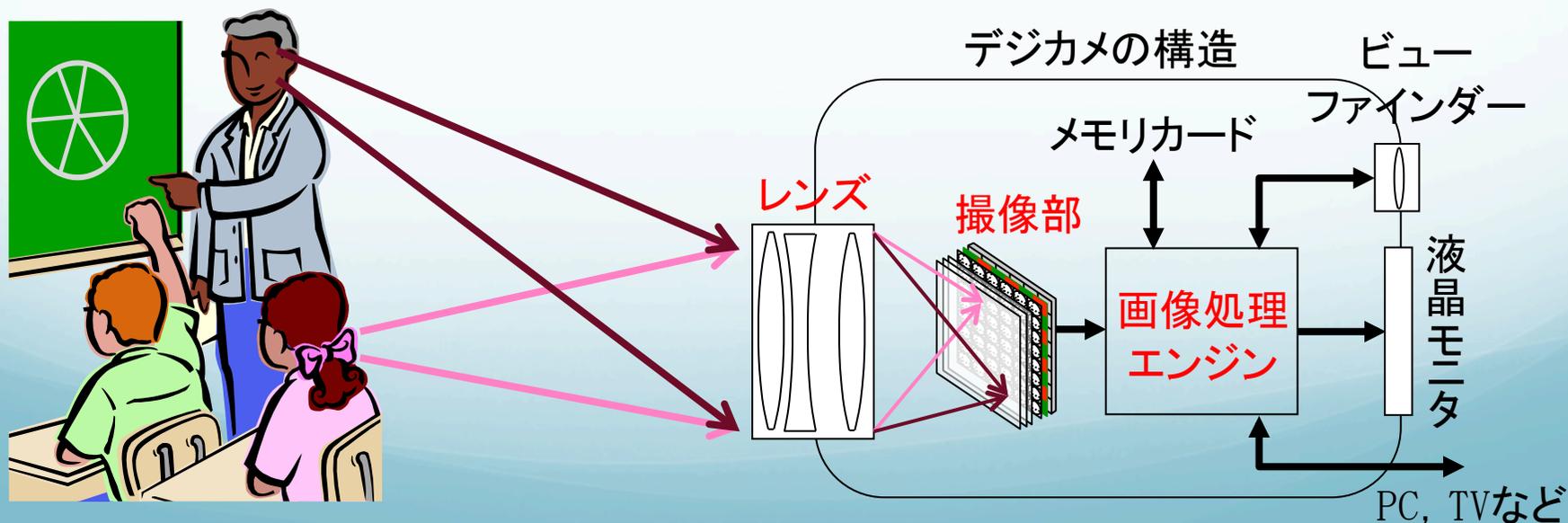
一眼レフとミラーレス一眼の比較

- 一眼レフから、**光学ビューファインダー**と**位相差AF**のための光学系を取り除いて小型化した。
- 撮像素子は、両方式とも、20mm×15mm程度が主流で**基本的な画質はほぼ同等**と思われる。



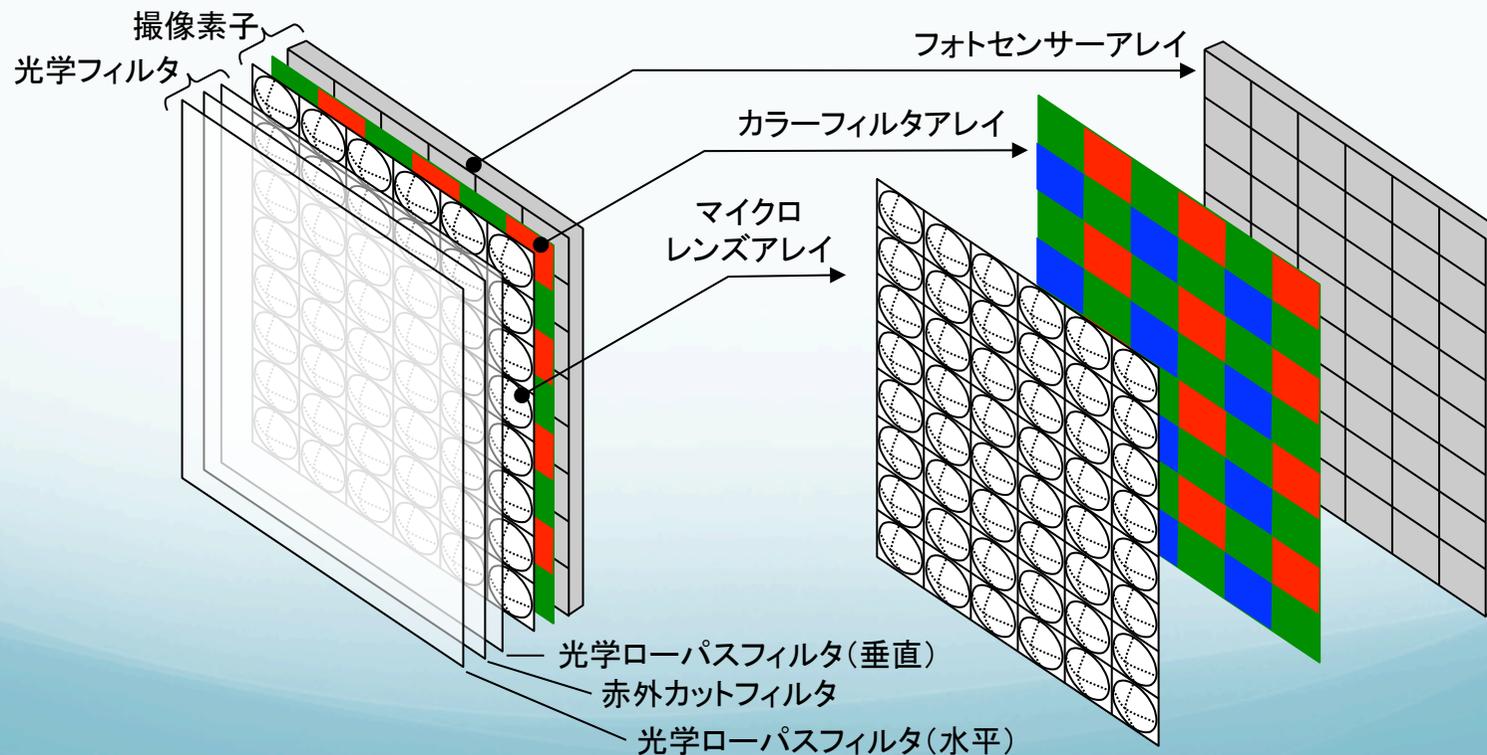
デジカメの基本機能

- **レンズ**: 被写体が発する光を集光し鮮明な光像を作る
- **撮像部**: 光像を電気信号(生画像)に変換する
- **画像処理エンジン**: 生画像を画像処理して、人間が観察する画像に変換する(**デジタル現像処理**)



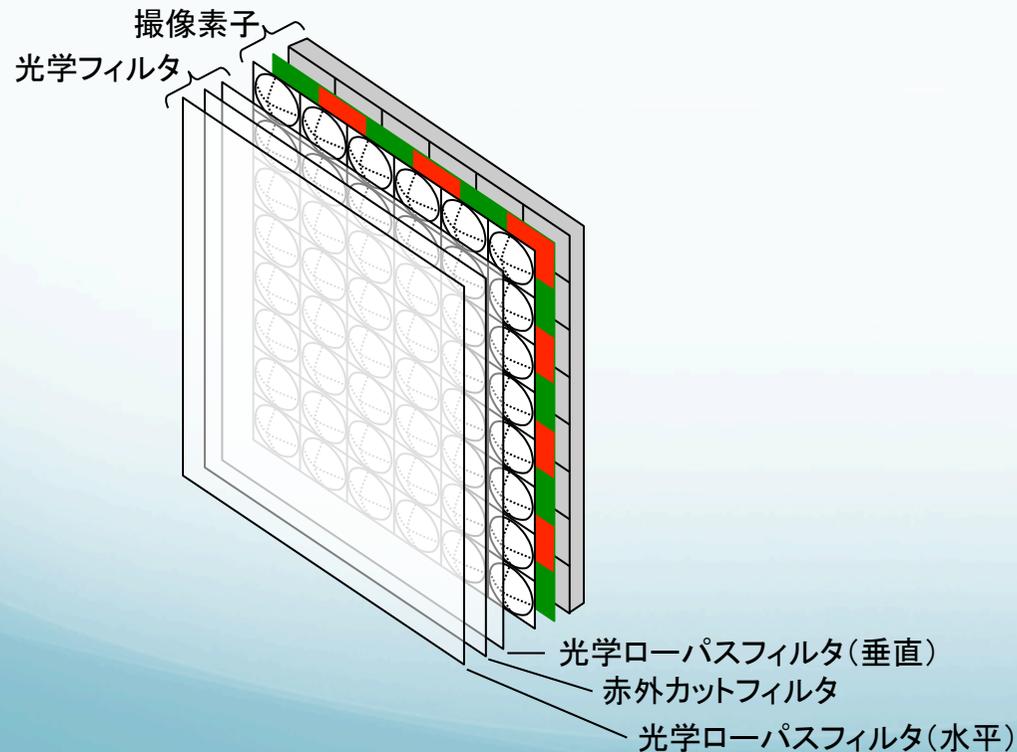
撮像部：単板素子の場合

- 一枚の撮像素子でカラー画像を取得する場合、数種類の光学フィルタ、集光性改善用のマイクロレンズアレイ、色分解のための**カラーフィルタアレイ**を下図のように積層する。



光学ローパスフィルタ

- 光学的な性質(復屈折性)を利用して、光像の高周波成分を抑制するデバイス。撮像素子間隔の2倍よりも高い周波数成分が、モアレとなる現象を軽減する。

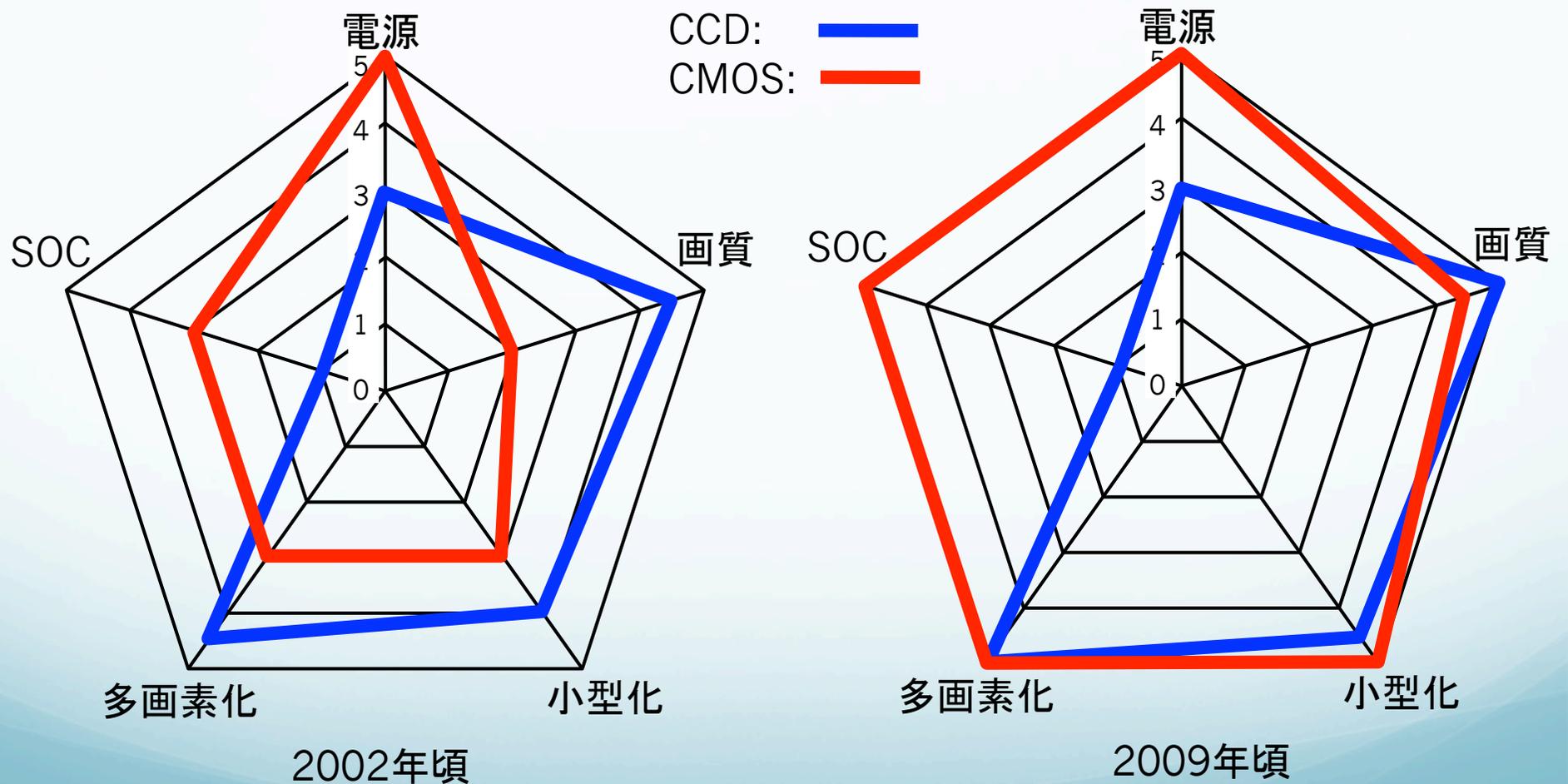


モアレが発生したデジタル画像

固体撮像素子の基本

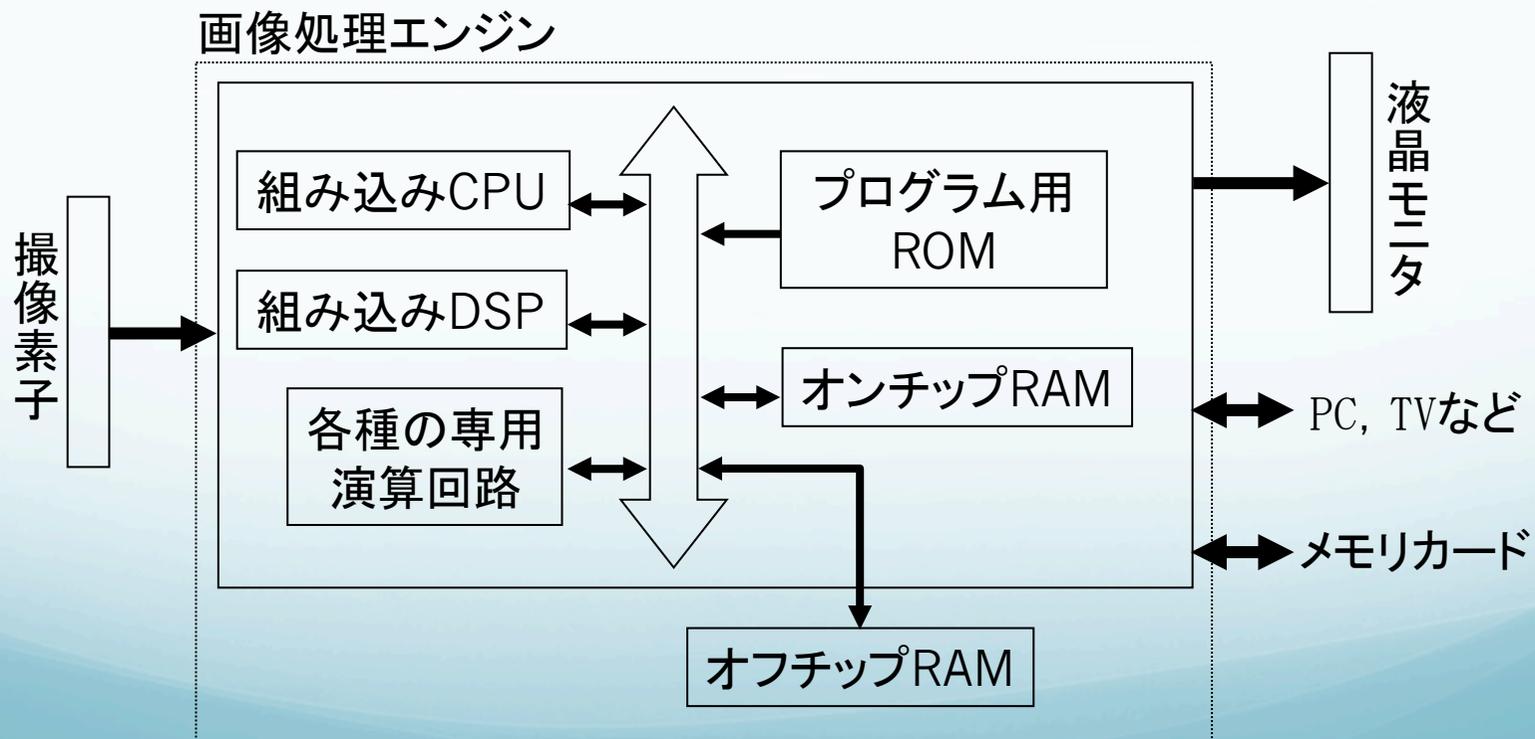
- 大量の**フォトダイオード** (4,000×3,000=1,200万個など) を縦横に整列して配置した半導体。
- 信号値の読み出し方式により**CCD** (Charge Coupled Device) と **CMOS** (Complementary Metal Oxide Semiconductor) に分類する。
- 歴史的にはCCDの実用化が早かったが、最近ではCMOSも広く実用化され、現在は併用されている段階。**今後は、CMOSが主流**になると予想される。
- 用途に応じて画素数や大きさを設計する。例えば、携帯カメラ向けの10万画素 (CIF画像、撮像面:0.6mm×0.5mm) や、一眼レフ向け2,572万画素 (35mmフィルムサイズ) など。

CCDセンサとCMOSセンサの比較



画像処理エンジン

- 撮像素子が出力する生画像を観察するのに適した画像へ変換する(現像処理)や、記録メディアへ保存するフォーマットに変換するシステムLSIを画像処理エンジンと呼ぶ。



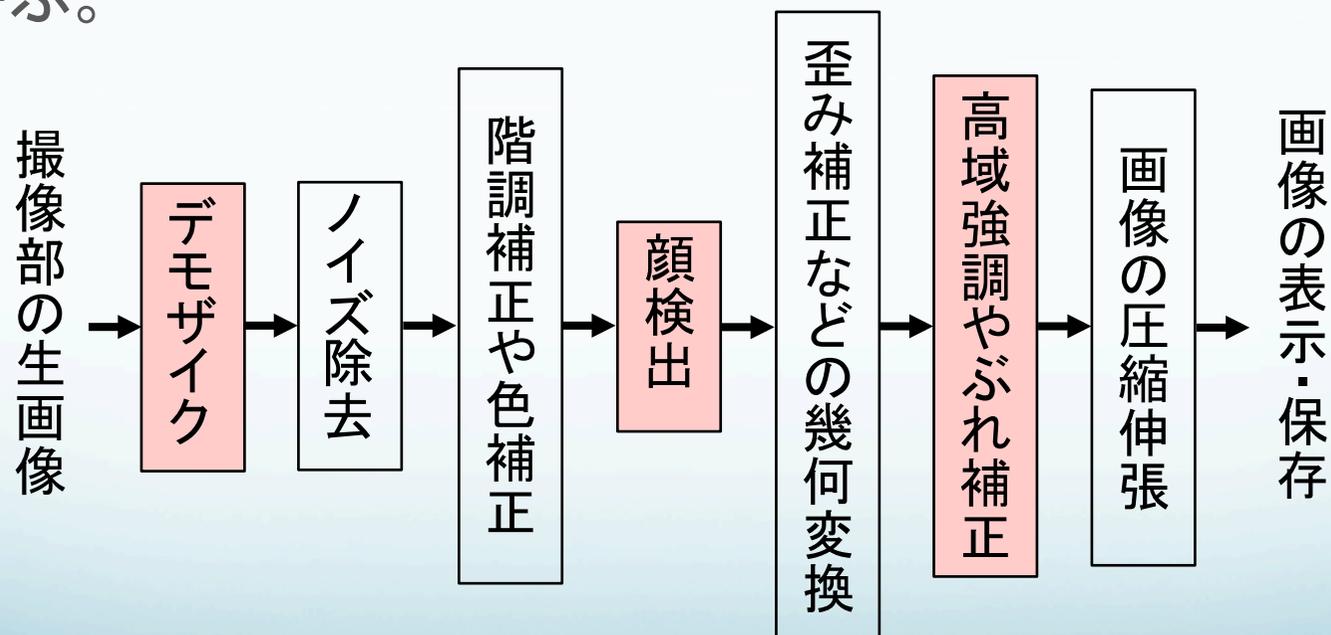
画像処理エンジンとGPUの比較

- パソコンにおけるグラフィックス専用コプロセッサであるGPUは、デジカメの画像処理エンジンと似たプロセッサではある。
- GPUは3Dグラフィックス表示に特化しており、画像処理エンジンは生画像の現像処理に特化している。
- パソコン用CPU+GPUに比較して、組み込みCPU+画像処理エンジンは、①消費電力が小さい(クロックが低い)、②コストが低い、③機器の機能に特化、であり、コストパフォーマンスが高い。
- 画像処理エンジンの処理は、ハードウェア化によって高速化と低消費電力化を図る傾向にある。

デジカメ画像処理のしくみ

画像処理パイプライン

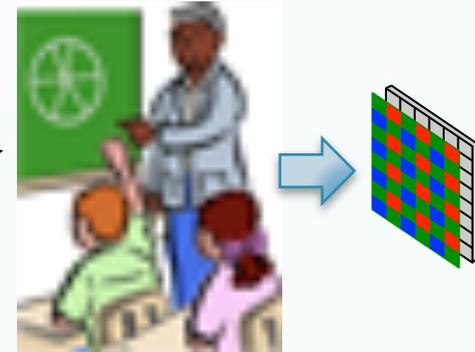
- 画像処理エンジンでは、下図のように、デモザイクと呼ばれる処理からノイズ除去や階調補正、顔検出、などの画像処理が順次実行される。この様子を**画像処理パイプライン**と呼ぶ。



カラー画像の取得

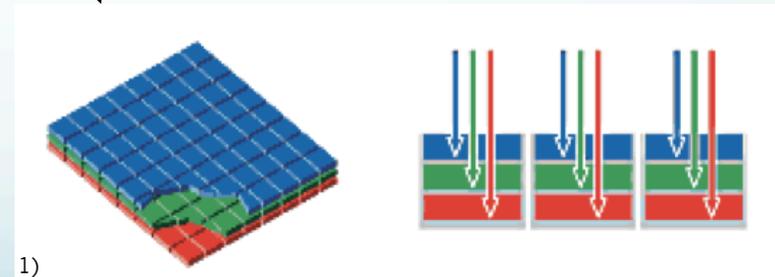
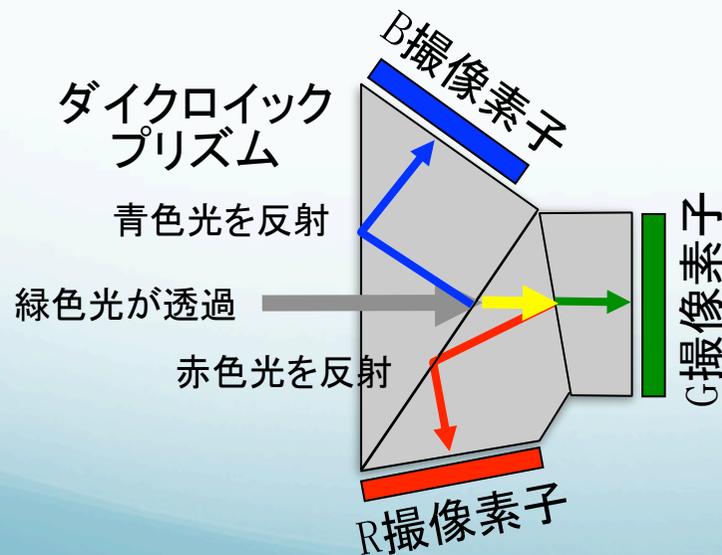
- 単板式

- カラーフィルタアレイによる三色分解
- Foveon X3 ダイレクトイメージセンサ



カラーフィルタアレイによる色分解

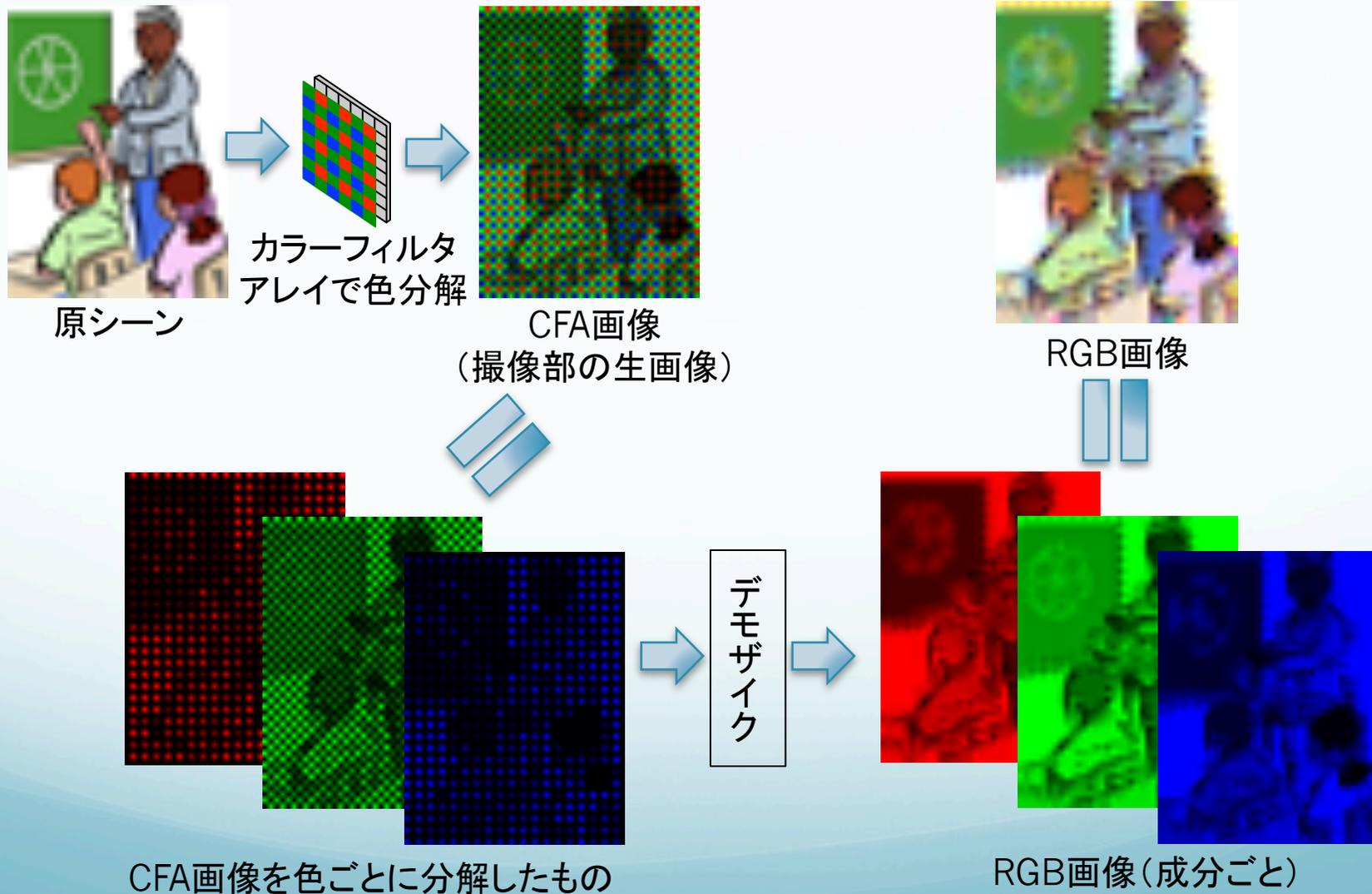
- 三板式



1)

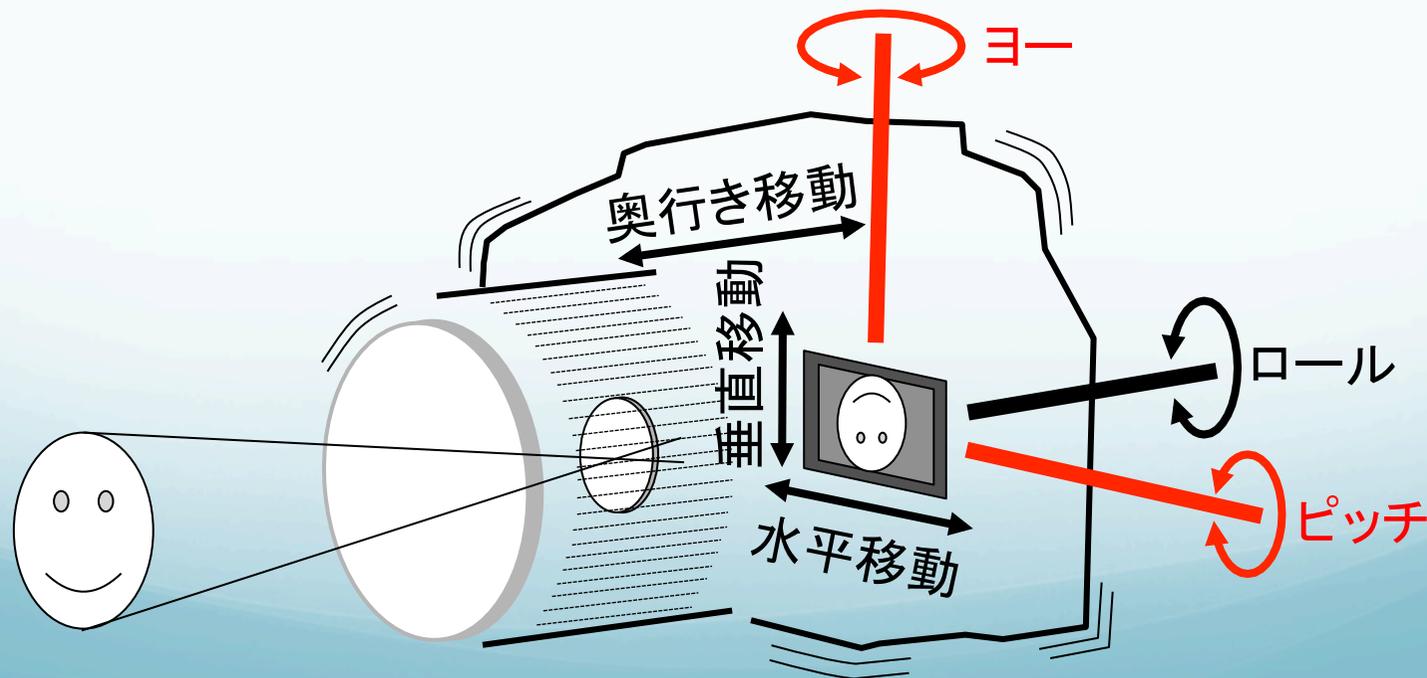
Foveon X3における色分解

CFA画像をRGB画像に変換する デモザイク



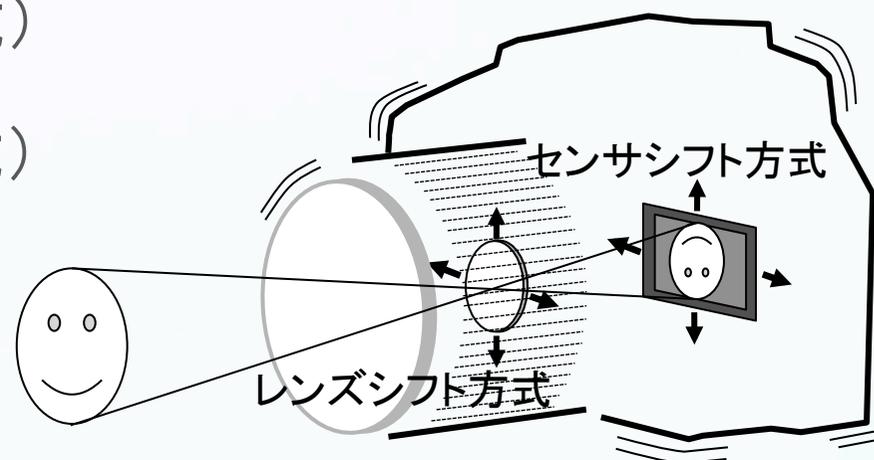
手ぶれの原因と対策

- 手ぶれによる**カメラの動き**は**3軸回転と3軸移動**に分解することができ、特に、**ヨー・ピッチ回転の影響が支配的**である。
- 光学式補正では、この動きをキャンセルするように撮影系を制御し、電子式ではぶれてしまった像を画像処理する。



光学式手ぶれ補正

- レンズシフト式 (レンズ内蔵式)
- センサシフト式 (ボディ内蔵式)
- 手ぶれ補正性能は
シャッター速度3段程度



- 一般に、シャッター速度が「 $1 / \text{レンズ焦点距離}$ 」よりも遅いと手ぶれが発生しやすい、と言われる。例えば50mmレンズを用いる場合、 $1/50\text{sec}$ が手ぶれの目安。光学式手ぶれ補正を用いると、これが $1/6.25\text{sec}$ に緩和される。

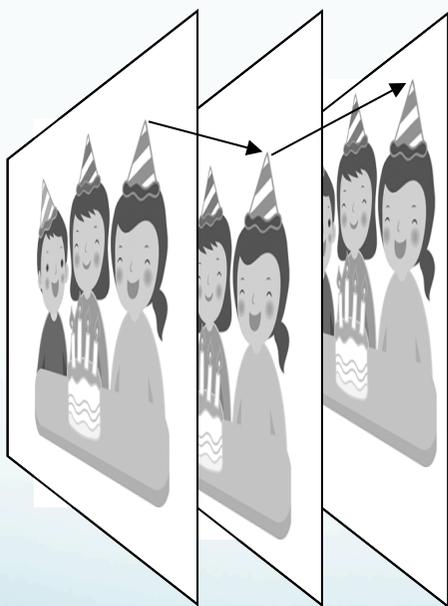
電子式手ぶれ補正

- 動画手ぶれ補正
 - 1990年前後に、ビデオカメラの手ぶれ補正で実用化された。
- 静止画手ぶれ補正
 - 加算合成式
 - 画像復元式
 - 長短露光2画像合成式
 - 携帯電話のカメラ機能や、一部のコンパクトデジカメで実用化されている。

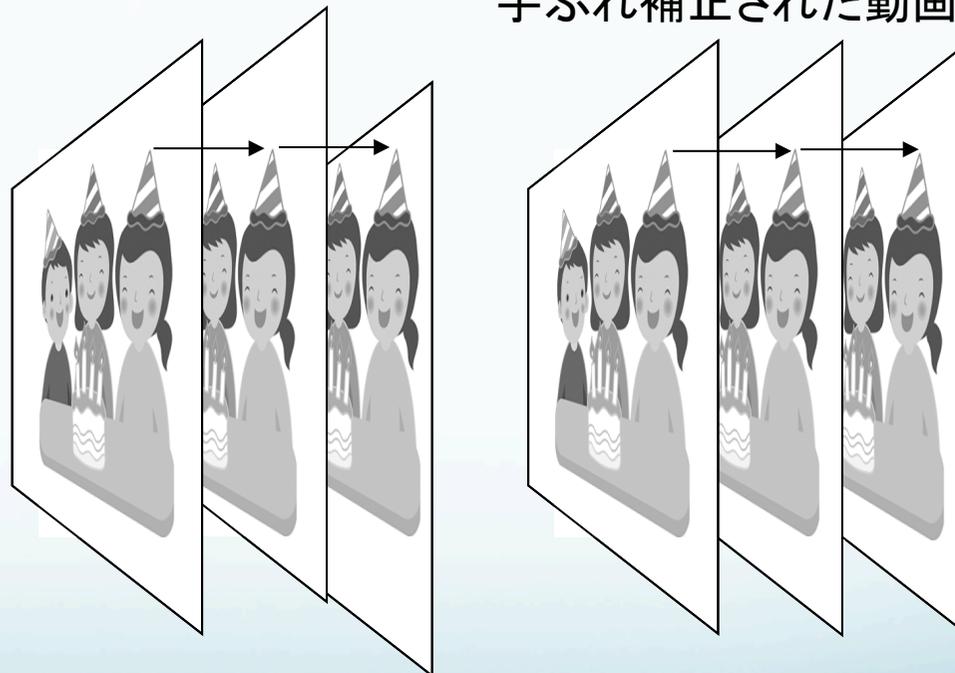
電子式動画手ぶれ補正

- 1990年前後に、ビデオカメラ用に実用化された技術

手ぶれした入力動画



手ぶれ補正された動画

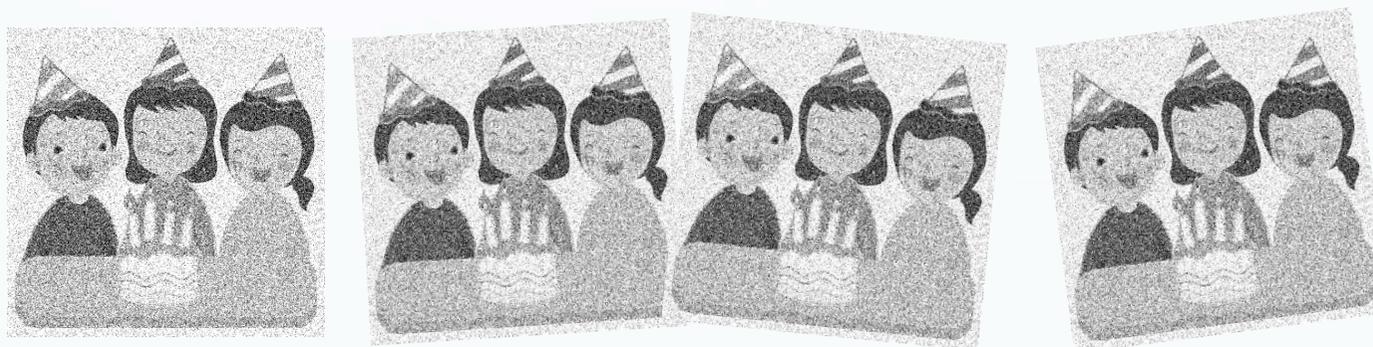


連続フレーム間で
画像を位置合わせ

画像の表示枠を再設定

電子式静止画手ぶれ補正1

- 加算合成式(補正性能2段程度)



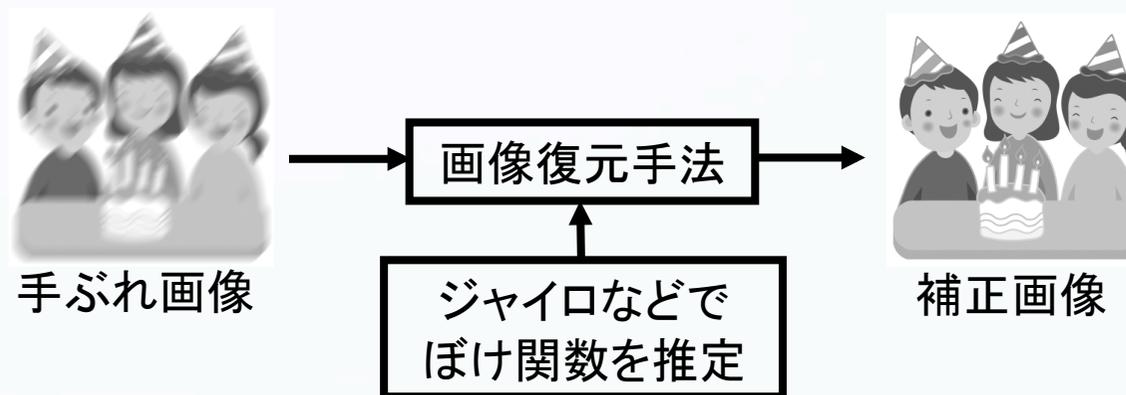
短露光で4枚程度の画像を連射撮影し、ノイズは多いが手ぶれが少ない画像を得る



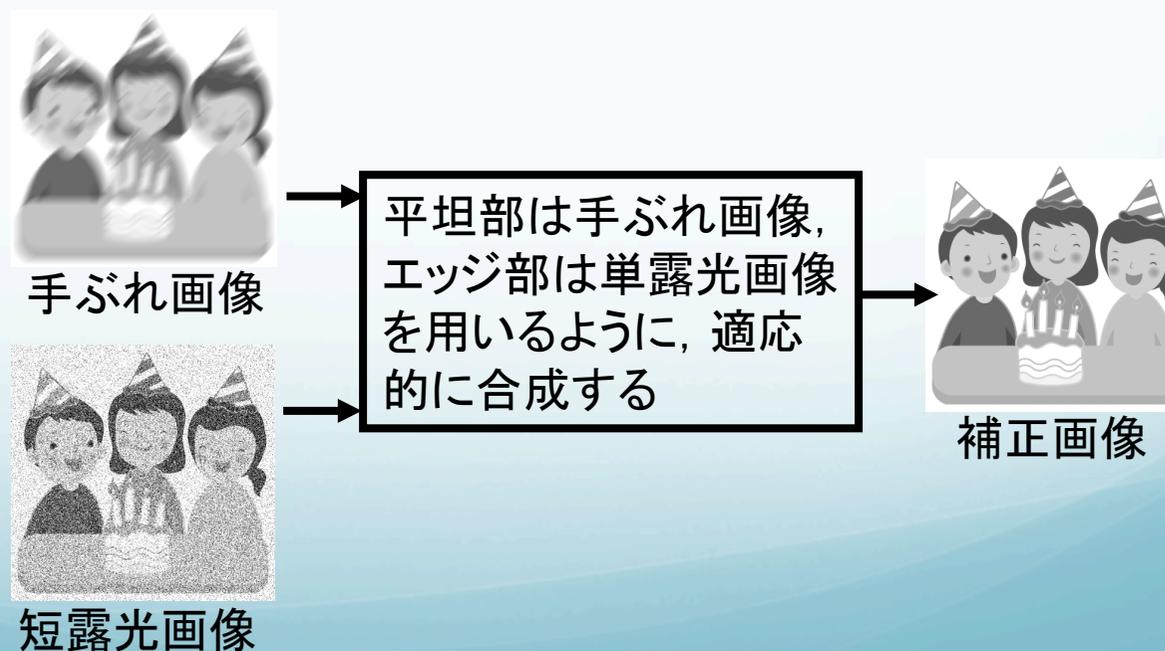
複数画像を位置合わせ・加算合成することで、手ぶれとノイズが少ない画像を得る

電子式静止画手ぶれ補正2

- 画像復元式

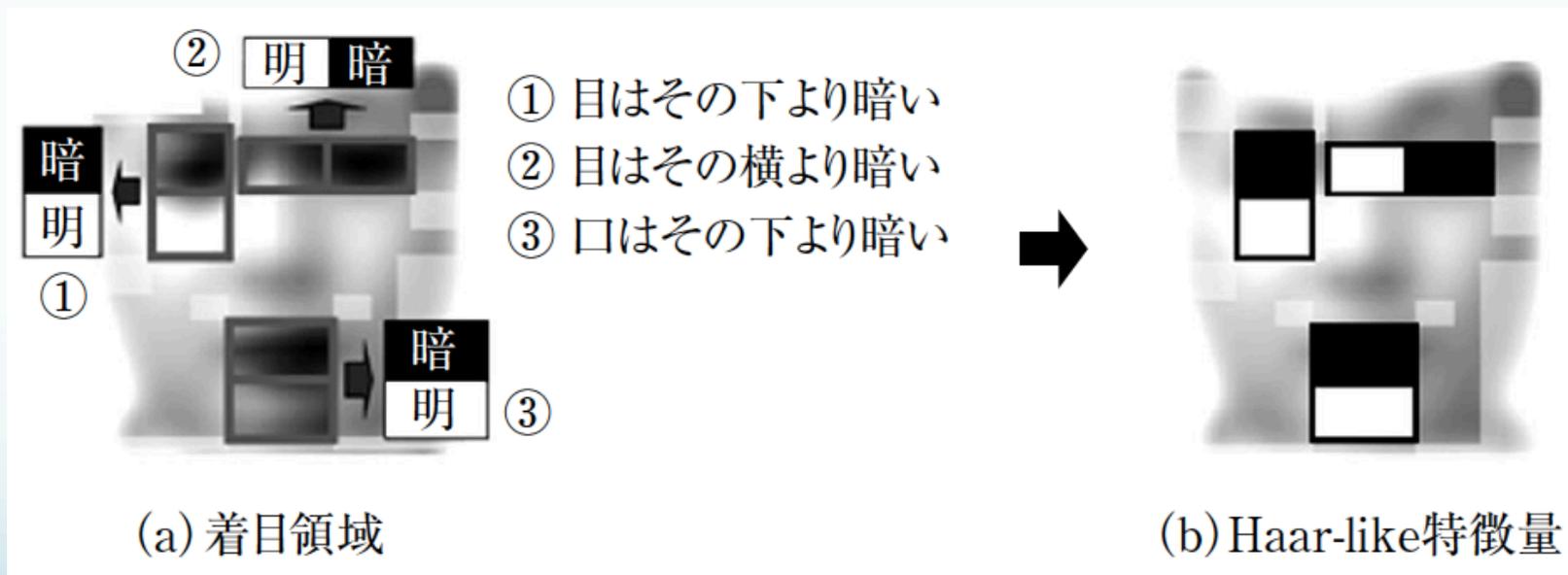


- 長短露光
2画像合成式



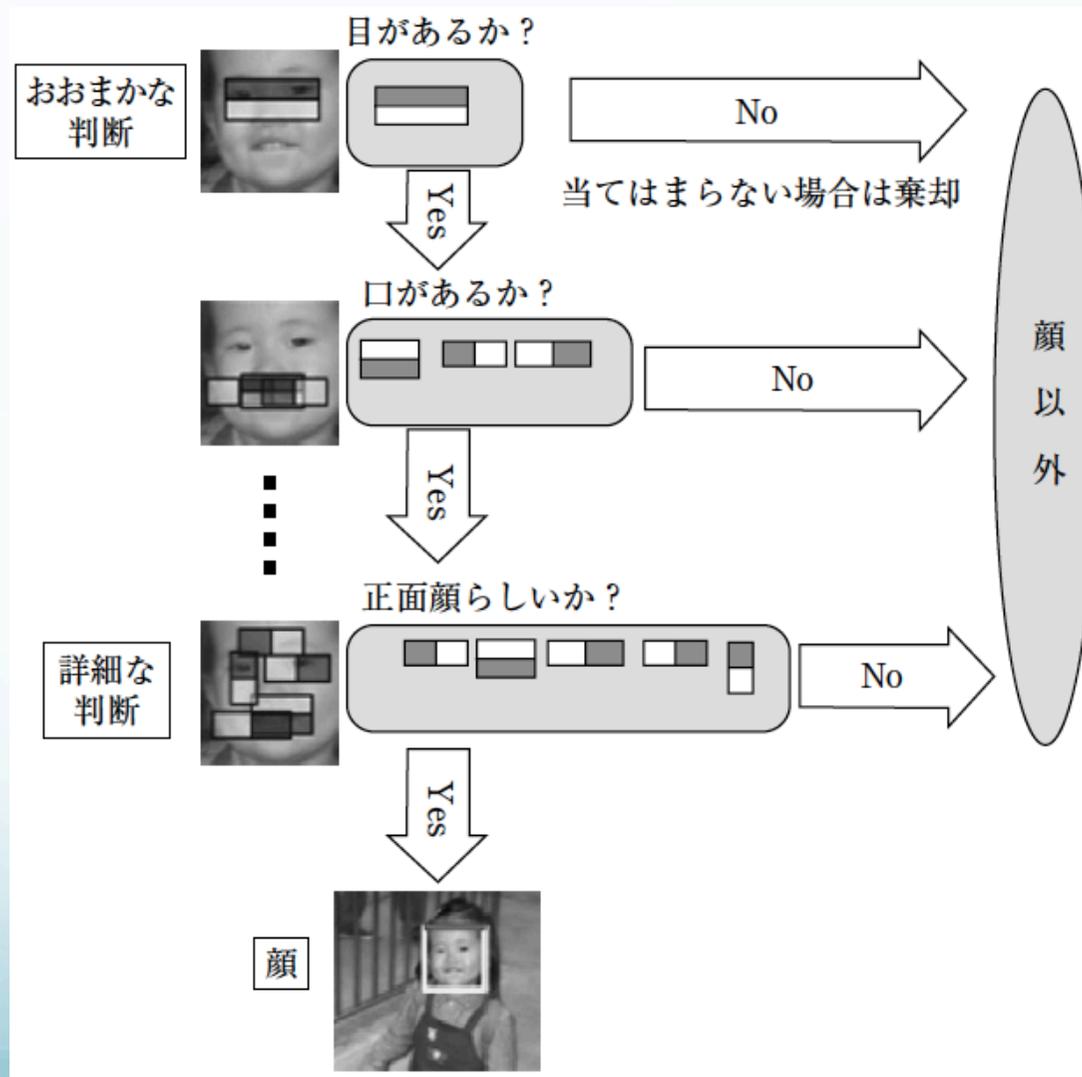
顔検出のための特徴量

- 顔の局所的な明暗差に着目した特徴量を用いる



顔検出器の構造

- AdaBoostと呼ばれる学習アルゴリズムで、顔検出に有効な特徴量を事前を選択する
- 右図のように階層的な処理で高速化を実現する



顔画像センシングで可能なこと

- 顔の検出
- 目鼻口などの顔器官検出、閉眼・開眼検出、肌領域検出
- 顔向き・視線検出
- 顔認証
- 年齢推定
- 笑顔度推定

顔最適撮影の例1

顔AF

顔AE

顔最適撮影の例2

笑顔撮影

瞳補正

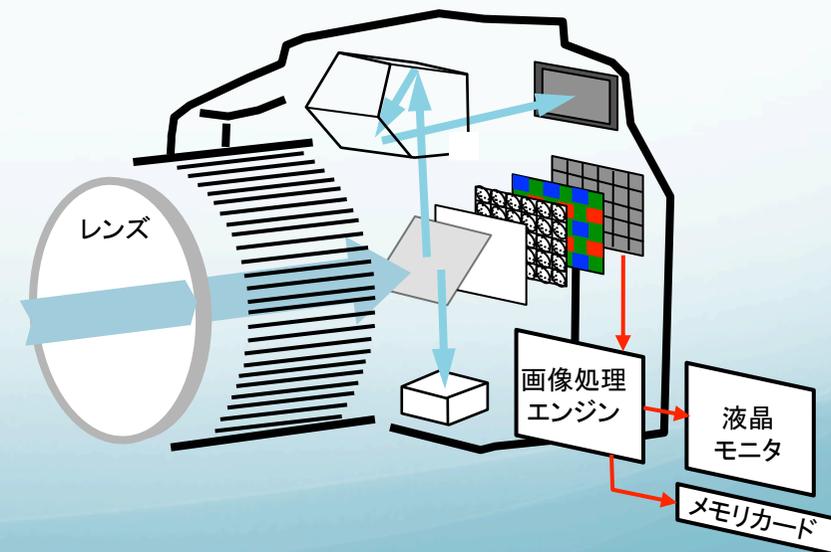
小顔補正

カメラ技術の未来

- 普通の進化
 - メカ部品、光学部品をより少なくして、**完全電子式カメラ**を目指す。一眼カメラのメカシャッターやAF機構を電子式で代替する。
 - だれでも、失敗無く、きれいな写真がとれる。**素人でもプロ並みの写真がとれる**。画像処理、ユーザインタフェース、カメラ制御の高度化。
 - ネットワーク親和性を高めて、より、**コミュニケーションツール化**していく。
- **コンピューショナルフォトグラフィ**
 - **ライトフィールドカメラ(光線空間カメラ)**
 - 符号化露光による「ぶれ」「ぼけ」の解消

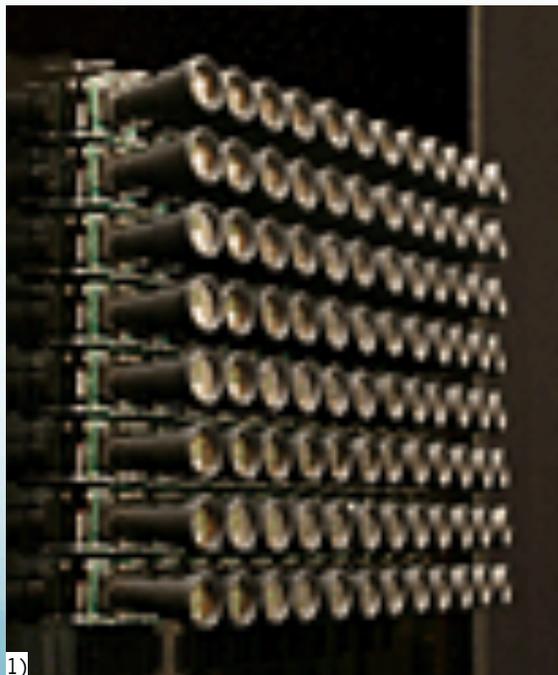
コンピューターショナルフォトグラフィ

- これまでのデジカメ画像処理は、レンズが生成する光像を忠実に取り出すための処理にすぎないと言える。
- 逆に、高度で複雑な後処理を前提として、レンズ系／撮像部／画像処理を再設計するデジタル写真技術をコンピューターショナルフォトグラフィと呼ぶ。
- その代表的な手法が
ライトフィールドカメラと
符号化露光撮影



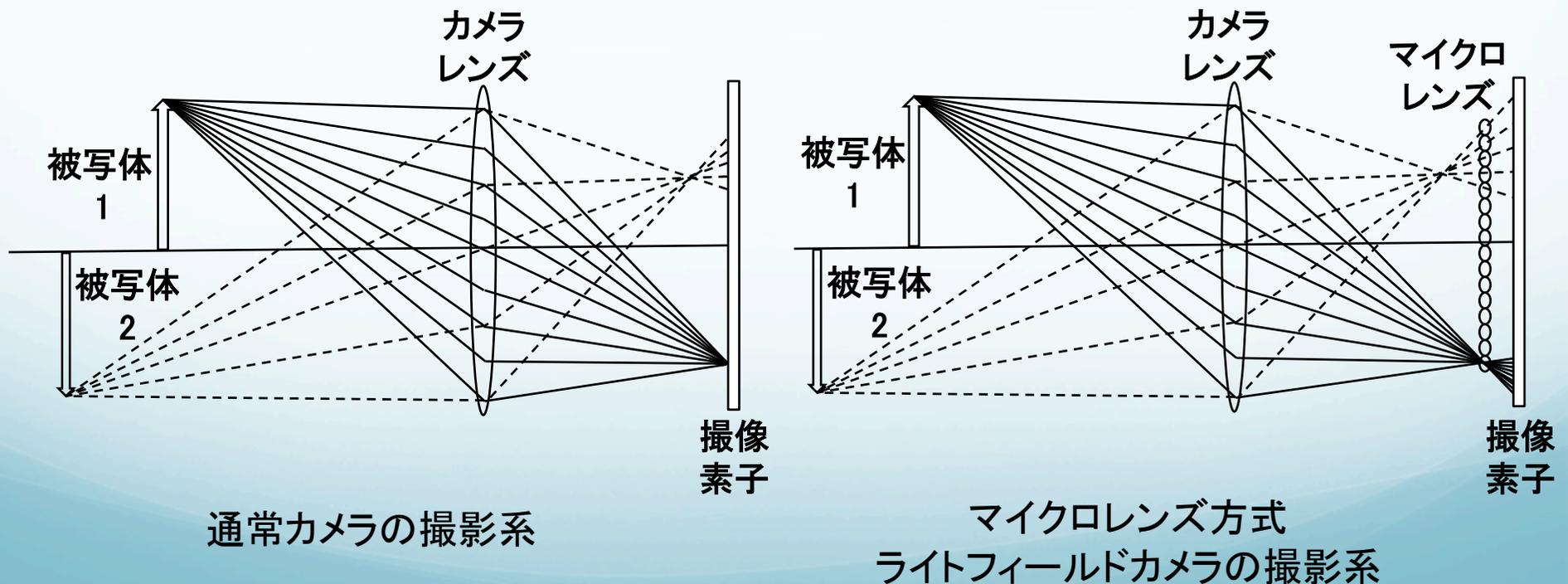
ライトフィールドカメラの機能試作

- ピンホールカメラは空間の1点を通過する光線を記録する装置である。一方、多数のピンホールカメラを空間的に密に配置して画像群を取得する装置は、光線空間を取得するカメラという意味で、ライトフィールドカメラと呼ばれる。



マイクロレンズ方式 ライトフィールドカメラ

- 通常カメラの撮像面にマイクロレンズを挿入し、撮像素子をその後ろに配置することで、前ページの機能試作と同様に、光線空間を密にサンプリングすることが可能になる。



ライトフィールドカメラの可能性

- ライトフィールドカメラによって、写真撮影後にフォーカスを合わせ直す**リフォーカス**などが可能になる。
- ライトフィールドカメラの試作品が米国Refocus Imaging社から、また、世界初の製品がドイツRaytrix社から発表されている。詳細は、以下のWebサイトを参照。

<http://www.refocusimaging.com/about/index.html>

<http://raytrix.de/index.php/home.181.html>

<http://www.tgeorgiev.net/>

<http://graphics.stanford.edu/~levoy/publications.html#computational-photography>