

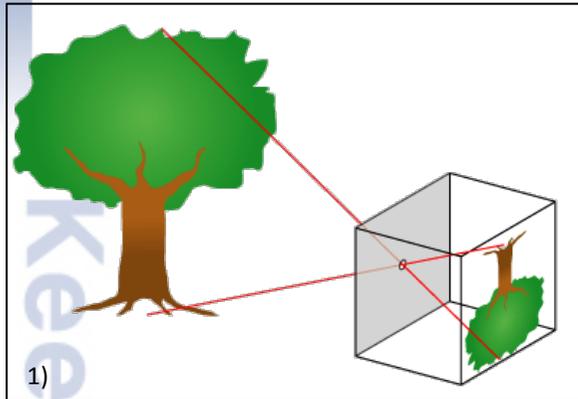
# デジタル写真と コンピュータ技術の融合

京都産業大学  
コンピュータ理工学部  
蚊野 浩

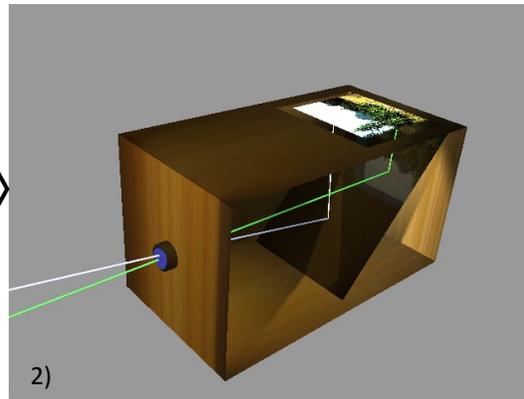
- 写真画像処理
  - デモザイク、ノイズ除去
  - 階調補正、トーンマネジメント、ホワイトバランス
  - レンズ歪み補正、手ぶれ・ピンぼけ補正
  - シェーディング補正、HDR画像生成
  - 画像修復、超解像、顔画像の検出・美肌処理
- Computational Photography
  - ライトフィールドカメラ
  - 符号化露光・符号化開口
  - 波面符号化による被写界深度の拡大

# カメラ技術の過去から現在

原理の発見：  
紀元前



レンズの利用：  
ルネッサンス期



写真の発明：  
1800年代前半



1800年代後半

- 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

1900年代前半

- 高柳による電子式テレビ受像機
- 電子式テレビ撮像機

テレビジョン技術

- ⇒ 写真産業
- ⇒ 映画産業
- ⇒ テレビ産業

1) <http://ja.wikipedia.org/wiki/ピンホールカメラ#mediaviewer/File:Pinhole-camera.png>

2) [http://ja.wikipedia.org/wiki/カメラ・オブスクラ#mediaviewer/File:Camera\\_obscura\\_box.jpg](http://ja.wikipedia.org/wiki/カメラ・オブスクラ#mediaviewer/File:Camera_obscura_box.jpg)

3) [http://ja.wikipedia.org/wiki/ニセフォール・ニエプス#mediaviewer/File:Nicéphore\\_Niépce\\_Oldest\\_Phograph\\_1825.jpg](http://ja.wikipedia.org/wiki/ニセフォール・ニエプス#mediaviewer/File:Nicéphore_Niépce_Oldest_Phograph_1825.jpg)

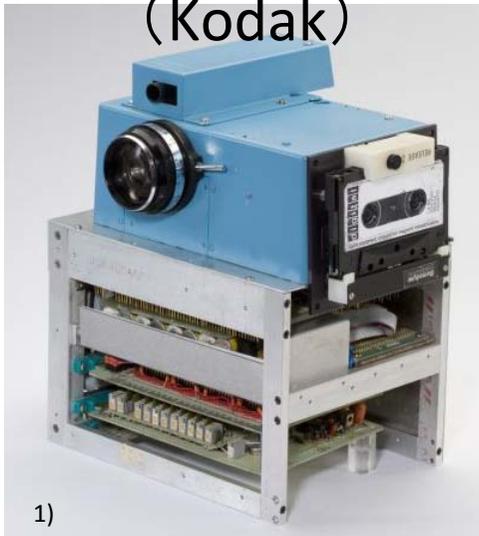
# CCD誕生からデジカメ元年

1969年  
CCDの発明

1980年代  
電子スチルカメラ

1995年(デジカメ元年)  
カシオQV-10

1975年  
デジタルカメラ試作  
(Kodak)



1988年  
世界初の  
デジタルカメラ  
(富士フィルム)



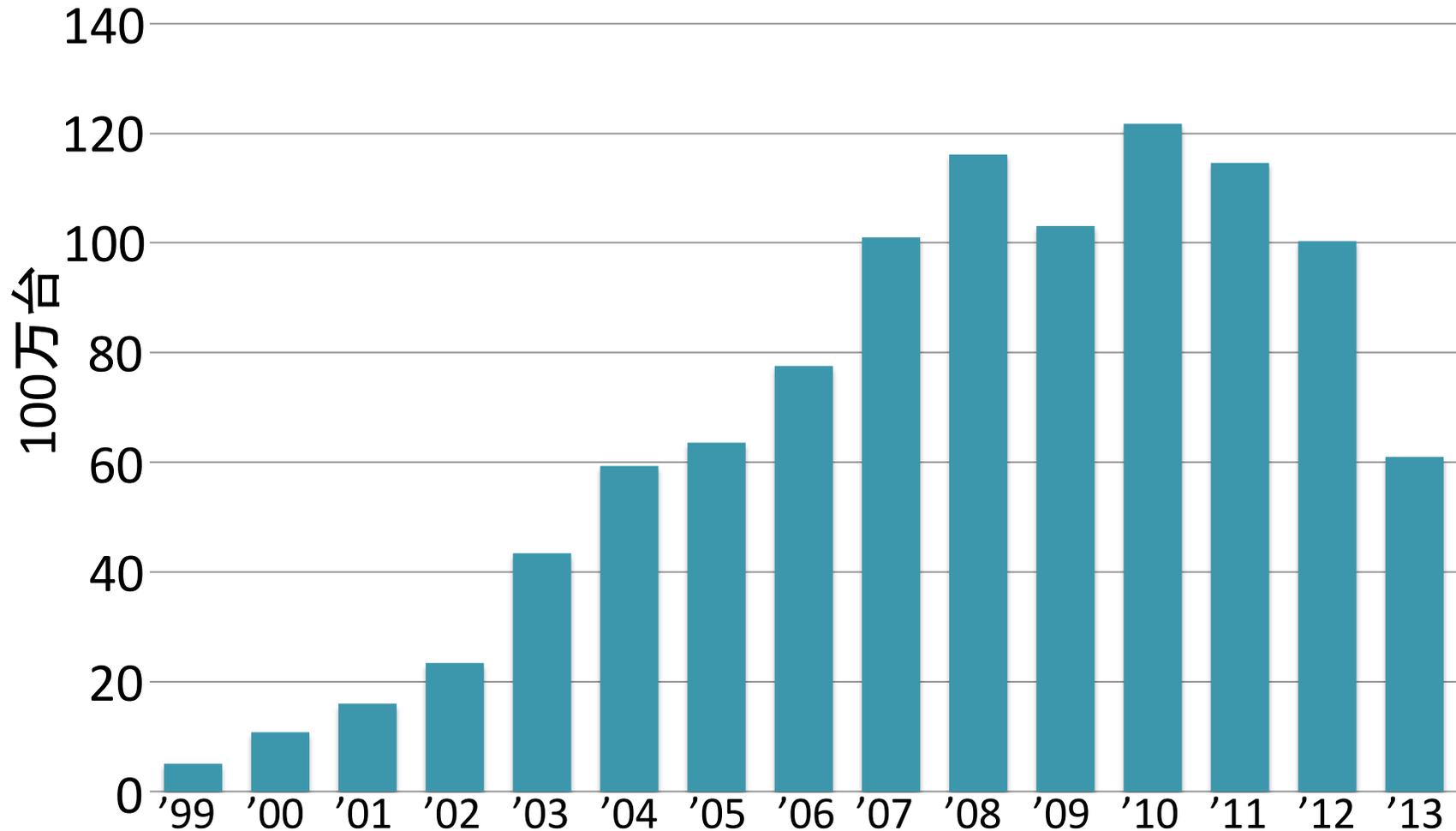
25万画素  
2MBフラッシュ  
320×240の画像を  
96枚記録  
1.6インチモニタ

1) [http://www.kodak.com/US/images/en/corp/1000nerds/steveSasson/1\\_Camera.jpg](http://www.kodak.com/US/images/en/corp/1000nerds/steveSasson/1_Camera.jpg)

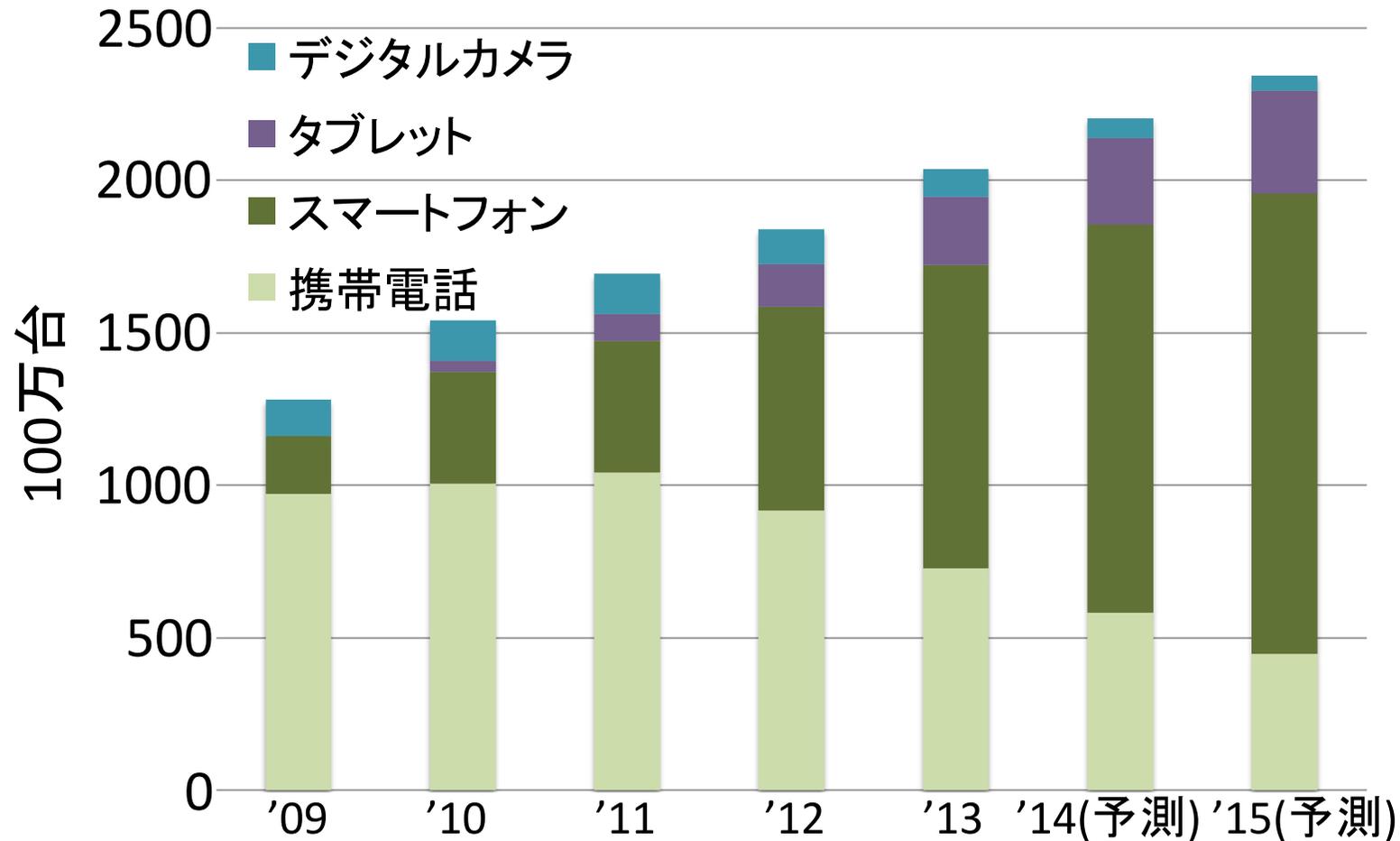
2) <http://www.fujifilm.co.jp/corporate/jobs/technology/first/>

3) <http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:QV-10.jpg>

# デジタルカメラの出荷台数

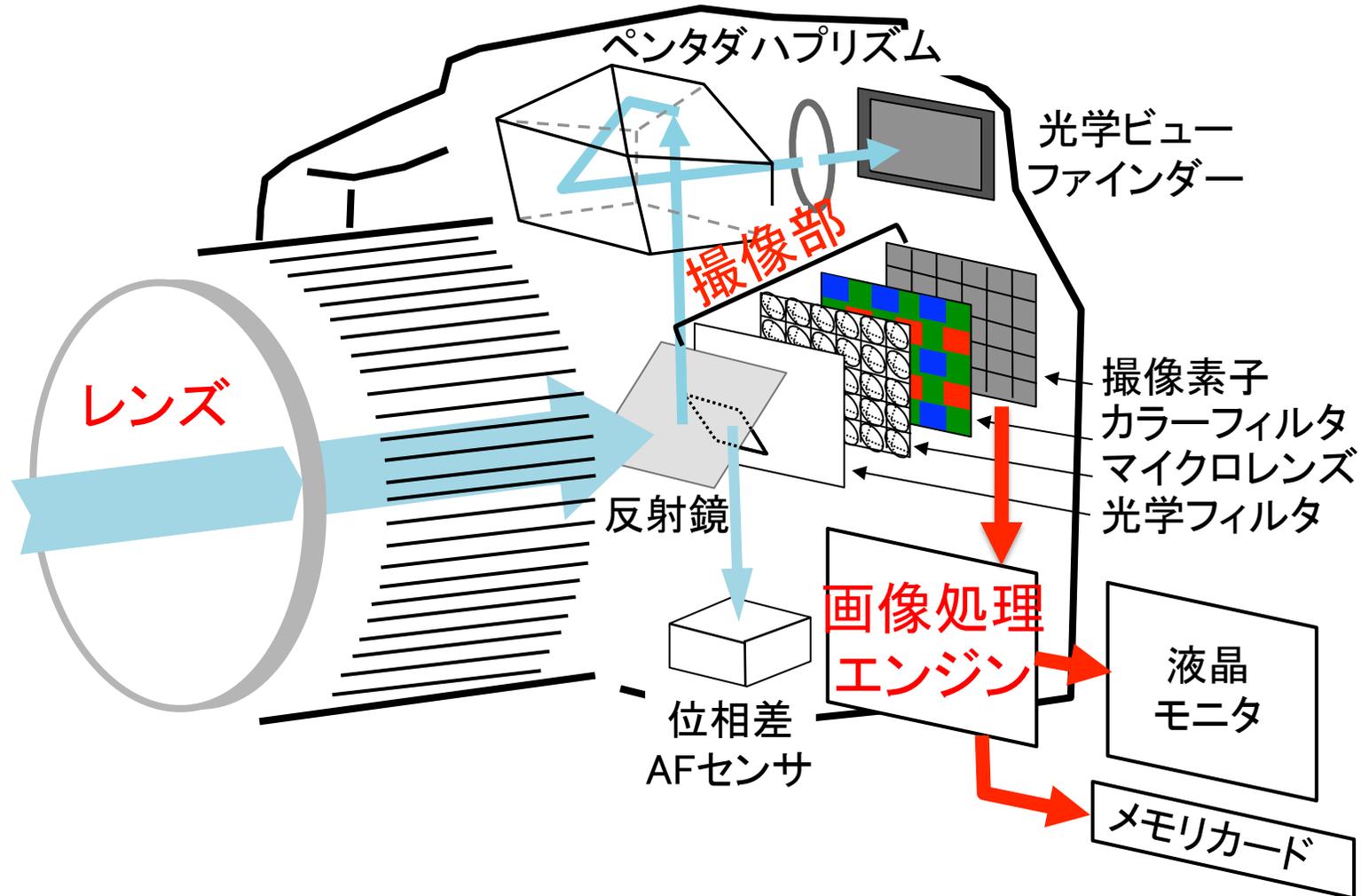


# 写真を撮影できる機器の出荷台数

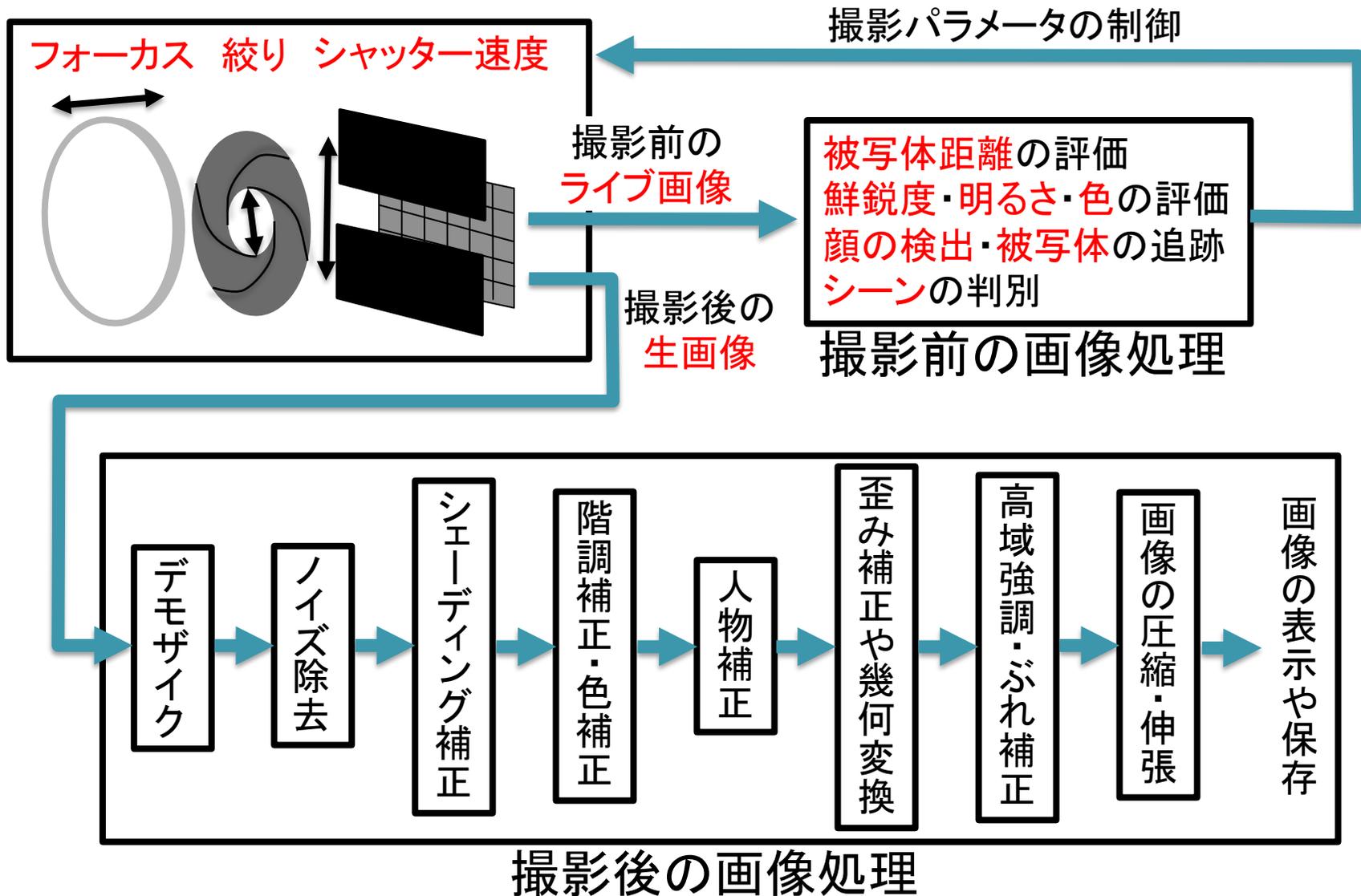


# デジタルカメラにおける 写真画像処理

# 一眼レフ デジタルカメラの構成



# デジタルカメラ画像処理の全体像

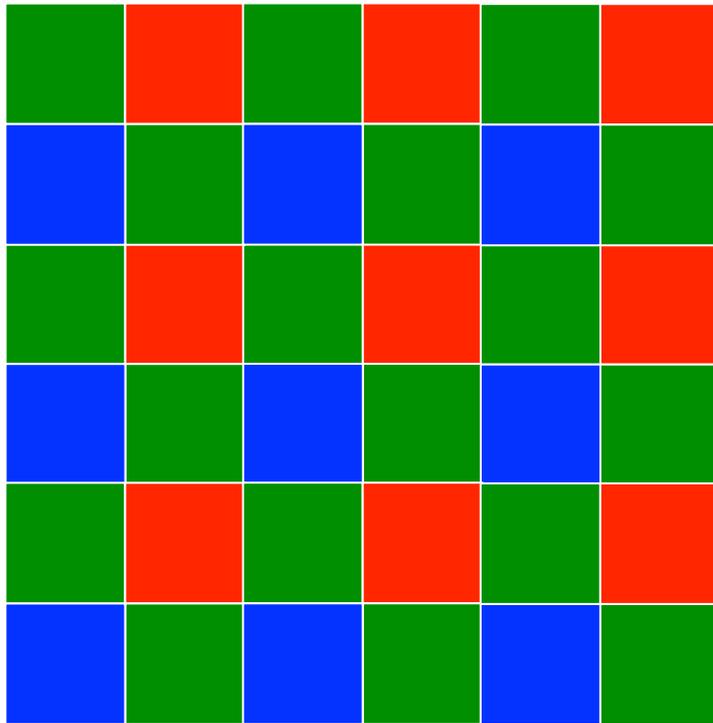


# カラー画像の入力方式

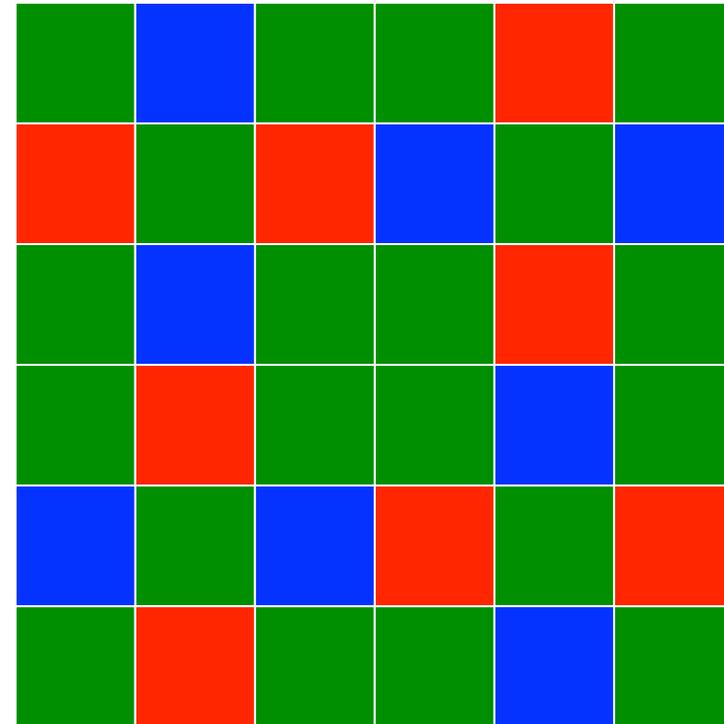
- 単板式
  - カラーフィルタアレイ(CFA) + デモザイク
- 3板式
  - 色分解プリズム + 3枚の画像センサ
- Foveonセンサ
  - 単板のCMOS画像センサでカラーフィルタアレイが不要
  - 画素の厚み方向に3色分解

# カラーフィルタアレイ

Keep Innovating.



バイヤー型配列



富士フィルム X-Trans CMOS

# デモザイク

- カラーフィルタアレイで色分解した画像(CFA画像)は、各画素がRGBいずれか一つの値だけを持つ不完全なカラー画像である。CFA画像からRGB画像を生成する処理をデモザイクと呼ぶ。
- デモザイクは画像信号の補間である。しかし、バイリニア法やバイキュービック法など、一般的な方法を用いると、信号が急激に変化する部分で「偽色」と呼ばれるアーチファクトが発生する。
- デモザイクに適した画像の補間法が研究されている。RGB信号の相関を利用することで、解像度をそれほど犠牲にすることなく、偽色を抑えることが可能である。

# 画像に発生するノイズ



ノイズが無い画像



ランダムノイズ



固定的な  
インパルスノイズ



両ノイズが  
重畳した画像

# ノイズの原因と対策

- 主な原因
  - フォトダイオードの暗電流による固定パターンノイズ
  - フォトダイオードに近接したアンプのノイズ
    - $1/f$ ノイズ
    - ランダムテレグラフノイズ
  - 画素をリセットする時に発生するノイズ
  - 電荷を転送するとき発生する回路的なノイズ
- 対策
  - 半導体プロセスの改良
  - 回路的な工夫
  - 画像信号の処理

# 画像処理によるノイズ除去の比較

- サンプル画像Lenaに白色ガウス雑音を加えた疑似ノイズ画像を画像処理でノイズ除去し、元画像とのPSNRを評価した。

ノイズ画像	ガウス平滑化	バイラテラルフィルタ	BM3D
20dB	29.12dB	29.80dB	31.94dB

PSNR: Peak Signal Noise Ratio。2画像の違いを客観的に評価する数値。原画像を $S(i,j)$ ・ノイズ画像を $N(i,j)$ (ただし $i=1\sim m, j=1\sim n$ 、画素値 $=0\sim p$ )としたとき、 $PSNR = 10\log_{10}(p^2/MSE)$ 。MSEは二乗平均誤差で、 $MSE = \sqrt{(\sum(S(i,j)-N(i,j))^2)/(mn)}$ 。20dBは白色ガウス雑音の標準偏差が画素値の振幅(0~p)の10%で、かなりノイズが多い画像である。40dBあれば、視覚的に2画像の区別が難しい。

# ノイズ除去効画像の比較

原画像



ノイズ画像: 20dB



ガウス平滑化: 29.12dB



バイラテラルフィルタ: 29.80dB

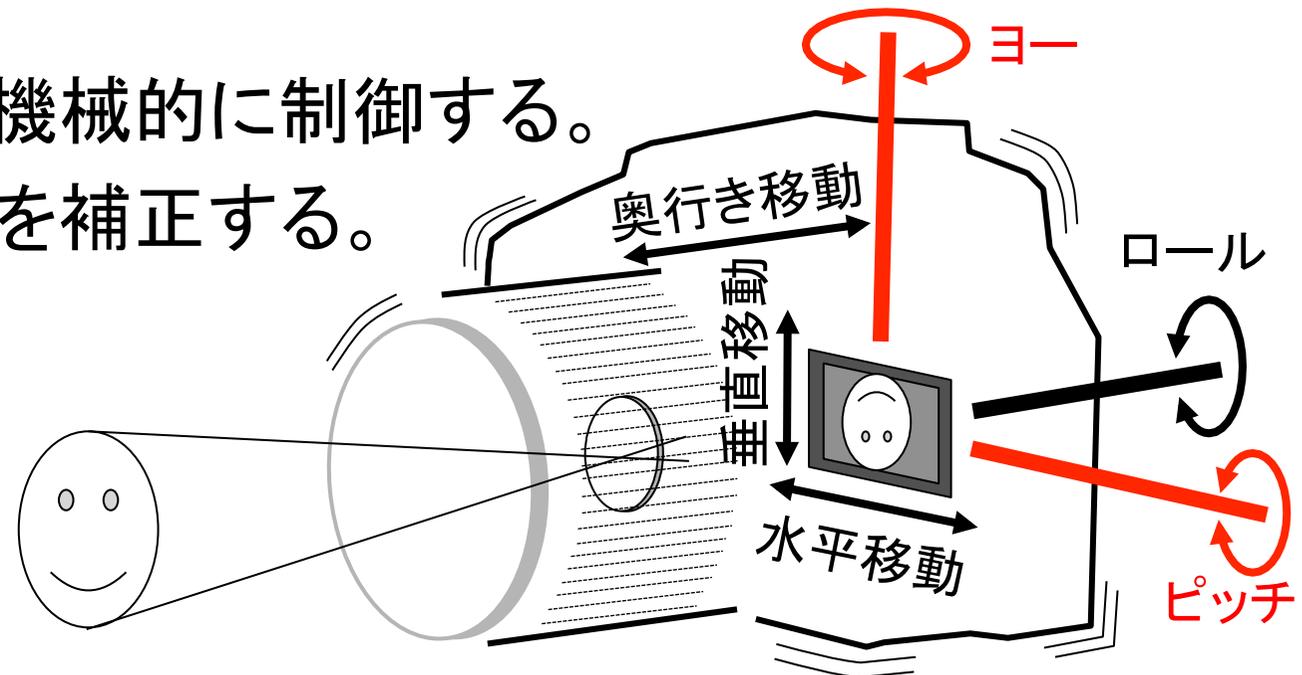


BM3D: 31.94dB



# 手ぶれ補正

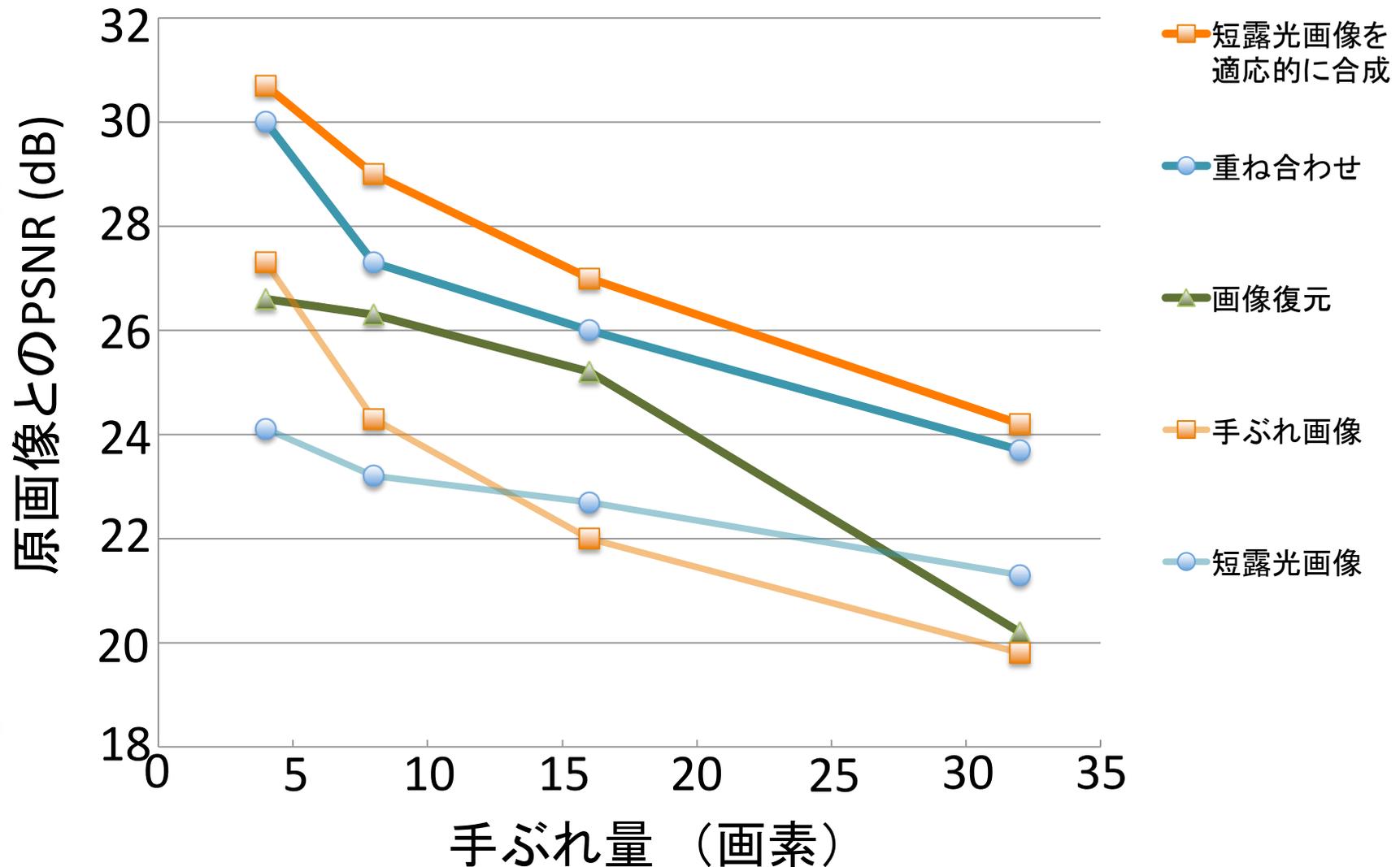
- 手ぶれの影響
  - 「3軸の回転」と「3方向の移動」に分解できる。
  - ヨーとピッチが支配的。他も無視はできない。
- 補正方法
  - 撮影系を機械的に制御する。
  - ぶれ画像を補正する。



# 画像処理による手ぶれ補正

- 手ぶれ画像と短露光画像を適応的に合成
  - エッジ部で短露光画像の重みが大きくなるように加重平均する。
- 複数画像の重ね合わせ
  - シャッタ速度を早めた短露光画像を連射撮影する。それらを位置合わせし、重ね合わせる。
- 手ぶれ画像を画像復元
  - PSFを推定し、ウィーナフィルタなどで画像復元。

# 画像処理による手ぶれ補正の効果



# 符号化露光撮影によるぶれ補正

- 通常の手ぶれ画像を画像復元しても、ノイズやリングングが強調され良い結果にならない（前頁の画像復元のグラフ）。
- 一方、復元しやすい手ぶれ画像（高周波成分が十分に残ったぶれ画像）になるように露光状態を制御するものが符号化露光である。

# 非接触3次元計測技術と 測距・AF

# 非接触3次元計測技術

## 測距・AF

受動法

受動ステレオ法  
(2眼・多眼)

パッシブAF

位相差AF  
像面位相差AF

Shape from X  
(合焦・焦点ぼけ・陰影・動き)

コントラストAF

能動法

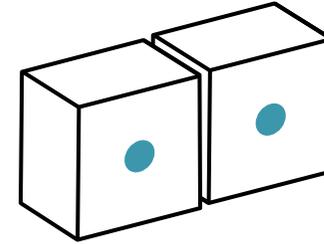
能動ステレオ法  
(光切断法、パターン光)

アクティブAF

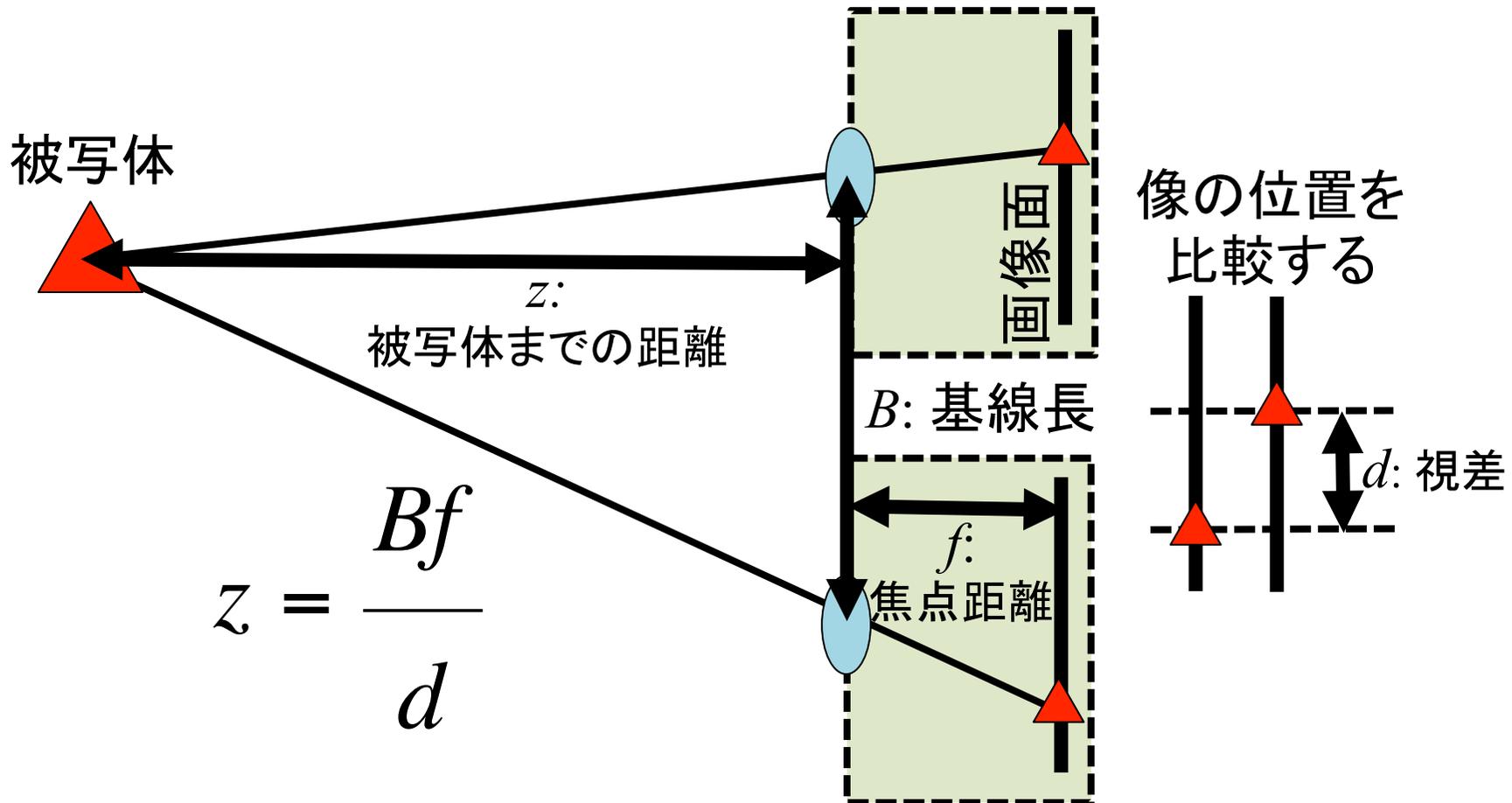
Time-of-Flight  
(光・電波・超音波)

その他、照度差ステレオ  
光干渉法など

# 受動ステレオ法

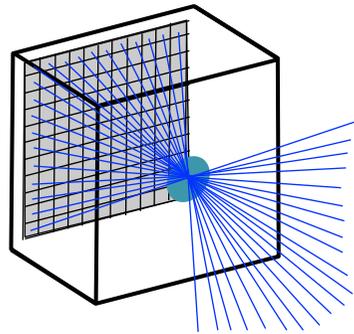


- 2台のカメラの像の位置の違いから距離を測る。

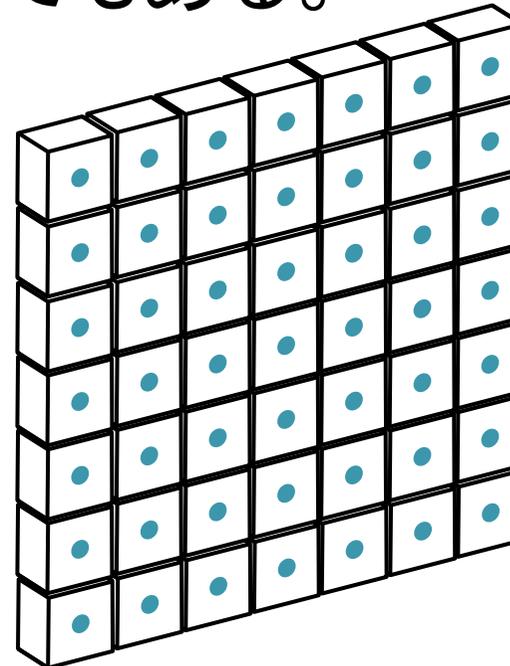


# カメラアレイ

- 縦横に規則正しく並べた多数のカメラ。
- 受動ステレオ法で距離を測ることもできるが、平面を通過する光線集合(ライトフィールド)をサンプリングする装置でもある。



要素カメラは、レンズの中心を通過する光線を2次元サンプリングする。



カメラアレイは平面を2次元サンプリングする。

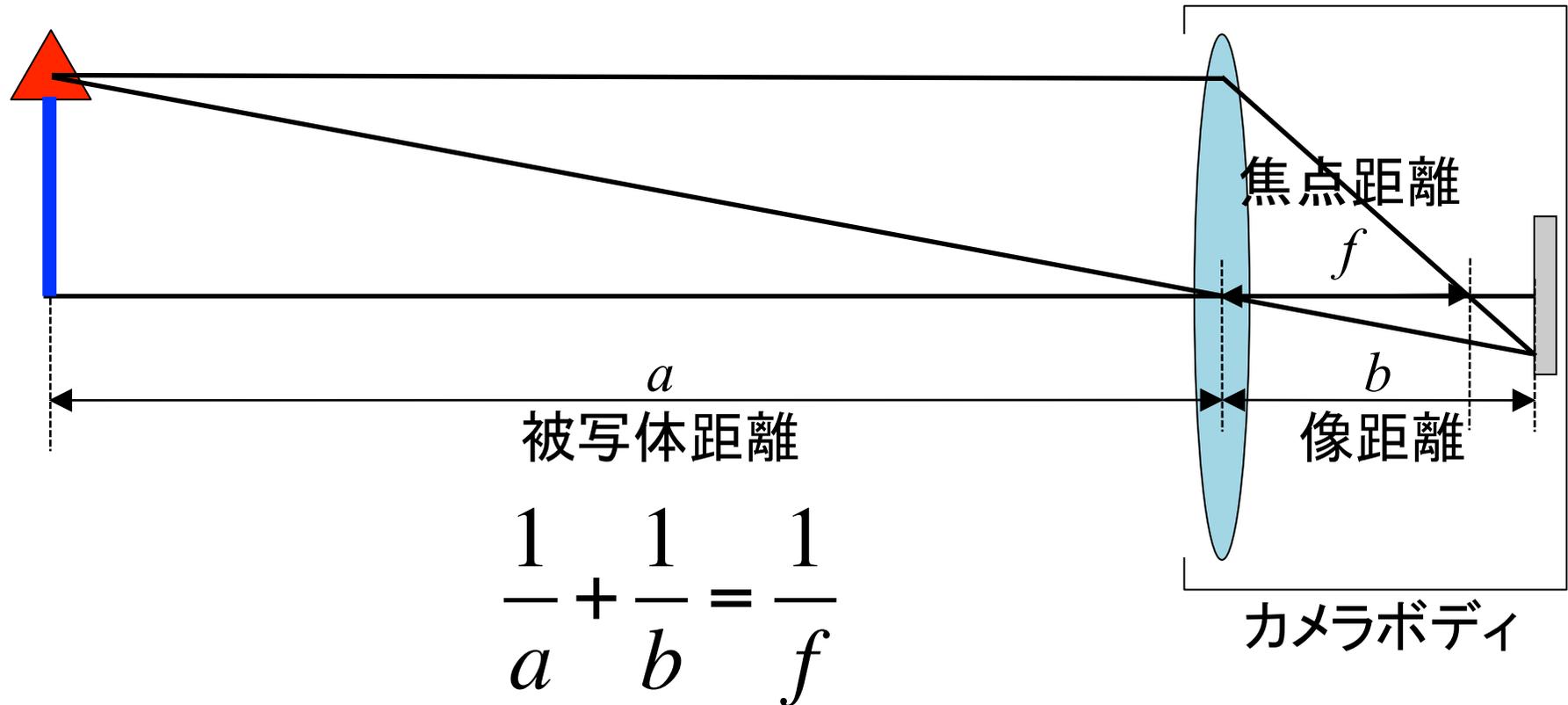
カメラアレイによって、平面を通過する光線を4次元サンプリングする。

# 光線画像処理

- 3次元空間の光線集合をデジタル処理することで、さまざまな写真画像を生成することが可能
  - 光線追跡でカメラ機能を模擬する
  - リフォーカス
  - 視点移動
  - 被写界深度制御、など

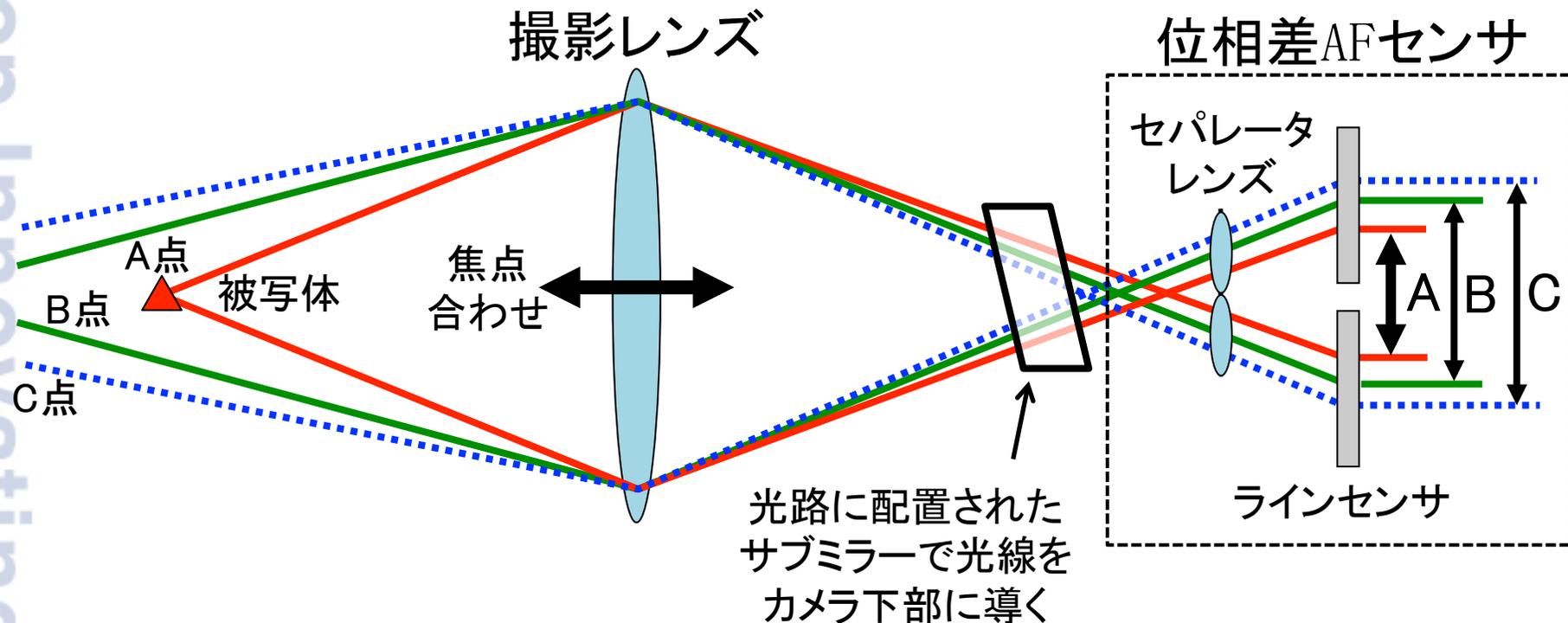
# ピント合わせ

- カメラは被写体までの距離に応じて、レンズの位置を制御する必要がある。



# 位相差AF

- 撮影レンズの両端付近を通過する光線を分離し、それらの像の位置から距離を測る。



# 像面位相差AF

- 位相差AFはライブビューで動作しない。
- そこで、画像センサに位相差AFセンサを埋め込む像面位相差AFが考案された。
- 最近では、後で述べるライトフィールドカメラと同様の動作によって、画像面の全画素で測距が可能になっている。

# ライトフィールドカメラ

Keep Innovating



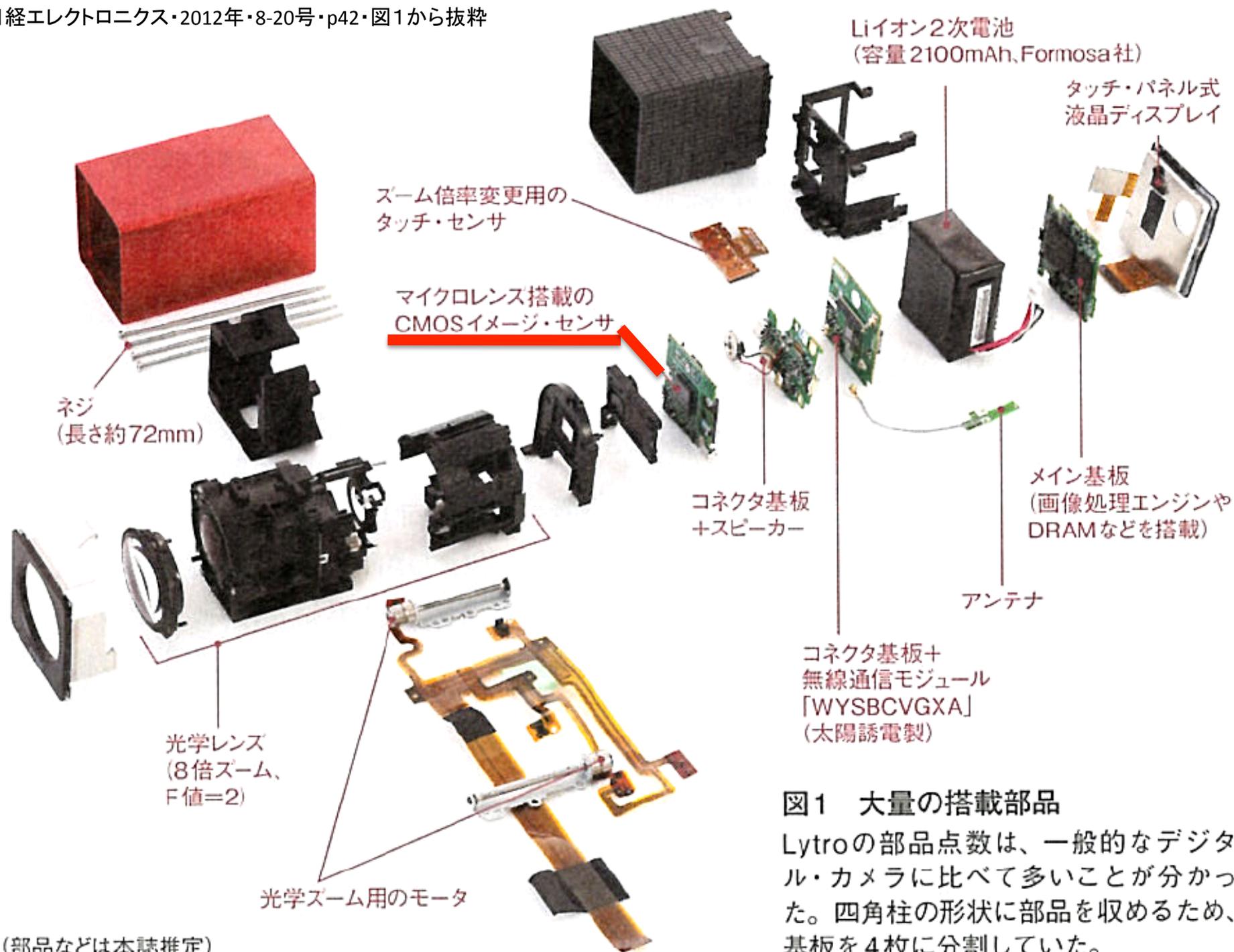


図1 大量の搭載部品

Lytroの部品点数は、一般的なデジタル・カメラに比べて多いことが分かった。四角柱の形状に部品を収めるため、基板を4枚に分割していた。

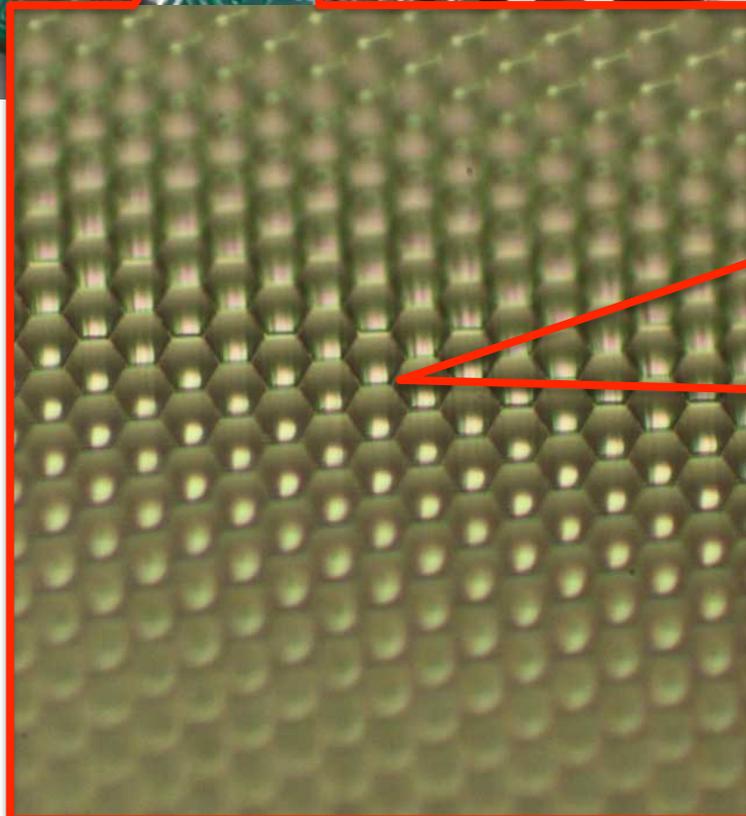
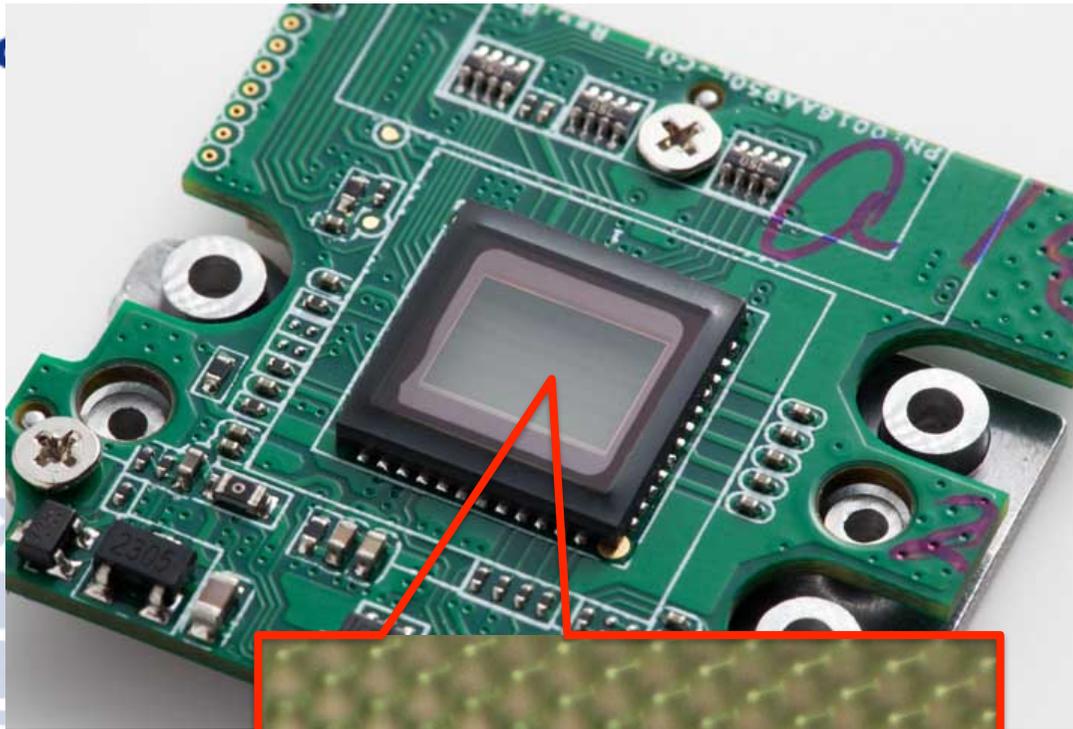
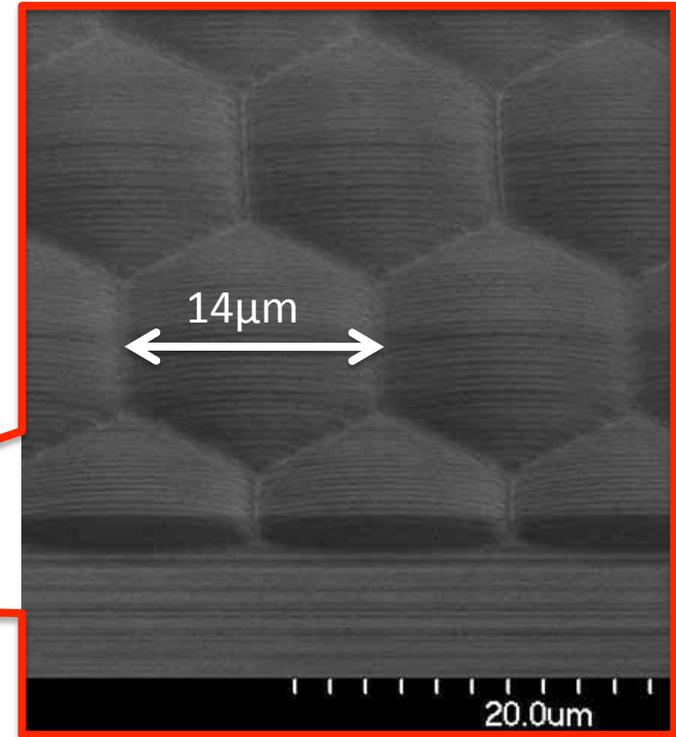
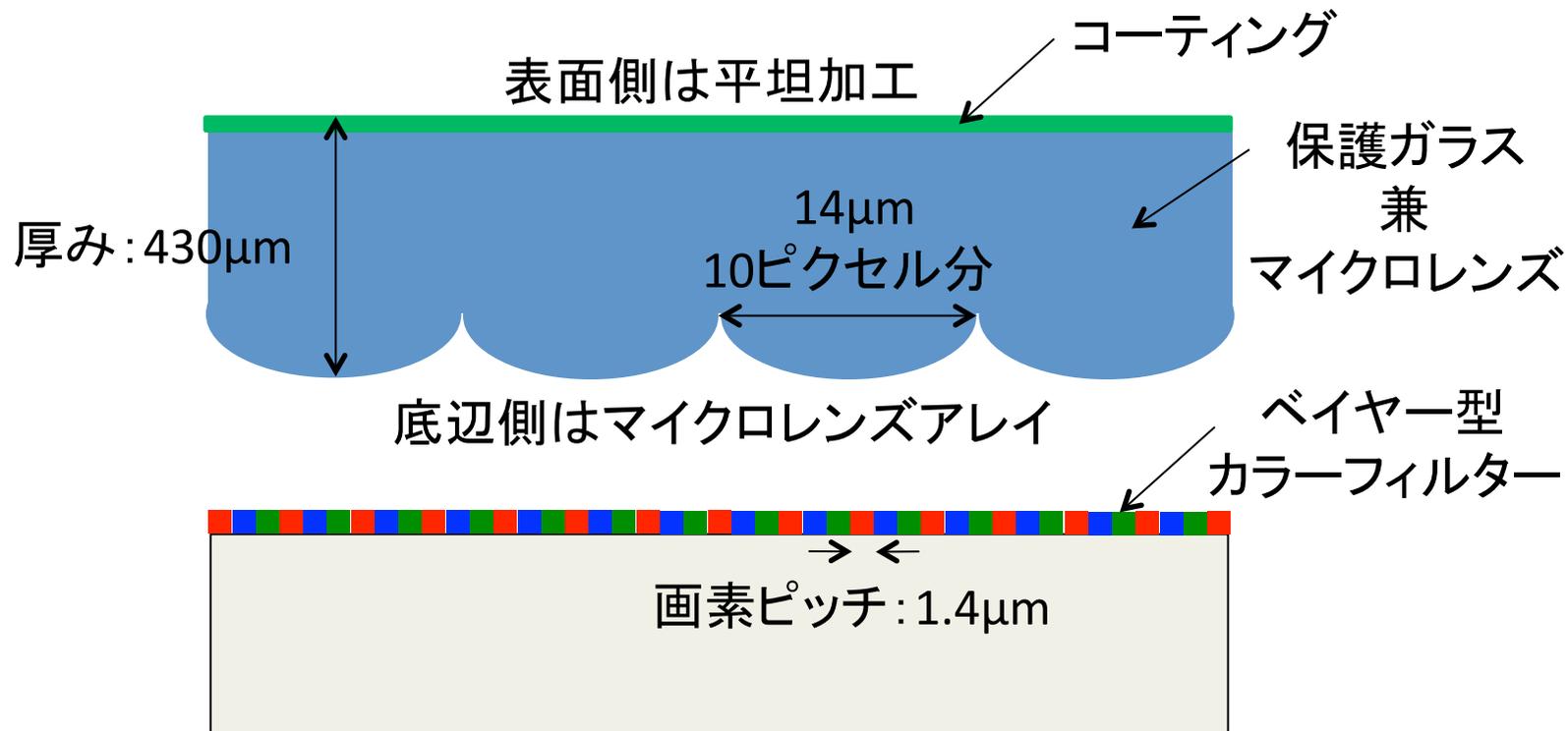


写真: 豊通エレクトロニクス ヴァン・パートナーズ  
(日経エレクトロニクス2012年8月20日号掲載)



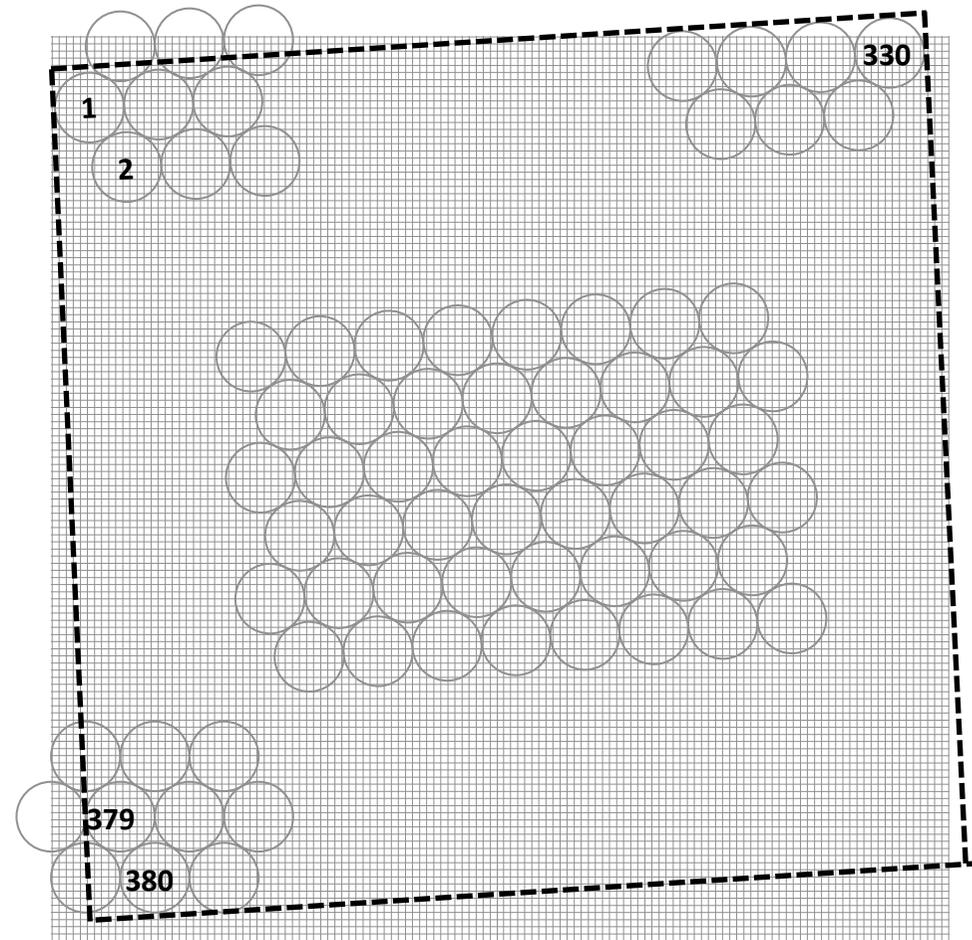
# イメージセンサ部の断面構造

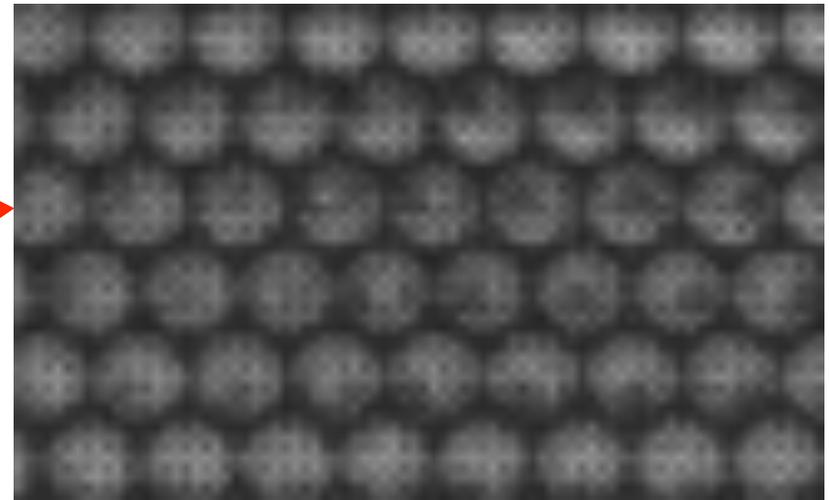
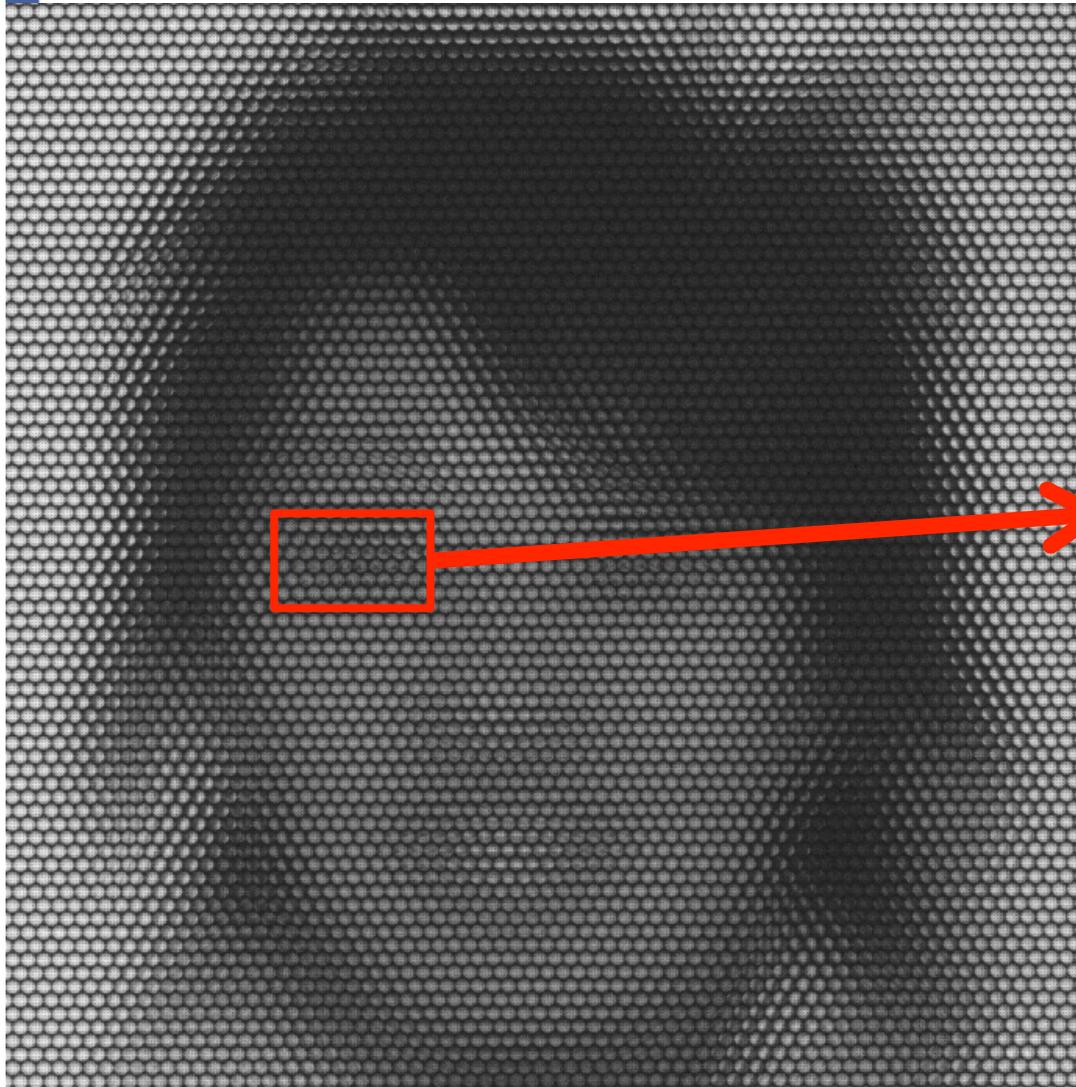
- CMOSセンサの保護ガラスとマイクロレンズが一体化
- 保護ガラスの上面側は平坦、底面側はハニカム状のマイクロレンズアレイ



# 画像センサとマイクロレンズアレイ

- 3280×3280画素の画像センサを330×380のハニカムマイクロレンズアレイがカバーする。



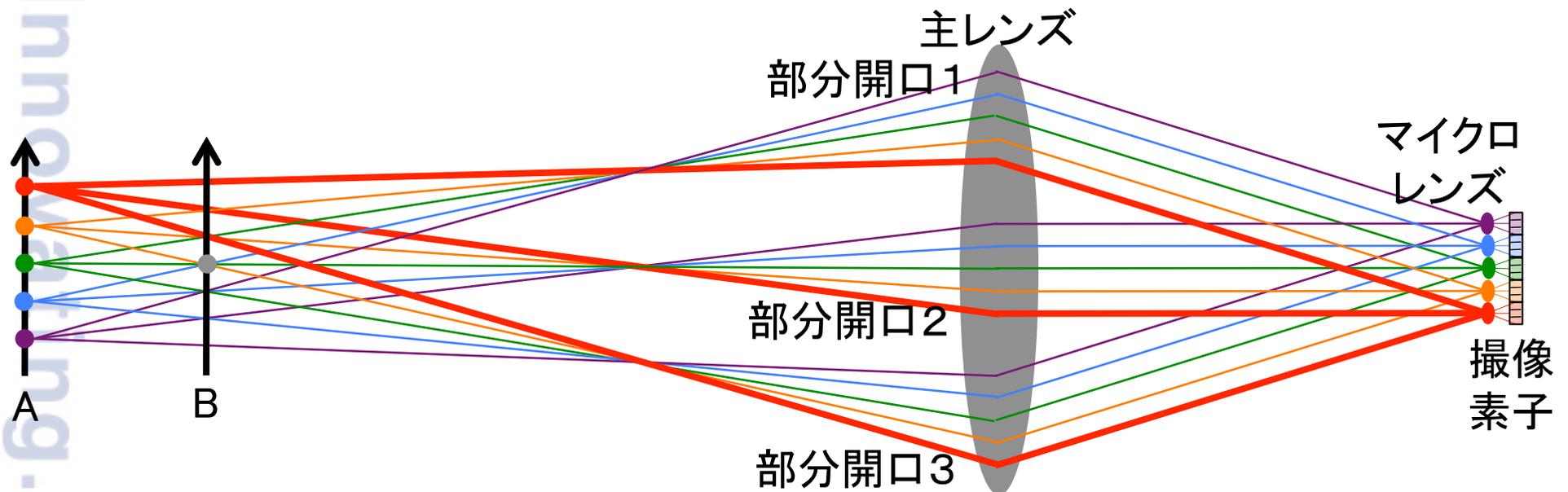


部分拡大

3280 × 3280画素の生画像  
(カラーフィルタアレイ画像)の一部

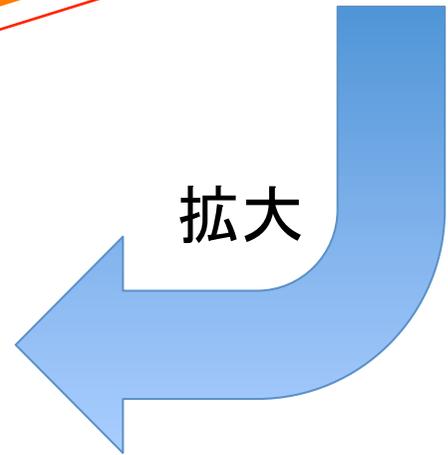
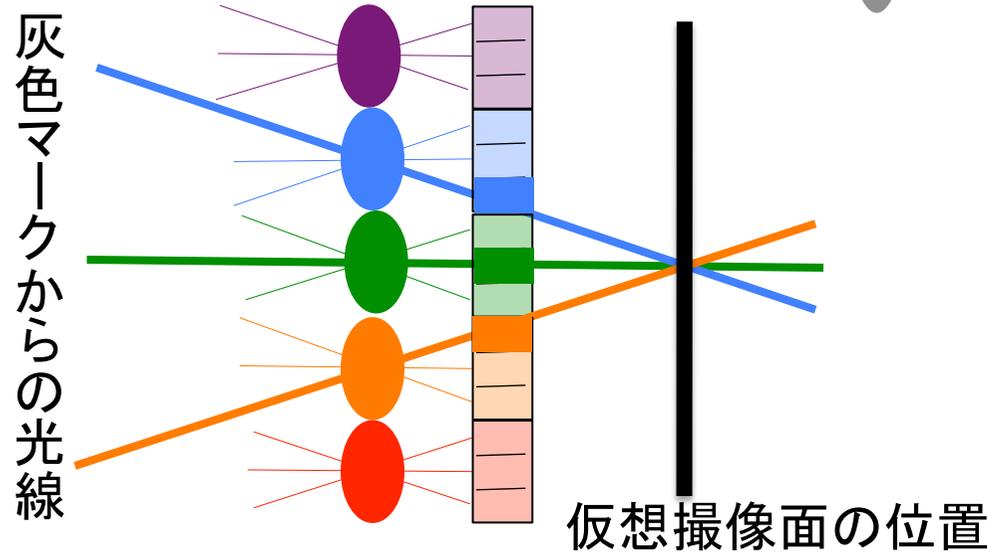
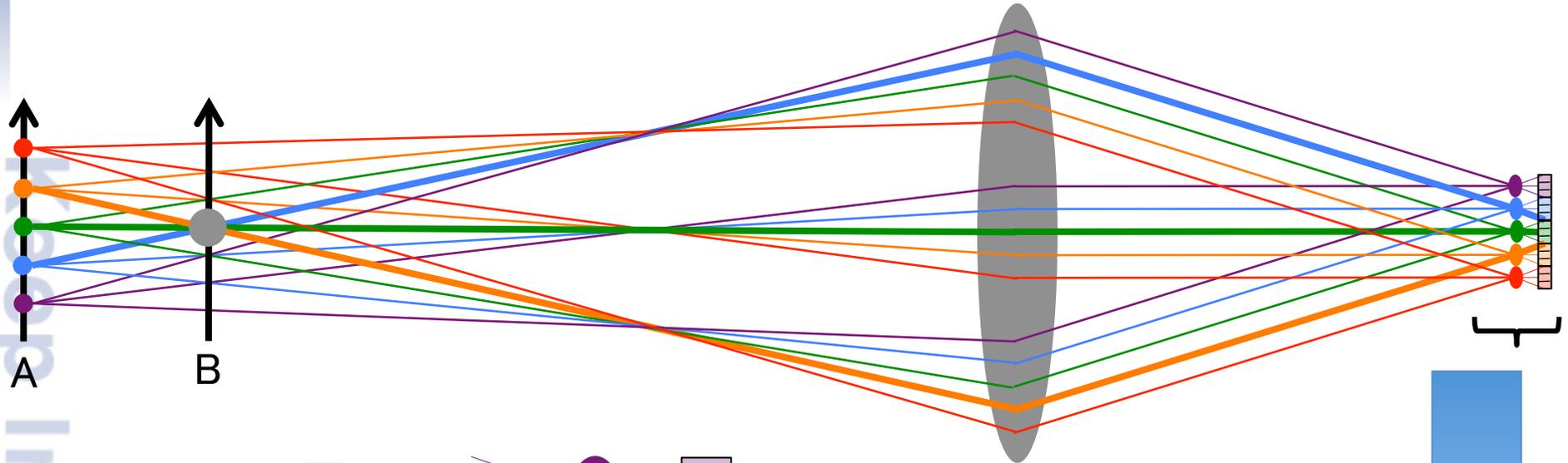
# Lytroによるライトフィールドの取得

- 主レンズがAの像をマイクロレンズ面に結像するとき、Aの各点から発する光線は、マイクロレンズがカバーするいずれかの撮像素子に記録される。
- マイクロレンズがカバーする画素の値を平均すると、Aに焦点を合わせた画像が生成される。





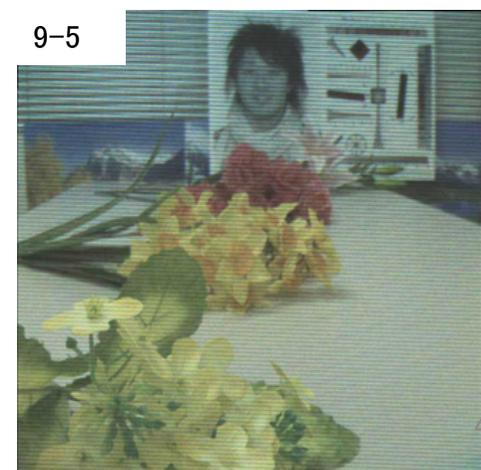
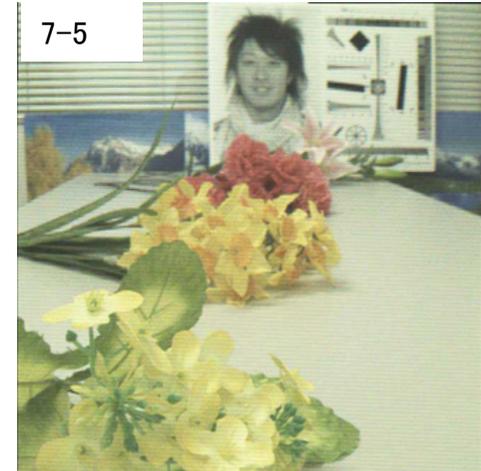
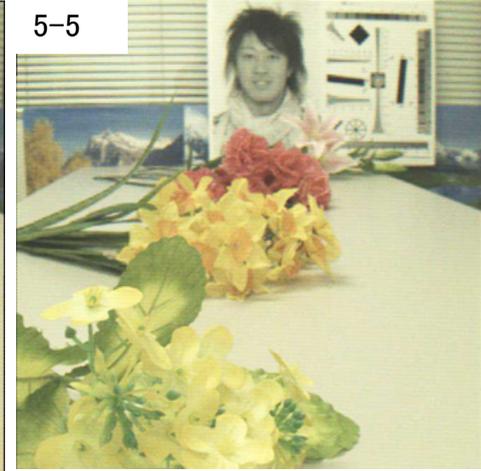
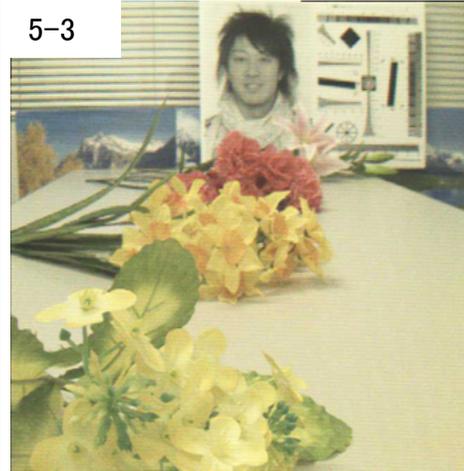
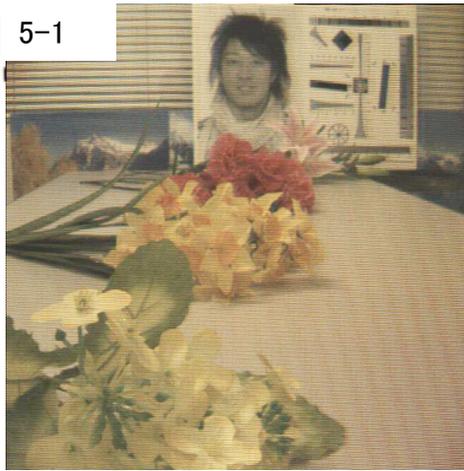
# Bにピントを合わせた場合の 仮想撮像面の位置



Innovating.

# 視差を有する画像群の生成

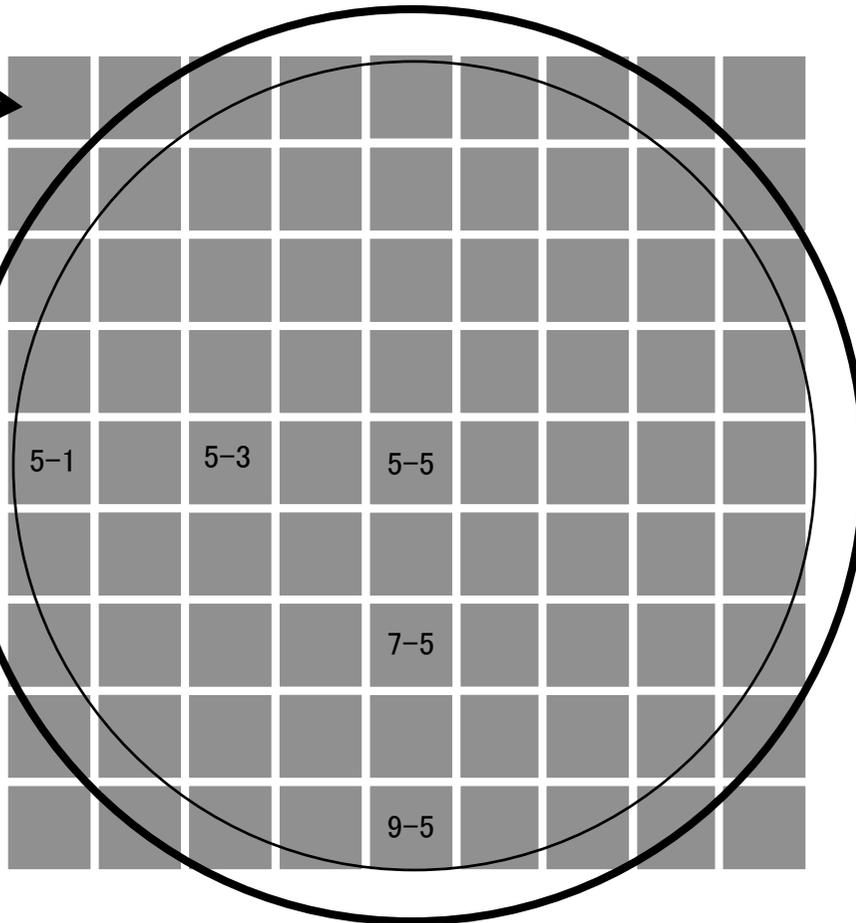
- 全てのマイクロレンズに関して、同じ位置の画素が記録する光線を主レンズ側に追跡すると、主レンズの狭い領域(部分開口)を通過する。
- マイクロレンズに対して同じ位置の画素を、マイクロレンズアレイ配列にしたがって再配置した小画像は、部分開口からシーンを観察した画像である。
- 一つのマイクロレンズがカバーする画素数を $N$ とすると、主レンズを $N$ 個の部分開口に分解し、それらの部分開口から観察した $N$ 個の画像を生成する。
- $N$ 個の画像は部分開口の位置に応じた視差を有する。



Keep Innovating.

画素 →

マイクロ  
レンズ →

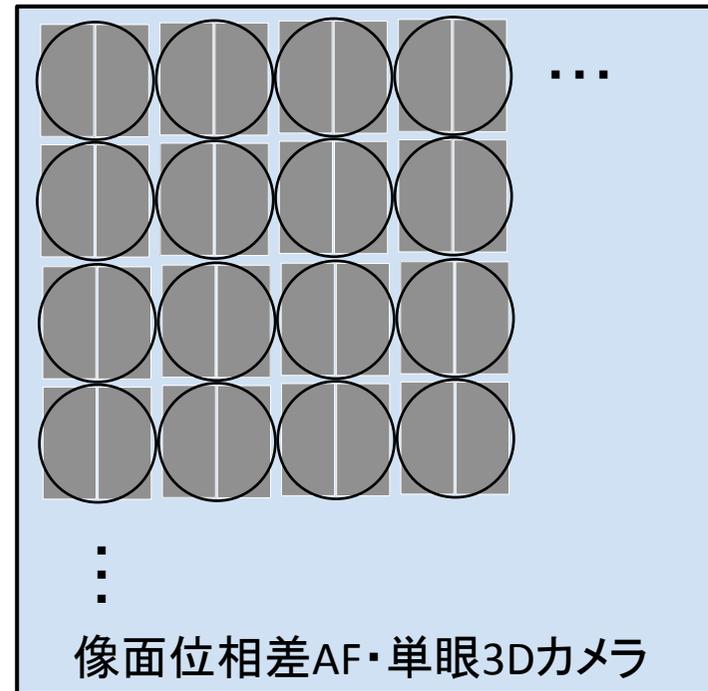
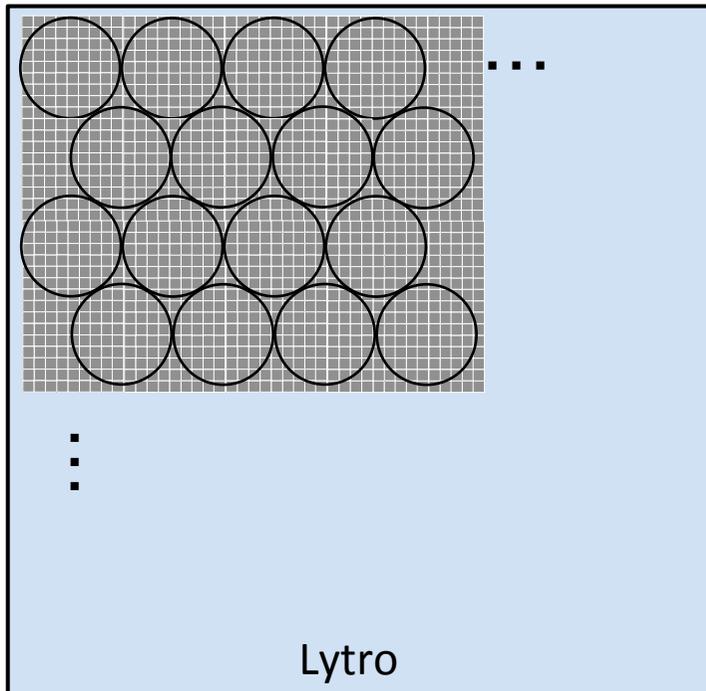


# Lytroとカメラアレイの関係

- Lytroは、330×380画素の小カメラを、レンズ口径内に70個程度配置したカメラアレイと等価。
- 70枚の視差画像を用いた光線画像処理で
  - リフォーカス
  - 被写界深度制御と視点移動
  - 3D化などを実現している。

# ライトフィールドカメラと 像面位相差AF、単眼3Dカメラ

- マイクロレンズあたりの画素を2個にしたもの
  - 像面位相差AF可能な画像センサ
  - 単眼3Dカメラ



# まとめ

- コンピュータ技術・デジタル技術によって写真の利用はあまねく広がった。
- ライトフィールドカメラはデジタル技術とカメラ技術が融合した未来的な写真撮影を具現化した。
- カメラ技術・写真技術とコンピュータ技術の融合が進むことは自明である。ライトフィールドカメラは具体的かつ有力な試みの一つである。