

《CMOSセンサ、カメラの最新動向》

性能進化から機能進化へ

3D Visionを中心に

1. CMOS イメージセンサの技術動向
現在完了形
性能成熟、機能進化 そしてカメラ部品=眼玉=への進化
2. イメージング(撮像)システムの技術動向
現在進行形
Digital Imagingから Computational Imagingへ
3D Imaging(3D眼玉)
3. ビジョン(視覚)システムの技術動向
近未来へ、カンブリア爆発
Computer VisionからEmbedded Visionへ

名雲 文男
名雲技術士事務所

進歩の履歴 ~ 現在完了

イメージオルシコン 3管カラーカメラ TK-40 RCA @1953
65x50x120cm
134Kg

PbO 3管カラーカメラ @1980

イメージオルシコン 1946~

①985~

①999~

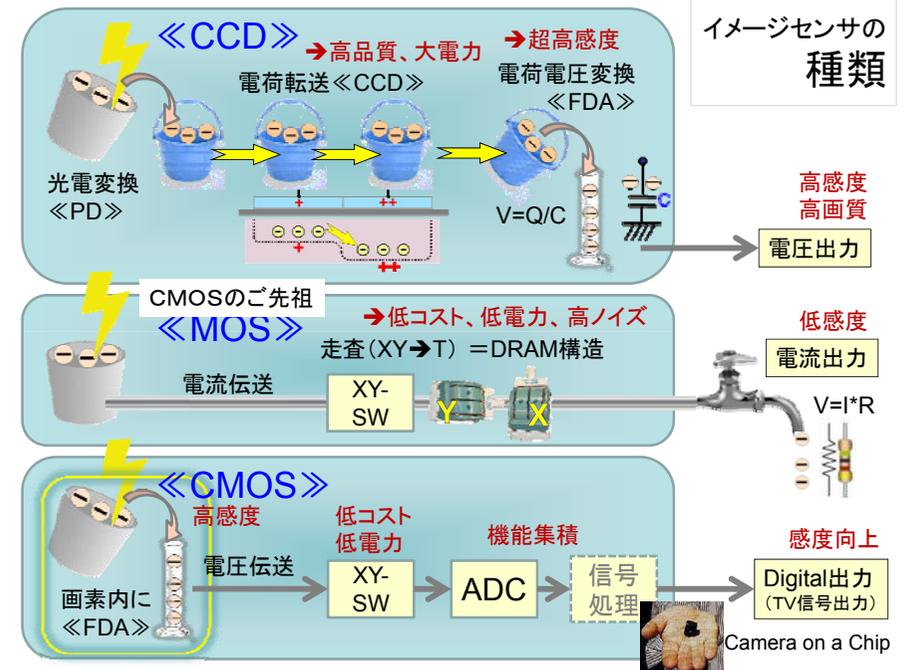
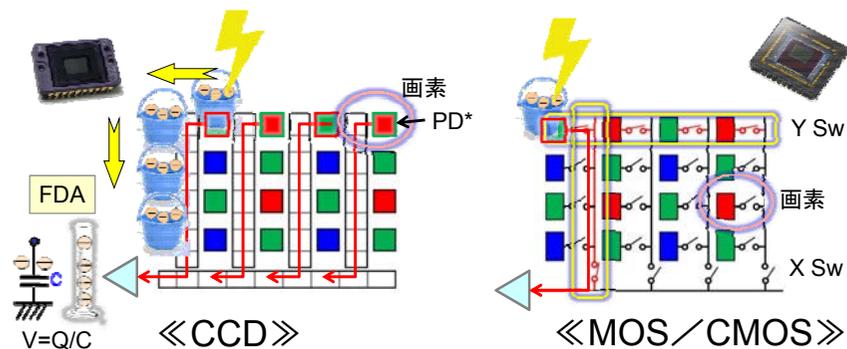
《撮像管の時代》
映像装置が放送、産業専用に限定

《CCDの時代》
映像機器が家庭用に開放されてバクハツした

《CMOSの時代》
モバイルカメラが牽引
センサがカメラ=眼玉に進化

イメージセンサの基本機能

- ◆ 光電変換 : 光子 → 光電荷 : PD (Photo Diode)
- ◆ 走査 : XY情報 → T情報 : 出力部への移動 :
- ◆ 読出し : 光電荷 → 電圧 :

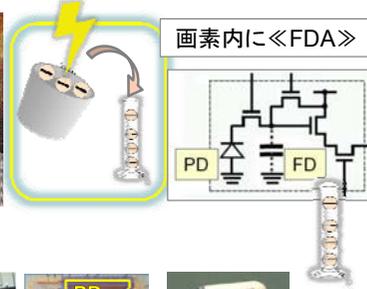


'93: CMOSの発明

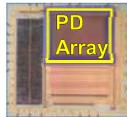
- ◆ Dr. Fossumの提案
 - Active Pixel Sensor
 - 画素内に増幅器 (FDA)
- Camera on a Chip
 - センサチップ単体でカメラを作る
 - CMOSTV信号処理回路を併設
- ◆ 第一世代
 - DRAM工程で製造→低価格
 - 安かろう、悪かろう
 - 救いの女神
 - 携帯カメラ@1999年
 - 小型、低消費電力
- ◆ 第二世代
 - CCD画素技術導入で感度改善
 - CMOS+CCDでコストアップ



News Week @Mar.6,1995



Web Cam Camera on a Chip 352x288 7.9um□, 30fps, @1999



Pill Camera 256*256pix 10um□, 2fps 3mW



110Kpix 京セラ @1999



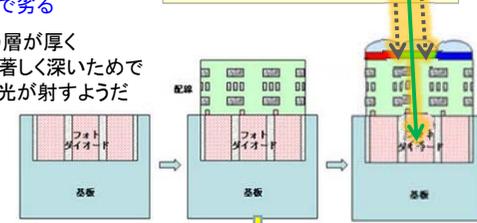
110Kpix 写メール シャープ @2000



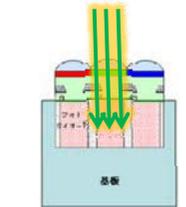
第三世代 裏面照射技術で CCD超え@ 2008

- ◆ 小型画素のCMOSセンサは CCDに比べて 光の利用率が劣る
- ◆ CMOS回路の層が厚く 入射光路が著しく深いため 井戸の中に光が射すようだ

表面照射型CMOSセンサ

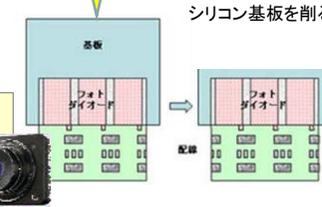


CCDセンサ



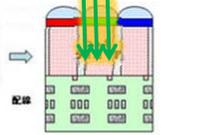
- ◆ CMOS 3G : 裏面照射 (Back Side Illumination)
 - 開口率が100%に迫る
 - 感度でCCDを抜いた

裏返して



裏面照射型CMOS

シリコン基板を削る マイクロレンズとカラーフィルタを形成する



- CMOS、コンデジ市場奪取 CCD、最後の砦を失う



解像度=画素サイズ → ほぼ理論限界

《画素サイズ》

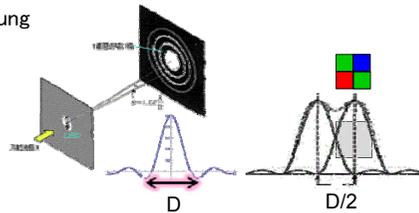
- ◆ CCD初期 @1985 13.5x17.2=230um² @Sony 250Kpix
- ◆ CMOS実績 @2017 1.0um□ =1um² @業界一般
- ◆ CMOS最新 @2017.10 0.9um□ @Samsung



◆ 理論限界:

■ 光学屋の定説 = 0.9um□ @Bayer

- 回折限界 (D) = 3.76um
 - @ F=2.8, λ=0.55um
- レイリー限界 = 1.88um
- Bayer配列 = 0.9um



• $D = (2.44 * F値 * \lambda) = 3.75um$
 @ F=2.8, λ=0.55um

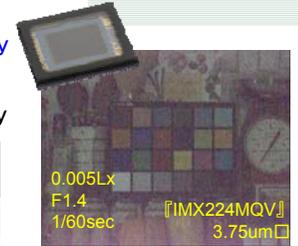
■ カメラ屋の主張 = 0.7um□ @Bayer

- 画素構造 (標本化) で生じるモアレを防ぐのに 回折ボケを積極的に利用する
- Nyquist限界

感度 → ほぼ理論限界 0.005Lxで撮れる

- ◆ 最新の車載用CMOSセンサー : IMX224 @Sony
 - 最低被写体照度 = 0.005Lx (星空 = 0.01Lx)
- ◆ 比較: 世界初の大量生産CCD : ICX018 @Sony

	最低被写体照度 Lx	F値	感度比	感度比 / 面積	画素 um ²
ICX016	19.0	2.8	1	1	228
IMX224	0.005	1.4	950	17,000	13



◆ ダーク(読出し)ノイズ → 1.3電子@画素当り

	電荷電圧 変換効率	読出し ノイズ	
デジカメ	77uV/e	1.3e	Sony @ISSCC 2015
研究報告	220uV/e	0.27e	静岡大 @IEEE ED 2015.12



◆ “Photonの雨粒”が見える時代

- ダークノイズが減って
- 理論限界の“光ショットノイズ”が見える



《CMOSセンサ、カメラの最新動向》 性能進化から機能進化へ

1. CMOS イメージセンサの技術動向

現在完了形

性能成熟、機能進化 そしてカメラ部品=眼玉=への進化

2. イメージング(撮像)システムの技術動向

現在進行形

Digital Imagingから Computational Imagingへ

3D Imaging(3D眼玉)

3. ビジョン(視覚)システムの技術動向

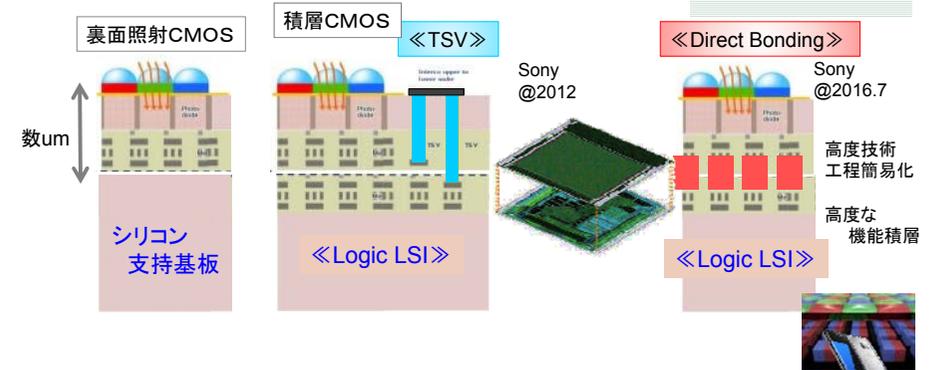
近未来へ、カンブリア爆発

Computer VisionからEmbedded Visionへ



名雲 文男
名雲技術士事務所

CMOS新世代 機能進化へ 《3Dで機能積層》



◆ 《TSV》 Through Silicon Via

- 貫通電極による接続
- →接続がセンサエリアの周辺に限定
- 製造工程が複雑

◆ 《Direct Bonding》

- 微細な接続ピッチが可能
- 画素並列の読出しや処理も
- 高度な製造技術を要する
- 製造工程は簡略化、コスト低減

CMOS機能進化へ 《3Dで機能積層》

《Logic+DRAM積層》 (Sony @2017.04)

◆ Logic=超高速読出し←出口の超並列化

- 動画 = 4KTV (8Mpix), 60fps
- 静止画 = 19.3Mpix, 30fps

◆ D RAM=一時メモリー

- Slow Motion撮影
- ハイビジョン映像@1,000fps
- 超高速画像を一時記録
- 受信側の受け入れ速度に合わせて低速度で出力



《画像計測Logicを積層》 (Sony 発売予定 @2017.10)

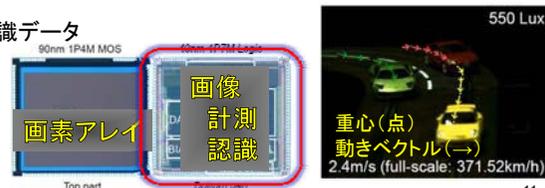
◆用途:超高速ロボット制御

- >1.3Mpix 1000fps (1msec)

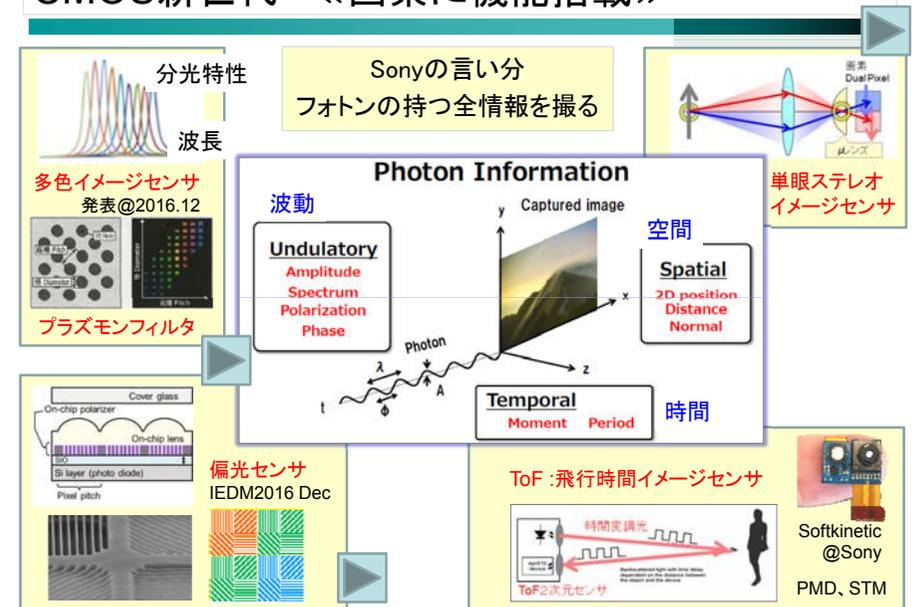
出力:画像 // 計測、認識データ

◆2つの出力=画像 // 計測、認識データ

- Target Tracking
 - 重心
 - 動きベクトル
- Histogram
- 他



CMOS新世代 《画素に機能搭載》

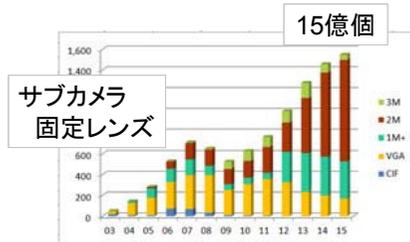
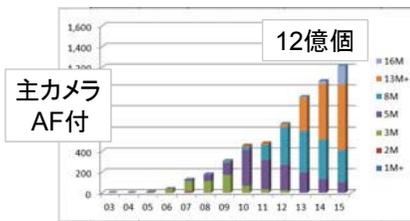


《センサに光学機能を集積》 もうひとつの機能進化

スマホの時代



CMOSセンサが
カメラモジュールへ昇華



13

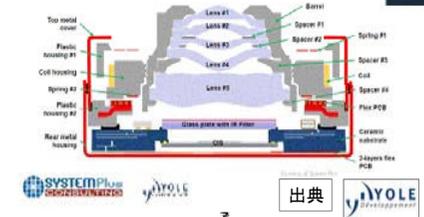
《カメラモジュール技術の進化》 メインカメラ

《コンデジに追いつき追い越せ》

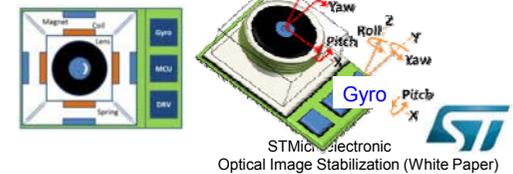
- ◆ 高性能CMOSセンサ搭載
 - コンデジ級 1/2.3"型 20Mpix
 - 高級コンデジ級 1/1.2"型 41Mpix Nokia



- ◆ 光学系構成は劇的進化
 - 究極の非球面レンズ
 - ・ カモレンズ
 - 残る収差はデジタル補正
 - ・ 周辺減光補正
 - ・ 画像歪
 - ・ 色倍率収差

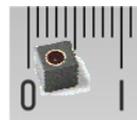
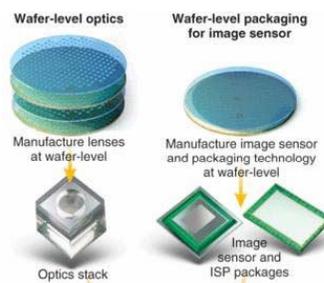
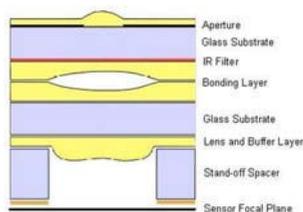


- ◆ 制御も万全 (VCM、MEMS)
 - Auto Focus
 - Optical Image Stabilization (光学式手振れ補正)



《半導体工程で製造》 サブカメラ、徹底的に小型低価格

- WLO=Wafer Level Optics
- WLC=Wafer Level Camera



Omni.
OVM7695
VGA
0.013CC



Tessera HP より

OptiML
wafer-level camera



Awaiba
Naneye
250*250
1x1x1.7mm3
0.002CC

15

3D FORUM 三次元映像のフォーラム

《CMOSセンサ、カメラの最新動向》

性能進化から機能進化へ

Appendix

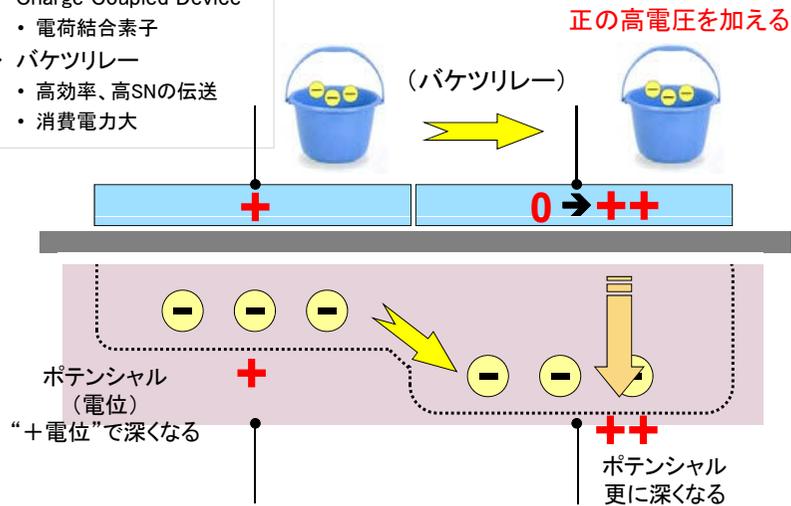
1. CMOS イメージセンサの技術動向
 - 現在完了形
 - 性能成熟、機能進化 そしてカメラ部品=眼玉=への進化
2. イメージング(撮像)システムの技術動向
 - 現在進行形
 - Digital Imagingから Computational Imagingへ
 - 3D Imaging(3D眼玉)
3. ビジョン(視覚)システムの技術動向
 - 近未来へ、カンブリア爆発
 - Computer VisionからEmbedded Visionへ

名雲 文男
名雲技術士事務所

《CCDセンサの走査》 電荷転送

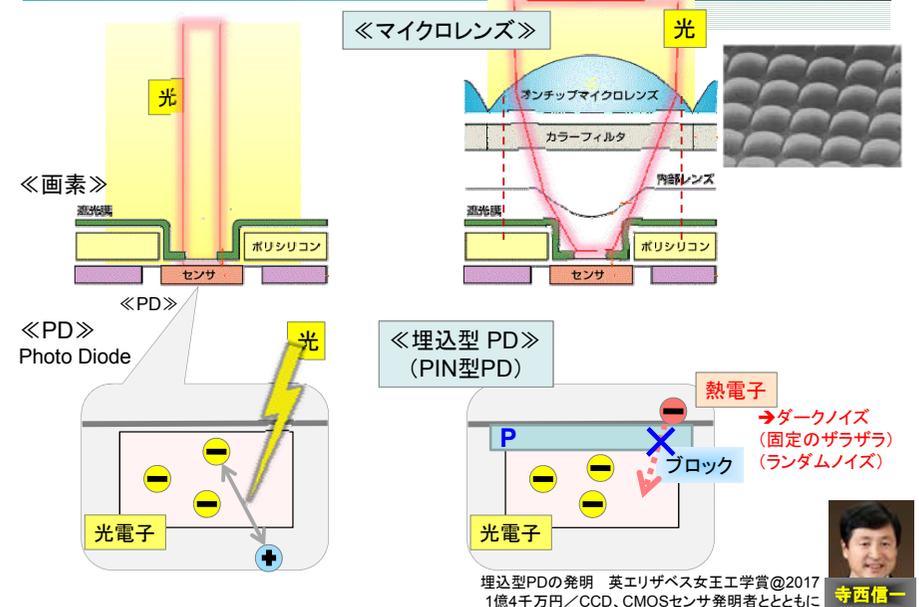
◆ Charge Coupled Device

- 電荷結合素子
- ◆ バケツリレー
 - 高効率、高SNの伝送
 - 消費電力大



CCD画素技術

CMOS第二世代が導入



埋込型PDの発明 英エリザベス女王工学賞@2017
1億4千万円ノCCD、CMOSセンサ発明者とともに
寺西信一

3D FORUM 三次元映像のフォーラム

《CMOSセンサ、カメラの最新動向》 性能進化から機能進化へ

1. CMOS イメージセンサの技術動向

現在完了形

性能成熟、機能進化 そしてカメラ部品=眼玉=への進化

2. イメージング(撮像)システムの技術動向

現在進行形

Digital Imagingから Computational Imagingへ

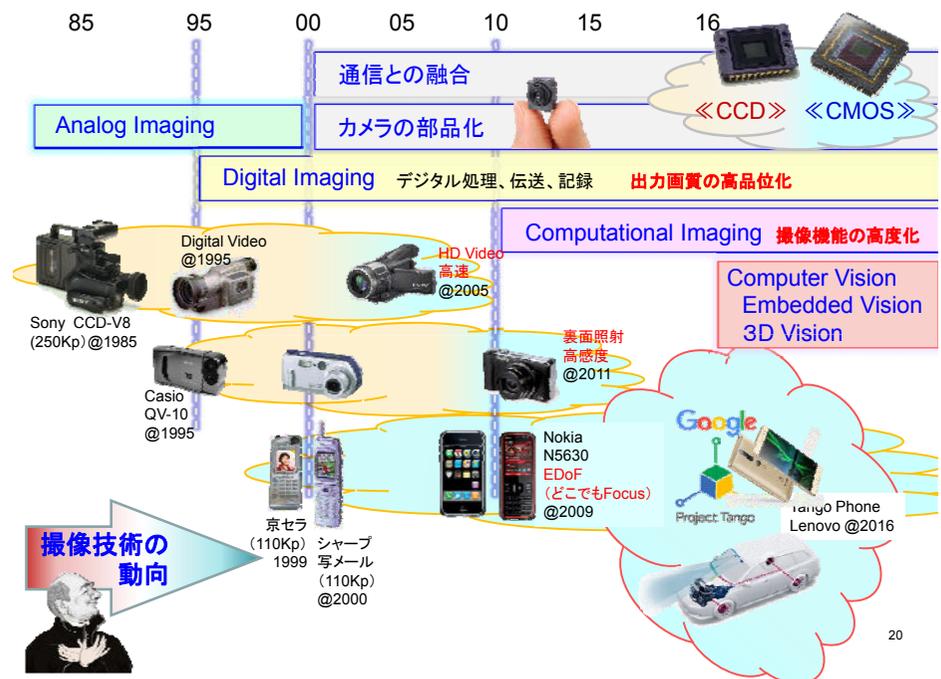
3D Imaging(3D眼玉)

3. ビジョン(視覚)システムの技術動向

近未来へ、カンブリア爆発

Computer VisionからEmbedded Visionへ

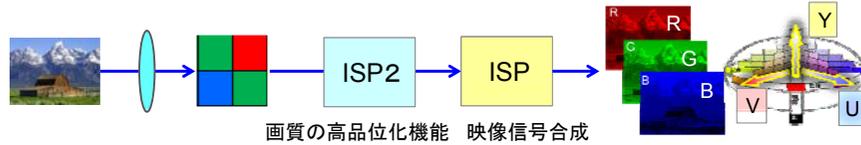
名雲 文男
名雲技術士事務所



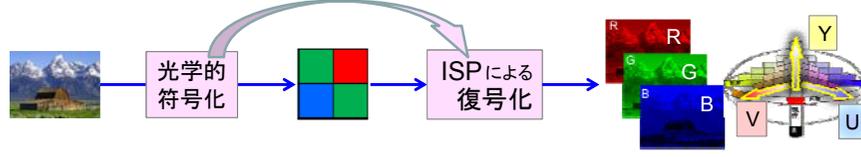
先進のDigital Imagingと Computational Imaging

《Digital Imaging》 《デジタル(bit)信号を出力する撮像技術 (Wikiによる)》

《先進のDigital Imaging》 《画像を高品位化する技術をプラス》



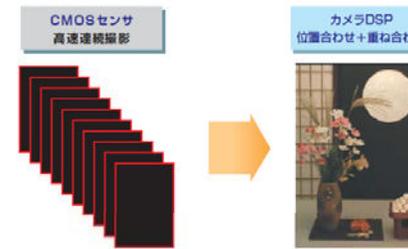
《Computational Imaging》 《新しい撮像機能を創出する技術》



ISP : Image Signal Processor

《Digital Imaging》

速度の余力 → 高速多重撮像 → 感度、Dレンジ



◆ボケない長時間露光(感度向上)
連続して複数フレームを撮像
信号処理で動き補正しながら加算



◆逆光補正、高Dレンジ実現
露出オーバー、適正、アンダーの
高速連写3コマから合成
撮像信号処理で動き補正しながら加算

速度の余力 → 高速多重撮像 → 光学性能機能改善



通常撮影

背景ぼかしモード

《ボケ味改善》
小型センサーの欠点克服
遠近2連写x動き補正



《スイングパノラマ》
超広角撮像の実現
スイングx歪補正



《単眼でステレオ》
ひと振り高速連写し、
最大100枚の画像から、
左右2枚のステレオ画像を生成

Computational Imaging Keyword 光学的符号化

定義: CAVE PJの資料

Prof. K. Nayar : Columbia University
Computational Imagingのゴッドファーザー
[CAVE | Projects: What is a Computational Camera?](http://www1.cs.columbia.edu/CAVE/projects/what_is/)

A: Object Side Coding

B: Pupil Plane Coding

• 例: EDOF: Extended Depth of Field
(どこでもFocus)

C: Focal Plane Coding

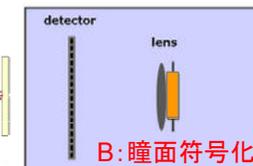
• 例: Lensless Camera
• 例: Plenoptic Camera

D: Illumination Coding

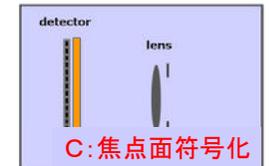
• 例: 構造化照明法
• 例: ToF法

E: Camera Arrays

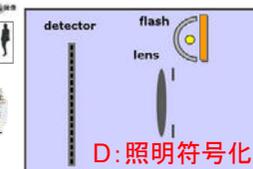
• 例: Dual Camera
• 例: Sensor Fusion
(異種センサ融合)



(b) Pupil Plane Coding



(c) Focal Plane Coding



(d) Illumination Coding

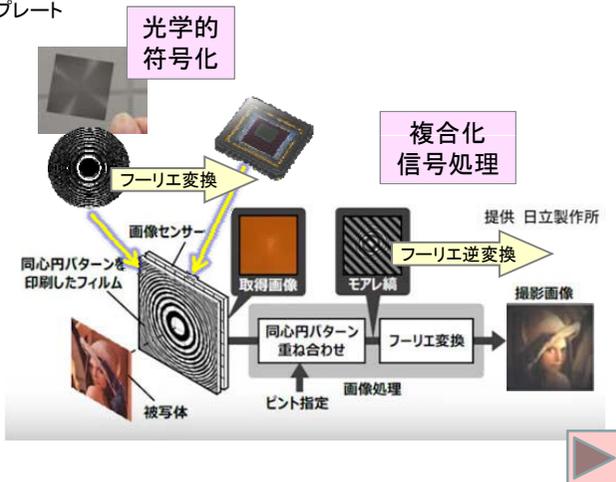


(e) Camera Clusters and Arrays

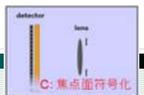
《レンズ無しカメラ》 開発例

◆ 日立: レンズ無し 動画カメラ 日経映像@2016.11.15

- 光学的符号化
- センサの前面(2mm間隔)に
- レンズに代えてゾーンプレート
- 符号化=フーリエ変換
- 復号化処理
 - フーリエ逆変換
 - 簡単
 - 動画が処理できる



- 実用化目標 @2018
- IoT用センサ



《EDoF》 Extended Depth of Field
どこにでもフォーカス
スマホに搭載、Nokia E7 AF機構無用 @2009
Nokia とBlackBerry多数モデルを商品化
《EDoF》 Nokiaとともに討死

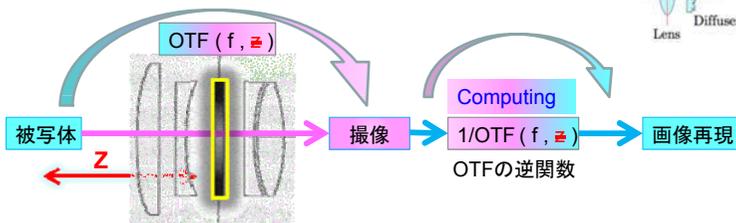
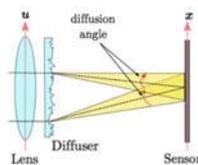
《EDoF》 どこにでもフォーカス

- ◆ EDoF = 強化被写界深度
 - Extended Depth of Field
- ◆ 瞳位置符号化 → 光学伝達関数=OTF (f, z)
 - OTF (f, z)は、被写体距離(Z)に依存しない伝達関数

Wavefront Coding
3次元相板



Diffusion Coding



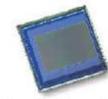
- ◆ 効果 → Auto Focus不要
- ◆ 実用化例
- ◆ 現在 → Nokiaとともに討死



Nokia N5630 @2009 以降、多数



BlackBerry 9900(5Mpix)



Omnivision OV5642 Camera on a Chip EDoF機能搭載 1/4"型、5M pix、@2008.09.30

3D FORUM 三次元映像のフォーラム

《CMOSセンサ、カメラの最新動向》 性能進化から機能進化へ

1. CMOS イメージセンサの技術動向

現在完了形
性能成熟、機能進化 そしてカメラ部品=眼玉=への進化

2. イメージング(撮像)システムの技術動向

現在進行形
Digital Imagingから Computational Imagingへ
3D Imaging(3D眼玉)

釈迦に説法
ご容赦!!

3. ビジョン(視覚)システムの技術動向

近未来へ、カンブリア爆発
Computer VisionからEmbedded Visionへ

名雲 文男
名雲技術士事務所

3D撮像 今はやりの“見るため”のアプリ

《3D表示》

- ◆ HMD @AR: Augmented Reality、MR: Mixed Reality

《2D表示》: 奥行情報を利用する効果

- ◆ 被写界深度操作 再生画像の結像状態を調整する

- EDoF : どこにでもピント(全焦点撮像)
- Shallow Focus : ボケ味=浅い被写界深度の実現
 - 3背景像を意図的にぼかす
 - 小型レンズで、大型レンズのボケ味を実現する
- Re-Focus : 後からフォーカス
 - PC Display上の再生画像で、任意の被写体像にフォーカスを取る技術



- ◆ 画像編集操作

- 背景除去: →クロマキー編集の無用化
- 前景除去: →邪魔物除去 (Google Tango)

29

3D撮像 今はやりの“使うため”のアプリ

《従来からのアプリ》

- ◆ 産業用ロボット
- ◆ 距離計測
- ◆ 3D Scanner



《今、はやりの3Dアプリ》

- ◆ モノを自律化する (モノに知恵を付ける)

Embedded Vision

- Auto Focu: スマホ
- 自律運行: 自動車、ドローン
- ロボット掃除機

Embedded Interactive

- ◆ ヒトと対話する

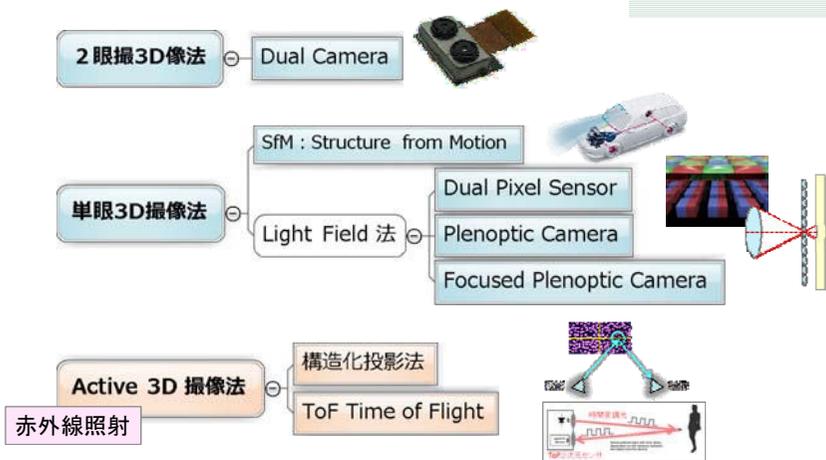
Embedded Interactive

- ジェスチャ操作
- AR(拡張現実)



今、はやりの3D撮像技術

Computational Imagingの仲間

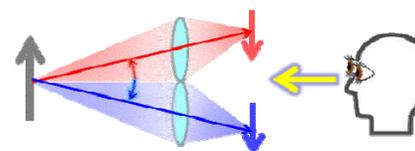


ToF法: 光の飛行時間を測定 → 特殊な画素構造の専用ToFセンサー

31

《Dual Camera》 2眼(1視点)3D撮像

- ◆ Dual Camera ステレオ方式
 - “1視点”の3D



- HTC Evo 3D
- HTC One M8
- HTC Butterfly 3
- Huawei Honor 6 Plus
- XOLO Black
- LG Nexus 5 (2015)
- ZTE Star 3
- ZTE Axon Lux
- ZTE Axon Pro
- ZTE Axon Elite
- Asus Zenfone Selfie
- Qiku Q Terra
- Lenovo Vibe S1

《商品化例》

- ◆ 元祖: HTC one M8 @2014 発売
 - 以降台湾、韓国スマホ中心に急加速
- ◆ Dual Camera 2016年 バクハツへ
- ◆ 教祖: iPhone 7 Plusも @2016
 - iPhone 8/Xも



- (Dual Front or Dual Selfie)
- LG G5
- LG V10 (Dual Front Camera)
- OnePlus X
- Samsung Galaxy Note (@2016.02)
- Huawei P9 (@2016.04)
- Samsung Galaxy S7
- Xiaomi Mi5S Plus (@2016.09)
- iPhone 7 Plus (@2016.09)
- LG V20 (@2016.11)

32