

## 撮像技術 DX 新時代, デジタル画素センサ, 近未来狙い

名雲技術士事務所

名雲文男 Nagumo, Fumio

“撮像技術が劇的に進化中だ。仮に《DX》(デジタル化)と呼ぶ変化だ。このフレーズは本誌 2023 年 10 月号焦点欄での書き出しだが, 本稿はその続編として, 次世代と目されるデジタル画素イメージセンサ《DPS=Digital Pixel Sensor》を紹介する。近未来の主演を狙う優等生や異端児というオモシロセンサ技術だが, 本誌読者には門外の方が多数と想定し, 図面多用, 絵解きの分かり易い解説に心がける。お急ぎなら図 2: DSP 全容, 図 3: 未来曼荼羅をご覧くださいだけでも《焦点》の全容をご覧くださいと思う。また, 前半の図面のアイコンにご着目のうえ, §3: DPS 進化総論へお飛び頂くのもよし, 時には各節に付記した技術用語の解説も簡単お勉強のお役に立てるのではなかろうか。本文中に挿入した WEB サイト (QR コード) もご参考になると思う。特に後半部の S 社, C 社のサイトは是非ご覧いただきたい。分かり易く面白いのでお勧めだ。

撮像技術の《DX》進化は, まずデジタルカメラで始まった。次はセンサで, 出力がデジタルの CMOS イメージセンサ (以降“CIS”と略記) へと進んだ。そして現在は更に CIS の中の画素の進化, デジタル値を出力する画素《DPS》Digital Pixel Sensor という DX である。その《DPS》には 2 種類の定義がある。発明者 (スタンフォード大学) による本来の定義は《画素内にアナログデジタル変換器 (ADC) を備える CIS》だ。しかし本稿ではその定義を拡大して《画素がデジタル値を出力する CIS》とする。

《本来定義の DPS》は優等生を目指す。従来型 CIS の不足を解消する《万能 CIS》だ。一方の《拡大定義の DPS》は超の付く高性能・高機能目指す《異能の CIS》だ。それはフクロウ級超高度撮像, コウモリの 3D 測距, 恐竜級超高速撮像などのトンガリ異端児だ。

こうした期待の《DPS》だが, 難題を抱えていた。機能を抱え込んだための巨大画素サイズだ。この障害故に期待に沿えられず普及が遅々として進まなかったが, そこに救世主が現れた。光電変換部にロジック部を重ねる 2 階建ての《3D 積層型 CIS》技術だ。これで画素小型化, 高解像度化への扉が開き, 発展に向けて一挙に動き出し, そして未来が見えてきた。

撮像管, CCD から現在まで半世紀超の間, 撮像技術の世界に身を置く筆者にて, 前回は講談師並みに《スマホ戦役, 一眼カメラ下剋上》を講釈した。本編ではエセ伝道師として, 進展が始まった《DPS》の近未来を語る。エセ伝道師の語りだから, 眉に唾してお読みいただきたいが, 刺激的な話題もあって飽きは来ないと思う。

### § 1 イメージセンサの進化, DPS へ向けて画素進化 (図 1)

まずはイメージセンサの進化の概要をお話ししたい (図 1)。妙な図面だが, ここでは何も分からなくて結構。黄色枠の画素といわれる部分の機能が進化とともに拡大していること, その拡大のゴールが本稿話題の巨大画素《DPS》であることをご覧頂ければ十分だ。なお以下, ご参考までに図中の技術用語を解説するので, 必要であればご覧いただきたい。もちろんスキップされて問題ない。

◆ 技術用語

- # PD=Photo Diode, 光電変換を行う。
- # CCD=Charge Coupled Device, 電荷結合素子

本来は高効率な電荷輸送技術のことで、バケツリレーに例えられる。CCD イメージセンサでは PD に蓄積された光電荷をこのバケツリレーで終端まで輸送し、後述の“FDA”に直接注入する。短所はバケツリレーゆえの低速、大消費電力だ。

- # FDA=Floating Diffusion Amp

高感度な電荷電圧変換回路。ここではメスシリンダーに例える。

・光電子(Q) → 電圧 (V) :  $V=Q/C$

容量 C を小さくすることで超高感度の電圧変換が実現される。CCD の大きな利点である。

- # ADC=Analog Digital Converter, アナログデジタル変換機能
- # CIS=CMOS Image sensor, CIS の勘所は画素に FDA 電圧変換機能を内蔵するところだ。
- # XY スイッチ=CIS の走査機能。DRAM 類似の構造で画素信号を出力部に接続する。高速走査、低消費電力。
- # APS=Active Pixel Sensor, CIS の発明時の名称。Active とは画素に FDA を内蔵して電圧信号を出力する故の呼称。電荷を電圧に変換したことで、スイッチノイズ被害を受けにくい、高画質の信号伝送を実現した。
- # DPS : 本来定義の DPS とは画素部に ADC を内蔵した CIS で、画素が直接デジタル値を出力する。通常メモリを内蔵する。

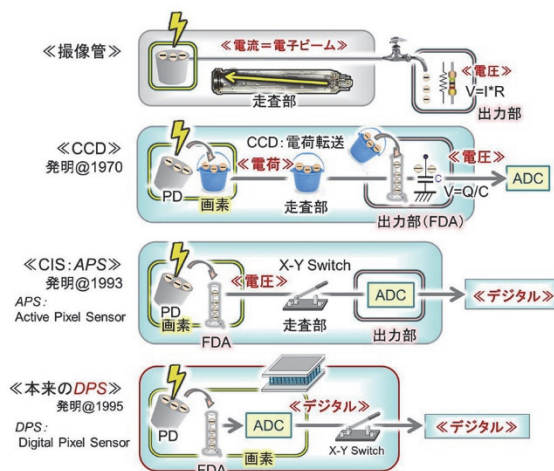


図 1 : イメージセンサの進化, 画素に機能集積

§ 2 : DPS の概要

さて期待の DPS だが、まず総論として、その種類 (図 2), 進化の目標 (図 3) そして画素のデジタル化手段 (図 4) を見てみよう。

§ 2-1 : DPS の種類 (図 2)

DSP には多数の変種がある。図 2 がそれらの一覧である。本来定義の DPS の他に、拡張定義の DPS として QIS, SPAD, EVS がある。奇妙なアイコンの詳細は追って解説するので、まずは眺めて頂ければと思う。

	DPSの種類	光電変換部	デジタル機能	性能・機能
《万能》 不足点解消	本来のDPS	従来型PD*	ADC (+Memory)	GS*, HDR* 高速、低電力
	QIS*	JOT (極小PD) (1bit出力)	Single Photon Counting*	高感度 HDR
《異能》 超性能 超機能	SPAD*	光電子増倍型PD	Single Photon Counting*	超高感度 HDR 3D 奥行測距
	EVS*	PD (対数電圧出力)	Event (変化) 検出	超高速 低電力
		PD* : Photo Diode QIS* : Quanta Image Sensor SPAD* : Single Photon Avalanche Diode EVS* : Event based Vision Sensor		HDR* : 高Dレンジ GS* : Global Shutter Single Photon Counting* : 光子数計測

図 2 : DPS 一覧 その構成と特徴

§ 2-2 : DPS が目指すもの (図 3)

DPS が目指すところには 以下の 2 種類がある。

- ◆ 一般的な CIS の欠点解消 (→ 万能)
- ◆ 異次元の高性能・高機能追及 (→ 異能)

図 2 は《撮像技術 近未来曼荼羅》だ。以下の専門用語は必要に応じてご参照願う。

◆ 技術用語

- # Imaging : 人間が観るための撮像機能



図 3 : DPS が目指す性能・機能進化

- # Sensing : 機械の眼向けの撮像機能
- # Rolling Shutter : CIS では一般的な撮像法で、動体歪がある  
画素の輝度情報を上部ら下部へ順に読み出すから、上下間の時間差で動体歪が生じる。
- # Global Shutter : 動体歪が無い撮像法。  
画面全画素情報を同時に読み出す撮像法。同時読出し用に画素毎のメモリが必要。
- # D (ダイナミック) レンジ  
明部と暗部を同時に撮像できる能力の指標。高 D レンジなら、白トビ黒潰れを生じない。  
通常の CIS の D レンジは 80dB (10,000 倍), 自動車用途は 120dB (1,000,000 倍) (脚注 1)
- # HDR : 高ダイナミックレンジ
- # Event (変化) 撮像 : 既存のイメージセンサとは概念の異なる撮像法。  
Event とは入射光子数=輝度信号=に変化が生じることをいう。Event 撮像法では、輝度信号を対数に変換した上で、変化はその前後の差分として検知する。結果として輝度信号の前後の比として検出される。ところで、既存の撮像法では画素信号は順次に読み出されるが、Event 撮像法では画素は検出した Event=変化情報を、単独で(勝手に)しかも瞬時に出力する。この画素の勝手な Event 読出し法こそが超高速の撮像を実現するゆえんである。  
(脚注 1) ; 20dB とは 10 倍を意味する。例えば 40dB なら 100 倍, 60dB なら 1,000 倍。

### § 2-3 : 画素信号値のデジタル化 (画素 DX) : その基本形 (図 4)

DPS 画素のデジタル化 (画素 DX), これは正しくは PD→FDA 後の電圧信号のデジタル化である。それには下記 2 つの基本形がある。

(1) ADC 型 DX : 本来定義の DSP の構成法。

FDA 出力を画素内の ADC でデジタル化する (多値量子化), グレー画像を出力する。

(2) 比較器型 DX : 拡張定義の DSP の基本構成。

FDA 出力を画素内の比較器が判断する。その出力は入射光子の有無 (0/1) や入射時刻 (T) ないしは光子数の増減 (-1/0/+1) だ。その比較器出力情報を画素内後段のデジタル処理機能 DSP (Digital Signal Processor) で集計し、デジタルデータとして出力する。光子数計数 (Photon counting) ならグレー画像出力, 光子入射時刻の計測なら「LiDAR (光レーダー)」用出力=変化=増減情報は「EVS」という恐竜並みの撮像に供される。

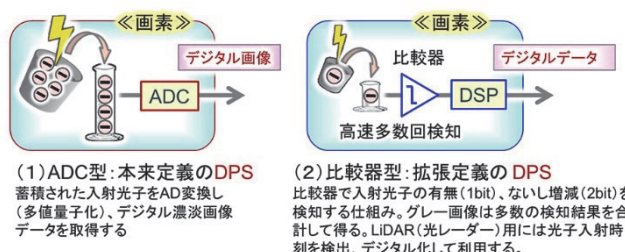


図 4 : 2 種の DPS, ADC 型と比較器型  
Digital Pixel Sensor DSP    Digital Signal Processor

## § 3 : DSP 進化, 総論

### § 3-1 : DPS, 進化の女神は「3D 積層, 画素並列接続」2 階建て技術 (図 5)

魅力満載の DPS だが、発明後の進捗は捗々しくなかった。障害は機能を集積するが故の画素の巨大化だ。象徴的なのが初期の SPAD センサ, 巨大画素サイズ=50 μm<sup>2</sup>だ。

そこに救世主が現れる。光電変換部 (PD アレイ) とロジック部を 2 段に重ねる「3 次元積層型 CIS」技術, そのうちの最難関, 2 階上下をサブミクロン精度で画素毎に繋ぐ「画素並列接続技術」だ。この技術で画素内の信号処理部の階下への移設, 画素サイズの大幅な縮小を実現する。そして DPS の改めでの進撃が開始された。図 5 がそうして縮小が叶った 2 階建て DPS の構成例であ

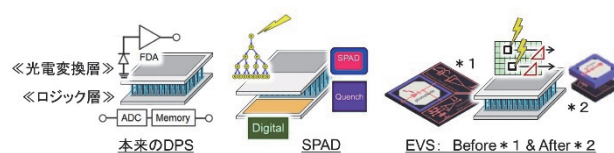


図 5 : DPS 進撃開始, 3D 積層=2 階建て技術で画素縮小  
出典 : Before\*1 & After\*2 = Sony

る。このうち右端は EVS センサの 2 階建て Before & After だ。また、図 10 に SPAD センサ進化の歴史全容を記しているのので、追ってご参照願う。

### § 3-2 : 画素縮小, 普及飛躍への目標サイズは如何に? 予感は $3\mu\text{m}\square$ , $1\mu\text{m}\square$ 。

救世主“3D 積層技術”で進む DPS の画素縮小だが、飛躍発展へ到達すべき目標サイズは如何に? エセ伝道師はそれを以下のとおりと予測している。なお、これらの値は現行 CIS の実績からの推定である (参照巻末 Appendix)。

#### ◆ 画素サイズ縮小の目標値

# CIS 一般: (4~)  $3\mu\text{m}\square$  (車載, セキュリティ, マシンビジョン)

# スマホ CIS:  $1\mu\text{m}\square$

読者にはこれら目標値をご記憶願う。エセ伝道師の勝手な目安だが、以下の DPS 各論では常にこの数値を基準に進化を語るからだ。

### § 4 : DPS 進化 : 各論

以下、図 2 で示した各種 DPS を紹介する。添付図を参照しながら下記の箇条書き風解説をご覧ください。画素 DX (デジタル化技術), 特徴, 進化, 市場という順での紹介である。

#### § 4-1 : 《本来定義の DPS》: 画素内に ADC, メモリ内蔵。一般的 CIS の欠点を解消し優等生へ (図 6)

#### ◆ 画素 DX=ADC 型 DX, 多値量子化。

#### ◆ 特徴:

画素に ADC とメモリを内蔵して可能になるメリットは多数, 以下の通りだ。

# HDR (高 D レンジ): 明部と暗部を同時に撮像できる能力。光電変換部 PD と ADC の連携で実現。

# グローバルシャッター: 画素内にメモリ内蔵で、動き歪の無い撮像機能を実現。

# 高速撮像: 撮像速度を制限する主因は ADC だが、それを画素並列化することで大幅な高速化を実現。

# 低消費電力: (3D 積層で) ロジック部に最新技術を導入することで実現。

#### ◆ 進化

# DPS の発明: スタンフォード大学@1994。これは CIS (APS) 発明の翌年。

# 初期商品化の一例: Pixim 社 (スタンフォード大系)。720x540 pix,  $6.7\mu\text{m}\square$ 。

HDR=102dB を武器にセキュリティ市場を狙うも不発。(参照 QR コード→WEB Pixim)

# 進化: 3D 積層技術による画素サイズ縮小 (図 5), 開発報告続出。Sony, Samsung 等々。

# 最近の開発報告: ブリルニクス社 (図 7)。

@ 2020 年: BRG301: 512x512 pix,  $4.6\mu\text{m}\square$ , HDR=127dB, 5.75mW

@ 2023 年: BRG401: 640x640 pix,  $3.96\mu\text{m}\square$ , HDR=124dB, 6.2mW

#### ◆ 飛躍への予感: CIS 優等生, 間もなく表舞台に再登場?

開発報告で印象的なのがブリルニクス社報告 3 年間の画素サイズ縮小傾向だ。ロジック部製造に採用したプロセスノードの進化が主因だが、《飛躍の目安:  $3\mu\text{m}\square$ 》に大きく接近。次の一步でクリアできるだろう。

#### ◆ 市場: DPS は欠点無し優等生 CIS だから、画素サイズ目標《 $3\mu\text{m}$ 》をクリアできれば、既存市場向=自動車, セキュリティ, マシンビジョン向けに強力挑戦することになる。また消費電力も 6mW 等と常時 ON 電池駆動可能ゆえ、《IoT》という新市場も有望に見える。

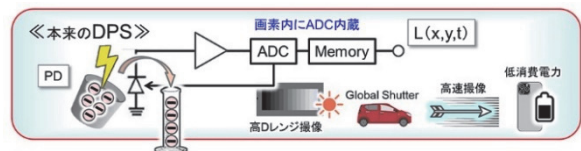


図 6: 本来定義の DPS=優等生へ、構成と特徴



Pixim:HDR

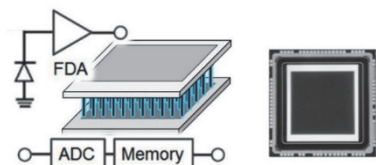


図 7: DPS: ブリルニクス BRG301

## § 4-2 : QIS : Quanta Image Sensor (図 8)

《Jot》＝単光子を受光する微小、超高感度のサブ画素＝出力値 1 bit, その出力複数を合算して通常の 1 画素分のグレー画像を生成する。これで高感度、高 D レンジ撮像が実現するとされている。

- ◆ 画素 DX : 比較器型 DX。基本は 1bit 白黒出力  
超高感度のサブ画素《Jot》が入射光子 1 個の有無を検知し 1bit 出力をする。

- ◆ センサ構成と動作

- # Jot 数＝数億～数十億個

- 複数の Jot (仮に M 個) で, 通常の 1 画素分を構成する (図 8)。

- # 超高速読出し : サブ画面 1,000fps 級の高速。

- 多数のサブ画面 (仮に N 枚) で, 通常の 1 画面を合成。

- # グレー画像合成 → M \* N 階調 (図 8)

- # 画像合成はセンサ外部で実行

- ◆ 特徴 :

- # HDR (高 D レンジ)

- # 高感度

- # 超高解像度 (1bit の Photon Counting 撮像として)

- ◆ 進化:

- # 発明 : E.R.Fossum (CIS 発明者) @2005

- # 最近の商品例 : @2022 Gigajot Technology 社 GJ04122

- 41Mpix, 2.2 μm, 30fps, 読出しノイズ (ダークノイズ) = 0.35 電子, HDR=95dB

- ◆ 飛躍への予感 :

本来の QIS 飛躍は, 直近未来のその先と見える。上記商品化例が本来の QIS から逸脱しているからだ。1 画素 = Jot 1 個 (M=1), 1 画面 = サブ画面 1 (N=1) がそれだ。ただし, 専門筋のご意見では, このままでもフォトンカウンティング領域の撮像動作と HDR 動作は注目に値するし, 更に高精度の製造プロセスによっては本来の《異端の QIS》が実現するはずといわれている。

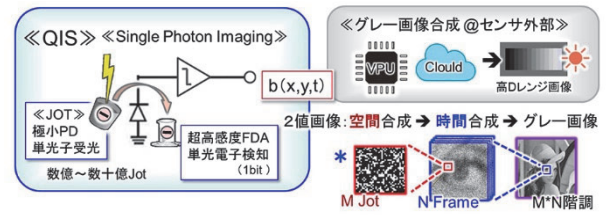


図 8 : QIS : Quanta Image Sensor  
VPU : Vision Processing Unit : 画像信号処理用プロセッサ  
図 \* 出典 : E.R.Fossum, et. al “検出器の進歩 : Quanta イメージセンサ”, “Laser Focus World Japan, 2019,05 “  
(本稿で注釈, カラー線付加)



Laser Focus

## § 4-3 : SPAD : Single Photon Avalanche Diode (図 9) (脚注 2)

SPAD＝光電子を電子増倍機能で 100 万倍にして, 単光子の有無を検知。超高感度, 3D 測距を実現。

- ◆ 画素 DX : デジタル出力値は単光子の有無 (0/1) ないし光子入射時刻 (T)。

SPAD : 入射光電子 1 個を増倍してパルス状の信号を出力する。それを比較器にて光子入力の有無 (0/1) ないし入射時刻 (T) を検知する。その動作は 0.1 n 秒級の超高速である。

(脚注 2) : SPAD (Single Photon Avalanche Diode) : 電子が PD 内の強電界で加速されると, シリコン原子に衝突して複数電子を放出する。これが鼠算的に繰り返されることで雪崩現象 (Avalanche) が生じる。ここで SPAD はより高い強電界を印加して, 一個の光電子を 100 万個程度の電子に増倍する。その応答時間は 0.1 n 秒級と超高速だ。

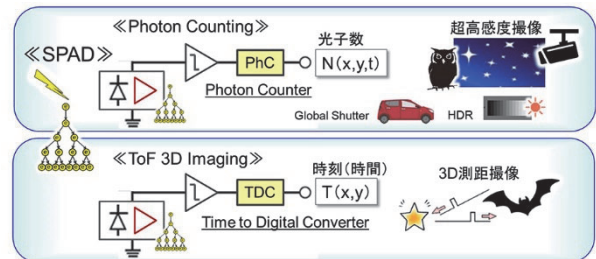


図 9 : SPAD : Single Photon Avalanche Diode Sensor

- ◆ センサ構成と用途 :

SPAD イメージセンサではその単光子パルスの処理法に下記の 2 種類がある (図 9)。それぞれ

れがフクロウ級の超高感度やコウモリ並みの 3D 測距を実現する。

- # Photon counting : 入射光子数の計数  
= 主に Imaging 用途, 超高感度画像取得  
→ 監視カメラ, 科学計測  
(参照 QR コード → WEB Canon)



- # ToF 3D 測距撮像 : 時間の計測  
= Sensing 用途, 3D 測距撮像 (LiDAR : 光のレーダー)  
→ 自動車, スマホ, AR グラス (参照 QR コード → WEB Sony SPAD)

◆ 進化 (図 10)

SPAD センサの進化の概要を図 10 に示す。複雑な解説図だが、ここでは赤表示の数値 : 画素の進化縮小を示すその数字と、アイコン = 特徴とアプリ = を見て頂ければまずは十分だ。見て頂くポイントは凄まじい画素縮小の勢いだ。それが 2020 年以降に集中していることも興味深い。なお、以下の解説はおまけである。

# 初期の SPAD センサの代表例 :

その道老舗の STMicroelectronics の蛍光寿命測定用センサで、画素サイズは  $50 \mu m^2$ 。

# 最新の開発報告 : @2022, @2023 図 10 下部の  $3 \mu m^2$  級センサ。

初期商品に比べて後者の画素面積はざっと 280 分の 1, 驚異の縮小率だ。画素縮小進化

の原動力は 2 つ。ひとつは 3D 積層, 画素並列接続技術。もうひとつは SPAD 光電変換部自体の進化だ。これは少々専門的になるので 1 件だけ、代表例のご紹介をする。それは当図左上の Charge Focusing PAD (Canon) だ。これは電界分布を工夫することで、光電子を電子増倍部へ誘い込み、有効感度領域を広げる技術だ。 $6.39 \mu m^2$  という比較的大きな画素開口の集光力とこの技術とを併せて、驚異の  $0.002Lux$ , 星明り撮像を可能にしているのは驚異的だ。

◆ 飛躍への予感

ToF 3D Imaging = 主に LiDAR 用途 = これは予感ではなく、現実だ。画素縮小 (高解像度) への自動車などの要求は現状ではさほど強くはなく  $\ll 10 \mu m^2 \gg$  でも市場に普及中だ。一方、挑戦もある。 $\ll 3 \mu m^2 \gg$  (図 10 左下部) というセンサの小型化開発報告は AR グラス用測距など新市場を目指せるし、新しいアプリの出現も期待されて、行先が楽しみだ。

Photon counting = 主に画像取得用途 = 超高感度, セキュリティ用途で最低被写体照度  $0.002Lux$  は絶対的に魅力的だ。一方、画素サイズ縮小の進化では目標値に肉薄の  $\ll 3.36 \mu m^2 \gg$  という開発報告がある。これは超高感度の他に高 D レンジ (120fps) と高速撮像を兼ね備えるから、少々電力を食う (350mW) という難点はあるものの自動車, セキュリティ, マシンビジョン向けに発展が期待される。

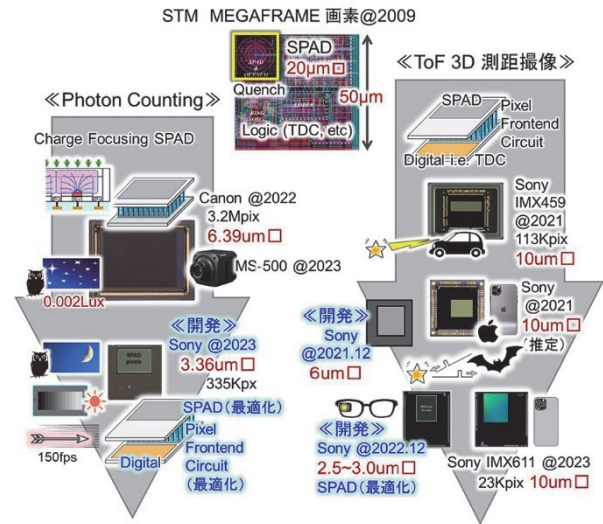


図 10 : SPAD センサの進化と用途

§ 4-4 : EVS : Event based Vision Sensor :

異能 ; 恐竜的に Event (変化) を撮像する  
= 超高速, 低電力 (図 11, 図 12)

- ◆ 画素 DX : 比較器型 DX ; デジタル出力値  
は Event (光量変化) :  $(-1/0/+1)$

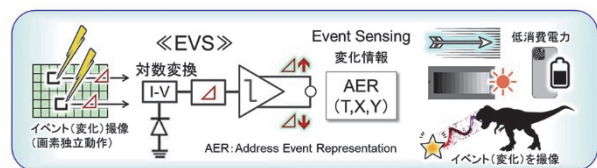


図 11 : EVS : Event-based Vision Sensor

特殊な EVS の画素は入射光量（その対数値）の一定の増減（比）を検出して、その結果（変換時刻：T と画素座標：X, Y）を瞬時に出力する。

◆ 動作：画素は勝手独立（図 12）

（参照 QR コード→WEB Sony EV）

従来型 CIS は信号を画素順次に読出し出力する。EVS は独特で各画素は独立に（勝手に）検出出力を瞬時に（超高速に）出力する。一方、変化が無ければ静止状態を保つので、低消費電力だ。この点は恐竜の視覚と同じだと言われている。

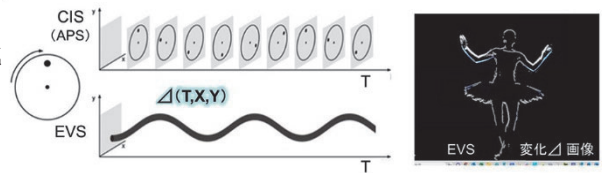


図 12：CIS と EVS；出力信号  
出典：右図 Nanoheed/ iniVation 左図：Sony

◆ 特徴：

EVS は特に異能だ。以下はその一例である（Sony：IMX636）。

- # 超高速：0.1mm秒相当の時間分解能
- # 高 D レンジ：120dB
- # 低照度性能：0.08Lux



超高速は、画素独立（勝手）動作故だ。高 D レンジは対数化信号処理の効果。変化が無ければ静止して電力を消費しないのも魅力的な特性だ。

◆ 進化：3D 積層 Before & After

EVS も 3D 積層技術をベースに著しい画素縮小の進化が進んでいる。以下はその進化の一例で、開発報告（後述の上位高機能のハイブリッド型）では目標の  $3\mu\text{m}$  にも到達した。なお、この他にも Inivision, Sumsung 等数社がこうした EVS に鋭意挑戦中だ。

- # 初期の商品例 @2017：老舗 Prophesee： $15\mu\text{m}$  640×480pix
- # 最近の商品例 @2022：3D 積層（図 5）：Prophesee と Sony 協業： $4.86\mu\text{m}$  1280×720pix
- # 最近の開発報告（ハイブリッド型）：@2023：Sony： $2.97\mu\text{m}$  640×640pix：AR グラス向け

◆ 飛躍への予感：EVS は当初自動車用として有望視されていたが、その後マシンビジョン用として実用化された。さらにこの異能ゆえ未来、更なる未知への夢が広がる予感がする。また、次に述べる“高機能のハイブリッド EVS”は更にその上を行くとみられる。

§ 4-5：ハイブリッド型 EVS = (EVS + CIS) → 高速撮像 = スマホ向けに新たな展望（図 13）

EVS にはもう一つの期待がある。CIS 画像と EVS の高速変化情報を並列出力するというハイブリッド機能だ。その動作の概念を図 13 に示す。これで長時間露光時の CIS（画像情報）の信号欠落を EVS（変化情報）で穴埋めできるというシロモノだ。MPEG の画像再生にも似た画像処理でオモシロイ。これで、低照度撮像時の長時間露光のボケを除去できるし、高速撮像も視野に入る。

こうした CIS と EVS の両機能を一つのセンサ内に組込んだハイブリッド構造が期待の対象だ。その実現法には二通りがある。一つの画素内に組み込むハイブリッド画素と一つのセンサ内に組込むハイブリッドセンサだ。なお、前者を“DAVIS”（Dynamic and Active-pixel Vision Sensor）と呼ぶ。

◆ ハイブリッド EVS 画素型（DAVIS）の進化：

- # 初期の商品例：@2011：Prophesee,  $30\mu\text{m}$
- @2014：iniVation,  $18.5\mu\text{m}$
- # 最近の開発報告：@2023：Sony： $2.97\mu\text{m}$  640×640pix：AR グラス向け

◆ ハイブリッド EVS センサ型の進化：

- # 最近の開発報告 (1)：@2023：Sony： $(4.88/4)\mu\text{m}$  35.6Mpix：スマホ向け
- # 最近の開発報告 (2)：@2023：Omnivision： $(8.8/4)\mu\text{m}$

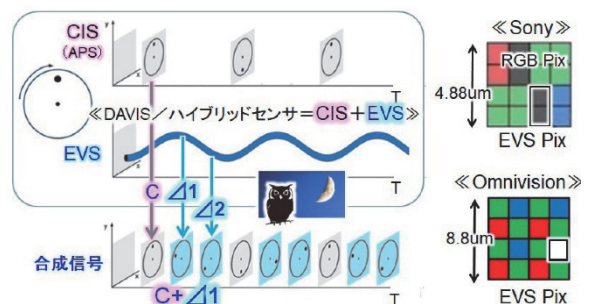


図 13：ハイブリッド EVS の動作とセンサ（開発）

1920x1080pix : HDTV

◆ 飛躍への予感

ハイブリッド EVS には大きな夢が広がる。画素型は AR グラスのような近未来商品で爆発の予感だ。高速マシンビジョン向けも期待がもてる。グローバルシャッタ化への変換アプリがあれば Best と思える。なお、この手のセンサの近未来のライバルは本来定義の DPS だろう。

センサ型は低照度時撮像に優れるからスマホカメラの主演を目指せる。なお、こちらのライバルは現行スマホ主流の低照度時撮像法（手振れ補正+画像処理→画像加算）だ。高速撮像も有望だ。画質に問題無ければだが、それもスマホ画素間内挿技術の延長線で型が付きそうな気がする。

おわりに

本稿ではイメージセンサ、その画素のデジタル化=DPS (Digital Pixel Sensor) の劇的な進化とその近未来のエセ予感を紹介させて頂いた。本来定義の DPS, QIS, SPAD と EVS との多種の DPS があり、それぞれ個性的な未来と互いの競合があるとの予感を添えた。“本来定義の DPS” = 近未来の優等生。SPAD は超高感度と 3D 測距の異能で優位。EVS は CIS (APS) とのハイブリッド合体でどう化けるか？ QIS の本番はその次の未来に出番？ そんな予感だが、いずれが勝者か、それとも棲み分けか、それはもう少しの時間を待たざるを得ない。

撮像技術のデジタル進化には実は 3 つの側面がある。前回ご報告のカメラの側面《スマホ戦役》、今回ご紹介のセンサの側面《DPS》、そしてもうひとつがシステムの側面《コンピューティショナルイメージング》だ。これもオモシロイ。機会があればそんなご紹介もできればと思う

《謝辞》

本稿記載にあたっては、ブリルニクス CTO の高柳功氏、(IISS : International Image Sensor Society の Director 兼ブリルニクス) Chief Scientist の中村淳一氏に DPS の技術分類や歴史等でアドバイスを頂きました。深謝いたします。

《Appendix》画素縮小、普及飛躍への CIS 目標サイズは如何に？

《エセ伝道師の予感：車載，セキュリティ，産業：(4) ~3 $\mu$ m $\square$ 。 スマホ用：1 $\mu$ m $\square$ 。》

救世主“3D 積層技術”で縮小が進む DPS の画素サイズだが、その飛躍へのサイズ目標値は如何に？ エセ伝道師はそれを現行 CIS の実績ベースで予感する。その根拠の一例が以下の通りだ。

◆ 画素サイズの実績 (S 社の比較的新しい CIS 製品リストからの集計値)

・ CIS 一般：

車載=3.0 $\pm$ 0.75 $\mu$ m $\square$ ，セキュリティ=2.9 $\pm$ 0.9 $\mu$ m $\square$ ，マシンビジョン=2.25~2.74~3.54 $\mu$ m $\square$

・ デジタルカメラ：

1 inch 型=2.4 $\mu$ m $\square$ ，Four Thirds=0.3~4.6 $\mu$ m $\square$ ，APS=3.76 $\mu$ m $\square$ ，

35 mm FF=3.76~5.94 $\mu$ m $\square$

・ スマホ用 CIS の画素サイズ実績：

最小サイズ：0.5 $\mu$ m $\square$  (回折限界未満の極小版)

最大サイズ：1.22 $\mu$ m $\square$  (最新機 iPhone15 Pro Max, 最近の主カメラレンズ口径拡大の効果)

これら実績値から得たエセ伝道師の予感，実用飛躍への DPS 画素サイズ縮小の目標値が上記に掲げた数値である。