

デバイスからシステムまで - イメージセンサを用いたアプローチ -



若 者

香 川 景 一 郎*

Devices to the System by Use of Custom Image Sensors

Key Words : CMOSイメージセンサ LSI 情報光学 画像処理 空間光通信

私は、ここ7年、CMOS イメージセンサの研究
者である。日本企業は世界のイメージセンサ市場の
大部分を占めているが、その割に、日本の大学には、
イメージセンサの研究者は極端に少ない。産学連携
があまり進んでいない(必要ない?)分野の一つと
言って、全く間違いではない。100年以上の歴史あ
る銀塩カメラがデジタルカメラに置き換えられたこ
とは、情報デジタル化の潮流の典型的な事例である。
デジカメまたはデジタルカムコーダの眼であるイメ
ージセンサに求められることは、もちろん、レンズ
により形成された3次元像をセンサ表面で切り出し、
2次元の光強度分布として、可能な限り忠実に電気
信号に変換することである。高いS/Nと線形性を
もち、高い空間解像度と高い感度でごく一瞬の画像
を切り取る、これに尽きる。そういう意味では、イ
メージセンサ開発とは、フォトダイオードの高感度
化、低ノイズ化、画素の微細化であって、それは半
導体プロセス開発であり、大学でやるような、もし
くはやれるような研究ではないのである[1]。

敢えて言うならば、従来カメラは銀塩フィルム
の呪縛を受けていた。その呪縛を心地良いものとし
て捉えていた御仁の眼には、デジタル化は軽薄に映
っているのかもしれない。レンズにより像を結んだ、
光線の1本1本、光子の一粒一粒を、シャッターボ
タンに手をかけて押し込んだその瞬間に、1本高々

36枚撮りのフィルムに大事に焼きつける。1枚の
半導体メモリカードに何千枚と記録できるデジタル
カメラは、この儀式的価値を暴落させ、写真を撮る
という行為を走り書きのメモのごとく陳腐化してし
まったのかもしれない。しかし、デジタル化はカメ
ラを長年の呪縛から解き放ち、自由な進化を促進す
る時代の幕開けを意味するのである。ここに、大学
でイメージセンサおよびその応用システムを研究す
る意義が生まれる。画質至上主義では不可能な、自
由な発想をするのである。

CMOS イメージセンサは、その名が示すように、
現在のIT時代を支えるシリコンCMOS プロセスに
より製造される。それは、よく知られているように、
様々なアナログ・デジタル回路をイメージセンサ上
に組み込める[2]、さらには、イメージセンサの情
報の入り口である画素の機能を自由にデザインでき
ることを意味する。イメージセンサはごく最近まで
銀塩フィルムの置き換えでしかなかった。しかし、
それは大きく変貌しつつある。市場に溢れる製品に
目をやるだけでも、デジカメは顔を認識してそこに
フォーカスと露出を合わせ[3]、カムコーダとステ
ィルカメラは融合し、その垣根は取り払われようと
している[4]。カメラは確実に新たな機能を獲得し、
その質を変化させつつある。カメラの変質は、すな
わち、キーデバイスであるイメージセンサの変化す
ら促す。ただ、数字上の画質・画素数を求めている
だけでは、時代の孤児になる。

私は大阪大学工学部の応用物理学科に入学し、専
攻の新設を経て、物質・生命工学専攻で博士号を取
得した。その時のテーマは、光コンピュータであっ
た。IT全盛のご時世、光と言えば光ディスクや光
ファイバ通信を思い浮かべる方も多いのではないだ
ろうか。しかし、やはり、光は空間を並列に伝搬し
て、2次元または3次元像を形成するものである。



* Keiichiro KAGAWA

1973年10月生
大阪大学・工学研究科・物質・生命工学
専攻(2001年)
現在、大阪大学大学院 情報科学研究科
情報数理学専攻 情報フォトリクス講座
特任准教授 博士(工学) 情報光学、
高機能CMOSイメージセンサ
TEL : 06-6879-7869
FAX : 06-6879-7836
E-mail : kagawa@ist.osaka-u.ac.jp

その経路にプリズムや回折格子があれば分光もされるが、像全体がシフトする。複数のピンホールやレンズを置けば、多重像を結ぶ。これは光の並列性と呼ばれているが、それに光ファイバ通信で利用されている高速性、波長多重性を組み合わせることで、超高速信号処理が実現できる、と夢見た時代があった。人類はその発生の時から光の恩恵を受け続けているが、未だに使いこなせていない。その言い訳の1つが、並列光制御デバイスの欠如であった。確かにそうかもしれない。並列光源、並列制御デバイスは今日でも満足できるものはないが、並列に受けて処理するのであれば、CMOS イメージセンサ技術を使えばできる。これはスマートピクセル（概念としては受光だけではなく、発光・変調も含む）、またはインテリジェントイメージセンサと呼ばれる。博士後期課程の私は、アメリカの誰かが作った並列発光・受光デバイスを使って空間光接続システムを作っていたが、CMOS 回路設計には縁がなく、ずっと憧れを抱いていた。

奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科に助手として赴任したことは大きな転機となった。三菱電機出身の太田淳先生が大学に移られてCMOS イメージセンサを研究していることは学生時代から知っていた。大学と企業の間隔的な風土をもつ研究環境は、大学で9年間過ごしてきた私には大きな刺激になった。しかし、行ってみて分かったことだが、回路設計・検証技術の蓄積が無かった。ほとんどが試行錯誤で、何が正しいやり方なのかすら分からなかった。しかし、奈良先端大の助手は研究に専念することができたため、一から自力で地道に積み上げることができた。結局、CMOS イメージセンサの「設計」と呼べることができるようになるまでには、6年の歳月を必要とした。

奈良先端大在籍の6年半の間に多くのテーマを手がけ、それらは自分自身の着想であったり、企業からのテーマの持ち込みであったりしたが、常に思考の中心にあったのは「システム至上主義」であった。すなわち、デバイスありきではなく、システムありきである。今、こういうスペックのイメージセンサが世の中にあるから、その機能・性能を向上しようか、という話ではない。まず、こういうシステムがあったら面白い、という空想からスタートする。それをどう実現するかを考えていくと、どのようなデ

バイスが必要かブレークダウンできる。蛇足であるが、そういう考え方なので、即物的で、サイエンスには向かない。それはさておき、当然、全てのデバイスが実在するわけではない。画像システムを考えると、困るのは大概イメージセンサである。光学系や処理は何とかなるものである。世の中の人はお仕着せのイメージセンサを使って、有り合わせでなんとかせざるを得ないが、幸いに私はそうではなかった。CMOS イメージセンサならば、回路的に実現可能であれば自分で新しいデバイスを設計して、製造してもらい、それを手に入れることができる。これは素晴らしいことである。

しかしながら、この研究スキームには大きな問題があることが、しばらくして分かった。当たり前なのだが、デバイスが動かないとシステムもできないのである。CMOS イメージセンサはLSI の一種である。と言うことは、作り直しが利かない。ソフトウェアなら何回でも作り直せるが、そうはいかない。多少のミスならば製造後も修正できるのだが、イメージセンサは同じ回路が数100、数1000、数百万と並んでいる。これらを全て修正するのは不可能である。かと言って、回路規模が大きいため、設計時の完全な動作検証は不可能である。いきおい、縮小した回路で動作検証することになり、実際に製造する回路と全く同じではなくなる。見落としがある、何も見えないか、電の向こうに何かぼんやり見えなくもないイリュージョンセンサや、のんびりしたスローペースのイメージセンサが出来上がってしまう。そうならないための設計時のチェックポイントを会得するのに時間もかかり、多くの無駄を積み上げた。

結論はシンプルであった。CMOS イメージセンサでは、原則、「処理をしてはいけない」。しているのは、イメージセンサでやらないと「絶対に実現できないことだけ」である。処理は、イメージセンサから読み出した画像を使って、性能のありあまっているPC でやれば良い。この方針に従い、オプトナビと呼ぶ拡張現実画像リモコン[5]や、車載を狙った広ダイナミックレンジイメージセンサ[6]、スマートダストと呼ばれる超低消費電力センサーネットワークデバイスに向けた低電圧・低消費電力イメージセンサ[7]を開発した。特に、低電圧・低消費電力イメージセンサについては、半導体集積回路の

オリンピックと呼ばれる International Solid-State Circuit Conference(ISSCC)に2008年に採択され、報道されるには到らなかったが、奈良先端大での研究を素晴らしい形で締めくくることができた。

今、大阪大学に情報科学研究科グローバルCOE [8] 特任准教授として、学生時代を過ごした研究室に戻って来て丁度半年が過ぎた。久しぶりに見た研究室は、工作台がなくなり、学生はみんなキーボードを叩いていた。変わっていないのは、光学系をいじっている学生がいることぐらいである。半導体回路設計をたしなむ学生は、もちろん一人もいない。しかし、グローバルCOEで掲げているアンビエント情報環境は、自由な発想の場である。「デバイスからシステムまで」の精神でもって、新たな研究フィールドで再出発を切ったばかりである。

- [1] 米本和也, 「CCD/CMOSイメージ・センサの基礎と応用」, CQ出版社(東京, 2003).
- [2] 太田淳監修, 香川景一郎共著, 「CMOSイメー

ジセンサの最新動向」, 第10章(2007).

- [3] http://www.nikon.co.jp/main/jpn/whatsnew/2005/e7900_05.htm
- [4] http://www.casio.co.jp/release/2008/ex_f1.html
- [5] 山本幸司他, 「部分領域高速読み出しをもつ低消費電力ID受信CMOSイメージセンサを用いた情報家電マルチリモコン「オプトナビ」システムの提案」, 映情学誌, Vol. 59, No. 12, pp. 1830-1840(2005)
- [6] K. Kagawa *et al.*, " Dynamic range extension of CMOS imager with linear response by hybrid use of active and passive pixel readouts, " Proc. of 2007 Int'l Image Sensor Workshop, pp. 86-89 (2007)
- [7] K. Kagawa *et al.*, " A 3.6pW/frame•pixel 1.35V PWM CMOS Imager with Dynamic Pixel Read out and no Static Bias Current, " ISSCC Dig. Tech. Papers, pp. 54-55(2008)
- [8] <http://www.ist.osaka-u.ac.jp/GlobalCOE/>

