

〔研究ノート〕

オープン・イノベーション・ワールド探訪Ⅲ

—技術知識の組織的普及と支配性形成

福 島 英 史

1. 本稿の目的

本稿は、世界の画像半導体産業の産業史を題材として、新旧企業が入り混じった需給構造の転換について明らかにするとともに、しばしば曖昧なオープン・イノベーション (Open Innovation) の概念を再解釈しようとする研究の一部である¹。前稿に引き続き画像半導体イメージセンサの産業史研究から、主流技術及び用途市場の需給構造の転換に際して、既存企業及び新興企業がどのような意思決定と行動を重ねていったのかみていく²。主流技術と産業の転換プロセスにおいて、国家や地域イノベーション・システムとしてのオープン・イノベーションの世界が色濃く観察されるようになったかを確認していく。

2. 技術的知識の組織的な普及～JPLとPhotobitからの技術移転と事業化の顛末

CCDに代わって今日イメージセンサの支配的設計になったのは、1990年代に米JPLで開発され、Photobitにおいて事業化されたCMOS APSであった。CMOS APSの技術的知識の拡散と支配性の確立は、市場競争に加え、両社からのスピノフによるもののほか、他者との共同開発や設計契約という形での公式の技術移転、および非公式の技術移転を通じて行われた。これら組織的に行われた技術移転の結果について、事業化を中心に各々確認しておこう。

2-1. Bell Labs～Pixim

Bell Labsは、カメラフォンとPCビデオ会議

への関心からJPLと共同開発で成果を上げたものの、1996年9月に製造部門Western ElectricとともにLucent TechnologiesとしてAT&Tからスピノフされる再編を経験し、CMOSイメージセンサが事業化されることはなかった。Lucentは1998年にVIS (世界先進積体回路, Vanguard International Semiconductor) をファウンドリとして事業化する計画を持っていたものの、実現しなかった³。

ただし、LucentのNetworking and communications部門General ManagerだったBob Weinschenkが⁴、1999年Stanford University (スタンフォード大学) からスピノフしたPiximのCEOに就任し、同社の創業期をマネージしている⁴。Piximのもとになっているのは、創業者でCTOを務めたXiaodong (David) Yang (楊曉東) の博士課程の研究である。Yangは、Abbas el Gamal教授をリーダーとするStanford大学のProgrammable Digital Camera Projectに従事し、結果としてYangと、Gamal, Yangの友人でUCBerkeley大学院生だったZhonghan (John) Deng (鄧中翰) が⁵、Piximを創業した。創業にあたって、PiximはStanford大学のTechnology Licensing Office (TLO: 技術移転オフィス) からCMOSイメージセンサ技術の実施ライセンスを受けた。さらにPiximは、Stanford大学から技術を他機関へサブライセンスする権利を得ている。同社と大学との関係は、JPLとPhotobitとのそれと似ていたようである。

このStanford大学のプロジェクトおよびこれに先行してGamalらが1993年から取り組んだもう1つCMOSイメージセンサ研究プロジェクトImage Systems Engineeringは、産業界への波及効果という点で、JPLのものと並んで重要

だったと考えられる。これらプロジェクトは、HP、Rockwell、キヤノン、Kodak、Intel、Analog Devices など複数の事業会社から出資を受けていた。HP からスピノフした Agilent 含め、これら企業は出資の見返りに、研究チームの成果として Stanford 大学が所有した4つの基本特許へのアクセス権を得ている。つまり、技術移転を受けていたのである。なお Pixim は、Mohr Davidow Ventures (MDV)、Mayfield Fund、In-Q-Tel といった名の知れた VC から資金を調達している。

Pixim は、OmniVision のように巨大なカメラフォン市場を事業の中心としたメイン・プレーヤーにはならなかったけれども、TSMC をファウンドリとして米国のハイエンド監視カメラ向け市場セグメントで一定の地位を確立することに成功し、Cisco、GE Security、Siemens Building Technologies などの大手顧客にイメージセンサを販売している。

Pixim は 2011 年 6 月に、Motorola・Applied Micro Circuits Corporation (AMCC) 出身の Vladimir Koifman と、Nathan Baron がイスラエルで 2004 年創業したファブレス Advasense を買収している⁵。Advasense は、イスラエルの VC、Giza Venture Capital や TSMC が大半を出資する VentureTech Alliance と、Nokia コーポレート VC の 1 つ BlueRun Ventures (旧 Nokia Venture Partners) から 3100 万米ドルの資金提供を受けて、カメラフォン向け高感度 CMOS イメージセンサを開発、販売していた。しかし、2008 年前後に始まる金融危機を受けて投資に行き詰まり、Pixim に数百万米ドルで買収されたという。ただしその Pixim は 2012 年 10 月に、日本のソニーが買収しており、現在もその傘下にある。

興味深いことに、創業者の Yang と Deng は、Pixim と同じ 1999 年に、ファブレスの ISP チップ企業 Vimicro (中星微電子) を北京で創業している。Vimicro は 2005 年 Nasdaq に上場しており、中国で注目が集まる半導体企業の 1 つだという。Vimicro の Form 20-F (年次報告書) によれば、Deng は 2001 年 5 月に Pixim を退職し、2002 年初から同社の CEO 兼社長である。

Yang は 2004 年 2 月に Pixim を退職、翌 3 月から Vimicro の CTO になる。2 人の中国帰国と Vimicro 創業は、当時の中国情報産業省から招待とサポートを受けてのことであるという。中国では 1990 年代に各種の「海外人材呼び戻し政策」が積極化したことが知られている⁶。

2-2. Kodak と Motorola, Intel, IBM, IC Media

JPL、Photobit から Kodak への技術移転も広がりを見せることになる。写真フィルム企業として寡占的な地位を築いた Kodak は、日本の写真カメラ企業同様にカメラの電子化に備えて 1970 年代からイメージセンサ研究開発をすすめており、75 年に Steven Sasson が CCD 電子カメラを試作したことが知られている。1990 年代、同社は航空宇宙・科学用に CCD を製造しデジタル画像事業を育成する一方、JPL と TCA を結び、画質を向上させるために CCD で一般的だった埋め込みフォトダイオード (PPD: Pinned PhotoDiode) 構造を CMOS イメージセンサに持ち込むなど熱心に技術開発を進めた。Kodak は、Stanford 大学からも CMOS イメージセンサの技術移転を受けている。

Kodak は、JPL の開発チームが Photobit としてスピアウトしてからも、イメージセンサのカスタム設計を依頼する顧客として協力関係をつづけた。1993 年まで長く Motorola に勤めた George M. C. Fisher が Kodak の CEO に就任したことを契機に 1996 年、Photobit が設計した Kodak CMOS イメージセンサの、ファウンドリに Motorola になることが決まる⁷。ただし 1998 年に Kodak は、Intel との CMOS イメージセンサ共同開発を発表している。Kodak の CMOS イメージセンサは、同社が 2000 年 5 月に発売した携帯情報端末「Kodak PalmPiX」に搭載された。

Kodak の Image Sensor Solution 部門 (ISS) はさらに 2000 年 9 月、従来、社内顧客にしか販売してこなかったイメージセンサを、外販することにした。Kodak はそれまで航空宇宙用や科学計測用に CCD を少量製造販売していた。

2000年10月に同社として初めてCMOSイメージセンサを発売している（VGA解像度のKAC-0310と1.3万画素のメガピクセルKAC-1310）。CCDでは、1600万～100万画素解像度のKAF-16801CE, KAF-5100CE, KAI-1020をDSC向けに同時発売した。VGAのKAC-0310は、2001年2月、DSC・カムコーダ・MP3再生機能を一体化した「Kodak mc3」に搭載された。2002年9月には35mm判フルサイズCMOSセンサを搭載した一眼レフDSC「Kodak DCS Pro 14n」を発表したものの、2003年5月に発売された14nに搭載されたのは他社製、FillFactoryが開発したCMOSイメージセンサであった。

Kodakは2002年、オリンパスが提唱したDSC向けイメージセンサ規格「フォーサーズ・システム」をはじめ、DSCにイメージセンサを外販・供給していく計画を発表し、2004年9月にはNSのイメージセンサ事業を50人の従業員とともに買収している。また2005年に、IBMと共同開発し、TSMCが製造するCMOSイメージセンサを、DSCに加えてカメラフォンに供給する方針を発表した⁸。ただし、2006年に当時携帯電話市場で高いシェアを持ったMotorolaにCMOSイメージセンサを供給する計画、2008年にカメラフォン向け500万画素解像度のKAC-05020が発表されたものの、2009年9月にCMOSイメージセンサから撤退してCCDにフォーカスすることが決められている⁹。

さらにKodak倒産の3か月前、2011年にISSはTruesense Imaging, Inc.として、米ファンドPlatinum Equity傘下でイメージセンサ事業を継続することになった。Truesenseは2014年、1999年にMotorolaからスピノフしたON Semiconductorが買収している。Kodakはイメージセンサ主流技術がCMOSへ転換しはじめる1990年代初頭にJPLから技術移転を受け、絶好のポジションにいたにも関わらずその事業化に失敗した事例としてFossumは嘆いている。

Motorolaは、1990年代末Kodakのファウンドリをつとめながら、単独でもCMOSイメージセンサ開発努力を進め、1998年にはDSCや

PCカメラ向けにトライリニアCMOSイメージセンサを発表している¹⁰。しかし1999年8月、Motorolaは半導体部門（ディスクリート、アナログ、標準&アドバンスド・ロジック）を、ON Semiconductorとしてスピノフし、イメージセンサ市場から撤退している。

ON Semiconductorは、2011年のCypress Semiconductorイメージセンサ事業部門と、2014年のTruesense Imaging, Aptina Imaging買収を通じて、同市場に再参入している。ON Semiconductorは、2016年初の現在、イメージセンサ市場メイン・プレーヤーの一角を占めている。

Intelは、1996年にCaltechからCMOS APSのライセンス供与を受け、Photobitが同社向けにカスタム品を設計する契約を結んでいる¹¹。Intelは、Stanford大学からもCMOSイメージセンサの技術移転を受けている。同社は1997年11月に44万(768×576)画素解像度DSCキット「971 PC Camera Kit」を発表しており、PC周辺機器としてDSCを誰でも作れるように市場を盛り上げ、PCとCPUの販売増につなげる考えがあった。Intelでは一時、アリゾナ州Chandlerの研究所で250人の研究者がCMOSイメージセンサ開発に取り組んでいたという。実際、シンガポールAztech Systems、台湾Liteon Technology（光宝科技）、韓国Samsung Aerospace Industries（2000年Samsung Techwin、2015年Hanwha Techwinになる）の3社が同キットを使ったカメラの商品化を表明している。しかし翌1998年8月にはIntelとKodakとのCMOSイメージセンサ共同開発が発表され、971 PC Camera Kitプロジェクトは中止される。中止されたのは、期待されたほど製造の歩留まりが改善されなかった上、市場では解像度の向上が予想以上に進んだためという。IntelはPhotobitの顧客兼株主で、PhotobitのCMOSイメージセンサを搭載したPC会議カメラ「Play Me2Cam」をConnected Products Division（CPD）から発売した。その後Intelの新規事業創造部門Intel Capitalが出資するNew Business Initiatives group（NBI）のImage Components Operation（ICO）が、2004年からカメラフォンに、イメージセ

ンサとこれを使ったカメラ・モジュールの提供を試みた。携帯電話向けに納入が進んだマイクロプロセッサ XScale の取引関係を梃に、イメージセンサ事業を立ち上げることができると期待されていた。しかし、解散済みの CPD の経験が生かされることはなく、製造・販売両面で失敗して、ISP のみを提供する事業にシフトしていった¹²。

IBM は先のように 2004 年頃から Kodak のファウンドリになり、2005 年 7 月に他社向けにもサービスを開始している。たとえば米 Altasens がこれを利用している¹³。また JPL や Photobit からの影響は明らかではないが、IBM の T. J. Watson Research Center で働いていた Ben Wu (吳炳松) と、後に Motorola に吸収される Symbol Technologies や Telxon Corporation で働いていた Jim Li (李仲琪) が 1998 年、いわゆるシリコン・バレーに在する San Jose (サンノゼ) で IC Media を創業している。同社は 2000 年秋に最初の製品 VGA 解像度の ICM-105A を出荷した後、300 万画素解像度の ICM-110T など低価格帯のカムコーダ、DSC、トイ、PC、監視カメラ向け市場セグメントを狙って急成長し、2004 年 3 月ファウンドリ UMC から出資を受けるまで 100 名前後まで従業員を増やした¹⁴。しかし、2005 年 3 月には韓国のファウンドリ MagnaChip が IC Media を買収している。

2-3. National Semiconductor, Foveon, PixelCam, Zoran

NS は JPL からの技術移転プログラム TCA パートナーの 1 つだったが、NS 側担当者の Kevin Brehmer と Dick Merrill は NS を辞職し、それぞれ Pixelcam と Foveon を創業する形で技術を継承している。NS 自身も、TSMC をファウンドリとして 2002 年に監視カメラ・自動車向けに CMOS イメージセンサ「LM96XX シリーズ」を発売している¹⁵。しかし 2004 年 8 月にイメージセンサ事業を Kodak に売却、NS 自体は、2011 年に TI に買収されて消滅している。

PixelCam は、NS 出身の Kevin Brehmer が 1998 年 3 月にスピンアウトして設立した¹⁶。

2000 年 5 月までに DSC・産業用として、約 130 万 (1,280 × 1,024) 画素解像度 PCS2112、約 80 万 (1,024 × 768) 画素解像度 PCS2210 を発表した。しかし 2000 年 6 月に Zoran が、PixelCam を 2100 万米ドルで買収して CMOS イメージセンサ事業に参入した。Zoran は、DSC を主に狙って CMOS イメージセンサ事業を展開したものの、2005 年 1 月業績不振を理由に同事業から退出している。Zoran は DSC 用 ASSP (application specific standard product) の最大手になったのち、2011 年英 CSR に買収され、2015 年には Qualcomm が CSR を買収している。

Foveon は、1997 年 NS 出身の Dick Merrill が共同創業し、ファウンドリは NS が勤めた¹⁷。NS が 45% を出資しており、Foveon は NS と Synaptics の合弁企業 (JV: Joint Venture) であった。その後 NS のイメージセンサ事業が Kodak に買収された 2004 年に、ファウンドリは韓国 Dongbu (東部電子) に移行する。独自のカラー構造を備えた Foveon のイメージセンサは、一部最終顧客から熱狂的な支持を得た。製品化は 2002 年まで持ち越され、日本のシグマが最初の顧客となって、Sigma SD9 一眼レフ DSC に搭載された。結局、2008 年同社をシグマが買収して親会社になる。NS は 2004 年 8 月にイメージセンサ事業を Kodak に売却した際にも、Foveon 出資は維持したが、結局 TI に買収されてしまった。

2-4. Schick Technologies, EG&G, ITT, Polaroid, Atmel, e2v

1992 年に David Schick が創業した Schick Technologies は、1994 年に JPL と TCA を結び、技術移転を受けた¹⁸。このとき同社は従業員 3 人、売上高 3 万米ドル弱、営業損失 66 万ドルの企業であったが、1997 年 6 月には Nasdaq に上場している。同社が目指したのは、CMOS APS の齒科を中心とする医療用 X 線イメージセンサへの応用であった。1997 年の米国 Radiological Society で発表された試作品が最初の医療用 APS であったという。同社は Photobit

に出資しながら技術提供を受け、1999年にはCMOS APSを組み込んだ最初の骨密度測定機器を商品化している。Schickは2006年、Sirona Dental Systemsが吸収合併した。SironaはかつてSiemensの1ブランドとして存在し、1997年投資ファンドによる買収で独立企業になっていた。合併直前2006年3月決算期のSchickは従業員152人、売上高7千万ドル強、営業利益250万ドル強になっていた。

EG&Gは、CMOSイメージセンサの源流の1つに連なる企業であった。MOS型イメージセンサを発明したGene Wecklerは、1971年にFairchild Camera and Instrument半導体部門を退職し、Reticonを共同創業したことが知られている¹⁹。これを1977年に買収したのがEG&Gであった。EG&Gも、1999年買収後の存続会社PerkinElmerもOptoelectronics部門で医療・産業用イメージセンサ事業を営んでいる。ただしJPLとの技術協力の効果は詳らかではない。ITTについても同様である。同社は1995年と2011年に分割され、そのうちイメージセンサ事業を引き継いだと思われるITT IndustriesとITT Exelisは防衛・宇宙用に事業展開している²⁰。

PolaroidもJPLとの関係は明らかでないが、同社のCMOSイメージセンサはATM等で用いられる顔・指紋認識向けに事業化されている²¹。しかし同社はKodakより10年早く2001年に倒産してしまう。同社の指紋認識チップをファウンドリとして製造したのがマイクロコントローラやメモリ等の半導体製品を手掛けるAtmelであった。

Atmelは2000年5月、産業用にCCDを製造していた仏Thomson-CSFの半導体部門(TCS: Thomson-CSF Semiconducteurs Specifique)をそのGrenoble工場とともに買収し、イメージセンサ市場に参入していた²²。同社は2003年にグラフィック・アートや医療などニッチ市場向けに800万画素高解像度CCDを発売している。しかし2005年5月にはTowerをファウンドリとすることを発表、翌2006年7月には過剰な生産能力投資で財務が悪化したのを受けてイメージセンサ事業を含むGrenoble子会社を英e2vに売却した。

e2vは、1972年から防衛・宇宙・医療用にCCDを開発・提供してきた²³。2007年2月にTowerをファウンドリとしてCMOSイメージセンサを提供していくことを発表している。カスタム品については必ずしも詳らかではないが、2009年9月には初めての高感度CMOSイメージセンサとしてEV76C560をサンプル出荷し、2010年早期の量産としている。この2010年前後には経営を安定させるために合理化を進める一方、同社は産業用・監視用などにもイメージセンサを展開している。

2-5. Rockwell International, Rockwell Scientific, Altasens, Conexant Systems, Y Media.

FossumがJPLから「非公式の」技術移転があったとするRockwell Internationalは、防衛航空宇宙事業を中心にネットワーク機器や半導体、計測器、印刷機などの事業も営むコングロマリットであった²⁴。同社の中央研究所であるScience Centerにおいて、1977年から軍事・航空宇宙用途のCMOSイメージセンサの研究開発がすすめられていた。ここでNASA向けに、Hubble Space Telescope(ハッブル宇宙望遠鏡)に搭載される赤外線イメージセンサを開発していたLester Kozlowskiが、1995年にJPLを訪れたという。また後にSamsung電子Advanced Imaging Research Lab(AIRL)所長になるIlia Ovsianikovが、Photobitから後述のRockwell Scientificに転じている。Rockwellは、Stanford大学からもCMOSイメージセンサの技術移転を受けている。

Rockwell Internationalでは、1997年に同社のPCビデオカメラ向けにVVLからイメージセンサの調達を受けた後、翌1998年1月には4つのCMOS APSと、1つのPPSを開発し、7月からの量産としている。これらはCIFから69万画素の解像度を持ち、PCビデオカメラとDSCを用途として想定していた。ただし、同社は1980年代末から2000年代初頭にかけて事業売却とスピンオフを進めてきた。イメージセンサ事業を手掛けた半導体部門は1999年1月にConexant Systemsとして、Science Centerも

2001年にRockwell Scientificとしてスピノフされた。

このうちRockwell Scientificは、2003年4月に発売したHDTV解像度のProCamHDシリーズでCMOSイメージセンサ事業を開始し、池上通信とJVCのハイビジョンカメラに搭載された。UMCがファウンドリをつとめた。しかし同事業部門は2004年3月、Kozlowskiが率いるAltasensとしてスピノフされ、同年日商岩井（現双日）からオリンパス傘下に入った情報機器商社・投資企業のITXに買収された。その後IBMをファウンドリに加え、放送用など業務用ビデオカメラや内視鏡向けに事業を展開した。オリンパスが2010年12月、続いてJVCケンウッドが2012年8月に完全子会社化している。またRockwell Scientificは2006年、残された赤外線センサ部門とともにTeledyne Technologiesに買収されている。

Conexantは当時、携帯電話の無線ICやモデム、ADSLチップなど通信半導体が主力製品であったが、ファックスやプリンタ、DSC、カムコーダ向け半導体のPersonal Imaging DivisionがCMOSイメージセンサ事業を担当していた²⁵。2000年には100人以上がイメージセンサの設計・製造に携わっていたという。2000年5月にISPのSierra Imagingを買収し、130万画素27fpsのCX20450を含むDSCリファレンス・デザインを発売した。翌2001年8月にはカメラフォン向け1/5インチVGA解像度のCX20490を発売する。しかし2001年に半導体市場は前年比マイナス32%という未曾有の縮小を経験し、Conexantは各事業のスピノフを余儀なくされる。まず製造部門が2002年3月、Jazz Semiconductorとしてスピノフされた。イメージセンサ事業は7月、100人規模のPictos Technologiesとしてスピノフされ、画像処理ソフトのZing Networkを吸収することになる。Pictosはカメラフォン向けに1/3インチ110万画素のPT20503、1/5インチVGAカメラ・モジュールD190をサンプル出荷した。PictosのファウンドリはJazzである。ただし2003年6月、オーディオ半導体のESS TechnologyがPictosを買収している。Jazzは

2007年2月にAcquicor Managementに買収されてJazz Technologiesと名を変え、2008年9月にTowerに買収されている。Conexantは2011年にGolden Gate Capitalに買収された後、2013年に破産している。

Conexantからは発足間もない1999年3月に、Y Mediaがスピノアウトしている²⁶。共同創業したCEOのIan Olsenと、vice president of operationsのDavid Escobar、vice president of marketingのGreg Urbanの3人は、Conexant・RockwellのPersonal Imaging Division出身であった。同社は2000年9月に当時としては高解像度の1/2インチ317万画素のCMOSイメージセンサYM-3170Aを発表して注目を集め、Enterprise PartnersやTechFund Capital、Chase Capital Partners等から1600万米ドル程を集めた。TSMCと開発を進めたものの計画通り発売できず、生産立ち上げ期の資金調達に失敗し、2002年6月に廃業した。Y Mediaが目指したDSC市場では一眼DSCは言うに及ばず、コンパクトDSCの一部機種でも2000年には同程度の解像度をもつCCD搭載製品が発売されており、2002年には400万画素の製品も発売されていた²⁷。

2-6. HP, Agilent, Avago, Fairchild Imaging

HPもまた1990年代後半にCMOSイメージセンサの研究開発を進め、1999年3月に事業化している²⁸。商品化されたのは、PC会議カメラ・トイDSC向けのVGA解像度HDCS-2000、CIF解像度HDCS-1000、および光学マウス向けCMOSイメージセンサであった。HPはCMOSイメージセンサを使う光学マウスを、世界で初めてMicrosoft IntelliMouse向けに開発製造したとされる。

HPは、Piximとして事業化される研究への出資でStanford大学からCMOSイメージセンサの技術移転を受けているのみならず、1990年代にJPL出版物から技術を学んだという。また大学院生としてFossumとともにColumbia大学からJPLに出向いたSunetra Mendisが、1995年から暫時HPのULSI Research Labに勤務し

ている。

HPはCMOSイメージセンサ事業化後まもなく1999年11月に、中核の検査計測機器事業やイメージセンサ事業を含むコンピュータ機器以外の事業を、Agilent Technologiesとして上場させスピンオフした。

光学マウス向けは、所謂「カメラ製品」として考えにくい。各種カメラ用途のCMOSイメージセンサ出荷統計から外れる傾向にある。しかしAgilentは、PCマウス最大手のLogitech Internationalを顧客に持ち、光学マウス向けセンサで6割前後の数量市場シェアを2005年頃まで維持している。同社は1999年から2004年7月までに3億個超のマウス向けセンサを出荷したという。カメラフォン市場が本格的に立ち上がる2003年頃まで、カメラ用途のCMOSイメージセンサの年間出荷数は、1990年代に数百万、2000年代に入っても数千万程度であった。このため、マウス向けを合わせた数量シェアで見るとAgilentは6割前後とこの頃まで圧倒的な市場地位を築いていた。これは同社がマウス向けセンサで取得した基本特許に裏打ちされており、PixArt Imaging（原相科技）やElan Microelectronics（義隆電子）などライバルを度々特許権侵害で提訴していた²⁹。

一方、AgilentはHPの源流になる検査計測機器事業を受け継いでいた。HPは1999年7月に日本の事業所が開発したCMOSイメージセンサの量産検査装置を発売しており、Agilentでも開発と販売が続いた³⁰。STのようなイメージセンサ事業のライバルは、この量産検査装置の顧客であった。またTSMCやUMC、TowerといったCMOSイメージセンサのファウンドリも顧客であった。

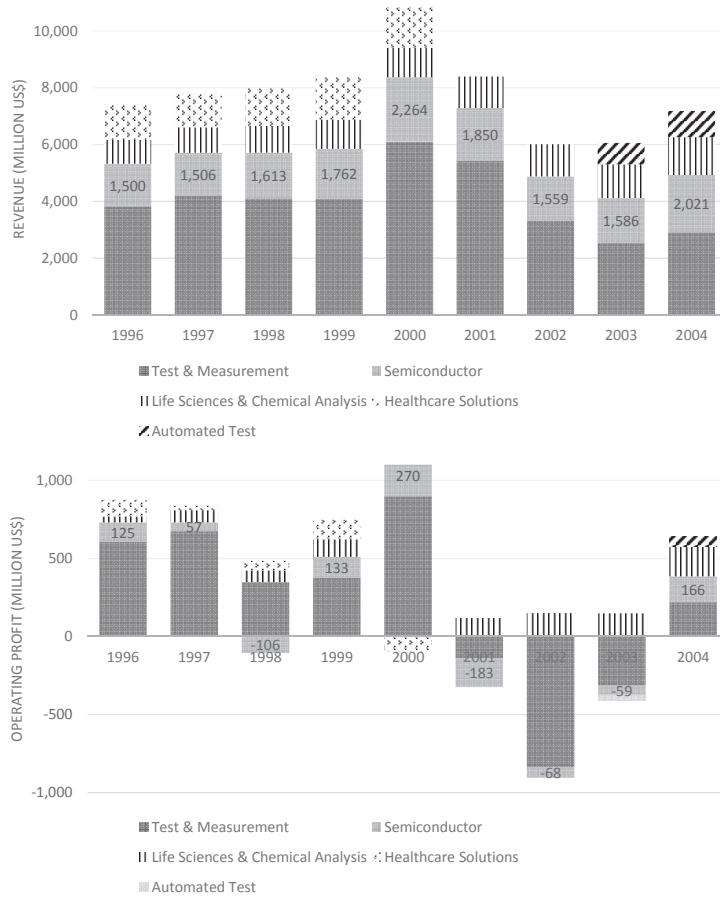
Agilentでは、2000年に携帯電話に代表されるコミュニケーション機器に注力することが決められ³¹、LightSurfからカメラフォン向け写真共有技術の供与を受けた。同社はイメージセンサのみならず、FBARフィルタやE-pHEMT増幅器、赤外線モジュール、LEDといった様々な部品をNokiaやMotorola、Sony-Ericsson、Siemensなど大手の携帯電話機メーカーに納入している。

他方、産業用や生体認証用、車載用などにCMOSイメージセンサの用途を広げることにも試みられ、その一環として2003年1月に高感度・高速CMOSイメージセンサを開発していたPixel Devices Internationalを買収している。同社は、Stanford大学の研究者だったBoyD Fowlerが1998年に創業していた。Pixel Devicesの技術と既存事業は同年7月にCCDを開発製造していたFairchild Imagingが取得している。Fairchild Imagingは、1927年に設立されてFairchild Aviationから名前を変えたFairchild Camera and Instrumentに連なる。2001年にBAE Systems傘下にあった元Fairchild Camera and Instrumentのイメージセンサ部門がFairchild Imagingとして独立した。FowlerはAgilent勤務の後、2005年3月にFairchild ImagingのCTOに就いた。

Agilentは2002年7月に、カメラフォン・PC会議カメラ・DSC向けにVGA解像度のADCS-2021・ADCS-2121と、生体認証・産業用・監視カメラ向けにCIF解像度のADCS-1021・ADCS-1121を発売した。また2003年3月にはこれらをカメラ・モジュールに組んだADCM-1650・ADCM-1670・ADCM-2650を加えている。2004年11月までには車載向けも投入されている。130万画素や200万画素の高解像度品も開発は行われ、前者のADCC-3960は2005年10月にサンプル出荷されている。

しかしAgilentは2005年2月、カメラ・モジュール事業をシンガポールの大企業EMS（Electronics Manufacturing Service：電子機器製造サービス）Flextronicsに売却してしまう。さらに同年8月、同社は半導体事業を米国の投資ファンドKohlberg Kravis RobertsとSilver Lake Partnersに売却した。同事業は、12月にAvago Technologiesとなった。HP出身でAgilentにおいて半導体事業部長 vice president and general managerをつとめてきたJason Hartloveはこれを機に、韓国MagnaChipでCMOSイメージセンサ事業を率いることになった。

図表 1. Agilent Technologies の製品セグメント別売上高と営業利益の推移



出所) 同社 10-K (事業報告書) を参考に作成。横軸は会計年度。

2000年代初頭の市況の悪化に直面した Agilent は、売上高が低下し、ライフサイエンス・化学分析事業を除いて収益が悪化したため、合理化を続けた。まず図表 1 のように 2000 年に赤字に転じたヘルスケアソリューション事業を 2001 年に Philips に売却した。収益性が最も低下したのは主力の検査測定機器事業であったが、その立て直しとフォーカスが急務と考えられ、2004 年に黒字転換した半導体事業が売却された。CMOS イメージセンサとカメラ・モジュール事業は、最初の 2 年間は好調な経営成績だったが、参入が激しく続いて競争が激化した結果、平均単価が下がり、利幅が益々薄くなっ

ていった。

Agilent の合理化努力は製造面にも及んだ。CMOS イメージセンサについては、当初、米コロラド州 Fort Collins 市の自社工場で製造していた。しかし 2000 年から製造プロセス共同開発を進めたシンガポール Chartered Semiconductor Manufacturing のファウンドリ・サービスを 2003 年に併用するようになり、2004 年には TSMC を主に利用することになった³²。

Agilent で開発された 130・200 万画素の CMOS イメージセンサは 2006 年、カメラフォン向け ADCC-3000・ADCC-3100・ADCC-4050 として発売されることになる³³。製造は引き続

き TSMC が行った。しかし同年 12 月、Avago のイメージセンサ事業は、関連特許および 90 人の従業員とともに Micron に 5300 万米ドルで売却された。Agilent は 2013 年に検査計測機器事業を Keysight Technologies としてスピンオフし、ライフサイエンス・化学分析事業にフォーカスした³⁴。Avago は 2015 年、通信用半導体の Broadcom を買収して後者を存続会社とすることが決められた。

3. 技術的知識の世界的な拡散と事業化～各国における技術転換と競争激化

これまでは、JPL や Stanford 大学から技術転換を受けた企業及びそこからさらに波及した、イメージセンサの CMOS 化への動きについて、米国を中心にみてきた。以下では、事業の売買や提携・取引関係が国境をまたぐため米企業も登場するが、各国・各地域での展開を見る。

3-1. 欧州での転換：FillFactory, Cypress, SmaL Camera Technologies, CMOSIS, Phillips

欧州にはすでに登場した企業以外にも、組織の境界を超える CMOS イメージセンサ事業化の流れで注目すべき企業がいくつかある。まず、1999 年 12 月にベルギーの研究機関 imec からスピンオフして 2000 年に設立された FillFactory である³⁵。同社が興味深い理由は、その創業がベルギー・Vlaanderen (フランダース) 地方の地域イノベーション・システムを背景にしていることである³⁶。米企業のいくつかシリコン・バレーを含むカリフォルニアの地域イノベーション・システムを創業の背景にしていたようにである。

imec と FillFactory が本拠とするフランダース地方 Leuvan 地域は、しばしば Louvain Technology Corridor と呼ばれ、また DSP Valley (DSP バレー) という産業集積地域であることで知られている。その中心になっているのが、imec と Katholieke Universiteit Leuven (KU Leuven: ルーヴェン・カトリック

大学) である。1982 年、フランダース地域政府は、マイクロエレクトロニクスを強化する方針を示し、そのための施策として最先端の研究を行う研究所と、半導体ファウンドリ、超 LSI 設計エンジニア訓練プログラムの設置を決めた³⁷。これが 1984 年設立の imec の起源であり、同機関は特に半導体製造プロセス技術に強みを持つという。imec は、フランダースの産業界・大学・地方政府が運営し、オランダ・台湾・米国・中国・インド・日本に事務所を構える。2200 人を擁しうち 700 人が企業その他からの派遣である。2014 年までに imec から約 30 社がスピンオフしている。もう一つの中心 KU Leuven も、起業スピンオフに熱心な大学で、技術移転を手掛ける LRD (KU Leuven Research & Development) の支援下で 1972 年から、百社以上のスピンオフ企業、4 千人以上の雇用を生んだとされる。

imec と KU Leuven は、Philips の International Technology Centre Leuven と協力して、1996 年からデジタル信号処理 (Digital Signal Processing) に関わる組織を Leuvan 地域に集積する、DSP Valley プロジェクトを始めた。当初は非公式に始められたものであったが、オランダ南部の Eindhoven (アイントホーフェン) 地域を含むようになり、Flanders Investment & Trade (FIT: フランダース政府貿易投資局) や European Regional Development Fund (ERDF: 欧州地域開発ファンド) の支援を受けて、公式の地域振興プロジェクトになった。2004 年までに、大小の企業、研究所、大学含めて 35 の組織が参加したという。DSP バレー運営費の 3 分の 2 をフランダース政府が賄う。参加メンバーにパートナーシップを斡旋し、彼らの専門技術の進展と共同開発等から新たな企業を招くという地域全体の成長が目的とされた。

こうした背景の下、FillFactory が imec からスピンオフして創業された。創業者の Bart Dierickx は imec で CMOS イメージセンサの開発を率い、Guy Meynants と Jan Bogaerts は KU Leuven 博士課程大学院生として imec で研究していた。彼らは元々、KU Leuven の CCD 研究チー

ムであった。FillFactoryは、高速ファクトリー・オートメーションや、大型航空宇宙用、弱視者読書支援やマウス脳解析用などハイエンド・ニッチ市場向けに事業を展開した³⁸。Kodakのハイエンド一眼DSCに1385万画素のセンサも納品した。ファウンドリは、7割をTowerとして、TSMC、UMC、X-Fabが併用された。同社は2004年6月に米メモリ・メーカーのCypressに1億米ドルで買収された。MicronがPhotobitを買収したように、メモリと同じ製造ラインが利用できることが理由とされた。買収時の売上高は2500万ドル、従業員は42人だった。

Cypressは続いて2005年2月に、SMaL Camera Technologiesを4250万米ドルで買収する。成長著しいカメラフォン向け市場に参入するため、ハイエンド・カスタム品のFillFactoryを補完する狙いがあった。SMaLは、Massachusetts Institute of Technology (MIT: マサチューセッツ工科大学) ITS研究センター所長の正木一郎とその同僚Charles G. Sodini, Hae-Seung Lee, および同校卒業生Keith Fifeが1999年8月に設立していた³⁹。SMaLはVGAから300万画素解像度で6mmサイズの薄型DSCを開発し、富士フイルムやLogitech, Creative Labs, Oregon Scientific, Radio Shack等のブランド名で販売された。また監視カメラや車載カメラ向けCMOSイメージセンサを手掛け、BoschやDelphiに納めた。2004年売上高は1050万ドルだった。

Cypressは、2005年7月にカメラフォン向け製品参入を表明し、2006年に量産を開始、Pantechに採用された⁴⁰。マシンビジョン、動作解析、DSC、車載、カメラフォン向けにフルラインで展開された。しかし2007年2月、SMaLをSensata Technologiesに売却し、ハイエンド・ニッチ市場向けに資源を集中することになった。カメラフォン向けは規模の大きさが魅力であったものの競争が激烈で低収益だった。同社はTowerとTSMCをファウンドリとして、マシンビジョンや動作解析、生体認証、内視鏡、人工衛星などに、標準品とカスタム品を半々で

販売した。しかし、2011年1月にイメージセンサ事業部門をON Semiconductorに3410万米ドルで売却し、同市場から撤退した。売却には100件の特許と従業員80人の雇用が含まれていた。

一方、FillFactoryの創業者と主要メンバーの5人は、2007年11月にCMOSISを新たに創業している⁴¹。CEOのGuy Meynants, Jan Bogaerts, Lou Hermans, Gérald Lepage, Tim Baeyensである。CMOSISは、imecが2006年に設立したVCのCapital-Eが創業資金を提供していたが、2013年12月に老舗の投資ファンド米TA Associatesが買収して完全子会社としている。同社の事業分野はCypressと重複する産業・宇宙分野等のニッチ市場で、Le Centre National d'études Spatiales (CNES: フランス国立宇宙研究センター) などにカスタム品を提供する一方、2010年からはマシンビジョンなどに向けた標準品をBasler等に販売している。同社のファウンドリはTowerであった。2014年11月には医療用小型センサとラインセンサを持つAWAIBAを買収して品ぞろえを広げた。TA Associatesは2015年11月、オーストリアのアナログ半導体企業amsにCMOSISを約2.2億ユーロで売却した。2015年のCMOSIS売上高は約6千万ユーロだったという。

imec・KU Leuvenと協力してDSP Valleyプロジェクトを始めたPhilipsは元来、CCDを主にイメージセンサ事業を展開していた⁴²。同社は2000年12月、SeeMOSと名付けたCMOSイメージセンサ・ラインを発表し、VGA解像度のUPA1021をPC会議カメラ等に向けて出荷した。CCDイメージセンサ事業はPhilipsの非中核事業として、産業用CCD・カメラのカナダDALSAに2002年2月売却することが決められた。その後Philips半導体部門がカメラ・モジュールをカメラフォン向けに展開したようだが、同部門も2006年にNXP Semiconductorsとしてスピノフされる。またDALSAも2010年12月Teledyne Technologiesに買収され、Teledyne DALSAになる。

(続く)

- ¹ カリフォルニア大学バークレー校(University of California Berkeley)のセミナーや研究会, ミーティングにおいて, 本研究に関する筆者の研究発表に, 同校のHenry Chesbrough 博士から様々なコメントとご議論をいただいた。ここに記して感謝したい。Chesbrough, Henry (2003) *Open Innovation: The new imperative for creating and profiting from technology*, Harvard Business School Publishing: Boston, MA. (同名邦訳書, 大前恵一朗訳, Sangyo Nohritsu Daigaku, Shuppanbu, 2004, p.8-10).
- ² 福島英史 (2016a) オープン・イノベーション・ワールド探訪—概念の検討と画像半導体産業の揺籃期, *経営志林*, 53 (1): 4月. 福島英史 (2016b) オープン・イノベーション・ワールド探訪II—技術転換と競争環境の変質, *経営志林*, 53 (2): 7月.
- ³ *EE Times*, 1998年8月3日.
- ⁴ Piximの創業期については以下が詳しい。McVie, Cara & Robert Burgelman (2003) PIXIM (A): August 2001; PIXIM (B): October 2001; PIXIM (C): May 2002. *Stanford Graduate School of Business Case*, SM-118A; 118B; 118C. 半導体産業新聞, 2002年2月6日。Business Wire, 1998年4月22日。EE Times, 2001年9月10日。
- ⁵ EE Times, 2006年3月27日。Business Wire, 2008年9月15日。Israel Business Arena, 2011年6月15日。
- ⁶ Wang, Huiyao (2012). *Globalizing China: The Influence, Strategies and Successes of Chinese Returnees*, Emerald Group Publishing. 冀凱. "中国製造—中星微“芯”传奇." *电子工程世界*. 电子工程世界. 2008年9月9日. Web. 2016年2月14日. "海外人材呼び戻し政策." *Science Portal China*. 科学技術振興機構. n.d. Web. 2016年2月20日.
- ⁷ *LA Times*, 1997年6月23日。日刊工業新聞, 1998年7月17日。NDT Update, 2000年9月1日。毎日企業情報, 2001年5月16日; 2002年9月26日; 2003年3月10日。化学工業日報, 2002年10月30日。半導体産業新聞, 2004年9月8日。
- ⁸ *NNA 台湾版*, 2005年7月20日。ITmedia, 2008年3月11日。
- ⁹ 同社2010年度第一四半期決算発表記者会見 (Seeking Alpha of Earnings Call)。Bloomberg, 2011年9月30日。
- ¹⁰ 化学工業日報, 1998年4月8日。ON Semiconductor (2014) *Corporate-History*, ON Semiconductor.
- ¹¹ *CMP TechWire*, 1997年11月4日。Dow Jones Online News, 1998年8月21日。et news, 1998年09月09日。
- ¹² Shih Willy, Thomas Thurston. (2009) Intel NBI: Image Components Organization, *HBS Case*, 9-610-028: 1-10.
- ¹³ 同社プレスリリース *PRNewswire*, 2007年8月2日。
- ¹⁴ UMC プレスリリース, 2004年2月23日。MagnaChip プレスリリース, 2005年4月18日。
- ¹⁵ 半導体産業新聞, 2002年3月6日; 2002年5月1日; 2002年6月26日。
- ¹⁶ *EDN Magazine*, 1999年11月1日。半導体産業新聞, 2000年5月31日。JCN Newswire, 2011年8月26日。
- ¹⁷ *BCN デイリーニュース*, 2008年4月23日; 2010年2月22日。ITmedia, 2015年6月12日。
- ¹⁸ 同社10-K. Fossum (2013) 前掲論文。
- ¹⁹ Tompsett (2013) 前掲プレゼンテーション。PerkinElmer, 10-K。
- ²⁰ ITT プレスリリース, 2004年7月21日。ITT Exelis プレスリリース, 2013年2月12日。
- ²¹ *PRNewswire*, 1999年2月18日。Polaroid Holding Company, 10-K。
- ²² *Business Wire*, 2000年5月25日。2005年5月17日。Atmelの10-Kおよび、プレスリリース2006年7月13日。
- ²³ 同社 Annual report 及び、ニュースリリース2009年9月14日。Business Wire, 2007年2月21日。
- ²⁴ *Regulatory News Service*, 1997年5月30日。Electronic Buyers' News, 1998年1月19日。半導体産業新聞, 2000年11月1日。Business Wire, 2004年3月3日。PR Newswire, 2007年8月2日。JVCケンウッド有価証券報告書。Teledyne Technologies ニュースリリース, 2006年9月18日。
- ²⁵ *M2 Presswire*, 2000年7月20日。Conexant ニュースリリース, 2000年9月18日。同社10-K。Business Wire, 2001年8月13日; 2003年2月10日; 2003年6月10日。EE Times, 2002年7月15日。WSTS プレスリリース, 2002年10月29日。
- ²⁶ *Orange County Business Journal*, 2002年7月8日。PR Newswire, 2000年9月6日。
- ²⁷ ソニーを例にとれば, 2000年10月発売のDSC-P1や, 2002年4月発売DSC-P9。同社プレスリリー

スにもとづく。

- ²⁸ *The New York Times*, 2002年10月6日。HP および Agilent の 10-K と Annual report. *PR Newswire*, 2004年10月27日;2005年7月5日。NNA 台湾版, 2005年3月4日。毎日企業情報, 1999年3月25日; 1999年7月23日。Kisacanin, Branislav. Margrit Gelautz (2014) *Advances in embedded computer vision*: Springer Cham.
- ²⁹ *FD WIRE*, 2005年5月16日。 *Business Wire*, 2004年9月1日; 2004年12月21日。
- ³⁰ *Business Wire*, 2000年5月15日;2001年4月30日; 2001年7月16日; 2004年1月5日。
- ³¹ *PR Newswire*, 2000年10月23日; 2002年7月30日 2005年7月5日; 2004年10月27日。 *Business Wire*, 2003年1月31日; 2005年3月17日。 *EE Times*, 2003年3月24日。 *Idaho Business Review*, 2004年11月11日。 *Electronic Business*, 2006年3月1日。 *Associated Press Newswires*, 2003年7月11日。 "Our History". *Fairchild Imaging*. n.d. Web. 17 Feb. 2016.
- ³² *Electronic Buyers' News*, 2001年1月8日。 *Taiwan Economic News*, 2004年2月13日。
- ³³ *Business Wire*, 2006年5月2日; 8月15日; 12月11日。
- ³⁴ Agilent プレスリリース, 2014年1月7日。 Broadcom プレスリリース, 2016年2月1日。
- ³⁵ imec ニュースリリース, 1999年12月10日。 Bogaerts, Jan, Bart Dierickx, & Guy Meynants et al. (2003) Total Dose and Displacement Damage Effects in a Radiation-Hardened CMOS APS, *IEEE Trans. Electron. Devices*, 50 (1): 84-90.
- ³⁶ OECD (2001) Innovative Clusters, Drivers of National Innovation Systems, *OECD Proceedings*. Bouwman, Harry & Wim Hulsink (2002) A dynamic model of Cyber-entrepreneurship and cluster formation: applications in the United States and in the Low Countries, *Telematics and Informatics*, 19: 291-313. 半導体産業新聞, 2004年7月7日。
- ³⁷ "About imec". imec. n.d. Web. 14 Dec. 2015. "Creating a spin-off." *KU Leuven*. n.d. Web. 14 Dec. 2015.
- ³⁸ *Canada NewsWire*, 2000年9月21日。 *Electronics Weekly*, 2003年11月5日。 化学工業日報, 2002年4月22日;2004年5月20日;2004年6月23日。
- 半導体産業新聞, 2008年2月6日。
- ³⁹ Christensen, Clayton M. & Scott Duncan Anthony (2003) Making SMaL Big: SMaL Camera Technologies, *HBS Case*, 603-116. *The Boston Globe*, 2003年8月8日。 *Associated Press Newswires*, 2005年2月14日。 *Business Wire*, 2007年2月28日。
- ⁴⁰ *Business Wire*, 2005年7月5日;2005年11月7日; 2006年6月13日; 2007年2月28日。 半導体産業新聞, 2009年1月28日。 ON Semiconductor プレスリリース, 2011年3月1日。
- ⁴¹ CMOSIS プレスリリース, 2008年1月15日; 2009年8月10日;2009年10月1日;2012年9月17日; 2015年11月20日。 *Tenders Electronic Daily*, 2009年2月10日。 *News Bites –Germany*, 2011年10月18日。
- ⁴² *M2 PRESSWIRE*, 2000年2月29日。 *Laser Focus World*, 2002年3月1日。 *EE Times*, 2004年2月9日。 DALSA プレスリリース, 2010年12月22日。