

〔研究ノート〕

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

福 島 英 史

1. 目的と問題

本研究では、2000年代初頭に米国の経営学者 H. Chesbrough が提唱したオープン・イノベーション (Open Innovation、) について、その概念を検討して独自の解釈を示し、画像半導体産業の転換史をもとにその正当性と含意を確認する¹。オープン・イノベーションは2016年の現在までに、学会でも実業界でも広く議論と実践が試みられるようになった。しかし、オープン・イノベーションとは実際何であるのか、について合意はない。

オープン・イノベーションは、徐々に形を変えながら、これまで広範な定義が与えられてきた。オープン・イノベーションはもともと、技術の事業化・商品化に関わるものの見方「パラダイム」として議論が始まった。「オープン・イノベーションは、企業内部と外部のアイデアを有機的に結合させ、価値を創造することをいう。(中略) オープン・イノベーションは、アイデアを創造した企業がそのアイデアを商品化するのが基本である。しかし、商品化するのはアイデアを創造した企業である必要はない。また、商品化するアイデアも、その企業が創造したアイデアに限らない」²。一方、2006年にオープン・イノベーションは「社内のイノベーションを促進し、イノベーションを社外で活用する市場を広げるため、意図的に知識の流入と流出を活用することとして再定義される」³。事業化よりもイノベーションの促進と活用が強調される。さらに2014年のオープン・イノベーションは「意図的に管理された、組織境界を越える知識の流れから生じる、分散型のイノベーション・プロセス」として定義さ

れる⁴。強調されるのは、研究開発活動の結果として本来意図せず発生してしまう、スピルオーバーの意図的な管理である。

強調点は改めて議論するとして、問題はその定義の広さ・包括性と含まれる活動の多様性にある。オープン・イノベーションには、以下のような活動が含まれるとされる。社外から取り込まれるインバウンドの知識の流れとして、人材のスカウト、特許ライセンス導入、大学への委託研究、ベンチャー企業投資、中間業者・サプライヤ・顧客との協調、秘密保持契約の利用、コンソーシアムや開発者コミュニティへの参加、M&A、クラウドソーシングなどである。社外へと送り出されるアウトバウンドの知識の流れとして、特許ライセンス供与、技術供与、スピンアウト、スピンオフ、コーポレート・ベンチャー・キャピタル、コーポレート・インキュベータズ、合弁、提携、事業売却などである。

広く包括的な定義を持ち多くの活動を包含するオープン・イノベーションは、上記で列挙したような活動に関わる多数の研究者や実務家を惹きつけることになる。研究はこれら様々な諸活動について、組織論や戦略論、技術経営論、国際経営論、知的財産管理論などそのサブカテゴリの観点から行われていることがオープン・イノベーションのレビュー論文で明らかにされている⁵。特に技術経営分野で関心が高く、R&D Management 誌や International Journal of Technology Management 誌、研究技術計画誌など世界でも日本でもオープン・イノベーションの特集号が組まれている。

包括的な定義の下で各研究者がそれを比較的自由に関心と関連付けながら議論できることが、オープン・イノベーションの魅力の1つで

あるかもしれない⁶。ラフにとらえれば、また当初の事業化に関わるという観点を見ごせれば、組織の境界を超える意図的な知識のやり取りはメディアや様態を問わずたいはオープン・イノベーションに関連付けられてしまう⁷。オープン・イノベーションの少なくとも出発点が「パラダイム」であるから、その傘下であればオープン・イノベーション研究であるといえるかもしれない。日本ではオープン・イノベーションは、系列や中間組織、コンソーシアムなど日本で行われてきた実践の米国流パッケージであるといった見解や、研究開発の部分的な外注化であるという見解、あるいは標準化を利用したプラットフォーム・ビジネスであるといった見解がある⁸。

一方、オープン・イノベーション概念に対して、異なる領域から異なる見解の疑問あるいは批判があって、その捉え方に混乱がある⁹。たとえば Groen & Linton (2010) は、オープン・イノベーションがサプライチェーン・マネジメントとほぼ同義なのではないかという疑問を呈する。彼らによれば、サプライチェーン・マネジメントは、サプライヤや顧客、その他の利害関係者など企業の伝統的な境界を超えたところへ向かうことで、価値の創造に重点的に取り組んでいる。こうしたサプライチェーン・マネジメントの定義はオープン・イノベーションを包含しており、新たにオープン・イノベーションとして議論することはコミュニケーションを阻害する可能性があるのではないかとする。また技術経営の領域で Trott & Hartmann (2009) は、過去40年以上の技術経営研究による発見や考え方を再パッケージした以上のものがオープン・イノベーションにはないとする。技術経営研究では Allen & Cohen (1969) の“gatekeeper”論のようにイノベーション・プロセスにおける組織外とのつながりや情報の重要性が指摘されてきたし、Cohen & Levinthal (1989) のように自ら研究開発を行う企業の方が組織外の情報によりよくアクセスできることが指摘されてきたとする¹⁰。また彼らによれば、企業は数十年前からその境界を超えて活動することの困難に直面してきた。これに対して産業史・経営史の観

点から Mowery (2009) は、特に米国において1985年以降、産業界の研究開発は大きく様変わりしており、Chesbrough (2003) の主張と通ずる構造変化があったことを認めている。ただし彼によれば、1920年代～30年代までさかのぼれば、米国産業界の研究開発にはオープン・イノベーションに共通の要素がすでにあり、オープン・イノベーションとしてまとめられる諸要素の新奇性に疑問が呈される。Mowery は20世紀前半、大企業が社内研究開発を通じて社外のイノベーションをモニターして外部からの技術獲得に役立て、また大学と企業間に密接な研究協力があったことを指摘している。Chesbrough (2014) は上記の疑問や批判に答えているが、ここではオープン・イノベーションの捉え方が様々であることを強調しておきたい。

他方、様々な領域・視角の研究がオープン・イノベーションの名の下に行われるような状況について、違うものをオープン・イノベーションと呼んで議論しているのではないかと嘆き、問題解決のテクニックの1つとして極めて狭くオープン・イノベーションを定義する見解もある。破壊的イノベーション (disruptive innovation) の考え方で知られる C. Christensen は、学会 Academy of Management の2012年 Annual Meeting において聴衆として参加した一連の報告について、みなオープン・イノベーションという用語を使いながら全然違うものをみていたと主張する¹¹。彼のオープン・イノベーション研究に対する疑問は、外部由来のアイデアならなんでもオープン・イノベーションなのか、というものである。Christensen によれば、オープン・イノベーションはイノベーション努力のいくらかを外部から調達する方法で、多くの場合、企業が直面しているイノベーション問題を一般に提示し、最良の解決策を生み出すために個人が競い合うコンテストでこれを解決する。クラウドソーシングのようなテクニックが、彼にとってのオープン・イノベーションである。必ずしも個人ではなく、世界中の企業や個人として表現されるけれども、「オープン・イノベーションの導入に成功している」とされる P&G や大阪ガスのような企業では、このような手法

がとられている。パラダイムではなく、企業に導入すべき具体的な手法としてオープン・イノベーションをとらえれば、このような解釈になるであろう。

筆者らが実施した2013年のオープン・イノベーションに関する聞き取り調査において、製菓や精密機器、化学、電気機械、情報機器等の事業を営む日本の大規模製造業企業では、オープン・イノベーションの実務はおおむね、共同研究・共同開発・コンソーシアム参加と、M&A・出資に関わるものであった¹²。大阪ガスのような例外を除いて「オープン・イノベーション室」では、しばしば買収候補や提携候補の探索とその実務が行われる。研究所レベルのオープン・イノベーション機能はしばしば、研究者による共同研究を決済するものであった。ただし、自社は「オープン・イノベーションとは無縁ですべて自前主義」としながら、大学研究室と共同研究を進め、研究開発コンソーシアムに参加するケースがある一方、顧客やサプライヤとの共同開発事例をあげて、「自社はもとより日本企業はかねてからオープン・イノベーションを遂行してきた」とする見解がのべられるケースがあるなど、実業界においてもオープン・イノベーションの理解が様々であるとはいいたい。

以上のように、オープン・イノベーションはその概念普及にも関わらず統一的な見解が形成されているとはいえない状況にあり、理解のために概念の再検討が必要である。オープン・イノベーションの考え方は、その用語誕生から10年以上を経て、大きく変わったとする見解があるかもしれない。しかしここでは、その原点から簡潔に基本的な論理ステップを追い、オープン・イノベーションの概念を理解していきたい。

Chesbrough (2003) がオープン・イノベーションの議論で出発点としたのは、Xerox がコピー機メーカーから情報集約型の製品メーカーへ発展することを目指して設立したカリフォルニア州の Palo Alto Research Center (PARC) のケースである。PARCでは、パソコンのグラフィカル・ユーザー・インタフェース (GUI) や、ピッ

ト・マップ・スクリーン、フォント制御プログラム PostScript、文書管理ソフトウェアなど新奇で社会的に意義のある技術が開発された。こうした新技術の多くが Xerox 自身の事業に寄与しなかったことが知られている。それらの多くは 1970 年代末から 90 年代末にかけて、Adobe など 24 のベンチャー企業にライセンス供与され、これら企業にはしばしば元 PARC の技術者が転職していった。開発された技術群が Xerox のビジネスモデルに合わなかったため、同社は開発技術者が会社を去ることを認めたという。また PARC はシリコン・バレーの中心にあり、そこで 80 年代に入って発展したベンチャー・キャピタル (以下、VC) 産業から、24 のベンチャー企業は事業資金を調達していたとする。

Chesbrough によれば PARC は、研究開発から事業化までを社内で閉じて進める「クローズド・イノベーション」からオープン・イノベーションへ研究開発のパラダイムが移行したことを示す典型例である。Xerox のコピー機事業がサービスと消耗品から利益を得る所謂 *razor & blades* (替刃) ビジネスモデルに傾注していったように、既存企業のビジネスモデルは、その企業が行う事業の支配的論理 (dominant logic) として¹³、既存事業ばかりか新規事業へも適用されがちになる。開発された新技術が事業化されて価値を生むには、それに相応しいビジネスモデルが必要であるものの、それが支配的論理として固着した従来のビジネスモデルであるとは限らない。新技術のために支配的論理を逃れて新たなビジネスモデルが生まれず、ビジネスモデルを変えられないならば、死蔵させるのではない限りライセンスやスピンオフなどの形で社外に出すしかない。社外に出た技術は相応しいビジネスモデルを持つと考える企業がライセンスを取得するか購入するであろうし、スピンオフやスピンアウトによる創業で技術をもって外に出た「ベンチャー」企業は、VC とともに柔軟にビジネスモデルを変える。技術やベンチャー企業の供給者がいるのと反対に、その需要者がいるかもしれない。需要者は、技術ライセンスの取得や、ベンチャー企業の買収を行う。

つまり、オープン・イノベーションはインバウンドとアウトバウンドの双方向になる。以上が、非常にラフに描いたオープン・イノベーションの論理ステップになる。ただし彼の「ビジネスモデル」のバリュー・チェーンには、技術を事業化するのに必要な補完的資産 (complementary assets) が入っており、支配的論理のような認識面だけの理屈でないことには注意が必要である。以上のように論理ステップを描いてみると、オープン・イノベーションは個々のテクニクというよりも、米国における「イノベーションのシステム」としての側面を強調しているように思われる。

このようなイノベーション・システムとしてのオープン・イノベーションを支え、クローズド・イノベーションを米国で「衰退させた要因 (erosion factor)」として、Chesbrough が強調するのが以下の制度的要因である。第1に、優秀な労働者とくに技術者の増加と、労働市場の流動化である。流動性の増加によって、ベンチャー企業が優秀な技術者を雇える時代が到来し、大企業は他社が教育してくれた人材を雇うようになった。また米国の移民政策の影響で、優秀な技術者が国外から集まった。第2に、VCの登場である。1980年まで米国にVCはほとんど存在しなかったが、その後急拡大し、大企業の優秀な技術者たちは、ベンチャー企業からの魅力的なオファーに誘惑されることになった。また社内で棚上げが決定した技術の開発者たちは、VCの資金を得て社外で事業化するようになった。第3に、外部サプライヤが増加した。大学卒労働者が増加し、VCが増加した結果、知識や経験、資金の点で、IBMのような大企業が新製品開発において従来活用不可能であった外部サプライヤが登場し、増加したという。

Chesbrough がオープン・イノベーションの成立について重視するこれら制度環境、あるいはオープン・イノベーションの考え方そのものが、彼の博士論文から生まれた議論にさかのぼると筆者は考える¹⁴。彼は1970年代から90年代半ばのハード・ディスク・ドライブ (以下HDD: hard disk drive) 産業史研究を行い、大きな技術変化を迎えたときの米日における既存

企業の市場地位の変化について、各国の制度要因による説明を一群の論文で試みた。米日の中間的な制度システムを持つとして欧州を加えた分析も1つあるが、ここでは継続的な比較がなされた米日に絞ってその分析をみておこう。彼が比較制度「理論」を構築したとするChesbrough (1999a) の議論が主である。

産業イノベーションの研究では、大きな技術変化を迎えたときに既存企業は市場地位を落とし、新興企業がこれにとって代わるとしばしば主張されてきた¹⁵。しかし米国のHDD産業では確かに同様の傾向が観察されたものの、日本では既存企業が市場地位を維持し、新興企業がこれに代わることはなかった。national innovation system の議論を援用し¹⁶、Chesbrough が説明のために挙げたのが、新興企業による参入の有無を決める3つの国家的制度要因の違いである。

第1に、技術者労働市場の流動性である。米国ではシリコン・バレーを典型として、この頃までに技術者の流動性が相当高まっており、ほとんど研究開発投資をしてこなかった企業が、技術的に最先端の企業から有能な技術者を雇い入れることが可能であった。そのため新興企業であっても、見込みのある新技術を事業化することができた。米国HDD産業で新旧企業の交代があっても、所属企業が異なるだけで同じ技術者たちが開発をしていたという。労働市場が流動的なため、転職先の新興企業が事業に失敗しても、次の仕事を見つけることは比較的容易であった。技術者たちの転職インセンティブにはストック・オプションが活用され、401Kのような年金プランは企業間を移動可能であった。その反面、企業はいつ辞職するかわからない従業員への教育投資をしなくなった。これに対して日本では、戦後に流動性が低くなり、既存企業は教育投資をした技術者を社内に保持することができた。日本の新興企業が、先端の技術を持つ有能な技術者を既存企業から得ることは非常に困難だった。このため日本では既存企業と競合する新興企業がほとんど現れず、あっても技術的に脆弱であった。他業種からの新規参入は比較的多数あったが、やはり最高の人材

を獲得することが難しく、結局すべてが撤退することになった。日本の技術者は技能の幅を広げながら企業内及び企業グループ内を移動したのに対し、米国の技術者は狭い専門的技能を高めながら企業間を移動した。

第2に、ベンチャー創業資本の量と構造である。米国ではこの期間に年金基金をはじめとしたVCが大量の資金を投じるようになり、新興企業が有能な技術者や経営者を既存企業から獲得してくるのを支援した。米国は比較的株式公開が容易である上、企業売買の市場がより早期に発達したため、VCが投資を回収するエグジット(exit)を見込みやすかった。そのためVCはより多くの資金を投じられた。これに対して日本では当時、銀行とつながったVCがあったものの、投じる資金は少なかった。日本では当時、株式公開のハードルが高く、企業売買の市場が発達していなかったためにM&Aの数が少なく、VCはエグジットを見込みにくかった。VCからの資金や上場の見込みを背景に新興企業が有能な技術者や経営者を既存企業から獲得してくることは困難であった。このため、既存企業が内部資金を投じて新たに子会社を設立して技術開発を担わせることが行われた。

第3に、補完的資産としての顧客との既存取引関係の有無である。米国のHDD産業ではアームズ・レングズの取引関係が基本であった。当時HDD業界最大の顧客であったIBMは特定のサプライヤにロックインされることを嫌って、多数のサプライヤと取引をした。取引が見直されるとHDDサプライヤたちは深刻な打撃を受けた。既存の取引関係がなくても性能・納期・価格でベストとみなされれば大口顧客にもすぐに採用されるため、サプライヤ達はリスクを負って最先端の開発努力を行った。ただし特定顧客への関係特異的な投資は行わなかった。これに対して日本では、顧客が子会社やグループ内企業、出資関係のあるサプライヤと優先して取引をした。日本の大手顧客は社内にHDD部門を持つと同時に子会社からも製品を調達した。サプライヤは特定顧客のための研究開発を進めた。既存顧客の需要が新技術の市場導入までの時間を与えた一方、比較的限られた需要で

あったため、曖昧で先端的な技術機会の探索よりは、明確になった技術機会に向けて開発努力が行われた。

以上の労働市場の流動性とベンチャー資金の量と構造、サプライヤと顧客の取引関係の3制度要因は、相互補完的に各国でイノベーションのシステムを形成している。そのため日米で制度要因の一部が収束することはなく、両国の企業は自国の制度を前提に行動すべきであるというのが、当時のChesbroughの主張であった。制度的文脈がイノベーション・プロセスに影響を及ぼすという彼の観点は、現在も変わらないという。「制度的文脈は、イノベーション・プロセス一般に、また特にオープン・イノベーションにとって重要である。(中略) オープン・イノベーションは異なる制度環境の下では異なる形をとるだろうし、少なくともいくつかの制度環境ではうまく機能しないだろう」¹⁷。

重要なことは、Chesbroughの初期の著作から明らかになるのは、オープン・イノベーションが、米日の対比の中で描かれた、米国型のイノベーション・システムをとりだして、その原型としていることである。人材の流動化と企業内研究開発投資の過少化、新興企業とVC産業の成長、事業売却や上場によるエグジット、買収による技術や人材、事業の獲得など、米国で1980年代からITをはじめとするハイテク産業の成長とともに顕著になったイノベーション・パターンとしてのシステムである。これを「シリコンバレー・モデル」と呼ぶならば、論者に応じて意味や概念範囲が揺れ動くオープン・イノベーションとは、20世紀米国のハイテク・セクターで顕著になったイノベーション・システム、シリコンバレー・モデルの概念化であったというのが本稿の主張である。オープン・イノベーションはイノベーションのためのテクニックというよりは、資本市場や労働市場、産学連携基盤などに裏打ちされた地域・国家など集計レベルのシステムであると筆者は考える。

以下では、画像半導体イメージセンサの産業史研究を通じて、米日のみならず各国・地域で、どのようなイノベーション・プロセスを通じて、主流技術が転換していったのかをみていく。

オープン・イノベーションが米国だけのものではないとするならば、また制度によって異なる形のオープン・イノベーションがあるというならば、オープン・イノベーションとしてまとめられるイノベーション・システム要素のどれだけがどのような形で各国・地域で実践されてきたのか、同一産業の各国企業の動きを見ることで明らかになることがありそうである。さらに、米国が「クローズド・イノベーション・パラダイム」から「オープン・イノベーション・パラダイム」へイノベーション・システムのシフトを進めた頃、他国ではどのような状況にあったのかという観点を持ちながら、同産業史を見ていく。具体的には、撮像デバイスが撮像管から画像半導体 CCD へと主流技術が変化したときのプロセスと、CCD から CMOS イメージセンサへ変化した時のプロセスがどのように違っているのかを見る。後者において、創業や買収、スピンオフ、スピアウト、特許の流通市場と法的整備などを特徴とするオープン・イノベーションの世界観が、どれほど色濃くなったことかを確認していく。

2. 画像半導体産業史：イントロダクション

イメージセンサと呼ばれる画像半導体産業は、過去 2000 年代に市場規模が数量で百数十倍に拡大し、その過程で支配的技術が転換するとともに、新興企業と既存の大企業 40 社以上が相乱れてその競争地位を変化させてきた。イメージセンサは、光を電気信号に換えてエレクトロニクス機器で画像・映像として扱えるようにする「電子の目」として機能する半導体部品である。デジタルスチルカメラ（以下 DSC）やカムコーダをはじめ、監視カメラ、携帯電話、パソコン類¹⁸、ゲーム機、自動車、航空機、惑星探査機、医療機器や生体認証機器など様々な用途で、カメラの中核部品として搭載されている¹⁹。

この産業では一般に、2000 年代に主流の技術方式が CCD (Charge Coupled Device: 電荷結合素子) から CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor: 相補型金属酸化膜半導体) へと

転換していったことが知られている。ただしここでの主眼は、主流技術の事実上の標準 (de facto standard) について、議論することにはない。むしろ CCD から CMOS への基本技術の転換が、産業の生態系を根本的に変質させていったことをみていく。それは少数の既存大企業が、半導体部品でも、その用途市場でも寡占的に製品を供給していた状況から、技術転換を事業機会ととらえた多数の企業が世界中から参入し、拡大を試みる状況への転換であった。

シリコン・バレー形成期の米国を中心に進んだ撮像デバイスの画像半導体化、つまり固体化の流れは、当初、日本の大手エレクトロニクス企業による CCD 事業化に結実し、カムコーダや DSC の市場をもたらした。これに対して、CCD から CMOS イメージセンサへの移行は、CCD でイメージセンサの市場を席卷した日本に対する米国カリフォルニア州地域からの反撃とみることもできる。ただし各国でその種が生まれており、事業のスピアウト・創業・買収・売却を特徴とするシリコンバレー・モデルの世界的敷衍とみることもできる。撮像管から CCD への主流技術の転換から利益を得たのは日本企業であったが、CCD から CMOS イメージセンサへの転換では各国から既存企業と新興企業が入り乱れてその利益を得ようと奮闘した。

イメージセンサ産業の転換過程において、シリコン・バレーは重要な役割を果たしたけれども、企業の創業、スピアウト、買収、スピンオフ、再編は、英国、米国、韓国、台湾、中国、ベルギー、イスラエル、日本、スウェーデン、ドイツなど各国・地域でグローバルに行われた。その土台には、それぞれの国・地域がそれぞれにもつ創業およびその支援環境をみることができる。この産業の転換では大学発ベンチャー企業が重要な役割を果たしていた²⁰。大学や研究機関からの創業や、大企業からスピアウトしての創業、逆にベンチャー企業を買収・出資しての参入・事業強化・技術取得、事業合理化のためのスピンオフ・売却、激しい技術開発競争と特許化・ライセンス供与（および特許侵害訴訟）、共同開発など、オープン・イノベーションとしてしばしば言及される諸要素が詰まった

産業の転換過程であった。興味深いことに、主流技術の転換を伴うこうした産業転換のダイナミズムは、同産業が以前に経験した撮像管から CCD への技術転換とは根本的に異なるものであった。米国で発明・開発が進み、日本企業がカムコーダの事業化とともに、1980年代に量産を成功させた CCD は、米国でも日本でも、既存企業とその研究所が、撮像管からの転換の担い手であった。世界各国における CMOS イメージセンサ事業化を全体として把握するため、比較的長い記述が必要になる。紙面の制約から本稿を含め、数編で同産業の歴史を描く。

本産業史研究は、イノベーションと戦略転換研究の対象事例研究としてはじめられた。当初は、Eastman Kodak や富士フイルム、Agfa-Gevaert、コニカ4社の旧写真フィルム企業によるデジタル技術への直面と転換行動に注目したものの、イメージング産業のより長期かつダイナミックな産業発展と転換に迫るため、サプライヤである画像半導体の産業史にフォーカスすることにした。

データ収集は、イメージセンサ企業とその顧客、大学研究機関へのヒアリング調査と二次資料調査を行った。ヒアリングは18の米日企業・機関に対して26回行われた。これには email と電話による追加的なヒアリングを含まない。ただし、イメージセンサ企業は世界各国にまたがり、これまでに参入企業が少なくとも百数十社あるといわれ、研究のタイムフレームも30年間以上におよぶ。このため次善の方法として調査の多くを膨大な二次資料の丹念な精査に頼った。一部企業からは内部資料の提供もあったが、Factiva と LexisNexis、Mergent 等からニュースや集計値、論文、特許をはじめとした資料を収集し、事業報告書や目論見書、財務資料など数十社の開示資料をロンドン、ニューヨーク、香港、東京、テルアビブ、韓国、台湾など各国の証券取引所と当該企業から得た。これ以外に ISSCC (International Solid-State Circuits Conference) や IEDM (IEEE International Electron Devices Meeting)、映像情報メディア学会、テレビジョン学会などの学会誌や学会報告、ビジネスケースやプレスリリース、関連書籍を合わ

せ、数万件の資料を精査して組み立てた。また紙媒体の資料のみならず、各機関の web ページ、web 上の専門ニュース配信サイト、現役及び引退した関連技術のエンジニアが書き込むことで知られる web ブログ掲示板などオンライン・リソースも積極的に利用した。web ニュース記事の一部は、Factiva 等のデータベース経由で取得しており、この場合は当該 web アクセス日時の記載がない。調査期間は基本的に2014年6月から2016年3月で、オンライン・リソースにも時期に偏りがあるものの、同期間にアクセスしている。この間に OmniVision や Aptina のように企業買収が行われた結果、閲覧が不能になった web サイトがある。この期間以前に行われたヒアリング調査や収集資料も活用している。資料の言語は、英語と日本語、韓国語、中国語、ドイツ語、スウェーデン語、フランス語、ヘブライ語などである。英語と日本語以外の資料の理解には、Google 翻訳サービスを利用した。

イメージセンサ産業には公的なデータ集計が少なく統計の蓄積が弱い。画像半導体の半導体全体に占める比率は大きくなく、携帯電話や DSC、自動車といった身近な製品に組み込まれた「黒衣」である。しかし自動車やメジャーな電子機器ほどの情報の露出と集計がない。そのため市場規模や市場シェアなどの集計値については、民間調査機関のデータを主に利用した。同産業に関わる「業界でメジャー」な調査機関には、Techno System Research (TSR) や Yole Development、IHS Technology (iSuppli) 等があるが、入手できた範囲でデータをクロス・チェックし、誤差が大きい場合にはヒアリング調査に基づいて業界で信頼性が高いとされる TSR のデータを優先した。本研究では大学・研究所・企業間の知識の流れに注目するため、取引関係とともに、創業、買収、M&A、事業売却、スピンオフなどの企業の流れと、キーパーソン企業の間移動に注目している。したがって調査の目的上、キーパーソンのキャリアに触れることになるが、これは彼ら自身によって特許や論文として公刊されているもの、インターネット上で不特定多数が閲覧可能な状態で自ら公開されてきたもの、

および公開してかまわないと了承を得たものだけに限定して記してある。

3. 画像半導体イメージセンサの誕生と事業化

本稿が主に見るのは、CCD から CMOS への主流技術の転換が、イメージセンサ産業の生態系を根本的に変えていくプロセスである。その前史として、最初に撮像デバイスの半導体化、撮像管からイメージセンサへの主流技術の転換についてみておく。まず米国でのイメージセンサの発明から、日本企業が CCD の量産技術を確立し、1980 年代から 1990 年代にかけての主用途カムコーダの事業化とともに世界的なプレゼンスを獲得していたことを確認しよう。同様の流れは、1990 年代から 2000 年代にかけての主用途 DSC でもみることができる。

半導体でつくるイメージセンサ「固体撮像素子」は、1960 年代の米国に主に端を発している。米国では、1960 年代に、光を電気信号に変換する「光電変換」デバイスとして、現在の CMOS イメージセンサの源流となる「XY アドレス型」と呼ばれる方式の固体撮像素子の研究開発が盛んに行われた。XY アドレス型とは、光を電気に変える画素（光電変換素子・フォトダイオード）を縦横に配列し、そこでつくられた電気信号（電荷）を、外部（シフトレジスタ）から、順番に選んで、読み出していく方式である。XY アドレス型の固体撮像素子として代表的なものは、1963 年に Honeywell で開発されたフォトスキャナ（photo-scanner）、1964 年に IBM で開発されたスキャニスタ（scanistor）、そして 1967 年に Fairchild Camera and Instrument で開発された MOS 型イメージセンサ（フォトダイオードの電荷蓄積モード動作の提案）である²¹。XY アドレス型の固体撮像素子は、1960 年代の米国における活発な半導体技術開発活動を通じて、解像度の向上や構造の洗練といった点でその技術を発展させていった。日本でも 1960 年代末に NEC や日立製作所で半導体メモリと同じ製造プロセスが使える MOS 型イメージセンサの研究開発が始まり、1972 年には 100 × 100 画素のカムコーダが試作された²²。しか

し、当時の半導体技術では、主用途として考えられたカムコーダに必要な 25 万画素とその走査回路を歩止まり良く製造することは困難であった。それでもなお、MOS 型イメージセンサは、1975 年に日立から 250 × 250 画素のデバイスが報告されるなど着実に画素数の向上が図られ、1981 年には日立から同センサを使った家庭用カムコーダが発売された。しかし MOS 型イメージセンサは比較的感度が低く、ノイズ水準を下げるのが当時未だ難しかったため、市場での主流技術にはなりえなかった²³。

これに代わって注目を集め、1980 年代に撮像管を代替して 2000 年代まで主流技術の地位を維持したのが、1970 年に Bell Laboratories (Bell Labs : ベル研究所) の Boyle らが発表した CCD であった²⁴。CCD は、光を電気信号に換える画素がその信号の運搬も担う電荷転送型と呼ばれる方式で、信号を運ぶ別の回路を必要としない。このために CCD は、画素の数を増やす解像度の向上が行いやすく、雑音レベルも低減できると考えられたのである。1981 年に CCD を使った電子カメラ規格「マビカ」(Magnetic Video Camera) を発表し、後にカムコーダおよび DSC 向けイメージセンサの最大供給企業となるソニーでは、Bell Labs のライセンスを受け 1970 年 12 月から CCD の開発が始まっている²⁵。当時、MOS 半導体技術に遅れていたソニーではこれにとらわれない CCD 技術開発に注力し、MOS メモリの強力な開発製造技術と事業を持った日立では、メモリ製造プロセスを転用できる MOS 型イメージセンサの事業化にこだわった²⁶。また東芝でも CCD の開発が行われたが、半導体事業では市場としてより大きなメモリの傍らでリソースが配分される開発製造であった。

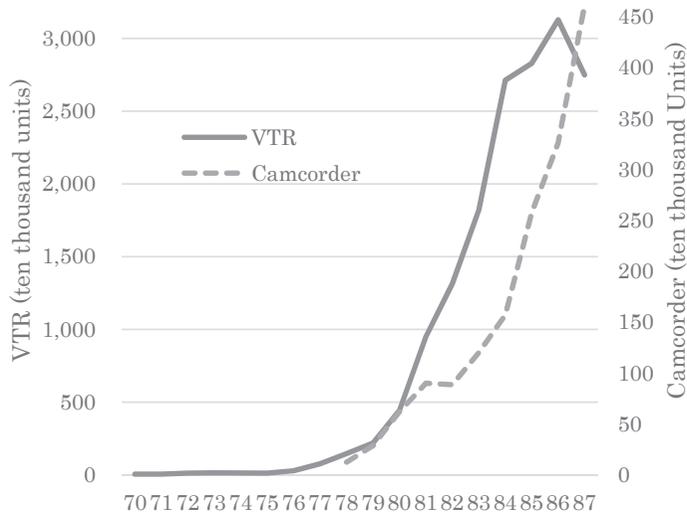
ソニーや MOS 型の日立以外にも、ほとんどの電機メーカーとカメラ写真企業が 1980 年代までに CCD その他のイメージセンサの開発に関わった。NEC、松下電器、シャープ、三洋電機は、ソニーや日立とともに半導体イメージセンサを搭載した家庭用カムコーダを事業化するために、CCD の開発を進めた。半導体が真空

管から、トランジスタ、集積回路へと固体化していく流れの中で、撮像管の固体撮像素子への固体化も「当然のもの」として多くの企業で予期されていた。撮像管は、1920年代後半に米独で電子式の解像管 (image dissector) として発表されて以来、テレビ放送の開始と普及とともにあって、アイコノスコープ、イメージ型のイメージオルシリコン、光導電型のビジコン、ブランビコンと、感度の向上や小型・軽量化の点で技術進歩が重ねられていた²⁷。さらに CCD が登場する 1970 年代には、カルニコン (1971 年、東芝)、サチコン (1972 年、NHK・日立)、ニュービコン (1974 年、松下電器) など様々な高性能撮像管が日本の電機メーカーによって独自に開発され、撮像管の生産技術と生産数量の点で市場を主導するようになっていた。

しかし他方では、米国を中心に CCD をはじめとする半導体でカメラ機能を固体化する試みが進んでおり、1970 年代半ばに家庭用ビデオ装置市場が立ち上がったことから、放送業務用に用いられていたビデオカメラが、家庭向け CCD ビデオカメラとして事業化されていくこ

とが考えられた²⁸。例えば、ソニーでは、1977 年に「ベータ」方式の家庭用ビデオ装置を開発した中央研究所第 2 開発部において、「全ての寸法がベータマックスの 1/2 になる VTR (ビデオ装置) をつくる」ことを目標に 8 ミリビデオ装置の開発が開始され、この 8 ミリビデオを使ったビデオカメラの小型化のために CCD 採用による固体化が強く意識されるようになる²⁹。NEC でも、1978 年に植之原道行取締役研究所長 (当時) をプロジェクト・リーダーとする単板 CCD カラーカメラの開発プロジェクトチームが発足しており、翌 1979 年には 1980 年代初頭の発売を目標として、20 万画素の単板 CCD カラー・カムコーダが発表されている。撮像管を 1 本使う単管カラー・ビデオカメラが、一足早く 1978 年に各社からの発売が開始され、ビデオカメラ市場は家庭用ビデオ・システム市場の一部として立ち上がっていく。図表 1 に示されるように、家庭用ビデオ装置が 1978 年から 5 年後の 1983 年までの間に国内で 147 万台から 1800 万台へと生産を急増させていくとともに、ビデオカメラもこの 5 年間に 12 万台か

図表 1. 家庭用ビデオ装置 (VTR) とカムコーダの国内生産台数推移



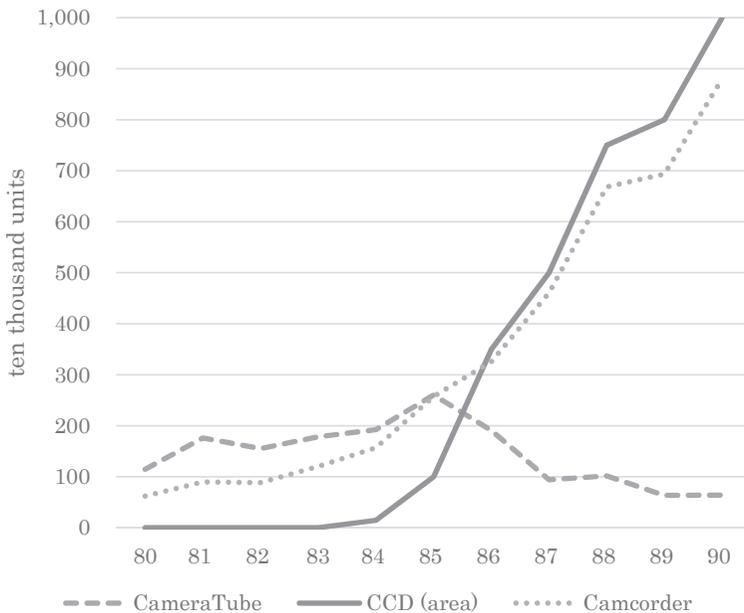
出所) 主に以下を参考に作成。通商産業省 (各年) 機械統計年報、通商産業調査会。通商産業省編 (各年) 電子工業年鑑、電波新聞社。単位は万台、横軸は西暦 19xx 年。カムコーダの出荷数量にはカメラ機構と録画機構が分離した従来型ビデオカメラを含む。

ら120万台へと量産規模を10倍に拡大させていった。

CCDを中心とするイメージセンサは1970年代初頭から世界の電機メーカーによって活発な研究開発活動が展開されていたものの、1970年代末から1980年代半ばまでの量産段階への移行にともなって、多くの困難を抱えていた。まず、CCDは家庭用カムコーダへの搭載を主要な用途として開発され、設計、試作段階では解像度や感度、雑音レベルといった技術的特性の点ですでに実用化が可能とされていたものの、実際に大衆市場を対象に量産しようとする、製造上の問題からこれらの技術的特性を安定的に実現することができないでいた。CCD製造の歩留まりは容易には向上せず、価格が思うように下がらなかったため、家庭用ビデオカメラへのCCD搭載は1980年代初頭の時点では依然、危ういものであった。たとえば、1980年にソニーが航空旅客会社に販売した50個余

りのCCDは、3千個以上製造してようやく1個、販売できる水準のものが得られるという割合でつくられ、1個30万円という高価格であった³⁰。CCDに代替される筈の主流イメージセンサ技術、撮像管は1970年代末から家庭用ビデオカメラ搭載を念頭に研究開発活動が活発に行われ、1980年代初頭までに急速に小型化・軽量化と高解像度化が進んだ³¹。CCDを開発する多くの企業で投資に対する見込み収益が低すぎるという理由で、撤退が幾度も検討された。開発に先んじた米企業の多くがすでに撤退していた。状況に変化をもたらしたのが、ソニーを筆頭に進んだ1985年のカムコーダ（カメラ一体型VTR）の発売である。従来は独立に販売されていたビデオカメラとビデオ録画再生装置を一体化してもなお小型である、という点を訴求したカムコーダは、図表2に示されるように、撮像管をCCDへ代替せしめ、CCDの主用途として市場を開いていった³²。

図表2. 撮像管、エリアCCD、カムコーダの国内出荷数量の推移



出所) 主に以下を参考に作成。通商産業省(各年)機械統計年報、通商産業調査会。通商産業省編(各年)電子工業年鑑、電波新聞社。工業市場研究所(1987)イメージセンサに関する調査、工業市場研究所。日本経済新聞社、日経ニュース・テレコン、1996年7月15日。単位は万台、横軸は西暦19xx年。カムコーダの出荷数量にはカメラ機構と録画機構が分離した従来型ビデオカメラを含む。

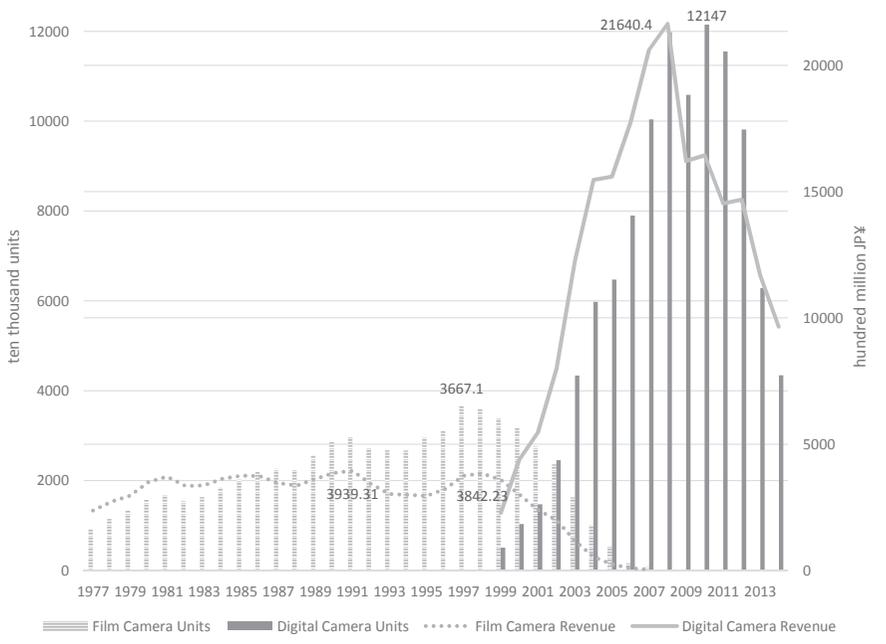
4. 1990年代からの主用途の転換と産業構造の変質

1990年代後半には、早くも成熟化を始めていたカムコーダに代わって、DSC市場が本格的に立ち上がりイメージセンサの主用途としてCCD市場の成長をけん引しはじめる³³。カメラの電子化は1970年代に構想されて技術開発が進み、1980年代のアナログ電子スチルカメラ「マビカ」や、1990年代初めDSCとして事業化されたKodak DCS (Digital Camera System)、富士フィルムDS-100等の製品による試行錯誤的な市場開拓努力を経て、1995年の日本から市場が本格的に確立した。市場拡大の契機になった製品カシオQV-10やApple QuickTake 100をはじめ、当時のDSCはパソコン周辺機器としての位置づけもなされたものの、激しい解像度向上競争とともに、図表3に示されるよ

うに1990年代末からフィルムカメラを置き換えていった。従来の交換レンズが利用可能で価格を抑えた一眼レフDSC、ニコンD1が1999年に発売されると、報道機関等プロ向けセグメントでもDSCの採用が進んでいった。現在は、静止画の枠を超えて、映画製作の分野でも一眼レフDSCが利用されている。

日本のCIPAは、世界DSC市場の大半を占めるとされる日本企業の製品出荷数及び出荷金額を集計しており、これはDSC市場規模の代理データとしてしばしば利用される。同集計データによれば、DSC市場は金額では2008年に2.2兆円弱、数量では2010年に1.2億台強の出荷をピークとして達成した後、急速に縮小している。DSC市場縮小の主たる原因として広く考えられているのが、カメラ一体型携帯電話（以下、カメラフォン）の高解像度化・高画質化によるDSC代替である。かつては写真を撮

図表3. フィルムカメラ及びDSCの世界出荷数及び金額推移



出所) カメラ映像機器工業会 (以下、CIPA : Camera & Imaging Products Association) 集計データを参考に作成。出荷数単位は万台、出荷金額単位は億円。横軸は西暦年。同集計は2015年12月1日現在、DSCを販売する日本企業10社の出荷合計となっており、相応に出荷量が多いSamsungグループ企業などこれ以外を含んでいないことに留意する必要がある。金額は未デフレート。

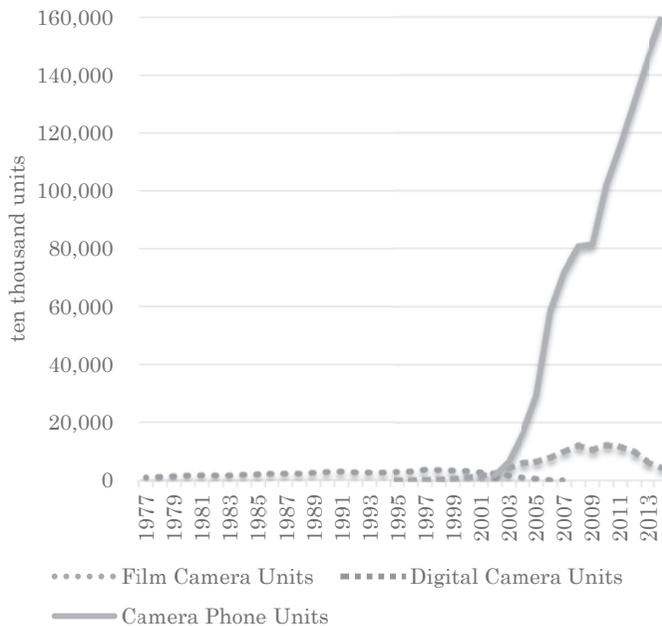
影するためにカメラ専用機を購入し、所持することが一般的であったものの、通話やインターネット検索をはじめとするサービス利用のために持ち歩くカメラフォンが、許容できる画質を提供するようになれば、カメラ専用機のDSCは所持する必要がなくなる。

カメラフォンは、DSC同様に、日本から市場形成が始まり、世界に普及していった。カメラを搭載した携帯電話のコンセプトは、夢の未来技術テレビ電話として遅くとも数十年前から各国で構想され、1990年代半ばから展示会で試作機が出展されるようになる。たとえば松下電器産業（現在のパナソニック）は、1995年9月25日に世界で初めてcordless videophone (PHS方式のカメラ付携帯電話) の試作機を開発したとして、記者発表している³⁴。報道によれば、同試作品は翌10月にGenevaで開催された展示会Telecom 95に出展され、これ以降1998年2月HannoverのCeBIT '98でSiemensが試作機を出展したのに続き、1999年10月GenevaのTelecom 99までに、多数の企業がカメラフォン

を出展しており、すでに現在の携帯電話と同じように背中合わせに2つのカメラを搭載するものもあったという³⁵。引き続き商品化されたのは、日本市場においてであった。まずテレビ電話を想定して内側カメラを搭載した京セラVP-210 (PHS) が1999年9月にDDIポケットから発売され、2000年11月にはJ-PHONEから外側カメラを搭載したシャープJ-SH04が発売されて好調な販売を記録した。その後、ツーカーやau、NTTドコモ等の通信事業者向けにもカメラフォンの発売が相次いだ。欧州では、1990年代末にMotorolaから世界市場シェア首位の座を奪ったNokiaが、2002年1月にカメラフォンNokia 7650を発売し、米国でも2002年11月のSanyo SCP-5300発売を皮切りに徐々にカメラフォンの導入が進んだ³⁶。米調査会社IDC (International Data Corporation) によれば、2003年11月までに、米国で600万台、世界では800万台のカメラフォンが販売されたという。

イメージセンサ事業からすれば、販売数量の点で、カメラフォンはDSCをはるかにしのぐ

図表4. フィルムカメラとDSC、カメラフォンの世界出荷数推移



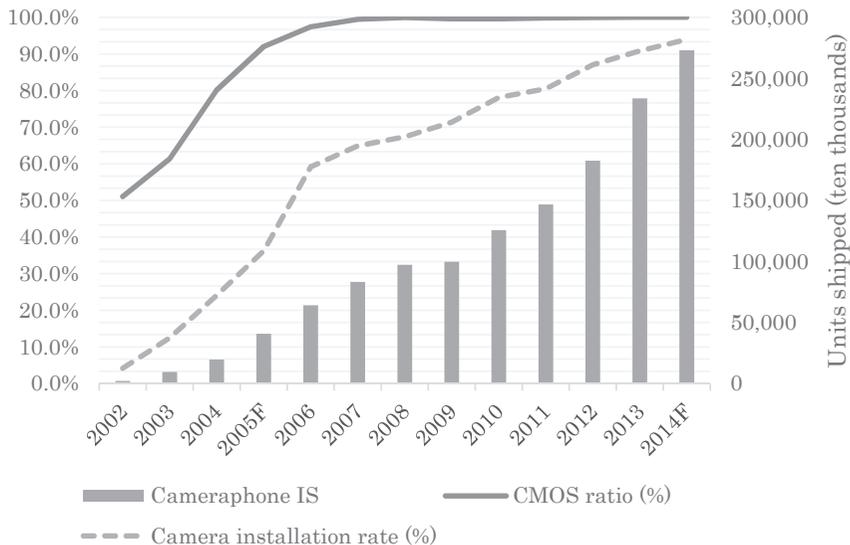
出所) カメラ映像機器工業会および日本経済新聞社 (各号) 日経マーケット・アクセス・レポート、各種刊行資料掲載の Techno System Research の集計を参考に作成。単位は万台。横軸は西暦年。

モンスター・アプリケーションであった。図表3に示されるように、最盛期の比較では、デジタル化によって、カメラは数量で3倍強、金額で5倍ほどに市場規模を高めたとみることができる。これは単純化すれば数量でカムコーダの市場の10倍となる規模であり、イメージセンサの市場規模も10倍になった。しかしカメラフォンに限っても、携帯電話の出荷数量はこの比ではない。図表4にはカメラ機能に注目し、フィルムカメラとDSC、カメラフォンの世界出荷数推移を並べてある。2014年に16億台を出荷したカメラフォンは、2010年のピーク時に1.2億台強を出荷したDSCに比べて、さらに10倍以上の市場規模を持つことになった。これだけでもイメージセンサの主用途がカムコーダであった時代からすれば、数量で100倍以上に市場が拡大したことになる。また2002年末からは、1台の携帯電話に2つのカメラを搭載するカメラフォンが導入され始めている。カメラの数はそのまま、搭載されるイメージセンサの数である³⁷。この結果、図表5に示されるように、2014年12月には年間27億個を超

えるイメージセンサの出荷が見込まれている。携帯電話のカメラ装備率、すなわち携帯電話に占めるカメラフォンの割合は、2002年に4%強に過ぎなかったのが、2006年には60%弱に、2013年には90%を超えている。

カメラフォンは、イメージセンサ事業にこれまでにない規模の市場をもたらすと同時に、主流技術の転換を促し、それが産業の景観を大きく変えていくことになる。図表5に示されるように、カメラフォンではイメージセンサとして、2000年代後半までDSCで主流であったCCDよりも、CMOSイメージセンサが多く使われ、2007年にカメラフォン向けイメージセンサの99.5%を占めるようになってきている。さらにカメラフォンは数量ベースでイメージセンサ全用途の7割を占める主用途であったため、図表6にみられるように、イメージセンサ市場全体におけるCMOS利用の比率を早期に高めるのに寄与している。カメラフォンの他は、パソコン類とゲーム機器搭載・接続カメラ・一眼レフDSCでCMOSイメージセンサへの移行が早く進んだものの、コンパクトDSCや監視カメラ、

図表5. カメラフォン向けイメージセンサ出荷数量および携帯電話のカメラ装備率、イメージセンサ内CMOS型比率推移



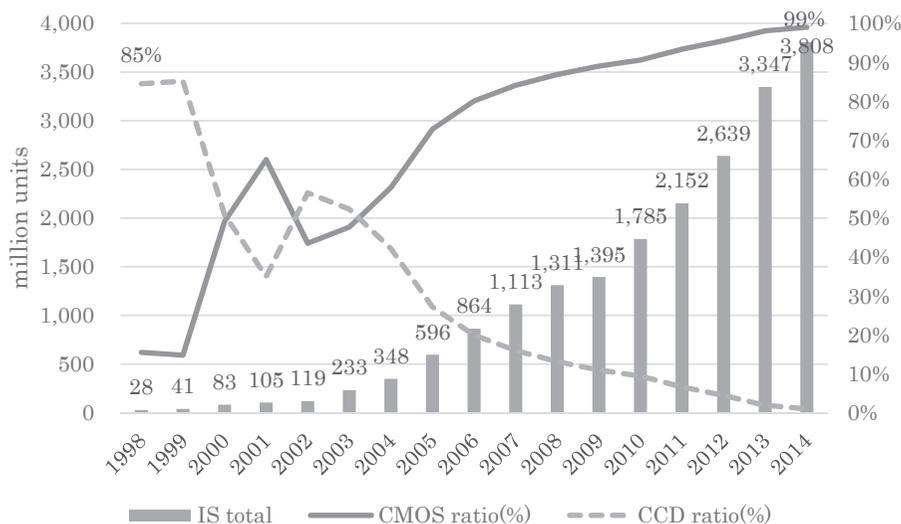
出所) 各種刊行資料掲載の Techno System Research 集計データを参考で作成。2005年と2014年の値は同年12月時点の見込み値。出荷数量の単位は万個。横軸は西暦年。

車載カメラといったほかの主用途での移行が大きく進んだのはおおむね2007年以降と比較的近年であった。ただし2014年に出荷された38億個強のイメージセンサの99%、金額ベースで97%がCMOS型になっている。1998年にCMOS型は数量で15%であり、CCDからの置き換えが進んだのは2000年代に入ってからである。2000年代前半に、CCD-CMOS比率が逆転しているのは、カメラフォンにCCDも搭載された時期があったことを反映している。

2000年代に転換が進んだのは、イメージセンサの主流技術や市場規模だけではなかった。イメージセンサ事業を営む企業群と、顧客になる主用途市場の企業群も顔ぶれを変えた。かつてCCDが主流でイメージセンサの主用途がカムコーダとDSCの時代には、センサでも用途市場でも日本のエレクトロニクス・カメラ機器大企業が世界市場の多くを占めていた。しかし世界の携帯電話市場では2014年現在日本企業のプレゼンスは高いとはいいがたく、またイメージセンサ市場の世界シェアも様変わりしている。図表7には、CMOSイメージセンサへの交代前夜1999年の世界CCD市場シェア（数量）と、直近2014年の世界CMOSイメージ

センサ市場シェア（数量）が描かれている。金額シェアで描けば様相はまた異なるものの、ここではその大きな変化を見ておきたい。調査会社の富士キメラ総研によれば、1999年の世界CCD市場は数量ベースでソニーと松下電子工業が2社合計で7割を占めており、これにシャープ、東芝、三洋電機が続いて、合計91%になっている。その他の9%には、自社DSC向けにCCDを製造する富士フィルムマイクロデバイスのほか、少量のCCDを生産していたSamsung電子や、Kodak、Koninklijke Philips（以下、Philips）、TI、IBM、Dalsa、Lockheed Martin傘下のFairchildなどが含まれていると思われる。Kodakのように航空宇宙用や科学用ハイエンドCCDを開発製造していた企業の市場シェアは数量ベースでは過少に見積られるが、市場の多くを日本企業が占有していた状況が確認できる。一方、2014年度の世界CMOSイメージセンサ市場に、数量ベースで0.3%以上のシェアを持つ日本企業は、三番手の18.4%をもつソニーと、2015年同社によるイメージセンサ事業買収が決まった東芝を確認できるのみである。ただし金額ベースではソニーが首位となる。CMOSイメージセンサのその他主要企業は、

図表6. イメージセンサの世界出荷個数推移



出所) 各種刊行資料掲載の Techno System Research 集計データを参考に作成。出荷数量の単位は百万個。横軸は西暦年。

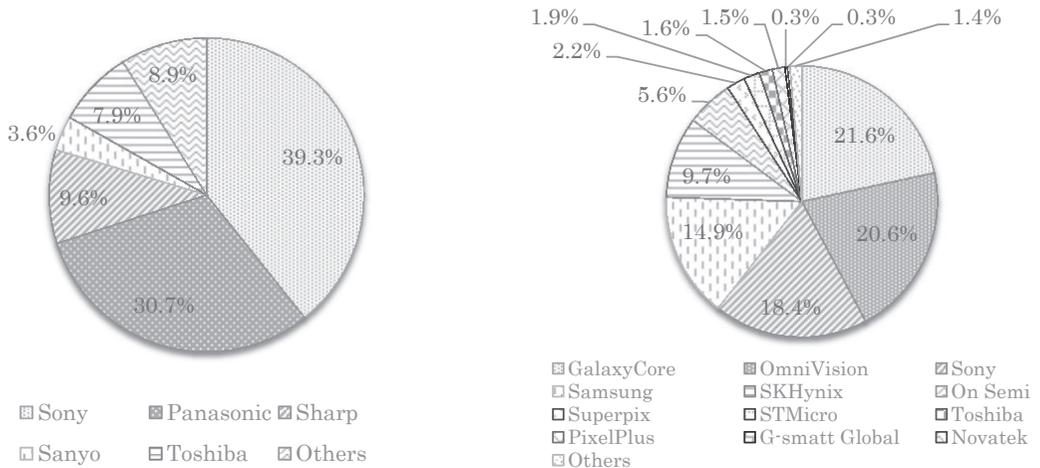
1990年代半ばから2000年代半ばにかけて創業したか、もしくはそうした新興企業を買収することで、イメージセンサ事業の開始または強化を図った欧米亜の企業群である。

他方、イメージセンサの用途市場に目を向ければ、現在はどちらもカメラフォンによる浸食で衰退が進む市場であるが、カムコーダでもDSCでも、日本企業は高いプレゼンスを誇ってきた。図表8には、主用途が未だ両市場であった頃の世界市場シェアを示すデータとして、「その他」カテゴリにそれほど多くの値を含まず、状況理解を助けてくれそうな、1999年の世界カムコーダ市場シェアと、2002年の世界DSC市場シェアを描いた。ともに数量ベースで、日本経済新聞社の集計による。また、イメージセンサの顧客の状況がカムコーダやDSCとはまるで異なることを見ておくために、2014年の世界携帯電話市場シェアを並べた。カムコーダでは、ソニーとパナソニック、JVCの3社で86%と市場の大半を占めており、シャープとキヤノンを合わせれば98.7%になる。同市場ではその後シャープが撤退し、近年はアクションカメラ・セグメントを創造したとされるWoodman Labs（ブランド名GoPro）がシェア

を42%まで急伸させてトップである³⁸。日本企業はソニーを筆頭に合わせて35%程とプレゼンスは以前ほどでない。2002年の世界DSC市場では、KodakやHewlett-Packard（以下HP）も一定のシェアを有しているが、ソニー、キヤノン、富士フイルム、オリンパス、ニコンの5社で82%を占めていた。同市場ではその後KodakとHPが退出、Samsung電子が4位までシェアを伸ばす一方、キヤノンとニコンが寡占度を高めて2014年は合計54%、ソニー・富士フイルム・パナソニック・オリンパス・カシオ・ペンタックスと合わせて88%弱と日本企業の市場プレゼンスは高い³⁹。これに対して、世界の携帯電話市場では、主力プレーヤーの顔ぶれが全く異なる。2014年に同市場で2%以上のシェアをもつ日本企業はソニーだけである。1990年代の黎明期にパナソニックやNECが最大で10%程度の市場シェアを持つこともあったが、日本のエレクトロニクス企業は数量で膨大な規模に成長した世界の携帯電話市場で事業を拡大することに成功しなかった。

日本のイメージセンサ企業は、その競争力と事業成長の駆動因としてかつてほどには大きな社内需要をもたなくなった。イメージセンサと

図表7. CCDとCMOSイメージセンサの世界出荷数シェア（順に1999年・2014年）



(1999年のCCD世界市場シェア・数量出荷)

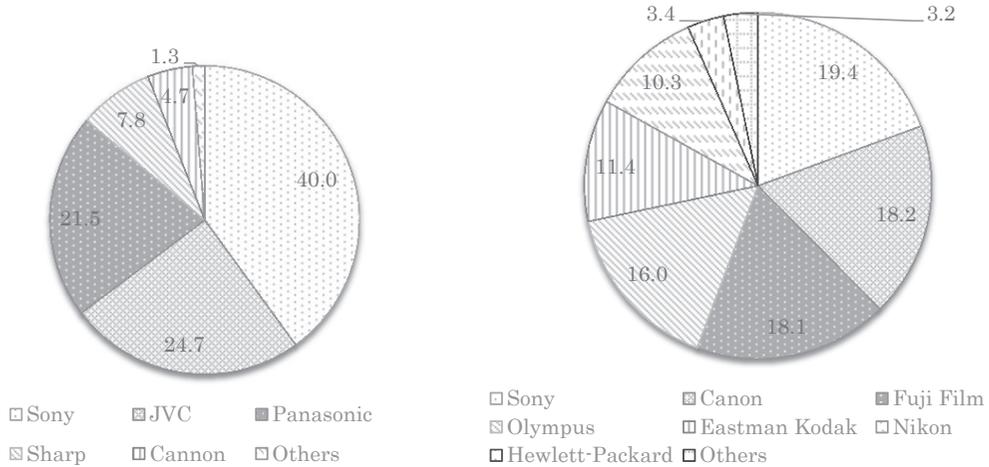
(2014年のCMOSイメージセンサ世界市場シェア・数量出荷)

出所) 主に次を参考に作成。富士キメラ総研(各年)有望電子部品材料調査総覧。G-smatt Global投資説明書、2015年9月10日(Techno System Research集計)。

用途先製品との間には、デバイスの競争力が最終製品の差別化やコスト優位といった競争優位の基盤となり、最終製品の競争優位がデバイス事業の成長を促すことを目的とした関係があり、両社を手掛ける企業を見ることができた。カムコーダでは、ソニーとパナソニック、シャープ、DSC ではシャープの代わりに、キヤノン、富士フイルム、ニコン、Samsung 電子がこれに加わる。携帯電話でも、画像デバイスと最終製

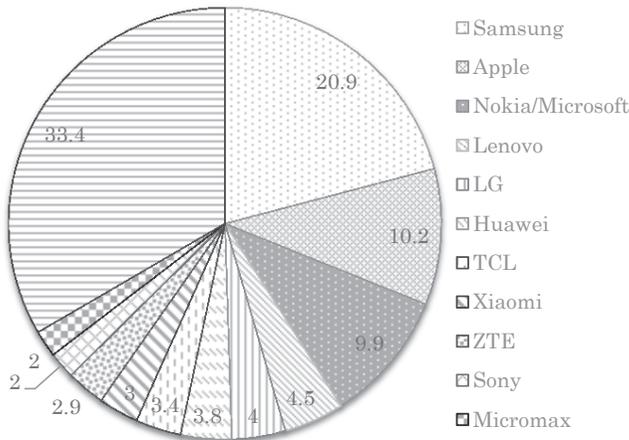
品の好循環を構築しようとする例として、Samsung 電子やソニー、パナソニック、シャープを考慮することができるものの、世界市場でこれに成功しているのは前2社で、特に規模の点では Samsung 電子が圧倒している。ただし、ソニーは多数の出荷が見込まれるゲーム機 PlayStation 2・PlayStation 3 の USB カメラに OmniVision の、Samsung 電子も携帯電話で自社以外にソニーや G-smatt Global (旧 SETi)、

図表 8. カムコーダと DSC、携帯電話の世界出荷数シェア (順に 1999 年・2002 年・2014 年)



(1999 年のカムコーダ世界市場シェア・出荷数量)

(2002 年の DSC 世界市場シェア・出荷数量)



(2014 年の携帯電話機世界市場シェア・出荷数量)

出所) カムコーダと DSC は日本経済新聞社集計 (日経産業新聞 2001 年 7 月 13 日 ; 2004 年 7 月 26 日)、携帯電話は Gartner 集計データを参考に作成。単位は %。

GalaxyCore のイメージセンサを採用しており、社内需要品のすべてを自社デバイスで賄うわけではない⁴⁰。イメージセンサを含むソニー半導体の外販比率は、DSC 市場の成長とともに減少した後、近年上昇しており、2014 年は 81% であったことが公表されている⁴¹。

以下では、CCD から現在の形の CMOS イメージセンサへと主流技術が交代していくプロセスを、とくに始まりに注目して CMOS 側の技術開発と市場開拓努力、企業の誕生と合併、買収、消滅のダイナミズムとともに見ていく。ただし、市場地位が激しく入れ替わりながら高成長を遂げた近年のイメージセンサ市場の競争のダイナミクスは、それ自体経営学研究の対象として興味深い。特に主流技術が転換する状況での、新興企業と既存企業の行動とその成果については、従来の議論とは異なる論点があり、極めて興味深いため、別稿で論じる。経営学において（経営の実務でも）、しばしば技術転換後の市場での競争優位と関連づけられる既存企業・新興企業の違いや、先発・後発の優位性、従前の市場地位などは、必ずしもこの市場での競争優位を決定づけてはいないと考えられる。また、経営学ではこれまで、企業の境界の問題として垂直統合度の違いについてしばしば経営成果に関係づけられて議論されてきた。これは画像半導体の分野では、設計に特化したファブレスであるか、製造に特化したファウンドリであるか、両者と販売を手掛ける IDM（Integrated Device Manufacturer：垂直統合型デバイスメーカー）と置き換えられる。用途製品を事業として手掛ける場合には、さらに垂直統合度が高いことになる。イメージセンサ市場での競争優位は、2015 年の現在はこの要因によって決定づけられているとはいいがたい。こうした観点での議論は別稿で行うことにして、ここではイメージセンサ産業の転換プロセスにおけるオープン・イノベーション世界の敷衍を見ていこう。

（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、Henry Chesbrough 教授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。

² 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). p.7 注 1 によると、同書での「パラダイム」は、研究開発の実務について広く受け入れられているモデルを指すという。

³ Chesbrough, Henry (2006) Open innovation: A new paradigm for understanding industrial innovation, in H. Chesbrough, W. Vanhaverbeke, & J. West, eds. *Open Innovation: Researching a New Paradigm*, Oxford: Oxford University Press, p.1.

⁴ Chesbrough, Henry & Marcel Bogers (2014) Explicating Open Innovation: Clarifying an Emerging Paradigm for Understanding Innovation, in Henry Chesbrough, W. Vanhaverbeke, & Joel West, eds. *New Frontiers in Open Innovation*. Oxford: Oxford University Press, p.4.

⁵ Dahlander, L. & D. M. Gann (2010) How Open Is Innovation? *Research Policy*, 39 (6): 699-709. West, Joel, & Marcel Bogers (2013) Leveraging External Sources of Innovation: A Review of Research on Open Innovation, *Journal of Product Innovation Management*, 31 (4): 814-831. 真鍋誠司 & 安本雅典 (2010) オープン・イノベーションの諸相—文献サーベイ, *研究技術計画*, 25 (1): 8-35.

⁶ 1990 年に提唱された知識創造の経営にもこのような魅力があったと思われる。野中郁次郎 (1990) *知識創造の経営：日本企業のエピステモロジー*, 日本経済新聞社。

⁷ *Research Policy* 誌掲載のとある論文の著者が、筆者らとの議論でオープン・イノベーションとは何であるか問われて“Everything is open innovation.”と実際に回答したのを耳にしたことがある。

⁸ 米倉誠一郎 (2012) オープン・イノベーションの考え方, *一橋ビジネスレビュー*, 60 (2): 6-15. 立本博文, 小川紘一 & 新宅純二郎 (2010) オープン・イノベーションとプラットフォーム・ビジネス, *研究技術計画*, 25 (1): 78-91. 清水洋 (2015) 価値創りの

- 新しいカタチーオープン・イノベーションを考える 第1回 周回遅れの日本企業, 一橋ビジネスレビュー, 63 (1): 164-168.
- ⁹ Groen, Aard J. & Jonathan D. Linton (2010) Is Open Innovation a Field of Study or a Communication Barrier to Theory Development? *Technovation*, 30 (11-12): 554. Trott, Paul & Dap Hartmann (2009) Why 'Open Innovation' is Old Wine in New Bottles, *International Journal of Innovation Management*, 13 (4): 715-736. Mowery, David C. (2009). "Plus ça Change: Industrial R&D in the 'Third Industrial Revolution,'" *Industrial and Corporate Change*, 18 (1): 1-50.
- ¹⁰ Allen, T. J. & S. I. Cohen (1969) Information flow in research and development laboratories, *Administrative Science Quarterly*, 14 (1): 12-19. Cohen, W & D Levinthal (1989) Innovation and Learning: The two faces of R&D, *Economic Journal*, 99 (297): 569-596.
- ¹¹ Christensen, Clayton. Open Innovation and Getting Things Right. *Latest Thinking*. Clayton Christensen. 19 Sep. 2012. Web. 1 Sep. 2014. Chesbrough & Bogers (2014), 前掲書。
- ¹² JSPS 科学研究費補助金 25245053 の助成を受けた調査。研究代表者は米山茂美(学習院大学)教授。
- ¹³ Prahalad, C. K. & R. A. Bettis (1986) The Dominant Logic: A New Linkage between Diversity and Performance, *Strategic Management Journal*, 7: 485-501.
- ¹⁴ Chesbrough, Henry (2003) Environmental Influences upon Firm Entry into New Sub-markets: Evidence from the Worldwide Hard Disk Drive Industry Conditionally, *Research Policy*, 32 (4): 659-678. Chesbrough, Henry (1999a) The Organization Impact of Technological Change: A Comparative Theory of National Institutional Factors, *Industrial and Corporate Change*, 8 (3): 447-485. Chesbrough, Henry (1999b) Arrested Development: The Experience of European Hard Disk Drive Firms in Comparison with US and Japanese Firms, *Journal of Evolutionary Economics*, 9: 287-329. Chesbrough, Henry (1998) The Displacement of US Incumbent Firms and the Persistence of Japanese Incumbent Firms in the Hard Disk Drive Industry, *Harvard Business School Working Paper*, 98 (102). Chesbrough, Henry (1997) Dynamic Coordination and Creative Destruction: A Comparative Analysis of Incumbent Success and Failure in the Worldwide Hard Disk Drive Industry. *Unpublished Dissertation*, Haas School of Business, UC-Berkeley.
- ¹⁵ Tripsas, M. & G. Gavetti (2000) Capabilities, Cognition, and Inertia: Evidence from Digital Imaging, *Strategic Management Journal*, 21 (10-11): 1147-1161. Christensen, C. & J. Bower (1996) Customer Power, Strategic Investment, and the Failure of Leading Firms, *Strategic Management Journal*, 17: 197-218. Christensen, C. & R. Rosenbloom (1995) Explaining the Attacker's Advantage: Technological Paradigms, Organizational Dynamics, and the Value Network, *Research Policy*, 24: 233-257. Christensen, C. (1993) The Rigid Disk Drive Industry: A History of Commercial and Technological Turbulence, *Business History Review*, 67: 531-588. Leonard-Barton, D. A. (1992) Core Capabilities and Core Rigidities: A Paradox in Managing New Product Development, *Strategic Management Journal*, 13: 111-25. Henderson, R. & K. Clark (1990) Architectural Innovation: the Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms, *Administrative Science Quarterly*, 35: 9-30. Tushman, M. & P. Anderson (1986) Technological Discontinuities and Organizational Environments, *Administrative Science Quarterly*, 31: 439-465.
- ¹⁶ Hill, C. W. L. (1995) National Institutional Structures, Transaction Cost Economizing and Competitive Advantage, *Organization Science*, 6: 119-131. Nelson, R. (1993) National Innovation Systems: a Comparative Analysis, ed. Oxford University Press: Oxford. Mowery, D. C. (1992) The US National Innovation System, *Research Policy*, 21: 125-144.
- ¹⁷ Chesbrough & Bogers (2014)、前掲論文、p.24。
- ¹⁸ 以下では特に断らない限り便宜的に、タブレットPCをPCつまりパソコン類と考え、スマートフォンをフォンつまり携帯電話と考える。PC類とスマートフォンが技術的にも機能的にも重複する事実は承知している。カテゴリの厳密性に意味が見いだせる文脈においてこだわることにする。
- ¹⁹ イメージセンサには、光を受ける1つ1つの画素を一行に並べたライン型製品があり、ファクシミリなどでつかわれる。しかしここでみていくのは、画素を縦横に並べたエリア型の製品である。

- ²⁰ 日本でベンチャー企業と呼ばれる新興企業は、米国ではスタートアップ (start-up) と呼ばれる。
- ²¹ Weckler, G. P. (1967) Operation of p-n Junction Photodetectors in a Photo Flux Integrating Mode, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 2 (3): 65-73.
- ²² 和田正信 (1968) 固体撮像装置の現状, *テレビジョン*, 22(6): 420-430. 大石巖・坂井徹男・平島昭男・池田弘明 (1971) 固体画像装置における走査, *テレビジョン*, 25 (10): 801-813. 安藤隆男・赤星司・石原保雄 (1972) 集積化 Si 撮像デバイスとその設計, *テレビジョン*, 26(1): 33-46.
- ²³ 安藤隆男. “8 群 4 編 1 章 1-1 撮像デバイスの歴史.” *知識の森*. 電子情報通信学会. 25 Dec. 2011. Web. 20 Dec 2014.
- ²⁴ Boyle, W. S. & G. E. Smith (1970) Charge Coupled Semiconductor Devices, *Bell System of Technology Journal*, 49: 593-600. ただし、撮像デバイスとしての CCD を発明したのは Tompsett だったとする論争がある。Tompsett, Michael (2013) Keynote Presentation: Many Pixels Make Light Work, *Intl. Image Sensor Workshop*, June 15, 2013.
- ²⁵ 日本企業のイメージセンサ開発の経緯については、以下の文献がくわしい。黒田隆男 (2010) イメージセンサの世界における日本—日本が果たしてきた役割と歴史から学ぶこと, *映像情報メディア学会技術報告*, 34 (38): 13-20. ソニーの CCD 開発経緯は以下。越智成之 (1997) CCD 撮像素子量産化への巧みの技, *映像情報メディア学会誌*, 51(8): 1182-1186. 菊池誠 (1992) *日本の半導体四十年*, 中公新書. 越智成之 (1998) 1センチ角にレンズ 200 万個ビデオの眼, 山根一眞 (1998) *メタルカラーの時代 3*, 小学館文庫: 139-148 所収. ソニー広報センター (1998) *ソニー自叙伝*, ワック出版部. 木原信敏 (1997) *ソニー技術の秘密*, ソニー・マガジンス. 越智成之 (2010) CCD 誕生 40 周年記念講演—黎明期, *映像情報メディア学会技術報告*, 34 (38): 1-8. *日経産業新聞*, 1992 年 4 月 9 日.
- ²⁶ 筆者のインタビューに基づく。
- ²⁷ 撮像管の技術進歩と市場開拓については、以下がくわしい。日本電子機械工業会電子管史研究会 (1987) *電子管の歴史: エレクトロニクスの生い立ち*, オーム社. 竹村裕夫 (1997) *CCD カメラ技術入門*, コロナ社.
- ²⁸ 家庭用ビデオ装置の技術進歩と市場開拓については、以下がくわしい。木原 (1997) 前掲書. ソニー広報センター (1998) 前掲書. 伊丹敬之・伊丹研究室 (1989) *日本の VTR 産業?なぜ世界を制覇できたのか*, NTT 出版. 中川靖造 (1984) *ドキュメント日本の磁気記録開発 オーディオとビデオに賭けた男たち*, ダイヤモンド社. Rosenbloom, R. and M. Cusmano (1987) *Technological Pioneering and Competitive Advantage: The Birth of VCR Industry*, *California Management Review*, 29. Lardner, J. (1987) *Fast Forward: Hollywood, the Japanese, and the Onslaught of the VCR*, W. W. Norton and Company.
- ²⁹ 木原 (1997) 前掲書. 森尾稔 (1993) *8 ミリビデオ大百科*, オーム社.
- ³⁰ 越智 (1997; 1998) 前掲書・前掲論文.
- ³¹ 佐藤和弘 (1986) 転換期を迎えたホーム用カメラ, *テレビジョン学会誌*, 40(5): 376-381. *日経エレクトロニクス*, 1984 年 12 月 17 日号.
- ³² 越智 (1997; 1998) 前掲書・前掲論文. 長原 (1992) 前掲論文. 佐藤 (1986) 前掲論文.
- ³³ 筆者はかつて主流技術が化学から電子へ変化するのに伴うカメラ産業の転換過程について詳細な調査研究を進めた。これは核となる要素技術が発明され、主流技術の変化が予見されてから、実際に転換が始まるまでに 25 年間以上を要した過程であった。タイミングを除けば関係者たちにとって転換は半ば自明であったものの、その対応行動には顕著な違いがみられた。詳細についてはたとえば以下を参照いただきたい。福島英史 (2002) *デジタルカメラ産業の勃興過程, 企業の発展*, 米倉誠一郎編, 八千代出版.
- ³⁴ *Kyodo News*, 1995 年 9 月 25 日.
- ³⁵ Yoshida, Junko. “How Camera Phones Changed the World.” *EE Times*. UBM. 3 Nov. 2015. Web. 4 Nov. 2015.
- ³⁶ *USA TODAY*, 2003 年 11 月 18 日.
- ³⁷ 近年では複数のイメージセンサから画像全体の深度情報を得る技術が開発、商品化されており、この場合は搭載センサ数がさらに多くなる。いわゆる、写真を撮影「後」に自由にピントを合わせることができる機能である。
- ³⁸ IDC (2015) *Worldwide Digital Camcorder 2014 Vendor Shares*, IDC #256025.
- ³⁹ IDC (2015) *Worldwide Digital Camera 2014 Vendor*

Shares, IDC #255441.

- ⁴⁰ Merritt, Rick. “Sony plans video interface for Playstation in 2003.” *EE Times*. UBM. 30 July 2015. Web. 4 Aug. 2015. McGrath, Dylan. “Teardown: Sony's 'Move' into motion gaming.” *EE Times*. UBM. 18 Oct. 2010. Web. 4 Aug. 2014. Woodside Capital Partners (2014) *Embedded Camera Status, April 2014 Research Report*.
- ⁴¹ “ソニーの半導体・事業概要・業績データ.” ソニー. n.d. Web. 2015 年 12 月 1 日。

お知らせ

次に掲げる論文に登場する「X社」「Z社」「M社」「ある年金基金P」は仮想の一例であり、実在する団体とは一切関係ありません。

林直嗣教授著、「年金資産運用の原理と最適基本ポートフォリオ（上）＝固定運用か『適合型』運用か＝」、『経営志林』第51巻第4号（2015年1月）pp. 21-36.

林直嗣教授著、「年金資産運用の原理と最適基本ポートフォリオ（中）＝固定運用か『適合型』運用か＝」、『経営志林』第52巻第1号（2015年4月）pp. 15-41.

林直嗣教授著、「年金資産運用の原理と最適基本ポートフォリオ（下）＝固定運用か『適合型』運用か＝」、『経営志林』第52巻第2号（2015年7月）pp. 27-46.

以上

