

商工会館・調査研究事業：

平成 24 年度「産業と技術の比較研究」報告書

副題：製造業の「技術融合」から「技術・サービス」融合への転換

要約：

「メカトロニクス」や「オプトエレクトロニクス」の時代には、異種類の技術を融合するという「技術融合」の概念が技術経営にとって非常に重要な概念であった。日本が得意とする異業種間の共同研究は、最重要の経営課題であった。

しかし、1990 年代に突入すると、モジュール化が劇的に急速に進展した。このことを検証するために、パソコン産業と自動車産業についての定量的分析を示す。しかし、2000 年代になると、「技術・サービス」融合、すなわち、技術とサービス産業との間の融合（英語では、コンバージェンス（convergence、収斂と訳す）という用語が使用されている）という現象が、顕著なものとなってきた。この点に関しては、日本の経験の中から、2つの事例を取り上げ分析し、さらに将来ビジョンを描くという、一種の思考実験を行った。

技術融合から始まり、モジュール化の時代を経て、「技術・サービス」融合へ至る、技術経営（MOT: Management of Technology）に起きた大きな変遷を分析した結果、「技術・サービス」融合の本質は、「技術の革新(Technological Revolution)」ではなく、「技術の進化(technical evolution)」であるということを明らかにする。そこで、この「技術・サービス」融合の過程を「進化過程」(evolutionary process)として把握するため、モジュール構造物の設計ルールで行われてきた理論を分析に導入する。

以上のような分析を経て、モジュール設計論で定義されている「転用オペレータ」(porting operator)が、この進化過程での最重要の構成要素であると結論する。すなわち、技術モジュールとサービスモジュールからなるシステムに、転用オペレータを作用させることで、「技術・サービス」融合が実現されるのである。

(児玉文雄)

目次

1. はじめに
2. 技術融合 (1975-1990)
3. モジュール化の進展 (1990-2000)
 - 3.1. デジタル技術の進展によるモジュール化はどこまで及ぶか
 - 3.2. 日産とフォルクスワーゲンの第二世代のモジュール化の特徴
 - ①日産の CMF
 - ②フォルクスワーゲンの MQB
 - ③日産の第二段階のモジュール化を可能にした技術革新
 - 3.3. モジュール化の進展に必要な要素は共通しているか?
 - ①編集設計というアプローチ
 - ②シミュレーション技術の役割
 - ③機能統合と小型化を実現するためのルール設定
4. 「技術・サービス」融合 (2000 年以降)
 - 4.1 IT 革命とソフトウェア技術
 - 4.2 ソフトウェア技術による技術とサービスのコンバージェンス
 - 4.3 ソフトウェアによる抽出と転用
5. 「技術・サービス」融合についての進化論的分析
 - 5.1 モジュール化した産業の進化軌跡
 - 5.2 工作機械産業の進化軌跡：機械の IT 化とサービス化
 - ①第 1 段階： 最適なモジュール分割の再創造過程
 - ②第 2 段階： パソコン機能の NC 装置への転用
 - ③第 3 段階： 機械の IT 化とサービス化
 - 5.3 建設機械産業の IT 化とサービス化
 - 5.4 考察
6. 社会システム基盤成立へのシナリオ
 - 6.1 定義
 - 6.2 分析対象
 - 6.2.1 「社会システム基盤」への適合
 - 6.2.2 「価値の循環」への適合
 - 6.2.3 「Porting」への適合
 - 6.3 分析フレームワーク
 - 6.3.1 標準化プロセスの類型
 - 6.3.2 社会システム基盤 (PLATFORM) 成立のシナリオ
 - 6.3.3 分析フレームワークと論点
 - 6.4 事例分析と考察
 - 6.4.1 iPhone と Android 端末の成立・普及過程
 - 6.4.2 製品パフォーマンス (機能・性能) と価格

6.4.3 誰が利得を獲得するか

6.5 今後の問題

7. 将来への展望

参考文献

1. はじめに

生産性を国の全体でさらに上昇させるためには、製造部門からサービス部門への技術移転が実現されねばならない。従来から、このことは最重要事項として議論はされてきたが、ほとんど実現されなかった。その理由は、製造業で有効であった技術の性質は、サービス業での生産性上昇に結び付くような技術のそれとは、大きく相違していたからである。

しかし近年になって、この種類の技術移転に適切な技術が登場してきた。無線タグ（RFID、Radio Frequency Identification）や地球位置測定（GPS、Global Positioning System）がその事例である。この報告書で明らかにするように、これらの技術は従来の情報通信技術（Information and Communication Technologies、ICTs）というコンテキスト(文脈)では、大きな飛躍を実現したと言える。RFID 技術革命は、データ収集の方法が従来技術とは大きく異なるし、GPS 革命は、サービス産業において多くの新しいビジネス・モデルを創造できるという意味で、革新的であるからだ。このような理由により、製造業からサービス業への技術移転のチャンスは非常に高まってきたと言える。しかし、製造業を超えた、新しい技術経営を確立しなければ、このチャンスが実現されることはない。

サービス産業では、製造業でうまく機能していた MOT とは異種類の経営が必要とされているのだ。「技術融合」という概念は、「メカトロニクス」や「オプトエレクトロニクス」の産業技術を開発するには非常に有効であった。しかし、「技術・サービス」融合の時代では、その有効性に「陰り」が見えてきたのだ。「技術・サービス」融合においては、階層的な構造のそれぞれのレベルで、まったく異なる技術軌道を歩んできた技術の間の、統合が必要とされるからである。したがって、この統合のプロセスを単なる技術融合のプロセスとしてではなく、技術と社会の相互作用に基づく進化（socio-technical evolution）、すなわち、技術と社会の統合プロセスとして分析しなければならない。

この報告書では、技術融合からモジュール化を経て「技術・サービス」融合に至る過程において、イノベーションの持つ意味合いがどのように変化してきたかを振り返り、この変遷のプロセスが多段階にわたる試行錯誤から構成される進化過程であったことを検証する。さらに、「技術・サービス」融合の経営分析において、どのようにしてモジュール構造の設計論で有効な議論を取り込んでいくべきかを示す。最後に、技術開発が研究から開発を経て生産へと直線的に進行するという前提に立って展開されてきた従来の技術経営の概念と分析ツールに、何を追加・改善すれば、「進化」を中心概念に据える「技術・サービス」融合を MOT の中に、うまく取り込むことが出来るかについての考察を加える。

(児玉文雄)

2. 技術融合 (1975--1990)

「技術融合」という概念は、「メカトロニクス」や「オプトエレクトロニクス」という技術の本質を特徴づけるために提案されたものである。(Kodama, 1986a, 1986b) しかも、この概念は、当時の日本企業のイノベーション能力を概念的に表現するものだと議論された。(Kodama, 1992a) 事実、当時は、技術革新のパターンが「技術突破」から「技術融合」へと変化しつつあり、それとともにマネジメントの持つ意味も変わっていたと言える。

(Kodama, 1992b)

技術経営における成功と失敗を大きく左右するのは、どれだけの資金を研究開発に投入したかではなく、自社の研究開発活動をどのように規定したかである。技術革新に関する考え方には、2種類のものがある。旧技術を置き換えるような研究開発活動に投資するのか、既に存在する技術をハイブリッド状に組み合わせることを狙う研究開発に投資するかである。後者を「技術融合」型アプローチという。前者では、旧いものを新しいものに如何に置き換えるかという直線的な思考が中心である。技術融合のアプローチは、非線形的で、補完的で、どのように協力するかが中心となる。多数の異なる漸進的に改善されていく複数の技術を如何に組み合わせ、市場に革命をもたらすかが問題なのだ。

技術融合の実現には、多くの産業分野の多くの企業をまたぐ、長期的な研究開発活動が必須である。研究コンソーシアム、ジョイント・ベンチャー、協力協定などの形態をとる。いずれにせよ、重要なのは、「双方向性 (reciprocity)」と「実質性 (substantiality)」である。すべての参加企業は、投資への責任とそれから得られる報酬に関しての共通認識が必要である。「実質性」とは、初期の探索研究から最終段階の製品開発に至るまでの研究プロジェクトに、実質的な規模の投資をコミットすることである。実質的な規模の投資が必要であることは当然であるが、「双方向性」は技術融合のエッセンスなのだ。すなわち、「イコール・パートナー (相互信頼、mutual respect)」として研究プロジェクトに参加し、自身の得意分野で積極的に貢献して、「共同責任、(mutual responsibility)」を果たす。双方向性とは、開発の成果も成功も共有する「(相互利益、mutual benefit)」ということでもあるのだ。

かくして、「融合戦略」は、多くの企業の基本戦略になって行った。この戦略は、製造業に限られたものではなく、製造業を超えた融合戦略が話題になっていた。事実、1980年代には、技術融合は、製造業の範囲を容易に超えていくという予想が蔓延していた。とくに、日本を代表する2つのエレクトロニクス企業は、この予測を先取りした行動を起こしていた。1989年にソニーは米国の映画会社のコロンビア・ピクチャーズ社を買収し、1990年には松下電器 (現在はパナソニック) がMCA社を買収した。

米国ソニーの当時の副社長であったSchulhof氏は、「今回のソニーによる映画会社の買収は、オーディオ・ビデオにおけるハードとソフトのシナジー効果を狙っており、娯楽産業におけるソニーの長期戦略に沿うものである」と明言している。当時の盛田会長も、「日本

のハード技術とアメリカのソフト技術の融合による相乗効果」を目的としたものであることを明確にしていた。

従って、当時の大勢の意見では、「技術とサービス」の融合は、従来路線の単純な延長戦上で、1990年代には容易に達成できるというのが常識化していたのである。しかし、パナソニックはMCA社を直ぐに売却した。アップル社の創業者であるスティーブ・ジョブズ氏は、当時を振り返って、次のように述べている：「現在のiPodが市場に存在しているのは、日本の偉大なコンシューマ・エレクトロニクス企業による『携帯音楽』という発明に負うところが多い。しかし、日本のメーカーは、適切なソフトウェアを作ることが出来なかった。」

ジョブズによると、その原因は、現在で言うところの「ビジネス・モデル」に対する考え方の欠如と違いにあるという。ジョブズ氏は「われわれのアイディアとは、登録の必要がない音楽提供サービスなのだ。99セントで一つの音楽を買うことができ、これで、堂々と聞く権利を確保できるのだ。その後は、個人用には、好きな枚数のCDを作ることができ、これを多目的に使うことができる」という。ジョブズはソフトウェアについて「ハードウェアは『頭脳』であり、われわれの製品の『筋肉』であるが、ソフトウェアは、その『魂』である」と言い切っている。さらに、IT革命の本質について、「情報革命は、自由エネルギーであると同時に、自由な知的エネルギーの革命なのだ。われわれは、『情報経済』の中に生きているのであり、『情報社会』の中で生活しているのではない」と明言している。

一方、いわゆるマーケット・リサーチには否定的な見解を随所に表明している。曰く、「アップルがエレクトロニクスの大衆市場に入って行ったのではない。われわれのDNAは変わっていない。エレクトロニクスの大衆市場がわれわれの方にやって来たのだ」という。企業戦略については、「アップルの市場は、20年来、コンピュータ技術とエレクトロニクスの消費財市場が会うところに位置している。われわれが対岸の岸に渡ったのではなく、向こう岸がわれわれのところに来たのだ」ということになる。

さらに、このような考え方を一般化して、『消費者が必要としているものを作りなさい』とよく言われるが、われわれのアプローチはそうではない。われわれの仕事は、消費者が将来どのようなものを欲しがるかを想定することだ。ヘンリー・フォードは以前、次のように言ったという。『顧客に何が欲しいかと聞けば、速足の馬が欲しいと答えるだろう。』人間は実際にモノを示されるまで、何が欲しいかは分からないのである。だから、われわれの仕事は、『マーケット・リサーチ』に頼るのではなく、将来登場するものが何かを読み切ることであり」と総括している。この考え方を、ジョブズの次のヒット商品であるiPadにおいても、次のように実行している。「われわれは、『タッチ・ペン』を使わない。われわれが使うのは、世界で最高のデバイスである、『指』である。すなわち、指でタッチするのだ。そのため、『マルチ・タッチ (multi-touch)』という技術を開発した。それは、大成功であった」ということになる。

本報告書の次章以降では、従来の「技術融合」概念に代わり、2000年代に顕著になって

来た、「技術・サービス」融合 (technology-service convergence) という課題を中心に扱ったが、ここで、ジョブズ氏が、この新しい傾向についてこの概念を意識しないで行った、関連する発言記録について記述しておく。2000年代になると、日本がメカトロニクスやオプトエレクトロニクスで成功した「技術融合」概念に対して、米国では「コンバージェンス (Convergence)」という考えが進行していったと言われている。事実、前世紀末の1999年6月発刊のニューズウィーク誌は「次の千年紀 (ミレニアム) を制するのはコンバージェンス革命である」と言いきっている。最近の十年間で、いわゆるデジタル技術が世の中に広く浸透して、ある閾値を越え、「コンバージェンス革命」というものになった。これは単なる利便性の追求では終わらない。電気通信、情報技術、インターネット技術、コンシューマ・エレクトロニクス技術の結合 (union) は、一連の新規の製品やサービスを生み出した。これらは、従来は全く別のものと考えられていた産業の「相互乗り入れ (cross-pollination) 現象」であり、その本質は、多種類の技術の独創的な結合である (connecting technologies in exciting new ways)。

以上のような「コンバージェンス」という考えに対して、スティーブ・ジョブズ氏は必ずしも同意していない。「私は、テレビとPCは容易に融合しないと思っている。頭脳の動きを止めよう (turn-off) としてテレビを見るが、コンピュータを使うときには、頭脳のスイッチを入れて (turn-on) おかなければならない」と分析する。独創性については、「独創性とは、物事を結び合わせることに他ならない。独創的な人は、どうしてそのようなことが出来たのかと聞かれると戸惑うであろう。当たり前のことをやっただけと答えるだろう。彼らは、色々の経験を結び合わせて、新しいものへと統合したのである。それでは、なぜ独創的なことができたかという、他人より多くの経験をし、その経験について深く考えただけであると言うだろう」と答えている。

最後に、アップルという企業については、「アップルは、ハード・ウェア、ソフト・ウェア、とOSのすべてを所有している唯一の企業である。すなわち、ユーザー経験のすべてに責任を負っており、このような会社は他に存在しない」と言い、さらに、「将来に向かって、点を結びつけることはできない。過去を振り返って、点を結びつけ、将来は何かうまくいくと信じるだけである」と締めくくっている。

(児玉文雄)

3. モジュール化の進展 (1990-2000)

3.1. デジタル技術の進展によるモジュール化はどこまで及ぶか

前年度の本プロジェクトで言及したように、エレクトロニクスに関するモジュール化とオープンアーキテクチャの進展は、90年代に進展した半導体集積回路の大規模化とPC産業の分業化の原動力となり、「設計のモジュール化」（設計のやり方をモジュラー設計にし、製品の多様化と部品最小化の両立を目指すこと）、「製造のモジュール化」（固定種類数と工程数を削減することで製造の合理化を図り、生産性の向上をめざすこと）、「使用のモジュール化」（利用者が製品機能の限定的な使用や利用を行う、あるいは取捨選択を行うこと）が生じて産業の水平分業をもたらしたと同時に、ハードウェアとソフトウェアの分離を可能とし、ソフトウェアという新たなレベルでのモジュール化を生じさせる基礎となった。こうしたデジタル技術の進歩によるモジュール化の進展は、今後全ての産業に波及するのか、それとも産業毎に特性が異なり、ある種のモジュール化限界、言葉を換えれば、『水平分業限界』が存在し、モジュール化の最適レベルが各々の産業で異なっているのかという点が、今後の産業形態の変化を捉える上で重要な論点となる。

鉄鋼業や化学コンビナートなど、素材産業では製造形態そのものが垂直統合を内包している産業ではモジュール化に自ずと限界がある。一方、自動車では、部品点数が多くPCや半導体程の極端なモジュール化は起きないであろうと予想されてきたが、「設計のモジュール化」、「製造のモジュール化」がある程度のレベルで進展してきた。しかしながら、出来るだけ同じ部品を使って、出来るだけ異なる車種を作るという要求には物理的な制約も多く、モジュール化にも一定の限界があるものと予想もされてきた。つまり、自動車産業は半導体やPCほどにモジュール化は進展しないが、モジュール化の断面がシフトしつつ、技術革新でその限界が少しずつモジュール化の程度を上げていく産業の代表例として捉えることができる。本章では、どのような技術革新でモジュール化の断面がシフトしつつあるのかを自動車の第一世代のモジュール化と第2世代のモジュール化を比較し、そこから抽出される条件についての半導体設計との比較から考察していくこととする。

パソコン産業では「モジュール化」で分析・説明できるが、自動車産業では「モジュール化」という切り口は、一定の制約があることによりパソコン産業程にはモジュール化は進んでこなかった。自動車産業における切り口は、「モジュール化」ではなく、「プラットフォーム」概念であると言われているが、現在では、プラットフォームをベースにするアプローチとプラットフォーム自体をモジュール化の対象とするアプローチに分かれてきている。特にプラットフォーム概念の中でモジュール化の程度をあげようとするるとどのような技術革新が要求されてくるのか、という点が自動車のようなモジュール分割による効率化に限界があると考えられてきた製品群が今後モジュール化に向かうのかを検討する際のケーススタディとなると考え、本章でとりあげる。

3.2 日産とフォルクスワーゲンの第二世代のモジュール化の特徴

①日産の CMF 日産自動車のモジュール化の歴史は、ルノー・モデュスとの最初の共用プラットフォームを使用したマーチ/キューブの開発（2002 年市場投入）に始まるとされる。キューブの開発部隊は、プラットフォーム共通化の制約から、実質的にモジュール化を志向し、部品設計に対応してきた。この時の経験が、その後の日産のモジュール化に寄与したとされる。

日産の第一世代のモジュール化は、単一のプラットフォームに対する部品の共通化を目指したものであったが、「プラットフォームと重量の関係」から、4 つのプラットフォーム（V-pf、B-pf、C-pf、D-pf）のうち、同じプラットフォームでも重量の幅が広く、結局、各プラットフォームで各重量ごとに部品をつくりなおしていた。

これに対して、2012 年に発表された第二世代のモジュール化は、CMF (Common Module Family) (4 + 1) と称される。「4 + 1」の意味は、4（エンジン、フロント・アンダーボディ、コックピット、リア・アンダーボディ）+ 1（電気のアークテクチャ）であり、モジュール間のインターフェイスは、物理的、電氣的、衝突安全性の 3 つの視点からルール設定されている。モジュール毎のバリエーションは、ガソリン車だと、エンジンが 2 種類、フロント・アンダーボディが 3 種類、コックピットが 3 種類、リア・アンダーボディが 3 種類といった基本設計数で対応できるようになっており、CMF(4+1)の考え方は、共有化を進めながらデザイン的にも性能的にも異なる車をつくれるようにすることであり、同じ部品をつくりながら、「編集性」をもたせたことが最大の特徴である。第一世代のモジュール化が同一プラットフォーム上での部品の共通化であったのに対して、第二世代のモジュール化は異なるプラットフォーム『クロスプラットフォーム』での、部品の共通化を志向したものである。したがって、部品の区分は、CMF 以後では、プラットフォームでくくるのではなく、重量でくくるように変更されている。また、電気のアークテクチャ部分では、ハードは共有、ソフトは個別化にというように仕分けている(日産自動車株式会社、2012 年 2 月 27 日プレスリリース)

これにより、日産とルノーの部品金額ベースでの共有化率は、6%から 53%に上昇し、共有化の対象として候補にあがる部品（実際に共有化されるかどうかは別として）は 40%から 80%に上昇し、部品コストも 2 割～3 割り低下すると想定されている。このように CMF は、従来のプラットフォーム別の部品共有化から、クロスプラットフォームな部品共有により、モジュール化の程度をあげることに成功したとされる。

②フォルクスワーゲンの MQB : 自動車製造のモジュール化は、1980 年代における欧州で GM オペルがコックピットモジュールを採用したことに始まるとされるが、ダイムラーやフォルクスワーゲンは、当初内製部品でのモジュール化を実施した後、積極的に外注化し、自社の組立ラインの簡素化と組立工数を削減し、物流改善や部品統合を含めて、全体とし

でのコストダウンを図ってきた。フォルクスワーゲンのモジュール化は、ミドルクラスの車が多いため、このクラスでのモジュール化を推進するということが起点となっており、そもそも共通のプラットフォームでの、部品の共通化という活動であった。「Polo」「Golf」「Passat」など、クラスによってサイズの異なるプラットフォームを用意し、これらのプラットフォームを横展開して様々な車種を実現することによって、開発の効率化やコストの削減を図ってきた。例えば、例えば Golf のプラットフォームは、グループ傘下のドイツ Audi 社「A3」、スペイン Seat 社「Leon」、チェコ Skoda 社「Octavia」などの同クラス車は以外にも、SUV（スポーツ・ユーティリティ・ビークル）の Volkswagen 社「Tiguan」も利用されている。しかしながら、異なる車種に展開する際には、そもそものプラットフォームがさまざまな種類の車種に使われることを前提として設計されていなかったために変更部分も多く、例えば、同じプラットフォームを共有する Tiguan と Octavia でも、車体にインパネを取り付けるためのブラケットは形状が異なるなどの弊害があった。同一プラットフォーム内でも部品の再設計作業を余儀なくされていたという意味では、日産の場合と共通している。

この問題に対応するため、2007 年から研究に着手し、フォルクスワーゲンは 2012 年に MQB（Modularer Querbaukasten の略、英語で「Modular Transverse Matrix」の略、横置きエンジン用車モジュールマトリックス）を導入し、プラットフォームをいくつかのモジュール（フォルクスワーゲンの呼び方ではツールキット）に分け、そのモジュールの組み合わせによって、ホイールベースやオーバーハング、幅などの寸法を柔軟に変更できるようにして、Polo クラスから Passat クラスまで、フォルクスワーゲン・グループのほとんどの横置き FF（前部エンジン・前輪駆動）車をカバーするようにプラットフォーム自体を設計し直している(日野 2012)。従来は 4 つのプラットフォーム毎にモジュール化を推進していたのを改め、異なるプラットフォーム自体を実現するために、モジュール化による共通化プラットフォーム「MQB」で実質的に異なるプラットフォームを共通部品で実現するようにした。これによりフォルクスワーゲンだけでなく、同社グループが有するブランドのアウディ、セアト、シュコダと共有する。ペダルからホイールセンターまでの距離は一定となるが、ホイールベース、ホイールサイズ、シートポジションなどは、車種に合わせて柔軟に変更が可能となっている。可変タイプ共通プラットフォームと呼んだほうがわかりやすい。MQB は、初めからバリエーション展開を前提に設計し、可能な限り部品種類をミニマムにするよう配慮しているのが、従来のプラットフォームとの大きな違いである。例えば、車種により異なっていたインパネの取り付けブラケットは、Golf、A3、Octavia、Leon ですべて同じ部品を使うことになっている。

MQB のもう一つの特徴は、今後のパワートレインの多様化に対応できるように設計されていることにある。同じ車体構造で、エンジン車、ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車、電気自動車、代替燃料車など、さまざまな種類のパワートレインを搭載できるように車体と動力源を一体で設計している。日産が、プラットフォームを超えて部品を共通

化したのとは別な形で、実質的なクロスプラットフォームなモジュール化を推進している。異なるプラットフォームを共通部品で実現するためにプラットフォームの設計自体にモジュール化を行うことにより、同一プラットフォーム上で実現しているモジュール化部分にも共通部分が発生するような変更を加えたことで設計する部品数の減少を実現した。このモジュールの共有化により、フォルクスワーゲンは開発コストの 20%減、開発組立時間の 30 % 減を目指すとしている。ゼロベースで車の設計を見直し、プラットフォーム自体もモジュール化の対象としたことで、モジュール間インターフェイスのルール化がより進んだものと解釈できよう。

③ 日産の第二段階のモジュール化を可能にした技術革新：

以上見てきたように、第二段階におけるモジュール化の着手のスタンスは、フォルクスワーゲンと日産では異なっている。フォルクスワーゲンのアプローチは、従来 4 種類あったプラットフォームをツールキット化することにより実質的に共通部品で異なるプラットフォームを実現し、これにより実質的に異なるプラットフォーム上にある部品数も減らすという発想の転換であるのに対して、日産のアプローチはあくまで異なるプラットフォームに対応するためにデジタル技術の進展を取り組んで、モジュール化の限界に挑んでいるという意味で、我々が今回持っている「デジタル技術の進展によるモジュール化はどこまで及ぶか」という問題意識に対する回答により近いものといえるだろう。どちらが最適なモジュール設計と言えるのかは現段階では不明である。

この日産の第二段階のモジュール化を可能にしたデジタル技術革新には、3つの側面があると執行役員の坂本秀行氏は説明している（2012年2月開催「テクニカルセンター30周年記念式典」でのプレゼンにて）。

第一は、「シミュレーション設計技術」の進歩にある。長年の実験データの積み重ねにより、実際の衝突実験とシミュレーション結果には差がなくなっておきており、モジュール間の組合せ後の微調整が可能になった。こうしたリアルとバーチャルの高い相関性により、衝突実験もシミュレーションで実施できるようになり、実際の衝突実験とシミュレーションには差がなくなってきた。これによりモジュール間の組合せ後の微調整が迅速にできるようになった。

第二に、「編集設計技術」の進歩である。部品点数を絞り基本パーツをマイナーチェンジすることによりクロスプラットフォームでの利用を実現するためには、基本設計における固定部分と変動部分の切り分けを効率よく実施する必要があり、共有化を実現するために「編集設計」という考え方が浸透してきた。設計プロセスでは、モジュール化により事前に設計情報を登録しておき、個別の部品を設計する際には、インターフェイス設計を実施する。3次元設計でも、ベースとなる部品をCADのライブラリーに登録しておき、スペックに対応する部品を取り出し、編集しながら設計される。設計情報のモジュール化と3次元設計を組み合わせることで、設計工数を削減しながら、多様な部品を効率的に設計できる。

共通部分がコピー&ペーストされ、車種ごとに最適化される過程が実現した、すなわち「設計のモジュール化」が自動車でも進展したということになる。

第三は、「機能統合と小型化」を同時に実現するための新たなモジュール間インターフェイス・ルールの設定にある。部品配置のルール化と呼び換えてもよいだろう。例えば、ボディー・コントロールモジュール (BCM) (パワーウィンドウなどの制御を行う電子部品ユニット) では、元々いろいろなところに配置していたが、電線の配置 (ワイヤーハーネス) が多様化しており、車種ごとに対応すると部品数が増えていくという問題点があった。このため、BCM を置く位置をルールで決めてハーネス (電線) も共通化することを実現している (ワイヤーハーネスの合理化)。また、キーレスエントリーの受信機も BCM に信号を送られるし、タイヤからの信号受信もこれまではそれぞれに受信機を設定していたのを 1 つのユニットでできるようにした (電波受信性能の設計割付という)。これも BCM の場所を固定すると機能統合と小型化につながるという例としてあげられる。

3.3. モジュール化の進展に必要な要素は共通しているか？

デジタル技術が自動車のクロスプラットフォームなモジュール化を促進したこれらの側面は、そもそもモジュール化を試みる際には、産業を超えて共通の現象として説明できるのか、それとも自動車などの機械装置に特徴的な要素があるのかという点は、「モジュール化はどこまで進展するか」を検討する上では、重要な検証ポイントになる。別の表現をとるならば、「機械製品、自動車、PC に限らず組立型の製品群には、エレクトロニクスや PC で発生した現象と同じく複雑化を処理し効率化を実現するために一定のモジュール化が進展し、そのモジュール化を実現する発想と技術は共通している」という考え方になる。「エレクトロニクスと比較して、自動車のモジュール化には物理的な限界があり、一定以上のモジュール化は進展しない」という作業仮説をおいても検証内容は同じになる。これは同じくチップデザインのモジュール化の限界はどこにあるのか、それは自動車のモジュール化の限界との類似点はあるのかという問いにも発展する。自動車、半導体におけるシステムオンチップ (SoC) の設計を 3 つの側面から比較しておく。

集設計というアプローチ：半導体の設計では、所謂ムーアの法則による「3 年で 4 倍のトランジスタ数の増加」に対して、設計者 1 人が 1 か月あたりに設計できるトランジスタの数は、3 年で 2 倍弱のペースでしか増加していないとされ (FCRP. 1997)、設計の生産性の危機が唱えられ、設計の抽象度をあげると同時に、設計資産の再利用が図られるようになった。例えば、システムオンチップの典型であるメディアプロセッサでは、ビデオ、オーディオ、グラフィックスなど分野の異なるデジタルメディア処理を、別々のハードウェアモジュールあるいは IP (Intellectual Property) として個別に開発しておき、これらの IP を組み合わせて必要な機能変更や追加を行い、SoC を短期間で開発するハードウェアとソフトウェア双方を再利用する設計スタイルが採用されている (松井 2003)。これは編集設計の概念

そのものであり、設計資産を IP ライブラリー化することで設計効率をあげるというアプローチとしては共通している。半導体設計における IP は元々 SoC に使われることを想定せずに作成されたものであるため、再利用時に、バスなどに相互に接続するためだけに設計変更を行う必要に迫られるといった弊害が指摘され、プラットフォーム（この場合のプラットフォームとは技術的基盤という意味であり、自動車での車体ではない）の利用が進められた。各ハードウェア IP のバスへのインターフェイスや相互接続の方法などを合わせておいて、いろいろな IP を設計変更せずに再利用するという手法がとられた。

ハードウェアモジュールとソフトウェアモジュールが設計資産としてライブラリー化され、それらが相互接続されるようインターフェイスが整備されるというのが半導体でのモジュール化であり、自動車における編集設計も設計情報の再利用を想定し、再利用可能な形でライブラリー化されたという点において、半導体と同じ状況が実現したと見るべきであろう。

②シミュレーション技術の役割：半導体設計に使用されるシミュレータは、大きく分けて、プロセスシミュレータ（製造プロセスをコンピュータ上で再現）、デバイスシミュレータ（デバイスの電気的特性を再現）、回路シミュレータ（回路の動作を計算）、Mixed-Modeシミュレータ（デバイスの特性を計算すると同時に外部回路の特性を回路シミュレータとして計算し、デバイスと回路を組合わせた解析を行う）などがあるが、基本的に設計された回路が動作するかどうかは事前のシミュレータでのバーチャルな計算結果が、実際のリアルな製品と差なく予測できるかという点が設計品質の分かれ目となっている。

自動車における衝突実験では、実際の衝突実験の実測値の積み重ねによるノウハウの蓄積がシミュレーション技術の向上に重要であったことから、半導体におけるシミュレータよりも、より製品特異的で汎用性が低い技術的な難易度が高いシミュレーション技術に属している。リアルとバーチャルの相関関係が一定以上の閾値を超えた段階でモジュール化への対応が可能になり、設計効率の向上に供したということであろう。

モジュールベースで設計した後に再構築された試作品をシミュレータで確認する作業は、いかなる製品においても不可欠なプロセスであり、その精度とスピードが実用に供するレベルに達した段階で、編集設計された製品の性能チェックが実現するという観点からは、自動車と半導体で起きていることはモジュール化に伴って必然的に発生する同じ現象と捉えることができる。

③機能統合と小型化を実現するためのルール設定：半導体におけるレイアウト設計では、シリコンチップ上に回路をどう配置するかを決める作業であり、多数の入出力端子の位置を決めて各ブロックをどう配置するかを決めるものである。モジュール化された IP がシステム設計、回路設計された後にレイアウト設計されるが、自動車における BCM 配置を固定化するルールは、半導体におけるレイアウト設計に相当している。レイアウトが決まれば

CAD が配線を自動設計するが、レイアウトが下手だと、配線できない、途中の配線が長くて性能が出ないといった問題が発生する。ワイヤーハーネスはまさに配線の問題であり、自動車の電子化が進展するについて半導体設計と同様にレイアウト設計も配線の合理化という観点で重要になっている証左であろう。

既存設計資産のライブラリー化による編集設計技術、構築した試作品の動作シミュレーション技術、モジュール分割におけるインターフェイスのルール化の対象の拡大といった側面は、モジュール化が必然的に持っている「製品をモジュール分割した後、製品設計のためにモジュールを再構成する」というプロセスを実現していくための条件として捉えることができる。この条件は、「モジュール化を実現する発想と技術」は自動車と半導体では共通だが、製品特性によって、モジュール化による効率向上の経済的なインセンティブ、モジュール分割の難易度、製品毎にカスタム化した後のモジュール再統合した設計に対するシミュレーションの難易度の差が、モジュール化が実現する時期を決めているのではないかと作業仮説を現状ではたてることはできないのではないかと考えている。自動車における第一世代から第二世代へのモジュール化の質的変更は、モジュール化を実現する技術革新が進めば、従来は困難と考えられてきた製品群に対しても効率化を求めてモジュール化が進展していく未来を示唆しているようにも捉えられる。

(加納信吾)

4. 「技術・サービス」の融合（2000年以降）

20世紀がまさに幕を閉じようとしていた頃、Newsweek誌が技術とサービスの融合に関する特集“Convergence: Embracing a millennium of change”を組んだ。彼らが着目したのは、わずか20年という短い期間に“デジタル”技術が臨界点に達し、急速に普及したという点であった。彼らの主張によると、これが成し遂げられたのは単なる個別技術の有用性の革命的变化ゆえではなく、通信技術や情報処理技術、インターネットとコンシューマ・エレクトロニクス技術などが、デジタル技術により結び付けられた“収斂 (convergence)”の結果であるという。その影響は、もともとは異業種のものであったこれらの技術がcross-pollination（本来の意味は「他花授粉」）することによって生み出された、全く新しい世代の製品やサービスとして認められる。この場合、Convergenceの本質は、新しいやり方で技術を結びつけるということにあるとしている。

ただし、Convergenceは必ずしもデジタル技術にのみ使われる言葉ではない。ネイサン・ローゼンバーグは1978年に、19世紀の工業化の過程を分析した著書を著した。彼によると、当時多くの産業に共通する比較的少数の生産性の高い加工プロセスと機械（例えば金属加工における、旋盤やボール盤、粉砕機、グラインダーなど）が導入され、生産性の革命をもたらした。そして、これらのプロセスは共通する問題（例えば、パワーの伝送や制御、摩擦の低減など）を抱えていたため、結果的に多くの産業部門が同種類の技術的問題を抱えるようになっていたという。このように、ローゼンバーグは武器製造業も裁縫ミシン製造業も自転車製造業も、その技術ベースが非常に高い関連性を持つことを指して、“技術的収斂 (technological convergence)”という表現を用いている。

本章では、次節以降、技術とサービスの融合を検討の対象とするが、“収斂 (convergence)”や“融合 (fusion)”という用語については、使用者による認識の差が大きいため、本稿で用いる言葉の定義としてChang and Yenのエッセイを参考として、技術とサービスの融合による下記のようなイノベーションの4類型を採用する。なお、Chang and Yenは融合する側とされる側にそれぞれ技術とサービスのイノベーションを配置した4象限の分類を示しており、1Q～4Qはそれぞれの象限に対応する；

		融合する側 (Fused with)	
		Technology Innovation	Service Innovation
融合される側 (Existing)	Technology Innovation	1Q	2Q
	Service Innovation	3Q	4Q

1Q (第1象限) : Technology fusion innovation (技術に技術を融合)

例としてはメカトロニクス、オプトエレクトロニクス、異業種融合などがあげられる。

Rosenberg による technological convergence の概念は、異業種が直面する同種の課題を共通の技術イノベーションにより解決するという現象を指しており、技術融合によるイノベーションや生物学の収斂進化(後述)とはやや異なる。

2Q (第2象限) : Technology servitization innovation (技術にサービスを融合)

製造業による下流市場(よりコンシューマに近い)への進出、非技術的イノベーションもしくは value creating services (物流、ブランド化、アフターサービス等)の取り込み。例としては ZEROX コピー機のビジネスモデルがあげられる。

3Q (第3象限) : Technology enabled service innovation (サービスに技術を融合)

技術を利用した新しいサービスもしくは既存サービスの新たなデリバリー。銀行の ATM マシン、オンライン旅行代理店などが例としてあげられる。ICT はサービス産業によって最もよく利用される技術となっている。

4Q (第4象限) : Service integration innovation (サービスにサービスを融合)

既存サービスの新たな組み合わせ。広告と放送、保険と金融のワンストップ・サービス、ガソリンスタンドとコンビニエンスストアの併設などが例としてあげられる。

4.1 IT 革命とソフトウェア技術

技術とサービスの融合に関する考察を行うとき、日本の IT 技術の巨人であるソニーや松下の「コンテンツ事業」のケースは非常に示唆に富んでいる。彼らのコンテンツ事業への進出は結果的にうまくいかなかったが、この原因を考えるには、IT 革命におけるソフトウェアの持つ意味を再考する必要があるのではないだろうか。本節ではまず、テクノロジー・サービス・コンバージェンスにおけるソフトウェアの役割に焦点をあてたい。

1980 年代の初頭以降、バイオテクノロジーと新素材および情報通信 (IT) は、最も発展が期待される 3 つの技術分野として広く認められてきた。実際、これらの分野にコンピタンスを持つ世界的大企業の数、近年非常に増大している。確かに、バイオテクノロジーは医薬品や農産物における製品開発の方法を変え始めているし、科学的な基盤が発展するにつれ、素材技術も着実に進歩しつつある。しかしながら、現在までのところこれら 3 種の中で最も革命的な効果を産業にもたらしているのは IT 技術であろう。1970 年代には、いわゆるマイクロエレクトロニクス革命に伴って、半導体技術分野における目覚ましい成功が見られた。特に目覚しかったのは、急速に微細化し安価になるチップ上に、膨大な量の

情報を格納し処理する技術の開発に成功したことである。その後、情報の伝送に関しても同様の発展が見られ、その結果 1990 年代には IT 革命という語句が頻繁に使われるようになった。

しかし、イノベーション研究の泰斗である英国のキース・パビットは、2001 年の著書の中で以下の点を指摘している；

“しばしば見落とされがちであるが、IT 革命においておそらくマイクロエレクトロニクス革命よりも重要なのは、ソフトウェア（すなわち情報を操るための手段）技術の進歩が目覚しかったということであろう。”

ソフトウェアそのものが有する特徴としては、多層レイヤー構造とコミュニケーション構造が指摘されている。現代のソフトウェアの多層レイヤー構造は、ハードウェアと一体化したワイヤードロジックやマイクロコード、上位のアプリケーションに API や ABI などの基本的なインタフェースを提供するオペレーティングシステム、ユーザインタフェースであるウィンドウシステムやデータベース管理システムなどのミドルウェア、ユーザのニーズに合わせて様々な機能を提供するアプリケーションソフトウェアなどから構成される。そして、これらのレイヤー間やコンポーネント間で相互依存的なコミュニケーションが行われる。このような構造は、ハードウェアの急速な進歩と同時に発展を遂げてきたソフトウェア工学がもたらした成果でもある。

初期のソフトウェアは、コンピュータのハードウェア・メーカーによって開発され、厳重に管理されていた。しかし、ハードウェア・コストの急激な低下と安価な規格品の出現、ソフト／ハード・インタフェースの標準化と公開によって、ソフトウェアにも新たに 2 種類の主要な供給源が出現した。すなわち、独立系のソフトウェア・サプライヤー（例えば、マイクロソフト、グーグルなど）と、自らソフトウェアエンジニアを抱える、大規模システムの運用事業者（例えば、銀行や小売チェーン、航空会社など）である。その結果、ソフトウェアの開発に関する技術軌道は、コンピュータ・ハードウェアに関する技術軌道と次第に分離されるようになった。ソフトウェア産業の特徴としては、以下のような点が指摘されている；

1. イノベーションが、主に累積的（Cumulative）な形（既存コードの改良など）で発生する
2. 他のハイテク産業、特に、製薬産業、バイオ産業、ハードウェア産業に比べて資本集約度が低い
3. 技術変化のスピードが速く、製品ライフサイクルが短い
4. 特許権以外に、著作権による保護や OSS(オープンソースソフトウェア)を含め、複数の代替的なイノベーション促進手段が存在する。また、特許による保護のあり

方も歴史的に変化してきている

ハードウェアの飛躍的な進歩が始まった 1960 年代から 1970 年代には、コンピュータシステムの扱う問題やその処理の複雑性が爆発的に増大し、制御不能となる「ソフトウェア危機」が懸念されていた。ソフトウェア開発は当初の予算や期間を超過し、できあがったソフトウェアも低品質であったり要求仕様を満たせない例が頻出したりし、また人間にとってのプログラムの可読性が低く保守がますます困難になっていった。そのような状況の中で、ソフトウェアの設計と生産を体系化し効率の良いものとするためのソフトウェア工学が発達した。ソフトウェア工学は、構造化プログラミングやオブジェクト指向プログラミングなどの方法論を生み出し、人間にわかりやすい開発環境である Java や C 言語、Basic、SQL、Perl などの高級言語や、グラフィカル・プログラミング・ツール、高性能なコンパイラ、共通言語基盤などの標準化活動を生み出し、ソフトウェア危機を緩和することにより成功している。1990 年代以降は、パーソナルコンピュータとインターネット、さらに最近ではスマートフォンの普及もあいまって、ソフトウェア開発が一般ユーザのレベルにまで“民主化”され、ソフトウェア革命が顕在化することとなった。

以上をまとめると、IT 革命については以下のようなことが言えるであろう；

- マイクロエレクトロニクス革命とは、電子チップ（マイクロプロセッサやメモリ）の設計と製造に関するものである。一方、IT 革命とは、マイクロエレクトロニクス革命とソフトウェア革命の両方を含むものである
- 前者（マイクロエレクトロニクス革命）は、その製造工程に強固に結び付けられており、主として高度に洗練され要求条件の厳しいハードウェアの設計と製造から成り立っている。それが切り開いた技術機会は、主として電子機器産業（もしくはその周辺）に属する企業に向けたものであった
- 後者のソフトウェア革命は、設計と製造機能だけではなく、経営や流通、販売機能にも関連している。これにより、製造とサービスの両方にまたがるあらゆる産業セクターにおいて、技術的な機会が開かれた
- これらの違いは、二つの技術に参入する際の、参入障壁の大きさの違いに反映されている。チップ製造には難易度と要求水準の高い設計および製造設備への、巨大な投資が必要とされ参入障壁は高い。このため、半導体チップ技術の開発と製造は、世界で最も知識及び資本集約的な活動の一つである。一方、ソフトウェアに関しては、参入障壁はより低く、専門的なアプリケーション開発に必要とされるのは、ソフトウェアに関する技能と安価な PC やワークステーションだけである
- チップ製造は、製造業における既存の大企業が行う大規模な事業であり、それはあらゆる種類の政府統計データ上に明確に現れている。一方、ソフトウェア開発は大企業も行

うが、しばしばサービス業中の特殊な小企業として隠蔽されたり、もしくは小売業や金融業における大きな組織の活動の中に埋もれたりしており、既存の統計データにはほとんど現れない。利用可能な数少ないデータである米国NSFの‘Science and Engineering Indicators’によると、米国内の製造業で雇用されている科学者と技術者の数が、サービス産業で雇用されている者の数に1989年に逆転されたことが示されており、特に金融業と流通業においてソフトウェア専門家の割合が高いことが推定される

- さらに近年、ソフトウェア開発に関するインタフェースの標準化や、安価なツールの提供、インターネットによる流通経路の広がりなどにより、ソフトウェア・イノベーションの民主化が進展しつつある

4.2 ソフトウェアによる技術とサービスのコンバージェンス

IT技術が関係するイノベーションの事例は多いが、技術にサービスを融合させる(Technology servitization : 2Q)タイプであっても、サービスに技術を融合させる(Technology enabled : 3Q)タイプであっても、見方によればそのキーとなっているのはソフトウェア技術であるということができる。IT技術発展の初期においてハードウェアからソフトウェアを分離し、インタフェースを標準化してオープン化したということそのものが、マイクロエレクトロニクス技術にとっての用途(サービス)を広げる、servitizationのイノベーションを生じる原動力となった。この点について、現代的なマーケティングの開祖の一人と称されるセオドア・レビットは、以下のように述べている；

“ほとんどの工業製品の中核的価値はサービスによってもたらされる”、“サービス業などというものは無い。他の産業に比べてサービスの要素が大きい産業、あるいは小さい産業がみられるだけだ。誰もがサービスにかかわっているのである。”

そして、ソフトウェア工学の発展により、使いやすい開発ツールや訓練されたソフトウェア技術者を手に入れたサービス企業は、自らがそれまで提供してきたサービスに関して、ソフトウェアを通じてマイクロエレクトロニクス革命の成果を取り入れ、より便利で高速で幅広いサービスというイノベーションを達成(enabled)した。

ただし、商品(モノ)と同様に、サービスにおいても差別化は競争優位を得るための重要なポイントであるという点に留意する必要がある。サービス事業を展開する企業が、システムベンダーが提供するターンキー・ソリューションを導入するだけでは、競争優位を得ることはできず、せいぜい一時的な競争劣位を避ける意味しか持っていない。これが、様々なサービス事業を行う企業が自らソフトウェア技術者を雇用し、独自の付加価値をつけたソフトウェア開発を志向する理由である。さらに、OECDのオスロ・マニュアルは、

イノベーションを4種類（プロダクト・イノベーション¹、プロセス・イノベーション、組織イノベーション、マーケティング・イノベーション）に分類しているが、企業におけるSAPなどのERPソフトウェア（統合型業務ソフトウェア）の導入と普及は、組織イノベーションやBPR（ビジネス・プロセス・リエンジニアリング）、マーケティング・イノベーションとも密接に関係している。

コラム： 生物進化における収斂進化（convergent evolution）と交雑（fusion）

生物学では、系統的にはほとんど類縁関係にない生物種が、非常によく似た形状や特質を獲得する現象を収斂進化（convergent evolution）と呼ぶ。これは、生存環境や他の生物との競争関係などが共通の淘汰圧となり引き起こされると考えられている。たとえば鳥類とコウモリ、翼竜の飛翔、魚竜とイルカの形態、フクロネコとネコ（オーストラリアの有袋類と他の地域の哺乳類全般）、植物でもスイレンとハスなどが代表例としてあげられる。これらは、決して種を超えた交雑（fusion）がもたらした結果ではない。このような収斂進化は器官レベルでも見られる。たとえば、哺乳類のモグラと昆虫のケラの前足（土を掘るために適した形状）、脊椎動物と頭足類の目（原始的な動物の段階で分岐し、目は独自に進化したか、結果的に非常によく似た構造を持つ）、などが例としてあげられる。

原則的に、生物の異なる種間では個体同士の直接的な交雑は起こりえないが、ウイルスと宿主間やウイルス（特にレトロウイルス）もしくはトランスポゾンを経た異種の宿主間で遺伝子レベルの交雑は起こりえる（起こってきた）ことが明らかにされている。これは、有性生殖において生殖細胞の減数分裂時に生じる遺伝子組み換えプロセスを補完し、生物種の遺伝的多様性を推進するメカニズムの一つであると考えられている。

社会・経済や産業の進化を生物進化のアナロジーから考えると、個別企業や事業部が生物の種に相当し、製品やサービスが個体に相当するであろう。この場合、「異業種からの参入」がconvergenceに相当するとみなすことができる。生物と同様に、多様性の保持が淘汰圧を生き抜くための基本戦略であろう。

¹ OECD の定義では、新しいモノと同様に新しいサービスのイノベーションは、プロダクト・イノベーションに含まれている。

4.3 ソフトウェアによる抽出と転用

ソフトウェア技術は、先に述べたように本来、イノベーションが累積的 (Cumulative) な形で発生するという性格を有している。これは、ソフトウェアの開発において、既存のコードを元にした改変や再利用が広く行われていることを反映している。コードの再利用は、ソースコードのレベルでも、またコンパイラやアセンブラが生成した中間的なオブジェクトコードのレベルでも見ることができる。

一般的に、ソフトウェア技術において汎用性の高い複数の関数やプログラムを再利用可能な形でひとまとめにしたものは、ライブラリと呼ばれている。ライブラリは、それ単体ではプログラムとして動作させることはできないが、他のプログラムに何らかの機能 (サービス) を提供するコードの集まりであると言えることができる。このように、ソフトウェアの様々な階層間のインタフェースとして提供されているマイクロコードやファンクションコール、API、SQL、CORBA などは、それぞれ、より上位階層で必要とされる共通のサービスを抽出し、抽象化し、標準化したものであり、汎用的な電子回路という下層のハードウェアと、個別の利用目的である上位のサービスの間をつなぐ典型的な *inversion/porting* オペレータである。

このように、抽出と転用は、ソフトウェアそのものの階層化とモジュール化に関しても多用されるオペレータであるが、ソフトウェアにより抽象化され転用される機能 (サービス) は、コンピュータやデータベースにとどまらず、たとえば GPS システムを介した位置情報や交通情報、COMTRAX を利用した経済活動情報、iTunes と Podcast のようなメディア・エンターテイメント・コンテンツなどに広がりつつある。また最近では、ハードウェアとしてのコンピュータや記憶媒体、アプリケーションソフトウェアなどの抽象度をより高め、SAAS (Software As A Service) やクラウド・コンピューティングなどのサービスをネットワーク経由で提供し利用するような形態も普及し始めた。この際にユーザ側に必要とされるのは、ヒューマン・インタフェースのためのハードウェアとソフトウェアを持つ汎用端末のみであり、IT 企業とサービス事業者の区別は、レビットが予言したように、ユーザから見る限り意味がなくなりつつある。

冒頭で述べたソニーや松下の失敗は、彼らが自らをサービス提供企業であると規定することに失敗したことが大きな原因ではないだろうか。少なくとも Apple は、iPod や iPhone というハードウェアを iTunes というソフトウェア技術によりコンテンツサービスのプラットフォームそのものへと転用し、自らをサービス企業として位置づけることに成功していると言えよう。

コラム： 生物進化における抽出（inversion）と転用（porting）

ある生物種が新たな淘汰圧にさらされた時に、それ以前から持っていた構造や特性を利用（転用）して、淘汰を生き延びるような新たな形質を獲得する現象が前適応（preadaptation）と呼ばれている。例として、恐竜の羽毛が転用された鳥類の羽と翼、魚類の平衡器官が転用された陸上脊椎動物の耳などがあげられる。

よく知られているように、現在の鳥類は恐竜の獣脚類から進化したと考えられているが、鳥類の翼を構成している羽や羽毛はもともと変温動物である恐竜が体温を保つために進化させた器官であり、ティラノサウルスも羽毛で被われていたという証拠が見つかっている。羽毛と羽はいずれも軽く表面積が大きいという共通の特徴を持つ（抽出）が、小型の獣脚類が樹上生活に適応する過程で、最初は便利な移動手段として羽毛から転用した羽で滑空能力を獲得し、その後徐々に本格的な飛翔能力を獲得し、鳥へと進化していったと考えられている。ここでいう前適応とは、鳥は飛ぶために羽を進化させたのではなく、恐竜が元々羽毛を持っていたためにそれを転用し飛ぶことができるようになったという考え方である。ただし、鳥が本格的な飛翔能力を獲得するためには、翼以外にも、互いに融合した背骨や、胸筋を支持するための胸骨の竜骨突起、気嚢による効率的な呼吸などの転用と進化が必要であった。

（鈴木潤）

5. [技術・サービス]融合についての進化論的分析

我々が知りたいのは、これから一体どうなるのかという将来の見通しである。しかし経営学研究の多くは、現在高い業績を上げている企業事例を取り上げ、現在の一断面だけを切り取ってその仕組みを分析しているのである。クリステンセンは、そのような状態を指して、経営学はスナップショット的な分析に終始していると評している。

現在うまくいっている戦略であっても、市場環境や技術が変わることによって、機能不全に陥る可能性がある。それゆえに、有用な知見を得るためにはスナップショット的な静的分析だけでは不十分である。時間軸を入れ込んだ進化的視点の導入が意義を持つのはそのような理由による。なぜ現在のような状態になったのか、そしてこれからどうなるのかということに関する洞察を提供するような分析が必要なのである。そのためには、特定産業の成長過程を一定期間にわたって定点観察することが有効である。

代表的なものには、クリステンセンの HDD 産業に関する研究がある。クリステンセンは HDD 産業の発展過程を歴史的に分析することで破壊的イノベーションを見出したのだが、それは近年実務家に最も大きな影響を与えた理論として広く知られている。産業の盛衰スピードが一層早くなる時代、時間軸を入れ込んだ進化的視点からの研究は、ますます必要になるに違いない。

そのような問題意識から、本章はモジュール化する産業の発展形態を進化的視点から議論する。まず、進化的視点から分析するための概念枠組みを議論したうえで、特定産業を取り上げ、その産業の発展過程を定点観測する。取り上げる産業は、工作機械産業である。工作機械は、機械を作る機械であり、母なる機械としての役割を果たしている。自動車や家電など多くの人工物は、工作機械によって作られる。それゆえローゼンバーグは、工作機械産業を、新しい技術やスキルを集積し他産業に波及させる中心的役割を果たすと論じた。産業の規模はそれほど大きくないのだが、そのような戦略的役割を持つ工作機械産業を取り上げる意義は、そのような点にある。

5.1 モジュール化した産業の進化軌跡

多くの産業でモジュール化が進展している。モジュール化した製品と産業はそのモジュール性ゆえに、モジュール化の論理に従って産業は発展する。それは以下のようなメカニズムに従って発展するであろうと推論できるのである。

最初に、一度モジュール化した製品システムであっても、要素技術の進歩に適合的なアーキテクチャを求めて、モジュール分割の仕方を継続的に探索するというプロセスが存在する。一度モジュール化しても、それは決して終着点という訳ではないのだ。

モジュール分割のダイナミクスをもたらす大きな要因は、要素技術の進歩と従来のモジュール分割との不適合である。その不適合ゆえに、新しい要素技術に適合的な新たなモジュール分割を探索し再創造を試行錯誤することになる。

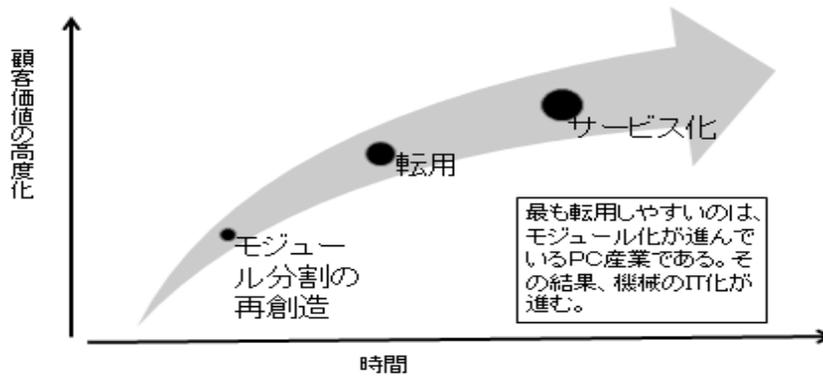
例えば、複数の LSI の機能を 1 つにまとめたシステム LSI や表面実装技術や 3 次元実装技術などによって、高集積・高密度な実装が可能になり、これまでと同じスペースで多くの機能を実現できるようになると、最適なモジュール分割は変わるに違いない。特に、クローズ・モジュール製品の場合、そのデザイン・ルールは社内で閉じているために、オープン・モジュールに比べて変更に必要なコストは少ない²。その場合企業は、要素技術の進歩を反映させた適合的なモジュールへの分割方法を探索する強いインセンティブを有することになる。

次に、モジュール分割の方法が上記のようにダイナミックに変化する過程で、ある一定条件を満たす場合に、他の産業領域に属するモジュール製品と統合が促進されるというプロセスが働く。このプロセスが可能になるのは、ボードウィンらが指摘したように、モジュール製品には転用オペレータが働くからである。他産業で開発されたモジュールが低コストで転用可能になることによって、いっそう高度な顧客価値を持つ製品を生み出すことができるようになる。

さらに、その結果として機械の IT 化が加速され、それが新たなサービスを生む。モジュール化した産業の典型は PC 産業である。そのために PC 産業で開発された様々な技術は他産業に容易に転用可能であり、それが機械の IT 化を加速する。そのような機械の IT 化は、機械の稼働情報の収集と分析を可能にするために、それらを活用した新たなサービスを生み出す土台になる。

² クローズド・モジュールとオープン・モジュールを区別して議論することが必要である。クローズド・モジュールの場合、モジュール間のインタフェースは企業内部で共有されるにとどまるために、分業の範囲は企業内での分業にとどまる。産業構造にまで大きな影響を与えることはない。他方、オープン・モジュールの場合、モジュール間のインタフェースは社会的に共有されるために、分業の範囲は企業内分業を超えて社会的分業にまで広がる。その結果、産業構造にまで大きな影響を及ぼす可能性がある。

図表1 モジュール化した産業の進化軌跡



つまり図表1に示すような3つの段階を踏んで、モジュール化した産業は発展すると考えられる。それはモジュール製品に働く転用オペレータの働きによって、IT機能の機械への転用が促進され機械のIT化がすすむことで、機械に付随した情報処理機能を活用した新しいサービスが生まれるという方向である。

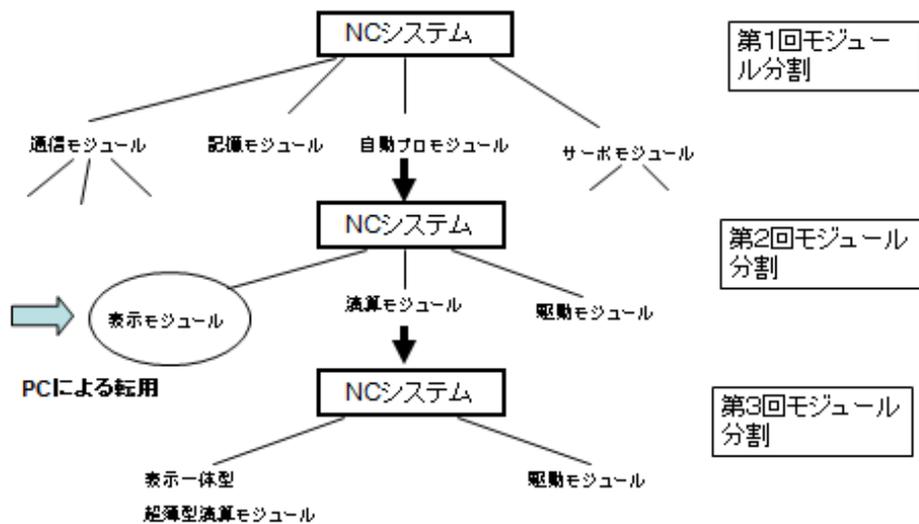
5.2 工作機械産業の進化軌跡：機械のIT化とサービス化

ここでは工作機械産業が以上の3つの段階を経て、サービス化の方向に向かって次第に発展していったということ为例証する。工作機械のIT化は、工作機械の頭脳部分であるNC装置にパソコン機能が転用されたことから始まった。NC装置が持つ従来の機械制御機能に新しく情報処理機能が付加され、パソコンNCが生まれたのである。

① 第1段階：最適なモジュール分割の再創造過程

NC装置のアーキテクチャは、1975年にはじめてMPU(Micro Processor Unit)を搭載して以降、最新の先端要素技術を取り込みながら、それに最適なモジュール分割を探索してきた。その結果今日まで、NCアーキテクチャは以下に記述するように3回の異なるモジュール分割を実現してきた。図表2はファナックのNC装置を例に取り、モジュール分割の再創造過程を表している。

図表2 NCのモジュール分割の再創造



NC 装置への MPU 導入後、モジュール化に向けた製品設計の努力が継続され、1985 年に開発されたシリーズ 0（ゼロ）では、ハードウェアのモジュール化を実現した。それは図表 2 に示しているように、通信機能、テープ記憶、自動プログラミング機能などの各機能が、それぞれ MPU を備えたハードウェア・モジュールとして独立し、それらのモジュール間がファナックバスというファナック独自の共通インタフェースによって結合されたアーキテクチャになっている。つまり、1まとまりの機能要素毎にハードウェア・モジュールと呼ばれるプリント板が対応しており、その意味では機能要素と構造要素の対応関係は単純である。このモジュール化によって、他の機能に影響を与えることなく自由に機能追加が可能になり、工作機械メーカーの要望にあわせた自由な機能選択が可能になった。これが第一回目のモジュール分割である。

その後、プリント板を 3 次元的に利用するという画期的な 3 次元実装技術を NC 装置に採用したことによって電子部品の高密度実装が可能になった。このような先端要素技術の採用はモジュールへの分割方法に影響を与え、それが NC 装置の新たなモジュール分割を促進した。その結果、NC ハードウェアを表示部、演算部、駆動部と 3 つの大きなモジュール・ユニットに分割し、ユニット間のインタフェースはファナック独自にルール化したインタフェースを使用するというアーキテクチャが生まれた。1991 年に発表されたシリーズ 16 はこのアーキテクチャを採用しており、ヒューマン・インタフェースを実現する表示部、演算部、駆動部と大きく 3 つのユニットから構成され、それらのユニットの間を物理的には光ファイバーケーブルを用いて、ファ

ナックシリアルバスと呼ばれる独自の標準インタフェースで結合している。これが第二回目のモジュール分割である。

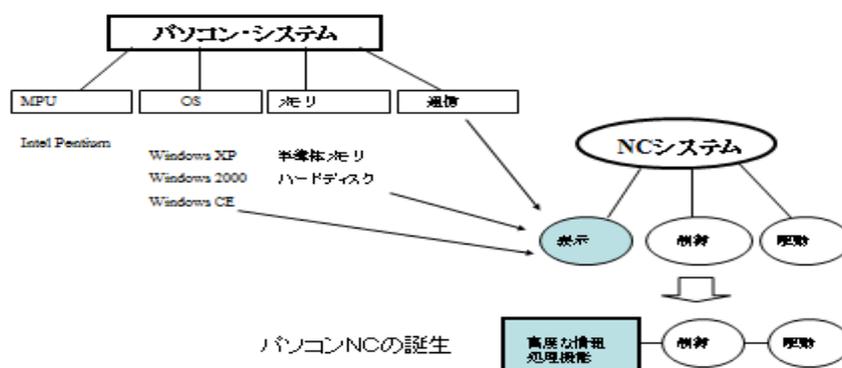
その後、更なる最新要素技術の採用によって一層小型化が進行し、表示部と演算部が一体化したNC、つまり、表示器一体型演算部と駆動部という2つの大きなユニットで構成されるアーキテクチャが可能になり、1997年に発表されたシリーズ16iは、そのアーキテクチャを採用している。それは表面実装技術などの採用によって、NCの制御ボードを液晶表示器の裏に収納し、実質的には液晶表示器とNC制御ボードは一体化した。結果として、奥行きわずか60mmという超薄型NC制御ボードが可能になり、従来のNC装置と比較して最大で約2分の1のスペースを削減した。これが第3回目のモジュール分割である。

このように要素技術の進歩を取り込むための最適なモジュール化を求めて、企業はモジュール分割を再創造するプロセスを繰り返すのである。

② 第2段階：パソコン機能のNC装置への転用

NCシステムは、このように次第に小型化していったが、パソコンとのモジュール・レベルでの統合が可能になったのは、第2回目のモジュール分割であった。その分割方法は、表示部、演算部、駆動部という大きな機能ごとにモジュール化されたものだが、この分割方法が表示モジュールへのパソコン機能の転用を可能にし、その結果、図表3に示すようにパソコン機能とNC装置との統合が可能になった。

図表3 ファナックによるパソコンのNC装置への転用



パソコン機能の表示モジュールへの転用によって、表示モジュールは、従来の単なるNCデータの表示機能だけではなく、ネットワーク機能やデータベース機能などの広汎で柔軟性の高いパソコン機能を、NCオペレータに提供することが可能になった。

例えば転用されたパソコン機能の1つであるデータベース機能を利用して、NC オペレータは工具ファイルを管理したり、独自の操作画面を作成してヒューマン・インタフェースを自由に構築できるようになった。

パソコンと NC の統合には、2つの方法が存在する。第1の方法は、市販パソコンをそのまま、表示モジュールに転用する方法である。この場合、ファナックの NC はクローズド・モジュールでインタフェースが公開されていないために、市販パソコンとファナックの NC では異なるバスの規格を採用している。そのため、バス規格を相互に変換する必要があり、そのためのインタフェースボードを介して市販パソコンと NC 装置の演算モジュールを連結する必要がある。演算モジュールや駆動モジュールを修正する必要なく、インタフェースボードの追加のみでパソコン NC が可能になるのである。

第2の方法は、インテル MPU、Windows XP や半導体メモリーなどの市販モジュールを市場から調達して、組み合わせてパソコン機能を作り出し、それを表示モジュールに転用する方法である。このようにして作り出したパソコン機能搭載のファナック独自表示ユニットを PANEL i と称する。この場合インタフェースボードは必要なく、市場で調達できるモジュールから原理的には任意のモジュールを組み合わせて、機械加工現場の厳しい作業条件に適したパソコン機能が搭載可能になる。例えば、高い信頼性を要求する作業環境に備えて WindowsCE を採用し、ハードディスクの代わりに半導体メモリーを採用した PANELi を作る事が可能になる。このようなことは、単に市販パソコンを表示ユニットに転用しただけでは実現不可能であろう。

パソコンと NC 装置は異なる技術軌道を歩んできた製品であり、産業分類も市場も異なる。パソコンは一般ユーザーを対象にした消費財であり、他方 NC 装置は、工作機械に付加されて工作機械を自動制御するシステムであり生産財である。市場も顧客も異なるが、製品アーキテクチャには共通点がある。

パソコンはオープンであるのに比べて、NC 装置はクローズドという違いはあるが、両者ともモジュール型の製品アーキテクチャを採用しているということである。パソコンは、ディスプレイ、マザーボード、キーボードなど複数のモジュールで構成されているが、オープン・モジュールのために、各モジュールは市場から調達することが可能である。他方 NC 装置の場合、表示部、制御部、モータ部などのモジュールで構成されるが、これはクローズド・モジュールであるために、市場からの調達はできず自社内調達に限定される。このように、産業分類も市場も異なるパソコンと NC 装置の間で、モジュール・レベルでの転用がおこりパソコン NC という新たな製品コンセプトが生まれたのである。

繰り返しになるが注意を払う必要があるのは、第3回目のモジュール分割、すな

わち、表示器一体型超薄型演算モジュールと駆動モジュールという2つのモジュール・ユニットで構成するアーキテクチャは、一層小型化した先進的アーキテクチャなのだが、パソコンNCの実現にとっては妥当ではなかったということである。パソコンNCを実現するには、パソコンの情報処理機能に加えて、演算機能と駆動機能の両方が必要であり、そのためには、表示モジュール、演算モジュール、駆動モジュールに分割したアーキテクチャで、表示モジュールにのみパソコン機能を転用する必要があったからである。

③ 第3段階：機械のIT化とサービス化

パソコンとNC装置との統合は、ファナックなどNC装置メーカーのみならず、工作機械メーカーなどNC装置のユーザーによっても原理的に可能になった。そのため技術力のあるユーザーは、市販のパソコン機能をNC装置の表示モジュールに独自に転用しようとする。一般的に工作機械メーカーは、ファナックが提供する標準的なアプリケーションだけでは差別化できないために、独自色を出したいという動機を強く持つからである。森精機のように技術力のある工作機械メーカーは、表示モジュールへのパソコン機能の転用を自分たちで独自に行い、自社の工作機械に最適化したパソコン機能の開発を行うのである。

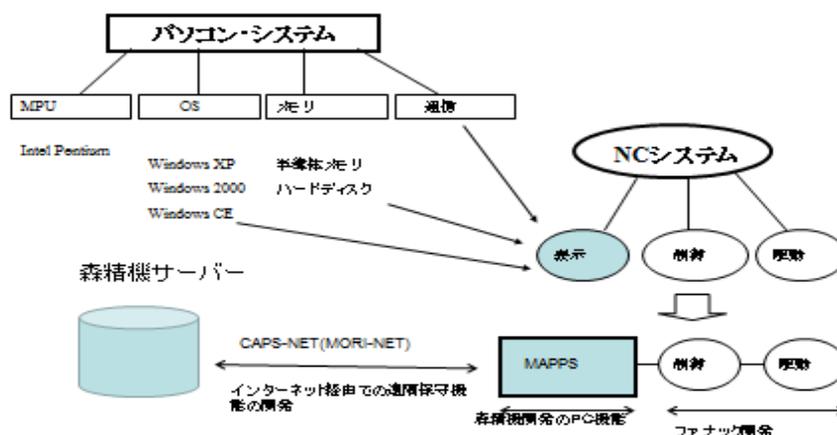
森精機製作所は、日本を代表する工作機械メーカーだが、従来NC装置はファナックや三菱電機などNCメーカーが提供する標準NC装置を使用していた³。これらのメーカーからNC装置を購入し、自社の工作機械に装着していたのである。だが、自動車メーカーなどからは、NC装置メーカーによって操作パネルの操作性が違うために操作が難しいという苦情が来ていた。そこで森精機は、汎用PCをベースにした独自の操作パネルを開発し、それをNC装置の表示モジュールに転用することで、NC装置メーカーに依存しない森精機独自の共通操作パネルを持つことができると考えた。この構想の前提にはいうまでもなく、表示モジュール、演算モジュール、駆動モジュールという3つのモジュール・ユニットで構成される第2回目のモジュール分割が存在している。

つまり、図表4に示すように、演算部や駆動部はファナックなどNCメーカーのものを採用するが、表示部に森精機独自のパソコン機能を転用した操作パネルを作り、それらを組み合わせることでNCシステムを作り上げるという設計思想である。1997年から開発を開始し、2000年にMAPPS(Mori Advanced Programming Production System)1を発売開始した。現在はそれを改良した、MAPPSIIIを完成し全機種に採用している。これによってNC装置メーカーのいかにかわらず、NCの操作方法や表示方法が森

³ 森精機の事例は、藤嶋誠氏(当時 常務取締役 開発製造本部 本部長)、山岡伸行氏(当時、管理本部リーダー)に対して2006年5月16日に行ったインタビュー、および森精機製作所の製品カタログをもとにして作成した。

精機独自の社内共通仕様になった。

図表4 森精機によるMAPPSの開発



MAPPS は市場から調達可能な PC の技術をベースに設計されている。森精機は汎用 PC 機能の表示ユニットへの転用に加えて、対話型機能とインターネット遠隔保守機能という 2 種類の独自機能を主として開発した。対話型機能は NC プログラムの自動作成を支援する機能であり、従来 NC 装置メーカーも提供していたが、それを飛躍的に機能強化した。これによって工作機械のオペレータは、簡単に NC プログラムを作成することができるようになった。

インターネット遠隔保守機能は、MAPPS に無線通信機能を組み込むことで、携帯電話網経由で NC 装置内部や工作機械内部の状態を監視できる機能である。これによって、いつでもどこにいても、工作機械の状態を携帯電話経由で知ることが可能になった。例えば、アラーム情報転送機能では、アラームや加工完了などの通知をパソコンや携帯電話などの顧客の指定アドレスに電子メールで送信できるし、さらに機械の稼働情報を、自宅や外出先のパソコンから随時閲覧することができる。これらの機能を使うことで、顧客は機械のダウンタイムを最小限に抑えることができるのである。

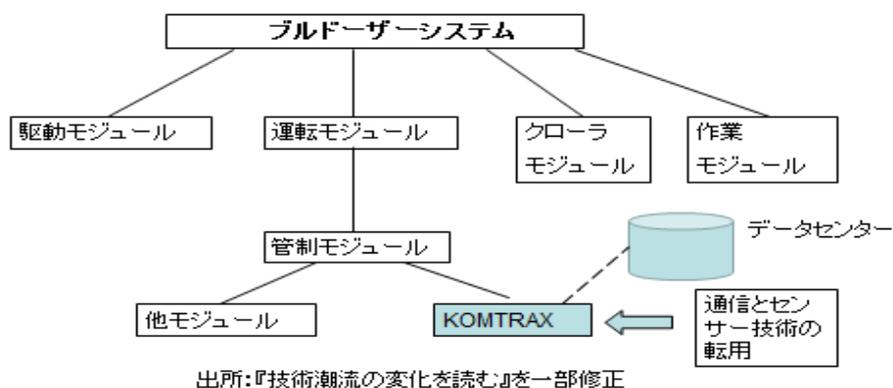
これらは NC 装置メーカーにはない森精機独自の機能であり、NC 装置メーカーよりも工作機械メーカーの方が、工作機械内部の状況や操作方法に関して熟知しているからこそ提供できる機能でもある。これら新機能の創造は、NC 装置のユーザーである工作機械メーカーによって行われた革新という意味において、ユーザー・イノベーションと言っても良いだろう。

5.3 建設機械産業のIT化とサービス化

上記のような進化経路は何も工作機械産業だけに限定されたものではない。建設機械産業もまた同様のパターンを辿った。

コマツが開発したKOMTRAX（コムトラックス）は、転用により建設機械をIT化し、新たなサービスを生んだ。KOMTRAXは、建設機械内部にとりつけた装置と遠隔地にあるデータサーバーから構成されている。前者は、GPSのアンテナとデータ通信用のモデム、およびコントローラで構成されており、センサーで察知した機械内部の様々な稼働情報をGPS情報とともに、遠隔地にあるデータサーバーに送る。機械に装備されたKOMTRAXは、消耗部品情報や燃料残量など機械の様々な稼働情報を、遠隔地にあるコマツのデータサーバーに送信する。コマツは、2000年からこのシステムを自社の建設機械に導入しており、当初はオプション機能だったが、2002年から標準装備とした。現在、世界中で稼働しているコマツ製機械の約1割に導入されており、2020年までには全ての機械への導入を目指しているという。

図表5 IT関連技術のブルドーザーへの転用



KOMTRAXの開発に際して、コマツはブルドーザーの運転管理システムを図表5に示すようにモジュール化した。このようなブルドーザーシステムの中で、KOMTRAXは管制モジュールにぶら下がる1つのモジュールを構成している。

重要な点は、次の2点である。第1は、ブルドーザーがモジュール化されているために、KOMTRAXを管制モジュールの下に導入しても、ブルドーザーの他の構成部品には影響を及ぼさないという点である。もしKOMTRAXの導入に際して、ブルドーザーに大きな変更を加えなければならないとしたら、これは大きなコスト負担を強いることになる。しかし、ブルドーザーはモジュール化されていたために、当該モジュール以外に大きな変更は必要なかったのである。

第2に、KOMTRAXを構成するセンサーやGPSアンテナなどの技術は他の産業で開発された技術であり、コマツ自身はその研究開発を行ったわけではないという点である。重要なことは、他産業でどのような技術が生まれているのかを察知し、自社に使えるような技術を迅速に転用することである。

このようにして、他産業で開発された技術がKOMTRAXとして建設機械に転用されたことで、建設機械がIT化され、そこで収集された様々な機械稼働情報とCSS-Netが連動することで新たなサービスが生まれた。

従来、アフターサービスに関する部品カタログや修理カタログなど様々な情報は、紙媒体で蓄積されており修理のたびに膨大なマニュアルを検索していた。そこで1998年から、これらの膨大な情報をデジタル化し、CSS-Netとしてデータベース化した。KOMTRAXで収集した機械に関する様々な稼働情報を、KOMTRAXのデータサーバーを経由してCSS-Netに連携することで、容易に検索できるようになった。これによって、コマツ、販売代理店、ユーザーの3者は、アフターサービスに必要な様々な情報を共有し、シームレスに検索できるようになった。

このようなサービスは、コマツと販売代理店さらに顧客に対して次のような便益をもたらす。コマツは、このような情報を販売代理店や顧客に公開することで、顧客サービスを充実できる。従来販売代理店は、顧客に対しては基本的に御用聞きしかなかった。機械に関して何か不都合はないか、そして必要なものはないかを、顧客に対して聞きにゆくしか、顧客の状況を知る方法はなかった。だがKOMTRAXのデータを活用し機械の稼働状況を分析することで、顧客に必要なことが先回りしてわかるようになり、例えば部品の在庫状況の最適化や故障の予防が可能になった。

このような顧客サービスの向上以外にも、KOMTRAXを使うことで、コマツは精度の高い需要予測を可能にした。マクロな経済統計や各地の販売状況によって需要予測を行い、それをベースにして設備投資や生産計画などの方針を決めて行くのだが、KOMTRAXが提供する独自データを分析することで、より精度の高い需要予測を行うことが可能になるのである。このような独自データが最も威力を発揮するのは、マクロな経済統計の信頼性がそれほど高くない中国のような国の需要動向を分析するときである。例えば、2004年の中国政府による金融引き締めにより、建設業界は過剰在庫に陥った。しかしコマツは、機械の稼働時間が減少しているというKOMTRAXの独自データにより、過剰在庫の予兆を事前に察知し、工場ラインを早くとめることができたという⁴。

このように建設機械産業の進化もまた、工作機械産業とほぼ同様の進化軌跡をたどったと考えて良いだろう。

⁴ 『日経ビジネス』2007年6月4日号「コマツが究める」

5.4 考察

工作機械産業と建設機械産業という2つの産業事例をみてきた。特に工作機械産業では、モジュール化以降の発展経路を詳細に分析することで、モジュール化した産業の発展軌跡を例証した。これらの産業では、他産業で発達した技術を転用することで、従来の製品価値を低コストで高度化し同時にサービス化した。従来のNC装置は制御機能のみしかなかったが、パソコンとNC装置の統合によって、パソコンの高度な情報処理機能が低コストでNCの制御機能に付加され、NC装置の製品価値が高度化した。同様に、従来のブルドーザーにセンサーやGPSを転用することで、顧客情報管理機能がブルドーザーの従来価値に付加され、ブルドーザーの製品価値が高度化されたのである。

このようなモジュール・レベルでの転用、それによる機械のIT化とサービス化は、これら2つの産業事例に限定されるわけではない。モジュール化がすすむ産業では、モジュール・レベルでの転用が産業境界を超えて低コストで可能になるために、業種を問わずこのようなダイナミクスが促進される。

そのためには次の2つの条件が満たされなければならないということを再度確認しておきたい。第1に、転用されるモジュールと他のモジュールとの間に機能的な補完性がなければ統合するメリットはない⁵。ここで機能的補完性とは、ある機能と他の機能とが相互に価値を強化しあうような関係にあり、それによってシステム全体の価値が高まるような場合をいう。モジュールがシステムに転用されることによって、他のモジュールとの間で相互に機能を補完しあい、それによってシステム全体の価値を一層高めることができる場合に、統合することは意味を持つ。だがこのような機能的補完性がいくら存在しても、統合に要するコストや作業量が膨大であれば、転用する合理性は失われるであろう。そして転用に要するコストや作業量は、他のモジュールとの相互依存性に大きく依存し、それゆえに次の条件が必要になる。

第2に、転用先システムで、転用されるモジュールと他のモジュールとの間に、相互依存関係が生じないように転用される必要がある。相互依存関係が存在する場合、外部から新たなモジュールを転用することで、他のモジュールを修正する必要が生じ、その結果システム全体の信頼性の低下やコストの増加につながる。相互依存性が存在

⁵補完性 (Complementarity) とは、一方の存在が他方の存在事由になっているような関係をさす。例えば、コンピュータのハードウェアとソフトウェアは補完的な関係にある。また、青木 (1996) によれば、制度や仕組みには制度的補完性 (institutional complementarity) が存在するという。そしてその補完性ゆえに、1つの経済システムに存在する多様な制度や仕組みは、その経済システムの強靱さを一層強めていると考えるのである。

しないために、極めて低コストで新たな製品コンセプトを生み出すことが可能になるのである。相互依存関係が生じないようにするためには、転用先システムが、転用されるモジュールにうまく適合するようなアーキテクチャである必要がある。つまり、転用先システムのモジュール分割は、転用されるモジュールと適合的でなければならない。つまりNC装置にパソコン機能が転用されてパソコンNCが誕生するには、上記の条件が満たされることが必要だった。それは、先進的な第3回目のモジュール分割ではなくて、第2回目のモジュール分割で初めて実現したのである。

ここで提示した産業発展の軌跡は、モジュール化が進む産業で働く転用オペレータの働きによってもたらされるために、モジュール化が進んでいけば業種を問わず観察されるに違いない、というのが本稿の主張である。

(柴田友厚)

6. 社会システム基盤成立へのシナリオ

コマツの KOMTRAX の事例は、作り手から受け手への価値の流れに加え、受け手が送り出す価値を作り手が受け止め活用することで、より高い価値を受け手に送り出せるようになることを示している。すなわち、KOMTRAX により建機の位置情報、稼働情報がコマツ本社にフィードバックされることで、より精度の高いアフターサービスや販売サービスなどを、コマツが顧客に提供することを可能にしているのである。この観点からは、「技術・サービス」融合を実現するひとつの重要な要素は、作り手と受け手の間の「価値の循環」であるといえる。

本章では、このような「価値の循環」を広範に生み出す技術基盤（以下、「社会システム基盤」と呼ぶ）の成立・普及過程において、モジュール化パラメーター「Porting」を応用した技術戦略がどのように優位性を発揮したかについて、事例を分析する。

6.1. 定義

広範に利用され得る「社会システム基盤」とは、産業の種類によらず、それゆえ価値の受け手にも特定の想定をおかず、政府、企業から家庭、個人に至るまで、経済社会の規模によらず、かつ地域的に偏在することなくグローバルに利用可能な技術基盤であると、本章では定義する。こうした観点から、社会システム基盤となる技術は、いわゆる GPT(General Purpose Technology)としての要件を部分的に具備することになる。

モジュール化パラメーター「Porting」については、ボールドウィンらは「あるシステム用に開発された隠れたモジュールを他のシステムに移し、作動させること」と定義し、基本ソフトウェア(OS)の UNIX を事例として、その効果を説明している(ボールドウィン・クラーク 2004)。もともと、ソフトウェアが具備する能力のひとつとして「Portability」という概念があり、日本工業標準審議会 JIS X0129-1(ISO/IEC 9126-1)は「ある環境から他の環境に移すためのソフトウェア製品の能力」と定義している。このように「Porting」については、ソフトウェア分野においてその概念が形成され、事例が生み出されてきた。

鉄道、電話などの例を引くまでもなく、社会システム基盤の成立・普及過程においては、複数の方式が提案され普及を競い合うことになるが、本章では「Porting」のソフトウェアへの適用方法について、方式の違いが明確に識別できる事例を選択し比較する。

6.2. 分析対象

本章では、いわゆるスマートフォンを事例として選択し、特に iPhone と Android OS を搭載したスマートフォン（以下、Android 端末と呼ぶ）を比較対象とする。

スマートフォンとは高機能携帯電話の総称で明確な定義はないが、概ね携帯電話用無線ネットワークなど移動通信網を通じて通話・インターネットへのアクセスが可能な携帯端

末で、アプリケーションをダウンロードして多目的に利用可能なものとされる（総務省 2012）。また、多様なアプリケーションの供給を可能とするためには、OS 仕様の一部もしくは全部が公開され、あるいはアプリケーション開発のための開発環境が公開されていることが望ましいと考えられる。

以下、このスマートフォンが、分析対象として前項で述べた要件を満たしているかについて述べる。

6.2.1. 「社会システム基盤」への適合

調査会社ガートナーおよび総務省の平成 24 年版情報通信白書によれば、スマートフォンのエンドユーザー向け販売台数は 2009 年第 1 四半期から 2012 年第 3 四半期までの累計で約 14 億台に達しており、2011 年の販売台数は約 4 億 7 千万台で 2009 年実績のおよそ 2.7 倍に伸びている。

また、地域別にみた販売台数の内訳は、2011 年で北米・欧州が 47.2%、日本を含むアジア太平洋地域が 39%となっており、特に後者において販売台数は 2009 年の約 4.2 倍に伸びている。また、英国の調査会社カナリスは 2013 年の見通しとして、インド、ブラジル、ロシアへのスマートフォンの出荷台数は、2012 年実績に対してそれぞれ 61.4%、40.0%、30.1%の伸びを示すだろうと予想している。このように、スマートフォンはまだ普及途上にあるため一部地域的な偏在は認められるが、全世界的に利用が進みつつある。

一方、上述したようにスマートフォンはインターネットへのアクセスが可能であり、Web、動画、音楽、電子メールなどの各種サービスを、パソコンと同様に利用することができる。すでにインターネットについては、多くの産業がサービスを提供または利用しており、スマートフォンもその主な利用手段の一つとして、今後位置づけられていくだろう。

このように、スマートフォンはグローバルに普及が進行し、個人だけでなく多くの産業により利用される汎用性を具備しており、本章が定義する「社会システム基盤」になり得る技術の一つと見なせると考える。

6.2.2. 「価値の循環」への適合

次に、スマートフォンを通じたサービスにおいて、「価値の循環」が発生しているかを見る。例えばタクシー会社日本交通では、独自アプリケーション「日本交通タクシー配車アプリ」をスマートフォン向けに無料配付している。利用者が出先からこのアプリケーションを使用してタクシーを呼び出すと、日本交通は利用者スマートフォンの GPS による位置情報から付近の自社タクシーを手配し、利用者に到着予定時間とタクシー番号を通知する仕組みになっている。

また、損害保険会社ソニー損保では、独自アプリケーション「トラブルナビ」を無料配付している。利用者は交通事故時などにこのアプリケーションを使うことで、救急や警察、ソニー損保への連絡など事故対応を手順に沿って的確に行え、さらにこのアプリケーション

ンからロードサービスを呼び出すことで、GPS 機能により利用者の位置を正確にソニー損保へ伝えることができる。さらにこのアプリケーションによって、利用者は現場に急行するサービススタッフの現在位置を、地図上で確認することもできる。

さらに、仙台市消防局では、救急搬送用の病院紹介サポートシステム「BSS(Byoinsyokai Support System)」を運用し、その端末としてスマートフォンと独自アプリケーションを使用している。このシステムでは主要病院のベッド、医師、重症患者受け入れ状況などの情報提供を受けており、現場に到着した救急隊員が専用アプリケーションで GPS 位置情報を BSS に伝えることで周辺の病院の情報を確認し、受け入れ可能な病院に絞って連絡を取ることで、現場出発から病院収容までの時間短縮を可能にしている。

このように、サービス提供者が利用者から送信される情報を元にさらに充実したサービスを提供可能になるという「価値の循環」が、さまざまな産業において実現しつつある。

6.2.3. 「Porting」への適合

調査会社ガートナーによれば、スマートフォンを OS 別に分類すると、「iOS」を使用する Apple 社製端末 iPhone と Android OS を使用する端末を合わせて、2012 年第 3 四半期における世界の販売台数の約 86%を占めており、iPhone・Android 端末を販売台数で上回る OS は他に存在しない。そこで本章では、スマートフォンにおいて主流となっているこの 2つの OS を使用した端末に注目する。

2つの OS のうち、iOS は Apple 社が 2007 年に開発したもので、同社製のスマートフォン(iPhone)やタブレット端末等に搭載されており、同社製以外の端末に搭載することは許諾されていない。ただし、同 OS 上で稼働させるソフトウェアの開発環境は、2008 年に公開されている。

一方、Android OS は、Google 社などを中心に 2007 年に組織された業界団体「Open Handset Alliance」によって提唱された OS で、基本的にオープンソースとして 2008 年に公開された。ソースコードが公開されているため、様々なハードウェア上に移植(Porting)可能で、韓国の Samsung 社、LG 社、中国の ZTE 社、台湾の HTC 社、インドの Micromax 社、米国の Motorola 社、日本メーカー各社など、世界各国のメーカーが Android OS をさまざまなハードウェアに移植した端末を製造している。

「Porting」可能な OS を搭載する Android 端末と、Apple 社以外は「Porting」不能な OS を搭載する iPhone を比較することで、「価値の循環」を可能とする社会システム基盤たるスマートフォンの普及過程において、「Porting」が及ぼした効果について確認することができる。

6.3. 分析フレームワーク

6.3.1. 標準化プロセスの類型

技術の成立・普及過程は、最終的には市場で支配的な地位を占めることを目的として、

各技術を支持する企業間で争われる技術選択の過程であり、技術の標準化のプロセスと見ることができる。

そして、技術の標準化プロセスには、いくつかの類型がある。例えば、パソコン OS である Windows と Mac OS は、それぞれマイクロソフト社とアップル社が、インターフェース部分を除いて内部の詳細は原則非公開として開発したもので、結果的に Windows が市場で支配的となったことにより、マイクロソフト社は大きな利益を得た。

一方で、有志やフォーラム型の組織により、内部の仕様を原則公開として開発された Linux 系 OS のような例もある。この場合、開発者が得る利益は極めて限定的で、開発された OS を採用した各企業が独自のハードウェアに組み込むなどして収益化を目指し、Windows など OS 製品を搭載した機器と市場シェアを争うことになる。また、ITU-T など国際標準化組織において統一規格について話し合い、勧告などの形で標準規格を決定、発表することで、普及を目指す場合もある。

このような標準化プロセスにおいては、各企業による競争と協調が頻繁に行われることになるが、Farrell and Saloner(1988)は標準の合意に至る調整プロセスを 3 通りにモデル化し、ゲーム理論によってプレイヤーの利得や標準決定までの時間について分析した。3 モデルとは、各プレイヤーが最初からそれぞれ異なる技術を志向して行動する「bandwagon」モデル、プレイヤーは何度でも話し合っ合意を形成して協調した行動をとる「committee」モデル、各プレイヤーがお互い話し合うと同時に市場で行動することも許す「hybrid」モデルである。なお、「hybrid」モデルでは話し合いと行動を同時に行えるが、結局話し合ったのちに各自行動をとることが均衡点になる。

分析の結果、「bandwagon」モデルはプレイヤーによる技術の採択は早いが利得は低く、「committee」モデルは技術の採択に非常に時間を要するものの一定の利得が得られ、「hybrid」モデルは技術の採択が比較的早く利得は最も高いと判明した。

その後、標準化プロセスについていくつかの分類法が提案されてきたが、近年では上記 Windows の例や「bandwagon」モデルに該当する「デファクト標準化」、上記 ITU-T の例や「committee」モデルに該当する「デジュリ標準化」、そして上記 Linux の例や「hybrid」モデルに該当する「コンセンサス標準化」の 3 類型に分類することが提案されている（新宅・江藤 2008, 立本 2011）。

デファクト標準化では、異なる技術同士の市場競争により標準が確立し普及が促進される。デジュリ標準化は公的標準化機関など非市場プロセスにより標準を策定し、決定した標準は貿易上の取り決めなどにおいて一定の拘束力を持つため、普及過程における市場競争も限定的となる。これらに対しコンセンサス標準化は、コンソーシアムなど非市場プロセスにより標準が策定されるが、デジュリ標準化のような公的拘束力はなく、同じ標準を採用した製品同士、あるいは他の標準を採用した製品との間で激しく市場競争をしながら普及を目指す。1990 年代以降、DVD 規格や Linux、Web ブラウザ(HTTP/HTML 規格)など、コンセンサス標準化による標準確立の事例が散見されるようになってきた。

6.3.2. 社会システム基盤(Platform)成立のシナリオ

一方で、児玉(2008)は社会システム基盤成立に関するシナリオプランニングの分析フレームワークを提示している(図1)。

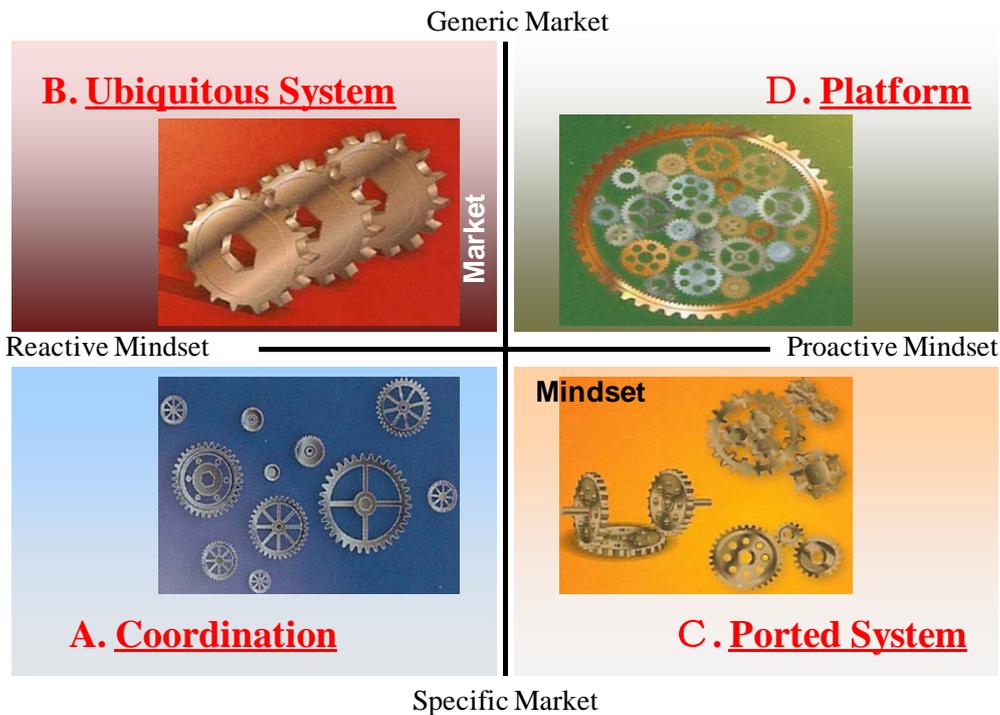


図1 シナリオ作成のためのフレームワーク(児玉 2008)

図1において、横軸「Reactive Mindset」とは自社の技術を普及させるため他社との産業内競争に集中することを意味し、「Proactive Mindset」とは業界内外の企業間で協調して新技術の確立を目指すことを意味する。また縦軸「Generic Market」とは汎用的、包括的にまとめ上げられた技術を市場に出すことを意味し、「Specific Market」とは限定的、部分的な技術を個別に市場に出すことを許容することを意味する。

この2軸により識別される4象限は、「A.Coordination」が現在の競争状況、「D.Platform」が社会システム基盤となる技術の成立を意味し、A から D に至る中間過程として、「B.Ubiquitous System」「C.Ported System」を想定している。上記の2軸定義から、「B.Ubiquitous System」は主に自社の技術により完成させた包括的な機能を持つ製品で他社と市場競争するシナリオとなり、事例としては Windows と Mac OS の争いなどが該当すると考えられる。一方「C.Ported System」は、業界内外の企業間で技術標準を策定した上で、その技術を各企業が様々な分野の機器に適用していくシナリオとなる。例えば、開発者コミュニティによって仕様合意され作成された Linux について、中核(カーネル)部分のみが制御機器の組み込み OS として移植(Porting)されたり、大幅に機能拡張されてスーパーコンピュータの OS として移植されたりした事例が該当するものと考えられる。こ

のシナリオでは、機能を部分的に切り出して特定用途のシステムに移植する過程で、モジュール化パラメーター「Porting」が作用している。

6.3.3. 分析フレームワークと論点

シナリオ「B.Ubiquitous System」「C.Ported System」に該当すると考えられる事例と、各標準化プロセスの事例が一致することからもわかる通り、図1のシナリオプランニングにおいて、標準化プロセスの選択はキー・ファクターとして作用している。即ち、デジュリ標準化の選択は公的標準化機関により世界的な標準を策定し、標準に拘束力を持たせることで「A.Coordination」から直接「D.Platform」を目指そうとするものであり、デファクト標準化の選択は「B.Ubiquitous System」のシナリオを、コンセンサス標準化の選択は「C.Ported System」のシナリオをそれぞれ経た上で、最終的に「D.Platform」を目指そうとするものである。

この3つのシナリオのうち、デファクト標準化によるシナリオは自社製品の市場独占により大きな利益が期待できることから、競争戦略の観点から最も研究されてきている。しかしコンセンサス標準化については、コンソーシアムなどによる標準策定の増加が1980年代後半以降に見られたことから、研究蓄積が少なく不明な点が多い（立木 2011）。そこで本章の分析においては、先行研究が指摘する不明点の中から、主に2点に着目する。

その一つは、製品パフォーマンス（機能・性能）の問題である。コンセンサス標準化により合意された標準を採用することは、互換性確保によるスイッチングコストの低減、補完財提供者の増加によるネットワーク効果や規模の経済の獲得など、主に経済的な利得獲得に有利と考えられる。しかしデファクト標準化は、外部で策定された標準にとらわれず、自社単独ないし限定的な企業グループ内で技術の開発・調整を綿密に行えるため、製品性能の向上と独自機能の提供に有利と考えられる。コンセンサス標準化により生み出される製品が、デファクト標準化により生み出された製品に対してパフォーマンスの点でどのように対抗するかが、一つの論点になる。

もう一つの問題は、市場に参加する各企業が獲得する経済利得の大きさである。Farrell and Saloner(1988)は、コンセンサス標準に該当するモデルにおいて利得が最大になることを示したが、これはゲームに参加するプレイヤー数がデファクト標準化などと同数であるという強い制約をおいている。しかし実際の事例では、標準を採用した製品の利得を最大化するために、コンソーシアム等で策定された標準は無償ないし安価なライセンス料で広く利用可能とする場合が多く、結果としてコンソーシアムの標準策定作業に参加せず成果だけを利用する「フリーライダー」の増加を招く。標準採用により製品差別化の難しい市場におけるプレイヤーの大幅な増加は、激しい価格競争を招き個々の企業が獲得できる経済利得は大幅に減少してしまう。例えば、DVDプレイヤー・レコーダーの国内価格は発売開始後8年間で当初の約4分の1程度にまで下落しており（延岡・伊藤・森田 2006）、Webブラウザは当初ネットスケープ社・マイクロソフト社が有償で販売していたが、その後双

方とも無償化している。このように、コンセンサス標準化の参加企業は、標準策定からも普及過程からも大きな経済利得が得られない可能性が高いが、それでもなおこのシナリオを選択させる誘因は何か、どのようなプレーヤーがどのような利得を最終的に得るのか、これがもう一つの論点である。

6.4. 事例分析と考察

6.4.1. iPhone と Android 端末の成立・普及状況

Apple 社のスマートフォン iPhone は 2007 年 1 月に発表され、同年 7 月に発売された。iPhone の OS である iOS は、ソースコード公開はもちろん他社へのライセンス供与も行っていないが、iOS 上で実行可能なアプリケーションを開発するための開発環境は、2008 年 6 月から開発者向けに提供されている。

一方、携帯端末用 OS である Android OS は、2007 年 11 月に Google 社を中心に結成された業界団体「Open Handset Alliance(OHA)」により、構想が発表された。OHA の設立メンバーは米国の Qualcomm 社や Motorola 社、韓国の Samsung 社、台湾の HTC 社など 34 社で、日本からは NTT ドコモ、KDDI が参加していた。発表当初から、オープンソースとして Android OS を公開する方針を OHA は表明しており、さらに発表直後には早くもアプリケーション開発環境を無償公開した。Android OS を搭載した携帯端末は 2008 年 9 月に発表され、同時に Android OS のソースコードが無償公開された。

以上の経緯から、図 1 のフレームワークにおいて、iPhone はデファクト標準化によりシナリオ「B.Ubiquitous System」に進み、Android 端末はコンセンサス標準化によりシナリオ「C.Ported System」に進んだものと見なせる。

調査会社ガートナー社が発表している 2009 年以降の世界のスマートフォン販売台数を、OS 別にグラフにしたものが図 2 である(図 2 右は同じデータを OS 別の占有率でみたもの)。なお、ガートナー社では仕様の全部ないし一部が公開された OS を採用し、アプリケーション開発者に開発環境が提供された、移動体通信に対応する端末(タブレット端末を除く)を、スマートフォンとしている。

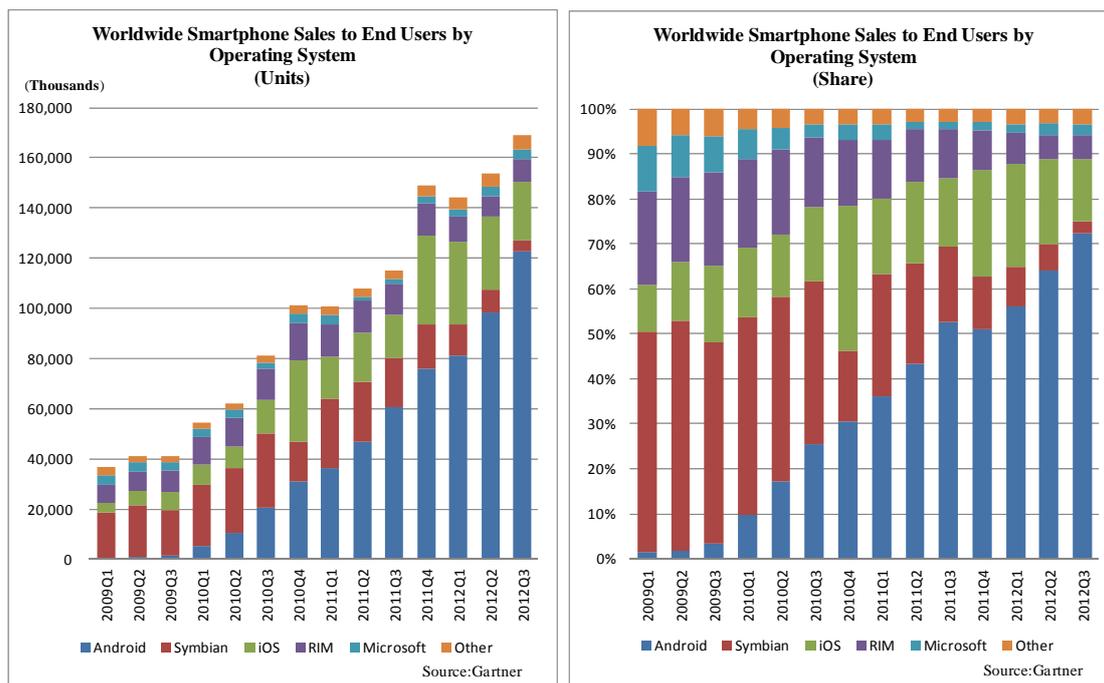


図 2 世界のスマートフォン販売台数 (OS 別)

2009 年第一四半期には、世界のスマートフォン販売台数の約 49%を、「Symbian OS」を搭載した携帯端末が占めていた。Symbian OS は英 Symbian 社が開発した OS で、2000 年 11 月に初めてこの OS を搭載したスマートフォンが、フィンランドの Nokia 社から発表された。以降、ソニー・エリクソン社やモトローラ社などが採用し、日本でも NTT ドコモの i-mode 端末用の OS として採用が広がった。

その後、2008 年 6 月に Nokia 社が Symbian 社の買収と業界団体「Symbian Foundation」の設立、Symbian OS のオープンソース化を発表したが、これらは明らかに上述した OHA の設立 (2007 年 11 月) を意識したものと考えられる。Android より遅れて Symbian OS のソースコードは 2009 年 2 月に公開されたが、全てを公開したわけではなく、ユーザーインターフェースなどの一部のコードの公開にはライセンス契約を必要とした。

以上の各 OS の成立経緯から、iOS は当初からデファクト標準化を、Android OS はコンセンサス標準化を選択しており、Symbian OS は当初デファクト標準化を選択し、Android OS 発表以降にコンセンサス標準化に転換を図ったが、仕様公開において Android OS ほど徹底できなかったと見なせる。

図 2 は各 OS の普及の経緯と見なせるが、iOS を搭載する iPhone は 2009 年第一四半期にはスマートフォン販売台数の 10%程度だったものが、2012 年第一四半期には約 23%にまで拡大し、その後減少に転じている。一方、Android 端末は 2009 年第一四半期にはわずか 2%程度だったものが、その後ほぼ一貫して増加して、2012 年第三四半期には約 72%に達し支配的な地位を占めつつある。逆に Symbian OS 搭載機の占める割合はほぼ一貫して減

少して 2012 年第三四半期には約 3%にまで低下し、その過程で「Symbian Foundation」は 2011 年 3 月までにライセンス管理以外の活動を停止し、そのライセンス管理業務も 2011 年末までに Accenture 社に移管された。

この普及経緯を見ると、標準化プロセスの選択の他に、いわゆるネットワーク効果やスイッチングコストの問題が作用している可能性に注意する必要がある。

まずネットワーク効果の観点で見れば、iPhone と Android 端末はほぼ共通の無線技術を採用しており、無線ネットワークの利用において双方差はない。双方で自由に通話可能であるほか、電子メールや SNS などインターネット上のサービスも双方から利用可能で、基本機能について差は事実上存在しない。これら端末の主たる補完財はアプリケーションになるが、上述したように両端末ともアプリケーション開発環境が無償公開されており、操作性の差も少ないことから開発コストに大きな差はないと考えられるほか、アプリケーションは複製が容易で規模の経済が発生しにくい。したがって、直接的にも間接的にもネットワーク効果は極めて限定的にしか作用していないと考えられる。

次にスイッチングコストの問題については、操作性について両者はほとんど違いがないほか、広く利用されている主要なアプリケーションはどちらの端末でも利用可能で、一部有償のアプリケーションについては買い換えが必要となるが、そのコストは一本数百円程度であり、パソコンの OS 変更に伴って発生するコストとは比較にならない。また、双方からのデータ移行も比較的容易であり、近年はクラウド上にデータを保管する端末利用者も増えており、今後クラウド利用の進展により移行コストもますます低減していくと考えられる。このように、スイッチングコストの問題も極めて限定的にしか作用していないと考えられる。

以上から、iPhone・Android 端末の普及過程においては、標準化プロセスの選択と、それによって実現される製品パフォーマンス（機能・性能）と価格の問題が、大きく作用していると考えられる。

6.4.2. 製品パフォーマンス（機能・性能）と価格

ここでは、携帯端末に関して市場が成熟し、機能・性能に対する利用者の関心が高いと考えられる日本市場と、市場が未成熟で、コストに対する利用者の関心が高いと考えられるインド市場について、メーカー各社が投入している端末機の仕様と価格を比較する。

まず日本では、平成 24 年版情報通信白書によれば 2011 年の国内スマートフォン販売台数におけるメーカーシェアは、Apple 社 21%、シャープ 19%、富士通 17%、Panasonic 11% で、グローバル市場では Apple 社と同等のシェアを持つ Samsung 社は 6%にとどまる。2012 年 7 月時点の、これら各社の代表的機種の主な機能と価格を表 1 に示す。

表 1 国内市場における主要メーカー代表機種の特徴・価格（2012年7月）

メーカー	製品名	OS種類	CPU	パネル種類	赤外線通信	Felica	ワンセグ	防水機能	その他独自機能	端末価格
Fujitsu	ARROWS X F-10D	Android 4.0	NVIDIA Tegra 3 1.5GHz×4(AP33)	TFT液晶 4.6インチ	○	○	○	○	HDMI端子 指紋認証	¥76,440
Apple	iPhone 4S	iOS 5	Apple A5 800MHz×2	Retina 3.5インチ						¥72,000
Samsung	GALAXY SIII SC-06D	Android 4.0	Qualcomm Snapdragon S4 1.5GHz×2	有機EL 4.8インチ		○	○			¥71,400
Sharp	AQUOS PHONE ZETA SH-09D	Android 4.0	Qualcomm Snapdragon S4 1.5GHz×2	Super CG Silicon液晶 4.7インチ	○	○	○	○		¥67,200
Panasonic	ELUGA V P-06D	Android 4.0	Texas Instruments OMAP 4 1.5GHz×2	TFT液晶 4.6インチ	○	○	○	○	手ぶれ補正	¥58,800

Source: NTTドコモ・AUオンラインショップ

Android 端末は、各メーカーが自由に選択した部品からなるハードウェアに、Android OS を移植(Porting)して製造される。このため表1に示すように、採用する OS は共通でも、CPU のメーカーや液晶の形式・サイズは各端末で異なり、さらに各社独自に部品やソフトウェアを付加して機能的な差別化を図っている。特に、日本の利用者の関心が高い赤外線通信、Felica（オサイフケータイ機能）、ワンセグ、防水機能について日本メーカーは積極的に対応しており、韓国 Samsung 社も対抗しているが十分ではない。

一方 iPhone は、自社独自にカスタマイズした専用 CPU と専用液晶を使用している。しかし、グローバル市場に対し単一機種で対応しているため、日本市場に合わせた機能拡張は特に行っていない。

スマートフォンの「性能」は、CPU の計算速度やグラフィック性能、CPU 以外のハードウェアが担う通信性能などや、OS やアプリケーションなどソフトウェアの実行効率など、ハードウェア・ソフトウェアの各種性能が合成されたものとなる。したがって、表1から各機種のパフォーマンスを単純比較することはできないが、少なくとも CPU の基本性能を決定するクロック数やコア数（表内では「×2」などと表記）については、各 Android 端末の iPhone への対抗意図を読み取ることができる。

なお、表1の iPhone 4S が発売されたのは 2011 年 10 月で、他の Android 端末は 2012 年 6 月以降に発売されている。iPhone は 2007 年から 2012 年の 6 年間で 5 回（年 1 回）、OS をバージョンアップした新モデルを発表してきた。一方 Android OS は 2008 年から 2012 年の 5 年間で約 9 回主要なバージョンアップをしてきており（何を「主要」と見なすかで 1 回程度の差はある）、国内各メーカーは基本的に年 2 回、最新のハードウェアに最新の Android OS を移植した新機種を発表している。こうした OS とハードウェアの更新頻度の差が、表1に示す状況を作り出している。

また、表1の価格については一括払いで端末を購入する場合の金額で、日本ではキャリアごとに用意しているサービス（分割払い・割引制度、販売奨励金等）の影響があり、多くの利用者にとって機種による価格差は大きく感じられない仕組みになっている。

次にインド市場の状況について見る。平成 24 年版情報通信白書によればインドの携帯電話加入者数は 2012 年 2 月末で約 9 億 1,117 万人、人口普及率は 75.4%に達しているが、インドの調査会社 **Convergence Catalyst** 社によれば、2011 年末のスマートフォン普及台数は 2,400 万台以下としており、普及はこれからという段階である。同社によれば、国内で利用されているスマートフォンの 50%程度が **Android OS** であり、2012 年第 2 四半期のスマートフォン販売台数において **Samsung** 社の端末が 48%程度を占め、国産の端末は 7%程度を占めるに過ぎないとしている。

Samsung 社とインド国内でスマートフォンメーカー最大手の **Micromax** 社が、2013 年 1 月にインド国内で発表している端末と **iPhone** について、表 2 に示す。

表 2 インドにおける主要メーカー端末の機能・価格 (2013 年 1 月)

Name	Price (RS.)	OS	CPU	Display			Memory Internal	Camera		SIM
				Size (inch)	Resolution (Pixels)	Color Depth		Main (MP)	Sub (MP)	
Micromax A25	3,149	Android 2.3	1 GHz	2.8	240 x 320	262 K	120 MB	1.3	No	Dual
Samsung Galaxy s5300	6,299	Android 2.3	832 MHz	2.8	240 x 320	262 K	3 GB	2	No	Single
Micromax A80	5,999	Android 2.3	800 MHz	3.7	320 x 480	262 K	512 MB	5	0.3	Dual
Micromax A90	12,890	Android 4	1 GHz	4.3	480 x 800	262 K	4 GB	8	0.3	Dual
Samsung Galaxy S2	24,699	Android 2.3	1.2 GHz×2	4.3	480 x 800	16 M	16 GB	8	2	Single
Samsung Galaxy S3	33,980	Android 4	1.4 GHz×4	4.8	720 x 1280	16 M	32 GB	8	1.9	Single
Apple iPhone 5	43,999	iOS6	1.2 GHz×2	4	640 x 1136	16 M	16 GB	8	1.2	Single

Source: mysmartprice.com

表 2 に示した価格は、インドの価格比較サイトから入手したものである。日本とは異なり、インドでは携帯端末の販売とキャリアとの契約は切り離されており、販売店に対する販売奨励金等のインセンティブ制度も未整備であるため、消費者はこのような市場価格で購入することになる。また、表 2 において、A25 と s5300 はそれぞれインド **Micromax** 社と韓国 **Samsung** 社のエントリーモデルであり、A90 と S3 はそれぞれの社の最上位機種である。また、s5300 と同価格帯の機種として A80 を、A90 の仕様に比較的近い **Samsung** 社のモデルとして S2 を、それぞれ加えてある。

まず注目すべきは、通信事業者から割り当てられた端末番号を保持する **SIM** カードについて、**Micromax** 社製の 3 モデルはすべて 2 枚装着可能(表 2 で「Dual」と表記)であるのに対し、他社の機種はすべて 1 枚のみの対応となっている点である。インドや中国では、仕事用・家庭用で通信事業者を使い分けたり、ローミング通話・国内通話で通信事業者を使い分けて通話料金を安く抑えたりすることが広く行われており、国産機種では **SIM** カード 2 枚対応のモデルが多い。一方、**iPhone** や **Samsung** 社の端末は、こうしたインド特有のニーズに対応できていない。

Micromax 社のエントリーモデル A25 は、**Apple** 社 **iPhone**、**Samsung** 社 S3 の 10 分の 1

以下の価格となっており、Samsung社のエン트리モデル s5300と比較しても半額程度である。また、A25はメモリ量でs5300に劣るものの、ディスプレイ仕様は同等でCPUクロック数ではs5300を上回っている。s5300と同価格帯のA80では、やはりメモリ量では劣るもののCPUクロック数は同等で、ディスプレイ仕様やカメラ性能ではs5300を上回っている。さらに、Micromax社の最上位モデルA90でも、Samsung社の最上位モデルS3よりも20,000ルピー以上安価で、S3の一代前の機種S2に比較的近い仕様を、半額程度の価格で実現している。

今回調査対象としたインドの価格比較サイトでは、掲載されたスマートフォン全機種（表2の端末含む）の価格構成は、2万ルピー以上が17機種、1万ルピー以上2万ルピー未満が34機種、1万ルピー未満が57機種であり、5,000ルピー（日本円で約8,800円）未満の低価格帯13機種のうち海外企業の製品は1機種のみで、それ以外はすべてインド国内の事業社7社の製品となっている。このように、インドのスマートフォン市場には国内事業社も多く参入し、主に1万ルピー以下の低価格帯で海外企業と争っている。

このような低価格化を実現したひとつの要因として、スマートフォンのCPUなど主要半導体（チップセット）の開発・製造が、従来表1に見る通り米国企業に偏っていたものが、韓国、台湾などに広がりつつある点を指摘することができる。

中国のシンクタンク Enfodeskによれば、中国国内におけるAndroid端末の平均価格は、2011年第3四半期には1,900元であったものが2012年第3四半期には1,393元（日本円で約2万円）にまで低下している（iPhoneは4,523元）。こうした低価格化の動きを受け、台湾のファブレスメーカーであるMediatek社は、1,000元以下のスマートフォン用のチップセットMT6515を2012年2月に発表している。表2のMicromax社各機種はこの台湾Mediatek社のチップセットを使用しており、MT6515はエン트리モデルA25で採用されている。

以上見てきた通り、Android端末は、価格差別化の図りにくい日本では市場ニーズに合わせた機能で差別化しながら、性能面でも頻繁な製品改良によってiPhoneに対抗しており、所得水準が低く価格に敏感なインド市場では、市場ニーズに対応して機能・性能を調整しながら、圧倒的な低価格でiPhoneに対抗している。そして、日本の端末の独自機能やインドの端末の低価格を実現しているのは、コンセンサス標準化により無償で利用可能なオープンソースとして開発され、多様なハードウェアに移植(Porting)可能で、それゆえ部品供給における市場参入者を増やし競争を活発化させている、Android OSの特性によるところが大きい。

6.4.3. 誰が利得を獲得するか

独立系アナリストのHorace Dediuは、携帯電話市場から上位メーカー8社が得ている営業利益全体において、各社の占める割合を図3のように示し、2011年第4四半期ではApple社は全体の約73%を占め、同約23%のSamsung社などを圧倒しているとした。

(Source: Horace Dediu)

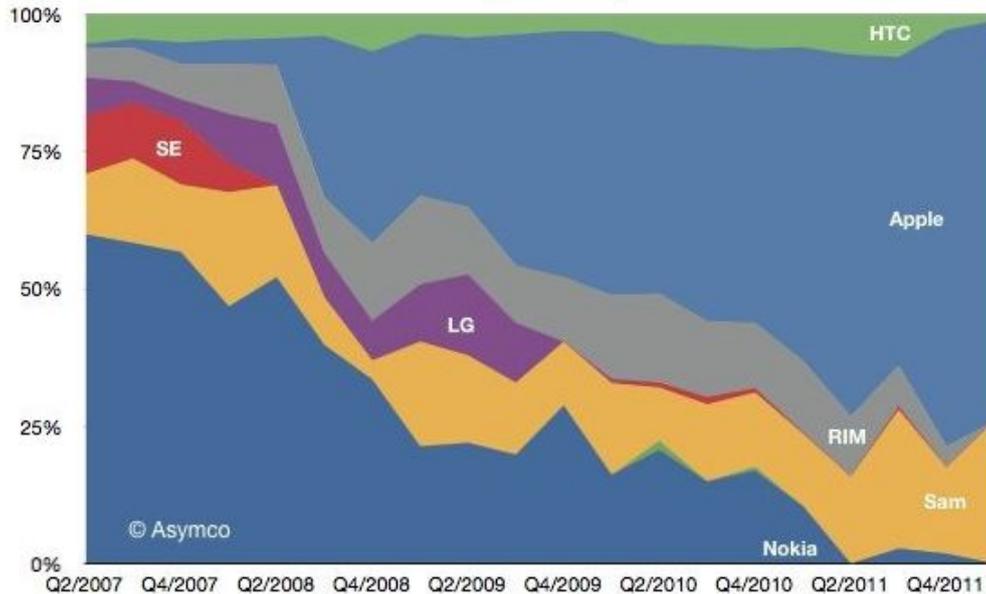


図 3 Profit shares of eight mobile phone vendors

一方、Gartner 社によれば、世界の携帯端末の販売台数において、2011 第 4 四半期に Apple 社の端末が占めた割合は 7.4%に過ぎず、スマートフォンだけで見ても図 2 に示したように 23.8%に過ぎない。以上から、Apple 社は iPhone について高価格・高収益率を設定し、その販売から Android 端末を製造する他社を圧倒する大きな利得を得ていることがわかる。

しかし、図 2 に示したように、2011 第 4 四半期に 23.8%あった iPhone の販売シェアはその後 3 期連続で減少し、2012 年第 3 四半期には 13.8%にまで落ち込んでいる。2013 年 1 月 23 日に発表された Apple 社の 2012 年度決算を受け、翌日の株式市場では同社の株価が大幅に下落し、時価総額において 2012 年 9 月に記録した過去最高額の約 3 分の 1 を失う結果となったが、ウォールストリート・ジャーナル紙は上記シェアの減少が悲観材料の一つになったとの見方を紹介している。

調査会社シードプランニングによれば、2011 年末においてスマートフォンの世界の人口普及率は約 12%で、2012 年末には 20%に迫ると予想している。これは古典的な普及理論における「イノベーター」「アーリーアダプター」の合計 16%を 2012 年中に上回るペースであり、この点について海外メディアには、新技術への出費を惜しまない層や所得水準の高い層に iPhone のような高価格の端末が売れた時代は過ぎつつあり、今後は世界人口の大部分を占める「アーリー/レイト・マジョリティ」を対象とした価格競争に、iPhone も巻き込まれていくとの指摘もある。この指摘は、図 2 に示した端末販売動向や、上述したインダの市場状況とも整合的であり、Apple 社が端末の製造・販売による利得を今後も図 3 のように独占できるかについては、一定の不確実性がある。

では、スマートフォンの急速な普及によって、スマートフォン用のアプリケーションを開発・提供している企業は利得を得ているのだろうか。英国の調査会社 VisionMobile が、2012年4月に83カ国1,500社以上のアプリケーション開発会社を対象に実施した調査では、アプリケーション1本あたり販売売上が月間500ドル以上と回答した企業は約27%にすぎず、約25%の企業が全く利益を得ていないか、販売収入を目的としていないという結果が得られた。また、販売収入を目的として作成されたアプリケーションについて、外れ値を除外して求めた平均月間売上は、iPhone向けがAndroid端末向けを約40%上回る結果となっており、これは図2に示した各端末の販売台数を考慮すれば、1端末あたりではAndroid端末用のアプリケーションからは非常に小さな売上しか得られていないことを示唆している。この傾向について VisionMobile 社は、Android端末が価格に敏感で技術的関心の薄い層を中心に普及が進んでいることが一因との見方を紹介しており、上述した「アーリー/レイト・マジョリティ」への普及局面に入っていると見る見方と整合的である。

このように、コンセンサス標準化により生み出されたAndroid端末は、販売台数ではiPhoneを圧倒するものの、端末製造1社あたりの営業利益ではApple社に遠く及ばず、主たる補完材であるアプリケーションについても、端末1台あたりで見た場合のAndroid端末用製品はiPhone用製品よりもはるかに小さな収益しか上げていない。そして、スマートフォンが低所得層にまで普及する局面に入りつつあることで、iPhoneも価格競争に巻き込まれつつあり、端末もアプリケーションも急速にコモディティ化が進む可能性がある。では、理論的には大きな利得を生むはずのコンセンサス標準化は、誰にその利得を与えているのだろうか。

Android OSを開発したコンソーシアムOHAの中心メンバーGoogle社は、検索サービスだけでなくニュース、動画、地図など多彩なサービスを無償でインターネット上に提供しており、これらサービス上に広告を掲載することで収益の大半を得ていることは広く知られている。アンダーソン(2009)は、Google社は自社の成長を決定づける要因はインターネット利用者の増加のみと考えているため、インターネットの利用を拡大させるために各種サービス等の補完財を無償で提供する戦略を採っており、その結果同種の補完財を有償で提供していた産業は価格決定権を失い、それら産業が得ていた利益はインターネット利用者に再配分されていると指摘した。この指摘は、コンセンサス標準化によるAndroid OSの開発・無償提供を主導し、自社サービスと親和性の高いAndroid端末の低価格化と急速な普及を実際にもたらしつつある、Google社の一連の行動と極めて整合的である。

米国調査会社IDCは、インターネットに接続可能な端末（同社では「Smart Connected Device」と呼称）をデスクトップパソコン、ノートパソコン、スマートフォン、タブレット端末の4種に分類して、世界市場における総出荷台数の実績と予想を図4のように発表しているが、スマートフォンは2011年にはすでに4種合計の53.1%を占めており、2016年には66.7%を占めるだろうと予想されている。図2に示したOS別のスマートフォン販売状況と図4から、現時点でインターネット利用者の拡大を主導しているのはAndroid端末

と考えられ、アンダーソン(2009)が指摘する Google の戦略目標は、達成されつつあると考えられる。

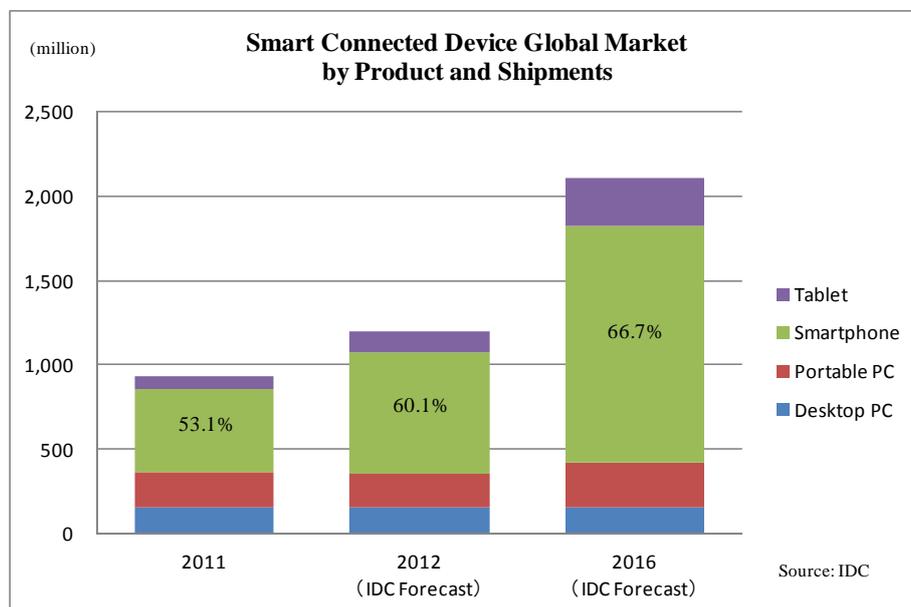


図 4 インターネット接続可能端末の総出荷台数

一方、Leontiadis et al(2012)は、2011 年 7 月時点で利用可能な Android 用アプリケーション全量約 25 万本について分析し、その約 73%が無償提供されており、それら無償アプリケーションの約 73%が端末内の電話帳や位置情報など利用者・端末固有の情報にアクセスしていることを示した。竹森(2012)も、Android 用無償アプリケーションについて 14 カテゴリ 980 本を調査し、少なくとも約 58%のアプリケーションが端末 ID や通話先電話番号などのアクセス権限にアクセスしていることを示した。さらに 980 本のうち 400 本を対象に調べたところ、約 45%のアプリケーションが利用者・端末固有の情報を実際に外部に送信していることを確認している。そして、収集された利用者の情報は、図 5 のような「情報収集ネットワーク」により活用されているとした。

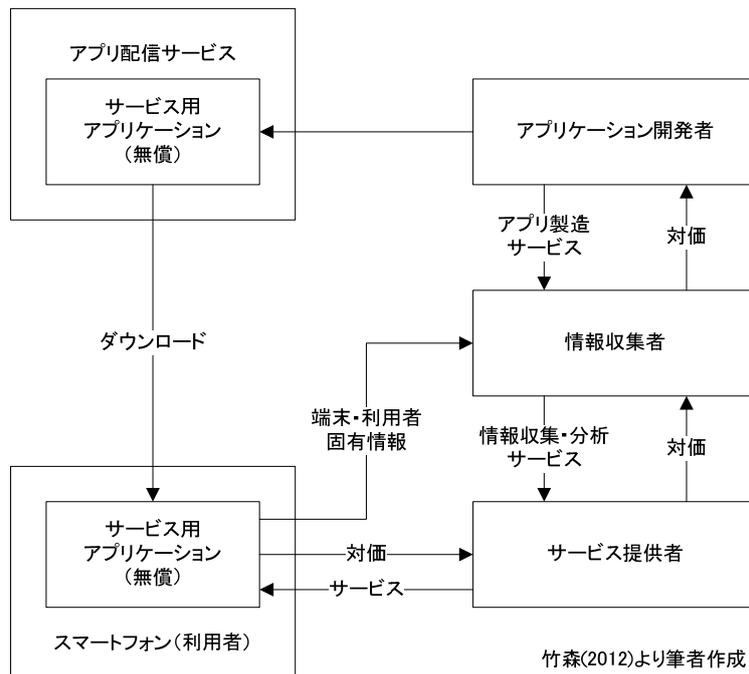


図5 「情報収集ネットワーク」における「価値の循環」

サービス提供者（上述した例ではタクシー会社や損保会社など）は情報収集者を通じて、あるいは自社から直接アプリケーション開発者にサービス提供と情報収集を目的としたアプリケーションを発注し、開発されたアプリケーションは配信サイトを通じて多くの場合無償で利用者に提供される。利用者がそのアプリケーションによりサービス提供者のサービスを利用することで、位置情報など端末・利用者固有の情報がサービス提供者ないし情報収集者に送信され、集められた情報を分析することにより、サービス提供者はより高いサービスを提供することが可能になる。これまで有償アプリケーションの開発・販売によりアプリケーション開発者が得ていた収益は、こうした「価値の循環」の発生によりサービス提供者の収益に転換され、情報収集者、アプリケーション開発者に再分配されていると考えられる。

今後、安価な Android 端末と無償アプリケーションの普及を媒介として、利用者とサービス提供者を中心とした「価値の循環」が多くの産業で拡大していくと考えられる。このような「技術・サービス」融合成立のきっかけが、従来の「ものづくり」に携わっていた企業ではなく、Google というサービス提供者により作り出された事実には注意を要する。

6.5. 今後の課題

本章では、「技術・サービス」融合を実現する重要な要素として、作り手と受け手の間の「価値の循環」に着目し、産業・地域によらず広範に利用される社会システム基盤が成立・普及して「価値の循環」を生み出す過程で、モジュール化パラメーター「Porting」を応用した技術戦略が、どのように優位性を発揮したかについて、スマートフォンを事例に分析

した。

分析フレームワークとしては、児玉(2008)が提示した社会システム基盤成立に関するシナリオプランニングの分析フレームワークを使用し、シナリオ分岐のキー・ファクターとして標準化プロセス類型を採用した。そして、標準化プロセスとしてデファクト標準化を採用しシナリオ「Ubiquitous System」に進んだ iPhone と、コンセンサス標準化を採用し様々なシステムに「Porting」可能な技術を確立するシナリオ「Ported System」に進んだ Android 端末を取り上げ、先行研究でコンセンサス標準化の課題とされている製品パフォーマンスと利得獲得を主な観点として、双方を比較した。

そして、製品パフォーマンス面では、Android OS がさまざまなハードウェアに「Porting」される過程で端末間・部品間の市場競争を世界に広げ、結果として Android 端末が性能・価格において競争力を獲得すると同時に、日本やインドに特有の市場ニーズに対応した機能を搭載して、単一規格で高価格・高収益率を狙う iPhone に対し、販売台数において圧倒しつつある状況を確認した。

また、利得の獲得については、端末製造に関しては Apple 社も含め各社が価格競争に巻き込まれる中で利得の占有が困難になりつつあり、普及台数において圧倒的になりつつある Android 端末用のアプリケーション製造・販売からも、各社が得られる利得はわずかなものであることを確認した。従来、端末やアプリケーションの製造・販売から各社が得ていた利得は、多くの産業のサービス提供者と、豊富なサービスを楽しむこととなった利用者を中心に、再分配されつつあると考えられる。その分配を巡り、現在多くの企業を巻き込んで「ビックデータ」ブームが到来していることが、一つの証左といえるのではないだろうか。

このようにして、コンセンサス標準化を選択した Android 端末を主力として、スマートフォンという一つの社会システム基盤が生み出されつつあり、そこで発生する大規模な「価値の循環」により、「技術・サービス」融合が達成されつつあると考えられる。しかし、スマートフォンの世界人口に対する普及率はまだ 20%以下と見られ、「アーリー／レイト・マジョリティ」への本格的な普及はこれからという段階である。そして、特に Android 端末については、いくつかの問題が明らかになりつつある。

その一つは、セキュリティ面の問題により、意図しない「価値の循環」が生まれつつある点である。竹森(2012)は Android 端末用の無償アプリケーション 400 本を調査した結果として、41%のアプリケーションが利用者・端末固有の情報を外部に送信することについて、利用者から適切に許諾を得ていないか、あるいは無断で送信していることを示した。収集された情報は、ダイレクトメール等のためのマーケティング情報として利用されているものと考えられているが、個人を特定し得る情報の不適正な取得と流用は、特に欧米諸国においては違法性が高く、その対策が急務となっている。

また、もう一つの問題は、Android OS から派生が生まれる可能性である。1960 年代にベル研究所により開発され、事実上無償でソースコードが公開された OS「UNIX」は、様々

なハードウェアに「Porting」される過程で多くの派生品が生まれ、Solaris、HP-UX などソースコード非公開の商用製品にも分化して、互換性を失っていった。こうした互換性の喪失はネットワーク効果を損ねるばかりでなく、上述したようなセキュリティ問題について対策を進める上での妨げにもなり、UNIX の派生品がパソコン OS の主流になり得なかった主要な要因の一つにもなっている。ソースコードが無償公開されている Android OS が、今後 UNIX と同じ道を歩む可能性は否定できない。

Android OS がこれらの問題を克服し、今後人口普及率において支配的な地位を占めることができるかについては、まだ大きな不確実性がある。コンセンサス標準化によるシナリオ「Ported System」により、Android 端末は初期の成功を収め、ゴールであるシナリオ「Platform」に近づきつつあるが、今後の動向についてはなお注視が必要であろう。

(馬場康志)

7. 将来への展望

本報告書では、技術融合からモジュール化を経て、「技術・サービス」融合に至るまでの間、イノベーションの本質がどのように変化してきたかを概観した。

日本企業の事例研究により、「技術・サービス」融合には、転用オペレータ（porting）が不可欠であることを示した。この転用概念は、従来議論されてきた「技術融合」概念とも、「技術統合」概念とも異なる。ポスト・工業化社会では、「技術・サービス」融合は、「多段階にわたる転用」（multiple porting）により実現されることも示した。このような文脈で、この多段階の転用をどのようにマネージしていくかという、まさに、技術経営が中心的な役割を果たすことになる。

このような「技術・サービス」融合の進化論的性質は、従来の MOT における概念や分析ツールが不十分であることを明らかにしている。従来の MOT では、技術戦略、技術予測、ロード・マッピング、ポートフォリオ・マネジメントというものが主に取り上げられていた。これらは、技術開発が順次段階的に進行するということを前提にしていた。しかし、「技術・サービス」融合では、技術開発とビジネス・モデル開発とは、当時並行的に進行する。この進化論的理解により、「技術・サービス」融合のマネジメントを飛躍的に前進させることが出来よう。

研究から得られた提言は、次のとおりである。第1は、ビッグ・データ・ビジネスの登場に関するものである。「技術・サービス」融合がもたらす新しいビジネス・チャンスをメーカーがしっかりと捉えるためには、データ収集と高度利用の双方における、情報処理能力を涵養する必要がある。この提言は、サービス企業にも当てはまるであろう。さらに、メーカーが顧客サービスを実行する過程で自動的に収集されるビッグ・データは、製造業のサービス部門への多角化戦略にとって、貴重なリソースを提供するものとなるであろう。

第2の提言は、MOT の研究ツールに関するものである。われわれの事例分析は、新しいビジネス・モデルの開発なしでは、「技術・サービス」融合を実現することはできないことを明らかにしている。最近の顕著な成功を収めたイノベーションの特徴には、技術とビジネス・モデルの「同時・並行・開発」が実現されたものが多い。従って、「ビジネス・モデル開発」という項目を MOT 教育・研究に、正しく位置づける必要がある。その結果、MOT 教育研究の研究アジェンダやカリキュラムの大幅な改革がもたらされるのである。

最後に最も重要なこととして、先進諸国で大きな話題になっている国家経済の運営に関して言及したい。特に、中央銀行による金融政策が国家経済の不況やデフレに与える影響について注目する。現在進行中の経済活動の正確な情報を迅速に収集することなしに、国の経済を正常な状態に戻し成長軌道にもっていくような金融政策を議論し、実行することは困難である。このような意味においても、企業が日常の業務において自動的に収集するビッグ・データが金融機関の意思決定に、関連度を高めて、ますます重要な情報になりつ

つある。例えば、工作機械メーカーが顧客サービスの一環として収集している情報は、国全体の生産活動がどの程度のレベルで行われているかについての貴重な情報源となりうる。建設機械メーカーがアフターサービスの一環として収集している建設機械の実際の稼働率に関する情報は、公共事業の施行状況を含む、国全体の経済活動の水準を、オンラインで正確に把握する有効な手段となる。

「技術・サービス」融合の影響は企業経営に限定されることはなく、政府のマネジメントへの広範囲なインプリケーションを有する。しかし、個別企業が収集するビッグデータを如何に共有し、企業間の利益相反を緩和するためのデータ集約（aggregation）レベルをどの程度にするかを特定し、機密情報の漏洩を防止する有効なスキームを確立しなければ、すべてのことは架空の物語となることを最後に指摘したい。

（児玉文雄）

以上

参考文献

第2章：

- Kodama, F., 1986a. Technology fusion as a new patterns of innovation and its analysis (in Japanese). Bulletin of Japanese Society for Mechanical Engineers, Vol. 89, No. 80, pp.44-49.
- Kodama, F., 1986b. Inter-disciplinary research: Japanese innovation in mechatronics technology. Science and Public Policy, Vol.13, No. 1, pp. 44-51.
- Kodama, F., 1992. Technology Fusion and the New R&D. Harvard Business Review, Vol. 70, no. 4, pp.72-75.

第3章：

- 日産自動車株式会社、2012年2月27日プレスリリース。
- 日野三十四, 2012, 自動車に見る製造業の新しい姿- はるか先を行く VW 社、日本は戦略の転換を急げ、Nikkei Monozukuri, September 2012, 36-41,

FCRP. 1997 Report of the Ad Hoc Working Group on Design and Test.

- < <http://fcrp.src.org/centers/dt/designreport97.asp> >, (accessed 2003-4-14) .
- 松井正貴, 2003, システムオンチップの普及と MeP、東芝レビュー, Vol58, 2-8

第4章：

- Newsweek, 1999. June 21 issue.
- Rosenberg, N., 1978. Perspectives on Technology, Cambridge University Press, Cambridge, pp.15-16.
- Chang, YC. and Yen, HR.,2012. Introduction to the special cluster on managing technology-service fusion innovation. Technovation 32 (7-8), 415-418.
- Tidd, Bessant and Pavitt, Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change. 2001 (first edition), Willy.
- 「ソフトウェアの法的保護とイノベーションの促進に関する研究会」中間論点整理、2005年、経済産業省
- “To Promote Innovation: The Proper Balance of Competition and Patent Law and Policy”, A Report by FTC, October 2003
- Theodore Levitt. “Production-line Approach to Service”. Harvard Business Review, September/October 1972. (サービス・マニュファクチャリング. ダイヤモンド・ハーバード・ビジネス・レビュー 2001年11月号所収)

第5章：

- 児玉文雄編 (2008) 『技術潮流の変化を読む』日経 BP 社
- 『日経ビジネス』2007年6月4日号「コマツが究める」

第6章：

- Farrell, J. and Saloner, G. (1988) , Coordination through Committees and Markets, Rand Journal of Economics, Vol.19, No.2, pp.235.
- Leontiadis, I., Efstratiou, C., Picone, M., and Mascolo, C.(2012), Don't kill my ads!: Balancing Privacy in an Ad-Supported Mobile Application Market, In Workshop on Mobile Computing Systems & Applications (HotMobile).
- C.アンダーソン(2009), 「FREE」 NHK 出版.
- C.Y.ボールドウィン・K.B.クラーク(2004), 「デザイン・ルール」 東洋経済新報社.
- 児玉文雄(2008), 「技術潮流の変化を読む」 日経 BP 社.
- 延岡健太郎・伊藤宗彦・森田弘一(2006), 「コモディティ化による価値獲得の失敗：デジタル家電の事例」 RIETI Discussion Paper Series, 06-J-017.
- 新宅純二郎・江藤学(2008), 「コンセンサス標準戦略」 日本経済新聞出版社.
- 総務省スマートフォンを経由した利用者情報の取り扱いに関する WG 事務局(2012), 「スマートフォンをめぐる現状と課題」.

竹森敬祐(2012), 「スマートフォンからの利用者情報の送信－情報収集の実態調査」スマートフォンを経由した利用者情報の取り扱いに関するWG第1回, 資料4.
立本博文(2011), 「競争戦略としてのコンセンサス標準化」MMRC Discussion Paper Series, No.346.