

SFC ディスカッションペーパー
SFC-DP 2009-005

ARM 社の競争力分析

佐藤淳史

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士課程修了

sato726@gmail.com

2009 年 7 月

1 はじめに

本研究の根本的な関心は「技術的イノベーション¹を収益化する経営戦略」である。

企業がいくら優れた産業技術の開発に成功しても、経営成果の獲得に失敗すれば続く研究開発投資は先細り、次期以降のイノベーション達成がより困難になる（榊原、2005）。このことは国レベルで見れば経済成長を大いに妨げる可能性があるため、明らかな国際競争力の低下、国家経済力の低下という形で表出し得る重大な問題である。ゆえに、日本経済の競争優位性を考えるとき、本論文の研究価値は高いと考える。

2 背景

携帯電話産業は、熾烈な企業間競争の一方で特定の標準化が進み、また高性能・高機能化が進む一方で低消費電力²が求められるなど、産業の入り組んだダイナミクスが直に観察できる点で極めて興味深い。

携帯電話のイノベーション上、決定的に重要な部品（デバイス）である組み込み型 32 ビット RISC プロセッサ³市場では大きく言って、日立製作所（ルネサステクノロジ）の SuperH（以下「SH」）プロセッサと英国 ARM 社の ARM プロセッサの 2 種がシェア争いをしている。ARM はこの組み込み型 RISC プロセッサ市場で 75% 以上の利用数量を専有し⁴事実上の標準（「デファクト・スタンダード」）⁵となっており、携帯電話産業における ARM 社のプレゼンスは極めて大きくなっている。

ARM は、処理性能などスペック的にはより優れているとされる SH を超えて普及した。しかも、ARM 社はイギリスの小企業で企業資産に大きな制約がある一方、日立は圧倒的な資金力と優秀な人材、優れた技術力の蓄積を誇るであろう日本の代表的な大企業である。さらに、ARM 社はプロセッサの IP⁶（知的財産）のみしか開発しない IP ライセンスビジネス型の企業であるが、日立は携帯電話に関するだけでもプロセッサ、チップセット、完成品と幅広く手がける企業である。

これまで日本の携帯電話関連企業は、海外企業と比較して相対的に技術面や機能面で優れていると指摘されてきた。幅広い製品群を網羅していることも間違いのないだろう。しかし、そのように研究・商品開発に強い力を入れてきたにもかかわらず、結果として日本企業の国際競争力は依然低いのが現実である⁷。

3 問題意識

優れた技術・機能で幅広い製品群を網羅する日立の SH 以上に ARM が普及した背景には、なにか理由があるのではないか。

（競争優位上重要な、何らかの指標変化に SH が乗り遅れた一方、ARM はそれに対応できたのではないか。）

製品の一部のみを生産する「レイヤー特化型企业⁸」がどのようにして産業全体に影響力を持てるのか。（一般的に、産業全体を支配するにあたって、その産業の一部しか担わないことは交渉力・情報力・規模などの点から不利だと考えられる。しかも、特に ARM 社は元々ベンチャー企業であって、日本の大企業と比較すれば技術・人材・資金等の面でその資源は限定的であったと予想される。）

4 先行研究レビュー

従来、先行研究では携帯電話産業に関するマクロ的な状況調査や完成品としての携帯電話を主な分析対象とすることが多かったが（梶山ら、2006）、本研究では携帯電話産業における特定の半導体企業を中心と

した議論によって産業全体の重層的な企業間競争を分析する。

サイモン(Simon, 1996)は、多様に関連し合う多数の部分から成るシステムを「複雑なシステム」(complex systems)と呼び、この種のシステムはしばしば階層的な形態をとると主張した。事実、携帯電話端末も含め、一般的な製品(サービス)は複数の機能と構成部分(部品)を保有しており、既存の研究はそれら複数機能を特定の部品に割り当てる方法を「製品アーキテクチャ」と呼んでいる。その代表的な分類は「モジュラー化」対「統合化」、「オープン化」対「クローズ」という2軸を用いた4分類である(藤本・武石・青島, 2001)。全体システムの複雑性をモジュールとしての部分システム(サブシステム、下位システム)の統合と捉えるサイモンの視点は、1990年代以降盛んな「モジュラー化」の議論に大きな影響を与え、アーキテクチャ論は企業分析の観点からも成果を得た(Baldwin, Carliss and Clark, 2000; 藤本・武石・青島, 2001)。一方、本研究は、携帯電話端末を一つの完成品、準分解可能システムとしての上位システムと見て、そのアーキテクチャ構造から各MPUやチップセット単位で市場の競争構造を観察しようと試みたものである。

また、本研究では「垂直統合型企業」「レイヤー特化型企業」という言葉を用いている。コンピュータ産業ではかつて、巨大な一枚岩のように垂直的に統合されていた産業構造が、水平多層型の独立した産業へと分化した(Moschella, 1997)。この「垂直統合」から「水平分業」への変化は産業の「脱統合」と呼ばれている(榊原, 2005)。垂直統合的な産業において典型的なリーダーであったのが垂直統合型企業であり、一方、水平分業化したレイヤーでは特化型経営が競争力を持った。本研究ではこうした企業をレイヤー特化型企業と呼び、さらにその中でも実質的に特定のレイヤー全体を支配するに至った圧倒的勝者を「レイヤーマスター」と呼んで、研究対象としている。

クリステンセン(Christensen, 1997)は技術を2大別した。既存製品のパフォーマンスを高める技術を「持続的技術」と呼び、その技術変化を「持続的イノベーション」と定義した。一方、「破壊的技術」は既存製品のパフォーマンスを(少なくとも短期的には)引き下げる技術と定義され、そのプロセスを「破壊的イノベーション」と定義した。また、この破壊的イノベーションに際しては、「企業が顧客のニーズを認識し、対応し、問題を解決し、資源を調達し、競争相手に対抗し、利潤を追求する際に用いる枠組み」である「バリュー・ネットワーク」に変化が発生するとしている。このバリュー・ネットワークの変化への対応に、ARMとSHでどのような違いがあったかを検討し、ARM普及の説明へ用いようというのが本論の立場である。

マイケル・クスmano(Michael A. Cusumano)は、「広範な産業レベルにおける特別な基盤技術の周辺で、補完的なイノベーションを起こすように他企業を動かす能力」を「プラットフォーム・リーダーシップ」(Platform Leadership)と定義した(Gawer and Cusumano, 2002)。本研究では、プラットフォーム・リーダーシップの主体(プラットフォーム・リーダー)として、携帯電話に関わる端末・デバイスのイノベーション活動をコントロールし、世界的主導権を保持するARM社をとりあげる。クスmanoによれば、企業がプラットフォーム・リーダーシップを獲得するにあたっては、4つのレバー(Four Levers)「Scope of the firm(企業の範囲)」「Product technology(製品化技術)」「Relationship with external complementors(外部の補完業者との関係)」「Internal organization(内部組織)」が重要であるという。いずれも感覚的にはその重要性を理解できるが、クスmanoはこれら4レバーを内的な整合性を図りつつ同時に用いるように指摘しているため、

各企業への具体的な行動指針を思考することが困難である。そこで本論文では、携帯電話産業における個別具体的な企業ケーススタディから、その歴史的経緯と戦略的意思決定の重要点をまとめた。

5 研究概要

5.1 研究目的

ARM プロセッサが普及した理由を実証的に調査し、その事実関係を記述すること。

いかにしてレイヤー特化型企業がプラットフォーム・リーダーシップとも呼べる強い競争力と地位を築けたのかを論じること。ここでは特に、最大規模の産業である携帯電話産業⁹を支配する高収益企業を持つ要素を抽出する。

一般に、特定の企業が産業全体にダイナミックな影響を与える大きな存在となるためには、「4つの技術応用プロセス」が重要になると筆者は考える（図1参照）。

1. 純粋な研究開発能力（技術の創造力）
2. 技術の利用法を見出す力（技術の意味付け）
3. 市場を創造し、普及活動などを経て、商品として成り立たせる力（技術の商品化）
4. 自社の競争優位性を獲得・維持する力（イノベーション成果の専有化）

（筆者作成）

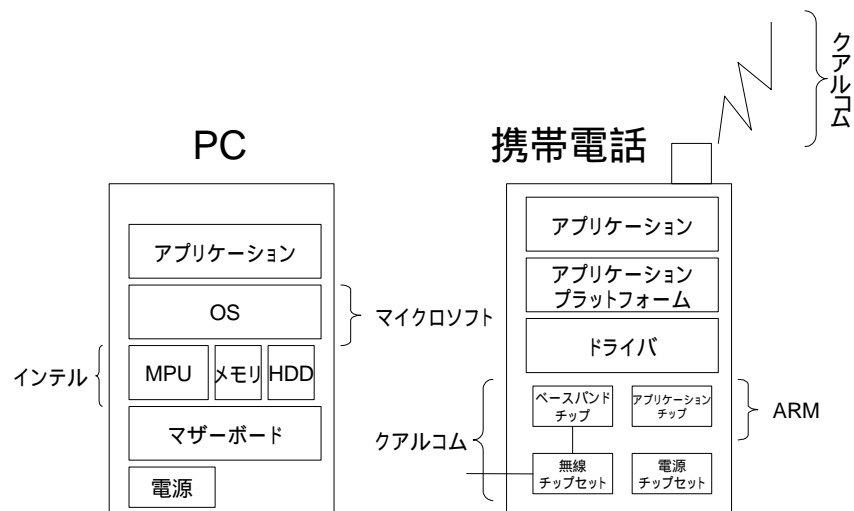
図 1 4つの技術応用プロセス（Four Processes of Technical Application）

特に、自社の資源に限りがある ARM のようなレイヤー特化型企業にとって、3の段階での補完関係にある企業群との仲間づくりを含めたコーペティション経営¹⁰は決定的に重要であろう。

本研究では、これらの技術応用プロセスにおいて ARM 社がとった行動に関する議論を行い、重要な要素をモデルとして整理して今後の企業戦略に対する有益な提案を行うことを目指す。

5.2 調査対象

本研究の主な調査対象は携帯電話用プロセッサ市場である。図2は携帯電話とPC（パーソナル・コンピュータ）を「製品アーキテクチャ」の観点から比較したものである。



(筆者作成)

図 2 PC と携帯電話の主な部品

当初の携帯電話は主に通話機能のみが求められる比較的単純な製品であった。しかし近年、通信機能の向上やマルチメディア機能への対応に迫られ徐々に高性能デバイスの集合体と変わり、今や小型のコンピュータとも呼べる存在になった(図2参照)。

携帯電話は主に、CPU(ベースバンドチップとアプリケーションチップの総称)、メモリ、カメラモジュール、ディスプレイ、バッテリー、無線チップセット、アンテナ、電源チップセット、マイク・スピーカー、OS(オペレーティング・システム)、アプリケーションプラットフォームなどで構成されている。

携帯電話の内部で特に重要なデバイスはCPUである。CPUは中央演算処理装置(各種装置の制御やデータの処理を行う場所)のことで、PCのCPUと比較すると求められる性能が全く異なる。なお、CPUは「プロセッサ」「MPU」とほぼ同義である。

5.3 調査方法

本論文では特にARM社¹¹の事例を通し、主に公開情報、技術スペック等の数値情報、産業統計などを参照しつつ、技術的イノベーションの収益モデルの構造に関する議論を行なう。そのため、筆者は関連各社の入手可能な全てのAnnual Reportやウェブサイト、業界専門紙による文献調査、そして業界関係者へのインタビュー調査などを実施した。

6 分析

6.1 ARM社のビジネスモデル

ARM社の事業ドメインはIPライセンスビジネスであり、2007年の売上高は£259.2百万(230円/ポンドの為替レートで、約596億円)である。

半導体チップの設計における IP は料理のレシピのようなものであり、ARM はそのレシピ (IP) をライセンスするだけで、料理 (チップ) は料理人 (半導体メーカー) にお任せするというビジネスモデルを保持している (西嶋、2006)。

6.2 データセットの作成

調査を始めるにあたり、まず代表的な以下の「RISC プロセッサ」4 種類に関して、過去に製造されたほぼ全てのモデルの動作周波数¹²、MIPS 値¹³、出荷年度、電力、電圧、回路設計などを調べて一覧表としてまとめ、独自のデータセットを作成した。これらは ARM・SH に関する専門書籍、インターネット (ARM 社およびルネサステクノロジのウェブサイト、Wikipedia、報道サイト) および筆者が実施した質問表調査とインタビュー調査によってデータ収集したものである¹⁴。

表 1 4 種類の RISC プロセッサ

プロセッサ名	企業名	主な用途	特徴
MIPS	ミップス・テクノロジーズ	ワークステーション	演算能力大
SPARC	サン・マイクロシステムズ	スーパーコンピュータ	演算能力大
SH	日立製作所(ルネサステクノロジ)	ゲーム、PDA、カーナビ	高速処理
ARM	ARM 社	携帯電話、PDA	低消費電力

(筆者作成)

実際のデータセットは次のようにまとめられている。以下は ARM の例で、例えば「用途」の項目ではそのモデルが主にどのような製品用途に用いられたかをまとめた。同様の表を SH、MIPS、SPARC の各プロセッサについても作成した。

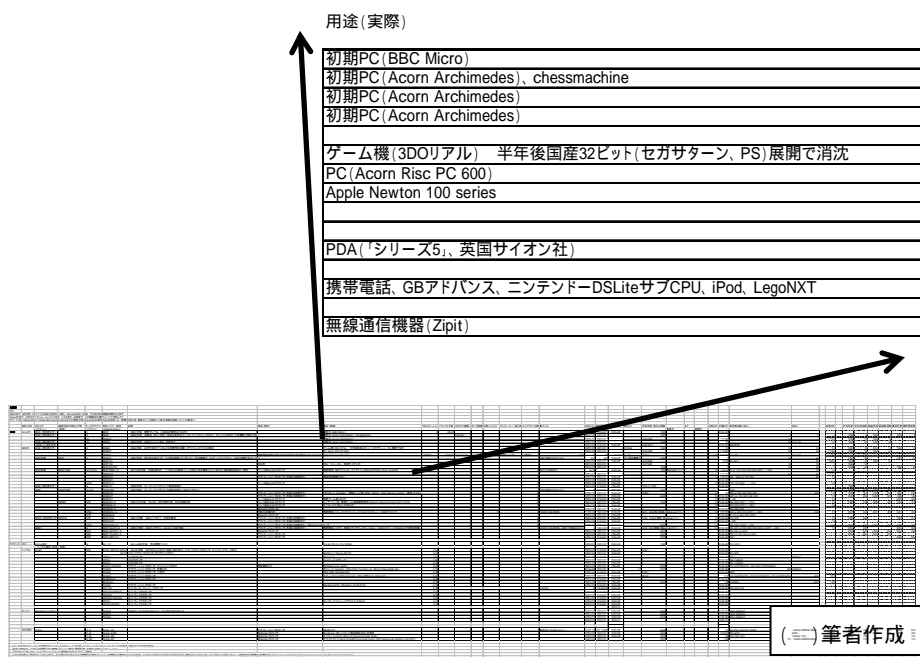


図 3 ARM のデータセット (一部)

なお、本研究におけるデータの用い方として、動作周波数値と MIPS 値の扱いには特徴があるため説明を加える。これらのプロセッサは同モデル名であっても、複数の周波数値が入手されることが多い。

その理由は、

各メーカー、ファウンドリの製造工程により製品性能が異なる

製造される時期により製造技術が異なる (基本的に、時代とともに向上する)

同モデルでも、製品自体の改良により製品性能が向上し得る

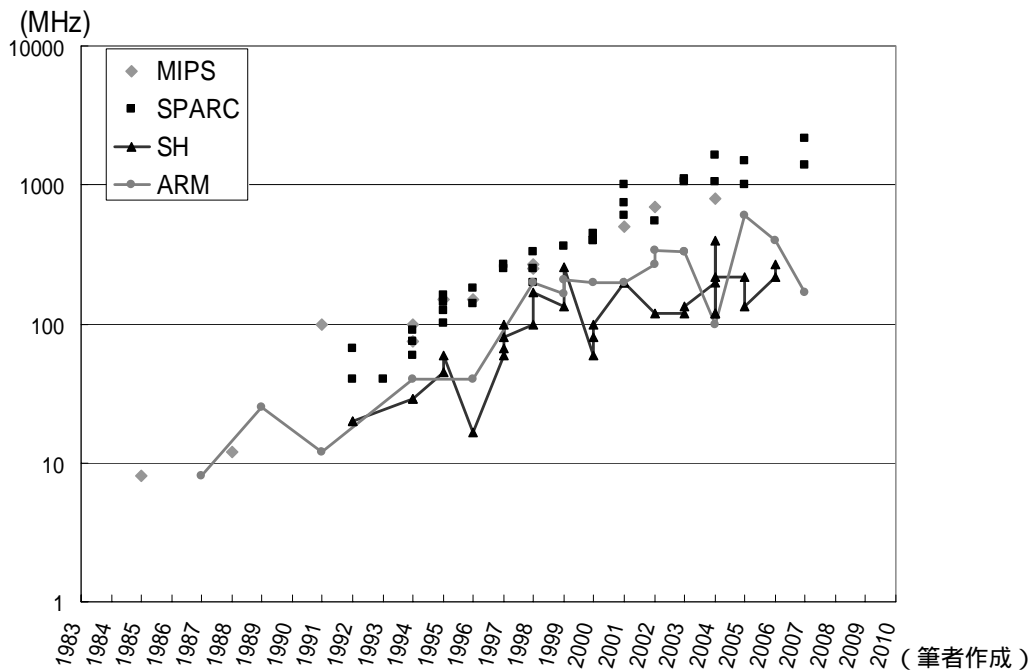
ことなどである。

そこで、本研究は動作周波数値と MIPS 値を用いるにあたって、入手された最小値を利用することで統一した。なぜならば、数値の上限は時代とともに半永久的に向上し得るため追いきれるものではないが、最小値ならば多くは各プロセッサの初期値と仮定して本来の潜在能力を探れるとともに、発売当時の各社の戦略的意思を最も反映しており、同時に共通した基準で各プロセッサ間を比較しやすいからである。当然、各モデルの発売年度に関しても複数入手された場合には、最も早い時期の年度を分析に用いた。

6.3 スペック性能分析 (処理性能: 周波数)

まず ARM および他のプロセッサの「性能」がそれらの普及に及ぼした影響を検討するため、単純性能である「動作周波数」に注目した。

図 4 は MIPS・SPARC、SH・ARM という 4 種類の RISC プロセッサに対し、それらの製品モデルから周波数 (= 処理能力) の性能進化の軌跡を追ってグラフ化したものである。縦軸は動作周波数で、そのプロセッサの速度性能を示す指標である¹⁵。



(注1: データの収集には専門書籍、インターネットを用いた。ただし、1995年のSH7702の周波数、1996年のSH7042の年度、2000年のSH7615の年度、2001年のSH7750Rの年度、2001年のSH7751Rの年度は質問表調査（以下参照）によって得た。また、2000年のSH7729Rの周波数、2001年のSH7750Rの周波数、2001年のSH7751Rの周波数は質問表調査（以下参照）によって得た。また、1998年のARM9TDMIの年度・周波数はインタビュー調査（以下参照）によって得た。）
 (注2: 質問表調査の詳細 送付日時: 2007年7月4日(同年7月23日回答) 媒体: インターネットメール 回答者: 株式会社ルネサステクノロジ(旧: 日立製作所・三菱電機)コンタクトセンタ)
 (注3: 質問表調査の詳細 送付日時: 2007年7月17日(同年8月10日回答) 媒体: インターネットメール(慶應義塾大学榎原清則名による共同研究) 回答者: 株式会社半導体理工学研究センター岡村芳雄氏)
 (注4: インタビュー調査の詳細 日時: 2008年4月24日 16:30~18:30 場所: アーム株式会社(日本法人) インタビュイー: アーム株式会社マーケティングコミュニケーションアシスタントマネージャー関口勝氏 なお同年4月24日(5月1日回答) 同氏に対するインターネットメールを通じた聞き取り調査によってデータの追加補充を行った)

図4 代表的RISCプロセッサの処理性能推移散布図(Y軸対数)

図4から、過去およそ15年間にわたり、MIPSとSPARCが周波数においては上位を維持してきた一方で、ARMとSHは相対的にやや低い速度を保ち続けてきた事実を観察できる。高速処理を実現していた初期の代表的RISCプロセッサであるMIPSとSPARCに対して、それに続くARMとSHの存在は先行研究の言葉を借りれば、「破壊的技術(disruptive technology)」(Christensen, 1997)であったと言えるだろう。

ところが、本研究にはクリステンセンの議論との間に大きな違いが存在する。本研究では、同時に複数の破壊的技術が存在した際にそれらに個別に発生する現象を追加的に調査している。同じ破壊的技術に属する一方が、もう一方と比較して圧倒的な普及拡大に成功した理由がいかにして生まれたかについても本研究は分析しようとしている。そこでもし、破壊的イノベーションで生まれたバリュー・ネットワークの変化において、競争上重要視された特定の指標でARMがSH以上に優れていたならば、それがARM普及を促した可能性は高いと考えられる。その指標が何であったかということを探る価値はありそうだ。

では、MIPS・SPARCの高周波数に対して異なる性能水準を保ち続けてきたようにも思われるこれら2つの新たなRISCプロセッサであるが、彼ら自身は自社のプロセッサを市場内でどのように位置付けてきたのか。ARM社(前身はAcorn社)が開発の初期段階から抱いていた狙いを探るには、アーム株式会社(日本法人)の西嶋社長(当時)による以下の記述が有意義である。

「MIPS・SPARC、PowerPCにおける各社の競争の焦点は、いかにCPUの性能を上げるかにあった。その中で、Acorn社は1987年に、より低消費電力のRISCを開発した。これは、英国のケンブリッジ対アメリカ・カリフォルニアのシリコン・バレー（Sun、MIPSなど）という性能競争において、ケンブリッジはとても太刀打ちできないのではないかという認識があったため、低消費電力の道を選んだのだ。もうひとつの理由としては、Acornの教育用のパソコンには高性能のCPUが向かなかったため、高性能CPUの開発にはあまり懸命ではなく、それよりはむしろ低消費電力のCPUを目指そうとしていたことがあった。上記の二つの理由から、Acornは低消費電力のCPU開発の道に踏み出すことを決意したのである。」（西嶋、2006）

つまり、開発の初期段階で既にARM社は自社のプロセッサにおいて必ずしも高性能を第一に追求するわけではないと決めていた、ということが分かる。むしろAcorn社はシンプルかつ低消費電力のRISC開発を目指しており、先行のSunやMIPSが高性能を追求していたことに対するアンチテーゼを狙ったとも言える。もちろん、技術的なあるいは市場競争的な制約条件下での意思決定ではあったが、同時に自社の方向性に対する他社との明確な差別化意識が存在したことは事実であろう。

ARM社がAcorn社からスピンアウトして設立されたのは1990年のことであり、初めてIPライセンスビジネスを開始したのはその直後の1991年である。その時の周波数を図4で確認すると、確かに当時のARM6（型名ARM60）の周波数は12MHz¹⁶であり、これは同年出荷されたMIPSの100MHzと比較すれば1/8足らずの速度である。その後も、ARMの性能はMIPSやSPARCといった従来のRISCプロセッサに対して周波数という観点で言えば常に劣っている。この事実からもARM社が他のプロセッサに対して明確な差別性を意図していたことを伺える。

一方、1992年に日立製作所が組み込み用途を狙って発売した初のRISC型32ビット・マイクロコントローラの周波数は、当時のARM60よりも高周波数の20MHzであった。このSHマイコンはカシオ計算機のデジタル・スチル・カメラ「QV-10」やセガ・エンタープライゼスの家庭用ゲーム機「セガサターン」といったヒット商品に搭載され、その普及に拍車がかかった。1996年にSHマイコンは32ビット/64ビット・マイクロコントローラ市場における出荷量で、MIPSに次ぐシェア2位を獲得している（Gartner Group, Inc. Dataquest調べ）。日立・ルネサステクノロジは新時代に適した販売形態をASIC（Application Specific ICの略。「特定製品向け」に顧客の要求を受けて開発する専用ICのこと）とみていたようで、その信念はSHの用途がゲーム機（セガサターン、ドリームキャストなど）に採用されていくプロセスを通して、より強化されたはずである。

本研究では、ARMが情報端末向けのプロセッサ市場における標準を獲得していった1990年代に、主な焦点をあてて議論を進めていく。

6.4 使用用途分析

改めて図4を観察すると、SHとARMの動きが明らかに異なるという事実に気付く。プロット数に限りがあるとは言え、ARMは2003年までほぼ直線的に性能を向上させているのに対し（2004年以降の推移変化は、ARM社が始めた新たな別のプロセッサ「Cortex」の影響）、SHの周波数には幅があり、分散・発散

を思わせる比較的大きな波を上下に打ちながら上昇しているのが特徴である¹⁷。同じ年に出荷された複数個のプロセッサにも性能差をもったラインナップが存在している。そこで、以下のように推察した。

1. SH は、幅広い用途に対応するべく模索してきたのではないか
2. ARM は、使用用途の想定を限定していたのではないか

次にこれらを検証するため、それぞれのプロセッサの実際の「使用用途」を調べて確認した。

SH

CPUコア(シリーズ)	グループ(型名)	用途(想定)	用途(実際)
SH-1	SH7032		QV-10、セガサターン(1個)
	SH7034(HD6417034)		QV-10、セガサターン(1個)
SH-2	SH7604(HD6417604)	スーパー32X、セガサターン	
	HD6417095		セガサターン(2個)
SH2-DSP(SH-DSP)	SH7042	産業/自動車・民生・情報/OA機器	
	SH7410	通信機器・民生・情報/OA機器・産業/自動車	
	SH7612	通信機器・民生・情報/OA機器・産業/自動車	
	SH7615		
SH-2A	SH7622		
	SH7206		
SH-3	SH7702	Windows CE, PDA, カーナビ	Windows CE, Zaurus
	SH7708	Windows CE, PDA, カーナビ	Windows CE, Zaurus
	SH7708R		
	SH7709	Windows CE, カーナビ	
SH-4	SH7709A	カーナビ	
	SH7750(HD6417091?)	ドリームキャスト	DC, Windows CE
	SH7751		
	SH7750R		
	SH7751R		
SH3-DSP	SH7729R		
SH-5	SH-5-101		
SH-4A	SH7780		
SH-X3			

(筆者作成)

図 5 SH の使用用途

設計主体	CPUコア(ファミリー)	型名(コア)、実装(Implementation)	用途(想定)	用途(実際)
Acorn社	ARM1(現在使わず)	ARM1		初期PC(BBC Micro)
	ARM2(現在使わず)	ARM2		初期PC(Acorn Archimedes), chessmachine
	ARM250	ARM2a		初期PC(Acorn Archimedes)
ARM社	ARM3(現在使わず)			初期PC(Acorn Archimedes)
	ARM4(S) (存在せず)	ARM60		ゲーム機(3DOリアル) 半年後国産32ビット(セガサターン、PS)展開で消滅
	ARM6(現在使わず)	ARM600		PC(Acorn Risc PC 600)
	ARM7前期	ARM610	携帯電話採用も検討されたがまだ大きな動きになっていなかった	Apple Newton 100 series
		ARM700		
		ARM710a		
		ARM7100	PDA用	PDA(「シリーズ5」、英国サイオン社)
		ARM7500(FE)		
	ARM7後期	ARM7TDMI(S)	ハード組み込みプロセッサ	携帯電話、GBアドバンス、ニンテンドーDS LiteサブCPU、iPod、LegoNXT
		ARM710T		
		ARM720T	アプリケーションプロセッサ(市販OS搭載向け)	無線通信機器(Zipit)
		ARM740T		
		ARM7EJ-S	ハード組み込みプロセッサ	
	ARM8(現在使わず)	ARM810P		
	ARM9	ARM9TDMI		
	ARM920T	アプリケーションプロセッサ(市販OS搭載向け)	CPUボード(Armadillo)、携帯ゲーム機(GP32、GP2X)、PDA(Tapwave Zodiac)、電車(Hp)	
	ARM922T	アプリケーションプロセッサ(市販OS搭載向け)		
	ARM940T	ハード組み込みプロセッサ	携帯ゲーム機(GP2X)	
	ARM946E-S	ハード組み込みプロセッサ	ニンテンドーDS、携帯ゲーム機兼携帯電話(Nokia N-Gage)Conexant 802.11chips	
	ARM968E-S	ハード組み込みプロセッサ	マイコン(ST Micro STR91xF)	
	ARM968E-S	組み込みプロセッサ		
	ARM926E-J-S	市販OS搭載向け	携帯電話(ソニーエリクソン、シーメンス&ベンキョー)、OMAP1710(TI)	
	ARM996HS	組み込みプロセッサ		
ARM10(現在使わず?)	ARM1020E	アプリケーションプロセッサ(市販OS搭載向け)		
	ARM1022E	アプリケーションプロセッサ(市販OS搭載向け)		
	ARM1026E-J-S	アプリケーションプロセッサ(市販OS搭載向け)		
ARM11	ARM1136JZF-S	アプリケーションプロセッサ	組み込みプロセッサ	
	ARM1156JZF-S	アプリケーションプロセッサ(市販OS搭載向け)	携帯電話(ノキア)、携帯メディアプレイヤー(Zune)、OMAP2(TI) = (FOMA902iで世界初搭載)	
	ARM1176JZF-S	組み込みプロセッサ		
	ARM11MPCore	アプリケーションプロセッサ		

(筆者作成)

図 6 ARM の使用用途

調査の結果、SH はデジタルカメラ、高処理ゲーム機（セガサターンやドリームキャスト）、自動車用、情報端末機器、カーナビなどに幅広く用いられ、ARM は一貫して携帯情報端末（携帯電話や PDA 等）に利用されてきたことが分かる。なお ARM は当初 PC にも使われた事実があるが、それもあくまで機能限定的な教育用 PC であり、またゲーム機のニンテンドーDS 用に関しても、決して高処理性能が求められる機種ではない。これらの事実は、いずれも上記の推察を支持している。つまり、「多様性よりも特定用途に特化したことが、ARM の普及を促した可能性は高い」と考えられる。

6.5 スペック性能分析（電力効率）

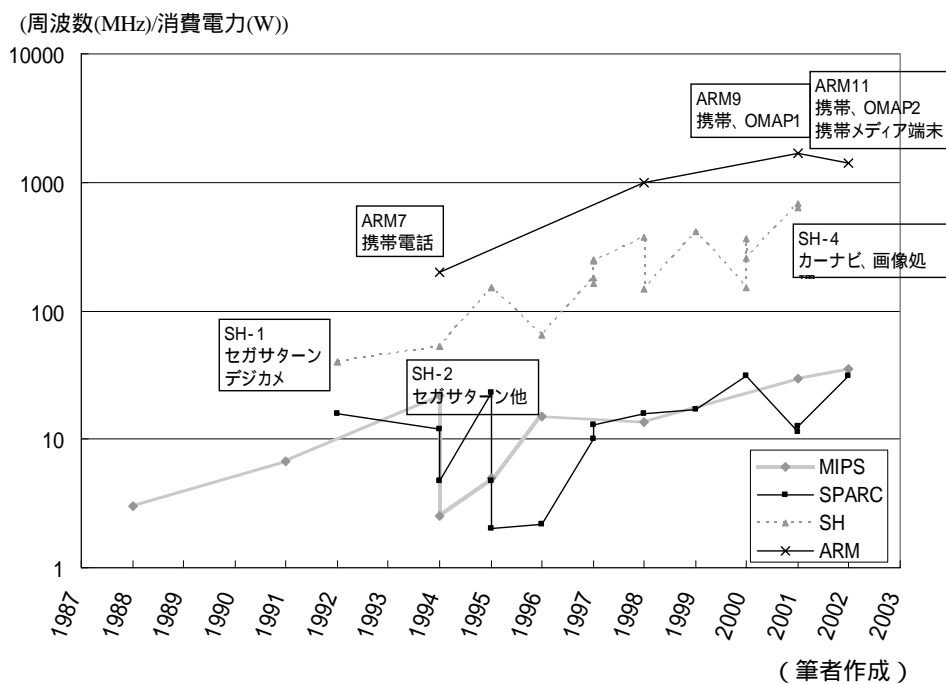
次に、ARM が特に「携帯情報端末機器」で普及した理由を考察する。

まず想定されるのは処理能力の高さであろう。しかしながら、図 4 によれば、単純な処理性能としての周波数で比べれば ARM と SH の性能にはほとんど違いがなかった。そもそも処理能力が ARM の普及理由であるならば、さらに上位を推移する MIPS や SPARC の利用はそれ以上に選ばなければならないことになる。

そこで改めて、ARM が「支持されてきた性能」を推測すべく、高性能化が進む携帯電話での大きな問題である小型かつバッテリー駆動という端末の「制約¹⁸」を考えると、「処理性能と消費電力の相対的な性能」ではないかという考えに至った。そこで、4 プロセッサの各製品のうち消費電力（W）の値が開発関係者へのインタビュー調査などから確認できた製品に関し、

$$\text{周波数 (MHz)} \div \text{消費電力 (W)} \quad (\text{電力効率})$$

を算出し、新たな指標として提案する。これをグラフ化してみたのが図 4 である¹⁹²⁰。



(注 1：横軸は、ARM 社が異なるプロセッサ (Cortex) を出荷する以前 (2002 年) まで作成した。)
(注 2：データの収集には専門書籍、インターネットを用いた。ただし、1992 年の SH7034 の電力、1994 年の SH7604 の電力、1994 年の HD6417095 の電力、1995 年の SH7702 の周波数、1996 年の SH7042 の年度、2000 年の SH7615 の年度、2001 年の SH7750R の年度、2001 年の SH7751R の年度は質問表調査（以下参照）によって得た。また、1995 年の SH7702 の電力、1995 年の SH7708 の電力、1996 年の SH7042 の電力、1997 年の SH7410 の電力、1997 年の SH7612 の電力、1997 年の SH7708R の電力、1997 年の SH7709 の電力、1998 年の SH7709R の電力、1998 年の SH7750 の電力、1999 年の SH7751 の電力、2000 年の SH7615 の電力、2000 年の SH7622 の電力、2000 年の

SH7729Rの周波数・電力、2001年のSH7750Rの周波数・電力、2001年のSH7751Rの周波数・電力、2004年のSH7206の電力、2004年のSH7780の電力は質問表調査（以下参照）によって得た。また、1998年のARM9TDMIの年度・周波数はインタビュー調査（以下参照）によって得た。）

（注3：質問表調査の詳細 送付日時：2007年7月4日（同年7月23日回答） 媒体：インターネットメール 回答者：株式会社ルネサステクノロジ（旧：日立製作所・三菱電機）コンタクトセンタ）

（注4：質問表調査の詳細 送付日時：2007年7月17日（同年8月10日回答） 媒体：インターネットメール（慶應義塾大学榊原清則名による共同研究） 回答者：株式会社半導体理工学研究中心岡村芳雄氏）

（注5：インタビュー調査の詳細 日時：2008年4月24日 16:30～18:30 場所：アーム株式会社（日本法人） インタビュイー：アーム株式会社マーケティングコミュニケーションアシスタントマネージャー関口勝氏 なお同年4月24日（5月1日回答）、同氏に対するインターネットメールを通じた聞き取り調査によってデータの追加補充を行った）

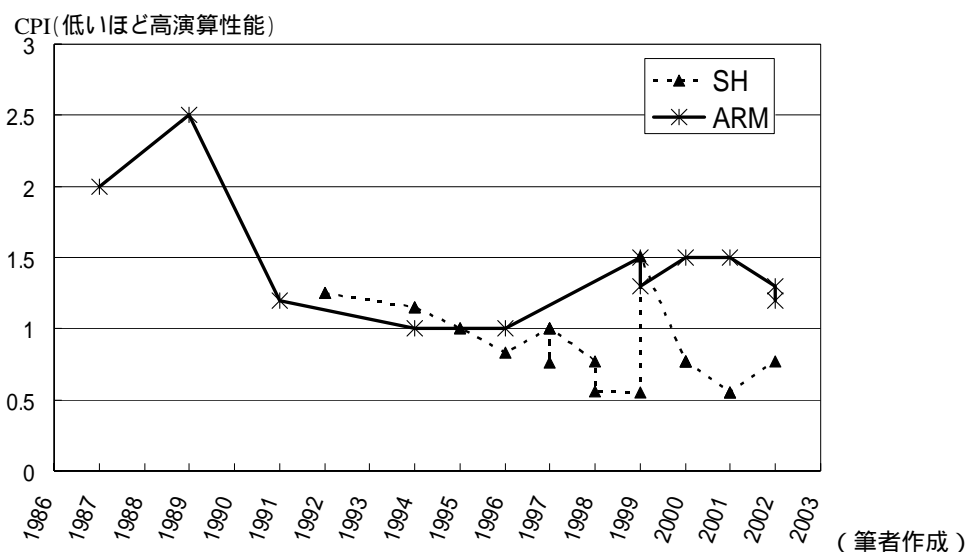
図7 代表的 RISC プロセッサの「消費電力あたりの性能」推移散布図（Y軸対数）

図7では、計算で導かれた数値を「消費電力あたりの速度性能」としてグラフ化しており、縦軸で数値が高いほど電力効率が優れていることになる²¹。また、この指標は電力効率の良さを表すとともに、各社の戦略性の違いも示している。

図7によれば、図上でのプロット数に限りがあるとはいえ、ARMは他のプロセッサと比べ明らかに電力効率が優れている。速度性能の向上のみを追及するのではなく、消費電力とのバランスを意識してきた結果であろう。また、1993年にARMはTIへのライセンスを開始しており、TIのDSPを用いた携帯電話用プラットフォームである「OMAP」へ参加したことで、より消費電力効率を重視し始めた可能性は高い。すると、他社とのアライアンスと使用用途の限定が明確な独自性を生み出していることになる。

一方、それに対するSHは、MIPS・SPARCと比べると電力効率は劣り、ARMの電力効率には及ばない。「消費電力あたりの速度性能」という指標においてSHはMIPS・SPARCとARMのちょうど間の位置を辿っていることが分かる。図4ではARMとSHの位置づけに明確な差異を認めることは難しかったが、図7の指標を通して、低消費電力や電力効率を求める近年の情報機器に特化してきたARMの特徴と、高性能機器への利用も含めて幅広い用途に対応するためARMほどの電力効率を求めなかった（あるいは、求められなかった）SHの特徴が明らかになった²²。

6.6 スペック性能分析（動作効率）



（注1：横軸は、ARM社が異なるプロセッサ（Cortex）を出荷する以前（2002年）まで作成した。）

（注2：データの収集には専門書籍、インターネットを用いた。CPI値はARM社とルネサステクノロジが公表している値と質問表調査・インタビュー調査で入手した値を優先的に扱い、その他の欠損値は筆者が「動作周波数÷MIPS値」で算出し補充したものである。算出した欠損値は、具体的にはARMは1987年のARM2、1989年のARM2a、1991年のARM60、1994年のARM700、1996年のARM7500(FE)

であり、SH は 1996 年の SH7042、1998 年の SH7750、1999 年の SH7751、2001 年の SH7750R/SH7751R、2002 年の SH7294 である。ただし、1995 年の SH7702 の周波数、1996 年の SH7042 の年度、1998 年の SH7750 の MIPS 値、2000 年の SH7615 の年度、2001 年の SH7750R の周波数、2001 年の SH7751R の年度は質問表調査（以下参照）によって得た。また、1999 年の SH7751 の MIPS 値、2000 年の SH7729R の周波数、2001 年の SH7750R の周波数・MIPS 値、2001 年の SH7751R の周波数・MIPS 値、2002 年の SH7294 の MIPS 値は質問表調査（以下参照）によって得た。また、1998 年の ARM9TDMI の年度・周波数はインタビュー調査（以下参照）によって得た。）
（注 3：質問表調査の詳細 送付日時：2007 年 7 月 4 日（同年 7 月 23 日回答） 媒体：インターネットメール 回答者：株式会社ルネサステクノロジ（旧：日立製作所・三菱電機）コンタクトセンター）
（注 4：質問表調査の詳細 送付日時：2007 年 7 月 17 日（同年 8 月 10 日回答） 媒体：インターネットメール（慶應義塾大学榊原清則名による共同研究） 回答者：株式会社半導体理工学研究センター岡村芳雄氏）
（注 5：インタビュー調査の詳細 日時：2008 年 4 月 24 日 16:30～18:30 場所：アーム株式会社（日本法人） インタビュイー：アーム株式会社マーケティングコミュニケーションアシスタントマネージャー関口勝氏 なお同年 4 月 24 日（5 月 1 日回答）、同氏に対するインターネットメールを通じた聞き取り調査によってデータの追加補充を行った）

図 8 ARM・SH の CPI 推移散布図

図 8 は、CPI 値（Clock cycles Per Instruction もしくは Clock Per Instruction の略）を用いて描いた SH・ARM に関するグラフである。CPI は「1 命令を実行するのに必要なクロック数」と定義され、「効率」「本来の性能」を確かめる際に有用である。一般に数値が小さくなるほど高性能であり、従来は 1 が限界値であったが、近年、同時に複数命令を実行させる技術によってそれを超えている²³。

図 8 から判断すると、1995 年を境にして、SH は ARM に対する性能優位を確実にしている。グラフから推察できることは、ARM がこの時期から継続的な性能向上傾向をやめ、まさに 1 の限界値前で止まったことである。一方の SH ではこの間も変わらず継続的な性能向上が確認される。また、波打って変動する ARM に対し、SH はここでも安定的かつ滑らかな性能向上を進めている。

この事実から、ルネサステクノロジは ARM と比べて継続的な技術進化により積極的であったことがうかがえる。しかし、その後の ARM の情報端末への多大な普及をみると、SH のこの資源投入への意思決定は必ずしも市場評価につながらなかったと言えよう。つまり、動作効率はある程度までは必要だが、ARM がある時期進化を抑えた以上の性能は市場評価にとってさほど重要ではなかったと推測できる。

6.7 ARM の「技術の意味付け」

ここまでの分析で、確かに ARM は「処理性能と消費電力の相対的な性能」で最も優れたプロセッサであり（動作効率の進化の点では必ずしも SH ほど積極的ではなかった）、ARM はやはりこの「電力効率」で支持されてきたように思われる。

実際、ARM の使用用途はその多くが低消費電力や電力効率を求める近年の携帯情報機器であったのに対し、SH はゲーム機など高速処理を求められるものが多かった。

つまり、「使用用途」「電力効率」の 2 点から、ARM と SH の方向性の違いが明確になった。では、ARM はどのようにして、このような自社の位置付けを行ったのか。言い換えると、ARM 社は自社技術の特徴を強みと捉える「技術の意味付け²⁴」をどのように達成したのか。低消費電力への注力が、結果的に携帯電話市場への強みになると気付いたのはいつであろうか。

ARM の日本法人社長である西嶋貴史氏は、「当時（1987 年）は携帯電話を意識して低消費電力を目指したわけではなかった。」（西嶋、2006）と述べている。すると、ARM の TI に対するライセンスが 1993 年に始まり、その後 DSP 製品との組み合わせで OMAP として携帯電話市場を席卷していくことを考えると、TI とのアライアンスがある種の「自社の技術性能の使い道（技術の意味付け）」や「目的転換²⁵」あるいは「意味の洞察」（榊原、2005）をもたらしたのではないだろうか。

ARM が TI と組んだことでより一層消費電力効率を重視し始めたとすれば、これは、「他社との交流（ア

ライアンスなど)が、技術の意味付けを促した事例」であると言える。ARM 社の公式文書にも、

「ARM にとって決定的なチャンスは、1993 年、Texas Instruments (TI) がもたらしました。この契約は、ARM の信用を確立するとともに、ARM の新しいライセンス供与ビジネスモデルが好調に継続することを実証しました。これを機に、ARM は、ライセンス供与ビジネスモデルを形式化し、さらにコスト効果の高い製品開発を目指すようになりました。」(アーム株式会社、2005 年)

という記述がある。TI との契約は「信用」をもたらし、IP ビジネスモデルの確立へのきっかけとなったようだ。

6.8 日本企業の対応

では一方の日本企業は拡大する携帯電話産業に対する ARM の潜在的可能性にいつ気付いたのであろうか。

そこで、日本企業(日立、NEC、富士通、東芝、その他大手企業)が TI などと同時期に ARM とのライセンス契約を開始していたのかを確認するため、日本企業・および海外企業の ARM ライセンスの取得時期を文献・企業サイト等で調べ、その比較表を作成した²⁶。

端末製造	ARM7		ARM9				ARM11					情報	プロセッサの入手経路						
	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02			03	04	05	06	07	
シャープ	x																	PDAに搭載	購入(02年~)
旭化成マイクロシステム			x																
NEC・NECEL										x					x	x			自社(01年~)
沖電気					x					x			x	x					
ローム					x														
ヤマハ					x					x									
ソニー						x	x												購入(03年~)
エプソン						x				x									
松下電器・電子						x				x			x	x					自社(01年~)
SANYO									x	x	x	x							購入(02年~)
東芝						x	x			x	x	x	x	x	x				自社(02年) 購入(02年~)
富士通						x	x			x									自社(02~06年)
三菱・ルネサス									x		x			x	x	x			自社(02年~)
川崎マイクロエレクトロニクス										x									
アプリケーション										x									
Jazelleテクノロジ										x									
イーソル												x							
STARC/ASPLA													x						

部品製造	端末製造	TI	サムスン	DEC	LG	Lucent Technologies	Philips	HP	IBM	クアルコム	インテル	LSI	ST	Motorola	TSMC(ファウンドリ・プログラム)	UMC(ファウンドリ・プログラム)	Seagate	Broadcom	
		x																	
			x																
				x															
					x														
						x													
							x												
								x											
									x										
												x							
													x						

(筆者作成)

(注1: データの収集には専門書籍、インターネットおよび西嶋(2006)を用いた。)
 (注2: 海外企業はライセンス開始時期のみ掲載。)

図9 ARM コアのライセンス取得時期の比較

ARMは幅広く一般的に使えることを目指したはずだが、結果的に多くの日本企業は海外企業（TIなど）と比べてARMのライセンス取得時期が遅かった。TI、サムスン、LGなどが1990年代前半にはライセンス契約を開始しているのに対し、端末製造を行なっている日本企業はNECの1995年以降の1990年代後半に集まっている（シャープの1992年の契約内容はPDA向けであるため、この議論では除外する）。DSPに特化していたTIにとっては、ARMのプロセッサとの間では、言わば効率的な「分担」（アーム株式会社、関口氏²⁷）が可能であったが、日本企業の多くはそのいずれもプロセッサを自社で保有していたことが、外部資源の活用を抑制したという可能性がある。

6.9 ARMのASSP化（特定製品の汎用活用）

ARMは、当初は教育用パソコンの製造用を開発していたプロセッサをIPライセンスビジネス化し、その設計を市場に流通させることで、他社の製品内に様々な形態で組み込ませる戦略へと戦略変更した。このように、当初想定された特定用途向けの製品・サービスが汎用化として再利用されることを「特定製品の汎用活用」と呼びたい。これは言わば、ASIC製品をASSP（Application Specific Standard Productの略。ある分野の「不特定製品向け」に機能を特化させた標準品のこと）化した事例である。

多くの企業が多様な技術応用によってユーザーのニーズへの対応を目指す昨今、ARMのように特定のレイヤーで事実上のデファクト・スタンダードを獲得するには2点が重要になると考えられる。

まず、十分なソフトウェア開発資産が存在することである。莫大な開発費用を負担する開発企業にとって、その技術が互換性を持つのか、従来の開発資産を応用できるのかという点は、その技術を採用するかどうかの意思決定において決定的に重要である。そのためエコシステム（生態系）とも呼べる、開発関係者同士の相互の開発支援体制が求められており、その点でもARMは「リード・パートナー」と呼ばれるライセンシーや様々なベンダーによってARMアーキテクチャの付加価値向上に成功している。

もう1点、いくら特定技術のASSP化が進んでIPライセンスのビジネスモデルを形成したとしても、技術採用側の企業にとっては自らのビジネス環境に悪影響を及ぼさないという保証やある種の「中立性」の担保が求められる。従来は、系列会社や提携企業内での取引、あるいは綿密な契約の取り決めを行なう事でこれらを達成することが多かった。しかしながら、ARMには独立のベンチャー企業という特定の企業群に属さない利点（これを関係者は「色がない」「自由に泳いでいる」などと表現している）があり、これがARMの普及を大いに促したと言えるだろう。

7 おわりに

7.1 まとめ

まず、本研究において、SHと比較したARMの普及達成は「Disruptive technology 自体が直ちにDisruptive Innovationを保証しない」という事実を示している。

特定用途への集中、 特定性能への集中

また本研究は、ARMがDisruptive Innovationによって「モバイル革命」というバリュー・ネットワーク（Cristensen, 1997）の変化に接した時に、従来の性能競争から抜け出し、新たな性能指標の発見に成功して利益獲得を可能にしたことを示している。ドメインに限らない「性能の選択と集中」がここでは重要であ

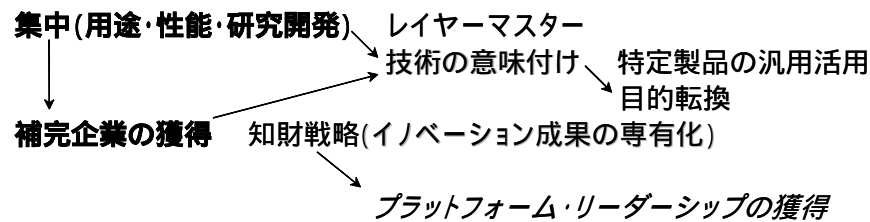
った。

「技術の意味付け」の外部決定、 アライアンスによるビジネスモデルの達成

また、TI との契約が ARM に対する「信用」とビジネスモデルの確立を促した。対する日本企業の多くは、プロセッサを自社で保有していたため、外部資源の活用を抑制せざるをえなかった可能性がある。

7.2 結論

前節で述べた要素をまとめ、レイヤー特化型企业である ARM がプラットフォーム・リーダーシップを獲得するために重要な特徴を以下（図 10）のモデルに整理した。それぞれの矢印は、その前の過程によって可能になる次の状況・プロセスを示している。



（筆者作成）

図 10 レイヤー特化型企业によるプラットフォーム・リーダーシップの獲得要素

ここから、レイヤー特化型企业によるプラットフォーム・リーダーシップの獲得には、

集中

補完企業の獲得

の 2 点が特に有効であると考えられる。つまり、「特定の性能や用途などに集中すること」「その技術の価値を見極めるためにも、他社との交流・アライアンスに積極的であること」である。

ARM のように資源面に制約があったとしても、特定の技術性能を有効に活かす「技術の意味付け」に成功すれば、その技術によるプラットフォーム・リーダーシップ獲得の可能性があることが明らかになった。

7.3 研究の課題

本論文は半導体企業を中心に議論を進めたが、携帯電話産業の競争構造に関しては他のデバイスやサービス主体を通じた調査アプローチも当然考えられる。また、ARM プロセッサの普及プロセスに関しては、本論文で議論上触れなかった他の要因も想定可能であり、これは今後の調査の課題である。しかしながら、本研究は調査可能性の制約の中で「単純性能」「使用用途」「電力効率」「動作効率」といった特に重要だと考えられる指標を用いてハードデータを中心とした実証を試みた点で新規性をそなえ、その限りで本研究は ARM プロセッサに対する一定の現象説明や、あるいはレイヤー特化型企业の競争戦略に関する学術研究へ貢献することができたと考えている。

参考文献

Abernathy, William J., *The Productivity Dilemma: Roadblock to Innovation in the Automobile Industry*, Johns Hopkins University Press, 1978.

Adam M. Brandenburger and Barry J. Nalebuff, *Co-opetition*, Doubleday, 1996.

Annabelle Gawer and Michael A. Cusumano, *Platform Leadership*, Harvard Business School Press, 2002.

Ansoff, H. I., *Corporate Strategy*, McGraw-Hill, 1965.

Baldwin, Carliss Y., and Kim B. Clark, *Design Rules: The Power of Modularity*, The MIT Press, 2000.

Chesbrough, Henry, *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*, Harvard Business School Press, 2003.

Cristensen, Clayton M., *The Innovator's Dilemma*, Harvard Business School Press, 1997.

Cristensen, Clayton M., and Michael E. Raynor, *The Innovator's Solution*, Harvard Business School Press, 2003.

Giovanni Dosi, *Innovation, Organization and Economic Dynamics*, Edward Elgar, 2000.

Herbert A. Simon, *The Sciences of the Artificial 3rd Edition*, The MIT Press, 1996.

Michel E. Porter, *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*, The Free Press, 1980.

Moschella, David C., *Waves of Power*, AMACOM, 1997.

Schumpeter, Joseph A., *The Theory of Economic Development*, Harvard University Press, 1951.

青木昌彦・安藤晴彦編 『モジュール化 新しい産業アーキテクチャの本質』東洋経済新報社、2002年。

アーム株式会社「ARM アーキテクチャ 20周年記念 From Acorns to Mighty Oaks」, 2005年。

B.J.ネイルバフ・A.M.ブランデンバーガー（嶋津祐一・東田啓作訳）『コーペティション経営』日本経済新聞社、1997年。

藤本隆宏・武石彰・青島矢一編 『ビジネス・アーキテクチャ』有斐閣、2001年。

軽部大「日米 HPC 産業における 2つの性能進化」『組織科学』Vol.35 No.2、白桃書房、2001年。

國領二郎『オープン・ネットワーク経営』日本経済新聞社、1995年。

國領二郎『オープン・アーキテクチャ戦略』ダイヤモンド社、1999年。

松本陽一「製品の収益構造の操作可能性：キヤノンのインクジェットプリンタ事業の事例」『KEIO SFC JOURNAL』Vol.6 No.1、慶應義塾大学湘南藤沢学会、2007年。

西嶋貴史「半導体IPライセンスで普及した ARM アーキテクチャ」『赤門マネジメント・レビュー』5巻5号、Global Business Research Center、2006年。

NTT ドコモモバイル社会研究所『モバイル社会白書 2007』NTT 出版、2007年。

榊原清則・大滝精一・沼上幹『事業創造のダイナミクス』白桃書房、1989年。

榊原清則『企業ドメインの戦略論 構想の大きな企業とは』中央公論社、1992年。

榊原清則『経営学入門（上）』日本経済新聞社、2002年。

榊原清則『イノベーションの収益化』有斐閣、2005年。

榊原清則・香山晋編『イノベーションと競争優位』NTT 出版、2006年。

佐藤淳史『携帯電話向け半導体産業の競争分析』（2008年度慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科優秀修士論文）慶應義塾大学湘南藤沢学会、2008年。

新宅純二郎・許斐義信・柴田高編『デファクト・スタンダードの本質』有斐閣、2000年。

新宅純二郎「国際競争とグローバルスタンダード 標準化とビジネス・モデルの進化」『マネジメント・トレンド』Vol.12No.2、経営研

究所、2007年。

梶山泰生・依田高典・長内厚「標準化の利益を阻むもの 第三世代携帯電話の事例」『国際競争とグローバル・スタンダード』経済産業省標準化経済性研究会編、2006年。

立本博文「PCのバス・アーキテクチャの変遷と競争優位：なぜ互換機メーカーは、IBMプラットフォームを乗り越えられたのか？」東京大学ものづくり経営研究センター、2007

注

¹ 一般的に、「イノベーション」(Innovation)とは必ずしも技術革新の意味だけではなく、新しい生産方式や組織変革といった幅広い箇所です。促される社会変化そのものを指し示す (Schumpeter, 1951)。

² 電力は、駆動電圧と消費電流の積。例えば動作周波数を下げることで、動作電流を下げ、電力を下げるができる。

³ 従来のプロセッサ (CISC) よりも単純化されたプロセッサの種類。携帯電話などで使用されている。

⁴ 2005年のARM社公開資料「Product Backgrounder」(<http://www.arm.com/miscPDFs/3823.pdf>)より。ちなみに2001年の時点でも76.8%であった(「アーム株式会社、2005」)。

⁵ 「デファクト・スタンダード」(de facto standard) は、公的な標準化機関からの認証によらず、企業間の市場競争の結果生まれた「事実上の標準」を意味する。

⁶ Intellectual Property (知的財産) の略。本論文においては主にARMによる設計情報などのこと。

⁷ 世界の携帯電話完成品市場において、日本企業の合計シェアは2006年度に6.7% (対エンドユーザー販売台数ベース、総務省調べ) であり、2008年度の予想値では4.8% (NTTドコモモバイル社会研究所、2007年) まで下がるとされている。

⁸ レイヤー特化型企業の「レイヤー」とは、水平多層型化した産業構造の一つの層を意味しており、その内側と外側とで上下関係は含意しない。バリューチェーン上の特定の工程に特化し製品・サービスを提供している企業をここでは「レイヤー特化型企業」と呼ぶ。

⁹ 携帯電話産業の世界規模は2006年度に1,100億ドル (約13兆円) であった (日本経済新聞、2006年4月21日)。

¹⁰ 市場においてはプレイヤーの勝ち負けという競争の側面と双方が勝つ協調の側面との両面があり得るが、この両面を含めた広い概念が「コペティション (Co-opetition)」である (Brandenburger and Nalebuff, 1996)。

¹¹ ARM Limited は英国の半導体企業である。1990年11月設立、社員数は約1,728名 (2007年度末)、売上高は£259.2百万 (2007年) である。主な事業分野は「マイクロプロセッサ及びソフトウェアの設計、開発及びライセンス」であり、1994年9月には日本法人「アーム株式会社」を設立した。

¹² 「周波数」とは交流電流または音波や電波などの1秒あたりに起きる振動回数のこと。ここではクロック周波数、つまり1秒間にクロックが発生する回数を表す値を意味し、単純な処理能力を示している。また、本稿内では「動作周波数」も同義として用いている。

¹³ Millions of Instructions Per Second (処理能力を表す単位) の略。コンピュータが1秒間に何百万回命令を実行できるかを意味し、演算性能を表わす。

¹⁴ 実際のデータセットはデータ量が膨大なため本論文には掲載できず、割愛する。これらについては、佐藤 (2008) の口絵を参照されたい。

¹⁵ 縦軸では、データのバラつきが大きいため、動向を大きく把握する目的で対数表示を用いている。

¹⁶ 周波数の単位。メガは10の6乗。

¹⁷ 同様の現象はMIPS値を縦軸の指標にとっても観察可能である。この点に関しては佐藤 (2008) の「2.3.5. スペック性能分析 (処理性能: MIPS 値)」を参照されたい。

¹⁸ ちなみに、携帯電話・PHS端末機の買い替えに関する複数回答可の調査において、最も多い理由は「電池の持ちが悪くなったから」(64.1%) であり、2番目の「新しい機種が出たから」(31.7%) の2倍以上である。この調査に関してはNTTドコモモバイル社会研究所 (2007) の「携帯電話普及が及ぼす環境への影響一般アンケート (2006年)」を参照のこと。

¹⁹ なお、ARM社がIPライセンスビジネスを行なっているため、ARMプロセッサは実際にそれを製造するメーカーの設計あるいはファウンドリの設備などによって消費電力数が異なり、型名ごとの特定の消費電力は存在しない。そこで、本研究では公開情報で手に入る製品の消費電力や、ARM等から報道された概数などを用いて算出した。

²⁰ SHにおいては、ARMと統一するために最小の消費電力値を用いた。

²¹ 縦軸では、データのバラつきが大きいため、動向を大きく把握する目的で対数表示を用いている。

²² ちなみに、最初筆者がSHのデータを入手するためにルネサステクノロジ本社へ公式に問い合わせたところ、製品の出荷年度などは多くの情報をご回答頂けたが、電力に関するほとんどのデータは入手不可能との返答であった。しかしながら、その後更なる調査でプロジェクト責任者レベルに対して改めてデータ開示を直接お願いしたところ、電力に関する数値もほぼ全て入手することができた。この状況から、ルネサステクノロジが組織としては電力に関するデータそのものをさほど重視せず、データ上で共有されていなかった可能性も考えられる。

²³ ICPI以上の処理能力を出すためには、1クロックで複数の命令を実行する必要があり、これには以下のような解決方法が単独または複合的に採られている。「スーパースケラ Super Scalar」方式、「VLIW (Very Long Instruction Word) 方式」、「SIMD (Single Instruction Multi Data) 方式」。スーパースケラは複数の命令を複数の演算器で処理する方法である。また、VLIWは複数の命令を一つの命令としてまとめて処理するもので、CISC方式の拡張と言える。SIMD方式では1命令で複数のデータを演算するため特定の演算処理を高速化できる。

²⁴ 特定の技術の利用法を見出すこと。その技術の強みを生かし、商品化へ向けたきっかけとなる過程。

²⁵ 佐藤淳史 (2008) の「3.3.2.1. CDMAのASSP化 (特定製品の汎用活用) と目的転換」参照。

²⁶ なお、この表から、プロセッサを自社製造している日本企業の多くは長期的に複数回のライセンス契約をARMと取り交わしている一方で、プロセッサを外部調達している企業は初期の2~4回程度だけライセンス契約をしてその後契約を継続していないことも分かる。プロセッサを自社開発する企業は常にARMの最新技術の変動に敏感にアクセスしていた一方で、外部調達方針の企業は初期にARM技術がいかなる特徴を持っていたかを一度観察したのではないだろうか。

²⁷ アーム株式会社 (日本法人) マーケティングコミュニケーションアシスタントマネージャーの関口勝氏。TIとARMの関係を指し示す「分担」という表現は、関口氏へのインタビュー調査 (日時: 2008年4月24日 16:30~18:30 場所: アーム株式会社) の中で彼が用いたものである。