

Discussion Paper Series No. J49

システム・アーキテクチャのダイナミクス
ーデジタルカメラのシステム・アーキテクチャの変遷ー

伊藤宗彦 (神戸大学経済経営研究所)

2003年 8月

※この論文は神戸大学経済経営研究所のディスカッション・ペーパーの中の一つである。
本稿は未定稿のため、筆者の了解無しに引用することを差し控えられたい。

**論文題目：システム・アーキテクチャのダイナミクス
ーデジタルカメラのシステム・アーキテクチャの変遷ー**

ソフトウェアとハードウェアの統合を分析する枠組みとしてシステム・アーキテクチャという概念を導入し、その統合が製品機能、市場競争にどのような影響を与えるのかを鮮明に描き出そうという試みを行う。本稿では、デジタルカメラ市場を詳細に分析することにより、システム・アーキテクチャが市場の成長に伴ってダイナミクスを持つこと、また、そのダイナミクスは製品アーキテクチャのモジュール化を伴い、同質化へ向かうこと、また、外生的、内生的な要因により、複数の経路が存在することを述べる。

キーワード：

製品開発、ソフトウェア、ハードウェア、システム構造のダイナミクス、製品戦略

Product Development, Software, Hardware, Dynamics of System Architecture, Product Strategy

目次

1. はじめに.....	2
2. システム・アーキテクチャの概念.....	2
3. 本稿の目的.....	6
4 分析対象市場の特徴.....	7
5 システム・アーキテクチャのダイナミクスの分析.....	10
5-1 基本機能分類.....	11
5-2 基本機能の相関分析.....	12
5-3 システム・アーキテクチャのダイナミクスの分析.....	13
5-4 アーキテクチャのダイナミクスとモジュール化.....	20
6 まとめ.....	23

1. はじめに

IT時代の電子機器は例外なく、ソフトウェアとハードウェアから構成されるシステム化された製品である。近年、このような製品の成否は、コンテンツなどを含めた広義のソフトウェアに大きく依存してきているように思われる。こうした市場での競争において、ソフトウェアとハードウェアの統合の成否は、企業経営にとって非常に重要な役割を負うようになってきている。一方では、製品の構成がモジュール化しており、水平分業化が進んでいるというオープン・アーキテクチャ化の議論が行われている(国領 [1999])。しかしながら、このような議論は、ハードウェア、ソフトウェア、それぞれを別々に扱ったものであり、システム化された製品を直接分析するような試みはなされてこなかった。本稿では、ソフトウェアとハードウェアの統合を分析する枠組みとして、システム・アーキテクチャという概念を導入する。システム・アーキテクチャの概念とは、ハードウェアとソフトウェアのアーキテクチャの組合せによって規定されるシステムの性質を分析する枠組みを表す。このような分析概念を用い、ソフトウェアとハードウェアの統合が製品機能、市場競争にどのような影響を与えるのかを、より鮮明に描き出そうという試みを行う。

本稿では、ケースとしてデジタルカメラ市場(以下、デジカメ市場)を詳細に分析することにより、システム・アーキテクチャが市場の成長に伴ってダイナミクスを持つこと、また、そのダイナミクスは製品アーキテクチャのモジュール化を伴い、同質化へと向かうことを論じる。

2. システム・アーキテクチャの概念

本稿では、電子機器の製品開発について議論する。製品開発における、グローバル化、製品開発リードタイムの短縮化といった特徴は、日本企業が成功してきた一要因として認識されている。しかしながら、たとえば、ゲーム機器、携帯電話、パソコン、音楽再生機器、デジカメ、カーナビ、PDA、ルーター、あるいは半導体など、IT時代の電子機器では、必ずしも日本企業だけが成功したのではなく、逆に、垂直統合にこだわる日本企業のビジネス・モデルの問題点も指摘されている¹。このような電子機器の普及には、いくつかの共通する成

功要因が見受けられる。たとえば、ネットワークの外部性の利用、コンテンツやデータベースといったソフトウェア（広義の IP：知的所有権やデータベースも含む）の高度な統合・ネットワーク化、EMS やファンドリーとの協業を伴うバーチャル組織化など、従来のビジネス・モデルでは見受けられなかったものである。このようなビジネス・モデルでは、ハードウェアとソフトウェアの統合により有効な性能を発揮できるよう、いかにシステム化を進めるかが製品開発の重要な焦点となっている。本稿は、このようにシステム化された製品について、システム・アーキテクチャという概念を提案し、分析の枠組みを考えてみるものである。

製品のアーキテクチャは、製品機能の面から、インテグラルかモジュラーかという分類、また、製品の開発・生産における他組織との連携という観点より、オープンかクローズかという分類ができる（藤本 [2001]）。しかしながら、近年の電子機器のように、ソフトウェアがハードウェアに高度に統合されるシステムを分析するには、いくつかの問題点を指摘しうる。たとえば、あるシステムを構成するハードウェアはクローズ、ソフトウェアはオープンという構造を取るとすると、システムとしては一体どちらの構造となるのか判明しない。このように、システム化された製品を分析するには、モジュラーかインテグラルか、あるいは、オープンかクローズかという、製品アーキテクチャの分類だけでは不十分である。本稿ではこのようなソフトウェアの関わり方について、システム・アーキテクチャという新しい分析枠組みを提案する。



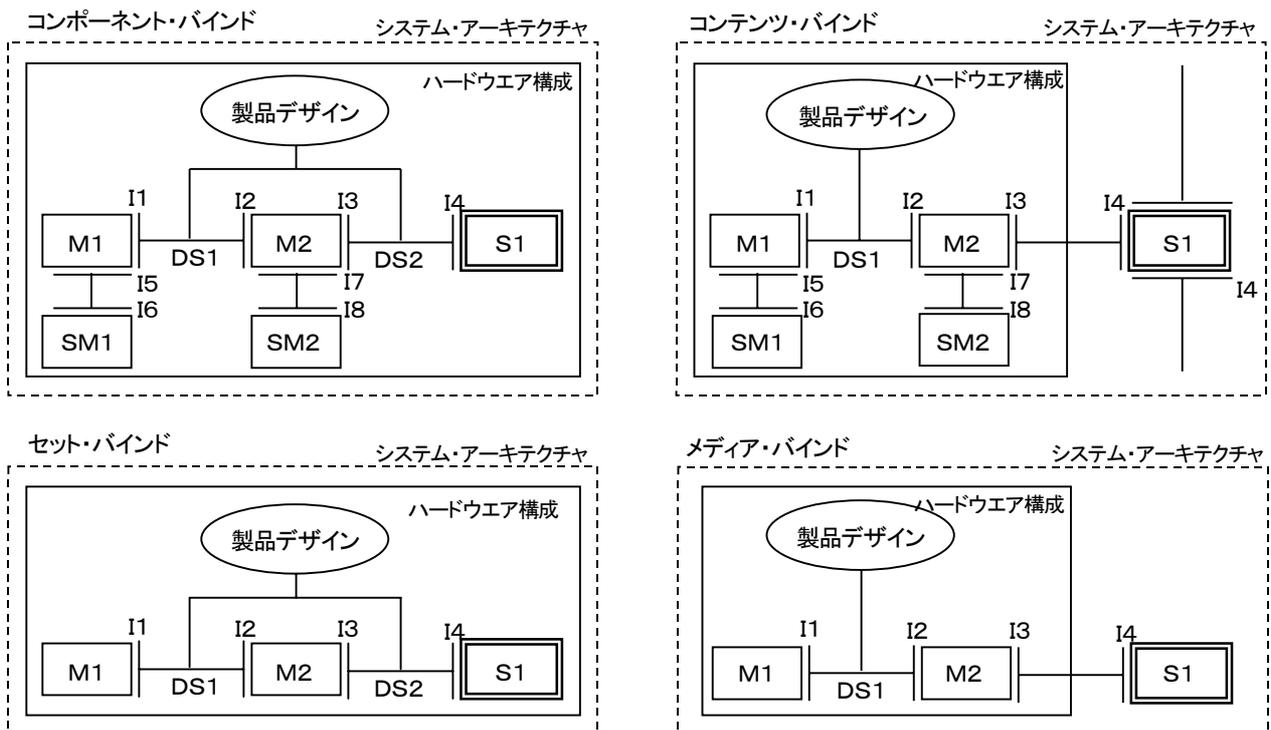
図1. システム・アーキテクチャの分類

ここで言うシステム・アーキテクチャとは、ハードウェアとソフトウェアのアーキテクチャの組み合わせによって規定されるシステムの性質、と定義される。図1は、このようなシステム・アーキテクチャの考え方を示したものである。図中、ソフトウェア、ハードウェアの製品アーキテクチャをそれぞれ X、Y 軸に取り、オープンかクローズかという分類を行い、システム・アーキテクチャの分類をマトリクス化している。ここで、オープンとは、製品構成要素間のインタフェースが企業を超えて業界レベルで標準化した製品を指し、クローズとは、インタフェースの設計が1社内で閉じている状態を示す（藤本[2001]）。図中、システム・アーキテクチャは、ソフトウェア、ハードウェアがそれぞれオープンかクローズかという組み合わせによって、4つに分類されている。

それぞれの名称は、ソフトウェアがシステム中のどこに存在しているか、すなわち、何にバインドされているかによって命名されている。分かり易くするために、ワードプロセッサ（ワープロ）というシステムを例にして説明しよう。標準的なワープロは、ソフトウェアとハードウェアが一体化されており、それぞれアップグレード出来ない構造となっている。このようなワープロは、ソフトウェアが本体（セット）に結合されているため、セット・バインドとネーミングする。さらに、ワープロがシリーズ化され、同じソフトウェアを用いて、異なったハードウェアと組み合わせられる場合がある。ソフトウェアは、そのワープロのシリーズ共通の部品上に結合されていることから、コンポーネント・バインドと命名される。また、ワープロが CD-ROM などの媒体（メディア）を用いて、ソフトウェアのアップグレードが可能になるような場合、ソフトウェアはメディア上に存在するため、メディア・バインドとなる。最後に、インターネットなど、ネットワーク上から自由にソフトウェアをダウンロードできるようなワープロの存在を想定すると、ソフトウェアは、ネットワーク上でコンテンツとして配信されるため、コンテンツ・バインドと命名する。4つのシステム・アーキテクチャの命名は、図1に示されている通りになる。

それぞれのシステム・アーキテクチャについて、その概念を図2に示す。図中、M1、M2はモジュールを表すが、それぞれのモジュール間は、I1～I8というインタフェースで結合され、なおかつ、DS1、DS2という設計ルールで統合されることが表されている。さらに、SM1、SM2はサブモジュ

ールを表す。ここでいうサブモジュールとは図中 I 5～I 8 のようなオープンなインタフェースを持ったモジュールを指す。ハードウェアとしてオープン、クローズという分類は、サブモジュールの存在でも規定される（青木・安藤 [2002] ; Boldwin and Clark[2000]）。まず、セット・バインドの製品の場合、ソフトウェアは、I 3, I 4 というインタフェースと DS 2 という設計ルールで製品に統合されるため、ハードウェア、ソフトウェアともにクローズなアーキテクチャとなる。次に、コンポーネント・バインドの製品では、セット・バインドと同様にソフトウェアは I 3, I 4 というインタフェースでハードウェアに統合されているが、相違点はサブモジュールの存在であり、ハードウェアとしてオープンな構造を持っている点である。メディア・バインドの製品では、



- M1、M2 :モジュールを表す
- SM1、SM2 :サブモジュールを表す
- I1 ~ I8 :インタフェースを表す
- DS1、DS2 :設計ルール、標準を表す
- S1 :コンテンツ、アプリケーション、IPなど、広義のソフトウェアを表す

図2. システム・アーキテクチャの概念

ソフトウェアは各種記憶媒体などのメディアを介して、I 3、I 4というインタフェイスで結合される。ここで、セット・バインドと異なるのは、ソフトウェアがオープンな構造を持っているため、他のソフトウェアとの互換が可能な点である。ハードウェアは、逆にクローズな構造を取る。コンテンツ・バインドの製品もソフトウェアがオープンな構造を取るという点で、メディア・バインドの場合と共通性がある。相違点は、ハードウェアもソフトウェアと同様にオープンな構造をとるという点である。

以上、製品アーキテクチャの概念を、システム・アーキテクチャへと拡張してきた。システム・アーキテクチャは、製品構成要素であるモジュールが、単に物理的か非物理的かという単純な理由で区分されるのではなく、統合されるソフトウェアの性質によって規定されるものである。本稿では、このようなシステム・アーキテクチャの概念を用い、そのダイナミクスがどのように変遷しているか、また、市場で競争力を持つにはどのような製品開発戦略が必要条件となるのかについて分析を行う。

3. 本稿の目的

本稿では、製品アーキテクチャの変化をシステム面から見る、つまり、製品システムのアーキテクチャ変化を詳細に分析していく。このような実証研究のために、デジカメ市場を分析対象とした。デジカメ市場を選択した理由は、日本が世界的な生産国となっており、国際競争力が高く、参入企業の製品戦略の分析は、競争力の高い製品開発を研究するために最適な事例と思われたためである。また、デジカメ市場は比較的新しい市場であり、市場化された全ての製品を包括的に分析できるデータ入手の可能性が高かったためである。

本稿では、1995年にデジカメが本格的に市場化されてから2002年までに製品化された453モデル、全てについて分析を行った。このような分析を行う目的は、まず、製品構造のモジュール化の実証を行うことである。モジュール化については、Boldwin and Clark[2000]等の研究により、多くの利点が報告されているが、産業全体にわたる包括的な実証研究は少ない。そのため、本研究の第1の目的として、デジカメ市場におけるモジュール化の進展とそのダイナ

ミクスを解析していきたい。第2の目的は、デジカメのように強い産業の製品アーキテクチャは、どのような製品戦略のもとに進化しているのか、また、そのような進化の意図とその実現の方法についての解析を行うことである。

このような研究は、システム・アーキテクチャの分析枠組みを利用して行う。製品の進化には、ハードウェアとソフトウェアがどのように関わっているのか、また、そのダイナミクスはどのようになっているのかを詳細に検討することにより、企業はどのように製品を進化させていけば競争力を維持することができるのかを提言していきたい。

4 分析対象市場の特徴

本項では、システム・アーキテクチャのダイナミクスの研究対象、およびその分析範囲を設定する。研究対象となるデジカメ市場は、1995年の本格的な立ち上がりから7年という比較的新しい産業である。デジカメ市場を分析対象として選んだのは、詳細な分析のためのデータ収集が正確に行えるためである。もっとも、IT時代の電子機器は、携帯電話、カーナビ、パソコン、DVDなど、全て1990年代以降に本格的に市場が立ち上がっており、デジカメと酷似して

表1. 企業・年代別デジタルカメラ発売モデル数

会社名	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	総モデル数
富士写真	1	2	4	7	7	9	11	12	53
オリンパス	1	3	5	5	7	13	11	8	53
ニコン	-	-	2	3	4	2	6	7	24
キャノン	-	1	2	3	2	4	9	11	32
ソニー	-	2	4	6	6	11	13	14	56
コダック	1	3	2	3	6	4	3	-	22
リコー	1	5	3	3	3	4	3	2	24
カシオ	1	4	4	3	3	5	7	7	34
サンヨー	-	-	2	3	3	3	3	3	17
エプソン	-	2	1	2	2	1	2	-	10
松下電器産業	-	-	5	1	1	3	2	4	16
シャープ	-	1	3	-	2	1	-	-	7
ミノルタ	-	-	1	1	3	2	5	5	17
コニカ	-	1	2	2	1	-	5	6	17
東芝	-	-	1	2	4	2	3	6	18
京セラ	-	-	1	1	1	1	1	5	10
その他 ²	2	4	3	2	2	12	5	3	33
年度モデル総数	7	28	46	47	57	79	91	98	453

いる。これは偶然ではなく、使用される OS の多様化³、使用されるマイコンの性能向上、重要な部品となるメモリー容量の増大などといった要素技術・部品の発展と相関があるためと推定できる。

まず、最初のデジカメは富士写真フィルムから市場化された。1988年10月、デジカメの1号機である DSP-1 という試作モデルが発表され、その3年後、DSP-100 というモデル名で製品化された。当時の価格で68万円と非常に高価であったため、大した数量は出荷されなかった。殆ど同時期に、コダックはニコンと共同でハードディスクを内蔵した DC3/32、DCS200ci という2つのモデルを発売している。やはり、352万円という価格のため、特殊な用途にしか受け入れられなかった。1993年10月、オリンパスから VC-1000 というモデルが発売された。上記の3社、4モデルがデジカメの初期モデルとして位置付けられるものであり、結果的には試作機的な意味合いが強く、また、ハードディスクの搭載、光学式カメラやビデオ機器の本体を流用するなど、製品の完成度も高くはなかった。当時のデジカメが置かれた外部環境として、パソコン市場の未成熟さもデジカメの普及の阻害要因となった。デジカメはその性質上、撮った写真を何らかの技術で再生、印刷する必要があり、当時、パソコンの普及率は高くなく、デジカメ市場が形成されるほどの環境ではなかった。

デジカメの市場形成は、1995年3月、カシオの QV-10 という25万画素の

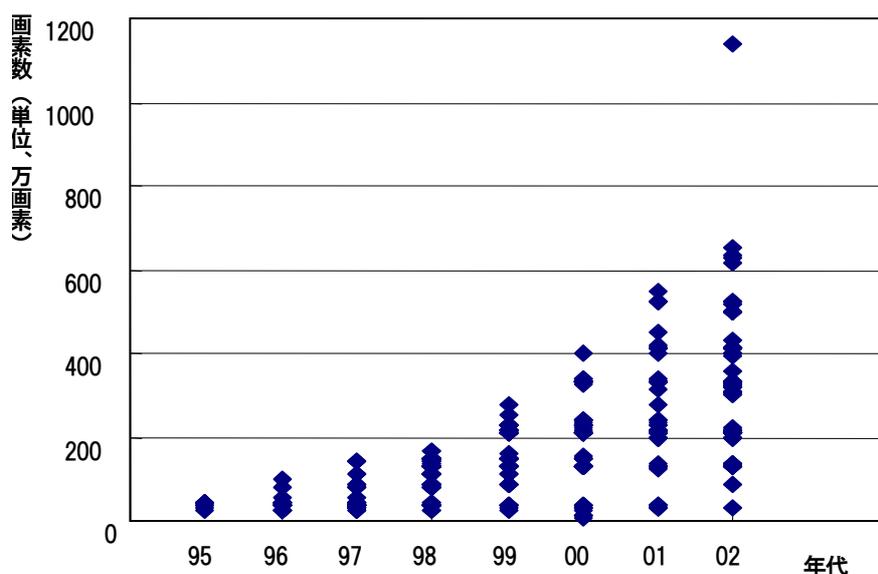


図2. デジタルカメラの年代別画素数の推移⁴

モデルによって開始された。価格も 65,000 円という低価格であったため、一気に市場が立ち上がった。さらにこの年、多くのモデルが発売された。カシオの他にも、リコー、富士写真フィルム、オリンパス、コダック、チノン、アップル・コンピュータの7社が市場参入した。表1はこのようなデジカメ市場における企業・年代別発売モデル数を表す。デジカメのモデル数は、順調に増加している。また表より、1995年から1997年の3年間に主な参入企業が出揃っていることが示されている。

議論を、デジカメの製品開発の進展に移そう。図2はデジカメ市場における画素数の進化を示しており、黒丸は各年度に発売されたモデルを表す。図中明らかなように、デジカメの画素数は確実に増え続けている。1995年の発売当初の25万画素から、現在の最先端モデルでは1000万画素を越えるものまで、新製品が途切れることなく現れている。その開発スピードは非常に早い。一方、ローエンドモデルの画素数は、初期のモデルよりも、むしろ低下してきている。このようなローエンドモデルを調べると、写真シール作成専用デジカメや、超小型デジカメ、1万円を切るような低価格製品など、製品の多様化が顕著に示されている。つまり、ハイエンドモデルは画素数の競争、ローエンドモデルはニッチ市場となり、市場全体としては多様化傾向が強い。さらに、図3はデジカメの市場規模推移を表している。デジカメ市場は、毎年、順調に拡大しており、2001年には1500万台を越える市場となっている。また、この図からは、

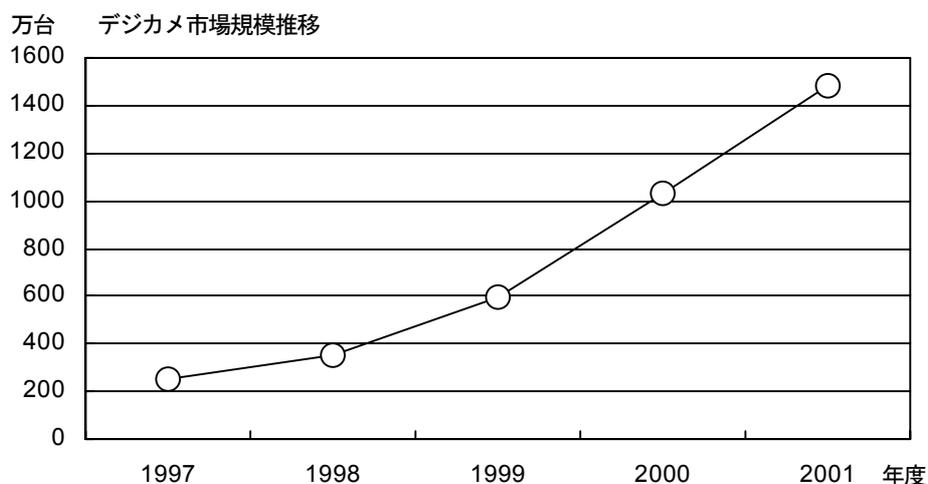


図3. デジカメの市場規模推移⁶

デジカメ市場は成長段階にあり、今後も市場拡大が続くことが予想できる。

このような背景を持ち、デジカメのドミナント・デザインは、1995年に確立された。液晶モニター、ファインダー、メモリー、CCDなどから構成されるデジカメの基本アーキテクチャはこの年に決まったのである。本稿では1995年以降を分析範囲として議論を進める。

5 システム・アーキテクチャのダイナミクスの分析

本項では、分析フレームを設定し、システム・アーキテクチャは実際にどのようなダイナミクスを持って変化しているのかという分析を行う。そのダイナミクスは、図4に示される枠組みにしたがって分析される。本項ではまず、デジカメの基本機能を明確に分類するとともに、1995年から2002年までに発売された全デジカメ453モデルの基本機能データを収集した。

次に、収集したデータを企業・年代・機種別に、基本機能データとともにデータベース化し、このようにして作成したデータベースを基に、デジカメの基本機能間の相関関係を明確にし、分析に必要な機能の検討を行った。さらに、

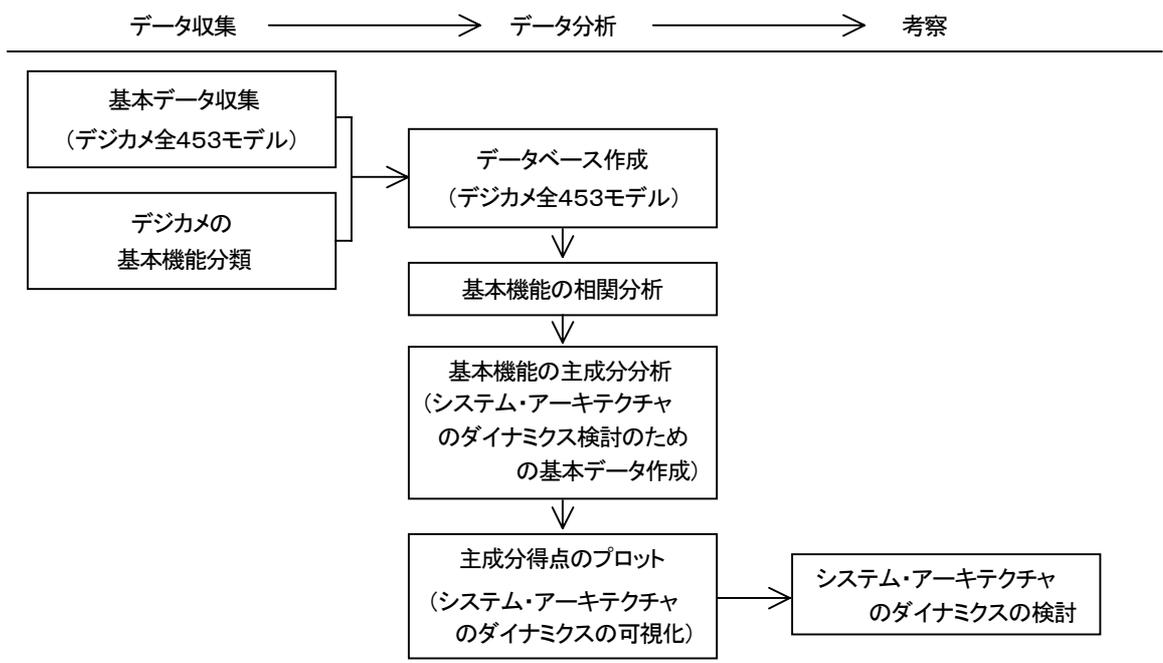


図4. システム・アーキテクチャの分析枠組み

因子分析を行い、システム・アーキテクチャのダイナミクスを観察できるよう、各モデルの因子得点を、抽出された因子軸で構成される空間上にプロットした。

このようにして、各年に製品化されたデジカメがどのようなアーキテクチャを有しているのか、またどのように変化しているのかを可視化できるようにした。以下、このような分析枠組みにしたがい分析結果を考察する。

5-1 基本機能分類

デジカメのシステム・アーキテクチャのダイナミクスを検討する上で、その分析対象となる製品の特徴、すなわちデジカメの基本機能を明確にしていく。まず、デジカメのドミナント・デザインは、1995年に確立されたことは既に述べた。この点について、再検討していこう。あるイノベーションによってもたらされた製品について標準化が目指され、製品の性能、規模、費用を基にした競争が始まる時、ドミナント・デザインが確立されたと見なすことができる(Utterback [1994])。つまり、ドミナント・デザインは所与のものではなく、事後的に観察されるべき性質を有している。デジカメの場合、1988年にコンセプトモデルが発表されており、その後、1991年に本格的に製品化された。1995年に製品化された7社のモデルは、ファインダー、メモリー、CCDによる画像処理、バッテリーによる駆動と、基本的な製品構成は共通するものが認められ、ドミナント・デザインとみなすことができるものであった。

それでは、このようなデジカメのドミナント・デザインは、どのような基本機能を選定すれば規定することができるのであろうか。本稿では、客観的な分析を試みるため、使用者側から見て、デジカメとして販売している製品について、その機能が明確に識別でき、しかも全て仕様書や製品説明資料で明示されている12の基本性能について分析を進めていく。このような基本機能について、1995年から2002年の間に発表された全てのデジカメについてデータベースの作成を行った。

5-2 基本機能の相関分析

作成したデータベースは、デジカメの代表的な 12 の基本機能を記述したものである。表 2 はこのようなデータベースを統計処理し、基本機能の平均値、標準偏差を表したものである。まず、平均値について見てみよう。画素数は使用される CCD の性能を表し、全デジカメの平均画素数は 198 万画素となっている。デジカメに使用される素子の種類は CCD と CMOS の 2 種類がある。平均値より、CCD が 93% の機種で使用されていることが分かる。素子サイズは、逆数がインチサイズを表す。したがって、数値が大きくなるほど小さな素子が使用されていることを表す。データ変換方式とは、画像情報がデジカメに取り込まれるときの変換方式を表し、補色系と原色系に分かれる。61% の機種が補色系である。レンズ交換性は望遠レンズの使用の可否を表し、0.3% の機種でレンズが交換できる。記憶媒体は、86% のモデルが外部記憶媒体（メモリーカード）を使用し、残りの 14% が内蔵メモリーを使用している。また、ズームと連動した光学式ファインダーは 77% に採用されている。さらに 90% で液晶モニターが使用されており、電源は 62% が充電式と乾電池の併用方式を、残りの 38% が内蔵された専用の充電電池を使用している。57% のモデルで USB ポートが、46% で AV 端子が、また、5% でシリアルポートの外部インタフェースが搭載されている。

表 2. デジカメ基本機能間の記述統計量

基本機能	平均値	標準偏差	基本機能の説明
画素数	198.091	13.091	単位 (万画素)
素子種類	1.066	0.249	1: CCD、2: CMOS
素子サイズ	2.511	0.740	逆数がサイズ、単位 (in)
変換方式	1.609	0.489	1: 補色系、2: 原色系
レンズ交換	0.003	0.173	0: レンズ交換不可、1: レンズ交換可能
記憶媒体	0.861	0.346	0: 内部メモリー使用、1: 記憶媒体使用
ファインダー	0.773	0.420	0: ファインダー無、1: ファインダー有
液晶モニター	0.901	0.299	0: 液晶モニター無、1: 液晶モニター有
電源	0.625	0.485	0: 専用電源使用、1: 汎用電池使用
USBポート	0.565	0.496	0: USBポート無、1: USBポート有
AV 端子	0.461	0.499	0: AV 端子無、1: AV 端子有
シリアルポート	0.046	0.211	0: シリアルポート無、1: シリアルポート有

有効サンプル数 : 453

5-3 システム・アーキテクチャのダイナミクスの分析

デジカメの基本機能とシステム・アーキテクチャの関連性について詳しい分析を試みる。まず、画素数はデジカメの性能を表すが、デジカメにとって必須機能であり、アーキテクチャの分類に影響を与えないことから、また、レンズ交換機能も対応機種が極めて少ないため分析対象とはしなかった。表3は、その他の10の基本機能に関して因子分析を行った結果である。因子分析により、2つの因子が抽出された。第1因子は、素子サイズ、データ変換方式、電源、USBポート、AV端子の5つの機能から構成される。第2因子は、素子種類と記憶媒体、液晶モニターという3つの基本機能により構成される。

図5は、このような分析結果をもとに、因子得点をプロットする空間を規定したものである。図は第1因子を横軸に、第2因子を縦軸に取っている。こうして構成されたマトリクスの構成をそれぞれA、B、C、Dと命名すると、構成Aは、内蔵メモリーを使用し、液晶モニター、専用の充電器が使用されているが、USBポートやAV端子という外部インタフェイスは採用されておらず、ソフトウェア的にクローズなアーキテクチャを有している。また、この構成にはCMOSが使用される機種も含まれている。このようにクローズなアーキテクチャから、外部インタフェイスが導入されたものが構成Bとなる。一方、構成Aからメモリーカード、液晶モニター、乾電池といったモジュール部品が

表3. 因子分析の結果

基本機能	因子負荷量		成分抽出後 共通性
	第1因子	第2因子	
素子種類	.006	-.825	.689
素子サイズ	-.627	-.178	.625
変換方式	.581	.345	.469
記憶媒体	.291	.633	.576
ファインダー	.003	-.213	.693
液晶モニター	.162	.812	.688
電源	-.524	-.140	.425
USBポート	.812	-.151	.692
AV端子	.765	.137	.637
シリアルポート	.005	.138	.201
寄与率 (%)	29.05	16.66	
累積寄与率 (%)	29.05	45.71	

因子抽出法：因子分析 n = 453

回転法：Kaiserの正規化を伴うバリマックス法 (5回の反復で収束)

多く使用され、ハードウェア的にオープンなアーキテクチャを取ると構成Cとなる。この構成では、全ての機種で CCD が使用されている。さらに、構成Dは、モジュール化された部品、外部インタフェイスを有する、すなわち、ハードウェア、ソフトウェアともにオープンなアーキテクチャを持つ。

こうして形成される空間上に、1995年以降、20モデル以上発売してきた上位6企業について、そのデジカメの因子得点をプロットし、年代ごとにどのように推移しているかを調べてみたものが図6-1、6-2である。それぞれの企業について、左右2つの図が示されている。左側の図は、因子分析の結果より導かれた因子得点を、図5で示される第1因子の軸と第2因子の軸から構成される空間上にプロットしたものである。各点はそのモデルの因子得点の位置付けを表し、発売された年代ごとにくくり、その推移を矢印で示している。一方、右側の図は、このような各社モデルのアーキテクチャは、どのようなベクトルを持って変化していったのかを表している。それでは、分析結果を見てみよう。まず、デジカメのアーキテクチャの推移パターンは複数ある。最も多く見受けられるのは、構成A→C→Dという変遷であり、上位6企業は基本的に

メモリーカード、液晶モニター、CCD 使用	
外部インタフェイスなし・素子サイズ小・補色系・専用電源	<p>構成C</p> <p><u>ハードウェアをモジュール化したアーキテクチャ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・メモリーカード ・液晶モニター有り ・専用充電器 ・外部インタフェイス無し ・補色系変換方式 ・素子サイズ小 ・CCD 使用
	<p>構成D</p> <p><u>すべてオープンなアーキテクチャ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・メモリーカード ・液晶モニター有り ・汎用充電器 ・外部インタフェイス有り ・原色系変換方式 ・素子サイズ大 ・CCD 使用
	<p>構成A</p> <p><u>すべてクローズなアーキテクチャ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・メモリ内蔵 ・液晶モニター無し ・専用充電器 ・外部インタフェイス無し ・補色系変換方式 ・素子サイズ小 ・CMOS 使用
	<p>構成B</p> <p><u>ソフトウェアがオープンなアーキテクチャ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・メモリ内蔵 ・液晶モニター無し ・汎用充電器 ・外部インタフェイス有り ・原色系変換方式 ・素子サイズ大 ・CMOS 使用
メモリ内蔵、モニターなし、CMOS 使用	
	外部インタフェイス・素子サイズ大・原色系・汎用電源

図5. 因子空間の規定

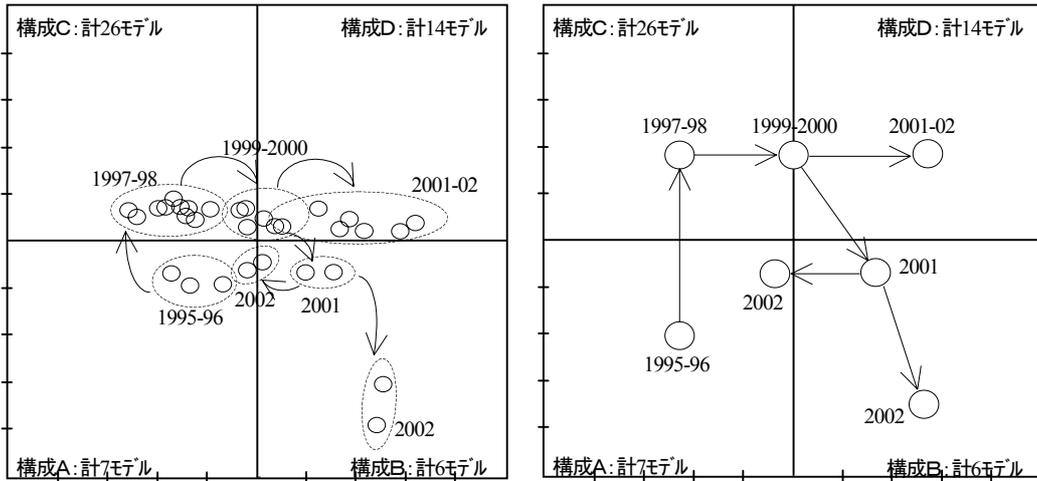
このようなパターンを持つ。

まず、パターン1の構成 A→C→D という推移について考えてみよう。構成 A は、初期のデジカメでよく見られる構成である。メモリーは内蔵され、液晶モニターはなく、専用の充電回路を持ち、ズーム機能がないために、光学式のファインダーではなく素通しのファインダーが用いられていた。デジカメが市場化された時期には、部品市場も存在せず、デジカメを製造する企業は、独自に設計した部品を用いて製造し始めたため、クローズな構造を取らざるを得なかった。市場が拡大するにつれ、液晶、メモリーカード、充電可能な乾電池など、市場調達できるモジュールが使用されるようになり、ハードウェアは少しずつオープンな構造を持つようになった。その後、ソフトウェア的にも外部インタフェースを持つようになり、オープンなアーキテクチャとなる構成 D へと推移していった。構成 C のモデル数が多いのは、このようにモジュール化された構成は、範囲の経済が追及され、多くのシリーズ化されたモデルが製品化されたためと考えられる。

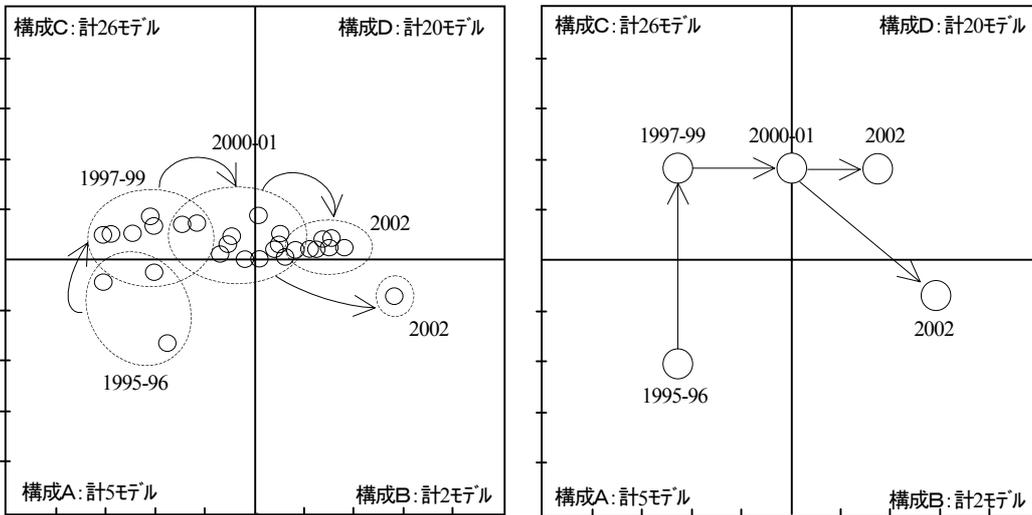
次に、富士写真フィルム、オリンパス、キャノンが示す D→B というベクトルはどのように理解できるのであろうか。構成 B のモデルを調べると、一眼レフ型の高画素数を有した高級機種であり、構成 C と異なり、シリーズ化されず単発に製品化されている。ここでは、光学式カメラ企業の戦略の影響が見受けられる。専用に開発された充電器、内蔵バッテリー、光学式ファインダーの採用など、シリーズ化が考慮されない複雑な設計となっており、ハードウェア的にはクローズな構造を持っている。しかしながら、USB ポートなど、外部インタフェースはいち早く取り入れられており、原色系の変換方式が採用されるなどソフトウェア面からはオープンな構造となっている。また、キャノンなどでは非常に画素数の多い、専用に開発された CMOS 素子が採用されている。ここでは、光学機器企業と電子機器企業のアーキテクチャの違いも見受けられる。ソニー、カシオなどの電子機器企業は D→B というベクトルは有しておらず、他の光学機器企業の多様化戦略とは対照的である。

さらに、デジカメ産業全体でのダイナミクスがどのように変化しているかを調べるために、年代別にプロットした結果を図7に示した。図中、各象限に示された数字は、その構成に相当するモデル数を表す。それでは図を考察して

富士写真フィルム (計:53モデル)



オリンパス (計:53モデル)



ニコン (計:24モデル)

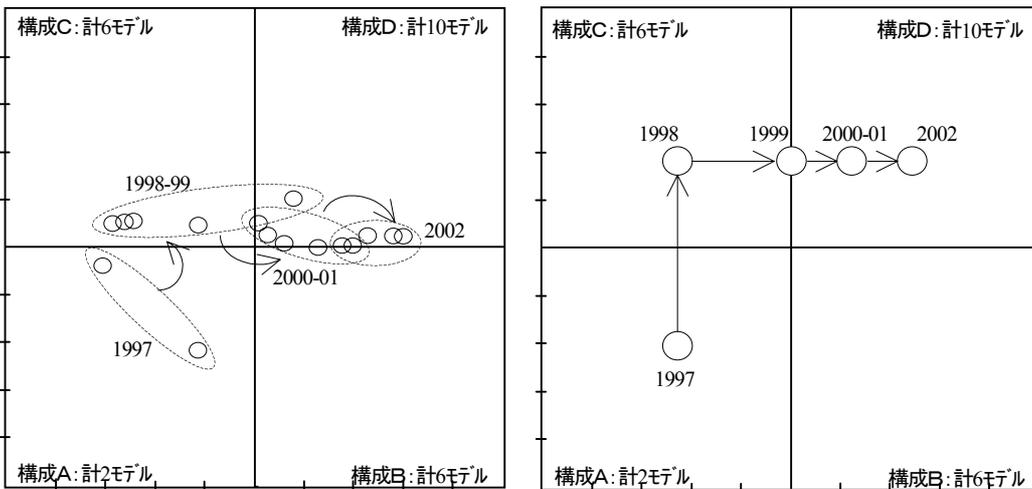
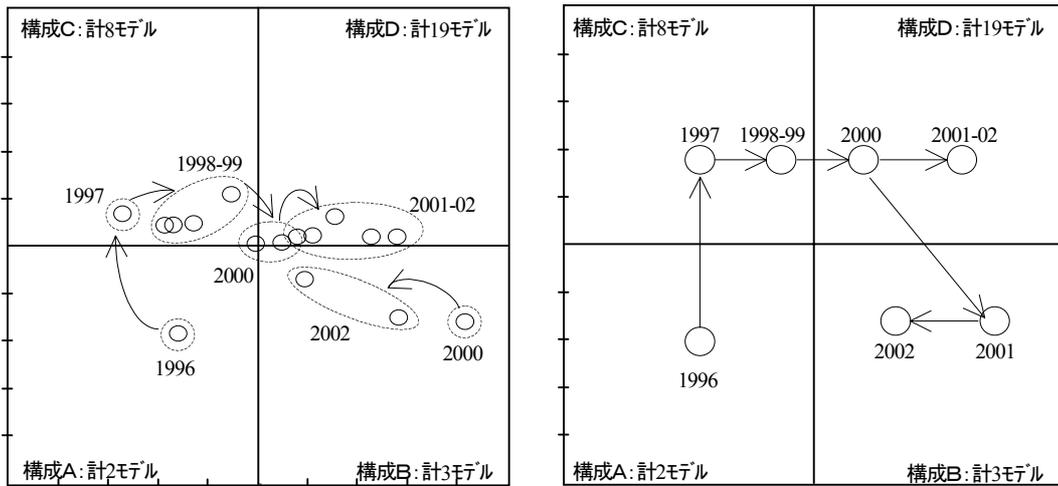
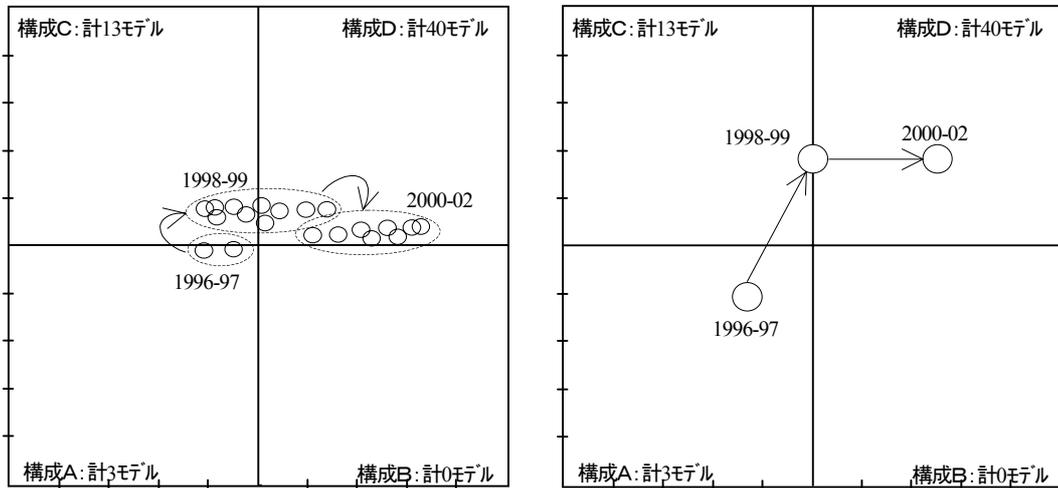


図6-1. デジカメの製品アーキテクチャのダイナミクスの分析結果¹⁾

キャノン (計:32モデル)



ソニー (計56モデル)



カシオ (計:34モデル)

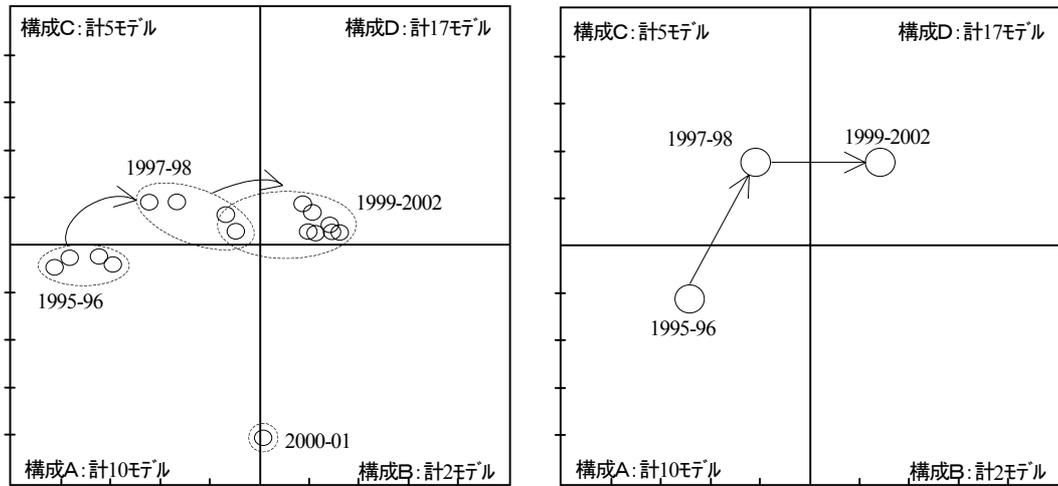


図6-2. デジカメの製品アーキテクチャのダイナミクスの分析結果¹⁾

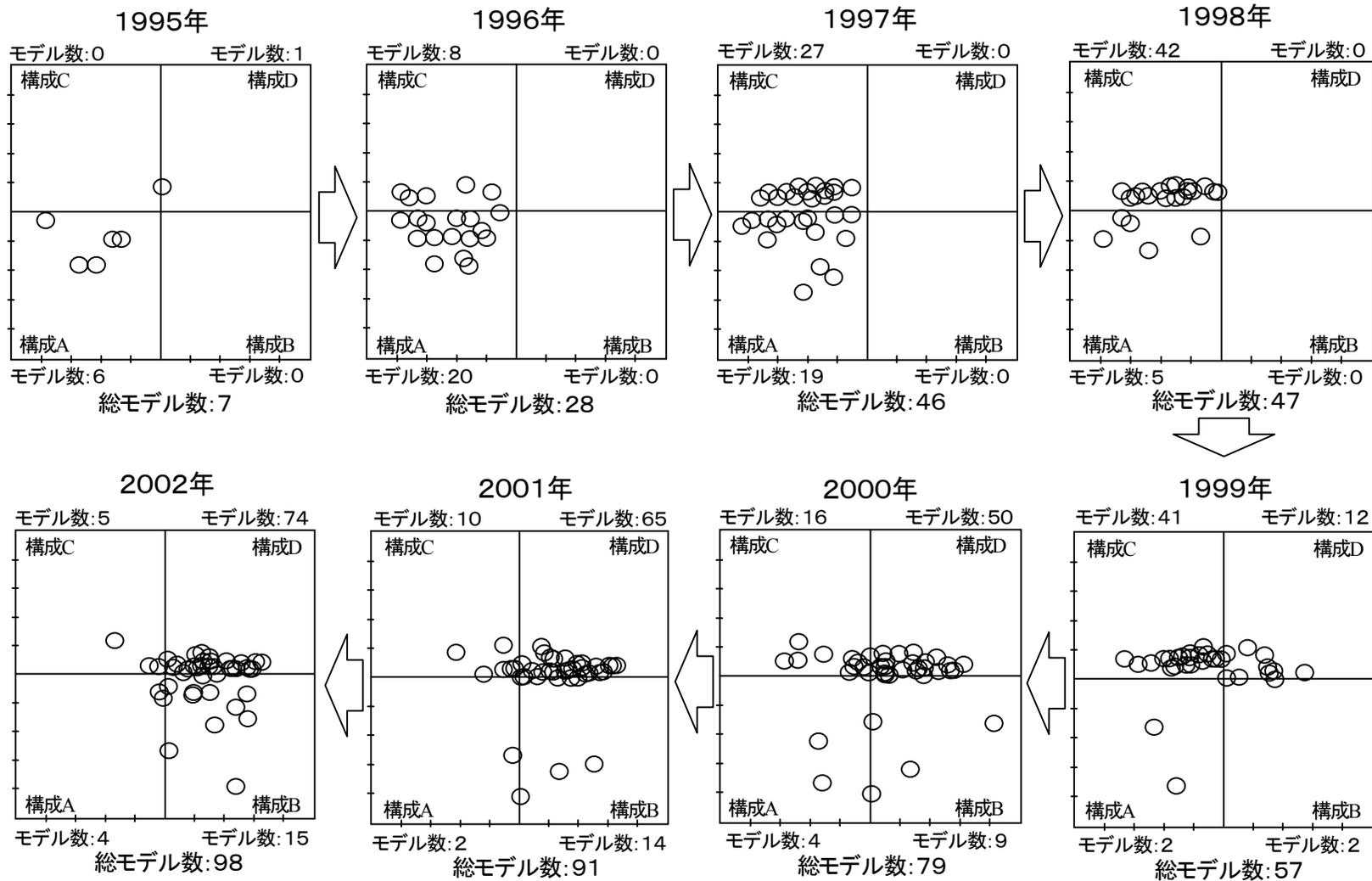


図7. デジカメのシステム・アーキテクチャ年度別変遷

いこう。まず、1995年以降、デジカメのアーキテクチャは、年代とともに構成Aから構成Cへと移行している。その後、モデル総数は増え続けるのであるが、構成Dに収束していく現象が見受けられる。さらに、1999年以降、構成Bのモデル数が増加している。図7のアーキテクチャの推移について、その特徴を改めてまとめると：

- (1) システム・アーキテクチャは産業全体でダイナミクスを有している。
- (2) システム・アーキテクチャは構成Aから構成Cを経て、構成Dへ移行している。
- (3) 構成Bのアーキテクチャは、構成Dから移行し、増加する傾向にある。

以上、3点が明確になった。

さらに図7を、年代別に各構成の割合の推移に改めたものが図8である。図中、構成Aのアーキテクチャは、1995年の約86%をピークに、1998年には10%まで減少し、1999年以降ほとんどなくなっている。次に、構成Cは、1995年から徐々にその数を増やし、1998年にピークを迎えた後に減少していく。構成Bは1999年から増加傾向にある。最後に構成Dは、1995年の市場立ち上がり時から1998年まで、全く存在していないが、1999年以降、急激にその割合を伸ばし、2001年以降、70%以上となっている。このように、デジカメのアーキテクチャは、構成Aから構成Cを経て、構成Dへと向かうダイナミクスを持つことが示された。

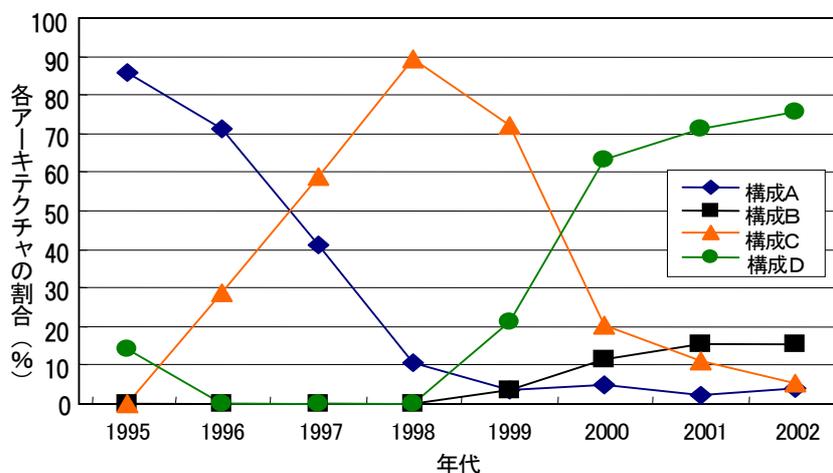


図8. デジカメ市場におけるシステム・アーキテクチャの比率、年度別推移

5-4 アーキテクチャのダイナミクスとモジュール化

デジカメのアーキテクチャのダイナミクスを分析してきた。それでは、このようなアーキテクチャの変化は、モジュール化と関連があるのだろうか。モジュール化の進展を推定する指標として、アーキテクチャ収束化率 R を検討した。これは、各年代に市場化されたデジカメのアーキテクチャ数 N と、その年の全モデル数 M の比率で計算され、 $R= M/N$ と定義する。たとえば、2002年には98モデルが市場化されたが、アーキテクチャは43種類あった。ここで、アーキテクチャ収束化率 R は、 $98/43=2.279$ となる。このようにして算出されたアーキテクチャ収束化率を示したのが表4である。デジカメのモジュール化は、ハードウェアの面からは、外部メモリーや規格化された充電電池の使用、同じサイズの素子を使用することによるシリーズ化を進めることで、範囲の経済や規模の経済を目指している。ソフトウェア的にも、汎用のUSBやデータ変換方式を採用することによって製品開発費用の削減が可能になるため、アーキテクチャ数の削減は、製品開発の面からも重要な課題となることが推測される。モジュール化が進むほど、各企業の製品は類似化しアーキテクチャ数は減少することから、アーキテクチャ収束化率 R は大きいほどモジュール化が進んでいると推定できる。表4では、1998年以外、毎年、アーキテクチャ収束化率は増加しており、モジュール化が進展している様子が示されている。数字の上では、1995年から2002年の8年間にアーキテクチャ収束化率は約2倍になっており、モジュール化の進展を示唆している。

また、このようなアーキテクチャ収束化率を企業ごとに算出したのが表5である。この表からは、モジュール化の程度は企業間で大きなばらつきがあり、

表4. アーキテクチャ収束化率

年代	アーキテクチャ数 N	モデル数 M	アーキテクチャ収束化率： $R= M/N$
1995	6	7	1.167
1996	20	28	1.400
1997	29	46	1.586
1998	22	47	2.136
1999	33	57	1.727
2000	41	79	1.927
2001	43	91	2.116
2002	43	98	2.279

概して、カメラ専門企業の方がモジュール化の進展が遅いことが示されている。たとえば、ソニーは、1996年の市場参入以来、DSC、MVCといったシリーズを2002年まで続けており、当初よりデータ変換方式は原色系のみを用い、フロッピー・ディスクやメモリー・スティックといった外部メモリーを長期に渡ってシリーズ化するなど、モジュール化を意図した製品展開を行っている。一方、カメラ専門企業は、一眼レフタイプなど高級機種や低画素数の普及タイプまで多くの機種を製品化する傾向があり、モジュール化の意識はやや低いようにも見受けられる。また、ニコンやコダックのように、他社よりOEMを受けている企業はアーキテクチャ収束化率が低く、モジュール化の進展が遅い。

図9は構成ごとにアーキテクチャ収束化率を計算したものである。図中、その値は、構成Aから構成C、構成Dへと大きくなることが示されている。一方、構成Bはやや小さな値となっている。構成ごとのアーキテクチャ収束化率が表4と比較してかなり大きな値となっているのは、表4は年代ごとに区切っているため、同じアーキテクチャでも年代が変わるたびに、別々に数えることによる重複が起こるためである。表4、図8、図9を詳細に比較検討すると、1995年より構成Aは急激に構成Cに置き換わっていることが分かる。このようなアーキテクチャの変化は、構成Aから構成Cへのアーキテクチャ収束化率が上がる、つまりモジュール化が進行するベクトルが存在しており、これをモジュール化ベクトル1とする。次に、図8より、1998年から構成Cが急激に構成Dに置き換わっていくことがわかり、このような変化は、図9が示すようにアーキテクチャ収束化率の増加を伴っていることから、モジュール化ベクトル2とする。このように、デジカメのアーキテクチャのダイナミクスは、

表5. 企業ごとのアーキテクチャ収束化率

企業名	アーキテクチャ収束化率：R
富士写真フィルム	$53/31 = 1.710$
オリンパス	$53/28 = 1.893$
ニコン	$24/16 = 1.500$
キャノン	$32/16 = 2.000$
ソニー	$56/20 = 2.800$
コダック	$22/16 = 1.375$
リコー	$24/13 = 1.846$
カシオ	$34/17 = 2.000$

2段階の変化、つまり2つのベクトルによって示される。この2段階の変化を詳細に見てみよう。

まず、モジュール化ベクトル1は、構成Aと構成Cの差分から導かれる。図5に示される因子空間によって説明される構成Aから構成Cへの変化は、素子がCMOSからCCDへ、メモリーは内臓から外部メモリーへという変化と液晶モニターの採用を表している。これらの変化は、1995年にデジカメが市場化された時期には、安価で低消費電力を特徴とするCMOSを用いた機種が出されたが、その後、ビデオカメラで大量に使用されるようになったCCDの高感度化が進み、もともと低ノイズという特徴を有していたCCDが標準になっていたことを示している。また、小型で軽量なメモリーカードの高容量化が進み、このようなカードを使用するためのアダプターなど、周辺部品の入手が容易になったことから、内臓メモリーは一気にメモリーカードといった外部メモリーに置き換わっていった。さらに、デジカメで必要とされる小型カラー液晶モジュールも採用され始めた。このような変化は主に、ハードウェア・モジュールの採用によって起こっており、このことはアーキテクチャ収束化率が1.824から3.170に増加していることから裏付けられる。このようにモジュール化ベクトル1は、ハードウェアのモジュール化、すなわち、ハードウェア設計のオープン化を表す可能性が高い。

次に、モジュール化ベクトル2については、構成Cから構成Dへの変化の差分によって説明できる。図5より、データ変換方式が補色系から原色系へと変化し、専用充電池から汎用充電池の採用へ、また、USBポートやAV端子が

		モジュール化ベクトル2 →	
↑ モジュール化ベクトル1	構成C	構成D	
	$R_C = 149 / 47$ = 3.170	$R_D = 202 / 58$ = 3.483	
	$R_A = 62 / 34$ = 1.824	$R_B = 40 / 20$ = 2.000	
	構成A	構成B	

図9. 構成ごとのアーキテクチャ収束化率

標準で採用されるようになった。さらに、素子サイズは画素数の増加に伴って、大型化し、大きさのばらつきは固定化してきている。つまり、使用される CCD の種類は固定化してきている。このような変化は、デジカメで撮られた画像データ方式が JPEG という方式に固定され、USB ポートによりデータの受け渡しをする方式に統一されてきたこと、充電回路やその制御を行うソフトウェアを専用に開発する代わりに汎用の充電ユニットを使用するようになったこと、ビデオ用と共有していた CCD 素子が高感度のデジカメ専用の素子に置き換わるようになり、高度な計算が要求される補色系から、単純な計算を行う原色系へデータ変換方式が変わるなど、ソフトウェアのモジュール化を示唆する。つまり、モジュール化ベクトル 2 はソフトウェアのオープン化を表している。

6 まとめ

本稿の締めくくりとして、デジカメのケースを基に、システム・アーキテクチャのダイナミクスのモデル化を試みよう。ある産業の立ち上がり時期の製品は、多分にシステム多面的となる（楠木 [1997]）。市場での「やってみることによる学習（learning by doing）」の蓄積が無いためである。しかし製品化後、市場からのフィードバックが可能になると、次期製品ではさまざまなニーズに合わせ、市場細分化への戦略が検討される。分析結果からも明らかなように、一度に複数の製品が発売されることも珍しくはない。つまり、製品開発にはシステム単面性の色合いが出てくる。電子機器の製品化には多くの部品が必要であり、設計はハードウェア、ソフトウェアともに複雑になり、次期モデルの性能・機能を向上させていくには、モジュール化・オープン化を進め、少しでも安価な部品を市場から調達することが有力な手段となる。言い換えると、要素技術、モジュールを全て自社開発することは効率が悪い。

市場細分化が進み市場が拡大すると、主要な機能を担うモジュールを生産する企業が固定化してくる。たとえば、デジカメのケースでは、CCD はソニーが、液晶はシャープが水平分業構造の一端を担っている。こうして、専門モジュール企業とのネットワーク化やアライアンス化が進展する。特にソフトウェアの場合、規格化が進むことにより、ネットワークの外部性が働くことがある。

たとえばデジカメのケースでは、JPEG という画像規格が標準となり、また、出力も USB 規格が標準となっており、今日ではほとんどの機種がこのような規格を採用している。

それでは、デジカメのケースを基に製品アーキテクチャのダイナミクスをモデル化していくことにする。ここでの分析は、第1章で規定したシステム・アーキテクチャのフレームワークを用いる。図1で規定したシステム・アーキテクチャは、IT 機器をはじめ、ソフトウェアとハードウェアが統合された多くの電子機器のアーキテクチャを分類するためのものである。つまり、製品におけるソフトウェアとハードウェアの関連性を見るための枠組みである。システム・アーキテクチャを表した図1と、デジカメの因子分析から得られた図9を比較してみよう。図9では、因子分析結果によって分類された構成Aから構成Dまでのアーキテクチャ収束化率と、その変遷を表すベクトルが示されている。

本稿のはじめに規定したシステム・アーキテクチャの概念を用いれば、ハードウェアもソフトウェアもクローズな構成はセット・バインドと命名した。図9の構成Aは、モジュール化の程度を表すアーキテクチャ収束化率が最も小さい、つまり、モジュール化が進んでいないことが示されており、さらに、モジュール化ベクトル1は、ハードウェアのオープン化を表すベクトルと規定したことから、規定したシステム・アーキテクチャでは、セット・バインドの構成と同義と考えられる。同様に、構成Dは、ハードウェア、ソフトウェアともに

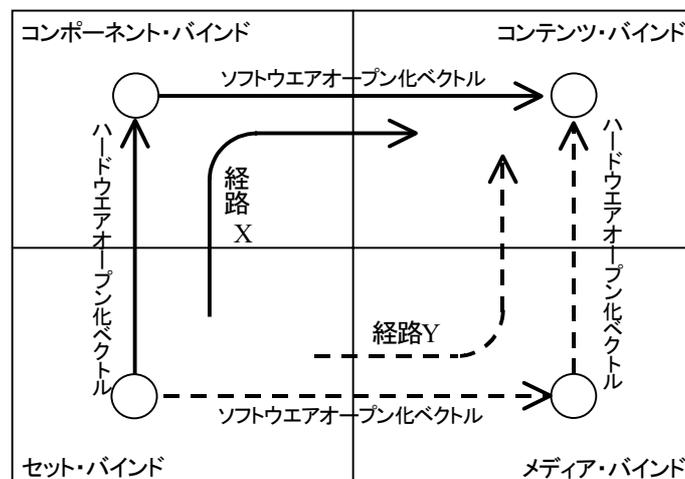


図10. システム・アーキテクチャのダイナミクス

オープンな構造を取るということから、コンテンツ・バインドの構成と考えられる。以下、同様に構成Bはメディア・バインド、構成Cはコンポーネント・バインドに相当すると考えることにする。このように規定したシステム・アーキテクチャのダイナミクスを表したものが図10である。図では、ハードウェア、ソフトウェアともにオープン化が進む、つまり、セット・バインドからコンテンツ・バインドへの経路は2つ示されている。経路Xは今回のデジカメの事例が示すようにコンポーネント・バインドを経由するルートであり、経路Yは、今回の事例では存在しなかったが、ソフトウェアのオープン化がハードウェアのオープン化に優先する場合である。市場の立ち上がり時に、使用されるデジタル地図の業界標準が決定していたカーナビ市場の事例（伊藤 [2003]）などでは、このような経路でシステム・アーキテクチャが変化することもある。それでは、このように規定したシステム・アーキテクチャの変化の経路、つまりダイナミクスの特徴をまとめると：

- (1) 初期市場のシステム・アーキテクチャは、機能間の統合度が高いセット・バインドの形態を取るが、製品の成熟度が進むにつれ、ハードウェア、ソフトウェアともにオープンな構造をもつコンテンツ・バインド化が進む。
- (2) システム・アーキテクチャは、企業間、企業内を含めて同質化していく。つまり、モジュール化が顕著となっていく。
- (3) ハードウェアとソフトウェアのオープン化のスピードは均一ではない。理由は、ハードウェアのオープン化は要素技術・部品市場に、ソフトウェアは規格化のタイミングに依存するためである。ただし、製品開発においては、両者は互いに関連し合っており、また、企業の製品戦略という内生的な要因にも依存するため、そのダイナミクスは企業によって異なる。

上記のようになる。

規定したシステム・アーキテクチャのモデルを、Utterback and Abernathy [1975]の製品・技術進化モデル、および、Rosenberg [1976]の技術進化モデルと比較してみよう。本稿で述べてきたシステム・アーキテクチャの議論では、ソフトウェアとハードウェアという性質の異なる要素を含む製品についてのア

ーキテクチャの変化、すなわち、技術経路が示されてきた。このような事実から技術進化は外生的ではなく、企業による内生的な要因によるものと捉えることができる。この点が、Utterback and Abernathy のモデルとの相違点である。このような相違は外生的な影響を受けにくい、つまり、ハードウェアのように市場調達可能な構成部品による技術進化の影響を受けないソフトウェアの開発は、企業内の戦略を反映しやすいことに起因する。しかしながら、その意味するところは大きく異なるものの、Utterback and Abernathy の技術進化は製品革新から工程革新へというダイナミクスを持つという指摘は、システム・アーキテクチャもダイナミクスを持つという点で共通性を認めうる。

異なった技術の組み合わせによる影響について述べた Rosenberg [1976]、[1982]の理論は、システムのアーキテクチャがモジュール化し、それぞれのモジュールの相互作用を考えると、非常に重要な意味を持つ。Rosenberg は、技術が相互依存性を持つ要素から構成されるシステムについて、その要素技術間に技術レベルの不均衡が生じるとき、その技術不均衡(Technology Imbalance)は、それが解消されるように技術革新活動を集中させる焦点化装置(Focusing Device)として重要な役割を果たすと説いた。Rosenberg の技術革新のメカニズムは、サブシステムを有するアーキテクチャにおいて、より促進されるパワーが内蔵されており、コンポーネント・バインド、コンテンツ・バインドといったアーキテクチャがそのような条件に合致すると思われる。逆に、ハードウェアもソフトウェアもクローズなセット・バインドのアーキテクチャでは技術不均衡の顕在化が十分ではなく、技術革新を促進するメカニズムは働きにくい。メディア・バインドは、確かにソフトウェアの技術革新を目指したアーキテクチャと言えるため、技術不均衡の顕在化を促進する潜在力は弱い、コンテンツ・バインドへの移行にしたがって、このような潜在力は顕著化してくる。したがって、システム・アーキテクチャにおける、セット・バインドからコンテンツ・バインドへのダイナミクスには、技術不均衡を顕在化させることによる技術革新を促進するメカニズムが内包されていると理解することができるのである。以上、システム・アーキテクチャのモデルは、モジュール、サブモジュール間の技術不均衡を顕在化させるメカニズムにより技術革新を促進するという Rosenberg の技術革新モデルと比較しても、システム・アーキテク

チャはダイナミクスを有するという性質は相違するものではない。

最後に、本稿で行った分析の限界と問題点、および、今後の課題について述べる。まず、本稿では、製品アーキテクチャの変遷を分析するために、過去から現在までのデジカメの機能、全てをプーリングし、そのデータを因子分析することによって製品の分類を行った。この手法では、絶対的というよりは相対的な分類になるため、オープンかクローズかという、本来、厳格に区別すべき線引きがあいまいになる可能性がある。さらに、全てのデータをプーリングした後に解析を行うため、データ更新ごとにデータをプーリングするため、分そのたびに、分析結果が変化する可能性を否定できないという問題を含んでいる。また、モジュール化の程度を製品機能分析によって計測、すなわち、機能とモジュールを同義として扱っているため、モジュール化を正確に捉えていない可能性を完全に否定できない。今後の課題として、このような分析手法としての限界・問題点を克服しつつ、他の産業でも同様の分析を行い、結果を蓄積することにより、システム化された製品、すなわち、ハードウェアとソフトウェアからなる IT 関連製品の製品競争力の分析を行い、本稿のデジカメのケースとの比較を行っていきたい。

-
- 1 国領 (1999)、楠木 (2001) の議論などを参照。
 - 2 その他の企業には、アップルコンピュータ、チノン、NEC、ボラロイド、セガ、プラス、ペンタックス、ビクター、三菱電機、トミー、高木産業、タカラ、バンダイ、ニチメン、日立製作所、無印良品、マクセル、ライカ、以上の 18 社のモデルが含まれる。
 - 3 多くのアプリケーションソフトから共通して利用される基本的な機能を提供し、コンピュータシステム全体を管理するソフトウェア。「基本ソフトウェア」とも呼ばれる。ソフトウェアの開発者は、OS の提供する機能を利用することによって開発の手間を省くことができ、アプリケーションの操作性を統一することができる。OS には、パソコン用のものと IT 製品などに用いられる組み込み型のものがある。
 - 4 分析対象企業の 453 機種のカatalog値をもとに、筆者が作成した。
 - 5 デジタルカメラにおける画素数は、使用している CCD の受光部である素子の数を表す。光を信号に変換する素子の数は、デジタルカメラの性能を測る重要な要素で、その素子が多いほど光を受けてデータに変換される画素の数が多く、より多くの情報を記録することができる。デジタルカメラが発売された当初は、30 万画素のものが主流だった。しかし今では、メガピクセルモデルと呼ばれる 300 万画素を超える高画素数の CCD を搭載したモデルも開発されている。
 - 6 JCIA: 日本写真機工業会 2001 年度資料を基に、筆者が作成。
 - 7 CCD: Charge Coupled Device 光エネルギーを電気信号に変換し、映像を電子化する素子。デジカメの主要部品の一つである
 - 8 デジカメで使用される CCD は基本的に白黒画像しか記録できない。そのためにフィルターを併用し色を再現している。原色系フィルターとは、CCD の一素子ごとにフィルターをつけ、R (赤)、G (緑)、B (青) それぞれの光のみを通過させ画像の色を再現している。一方、補色系フィルターは、RGB の補色にあたるフィルターをかけたものである。補色系フィルターは補色を用いることから光の透過量が多くなるため、感度が高くなるという利点があるが、色の再現のために複雑なデータ処理が必要になるという欠点もある。一方、原色系フィルターは、発色が綺麗でその再現に複雑なデータ処理が必要ないという利点があるが、感度は高くない。近年の傾向としては、大口径のレンズと原色系フィルターの組み合わせが増えてきている。
 - 9 光学式ファインダーとは、撮影時のぞくカメラの窓。フィルムカメラでは単に「ファインダー」と呼ぶが、デジカメでは液晶モニタをファインダーとして利用できるため、区別するために光学式と付けている。ここでは、撮影画像と連動したフィルター、つまりレンズを通した画像が見えるファインダーを光学式ファインダーと呼ぶ。たとえば、ズームをした場合、ファインダーの画像もズームされるようなファインダーである。つまり、素通しのガラスファインダーは光学式ファインダーと区別している。
 - D 分析結果を基に筆者が作成。
 - II 分析結果を基に筆者が作成。
 - E 分析結果を基に筆者が作成。
 - B アーキテクチャ数は、基本機能の組み合わせの種類を数えたものである。たとえば、素子の種類、素子サイズ、データ変換方式などの 12 の基本機能が全く同じであれば、アーキテクチャの種類は 1 つと数える。したがって、アーキテクチャ数は、全モデル数から重複するアーキテクチャ数分少なくなる。

—文献リスト—

- Baldwin, C and Kim. B. Clark (2000), "Design Rules," MIT Press
- Chesbrough, H.W and David Teece (1996), "When is Virtual Virtuous?: Organizing for Innovation,"
Harvard Business Review, Jan./Feb., pp.65-74
- Child, J and David Faulkner (1998), "Strategies of Co-operation: Managing Alliances, Networks, and
Joint Ventures," Oxford University Press
- Christensen, C. M. (1997), "The Innovator's Dilemma," Harvard Business School Press
- Garud, R. and A. Kumaraswamy (1995), "technology And Organizational Designs for Economies of
Substitution," Strategic Management Journal, Summer Special Issue, 16, pp.93-109
- Henderson, R and Kim B. Clark (1990), "Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing
Product Technologies and the Failure of established Firms," Administrative Science
Quartaly, Vol.35. pp.9-30.
- Jansiti, M (1998), "Technology Integration," Harvard Business School Press
- Rosenberg, N (1976), "Perspectives on Technology," Cambridge University Press
- Rosenberg, N (1982), "Inside the Black Box : Technology and Economics" Cambridge University Press
- Simon, H. A (1969), "The Architecture of Complexity: Hierarchic Systems," The Science of the Artificial,
3rd ed. (1996), Cambridge, MA: MIT Press
- Teece, D.J. (1980), "Economics of Scope and The Scope of The Enterprise," Journal of Economic
Behavior and Organization," 1, pp.223-247
- Utterback, J. M. and W. Abernathy (1975), "A Dynamic Model of product and Process Innovation,"
Omega, Vol3 No.6, pp.639-656.
- Utterback, J.M (1994), "Mastering The Dynamics of Innovation," Harvard Business School Press
- Wheelwright, S.C., and K.B. Clark (1992), "Revolutionizing Product Development," The Free Press, New
York, NY.
- Williamson, O.E. (1985), "The Economic Institutions of Capitalism." New York : Free Press
- 青木昌彦・安藤晴彦 (2002) 『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
新聞社
- 青島矢一・武石彰 (2001) 「アーキテクチャという考え方」 『製品・組織・プロセスの戦略的
設計—ビジネス・アーキテクチャ』 有斐閣

-
- 青島矢一 (2003) 「産業レポート - デジタルスチルカメラ」 『『一橋ビジネスレビュー』第
51 巻第 1 号』
- 青島矢一 (2003) 「ビジネスケース - オリンパス光学工業」 『『一橋ビジネスレビュー』第
51 巻第 1 号』
- 伊藤宗彦 (2003) 「システム・アーキテクチャとイノベーション - カーナビにおけるソフト
とハードの統合」 『一橋ビジネスレビュー』第 50 巻第 4 号
- 楠木建・野中郁次郎・永田晃也 (1995) 「日本企業の製品開発における組織能力」 『組織科学』
第 29 巻第 1 号 pp.92-108.
- 楠木建 (1997) 「システム分化の組織論」 『ビジネスレビュー』第 45 巻第 1 号.
- 楠木建 (2001) 「価値分化と制約共存」 『知識とイノベーション』一橋イノベーション研究セ
ンター編、東洋経済新聞社.
- 柴田友厚・玄場公規・児玉文雄 (2002) 『製品アーキテクチャの進化論—システム複雑性と
分断による学習』白桃書房
- 武石彰 (2003) 『分業と競争 - 競争優位のアウトソーシング・マネージメント』有斐閣
- 西口敏宏 (1997) 「共生進化の組織間マネージメント」 『アウトソーシングの実践と組織進
化』ダイヤモンド社
- 西口敏宏 (2000) 『戦略的アウトソーシングの進化』東京大学出版会
- 延岡健太郎 (1996) 『マルチプロジェクト戦略』有斐閣
- 藤本隆宏、K.B.クラーク (1993) 『製品開発力』田村明比古訳、ダイヤモンド社
- 藤本隆宏・安本雅典 (2000) 『成功する製品開発』有斐閣
- 藤本隆宏 (2001) 「アーキテクチャの産業論」 『製品・組織・プロセスの戦略的設計—ビジネ
ス・アーキテクチャ』有斐閣
- 藤本隆宏 (2003) 『能力構築競争 - 日本の自動車産業はなぜ強いのか』中公新書