

MMRC
DISCUSSION PAPER SERIES

MMRC-J-81

人工物の複雑化と製品アーキテクチャ

東京大学大学院経済学研究科
経済産業研究所ファカルティフェロー
奥野 正寛

経済産業研究所フェロー
瀧澤 弘和

東京大学 21 世紀 COE ものづくり経営研究センター
渡邊 泰典

2006 年 4 月



東京大学21世紀COE [モノづくり]
ものづくり経営研究センター

人口物の複雑化と製品アーキテクチャ*

東京大学大学院経済学研究科
経済産業研究所ファカルティフェロー

奥野 正寛[†]

経済産業研究所フェロー

瀧澤 弘和[‡]

東京大学 21 世紀 COE ものづくり経営研究センター

渡邊 泰典[§]

2006 年 4 月

* 本稿のアイデアをまとめるに当たって著者たちは、東京大学における「アーキテクチャ理論研究会」の参加者、報告者の方々と議論から多くのものを得ている。同研究会の報告者・参加者の方々、とりわけ安藤晴彦、池田信夫、中尾政之、柳川範之、木村友二の各氏に謝意を表したい。また、経済産業研究所におけるセミナーにおいては三本松進、細谷祐二氏から貴重なコメントをいただいた。研究会に限らず交流させていただいている中馬宏之氏、藤本隆宏氏との不断のアイデアの交換がなければ、本論文はこのような形でまとまることはなかったであろう。特別の謝意を表したい。本論文に残された誤りがあるとするれば、それが著者たちのものであることは言うまでもない。なお、本稿は独立行政法人経済産業研究所における「製品・工程アーキテクチャの産業論に関する理論的・実証的研究」プロジェクトの研究成果の一部でもある。

[†] fujiwara@e.u-tokyo.ac.jp

[‡] takizawa-hirokazu@rieti.go.jp

[§] watanabe-y@mmrc.e.u-tokyo.ac.jp

概要：本論文は、製品アーキテクチャ概念の重要性が高まることになった背景を、人間と人工物の分業・協業関係の展開と、その中での人工物の独特な複雑化という文脈の中で説明する。人間は人工物を複雑化させてきたが、その複雑化の過程においては、機械が行う情報処理と人間に固有な情報処理をいかに補完的に組み合わせるかが問われてきた。コンピュータの登場が機械的な情報処理のコストを劇的に低下させた結果、人工物の階層的細分化が急速に進み、多数の部品からなる複雑な製品システムが登場した。そのため、製品システムの開発と個々の部品の開発をどうコーディネートし、インテグレートするかが重要な課題となってきた。1つの類型化は、そのシステム・コーディネーションやシステム・インテグレーションを、主に人間が行うタイプと、製品アーキテクチャという人工物を通して行うタイプの区別である。もう1つの類型化は、それを市場を通じて分権的に行うタイプと、組織やネットワークを通じて人々が協力して行うタイプの区別である。

1. はじめに

近年、製品アーキテクチャ（基本設計思想）が産業競争力や企業の競争戦略にどのような影響を与えるかについて、関心が高まってきている（Baldwin and Clark 2000；藤本2001；青木・安藤2002；藤本・新宅2005）。本論文は、こうした製品アーキテクチャへの関心の高まりの背景を、人間と人工物の間の分業・協業関係の歴史的展開と、そのプロセスにおける人工物の独特な仕方による複雑化という文脈の中で説明する。また、そうすることにより、製品アーキテクチャ概念に対して経済学的な解釈を与えると同時に、新製品の開発活動に関する類型化を提示する。

本稿の全体を貫く主要な視点は以下の2つである。第1は、人間と人工物との間の分業と協業の具体的様相が、人間同士のコーディネーション問題を特徴づけるという視点であり、第2は、人間と人間のコーディネーション問題を解決するための主要な方法として、市場制度と組織という、それぞれに特徴を持ったコーディネーション・メカニズムを組み合わせる必要があるという視点である。以下、それぞれについて、もう少し詳しく述べることにしよう。

製品アーキテクチャは、新製品の開発・生産にかかわる概念であるが、当然のことながら、新製品の開発・生産のプロセスには、当該製品やその製品を製造する機械が持つ人工物としての特徴が多大な影響を与えている。しかし、これまでの経営学・経済学のアプローチでは、製品の人工物としての特徴に顧慮することなく、製品開発の問題をどちらかと言えば、もっぱら人間同士のコーディネーション問題・インセンティブ問題として捉えてきたと言ってよいであろう。これに対して本論文は、新製品開発・生産のプロセスで発生する人間と人間の

人工物の複雑化と製品アーキテクチャ

コーディネーションの問題を、人間と人工物との関係の歴史的進化と、そこにおける人工物の独特な複雑化の中で捉えようとする¹。

別の言い方をすれば、これまでの多くの議論において、製品が複雑化するということがあまりその意味をつきつめることなく前提とされてきたのに対して、本稿は製品が複雑化するプロセスに踏み込み、その独自の複雑化がどのように新製品開発・生産のプロセスで発生する人間と人間のコーディネーションの問題に影響を与えているのかを分析する。

他方、本稿においてわれわれは、市場制度と組織という、経済学で伝統的に扱われてきた2つのコーディネーション・メカニズムの類型化に関して、分業と協業で必要とされる専門知識のカプセル化と機能のマニフェスト化という新しい観点を提示し、この洞察を上記の新製品開発・生産のプロセスで発生するコーディネーション問題解決の仕組みの分析に応用する。

本稿における、われわれの主張の概要は以下のようなものである。

- (i) 人間は人工物を複雑化させてきたが、その複雑化の過程においては、機械が行う情報処理と人間に固有な情報処理をいかに補完的に組み合わせるかが問われてきた。
- (ii) コンピュータの登場が機械的な情報処理のコストを劇的に低下させた結果、人工物の階層的細分化が急速に進み、多数の部品からなる複雑な製品システムが登場した。そのため、製品システムの開発と個々の部品の開発をどうコーディネートし、インテグレートするかが重要な課題となってきた。
- (iii) このコーディネーション問題を解決するための仕組みの1つの類型化は、そのシステム・コーディネーションやシステム・インテグレーションを、主に人間が行うタイプと、製品アーキテクチャという人工物を通して行うタイプの区別である。
- (iv) もう1つの類型化は、それを市場を通じて分権的に行うタイプと、組織やネットワークを通じて人々が協力して行うタイプの区別である。

以下、第2節においては、複雑化する専門知識を、社会の中で有効に活用するためのコーディネーション・システムとして、市場と組織を特徴づける。第3節では、人間と人工物の関係に関するわれわれの見方を説明する。人間と人工物には、情報処理の仕方に本質的な差異があるが、だからこそ、互いに補完的になるような仕方で人工物が進化・発展してきたことを主張する。第4節では、人工物の複雑化を促してきたプロセスに焦点をあて、その複雑

¹ Simon (1996) は、人工物とそのデザインの問題に関する先駆的な研究である。われわれのアプローチとサイモンのアプローチの違いについては、第2節での議論を参照されたい。

化の仕方にある一定のパターンが存在することを述べる。人工物を複雑化させてきた要因として、(1) 人工物が市場メカニズムと組織を用いた人間の分業と協業の中で創造されてきたことと、(2) 20世紀に入ってから生じた電子的情報処理の発展という2つの点に焦点を当て、人工物が階層的複雑化というパターンを辿る必然性があることを述べている。第5節では、第4節で述べたような人工物の複雑化のプロセスの中で、新製品開発に関して新たなコーディネーション問題が発生することを述べ、その問題解決のためにどう仕組むかという観点から、製品アーキテクチャを論じることにする。第6節で結論を述べる。

2. 技術知識の利用とコーディネーション：市場と組織

すでに述べたように、本論文は、今日の新製品開発・生産のプロセスを人工物が複雑化した環境下におけるコーディネーション問題として捉えている。そこで最初に、われわれが考えるコーディネーション・システムとは何なのかについて述べておきたい。

人間社会は、分業と協業を行うことによって大きな発展を遂げてきた。分業が有効であるのは、専門化の利益があるからである。農耕や漁撈など、人間が行う生産活動には、それぞれの活動に固有の様々な知識や技術が必要であり、こうした知識が正確であればあるほど、技術が高ければ高いほど、生産性が上昇し、生産物の価値が高まることになる。これらの知識や技術は、経験と学習によって蓄積されるものなので、ひとつの活動に特化して経験をつむことで、初めて技術知識が高まり生産性が上昇する。また、経験の中で、他人に伝達可能な知識やノウハウを作り出せば、それを家族や子孫に伝えることで、特化の利益を維持・伝達できる。

このように、分業から生まれた生産物は、人間の単純労働だけでなく、生産者の持つ知識やノウハウという「人的資本」を体化したものである。他方、このようにして作られた生産物を生産者以外の人々が利用・消費するのに、生産者の知識やノウハウはもはや不要である。こうして社会は、分業の成果を社会で共有する可能性が生じることになる。生産のための技術知識は生産物の中に「カプセル化」され、生産のために使用された生産者の技術知識を持たない人にも、生産物の利用が可能になるからである。

他方、分業の成果を実際に社会の中で生かすためには、生産物を交換することが必要である。自分が作った生産物を他人が利用し消費するのだから、何をいつどれだけ作るか、作ったものをいつどのように誰に渡すかによって、同じ生産活動を行ってもその社会的成果は高くも低くもなる。社会全体で分業して生産する様々な財・サービスを、いつ誰がどれだけどのようにして作り、それを誰にどう、どれだけ配分するかという、社会全体の投入・生産・

人工物の複雑化と製品アーキテクチャ

分配のコーディネーションが必要不可欠なのである²。

人間はこのコーディネーションを、「市場」制度を通じた見知らぬ人との取引と、グループ「組織」内部における見知った人同士の協力活動という、2つの仕組みを有効に組み合わせることによって実現してきた。上で述べたように、分業を前提とし、それが生み出す特化の利益を社会全体が享受できるようにするためには、専門的な技術知識を深化させつつ、その成果を社会全体で共有するメカニズムが必要である。

このような視点から見たとき、市場制度と組織という2つのコーディネーション・システムの違いは次の点にあるということが出来る。

取引相手が誰になるのかが事前に判らない市場では、取引当事者たちが予め、お互いの活動の詳細をコーディネートすることはできない。逆に市場は匿名性の世界なので、財・サービスの交換が終わると、生産に必要とされた技術知識や生産地だけでなく、生産者や生産時点、保管状況や輸送環境などの情報を事後的に追求することはできないのが通常である。それでも買い手が見知らぬ人から安心して購入できるのは、個々の商品の内容や品質が一目で外見から判断できるからである。こう考えると、市場制度を通じたコーディネーションがうまく機能するためには、関連する情報のうち買い手に不要な情報は可能な限りカプセル化する一方で、取引している商品とそれに関する契約の内容が、買い手にとって必要十分なだけ明確に「マニフェスト化（一目瞭然化）」されていることが必要なのである³。この性質があるからこそ、見知らぬ人同士のコーディネーションが可能になり、それだけコーディネーションの範囲が広がることになる。

これに対して、企業組織の内部や長期関係にある企業間では、コーディネーション活動の当事者たちが、事前・事後を問わず、お互いに情報を伝達・交換する経路が確保されている。したがって、そこでコーディネートされる活動は、事前にマニフェスト化したりカプセル化

² コーディネーション活動や、市場が果たすコーディネーションの役割についてのわかりやすい説明は、Milgrom and Roberts (1992) を参照。また、市場制度を論じる際には、本文で強調しているような、異なる人々の異なる活動のコーディネーションという観点だけでなく、そこに含まれる取引契約を実効的なものとするガバナンスの側面も重要である。市場を支える様々なガバナンスの特徴づけと相互の関係については、Aoki (2001) と Dixit (2004) を参照。

³ 中馬 (2004) は、異なる知識を結集する製品開発のプロセスにおいて、「一目瞭然化」が果たす役割の重要性を強調し、この概念と（事後的）モジュール化概念とを関連づけている。コーディネーション問題の解決に一目瞭然化が果たす役割を強調した視点は、本稿も共通している。なお、「マニフェスト化」という用語の選択は、Sperber and Wilson (1986) を参考としたものである。そこでは、伝統的なコミュニケーション・モデル（シャノン＝ウィーバー流のコード化モデル）やゲーム理論等で用いられてきた「共通知識（common knowledge）」よりも弱い、心理学的により妥当な概念として「マニフェスト」および「相互にマニフェスト（mutually manifest）」という概念を定式化し、それが人々の認知環境の共有化を実現することによって、コミュニケーションやコーディネーションをしやすくしていることが主張されている。

する必要がない。だからこそ、組織を使えば関係者同士で情報を共有し、環境変化や状況変化に対して総合的かつ弾力的に対応できるわけである。このことは、市場のコーディネーションでは困難な関係者間の明示的な協力・協業体制が、個々の活動内容をマニフェスト化したりカプセル化したりする必要がない組織内部でのみ可能となることを意味している。とはいえ、組織においては関係者を限るため、コーディネーションの範囲が制約されるというトレードオフが存在することを忘れてはならない⁴。

3. 人間と人工物

第2節で述べた分析枠組は、人間同士のコーディネーションに関わるものであった。しかし、人間の社会で行われる分業と協業は、人間同士のものだけに限られない。むしろ、人間は高度に発展した人工物を開発・生産し、それを有効に利用することで、その生活領域を拡大し、豊かなものにしてきたのであり、人間と人工物との関係は、人間同士のコーディネーションの仕方にも大きな影響を与えているのである。たとえばZuboff（1988）は、それ以前のオートメーション化との対比において、20世紀におけるコンピュータを用いたオートメーション化がどのような意味を持ち、それが人間の労働にどのような影響を与えたかを分析している。コンピュータを使用した機械という人工物と人間との関係が、人間同士の協働の形態にも大きく影響しているのである。もし経済学が、人間による経済活動の組織化を分析する学問であるとするならば、人間と人工物の関係を考えることは、前提として必須とも言えるのである。

3.1 人工物と機能

人間は日々、対象としての自然に働きかけてそれを作り変えたり、互いに戦争をしたり、コミュニケーションをとるなど、さまざまな活動に従事する上で、それぞれの活動に役立つさまざまな人工物（artifact）を製作してきた。また、人間が人工物を製作し使用するようになると直ちに、人工物を製作するという活動に際しても、人工物を用いるようになるというように、いまや人工物は人間の活動に密接に結びついて、至る所に存在しているといつてよい。

ところで人工物には、物的な（タンジブルな）人工物と、ソフトな（インタンジブルな）人工物が存在する。インタンジブルな人工物の中には、市場制度や企業組織など人間が作

⁴ 瀧澤（2005）もまた、人間の経済活動においては、市場に見られるような「仕切り」が重要な役割を果たすと同時に、新製品開発などにおけるように、よりダイナミックなプロセスにおいては、その仕切りを横断して、異なる知識を結集することを可能にするメカニズムが必要となるということを強調している。

人工物の複雑化と製品アーキテクチャ

り出した様々な仕組みも含まれる。実は、本稿で焦点を当てようとする製品アーキテクチャも、ソフトな人工物に他ならない。また人工物の中には、発明などのアイデアやプログラムなど、どちらとも分類し難いものも存在する。

物的な人工物とソフトな人工物は抽象レベルでは同列に論じることも可能であるが、具体的イメージが大きく異なるから、説明や分析の際にはどちらか一方に焦点を絞った方がわかりやすい。そこで以下、特に注意しない限り、本論文で人工物と言う場合には物的な人工物を想定することにしよう。また、本論文の主要部分で、われわれが対象とする人工物は、第1節で述べたような人々の分業と協業の中で生み出される製品である。製品の持つ人工物としての側面に着目することから、製品イノベーションに関する一定の洞察が得られるというのが、本論文の立場である。

古い時代から存在する単純な人工物から、今日われわれが生産している非常に複雑な人工物に至るまで、すべての人工物には、ある特定の間活動に直接的・間接的に役立つという目的が備わっているという共通点がある。このことは、Simon (1996) が述べているように、ほとんど人工物の定義であると言ってよい。また、人工物が人間活動に役立つある特定の目的（あるいはそれを達成するより小さな目的）を達成すること、ないしは、その達成の度合のことを、通常われわれはその人工物の機能と呼んでいる。

人工物の機能の持つ本質的な意味は、人工物が人間にとって有用なものでなければならぬために、人工物が持つ性質をあるいはカプセル化し、あるいはマニフェスト化せねばならないことに深く関係している。今、人工物の使用者（ユーザー）が分業と協業が発展した社会の中で人工物を使用する状況を考えてみよう。その人工物を自分が設計したり生産したわけではないユーザーにとって、人工物の内部構造や生産に必要な知識は無用である。これらの専門知識の詳細は、ユーザーの人工物利用の邪魔にならないよう、カプセル化された上でユーザーに納品されることが望ましい。しかし、情報が何もなければユーザーにとって人工物の有用性は小さくなる。必要十分な限りにおいて人工物に関連する知識や情報がマニフェスト化されていることが、人工物がユーザーとの分業・協業を行うために必要不可欠なのである。これら、それぞれの人工物についてマニフェスト化された情報こそ、当該人工物の「機能」に他ならないのである。

人工物が人間活動に役立つ仕方が多様でありうることに応じて、機能という概念にもいくつかの異なる役割がある。機能の第1の意味は、それがマニフェスト化されることで、ユーザーが事前に自分にとって人工物の評価を行うことを可能にするという点にある。すなわち、人間にとって人工物が有用であるためには、それがどんな性質を持っているのか、どんな動作を行うことができるのか、そのためにはどんな操作をしなければならないかなどを、あら

はじめユーザーが理解したうえで、人工物を「事前」に評価できる必要がある。また、有用性を事前に評価するためには、人工物自体がその機能をどの程度発揮できる能力を持っているのかという点をもマニフェスト化する必要がある。人工物の「性能」である。

機能の第2の役割は、具体的に人工物を操作することに関わっている。自動車やコンピュータを初めとする多くの人工物は、ユーザーの期待した通りの動作を行っている。多くの場合、人間が行おうとしている活動のおかれた環境を認識するのはユーザーであり、かりに人工物が環境を認識できたとしても、機械である人工物の認識は人間であるユーザーの認識とは異なっている。したがって、ユーザーが欲する動作を人工物が行えるのは、ユーザーからの何らかの命令が存在するからであり、ユーザーの立場からは人工物が自分の欲する動作を行うよう、操作命令を発する必要がある。しかし人間の認識・行動パターンは文脈的であり、形式論理や物理的言語に基づいて作動する人工物とは異なっている。したがって、人間の操作命令は、あらかじめ人工物も理解できる言語に翻訳可能な形で定義されていることが必要になる。機能のもう1つの意味は、人間が人工物を操作・利用しやすいよう、形式論理と機械言語で動作する人工物の操作方法をマニフェスト化した操作「機能」という、人間にとって理解可能な文脈型コードとして示す役割を果たすことなのである。

さらに、ユーザーが直接意識する機能だけでなく、その機能を達成するための機能のようなものがありうる。以後、必要に応じて、こうした概念を導入していくことにする。また、すぐ後に論じるように、一般に、1つの人工物には複数の機能に対応しうることに注意しておきたい。歴史的に初期の段階では、人間の作る人工物は単純なものであり、1つの人工物はほぼ1つの機能を持つようなものであったかもしれない、それが今日では非常に複雑なものに発達していて、複数の機能を備えた人工物が通常だからである。

3.2 人工物と人間の本質的差異

繰り返しになるが、人間は様々な活動を行う際、人工物を使用することによって、自分の能力を拡張し、目的を達成する。この時、人間と人工物は一体となって目的を達成しようとするのであり、その意味で、人間と人工物の間にもコーディネーションの必要性が発生すると言ってよい。

Zuboff (1988) が観察したように、現代の自動化された工場では、複数の人間と複数の人工物が分業と協業を行っている。しかし、以下ではもう少し問題を限定し、1人の人間（人工物を使用するユーザー）と1つの人工物との間で発生する関係に焦点を絞ることにしよう。このことは、多くの場合、消費財としての人工物に焦点を絞ることを意味している。しかし、基本的なロジックは複数の人間と複数の人工物の分業と協業に関しても同じであると考え

られる。

1 つの人工物とはいっても、その内部には複雑な構造が存在しうる。人間が人工物を操作するためには、人工物内部のさまざまな部品それぞれが、適切なタイミングで適切な動作を行うことが必要になる。人工物の内部構造のコーディネーションである。

また、先に述べたように、人工物が一定の性質を帯びることによって機能を達成する場合を除き、通常、ユーザーが人工物を使用して一定の目的を達成するためには、その目的にみあった動作を人工物にさせる必要がある。ユーザーは人工物を操作しなければならないのである。人間と人工物の間に発生する、これら2つのコーディネーション・メカニズムを区別することにしよう。

内部コーディネーション: ユーザーが人工物を一度操作すれば人工物がそれ自身の中でコーディネーションを完結し、ユーザーが操作した目的が、それ以上ユーザーが手を加えなくても実現する場合、人工物は内部コーディネーションだけで目的を達成するという。

直接コーディネーション: 人工物の内部コーディネーションだけでは目的が達成できず、人間が人工物の操作を繰り返すことで両者の間で情報のやりとりを行う場合、目的を達成するためには直接コーディネーションが必要になるという。

多くの人工物では、内部コーディネーションと直接コーディネーションの両者を必要とする。情報処理という観点から見ると、内部コーディネーションでは、人工物内部で情報処理が完結している⁵。他方、直接コーディネーションでは人工物だけでなく、人間自身の情報処理もかかわり、さらに人間と人工物との間のコミュニケーションがかかわってくることになる⁶。直接コーディネーションとは、ユーザー操作で起動した内部コーディネーションの結果が、ユーザーが望んだ目的から見て望ましくないと評価されたときや、より大きな目的を遂行するための部分的な結果しか生み出していないと評価されるときに、最終的にユー

⁵ Sperber and Wilson (1986) はコミュニケーションのモデルとして、送信側がメッセージを信号にコード化して受信側に送り、受信側がそれをデコードしてメッセージの内容を取り出すというコード化モデルを、人間同士のコミュニケーションにより妥当性の高い推論モデルを対比して論じているが、機械同士のコミュニケーションは明らかに、完全に決められたプロトコルに基づくコード化モデルによるものである。

⁶ この意味で、人工物はCutland (1980) で定義されているURMO (Unlimited Register Machine with Oracle) と似た性質を持っている。そこでは、ある状態に至ったときに外部に inputs を促し、input (oracle) を受けて、さらにアルゴリズムが作動する。また、内部コーディネーションと外部コーディネーションの関係に関する数学的記述に関しては、奥野・渡邊 (2006) を参照。

ザーにとって望ましい結果が出るまで操作を繰り返すことに他ならない。そのためには、人工物の操作、操作結果の評価と分析、人工物の更なる操作...といった、ユーザーと人工物の間の一連のコミュニケーションが必要になる。まただからこそ、機能には人工物の動作や性質に関する評価と操作を容易にするという、二面的な役割が必要になるのである。

したがって、人工物を設計する際には、必要とされる情報処理のどの部分を内部コーディネーションによって実現し、どの部分を直接コーディネーションによって実現するかの区別に対する考慮が必要である。その際、機械のような人工物が出来る情報処理のタイプと、人間にしか出来ない情報処理のタイプとの違いが大きく影響してくることになる。この相違は本質的なものであり、今日のようにコンピュータが発達し、人工物が電子的メカニズムを取り入れるようになって、依然として存在している区別である。以下、その相違点について述べることにしよう。

科学技術知識に基づいて設計され、アルゴリズムに従って作動する機械・電子製品は、あらかじめ設計された仕様（プラン）に基づく限り、どんな過酷な状況でも誤りなく動作を行うことが可能である。しかし「形式論理」に基づいたプログラムはあらかじめ与えた前提を超えることは決して出来ないで、プランに入っていない（入れていなかった）状況では、それに見合った適切な動作が期待できない。

他方、人間は、複雑な仕事を正確にこなすことができないにしても、予想していなかった状況に直面したときには大局的な視点から物事を判断し、最善ではないにしてもそれなりの対応を行い、最悪の結果を避ける能力を持っている。

以上のような、人工物と人間の情報処理の違いに関する理解の仕方は、歴史的に揺れ動いてきた。自分自身が人工知能研究の創始者であるサイモンは、人間の行う情報処理をコンピュータによって実現出来ると考えてきたと言ってよいだろう。他方、すでに人工知能研究の行き詰まりが明らかになりつつある中で論文を執筆した、サッチマンのような研究者は、人間の行為が「状況的」であるのに対して、コンピュータの動作は「プラン」に基づくものであるとして、両者の認識の枠組が根本的に異なることを指摘し、したがって両者の間のコミュニケーションは困難であるという結論を導いている（Suchman 1987）。

しかしながら、今日の視点から見れば、文脈型の全体把握に優れた人間と、限られた範囲の最適解の発見に勝る機械・電子部品などの人工物が分業し、協業することによってこそ、お互いを補完しあって、より望ましい結果を実現できるわけであり、事実、歴史的にも人工物はそのようにして発展してきたと見ることが出来るのである。たとえば、もともとは人間の代替物として構想されたロボットでさえ、最近の工学研究はサイボーグという方向により高い可能性を求めている。人間と独立に行動し、自ら認知・決断能力をもつロボットで

はなく、人間が装着し、人間の認知能力を利用することで、人間自身の能力を高めることを求めるサイボーグが、ロボット工学の行き着いた先であることは、状況を認識し適切な判断能力という意味で人間と機械の間に本質的な相違があることを示していると同時に、人間と機械が補完的でありうることを示している⁷。

4. 人工物の複雑化

カジュアルな観察は、人間が使用する人工物が歴史を通じて、複雑化の一途を辿ったことを示している。人工物が複雑化する要因は何だろうか。また、どのような過程を経て、どのように複雑化するのだろうか。本節では、このような問を考察する。

4.1 人工物の複雑化と市場

人工物の複雑化のプロセスに対して、唯一ではないにしても、非常に重要な影響を与えてきたのは、複雑化が第2節で見たような市場と組織を用いた分業と協業の中で行われてきたという事実である。

すでに述べたように、人工物が新製品として市場で取引されるとき、人工物としての機能はマニフェスト化している必要がある一方で、その内部構造に体化された技術知識はカプセル化している必要があった⁸。このことは、2つの互いに異なる方向で、人工物の複雑化に作用した。

第1は、ユーザーにとって既にマニフェストである複数の機能を束ねたり、組み合わせたりして新製品を作ることによって、人工物を複雑化する方向であり、第2は、既存の人工物の内部構造に、新しい専門的な技術知識を導入していくことによって、内部構造を細分化していく方向である。これらは一見すると、互いに反対の方向に作用しているが、事後的に見れば、人工物を入れ子的に階層化するという意味で同じ作用をしていると見なすことができる。この第2の方向については、さらに次小節と次々節で詳述することになるので、ここでは、第1の方向について詳述することにしよう。

今日では、われわれの身の回りにある人工物は通常、複数の機能を兼ね備えている。たと

⁷ 1人のユーザーと1つの人工物という文脈を逸脱することになるが、Zuboff (1988) が観察したオートメーション化の進んだ工場の例も示唆的である。いくらオートメーション化が進んだ工場でも、人間にしか出来ない仕事 (=文脈的な情報処理) が存在し、人間はそれに従事している。また人間と機械の分業と協業をどのように仕組むかで、大きなパフォーマンス上の差異が生じる。

⁸ 人工物の生産に科学の発展が反映されるとき、知識そのものが専門化し、細分化していくことで、生産者が必要とする知識も複雑なものになっていく。このような複雑な知識を組み合わせることは、市場ではなかなか出来ないため、生産側では組織がその役割を果すことになる。科学技術の複雑化が、組織の必要性を高める方向に作用しているわけである。中馬 (2004) 及び瀧澤 (2005) を参照。

例えば、電子レンジのような商品は、ほとんどの操作がスイッチをひとつ押すことで完了するため、主として内部コーディネーションに依存しているが、関連する機能を束ねることによって、レンジ機能、グリル機能等の機能がバンドルされて提供されるのが通常になってきている。また、自動車のように直接コーディネーションを多用する製品の場合でも、制動、加速、操舵等々のさまざまな機能を束ねている。そこでは、右折するとか、加速するとかといった機能が実現する小さな目的を、人間が状況に応じて判断し積み重ねることにより、より大きな目的（たとえばA地点からB地点に移動するという目的）を達成するわけである。

このように、科学技術の発展とともに人工物が複数の機能を備えることが可能になる一方で、次小節で述べるようなコンピュータの登場に伴う情報化は、製品差別化を促進する動力となった。情報処理コストがドラスティックに下がり、情報収集・処理が容易になったため、消費者間のニーズの違いや変化を捉え分析することが容易になり、1つの製品機種を大量生産して、多数のしかし多様な消費者に販売するよりも、多数の製品差別化された製品機種を多品種少量生産することによって、個々の消費者ニーズにより良くマッチさせることが、高い付加価値と高い企業利益を生み出す源泉になったからである。

しかし、このような製品差別化が行われる前提として、様々な製品機種に共通する、最低限の機能群（基本機能）を備えた、製品クラスという抽象的なカテゴリーが、市場を通じてマニフェスト化する必要がある。市場という共有された認知環境の場を通して、ユーザーと開発者が相互作用を行う中で、共通の機能の束をもった一定の製品クラスというものが浮び上がってくるのである（Williams 2005）⁹。

ここでいう製品クラスとは、自動車とかパソコンといったような、それ自体抽象的な存在であり、個別の製品が満たすべき最低限の機能リストによって定義されるものである。これに対して、各製品クラス内に属する製品機種とは、具体的な特定機種を表わす言葉である。製品クラス内の異なる製品機種は、製品クラスを定義する機能以外の機能を持つことや、他の機種と異なる性能を持つことで製品差別化しており、市場から評価される。製品機種が最低限の機能を越えた機能を持つことで製品差別化しているということは、製品クラスがマニフェスト化しているとはいえ、常に変動に晒されており、それが新しい製品クラスを誕生させる可能性があることを意味している。ここに、新製品を誕生させるプロダクト・イノベーションの余地があるということが出来る。

⁹ 従来の経済学では、新製品の開発は開発者の頭の中に出来上がったアイデアが商品に体化され、それが消費者に伝達されると考えてきたと言ってよい。これに対してWilliams（2005）は、ある製品カテゴリーとして定着するプロセスにおける、開発者と消費者の間でのインタラクションの役割を強調する。これら2つの考え方は、Sperber and Wilson（1986）のコミュニケーションのコード化モデルと推論モデルにそれぞれ対応している。

以上のように、市場は機能の束としての商品の形成を促し、それを恒常的に組み換え、発展させる動力となっている。この意味で、市場は人工物の複雑化を促していると言ってよい。またこのことは、後に述べるように、新製品の開発というタスクの少なくとも一部が、システム・インテグレーションにあることをも意味しているのである。

4.2 電子的情報処理と人工物

人工物を複雑化させてきた科学技術の発展や科学・工学知識の蓄積の中でも、とりわけ大きな意味を持ったのが、20世紀後半以降、コンピュータを用いた電子的情報処理が行われるようになったことである。いわゆる情報化である。

歴史的に人工物は、水車や馬車といった器械がそうであるように、自然環境や動植物などの自然物を補完することによって、人間活動を補完してきた。しかし産業革命以後、人工物はこれらのように自然物を補完するよりも、自然物を代替することで人間の活動能力を飛躍的に高めることに貢献してきた。蒸気機関・内燃機関・電動モーターなどの動力、鉄道・自動車・船舶などの輸送機械、あるいは有線・無線の通信技術などがその典型である。そうすることによって、近代の人工物は、人間の命令をより速く、より強力に、より遠くまで実現できる能力を持つようになったのである。とはいえ人工物に実現できたのは、人間の命令を忠実に実行することでしかなく、人間に代わって条件を判断して最適な活動を選択するという情報処理活動自体を行うことはほとんど不可能だった。

20世紀後半に起こった情報処理革命は、人工物が人間の情報処理活動を大々的に代替するようになったことに、その最大の意味があると思われる。また、そのことによって、人間が行う情報処理活動の領域は大きく広がることになった。

情報処理活動とは、おかれた条件によって、与えられた命令をもっとも望ましい形で実現する活動である。機械仕掛けの時計も、ゼンマイや錘が開放したエネルギーをてんぷやアングルを通じて歯車を1ノッチずつ動かしている。受けたエネルギーをため込んで、それが一定量になるという条件が満たされたときに、アングルや歯車が動くことで、条件が満たされたことを機械仕掛けのプログラムに伝達しているわけである。しかし時計などの少数の原始的な仕組みを除けば、情報化が起こる前の人工物のほとんどは、「どんな条件が満たされたか」、「その場合何を行うのが最適か」という情報処理は人間に任せざるを得ず、「何を行え」という人間の命令を忠実に実行することしかできなかった。

コンピュータによる電子的情報処理化は、これまで人間が行ってきた情報処理活動のかなりの部分を人工物の内部コーディネーションに取り込むことを可能にした。しかも、そこで行われる情報処理は急速にスピードアップするとともに、安価なものとなり、人工物の内部

構造のいたるところに組込まれるようになった。

電子的情報処理によってこのような変化がもたらされた理由は、大きく以下の3つに求めることができるだろう。

(i) 情報処理概念の抽象化

情報処理概念の原型は、計算機理論の構築の中でアラン・チューリングによって、少なくとも1930年代には示されている。そこでは、それまでハードウェアから分離して考えることができなかった情報処理活動をプログラムという抽象物として、実体的なハードウェアから完全に分離して把握することができるようになった。また、このことによって、情報処理一般が、条件分岐を含む、少数の演算の組み合わせで実現できることが明確にされた。

このことは、その後の情報処理のスピードアップ化等と相俟って、人工物に可能な情報処理の範囲を、計算理論的に可能な、限界に近いところまで拡大した。

(ii) 情報処理の標準化とメディア（媒体）からの解放

コンピュータという電子的情報処理によって、デジタル情報の多くが0と1の列として表現することが標準となった。インプットとアウトプットが同じ形式となったので、ひとつのプログラムが行う情報処理プロセスの結果を他のプロセスに引き継ぐことが容易になった。

さらに、電子的な情報処理は、時計における歯車やてんぷのような物理的なメディア（媒体）から自由に行われるようになり、プログラム自体やデータの記憶や転写・複写を容易にした。情報処理の標準化とメディアからの解放は、情報処理機構を潜在的に様々な人工物に組込むことを可能にした。

(iii) メモリー容量の大規模化と情報処理のスピードアップ、小型化

デジタル情報処理を半導体を使用して行うことにより、情報処理のスピードアップ化とメモリー容量の大規模化・小型化が同時に可能となった。このこともまた、様々な人工物の中に電子的な情報処理の機構を組込むことを可能にしている。

こうして、プログラムを用いることにより、人工物に条件に応じて異なる活動を自動的に行わせることが可能となった。しかしながら、現段階の人工物にできることは、次の2つでしかないことに注意する必要がある。

1つは、あらかじめ条件ごとに定義された最適行動プランをプログラムの中に組み込んでおくことで、人工物に最適な活動を実現させることである。この場合には、これこれの情報

人工物の複雑化と製品アーキテクチャ

が与えられた場合に当該プログラムを実行せよ、という命令自体がプログラムに書き込まれるわけで、条件が満たされたか否かを判断するのは、ユーザーである人間自身だということになる。しかも、このような電子的情報処理は、あくまでもプログラムを書いた製品開発者によってすでに仕分けされている条件の範囲内ではしか実現できない。

今ひとつは、与えられた条件の下で、有限の選択肢の間の優位性の比較を行い、その中でもっとも望ましい選択肢を実行させるということである。この場合には、事前に実行プログラムを指定する必要はないから、選択肢の中で状況に見合っただ最適な活動を実行することが出来る。とはいえ、コンピュータにも制約がある。与えられた時間の中で最適な選択肢を探すためには、比較可能な選択肢の数は有限でなければならない。しかも、実行させる人工物は、数千、数万の部品から構成されている場合が多い。仮に選択肢の数が1兆個の1兆倍(10^{24})まで比較可能な能力があるとしても、各部品が実現できる状態がそれぞれ10個ずつあるとすれば、製品内部の状態をすべて比較検討して、その中から最適な状態を検出するためには、部品の数は高々24個まででしかありえない。

現代の人工物は複雑な内部構造を持っており、その活動はさまざまな部品がどう相互連関しているかによって変わってくる。この、大量の動因の間の相互作用が多様で複雑で予測困難な結果をもたらすという事実こそ、複雑系モデルが予測することでもある。どんなに高い能力を持つ電子処理システムであっても、内部構造が複雑になればなるほど、人工物の操作をすべて内部処理で解決するほどの能力は持ち得ない。

つまるところ、現段階で人工物に出来ることは、プランに基づく限りでの条件的情報処理か、ユーザーの直接コーディネーション能力を高めるための補完機能であるということができる。

4.3 内部構造の複雑化と階層化

すでにわれわれは、第4.1節において、新しい人工物の創造が市場と組織を用いた分業と協業の中で行われることにより、ユーザにとって既にマニフェストである複数の機能を束ねたり、組み合わせたりして人工物を複雑化させていく方向と、既存の人工物の内部構造に新しい専門的な技術知識を導入していくことによって、内部構造を細分化していく複雑化の方向が生じることを述べた。電子的情報処理の発展は、こうした傾向、とりわけ第2の傾向に拍車をかけるものである。

というのも、情報化の進展により、より強力な情報処理がより安価に実現可能となったため、これまで人間が行わざるを得なかった情報処理の多くが、人工物の内部に組込まれ、多くの人工物について、これまで直接コーディネーションによっていた操作を内部コーディネ

ーションへとシフトさせるようになったからである。

しかしながら、すでに述べたように、人工物が得意とする情報処理と人間が得意とする情報処理には、少なくとも現時点においては本質的な差異が存在しており、このことはいくら人工物における情報処理のスピードが速くなったとしても変化するものではない。すなわち、人間はさまざまな機能の発動を状況に応じて組み合わせることが出来るが、これは人工物には出来ない相談である。こうして、直接コーディネーションと内部コーディネーションを組み合わせる必要がある限り、また人工物を使用するのが人間である限り、人工物は、人間にとって理解可能でマニフェストである機能を単位として構成せざるを得ないのである。

他方、コンピュータを用いて人工物が行う内部コーディネーションにかかわる情報処理に関してのみスピードアップがなされたことにより、人間が理解しやすい機能を前提とする人工物は、その実現にむけて精緻化していく内部コーディネーション部分を導入することになった。その結果、情報化は、各機能を実現する人工物の内部構造を複雑化させる方向に作用することになったのである。

これまで、電子的情報処理が人工物における内部コーディネーションの役割を飛躍的に高め、その内部構造を複雑化させる方向に作用することを強調したが、反対方向の複雑化にも役割を果たした。というのも、電子的情報処理は、1つの製品システムの中で協働するようになった複数の部品間のコーディネーションの一部をも担うことが出来たからである。

人工物が複数の機能を統合して複雑化していく方向と、内部構造を複雑化させることにより複雑化していく方向は、一見すると、互いに反対の方向に作用しているが、実際には人工物を入れ子的に階層化するという意味で同じ作用をしていると見なすことができる。別の表現をすれば、Simon (1996) が強調するように、複雑なシステムがその内部構造を複雑化させる場合、その進化の過程は普通、「階層的システム」、つまり「相互に関連するいくつかの下位システムからなるシステム」に行き着くのである。

このことは人工物にも当てはまる。科学技術の発展と共に、多様な機能を同時に持つ人工物が生まれてくるが、これらの機能を適切にコーディネートするためには、それが内部コーディネーションによるのであれ、ユーザーの直接コーディネーションによるのであれ、内部を機能ごとに仕切ることがコーディネーションの効率化につながるからである。

こうして、人工物という全体システムは、部品モジュールという下位システムを持つ階層化システムとして、複雑化することになる。階層化構造の中で、人工物全体が人間にとっての有用性を高めるための1つの有効な方法は、できるだけ各部品が1つの機能だけを担当することである。そうすることで、人工物の性質・動作に対応する部品が何なのかを容易に特定でき、人工物を操作したり動作を評価する際に、どの部品に注意を払いどの部品の動作に

注目すればよいか明らかになるからである。部品が果たす機能が特定化される場合、ある部品にはその部品が果たす機能が割り当てられることになる。これが、部品機能である。

このような複雑化のプロセスはさらに部品に対して作用するので、部品の内部自体も複雑なものとなり、またそれが果たす部品機能自身もさらに細かな部品の部品機能から成るようになった。このようにして、現代の人工物の多くは、複雑な内部構造をいくつかの基幹部品というモジュールに分解し、基幹部品自体もその内部をいくつかの部品モジュールに分解し、... という多段階の階層化構造を持つことになる。現代の人工物の多くは、人工物全体、基幹部品、...、末端部品という入れ子構造を持っているのである。

5. コーディネーション・システムとしての製品アーキテクチャ

5.1 開発におけるコーディネーションの必要性の高まり

前節では、人工物が階層的細分化という特殊な形態で複雑化を遂げていく必然性があったことを述べた。こうした独特な仕方での人工物の複雑化という文脈のなかで、新たな製品を生み出していくプロセス、つまり製品クラスや製品機種の開発・設計プロセスを考えてみることにしよう。そこでは、製品開発・設計プロセスにおいては歴史上かつてなかった、新たなコーディネーション問題が発生しているのである。

先に述べたように、市場メカニズムを前提として新製品が生み出されるプロセスは、消費者と開発者の相互作用を通してであり、そこには消費者と開発者のコーディネーション問題が発生していた。こうした伝統的な、人工物を開発・供給する主体とそれを利用・需要する主体との間の分業・協業関係は、人工物の複雑化のために階層化した。具体的な人工物を開発・生産・供給するためには、専門的な科学・技術知識を持っていることが必要不可欠である。しかし知識の高度化と人工物の階層化は、各部品の開発に必要な知識を高度に専門化させたため、ある部品の開発に必要な知識は、他の部品の開発担当者にさえ理解できないようになった。他方、ユーザーに高い有用性を与えるためには、階層性を内包した製品システム全体が使いやすく統合されていなければならないから、さまざまな部品が製品全体の中で適切に統合（インテグレート）され、適切にコーディネートされていなければならない。そのためには、製品全体の開発を専業で行う主体が必要になる。製品の全体設計を担当する製品開発者である。

製品開発のためには、各部品の内部構造に関するある程度の知識が必要である。また、製品全体や各部品の機能がある程度明らかでなければ、他の部品の開発もままならない。部品開発者と製品開発者の間で共有される製品・部品間の機能に関する知識と、製品開発者と消費者の間で共有される製品機能に関する知識が、差別化され、階層化されることになる。こ

うして製品開発は、消費者ニーズの把握・全体製品の開発・部品の開発という三段階構造を基に行われることになる。いうまでもなく、製品の内部構造が入れ子構造になれば、この製品開発構造も入れ子構造になる。

この問題を、まずは消費者の側から見てみよう。消費者にとって人工物が有用であるためには、人工物がユーザーに提供するサービスの内容を事前・事後に評価すると共に、状況に応じてユーザーが人工物を操作できるよう、ユーザーに理解しやすい言語で人工物の役割や活動内容を知らせる必要がある。これが、人工物の機能であり、そのために機能は消費者にとってマニフェスト化されている必要があった。他方、消費者は専門知識を必要としないで、人工物に各機能を発揮させる必要があるため、各機能を実現する内部構造自体はカプセル化している必要もあった。消費者にとってマニフェストになっている機能を以下では、製品機能と呼ぶことにしよう。

他方、1つの製品を生産するときに必要な技術知識が複雑になると、もはや1つの組織の中でそれらの技術知識を調達し、結合することが困難になってくる。その結果、製品は、その内部構造が階層化され、1つの組織が技術知識を結集できるような範囲の部品に分割され、それらの結合として実現する必要性が生じてきた。そうすると、製品システムが複雑化するにつれて、部品相互の分業が生じることになる。そこでは、各部品の生産に必要な知識はカプセル化され、各部品の開発・設計者や生産者たちは自分の部品を開発・生産するのに必要な知識だけを知っていればよい状態が生じることになる。他方、各部品は、他の部品と結合する必要があるから、それぞれの部品の機能が相互にマニフェスト化される必要性も同時に生じるようになった。ここで、より大きな製品システムの機能＝製品機能を実現するために、各部品が帯びることになる機能のことを、上述の製品機能と区別して部品機能と呼んだのであった。

以上のプロセスの裏返しとして、製品システムが複雑化し、製品機能を部品機能によって実現することになると、製品が全体としてスムーズに作動するために多数の部品同士を互いにコーディネートすること、また、各部品の持つ機能を統合して、システム全体がユーザーにとって望ましい機能を持つようにすることが重要になった。このように、内部に階層構造を持つ、1つの複雑な人工物を開発・設計するためには、与えられた部品機能を適切に発揮できるような内部構造を持った部品を開発・設計する部品開発作業と、与えられた製品機能を適切に発揮できるように部品同士をコーディネートし、さまざまな部品機能を適切にインテグレートした人工物全体を開発・設計する全体設計作業という、2つの異質な作業に分割されることになった。人工物の階層構造化がもたらした問題とは、この全体設計作業自体をどう仕組むかという問題に他ならない。

人工物の複雑化と製品アーキテクチャ

この、複雑に階層化した人工物（製品クラスやその特定機種）の全体設計は、人工物全体が持つ諸機能は何か、どんな（基幹）部品を用意するか、個々の部品機能に何を割り当てるか、ユーザーと人工物の間の直接コーディネーションや、人工物内部の部品と部品の間の内部コーディネーションをスムーズにするためには、それらの境界線をどのように設定し、どんな情報伝達・処理プログラムを作るかなどについての青写真を用意する必要がある。この、人工物の内部関係を調整し、統合する仕組みのことを、以下では「製品アーキテクチャ」と呼ぶ。

新たに人工物を開発する仕組みには、大きく分けて2種類の区別が可能である。第1は、製品アーキテクチャ自体を人工物化するのか、それとも人間が担当するのかという区別である。その一方の極には、製品アーキテクチャというソフトな人工物を作り、それに一定期間コミットすることで、製品アーキテクチャ自体を開発標準とする仕組みがある。いまひとつの極には、製品機種ごとに開発者という人間が異なるアーキテクチャを作り直すことで、製品アーキテクチャ自体の弾力性を維持しようとする仕組みがある。第2の区別は、製品機種の開発作業分担者の範囲に関わるものである。その1つの極には、作業参加者を企業内部や、クローズドな関係企業や関係者のネットワーク内部に限るというクローズドな開発作業形態がある。他方の極には、参加したいものは誰でも参加できる、使いたい部品は誰が作ったものでも利用できる、というオープン・アクセスが守られたオープンな作業形態がある。以下、こうした類型化を順に見ていくことにしよう。

5.2 開発標準（スタンダード）型とインテグラル型の製品アーキテクチャ

まず、開発形態を製品アーキテクチャの軸に即して見ていくことにする。製品アーキテクチャからみた開発形態の一方の極には、製品アーキテクチャ自体をあらかじめ（ソフトな）人工物として開発し、それを製品クラス単位で固定することで、個々の製品機種開発の際の開発標準とするという形態がある。また、他方の極には、個々の製品機種の開発ごとに、開発者が製品の全体設計をしない、言い換えれば個々の製品機種ごとに製品アーキテクチャを組み替えるというインテグラル（擦り合わせ）型の形態がある。現実の開発形態には、この2つの極の間に位置する多様な可能性がある。

前者の開発形態においては、ある製品クラスをどんな部品群から構成するか、ある製品機能の実現はどの部品（群）に分担させるか、そのためにはどんな部品機能を求めるか、関連する部品群の間の内部コーディネーションをどう実現するか、という仕組みの設計図が、まず決められる。これが狭義の「製品アーキテクチャ」という概念であり、物理的な実態は持たないが、人工物であることに変わりはない。

このソフトな人工物である製品アーキテクチャは一定期間固定化され、コミットされると共にそれを関係者（特に、部品開発関係者）に公開することが、この開発形態の特徴である。製品アーキテクチャは「開発標準」としてフォーカル・ポイントとなるため、製品システム全体の開発作業は製品アーキテクチャを中心に、個々の部品の開発がコーディネートされ、それを通じて人工物全体のインテグレーションが実現されることになる。

製品アーキテクチャを人工物として開発し、それを公開にすることは、製品アーキテクチャという「全体設計の大枠」が先行して開発・共有され、一定期間固定化されるということでもある。全体設計の大枠が先行することで、個々の部品開発を行うに際して、どんな部品機能を持つ部品を開発すれば、他の部品とコーディネートでき、それらとインテグレートすることで、最終的にどんな製品機能を持つ製品システムが生まれるかを予測することができる。逆に、こうしたシステム・インテグレーション、システム・コーディネーションの仕組みがわかりやすくなっていることが必要であるから、そこで開発される製品システムでは、製品機能と部品機能、それらを実現する部品の関係が入れ子型のモジュール構造を持つとともに、製品システムの内部コーディネーションにおいて必要とされる部品間のコミュニケーションに必要とされるプロトコルも予め準備しておく必要がある。いわゆるインターフェースの標準化である。このようにして実現した予測可能性を基に多数の部品を独立に開発してもシステム・コーディネーションやシステム・インテグレーションが実現することが担保されることになる。いわば、製品システムの開発作業において、部品開発は部品単位で分権的に実現することが可能になるというわけである。一方で、このような開発方式では部品開発の擦り合わせを行うことは不可能になる。しかし、すでに市場に存在する部品の部品機能を引き出すよう、製品アーキテクチャ自体を開発者が変更するという意味での擦り合わせは行える。部品開発先行型で、全体設計を部品にあわせて変更するというわけである。部品開発先行型なら、オープンな製品開発形態を使って擦り合わせ型開発を行うことも不可能ではない。

もうひとつの方法は、システム・コーディネーションとシステム・インテグレーションを製品システムの開発者という人間が、製品アーキテクチャという人工物を使わずに（あるいは製品アーキテクチャ自体を製品システムごと開発し直すことで）人的に行う方法である。いわゆる、擦り合わせ型のアーキテクチャとは、一定期間1つのアーキテクチャにコミットすることがないために、製品機種を開発するごとに部品間の擦り合わせが必要になることを指している。

擦り合わせ型アーキテクチャの場合、部品の開発を、製品の全体設計と同時並行して、あるいは製品の全体設計の後で行うことが可能になる。このため、消費者ニーズの変化、技術

人工物の複雑化と製品アーキテクチャ

の進歩、（市場などで利用可能な）部品の出現などに併せて、製品アーキテクチャ自体を変更でき、さらには製品アーキテクチャを生かした部品開発も可能になる。このプロセスを通じて、より高度なシステム・コーディネーションやシステム・インテグレーションが実現可能になり、それだけ消費者ニーズに的確に対応した、より高度な知識を生かしたものづくりが実現できる。

この方法を使うと、製品機種の開発と部品開発を独立に行うことはできなくなる。普通、製品システムの開発者と部品開発者の連携・擦り合わせが同時に行われることになるから、全体設計・部品開発同時並行型になることが多い。

5.3 製品開発形態：オープンとクローズド

複雑化した人工物の開発には、全体設計の開発者（製品アーキテクチャの設計者）と個々の部品の開発・設計者の間のコーディネーションが必要になる。このコーディネーションを、誰でも参加できる市場を通じることで見知らぬ人同士でも実現可能なものにするか、それとも組織内部に取り込んで比較的少数の参加者間の知識の共有を前提にコーディネーションを行うかということから、もう1つの類型化が可能となる。

1つの方法は、市場を通じて、見知らぬ人同士でも製品開発作業をコーディネートする方法である。この場合、コーディネーションのためには、開発者が持つ暗黙知や企業特長的資本は、市場での取引対象の内部にカプセル化される一方、取引対象が買い手に対してどんなメリットを持つのかはマニフェスト化されていなければならない。

取引対象が部品ならば、部品の開発に使われた科学知識や生産ノウハウ、企業特長的な工員の熟練や技師のスキルは、部品内部にカプセル化されている必要がある。すでに開発済みの既存の部品ならば、その内部にどんな知識がカプセル化されているかが部品機能としてマニフェスト化されているから、それらを寄せ集めることで全体製品を開発できる。開発済みの部品を使えば、市場で購入した部品を事後的に擦り合わせることで、製品機種の開発が可能である。

他方、部品自体を事前に開発するためには、部品がどんな部品機能を持ち、それをユーザーや他の部品が利用するためには、どんな命令を伝えればよいのかなどは、開発者にわかるようマニフェスト化されていなければならない。製品アーキテクチャ自体が部品開発者に理解可能な言葉で書かれ、コミットされていることが必要である。そのためには、製品アーキテクチャが人工物化され、開発標準として公開されコミットされていることが必要だろう。そうであれば、そもそも製品全体がどんな製品機能を持ち、各部品がどんな部品機能を持つのか、また各部品の間関係がどうなっているのかが、部品開発者にもあらかじめ明確とな

り、どんな部品機能を持つ部品を開発すれば、製品全体のどの機能を改善・改変できるかが明白になり、製品全体の製品差別化を分権的な部品開発を通じて構想できるからである。

これに対してクローズドな製品開発形態を使えば、個々の製品機種を開発するたびに、製品アーキテクチャの開発者と部品の開発者が共有する、関係特殊的な技術や熟練、職場で共有されている暗黙知などを有効に生かすことが可能になる。また逆に、オープン・アクセスが拒否されているから、参加者を適切に選択することで、知的財産権を使わずにこれらの知識や技術を保護・保持することが可能になる。関係特殊的な知識や技術を知的財産権を使って保護・保持するためには、しばしばこれらの知識や技術を形式知や関係非特殊的なものに置き換えなければならないから、それだけ組織内に蓄積された組織特殊的な暗黙知の保護には、クローズドな形態が有効である。

とはいえ、クローズドな開発形態をとるからといって、製品アーキテクチャをソフトな人工物にすることのメリットがなくなるとは言えない。クローズドな関係者間であっても、製品アーキテクチャにコミットすることで、個々の部品メーカーの知識の蓄積を生かしつつ、それを部品内部にカプセル化して、他の部品メーカーや組み立てメーカーから切り離すことが可能になる。これこそが、少数の部品メーカーに承認図方式で部品開発を委ねた日本の自動車生産方式に他ならない。また、部品機能と製品機能の対応関係が明確になれば、それを消費者にも公開し、個々の消費者ニーズに合わせた製品差別化を、製品アーキテクチャを通じて実現することが可能になる。個々の消費者は自分が望む製品機能を、適切な部品を組み合わせることで実現できることになるからである。シマノのコンポ型自転車は、このような仕組みに他ならない。

こうした考察は、先に述べた「人工物化された製品アーキテクチャ」と「オープンな開発形態」、「人間が開発するアーキテクチャ」と「クローズドな開発形態」の間に強い補完性が存在することを示している。しかしながら、表1 が示すように、「人工物化された製品アーキテクチャ」と「クローズドな開発形態」の組み合わせや、「開発者が開発するアーキテクチャ」と「オープンな開発形態」の組み合わせが存在しないわけではない。

たとえば、中国の自動車産業では、外国自動車の部品がコピー・生産されることから始まり、それをあたかも汎用部品のようにして組み合わせる方法で、自動車が生産されているという（藤本・新宅2005）。これは、部品開発が組み立てに先行して、かつオープンに行われ、システム・インテグレーションを組み立て企業が行うという意味で、「擦り合わせ型アーキテクチャ」と「オープンな開発形態」の組み合わせであると言えよう。また、シマノのコンポ型自転車は、完全に規格化されて組み合わせ可能な自転車部品を提供しているが、その新製品開発そのものはクローズドに行っている。この意味で、「開発標準型製品

人工物の複雑化と製品アーキテクチャ

アーキテクチャ」と「クローズドな開発形態」の例である。

表 1：製品アーキテクチャと開発形態

製品アーキテクチャ 開発形態	オープン	クローズド
人工物としての 開発標準全体設計先行型	デスクトップPC (IBM-PC)	(シマノの) コンポ型自転車 承認図方式の自動車生産
開発者の擦り合わせ 部門開発先行（並行）型	中国の寄せ集め型 自動車生産	サブノートPC 半導体露光装置

6. 結論

本論文は、現代のものづくりで製品アーキテクチャ概念が重要性を高めるようになった理由を、人間と人工物の分業・協業関係の展開と、その中で的人工物の階層的複雑化という文脈の中において説明してきた。本稿で示された独自の視点は、以下のようにまとめることが出来る：

- (i) 人間同士のコーディネーション活動にとって、人間と人工物の分業・協業のあり方が影響を与えうるとの観点から、人間と人工物の分業・協業という視点を明示的に取り入れて分析を行ったこと；
- (ii) 人工物が複雑化を遂げるようになったことの原因を、それが市場と組織の分業と協業の中で創造されてきたことと、電子的情報処理の登場に求めるとともに、こうした要因が階層的な複雑化という特定の複雑化を促したことを指摘したこと；
- (iii) 人工物の階層的複雑化に伴うシステム・インテグレーションやシステム・コーディネーションの必要性の高まりを指摘し、それを実現するソフトな人工物としての仕組みとして製品アーキテクチャを定義したこと；
- (iv) 一方における、複雑な製品システム開発におけるコーディネーション問題を解決するために誕生した製品アーキテクチャと、他方における市場制度と組織というコーディネーション・メカニズムとの間に存在する補完性という視点を提供したこと

である。

製品アーキテクチャを開発標準としてコミットし公開するか、それとも製品機種の開発は開発者が毎回擦り合わせて作るのかという2つの方法の対比は、結局のところ全体製品の開発を人工物を使って行うか、開発者という人間自身が行うかという区別である。先にわれ

われは、分業・協業の仕組みとして、市場と組織の区別を取り上げた。そこで得られたのは、市場が有効に機能するためには、不要な情報がカプセル化され、必要な情報だけがマニフェスト化されている人工物を作ることが有効だという知見であった。またわれわれは、(物的な)人工物による情報処理と人間の情報処理の本質的差異についても論じた。プランに応じた硬直的な処理には極めて有効な人工物と、状況に応じた弾力的な処理に長けている人間の間で、作業を分担しお互いを補完しあうことが、全体作業のために有効だというのが、そこで得られた知見だった。ではこれらの視点を使うと、製品アーキテクチャの類型化に関して、何が言えるだろうか。その分析は、今後の課題として残したいが、ここで多少の予備的な考察を行って、そのアウトラインを示すことは可能である。

第5.2 節においてわれわれは、製品アーキテクチャというソフトな人工物を用いたコーディネーションにおいては、システム・インテグレーション、システム・コーディネーションの仕組みがわかりやすく、予測可能なものとして一定の期間固定されると述べた。製品アーキテクチャが開発標準として固定されることにより、他の部品の開発や特定機種全体の設計とは独立に、次のようなことが可能になる。

第1 に、各部品の部品機能がマニフェスト化される。このため、どんな部品機種を開発すれば、全体製品のどの機能がどう改善・改良されるかが明白になり、部品機種の開発が全体製品の製品差別化につながる道筋が明確になる。このため、他の部品開発と独立に行った部品機種開発でも、それが開発者にもたらす利益の予想がより明確になり、それだけ適切な部品開発が行われる。

第2 に、各部品が与えられた部品機能さえ満たしていれば、その内部構造は、製品の利用者は言うまでもなく、他の部品開発者や全体設計の担当者にさえカプセル化してよい。このため、部品開発者は、部品開発に使った暗黙知や関係特殊資産を部品にカプセル化できる。保有する技術知識の保護を、知的財産権など、第三者に立証しなければならない手段を使わなくてすむから、オープンな開発組織でも、これらの知識や技術をより有効に利用できる。

第3 に、製品アーキテクチャでは、標準的な部品の種類とそれらが持つべき部品機能、部品間のインターフェースやそこで使われる言語体系などが標準化され公開・固定されている。こうして作られた、開発標準を通じたフォーカル・ポイントが、一方で分権的な部品開発をコーディネートし、他方で部品開発のオープン・アクセス性質を保証する。製品アーキテクチャを人工物として公開することは、オープンな開発形態を採用することと、強い親和性を持つのである。

他方、製品アーキテクチャの形態は、製品開発の対象となる製品クラスの性格とも強い補完性を持っている。第1 に、製品の操作が標準化されていればいるほど、製品の操作を内部

人工物の複雑化と製品アーキテクチャ

コーディネーションに委ねることができる。外食チェーンの顧客サービスという、製品がソフトな人工物である場合を例にとろう。標準化された顧客サービスならば、必要な手順はすべてマニュアル化されており、手順どおりに動くことを義務付けられた店員がマニュアルどおりに動くという内部コーディネーションで、サービスが完結する。これに対して、予測しなかった状況は当然マニュアルでカバーされていないから、店長やチェーン全体の責任者というエキスパートの判断が求められる。状況に応じた操作という、直接コーディネーションが必要になるのである。パソコンや電子レンジといったほとんどの手順が標準化されている製品クラスなら、開発標準を事前に固定した開発形態で十分に対応できる。これに対して、道路状況や気象など、状況に応じて異なる操作が必要になる自動車など、直接コーディネーションを多用する製品クラスなら、擦り合わせ型の開発に比較優位があるだろう。

第2 に、第5.2 節でわれわれは、製品アーキテクチャというソフトな人工物を用いたコーディネーションは、部品開発を分権的に進めるために有効であると述べた。逆に、個々の部品開発の間のコーディネーションが重要で、部品開発を分権的に進められないならば、その有効性は小さくなるだろう。部品開発同士のコーディネーションが重要になるのは、さまざまな部品の機能自体をコーディネートするために必要な資源制約が厳しい場合である。いくつか例を挙げてみよう。第1 に、サブノートパソコンなど、個別部品の発熱が他の部品動作に干渉し、製品全体の動作に大きな影響を与えることがある。もちろん資源利用に余裕があれば、製品全体に影響を与えないよう個別部品の発熱量を制御し、相互干渉を抑えることも可能である。しかし、利用できるスペースや制御のための情報伝達資源に制約があれば、結局製品開発の段階で、部品設計や部品配置で解決することが必要になる。言うまでもなくその結果、擦り合わせ作業が必要になる。第2 に、第3.1 節において機能の一例として示した自動車の「乗り心地」や「デザイン」のように、自動車を構成する部品全体のコーディネーションを通じてのみ実現可能な機能が必然的に重要性を持つケースでは、製品アーキテクチャを通じたシステム・インテグレーションやシステム・コーディネーションは実現困難だろう。

これらの場合には、開発標準という人工物を使った分権的な部品開発は困難になり、開発者という人間が擦り合わせを使って開発作業を行うことの優位性が高まることになる。また、すでに述べたようにこの場合、クローズドな開発形態が補完性を持つことが多いから、日本のような組織内での開発や、企業ネットワークを通じた開発が親和的になることが考えられる。とはいえ1 つ、注意しておくべきことがある。クローズドな製品開発形態といっても、職場の現場、工場、企業、親密企業間、媒介者がつなぐコンソーシアムなど、その広がりには多様性がある。中馬（2004）などが強調するように、開発する製品が複雑化し階層化すれ

ばするほど、また科学知識や生産技術、消費者ニーズ情報や人的・財務資源など、必要な資源が多面化すればするほど、広がり大きなネットワークを構築する必要性が生まれる。製品開発という未来の作業のために必要なネットワークは、歴史的に作られた企業や企業間関係というネットワークに縛られてはならない。

ともあれ、こうした議論のいっそうの展開は、稿を改めて行うことにしたい。

参考文献

- Aoki, M. (2001)** , *Toward a Comparative Institutional Analysis*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts. (邦訳：青木昌彦著, 瀧澤・谷口訳, 『比較制度分析に向けて』, NTT出版, 2001.)
- Baldwin, C. and K. Clark (2000)** , *Design Rules: The Power of Modularity*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts. (邦訳：C. ボールドウィン, K. クラーク著, 安藤訳, 『デザイン・ルール：モジュール化パワー』, 東洋経済新報社, 2004.)
- Cutland, N. (1980)** , *Computability: An Introduction to Recursive Function Theory*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Dixit, A. (2004)** , *Lawlessness and Economics: Alternative Modes of Governance*, Princeton University Press.
- Milgrom, P. and J. Roberts (1992)** , *Economics, Organization and Management*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. (邦訳：P. ミルグロム, J. ロバーツ著, 奥野他訳, 『組織の経済学』, NTT出版, 1997.)
- Simon, H. (1996)** , *The Sciences of the Artificial*, (Karl Taylor Compton lectures), 3rd ed. MIT Press. (邦訳：H. サイモン著, 稲葉・吉原訳, 『システムの科学』, パーソナル・メディア, 1999.)
- Sperber, D. and D. Wilson (1986)** , *Relevance: Communication and Cognition*, 2nd ed., Oxford, Blackwell. (邦訳：D. スペルベル, D. ウィルソン著, 内田他訳, 『関連性理論：伝達と認知』, 研究社, 1999.)
- Suchman, L. (1987)** , *Plans and Situated Actions: The problem of human-machine communication*, Cambridge, U.K., Cambridge University Press. (邦訳：L. サッチマン著, 佐伯他訳, 『プランと状況的行為：人間－機械コミュニケーションの可能性』, 産業図書, 1999.)
- Zuboff, S. (1988)** , *In the Age of the Smart Machine: The Future of Work and Power*, N.Y., Basic Books.
- 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

経済新報社.

中馬宏之 (2004) , 「日本のサイエンス型産業が直面する複雑性と組織限界：半導体露光装置産業の事例から」, 『一橋ビジネスレビュー』, 52巻3号, pp. 64-85

藤本隆宏 (2001) , 「アーキテクチャの産業論」, 藤本他編『ビジネス・アーキテクチャー 製品・組織・プロセスの戦略的設計』, 有斐閣.

藤本隆宏・新宅純二郎編著 (2005) , 『中国製造業のアーキテクチャ分析』, 東洋経済新報社.

奥野正寛・渡邊泰典 (2006) , 「コーディネーション・システムとしての製品アーキテクチャ」, RIETI Discussion Paper Series 06—J—007, 経済産業研究所.

瀧澤弘和 (2005) , 「市場と非市場のインタラクション：モジュール化概念を振り返って」, 浅野清編, 『成熟社会の教育・家族・雇用システム』, NTT 出版.