

○柴田友厚（香川大），児玉文雄（芝浦工大）

### 1. はじめに

モジュール融合とは異なる技術軌跡を歩んできた2つの製品システムが、それぞれモジュール・アーキテクチャに到達した後に、モジュールレベルでの転用がおり、製品アーキテクチャが再編されるという現象を指す。まさに、技術の組み換えが産業を超えて起こるのであり、組み合わせの妙味によって新たな製品コンセプトが生まれるのである。既存研究は、製品アーキテクチャは基本的にインテグラルからモジュールへ次第にシフトすること、また要素技術の革新によっては、モジュールからインテグラルへ逆シフトする場合がある、ということを示してきた。本稿はさらに、新たにモジュール融合という経路の存在を理論的に導出し、NCシステムとパソコン・システムのモジュール融合を例証する。

### 2. 先行研究

製品アーキテクチャに関する先行研究は多い（Baldwin and Clark, 1997 ; Baldwin and Clark, 2000; Langlois and Robertson, 1992 ; Robertson and Ulrich, 1998 ; Ulrich, 1995; Sanchez and Mahoney, 1996; 藤本・武石・青島, 2001 ; 柴田・玄場・児玉, 2002; Shibata, Yano and Kodama, 2005）がその中で、製品アーキテクチャの進化経路に言及した先行研究の知見を簡単にまとめておこう。製品アーキテクチャは、次第にインテグラルからモジュールへ進化するという点に関して、既存研究は3つの理由を指摘している。

第1の理由は、製品のライフサイクルに応じて変化する顧客の評価基準に対して、企業は製品アーキテクチャの変化によって対応するからである（Christensen and Raynor, 2003）。全ての新製品はその初期段階は性能が低く、顧客の要望を十分に満たす水準に達していない。そのような競争状態の時、企業は製品性能の最適化によって顧客の要望に答えようとするはずであり、その為にはインテグラル・アーキテクチャが有効である。第2の理由は、サプライヤーとの関係性という視点であり、効果的な関係性を築くには製品をモジュール化することが有効だからである（Fine, 1998）。効果的なアウトソーシングのそのためには、外注しようとする仕事をできるだけ1まとまりのパッケージにして、外注先と自社との間で、委託業務に関する複雑な相互依存関係をできるだけ排除しインタフェースをルール化することが効果的であろう。このような努力は、製品のモジュール化を促進する方向に作用する。第3の理由は、企業の組織能力という視点であり、インテグラル・アーキテクチャを設計するよりもモジュール・アーキテクチャを設計するほうが、より高度な組織能力を必要とするからである（Baldwin and

Clark, 1997 ; 柴田・玄場・児玉, 2002; Shibata, Yano and Kodama, 2005)。

更に既存研究は、クローズド・モジュールへの到達後、再度インテグラルへ逆シフトする経路の存在を明らかにしている。インテグラルへの逆シフトは、要素技術の革新によって引き起こされるが、その革新の契機には、他産業によって外生的にもたらされる場合と、内生的にもたらされる場合がある。前者の事例は、NC装置にMPUを導入したことによって、クローズド・モジュール型からインテグラルへシフトした事例が典型的なそれである(柴田・玄場・児玉, 2002)。後者の事例は、楠木・チェスブローが指摘したHDD産業におけるヘッドの革新である(楠木・チェスブロー, 2001)。この産業では、フェライトヘッドから薄膜ヘッドへ、薄膜ヘッドからMRヘッドへというヘッド技術の革新に際して、そのたびに、モジュール型からインテグラルへと逆シフトしたことが指摘されている。

### 3. モジュール融合

クローズド・モジュールのアーキテクチャに到達した製品システムは、実はもう1つの経路を辿る場合がある。それは、異なる技術軌道を歩んできた製品群がそれぞれモジュール・アーキテクチャに到達した後、産業を越えた製品間でモジュールの交換や置換がおこり、製品アーキテクチャが再編されて新しい製品コンセプトが生まれるという経路であり、その経路を本稿ではモジュール融合と言う。モジュール融合の可能性は、モジュール化オペレータの1つである転用 (Porting) オペレータの作用によって、合理的に説明される。

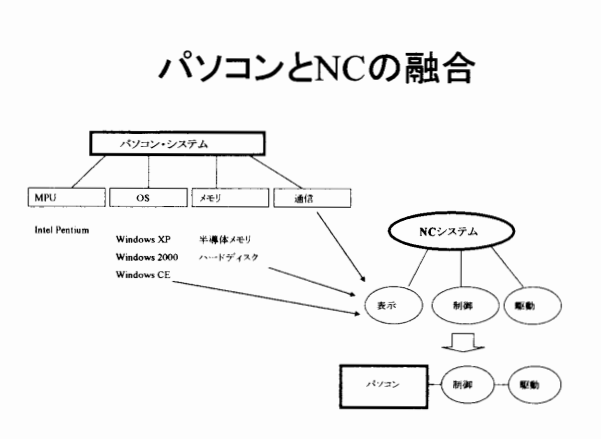
転用オペレータは、モジュール・アーキテクチャに働く6つのモジュール化オペレータのうちの一つである。ボールドウィン&クラークによれば、6つのオペレータとは、分離、交換、追加、削除、抽出、転用の6つであり、これらのオペレータがモジュールに自立分散的に作用してモジュール・アーキテクチャの設計進化をもたらす (Baldwin and Clark, 2000)。転用オペレータとは、あるモジュールを他のシステムに移し作動させるように働く。6つオペレータのうち、他のシステムへ作用するものは、転用オペレータのみであり、他のオペレータは当該システムの中でのみ作用する。転用オペレータが働いた典型的な例は、モジュール・アーキテクチャだったUNIXオペレーティングシステムが、多数の異なるハードウェア上で移植されて動作するようになった例をあげることができる (Baldwin and Clark, 2000)。転用オペレータそれ自身は、転用先システムのアーキテクチャに関わらず、転用元システムがモジュール・アーキテクチャでありさえすれば作用することができる。つまり、転用先システムはインテグラルであっても転用オペレータは作用する。転用先アーキテクチャが以下に示すような一定の条件を満たすときに、モジュール融合が形成される。

第1に、転用先システムは、モジュール・アーキテクチャでなければならない。転用先システムの特定期間を置換する形で、モジュール融合が形成されるからである。この場合モジュール・アーキテクチャには、クローズドとオープンとの2種類が存在し、その2つを区別し

で考えることが有効である。第2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ならない。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お互いに価値を補足しあい、そのこと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ような場合に、モジュール融合は成立する。モジュールがシステムと全く関係ない機能を提供するのであれば、そのモジュールを転用するメリットは生じないであろう。第3に、転用先システムにおいて、転用される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によって、他のモジュールを修正する必要があり、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。モジュール融合を形成するメリットはなくなる。このような条件のもとで転用オペレータが作用するとき、モジュール融合が形成される。

#### 4. 事例：パソコンとNCの融合

NC装置は、工作機械を制御する工業用コンピュータである。1975年に、MPU (Micro Processor Unit) を搭載したNC装置が世界で始めて開発されて以降、NCのアーキテクチャはモジュール化が進展しており、1991年以降のNCアーキテクチャの特徴は、表示部、演算部、駆動部という大きな機能ごとに、モジュール化されているということである。表示部はまさに文字通り、工具や工作機械の位置表示やNCプログラムの表示などを行ない、演算部は、工具の速度や経路を計算して加工に必要なデータを駆動部に転送し、駆動部はそのデータをもとにしてモータを制御する。そして、それらの3つのユニットの間は、ファンクシリアルバスという専用インタフェースによって連結されている。NCシステムがこのように、まとまった機能ごとに、表示モジュール、制御モジュール、駆動モジュールの3つのモジュールから構成されたことが、パソコンとNCとの融合を促進した。



パソコンとの融合方法には、2つの方法が存在する。第1の方法は、市販パソコンを表示モジュールにそのまま転用する方法である。この場合は、市販パソコンとファナックのNCではバスの規格が異なるために、相互に変換するためのインタフェースボードを介して、市販パソコンと演算ユニットを連結する必要がある。第2の方法は、インテルMPU、Windows XPや半導体メモリなどの市販モジュールを市場から調達して、パソコン機能を表示モジュール部分に転用する方法である。

このような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の情報処理機能を持てるようになった。工具情報、位置情報、速度情報などのNCシステム内部で管理している情報をパソコン機能に転送し、データベース機能を利用して工具ファイルを管理したり、あるいは、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することが可能になったのである。まさに市販パソコンの技術軌道上で開発された豊富な情報処理機能と、NCの技術軌道で開発された制御機能との融合が実現したのである。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、産業も異なるし市場も異なる。パソコンは一般ユーザーを対象にした消費財であり、NCは工作機械メーカを対象にした生産財である。その意味において、産業の枠組みを超えてパソコンの持つ情報処理機能とNCが持つ制御機能が組み合わせられたとすることができる。

#### 参考文献

- Baldwin, Carliss Y., and Kim B. Clark (1997), "Managing in the Age of Modularity", *Harvard Business Review*, Vol. 75, No. 5.
- Baldwin, Carliss Y., and Kim B. Clark (2000), *Design Rules: The Power of Modularity*, Vol. 1, Cambridge, MA: MIT Press.
- Christensen, Clayton and Raynor (2003), *The Innovator's Solution*, Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts.
- Fine, Charles, 1998, *ClockSpeed: Winning Industry Control in the Age of Temporary Advantage*, Reading, Massachusetts: Perseus Books.
- 藤本隆宏・武石彰・青島矢一編 (2001) 『ビジネス・アーキテクチャ』 有斐閣。
- 楠木・チェスブロー (2001) 「製品アーキテクチャーのダイナミック・シフト」 藤本・武石・青島編 『ビジネス・アーキテクチャー』 有斐閣。
- 柴田友厚・玄場公規・児玉文雄 (2002) 『製品アーキテクチャーの進化論：システム複雑性と分断による学習』 白桃書房
- Shibata, Tomoatsu, Yano Masaharu, Kodama Fumio "Empirical analysis of evolution of Product Architecture", *Research Policy*, Vol. 34 (2005), pp. 13-31.