

査読論文

車載用 ECU 開発におけるモジュラー化の進展 — ケーヒンの事例研究 —

佐伯 靖雄*

要 旨

本研究では、自動車産業における製品・技術のモジュラー化の進展に焦点をあて、エンジン制御 ECU の大手サプライヤーであるケーヒンを事例に、電氣化・電子化イノベーションの視点からその実態と課題を明らかにした。モジュラー化は技術開発や製品戦略上大きな意味を持ち、しかも強力な組織再編のツールでもある。本研究で取り上げたケーヒンの事例においても、ソフトウェア開発がモジュラー化していることは、開發生産性向上という課題に取り組む上で経済合理性があり、また生産や調達の外注先拡大は取引関係の再編を招いていた。これらの分析を踏まえた本研究の貢献は、モジュラー化への移行過程にある企業を対象とすることにより、従来の製品アーキテクチャ論が示してきた動態的特徴が指摘してこなかったスイッチング・コストの存在を明らかにしたことである。

キーワード

モジュラー化, 自動車の電子化, MBD (Model Based Design), ソフトウェア設計, 製品開発, 車載用 ECU

はじめに

本研究では、自動車産業における製品・技術のモジュラー化の進展に焦点をあて、その実態と課題を明らかにすることを目的としている。従来、製品アーキテクチャの議論では、自動車はインテグラル型（もしくは統合型）の製品として位置づけられてきたが（藤本・武石・青島編 [2001] 他）、近年の研究では、徐々にモジュラー化の影響を受けつつあることが指摘されている（武石・藤本・具 [2001]、柴田・玄場・兎玉 [2002] 他）。しかしながら、その実態とメカニズムは未だ十分に解明されていない。

近年、EV (Electric Vehicle) の本格市場投入を契機に、エコカーの存在が俄に注目されるようになった。これによって、二次電池とモータさえあれば誰でも自動車が作れるようになったという極端な主張までが喧伝されている。確かにこのことは、自動車のモジュラー化を示唆

* 執筆者：佐伯靖雄
機関/役職：立命館大学経営学部/助教
連絡先：〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1
E-mail : yst07993@ba.ritsumei.ac.jp

するひとつの事例であるが、実のところ、それはエコカーの登場以前から始まっていたのである。それが、1990年代から顕著に進んできた、部品レベルでの電氣化・電子化のイノベーションである。このイノベーションは、自動車のモジュラー化と強い相関関係にある。

そこで本研究では、自動車のモジュラー化を部品レベルから考察し、更にその部品を構成するハードウェアとソフトウェアの双方の側面からアプローチすることで、製品と技術がどのようにモジュラー化しているのかを明らかにする。電氣化・電子化はもっぱら部品単位で進行してきた経緯があるため、部品サプライヤーの技術及び製品(電子制御部品)を分析の対象とすることで、モジュラー化の実態に接近できるはずである。分析対象として取り上げるのは、電子制御部品専業メーカーであった電子技研を母体とする、ホンダ系最大手サプライヤーのケーヒンである。自動車産業のサプライヤーは数多いが、電子制御部品専業の経歴を持つ企業は数少ない。したがって、電子制御部品の開発・生産実績が豊富な同社を分析することで、モジュラー化のプロセスを比較的長期間の時間軸から明らかにしていくことが期待できるのである。

1. ケーヒンの概要と産業内での位置づけ

(1) ケーヒンの概要

わが国のエコカー市場を牽引するのは、HV (Hybrid energy Vehicle) ではトヨタ、ホンダであり、EV では日産、三菱、スバルである。周知のとおり、エコカー市場はHV 中心に開拓されてきたが、アメリカのテスラ、中国のBYD オートといった完成車ベンチャーの台頭や、2010年には日産が「リーフ」の大量生産を始めたこともあり、EV もまた注目されるようになってきた。そのような中で、HV の商品展開に注力してきたトヨタ、ホンダもまた、相次いでEV のプロトタイプを発表し、参入への意欲を示している。その当事者であるホンダの系列サプライヤー最大手であり、機械部品のみならず電子制御部品の供給を担うのが、ケーヒンである。もっとも、これらHV やEV は話題性には富むものの、グローバル市場での販売台数はまだ僅少である。したがって、従来のガソリン・エンジン車における電子制御技術の高度化もまた、自動車産業の持続的発展にとって必要不可欠な要素である。ケーヒンは、ホンダの新車開発において同技術分野で多大な貢献を果たしてきたサプライヤーでもある。

ホンダの系列サプライヤーは、トヨタや日産のそれと比較すると、企業規模や技術開発力などの諸側面において相対的に劣位にある。しかしながら近年、ホンダは系列サプライヤーの競争力向上を課題として捉えており、自動車の電氣化・電子化イノベーションに取り組んでいる。このような背景から、現在のケーヒンは技術開発や製品開発の合理化過程にあると言える。したがって、自動車の電氣化・電子化イノベーションが駆動するモジュラー化のプロセスを分析する上で、ケーヒンは最適な対象なのである。

ここで、ケーヒンの事業内容について簡単に整理する。2011年3月期における同社の資本金

は6,932百万円、2010年3月期における連結従業員数が16,009人となっている。筆頭株主はホンダであり、41.33%を保有している。図1に示すように、製品分野別売上構成としては、四輪事業が34.5%と最も多く、二輪・汎用事業の24.0%、電子事業の22.0%が続く。ここでの電子事業には ECU (Electronic Control Unit) が含まれており、その割合は大きい。本研究では、この ECU 開発を事例に取り上げる。

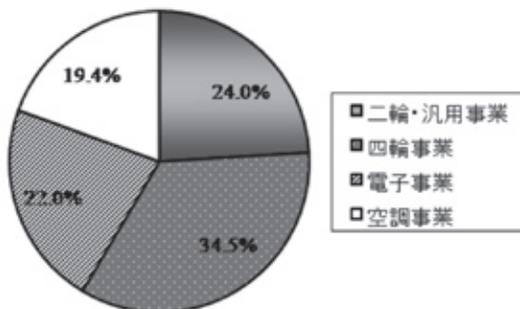


図1. 製品分野別連結売上高構成(2008年3月期)
出所) 2010年度アニュアルレポートより筆者作成

次に国内外の売上構成としては、国内比率の方が若干高いものの、ほぼ同じとなっており、主力顧客であるホンダの海外展開に同期化するように海外事業を拡大してきている。海外市場では、北米市場の比率が最も高い。主要顧客はホンダを筆頭に、ヤマハ発動機、スズキ、川崎重工業といった二輪の取引先が多く、四輪ではスズキ、ダイハツ工業、デンソーとなっている。

また、同社の前身が二輪用キャブレター・メーカーであったことから、二輪分野では国内の4メーカーを網羅するものの、四輪分野においてはもっぱらホンダからの受注によって事業が成立していることが特徴である。二輪・四輪以外にも、建設機械や小型船舶のメーカーとも取引がある。

また図2に示すように、ここ数年の業績の傾向としては、2008年3月期までは著しい増収傾向にあったが、2009年3月期には米国発金融危機による景気後退の影響で減収減益となった。好調だった2008年3月期までに限定すると、連結売上高は4年間で850億円以上の増収であり、約34%成長したことになる。本業の収益力を示す営業利益率を見ても、年度によって若干の上下は見られるものの、平均して7%を上回っており好調を維持していた。

ケーヒンの業績は、主要顧客であるホンダの事業活動と密接に連動している。すなわち、北米を中心とした事業展開、ホンダの世界販売台数増といったプラス要因を受け、2008年3月期までケーヒンの業績も上昇基調であった。このことは、ホンダ・グループにおいて同社がホンダと一心同体の事業を推進していることの証左でもある。そのため、第3節で詳述するように、同社の開発・生産のあり方は、主要顧客かつ親会社であるホンダからの強い影響下にある。

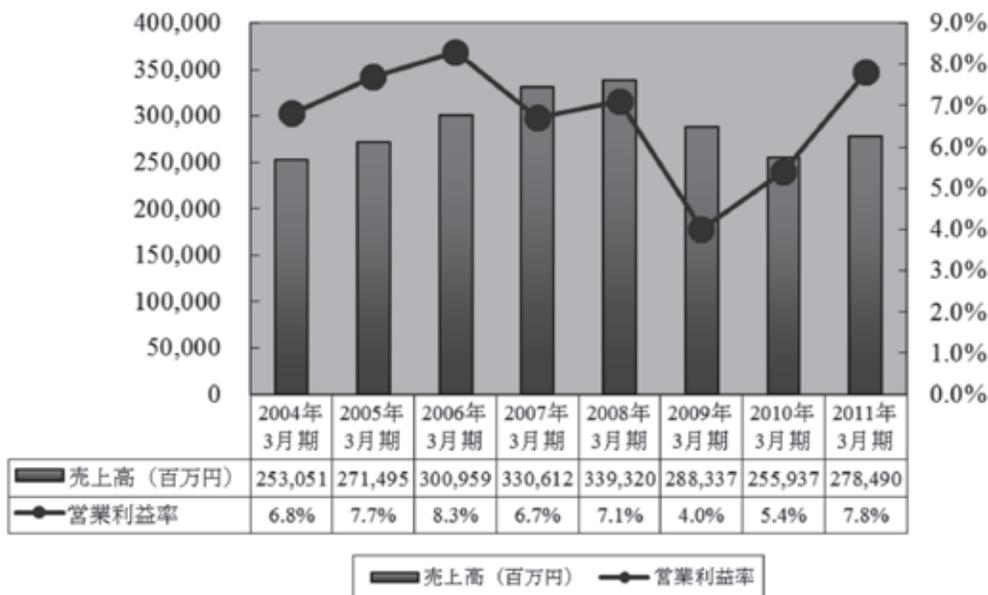


図2. 連結売上高・営業利益率推移
出所) 有価証券報告書より筆者作成

次に、ホンダ・グループにおける電子制御部品供給の棲み分けを見ておこう。ホンダ系サプライヤーの中で、ECU開発を得意とするのは、最大サプライヤーのケーヒンと、ホンダとNECの合弁会社であるホンダエレススである。両社の成り立ちと主要製品を比較することで、事例として取り上げるケーヒンのホンダ・グループにおける位置づけを確認する。

ケーヒンの前身は、1956年設立の京浜精機製作所、1973年設立の京浜気化器（1992年からハドシスに社名変更）、1981年設立の電子技研である。京浜精機製作所と京浜気化器は、共にキャブレーターを主力製品とする機械部品サプライヤーであったが、1990年代には電子制御部品に関連する、センサやアクチュエータの部品市場において存在感を示し始めていた。他方、電子技研は設立当初から電子制御部品専業であり、1990年代前半には数多くのシステムに向けたECUを手がけていた。現在のケーヒンにおいても、旧電子技研の設計開発陣がエンジンECU開発の中核となっている。これら3社が1997年に合併してケーヒンとなり、ホンダ系列最大手サプライヤーとして今日に至っている。

一方のホンダエレススは、1996年に本田技研工業、ホンダ系サプライヤーのショーワ、日信工業、後のケーヒン等の出資によって設立されたネステックを前身とする。ネステックは、電子制御部品専業のサプライヤーとして設立された。その後、2002年にネステックを母体とし、ホンダとNECの合弁企業としてホンダエレススが設立されている。同社もまた電子制御機器専業の電装部品サプライヤーであり、車線検出カメラ、レーダーセンサや各種ECU、車線維持・逸脱警報システム用のステアリング制御アクチュエータ等を手がけている。

ホンダ・グループにおける両社の位置づけとしては、ケーヒンがエンジン制御系のシステムを主たる領域とし、ホンダエレシスが車体制御系のシステムを主たる領域とすることで棲み分けがされている。ただし、ケーヒンはカーエアコン用 ECU やエアバッグ等の ECU も手がけており、エンジン制御分野に特化しているわけではない。

(2) エンジン制御 ECU 市場での位置づけ

続いて、ケーヒンの主力製品のひとつであるエンジン制御 ECU の競争環境を分析する。表 1 は、アイアールシー編 [2007] より抜粋したサプライヤー別の生産シェアである。

表 1. エンジン制御 ECU の国内生産シェア

	メーカー	系列	生産量 台分/月	シェア (%)
電子制御燃料噴射装置用 ECU (ガソリン車用)	デンソー	トヨタ系	277,000	33.3
	富士通テン	トヨタ系	147,600	17.7
	三菱電機	独立系	145,500	17.5
	日立製作所	独立系	118,700	14.3
	ケーヒン	ホンダ系	93,600	11.3
	トヨタ自動車	内製	27,600	3.3
	松下電器産業	独立系	20,600	2.5
	ビステオン	フォード系	1,100	0.1
	生産合計/上位 3 社寡占率		831,700	68.5
電子制御燃料噴射装置用 ECU (ディーゼル車用)	デンソー	トヨタ系	75,000	73.2
	ボッシュ	独立系	26,500	25.9
	デルファイ	GM 系	1,000	0.9
	生産合計/上位 3 社寡占率		102,500	100.0

出所) アイアールシー編 [2007] をもとに筆者作成

エンジン制御 ECU は、電子制御燃料噴射装置の制御部品である。完成車メーカーによって呼称は若干異なるが、ホンダ・グループではこれを FI-ECU (Fuel Injection ECU) と呼ぶ。FI-ECU には大きく分けてガソリン・エンジン用とディーゼル・エンジン用とがあり、それぞれ異なる市場になっている。表からも読み取ることができるように、日本では乗用車の殆どがガソリン車であり、ここでのディーゼル車とは、もっぱら商用車を意味している。ガソリン車用の生産シェアではデンソー、富士通テンといったトヨタ系サプライヤーが高く、次いで総合電機メーカーである日立製作所、三菱電機の自動車機器事業部門が続く。ケーヒンはそれに次ぐ第 5 位である。日本市場では、これら上位 5 社のシェア合計が 90% を超えている。ディーゼル車用では、やはりデンソーが首位にある他は、独ボッシュ、米デルファイといった外資系しか参入しておらず、生産数量自体がガソリン車用に比べてかなり小さいことが分かる。こちらにはケーヒンは参入していない。

表2. エンジン制御 ECU (ガソリン車用) の国内流通シェア

完成車メーカー	調達量	調達先	調達量	シェア (%)
トヨタ自動車	276,000	内製	27,600	10.0
		富士通テン	127,000	46.0
		デンソー	121,400	44.0
日産自動車	87,600	日立製作所	87,600	100.0
三菱自動車工業	55,600	三菱電機	55,600	100.0
本田技研工業	114,200	ケーヒン	93,600	82.0
		松下電器産業	20,600	18.0
マツダ	72,000	三菱電機	40,900	56.8
		デンソー	30,000	41.7
		ビステオン	1,100	1.5
スズキ	95,500	三菱電機	46,800	49.0
		デンソー	37,200	39.0
		日立製作所	11,500	12.0
ダイハツ工業	89,400	デンソー	68,800	77.0
		富士通テン	20,600	23.0
富士重工業	41,400	日立製作所	19,600	47.5
		デンソー	19,600	47.5
		三菱電機	2,200	5.0

出所) アイアールシー編 [2007] をもとに筆者作成

次に、対象をガソリン車用に限定して完成車メーカー側からの調達状況を確認しておこう(表2参照¹⁾)。調達量は、トヨタ、ホンダ、スズキの順に多く、意外にも日産の調達量が少ない²⁾。表2から明らかになるのは、完成車メーカーの調達先は系列サプライヤーに集中しているということである。トヨタは内製を含め、筆頭サプライヤーのデンソーと、トヨタが富士通と合併設立した富士通テンからの調達のみである。ホンダはケーヒンからの調達を主としている。逆に、ケーヒンからの納入はホンダだけに限定されている。なお日産の主たる調達先は日立製作所であるが、日立製作所とは旧日産コンツェルンの構成企業同士だったこともあり、資本関係はないものの、密接な取引関係を構築している。以上のことから、エンジンは完成車メーカーにとって基幹部品であり、その制御機構にはできるだけ資本関係のある系列サプライヤーを使いたいという完成車メーカーの強い意向がはたらいっていると考えられる。

また中下位の完成車メーカーでは、三菱は三菱電機から、ダイハツはトヨタ系列からの調達が顕著である。スバル(富士重工業)は、自身が日産系からGM系、更にはトヨタ系へと変遷してきたため、調達先の傾向を読み取りづらいが、2008年4月にトヨタが同社への出資比率を高めることを決定したため、今後はデンソーからの調達が増えていくと推測できる。強力な系列サプライヤーを持たないマツダ、スズキでは、総合電機メーカーやトヨタ以外からの受注増を狙うデンソーからの調達が多く、調達先が分散傾向にある。

このことは、ECUの技術的特徴とも関係がある。ECUのハードウェアは、主にアルミ等の金属または樹脂の外装部品と基板、そこに実装される半導体と電子部品等の電子デバイス群で

構成されている。これらのうち、もっぱら ECU の機能を決定する付加価値の要となるのが、電子デバイス群である。電子デバイス群は、一部カスタム品もあるものの、多くの場合標準化された市販品である。他方で ECU のソフトウェアは、近年標準化の取り組みが進んではいるものの、特定の顧客向けにカスタマイズされた専用仕様が中心であり、同一顧客の他車種向けであっても、再利用や転用は難しい(徳田編 [2008])。以上から、ECU のハードウェアには電子デバイスの組み合わせという点でモジュラー型の特徴があり、他方で、ソフトウェアには顧客・車種ともに転用が難しいインテグラル型の特徴があると整理できる。また、ECU 開発における工数の比率は、ハードウェアが約17%、ソフトウェアが約83%となっているため³、開発工数の側面からはインテグラル型の電子制御部品とみなせよう。

従来、自動車部品のサプライヤーはハードウェア供給を主体としてきたため、そもそもソフトウェア開発の機能を有する企業自体が少なく、そのため系列内の最大手サプライヤーやそれに準ずる企業のみがこれに対応してきた。したがって、このような系列サプライヤーを持たない完成車メーカーは、外部にその機能を求める必要があったということである。

2. モジュラー化の経済合理性と課題

(1) 技術戦略としてのモジュラー化

ここでは、本研究の注目する自動車産業における製品・技術のモジュラー化を分析するための枠組みを整理する。モジュラー化の概念は、製品アーキテクチャの議論から理解することができる。

Henderson and Clark [1990] は、イノベーションが、製品の構成要素そのものの革新のみならず、既存の構成要素間のつなぎ方の変化(アーキテクチャル・イノベーション)によっても起こり得ることを指摘し、イノベーション領域の研究にアーキテクチャ視点からの議論の必要性を提起した(図3参照)。Henderson らが示したアーキテクチャル・イノベーション(architectural innovation)が示唆するのは、市場で支配的な立場にある企業に対し、挑戦者がアーキテクチャを変化させることで対抗し得るということである。すなわち、支配的な企業が持つ構成部品に対する強力な開発能力に正面から挑むことなく、挑戦者が同等以上に競争していくことが可能であることを示唆している。

Henderson らの研究以前にも、アーキテクチャという概念は紹介されていたが(Clark [1985], Hayes and Clark [1988])、それらのもっぱら製品や工程の構造を詳細に記述することに留まり、構成要素間の関係性によってイノベーションのあり方が変化するという今日的な製品アーキテクチャ論の概念とはやや異なっていた。製品アーキテクチャが技術開発や製品戦略上重要な要因として本格的に議論されるようになったのは、単に製品の構造と機能の関係を論じるのみならず、それを基盤に企業組織のあり方や競争環境の分析にまで拡張可能な概念と

して認知されるようになったからである。

		コア・コンセプト(構成部品)の変化	
		強化される	転換される
構成部品間のつながりの変化	変化しない	インクリメンタル イノベーション	モジュラー イノベーション
	変化する	アーキテクチャル イノベーション	ラディカル イノベーション

図3. イノベーション類型の分析枠組み

出所) Henderson and Clark [1990], p.12, 図1.

その後、1990年代のアメリカにおける ICT 企業の躍進によって、製品アーキテクチャのモジュラー化が注目されるようになる。Morris and Ferguson [1993] は、米シリコン・バレー型企業のモジュラー化（及びその汎用性を業界全体に広めたオープン化）を分析し、そのアーキテクチャ上の利点を次のように述べた。すなわち、「(モジュラー型) アーキテクチャは複雑性を軽減する。(モジュラー型) アーキテクチャによって集権化された汎用の機能と非集権化ないし特定化された機能との間が明確に分離される。それにより、予測の不確実性や変化への対処が可能となる。すなわち、個々の技術やコンポーネントないし製品が、全てをやり直す必要なしに取り替えることができる⁴⁾」という点である。そしてまた、Morris らは、「企業の内部構造と外部企業との間の提携とは、そのアーキテクチャと市場のポジションに沿って進化する」と論じており、製品アーキテクチャは、企業組織や産業内の取引関係のあり方にまで広く影響力を持つことを指摘している。

Morris らの議論を踏襲しつつ、モジュラー化の経済合理性を理論面から体系化したのが、Baldwin and Clark [1997, 2000] である。Baldwin らは、IBM のシステム /360開発を分析対象とし、モジュラー化の合理性を説明するために、以下の3つの点で貢献した。

1点目は、「分離」「交換」「追加」「削除」「抽出」「転用」といった、モジュラー化のメカニズムを説明するための6つのモジュラー・オペレータ (modular operators) という概念を提起したことである。「分離」と「交換」は、モジュラー型とは対極にある相互連関型アプローチ (モジュラー型の対極にあるインテグラル型のこと) にも存在するが、それ以外の4つのオペレータはモジュラー型特有のものである。

すなわち、インテグラル型の製品においては、製品全体を単一のモジュールとみなすことで、システム全体の分離と交換があり得る。それに加えてモジュラー型の製品は、構成要素の分割

が明示的であるため、構成要素ごとに容易に「追加」と「削除」が可能となり、「抽出」はシステム内の階層化を、「転用」は他システムとの接続性を担保することになる。これらのモジュラー・オペレータの視点から、モジュラー型システムを理解することができるのである。ここでのモジュール間にあるインターフェースは「可視情報」であり、システムの構成要素内の設計パラメータは「隠された情報」である。そのため、「隠された情報」はインターフェースの条件に適合する範囲内で自由な設計が担保され、モジュール同士は、理論上はシームレスに接続・動作することが保証されている。

2点目は、モジュラー化が産業構造に影響を与えることを明らかにした点である。端的に言えば、モジュラー化の進展により、巨大な垂直統合型企業の優位性は喪失し、産業構造が水平型へと移行することである。水平型とは言っても、これは実質的にはサプライチェーンの各段階が分業関係になることを指している。そのため、たとえば Langlois and Robertson [1992] が述べる「垂直専門化 (vertical specialization)」のほうがより適切な表現であろう。半導体産業で言えば、生産手段を持たず開発・販売に特化したファブレスが登場したり、その逆に台湾で多く見られる製造に特化したファウンダリが活躍するようになったりしたのは、製品のモジュラー化と関係しているのである。

3点目は、2点目とも密接に関連するものの、モジュラー化の経済合理性を金融領域のオプション理論によって説明したことである。すなわち、モジュラー化が進行すると、明示化されたルールを遵守する限りにおいて構成要素の「交換」が極めて容易となり、ある特定の構成要素に特化した企業群が誕生し、その結果産業内で水平方向のネットワーク化（垂直専門化）が促進される。これによって個々の構成要素の迅速かつ多様なイノベーションが期待され、製品の付加価値向上に貢献するのである。また、「モジュラー化は、強力な組織再編ツールである。それはシステムが機能する上で必要不可欠なコーディネーションの形態を維持しながら、同時に分権的な意思決定を可能にする⁵⁾」と述べており、モジュラー化が特定の構成要素ごとに産業クラスターの出現を誘引すると Baldwin らは指摘している。

(2) モジュラー化戦略の課題

以上の先行研究が示すように、モジュラー化は技術開発や製品戦略上大きな意味を持ち、かつ強力な組織再編のツールでもある。したがって、多くの産業において製品をモジュラー化しようとするインセンティブがはたらく。その進展がある程度避けられないことを前提にするならば、企業は、これまでに述べた利点ばかりではなく、欠点をも十分に理解した上で製品戦略を構築し、そしてそれに対応した組織を設計する必要がある。

青島・武石 [2001] は、モジュラー化の欠点について大きく2つを挙げている。第1に、インターフェースの集約が、製品の中に無関心領域を作り上げてしまうことである。端的に言えば、インターフェースそのものがこれに該当するが、その部分に実は重要な相互作用が含まれ

ていると、モジュラー化は問題を起こしてしまうのである。このことは、構成要素間において、十分に独立性を担保できないまま物理的あるいは機能的のいずれかの側面だけでモジュラー化が進むと、実際には多大な調整コストが必要になってしまうことを意味している。

第2に、モジュラー化が、集約化・ルール化されたインターフェースを持つことに起因する問題である。モジュラー化におけるインターフェースは汎用的であり、個々の構成要素に対して必ずしも最適化されているとは限らない。そのため、モジュラー化されたシステムにおける各構成要素は、原理的に冗長性を持つことになる。更に、インターフェースを固定化していることによって、達成可能な最大パフォーマンス水準がインターフェースによって制約される。そのため、モジュール単位でのイノベーションがどれだけ進んだとしても、システム全体のパフォーマンスはインターフェースの条件に制約される。

以上の点はおそらく技術的な側面から見た欠点であるが、モジュラー化を進めるにあたって最も注意すべきは、製品戦略の側面にある。榊原・香山編 [2006] は、安易な製品アーキテクチャのモジュラー化は、製品のコモディティ化を招くと警告する⁶。前述のように、モジュラー化は強力な組織再編ツールであり、産業構造に大きな影響を与える。モジュラー化により、製品のモジュール単位で様々な企業が参入するのはもちろんのこと、市場取引を通じてモジュールの調達が可能になれば、セットメーカーの参入も増加する。セットメーカーが最終組立以外の付加価値を提供できなければ、競争の次元は必然的に価格に収斂していくことになる。このような経緯で、技術開発で先導しながらも市場競争で敗退したのが、DVDプレーヤー市場である。日本企業は同製品の市場化にあたり、技術的には大きな優位性を持っていたにも拘わらず、ビジネスとしては成功しなかった。DVDプレーヤーは瞬間にコモディティ化し、労務費の面で優位にある中国企業によって市場シェアは席卷されてしまったのである。この事例のみならず、多くのエレクトロニクス製品が大なり小なり同じような状況にあり、日本の電機産業はモジュラー化によって恩恵を受けるところか、逆に国際競争力を大きく減退させてしまったのである。

以上のように、製品・技術のモジュラー化には利点と欠点の双方があり、企業はそれらを勘案しつつ慎重に戦略を決定していかなければならない。しかしながら、実際に製品やその技術がモジュラー型へと移行している過程にあっては、その影響を予測し適切な対応を取っていくことは困難を極める。次節では、モジュラー化のプロセスにある企業がどのような試行錯誤の途上にあるのかを分析する。

3. ケーヒンにおける ECU 開発の組織とプロセス

ここでは、ケーヒンの ECU 開発を事例にモジュラー化の実態とメカニズムについて考察する。初めに開発組織と管理のあり方について述べ、次に開発プロセスの中でモジュラー化の進

展が顕著に見られるソフトウェア開発手法の変化について言及する。そして最後に生産と調達
の状況を整理し、製品アーキテクチャのモジュラー化が、開発・生産・調達の諸方面に浸透し
ている実態を明らかにする。なお本節の議論は、2011年3月2日に実施した同社への聞き取り
調査に基づく⁷。

(1) 開発組織と LPL 制度

まず、ケーヒンのエンジン制御 ECU の開発について説明する。同社では、ECU の設計・
開発は大きく分けて3つの設計部門が担当している。それが、機構設計、電気設計、ソフト
ウェア設計の3部門である。図4にそれぞれの設計部門とその内部で行われている設計工程、
並びに工程間の関係性を示す。

機構設計部門は、主に ECU の基板部分を保護するアルミ筐体と車体側への組付けステーな
どを設計する。意匠・外装設計と機構設計とに厳密に分類できるが、ECU の外装部品は構成
要素が比較的単純であるため、ここではほぼ同じものとしてみなす。電気設計部門は、ECU
の主要な機能を担う基板とその回路を設計する。上流工程として回路設計があり、2D-CAD
などで回路図を論理的に設計する。その後、回路図をもとに、実際の回路パターンや実装され
る半導体、受動部品等のレイアウトを決める基板設計の工程が続く。ソフトウェア設計部門で
は、まず上流工程として仕様書作成が進められ、それをもとに実際にプログラムを組むコー
ディング、それらを検証するデバッグ工程へと続く。

図4の設計部門間をつなぐ線についてであるが、実線は部門・工程間の相互依存性が高いこ
とを、他方の破線はそれが低いことをそれぞれ意味している。基板設計とコーディング・デ
バッグは、設計部門の名称が破線で囲まれているが、これは、これらの工程が外注されるこ
とが多いことを意味している。ケーヒンの場合、コーディングとデバッグの作業は、仙台にある
ケーヒンエレクトロニクステクノロジーと、中国の子会社とに外注されているが、取引自体は
グループ内で完結している⁸。

またケーヒンでは、主たる取引先であるホンダ同様に、重量級プロダクト・マネジャー

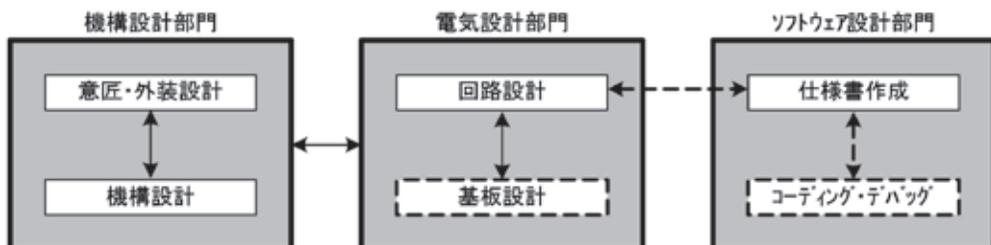


図4. ケーヒンの ECU 開発における各設計部門と相互依存関係

出所) ヒアリングをもとに筆者作成

(Clark and Fujimoto [1991]) の一種である LPL (Large Project Leader) 制度を採用している。とりわけエンジン制御 ECU の開発プロジェクトでは、30代の若手が抜擢されることが多い。そして、その出身部門はハードウェアとソフトウェアの双方の設計・開発を管理できる回路設計部門が多いとされる⁹。この LPL 以下、各設計部門から販売、さらには知財や工務にまでそれぞれ PL (Project Leader) が配置され、海外拠点での生産が含まれる場合は、海外現地法人にも PL が置かれる¹⁰。

前述のように、ECU は、ハードウェアがモジュラー型、ソフトウェアがインテグラル型という双方のアーキテクチャ特性を持っており、かつ開発工数上はソフトウェアの比率が圧倒的に高い。このように、ECU 開発には高い統合性が求められるため、現状では LPL 制度を採用することの意義は大きい。ただし、ケーヒンの LPL は利益責任までは負っておらず、あくまでコストセンターとしてプロジェクトを想定費用内で収め、かつ開発日程どおりに完遂することが最大の任務となる。したがって、厳密には重量級プロダクト・マネジャーと軽量級のそれとの中間に位置づけられる。

(2) MBD (Model Based Development) の導入と課題

続いて、開発プロセスの中でも顕著にモジュラー化の進展が見られる、ソフトウェア開発についてである。従来インテグラル型の特徴を有していたソフトウェア開発においてモジュラー化が進むことは、ECU の製品アーキテクチャが総体としてモジュラー型に転換していくことを意味している。

冒頭でも述べたように、自動車産業では、製品の電気化・電子化イノベーションの進展により、90年代以降、10年で10倍以上のペースでソフトウェアの開発規模が拡大し続けている。当初はソフトウェア設計要員の増員や、子会社・関係会社へのアウトソーシング（いわば人海戦術）によって、これに対応してきたが、単純なマンパワーへの依存は徐々に難しくなってきた。すなわち、インテグラル型の開発のあり方の限界である。そこで登場したソフトウェア設計の効率化のための手法が、MBD (Model Based Development) である。ケーヒンもまた、ホンダの主導のもと、ホンダ系サプライヤーと一緒に、この MBD に取り組んでいる¹¹。そのフローを図5に示す。

MBD とは、「『一連の開発プロセスの各工程においてモデルを用いて開発を行うこと』であり、実装したい機能をブロック図や線図を用いて表現したり、あるいはシミュレーションによってコントローラである ECU と制御対象であるセンサやアクチュエータの動作を予め確認したりする開発手法¹²」のことである。MBD の導入により、ソフトウェア設計では、「モデルを用いることで制御仕様が可視化できるようになるため、コードの自動生成、検証の自動化などを志向することができ、テストシナリオ (パターン) の再利用も可能¹³」となる。そして、これらの利点が開発生産性の向上に寄与するのである。理論値では、MBD の導入が進むこと

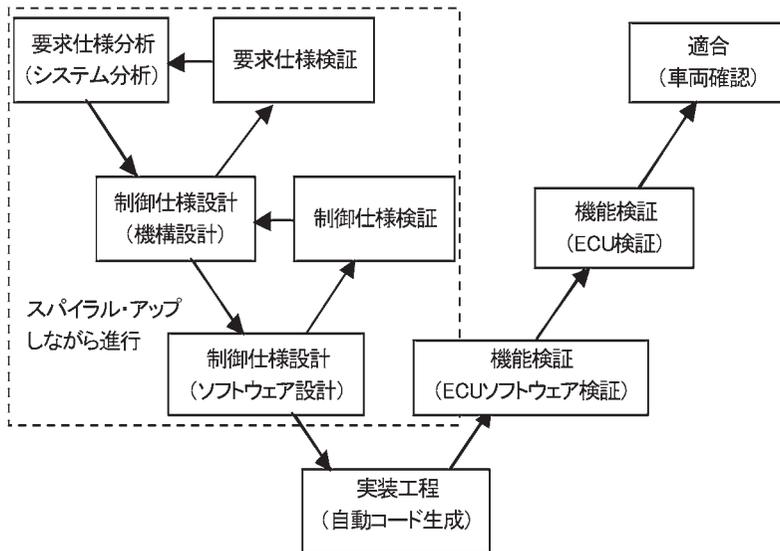


図 5. MBD における ECU 開発プロセス
出所) 徳田編 [2008], p.181, 図8-3.

でソフトウェア設計工数が現状比で 2 割から 3 割削減可能と考えられている。

また、ケーヒンはホンダとともにソフトウェアの検証会を継続的に行っており、技術的交流を深めているが、MBD の導入によって両社間の検証プロセスやそのあり方が変化しつつある。図 6 は、図 5 中のスパイラルのひとつをクローズアップしたものである。MBD により、PC の中で機能や仕様の検証が可能となり、試作機やデバッグ・ハードを使うことなく、仕様書を作成することができるようになった。つまり、ソフトウェア設計のあり方が変わってきたのである。このため、顧客との間での検証作業もまた、見直しの必要に迫られている。

しかしながら、新しい開発手法の導入には課題も残されている。まず、MBD を自在に使いこなせるだけの人材育成のコスト負担増である。どれだけ優れた手法であっても、それが即座に生産性向上に直結するわけではない。現在はまさに過渡期であり、ケーヒンでは MBD を導入しつつも、人の手によるコーディングを基礎とした従来の開発も併用しているため、開発工数の負担増が著しい。したがって MBD 導入の真の効果が現れるまでには、まだしばらく時間が必要である。このような状況のため、前述のように、ソフトウェア設計のグループ企業に対する外注比率（生成物基準）は増加傾向にある。

また、もう一点指摘しておかねばならないのは、MBD の導入と LPL 制度のミスマッチの可能性である。MBD の導入が進めば、理論上は ECU の製品アーキテクチャはモジュラー型の性格を強めることになる。そうであれば、統合型の開発に最適化された LPL の存在意義は相対的に低下することになるだろう。しかしながら、過渡期の現在はモジュラー型開発のメソッドたる MBD 導入と、インテグラル型開発の最適解である LPL とが並立しており、ここ

での齟齬がモジュラー化の過程におけるケーヒンのコストを更に押し上げていると考えられる。

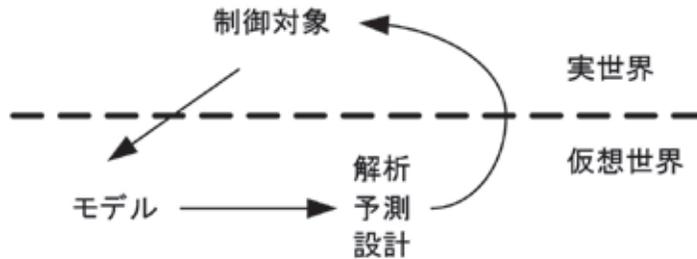


図6. MBDの開発サイクル

出所) ヒアリングをもとに筆者作成

MBDはソフトウェア設計プロセスの標準化であるが、ソフトウェア生成物そのものの標準化活動であるJasPar、AUTOSARにもケーヒンは参画している¹⁴。AUTOSARの取り組みが欧州市場を中心に一定の成果を見せつつある反面、日本で取り組まれているJasParは効果的なアウトプットを十分には提供できていない。ケーヒンは現在、JasParの機能安全WG(Working Group)にのみ属しているが、そこでの活動において最大の長所として感じているのは、自工会(日本自動車工業会)以外で自動車産業にまつわるさまざまな企業が集まる枠組みができたということである。

(3) 生産・調達の動向

最後に、生産と調達の動向についてである。ケーヒンのECU組立工程では、基板実装はもちろんのこと、最終組立も自動化されている。実装、最終組立ともに外注も行われている。実装の外注先にはそれらの工程を専門とするEMS企業や協力会社があり、自動車産業以外にも電機産業からの仕事も請け負う。それに対して、最終組立の外注先は中小企業が中心であり、少量生産機種の製造を委託している。このような外注先には、ケーヒンの生産技術部門が設計したラインを設置している。したがって、オペレーション上の違いはあまり大きくない。また、これら中小企業の外注先は、景気変動のバッファとして利用されてきた。

ここで指摘しておくべきことは、基板実装の外注先にはEMS(Electronics Manufacturing Service)企業があり、これら外注先は、いわゆる自動車産業の下請けとは異なる点である。ここでは、垂直方向での機能分化がはっきりと見られ、電機産業におけるセットメーカーとEMS企業との関係に近く、あるいはまた、半導体産業で見られるファウンダリの利用とも近い。すなわち、生産機能においてもモジュラー化が進んでいるのである。

調達については、電子デバイス(半導体・受動部品)、外装部品の順に見ておこう。ケーヒンでは従来、ASIC(Application Specific IC=特定用途半導体)を比較的多く採用してきた。現在量産中の機種にもASICは使われているが、今後は減少していくとのことである。それは、

ASIC の開発コストとリードタイムが、実際の製品開発プロジェクト（顧客の新車開発プロジェクト）の実態と適合しなくなりつつあることに起因する。ASIC はその名称のとおり、特定顧客の特定用途に応じた製品のため、必然的に汎用品よりも生産数が少なくなる。半導体のプロセス技術は、ムーアの法則に従って今なお微細化が続いており、初期投資額が大規模化している。そのため、ASIC を新規で起こすのはどうしても高コストになってしまうのである。

また、ASIC の開発リードタイムは長く、完成車メーカーの新車投入スピードが向上している中、徐々に対応しづらくなってきている。同時に、ASIC の開発における初期の目標や仕様を見誤ってしまうと、顧客対応ができなくなるというリスクも背負っている。このような背景から、近年は ASIC を採用する利点が減ってきているのである¹⁵。

次に受動部品関連である。ASIC 等のカスタム製品以外の半導体を含め、電子デバイス全般は、基本的に市販品をカタログ購入することになる。しかしながら、昨今は為替変動の影響が大きく、ケーヒンでは現在、グローバル調達のある方を慎重に検討している¹⁶。それは、グローバル規模でのオペレーションの問題に関わる。どこで使う部品をどこで買うのが為替上有利なのか、また海外工場を想定するとき、現地で調達する場合はきちんと部品を集められるのか、といった諸課題である。

最後に、外装部品についてである。ECU の外装部品といえば、アルミのカバーが最大かつ重要な部品である。ケーヒンは ECU のような電子制御部品以外にも、機械部品の製品があるため、社内にアルミダイカスト製品を製造する鑄造設備がある。そのため、ECU のカバーも 2 割程度は内製している。内外製区分における意思決定の基準は、調達コストの多寡である。海外での生産も進んでおり、日本以外では中国の現地法人でも内製している。同時に中国では、顧客の品質水準を満足するような外注先を開拓中である。

このように、調達においては ECU の主要な付加価値を決める半導体、受動部品ともに市販品の採用が主流になってきている。そしてこのような市販品比率の向上は、企業間取引関係においてもモジュラー化を進める要因となっている。

4. 考察

前節で展開したケーヒンの事例をもとに、ここではそれがモジュラー化の議論の中でどう位置づけられるのかを考察する。以下、開発と生産・調達の 2 つに分けて議論する。

(1) 開発におけるモジュラー化の進展

ケーヒンの ECU 開発時に、モジュラー化の特徴が顕れていたのは、ソフトウェア開発においてであった。開発局面に関しては、次の 3 点を指摘することができる。

第 1 に、ソフトウェア開発の合理化は、モジュラー化と適合的だということである。そもそ

もソフトウェア生成物は、Baldwin and Clark [2000] が示した6つのモジュラー・オペレータの視点から次のようにその性格を説明することができる。ソフトウェアは、一定の機能単位ごとに「分離」することができ、それらソフトウェアのモジュール単位での「追加」や「削除」が行われる。近年はソフトウェアの構造化が進んだことで、他の車種・機種用のECUに既存のソフトウェア・モジュールを「転用」することが一定程度可能になった。また言うまでも無く、このようなソフトウェア・モジュールの独立性の担保は、「抽出」による階層化を可能にしている。以上の点から、ソフトウェア生成物はモジュラー化に高い親和性を持つことが指摘できる。

ケーヒンの開発組織に注目すると、もっぱらハードウェアの開発を担う機構設計部門と回路設計部門とは、内部の設計工程間に高い相互依存性が求められるのに対し、ソフトウェアの開発を担当するソフトウェア設計部門は、対ハードウェア設計の点においても、内部の設計工程間の点においても、相互依存性は低かった。つまりソフトウェア設計は、その生成物の特徴と同様に、開発組織もまたモジュラー型に近いのである。このことは、ソフトウェア開発の外注化(グループ内取引)とも関係している。

第2に、MBD導入期における高いスイッチング・コストの存在である。ケーヒンでは、主要顧客であるホンダの意向に従い、MBDの導入を進めているが、そのための教育コストは重く、完全移行するまでの期間は、一時的に従来の開発手法とMBDとが併存していることが明らかになった。所要工数が増加するいっぽうのソフトウェア開発を効率化することがMBDの導入目的であるものの、実務ではその移行期に多大なスイッチング・コストの負担を強いられている。従来の研究では、いったんモジュラー化された製品や組織をインテグラル型に戻す場合に大きな負担があることは指摘されているが(楠木=チェスブロウ [2001])、緩やかに進むインテグラル型からモジュラー化への移行においてもこのような形で無視できないコスト負担があるという重要な事実は指摘しておく必要があるだろう。

モジュラー化が進む過程でのスイッチング・コストの問題は、ケーヒンの事例が生産財取引であることにも起因する。自動車部品のような生産財の取引の場合、強力な交渉力を持つ顧客(=完成車メーカー)の意向が重視される。ケーヒンの場合、ある意味従属的にMBDの導入に着手しているため、モジュラー化のあり方やスピードは、顧客からの制約を受けることになる。したがって、ケーヒンがソフトウェア開発にMBDを全面導入するという意思決定を単独で行うことは事実上困難であり、そのタイミングを顧客と調整しMBDを試行的に進めながらも、既存機種の開発には従来の手法を併用することになる¹⁷。ここでは、新旧双方の開発手法を併存させることによるコストと、新しい開発手法の導入に関する顧客との調整コストとが発生しており、これらがケーヒンの場合の主たるスイッチング・コストとして認識されているのである。

スイッチング・コストは、開発手法(この場合はMBDの導入)と開発組織体制の齟齬から

ももたらされる。MBD の導入は、本来ソフトウェアのモジュラー化を促進するが、ケーヒンの開発組織では統合型開発に適合的な重量級 PM に相当する LPL 制度を採用したままである。モジュラー化が順調に進めば、多くの構成要素間並びに組織間調整はインターフェースのルールに従うことで回避されるが、制度上 LPL が存在することで、開発組織は必要性に乏しい報告や調整を強いられるかもしれない。さらに言うならば、移行期における LPL はモジュラー型開発の経験に乏しいため、インターフェースに従った設計により本来検証不要な部分に対しても、検証を命じる可能性がある。こういった齟齬は、MBD の教育コストに上乘せする形で、スイッチング・コストを増加させてしまうのである。

そして第 3 に、ソフトウェアが汎用化する兆候である。ECU は、付加価値の大半を電子デバイスとソフトウェアに負っている。ただし、調達事例でも述べたように、ハードウェアとしての電子デバイスはその多くが市販品の購入であり、ここでケーヒンが付加価値をつけることは不可能である。したがって、製品差別化の源泉として、ソフトウェアの位置づけが重要となる。しかしながらそもそもソフトウェアは、その性質上モジュラー化に適合的である。それに加えて MBD のような開発手法が導入されることで、第 1 に、モデル内で開発サイクルが完結するためハードウェアとの擦り合わせや調整コストが大幅に軽減されること、第 2 に、コードの自動生成によって技術的な介入の余地が低下していることなどから、汎用化が急激に進んでいると推測される。

ソフトウェアの汎用化がいつそう進展することになれば、機密保持の制約が少なくなるため、コスト競争力を維持するため、グループ外への外注が選択肢として開かれる。そしてその場合、もはや ECU はコモディティ製品となっており、ケーヒンは単なるアSEMBラーに落伍することになってしまうのである。また、MBD のような開発ツールへの依存が進むと、このツール自体がインターフェースとして定着することになり、その冗長性を受容しなければならなくなる。同時に、製品のパフォーマンスがインターフェースに制約されるため、ケーヒンが独自の手法でソフトウェア開発のあり方を差別化し、製品のイノベーションに貢献することは難しくなる。いずれにせよ、ソフトウェアの汎用化は、ECU サプライヤーとしてのケーヒンの存立を脅かすことになりかねないのである。

(2) 生産・調達におけるモジュラー化の進展

前節の事例からも明らかなように、ECU の生産・調達の両局面においても、モジュラー化の進展は顕著である。生産においては、景気変動のバッファとして利用してきた下請的な協力企業のみならず、電機産業とも取引する EMS 企業にも外注が可能になっている。

調達においては、外装部品のみは内製を併用した典型的な自動車部品の取引となっているが、ECU の付加価値の大半を占める電子デバイスについては、いずれも市販品の調達が主流になってきている。とりわけ、共同開発を必要とする ASIC の採用減少が顕著であった。

生産と調達の間局面において共通することは、生産の外注であれ構成部品の調達であれ、自動車産業のヒエラルキーに属した取引先を必ずしも利用する必要がないという点である。すなわち、完成車メーカーを頂点とし、ケーヒンのような大手の一次サプライヤーがあり、その取引先に二次、三次といった中小企業が列するとといった取引構造にはなっていないということである¹⁸。EMS企業や電子デバイスのサプライヤーは、当然ながら電機産業や他の自動車部品のサプライヤーとも取引しており、自動車産業のヒエラルキーに組み込まれた存在ではない。

表3. ケーヒンのECU開発とその生産・調達におけるモジュラー化のメカニズム

	モジュラー化の契機	モジュラー化の現状	今後の課題
開発	ソフトウェア開発におけるMBD導入 【目的】 →ソフトウェア設計の開発生産性向上 ・モデルによる制御仕様可視化 ・コードの自動生成 ・検証の自動化 ・テストシナリオの再利用	ソフトウェア(製品・技術) →ハードウェアとの調整が不要となり、 ソフトウェアの独立性が高まる 開発組織 →ハードウェアの設計部門との調整コスト が低減され、相互依存性が低下 ※一部はグループ企業に外注	移行期のスイッチング・コスト ・MBDと既存開発手法の併用 ・顧客との調整 ・開発手法と開発組織体制の齟齬 製品のモディファイ ・ソフトウェア仕様の汎用化 ※ハードウェア(電子デバイス)は既に市販品主体 開発ツールによるパフォーマンス制限 ・MBDの開発ツールがインターフェースになり、 製品のイノベーションはこの制約を受ける ※ハードウェアのイノベーションは調達先に依存
生産	組立外注先の拡大 ・EMS企業の利用	取引先の選択肢拡大 →自動車産業のヒエラルキーとは異なる 論理での取引環境	
調達	ASICの採用減少 ・市販品の電子デバイス主体		

標準化された部品
標準化された組立工程が
生産と調達のモジュラー化を加速

ハードウェアの標準化により
差別化の源泉はソフトウェアに

スイッチング・コスト削減のため、
ソフトウェア開発の外注拡大

出所) 筆者作成

本節での考察を表3に整理する。ここまでの議論で明らかになったように、ケーヒンのECU開発とその生産・調達の諸局面において、製品・技術のモジュラー化の進展が見られた。ここでは、モジュラー化のメカニズムを次の2点から説明することができる。第1に、ハードウェアの標準化の相互作用である。表の生産と調達の項目にあるように、ECUを構成する各種電子デバイスは標準化された部品であり、それが生産における組立工程の標準化を促進する。標準化された組立工程を有効利用するためには、特殊なものではなく標準化された部品を選定するインセンティブが強まる。このようにして、ハードウェアにまつわる領域でモジュラー化を進展させる相互作用が発生するのである。

第2に、ソフトウェアの開発生産性向上という絶対命題である。前述のようにハードウェアが標準化されていくことで、必然的に差別化の源泉、すなわち競争領域はソフトウェアに移行する。しかしながら、ソフトウェアの開発工数は指数関数的に増大しており、開発生産性の向上という課題に取り組みざるをえない。そのためMBDのような開発手法やツールを導入する必要があるが、これらは標準化された開発手法であるため、生成物や開発プロセスもまたモジュラー化していく傾向にある。つまり、ソフトウェア領域は本来差別化の源泉であるにもかかわらず、開発生産性向上という喫緊の課題が存在するため、ここでも標準化を追求し、モ

ジュラー化していかざるをえないのである。

モジュラー化の進展は、同時にいくつかの課題を内包していた。第1に、多大なスイッチング・コストの存在である。ケーヒンの場合、MBDの導入に加えて既存の開発手法を併用しているためスイッチング・コストの負担が重く、これを削減するためにはソフトウェア開発の外注を拡大する必要があった。同社では、現在はグループ内企業への発注に留まるが、今後よりコスト競争力を意識するならば、外部の独立系ソフトウェア開発企業への外注も選択肢に挙がってくる。その場合、ソフトウェアをモジュラー化し標準化する必要がある。また、MBD導入とLPL制度の齟齬も徐々に解消していかねばならない。

第2に、製品のコモディティ化の懸念である。ECUを構成するハードウェアは既に市販品主体に調達されており、差別化の役割はソフトウェアに委ねられているが、これもまたモジュラー化し標準化へと向かっている。前述のソフトウェア開発の外注拡大がこれを助長するのである。このことの帰結は、厳しいコスト競争の現出であり、収益面で悪影響を及ぼすことは間違いない。

そして第3に、これは第2の点とも大きく関係するが、ソフトウェア開発の効率化のために導入したMBDが開発におけるインターフェースの役割を果たすことで、サプライヤー固有のイノベーションの余地を奪ってしまうのである。これはまた、製品のコモディティ化を後押しすることになるであろう。

おわりに

本研究では、自動車産業における製品・技術のモジュラー化の進展に焦点をあて、エンジン制御ECUの大手サプライヤーであるケーヒンを事例に、電気化・電子化イノベーションの視点からその実態と課題を明らかにしてきた。前述のように、モジュラー化は技術開発や製品戦略上大きな意味を持ち、しかも強力な組織再編のツールでもあった。事実ケーヒンの事例においても、ソフトウェア開発がモジュラー化していることは、開発生産性向上という課題に取り組む上で経済合理性があり、また生産や調達の外注先拡大は取引関係の再編を招いていた。

これらの分析を踏まえた本研究の貢献は、モジュラー化への移行過程にある企業を対象とすることにより、従来の製品アーキテクチャ論が示してきた動態的特徴が指摘してこなかったスイッチング・コストの存在を明らかにしたことである。現在、製造業の多くの分野で製品アーキテクチャのモジュラー化が進んでいるが、電機産業がそうであったように、わが国の企業はこの転換に巧く対処できない場合が多い。本研究では、モジュラー化の過程で企業内部に起こっている変化を詳細に分析したことで、移行期にはどのような問題点が発生し易いのかを明らかにした。このことは、今なお国際競争力を維持しているわが国自動車産業において、徐々に進展しているモジュラー化にはどのように対処すべきかということを検討するための一助と

なるはずである。

最後に、残された課題を指摘しておく。第1に、本研究における分析結果の相対化である。本研究は単独の企業の事例を分析してきたが、ここでの結果を一般化するためには、他の電子制御部品のサプライヤーの事例も併せて分析する必要がある。第2に、モジュラー化への移行期に発生するスイッチング・コストの詳細な検討である。本研究は生産財取引を事例にしているため、消費財の場合と異なり、顧客との調整コストの存在が浮き彫りになった。このように、生産財には固有のコストが他にも発生すると考えられるため、それがなぜ発生しどのように作用しているのかを明らかにする必要がある。

註

- 1 ここでのシェアは完成車メーカーごとの調達に占める比率を意味している。
- 2 アイアールシー資料の捕捉範囲は国内調達市場のみであるため、日産は、海外生産分の大部分をルノーとの共同購買によって外資系サプライヤーから調達していると見られる。
- 3 日経BP編 [2004], 『日経エレクトロニクス』同社, 2004年10月25日号, p.61, 図2参照。
- 4 Morris and Ferguson [1993], p.94参照。()内は筆者加筆による。
- 5 Baldwin and Clark [2000], p.268参照。
- 6 コモディティ化の原因は、モジュラー化だけではない。これに加えて、「中間財の市場化」と「顧客価値の頭打ち」が起こることで、コモディティ化は加速する。榊原・香山編 [2006], p.26参照。
- 7 インタビューは、株式会社ケーヒン四輪事業統括本部事業統括部長の藤田作様(株式会社ケーヒンエレクトロニクステクノロジー代表取締役社長兼務)、ならびに同社四輪事業統括本部四輪第三開発部部長の石川伸一様の2名である(いずれもご所属・職位はインタビュー当時のもの)。ご両名には、2007年8月31日、2008年3月2日にもヒアリング調査にご協力頂いており、今回が3度目の調査であった。記して感謝申し上げます。
なお、ヒアリングは仙台市にある開発子会社のケーヒンエレクトロニクステクノロジー社で行ったが、内容は親会社であるケーヒンについてである。
- 8 2008年3月2日のヒアリング時には、外注されているソフトウェアは生成物基準で6割程度とされていたが、今回のヒアリングではその比率が若干上がっていることを確認した。これは、後段で紹介するMBD(Model Based Development)の導入による影響が大きいためである。
- 9 ECUの場合、機構部品や外装部品の付加価値は相対的に低いものの、ECUの機能自体は変わらず、取り付け部分のみが変更になるようなMMC(Minor Model Change)の場合、機構設計出身者がLPLになることもある。
- 10 PLは他プロジェクトとの兼務者も多い。
- 11 ホンダ系サプライヤーは、トヨタ、日産系のサプライヤーと比較して相対的に企業規模の面で

小さい企業が多く、同時にソフトウェア領域における技術力に不足があることは否めなかった。そこで、ホンダがケーヒンを筆頭とする系列サプライヤーに声をかけ、グローバルに競争可能なサプライヤーを育成することを目的に、2007年ごろから、まずはソフトウェア設計者のための人材育成カリキュラムを整備することを始めた。このような枠組みのもと、ホンダはサプライヤーの技術習熟度を確認し続けている。MBD もこのような取り組みの一環として導入が進んでいるのである。

- 12 徳田編 [2008], p.180参照.
- 13 同上.
- 14 **JasPar** は日本のソフトウェア標準化団体, **AUTOSAR** は欧州のそれである. 詳しくは徳田編 [2008] 参照.
- 15 そのため近年では, **ASIC** よりも汎用的でありながら, 機能の組み合わせによってある程度のカスタム性を担保する **ASSP (Application Specific Standard Product)** を使う機会が増えている.
- 16 ケーヒンでは **IPO (International Purchasing Office)** は設置していない.
- 17 限られた経営資源の範疇で新旧の開発手法を併存させるため, 必然的に旧い手法でのソフトウェア開発は外注化される. 事例でも紹介したように, ケーヒンのソフトウェア開発におけるグループ内発注は増加している.
- 18 ここでの二次, 三次サプライヤーとは, 主要顧客 (ここではケーヒン) に取引の大部分を依存する従属的な下請として存立しているような企業群を指している.

<参考文献>

- 青島矢一・武石彰 [2001], 「アーキテクチャという考え方」藤本隆宏・武石彰・青島矢一編『ビジネス・アーキテクチャ —製品・組織・プロセスの戦略的設計—』有斐閣, 所収, pp.27-70.
- Baldwin, C.Y., and Clark, K.B. [1997], “Managing in an age of Modularity,” *Harvard Business Review* September-October 84-93.
- Baldwin, C.Y., and Clark, K.B. [2000], *Design Rules : The Power of Modularity*, Cambridge, MA : MIT Press. (安藤晴彦訳 [2004], 『デザイン・ルール』東洋経済新報社)
- Clark, K.B. [1995], “The Interaction of Design Hierarchies and Market Concepts in Technological Evolution,” *Research Policy* 14 235-251.
- Clark, K. B. and Fujimoto, T. [1991], *Product Development Performance : Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry*, Harvard Business School Press , Boston, MA. (田村明比古訳 [1993], 『製品開発力』ダイヤモンド)
- 藤本隆宏・武石彰・青島矢一 [2001], 『ビジネス・アーキテクチャ：製品・組織・プロセスの戦略的設計』有斐閣

アイアールシー編 [2007], 『カーエレクトロニクス部品の生産流通調査 7th Edition』 同所

Hayes, R.H., and Clark, K.B. [1988], *Dynamic Manufacturing: Creating the Learning Organization*, New York, N.Y.: The Free Press.

Henderson, R., and Clark, K.B. [1990], "Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms," *Administrative Science Quarterly* 35 9-30.

Langlois, R.N., and Robertson, P.L. [1992], "Networks and Innovation in a Modular System: Lessons from the Microcomputer and Stereo Component Industries," *Research Policy* 21 297-313.

Morris, C.R., and Ferguson, C.H. [1993], "How Architecture Wins Technology Wars," *Harvard Business Review* March-April 86-96.

日経 Automotive Technology 編 [2010], 『日産リーフが開く EV 新時代』 日経 BP

佐伯靖雄 [2009], 「複合要素技術型製品の開発における製品と組織のアーキテクチャ分析」『日本経営学会誌』 第23号, pp.25-36.

佐伯靖雄 [2011], 「[調査報告] 自動車電装部品メーカーの製品開発と EV への対応：ケーヒンの事例」『Discussion Paper Series, Research Center for Innovation Management』 Forthcoming

榊原清則・香山晋編 [2006], 『イノベーションと競争優位：コモディティ化するデジタル機器』 NTT 出版

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

徳田昭雄編 [2008], 『自動車のエレクトロニクス化と標準化：転換期に立つ電子制御システム市場』 見洋書房

Progress of Modularity in the Phase of Product Development for Automotive ECU: The Case Study of Keihin

Yasuo Saeki *

Abstract

In this paper, we clarify the current status and problems of the progress of modularization of products and technologies in auto industry under computerization through a case study of Keihin, one of the biggest ECU suppliers. Modularization is in itself a strong tool for engineering development and product strategy as well as organizational restructuring. Indeed we found these characteristics in the case study of Keihin. The most important contribution of this paper is to indicate the existence of the switching-costs in the process of modularization which is not mentioned in earlier studies of product architecture theories.

Keywords

Modularization, Automotive Computerization, Model Based Design, Software Design, Product Development, Electronic Control Unit

* Correspondence to : Yasuo Saeki
Assistant Professor, College of Business Administration, Ritsumeikan University
1-1-1 Noji-Higashi, Kusatsu, Shiga 525-8577 Japan
E-mail : yst07993@ba.ritsumei.ac.jp

