

## 研究

製品開発組織と開発プロセス  
—車載用組み込みシステム開発の設計と調整—

佐 伯 靖 雄

## 目 次

はじめに

## 1. 製品開発組織の設計

- (1) システムとしての組織
- (2) 製品開発の組織

## 2. 製品開発プロセスと部門間調整

- (1) 一般的製品開発プロセスと部門間調整
- (2) 自動車産業における製品開発プロセスと部門間調整

## 3. 車載用組み込みシステムにおける開発組織

- (1) 開発組織の特徴
- (2) 組み込みシステム開発におけるソフトウェアの設計

## 4. 車載用組み込みシステムにおける開発プロセス

- (1) 製品設計部門間の調整
- (2) 製品設計部門と工程設計部門との調整
- (3) 正規の製品開発プロジェクト後の「準・製品開発」

おわりに

## は じ め に

本研究の目的は以下の2点である。1点目は、製品開発組織に関する先行研究を、組織設計と開発プロセスにおける部門間調整の両視点から整理することである。2点目は、車載用組み込みシステムの開発を対象とし、その開発組織の設計と開発プロセスについて分析する。本研究では、車載用組み込みシステムという電子制御型部品の開発に焦点を当てており、もっぱら自動車産業における製品開発研究で取り上げられる完成車開発のそれと比較考察することによって、双方の類似点と相違点を明らかにする。

本研究が分析対象とする電装部品の代表格は、ECU (Electronic Control Unit) である。車載用組み込みシステムには、ECU 以外にカーナビゲーション・システム、コンピメーター、オートエアコン等のユニット部品も含まれるが、近年採用数の増加が著しい ECU<sup>1)</sup> を主たる分析対象とすることで、車載用組み込みシステム特有の開発のあり方について詳細な考察を試みる。

---

1) 電子制御システムは、典型的にはセンサ、ECU、アクチュエータによって構成されている。ECU 搭載数はエントリークラスの車種でも20個は下らないことから、現在の自動車にとって電子制御は必要不可欠な要素技術である。

## 1. 製品開発組織の設計

### (1) システムとしての組織

製品開発という特定のタスクを想定した組織の議論を進める前に、ここでは近代組織論における組織がどのような概念によって理解されてきたのかについて、先行研究をもとに検討する。

組織を協働システムの中の一体系として捉え、その役割及び機能についての一般理論を構築したのは、Barnard [1938,1968] である。Barnard は、「協働システムとは、少なくとも 1 つの明確な目的のために 2 人ないしそれ以上の人々が協働することによって、特殊かつシステムティックな関係性にある物理的、生物的、個人的、社会的構成要素の複合体である<sup>2)</sup>」と定義した。その上で、組織を協働システムの一体系として捉え、それは、伝達 (communication)・貢献意欲 (willing to serve)・共通目的 (common purpose) の内的均衡、そして有効性 (effectiveness) と能率 (efficiency) の外的均衡によって存続するとしている。有効性と能率を確保するためには、誘因や説得によって貢献を引き出す必要がある<sup>3)</sup>。組織は、組織成員である貢献者がもたらす貢献以上の誘因を提供し続けることができるという条件下においてのみ、成立することができるのである。

次に、Barnard は部分システムおよび専門化について以下のように述べている。すなわち、「通常、構成要素の数が莫大である場合、それら自身が補助的システムないし部分システムを構成する。この場合、各部分システムはそれ自身の構成要素間の関係性の束によって構成される。その関係性とは、部分が変化するとき、全体システムの著しい変化を伴うことなく、部分システムの新しい状態を生み出すことができる<sup>4)</sup>」ものである。そして、これは組織システムにおいても該当する。

こういったシステムの部分と全体との関係性に対する記述は、人工物の複雑性を解消する上で準分解可能性 (nearly decomposable) を論じた Simon [1996] の議論にも符合する。つまり、製品開発上の組織と開発される製品の特性とが条件適合的に符号するということである。Simon は組織もまた人工物の一種とみなし、準分解可能性の合理性について言及している。複雑なシステムが外部環境の変化に迅速に対応していくためには、全体システムが安定的なサブシステム群によって構成されることが重要となる。つまり、組織がサブシステム単位での階層構造を持つことにより、個々のサブシステム間の関係性は単純化することが可能となる。ゆえに、サブシステム単位での進化が組織内で複合的に起こることで、組織全体が迅速な環境変

---

2) Barnard [1968], p.65 参照。

3) 飯野 [1992] は、有効性と能率とでは後者の方が重視されると述べている。その理由として、「永続的な大規模協働システムにおいては、組織はそれ自体の存続を第一義的とみなす傾向をもつ」ことを挙げている。つまり、有効性と能率によって制約を受けるのである。飯野 [1992], p.94 参照。

4) Barnard [1968], p.78 参照。

化に適応していくのである。

Simon の主張の要点は、人間とは限定的な合理性 (bounded rationality) しか持ち得ないとした新古典派経済学が示す経済人モデルに対する批判にある。Simon は組織の経済学の議論を引用しつつ、限定された合理性の世界では、「人類は、市場と管理的階層構造とを組み合わせることで、専門化と分業との能力を著しく向上させてきた<sup>5)</sup>」と述べている。組織は、意思決定の分散によって複雑性を処理可能なレベルにまで最小化することによって現実の課題に対処することができる。専門化と分業のおかげで、組織成員の個人があらゆる面に精通する必要性は無いのである。このように Simon は、組織を中央からの計画的指令に基づいて行動する主体ではなく、意思決定過程が分権化された主体としてそのシステムの側面を明らかにした。

上記の Simon とほぼ同時期に一般システム理論を提唱した Bertalanffy [1968] らの議論をもとに、複雑性を扱う課題は様々な科学の分野に渡って研究されてきている。特に物理学、生物学、社会科学での複雑性を一般化する研究は、米サンタフェ研究所が中心となった「複雑系 (Complexity)」の議論として今日に至る。Axelrod and Cohen [1999] は、複雑性を所与とし、その存在を無視したり排除したりするのではなく、積極的に活用することで戦略や組織設計におけるパフォーマンスを改善するためのフレームワークを提示した<sup>6)</sup>。このフレームワークの主要な概念は、エージェント・戦略・個体群である。エージェントとは、他のエージェントや外部環境と相互作用する主体であり、それは人間に限らない。戦略はエージェントが目標を達成するための手段であり、個体群にはエージェントおよび戦略の個体群双方がある。Axelrod らは、これら一連の要素をひとまとめにしてシステムと呼んでいる。その上で、戦略や組織を設計することは、多様性 (variation)、相互作用 (interaction)、淘汰 (selection) を変更ないし作成することであるとする。つまり、システムとしての組織が外部環境に適応し存続していくためには、これら 3 つの要素の補完関係を認識しつつ、その設計を行う必要があるということである。

組織内の部門間関係のあり方を考える場合、特に相互作用は重要である。Axelrod らは、相互作用のパターンを考える際に、近接性と活性化という 2 つの要因の区別の必要性を指摘する。近接性とは空間、活性化とは時間と密接に関係する。空間には物理空間と概念空間とがあるが、後者を示す好例としては企業の組織図が挙げられる。近接性はエージェント間の相互作用の容易さを規定する上で重要な要素である。このことは、製品開発のように特定のタスクに関わる企業内の組織間においても同様の示唆を与えるはずである。

ここまで、システムとして組織を捉えた先行研究について整理してきた。続いて、これら組

---

5) Simon [1996], p.43 参照。

6) ただし、Axelrod らが述べるように、複雑系の概念に関する研究の統一的な理論は現段階では確立されていない。

織に備わったシステムの側面が、実際にどのように機能しているのかについて、製品開発組織に焦点を絞って議論していく。

## (2) 製品開発の組織

まず、一言に R&D と呼ばれる製造業の研究開発について、両者の違いを整理しておく。河野 [1987] によれば、研究とはもっとも狭い定義では論文の執筆という知識の追求行為である。もっと広い意味では、「実用化のための応用研究や基礎技術の獲得・開発・蓄積を目指す研究」を含むものとされ、それに対して開発とは、「特定の製品や生産方法の開発、設計、そのためのテストなどを指す」とされる<sup>7)</sup>。研究と開発とでは、「仕事の割り当て」・「他部門との連携」・「統制と評価」といった各点から、そのタスクや目的が大きく異なる<sup>8)</sup>。

このように、研究と開発との相違点は多々見られるが、研究によって実用化の目途が立った要素技術をいかに競争力のある製品に落とし込むかという視点に立つと、研究と開発の連携は重要である。Iansiti [1993] は、要素技術を製品開発に落とし込むために、製品開発においては統合型チームを採用することが望ましいと主張した。従来型の研究開発は、基礎研究から応用研究、そして製品開発へと直列的に連続する工程となっている。この方法に対し、研究開発における上流工程の研究員 (Scientists)、下流工程の設計者 (Engineers)、そして彼らを統括するマネジャー達を開発の早期からチームに編成することで、製品開発をより短期間かつ低コストに抑えることができる。統合型チームを編成するメリットは他にもある。まず、チーム間のコミュニケーション頻度が向上し、チームメンバーは自分の専門性以外の分野についても知識を共有することができる。また、製品開発の現場ではどうしても既存の使い慣れた技術を選択しがちになるが、要素技術に精通した研究員がチーム内にいるため、様々な技術的可能性が提供される。メリットは単一の製品開発プロジェクト内だけに留まらない。製品の世代を跨ぐ開発時にもチームのメンバーが一定の割合で残るため、製品に関する情報や技術の伝承が効率良く行われるのである。このように、統合型チームの採用は要素技術を製品開発に活かし、プロジェクトを超えた取り組みにまで影響力を及ぼす。

続いて、本研究が焦点を当てる自動車産業における製品開発組織についてである。Clark and Fujimoto [1991] は、日米欧の量販車メーカーと欧州高級車メーカーの新車開発プロジェクトを詳細に調査し、その開発パフォーマンスを総合商品力・開発リードタイム・開発生産性の指標に基づいて定量的に比較・評価した。その研究の中で、Clark らは製品開発組織の特徴を以下の図 1 のように整理している。これらの製品開発組織は、大別すれば機能別組織とマトリクス組織、プロジェクト組織の 3 つである。このうちマトリクス組織は、製品開発の統

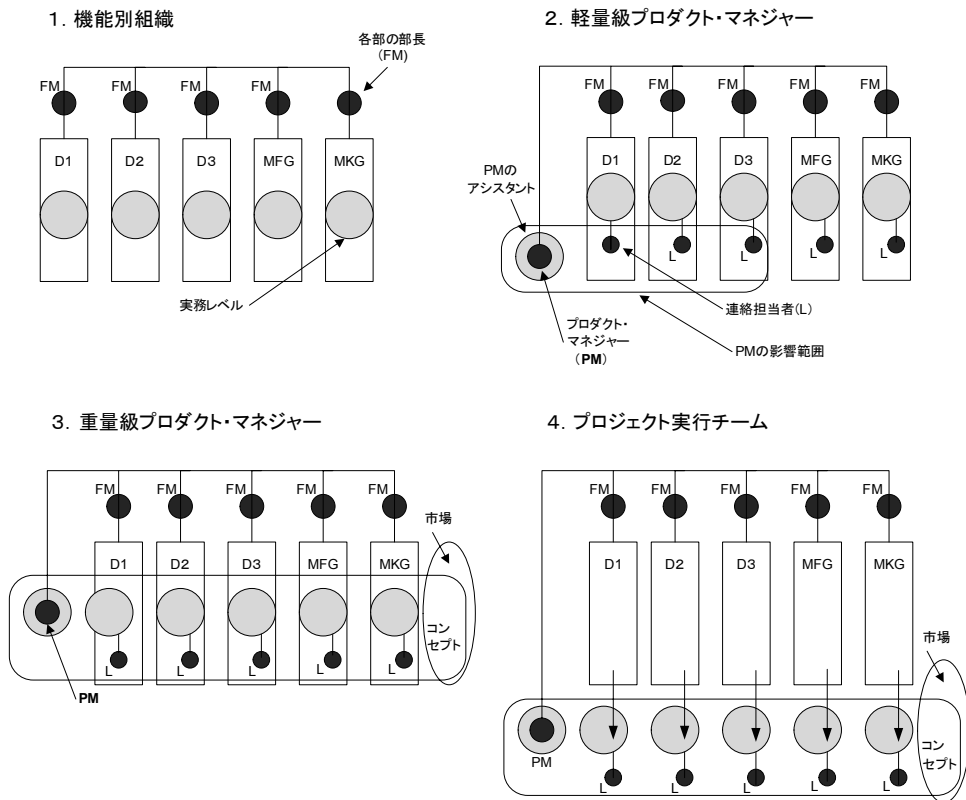
7) 河野 [1987], pp.47-49 参照。

8) 前掲, pp.49-50 参照。

合者であるプロダクト・マネジャー (以下 PM) の役割の軽重によって細分化される<sup>9)</sup>。

機能別組織では、各部門の部門長が開発メンバーを指揮・監督する。各部門別に技術的な蓄積が進むが、部門間の連携は調整者不在のため著しく困難である。それに対してプロジェクト組織では、開発メンバーが製品プロジェクトごとに組織化される。PM を中心にプロジェクト・チームの統合性は高まるが、開発メンバーが最新の技術に触れる機会が少なくなるため、長期的に開発能力が低下する恐れがある。マトリクス組織では、開発メンバーは機能別組織の部門長と、プロジェクト・チームのリーダーとの 2 人の上司を持つことになる。2 人の上司が同等の権限を持つ場合、業務を巡っての調整困難なコンフリクトを招きやすい。よって、いずれかの上司が優位に立つように公式権限の調整を行う必要がある。

図 1 製品開発組織の 4 つのタイプ



出所) 藤本=クラーク, 邦訳 [1993], p.323, 図 9-1

9) 延岡 [2002] によると、機能別組織とプロジェクト組織とはその間に位置する多様な組織形態が連続的に存在するとされる。マトリクス組織もまたその中間形態のひとつである。製品開発の組織マネジメントの目的は、専門化された各部門の業務を実施することと、それらを統合する作業とがある。これらの組織形態は、製品特性によって決まるものである。

Clark らの研究によると、重量級 PM を採用していたいくつかの日本企業は、総合商品力、開発リードタイム、開発生産性のいずれにおいても高いスコアを示した高業績企業と一致している。Clark らの調査では、当時殆どの完成車メーカーが PM 制を採用していたものの、その多くは重量級 PM と比較して公的な権限は小さく、責任範囲も狭い軽量級 PM であった。

ゆえに、PM の役割を企業内で明確に定義し、その幅広い活動に対する権限や責任が共に付加された経験豊かな人物が PM に任命されなければ、重量級 PM の組織は機能しない。重量級 PM は、「(1) 機能部門間の調整を通じて組織を内部に統合し、(2) 同時に、製品コンセプトの創造やそのコンセプトの製品設計細部への翻訳を通じて、製品と消費者の間のインターフェイスを外的に統合<sup>10)</sup>」できなければならない。Ulrich and Eppinger [2003] は、「最も強い組織上の繋がりには、典型的には業績評価、予算、その他資源配分を巻き込んだものである<sup>11)</sup>」と述べているが、重量級 PM はこれら諸要素にいずれも関わっており、そういった意味からも高い統合性が製品に求められる自動車開発の場合、重量級 PM の組織の採用が適合的である。

延岡 [2002] は、製品開発における組織形態では、マトリクス組織が最も一般的であると述べている。近年技術的に複雑な製品が増えていること、それによって開発リードタイム短縮が至上命題であり、また製品全体のコンセプトが重視されるという競争環境から、プロジェクト単位での開発の重要性が増しており、純粋な機能別組織を採用する企業は少なくなっている。

また、北米トヨタにおける車体設計部門を中心とした製品開発について詳細な分析を行った Morgan and Liker [2006] によれば、重量級 PM であるチーフ・エンジニア以外に、部門横断の MDT (モジュール開発チーム)、生産技術のチーフ・エンジニアとしての位置づけであるサイマル・エンジニア (SE) といった存在が明らかにされている<sup>12)</sup>。これらの職位は北米のトヨタ・テクニカル・センター (TTC) 独自のものである。これは、Clark らの調査から十数年を経て、製品開発組織のベスト・プラクティスにいくつかの応用・改良が施された事例である。

ところで、本研究で主たる分析対象として取り上げるサプライヤーでは、その開発組織についての詳細な分析がなされた研究は殆ど見られない<sup>13)</sup>。そもそもサプライヤーの製品開発に関する研究自体が少なく、その僅少な研究はもっぱら完成車メーカーとの取引関係における開発

10) 藤本 [2000], pp.9-10 参照。

11) Ulrich and Eppinger [2003], p.25 参照。

12) また Morgan らの研究では、トヨタの製品開発におけるフレキシビリティが、系列会社の活用と柔軟な人員配置によって達成されていると述べられている。特に系列会社の活用については重要な論点である。従来、Clark らの研究をはじめサプライヤーに承認図方式の開発を託すことによって完成車メーカーは主要競争領域に開発資源を集中できたという議論は多々見られるが、ここでの指摘は豊田自動織機やトヨタ車体等、いわゆる車体組立メーカーがトヨタとほぼ同等の完成車の開発能力を持ち、その活用がトヨタ・グループにおける安全弁として機能しているということである。車体組立メーカーによる完成車開発に関する数少ない研究として、例えば塩地 [1993] を参照のこと。

13) 数少ないサプライヤーの製品開発については、例えば大島編 [1987]、植田 [1995]、今田 [1998] 等を参照。

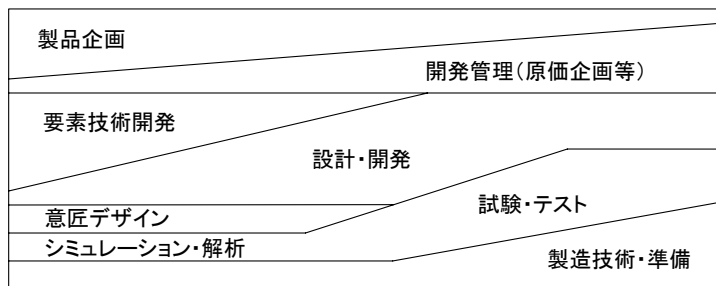
プロセスについて論じられているだけである。

## 2. 製品開発プロセスと部門間調整

### (1) 一般的製品開発プロセスと部門間調整

製品開発では、そのプロジェクトの進行と共に様々な部門が関与し、各局面で各々の部門の関与の度合いは異なってくる。以下の図は、典型的な製品開発のプロセスを示したものである。製品開発では、実際に製品設計図面を起こす技術者のみならず、スタイリングを担当するデザイナーや財務部門、試験・評価部門など多様な部門が関与していることが分かる。

図 2 製品開発のプロセス



出所) 延岡 [2002], p.95, 図 4-1

Ulrich and Eppinger [2003] は、上記の製品開発プロセスを段階別に次のように整理している。

- ・プランニング Planning
- ・コンセプト創出 Concept Development
- ・システム設計 (基本設計) System-Level Design
- ・詳細設計 Detail Design
- ・実験と改良 Testing and Refinement
- ・量産準備 Production Ramp-Up

こういった類型化は、おおよそ製品開発に関する諸研究で共通している。これらの諸段階の中でも、自動車のような製品ではシステム設計が決定的に重要であると Ulrich らは指摘している。以下、システム設計以降の開発内容を示す。「システム設計では、チームはそれぞれのコンポーネントの開発に割り当てられる。別のチームはコンポーネントをサブシステムに統合し、サブシステムを全システムに更に統合する役割を与えられる。詳細設計は更に高度な分業が進み、いったん作業が開始すると通常は別々に行動することになる。実験と改良ではシス

テム統合のみならず、もっと踏み込んだ実験や製品レベルでの妥当性検証も行われる<sup>14)</sup>。量産準備では、一見すると製品開発の活動との連続性が希薄に見えるが、実際は量産準備から商業的の量産までの移行は、徐々に行われるものである (Clark and Fujimoto[1991], Ulrich and Eppinger[2003])。

製品開発における分業関係は上述の通りであるが、これを統合し調整するプロセスはより重要である。各部門の行動を逐次的に繋いでいくのではなく、関連する部門同士が業務を並行的に処理していくコンカレント・エンジニアリング (以下 CE) は、開発リードタイム短縮の上で有効な手段である。Clark and Fujimoto [1991] が調査を行った当時から、日本の少数の完成車メーカーでは設計部門と生産技術部門との間での CE が徹底されていた。延岡 [2002] はまた、全ての業務間での CE の重要性を指摘しつつ、特に注意が必要なのは設計と生産技術の間における並行化であると述べている。その理由は、「問題とは必然的に増殖性を持っている」からであり、それゆえ「設計変更が遅くなればなるほど、結局は無駄になるにもかかわらず費やされる開発時間が増えて」いくのである<sup>15)</sup>。設計変更の遅滞による悪影響は、開発工数の増加だけでは済まされない。例えば金型に関する設計変更があった場合、一度完成した金型を設計変更して修正することは、開発工数のみならず物理的な費用となって開発コストを押し上げる。こういった埋没費用の発生を避けるためにも、問題解決の前倒しが必要となる。これがフロント・ローディングである。更に Morgan and Liker [2006] は、開発後期での設計変更が時間と費用に悪影響を与えるのみならず、製品のコンセプト一貫性まで失いかねないと警告している。

これら CE やフロント・ローディング等の部門間調整を迅速かつ円滑に行う上で、前述の PM の役割が重要なことは、改めて言うまでもないことである。CE のような部門間調整の困難さは、相互依存性の高い業務間にも関わらず、組織的にそれらが分離されていることに起因することが多い。よって、部門間には十分な調整とコミュニケーション (延岡 [2002]) が必要となる。PM には、その公式の権限を行使した大部屋制の導入や強力なリーダーシップによって開発メンバーのコミュニケーション経路を確立することが期待されている。

また、CE やフロント・ローディングを行う上で、3D-CAD の普及による後押しも大きい。CAD (Computer Aided Design) によって設計されたデータを変換することで、生産技術部門が CAM (Computer Aided Manufacturing) のデータとして設計データを再利用することが可能となった。近年は CAE (Computer Aided Engineering) のようなシミュレーション・ツールも比較的一般化してきたため、開発ツールの恩恵を十分享受できる環境が整いつつある。しかしながら、こういった設計・開発支援ツールは導入すればすぐに開発パフォーマンスに正の影響が

---

14) Ulrich and Eppinger [2003], p.21 参照。

15) 延岡 [2002], p.141 参照。



出るわけではない。導入時に明確な戦略が無ければ、十分な効果は得られない(竹田 [2000], 青島・延岡 [2001] 他)。

製品開発プロセスについての研究は、特定の開発プロジェクト内だけの議論に留まらない。通常、企業内では同時並行的に複数のプロジェクトが進行している。そういった複数のプロジェクト管理と世代間プロジェクト管理との関係性についてもいくつか言及しておこう。例えば延岡 [1996] は、製品ライン間関係と製品世代間関係の両方を組み合わせた視点から、製品開発を戦略的に企画し、組織的に実行することを「マルチプロジェクト戦略」と名付けている<sup>16)</sup>。この戦略の強みは、製品開発を通じて形成される技術的中核資源を開発プロジェクト間で移転することによって、開発リードタイムを短縮したり、開発生産性を向上させたりといった企業の製品開発のパフォーマンスを向上させることにある。

また、青島 [1998] は製品開発知識の世代を超えた伝承メカニズムについての研究を行っている。製品開発に関わる情報量は膨大であり、いくら CAD データ等が発達したとしても、それら全てを形式化することは著しく困難である。そこで青島は、世代間の製品開発知識の伝承では、開発プロジェクトの前後で人的配置によって知識の移転・伝承が行われていることを明らかにした。それはつまり、文書やデータのように形式化が難しい製品の統合的な知識に関わったプロジェクトメンバーを次期開発プロジェクトでも継続して配置するというものである。具体的には、以前のプロジェクトで PM の補佐をしていた人物を後のプロジェクトで PM として登用するものである。ただし、こういった知識伝承のあり方は、製品のアーキテクチャが統合的 (integral) な場合にのみ有効である。製品のアーキテクチャがモジュラー的 (modular) であるならば、構成要素間に関係性に関わる知識は文書やデータによって形式化して移転・伝承することが比較的容易であると考えられるからである。

## (2) 自動車産業における製品開発プロセスと部門間調整

続いて本項では、自動車産業における製品開発プロセスに特化して議論を進める。以下では、製品設計と工程設計における CE について再度述べた上で、自動車の開発では不可欠となるサプライヤーを活用した部品調達側面からも開発プロセスについて考察する。

Clark and Fujimoto[1991] によれば、製品設計 (製品エンジニアリング) の意思決定は「設計 - 試作 - 実験 (design-build-test)」という一連のサイクルの中で行われるという。製品設計に先立つプランニングの段階では全体の方向性や概略設計が行われるが、製品設計でも個々の部品およびシステムの細部では多くのトレード・オフ関係が生じる。完成車メーカーは、製品設計の複雑性に対処するために設計タスクを分割するが、自動車のように高い統合度が要求される

---

16) 延岡 [1996], p.3 参照。

製品では、一度分化されたタスクを統合していく過程が極めて重要となる。そのため実際の作業時に注意が必要となる点は、コンセプト一貫性の保持、試作車製作とテストの管理、設計変更日程の管理である。

続く工程設計の意思決定においても、「設計—試作—実験」のサイクルの連続であることは製品設計と同じである。製品設計の情報は、工程設計の段階で具体的な生産に向けての情報資産へと変換される。生産技術のエンジニアは、「主要な生産諸工程ごとに組織され、生産現場、製品設計が行われる開発センター、ないしは本社といった様々な場所に配置される<sup>17)</sup>」。

これら両設計部門の巧みな連携如何によって、CE の成否が決まると言っても過言ではない。黒川 [2005] は、とりわけ日本の自動車メーカーにおいて顕著なことに、意思決定上のあいまい性が発展した CE を可能にしていると指摘している。欧米の自動車メーカーは、厳格な分業化と、製品設計と工程設計との間に存在する地位の差によって前工程（製品設計）が意思決定上のあいまい性を残すことがない。対して、日本では分業における境界は相対的にあいまい性が強く、設計エンジニア間の地位の差が殆どないという全く正反対の特徴を持つ。よって、情報伝達の非公式な部分が多くなるため、「前工程と後工程の重なり合う部分が大きくなり、その結果、非常に進展したコンカレント・エンジニアリングを形成することになる<sup>18)</sup>」ということである。

このように、日本の自動車メーカーの CE の相対的優位性は多くの研究によって明らかにされてきた。実際、欧米の対日キャッチアップが進んだ 1990 年代以降でも、日本メーカーの本質的な競争力の低下は指摘されていない（藤本 [2003]）。しかし、その内容には若干変化が見られるようである。前述の Clark らの研究に対するフォローアップ調査（延岡・藤本 [2004]）によると、近年では一部の日本企業で CE の必要性が若干低下しているとのことである。その理由は、「生産技術の参加がなくても、製品開発の技術者が生産要件を反映させることができるようになったからである。これまでの並行開発の経験によって、製品技術者が生産要件を理解したことと、守るべき生産要件をまとめたマニュアルの整備が進んだから<sup>19)</sup>」である。

続いて、サプライヤーを活用した部品調達についてである。現在の自動車では、完成車メーカーが単独で製品全体を開発・生産することは不可能である。日本では既に部品の約 7 割が外部のサプライヤーによって開発から生産、品質保証まで一貫してアウトソーシングされている。そのため、自動車の開発においてはこれらのサプライヤーとの部品の共同開発の視点を欠かすことができない。

前述の Clark らは、日米欧で承認図部品比率を比較している。1980 年代当時、日本が 62%

---

17) Clark and Fujimoto[1991],p.122 参照。

18) 黒川 [2005],p.74 参照。

19) 延岡・藤本 [2004],p.20 参照。

と高い比率であることに対し、アメリカ 16%、ヨーロッパ 39% といずれも低かった。承認図方式の取引には、相互の機密情報がある程度公開できるだけの信頼がなければならない。それには長期継続的な取引によって徐々に貸与図方式の取引から承認図方式の取引へと進化していく過程が必要となる。部品取引の商習慣がサプライヤーの能力を規定していた点については、日米で次のように比較されている。すなわち、アメリカは完成車メーカーと直接取引するサプライヤー数が非常に多く、その契約は短期間である。契約はもっぱら価格だけで決められるため、完成車メーカーとサプライヤーとの関係は芳しくない。両方で交換される情報は極めて限定的である。そのため、サプライヤーには完成車メーカーとの取引による技術の蓄積が進まず、その開発能力は総じて低い。それに対して日本の取引はサプライヤーが階層化されており、完成車メーカーを頂点とするピラミッドを構成する。完成車メーカーが直接取引をするサプライヤーの数はアメリカと比較すると少なく、その関係の特徴は大きな責任と相互利益である。また、長期継続的な取引はコミュニケーションを活発にし、サプライヤーの技術獲得を可能にするのである。

サプライヤーとの部品調達の関係性は、その後も欧米の完成車メーカーによって十分にキャッチアップされることはなかった。Clark らの研究から 20 年以上経過したが、近年の北米トヨタの製品開発研究 (Morgan and Liker[2006]) においても、やはりその部品調達上の優位性は堅固なものとして評価されている。Morgan らは、サプライヤーを技術的自立性や共同開発上の役割の視点から以下の 4 つに類型化している。それは、最上位のパートナー (Partner)、成熟サプライヤー (Mature)、相談サプライヤー (Consultative)、契約サプライヤー (Contractual) である<sup>20)</sup>。トヨタ・グループ最大のサプライヤーであるデンソーやアイシン精機はパートナーであり、大半の直接取引されるサプライヤーが成熟サプライヤーとされている。とりわけパートナーは多数のゲストエンジニアを完成車メーカーに送り込み、製品開発の最も初期の段階から関与し、多くの技術的な提案を行う。このような層の存在は、日本の完成車メーカー (特にトヨタ) の強みでもある。ただし、トヨタは技術のブラックボックス化を警戒している<sup>21)</sup>。例えばデンソーは電装部品の大手サプライヤーであるが、トヨタはデンソーが得意とする電子制御技術が今後の自動車にとって最も付加価値の高い部品になることを認識しており、1988 年に自ら電子部品を生産する広瀬工場を建設した。更に今日では、トヨタにおける新卒採用の約 3 割が電気技術者である。北米トヨタの取り組みが示唆することは、製品開発に占める部品調達の相対的重要性が高いがゆえに、技術的なイニシアティブを完全にサプライヤーに掌握されるリスクを認識し、それに対処することの必要性である。

ここまで製品開発のプロセスについての先行研究を概観してきたが、図 2 が示す通り、効

20) Morgan and Liker[2006],pp.183-186 参照。

21) *Ibid* .,p.197 参照。

果的な製品開発を進めることは、設計・開発部門だけの仕事ではない。製品企画やプランニングの段階では、プロジェクトを承認する上級マネジャーからマーケティング、財務といった部門も積極的に関与している。製品設計が開始された後も、購買や製造が並行的な仕事を進めている。製品開発とは、様々な部門が最善を尽くしつつ、緊密な連携を要する部門横断的な活動 (Clark and Fujimoto[1991]) なのである。

### 3. 車載用組み込みシステムにおける開発組織

#### (1) 開発組織の特徴

本節以降、自動車産業の中でも部品に着目し、サプライヤーの製品開発について議論する。本研究が重視しているのは、部品といっても電装部品に限定している。電装部品は 1980 年代以降、急速に採用が進んだ。既に自動車の原価構成上 2 割から 3 割を占め、その比率は今後も高まることが確実視されている。冒頭で述べた通り、本研究が主として取り上げる電装部品は ECU である。ECU は、ハードウェアとソフトウェア双方の技術特性をもった組み込みシステムであり、それらを開発する部門が明確に分化されている。自動車はもっぱらハードウェアの集合体として論じられてきたが、前述のように電装部品 (ECU) は明らかに異なる特徴を持つ。よって、本研究で企業組織内の部門間調整を論じるにあたり、異質な要素技術を同時に開発する必要性のある ECU の製品開発組織を分析することは適格的である。

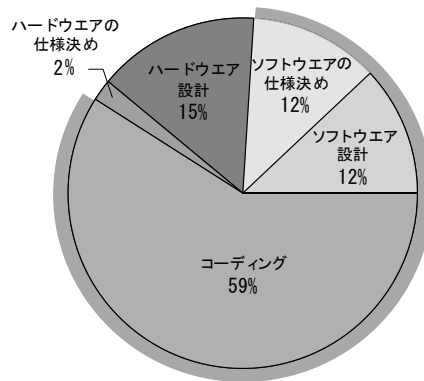
既に前節までの議論で述べたように、先行研究ではサプライヤーの製品開発について殆ど言及されていない。更に、Morgan らの研究で明らかになったように、完成車メーカーは電装部品、電子部品といった電子制御の技術をこれからの中核的競争力として位置づけているという事実がある。本研究の貢献は、そのような次世代の中核的技術を担う電装部品メーカーの製品開発に焦点を当て、その開発組織と開発プロセスについて明らかにすることである。

まず、車載用組み込みシステムの中核をなす ECU の開発組織についてである。図 3 は ECU におけるハードウェアとソフトウェアの開発工数の比率を示したものである。この図からも分かるように、ECU のソフトウェア開発工数比率は、全工数の 8 割以上を占める<sup>22)</sup>。端的に言うならば、車載用組み込みシステムの開発組織における最も顕著な特徴は、ソフトウェア設計の必要性和その大きなプレゼンスである。製品開発にあたり、従来ハードウェア中心だった自動車およびその部品開発に新しい要素技術が投入され、その開発管理とハードウェアとの統合が製品開発の大きな課題となっているのである。

また、完成車メーカーと直接取引する Tier 1 サプライヤーの製品開発は、他社との共同開

22) ソフトウェア開発工数の比率は、当然ながら電装部品の種類によって異なる。例えば、直接ドライバーの目に入るため高い意匠性が求められるカーナビゲーション・システムやコンピメーターのようなユニット部品は、ハードウェア部分の付加価値が ECU と比較して相対的に高く、ハードウェア開発工数比率はもっと高くなる。

図3 ECU 開発におけるハードウェアとソフトウェアの工数比率



出所) 日経 BP 編『日経エレクトロニクス』2004年10月25日号, p.61, 図2

発という概念を無くして語ることはできない。それは、自動車産業の重層的サプライヤー構造の中で Tier 1 サプライヤーのポジションを考えれば明白である。Tier 1 サプライヤーは完成車メーカーと共同開発を行い、そしてそこで必要になる子部品を Tier 2 以下のサプライヤーとも共同開発する<sup>23)</sup>。この「両面共同開発」は、電装部品メーカーは勿論のこと、Tier 1 サプライヤー全体に共通する特徴でもある。以下、各製品設計部門の特徴を個別に整理しよう。

図4は、ECUを開発・生産する電装部品メーカーの製品設計部門を機能別に類型化したものである。まず、開発の対象をハードウェアとソフトウェアとに大別している。それらを実際開発する製品設計の部門としては、機構設計部門と電気設計部門、ソフトウェア設計部門がある。機構設計部門とは、主に表面加飾を含む外装部や可動を担う機構部といったメカニカルな部分を担当する。いわゆる構造体設計がここでは中心となる。

図4 車載用組み込みシステム開発における製品設計部門類型化

開発対象	製品設計部門名称	
ハードウェア	機構設計部門	
	電気設計部門	基板設計部門
		回路設計部門
ソフトウェア	ソフトウェア設計部門	

出所) 岡本 [2005] の類型化をもとに筆者作成

機構設計部門は、「両面共同開発」において完成車メーカーおよび Tier 2 サプライヤーである機構部品メーカーや加工メーカーとの相互依存性が高い。完成車メーカーとは車の中に ECU をレイアウトするための合わせ建て付けについてやりとりする。車体側で他の部品に設

23) 開発期間中、Tier 1 サプライヤーは完成車メーカーにゲストエンジニアを派遣したり、下位サプライヤーからゲストエンジニアを受け入れたりすることで、開発における人的資源には一定の流動性が見られる。

計変更が起こることで、ECU の外形寸法や取り付け位置および構造を変更する場合もある。開発期間中、自動車に組み付けられるあらゆる部品が設計変更を繰り返すため、開発初期に決定したレイアウトや構造が最後まで守られるとは限らない。そのため、構成部品間の擦り合わせが必須となる<sup>24)</sup>。下位サプライヤーに対しても、完成車メーカーからの要請で ECU の外形構造を変更する場合、速やかに最新の仕様を図面に反映して機構部品メーカーや加工メーカーに指示する必要がある。機構部品は開発期間中に金型を起こすため<sup>25)</sup>、迅速な仕様の擦り合わせが下位サプライヤーとの間でもやはり必要となるのである<sup>26)</sup>。

電気設計部門は、電装部品の機能の殆どを担うプリント基板を設計する。電気設計部門はその設計内容によって更に細分化される。まず回路設計部門は、プリント基板に必要な機能を回路上で実現するための論理設計、ブロック図設計、回路図設計を担当する。開発を始めるときにある任意の機能をハードウェアで持つかソフトウェアで持つかという意味決定をソフトウェア設計部門と調整するのはここである。現在では回路 CAD や、HDL (Hardware Description Language) のような言語を使用して設計される。その多くが論理的な作業であり、プリント基板はハードウェアではあるが、開発作業自体はソフトウェア的性格も含んでいる。そのため本研究では、回路設計部門を基本的にハードウェアの設計部門とみなしつつも、ソフトウェア的要素も含む、もっと言うならばハードウェアとソフトウェアのリエゾ的な設計部門として位置づけている。次に同じく電気設計部門の基板設計部門であるが、ここでは回路設計部門によって設計された回路図を実際に基板上にレイアウトする作業が行われる。実際は機構部分からの構造的制約 (基板の実効面積や電子部品配置での高さ制限等) や回路設計によって指示された電気的制約を満足させながらの作業 (岡本 [2005]) となるため、他部門との強い連携が求められる。近年、電気設計の後工程である基板設計は外注化される傾向にあり、必ずしも自社内の部門であるとは限らない。

電気設計部門における「両面共同開発」については、完成車メーカーとの相互依存性は相対的に低い。なぜなら、ほぼ全ての Tier 1 の電装部品メーカーがそうであるように、承認図方式の開発では完成車メーカーから基本的な設計情報を受け取った後は、サプライヤー側が大半の詳細設計を行うからである。完成車メーカー側が基板のアートワーク・レイアウト (A/W layout) や使用する電子部品を事細かく指示することは無く、それらはもっぱら電装部品メーカーの責任によって決められる。したがって設計変更がある場合、要求仕様が完成車メーカー

---

24) ECU を供給している複数の電装部品メーカーの話によると、ECU の場合、基本設計段階で決められた外形寸法はあまり変更されないようである。機構部分の擦り合わせは、もっぱら車体側との取り付け部の位置・形状に集中することが多い。

25) 金型の手配に要するリードタイムは相対的に長く、数ヶ月単位である。

26) 金型の手配に限らず、自動車の開発では通常数回の試作が行われるため、それら試作用の機構部品を迅速に手配するためにも機構部品メーカーと密接にやりとりする必要がある。

から提示されれば、電気設計部門が自社で最適な設計を行うのである。ただし、完成車メーカーとのやりとりで重要となるのは、電装部品同士を連結するコネクタのピン配置の決定である。これが他の電装部品に対するインターフェースとなることで、電装部品メーカーの設計自由度が担保される。下位サプライヤーに対しても相互依存性は相対的に低い<sup>27)</sup>。プリント基板に実装する電子部品の多くは市販品であり、共同開発を行うのはASICやシステムLSIに限定される。しかし、これらのカスタム半導体は、一度開発してしまうと通常は複数プロジェクトに跨って流用されることが多いため、プロジェクトごとに共同開発をする性格のものではない。

最後にソフトウェア設計部門についてである。ソフトウェア設計は、大きく分けて仕様決めやそれらを機能に落とし込む設計作業までを前工程、実際にプログラムを書く(coding)こと、そしてデバッグ(de-bug)<sup>28)</sup>の作業を後工程<sup>29)</sup>と呼ぶ。近年は後工程を子会社のソフトウェア開発企業にアウトソーシングすることが比較的一般化してきている。これは、ソフトウェア設計の前工程と後工程の設計要件が大きく異なることに起因する。前工程はハードウェアとの統合を加味したシステム全体の設計であるため、必然的に知識集約的な設計となる。それに対して後工程は、前工程が吟味検討した設計仕様書に従ってプログラムを作成することが中心となり、労働集約的な設計となる。このような両者の違いから、後工程は比較的外注化することが容易であり、カーナビゲーション・システムのようにソフトウェア開発行数が他のシステムよりも圧倒的に多い部品では、後工程だけが海外の子会社に開発委託される事例が見られる。

ソフトウェア設計についての詳細な議論は次項に譲るとして、その「両面共同開発」については、電気設計部門同様に完成車メーカーおよび下位サプライヤーとの相互依存性は低い。ソフトウェア設計部門は、完成車メーカーもしくは回路設計部門を経由して提示される仕様書に従って最適設計が行われる。つまり、仕様書が事実上のインターフェースとなっているのである。このように完成車メーカーとの相互依存性が極端に低いゆえ、ソフトウェアにおいて技術のブラックボックス化が進んでいるのである。次に下位サプライヤーとの関係であるが、ソフトウェアは物理的な部品の供給を受けるような下位サプライヤーを持たない。ソフトウェア開発の委託といったサービス上の関係は見られるが、その場合も前述のように仕様書がインターフェースとなっており、両者の相互依存性は低い。恒常的な共同開発では

---

27) ただし、前述のように基板設計が外注化される場合は、回路設計部門と外注先の基板設計部門との間の相互依存性は高くなる。

28) プログラムが正常に動作するかどうかを検証する工程である。コンピュータ等を使ったシミュレーション、ハードウェアに実装しての検証などである。

29) 後工程は労働集約的な作業であるため、IT産業や電機産業などでは積極的にアウトソーシングが進められている。また、海外との賃金格差を利用した国際的なアウトソーシングも盛んである。

ないが、例えばカスタム半導体を起こす場合には、回路設計部門と連携して半導体メーカーとの共同開発が発生する。しかしながら先に述べたように、カスタム半導体の開発頻度は低く、かつ開発作業のほとんどは半導体メーカーに委ねられる。これは、例えばカスタム MCU (Micro Controller Unit) のようなシステム LSI の場合、CPU の処理速度やメモリ容量といった比較的ルール化の容易なインターフェースに従って開発が進められるからである。

## (2) 組み込みシステム開発におけるソフトウェアの設計

前項では、製品設計におけるソフトウェア設計の特徴を示した。そこで本項では、ソフトウェア設計はハードウェア設計とどのような点で異なるのか、またその違いが製品開発にどのような影響を与えるのかについて議論する。

ありていに言うと、ソフトウェアはハードウェアと違って製造要件を持たない。「ソフトウェア開発は製造活動ではなく、むしろ製品設計であると言える。すなわち設計こそが製品であり、それを複製すること自体はたいしたことではない (クスマノ, 邦訳 [2004])<sup>30)</sup>」のである。ソフトウェアの製造とは作成されたプログラムのコピーであるため、敢えて製造という概念で論じるならば、それに必要とされる限界費用は限りなくゼロに近い。マスク ROM の場合、ソフトウェアの複製は半導体メーカーによって行われ、予めソフトウェアが書き込まれた状態の半導体として電装部品メーカーに納入される。近年では ECU の中でソフトウェアのプログラムを格納するメモリはフラッシュ化されており、ソフトウェアの書き込みを電装部品メーカー自身が行う。いずれにせよ、開発期間を通じてハードウェアのように巨額の投資を伴う生産設備を準備するといった性格の製造を行うことはないのである。

野口 [1990] は、ソフトウェアとハードウェアとの違いを的確に指摘し、その管理のあり方についての議論を展開している。野口の整理によると、ソフトウェアの生産過程は以下のような流れとされている<sup>31)</sup>。

- ・要求仕様書 (ユーザー要求の整理)
- ・グラウンドデザイン (概略設計)
- ・ディテールデザイン (詳細設計)
- ・プログラミング
- ・テスト
- ・メンテナンス

設計の大枠の流れとしては、ハードウェアとさほど大きな違いは見られない。しかし野口が主張することには、「ハードウェアの場合はものの流れを物的生産として視覚的に見ることが

30) クスマノ, 邦訳 [2004], p.202 参照。

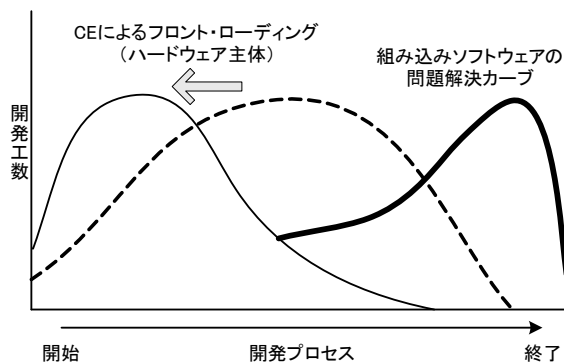
31) 野口 [1990], p.150 参照。



できるのに対して、ソフトウェア生産は知的生産であるので必ずしも目にはっきり見えない場合がある・・・ソフトウェアは要求仕様書とメンテナンスが最も大切なのである<sup>32)</sup>」。ハードウェアは物理的存在であるのに対して、ソフトウェアは「知的生産物、論理的構築物であるから違いがでてくるのである。ソフトウェアプロダクトは高度になればなるほど、高度の論理的構築物になる<sup>33)</sup>」。野口が述べるように、ハードウェアとソフトウェアとの最大の相違点は、設計される対象が物理的構築物か論理的構築物かにある。そのため、製品開発においてもこの根本的な相違による影響は見られる。ハードウェアが製品開発期間を通じて、問題解決の前倒し(フロント・ローディング)に傾注するのは、開発の後になればなるほど物理的構築物としてのハードウェアの仕様が硬直的になり、いざ設計変更となるとそれに伴って既に投下された試作品や金型、その他生産設備の投資がサンク (sunk) してしまうからである。

このように設計変更が遅れば遅れるほど、ヒト・モノ・カネのいずれにも深刻な悪影響が及ぶ。他方で、ソフトウェアは論理的構築物であるため、少なくとも設計変更の遅れが金型のようなハードウェアとしての投資をサンクさせる要因にはなり得ない。また、開発と生産は同時であるため、新たな生産コストは発生しない。むしろ、組み込みシステムのようにハードウェアとソフトウェアとが双方で製品付加価値の向上に貢献する場合、ハードウェアがフロント・ローディングを進め、それでも発生する設計変更を吸収する役割をソフトウェアが果たしていると見ることができる。ソフトウェアの開発がプロジェクトの末期まで延々と続く傾向が見られるのは、こういった理由によるところが大きい。しかしながら、ソフトウェア設計と言えども設計行為に要する開発費用はサンクする。つまり、ハードウェアとソフトウェア双方の生産に関わる費用を比較考量した場合、その限界費用が限りなくゼロに近いソフトウェアの方で設

図5 ソフトウェア要素を反映した組み込みシステムの問題解決カーブ



出所) 延岡 [2002], p.143, 図 6-2 をもとに筆者作成

32) 同上参照。

33) 前掲 ,p.161 参照。

計変更を行うことが、製品開発の総費用を節約することに貢献するのである。

図 5 は、問題解決カーブによってソフトウェア開発の工数負荷を説明したものである。CE の活動によって製品開発プロセスの比較的早い時期に問題解決カーブの山が移り (図では波線の山から左側の実線の山へとシフト)、問題解決の絶対値が減少するとされてきたが、実際は金型や設備への投資がなされた時点以降、ハードウェア関連の埋没費用を発生させないために問題解決の大半がソフトウェアに委ねられるという構図である。近年、ソフトウェアの開発規模が拡大の一途を辿っていることから、組み込みソフトウェアの問題解決カーブはますますその山を高くしていると予測される。今後、このソフトウェアの<sup>・</sup>開<sup>・</sup>発<sup>・</sup>費<sup>・</sup>用<sup>・</sup>の<sup>・</sup>増<sup>・</sup>加<sup>・</sup>分<sup>・</sup>が、ハードウェアの<sup>・</sup>生<sup>・</sup>産<sup>・</sup>費<sup>・</sup>用<sup>・</sup>の<sup>・</sup>節<sup>・</sup>約<sup>・</sup>分<sup>・</sup>を上<sup>・</sup>回<sup>・</sup>る<sup>・</sup>よ<sup>・</sup>う<sup>・</sup>に<sup>・</sup>な<sup>・</sup>れ<sup>・</sup>ば、組み込みシステムの製品開発の生産性を抜本的に改革するための新しい手法が検討されねばならなくなるであろう。

#### 4. 車載用組み込みシステムにおける開発プロセス

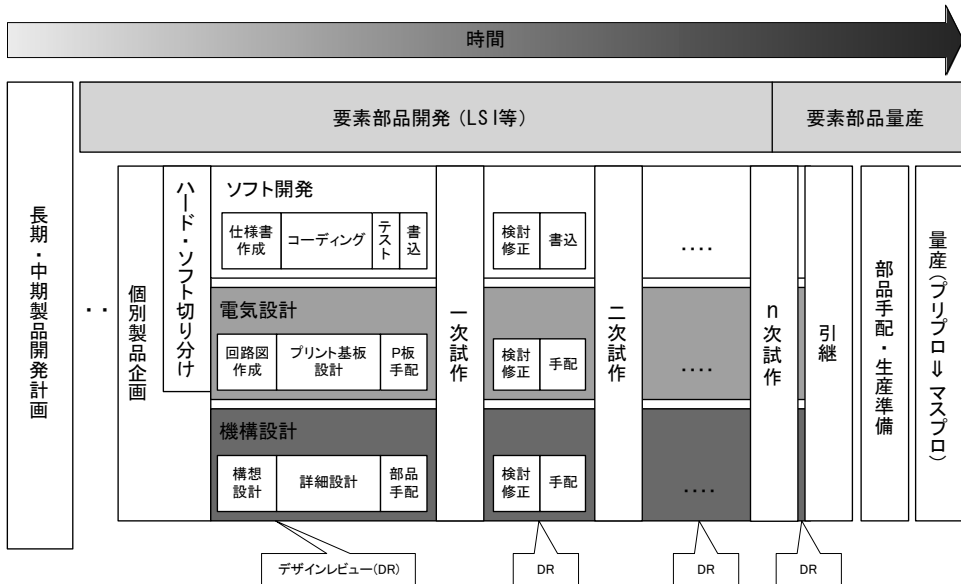
##### (1) 製品設計部門間の調整

前節で展開した車載用組み込みシステムの開発組織の議論を受け、本節ではその開発プロセスに言及する。まずは製品設計部門間の調整、製品設計と工程設計との調整、そして最後にこれまであまり注目されてこなかった「準・製品開発」とみなされる諸活動について整理する。まず初めに製品設計部門間の調整についてである。

図 6 は、前節で類型化した製品設計部門の構想から量産開始までの開発プロセスを整理したものである。機構設計部門と電気設計部門とは相互依存性が高い。機構設計部門が最初に手がける構想設計は、ECU の筐体の最外形から追いついで内部のプリント基板が確保できる面積・形状といった諸制約を規定するものである。こういった諸条件の提示を受け、電気設計部門 (とりわけ回路設計部門) は必要とされる機能を成立させるための回路や使用する電子部品を選定する。しかし、ソフトウェア設計部門はハードウェア側との調整をあまり必要としない。僅かに、機構設計部門による構想設計が固まった段階で、ハードウェアとソフトウェアの機能の切り分け方について回路設計部門と調整するだけである。通常、ソフトウェアの仕様は仕様書の形で提示され、ソフトウェアを収めるシステム LSI (MCU) の仕様は半導体メーカーとやはり仕様書の形でやりとりされるため、いずれも相互依存性は低い。設計上の調整は共同開発をする外部企業との間で殆ど片付いてしまうのである。試作品の実験・評価の場面でも、ソフトウェアはコンピュータ上でのシミュレーションや、実機での検証も ECU であれば必要電子部品が実装されたプリント基板さえあれば十分である。ハードウェア側と調整が必要となるのは、DR (Design Review)、n 次の試作、商業的<sup>・</sup>量<sup>・</sup>産<sup>・</sup>と<sup>・</sup>い<sup>・</sup>っ<sup>・</sup>た<sup>・</sup>タ<sup>・</sup>イ<sup>・</sup>ミ<sup>・</sup>ン<sup>・</sup>グ<sup>・</sup>に<sup>・</sup>合<sup>・</sup>わ<sup>・</sup>せ<sup>・</sup>て<sup>・</sup>ソ<sup>・</sup>フ<sup>・</sup>ト<sup>・</sup>ウ<sup>・</sup>ェ<sup>・</sup>ア<sup>・</sup>を<sup>・</sup>開<sup>・</sup>発<sup>・</sup>す<sup>・</sup>る<sup>・</sup>こ<sup>・</sup>と、つまりも<sup>・</sup>っ<sup>・</sup>ぱ<sup>・</sup>ら<sup>・</sup>イ<sup>・</sup>ベ<sup>・</sup>ン<sup>・</sup>ト<sup>・</sup>・<sup>・</sup>ト<sup>・</sup>リ<sup>・</sup>ガ<sup>・</sup>ー<sup>・</sup>の<sup>・</sup>要<sup>・</sup>件<sup>・</sup>で<sup>・</sup>あ<sup>・</sup>る<sup>・</sup>。それは、言い換えれば開発のリードタイムに関する調整であり、設計における仕様上の調整を製品設計部門間で行う

ことではない。ソフトウェア設計部門は、共同開発における企業間調整においても、製品設計部門間の調整においても他の組織との相互依存性は低いというのが特徴である。

図6 車載用組み込みシステム (ECU) の製品設計プロセス



出所) 岡本 [2005], p.19, 図 2.1, 図 2.2

以上のような相互依存関係が整理されたが、製品設計部門同士でのフロント・ローディングは開発リードタイム短縮のために重要な取り組みである。例えばプリント基板の設計にあたっては、誤動作対策、EMI (Electromagnetic Interference) ノイズの影響を事前に検証しておくことや、次項で扱う基板実装時の生産性チェックといった要件を製品設計段階で織り込むことである<sup>34)</sup>。しかしフロント・ローディングもまた、相互依存性の高い製品設計部門間でこそ有効となる。ソフトウェア設計においても、開発工程標準化やコンソーシアム方式での仕様標準化等の取り組みがなされているが、爆発的に増加しているソフトウェアを効率化する決定打とはなっていない。

## (2) 製品設計部門と工程設計部門との調整

ここまで ECU の製品設計部門を中心に議論してきたが、広義の製品開発組織を分析するために、本節では工程設計部門も含んだ議論を行う。製品開発における代表的な CE の事例は、前述のように製品設計部門と工程設計部門との密接な関係性、つまり設計部門と生産技術部門

34) 例えば、岡本 [2005,2006] 等が詳しい。

が連携する取り組みである。

工程設計部門の代名詞でもある生産技術部門は、金型や設備、治工具の段取り・開発を担当する。日本の完成車メーカーの生産技術部には大学・大学院卒のエンジニアが大量に配置されており、この点で諸外国の完成車メーカーとは大きく異なる(今田[2003])。また、長年製品設計を担当したエンジニアが工程設計部門に異動することも多く、それが効果的な CE を可能にしている(榊原[1995])とも言われる。日本の完成車メーカーの開発リードタイムのパフォーマンスは、1980年代後半の時点で既に諸外国と比較しても短かった(Clark and Fujimoto[1991])ことから、数十年に渡って完成車メーカーの開発リードタイムと同期化して部品を開発してきたサプライヤーもまた、完成車メーカーと同様に工程設計の重要性が認識されてきたのである。

電装部品メーカーにおける製品設計部門と工程設計部門との連携、つまり CE の特徴をまとめたのが図 7 である。特徴を一言で述べるならば、2 系統の CE が見られるということである。電装部品の製造には、ECU やカーナビのように完成車メーカーに納入するユニット部品の形態まで組み立てる最終組立のほかに、機能をつかさどるプリント基板に電子部品を実装する組立工程がある。以後、プリント基板に電子部品が全て実装され最終組立に送られる直前の半製品の状態を PCB ASSY<sup>35)</sup> と呼び、PCB ASSY の組立工程を実装工程と呼ぶ。電装部品における PCB ASSY は、部品に要求される機能の大半が組み込まれており、またユニット部品に占める原価構成比率も高い。以下、その実装工程を最終組立工程と比較し、それぞれの系統の製品設計部門との関係を含めて議論する。

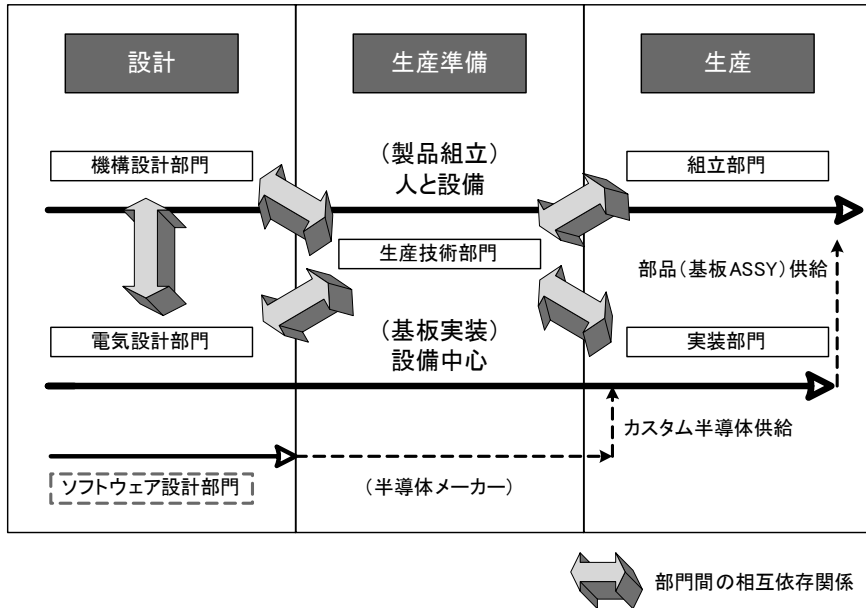
実装工程と最終組立工程との最も大きな違いは、製造する主体が異なることである。最終組立は多くの場合が人の手によるものであり、部分的には機械化されている。よって、最終組立工程に求められる工程設計は、組立のライン設計や金型・治具・工具の手配である。一般的に言われる工程設計の内容は、これら最終組立に関する内容である。反対に、実装および検査工程は完全に機械化されており、チップマウンタなどの産業用機械がプリント基板 1 枚あたり数十から数百点の電子部品を高速で実装していく。半田付けも自動機が行う。そのため、実装工程で求められる工程設計は、機械設備の手配とそれらのレイアウト検討が中心になる。また、自動機が電子部品をマウントするための動作プログラムを設計することも工程設計部門の実装工程担当者にとって重要な役割である。工程設計部門は、このように性格が全く異なる 2 つの系統の工程を設計するのである。

電装部品メーカーに見られる 2 系統の CE では、製品設計部門と工程設計部門とが製造対象の技術特性に対応することになる。つまり、最終組立工程に関する連携は、機構設計部門と生

---

35) Print Circuit Board Assembly の略。

図 7 2 系統のコンカレント・エンジニアリングと関連部門の相関関係



出所) 筆者作成

産技術部門（最終組立工程担当）とが、実装工程に関する連携は電気設計部門と生産技術部門（実装工程担当）とが協力することになる。

具体的な取り組みであるが、機構設計と最終組立との関係では、一般的な CE で紹介されているように、CAD/CAM データの活用<sup>36)</sup>や工程設計部門が開発の初期段階から製品設計部門と予め問題が出そうな部分についての調整を行うという DFM<sup>37)</sup>が挙げられる。他方で、電気設計と実装工程との関係については詳細な先行研究が見られないため断定はできないのであるが、PCB ASSY の熱シミュレーションやノイズシミュレーションといった CAE の分野で協力があると考えられる<sup>38)</sup>。

ここまで電装部品メーカーに見られる 2 系統の CE の特徴を整理してきた。電装部品メーカーの製品開発における工程設計まで含めた開発部門間の相互依存性を前節の議論を踏まえながら

36) 田口 [2005] は、ホンダエンジニアリングが CAD/CAM を利用して金型リードタイムを大幅短縮した事例を紹介している。1993 年に仕様検討から TRY 1 (金型として製品を加工できる最低限の水準) まで 6.5 ヶ月、TRY 1 から金型出荷まで 6 ヶ月かかっていたものが、1999 年には前者の期間が 3.5 ヶ月、後者の期間が 3.5 ヶ月にまで短縮されている。田口 [2005], p.118 参照。

37) Design For Manufacturing の略。開発初期段階の設計から組立しやすさを図面に反映することで、開発の後半になってからの生産要件上の設計変更を回避することを目的としている。例えば外装用の樹脂部品を金型から離型しやすくするための「抜きテーパー」を設計段階から図面に反映することなどである。

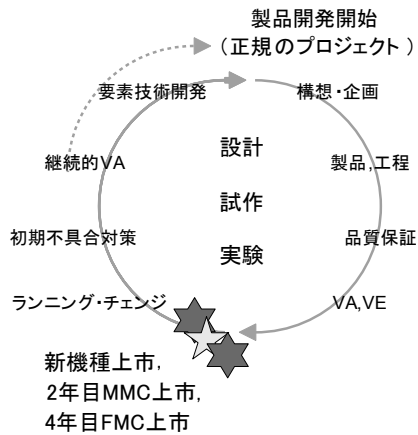
38) CAE による協力だけでは、そうすることによって工程設計部門が実装工程の設計をする段階でどのような効用が見られるのかについての説明としては不十分である。この点は電装部品メーカーないし電機メーカーの工程設計部門へのヒアリングを行うなどの実証面での検証が必要である。今後の課題としたい。

まとめると、工程設計部門(生産技術部)は製造活動を前提とした役割を担っており、ハードウェアを担当する機構設計部門、電気設計部門との相互依存性が高かった。しかしながら、ハードウェアの中でも最終製品としての全般的な構造体を設計する機構設計部門は最終組立工程の工程設計との相互依存性が高く、他方で組立手法が全く異なる PCB ASSY を設計する電気設計部門は実装工程の工程設計との相互依存性が高かった。このため、製造対象の技術特性によって同じハードウェアを担当する製品設計部門でも、工程設計部門との連携のあり方がはっきりと二分化されている。この部門間連携の二分化が、CE を 2 系統にしているのである。

### (3) 正規の製品開発プロジェクト後の「準・製品開発」

ここまでは、正規の製品開発プロジェクトとして認識される取り組みについて議論してきた。製品開発のプロジェクトは、複数の先行研究が示すように同時並行で進むプロジェクト間の関係や世代を跨ぐプロジェクト間の関係も議論されてはいるが、一般的に始まりと終わりが明確に規定された断続的な企業内活動と考えられている。

図 8 正規の開発プロジェクトと実質的な開発活動による製品開発のサイクル



出所) 筆者作成

しかし、製品開発をプロジェクトの開始から終了までという形式的に捉えるのではなく、先行研究が示すように「設計－試作－実験」という製品開発のサイクルを繰り返すことによる意思決定であると捉えるならば、完成車メーカーとサプライヤーによって便宜上名称が与えられたプロジェクトという定義の枠外においても、実質的な製品開発プロセスと同等のサイクルが見られるのである<sup>39)</sup>。図 8 では、正規の開発プロジェクト以外に「設計－試作－実験」のサイ

39) 製品開発の活動の中心は製品設計と工程設計であり、たとえ正規の開発プロジェクト外であっても、それらの主要素を満たす活動は実質的な製品開発とみなすことは可能であろうというのが本研究の主張である。

クルが見られる活動が、正規の開発プロジェクトと連結することによって製品開発のサイクルを形成することを示している。右側の半円部が正規の開発プロジェクトにおける製品開発活動を該当する。左側の半円にある項目が、「設計－試作－実験」のサイクルを伴う実質的な製品開発の活動である。本研究では、これらの諸活動を「準・製品開発」と名付ける。

以下では、図8の左半分に示される「準・製品開発」の特徴について議論する。まず1つ目はランニング・チェンジである。これは、正規の開発プロジェクトの末期などに発生した設計変更が上市時点で製品の適用に間に合わず、上市後しばらくは旧仕様で製品を市場に供給し、設計変更が製品適用された時点で最新の仕様を反映した製品を市場に投入することを意味している。ランニング・チェンジは、製品というよりも構成される部品単位で発生する。近年、自動車の開発リードタイムは20ヶ月を下回るほど短縮化されているが、今後もこの傾向は続くであろう<sup>40)</sup>。ランニング・チェンジは実質的には正規の開発プロジェクトの延長線上に位置しているものの、上市後の「設計－試作－実験」に該当する。

2つ目は、初期不具合対策である。これは完全に正規の開発プロジェクトが完了した後に発生する性格のものである。通常、新しい車種が市場にリリースされると、最初の数ヶ月で最も販売台数が伸びる傾向にあり、その後は下降の一途をたどる。よって、この時期に発生する製品の初期不具合絶対数は、その車種のモデルライフを通じて最も多くなる傾向にある。不具合が発生すると、完成車メーカーはその対策を講じなければならないが、不具合の内容が国土交通省の定めるガイドラインに抵触すると、リコール届出が出される。国土交通省自動車交通局が公表している「リコール届出内容の分析結果<sup>41)</sup>」によると、平成16年度のリコール届出数は国産車<sup>42)</sup>全体で331件、対象台数は7,072千台である。さらに、平成16年4月から平成17年3月の期間におけるリコール届出の不具合発生原因別の割合を見ると、「設計」69%、「製造」31%となっており、設計要因の中でも「設計自体」が56%と最も高い<sup>43)</sup>。設計要因のリコールの場合、完成車メーカーは対象部品を供給するサプライヤーと協力して速やかに不具合対策を行う。しかし、「リコールは外部には積極的に報告されない性格のものであり、その意味で社外の観点からはリコールコストは認識されにくい(長谷川[2002])」ものである。よって、リコールに伴う実質的な製品開発の過程も外部からはよく分からないものの、その背景では当然のことながら、不具合対策部品を供給するために製品開発のサイクルが発生しているのである<sup>44)</sup>。

40) ソフトウェアの開発・検証工数は慢性的に逼迫しており、上市までにデバッグが完了しなかったり、開発末期でバグが発見されたりする場合、ランニング・チェンジの対象となりやすい。このような状況もまた、ソフトウェア開発の効率化を急ぐ理由の1つである。

41) この資料によると、国産車の生産開始から不具合発生及びリコール届出までの期間は、生産開始から1年以下が35%と最も高く、1年超え2年以下では15%と半減している。

42) 国産車の内訳は、乗用車・軽乗用車・貨物車・軽貨物車・乗合車・特殊車・二輪車・その他である。

43) 以下、製造要因の「作業工程」が26%、設計要因の「耐久性」が12%と続く。

44) ここでは不具合の中でも最も緊急性と危険性の高いリコールを事例としたが、それよりも軽微な不具合は

3 つ目は、継続的 VA<sup>45)</sup> である。完成車メーカーとサプライヤーは、生産中の部品に対して半期もしくは 1 年ごとに部品の納入単価の改定が行われる。一般的な傾向としてサプライヤーは、長期継続取引のために完成車メーカーからの値下げ要請に応じざるを得ないことが多い。そのためサプライヤーは、開発プロジェクトが完了し生産が始まった後も、常に VA による原価低減の圧力を受けている<sup>46)</sup>。手法としては、大きく分けて設計・製造・購買の要素があるが、このうち設計と製造に関する手法には、当然のことながら製品の再設計ないし製造工程の再設計が含まれる。よって、ここでも製品開発のサイクルが見られるのである。

最後の 4 つ目は、要素技術開発である。これは、製品開発というよりもどちらかと言えば応用研究や先行開発に近いかもしれない。特に電装部品においては、構成子部品の多くを占める電子部品（半導体）の技術革新が速い。「半導体製品の機能の向上が機器機能の向上をもたらすという関係が成立しているため、機器に対する高度で多様なニーズを満たすには半導体製品の機能向上が不可欠になっている。多くの場合、半導体製品のイノベーションは、半導体を搭載する機器のイノベーションをもたらす前提になっているのである（肥塚 [2005] <sup>47)</sup>」。よって、電装部品メーカーは半導体製品のイノベーションを自社の部品のイノベーションへと転化させるために要素技術開発を行うのである。この取り組みは、前項の VA 提案と組み合わせれば、より製品開発に近い取り組みと行うことができる。この場合もやはり、新しい子部品を用いた VA 提案用の「設計－試作－実験」といった一連のサイクルが発生するのである。

以上 4 点の「準・製品開発」の諸活動を整理した。サプライヤーは、正規の開発プロジェクト外でも製品開発に相当する取り組みを行っており、それによって技術的競争優位の形成あるいは維持に努めているのである<sup>48)</sup>。

## おわりに

本研究は、広範囲に渡る視点から製品開発における組織とプロセスについて議論した。以下、冒頭に設定した 2 つの研究目的に従って本研究を総括する。

研究目的の 1 点目は、製品開発組織に関する先行研究を、組織設計と開発プロセスにおける部門間調整の両視点から整理することであった。第 1 節では、システムとして組織を捉える諸研究を検討した。そして研究と開発の相違点を整理した上で、組織を製品開発という特定

---

多数存在し、必要と認められたものにはリコール同様の対処プロセスが発生するのである。

45) Value Analysis の略。

46) サプライヤーが VA・VE 提案を積極的に行うメリットは原価低減のためだけではない。提案活動の継続がその後の受注活動の成績にも影響するのである。例えば、植田 [2004], pp.85-86 参照。

47) 肥塚 [2005], p.90 参照。

48) たとえモデル・チェンジの機会に同一部品を失注したとしても、同時期に複数進行している開発プロジェクトに連結することで、その成果を他のプロジェクトへ移転することは可能である。



タスクから議論した。製品開発組織の設計では、外部環境の変化が速いという現状を反映し、PMを採用したマトリクス組織が主流であった。続く第2節では、一般的な製品開発プロセスと部門間調整のあり方を先行研究から概観した。特に自動車産業では、製品設計と工程設計の密接な連携(CE)のみならず、部品調達においても組織間の協調が製品開発パフォーマンス向上のための重要な要素であった。

研究目的の2点目は、ECUを分析首座に置き、車載用組み込みシステムの開発における製品開発組織の設計と開発プロセスについて分析することであった。第3節では、ECUを開発する組織について議論した。ECUのような電子制御型の電装部品では、ハードウェアと同等もしくはそれ以上にソフトウェアのプレゼンスが高まっていることが明らかになった。ハードウェアとソフトウェアの最大の相違点は、前者が物理的構築物、後者が論理的構築物だという点にあり、それゆえ開発対象の異なる組織の管理のあり方にも違いがあるということであった。また、ECUを供給するTier 1サプライヤーの特徴として、顧客である完成車メーカーと構成子部品を調達する下位サプライヤーとの「両面共同開発」が挙げられた。第4節では、ECU開発における製品設計部門間の調整、製品設計部門と工程設計部門との間の調整、そして正規の開発プロジェクトとして認識されないが、実質的な開発活動を必要とする「準・製品開発」について議論した。製品開発の各部門間の調整では、ハードウェアに関わる部門とソフトウェアに関わる部門とでは部門間の相互依存性や管理のあり方に相違点が見られた。ハードウェアに関わる部門は内的にも外的にも相互依存性が高く、ソフトウェアに関わる部門のそれは低かった。

次に、製品開発の組織とプロセスに関する電装部品メーカーと完成車メーカーとの比較についてである。両者の最大の相違点は、前述のソフトウェア開発に関わる要件の有無である。そしてまた、電装部品メーカーはハードウェア、ソフトウェア双方の技術体系を「両面共同開発」する点でも完成車メーカーとは異なる。他方で両者の類似点は、製品開発におけるフロント・ローディングの徹底、すなわちCEの効率化であった。製品開発のリードタイムは今後も短縮されていくであろう。しかしその反面、開発されるべき技術は益々高度化する。特にソフトウェア領域ではそうであった。この相反する環境的制約を同時に成立させるために、完成車メーカーと電装部品メーカーとが抱える課題は共通しているのである。

最後に、残された課題を提示して結びとする。まず1点目に、本研究は製品開発組織の設計や開発プロセスという制度的側面の議論に特化してきた。そのため、個々の開発プロジェクトで得られた知識が蓄積される過程やその効用といった組織学習の視点、そして人的資源管理の視点は殆ど言及されていない。2点目に、先行研究で盛んに議論の対象となるPMであるが、本研究ではサプライヤーにも同等の職位が存在し、どのように機能しているのかについては分析することができなかった。この点は、企業インタビューを通して実証的側面から改めて議論

する必要がある。3 点目に、製品の特性と組織の関係を動的に捉える点である。本研究は製品開発組織の現状を瞬間模写的に議論したに過ぎない。そのような組織が設計されるに至ったプロセスや、どういった要件のもとそれが変化していくのかについては、製品アーキテクチャと組織アーキテクチャの適合関係という分析枠組みから検証することが有効であろう。近年、製品アーキテクチャの動態性に関する研究も進んでおり、こういった視点を交えることで、組織アーキテクチャの動態性も明らかにされると期待される。以上、今後の課題としたい。

#### <参考文献>

- Axelrod, Robert M. and Cohen, Michael D. [1999], *Harnessing Complexity*, New York: Free Press. (高木晴夫監訳・寺野隆雄訳 [2003], 『複雑系組織論』ダイヤモンド)
- Barnard, C.I. [1968] (1st [1938]), *The Functions of the Executive*, Cambridge, Massachusetts and London, England: Harvard University Press. (山本安次郎・田杉競・飯野春樹訳 [1968], (初版 [1956]) 『新訳 経営者の役割』ダイヤモンド)
- Clark, Kim B. and Takahiro Fujimoto [1991], *Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry*, Boston, MA: Harvard Business School Press. (田村明比古訳 [1993], 『製品開発力』ダイヤモンド)
- Iansiti, Marco [1993], "Real-World R&D: Jumping the Product Generation Gap," *Harvard Business Review* May-June 138-147.
- James M. Morgan and Jeffrey K. Liker [2006], *The Toyota Product Development System*, New York: Productivity Press. (稲垣公夫訳 [2007], 『トヨタ製品開発システム』日経 BP)
- Ludwig von Bertalanffy [1968], *General System Theory: Foundations, Development, Applications*, New York. (長野敬・太田邦昌訳 [1973], 『一般システム理論 - その基礎・発展・応用 -』みすず書房)
- Simon, Herbert A. [1996] (1st [1969]), "The Architecture of Complexity: Hierarchic Systems," *The Science of the Artificial*, 3rd ed., Cambridge, MA: MIT Press. (稲葉元吉・吉原英樹訳 [1990], 『システムの科学』第 3 版, パーソナル・メディア)
- Ulrich, Karl T. and Steven D. Eppinger [2003] (1st [1994]), *Product Design and Development*, New York: McGraw-Hill.
- 青島矢一 [1998], 「製品アーキテクチャーと製品開発知識の伝承」『ビジネス・レビュー』第 46 巻第 1 号
- 青島矢一・延岡健太郎 [2001], 「3 次元 CAD 技術による製品開発プロセスの変革」『日本労働研究雑誌』第 43 巻
- 飯野春樹 [1992], 『バーナード組織論研究』文真堂
- 今田治 [1998], 『現代自動車企業の技術・管理・労働』税務経理協会
- 今田治 [2003], 「自動車企業のグローバル化と生産技術部門—日産自動車を事例として—」『立命館経営学』第 41 巻第 6 号
- 植田浩史 [1995], 「自動車部品メーカーと開発システム」明石芳彦・植田浩史編『日本企業の研究開発システム戦略と競争』東京大学出版会, 所収, pp.83-112.
- 植田浩史 [2004], 『現代日本の中小企業』岩波書店
- 大島卓編 [1987], 『現代日本の自動車部品工業』日本経済評論社
- 岡本彬良 [2005], 『よくわかるプリント基板回路のできるまで』日刊工業新聞社
- 岡本彬良 [2006], 『よくわかるプリント基板実装のできるまで』日刊工業新聞社
- 黒川文子 [2005], 『製品開発の組織能力』中央経済社
- 河野英子 [2003], 「承認図転換部品メーカーの能力獲得プロセス」『組織科学』Vol.36, No.4

- 河野豊弘 [1987], 『新製品開発戦略』ダイヤモンド
- 肥塚浩 [2005], 「半導体製品開発と生産システムのイノベーション」坂本清編『日本企業の生産システム革新』ミネルヴァ書房, 所収, pp.83-107.
- 榊原清則 [1995], 『日本企業の研究開発マネジメント』千倉書房
- 塩地洋 [1993], 「開発部門は九州に移転されるか? トヨタ自動車九州(株)をケーススタディとして」『九州経済調査月報』1993.10.
- 田口直樹 [2005], 「情報化・国際化と金型産業における取引構造の変化」坂本清編『日本企業の生産システム革新』ミネルヴァ書房, 所収, pp.109-134.
- 沼上幹 [2004], 『組織デザイン』日本経済新聞社
- 野口祐 [1990], 『ソフトウェアの経営学』森山書店
- 延岡健太郎 [1996], 『マルチプロジェクト戦略』有斐閣
- 延岡健太郎 [2002], 『製品開発の知識』日本経済新聞社
- 延岡健太郎・藤本隆宏 [2004], 「製品開発の組織能力? 日本自動車企業の国際競争力」『東京大学 21 世紀 COE ものづくり経営研究センターディスカッションペーパーシリーズ』MMRC-J-9
- 長谷川泰隆 [2001], 「原価企画の再検討 自動車産業におけるリコールコスト」『麗澤経済研究』第 9 巻第 1 号
- 長谷川泰隆 [2002], 「わが国自動車メーカーの製品能力リコールデータの分析を通じて」『麗澤経済研究』第 10 巻第 1 号
- 藤広哲也 [2005], 『よくわかる最新 組み込みシステムの基本と仕組み』秀和システム
- 藤本隆宏 [1998], 「自動車製品開発の新展開: フロント・ローディングによる能力構築競争」『ビジネス・レビュー』第 46 巻第 1 号
- 藤本隆宏 [2000], 「効果的製品開発の論理」藤本隆宏・安本雅典編『成功する製品開発 産業間比較の視点』有斐閣
- 藤本隆宏 [2003], 『能力構築競争』中公新書
- マイケル・A. クスマノ著・サイコムインターナショナル訳 [2004], 『ソフトウェア企業の競争戦略』ダイヤモンド
- 安本雅典 [2000], 「携帯電話の製品開発」藤本隆宏・安本雅典編『成功する製品開発』有斐閣, 所収, pp.35-62.

