



GRADUATE SCHOOL OF BUSINESS ADMINISTRATION
KOBE UNIVERSITY
ROKKO KOBE JAPAN

2008-6

システムの複雑化が企業間取引に与える影響の研究

進矢 義之

Current Management Issues



専門職学位論文

システムの複雑化が企業間取引に与える影響の研究

2008年 8月 12日

神戸大学大学院経営学研究科

原田勉研究室

氏名： 進矢 義之

目次

I. 序章

1. 研究の背景
2. 研究の目的
3. 本論文の構成

II. 先行研究レビュー

1. 取引コスト経済学の先行研究
2. ものづくり経営論に関する先行研究

III. 仮説の設定

1. 研究を進める上での課題
2. 研究の手法
3. 仮説の導出

IV. 実証分析

1. 調査対象
2. 調査方法
3. 調査結果
4. 分析結果
5. 分析結果の解釈

V. 事例調査

1. ハイブリッドカー開発の現状
2. システム複雑性の実態
3. 取引関係の実態
4. 定量的分析結果との整合性

VI. 結び

1. 結論
2. 限界
3. 今後の課題

謝辞

付録

引用文献、参考文献

I. 序章

1. 研究の背景

環境問題やエネルギー問題など、自動車を取巻く社会状況は年々厳しさを増している。地球規模での環境問題としては地球温暖化問題があり、温室効果ガスのなかでもCO₂の削減が最も重要な課題となっている。エネルギー問題としては、ブラジル、ロシア、インド、中国などの新興国の経済発展とともに化石燃料の需要が増大し、需給関係が逼迫している。この状況により原油価格高騰という事態が生じている。環境問題の観点でも、エネルギー問題の観点でも、省エネルギー化や化石燃料からの脱却が求められ、このことが自動車への要求として強くのしかかっている。

環境問題やエネルギー問題、それに安全性の向上という社会からの要求に応えるため、自動車は近年大きく進化している。その代表例がハイブリッドカー(HEV)であり、従来の内燃機関のみの自動車の改善では到達できないレベルの低燃費化が実現できる。一方、自動車の進化に伴い、自動車というシステムは益々複雑なものになってきている。HEVの例でいうと、従来のクルマにモーターや発電機、電池を追加したものとなっている。そしてそれらの機能部品間の密接な連携なしには十分な機能が発揮できない。単に部品が増えるだけでなく、相互作用が強くなるため、研究開発の複雑さは指数関数的に増大している。また、自動車の場合、空間的な制約も強い。特に乗用車では、元々空間的に限界設計されているため、大物追加部品のレイアウトを成立させることは大変な作業である。環境問題やエネルギー問題が今ほど大きな問題でなかった時代では、HEVのように複雑なシステムは経済的に意味を持たなかったであろう。しかし、現在では複雑なシステムを採用してでも、環境問題やエネルギー問題に対応することが社会から求められている。

一方、複雑なシステムが実現できているのは、電子制御技術発展の寄与が大きい。新しいシステムの実現には、社会的なニーズに加えて技術的なニーズが必要であるが、技術的なニーズの多くは電子制御技術である。実際、環境問題、エネルギー問題、安全問題に対応する新しいシステムは、電子制御燃料噴射、アンチロックブレーキシステム、エアバックをはじめとして電子制御の塊である。特に、マイコンの発展により、複雑な制御を実現するソフトウェアを安価に組み込めるようになったことが現在の自動車の進化を支えている。同じような機能を機械系の技術で実現することは、既に望むべくもない状態になっている。しかし、最近はソフトウェアを中心とした電子制御システムの開発が、余りの複雑化の前に破綻し始めている。開発リソースの爆発的な増大やバグと呼ばれるソフトウェアの品質問題などが顕在化しており、自動車の開発が抱えている最大の課題となっている。

また、今後の新しいシステムには、複雑性に加えて不確実性という要素も強くなる。不確実性には、技術的な不確実性と経済的な不確実性がある。前者の代表的な例として電池が挙げられる。現在、携帯電話で普及しているリチウムイオン電池の自動車への普及は、時期の不確実性はあるにせよ確実に進むと考えられるが、リチウムイオン電池では経済的に価値のある電気自動車(EV)は実現できない可能性が高い。そのため、リチウムイオン電池を越える電池の研究が多くの研究機関や企業で進められているが、実現できるかどうかは読めない状態である。一方、経済的な不確実性の例としては、

原油価格がある。燃料価格が今後大幅に高騰すれば EV が競争力を持つ可能性はあるが、現在のレベル(1バレル=140ドル, 2008年7月8日時点)であれば、EV が特殊用途の市場を除いて競争力を持つことは困難である。

新しい複雑なシステムは、多様な技術要素を持っている。その技術要素を保有している企業も様々であり、1社で新しい複雑なシステムを開発、生産していくことは大変難しい状態になっている。従って、多くの企業が連携し、システムを構築していく必要がある。しかし、ここで不確実性の問題が企業間の連携に大きく影響する。不確実であるが故に高いリスクを持つことは当然としても、その読みが企業によって異なることが問題を複雑にする。例えば、ある自動車メーカーが新しい EV の開発を企画したとする。しかし、全てのリスクをその自動車メーカーが負担する場合は別として、その自動車メーカーと連携する部品メーカーは大きなリスクを抱えることになる。部品メーカーにも、リスクを覚悟した上で投資をする企業もあれば、リスクを回避する企業もある。その結果、連携の意思決定が中々進まないという事態が発生する。

過去の事例を見ると、HEV の場合では、自動車メーカーがリスクを負担することで実現してきている。トヨタ自動車では、モーターや発電機を内製化するだけでなく、キー技術となる電子部品の内製化まで行い、基本的には1社の意思決定でものごとを進めている。同様に、ホンダも HEV に関して内製化の動きを進めており、モーターも内製としている。

一方、自動車の電子制御技術の世界では標準化の動きが活発になっており、AUTOSAR や JasPar はその具体的な活動事例である。複雑化の進展により、開発リソースの爆発的な増大が自動車メーカーに重くのしかかり、このままでは開発が破綻すると考えられているからである。この動きは、垂直統合とは逆の動きであり、垂直分業を目指したものと言える。

このように、複雑化の一途を辿る自動車用車載システムの開発において、垂直統合を進める動きと垂直分業を進める動きがある。また、技術的には、先に述べた標準化とは別の動きとして、CAE の活用やモデル化を通じた開発手法の変革で、複雑さを克服しようとする動きもある。社会や顧客のニーズ増大と電子技術発展に伴うサイズ増大の中、複雑さとの戦いが自動車業界の大きな課題になっている。従って、筆者は経営の観点で複雑性への対処を研究することに大きな意義があると考ええる。

2. 研究の目的

本研究ではシステムの複雑性が企業間取引、特に垂直統合に与える影響を調べる。そして、今後システムの更なる複雑化が予測されている中で、企業が垂直統合に向かうべきか垂直分業に向かうべきかの指針を提示することが本研究の目的である。

3. 本論文の構成

本論文では先行研究として、取引コスト経済学とものづくり経営論のレビューを行い、本研究の位置づけを明確にする。続いて、仮説を設定し、それを自動車システムにおいて調査結果を基に定量的な実証分析を行う。最後に事例研究として、HEV 開発の状況を定性的に分析した上で、自動車システム全般に対する定量的な分析結果と

の整合性を明らかにしていく。

II. 先行研究レビュー

1. 取引コスト経済学の先行研究

本研究では、垂直統合するか否かという企業の境界問題を主に論議する。この問題を扱うには取引コスト経済学を基本とすべきと考え、この領域の先行研究のレビューを行う。

取引コスト経済学の最も古典的な論文は R.H.Coase(1937) であり、この論文では市場で取引をするための費用が存在するから、それを節約するために企業が存在すると述べている。市場で取引するための費用としては、取引相手を見つけ出す、取引条件を伝える、成約に至るまでの駆け引きを行う、契約を結ぶ、契約の条項が守られているか点検するなど様々な費用がある。そして、これらの費用に比べて、権限を持った企業家が費用を節約することができるときに、その取引を内部組織化した企業が生まれると述べている。

この考え方を発展させたのが、Williamson(1979, 1989)であり、取引関係が決まる属性は、頻度、不確実性、そして資産特殊性であるとしている。特に、資産特殊性はその中でも重要な属性であり、資産が別の用途へと転用できない、あるいは転用に多くのコストがかかるか、生産的価値の減少を伴うような場合、資産が特殊であるとしている。そして、具体的な特殊性としては、場所的特殊性、物理的特殊性、人的資産、専用資産などがあげられている。また、Williamson は資産特殊性と生産コストの関係にも言及している。

Monteverde & Teece (1982)は、米国自動車業界における自動車メーカーと部品メーカーの関係に関して、取引コスト経済学の実証研究をしている。自動車の様々な部品に関して取引関係や技術的難易度を調査しており、筆者の今回の研究の狙いに近い研究である。この論文は部品が企業に固有である場合、即ち資産特殊性が高い場合、そして他の部品との調整がより多く求められる場合に垂直統合（内製）をする、と述べている。

また、B. Klein(1988)は、契約の不完備性に着目し、契約の不完全さが故に契約と垂直統合は大きく異なることを述べ、ホールドアップ問題、物理的な資源と人的資源の違いや組織の所有権について議論を深めている。資産特殊性のある投資を必要とする場合には、垂直統合か長期契約が必要であるという意味では、Klein 以前の論旨と同じであるが、契約が垂直統合と同様に機能するためには、市場の不確実性が高くなり、かつ企業の名声が高いという条件が必要となることを述べている。

その後も、取引コスト経済学は発展し、産業組織論や多国籍企業論、経営組織論などで幅広く応用されている。ただ、技術的な観点から見たシステムの複雑性との関係が直接的に言及された研究は見当たらない。Monteverde & Teece (1982)が近いが、この論文は部品単位の分析であり、システムとしての分析はしていない。また、比較制度論的に、日米の企業組織比較を行っている研究はあるが、同一地域内での企業規模や収益状態の差に基づく比較検討は行われていない。また、現在の自動車システムの取引先決定においては研究開発の寄与度が大きいですが、これまでの研究の多くは生産

に主眼をおいて取引関係を調査している。

本研究の狙いを取引コスト経済学の観点で述べると、資産特殊性や企業の規模により影響されるということ認識した上で、システムの複雑性が企業間取引、特に垂直統合にどのように影響するかを実証研究することである。

2. ものづくり経営論に関する先行研究

ものづくり経営とは、ものづくりが経営の成否を決める製造業において、研究開発から生産までのものづくりの実態を認識した上で、経営の意思決定を行うことであり、技術経営(MOT)のことである。研究開発を伴うシステムのものづくりに必要な能力を構築するためには、長い年月が必要であり、短期的なコストの節約のためだけに、垂直統合や垂直分業などの意思決定はできないし、もしそれで意思決定をしたら長期的な経営に致命的な痛手を負う可能性が高い。従って、ものづくり経営の観点からの先行研究のレビューも本研究にとって、重要な意味を持つ。

自動車の開発に焦点をあてたものづくりを組織論的に研究したものとして、藤本(1989)がある。ここでは、日米の比較をはじめとして実際の企業の調査がなされ、体系的に整理されている。その後、藤本、延岡(2004)をはじめとした論文が発表されており、ものづくりの観点からの企業間取引の研究が行われている。また、モジュラー型、インテグラル型というアーキテクチャーに関する概念が、組み合わせ型、擦り合わせ型という日本語に訳され、自動車の技術経営に関わる人の間では幅広く認識されている。

こうしたアーキテクチャーの違いは、資産特殊性と密接な関係にある。例えば、製品の内部アーキテクチャーがモジュラー型の場合、その構成部品は必ずしも固定した製品に紐付けされている訳ではない。その構成部品の取引を打ち切って別のアSEMBリメーカーに納めるように変更する場合のコストは小さいし、逆にアSEMBリメーカーにとっても部品メーカーを変更するコストは小さい。この場合は構成部品の資産特殊性が低いことを意味する。逆に、製品の内部アーキテクチャーがインテグラル型の場合は、資産特殊性が高くなる。

また最近では、藤本(2007)は、自動車業界におけるエレクトロニクスやソフトウェアに関する研究を発表しており、ここではシステム複雑化の問題に焦点が当たっている。現在の自動車業界が抱えている問題の本質が複雑化にあること、そしてそれを端的に表しているのが、制御系の設計とメカ・エレキ・ソフト統合であると述べている。

このように、ものづくり経営の研究は現場からの観点で研究が進んでいるが、定量的な分析に基づく体系化を目指した研究は少なく、より一般化して応用できるようにするためには、理論との関連付けが求められる。これまでのものづくり経営に関する研究結果を見ると、取引コスト経済学で述べられていることとの類似性が多い。そこで、本研究の狙いをものづくり経営研究の観点からみると、複雑化への対応に関する企業の取り組みを、定量化した分析に基き一般化をすることとなる。

III. 仮説の設定

1. 研究を進める上での課題

先行研究のレビューで述べた通り、本研究は取引コスト経済学の実証研究という位置づけであるとともに、定量的分析に基づくものづくり経営論の一般化という位置づけである。また、システムの複雑さの影響を調べることが目的であるため、分析単位はシステムとなる。経営的な観点と技術的な観点を融合が必要であり、また定量的な分析の必要性から、研究する上での課題がいくつか挙げられる。まずは、その課題を述べるとともに克服の考え方を示す。

一つ目の課題は、分析単位をシステムとすることにある。先行研究において、個々の部品に関して研究は行われているが、システム単位での分析は行われていない。もちろん、研究が行われた時代背景の違いがあり、今ほどシステムとしての研究が求められていなかったという理由もあるが、それ以上にシステムの分析にはその分野の固有技術に関する知見が必要という困難さがある。幸い筆者は自動車の電子制御システム開発を専門としているため、この意味での困難さは少ない。

続いて、本研究ではシステムの複雑性の影響を調査するが、そもそもシステムの複雑性の定義や定量化方法に関する定説は存在していない。システムの複雑性は、電子制御開発の方法論を研究する分野でも主要な論点の一つであるが、具体的な定量化方法は定まっていない。本研究においては、厳密に定義することは狙わず、後で述べる便宜的な定義に留める。但し、他の要素との意味的な干渉を防ぐために、純技術的な観点から定義し、定量化する。

三つ目の課題は、複数の目的変数の相互作用にある。単純に回帰分析した結果が正しいとは限らない問題を扱うことになる。これに関しては、後ほど具体的に述べるが、同時方程式を解くことで相互作用のある複数の目的変数を持つモデルを推定するアプローチを取る。

2. 研究の手法

分析のフレームワークは取引コスト経済学とする。即ち、垂直統合と資産特殊性の関係を骨格に置きながら、システム複雑性の影響を調べるための新たな因子を加えた仮説を導き出す。導出した仮説を検証する方法として、自動車車載システムの技術的な側面と取引状況を客観的なデータを基に定量化を行う。そして、定量化された各因子間の関係を統計手法を用いて分析し、仮説を検証していく。最後に、特定の車載システムでの事例を具体的に分析することで、定量的な検証結果の妥当性についても考察を加える。

3. 検討すべき影響因子の設定

本研究の主眼は、企業の意思決定に指針を与えることにある。従って、モデルで扱う変数を決める上で、企業が意思決定する因子を目的変数、企業が意思決定の際に用いる情報を説明変数とする。

まず、目的変数は次の2つである。

- 垂直統合度（システムレベルでの垂直統合度）
取引コストを決定する要素のうち、企業が意思決定をしなければならない最も重要なものが内外製の意思決定、即ち垂直統合度の設定である。
- 研究開発投資
取引コストとともに企業が重視するものは生産コストである。本研究では、研究開発を主たる対象としていることから、生産コストとは研究開発投資のことになる。

垂直統合度と研究開発投資には密接な関係があると考えられるため、垂直統合度の説明に研究開発投資が必要であり、逆に研究開発投資の説明に垂直統合度が必要となっている。従って、分析においては、この2つの変数は目的変数でありながら、説明変数としても扱う。

次に、説明変数とする因子は下記の3つとする。

- システム複雑性
ここでいうシステム複雑性とは、車載システムが持っている複雑性を技術的な観点で評価したものであり、システムの技術的属性と言える。
- 業界内ポジション
ここでいう業界内ポジションとは、対象とする企業の業界内での相対的な強さを財務的な観点で評価したものであり、企業の経営的属性と言える。
- 資産特殊性（システムレベルでの資産特殊性）
ここでいう資産特殊性とは、分析単位をシステムとした場合の資産特殊性のことであり、システムの経営的属性と言える。

4. 仮説の導出

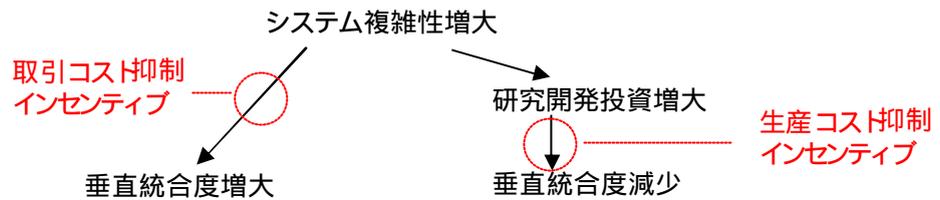
本研究で取り扱う因子は先に述べた通り、垂直統合度、研究開発投資、システム複雑性、業界内ポジション、資産特殊性の5つであり、モデルの一般形を図示すると図1となる。

図1 仮説の一般形



そして、本研究で最も注目するのが、システム複雑性と垂直統合度の関係である。両者の関係には2つの見方ができる。一つは、システムが複雑になると取引コスト抑制の観点から垂直統合が進むという見方であり、もう一つは生産コスト抑制のため、垂直分業が進むという見方である。(図2参照)

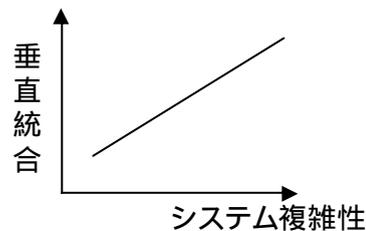
図2 垂直統合に関する2種類のインセンティブ



システムが複雑になると必然的に部品点数が増え、同じ垂直統合度だと取引先が増えることになる。相互作用がある部品間で取引先が違くと調整業務が増えるため、これを抑制するため垂直統合が進むというのが前者の捉え方である。一方、システムが複雑になると当然研究開発投資が高まることになる。その場合、企業としては生産コストに相当する研究開発投資を抑制したいと考え、専門部品メーカーに任せる、即ち垂直統合度を低下させることも考えられる。

このように2つの違った見方ができるが、筆者は取引コスト抑制インセンティブの方が強く、「システム複雑性が高まると垂直統合度も高まる」という仮説を立てる。(図3参照)

図3 システム複雑性と垂直統合度の関係に関する仮説



以上が主たる仮説であるが、その他の説明変数と目的変数の関係についても下記のような仮説を立てる。

[補助仮説]

システム複雑性と研究開発投資の関係

先にも述べたが、システムが複雑だと研究開発投資は当然増大すると考えられる。

業界内ポジションと垂直統合度、研究開発投資の関係

規模が大きく資金力が優れた企業は垂直統合度が高いと考えられる。ホールドアップ問題のため部品メーカーが過小投資となることを嫌って、垂直統合を進めるインセンティブが働くのは企業規模によらないが、規模が小さい企業の場合そ

の資金的な限界の面と規模の経済に基づく生産コスト抑制が困難になるという面があるため、垂直統合度は低くなると考えられる。

同様に、企業規模と研究開発投資の間には正の相関があると考えられる。

資産特殊性と垂直統合度、研究開発投資の関係

先行研究では、部品単位ではあるが資産特殊性と垂直統合度の関係が述べられており、資産特殊性が高いと垂直統合度が高くなると結論づけている。本研究では分析単位が部品ではなくシステムではあるが、同様の結果となることが予想される。また、資産特殊性が高い場合は、汎用品の購入でないということから、研究開発投資も多くなると予想される。

研究開発投資と垂直統合度の関係

垂直統合度を高くすることは即ち内製化比率を上げることになるため、研究開発投資が増加すると考えられる。逆に研究開発投資が増えた場合、垂直統合度を上げるかという点必ずしもそうはならない。何故なら、研究開発投資の増加を抑制するように、垂直分業を推進するインセンティブが発生するためである。しかし、今回の分析において因果関係までの分析はできないことから、結果としては研究開発投資が増えた場合、垂直統合度も高くなるという結果になると予測する。

IV. 実証分析

1. 調査対象

この 10 年間で開発が本格化もしくは普及が進んだ自動車車載システムを調査対象とする。具体的には、2007 年 5 月に発行された「自動車技術この 10 年」で取りあげられている技術から下記の 18 システムを選定した。

- HEV(ハイブリッドカー)
- FCEV(燃料電池車)
- EV(電気自動車)
- アイドルストップ
- 直噴ガソリンエンジン
- コモンレールディーゼルエンジン
- 無段変速機
- オートクルーズ
- ACCS(自動追従型オートクルーズ)
- PCS(プリクラッシュセーフティシステム)
- ABS(アンチロックブレーキ)
- 統合運動制御
- 駐車支援システム
- レーンキープサポートシステム
- エアバッグ
- ディスチャージヘッドランプ
- AFS (アダプティブフロントライティングシステム)
- カーナビゲーション

車載システムという観点で抽出しているため、材料技術やシミュレーションなどの開発技術は対象から外している。この 18 システムは、全て電子制御もしくは電子回路を必要とするシステムとなっており、昨今の自動車技術の発展は、材料技術やシミュレーションを除けば電子制御技術の占めている割合が極めて高いことを示している。

2. 調査方法

システム複雑性

システムの複雑性を捉える際に、機能面での複雑性と難易度がもたらす複雑性に分けて捉えることができる。

機能面での複雑性：

今回扱っているシステムは全て電子制御システムであるため、電子制御システムの複雑性を計測することで、システムの複雑性を定量化する。電子制御システムの複雑性は、ハードウェア的な複雑性とソフトウェア的な複雑性に分けることができ、前者は電子制御システムが持つ入出力の数で表すことにする。具体的には、電子制御システムにはシステム図というものがあり、それに記載された入出力の数とした。但し、センサやアクチュエータは複数の入出力で一つの機能を果たすものもあるが、その場合は一つとして集計した。なお、量産

車に採用されている場合、システム図は新型車解説書など公表された資料を元
にしている。まだ量産されていないシステムに関しては、公表された論文や類
似システムを元に筆者が推定した。一方、ソフトウェア的な複雑性はシステム
が持っている機能の数で定量化する。機能の数の計測は、機能ブロック図が公
表されているシステムに関しては、そのブロックの数で計測した。量産車の場
合、機能ブロック図が公表されていない場合においても、機能を説明した解説
書があるため、その説明書から筆者が機能の数を推定した。量産されていない
システムに関しては、公表された論文や類似システムを元に筆者が推定した。
機能面での複雑性としては、ハードウェア的な複雑性とソフトウェア的な複雑
性の和で表すことにする。

難易度がもたらす複雑性：

最適化の要求レベルが高い場合、機能面での複雑性が同等でも開発業務の複
雑性は大幅に増大する。システムへの最適化要求レベルが低い場合はサブシ
ステムや部品開発はモジュラー型の開発で遂行することが可能となるのに対し、
最適化要求レベル高い場合はインテグラル型の開発が必要となる。インテグラ
ル型の開発とは、サブシステムもしくは部品間の相互作用を考え、多くの関係
者間で調整しながら全体最適を目指す開発である。個別最適と比較すると、開
発に要するリソースは大幅に増大する。車載システムにおいて最適化の要求レ
ベルが特に高くなる要素は次の3つである。

・排ガスへの影響

現在の排ガス規制は大変厳しく、高度な最適化が要求される。エンジン制
御の場合、1万を越える調整要素があり、それを膨大な実験データを元に
最適化する業務を行っている。この工程はキャリブレーションと呼ばれて
いるが、一つのエンジンで、かつ一つの試作段階であっても数ヶ月を要す
る。

・機能安全の必要性（システム故障時の安全性の確保など）

言うまでもなく、自動車は命を乗せて走っている。従って、万が一故障し
た場合でも、危険な状態にならないことが厳しく求められる。一方で、自
動車は本質的に安全なものではない。ハンドル、ブレーキ、アクセルに関
わるような機能が失われたら、危険な状態に陥る乗り物である。ちなみに、
鉄道、航空機を含めて高速輸送機械で『本質安全』と言えるものは存在し
ない。このように『本質安全』が確保できないシステムにおいて、安全性
を確保することを『機能安全』と呼ぶ。実際のシステム設計においては、
個々の部品がどのように故障しても危険な状態にならないように設計し、
そしてそれを検証していくのである。この検証作業に膨大な手間を必要と
する。

・搭載の難易度（エンジンルーム、それ以外の2種類）

もう一つの自動車の開発の難しさはレイアウトである。限られた空間に、
しかも機能を満足しながらレイアウトを決めていく作業は、擦り合わせそ
のものである。特に、新しいシステムを搭載する場合、その搭載空間を確

保するために、既存のシステムを含めたレイアウトの総見直しが必要となる。

これらの3つの要素については、加点することで複雑性を定量化した。なお、最終的な定量化値は、最も複雑なシステムである HEV での指標で割ることで、0 ~ 1 に正規化する。

$$complexity = \frac{ncomplexity}{ncomplexity_max}$$

$$ncomplexity = (nio + nfunc + kem + ksafety + klayout1 + klayout2)$$

complexity: システム複雑性 (0 ~ 1)

ncomplexity: システム複雑性集計値

ncomplexity_max: システム複雑性集計値最大値

nio: 入出力数

nfunc: 機能ブロック数

kem: 排ガス規制対応可加算値(対応要 20, 対応不要 0)

ksafety: 安全規制対応可加算値(対応要 20, 対応不要 0)

klayout1: 搭載難易度加算値[エンジンルーム] (難 20, 容易 0)

klayout2: 搭載難易度加算値 [車室内] (難 20, 容易 0)

結果を表 1 に示す。

表 1 システム複雑性の定量化結果

システム名	I/O数	機能 ブロック数	排ガス	機能安全	搭載 (エンジンルーム)	搭載 (その他)	総合的な 複雑性	0~1へ 正規化
	<i>nio</i>	<i>nfunc</i>	<i>kem</i>	<i>ksafety</i>	<i>klayout1</i>	<i>klayout2</i>	<i>ncomplexity</i>	<i>complexity</i>
ハイブリッドカー (HEV)	97	66	20	20	20	20	243	1.00
燃料電池	67	39	20	20	20	20	186	0.77
電気自動車	53	29	20	20	20	20	162	0.67
アイドルストップ	21	19	20				60	0.25
直噴ガリソンエンジン	44	37	20				101	0.42
ディーゼルエンジン	42	28	20		20		110	0.45
無段変速機	17	12		20			49	0.20
オートクルーズ	9	3		20			32	0.13
ACCS	33	5		20		20	78	0.32
プリクラッシュセーフティシステム	28	10		20		20	78	0.32
ABS	8	4		20			32	0.13
統合運動制御	17	15		20			52	0.21
駐車支援システム	9	4		20			33	0.14
レーンキープサポートシステム	22	14		20		20	76	0.31
エアバッグ	14	2		20		20	56	0.23
ディスチャージヘッドランプ	4	1					5	0.02
AFS (アダプティブフロントライティングシステム)	11	2					13	0.05
カーナビゲーション	16	9					25	0.10

斜体字：筆者による推計値

業界内ポジション

業界内のポジションは、垂直統合度や研究開発投資に影響する各企業の属性を示すものである。属性の候補としては、規模を示す売上高、収益性を示す営業利益、安定性を示す債権格付など様々な指標が考えられるが、ここでは、規模を示す売上高を採用した。垂直統合や研究開発投資は固定費に相当するが、これは規

模による要素が強いと考えたからである。ちなみに、今回調査対象とした日本の自動車メーカー5社に関しては、規模、収益、債権格付の相関が強いため、どの指標も用いても結果に大きな違いはない。

最終的に定量化した値は、最も売上高の高いトヨタ自動車の値で割ることで、0~1 に正規化する。

$$position = \frac{revenue}{revenue_max}$$

revenue: 売上高(2005~2007年度 3年間平均)

revenue_max: *revenue* の最大値

結果を表2に示す。

表2 業界内ポジションの定量化結果

自動車メーカー	2005年度(兆円)	2006年度(兆円)	2007年度(兆円)	3年平均(兆円)	相対値
トヨタ自動車	21.037	23.948	26.289	23.758	1.00
日産自動車	9.428	10.468	10.824	10.240	0.43
本田技研工業	9.908	11.087	12.002	10.999	0.46
マツダ	2.919	3.247	3.475	3.214	0.14
三菱自動車	2.120	2.202	2.682	2.335	0.10

資産特殊性

本研究で議論するのはシステムレベルでの資産特殊性である。この定量化に当たって、次の仮定を置いた。

- システムレベルの資産特殊性は、部品レベルの資産特殊性によって決まる。ここでは、システムが用いている主要部品における資産特殊性の平均値をシステムレベルの資産特殊性とする。
- 部品レベルの資産特殊性は、自動車メーカーと部品メーカーの関係特殊性で図ることができるとする。なお、Monteverde & Teece(1982)は、北米の自動車業界において、部品レベルにおいて調査しており、自動車メーカーと部品メーカーの取引の特殊性が高いと部品メーカーのスイッチングコストは高くなると結論付けている。
- 部品レベルの関係特殊性については、自動車メーカーと部品メーカーの取引関係から下記の式で算出する。

$$a_spec = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{Noem} + \frac{1}{Nsup} \right\}$$

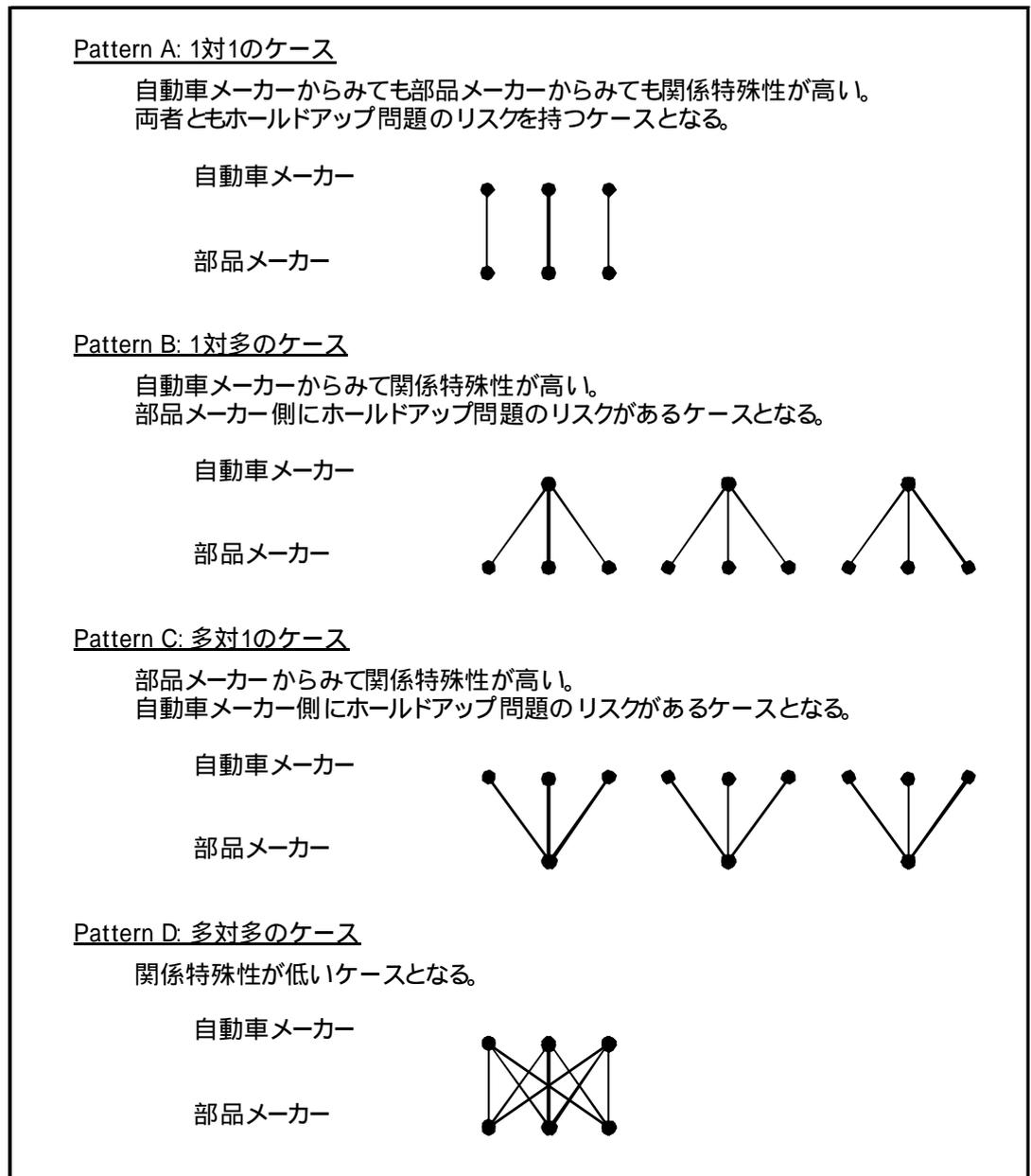
a_spec: 関係特殊性

Noem: 1部品メーカー当たり平均カーメーカー数

Nsup: 1カーメーカー当たり平均部品メーカー数

関係特殊性には自動車メーカーからみた場合と部品メーカーからみた場合がある。そのパターンとしては図4の4つのパターンが想定される。

図4 自動車メーカーと部品メーカーの取引関係のパターン



取引関係については調査機関の調査結果を元にした。 a_{spec} は、完全に1対1の取引となる場合が1、無限に取引先がある場合が0となる指標としたものである。表3は、今回の調査対象となるシステムの主要部品に関する調査結果である。

表3 部品レベルでの関係特殊性

	<i>Noem</i>	<i>Nsup</i>	<i>a_spec</i>
電動フューエルポンプ	3.80	2.38	0.34
DPF	4.00	2.00	0.38
インジェクター	2.71	2.38	0.39
VVTアクチュエータ	2.50	1.88	0.47
スロットルボディ	2.67	2.00	0.44
コモンレール燃料噴射装置	5.00	1.50	0.43
触媒コンバーター	2.00	2.18	0.48
ターボチャージャー	4.40	2.00	0.36
ヘッドランプ	5.00	2.73	0.28
H Dヘッドランプ	5.25	1.91	0.36
カーオーディオ	2.85	3.36	0.32
カーエアコン	3.00	2.18	0.40
エアフローメーター	3.33	1.67	0.45
車輪速度センサー	4.50	2.70	0.30
超音波センサー	1.75	1.40	0.64
ヨーレートセンサー	1.00	2.00	0.75
エンジンコントロールユニット	2.38	2.38	0.42
ディーゼルエンジン用コントロールユニット	4.67	1.56	0.43
電子制御AT/CVT (ECU)	2.50	1.88	0.47
電子制御サスペンション	1.00	2.00	0.75
ABS用 ECU・HU	3.78	3.09	0.29
TCS& VSC ECU	2.83	1.70	0.47
EPSコントローラー	2.75	1.38	0.55
エアバッグモジュール	4.43	2.82	0.29
コーナー & バックソナー ECU	1.33	1.33	0.75
クルーズコントロールシステム	3.00	1.64	0.47
ナビゲーションシステム	1.64	2.25	0.53
ハイブリッドコントロールコンピュータ	1.00	1.00	1.00
車載用カメラ	3.14	2.00	0.41
車間距離レーダー	1.57	1.22	0.73
HEV用バッテリー	1.50	1.00	0.83
CVT	2.00	1.14	0.69
電動パワーステアリング	3.40	2.13	0.38
電動4WD	1.50	1.00	0.83
トルクコンバータ	3.78	3.09	0.29
電動プリテンショナー	1.50	1.00	0.83

(情報元)

・「2007年版 主要自動車部品255品目の国内における納入マトリックスの現状分析」

総合技術株式会社

・「自動車部品200品目の生産流通調査 2005年度版」 株式会社 アイアールシー

以上が部品レベルでの資産特殊性の定量化であり、この情報を元にシステムレベルでの資産特殊性の定量化に移る。システムは様々な部品から構成されている。本来は全ての部品に関し、資産特殊性を算出し、さらに個々の部品がシステム全体に与える影響度を割り出して加重平均を取ることが理想であるが、情報入手の

困難性を含めて現実的には算出ができないこと、および寄与度の小さい部品を除外しても結果に与える影響が小さいことから、主要部品・主要サブシステムに限定して集計作業を行った。集計結果を表4に示す。なお、取引関係の情報を入手することができなかった部品に関しては類似部品の垂直統合度を使用した。

表4 システムレベルでの資産特殊性

	主要部品・サブシステム							単純加算値	主要部品数	平均値
ハイブリッドカー (HEV)	モータ	インバータ	電池	エンジン	変速機	ブレーキ	制御システム	5.99	7	0.86
	1		1	0.83	1	0.69	0.47			
燃料電池車	FCスタック	水素タンク	モータ	インバータ	二次電池	ブレーキ	制御システム	5.9	7	0.84
	0.8	0.8	1	1	0.83	0.47	1			
電気自動車	電池	充電装置	モータ	インバータ	ブレーキ	空調システム	制御システム	5.53	7	0.79
	0.83	0.83	1	1	0.47	0.4	1			
アイドリストップ	エンジン本体	始動装置	電池	制御システム				3.29	4	0.82
直噴ガリソンエンジン	エンジン本体	噴射システム	後処理システム	制御システム				2.4	4	0.60
	1	0.5	0.48	0.42						
ディーゼルエンジン	エンジン本体	過給システム	噴射システム	後処理システム	制御システム			3.17	5	0.63
	1	0.36	0.43	0.38	1					
無段変速機	発進装置	ベルト	変速システム	制御システム				1.88	4	0.47
	0.29	0.56	0.56	0.47						
オートクルーズ	スロットル	制御システム						0.91	2	0.46
	0.44	0.47								
ACCS	車間距離センサ	ブレーキ	制御システム					2.2	3	0.73
	0.73	0.47	1							
プリクラッシュセーフティシステム	障害物検知	ブレーキ	エアバッグ	シートベルト	制御システム			3	5	0.60
	0.41	0.47	0.29	0.83	1					
ABS	機構系	油圧系	電子制御系					0.87	3	0.29
	0.29	0.29	0.29							
統合運動制御	ブレーキ	駆動系	ステアリング	制御システム				1.79	4	0.45
	0.47	0.47	0.38	0.47						
駐車支援システム	画像認識	超音波センサ	ステアリング	ブレーキ	制御システム			2.9	5	0.58
	0.41	0.64	0.38	0.47	1					
レーンキープサポートシステム	画像認識	ヨーレートセンサ	車間距離センサ	ステアリング	制御システム			3.27	5	0.65
	0.41	0.75	0.73	0.38	1					
エアバッグ	エアバッグモジュール							0.29	1	0.29
ディスチャージヘッドランプ	HIDシステム							0.36	1	0.36
	0.36									
AFS (アダプティブフロントライティングシステム)	ヘッドライト	制御ユニット						0.56	2	0.28
	0.28	0.28								
カーナビゲーション	カーナビ							0.53	1	0.53

垂直統合度

資産特殊性と同様、部品レベルでの垂直統合度を元にシステムレベルでの垂直統合度を算出する。部品レベルでの垂直統合度は、内製の場合を2、系列企業からの調達を1、系列外からの調達を0とした。部品レベルの垂直統合度の平均をシステムレベルの平均とした。なお、他の説明変数、目的変数と同様、0~1となるように正規化も行っている。

$$v_int = \frac{\sum_{i=1}^{Nparts} v_int_parts(i)}{2 * Nparts}$$

v_int : 垂直統合度 (システムレベル) (0 ~ 1)

$Nparts$: 主要部品数

v_int_parts : 部品単位での垂直統合度

2 : 内製, 1 : 系列企業からの調達, 0 : 系列外からの調達

集計結果を表5に示す。また、元となる部品レベルの垂直統合度の値は付録Aに示す。

表5 システムレベルでの垂直統合度

システム名	トヨタ	日産	ホンダ	マツダ	三菱自
ハイブリッドカー (HEV)	0.79	0.50	0.71	0.14	-
燃料電池車	0.79	0.57	0.64	-	-
電気自動車	0.50	-	-	-	0.14
アイドルストップ	0.88	-	-	-	-
直噴ガリソンエンジン	0.63	-	0.63	0.50	-
ディーゼルエンジン	0.40	0.20	0.40	0.20	0.20
無段変速機	0.88	0.38	1.00	0.00	0.00
オートクルーズ	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00
ACCS	0.50	0.50	0.50	0.00	-
プリクラッシュセーフティシステム	0.50	0.30	0.30	0.00	-
ABS	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00
統合運動制御	0.63	0.50	0.75	0.50	-
駐車支援システム	0.40	-	0.30	0.00	0.00
レーンキープサポートシステム	0.40	0.10	0.40	-	-
エアバッグ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ディスチャージヘッドランプ	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
AFS	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
カーナビゲーション	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00

技術開発投資

本研究は生産ではなく、研究開発に焦点を当てている。研究開発には、研究段階と商品開発段階がある。システム毎の研究開発投資が公開されていないため、公開された情報から、研究開発投資を推定する。まず、研究段階の投資は公開特許数で指標化することにした。公開特許数は、投資ではなく投資の結果であるが、公開された情報の中で研究開発投資との相関が最も高いと考えたからである。続いて、商品開発段階でのアウトプットは開発された商品そのものであり、特許ではない。しかし、特許が数多く出願されるシステムにおいては、商品開発にも多くのリソースが必要である。また、商品開発段階ではシステムの派生数が開発リソースに大きく影響する。以上のことから、商品開発段階での投資は、公開特許数×搭載システム種類数で指標化することにした。従って、研究開発および商品開発段階での投資の和を指標化したものは、公開特許数×(1+搭載種類数)となる。なお、以後分析に使用する開発投資指標は最大値で割ることで0~1に正規化したものである。

$$investment = \frac{patentrd}{npatentrd_max}$$
$$patentrd = patent * (1 + variation)$$

investment: 研究開発投資 (0 ~ 1)

patentrd: 特許から推定した研究開発投資

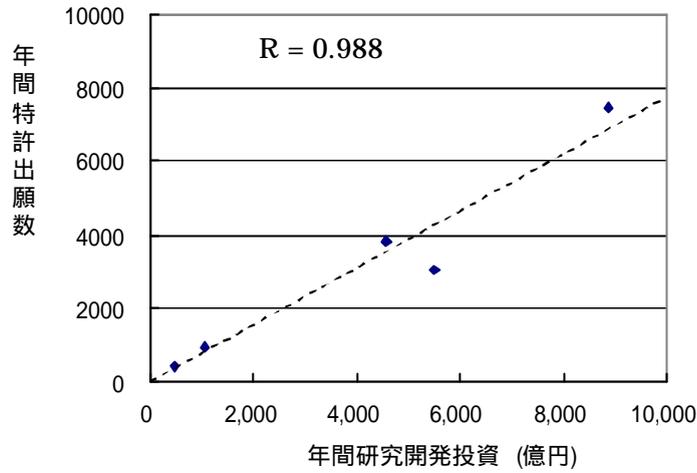
patentrd_max: *patentrd* の最大値

patent: 特許出願数

variations: システム種類数

なお、メーカー毎の特許出願数と研究開発費の関係は図5となり、極めて相関が強く、公開特許数で研究開発投資の定量化を行うのは合理的と考えられる。

図5 研究開発投資と特許出願数の関係



研究開発投資は 2005～2007 年度、3年間の平均
特許出願数は 2005～2007 年、3年間の平均

集計結果をまとめたものを表 6 に、詳細を付録 B に示す。

表 6 研究開発投資の相対指標

システム名	トヨタ	日産	ホンダ	マツダ	三菱自
ハイブリッドカー (HEV)	0.99	0.43	0.37	0.04	0.03
燃料電池車	0.80	0.75	0.51	0.00	0.00
電気自動車	0.04	0.08	0.02	0.00	0.04
アイドルストップ	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
直噴ガリソンエンジン	0.64	0.12	0.02	0.13	0.03
ディーゼルエンジン	0.83	0.27	0.02	0.26	0.14
無段変速機	1.00	0.95	0.39	0.05	0.07
オートクルーズ	0.05	0.09	0.06	0.01	0.02
ACCS	0.19	0.39	0.07	0.03	0.04
プリクラッシュセーフティシステム	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00
ABS	0.06	0.05	0.05	0.01	0.01
統合運動制御	0.12	0.07	0.03	0.04	0.00
駐車支援システム	0.05	0.01	0.01	0.00	0.01
レーンキープサポートシステム	0.06	0.05	0.05	0.00	0.00
エアバッグ	0.51	0.17	0.27	0.18	0.07
ディスチャージヘッドランプ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AFS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
カーナビゲーション	0.03	0.03	0.01	0.01	0.00

3. 調査結果

以上の定量化方法に基き、定量化したものが表7である。

表7 説明変数と目的変数の定量化結果

システム名	自動車メーカー	システム複雑性	説明変数			目的変数	
			業界内ポジション	資産特殊性	垂直統合度	研究開発投資	
HEV	トヨタ自動車	1.00	1.00	0.86	0.79	0.99	
HEV	日産自動車	1.00	0.43	0.86	0.50	0.43	
HEV	本田技研工業	1.00	0.46	0.86	0.71	0.37	
HEV	マツダ	1.00	0.14	0.86	0.14	0.04	
燃料電池車	トヨタ自動車	0.77	1.00	0.84	0.79	0.80	
燃料電池車	日産自動車	0.77	0.43	0.84	0.57	0.75	
燃料電池車	本田技研工業	0.77	0.46	0.84	0.64	0.51	
電気自動車	トヨタ自動車	0.67	1.00	0.79	0.50	0.04	
電気自動車	三菱自動車	0.67	0.10	0.79	0.14	0.04	
アイドリングストップ	トヨタ自動車	0.25	1.00	0.82	0.88	0.00	
直噴ガリソンエンジン	トヨタ自動車	0.42	1.00	0.60	0.63	0.64	
直噴ガリソンエンジン	本田技研工業	0.42	0.46	0.60	0.63	0.02	
直噴ガリソンエンジン	マツダ	0.42	0.14	0.60	0.50	0.13	
ディーゼルエンジン	トヨタ自動車	0.45	1.00	0.63	0.40	0.83	
ディーゼルエンジン	日産自動車	0.45	0.43	0.63	0.20	0.27	
ディーゼルエンジン	本田技研工業	0.45	0.46	0.63	0.40	0.02	
ディーゼルエンジン	マツダ	0.45	0.14	0.63	0.20	0.26	
ディーゼルエンジン	三菱自動車	0.45	0.10	0.63	0.20	0.14	
無段変速機	トヨタ自動車	0.20	1.00	0.47	0.88	1.00	
無段変速機	日産自動車	0.20	0.43	0.47	0.38	0.95	
無段変速機	本田技研工業	0.20	0.46	0.47	1.00	0.39	
無段変速機	マツダ	0.20	0.14	0.47	0.00	0.05	
無段変速機	三菱自動車	0.20	0.10	0.47	0.00	0.07	
オートクルーズ	トヨタ自動車	0.13	1.00	0.46	0.50	0.05	
オートクルーズ	日産自動車	0.13	0.43	0.46	0.00	0.09	
オートクルーズ	本田技研工業	0.13	0.46	0.46	0.50	0.06	
オートクルーズ	マツダ	0.13	0.14	0.46	0.00	0.01	
オートクルーズ	三菱自動車	0.13	0.10	0.46	0.00	0.02	
ACCS	トヨタ自動車	0.32	1.00	0.73	0.50	0.19	
ACCS	日産自動車	0.32	0.43	0.73	0.50	0.39	
ACCS	本田技研工業	0.32	0.46	0.73	0.50	0.07	
ACCS	マツダ	0.32	0.14	0.73	0.00	0.03	
ブリクラッシュセーフティシステム	トヨタ自動車	0.32	1.00	0.60	0.50	0.04	
ブリクラッシュセーフティシステム	日産自動車	0.32	0.43	0.60	0.30	0.02	
ブリクラッシュセーフティシステム	本田技研工業	0.32	0.46	0.60	0.30	0.01	
ブリクラッシュセーフティシステム	マツダ	0.32	0.14	0.60	0.00	0.01	
ABS	トヨタ自動車	0.21	1.00	0.29	0.50	0.06	
ABS	日産自動車	0.21	0.43	0.29	0.00	0.05	
ABS	本田技研工業	0.21	0.46	0.29	0.50	0.05	
ABS	マツダ	0.21	0.14	0.29	0.00	0.01	
ABS	三菱自動車	0.21	0.10	0.29	0.00	0.01	
統合運動制御	トヨタ自動車	0.21	1.00	0.45	0.63	0.12	
統合運動制御	日産自動車	0.21	0.43	0.45	0.50	0.07	
統合運動制御	本田技研工業	0.21	0.46	0.45	0.75	0.03	
統合運動制御	マツダ	0.21	0.14	0.45	0.50	0.04	
駐車支援システム	トヨタ自動車	0.14	1.00	0.58	0.40	0.05	
駐車支援システム	本田技研工業	0.14	0.46	0.58	0.30	0.01	
駐車支援システム	マツダ	0.14	0.14	0.58	0.00	0.00	
駐車支援システム	三菱自動車	0.14	0.10	0.58	0.00	0.01	
レーンキープサポートシステム	トヨタ自動車	0.31	1.00	0.65	0.40	0.06	
レーンキープサポートシステム	日産自動車	0.31	0.43	0.65	0.10	0.05	
レーンキープサポートシステム	本田技研工業	0.31	0.46	0.65	0.40	0.05	
エアバッグ	トヨタ自動車	0.23	1.00	0.29	0.00	0.51	
エアバッグ	日産自動車	0.23	0.43	0.29	0.00	0.17	
エアバッグ	本田技研工業	0.23	0.46	0.29	0.00	0.27	
エアバッグ	マツダ	0.23	0.14	0.29	0.00	0.18	
エアバッグ	三菱自動車	0.23	0.10	0.29	0.00	0.07	
ディスプレイヘッドランプ	トヨタ自動車	0.02	1.00	0.36	0.50	0.00	
ディスプレイヘッドランプ	日産自動車	0.02	0.43	0.36	0.00	0.00	
ディスプレイヘッドランプ	本田技研工業	0.02	0.46	0.36	0.00	0.00	
ディスプレイヘッドランプ	マツダ	0.02	0.14	0.36	0.00	0.00	
ディスプレイヘッドランプ	三菱自動車	0.02	0.10	0.36	0.00	0.00	
AFS(ワダブレイブフロントライティングシステム)	トヨタ自動車	0.05	1.00	0.28	0.50	0.00	
AFS(ワダブレイブフロントライティングシステム)	日産自動車	0.05	0.43	0.28	0.00	0.00	
AFS(ワダブレイブフロントライティングシステム)	本田技研工業	0.05	0.46	0.28	0.00	0.00	
AFS(ワダブレイブフロントライティングシステム)	マツダ	0.05	0.14	0.28	0.00	0.00	
AFS(ワダブレイブフロントライティングシステム)	三菱自動車	0.05	0.10	0.28	0.00	0.01	
カーナビゲーション	トヨタ自動車	0.10	1.00	0.53	0.50	0.03	
カーナビゲーション	日産自動車	0.10	0.43	0.53	0.00	0.03	
カーナビゲーション	本田技研工業	0.10	0.46	0.53	0.00	0.01	
カーナビゲーション	マツダ	0.10	0.14	0.53	0.00	0.01	
カーナビゲーション	三菱自動車	0.10	0.10	0.53	0.00	0.00	

4. 分析結果

TOBIT による回帰分析

垂直統合度および研究開発投資を、システム複雑性、業界内ポジション、資産特殊性で回帰分析した。システム複雑性がシステムの技術的観点での属性であるのに対し、資産特殊性はシステムの経営的観点での属性となる。また、業界内ポジションは企業の属性を示したものとなる。

$$v_int = f(complexity, position, a_spec)$$

$$investment = g(complexity, position, a_spec)$$

結果を表 8 に示す。

表 8 垂直統合度、研究開発投資とシステム複雑性、業界内ポジション、資産特殊性の関係

目的変数		<i>v_int</i> 垂直統合度	<i>investment</i> 研究開発投資
説明 変数	<i>C</i> 定数	-0.590*** (0.160)	-0.02 (0.093)
	<i>complexity</i> システム複雑性	0.276 (0.238)	0.667*** (0.164)
	<i>position</i> 業界内ポジション	0.702*** (0.115)	0.251*** (0.077)
	<i>a_spec</i> 資産特殊性	0.675** (0.344)	-0.260 (0.223)

標本数 N = 72, * P<0.1, ** P<0.05, ***<P0.01

垂直統合度に関しては、業界内ポジションおよび資産特殊性との相関が強く出ている。業界内ポジションについて言うと、規模が大きい企業は垂直統合を進めているのに対し、規模が小さい会社は調達を重視していることを示している。資産特殊性については、資産特殊性が高ければ、垂直統合度が高いという結果である。システム複雑性に関しては、「システム複雑性が高まると垂直統合度も高まる」とは言えないという結果となった。

一方、研究開発投資については、システム複雑性と業界内ポジションと強い相関が出た。システムが複雑になれば、研究開発投資が大きくなるのは、技術的な観点からも当然の結果である。また、業界内のポジションによって研究開発への投資全体が変わるのであるから、必然の結果とも言える。資産特殊性が高いと調達先に依存できないことから、研究開発投資は大きくなると予測したが、「資産特殊性が高いと研究開発投資が大きい」とは言えないという結果となった。但し、資産特殊性定量化方法の問題である可能性があるため、そのことを述べておく。システムレベルの資産特殊性は、部品レベルの資産特殊性の平均としているが、この定量化方法では個々の部品は汎用でもシステム構築段階で資産特殊性が高まるシステムにおいても低い値に留まるという結果となる。具体的には、エアパッ

グについては、購入部品自体は汎用品になりつつあるが、ボディ自体が自動車メーカー固有のものであることや衝突時の乗員保護性能という観点では自動車メーカー自体の主要な業務であることから、研究開発投資は大きくなっている。今回の定量化方法はこのような問題を抱えている。

2次での重回帰分析

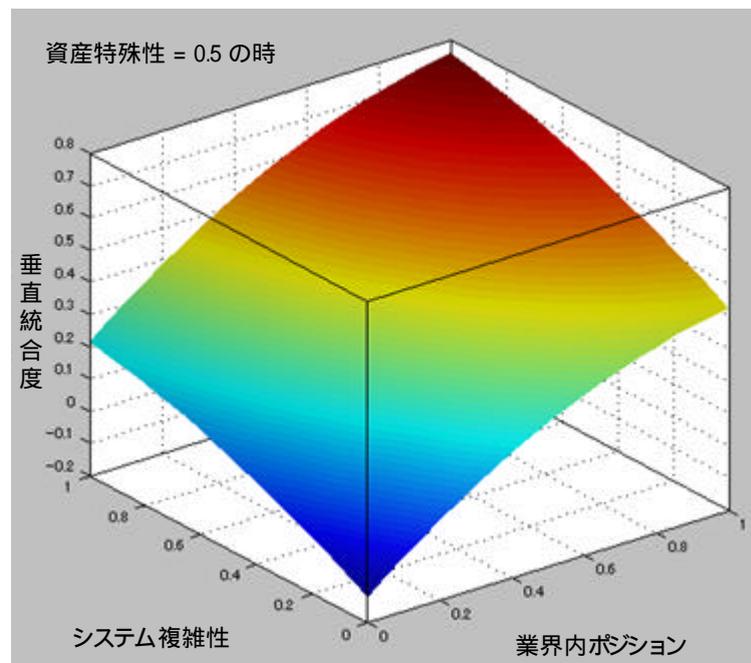
ここでは、TOBIT での回帰分析と同じ目的変数、説明変数において、2次での重回帰分析を行った。目的は、非線形性の確認である。非線形性が強い特性を示す場合に線形を前提した回帰分析を行うと間違った結果をもたらすため、確認の意味で実施した。

$$v_int = f2(\text{complexity}, \text{position}, a_spec)$$
$$investment = g2(\text{complexity}, \text{position}, a_spec)$$

$f2, g2$ ともに、 $\text{complexity}, \text{position}, a_spec$ の2次多項式である。

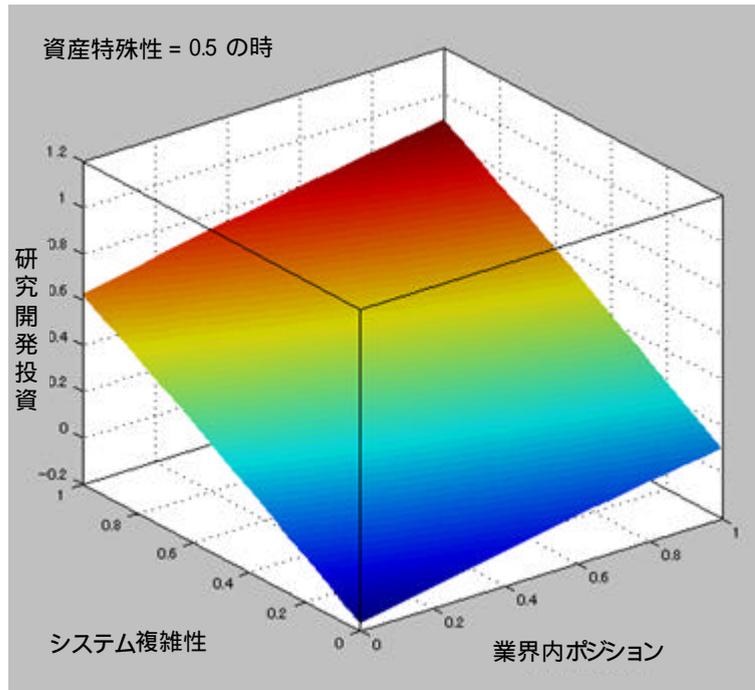
図6が垂直統合度に関する分析結果となる。この図を見ると非線形性は強くないことが分かる。少なくとも、説明変数と目的変数の関係は単調増加となっている。なお、この図は資産特殊性が0.5の時のシステム複雑性、業界内ポジションと垂直統合度の関係であるが、資産特殊性が別の値の場合でも同様の関係となり、非線形性は強くない。

図6 垂直統合度とシステム複雑性、業界内ポジション、資産特殊性の関係



続いて、研究開発投資に関して分析したものが図7である。こちらは更に非線形性が弱いことがわかる。以上のことから、今回調査した対象は非線形性が弱いことから、1次と想定して実施した TOBIT での分析に問題がないと言える。

図7 研究開発投資とシステム複雑性、業界内ポジション、資産特殊性の関係



完全情報最尤推定(FIML)による分析

、 では、目的変数を垂直統合度と研究開発投資、説明変数をシステム複雑性、業界内ポジション、資産特殊性とした。しかし、実際には、垂直統合度と研究開発投資は相互に関係があるため、企業はそれぞれ独立に意思決定するのではなく、2つの要素を考えて同時に意思決定すると考えられる。そこで、2つの同時方程式で表し、完全情報最尤法を用いてモデルを推定した。

$$\left. \begin{aligned} v_int &= a2 * position + a3 * a_spec + a4 * investment + a5 \\ investment &= b1 * complexity + b3 * a_spec + b4 * v_int + b5 \end{aligned} \right\}$$

$a2, a3, a4, a5, b1, b3, b4, b5$: パラメタ

なお、垂直統合度の推定からはシステム複雑性を外生変数から外し、研究開発投資の推定からは業界内ポジションを外した。同時方程式を解く際において、モデルの識別性を確保する必要があり、そのためにはオーダー条件を満足する必要がある。そのためには、それぞれのモデルから外生変数を一つ外す必要があった。今回は取引コスト経済学を分析のフレームワークとしているため、資産特殊性は外生変数として残した。垂直統合度の推定において、システム複雑性は相関が低いため外生変数から外した。一方、研究開発投資においては、システム複雑性を残すため業界内ポジションを外した。このモデルをブロック線図で表したものが図8である。

図8 垂直統合度、研究開発投資を決定するモデル

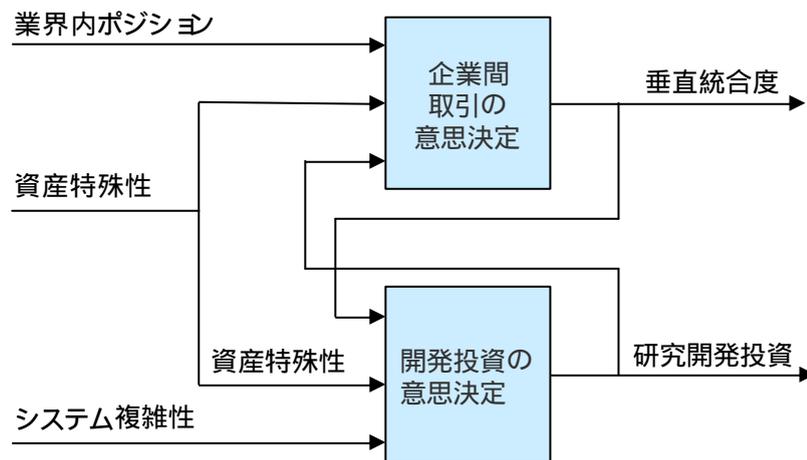


表9が、完全情報最尤法を用いて分析した結果である。

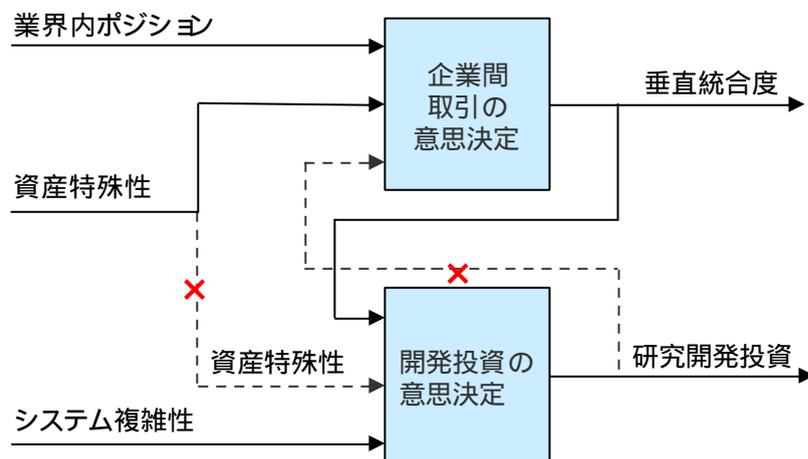
表 9 完全情報最尤法(FIML)で求めたモデルのパラメタ

目的変数		<i>v_int</i> 垂直統合度		<i>investment</i> 研究開発投資	
説明 変数	<i>complexity</i> システム複雑性			b1	0.530** (0.214)
	<i>position</i> 業界内ポジション	a2	0.404*** (0.128)		
	<i>a_spec</i> 資産特殊性	a3	0.446** (0.175)	b3	-0.454 (0.323)
	<i>position</i> 垂直統合度			b4	0.520*** (0.190)
	<i>a_spec</i> 研究開発投資	a4	0.329 (0.308)		
	定数	a5	-0.189* (0.106)	b5	-0.095 (0.137)

標本数 N = 72, * P<0.1, ** P<0.05, ***<P0.01

この結果を見ると、研究開発投資は垂直統合度によって大きな影響を受けていることが分かる。一方、垂直統合度は研究開発投資の影響を受けているとは言えない結果となっている。なお、外生変数であるシステム複雑性、業界内ポジション、資産特殊性の与える影響については、TOBIT による分析結果と齟齬は生じていない。以上の結果から、垂直統合度、研究開発投資を決定するモデルは図 9 となると言える。

図 9 垂直統合度、研究開発投資を決定するモデル（修正版）



点線に "×" があるところは、影響があると言えない。

その他の FIML モデルの可能性も検討した。今回の説明変数、目的変数の場合に、オーダー条件を満足し、適度識別性となる組合せは 6 通りほどある。その全ての組合せに関して、FIML を用いて分析した結果を示す。表 10 がその結果である。

表 10 可能性のあるモデルの検討

		システム 複雑性	業界内 ポジション	資産特殊 性	垂直統合 度	研究開発 投資	定数項	R-squared
(A)	Y1	垂直統合度						0.5344
	Y2	研究開発投資						0.3316
(B)	Y1	垂直統合度						0.1064
	Y2	研究開発投資						0.0522
(C)	Y1	垂直統合度						0.1337
	Y2	研究開発投資						0.0952
(D)	Y1	垂直統合度						0.5348
	Y2	研究開発投資						0.1120
(E)	Y1	垂直統合度						0.1190
	Y2	研究開発投資						0.3316
(F)	Y1	垂直統合度						0.0207
	Y2	研究開発投資						0.0033

(A)の組合せが先に示したモデルであり、他の組合せは全て(A)のケースより説明力が劣る。意味的にも(A)と比較し、他のモデルである(B)～(F)は説明が困難であることから、先に述べたモデルが最も優れていると判断できる。

5. 分析結果の解釈

まずは、主たる仮説である「システム複雑性が高まると垂直統合度も高まる」という仮説に関して分析結果の解釈を行う。

TOBIT による回帰分析結果は、システム複雑性が垂直統合度に与える影響は有意でないというものであった。また、FIML を用いた分析でも同様の結果となっている。2種類の分析結果は一致しており、システム複雑性が垂直統合度に与える影響は有意でないと言える。

ここでは、「システム複雑性が高まると垂直統合度も高まる」という仮説が成立しない結果となった要因を考察する。システム複雑性が増すと垂直統合度が高まる要因と、逆に低くなる要因がある。

図 10 システム複雑性と垂直統合度の関係



前者としては下記が想定される。

➤ 調整業務の最小化

システム複雑性が増すと、当然取り扱う部品数は増える。同じ垂直統合度であれば、取引する部品メーカーの数も増大する。そして特に、部品間の相互作用が強いシステムの場合、部品メーカー間の調整業務が増加することにな

る。利害が相反する場合は、自動車メーカーが調整の主導を担うことになるが、そのような場合に最適な状態に持っていくためには、多大な調整業務を必要とする。従って、その手間（費用、時間）を抑制するため、垂直統合を進めるインセンティブが働く。

➤ 付加価値の取り込み

システム複雑性が増す際に、付加価値の源泉が所定の部品となる場合がある。例えば、HEV や EV における電池がこれにあたる。自動車メーカーでは付加価値の源泉を社内留保することに努めるため、垂直統合を進めるインセンティブが働く。

逆に、システム複雑性が増すと、垂直分業が進む要因には下記のものがある。

➤ 技術の多様性

複雑なシステムほど多様な技術を必要とする。技術は一朝一夕で育成できるものでなく長い年月を必要とするため、たとえ自動車メーカーが多様な技術を保有する意思を持ったとしても、早期にシステム構築をするためには専門技術を保有する部品メーカーを活用するしか方法がない場合が多くなる。M&A で早期に垂直統合する方法もありえるが、技術によって適切なガバナンスが異なるため、容易なことではない。このような場合、垂直分業が進むと考えられる。

➤ 部品の汎用性

複雑なシステムにおいても、部品レベルでみると汎用性が高い場合も多い。例えば、車間距離センサは、技術的にはどの自動車メーカーでも使用できる。このような部品の場合は、垂直統合して取引コストを抑制するよりも、同じ部品を複数の自動車メーカーが使用することで生産量を増やし、生産コストを抑制した方が適した場合も多い。

このように、システム複雑性と垂直統合度の間には、正方向のインセンティブと負方向のインセンティブがあり、どちらの要素が強いかはシステムの種類や企業によって異なると解釈することができる。

続いて、補助仮説に関して分析結果の解釈を行う。

システム複雑性と研究開発投資の関係について

システム複雑性が高まると研究開発投資は増大しており、仮説が支持された。

業界内ポジションと垂直統合度、研究開発投資の関係について

業界内ポジションが高くなれば垂直統合度も高くなるという仮説は支持された。

業界内ポジションが高くなれば研究開発投資も増大するという仮説は TOBIT の分析で支持された。FIML での分析ではモデルの識別性確保のために説明変数に入れることができていない。総合的に考えると、業界内ポジションが高くなれば研究開発投資も増大するという仮説は支持されると判断する。

資産特殊性と垂直統合度、研究開発投資の関係について

資産特殊性が高くなれば、垂直統合度も高くなるという仮説は支持された。取引コスト経済学で一般的に言われている通りであり、資産特殊性が高い場合は、ホールドアップ問題を回避すべく垂直統合を進めているといえる。

一方、資産特殊性が高くなれば、研究開発投資も高くなるという仮説は支持されなかった。この原因を考察する。本研究では、システムの資産特殊性を論議しているが、その定量化方法は部品の資産特殊性の平均としており、システムとして構築する上で資産特殊性が高まるケースに対応できていない。これが原因で相関が出なくなっている可能性が考えられる。また、他には資産特殊性が高い場合でも、その主導権を部品メーカーが握っている場合がある。このような場合、自動車メーカーの研究開発投資が十分行われないと考えられる。

研究開発投資と垂直統合度の関係について

垂直統合度を高くすると研究開発投資が増加するという仮説は支持された。垂直統合度を高くすることは、自社内での開発を増大させることになるため、必然的な結果と言える。

一方、研究開発投資を増えた場合、垂直統合度が高くなるという仮説は支持されなかった。この要因について考察する。垂直統合は研究開発投資に明確な影響を与えていることから、両者の間に相関があることは明らかである。しかし、垂直統合度に関しては研究開発投資よりも業界内ポジションや資産特殊性の説明力が強いために、このような結果になった解釈できる。企業にとって、研究開発投資はコストであり、基本的には抑制することが望ましい。従って、研究開発投資が増大したら、それを抑制するようなインセンティブが働く。即ち、垂直分業に向かうことになる。このような力が働くため、結果として研究開発投資が垂直統合度に寄与しない結果となったと推測する。

V. 事例調査

1. ハイブリッドカー開発の現状

序章で述べたように、環境問題、エネルギー問題が深刻化している。2008年の洞爺湖サミットでは数値目標は盛り込まれなかったが、長期的には温室効果ガスの半減レベルの大幅削減が必要なのは間違いない。当然、自動車への燃費改善要求は大変厳しいものになっていく。欧州では既にCO₂排出量の自主規制を行っているが、その目標レベルが厳しくなるとともに規制化も検討されている。日本や米国でも厳しい燃費規制を課そうとしている。日本の場合、2015年の燃費基準は2004年実績比で23%の改善を求めているが、測定方法も変更になっているため、実質的には3割以上の燃費改善が必要である。このような大幅燃費改善を実現するためには、エンジン改善をはじめとした従来技術の改善では達成が難しく、大幅な燃費向上を実現するブレークスルー技術が必要となる。ハイブリッドカー(HEV)はその代表であり、自動車メーカー各社が開発を続けている。

しかし、現在の販売状況を見ると、日本の場合で1.7%(2007年)に留まっている。販売台数は年々伸びてはいるが、まだまだ低い。その理由は、そのコストの高さにある。燃費向上によりユーザが受取る付加価値よりも、コストアップの方が大きいため、普及させることができないのである。これに対し、トヨタは環境意識の高い顧客層を獲得するとともに、静粛性と圧倒的な動力性能の両立を求める高級車指向の顧客を獲得して、台数を伸ばしてきているが、経済合理性を求める大半の顧客層を獲得するまでには至っていない。

しかし、昨今の原油価格高騰により、HEVを取り巻く環境は大きく変わろうとしている。燃費向上によりユーザが受取る付加価値が増え、特に走行距離の長いユーザが経済合理性を求めてHEVを選び始めている。もう一つの動きは、電気自動車やプラグインHEVが登場してきていることであり、脱化石燃料の本格的な始まりを意味している。電気自動車やプラグインHEVの場合は、日常の走行で充電した電力で走行する。日本の場合、深夜電力を使用すると、エネルギー費用は1/10で済む。現時点ではまだ電池コストが高いため、価格競争力がないが、今後の電池コストの低下如何によっては、電気自動車やプラグインHEVが最も経済的に優れたクルマとなる可能性は十分にある。

続いて、HEV開発の歴史を紐解いてみる。自動車の黎明期を除くと、HEVの開発が盛んになったのは1970年代のオイルショックの時期である。排ガス低減とともに低燃費を果たす手段の一つとして研究が行われたが、1980年代になり石油供給の安定化に伴いHEV研究は縮小されていく。その後、各社において地道に研究は継続され、散発的に試作車は発表されている。乗用車としてのHEVの第1号は1994年に発売されたAudi 80 Duoであるが、高価であるため販売台数は大変少ない状態であった。その後、AudiはHEVに市場適合性はないと判断し、ディーゼルエンジン技術に舵を切っている。一方、トヨタは1997年に初代プリウスを販売している。そして、徐々にトヨタはHEVの販売を伸ばし、全世界でみると2007年には40万台以上の販売となっている。

日・米・欧の地域的にみたHEVの開発状況を述べる。最も商品展開に積極的な

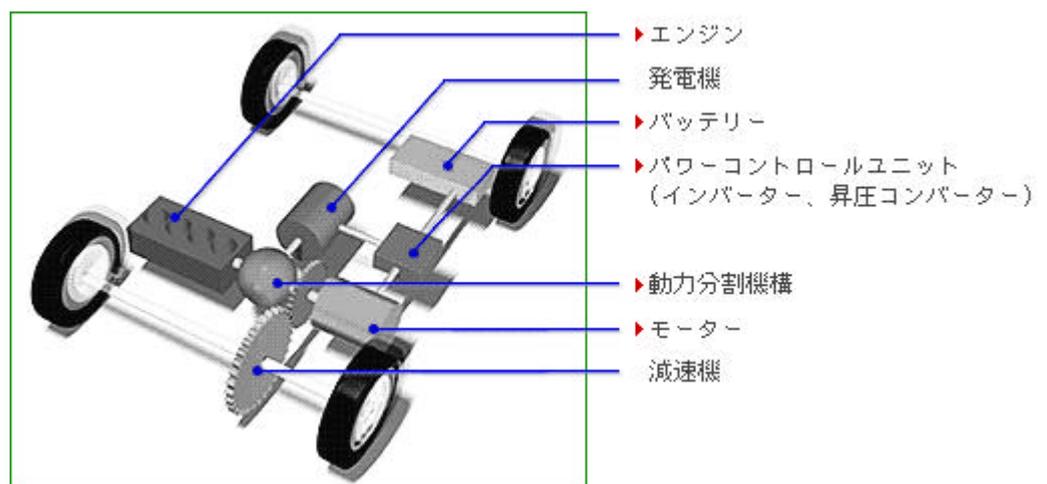
は日本であり、HEV を構成する要素技術の多くの分野で日本がリードしている。最も典型的なものが HEV 用電池であり、日本以外の自動車メーカーの HEV でも日本製の電池を採用している比率が高い。日本の次に、HEV に積極的なのは北米の自動車メーカーである。欧州の自動車メーカーは、着実に開発は進めているが、大規模に市販する具体的な計画は公表されていない。

なお、市場としてみた場合、HEV が最も適した市場は日本である。HEV は減速するときにエネルギーを回生することで、大幅に燃費を向上している。従って、一定速で走る場合には、大きな燃費効果はなく、アウトバーンを擁する欧州では HEV の燃費性能が必ずしも高く評価されない。平均車速が低く、しかも加減速がある市場で大きな効果を発揮するシステムである。北米は、欧州と比較し、最高速度が低く抑えられている地域がほとんどであり、都市圏では渋滞も日常茶飯事になっていることから、HEV の燃費効果が高い。自動車メーカーの戦略の違いは基本的には注力している市場の違いである。日本、北米を主要市場と位置づけている日本メーカーは必然的に HEV への注力度が高くなるのに対し、欧州メーカーはディーゼルエンジンなど内燃機関への注力度が高くなる。

2. システム複雑性の実態

HEV は今回調査対象とした中で最も複雑なシステムである。まず、従来からのクルマに対し、追加される主要部品に高電圧電池、モーター、発電機、インバーターなどがある。また、大幅に変更が必要となるのが、ブレーキと空調システム、そしてエンジンである。実際には、更に多くの追加部品が必要となり、部品やサブシステムの数の多さだけでもその複雑性が分かる。

図 11 HEV の主要部品



(トヨタ自動車ホームページより引用)

次に、HEV の特徴は技術分野の広がりである。電池、モーター、発電機、インバーターを構成する技術分野は、自動車メーカーでは過去保有していなかった技術領域である。機械、流体、化学、電気、ソフトウェア、制御など全ての技術領域を必要と

するのが HEV である。

更に、各サブシステム間の相互作用が大変強いことも HEV の特徴である。例えば、発進時には、モーター、発電機、エンジン、電池が絶妙にバランスして作動することで、スムーズな発進が可能となる。同じく停止時には、これらに加えてブレーキにも絶妙な連携を必要とする。相互作用の強さは開発にとって最も厄介であり、業務自体を複雑にしてしまう。もし、相互作用が弱ければ、機能やサブシステム毎に各開発組織が独立して業務遂行が出来るが、相互作用が強い場合は膨大な調整作業が発生してしまう。元々自動車はこのような相互作用が強いいため、インテグラル型の開発が必要とされている製品であるが、HEV はその極致にある。

3. 取引関係の実態

HEV をリードしているトヨタは、モーター、発電機を内製している。電池は松下電器との合弁企業が担当しているが、その株式保有比率は 60%であり、主導権はトヨタが握っている。また、インバータ開発もブレーキ開発も内製もしくは系列企業が担当している。要は、主要部品は全て内製、もしくは系列企業で開発・製造している。

同様にホンダもモータ、インバータ、ブレーキは内製もしくは系列企業が開発・製造している。電池に関しては、セルは調達であるが、電池パックは内製している。

筆者が「システムが複雑になると垂直統合が進む」という仮説を立てたのは、HEV におけるトヨタとホンダの取り組みが念頭にあったからである。

4. 定量的分析結果との整合性

まず、HEV における資産特殊性について述べる。主要部品のうち、モーター、発電機、インバータに関しては、自動車メーカー間での互換性は全くない。HEV の基本構造レベルで異なる場合も多く、トヨタとホンダでは、モーターや発電機の個数、出力、形式、全て全く異なり、設計に必要となる技術の互換性も少ない。従って、この領域は垂直統合が進んでいる。

続いて、電池については2つの見方が必要である。一つは内部に使用するセルとしての見方であり、もう一つは電池全体としての見方である。前者でみた場合、本来は資産特殊性は低いと考えられる。現在は、自動車メーカー毎に異なる電池セルを使用しているが、技術的に見た場合、特殊である必然性は低い。一方、電池全体となると、車体形状との関係や HEV システムとの関係があるため、資産特殊性が高い。実際には、同じ自動車メーカーであっても車種が変わると電池全体は変えざるを得ない。電池はこのような特質を持っているため、資本参加して垂直統合に向かう動きと、専門メーカーからの調達の動きの2つのアプローチが並存している。

また、制御については資産特殊性が大変高く、電子制御ユニットのハードウェアはともかく、制御の機能を規定する制御の設計は自動車メーカーの内製となっている。一方、ブレーキや空調などその他の部品群については、制御の領域を除くと、資産特殊性は高くない。

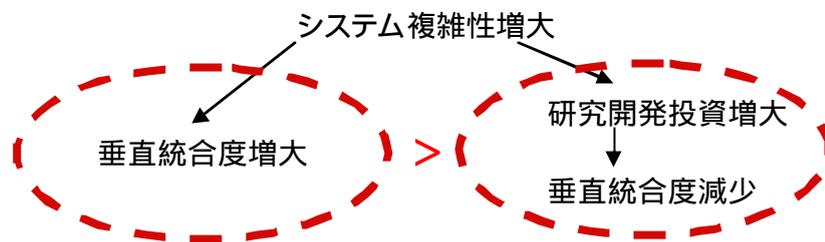
このようなシステムであるため、資産特殊性が最も高いシステムとなっている。(付録参照)システムが複雑であるが故に、資産特殊性が増大していることが言える。そし

て、トヨタ、ホンダといった HEV 先行メーカーでは垂直統合度も高くなっている。

一方、HEV はシステムが複雑であるが故に、研究開発投資も最も多いシステムである。資金的に余裕のない自動車メーカーは、これに対応するため垂直統合度を下げざるを得ない一面がある。なお、今回、自動車メーカー間の連携について取り扱っていないため、このことが定量化におけるノイズとなっていることは否定できない。

今回の研究では、「システムが複雑になると垂直統合が進む」という仮説が棄却されたが、HEV を見ると、仮説を支持する要素と仮説を棄却する要素の両方が存在する。そして、定量的な証明はできないが、仮説を支持する要素の方が強いと思われる。図 12 で言うと、左の要素が強いと思われる。

図 12 HEV の場合のシステム複雑性と垂直統合度の関係

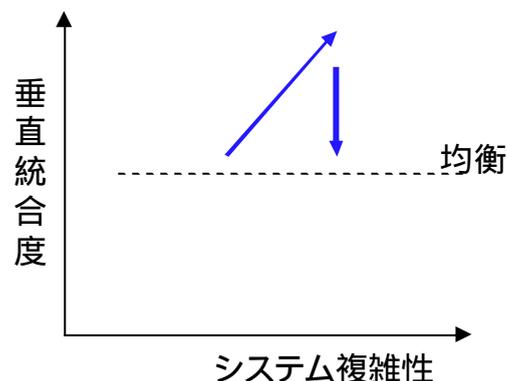


即ち、HEV では仮説が成立するのに、多くのシステムで見ると成立していない。このことに関し、筆者は次のような仮説を考えている。

「システムが複雑になると、まずは垂直統合が進み、続いて垂直分業に移行するのではないか？」

これを示したものが図 13 での矢印、である。

図 13 システム複雑性と垂直統合度の動的な関係



HEV のように複雑なシステムにおいて、初期段階では大きな不確実性を有する。そのような状態において、資産特殊性の高い主要部品を外部から調達することは難しい。これは取引コスト経済学の先行研究で述べられているホールドアップ問題が発生するからである。従って、自動車メーカーがその段階で開発を進めるためには、自らの意思が通じる状態にする必要があり、必然的に垂直統合が進むと考えられる。これが図 13 の である。

しかし、技術的に同じ複雑性を有するシステムであっても不確実性は時間とともに減少していく。市場の不確実性も、技術の不確実性も減少していくからである。これは資産特殊性の減少を意味している。その結果、市場からの調達が優位になる場合が起きてくる。安定した市場や企業関係の場合、長期的な取引関係を重視することになり、ホールドアップが起りにくくなるためである。そうすると、 のように自動車メーカーにとっては垂直統合度を下げるインセンティブが働き、均衡状態の垂直統合度に戻ると考えられる。

今回の研究では、時系列での情報が入手できないため、この仮説を検証することはできない。また、 ~ の動きは 10 年以上の期間をかけて進むと思われるので、調査や分析は容易ではない。しかし、システム複雑性が企業間取引に与える影響は、自動車業界に限られたものでなく、幅広く応用できる研究分野である。最後に述べたようなダイナミクスに着目した実証研究が進めば、企業における実際の意思決定の指針の一つとして活用できると考える。

VI. 結び

1. 結論

本研究の目的は、システムの複雑性が企業間取引、より直接的に言うと垂直統合に与える影響を調べることであった。「システム複雑性が高まると垂直統合度も高まる」という仮説を立て、18種類の自動車車載システムに関して調査した結果、その仮説は棄却された。この結果は「複雑化との闘い」には複数のアプローチがあり、どのアプローチが良いかは企業状況やシステムの特徴により変わると解釈できる。

続いて、HEV に関してより詳しく状況を調査した結果、この複雑なシステムにおいて、これまでのところ垂直統合が進んでいることが分かった。この結果と先に述べた定量的な分析結果の不整合については、資産特殊性のダイナミクスを考慮するとこれらの現象が説明できるという考え方を示した。

2. 限界

本研究の調査範囲は、自動車の車載システムに限定されている。また、日本の自動車メーカーに関してのみの調査に留まっている。従って、自動車以外のシステムで、今回の研究結果が応用できるとは限らない。特に、大幅に規模が異なる場合は、結果が大きく変わる可能性は十分にある。同様に、日本以外で同じ結論になるとは限らない。今回の研究では自動車メーカーの立場から垂直統合を研究しているが、部品メーカーが垂直統合をすることにより、複雑さに対応する方法もある。実際に欧州においてはメガサプライヤが垂直統合を進めている。

3. 今後の課題

今回、ダイナミクスに着目した資産特殊性や垂直統合の動きについては、仮説を提示するに留まっており、検証には至っていない。実社会では、ダイナミクスの中で企業は意思決定をしていくことになるため、より有用で一般的な指針とするためには、ダイナミクスを取り入れた実証研究が必要である。

謝辞

本研究をまとめるにあたり、多くの方々からご教示、ご鞭撻をいただいた。特に、多岐に渡り熱心にご指導いただいた神戸大学大学院経営学研究科 原田勉先生には心からお礼を申し上げたい。また、本研究は筆者にとっては神戸大学専門職大学院 MBA プログラムで学んだことの集大成である。経営学や経済学に関して白紙の状態だった筆者が、なんとか研究をまとめるまで至ったのは、多くの先生方や一緒に学んだ学友の皆様のおかげであり、心から感謝したい。

付録 A 垂直統合度算出結果詳細

[定量化に関する補足説明]

- 1.車種等により「内製」「系列」「調達」が変わる場合、より内製に近い方を採用した。
- 2.系列の判断は東洋経済新報社の「日本の企業グループ 2008 年版」を元にした。
- 3.網掛け部はデータ情報不備のため、統計を用いた分析には使用していない。

HEV											主要部品数		垂直統合度	
自動車メーカー	主要部品 サブシステム										単純加算値	平均値	正規化	
	モータ	インバータ	電池	エンジン	変速機	ブレーキ	制御システム							
トヨタ自動車	内製	2 系列	1 内製	1 内製	2 内製	2 系列	1 内製	2			11	1.57	0.79	
日産自動車	調達	0 調達	0 系列	1 内製	2 内製	2 調達	0 内製	2			7	1.00	0.50	
本田技研工業	内製	2 系列	1 調達	0 内製	2 内製	2 系列	1 内製	2			10	1.43	0.71	
マツダ	調達	0 調達	0 調達	0 内製	2 調達	0 調達	0 調達	0			2	0.29	0.14	
三菱自動車														
											7			
燃料電池車											主要部品数		垂直統合度	
自動車メーカー	主要部品 サブシステム										単純加算値	平均値	正規化	
	FCスタック	水素タンク	モータ	インバータ	二次電池	ブレーキ	制御システム							
トヨタ自動車	内製	2 内製	2 内製	2 系列	1 系列	1 系列	1 内製	2			11	1.57	0.79	
日産自動車	内製	2 不明	1 不明	1 不明	1 不明	1 不明	1 不明	1			8	1.14	0.57	
本田技研工業	内製	2 不明	1 内製	2 系列	1 調達	0 系列	1 内製	2			9	1.29	0.64	
マツダ														
三菱自動車														
											7			
電気自動車											主要部品数		垂直統合度	
自動車メーカー	主要部品 サブシステム										単純加算値	平均値	正規化	
	電池	充電装置	モータ	インバータ	ブレーキ	空調システム	制御システム							
トヨタ自動車	系列	1 不明	1 系列	1 系列	1 系列	1 系列	1 系列	1			7	1.00	0.50	
日産自動車														
本田技研工業														
マツダ														
三菱自動車	系列	1 不明	1 調達	0 調達	0 調達	0 調達	0 調達	0			2	0.29	0.14	
											7			
アイドリングストップ											主要部品数		垂直統合度	
自動車メーカー	主要部品 サブシステム										単純加算値	平均値	正規化	
	エンジン本体	始動装置	電池	制御システム										
トヨタ自動車	内製	2 系列	1 内製	2 内製	2						7	1.75	0.88	
日産自動車														
本田技研工業														
マツダ														
三菱自動車														
											4			
直噴ガリソンエンジン											主要部品数		垂直統合度	
自動車メーカー	主要部品 サブシステム										単純加算値	平均値	正規化	
	エンジン本体	噴射システム	後処理システム	制御システム										
トヨタ自動車	内製	2 系列	1 調達	0 内製	2						5	1.25	0.63	
日産自動車														
本田技研工業	内製	2 系列	1 調達	0 内製	2						5	1.25	0.63	
マツダ	内製	2 調達	0 調達	0 内製	2						4	1.00	0.50	
三菱自動車														
											4			
ディーゼルエンジン											主要部品数		垂直統合度	
自動車メーカー	主要部品 サブシステム										単純加算値	平均値	正規化	
	エンジン本体	過給システム	噴射システム	後処理システム	制御システム									
トヨタ自動車	内製	2 調達	0 系列	1 調達	0 系列	1					4	0.80	0.40	
日産自動車	内製	2 調達	0 調達	0 調達	0 調達	0					2	0.40	0.20	
本田技研工業	内製	2 調達	0 調達	0 調達	0 内製	2					4	0.80	0.40	
マツダ	内製	2 調達	0 調達	0 調達	0 調達	0					2	0.40	0.20	
三菱自動車	内製	2 調達	0 調達	0 調達	0 調達	0					2	0.40	0.20	
											5			
無段変速機											主要部品数		垂直統合度	
自動車メーカー	主要部品 サブシステム										単純加算値	平均値	正規化	
	発進装置	ベルト	変速システム	制御システム										
トヨタ自動車	内製	2 系列	1 内製	2 内製	2						7	1.75	0.88	
日産自動車	系列	1 調達	0 系列	1 系列	1						3	0.75	0.38	
本田技研工業	内製	2 内製	2 内製	2 内製	2						8	2.00	1.00	
マツダ	調達	0 調達	0 調達	0 調達	0						0	0.00	0.00	
三菱自動車	調達	0 調達	0 調達	0 調達	0						0	0.00	0.00	
											4			

付録 B 研究開発投資算出詳細

[定量化に関する補足説明]

1. 換算値から0~1に正規化するため、換算値の最大値である3124で割っている。
2. 網掛け部はデータ情報不備のため、統計を用いた分析には使用していない。

HEV					
自動車メーカー	公開特許数	搭載種数	換算値		研究開発投資指標
トヨタ自動車	774	3	3096		0.99
日産自動車	668	1	1336		0.43
本田技研工業	388	2	1164		0.37
マツダ	60	1	120		0.04
三菱自動車	100	0	100		0.03
燃料電池車					
自動車メーカー	公開特許数	搭載種数	換算値		研究開発投資指標
トヨタ自動車	2504	0	2504		0.80
日産自動車	2334	0	2334		0.75
本田技研工業	1585	0	1585		0.51
マツダ	13	0	13		0.00
三菱自動車	8	0	8		0.00
電気自動車					
自動車メーカー	公開特許数	搭載種数	換算値		研究開発投資指標
トヨタ自動車	128	0	128		0.04
日産自動車	249	0	249		0.08
本田技研工業	77	0	77		0.02
マツダ	12	0	12		0.00
三菱自動車	117	0	117		0.04
アイドルストップ					
自動車メーカー	公開特許数	搭載種数	換算値		研究開発投資指標
トヨタ自動車	6	1	12		0.00
日産自動車	58	0	58		0.02
本田技研工業	2	0	2		0.00
マツダ	13	0	13		0.00
三菱自動車	13	0	13		0.00
直噴ガリソンエンジン					
自動車メーカー	公開特許数	搭載種数	換算値		研究開発投資指標
トヨタ自動車	332	5	1992		0.64
日産自動車	362	0	362		0.12
本田技研工業	60	0	60		0.02
マツダ	206	1	412		0.13
三菱自動車	99	0	99		0.03
ディーゼルエンジン					
自動車メーカー	公開特許数	搭載種数	換算値		研究開発投資指標
トヨタ自動車	433	5	2598		0.83
日産自動車	424	1	848		0.27
本田技研工業	34	1	68		0.02
マツダ	206	3	824		0.26
三菱自動車	108	3	432		0.14
無段変速機					
自動車メーカー	公開特許数	搭載種数	換算値		研究開発投資指標
トヨタ自動車	781	3	3124		1.00
日産自動車	988	2	2964		0.95
本田技研工業	406	2	1218		0.39
マツダ	77	1	154		0.05
三菱自動車	76	2	228		0.07
オートクルーズ					
自動車メーカー	公開特許数	搭載種数	換算値		研究開発投資指標
トヨタ自動車	71	1	142		0.05
日産自動車	138	1	276		0.09
本田技研工業	99	1	198		0.06
マツダ	19	1	38		0.01
三菱自動車	36	1	72		0.02

ACCS					
自動車メーカー	公開特許数	搭載種数	換算値	研究開発投資指標	
トヨタ自動車	194	2	582	0.19	
日産自動車	613	1	1226	0.39	
本田技研工業	110	1	220	0.07	
マツダ	52	1	104	0.03	
三菱自動車	65	1	130	0.04	
プリクラッシュセーフティシステム					
自動車メーカー	公開特許数	搭載種数	換算値	研究開発投資指標	
トヨタ自動車	62	1	124	0.04	
日産自動車	26	1	52	0.02	
本田技研工業	13	1	26	0.01	
マツダ	8	1	16	0.01	
三菱自動車	3	1	6	0.00	
ABS					
自動車メーカー	公開特許数	搭載種数	換算値	研究開発投資指標	
トヨタ自動車	93	1	186	0.06	
日産自動車	83	1	166	0.05	
本田技研工業	80	1	160	0.05	
マツダ	12	1	24	0.01	
三菱自動車	17	1	34	0.01	
統合運動制御					
自動車メーカー	公開特許数	搭載種数	換算値	研究開発投資指標	
トヨタ自動車	125	2	375	0.12	
日産自動車	75	2	225	0.07	
本田技研工業	40	1	80	0.03	
マツダ	63	1	126	0.04	
三菱自動車	7	1	14	0.00	
駐車支援システム					
自動車メーカー	公開特許数	搭載種数	換算値	研究開発投資指標	
トヨタ自動車	83	1	166	0.05	
日産自動車	36	0	36	0.01	
本田技研工業	10	1	20	0.01	
マツダ	7	1	14	0.00	
三菱自動車	21	1	42	0.01	
レーンキープサポートシステム					
自動車メーカー	公開特許数	搭載種数	換算値	研究開発投資指標	
トヨタ自動車	62	2	186	0.06	
日産自動車	82	1	164	0.05	
本田技研工業	72	1	144	0.05	
マツダ	6	0	6	0.00	
三菱自動車	14	0	14	0.00	
エアバッグ					
自動車メーカー	公開特許数	搭載種数	換算値	研究開発投資指標	
トヨタ自動車	803	1	1606	0.51	
日産自動車	262	1	524	0.17	
本田技研工業	417	1	834	0.27	
マツダ	279	1	558	0.18	
三菱自動車	104	1	208	0.07	
ディスチャージヘッドランプ					
自動車メーカー	公開特許数	搭載種数	換算値	研究開発投資指標	
トヨタ自動車	0	1	0	0.00	
日産自動車	1	1	2	0.00	
本田技研工業	0	1	0	0.00	
マツダ	0	1	0	0.00	
三菱自動車	1	1	2	0.00	
AFS (アダプティブフロントライティングシステム)					
自動車メーカー	公開特許数	搭載種数	換算値	研究開発投資指標	
トヨタ自動車	6	1	12	0.00	
日産自動車	6	1	12	0.00	
本田技研工業	2	1	4	0.00	
マツダ	1	1	2	0.00	
三菱自動車	9	1	18	0.01	
カーナビゲーション					
自動車メーカー	公開特許数	搭載種数	換算値	研究開発投資指標	
トヨタ自動車	49	1	98	0.03	
日産自動車	49	1	98	0.03	
本田技研工業	13	1	26	0.01	
マツダ	13	1	26	0.01	
三菱自動車	7	1	14	0.00	

引用文献

- Coase, R. H. (1937) The Nature of the Firm
- Williamson, O (1979) Market and Hierarchies: Analysis and Anti-trust Implication
- Williamson, O (1989) エコノミック・オーガニゼーション (邦訳) 晃洋書房
- Monteverde, K , Teece, D. J. (1982) Supplier Switching Costs and Vertical Integration in the Automobile Industry
- Klein, B (1988) Vertical Integration as Organizational Ownership: The Fisher Body - General Motors Relationship Revisited
- 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- MMRC Discussion Paper No. 9
- 藤本 隆宏 (2007) 人工物の複雑化とものづくり企業の対応 制御系の設計とメカ・エレキ・ソフト統合 MMRC Discussion Paper No. 187
- 自動車技術この10年 自動車技術会出版
- 各社 新型車解説書
- 各社 有価証券報告書
- 2007年版 主要自動車部品255品目の国内における納入マトリックスの現状分析」総合技術株式会社
- 自動車部品200品目の生産流通調査 2005年度版」株式会社 アイアールシー
- 日本の企業グループ 2008年版」東洋経済新報社
- 特許電子図書館」工業所有権情報 研修館

参考文献

- Preuschhoff, W (2004) Global Diagnostic Challenges and Solutions Including Current and Future Standards ,SAE2004-21-0012
- Klein, B (2006) The Economical Lessons of Fisher Body-General Motors
- Kogut, B, Zander, U (1993) Knowledge of the firm and the evolutionary theory of the multinational corporation
- Dongsheng, G, Fujimoto, T (2004) The Architectural Attributes of Auto Parts and Their Transaction Patterns in Japan 's Automobile Industry
- Hart, O (1995) Firms, Contracts, and Financial Structure Clarendon Press Oxford
- 近能 善範 (2007) 日本自動車産業における先端技術開発協業の動向分析 自動車メーカー共同特許データの Patent マップ分析 MMRC Discussion Paper No. 151
- 近能 善範 (2008) 自動車のエレクトロニクス化と先端技術開発協業 MMRC Discussion Paper No. 198
- 浅沼 萬里 (1990) 日本におけるメーカーとサプライヤとの関係 京都大学 『経済論叢』第145巻 第1、2号
- リー・ブランステッター (1998) 日本の製造業における生産系列と知識スピルオーバー 大蔵省 財政金融研究所 『フィナンシャル・レビュー』July - 1998
- 藤本 隆宏 (1989) 自動車製品開発のプロセスと組織 1980年代における国際比較分析 MMRC Discussion Paper No. 61&62 (原文は 1989年、邦訳は 2006年)

- 藤本 隆宏 (2006) 自動車の設計思想と製品開発能力 MMRC Discussion Paper No. 74
- 藤本 隆宏、具 承桓、近能 善範 (2006) 自動車部品産業における取引パターンの発展と変容
1次部品メーカーへのアンケート調査結果を中心に? MMRC Discussion Paper No.
85
- 上野 泰生、藤本 隆宏、朴 英元 (2007) 人工物の複雑化とメカ設計・エレキ設計 自動車産
業と電機産業のCAD利用を中心にー MMRC Discussion Paper No. 179
- 伊藤 秀史 (2003) 契約の経済理論 有斐閣
- 柳川 範之 (2000) 契約と組織の経済学 東洋経済新報社
- 原田 勉 (2007) 汎用・専用技術の経済分析 - 新たなイノベーション・モデルの構築 - 白桃書
房
- 青木 昌彦、奥野 正寛 (1995) 経済システムの比較制度分析 東京大学出版会
- 伊丹 敬之、藤本 隆宏、岡崎 哲二、伊藤 秀史、沼上 幹 (2006) リーディングス 日本の企業
システム 第 期 第1巻から第5巻 有斐閣

ワーキングペーパー出版目録

番号	著者	論文名	出版年
2007・1	小杉 裕	シーズ型社内ベンチャー事業へのVPCの適用 ～株式会社エルネットの事例～	4/2007
2007・2	岡本 存喜	マネジメントシステム審査登録機関 Y 社 のVCP (Value Creation Path) の考察	4/2007
2007・3	阿部 賢一	F 損害保険会社における VCP (Value Creation Path) の考察	3/2007
2007・4	岩井 清一	S 社における VCP (Value Creation Path) の考察	4/2007
2007・5	佐藤 実	岩谷産業の VCP 分析	4/2007
2007・6	牛尾 滋昭	(株) 森精機製作所における VCP(Value Creation Path)の考察	4/2007
2007・7	細野 宏樹	VCP (Value Creation Path) によるケー ススタディー ケース：株式会社 電通	4/2007
2007・8	外村 衡平	VCP フレーム分析による T 社の知的資本経営に関する考察	4/2007
2007・9	橋本 敏行	企業における現金保有の決定要因	10/2007
2007・10	森本 浩嗣	百貨店 A 社グループのシェアードサービス化と その SS 子会社によるグループ貢献の VCP 分析	4/2007
2007・11	山矢 和輝	みすず監査法人の知的資本の分析	4/2007
2007・12	山本 博紀	S 社の物流 (航空輸出) に関する VCP(Value Creation Path)の 考察	4/2007
2007・13	中 智玄	A 社における VCP(Value Creation Path)の考察	5/2007
2007・14	村上 宜洋	N T T 西日本の組織課題の分析 ～Value Creation Path 分析を用いた経営課題の抽出と提言～	5/2007

2007・15	宮尾 学	健康食品業界における製品開発 －研究開発による「ものがたりづくり」－	5/2007
2007・16	田中 克実	医薬品ライフサイクルマネジメントのマップによる解析評価 －Product-Generation Patent-Portfolio Map の提案－	9/2007
2007・17	米田 龍	サプライヤーからみた企業間関係のあり方 ～自動車部品メーカーの顧客関係についての研究～	10/2007
2007・18	山田 哲也	経営幹部と中間管理職のキャリア・パスの相違についての一考 察 ー日本エレクトロニクスメーカーの事例を基にー	10/2007
2007・19	藤原 佳紀	供給サイドにボトルネックが存在する場合の企業間連携の評価 ー原子力ビジネスにおいてー	10/2007
2007・20	加曾利 一樹	通信販売ビジネスにおける顧客接点複合化の検討 ～株式会社ゼイヴェルの事例をてがかりに～	11/2007
2007・21	久保 貴裕	高付加価値家電のデザイン性のマネジメント	12/2007
2007・22	川野 達也	「自分らしい消費」を促進するアパレル通販 ーインターネット・メディアとの連動ー	11/2007
2007・23	東口 晃子	1994年～2007年のシャンプー・リンス市場における マーケティング競争の構造	12/2007
2007・24	茂木 稔	デバイスマーケットのデファクト・スタンダード展開 ～後発参入でオープン戦略をとったSDメモリーカード～	12/2007
2007・25	芦田 渉	地域の吸引力～企業誘致の成功要因～	12/2007
2007・26	滝沢 治	製薬企業の新興市場戦略『中国医薬品市場における「シームレ ス・バリュー・チェーン」の導入』	12/2007
2007・28	南部 亮志	eコマースにおけるパーソナライゼーション ～個々の顧客への最適提案を導く仕組みと顧客情報～	12/2007
2007・29	坪井 淳	ホワイトカラー中途採用者の効果的なコア人材化の要件に關す るー考察	12/2007
2007・30	石川 眞司	アップルとサプライヤーとの企業間関係に関する考察	1/2008
2008・1	石津 朋和 白松 昌之 鈴木 周 原田 泰男	技術系ベンチャー企業の企業価値評価の実践ーダイナミック DCF法とリアル・オプション法の適用ー	5/2008
2008・2	荒木 陽子 井上 敬子	医薬品業界と電機業界におけるM&Aの短期の株価効果と長期 の利益率	5/2008

杉 一也
染谷 誓一
劉 海晴

2008・3	堀上 明	ITプロジェクトにおける意思決定プロセスの研究 ークリティカルな場面におけるリーダーの意思決定行動ー	9/2008
2008・4	鈴木 周	M&Aにおける経営者の意思決定プロセスと PMI の研究 ーリアル・オプションコンパウンドモデルによる分析ー	10/2008
2008・5	田中 彰	プロスポーツビジネスにおける競争的使用価値の考察 プロ野 球・パシフィックリーグのマーケティング戦略を対象に	10/2008
2008・6	進矢 義之	システムの複雑化が企業間取引に与える影響の研究	10/2008