

MMRC
DISCUSSION PAPER SERIES

MMRC-J-198

自動車のエレクトロニクス化と
先端技術開発協業

法政大学経営学部
近能善範

2008年3月



東京大学21世紀COE [モノづくり]
ものづくり経営研究センター

自動車のエレクトロニクス化と 先端技術開発協業

法政大学経営学部

近能善範

2008年3月

1. はじめに

「自動車のエレクトロニクス化」の本格的な幕開けは、1970年代のことであった。1960年代までは、自動車のエレクトロニクス部品といえば、ライトやスタータ、オルタネータ（交流発電機）、ヴォルテージレギュレータ（電圧調整機）、イグナイタ（点火装置）程度に限られており、自動車の主要部品はほとんど全てがメカニカルな部品であった。しかし1970年代に入って、マスキー法¹を契機に排ガス規制が著しく強化され、オイルショックを契機に燃費向上に対する社会的ニーズが高まるとともに、そのちょうど同じ時期にマイコンの技術が飛躍的に発展を遂げたことから、エンジン制御の分野で一気に自動車のエレクトロニクス化が進んだ²（e.g., 徳田・佐伯, 2007）。

¹ マスキー法は、1970年12月、米国議会で民主党のマスキー上院議員が提案し承認された、非常に厳しい自動車排気ガス規制である。それは、5年後の1975年からHCとCOの排出量を従来基準の10分の1まで削減し、翌1976年からさらにNOxも10分の1に削減するというものであった。当時、機械工学的アプローチによってHCとCOの発生をなんとか基準内に抑えることは可能であっても、同時にNOxの発生を抑えることは不可能であると考えられていた。そのため、よりきめ細かい制御が可能になるマイコンをエンジン制御に初めて応用しようとする試みが本格化していったのである。

² エンジンの電子制御とは、マイコンを内蔵したエンジン・コントロール・ユニット(ECU)によって燃料噴射制御や点火時期制御、アイドル回転制御など、複数の制御を集中的にコントロールし、エンジンを最適な状態で作動させるものである。エンジンを電子的に制御する主な狙いは、ガソリンの混合比率や爆発のタイミングを精緻に制御することによって、エンジンの性能（出力と燃費）と排ガス

近能善範

1980年代以降は、自動車の基本的な機能（走る、曲がる、止まる）や安全性、快適性の向上に向けて、エアコン、電子制御AT、アンチロックブレーキシステム（ABS）、電子制御サスペンション、パワーウィンドウ、電動シート、キーレス・エントリーシステム、自動防眩式ミラー、エアバッグ、電動パワーステアリングなど、電子制御による様々なアプリケーションが採用されていった。また、2000年以降は、ナビゲーションシステム、ETC車載機器、車両運用システム、車両間通信システムが本格的に普及するなど、情報通信機器の搭載比率が上がりつつある。加えて、近年ではガソリン車以上に多くのエレクトロニクス部品を必要とするハイブリッド車が存在感を増しており、自動車のエレクトロニクス化はますます加速している。

こうした自動車のエレクトロニクス化の進展は、さまざまな指標によって確認することができる。一例として、電子制御システムの“頭脳”であるECUの搭載数は、近年増加の一途を辿っている³。矢野経済研究所(2005)によれば、1980年当時の普通車一台あたりのECU搭載個数は8～10個程度であったが、1990年には17個、2000年には32個、2005年には35～40個搭載されていると推計されている。例えばトヨタのクラウンでは、91年発売のクラウンのECUの搭載個数は十数個に過ぎなかったが、2008年発売の13代目クラウンでは、ECUの搭載個数は12代目の1.5倍の75個程度になる予定とのことである（日経Automotive Technology, 2005）。あるいは、2006年に発売されたトヨタのレクサスLS460では、複数のECUを1つに統合してECUの数を減らす取り組みを行ったにもかかわらず、依然として100個を超えるECUが搭載されている（日経産業新聞, 2007年2月2日朝刊）。

その上、ECUに使用されるマイコンの性能も向上している。1978年、GMが世界で初めて採用したエンジン制御用マイコンの性能は、8bit、動作周波数2MHz、メモリ容量2KBに過ぎなかった。しかし、今日の自動車で採用されているマイコンでは、32bit、動作周波数80～130MHz、メモリ容量はフラッシュ対応で256～1MBに達している（矢野総合研究所, 2005）。さらに、ECUに使用される制御プログラムの行数も増大しており、1995年には車両全体で50万行ほどであったが、2005年には500万行にまで達している模様である（矢野総合研究所, 2005）。

一方、日経Automotive Technology (2005)によれば、自動車の価格に占めるエレクトロニクス部品の割合（以下「電装化率」と呼ぶ）は、小型車で10～15%程度、高級車で20～30%

浄化を両立させることにある。

³ 「電子制御システム」とは、①車内外の状況を認識する“五感”を掌る「センサ」、②センサとアクチュエータを仲立ちする“頭脳”にあたる「ECU」、③ECUからの電気信号に反応して動く手足の“筋肉”に相当する「アクチュエータ」と、④それら（あるいはECU間）を結ぶ“神経線・血管”とも言うべきワイヤハーネスを加えた4要素から構成される（徳田・佐伯, 2007）。

自動車のエレクトロニクス化と先端技術開発協業

程度になっており、プリウスの電装化率はさらに高く、47%にも達している。最新のハイブリット自動車では、電装化率が60%を占めるまでに拡大しており、今後もこの割合は高まると予想されている。

また、日本自動車部品工業会「自動車部品出荷動向調査」の各年版に基づいて、広義のエレクトロニクス部品の出荷額が自動車部品全体の出荷額に占める割合を計算すると、1990年度の28.5%から95年度以降は30%台に乗り、以後、年々着実に上昇を続けている⁴。2006年度には、日本自動車部品工業会加盟392社による自動車部品出荷額は約19兆5200億円、そのうち広義のエレクトロニクス部品の出荷額は約6兆7570億円で、自動車部品全体の35.6%を占めている。

さらには、総合技研(2006)によれば、カー・エレクトロニクスの主要システム22品目の市場規模は、1995年の3700億円から、2005年には1兆334億円へと10年で2.3倍にまで拡大し、2010年には1兆2421億円へと拡大すると見込まれている⁵。

このように、自動車のエレクトロニクス化の進展に伴ってカー・エレクトロニクス市場は拡大の一途を辿っており、従来の自動車産業関連企業ばかりでなく、電機・電子業界の有力企業が自動車向け事業への新規参入や拡充を目指す動きを活発化させている。加えて、カー・エレクトロニクス製品は、エレクトロニクスに関する高度な技術と、自動車を動かすメカニカルな技術とを結合させることによって初めて成立するが、この2つを自動車メーカー及びエレクトロニクス・メーカーが全て自前で賄うことは難しいことから、必然的に両者間の開発協業が拡大している。

本稿では、こうした自動車のエレクトロニクス化の動きが、自動車メーカーと部品メーカーとの取引関係にいかなる変化をもたらしているのかを、主として先端技術開発協業に着目して、できるだけ定量的に分析していきたいと考える。以下では、まず2節で、なぜ先端技術開発協業に着目して自動車のエレクトロニクス化による取引関係の変化を分析するのかを説明する。続いて、3節では一次部品メーカーへの質問票調査のデータに基づいて、4節では自動車メーカー及び自動車部品メーカーの特許データに基づいて、それぞれカー・エレクトロニクス分野での先端技術開発協業の特徴について分析を行う。5節はまとめとディスカッションである。

⁴ ここでは、電装品・電子部品（分類番号200番台）、照明・計器など電気・電子部品（300番台）、用品のうちカーラジオ（720）、カーステレオ（721）、冷房装置（731）、暖房装置（732）、情報関連部品（800番台）を広義のカー・エレクトロニクス製品の範疇とみなして算出した。

⁵ 徳田・佐伯(2007)より引用。

2. なぜ先端技術開発協業に着目するのか

2. 1. 先端技術開発協業の動き

1980年代半ば以降、国内外の数多くの研究が、「日本の自動車メーカーは、特定の少数の部品メーカーとの間で長期継続的で協調的な取引関係を維持し、高度な信頼関係に基づいてお互いに緊密な情報交換や調整を行っている。そして、こうした両者間の非常に緊密な協業は開発活動にまで及んでおり、こうした取り組みが開発のパフォーマンスを高め、ひいては日本自動車産業の国際競争力向上に大きな役割を果たしてきた」ことを明かにしていった (e.g., 浅沼, 1990; Clark and Fujimoto, 1991; Cusumano and Takeishi, 1991; Nishiguchi, 1994; Kamath and Liker, 1994; Helper and Sako, 1995; Dyer, 1996a・1996b; 武石, 2000)。とはいえ、既存研究の大半は、例えば 2007 年発売の新型マーク X といった具体的な個別の製品開発プロジェクトを分析単位とし、その開発リードタイムや開発工数、製品の品質などに影響を与える要因について議論するだけに留まり、その前段階にあたる「先行開発」の部分での自動車メーカー・部品メーカー間の協業については、これまでほとんど取り上げられることがなかった。

一般に、企業の研究開発活動は、新たな科学的知識を生み出す「基礎研究」、それを利用可能な技術の原型にまで翻訳する「応用研究」、市場で販売される製品およびその生産プロセスを準備する「開発」に分かれるが、「先行開発」は、「応用研究」の下流、「開発」の上流に位置し、研究部門と開発部門の間を橋渡しする役割を果たしている (藤本, 2001)。すなわち、仮に基礎研究や応用研究を担う研究所⁶が (学術的な観点から見て) 優れた要素技術を生み出したとしても、数多くの点で課題が残り、そのままでは実用に供することはできないのが普通である。そのため、基礎研究や応用研究の結果として生み出された要素技術を、例えば量産技術を確立して生産コストを下げたり、耐熱性、耐振・耐圧性、耐塵・耐水・耐油性を向上させるための技術を確立するなどの方法で、製品技術や生産技術として実用可能な状態にまで持っていくための活動が必要とされるのだが、先行開発はこの部分を担うのである。

一方、日本の自動車産業においては、実務上、製品計画承認の前に行なわれる開発活動が「先行開発」と呼ばれている (藤本, 2006)。こうした先行開発のプロジェクトは、一般に、

⁶ トヨタでは愛知県の長久手町にある豊田中央研究所が、日産では神奈川県横須賀市にある総合研究所が、ホンダでは埼玉県和光市にある本田技術研究所の基礎技術研究センターが、それぞれ応用・基礎研究を担う主拠点である。

自動車のエレクトロニクス化と先端技術開発協業

既存技術の改善に留まらない、自動車を構成する新しいコンセプトの部品や、新しい要素技術（新しい素材やデバイス⁷、新しい生産技術など）の開発を手掛けており、相当長いリードタイムが必要とされるので、その開始時期が個別の乗用車モデルの設計が開始される前に設定されている⁸。

筆者がヒアリングした限りでは、最近の日本の自動車産業において、こうした先行開発が開始される時期は、部品や技術、自動車メーカーによって異なるが、大まかに言えば、量産化まで2~4年先（乗用車の次の世代のフルモデルチェンジまで）と、4~8年先（乗用車の次の次の世代のフルモデルチェンジまで）に区分されるようである。前者では、技術開発にあたって具体的に搭載予定の乗用車モデルが設定されるが、後者では具体的な搭載予定の乗用車モデルは必ずしも設定されず、技術ロードマップに沿った将来の技術目標を見据えて開発が開始されることもある。また、①エンジン、ミッション、ブレーキ、サスペンションなど、自動車の基本性能に関係する中核的な部品システムの場合、②部品の括り方が大きく変化する場合（いわゆる大規模な「モジュール化」や「システム化」が意図されている場合）、③材料の大幅な変更を伴っている場合に、量産化まで4~8年先を見据えた長期の目標設定のもとで先行開発プロジェクトが進められるようである。なお、実用化までに8年以上かかると見込まれる技術の研究開発は、一般に応用研究・基礎研究に区分されることになる。

こうした先行開発は、かつては必ずしも重視されていたわけではないが、現在では自動車メーカー各社が競って強化を図っている（藤本, 2006）。例えば、トヨタでは92年9月に第4開発センター（主に東富士研究所が担当）を設立し、駆動関係や電子技術などの要素技術を先行して開発する体制を強化してきた。日産も2007年5月に日産先進技術開発センター（NATC: Nissan Advanced Technology Center）を開設し、同社の先行開発機能を集約し強化している。こうした先行開発重視の姿勢は、部品メーカーとの開発協業にも及んでおり、先行開発の段階での自動車メーカー・部品メーカー間の協業が強化されていると指摘する研究も多い（e.g., 近能, 2002; 近能, 2004; 藤本・具・近能, 2006; 近能, 2007a; 近能, 2007b）。

かつての日本自動車産業における自動車メーカーと部品メーカーの開発協業は、どちらかという個別の新車開発プロジェクトに関連して、部品及び生産プロセスの設計や変更を行うことが活動の中心であった。すなわち、個別の乗用車モデルの開発プロジェクトの中で、各々の部品のコストや品質、開発リードタイムなどをいかにして満足できる水準に収めるの

⁷ 本稿では、自動車部品の構成部品（子部品）のうち、何らかの特定の機能を持った電子部品（特に当該自動車部品の制御を担う基盤など）を「デバイス」と呼ぶことにする。

⁸ 本稿で用いる「先端技術開発」という概念は、基礎研究や応用研究を一部含んでいるものの、概ね、こうした理論上・実務上の「先行開発」の概念に対応している。そのため以下では、「先端技術開発」と「先行開発」とを、事実上同じ意味の用語として区別なく用いることにする。

か、といった面での自動車メーカーと部品メーカーの協業マネジメントが重要視されていた。これに対し、現在の自動車メーカーと部品メーカーの開発協業関係は、個別の乗用車モデルの開発プロジェクトを越えて先行開発分野にまで拡大しており、その重要性も増しているのである。

2. 2. 先端技術開発協業が広がっている背景

このように、自動車メーカー・部品メーカー間の先端技術開発協業が広がっている背景としては、次の2点を指摘することができる。

第一は、新車開発のリードタイムがますます短くなっているという点である。日本の自動車メーカーは、1990年代後半から新車開発のリードタイムを再び短縮化する方向に動いており（延岡・藤本, 2004）、現在では、デザイン承認後の新車開発のリードタイムはフルモデルチェンジの場合で18~20ヶ月、派生モデルの場合で10~12ヶ月程度になっている。こうなると、部品開発に関して解決すべき技術的課題は新車開発プロジェクトが開始される前に予め対応しておき、デザイン承認後の製品・工程エンジニアリングの段階では主に適応設計だけを行うかたちにしておかないと、部品開発が新車開発のリードタイム内に収まらないことになってしまう。そのため、先行開発の重要度が近年増しているのである。

第二は、自動車メーカーの開発負担が急増しているなかで、ほとんど全ての自動車部品について、新素材の開発と利用、小型・軽量化、電子化・情報化などの技術革新が急速に進展しているため、本当に中核的なごく一部の技術を除き、それ以外の部分ではたとえ先端的技術であっても部品メーカーと共同で開発せざるをえなくなっているという点である。

例えば、この10年あまりの間に、「モジュール化」「システム化」の動きが急速に進展した。部品を従来に比べて空間的・物理的により大きな単位で括り直すと共に、その内部で機能的な統合を進めていこうとする動きが盛んになり、部品の全く新しい設計コンセプトが次々に提案され、実現されるに至っている。また最近では、自動車の基本的な機能（走る、曲がる、止まる）や安全性、快適性の向上を、個別の部品や、エンジン、ブレーキ、ステアリング、サスペンションなどの各個別システムの性能向上によってだけではなく、関連する複数のシステムを相互に連動して機能させることによって実現させる傾向が強まっている。あるいは、同じくこの10年あまりの間に、燃費改善を主目的とした車両軽量化のために、部品素材の金属から樹脂への転換や、同じ金属の中での鉄からアルミニウムへの転換、同じ鉄の中での高張力鋼板への転換などが進んでいる。

一方で、有力な部品メーカーの多くは、既に1980年代の前半から相次いで基礎研究や先行開発を担う研究所や部署を設立しており、部品に固有の技術については、部品メーカーの

自動車のエレクトロニクス化と先端技術開発協業

研究開発力が自動車メーカーを遙かに凌駕しているのが一般的である。実際、後で述べるように、一次部品メーカーの特許出願全体に占める自動車メーカーとの共同特許の比率は5%から10%の間が多く、残りの90~95%は部品メーカーが独自に研究開発を進めた成果である。また、トヨタが一部の有力部品メーカーに自社の設計技術者を「逆ゲストエンジニア」として派遣しているという事実（e.g., 河野, 2005）も、部品メーカーの技術力の高さを物語っていると言えよう。

いずれにせよ、先行開発が担うような、新しいコンセプトの部品の開発、あるいは使用素材の転換や新しいデバイスの導入を伴う部品の開発には、設計だけでなく、製造方法や設備、評価基準などの抜本的な変更が必要とされる。そのため、研究開発に莫大な時間と資源を投下する必要があるばかりでなく、自動車メーカーが有する自動車全体に関わる知識（「アーキテクチャル知識」）と部品メーカーが有する各個別の部品に固有の知識（「コンポーネント知識」）の両方をうまく融合していくプロセスが必要となる（武石, 2003）。それゆえに、自動車メーカーと部品メーカーとが協力し、お互いの最先端の技術やノウハウを開示し合いながら先端技術開発の共同開発プロジェクトを進めていくことが必要不可欠になってきたのである（e.g., 近能, 2007a; 近能, 2007b）。

2. 3. 先端技術開発協業と自動車のエレクトロニクス化

一方、数多くの論文や新聞・雑誌記事が、自動車のエレクトロニクス化が進展するにつれて、自動車の開発のあり方や、自動車メーカーと部品メーカーとの関係に変化が生じていると指摘している。それらの主張を要約すれば、総合電機メーカーや大手エレクトロニクス・メーカーが新たに自動車産業に参入したり、従来の電装品部品メーカーの中で有力な企業が役割を拡大しており、それにつれて自動車メーカーと部品メーカーの取引関係がより「オープン化」している、ということになる（e.g., 太田・中西・木田・大谷, 1994; 機械振興協会経済研究所, 2007）。

とはいえ、カー・エレクトロニクス分野での自動車メーカー・部品メーカー間の先端技術開発協業の実態がどうなっているのかについて分析している既存研究は、これまで全く存在してこなかった。そこで以下の節では、この点をできるだけ定量的に検証していきたいと考える。

3. 一次部品メーカー質問票調査の分析

この節ではまず、筆者が2003年11月に藤本隆宏東京大学大学院経済学研究科教授及び具

承桓京都産業大学経営学部講師（当時）と共同で実施した、一次部品メーカーを対象とした質問票調査の結果から、カー・エレクトロニクス分野での先端技術開発協業の現状について見ていくことにしたい⁹。

3. 1. データの出所と全体的な概要

上記質問票調査では、2003年10月時点の(財)日本自動車部品工業会会員企業の一次部品メーカー340社を対象として、調査票の送付を行なった¹⁰。回収数は150社、回収率44.1%であった。

この質問票では、部品メーカー各社に最も重要な部品を1つ答えてもらい、当該部品の主要な取引先自動車メーカーとの間の取引関係について回答してもらうという形式をとった。回答が寄せられた部品は、機械系サブアセンブリ部品、電子・電気部品、機械加工部品、プレス部品、樹脂成形部品、金属(molding/casting parts)、その他の7カテゴリーに及び、そのうち機械系アセンブリ部品が全体の19% (29社)を占め、次いで、プレス部品17% (26社)、電子・電気部品14% (21社)の順となった。また、部品メーカー各社の主要納入先自動車メーカーは、トヨタ40%、日産15%、ホンダ14%、三菱7%、マツダ7%と、国内生産シェアを概ね代表した分布となっていた。

3. 2. 「電気・電子部品」と「その他部品」との差異

全体的な概況については近能(2004a)や近能(2007a)、近能(2007b)を見てもらうことにして、ここでは、電子・電気部品を最も重要な部品と答えた企業(以下では「電子・電気部品メーカー」と呼ぶ)21社と、それ以外の部品を最も重要な部品と答えた企業(以下では「その他部品メーカー」と呼ぶ)129社に分けて、その差異について見ていくことにしたい。

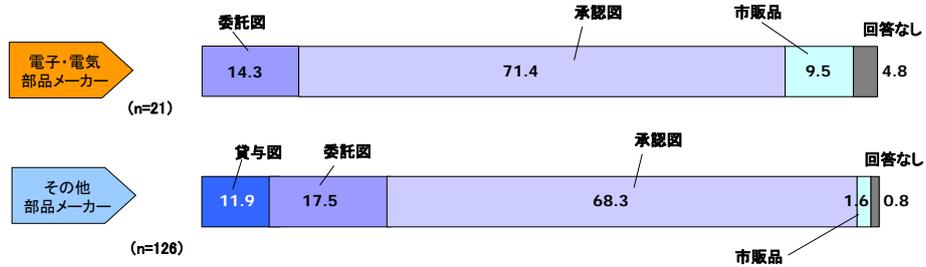
まず初めに取引方式について見ると、電気・電子部品メーカーでは承認図方式が71%、委託図方式が14%、市販品方式が10%、貸与図方式が0%となっている一方で、その他部品メーカーでは承認図方式が68%、委託図方式が18%、市販品方式が2%、貸与図方式が12%となっており、電気・電子部品メーカーの方が明らかに貸与図方式の割合が低くなっていることが分かる。

⁹ 本稿の作成にあたって、研究成果の利用を御許可頂いた藤本先生及び具先生に、記して感謝申し上げます。

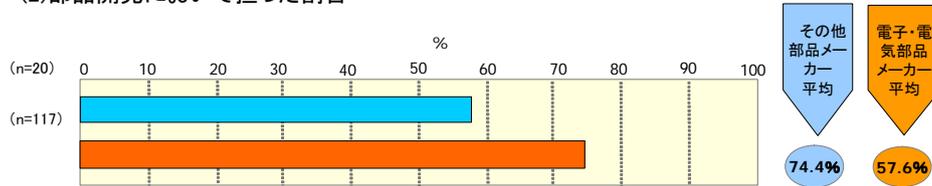
¹⁰ 一次部品メーカーか否かの判断は、(財)日本自動車部品工業会の毎年の会員企業向けアンケート調査のデータに基づき、同会で長年にわたって部品メーカーの調査に携わってきたマネージャが行った。

<図 1>部品取引の概要

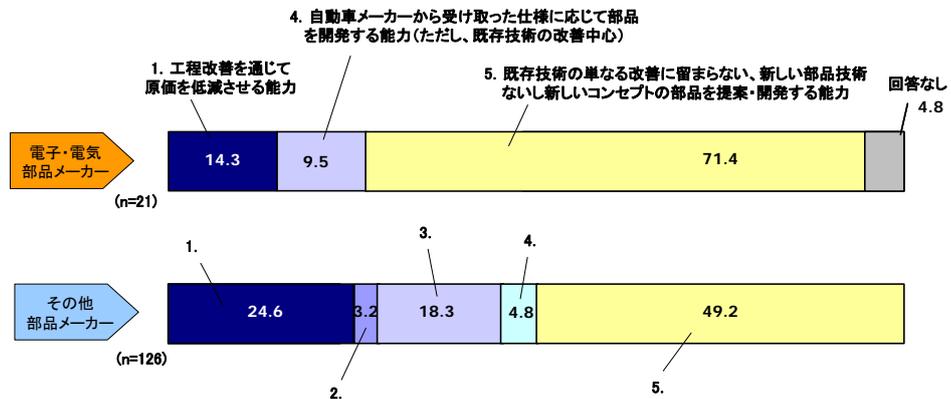
(1)部品取引の方式



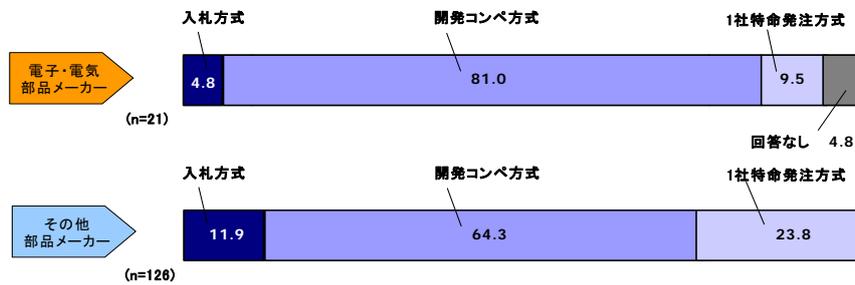
(2)部品開発において担った割合



(4)競争を勝ち抜くにあたって最も重要となる能力



(3)競争方式



また、開発プロセス全体の中で部品メーカーが開発を担った部分の比率の平均を比較すると、電気・電子部品メーカーでは開発工数全体の74%を自社で担ったと回答している一方、その他部品メーカーではその割合が58%となっており、明らかに電気・電子部品メーカーの方が高い比率を担当していることが分かる。ただし、この比率が最近4年間でどのように変化したのかについては、両者に有意な差は見られなかった。

次に競争方式について見ると、電気・電子部品メーカーでは入札方式が5%、開発コンペ方式が81%、1社特命発注方式が10%となっている一方で、その他部品メーカーでは入札方式が12%、開発コンペ方式が64%、1社特命発注方式が24%となっており、電気・電子部品メーカーの方が開発コンペ方式の割合が高くなっていることが分かる。

また、競争を勝ち抜くにあたって最も重要となる能力について見てみると、電気・電子部品メーカーでは、「1. 工程改善を通じて原価を低減させる能力」が14%、「2. 品質及びジャスト・イン・タイムな納入を保証する能力」が0%、「3. 設計改善を通じて見込み原価を低減させる能力」が10%、「4. 自動車メーカーから受け取った仕様に応じて部品を開発する能力（ただし、既存技術の改善中心）」が0%、「5. 既存技術の単なる改善に留まらない、新しい部品技術ないし新しいコンセプトの部品を提案・開発する能力」が71%であった。一方、その他部品メーカーでは、「1」が25%、「2」が3%、「3」が18%、「4」が5%、「5」が49%であった。このように、電気・電子部品メーカーの方が、競争を勝ち抜くにあたって最も重要となる能力として、「5」のイノベーション能力が強く求められていると言える。ただし、こうした時期が4年前に比べてどのように変化したのかを尋ねたところ、両者に有意な差は

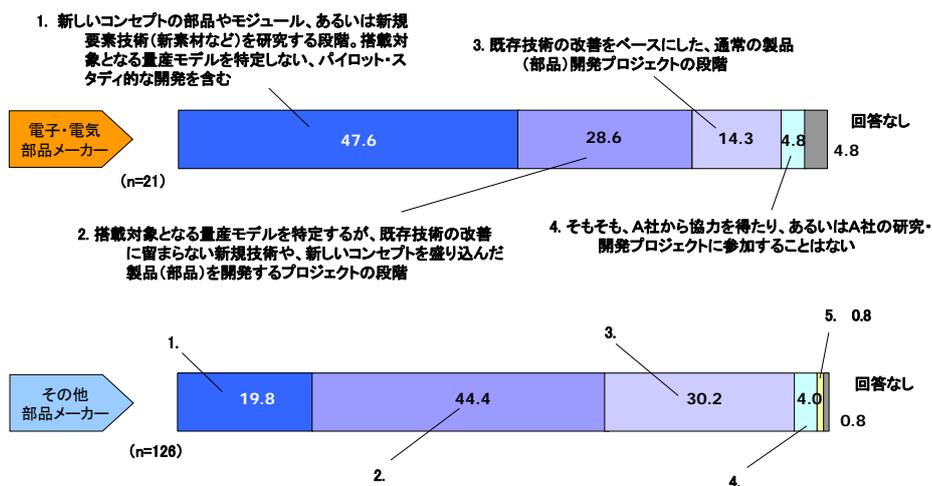
自動車のエレクトロニクス化と先端技術開発協業

見られなかった。

続いて、「研究・開発において、A社（＝主要な取引先自動車メーカー）との共同研究・開発プロジェクトに参加したり、あるいはA社の協力を得たりする時期」について見ていくと、電気・電子部品メーカーでは、「1. 新しいコンセプトの部品やモジュール、あるいは新規要素技術（新素材など）を研究する段階。搭載対象となる量産モデルを特定しない、パイロット・スタディ的な開発を含む」との回答が48%、「2. 搭載対象となる量産モデルを特定するが、既存技術の改善に留まらない新規技術や、新しいコンセプトを盛り込んだ製品（部品）を開発するプロジェクトの段階」との回答が29%、「3. 既存技術の改善をベースにした、通常の製品（部品）開発プロジェクトの段階」との回答が14%、「そもそも、A社から協力を得たり、あるいはA社の研究・開発プロジェクトに参加することはない」と回答した企業が5%であった。一方、その他部品メーカーでは、「1」が20%、「2」が44%、「3」が30%、「4」が4%であった。この結果からは、電気・電子部品メーカーの方がその他部品メーカーに比べて、コンセプトの抜本的な変換がもたらされるような部品の先行開発プロジェクトに参加する割合が高いことが伺える。ただし、こうした点が4年前に比べてどのように変化したのかを尋ねたところ、両者に有意な差は見られなかった。

<図 2>主要顧客との間の開発協業への参加時期

(1) A社（＝主要な取引先自動車メーカー）との間の共同開発プロジェクトに参加したり、A社から開発の協力を得たりする時期

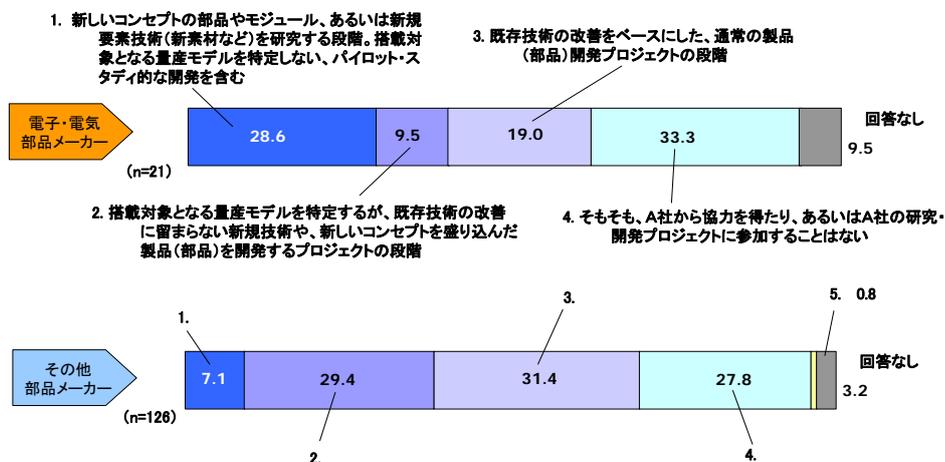


近能善範

一方、同じ内容の質問を、主要自動車メーカー以外との関係について尋ねたところ、電気・電子部品メーカーでは「1」を回答した企業が28%、「2」を回答した企業が10%、「3」を回答した企業が19%、「4」を回答した企業が33%、その他部品メーカーでは「1」を回答した企業が7%、「2」を回答した企業が29%、「3」を回答した企業が32%、「4」を回答した企業が28%と、「1」と「2」を回答した企業の割合が主要自動車メーカーの場合と比べて低くなっていた。またこの結果からは、主要自動車メーカー以外との取引においても、電気・電子部品メーカーの方がその他部品メーカーに比べて、コンセプトの抜本的な変換がもたらされるような部品の先行開発プロジェクトに参加する割合が高いことが見てとれる。ただし、こうした時期が4年前に比べてどのように変化したのかを尋ねたところ、両者に有意な差は見られなかった。

<図3>主要顧客以外の自動車メーカーとの間の開発協業への参加時期

- (1) A社(=主要な取引先自動車メーカー)以外の自動車メーカーとの間の共同開発プロジェクトに参加したり、A社以外の自動車メーカーから開発の協力を得たりする時期



以上をまとめると、電気・電子部品メーカーの方が、その他部品メーカーに比べて、貸与図方式の割合が低く、より高い比率の開発工数を担い、開発コンペ方式の割合が高く、イノベーション能力が強く求められ、主要自動車メーカー向けとそれ以外の自動車メーカー向けの開発プロジェクトの間で開発工数の格差が大きい。さらには、電気・電子部品メーカーの方が、その他部品メーカーに比べて、主要顧客である自動車メーカーとの間でも、それ以外の自動車メーカーとの間でも、コンセプトの抜本的な変換がもたらされるような部品の先行

開発プロジェクトに参加する割合が高いと言える。ただし、4年前に比べた変化を比較した場合には、こうした違いは、特には見られなかったと言える。

4. 自動車メーカー共同特許出願データの分析自動車部品メーカー共同特許出願データの Patent マップ分析

次にこの節では、自動車部品メーカー特許出願データの Patent マップ分析を通じて、カー・エレクトロニクス分野での先端技術開発協業の動向を見ていくことにしたい。自動車メーカーによる特許出願状況については、既に近能（2007a）や近能（2007b）で分析を行っている。そのため以下では、部品メーカーの側に焦点を当てて見ていくことにしたい。

4. 1. データの出所

この節の分析に用いたデータセットは2つある。第一は、日本の特許庁が発行している特許公開公報に記載された発明のうち、1993年～2004年の12年間に、3.1節で説明した2003年10月時点の(財)日本自動車部品工業会会員企業の一次部品メーカー340社が出願人となっている公開特許出願（以下では「特許」と呼ぶ）の件数を、特許電子図書館のデータベースで検索したものである¹¹。

第二は、同じく2003年10月時点の(財)日本自動車部品工業会会員企業の一次部品メーカー340社が出願人となっている同期間中の特許のうち、自動車メーカー9社（トヨタ、日産、ホンダ、三菱、マツダ、スズキ、ダイハツ、富士重工、いすゞ）と共同で出願した特許（以下では「共同特許」と呼ぶ）のデータである¹²。この共同特許とは、ある程度の「新規性」や「進歩性」が認められるような先端的技術の開発において、自動車メーカーと部品メーカーとが共に発明人となっている発明であり、つまり両者が共に開発に貢献した発明である。したがって、先端技術開発協業の成果指標の一つとして用いることが可能だと考えられる¹³。

¹¹ 特許電子図書館のURL: <http://www.ipdl.inpit.go.jp/homepg.ipdl>

¹² このデータセットは、1993年～2004年の12年間に自動車メーカー9社が出願人となっている特許の詳細データをいったん全て表計算ソフトに落とし込み、その中から、各自動車メーカーが上述の部品メーカーと共同で出願した特許を全て抽出するという方法で作成したものである。

¹³ 特許として成立する発明は、特許出願案件のごく一部でしかない。また、防衛的意味合いで出願される発明の割合も高い。さらには、製造ノウハウなど、他社から模倣されにくい技術については必ずしも特許申請されないなど、特許データにはさまざまな限界がある。しかし、他に代替しうる客観的指標が存在しないこと、わざわざ費用をかけてまで出願を行っている以上は出願者による一定のスクリーニングを受けており、ある程度は「新規性」や「進歩性」を満たす新技術だと考えられることから、先端的技術開発の成果指標の一つとして、十分に許容できるデータだと考えられる。一方、特許の共同出願者は、全員同じ貢献を果たしているわけではない。通常、特許出願とは別に、出願者間の

近能善範

また、一次部品メーカー340社は、上記会員名簿の「製品名」の欄に電子・電気部品が記載されている企業を「電子・電気部品メーカー」、それ以外を「その他部品メーカー」と判断し、企業タイプの分類を行った。ここでは、例えばデンソーのように、燃料噴射装置やメーターなどのエレクトロニクス部品と、ラジエーターなどのメカニカル部品の両方が記載されている場合には、「電子・電気部品メーカー」として扱った。この結果、上記340社のうち、79社が「電子・電気部品メーカー」に、261社が「その他部品メーカー」に分類された¹⁴。ただし、前者のうち総合電機メーカー4社（東芝、松下電器産業、日立製作所、三菱電機）については、いずれも日本でトップクラスの特許出願数を誇る企業であり、出願特許の多くが自動車産業と直接は関係のない分野のものであるため、以下の分析では電子・電気部品メーカーから除き、この4社の分析は後で3.3節にて別途行うことにした。

なお、（日本自動車部品工業会会員の）一次部品メーカー340社のうち、1993年～2004年の12年間に一つでも特許を出願している企業は312社であった。このうち、電子・電気部品メーカー（含む総合電機メーカー4社）は72社、その他部品メーカーは240社であった。また、この間に上記自動車メーカー9社との間で一つでも共同特許を出願した企業は255社であった。このうち、電子・電気部品メーカー（含む総合電機メーカー4社）は65社、その他部品メーカーは190社であった。つまり、一次部品メーカーのうち、未だ一つも特許を出願したことがない企業が1割弱、自動車メーカーとの間で未だ一つも共同特許を出願したことがない企業が2割強存在していたということになる。

4.2. 自動車部品メーカー共同特許出願状況の分析

図4は、1993年から2004年にかけて特許を出願したことがある一次部品メーカーのうち、総合電機メーカー4社を除いた合計308社について、部品メーカーが単独で出願した特許数と、自動車メーカーと共同で出願した特許数（共同特許数）、及び自動車メーカーとの共同特許が特許全体に占める比率（共同特許比率）の平均を示したものである。この図からは、

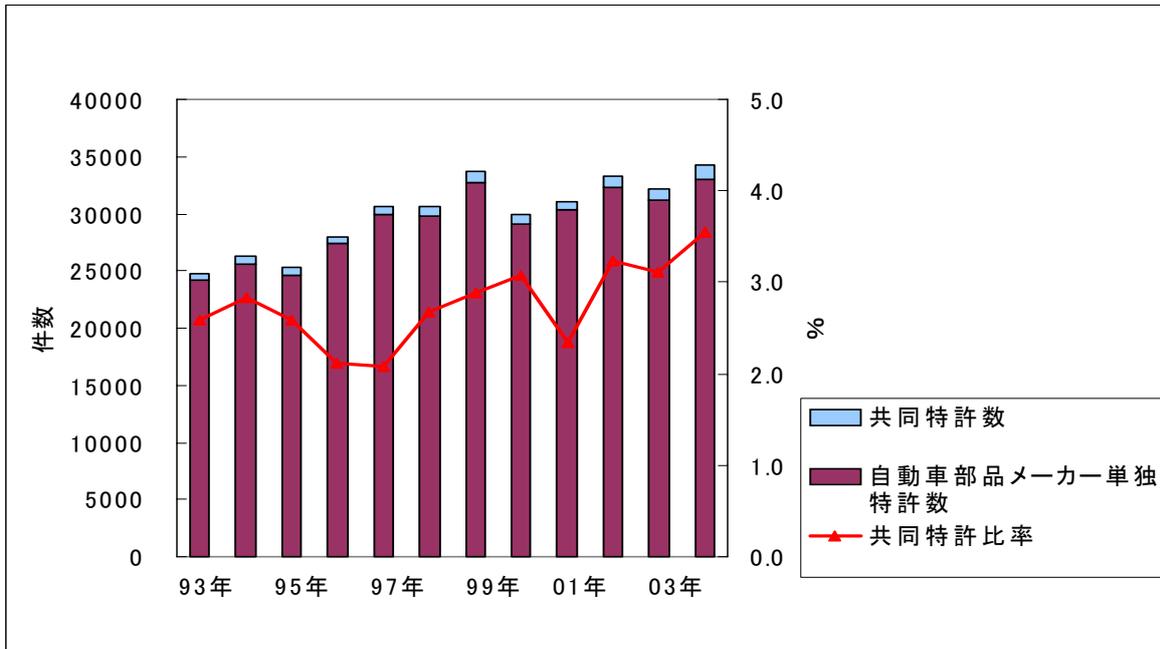
貢献度合いを評価し、特許を実施した際の成果の配分割合を決めておくことが多いが、そうした契約事項については特許出願データからは読みとれない。しかし、特許の共同出願者に名前を連ねているという段階で、その技術の開発に当該部品メーカーが一定の貢献を果たしていることは確かであり、その意味で、先端技術開発協業の成果の指標の一つとして用いることに問題はないと考えられる。詳しくは、後藤・長岡編（2003）などを参照のこと。

¹⁴ 日本自動車部品工業会の会員名簿の「製品名」の欄には、必ずしも各社の全ての製品が記載されているわけではない。そのため、本来は電子・電気部品を扱っている企業であっても、「その他部品メーカー」に分類されている可能性がある。また逆に、同欄には、売上高比率がどれだけ低い製品であっても記載することが可能なため、実態的に見て本来は「その他部品メーカー」に分類することが望ましい企業であっても、「電子・電気部品メーカー」に分類されてしまう可能性もある。ただし、全体として、業界の一般的な見方と今回の分類が大きく食い違うケースは見当たらなかった。

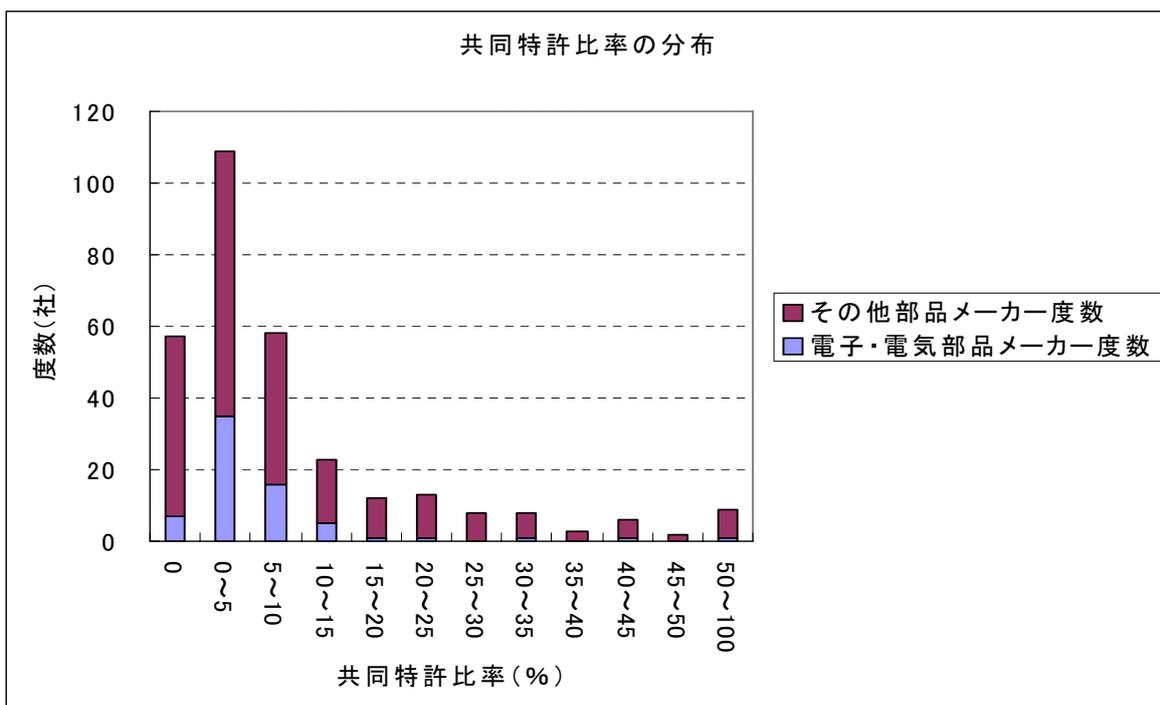
自動車のエレクトロニクス化と先端技術開発協業

年ごとに凹凸はあるものの、部品メーカーの単独出願特許数、共同特許数、及び平均の共同特許比率の全てが、概ね増加傾向にあることが見てとれる。なお、部品メーカーの単独出願特許数と共同特許数の相関係数は0.31であり、1%水準で有意な相関があった。

<図4>自動車部品メーカー特許数、共同特許数、共同特許比率推移



<図5>自動車部品メーカー共同特許比率の分布



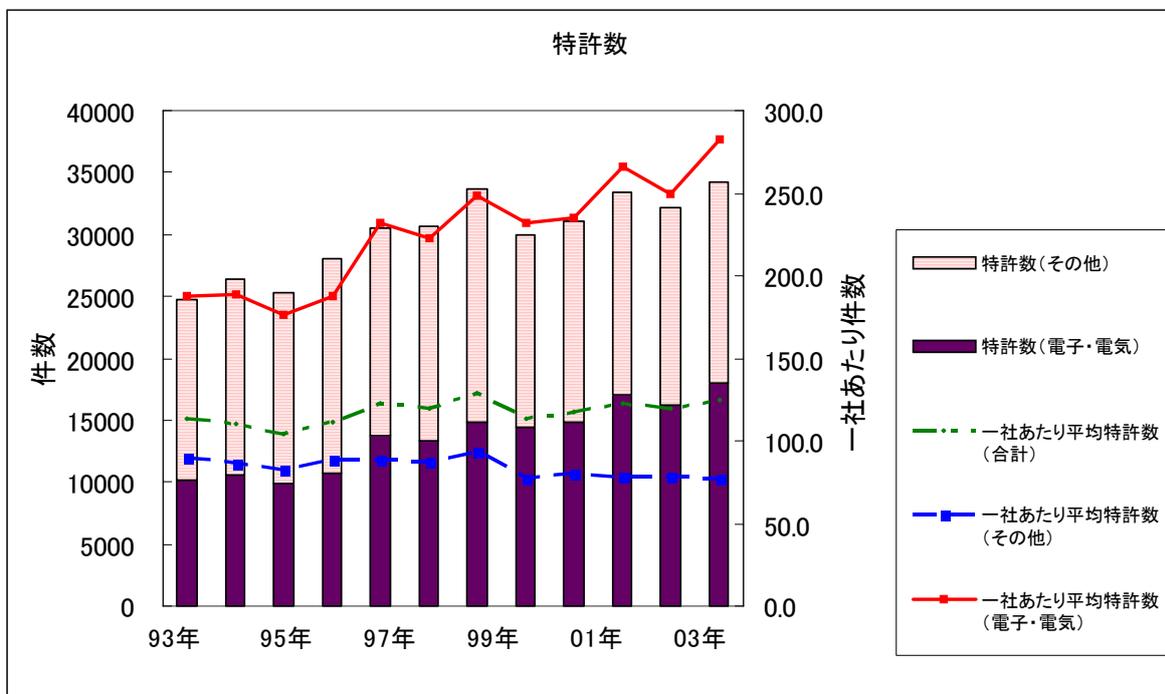
近能善範

次に、上で説明した方法で分類した「電子・電気部品メーカー」と「その他部品メーカー」に分けて、以下の分析を行っていくことにしたい。まず図5は、部品メーカーの12年間合計の共同特許比率の分布を示したものである。この図からは、電子・電気部品メーカーでは自動車メーカーとの共同特許が全くない企業の比率が低く、ほとんどの企業が0~10%に分布していることが見てとれる。ちなみに、電子・電気部品メーカーでは、その他部品メーカーに比べて、共同特許数は多いものの、単独の特許数もそれ以上に多いため、平均の共同特許比率は6.0%に留まっている（その他部品メーカーの平均の共同特許比率は10.6%、合計の平均共同特許比率は9.6%である）。

なお、電子・電気部品メーカーの単独出願特許数と共同特許数の相関係数は0.31であり、1%水準で有意な相関があったが、その他部品メーカーの単独出願特許数と共同特許数の相関係数は0.11であり、10%水準でも有意ではなかった。

図6は、部品メーカーが出願した特許数を、合計と、一社あたりの平均で示したものである。この図からは、電子・電気部品メーカーの企業数はその他部品メーカーの約1/3しかないにもかかわらず、0.6~1.1倍の特許を出願しており、したがって一社あたり平均特許出願数が2.1~3.7倍となっていることが見てとれる。

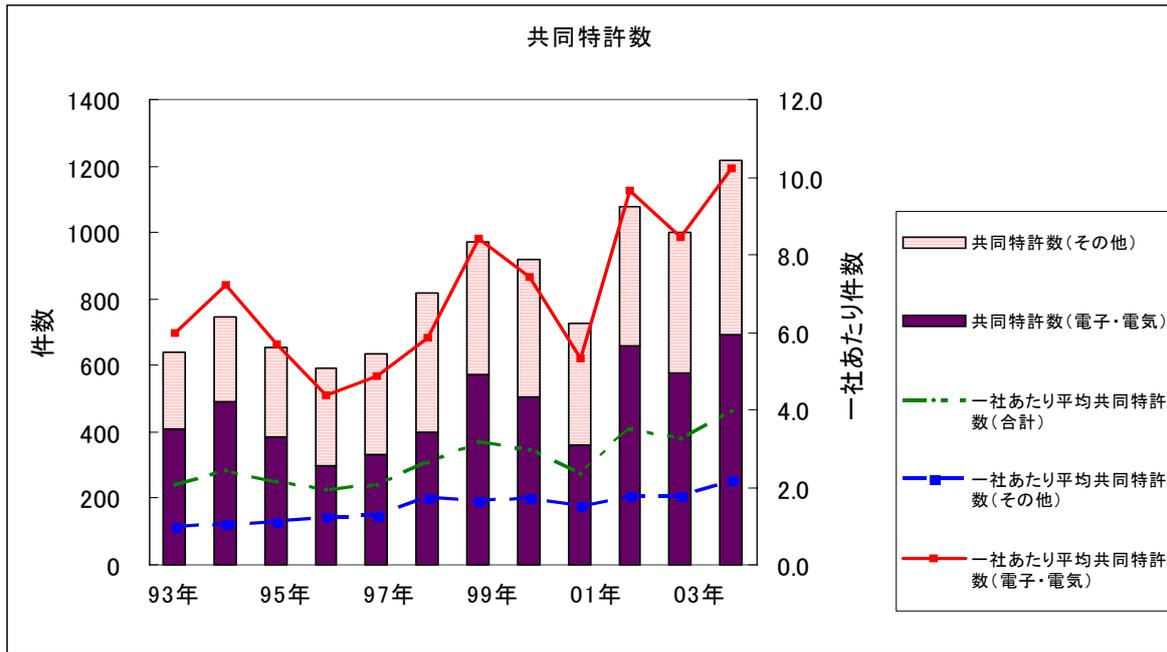
<図6>自動車部品メーカー特許数の推移



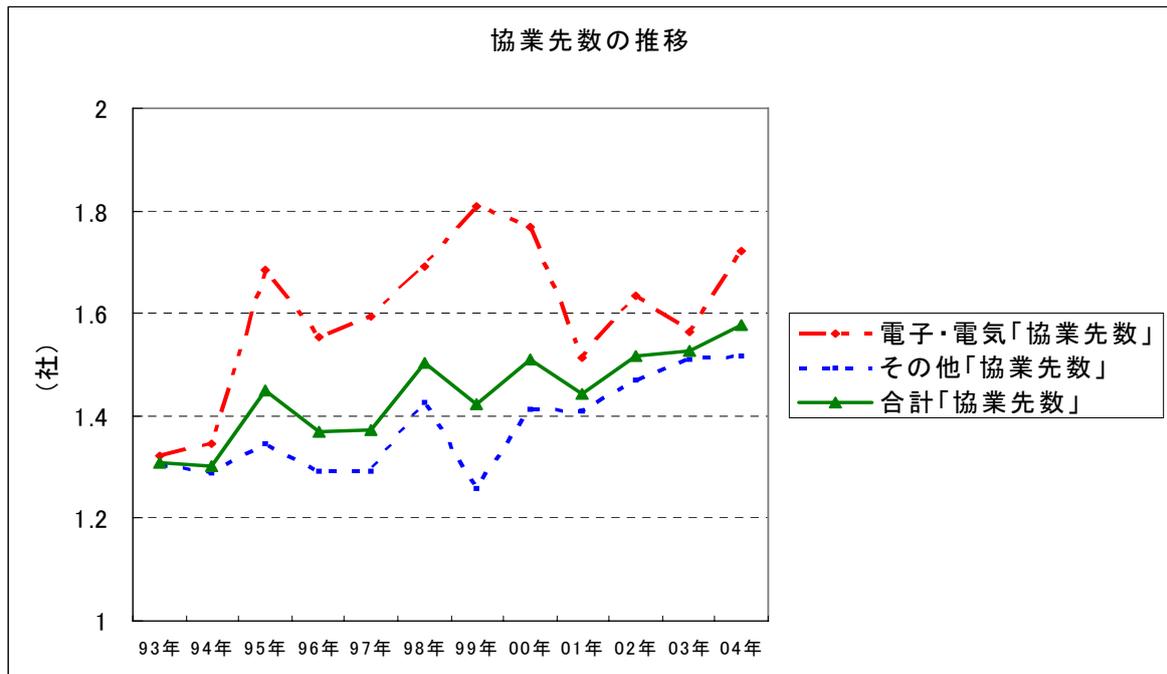
自動車のエレクトロニクス化と先端技術開発協業

次の図7は、部品メーカーが自動車メーカーと出願した共同特許数を、合計と、一社あたりの平均で示したものである。この図からも同様に、電子・電気部品メーカーの企業数はその他部品メーカーの約1/3しかないにもかかわらず、1.0～1.9倍の共同特許を出願しており、したがって一社あたり平均共同特許出願数が3.4～6.8倍となっていることが見てとれる。

<図7>自動車部品メーカー共同特許数の推移



<図8>自動車部品メーカー平均協業先数の推移



最後の図 8 は、部品メーカーの平均の「先行開発協業先数」（以下では「協業先数」と略す）を示したものである。この協業先数とは、各部品メーカーが何社の自動車メーカーとの間で共同特許を出願しているのかを示す数字であり、各部品メーカーが先端的技術分野での開発協業を行う相手先の自動車メーカーをどれだけ広げているのか、あるいはどれだけ絞り込んでいるのか、ということを表すための指標である。この図からは、電子・電気部品メーカーの平均協業先数は、その他部品メーカーよりも一貫して高い値になっていることが見てとれる。

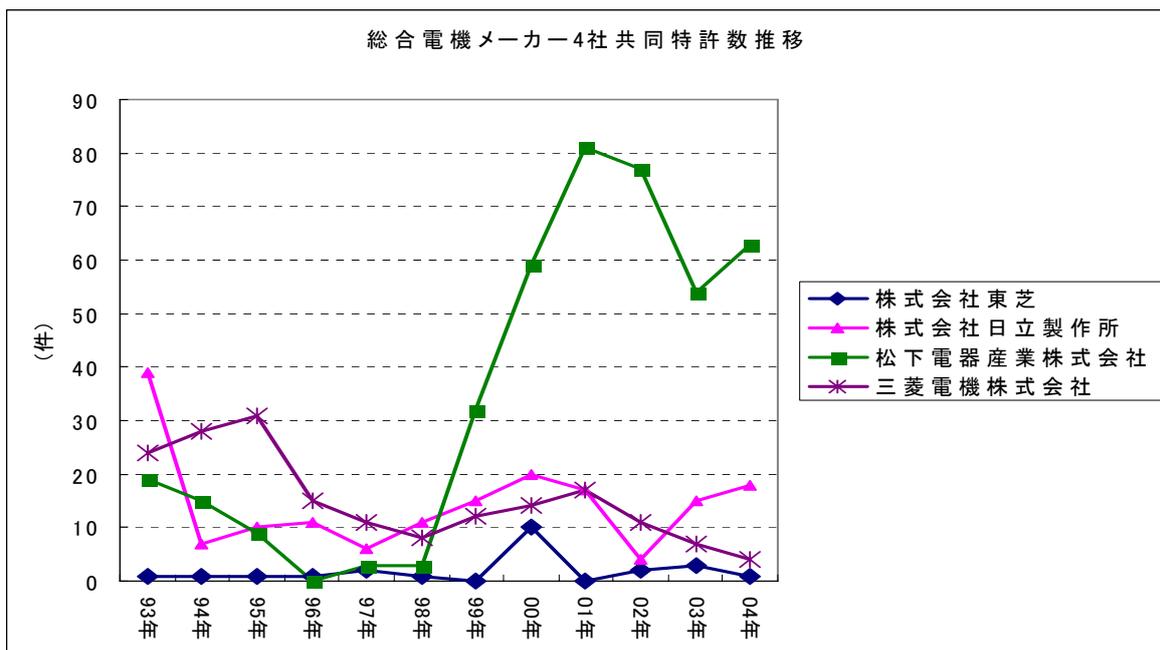
以上より、電子・電気部品メーカーはその他部品メーカーに比べて、一社あたりの平均特許出願数と平均共同特許出願数が多く、平均協業先数も大きいと言える。つまり電子・電気部品メーカーは、一般に技術力が高く、複数の自動車メーカーとの間で先端技術開発協業を展開する傾向が強いのである。

4. 3. 総合電機メーカー4社の分析

ここでは、前節の分析から省いた総合電機メーカー4社（東芝、松下電器産業、日立製作所、三菱電機）について、簡単な分析を行っていくことにしたい。

まず図 9 は、4社が自動車メーカーと出願した共同特許数を示したものである。ここでは、松下電器の共同特許数が、他社を圧倒して多いことが見てとれる。

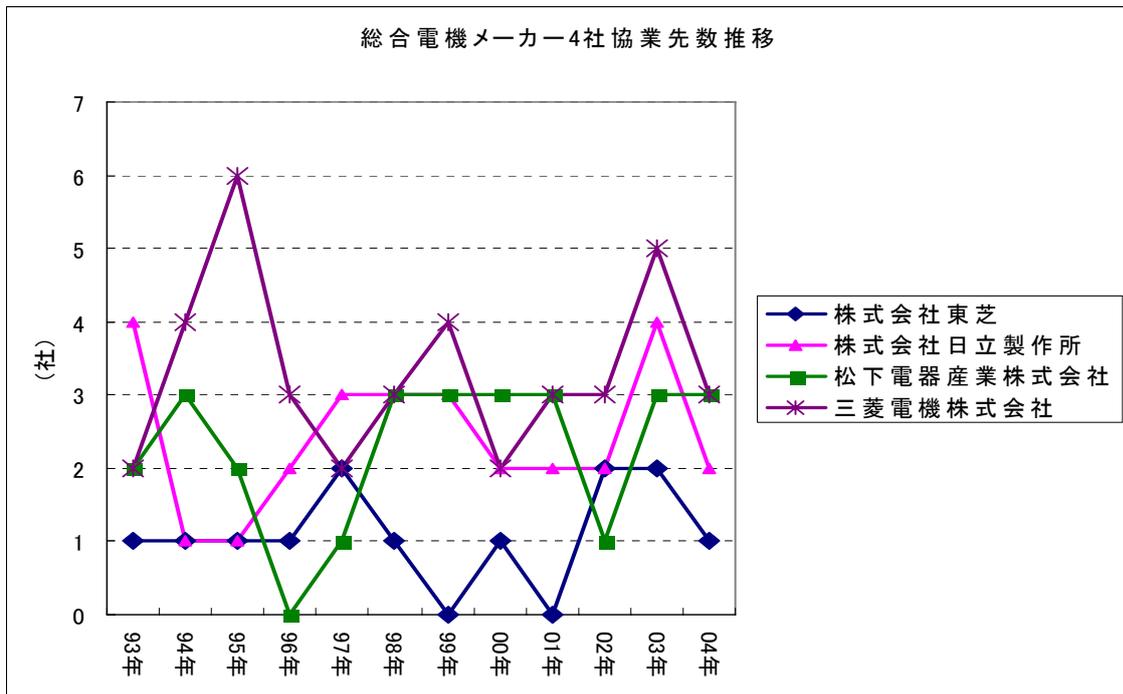
<図 9>総合電機メーカー共同特許出願件数



自動車のエレクトロニクス化と先端技術開発協業

次に4社の協業先数を確認すると、年ごとに凹凸はあるものの、全般的に、三菱電機が平均3.3社で最も大きく、以下、日立製作所が平均2.4社、松下電器が2.3社、東芝が1.1社の順となっており、東芝を除く3社は、基本的に2社以上の自動車メーカーと先端的技術分野で共同開発を組んでいることが見てとれる。

<図 10>総合電機メーカー協業先数



なお、各社の共同特許の内訳を詳しく見ると、東芝では、トヨタとの間で車両交通支援システム関係の共同開発を行っているのが目につくぐらいで、他の自動車メーカーとの共同開発は数えるほどしかない。

日立製作所は、日産を主要な相手として、各種制御装置関連、騒音低減装置関連、通信関連、ハイブリッド車及び電気自動車関連など、幅広い分野にわたって共同開発を行っている。他の自動車メーカーとの共同開発はさほど多くないが、トヨタとの間で、工場の発電や冷暖房システムの共同開発を、ホンダとの間で内燃機関の排ガス浄化装置や自動変速機関連の共同開発を行っているのが目につく。他は、数は少ないが、三菱自動車との間で無人走行車関連の共同開発を、富士重工との間で自動変速機関連の共同開発を、それぞれ行っている。

松下電器産業は、トヨタとの間で、電池関連全般と、ナビゲーションシステム及び情報通信関連とで、かなり大規模な共同開発を行っている。他は、ホンダとの間で、各種センサー

近能善範

や制御装置関連、通信関連の共同開発を、かなり手広く行っているのが目につく。

三菱電機は、三菱自動車を主要な相手として、ナビゲーションシステム関連及び各種制御装置関連で、幅広い分野にわたって共同開発を行っている。他の自動車メーカーとの共同開発は、数的にはさほど大きくないが、トヨタとの間で電子ビーム関連の共同開発を、スズキとの間で自動変速機関連の共同開発を、それぞれ行っているのが目につく。

詳細については紙面の都合で触れる余裕がないが、この4社のパテントマップ分析からは、先端的技術開発協業を複数の自動車メーカーと展開している場合には、世界的大企業である総合電機メーカーといえども、やはり厳然たるメインの取引先自動車メーカー1社が存在しており、なおかつ技術分野が自動車メーカー間で重なり合わないようになっていることが見てとれた。恐らくは、他の部品メーカーとの競合関係によってメインの取引先自動車メーカーとの間で手掛けられない技術分野を、他の自動車メーカーとの間で手掛けている（例えば〇〇の技術に関して、メインの取引先であるトヨタはデンソーと共同開発を行っており、食い込むことができないので、ホンダと組むといったやり方が取られている）のだと考えられる。つまり、電子・電気部品といえども、自動車産業では、これまでの歴史や、自動車がインテグラル型の典型的製品であるという技術的特性を反映して、パソコン産業で見られるような、完全な水平型の取引関係にはなっていないと考えられるのである。

5. まとめとディスカッション

近能(2007a)や近能(2007b)などにより、少なくともこの10年あまりの間に、日本の自動車メーカー・部品メーカー間の先端的技術開発分野での協業は拡大しつつあることが明らかにされてきた。本稿の分析からは、そうした全体的なトレンドの中でも、電気・電子部品メーカーの方が、その他部品メーカーに比べて一歩先を行っていることが明らかになった。すなわち電気・電子部品メーカーでは、その他の部品メーカー以上に、自動車メーカーと積極的に先端的技術の開発段階から協業体制を組んでおり、共同特許出願で見た量的な成果の面で圧倒的な差をつけている。しかも多くの電気・電子部品メーカーは、そうした先端技術開発協業を、複数の自動車メーカーとの間で行っているのである。

近能(2004b)が論じるように、先端技術開発協業では、不確実性が高い中で、自動車メーカーと部品メーカーの両者がお互いの最先端の技術やノウハウを開示し合い、困難な目標に向かって共同開発プロジェクトを進めていく必要がある。また、両者にとって、せっかく開発した新技術が共同開発の相手から漏れてしまった場合の痛手が大きい。加えて、そうした事態を防ぐために入念な機密保持協定（NDA: Non Disclosure Agreement）を結んだとしても、

自動車のエレクトロニクス化と先端技術開発協業

成果の帰属を両者の貢献度合いに応じて配分することが著しく困難なため、事後的な争いが起こることもある程度避けられない。このように、先端技術開発協業にはさまざまな困難が伴うので、これまで長期継続的・協調的・緊密な関係にあった特定の相手との取引関係を更にいっそう緊密化し、これまで培ってきた高度な信頼関係やさまざまな共同ルーティンをベースに、濃密なコミュニケーションを重ねながら開発プロセスを進めていきたいとの意識が働きやすい。

こうした一般的傾向の下で、しかし先端技術開発協業を複数の自動車メーカーとの間で行っている電気・電子部品メーカーが数多く存在しているということは、非常に興味深い現象である。自動車のエレクトロニクス化が急速に進む中で、自動車メーカーが必要とされる高度なエレクトロニクス技術を全て自前で賄うことは難しいことから、両者間の先端的技術分野での開発協業が拡大しているのだが、そうした高度なエレクトロニクス技術を有している企業数は限られる。そのため、総合電機メーカーや大手エレクトロニクス・メーカー、あるいは従来の電装品部品メーカーの中で有力な企業が取引先を拡大し、複数の自動車メーカーとの間で先端技術開発協業を展開していく動きを強めているのだと考えられる。

実際、近能(2007b)は、複数の自動車メーカーの中核的部品メーカーに名を連ねている「日本的メガ・部品メーカー」とでも言うべき企業群の存在を指摘しているが、その多くが、本稿で言う電子・電気部品メーカーであった。つまり、自動車のエレクトロニクス化こそが、先端技術開発の分野での取引関係の「オープン化」を牽引してきた最大の要因だと考えられるのである。しかしその一方で、そうした電子・電気部品においても、日本の自動車産業では、パソコン産業で見られるような完全な水平型の取引関係にはなっていないことも、部分的に確認することができた。これらの点を明らかにしたことは、日本の自動車部品サプライヤー・システムの研究に対する本稿の大きな貢献であろう。

自動車メーカー及び自動車部品メーカーによる先端技術開発協業のマネジメントの中身については、現在も調査研究を進めている最中である。いずれ、別稿にて論じることにした。

参考文献

- 浅沼萬里(1990).「日本におけるメーカーとサプライヤーとの関係：関係特殊的技能の概念の抽出と定式化」,『(京都大学) 経済論叢』, 第 145 巻第 1・2 号。
- 太田房江・中西英夫・木田勝也・大谷太助(1994).「自動車のエレクトロニクス化と分業生産体制

近能善範

- の変化」, 『(通商産業研究所) 研究シリーズ』, 第 22 巻。
- 機械振興協会経済研究所(2007). 『自動車産業のエレクトロニクス化の現状とその方向性』, (財) 機械振興協会経済研究所。
- 河野英子(2005). 「競争力に貢献する人材形成システム—ゲストエンジニア制度: 企業の境界を超えて連続する技術者のキャリア」, 『組織科学』, Vol. 39(1)。
- 後藤晃・長岡貞男編(2003). 『知的財産制度とイノベーション』, 東京大学出版会。
- 近能善範(2002). 「自動車部品取引のネットワーク構造とサプライヤーのパフォーマンス」, 『組織科学』, Vol.35(3)。
- 近能善範(2004a). 「日本の自動車部品サプライヤーシステムの構造的変化: 1973 年から 1998 年にかけての定量分析」, 『産業学会研究年報』, 第 19 号。
- 近能善範(2004b). 「日本の自動車産業におけるメーカー・サプライヤー間の開発動向と『複数プロジェクトの視点』」, 『研究技術計画』, Vol. 19(1・2)。
- 近能善範(2004c). 「日産自動車リバイバルプラン以降のサプライヤーシステムの構造的変化」, 『経営志林』, Vol.41(3)。
- 近能善範・奥田健祐(2005). 「日本自動車産業の変貌: 1990 年代を中心として」, 『経営志林』, 第 42 巻 2 号。
- 近能善範(2007a). 「日本自動車産業における関係的技能の高度化と先端技術開発の深化」, 『一橋ビジネスレビュー』, 55 巻 1 号。
- 近能善範(2007b). 「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」, 『経営志林』, 第 44 巻 3 号。
- 近能善範(2008). 「カー・エレクトロニクス分野の先端技術開発協業に関する Patent マップ分析」, 『産業学会研究年報』, 第 23 号(Forthcoming)。
- 総合技研(2006). 『2006 年版自動車エレクトロニクスの現状と将来分析』, 総合技研。
- 武石彰(2000). 「自動車産業のサプライヤー・システムに関する研究: 成果と課題」, 『社会科学研究』, 第 52 巻 1 号, 東京大学社会科学研究所。
- 武石彰(2003). 『分業と競争』, 有斐閣。
- 徳田昭雄・佐伯靖雄(2007). 「自動車のエレクトロニクス化(1)・(2): 車載電子制御システム市場の分析」, 『立命館経営学』, 第 46 巻第 2 号・第 3 号。
- 日経 Automotive Technology(2005). 『カー・エレクトロニクスのすべて』, 日経 BP 社。
- 日本自動車部品工業会. 『自動車部品出荷動向調査結果』(各年版), (社)日本自動車部品工業会。
- 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」, 東京大学ものづくり経営研究センター (MMRC) ディスカッションペーパー, No.9。

自動車のエレクトロニクス化と先端技術開発協業

- 藤本隆宏(2006).「自動車の設計思想と製品開発能力」, 東京大学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 2006-MMRC-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ー1次部品メーカーへのアンケート調査結果を中心にー」, 東京大学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 2006-MMRC-85。
- 矢野経済研究所(2005).『車載用MCUと半導体メーカーの自動車戦略 2005』, 矢野経済研究所。
- Clark, K. B. and T. 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『製品開発力』, ダイヤモンド社, 1993年)
- Cusumano, M. and A. Takeishi (1991). “Supplier relations and supplier management: A survey of Japanese, Japanese-transplant, and U.S auto plants,” *Strategic Management Journal*, Vol. 12, pp. 563-588.
- Dyer, J. H. (1996a). “Specialized supplier networks as a source of competitive advantage: Evidence from the auto industry,” *Strategic Management Journal*, Vol. 17(4), pp. 271-291.
- Dyer, J. H. (1996b). “Does governance matter?: Keiretsu alliances and asset specificity as sources of competitive advantage,” *Organization Science*, Vol. 7(6), pp. 649-666.
- Helper, S. and M. Sako (1995). “Supplier relations in Japan and the United States: Are they converging?” *Sloan Management Review*, Vol. 36(4), pp. 77-84.
- Kamath, R. and J. K. Liker (1994). “A second look at Japanese product development,” *Harvard Business Review*, Vol. 72(6), pp. 154-170.
- Nishiguchi, T. (1994). *Strategic industrial sourcing: The Japanese advantage*. New York: Oxford University Press.