

## エンジン車と次世代車間の 部品の関連性

自動車サプライヤーの  
取引品目の併売分析を通じて

### 岡本哲弥

Tetsuya Okamoto

滋賀大学 経済学部 / 教授

自動車産業は、CASE (Connectivity, Autonomous, Shared & Service, Electric) と呼ばれる100年に一度の大変革期の真っただ中にある。近年、GX (Green Transformation) が声高に叫ばれ、とりわけカーボンニュートラルに向けて、各国の政策も電気自動車 (Electric Vehicle ; 以下、EVと表記) に大きく舵が切られ、世界的に電動化の流れは急速な勢いで進行している (岡本 2022 など)。グローバル競争の中で、日本の電動化への取り組みは遅れているのではないかと論調が多くなっている。今後、エンジン車中心の自動車産業の競争構造の変化にともない、日本の自動車メーカーが得意とし、競争優位の源泉であるエンジン技術、工場の生産工程、系列部品メーカーを基軸とするサプライチェーン、系列販売ディーラー網の領域にも変革が求められる。さらに、異業種からEVへの参入も始まり、CASEのすべての分野において、ハードウェアだけでなく、システム開発技術、データサイエンスなどのソフトウェア技術の比重が増加し、そうした技術の重要性はさらに高まるであろう。名和(2021)は、こうした自動車産業の企業変革の中心課題は事業モデルの変革ではなく、資産モデルの変革であり、その変革の本質は負債となる有形資産を軽減しながら新たな競争力の源泉となる無形資産を獲得していく「新陳代謝」であると指摘している。

EVの部品点数は内燃機関車両の3分の1に減るといわれ、EV生産が大幅に拡大していけば、サプライヤーも事業転換を迫られる (デロイト トーマツ リスクアドバイザー 2022)。こうした変革への対応に追われる中、完成車メーカーだけでな

く、部品サプライヤーにとってもその影響は大きく、取扱部品の検討は喫緊の課題である。将来を見据えながら部品ポートフォリオを見直し、取引を維持し拡大しなければならない。しかし、各社が取扱品目を増やすには、その部品に対する技術的裏付けが必要であり、技術開発や用途開発などの研究開発においても効率的、効果的な投資を心掛けるなければならない。

本稿の問題意識は、サプライヤーが取扱部品のポートフォリオを見直すにあたって併売に相性の良い部品の組み合わせがあるのではないか、という点にある。ここでの併売は、サプライヤーが2種類以上の部品を自動車メーカーに供給することを指す。おそらく共通の技術に裏付けられた部品群、さらに相互に擦り合わせを要する部品群は併売される可能性が高いと考えられる。そこで、本稿では、サプライヤーが同時に取り扱う部品ポートフォリオから、複数のサプライヤーが共通して供給する部品群に着目し、関係性の高い部品の組み合わせを抽出することを目的とする。言い換えると、部品サプライヤーの併売分析である。その中で、EV、燃料電池車(Fuel Cell Vehicle; 以下、FCVと表記)といった次世代自動車の部品が、既存の自動車部品の中でどのような位置づけにあるのかを探索的に明らかにする。

## II 自動車の製品アーキテクチャ論

### 1 製品アーキテクチャ

製品アーキテクチャとは、製品を構成する個々の部品や要素の間のつなぎ方、製品としてのまとめ方を指し(Baldwin and Clark 2000)、「システムとしての製品を、どのようなサブシステム(部品)

の、どのような関係性を有した集合体として構成するのかに関しての基本的設計思想」と定義される(藤本 2001; 青島・武石 2001; 近能・高井 2010)。

さらに、製品アーキテクチャに関して、製品を構成する部品間の相互依存性の高低を「モジュラー(組み合わせ)型」と「インテグラル(擦り合わせ)型」に分け(Ulchi 1995; Baldwin and Clark 2000)、製品を構成する部品の汎用性の高低を「オープン型」と「クローズド型」に分割すると、これら2軸によって図1の通り、4つの基本タイプに分類できる。自動車はアーキテクチャの分類ではインテグラル・クローズド型のタイプに位置づけられている。

	インテグラル	モジュラー
クローズド	自動車 オートバイ 小型家電	汎用コンピュータ 工作機械 レゴ(おもちゃ)
オープン		パソコン パッケージソフト 自転車

図1 アーキテクチャの分類  
出所) 藤本(2001),p.6

モジュラー型のアーキテクチャでは、事前に部品間の結合部分(インターフェイス)のルール(標準)を取り決め、その標準に従って開発することで、部品(モジュール)間の独立性を維持する。一方、インテグラル型では、事前に部品間の相互依存関係や部品の結合部分のルールを完全には確定せ

ず、開発段階で各部品間の調整をしながら、製品全体の完成度を高める。

オープン型では、製品開発に際して標準仕様の部品で事足りれば、標準部品を取り扱う幅広い供給先が候補となる。一方、クローズド型では、標準化されていない特殊な仕様の部品を入手するには特定サプライヤーに発注せねばならない。

ただし、藤本(2013)によれば、各製品はこれらインテグラル型とモジュラー型の2つの理念型を両端とするアーキテクチャ・スペクトルのいずれかのポイントに位置づけられる。

## 2 自動車のアーキテクチャ

藤本(2013)は、製品などの人工物に市場が要求する機能要件が厳しい場合や社会が要求する制約条件が厳しい場合、あるいは重量や体積やエネルギー使用量などの面で技術的な条件が厳しい場合、その人工物のアーキテクチャは、部品から最適設計されたインテグラル型に傾斜しやすく、「人工物の設計の複雑化」につながるとしている。特に、乗用車などはその典型例であり、1トン前後の主に鉄製の物体が、大量の燃料を消費しながら道路という公共空間を高速で走り、石油消費、地球温暖化ガス、その他の排気ガス、騒音、交通事故といった問題を引き起こす(藤本 2013, 2017)。半世紀前に宇沢(1974)によって指摘された「自動車の社会的費用」に他ならない。自動車に対する各国政府の安全規制、環境規制、燃費規制などが厳しくなり、社会の要求する制約条件は厳しくなる傾向は顕著である。加えて、自動車は高額な耐久消費財であるため、顧客からの機能要求も厳しい。こうした厳しい安全、環境、燃費などの制約条件、顧客の機能要求によって、自動車の製品アー

キテクチャは基本的にはクローズド・インテグラル寄りに留まらざるをえない(藤本 2013, 2017)。

藤本(2001, 2013)は、自動車の「乗り心地」の機能は、タイヤ、サスペンション、ショックアブソーバー、シャーシー、ボディ、エンジン、トランスミッションなどの部品の設計を微妙に相互調整することで、その性能が発揮され、サスペンションのわずかなジオメトリーの違いや、エンジンの重心がアクセルよりわずかに前にあるか後にあるかといった微妙な点が、製品の性格に大きく影響してくるという。逆に、ボディという1つの部品は、安全性・居住性・空力特性など、複合的に多くの機能を担っている。つまり、機能要素と構造要素(部品)が「1対1」ではなく「多対多」の関係にあるため、インテグラル製品として各部品の設計者は、互いに設計の微調整を行い、相互に緊密な連携をとる必要があるというのである。また、近能・高井(2010)によれば、自動車の製品開発では、はじめなければ分からない問題も多々あり、あらかじめモジュラー型で部品間の相互依存関係をすべて決めておくことには限界があるため、事後調整によって理想的な設計を追求する余地を残しておいたほうが良い場合が多い。

約3万点の部品からなるインテグラル型の製品である自動車は、かつては多くの主要部品はメカニカルな部品であったが、エレクトロニクス化が進行するなかで、さまざまな部品を電子的に制御するECU (Electric Control Unit) などの電子部品比率が急速に高まり、そこで使用される制御プログラムの行数も飛躍的に拡大している(近能・高井 2010; 藤本・朴 2013)。このように、そもそもメカニカルな製品設計に対して、電気・電子設計、ソフトウェア設計のウェイトが増加した結果、製品

開発における機能要素と構造要素の対応関係の連立方程式を解くのが困難になりつつある（藤本2013）。

今後、自動車産業においてはカーボンニュートラルに向けて、電動化や自動運転といったCASE技術の開発も本格化する中で、自動車の製品開発での電気・電子部品およびソフトウェアの重要性がますます高まることが想定される。

### 3 次世代車のパワートレインの基本構成

これまでガソリンや軽油を使って走るエンジン車やハイブリッド車（Hybrid Vehicle；以下、HVと表記）が主流の乗用車であったが、今日ではEVが次世代車最有力と目されている。加えて、既に市販されているFCVも次世代車の候補の一つといえ

る。これら各車のパワートレインの構成を模式的に描いたのが図2である。

ここでは、川辺(2016)に依拠しながら各車の特徴を確認しておく。

まず、ガソリン車は、燃料がガソリンで、エンジンが車輪を駆動して走る。ガソリン車のパワートレインは、燃料タンク、エンジン、トランスミッションからなる。このエンジンは、排気ガスや音、振動の発生源であり、排気ガスは、エンジン内部でガソリンが燃えて出るので、環境に有害とされる物質、たとえば二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）や窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）、硫黄化合物（SO<sub>x</sub>）、粒子状物質（PM）などを含む。近年はこれらの物質の排出量や、走行中に生じる音や振動を減らす工夫がされているが、それでもゼロにはできない。

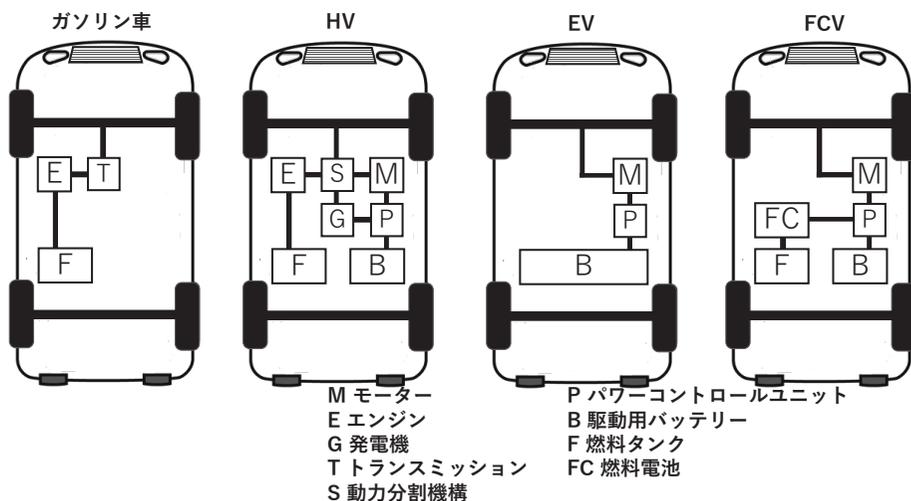


図2 パワートレインの構成  
出所)川辺(2016),pp.16-17を筆者一部改変

EVは、一般的に駆動用バッテリーを電源として、モーターで駆動する自動車を目指す。EVのパワートレインは、主にモーターやパワーコントロールユニット、そして駆動用バッテリーの3点で構成されている。また、駆動用バッテリーが唯一の電源となるため、容量が大きいバッテリーが必要になる。

HVは、一般的にエンジン駆動とモーター駆動の2つのシステムを混成 (hybrid) させた自動車を目指す。そのため、HVのパワートレインは、ガソリン自動車とEVの双方の構成要素をもつ。ガソリン車とくらべると、燃費がよく、環境に有害とされる物質の排出量が少ない。

FCVは、燃料電池を搭載し、燃料の水素と空気中の酸素を化学反応させて発電し、モーターによって車輪を駆動する。燃料電池は酸素と水素の化学反応による発電装置であり、水しか排出しない。こうしたメカニズムのため、FCVには高圧水素タンク、燃料電池、モーターが搭載され、EVとは燃料電池と水素タンクがある点が異なる。さらに、燃料電池で発電しながら走行するため、駆動用バッテリーはEVのものよりも容量は小さくて済み、走行中に排気ガスは一切排出されない点はEVと共通する。

こうした各車のパワートレインの特徴を踏まえて、近能・高井 (2010) は、EVの主要な構成要素はモーター、パワーコントロールユニット (インバーターなど)、バッテリーであり、モーターの動作原理や機構は、ガソリンエンジンよりもはるかに単純であるため、汎用性の高い主要部品のモーターとバッテリーなどの部品を調達すれば比較的簡単に車を完成させることができるという。このEVのパワートレインの構造の単純さを、沢村 (2010) は「大きなプラモデル」に、桑島・川端 (2021) は「ラ

ジコン車」に例えた。さらに、村沢 (2010) は新興の小企業群がEV市場を制する状況を“Small Hundreds”と称し、かつて自動車産業のリーダーの称号であった“Big Three”と対比的に表現したのである。2023年に入ってからEV販売台数上位2社は、BYD (比亞迪) とテスラである。BYDは1995年に設立された中国最大手の携帯電話用電池メーカーで、2003年に中堅自動車会社を買収しEVメーカーとしても成長した企業である。テスラは、2003年に設立された米国のベンチャー企業で2004年からIT業界出身のイーロン・マスクが率いてきた。いずれの企業もEVの新興企業である。

大手の既存自動車メーカーにとっては、エンジン車で培ってきた技術や知識がEVでは応用できないものも多いため、EV市場において参入に出遅れた感が否めず、現時点では新興企業が優位なポジションを築きつつある。

以上の通り、製品アーキテクチャの観点から、乗用車は社会的制約条件が厳しく、顧客の機能要求水準が高いことから基本的にはインテグラル寄りに留まることが想定される。一方、パワートレインの主要な構成要素をみると、EVはモジュラー型の傾向が強いと考えられる。実際に、Fujimoto (2017) は、ハイブリッド車、電気自動車、燃料電池車などの次世代車の機能・構造マトリクス (二部グラフ) から、部品間の相互依存性を計算し、各車のパワートレインをアーキテクチャ・スペクトル上に展開している。ガソリン車の5ポイントを基準に見ると、HVは6ポイントでインテグラル寄り、EV (4ポイント) とFCV (2ポイント) はモジュラー寄りに位置づけられている。

#### 4 エンジン車と電気自動車のコスト構造

図3は、日本経済新聞(2021年3月12日付朝刊)に掲載されたパワートレイン別のコスト構造である。完成車の分解調査を手がけるマークラインが、ガソリン車、HV、EVの3つのパワートレインのコスト構造を試算したものである。図3によれば、ガソリン車、EV、HVのいずれにも共通する車体や内装部品などのコストは75万円程度になっている。200万円程度で販売されるガソリン車の総原価は120万円程度であり、EVでは総原価だけで194万円になり、ほぼガソリン車の販売価格に相当する。電池やインバーターなどEVだけに必要になる部品原価はガソリン車専用部品の原価の3倍近くになっている。特に、EVの場合、電池の原価は90万円程度で、総原価の半分近くを占める。

週刊東洋経済編集部(2021)によると、自動車メーカーがEVで競争に勝ち残るには、性能や品質のよい電池を少しでも安く、大量かつ安定的に

調達できる体制を構築しておくことが不可欠で、各社は有力な電池メーカーの供給枠を押さえようと、長期の大口契約締結や関係強化に奔走している。

## II 自動車部品サプライヤーの先行研究

### 1 部品サプライヤーのオーバーラップ

ガソリンエンジンなどの内燃機関をもつ自動車は、3万点に及ぶ部品から構成され、自動車産業にはこれらの部品を供給する多数のサプライヤーが存在し、完成車メーカーを頂点とするピラミッド型の巨大な産業構造として理解されてきた。

伊丹(1988)は、自動車メーカーの部品発注のパターンを「オーバーラップ供給体制」と称し、2つの意味の部品生産のオーバーラップを指摘している。第1のオーバーラップは、自動車メーカー側の観点で、1つの部品に関して複数サプライヤーが

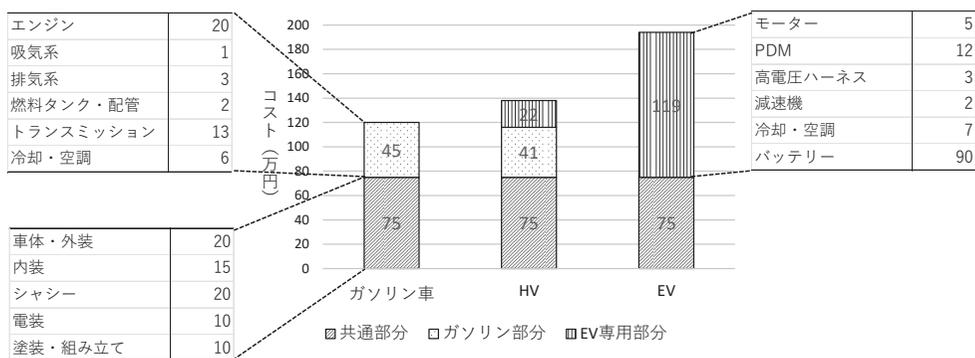


図3 ガソリン車・HV・EVのコスト構造

注) Cセグメント(カローラ、プリウス、リーフ級)の一般的な原価。ガソリン車であれば、市販価格200万円程度。コスト値は直接原価で、管理費、開発費、型償却費は含まない。PDMはPower Distribution Moduleの略。バッテリーの容量は40kWh。

出所)日本経済新聞(2021年3月12日付朝刊14面)を筆者一部改変。

その技術をもつようにすることを意味し、原則的には複社発注になる。発注側の自動車メーカーは、ある部品の技術が単独企業の独占になるリスクを回避でき、そのサプライヤーが事故などで供給能力が一時的に減少した場合には緊急の代替供給者を準備できるメリットがある。第2のオーバーラップは、サプライヤー側からみたオーバーラップで、基本的な技術の利用可能な範囲で複数の部品を納めることを意味し、1企業の技術が複数の納入部品間でオーバーラップして利用される。その結果、範囲の経済が部品サプライヤーにもたらされる。第1のオーバーラップは、自動車メーカーにおける個別部品のサプライヤー間のオーバーラップであり、第2のオーバーラップは、サプライヤーにおける複数部品間の技術のオーバーラップと呼べる。

延岡(1998)は、日本の自動車部品サプライヤーの顧客ネットワーク戦略が、企業成果へ及ぼす影響を分析し、系列的な関係ではなく広範な顧客ネットワークを効果的に管理することによる「顧客範囲の経済性」を活用した戦略がサプライヤーの企業成果に貢献することを解明した。これは、部品サプライヤーにおける複数自動車メーカーとの取引のオーバーラップ(複社受注)であり、第3のオーバーラップである。

岡本(2016)は、国内自動車産業におけるメーカーと部品サプライヤーの多対多の取引関係を所属ネットワーク(2部グラフ)として捉え、サプライヤーが複数メーカーの協力会に加盟する第3の取引のオーバーラップについて実証的に明らかにした。その結果、国内メーカー協力会へ加盟するサプライヤーの実数が大幅に減少するなかで、部品サプライヤーが同時に複数の協力会に加盟する

オーバーラップが大幅に増加して、自動車メーカー間の取引サプライヤーが同質化する傾向にあること、さらに取引先サプライヤーとの取引関係にもとづくメーカー間の位置関係は、20年間で商用車、軽自動車といった取扱車種ごとに接近してきたことを明らかにした。

第1の自動車メーカーの個別部品におけるサプライヤー間のオーバーラップは、完成車メーカーを頂点とする閉鎖的なピラミッド型のサプライチェーンを前提とした議論に位置づけられる。しかし、第3の部品サプライヤーにおける自動車メーカーの取引のオーバーラップは、組立メーカーを頂点とするピラミッドが相互にオーバーラップした開放的な構造であることを意味している。そして、複数サプライヤーへの自動車メーカーの複社発注(第1オーバーラップ)とサプライヤーの複数自動車メーカーからの複社受注(第3オーバーラップ)が組み合わせられると、メーカーとサプライヤーの取引は多対多の取引となる。

こうした完成車メーカーと部品サプライヤーの取引依存関係の変化に焦点を当てた研究もある。犬塚(2018)は、自動車メーカーと部品サプライヤーの間における複数部品の取引を前提に、サプライヤー及び完成車メーカーの取引依存度指標を構成したうえで、完成車メーカーがサプライヤーに対して取引依存度を上げ、反対にサプライヤーは完成車メーカーに対して取引依存度を下げるという逆向きの変化が生じていることを明らかにしている。さらに、リーマンショックが始まった2008年前後から、取引依存度を上げたグループ(マツダ、ダイハツ工業、富士重工業)、変化のないトヨタ自動車、取引依存度を下げたグループ(日産自動車、

三菱自動車工業、本田技研工業)があり、完成車メーカーの部品調達方針に関する大きな隔たりが存在し、さらにそれが拡大しているという。

## 2 サプライヤーのネットワーク分析

鬼頭(2015)は、ネットワーク分析によって、①サプライヤーの部品ポートフォリオのサイズの分布がスケールフリー性を有すること、②ポートフォリオの小さいサプライヤーは、多くのサプライヤーが製造する部品を造る傾向があること、③コア製品の製造を系列サプライヤーが担うか否かは自動車メーカーごとに異なることを示した。

岡本(2017)は、部品サプライヤーのデータセットにアソシエーション分析から導かれた相関ルールについて、条件部、結論部の部品間の関係を有向グラフとして表現したところ、61の節点(部品)が含まれ、相互性は0.962と極めて高く、全体的には部品間の連動性が要求されるインテグラル型(擦り合わせ型)の品目群や類似性の高い品目でオーバーラップの傾向がみられた。これはサプライヤーと取扱部品の間の第4のオーバーラップ(二部グラフ)になる。

今日、カーボンニュートラルに向けて次世代車への期待が急速に高まっているが、上記の先行研究が進められた時期は、EVに代表される次世代車が本格導入される以前である。

## IV 分析手法

本研究は、部品サプライヤー間の取扱部品のアソシエーション分析という面において岡本(2017)と共通の発想に基づきながら、部品サプライヤー

の併売分析によって、部品同士の関連性、その中で次世代車向け部品の位置づけを探索的に明らかにしようとするものである。具体的には、あるサプライヤーによって併売される部品と他のサプライヤーのそれとの部品同士のオーバーラップの分析から、技術のオーバーラップや擦り合わせを要する部品群の抽出を試みる。

## 1 分析データ

分析対象データとして、総合技研株式会社の『2021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』を用いる。本資料は部品ごとに部品サプライヤー(自動車メーカー含む)と国内の自動車メーカー11社の取引関係が取りまとめられている。部品ごとの納入マトリックスの表頭には、トヨタ、日産、ホンダ、マツダ、三菱(三菱ふそう)、いすゞ、スズキ、ダイハツ、SUBARU、日野、UDの自動車メーカー11社が掲載されている。それらメーカーに供給している部品サプライヤーは表側に示されており、メーカーとサプライヤーの交差するセルに、取引量ないしは取引の有無が記されている。

この納入マトリックスから、部品サプライヤー別に取扱部品品目を整理し、部品サプライヤー(484社<sup>1)</sup>)×部品(275件<sup>2)</sup>)の取扱部品のデータセット(対応表)を作成した。これら275品目に、本資料に掲載されていた①エンジン(1~72)、②電気・電装(73~139)、③ハイブリッド車用(140~154)、④電気自動車用(155~158)、⑤燃料電池車用(159~180)、⑥駆動・電動(181~219)、⑦懸架・制動(220~240)、⑧車体(241~275)の8

1) 総合技研株式会社(2021)の納入マトリックスの表側の部品サプライヤーの項目が「その他」「海外メーカー」などで、部品メーカーが特定できない場合は、分析対象から除外した。また、自動車メーカーが部品を生産している場合には、自動車メーカーも部品サプライヤーとして分析に含めた。その結果、分析対象の部品サプライヤー数は484社になった。

2) 総合技研株式会社(2021)のタイトルには納入マトリックスの品目数は255品目となっているが、「スーパーチャージャー」品目では部品サプライヤー項目が「海外メーカー」のみであったため品目を除外し、逆に同一品目名で実質複数品目が掲載されている場合は品目を分割して扱った。例えば、「燃料電池車主要部品」には20品目が含まれていた。こうした品目の削除や分割の結果、データセットの品目数は275品目となった。

分類の順に品番を付した。括弧内の数字が各分類の部品に付した品番である。

## 2 分析手法

本研究における部品サプライヤーの部品の併売分析という基本的発想は、岡本(2017)と共通している。岡本(2017)は、サプライヤーが同時に取り扱う部品ポートフォリオに関するアソシエーション分析の中で、部品間の関係を条件部から結論部への向きのある相関ルールとして抽出し、それを有向グラフとして描いた。しかし、部品間の相互性(双方向性)は0.962と極めて高かったため、結果的に有向グラフとして扱う意義は低かった。そこで本研究でも複数のサプライヤーで同時に扱われる部品の共起性の高い部品間の関係性を抽出するが、相関ルールは用いず、類似度(距離)指標を用いて部品間の併売関係を評価することにする。

集合同士の類似度を表すための基本的な指標に、図4のようなJaccard係数、Dice係数、Simpson係数が挙げられる(藤波2020)。

Jaccard係数は2つの集合に含まれる要素のうち積集合(共通部分)の要素数が占める割合を表しており、0から1の間の値をとり、値が大きいほど2つの集合の類似度は高いと評価される。しかし、Jaccard係数は2つの集合の積集合の要素数が多いほど類似度が高くなるものの、2つの集合の差集合の要素数に大きく依存し、差集合の要素数が多いほどJaccard係数は小さくなってしまふ。

Dice係数は2つの集合の積集合の要素数に対する平均要素数の割合を表して、0から1の間の値をとり、Dice係数が大きいほど2つの集合の類似度は高い。Dice係数は、Jaccard係数の定義式の分母の「和集合の要素数」を「2つの集合の平均要素数」に置き換えることで、差集合の要素数が大きくなった場合の類似度への影響を緩和している。とはいえ、2つの集合の差集合の要素数が膨

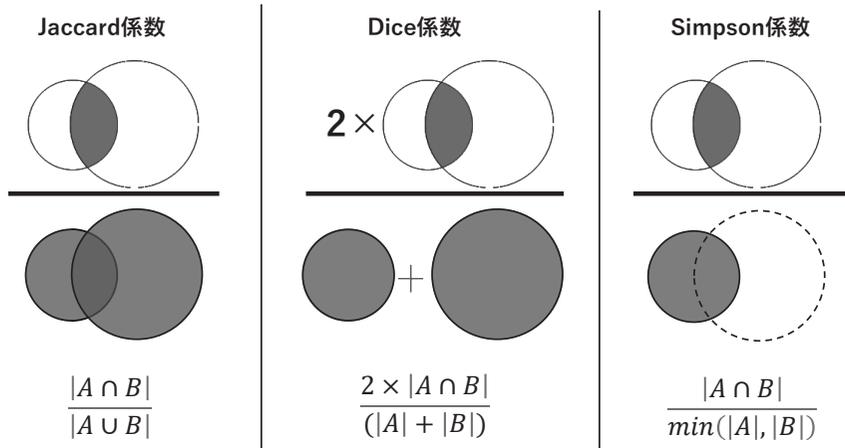


図4 集合の類似度指標

大になるときに、一方の集合が他方の集合を内包している場合などは、Dice係数も低下してしまう。

Simpson係数は2つの集合のうち要素数が少ない方の要素数に対する積集合の要素数の割合であり、0から1の間の値をとる。Simpson係数は、Dice係数の定義式の分母の「2集合の平均要素数」を「2つの集合のうち少ない方の要素数」に置き換えることによって、Jaccard係数ないしはDice係数の差集合の要素数による影響を下げ、相対的に共通要素数が重視される。その結果、一方の集合の要素数が少ない集合が他方の集合を内包している場合には、差集合の要素数が多くても類似度が1となってしまう。

本研究では、部品aを取り扱うサプライヤーの集合Aと部品bを取り扱うサプライヤーの集合Bについて考えるが、次節の表1で示す通り、それらの集合の要素数（取扱企業数）の最小値は1で、最大値が22となっている。Simpson係数では差集合が考慮されず、要素数の少ない集合（部品）が偏重されてしまうケースがあるため、Simpson係数は採用しない。Jaccard係数とDice係数が候補になるが、いずれの係数も分母に集合Aと集合Bの双方の要素数が考慮され、サプライヤー数の小さい集合にだけに影響されることはないため、よりポピュラーなJaccard係数を用いることにする。

本研究では複数のサプライヤーで同時に扱われる2組の部品について、共起性の上位の部品セットをJaccard係数に基づいて抽出する。そのうえで、Jaccard係数上位の部品セットについて、共起ネットワークによって可視化する。共起ネットワークの中では、モジュラリティ (modularity) によって、サブグループ（コミュニティ）に分類する。モジュラリティとは、分割されたコミュニティ内の辺の数とコ

ミュニティ間の辺の比較により、コミュニティが高密度のサブグループをうまく抽出しているかを示す指標である（鈴木2017）。

本研究では、KH coderの共起ネットワークの描画機能を利用し、部品間の距離（Jaccard係数）をもとに部品間の共起ネットワークを可視化する<sup>3)</sup>。

## V | 分析結果

### 1 記述統計

部品サプライヤーの取り扱う部品の併売分析に用いるデータセットについて、まずサプライヤーごとの取扱部品数の分布や部品単位での部品サプライヤー数の分布などの特徴を把握する。

表1の左側は、484社のサプライヤーの取扱部品数をまとめたものであり、取扱部品数が1品目のみの企業は230社（47.52%）ある。取扱部品数の最大値は77品目であり、それはデンソーである。取扱部品数の平均は3.48品目で、標準偏差は6.07である。表1の右側は、275品目の中で1社しか扱っていない部品は29品目あり、最大の22社が取り扱う部品は2品目あることが分かる。品目ごとの取扱企業数の平均は6.12社で、標準偏差は4.54である。

### 2 全部品対象の共起ネットワーク

図5は、取扱企業数が2社以上の部品において、描画する共起関係（edge）としてJaccard係数を選択し、Jaccard係数が0.56以上の上位101の共起関係を描いた共起ネットワークである。共起ネットワークには97部品が描かれ、27のサブグラフが析出されている。円の大きさ（Frequency）は、その部品を取り扱う企業数を表している。

<sup>3)</sup> KH Coderはテキストマイニング（計量テキスト分析）用のフリー・ソフトウェアである。本研究ではテキストマイニングは用いないが、KH Coderが有するネットワーク分析や描画機能を利用している。KH Coderについては、樋口（2014）や樋口・中林・周（2022）に詳しい。

表1 度数分布表

取扱部品数	企業数	%	累積%	備考	取扱企業数	部品数	%	累積%
1	230	47.52	47.52		1	29	10.55	10.55
2	84	17.36	64.88		2	30	10.91	21.45
3	56	11.57	76.45		3	30	10.91	32.36
4	26	5.37	81.82		4	33	12.00	44.36
5	23	4.75	86.57		5	34	12.36	56.73
6	10	2.07	88.64		6	23	8.36	65.09
7	10	2.07	90.70		7	16	5.82	70.91
8	5	1.03	91.74		8	20	7.27	78.18
9	5	1.03	92.77		9	14	5.09	83.27
10	5	1.03	93.80		10	6	2.18	85.45
11	6	1.24	95.04		11	3	1.09	86.55
12	2	0.41	95.45		12	4	1.45	88.00
13	1	0.21	95.66		13	7	2.55	90.55
14	3	0.62	96.28		14	6	2.18	92.73
15	1	0.21	96.49		15	7	2.55	95.27
16	3	0.62	97.11		16	2	0.73	96.00
17	1	0.21	97.31		17	1	0.36	96.36
18	2	0.41	97.73		18	5	1.82	98.18
19	1	0.21	97.93		19	1	0.36	98.55
21	1	0.21	98.14		21	2	0.73	99.27
22	3	0.62	98.76		22	2	0.73	100.00
24	1	0.21	98.97	ホンダ		275	100.00	
25	1	0.21	99.17	三菱電機				
45	1	0.21	99.38	トヨタ				
46	1	0.21	99.59	アイシン				
48	1	0.21	99.79	日立Astemo				
77	1	0.21	100.00	デンソー				
	484	100.00						

表2は図5の共起ネットワーク上に抽出された27のサブグラフごとに部品を整理したものである。その中の17のサブグラフは、部品の類似性が高く技術のオーバーラップによって形成されていると推測される。該当するサブグラフ番号は、1(センサー)、2(フィルター)、4(ドアロック)、5(トランスミッション)、6(ペダル)、9(カーオーディオ・ナビ)、11(ウェザーストリップ)、12(ベルト)、13(パワードア)、14(シート)、15(ホース)、16(ドアハンドル)、18(スターター・オルタネーター)、22(ランプ)、23(ウイ

ンド・モーター)、25(メーター)、27(チューブ)である。サブグラフ1は、多くのセンサーを含む電気・電子部品中心の24品目によって最大のグループを形成しているが、一部、制御対象の部品も含まれている。その他のサブグラフは類似のパーツごとに分かれているのが観察される。

次に、部品間の擦り合わせを要すると推測される部品群には表2で網掛けをした10のサブグラフが相当すると考えられる。該当するサブグラフ番号は、3(ステアリング)、7(サスペンション)、8(ブ

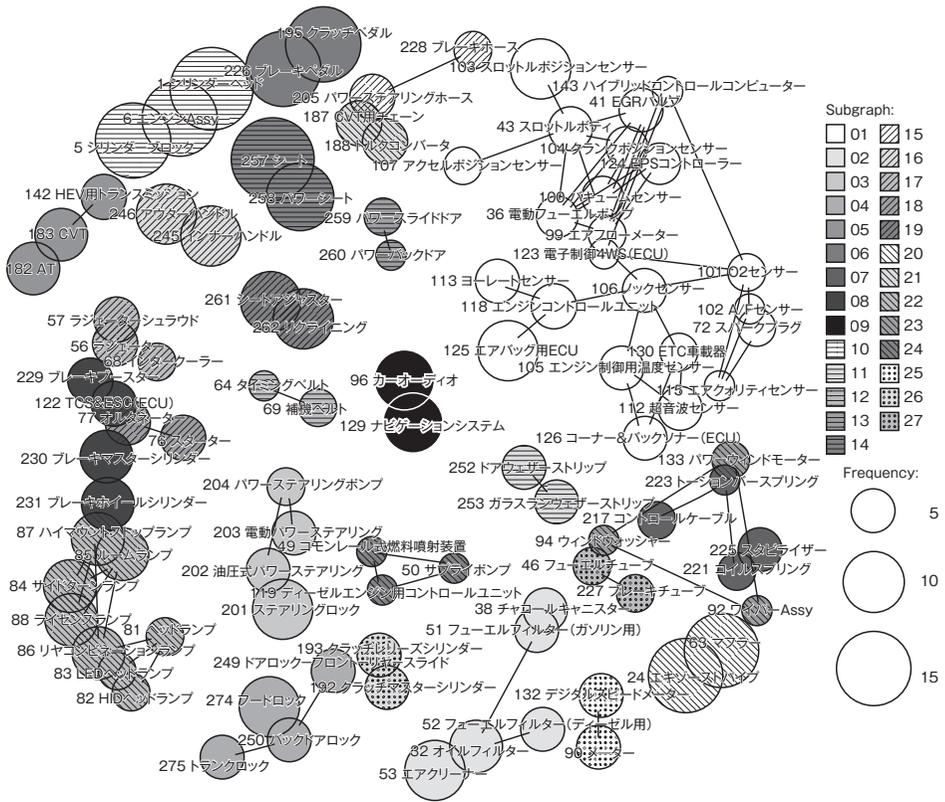


図5 全部品対象の共起ネットワーク

レーキ)、10(エンジン)、17(ラジエーター)、19(シート)、20(マフラー)、21(トルコン)、24(ディーゼルエンジン)、26(クラッチパーツ)である。

視点を変えて総合技研株式会社(2021)の部品分類に沿ってみると、エンジン関連のサブグラフは、2(フィルター)、10(エンジン)、12(ベルト)、17(ラジエーター)、20(マフラー)、24(ディーゼルエンジン)などに分かれている。電気・電装部品には、1(センサー)、18(スターター・オルタネーター)、22(ランプ)が該当し、サブグラフ1や22といった比較的な大きなサブグラフが確認できる。駆動・

電動では、3(ステアリング)、21(トルコン)のサブグラフが見られる。懸架・制動関連には、7(サスペンション)、8(ブレーキ)のサブグラフが観察される。車体関連については、4(ドアロック)、11(ウェザーストリップ)、13(パワードア)、14(シート)、16(ドアハンドル)、19(シート)など類似部品ごとに複数のサブグラフが析出された。

しかし、図5の共起ネットワークには、EVとFCVの専用部品は抽出されておらず、他の部品との共起関係は見出されない。

表2 サブグラフを構成する部品群

Subgraph	品番	部品	Subgraph	品番	部品	Subgraph	品番	部品
1	36	電動フューエルポンプ	4	249	ドアロック-フロント-リヤ-スライド	16	245	インナーハンドル
	41	EGRバルブ		250	バックドアロック		246	アウターハンドル
	43	スロットルボティ		274	フードロック	17	56	ラジエーター
	72	スパークプラグ		275	トランクロック		57	ラジエーターシュラウド
	99	エアフローメーター	5	142	HEV用トランスミッション	18	68	インタークーラー
	100	パキュームセンサー		182	AT		76	スターター
	101	O2センサー		183	CVT		77	オルタネーター
	102	A/Fセンサー	6	195	クラッチペダル	19	261	シートアジャスター
	103	スロットルポジションセンサー		226	ブレーキペダル		262	リクライニング
	104	クランクポジションセンサー	7	217	コントロールケーブル	20	24	エキゾーストパイプ
	105	エンジン制御用温度センサー		221	コイルスプリング		63	マフラー
	106	ノックセンサー		223	トーションバースプリング	21	187	CVT用チェーン
	107	アクセルポジションセンサー	225	スタビライザー	188		トルクコンバータ	
	112	超音波センサー	8	122	TCS&ESC (ECU)	22	81	ヘッドランプ
113	ヨーレートセンサー	229		ブレーキブースター	82		HIDヘッドランプ	
115	エアクオリティセンサー	230		ブレーキマスターシリンダー	83		LEDヘッドランプ	
118	エンジンコントロールユニット	231		ブレーキホイールシリンダー	84		サイドターンランプ	
123	電子制御4WS (ECU)	9	96	カーオーディオ	85		ルームランプ	
124	EPSコントローラー		129	ナビゲーションシステム	86		リヤコンビネーションランプ	
125	エアバッグ用ECU	10	1	シリンダーヘッド	87		ハイマウントストップランプ	
126	コーナー&バックソナー (ECU)		5	シリンダーブロック	88		ライセンスランプ	
130	ETC車載器		6	エンジンAssy	92	ワイパーAssy		
143	ハイブリッドコントロールコンピューター	11	252	ドアウェザーストリップ	23	94	ウィンドウォッシャー	
32	オイルフィルター		253	ガラスランウェザーストリップ		133	パワーウィンドモーター	
2	38	チャコールキャニスター	12	64	タイミングベルト	24	49	コモンレール式燃料噴射装置
	51	フューエルフィルター(ガソリン用)		69	補機ベルト		50	サプライポンプ
	52	フューエルフィルター(ディーゼル用)	13	259	パワースライドドア		119	ディーゼルエンジン用コントロールユニット
	53	エアクリナー		260	パワーバックドア		90	メーター
3	201	ステアリングロック	14	257	シート	25	132	デジタルスピードメーター
	202	油圧式パワーステアリング		258	パワーシート		192	クラッチマスターシリンダー
	203	電動パワーステアリング	15	205	パワーステアリングホース	26	193	クラッチレリーズシリンダー
	204	パワーステアリングポンプ		228	ブレーキホース		46	フューエルチューブ
						27	227	ブレーキチューブ

### 3 HV・EV・FCV専用部品対象の共起ネットワーク

全275品目の共起ネットワークでは、次世代車の関連部品は、Jaccard係数の上位に上がらなかったため、ここでは、HV、EV、FCV用の41部品に限定して共起ネットワークを描くことにする。なお、HVにはプラグイン・ハイブリッド車(Plug-in Hybrid Vehicle; 以下、PHVと表記)を含んでいる。図6は、取扱企業数が1社以上の部品において、

Jaccard係数が0.10以上の上位70の共起関係を描いた共起ネットワークである。共起ネットワークには28部品が5つのサブグラフに分類されている。また表3は、図6に描かれた部品とその部品を取り扱うサプライヤーの関係を示している。

サブグラフ1は、HVのバッテリー、インバーター、コンバーターを中心とする部品群であり、電機メーカーのパナソニックと三菱電機、豊田自動織機がキープレイヤーである。一部EV用バッテリー、燃

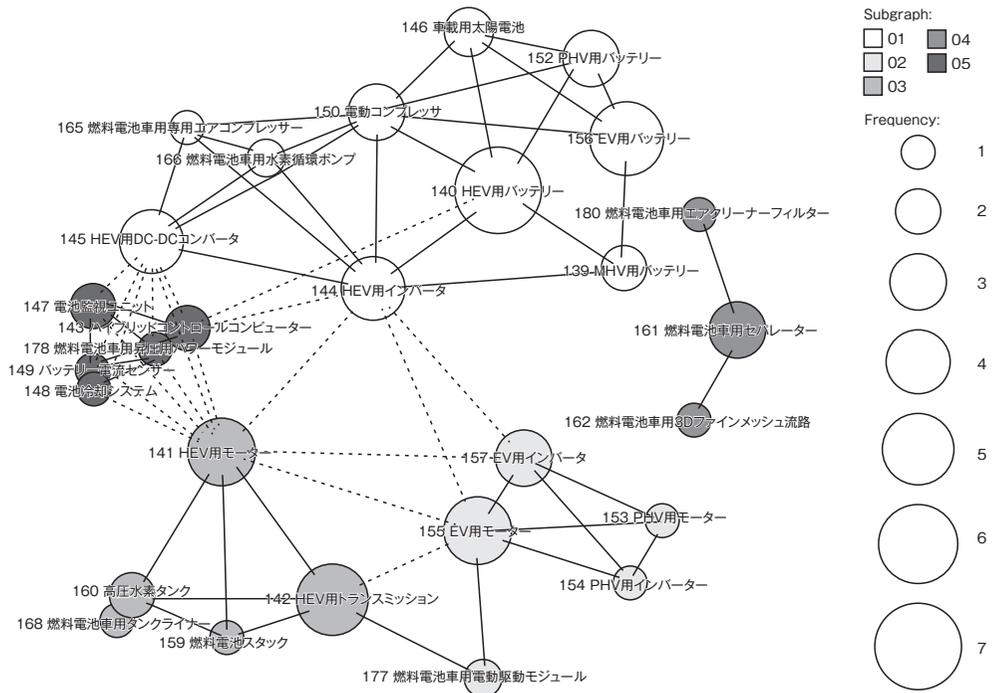


図6 HV・EV・FCV用部品対象の共起ネットワーク

料電池車用水素ポンプ部品も含まれている。サブグラフ2は、PHVとEVのモーターとインバーターに加えて燃料電池車用電動駆動モジュールで構成され、明電舎やアイシンがキープレイヤーとなっており、日産もEVモーター、インバーターを内製している。サブグラフ3は、HVのモーターとトランスミッションおよびFCV用燃料電池スタックと水素タンク部品が含まれる。トヨタ、ホンダ、日産、スズキの完成車メーカーが前者HV関連部品を内製し、後者のFCV部品はトヨタとその系列サプライヤーの豊田合成で取り扱われている。サブグラフ4は、FCV用の3種の燃料電池部品で構成されており、プレイヤーは、トヨタ系列のトヨタ車体と豊田紡織やホンダ系列のエイチワンの3社である。サ

ブグラフ5は、HV車用の電気・電装部品4点と燃料電池車用昇圧用パワーモジュールで構成され、デンソーはこれら5品目全てを扱っている。

図6のHV・EV・FCV用部品対象の共起ネットワークを全体として見ると、サブグラフ4の燃料電池車用部品群だけは他のサブグラフとの共起性はなく独立性が高いが、サブグラフ1のバッテリーを中心とする部品群、サブグラフ2のモーターを中心とする部品群は、インバーターとコンバーターの電装・電気系部品と緩やかに結びついているのが観察できる。また、表3から国内自動車産業において次世代車部品を担う中心プレイヤーは、完成車メーカーをはじめ、系列サプライヤー、大手電機メーカーであることが読み取れる。

表3 サブグラフの部品とサプライヤー

Subgraph	品番	部品	サプライヤー						
1	139	MHV用バッテリー		東芝		三菱電機			
	140	HEV用バッテリー	パナソニック	東芝	日立Astemo	エンビジョン AESCジャパン	プライムアース EVエナジー	ブルーエナジー	ビークルエナ ジージャパン
	144	HEV用インバータ		豊田自動織機	日立Astemo	三菱電機	日産		
	145	HEV用DC-DCコンバータ		豊田自動織機			デンソー	TDK	新電元工業
	146	車載用太陽電池	パナソニック				京セラ		
	150	電動コンプレッサ	パナソニック	豊田自動織機			サンデンホー ルディングス		
	152	PHV用バッテリー	パナソニック		リチウムエナジー ジャパン		プライムアースエナ ジーソリューションズ		
	156	EV用バッテリー	パナソニック	東芝	リチウムエナジー ジャパン	エンビジョン AESCジャパン	CATL		
	165	燃料電池車用専用エアコンプレッサ		豊田自動織機					
	166	燃料電池車用水素循環ポンプ		豊田自動織機					
2	153	PHV用モーター	明電舎						
	154	PHV用インバータ	明電舎						
	155	EV用モーター	明電舎	アイシン	日産	安川電機			
	157	EV用インバータ	明電舎		日産	マレリ			
177	燃料電池車用電動駆動モジュール		アイシン						
3	141	HEV用モーター	トヨタ	ホンダ	日産	デンソー			
	142	HEV用トランスミッション	トヨタ	ホンダ	スズキ	アイシン	ジヤトコ		
	159	燃料電池スタック	トヨタ						
	160	高圧水素タンク	トヨタ	豊田合成					
168	燃料電池車用タンクライナー		豊田合成						
4	161	燃料電池車用セパレーター	トヨタ車体	トヨタ紡織	エイチワン				
	162	燃料電池車用3Dファインメッシュ流路	トヨタ車体						
	180	燃料電池車用エアクリーナーフィルター		トヨタ紡織					
5	143	ハイブリッドコントロールコンピュータ	デンソー	日立Astemo					
	147	電池監視ユニット	デンソー	矢崎総業					
	148	電池冷却システム	デンソー						
	149	バッテリー電流センサー	デンソー						
	178	燃料電池車用昇圧用パワーモジュール	デンソー						

但し、HVと次世代車の専用部品対象の共起ネットワーク(図6)では、全部品の共起ネットワーク(図5)と比べると、Jaccard係数に基づく共起関係が低い点には留意が必要である。

## IV 結論

### 1 分析結果の要約とディスカッション

本稿では、275品目の自動車部品並びに41品目のHV、EV、FCVの専用部品の併売状況を探素的に分析した結果、以下の点が明らかになった。

第1に、共起ネットワーク上に自動車部品275品目の中で共起関係の強い27の部品群を析出することができた。その中の17グループは部品の類似

性が高く技術オーバーラップに基づくもの、残りの10グループは部品間の擦り合わせを要する部品群に属するものとみられる。擦り合わせを要するグループに、ガソリン車などの内燃機関で不可欠なエンジン、ディーゼルエンジン、ラジエーター、マフラーといったエンジン関連の部品群、そしてトルコン、クラッチパーツといった駆動・電動関係部品が属している。これらの点から、EV、FCVといった次世代車の部品は、ガソリン車に代表される内燃機関車の部品とはほとんど併売関係が見られないため、内燃機関車の部品のみしか扱っていないサプライヤーがEV、FCV専用部品に技術オーバーラップや既存部品の擦り合わせを活かして品揃えを拡張することは容易ではない。特に、エンジンとエンジンによる駆動関連の部品の共起関係は同一の部品群内のみ留まっており、これらエンジン関連部品の既存技術と次世代車向け部品技術には大きく乖離があるとみるべきである。

第2に、41品目のHV、EV、FCVの専用部品の中には共起関係のある5つのグループが抽出された。次世代車筆頭のEVの重要部品のバッテリーは、HV、PHVのバッテリーと同じ部品群に含まれ、またEVとPHVのモーターとインバーターは共通のグループに属している。EVの主要3部品のバッテリー、モーター、インバーターは、それぞれの部品群においてHVやPHV用部品との共起関係が見られるとともに、主要3部品群間にも共起性が存在している。もう一つの次世代車FCV部品の多くは自動車メーカーとその系列サプライヤーを中心に担われていることが確認された。現時点では、次世代車部品のキープレイヤーは、自動車メーカー、トヨタ系列サプライヤー、大手電機メーカーが中

心であり、中堅以下サプライヤーの存在感は低い状況にある。

---

## 2 理論的インプリケーション

マーケティング領域では、データマイニングの一環で消費者が併買する傾向の高い商品同士を特定するために、消費者の購買データをマーケット・バスケット分析することがある。本稿は、消費者の購買データではなく企業の販売品目にアソシエーション分析を援用し、自動車部品サプライヤーが取り扱う部品群（商品ポートフォリオ）を対象として併売分析を展開した。こうした部品サプライヤーの取扱品目の併売分析から、サプライヤー間で共起関係の強い部品同士を特定し、その関係性を共起ネットワークによって視覚化するというアプローチは、部品同士の共起関係に基づく分類論を可能にしたものと捉えられよう。

さらに、部品サプライヤーの併売分析によって共起関係の強い部品同士を抽出することが可能になるため、技術オーバーラップの高い部品群もしくは製品アーキテクチャのインテグラル-モジュラー次元におけるモジュラー寄りの部品群を外形的に絞り込むことを容易にする。ひいては範囲の経済やシナジー効果の生じる部品同士を特定することにつながるのではないだろうか。

---

## 3 実践的インプリケーション

部品全体の共起ネットワークを描くことによって、部品サプライヤーは自社の取り扱う部品がどのような位置づけにあるのかを視覚的に把握できるようになる。その結果、自社ではまだ扱っていないが他社では取り扱われている部品も含めて、自社部

品の技術においてシナジー効果が得られそうな部品を探索する検討材料になるだろう。

本稿の分析結果ではPHVを含むHV専用部品とEV向け部品との共起性が確認されたため、完成車メーカー各社が進めるEVシフトの中でも、部品サプライヤーが電池やモーターなどHV部品生産で培った技術は有効であると解釈できる。

逆に、ガソリン車などの内燃機関車に固有の部品の共起関係の多くは、エンジンや駆動の部品グループ内に留まっていることが分析結果から明らかになった。したがって、これら既存部品の技術をEVに活かすことは難しく、これらの部品領域の需要は大きく減少することが予想されるため、そうした部品しか取り扱っていないサプライヤーこそ、次世代車向けの部品だけでなく、他の産業にも視野を広げ、部品ポートフォリオを大きく見直さねばならない。

#### 4 本稿の限界と今後の課題

本稿はいくつかの限界や今後の課題を有する。1つめに、本稿の全部品対象の共起ネットワークに描かれたのは全275部品中97部品に留まり、残りの部品は捨象されている。どこまでの部品の共起関係を取り上げるのかは分析者の判断に委ねられるが、Jaccard係数などの類似度の低い部品関係に焦点を当てた検討も必要だろう。

2つめに、製品アーキテクチャについてである。EV化によって擦り合わせが不可欠なエンジン関連の部品が不要となると、単純にEVのアーキテクチャはモジュラー寄りにシフトすると考えてよいのだろうか。本稿の図1などで完成品の製品アーキテクチャの議論を示したが、部品単体から完成品に至る中間における複数部品が組み立てられた構

成単位(Assembly)についても、アーキテクチャの議論の余地があろう。例えば、NIDEC(旧日本電産)は既にモーターとインバーターと減速機(ギア)を一体製品としてEV用の「E-Axle」という商品を開発、提供している。製品アーキテクチャの観点から、単体の部品を取りまとめる構成単位をどのような水準で定めるべきかを探求することも実務的にも学術的にも重要な課題である。

#### 【付記】

本論文は、日本商業学会第73回全国研究大会での研究報告をもとに議論を発展させたものである。報告に際して、司会者および参加者の皆様から示唆に富むコメントをいただいた。また、分析データの作成にあたっては、滋賀大学経済経営研究所から多大なサポートをいただいた。なお、本研究は、科学研究費補助金基礎研究(C)(課題番号：19K01832)の研究成果の一部である。ここに記して心からお礼を申し上げたい。

#### 参考文献

- ◎青島矢一・武石彰(2001)「アーキテクチャという考え方」(藤本隆宏・武石彰・青島矢一編著(2001)『ビジネスアーキテクチャ：製品・組織・プロセスの戦略的設計』有斐閣、pp.27-70)。
- ◎Baldwin, C. Y. and Clark, K. B. (2000), DESIGN RULES, Vol. 1: The Power of Modularity, Massachusetts Institute of Technology. (安藤晴彦訳(2004)『デザイン・ルール：モジュール化パワー』東洋経済新報社)。
- ◎デロイト トーマツ リスクアドバイザーズ(2022)『リスクマネジメント：変化をとらえよ』日経BP。
- ◎藤本隆宏(2001)「アーキテクチャの産業論」(藤本隆宏・武石彰・青島矢一編著(2001)『ビジネス・アーキテクチャ：製品・組織・プロセスの戦略的設計』有斐閣、pp.3-26)。

- 藤本隆宏(2013)「複雑化分析のフレームワーク」(藤本隆宏編『「人工物」複雑化の時代：設計立国日本の産業競争力』有斐閣、pp.27-66)。
- 藤本隆宏(2017)『現場から見上げる企業戦略論：デジタル時代にも日本に勝機はある』KADOKAWA。
- Fujimoto, T. (2017), An architectural analysis of green vehicles - possibilities of technological, architectural and firm diversity, International Journal of Automotive Technology and Management, Vol. 17, No. 2.
- 藤本隆宏・朴英元(2013)「人工物複雑化の設計プロセス エレキ・メカ・ソフト設計の統合化へ」(藤本隆宏編『「人工物」複雑化の時代：設計立国日本の産業競争力』有斐閣、pp.193-216)。
- 樋口耕一(2014)『社会調査のための計量テキスト分析：内容分析の継承と発展を目指して』ナカニシヤ出版。
- 樋口耕一・中村康則・周景龍(2022)『KH Coder OFFICIAL BOOK II 動かして学ぶ！ はじめてのテキストマイニング：フリーソフトウェアを用いた自由記述の計量テキスト分析』ナカニシヤ出版。
- 犬塚篤(2018)「国内完成車メーカーと1次サプライヤー間の取引依存関係－分化する部品調達方針－」『日本経営学会誌』第40号、pp.55-65。
- 伊丹敬之(1988)「見える手による競争：部品供給体制の効率性」(伊丹敬之・加護野忠男・小林孝雄・榊原清則・伊藤元重『競争と革新：自動車産業の企業成長』東洋経済新報社、pp.144-172)。
- 川辺謙一(2016)『図解・燃料電池自動車のメカニズム』講談社。
- 鬼頭朋見(2015)「2部ネットワークの投影による自動車部品の特性とサプライヤーのポートフォリオの多様性解析」『人工知能学会論文誌』30巻6号、pp.721-728。
- 近能善範・高井文子(2010)『コア・テキスト イノベーション・マネジメント』新世社。
- 桑島浩彰・川端由美(2021)『日本車は生き残れるか』講談社。
- 村沢義久(2010)『電気自動車：市場を制する小企業群』毎日新聞社。
- 難波英嗣(2020)「テキスト間の類似度の測定」『情報の科学と技術』70巻7号、pp.373-375。
- 名和高司(2021)『パーパス経営』東洋経済新報社。
- 岡本哲弥(2016)「自動車メーカー間の部品サプライヤーのオーバーラップ－3時点における所属ネットワークの変動－」『商品開発・管理研究』12巻2号、pp.14-33。
- 岡本哲弥(2017)「自動車産業における部品サプライヤーの取引品目間のオーバーラップ」『経営学論集』第88集、pp.(60)1-2。
- 岡本哲弥(2022)「自動車関連企業における電動化の積極性の要因－取扱商品カテゴリーと系列グループの視点から－」『彦根論叢』第431号、pp.4-16。
- 週刊東洋経済編集部(2021)『週刊東洋経済eビジネス新書 No.359 テスラの実力』東洋経済新報社
- 総合技研株式会社(2021)『2021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』
- 鈴木努(2017)『Rで学ぶデータサイエンス8 ネットワーク分析 第2版』共立出版。
- Ulchi, K. (1995), The role of product architecture in the manufacturing firm, Research Policy, Vol.24, pp.419-440.
- 宇沢弘文(1974)『自動車の社会的費用』岩波書店。

## Similarity of Parts between Engine Cars and Next-generation Cars

Based on Association Analysis for Suppliers' Parts Portfolios

Tetsuya Okamoto

This study revealed the strength of relationships among 275 automotive parts and the positioning of EV and FCV specific parts, by applying association analysis to suppliers' parts portfolios. As a result of extracting parts combinations with high co-occurrence among parts portfolios of multiple suppliers using the Simpson coefficient, the following two points were clarified.

First, 27 parts groups on the co-occurrence network were extracted from 275 automobile parts items. Of these, 17 groups have high similarity in parts and are thought to be based on technological overlap, while the remaining 10 groups are thought to require coordination between parts. These 27 parts groups do not include parts for next-generation EVs and FCVs, so it will be difficult for suppliers that only produce parts for engine vehicles to expand their lineup of EV and FCV parts.

Second, five groups with high co-occurrence relationships were extracted from the 41 HV, EV, and FCV specific parts. EV batteries were included in the same parts group as HV and PHV batteries, and EV and PHV motors and inverters belonged to a common group. The three main parts of EVs, batteries, motors, and inverters, have co-occurrence with HV and PHV parts in each parts group, as well as co-occurrence among the three main parts groups. In addition, it was also confirmed that most of the FCV specific parts are developed mainly by automobile manufacturers and their affiliated suppliers.

