

Title	自動車部品における製品アーキテクチャの形成プロセスに関する考察
Author(s)	及川, 忍; 伊藤, 誠悟
Citation	年次学術大会講演要旨集, 27: 295-298
Issue Date	2012-10-27
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/11026
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

自動車部品における製品アーキテクチャの形成プロセスに関する考察

○及川 忍（東北大工学），伊藤 誠悟（関東学院大学経済学）

1. はじめに

近年、自動車の分野では多くの技術が同時並行的に開発されている。例えば、エンジン開発においても燃料は多種多様であり、ガソリン、軽油、CNG、水素等が挙げられる。さらにガソリンエンジンの種類はポート噴射式、筒内直噴式、HV が挙げられる。このように多くの方式に対応したエンジンの開発もさることながら、エンジン部品についても開発アイテムが多くなる。さらに、自動車部品の多くは車種毎のカスタム品であることが多いため、サプライヤーは完成車メーカーから個別に出される要求に応える必要がある。このような、外部環境下において、大きな変化を要求されない部品はより効率的に開発する必要に迫られている。そこで、開発を効率化する方法の一つに製品のモジュラー化が挙げられる。しかし、エンジンが擦り合わせで開発されているという前提があり、エンジンに搭載されるエンジン部品において製品アーキテクチャを議論している研究は非常に少ない。

よって、本研究ではエンジンに燃料を供給するガソリン噴射装置を研究対象とし、製品アーキテクチャを時系列的に明らかにすることで形成プロセスについて考察するものである。

2. 製品アーキテクチャに関する先行研究

製品アーキテクチャ論はイノベーション理論のひとつである。製品アーキテクチャとは、システムとしての製品をどのように分解して、いかにそれらのサブシステム間の関係を定義づけるかに関しての設計思想（藤本他、2001）である。製品アーキテクチャは、インテグラル型とモジュラー型に分類できる。インテグラル型は、事前に組み合わせ方のルールを完全には決めず、開発・製造を行う段階で、システム全体の最適化を考えて各部品間の調整を行いながら製品を作り込んでいく。それに対して、モジュラー型は、事前に部品の切り分け方と組み合わせ方を決めて、開発・製造ではそのルールにしたがって部品を組み込んでいく。インテグラル型の製品開発には、逐次的な開発を基本とした「擦り合わせの妙（藤本、2001）」が必要とされる。部品間の機能と構成要素の相互依存性が低いモジュラー型の製品開発モジュラー型の製品開発では、高い商品性を確保するための事前の調整が重要であり、「組み合わせの妙（藤本、2001）」が求められる。

また、製品アーキテクチャは一般的にインテグラル型からモジュラー型へとシフトする（Baldwin and Clark, 2000）が、逆にモジュラー型からインテグラル型へとシフトすることもある。楠木・チェスブロウ（2001）は、HDDの基幹技術である磁気ヘッドの変化を製品アーキテクチャの視点で分析し、製品アーキテクチャは時間の経過とともに変化することを明らかにした。そこではコンポーネントの相互作用に関する知識の蓄積によってモジュラー化が引き起こされ、コンポーネントに用いられる技術が大きく変化することによって、製品アーキテクチャはインテグラル型へとシフトすることが述べられている。さらに、加藤（2002）は製品アーキテクチャをモジュラー型へ変化させるドライバはドミナントデザインであり、また、製品アーキテクチャを統合化へ推進する原動力は新しい技術の導入によって製品アーキテクチャの根本的見直しが起こる場合であると述べている。福澤（2012）はデジタル化した製品における製品アーキテクチャの変化を「製品アーキテクチャの組織内選択プロセス」として捉えた上で、製品アーキテクチャを変化させるプロセスに影響を与える要因について製品システムの捉え方の違いに注目し、それを克服する組織のあり方を分析する視点を提示している。そこでは、「戦略の変化」「機能の変化」「競争相手・業界」「組織のあり方の変化」「技術の変化」により製品アーキテクチャの変化が引き起こされることが示されている。

3. 分析の視点

本稿で分析の題材として取り上げるのは日本で 1970 年代にデンソーが実用化した電子制御式ガソリン噴射装置に関する事例である。事例研究では、既存研究が着目している製品アーキテクチャと組織の関係や、時間経過に伴う製品アーキテクチャの変化の本質、製品アーキテクチャの階層性という視座で分析を行なう。

事例研究は、伊藤（2011）を参考に、製品アーキテクチャの形成について整理・分析する。特に、本事例分析と先行研究はどこが整合的で、どこが事例固有の特徴であるかを検討する。加えて、本事例研究における製品アーキテクチャの形成に寄与した要素について検討する。

以上の分析により自動車部品に特有の製品アーキテクチャ形成プロセスを考察することを目的とする。

4. 事例研究

ガソリン噴射装置の変遷

電子制御式ガソリン噴射装置が登場したのは 1951 年である。米国のベンディックスの航空宇宙部門に勤めていた技術者ロバート・サットンが、飛行機を長時間にわたって背面飛行させるもたために開発したのが最初である。この電子制御式ガソリン噴射は機械式の欠点を補うものとして期待された。そして、ベンディックスは 6 年後の 1957 年に「Electrojector」という商品名で電子制御式ガソリン噴射装置を発表した。ベンディックスの発表の 5 年後、電子制御式ガソリン噴射の開発に着手したボッシュが着目したのは、定常時・過渡時を含めた全運転領域での空気と燃料との混合比（空燃比）の制御性の高さと言う点であった。ボッシュのガソリン噴射装置への着眼の背景には、1950 年代半ば意向の米国において大気汚染問題がクローズアップされたことがあった。こうした動きを背景に、1964 年、フォルクスワーゲンの技術トップがロバート・ボッシュ社を訪問し、従来に比べ、飛躍的に空燃比制御性の良い燃料供給装置を開発してほしいという要請をした。この要請を受けてボッシュを選んだ方法の一つが、ベンディックスが送り出していた電子制御式のガソリン噴射装置だった。空燃比の適合精度の良い電子制御式なら、将来の排出ガス規制をクリアする可能性があるかと判断したからである。そして、ボッシュはベンディックスと特許契約を交わして開発に着手し、1968 年モデルのフォルクスワーゲン 1600 に搭載する電子制御式ガソリン噴射システムを完成させたのである。

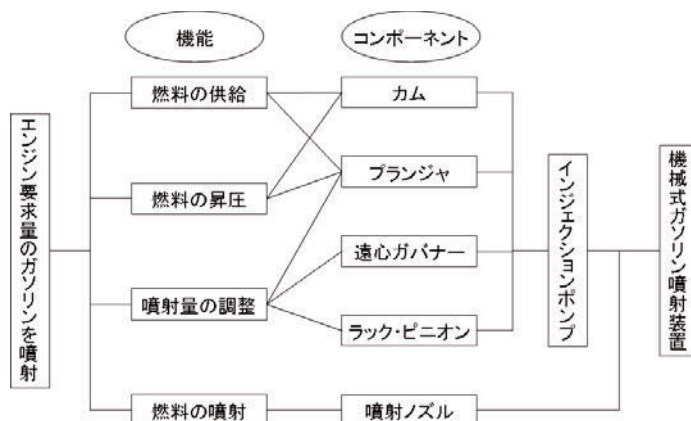
デンソーでは 1950 年代後半から機械式ガソリン噴射装置の研究を行い、1963 年には機械式ガソリン噴射装置を自動車レースに採用し始めた。自動車のレースを重ねるうちデンソーがエンジン側からの評価ができるようになると、機械式ガソリン噴射装置の限界もわかり始めてきた。その限界による問題は「①目標とする空燃比適合の精度が部品の加工精度の限界によって実現できないため、技術的に妥協せざるを得ない。②搭載に際しエンジンの改造が大きくなり、フレキシビリティが少ない。③コストアップが大きい。」などである。組織の面では 1950 年代後半からエンジン技術者を積極的に採用するなど自動車システム知識の習得を図っている。そのこともあり、機械式ガソリン噴射装置の開発チーム内では製品単体のみの評価だけではなく、エンジン評価を行い出力・燃費の計測、空燃比・排出ガスの分析を行っている。これにより、開発チーム内で燃料供給装置をエンジン側からも評価できるようになった。

競合他社のボッシュが 1967 年に電子制御式ガソリン噴射システム・Jetronic を開発したことで、デンソーは電子制御式ガソリン噴射装置の開発をスタートした。但し、ボッシュとは異なる独自の電子制御ガソリン噴射装置である。ボッシュの D-Jetronic はトランジスタ、抵抗、コンデンサという簡素な回路でエンジンを制御する方式であるが、デンソーは IC を使った回路を独自に設計し、独立噴射のためにパルス発生回路を制御する装置を採用した。コンポーネントの物理的な面では機械式ガソリン噴射装置の欠点であった部分を完全にコンポーネント単位に切り分け、相互依存性を小さくしている。つまり、電子制御を用いることで、機械式で問題だった物理的な制約が小さくなりエンジンシステムに対する適合の自由度が増した。この頃からデンソーは自動車メーカーがエンジン制御に求める多様な要望に対して ECU を介したエンジン適合で対応する方針を固めた。そのこともあり、1971 年にはシステム適合の専門部署を編成している。このシステム適合の専門部署は部品屋というよりもエンジン屋に近い機能を持っている。この、ハードウェア開発を全く行わない部署は、デンソーでは初めての存在であり、また、当時の部品サプライヤーを見渡しても初めての試みであった。

機械式ガソリン噴射装置の製品アーキテクチャ

機械式ガソリン噴射装置は気筒数分のカムとプランジャを内蔵させたインジェクションポンプをエンジンの動力によって作動させ、各気筒の吸気ポートに噴射させる方法である。噴射量の制御はアクセル開度に連動した遠心ガバナーとラック&ピニオンによるプランジャの圧縮ストロークで行う。

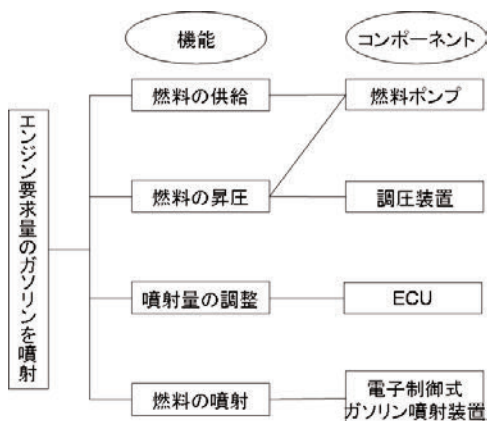
図 1 機械式ガソリン噴射装置の機能・コンポーネント対応マップ



電子制御式ガソリン噴射装置の製品アーキテクチャ

電子制御式ガソリン噴射装置はエンジン制御システムの一部であり、燃料供給系としてのサブシステムとして機能する。燃料タンク内のガソリンは燃料ポンプによって加圧され電子制御式ガソリン噴射装置に圧送される。電子制御式ガソリン噴射装置の燃料圧力は調圧装置によって調圧され必要な燃料噴射圧力へ設定される。各気筒の吸気ポートに設けられた電子式制御ガソリン噴射装置は電子制御ユニット（以下、ECU）からの信号に従ってエンジン要求量に応じたガソリンの量を吸気バルブに向かって噴射する。

図 2 電子制御式ガソリン噴射装置の機能・コンポーネント対応マップ



機械式と電子制御式の違い

機械式はインジェクションポンプが4つのコンポーネントと連動して作動するため、それぞれに相互依存関係が存在している。噴射ノズルは燃料を吸気ポートに噴射する部品であるが、インジェクションポンプの圧力によって作動するものであり、インジェクションポンプの作動に依存している。それに比べ電子制御式は燃料の昇圧は燃料ポンプによって行われ、燃料ポンプで高められた圧力の調整は調圧装置で行われる。燃料噴射量はECUからの駆動パルスによって決定され、燃料噴射は電子式ガソリン噴射装置によって行われる。電子制御式では機能とコンポーネントがほぼ1対になっており、コンポーネント同士の物理的な相互依存性は小さい。このように、機械式ガソリン噴射装置から電子制御式ガソリン噴射装置に変化することで新しい製品アーキテクチャを形成している。

5. 考察

まず、製品アーキテクチャと組織の適合について考察する。機械式ガソリン噴射装置開発では様々な製品システムを構成する部品間（インジェクタや燃料ポンプなどのコンポーネント）の相互依存性が大きく、エンジン評価も一つの開発チーム内で実施している。この頃はコンポーネント同士の分離が不可能であり、機械式ガソリン噴射装置の製品アーキテクチャがインテグラル型であったのと同様に、組織もインテグラル型であった。しかし、電子制御式ガソリン噴射装置の登場により、それまでの構成部品間の相互依存性は一気に小さくなり、コンポーネント単位で開発が行われるきっかけになった。組織の面では機械式ガソリン噴射装置の開発メンバーがエンジン評価を行っていたのとは異なり、電子制御式ではエンジン適合をする専門部署が設立されるに至っており、組織が切り分けられたと考えられる。この事例では製品アーキテクチャと組織アーキテクチャが適合すると言う楠木・チェスブロウ（2001）の先行研究とほぼ一致している。

次に、製品アーキテクチャの変化と階層性に着目する。本事例において、製品アーキテクチャの形成プロセスに大きな影響を及ぼしたのが技術の限界と競争相手の技術変化、そして新技術の将来性であると考えられる。楠木・チェスブロウ(2001)では HDD の磁気ヘッドの製品アーキテクチャを変化させる影響の一つに性能の限界があり、技術の限界のたびにモジュラー型アーキテクチャからインテグラル型アーキテクチャに変化している。しかし、本事例では、機械式ガソリン噴射装置のインテグラル型から電子制御式のモジュラー型に変化している。ある限界が存在するとインテグラル型になるという先行研究の議論とは異なるが、製品アーキテクチャの階層性という視点を加えると既存の議論での整合的な解釈も可能である。エンジンシステムのサブシステムとしてのガソリン噴射装置の製品アーキテクチャはモジュラー型に変化した。が、上位の製品システムであるエンジンシステムとの関係においてはインテグラル型のままであった。ECU による電子制御という物理的でないが、制御論理を介しての擦り合わせが増大し、その結果上位システムに関してインテグラル型から変化していないという解釈である。制御論理による擦り合わせというものを技術的な視点から突き詰めると、ガソリン噴射装置のサブシステムに関しても、エンジン搭載に関する部分などの物理的なインターフェースの一般化は進んだが、電子制御により構成部品間の擦り合わせの必要性も低下したとは言えないかもしれない。つまり、ECU による電子制御に擦り合わせの要素を集約化したという解釈である。そして、デンソーの場合は、コンポーネント間の物理的インターフェースの汎用性を高めると同時に、擦り合わせのためにエンジン制御の論理構成を専門に手がける組織を新設した。

最後に、製品アーキテクチャの選択という戦略面に着目すると、ガソリン噴射装置の開発で先行していたボッシュの後追いではなく、デンソーは主体的な意思決定を行った。ボッシュによる電子制御式ガソリン噴射装置の出現がデンソーの製品戦略に影響を与えたが、ボッシュよりも早く開発資源を電子制御式に集中するという経営行動が見られた。機械式を採るか電子制御式にするのかという技術選択の議論は開発現場でも意見が分かれていたが、「まずは自らの手で作ってみてから決める」というデンソーの創業以来の方針が優先され、その結果として電子制御式に資源を集中するという意思決定がなされたのである。

参考文献

- 伊藤誠悟（2011）「株式会社デンソー電子制御式ガソリン噴射装置（EFI）の開発・事業化」IIR Case Study CASE#11-04
- 加藤寛之（2002）「モジュラリティ・ドライバ」『赤門マネジメント・レビュー』 1（8）, pp.633-641.
- 楠木建・ヘンリーW.チェスブロウ（2001）「製品アーキテクチャのダイナミック・シフト」藤本隆宏・武石彰・青島矢一編著『ビジネス・アーキテクチャ』 有斐閣, 263-285.
- 小林久徳（2003）『体験的商品開発論』理工評論出版
- 須田壽（監修）（1999）『EFI 事始め－電子制御式燃料噴射装置の開発をめぐる物語－』日本電装株式会社
- Baldwin, C.Y. & K.B. Clark (2000) *Design Rules*. Cambridge, MA: MIT Press. （安藤晴彦訳（2004）『デザイン・ルール モジュール化パワー』）
- 福澤光啓（2012）「デジタル化した製品におけるアーキテクチャ選択に関する分析視点」東京大学ものづくり経営研究センター DISCUSSION PAPER SERIES No.393
- 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『ビジネス・アーキテクチャ』 有斐閣, 3-26.