

博士学位論文審査要旨

2008年1月19日

論文題目：自動車制御におけるイノベーションの構造に関する研究

学位申請者：高嶋 博之

審査委員：

主査： 総合政策科学研究科 教授 北 寿郎

副査： 工学研究科 教授 金田 重郎

副査： 京都大学学術情報メディアセンター 教授 永井 靖浩

要 旨：

日本の自動車産業は、石油ショックやプラザ合意等の様々な危機を乗り越え、我が国の基盤を支える産業に育ってきた。それを支えてきたのは、排出ガス規制の副産物ともいえる自動車電子制御の技術開発である。自動車電子制御の進化の過程を見つめ直すことで、将来の自動車産業の発展への糸口を見つけようというのが本論文の主たる目的である。

第1章、第2章では、電子制御は性能・安全・環境という自動車に求められる価値を実現する上での最も中核的な機能要素であることを明確にした上で、自動車制御の発展の歴史が、機械式制御、排出ガス対応をきっかけに採用された電子制御、ハイブリッド自動車や燃料電池自動車に採用されている新しいタイプのハイブリッド制御、という進化過程を辿ったことを指摘し、その進化はシュムペータの「新しき組み合わせ」にも通ずるアーキテクチャのイノベーションの歴史そのものであることを明らかにした。さらに、環境性能まで含めた自動車のトータルな性能向上は、新たな制御アーキテクチャの出現による跳躍的なイノベーションと、そのアーキテクチャのコモディティ化による持続的なイノベーションによってもたらされてきたことを明らかにした。

第3章においては、電子制御開発において、そのアーキテクチャの変化に合わせて組織構造を変遷させてきたことが、電子制御技術を支えるソフトウェアの品質や開発効率を支えてきたことを明示するとともに、開発組織が巨大化・複雑化する現状の中で信頼性の高いソフトウェアを効率良く開発するための組織要因として「双面型」組織の知見が必要となることを指摘した。

第4章ではアジャイルで信頼性の高いソフトウェア開発のフレームワークとして、自動車制御用に用いられているウォーターフォールモデルによる開発に、エクストリーム・プログラムを融合させることを提案するとともに、それによって大きな効果を挙げることができることを実証した。そして最後の第5章では、本研究の成果として、最先端の制御アーキテクチャを採用した「ハイブリッド車用電池監視ユニット」の開発事例を示すことによって、本研究の実用的な価値を明確にしている。

よって、本論文は、博士（技術経営）（同志社大学）の学位を授与するにふさわしいものであると認められる。

総合試験結果の要旨

2008年1月19日

論文題目：自動車制御におけるイノベーションの構造に関する研究

学位申請者：高嶋 博之

審査委員：

主査： 総合政策科学研究科 教授 北 寿郎

副査： 工学研究科 教授 金田 重郎

副査： 京都大学学術情報メディアセンター 教授 永井 靖浩

要 旨：

○総合試験実施日と時間：

2008年1月19日 10:10～11:10

○専門分野に関する試験：公聴会における質疑応答により実施

質疑内容と評価：以下に示したように各質問に的確に回答しており、合格と判断する。

①本研究の学術的価値、産業的価値は何か？

- ・ 学術的な価値：自動車の性能向上は電子制御のアーキテクチャ革新によるものであること。また、アジャイルでかつ信頼性の高い開発を担保できる組織構造を明らかにしたこと。
- ・ 産業分野における価値：従来工程とのエクストリーム・プログラミングの融合というソフトウェア開発における方法論として、すぐに適用が可能な手法を確立した。

②ソフト開発の効率、工数、バグ密度等のデータは根拠が薄いと感ずるがどうか？

- ・ 論文中ではデータを無次元化しているが、企業における実際のプロジェクトの工数や、プログラムソースコード、デザインレビューの結果の詳細なデータなど、実際の開発活動の中から採集した数値を根拠に導出したものであり、現実に即したデータである。

③論文の主旨からすれば、次の跳躍的イノベーションは何になるか？

- ・ 1台の自動車として閉じた制御の世界から、通信を用いた外界との連携制御が次の跳躍的イノベーションであると考え。テレマティクスの分野では、小規模ではあるが実際にサービスが始まっている。

○語学試験（対象となった語学名を含む）の内容

- ・ 2006年7月に査読付き英文国際会議発表論文、2007年3月に北京で開催された国際PhDワークショップにて英語による発表討論を行っており、博士号にふさわしい語学力を有する。

よって、総合試験の結果は合格であると認める。

博士學位論文要旨

論文題目：自動車制御におけるイノベーションの構造に関する研究

氏名：高嶋 博之

要旨：

第2次世界大戦後、わが国の自動車産業は基幹産業としてその地位を確固とし、その中で最大規模のトヨタ自動車は、自動車先進国の米国にある、最大の自動車会社ゼネラル・モーターズを2007年に販売台数で抜いた。大戦にて敗戦を経験した当時の人々は、この状況を想像しえたであろうか。資源の少ない島国であるわが国を此処まで経済発展させることに貢献した自動車産業の原動力の中にあるイノベーションの構造を本論文では分析し明らかにした。自動車産業の変革は、排出ガス規制への対応に始まり、燃費規制や騒音規制といった法規への対応を成してきたことに依る。ユーザーの要求するカタログスペックとは相反する面を持つこの法規対応を行いながら、その技術を使いこなし習熟することで、ユーザーにとって魅力的な製品づくりを行い、法規とユーザー要求を両立してきたわが国の自動車産業のなかのダイナミックな営みを過去から現在にかけて分析した。自動車性能を向上させるには、ECUと呼ばれる電子制御ユニットの存在は欠くことができない。自動車の性能向上の歴史は、電子制御の歴史であり、この進化の過程を見つめ直すことで、将来の自動車産業の発展への糸口が見つけれられると考える。

再編が続く自動車業界において、日本の自動車メーカーが今以上の地位を維持していく筋道として、人的資源の管理とモチベーションを高めるための手法が重要になってくると考える。また、韓国メーカーや中国メーカーの生産量が増大しており、また品質を急激に高めてきていることから、これらメーカーとの競争も避けられない。わが国の今後の成長を維持する上で、ECU開発が重要な位置づけを担っているといえよう。

最近では、地球温暖化や化石燃料の枯渇といった環境意識の高まりを背景に、排出ガス中の有害物質の削減のみでなく、燃料の消費量の削減が強く求められている。また、米国におけるZEV規制では、販売台数に対して一定の割合の燃料を消費しない自動車の販売が義務づけられており、自動車メーカーはその対応のために自動車を進化させてきた。

自動車に採用される電子制御の規模は急激に増大している。特に、その中核を担うECUに対する機能向上の要求は大きい。特にECUの動作に不可欠なソフトウェアの規模は、この15年ほどの間に20倍を優に超えるまでになっている。一方、新しいものを早く手に入れたいユーザーの要求から、開発期間の短縮に対する要求も大きい。これらの要求に答えることが可能な開発組織や開発手法が、自動車業界における競争力の維持に必須である。基幹産業である自動車業界の競争力の維持が、今後のわが国の継続的な経済発展に重要となる。

自動車産業のイノベーションに関する研究として、藤本隆宏は日本メーカーの強みはインテグラル型のアーキテクチャにあるとした。またロバート・E・コールはITの活用における各部門のメリットと会社全体のメリットのバランスをうまく取ることがトヨタの真の強みであるとしている。自動車以外の分野では、カーリス・Y・ポールドウィンとキム・B・クラークがコンピュータ産業におけるモジュール化を論じている。本研究は、自動車産業をこれらの視点とは異なった視点で分析した。現在まで日本の自動車産業の競争力の源となってきた、電子制御における技術や組織のアーキテクチャを分析するとともに、今後の方向性を見出す。本論文の構成と共に、その内容を解説する。

第1章では、排出ガス規制を克服するために生まれしてきた電子制御技術が、自動車開発におけ

るパラダイム転換をもたらしたことを示した。

最新の自動車においては、エンジンや触媒装置だけでなく、マイクロコンピュータを用いた各種の電子制御が多用され、自動車を構成する他の重要な要素であるサスペンション等の走行系や操舵系も含めた全ての機能を制御し、最適で安全な走行を可能としている。いわば自動車における電子制御は、性能、安全そして環境という自動車に新たに求められつつあるバリューを実現する上での最も中核的な機能コンポーネントである。自動車に対する価値観の多様化に対応する鍵は、電子制御技術が握っているといっても過言ではない。

第2章では、自動車電子制御のアーキテクチャについて論じた。本研究では、自動車制御の発展の歴史が、機械式制御、排出ガス対応をきっかけに採用された電子制御、ハイブリッド自動車や燃料電池自動車に採用されている新しいタイプのハイブリッド制御、という進化の過程を辿ったことを指摘した上で、その進化はシュムペータの「新しき組み合わせ」にも通ずるアーキテクチャのイノベーションの歴史そのものであることを明らかにした。さらに、環境性能まで含めた自動車のトータルな性能向上は、新たな制御アーキテクチャの出現による跳躍的なイノベーション（従来の尺度とは異なる新たな「次元」を導入したことによるイノベーションと定義）と、そのアーキテクチャのコモディティ化による持続的なイノベーションによってもたらされてきたことを明らかにした。

今後、自動車はこの新しいS字カーブの上で性能向上を実現させていくと考えられるが、アーキテクチャが複雑になったことによって、技術開発の方法論や開発組織そのものも大きな影響を受けている。これからの主流になるであろうハイブリッド制御の開発は従来とは異なった考え方が要求され始めているが、さらに次の跳躍的イノベーションと考えられる外部との連携を核とする新たなアーキテクチャの登場は、開発の方法論や組織にさらなる革新を要求するものとなるであろう。

第3章では、ECUの開発組織に焦点をあてて組織のあるべき姿を見出した。自動車のECU開発において、ECUのアーキテクチャの変化に合わせて組織構造を変遷させてきたことが、ECUの特にソフトウェアの品質や効率を支えてきた。組織構造を作り変えたことは、品質や効率に対してドラスティックな影響を及ぼしている。つまり、企業の業績にとって、開発組織構造の舵取りは非常に大きな意味をもち、誤れば致命傷になりかねない程の影響力を秘めている。

自動車の電子制御は様々な技術を取り込んでいく中で開発組織を巨大化・複雑化させている。このような状況の中で、信頼性の高いソフトウェアを効率良く開発するためには、組織と組織の間で分野を跨いだ開発の仕組みが重要になるだろう。それを上手く機能させるためにも、企業のトップマネジメント層が指揮をとりながら、技術部門においての、「双面型」組織（C.A.オライリーⅢ、M.L.タッシュマン）の知見が必要となる。

第4章では、自動車制御用に用いられているウォーターフォールモデルによる開発に、アジャイル・ソフトウェア開発の一手法であるエクストリーム・プログラムを融合させることを行い、大きな効果を挙げることができたことを示した。1/4.5程度の検出バグ密度を実現し、生産性のデータも2倍程度に向上している。

また、本研究で試みた、開発手法であるV字工程へのエクストリーム・プログラムの融合の試行は、開発者へのヒアリングの結果からも本質的なモチベーションと、職務満足共に非常に高いものとなったことが明らかになっている。今後は、モチベーションの面も踏まえながら、エクストリーム・プログラムが持つ「開発者本位の開発」ともいえる特徴をより活かす融合方法について、プロジェクト・マネジメントの観点からも検討を進める。

第5章では、最先端の制御アーキテクチャを採用した「ハイブリッド車用電池監視ユニット」の開発事例を示した。自動車制御の中における電池監視ユニットのアーキテクチャを考察し、ECU間の最適配置の状況を示した。また、小型・軽量化のに向けた技術的な取り組みの状況を明確にした。1997モデルのプリウスに搭載された電池ECUと比較して、体格はその13%となり、質量は11%に抑えている。

この電池監視ユニットは、他制御を開発する組織との絡みの多い開発を進めている。ソフトウェア開発ではアジャイル・ソフトウェア開発こそ行っていないものの、ソフトウェアの構造化を進めることで、大きな変更をせずに電池やセンサの構成の違う5車種に適用できていることは特筆でき、また工数低減効果も大きい。