

# 6 自動車組み込みソフトウェアにおける 開発戦略

菅沼賢治\* 村山浩之\*\*

(株)デンソー 電子機器事業グループ特定開発室 SSC

\*suganuma@ssc.denso.co.jp \*\*murayama@ssc.denso.co.jp



近年、自動車に搭載されるソフトウェアは大規模化・複雑化が進み、自動車組み込みソフトウェア開発には高信頼性だけでなく高生産性の実現が重要な課題になっている。高いレベルで高信頼性・高生産性ソフトウェア開発を継続的に実現するためには、自動車組み込みソフトウェアの特徴を考慮したコンポーネント化とその再利用が有効であり、再利用を有効に進める上では、技術、プロセス、開発環境、体制等を含めた総合的で組織的なアプローチが不可欠である。一方で、自動車用ソフトウェアを取り巻く環境は大きな変革期を迎え、市場競争力を確保していくためには高信頼性・高生産性の価値の追求に加え、多様化する自動車システムの要求から新たな価値を創出させるための活動が重要となっている。

## ◆ 自動車組み込みソフトウェアとは

自動車組み込みソフトウェアとは、自動車に搭載されているさまざまなシステムを制御する ECU (Electronic Control Unit) と呼ばれる車載コンピュータに組み込まれるソフトウェアである<sup>1)</sup>。自動車用システムは、エンジンやトランスミッションなどの駆動系を制御するパワートレイン制御、サスペンションなどの走行系を制御するシャシ制御、ドアやエアコンなどを制御するボディ制御、ナビゲーションや自動車電話を制御する情報通信に分類される (図-1)。近年では、1台の自動車には数十の ECU が搭載され、ECU に実装されるマイコンも 16 ビットから 32 ビットのもの一般的な使用されるようになっていく。

自動車にソフトウェアが導入されたのは 1970 年代である (図-2)。1970 年代初めに米国で施行されたマスクー法と呼ばれる排ガス規制を契機に、それまでのメカニ

カル制御をエレクトロニクスで置き換えることから始まり、1976 年に初めて自動車にマイコンが用いられ、自動車組み込みソフトウェア時代の幕開けとなった。その後 ECU は、環境や安全などに対する世の中の要求とエレクトロニクスの発展が相まって機能を拡大し、それに伴い ECU に搭載されるソフトウェアも大規模化、複雑化していった。1990 年代になると ECU 同士が結ばれた車載ネットワークの導入が始まった。車載ネットワークでは、制御系、ボディ系、情報系の各系ごとに ECU がネットワーク化され、さらにそれらの系をゲートウェイで結んだ車両統合システムへと発展している。

今後は、ITS (Intelligent Transport Systems) に代表されるように、社会インフラなどの車外とのコミュニケーションが本格化することにより、ますますソフトウェアの重要性が高まっていくことになる。

## ◆ 自動車組み込みソフトウェアの特徴

自動車分野での組み込みソフトウェアは、以下のような特徴を持っている。

- ハードリアルタイム性
- 省リソース
- 高い品質要求
- 自動車メーカーと ECU サプライヤによる分担開発
- 頻繁な仕様変更とバリエーションの多さ

上記のうち、ハードリアルタイム性と省リソースは組み込みソフトウェアに共通する特徴であるが、それ以外は自動車分野に特に重要な特徴と考えられるため以下に補足する。

### ◆ 高い品質要求

自動車組み込みソフトウェアで最も重要な品質特性 (ISO/IEC 9126) は信頼性であり、一般的に品質という信頼性を示すことが多い。当然のことながら、自動車

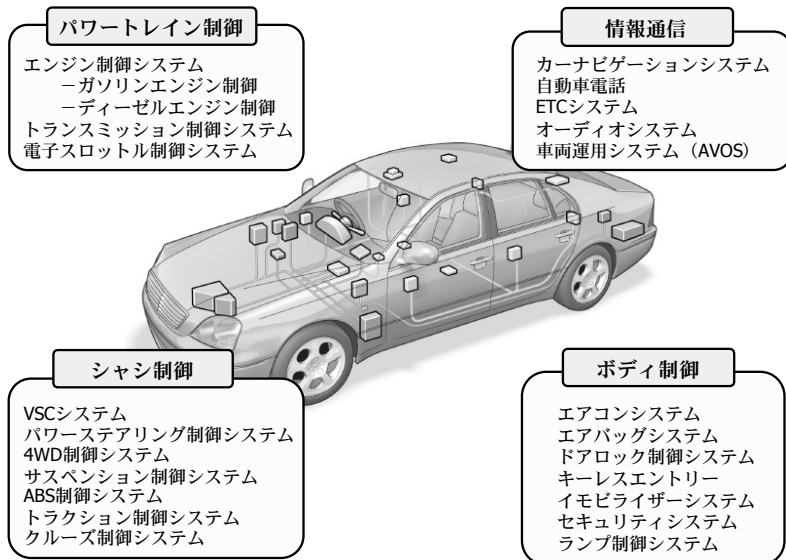


図-1 カーエレクトロニクス製品群

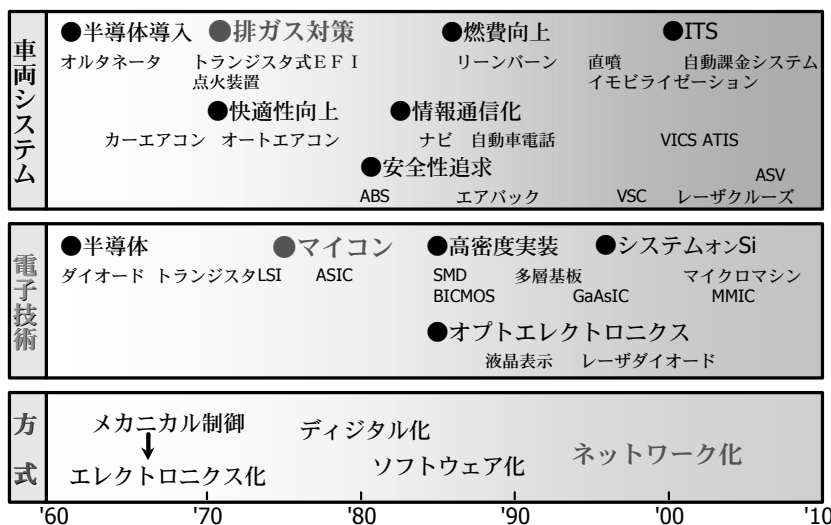


図-2 カーエレクトロニクスの歴史

の運行時に障害が発生することは通常許されず、仮に障害が発生した場合でも致命的な故障とならないことが必須である。そのため、自動車組み込みソフトウェアにおいて、ECUに組み込まれるソフトウェアの技術やソフトウェア開発のプロセスにおける技法には、従来からさまざまな仕組みや工夫が施されているとともに、ハードウェアを含めた総合的な対策が行われている。

### ◆自動車メーカーとECUサプライヤによる分担開発

自動車用制御システムの開発は、一般に自動車メーカーと、制御システムやECUのサプライヤとの共同で行われることが多い。自動車メーカーは複数のサプライヤと共同で開発を行うが、一方で大手のサプライヤも複数の自動車メーカーと共同開発を行うことになる。自動車メーカーとサプライヤとの役割分担は、自動車メーカーの方針や対象となるシステムに応じて、さまざまなパターンが存在する。いずれにしても、相互の情報伝達を正確にかつ迅

速に行うために、要求仕様の形態や記述内容はそれぞれのパターンに応じた適切なものとする必要がある。

### ◆頻繁な仕様変更とバリエーションの多さ

車両開発は何段階かの試作を積み重ねることで進められる。各試作フェーズでは実機での検証を行い、より精密な制御仕様が固められていく。実機検証で見られた問題はその都度修正され、さらに検証が進められる。1つの機種の開発が終われば、これを基にした派生機種の開発も始まる。このため、自動車組み込みソフトウェア開発では、頻繁な仕様変更に対応することが求められる。

また、仕向地やオプション設定によるバリエーションも多い。自動車は世界中の国々に輸出されるため、その国々の法規制等に対応する必要がある。また、同じ車両においても、オプション設定があり、数々のオプションの組合せにも対応する必要もある。

### ◆自動車組み込みソフトウェア開発の変遷

黎明期の自動車組み込みソフトウェア開発は、少人数による職人芸であった。開発プロセスや品質保証プロセスなどのソフトウェアプロセスそのものは

明示的に存在せず、ハードウェア製品に依存した車両開発プロセスの一部として組み込まれてきた。生産性や品質を向上させる新しい手法や技術の導入も進まず、自動車組み込みソフトウェア開発者は厳しい要求にさらされ続けてきた。ソフトウェア開発者側からみれば次から次へと行われる仕様変更に対応するだけで新しい技術の導入にまで手が回らなかった面も否めないが、高い信頼性と低コストを要求されるソフトウェア開発に新しい技術を適用することに慎重にならざるを得ないことも、その導入を遅らす一因となっていた。

1990年代から自動車用システムはその規模と複雑さを飛躍的に増大した。急激に大規模化・複雑化していくソフトウェア開発は、爆発的な業務量の増大を引き起こす。自動車組み込みソフトウェア開発においても、少人数の開発から、数十人のチーム開発が珍しくなくなってきている。このような急激な変化により、単に技術的な面だけでなく、組織管理的な面からもさまざまな問題が

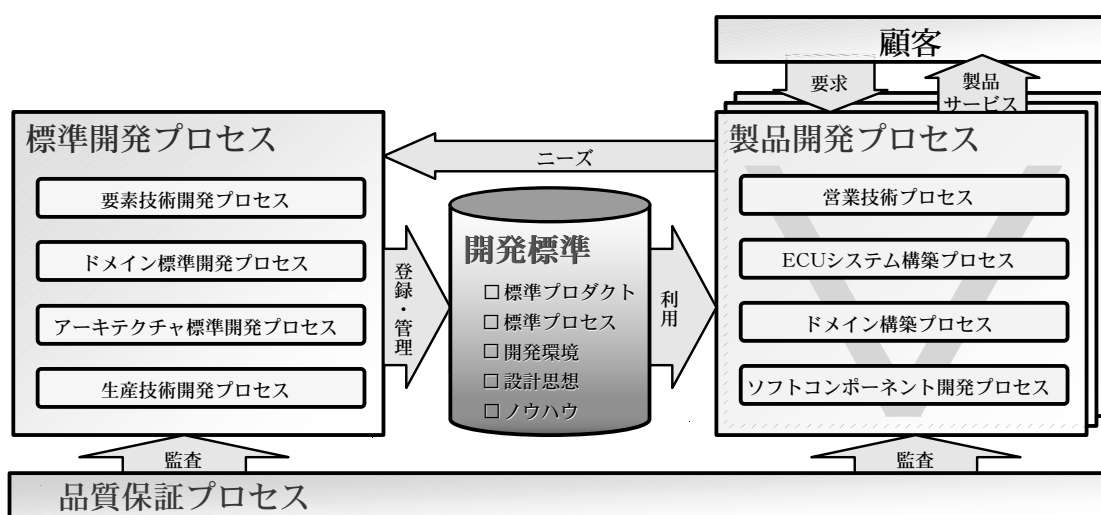


図-3 組織的な再利用の仕組み

顕在化している。

自動車業界では、環境・安全・快適性への追求から機能の大規模化や複雑化が進む一方で、厳しい事業環境からますます開発期間短縮の要求が高まっている。これらを背景として、自動車用ソフトウェアを取り巻く環境は大きな変革期を迎え、市場競争力を確保していくためにソフトウェア開発技術にも大きな変化が求められている。

## ◆自動車組み込みソフトウェア開発への取り組み

自動車組み込みソフトウェア開発は、「長期にわたり類似の製品を大量に生産し続ける繰り返し型開発」である。一品料理的な特徴を持つ業務系ソフトウェア開発と異なり、前述のように頻繁な仕様変更や多量のオプションの組合せに対応した類似のソフトウェアを開発し続けるという点が自動車組み込みソフトウェアの本質的な特徴である。また、同じ組み込み系である家電分野等の組み込みソフトウェア開発と比較して、より高度な信頼性やより長いライフサイクルが求められる。このような自動車組み込みソフトウェアの開発において、継続的に高生産性と高品質を両立させていくためには、自動車組み込みソフトウェアの特徴を考慮した再利用の仕組みを構築することが有効である。

当社では、組織的に再利用すべき情報を集約し情報の効果的な再利用を促進する仕組み作りに取り組んできた。図-3は、その組織的な再利用の仕組みを示す概念図である。再利用は単にコードレベルにとどまらず、設計思想、ノウハウ、コンセプト、さらに利用価値の高いソフトウェアプロセスといったさまざまな情報が対象となる。組織全体は、標準を構築する標準開発プロセスと、登録管理された開発標準を再利用する製品開発プロ

セスから構成される。それらの活動を品質保証プロセスによって監査することで、全体プロセスの生産性と品質を確認する。以下では、それらの仕組みを構成する要素であるソフトウェアアーキテクチャ、ソフトウェア開発プロセス、およびその運用について概説する。

### ◆ソフトウェアアーキテクチャ

再利用のためのソフトウェアアーキテクチャは、オブジェクト指向技術をベースとした再利用単位での階層化・コンポーネント化の考え方により設計されている。一例として、パワートレイン制御でのソフトウェアアーキテクチャを図-4に示す。ソフトウェアアーキテクチャは、物理的な階層構造をそのまま写像した構造となっている。実際の開発現場で発生する変更は、主にアプリケーションの制御アルゴリズムやバリエーション展開に対してのものと、ハードウェア部品の変更に依存しているものがある。前者は頻繁に行われる傾向を持ち、後者は比較的安定しているという、ライフサイクルの違いがある。アプリケーション部も、成熟度の高い制御基幹部分はアプリケーションフレームワークとして構成し、比較的新しい機能が盛り込まれる部分をアプリケーションコンポーネントとして括り出すことで、問題領域を局所したシステムの開発が可能である。さらに、より変更が加えられるホットスポットと、比較的仕様が安定しているフローズスポットの分離の視点も重要である。ホットスポットは変更容易性と検証の容易性を重視し、フローズスポットは信頼性や効率性を中心とした品質の作り込みを重視している。

### ◆ソフトウェア開発プロセス

自動車組み込みソフトウェア開発の伝統的な基本プロセスはV字モデルを基本モデルとしている。この基本

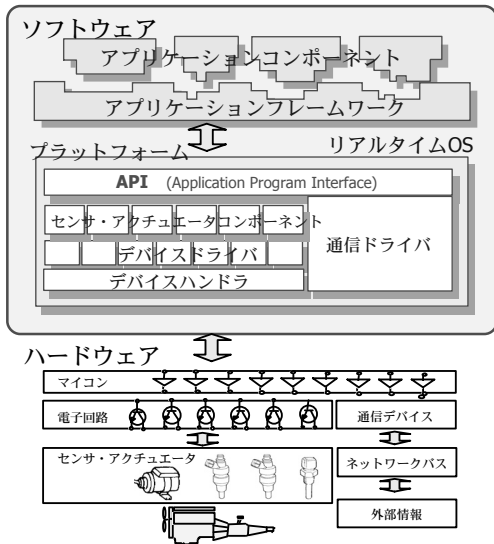


図-4 ソフトウェアアーキテクチャ

モデルの上で、ソフトウェアアーキテクチャをベースにしたコンポーネントの再利用を組織的に推進するためには、ソフトウェア開発業務をコンポーネント供給とコンポーネント利用とに分業し、それぞれの専門性を高めることが有効であると考えている。図-5にソフトウェアを含むECU開発プロセスを示す。この分業体制において高信頼性・高生産性のソフトウェアを実現するためには、テストの体系化とプロセス監査を行う品質保証プロセスが重要である。

しかしながら、自動車用システム開発においては制御対象への合わせ込み要素が多く、ソフトウェアに対する要求仕様そのものがなかなか決まらないといった事情がある。そのため、試作された制御システム機能の評価結果によっては、せっかく作り込んだソフトウェアでも不

採用となり、結果的に開発負荷が増大してしまうことも少なくない。システム仕様を早期に確定させ、ソフトウェアの試作回数を減らすことで生産性を上げる施策も必要となっている。この問題に対しては、シミュレーションやラピッドプロトタイピングなどにより早期に仕様レベルでの検証を行うモデルベース開発手法が有効である。モデルベース開発では、システム全体をUMLなどのオブジェクト指向の仕様記述をベースとし、機能レベルでの仕様記述は制御分野ごとの特質に合わせた記述方法の適用が進められている<sup>2), 3)</sup>。たとえば、エンジン制御などのフィードバック制御系ではブロック線図モデルが、またボディ制御などでのシーケンシャル制御系では状態遷移モデルが、それぞれ主流になっている。

### ◆運用

高信頼性・高生産性のソフトウェア開発を実現するためには、基本のアーキテクチャやプロセスを整備するだけでなく、それらを運用し、日々発生する種々の問題に対処しつつ、継続的に組織の価値を維持向上させていくための仕組みが重要である。以下では、一例として上記ソフトウェア開発プロセスで述べた分業体制でのソフトウェア品質保証プロセスを中心に解説する。

分業体制におけるソフトウェア品質保証プロセスは、主に、レビュー／テスト体系、コンポーネント品質管理、SQAプロセス監査の3要素から構成される(図-6)。レビューは目的に応じ各工程で行われるが、主に設計工程での品質の作り込みを目的に、変更点に着目して各工程手順の実施と完了を特定する。テストについては、単体テストや結合テストなどのテスト工程と、構造・機能・性能などテストの目的とのマトリクスで

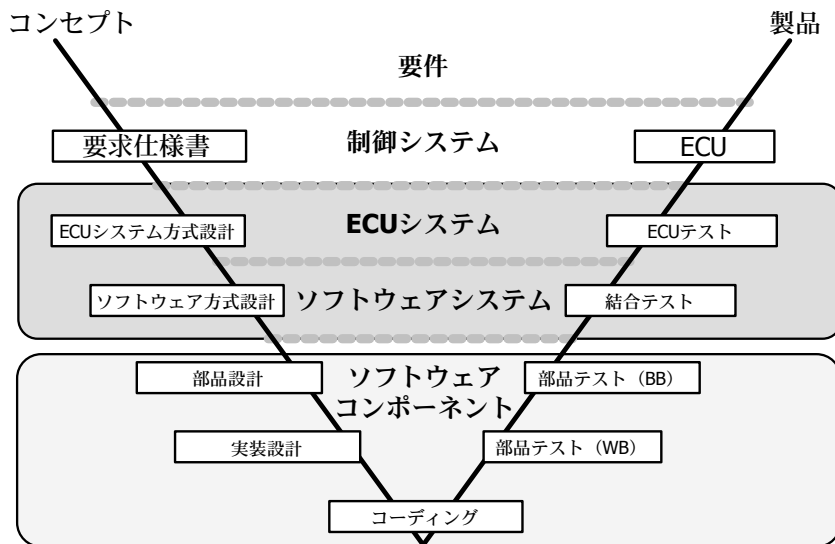


図-5 開発プロセス



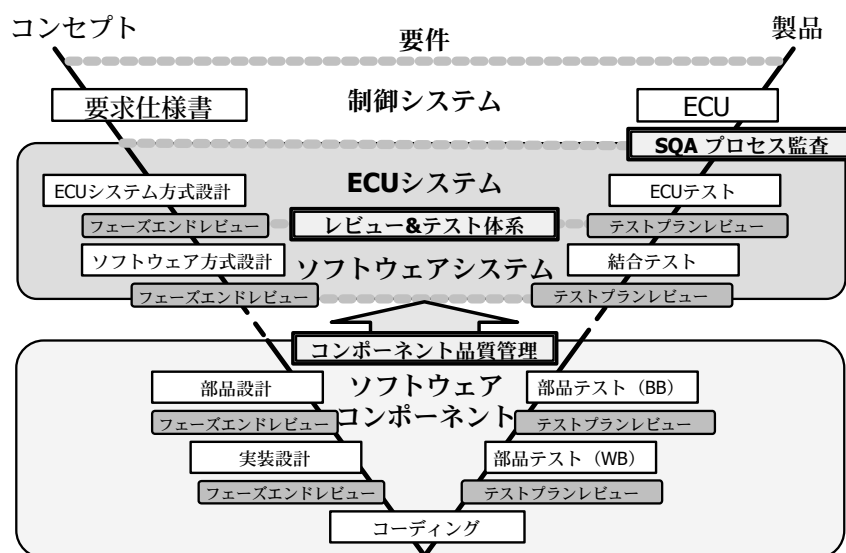


図-6 品質保証プロセス

体系化され、それぞれどのようなテストを行うかが定義されている。また、コンポーネント品質管理は、再利用の重要な構成要素であり、製品のソフトウェア品質管理とは別に、ドキュメントレビュー、単体テスト、および経路複雑度などのメトリクスによる管理を行っている。また、出荷時には品質保証（SQA）グループが、これらプロセスの完了を検査するプロセス監査を実施し全体の品質確認を行う。

顕在化した問題については、プロセス改善グループ（SEPG）による問題の分析とそれに基づくプロセス改善を行う。プロセス改善のリファレンスモデルはCMMをベースとしている。ただし、あくまで組織目標達成のためのプロセス改善を優先し、単なるCMMレベル獲得のための帳尻合わせにならないよう上級管理者から担当者までの目的意識の徹底が大切である。

以上、自動車組み込みソフトウェア開発への取り組みについて述べてきたが、上記の中では触れていないことで重要なテーマが人材育成や活性化である。単に技術者や管理者の育成カリキュラムを用意するだけでなく、分業化に向かう中でそれぞれの職種に要求されるスキルの明確化や自己評価などの仕組み、また職種間のローテーションや上司とのキャリアパス共有化など、総合的な仕組みの構築を進めている。

## ◆今後の自動車組み込みソフトウェア開発に向けて

従来から自動車組み込みソフトウェアに求められる重要な価値は、高品質と低コストであった。今後も重要な価値であることは確かであるが、近年のネットワーク化

や機能の高度化に伴うシステム統合は、実現方法の変化を促す<sup>4)</sup>。さらに、自動車を取り巻く事業や技術の変化によって、自動車組み込みソフトウェア開発においても新たな価値の創出の必要性和可能性が高まっている。今後は、ネットワーク化された高度で複雑なシステム開発を高品質と高生産性を維持し続けるためのソフトウェア技術導入や、新たな価値の創出を促進させるためのソフトウェア技術基盤の構築が必要と考えられる。

## ◆オープン化による業界連携

環境・安全・快適性への追求から自動車に求められる機能や性能は急激に高度化し、車載システムは個々のサブシステムが通信ネットワーク技術により結合・統合され、急速に大規模化・複雑化している。これらを背景として、システム開発形態も、従来のカーメーカとECUサプライヤとの一対一の関係から、複数のECUサプライヤ間の連携をとりながら開発を進める形態へと移行していく。自動車用組み込みソフトウェア開発の管理においても、企業内組織で閉じていたプロダクトやプロセスが複数の企業を跨ぐようになるため、新たな管理モデルが必要になる。サプライヤ間の分業連携を効率よく進めるために、プロダクト・プロセス両面からの標準化が以下のように一部始まっている。

プロダクト面の例として、自動車組み込みソフトウェアにおいても、リアルタイムOSなど、外部から調達されたコンポーネントを組み合わせてソフトウェアを構築するケースが増えている<sup>5)</sup>。ソフトウェア部品の外部調達や企業間での相互利用などは今後拡大していくと予想される。アーキテクチャの面からも、それらを自由に構築できる機構開発が求められる。

プロセスの視点からも、オープンな枠組みが必要と

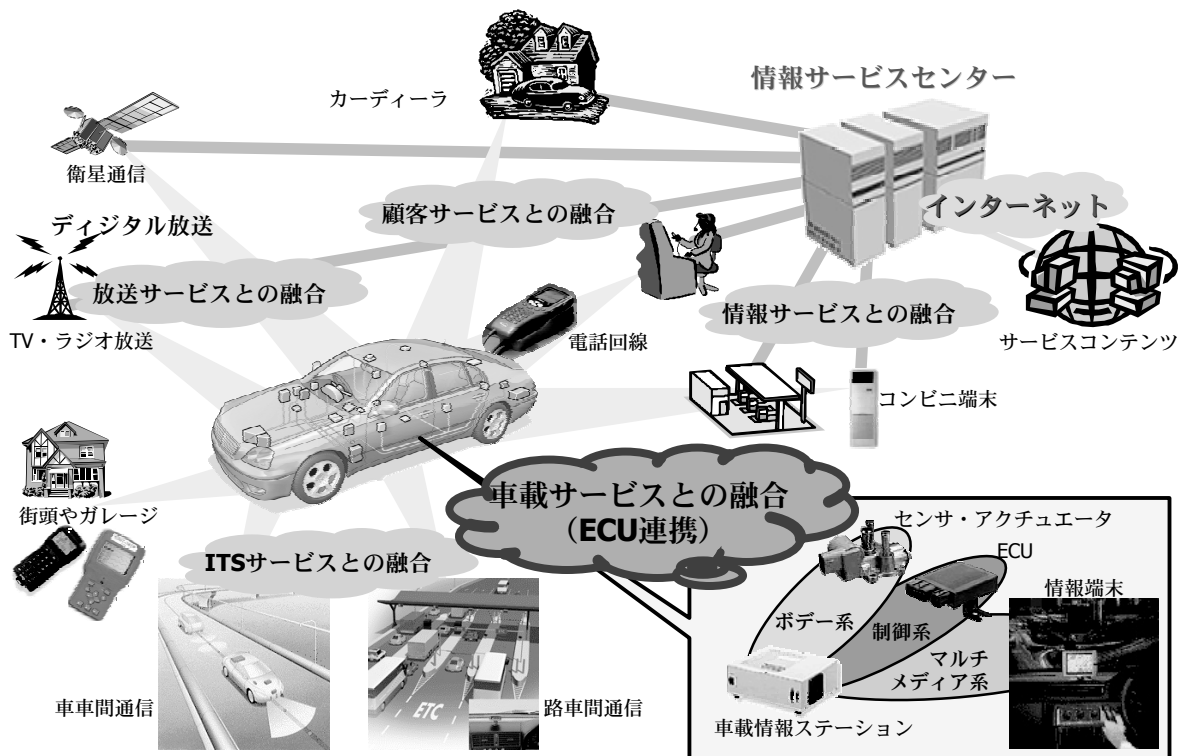


図-7 自動車におけるサービスプラットフォーム

なる。たとえば、英国を中心とした MISRA (The Motor Industry Software Reliability Association)<sup>6)</sup> から自動車用ソフトウェア開発のガイドライン<sup>7)</sup> が発行され、一部では適用が始まっている。また、自動車分野の特徴であるカーメカと ECU サプライヤとの分担開発の必要性から、仕様記述方法の標準化の動きもある。

### ◆新たな価値の創出に向けて

これまでは、エンジン制御による燃費向上や排気浄化など、自動車システム開発やそれを実現するためのソフトウェア開発においての要件は比較的明快であった。今後も、さらなる厳しい要求に向け、機能・性能向上が追求されていくであろう。しかし、一方で、システム統合やネットワーク化により、車載 ECU 協調によるカーインテリジェンスの実現や、インターネットをベースとした情報サービスとの連携などによる、今まで想像もできなかった新しい機能・サービスなどを構築できる環境が揃いつつある。新たな自動車組み込みソフトウェア開発に向けたソフトウェア技術基盤の構築により、従来からの車載機器により提供される機能に加え、外部の情報センターとの連携による車の情報を活用したさまざまなサービスを提供できる可能性を秘めている。

これらを実現していくためには、ソフトウェアに関する技術開発も自動車分野で閉じたものだけでなく、汎用技術との融合を早期に進めていく必要がある。自動車に実現されるサービスプラットフォームの資源を有効に活

用し、タイムリーなサービス開発を促進するためには、異文化を融合させるサービス指向型のソフトウェア開発基盤の構築が求められる(図-7)。

### ◆まとめ

自動車用組み込みソフトウェアは独自の発展を遂げてきたが、汎用ソフトウェア開発技術を広く取り入れることで、そこに求める価値も大きく変貌しようとしている。しかし、組み込み系のソフトウェアは日本のソフトウェア産業の中で重要な分野であるにもかかわらず、学術的な研究や公開の場での議論があまり活発になされてこなかったように思われる。このような機会をきっかけに、層の厚い議論・研究が発展することを期待してやまない。

#### 参考文献

- 1) 水谷集治(監修)、カーエレクトロニクス研究会(編著):新カーエレクトロニクス, 山海堂(1992).
- 2) Controller Style Guidelines for Production Intent Using MATLAB, Simulink and Stateflow, MathWorks Automotive Advisory Board (MAAB) (Apr. 2001). (<http://www.mathworks.com/products/controldesign/maab.shtml>)
- 3) Chrysler, D.: Research and Technology, AutomotiveUML, (<http://www.automotive-uml.de/>)
- 4) 青山幹雄:連載ソフトウェア新時代, 第4回組込みソフトウェアの転機, 情報処理, Vol.39, No.7, pp.588-590 (July 1998).
- 5) OSEK/VDX Operating System, Version 2.1 release candidate 1, 18 (Jan. 2000) (<http://www.osek-vdx.org/>)
- 6) The Motor Industry Software Reliability Association, MISRA (<http://www.misra.org.uk/>)
- 7) 自動車技術会:テクニカルペーパー TP-01001 自動車用ソフトウェアの開発ガイドライン (MISRA ガイドライン), 自動車技術会(2002). (平成15年2月28日受付)