

カーエレクトロニクス化の進展とその課題

伊 東 維 年

はじめに

自動車産業は、現在、歴史的な転換期にある。その意味するところは、従来の内燃エンジン自動車 (Internal Combustion Engine Vehicle: ICEV) から、駆動力の一部もしくは全部を電気で賄うハイブリッド車 (Hybrid Electric Vehicle: HEV)、プラグインハイブリッド車 (Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV)、電気自動車 (Battery Electric Vehicle: BEV)、燃料電池車 (Fuel Cell Vehicle: FCV) への転換である。ハイブリッド車やプラグインハイブリッド車が電気自動車や燃料電池車への中継ぎであるとすれば、早晚、我々は電気自動車や燃料電池車を乗り回すことになるであろう。これは、「環境対策」「省エネルギー化」という社会的要請に応えるものであると同時に、カーエレクトロニクス化の一つの到達点でもある。

本稿では、先ずカーエレクトロニクス化の歩み、すなわち自動車の電子制御システムの発展を辿る。次に、カーエレクトロニクスを制御する電子制御ユニット (Electronic Control Unit: ECU) と車載 LAN (Local Area Network: 車内ネットワーク) に、さらには、カーエレクトロニクスを支える車載用半導体と組み込みソフトウェアに焦点を絞る、その現状と課題について考察する。そして、最後に、ハイブリッド車 (HEV)、プラグインハイブリッド車 (PHEV)、電気自動車 (BEV)、燃料電池車 (FCV) が現在抱えている課題について指摘することにした。

1 カーエレクトロニクス化の歩み

1947年にベル研究所のバーディーン (John Bardeen, 1908年~1991年) とブラッテン (Walter Houser Brattain, 1902年~1987年) によって点接触型トランジスタが、翌48年に同じくベル研究所のショックレー (William Bradford Shockley, 1910年~1989年) によって接合型トランジスタが発明され、その10年後の1958年にTI社 (Texas Instruments, Inc.) のキルビー (Jack St. Clair Kilby, 1923年~2005年) によりIC (Integrated Circuit: 集積回路) が発明されるが¹⁾、これらの半導体素子が自動車の機構部品 (車を動かす部品) として利用されるようになったのは1960年代に入ってからのものであった。オルタネータ (Alternator: 交流発電機) への整流用ダイオードの利用がその最初の例と称されている。その後、イグナイタ (Igniter: 点火装置) の電気接点にパワートランジスタが採用された。その他、スタータやディストリビュータ²⁾ といった電装品に半導体素子を利用したことからカーエレクトロニクス化の歩みは始まった。

自動車へのエレクトロニクス技術・製品の導入を大幅に促進したのは、1970年代から始まった自動車排出ガス規制の強化であった。その代表例が、米議会において1970年12月に改定された大気汚染防止のための法律「マスキー法 (Muskie Act)」であり、同法は、1975年以降に製造する自動車の排気ガス中の一酸化炭素 (CO) や炭化水素 (HC) の排出量を1970年~71年型の10分の1以下にする、76年以降に

製造する自動車の排気ガス中の窒素酸化物 (NO_x) の排出量を 70 年～71 年型の 10 分の 1 以下にする、というものであった。これに対応するために開発されたのが、MCU (Micro-controller Unit: マイコン) を使った ECU であった。「排ガスを洗浄しながら、エンジン出力や燃費を悪化させないためには、点火時期、燃料噴射、エンジン回転速度などのマイコンによるデジタル制御が必要だったのである」³⁾。この ECU の開発によって、あわせて低燃費も実現された。

1980 年代に入ると、自動車の「安全性・快適性」の向上が求められるようになり、エンジン制御系のみならず、トランスミッション (Transmission: 変速機) などのパワートレイン系、アクティブサスペンション (Active suspension: 電子制御式車高・車体姿勢制御機能付き懸架装置) などの車両制御系、メーターのデジタル表示、パワーウィンドウ、エアコンなどのボディ系にも ECU の利用が拡大していった。80 年代の ECU に採用されていたのは 8 ビットマイコンであったが、車載用のマイコンの需要拡大に対応して、半導体メーカーはカスタムマイコンを中心に車載用の半導体の技術開発に注力するようになった。

半導体や ECU の発展に伴い、1990 年代には自動車にも新技術が開発され、新しいシステムが搭載されるようになった (図 1)。エンジン制御系では可変バルブタイミングシステム (Variable Valve Timing System: VVTS)⁴⁾、シャーシ (車台) 系では ABS (Antilock Brake System: 車輪ロック防止装置) や ESC (Electronic Stability Control: 横滑り防止装置)、安全・快適制御系ではエアバッグ、情報系では GPS 測位を用いたカーナビゲーション (1990 年)、DVD ナビゲーション・VICS (Vehicle Information and Communication System: 道路交通情報通信システム) 用 FM 受信機内蔵ナビゲーション (1997 年) など新しい技術・システムが次々に開発され、導入されるようにな

り、このため、電子制御する対象も増加し、その制御も複雑なものとなった。後述するように、この問題を解決するために本格的に車載 LAN が利用されるようになったのもこの 90 年代であった。

この 90 年代におけるカーエレクトロニクス化の画期的な出来事として忘れてはならないのがハイブリッド車の普及である。ハイブリッド車は、エンジンと電気モータを搭載し、制動時のエネルギーを再生して燃費を改善し、同時に自動車にまつわる排出ガス (CO₂) を削減することが可能な車である。1991 年に日野自動車 が大型バス向けに「HIMR (Hybrid Inverter Controlled Motor & Retarder System: ハイエムアール)」を開発、実用化していたが、自家用車として普及するようになったのは、トヨタ自動車 が 1997 年に発売し、ハイブリッド車の代名詞ともなった「プリウス」以来のことである。「プリウス」の成功と、地球温暖化や原油高などの環境・エネルギー問題への対応などから、現在では GM (General Motors) やホンダなど他社でもハイブリッド車の製造・販売を行うようになっている⁵⁾。

21 世紀に移り、自動車の「安全性」「快適性」「環境対策」「省エネルギー化」「情報化」に対応するため、カーエレクトロニクス化が加速している。エンジン制御系では電子制御スロットルシステム (Electronic Throttle Control System: ETCS) の導入が進み、パワートレイン系では電子制御 AT (Electronic Controlled Automatic Transmission: 電子制御自動変速機) の採用が拡大し、電子制御 4WD (Four-Wheel Drive: 四輪駆動) が開発・実用化され、シャーシ系においては電動パワーステアリングの大型車への普及が進んでいる。安全・快適制御系ではプリクラッシュセーフティシステム (Pre-crash Safety System: 衝突予知被害軽減システム) が実用化され⁶⁾、スマート・エアバッグの採用などのエアバッグの高性能化とともに、側面衝突に対応するサイドカーテンバッグや膝

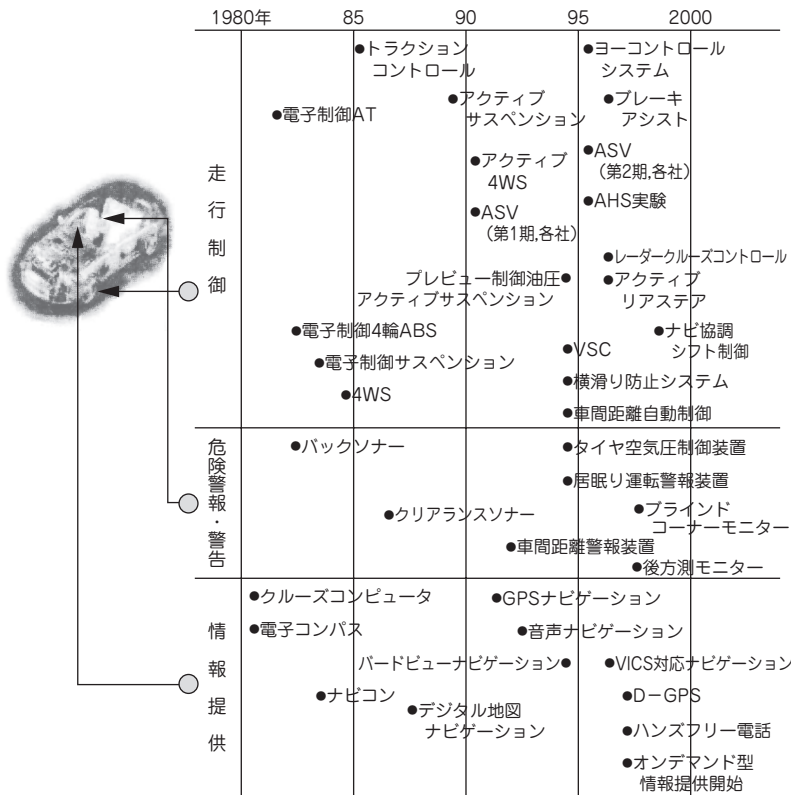
カーエレクトロニクス化の進展とその課題

を保護するニーバッグも装備されるようになってきた。また、小糸製作所が世界初の量産化に成功した AFS (Adaptive Front Lighting System: 配光可変型前照灯システム) が、2003年にフルモデルチェンジしたトヨタの「ハリアー」に採用され、現在では他社においても使用されるようになってきている。小糸製作所はさらに白色LEDを採用したLEDヘッドランプを開発し、2007年に発売を開始したトヨタのハイブリッド車「レクサスLS600h」に搭載された⁷⁾。自動車用LEDの利用は、現在、ブレーキランプ・ウインカーランプ・バックランプ・テールランプを一体化したLEDリヤコンピネーション

ランプ (LED Rear Combination Lamp) やメーター照明パネルなどへ顕著な広がりを見せている。このほか、ナイトビジョンシステム (Night Vision System: 夜間暗視システム) やVDIM (Vehicle Dynamics Integrated Management: 車両運動の統合制御)⁸⁾も実用化されている。情報系をみると、国内ではETC (Electronic Toll Collection: 自動料金支払いシステム) の運用が2001年から開始され、ワンセグ放送が2006年から開始されたことに伴い自動車向けワンセグモジュールも同年から生産が開始され、車に搭載されるようになった。

また、安全・安心機能の実現と、情報配信に

図1 カーエレクトロニクス化の歩み



(出所) 新誠一『図解 カーエレクトロニクス最前線 ロボット化するハイテク自動車』工業調査会、2006年、11ページ。

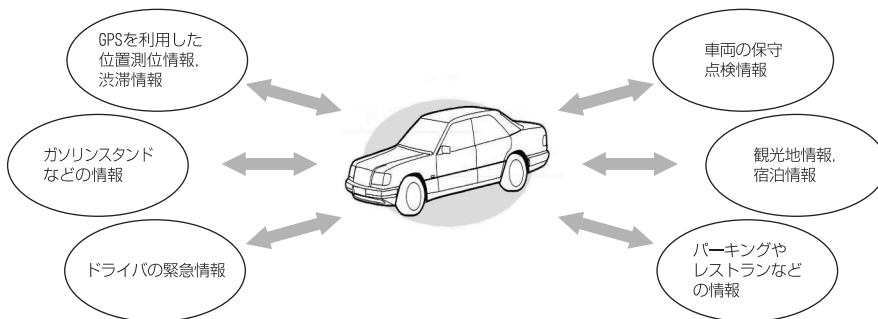
よる利便性の向上を目的に、自動車に搭載された情報機器と、移動体情報通信技術を組み合わせてリアルタイムに情報サービスを提供するテレマティクス (Telematics) の利用がカーナビの普及と連動して拡大している。現在のところ、カーナビと連携して、天気予報や渋滞情報の配信、電子メールの送受信、地図データの自動更新を行うなど、個別の自動車上での機能しか有していないが、将来的には ITS の一端を担うものと見なされている (図 2)。

この ITS (Intelligent Transport Systems : 高度道路交通システム) とは、「最先端の情報通信技術を用いて『人と道路と車両』とを情報でネットワークすることにより、交通事故、渋滞など道路交通における『負』の問題解決を図るとともに、輸送の効率化や快適性の向上などを図ることを目的に構築される新しい交通システム」⁹⁾ のことで、その推進のため、国内では 1995 年から国と企業が連携して取り組んでいる。国が策定した「ITS 推進に関する全体構想」では、「ナビゲーションシステムの高度化」「自動料金収受システム」「安全運転の支援」など九つの開発分野において 20 の利用者サービスを概ね 2015 年頃の実現させるという目標を立てている (図 3)。既に 1990 年代からカーナビゲーションシステムや、VICS の運用が始まり、

2000 年代に入り既述の ETC のほか、バスの現在地や待ち時間をバス停に表示するバスロケーションシステム (Bus Location System)、ETC 搭載車専用のインターチェンジであるスマート IC も設置されるようになってきている。現在、それぞれの開発分野で様々な研究・実験が繰り広げられているが、今後、ITS は新しい産業や市場を作り出す可能性を有しており、その効果は全体で数十億円にも達すると言われている¹⁰⁾。

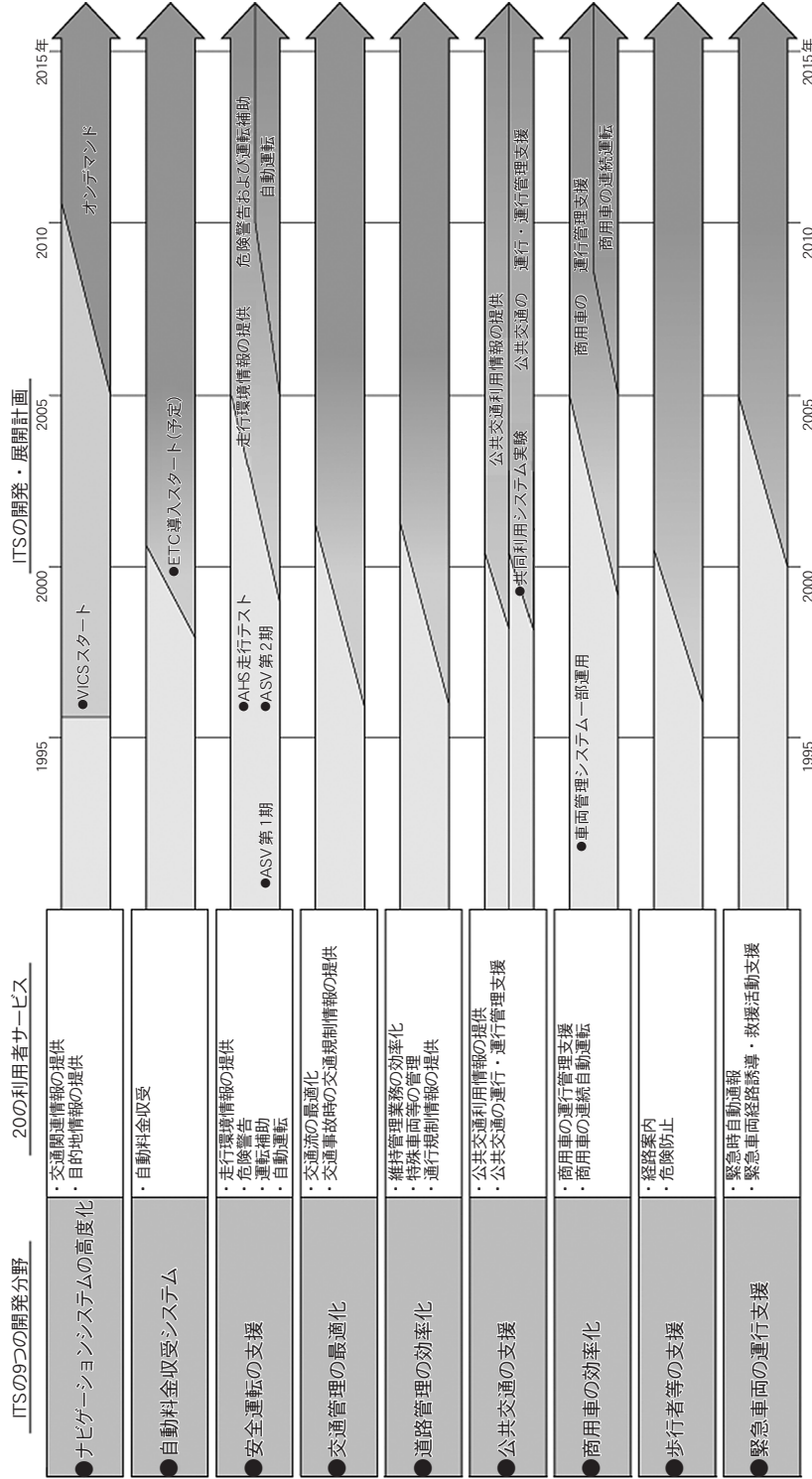
ハイブリッド車については、「環境対策」「省エネルギー化」に対応するため、自動車メーカー各社とも市場参入を図り、車種の拡大を図っている。同時に、電気コンセントから充電可能なプラグインハイブリッド車も登場し、普及しつつある。さらに、三菱自動車が、家庭用電源を用いた普通充電や充電ステーションの急速充電によって自動車に搭載されている二次電池 (リチウムイオン電池) を充電し、その電気エネルギーでモータを回転させ走行する量産型の電気自動車「i-MiEV (アイ・ミーフ)」の販売を 2009 年から開始するに至り、自動車市場への電気自動車の本格的な参入も始まった。かくて、今や自動車はカーエレクトロニクス化からエレクトロニクスカー、「動く電子機器」¹¹⁾ へと変身を遂げるに至っている¹²⁾。

図 2 テレマティクスの概念図



(出所) 社団法人電子情報技術産業協会 IC ガイドブック編集委員会編集・著作 『IC ガイドブック 09-10 年版』日経 BP 企画、2009 年、161 ページ。

図3 ITSの開発分野と利用者サービスの開発計画



(出所) 社団法人日本自動車工業会の資料。

2 カーエレクトロニクスを制御する ECU と車載 LAN

前述してきたように、自動車の制御をみると、「安全性」「快適性」「環境対策」「省エネルギー化」「情報化」に対応するため、油圧やカムによるメカ駆動から電気・電子制御への転換、すなわちエレクトロニクス化が進んでいる。また、カーエレクトロニクス化の進展によって、自動車1台当たりの電子部品のコスト占有率が加速度的に上昇している。トヨタ自動車のケースでは、80年頃までは3%程度であったが、2005年にはおよそ20%を占めるまでになっており、2015年には40%へと倍増すると見込まれている(図4)¹³⁾。次には、カーエレクトロニクスを制御している ECU と車載 LAN について説述しよう。

(1) 多様化する ECU

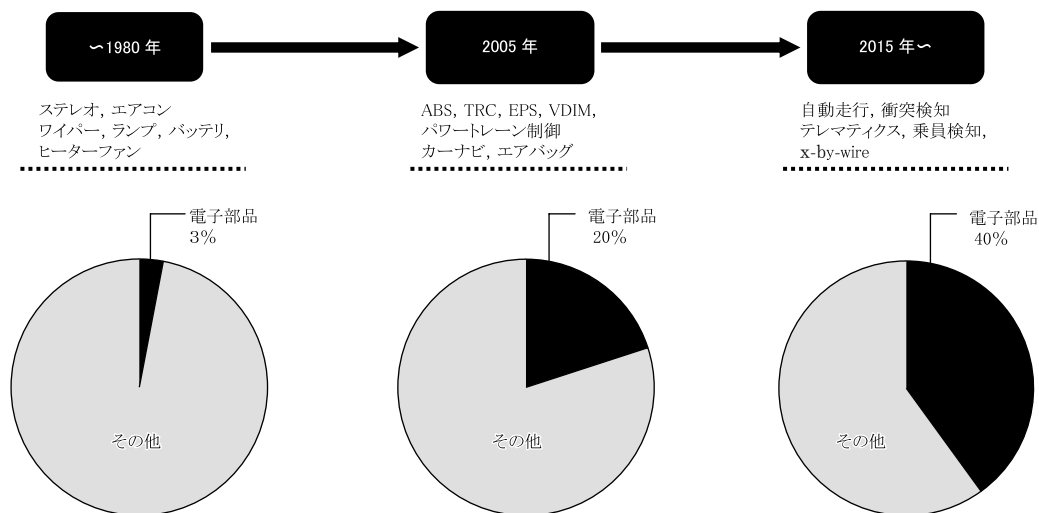
エンジン制御系からパワートレイン制御系・シャーシ制御系・ボディ制御系・情報通信制御

系に至るまで、現在では自動車全体が電子制御されていると言っても過言ではない。この電子制御の基軸要素の一つが ECU である。

自動車の電子制御ブロックは、図5のように、エンジンの状態や運転環境など必要とされる情報を検知するセンサ部、センサから得た各種情報を瞬時に演算処理し、最適制御情報を引き出し、アクチュエータ (Actuator: 駆動装置) に伝える ECU 部、その最適制御情報に従い対応動作・制御を行うアクチュエータ部から構成されており、それらの連携によって各電子制御システムの最適な制御を行っている¹⁴⁾。例えば、エンジン電子制御システムのケースでは、吸気温センサや燃焼圧センサ、スロットルセンサなどのセンサからの情報が ECU 内部でデジタル信号に変換されてマイコンに入力され、マイコンが演算処理を行い、最適な燃焼状態にするための情報を出力し、パワー半導体を通してイグナイタやインジェクタ (Injector: 燃料噴射装置) を駆動する仕組みとなっている¹⁵⁾。

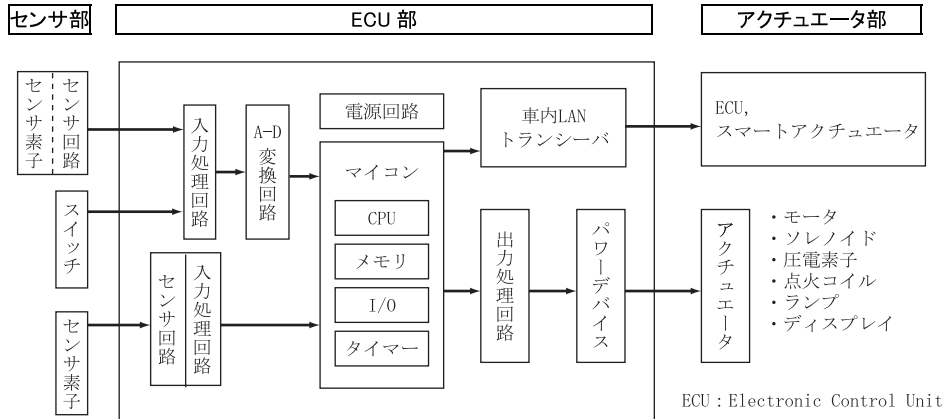
カーエレクトロニクス化の進展に伴い、既述

図4 車両の電子部品のコスト比率 (トヨタ自動車)



(出所) 小川計介「技術レポート 九州自動車成長戦略フォーラム 九州地区の車両生産を強化し現地調達率も増やす」『日経 Automotive Technology』(日経 BP 社) 2007年春号, 2007年3月, 35ページの「図2 車両の電子部品のコスト比率 (トヨタ自動車)」を一部修正して作成。

図5 ECU とその周辺機器の構成



(出所) 『自動車エレクトロニクスの新展開 予防安全技術、ネットワーク化、情報通信技術の動向』東レリサーチセンター調査研究部、2009年、353ページの「図3-1 ECUのブロック図」を一部修正して作成。

のように多種多様な電子制御システムが開発、実用化され、それに付随して、当然、自動車に搭載される ECU の種類・役割も多様化し、搭載数も増加傾向を示しており、近年では乗用車 1 台当たり 70 個ほどに及び、ハイエンド車では 100 個を超える例も出てきている¹⁶⁾。このため、複数の ECU を 1 個に統合するなど ECU 数の減少が進められる一方で¹⁷⁾、温度・湿度や振動環境が比較的マイルドな車室内に置かれてきた ECU を、パワートレイン制御系においては、車室内からエンジンルームやトランスミッションのオイル室内に設置する搭載領域の拡大や¹⁸⁾、機械装置上に直接搭載あるいは内蔵したりする「機電一体化」が進みつつある¹⁹⁾。ECU が「車室内からエンジンルームへ、さらにエンジン直載に移行するに従い、載置環境の高温化・高振動化が進み、小型・高密度で高信頼性の ECU モジュールが必要」²⁰⁾となっている。

(2) 高性能化・進化が求められる車載 LAN

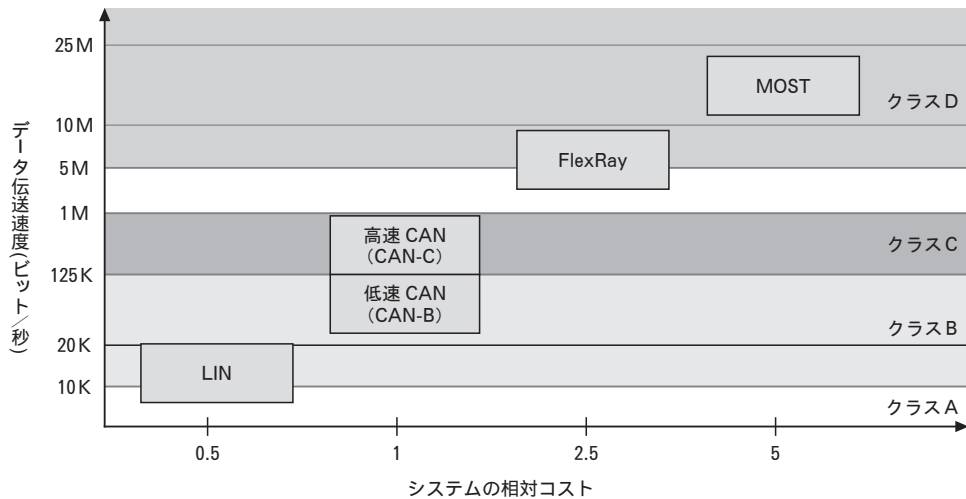
カーエレクトロニクス化の進展は、ECU やセンサといった電子機器の増加ばかりでなく、取り扱う情報量の飛躍的な増大をもたらした。さらには、ECU の出力端子数の増加、ECU・

機器・部品間をつなぐワイヤハーネス (Wire Harness : 車内配線) の増加・複雑化、ハーネス重量の増加といった新たな問題を生み出した。1990 年には自動車 1 台当たりの配線数は約 1900 本、コネクタ数は約 3800 個にも上り、配線の総延長は 3km、総重量は 39kg に達した。これらの問題を解決し、車両の軽量化、燃費の改善を図る手段として、同時に安全性の観点から採用されるようになったのが車載 LAN である²¹⁾。

車載 LAN には、いくつかの規格があり、米 SAE (Society of Automotive Engineers) では、図 6 のようにデータ伝送速度に応じてクラス A~クラス D の四つのクラスに分類しているが、伝送速度のほかにも違いがあり、異なったインターフェース規格の LAN が適材適所で使用されている (図 7)²²⁾。

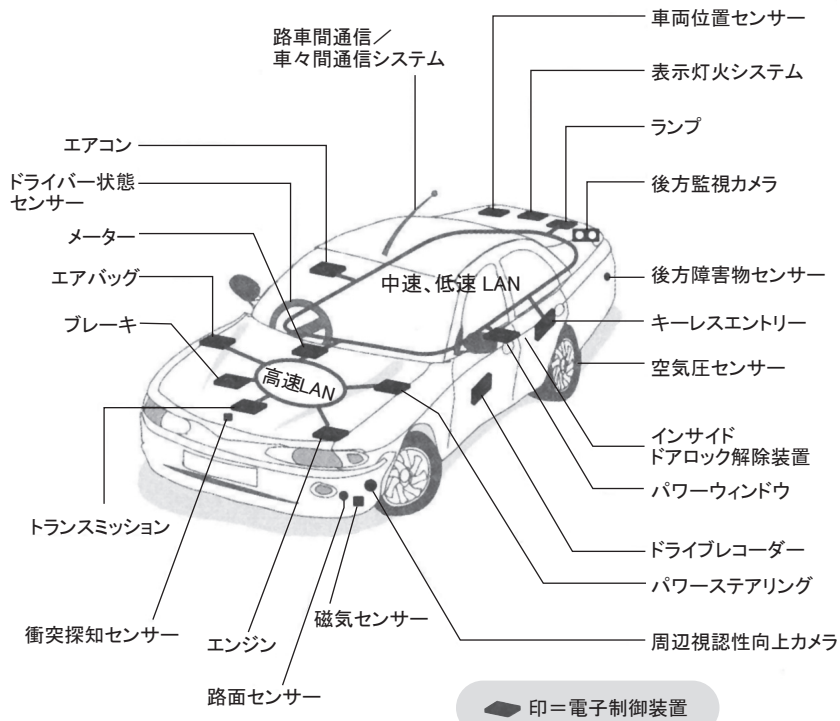
現在、デファクトスタンダードとして最も普及が進んでいる規格 (プロトコル : protocol) が、Robert Bosch 社が開発した CAN (Controller Area Network) である。2 本の信号線を使うシリアルバス (serial bus) 方式²³⁾の車載 LAN で、すべての ECU がマスターとして振る舞うマルチマスター (Multimaster) 方式、

図 6 データ伝送速度の違い



(出所) 木下雄弘・佐藤秀樹「クルマに広がるネットワーク (前編) 電子化の背景と車載 LAN の種類」EETIMES Japan 「技術解説」2008 年 7 月 11 日 (EETIMES Japan のホームページ, <http://eetimes.jp/content/148>, 2010 年 1 月 8 日取得) 中の「図 1 データ伝送速度の違い」を一部修正して作成。

図 7 電子制御装置と車載 LAN



(出所) 泉谷涉「図解 半導体業界ハンドブック」東洋経済新報社, 2004 年, 129 ページ。

バス（ライン）型のネットワークトポロジー（Network Topology：接続形態）を採用し、エラー検出機能およびエラー時のハンドリング機能を装備していることなどが特徴である。エンジンやABSなどのパワートレイン系に主として使用される高速CANと、エアコンやワイパーなどのボディ系で使用される低速CANがある。

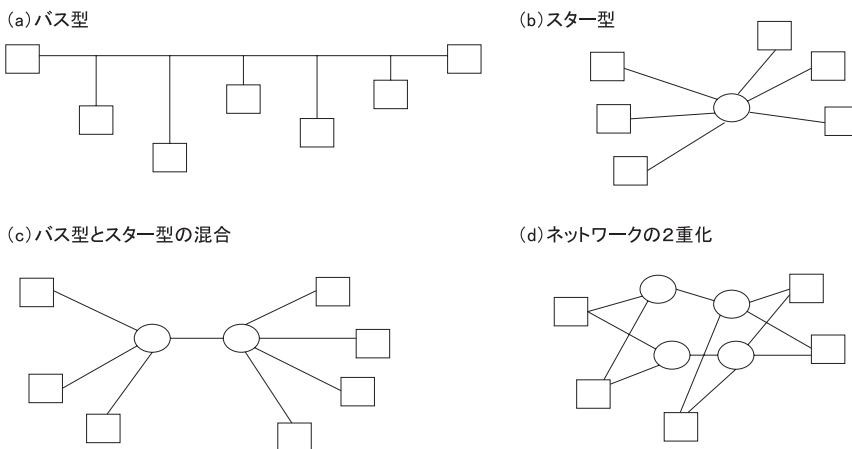
LIN（Local Interconnect Network）は、車両のバックボーン・ネットワーク以外の用途で、CANほど高い伝送速度が求められない低コスト（CANの2分の1から3分の1のコスト）のサブネットワーク向けに開発されたシングルワイヤバス方式のLANである。このため、CANのサブネットワークとしてドアミラー制御や電動ウインドウ制御、ライト制御などに採用されている。

車載向けマルチメディア系のLANとして、MOST（Media Oriented System Transport）やIDBI1394（1394-Automotive）がある。これらは、音声や動画といったマルチメディアデータを伝送するため、高速伝送を特徴としている。

電子制御システムが車内全体に張り巡らされ、高度化・複雑化するに伴い、データ量が増加し、

より高速でかつ信頼性の高いネットワークが求められるようになってきている。この要求に応えるため、FlexRayコンソーシアムにより仕様が策定されている次世代車載向け通信プロトコルがFlexRay（フレックスレイ）である。FlexRayは、最大10Mビット/秒というCANの10倍に相当する高速データ伝送を可能とし、データ伝送方式としては遅延が生じにくいタイム・トリガ型（各ノードごとに一定のタイミングで送信権を与える通信方式）を採用している。また、タイム・トリガ型の伝送方式の採用やネットワークの完全二重化、バスガーディアン（エラー処理用LSI）によるスケジュール監視、通信同期機能などによって高い信頼性を有する。さらに、バス型、スター型、バス型とスター型の混合のトポロジーを選択可能としており、ネットワークの構成を柔軟に設定することが出来る（図8）。このように、高速性、大量のデータ伝送、高信頼性、高い柔軟性を特徴としている。FlexRayは、主にX-by-Wire²⁴⁾のような、自動車の走行制御に直接に関与するシステム向けの車載LAN通信プロトコルであるが、今後、広く普及することが見込まれる。

図8 ECUを結ぶネットワークトポロジー



（出所）『自動車エレクトロニクスの新展開 予防安全技術、ネットワーク化、情報通信技術の動向』東レリサーチセンター調査研究部、2009年、226ページ。

実際の車両においては、前述の各種規格を組み合わせて車内ネットワークが構成されているのであり、またネットワーク相互で情報を交換するのが一般的となっている。このため、複数のネットワークを接続するゲートウェイ ECU (Gateway ECU) が不可欠なものとなっており、最近の車載ネットワークにおいては、ゲートウェイ ECU の数は 5~7 個程度にまで増えている。

今後、ITS などが進展していくにつれ、エレクトロニクス化とネットワーク化が融合していくことが必須であり、ネットワークの大規模化・複雑化に対応した車載 LAN のさらなる高性能化・進化が求められることは間違いない²⁵⁾。

3 カーエレクトロニクスを支える車載用半導体と組み込みソフトウェア

続いてカーエレクトロニクスを支える車載用半導体と組み込みソフトウェアに目を向けることにしよう。

(1) 高信頼性と低コストの両立が求められる車載用半導体

既述のように、カーエレクトロニクスを構成するさまざまな電子制御システムにはその基軸要素として ECU が搭載されている。この ECU について、さらに詳細にみると、センサやスイッチの入力を処理する入力処理回路、A/D 変換回路、マイコン (MCU)、電源回路、出力処理回路、パワーデバイス、通信回路から構成されており (前掲図 5 参照)、その構成部品のほとんどが半導体から成っている²⁶⁾。また、その他の機器・装置においても、ディスクリート (discrete semiconductor device: 個別半導体)、オプトエレクトロニクス (optoelectronics: 光デバイス)、メモリ IC、ロジック IC、アナログ IC などの半導体が用いられている。例えば、ガソリンエンジン燃料噴射制御システムの場合には、マイコンのほか、デジタル・アナログ

IC としてセンサ入力インターフェース IC、噴射制御プリドライバ IC、モータドライバ IC、パワーマネジメント IC、電子配電用素子が、パワーデバイスとしてインジェクタ駆動用素子、点火プラグ用 IGBT、ソレノイド駆動用素子、ランプ駆動用素子、電子スロットル素子、バルブ起動用素子が、センサとして水温センサ、クランク角センサ、ロックセンサ、エアフロー/バキュームセンサ、吸気温センサ、吸気圧センサ、スロットル・ポジション・センサ、アクセル・ポジション・センサ、カム・ポジション・センサ、O₂ センサが用いられている²⁷⁾。

このように、自動車には多種多様な半導体が使用されているが、車載用半導体には次のような特性が求められる。使用環境が厳しく、人命に直接係わるため、劣化がなく、長期間使用に耐える高信頼性を有する、限られた空間を有効に活用するため、小型で、使いやすい、異なる機能を集積するデバイスの複合化が可能である、高精度である、耐ノイズ性 (Electro Magnetic Susceptibility: EMS) がある、駆動に必要なエネルギーが少ない、自己診断機能を有する、自動車メーカー側の経済的な要請から、コストがかからない、といった特性が要求される²⁸⁾。

2006 年の世界の自動車用主要半導体市場 (総額 122 億 1020 万ドル) をセグメント別にみると、パワーデバイス、パワー MOSFET、IGBT、IPD を含むディスクリートが 50.6% と全体の半分を占め、次いでマイコン、DSP、PLD を含むロジック IC (logic integrated circuit: 論理 IC) が 38.9% と全体の 4 割近くに及び、そのほか CCD イメージセンサ、CMOS イメージセンサ、圧力センサ、加速度センサを含むセンサ (sensor: 知覚素子) が 6.6%、メモリ (memory: 記憶素子) が 3.6%、LED (light emitting diode: 発光ダイオード) が 0.3% となっており、ディスクリートとロジックで総額のほぼ 9 割にも達している。なかでも、ECU の中枢部分を構成しているマイコンは 36.3%、

カーエレクトロニクス化の進展とその課題

表1 世界の自動車用主要半導体市場 (2006年)

	合計	ディスクリート	パワーデバイス	ロジック	MCU	センサ	メモリ	LED
実額 (10万ドル)	122,102	61,792	39,952	47,504	44,370	8,101	4,369	336
構成比 (%)	100.0	50.6	32.7	38.9	36.3	6.6	3.6	0.3

(出所) VLSI Report 調査部・Semiconductor FPD World 編集部 『特別調査レポート 2008 自動車用半導体 & エレクトロニクスの最新動向』 プレスジャーナル, 2007年, 100~103ページより作成。

電子制御システムにおいて様々な用途で用いられているパワーデバイス (power semiconductor device: 電力用半導体素子) は 32.7% とほかの半導体に比べ市場規模が大きい (表 1)。

また、車載用半導体の使用量も増加傾向を辿っている。1950年代には自動車に半導体はほとんど使用されていなかったが、近年では乗用車1台にマイコンが70個、高級車においては100個を超え、センサは100個にも膨らんでいる²⁹⁾。車1台当たりの半導体使用量を6インチのシリコンウェハに換算すると、1500ccクラスの大衆車では0.21枚程度、ハイブリッド車では0.48枚程度、ハイブリッド車にカーナビを搭載した車では0.96枚程度、2007年に発売したトヨタの最高級車「レクサスLS600h」では約2.6枚分にも達している³⁰⁾。このため、既述のように各自動車メーカーともECUの統合 (統合制御ECUの開発・採用) を進めるなど、半導体関連のコストダウンを追求している。

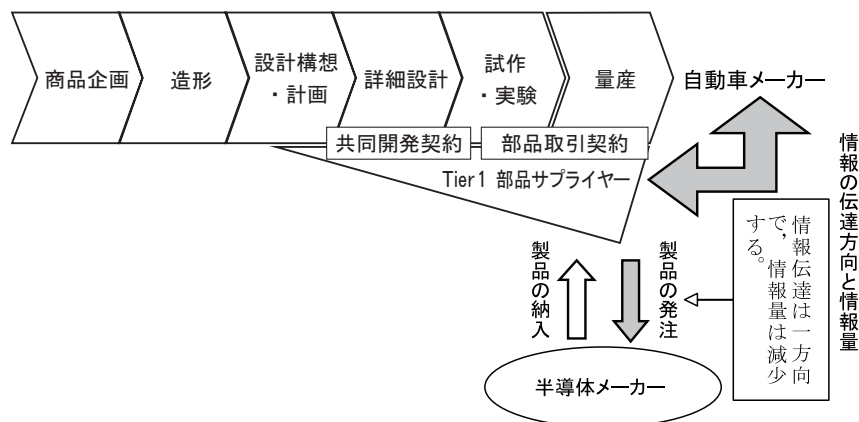
ところで、車載用半導体の開発・製造に関しては、次に述べるような問題点や課題が横たわっている。

その第1は、開発方法や管理体制が民生用半導体とは大きく異なる点である。パソコンや携帯電話などの民生分野では、製品のライフサイクルが数ヶ月から半年といった場合が多く、民生用半導体の開発期間や消却期間は短い。これに対して、自動車においては4年ごとのモデルチェンジが一般的であり、製品寿命が10年以上に及ぶことも珍しくない。開発期間も4年から5年と長い。これに対して、半導体の進化速度は、自動車の開発期間や機能の進化速度に比

較して速い。ここに一つの齟齬が生じている。また、自動車メーカーの要請に依って、半導体メーカーにとっては、車種ごとのカスタム対応が多く、さらに長期にわたる在庫管理が必要となる。しかも、民生向け以上の高信頼性が求められる。このように、車載用半導体の開発方法や管理体制は民生用半導体の場合とは大きく異なる³¹⁾。

第2は、車載用半導体の開発・受注は自動車メーカーの一次サプライヤー (Tier 1) である電装品メーカーを通して行われる場合が多いため、半導体メーカーと自動車メーカーとの意思疎通や協力関係が希薄になっていることである。自動車の開発は、多岐にわたるため、部品サプライヤーとの共同開発が欠かせない。ところが、自動車に搭載される半導体の開発については、「自動車メーカーと半導体メーカーが電装品メーカーを通さずに直接協業して開発した車載半導体は、極めて少ない」³²⁾。通例は、自動車メーカーと共同開発を行っている電装品メーカーを介して行われる。このため、半導体メーカーにとって直接の接点は電装品メーカーとなる。この結果、電装品メーカーから提供される限定された仕様要求のみの情報に基づいて、半導体メーカーは開発・設計を行うことになる (図9)。「次世代の車載半導体を開発する上で、上流段階から半導体メーカーの意見を取り入れることは少ない」³³⁾。従って、半導体メーカーと自動車メーカーとの意思疎通や協力関係が希薄になっている³⁴⁾。カーエレクトロニクス化が加速化している現代において、むしろ半導体メーカーと自動車メーカーとの間で、開発の上流段階から、

図9 自動車の開発と半導体メーカーの関係



(出所) 曽根公毅「日産自動車におけるオープン・イノベーション」『特許研究』(独立行政法人工業所有権情報・研修館特許研究室) No.46, 2008年9月, 27ページの「図1:自動車開発プロセス」をもとに加筆して作成したものである。

濃密な協力関係を結ぶことこそが必要ではなからうか。

第3は、自動車メーカー・自動車部品メーカーの半導体生産による半導体メーカーとの競合問題である。トヨタ自動車は、その本拠地である愛知県豊田市に1989年に半導体を内製する広瀬工場を設立し、現在ではモータのインバータ向けIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor: 絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ)や複合ICを主力製品とした車載用半導体の生産を行っており、系列の豊田自動織機のエレクトロニクス事業部も半導体の製造拠点として共和工場(愛知県大府市, 1953年設立)と安城工場(愛知県安城市, 2005年設立)を統括し、主としてプリウス用DC-DCコンバータの生産を行っている。トヨタ自動車のTier1であるデンソーは、幸田製作所(愛知県額田郡幸田町, 1987年設立)の「705工場」「706工場」と、100%出資子会社であるデンソーエレクトロニクス(北海道千歳市, 2007年設立)において、トレンチ絶縁分離したTD(Trench Dielectric Isolation)技術を用いた高精度で、耐ノイズ性・耐環境性に優れたトレンチ絶縁分離型複合ICを中心に

パワーデバイス、IGBT、センサ素子などを生産している。さらに、国内の自動車メーカー各社のみならず、海外のGMやフォード(Ford Motor)、ボルボ(Volvo Cars)社などにも自動車部品(各種スイッチ、キーロック、シフトレバー、エレクトロニクス応用製品、ステアリングホイール、コネクタ等)を供給している東海理化電機製作所(本社:愛知県丹波郡大口町)も、本社工場敷地内に半導体工場(2004年設立)を保有し、電気自動車モータ用回転センサ、加速度センサ、ステアリングアングルセンサ、車速センサ、自動車用カスタムICなどを生産しており、半導体内製化率10%を有する³⁵⁾。これらの自動車メーカーや部品メーカーの半導体生産は、半導体メーカーとの十分な相互理解や意思疎通がないままに、独自に行われ、両者の間に競合が生じており、「効率の良い分業体制となっていない。半導体産業と自動車産業の役割分担が極めて不明瞭である」³⁶⁾という状況が生じているのである。

第4に、半導体メーカーは、厳しい動作条件のもとで高信頼性を実現する車載用半導体を低価格で自動車メーカーに供給しなければなら

いことも課題としてあげる必要がある。自動車に関しては、カーエレクトロニクス化の歩みのところで述べたように次々と新しい電子制御システムが開発され、車に追加されてきている。これに連動して車1台に搭載される半導体の使用量も増加傾向を辿っている。しかしながら、自動車メーカーは、自動車の生産コストを抑制するため、このような半導体の使用量の増加をそのまま生産コストの上昇に転嫁せず、半導体メーカーに対して絶えず低価格での供給を迫っている。ところで2009年の新車販売台数をみると、中国がアメリカを抜いて世界第1位となり、世界最大の自動車市場にのぼりつめた(図10)。アメリカの新車販売台数は景気回復とともに増勢に転じるものの、「モータリゼーションが加速している中国を再逆転するほどの勢いはないとみられ、中国市場の優位は当面続く可能性がある³⁷⁾」との予測が一般的である。さらに、有望な自動車市場はインドで、急速な市場拡大が続いている。国内外の自動車メーカーはこれら新興国の自動車市場に注目し、新興国向けの新型車を相次いで開発し、市場投入している。新興国向けの自動車は、車種のグレードではコンパクトカーで低価格帯である。このため、電子制御システムの搭載も、従来の欧米や日本向けの自動車ほど多様ではなく、限定されたものとなっている。それでも、一定量の半導体の搭載は不可欠であり、車載用半導体の市場は拡大することが見込まれるが、その一方で自動車メーカーは半導体メーカーにさらなる低価格で

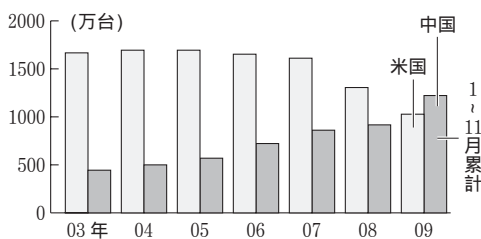
の供給を迫ることになる。これまで、半導体の低価格化の原動力となってきたのは、一つに、半導体の製造工程において累計生産量が増加するに従って、製造コストが低下するというラーニングカーブ(Learning Curve: 生産習熟効果)が働いてきたからであり、二つには、半導体メーカーが歩留まり(良品発生率)の改善に努力してきたからに他ならない。もっとも、ICの微細化により、素子構造が複雑となり、製造のばらつきが増大し、露光限界やリソグラフィ技術(lithography technology: 基板上に回路設計に基づくパターンを形成する技術)の限界も重なり、製造が一段と難しくなり、歩留まりも低下しつつある³⁸⁾。また、車載用半導体は、一般の民生機器用と比較して、信頼性試験の項目・条件を厳しく設定した加速試験によってスクリーニングすることによって、自動車メーカー側の要求を満たしている³⁹⁾。半導体メーカーにとって、「自動車市場に参入することは、テストに多大なコストをかけなければならないことを意味する⁴⁰⁾。ここにも、自動車メーカー側の要求と半導体メーカー側の実情との間に齟齬が生じてきているのである。

前掲の四つのことは車載用半導体の開発・製造をめぐる課題の一端に過ぎないものであり、カーエレクトロニクス化の進展に伴って、今後、一層複雑で難解な課題が顕在化してくることは間違いない。

(2) 車載ソフトウェアの開発量の肥大化と基盤ソフトウェアの標準化

自動車の「安全性」「快適性」「環境対策」「省エネルギー化」「情報化」を追求するため、数多くの電子制御システムが開発され、実用化されるに連れ、車1台に搭載されるECUの数が増大するだけでなく、ECUの高機能化・融合化・高度化も進み、ECUに組込まれる制御ソフトウェアも急増・複雑化し、開発工数は爆発的に増加している。「現在、ECUの開発工数の8割はソフトウェア開発工数であり、ハード

図10 米国と中国の新車販売台数の推移

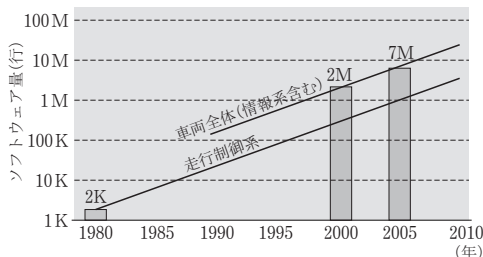


(出所) 『朝日新聞』2010年1月7日。

ウェアの開発工数を大幅に上回って」⁴¹⁾ いると言われる。1978年にアメリカのMotorola社が開発した世界最初のエンジン制御用の1チップ・マイコン(MC6801)は、ROMが2Kバイト、RAMが128バイトほどの容量で、車載ソフトウェアの量も僅かなものであった⁴²⁾。日産自動車のケースでは、車1台当たりのソフトウェア量は、1980年から2000年までの20年間で1000倍に膨れ上がったという(図11)。しかも、この増勢は衰えそうもない。次々と新しい電子制御システム・新機能が追加されるので、ソフトウェア量の増加に歯止めをかけることが出来ないからである⁴³⁾。現在では、従来品から高性能化した32ビットフラッシュメモリ内蔵マイコンが製品化され、豊富な周辺機器を動作させるソフトウェア格納用に4Mバイトという大容量のフラッシュメモリを内蔵し、高性能・高機能な演算・制御を実行できるものも出現している。しかし、それでも、「ソフトウェア危機の問題」⁴⁴⁾は解決しそうにもない。「自動車業界は今、根本的なソフトウェア開発の効率化が求められているといえる」⁴⁵⁾。

急増する車載ソフトウェアの開発を効率化する方法としては、一つにシミュレーション技術の活用がある。複雑化・高度化する車載ソフトウェアを短期間で開発する手段として、シミュレーション技術を活用する動きが加速している。

図11 車1台当たりのソフトウェア量(日産自動車)



(出所) 小川計介「標準化で開発効率向上 車載ソフト巨大化に立ち向かう Part 1: 限界にきた開発プラットフォーム導入でソフト開発量とECUを減らす」『日経 Automotive Technology』(日経BP社)2007年11月号, 84ページ。

車載ソフトウェアの開発にシミュレーション技術を活用することは従来から為されてきた方法であるが、近年では車載ソフトウェアの開発にモデルベース開発と称される開発手法が広がっている。アメリカのMathWorks社製の「MATLAB/Simulink」などのツールを用い、「ソフトウェアの要求仕様を、コンピュータ上に構築した仮想的な『モデル』で表現し、ソフトウェアの実行シミュレーションによる検証と修正の繰り返しによって、開発の初期段階から完成度の高い制御ソフトウェアを開発することを目指す手法である」⁴⁶⁾。モデルを開発の各行程で共有することにより部門間のコミュニケーション改善が図れるばかりでなく、「MATLAB/Simulink」のモデルから直接コードを自動生成することも可能で、コーディング作業の工数やミスを削減できるメリットも有している。また、車載ソフトウェアの開発工程においては、ECUの制御パラメータを最適に調整する「最適」と称する工程があるが、モデルベース開発の活用が進み、最近ではモデルの段階から、ある程度の「適合」作業を実施することも増えてきているという⁴⁷⁾。

「ソフトウェア危機の問題」を解決するもう一つの方法が「基盤ソフトウェア(ソフトウェアプラットフォーム)」の導入、すなわち標準化されたソフトウェア・アーキテクチャーの導入である。この標準化されたソフトウェア・アーキテクチャーの開発・導入を目的として、DaimlerChrysler(当時)、BMW、Robert Bosch GmbHなど欧州メーカーが中心となって2003年7月に設立された開発パートナーシップがAUTOSAR(Automotive Open System Architecture)である。AUTOSARは、自動車メーカー、ECUサプライヤーやエレクトロニクス・半導体・ソフトウェア企業から成る業界横断的・水平的なグローバルなパートナーシップで、設立以来、自動車業界向けのオープンで標準化された電気・電子アーキテクチャーの開発・導入に取り組んできている⁴⁸⁾。AUTOSARのソフ

トウェアは、図 12 に示すごとく階層構造になっており、マイコンなどハードウェアの違いを吸収する仕組み「ハードウェア抽象化層 (Hardware Abstraction Layer)」を設けることによって、ソフトウェアをモジュール化し、インターフェース部分を標準化している。これにより、AUTOSAR 準拠のアプリケーションソフトであれば、異なる部品メーカーの ECU 上においても作動することができる⁴⁹⁾。この結果、一つのアプリケーションを多くの ECU で再利用することが可能になり、アプリケーションの再利用率が高まれば、その分ソフトウェアの開発効率も高まることになる。標準化されたソフトウェア・アーキテクチャーの導入は、ソフトウェア開発の効率化のみならず、ECU の統合によるスペースの有効活用、複数の ECU が連携する統合制御機能の自由な配置などのメリットも享受できる⁵⁰⁾。AUTOSAR では、2005 年 5 月に AUTOSAR 仕様書「リリース 1.0」を公開したのを皮切りに、2006 年 5 月に「リリース 2.0」を、2008 年 2 月に「リリース 3.0」を、2008 年 8 月に「リリース 3.1」を公開しており、既に AUTOSAR リリースに準拠した車載用マ

イコンドライバや基本ソフトウェアパッケージなどが市場に投入されている。

日本においても、トヨタ自動車と日産が中心となって 2004 年 9 月に設立された標準化団体として JASPAR (Japan Automotive Software Platform and Architecture) がある。同年 11 月には本田技研工業も加わり、現在では幹事会員、正会員、準会員を合わせると 120 社以上の企業が JASPAR の活動に参加している。JASPAR の目的は、「車載 LAN 要素技術、ミドルウェア、ソフトウェア基盤等の非競争領域を、日本メーカー各社で協調して開発することにより、技術開発コストの削減及び技術開発の促進を図る」⁵¹⁾ ことである。JASPAR では、各会員に学会会員を加えてワーキンググループを構成し、共同研究開発を行い、その研究成果については会員が優先的に入手することができることになっている (図 13)。2007 年の夏までは FlexRay の仕様策定と FlexRay コンソーシアムへの提案を中心に活動を行ってきたが、この研究活動に見通しがついたことで、同年後半からは AUTOSAR が標準化を進めるソフトウェアプラットフォームの検証・評価にも活動範囲を広げ⁵²⁾、さらに 2008 年からは AUTOSAR との協力体制を強化し、JASPAR からのアウトプットを AUTOSAR と協議して、今後リリースされるソフトウェアプラットフォーム仕様とともに構築していき、自動車業界の国際的な標準化をリードしていく方針を打ち出している⁵³⁾。

なお、富士通マイクロエレクトロニクスは、ソフトウェア開発現場向けにデバッグ作業を容易にするシステムを開発している。ECU に搭載したマイコンとデバッグ用ツールの接続に使うケーブルを 1 線のみとする簡易な構成からなるシステムで、JASPAR の仕様に準拠しており、今後、富士通マイクロエレクトロニクス製マイコン以外でも、JASPAR の仕様に準拠させれば、同じケーブルでデバッグが可能であり、ソフトウェア開発の効率化に寄与するものである⁵⁴⁾。

図 12 AUTOSAR の定めるソフトウェアプラットフォーム



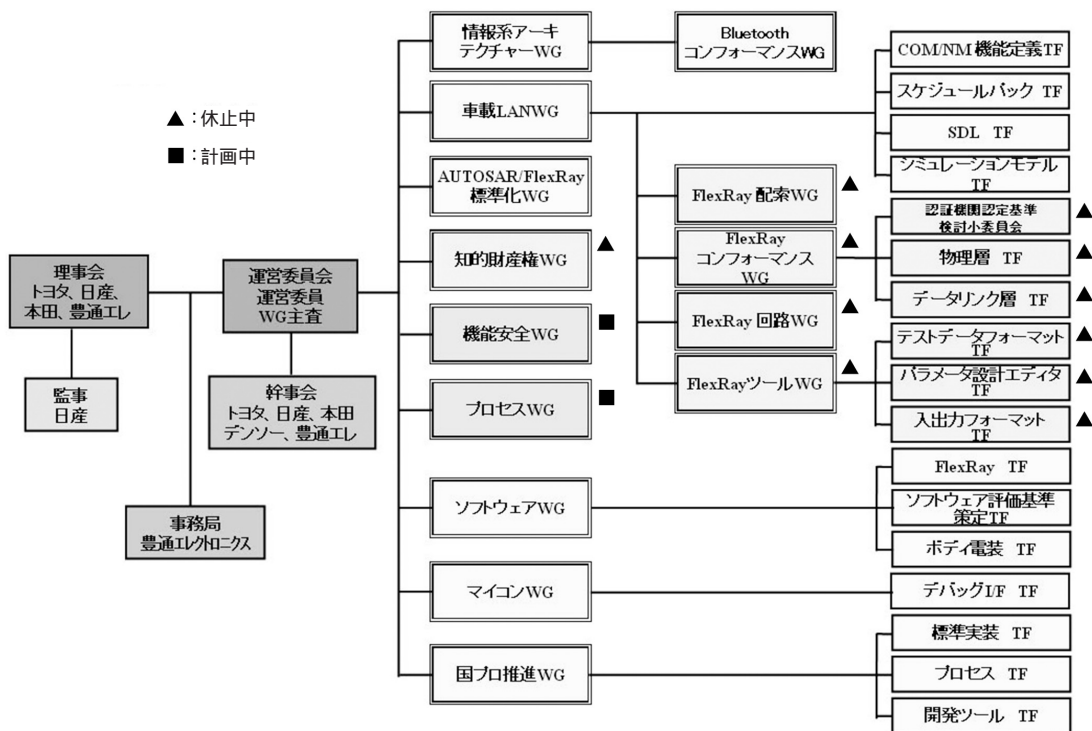
(出所) 小川計介「標準化で開発効率向上 車載ソフト巨大化に立ち向かう Part1: 限界にきた開発プラットフォーム導入でソフト開発量と ECU を減らす」『日経 Automotive Technology』(日経 BP 社) 2007 年 11 月, 85 ページ。

前述してきたような車載 LAN インターフェース規格の導入, AUTOSAR や JASPAR による標準化活動は, 「従来の垂直統合的でクローズドな世界から, 水平分業的でオープンな世界へと, 自動車業界の開放が始まったことにほかならない」⁵⁵⁾。カーエレクトロニクス化が自動車業界にもたらしたオープン化という胎動は, 単に自動車メーカーごとの独自仕様という従来の方式を打破したのみならず, 半導体産業をはじめとするエレクトロニクス産業, IT 産業との垣根をも崩し, 産業間の融合の時代を招来していると言えよう。

4 グローバルなオープンイノベーションが求められるカーエレクトロニクス化の課題

以上, カーエレクトロニクス化の歩みを辿るとともに, カーエレクトロニクスを制御する ECU と車載 LAN に, さらには, カーエレクトロニクスを支える車載用半導体と組込みソフトウェアに焦点を絞り, その現状と課題について考察してきた。だが, カーエレクトロニクス化の進展に関わる課題はまだまだ山積しており, 本稿で取り上げることが出来なかった課題も多い。例えば, Michael Santarini が指摘するように, 「実際の自動車メーカーも, 長期に及ぶ設計サイクルと, エレクトロニクスに対する

図 13 JASPAR の活動体制



(出所) JASPAR のホームページ (<https://www.jaspar.jp/guide/structure.html>, 2009 年 1 月 17 日取得) の図「活動体制」に一部修正して作成。

消費者の変わりやすいニーズとのバランスを早急に取り入れねばならないという厳しい課題に直面している⁵⁶⁾。また、カーエレクトロニクス化が加速化しているなかで、車載用半導体には、より高い信頼性・機能安全、高度の品質管理、新しい性能・機能を備えた半導体の開発＝技術革新が求められている。同時に、電子制御システムは、ますます高機能化・融合化・高度化する一方で複雑化している(図14)。カーエレクトロニクスを進化させるためには、これらの課題を克服していかなければならない。

冒頭で述べたように、自動車産業は、従来の内燃エンジン自動車から、ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車、電気自動車、燃料電池車への歴史的な転換期にある。すでにハイブリッド車やプラグインハイブリッド車、電気自動車が実用化段階に入り、1990年代後半から「究極の環境対応車」として世界の自動車メーカーが開発に鎬を削っている燃料電池車も2010年代後半には量産化されると予想されている⁵⁷⁾。最後に、これらハイブリッド車、プラグインハイブリッド車、電気自動車、燃料電池車に関してそれぞれの課題を列挙しておくことにしよう。

ハイブリッド車(HEV)の普及には、図15に示したように、ユーザーにとって車両価格や維持費を合わせたトータル・コストが割高であり、車種展開の少なさが問題点の上位にあがっている。さらなるハイブリッド車の普及には、駆動用バッテリーのコストダウンとデザイン、多様な車種の開発が必要である⁵⁸⁾。加えて、自動車の動力性能を左右するバッテリーやモータの小型化・軽量化・高出力化・高効率化が求められる。

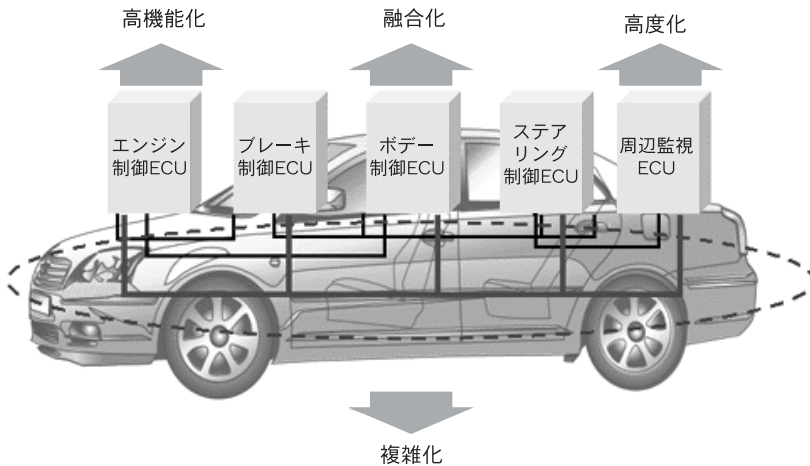
電気自動車とハイブリッド車の長所を組み合わせ、走行可能な距離を長くし、家庭用電源のコンセントなどの充電設備から充電できるプラグインハイブリッド車(PHEV)が市場に出回る状況になっているが、このプラグインハイブリッド車も電池の性能面では依然として課題を

抱えている。その一つは、電池の大容量化である。ハイブリッド車では、連続して放電することがないため電池の容量が少なく済む。これに対して、プラグインハイブリッド車は、CD(Charge depleting)モードの走行距離を確保する必要があることから、最低でも3kWh程度の容量を確保する必要がある。多くの電池を搭載すれば走行距離を延長することが可能であるが、そのぶん車室空間の減少や重量増加の問題が生じる。このような問題を解決するため、エネルギー密度が高い電池が必要となる⁵⁹⁾。

二つは、電池寿命の確保である。電池については、使用の状況に応じて劣化の進行度合いが変化する。プラグインハイブリッド車の電池は、電気自動車とハイブリッド車の両方の使用方法で用いられ、SOC(State of Charge:充電状況)の変化幅が大きいという点で、使用条件がハイブリッド車より厳しく、劣化が進行しやすい。このような厳しい使用条件下での電池寿命の確保が課題となる⁶⁰⁾。三つは、ハイブリッド車にも共通する課題であるレアアース(rare earth: 希土類元素)の確保である。ハイブリッド車やプラグインハイブリッド車には、モータの性能を左右する磁石の磁力を高める原料として、レアアース(ネオジムやジスプロシウム)を使用しており、電気自動車にも不可欠のものである。このレアアースの世界生産量の約96%(2008年)を中国が占めており、日本が輸入する約4万トン(約700億円、2007年)の大半も中国に依存している。中国は、このレアアースの輸出許可枠を2006年から4年連続して削減し、生産管理を強めており、日本のみならず世界の自動車メーカーにとってレアアースの確保・備蓄が課題として急浮上してきている⁶¹⁾。

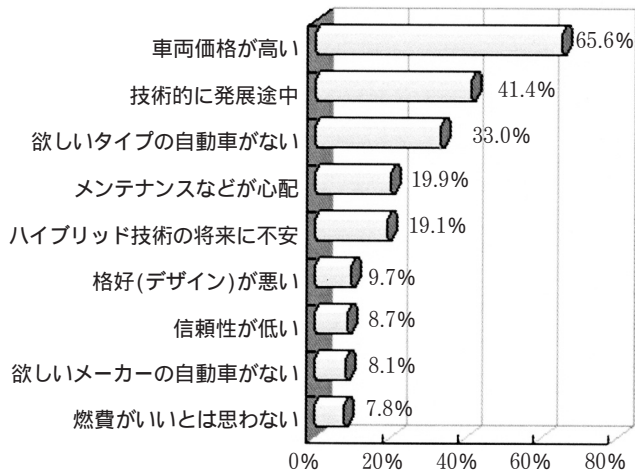
電気自動車(BEV)に関しても、ハイブリッド車やプラグインハイブリッド車と同じように、電池の性能面の課題を有している。現在の技術では、電池のエネルギー密度がガソリンや軽油の百分の一程度に過ぎず、航続距離の確保が難しい。航続距離を延ばすために電池を多量に搭

図 14 高度化・複雑化する車載電子制御システム



(出所) JASPAR のホームページ (<https://www.jaspar.jp/guide/background.html>, 2010 年 1 月 19 日取得)。

図 15 ハイブリッド車普及に対する問題点



(注) 上記の回答は、『日経マーケット・アクセス』と『日経 Automotive Technology』が共同で 2005 年 4 月に実施した「ハイブリッド自動車の購入意欲調査」の結果である。

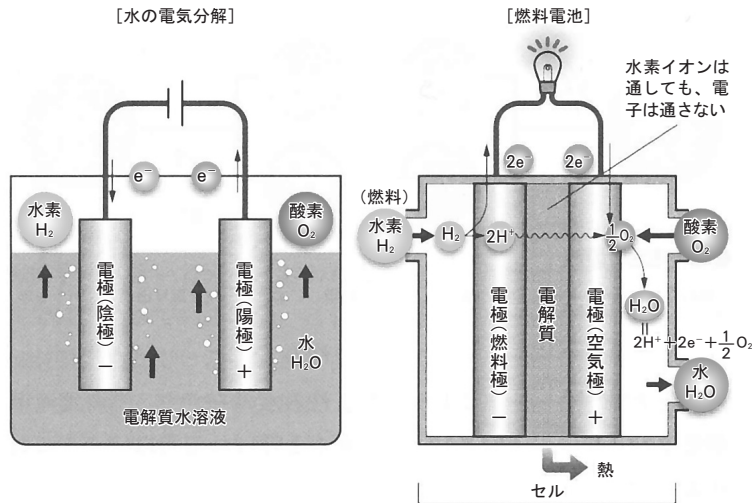
(出所) 安井功「ハイブリッド車普及への課題はライフサイクル・コストとバリエーション」2005 年 9 月 3 日 (NIKKEI NET のホームページ, <http://it.nikkei.co.jp/business/column/data.aspx?n=MMITab108003092005>, 2010 年 1 月 19 日取得)。

載した場合には、車室空間が減少するのみならず、車両重量が重くなり、電力消費率を悪化させる。加えて、車両コストの大きな部分を占める電池のコストが上昇し、車両価格が高くなる。これを解決するためには、エネルギー密度の高い電池が求められる。また、車両寿命相当の電池寿命の確保も大きな課題である⁶²⁾。現在の電池の性能面の限界を補完し、航続距離を確保するためには、出先での安定した充電が可能な急速充電ステーションといったインフラ整備を行う必要がある⁶³⁾。電気自動車を普及させる上では、電池のコストダウンも欠かせない課題である。ハイブリッド車やプラグインハイブリッド車、電気自動車に搭載されるリチウムイオン電池に使用されるリチウムについては、日本の場合、全量を輸入に依存しており、レアアースと同じように、その安定的な確保は、自動車メーカーの製品戦略の正否を左右しかねない課題と

なっている。そのため、リチウムの供給源の確保やリチウムイオン電池のリサイクル事業への取り組みが進められている⁶⁴⁾。

燃料電池車 (FCV) は、スタック (Stack) と称される反応器の中で水素と酸素を化学反応させることによって電気を発生させる燃料電池を搭載し、その燃料電池によって発電した電気エネルギーを利用してモータを駆動する車である (図 16)。電気エネルギーを発生させるための副産物は水のみであり、排気ガスを出すことがないことから、究極のゼロエミッションヴィークルである。現時点で燃料電池車を実用化レベルにまで到達しているのは、トヨタ、ホンダ、日産、三菱など数社で、いずれも型式認定を受け、車検に合格し、少量ながら実際にリース方式で路上を走行している⁶⁵⁾。1990年代から自動車メーカーが研究開発を続け、要素技術は徐々に完成度を高めてきているが、量産化にはまだ

図 16 燃料電池の発電の仕組み



①外部から供給された水素が、燃料極の触媒で活性化されて、電子イオンを放出して水素イオンとなる。②水素から離れた電子イオンは、外部回路を通過して、反対側の空気極に流れ込む。この反応が“電気の発生”。③空気極では、空気中から取り入れた酸素が、電解質中を移動してきた水素イオンと外部回路から戻ってきた電子イオンと反応して水を生成する。

(出所) 矢吹明紀 『イラスト・図解 カーエレクトロニクスのしくみがよくわかる本』 技術評論社、2009年、208ページ。

まだ課題が多い。その最大の課題がコスト低減である。「燃料電池スタックをはじめ、高圧の水素貯蔵タンク、2次電池、モータ、パワー・コントロール・ユニットなど新規に開発する構成部品が多く、コスト高になりやすい。中でも、Pt (白金) 触媒を使い複雑な構造をしたセル (cell: 積層などしない単体の燃料電池 = 単電池。前掲図 16 参照) を多数積層した燃料電池スタックは、今のところ非常に高価である」⁶⁶⁾。この高コスト構造が普及の最大のネックとなっている。コスト低減のためには、燃料電池のセパレータ (separator: セルの主要な構成要素で水素と酸素を挟んで両方を分離する仕切り版) の材料や加工法の改良, Pt 使用量の削減, イオン交換膜のコスト削減などが必要となる⁶⁷⁾。技術上の最大の課題は、水素燃料の貯蔵方法である。水素燃料は高圧水素タンクに充填する方法が一般的であるが、現在の高圧水素タンクは容積が大きい割に水素貯蔵量が少なく、長距離の走行距離が確保できない。長距離走行を可能にするにはタンクの容積が大きくなりすぎるとい問題が生じる。そこで、水素吸蔵合金、ケミカルハイドライドを利用した貯蔵、液体水素の利用、高圧水素のタンクの最高充填圧力の上昇など様々な研究が試みられているが、いまだ決め手となる貯蔵法は見出されていない⁶⁸⁾。また、水素燃料中の不純物や空気中の微量成分などが燃料電池の寿命に作用するため、長期に及ぶ信頼性・耐久性の確保も課題である⁶⁹⁾。燃料電池車も始動時にスタックに水素や空気を供給するためのポンプの駆動やその他の補機駆動のため二次バッテリーが必要であるが、その二次バッテリーについてもまだ技術が確定していないという課題もある⁷⁰⁾。さらに、水素供給のためのインフラ (水素ステーション) の整備も燃料電池車の実用化には重要な課題である。

これまで述べてきたようにカーエレクトロニクスをめぐる課題は多岐多彩にわたっており、いずれも難題である。これらの課題を克服し、カーエレクトロニクス化を進展させていくには、

自動車メーカーや系列にとらわれない、各産業・科学の英知を結集した、国境を超えた国際的な、産学官が相互に協力し合った、グローバルなオープンイノベーションが求められることは、AUTOSAR の先例が示している通りである。このことを付言して本稿の筆を擱くことにしたい。

注

- 1) 半導体の初期の発明については、相田洋『NHK 電子立国 日本の自叙伝 [上]』日本放送出版協会、1991年および谷光太郎『半導体産業の系譜 巨大産業を築いた開拓者たち』日刊工業新聞社、1999年に詳論されているので参考にされたい。
- 2) ディストリビュータ (Distributor) とは、多シリンダ・ガソリン・エンジンにおいて高圧二次電流を各シリンダの点火プラグに配給する装置で、一次回路の電流断続機を含めていう。自動車用語中辞典編纂委員会編『自動車用語中辞典』山海堂、1996年、295ページ参照。
- 3) 「メカ・エレ・情報を融合する半導体技術」Design News Japan MAGAZINE ARTICLES 2007年9月号、Design News Japan のホームページ (http://www.designnewsjapan.com/issue/2007/09_60aniv/u3eqp3000001abp4.html, 2008年11月10日取得)。
- 4) 可変バルブタイミングシステムは、「エンジンの回転数や負荷などに応じて吸気弁と排気弁の開閉タイミングを調整して、エンジンのトルク出力パワーを向上させる本来の目的はもちろん、排ガスの抑制にも大きな効果がある。バルブタイミングを変化させるアクチュエータとしては、油圧で段階的に切り替えるものから連続可変にするものがあり、近年は応答性向上と冷間動作のために電動化されつつある」。申鉄龍「ガソリンエンジン制御技術」新誠一監修、株式会社エコネン編集『要点 カーエレクトロニクス・テクノロジー』工業調査会、2009年、86ページ。
- 5) 日経 Automotive Technology / 日経エレクト

カーエレクトロニクス化の進展とその課題

- ロニクス編『カー・エレクトロニクスのすべて 2008』日経 BP 社, 2008 年, 264 ページ参照。
- 6) 「2003 年には、衝突被害の低減を目的とした『プリクラッシュブレーキシステム』が、トヨタ自動車株式会社, 本田技研工業株式会社, および日産自動車株式会社に相次いで実用化された」。古田龍也・黒田浩司・西垣戸貴臣「自動車の安全走行支援システム」『日立評論』(日立評論社) 2004 年 5 月号, 40 ページ。
 - 7) 『自動車エレクトロニクスの新展開 予防安全技術, ネットワーク化, 情報通信技術の動向』東レリサーチセンター調査研究部, 2009 年, 446 ページ参照。
 - 8) VDIM とは、車両が運転者の意思にほぼ忠実に走り、曲がり、止まるために、運転者のアクセル操作, ステアリング操作, ブレーキ操作に時間遅れなく車両運動ができていないかを常に認識して、エンジン, ステアリング, 変速機, ブレーキを統合的にマネジメントするシステムで、2004 年に実用化された。同前, 14 ページ参照。
 - 9) 「交通社会と情報通信化 ITS Intelligent Transport Systems 官民で進める ITS の開発・推進計画」社団法人日本自動車工業会のホームページ (http://www.jama.or.jp/it/info_communication/info_communication_6.html, 2009 年 10 月 6 日取得)。
 - 10) 社団法人電子情報技術産業協会 IC ガイドブック編集委員会編集・著作『IC ガイドブック 09-10 年版』日経 BP 企画, 2009 年, 162 ページ。
 - 11) 同前, 156 ページ。
 - 12) カーエレクトロニクス化の歩みについては、前掲「メカ・エレ・情報を融合する半導体技術」, 前掲『自動車エレクトロニクスの新展開 予防安全技術, ネットワーク化, 情報通信技術の動向』, 前掲『IC ガイドブック 09-10 年版』, 前掲『要点 カーエレクトロニクス・テクノロジー』などを参考にした。
 - 13) 小川計介「技術レポート 九州自動車成長戦略フォーラム 九州地区の車両生産を強化し現地調達率も増やす」『日経 Automotive Technology』(日経 BP 社) 2007 年春号, 2007 年 3 月, 35 ページ, および宮田博司「トヨタの考えるカー・エレクトロニクスの未来」『日経エレクトロニクス』(日経 BP 社) 2008 年 12 月 1 日号, 94 ページ参照。
 - 14) 清水誠「進展する自動車と電機・電子産業の融合」『今月のトピックス』(日本政策投資銀行) No.108, 2007 年 4 月 25 日, 1 ページ, および上田弘孝「実装ズーム・イン(2) 自動車用エンジン ECU の半導体実装」『JPCA NEWS』(日本電子回路工業会) No.484, 2008 年 12 月, 22 ページ参照。
 - 15) 清水誠, 前掲論説, 1 ページ参照。
 - 16) 川原伸章「センサーが自動車 MEMS を展覧安全・環境対応・快適に不可欠」『日経マイクロデバイス』(日経 BP 社) 2007 年 6 月号, 56 ページ, および前掲『IC ガイドブック 09-10 年版』, 156 ページ参照。なお、田野倉保雄氏は自動車 1 台に搭載される ECU の増加に伴って生じた問題を次の三つにまとめている。「ECU が増えすぎて車両パッケージの障害になっている、ECU ごとにソフトウェアの構造が異なるため、ECU 同士を連動させて制御するのが難しい、ECU のソフトウェア量が肥大化し、開発が立ち行かなくなりつつある、という問題である」。田野倉保雄「[自動車] 電子化がクルマにもたらしたクローズドな世界からの解放」『日経エレクトロニクス (創刊 1000 号記念特別編集版)』(日経 BP 社) 2009 年 3 月 30 日, 152 ページ。
 - 17) 小川計介「標準化で開発効率向上 車載ソフト巨大化に立ち向かう Part 1: 限界にきた開発プラットフォーム導入でソフト開発量と ECU を減らす」『日経 Automotive Technology』(日経 BP 社) 2007 年 11 月号, 84 ページ。
 - 18) 上田弘孝, 前掲論説, 23~24 ページ参照。
 - 19) 前掲『自動車エレクトロニクスの新展開 予防安全技術, ネットワーク化, 情報通信技術の動向』, 6 ページ。
 - 20) 同前
 - 21) 木下雄弘・佐藤秀樹「クルマに広がるネットワーク (前編) 電子化の背景と車載 LAN の種類」EETIMES Japan 「技術解説」2008 年 7 月 11 日 (EETIMES Japan のホームページ, <http://eetimes.jp/content/148>, 2010 年 1 月 8 日取得)。
 - 22) 同前。

- 23) 「シリアル方式は1本または差動の場合は2本の信号線を用いて、制御、アドレス、データなどの信号を時間を区切って送る方式」である。大西一功・藤田実『絵ときでわかる半導体デバイス』オーム社、2002年、172ページ。
バスとは、「各モジュールをつなぐ道路の役割をもち、モジュール間でデータを高速に転送する経路である」。前掲『ICガイドブック 09-10年版』、42ページ。
- 24) 「機械的なリンク機構を信号線に置き換えた操作系を総称して X-by-Wire 系と呼ばれる。ここで X は steer (操舵), brake (ブレーキ), throttle (スロットル), shift (変速) などのいろいろな操作系を代表する記号として用いられている。
X-by-Wire とは従来エンジンの駆動力を必要としていたステアリングやブレーキに、一部モータを介在させるか全部品電動化する技術で、設計のフレキシビリティを増すと共に制御性の向上が期待されると言われている。高度な安全走行、応答性の良さ、制御性の良さ、設計の自由度等を目指すには、従来、機械的に油圧制御していた機構を by Wire 化し、制御部 (ECU) からブレーキや操舵などの操作端まですべて電気要素 (部品・ユニット) であることが望ましいと考えられる」。前掲『自動車エレクトロニクスの新展開 予防安全技術、ネットワーク化、情報通信技術の動向』、76~77ページ。
- 25) 車載 LAN については、前掲『ICガイドブック 09-10年版』、157~158ページ、前掲『自動車エレクトロニクスの新展開 予防安全技術、ネットワーク化、情報通信技術の動向』、222~235ページ、木下雄弘・佐藤秀樹、前掲論説、新誠一『図解 カーエレクトロニクス最前線 ロボット化するハイテク自動車』工業調査会、2006年、56~59ページを主に参考にして記述した。
- 26) 大倉勝徳「カーエレクトロニクスを支える半導体技術」『デンソーテクニカルレビュー』(デンソー) Vol.10, No.2, 2005年11月、10ページ。
- 27) 特許庁「標準技術集」の「車載用半導体素子」に示されている「調査対象技術の樹系図」を参考にした(特許庁のホームページ、http://www.jpo.go.jp/shiryous/s_sonota/hyoujun_gijutsu/syasai/jyukeizu.htm, 2009年10月2日取得)。
- 28) 車載用半導体に求められる特性については、大倉勝徳、前掲論説、11ページ、および前掲『ICガイドブック 09-10年版』、162~163ページを参考にした。
- 29) 川原伸章、前掲論説、56ページ、および前掲『ICガイドブック 09-10年版』、156ページ。
- 30) 上田弘孝、前掲論説、22ページ、および宮田博司、前掲論説、94ページ。
- 31) 竹内寛爾・関根誠・藤村修三「車載半導体の開発に潜む弊害 自動車産業と半導体産業の考え方の違いが明らかに」日経 Automotive Technology / 日経エレクトロニクス編、前掲書、217ページ参照。
- 32) 同前、220ページの注6。
- 33) 同前、220ページ。
- 34) 同前、219~221ページ参照。
- 35) トヨタ自動車、豊田自動織機、デンソー、東海理化電機製作所の半導体事業については、主に『半導体産業計画総覧 2009-2010年度版』(産業タイムズ社、2009年)を参考にした。
- 36) 竹内寛爾・関根誠・藤村修三、前掲論説、218ページ。
- 37) 「新車販売 中国世界一に 09年米、21%減で転落」『朝日新聞』2010年1月7日。
- 38) 前掲『ICガイドブック 09-10年版』、202ページ参照。
- 39) 同前、163ページ参照。
- 40) Michael Santarini「課題は山積み、カーエレクトロニクス設計に挑む」2006年4月(EDN Japanのホームページ、<http://ednjapan.rbi-j.com/content/issue/2006/04/content04.html>, 2009年10月13日取得)。
- 41) 柿原安博「JasPar - 自動車制御用ソフトウェア実装と車載 LAN の標準化に向けて」『Design Wave Magazine』(CQ出版)2006年7月号、35ページ。また、小川計介・鶴原吉郎氏も、「ソフトウェア設計、ソフトウェア仕様決め、コーディングを合わせると83%に達する」と説いている。小川計介・鶴原吉郎「性能をソフトが決める時代に 電子化が変える競争力の源泉」『日経 Automotive Technology』(日経 BP 社)

カーエレクトロニクス化の進展とその課題

- 2008年7月号, 72~73ページ。
- 42) 杉山弘幸「知られざる車載マイコン徹底解剖 世間の常識, 自動車の非常識」『Design Wave Magazine』(CQ出版)2003年12月号, 29ページ。
- 43) 小川計介, 前掲17), 84ページ。
- 44) 新誠一, 前掲書, 106ページ。
- 45) 小川計介, 前掲17), 84ページ。なお, 大野克巳氏は, 組み込みソフトウェア開発一般について, 次の五つの課題を指摘している。
- 「まず最初が, 所定の時間以内に処理を必ず終える『リアルタイム性』である。例えば自動車のブレーキやエアバッグの制御だと, 所望の時間内に反応しないと人命にかかわる。ただしコスト増につながるため, 必要以上のリアルタイム性は必要ない。制御対象ごとに適したリアルタイム性が求められる。
- 2番目が『リソース制約』である。多くの民生機器では, コストが重視される。価格が高かったり発熱が大きい高速のマイクロプロセッサは使いづらいし, メモリー容量もできるだけ削りたい。つまり, ギリギリのリソース(性能と容量)で所望の機能と性能を実現するのがよい組み込みソフトウェアとなる。
- 第3と第4は, 最近になってともに重要視されるようになった「ユーザビリティ」と「セキュリティ」である。組み込み機器の機能は実に多彩になっている。しかし機能がどれだけ豊富でも, 使われなければ意味がないし, 誤った使用は避けなければならない。誰にでも間違いなく使える視認性や操作性といったユーザビリティが求められる。
- インターネットなどへのネット接続機能を備えたデジタル家電や携帯電話などの組み込み機器の増加に伴ってクローズアップされているのが, セキュリティである。ウィルス(ワーム)への感染やハッキングへの対策が, パソコンだけではなく組み込み機器でも必要になってきた。
- 最後が高信頼性である。組み込み機器に不具合(バグ)があった場合, 製品を回収しなければならないこともある。当然だが多額のコストがかかるし, 社会的な信用が失墜する。責任問題も起こってくる。自動車や医療機器などでは人命に直接かかわり, 高信頼性は組み込みソフトウェア開発において欠くことのできない要件である」。大野克巳「問題山積の組み込みソフトウェア 産学協同で打開策を探る」2006年3月23日, (Itproのホームページ, <http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20060313/232340/>, 2010年1月8日取得)。
- 46) 鶴原吉郎「シミュレーション活用で車載ソフトウェア開発を効率化」『日経 Automotive Technology』2009年11月号, 69ページ。
- 47) シミュレーションの活用による車載ソフトウェア開発の効率化の方法については, 同前論説, 68~73ページを参考にした。
- 48) 徳田昭男・田村太一「車載ソフトウェアの標準化とAUTOSARの動向」『立命館経営学』第45巻第5号, 2007年1月, 161ページ, 164ページ。
- 49) 同前, 162~164ページ, および小川計介, 前掲17), 84~86ページ参照。
- 50) 小川計介, 前掲17), 85~86ページ参照。
- 51) JASPARのホームページ(<https://www.jaspar.jp/guide/purpose.html>, 2009年10月21日取得)。あわせて, 室修治「BYTE Report 組み込み最前線 ソフト開発に押し寄せる標準化の波 松下電器や自動車業界が先陣」『日経バイト』(日経BP社)2005年6月号, 25ページを参照されたい。
- 52) 小川計介, 前掲17), 87ページ, およびEDN Japan ニュース「JASPARとAUTOSAR, 自動車用ソフトウェアの標準化で連携を強化」2008年2月19日(<http://ednjapan.rbi-j.com/news/2008/2/4983>, 2009年10月21日取得)参照。
- 53) JASPARのニュースリリース「JASPARがAUTOSARとともに国際標準化を目指す」2008年1月31日, および前掲EDN Japan ニュース「JASPARとAUTOSAR, 自動車用ソフトウェアの標準化で連携を強化」。
- 54) ATI 特別取材班「不況下でも加速するクルマの電動化」『AT International 2009』から『日経エレクトロニクス』(日経BP社)2009年8月10日号, 71ページ。
- 55) 田野倉保雄, 前掲論説, 153ページ。

- 56) Michael Santarini, 前掲論説。
- 57) 前掲『ICガイドブック 09-10年版』, 159 ページ。
- 58) 安井功「ハイブリッド車普及への課題はライフサイクル・コストとバリエーション」2005年9月3日(NIKKEI NETのホームページ, <http://it.nikkei.co.jp/business/column/data.aspx?n=MMITab108003092005>, 2010年1月19日取得)。
- 59) 森田賢治「二次電池を駆動源とする自動車技術」前掲『要点 カーエレクトロニクス・テクノロジー』, 28 ページ参照。
- 60) 電池寿命の確保については, 同前, および新国哲也・河合英直「1. プラグインハイブリッド車の特徴とその評価に対する課題について」フォーラム 2008 交通安全環境研究所研究発表会(2008年11月27日)配布資料, 4 ページ, 前掲『カー・エレクトロニクスのすべて 2008』, 267 ページを参考にした。
- 61) 「ワールドけいざい 希少金属レアアース 合金の調味料 中国さじ加減 生産管理を世界注視」『朝日新聞』2009年12月24日(朝刊)。
- 62) 森田賢治, 前掲論説, 24 ページ参照。
- 63) 矢吹明紀『イラスト・図解 カーエレクトロニクスのしくみがよくわかる本』技術評論社, 2009年, 213~215 ページ参照。
- 64) 「リチウム確保加速 豊田通商 南米で開発 中国で合弁」『読売新聞』2009年11月3日(中部, 朝刊), 「特集 レアメタルどうする日本 都市鉱山発掘急ぐ 豊富な『埋蔵量』」『日本経済新聞』2010年1月17日(朝刊) 参照。
- 65) 矢吹明紀, 前掲書, 206~207 ページ参照。
- 66) 前掲『カー・エレクトロニクスのすべて 2008』, 270 ページ。セルのあとの括弧内の説明は筆者挿入。
- 67) 森田賢治, 前掲論説, 29 ページ。
- 68) 前掲『カー・エレクトロニクスのすべて 2008』, 270~271 ページ, および VLSI Report 調査部・Semiconductor FPD World 編集部『特別調査レポート 2008 自動車用半導体&エレクトロニクスの最新動向』プレスジャーナル, 2007年, 137 ページ参照。
- 69) 森田賢治, 前掲論説, 29 ページ。
- 70) 矢吹明紀, 前掲書, 209~210 ページ。

