

車載組み込み技術開発の欧州全体俯瞰と動向

鈴木延保[†] 香月伸一^{††}

本稿は、特に欧州の車載組み込みソフトウェア技術開発動向を俯瞰したものである。著者は(財)日本自動車研究所が経済産業省の委託を受け実施した「自動車電子システムの海外動向調査」へ参加した。事実時系列化と技術分析を基に、欧州と日本の取り組みの違いを指摘する。欧州ではEUや各国政府による系統的かつ継続的な研究開発が活発に行なわれている。1984年に端を発する長期的な産官学連携の認識やオープン政策が存在する。ここで醸成された共通認識で、コンソーシアムの文化やアーキテクチャ工学認識づくりの過程に関して日欧での差が存在する。目的基礎研究と呼ばれる産学共同研究の歴史の長い意識の違いも存在する。欧州発世界標準ソフトウェアプラットフォームAUTOSARがこれらの認識を根拠とする事を示す。日本はさらに産官学連携を強化する事が求められている。

Overview and Trends of European Automotive Embedded Technology Approach

NOBUYASU SUZUMURA[†] SHINICHI KATSUKI^{††}

This Paper overview the Trend of European Automotive Software Intensive Embedded System Technology. It shows some differences of approaches between Japan and Europe from a research conducted by the Japan Automobile Research Institute, commissioned by the METI. In Europe, the systematic and continuous research and development support by EU and each country government is done actively since 1984. Commonsense of Technological trend is shared. AUTOSAR activity is based on such shared technology trend. Also it became clear for development of human resources and embedded systems widely applicable in different industrial field to be done actively. Japanese Industries and Research Institute need more communication exchange and coordination. It is necessary to promote the construction of the automotive electronic technology basis in our country.

[†]アイシン精機株式会社
AISIN SEIKI Co., Ltd.

^{††}(財)日本自動車研究所 ITS 研究部
Japan Automobile Research Institute ITS Research Division

1. はじめに

欧州はEU統合したが、多様な国が集まり言語が多岐に渉る。電子関連情報はインターネットが普及するまで米国と比べ把握し難い点があった。一方で欧州は車載分野ではCAN通信、OSEKリアルタイムOSを標準化に持っていき活動など強みを持っている。それら背景や取り組みなど、どのような活動構造があるか、全体俯瞰を行った。

1.1 自動車の電子化と欧州

1970年代、排出ガス規制対策でエンジンが電子制御されるようになり、自動車の電子化が始まった。その後、さらに環境性能や安全性、快適性の向上を図るため自動車の電子化が進み、電子制御に用いられるコンピュータユニット(ECU)の数は継続的に増加し、自動車1台当たりにおける電子部品のコスト比率は3~4割を占めるまでになった。自動車の電子化への強みは日本の特徴であった。

一方で、システムの複雑化に伴うソフトウェア開発行数の増加は1台当たり1000万行を超えるといわれ、開発工数の増加、ソフトウェアの不具合などに関連するリコール件数の増加など、自動車の電子化に伴う負の影響が顕在化してきている。今後、ハイブリッド車や電気自動車の普及、さらにITS社会の実現に伴って、自動車の電子化がさらに進展すると予想され、これまで日本が強みとしてきた擦り合わせ型の開発手法では対応が困難といわれている。

こうした中、欧州は早くから競争領域、非競争領域、競争前領域を切り分けることにより自動車電子システムの開発を効率的にしようと取り組んでいる。即ち、非競争領域を欧州連合(以下EU)や各国政府の助成を受けて他企業や大学、研究機関と共同で開発、その成果を民間コンソーシアムやISOで規格化・標準化して開発コストを低減するとともに、品質や信頼性の向上に努めている。その一方で、競争領域であるアプリケーションやインタフェースに注力し、自社製品の付加価値を向上させている。

日本でも、近年、自動車の電子システムの標準化を狙う業界初の民間コンソーシアムJasParが設立され、欧州における同様のコンソーシアムAUTOSAR、FlexRayなどと連携を図ることで、協調領域を国際標準にする活動が行われている。しかし、日本では自動車電子化に伴う協調領域の標準化取組みは始まったばかりである。

財団法人日本自動車研究所(以下JARI)では、経済産業省の委託を受け、欧州における自動車電子化への取り組み状況について調査1)を行った。著者は調査ワーキンググループに参加し、その内容を踏まえ、本稿では、欧州におけるコンソーシアム活動、EUや各国政府の系統的、かつ継続的な研究開発支援や、産学連携による人材育成の取り組み、さらに自動車電子システムやそれに影響を及ぼすと見られる組み込みシステム全般を対象としたプロジェクト動向に関する調査結果の概要と、そこから見える日欧の差異点を報告する。

2. 自動車の電子化の現状

自動車の電子化が進展する一方、電子化の複雑さに起因する課題も顕在化している。今後さらに複雑な電子システムを、高度に、高信頼で、かつ効率的に構築出来る革新的な電子要素技術は、競争力を示すキー技術である。電子化によりマイクロコンピュータ、ソフトウェアに依存するウェイトが高くなってきており、電子システムは Software Intensive System と表現されるようになった。ソフトウェアに関連する課題を捉え、多面的技術開発により解決しようとする取り組みがグローバルに拡大している。

2.1 電子化の歴史と背景

自動車電子化進展の背景として、第一に 1970 年代の大気汚染問題に端を発した米国におけるマスキー法、それに続くオイルショックによる燃費向上、排出ガス規制対応のためのエンジン制御の電子化が挙げられる。1970 年代後半から多くの電子技術者により開発が進められた。1980 年代に入ると、マイコンの普及によりコスト低減とデジタル化が進み、1980 年代後半にはほとんどの車にエンジンの電子制御装置が装着されるようになった。

第二に、1970 年の 1 万 5 千人を超える交通事故死者数の社会問題化に対応するための電子安全技術の導入が挙げられる。1982 年から米国ではエアバッグまたは自動車安全ベルトの装着が義務付けられた。1990 年以降 欧州ではほぼ全車に ABS (Anti-lock Brake System) が装着され、1990 年後半には横滑り防止装置 ESC (Electronic Stability Control) の普及が始まった。

第三には、1990 年代の日本製乗用車のラグジュアリティ化、高性能化が挙げられる。1981 年にトヨタ自動車が日本国内で発売したソアラに始まった高級車ブームは、北米、欧州での LEXUS、INFINITI、ACURA ブランドの投入に発展、日本車のシェア拡大に貢献した。特に LEXUS の北米、欧州への投入は欧州カーメカに大きな刺激を与えたと思われる。1980 年代後半から 1990 年代に入ると、日本製高級車はナビゲーションシステム、電子制御サスペンション等の電子技術を駆使することにより欧州高級車を脅威にさらす高性能化を実現した。特に 1989 年に発売された LEXUS LS400 は欧州高級車と同等の性能をより低コストに実現し、欧州に脅威を喚起させた。こうした背景から欧州では産官学が一体となり自動車の電子化への対応を強化し、競争力を向上させようとする取り組みが盛んに行われるようになったと推察される。

日本における自動車への電子制御の採用拡大は、半導体産業の発展によるところが大きい。

2.2 電子化の質的变化

自動車は 1980 年代にメカ (Mechanics) の時代からメカトロニクス (Mechatronics) の時代に移行した。更に、最近では電子制御の採用拡大とデジタル化の進展により、

ソフトウェアの量が増大し、自動車はソフトウェアの時代になったとも言われる。車 1 台のソフトウェアの開発量は C 言語のコード量で 1000 万行を超えようとしており、今後も 10 年で 10 倍程度のペースで大容量化が進むと予想されている。

2.3 電子化の複雑さの進展

当初、自動車の高機能化は個々の機能とそれを制御する単独の ECU (制御コンピュータ) から実現されていたが、現在では複数の機能を連携させ、さらに高度な統合制御が上位に位置する統合制御 ECU で行われている。自動車 1 台あたりの ECU 搭載数は 70 個を超え、それらを繋ぐ通信ネットワークが巡らされ、頭脳ともいえる統合 ECU により制御される。

これによってソフトウェアの複雑化と規模拡大が加速し、開発工数の増大、ソフトウェアのバグに起因する問題が多発するなど問題が顕在化してきている。今後も、ITS の進展によって車対車、車対インフラ機能との連携でさらに複雑な制御を実現する必要があり、10 年後、20 年後の制御ソフトウェアの総量は数億行をはるかに超えると危惧される。

こうした状況の中、自動車の電気・電子システムの機能安全に対する関心が高まり、設計指針の国際標準化に向けた議論が進められており、高度な制御システムをより安全に、高品質に、効率的に開発できる仕組み、基盤技術は重要性を増してきている。より安全な言語規格の策定やそれらを支援するツールや統合された開発プロセス手法、データフュージョン、センサネットワークなど複雑で抽象的な制御を容易にする技術の領域、形式手法などによる数学的、科学的検証など、広範囲の基盤技術整備により制御の高度化、統合をより容易に実現できるようになることが期待されている。

2.4 標準化への取り組みの重要性の増大

欧州では、国を跨いだ標準化を目的とした民間コンソーシアムの活動が活発である。標準化活動は、各社に共通する、非競争領域あるいは協調領域において行われる。さらに、競争前領域における標準化活動の重要性の認識が広がっている。こうした背景には、各社が競争領域に専念することで業界全体の効率が向上し、標準化をリードすることで、標準化に参画する企業や企業群、地域、国などが優位に立つことができるという考えが拡大してきていることがあげられる。業界の共通基盤づくりとも言い換えることができる。こうした標準化活動は、さまざまな領域で行われている。自動車の電子化に係る領域においても、ビジネスや開発のライフサイクルを大局的に見て、車載ソフトウェア開発の領域、企業を跨ぐ商取引の領域などで、共通基盤が形成されようとしている。

2.4.1 車載ソフトウェアの共通基盤化

車載ソフトウェアのアーキテクチャの共通化を目指す民間コンソーシアムが AUTOSAR(the AUTomotive Open System ARchitecture)である .Daimler や BMW ,Bosch などが中心となって 2003 年 7 月に設立された . 現在では , 主要自動車メーカーや部品サプライヤ , ソフトウェアベンダ , ツールベンダ , 半導体メーカーなど , 149 社が参加している . AUTOSAR の狙いは , マイクロコントローラなどハードウェアの違いを吸収する仕組み「Hardware Abstraction Layer」を設けたソフトウェアプラットフォームのアーキテクチャ , インタフェースを共通化し , ECU を構成するソフトウェア部品を再利用することである .

AUTOSAR が扱う標準化領域は , 車内通信などを包含するため , FlexRay , LIN , CAN など既存の民間コンソーシアム活動と関連する . また , AUTOSAR のメソッドロジはモデリングツールとしてサポートされるので , ASAM などの適合ツールデータフォーマットコンソーシアムや OMG(Object Management Group)の規定するモデリング標準 , 電子データ交換 STEP 活動などの標準化に関連する . AUTOSAR は , これら各種コンソーシアムの成果を織り込んだ幅広い標準化を進めている .

また , AUTOSAR は , 民間コンソーシアムだけではなく , EU が助成する技術開発プロジェクトや国際標準化活動なども実績として尊重する取り組みとなっている . AUTOSAR は , OMG などと同様 , 標準化団体ではあるが , 規格は未だ ISO 化などは検討されていない . しかし CAN , OSEK/RTOS など過去すでに ISO 化されている事例から推察すると , 早晚提起の論議が始まる可能性が高い .

最近では , 基本的なソフトの共通化を推進する下位のプラットフォーム標準化に加え , さらに上位の統合制御を含むアプリケーションソフトをより容易に実現するための標準化への取り組みも行われているほか , AUTOSAR 周辺でも次期 (Phase 2) への提案を目指して , 技術開発や標準化活動が活発化しており注目される .

2.4.2 車載ソフトウェアプラットフォームの基盤技術アーキテクチャ記述言語

AUTOSAR が EAST-EEA 9) や EEA 10) といったその発足 4 年前からの EU プロジェクトの技術を採用していることは , 知られていない . 図 1 は 2004 年に ITEA が公開した資料である . またその基礎技術が A D L (アーキテクチャ記述言語) であることも , 日本ではあまり議論されない . このアーキテクチャ記述言語 ADL を基礎とした部品化推進 (Component Based Design) は欧州では 2001 年に TUM (ミュンヘン工科大学) の Manfred Broy 教授の主催する ADL Workshop 15) で , ADL が重要であるコンセンサスづくりが行われたため , それ以降のドイツを含む E U の活動ベクトルが形成された .

アーキテクチャの定義は , カーネギーメロン大学の Mary Shaw 16) と David Garlan の概念提唱が基本と言われる . ここでは最近のアーキテクチャ記述言語 A D L の概要動向を図 2 にまとめる .

また欧州自動車業界が提案する EAST-ADL の歴史を図 3 に , EAST-ADL 技術を採用し評価改良を行ってきたプロジェクトや , 先行応用されたプロジェクトを図 4 に示す . またそれらから見て取れる OMG が策定する UML などのモデリング提案に ADL や自動車分野の要望が反映されている状況を図 5 に示す .

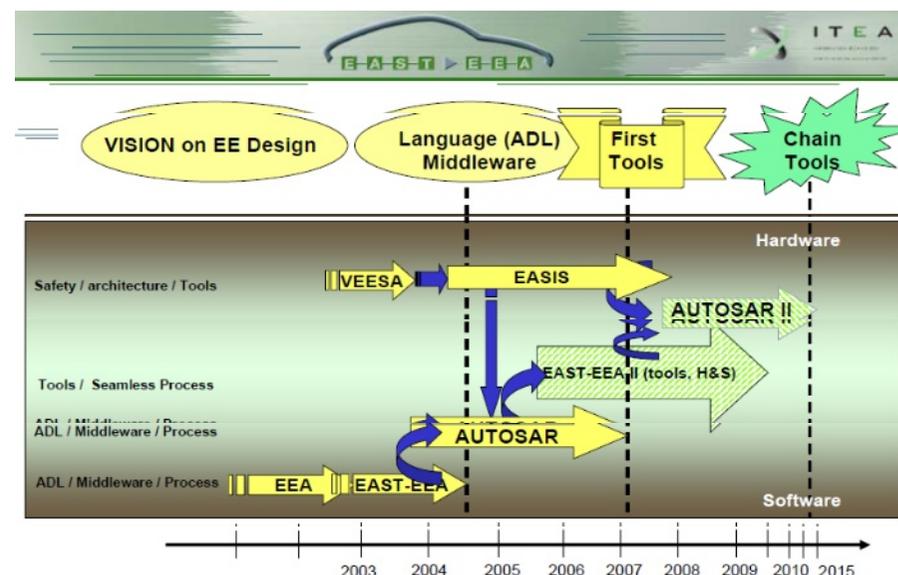


図 1 AUTOSAR の前身プロジェクトとヴィジョン(2004 年)
Figure 1 The technological origin of AUTOSAR Consortium and the future vision
<http://www.east-eea.net/>

アーキテクチャ記述言語 ADL に関する最近の歴史		
<u>欧州での取り組み</u>		
HOO	(Hierarchal Object Oriented method)	(' 90 ~)
Koala	(フィリップス(NXP)社:Darwin を基礎)	(' 96 ~)
AIL-Transport		(' 99 ~ EEA)
EAST-ADL		(' 01 ~ EAST-EEA)
AUTOSAR		(' 03 ~ AUTOSAR,EASIS)
UML2.0		(' 03/6 ~ OMG:提案は ' 02)
Wright 2004ICSE 賞受賞	(CMU : ' 097~)	
EAST-ADL	(' 06 ~ ATESSST) mentor Graphics 社も参加	
SysML, MARTE	(' 05 ~ ' 08 OMG)	
EAST-ADL	(' 08/8 ~ ATESSST)	
<u>米国での取り組み</u>		
AADL	(SAE, SEI, IEEE)	
CMM/SEI は、アーキテクチャ手法中心に提起 . ASAM、ATAM (アセット手法)		
<u>日本での取り組み</u>		
ソフトウェアアーキテクチャとして研究、調査が行われた .		
日経エレクトロニクスの記事などより ' 05 後半以降 ADL として注目		

図 2 アーキテクチャ記述言語 ADL の歴史
Figure 2 The General History table of Architecture Description Language

欧州車載ドメインでの ADL 標準案 EAST-ADL の歴史	
' 03	仕様 1.0 が EAST-EEA にて策定 (' 01 ~)
' 05	標準化へ同じ流れの MARTE 提案が OMG へされた
' 07	仕様 2.0 が ATESSST にて策定
' 08	仕様 2.X へ向け ATESSST が採択、また MARTE 仕様決定公開
' 09	AUTOSAR に ARTOP ユーザグループ 発足、ECLISPE 上で ADL ツール実現 しやすい環境標準化活動 (EDONA プログラム 外支援)

図 3 欧州自動車業界の標準 ADL 提案
Figure 3 The ADL standard Proposal of European Automotive

EAST-ADL (EAST-EEA 策定) を採用したプロジェクト 14)		
• EASIS	• SPARC	• ATESSST
• DysCas	• SPEEDS	• AUTOSAR (low-end)
EAST-ADL (ATESSST 策定) を採用したプロジェクト		
• MeMVaTEx	• EDONA	• TIMMO
• ATESSST2 (STREP FP7)		• CESAR
オープンソースプロジェクトによる普及活動		
TOPCASED	• Papyrus	• (SPEEDS、 EDONA 関連)

図 4 EAST-ADL (EAST-EEA 策定) を採用したプロジェクト
Figure 4 European Strategic Adoption of EAST-ADL

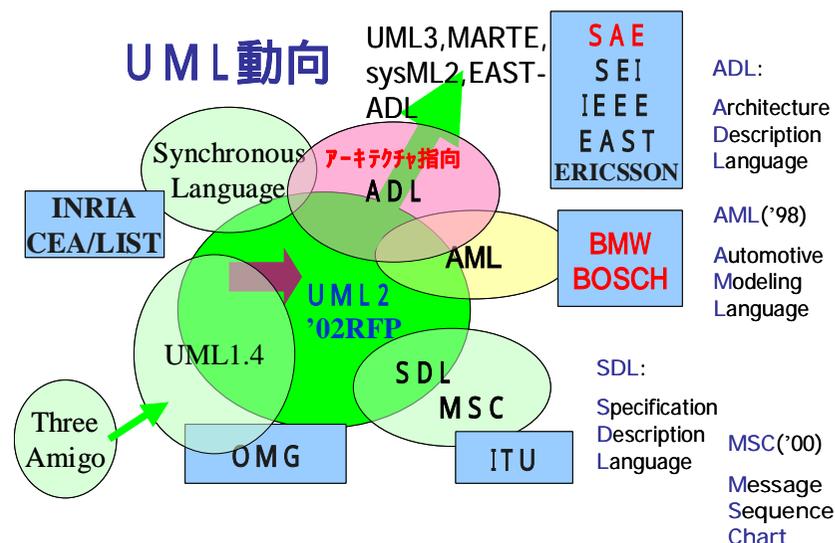


図 5 自動車業界から見た UML 動向 : 自動車業界が規格策定に大きく関与 .
Figure 5 The Trends of OMG Modeling standard : Automotive is one of stakeholders

2.4.3 電子商取引の基盤

ドイツ自動車メーカ 5 社を中心としたコンソーシアム HIS (Hersteller-Initiative Software) は CAN 通信仕様や OSEK/RTOS 仕様など各種標準化のガイドラインを策定してきたが、最近では上流工程から連動したグローバルな電子商取引の基盤構築に取り組んでおり、商取引に係る上流要件 (仕様書など) に関する要件電子フォーマット RIF (Requirements Interchange Format) の標準化を視野に入れて活動している。RIF の採用により、開発仕様書、設計書、評価結果など、開発の上流工程から下流工程までのドキュメントのトレーサビリティを向上するとともに、OEM、サプライヤの要件交換を電子化することで V 字開発工程全体の資源再利用を促進する狙いがある。RIF に関連した活動として、STEP/ISO10313 (電子商取引に関するデータ標準化)、AP233 (STEP の中で SE 要件管理分野を標準化) の 2 つの取り組みがある。このうち、STEP (Standard for the Exchange of Product model data) は、ライフサイクルを通して必要となる製品の全データを交換・共有することを目的とした標準仕様である。自動車産業をはじめ、電気電子、プラント、建築、造船等の産業ごとに国際標準規格 (ISO10303) の策定に向けた活動が行われている。これらの産業においては、製品製造プロセスにおいて扱う情報量が増加しており、オブジェクト指向技術の必要性が増大しているため、今後とも STEP への期待・必要性は大きくなってゆくものと考えられる。ソフトウェア図面データに関する RIF フォーマット標準案の進展年表を図 6 に示す。

2003: 自動車業界として MSR (Manufacturer Supplier Relationship)、HIS が検討開始
2005: HIS が R I F 1.0 推奨案を公開
2007: ドイツ ProSTEP に RIF 推進の CORM W/G が発足、RIF を推奨
2008: ProSTEP 委託で EXTESSY 社が RIF フォーマットをサポートしたアドオンソフトを製品化、主要な要件管理ツール Doors、IrQA、Caliber、Integrity で採用される。 第 2 段階活動へ：国際標準化WG 発足、OMG と交流。 RIF1.2 公開
2009: sysML2.0 へ向けた RFI が開始される、RIF2.0 として並行した折込み活動

図 6 電子商取引 要件交換 RIF フォーマット標準案の進展年表
Figure 6 History table of Requirements Data Exchange Format RIF

2.5 車載ソフトウェアに関連する国際標準化規格と関連機関

ソフトウェア開発プロセスモデルの代表は V 字開発モデルと呼ばれ、ISO12207 で規定されている。機能安全規格 IEC61508 や ISO15504 でも、V 字開発モデルを基本として規定している。その意味で、開発手順を ISO12207 に整合させて行くことは重要である。

V 字開発モデルは開発の上流工程から下流工程全体を表している。分野では上流工程の要件管理、システム工学、アーキテクチャ工学、下流工程のソフトウェア工学、テスト工学、全体の構成管理などに広く関係する。ソフトウェアはそれら広範な領域の標準化に影響されるため、標準化動向への注意が必要である。最近では、国内外の OEM がサプライヤのソフトウェアの開発プロセスや組織を監査する場面がある。ISO9001 へ既に対応している企業も多いが、同様に、グローバルな標準に基づく見方でソフトウェア開発を実践する事が望まれている。ソフトウェアに関連する主な規格、特に ISO 化などの動向を以下に示す。

2.5.1 ISO9001, QS9000, ISO16949

これらは、特にソフトウェアに限った規格ではないが、設計、生産に跨った品質システムを規定している意味で、関係する。自動車産業は、産業固有の要望を追加した ISO16949 に取り組んでいる。従来、米国 Big 3 (GM, Ford, Chrysler) の共同要求として ISO9001 を包含する QS9000 が存在していたが非関税障壁と見做されかねず、各国関係者で ISO16949 が制定された。ISO16949 は網羅的ではあるが、後述の CMM, ISO15504 がソフトウェア開発における具体的プラクティスを示しているため、両規格が併用されている。

2.5.2 CMM, CMMI, ISO/IEC TR15504/SPICE, Automotive SPICE

CMM (Capability Maturity Model) はソフトウェア開発現場の組織成熟度から品質、生産性、競争力を見直す取り組み規範で、品質に関する監査、プロセス改善をモデル化している。1987 年に米国 SEI (Software Engineering Institute) から発信され、その後 2003 年秋に ISO15504/SPICE (Software Process Improvement Capability dTermination) へ修正標準化された。ほぼ同時期に CMM は CMMI (Capability Maturity Model Integration) へ更新された。Automotive SPICE は SPICE のサブ規格として、SPICE User Group で検討され、HIS (Hersteller Initiative Software) が 2005 年に推奨ガイドを策定発行している。AutomotiveSPICE は、上位の ISO15504 が国際規格であり、その自動車産業の固有プラクティスを具体化していること、またソフトウェアの部品化を推進する AUTOSAR にとってその流通ソフトウェアの客観的品質指針が普及に大切なこと、などから標準化への推進力があり、将来 ISO などへ提案されていくと予想される。

2.5.3 機能安全規格：IEC61508，ISO26262

IEC61508 は「電気・電子・プログラマブル電子安全関連の機能安全」と呼ばれ、システムを構成する全要素対象(メカ、センサ、ハード、ソフト)で遵守すべきプロセス、技法を規定したものである。2000年5月に制定された。国内ではJIS C0508として規格化されている。

機能安全規格 IEC61508 を運用するに当たり、各産業でサブ規格の策定が進んでいる。自動車分野向け機能安全規格は ISO26262 であり、車載電子/電気システムの失陥発生時でも安全性を確保するため開発プロセスを標準化する。特徴として、自動車用の安全インテグリティレベル (ASIL) を電子/電気システムの機能毎に設定するとともに、製品開発を規格に従って実施することで安全性の抜けを防止することを狙いとしている。構想から製品化、そして廃車までのライフサイクル全般が対象である。現在 ISO/TC22/SC3/WG16 で検討されており、規格化は 2011 年頃に予定されている。

3. 欧州における研究開発支援策

欧州における最大の特徴は、研究開発や技術開発の戦略を検討するイニシアティブ、プロジェクト推進や助成の枠組が整備され、系統的、かつ継続的に研究開発が支援・促進されていることである。さらに、EU レベルでの研究開発支援に加えて、各国独自の戦略をもとにした研究開発支援が EU の戦略と整合をとりつつ行なわれている点も特筆される。

3.1 欧州における産学官連携の研究開発支援の枠組み

1984年のルクセンブルグ宣言で EU は、研究者と産業界の協力体制の重要性について決議した。それまでのように単一企業の研究所が世界を変革していくことの出来る時代が終焉し、社会インフラ構築のイノベーション、持続的経済成長を支えるイノベーション、比較優位の制度イノベーション、を実現していくには産学官連携が重要であるとし、そのための方策として従来の企業独占・直統合型から、連携企業間のオープン国際分業が有効である、としている。こうした大きな意識改革を早期に行ったことが、その後の EU における研究開発活動の基底となったとされる。研究開発支援・助成のためのプログラムとして、1984年にはフレームワークプログラムが開始され、翌1985年にはフランスの呼びかけによる EUREKA が開始された。

3.1.1 フレームワークプログラム

フレームワークプログラムは 1984 年から開始され、EU 予算の助成により、欧州委員会 (以下 EC) が準備する研究開発計画 (研究と革新の活動を 1 つに統合する計画) に従って募集されるトップダウン型のプロジェクト計画である。計画内には、情

報社会技術などの主要な技術テーマごとのプログラムがある一方、公募手続き、審査、運営、成果の取り扱い利用などについて計画全体での共通ルールを設置していることから、フレームワークプログラムと呼ばれる。

EUREKA が実用化に近い領域を研究の対象とするのに対し、フレームワークプログラムは、基礎研究に近い領域を研究の対象とする。2007 年からスタートした第 7 次フレームワークプログラム (FP7) は、2013 年までの 7 年計画である。FP7 の総予算は 532 億ユーロであり、協力、構想、人材、能力の 4 つの個別プログラムによって区分される。それぞれの個別プログラムは、合計 12 のサブプログラムに細分化される。

3.1.2 EUREKA

EUREKA は加盟国の企業が自国の政府や政府機関を通じてプロジェクトを提案・参加するボトムアップ型のプロジェクトであり、欧州産業の生産性の向上と競争力強化を目的とし、実用化に近い領域を対象とし、研究開発支援を行う。情報通信技術など長期的戦略の実現を狙う EUREKA クラスタと、特定のテーマについての公的機関や専門家のネットワークにより研究活動の活発化を狙う EUREKA アンブレラの 2 つの枠組みによりプロジェクトが進められている。

3.2 研究開発の戦略的強化

2000 年以降も、フレームワークプログラムや EUREKA による研究開発をさらに戦略的に促進するために、研究領域の重点化や研究者のネットワーク化、民間の研究開発投資促進などを狙いとしたさまざまな施策が取られてきている。

3.2.1 ERA: European Research Area

2000 年 3 月、リスボンにおいて開催された EU 加盟国首脳会議において、2010 年までに EU を「より豊かつより質の高い雇用と、より強固な社会的連帯をもたらす持続的成長を可能にする、世界でもっとも活発かつ競争力のある知識立脚型経済社会となる」という目標が定められた。また、2002 年にバルセロナで開催された EU 理事会では、研究開発投資に関する具体的な数値目標、すなわち「2010 年までに EU の GDP の 3% を研究開発に投資する (うち、2% は民間投資)」という目標が設定された。この目標を達成するためには、研究開発の促進が重要な要素であると考えられ、欧州研究開発施策の統合を目指す欧州研究領域 (ERA) の構築が提案された。

ERA は、フレームワークプログラムの発展を図るべく提案されたもので、研究領域と助成の枠組みの大枠を作り、欧州に散在する研究開発の統合に取り組むための構想である。欧州加盟国の研究者間の国境を越えた協力の一層の向上と、欧州に共通する産業技術基盤を確立することを目的としている。

3.2.2 ETP: European Technology Platforms

2005 年、EC は「研究開発投資は GDP の 3%」という目標の達成が困難であると認めるとともに、過去 5 年間の経過を踏まえてリスボン宣言の範囲を絞り込み、経済成長と雇用拡大に重点を置いた戦略に改定、新リスボン宣言「成長と雇用のための協働 - リスボン戦略のための新たなスタート」が発表された。

そして、新リスボン宣言を実現するためには、EU レベルでの産業界の研究開発助成の枠組みであるフレームワークプログラムが重要な役割を担っているとされ、フレームワークプログラムを策定するための検討材料を提供する仕組みとして欧州テクノロジープラットフォーム (ETP) を推進することとなった。

2002 年から 2003 年にかけて開始された研究組合的な組織 ETP は欧州全体の科学技術戦略を立案・実施し、研究開発投資の増大を図るためのイニシアティブである。民間の研究開発投資の促進を図る産業界主導の枠組みであり、産業界を主体に大学・研究機関などの関係者によって構成される。偏りがなく透明性の高い、産学のニーズに沿った 34 の重点分野を定め、その分野を発展させるための戦略を検討・実施する。

3.2.3 JTI

さらに、FP7 から将来の戦略的技術分野や生産性や産業競争力の強化が図れる重点分野に資源を集中させる JTI (Joint Technology Initiative) と呼ばれる新たなスキームが導入された。JTI は、国や EU だけでなく企業や研究機関も参加できる業界主導のプロジェクトであり、フレームワークプログラムで設定される期間では収まらず十分な成果が得られないと考えられる規模の研究を実行する。JTI の重点項目は、将来の戦略的技術分野で生産性や産業競争力の強化が図れる重点分野に研究開発資源を集中させることと、市場化への障害の特定とそれを取り除くための技術実証プロセスを促進することが挙げられている。

JTI の実行を資金的に支援する仕組みに、JU (Joint Under Taking) が導入されている。JU では、活動資金の 50% 以上の支出が産業界に求められる。残る資金について、各プロジェクト加盟国が約 30%、JU が約 10% を負担する仕組みとなっている。

3.3 国レベルの研究開発支援策

EU レベルでの研究開発支援に加え、欧州ではドイツやフランスなどが各国独自の戦略のもとで、強力な研究開発支援を推進している。以下に、この代表的な取り組みとし、ドイツの事例について紹介する。

3.3.1 ドイツ

ドイツでは、自動車やナノテクノロジーといった主要市場の成長、産額連携の強化、技術革新の枠組みづくりの 3 つのテーマに主眼をおいたハイテク戦略のもとで国家

的イニシアティブ「イノベーションアライアンス」が自動車を含む 8 つの分野にて結成され、産学官連携による研究開発を推進している。

2007 年 10 月に発足した自動車分野のイニシアティブ「E | ENOVA」は自動車メーカ、Tier1 サプライヤ、半導体メーカ、および連邦教育省、コーディネータである FKFS (シュトゥツガルト自動車・原動機研究所) により構成されている。自動車の電子システム電気/電子アーキテクチャ、開発手法、ツールの標準化を行い、システムの複雑さを解消し、より低コストな電子技術で、すべてのクラスの車にいち早く技術革新を展開することを目的に、ロードマップ策定、「競争前領域」研究プロジェクトの実施、産学のネットワーク化と協力のためのオープンプラットフォームの構築を進めている。

3.3.2 フランス

フランス政府はフランスの経済を刺激し、フランス企業の競争力を強化するために競争クラスター (Competitiveness Clusters) の政策を実施している。これは、同じ地域の企業や研究機関などの間で協力できる環境を構築して、革新的なプロジェクトの中でパートナーシップを促進し、業務上の関係を確立することによって競争力を強化する政策である。2005 年 7 月、フランス政府が公式に国内 66 の競争クラスターをサポートすると決め、2006 年から 2008 年まで、資金援助で毎年 5 億ユーロを提供している。自動車分野の SYSTEM@TIC PARIS, Mov'eo もこの競争クラスターに含まれており、政府はこの政策により革新的な技術の進歩、経済効率、および雇用創出をもたらしたい考えである。

一例として、パリを中心とした地域の産業クラスター System@tic Paris Region は、すべての産業に必要な設備の制御、監視、調節、検査に用いる複雑系システムを専門としている。このクラスターの中に自動車関連のコンソーシアム Num@tec Automotive が存在する。2004 年に共同的な産業研究開発によって自動車産業の競争力を増加させるという目標のために活動が開始された。組込みシステムと電子アーキテクチャが研究開発の対象である。Num@tec Automotive のメンバ総数は 340 団体で、約 80 社の大企業、約 100 社の中小企業、約 140 の研究機関から構成されている。2005~2008 年の予算は、6 億ユーロである。

3.4 注目される自動車分野の取り組み

数多くの EU、または各国の研究開発支援の取り組みの中で、とくに注目される車載電子システム関連の取り組みを以下に挙げる。

3.4.1 ARTEMIS ETP による組み込みシステム分野の強化

ARTEMIS (Advanced Research and Technology for Embedded Intelligence Systems: 組み込み高次システムの研究開発推進) ETP である。

ARTEMIS ETP は、組み込みシステムの幅広い分野（航空宇宙、自動車、産業、通信・家電）において、EU の確固たる位置付けを強化し、雇用を確保するためのイニシアティブである。2004 年の活動開始当初は独立した運営組織を持たなかったが、2005 年 4 月から 2006 年 4 月まで ARTEMISOS (ARTEMIS Operational Support) が組織され ARTEMIS ETP の活動を支援した。その後、2007 年 1 月には Daimler, Nokia, Philips, STMicroelectronics, Thales により ARTEMISIA が設立され、運営体制の強化が図られた。ARTEMIS ETP で策定された共通ビジョンのもと、業界関係者と研究者が戦略的研究課題 (SRA) を設定、SRA を達成するための個別プロジェクトが実施される。

ARTEMIS ETP の具体的な活動の 1 つである EICOSE (European Institute for Complex and Safety critical embedded Systems Engineering) は、将来の組み込みシステムを安全でセキュア、高信頼、かつロバスタなものにする実現技術を開発し、ソフトウェアツールやソフトウェア技術を自動車と鉄道、航空機産業に共通して利用可能にする革新的エコシステム（ここでは広義のビジネスモデルと訳す）を創り上げることを目的とした競争クラスタである。既存の競争クラスタや類似の組織を ARTEMIS のモデルに集約し、統合プラットフォームとテストベッドを走らせ、ビジネス開発ツールやスピノフによって ARTEMIS SRA の成果を産業界に移転しようとする取り組みである。既存のクラスタである AeroSpace Valley, SafeTRANS, System@tic Paris-Region に参加の各社と、フランスを中心に研究機関が参加している。2009 年に入り研究開発プロジェクトが続々と開始されつつある。

3.4.2 ENIAC ETP

ENIAC (European Nanoelectronics Initiative Advisory Council) は、欧州におけるナノエレクトロニクス分野の SRA を策定し、FP7 や JTI, EUREKA, 欧州各国の研究プログラムにおけるプロジェクトを取りまとめている。健康、交通・モビリティ、セキュリティ・安全分野のエレクトロニクス機器を対象アプリケーションとしており、主なサブプロジェクト (SP) として以下のようなものがある。

SP2: 交通・モビリティのためのナノエレクトロニクス

- ・運転支援システム向けコンポーネント、システム
- ・先進的なエンジン、エキゾースト、燃焼システム向けコンポーネント/システム
- ・ハイブリッド、電気自動車向けのエレクトロニクスシステム
- ・フェールセーフ、フォルト・トレラントなエレクトロニクスシステム

SP3: セキュリティ、安全のためのナノエレクトロニクス

- ・信頼されるデバイス、セキュリティポータブルシステム
- ・統合型イメージングセンサ

SP4: エネルギー・環境のためのナノエレクトロニクス

- ・インテリジェント・ドライブ・コントロール

・高効率パワー供給、パワーマネジメント・ソリューション

ENIAC と ARTEMIS は、ARTEMIS/ENIAC JU をツールに、エレクトロニクス製品、あるいはサービス、またはこれらを支えるハードウェア、ソフトウェア技術の競争力強化に向けた共同の取り組みを開始しており、その動向が注目される。

3.4.3 E|ENOVA

自動車分野のイノベーションアライアンス E|ENOVA のプロジェクトが 2008 年から開始されている。E|ENOVA は国から 1 億ユーロの助成を受けるが、創設メンバー 7 社は研究成果の製品応用を目指して 1 億ユーロ、中間評価の結果によっては最大 5 億ユーロを投資する計画である。

(1) PROPEDES (Predictive Pedestrian Protection at Night)

可視化周辺環境センサによる、歩行者保護のための予測型車載ナイトビジョンシステムの実用化を目指す。プロジェクト期間は 2008 年 8 月 1 日から 2011 年 7 月 31 日までの 3 年間で、Daimler, Robert Bosch, Freescale Halbleiter Deutschland, Pro Design Electronic, Steinbeis Innovationszentrum EDN の 5 社が参加する。

(2) RoCC (Radar on Chips for Cars)

2013 年のレーダ用周波数割り当ての変更 (24GHz 帯から 76~81GHz へ移行) に対応すべく、自動車用安全用途レーダの開発・普及を目指すプロジェクトで、100GHz 以上の周波数帯での使用も視野に入れて研究開発を行う。プロジェクト期間は 2008 年 9 月 1 日から 2011 年 8 月 31 日までの 3 年間で、BMW, Daimler, Robert Bosch, Continental Automotive, Infineon Technologies の 5 社が参加する。

(3) その他の E|ENOVA プロジェクト

8 つのプロジェクトが準備中で、2009 年中に 4 つのプロジェクトが立ち上がり、2010 年にはさらに 4 つのプロジェクトが立ち上がる計画である。

このうち、「エネルギー効率的な運転」プロジェクトでは、進路前方の状況を予測した運転によって燃費を改善するシステムの研究開発が計画されている。また、「車載マルチコア CPU」プロジェクトでは機能安全に対応したアーキテクチャをもつ CPU の研究開発が、「自動車における IP」プロジェクトではインターネットプロトコルの利用に関する研究開発が計画されている。

3.4.4 ドイツの形式手法強化活動 Verisoft-XT 18)

Verisoft はドイツ研究教育省 (BMBF) の予算による、長期研究プロジェクトである。プロジェクトの主な目的はコンピュータシステムの形式検証の確立。人工知能研究所

DFKI が核となり推進している。ドイツは Verisoft(2002~)、Verisoft-XT(2007~)で形式手法を活用した検証系やヴェリファイコンパイラと呼ばれる、Design By Contract の考えを織り込んだ C/C#系の開発、検証系に取り組み普及をねらっている。形式手法は欧州に歴史があると言われる。フランスの活動でも EDONA プロジェクト 18)が前述の System@tic Paris Region クラスタで活動され、「機能安全に対する効率的な開発、検証手法やツールを検討している。形式手法あるいはセミフォーマルメソッドを意識した取り組みとなっている。

形式手法には各種のアプローチがあり、上流、下流やその中間であるアーキテクチャレベルなどからの検証を図 7 に示す。

形式手法の範疇 (形式記述 と 形式検証)				
設計 アプローチ	上流から 設計開始	中流から	下流から 設計開始	軽量なアプローチ
採用記述	仕様(アルゴリズム) 記述言語	アーキテクチャ 記述言語 (ADL)	同期言語 (Synchronous Reactive Language)	抽象レベルアノテーション など (Light Weight Formal Method)
例	VDM、B、Z specTRM、 Isabelle,cafeOBJ, UPPAL	AADL EAST-ADL -ADL	SCADE、Lustre ESTEREL、Quarts、 syncChart	上流からVDM-Vice Alloy 下流から SDL
仕様と実装の接続	上から下へ リファインメント (Refinement)	上と下へ	下から上へ コレクトバイコンストラクション CbyC (Correct By Construction)	
課題	リアルタイム実装まで 正しさを保証して 変換が難しい	振舞いの検証は 難しい	上流抽象概念で構 想したり、検証は難 しい	実装まで正しさを保 証しながら変換して いく事が難しい

図 7 形式手法の各種アプローチ分類
Figure 7 The Variety approach of Formal Method

4. 産学連携による人材育成と研究開発

これまでに述べたとおり、欧州では産学官が連携した研究開発が積極的に推進されているが、その中で大学や研究機関が極めて重要な役割を果たしている。ここでは、とくに特色のあるドイツの大学における人材育成と研究開発の事例を紹介する。

4.1.1 二元的大学教育と実務実習

ドイツの大学では、専門分野の理論的知識を教えることに重きが置かれ実務能力の養成が軽視されているとの批判に対応するため、最近、理論と実践の緊密な結合を目標に掲げたカリキュラムが増加している。これらに共通する特徴は、専門理論の基礎と体系的な企業内訓練を結びつけることにあり、二元的大学教育カリキュラムと呼ばれている。

大学が学生に実務実習を課す目的は、理論と実践の結びつきをできるだけ早期に構築し、大学での学修内容と企業での実務プロセスの関係をより良く理解させることにある。学生にとって実務実習は、企業のしくみや労働現場を知り、卒業後、円滑に就業に移行できる利点がある。しかし、学生が実習ポストを得ることは容易ではなく、有名企業での実習は非常に倍率が高い。企業にとって実習生の受入れは、指導担当者の配置など負担が増える面もあるが、技術革新の契機をさぐり、新たな人材獲得の機会を広げる点で利点が多い。

4.1.2 ミュンヘン工科大学の事例

1868年に設立された技術学校を前進とするミュンヘン工科大学(TUM)は、工学系の12学部を持つ、学生数22236名(2006年)の中規模の大学であるが、6名ものノーベル賞受賞者を輩出している。ドイツの大学ランキングにおいても「最も優れた研究活動を行っている大学」の1校に選ばれている。しかし、既存調査のレビューの過程で判明した豊橋技術科学大学による同校のヒアリング調査結果2)はそれ以上に興味深いものである。それによると、機械工学部自動車工学科の教授は全員企業出身者で、企業で15年以上の経験と十分な成果が必要条件とされている。研究と実習は企業から出資を受けている多くのプロジェクトと結合している。基礎テーマとして2008年度、技術面はMAN、電子関係はBMW、トレンドについてはAudiから協力を得て講義が行われた。さらに、専門的な内容としてBMW、Audiから各10名講師を招き、電子部品関係やデザインの流行、ヘッドライトの今後など、具体的なテーマで講義が行われた。修士のプロジェクト研究では、チームをつくり「車をつくる」などのプロジェクトを通じて企業での製品開発過程や実際の組織運営の仕組みについて学習する。2008年度は企業(Audi)の出資により3つのプロジェクト研究が行われた。

博士課程のプロジェクト研究は、より一層企業寄りであり、ほとんどのプロジェク

トが企業もしくは EU や DGF から提案と出資を受けている。2008 年度は 30 プロジェクトが実施された。自動車工学科は、企業から莫大な寄付を受けて、より実践的な教育を行っている。このため、レポートなどの成果が企業秘密に直結することも多く、特に博士課程においては、基本的にレポートは企業の所有物であり、卒業論文の大学雑誌等への掲載も、企業側との事前相談が必要となっている。これらの研究の特徴は目的基礎研究と呼ばれ、科学的、基礎研究であるが、応用目的を製品実践などに、具体的に捉え、取り組む研究が行われている。

自動車工学科では、博士課程に 2 つのコースがある。1 つは企業に半分籍を置きながら大学での研究を進めて博士号の取得を目指すインターンコースである。もう 1 つは、ミュンヘン工科大学インゴルシュタット研究所 (INI.TUM) で 2003 年から始めた企業との共同研究コースで、企業の提供する研究費で、博士課程の学生 1 名につき 1 つの、自動車製造に関係する委託研究プロジェクトを進めるものである。

情報工学部にも自動車に関連する講座として Automotive Lab があり、システムの特徴やソフトウェアについて教育している。「自動車ソフトウェア方法と技術」、「プロセスとソフトウェアのテストに関する方法」の講義を BMW, MAN が担当している。また、理論を検証するための環境構築に BMW Car IT, MAN, ETAS, ESG, Vector, Wind River, Elektrobit, Imbus, dSPACE が協力している。

5. まとめ

車載世界標準ソフトプラットフォーム AUTOSAR の枠組みがアーキテクチャ記述言語技術から至っている事に見られるなど、技術認識の日欧での差異点を示した。

また従来から産官学の連携と、非競争領域を見出しオープンに連携する取り組みが重要であることが言われているが、本調査の結果、欧州では 1984 年以来、早くから産官連携の研究開発の重要性が強く認識され、取り組みを強化しつつ進められているという、歴史の長いベクトルのあった取り組みを再確認し、また網羅的、システムチックに取り組んでいる姿を示した。また、産学の密接な連携による人材育成や研究開発などの事実も明らかとした。

また欧州では非競争領域、競争前領域など抽象的な領域をあぶりだす能力が、歴史的、文化的、教育背景を含め強いことが認識された。

また、欧州は、各国の技術多様性がまとまって EU となり、相乗効果を生み、補完関係が成立しているように推察される。欧州の流れを以下にまとめる。

5.1 戦略的かつ継続的な研究開発

欧州では 1984 年のルクセンブルグ宣言から 2000 年リスボン宣言のもと、フ

レームワーク計画や EUREKA といった枠組みがより強化され、系統的かつ継続的な研究開発の支援・促進、および研究者間のネットワーク化に取り組んでいる。

5.2 分野横断型の研究開発

組み込みシステム全般を対象とした ARTEMIS など共通のビジョンのもと、安全性や信頼性といった標準化につながるテーマに取り組んでいる。国を跨いだ技術コンセンサスを作り上げる活動も活発である。前述のアーキテクチャ記述言語 EAST-ADL を検討するプロジェクトは多方面にあり、多面的に検討する構造となっている。

5.3 欧州各国独自の戦略

従来から注目されている EU レベルの研究開発支援策に加え、ドイツやフランスでは国独自の戦略のもとに、主要市場の成長と雇用の確保、産学連携の強化、技術革新に取り組んでいる。緊急経済対策の意味合いでも先行技術開発が強化されている。

5.4 産学の密接な連携による実践的な教育、研究

欧州、とくにドイツの大学では、産業界との密接な連携により、理論と実践の両方を学べる実践的な人材育成を行うとともに、目的基礎研究と呼ばれる、企業の研究開発の一端を担うと同時に、科学的、先端的研究と両立させようとする取り組みがされている。

6. 今後の課題

日本でも、JasPar による協調領域の標準化、あるいは自動車電子システムに焦点を当てた各地での産官連携による研究開発や人材育成が取り組まれている。こうした取り組みを、より強固なものとしてゆくには、どのような方策をとるべきかについて、財団法人日本自動車研究所では、「欧州における自動車電子化への取り組み状況」について平成 21 年度で継続調査検討を進めている。調査結果やその過程で論点となった以下のような事項を折り込み予定であり、調査への関係諸氏のご支援をお願いする。

6.1 研究開発について

- (1) 基盤技術への取り組みがより重要になってきている。上位のビジネス領域から、統合制御、さらに下流のコンピュータプラットフォームなど、広範囲に基盤技術領域が存在する。
- (2) ソフトウェアの規模増大は、緊急課題である。開発者がより容易に組み込み、実現できる支援基盤整備が期待される。
- (3) 制御の複雑化に伴い、機能安全対応は重要な取り組みである。欧州は多面的に、

課題領域、技術領域をあぶり出し、また自動車、航空、交通などに横串で関連する技術領域と認識をして、広く、また層が厚く取り組まれている。

6.2 標準化について

- (1) 日本においても、標準化活動支援の仕組みをより強化し、研究開発の早い段階から推進する必要がある。
- (2) AUTOSAR 周辺では、将来取り組むべきと思われる領域を先行して認識し、早期からクラスタを構成して取り組まれている。取り組むべき領域は多岐に渡る。
- (3) ビジネスがグローバル化した現在、ネットワークビジネスを推進する CAD, EDA の要件電子流通を促進する基盤標準化はより重要性を増してきている。独自のビジネス慣習を持つ日本にあった要件電子流通の早期標準化が望まれる。
- (4) グローバルな協調、アジアでの協調を進めつつ、日本のオリジナリティをさらに強化する、両者のバランスがさらに求められている。
- (5) 協調領域を調整し推進する、産学官にまたがる機関が、国内でも必要である。
- (6) 非競争領域、協調領域、競争前領域など抽象領域を抽出できる人材を育成するとともに、抽象領域をあぶりだす活動が必要である。

6.3 産学官連携について

- (1) 産学官連携では地域に密着し、物理的距離も近い関係づくりと支援が重要である。
- (2) 産官学での長期的シナリオの共有と策定が重要である。長期継続的戦略協議委員会的活動が必要である。
- (3) 企業は大学へ産業界ニーズをより提供する努力をする必要があるが、それらをより容易にする支援も必要である。大学も目的基礎研究領域を強化する取り組みが望まれる。

6.4 技術開発動向、標準化動向の情報収集について

- (1) 海外の技術開発動向に関する情報を産学官で共有できる仕組みが必要。これによって関係者がより歩み寄り、緊密な関係を構築することが競争力強化につながる。
- (2) 海外のプロジェクトの進展、またそのプロジェクトを形成する事前の活動、キーとなる組織、人脈などをタイムリーに把握し、継続ウオッチする必要がある。
- (3) コンソーシアムを組んでの協業、情報交換、連携の場づくりへの支援が望まれる。

謝辞

本稿は、著者が参加した、経済産業省委託の平成 20 年度「ITS の規格化事業」の一環として実施した「自動車電子システムの海外動向調査」を中心にして、欧州動向を技術分析したものである。調査の実施にあたって設置した自動車電子システム調査委員会、および自動車電子システム調査 WG にご参加、ご協力頂いた皆様と、主催された財団法人日本自動車研究所に、謹んで感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 「自動車電子システムの海外動向調査」報告書, JARI, 2009 年 3 月
- 2) 「海外先進教育実践支援にかかる出張報告書」, 豊橋技術科学大学 Web サイト, URL: http://www.tut.ac.jp/Frame99/kokusai/append/report_uk_brd.pdf
- 3) 「自動車電子化の動向と今後の課題」IPJS SIG Technical Report, JARI, 2009 年 6 月
- 4) [アーキテクチャ記述言語 ADL の流れを車載組込み現場目線で追う] 情報処理学会東海支部講演会, 鈴村延保, 2008 年 10 月
- 5) 「車載ソフトウェア標準化プラットフォーム AUTOSAR と底流に見られる欧米の産学連携活動」第 4 回システム検証の科学シンポジウム, 鈴村延保, 2007 年 11 月
- 6) 「自動車関連規格の最新動向」電子ジャーナル, センサ大全, 鈴村延保, 2008 年 6 月
- 7) 「次世代組込みシステムに対応したモデリング技術の新潮流, ADL(アーキテクチャ記述言語)について」JASA ET セミナー, 鈴村延保, 2006 年 10 月
- 8) AUTOSAR <http://www.autosar.org/find02.php>
- 9) EAST-EEA フォーラム <http://www.east-eea.net/>
- 10) EEA フォーラム/INRIA http://www.inria.fr/actualites/inedit/inedit35_eve.fr.html
- 11) Synchronous Language <http://www.irisa.fr/s4/download/papers/Benveniste-proc-ieee-2003.pdf>
- 12) ATESSST フォーラム <http://www.atesst.org/>
- 13) OMG MARTE <http://www.omgmarTE.org/>
- 14) Adoption of EAST-ADL2 and the Future http://www.atesst.org/home/liblocal/docs/ATESST_Adoption%20of%20the%20EAST-ADL%20and%20the%20future.pdf
- 15) ADL Workshop2001 <http://www.forsoft.de/zen/publications/2001/AdlWs2001.pdf>
- 16) 「黄金期を迎えたソフトウェア・アーキテクチャ」日経エレクトロニクス, 2007 年 3 月 <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/HONSHI/20070319/129123/>
- 17) 「フォーマルメソッドは夢か道具か」PPL06, 中島震, 2006 年 3 月

- 18) Verisoft-XT <http://www.verisoftxt.de/>
- 19) EDONA
<http://www.edona.fr/scripts/home/publigen/content/templates/show.asp?P=111&L=EN>
- 20) 科学技術・研究開発の国際比較 2008 年版 <http://crds.jst.go.jp/output/pdf/07ic06.pdf>
- 21) ARTIST <http://www.artist-embedded.org/artist/>
- 22) ARTIST2 12-month Workgroup program summary, 2008 年 8 月
http://www.artist-embedded.org/docs/Events/2007/Artist2_Y3Review/deliverables/ARTIST2_12monthWorkprogramme-Sept2007-Aug2008.pdf
- 23) ARTEMIS SRA Strategic Research Agenda, 2008 年 4 月
<https://www.artemis-ju.eu/attachments/29/ARTEMIS-GB-11-08.pdf>
- 24) ATESS Year 2 evaluation results, ATESS Workshop, 2008 年 3 月
http://www.atesst.org/home/liblocal/docs/ATESST_Deliverable_D6-3-2_V1_0.pdf
- 25) ドイツ研究ネットワーク <http://www.de.emb-japan.go.jp/nihongo/kenkyusha/institut.html>
- 26) JETRO 国別情報 欧州 <http://www.jetro.go.jp/world/europe/>
- 27) ProSTEP <http://www.prostep.org/>
- 28) International Open Workshop on Synchronous Programming <http://synchron2008.lri.fr/>