

欧州における車載組み込みシステムの標準化プロセスの調査・分析： 次世代インフォテイメント系通信プロトコルと組み込みソフトウェア

代表研究者

徳田昭雄

立命館大学 経営学部 教授

1 研究の目的

本研究の目的は、車載通信ネットワークのキーテクノロジーである通信プロトコルについて、その標準規格の動向を欧米の事例と日本の対応を中心に概観することである。

1980年代に通信ネットワークが自動車に導入された当初、自動車メーカ各社は独自規格の通信プロトコルを開発・実装していた。しかし2000年頃に業界初の標準通信プロトコルとしてCAN(Controller Area Network)が登場した。それ以降、制御ドメインごとに標準化された通信プロトコルを使って車載通信ネットワークを構築することが一般的になった。

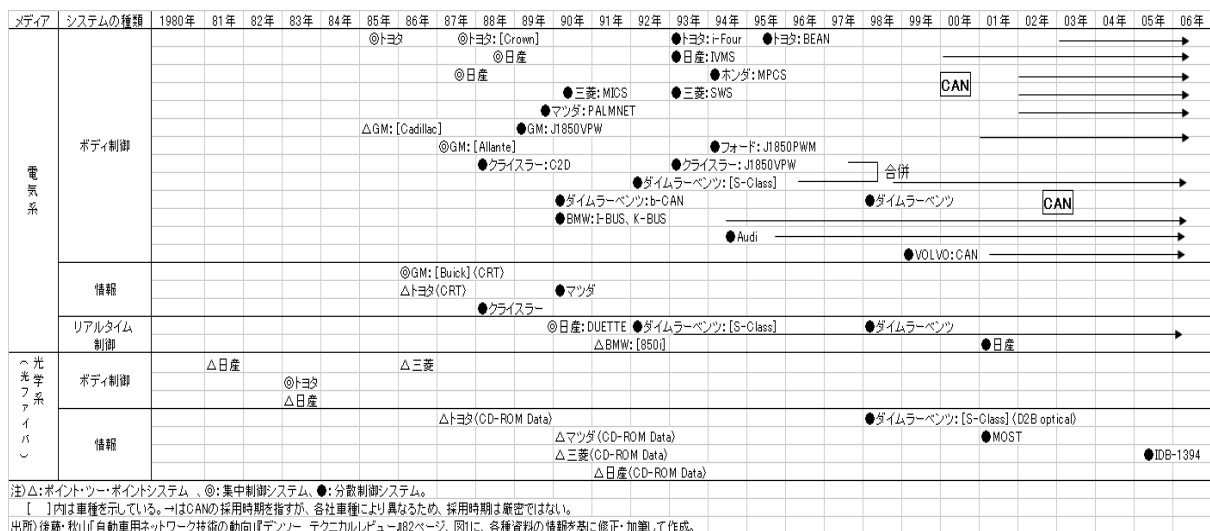
本報告では、独自の通信プロトコルが標準化されてきたプロセスを過去に遡ってお浸いする。そのうえで、今日の通信プロトコルの導入状況と標準化動向を「車内のつながり」と「車外とのつながり」に分けて紹介する。「車内のつながり」では、制御系のFlexRay、情報系(マルチメディア系)のMOST(Media Oriented Systems Transport)、制御系と情報系の双方で利用されるEthernetを中心に取り上げる。「車外とのつながり」では、車載システムと持ち込みモバイル端末間のインターフェイスおよび、路車間・車車間のインターフェイスに着目して、それぞれ標準化の動向をまとめる。合わせて、路車間・車車間通信の課題であるキュリティ対策について欧米の状況に触れておく。

2 通信ネットワークの標準化の歩み

2-1 独自規格から標準規格へ

通信プロトコル技術の導入は、ボディ系の制御システムから始まった。しかし、それらは光ファイバーを用いた制御システムであった。そのため、コストやメンテナンスの面に課題があり、普及には至らなかった。本格的な導入は、クライスラーがC2D、GMがJ1850VPWを開発・実装した1980年代後半以降のことである。図1が示すように、1990年代に入ると自動車メーカ各社ともに独自規格の通信プロトコルを開発・実装していった(ダイムラー:CAN、BMW:I-BUS;K-BUS、クライスラー:J1850VPW、フォード:J1850PWM、トヨタ:BEAN、ホンダ:MPCS、日産:IVMSなど)。

図1 独自の通信プロトコル規格¹



しかし、欧米を中心に通信プロトコル規格の標準化が進展していく。米国ではGM、フォード、クライスラーがSAE（自動車技術者協会）の認定したJ1850を採用するようになった。欧州ではダイムラーベンツがCAN（Controller Area Network）を採用して以降、BMWやアウディ、ボルボもダイムラーベンツに追随していった。2000年以降は、CANがJ1850よりも通信速度が速いという利点や、SAEがCANを標準規格として認定したことなどを背景に、米国の自動車メーカーもCANを採用するようになった。

2-2 CANの標準化の背景

CANは、ドイツのシステムサプライヤーであるボッシュによって開発された通信プロトコルである。1983年にダイムラーベンツからの依頼に応じて開発に着手し、1986年SAE年次総会にてCANを発表、1992年にメルセデス・ベンツのSクラスに実装された。1992年には、CANの標準化を推進するCiA（CAN in Automation）がドイツにて設立され、1993年にISO 11898（高速）、1994年にISO 11519-2（低速）として国際デジュール標準になった。これにより、ボディ系と一部パワートレイン系のプロトコルとしてCANが広く採用されるようになった。

日本よりもひと足早く欧米にて通信プロトコルの標準化が進められた背景には、欧米（特に独国）の主要自動車メーカーとサプライヤーが標準化の方向性をいち早く固めたためである。これに対し、日本では通信プロトコルの開発が自動車メーカー各社にとって競争領域として捉えられていた。そのため、自動車業界として標準化を模索する状況にはなかった。しかし、

- ① CAN対応のプロトコルチップ内蔵のマイコンが開発されたこと
- ② デバイスや開発ツール、メンテナンスシステムのコストダウンや標準化によるグローバル・ソーシングのメリットが大きくなってきたこと
- ③ 米国の故障診断規制である車載診断装置ステージII（OBD-II：On-Board Diagnostic System Stage II）が、CAN経由で行われることが規定されたこと

などの要因によって、結果的に日本の自動車メーカーもCANを採用するようになっていった²。

3 「社内のつながり」

自動車の電子制御システムは、制御ドメイン（ボディ系、安全系、パワートレイン系、マルチメディア系、故障診断系など）に応じて階層化され、それぞれの階層の内部と外部が異なる通信プロトコルを介してネットワーク化されている。通信プロトコルが異なるのは、要求レベル（通信速度や冗長性など）が異なるものを同一のプロトコルで扱うことが非効率だからである（表1参照）。

表1 制御ドメイン及び通信速度に応じた通信プロトコル規格

ドメイン	ボディ系	安全系	パワートレイン系	情報系
主なアプリケーション	ドア、ミラー、シート、エアコン、照明など	エアバッグ、衝突センサなど	ABS, ESP, X-by-Wire など	オーディオ、DVD、サウンドビュー、画像・動画伝送など
通信速度	低速 (125kbps 以下)	中速 (125kbps ~1Mbps)	中速~高速 (500kbps ~10Mbps 程度)	高速 (数10Mbps ~10Gbps)
通信プロトコル規格	・LIN	・SbW+ ・PSI5 ・DSI	・CAN(高速) ・FlexRay ・TTP/C ・CAN FD	・Ethernet ・MOST25/50/125 ・APIX ・IDB-1394

出所) 筆者作成。

それぞれのドメイン内部では、通信プロトコルの標準化をめぐる熾烈な競争が展開されてきた。たとえば、ボディ系には10以上の規格が乱立していたが、現在LIN（Local Interconnect Network）がデファクト標準になっている。LINは、自動車メーカーやサプライヤー、半導体ベンダなどで構成されるLINコンソーシアムに

よって規格が策定され、1999年に初版が公表された。パワーウィンドウや電動シートの制御に使われている。次項では、「車内のつながり」という観点から制御系のFlexRay、情報系のMOST (Media Oriented Systems Transport)、制御系と情報系の双方で利用されるEthernetを取り上げて、標準化の詳細を見ていくことにしよう。

3-1 FlexRay

CANよりも高速かつ高い信頼性を満たす通信プロトコル技術として、FlexRayが注目を集めている。FlexRayは通信速度が最大10Mbps、タイム・トリガー方式によってECU (Electronic Control Unit) のデータ送受信の厳密なスケジュール設定が可能である。また、通信経路を2重化できるので高信頼性が要求されるX-by-Wireアプリケーション³にも対応することができる。

FlexRayの開発と標準化にあたっては、ドイツ発祥のFlexRayコンソーシアムが主導的な役割を果たした。FRCは、2000年にBMWとダイムラー・クライスラー (現ダイムラー)、半導体メーカーのモトローラ (現フリースケール)、フィリップス (現NXP) の4社によって結成された。その後、ボッシュやGM、VWが加わり、日本企業も2002年以降にトヨタ、日産、ホンダ、デンソーの各社がプレミアム・アソシエイツ・メンバーとして加入した。FlexRayコンソーシアムの目的は、通信プロトコルの共同開発とそのシステムの普及によるデファクト標準の獲得である。FlexRayコンソーシアムは、一方ではSAEにFlexRayを提案しながら米国自動車メーカーへのマーケティング活動を展開していった。他方、日本では自動車組込みシステムの標準化を主導するコンソーシアムJasPar (Japan Automotive Software Platform and Architecture)と提携して標準化を推進してきた。

FlexRayコンソーシアムの標準化活動は、競合するコンソーシアムへの対応にも向けられた。特に、FlexRayと激しい標準化競争を展開していた通信プロトコルTTP/Cへの対策が重要な課題であった。TTP/Cはウィーン工科大学から始まり、BRITE-EURAMなどのEU研究開発プロジェクトが支え、TTTech Computertechnikが主体となって開発した通信プロトコルである。

TTP/Cの標準化は、2001年に設立されたコンソーシアムTTA-Groupが推進していた。設立当初は、オーディオ、プジョー、ルノー、VW、ハネウェル、デルファイなどが参加していた。しかし、FlexRayコンソーシアムはTTP/Cの推進者であったVWを自陣営に鞍替えさせることに成功した。これを契機に、ルノーとプジョーが相次いでFlexRayコンソーシアムに加入することになった。他方、FlexRayコンソーシアムはTTA-Groupよりもアグレッシブなライセンス政策を採用した。これにより、半導体メーカーやツールベンダー、ソフトウェアハウスなどの補完業者の参入を促すことに成功した。こうして最終ユーザである自動車メーカーと、通信ネットワークのエコシステムを形成するサプライヤを多数コンソーシアムに引き込み、デファクト標準の地位を獲得することができた⁴。

ただし、キラーアプリケーションの不足や高コスト構造が足かせとなって、CANを代替するプレゼンスの獲得に暗雲が漂いはじめている。さらには、2012年にボッシュが高速かつ拡張CANプロトコルであるCAN FD (CAN with Flexible Data rate) を市場に投入したことによって、FlexRayの技術的な差別化ポイントが削がれてしまい、FlexRayはきわめて厳しい状況に立たされている。ポストCANをめぐる標準化競争から暫く目が離せない。

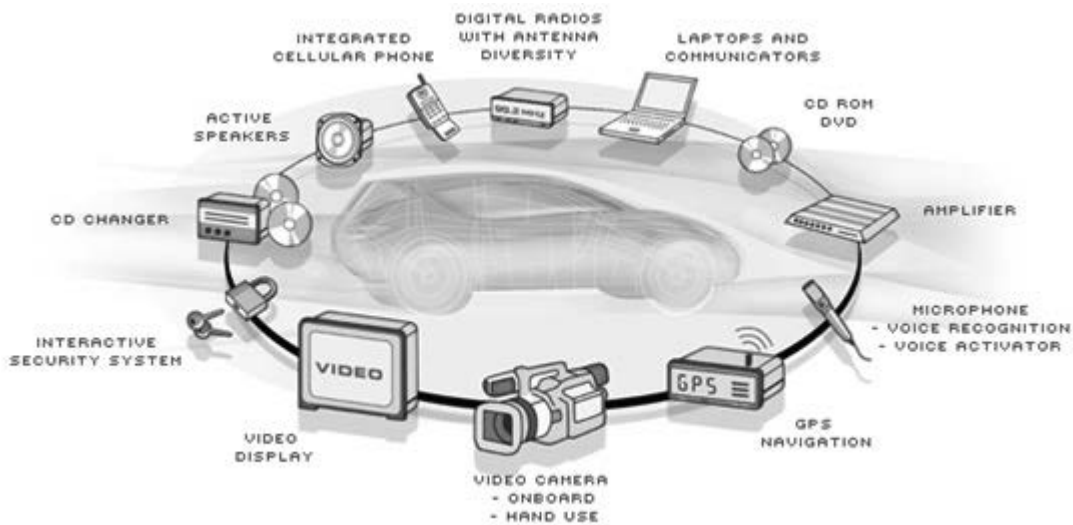
3-2 MOST

MOSTは、オーディオやマルチメディアなど車載エンターテインメント・システムを構築する際に利用される(図2参照)。もともと、ドイツのOASIS社によって開発された通信プロトコルである。現在ではオーディオ、BMW、ダイムラー、Harman、SMSC (OASISを吸収) をコア・パートナーとし、世界の主要自動車メーカーが主導するMOST Cooperationによって規格が策定されている⁵。

MOSTには、MOST25/MOST50/MOST150の3規格がある。最初に規格化されたMOST25の通信速度は25Mbps、POF (Plastic Optical Fiber: プラスチック光ファイバー) によりリング型ネットワーク接続を行う。MOST25は、欧州の自動車メーカーを中心に広く採用されている。MOST50の通信速度は50Mbps、一般的なツイストペア・ケーブルによりネットワーク接続を行う。トヨタや現代自動車などのアジアの自動車メーカーがMOST50を採用している。MOST150の通信速度は150Mbps、通信にはPOFが採用されている。動画の伝送やインターネットとの接続が可能であり、動画などのストリーミング・データ用のチャンネルのほか、パケット・データ用のチャンネル (イーサネット・フレームを直接取り扱うことができるチャンネル) を同時に備えている。2012年

にオーディオ A3 に初搭載されている。

図 2 MOST の適用対象機器



出所) MOST Cooperation Web サイト

POFを用いた車内光ネットワーク規格には、MOSTのほかJoint Automotive Working Group (1394 Trade Association と IDB Forum) によって提唱されたIDB-1394 (ITS Data Bus - 1394) が存在する。IDB-1394 は、民生機器の標準規格IEEE 1394 仕様をもとに構築されている。したがって、既存のIEEE 1394 インターフェイスを装備したコンシューマ機器の技術を車載用に転用することが可能である。ゆえに、既存の情報家電との技術的親和性や関連コンポーネント調達コストの観点から、MOSTよりも有力な通信プロトコルと目されていた時期もあったが、想定どおりに事が運んでいるとはいえないようである。

MOSTは主要自動車メーカーが規格策定を牽引している。そのため、マルチメディア系の標準プロトコルになる可能性は高い。しかしながら、他方では次に取り上げるEthernetが画像伝送分野などに導入され始めている。Ethernetが、コンシューマ機器との接続性を武器に急速な広がりを見せる見通しもあり、今後、両プロトコル間の標準化競争も予想される。

3-3 Ethernet

Ethernet は ICT の分野において最も広く普及しているキーテクノロジーのひとつである。車載通信ネットワークと比較した場合、圧倒的に低コストかつ高速でありトポロジの自由度も高い。すでに産業機械や航空機に導入されているほか、自己診断装置やインフォテインメント系など車載電子システムへの採用が始まっている。しかし、車載用には EMC (Electro Magnetic Compatibility) 対策としてシールドケーブルを使う必要があるなど、コストやスペースの観点から普及の際の課題も同時に指摘されてきた。

そのような課題を克服して、Ethernet の実用化に向けた取り組みが 2011 年 OPEN (One Pair EherNet) Alliance SIG (Special Interest Group) の結成により始まった。設立者は NXP、Broadcom、Freescale、Harman、BMW、現代自動車である。2014 年の年初時点では、コンソーシアムのコア・パートナーにあたるプロモーター (Promoter) として日本のトヨタとルネサスエレクトロニクスを含む 17 社のほか、アソシエートメンバーにあたるアドプター (Adopter) を含めて総勢 168 機関が参加している。

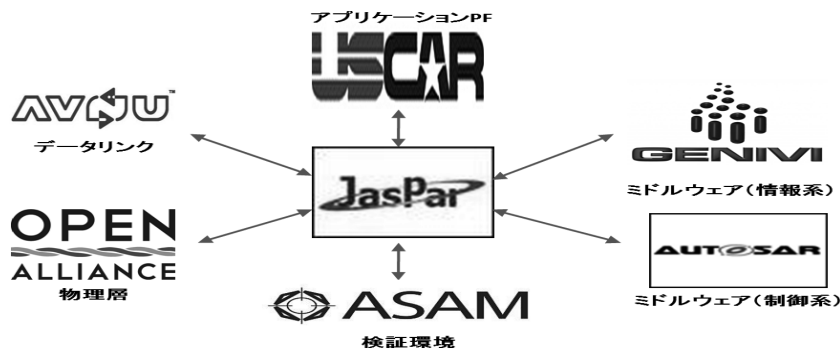
OPEN Alliance SIG の狙いは、Ethernet の物理層に安価なシングルペアの UTP (Unshielded Twist Pair) ケーブル/コネクタを採用することである。そして、その実現に必須の EMC 対策技術 (Broadcom の BroadR Reach) をリーズナブルなライセンス料で利用し、オープン・スタンダードとして普及させることである。

Ethernet の利用はマルチメディア系にとどまらない。高信頼性の要求される制御系のシステムへの適用を考慮し、タイム・トリガー方式もすでに開発されている。オーストリアの TTTech は、早くから TTEthernet の開発・製品化を進めてきた。その技術は、2011 年に発行された SAE の航空機部門の規格 AS6802 に採用さ

れている。タイム・マスタやバスを冗長化し、ネットワークの一部に障害が発生した場合でもネットワーク機能を維持し、通信を確保する構成になっている。

日本では JasPar が中心となって、関係標準化団体と協調しながらマルチメディア系だけでなく制御系への導入を見据えた標準化活動を進めている（図3参照）。活動の具体的なターゲットは、①アプリケーション・プラットフォームの要件定義（USCAR と協調）、②ミドルウェア要件定義（GENIVI、AUTOSAR、AVnu Alliance と協調）、③物理層／配線要件定義（OPEN Alliance と協調）、④開発／検証環境要件定義（ASAM と協調）である。

図3 JasPar の協調ネットワーク（Ethernet）



出所) 筆者作成。

以上、「車内のつながり」における主要通信プロトコルの標準化の動向を概観してきた。車内に張り巡らされる車載通信ネットワークの構築には、標準化を目指す企業間の協調関係構築が不可欠のようである。それは、通信プロトコルの標準化自体を目的として形成される協調関係と、当該プロトコルを介する産業エコシステムの形成に向けた企業間（あるいはコンソーシアム間）の協調関係にほかならない。

4 「車外とのつながり」

携帯電話の普及が進んだ 1990 年代、テレマティクスサービスによって自動車が「車外とのつながり」を持つようになり始めた。昨今ではスマートフォンなどモバイル端末の普及によって、車内にいてもさまざまな情報にアクセス可能である。これら IT (Information Technology) / CE (Consumer Electronics) の製品特性を有するモバイル端末の普及が、「車外とのつながり」を促進している。

他方、交通事故および交通事故死者数のさらなる減少を目指して、車車間通信 (V2V) や路車間通信 (V2I、I2V)、歩車間通信 (V2P) を活用した協調型運転支援システムが整備されつつある。協調型運転支援システムは、近未来に実現が目指されている自動運転・協調走行システムへの第一歩である。安全なモバイルソサイエティの実現に向けて、自動車にはますます「車外とのつながり」が要請されている。

本項では、「IT/CE との融合」および「協調型運転支援システムの構築」という観点から、車載通信プロトコル技術と標準化の動向を紹介する。そして最後に、協調型運転支援システムの課題であるセキュリティ対策について欧米の状況に触れる。

4-1 IT/CE との融合

Google や Apple は、これまで自動車業界とは遠い存在であった。しかしモバイル端末と車載システムの融合によって、自動車業界における両社のプレゼンスが一気に高まりそうな気配である。すでに両社は、車載用ソフトウェアと車載インフォテインメントシステムとの融合にむけて動き始めている。車載 UI (User Interface) や端末・車載システム間の通信プロトコルをはじめとする、各種インターフェイスの標準化が当面の活動ターゲットになる。

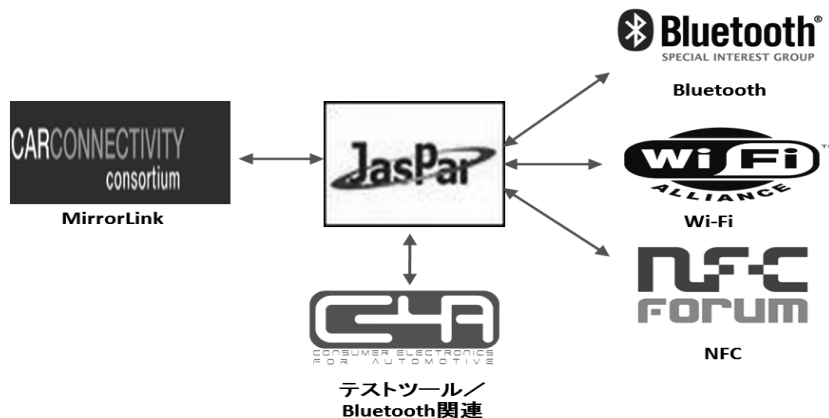
他方、自動車メーカーも IT/CE 分野の技術を車載システムへ融合するために、インターフェイスの標準化に

取組み始めている。各社独自のシステムを打ち出しつつ、車載システムと IT/CE に共通の標準的な「リファレンス・プラットフォーム」の策定や、W3C コンソーシアム（World Wide Web Consortium）と協調しながら HTML5 を用いた WEB 技術の導入を視野におさめている。

IT/CE と車載システムの融合の課題は、相互運用性（interoperability）の確保である。通信プロトコルの標準化とその普及もさることながら、標準規格に基づき実装されたシステムの相互運用性を担保するために、並行してコンFORMANCE試験仕様や認証システムの整備が欠かせない。すでに自動車業界では、Apple や Google など個別企業との協調を模索しながらも、他方において標準化機関と連携を図りながら相互運用性の確保に努めている。

図4は、主要通信プロトコル（無線）における標準コンソーシアムと日本の自動車業界の協調関係を示している。日本の自動車業界は、これらの標準コンソーシアムに個別に参画しつつ、JasPar として国内の声をひとつに纏めながら多面的に標準化活動を展開している。

図4 JasPar の協調ネットワーク（IT/CE）



出所) 筆者作成。

ターミナルモード型については、MirrorLink との融合に向けて CCC（Car Connectivity Consortium）と協調している。テザリング型については、NFC フォーラム、Wi-Fi アライアンス、Bluetooth SIG（Special Interest Group）などの標準化団体と標準化領域の確定やコンFORMANCE仕様の策定をすすめている。そのほか、テストツールや手法の標準化に向けては、ドイツの VDA（association of the German automotive industry）傘下の CE4A（Consumer Electronics for Automotive）と情報交換を行っている。IT/CE との融合と相互運用性の確保に向けて、このようなグローバルかつ多様なアウトリーチ活動がますます欠かせなくなっていく。

4-2 協調型運転支援システムの構築

自動車業界では、これまで交通事故および交通事故死者数の減少を目指して「自律型運転システム」を導入してきた。それは、事故回避のための警報や操作支援といった予防安全技術のほか、衝突被害軽減ブレーキや自動緊急ブレーキなど PCS（pre-crash safety）システムの開発・実装によって実現されている。そして今日、車車間通信（V2V）や路車間通信（V2I、I2V）、歩車間通信（V2P）を利用した「協調型運転支援システム」の導入期にある（図5参照）。それは、先行車や周辺車両、路側機、センター設備、歩行者からの情報をもとにドライバーや車載センサの検出限界を超える範囲の情報（障害物、路面凍結、路肩規制、急ブレーキ）を活用して事故回避操作を支援するシステムである。

「ITS 世界会議東京 2013」では「ITS Green Safety」というコンセプトのもと、様々なセンシング技術、通信ネットワーク技術、計測技術、プローブ技術、ナビゲーション技術を用いた協調型安全運転システムのショーケースが披露された。通信ネットワーク技術に着目するならば、同システムの実現には、ネットワークの形態によって策定された多種多様な標準の通信手段（V2V：Wi-Fi、700MHz 帯、5.8/5.9GHz 帯、V2I・I2V：FM 多重、DSRC、Zigbee、ETC、電波ビーコン、光ビーコン、VICS）を用いて、サブシステム間の相互運用性の確保しながら技術の社会実装を実現していくことが望まれる。

同時に、協調型安全運転システムの実現には、自動車業界のみならずインフラ側の関係省庁や業界団体、

研究機関など幅広いステイクホルダーとの政治的調整も不可欠である。社会のあるべき姿を掲げながら、ステイクホルダーの間で全体最適化を図っていくガバナンスモデルについても議論を深めていかなければならない。

図5 協調型安全運転支援システムのイメージ



出所) ITS Japan

4-3 セキュリティ

自動車の「車外とのつながり」を前提とする場合、最重要課題のひとつに上るのがセキュリティである。IPA（独立行政法人 情報処理推進機構）は、様々なネットワークと自動車がつながることによって、自動車がサイバー攻撃の対象にされる危険性が高まってきているとする。そして、自動車の将来を見据えた情報セキュリティ対策の現状と課題を指摘している⁶。ここでは、車車間 (V2V)、(V2I) および路車間通信 (V2I、I2V) の欧米の動向について、代表的な産官学連携プロジェクトを紹介する。

欧州におけるセキュリティに関わる R&D および標準化の一翼を担っているのが、フレームワークプログラム (FP7) の助成を受けた PRESERVE (Preparing Secure Vehicle-to-X Communication Systems) である。PRESERVE は「車内のつながり」(automotive in-board network) のセキュリティに関わる EVITA (E-Safety Vehicle Intrusion Protected Applications) の成果を取り込みつつ、「車外とのつながり」に関わる SeVeCom (Secure Vehicular Communication) や PRECIOSA、OVERSEE (Open Vehicle Secure Platform) などのプロジェクト成果を統合しながら、V2X 通信のセキュリティ向上につとめている。

PRESERVE は、米国の ITS 向けセキュリティ規格との標準化を図る役割も担い、米国運輸省や IEEE を含む EU-US ITS Cooperation HTG (Harmonization Task Group) に参加している。欧州側の上位にあたる組織は欧州の C2C-CC (CAR 2 CAR Communication Consortium)、標準化については欧州 ETSI (European Telecommunications Standards Institute) になっている⁷。

米国における「車外とのつながり」に関わる R&D および標準化は、IntelliDrive イニシアティブの中で推進されている。IntelliDrive の推進主体は、運輸省傘下の RITA (研究・革新技術庁: The Research and Innovative Technology Administration)、NHTSA (道路交通安全局: National Highway Traffic Safety Administration) である。また、IntelliDrive は自動車メーカーによるコンソーシアム CAMP VSC3 (Crash Avoidance Metrics Partnership, Vehicle Safety Communications 3) が進める Connected Vehicle プロジェクトの R&D 活動と連携している。

JARI (財団法人 日本自動車研究所) の調査によれば、米国ではイニシアティブの関連プロジェクトである車車間通信アプリケーション検証の VSC-A、安全運転・交通渋滞解消の Safe Trip2、安全支援アプリケーションの検証 Safety Pilot 等の研究開発成果を活用し、SAE や IEEE 等の標準化項目の検討を加味した上で、欧州との協調システムの標準化の推進を進める体制を確保している⁸。このうち Safety Pilot プロジェクトでは、セキュリティやプライバシーについても評価の対象になっている。Safety Pilot は、先述の RITA から助成を受けたミシガン大学 TRI (Transportation Research Institute) が中心となって、CAMP VSC3 等と進められている産官学連携プロジェクトである。プロジェクトでは、セキュリティのため V2I には双方向通信を利用するが、V2V には一方向通信だけを使う方法が示されているという。また、IEEE 1609.2 (Security Services for

Applications and Management Messages) で標準化された電子証明書技術が採用され、CAMP VSC3による電子証明書の検証回数を削減する”Verify-On-Demand”などの工夫が導入されている模様である⁹。

5 まとめ

最後に、本稿で示された通信プロトコル(=インターフェイス)の標準化に関わる理論的考察を行い、今後の研究の方向性を定めておく。

自律的イノベーションが外部調整メカニズムとしてのインターフェイス標準によって促進され様々な経済的メリットが期待できるにしても、インターフェイス標準が設定されるためには相応の時間とコストがかかっている。それは、コンピュータのモジュール化プロセスを詳細に分析したボールドウィン=クラーク (Baldwin= Clark, 2000: 149) の叙述に端的にあらわされている。

「複雑適応系の多くは、自然のものであれ人工のものであれ、モジュール型構造の性質を持つ。しかし、コンピュータの設計領域では、モジュール化は偶然生まれたのではなく、意識的な設計努力によって意図的に生み出された……モジュール化の可能性は一夜にして湧き起るのではなく、多くの設計サイクルを経た着実な知識の積み重ねを必要とする。それゆえ、コンピュータ設計のモジュール化—莫大な経済効果を伴うプロセス—は歴史的・知的なプロセスでもあった。それは段階的に起こってきたが、各段階はそれ以前の段階で蓄積された知識の上に成り立ってきた。そのうえ、それは長い間、経済的には見えないプロセスであり、マイルストーンとなる出来事もぼんやりとした技術的なものだった。」¹⁰

経済的には見えにくい、インターフェイスの設定は製品システムをモジュール化しようとする意図的・意識的かつ歴史的・知的なプロセスである。モジュール化は事後 (ex post) に経済効果をもたらし得ると同時に、事前 (ex ante) に時間とコストを伴うプロセスである。特に、検証コストはモジュール型設計のアキレス腱である¹¹。システムが複雑なほど、あるいは相互接続の確実性の観点からインターフェイス標準に高い質が要求されるほど、それ相応のシステム検証コストを伴う。ラングロア等 (Langlois= Robertson, 1995) は、インターフェイス標準を所与のものとして捉え、その事前の設定プロセスに関心が払われていない¹²。

いかにインターフェイス標準を効果的・効率的に設定し、設定コストを上回るだけの分業にもとづく協業のメリットを享受していくことが出来るのか。それは、企業の競争優位を左右する重要な課題である。いみじくもラングロア等が動的取引コストという概念を提示したように、インターフェイス自体にも、それをオープンに利用していくのであれば補完的なケイパビリティを持つ他社や他部門に対して説得、交渉、調整、教示する動的取引コストが生じる。しかし彼らのフレームワークでは、動的取引コストがかかるインターフェイス設定プロセスが所与のもの、あるいは歴史的な時間経過の中で外因的 (exogenous) に発現してきたものとして扱われている。したがって、インターフェイスを効果的・効率的に設定するプロセス、そのプロセスにおける企業の主体的な取り組みや、設定のためのオープン・イノベーションのあり様 (configuration) —適切な組織 (間) アーキテクチャ (組織構造・組織間関係) —は等閑にされている¹³。

鶴 (2002) も述べているように、「モジュール化」された「アーキテクチャ」を設計するという「事前的コーディネーション」自体、「インテグラル化」の「事後的コーディネーション」のように必ずしも明らかにされていない。ボールドウィン=クラーク (Baldwin= Clark, 2000) においても、IBMシステム/360のモジュラー化のプロセスにおける試行錯誤が描写されているが、必ずしもそのプロセスの概念的な理解に踏み込んでいるわけではない。

動的なコンテキストの中で企業がシステミック・イノベーションを自律的イノベーションに変えていくプロセス、可変インターフェイスを標準化されたインターフェイスに変えていくプロセス、そのプロセスにおいてインターフェイスを効果的・効率的に設定する主体の投企的な取り組みを捉える研究が次なるテーマである。ますます巨大化し複雑性が高まっている CoPS の調整コストを削減していくには、全体的調整による最適化と局所的調整による容易化の便益を天秤にかけながら、システミックな性質をもった CoPS を自律的なものへと変えていくような動的な取り組みが不可欠になっているのである。システムの局所的調整の容易化と全体的調整による最適化のメリット・デメリットを両天秤にかけ、企業、あるいは様々なレベルに散在する社会的なシステム・インテグレートたちが「インターフェイス」を投企的に標準化し、そのプロセスに適切な組織 (間) アーキテクチャを特定することのできる動的モデルを提示する必要がある。そのようなモデルの構築に向けて、理論的・実証的研究を継続していきたい。

(脚注)

- ¹ 後藤正博・秋山進:「自動車用ネットワーク技術の動向」『デンソー テクニカルレビュー』6-1 (2001) 掲載図に筆者加筆・修正。
- ² 徳田昭雄 編:『自動車のエレクトロニクス化と標準化』晃洋書房 (2008)
- ³ 現在, X-By-Wireシステムとして、Throttle-By-Wire、Brake-By-Wire、Shift-By-Wireが実用化されている。しかし、完全なBy-Wireだけで制御するまでには至っていない。Brake-By-Wireは機械的な伝達機構と併用することで安全性を保持している。Steering-By-Wire においては、実用化もされていない状況にあるが、ステアリング制御に関わるEPSや前輪タイヤの切れ角を制御するActive-Steeringの電動化が進み、これらが多くの車両に搭載され始めている。杉村竹三・杉本 薫:「次世代ワヤーハーネスシステム」『古河電工時報』第132号, pp. 2-9 (2013)
- ⁴ Tokuda, A: International Framework for Collaboration between European and Japanese Standard Consortia, Kai. Jacobs, eds. *Information and Communication Technology Standardization for E-Business Sectors*, IDEA Group Publishing (2009)
- ⁵ 徳田昭雄・立本博文・小川紘一編著:『オープン・イノベーション・システム』晃洋書房
- ⁶ IPA 技術本部 セキュリティセンター (2013)『自動車の情報セキュリティ動向に関する調査 報告書』独立行政法人 情報処理推進機構
- ⁷ IPA (2013) pp.5-6
- ⁸ C2C-CC 財団法人 日本自動車研究所 ITS シミュレータ利用促進検討委員会 (2013)『ITS 通信シミュレーション評価シナリオ (Ver 1.2)』日本自動車研究所
- ⁹ IPA (2013) p. 7
- ¹⁰ ボールドウィン¹¹は別書において、相互依存的システムをモジュール化するコストとして、デザイン・ルールを制定し普及させるコスト、モジュール・システムの潜在的な価値を実現するために必要な実験を行うコスト、それらが企業の枠を越えて行われる場合の取引コスト、モジュール・システムとその制度的環境に内在するエージェンシー・コストを指摘している。
- ¹¹ 延岡・上野 (2005) は事例研究に基づき、製品アーキテクチャがモジュラー型であったとしても、部品のイノベーションが起こった場合にシステム内で部品機能が適切に発揮されるかについてシステム統合検証が必要なことを例証している。
- ¹² しかしラングロアの一連の論稿のなかには、半導体製造装置産業のクラスターツールの製造にあたって垂直統合を行うものと、分割された企業が技術的な標準を使っているものの競争を考察する中で、標準の策定のために企業ないし標準化グループが多くの努力を費やしたことを指摘しているものもある (Langlois, 2004)。
- ¹³ 彼らのフレームワークは、同じ新制度学派にあっても市場と企業(階層)の二分法のもと、より効率的なガバナンス構造の分析に焦点が当てられた取引コスト論者のフレームワークとの違いが強調される。取引コスト論者は、取引に際する市場の不完全性を回避する効率的な「代替メカニズム」として、市場に対する企業の存在を取り扱った。これに対しラングロア等は、ケイバビリティ論に依拠しつつ、市場と企業を代替的というよりはむしろ補完的な関係として捉えている。すなわち、技術の選択を左右する生産費用と、市場と企業のあいだのアクティビティの分業の仕方を左右する取引費用の双方を、時間の経過の中で考察しなければ、企業境界の変化を説明できないと考えている。ここでラングロア等は、企業の境界を決する両者の費用の違いは、企業と市場(他社)の相対的な学習能力によって左右されるとする。と同時に、市場の学習能力は技術的要素や制度的要素によっても左右される。報告者は両者の相対的な学習能力を左右する、標準に代表される制度的な要素の形成プロセス、そしてそのプロセスに関わるコンソーシアムをはじめとする組織間ネットワークに次なる研究ターゲットを設定する。そういう意味において、報告者の研究フレームワークは次の二点において三分法といえる。それは、市場と組織に並んで経済発展の原動力としての制度(標準)に着目している点及び、制度(標準)の形成(調整メカニズムが埋め込まれる)プロセスに出現する市場でも階層組織でもない第三のガバナンス構造を分析対象にしているという点である。

【参考文献】

- ・ Baldwin, C. Y., K. B. Clark. (2000) *Design Rules: The Power of Modularity*, Cambridge, MA, MIT Press. (安藤晴彦訳『デザイン・ルール: モジュール化パワー』東洋経済新報社、2004年)
- ・ Langlois, R. N. (2004 b) "Competition through Institutional Form: the Case of Cluster Tool Standards", *Department of Economics Working paper Series*, University of Connecticut, Working Paper 2004-10.

- Langlois, R. N., Robertson, P. L. (1995), *Firms, Markets and Economic Change: A Dynamic Technology of Business Institutions*, Routledge
- Tokuda, A: International Framework for Collaboration between European and Japanese Standard Consortia, Kai. Jacobs, eds. *Information and Communication Technology Standardization for E-Business Sectors*, IDEA Group Publishing (2009)
- 後藤正博・秋山進:「自動車用ネットワーク技術の動向」『デンソー テクニカルレビュー』6-1 (2001)
- 延岡健太郎・上野正樹 (2005)「中国企業の情報家電における競争力：モジュラー型製品開発における組み合わせ能力の限界」『国民経済雑誌』191(4): 35-51.
- 杉村竹三・杉本 薫:「次世代ワーカーハーネスシステム」『古河電工時報』第132号, pp. 2-9 (2013)
- 鶴光太郎 (2002) 「「モジュール化」の経済学」『RIETI Discussion Paper Series』02-J-009: 1-34
- 徳田昭雄 編:『自動車のエレクトロニクス化と標準化』晃洋書房 (2008)
- 徳田昭雄・立本博文・小川紘一編著:『オープン・イノベーション・システム』晃洋書房
- IPA 技術本部 セキュリティセンター (2013)『自動車の情報セキュリティ動向に関する調査 報告書』
独立行政法人 情報処理推進機構
- C2C-CC 財団法人 日本自動車研究所 ITS シミュレータ利用促進検討委員会 (2013) 『ITS 通信シミュレーション評価シナリオ (Ver 1.2) 』日本自動車研究所

〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
How Japanese Automotive Cope with the European Standard?	GERPISHA (@ENS Cachan)	2013 年 12 月 06 日
車載通信ネットワークの標準化の動向	『自動車オートパイロット開発最前線』 pp. 227-236	2014 年 5 月 8 日 刊
Horizon2020 における欧州技術プラットフォームを活用した官民パートナーシップ	研究・技術計画学会 (@立命館大学)	2014 年 10 月 18 日
Horizon 2020 における欧州技術プラットフォームを活用した官民パートナーシップ : EGVI の事例	『立命館経営学』第 53 巻 2, 3 号 pp. 1 - 23	2014 年 9 月
EU の研究・イノベーション政策の概要 : Horizon2020 に着目して	『国際ビジネス研究』第 6 巻, 第 2 号』(秋号)	2014 年 12 月 (予定)