



# ITSの発展とこれからの スマートモビリティ

齊藤忠夫 ((株)トヨタ IT 開発センター)

## エレクトロニクスによるモビリティの発展

科学技術の発展は多くの社会的効用を生み、経済成長を促し、生活を豊かにしている。特に 20 世紀の後半から現在に至る半世紀ではエレクトロニクス、情報技術、通信技術が、社会の発展を支えていることは実感である。

人間の移動を支援するモビリティ技術の中で、自動車は生活を豊かにする技術として重要である。自動車は人類が形成してきた道路をはじめとするインフラストラクチャに依存した技術でもある。自動車を支援するためには多くの新たなインフラストラクチャが構築されているが、新しいインフラストラクチャの形成過程では広い用途を持つものが展開速度の点でも有利であり、広汎な用途で作られるインフラストラクチャが自動車にとっても使いやすいものになることが求められる。

近年の自動車の発展の中で、エレクトロニクスはまず自動車のエンジン技術、ブレーキ技術、ステアリング技術を進展させた。エンジン技術ではエンジンの燃焼系の特性を改善し、大気汚染を最小化し、エネルギー効率を向上した。同様にブレーキ技術ではブレーキの力を適切に車輪に伝え、スリップ等を避けながら車を停止させる技術が安全性を向上させた。ステアリング技術においてもハンドル操作によって示された運転手の意図に従い、状況に対応して円滑に車輪を操作するためにエレクトロニクスが活用されている。このような技術はおおむね 1970 年代後半から実用が進んだが、なお常に進歩している。

## 交通流円滑化のための インフラストラクチャ技術

自動車の内部のエレクトロニクスより早く使われるようになったのは、道路の渋滞状況のコンピュータによる把握と渋滞情報の表示、信号の制御であり、1960 年代の終わりから広く検討され、日本では各都市で実用化された。交通流の把握のためのセンサは 50 年におよぶ歴史の中で多様な方式が実用化された。初期には道路の中にループコイルを埋め込み、車がその上を通るとインピーダンスが変化することで車両の存在と速度を知る方式が主であった。1970 年代の中頃以降には道路の近傍に超音波レーダを設置し、車を検出する方式が一般化した。最近では TV カメラによってナンバープレートを読み、2 カ所で読んだナンバープレート情報から走行速度を推定する方式も技術的には可能である。車に ETC (Electronic Toll Collection) カードがある場合には ETC センサによってこれと交信し、同様に走行速度を推定することもできる。しかし、個人情報とも連結する可能性のあるセンサの利用については日本では多様な議論もあり、近年では公表は差し控えられる傾向がある。

このような情報から交通状況が把握できれば、交通流量を増大するように信号機のスプリット (赤・青の時間比)、信号周期、信号の位相を制御することによって道路の容量を大きくすることができる。このような技術は 1970 年代には広く実用化されている。

現在では車に設置した通信装置の位置情報から速度を容易に推定することもできるし、ドライバの持

っているスマートフォンの位置情報からも多様な交通情報を把握することもでき、センサ等のインフラの投資を削減して、システムを構築することができる。

世界的に見れば、一般道路の信号機のコンピュータ制御でも高速道路の渋滞情報システムでも、日本のように高密度で情報収集システムが配置されている地域はほとんどない。こうしたシステムについて日本は世界で最も進んでいると考えてよい。しかしスマートフォンのアプリケーションで交通情報を収集することは一般化してきており、構築コストは下がっている。近年では個人情報と関連付けられる可能性があるというだけで広汎に活用できなかった情報を、プライバシーに配慮をしながら、有効活用することが日本では遅れているという認識が高まっている。ビッグデータの活用などと関連して、新しい産業に結びつける議論は関係省庁等でも進められている。日本でもこうした技術を活用し、半世紀にわたる経験を活用したさらに高度な交通情報システムが構築されることを期待したい。

## 通信によるモビリティサポート

自動車内に閉じたエレクトロニクスの活用も、交通流円滑化のためのシステムもそれぞれ自動車内、外界内のシステムであり、自動車と自動車あるいは自動車とインフラストラクチャの間の通信は最近までは一般的ではなかった。自動車と外界の間の無線通信技術は1990年代までは高価で扱いにくかったからである。

このような通信のために専用の短距離無線システムを構築し、自動車を支援しようとする考え方は1990年代中頃から一般化した。これはITS (Intelligent Transport Systems) と呼ばれ、そのアーキテクチャはアメリカの運輸省 (DoT) の支援のもとに作られた ITS America から1996年に発表されたものが基本的である<sup>1)</sup>。この際に示されたITSのサービスの概要を表-1に示す。これは、交通の安全、快適性、円滑化を図るほか、道路管理の向上を含む多様なサービスを実現しようとするものであ

旅行・トラフィック管理	旅行前計画, ルートガイダンス, 旅行情報サービス, 車内管理
公共交通管理	旅行計画, 予約・個人サービス
道路料金支払	道路料金, 駐車料金
商用車運行管理	安全性検査, 商用車運行管理
緊急事態管理	異常通知, 個人安全, 緊急車両管理, 災害応答
自動車安全システム	衝突防止, 交差点事故防止, 運転支援
交通情報管理	ITS 情報共有, ITS データ保管システム
道路建設・保守管理	建設機械管理, 気象情報分配, 冬季道路情報管理, 工事活動調整

表-1 ITS アメリカアーキテクチャに見るITSの機能 (1996年4月)<sup>1)</sup>

った。これらのサービスには当時としては新しい考え方が多数あり、注目された。

ITSの無線通信は路側機と自動車を接続するDSRC (Dedicated Short Range Communication) と呼ばれるものが中心であった。ITSを実現するためにはインフラストラクチャとしての情報システムを構築し、自動車にもこれと通信して目的を達成する機能を設置しなければならない。

ITSの初期の構想では自動車との通信はDSRCを中心とした無線方式によって実現することが想定されている。道路に設置された路側機はすべての自動車に多様な用途で使われる。用途には安全性を高めるような公的情報サービス、企業が運営する交通サービスの管理のような私的情報サービスがある。このほか、車車間通信、私的情報サービスとの広域無線サービスなども想定されている。図-1はITSアメリカアーキテクチャを基本として、これに近年の傾向を含めて改定したITSアーキテクチャである。

## 初期の商用化技術

表-1のITSサービスの中にはITSという考え方が出る以前からさまざまなアイデアが出され、商用化されているサービスも少なくない。

ルートガイダンスでは1980年代からカーナビゲーションシステムが商用化され、1990年代にはGPSを使って位置を標定するシステムを組み込んだナビゲーションシステムが商用化された。

1996年には信号機制御等に用いられている交通

渋滞情報を DSRC もしくは放送チャネルを用いてカーナビゲーションシステム上に表示する VICS (Vehicle Information and Communication System) が日本で実用化された。

車の速度を自動調整し、一定速度で走行させるクルーズコントロールは 1960 年頃から商用化されている。クルーズコントロールでは周辺状況にかかわらず、速度が一定に保たれるが、先行車両の走行状況を監視し、車間距離を保つことができるように自車の速度を調整する適応型クルーズコントロール (ACC : Adaptive Cruise Control) も車間距離を測定するレーザレーダもしくはレーダの低コスト化とともに 1990 年代から商用化されている。

### 多様な無線通信の発展と自動車サービス

1990 年代の後半になると、携帯電話サービスが低コスト化して普及し、これを自動車の支援に使うサービスが始まった。これをトランスポートテレマティクスと呼んでいる。

トランスポートテレマティクスでは個人向け情報サービス、リアルタイム交通情報、エアバック状況監視による緊急支援、車両トラッキングによる盗難車両追跡のようなサービスが商用化されている。

無線通信ネットワークによるこのような自動車交通の管理の考え方は、その後の携帯電話、無線データネットワークのインフラストラクチャの発展によって独自に形成する考え方から、携帯通信に形成されたネットワークを共用するよう、急激に変化している。しかし現在のところ携帯通信システムは通信接続設定時間等の性能の面で安全性にかかわる通信では困難があり、DSRC の役割は大きい。

このほか、自動車と私的情報サービスを接続する広域無線通信、自動車間の車車間通信も 1990 年代

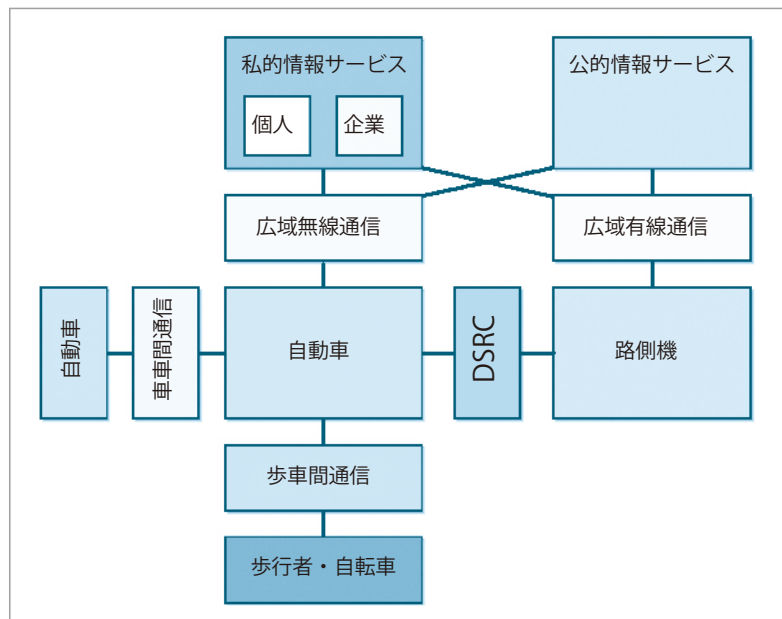


図-1 ITS アーキテクチャ

から ITS の一部として構想されていたが、その後の通信インフラストラクチャの進展によって持ち込み機器も含めて多くの私的情報サービスが商用サービスとして実現され、現在では公的情報サービスの部分に比べて私的情報サービスの部分が大きくなり、さらにスマートフォンの普及とともに広い範囲のサービスが行われるようになった。2000 年代に入って、持込型ナビゲーション装置 (PND, Personal Navigation Device) が一般化し、現在ではスマートフォンでナビゲーションアプリケーションを実現しているものも多い。車の組込み型機器では運転中に操作して、危険が生ずるのを避けるために運転中の操作に制約を課しているが、持ち込み機器では制約を徹底させることには困難もある。このような私的情報サービスは自動車の所有者が自分の安全のため、あるいは利便性の向上のために価値を判断して購入するものであり、サービスそのものの有用性とともに危険回避について利用者が理解することが重要である。

また自動車の盗難発生状況に対応して、トランスポートテレマティクスによる盗難車両追跡システムの購入者が特に多い国、サービスを受けることをすべての自動車所有者に義務化することを検討している国などもある。ITS/ トランスポートテレマティク

スの一般化にはそれぞれの国／地域の社会状況を反映する傾向が見え始めている。

一般の携帯通信が自動車でも広く使われるようになると、これとは別にインフラストラクチャとして道路管理者が DSRC のコストを負担するより、自動車の所有者の負担だけで同様のサービスを実現しようとする動きも生じている。DSRC と同様の通信方式を使って車車間通信を実現し、車がほかの車の状況を把握することによる衝突防止に代表される安全性の向上は、DSRC の道路インフラストラクチャを使用しない ITS である。走行中前車、あるいはとなりの車が今後どのような意図で操縦されているかを知れば、安全向上に有用であると考えられる。見通しの悪い交差点や合流部で、車の接近を知らせ、衝突を回避することも重要である。反対車線を走っている車から、これから行こうとする地点の情報を得ることも期待される。道路上にパーキングメータを置いた都市では、駐車場所を探すために走っている車が全体の交通量の 20% を占める場合もあるという報告もあるが、駐車場所を見つけた車がほかの車にその情報を伝えることも有用とされている。

ITS による安全性の向上では当初の DSRC インフラを中心とした考えから、同じ通信方式を使うがよりインフラ投資の少ない車車間通信による方向に関心が高まっている。この考え方は 1990 年代のアーキテクチャにも見られるが、各国の道路インフラ投資の減少とともに期待されるようになっていく。

また歩行者との事故が多い地域では歩行者が無線通信機を持ち、車がこれと通信することによって事故を防止する考え方が検討されている。このような車車間、歩車間通信では基本的に通信できる車が相手のときのみ通信が成立し、事故が防止できる。このため自分の車に設備を付けても、設備の普及状態が低ければ効果には限界がある。特に、技術初期には投資効果も低く、普及のバリアが高い。これを克服するために一般に普及した携帯通信機器を安全通信にも活用するアイデアなどが検討されている。

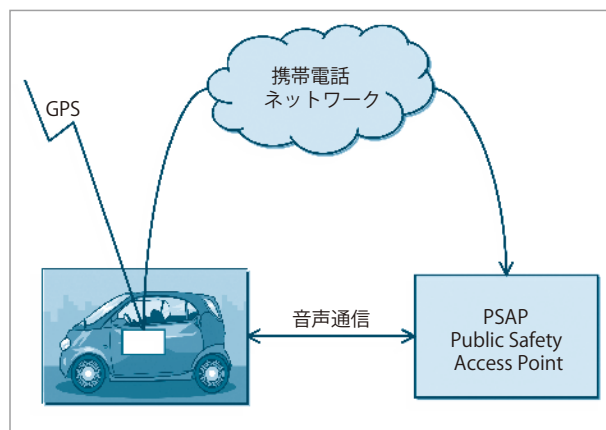


図-2 eCall のシステム構成

## eCall と携帯電話市場

交通事故死者の減少はいずれの国でも大きな社会目標になっている。事故が起きたとき、通信手段を使って緊急に救助センターに救助を求められることができるよう、衝突検出、エアバック作動検出と携帯通信サービスによる自動救助要請が期待される。欧州では EU の統合に伴い日本の 119 番に相当する緊急電話サービスの番号が各国でばらばらであったのを、112 番に統一する計画が 1991 年に立てられた。欧州委員会では 112 番統一の後、自動救助要請の技術に注目し、2003 年にはこれを EU 全域で実現することに合意した。これを eCall と呼んでいる。この 112 番自動発信機能を 2009 年までにすべての新車に装備する義務化の計画が立てられたが、義務化の検討に伴って多様な困難が指摘されて、目標年は次第に先延ばしされ、現在では 2015 年になっている。

この計画では図-2 に示すように自動車は事故が生じたときに、GPS (Global Positioning System) で位置を認識し、携帯電話サービスを通して通信会社に事故情報を伝達する。通信会社はこの情報を地域ごとに設備された救急センター (PSAP: Public Safety Access Point) に通知する。PSAP は事故を生じている自動車と可能なら音声通信し、必要な救助を決定して救急車等を派遣する。

このサービスの困難は多様に指摘されたが、まず問題となったのは自動車と急激に進歩する携帯電話の技術寿命の差である。2003 年頃には欧州の携

帯電話は GSM に統一され、第 3 世代 (3G) 携帯電話の普及は一部にとどまっていた。しかし現在では第 4 世代 (4G) 携帯電話が各国で計画されており、GSM の安定性は絶対ではなくなっている。また携帯電話装置は特定の電話会社によって発行される SIM 情報によって管理されている。国をまたがったすべての地域でのサービスとローミングをどのように保証するかも問題となっている。全車両に装着されているとしても、eCall だけにその携帯電話機能が使われるなら、車両が転売されたとき、持ち主も知らない電話機能が付いていることになる。廃車になったときには電話会社も知らないうちに通信装置が消失する可能性もある。このような検討は携帯通信の将来の用途として期待されている M2M (Machine to Machine) 通信で検討しなければならない問題のさきがけとして、興味がある。自動事故通報はトランスポートテレマティクスの有料サービスとしては、すでに 10 年以上にわたって商用化されているが、それを全車両に強制装着しようとすれば多くの問題が生ずることの事例として学ぶべき点も多い。このような多くの問題を含みつつも、eCall に対する期待は高く、ヨーロッパでは社会実証実験として HeERO プロジェクトが 2011 年から進められている<sup>2), 3)</sup>。

## 自動車の自律走行

自動車の運転は長時間にわたって運転者を拘束するものであり、これを軽減する自動運転の話題は理解しやすい。自動車以外の乗り物、船舶や飛行機では、港や空港へのアクセスを除いて、クルージング中には人手を介さない運転が可能である。飛行機でもできることがなぜ自動車でできないのかという素朴な疑問もある。しかし、飛行機は何もない空中を移動するものであり、自動車は道路と呼ぶ制約の多い平面で移動しなければならないことを考えると、自動運転に必要な情報についても解決すべき課題は大きい。

運転者の操作をまったく必要としない自動運転と

区別して、自動運転ではないが、運転者の負担を小さくする運転支援システムによる走行を、自律走行ということもある。このような自律走行を高度化しでゆけば自動運転に近づくという見方もある。

自動車が運転者を支援し、負担を軽減するシステムはさまざまなケースで商用化されていることは前述した。運転者のハンドル操作、ブレーキ操作の安定性を実現し、環境に対応して速度を制御するシステムも一般化している。適応型クルーズコントロール (ACC) を改善して、周囲の自動車と DSRC と同じ通信方式で通信しながら、前方の自動車のブレーキ操作やアクセル操作情報を認識する調整型 ACC (Cooperative ACC : CACC) も ITS の安全性向上の一形態として研究が進んでいる。CACC 設備を持つ車が隊列走行できれば通常の間車距離より短い間車距離で道路を活用できる。この場合には隊列の先頭の車に従って多数の車が走行することになるが、実用化が定着するには、先頭車がその責任をどのように認識するかなど、社会的理解が必要であるとされている。

自動車の衝突を避けるための緊急停車システムは、衝突の危険が高い大型車両を中心として日本でも義務化の日程が定められている。新型車両では 22 トンを超えるトラックで 2014 年 11 月が、20 トンを超えるトラックで 2016 年 11 月が義務化の日程になっている<sup>4)</sup>。一般の乗用車でも緊急停車システムはオプション機器として商用化が進んでいる。これも自律走行の一形態である。また、路面をカメラ等で認識し、自動車が走行するレーンを保ちながら走行するレーンキープアシストも商用化されている。運転者の負担を小さくしたときに、運転者がどのように走行時間を使うかにも多様な意見がある。自律走行では運転者が運転することが原則であり、そのための前方注視が求められる。負担が軽くなったときにも、通常の運転に相当する注意力を保てなければ、かえって危険を生ずる可能性もある。この矛盾を解決することが自律運転高度化の鍵となろう。

人間を介さない自動運転には高精度の地図情報と、自車の位置の高精度の測定が求められる。しかし現

実は地図と位置情報の両方で精度は不十分である。現在の地図は、国により定められた基準点（三角点）を基礎として、測量によって測定された道路等の位置を示すものである。基準点は近年 GPS 等によって得られる天文学的位置と較正されるようになってきているが、一般的にはそれ以前の測量をもとに作られた地図も多く使われている。東日本大地震でも基準点の位置は天文学的位置に対して、最大で 5m 程度移動したとの報告もあり、GPS の測定精度を改善しても、道路位置と車の位置を正確に合わせることは限界がある。地図には記載されていなくても周辺の建物等の位置を基本として、車の位置を知るのには、人間の運転者が位置を知る方法としては普通である。道路周辺状況を正確に把握した情報があれば、道路地図の不完全さを補うことができる。実験的にはその地域での道路周辺状況を用意するか、周辺を走行する人間が運転する車から連続的に情報を伝達できれば、自動運転は可能である。しかし周辺の建造物等は比較的短時間で変化する。広範囲にわたって、安定な情報として地図とともに長期的に道路周辺状況を供給することには限界があり、実験の実用化には超えるべき課題は多い。

## モビリティサポートシステムのこれから

自動車が一般化してから 100 年以上におよぶ歴史がある。自動車をより有用にするための道路の改良、建設には多くの費用が使われ、なお拡充が進められている。同時に燃料の有効利用、大気汚染、CO<sub>2</sub> 問題、安全性の向上、渋滞の軽減、運転者の負担の軽減など、多くの課題が残され、技術的、社会的解決の努力が行われている<sup>5)</sup>。このために、電子技術、ネットワーク技術を多様に取り入れる工夫も行われている。こうした努力に関連して、自動車を

支援するインフラストラクチャも多様化している。インフラストラクチャの種別が増加するにつれ、自動車と各種インフラストラクチャにおける、ビジネスモデルと技術寿命の差に起因する問題も顕在化している。技術寿命の差は、社会における技術の安定化のためには大きな問題となる。自動車の運転に関して考えれば、人間の運転者が運転するという前提で自動車が社会に受け入れられている。自動車の自律運転機能は、機械のみならず、人間の変化を求める。自律運転の高度化を通して自動運転に近付け、その技術が社会的に受け入れられるものにできるかは自動車技術の進歩とあわせて、人間がそれを適切に活用する認識を定着できるかにかかっている。人工知能の技術を発展させれば自動運転自動車が可能になるというありがちな期待を持たないようにすることが望ましい。モビリティの知能化は多様な問題を出現させながら進歩している。技術とともに、社会の理解がスマートモビリティ進化の鍵である。

### 参考文献

- 1) ITS America Architecture : <http://itsarch.iteris.com/itsarch/html/menu/documents.htm> (Original : Apr. 1996)
- 2) Tarkiainen, M.1\*, Kulju1, M. and Aaltonen, J. : eCall Receiving - The PSAP Operator, User Experience, ITS World Congress EU00025 (Oct. 2012).
- 3) Dumitrescu, D., Grososiu, A., Dumitrescu, S., Roşu, V., Ristea, G. and Căruţaşu, G. : Solution for eCall Implementation at National Level within the HeERO Project - Romania Case Study, ITS World Congress EU00407 (Oct. 2012).
- 4) 国土交通省 道路運送車両の保安基準の細目を定める告示等の一部改正について、国土交通省告示第 619 号、<http://www.mlit.go.jp/common/000194113.pdf> (Apr. 2012).
- 5) 齊藤忠夫 : ICT で進化する賢いクルマ、OHM, Vol.99, No.8, p.31 (Aug. 2012).

(2012 年 12 月 12 日受付)

齊藤忠夫 (正会員) [saito@jp.toyota-itc.com](mailto:saito@jp.toyota-itc.com)

東京大学名誉教授、トヨタ IT 開発センター CTO、東京大学工学部電子工学科卒業、東京大学教授を経て 2001 年より現職。専門は情報ネットワークとその社会的活用。IFIP 日本代表。元電子情報通信学会会長。IEEE Life Fellow、電子情報通信学会名誉員。