

モビリティの進化とそれを支える技術の動向

Development of Mobility and its Engineering Trends



田中昭二*
Shoji Tanaka

要旨

自動車業界は変革の中にあり、CASE(Connected(コネクテッド), Autonomous(自動運転), Shared & Services(シェアリングとサービス), Electrification(電動化))の各領域の進展が、これまでのクルマの価値観を変えようとしている。

自動運転は交通事故ゼロを目指して、進化している。2021年にはアイズフリーが可能になるレベル3(条件付運転自動化)の自動運転車が市場投入された。また、新たなモビリティサービス提供での前提として自動運転車両の実証実験も行われている。これらの車両は通信で外部と接続・制御されて、さらにそのデータ活用による新サービスが検討されている。ドライバーの状態を検出するDMS(Driver Monitoring System)技術や高精度測位技術によ

る自車位置推定、V2X(Vehicle-to-everything)によるインフラ等との通信技術も自動運転・運転支援を支えている。

一方、自動車の電動化は、地球温暖化への影響が大きいCO₂の排出を低減する有力な手段として期待されている。電動化システムは、バッテリーだけで走行するEV(Electric Vehicle)の普及だけでなく、内燃機関と電動モータを組み合わせたハイブリッド車の市場拡大が見込まれて、さらには水素を燃料とする燃料電池車(Fuel Cell Vehicle: FCV)の実用化も進んでいる。バッテリー自体も改善されてEV車の航続距離やコスト削減に寄与するとみられる。

エンジンの改善・進化も求められており、希薄燃焼化、高圧縮比化や可変圧縮比化など様々な技術によって燃料消費率の改善が図られている。



社会課題の解決を目指すCASE

三菱電機は、環境ビジョン2050の中で、“大気、大地、水を守り、心と技術で未来へつなぐ”を環境宣言として掲げている。また、“持続可能な社会と安心・安全・快適性の両立”を始めとする価値創出への取組みをより一層推進することを経営戦略とし、社会課題の解決を目指して、CASEの変化の各領域で自動車の未来に向けて必要になる技術開発を進めている。

1. ま え が き

自動車業界は“100年に一度とも言われる変革期”を迎えている。自動運転や電動化への大きな流れや新たなモビリティサービスも次々と提案されている。

交通事故の多くはヒューマンエラーによるものとされており、それを補うものとして“運転支援”技術が発展してきた。さらに進化した“自動運転”技術を快適性の機能として位置付けて、オーナーカーへの高度運転支援機能搭載による運転時のハンズオフが可能なお車が発売された。自動運転機能搭載車両は外部との通信によって制御に必要な情報をやり取りしており、また得られたデータを様々なサービスに活用することも可能になっている。一方で、公共交通機関や物流業界でのドライバーの確保や事業継続が大きな社会課題になっている。それを自動運転車両によって解決するモビリティサービス(Mobility as a Service : MaaS)の提供が検討されてきた。

温暖化抑制のためにCO₂排出量の規制は世界的に厳しくなっており、それに伴って自動車の電動化シフトが顕著になっている。一方で電池だけで走行するEVには短い走行距離や長い充電時間、それを補うインフラの貧弱さもあり、内燃機関を搭載したハイブリッド車の継続は必要不可欠なため、内燃機関の改善も依然として重要な課題である。

本稿では、これらの自動車業界を取り巻く状況と、その問題解決に向けたモビリティの進化について、自動運転・運転支援及び環境規制対応の視点から述べる。

2. 自動運転・運転支援

日本での自動運転と運転支援の方向性は、“官民ITS(Intelligent Transport Systems)構想・ロードマップ”の中で情報共有されている。2020年版⁽¹⁾の資料では、日本でのモビリティ分野の将来課題とニーズを踏まえて、2030年頃を目指すべき将来像が示されている。日本は、2030年までに“世界一安全で円滑な道路交通社会”を構築・維持することを目指している。

少子高齢化や都市部への人口集中などの社会構造の変化を背景として、地方部では移動手段を確保する必要性があり、都市部では交通渋滞を軽減するような効率的な移動が求められる。人流・物流事業者は輸送の効率化を高めつつ、このようなニーズに応じるために、自動運転車の活用を含めたモビリティサービスを提供していくことが想定される。

安全運転を実現する観点からは、高齢ドライバーの運転をサポートするための安全運転支援機能を搭載した自家用車が普及すると見込まれる。また、コネクテッドカーがイ

ンフラ等で検知した周辺車両や歩行者の情報を通信で受けることによって安全性が向上する。

自動運転車の実用化に向けては、新たな技術基準の整備が必要になる。グローバルな取組みとして、国際連合欧州経済委員会の自動車基準調査世界フォーラム(WP. 29)は、2019年6月に自動運転のフレームワークドキュメント⁽²⁾を合意し、レベル3(表1)以上の自動運転車の国際基準として優先的に取り組む項目を示した。システムの安全性、フェールセーフ対応、HMI(Human Machine Interface)、対象物・事象検知、走行環境条件、システムの安全性確認手法、サイバーセキュリティ、ソフトウェアアップデート、EDR(Event Data Recorder)とデータ記録装置である。今後、自動運転に係る国際基準が順次制定されていく。日本を含めて各国は、国際基準を自国の基準に適用させていくことになる。

2.1 ハンズオフ対応とアイズオフ対応

2021年初め時点の自動運転の実用化段階は、市販車でハンズオフ対応が増加中で、アイズオフ対応が出始める時期と位置付けられる。

ハンズオフ技術は、走行中にドライバーがハンドルから手を放しても走行を可能にする。一方、アイズオフ技術は、ドライバーが走行中に前方から目を離すことができ、運転とは関係ないセカンドタスクが可能になる。ドライバーがアイズオフできるのは、システムが操縦の主体になるレベル3以上での走行中である。ハンズオフ対応であってもアイズオフ対応でない場合、操縦の主体は常にドライバーなので、レベル2を超えることはない。

表1. 自動走行レベルの定義⁽³⁾

レベル	概要	操縦 ^(注1) の主体
運転者が一部又は全ての動的運転タスクを実行		
レベル0	・運転者が全ての動的運転タスクを実行	運転者
レベル1	・システムが縦方向又は横方向のいずれかの車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行	運転者
レベル2	・システムが縦方向及び横方向両方の車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行	運転者
自動運転システムが(作動時は)全ての動的運転タスクを実行		
レベル3	・システムが全ての動的運転タスクを限定領域において実行 ・作動継続が困難な場合は、システムの介入要求等に適切に応答	システム (作動継続が困難な場合は運転者)
レベル4	・システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を限定領域において実行	システム
レベル5	・システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を無制限に(すなわち、限定領域内ではない)実行	システム

(注1) 認知、予測、判断及び操作を行うこと

2.2 レベル3対応

自動運転システムが作動する前提になる走行環境条件は、ODD(Operational Design Domain)と呼ばれる。レベル3対応車は、ODDとして設計された特定の条件に限定してハンズオフとアイズオフに対応する。レベル3対応の実用化は、ODDが高速道路での渋滞走行時だけに限定されたものから始まる。

レベル3以上の自動運転機能に対応した車両は、システムが操縦の主体になることがあるので、安全性を確保するために冗長性を持たせた設計が必要になる。1か所の故障で機能停止することを防ぐため、外界を監視するセンサ群、駆動系、電源系等を冗長化する。

また、レベル3では、ODD以外ではドライバーが操縦主体になるため、操縦をシステムからドライバーに引き継ぐ機能が必要になる。このため、ドライバー状態を監視する機能(DMS)も必要である。

このようにレベル3は、レベル2に比べて大幅なコストアップになる。レベル3が普及するためには、コストアップを抑えつつ、レベル3として動作可能なODDを広げていくことが必要と考えられる。

2.3 無人自動運転サービス

国内では、無人自動運転サービスの実現に向けて産学官が一体になって取り組んでいる。国土交通省と経済産業省による有識者会議の自動走行ビジネス検討会は、2020年5月に「自動走行の実現に向けた取組報告と方針」Version4.0⁽⁴⁾を発表している。

小型モビリティを用いた無人自動運転サービスは、閉鎖空間(施設の敷地内等)、限定空間(廃線跡・バス高速輸送システム専用区間等)、混在空間(生活道路等)での実用化検討が進められている。ドライバーが乗車しないため、モビリティが単独で対処できない状況では遠隔操作を行う。また、インフラとの協調で、信号情報や道路側に設置されたセンサ情報をV2Xで受信することによって、安全かつ効率的な運行を行う。このように、国内ではインフラ協調型の無人自動運転サービスの実用化検討が進められている。

一方、米国や中国では、自律型の無人自動運転サービスを実用化するための試験が活発化している。米国や中国の都市では、ロボットタクシーによる無人自動運転サービスの試験が行われている。これらの国では、安全係員の乗車なしに、ロボットタクシーが一般客を乗せて公道を走るパイロットプログラムのサービスが始まっている。

2.4 DMS

DMSは、ドライバーの開眼度や顔向き、視線といった

情報から、運転時のドライバーの状態を検出し、脇見・居眠り運転防止支援を行うことができる。高度な安全支援を行うレベル2車両の普及やレベル3車両の市場投入に伴い、DMSを搭載する車両も増えてきている。DMS搭載車両の拡大は法規制とも連動した動きであり、EU(European Union)域内での自動車の型式認証についての要件をまとめた規則であるGSR(General Safety Regulation)⁽⁵⁾では、2022年に眠気検知やドライバーが運転できる状態か否かを判断できるシステムの搭載義務化、2024年にドライバーが交通状況に注意を払っているか否かを検出するシステムの搭載義務化を規定している。

近年はドライバーだけではなく、その他乗員検知を行うシステムを各社が開発しており、その一つが幼児置き去り検知である。2022年にEuro NCAP(European New Car Assessment Programme)の安全性評価項目に盛り込まれることから、カメラやレーダを使ったシステムの開発がなされている。

2.5 高精度ロケータ

自動運転では、車線上の場所までの精度で自車位置を把握する必要があるが、車載カメラやセンサ類で対応できない場合もある。このため、衛星測位の活用が期待されている。従来の全地球航法衛星システム(Global Navigation Satellite System: GNSS)では車線を判定できる精度が得られないが、測位補強情報を用いることで高精度化が可能になる。日本では高精度測位端末(ロケータ)を搭載して準天頂衛星システムのセンチメートル級測位補強サービスを利用できる⁽⁶⁾。

高精度測位は部品メーカーだけではなく、通信キャリアやサードパーティもセンチメートル級の測位サービスを提供しているため、サービスを提供するカバレッジや機能安全の観点でどの程度その精度を保証できるかということが差別化要素になってきている。

2.6 V2X

V2Xは、様々な用途が検討されており、車載センサで検知されない道路上の注意情報等を周囲の車やインフラ等から通知することによって、走行時の安全性を高めることができる。V2Xの通信方式は、ITS用帯域を利用するDSRC(Dedicated Short Range Communication)とセルラ系のC-V2Xがある。C-V2Xは、セルラ網を経由する通信と直接通信モードが規定されている。後者は、5.9GHz帯のITS用帯域を用いて機器間で直接通信するので低遅延であり、DSRCと同様に車車間通信などで緊急性のある情報の送信にも利用できる。

国際的にはDSRCよりもC-V2Xが優勢になってきてお

り、米国の連邦通信委員会は2020年11月に5.9GHz帯の用途からDSRCを外して、Wi-Fi^(注2)とC-V2Xの用途に変更すると発表した。また日本でも総務省が2020年11月に発表した周波数再編アクションプランで、2023年度中に5.9GHz帯をV2X用通信に割り当てるとしている。

(注2) Wi-Fiは、Wi-Fi Allianceの登録商標である。

3. 環境規制対応

3.1 規制動向

地球の重大な環境問題の一つは、温室効果ガスによる温暖化現象である。この対策として世界各国で自動車のCO₂排出量規制を行っている。最も積極的な欧州では、2021年に乗用車1台が排出するCO₂のEU全体の平均値を95g/kmに制限して、2030年には更に削減する罰則を伴う規制を計画している。欧州以外でも規制が強化されている。

世界最大の車市場である中国は、世界トップのEV市場でもある。新エネルギー車(New Energy Vehicle: NEV)と称してPHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle)、EV、FCVを戦略産業として育成し、2035年の新車販売の半分はNEVにするロードマップを描いている。この2035年時点では、NEV以外で新車として販売される車両は全てHEV(Hybrid Electric Vehicle)等の省エネルギー車にする方針で、従来型のガソリン車などは販売が停止される予定である。日本でも2035年までに新車を全てEVやHEV等の電動車に切り替えて、従来型のガソリン車などを販売できなくする方針が出された。同様の動きは欧州でも見られる。欧州では、EVやFCVなどのZEV(Zero Emission Vehicle)を2030年までに数千万台普及させる目標を掲げている。また、内燃機関車の新車販売禁止を計画する国もある。英国では2030年、フランスは2040年までに実施する予定である。そのほか、デンマークやスウェーデン、ノルウェー等の国々も同様の方針を出している。ただし、中国や日本と異なるのは、HEV等の省エネルギー車であっても内燃機関車は禁止するという点である。米国ではカリフォルニア州が2035年までに乗用車の販売を全てZEVにする計画で、他の州も追随すると予想される。

各国ともCO₂を減らすためにEV等の電動車を普及させる計画であるが、バッテリーがまだ高額なことや充電インフラの整備が不十分という背景もあり、補助金なしでEVやPHEV等の電動車を購入しようとするユーザーは少ない。中国では補助金を削減した際にEVの販売が減少したため、補助金を見直した経緯もある。電動車を普及させるためには補助金が必要であることを各国が認識しており、政策に織り込まれている。例えば欧州では、ドイツなど

がEVやPHEVを購入する際に補助金を支給する仕組みを設けている。ノルウェーでは、高速道路を走る際にEVならば通行料金を免除又は減免するという政策が実施されている。米国、例えばカリフォルニア州では米国政府の補助金だけでなく、更に上乗せされて補助金が支給される。そのほか、コロラド州やオレゴン州など10州以上でも同様の仕組みがある。日本でもEVやPHEV、FCVの購入に対して補助金が設定されている。さらにEVに限っては、再生可能エネルギーで充電するという条件を満たす場合は補助金が増額される。このように各国でEVやPHEVの車両購入に対する補助金の制度があるが、一般家庭に設置するEV充電器に補助金を支給する制度も一部ではあるが実施されている。

3.2 市場動向

各国が電動車を規制と補助金で普及させることを計画しており、各自動車メーカーも対応を迫られている。EVはテスラや日産など一部のメーカーに限られていたが、近年ではフォルクスワーゲンやトヨタ自動車など、世界販売がトップクラスのメーカーも相次いでEVを発表している。また、PHEVも増加している。このような背景から、EVとPHEVを併せた年間の生産規模は2030年に数千万台規模に増加すると予測されている。

3.3 技術動向

自動車の電動化はモータだけで駆動するEV及びFCVと、エンジンとモータを併用するHEVに大別される。EVは、バッテリーのコストやサイズに起因する航続距離の短さや充電時間の長さ、充電施設の普及の問題などがある。現在の主流であるリチウムイオンバッテリーは高エネルギー密度化が進展し、コストも減少傾向にある。バッテリーコストの大部分を占めると言われるのがコバルトである。ただ、コストだけではなく採掘での社会問題も背景にあり、各バッテリーメーカーはコバルトの低減又はコバルトフリーのバッテリー開発を進めている。今後、航続距離やコストの問題が改善され、2020年代後半には補助金なしで従来型のガソリン車と競える可能性もある。さらに安全性が高く、高エネルギー密度化も期待される全固体電池の開発も進んでいる。ダイムラーは、電動バスの一部の車種ではあるが、全固体電池を搭載したモデルの販売を開始した。ダイムラー以外でも全固体電池の開発は進められており、2020年代後半には複数の自動車メーカーが全固体電池を搭載した電動車の本格的な量産を始めるという予測もある。充電時間の短縮のため、充電器の高出力化が進んでいる。従来の充電施設は普通充電器が多数であったが、今後は急速充電器の設置も増える見込みである。

FCVは、バッテリーに蓄えられたエネルギーを使用してモータを駆動させるという仕組みはEVと同等である。ただし、EVのような大容量バッテリーではなく容量が少ないバッテリーを搭載している。EVとは異なり燃料電池を搭載し、水素タンクから水素を燃料電池に供給し、発電してバッテリーを充電するシステムである。排出されるのが水だけであるため、EV同様に空気を汚さない。課題は、燃料電池を構成する部品のコストや水素を供給する水素ステーションの整備などが挙げられる。EVの課題である航続距離の短さや充電時間の長さをFCVは解決できるため、主に長距離大型トラックなどEV化が難しい車両で検討が進められている。

エンジンを主動力に使用し、発進時のトルクアシストと減速時の発電をモータで行う方式がMild-HEVである。この方式は、追加するモータ、制御装置、バッテリーが比較的小型であるため、大規模な機器レイアウトの変更がなく実現可能である。特に欧州の主要カーメーカーを中心に低電圧で安全対策コストが安い48Vのバッテリーを使用したMild-HEV方式の採用が拡大している。エンジンとモータをベルトで連結する形式やエンジンと変速機の間に薄型モータを挟み込んで直結する形式の採用が拡大している。

これに対して、エンジンが停止した状態で電動走行を可能にした方式がFull-HEVである。また、車外からバッテリー充電を可能にしたものがPHEVである。PHEVは電動走行が可能な近距離使用だけに限定すれば燃料を使わないので環境性能が高く、航続距離は燃料によるエンジン走行なので長い。Full-HEVやPHEVでは電動走行と発電を別々のモータで行うと、更なる低燃費が実現できる。

モータやそれを制御するインバータ、減速させるギヤが電動車には必須になるが、これらも小型軽量化が求められている。これらの部品を統合して小型軽量化を実現した機電一体ユニットの普及が進んでいる。インバータにはパワー半導体が搭載されており、現在はシリコン(Si)が主流である。今後は、インバータの更なる小型高効率化を狙ってシリコンカーバイド(SiC)を採用するメーカーが増加す

ると予想されている。

自動車のパワートレインは電動化の方向にあるものの依然としてガソリンやディーゼル車の低燃費化技術の進化も求められている。車両の軽量化やタイヤの転がり抵抗低減に加えて、エンジンの高圧縮比化による熱効率改善、希薄燃焼による熱損失低減が進められている。また、電動パワーステアリングの適用による補機損失の削減、変速機が多段化や無段化技術で車両の燃費向上が実現されている。

4. む す び

自動運転・運転支援及び環境規制対応の観点からモビリティの進化とそれを支える技術の動向を述べ、大きく変化する自動車を取り巻く状況を述べた。自動車は今後、安全性・利便性を高めると同時に、地球温暖化を抑える取り組みが求められている。

当社はそれらニーズを捉えて、人と環境に優しい快適なモビリティ社会を支える先進技術によって、全ての人が移動で喜びを得られて豊かに成長する次世代社会の実現に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議：官民ITS構想・ロードマップ2020 (2020)
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20200715/2020_roadmap.pdf
- (2) United Nations : Economic Commission for Europe : Revised Framework document on automated/autonomous vehicles, ECE/TRANS/WP.29/2019/34/Rev.1 (2019)
<https://unece.org/DAM/trans/doc/2019/wp29/ECE-TRANS-WP29-2019-34-rev.1e.pdf>
- (3) 公益社団法人 自動車技術会：自動車用運転自動化システムのレベル分類及び定義, JASOテクニカルペーパー, JASO TP 18004 (2018)
- (4) 経済産業省：自動走行ビジネス検討会報告書「自動走行の実現に向けた取組報告と方針」Version4.0 (2020)
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/jido_soko/20200512_report.html
- (5) Regulation (EU)2019/2144 of the European Parliament and of the Council, Official Journal of the European Union, L 325/1 (2019)
- (6) 廣川 類, ほか：準天頂衛星システムのセンチメートル級測位補強サービスが拓く高精度測位社会, 三菱電機技報, 92, No.2, 105~108 (2018)