

自動運転の実像

横山利夫*

近年、カメラやミリ波レーダー、レーザーレーダー等の車載センサーを利用した安全運転支援システムが続々と実用化されてきている。また、Google、Appleおよびタクシー配車サービスのUberといったIT業界による自動運転技術の開発も始まっている。自動運転実用化に向けては、交通事故削減、交通流最適化による渋滞解消およびCO₂削減、高齢者の移動の自由の確保など、さまざまな期待が高まってきている。その一方で、自動運転技術を実用化するためには、技術開発はもちろんのこと、社会受容性や自動走行時のシステムとドライバーの役割分担、責任区分など、現行の道路交通法や車両構造法に関する国際条約との整合性の検討が必要となる。本稿では、自動運転実用化にむけた現在の取り組みおよび今後の展望について述べる。

The Realities of Autonomous Driving

Toshio YOKOYAMA*

Recent years have seen the commercialization of a succession of systems for supporting safe driving, utilizing onboard sensing technologies such as cameras, millimeter wave radar, laser radar and more. IT companies such as Google, Apple and taxi dispatch service Uber have begun developing autonomous driving technologies. The prospect of autonomous driving has given rise to expectations in a variety of areas, including traffic accident reduction, traffic congestion elimination and CO₂ emissions reduction through traffic volume optimization, as well as freedom of movement for seniors. However, the commercialization of autonomous driving technologies is dependent not only on technological development, but also on careful consideration regarding societal acceptance, role-sharing between system and driver during autonomous driving, classifications of responsibilities, and consistency between relevant international treaties, current traffic laws and laws pertaining to vehicle structure. In this report, the author discusses current efforts aimed at the commercialization of autonomous driving, and developments moving toward the future.

1. はじめに

自動運転技術の開発は、1990年代から日本、米国、欧州で高速道路での走行を対象として始まった。日本においては、1996年磁気ネイルを使用した自動走行および路車間通信、車車間通信の実験がAHS (Ad-

vanced Cruise-Assist Highway Systems) 上信越道小諸実験として実施されている。米国では、1997年磁気マーカーを用いた自動走行の実験がCalifornia州San Diegoの高速道路で実施されている。欧州では、1994年赤外線マーカーとカメラを使用した連結走行の実験がCHAUFÉURプロジェクトとして実施されている¹⁾。2000年代初頭には、周囲の車の流れに沿った走行を支援するACC (Adaptive Cruise Control) システム、衝突の被害を軽減するCMBS (Collision Mitigation Brake System) といったクルマの縦方向の運転支援システムの実用化が始まり、

*株式会社本田技術研究所四輪R&Dセンター上席研究員
Senior Chief Engineer, Automobile R&D Center,
Honda R&D Co., Ltd.

原稿受付日 2015年6月7日
掲載決定日 2015年7月15日

同時にLKAS (Lane Keep Assist System) といったクルマの横方向の運転支援システムの実用化も始まった。20世紀の自動車が、ドライバーが車を運転する(車を制御する)という前提のもとで発展してきたのに対して、これらのシステムは、あくまでドライバーの運転を支援する役割ではあるものの、クルマとドライバーの関係が新たな段階に移行したと考えることができる。一方、2004年および2005年にはDARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) 主催による、California州郊外の砂漠を舞台とした制限時間内に約240kmを無人で自動走行するグランドチャレンジが実施された。また、2007年には、California州の空軍基地跡に模擬市街地を設定し、有人運転車との混走状態で約100kmを無人で自動走行するアーバンチャレンジが実施された。これらのチャレンジには、米国のMIT (Massachusetts Institute of Technology)、CMU (Carnegie Mellon University)、Stanford Universityなどの大学が参加し、技術を競った。参加者の多くはRobotics研究者であり、Robotの自律走行に必要な自己位置同定、環境認識、行動計画等の技術を車の自動走行に応用し、自動運転の可能性を実証してみせた。DARPAチャレンジに参加した研究者が、その後Googleに移籍し、2012年のGoogle Self Driving Carの発表につながっていく。

Fig.1に、DARPAアーバンチャレンジ(2007年)に優勝したCMUの車両を示す。

このように自動運転の歴史を整理することにより、2000年代初頭に実用化が始まった安全運転支援システムの進化と、Roboticsの分野で研究されていた自律走行の技術が融合して、現在の自動運転の技術開発が推進されていると考えることができる。



Fig. 1 DARPAアーバンチャレンジに優勝したCMUの車両

2. 世の中の自動運転技術への期待

警察庁およびITARDA (Institute for Traffic Accident Research and Data Analysis) の報告によると、日本における2012年の交通事故死者数は5,237人であり(米国との比較のため、ここでは30日以内死者数を掲載している)、人身事故件数は629,021件である²⁾。また、2013年の交通事故死者の52.7%が65歳以上となっている³⁾。Fig.2に日本における交通事故の実態(交通事故発生件数、負傷者数、死者数)に関する図を示す。

内閣府による調査報告書では、09年の交通事故による経済損失試算結果では6.3兆円と報告されている⁴⁾。経済産業省の情報経済革新戦略によると、交通渋滞による時間損失は年間32億時間におよび、9兆円の経済損失に相当すると報告されている⁵⁾。同様に、アメリカにおける2012年の交通事故死者数は33,561人であり、人身事故件数は、1,664,800件である。4歳から34歳までの死亡原因の1位が交通事故によるものであり、交通渋滞による時間損失は年間37億時間、780億ドルの経済損失に相当すると報告されている⁶⁾。

このような交通事故や交通渋滞に関する課題解決の手段として、高度運転支援システムや自動運転の技術が期待されている。また、日本を筆頭に世界的な高齢社会が訪れてきている。2013年の日本の総人口は、1億3000万人弱で、3年連続で減少しており65歳以上の割合が25.1%と初めて25%を超えた。特に地方在住の高齢者に対して、移動の自由をどう確保していくのか、いわゆるMobility Poor解決の手段としても自動運転技術への期待が高まってきている。

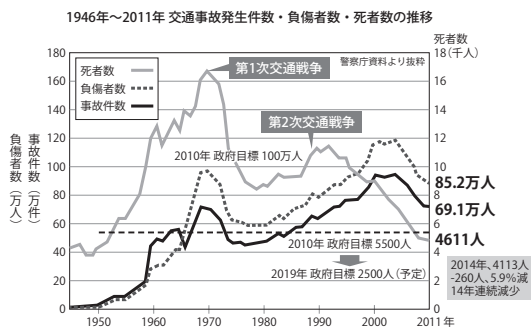


Fig. 2 日本における交通事故の実態 (警察庁資料よりホンダが作成)

3. 現在の国際道路交通協約

1949年にジュネーブ道路交通条約が締結された。日本、米国等の国が加盟しており、

第8条1項には、

● 運行される車両には運転手がいなければならない。
第8条5項には、

● 運転者は、常に車両を適正に操縦しなければならない。

第10条には、

● 車両の運転者は、常に車両の速度を制御し、適切かつ慎重な方法で運転しなければならない。

と定められている。

また、1968年には、ウィーン道路交通条約が締結され、欧州諸国等が加盟している（日、米は非加盟）。

第8条1項には、

● あらゆる走行中の車両には、運転手がいなければならない。

第8条5項には、

● 運転者は、常に車両を制御しなければならない。

第13条1項には、

● 車両のあらゆる運転者は、いかなる状況においても、当然かつ適切な注意をして、運転者に必要であるすべての操作を実行する立場にいつもいることができるよう車両を制御下におかななければならない。

第13条5項には、

● 運転者は、先行車両が突然減速あるいは停止したとしても衝突を避けることができるよう、前方車両と十分な車間距離を保たなければならない。

と定められている。

また、ウィーン道路交通条約は2014年に改訂され、第8条5項へ下記の記述が追加された。

- (a) 車両の運転方法に影響する車両システムは、その構造、装着及び使用の条件が、その車両に装着又は使用される可能性のある車両、装置、部品に関する国際法に準拠している場合は、本項及び第13条第1項に適合しているものとみなす。
- (b) 車両の運転方法に影響する車両システムであって、構造、装着及び使用の条件が、前述の国際法に準拠していないものは、そのシステムに対し運転者が操作介入又はスイッチオフできる場合は、本項及び第13条1項に適合しているものとみなす。

この改訂は、2015年末から2016年には施行される予定である。なお、ジュネーブ道路交通条約に関しても、今後同様の改訂が実施される予定である⁷⁾。

これらの条文にあるように、現在の国際道路交通協約では、基本的には自動車は運転者の制御下であることが必要条件となっている。2014年の改訂内容に関しても、どのような高度運転支援システムおよび自動運転システムまで包含しているのか、今後の具体的な議論の中で明らかになると考えられる。また、日本の現在の道路交通法では、「車両等の運転者は、当該車両などのハンドル、ブレーキその他の装置を確実に操作し、かつ道路、交通及び当該車両等の状況に応じ、他人に危害を及ぼさないような速度と方法で運転しなければならない」とされている。

4. 自動運転の定義

自動運転システムの自動化レベルの定義がいくつかの研究機関から提案されている。NHTSA (US National Highway Traffic Safety Administration) やBAST (Germany Federal Highway Research Institute) の定義、NHTSAの自動化レベル定義を細分化したSAE (US Society of Automotive Engineers) の定義がよく引用されている⁸⁾。ここでは、SAEの自動化レベルの定義を紹介する (Table 1)。SAEの定義は、各レベルについて、その名称、定義、運転主体、周辺監視、運転のバックアップ、システム作動域について記述されている。レベル0からレベル2までは、ドライバーが走路環境をモニターするとされている。レベル0は自動化されていない状態をさしており、レベル1は運転支援であり、「運転環境情報を用い操舵、又は加減速のうち1つの運転支援を実行する。」と定義されている。レベル2は、部分的な自動化であり、「運転環境情報を用い操舵、加減速等の複数の運転支援を実行する。」と定義されている。

レベル3からレベル5は、自動運転システムが走路環境をモニターするとされている。レベル3は条件付き自動化であり、「システムからの介入要求時には、人間による適切な対応を期待し、自動運転システムが、全ての動的運転を実行する」と定義されている。レベル4は、高度な自動化であり「自動運転システムが、全ての運転作業を実行しシステムからの介入要請時にも、人間による適切な対応が期待出来ない場合もありうる」と定義されている。レベル5は、完全自動化であり、「人間の運転者が運転

Table 1 自動運転の自動化レベルの定義 (SAE International)

Level	SAE 名称	定義	運転主体	周辺監視	運転の Back Up	システムの作動域	BASt Level	NHTSA Level
Human driver monitors the driving environment								
0	自動化なし	警報や介入システムによるサポートはあるものの運転者が、すべての状況下で車を運転	運転者	運転者	運転者	—	Driver Only	0
1	運転支援	運転環境情報を用い操舵、または加減速のうち一つの運転支援を実行 その他の運転に必要な作業は、運転者が行う	運転者システム	運転者	運転者	部分的	Assisted	1
2	部分的自動化	運転環境情報を用い操舵、加減速等の複数の運転支援を実行 その他の運転に必要な作業は、運転者が行う	システム	運転者	運転者	部分的	Partially Automated	2
Automated driving system monitors the driving environment								
3	条件付き自動化	システムからの介入要求時には、人間による適切な対応を期待し、自動運転システムが、全ての動的運転作業を実行	システム	システム	運転者	部分的	Highly Automated	3
4	高度な自動化	自動運転システムが、全ての動的運転作業を実行システムからの介入要求時にも、人間による適切な対応が期待できない場合もありうる	システム	システム	システム	部分的	Fully Automated	3/4
5	完全自動化	人間の運転者が運転可能なあらゆる走路環境下で自動運転システムが、全ての動的運転作業を実行	システム	システム	システム	全域	—	

可能なあらゆる走路環境下で、自動運転システムが、全ての運転作業を実行する」と定義されている。

前述の国際道路交通協約の内容とSAEの自動化レベルの定義を照らし合わせてみると、レベル2の自動化レベルまでは、現在の協約範囲内であることが分かる。その一方で、レベル3の自動化レベルに関しては現在の協約範囲内かどうかの慎重な検討が必要であり、レベル4以降に関しては、明らかに現在の協約の範囲外の内容であり、新たな協約を検討する必要があると考えられる。

2020年前後には、日、米、欧の自動車メーカーから自動化レベル2および3のシステムが実用化される予定であり、これらのシステムとドライバーの役割分担、責任区分に関して、具体的なユースケースに基づいた速やかな検討が必要となる。

このような状況のもとで、国際的な車両構造法を審議、策定する自動車基準調和世界フォーラム(WP29)の下に設置された「自動運転分科会」(日本および英国の共同議長)において、この分科会での具体的な検討項目の策定およびWP29の専門分科会であるGRRF(ブレーキと走行装置を担当)へのガイダンスが2015年3月に作成された。

WP29は、安全で環境性能の高い自動車を容易に普及させる観点から、自動車の安全・環境基準を国際的に調和することや、政府による自動車の認証の国際的な相互承認を推進することを目的とし、国連欧州経済委員会(UN/ECE)の下に設置され、分科会で、技術的、専門的な検討を行い、検討を経た基準案の審議、採決を行っている。

WP29には、欧州各国および日本、米国、カナダなどの政府機関や、国際自動車工業会(OICA)、国際二輪自動車工業会(IMMA)、国際標準化機構(ISO)、欧州自動車部品工業会(CLEPA)、アメリカ自動車技術会(SAE)も参加している。

今後、「自動運転分科会」において、自動運転の定義、WP1で担当する道路交通法との整合性検討、自動運転技術の国際基準策定に必要な検討項目の明確化、セキュリティガイドラインの策定等が推進される予定である。また、前述のガイダンスに沿った形で、GRRFの下に「自動操舵専門家会議」(日本とドイツの共同議長)が2015年4月に設置された。この自動操舵専門家会議では、今後UN Regulation No.79で規定されているACSF(Automatically Commanded Steering Function)の作動範囲:時速10km以下についての見直しを推進する予定である。見直しに当たっては、具体的なユースケースを設定し、これらのシステムの安全性確保のための基準化項目であるドライバーモニタリング、ドライバーによるシステムに対するオーバーライド、システムからドライバーへの運転行動の受け渡し(ハンドオーバー)、故障診断等について検討する予定である。

以上、自動運転の定義について、主に国際基準調和の観点から説明してきたが、現状どのようなシステムが自動運転なのか、どのようなシステムが安全運転支援システムなのか、ユーザー視点での考え方が整理されていない。同様の機能を有しているシステムが、各自動車会社の解釈により自動運転に分類されていたり、運転支援システムに分類されていたり、

りする。今後、ユーザーの混乱を引き起こさないためにも、自動車業界としての統一見解をすみやかに策定する必要がある。

5. 高度運転支援システムの現状

本田技研工業(株)は、前述のACC、CMBS、LKASをより進化させ、さまざまな新機能を搭載した先進安全運転支援システム“Honda SENSING”を2014年に発表した。

この内容を例にとり、現在の高度運転支援システムの現状について説明する。

Honda SENSINGは、ミリ波レーダーやカメラ等の車載センサーによる走路環境情報を基に運転支援や事故回避をサポートする先進安全運転支援システムである。

前方安全については、回避安全として、

- 新たに歩行者検知機能を備えたCMBS
- 誤発進抑制機能
- 路外逸脱抑制機能
- 歩行者事故軽減ステアリング

未然防止機能として、

- 新たに渋滞時追従機能を備えたACC
- LKAS
- 先行車発進お知らせ機能
- 標識認識機能

を備えている。

また、側方安全については、

- ブラインドスポットインフォメーション
- レーンウォッチ

後方安全については、

- マルチビューカメラシステム
- リアワイドカメラ
- パーキングアシスト
- 後退出庫サポート

を備えている。

前方安全の各システムの基盤である走路環境認識は、77GHz電子スキャンミリ波レーダーと単眼カラーカメラのSensor Fusionで構成されている。複雑なシーンに対応するために、カメラで対象物体の属性、大きさを認識し、高速走行時に対応可能なレーダーで対象物体の位置、速度を認識している⁹⁾。

従来のシステムに比べ、レーダーの検知範囲の拡大、カメラの解像度をハイビジョン並みに高め計算処理能力を上げることにより、認識性能を従来比のおよそ4倍に高めている。

なお、前方安全・側方安全・後方安全技術を含んだ“Honda SENSING”システムは、新型Odyssey、新型Legendから適用を開始しており、今後すべての新型車に搭載予定である。

6. 自動運転技術の現状

Fig.3で、自動運転システムを実現するための主要技術項目例を示している。

6-1 自車位置認識技術

自車位置認識技術 (Localization) に関しては、従来からナビゲーションシステム用の自車位置認識の技術が実用化されてきたが、自動運転を実現するためにはより高精度な自車位置認識が必要となる¹⁰⁾。この自車位置認識技術は、出発地点から目的地までのルートを生成した際に、予定ルート上のどの地点に現在車が位置しているかを認識するマクロ的な自車位置認識と、複数の車線を有している道路を走行する際のレーン認識や、交差点内での直線レーンか左右折用のレーンかを認識するなどのミクロ的な自車位置認識技術が必要となる。

1) Global Navigation Satellite System (GNSS)

GNSS方式は、人工衛星からの情報を利用した測位システムである。GPS (米国)、GLONASS (ロシア)、ガリレオ (欧州) などの人工衛星が利用可能であり、日本では、QZSS (準天頂衛星システム) が実用化に向けて準備中である。GNSS方式は、比較的広域で測位可能である一方、地下、トンネルなどでは使用できない。受信可能な衛星数や衛星の高度の影響も受けるが、RTK (Real Time Kinematic) -GPS、Differential GPSなどの補正情報を用いて測位精度向上を図る手法が検討されている。その一方で、高層ビルの谷間では、ビル壁の反射波によるマルチパスの影響を受け測位誤差が大きくなるという課題もある。

2) 慣性航法

地下やトンネルなどGNSSが使用できない環境での測位を補完する手法が慣性航法であり、ジャイロ、加速度計、車輪速センサーを用いて自車の相対的な移動距離を推測する技術である。この手法は移動距離を積分によって求めるため、時間経過と共に誤差が累積し測位精度が低下する。一定周期で絶対位置の分かる手法で積算した移動誤差をリセットする必要がある。

3) Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)

SLAM方式は、周囲の環境特徴から自車位置を推

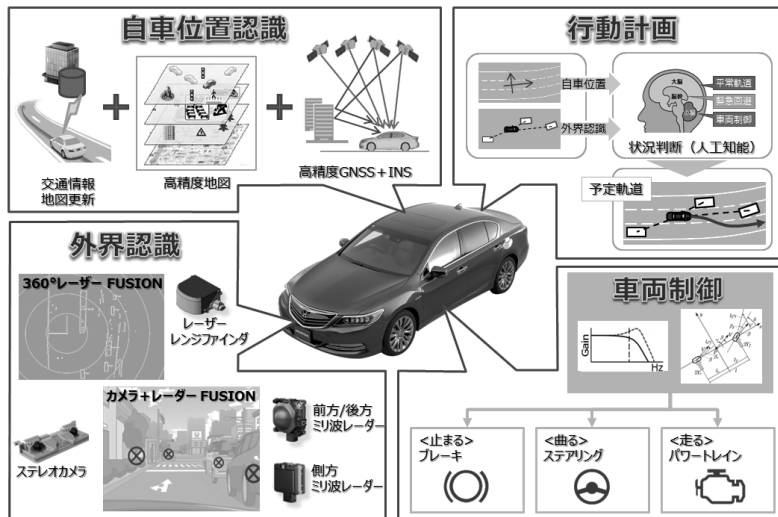


Fig. 3 自動運転システムを実現するための主要技術項目例

定する技術であり、レーザーレーダーを利用した方式やステレオカメラを利用した方式がある。GNSSが使用できない環境でも使用が可能であり、比較的高精度な測位および向きが測定可能である。ただし海上など周囲に位置を特定できる物標が無い場所では使用できない。また、位置の特定には事前に特徴量を記録した3D地図情報が必要である。これらの3D地図情報は自車のセンサーで取得することが望ましいが、全ての道路の物標情報を作成することは不可能であり、民間または官民連携によるDynamic Mapの作成および運営が必要となる。

使用するセンサーや取り付け場所によっても、必要な情報が異なる可能性があり、第三者により作成された3D地図がそのまま利用可能か、今後検討を行う必要がある。

6-2 外界認識技術

外界認識技術は、高度運転支援システムで既に実用化されているさまざまな検出原理を用いたセンサー類を複合的に活用することにより、自車の周囲360度を必要な距離まで認識する技術である。高速道路上での外界認識を例にとると、前方については、前方走行車両、道路の白線認識、障害物（駐車車両や落下物等）、工事区間等の認識である。

後側方の認識については、並走する自動車や二輪車の存在の有無や、後方からの接近の有無を認識する必要がある。後方の認識については、後方車との車間距離が適切かどうかの認識が必要となる。一般道の場合は、自転車や歩行者の存在や、標識、交差

点の信号状態の認識等、高速道路上の外界認識とは比べものにならないくらい複雑な走路環境の認識が必要となる。

現在外界認識技術は、大きく分けて二つの形式が存在する。①撮像素子を用い、単眼や複眼のカメラによる検知方式と画像処理技術を組み合わせた対象物認識技術、②ミリ波やレーザーを用いて対象物を測距するレーダー検知方式と物標同定技術を組み合わせた対象物認識技術である。これらのセンサーは、検知方式の原理的な違いにより、検知性能に差があることが知られている。撮像素子では対象物の分離性能や属性判別などの認識に優れ、十分な照度や見通しの良さが得られる場合は、非常に高い性能を発揮する。しかしパッシブセンサーのため外部環境の影響を受けやすく、環境条件の悪化（照度の低下、霧、雨、逆光など）に伴い画像解析に必要なコントラストや色情報などが欠落し認識性能も低下する。また、素子の解像度や感度はレンズ特性の影響も受け、特に遠方の情報などが取得しづらい。一方、レーダー方式を用いた外界認識技術は、ミリ波とレーザー方式が主流であり、すでに多くの運転支援システムに採用されている。ミリ波レーダー方式は遠距離精度や環境変化（夜間、雨、霧、逆光等）に強いとされるが、物体の分離性能はレーザーレーダーのほうが優れている。しかし、レーザーは環境条件（雨、霧、太陽光等）の影響を受けやすく、遠距離の対象物には十分な性能を発揮できない場合がある。このような各センサーの特徴を良く理解したうえで、「耐環境

性能」「検知距離性能」「属性判別性能」「分離性能」とさまざまな検知対象を考慮したSensor Fusion技術で自動走行用の外界認識を実現する必要がある。同時に現在のSensor Fusion 技術による外界認識では、走行条件によっては認識性能に限界があるため、性能限界を確実に検知し行動計画に反映させる必要がある。

6-3 行動計画

これらの自車位置認識結果および外界認識結果を基に自動走行の行動計画を策定することになる。自車の位置や向き、速度と、他車の位置や向き、速度およびその他の走路環境上の状態(障害物の有無等)を総合的に認知・判断して平常軌道の生成や、緊急回避軌道の生成等の行動計画を策定する。

1) 行動計画の役割

人の運転行動は、「認知」「判断」「操作」のプロセスで実現されている。運転支援技術は、「認知」と「操作」に対して、ドライバーの見落としや操作ミスが引き起こすリスクを低減し、安全性を向上させるものとして急速に普及してきた。しかし、運転支援機能を使用中であっても、「判断」に関わる部分は、ドライバーが責任を持って運転操作する必要がある。

一方、自動運転技術は、安全な状態を維持しながら、目的地に到達するという要求が課せられる。常にリスクから遠ざかるような行動だけでは目的地に到達することができないため、自ら一定のリスクを

覚悟した行動を起こすことが必要となる。具体的には、目的地に向かうための車線変更動作が一定のリスク以下(十分に安全)であると判断することで、はじめてその車線変更動作を実行に移すことが可能となる。このように、これまで運転手に任されていた「判断」を自動化したものが行動計画である。

2) 行動計画への入出力

行動計画という技術領域は、明確な定義が存在していない。行動計画の入出力は、いずれも演算装置の内部状態に過ぎず、物理的な現実世界に直接関わらない。設計自由度が高いため、最も独自性が表れる領域であり、自動運転技術の競争領域の一つとされている。

一般的な行動計画は、センサーデバイスによる外界認識情報、地図や交通ルールなどの知識情報を入力として、コンピューター上に仮想的な環境モデルを構築する。この環境モデルにおいて将来に渡る望ましい行動を計画し、車両の走行ラインと速度の時系列軌道を生じ出力する。これが車両制御部に渡され、各アクチュエーターに対する指令値に変換されることで、車両の運動制御を行う (Fig.4)。

3) 行動計画の階層性

広義の行動計画では、Table 2のような階層性が考えられる。

- 「手順生成」は、最も時定数が大きく、ゴールに到達するまでに辿るべきルートを計画する。すでに市販されているカーナビ機能に相当する。

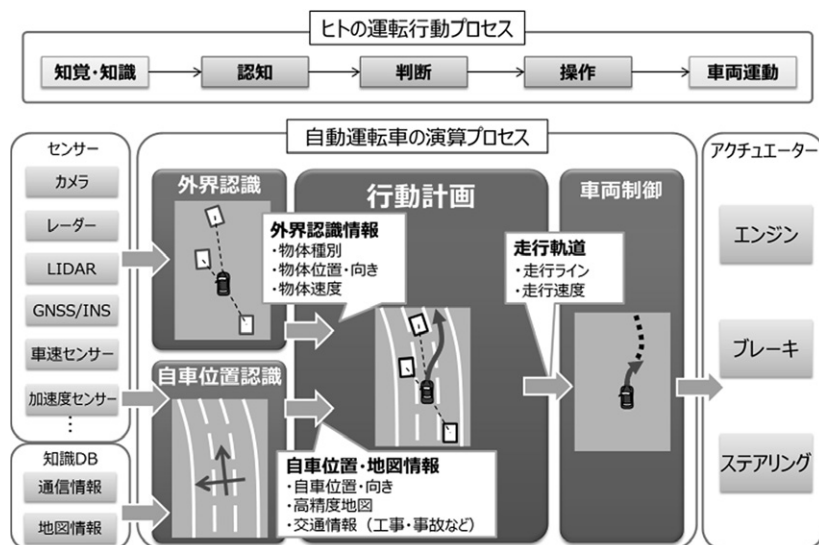


Fig. 4 自動運転の演算プロセス

Table 2 行動計画の階層性

機能	一般的な出力	自動運転の出力
手順生成	ゴールへの到達手順	道路地図上のルート推奨車線
行動選択	シンボリック行動(言語表現可能)	車線維持/車線変更、追従/追い越しなど
目標軌道生成	作業空間軌道(時系列数値)	走行ライン・速度の時系列軌道
運動制御	アクチュエーターへの指令値	エンジントルク ブレーキ圧 ステアリング角

- 「行動選択」は、ルートに沿った走行を実現するために、今何をすべきかを決定する。前走車の追い越しなどの能動的な行動の実行可否判断もここで行われる。この部分は運転支援には含まれておらず、自動運転技術に特有なものである。
- 「目標軌道生成」は、決定された行動を、どういふ挙動で実現するかを決定する。ACCやLKASでは、縦横それぞれ独立であるが、自動運転では、縦横を協調させた障害物回避などが求められる。
- 「運動制御」は、この中で最も時定数が小さく、車両の目標軌道に追従するために、各アクチュエーターへの指令値を出力する。運転支援機能では、AEB (Autonomous Emergency Brake)、ABS (Anti-lock Brake System)、VSA (Vehicle Stability Control) などがこれに相当する。これらの運転支援機能は、緊急時のみ発動する支援機能であるため、自動運転では、それらが必要となる緊急状態に至らないよう行動計画すべきである。

4) ロボティクス技術の応用

Table 2に挙げた機能は、古くからロボティクスの分野で研究されてきた課題であり、ロボティクス技術を自動運転車に応用することが期待されている。実際にDARPAグランドチャレンジ・アーバンチャレンジでは、大学のロボティクス研究チームが好成績を残している。また、自動運転技術を開発している各企業も、続々とロボティクス研究機関との提携を表明しており、競争が激化している^{11)~14)}。

Hondaでも、人間型二足歩行ロボットASIMOに代表されるロボティクス研究で培ってきた技術を応用して、自動運転車の実現を目指している。その一例として、歩行中のロボットが外乱を受けても素早い動きで安定化して、目的地に到達する機能は、車両挙動の安定化と目的地への到達を両立させる機能として、自動車にも応用可能と考えられる¹⁵⁾。

6-4 車両制御システム

車両制御システムは、生成された予定軌道上を予

定された速度で通過するために、走る、曲がる、止まる、の車両統合制御を、従来の機械的な連結から電気的な連結に変更したX by Wireシステムを用いて実行する。

また、車両制御システムの設計にあたっては、実用上十分な信頼性を確保するためのシステム設計や電子制御システムとしての十分な機能安全性設計が必要となる。従来の安全運転支援システムでは、ドライバーがDriving Taskを主体的に実行する前提で設計されているため、システム故障時のSafe Actionのみ考慮されていたが、自動運転システムにおいては、システムの性能限界をこえた場合(システムの故障ではない)の危険を回避する際の安全分析や、システムが故障した場合でも一定時間安全に動作を継続させるメカニズムの検討が、今後必要となってくる。

セキュリティ対策についても、車載システムに対する、たとえば故障診断用カプラーからの不正アクセスに対するセキュリティに加え、車と車や、車と路側インフラを無線通信を用いて情報交換を行うV2Xシステムを活用し外部のデータベースから自動走行に必要なさまざまな情報を入手する必要があるため、無線通信使用時のセキュリティ対策も必要となってくる。

6-5 Human Machine Interface

自動化レベルの3および4のシステムにおいては、ドライバーとシステムの間で確実なDriving Taskの受け渡しが必要なため、HMI (Human Machine Interface) 機能が大変重要となる。まずは、高速道路上の自動化レベル3相当の自動運転システムの実用化が想定されており(Fig.5)^{16)~18)}、下記に、HMIの基本的な考え方を紹介する。

1) 自動運転の開始

自動運転を開始するときはドライバーの自動運転開始の意思を自動運転システムに伝えることで開始されなければならない。

2) 自動運転システム状態の表示

自動運転システムはそのシステム状態(自動運転中、手動運転中など)をドライバーへ表示しなければならない。

3) ドライバーによる自動運転への介入(オーバーライド)

いつでもドライバーは自動運転に介入し、自動運転を中止させ、自動車運転の権限を取り戻すことができる。

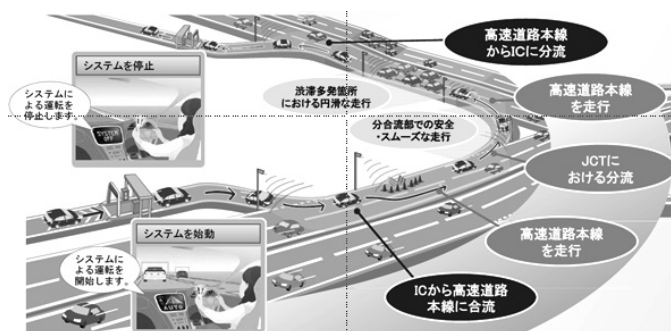


Fig.5 高速道路自動運転検討例（オートパイロット検討会資料より抜粋）

4) 自動運転の終了

自動運転を終了するときはドライバーの自動運転終了の意思を自動運転システムに伝えることで終了されなければならない。

5) 運転権限のドライバーへの移譲

自動運転システムの性能限界や自動運転システム異常時のために自動運転を継続することができなくなったときは、安全に運転権限をドライバーへ移譲しなければならない。

6) 下位運転支援レベルへの移行

自動運転システムの性能限界のために運転支援レベルを下位（たとえば自動化レベル3→2）へ移行する状況が想定されるときは、ドライバー自身が了解してから、システムは運転支援レベルを下位へ移行させる必要がある。

7) 上位運転支援レベルへの移行

自動運転システムが性能限界から復帰し運転支援レベルを上位へ移行するときは、ドライバーが上位への移行の意思を自動運転システムに伝えることで移行されなければならない。

8) 他の道路利用者への表示

自動運転中は、他の道路利用者がその車両が自動運転中であることがわかるように視覚的な表示によって自動運転中であることを示す必要がある。

以上、HMIに関する基本設計例を説明したが、システムからドライバーにDriving Taskを委譲する時間の設定や、ドライバーに安全にDriving Taskを委譲できなかった場合の、クルマを安全に停止させる手順や、停止場所の確保など今後検討が必要な課題が存在している。また、これらのHMIを実用化するにあたっては、十分な被験者テストによる検証が必要であり、かつ地域や自動車会社によって別々に設計することはユーザーの混乱を招くため、国際的

な基準作りとそれに沿った各国法規の整備が必須となってくる。

7. まとめ

6章までの説明で、自動運転システムの実現にあたっては、技術的な課題もさることながら、それ以外にもさまざまな課題があることが理解していただけたと思う。自動運転実現に向けた技術的課題の解決に関しては、各社の競争領域として自車位置認識、外界認識、行動計画、車両制御等が考えられる。その一方で、これらの課題を解決するためのインフラとしてDynamic Mapの整備が必要となるが、個社の取り組みでは限界があり、協調領域として自動車業界のみならず通信業界や関係省庁も含めた対応が必要になる。同様に協調領域としてV2XやHMI、Security、機能実証実験のための場所の準備などの取り組みも必要となる。

自動運転車実現に向けた法的、社会的な取り組みとしては、現行の国際道路協約との整合、特にドライバーとシステムとの役割分担、責任区分の明確化が必要となる。また、広く普及させるためには欧米と協調した国際標準化活動や、社会への啓発活動、混合交通下での他の交通参加者への受容性検証等もあわせて推進する必要がある¹⁹⁾。

8. おわりに

自動運転システムを搭載した車の登場により将来の交通社会はどのように変わっていくのであろうか？筆者は、自動運転車による目指す社会を、エリア別および実現時期に関して下記のように考える。

今後日本をはじめとして、都市部への人口の集中が予想されている。その反動として地方においては過疎化が進行し、公共交通機関による個人の自由な

移動が困難になると予想されている。

- (1) 大都市部や都市周辺においては、過密環境における交通事故や交通渋滞、運転時の不安を削減し、クルマ利用の利便性向上を目指す。
- (2) 都市間交通においては、長時間運転時の運転負荷軽減と共に、交通流や物流の効率化をはかりクルマ利用の魅力を向上させる。
- (3) 地方の市町村では、人口減少や高齢化によって移動が困難となった人々に、自由な移動の手段を提供する。

これらの実現には、Step by Stepのアプローチで着実に実用化する必要があり、おおまかな実現時期を下記に述べる。

● 黎明期

2020年前後には、高速道路上での自動運転が可能になると考えられる。高度安全運転支援システムの普及も含め、交通事故の無い社会に向け大きく前進するのではないだろうか？

● 普及期

2030年代には、一般道の自動運転も可能になり自動運転システムを搭載した車の普及がかなり進むと考えられる。高速道路や一般道である比率の車が自動運転システムを搭載することにより、交通流制御の可能性が出てくると考えられ、より安全な交通社会になると共に、渋滞が解消されたり、移動時の定時性が向上すると考える。同時に移動に係る資源の削減効果も期待される。

● 成熟期

2040、2050年代には、自動運転システム搭載車が中心の交通社会となり、安全、安心、快適で省資源な交通社会が実現できると共に、いつでも誰でもどこへでも自由な移動が実現すると考える。

参考文献

- 1) 津川定之「自動運転システムの展望」『IATSS Review』Vol.37, No.3, pp.199-207、2013年
- 2) ITARDA「交通事故の国際比較 (IRTAD) 2012年版」▶http://www.itarda.or.jp/materials/publications_free.php?page=31
- 3) 警察庁「平成25年中の交通事故発生状況」▶<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001117549>
- 4) 内閣府「平成23年度交通事故の被害・損失の経済分析に関する調査報告書」▶http://www8.cao.go.jp/koutu_chou-ken_h23_houkoku.pdf

- 5) 経済産業省「社会が抱える課題 (交通問題)」『情報経済革新戦略』p.54 ▶<http://www.meti.go.jp/committee/summary/ipc0002/report.html>
- 6) GLOBAL NOTE「自動車エネルギー消費量 国際比較統計・推移」▶<http://www.globalnote.jp/post-3805.html>
- 7) 関根道昭、他「自動運転技術に関わる国際ガイドラインの概要と課題 自動車安全研究領域」▶<http://www.ntsai.go.jp/forum/2014files/1106-1445.pdf>
- 8) SAE International : Summary of levels of Automation for on-road vehicles
- 9) 石田信之助、他「カメラとミリ波レーダのデータフュージョンによる事故低減技術の紹介」『自動車技術』Vol.68, pp.31-37、2014年
- 10) 中村之信「世界初のカーナビゲーション：ホンダ・エレクトロ・ジャイロケータ」『日本機械学会誌』Vol.116, No.1141, pp.810-811、2013年12月
- 11) 柴田崇徳、福田敏男「階層行動アーキテクチャ (適応と学習によるシステムの最適化)」『日本ロボット学会誌』Vol.11, No.8, pp.1111-1117、1993年
- 12) DARPA URBAN CHALLENGE▶<http://archive.darpa.mil/grandchallenge/>
- 13) Urmson C., et al: Tartan racing: A Multi-modal approach to the darpa urban challenge. 2007
- 14) Montemerlo M., et al: Junior: The Stanford entry in the urban challenge. Journal of field Robotics, Vol.25, No9, pp.569-597, 2008
- 15) 「ホンダロボティクス」▶<http://www.honda.co.jp/robotics>
- 16) 「オートパイロットシステムの実現に向けて」中間とりまとめ (案) の概要より：国土交通省道路局資料
- 17) 国土交通省オートパイロットシステムに関する検討会「オートパイロットの実現に向けて中間まとめ」
- 18) 朝倉康夫「自動運転システムの検討動向と期待」『自動車技術』Vol.68, pp.6-11、2014年
- 19) 横山利夫、他「自動運転技術の現状と今後」『安全工学会誌』Vol.54, No.3, pp.169-176、2015年