

自動車の自動運転 —その特長と課題—

津川 定之[†]

この報告は1950年代にR&Dが始まった自動車の自動運転システムのサーベイを述べ、その特長と課題について考える。1950年代、1960年代の自動運転システムは路面に埋設した誘導ケーブルに基づいていたが、1970年代、1980年代にはマシンビジョンに基づく自律車両の研究が行われている。1980年代に始まる各国の大規模なITSプロジェクトでは自動運転システムが重視され、単独車両の自動運転だけでなく小さな車間距離で走行する自動隊列システムが開発されている。自動運転の特長はヒューマンエラーをなくすることによる安全と、精密な車両制御による道路容量の増加、隊列走行による空気抵抗減少による渋滞の発生抑止と省エネルギー化にある。しかし法的課題があって公道上での実用化には至っていない。

Automated Driving of Automobiles: Its Benefits and Issues

Sadayuki Tsugawa[†]

This paper reviews automated driving systems since the beginning of the R & D in 1950s and discusses the benefits and issues. Systems in 1950s and 1960s were based on inductive cables embedded in a roadway, which were followed by systems with machine vision resulting autonomous vehicles in 1970s and 1980s. ITS projects since 1980s regarded automated driving as an important system, and not only a single automated vehicle but also an automated platoon were developed. The benefits include not only the safety by human error elimination but also the congestion elimination and aerodynamic drag decrease by precise vehicle control and platooning, resulting in energy saving and global warming prevention, but the legal and institutional issues still remain unsolved.

1. まえがき

自動運転システムの最初の提案は、1939-40年のニューヨーク世界博にゼネラルモーターズが展示したコンセプトカーFuturama (future と panorama を併せた造語) であろう。Futurama は将来の夢物語の段階にとどまったが、1950年代半ばにまず米国で始まった自動運転の研究は、当初から事故と渋滞という自動車交通問題の本質的解決という明確で現実的な目的をもっていた。以来、自動運転に関する研究は、1980年代半ばまでは一部の大学、研究機関で行われていたが、1980年代後半からは世界的に大規模な国家プロジェクトとして取り上げられた[1]。

しかし、自動運転システムは近い将来実用化される見込みがないことから、1990年代末には日米で自動運転に関する国家プロジェクトが中止された。いっぽうで2000年以降もヨーロッパではサイバーカーと呼ばれる小型車両の低速自動運転やトラックの隊列走行、米国ではトラックや路線バスの自動隊列走行の研究が続けられている。さらに、米国 DARPA の Grand Challenge (無人の自律走行車による砂漠の横断) や Urban Challenge (無人の自律走行車による模擬市街路の走行) も影響もあつてか、近年再び自動運転に関する関心が高くなっており、我が国ではトラックの自動隊列走行に関するプロジェクトが開始され、ヨーロッパでは自動運転にきわめて近い運転支援のプロジェクトが開始されている。

ここでは、50年に及ぶ自動運転システムの歴史とそのための技術を紹介し、自動運転の特長と課題について考える。

2. 自動運転の目的と方式

自動車の自動運転システム[2]は、ヒューマンドライバが運転するときに行う認知・判断・操作をすべて機械が行うシステムで、自動車交通へのオートメーションの導入であり、その目的は安全と効率の両立にある。機械による認知・判断・操作によって、ヒューマンドライバのもつ遅れ、不確かさが排除され、自動車交通事故の原因の90%以上を占めるヒューマンエラーを排斥することができ、したがって自動運転は自動車交通の安全に大きく寄与することが可能である。

いっぽう自動運転時に精密にラテラル制御(横方向の制御、すなわちハンドル制御)を行うことによって狭いレーンを走行することが可能となり、これは道路の車線数の増加が可能であることを意味する。また精密なロンジチュージナル制御(縦方向の制御、すなわち車速制御、車間距離制御)によって小さな車間距離での走行が可能となり、これは車線あたりの交通量の増加が可能であることを意味する。すなわち自動運

[†] 名城大学
Meijo University

転によって道路容量を増やすことができ、渋滞発生を抑制することが可能となる。さらに小さな車間距離で車群を隊列（プラトーン）走行させると、特に高速走行時は空気抵抗を減らすことが可能となり、自動隊列走行は省エネルギー化にも寄与する。

自動車の自動運転システムは、その方式のよって自律型（autonomous system）と協調型（cooperative system）に分類される。前者は車載のインテリジェンスだけを用いた方式であり、後者は道路側に設けられたインテリジェンスと車載のインテリジェンスの協調による方式である。

3. 自動運転の歴史

自動車の自動運転の研究は、ITSの研究で最も早期に開始されたものの一つである。1950年代後半から始まる自動運転システムに関する研究の歴史は、用いられた技術と時代背景によって、1950年代から1960年代にかけての第1期、1970年代から1980年代にかけての第2期、1980年代後半から1990年代後半までの第3期に分けられる[2]。

3.1 第1期の自動運転システム

第1期の自動運転システムでは、道路に誘導ケーブルを敷設してラテラル制御を行う協調システムである。1950年代末から60年代にかけて米国のRCA[3]、ゼネラルモーターズ[4]、オハイオ州立大学[5]、英国の道路交通研究所、ドイツのジーメンス[6]などで研究が行われた。わが国では1960年代前半に機械技術研究所（現産業技術総合研究所）で研究が行われ[7]、その自動操縦車（図1）は1967年にはテストコース上で100km/hで走行した。

誘導ケーブルを用いたシステムは、降雨時や降雪時でも能動的に走行コースを示すという利点をもつが、走路への誘導ケーブルの埋設と交流電流の供給という欠点のために、限定された場所、たとえばテストコースにおける自動車の各種試験[8,9]などでの実用にとどまっている。

誘導ケーブルが公道で用いられた数少ない例として1980年代のハルムスタード（スウェーデン）[10]やフュルト（ドイツ）の路線バスの部分自動運転がある。バスを停留所に正確に停車させるために停留所付近だけに誘導ケーブルを敷設して自動運転を行い、車椅子や乳母車での乗降を容易にしている。このようなシステムはプレジジョンドッキングとよばれ、近年では路線バスの自動運転システムの一環として欧米で研究が行われ、フランスのルーアンでは実用化されている。

3.2 第2期の自動運転システム

1970年代から1980年代にかけてのマシンビジョンを用いた自動運転システムの研究を第2期とする。マシンビジョンを用いると、特殊なインフラストラクチャが不要の自律型の自動運転システムを構成することができる。



図1：機械技術研究所の自動操縦車



図2：機械技術研究所の知能自動車

世界で初めてのマシンビジョンを利用した自動運転システムは、1977年に我が国の機械技術研究所が開発した知能自動車（図2）で、知能自動車は速度30km/hでテストコースを走行することができた[11]。

1980年代に入ると、アメリカで軍用のALV（Autonomous Land Vehicle）[12]がメリーランド大学やマーチンリエッタ社によって開発されたが、オフロード走行を指向したものであった。この研究はカーネギーメロン大学のNavLab（Navigation Laboratory）[13]や国立標準技術研究所のHMMWV（High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle）[14]に引き継がれた。カーネギーメロン大学は、その後米国のAHS（Automated Highway Systems）計画に参加し、1995年にはミニバンをベースとしたNavLabVでピッツバーグ（カーネギーメロン大学がある町）からサンディエゴまでの4800kmの98%以上の行程をマシンビジョンによる自動運転で走破した。ただし、自動化されていたのは操舵だけでブレーキとアクセルは人が操作した。

ドイツでは1980年代半ばからミュンヘン連邦国防大学で自律走行車VaMoRs（Versuchsfahrzeug fuer autonome Mobilitaet und Rechnersehen）[15]の研究が行われている。マイクロバスをベースとしたVaMoRsは、1980年代の終わりに約90km/hで自動走行し、VaMoRsを乗用車に移したVaMP（Versuchsfahrzeug fuer autonome Mobilitaet Pkw）は、1995年にミュンヘンからオーデンセ（デンマーク）までの1700kmのうち1600km以上を400回以上の車線変更を行いつつ平均速度120km/hで自動運転で走行した[16]。

3.3 第3期の自動運転システム

1980年代後半からの各国のITSプロジェクトにおいて自動運転システムは大きく取り上げられ、単独車両の自動運転だけでなく、複数台の自動運転車両によるプラトーン走行が新たに出現した。

(1) PROMETHEUS における自動運転システム

PROMETHEUS は、ヨーロッパの自動車会社を中心として 1986 年から 8 年間行われた車両指向の ITS プロジェクトである。このプロジェクトで開発されたダイムラーベントの VITAII (Vision Technology Application) [17] (図 3) は、TV カメラ計 18 台からなるマシンビジョンをもち、100km/h 以上でのレーン追従、車線変更を行うことができた。レーン検出用のマシンビジョンには VaMP のマシンビジョンを用いている。



図 3 : PROMETHEUS の VITAII
(出典 : 広報資料)



図 4 : カリフォルニア PATH のプラ
トゥーン走行 (出典 : 広報資料)

(2) PATH の自動運転システム

米国カリフォルニア州の ITS プロジェクトである PATH では、当初から自動運転システムが扱われ、カリフォルニア大学パークレー校を中心に研究が進められた。その自動運転システムは、走行コースに沿って埋設した永久磁石列 (磁気マーカ列) を用いたラテラル制御と、小さな車間距離を保ってプラトゥーン (図 4) を走行させるためのロンジチュージナル制御に特徴がある[18]。PATH では、自動運転の目的を道路容量の増加とそれによる渋滞の解消に置いている。

(3) 米国の AHS 計画

米国の AHS (Automated Highway System) 計画は、1991 年に制定された ISTE (総合陸上交通効率化法, Intermodal Surface Transportation Efficiency Act) に基づいて開始され、1997 年に大規模な自動運転のデモがカリフォルニア州サンディエゴで行われた。カリフォルニア PATH、カーネギーメロン大学、オハイオ州立大学、トヨタ、ホンダなど、7 チームが、協調型と自律型の各種自動運転システムのデモを 12km のコース (HOV (High Occupancy Vehicle) レーン、複人数乗車した車両が排他的に走行可能な

レーン) で行った。

(4) 建設省の自動運転道路システム (AHS)

わが国の建設省は、1995 年秋にテストコースで[19]、それをふまえて翌年秋には未供用の上信越高速道路の小諸付近で自動運転道路システムのデモ (図 5) を行った。このシステムでは、ラテラル制御には走行コースに沿って埋設された磁気マーカ列やマシンビジョンによるレーンマーカの検出が用いられ、ロンジチュージナル制御には、車間距離測定システムと車車間通信が用いられた。さらに路側に設置された漏洩同軸ケーブルから速度指令が各車両に送られた。各システムが 2 台ないし 3 台でプラトゥーンを形成し、車間時間 1 秒、車群間時間 2 秒で最高速度 80km/h で自動運転を行った。

(5) 通商産業省の協調走行システム

機械技術研究所と自動車走行電子技術協会 (現日本自動車研究所) は、2000 年に 5 台の自動運転車両を車車間通信でリンクし、柔軟な隊列走行を行う協調走行システム (図 6) の実験を行った[20]。各車両の自動運転は、RTK-GPS による自車位置計測結果と地図データベースで行い、リアルタイムで各車両の位置と速度の情報を全車両間で送受することによって二つの隊列の合流、車線変更などを実現した。



図 5 : 上信越道転車両による
AHS のデモ



図 6 : 5 台の自動運転車両による協調走行

3.4 現在の自動運転システム

1997 年のサンディエゴでのデモの後、乗用車対象の自動運転システムに関する関心は世界的に低くなったが、トラックや路線バス、小型低速の車両を対象とした自動運転システムの研究や実用化が進んでおり[21]、最近では自動運転に対する関心が再び高まっている。

ヨーロッパのプロジェクト T-TAP (Transport Telematics Applications Programme) では 1990 年代末から 2000 年代初めにかけてトラックの隊列走行システム *Chauffeur* が開発された。当初は 2 台のトラック (図 7) で、最終的には 3 台のトラックで実験を行った。先頭のトラックはヒューマンドライバが運転するが、後続トラックは自動運転が可能である。その目的は小さな車間距離での隊列走行による省エネルギー化にあった。



図 7: *Chauffeur* の 2 台のトラック



図 8: カリフォルニア PATH の自動運転トラックのセンサ類 (中央にレーダ, 左にレーザーレーダ)

カリフォルニア PATH では、2000 年以降、トラックの自動隊列走行と路線バスの単独自動運転の研究を行っている。いずれもラテラル制御には路面に埋設した磁気マーカを用い、トラックの隊列走行時のロンジチュージナル制御にはレーザーレーダ、ミリ波レーダ (図 8)、車車間通信を使用している。トラックの自動隊列走行の目的は、*Chauffeur* と同じく高速走行時に空気抵抗を減らすことによる省エネルギー化にある。路線バス (図 9) の自動運転の目的はプレジジョンドッキングに加えてヒューマンドライバでは運転が困難な、たとえば路側帯を転用した狭いレーンでの自動運転による路線バスの定時性の確保にある。

トヨタは、IMTS (Intelligent Multimode Transit System) (図 10) と呼ばれるデュアルモードバスを開発し、淡路島のテーマパークや 2005 年愛・地球博で運用した。このシステムでは、ラテラル制御に路面に埋設した磁気マーカを用いている。

アイントホーフェン (オランダ) で運用されている *Phileas* というバスも磁気マーカ列を用いたシステムである。また、スキポール空港 (オランダ) の駐車場やロッテルダムのビジネスパークでは、路面に埋設したトランスポンダを用いた小型自動運転車

両 ParkShuttle (図 11) が運用された実績がある。



図 9: カリフォルニア PATH の自動運転バス; (左) 狭いレーンを走行中のバス, (右) プレジジョンドッキング (上がプラットフォーム, 下がバスの乗降口)



図 10: トヨタの IMTS



図 11: スキポール空港駐車場の ParkShuttle

米国では国防総省の DARPA (国防高等研究計画局) が主催して、砂漠のオフロードを無人車両で走破するコンペティションである *Grand Challenge* が 2004 年と 2005 年に開催され、模擬市街路を無人車両で走破するコンペティションである *Urban Challenge* が 2007 年に開催された。*Urban Challenge* で 2 位となった車両は 2008 年 11 月にニューヨークで開催された ITS 世界会議でデモ走行を行っている。

2008 年からは、ヨーロッパでは予防安全を目的とした HAVEit (Highly Automated Vehicle for intelligent Transport) プロジェクト[22]が開始され、我が国ではトラックの自動隊列走行による省エネルギー化、地球温暖化防止を目的とした経済産業省の“エネルギーITS”プロジェクトが開始されている。

4. 自動運転に必要な技術

車両を自動運転するためには、コースを検出しそれに沿って走行させるためのラテラル制御機能、特に複数台の車両が追従走行する場合の速度と車間距離を制御するロンジチュージナル制御機能、障害物を検出しそれを回避する機能が必要である[2,23]。さらに、小さな車間距離でプラトーン走行を行うためには車車間通信機能も必要となる。

4.1 ラテラル制御

ラテラル制御の基本は、走行コースを示す路面の参照物を車上で検出し、コースに沿って走行するように操舵することである。

(1) 誘導ケーブルを用いたラテラル制御

第1期の自動運転システムでは、路面の参照物として路面下に埋設した誘導ケーブルを用い、車上センサとしてコイルが用いられた。誘導ケーブルに交流電流を流すと、ケーブルの周囲に交流磁界が発生する。この磁界を車両の前バンパ両端に装着した一対のピックアップコイルで検出すると、ケーブルに近いコイルの出力が大きいことから車両のケーブルに対する位置がわかる。こうして車上でコースずれを知り、ラテラル制御を行うことができる。

1960年代に開発された機械技術研究所の自動運転システムでは、ラテラル制御アルゴリズムに PD 制御が用いられた。誘導ケーブルを用いたシステムでは、車両直下のコースずれしか測定できないためにコースの曲率が変化する場所では車両の動きが不安定になることがある。これを防ぐためには車両のヨー角を操舵量の決定に用いる必要があるが、このシステムではそのために後バンパ両端にもセンサを装着して車両後部のコースずれも測定した。

(2) 磁気マーカ列を用いたラテラル制御

誘導ケーブルを用いたラテラル制御の欠点はケーブルの敷設と交流電流の供給である。磁気マーカ列(図7)は誘導ケーブルのこのような欠点がない能動的な参照物で、経済的で保守が容易なインフラストラクチャである。磁気マーカ列は、1980年代後半から PATH で研究され、サンディエゴのデモ、わが国の自動運転道路システムのデモで用いられた。磁気マーカが発生する磁界は車両前端下部に装着した複数個の磁気センサで検出する。PATH のプラトーンではフラックスゲート型センサ、我が国の自動運転道路システムでは過飽和コア型センサまたはホール素子が使用された。

磁気マーカ列を用いたときのラテラル制御の原理は誘導ケーブルを用いたシステムと同様である。しかし磁気マーカ列には、コースに沿った複数個の磁気マーカの磁極を組み合わせてデータコードを表現できるという特徴がある。PATH では、マーカ列を用いて前方の道路線形を表現し、乗り心地を考慮した予見制御を行った。磁気マーカ列を用いたラテラル制御では、1960年代以降の制御理論の発展を反映して現代制御理論が用いられている[24]。



図 12 : (左) 磁気マーカ (2 種), (右) 磁気センサ (バンパ下) と車間距離測定用レーダ (中央)

(3) マシンビジョンを用いた自動運転

マシンビジョンを用いたラテラル制御の特徴は、路面の参照物としてレーンマーカや路肩など既存のインフラストラクチャを利用する点と、車両直下ではなく、車両進行方向前方の参照物に基づく操舵量の決定(プレビュー制御)が可能となる点にある。

カーネギーメロン大学の北米大陸を横断した NavLabV は、レーン検出用の 2 台の TV カメラで道路の境界やレーンマーカを検出して適応テンプレートマッチングに基づいて操舵を行った。

PROMETHEUS の VITAI のマシンビジョンは、車両の前方、後方、側方を視野とする計 18 台の TV カメラをもつ。これらのカメラは単眼として用いられるものとステレオビジョンを構成するものがある。VITAI の車載コンピュータは 60 個のプロセッサで構成され、計 850MFLOPS の演算能力をもつ。VITAI の走行レーン検出用マシンビジョンは、ミュンヘン連邦国防大学が開発したもので、焦点距離が異なる 2 台のカメラを用いている。画像処理は、画像データに対するカルマンフィルタに基づいて、カメラからの入力画像と、幾何学的モデルならびに動的モデルで記述される内部表現とを比較し、レーンや先行車を検出する[25]。

4.2 ロンジチュージナル制御

自動運転システムにおいてロンジチュージナル制御が重要となるのは、小さな車間距離を維持してプラトーン走行を行うときである。PATH のプラトーン走行における各車両のロンジチュージナル制御では、先頭車の加減速動作を後続車に車車間通信で伝えて各車が連動して加減速を行い、さらに車間距離を 77GHz 帯のレーダで測定して車間距離制御を行う。その制御アルゴリズムには、エンジンのスロットルから車両速度までを記述した非線形モデルを対象としたスライディングモード制御が使われている。

4.3 障害物検出

障害物の検出は、自動運転においてもっとも困難な課題である。現在使用されている障害物検出用センシングシステムには、能動型 (active) センサを用いる方法と受動型 (passive) センサを用いる方法とがある。前者はセンサデバイスから媒体を対象に当て、その反射を検出する方法であり、後者は対象から放射される媒体をセンサデバイスで検出する方法である。

障害物検出で使用される能動型センサには、超音波センサ、LIDAR (レーザレーダ)、レーザスキャナ、近赤外線センサなどがある。上述の Grand Challenge や Urban Challenge における、主たる障害物検出用センサは、レーザスキャナ (図 13) であった。いっぽう障害物検出で使用される受動型センサには、コンピュータビジョン、遠赤外線センサなどがある。



図 13 : Urban Challenge 車両の 2 種のレーザスキャナ



図 14 : GPS データと地図データベースから生成したレーンマーク

4.4 車車間通信

車車間通信は、車載センサでは測定できない他車の位置、速度、加速度の獲得を可

能とするため、複数台の自動運転車両による協調走行には必須の技術である [26]。

ヨーロッパのトラックの隊列走行システム *Chauffeur* では、5.8GHz 帯を使用した車車間通信で速度、加速度、プラトーンへの参加、離脱の指示などのデータ伝送を行っている。カリフォルニアの PATH では、プラトーン走行時のロンジチュージナル制御に無線 LAN による車車間通信を用いている。協調走行システムでは車車間通信に 5.8GHz の DSRC を用い、そのプロトコルは、データ伝達のリアルタイム性とネットワークの柔軟性を両立するために、CSMA に基づいていた。

5. 自動運転の特長と課題

5.1 特長

この小論で、初めの部分に、自動車交通へのオートメーションの導入であり、その目的は安全と効率の両立にある、と記したが、これには注が必要である。現在の我が国の自動車 1 億走行キロあたりの交通事故死者数、死傷者数は、それぞれ、約 0.8 人、約 120 人であり、これは、たとえば、平均速度 30km/h で走行したとき、ヒューマンドライバの MTBF (事故を起こす平均時間間隔) が、それぞれ、 4.2×10^6 時間 (400 年以上)、 2.8×10^4 時間 (3 年以上) であることを示している。すなわちヒューマンドライバはきわめて優秀であり、その MTBF は十分に自動運転システムの MTBF を凌ぐ可能性がある。

むしろ自動運転システムによって安全が確保されるのは、ヒューマンドライバによる運転が困難または不可能な場合であって、この観点から自動運転の導入を考えるべきである。既に実用化されている、あるいは近い将来導入可能な自動運転システムには以下のものがある。

(1) 自動駐車 乗用車の車庫入れの自動化システムが商品化されている。ただし、安全確認はドライバが行い、システムは、オープンループ制御 (外界からのフィードバックなしであらかじめ計算した操舵量を出力する) で指定された場所に車両を後退させて駐車する。

(2) 路線バスのプレジジョンドッキング 1980 年代から実用化されている。1980 年代には路面の誘導ケーブルが用いられたが、フランスのルーアンのシステムでは、路面の白線をカメラで検出する方式が用いられている。カリフォルニア PATH では、路面に埋設した磁気マークが用いられている。

(3) 路線バスの自動運転 米国では狭い車線を路線バス専用車線として使用することが考えられている。たとえば幅 3m の路側帯に車幅 2.7m のバスを走らせる場合、左右の余裕がほとんどないために自動運転を行う。ミネソタ州では GPS と地図データベースを用いたシステム (図 14) が、カリフォルニア州では路面の磁気マークを用いたシステムが実験されている。路線バスは決められた経路だけを走行するため、

インフラストラクチャへの投資は過大にはならない。

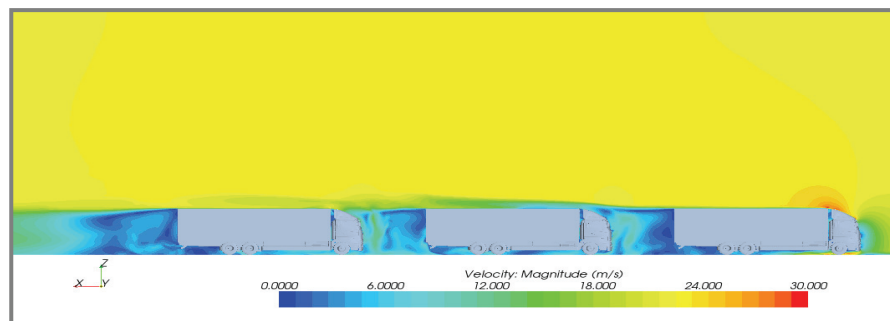


図 15 : 3 台のトラックが車間距離 4m, 速度 80km/h で走行しているときの CFD によるシミュレーション結果. 車体周辺の空気流の速度を示す.

(4) トラックの自動隊列走行 トラックの自動隊列走行は, 安全よりもむしろ空気抵抗の減少による燃費改善とその結果として得られる地球温暖化防止を目的としている. 小さな車間距離で走行するため, 後続トラックから路面を見て運転することが不可能であり, 自動運転に頼らざるを得ない. ヨーロッパでは, *Chauffeur* プロジェクトが 1990 年代末から 2000 年代始めにかけて行われ, 現在, 我が国とカリフォルニア *PATH* でプロジェクトが進行している.

我が国のエネルギー ITS プロジェクトで行ったトラックの隊列走行時の空気流のシミュレーション結果を図 15 に示す. 3 台のトラックが車間距離 4m, 速度 80km/h で走行すると, 先頭と末尾の車両の CD 値は 20%以上減少し, 中央の車両の CD 値は約 50%減少する. その結果, 約 20%の省エネルギー化が可能となる.

単体のトラックについても自動運転のニーズは十分にある. 自動運転によって長距離走行時のドライバーの省力化と労働環境の改善を図ることができ, 影響が大きい高速道路での事故を防ぐことが可能となる.

5.2 自動運転システムの導入

上述したように, 路線バスやトラックの自動運転が近い将来導入される可能性はあるが, 乗用車の自動運転の導入は, 利用者のニーズ, 価格, 法律・制度上の問題のため, 近い将来の導入はない. ここでは別の観点から自動運転のニーズを 2 点指摘する.

(1) 緊急時の短時間・短距離の自動運転

運転中にドライバーが急病で死亡したり失神したりすることによって事故が, 少数

ではあるが, 発生している. 死亡事故のうち約 1%がドライバーが運転中に急死したために発生した事故が死亡事故として処理されている. ドライバーの死亡, 失神による二次事故を防ぐために短時間・短距離の自動運転が必要である. このような提案は, 既に 1990 年代後半にヨーロッパの T-TAP の SAVE プロジェクトで行われている.

(2) 高齢者の移動手段

特に公共交通機関がない過疎地では, ヨーロッパのサイバーカーのような 1 人または 2 人乗りの低速小型車両の自動運転のニーズがある.

5.3 課題

現在商品化されている ACC (Adaptive Cruise Control) とレーンキープサポートとを使えば, 高速走行時には, 実質, 自動運転に近いことが可能である. また, 米国では NavLab5 が, 操舵だけではあるが自動運転で北米大陸を横断し, ヨーロッパでは VaMP が完全自律走行でヨーロッパ大陸を縦断した例がある. しかしながら, 「自動車はヒューマンドライバーが運転する」というウィーンコンベンションや, 法律, 制度などのため, 現在では公道上では自動運転は認められていない. 現在までに多くの自動運転のデモが行われているが, これらはすべてテストコースや専用道で行われている. ACC とレーンキープサポートが公道で認められているのは, ドライバーの責任の許で使用するからである. ヨーロッパで現在進行している HAVEit プロジェクトもドライバーの責任の許でできるだけ自動運転に近い状態を実現しようとしている. トヨタの IMTS は, 専用道の軌道交通という位置づけであった.

しかしながら技術の信頼性は格段に向上しており, 自動運転に関して議論すべき時期にあると筆者は考えている.

6. あとがき

自動車の自動運転システムの歴史と要素技術を紹介し, その特長と課題について考えた. 自動運転技術の発展には, センシング技術や情報処理技術, 通信技術などエレクトロニクス技術だけでなく, 制御理論の進展も大きく寄与している. しかしながら, これだけ技術が進歩しても, すでに自動化が行われている新幹線やハイテク旅客機とは異なって, 自動車の自動運転には, システムの信頼性やロバスト性などに困難な課題が依然として残されている. さらに自動運転システムに関する制度・法律上の課題, ドライバー受容性, 社会受容性も全く未解決である. 自動車交通の安全に対する高い関心と, 自動運転システムは産業に寄与しないという理由で, ITS プロジェクトの重点が安全運転支援システムにおかれてきたが, 筆者は運転支援システムの延長線上に自動運転システムがあり, すなわち自動運転は, 究極の ITS, 究極の車であり, 省エネルギー運転や隊列走行など環境に大きく寄与できると考えている.

謝辞 この研究の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構のエネルギーITS 推進事業として行ったものである。記して感謝の意を表す。

参考文献

- [1] S. Shladover: Review of the State of Development of Advanced Vehicle Control Systems (AVCS), *Vehicle System Dynamics*, Vol. 24, pp. 551-595 (1995)
- [2] 津川: 自動車の自動運転技術の変遷, *自動車技術*, Vol. 60, no. 10, pp. 4-9 (2006).
- [3] L. E. Flory, et al.: Electric Techniques in a System of Highway Vehicle Control, *RCA Review*, Vol.23, No.3, pp.293-310 (1962).
- [4] H. M. Morrison, et al.: Highway and Driver Aid Developments, *SAE Trans.* Vol.69, pp.31-53 (1961).
- [5] R. E. Fenton, et al.: One Approach to Highway Automation, *Proc. IEEE*, Vo.56, No.4, pp.556-566 (1968).
- [6] P. Drebingner, et al.: Europas Erster Fahrerloser Pkw, *Siemens-Zeitschrift*, Vol.43, No.3, pp.194-198 (1969).
- [7] Y. Ohshima et al.: Control System for Automatic Automobile Driving, *Proc. IFAC Tokyo Symposium on Systems Engineering for Control System Design*, pp.347-357 (1965).
- [8] 堺, ほか: 自動車無人走行実験システム, *日産技報*, 第 22 号, pp.38-47 (1989).
- [9] 大西, ほか: 悪路走行の高信頼自動操縦システム開発, *自動車技術会学術講演会前刷集 921*, Vol.3, pp.21-24 (1992).
- [10] 岡: これからのクルマと都市の関係, 東京, *ダイヤモンド社*, pp.212-213 (1985).
- [11] 谷田部, ほか: ビジョンシステムをもつ車両の自律走行制御, 計測と制御, *総合論文*, Vol.30, No.11, pp.1014-1028 (1991).
- [12] R. Terry et al.: Obstacle Avoidance on Roadways using Range Data, *SPIE Vol.727 Mobile Robots* (1986).
- [13] C. Thorpe et al.: *Vision and Navigation The Carnegie Mellon Navlab*, Kluwer Academic Publishers (1990).
- [14] M. Juberts et al.: Vision-Based Vehicle Control for AVCS, *Proc. IEEE Intelligent Vehicles '93 Symposium*, pp.195-200 (1993).
- [15] V. Graefe: Vision for Intelligent Road Vehicles, *Proc. IEEE Intelligent Vehicles '93 Symposium*, pp.135-140 (1993).
- [16] R. Behringer, et al.: Results on Visual Road Recognition for Road Vehicle Guidance, *Proc. IEEE Intelligent Vehicles '96 Symposium*, pp.415-420 (1996).
- [17] B. Ulmer: VITA II - Active Collision Avoidance in Real Traffic, *Proc. the Intelligent Vehicles '94 Symposium*, pp.1-6 (1994).
- [18] K. S. Chang, et al.: Automated Highway System Experiments in the PATH Program, *IVHS Journal*,

Vol.1, No.1, pp.63-87 (1993).

- [19] 上田, ほか: 自動運転道路システムの開発, *電気学会道路交通研究会, 論文番号 RTA-96-13* (1996).
- [20] S. Kato, et al.: Vehicle Control Algorithms for Cooperative Driving with Automated Vehicles and Inter-Vehicle Communications, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.3, No.3, pp.155-161 (2002).
- [21] R. Bishop: *Intelligent Vehicle Technology and Trends*, Boston & London, ArtechHouse (2005).
- [22] R. Hoeger, et al.: Selective Automated Driving as a Pivotal Element to Solve Safety and Environmental Issues in Personal Mobility, *Proc. 16th ITS World Congress*, Paper No. 3699 (2009).
- [23] 津川: 自動運転システムにおける制御アルゴリズム, *自動車技術*, Vol. 52, No. 2, pp.28-33 (1998).
- [24] J. K. Hedrick, et al.: Control Issues in Automated Highway Systems, *IEEE Control Systems*, December 1994, pp.21-32 (1994).
- [25] E. D. Dickmanns, et al.: Recursive 3D Road and Relative Ego-State Recognition, *IEEE Trans. PAMI*, Vol. 14, No. 2, pp.199-213 (1992).
- [26] S. Tsugawa: Issues and Recent Trends in Vehicle Safety Communication System, *IATSS Research*, Vol. 29, No. 1, pp.7-15 (2005).