

自動運転を利活用した 交通まちづくりに資する道路の研究

吉田 正¹・清水 哲夫²

¹正会員 (株)スマートインフラ総合研究所 (〒104-0043 東京都中央区湊3-5-7)

Email: t-yoshida@sird.co.jp

²正会員 首都大学東京教授 大学院都市環境科学研究科観光科学域 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

E-mail:t-sim@tmu.ac.jp

本研究は、地方都市や中山間地の交通まちづくりにおいて、自動走行技術を利用した新たな公共交通の実現に向けて、道路インフラ側で取り組むべき研究事項の明確化、そしてプロジェクト実施における留意点について検討したものである。具体的には、自動走行技術の整理、自動走行に影響を与える要因、ITS道路インフラのリクワイアメント、関連する法規準のあり方、ITS道路インフラの設計手順など、早急に取り組むべき事項を整理し明らかにした。

Key Words : *automated driving, ITS, roadway design, laws and standards, planning*

1. はじめに

ここ数年、自動車の自動走行技術は新たな次世代ビジネスの分野として着目されている。現在、2020年までの自動運転の実用化を目指し、日本、米国および欧州において、先駆的な技術開発が進められている。

我が国でも、1996年上信越自動車道で自動走行の実証実験が行われ、それ以降、自動車、通信、制御など多様な領域での技術開発が進められてきた。

平成29年3月、国土交通省の自動走行ビジネス検討会から、「自動走行の実現に向けた取組方針」が出された。それによれば、2020年までに、自家用自動車では、高速道路レベル2を実現し、2020年以降、一般道においても主要国道などから順次導入し、2025年頃から、更に高レベルの自動走行を一部で導入していくとしている。一方、業務用では、2020年頃、一部地域におけるレベル4を実現し、順次対象を拡大していくとしている。

さらに、国土交通省自動運転戦略本部（第2回）によれば、次のような事項に取り組むとしている。

- ① 中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービス実証実験
- ② ラストマイル自動運転
- ③ トラックの隊列走行
- ④ 自動運転の実現に向けた環境整備
- ⑤ 自動運転技術の開発・普及促進

しかしながら、実道路での走行を実現するためには、自動車だけでなく、道路インフラ側でも様々な課題解決

に取り組む必要がある。

本研究では、都市や地域のまちづくりや中山間地における自動走行を利活用した公共交通の導入に向けた「道路のあり方」の研究について、ITS道路インフラ（スマートウェイ）の仕様、及び設計手順について検討したものである。

2. 自動走行技術の研究開発の経緯

最初に、自動走行技術の研究開発の経緯について触れたい。上田¹⁾によれば、我が国での最初の自動走行実証実験は、供用前の上信越自動車道において、11台の自動走行車による11kmの道路実験が行われた。

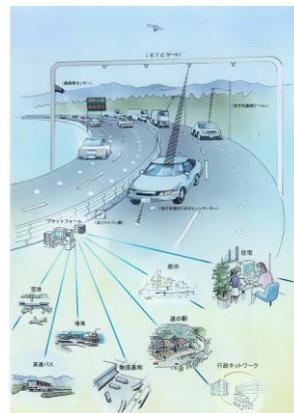


図-1 スマートウェイイメージパス
(出展：国土交通省（旧建設省）資料より）

表-1 自動走行の自動化レベル

自動化レベル	概要	左記を実現するシステム	
レベル1	加速・操舵・制動のいずれかを自動車が行う状態	安全運転支援システム	
レベル2	加速・操舵・制動のうち複数の操作を同時に自動車が行う状態	準自動走行システム	自動走行システム
レベル3	加速・操舵・制動を全て自動車が走り緊急時のみドライバーが対応する状態		
レベル4	加速・操舵・制動を全てドライバー以外が行いドライバーが全く関与しない状態	完全自動走行システム※5)	

(出展：戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 自動走行システム，研究開発計画，内閣府，2016.10)

当時は、自動運転道路システム (AHS : Automated Highway System) と呼ばれ、車両周辺の危険警告、追悼防止、車線逸脱防止、文合流部での制御となっていた。それらの技術の多くは自動車側の技術が中心であり、現在では実装されているものが多い。

同年、AHS研究組合 (1996年設立、2010年3月解散) が設立され様々な関連技術の研究が行われたが、その目標が自動運転から自動運転支援に変化していく。

図- 1は、2001年に作成されたITS次世代道路 (スマートウェイ) のイメージパスである。この図中には、レーンマーカを利用した自動走行、DSRCアンテナによる情報の相互通信、そして道路及び情報のネットワークでリンクされていくことが示されている。これらコンセプトは、現在でも十分通用するものであり、「道路インフラ」側で何をすべきかを示唆している。

一方、民間企業では継続して自動走行技術の研究開発が進められた。その研究成果は、2005年愛知県で開催された「愛・地球博」における域内交通として実導入され、日本の制御技術の高さを世界に発信するに至った。走行路は1.6kmで大型車両13台を用いて、隊列走行や分岐合流など、すべての移動を自動化することに成功している。本システムは、走行路上に埋設された磁気マーカを車両がセンサーで読み取り、予め入力された座標情報と照合しながら自動運転を行う新しい交通システムである。

それ以降、運輸関係の機関でのシステム研究を除くと、自動走行はしばらくの間、研究開発の主流になることはなかった。

そして、2014年ごろからふたたび自動走行ブームが再燃した。自動車会社だけでなく、GOOGLEやAPPLE、ソフトバンクなどの異業種分野も自動走行に参画するなど、新たなビッグビジネス領域として注目されている。

そして、2017年の3月には、我が国の最先端の自動走行制御技術を用いたバス交通システムの実証実験が、先

進モビリティ及びSBモビリティの手によって、沖縄県・南城市地区で行われている。

3. 自動走行のレベル

自動走行の技術は、総合科学技術会議のSIP (戦略的イノベーション創造プログラム) の報告²⁾によれば、表- 1に示されるように大きく4つに分類されている。

ここでは完全自動走行システムが「有人か無人か」は定義していない。この主な理由は、

①自動走行システムの定義は、関係府省・学・民間の専門家がこれまで議論を重ねてきた実績を基本に、時代の変化を修正していくものである

③技術や環境は変化を続けるものであり、定義を厳密にせず、自由度を高めることが技術開発や実用化の促進に繋がる

④自動車市場は多様な価値観の利用者が、様々な環境で利用する商品であるため、技術のみで決めることはできない等の判断による。

本研究では、「一般道路における自動走行技術を利用した公共交通の導入」について探求しているが、都市部や中山間地などへの導入においては、対象地域の地域特性、交通条件、地勢条件、自然条件だけでなく、運行頻度や事業採算性の観点から、「自動走行のレベル」や「サービス水準」を決めることが望ましい。つまり、各地域の条件をスタディしたうえで、個別の自動走行サービスを設定することが不可欠である。レベル4のうちのどのレベルか、そのレベル区間は運用区間全域か、所定区間かなどである。

言い換えれば、「各地区ごとに、自動走行公共交通システムのデザイン」が必要であり、画一化・一般化されたものではないというところに、これまでのITSサービスとは異なる特徴がある。

4. 自動走行の技術

代表的な自動走行システムを表-2 に示す。我が国の自動走行技術は世界トップレベルであり、内閣府が中心となり実施された沖縄県・南城地区での自動走行実証実験はこれまでにない高度なシステムとなっている。具体的には、高精度の全地球測位システム（GPS）で設定した軌

年で補修のサイクルが生じ、単純な設置方法では、マーカの損傷を防ぐために、舗装工事の度に簡易マーカを撤去・再設置すること必要が生じる。

また、簡易マーカの設置手間及びコスト面からは、耐久性の高い舗装形式が適している。しかし、降雨時での高速走行の安全性、さらには対磨耗性等を考慮すると、ニート工法や、ポーラスアスコン、レジンコートを用い

表-2 代表的な自動走行システム

名称	次世代型自動走行バス	IMTS	CIVIS
車両外観			
ガイドシステム	レーザーレーダ 高精度 GPS 簡易マーカ ディープラーニング	磁気マーカ	白線による 光学的ガイド
導入地区	沖縄県・南城地区 実証試験	愛・地球博（日本）	Rouen（仏）など

跡に沿って、最高時速 35 キロで自動走行する。レーザーレーダーとカメラで障害物を認識して自動で車線変更も可能としている。青木³⁾によれば、自動走行の代表的な制御技術としては、以下のようなものがある。

- ・ 正着制御技術
- ・ 車線維持制御技術（白線誤認識率 10^{-6} 以下、車線維持制御精度（±15 cm以下））
- ・ 速度制御技術
- ・ 障害物衝突防止制御実験
- ・ 共通基盤技術（測位精度±30cm以内）

それでは、道路インフラ側として、どのような道路施設や道路付属物をどのような仕様にに基づき、いかなる精度で整備すべきであろうか。

道路インフラも自動走行技術や自動走行レベルに応じて最適な道路計画・設計の確立が望まれる。車両の制御葬式によって道路側が準備すべき道路設備は異なる。

- ・ 白線工（反射率・輝度率が高いもの）
- ・ 歩車分離（ガードレール、ボラードなど）
- ・ 簡易マーカ、磁気マーカなど
- ・ 道路路面ライティングシステム

5. 走行路の道路仕様

(1) 道路舗装

ここで、望ましい自動走行路の舗装形式について記述する。例えば、アスファルト舗装の場合では、通常2~3

たアスファルト舗装方式が適していると考えられる。

独立安全環境研究所の研究成果から「滑り抵抗を増加する舗装仕様」について表-3に整理する⁴⁾。このうち、ニート工法の舗装は乾燥・湿潤状態とも摩擦係数は大きく、速度依存性も小さい。路面摩擦係数 $\mu = 0.9 \sim 1.1$ 程度である。

表-3 すべり抵抗を増やす舗装仕様

項目	要求性能	評価
路面の種類	既存道路への適用を考慮すると汎用的な舗装形式であることが求められる。	我が国にもっとも多いのがアスファルト舗装である。織が形成されやすいため、(交差点、横断歩道など)対策が必要。
すべり摩擦係数	天候状態、走行速度によらず安定的な高いすべり抵抗力の確保が必要であるため。	ニート工法、グルーピング工法、ポーラスアスファルト混合物に舗装、などが優れている。
耐磨耗性	自動走行システムは、同一路面上を繰り返し走行するため、耐磨耗性が高い骨材の仕様が望まれる。	硬質砂岩は、耐磨耗係数、すり減り減量ともに小さく優れている。

一方、コンクリート舗装は、耐久性や対磨耗性が高く、舗装形式として望ましい方式である。しかしながら、騒音や乗り心地などの快適性、コストが高いなどの課題も有しているだけでなく、降雨時の視距の確保やスリップ等を考慮する必要がある。

いずれにせよ、舗装形式の選定はその立地条件、気象条件等も加味し、総合的な観点に基づき決定されることが欠かせない。

(2) 簡易マーカ

簡易マーカの施工方法及び、あるプロジェクトにおいて要求された施工品質のレベルを図-2に示す。同プロジ

5. 関連法制度

自動走行の関連法制度については、準自動走行システム（レベル3まで）については、現行法令（道路交通法、道路運送車両法等）や国際法（ジュネーブ条約等）に抵触することなく導入が可能であると考えられている。

また、完全自動走行システム（レベル4）については、これまで世界的に理解されている“自動車”とは全く異なるものとなることから、その導入に当たっては、自動車が道路を無人で走行することについての社会受容面の検討がなされるとともに、国際的な議論の動向も踏まえ、法制度面について検討していく必要があるとしている。

一方、前述した愛・地球博に導入された交通システム IMTS は「軌道法」によって整備された。ここで重要な検討アプローチは、事業採算性、道路の維持管理、運用の観点において、最適コストを考慮した走行路と関連法規の関係である。自動走行の走行路を優先レーン、専用レーン、専用路のいずれのタイプが適しているかは、地域特性やトータルコストなど総合的な観点から判断することが望ましい。

6. 自動走行のビジネス展開の可能性

吉田⁶⁾の研究によれば、道路交通法などの既存の法規制にも抵触せず、整備が現時点でも、容易なものとしては、

- ① イベント会場、テーマパーク、国立公園等の域内移動システム
 - ② 空港へのアクセス交通及び空港内移動システム
- 次に、道路交通法や軌道法などの法的解釈、構造基準等の位置付けが明確になった時点では、
- ③ 都市部の基幹公共交通システム
 - ④ 地域の公共交通システム
 - ⑤ 鉄道不良採算路線及び廃線地区への代替交通システム

さらに、将来の発展系としては、

- ⑥ 都市内では地下走行路を、都市間では高速道専用走行路を走る新しい物流システム
- ⑦ 大災害時における「がれき輸送システム」、避難システム

などである。

7. おわりに

本研究では、自動走行の実際の技術レベルや信頼性の向上の実状を探るために、これまでの自動走行技術の研究開発の経緯を振り返ることから始めた。

自動車など移動体の分野では、この20年間継続して自動走行の研究開発が行われ、世界トップレベルの技術が確立されて言えよう。

一方、道路インフラ側に着目すると、交通計画などの分野だけでは“自動走行社会への備え”としては十分とは言えず、道路工学、舗装工学、さらには交通ビジネスの評価などの有識者や研究者などの参画が望まれる。

現実に、自動走行システムの導入や恒久化は容易ではない。移動体の円滑で安全な走行を支援できる信頼性の高いITS道路インフラを実現するためには、「ITS道路の設計・施工基準」の整備が望まれる。本研究がその参考になれば幸いである。

今後、全国で展開が予定されている自動走行の実証試験の状況を把握することによって、自動走行における道路インフラのあり方、的確な道路側のリクワイアメント、計画・設計手法の研究に取り組んでいく予定である。

参考文献

- 1) 上田敏：ITS 研究マネジメントに関する一考察，高度情報化研究センター長，
- 2) 内閣府：戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）自動走行システム，研究開発計画，2016.
- 3) 青木 啓二 森田康裕：自動運転・隊列走行システム開発，自動車技術会春大会，2010
- 4) 独立安全環境研究所：「次世代地域公共交通システムに関する技術開発」報告書，PP65-102，2009
- 5) 吉田正：ITS を基礎とする社会資本整備の変革とその計画の評価手法，東京大学博士論文，2003
- 6) 吉田正：スマートインフラへの挑戦－ITS が社会資本革命の起爆材となる－，山海堂出版，2006・9

RESEARCH ON ROADS THAT CONTRIBUTE TO MAKING TRAFFIC TOWN PLANNING UTILIZING AUTMATED DRIVING

Tadashi YOSHIDA and Tetsuo SHIMIZU

This study clarifies research and development items to realize new public transportation system by using automatic driving technology in local city and rural area around mountains. We focus on the road infrastructure and the points to be taken in the project implementation. Specifically, we will organize matters that should be addressed urgently, such as organizing automatic driving technology, factors affecting automatic driving, structure and pavement of ITS road infrastructure, relevant legal standards, design procedure of ITS road infrastructure.