

自動走行システムを考慮した道路構造・管理に関する研究

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム ○宗広 一徳
国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム 中村 直久
国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム 佐藤 昌哉

自動走行システム研究開発の進展に伴い、道路インフラの構造・管理の面からのシステムとの協調・支援のあり方を明らかにすることが求められている。本稿では、自動走行システムに関する基礎技術と法整備の動向について整理を行った。さらに、寒地土木研究所では、苫小牧寒地試験道路において自動走行試験車両を実走行させて基礎的な実験を行い、道路構造・管理面からの協調事項についても基礎整理したので、同速報についても報告する。

キーワード：道路構造、自動運転、冬期道路

1. はじめに

近年、日本国内はもとより、米国、欧州等の各地において、自動走行システムに関する研究開発及び公道実証実験が活発に行われている。内閣府による戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）自動走行システムプロジェクト¹⁾では、関係省庁、自動車メーカー、学識経験者、自動車関連団体等が参加し、システム実用化や大規模実証実験等に向けての取り組みが着手されている。国土交通省は、2017年度に「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⁾」として、国内18箇所の道の駅等を拠点とした実験を実施・予定している。2017年12月には、北海道大樹町に位置する道の駅「コスモール大樹」を拠点とする実証実験も行われた。北海道においては、国内最多の28の自動車関連テストコースが立地されており、自動車メーカー等の民間企業によるテストコース及び公道での実証実験³⁾が数多く着手されている。2017年度に、石狩市、上士幌町、札幌市、岩見沢市、美唄市等で公道での実証実験⁴⁾が行われたことが公表されている。

米国ミシガン州⁴⁾では、自動走行テストコースにおける「先行技術開発・学術研究」（Mcity）、「実用化技術の検証と認証取得」（ACM）、「公道試験」（MDOT Connected Corridor）という三層構造で自動走行試験が大きく促進されている。米国ワイオミング州交通局⁵⁾は、除雪車などの道路管理車両と道路との協調システムに関する研究開発に着手している。

しかしながら、国内において、車両の積雪条件下の自動走行及び自動運転技術の活用による除雪車の運転支援に着目した研究成果について、ほとんど明らかにされてはいない。

2. 本研究の目的

国内外における自動走行システムに関する研究開発の促進を踏まえ、本研究では以下を明らかにすることを目的とする。

- 1) 自動走行システムに関する基礎技術と法整備の動向の基礎整理
- 2) 苫小牧寒地試験道路における自動走行試験車両の実走行に関する基礎実験
- 3) 自動走行システムと道路構造・管理面からの協調事項の基礎整理

3. 自動走行システムとは

3.1 自動走行システム技術の導入

自動車の自動走行システムは、運転者が行う認知・判断・操作を全てもしくは一部を機械が行うシステムであり、自動車交通への自動化の導入である。すでに、市販車の一部においては、自動ブレーキ、車線維持支援システム（Lane Keeping Assistant System : LKAS）、自動操縦制御（Adaptive Cruise Control : ACC）等の自動走行技術が搭載され、運転者が行う認知・判断・操作の部分的な自動化が導入されている。現在のところ、自動走行システムの段階は以下のように分類されている（表-1）。

表-1 自動走行システムの段階

レベル分け	内容	技術の例
レベル5 完全運転自動化 (限定条件なし)	システムが全ての運転タスクを実施。	
レベル4 高度運転自動化 (限定条件あり)	システムが全ての運転タスクを実施。	
レベル3 システムの高度化	加速・操舵・制動を全てシステムが行い、システムが要請したときのみドライバーが対応する状態。	
レベル2 システムの複合化	レベル1の組合せ・高機能化	LKAS+ACC
レベル1 単独型	加速・操舵・制動のいずれかの操作をシステムが行う状態。	自動ブレーキ、ACC、LKAS

自動走行システムの導入により、交通事故の低減、渋滞の緩和、少子高齢化への対応が期待されている。さらには、新たなビジネスの創出などによる経済効果も高まっている。すでに、自動走行技術を搭載した市販車による高速道路走行時に、LKAS+ACCのようなシステムの複合化、すなわちレベル2までの走行が実現している。

3.2 自車位置推定技術

自動走行を実現するための自車位置推定技術は、より高精度な自車位置推定が求められる。自車位置推定技術⁶⁾には、走行ルート上のマクロ的位置推定と複数車線の道路を走行する際にレーン位置推定のミクロ的な自車位置推定が必要とされる。自車位置推定技術の例としては、以下を列挙できる。

1) GNSS (Global Navigation Satellite System)

GNSSは、人工衛星からの情報を利用した測位システムである。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。また、天候による受信可能な衛星数の影響も受ける場合がある。RTK-GPSなどの補正情報を用いて測定精度向上を図る手法も検討されている。

2) 慣性航法

地下やトンネルなどGNSSが使用できない環境において測位を補完する手法が慣性航法であり、ジャイロ、加速時計、車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。

3) 磁気センサー

磁石を埋め込んだり貼り付けたりした道路をセンサーでたどるシステム。車両の位置を精緻に把握できる。GNSSの不感地帯や区画線が雪で覆われる圧雪道路などでの活用が期待されている。

3.3 周囲探知技術

周囲探知技術は、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。周囲探知技術の例としては、以下を列挙できる。

1) 前方カメラ

前方カメラにより、種々の対象物を検出・認識することができる。速度制限の標識を認識して速度警告を行う機能、区画線の認識により、その位置から自車の車線逸脱を警報する機能、緊急時には自動ブレーキを掛ける機能など、周囲の車両、交通標識、区画線を検出・認識できる重要なセンサである。

2) ミリ波レーダ

ミリ波と呼ばれる非常に波長の短い電波を照射し、物体に反射されて帰ってくる電波を検出することにより、物体までの距離と方向を検出するセンサである。

3) LIDAR

LIDARは、赤外線レーザー光をパルス状に照射し、物体に反射されて帰ってくるまでの時間から距離を計測するセンサである。道路上の標識や散乱物の検出も可能

である。LIDARの検出データを地図の形式でプロットし、自車の走行に応じて逐次更新してゆくことにより、障害物があり走行が危険な領域と物体がなく安全に走行できるフリースペースとを区別して認識することができる。路肩に堆雪した状態、雪に覆われた物体の検知などでの活用も期待されている。

3.4 自動走行車の運転に関する法整備

国際道路交通条約は、1949年8月にジュネーブで開催された「道路輸送および自動車輸送に関する国際連合会議」で採択され、「統一規則を定めることにより国際道路交通の発達及び安全を促進すること」を目的としている。日本は、1964年8月に道路交通条約に加盟した。現在(2017年4月時点)、97ヶ国・地域が加盟している。同条約の第8条第1項で、「自動車には運転者がいなければならない」とし、第8条第5項と第10項で、「運転者によるコントロールがなされなければならない」と規定している。日本の道路交通法では、「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。

このことに関し、国際道路交通条約の改正に関する議論が国連・欧州経済委員会にある道路交通安全作業部会(WPI)で進められている。2016年3月、WPIは、自動運転の公道実証実験に関し、自動車を制御する運転者は、自動車内にいるか否かを問わないこととし、このような理解は、道路交通条約の改正は要さず、現行の道路交通条約の解釈上可能であることを確認した。本合意により、現行の道路交通条約の下でも、遠隔操作による公道実証実験が可能となった。日本の警察庁では、2016年5月、「自動走行システムに関する公道実証実験のためのガイドライン」を示した。このように、自動走行車の運転に関する法整備も動き出している。

4. 苫小牧寒地試験道路における基礎実験

4.1 実験概要

苫小牧寒地試験道路(苫小牧市柏原)(外周路の延長L=2.7km)において自動走行機能を搭載した試験車両を実走行させた(図-1)。被験者には、試験車両の助手席及び後部座席の位置にて同乗した。被験者は、試験車両に試乗後のアンケートに回答した。アンケートの設問では、「どのような場面で自動走行システムの活用が期待できるか」について問うた(表-2)。実験概要は以下の通りである。

- 1) 実験日 : 2017年12月4日
- 2) 天候 : 晴れ
- 3) 路面状態 : 湿潤
- 4) 被験者数 : 10名
- 5) 被験者の年代 : 20代~50代
- 6) 被験者の性別 : すべて男性
- 7) 走行区間 : 外周路(直線部:約300m)



苦小牧寒地
試験道路

図-1 苦小牧寒地試験道路の全景（苦小牧市柏原）

表-2 アンケートの設問（複数回答可）

No.	自動走行システムの活用場面
1	高速道路(自動車専用道路)における小型車やトラックの隊列走行
2	都市部(札幌市など)における公共交通やタクシーの代替
3	地方部(農村部)における公共交通やタクシーの代替
4	観光地における交通拠点(駅)と宿泊先(ホテル)間の送迎
5	宿泊先(ホテル)と観光地(例:ゴルフ場)間の送迎
6	観光地内(例:ゴルフ場)や公園内における周遊交通
7	冬みちの除雪作業を行う除雪車
8	農耕用のトラクター
9	その他

4.2 実験結果

被験者によるアンケートの回答結果は、以下の図-2の通りである。自動走行システムの活用場面としては、設問に用意した全ての場面での活用が一定程度期待できるとの回答が得られた。その中でも、第1に「観光地内や公園内における周遊交通」としての適用並びに「農耕用のトラクター」への適用、次いで「冬道の除雪作業を行う除雪車」への適用が期待できるとの回答が比較的多くなった。なお、その他の回答では、「夜間及び深夜の長時間の運転」において自動走行システムの適用が期待さ

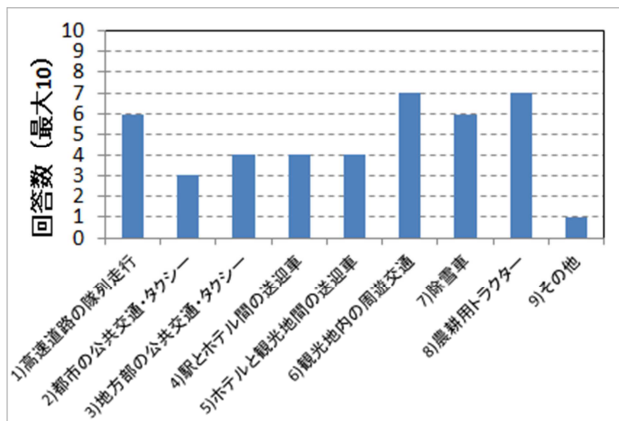


図-2 アンケートの回答結果

れるとの回答であった。

5. 道路構造・管理面との関係

5.1 道路の機能

道路は、あらゆる社会経済活動を支える最も基本的な社会資本であり、人や車に対する交通機能に加えて、上下水道や電線類などの公共公益施設を収容し、採光・通風・防災のための空間機能を有している。さらに、都市においては街並みの骨格を構成する基幹施設である。このような道路の多面的な機能により公共の施設に寄与し、国民生活に大きな利益をもたらしている。道路の機能のうち、交通機能（Traffic Function）に着目し、縦軸に連絡スケール、横軸に道路種別を取り、北海道を事例とし道路階層区分⁷⁾を試案した（表-3）。さらに、道路階層同士の接続の可否と道路交差部の構造様式⁸⁾を整理した（表-4）。連絡スケールの大きい階層A・Bの接続方式は、立体交差を標準とする。連絡スケールの中程度以下の階層C・D・Eについては、交差形式として信号交差点、ラウンドアバウト、無信号交差点を許容する。また、その他の道路（私道など）については、無信号交差点を交差形式としている。

表-3 道路階層区分の試案（北海道の場合）

	高規格幹線道路		一般道路			その他
	A 高速道路	B 自専道	C 一般国道	D 道道	E 市町村道	F 私道
I 圏域間連絡	○	○	△	-	-	-
II 圏域内連絡	-	○	○	△	-	-
III 市町村間連絡	-	-	○	○	-	-
IV 市町村内連絡	-	-	-	△	○	-
V 生活道路	-	-	-	-	○	○

注) ○: 主に分担している。

△: 現状では部分的に分担している。

表-4 道路階層に応じた接続方式の試案（北海道の場合）

	A 高速道路	B 自専道	C 一般国道	D 道道	E 市町村道	F 私道
	A 高速道路	立体	立体	立体	-	-
B 自専道	-	立体	立体	-	-	-
C 一般国道	-	-	信号交差 /RAB	信号交差 /RAB	-	-
D 道道	-	-	-	信号交差 /RAB	信号交差 /RAB	-
E 市町村道	-	-	-	-	信号交差/ RAB/無信号 交差	無信号交差
F 私道	-	-	-	-	-	無信号交差

注) RAB: ラウンドアバウト

5.2 求められる道路構造・管理

近い将来の自動走行システムの導入を視野に入れたとき、道路構造・管理にどのようなインパクトがあるかについて検討する。道路階層に応じた自動運転の内容及び求められる道路構造・管理の試案をした（表-5）。道路階層別に見ると、次のとおり考えられる。

表-5 道路階層に応じた自動走行システムの内容及び求められる道路構造・管理の試案

	自動運転レベル	活用場面	求められる道路構造	求められる道路管理
1) 圏域間・圏域内連絡 (階層A・B)	現行:レベル2 将来:レベル3・4へ	・小型車やトラックの 列走行(物流) ・除雪車の運転支援	・道路付属物や標識の 集約・簡素化	・区画線が常時認識で きる高い水準の除雪
2) 市町村間連絡 (階層C)	現行: - 将来:レベル2へ	・公共交通 ・除雪車の運転支援	・道路付属物や標識の 集約・簡素化 ・交差点形式の標準化	・高い水準の除雪 ・高い水準の除草
3) 市町村内連絡 (階層D・E)	現行: - 将来:レベル2へ	・公共交通やタクシー ・観光地における送迎 車	・交差点形式の標準化	・中～高程度の除雪 ・中～高程度の除草
4) 専用空間 (階層F)	現行: - 将来:レベル4へ	・観光地内の周遊交通	・例えば、磁気セン サーの埋設	・適宜、除雪・除草

(1) 圏域間・圏域内連絡：階層A・B

高速道路（自動車専用道路）における小型車やトラックの列走行など物流面での適用が考えられる。また、夜間や深夜などの長距離トリップの移動時における適用も考えられる。すでに、一部の市販車に搭載されたLKAS（車線維持支援システム）及びACC（自動操縦制御）により追従走行、すなわちレベル2の自動走行が実現している。将来的にはレベル3及びレベル4といったシステム全体が運転タスクを担うことも期待される。これらの自動走行機能は、主として道路の区画線による線形の認識及び前方車両の挙動の認識に基づき達成されている。よって、将来的に道路付属物や標識の集約・簡素化も期待される。

(2) 市町村間連絡：階層C

将来的にレベル2の自動走行システムの実現が期待される。LKAS及びACCといった自動走行技術が機能するための道路構造及び道路管理が求められる。道路構造では、道路付属物や標識の集約・簡素化が必要とされる。さらに、交差点形式の標準化が求められる。変形交差点をラウンドアバウト化することにより、この階層の交差点形式は、平面十字交差点とラウンドアバウトの2種類に集約できる。また、除雪や除草といった道路管理において高い水準が求められる。

(3) 市町村内連絡：階層D・E

この階層の自動走行システムの導入の活用場面としては、公共交通やタクシーの代替や観光地における送迎車などへの適用など限定的な利用が想定される。対象区間の交差点構造の標準化や適切な道路管理が求められる。

(4) 専用空間：階層F

この階層における自動走行システムの活用場面としては、観光地や公園内などの限定された空間における適用が想定される。限定空間であることから、システム全体全ての運転タスクを行うレベル4の自動走行が実現可能となると思われる。

6. おわりに

自動走行システムに関する研究開発及び公道実証実験は国内外の各地で活発に行われており、今後もこのような動きが加速すると思われる。寒地土木研究所では自動走行システム技術の進展を踏まえた道路インフラの構造・管理に与えるインパクトに関する知見を深める所存である。関係する道路管理者（国土交通省北海道開発局、北海道、自治体）や民間企業（自動車メーカー等）・団体との連携を進めていく予定である。

謝辞：本研究の実施に際し、「自動運転技術の活用による除雪車の運転支援と道路構造・管理に関する研究」の共同研究の参加企業からの協力を賜った。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 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の取組状況，http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/miraitoshikaigi/4th_sangvokakumei_dai3/siryou9.pdf, 2017.
- 2) 国土交通省：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，<http://www.mlit.go.jp/road/TTS/j-htm/automated-driving-FOT/index.html>, 2017.
- 3) 経済産業省北海道産業局：生産性革命の実現に向けて～AI・IoTの地域社会への実装促進～，2017.
- 4) Mcity：Mcity Test Facility, <https://mcity.umich.edu/our-work/mcity-test-facility/>, 2017.
- 5) Wyoming DOT: Wyoming DOT Connected Vehicle Pilot, https://www.its.dot.gov/pilots/pdf/CVP_WYDOTSystemDesign_Webinar.pdf, 2017.
- 6) 橘川 雄樹, 外：自動運転実証実験～位置推定精度の検証, pp.48-53, IATSS Review Vol.42, No.2, Oct., 2017.
- 7) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所寒地交通チーム：安全快適な北の道を目指して, pp.50-56, 交通工学 Vol.43, No.4, 2008.
- 8) 大口 敬：車両の走行道路階層性を考慮した自動運転の適用, pp.25-32, IATSS Review Vol.40, No.2, Oct., 2015.