

高速道路における自動運転の早期実現に向けた取組 ～合流支援情報提供DAY2システムの効果検証実験～

石原雅晃・湯浅克彦・井坪慎二・中川敏正

1. はじめに

自動運転の普及により、交通事故の削減、渋滞の緩和、環境負荷の軽減等の効果が期待されている。「官民ITS構想・ロードマップ」¹⁾では、自動運転の実現に向けた目標が掲げられており、自家用車について2025年を目途に高速道路での自動運転（レベル4）の実現を目指している。

高速道路での自動運転については、高速道路本線への合流が、大きな課題とされている。特に都市高速道路では、連結路から本線への見通しが悪く、かつ加速車線が短い合流部が存在する。このような合流部では、自動運転車は加速車線上のみでは本線合流するために必要な速度と位置の調整が困難な場合がある。そのため、本線上流の交通状況を連結路の段階で自動運転車に情報提供するシステムが求められる。

国土交通省国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）では、道路側と自動車側が協調した合流支援情報提供システムの実用化を目指し、官民共同研究にて実証実験等を行い、技術仕様を作成してきた。国総研が技術仕様を作成することで、自動車会社、センサメカ、道路管理者等による技術開発が促進され、実用性の高い合流支援情報提供システムの実装が期待される。

本稿では、官民共同研究において実施した試験走路での合流支援情報提供DAY2システムの効果検証実験²⁾の概要を紹介する。

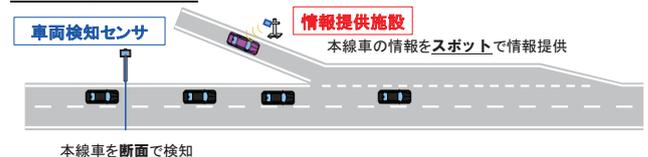
2. 合流支援情報提供システムの概要

自動運転車は、車載センサで周囲を把握し車両制御を行うが、都市内高速の合流部の連結路ではコンクリート壁等で本線の交通状況が把握できない。加速車線も都市内高速は短いため、適切な車間に合流するための時間的余裕が無い。そのため、合流支援情報提供システムは、センサでの本線の

状況の確認が難しい連結路を走行する合流車（自動運転車）に対して、合流部上流を走行する本線車の速度、車長、車間時間等の情報を提供することにより、合流時に本線車と横並びとならないような位置取りの調整を連結路の段階から実施できるように支援する。

合流支援情報提供システムは、「本線車の検知区間」と「合流車への情報提供区間」の違いにより、「DAY1システム」と「DAY2システム」に分類される（図-1）。「DAY1システム」は、本線上流部の特定断面で車両の位置、速度等を検知し、合流車（自動運転車）に単点で情報提供するシステムである。本線車は合流部まで等速度で走行すると仮定し、合流部に到達する時間を算定する。当該システムは、レーザスキャナ等の既存の要素技術のみを用いて構築することが可能である。ただし、本線車が車線変更したり、速度を変更したりする場合、合流支援情報提供システムが提供する到達計算時刻と実際の到達時刻に差異が生じる。一方、「DAY2システム」は、車両検知センサが合流部の一定区間の車両の位置、速度等を0.1秒間隔などで複数回検知し、時々刻々の車両位置等を自動運転車に連続的に提供するシステムである。これは、「DAY1システム」の弱点を解決するものであるが、要素技術が定まっていないため、これまでに本線の車両を空間的に検知するセンサについて検知精度の確認を行ってきた³⁾。

DAY1システム



DAY2システム

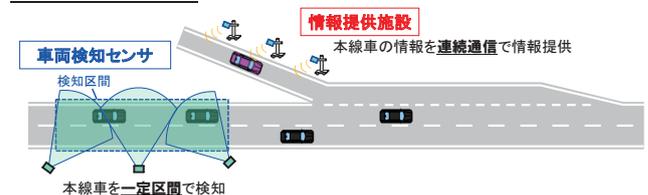


図-1 合流支援情報提供システム（イメージ）

Efforts toward Early Implementation of Automated Driving on Expressways - Field Operational Test to Verify Effectiveness of DAY2 Merging Support Information Provision System

本研究では、実道路への実装が可能なDAY2システムの実用化に向けて、DAY2システムによる合流支援情報提供の有効性について、試験走路で検証することとした。

3. DAY2システムの効果検証実験

3.1 実験の目的

本実験の目的は、DAY2システムによる合流支援情報提供の有効性の検証である。本実験においては、本線車の速度、加速車線長等を複数パターン設定し、これらの実験条件の違いによる合流支援情報提供の効果の差異を明らかにすることとした。

3.2 実験の方法

3.2.1 機器配置レイアウト

試験走路に高速道路の合流部を模した区間を整備し、本線側に車両検知センサ、連結路側に情報提供施設（ITSスポット）を配置した（図-2、図-3）。車両検知センサは、本線側の台座（高さ5m）に設置し、本線車がセンサ検知区間を通過している間の速度、位置、車間時間等を0.1秒間隔で検知した。ITSスポットは、車両検知センサで検知した情報を0.1秒間隔で合流車の車載器に情報提供した。なお、センサ検知区間長及び情報提供区間長は、国総研が作成している合流支援情報提供システムの技術仕様⁴⁾を踏まえて設定した。具体的には、センサ検知区間長は126mと209m（本線速度が40km/hと70km/hの場合を想定して算出）、情報提供区間長は120mに設定した。加速車線長は、都市高速道路の加速車線長の実在する長さや標準値（設計速度100km/hでは180m）⁵⁾を参考に50mと200mに設定した。

3.2.2 合流車への情報提供方法

自動合流のための車両制御システムは各メーカーで開発中であるため今回の実験では用意できず、本実験では、ドライバーによる運転により、自動運転を模した走行を実施した。合流車には合流支援情報を受信できる車載器と、ドライバーが合流支援情報を目視で認識できるよう、本線車の「速度」、「位置」、「車間時間（センサ検知区間に存在する本線車列の車間時間のうち、最も長い車間時間）」を表示するディスプレイを設置した（図-4）。合流車のドライバーは、最大車間時間の本線車間を見ながら、連結路上で速度調整を行い、ソフトノーズ端到達後に本線合流を実施した。



図-3 実験で使用した機器
（左：車両検知センサ、右：ITSスポット）



図-4 合流車への情報提供方法

3.2.3 本線車の走行方法

本線車は、5台の乗用車の車列で走行した。また、本線車は走行開始地点で前方車との車間時間が2秒（都市高速道路で渋滞していない時の標準

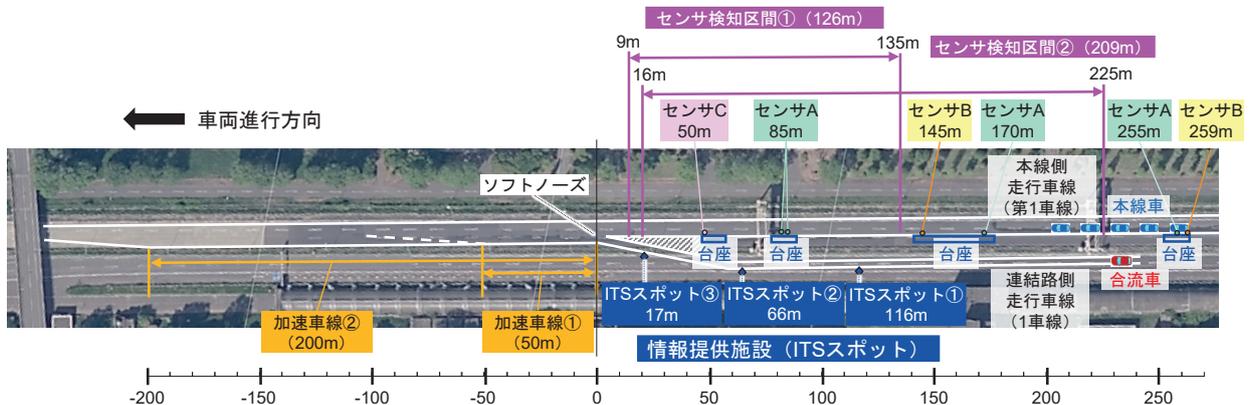


図-2 機器配置レイアウト

出典：国土地理院地図をもとに作成

的な車間時間)になる距離(速度に応じて設定)に配置後、一斉に走行を開始し、指定された速度に到達した時点で走行開始時の車間時間を極力維持できるように運転した。なお、本線車のドライバーには実験前に上記の運転方法を繰り返し練習させて、指定された速度と車間時間での走行を実現した。また、本線車の速度は4速度帯(40km/h~90km/h)とした。

4. 実験結果

4.1 合流成功割合

合流車は連結路で本線の情報が目視できないことを前提として、連結路での情報提供のある場合とない場合で、総走行回数に対して合流が成功した走行回数の割合(合流成功割合)を比較した。「情報提供あり」の場合は合流支援情報をもとに連結路の段階で本線車との速度・位置を調整するが、「情報提供なし」の場合は連結路では本線を確認せずに徐々に加速する。加速車線では、情報提供の有無に関わらず本線の交通状況を目視確認しながら本線合流する。合流成功割合は、特に加

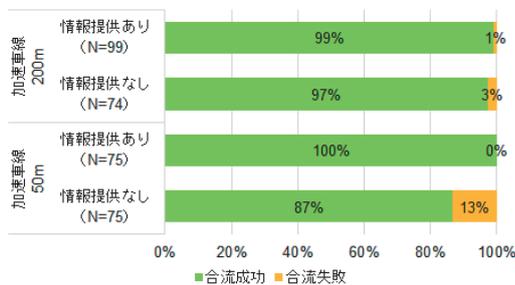


図-5 合流成功割合(全体)

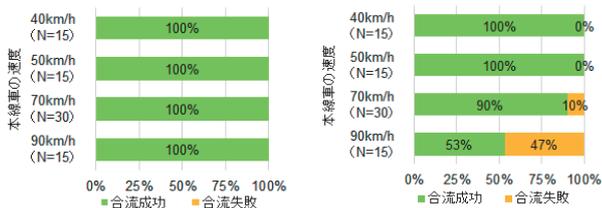


図-6 合流成功割合(本線車の速度別) ※加速車線長50m (左: 情報提供あり、右: 情報提供なし)

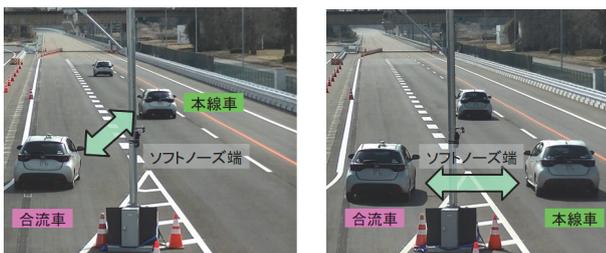


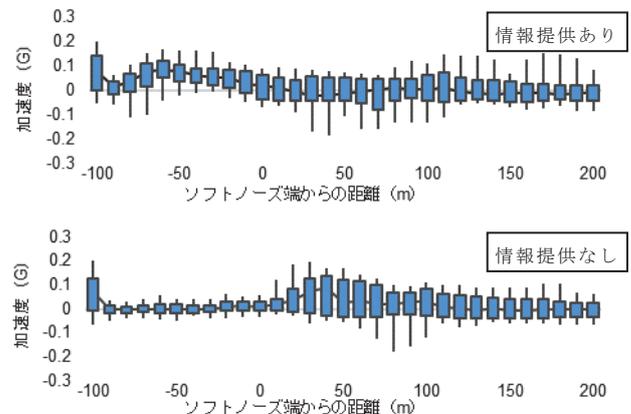
図-7 ソフトノーズ付近での合流車と本線車の位置関係 (左: 情報提供あり、右: 情報提供なし)

速車線長が50mの場合、「情報提供あり」では全数が合流成功であったが、「情報提供なし」では本線車の速度が大きい場合に加速車線内で合流を開始できない場合(合流失敗)が多発した(図-5、図-6)。これは、「情報提供なし」では合流車がソフトノーズ端への到達時に本線車と横並びとなり、短い加速車線では本線車との相対的な速度と位置の調整が完結できなかったためであることを撮影動画等で確認している(図-7)。

4.2 合流車の加速度

合流車の加速度について、センサ検知区間長が209m、本線車の速度が70km/hの場合の集計結果を図-8に示す。最大加速度は、「情報提供あり」では連結路、「情報提供なし」では加速車線で発生した。特に加速車線長が50mの場合にこの傾向が顕著であり、「情報提供あり」では「情報提供なし」に比べて加速度の変化幅を小さく抑えることができた。これは、情報提供により合流車が連

加速車線長が200mの場合



加速車線長が50mの場合

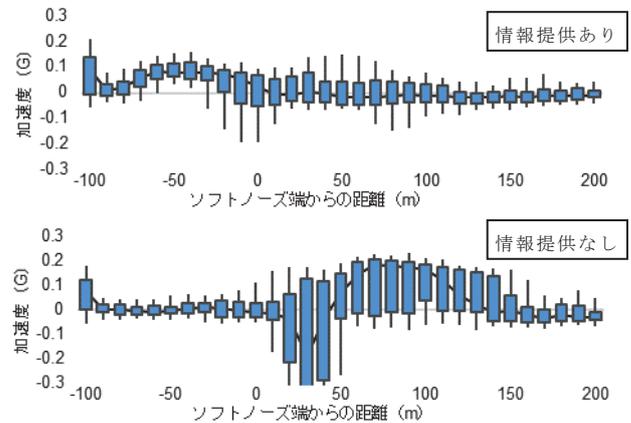


図-8 合流車の加速度の例

※ 横軸の負の値は連結路、正の値は加速車線~本線である。
 ※ 縦棒の上端は最大値、下端は最小値、箱の上端は85%タイル値、下端は15%タイル値、折れ線は中央値である。

結路の段階で加速を開始し、加速車線での安全・円滑な本線合流ができていたことを示唆している。

4.3 合流車の角速度

合流車の本線合流時の角速度（センサ検知区間長209m）を図-9に示す。加速車線長が200mの場合は角速度が小さく、情報提供の有無による差異も小さかった。一方で、加速車線長が50mの場合、「情報提供なし」では大きな角速度が発生したのに対し、「情報提供あり」では小さく抑えられており、急ハンドルが抑制されていた。

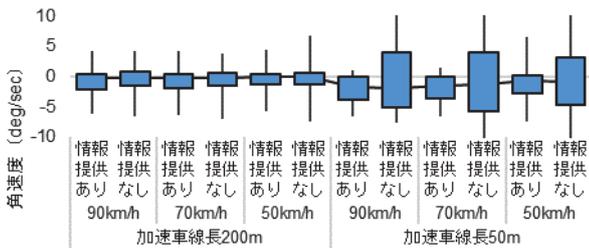


図-9 合流車の角速度の例

※ プラスの角速度は右旋回、マイナスの角速度は左旋回である。
 ※ 縦棒の上端は最大値、下端は最小値、箱の上端は85%タイル値、下端は15%タイル値、折れ線は中央値である。

4.4 回避行動（避走）の発生状況

本線合流前後での本線後方車の回避行動（避走）は、限定的であった（全330走行のうち、3走行）（図-10）。これは、実験上の安全確保のため、本線合流が困難な場合に、合流車は無理な本線合流をしなかったことが影響している。



図-10 本線後方車の回避行動（避走）の例

5. おわりに

本稿では、DAY2システムの効果検証実験を通じて、合流の円滑性を示す評価指標等が改善され

ることを確認した。合流車が合流支援情報をもとに連結路の段階で本線車との相対的な位置と速度の調整を行った結果、加速車線内での運転に余裕ができ、より安全・円滑な本線合流が実現したものと考えられる。

国総研では、本実験の結果等をもとに、共同研究において合流支援情報提供システムの技術仕様を作成し、公表したところである。今後は、自動運転トラックを対象として、実道における合流支援情報提供システムの効果検証実験を実施することを計画している。引き続き、共同研究等を通じて、早期の自動運転の実用化に向け、安全・安心・円滑な道路の実現に寄与していきたい。

謝辞

本研究は、国総研が民間企業等30者ととともに、「次世代の協調ITSの実用化に向けた技術開発に関する共同研究」での調査研究にて取得したデータについて、分析及び取り纏めを行ったものである。関係各位のご協力に深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 官民ITS構想・ロードマップ、2021年6月15日、<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20210615/roadmap.pdf> (閲覧年月日：2023年3月1日)
- 2) 中川敏正、井坪慎二、関谷浩孝、石原雅晃、湯浅克彦、花守輝明、中田 諒、藤村亮太：合流支援情報提供システム（DAY2システム）の効果検証実験、土木計画学研究・講演集、Vol.66、2022。
- 3) 中川敏正、関谷浩孝、中田 諒、藤村亮太：合流支援情報提供システム（DAY2システム）の車両検知センサの計測精度に関する基礎検討、交通工学論文集、8巻、1号、pp.49~58、2022。
- 4) 国土交通省国土技術政策総合研究所：合流支援情報提供システム仕様書原案 Ver 0.1、2023。
- 5) 公益社団法人日本道路協会：道路構造令の解説と運用（令和3年3月版）、2021。

石原雅晃



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部高度道路交通システム研究室 研究官
ISHIHARA Masaaki

湯浅克彦



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部高度道路交通システム研究室 交流研究員、現 星和電機株式会社
YUASA Katsuhiko

井坪慎二



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部 高度道路交通システム研究室長、博士（工学）
Dr. ITSUBO Shinji

中川敏正



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部高度道路交通システム研究室 主任研究官
NAKAGAWA Toshimasa