

# 合流支援情報提供システム（DAY2 システム） の効果検証実験

中川 敏正<sup>1</sup>・井坪 慎二<sup>2</sup>・関谷 浩孝<sup>3</sup>・石原 雅晃<sup>4</sup>・湯浅 克彦<sup>5</sup>・  
花守 輝明<sup>6</sup>・中田 諒<sup>7</sup>・藤村 亮太<sup>8</sup>

<sup>1</sup> 非会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室

(〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail: nakagawa-t92wz@mlit.go.jp

<sup>2</sup> 正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室

E-mail: itsubo-s92ta@mlit.go.jp

<sup>3</sup> 非会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路交通研究部

E-mail: sekiya-h92tb@mlit.go.jp

<sup>4</sup> 正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室

E-mail: ishihara-m92ta@mlit.go.jp

<sup>5</sup> 非会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室

E-mail: yuasa-k924a@mlit.go.jp

<sup>6</sup> 非会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室

E-mail: hanamori-t9256@mlit.go.jp

<sup>7</sup> 非会員 阪神高速道路株式会社

E-mail: ryo-nakata@hanshin-exp.co.jp

<sup>8</sup> 非会員 愛知製鋼株式会社

E-mail: r-fujimura@he.aichi-steel.co.jp

試験走路にて合流支援情報提供システム（DAY2 システム）を構築し、システムの効果検証実験を行った。具体的には、DAY2 システムの設置後に車両を走行させて、本線合流時の合流車と本線車の車両挙動について合流支援情報の有無別に様々な評価指標で比較分析した。また、本実験では本線の交通状況や合流部の道路構造の違いによる合流支援情報の効果の差異を把握するため、「合流車の走行方法」、「本線車の速度」、「加速車線長」、「センサ検知区間長」を複数パターン設定した。その結果、加速車線長が 50m の場合でも合流支援情報の提供により、合流車の全数が本線合流可能なことを明らかにした。

**Key Words:** *merging support information provision system (DAY2 system), automated driving, field operational test*

## 1. 研究の背景と目的

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、自動運転を実現する上で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。そのため、高速道路における安全で円滑な自動運転を実現するには、路側に設置した車両検知センサが合流部より上流

の本線を走行する車両の速度、車長、車間時間等を検知し、合流する自動運転車に情報提供する合流支援情報提供システムが不可欠となる。

政府が策定している「官民 ITS 構想・ロードマップ」においては、「高速道路の合流支援情報の提供」を自動運転の一層の進展に向けた重点施策として位置づけており、官民挙げての迅速な取り組みが期待されている。

このような背景から、国土技術政策総合研究所（以下

「国総研」という.) では、路側インフラと協調した合流支援情報提供システムの実用化を目指し、合流支援情報提供システムを構成する基幹的な要素技術の現状の技術水準を把握するとともに、当該調査結果を踏まえた合流支援情報提供システムの技術仕様を作成している。国総研が技術仕様を作成することで、自動車会社、センサメーカ、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。

本研究では、合流支援情報提供システム (DAY2 システム) について、試験走路での効果検証実験 (以下「本実験」という.) を通じてシステムの有効性を検証するものである。実証実験による DAY2 システムの効果検証は、世界初の取組となる。なお、DAY2 システムの有効性は、合流車や本線車の走行方法や合流部の道路構造によっても異なることが想定される。このため、本実験では「合流車の連結路での走行方法」、「本線車の速度」、「加速車線長」、「センサ検知区間長」を複数パターン設定することで、合流部の交通状況や道路構造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。これにより、DAY2 システムが有効に機能する道路条件、交通条件が特定でき、DAY2 システムの早期の実用化に向けた基礎的知見を取得するとともに、将来的な DAY2 システムの実道展開に際しての指針を提示することを企図している。

## 2. 合流支援情報提供システムの概要

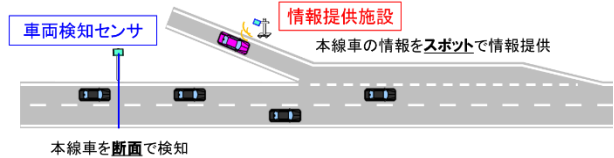
合流支援情報提供システムは、合流部上流の本線を走行する車両の速度、車長、車間時間等に係る情報について、連結路を走行する自動運転車に対して提供することにより、自動運転車の円滑な合流を支援するものである。これにより、自動運転車が本線車の位置、速度、車間時間等の情報をもとに本線車と横並びとならないように位置取りを連結路の段階で調整し、自動合流することを支援する。

合流支援情報提供システムは、大別して「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速度、車長等を検知し、本線に合流する自動運転車にスポット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て、合流部に到達する時間を算定する。当該システムは、既存の要素技術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速度、車長等を 0.1

秒間隔などで複数回検知し、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、現時点では、車両検知センサや情報提供施設が技術的に定まっていない。

### DAY1 システム



### DAY2 システム

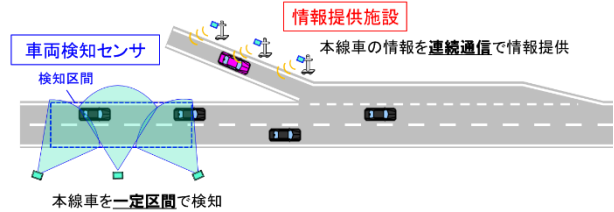


図-1 合流支援情報提供システム (イメージ)

## 3. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

### (1) 既往研究の整理

a) **ドライバー車への合流部での運転支援に関する研究**  
清水ら<sup>2)</sup>は、首都高速道路において走行支援システム (AHS) の合流支援情報提供の模擬実験を行い、情報提供が車両挙動や運転操作に与える影響を考察している。大石ら<sup>3)</sup>は、ドライビングシミュレータを用いて ACC で走行する本線車に対する速度誘導灯の効果を検証し、本線車のドライバーに適切な速度調整を促す効果を確認している。柳原ら<sup>4)</sup>は、阪神高速道路を再現した仮想走行実験により、小型情報板による合流支援情報提供が運転意図に与える影響を示している。Jiang<sup>5)</sup>は、運転手が制御するコネクティッド車等を対象として、本線車間とランプ上の合流車のペアに基づいた、路車協調の動的合流支援の手法を提案している。

### b) 自動運転車への合流部での運転支援に関する研究

Tieman ら<sup>6)</sup>は、オープンソース型のプラットフォーム (CARMA) を用いて、合流支援の実証実験の手法と主要な性能指標を提案している。谷田ら<sup>7)</sup>は、自動運転車の合流制御プログラムにおける行動計画生成のため、阪神高速道路において撮影した合流部の映像から、現状の合流の場の形成パターンを大きく 3 つに分類し、合流地点で観測可能な前後車両との位置関係、速度比、車頭距離差等のデータを用いて高精度に分類できる可能性を示唆している。畑山ら<sup>8)</sup>は、合流部の車両の急な減速による渋滞発生の問題に着目し、合流部での協調型自動運転による渋滞緩和手法を提案し、交通量ごとに適した車両

群の最適な行動パターンを導いている。

(2) 本研究の位置づけ

ドライバー車への合流部での運転支援に関する研究については、システムや道路施設による合流支援情報提供の効果をシミュレーションを通じて検証した研究が確認された。また、自動運転車への合流部での運転支援に関する研究については、合流支援システムのフレームや計算方法を提案するものが多く、DAY2 システムの実証実験に係る研究は確認されなかった。

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 システムの有効性について、世界初の実証実験を通じて検証するものである。

4. DAY2 システムの効果検証実験

(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。また、合流車の連結路での走行方法、本線車の速度、加速車線長、センサ検知区間長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。

(2) 実験の方法

a) 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)。車両検知センサの機種は、センサ A とセンサ B が LiDAR、センサ C はレーダーであり、本線側の台座 (高さ 5m) に設置した。車両検知センサは、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、本線車の速度、位置、車

間時間等を 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<sup>9)</sup>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、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や、都市間高速道路の加速車線の標準値 (設計速度 100km/h では 180m)<sup>10)</sup>を参考に 50m と 200m に設定した。

b) 通信領域の設定方法

DAY2 システムは、合流車に連続通信で合流支援情報を提供するシステムであるが (図-1)、現時点では連続通信を行う情報提供施設が技術的に定まっていない。このため、本実験では ITS スポットを複数機 (3 基) 設置することで、連続通信を模した通信領域を設定した。ITS スポットは、電波干渉を避けるために周波数帯域を変えて連続的に通信可能な区間 (120m) を構築した (図-4)。各 ITS スポットの通信領域はスポット位置の手前の約 15m の区間とし、ITS スポット間に周波数切替えのために必要な非通信領域 (約 35m) を設定した。



図-3 実験で使用した機器

(左: 車両検知センサ, 中: ITS スポット, 右: 路側処理装置)

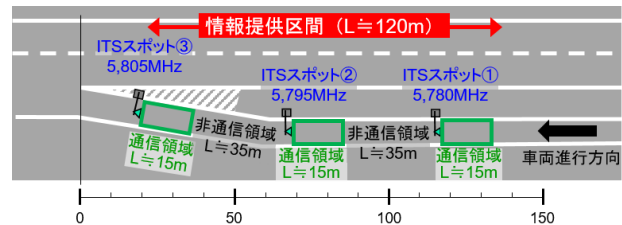


図-4 ITS スポットの通信領域

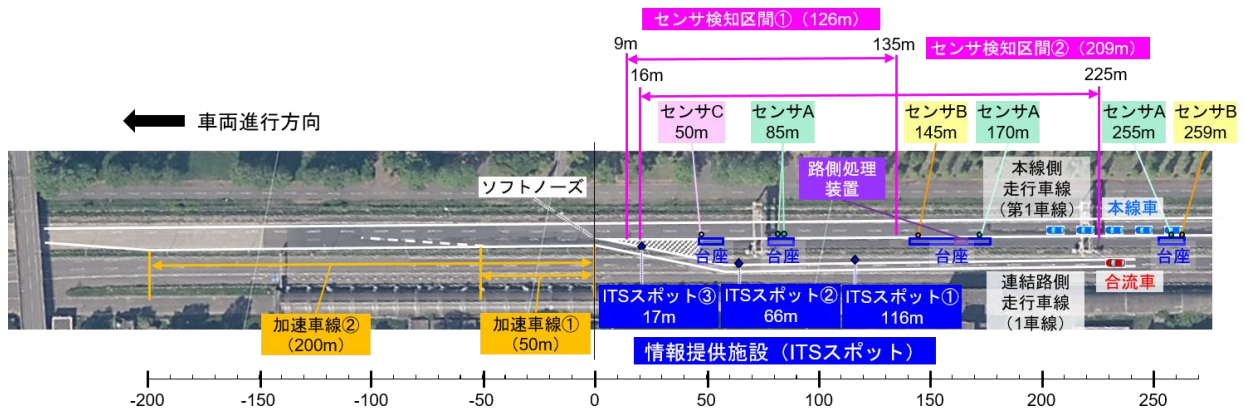


図-2 機器配置レイアウト

出典: 国土地理院地図をもとに作成

c) 合流車の走行方法

合流車（乗用車）の走行方法は、図-5の通りとした。まず、「情報提供あり」では2つのパターンを設定した。パターン1は、連結路では合流支援情報に基づき自由な速度で走行し、加速車線では合流支援情報と自車で検知した周辺車両情報に基づいて自由な速度で走行するパターンである。パターン2は、連結路では合流支援情報に基づき本線規制速度（60km/h）以内で走行し、加速車線では合流支援情報と自車で検知した周辺車両情報に基づいて自由な速度で走行するパターンである。次に「情報提供なし」では、連結路では本線規制速度（60km/h）以内で走行し、加速車線では自車で検知した周辺車両情報に基づいて、自由な速度で走行するパターンのみとした（パターン3）。

なお、自動合流のための車両制御システムは開発中であるため、本実験では自動運転車を手配することができなかった。このため、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。具体的には、合流車は極力等速度での走行と等加速度での走行を行えるよう、ドライバーに十分な訓練を実施したうえで実験を行った。また、本実験では実験の安全確保のため、本線合流が困難である場合は合流車は無理な本線合流を行わず、加速車線上をそのまま走行した。

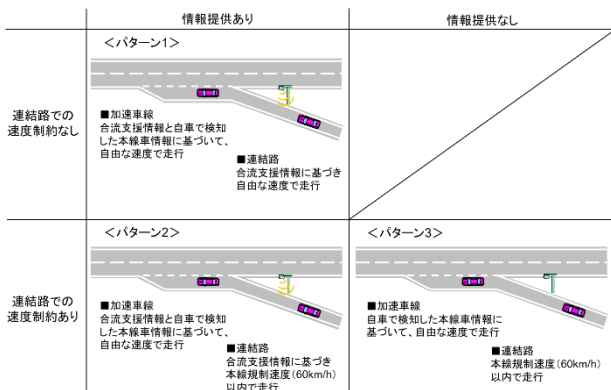


図-5 合流車の走行方法

合流車の走行開始地点は、ソフトノーズ端（以下「SN端」という。）から約300m手前とした。また、合流車は加速車線で本線車と遭遇できるよう、本線車の速度に応じた時間差を設定して走行を開始した。

d) 合流車への情報提供方法

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（センサ検知区間内に存在する本線車列の最大車間時間のみ）」を表示するディスプレイを設置した（図-6）。合流車のドライバーは、最大車間時間の車間を見ながら、連結路上で速度調整を行い、SN端到達後に本線合流を実施した。



図-6 合流車への情報提供方法

e) 本線車の走行方法

本線車（乗用車）は、5台の車列で走行した。本線車の走行開始地点は、センサ検知区間を指定された速度で走行できるよう、SN端から約780m上流（先頭車両の位置）に設定した。また、本線車は走行開始地点で前方車との車間時間が2秒になる距離（速度に応じて距離を設定）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、センサ検知区間長が209mの場合は50km/h、70km/h（基準速度）、90km/h、センサ検知区間長が126mの場合は40km/h（基準速度）と70km/hとした。ここでの基準速度とは、センサ検知区間長を算出するうえで前提とした本線車の速度である。

f) 走行回数

本実験では、「合流車の連結路での走行方法」、「本線車の速度」、「加速車線長」、「センサ検知区間長」の組合せを変えて、センサ毎に110回（計330回）の走行を行った。実験条件別の走行回数の詳細は、表-1の通りである。

表-1 実験条件別の走行回数

| No. | 合流車の連結路での走行方法 | 本線車の速度 | 加速車線長 | センサ検知区間長 | 走行回数   |        |
|-----|---------------|--------|-------|----------|--------|--------|
|     |               |        |       |          | 情報提供あり | 情報提供なし |
| 1   | 連結路での速度制約なし   | 70km/h | 200m  | 126m     | 5      | 5      |
| 2   |               | 40km/h |       |          | 5      | 5      |
| 3   |               | 70km/h |       |          | 5      | 5      |
| 4   |               | 40km/h |       |          | 5      | 5      |
| 5   |               | 90km/h |       |          | 5      | 5      |
| 6   |               | 70km/h |       |          | 5      | 5      |
| 7   |               | 50km/h | 209m  | 209m     | 5      | 5      |
| 8   |               | 90km/h |       |          | 5      | 5      |
| 9   |               | 70km/h |       |          | 5      | 5      |
| 10  |               | 50km/h |       |          | 5      | 5      |
| 11  |               | 70km/h |       |          | 5      | —      |
| 12  |               | 50km/h |       |          | 5      | —      |
| 計   |               |        |       |          | 60     | 50     |

(3) 実験の検証

a) 検証に使用するデータ

・ 合流車と本線車の位置情報

合流車と本線車（5台）にRTK測位が可能なGNSS受信機を設置し、合流車と本線車の緯度経度情報（0.1秒単位）を取得した。

・ 合流部付近のカメラ映像

SN端の上流側と下流側、SN端付近にカメラを設置し、合流車の本線合流時の映像を取得した。当該映像は、分

析時に合流車の状況を確認するために用いた。

b) 合流支援情報提供の効果の評価

DAY2 システムによる合流支援情報提供の効果を検証するため、合流車の車両挙動の観点から「合流成功割合」, 「衝突余裕時間 (Time to Collision: TTC) 」, 「追突危険性指標 (Possibility Index of Collision with Urgent Deceleration: PICUD) 」, 「合流に要する距離」, 「加減速」, 「急ハンドル (角速度) 」を評価指標に設定した。また、本線車の車両挙動の観点から「回避行動 (避走) 」の発生状況を評価指標に設定した。各評価指標について、以下に詳述する。

・ 合流成功割合

合流車が SN 端から加速車線の終端 (SN 端から 200m 又は 50m 下流側) までに合流を開始し、かつ加速車線終端から 50m 下流位置 (テーパー端に相当) までに合流を完了した場合、「合流成功」と判定した。一方、合流車が本線合流しなかった場合や、加速車線終端から 50m 下流位置までに合流を完了しなかった場合は、「合流失敗」と判定した。合流成功割合は、各実験条件における総走行回数に対する合流が成功した走行回数の割合である。なお、合流開始地点は合流車の右側前方が区画線を越えた地点、合流終了地点は合流車の左側後方が区画線を越えた地点とした。

・ TTC

合流車と本線前方車 (本線後方車) が速度と走行方向を維持している時、後方車が前方車に追いつくまでの時間である<sup>12)</sup>。合流車、本線車の位置情報をもとに、合流開始から合流終了までの TTC を 0.1 秒毎に算出した。

・ PICUD

先行車 (合流車又は本線先行車) が急減速した際、後方車 (本線後方車又は合流車) が遅れて急減速して停車した時の相対位置である<sup>13)</sup>。合流車、本線車の位置情報をもとに、合流開始から合流終了までの PICUD を 0.1 秒毎に算出した。

・ 合流に要する距離

合流開始地点から合流終了地点までに要した距離である。合流車の位置情報 (0.1 秒毎) をもとに合流開始地点と合流終了地点を特定し、合流に要する距離を算出した。

・ 加減速

合流車が連結路から加速車線を走行するまでに発生した加速度である。合流車の位置情報をもとに、0.1 秒毎の加速度を算出した。また、全走行については 10m の区間毎で集計、代表的な走行については移動平均値 (0.5 秒毎, 1.0 秒毎) で集計した。

・ 急ハンドル (角速度)

合流車が旋回時の角度変化量をもとに、0.1 秒毎の角速度を算出し、移動平均値 (1.0 秒毎) を集計した。

・ 回避行動 (避走) の発生状況

合流車の本線合流前後において、合流車の本線後方車が合流車を回避するために車線変更することである。本線後方車の位置情報を地図上に投影し、車線変更した本線後方車の台数を集計した。

5. 実験結果

(1) 合流成功割合

合流成功割合は、図-7の通りである。「情報提供あり」では合流成功回数は 173 回 (成功率: 99.4%) , 「情報提供なし」では合流成功回数は 137 回 (同: 91.9%) であった。特に加速車線長が 50m の場合、「情報提供なし」では本線車の速度が大きい場合に合流失敗が多発している (図-8) 。これは、「情報提供なし」では合流車が SN 端に到達時に本線車と横並びとなり、短い加速車線のみ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と推察される (図-9) 。

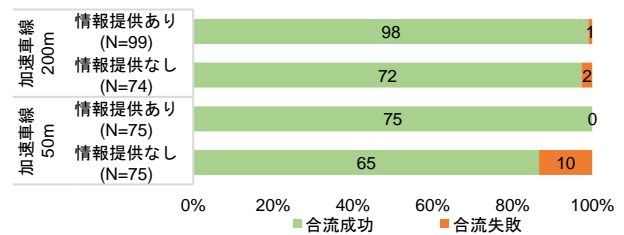


図-7 合流成功割合 (全体)

※ 加速車線長が 200m の場合の合流失敗時の本線車の速度は、「情報提供あり」が 70km/h, 「情報提供なし」が 90km/h である。

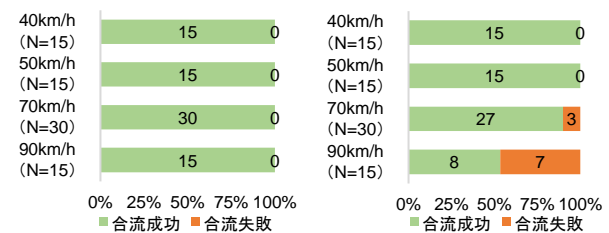


図-8 合流成功割合 (本線車の速度別)

(左: 情報提供あり, 右: 情報提供なし)

※ 加速車線長が 50m の場合である。



図-9 SN 端付近での合流車と本線車の位置関係

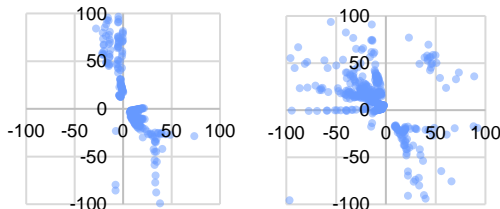
(左: 情報提供あり, 右: 情報提供なし)

(2) TTC

合流車と本線車との TTC は、図-10 の通りである。

「情報提供あり」の場合、合流車と本線前方車との TTC、合流車と本線後方車との TTC の双方ともに正負の領域に分布している。「情報提供なし」の場合、合流車と本線前方車との TTC はマイナス、合流車と本線後方車との TTC はプラスの領域に多く分布している。特に加速車線長が 50m の場合、合流車と本線前方車との TTC は 10 秒～0 秒、合流車と本線後方車との TTC は 0 秒～10 秒の領域に集中して分布している。「情報提供なし」の場合、合流車と本線前方車とは車間が拡大、合流車と本線後方車とは車間が縮小する傾向であり、危険側の本線合流が発生している。これは、「情報提供あり」の場合、合流車は本線後方車に比べて大きい速度で本線合流した一方で、「情報提供なし」では合流車が合流開始までに本線車と同程度の速度まで加速しきれなかったことを示唆している。

・ 加速車線長が 200m の場合



・ 加速車線長が 50m の場合

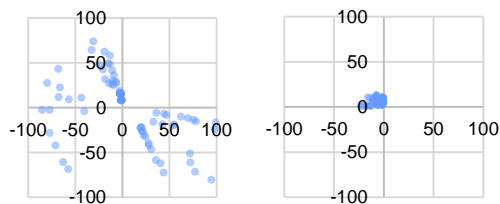


図-10 合流車と本線車との TTC

(左：情報提供あり，右：情報提供なし)

※ 横軸は合流車と本線前方車との TTC，縦軸は合流車と本線後方車との TTC である（本線車の速度は 90km/h）。

※ サンプル数は，137～547 である。

(3) PICUD

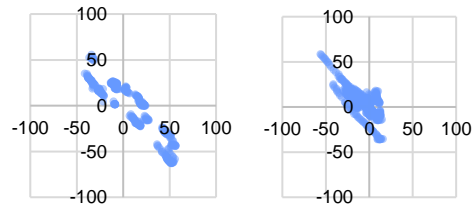
合流車と本線車との PICUD は，図-11 の通りである。

「情報提供あり」の場合，合流車と本線前方車との PICUD，合流車と本線後方車との PICUD の双方ともに正負の領域に分布している。「情報提供なし」の場合，合流車と本線前方車との PICUD はマイナス，合流車と本線後方車との PICUD はプラスの領域に多く分布している。

特に加速車線長が 50m の場合，この傾向が顕著であった。「情報提供なし」の場合，合流車と本線前方車とは車間が拡大，合流車と本線後方車とは車間が縮小する傾向であり，危険側の合流が発生している。これは，「情報提供あり」の場合，合流車は本線の前後車両の中間位

置から適度にばらついた位置に本線合流したのに対し，「情報提供なし」の場合，本線前方車と車間が短く，本線後方車と車間が長い位置に本線合流したことを示唆している。

・ 加速車線長が 200m の場合



・ 加速車線長が 50m の場合

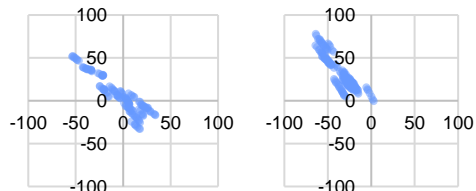


図-11 合流車と本線車との PICUD

(左：情報提供あり，右：情報提供なし)

※ 横軸は合流車と本線前方車との PICUD，縦軸は合流車と本線後方車との PICUD である（本線車の速度は 90km/h）。

※ 減速時の加速度は  $0.3 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ ，反応遅れ時間は 1.0s である。

※ サンプル数は，137～547 である。

(4) 合流に要する距離

合流に要する距離は，図-12 の通りである。加速車線長が 200m の場合，合流に要する距離（平均値）は情報提供により小さくなる一方で，加速車線長 50m の場合，情報提供により大きくなる（表-2）。これは，加速車線長が短い場合，合流車が加速車線上で速度調整できる距離の制約が大きく，合流終了地点が限定される中で，合流開始地点が上流側となるためである。

・ 加速車線長が 200m の場合

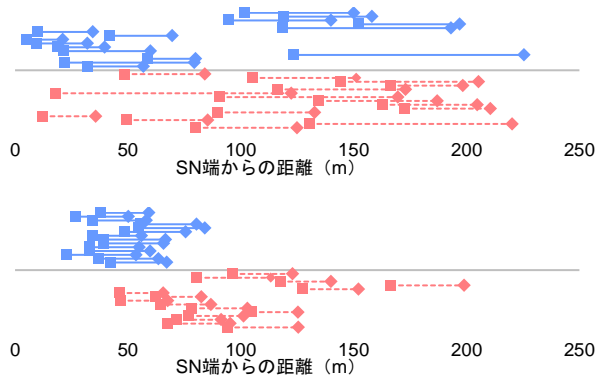


図-12 合流に要した距離

(上段：本線速度 70km/h，下段：本線速度 40km/h)

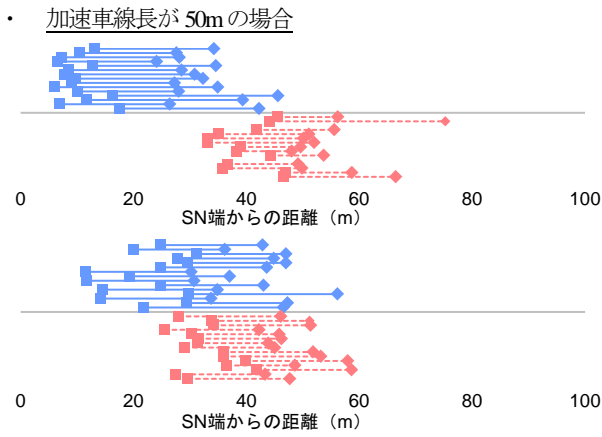


図-12 合流に要した距離 (続き)

(上段：本線速度 70km/h, 下段：本線速度 40km/h)

- ※ グラフの左端 (■) は合流開始地点, 右端 (◆) は合流終了地点である。
- ※ 実線は「情報提供あり」, 破線は「情報提供なし」である。

表-2 合流に要する距離

| 加速車線長 | 本線車の速度 | 情報提供の有無 | 平均値   | 標準偏差  |
|-------|--------|---------|-------|-------|
| 200m  | 70km/h | 情報提供あり  | 40.48 | 23.48 |
|       |        | 情報提供なし  | 52.35 | 22.71 |
|       | 40km/h | 情報提供あり  | 25.39 | 2.88  |
|       |        | 情報提供なし  | 24.70 | 4.59  |
| 50m   | 70km/h | 情報提供あり  | 21.99 | 4.05  |
|       |        | 情報提供なし  | 15.05 | 5.90  |
|       | 40km/h | 情報提供あり  | 19.04 | 2.92  |
|       |        | 情報提供なし  | 16.17 | 1.86  |

- ※ 単位はメートルである。

(5) 加減速

合流車の加速度は、表-3 及び図-13 の通りである。「情報提供あり」では最大加速度は連結路, 「情報提供なし」では最大加速度は加速車線で発生している。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」では加速度の最大値が 0.2G 程度に留まるのに対し, 「情報提供なし」では加速度の最小値が -0.4G を超えている。また, 加速車線以降 (50m~) での最大加速度も 0.2G 程度となっている (図-13)。これは情報提供により, 合流車が連結路の段階で加速を開始し, SN 端に到達時には本線車の速度と同等の速度に達していたことを示唆している。なお, 本実験では実験上の安全確保のため, 合流車の本線合流が困難である場合は無理な本線合流を行わなかったため, 加速度の中央値は情報提供の有無に関わらず小さく抑えられている。

表-3 合流車の加速度 (本線車の速度別)

| 加速車線長 | 本線車の速度 | 情報提供の有無 | 中央値   | 最小値    | 最大値   |
|-------|--------|---------|-------|--------|-------|
| 200m  | 90km/h | 情報提供あり  | 0.070 | -0.098 | 0.177 |
|       |        | 情報提供なし  | 0.028 | -0.109 | 0.174 |
|       | 70km/h | 情報提供あり  | 0.027 | -0.180 | 0.192 |
|       |        | 情報提供なし  | 0.022 | -0.170 | 0.196 |
|       | 50km/h | 情報提供あり  | 0.007 | -0.212 | 0.241 |
|       |        | 情報提供なし  | 0.003 | -0.247 | 0.203 |
| 50m   | 90km/h | 情報提供あり  | 0.055 | -0.074 | 0.166 |
|       |        | 情報提供なし  | 0.037 | -0.335 | 0.185 |
|       | 70km/h | 情報提供あり  | 0.026 | -0.189 | 0.202 |
|       |        | 情報提供なし  | 0.022 | -0.489 | 0.224 |
|       | 50km/h | 情報提供あり  | 0.009 | -0.180 | 0.210 |
|       |        | 情報提供なし  | 0.009 | -0.424 | 0.246 |

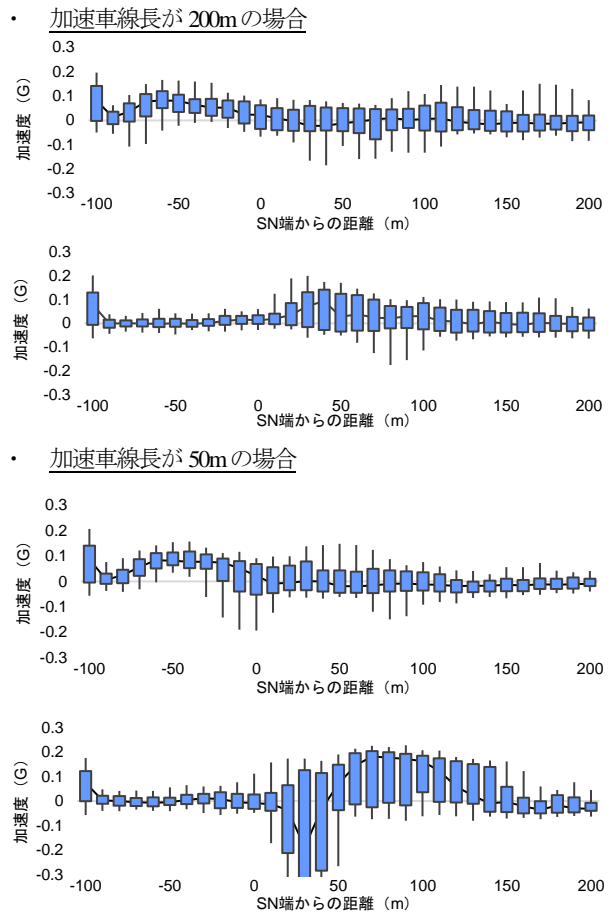


図-13 合流車の加速度 (全走行)

(上段：情報提供あり, 下段：情報提供なし)

- ※ 横軸のマイナス側は連結路, プラス側は加速車線である。
- ※ 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。
- ※ センサ検知区間長が 209m, 本線車の速度が 70km/h の場合である (サンプル数は, 13~15)。

(6) 急ハンドル (角速度)

合流車の本線合流時の角速度は、図-14 の通りである。加速車線長が 50m の場合, 「情報提供なし」では角速度の分布幅が大きかった。

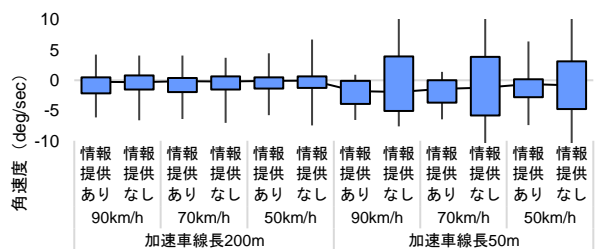


図-14 合流車の角速度

- ※ 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。
- ※ センサ検知区間長が 209m の場合の角速度である (サンプル数は 13~15)。

また、8.5deg/sec超の角速度（ETC2.0の急挙動の閾値に相当）は、加速車線長が50mの場合は発生しているが、加速車線長が200mの場合では発生しなかった。これは、加速車線長が短くかつ情報提供がない場合、加速車線上で速度調整に使用できる距離の制約がある中で調整すべき速度幅が大きく、合流車が急な角度で本線合流せざるを得ないためと推察される。

(7) 回避行動（避走）の発生状況

合流車の本線後方車の回避行動（避走）の発生状況は、図-15の通りである。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（「情報提供あり」では1回、「情報提供なし」では2回）。これは、本実験では実験上の安全確保のため、合流車の本線合流が困難な場合は無理な本線合流を行わず、加速車線をそのまま走行したことが影響していると推察される。

また、本線後方車の回避行動（避走）は、2つのパターンに分類できた。パターン1は、合流車が急な本線合流を行った結果、本線後方車の前方の空間が狭くなったパターンである（図-16）。このパターンは、「情報提供なし、本線車の速度90km/h」で1回発生した。パターン2は、合流車と本線後方車がSN端に同時に到達し、本線後方車が合流車の存在に反応して車線変更したパターンである（図-17）。このパターンは、「情報提供あり、本線車の速度50km/h」、「情報提供なし、本線車の速度90km/h」で1回ずつ発生した。

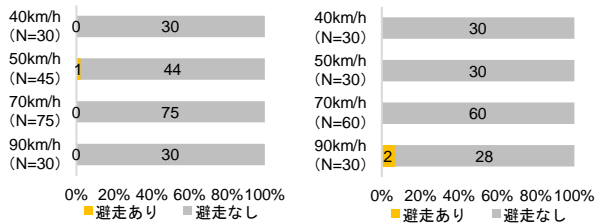


図-15 本線後方車の回避行動（避走）状況  
(左：情報提供あり，右：情報提供なし)



図-16 本線後方車の回避行動（避走）（パターン1）



図-17 本線後方車の回避行動（避走）（パターン2）

6. 合流支援情報提供に関する効果分析

(1) 分析の基本的考え方

合流車が合流支援情報を提供された場合、連結路で事前の速度調整を行うため、余裕を持って本線合流が可能となる。このため本節では、各評価指標について、「情報提供あり」と「情報提供なし」を比較することにより、合流支援情報提供の効果を分析する。

(2) 合流支援情報提供の効果

a) 合流成功割合

合流成功割合は、情報提供により向上した。「情報提供あり」では99%、「情報提供なし」では92%であった（図-7）。特に加速車線長が50mの場合、情報提供の有無による合流成功割合の差異が大きかった（「情報提供あり」では100%、「情報提供なし」では87%）。これは、加速車線長が短い場合、合流車が加速車線上で速度調整可能な距離の制約が大きく、合流支援情報提供による連結路での速度調整が合流の成否を左右する場面が多いためと考えられる。

b) TTC

TTCは、情報提供により合流車と本線後方車とのTTCが安全側にシフトした（図-10）。「情報提供あり」では正負の領域に分布しているが、「情報提供なし」ではプラスの領域に多く分布している。特に加速車線長が50mの場合にこの傾向が顕著であり、TTCが0秒～10秒の割合は、「情報提供あり」では7%、「情報提供なし」では94%となった。これは、合流支援情報提供により、合流車が本線後方車と比較して大きい速度で本線合流したためと推察される。

c) PICUD

PICUDは、情報提供により安全側にシフトした（図-11）。「情報提供あり」では、合流車と本線前方車のPICUD、合流車と本線後方車のPICUDの双方ともに正負の領域に分布している。「情報提供なし」では、合流車と本線前方車とのPICUDはマイナスの領域、合流車と本線後方車とのPICUDはプラス領域に多く分布している。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」では合流車と本線前方車とのPICUDがプラスの割合は55%、合流車と本線後方車とのPICUDがプラスの割合は53%、「情報提供なし」では合流車と本線前方車とのPICUDがマイナスの割合は98%、合流車と本線後方車とのPICUDがプラスの割合は99%であった。これは、合流支援情報提供により、合流車が本線前方車と本線後方車の中間位置から適度にばらついた位置に合流したためと推察される。

d) 合流に要する距離

合流に要する距離は、情報提供により加速車線長が200mでは短くなるが、加速車線長が50mでは長くなった（図-12）。これは、加速車線長が50mの場合、合流車が加速車線上で速度調整可能な距離に制約がある中で、

情報提供により合流開始地点が手前となったためである（合流終了地点が SN 端から遠くなったのではない。）。

#### e) 加速度

加速度は、「情報提供あり」では連結路の段階で加速が行われ、SN 端付近で本線車と同等の速度となった（図-13）。また、「情報提供なし」では、 $-0.2G$  を超える急減速が発生したことが確認された（表-3）。

#### f) 角速度

角速度は、「情報提供なし」では  $8.5\text{deg/s}$  超の角速度が発生したが、「情報提供あり」では発生しなかった（図-14）。

上記の通り、情報提供により多くの評価指標について改善されたことを確認した。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言える。

## 7. 考察と今後の課題

### (1) 多様な交通状況下での DAY2 システムの効果検証

本実験は、実験の安全確保や実験条件の管理のしやすさを考慮し、本線車の車間時間は極力等間隔（2 秒）を維持した形で実施した。ただ、本線車の車間時間（2 秒）は本線合流にはやや余裕のある車間時間であるうえ、かつ本線車の車間時間のばらつきが小さかったため、合流車が最大車間時間ではない本線車間にも本線合流した可能性がある。

DAY2 システムによる合流支援情報提供がより効果を発揮するのは、本線車間時間のばらつきが大きく（本線車間の一部には、本線合流が実質的に困難な車間を含む。）、合流支援情報提供による本線車間選択により本線合流の難易度が大きく改善されるケースである。このような本線車の交通状況を試験走路の管理された環境下で再現することは困難があり、今後、実道や交通シミュレーション等による効果検証が望まれる。

### (2) 自動運転車による DAY2 システムの効果検証

本実験では自動合流のための車両制御システムは開発中であるため、合流車は乗用車とし、ドライバーが自動運転を模した走行により実験を実施した。このため、本実験での本線合流の最終判断は、ドライバーが行っている。一方で、DAY2 システムは自動運転車を対象に開発されたシステムであり、将来的には自動運転車による DAY2 システムの効果検証を実施する必要がある。

### (3) DAY2 システムの適用限界の把握

DAY2 システムを実道路に実装する場合、システム設置者が本システムの適用限界を事前に把握しておくことが不可欠となる。これは、システム設置者が DAY2 システムを運用する際の運用の考え方にもなる。

このため、本実験では DAY2 システムについて、合流部の道路構造や本線交通流の観点からの適用限界を把握するため、加速車線長や本線車の速度を複数パターン設定して合流支援情報提供の効果の差異を検証した。

加速車線長については、一般的に加速車線長が非常に短い場合、合流車が本線車との相対的な速度と位置を調整するための必要な走行距離を確保できず、DAY2 システムが有効に機能しないと考えられる。一方で、加速車線長が十分に長い場合、加速車線上のみで合流車が本線車との相対的な速度と位置を調整可能なため、DAY2 システムは不要であると考えられる。DAY2 システムによる合流支援情報提供が有効であるのは、加速車線長がこれらの中間的な長さの場合である。

また、本線車の速度については、本線の速度が高く自由流に近い場合、本線合流するための十分な長さの本線車間を容易に見つけることができるため、DAY2 システムによる合流支援情報提供の効果が高いと考えられる。一方で、本線の速度が低下し渋滞発生直前となった場合、本線合流するための十分な長さの本線車間がないため、DAY2 システムによる合流支援情報提供の効果は低下すると考えられる。

今後、本実験で取得した知見をもとに、交通シミュレーション等により加速車線長や本線車の交通量を条件として設定し、DAY2 システムの適用限界となる加速車線長や本線車の交通量に関する知見を得る必要がある。

### (4) 自動合流の安全性・円滑性の評価手法の開発

本実験では、DAY2 システムについて、「TTC」、 「PICUD」、 「加速度」など、ドライバー向けの評価指標をもとに合流支援情報提供の効果を検証した。ただ、これらの評価指標のみで自動合流を適切に評価可能であるかどうかは、今後の課題と言わざるを得ない。一方で、現時点では自動合流の安全性・円滑性を評価するための手法（指標）は開発されていない。

国総研では、首都高速道路での交通量観測や既往実験での自動運転車の走行実績データを分析中である。こうしたデータを用いて、自動合流の安全性・円滑性を適切に評価できる評価手法（評価指標）を開発していく予定である。

## 8. おわりに（本研究の意義と得られた知見）

本研究では、DAY2 システムによる合流支援情報提供

の効果を検証した。また、本線の交通状況や合流部の道路構造の違いによる合流支援情報提供の効果の差異を把握するため、本実験では「合流車の走行方法」、「本線車の速度」、「加速車線長」、「センサ検知区間長」を複数パターン設定した。その結果、合流支援情報提供の効果について、合流成功割合は「情報提供なし」では合流成功割合は 53%であるのに対し、「情報提供あり」では合流成功割合は 100%に向上することを明らかにした。

**謝辞：**本研究は、国土技術政策総合研究所が民間企業等 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をもとにして、分析及びとりまとめを行ったものである。関係各位のご協力を深く感謝の意を表します。

## REFERENCES

- 1) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議：官民 ITS 構想・ロードマップ, 2021.
- 2) 清水哲夫, 飯島雄一, 屋井鉄雄：高速道路合流部における走行支援情報提供に関する一考察, 土木計画学研究・論文集 19 巻, pp.839-846, 2002.
- 3) 大石侑亮, 河合レナ, 高橋翔, 萩原亨：高速道路合流部の交通円滑化を支援する速度誘導灯に関する研究, 交通工学論文集, 第 8 巻, 第 2 号 (特集号 A), pp.A\_54-A\_61, 2022.
- 4) 柳原正実, 宇野伸宏, 中村俊之：運転意図に基づく外部刺激の影響分析手法—模擬走行実験における合流支援情報を例に一, 交通工学論文集, 第 1 巻, 第 2 号 (特集号 A), pp.A\_207-A\_216, 2015.
- 5) Xiaowen Jiang : A Vehicle-to-Infrastructure based Dynamic Merge Assistance Method for Mixed Traffic with Manual Vehicle, Connected Vehicle, and Automated Vehicles in Highway Merging Section, 2019.
- 6) Tim Tiernan, Pavle Bujanovic, Philip Azeredo, Wassim G. Najm, and Taylor Lochrane : CARMA Testing and Evaluation of Research Mobility Applications, 2019.
- 7) 谷田公二, 木村真弘, 吉田雄一：自動運転車制御へ向けた高速道路での合流行動モデル, 自動車技術会論文集 48 巻 4 号, pp.885-890, 2017.
- 8) 畑山諒太, 木村健太, 横田雅樹, 佐藤健哉：協調型自動運転における効率的な高速道路合流調停手法の検討, 第 17 回情報科学技術フォーラム, 第 4 分冊, pp.205-206, 2018.
- 9) 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, 2021.
- 10) 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.
- 11) 一般財団法人道路新産業開発機構：電波ビーコン 5.8GHz 帯仕様書集, 2011.
- 12) John C. Hayward: Near-miss determination through use of a scale of danger, Highway Research Record, pp.24-34, 1972.
- 13) 宇野伸宏, 飯田恭敬, 安原真史, 菅沼真澄：一般道織込み部における客観的コンフリクト分析と速度調整モデルの構築, 土木計画学研究・論文集, 第 20 巻, pp.989-996, 2003.
- 14) 中川敏正, 関谷浩孝, 中田諒, 花守輝明, 藤村亮太, 井坪慎二, 岩里泰幸：交通シミュレーションによる合流支援情報提供システムの効果分析, 交通工学論文集, 第 8 巻, 第 3 号, pp.20-29, 2022.

## EFFECT VERIFICATION OF MERGING SUPPORT INFORMATION PROVISION SYSTEM (DAY2 SYSTEM) THROUGH FIELD OPERATIONAL TEST

Toshimasa NAKAGAWA, Shinji ITSUBO, Hirotaka SEKIYA, Masaaki ISHIHARA, Katsuhiko YUASA, Teruaki HANAMORI, Ryo NAKATA and Ryota FUJIMURA

The National Institute for Land and Infrastructure Management has developed the merging support information provision system (DAY2 system), and has verified the effectiveness of DAY2 system through the field operational test. Specifically, after we have installed the DAY2 system on the test track, and the vehicle behavior of the merging vehicle and the main lane vehicle at the time of merging to the main lane have been compared and analyzed based on the various evaluation criteria and items, depending on whether or not the merging support information was provided. In addition, in order to investigate the difference in the effect of providing the merging support information due to the difference in the traffic conditions of the main lane and the road structure of the merging section, the multiple FOT's conditions were set in "how the merging vehicle drives on the connecting road", "the speed of the main lane", "the length of acceleration lane" and "the length of the sensor detection section". As a result, it was clarified that the success rate of merging was 53% in case of "without merging support information", while it was improved to 100% in case of "with merging support information".