

合流支援情報提供システム 車両検知センサ（DAY2）の精度確認

中川 敏正¹・関谷 浩孝²・中田 諒³

¹一般（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

²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

（〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地）

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

³一般（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:nakata-r92sc@mlit.go.jp

高速道路での自動運転については、高速道路本線への円滑な合流を実現するうえで大きな課題とされている。特に都市高速道路では、合流車線が短く、かつ合流ランプから本線への見通しが悪い箇所があるため、高速道路本線の合流車線手前で本線を走行する車両を路側に設置された車両検知センサが検知して、車両挙動に係る情報を合流する自動運転車へ提供する高速道路合流支援情報提供システムが必要となる。

そこで、国土技術政策総合研究所では、合流支援情報提供システムの車両検知センサ（DAY2）の精度確認実験を行い、最も計測精度の良い車両検知センサでは、約0.25km/hの誤差で速度を計測可能なことを確認した。

Key Words : *merging support information system, vehicle detection sensor, accuracy confirmation*

1. はじめに

ここ数年、自動運転に関する研究開発と実証実験が、世界中で活発に行われている。我が国においても、政府を挙げて自動運転サービスの普及に向けた取組を進めており、高速道路では2025年目途で家用車の自動運転（レベル4）を目標としている¹⁾。

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²⁾。特に都市高速道路では、合流車線が短く、かつ合流ランプから本線への見通しが悪い箇所が存在する。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挙動情報を検知し、合流する自動運転車に提供する合流支援情報提供システムが不可欠となる。

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を構築することを目指し、まず

は車両検知センサについて、自動車会社、センサメーカ、道路管理者等との官民共同研究により、技術検証を行っているところである。

本稿においては、国総研試験走路での車両検知センサ（DAY2）の精度確認実験の結果を報告する。

2. 合流支援情報提供システムとは

合流支援情報提供システムは、高速道路の連結路を走行する自動運転車に対して合流部上流の本線を走行する車両の速度、車長、合流部への到達予想時刻等に係る情報を合流ランプで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（図-1）。これにより、自動運転車が適切な車間の有無を踏まえて合流可否を判断し、合流ランプでの速度を調整し、自動合流を実施することが可能となる。

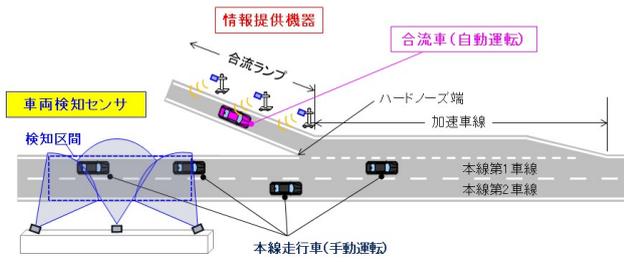


図-1 合流支援情報提供システム (DAY2システム) のコンセプト (イメージ)

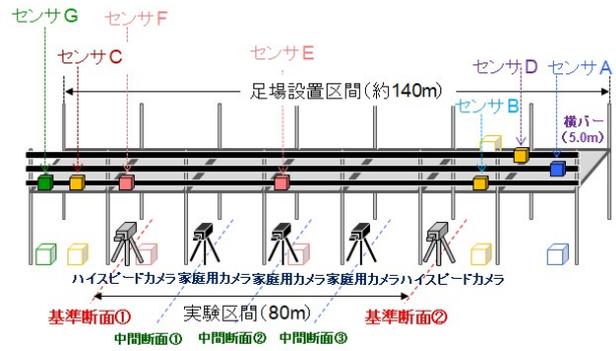


図-2 機器配置レイアウト

このうち、高速道路合流支援情報提供システム (DAY2システム) は、本線の一定区間の車両挙動 (速度、車長、車間時間など) を計測し、合流路に設置された情報提供機器にハードノーズ端への到達計算時刻とともに合流車 (自動運転車) に連続的に提供するものである。この場合、車両検知センサの検知精度が合流部の到達計算時刻に大きく影響する。このため、高速道路合流支援情報提供システム (DAY2システム) を構築するためには、まずは車両検知センサの精度を確認する必要がある。

3. 車両検知センサ (DAY2) の精度確認実験

(1) 実験の概要

試験走路の路肩部に足場 (高さ5m) を設置し (図-2)、センサメカ (以下「実験参加者」という。) から提供された車両検知センサ (7種類) を設置した (表-1)。

実験区間 (評価区間) は80mとし、その両端にハイスピードカメラ (1秒あたり6,000フレームで撮影)、中間断面①、②、③に家庭用カメラを設置した。その後、試験車両を走行させ、速度、車間時間、車長、車種及び検知範囲を測定した。

なお、試験車両は様々な速度 (20km/h~120m/h)、走行パターン (単独走行、並列走行、追越等) で走行させ、車両検知センサで計測した値を「計測値」とした。

(2) 計測値の精度確認方法

各計測値については、以下で定義する「真値」と比較することにより、計測誤差の評価を行った。

a) 速度

速度については、ハイスピードカメラ (2台) を基準断面に設置して、当該断面の通過時刻を取得し、上流側・下流側の時刻差分より算出した値を「真値」とした。

ハイスピードカメラの断面通過時刻の計測に際しては、道路中央線と直交する平行な撮影基準線を試験走路に作成し、画角中心線が撮影基準線と重なる位置にカメラを設置した。

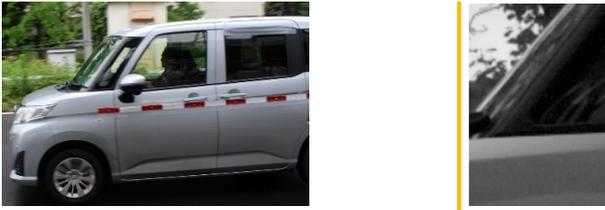


図-3 試験走路での走行・計測状況 (小型車と二輪車が並走する走行パターン)

表-1 使用した機器

センサ名	機種・設置位置
センサA	レーダー 基準断面②より 30m 下流
センサB	LiDAR 基準断面②より 10m 下流
センサC	LiDAR 基準断面①より 15m 上流
センサD	レーダー 基準断面②より 20m 下流
センサE	LiDAR+Camera 基準断面①より 40m 下流
センサF	LiDAR 基準断面①
センサG	レーダー 基準断面①より 20m 上流

試験車両には、側面に水平にメジャー (20cm間隔の赤白マーク, 1cm間隔の目盛付) を設置し、2台のハイスピードカメラの画角中央線を通過する瞬間の時刻を読み取った (図-4)。



※ 画角中心線（橙色）とメジャー（色の境）が合致した瞬間の時刻を讀取り

図-4 速度の真値の計測手法

（左：試験車両に設置したメジャー、右：ハイスピードカメラの撮影イメージ）

b) 車間時間

車間時間については、家庭用カメラ（3台）を中間断面に設置して、同一車線を走行している車両を対象として、前方車両の車尾と後方車両の車頭の時間差分より算出した値を「真値」とした。

c) 車長

車長については、試験車両の自動車検査証に記載された車長を「真値」とした。

d) 車種

車種（特に二輪車）については、事前に設定した走行パターンより、小型車・大型車のみが走行する回数と二輪車が走行する回数を整理し、当該回数を「真値」とした。

上記のうち、速度、車間時間、車長については、計測誤差（計測値から真値を減じた値）を算出のうえ、「平均値」、「標準偏差」、「RMS（Root Mean Square：二乗平均平方根）値」をもとに車両検知センサの精度確認を行った。

4. 車両検知センサの精度確認結果

(1) 速度

a) 全数

速度の計測誤差について、「平均値（絶対値）」と「標準偏差」をセンサ別に示す（表-2）。

b) 車種別

速度の計測誤差について、車種別に示す（図-5、図-6）。図-5は車両検知センサの設置位置より上流側、図-6は車両検知センサの設置位置より下流側である。

図-5及び図-6の計測結果から、速度の計測誤差について、車種の違いによる明確な傾向は見られない。

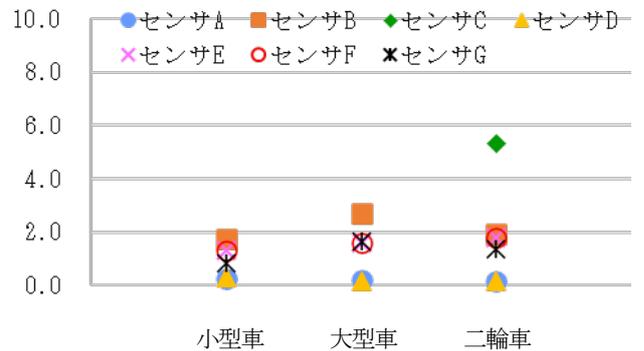
表-2 速度の計測誤差（全数）

単位：km/h

センサ名	A	B	C	D	E	F	G
上流側							
平均値	0.14	0.19	-18.1	-0.02	0.53	0.48	0.85
平均値（絶対値）	0.25	1.96	18.4	0.25	1.39	1.39	1.03
標準偏差	0.48	3.05	15	0.36	2.02	2.02	1.21
下流側							
平均値	0.02	-1.53	0.12	-0.89	-2.37	-0.4	0.19
平均値（絶対値）	0.41	2.86	1.99	1.25	5.93	1.13	0.78
標準偏差	1.32	3.27	3.52	1.82	13.1	3.41	1.86

N=215（延べ走行台数）

計測誤差（km/h）



N=170~202

図-5 速度の計測誤差（車種別・上流側）

計測誤差（km/h）



N=198~208

図-6 速度の計測誤差（車種別・下流側）

c) 走行速度別

速度の計測誤差について、走行速度別に示す（図-7、図-8）。図-7は車両検知センサの設置位置より上流側、図-8は車両検知センサの設置位置より下流側である。

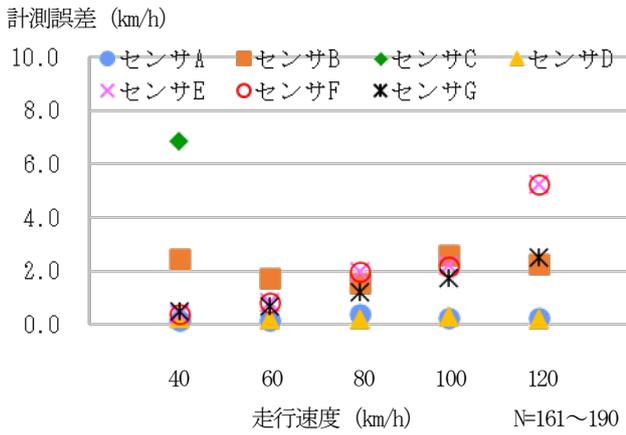


図-7 速度の計測誤差（走行速度別・上流側）

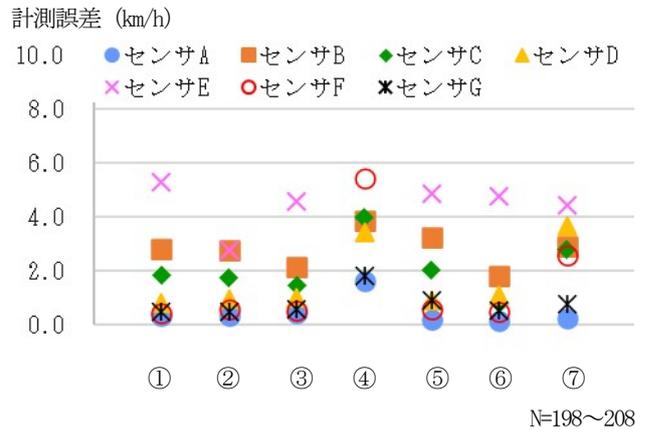


図-10 速度の計測誤差（走行パターン別・下流側）

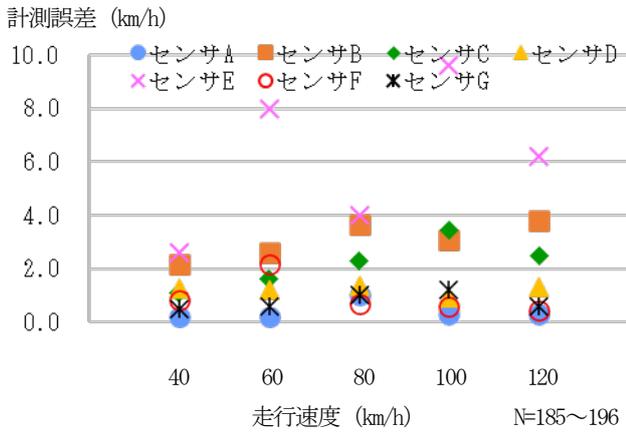


図-8 速度の計測誤差（走行速度別・下流側）

図-7及び図-8の計測結果から、速度の計測誤差について、走行速度別に見た場合、下流側の計測誤差が大きくなる傾向にある。

c) 走行パターン別

速度の計測誤差について、走行パターン別に示す。図-9は車両検知センサの設置位置より上流側、図-10は車両検知センサの設置位置より下流側である。

車両の走行順序が変更となる可能性のある走行パターン（「追越」、「車線変更」、「加速」）において、計測誤差が大きくなる傾向にある。

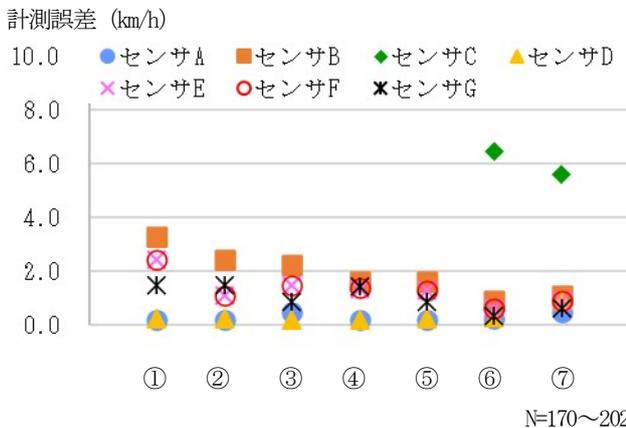


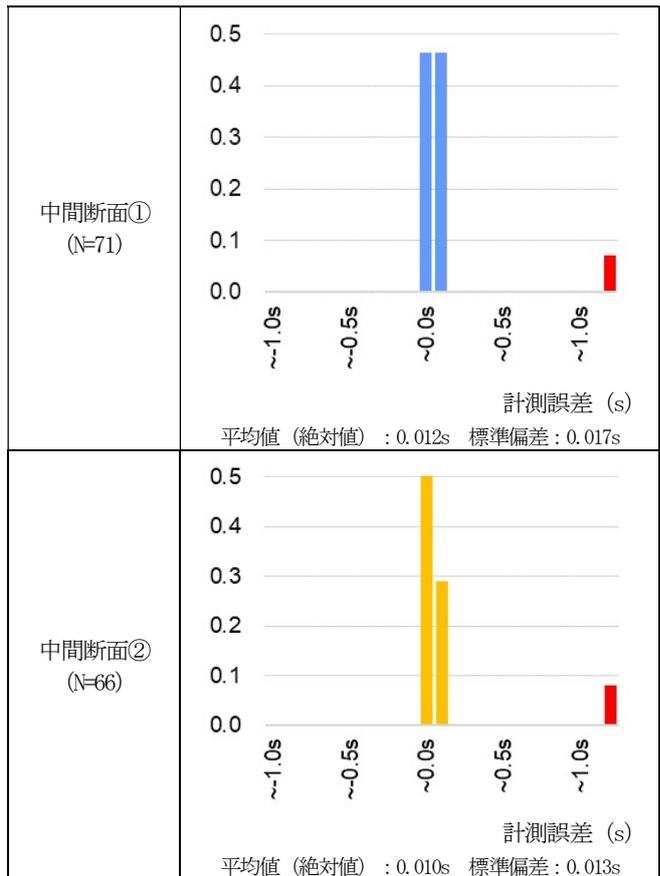
図-9 速度の計測誤差（走行パターン別・上流側）

※ 横軸（①～⑦）は走行パターンであり、以下のとおり。

- ①：単独走行、②：3台並走、③：3台連続走行、④：追越、⑤：車線変更、⑥：車間時間変更、⑦：加速

(2) 車間時間

車間時間の計測誤差について、センサFの場合を中間断面①～③に分けて示す（図-11）。



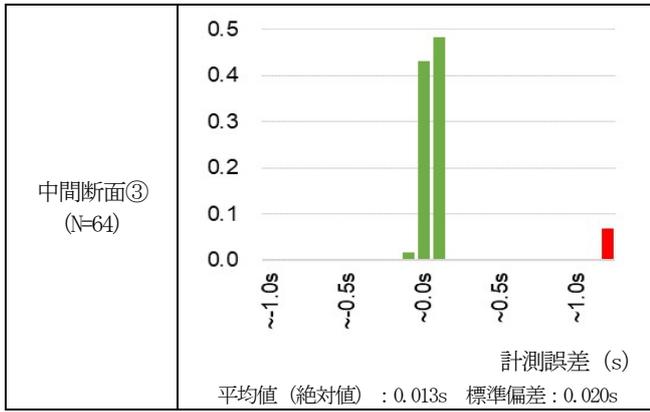


図-11 車間時間の計測誤差 (センサFの場合)

上記の計測結果から、車間時間については、中間断面①～③で大きな差異はなく、概ね同程度の精度で検知できていることが分かる。

(3) 車長

車長の計測誤差について、「平均値 (絶対値)」と「標準偏差」をセンサ別に示す (表-3)。

表-3 車長の計測誤差

単位 : m

センサ名		A	B	C	D	E	F	G
上流側	平均値	0.68	-3.04	0.89	-3.04	0.03	0.04	-2.19
	平均値 (絶対値)	1.14	3.06	1.11	3.04	0.24	0.21	2.24
	標準偏差	1.55	1.36	1.23	0.98	0.76	0.74	1.86
下流側	平均値	0.85	0.9	1.47	-0.41	0.03	0.02	0.28
	平均値 (絶対値)	0.94	1.63	1.57	0.92	0.24	0.23	1.13
	標準偏差	0.92	1.84	1.25	1.11	0.76	0.79	1.7

N=181~214

上記の計測結果から、車長の計測誤差が最も小さいセンサはセンサFであり、当該計測精度は平均値 (絶対値) が上流側で0.21m, 下流側で0.23mであった。

また、車長の計測誤差について、下流側のばらつきが大きいセンサが多かった (センサB、センサC、センサD、センサF)。

(4) 車種

車種について、判定結果をセンサ別に示す (表-4)。

小型車・大型車に比べて、二輪車が検知しにくい傾向が見られ、誤検知や検知漏れも多い。なお、今回の車種判定は限定されたサンプルによるものであり (N=215), 車種判定については、交通量が多い実道での検証が不可欠である。

表-4 車種判定結果

単位 : 回

走行パターン/ 判定結果	A	B	C	D	E	F	G
ア	199	197	198	190	201	198	190
イ	12	12	12	13	11	12	12
ウ	1	0	0	0	2	1	1
エ	2	1	0	4	1	1	11
オ	1	5	5	8	0	3	1

N=215 (二輪車はN=13)

※ ア～オは走行パターン/判定結果であり、以下のとおり。

ア : 小型車・大型車が走行し、小型車・大型車と判定 (正)

イ : 二輪車が走行し、二輪車と判定 (正)

ウ : 二輪車が走行し、小型車・大型車と判定 (誤)

エ : 小型車・大型車が走行し、二輪車と判定 (誤)

オ : 検知漏れ

(5) 検知範囲

a) 進行方向

位置の計測誤差 (進行方向) について、検知範囲が広いセンサ (センサA) と検知範囲が狭いセンサ (センサE) の検知誤差を示す (図-12, 図-13)。

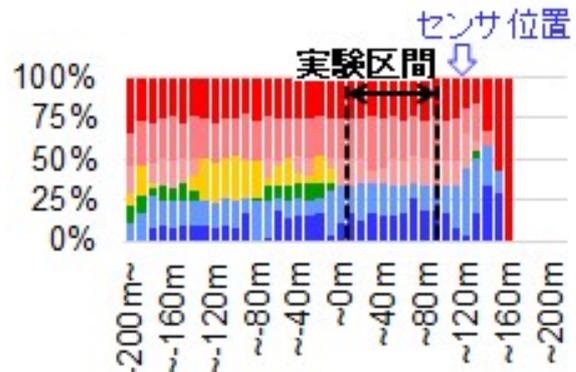


図-12 進行方向の位置の計測誤差 (センサA) (N=8)

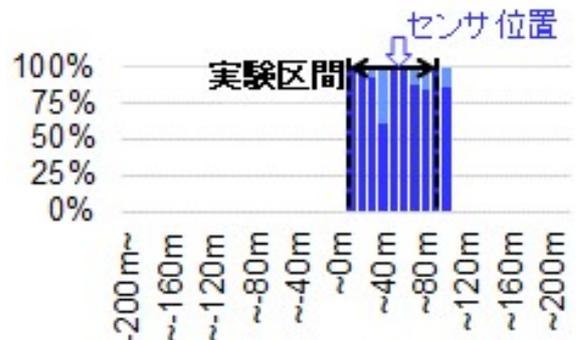


図-13 進行方向の位置の計測誤差 (センサE) (N=8)

凡例: ■ ±1m ■ ±2m ■ ±3m ■ ±4m ■ ±5m ■ ±10m ■ ±10m以上

※ 横軸は基準断面から (0m) からの距離であり、マイナスは上流側、プラスが下流側

上記の計測結果から、検知範囲の狭いセンサ（センサE）は計測誤差は±1m以内で検知された。一方で、検知範囲が広いセンサ（センサA）は、計測誤差が大きかった。

この結果から、車両検知センサの検知範囲は100m程度に絞った方が検知精度が良く、それ以上の検知範囲が必要な場合には、複数のセンサの設置が望ましいことが推察される。

b) 横方向（進行直角方向）

位置の計測誤差（横方向）について、検知範囲が広いセンサ（センサA）と検知範囲が狭いセンサ（センサE）を示す（図-14、図-15）。

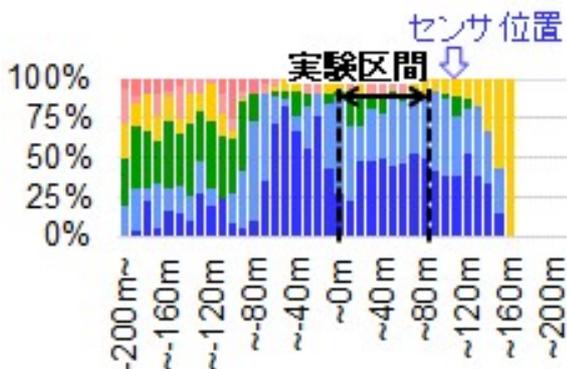


図-14 横方向の位置の計測誤差（センサA）

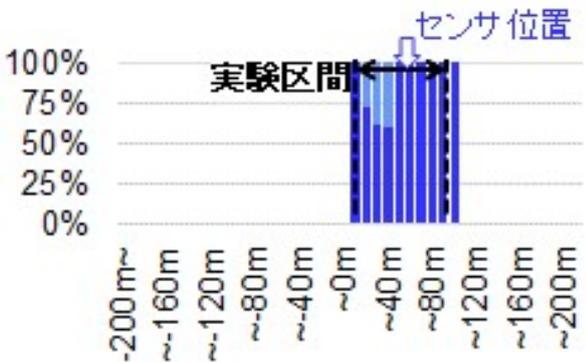


図-15 横方向の位置の計測誤差（センサE）

凡例: ■ ±1m ■ ±2m ■ ±3m ■ ±4m ■ ±5m ■ ±10m ■ ±10m以上

※ 横軸は基準断面から (0m) からの距離であり、マイナスは上流側、プラスが下流側

上記の計測結果から、センサA、センサEともに、横方向の位置の計測誤差は、進行方向の計測誤差と比較すれば総じて小さいことが分かる。ただし、検知範囲が広いセンサ（センサA）は実験区間を超えると計測誤差が大きくなる傾向が確認された。進行方向と同様に、車両検知センサの検知範囲は100m程度に絞った方が望ましいと推察される。

5. おわりに

高速道路における安全で円滑な自動合流を実現するため、当面、以下の課題に取り組む必要がある。

(1) 長期間の計測結果を踏まえた精度確認

本稿においては、国総研試験走路での精度確認実験の結果を報告した。これは短期間（3日間）の実験であり、限られた環境下での精度確認結果であることは否めない。一方で、高速道路合流支援情報提供システムを実道に展開する場合、交通状況や気象条件の違いによる検知精度の違い等、検証すべき課題は残されている。

今後、当該実証実験を踏まえて、車両検知センサの長期的な運用の視点を見据えた評価を行うことが必要である。

(2) 合流支援情報の有効性の評価

路側インフラと協調した、高速道路合流支援情報提供システムを早期に構築するには、自動運転車に対する合流支援情報の有効性評価は欠かせない。

そのため、車両検知センサと情報提供装置をセットにした暫定的なシステムを構築し、合流支援情報が自動運転車の円滑な運行にどの程度寄与したかについて、早い段階で試行的な評価をすることが重要である。

(3) 高速道路合流支援システム（DAY2システム）の具体的な仕様の検討

本稿では、車両検知センサ（DAY2）の実証実験結果を報告した。今後は、本線車両情報を面的に検知し、自動運転車に対して継続的に合流支援情報を提供可能な合流支援情報提供システム（DAY2システム）の具体的な仕様を検討する必要がある。

(4) 計測誤差が合流車の挙動に与える影響の分析

本実験において、速度の計測誤差は約0.25km/hであることを確認した。今後、当該計測誤差について、合流車の車両挙動に与える影響を詳細に分析していく予定である。

参考文献

- 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 2020, 2000
- 2) 国土交通省道路局：自動運転に対応した道路空間のあり方「中間とりまとめ」, 2019
- 3) 国土技術政策総合研究所：高速道路合流支援システム車両検知センサ検証及び仕様書修正業務 報告書（2019年11月）, 2019.
- 4) 高速道路合流支援システム車両検知センサの精度確

認：中川敏正，関谷浩孝，中田諒，第 18 回 ITS シン
ポジウム 2020., 2020

(2021.?.? 受付)