

路車協調による自動運転車への 対向車接近情報提供の技術検証

石原 雅晃¹・湯浅 克彦²・中川 敏正³・井坪 慎二⁴
中田 諒⁵・藤村 亮太⁶

¹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: ishihara-m92ta@mlit.go.jp

²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: yuasa-k924a@mlit.go.jp

³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

⁴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: itsubo-s92ta@mlit.go.jp

⁵非会員 阪神高速道路株式会社 (〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島3-2-4)

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

⁶非会員 愛知製鋼株式会社 (〒476-8666 愛知県東海市荒尾町ワノ割1番地)

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

自動運転サービスは、中山間地域における生活交通としての役割を担うことが期待されている。一方で、中山間地域の道路で自動運転を導入するには、自動運転車が自動運転を継続できる道路環境が必要であり、特に狭隘な区間や見通しの悪い区間では対向車と適切な箇所での安全・円滑にすれ違ふことが重要となる。

本研究では、自動運転サービスの実装箇所である「道の駅奥永源寺溪流の里」付近において、自動運転車が待避所で待機することで安全・円滑に対向車とすれ違ふを行うため、路側に設置した車両検知センサーが検知した対向車の接近情報を自動運転車の車載通信端末に送信する技術検証を行った。この結果、自動運転車に対して対向車の情報を100%で通知可能であること、センサー検知から車載器受信までの遅延時間が最大5.7秒であることを明らかにした。

Key Words: C-ITS, automated driving, information provision

1. 研究の背景と目的

我が国の中山間地域においては、人口減少と高齢化の進展により公共交通が衰退し、生活交通の確保が喫緊の課題となっており、自動運転サービスの公共交通への活用が期待されている。こうした中で、政府は限定地域での自動運転サービスについて、「2030年までに100箇所以上で社会実装」という目標を掲げ、官民挙げて積極的な取組を実施している。国土交通省では、道の駅等を拠点とした自動運転サービス実証実験(図-1)を全国18か所で実施し²⁾、当該実験結果を踏まえて社会実装を進

めてきた。

道の駅を拠点とする自動運転車が集落や施設間の移動サービスを提供

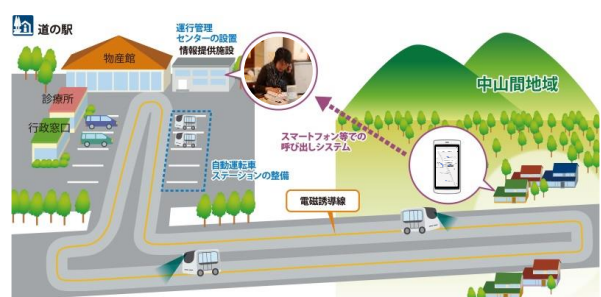


図-1 道の駅等を拠点とした自動運転サービス実証実験
(イメージ)

自動運転サービスの導入に際しては、自動運転が継続できる走行空間の整備が必要であるが、狭隘な道路が多い中山間地域では自動運転の専用空間を整備することは現実的に困難である。このため、自動運転車が中山間地域の道路を走行する場合、自動運転車が狭隘な区間で一般車とすれ違いが発生し、自動運転が継続できない事態となり、結果として手動介入を招く要因となる(図-2)。2017年度に実施された道の駅等を拠点とした自動運転サービス実証実験では、自動運転の手動介入要因として「対向車とのすれ違い」が一定の割合を占めたことを確認している(図-3)²⁾。



図-2 自動運転車と一般車のすれ違い状況

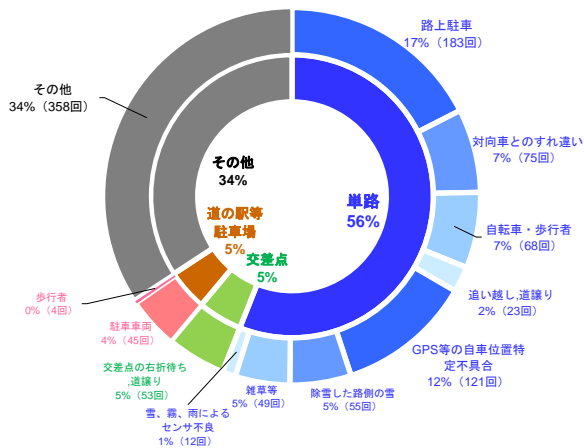


図-3 自動運転の手動介入要因²⁾

対向車とのすれ違いに起因する手動介入を回避するためには、自動運転車が狭隘区間の手前で対向車の接近情報を取得し、適切な位置で事前に待避する必要がある。道の駅等を拠点とした自動運転サービス実証実験においても、対向車とのすれ違いに起因する手動介入の回避策として待避所の設置や一般車への情報提供を試行的に実施したが、待避所の設置位置や一般車のドライバーの運転により効果が左右されるという課題がある。

本研究は、自動運転車の対向車とのすれ違いに起因する手動介入を回避することを目的に、自動運転車に対向車の接近情報を提供するシステムについて、システムの技術的成立性と情報提供の有効性を実証実験を通じて検証するものである。

2. 既存研究の整理と本研究の位置づけ

(1) 既存研究の整理

a) ドライバーに対する情報提供

加藤ら³⁾は、中山間地域の道路で情報板による対向車接近表示を行い、視認不良個所での走行性の改善を確認している。大谷ら⁴⁾は、運転シミュレータを用いて、ドライバーに対して特定の回避操作が必要な場合の情報提供について分析している。

b) 自動運転車に対する情報提供

大前ら⁵⁾は、閉鎖空間を走行する自動運転車に対して道路側から障害物に関する情報提供を行い、車両挙動の変化を分析している。宮崎ら⁶⁾は、交通シミュレーションにより自動運転車にT字路で接近する車両情報を提供した場合の渋滞緩和効果を検証している。

(2) 本研究の位置づけ

ドライバーに対する情報提供に関する研究では、対向車の接近情報の提供を検証した研究が確認された。自動運転車に対する情報提供に関する研究では、閉鎖的な空間やシミュレーションでの検証は実施されているが、接近する車両情報提供について実道での実証実験により検証した研究は確認されなかった。

本研究では、狭隘な区間を含む一般道において、自動運転車に対して対向車接近情報を提供するシステムの技術的成立性と情報提供の有効性を実証実験を通じて検証するものである。

3. 実証実験概要

(1) 実証実験の目的

本実験の目的は、自動運転車に対向車接近情報を提供する路車協調システムの技術的な成立性を検証するとともに、対向車接近情報提供の有効性を検証することである。そこで、自動運転サービスの社会実装箇所に実験用システムを設置し、「①車両検知センサによる対向車の検知」、「②対向車接近情報をサーバー経由で車両に送信」、「③車両が待避所等の近くにいる場合に検知情報を車載通信端末で受信」の一連の情報の流れ(図-4)が機能するかどうかを検証する。また、自動運転車への情報提供について、実験条件としてセンサから自動運転車の待避位置や情報提供のタイミングを複数パターン設定し、実験条件の違いによる対向車接近情報提供の効果の差異を明らかにする。

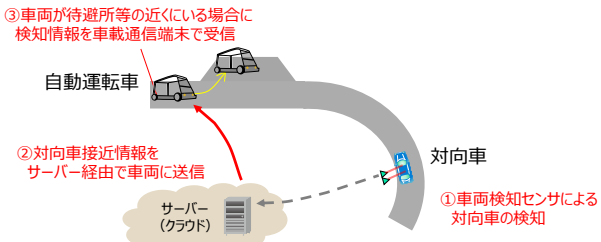


図-4 路車協調システムでの情報の流れ

(2) 実証実験の方法

a) 実験箇所

実験箇所は、道の駅「奥永源寺溪流の里」（滋賀県東近江市）を拠点とする自動運転サービスの運行ルート（片道約2.2km）のうち、車道でのすれ違いが困難な狭隘区間を含む箇所である（図-5）。なお、実験箇所については、車両検知センサと自動運転車の待避位置の位置関係が異なる箇所を設定している。実験箇所①では、長距離の狭隘区間（約200m）でのすれ違いを検証した（図-6）。実験箇所②では、短距離の狭隘区間（約50m）で見通しが悪い区間でのすれ違いを検証した（図-7）。実験箇所③では、見通しの悪いY字路での合流を検証した（図-6）。合流箇所より下流側では、自動運転車は一般車に道を譲る運用とした。

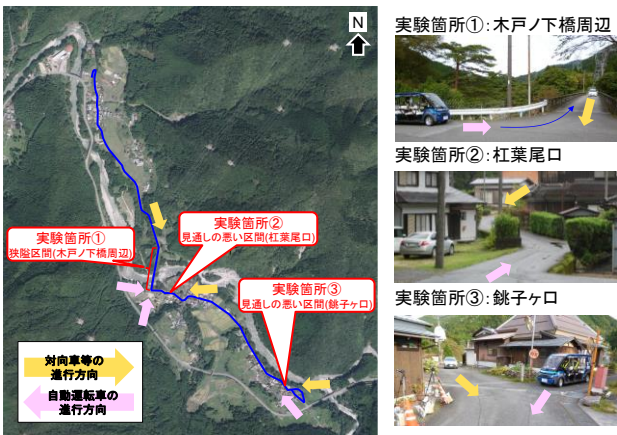


図-5 実験箇所位置図

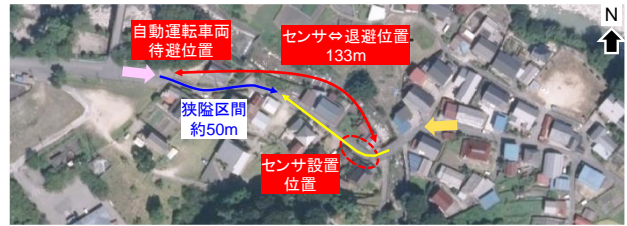


図-7 センサ設置位置と自動運転車の待避位置（実験箇所②）

b) 使用機器

使用した機器は、図-8の通りである。車両検知センサは、反射式センサ（検知可能距離は6m）を用いた。また、車載通知用端末はマトリクスLED表示板を用い、音声と文字の両方で情報提供した。さらに、通信には携帯電話の公衆回線を使用した。実験車両は、自動運転車はカートタイプ車両（図-9、表-1）、対向車は乗用車とした。なお、本実験では車両の走行速度は、自動運転車が約12km/h、対向車が約30km/hとした。



図-8 実験で使用した機器

（左：車両検知センサ、右：車載通信端末）



図-9 実験で使用した自動運転車

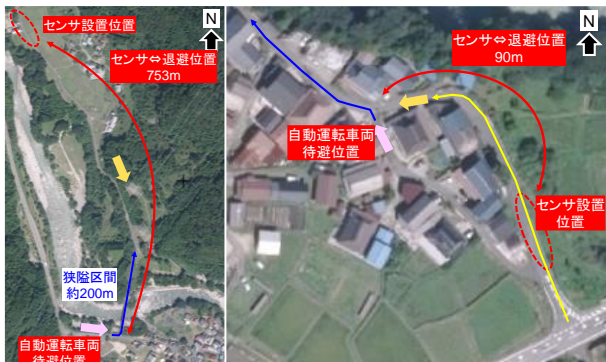


図-6 センサ設置位置と自動運転車の待避位置
（左：実験箇所①、右：実験箇所③）

表-1 自動運転車の諸元

全長 (mm)	4,170
全幅 (mm)	1,360
全高 (mm)	1,700
ホイールベース (mm)	2,940
最小回転半径 (m)	4.5
自動走行方式	電磁誘導式

c) システム動作手順

システムの詳細な動作手順は、以下の通りである。

- ① 対向車が車両検知センサ位置を通過後、内蔵さ

れたモバイルルーター機器（携帯電話網 TCP/IP 通信）により、サーバーに検知情報が送信される。その後、調査員が擬似検知信号送信用端末（携帯電話網 TCP/IP 通信）の検知ボタンを押下し、サーバーに擬似検知信号を送信する。

- ② サーバーには受信した情報をログに格納するとともに、設定に応じて通知用車載通信端末に対向車検知情報を送信する。
- ③ 車載通信端末はモバイルルーター機器経由でサーバーからの情報を受信後、ドライバーに情報を通知する。通知情報は、LEDマトリクス表示板への文字表示（表示内容は「対向車接近中」）及びスピーカーからの音声案内（案内内容は「今しばらくお待ち下さい」）で実施する。
- ④ 自動運転車のドライバーは、通知を受けて待避所で待避可能なタイミングであれば、通知が消えるまで待避を行う。対向車が通過後、自動運転を開始する。

なお、自動運転車への通知のタイミングは表-2、実験時の車両の走行回数は表-3の通りである。

表-2 自動運転車への通知の走行タイミング（6パターン）

No.	パターン
1	通常パターン（対向車が1台のみ）
2	間隔を空けて対向車が2台
3	通知が早い（自動運転車が待避所に到達する前に離合が終了）
4	通知が来るが対向車が来ない
5	連続して対向車が2台
6	通知が遅れる（狭路区間での離合が必要となる）

表-3 車両の走行回数

実験箇所①	実験箇所②	実験箇所③	合計
18回	17回	21回	56回

(3) 情報提供の精度確認方法

自動運転車への対向車接近情報の提供については、主として車両検知センサの検知精度と通信の精度が影響する。このため、車両検知センサの検知については、センサ位置付近にビデオカメラを設置し、対向車通過時の映像から検知された対向車とサーバーへ送信された車両情報を照合し、送信成功率を確認した。通信については、「車両検知センサからサーバーへの通信」、「サーバーから車載通信端末への通信」の双方について、通信の成功率と遅延時間を確認した。なお、両通信の遅延時間を独立して確認するため、車両検知センサ位置に調査員を配置し、車両検知センサ位置を車両が通行した際に調査員からもサーバーに通信を行い、サーバーから車載通信

端末への通信は調査員からの通信結果をもとに実施した。通信の遅延時間については、センサ付近に設置したビデオカメラ映像から取得した対向車検知時刻と各通信の受信時刻の差異とした。

自動運転車に対向車接近情報を提供する際には、自動運転車が情報受信後に待避所で待機可能となる場合のみ情報提供することが求められる。その際に、自車位置の測位精度が影響するため、本実験でも測位精度評価を実施した。本実験では、通知用端末に用いたスマートフォンのGPS機能での測位結果とカメラ映像で確認した待避所の位置情報（国土地理院地図上での位置情報）との差異を計測した。

4. 実証実験結果

(1) 車両検知センサの検知精度の検証

対向車が車両検知センサ位置を通過したタイミングで、車両検知センサからサーバーに正常に検知情報が送信された割合を送信成功率として集計する。実験箇所別の送信成功率は、表-4の通りである。車両検知センサのメーカーによると、一般的にセンサの送信成功率は90%程度であり、実験箇所①、②ではメーカー想定程度の送信成功率となっている。一方で、実験箇所③では送信成功率は著しく低かった。この原因として、周辺環境や通信状況の差が考えられるが、実験箇所①～③の周辺環境には大きな差異がないため、通信状況の差異が影響したものと推察される。

表-4 車両検知センサの送信成功率

	箇所①	箇所②	箇所③
車両通過回数	18	17	22
送信成功回数	14	17	6
送信成功率	77.80%	100.00%	27.30%

(2) 通信精度の検証

a) 車両検知器センサからサーバーへの通信

車両検知器センサからサーバーへの通信について、送信成功率を表-5、遅延時間を表-6に示す。なお、本実験では調査員が擬似的に車両検知情報を通信したため、通信のみの精度と遅延時間となっている。車両検知センサからサーバーへの送信成功率は、いずれの地点においても100%であった（表-5）。遅延時間は、平均1秒程度であった（表-6）。なお、遅延時間にマイナス値が含まれるが、本実験では調査員の目視とボタン押下による対応のため、調査員によるボタン押下までの時間差が影響したことが推察される。

表-5 車両検知センサからサーバーへの送信成功率

	箇所①	箇所②	箇所③	全体
データ数(車両通過回数)	20	20	25	65
送信成功回数	20	20	25	65
送信成功率	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

表-6 車両検知センサからサーバーへの遅延時間

	箇所①	箇所②	箇所③	全体
データ数	18	17	22	57
平均値	0:00.90	0:00.99	0:00.70	0:00.85
最大値	0:03.90	0:03.63	0:02.33	0:03.90
最小値	-0:00.00	0:00.07	-0:02.63	-0:02.63
中央値	0:00.83	0:00.97	0:00.90	0:00.87

b) サーバーから車載通信端末への通信

サーバーから車載通信端末への送信成功率は、表-7の通りである。サーバーから車載通信端末への送信成功率は、いずれの実験箇所においても100%であった。

表-7 サーバーから車載通信端末への送信成功率

	箇所①	箇所②	箇所③	全体
データ数(車両通過回数)	20	20	25	65
送信成功回数	20	20	25	65
送信成功率	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

c) 車両検知センサから車載通信端末への通信

車両検知センサから車載通信端末への通信の遅延時間は、図-10の通りである。通信の遅延時間は、平均2.56秒、最大5.67秒であった。なお、4秒を超える遅延は3ケースあったものの、調査員によるボタン押下のタイムラグは小さく、大半は通信遅延によるものと推察される。

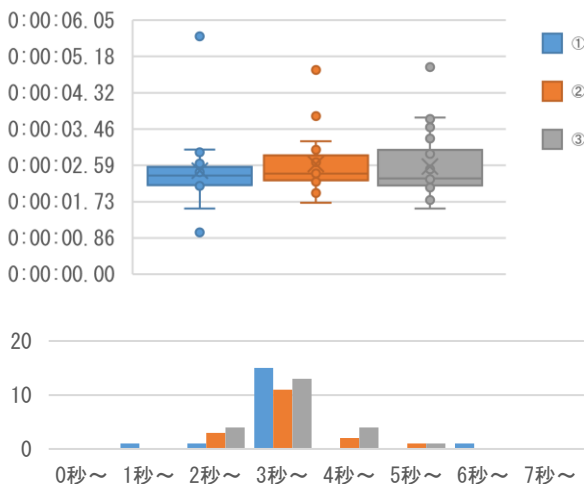


図-10 車両検知センサから車載通信端末への遅延時間
(上：箱ひげ図，下：ヒストグラム)

(3) 対向車検知位置の検証

車両検知センサによる対向車の検知から車載通信端末での受信までの遅延時間の最大値は、5.67秒であった(図-7)。対向車の速度が30km/hの場合、対向車が車両検知センサ位置を通過後から車載通信端末に情報提供されるまでに最大で47.25m走行することとなる。本実験では、待避所から車両検知センサまでの距離を十分に確保していたため、通信遅延が原因で通知が間に合わない事例は発生しなかったが、待避所から車両検知センサまでの距離が短い場合、通知が間に合わない可能性がある。

また、対向車の走行速度が実験条件に与える影響を把握するため、「自動運転車への通知継続時間」を集計した(表-8)。通知継続時間とは、対向車が車両検知センサ位置を通過してから待避所を通過するまでの時間である。理論値は、当該距離を想定速度(30km/h)で除して算出した値である。いずれの実験箇所においても、平均値に対して+3秒~+5秒の誤差であり、いずれも理論値より大きい。これは、対向車が常に同等の速度ではなく、現地状況に応じて減速したことが原因と考えられる。

表-8 自動運転車への通知継続時間

	箇所 1 (N=13)	箇所 2 (N=11)	箇所 3 (N=16)
(理論値)	90.4 秒	16.0 秒	10.8 秒
平均値	99.7 秒	16.5 秒	15.4 秒
最大値	103.8 秒	18.6 秒	20.1 秒
最小値	97.1 秒	14.5 秒	13.2 秒

(4) 自車位置の測定精度検証

自動運転車が待避所に到達した瞬間のGPSの測位誤差は、表-9の通りである。GPSの測位誤差は平均値で5~7m程度、最大値で14.61mの誤差が生じている。また、当該測位誤差に基づく、待避所からの距離と情報提供の成功確率の関係を表-10に示す。待避所から通知車両までの距離について、20m以内に存在する車両を対象に情報提供することで、自車位置の測定精度誤差が生じる中でも100%の通知が可能であったと言える。

表-9 自動運転車の自車位置測位誤差

	箇所①(m)	箇所②(m)	箇所③(m)	全体(m)
データ数	18	18	13	49
平均値	7.35	7.33	5.17	6.77
最大値	14.61	11.12	8.47	14.61
最小値	0.56	3.44	2.05	0.56
中央値	7.22	7.77	5.24	6.64

表-10 待避所からの距離と通知実施率

判定条件	通知が行われる件数	通知実施率
20m以下の場合	49	100.0%
10m以下の場合	41	83.7%
8m以下の場合	33	67.3%
5m以下の場合	14	28.6%

5. 考察

本稿では、狭隘区間を含む一般道で路車協調による対向車接近情報提供の技術検証を実施し、情報提供の技術成立性と情報提供の効果を検証した。本章では、実証実験の結果をもとに、対向車接近情報提供システムの要件について考察した内容を記載する。

距離が l_1 の狭隘区間へのシステムの導入を検討する際に設定可能なのは、「狭隘区間から車両検知センサまでの距離 l_2 」と「待避所から自動運転車の対向車接近情報受信位置までの距離 l_3 」である(図-11)。自車位置の測位精度誤差を l_4 、自動運転車の速度を v_1 、対向車の速度を v_2 、システムの遅延時間を t_1 とし、各設定距離の要件を式(1a)、(1b)に示す。

$$l_2 > \frac{v_2}{v_1} l_1 \quad (1a)$$

$$l_3 > v_1 t_1 + l_4 \quad (1b)$$

自動運転車と対向車が狭隘区間内で離合しないことを目的とすると、「狭隘区間から車両検知センサまでの距離」の要件については、狭隘区間の距離、及び自動運転車と対向車の速度によって算出することが可能である。本稿では自動運転車が約12km/h、対向車が約30km/hとしたため、「狭隘区間から車両検知センサまでの距離」は、狭隘区間の距離の2.5倍以上とする必要がある。また、区間内の分合流の存在や、区間内における対向車の発着によって、対向車接近情報と実際の対向車の存在に不整合が生じる可能性がある。そのため、距離設定だけでなく、区間内の道路条件も考慮する必要がある。

一方で、「待避所から自動運転車の対向車接近情報受信位置までの距離」の要件については、通信の遅延時間と自車位置の測位精度を考慮する必要がある。本実験では、通信については100%の精度で通信が可能であり、

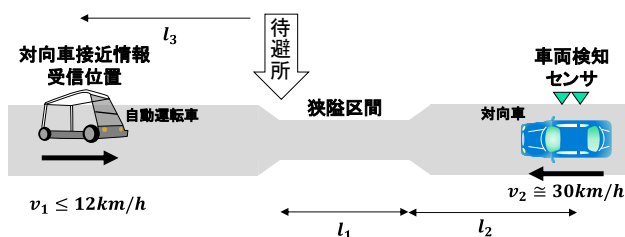


図-11 システム導入時の設定可能距離

通信上での遅延はシステム全体で最大5.67秒であった。また、自車位置の測位精度誤差を20m以内とすることで、100%の通知実施率であることを確認した。自動運転車が待避所に到達する前に対向車接近情報を受信するためには、「システムの遅延時間で自動運転車が進む距離」と「自車位置の測位誤差」の和を閾値として、それより長い距離に対しての情報発信が必要である。本実証実験環境では、「待避所から自動運転車の対向車接近情報受信位置までの距離」は38.9m以上の設定が必要であったと言える。

6. 今後の課題

今後、システムの導入に向けては、ドライバーの受容性も課題となる。本実験では自動運転車のドライバーに対して、「通知の方法は適正であったか」、「一般車にも対向車接近情報が提供されることが望ましいか」についてアンケートを行った。対象ドライバーは2名のみであったが、いずれも本システムの導入に肯定的な意見であった。

車両検知センサについては、実験箇所によって検知精度に差異はあったものの、100%検知できた実験箇所も存在したことから、通信環境を整備することで対応可能と考えられる。

通信の遅延や自車位置の測位精度の誤差については、特定の実験環境において精度を確認したが、実験環境によって実験結果が変化することが予想される。今後は、各地域の道路環境に適合したシステム構築を目的として、車両検知センサ、通信方式、自動運転車の待避位置からセンサ設置位置までの距離等に関する知見を取得していく予定である。

謝辞：本稿の実証実験については、東近江市役所公共交通政策課及び滋賀県東近江土木事務所にご多大のご協力を頂きました。関係各位のご協力に深く感謝の意を表します。

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, 2020.
- 2) 中田諒, 藤村亮太, 中川敏正, 関谷浩孝, 井坪慎二, 岩里泰幸：一般道路における自動運転サービスの社会実装に向けた研究～手動介入発生要因の特性と対策及び社会受容性の把握～, 国土技術政策総合研究所資料, 2021.
- 3) 国土交通省道路局：自動運転に対応した道路空間に関する検討会,

https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/road_space/index.html (閲覧年月日：2022年9月6日)

- 4) 加藤瑞穂, 寺部慎太郎, 熊谷靖彦, 片岡源宗, 内山久雄：中山間部道路での対向車接近表示システム(中山間道路走行支援システム)の効果計測, 土木計画学研究・論文集, Vol.25, No.4, 2008.
- 5) 大谷亮, 江上嘉典, 佐藤健治, 三井一志, 阿部正明：自動運転状況下におけるドライバーへの情報伝達方法, 自動車技術会論文集, 47巻, 4号, pp.961-966, 2016.
- 6) 大前学, 久松堯史, 松下寛治, 佐藤周也, 岡田成弘：道路側に設置した認識・制御装置からの誘導による自動車の局所自動運転システムの開発と評価, 自動車技術会論文集, 47巻, 3号, pp.807-814, 2016.
- 7) 宮崎千展, 松山聖路, 齋藤正史, 清原良三：自動運転車両と手動運転車両の混在状況におけるT字路におけるドライバ支援方式の検討, マルチメディア、分散、協調とモバイルシンポジウム2016論文集, pp.1277-1284, 2016.

(2022.???.?? 受付)

BASIC VERIFICATION OF PROVIDING ONCOMING VEHICLES APPROACHING INFORMATION TO AUTOMATED VEHICLES BY V2I TECHNOLOGY

Masaaki ISHIHARA, Katsuhiko YUASA, Toshimasa NAKAGAWA,
Shinji ITSUBO, Ryo NAKATA and Ryota FUJIMURA

The automated driving services are expected to play a role as a daily transportation in mountainous areas. On the other hand, it is necessary to have a road environment where an automated driving can continue to introduce the automated driving services. Especially in narrow sections or sections with poor visibility, it is important to have a road environment in which the automated driving vehicle can pass the oncoming vehicle safely and smoothly at an appropriate point.

Therefore, in this research, National Institute for Land and Infrastructure Management conducted the field operational test to provide the approaching information of the oncoming vehicle which was detected by the vehicle detection sensor installed on the roadside to the on-board device of the automated driving vehicle at "Michi-no-Eki Okueigenji Keiryunosato". As a result, it was clarified that 100% of the oncoming vehicle information could be provided to the automated driving vehicle, and that the maximum delay time from the sensor detection to on-board device reception was 5.7 seconds totally.