

共同研究報告書

整理番号第 523 号

自動運転技術の活用による除雪車の運転支援
及び道路構造・管理に関する

共同研究報告書

令和3年1月

国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所
愛知製鋼株式会社
株式会社NIPPO
アイシン・ソフトウェア株式会社

Copyright © (2021) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

自動運転技術の活用による除雪車の運転支援 及び道路構造・管理に関する 共同研究報告書

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所
寒地道路研究グループ寒地交通チーム

上席研究員
主任研究員
研究員

佐藤 昌哉
宗広 一徳
中村 直久

技術開発調整監付寒地機械技術チーム

上席研究員
主任研究員
研究員

片野 浩司
山口 洋士^{※1}
新保 貴広

愛知製鋼（株）

長尾 知彦
中田 正明
武石 英人

（株）NIPPO

西山 大三
齊藤 行貴
坂本 優太

アイシン・ソフトウェア（株）

小林 拳斗

※1：現 国土交通省北海道開発局小樽開発建設部施設整備課
要旨

日本の国土の約 2 / 3 が積雪寒冷地域に指定されており、積雪や凍結による道路災害や交通障害に見舞われている。除雪車は、冬期の安全で円滑な交通の確保のため、道路管理作業の重要な役割を担っている。近年、気候変動の影響により、暴風雪等の異常気象に伴い、除雪作業が実施できず、車両の立ち往生や長時間に亘る通行止めが増加している。これに対し、除雪車の暴風雪時における車線逸脱防止及び障害物との衝突回避のため、自車の走行位置や車両周囲の人、車両、道路構造物等の情報についてセンサ等の機器を用いてオペレータに情報提供するなど、除雪車の運転支援技術の開発が求められている。同技術の開発は、積雪寒冷地域における自動運転のために道路側から提供が必要な情報を把握し、自動運転技術の基礎を構成する自車位置推定技術と周囲探知技術が、道路インフラと協調することで実現できると考える。本研究は、冬期環境下の苫小牧寒地試験道路において、自車位置推定技術及び周囲探知技術を搭載した試験車両を実走行させて、道路環境と走行性の基本性能を把握し、自動運転技術の活用及び道路インフラとの協調による除雪車の運転支援技術の開発を目的とする。また、除雪車の運転支援技術の導入に伴う道路構造の改善方法や道路管理の方向性について検討した。

キーワード：除雪車、運転支援、磁気マーカ、冬期道路管理

目 次

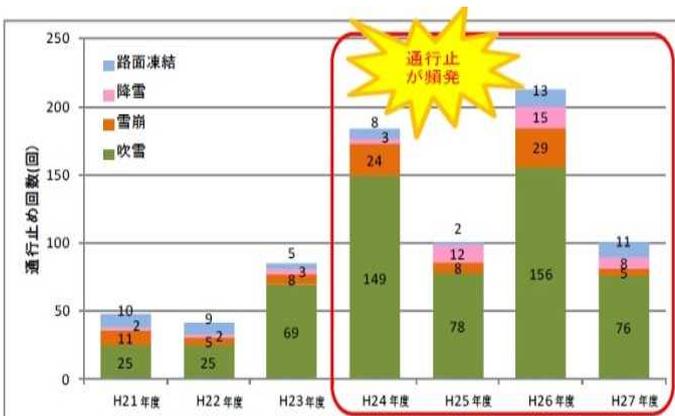
1. はじめに	1
2. 除雪車運転支援に関する検討	2
2.1 磁気マーカシステムを用いた自車位置推定システムの概要	2
2.2 自車位置推定試験	2
2.2.1 小型車両による予備試験方法	3
2.2.2 小型車両による予備試験結果	4
2.2.3 除雪車による自車位置推定試験方法	5
2.2.4 除雪車による自車位置推定試験結果	6
2.3 車線走行支援ガイダンスの検証試験	7
2.3.1 ガイダンス試作機の作製	7
2.3.2 試験方法	8
2.3.3 RTK方式によるガイダンス性能検証試験	8
2.3.4 RTK方式によるガイダンス性能検証試験結果	9
2.3.5 磁気マーカ方式による測位精度検証試験	11
2.3.6 磁気マーカ方式による測位精度検証試験結果	12
3. 道路構造・管理の検討	14
3.1 求められる道路の機能	14
3.2 自動走行車の混在交通の実験	16
4. 磁気マーカの設置手引き（案）	20
4.1 道路附属物による自動走行支援（自動運行補助）	20
4.2 磁気マーカの設置手引き（案）	20
4.2.1 磁気マーカの概要	21
4.2.2 磁気マーカ設置位置出し工	23
4.2.3 道路附属物としての検討	25
4.2.4 磁気マーカ埋設手順書	25
5. まとめ	33
謝辞	34
参考文献	35
付録	
1) 第42回寒地道路連続セミナー「自動運転技術の活用～道路インフラと車両の協調」	39

1. はじめに

日本の国土の約2/3が積雪寒冷地域に指定されており、積雪や凍結による道路災害や交通障害に見舞われている。除雪車は、冬期の安全で円滑な交通の確保のため、道路管理作業の重要な役割を担っている。近年、積雪寒冷地では気候変動の影響にもよる極端な暴風雪に伴い除雪作業が実施できず、車両の立ち往生や長時間に亘る通行止めが増加している。平成25（2013）年3月1日～3日の暴風雪では、北海道内において、雪に埋まった車の中での一酸化炭素中毒や車外での低体温症などにより、9人が犠牲になる事故が発生している。

このため、暴風雪による視程障害時において、車線逸脱防止及び障害物との衝突回避のため、自車の走行位置や除雪車周囲の人、車両、道路構造物等の情報について、センサ等の機器を用いてオペレータに情報提供することで安全に除雪作業を行い、道路交通の早期解放や緊急車両の先導を可能とする除雪車の運転支援技術の開発については、現場ニーズが非常に高い。同技術の開発は、積雪寒冷地域における自動運転のために道路側から提供が必要な情報を把握し、自動運転技術の基礎を構成する自車位置推定技術と周囲探知技術が、道路インフラと協調することで実現できると考える。

本研究は、冬期環境下の苫小牧寒地試験道路において、自車位置推定技術及び周囲探知技術を搭載した除雪機械を実走行させて、道路環境と走行性の基本性能を把握し、自動運転技術の活用及び道路インフラとの協調による除雪車の運転支援技術の開発、また、除雪車の運転支援技術の導入に伴う道路構造の改善方法や道路管理の運用方法について検討した。



冬期における国道の通行止め回数(H21年度～H27年度) 出典：北海道開発局



図-1.1 近年の冬期国道通行止め回数及び吹き溜まりによる車両立ち往生状況

2. 除雪車運行支援に関する検討

近年、極端な暴風雪の発生に伴い、車両の立ち往生や長時間にわたる通行止めなどの発生が増えてきている。このため、暴風雪による視程障害時においても安全に除雪作業を行い、道路交通の早期解放を可能とする除雪車運行支援については、現場ニーズが非常に高い。

視程障害時でも安全に除雪作業を行うには、除雪車の自車位置を正確に測位し、車線内を走行するための車線走行支援技術が必要である。自車位置推定には、GNSS(Global Navigation Satellite System:衛星測位システム)による衛星測位を用いることが基本となるが、衛星不感地帯では別の測位技術を用いる必要がある。

そこで、気象の影響を受けにくく、自動運転技術にも活用されている磁気マーカシステムを用いて、自車位置推定に関する試験を行った。

2.1 磁気マーカシステムを用いた自車位置推定システムの概要

磁気マーカシステムは、道路に埋設した磁気マーカを車両底部に設置した磁気センサで検知することで、自車位置を測位する技術である。同技術は、国土交通省が実施する「道の駅等を拠点とした自動運転サービス」における実証実験のうち、路車連携型の自動運転バスに利用されている。

自車位置推定試験には、愛知製鋼(株)製の磁気マーカシステムを使用した。また、磁気マーカシステムの位置情報とIMU(Inertial Measurement Unit：慣性計測装置)による自律航法を組み合わせた自車位置推定システムを新たに開発し、使用した。自車位置推定システムは、IMUによる自律航法を主としているが、IMUは観測時間の経過とともに測位誤差が累積される。そこで磁気マーカシステムの位置情報により測位誤差を補正する仕組みとなっている。

2.2 自車位置推定試験

自車位置推定システムを除雪車に搭載して、除雪作業が自車位置推定の測位精度に与える影響を把握し、車線走行支援技術に適用可能か検証した。

試験は、寒地土木研究所苫小牧寒地試験道路の直線部で行い、磁気マーカの設置間隔、走行速度、除雪作業の有無による測位精度を検証した。試験場所平面図を図-2.1に示す。

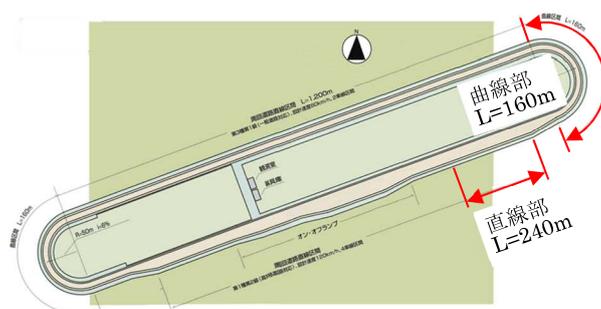


図-2.1 試験場所平面図

2. 2. 1 小型車両による予備試験方法

除雪車を使用した試験を行う前に、自車位置推定システムの精度検証のため、乾燥路面においてカート型小型車両を用いた予備試験を行った。磁気センサは、小型車両の前方下部に高さを調整できるよう設置した。磁気マーカは、直径 100mm 厚さ 2mm の表面設置型マーカを走行車線の中央部に保護シートにより貼り付けた。試験条件は以下のとおりである。試験状況を図-2.2 に示す。

- ・ マーカ設置間隔：直線部 10m,20m,30m,40m,60m,80m
曲線部 2m,3m,4m,6m,10m,15m,20m,30m
- ・ センサ取付高さ：20cm,25cm
- ・ 走行速度：5 km/h,10 km/h,20 km/h



図-2.2 予備試験状況

自車位置推定システムの測位精度の検証は、自動追尾型トータルステーション（以下、「TS」という。）による小型車両の走行軌跡の測位結果を基準とし、自車位置推定システムの測位結果と比較した（図-2.3）。なお、測位結果は平面直角座標を用いた。また、TSの計測間隔は300ms毎とし、TSと自車位置推定システムの時刻同期は行っていない。



図-2.3 TSによる計測状況

2. 2. 2 小型車両による予備試験結果

道路幅員が 3.5m の一般的な道路の中心を、車体幅が 2.5m の除雪車が走行した場合、車体側端部から車線端部まで 0.5m の余裕幅ができることから、車線逸脱の防止を目的とした走行支援における、自車位置推定システムの目標精度を最大で±50cm とした。

直線部の試験結果を表-2.1 に、曲線部の試験結果を表-2.2 に示す。試験結果は、TS の測位位置を 0 とした場合に、自車位置推定システムが水平方向の右側に測位した誤差をプラス表示、左側に測位した誤差をマイナス表示とし、その最大誤差及び平均誤差を示している。なお、試験条件のうち、センサ取付高さの違いによる測位誤差に差が見られなかったため、平均処理した結果を表にまとめた。

表-2.1 予備試験結果（直線部）

マーカ設置間隔	走行速度	平均測位誤差 (m)	左方向最大誤差 (m)	右方向最大誤差 (m)	評価
10m	5km/h	0.04	-0.27	0.32	○
	10km/h	0.00	-0.30	0.37	○
	20km/h	0.06	-0.20	0.31	○
20m	5km/h	-0.02	-0.30	0.27	○
	10km/h	0.09	-0.16	0.35	○
	20km/h	0.08	-0.15	0.32	○
30m	5km/h	0.07	-0.23	0.41	○
	10km/h	0.03	-0.24	0.31	○
	20km/h	0.15	-0.14	0.40	○
40m	5km/h	0.23	-0.10	0.63	×
	10km/h	0.22	-0.17	0.71	×
	20km/h	0.22	-0.09	0.58	×
60m	5km/h	0.03	-0.25	0.30	○
	10km/h	0.06	-0.23	0.33	○
	20km/h	0.04	-0.26	0.30	○
80m	5km/h	0.09	-0.13	0.36	○
	10km/h	0.04	-0.20	0.31	○
	20km/h	0.16	-0.06	0.42	○

表-2.2 予備試験結果（曲線部）

マーカ設置間隔	走行速度	平均測位誤差 (m)	左方向最大誤差 (m)	右方向最大誤差 (m)	評価
2m	5km/h	-0.07	-0.25	0.18	○
	10km/h	-0.05	-0.20	0.13	○
	20km/h	0.01	-0.16	0.21	○
3m	5km/h	0.03	-0.16	0.28	○
	10km/h	-0.12	-0.34	0.16	○
	20km/h	-0.13	-0.33	0.06	○
4m	5km/h	-0.07	-0.27	0.32	○
	10km/h	-0.06	-0.34	0.20	○
	20km/h	0.02	-0.29	0.20	○
6m	5km/h	0.01	-0.19	0.28	○
	10km/h	-0.12	-0.31	0.20	○
	20km/h	-0.13	-0.33	0.18	○
10m	5km/h	-0.06	-0.30	0.25	○
	20km/h	0.10	-0.08	0.33	○
15m	5km/h	-0.07	-0.27	0.13	○
	20km/h	-0.17	-0.34	0.02	○
20m	5km/h	-0.04	-0.45	0.27	○
	20km/h	0.34	0.05	0.73	×
30m	5km/h	-0.05	-0.30	0.21	○
	20km/h	-0.15	-0.42	0.16	○

直線部の試験結果は、マーカ設置間隔 40m の条件を除いたすべての条件で目標精度を達成できた。マーカ設置間隔が広くなるにつれ、測位誤差が増加する傾向が見られた。また、走行速度の違いが測位精度に与える影響は、顕著には見られなかった。曲線部では、マーカ設置間隔 20m、走行速度 20 km/h の条件を除いた全ての条件において、目標精度を達成することができた。直線部同様、走行速度の違いが測位精度に与える影響は顕著には見られなかった。マーカ設置間隔 2~6m は、測位誤差に顕著な差は見られなかったが、マーカ設置間隔 10m~30m は、設置間隔が広がるにつれて測位誤差が大きくなる傾向が見られた。

2. 2. 3 除雪車による自車位置推定試験方法

予備試験により自車位置推定システムの測位精度が確認できたことから、除雪車による自車位置推定試験を行った。試験には除雪トラックを使用した。磁気センサは、除雪トラックの前方底部にブラケットを取り付け、地上高 25cm の位置に設置した(図-2.4)。

磁気マーカは、直径 30mm、高さ 20mm の埋設型マーカを、車線中央部に深さ 3cm で削孔した穴に埋設し、表層 1cm を充填剤にて充填した(図-2.5)。

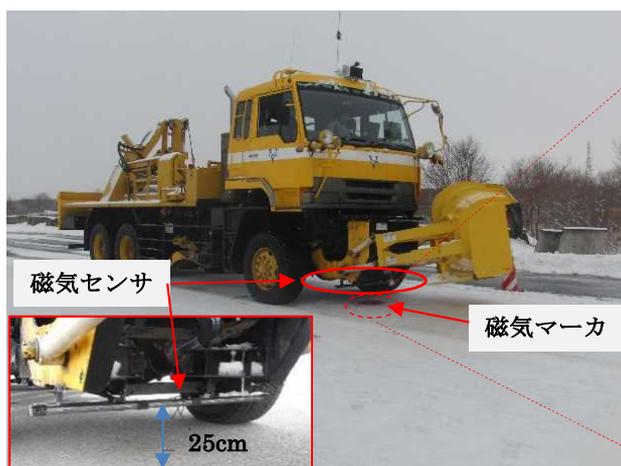


図-2.4 除雪トラック全景



図-2.5 磁気マーカ埋設状況

除雪作業を行いながら試験を実施するため、苫小牧寒地試験道路の直線部と曲線部に圧雪路面を形成した。直線部の平均圧雪厚さは 6.0cm、雪硬度は 207kg/cm²、曲線部の平均圧雪厚さは、4.7cm、雪硬度は 156kg/cm²であり、路面状態は圧雪及び氷板であった(図-2.6)。



図-2.6 走行車線積雪状況

試験条件は以下のとおりである。試験状況を図-2.7 及び図-2.8 に示す。

- ・ マーカ設置間隔：直線部 20m,40m,80m
曲線部 6m,15m

- ・ 走行速度 : 15 km/h, 30 km/h
- ・ 除雪作業の有無 : 除雪有り, 除雪無し (回送)



図-2.7 自車位置推定試験 (直線部)



図-2.8 自車位置推定試験 (曲線部)

測位精度の検証は、予備試験と同様にTSによる走行軌跡の測位結果と比較した。

2. 2. 4 除雪車による自車位置推定試験結果

直線部の試験結果を表-2.3に、曲線部の試験結果を表-2.4に示す。

直線部の試験では、マーカ設置間隔 20m の条件及び設置間隔 40m における除雪作業時の走行速度 15km/h の条件において目標精度を達成できた。磁気マーカの設置間隔が広がるにつれ、測位誤差が増加する傾向は、予備試験よりも顕著になる傾向が見られた。また、走行速度の上昇により測位誤差が増加する傾向が見られたが、除雪作業の有無により測位誤差に顕著な差が見られなかったことから、除雪作業による振動を受けても測位精度に影響を及ぼさないことがわかった。

表-2.3 自車位置推定試験結果 (直線部)

設置間隔	除雪有無	走行速度	平均測位誤差 (m)	最大誤差範囲(m)		評価
				左方向最大誤差 (m)	右方向最大誤差 (m)	
20m	回送	15km/h	-0.02	0.63	-0.34 0.29	○
		30km/h	-0.23	0.50	-0.48 0.01	○
	除雪	15km/h	-	-	-	-
		30km/h	0.05	0.84	-0.44 0.40	○
		15km/h	-0.26	0.97	-0.74 0.23	×
		30km/h	-0.35	0.85	-0.77 0.08	×
40m	回送	15km/h	-0.26	0.97	-0.74 0.23	×
		30km/h	-0.35	0.85	-0.77 0.08	×
	除雪	15km/h	-0.02	0.88	-0.40 0.48	○
		30km/h	-0.12	1.09	-0.70 0.39	×
		15km/h	-0.62	1.59	-1.42 0.18	×
		30km/h	-0.76	1.59	-1.57 0.02	×
80m	回送	15km/h	-0.62	1.59	-1.42 0.18	×
		30km/h	-0.76	1.59	-1.57 0.02	×
	除雪	15km/h	-0.44	1.71	-1.33 0.38	×
		30km/h	-	-	-	-

表-2.4 自車位置推定試験結果 (曲線部)

設置間隔	除雪有無	走行速度	平均測位誤差 (m)	最大誤差範囲(m)		評価
				左方向最大誤差 (m)	右方向最大誤差 (m)	
6m	回送	15km/h	0.56	1.26	-0.02 1.24	×
		30km/h	-	-	-	-
	除雪	15km/h	0.63	1.42	-0.24 1.18	×
		30km/h	0.61	1.25	-0.08 1.18	×
15m	回送	15km/h	-0.92	2.17	-1.84 0.34	×
		30km/h	-	-	-	-
	除雪	15km/h	-1.10	2.34	-2.12 0.22	×
		30km/h	-1.47	2.91	-3.09 -0.17	×

曲線部では、全ての条件において目標精度を達成することができなかった。磁気マーカの設置間隔の広がり及び走行速度の上昇、除雪作業を伴うことにより測位誤差が増加する傾向が見られた。

本試験では、予備試験に使用した小型車両用に設定した自車位置推定システムを使用しており、圧雪が厚い場合に磁気センサの検出範囲を超える場合があったものと考えられる。除雪車用の磁気センサは、圧雪厚さを考慮し検出高さを調整する必要がある事がわかった。曲線部の設置間隔については、今後検討が必要であるが、直線部の設置間隔 20m では、除雪作業による振動を受けても目標精度を達成することができたことから、自車位置推定システムは、車線逸脱防止に使用するうえで、適用可能な測位精度を有していることを確認した。

2. 3 車線走行支援ガイダンスの検証試験

磁気マーカシステムと IMU による自律航法を組み合わせた自車位置推定システムを用いた車線走行支援ガイダンスを試作し、自車位置精度を検証するとともに、ガイダンス情報に従い車線を逸脱せずに走行可能な検証試験を行った。

2. 3. 1 ガイダンス試作機の作製

ガイダンス試作機は、ロボット用オープンソースソフトウェア「ROS」の可視化ツールである「RViz」をベースに新たに開発したものである。RViz は、ROS で通信されるデータであれば種類を問わず表示することができ、外部からのセンサ情報やロボットの形状モデル、地図、計画軌道などを三次元表示することができる。

苫小牧寒地試験道路全周の高精度三次元地図データベースを作成し、ベクターマップにより車線境界を判りやすく表示し、走行時のガイダンス用に走行車線の中心に走行目安線を表示した。また、現在位置や道路周辺状況を把握しやすいように、点群情報を基に道路や道路周辺の起伏・背景をカラー表示した。

画面に表示される除雪車モデルは、実際の除雪トラックの諸元を基に 3D モデル化しており、地図と除雪車の尺度を合わせることで、オペレータに違和感のない表示とした。また、ガイダンス画面はオペレータの運転操作のしやすさを考慮し、運転席からの視点（以下、「コックピットビュー」という。）、後方からの鳥瞰的な視点（以下、「バードビュー」という。）、カーナビゲーションのような二次元的な視点（以下、「2D ビュー」という。）の 3 種類を設定した。図-2.9、2.10、2.11 にガイダンス画面例を、図-2.12 に除雪トラック 3D モデルイメージを示す。

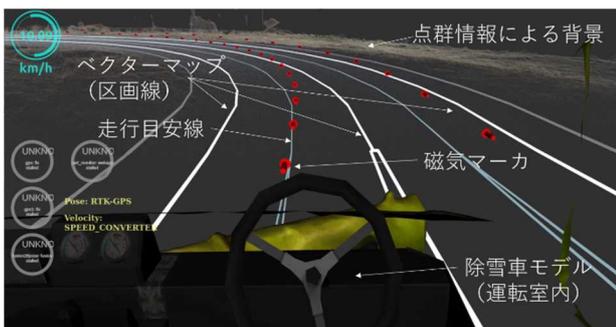


図-2.9 ガイダンス画面例（コックピットビュー）



図-2.10 ガイダンス画面例（バードビュー）

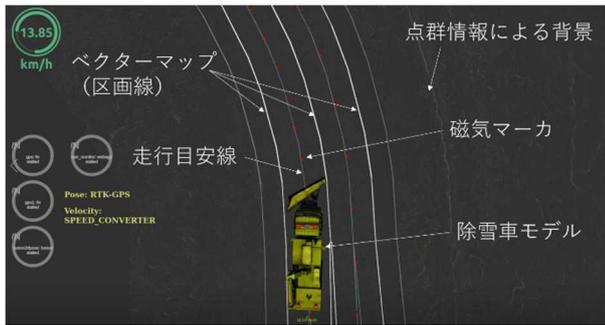


図-2.11 ガイダンス画面例（2Dビュー）



図-2.12 除雪トラック 3D モデル（イメージ）

2. 3. 2 試験方法

ガイダンス試作機は、磁気マーカシステムと IMU による自律航法の組み合わせによる自車位置推定システム（以下、「磁気マーカ方式」という。）のほかに、RTK-GNSS による位置測位（以下、「RTK 方式」という。）も可能である。自車位置推定試験結果より RTK 方式の測位結果は、TS による走行軌跡の測位結果と同程度の精度があったことから、RTK 方式と磁気マーカ方式の測位結果を比較することで測位精度を検証することとした。

また、視程障害時におけるガイダンスによる運転操作性を検証するため、フロントガラス全面の視界を遮断し、視程障害時を模擬的に再現した状況において、ガイダンス情報を頼りに車線を逸脱せずに走行する試験を行った。

2. 3. 3 RTK 方式によるガイダンス性能検証試験

試験は、苫小牧寒地試験道路で行った。

ガイダンス性能の検証は試験道路を半周するため自車位置推定を RTK 方式で行った。ガイダンスシステムはリアルタイムに自車位置を高精度地図に表示するとともに、走行軌跡が記録可能である。高精度地図には、走行位置をガイダンスするための走行目安線が表示されているため、オペレータは走行目安線に除雪車モデルの中心を合わせて運転することで、車線を逸脱せずに走行することができる。そこで走行目安線の設定座標を基準とし、目視による通常走行の軌跡と視界を遮断した各ガイダンス情報のみによる走行軌跡の測位座標との差を比較することで、ガイダンス性能を評価することとした。また、オペレータにガイダンス使用時における運転操作性に関するアンケート調査とヒアリングを行った。なお、除雪トラックの視界遮断はフロントガラス全面及び側面の窓に白色半透明のビニールシートを設置した。

試験道路の路面状態は、半周 1,800m のうち、直線部 1 (L=800m) には圧雪路面 L=240m を、曲線部には L=160m 全て圧雪路面を形成した。圧雪路面の条件は、直線部 1 の平均圧雪厚さは 9.5cm、雪硬度は 63kg/cm²、曲線部の平均圧雪厚さは、4.8cm、雪硬度は 50kg/cm² である。圧雪路面では除雪作業を行いながら走行し、圧雪路面以外の区間は乾燥路面のため回送姿勢にて走行するものとした。

試験条件は以下のとおりである。

- ・ガイダンス種類：コックピットビュー、バードビュー、2D ビュー、通常走行（ガイダンス無し）
- ・走行条件：除雪作業有り、回送のみ

試験場所平面図を図-2.13 に、試験状況を写真-2.1、2.2 に、試験時の運転室内の状況を写真-2.3 に示す。

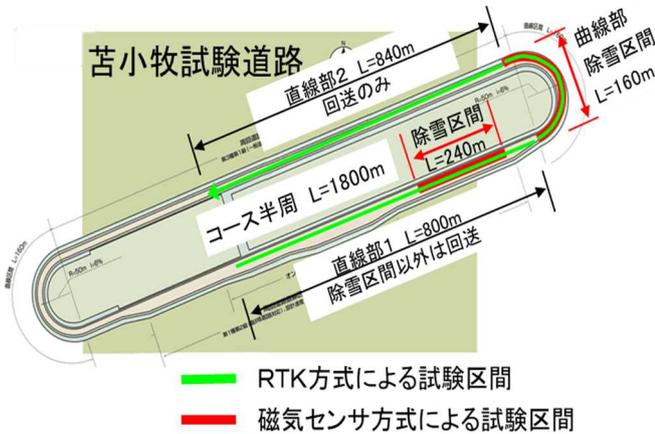


図-2.13 試験場所平面図



写真-2.1 試験状況全景



写真-2.2 試験状況全景



視界遮断無し

視界遮断有り

写真-2.3 運転室内の状況

2.3.4 RTK 方式によるガイダンス性能検証試験結果

試験結果を表-2.5 に示す。

試験はガイダンス種類毎に2回行い、試験結果は道路条件及び走行条件毎に分割し平均処理を行った。目標精度は自車位置推定試験と同様に $\pm 50\text{cm}$ とした。

コックピットビューでは、直線路の除雪時においては目標精度を達成できたが、直線路の回送時と曲線路の除雪時では、左右方向の最大離隔距離が 50cm を超える箇所があった。しかし最大離隔距離範囲では 1m 以内に収まっていることから概ね目標精度を満たしていると評価した。バードビューでは、直線路の回送時と除雪時においては目標精度を達成できた。曲線路の除雪時では最大離隔距離範囲が 1m を超えているため目標を達成できていない。2D ビューはコックピットビューと同様の結果となった。一方、比較のため実施した目視による通常走行では、直線路の回送時と除雪時は目標精度内で走行できたが、曲線路では最大離隔距離範囲が 1m

を大幅に超える結果となった。

表-2.5 ガイダンス性能検証試験結果

ガイダンス種類	走行条件	道路条件	平均離隔距離(m)	最大離隔距離範囲(m)		評価
				左方向最大離隔距離(m)	右方向最大離隔距離(m)	
無し (通常走行) 視界遮断無	回送	直線	0.00	0.49		○
				-0.26	0.24	
	除雪	直線	0.16	0.39		○
-0.03				0.37		
	除雪	曲線	-0.23	1.28		×
				-0.84	0.44	
コックピット ビュー 視界遮断有	回送	直線	-0.36	0.71		△
				-0.61	0.10	
	除雪	直線	-0.08	0.40		○
-0.32				0.08		
	除雪	曲線	0.14	0.80		△
				-0.23	0.57	
バードビュー 視界遮断有	回送	直線	0.02	0.60		○
				-0.30	0.30	
	除雪	直線	0.05	0.35		○
-0.12				0.23		
	除雪	曲線	0.10	1.13		×
				-0.56	0.56	
2Dビュー 視界遮断有	回送	直線	-0.14	0.79		△
				-0.55	0.25	
	除雪	直線	-0.19	0.48		○
-0.46				0.02		
	除雪	曲線	-0.18	0.69		△
				-0.53	0.16	

通常走行とガイダンス種類毎の平均離隔距離を比較すると、直線路の回送時及び除雪時では、通常走行とバードビューの平均値は小さく道路中心寄りに走行する傾向が見られた。また、コックピットビューと2Dビューは、左方向に偏る傾向が見られた。曲線路では目視による通常走行でも左方向に偏る傾向があり、2Dビューは同様の傾向を示したが、コックピットビューとバードビューでは、緩和される傾向が見られた。通常走行では、路面状況が圧雪のため中央線や外側線が視認できなかったため、道路中心より左寄りに走行したものと考えられる。一方コックピットビューやバードビューでは、ガイダンス画面上に区画線や走行目安が表示されているため、バラツキはあるものの道路中心に沿って走行することができた。

アンケート評価結果を図-2.14に示す。

アンケートはオペレータ2名に対し、道路空間の認識、ガイダンスを見ながらの操作性、運転操作の不安感、安全性について、ガイダンス種類毎に評価の高い順に配点をしてもらった。道路空間の認識については、目視による視界に近いコックピットビューの評価が高かったが、それ以外の項目はバードビューの評価が高かった。2Dビューについては全ての項目で評価が低い結果となった。オペレータへのヒアリングでは、除雪車モデルと3D地図との位置合わせに慣れが必要だが、慣れると走行に支障は無いことがわかった。また、3D地図に背景があるため位置関係を把握しやすい、特にバードビューは俯瞰のため道路の先を見通せ、距離感を掴みやすかった。但し、バードビュー、コックピットビューともに曲線部の出入りではハンドル操作の遅れが生じる場合があるため、ある程度の習熟は必要と思われる。また、画面を見ながらの運転でも画面酔いをする事は無いことが確認できた。

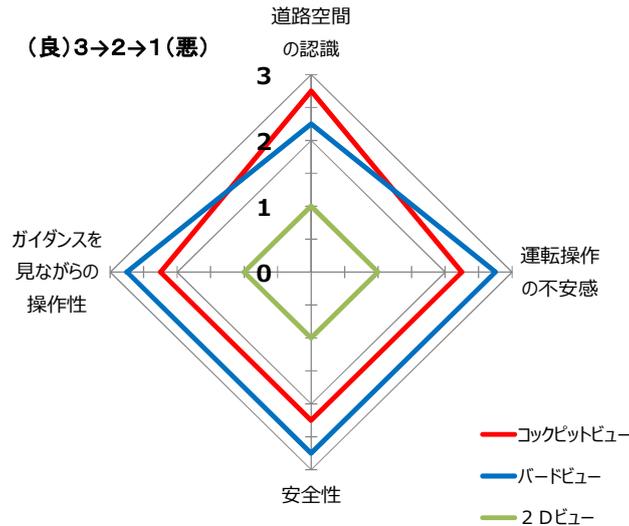


図-2.14 アンケート評価結果

ガイダンス性能の検証試験の結果、コックピットビュー及びバードビューでは、視界を遮断した状況においてもガイダンス情報に従って車線逸脱することなく除雪作業が可能ことが確認できた。また、オペレータへのヒアリングの結果、バードビューが最も高い評価を得た。

2. 3. 5 磁気マーカ方式による測位精度検証試験

磁気マーカ方式による測位精度の検証は、磁気マーカを埋設した直線部と曲線部において、設置間隔の違いによる測位精度を検証した。

磁気マーカの設置間隔は、自車位置推定試験結果を踏まえ、直線部では20m,40mに加えてより高い精度が期待できる10mを追加した。また、曲線部では6m,15mでは目標精度が達成できなかったことから、3m,5mに設置間隔を狭めることとした。圧雪路面の条件は、直線部の平均圧雪厚さは9.5cm、雪硬度は63kg/cm²、曲線部の平均圧雪厚さは、4.8cm、雪硬度は50kg/cm²であり、路面状態は圧雪である。磁気マーカの条件は2. 2. 3と同様であるが、磁気センサは、自車位置推定実験の結果を考慮し、検出高さの範囲を最大40cmまで調整した。試験条件は以下のとおりである。試験状況を写真-2. 4, 2. 5に示す。

- ・ マーカ設置間隔：直線部 10m,20m,40m
曲線部 3m,5m
- ・ 視界遮断の有無：有り・無し（視界遮断は直線部のみ）
- ・ 除雪作業の有無：除雪有り、除雪無し（回送）



写真-2.4 直線部試験状況



写真-2.5 曲線部試験状況

2. 3. 6 磁気マーカ方式による測位精度検証試験結果

直線部の試験結果を表-2.6に、曲線部の試験結果を表-2.7に示す。目標精度は、自車位置推定試験と同様に $\pm 50\text{cm}$ とした。直線部の試験では、マーカ設置間隔10mにおける視界遮断無しの回送時と除雪時の条件において目標精度を達成できた。視界遮断有りの回送時と除雪時では、右方向の最大誤差が目標の50cmを超える箇所があった。しかし最大誤差範囲では1m以内に収まっていること及び平均誤差に大きな差が見られないことから、視界遮断無しと同等の評価と判断した。一方、マーカ設置間隔20m,40mを条件とする自車位置推定試験で目標精度を達成できていたが、本試験では目標精度を達成することができなかった。

表-2.6 自車位置推定試験結果（直線部）

設置 間隔	除雪 有無	視界 遮断	平均 測位 誤差 (m)	最大誤差範囲(m)		評価
				左方向 最大誤差 (m)	右方向 最大誤差 (m)	
10m	回送	無し	0.08	0.77		○
		有り		-0.33	0.44	
	除雪	無し	0.14	0.71		△
		有り		-0.18	0.53	
		無し	0.07	0.51		○
		有り		-0.12	0.39	
20m	回送	無し	0.71	0.83		△
		有り		-0.17	0.67	
	除雪	無し	0.52	2.40		×
		有り		0.04	2.45	
		無し	0.39	2.26		×
		有り		-0.56	1.69	
40m	回送	無し	0.58	0.86		×
		有り		0.00	0.86	
	除雪	無し	0.47	1.41		×
		有り		-0.21	1.20	
		無し	0.53	1.42		×
		有り		0.00	1.42	
5m	回送	無し	0.75	1.24		×
		有り		0.15	1.38	
	除雪	無し	0.53	0.92		×
		有り		0.14	1.06	
		無し	0.53	2.41		×
		有り		0.01	2.43	

表-2.7 自車位置推定試験結果（曲線部）

設置 間隔	除雪 有無	平均 測位 誤差 (m)	最大誤差範囲(m)		評価
			左方向 最大誤差 (m)	右方向 最大誤差 (m)	
3m	回送	0.04	0.65		○
	除雪		-0.23	0.42	
5m	回送	0.28	0.83		△
	除雪		-0.24	0.60	
5m	回送	0.28	0.69		△
	除雪		-0.04	0.66	
5m	回送	0.04	2.08		×
	除雪		-1.38	0.70	

曲線部では、マーカ設置間隔 3m の回送時において目標精度を達成できた。マーカ設置間隔 3m の除雪時と設置間隔 5m の回送時では、右方向の最大誤差が目標の 50cm を超える箇所があったが、最大誤差範囲では 1m 以内に収まっていることと、平均誤差に大きな差が見られないことから、設置間隔 3m の回送時と同等の評価と判断した。

本試験では、自車位置推定試験よりも高い測位精度が得られるよう、磁気マーカの設置間隔を狭め、IMU や磁気センサの調整を行ったが、直線部の試験では 20m,40m において目標精度を達成できず、マーカの設置間隔を狭めた 10m でのみ目標精度を達成できた。今回の試験では、磁気センサを調整したことで、圧雪厚さの違いによる磁気マーカの未検出は無かったものの、圧雪路面上に磁気マーカの位置を示すマーキングは行っておらず、ガイダンスの画面に表示される磁気マーカの位置を目安に試験を行った。そのため直接目視で路面を確認しながら運転するよりも、細かなハンドル操作を伴う運転となり、自律航法の測位精度に影響を与えたものと思われる。また、視界を遮断した場合は運転挙動がより不安定になるため、その傾向がより強くなったものと考えられる。

曲線部の試験では、マーカ設置間隔を狭めたことにより 2. 2. 4 の試験結果より測位精度が向上した。しかし曲線部は道路線形に合わせてハンドル操作を行いながら、マーカの位置合わせを行うため、確実にマーカ上をセンサが通過するためには、ガイダンスによる運転操作の習熟が必要である。

3. 道路構造・管理の検討

3.1 求められる道路の機能

道路は、あらゆる社会経済活動を支える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福祉に寄与し、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を試案した (表-3.1)。道路階層に応じた接続方式の試案として、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することを提案する (表-3.2)。

表-3.1 道路階層区分の試案 (北海道の場合)

		道路種別					
		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
連絡スケール	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-3.2 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

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・管理について整理する。

(1) 圏域間・圏域内連絡：階層A・B

連絡スケールは、A・B：約100～300kmを対象とする。高速道路（自動車専用道路）におけるトラックの隊列走行など物流面での自動走行の推進が想定される。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。一部の市販車に搭載された車線維持支援制御装置（LKAS）及び定速走行・車間距離制御装置（ACC）による追従走行、すなわちレベル2相当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、主として区画線による道路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。

道路構造・管理としては、適切な区画線・道路附属物の機能確保が求められる。冬期道路管理においても、除雪車の運転支援技術の搭載（GNSS、高精度地図、自動走行補助施設などの利用）により、高度化が期待される。また、道路管理車両（道路パトロール車、除雪車、凍結防止剤散布車など）の接続テッド化も求められる。

(2) 市町村間連絡：階層C

連絡スケールは、C：約10～30km（地方部では30～100kmも含む）を対象とする。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。例えば、道路構造では、車載カメラによる誤認識を減らすために、道路附属物や標識の集約・簡素化が必要とされる。実道では多様な交差点形式（多岐交差点、変形交差点など）が存在し、自動走行化に困難性が伴っている。このことを克服するために、交差点形式のパターン化、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。

冬期道路管理においても、除雪車の運転支援技術の搭載（GNSS、高精度地図、自動走行補助施設などの利用）により、高度化が期待される。また、道路管理車両（道路パトロール車、除雪車、凍結防止剤散布車など）の接続テッド化も求められる。

(3) 市町村内連絡：階層D・E

連絡スケールは、約10km以内を対象とする。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、地方部における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。本階層において、道路管理分野の自動走行技術の適用については、将来的に可能性はある。

(4) 専用空間：階層F

連絡スケールは、約5km以内を対象とする。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3及び4の自動走行が実現可能となると思われる。

以上について、総合的に勘案し、道路階層と将来期待される自動運転レベルを考慮した道路ネットワークのイメージについて試案した（図-3.1）。

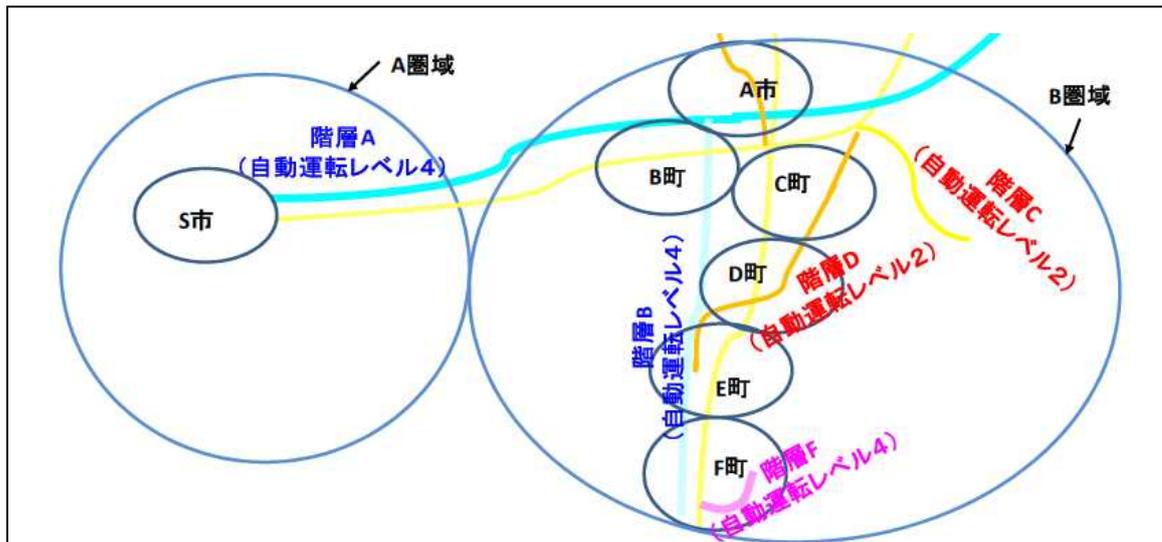


図-3.1 道路階層・自動運転レベルを考慮した道路ネットワークの試案

3.2 自動走行車の混在交通の試験

一般道路における交差点の標準化の事例研究として、苫小牧寒地試験道路（外周路の延長L=2.7km）の模擬ラウンドアバウト（外径：27m）において、一般車両の走行の中に、自動走行機能を搭載した試験車両（自動走行車）が混在した状態を再現し、実走行させた（図-3.2）。試験は、平成30（2018）年2月6日に実施した。試験概要は、表-3.3に示す通りである。一般車両は、市販車をレンタルにより10台調達し、ラウンドアバウトの流入及び流出をランダムに繰り返した。対象としたラウンドアバウトの構造諸元は、表-3.4の通りである。自動走行車は一般車両が走行する中、ラウンドアバウトの流入、流出を繰り返した。自動走行車には、運転操作を行わない状態であるが、安全確保のために担当技術者2名が同乗した。

表-3.3 試験概要

項目	内容
実験日	平成30年2月6日(水)
時間帯	10時～17時
天候	晴れ
路面状態	乾燥
実験車両	自動運転車 1台 一般車両 10台
走行区間	ラウンドアバウト 直線部

表-3.4 ラウンドアバウトの構造諸元

構成要素	諸元
環道外径	27.0m
中央島直径	12.0m
環道幅員	5.0m
環道幅員+エプロン部	7.0m
流入部の半径	13.0m
流出部の半径	15.0m

表-3.5 被験者（一般車両の運転者）の概要

項目	内訳
性別	男性:8名、女性:2名
年代	30代:3名、40代:2名 50代:4名、60代:1名
運転歴	10～19年:3名 20～29年:3名 30～39年:4名
年間走行距離	10,000km未満:1名 10,000～20,000km未満:5名 20,000～30,000km未満:4名

一般車両の運転者として、普通自動車運転免許を有する一般ドライバー10名が参加した。実験に参加した一般ドライバーの内訳（性別、年代、運転歴、年間走行距離）は、表-3.5の通りである。一般ドライバーは、自動走行車と一般車両が混在した状態のラウンドアバウト（交差点）を走行後、アンケートに回答した。

アンケートの設問では、「自動走行車が混在した状態の走行における主観評価（安全性、走りやすさ）」について7段階で評価した。安全性については、「1：大変危険である～7：たいへん安全である」、走りやすさについては、「1：とても走りにくい～7：とても走りやすい」について、主観評価点とした。また、同様のアンケートについて、試験道路の外周路の単路部走行においても行った（図-3.3）。

本実験の状況について、ラウンドアバウト対象は図-3.4、単路部対象は図-3.5に示す通りである。

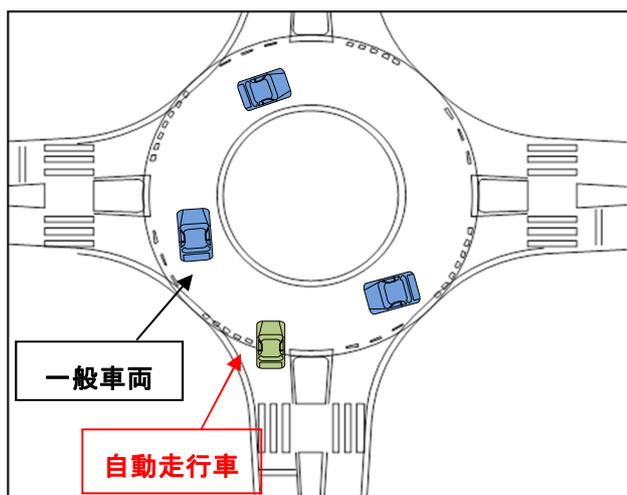


図-3.2 試験の概要図（ラウンドアバウト）

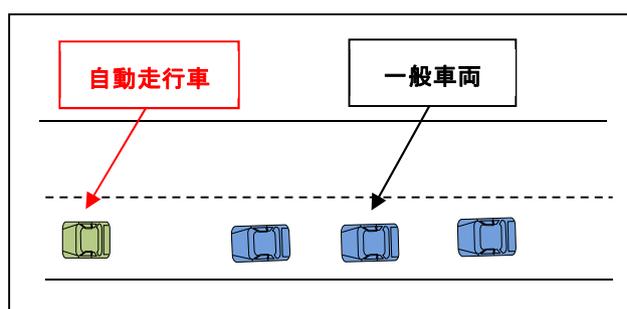


図-3.3 試験の概要図（単路部）

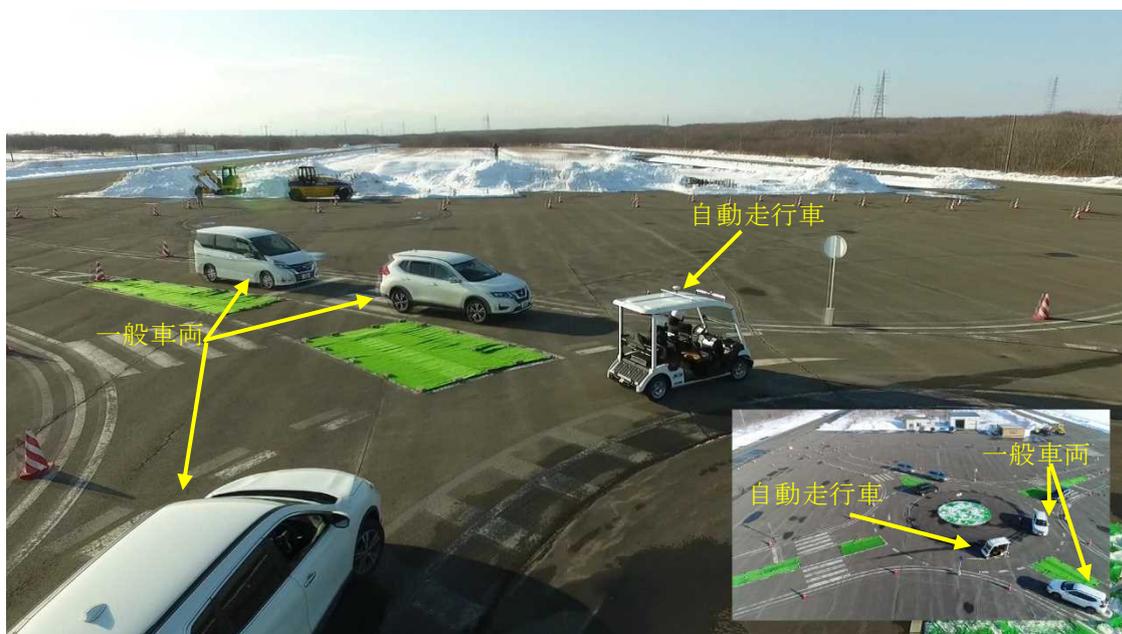


図-3.4 試験の概要図（ラウンドアバウト）



図-3.5 試験の概要図（単路部）

試験に参加した一般ドライバーによるアンケートの回答結果より、交差点部（ラウンドアバウト）と単路部について主観評価（安全性）について集計したところ、図-3.6を得た。本評価値についても、交差点部（ラウンドアバウト）並びに単路部ともに、平均値で約5が得られた。すなわち、一般ドライバーは、自動走行車の混在について、安全性の観点からは、中間的な評価である4よりも高いことが分かった。

次に、一般ドライバーによるアンケートの回答結果の主観評価（走りやすさ）について集計したところ、図-3.7を得た。本評価値についても、交差点部（ラウンドアバウト）並びに単路部ともに、平均値で約5が得られ、中間的な評価である4よりも高くなった。すなわち、試験に参加した一般ドライバー10名は、一般交通車両に自動運転車が混在した状態においても、一定程度以上の走りやすさを感じていると考えられる。

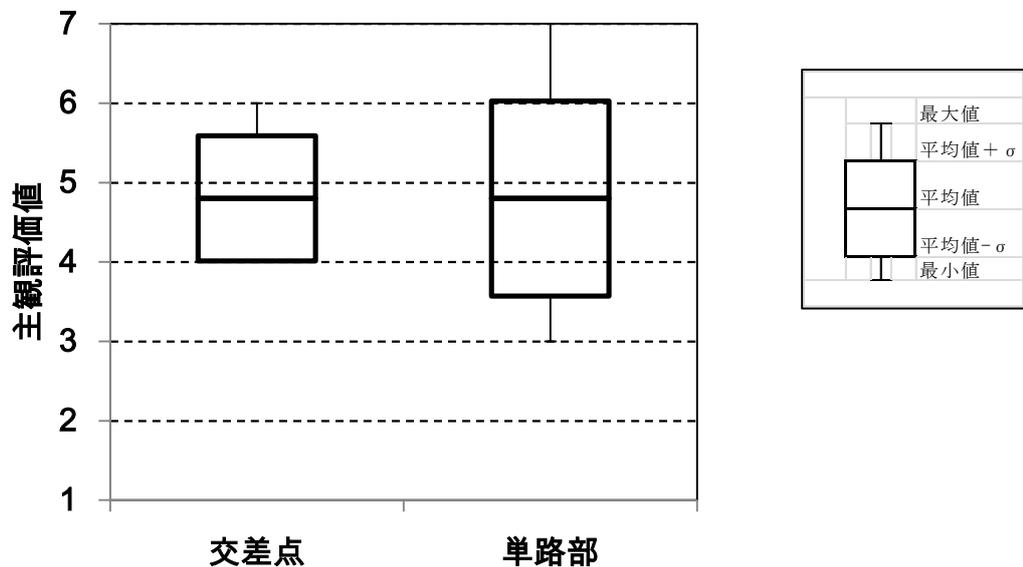


図-3.6 安全性の主観評価

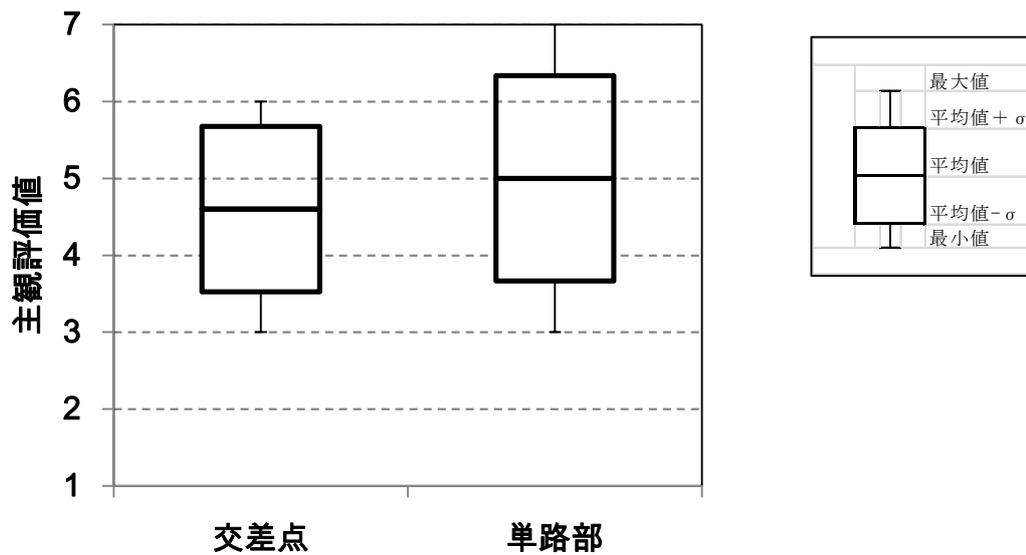


図-3.7 走りやすさの主観評価

4. 磁気マーカの設置手引き（案）

4. 1 道路附属物による自動走行支援（自動運行補助）

2020年道路法等の一部を改正する法律が成立し、自動運行補助施設（磁気マーカ等）が道路附属物と位置付けられた。同法の該当箇所は、以下の通り。

第2条（用語の定義）

第32条（道路の占用の許可）

第33条（道路の占用の許可基準）

第45条の2（自動運行補助施設の性能の基準等）

第76条（報告の提出）

4. 2 磁気マーカの設置手引き（案）

磁気マーカの設置手引き（案）の目次構成は、以下の通り。

4.2.1 磁気マーカの概要

- (1) 磁気マーカとは
- (2) 磁気マーカの優位性

4.2.2 磁気マーカ設置位置出し工

- (1) 磁気マーカ設置設計について
- (2) 磁気マーカ設置位置出しについて

4.2.3 道路附属物としての検討

- (1) 法的位置付け
- (2) Asガラとしての処理方法について

4.2.4 磁気マーカ埋設手順書

- (1) 施工フローと留意点
- (2) 磁気マーカ設置用の特殊専用機械
- (3) 歩掛

4.2.1 磁気マーカの概要

(1) 磁気マーカとは

1) 磁気マーカシステムについて

磁気マーカシステムとは、道路(インフラ)側に配置した磁石(磁気マーカ)から発せられる磁気を、自動車側に搭載したセンサーで検出することにより、自車両位置を推定する運転支援システムである。

図-4.1 に概要を示す。

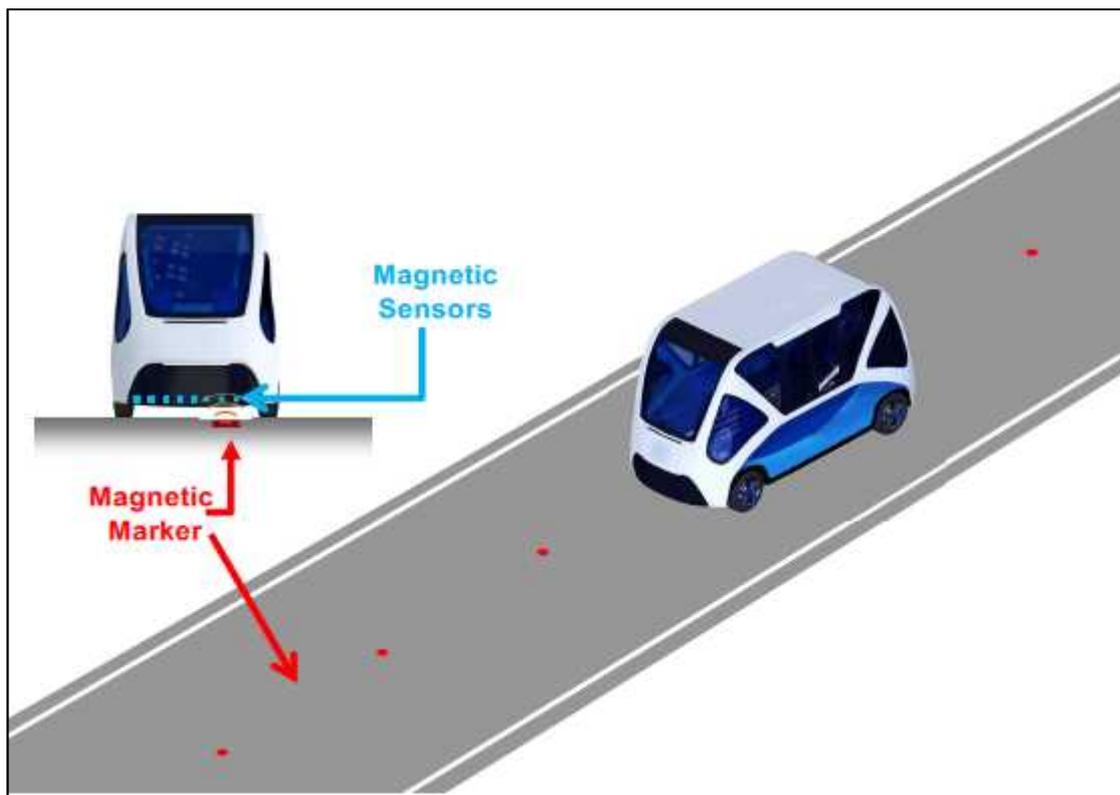


図-4.1 磁気マーカシステム概要

2) 磁気マーカの種類

磁気マーカは、設置環境に応じて形状を変えた以下の2種類を想定している。

① 埋設タイプ

主に耐久性を要求される場所で、長期間設置することを想定したもの。道路上に穴を開けて埋設する。

図-4.2 に概要を示す。

② 表面設置タイプ

構造上、道路表面に穴を開けることが難しい場所、一時的に設置する場合などに使用することを想定したもの。保護シートを用い、道路表面に貼り付けて設置する。図-4.3 に概要を示す。

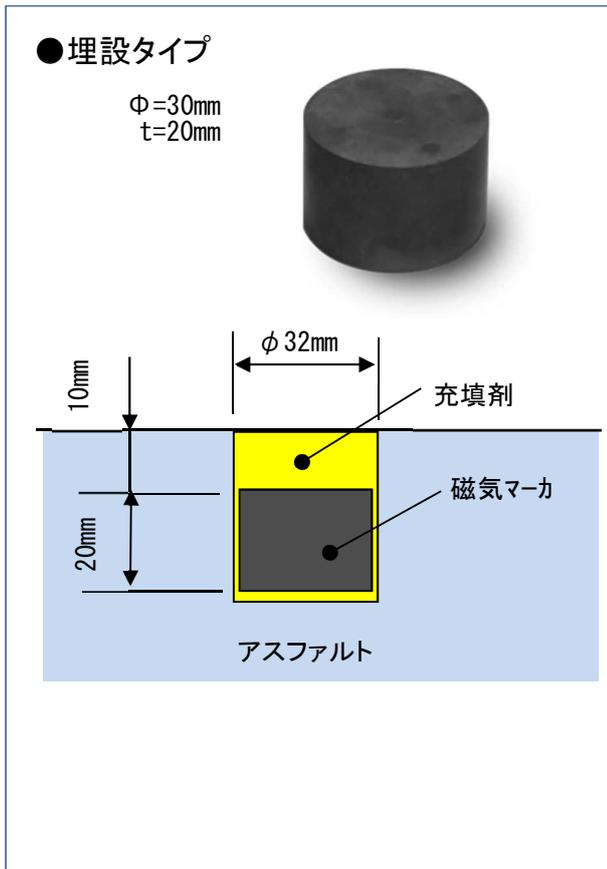


図-4.2 埋設タイプマーカ概要

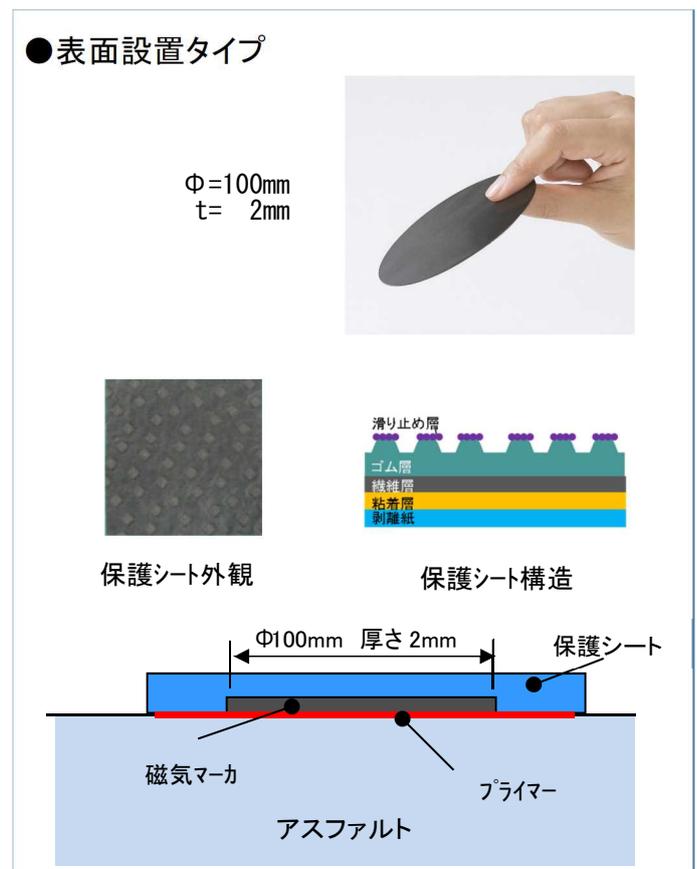


図-4.3 表面設置タイプマーカ概要

(2) 磁気マーカの優位性

現在の一般的な自動運転車両は、GNSS 及び 3D マップ、光学カメラや LiDAR(レーザーレーダ)等を用いて自車位置を推定している。しかし、先述のデバイスでは、逆光・積雪等の荒天時、高架下・トンネル・山間部等、本来運転支援が必要な状況や場所において、自車位置の把握能力が低下し、走行に支障をきたす可能性がある。

より信頼性の高い自動運転システムを構築するためには、自車位置は常に把握されているべきである。舗装表面に設置された磁気マーカは、天候・場所などに影響されることなく、安定且つ高精度で自車位置の特定が可能であるため、信頼性の高い自車位置情報を提供できるツールである。推奨される磁気マーカの適用条件を表-4.1 に示す。

表-4.1 推奨される磁気マーカの適用条件

(光学系が苦手) 天候	逆光	霧	降雪・積雪
			
場所(GNSSが苦手)	高架下	トンネル内	山間部
			

4.2.2 磁気マーカ設置位置出し工

(1) 磁気マーカ設置設計について

1) 国土交通省での実証実験における設計

過去の実証実験における磁気マーカ設置設計は、以下のような設計としている。

- ①直線部：2m 間隔で設置
- ②カーブ部(R40 以下)：1m 間隔で設置

<考え方>

磁気マーカは「ランドマーカ」として使用するが、IMU 等の他デバイスになるべく頼らないようにするため、間隔密度を細かくして制御する。

2) 本共同研究での設計

寒地土木研究所 小牧寒地試験道路での実験では、以下のような設計としている。

- ①直線部：20/40/80m 間隔で設置
- ②カーブ部：6/15m 間隔で設置

<考え方>

磁気マーカを「ランドマーカ」として使用。基本的には車両側の IMU で走行し、磁気マーカ上を通過したときに自車位置を補正しながら走行する。

3) 設置位置の求め方

磁気マーカの設置位置を求める方法は二通りある。一つは食紅を車両から流し、車両の実走行路を正とするやり方（食紅方式）。他方は、予め設計図面上で磁気マーカ設置位置を決定し、現場でその位置を特定する方法（逆うち方式）である。

食紅方式は、現場の実情に合わせた軌跡となり、やり方も簡素であるため、実績が多い。逆うち方式については、試験的な実績が1件あるのみである。

(2) 磁気マーカ設置位置出しについて

位置出し専用の車両から流れる食紅によって、縦断方向の磁気マーカ設置位置が決定された後、起点から一定の間隔距離を巻き尺等で測定し、路面上にマーキングを行う（図-4.4 参照）。

	<p>食紅によるマーキング</p>
	<p>磁気マーカ設置位置出し</p>
	<p>マーキング位置修正状況</p>

図-4.4 位置出し工

4.2.3 道路附属物としての検討

(1) 法的な位置付け

2020年道路法等の一部を改正する法律が成立し、自動運行補助施設（磁気マーカ等）が道路附属物と位置付けられた。

(2) As ガラとしての処理方法について

磁気マーカはフェライト磁石と樹脂を混練したものであり、一般的なプラスチック磁石である。そのため、舗装撤去後は中間処理工場の磁選機で取り除くことができるため、As ガラとして処分できる。

4.2.4 磁気マーカ埋設手順書

(1) 施工フローと留意点

埋設タイプの磁気マーカ設置の施工フローと写真を図-4.5 及び図-4.6, 図-4.7 に示す。貼付タイプのものを図-4.8 及び図-4.9 に示す。

磁気マーカが設置された後に、出来形測量として、すべての磁気マーカの緯度経度を測量する（図-4.10）。測量された緯度経度（X-Y 座標）データを最終成果物として納品する。

磁気マーカを舗装表面に設置する作業において、以下の点に留意する

- 磁気マーカが鉛直方向に設置できるように、削孔も垂直に行う。手動ドリルで削孔する場合、ドリルが左右に振れて、削孔が斜め方向になることがあるので、注意が必要。
- 正確かつ迅速な施工を実施するには、機械による埋設が望ましい。
- 磁気マーカの上面が、舗装表面から十分にかぶり厚（10mm 以上）を確保するまで、削孔・設置する。
- 充填剤は目減りするため、施工中に2回以上充填することを推奨する。
- 設置位置は、マーキングから著しく外れないように留意する。

1. 使用機械および材料

名称	規格	数量	備考
測量道具	50m巻き尺, コンバックス等	1式	
削孔機	ハンマドリル	1台	ドリル径 φ 32mm
掃除機		1式	
磁気マーカ		1式	
特殊充填剤		1式	充填用
測量機器	GNSS測量	1式	

2. 施工手順および方法

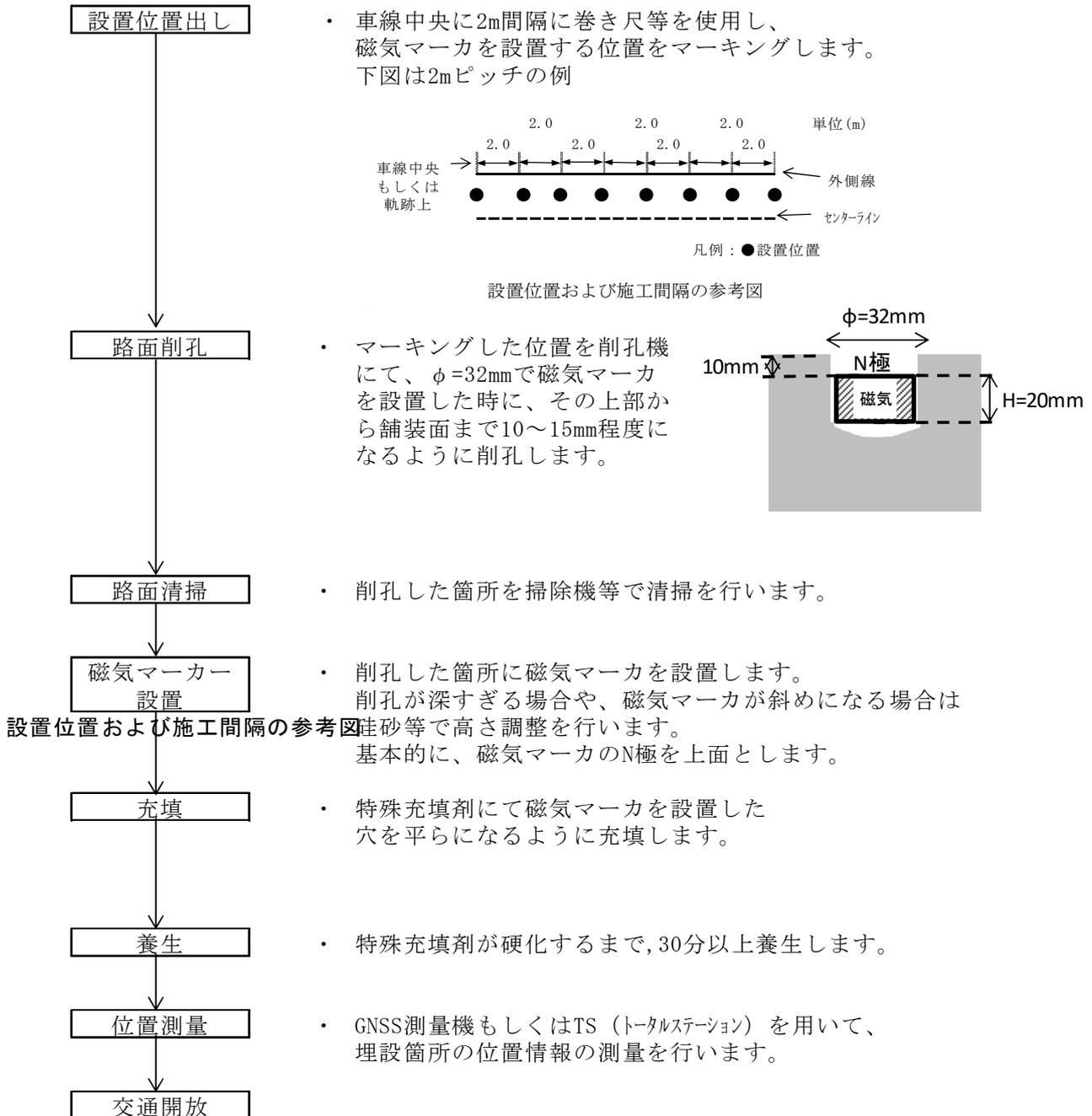


図-4.5 施工フロー (埋設タイプ)

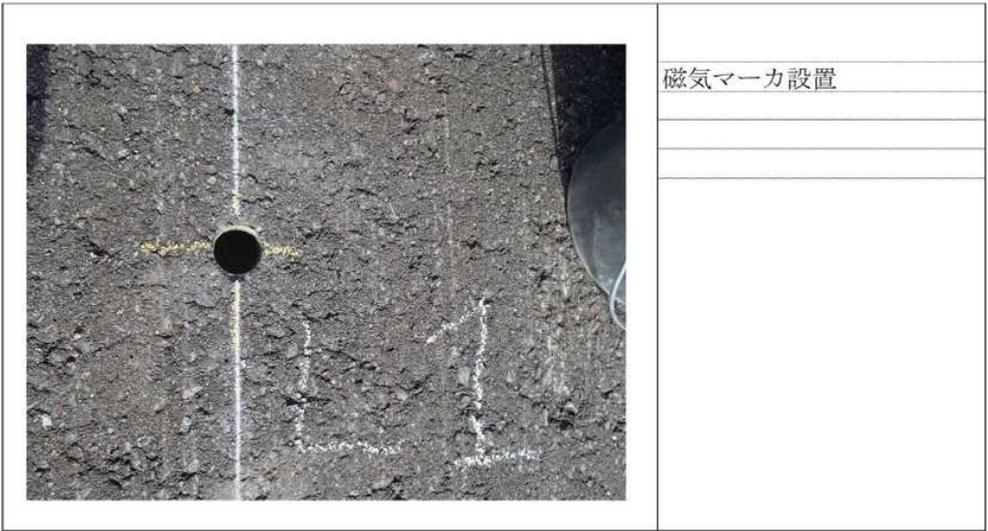


図-4.6 磁気マーカ（埋設タイプ）設置工

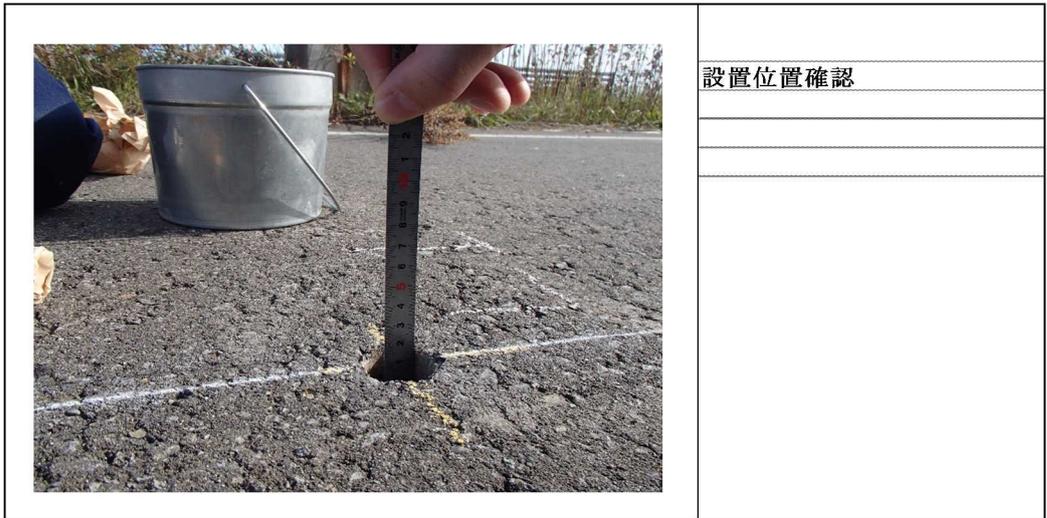


図-4.7 磁気マーカ（埋設タイプ）設置工

1. 使用機械および材料

名称	規格	数量	備考
測量道具	50m巻き尺, コンベックス等	1式	
設置道具	ゴムハンマ、養生テープ等	1式	
プライマ		1式	
磁気マーカ	貼付タイプ	1式	
保護シート		1式	
測量機器	GNSS測量	1式	

2. 施工手順および方法

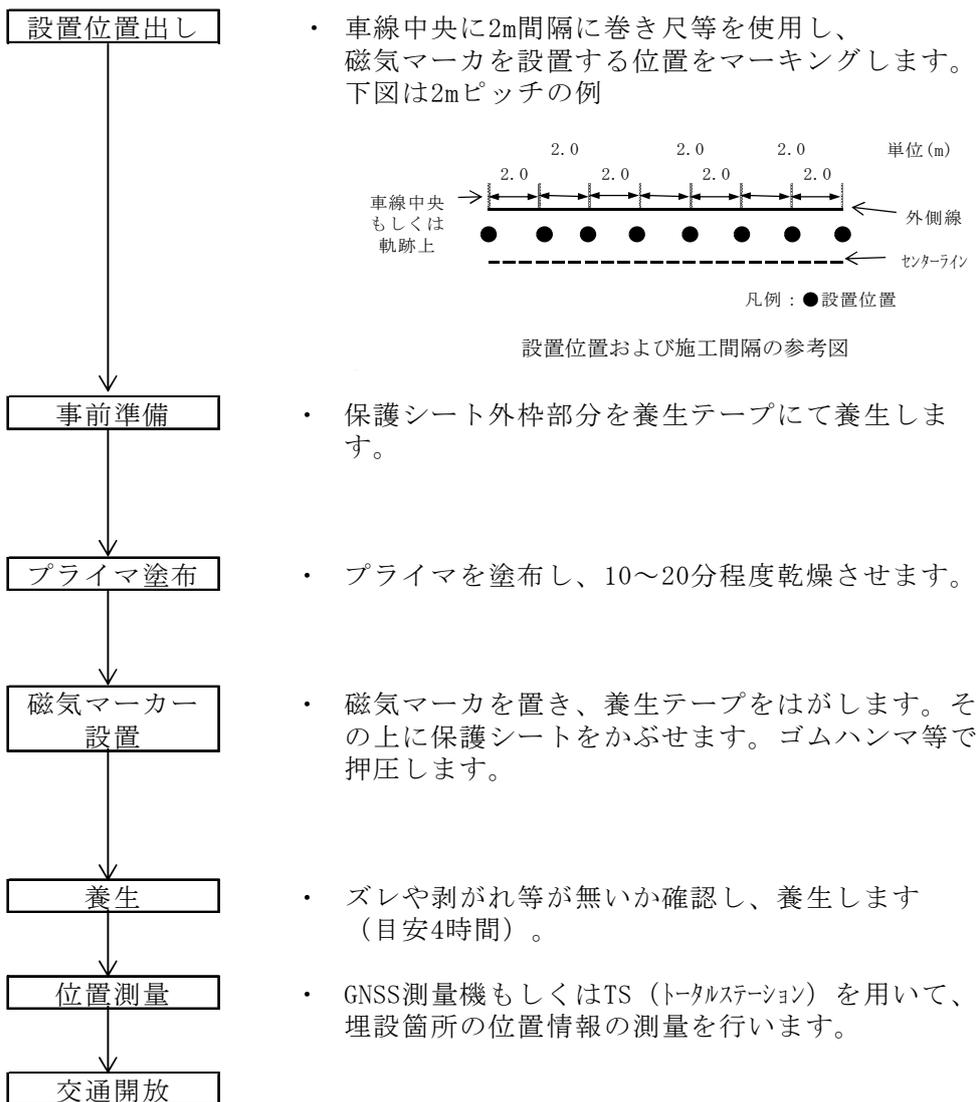


図-4.8 施工フロー（貼付タイプ）



図-4.9 磁気マーカ（貼付タイプ）設置工



図-4.10 出来形測量工

(2) 磁気マーカ設置用の特殊専用機械

磁気マーカの設置は、ミリ単位での精度が要求されるものであり、削孔作業には細心の注意が必要である。具体的には、磁気マーカの深さは舗装表面から 35mm 深さ（磁気マーカ上面が舗装表面から 10mm）であり、すべての磁気マーカが同じ条件の深さで設置させる必要がある。さらに、道路インフラが対象となるため、磁気マーカの設置数が膨大なる。そのため、磁気マーカを正確かつ迅速に設置するために、専用の特殊機械を 2 種類開発した。

自走式 2 軸削孔機は、削孔ドリルが 2 本あり、2 箇所（2m ピッチ）を同時にできる。掃除機を備えており、削孔時に発生する As ガラを削孔中に集塵できる。また、側方部に食紅を垂らす装置が取り付けられており、軌跡線を描くこともできる。モータアシストによる自走式である本機械は、ドリルに付属されているフレームによって垂直方向への正確な削孔ができ、かつストッパにより削孔深さを正確に調整できる。また、人力と比較して、約 4 倍の施工能力を有する。

一方、シングル削孔機は、削孔ドリルは 1 軸タイプであるが、取り回しがきくため、狭隘部や小規模工事に向いている。削孔能力（ドリル 1 本分）は、前述のものと同等である。このタイプも、垂直方向への削孔とストッパによる深さ調整を正確かつ迅速にできる。

(3) 歩掛

磁気マーカ設置工事の歩掛り参考値（施工条件良好、交通規制なしの場合）を表-4.2 に示す。ただし、磁気マーカの設置数・間隔および規制距離によって変動する。

表-4.2 歩掛

工種	歩掛
位置出し工	3 名 500m/日（磁気マーカ設置間隔、交通規制距離で変動）
磁気マーカ設置工	5 名 240 個/日（磁気マーカ設置間隔、交通規制距離で変動）
出来形測量工	2 名 180 個/日（磁気マーカ設置間隔、交通規制距離で変動）

5. まとめ

本研究では、暴風雪による視程障害時でも安全に除雪作業が行える運行支援技術として、自車位置を推定し車線内を走行するための車線逸脱防止技術の開発に取り組んだ。また、自動走行技術の進展に伴い道路構造・管理への影響の基礎整理、さらに道路インフラ側からの自動運行補助施設として、磁気マーカの設置手引き（案）を取りまとめた。

(1) 除雪車の運転支援

トンネル出口など GNSS 測位精度が低下する箇所における補助的な測位方法として、磁気マーカシステム等を用いた自車位置推定システムを除雪車に搭載し、自車位置推定実験を行った。除雪作業による振動を受けても、測位誤差±50cm 以内で測位可能であり、車線逸脱防止に使用するうえで、自車位置推定に適用可能な精度を有していることを確認した。また、自車位置推定システムの車線走行支援ガイダンスを試作し、除雪車の前方視界を遮断した状態でガイダンス情報に従って走行した結果、車線走行支援ガイダンスは、目標測位誤差（±50cm 以内）で自車位置を表示し、車線逸脱することなく除雪作業が可能であることを確認した。

(2) 道路構造・管理への影響

自動走行システムの導入による道路構造・管理への影響について、北海道を事例とし道路階層区別に整理した。自動走行システムを正しく機能させるためには、各階層において、区画線、標識などの道路附属物の適切な維持管理が求められる。一般国道に相当する階層 C においては、道路附属物に加えて、交差点形状の標準化（例えば、平面十字交差点、ラウンドアバウト）が求められる。事例研究として、苫小牧寒地試験道路のラウンドアバウトにおいて、一般車両の走行中に、自動走行機能を搭載した試験車両（自動走行車）が混在した状態を再現し、実走行させた。実験に参加した一般ドライバーの主観評価（安全性、走りやすさ）は中間的な評価を超えるやや高い評価を得た。

道路階層の比較的高い A・B・C の階層において、除雪車の運転支援技術の搭載（GNSS、高精度地図、自動走行補助施設などの利用）により、冬期道路管理の高度化が期待される。

(3) 磁気マーカの設置手引き（案）について

本研究では、除雪車の自車位置推定技術として、GNSS、高精度地図、画像カメラ、磁気マーカを用いた。各要素技術ともに、自動走行及び運転支援に重要な役割を持っている。積雪条件の道路において、高精度な自車位置推定を行う観点からは、上記の技術に加えて、道路インフラと車両間の協調の観点から、磁気マーカの設置は有効であった。本報告書において、道路管理者が参考とできるように「磁気マーカの設置手引き（案）」を提案した。本手引き（案）は、磁気マーカの概要、設置位置出し工、埋設手順書などを基本構成とした。

謝辞

本研究を進めるに際し、国土交通省北海道開発局をはじめとする行政機関及び有識者から、「除雪現場の省力化による生産性・安全性の向上に関する取組プラットフォーム (i-Snow)」を通じて、研究内容及び現地試験におけるフィールドの提供などについて、ご助言及びご協力いただきました。また、本研究の立案及び寒地道路連続セミナーの開催において、奥間 保胤氏 ((株)CDS 経営戦略研究所) 並びに大西 健太氏 (アイシン・エイ・ダブリュ(株)) から、貴重なご助言とご協力を賜りました。除雪車運行支援に関する試験を行うにあたり、共同研究各者の担当技術者から、現地試験の全過程に渡り、ご協力を賜りました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転ビジネスモデル検討会：道の駅を拠点とした自動運転サービス「中間とりまとめ」、2019年1月
- 2) 新保 貴広、山口 洋士、久慈 直之；視程障害時における除雪車運行支援技術に関する検討、寒地土木研究所月報、第798号、pp.25-31、2019年11月
- 3) 新保 貴広、山口 洋士、久慈 直之；磁気マーカシステムを用いた除雪走行支援に関する基礎実験、第63回（2019年度）北海道開発技術研究発表会、2020年2月
- 4) 新保 貴広、舟橋 誠、久慈 直之；暴風雪による視程障害時における除雪車運行支援に関する検討、寒地土木研究所月報、第811号、pp.38-44、2020年11月
- 5) Kazunori Munchiro, Naohisa Nakamura, Masaya Sato; Experiments of Autonomous Vehicles Running at a Test Track, and Future Prospects, Transportation Soil Engineering in Cold Regions, Volume1, pp.275-285, 2020
- 6) 宗広 一徳、中村 直久、佐藤 昌哉；苫小牧寒地試験道路のラウンドアバウトにおける自動運転車の走行に関する基礎実験、寒地土木研究所月報、第784号、pp.17-23、2018年9月

付録

1) 第42回寒地道路連続セミナー「自動運転技術の活用～道路インフラと車両の協調」

平成30(2018)年10月19日、寒地土木研究所1F講堂において、第42回寒地道路連続セミナー「自動運転技術の活用～道路インフラと車両の協調～」を開催した(主催:国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所、後援:国土交通省北海道開発局、北海道、(公社)土木学会北海道支部、(公社)日本技術士会北海道本部、北海道土木技術会道路研究委員会)。講演者として、有村幹治氏(室蘭工業大学准教授)、Christian Steger-Vonmetz氏(AustriaTech, Connected and Automated Mobility)及び柴山多佳児氏(ウィーン工科大学助教)を迎え、本共同研究(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)の担当者が「除雪車の運転支援に向けて」と題し、講演した。

本セミナーに対し、北海道内の行政機関及び民間企業をはじめ、国内の大学・研究機関などから計130名の参加を賜った。参加者と講演者による活発な質疑応答も行われ、成功裡に終えることができた。

次頁以降に、本セミナーの開催案内及びスナップ写真を示す。

自動運転技術の活用 -道路インフラと車両の協調-



参加無料

平成30年
10月19日

国立研究開発法人土木研究所
寒地土木研究所

開会 主催者挨拶	15:00
寒地土木研究所	
自動運転と道路インフラの方向性	15:05
寒地土木研究所 寒地交通チーム	
講演 1	15:10
「自動運転と道の駅の活用による生産空間を支える道路交通施策」	
室蘭工業大学くらし環境系社会基盤ユニット准教授	有村 幹治
講演 2	15:40
「除雪車の運転支援に向けて」	
寒地土木研究所 寒地機械技術チーム	新保 貴広
(株)エイ・ダブリュ・ソフトウェア 先行開発部第2開発室	齊藤 行貴
愛知製鋼(株) 未来創生開発部スマート交通システム開発室	長尾 知彦
(株)NIPPO 技術企画室技術推進グループ	西山 大三
講演 3	16:20
「AustriaTechの自動運転技術の紹介」	
AustriaTech, Connected and Automated Mobility	
Christian Steger-Vonmetz	
閉会挨拶	17:05
寒地土木研究所	
閉会	17:10



主催

- ・国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所

後援

- ・国土交通省北海道開発局
- ・北海道
- ・(公社)土木学会北海道支部
- ・(公社)日本技術士会北海道本部
- ・北海道土木技術会道路研究委員会

協力

- ・「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」研究プロジェクト

日 時：平成30年10月19日(金) 15:00~17:10

場 所：国立研究開発法人土木研究所

寒地土木研究所 1階講堂

〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34

【開催趣旨】

現在、我が国では、自動運転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ます。北海道には国内最多の28の自動車関連テストコースが立地されていることもあり、民間企業や自治体等の主体により、テストコース及び公道での自動運転実証実験が複数実施されています。

寒地土木研究所においては、平成29年度より、「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」に着手したところです。本技術の活用により、将来の道路管理の高度化への適用を目指しています。今般、国内外において、先進的に自動運転技術と道路施設の活用に関する研究に取り組んでいる学識経験者並びに専門家を招へいし、本セミナーの開催を企画しました。ついては、北海道における自動運転技術を活用した道路管理の高度化の方向性について、参加者の皆様とともに情報共有及び交換を図りたいと思います。

FAX申込用紙

下欄に必要事項をご記入の上、下記のFAX番号またはE-mailアドレスまでお送りください。

お申し込み先 FAX：011-841-9747 E-mail：k-munehiro@ceri.go.jp

※定員100名になり次第、締め切らせていただく場合があります。ご了承ください。

ふりがな 氏名	所属(会社名等)	連絡先*
	(役職等)	- -

※ 代表者様の連絡先をご記入願います。

【個人情報の取り扱いについて】

お申し込みの際にご記入いただいた個人情報は、セミナーを円滑に行うためのものであり、それ以外の目的または第三者への提供は致しません。

お問合せ先： 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 むねひろ なかむら 宗広・中村
電話：011-841-1738



写真 - 5.1 有村 幹治氏（室蘭工業大学准教授）

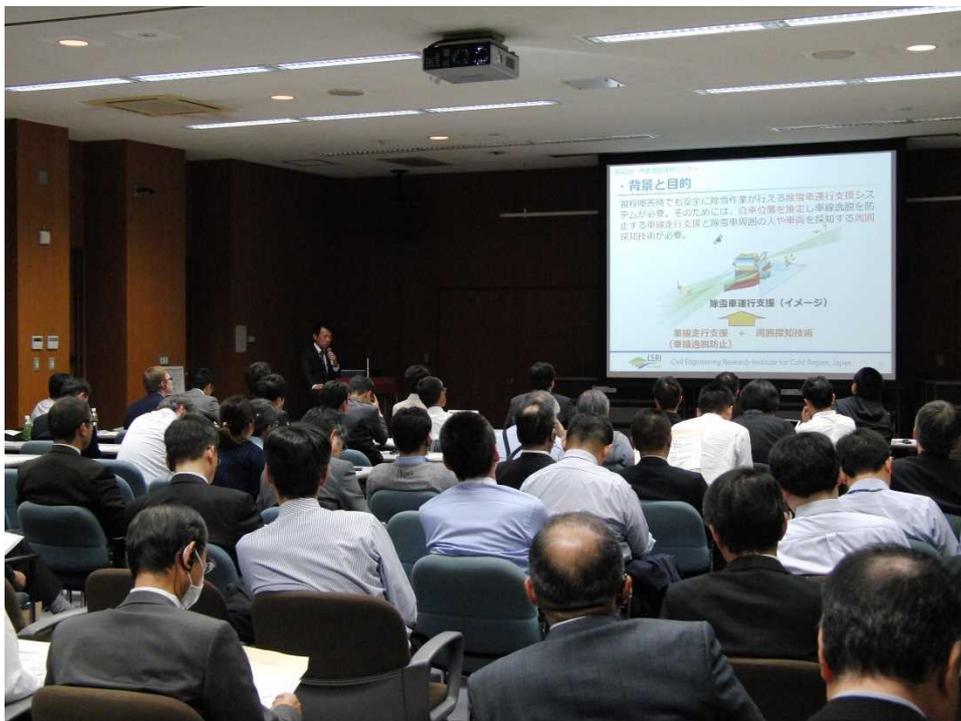


写真-5.2 新保 貴広（寒地土木研究所寒地機械技術チーム研究員）

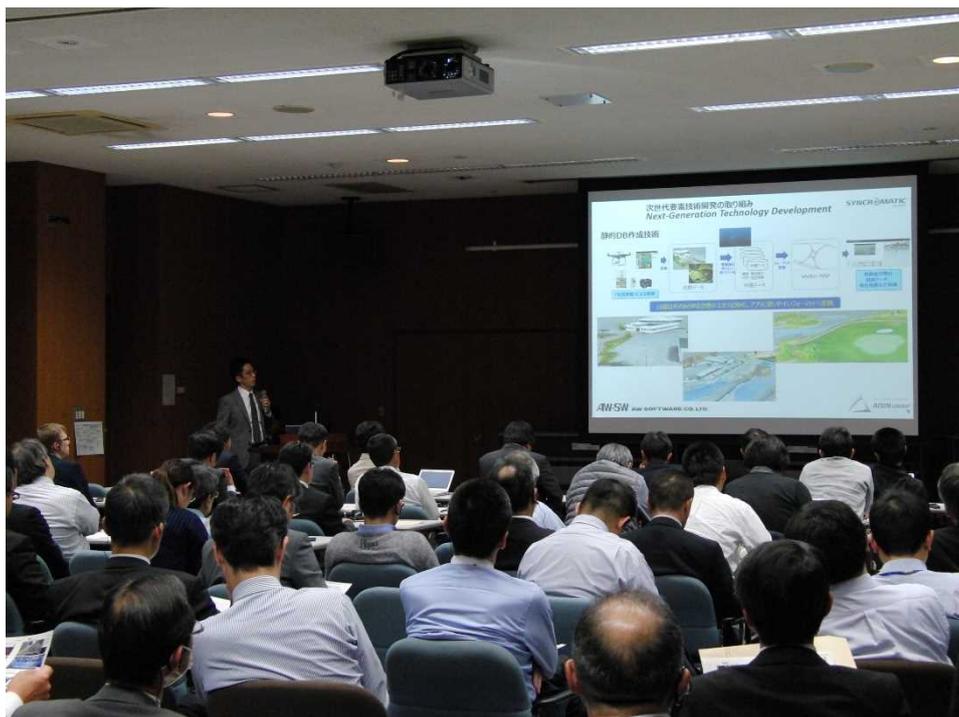


写真-5.3 齊藤 行貴 ((株)エイ・ダブリュ・ソフトウェア先行開発部第2開発室)



写真-5.4 長尾 知彦 (愛知製鋼(株) 未来創生開発部スマート交通システム開発室)



写真-5.5 西山 大三 ((株)NIPPO 技術企画室技術推進グループ)



写真-5.6 Christian Steger-Vonmetz 氏 (AustriaTech, Connected and Automated Mobility)



写真-5.7 セミナー会場受付の様子



写真-5.8 セミナーの聴講者



写真-5.9 質疑応答

(左：柴山 多佳児・ウィーン工科大学助教、右：Christian Steger-Vonmetz 氏)



写真-5.10 フロアーからの質問

共同研究報告書
COOPERATIVE RESEARCH REPORT of P.W.R.I.
No.523 March 2021

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所
寒地土木研究所 寒地技術推進室

〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 電話 011-590-4046