

# 自動運行補助施設である磁気マーカの 施工・維持管理

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム ○宗広 一徳  
同上 倉田 和幸  
同上 伊東 靖彦

苫小牧寒地試験道路において、自動運行補助施設である磁気マーカを2019年に埋設し、同マーカを用いた除雪車運行支援に関する実験を行った。その際、磁気マーカの施工方法・手順の実証を行った外、以後継続して磁気マーカの管理状態の調査を行った。施工から約3年を経た2022年調査において、設置された磁気マーカの磁界の強さ(直上200mm)は、 $30\mu\text{T}$ (マイクロテスラ)以上の性能を満たしていた。

キーワード: 磁気マーカ、施工、維持管理、自動運転

## 1. はじめに

国内外で自動運転の実道実験や一部路線で実運用が開始されるなど、本分野の取り組みが活発に進められている。例えば、内閣府が中心となっている戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)<sup>1)</sup>第2期(2018年度～2022年度)／自動運転(システムとサービスの拡張)において、交通事故減少や渋滞緩和など交通の社会的課題の解決に加え、新たなサービスやビジネスの創出など自動運転がもたらす社会変革への大きな期待が持たれている。自動運転では、通常運転手が行う「認知」、「判断」、「制御」といった基本プロセスを機械が行うことになる。自動運転の仕組みを支える基礎技術として、「自車位置推定技術」及び「周囲探知技術」がある。これらの個別技術としては、GNSS(Global Navigation Satellite System; 衛星測位システム)、車載カメラ(Visible Camera)、LiDAR(Laser Imaging Detection and Ranging; レーザレーダ)などが広く適用されている。さらに、より精度の高い自車位置推定のために、道路インフラと車両間を電磁波で協調する技術がある。路面下に設置される「自動運行補助施設」<sup>2), 3)</sup>として、「磁気マーカ」(Magnetic Marker)、「電磁誘導線」(Electromagnetic Induction Wire)、「RFタグ」(Radio Frequency Identification)がある。

寒地土木研究所では、2018～2020年度(平成30年～令和2年)に、「自動運転技術の活用による運転支援及び道路構造・管理に関する共同研究」を民間3者と実施した。同研究において、苫小牧寒地試験道路の舗装に磁気マーカを埋設し、除雪車の自動運転支援実験を実施し、自車位置推定機能の向上が図られることを実証した<sup>4), 5), 6)</sup>。

北海道開発局においては、2019年に大樹町において、バスによる自動運転走行の社会実験<sup>7), 8)</sup>が、一部区間に磁気マーカを埋設し、実施された。さらに、「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)」の一環として、GNSS電波不感地帯の対策として、2022年に南富良野町において、磁気マーカを埋設し、除雪トラックの自動運転支援実験<sup>9)</sup>が行われた。

筆者らは、上記共同研究により、路面下に埋設した磁気マーカの施工方法及び手順に関する調査を行った。さらに、苫小牧寒地試験道路、及び上記社会実験により実道に埋設された磁気マーカを用いて、同設置後の管理状態調査<sup>10), 11)</sup>として、目視による同マーカと舗装の状態確認と磁界の強さの計測を行ったので、報告する。

## 2. 自動運行補助施設とは

### (1) 自動運行補助施設

自動運行補助施設(路面施設)については、道路法第2条第2項第五号に「電子的方法、磁気的方法その他の他人の知覚によって認識することができない方法により道路運送車両法(昭和26年法律第185号)第41条第1項第20号に掲げる自動運行装置を備えている自動車の自動的な運行を補助するための施設その他これに類するもので道路上に又は道路の路面下に第18条第1項に規定する道路管理者が設けるもの」と示されている<sup>2)</sup>。

自動運行補助施設のうち、道路上または道路の路面下に設置する路面施設として磁気マーカがある。磁気マーカとは、自動運行車の走行方向に対して、縦断方向、横断方向の双方又は一方の自車位置を補正するため、連続的に点状に道路上又は路面下に設置する磁石のこと

である<sup>3)</sup>。

## (2)磁気マーカの適用条件

現在の一般的な自動運転車両は、GNSS 及び高精度 3 次元地図データ、車載カメラや 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、これらのデバイスでは、太陽光の逆光時、積雪・濃霧等の荒天及び視界不良時、GNSS 受信の不感地帯など、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。したがって、より信頼性が高く連続的な自動運転システムを構築するためには、自車位置が常に把握されている状態が求められる。

道路上又は路面下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、安定かつ高精度の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としては、光学系センサや GNSS が受信しにくくなる①逆光、②霧、③降雪・積雪、④高架下、⑤トンネル内、⑥山間部などが想定される（表-1）。

寒地土木研究所は、冬期の積雪条件下における自車位置推定技術の高精度化及び GNSS 受信の不感地帯対策として、苫小牧寒地試験道路に磁気マーカを埋設し、除雪トラックに磁気センサ（MI センサ； Magneto Impedance）を登載し、車両と道路の協調による自動運転支援実験を試行した（図-1、図-2）。筆者らは、同実験の実施に併せて、磁気マーカの設置要領、効率的な施工方法・手順を検討した。



図-1 除雪トラック及び磁気センサ（MI センサ）設置状況

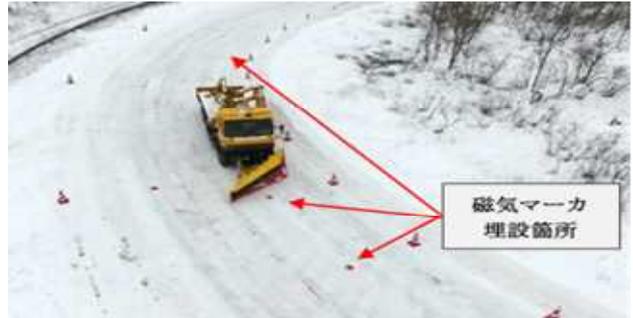


図-2 除雪トラックの自動運転支援走行

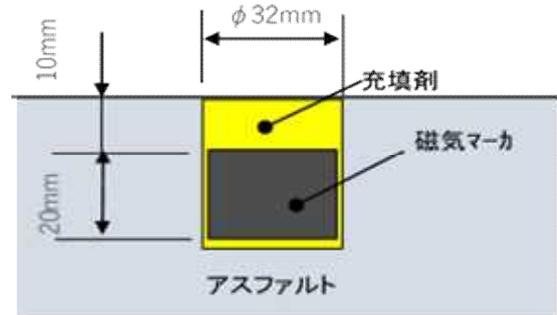


図-3 磁気マーカ設置要領

表-1 推奨される磁気マーカの適用条件

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

## 3. 磁気マーカの施工

### (1) 施工方法

苫小牧寒地試験道路において、2019年9月、磁気マー

カの設置、施工方法・手順を確認した。これに際し、国内各地での磁気マーカの施工実績も踏まえ、効率的な施工として、磁気マーカの設置要領は図-3、磁気マーカの施工手順は図-4の通りとした。また、施工時の留意事項として、次のことが明らかになった。

- 1) 磁気マーカが鉛直方向に設置できるように、削孔も垂直に行うことが望ましい。
- 2) 施工は人力による手動ドリル作業を標準とする。
- 3) 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。
- 4) なお、正確かつ迅速な施工を実施するには、専用機械による削孔も可能である。
- 5) 磁気マーカの上面が、舗装表面から十分にかぶり厚（10mm）を確保するまで、削孔・設置する。
- 6) 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が望ましい。
- 7) 設置位置は、マーキングから著しく外れないようにする。



図-4 磁気マーカの施工手順

磁気マーカ設置完了後は、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。測量された緯度経度 (X-Y 座標) データについては、設置者により管理する。磁気マーカの設置場所の起終点、設置位置、磁界強度などについて、道路台帳附図に記載し、保管することが必要である。

なお、磁気マーカの廃棄処分について2020年度苫小牧寒地試験道路南側改良工事の一環として舗装修繕工事を行った際、磁気マーカ設置区間を一部含む区間の舗装材を廃棄するに至った。その際、舗装材と磁気マーカは、アスファルトプラントの中間処理施設に設置されている磁選機により分離され、適切に廃棄処分が行われた。

#### 4. 磁気マーカの維持管理

##### (1) 磁界の強さの計測

苫小牧寒地試験道路及び実道に設置された磁気マーカの管理状態に関する調査を行った (表-2)。調査は、調査員の目視により、舗装と磁気マーカの状態確認を行った外、磁界の強さを以下により計測した<sup>12)</sup> (図-5)。

- 1) テスラメータにより、路面に接地した状態で磁気マーカを設置した場所と設置していない場所の磁界の強さを計測し、前者から後者を減算した値を磁界の強さ (理論値) とする。
- 2) テスラメータにより、磁気マーカの中心軸上で、路面から200mmの位置で計測する。垂直方向に30 $\mu$ T以上の磁界の強さが求められる。

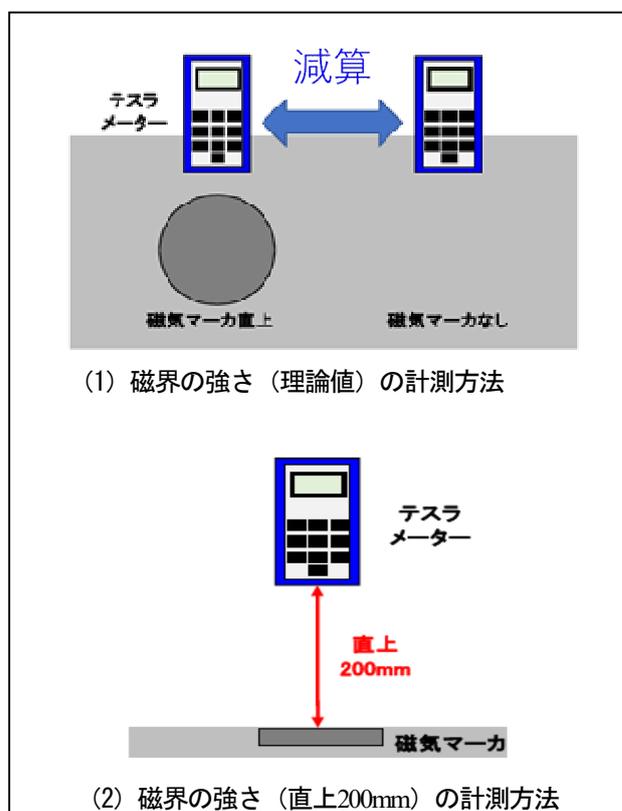


図-5 テスラメータによる磁気強度の計測方法

表-2 磁気の強さの実測場所・方法

	実測日	場 所	計測対象の磁気マーカ	設置以後の経過年月	テスラメータ
1	2021年9月28日	道道大樹清水線	71箇所	2年4ヶ月	GM-5170
2	2022年12月7日	苫小牧寒地試験道路	20箇所	3年3ヶ月	GV400A
3	2022年12月8日	道道大樹清水線	20箇所	3年7ヶ月	GV400A
4	2022年12月9日	国道38号富良野町	10箇所	11ヶ月	GV400A



写真-1 磁気マーカ埋設状況

(2) 苫小牧寒地試験道路での計測

苫小牧寒地試験道路（全長 L=2.7km）のうち、一部区間（直線部と曲線部の延長計 L=400m）において、磁気マーカの施工を行った（設置年月：2019年9月）（写真-1）。

施工した磁気マーカ 20 箇所について、設置後約 3 年 3 ヶ月後の 2022 年 12 月に磁界の強さを計測したところ、図-6 に示す磁界の強さ（理論値）であった。平均値で 21.0mT、最小値 13.5mT、最大値 33.2mT が計測された。また、図-7 に磁界の強さ（直上 200mm）を示した。平均値で 39.0μT、最小値 20μT、最大値 90μT が計測された。No.7の磁気マーカ 1 箇所を除き、他の箇所については、磁界の強さ（直上 200mm）は 30μT を上回っており、求められる磁気マーカの性能を満たしていた。

また、調査員の目視により、舗装及び磁気マーカの状態を調査した。舗装の状態については特段変状はなく、



(1) 変状なし (2) 変状大  
写真-2 磁気マーカの変状の例

磁気マーカの設置に起因するひび割れやクラックの見られた箇所はなかった。磁気マーカの状態は、表面が削られ、変状が大きかった箇所が1箇所存在した（写真-2）。同箇所については、表面の変状が削れるなど一定の損傷が見られたが、求められる磁界の強さ（200mm）は30μT以上を満たしていた。

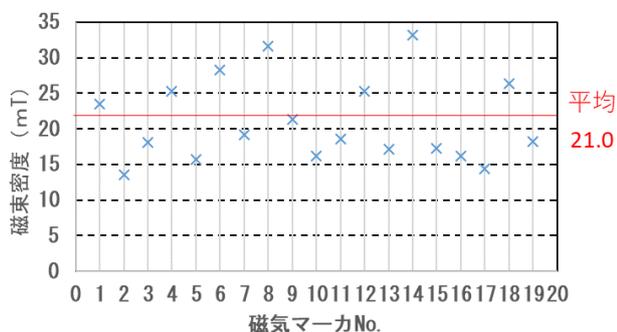


図-6 磁界の強さ（理論値）の計測値  
（苫小牧寒地試験道路、3年3ヶ月経過、No.20はデータ欠測）

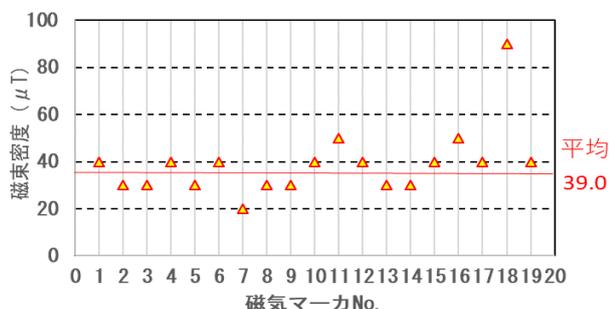


図-7 磁界の強さ（直上200mm）の計測値  
（苫小牧寒地試験道路、3年3ヶ月経過、No.20はデータ欠測）

(3) 一般道路での計測

一般道路に磁気マーカが埋設された大樹町道道55号大樹清水線と南富良野町国道38号について、磁界の強さの計測と目視による舗装及び磁気マーカの状態を調査した。

a) 道道55号大樹清水線（大樹町）

本道路における磁気マーカは、2019年5月に施工された。磁気マーカ設置区間は、70mである（図-8）。同道路区間に施工された磁気マーカ71箇所について、設置後2年4ヶ月を経過した2021年9月に目視による磁気マーカ・舗装の調査、及び磁界の強さの計測を行った（写真-3、写真-4）。磁気マーカ71箇所について、目視による状態確認を行ったところ、変状なし及び変状小（表面がわずかに変形している）のものが約8割、変状中（表面が中程度変形している）～変状大（表面が大きく削られるなど形が変形している）のものが約2割であった（図-9）。舗装の状態については、特段変状はなく良好であった。なお、わずかにクラックが入ったところが1箇所見られた。



図-8 磁気マーカ設置区間  
(道道55号大樹清水線、大樹町)



写真-3 埋設された磁気マーカ



写真-4 計測状況

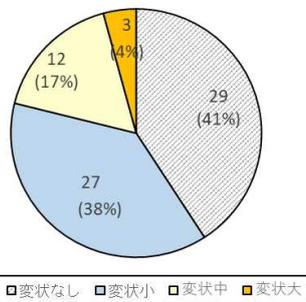


図-9 磁気マーカの変状 (N=71箇所)  
(大樹町、2年4ヶ月経過)

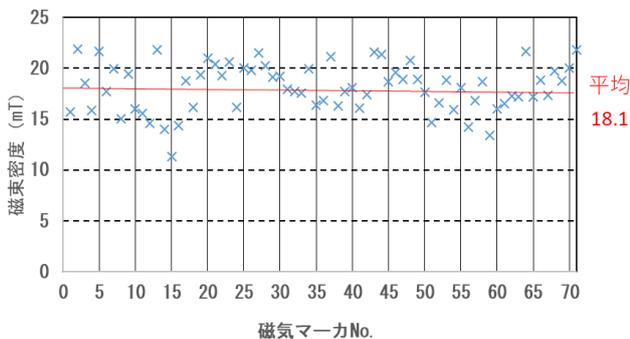


図-10 磁界の強さ(理論値)の計測値  
(道道55号清水大樹線、大樹町、2年4ヶ月経過)

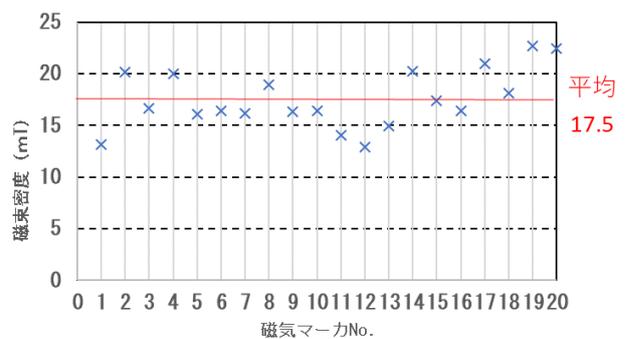


図-12 磁界の強さ(理論値)の計測値  
(道道55号清水大樹線、大樹町、3年7ヶ月経過)

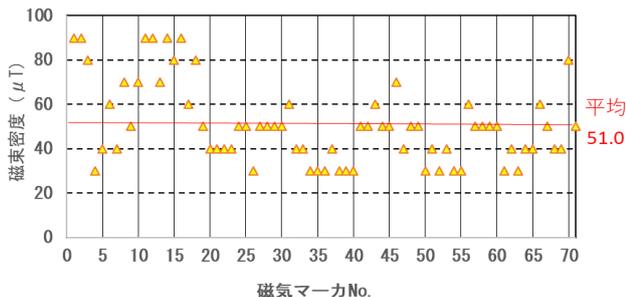


図-11 磁界の強さ(直上200mm)の計測値  
(道道55号清水大樹線、大樹町、2年4ヶ月経過)

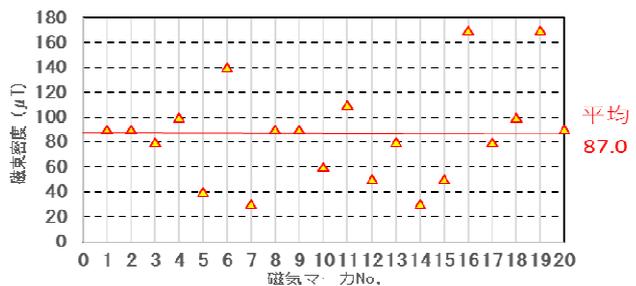


図-13 磁界の強さ(直上200mm)の計測値  
(道道55号清水大樹線、大樹町、3年7ヶ月経過)

磁気マーカ71箇所について、磁界の強さ(理論値)を計測したところ、図-10の通りであった。平均値18.1mT、最小値11.4mT、最大値21.9mTが計測された。また、磁界の強さ(直上200mm)を計測したところ、図-11に示している。平均値51.0μT、最小値30μT、最大値90μTであった。全ての箇所で、求められる磁界の強さ(200mm)は30μT以上を満たしていた。

さらに、設置から3年7ヶ月経過後の2022年12月に、本設置区間内からランダムに抽出した磁気マーカ20箇所について、磁界の強さを計測したところ、図-12及び図-13を得た。

- ・磁界の強さ(理論値)～平均値17.5mT、最小値12.9mT、最大値22.7mT
- ・磁界の強さ(直上200mm)～平均値87.0μT、最小値30μT、最大値170μT

前年(2021年9月)の磁界の強さの計測と比較し、ほぼ同等かもしくは一部にはより強くなった箇所も見られた。

#### b) 国道38号(南富良野町)

設置から11ヶ月経過の2022年12月に、同国道設置区間のうち磁気マーカ10箇所の磁界の強さを計測したところ、図-14及び図-15を得た。

- ・磁界の強さ(理論値)～平均値32.2mT、最小値22.5mT、最大値39.2mT
- ・磁界の強さ(直上200mm)～平均値172.0μT、最小値50μT、最大値310μT

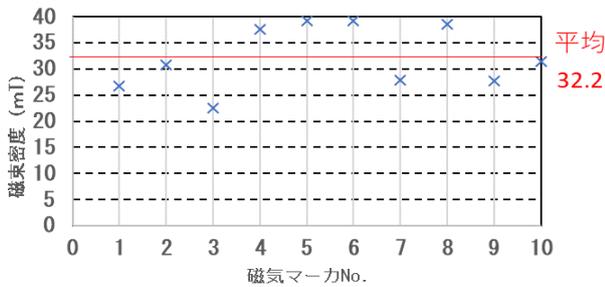


図-14 磁界の強さ(理論値)の計測値  
(国道38号、南富良野町、11ヶ月経過)

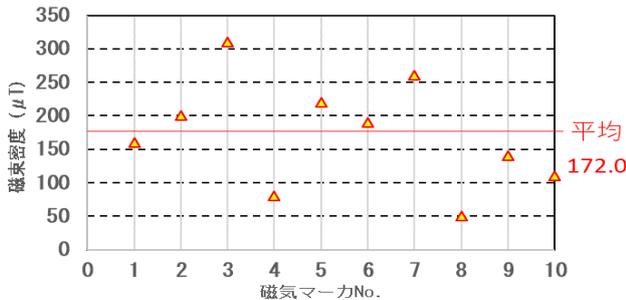


図-15 磁界の強さ(直上200mm)の計測値  
(国道38号、南富良野町、11ヶ月経過)

## 5. まとめ

### (1) 磁気マーカの施工

苫小牧寒地試験道路において、路面下に埋設施工する磁気マーカの効率的な施工手順を確認した。国内各地での磁気マーカの施工実績も踏まえ、効率的な施工として、設置要領と施工手順を示した。施工については、削孔、掃除、磁気マーカ設置、設置位置・深さ確認、特殊充填剤で封かん、磁気マーカ設置確認、GPS 測量の手順で行うことを提案した。

### (2) 磁気マーカの維持管理

苫小牧寒地試験道路及び実道に設置された磁気マーカは、設置後から約3~4年経過した時点においても、ほぼ全ての磁気マーカ箇所で、磁界の強さ(直上200mm)の30 μTが確保されていた。また、舗装及び磁気マーカの状態を目視調査したところ、大樹町の例では、設置当初から約8割が変状が見られず、良好であった。

## 6. おわりに

積雪地域における自車位置推定技術として、路面下に磁気マーカを設置することは、有効な手段である。冬期の積雪条件下における自車位置推定技術の高精度化及びGNSS受信の不感地帯対策として、すでに一部実道に試験的に導入されており、さらなる普及が期待される。

**謝辞：**本研究の実施に際し、磁気マーカの維持管理調査については、北海道開発局及び北海道帯広建設管理部大樹出張所からのご協力を賜ったところ、謝意を申し上げる。

また、磁気マーカの施工については、寒地土木研究所と民間3者(愛知製鋼(株)、(株)NIPPO、アイシン・ソフトウェア(株))による「自動運転技術の活用による運転支援及び道路構造・管理に関する共同研究」の成果を反映させたものであるところ、申し添える。

## 参考文献

- 1) 内閣府：戦略的イノベーション創造プログラム(SIP), <https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/>, (2023年1月10日閲覧)
- 2) 道路法：<https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/>, (2023年1月10日閲覧)
- 3) 国土交通省道路局：自動運行補助施設に係る技術基準(案)、<https://www.mlit.jp/policy/shingikai/content/001372050.pdf>, (2023年1月10日閲覧)
- 4) 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、No.798、pp.25-31、2019
- 5) 佐藤昌哉、宗広一徳、中村直久、片野浩司、山口洋士、新保貴広、長尾知彦、中田正明、武石英人、西山大三、齊藤行貴、坂本優太、小林拳斗：自動運転技術の活用による運転支援及び道路構造・管理に関する共同研究報告書、共同研究報告書第523号、2021年1月
- 6) 新保貴広、宗広一徳：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・管理について、道路建設(11)、pp.60-65、2021。
- 7) 永井智之、美馬大樹、大西功基：道の駅と自動運転技術を活用した生産空間を支える新たな道路交通施策について 一道の駅「コスモール大樹」を拠点とした自動運転サービス実証実験の取組みより一、第61回(2017年度)北海道開発技術研究発表会、2018。
- 8) 牧野一輝、気田堅実、川村達也：生産空間を支える自動運転サービスの社会実装に向けて一道の駅「コスモール大樹」を拠点とした自動運転サービス実証実験の検証より一、第63回(2019年度)北海道開発技術研究発表会、2020。
- 9) 梅木沢弥、谷津臣則、在田尚宏：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—除雪現場省力化技術の概要と実働配備に向けた検討—、第65回(2021年度)北海道開発技術研究発表会論文、2022年2月
- 10) 国土交通省道路局：自動運行補助施設(路面施設)点検要領、2020年
- 11) 中川敏正：自動運行補助施設(路面施設)の技術基準について、道路建設、No.786、pp.30-33、2021年5月
- 12) 日本産業規格(JIS)：C2501 永久磁石試験方法、<https://kikakunui.com/c2/C2501-2019-01.html>, (2023年1月10日閲覧)