

磁気マーカによる自己位置推定手法と非接触給電システムが 双方に及ぼす影響の調査

石井響弥 *¹ 霜野慧亮 *² 須田義大 *² 清水修 *³ 藤本博志 *³ 安藤孝幸 *⁴ 椋本博学 *⁴ 長尾知彦 *⁴
東京大学大学院工学系研究科 *¹
東京大学生産技術研究所 *²
東京大学大学院新領域創成科学研究科 *³
愛知製鋼株式会社 *⁴

路面に設置された機器を用いた自動運転や電気自動車の高度化が期待されている。自動運転車の自己位置推定手法として、路面に設置された磁気マーカを座標基準点として用いる磁気ポジショニングシステムが実用化されつつある。路面にコイルを埋設して電気自動車の走行中非接触給電を可能とする研究開発も行われている。ともに、路面に設置された機器から電磁気を発するものであるが、併用した際や片方のシステムを搭載した車両が路面機器上を通過した場合にどのような影響が生じるかは明らかにされていない。今回、双方への影響を検討するための基礎的な実験を行った。調査の結果、静的な条件においては軽微な影響はみられたものの、実運用上両者の作動に影響がないことが確認された。

Experimental Study About Cross Effect of Magnetic Positioning System with Wireless Power Transfer System

Kyoya ISHII*¹ Keisuke SHIMONO*² Yoshihiro SUDA*² Osamu SHIMIZU*³ Hiroshi FUJIMOTO*³
Takayuki ANDO*⁴ Hirotaka MUKUMOTO*⁴ Tomohiko NAGAO*⁴
Graduate School of Engineering, The University of Tokyo*¹
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo*²
Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo*³
Aichi Steel Corporation*⁴

Abstract Expectations are high for autonomous vehicles and electric vehicles utilizing infrastructure system installed on road. Vehicle localization system using magnetic markers embedded on road (Magnetic Positioning System) is being used in many autonomous vehicle tests. Research and development is going on to enable wireless power transfer to electric vehicles using coils embedded on road. Both systems emit electro-magnetic waves from the embedded system on road, but their cross effect has not been investigated. We have done preliminary testing to see their effects. Under static conditions, both systems did not show major influence that can inhibit the function of each other.

Keyword: *Magnetic Road Marker, Dynamic Wireless Power Transfer, Autonomous Vehicle, Electric Vehicle*

1. 緒言

自動車の自動運転と電動化は、将来のモビリティ像としてそれぞれ注目されている。自動運転は移動の快適性向上だけでなく、交通事故件数の抑制¹⁾やドライバー不足解消など、道路交通における様々な社会課題を解決できると期待されている。自動車の電動化により、自動車が走行中に排出する温室効果ガスをほぼなくすことで環境負荷低減に貢献できる²⁾だけでなく、内燃機関の自動車では得られないような新しい運転感覚を与えることができると考えられている。さらに、両者はお互いの利便性や効率を向上させる相乗効果がある可能性がある。

一方で、それぞれが広く用いられるようになるには様々な課題を解決する必要がある。両者とも、それぞれの課題を解決するために路面上に設備を設置する方法が提案されている。本稿では、そのような方法として自動運転の自己位置推定のための磁気ポジショニングシステム (MPS) と、走行中に非接触給電 (WPT) を行う方法に注目し、双方のシステムが互いに与える影響をみる基礎的な調査を行った。

2. MPS と WPT の概要

2.1 MPS について

自動運転の技術要素の一つに自己位置推定がある。これは自動運転システムが自車両の位置を推定することであり、その後の判断や操作へ大きく影響を与えるため、高精度の自己位置情報を天候や道路環境に関わらず取得できることが必要である。既存手法として衛星測位、カメラ画像を用いた手法、LiDAR (Light Detection and Ranging) による点群情報を用いた手法などがある³⁾。個々の手法のみを用いる場合は精度やロバスト性が確保できない場合があることから、一般的には複数の手法を組み合わせて自己位置推定を行う。しかし、ここで挙げた手法の組み合わせでも対応できない状況が生じることがある。そのような難しい状況下においても、インフラから情報を提供することで自己位置推定精度を補うことができる、磁気ポジショニングシステム (Magnetic Positioning System: MPS)⁴⁾ が近年注目されている。

MPS は、道路上に座標基準点として磁気マーカを設置し、これを車上のセンサーで読み取りながら走行することで自己位置推定を行う手法である (図 1)。この手法は従来の磁気ネイル等を用いた手法のように車両を誘導するのではなく、検知した磁気マーカが持つ位置情報をもとに車両側で自己位置推定するという新しい手法である⁵⁾。これにより、道路条件に合わせた自由な磁気マーカ配置を行うことが可能となる。

これまで日本中で行われてきた実証実験にて MPS の有効性が確認されている⁴⁾。例えば、衛星測位が苦手とするトンネル内や画像手法では難しい積雪路などで高い精度で自己位置推定を行うことができる。そのため、既存の自己位置推定を補い、システム全体としてロバスト性を確保するための手法として注目されている。

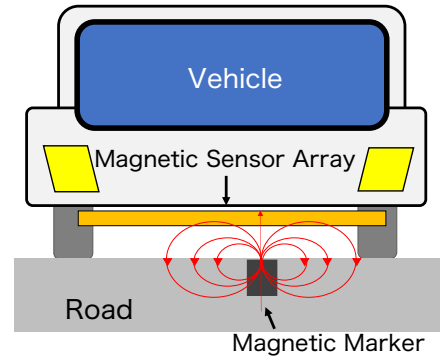


Fig.1 Image of vehicle sensing magnetic marker on the road.

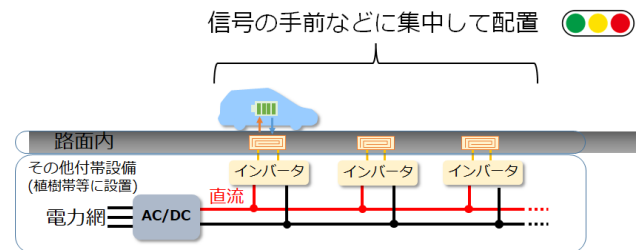


Fig.2 Image of DWPT system implemented on roads.

2.2 WPT について

既存の内燃機関車に対する電気自動車の課題として、航続距離と充電が挙げられる。現状、電気自動車の航続距離を伸ばすにはより多くの電池を搭載する必要がある。しかし、現在の電気自動車で一般的に用いられているリチウムイオン電池は高価で、電池容量の増大は車両価格の増大へ直結してしまう。また、電池を充電するにはガソリン補充の所要時間よりも長時間かかってしまううえ、充電インフラの普及状況もガソリンの給油インフラよりも劣っている。そこで、これらの課題を同時に解決する方法として、路面上に設置された送電コイルから走行中に非接触給電 (Wireless Power Transfer: WPT) を行う方法が提案されている。

WPT として一般的なものに電磁誘導方式があり、近年ではスマートフォンの充電など、静止した物体をコイル上に置くことで充電する方法として主に用いられている。しかし、この方式は送電コイルの位置が揃っていない場合やコイル間の距離が離れている場合に送電効率が低下してしまうため、自動車が走行中に給電する方法には適していない。

近年、Kurs らにより磁界共振結合によりコイル間隔 1 m でも伝送効率が 90 % 程度となることが発見された⁶⁾。これにより、走行中の電気自動車へ非接触給電 (Dynamic Wireless Power Transfer: DWPT) するための手法として注目されており、研究開発が行われている⁷⁾。DWPT が実現すれば、高速道路上や一般道の交差点付近などに送電コイルを設置する (図 2) ことで、



Fig.3 Experiment apparatus in condition 6.

電池切れの心配や充電の煩わしさを感じることなく電気自動車を利用することができる。

2.3 MPS と WPT システムの相乗効果の可能性

1. 章で述べたように、MPS による自動運転と電気自動車への DWPT は互いに利便性や効率を向上させる可能性がある。

まず、自動運転車が走行中に給電できるようになれば、従来車のようにガソリンスタンドや充電スタンドへ立ち寄ることなく、常に道路上に存在することができる。これにより自動運転車の利便性や運用効率の向上が期待できる。

また、DWPT 時にも自動運転により、ドライバが運転する場合よりも送電効率が向上する可能性がある。WPT を行う際、送受電コイルの位置ずれがあると伝送効率が低下してしまう⁸⁾ ことから、それぞれの位置関係が揃っていることが望ましい。しかし、人間のドライバが運転する場合にはこれらの位置関係を揃えて車両を走行させることは容易ではない。そこで、MPS を用いた高精度な自己位置推定により正確に車両位置を把握し、送受電コイルの位置ずれのない経路を自動運転により走行させることで送電効率を落とすことなく充電することができると思われる。

一方で、両者は共に道路上に機器を設置し、車上にセンサや受電コイルを搭載する。そのため、双方のシステムを搭載した車両にてそれぞれが同時に作動している場合、あるいは片方のシステムを搭載した車両がそれぞれの道路上の機器を通過する場合は将来発生しうる。このような状況における相互の影響の可能性については現時点で調査されていない。そこで、双方のシステムへの影響をみる基礎的な実験を行った。

3. 双方のシステムが及ぼす影響の調査

3.1 送電コイルが磁気センサへ与える影響

まず、WPT の送電コイルと MPS で用いる磁気センサを用いて、送電による磁気センサへの影響を調査する簡易的な実験を行った。図 3 に実験時の様子を示す。

3.1.1 実験概要

車両が停止した場合において送電コイルと磁気センサまでの距離 [cm] と、送電目標値 [W] を変化させて、磁気センサにて観測される磁気変動を記録した。表 1 にそれぞれの実験条件をまとめた。各条件において、送電開始前から磁気センサの測定を開始し、約 5 秒後に送電を開始し、合計 30 秒程度測定を行った。

Table 1 Experiment Conditions

条件	距離 [cm]	送電 (目標値) [W]
0	100	0
1	100	150
2	50	150
3	50	500
5	30	1 k
6	30	3 k

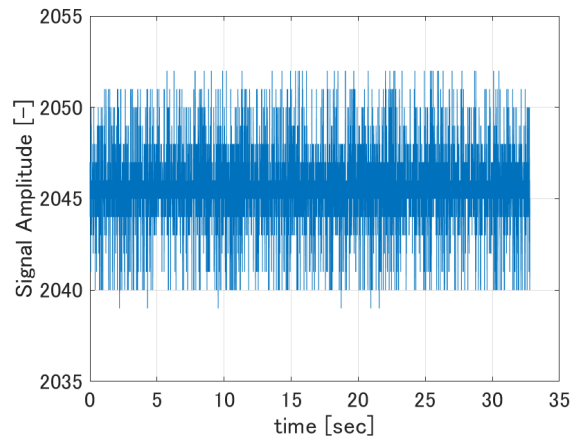


Fig.4 Magnetic sensor reading in condition 6

3.1.2 実験結果・考察

図 4 に条件 6 での磁気センサの計測値を示す。横軸は計測時間 (秒) を表し、縦軸は正規化された磁気の強度を表している。5 秒付近より送電コイルが作動し、コイル周辺に強い電磁波が生じている状態となるが、この時刻前後で磁気センサの読み取り値に大きな変動はみられなかった。より距離が遠い場合や、送電力の小さい場合の他の条件においても同様に磁気センサの読み取り値に変化が見られなかった。

この理由は、磁気センサのローパスフィルタによって送電コイルの送信周波数が取り除かれているためであると考えられる。磁気センサは 1 kHz のサンプリングレートで、車両が磁気マーカ上を通過した際に生じる磁気変動を観測している。この変動は数 Hz から数十 Hz 程度であり、この読み取り値に影響を与えないようにローパスフィルタにより高周波成分が取り除かれている。送電コイルの送信周波数は 85 kHz であり、磁気センサのローパスフィルタのカットオフ周波数がこれよりも十分低かったことから、本実験において読み取り値に影響が見られなかったと考えられる。

この結果から、本実験のような静的な条件においては、送電コイルの作動が磁気センサの磁気計測に変動を与えないことが分かった。

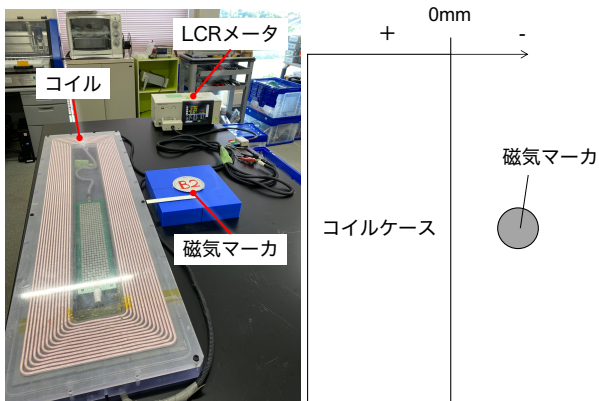


Fig.5 Left: Experiment apparatus. Right: Schematic of the relative positions.

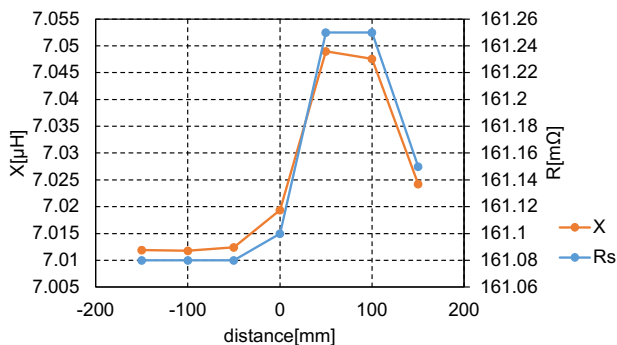


Fig.6 LCR Meter readings in each magnetic marker position.

3.2 磁気マーカが送電コイルへ与える影響

次に、磁気マーカが送電コイルのコイルパラメータに与える影響を調査する簡易的な実験を行った。図 5 左に実験時の様子を示す。

3.2.1 実験概要

送電コイルと LCR メータを接続し、コイルに対する磁気マーカの位置を変化させ、それぞれの位置でのリアクタンス (X) と等価直列抵抗 (R_s) を取得した。図 5 右のように、コイルケースのへりを原点、コイル中心側を正とし、-150 mm からコイル中心となる +150 mm まで 50 mm 間隔で計測を行った。図 5 左は磁気マーカが -150 mm の位置にある状態である。

3.2.2 実験結果・考察

図 6 に各磁気マーカ位置における LCR メータの計測値を示す。横軸は磁気マーカの位置 (mm)、左縦軸は赤色のリアクタンス (X)、右縦軸は青色の等価直列抵抗 (R_s) を表している。

磁気マーカとコイルの距離が 100 mm 以上離れている条件では X, R_s の値に変動は見られない。マーカ位

置 -50 mm 付近から変化がみられた。

ただし、コイルの動作に対するこの影響は 1% 以下と軽微であり、コイルケースから 100 mm 以上離して設置した場合には、磁気マーカの影響を取り除くことができる。このことから、コイル付近に磁気マーカが存在していた場合でも、送電に関する問題はないと考えられる。

4. 結言

本稿では、自動運転のための MPS に必要な磁気マーカおよび磁気センサ、電気自動車の DWPT のための送電コイル、それぞれが互いに与える影響の基礎的な調査実験を行った。送電コイルが磁気センサへ与える影響を調査した実験において、送電コイルから送信される電磁波は、磁気センサの読み取り値には影響を与えないことを確認した。磁気マーカが送電コイルのコイルパラメータに与える影響を調査した実験においては、若干のコイルパラメータの変動がみられたものの、実運用上は大きな影響がないと考えられる。

一方で、今回は磁気センサが動かない静的条件で、送電コイルのみを作動させた場合の基礎的な実験を行った。そのため、車両が動いている場合でも同様に影響がみられないのか、コイル付近に磁気マーカが存在する場合でも正しくマーカを検知できるか、受電コイルによる影響などについては明らかになっていない。今後は、動的条件での実験の実施や、実際の電力伝送時の影響確認、さらに実際の車両を用いた検証が必要である。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構. 戦略的イノベーション創造プログラム (sip) 第 2 期/自動運転 (システムとサービスの拡張) /自動運転による交通事故低減等へのインパクトに関する研究, 2021.
- 2) Osamu Shimizu, Sakahisa Nagai, Toshiyuki Fujita, and Hiroshi Fujimoto. Potential for co2reduction by dynamic wireless power transfer for passenger vehicles in japan. *Energies*, Vol. 13, , 7 2020.
- 3) Sampo Kuutti, Saber Fallah, Konstantinos Katsaros, Mehrdad Dianati, Francis Mccullough, and Alexandros Mouzakitis. A survey of the state-of-the-art localization techniques and their potentials for autonomous vehicle applications. *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 5, pp. 829–846, 4 2018.
- 4) Aichi-Steel-Corporation. Gmps technology, 2022. URL: <https://www.aichi-steel.co.jp/smart/mi/gmps/technology.html> accessed in Feb 16 2022.
- 5) Takayuki Ando, Hirotaka Mukumoto, Keiji Aoki, Shogo Okazaki, Tomohiko Nagao, Hitoshi Aoyama, Michiharu Yamamoto, and Kimihiko Nakano. Localization using global magnetic positioning system for automated driving bus and intervals for magnetic markers. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, pp. 1–1, 2022.
- 6) Andre Kurs, Aristeidis Karalis, Robert Moffatt, J D Joannopoulos, Peter Fisher, and Marin Soljacic. Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances. *Science*, Vol. 317, pp. 83–86, 2007.

- 7) Hiroshi Fujimoto, Osamu Shimizu, Sakahisa Nagai, Toshiyuki Fujita, Daisuke Gunji, and Yoichi Ohmori. Development of wireless in-wheel motors for dynamic charging: From 2nd to 3rd generation. pp. 56–61. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 11 2020.
- 8) Yabiao Gao, Antonio Ginart, Kathleen Blair Farley, and Zion Tsz Ho Tse. Misalignment effect on efficiency of wireless power transfer for electric vehicles. Vol. 2016-May, pp. 3526–3528. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 5 2016.