

# 磁気マーカシステムを用いた工場内牽引車の自動運転

荒谷 康太\*<sup>1</sup> 安藤 孝幸\*<sup>1</sup> 椋本 博学\*<sup>1</sup> 浦川 一雄\*<sup>1</sup>  
大石 大\*<sup>1</sup> 服部 文哉\*<sup>1</sup> 岩瀬 哲矢\*<sup>1</sup> 沼野 貴之\*<sup>2</sup>  
愛知製鋼株式会社\*<sup>1</sup>  
アイチ情報システム株式会社\*<sup>2</sup>

著者らは、自動運転制御支援を目的として、磁気マーカと磁気センサモジュールを用いた磁気マーカシステム (Global Magnetic Positioning System. 以下 GMPS) の開発を行っている。これまでに GMPS の有効性は大型車の実証実験で証明され、広く認知されてきた。また、GMPS の早期実用化を目的として、新たに工場内牽引車の自動運転向けの開発を進めている。本稿では大型車両向けと同等の性能を維持したまま、工場内牽引車に適した磁気マーカと磁気センサモジュールの開発を行った。さらに、小型車向けの自己位置推定手法も考案し、工場内での自動運転実験を行った結果について報告する。

## Automated Driving of Towing Car in Factory

### Using Magnetic Positioning System

Kota Aratani\*<sup>1</sup> Takayuki Ando\*<sup>1</sup> Hirotaka Mukumoto\*<sup>1</sup> Kazuo Urakawa\*<sup>1</sup>  
Hiroshi Oishi\*<sup>1</sup> Fumiya Hattori\*<sup>1</sup> Tetsuya Iwase\*<sup>1</sup> Takayuki Numano\*<sup>2</sup>  
Aichi Steel Corporation\*<sup>1</sup>  
Aichi Information System Corporation\*<sup>2</sup>

The authors are developing global magnetic positioning system (GMPS) that uses magnetic markers and magnetic sensor modules for the purpose of supporting automatic driving system. The effectiveness of GMPS has been proven through demonstration experiments using large vehicles, and it has become widely recognized. Additionally, with the aim of putting GMPS into practical use as soon as possible, we are currently developing a new system for automated driving of towing vehicles within the factory. In this paper, we developed a magnetic marker and magnetic sensor module suitable for in-factory towing vehicles while maintaining the same performance as for large vehicles. Furthermore, localization method for towing vehicles is suggested and the results of autonomous driving experiments within the factory are shown in this study.

**Keyword: Localization, Autonomous, Magnetic sensor**

---

## 1. はじめに

自動運転には制御の起点となる車両の自己位置推定を精度良く行えることがポイントとなる。当社では路面に設置した磁気マークが発する微弱な磁気を、車両に搭載した磁気センサモジュールで検知して車両自己位置を推定する GMPS (Global Magnetic Positioning System) の開発を進めている (図 1)。

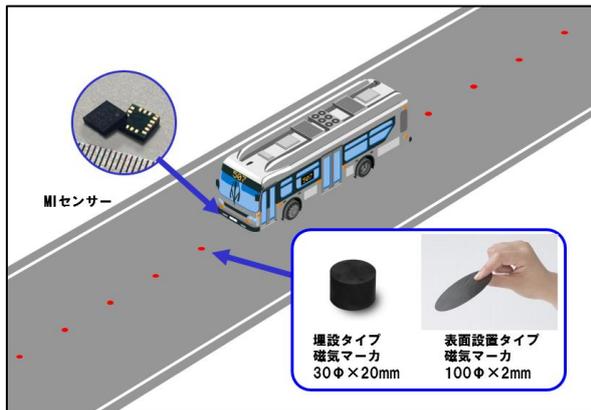


図 1 GMPS 概要

GMPS センサには複数の磁気センサがアレイ状に設置されており、これらが受信する磁気信号に対して特殊なフィルタ処理によりマーク信号の特徴を際立たせた上でマーク検知判定を行っている (図 2)。

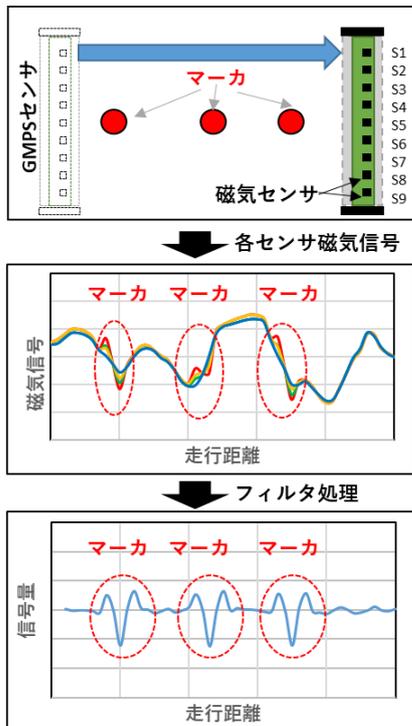


図 2 GMPS マーク検知方法

GMPSは屋内やトンネルなどGPSが届かない環境や、カメラによる画像認識ができない積雪などの環境下でも精度よく自己位置推定を行うことができ、これまでに大型車の実証実験により有効性が証明され、広く認知されてきた。しかしながら、公道での実用化は一般車との混在、社会受容性の観点で時間が必要である。

工場内搬送車やロボットでも自動運転への期待は大きく、競争が激しさを増す中、当社でも工場内搬送車分野へ注力し、今まで実証実験に投入してきた大型車両向け GMPS の技術を活かし、工場内搬送車に適した GMPS センサの開発に取り組んでいる。

## 2. 本開発の特徴

### 2-1 センサモジュールの低コスト化、小型化

大型車の実証実験用に開発したセンサモジュールは高感度専用部品が多く、センサモジュール自体のサイズが大きく、コストも高くなってしまふ。大型車と比べて車幅の小さい工場内搬送車に実装するためにはセンサモジュールの小型化が必須で、また実用化するためには収益確保のために低コスト化が必要である (図 3)。

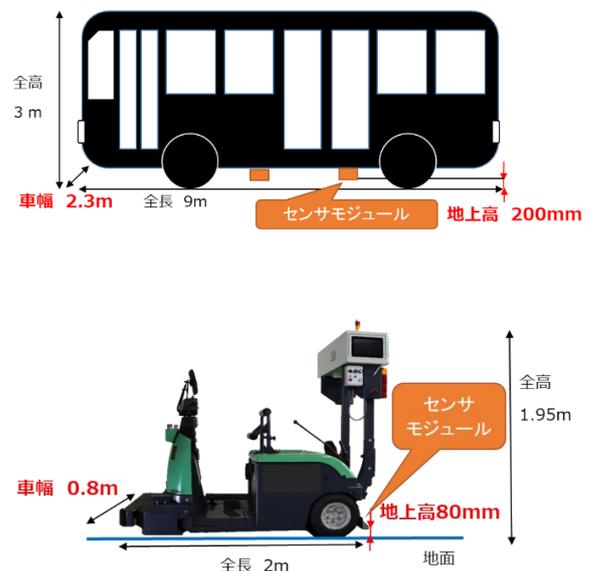


図 3 大型車と工場内搬送車のサイズ

そこで、本開発では小型搬送車の地上高の低さに着目した。大型車に対して工場内搬送車は地上高が低く磁気マークとの距離が近いため、磁気マークのサイズを小さくすることができ、センサモジュールも大型車のような高感度専用部品が不要なため、小

型化，低コスト化を実現することができた。

## 2-2 小型車両向けの自己位置推定ロジックの開発

従来の大型車の実証実験では2本のセンサモジュールを用いて進行方向を推定していた。しかし，工場内搬送車には1本しかセンサモジュールを取り付けられないため，磁気センサモジュールが1本でも進行方向が推定可能な自己位置推定ロジックの開発が必要である。

従来のセンサモジュール2本を用いた進行方向の推定手法を図4に示す。センサが2つの磁気マーカを同時に通過した際に，それぞれのセンサがマーカを検出した位置が算出される。ここから各センサモジュールの中心位置を算出し，これを結ぶことで磁気マーカに対する車両の進行方向が推定できる。

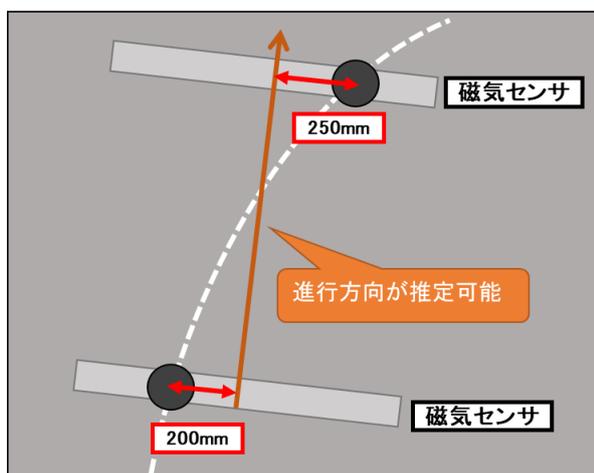


図4 センサモジュール2本を用いた進行方向の推定

これに対し，センサモジュール1本で進行方向を推定する際は，近い距離に連続で設置した2つの磁気マーカを用いる(図5)。まず，車両が1つ目のマーカを通過した際に磁気マーカに対する横方向の距離が検出されるが，この時点では車両の進行方向が分からないため，図5の半円状のいずれかにセンサモジュールの中心点があると考えられる。次に，車両が2つ目のマーカを通過した際にもマーカからの距離が検出される。このとき，1つ目のマーカ通過時と同様にセンサモジュールの中心点は半円状のいずれかに存在すると考えられるが，1つ目のマーカ上を通過したことを考えると，2つの半円の接線を直進していると考えられる。

以上から，2連続マーカを使用し，これらの検出位

置の接線を求めることで，センサモジュール1本の場合でも車両の進行方向を推定することができる。

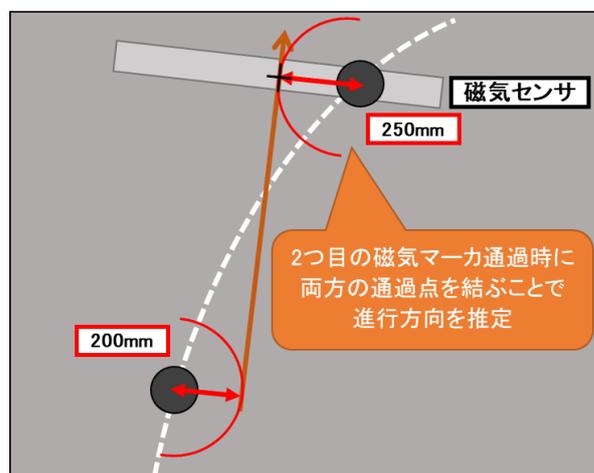
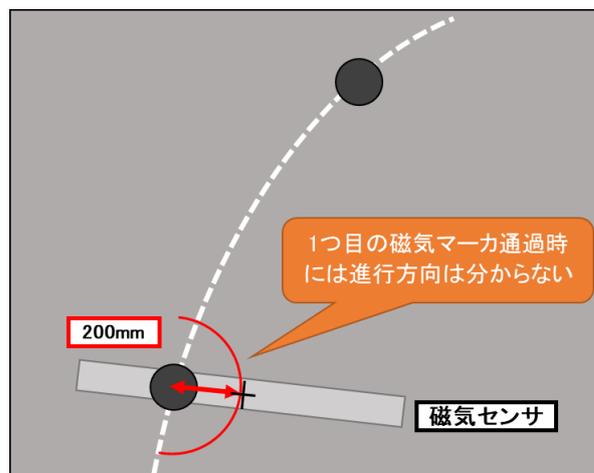


図5 センサモジュール1本での進行方向の推定

## 3. 実証実験

### 3-1 実験内容

前項で工場内搬送車に適したセンサモジュールの開発，および自己位置推定ロジックの開発を行った。本項ではこれらを用いて実際の工場内で工場内搬送車の自動走行実験を行う。

本実験では愛知製鋼の工場内にて搬送車を使用しているルートに磁気マーカを設置し，GMPSによって自動走行を行う(図6)。

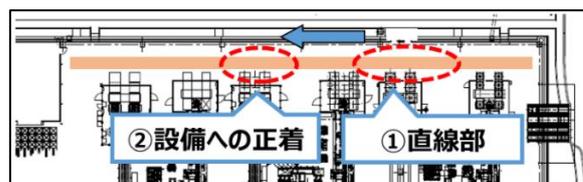


図6 走行ルート概要

このとき、2連続マーカを設置することで搬送車が定期的に自車位置と進行方向を把握することができるようになっていく。例えば直線部では、3mごとに500mm間隔の2連続マーカを設置することで、3mごとに自車位置だけでなく進行方向を補正することが可能になっている(図7(a))。

また、図7(b)に示す設備への正着においては、積み荷の移載を行うために設備と車両の距離のばらつきが±30mmという高い繰り返し精度が要求される。

この要求を満たすために、設備前には磁気マーカを500mm間隔で連続して配置した。このように配置すると、1番目と2番目の磁気マーカで2連続マーカのペアを作り、次に3番目と4番目の磁気マーカで2連続マーカのペアを作り…というように連続して2連続マーカのペアを作ることができる。その結果、設備前では1mごとに自車位置と進行方向を把握することができる。

今回の実験では、正着を繰り返した際の設備と台車の隙間のばらつきが±30mm以内であることを目標とし、評価を行う。

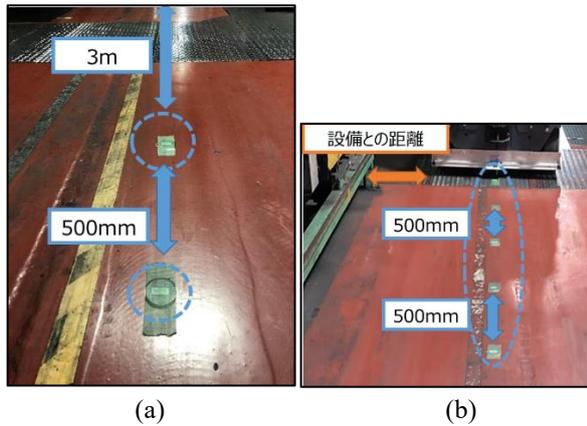


図7 直線部のマーカ配置 (a) と正着部のマーカ配置 (b)

### 3-2 実験結果

実験結果を図8に示す。自動走行で設備前での正着を繰り返し行ったところ、設備と台車の隙間のばらつきを±20mm程度に収めることができ、目標を達成することができた。

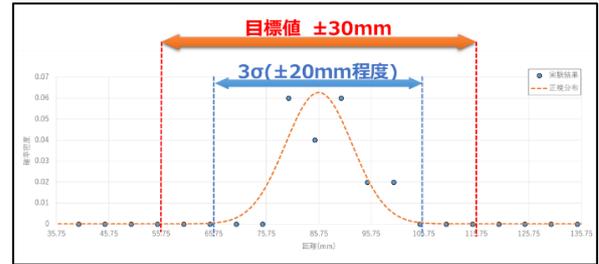


図8 正着走行の実験結果

### 4. まとめ

これまで大型車の実証実験に使用していたGMPSを、センサモジュールの低コスト化と小型化により、工場内搬送車に適用させることができた。また、センサモジュール1本での自己位置推定ロジックを開発することにより、実際に自動走行させた際も十分な精度で制御できることを確認した。

今後は、小型車両向けGMPSを工場内搬送車だけでなく、低速の小型車両にも展開していくことで、持続可能で活力あるまちづくりに貢献することが期待できる。