

## 論文の内容の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏名 赤井 直紀

本研究では、ロボットが自律的に指定された目的地へ移動するための技術開発を主目的としている。この実現のためには、ロボットが環境中のどの地点に存在するかを推定すること（自己位置推定）が必須の技術である。一般に位置推定は、事前にセンサ情報を蓄積して構築した環境地図と、移動時に取得するセンサ情報とを比較することで実現されている。そのため、地図情報とセンサ情報とが異なる場合に推定に失敗する。これは互いの情報の誤対応によるもので、例えば移動体など、地図にない物体の存在によって引き起こされる。本論文では、このような動的環境化において安定した位置推定を実現することを目指し、磁気センサを用いた位置推定法を提案している。さらに、これを用いた自律移動法をまとめている。

第1章では、研究背景および従来の位置推定法における問題点をまとめている。これらを踏まえ、磁気センサを用いた位置推定法の有用性や利点、その問題点を述べている。磁気センサを用いることで、高精度ではないが周囲の景観変化に影響されにくい位置推定が実現できる。これは、磁気センサがセンサの存在する地点のみの磁場を計測し、周囲環境の計測を行わないためである。すなわち、磁気センサを用いて大まかな位置推定を行い、その後周囲幾何形状を考慮した位置推定を行うことで、地図と観測データ間の誤対応を抑制した頑健な位置推定が実現可能となる。しかし、磁気センサを位置推定に利用することは容易ではない。まず問題となることは、磁場が不可視であり、その性質を位置推定等にどう利用すべきか不明瞭なことである。また、磁気センサは周囲環境の計測を行えないため、広範囲の磁場を地図化することが難しい。そのため、磁場地図を用いて自律移動を行う場合、走行すべき経路のみの磁場を地図化して用いることが現実的である。この場合、位置推定の結果のみに基づき指定経路を追従することは不可能である。また、経路以外の地点の磁場を地図化していないため、これらの地点における磁場の観測値を予測できず、他のセンサ情報と融合して位置推定を行うことが難しい。本章では、磁場の利用とそれに関連する課題を明確にし、本論文の目的を設定した。

第2章では、磁場の性質を実験的に調査することで、自己位置推定等への応用法を明らかにしている。特に、環境中には磁性体が存在し、その磁性体が磁場の乱れを発生させることを示し、かつこの磁場の乱れが時間的に安定していることから、これを用いて位置推定を行うことが可能であることを明らかにしている。

第3章では、Rahokらによって提案された「磁気ナビゲーション法」について述べている。本手法は、磁場地図のみを用いて初めて長距離の自律移動を実現した手法であり、磁場の乱れを目印とした位置推定、および走行経路とその周辺の磁場に基づく姿勢制御により構成される。Rahokらは、パラメータ調整を行うことで、指定経路から逸脱しない正確な経路追従を実現した。し

かし、パラメータ調整に多大な時間を要することや、磁場の地図化および磁気センサと他のセンサを用いた位置推定の融合に対する課題が、十分に解決されていないことを考察した。

第4章では、磁気ナビゲーション法を拡張させ、パラメータ調整を行うことなく正確な経路追従を実現する方法を提案している。この提案では、パラメータ調整なしの磁気ナビゲーション法を用いても、ある程度の距離の自律走行が行えることに着目し、幾何情報を用いた位置補正程度の処理を行うことで、十分に長距離走行が行えるという考えを用いている。この実現のために、分散制御に基づく磁気ナビゲーション法を提案し、実際に実環境での長距離自律移動を達成した。

第5章では、磁場と幾何情報を併用した位置推定法の提案を行っている。この方法の利点は、磁場の地図を用いた大まかな位置推定を行った後に、幾何地図を用いた高精度な位置推定を行うことで、幾何地図を用いる際の誤対応を抑制することができることである。また、幾何地図を用いることが困難な場合においても、磁場地図を用いた位置推定を行うことができる。本章では、経験則に基づく磁場地図を用いた姿勢推定法を提案し、これを幾何地図ベースの位置推定法と統合した。結果として、多くの人が行き交う動的環境下において、正確かつ確実な自己位置推定が実現できることを示した。

第6章では、広域空間の磁場を高速に地図化する方法を提案している。この方法は、上述の位置推定に関わる提案とは異なるものの、その貢献は磁場を用いた位置推定法を広範囲で行えることであり、磁場を用いた自律移動の実現に繋がる。本章では、磁場計測のロボット化、およびガウス過程回帰を用いた高速な磁場地図構築方法を提案した。結果として、手作業に比べて約30倍の地図化の高速化を実現し、かつその磁場地図を用いて自己位置推定が行えることを示した。

第7章では、本研究成果をまとめ、展望を示した。