

東京工芸大学  
学 長 殿

審査員主査 鈴木 秀和  
 審査委員 西宮 信夫  
 審査委員 片上 大輔  
 審査委員 辛 徳  
 審査委員 安藤 吉伸  
 審査委員  
 審査委員



### 学位論文及び最終試験結果報告書

論文提出者氏名	渡邊 香	学位及び専攻分野の名称	博士（工学）
学籍番号 ※課程博士	1885001	専 攻	電子情報工学専攻
論文題目	自律移動ロボットのためのノイズと誘拐問題にロバストなリアルタイム自己位置同定法		

	学位論文／最終試験	評 価
審査結果	学 位 論 文	合 格
	最 終 試 験	合 格

※ 審査結果の評価は、「合格」または「不合格」で記入。

## 論文審査要旨（課程博士）

報告番号	*甲第 57 号	論文提出者氏名	渡邊 香
		職 名	氏 名
	審査員主査	准教授	鈴木 秀和
	審査委員	教授	西宮 信夫
	審査委員	教授	片上 大輔
	審査委員	教授	辛 徳
	審査委員	教授（芝浦工業大学）	安藤 吉伸
	審査委員		印
	審査委員		印

\*教務課で記入

## 論文審査要旨（2000字程度）

本論文は、「自律移動ロボットのためのノイズと誘拐問題にロバストなリアルタイム自己位置同定法」と題し、ロボット技術チャレンジの一つであるサッカー競技ロボットコンテスト RoboCup を対象として、ロボットが現在位置を自律的に特定する自己位置同定手法を提案し、その性能の詳細な検証を通して有用性を示している。特に、カメラ画像に含まれる他の物体（ノイズ）と、ロボットが真値とは全く異なる位置を自己位置として認識する誘拐問題に対して提案手法がロバスト性とリアルタイム性を有していることを検証により明らかにしている。さらに、提案手法を搭載した実機を用いた検証により実用性を示している。本論文は次の 5 章から構成されている。

第 1 章では、緒言として本研究の背景と本論文の概要、目的を記述している。自律移動ロボットが様々な環境において行動するための技術課題として自己位置同定法が重要である点を指摘し、ノイズと誘拐問題について対策の必要性を示している。さらに、パーティクルフィルタによる Monte Carlo Localization を用いた手法など他の先行事例における誘拐問題への脆弱性や処理時間の問題点を述べ、その解決策として本論文で提案している Model-based Matching 法に基づく遺伝的アルゴリズム（以下、GA : Genetic Algorithm）を利用した自己位置同定法の概要を述べている。

第 2 章では、本論文で用いるロボットについて概要をまとめている。ロボットの視覚システムとして採用している周囲 360 度すべての情報を取得可能な全方位カメラと、ロボットの移動機構として採用しているオムニホイールを用いた全方向移動機構、さらに競技に使用されるその他の機構も含め、その構成をまとめている。

第 3 章では、ロボットに搭載されている全方位カメラから得られる白線情報を指標とする自己位置同定法の

論文提出者氏名	渡邊 香
---------	------

## 論文審査要旨 (続き)

構築、及びその精度について示している。全方位画像から得た白線形状に基づく探索モデルと既知フィールドデータを照合する **Model-based Matching** 法をベースとして探索空間を形成し、自己位置を認識する問題を適合度関数の最適解探索問題に変換できることを示し、構築した手法の自己位置同定精度が実用範囲内であることを明らかにしている。さらに、カメラ画像より指標を抽出する際に必要となる色相調整について、調整の熟練者と初心者の調整結果から精度を確認し、自己位置同定結果が調整者の熟練度に依存する点を指摘している。

第4章では、自己位置同定において局所的探索能力の高さに起因して発生する誘拐問題を課題とし、GAの大域的探索能力を利用することで誘拐状態からの復帰が実現できることを示している。特に、GA処理における各種進化パラメータセット（個体数・選択率・突然変異率）の設定時に誘拐問題を考慮した環境を用いることで、自己位置復帰性能が向上することを示し、さらに検証実験により提案手法の自己位置同定精度が実用範囲内であり、かつその処理がリアルタイム（約15ms）であることを示している。






また、実際の競技環境におけるノイズ（他のロボットや審判など）を疑似的に再現した人工ノイズを用いた過酷なシチュエーションにおける検証実験を行い、提案手法が実戦環境におけるノイズに対するロバスト性を有する実用的な手法であることを示している。

最後に、実際に提案手法による自己位置同定手法を搭載したロボットをサッカーフィールド上で動作させ、動的環境（動画像を用いた自己位置同定）における有効性を示している。実行動作を想定した3パターンを試験走行において、いずれも自己位置が急激に変化することなく連続性を保ったまま時系列で繋がり、設定した走行経路において自己位置を正しく継続的に認識できることを示している。

第5章では、本論文のまとめとして、各章で得られた結論と成果についてまとめ、今後に残された課題と自己位置同定手法を用いた展望について言及している。

以上の内容を要約すると、本論文は、自律移動ロボットが様々な環境において行動するための自己位置同定法の構築を目的としている。**Model-based Matching** 法をベースとして探索空間を形成し、最適化手法に誘拐問題を考慮した進化パラメータセットによる遺伝的アルゴリズムを用いることで、高精度かつリアルタイムな自己位置同定が可能となることを示している。従来法における処理時間の問題やノイズ、誘拐問題への脆弱性に対して、本論文における提案手法では、リアルタイム性の確保、およびノイズと誘拐問題に対するロバスト性が実現できることを証明している。また、提案手法を利用する際の問題として、パラメータ調整時に熟練度が認識精度に与える影響についても検証に基づいて言及しており、実用において重要な知見を提供している。さらに近年、ロボットの高性能化、自律化に伴う急速な普及があり、それらの汎用型ロボットで多く採用される低コストなハードウェア環境において、処理負荷の低減は大きな課題となることが予想されている。本提案手法は自律移動ロボットにおける必須技術である自己位置同定処理を低負荷に実現できると判断でき、ロボット工学の分野において大変有用である。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

## 最終試験の結果の要旨（課程博士）

報告番号	*甲第 57 号	論文提出者氏名	渡邊 香
		職 名	氏 名
審査員主査	准教授	鈴木 秀和	
審査委員	教授	西宮 信夫	
審査委員	教授	片上 大輔	
審査委員	教授	辛 徳	
審査委員	教授（芝浦工業大学）	安藤 吉伸	
審査委員			印
審査委員			印
審査の結果の要旨（300字程度）			
<p>最終審査に先立ち、2021年1月13日に予備審査会を開催した。提出論文に関する口頭発表と詳細な質疑応答を通じて、論文の内容および専門分野に関する学識を確認した。その結果、審査委員会の設置の条件を満たしていることを確認した。</p> <p>2021年2月8日に公聴会を開催し、同日、最終審査会において、本提出論文「自律移動ロボットのためのノイズと誘拐問題にロバストなリアルタイム自己位置同定法」の審査、学力確認のための試問を実施した。提案された手法の妥当性、新規性、有効性、実用性などについて質疑し、論文提出者からは適切な答えが示された。</p> <p>また、外国語の能力に関しては、筆頭著者として査読付き英語論文および国際会議での発表、さらに本研究の遂行に当たり必要な国際論文を読解していることなどから、相当する学力があるものと判断した。</p> <p>以上の結果より、論文提出者の学識、提出論文の内容とも、博士（工学）の学位を受けるに十分なものであると審査員全員が認め、全員一致で最終試験を合格と判定した。</p>			