

# 論文内容要旨（和文）

平成24年度入学 大学院博士後期課程

機械システム工学 専攻

分野

氏名 RIVAS GONZALEZ, ERNESTO JOSE 印

論文題目 Development of the intake system and navigation system of the SnowEater robot (小型除雪ロボットの雪取り込み装置とナビゲーションシステム開発)

本論文は、自律除雪ロボットの開発に関するものでありその目的は、小型、軽量、小動力、低コスト、安全な除雪ロボットのための要素技術を開発することである。目的とするロボットを“スノーアイーター”と呼ぶ。本研究は10年前に開発された“ゆき太郎”ロボットを小型・小動力化し家庭まわりの小規模な除雪作業の自動化を目指すものである。“ゆき太郎”が重量400Kg,モーター電力400Wであったのに対して、“スノーアイーター”は50Kg,15Wモーターを想定している。また、メカニズムの簡素化によるコスト削減も重要課題としている。除雪ロボットシステム全体は、目的エリアの積雪を取り込みブロック化する“スノーアイーター”および、ブロック化された雪を排雪場所や蓄雪場所へ運搬する運搬ロボットにより構成される。2台のロボットは協調的に作業する。“スノーアイーター”的試作機は、雪取り込み、移動、雪の成形圧縮およびナビゲーションの4つのシステムにより構成される。運搬ロボットにおいては、雪ブロックの把持、移動、およびナビゲーションシステムにより構成される。本論文では“スノーアイーター”的要素技術の中で積雪を取り込むメカニズムとその制御および目的エリアを掃引するためのナビゲーションシステムについて詳述した。

雪を取り込むメカニズムは本ロボットの基盤となり、ロボット前面の雪を集めるためのスパイラースクリューおよびロボット内部で雪を圧縮するための内部スパイラースクリューにより構成する。軽量なロボットがスリップせずに雪を円滑に取り込むために、前面スクリューのピッチを小さくし、ロボットの走行とスクリュー回転方向を協調しながら間欠的に方向切り替えを行う作業パターンを提案した。さらに、積雪量や雪質の変化に適応するために、前面スクリューを駆動するモーター電流に応じて、回転速度、切り替え時間等のパラメータを変更する運転方法を考案した。異なるパラメータセットによる3つの作業パターンを設定し、パターン間を遷移するための適切な電流値の条件を実験的に求めた。得られた条件および運転パターンを用いて積雪条件の変化する路面での実験を行い、その有効性を検証した。ナビゲーションシステムはロボット本体に搭載した低解像度のカメラのみをセンサとし、除雪作業を遂行するための経路に沿ってロボットの移動を制御する。作業エリアへの事前準備を可能な限り不要とし、最終的なコストの低減とシステム全体の簡素化のために、1つのランドマークを起点とする放射状の直線軌道により作業エリアをカバーする。ロボットの自己位置および姿勢の推定

氏名 RIVAS GONZALEZ, ERNESTO JOSE

はカメラ画像上のマーカー形状により行い、ランドマーカーの周辺のみで精度が良い。そこで推定値はライドマーカー周辺にロボットが在るときのみ制御信号として用いる。ロボットが遠隔に在るときは、画像上のランドマーカー一点座標を制御信号として行った。マーカー近傍では、目標軌道への漸近的な追従が可能なフィードバック制御を用いるのに対して、遠隔地では軌道への漸近的な追従を保証しない進行方向のみの制御を行うものである。この方法においては、ロボットはマーカー近傍から遠隔点までの直線軌道を往復するが、遠隔での軌道追従精度は軌道の初期条件に依存する。そのため、マーカー近傍では目標軌道への制御精度が重要である。マーカー近傍での追従精度を確保するために、外乱にロバストな高ゲイン切り替え方式によるスライディングモード制御を適用した。雪上での移動において、クローラーのスリップおよび雪圧による外乱は避けられない。スライディング制御は目標軌道からの位置および姿勢角の誤差が生じた際に高ゲインによるフィードバックにより安定化を図るものである。制御系が安定となるためのスライディング面の設定条件、外乱が追従精度へ与える影響を理論的に解析し、実験により検証した。実験は発泡ビーズを敷いた傾斜路面上で行い、傾斜角度を変更することですべり外乱の大きさを変更した。通常の状態フィードバックに対するスライディングモード制御のロバスト性を確認した。

以上のように本論文では、小型自律除雪ロボットの雪取り込みメカニズムおよびナビゲーション手法を開発し、理論面および実験により検証した。最期に除雪ロボットシステム全体を実現するための今後の課題として、本研究で明らかになった問題点にもとづくクローラー走行装置および雪のハンドリングへの改善点について述べた。

# 学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成27年 8月 6日

理 工 学 研 究 科 長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 水戸部 和久 印  
副査 井上 健司 印  
副査 妻木 勇一 印  
副査 \_\_\_\_\_ 印  
副査 \_\_\_\_\_ 印

学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

論文申請者	専攻・分野名 機械システム工学 氏名 RIVAS GONZALEZ ERNESTO JOSE		
論文題目	Development of the intake system and navigation system of the SnowEater robot (小型除雪ロボットの雪取り込み装置とナビゲーションシステム開発)		
学位論文審査結果	合格	論文審査年月日	平成27年 7月21日～ 平成27年 8月 6日
論文公聴会	平成27年 8月 6日	場所	工学部 4号館 114教室
最終試験結果	合格	最終試験年月日	平成27年 8月 6日
学位論文の審査結果の要旨(1,000字程度)			
本論文は自律移動型の小型除雪ロボットの要素技術開発に関するものであり、その内容は以下のとおりである。はじめに小型、軽量、小パワー、低コストで安全な自動除雪機のためのメカニズムとして、左右クローラーによる移動装置、前方の小ピッチのスクリューによる雪取り込み装置およびロボット内部に搭載する雪ブロック化装置を提案し、各装置の試作によりロボットの実現可能性を検討している。次に、円滑に雪を取り込みながら走行するためのクローラーとスクリュー装置の協調制御系を提案している。本制御系では定常速度での移動時にロボット前方に生成され、雪の取り込みの障害となる圧縮層を防止するための間欠的な走行パターンを採用し、スクリュー負荷の監視にもとづく走行速度制御およびスクリュー回転速度の制御を組み合わせることで、積雪変化による負荷変動に対応しながら円滑な雪取り込みを可能としている。さらに、家庭まわりの小規模の除雪作業範囲を掃引するためのナビゲーション方法を検討している。本ナビゲーションシステムは地面に設置した1つのマーカーおよびロボットに搭載した1台の低解像度のカメラを用い、作業領域はマーカーを中心にして放射状に配置した直線軌道により覆われる。マーカーからの距離に応じて得られる自己位置情報の精度が変動することを考慮し、軌道への追従制御に用いる制御信号を選択して用いる方法が提案されている。また、マーカー近傍で精度良い位置決めを可能とするため、外乱に対してロバストな高ゲイン可変構造の制御系の応用が試みられている。以上により低コストで実装可能なナビゲーション手法が得られている。			
既存の家庭用の除雪機においては、高速回転のオーガーにより粉碎し投雪する技術が一般的であるが、本論文の目的が自律ロボットにあるため、本論文で提案された低動力および低速運転による雪処理形態をとる独自のものとなっている。雪処理に関わる制御手法およびナビゲーションの手法においても、独自の問題に対して新規の解決方法を提案したものとなっている。本論文で提案した装置と制御手法およびナビゲーション手法について2報の査読付き学術論文誌に掲載されている。以上により本論文を博士(工学)の学位論文審査基準を満たしているものと判断し合格と判定した。			
最終試験の結果の要旨			
論文公聴会において、論文内容の発表および質疑応答を行った。関連する研究とそれに対する本論文の位置づけ、本論文に関連するロボットの機構および制御手法に関する質問が出された。各質問に対して適切な回答が行われ、博士(工学)として必要とされる専門知識及び研究能力を十分に備えているものと判断し、合格と判定した。			