

氏名	あまのひさのり 天野久徳
学位の種類	博士(情報学)
学位記番号	論情博第48号
学位授与の日付	平成16年1月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	消防防災ロボットの開発および機器制御に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 杉江俊治 教授 足立紀彦 教授 酒井英昭

論文内容の要旨

消防防災の観点から見ると、ロボットはその自立的機能性や遠方からの操縦可能性などのため、消火隊員や救助隊員を危険な環境下へ進入させずに活動を行うことができ、消防隊員の肉体的・精神的負担を軽減することができるなど大きな利点がある。しかし、現実にはロボットが消防防災活動において十分活用されているとは言えない。本論文では、消防防災ロボットの現地調査に基づきその現状を分析し、ロボット配備を促進し活用するためのいくつかの方策について検討したものであり、7章から構成されている。

第1章は序論であり、消防防災とロボットの関係、ロボットが有効と考えられる災害対策、消防防災ロボットの従来研究を概観してその問題点を指摘した後、本研究の目的について述べている。

第2章では、消防防災ロボットの現状を分析するために詳細な現地調査を行い、実際に配備されている消防防災ロボットおよび消防以外の防災組織が配備・開発している災害対策ロボットの中で、特に今後消防防災ロボットの配備促進に参考となるものについて調査結果をまとめている。防災ロボットは大きく、放水型、水中探査型、偵察型、救助型の4種類に分類される。一方で災害対策ロボットとしては、遠隔操作型土木機械、無人ヘリコプタなどが注目される。種々のロボットの特長や配備状況などを詳細に調査している。

第3章では、消防防災ロボットの現状調査を基に、消防防災ロボットの開発および活用の促進に関して検討し、いくつかの問題点を明確にしている。具体的には、(i) 多くの研究があるが、性能面では実用的といえるものは少ない、(ii) 現状では大型ロボットが多いが、救助ロボットとしては、小型ロボット群システムが有効である、(iii) 防災ロボットのマーケットは小さく、ロボットのユニット化が重要である、(iv) 多くの公的資金の投入は期待されず、現状の機器の高度化・ロボット化が重要である、(v) 開発と運用を総合的に考慮する必要性が高いなどである。

第4章では、高層建物火災対策用の壁面昇降ロボットに着目し、その性能面での実用化について検討した。現状のほとんどのロボットでは吸盤により昇降するため、速度・安全性の点で問題がある。このため、ペランダの手すりを把持して昇降するロボットを提案し、試作を行っている。様々な手すりの間隔に対応でき、消防用として実用性のある昇降速度の実現を目標とし研究開発を進めた。ロボットのモーション制御のために、非線形フィードバック制御とシーケンシャル制御系を組み合わせた、ハイブリッド制御系を構築し、数値シミュレーションにより制御系の有効性を確認した後、実験実証を行っている。2.50[m]以上3.15[m]以下の階高に対応可能であり、平均移動速度0.161[m/s]、最高速度0.182[m/s]で昇降可能であった。

対応可能階高および昇降速度に関して目標通りの性能が得られ、消防用として使用可能な性能を達成することが確認された。

第5章では、小型ロボット群による救助ロボットシステムの有効性に着目し、災害現場の状況を考慮にいたした小型ロボット群の追従移動について検討している。災害環境下ではロボットが通過できる領域が限られているため、先行ロボットの移動軌跡を追跡しながら移動する方法が有効である。トレース追従のためにデッドレコニングと画像認識による相対位置認識

を利用し、相対位置履歴を利用した簡便な軌道生成法を提案している。数値シミュレーションにおいて、瞬間的な相対位置認識に対して提案した方法のトレース誤差は $1/8$ 以下であった。さらに、小型ロボット群を構成するロボットを試作し、ロボットのユニット化を取り入れている。試作した小型ロボットを用い、追従移動の基礎実験を行い、災害現場で救助用として利用する小型ロボット群の移動法としての有効性を確認している。

第6章では、現状の機器の高度化・ロボット化の重要性に着目し、高層建物火災対策として利用されるはしご付き消防自動車を対象として、はしごの振動制御を試みた。はしごは開断面構造となっており、ねじり振動が発生しやすい。安全面から振動の収束を待つ必要があり、迅速な救助活動の障害となる。そこで単純なはしご模型を用いて振動制御を試みている。まず、有限要素法を用いてはしご模型のモード解析を行い、数学モデルを導いた。数値モデルをもとに H_{∞} 制御系設計法により制御系を設計し、その有効性を数値シミュレーションにより確認した。さらに、アクチュエータとしてコントロールモーメントムジャイロを採用し実験検証を行っている。その結果、シミュレーションと良く一致し、良好な振動制御の結果を得た。これらの結果は、消防上の問題となっているはしごの振動制御に活用することができる。また、既存機器の高性能化を目指すものであり、消防で実用化する際に財政的問題も小さい。

第7章では、結論として以上の各章の内容を要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、消防防災ロボットの配備促進のために必要となる要素技術に関する提案とその具体化に関する研究をまとめたものであり、特に消防防災ロボットの現状実地調査に基づいた問題点の明確化とその解決策について検討している。具体的には以下のような成果を得ている。

- 1) 消防防災ロボットの実地調査を広範囲で行い、消防防災ロボット分野の現状把握と、同分野が有する現状の問題点、およびロボット化が期待される点などを明確にした。
- 2) 高層建物火災対策のための移動機構に関する検討を行った。そして、ベランダを有する高層住宅に対してベランダ手すりを把持して建物を昇降する移動ロボットを提案し開発した。さらに、その有効性を実験およびシミュレーションによって示した。
- 3) 災害現場の状況を考慮にいたした小型ロボット群の追従移動について検討した。相対位置履歴を利用した簡便な軌道生成法を提案するとともに、小型ロボット群を構成するロボットを試作し、これらの有効性をシミュレーションおよび実験により検証した。
- 4) 既存の消防機器の能力不足を制御技術の応用によって補い高度化する試みを行った。はしご付き消防自動車に装備されているはしごの振動制御を検討し、 H_{∞} 制御による制御系設計とコントロールモーメントムジャイロを採用し実験を行い良好な結果を得た。

以上、要するに、本論文は消防防災ロボットの現状を分析し、ロボット配備を促進し活用するためのいくつかの具体的な方策について検討したもので、防災ロボットに関して有益な知見を与えたものであり、その成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成15年11月26日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。