

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 10 日現在

機関番号：21401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22510180

研究課題名（和文） 飛行ロボットによる災害救助システムの研究

研究課題名（英文） Development of Micro Fling Robot Used for Rescue Scenarios.

研究代表者

下井 信浩（SHIMOI NOBUHIRO）

秋田県立大学・システム科学技術学部・教授

研究者番号：10300542

研究成果の概要（和文）：本報告書は、マイクロ飛行ロボットに用いた防災レスキューシステムについて提案する。巨大地震などの自然災害が発生した場合、被害情報の即応判断と継続的な情報収集による復興計画を構築することは、被害を軽減するために重要である。この研究は、地下道等の閉鎖空間に閉じ込められた被災者を安全に発見するために超小型飛行ロボットを用いた救助システムの提案にある。さらに、研究の目的は、遠隔から被災者を発見するための探査技術と超小型レスキューロボットの自律飛行性能を向上させるための研究にある。

研究成果の概要（英文）：This paper presents a disaster prevention rescue system used for a micro rescue robot. Immediate assessments of damage information and continuous collection of information for constructing a revival plan are important for damage mitigation when natural disasters such as huge earthquakes occur. For this study, we propose a rescue system for detection of moving objects from the space of a underground road in disaster areas. The aim of this study is to detect injured people for safely conducting from remote sensing areas and improving the performance of Micro Rescue Robot systems.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム

キーワード：救助システム，飛行救助ロボット，レスキュー機械

### 1. 研究開始当初の背景

震災発生後、瓦礫等による救助者が近寄れない状況にある地下通路やトンネル等において、限られた空間に閉じこめられた生存者の位置等を確認することは非常に困難である。このような状況においては、通常レスキ

ューロボットの使用が想定される。しかし、瓦礫上を乗り越えて探索する方法では、被災者の安全の確保やロボットに複雑な機構やセンサが必要とされ、また高度な制御技術等が要求されている。

## 2. 研究の目的

本研究では、これらの問題を解決するため、瓦礫と天井の空間を利用して飛行するマイクロフライングロボットの研究を実施し、この小型飛行ロボットに搭載した超小型赤外線カメラや生体センサ等による、生存者捜索と被害状況を把握が可能であるか検証する。

## 3. 研究方法

(1) マイクロフライングロボットは、機体の設計・製作および制御システムに関してはオリジナルの装置や方式を用いて構築されている。機体の材質は、軽量化のためにアクリル板をベースに作製し、駆動部には小型のブラシレスモータを使用した。アンプ、駆動電源、受信機、制御用基板等は最小限にして機体に搭載している。飛行操縦は、プロポによる手動操縦及びアクティブ重心移動機構とPICによるPID制御を加えたサブ自律飛行方式の両方が可能になるように、結果の比較検討が出来るようにしている。

また、操縦者がプロポのレバー操作を実施していない時には、加速度センサによるフィードバック制御を実施させて、ホバリング時や直進時の安定した飛行性能を向上させる能力と揺れを抑える事が制御によって可能であることを検証する。

(2) ロボットの制御用マイコンは、H8マイコンを用いることが一般化しているが、サイズが大きくマイクロフライングロボットに搭載することは難しいと考えた。そこで制御装置の開発においては軽量・小型化に適しているPICを使用したプログラム開発環境を標準化して実用面を重視したシステム構築を実施してその性能を評価する。

## 4. 研究成果

本報告では、機体設計において飛行の安定化制御のために重要なアクティブ重心移動機構とPID制御を組み合わせた複合制御方式およびアクティブ重心移動機構のみの制御方式による飛行の安定性能について比較した。

### (1) 重心位置合わせ機構

機体を安定して離陸させるために、可動式の錘をマイクロフライングロボットの前面に取り付け、前後左右における重心の微調整を可能にする装置の詳細を図1に示す。

さらに、機体の重心を自動的に認識して制御するサーボ付アクティブ重心移動機構の詳細を図2に示す。この機構は、機体の安定化を早急に実施する必要から、動力用バッテリーを重心の調整錘として利用している。

### (2) マイクロフライングロボット

各工程で部品の設計製作・組み立てを実施

し、動作確認後、図3に示すフライングロボットを製作して飛行試験を実施した。また、完成されたマイクロフライングロボットの概要を示す。

### (3) ホバリング試験

図4の(1)に制御なしの飛行状態結果、(2)にアクティブ重心移動機構のみの制御結果、(3)にアクティブ重心移動機構とPID制御を組み合わせた制御結果を示す。また、制御時における中心からの移動距離を平均した値と同様の標準偏差を表1にまとめて示す。設計時においては、安定した飛行を予測していたが、離着陸試験を実施時にフライングマシンが想定以上に自転する現象が現れた。これは、メインロータの二重反転機構により上下のロータの慣性モーメントを釣り合わせているが、スタビライザーから発生される慣性モーメントを考慮していないことが原因であった。このため、この自転現象を制御するための舵機構が安定して動作するようにロータの回転数を低下させて改善した。表2に結果を示す。

表1 移動距離 (mm)

	Average	Standard deviation
(a)	230	185
(b)	120	95

表2 回転速度 (rpm)

	With an adjustment weight	Without an adjustment weight
Revolution	15	78

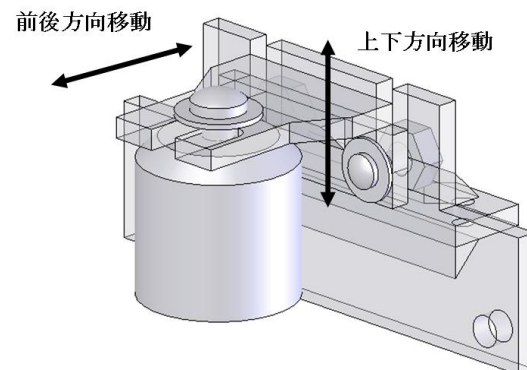


図1 重心制御装置

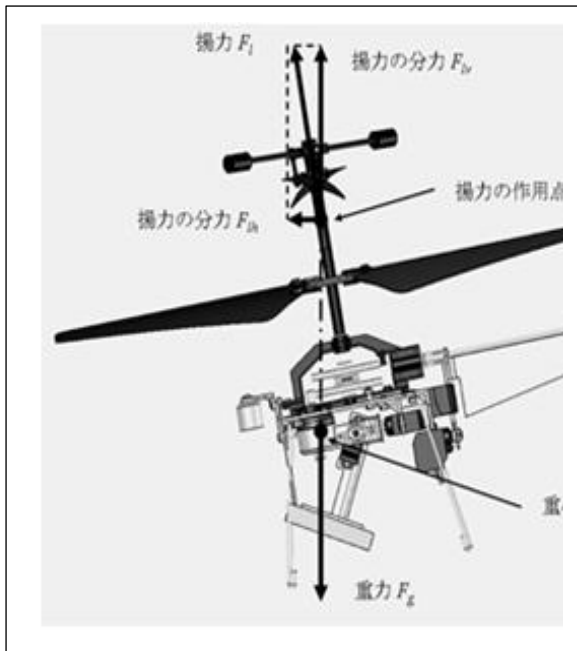


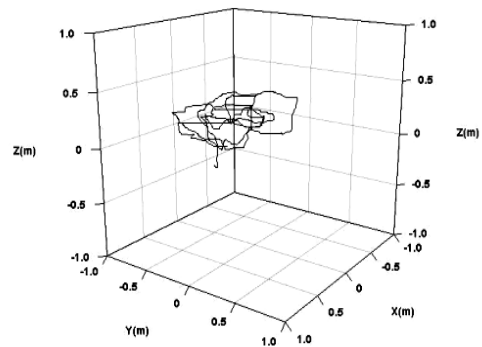
図2 アクティブ飛行バランス装置



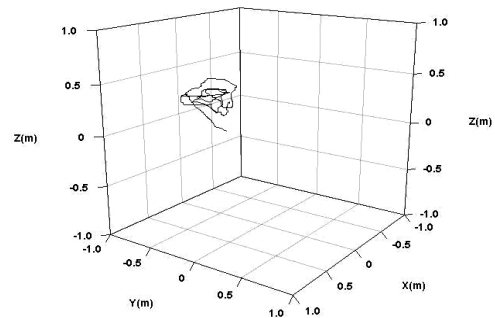
図3 マイクロフライングロボット

制御を実施しない場合は、機体が非常に不安定であり縦方向及び横方向のバランスが失われてその飛行幅は中心から平均移動距離で半径約 400mm 以上の移動が認められた。しかし、アクティブ重心移動機構を用いた制御を実施すると平均移動距離で半径約 230mm 程度に減少され安定化されている。さらに、アクティブ重心移動機構に PID 制御を組み合わせた制御を実施した場合の平均移動距離は半径約 120mm 程度に減少されて安定した飛行が可能であると認められた。これらの結果から、複合制御を実施することによる移動のずれが減少し、ばらつきも減っている

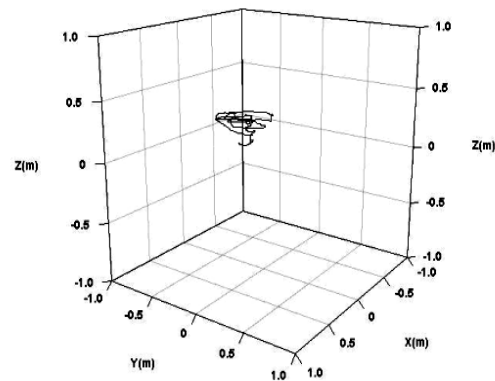
ることが証明され、アクティブ重心移動機構に PID 制御を組み合わせた制御による操縦補助機能の有効性を確認することが出来たと考える。しかし、この試験では、不確定な要素が多く含まれるため、より正確な性能を評価できるように試験評価方法や計測技術等の向上が求められる。また、本試験では PID による検討を実施したが、カメラによる目標制御や他の制御方法による試験を実施しその比較評価も重要であると考えられた。



(1) 制御ナシ



(2) PID 制御



(3) 重心制御と PDI 制御

図4 飛行制御の結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 15 件)

(査読論文)

- (1) N.Shimoi, Y.Takita, Development of wheel robot and micro fling robot using for rescue scenarios. American Journal of Remote Sensing issued by Science Publishing Group. Vol 1, No2, pp33-37 (2013.4)
- (2) N.Shimoi, Y.Takita, Remote Mine Sensing Technology by Using IR Images, American Journal of Remote Sensing issued by Science Publishing Group. Vol 1, No3, pp61-66 (2013.6)
- (3) 間所洋和, 下井信浩, 佐藤和人, 加速度センサ内蔵枕を用いた機械学習に基づく離床行動予測, 「SSI2012 特集—つながる／つなげるシステム・情報技術—」特集号 SICE 印刷決定 (2013.5)
- (4) 下井信浩, 西條雅博, ピエゾケーブルを用いた橋梁の振動特性モニタリングセンサ計測時動制御学会「社会のなかの制御理論・社会のための制御技術」特集号, Vol49, No2, pp316-318 (2013.2)
- (5) 間所洋和, 下井信浩, 佐藤和人, 圧電素子を用いた非拘束センサシステムによる離床行動予測, (2013-01-22) TRANS-JSME-D-13-00071 日本機械学会 (C編) Vol79, 800号, pp128-139 (2013.4)
- (6) 下井信浩, 西條雅博, 間所洋和, ピエゾケーブルを用いた橋梁の振動モニタリングセンサ, 日本機械学会第19回鉄道技術シンポジウム講演論文集, 1313, pp511-515, 2012.12.5
- (7) N.Shimoi and H. Madokoro, Flight Stabilization of Micro Flying Robot for Rescue Scenarios”, International Journal of Automation, Robotics and Autonomous Systems . ICGST-ARAS Journal, Volume 12, Issue 1, pp11-15, (2012/12)
- (8) N.Shimoi, C.H.Cuadra, H.Madokoro, and M.Saijo, Simple Smart Piezoelectric Bolt Sensor for Structural Monitoring of Bridges, International Journal of Instrumentation Science 2012, Vol.1(5), pp78-83 (2012.12)
- (9) 下井信浩, 西條雅博, 橋梁の危険予知用簡易スマートセンサの開発, 計測自動制御学会「センシングフロンティア」特集号, Vol48, No12, pp816-821 (2012.12)
- (10) 下井信浩, 西條雅博, 無電源スマートセンサを用いたヘルスマニタリングシステム, 平成12年度日本機械学会年次講演論文集, J183011, 2012.9.10
- (11) 下井信浩, 間所洋和, 無電源荷重センサによる離床予想の研究, 平成12年度日本機械学会年次講演論文集, J165041, 2012.9.12(15)
- (12) 下井信浩, 野澤岳人, 小型自律飛行ロボ

ットの開発と垂直離着陸試験、平成23年度日本機械学会東北支部日本機械学会東北支部第47期秋季講演論文集, pp108-109, 2011.9.21

(13) 小野隆嗣, 石井雅樹, 下井信浩, 雪崩遭難者捜索支援ロボットの開発, 平成23年度日本機械学会東北支部第47期秋季講演論文集, pp102-103, 2011.9.21

(14) 下井信浩, 滝田好宏, Remote mine sensing technology using a Mobile Wheeled Robot RAT-1, Proceedings of the International Conference on Control Automation and Systems. ICCAS 2010, TE06-4(5)(2010.10)

(15) 小平豊, 下井信浩, 石井雅樹, フライングロボットの垂直離着陸制御に関する研究, 日本機械学会東北学生会第40回卒業研究発表講演会講演論文集, pp. 1896-197, (2010.3)

〔学会発表〕(計5件)

- (1) 下井信浩, 西條雅博, 間所洋和, ピエゾケーブルを用いた橋梁の振動モニタリングセンサ, 日本機械学会第19回鉄道技術シンポジウム講演論文集, 1313, pp511-515, (2) 2012.12.5, 東京大学生産技術研究所
- (2) 下井信浩, 西條雅博, 無電源スマートセンサを用いたヘルスマニタリングシステム, 平成12年度日本機械学会年次講演論文集, J183011, 2012.9.10, 金沢大学
- (3) 下井信浩, 間所洋和, 無電源荷重センサによる離床予想の研究, 平成12年度日本機械学会年次講演論文集, J165041, 2012.9.12(15), 金沢大学
- (4) 下井信浩, 野澤岳人, 小型自律飛行ロボットの開発と垂直離着陸試験、平成23年度日本機械学会東北支部日本機械学会東北支部第47期秋季講演論文集, pp108-109, 2011.9.22, 山形大学
- (5) 小野隆嗣, 石井雅樹, 下井信浩, 雪崩遭難者捜索支援ロボットの開発, 平成23年度日本機械学会東北支部第47期秋季講演論文集, pp102-103, 2011.9.22, 山田他大学
- (6) 下井信浩, 滝田好宏, Remote mine sensing technology using a Mobile Wheeled Robot RAT-1, Proceedings of the International Conference on Control Automation and Systems. ICCAS 2010, TE06-4(5)(2010.10), Gyeonggi-do, Korea

〔図書〕(計0件)

なし

〔産業財産権〕

○出願状況(計2件)

名称: ボルト型ひずみ検出器

発明者: 下井信浩 応用地質(株)

権利者：秋田県立大学 応用地質(株)  
種類：特許  
番号：特願 2012-45605  
取得年月日：2012. 3  
国内外の別：国内  
名称：知能化離床・離床予測システム  
発明者：下井信浩  
権利者：秋田県立大学  
種類：特許  
番号：特願 2011-48370  
出願年月日：2011. 3. 6  
国内外の別：国内

(1)研究代表者

下井 信浩 (SHIMOI NOBUHIRO)  
秋田県立大学・システム科学技術学部・  
教授  
研究者番号：10300542

(2)研究分担者

石井 雅樹 (ISHII MASAKI)  
秋田県立大学・システム科学技術学部・  
助教  
研究者番号：10390907

(2) 連携研究者

なし