

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06279

研究課題名（和文）自動脱着機能を有するモジュール型狭隘空間探査ロボットの開発

研究課題名（英文）Development of modular narrow space exploration robot with automatic detaching unit

研究代表者

内田 敬久 (Uchida, Yoshihisa)

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：20367626

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、自動脱着を有するモジュール型の狭隘空間探査ロボットの開発を行った。災害現場の建物内部や配管のような複雑な狭隘空間を探索するため、形態の変更ができるモジュール型ロボットとし、さらにモジュールの自動脱着機能を付与した。モジュールの脱着機構の設計製作、モジュールの相対位置測定方法、移動方法の確立の3項目についてシミュレーション及び試作したロボットにより評価し、モジュール型狭隘空間探査ロボットの重要技術を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自動脱着機能をもつモジュール型ロボットの実現は、従来のロボットの移動速度や踏破性を維持しつつ、課題である自身の大きさによる移動制限を格段に小さくなるため、狭隘空間の探索に対して大きなアドバンテージとなると考えられる。日本が現在抱えている災害時の倒壊した建物の状況把握や戦後整備され老朽化した上下水道管などの社会インフラの点検の両方に大きく貢献できるものと考ええる。

研究成果の概要（英文）：In this research, a new type of modular narrow space exploration robot with automatic detaching unit is developed. We developed modular robot that can respond to a range of terrain and disaster scenarios. The Developed modular robot can be variously configured. This is an advantage for situations in which terrain information is not available before deployment because the robot can morph into an appropriate form based on sensor data on inspecting a site. Therefore, we proposed an automatic detaching unit, a relative position measurement method and a moving method. These proposal contents are evaluated by simulation and demonstration experiments using a prototype robot. From the results, we have developed important technology for modular narrow space exploration robot.

研究分野：ロボティクス

キーワード：モジュールロボット 探査ロボット 自動脱着 モジュール 移動ロボット

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、熊本地震をはじめ地震が頻発し建物の倒壊により多くの人命が失われている。建物の倒壊時、狭隘空間に閉じ込められた要救助者の救出には、要救助者の位置や怪我の状態、倒壊した建物の状況の把握が必要である。また近年、戦後整備された社会インフラの上下水道管などは老朽化が進んでいる。老朽化した管が漏れや破裂などに発展すると多大な被害や不便を強いることとなるため、検査が必要である。このように狭隘空間を移動可能な探査ロボットの開発は現在の日本における重要な課題である。

2. 研究の目的

本研究では、自動脱着を有するモジュール型の狭隘空間探査ロボットの開発を目的とする。配管のような狭隘空間を探索するロボットは、空間よりもロボットを小さくすることが移動のための必須条件である。しかし通常のロボットの大きさは製作した時点で決まり、ロボットは自身の大きさより小さい空間を移動することはできない。そこで形態の変更ができるモジュール型ロボットに注目する。さらにモジュールの自動脱着機能を付与すれば、モジュールのサイズまで大きさを小さくすることができる上、分離と接続を繰り返して移動することが可能となる。そこで本研究では、自動脱着機構を有するモジュールを設計製作し、脱着を繰り返す移動方法を確立することで、配管を対象としてロボットの3次元移動を実現する。

3. 研究の方法

本研究の自動脱着機能を有する狭隘空間探査ロボットの試作を達成するための重点研究項目は、モジュールの脱着機構の設計製作、モジュールの相対位置測定方法とセンシングシステム開発、モジュールの移動方法の確立の3つである。そこで、具体的には以下の内容を実施する。

- ・脱着機構の設計・製作
- ・センシングシステムの設計・製作
- ・モジュールロボットの試作
- ・シミュレーション及び実証実験による移動方法の提案・検証
- ・研究総括

4. 研究成果

(1)脱着機構の設計・製作

脱着機構は機械的強度を十分にもった機構を有しつつ小型化しなければならない。そこで試作ロボットによる接続時の3次元的位置ずれや応力集中、モータへの負荷について検証を行った。様々な接続形態における各モジュールの関節部の特性を実験により評価した。実験では、特に高い負荷がかかると予想されるメカナムホイールを有する車輪モジュールとユニバーサルジョイントによる2自由度を有する関節モジュールを用いた。実験結果より、メカナムホイール型モジュールの駆動軸部分の変形、四脚形態において接続部のたわみやモータへの高い負荷が確認された。脱着機構の強度設計のための有効なデータを得ることができた。

強度設計と並行して脱着機構の設計を行った。脱着機構は短い脱着時間と単純な機構を有しなければならない。製作した脱着機構は、ツメを有した開閉式機構及び機械的強度を持たせた回転式機構の2種類である。各機構の概略図を図1, 2にそれぞれ示す。開閉式機構は、カメラを内蔵し、接続時のセンサとして利用できるようにしている。回転式機構は、オスメスがなくどのモジュールとも接続が可能な機構を有している。脱着機構に関する評価は、モジュールの進入角度や接続時間を評価項目とし検証を行った。進入角度はモジュールの移動精度及びセンサの精度に対して十分余裕を持つ結果を得られた。接続時間は、想定より時間がかかる結果となったが、センサの接続判定を調節することで改善が可能であることがわかった。モジュールの分離は、接続の逆工程で実現可能であることが実験的にも検証できた。

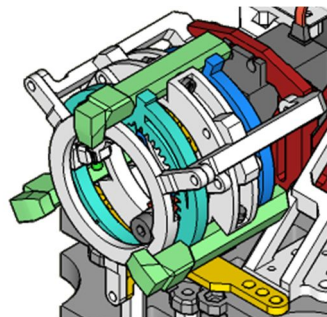


図1 開閉式脱着機構

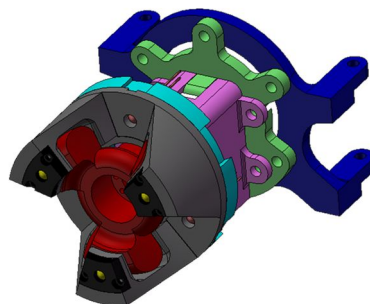


図2 回転式脱着機構

(2)センシングシステムの設計・製作

はじめに、近接距離での用途として赤外線による簡易システムを提案し検討を行った。2台の試作機による追従実験の結果、本方式のみでは目標とする着脱時間の達成は困難であることがわかったため、計画を変更し LRF やカメラ、高精度慣性計測装置 IMU センサによる位置把握の検討

を進めることとした。次に、モジュール同士が接続されているときに各モジュールから得られる相対位置は既知であることを利用した、ガウシアンフィルタの一つであるカルマンフィルタにより状態推定し学習させ補正処理を行うシステムの検討を行った。これらの結果より、距離センサ（LiDAR）を主として開発中の IMU センサ、カメラ等を統合したシステムによる実現の可能性を見出すことができた。また、当初予定していなかったが、追加の機能として人体利用に設計した音による音源位置推定方法をロボットの自己位置推定に応用することを検討し、10 度程度の方向精度を得られた。モジュール外皮の圧力センサについては、搭載の可否も含め残された課題である。

(3)モジュールロボットの試作

ロボットの試作については、脱着機構及び相対位置関係の把握のためのセンシングシステムの設計を踏まえ、モジュールの全体設計を行い、図3に示す試作ロボットを製作した。モジュールは、脱着機構に加えモジュール周りの障害物や他のモジュールを検知することができる LiDAR を搭載した。これはモジュールの脱着時や狭隘空間の移動時に利用できると考えている。搭載するセンサの選定及び動作の実現を重視したため、試作モジュールの大きさは実際に想定しているモジュールより 1.5 倍ほど大きい長さ幅高さともに約 200mm の設計とした。機構の小型化と脱着時間の短縮が残された課題である。

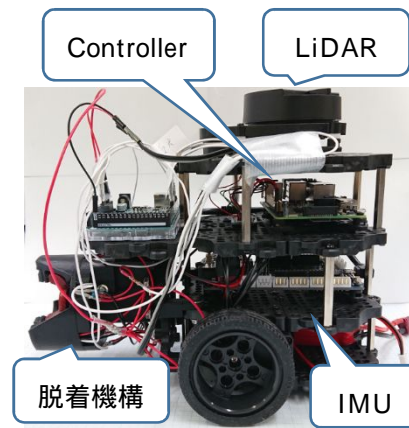


図3 モジュールロボット

(4)移動方法の提案・検証

はじめに、試作モジュールの仕様として対向2輪型の独立駆動を想定し、モジュール単体移動と複数連結移動についてシミュレーションにより検討を行った。モジュール単体の移動及びモジュール脱着のアプローチについては、ROS を用いて環境を構築しシミュレーションにより検証し提案方法での実現性を確認できた。

実証実験のための実験環境は比較のためシミュレーションと同条件とし製作した。モジュール接続時のタイヤの滑りによりセンシングシステムによる自己位置推定と地図生成の精度が低下し、想定する狭隘空間での実験において無視できないほど制御に影響を与えることが予備実験により判明した。そこで、移動性能の評価を優先して行うため、制御に影響を与えない程度の空間を確保した実験環境とした。脱着方法を含む移動方法を製作したモジュールに実装し移動性能を評価した。評価は、実測値としてモーションキャプチャによりモジュールの動作を測定し、制御アルゴリズムの確立、制御条件の最適化を探るとともに問題点の洗い出しを行った。図4-6に示す結果の一例のように実証実験では、シミュレーション実験同様、モジュールが LiDAR をはじめとするセンシングシステムにより環境地図を構築し、接続対象のモジュールの相対位置を把握し、モジュールの移動およびモジュールの自動接続を実現した。また、分離及び目標位置までの単体移動についても実現した。しかしながら、自己位置推定精度の低下により接続に失敗する場合も見られたため、精度向上及び制御アルゴリズムの改良が必要である。



図4 シミュレーション

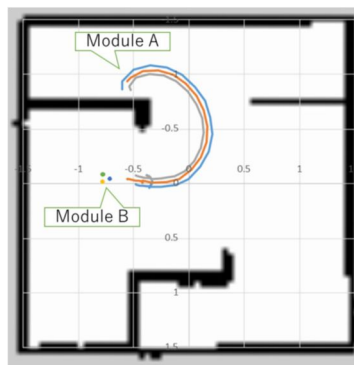


図5 動作軌跡(自己位置推定)

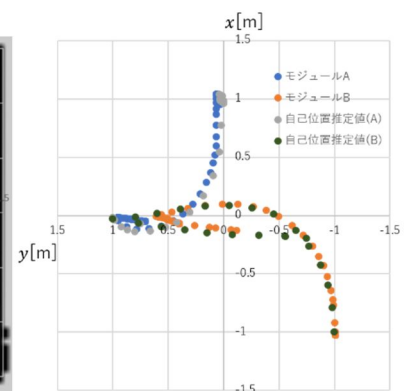


図6 動作軌跡(実測値)

(5)研究総括

研究総括として、自動脱着機能を有するモジュール型の狭隘空間探査ロボットの開発を目的として研究を行った。自動脱着によるモジュール型ロボットはこれまでにない新しい試みであり、モジュールの脱着機構の設計製作、モジュールの相対位置測定のためのシステムの構築、モジュール脱着及び移動方法の確立の3項目について、試作したモジュールにより実現した。今後の展望としては、実環境への適用を目指すことである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Uchida Yoshihisa, Saito Tamon, Hatakeyama Tasuku	4. 巻 59
2. 論文標題 Development of a multi-purpose module system using Mecanum wheel module	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics	6. 最初と最後の頁 967 ~ 975
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3233/JAE-171096	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 加藤久弥、内田敬久
2. 発表標題 モジュールロボットの自動脱着手法の評価
3. 学会等名 日本機械学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今田康裕, 鈴木涼汰, 内田敬久
2. 発表標題 草刈ロボットの草刈時の負荷特性評価
3. 学会等名 日本機械学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 後藤健汰、内田敬久
2. 発表標題 音源方向推定装置および振動型提示端末の性能評価
3. 学会等名 日本機械学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 後藤健汰、内田敬久
2. 発表標題 屋外における音源方向推定装置による音源位置推定方法の評価
3. 学会等名 日本機械学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤久弥、内田敬久
2. 発表標題 モジュールロボットの自動接続実験
3. 学会等名 電気学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤大貴 内田敬久
2. 発表標題 ベルトコンベア機構を用いた荷物運搬ロボットの性能評価
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤久弥 齊藤多聞 内田敬久
2. 発表標題 関節を有する車輪型汎用モジュールシステムの提案
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 神田雄輝 大西勝之 五十川慎 内田敬久
2. 発表標題 携帯型音源方向推定装置による音源位置推定方法の提案
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryota Suzuki, Yoshihisa Uchida
2. 発表標題 Characteristics of a Mower Robot with Swing Mower Mechanism by Simulation
3. 学会等名 Proceedings of the 15th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今田康裕 鈴木涼汰 内田敬久
2. 発表標題 草刈ロボットにおける草刈刃の不可トルクシミュレーション
3. 学会等名 第61回自動制御連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤久弥 内田敬久
2. 発表標題 モジュールロボットの自動接続手法の提案
3. 学会等名 平成31年電気学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神田雄輝 内田敬久
2. 発表標題 音源方向推定を用いた音源位置推定方法の提案
3. 学会等名 平成31年電気学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齊藤多聞, 内田敬久
2. 発表標題 能動関節を有する多車輪駆動ロボットの伝播制御の適用
3. 学会等名 日本機械学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshihisa UCHIDA, Tamon SAITO, Tasuku HATAKEYAMA
2. 発表標題 Development of Multi-purpose Module System using Mecanum Wheel Module
3. 学会等名 International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 神田雄輝、内田敬久、澤井雄輝、鈴木綾
2. 発表標題 聴覚障がい者のための音源方向推定装置の開発
3. 学会等名 ライフサポート学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 齊藤多聞, 加藤久弥, 内田敬久
2. 発表標題 車輪型汎用モジュールロボット (MMS-V02) の移動シミュレーション
3. 学会等名 電気学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	加藤 久弥 (Kato Hisaya)		