

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月14日現在

機関番号：56302

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K21582

研究課題名(和文) 船舶火災における探査活動が可能なレスキューロボットの開発

研究課題名(英文) Development of the rescue robot that is capable of surveying a ship at the time of disaster

研究代表者

前田 弘文(Maeda, Hirofumi)

弓削商船高等専門学校・情報工学科・准教授

研究者番号：10541930

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：船舶で発生した火災事故への対応として、小型で小回りが利く、レスキューロボットの開発を行った。その際、従来のモータをRCサーボモータへと変更するとともに、自重を抑えることで、結果としてバッテリーの小型化にも成功した。また、船上ではロボットが波の影響を受けることから、実際に本校が所有する栈橋を用いて、波の計測および解析を行った。さらに、ロボットの自己位置修正機能としてARマーカーの認識機能も搭載した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

船舶で発生した火災事故への対応は、主に船員が行っているが、火災事故の現場での探査は、熱や煙、風波などの影響を受けるため、陸上に比べて極めて困難である。そのため、船舶火災における探査活動が可能なレスキューロボットの開発を行うことは、火災事故発生時の探査活動を容易にするだけでなく、レスキューロボットが探査活動時の危険性を肩代わりすることとなり、結果として船員の身の安全が保証される。

研究成果の概要(英文)：As a response to a fire accident that occurred on a ship, we developed a small rescue robot that is able to small-turning. And the conventional motor was changed to an RC servo motor. As a result, the battery was successfully miniaturized because the self-weight was suppressed. In addition, from that it is affected by waves on the ship, we measured and analyzed waves using a pier owned by our school. Furthermore, it also has an AR marker recognition function in order to do a robot's self-position correction.

研究分野：ロボティクス

キーワード：レスキューロボット 船舶火災 自己位置推定

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

東日本大震災や阪神大震災、アメリカ合衆国で起きた同時多発テロなど大規模な災害や事件などを我々は目の当たりにしている。このような現場において、救助活動を行っている隊員は常に2次災害の危険にさらされている。これらの2次災害を軽減させるためには、被災者の正確な位置や倒壊状況を安全かつ迅速に把握し、詳細な救助計画を立てる必要がある。そこで現在、災害現場において2次災害を伴わず情報を迅速に得る方法として、レスキュー機器やレスキューロボットの研究が盛んに行われている。特に災害探査用レスキューロボットの開発が盛んで、国内においては、Quince, UMRS, KOHGA など日本を代表するロボットが開発されている。また、米国では軍事兵器である Talon, PackBot, Matilda などの開発が行われている。

一方、海上に目を向けてみると海上を活動現場とするレスキューロボットの研究開発は鳴りを潜めている。2015年7月31日に発生した北海道苫小牧市の商船三井フェリー「さんふらわあ だいせつ」の火災事故は記憶に新しい。このような事故が頻繁に発生しているにもかかわらず、研究が活発化しない大きな原因の1つとして、レスキューロボットの研究開発の多くが教育機関によって行われていることが挙げられる。これは教育機関で海上実験を行うためにはそれなりの施設が必要となり、実験可能な機関に限られるからである。また、もう1つの原因として波による影響が挙げられる。これまで陸上を想定してきたレスキューロボットの多くは、ロボット内部に搭載された加速度センサによって、自身の自己姿勢を検知している。しかし、波の影響を受ける船舶では波の揺れが加速度センサのデータに加算されるため、これらのデータがまったく意味をなさない。さらに船舶で火災が発生した場合は、狭隘空間に煙が充満することでカメラの視界が遮られ、探査活動の難易度が大幅に高くなる。

### 2. 研究の目的

本校が所有する練習船弓削丸を用いて、波の基礎データを測定・解析し、インターネット通信によってデータの共有化を実現する。また、実験用の試作機を製作し、動作実験を行い問題点を洗い出す。最終的に、船内狭隘部での探査活動を可能とするために、従来のレスキューロボット(UMRS-2010)よりサイズを縦横2/3以下、重量を1/4以下とする小型災害探査用レスキューロボットを実現する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 船舶を隈無く探索するための小型化

船舶は一般の建造物に比べて狭い場所が多く、従来のレスキューロボットでは小回りが利かない恐れがある。そこで、瓦礫などの走破を必要としないことを考慮し、モータをDCモータからRCサーボモータへ変更することで自重を抑え、バッテリーの小型化に結びつけるとともに、ロボット本体も大幅な小型化を行う。

#### (2) 波の振動解析による姿勢の検出 (Fig. 1)

船上では船の揺れによって、ロボットの加速度センサから姿勢を検知することができない。そこで、船内のカメラなどの固定された場所に加速度センサを取り付けることで、波の振動を検知する。検知した波データは、無線LANによってロボットに送信し、ロボットの加速度センサのデータから波データを除去することで、姿勢検出を行う。また、カメラの視界がクリアな場合においては、ロボットの絶対位置を計測し、自己位置補正も行う。

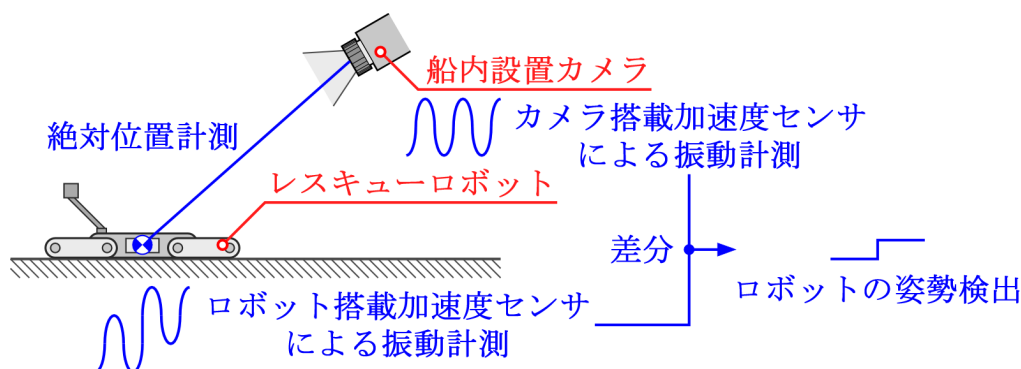


Fig. 1 固定加速度センサによる姿勢検出

#### (3) 床面マーカ認識による自己位置補正 (Fig. 2)

火災発生時は視界が悪く周りを見渡すことができないため、ロボットのカメラを用いて操作している操縦者は、自己位置を見失いやすい。しかし、煙は上空へあがる性質があるため、比較的床面は見通しがよい。そこで、床面にマーカを設置することで、自己位置補正を行う。なおマーカは、AR技術を用い認識することで、マーカの方角、ID、絶対位置を取得することができる。

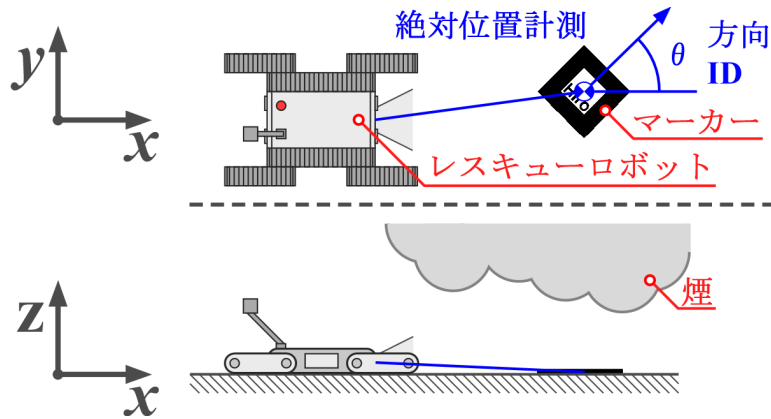


Fig. 2 床面マーカによる自己位置補正

#### 4. 研究成果

##### (1) 船舶を隈無く探索するための小型化

先で述べたようにモータをRCサーボモータに変更することで、モータの重量が大幅に軽減され、結果として全体重量も軽くなる。その結果、バッテリー自体も軽く、小さくすることが可能となる。しかし、小型・軽量化を行うためには、まだ多くの制約がある。以下にその制約条件を示す。

- ①階段や段差の上り下りの関係上、フリッパーを一定以上の長さにする必要がある。
- ②RCサーボモータの破損防止、およびRCサーボモータの速度とトルクの関係上、プーリー機構を付加しなければならない。なお、カップリングとギアによる組み合わせ方法については、機構としては問題がないものの、ギアによるバックラッシュがあることとプーリー機構以上にスペースを取ることから使用できない。
- ③フリッパーおよびクローラの関係上、ロボットの横幅がプーリー幅の4倍以上必要で、加えてプーリー機構の横幅を含んだものが最終的なロボットの横幅となる。
- ④RCサーボモータを使用する関係上、10 [kg]以下の本体重量にしなければならない。また、将来的にオプションを付加することを考慮し、7 [kg]以下になることが望ましい。
- ⑤オプションを搭載する関係上、ロボットの上面はできるだけフラットな構造とし、高さも100~150 [mm]程度が望ましい。

最後にこれらの条件を元に設計した新型レスキューロボットの3DCGデータをFigure 3に示す。

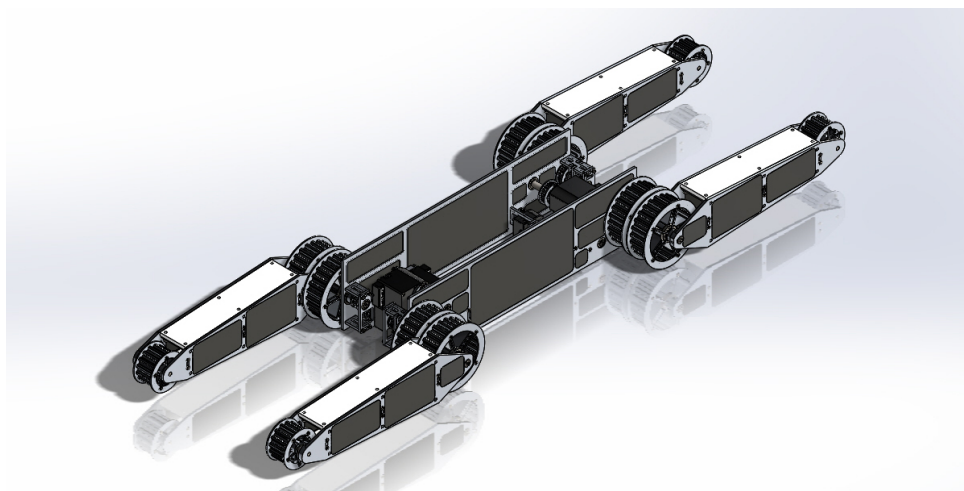


Fig. 3 新型レスキューロボットのフレーム

##### (2) 波の振動解析による姿勢の検出

波浪データの取得は、地面が固定された陸地から計測できる場合においては、位置デ

ータが得られることから容易である。しかし、実際の検証には沖に出た際の波浪データが必要であり、この方法を用いることはできない。そのため、位置情報以外のデータ（加速度や角速度など）を用いて波浪データの推定を行う必要がある。そのために、大きく分けて以下の3つの処理を行う。なお、船内設置カメラを利用する方法は、予算配分の減額に伴い、今回は見送った。

①加速度における座標変換

レスキューロボットに搭載した小型センサユニットから得られた角度を、絶対座標系に変換することで、常に加速度を絶対座標系で捉える。

②重力加速度の除去

絶対座標系における加速度より、重力加速度を除去することで、純粋な波の影響を得ることができる。

③離散データを考慮した積分近似

②で得られた波の加速度を積分することで、速度を得ることができる。ただし、実際に得られるセンサ値が離散データであることを考慮する必要がある。

実際に本校が所有する練習船弓削丸のための栈橋を用いて、2018年1月6日に計測を行った。この計測データを基に、ラグランジュ補間式を用いて補間を行った (Figure 4)。なお図4の計測時間は、10時4分から1分間である。本校は愛媛県越智郡上島町に位置しており、同時刻の愛媛県今治市小島の潮汐による水位の上昇は、12 [mm/min]である。Fig. 4のデータの線形近似 (赤の直線) の傾きが11.85 [mm/min]であることからほぼ一致する。

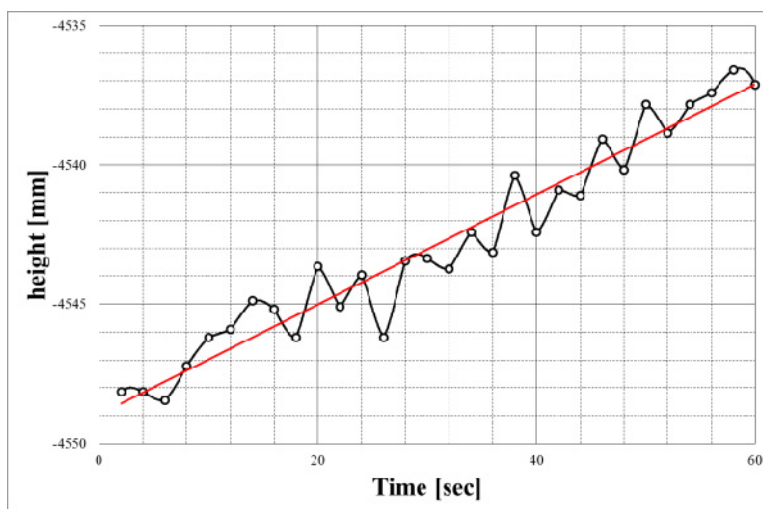


Fig. 4 波浪データの推定結果

(3) 床面マーカー認識による自己位置補正

床面マーカーには ARToolKit を使用しているが、マーカーの平面情報 (カメラ座標系における  $x$  成分,  $y$  成分) を基に位置・姿勢を導出するため、奥行き (カメラ座標系における  $z$  成分) と姿勢の精度において信頼性に欠ける。そこで、1つのマーカーだけに頼るのではなく、3つのマーカーを用いてマーカーの平面情報にできる限りウェイトをかける計測方法を提案した。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計4件)

- ① 荻田 優海, 前田 弘文, センサユニットを用いた波浪変位の推定, 中国四国学生会第48回学生員卒業研究発表講演会, 2018年
- ② 越智 舜介, 前田 弘文, 疑似波浪発生ジンバルの評価波浪データの取得, 中国四国学生会第48回学生員卒業研究発表講演会, 2018年
- ③ 浜田 翔, 前田 弘文, レスキューロボットのための減衰振動推定, 中国四国学生会第48回学生員卒業研究発表講演会, 2018年
- ④ 前田弘文, 伊藤嘉基, 船舶探査用レスキューロボットの試作, 中国四国支部第55期総会・講演会, 2017年