

# 船舶探査用レスキューロボットの研究開発

## —第2報：センサユニットを用いた波浪データの取得方法—

前田 弘文\*・伊藤 嘉基\*\*

### Development of a rescue robot for exploration in ship

#### —Report 2: Method of obtaining wave data using sensor unit —

Hirofumi Maeda\*

#### Abstract

This paper describes method of obtaining wave data for wave-generator using sensor unit. Sensor unit can measure acceleration, degree and angular velocity. After sensor coordinate of measured acceleration data has been transformed into world coordinate, gravitational acceleration is removed from the value. Subsequently, displacement of wave is estimated from measured acceleration data by multiple integral.

#### 1. 緒 言

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<sup>[1]~[4]</sup>。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<sup>[5]~[7]</sup>。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。我々もNEDOによる"戦略的要素技術開発プロジェクト"において、UMRSの開発に参画し、現在も研究を継続中である<sup>[8]~[12]</sup>。

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。平成27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。

そこで本研究では、これらの問題を解決するために小型・軽量で船内も探索が可能なレスキューロボットの開発を目指す。しかし、実際に開発を行っていく上で、再々に渡って船上で実験を行うことは、コスト的にもスケジュール的にも容易ではない。そこで、波浪を再現するための疑似波浪発生ジンバルの開発を試みる。本論文では、このジンバルへの入力データとして、小型センサユニットを用いた波浪データの取得方法について述べる。

#### 2. 波浪データ取得における課題

波浪データの取得は、地面が固定された陸地から計測する場合においては、位置の差分データが得られることから容易である。しかし、実際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。そこで、位置情報以外の加速度や

\*情報工学科

\*\*技術支援センター

角速度などから波浪データを推測するほかない。そのため今回は、加速度、角速度、角度のそれぞれ 3 軸、計 9 軸を有する小型センサユニットを想定して理論を確立する。

今回、推定するにあたって以下の 4 つの問題を解決しなければならない。

#### ①波浪による小型センサユニットの姿勢変化

常に小型センサユニットは、波によって揺れるため、その時々をの姿勢を考慮しなければならない。

#### ②重力加速度の影響

小型センサユニットの加速度成分には、重力加速度が含まれる（影響される）ため、重力加速度成分を除去しなければならない。

#### ③直接的な位置情報の取得が行えない

先で述べたように、位置情報以外の情報から波浪データを推定しなければならない。

#### ④離散値しか得られない

センサから得られるデータが離散値であるため、連続データとしての補完処理が必要である。

### 3. 加速度における座標変換

小型センサユニットから得られた角度から、加速度をセンサ座標系から絶対座標系に変換すると式 (1) が得られる。これにより、常に加速度を絶対座標系で捉えることができるため、疑似波浪発生ジンの波浪データとして用いることができる。

$\mathbf{g}$  : 重力加速度 (絶対座標系)

${}^s P_x$  :  $\mathbf{g}$  を含むセンサの  $x$  座標 (センサ座標系)

${}^s P_y$  :  $\mathbf{g}$  を含むセンサの  $y$  座標 (センサ座標系)

${}^s P_z$  :  $\mathbf{g}$  を含むセンサの  $z$  座標 (センサ座標系)

${}^s P_\alpha$  : センサの  $x$  軸の回転角度 (センサ座標系)

${}^s P_\beta$  : センサの  $y$  軸の回転角度 (センサ座標系)

${}^s P_\gamma$  : センサの  $z$  軸の回転角度 (センサ座標系)

${}^o P_x$  :  $\mathbf{g}$  を含むセンサの  $x$  座標 (絶対座標系)

${}^o P_y$  :  $\mathbf{g}$  を含むセンサの  $y$  座標 (絶対座標系)

${}^o P_z$  :  $\mathbf{g}$  を含むセンサの  $z$  座標 (絶対座標系)

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} {}^o P_x \\ {}^o P_y \\ {}^o P_z \end{bmatrix} &= R_\gamma R_\beta R_\alpha \begin{bmatrix} {}^s P_x \\ {}^s P_y \\ {}^s P_z \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos {}^s P_\gamma & -\sin {}^s P_\gamma & 0 \\ \sin {}^s P_\gamma & \cos {}^s P_\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos {}^s P_\beta & 0 & \sin {}^s P_\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin {}^s P_\beta & 0 & \cos {}^s P_\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos {}^s P_\alpha & -\sin {}^s P_\alpha \\ 0 & \sin {}^s P_\alpha & \cos {}^s P_\alpha \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

### 4. 重力加速度の除去

絶対座標系における加速度 (式 (1)) 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 (式 (2))。

${}^o P'_x$  : センサの  $x$  座標 (絶対座標系)

${}^o P'_y$  : センサの  $y$  座標 (絶対座標系)

${}^o P'_z$  : センサの  $z$  座標 (絶対座標系)

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} {}^o \ddot{P}'_x \\ {}^o \ddot{P}'_y \\ {}^o \ddot{P}'_z \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} {}^o \ddot{P}_x \\ {}^o \ddot{P}_y \\ {}^o \ddot{P}_z \end{bmatrix} - \mathbf{g} \\ &= \begin{bmatrix} {}^o \ddot{P}_x \\ {}^o \ddot{P}_y \\ {}^o \ddot{P}_z + \mathbf{g} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

### 5. 離散データを考慮した積分近似

式 (2) で得られた波の加速度を積分することで、式 (3) の速度を得ることができる。しかし、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し、近似式を用いて式 (4) とする。また、二重積分により位置は式 (5) とする。

${}^o\hat{P}'_x$  : センサの  $x$  座標の近似 (絶対座標系)

${}^o\hat{P}'_y$  : センサの  $y$  座標の近似 (絶対座標系)

${}^o\hat{P}'_z$  : センサの  $z$  座標の近似 (絶対座標系)

$$\begin{aligned} {}^o\dot{P}'_x = & \int \left\{ {}^s\ddot{P}_x \cos {}^sP_\gamma \cos {}^sP_\beta \right. \\ & + {}^s\ddot{P}_y \left( -\sin {}^sP_\gamma \cos {}^sP_\alpha \right. \\ & \left. + \cos {}^sP_\gamma \sin {}^sP_\beta \sin {}^sP_\alpha \right) \\ & \left. + {}^s\ddot{P}_z \left( \sin {}^sP_\gamma \sin {}^sP_\alpha \right. \right. \\ & \left. \left. + \cos {}^sP_\gamma \sin {}^sP_\beta \cos {}^sP_\alpha \right) \right\} dt \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}^o\dot{P}'_y = & \int \left\{ {}^s\ddot{P}_x \sin {}^sP_\gamma \cos {}^sP_\beta \right. \\ & + {}^s\ddot{P}_y \left( \cos {}^sP_\gamma \cos {}^sP_\alpha \right. \\ & \left. + \sin {}^sP_\gamma \sin {}^sP_\beta \sin {}^sP_\alpha \right) \\ & + {}^s\ddot{P}_z \left( -\cos {}^sP_\gamma \sin {}^sP_\alpha \right. \\ & \left. + \sin {}^sP_\gamma \sin {}^sP_\beta \cos {}^sP_\alpha \right) \left. \right\} dt \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}^o\dot{P}'_z = & \int \left( -{}^s\ddot{P}_x \sin {}^sP_\beta \right. \\ & + {}^s\ddot{P}_y \cos {}^sP_\beta \sin {}^sP_\alpha \\ & \left. + {}^s\ddot{P}_z \cos {}^sP_\beta \cos {}^sP_\alpha + g \right) dt \end{aligned}$$

${}^sP_{xn}$  :  $n$  番目の  $g$  を含むセンサの  $x$  座標  
(センサ座標系)

${}^sP_{yn}$  :  $n$  番目の  $g$  を含むセンサの  $y$  座標  
(センサ座標系)

${}^sP_{zn}$  :  $n$  番目の  $g$  を含むセンサの  $z$  座標  
(センサ座標系)

${}^sP_{\alpha n}$  :  $n$  番目のセンサの  $x$  軸の回転角度  
(センサ座標系)

${}^sP_{\beta n}$  :  $n$  番目のセンサの  $y$  軸の回転角度  
(センサ座標系)

${}^sP_{\gamma n}$  :  $n$  番目のセンサの  $z$  軸の回転角度  
(センサ座標系)

$$\begin{aligned} {}^o\hat{P}'_x = & \sum_{n=0}^{\infty} \left( {}^sP_{xn} \cos {}^sP_{\gamma n} \cos {}^sP_{\beta n} \right) \\ & - \sum_{n=0}^{\infty} \left( {}^s\ddot{P}_{yn} \cos {}^sP_{\gamma n} \cos {}^sP_{\alpha n} \right) \\ & + \sum_{n=0}^{\infty} \left( {}^s\ddot{P}_{zn} \cos {}^sP_{\gamma n} \sin {}^sP_{\beta n} \sin {}^sP_{\alpha n} \right) \\ & + \sum_{n=0}^{\infty} \left( {}^s\ddot{P}_{zn} \sin {}^sP_{\gamma n} \sin {}^sP_{\alpha n} \right) \\ & + \sum_{n=0}^{\infty} \left( {}^s\ddot{P}_{zn} \cos {}^sP_{\gamma n} \sin {}^sP_{\beta n} \cos {}^sP_{\alpha n} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}^o\hat{P}'_y = & \sum_{n=0}^{\infty} \left( {}^s\ddot{P}_{xn} \sin {}^sP_{\gamma n} \cos {}^sP_{\beta n} \right) \\ & + \sum_{n=0}^{\infty} \left( {}^s\ddot{P}_{yn} \cos {}^sP_{\gamma n} \cos {}^sP_{\alpha n} \right) \\ & + \sum_{n=0}^{\infty} \left( {}^s\ddot{P}_{zn} \sin {}^sP_{\gamma n} \sin {}^sP_{\beta n} \sin {}^sP_{\alpha n} \right) \\ & - \sum_{n=0}^{\infty} \left( {}^s\ddot{P}_{zn} \cos {}^sP_{\gamma n} \sin {}^sP_{\alpha n} \right) \\ & + \sum_{n=0}^{\infty} \left( {}^s\ddot{P}_{zn} \sin {}^sP_{\gamma n} \sin {}^sP_{\beta n} \cos {}^sP_{\alpha n} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}^o\hat{P}'_z = & - \sum_{n=0}^{\infty} \left( {}^s\ddot{P}_{xn} \sin {}^sP_{\beta n} \right) \\ & + \sum_{n=0}^{\infty} \left( {}^s\ddot{P}_{yn} \cos {}^sP_{\beta n} \sin {}^sP_{\alpha n} \right) \\ & + \sum_{n=0}^{\infty} \left( {}^s\ddot{P}_{zn} \cos {}^sP_{\beta n} \cos {}^sP_{\alpha n} \right) \\ & + ng \end{aligned} \tag{4}$$

(3)

(4)

$$\begin{bmatrix} \hat{P}'_x \\ \hat{P}'_y \\ \hat{P}'_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{n=0}^{\infty} \hat{P}'_{xn} \\ \sum_{n=0}^{\infty} \hat{P}'_{yn} \\ \sum_{n=0}^{\infty} \hat{P}'_{zn} \end{bmatrix}$$

## 6. 連続データの補完

小型センサユニットのサンプリング周期では、十分な連続性を確保できないため、式 (5) の離散データから連続データへと補完が必要となる。そこで補完方法として、波の波形が未知でも補間可能な区分的多項式曲線補間とニュートン補間、ラグランジュ補間の 3 つが挙げられる。その中でも、プログラム上の処理において、蓄積誤差が最も小さくなるラグランジュ補間 (式 (6)) を用いることが望ましい。

$v_n$  :  $n$  番目のサンプルデータ

$t_n$  :  $n$  番目のサンプリング周期

$$f(x) = \frac{v_n(t-t_{n-1})(t-t_{n-2})}{(t_n-t_{n-1})(t_n-t_{n-2})} + \frac{v_{n-1}(t-t_n)(t-t_{n-2})}{(t_{n-1}-t_n)(t_{n-1}-t_{n-2})} + \frac{v_{n-2}(t-t_n)(t-t_{n-1})}{(t_{n-2}-t_n)(t_{n-2}-t_{n-1})} \quad (6)$$

## 7. 結 言

今回我々は、ジンバルへの入力データとして、小型センサユニットを用いた波浪データの取得方法について述べた。今後は、実際に小型センサユニットを用いて、実機による検証を行い、実用化に向けて開発を進めていく予定である。

## 参考文献

[1] 田所 諭：文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト：ロボット等次世代防災基盤

技術の開発，日本ロボット学会誌，Vol.23，No.5，pp.541～543，(2005)

[2] 国際レスキューシステム研究機構：レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発 H14～17 報告書，大都市大震災軽減化特別プロジェクト，(2003-2006)

(5) [3] 文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト：レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発，総括成果報告書，(2007)

[4] 横小路 泰義：レスキューロボットの操縦インタフェース - 大大特「ヒューマンインタフェースグループ」の研究紹介-，日本ロボット学会誌，Vol.22，No.5，pp.566-569，(2004)

[5] 田所 諭：閉鎖空間内高速走行探査群ロボット，日本ロボット学会誌，Vol.27，No.10，pp.1107-1110，(2009)

[6] 佐藤 徳孝，松野 文俊：レスキューロボット遠隔操縦インタフェース技術，日本ロボット学会誌，Vol.28，No.2，pp.156-159，(2010)

[7] 大野 和則，城間 直司：レスキューロボットの遠隔操縦支援技術，日本ロボット学会誌，Vol.28，No.2，pp.160-163，(2010)

[8] 前田 弘文，藤田 和友，伊藤 嘉基，小林 滋，高森 年：遠隔協調作業を目的とした共通マニピュレータの研究開発，第 14 回システムインテグレーション部門学術講演会 (SI2013)，pp.1133-1136，(2013)

[9] 竹本 怜央，藤田 和友，伊藤 嘉基，前田 弘文：小型制御基板を用いたマニピュレータ制御，日本機械学会中国四国学生会第 44 回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集，613，(2014)

[10] 前田 弘文，伊藤 嘉基，小林 滋，高森 年：遠隔協調作業を目的とした共通マニピュレータの改良，第 15 回システムインテグレーション部門学術講演会 (SI2014)，pp.238-243，(2014)

- [11] 前田 弘文, 伊藤 嘉基, 黒住 亮太, 小林 滋 :  
災害探査活動支援用マニピュレータの研究開  
発 ー第1報：マニピュレータの開発ー, 弓削  
商船高等専門学校紀要, Vol.37, pp.80-84,  
(2015)
- [12] 前田 弘文, 伊藤 嘉基, 黒住 亮太, 小林 滋 :  
災害探査活動支援用マニピュレータの研究開  
発 ー第2報：ROS を用いたプログラムのモ  
ジュール化ー, 弓削商船高等専門学校紀要,  
Vol.38, pp.35-38, (2016)