

水中テレグジスタンスシステムの開発

Development of Underwater Telexistence System

金子 恭佑, 佐藤 康平, 菊地 喜貴, 鈴木 朗史, 庭野 史成, 妻木 勇一

Kyosuke Kaneko, Kohei Sato, Yoshitaka Kikuchi,
Akihito Suzuki, Fumiaki Niwano, Yuichi Tsumaki

山形大学

Yamagata University

キーワード: Telexistence, Underwater Robot, Teleoperation, ROV(Remotely Operated Vehicle)

連絡先: 〒 992-8510 山形県米沢市城南 4 丁目 3-16 山形大学工学部機械システム工学科

金子恭佑, Tel: 0238-26-3252, E-mail: txf86995@st.yamagata-u.ac.jp

1. 緒言

テレグジスタンスは, 遠隔地に居るロボットからの情報により, あたかも操作者自身がその場所にいるかのような高い臨場感を得ることができるシステムである¹⁾. テレグジスタンスを用いることで普段の生活の中では体験できないことを手軽に体験することが出来る.

一方, 海は宇宙にも劣らない未知のフロンティアであり, 人類は海から大きな恩恵を受けている. また, マリンレジャーのように娯楽の場としても身近な存在である. マリンレジャーの例として, イルカウォッチングがある. イルカウォッチングは, 船の上からイルカを見ることでイルカを観察する. テレグジスタンス技術を用いれば見るだけではなく, イルカと一緒に泳ぐ体験も可能となる. このようなシステムが出来れば海に潜れない子供でもイルカと一緒に泳いでいるような体験が出来, イルカセラピーと呼ばれる介在療法による癒しの効果も期待できる. また生物に容易に近づけるので, イルカの生態

を知るのに大きく貢献出来, 人々の教育やエンターテイメントに役立つと考えられる²⁾. そこで本論文では水中ロボットを用いた水中テレグジスタンスシステムを提案する.

イルカの泳ぎに追従しながらイルカを観察するために本研究では ROV(Remotely Operated Vehicle) を用いる. 一般的な ROV は自身に推進器を備えているが, 通常 5 km/h から 11 km/h で泳ぐイルカにあわせるためには, 本体が大型になってしまう. そこで, 推進力に船の牽引力を用いる牽引式の ROV を提案する. これは, 本体に動力を積まない為, 本体の小型化と簡略化につながると考えられる.

このようにワイヤ張力を利用するものとして広瀬らが開発した水中探査救助作業用ロボット Anchor DiverIII がある³⁾. このロボットはワイヤ張力を利用することで本体の安定化とワイヤの絡まりを防いでいる. また, ワイヤ張力は, 水中ロボットの推進機により発生させており, 本論文で扱うワイヤ牽引型 ROV とは大きく異なる.

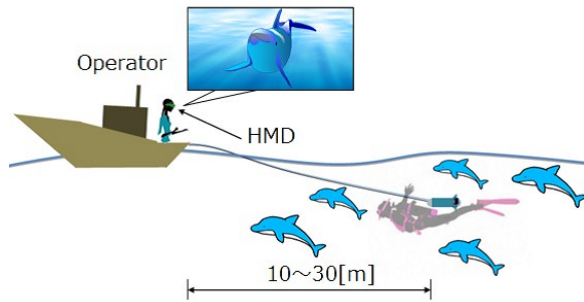


Fig. 1 Concept image I

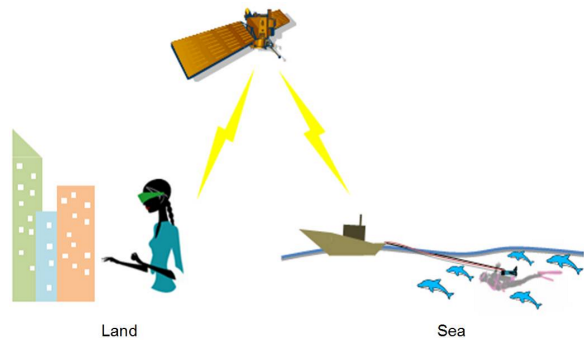


Fig. 2 Concept image II

2. 水中トレイグジスタンスシステム

水中ロボットを用いたトレイグジスタンスシステムの運用イメージを Fig. 1 に示す。Fig. 1 は、船の上に使用者が直接搭乗してトレイグジスタンスを行う例である。船とロボット本体をワイヤと通信用ケーブルで繋ぎ、船の後方 10 m から 30 m 程度で牽引する。水中では無線での通信が届かないため有線での通信を用いる。船上では、操作者が HMD を装着し、ロボットのカメラからの映像を見る。Fig. 2 に示すように船と陸地を衛星通信等で結べば都会においてもこのようなトレイグジスタンスシステムを構築できる。

3. 水中ロボット

3.1 水中ロボット本体

水中トレイグジスタンス用の牽引型水中ロボットを開発した。外観を Fig. 3 と Fig. 4 に示す。

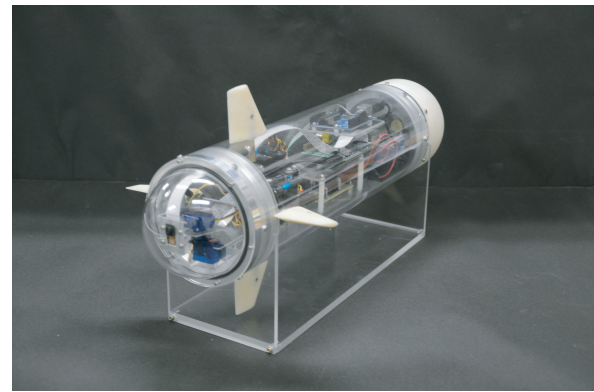


Fig. 3 Overview

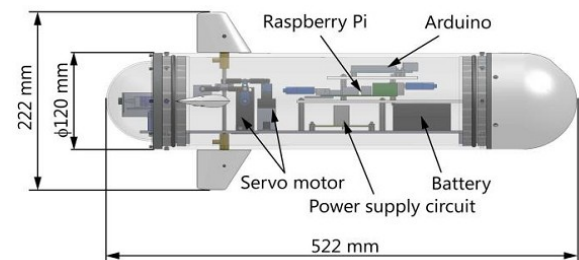


Fig. 4 Details of the robot

大きさは全長 522 mm, 幅 222 mm である。開発した水中ロボットは、船で牽引する際の張力を推進力として利用することで、スクリューなどの動力を積まない。これにより、本体の小型化を実現した。また、ロボットの位置を使用者がコントロールするために舵を取り付けた。舵は、上下左右の 4 箇所配置し、水平及び垂直方向に移動できるようにした。

水中ロボットの前方には、牽引用のワイヤ、通信用のケーブルが付けられている。それらを 3D プリンターで作製した ABS 樹脂製のカバーで覆った。カバーが付けられているときの外観を Fig. 5 に、カバーを外したときの様子を Fig. 6 に示す。

水中にて電子機器を使用するため、水中ロボットには防水処理が必要となる。そこで、前後の接続部分に O リング、軸部分にはスタンチューブを用いる。防水箇所の断面図を Fig. 7 に示す。スタンチューブとは、G4 シールとシールベアリングを用いた防水方法である。パイプの両端に G4 シールとシールベアリングを 1 つずつ入れ軸

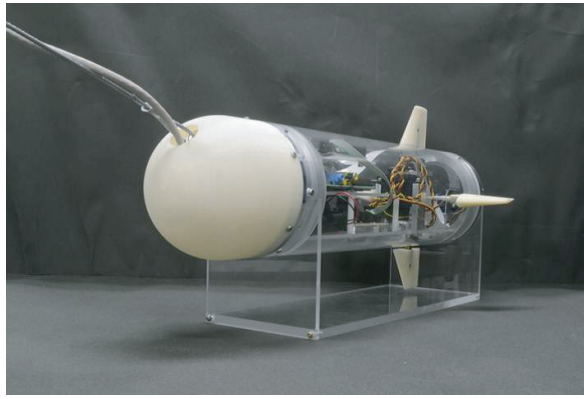


Fig. 5 Front view with cover

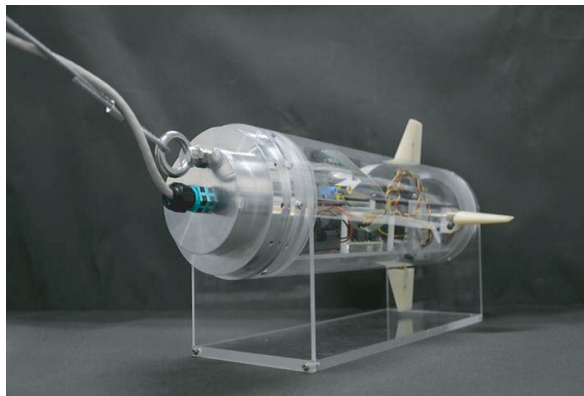


Fig. 6 Front view without cover

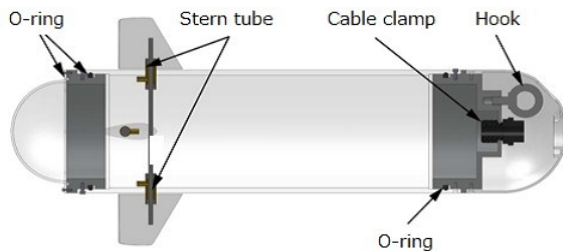


Fig. 7 Cross sectional view

を通し，内部にグリスを注入することによって軸からの浸水を防ぐ．今回は，真鍮製のパイプを用いた．Fig. 8 にスタンチューブを示す．また，通信用のケーブルを本体につなぐために，接続部分は高防水仕様のケーブルクランプを用いた．

3.2 舵

上下，左右の舵をそれぞれ1本の軸でつなく．3D プリンターで製作した舵を Fig. 9 に示す．

軸には 4 mm のステンレス製のシャフトを用いた．シャフトの両端をDカットしシャフト

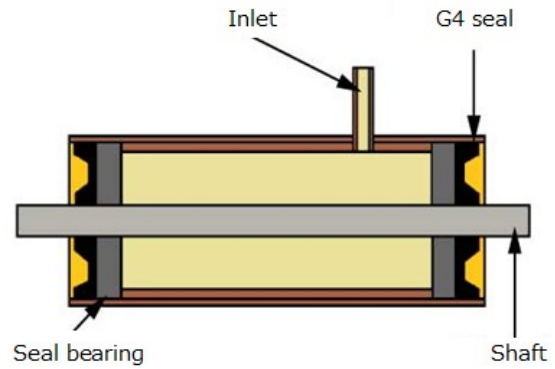


Fig. 8 Stern tube

と舵をねじで固定する．Fig. 10 に軸と舵の様子を示す．シャフトは，それぞれサーボモーターと4リンク機構で動作させる．サーボとシャフトの4リンク機構の簡略図を Fig. 11 に示す．サーボモーターには，ハイテック社製の HS-645MG を用いる．

3.3 カメラジンバル

ロボット後方に2軸ジンバルを取り付けた Raspberry Pi カメラモジュールを搭載し映像を取得する．ジンバルは，使用者が上下左右の角度を操作できるようにすることで，トレイグジスタンスを実現する．ジンバルのサーボは，ハイテック社製の HS-5055MG を用いる．

3.4 制御システム

舵とカメラのジンバルは Raspberry Pi と Arduino UNO を用いて制御する．Raspberry Pi は，ラズベリーパイ財団が開発した，大きさ 86 mm × 54 mm の小型コンピュータである．Raspberry Pi は，イーサネットを使用して船上との通信を行う．制御システムを Fig. 12 に示す．Arduino は，Raspberry Pi と USB 接続をすることで，通信と電力の供給を行う．Raspberry Pi とサーボモータには別々の電源を用意した．

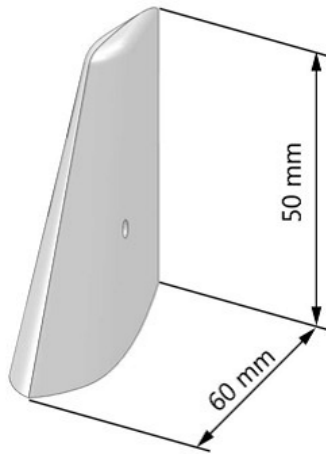


Fig. 9 Rudder

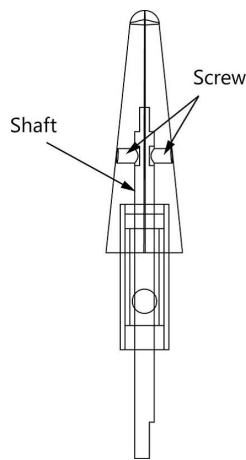


Fig. 10 Rudder and shaft

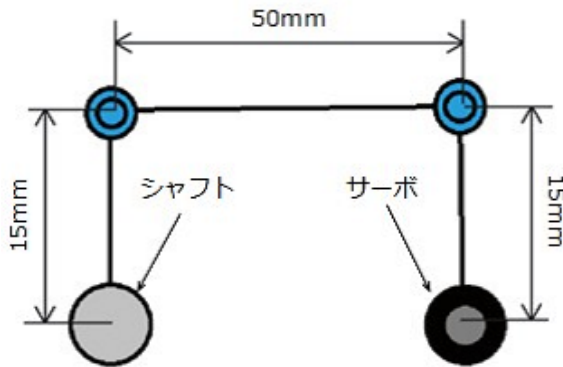


Fig. 11 Schematic diagram of a four-link mechanism

3.5 操作システム

ロボットの操作者は、3D Motion Sensor がついた HMD を装着する。3D Motion Sensor は、NEC トーキン社製 MDP-A3U9S を用いる。HMD は OLYMPUS 社製の Eye-Trek を用いた。

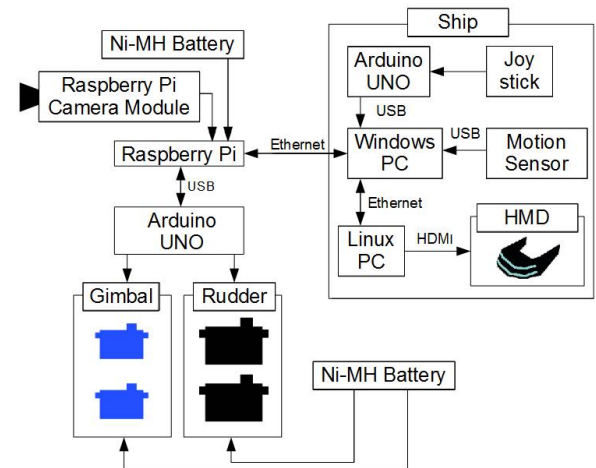


Fig. 12 Control system

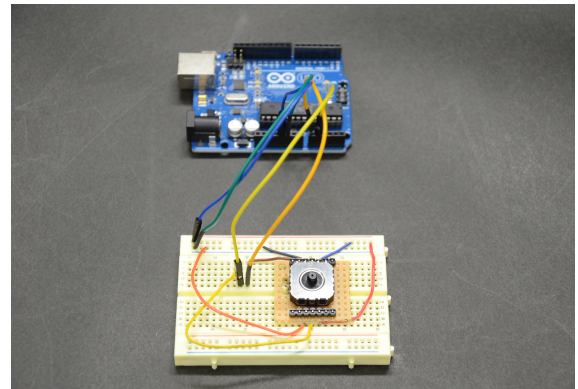


Fig. 13 Arduino UNO and joystick

舵を動かすため、操作者側のパソコンに Arduino UNO を介してジョイスティックを導入した。Arduino UNO とジョイスティックを Fig. 13 に示す。これらは、本システムの動作確認のために使用したが、実際に防水性を考慮する必要がある。

4. 検証実験

カメラのジンバル部を頭部動作に合わせて動かし、基本的なトレイグジスタンスシステムの検証を行った。また舵もジョイスティックにより基本的な動作が可能であることを確認した。

5. 結論

本論文では、イルカと一緒に泳いでいる感覚を提示するための水中トレイグジスタンスシステムを提案した。また、提案システムの要となる牽引型水中ロボットのプロトタイプを設計・開発し、基本システムの検証を行った。開発したプロトタイプは、操作者の頭部運動に合わせて2軸のカメラジンバルが駆動し、ジョイスティックを動かすことでロボットの舵を動かすことが出来る。今後の課題として耐圧試験等の予備実験の後、実地試験を行う。

6. 参考文献

参考文献

- 1) Susumu Tachi, "Tele-existence future dream and present technology," Journal of the Robotics Society of Japan, Vol. 4, No. 3, pp. 295-300, 1986.
- 2) 吉田 弘, "水中ロボットにおけるテレロボティクス", 日本ロボット学会誌, Vol. 30, No. 6, pp. 758-581, 2012.
- 3) Ya-Wen Huang, Yuki Sasaki, Yukihiro Harakawa, Edwardo F. Fukushima, Shigeo Hirose, "Development of Anchor DiverIII: Easy-to-Operate Tensioned-Tether Type ROV for Underwater Search and Rescue Operations," Journal of the Robotics and Mechatronics, Vol. 24, No. 2, pp. 399-407, 2012.