

機関番号：17104

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20560748

研究課題名 (和文) マニピュレータを搭載した水中ロボットの開発と救難活動への適用可能性の検討

研究課題名 (英文) Development of an underwater robot with manipulators and its applicability assessment into rescue operation

研究代表者

石井 和男 (KAZUO ISHII)

九州工業大学・大学院生命体工学研究科・教授

研究者番号：10291527

研究成果の概要 (和文)：本研究課題では、小型水中ロボット DaryaBird 及び水中マニピュレータを開発した。本ロボットは全長約 1 m、重量 30kg、スラスト 5 基と重心移動機構を備えた 6 自由度の運動制御可能な小型軽量の自律型水中ロボットである。開発した水中マニピュレータは 4 リンク構造のワイヤ駆動式としており、1 つのアクチュエータにより制御される。3 対のマニピュレータにより対象物の把持を行う。

研究成果の概要 (英文)：Underwater robots are expected and developed as efficient tools for the operation in place of human beings. The autonomy and intelligence of underwater robots are one of the most important research topics, and highly automated underwater robots. The required missions of AUVs are getting more and more complicated, and underwater manipulators of AUVs are needed to accomplish complex tasks. We have developed an AUV “Darya Bird” equipped with manipulators and evaluated the applicability assessment of the robot into rescue operations.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：総合工学

科研費の分科・細目：船舶海洋工学

キーワード：海洋探査、制御工学、知能ロボティクス、機械力学・制御、救命

## 1. 研究開始当初の背景

海洋における科学調査や水中構造物の建設・管理、海難事故における人命救出・汚染物質の流出防止、サルベージ作業の補助等、水中機器・水中ロボットに対する期待は非常に大きい。科学的な見地からも、巨大なバイオマスを有しながら未発見の生物種であったアーキア発見にみられるような新たな生物／遺伝子の発見や原始地球環境の解明等、海洋のメカニズムの解明できれば地球物理学・生物学への寄与が非常に大きい。

その環境情報プローブである水中ロボットの開発は、日本では東京大学生産技術海中工学研究センターや JAMSTEC 等の限られた研究機関において精力的に研究開発が進められているが、北米や欧州に比べ少なく圧倒的に研究の裾野が小さい。自律型水中ロボット (AUV) の開発により、科学的な調査活動に加え、複数の AUV を用いた広範囲観測調査網の構築や海中からの不審者侵入の監視等、様々な活躍の場が期待される。東大生研・浦らによって開発された r2D4 は、インド洋沖

やグアム沖において海底火山からのブルームの撮影に成功している。Woodshole 海洋研究所の ABE は中央海嶺の地場測定等に成功しており、AUV の有効性を示した。これらは海洋科学に大きく貢献しているが、大水深に潜航できるが規模が大きく手軽に運用できるロボットではない。マニピュレータを AUV 実機に搭載した研究例は Yuh や浦らごく少数であり、マニピュレータの自由度も少ない。シミュレーションによる研究でも、動特性や軌道制御を論じたものが大多数であり、マニピュレータを用いた具体的なミッションは今後の課題となっている。

## 2. 研究の目的

申請者らは、これまで研究者が手軽に使用できる小型軽量の水中ロボットの実現を目指して、水中ロボット AquaBox (Fig.1)及び水中マニピュレータ (Fig.2)を開発してきた。また、水中ロボットへのマニピュレータ搭載や動特性の変化、環境変化に適応可能な制御システムを提案してきた。

本申請ではこれらを発展させ、実海域において水中作業が可能な小型の自律型水中ロボット、及び水中マニピュレータを開発し、水中マニピュレータを自律型ロボットへ搭載す



Fig.1 Underwater robot "AquaBox"

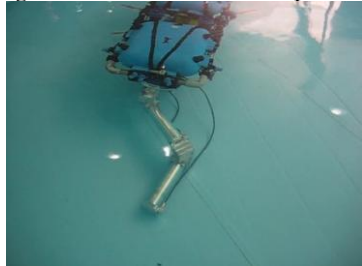


Fig.2 Underwater manipulator

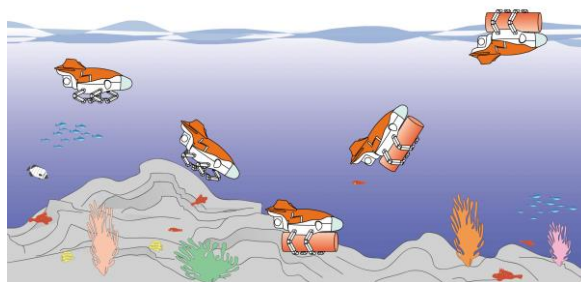


Fig. 3 Mission of underwater robot

る。また、海上保安庁の統計資料にあるように沿岸海域の水難事故が年々増加しており、マリネジャーに伴う事故者数は 2007 年度約 900 人程度であり過去 10 年間をみても増加傾向である。ここでは水中作業として水難事故を想定し、水中マニピュレータはある程度大きな物体（長さ 1 m 程度）の把持が可能な構造とする。Fig.3 に示すような水難レスキューを想定した水槽実験及び実海域実験を行い、救難活動への適用可能性を検討する。

## 3. 研究の方法

水中ロボットは (i) 2 人による揚収が可能、(ii) 高い保守性や管理性、(iii) カメラ映像による広い視覚範囲の確保、の 3 つのコンセプトに基づき開発する。条件 (i) を満たすため、乾燥重量 30[kg] を目標として設計した。水中ロボットの外形は、アルマイト処理を施した 2 つのアルミニウム製の耐圧容器を中央部で連結した構造とし、周囲をスラストの配置のためのフレームにより保護している。

マニピュレータは器用さを追求する指先把持と、把握の頑丈さを追求する包み込み把握に分類することができる。指先把持とは指先のみで対象物に接触する方法である。これに対して包み込み把握とは手のひら全体で対象物に接触する方法で、関節個々にかかる負荷が減ることにより、アクチュエータへの負担が軽減する。救助用マニピュレータが把持する対象は人であるため、対象を傷つけずに安全に把持しなければならない。したがって把持力を制御できる必要があり、加えて一部分に過剰な把持力がかからないことが必要である。水中マニピュレータとして陸上用ロボットのマニピュレータとして開発された TAKO グリッパを参考に水中用マニピュレータを開発する。

## 4. 研究成果

開発した水中ロボット DaryaBird 及び水中マニピュレータを Figs.4,5 に示す。DaryaBird の諸元を Table 1 に示す。乾燥重量 31 [kg] を実現しており、2 人による揚収が可能である。(ii) を満たすため、2 つの耐圧容器は中央のミドルパーツで連結されており、更に外部機器と耐圧容器内部の回路とをつなぐコネクタを全て圧力容器中央部に集約して配置している。また、基板間を接続するケーブルを 2 セットのみで構成しており、耐圧容器開閉時の内部配線の損傷を減らしている。これにより、DaryaBird は高いメンテナンス性を実現した。(iii) を満たすため、パンチルト可能なネットワークカメラを装備している。このカメラは 115 度のチルト、340 度のパンが可能であり、動作させることにより

前方 360 度の視野を確保している。  
 救助用マニピュレータが把持する対象は人

Table.1 Specification of DaryaBird

Dimensions	1044 x 351 x 457 [mm]
Dry weight	31.0 [kg]
Sensors	Roll, Pitch, Heading Depth, Velocity
	Camera x2, 2axis gyro 3axis acceleration
	Hydrophone x4
Actuators	Thruster x5
	COG movement system
Batteries	Lithium-Polymer
	29.6 [V], 5350 [mAh]
Depth	50 [m]
Duration	3.0 [hours]



Fig.4 DaryaBird

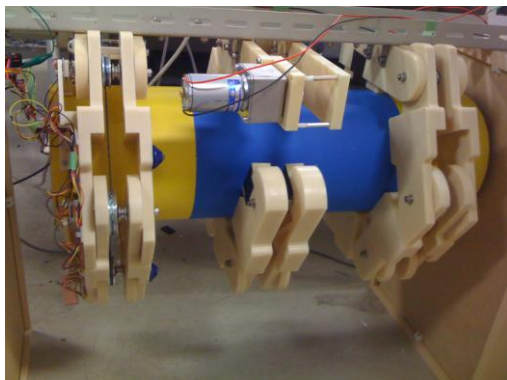
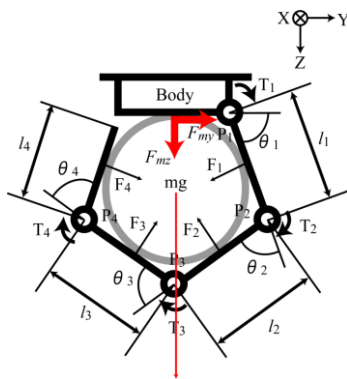


Fig.5 Simulation model and Developed manipulator

であるため、対象を傷つけずに安全に把持しなければならない。したがって把持力を制御できる必要があり、加えて一部分に過剰な把持力がかからないことが必要である。また、水中で作業する機械はアクチュエータ数に比例して水密箇所が増大するため、複雑化する。そのためアクチュエータ数は少ない方が望ましい。把持力を制御するにはアクチュエータのトルク制御を行うなどして把持圧力を適度に調整する方法が考えられる。また、一部分に過剰な把持力をかけないためには対象に与える把持力を分散させる必要があり、ハンド部に弾性体をつけ、材質的な柔らかさに頼る方法が考えられる。対象に対して均等に力を分散させるには対象の形状に合わせて変化し、全体で均等な力によって把持する必要がある。水中マニピュレータはモータ・ベルト・プーリからなり、モータに固定されたベルトはプーリに順々に巻かれ、最後にアーム先端に固定されている。根元のモータが回転してベルトを巻き取ると、モータとアーム先端間のベルトの距離が短くなり、アームが動作する。本マニピュレータは、(i)物体の形状に合わせて把持が可能、(ii)マニピュレータを伸長させた状態で均一な把持力を実現、(iii)2つのアクチュエータで9関節のアームを3つ駆動可能、等の特徴を有する。

実験により、直径 20 cm 長さ 1 m の円柱を把持できることを確認した。受動型は国際水中ロボット競技会において採用し、人を模したパイプ形状の対象物を把持できることを確認した。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① Minoru Kobayashi、Takatora Ando、Masayoshi Honda、Masanobu Baba、Takaaki Takemitsu、Kazuo Ishii、System Design of an Autonomous Underwater Robot “DaryaBird” ,AUVSI&ONR’ s 13th International Autonomous Underwater Vehicle Competition Journal、査読有、13 卷、2010、KIT(1)-(7)
- ② Atsushi Sanada、Kazuo Ishii、Tetsuya Yagi、Self-Localization of an Omnidirectional Mobile Robot Based on an Optical Flow Sensor、Journal of Bionic Engineering、査読有、Vol.7 Suppl、2010、172-176
- ③ Yu Eriguchi、Shingo Shuto、Hiroki Matsuo、Minoru Kobayashi、Yasunori Takemura、Atsushi Kanda、Atsushi Sanada、Takatora Ando、Shohei Matsuoka、Kazuo Ishii、Keisuke Wa

- tanabe, System Design of an Autonomous Underwater Robot "DaryaBird", AUVSI&ONR's 12th International Autonomous Underwater Vehicle Competition Journal, pp.1-7(2010.7), 査読有
- ④ Takayuki Matsuo, Takeshi Yokoyama, Daishi Ueno, Kazuo Ishii, The Study of Bio-inspired Robot Motion Control System, Journal of Automation Mobile Robotics & Intelligent Systems, Vol.4, No.2, pp.55-61(2010.3), 査読有
- ⑤ Yasunori Takemura, Makoto Ishitsuka, Shuhei Nishida, Kazuo Ishii, Tetsuo Furukawa, An Adaptive Controller System Using mnSOM (2nd Report: Implementation into an Autonomous Underwater Robot), Brain-Inspired Information Technology /Studies in Computational Intelligence, Vol.266/2010, pp.91-96(2009.2), 査読有
- ⑥ 有馬正和, 石井和男, 渡辺啓介, 水中ロボットと競技会を通じた工学教育, 計測と制御, 計測と制御, 査読有, 第47巻, 第10号, 2008, pp.817 - 823
- ⑦ Yu Eriguchi, Shingo Shuto, Hiroki Matsuo, Minoru Kobayashi, Yasunori Takemura, Atsushi Kanda, Atsushi Sanada, Takatora Ando, Shohei Matsuoka, Kazuo Ishii, Keisuke Watanabe, System Design and Sound Localization System of an Autonomous Underwater Robot "AquaBox", AUVSI & ONR's 11th International Autonomous Underwater Vehicle Competition Journal, 査読有, 11巻, 2008, KIT(1)-(8)
- [学会発表] (計 33 件)
- ① 石井和男, R&D of Underwater Robots in Japan, International Workshop on the Advanced Underwater Construction Robots in Korea, 2010年11月12日, Pohang
- ② 石井和男, 次世代ロボット産業の創出と新たな社会・街づくりに向けて, ロボット研究会 地域討論会 in 福岡, 2010年10月14日, 福岡
- ③ Kanda Atsushi, Sato Masanori, Ishii Kazuo, Memory based environment recognition system for mobile robots with omni-directional images, World Automation Congress (WAC) 2010, 神戸
- ④ Takemura Yasunori, Kazuo Ishii, Dynamics classification of underwater robot and introduction to controller adaptation, World Automation Congress (WAC) 2010, 神戸
- ⑤ 真田篤, 石井和男, 八木哲也, PGA を用いたオブティカルフロー計算システムの開発, 第28回日本ロボット学会学術講演会, 2010年9月22日, 名古屋
- ⑥ 石井和男, Robotics Activities in Fukuoka Cluster for Advanced System LSI Technology Development, 大田テクノロジー九州工業大学技術交流会+セミナー, 2010年8月24日, 大田
- ⑦ 石井和男, フィールドロボットの実用化を目指して, 神経科学・リハビリテーション・ロボティクスのシナジー効果に関する研究会, 2010年8月4日, 仙台
- ⑧ 江里口優, 小林稔, 石井和男, 渡邊啓介, 水中ロボットのための音源定位システム-第3報: 3次元定位実験および水中ロボットへの搭載実験-, ロボティクスメカトロニクス講演会'10, 2010年6月15日, 旭川
- ⑨ 首藤慎吾, 石井和男, 自律型水中ロボットにおける自動モザイク画像生成システム, ロボティクスメカトロニクス講演会'10, 2010年6月15日, 旭川
- ⑩ 武村泰範, 石井和男, mnSOMを用いた適応制御システムの開発, ロボティクスメカトロニクス講演会'10, 2010年6月15日, 旭川
- ⑪ 確率的推定手法を用いた水中音源定位システム, 江里口優, 石井和男, 渡邊啓介, 第11回「運動と振動の制御」シンポジウム講演論文集, pp.244-247, 福岡, 日本(2009.9)
- ⑫ 自律型水中ロボットにおける視覚情報による自己位置の推定, 首藤慎吾, 石井和男, ロボティクスメカトロニクス講演会2009 予稿集, pp.1P1-B07, 福岡, 日本(2009.5)
- ⑬ 沿岸域調査を目的とした遠隔操作型水中ロボットの設計と開発, 石井和男, 他4名, 第21回海洋工学シンポジウム, pp.OES21-208, 東京, 日本(2009.8)
- ⑭ Ishii Kazuo, Amphibious Multi-link Mobile Robot and Its Control Architecture, Workshop for Asian Pacific Universities' Underwater Roboticians 2009, 2009.3.9-10, ハワイ
- ⑮ 江里口優, 石井和男, 渡辺啓介, 水中ロボットのための音源定位システム, ロボティクス・メカトロニクス講演会2008, 2008.6.5-7, 長野
- ⑯ 首藤慎吾, 石塚誠, 武村泰範, 森邦

- 洋、石井和男、自律型水中ロボット“Twin-Burger”における運動制御システムの開発、ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008、2008.6.5-7、長野
- ⑰ 武村泰範、首藤慎吾、西田周平、石井和男、古川徹生、モジュラーネットワーク型自己組織化マップを用いた水中ロボットのシステム同定、ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008、2008.6.5-7、長野
- ⑱ Yasunori Takemura, Makoto Ishitsuka, Shingo Shuto, Takashi Ashikaga, Kazuo Ishii, System Design of an AUV Considering Modularity Concept and Performance Evaluation Through Yawing Control Experiment、2nd International Conference on Underwater System Technology: Theory and Applications 2008、6pages、インドネシア
- ⑲ Yu Eriguchi, Kazuo Ishii, Underwater Sound Source Localization System using Particle Filter、The 8th POSTECH-KYUTECH Joint Workshop、2008.8.25-27、北九州
- ⑳ 荒木聡史、石井和男、グライダー型小型AUV”SeaBird”の開発 第2報：制御用基板の開発と運動制御、ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008、2008.6.5-7、長野
- ㉑ 水中ロボットのための音源定位システム—第2報：3次元定位への拡張—、江里口優、石井和男、渡邊啓介、ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 予稿集、pp.1P1-B11、福岡、日本(2009.5)
- ㉒ シリコン網膜カメラを用いたハイブリッドセンサの開発、真田篤、石井和男、八木哲也、ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 予稿集、pp.1A1-C15、福岡、日本(2009.5)
- ㉓ パーティクルフィルタを用いた GPS/DR 複合システムによる屋外移動ロボットの自己位置推定、志田至、神田敦司、江里口優、松井利紀、石井和男、ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 予稿集、pp.1A1-F08、福岡、日本(2009.5)
- ㉔ 小型遠隔操作型水中ロボットの開発、荒木聡史、アミール ナシライ、神田敦司、石井和男、山本郁夫、正田明人、ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 予稿集、pp.1P1-B06、福岡、日本(2009.5)
- ㉕ 自律型水中ロボットにおける視覚情報による自己位置の推定、首藤慎吾、石井和男、ロボティクス・メカトロニクス講演会

2009 予稿集、pp.1P1-B07、福岡、日本(2009.5)

- ㉖ Ishii Kazuo、Amphibious Multi-link Mobile Robot and Its Control Architecture、Workshop for Asian Pacific Universities’ Underwater Roboticians 2009、2009.3.9-10、ハワイ

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

名称：水中耐圧容器  
 発明者：石井和男・アミール ナシライ フォロー ナシライ  
 権利者：九州工業大学  
 種類：特許  
 番号：特願 2009-079647、公開番号 2010-232501  
 出願年月日：平成21年3月27日  
 国内外の別：国内

名称：水中清掃装置  
 発明者：石井和男・アミール ナシライ フォロー ナシライ  
 権利者：九州工業大学  
 種類：特許  
 番号：特願 2009-241592、公開番号 2011-088485  
 出願年月日：平成21年10月20日  
 国内外の別：国内

○取得状況 (計0件)

無し

[その他]

受賞

- ① Techno-Ocean, Aqua Robot Competition IEEE/OES Japan Chapter Award, Champion of AUV Group、(2010.10)
- ② Best Technical Paper Award、AUVSI&ONR’s 11th International AUV Competition、USA(2009.8)
- ③ IEEE/OES 日本支部賞、AUV 部門 第1位、水中ロボットフェスティバル IEEE/OES

- 日本支部、日本(2009.5)
- ④ IEEE/OES 日本支部賞 AUV 部門 第3位、  
水中ロボットフェスティバル IEEE/OES  
日本支部、日本(2009.5)
- ⑤ IEEE/OES 日本支部賞, AUV 部門 第1位、  
水中ロボットコンベンション in 東京辰巳  
国際水泳場、日本(2008.11)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

石井 和男 (KAZUO ISHII)

九州工業大学・大学院生命体工学研究科・  
教授

研究者番号：10291527

### (2) 研究分担者

無し

### (3) 連携研究者

無し