

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008～2012

課題番号：20246124

研究課題名（和文） 大深度海中小型生物を全自動で探査・採取する海中ロボットの研究開発

研究課題名（英文） Development on an AUV for catching deep sea Jellyfish

研究代表者

浦 環（URA TAMAKI）

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：60111564

研究成果の概要（和文）：

新しい大深度生物探索プラットフォームとして、7,000m 級深度生物の時間のかかる探索と捕獲作業にミッション特化した AUV（自律型海中ロボット）の基盤研究開発を行った。AUV は深海底近傍を浮遊する数 cm のクラゲ類を採取ターゲットに設定、これを自動的に探索、発見、サンプリングする機能を備える。中・深層生態系の研究では、クラゲ類に代表されるゼラチン質プランクトン類は脆弱な身体を持つため、研究に使えるサンプルをネットで採取することは容易でない。有人潜水艇や ROV を使った研究により、クラゲ類の深海中・深層生態系における存在量や食物連鎖における役割が理解され、中・深層におけるクラゲ類の多様性が高く、新種が存在する事が分かってきた。種の確定は生物学的に重要なため、AUV により効率的に深海中のクラゲ類の分類学的知見を集積できれば、生態系の解明に大きく貢献できる。クラゲ類は遊泳力が微弱な浮遊生物のため、AUV による全自動サンプリングは比較的容易である。しかし、形態が多様であり遊泳中に姿を変化させる。そこで本研究では、対象となる数 cm 程度のクラゲを認識し測位するシステムにより接近、ロボットの口から吸い込むことでクラゲの全身をサンプリングできる効率的なシステムを開発した。観測プラットフォームとなる AUV については、ロボット艇体となる大深度仕様の高強度・軽量・小型セラミックス耐圧容器の開発のための基盤研究を進め、7,000m 級大深度潜航用のテストベッドを製作してクラゲのサンプリングシステムを搭載、水槽試験によりその有効性を実証することに成功した。

研究成果の概要（英文）：

An AUV model, which main hull is made of newly developed ceramics, to capture Jellyfish that inhabits in 7000meter deep sea was developed. For search, approach and terminal to the target, a searching system using a set of sheet lasers and a stereo vision system were also developed and mounted to the AUV. Diving to the deep sea, the AUV finds the target using sheet lasers, and then approaches and swallows it in its mouth. Efficacy of the total system was demonstrated through the tank test.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	9,400,000 円	2,820,000 円	12,220,000 円
2009 年度	9,600,000 円	2,880,000 円	12,480,000 円
2010 年度	5,300,000 円	1,590,000 円	6,890,000 円
2011 年度	8,800,000 円	2,640,000 円	11,440,000 円
2012 年度	2,300,000 円	690,000 円	2,990,000 円
総計	35,400,000 円	10,620,000 円	46,020,000 円

研究分野：海中ロボット学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶工学

キーワード：クラゲ類、深海生物、AUV、大深度セラミックス耐圧容器、ステレオビジョン

1. 研究開始当初の背景

海は地球の7割を占めその平均深度は3,800mである。6,500mを越える大深度領域にも多細胞生物が生存する。しかし、日本の有人潜水艇「しんかい6500」の潜航深度6,500mより深い海にアクセスできるのは、遠隔操縦式無人機(ROV)「かいこう7000」1台である。有人潜水艇は人命リスクが高く、運転経費が膨大であり、行動範囲に限られる。一方、ROVは長大なケーブルによるトラブルが多く、大深度での展開は困難を極め、行動範囲も限られる。このように、深海の広い領域をくまなく精査するのは難しく、そこに棲息する生物のサンプリングは容易でなく、深海生物の調査研究は端緒についたばかりと言える。これを打破するため、深海生物を研究に使える状態でサンプリングできる使いやすいプラットフォームの開発が不可欠である。

2. 研究の目的

研究では新しい大深度生物探索採取プラットフォームとして、自律型海中ロボット(AUV)を提案、深海生物の時間のかかる探索と捕獲作業にミッションを特化したAUVの研究開発を行う。AUVは7,000m級の深海底近傍に棲息する数cmのクシクラゲ類を採取ターゲットに設定、これを自動的に探索、発見、サンプリングする機能を備える。深海中・深層生態系の研究では、クラゲ類に代表されるゼラチン質プランクトン類は脆弱な身体を持つこともあり、研究に使えるサンプルを船上から降ろすネットで採取することは容易でない。しかし有人潜水艇やROVを使った研究により、クラゲ類の深海中・深層生態系における存在量や食物連鎖における役割が理解され、中・深層におけるクラゲ類の多様性が高く、新種が存在する事が分かってきた。種の確定は生物学的に重要なため、AUVにより効率的に深海中のクラゲ類の分類学的知見を集積できれば、生態系の解明に大きく貢献できる。

3. 研究の方法

研究推進のため、1) 7,000m級大深度まで潜航できるAUVの研究開発、2) 対象とするクラゲ(5cm程度のくらげを想定)を探索、認識・測位し、サンプリングするシステムの研究開発、3) ロボットへのシステム実装と航法の研究開発を行う。1)については、1000m級モデルロボットの製作を行い、7000m深度でのロボット潜航に必要な要素技術の検討を行った。クラゲの認識、追跡、採取というミッション実現のために、潜航浮上に約1時間、海中での稼働時間をカバーす

るエネルギーを有するコンパクトなロボットが不可欠である。このため、7000m級AUV艇体の大深度仕様の高強度・軽量&小型化のため、炭素珪素SC-1000を材料とするセラミクス製耐圧容器の開発を行い、これに基づき、セラミクス耐圧容器をAUV艇体とするロボット実機の開発を進めた。2)については、1000m級モデルロボットにステレオビジョンシステムによるクラゲモデルの自動識別システムの基本アルゴリズムを構築、これを基に、シートレーザーによる対象認識、ステレオビジョンシステムによる画像認識、対象へ前進してAUVの口から飲み込む方式を開発した。3)については、クラゲがにいると思われる海域に展開し、海底面近傍まで到達したら、周囲にクラゲがいるかどうか探索、クラゲが近くにいる場合には接近して採取し、いない場合には一定時間はその近傍にてクラゲを探索して、その後別の場所へ移動する、あるいは直ちに別の場所へ移動するなどの、探索・移動モードを選択することができる航法の開発を行い、ロボットモデルに搭載した。

4. 研究成果

1) 7,000m級大深度まで潜航できるAUVの研究開発

テストモデルを用いた検討から、AUV艇体の高強度・軽量&小型化のため、主耐圧容器をセラミクスで製作し、浮力材は基本的に使用しない方式とした。セラミクスの素材は、放熱のために、窒化珪素やジルコニアより靱性は少し落ちるがアルミニウム並みに熱伝導率の高い炭化珪素SC-1000を選択した。図1にAUV概念図を示す。AUVは、円筒胴と前部・後部半球ドームから構成される。1.2m長のセラミクス製円筒胴構成により60kgfの予備浮力が得られる事になり、7,000m級深海まで潜航できるAUVの設計に目途がたった。

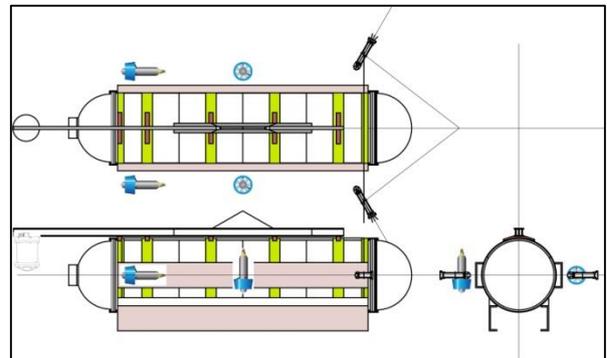


図1 AUV概念図、前面ガラスドーム、上下左右に前進・後進用スラスタ4機、後部にDVLを設置

カメラ搭載のために半球ドーム部については、円筒部単価珪素とはヤング率が異なるガラス球を選択し、収縮率吸収対策として、フランジに DLC(Diamond-Like Carbon)コーティングを施すなど改良を重ねたが、加圧試験時にガラス球が圧壊した。その後の検討から、ガラス球とガラス以外の材料による円筒胴を組み合わせる場合、チタンやチタン合金、又はアルミニウムがなじみやすく、ヤング率の大きなセラミクスはなじまないことが明らかになった。

このため、半球ドーム部をセラミクス製半球ドームにするよう設計を改良した(図2参照)。

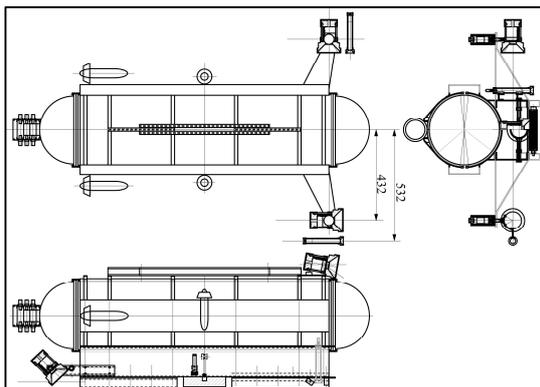


図2 前面をセラミクスドームとした AUV の概念図と実物写真、カメラは小型耐圧容器に入れ、レーザーと同方向に動く、海底地形詳細観測用カメラを装備して DVL に代用

しかし、セラミクスの半球ドームは、フランジ部分に改良を重ねて加圧試験を行ったが、加圧試験において、7000m 耐圧レベルに到達しない段階で圧壊した。いまだ、最適な設計構造に達しておらず、課題を残した。セラミクスは耐圧容器としては新しいものであり、米国の 10,000m 級 AUV や JAMSTEC の OBS など単純な形状に適用されている段階で、応用はまだ始まったばかりである。本研究推進により、組合せ素材やフランジ施工ミス防止など、今後の研究開発に繋がる貴重な手がかりが得られた。



図3 上:セラミクス半球 2 個を組み合わせさせた水圧試験、中:セラミクス半球の間にセラミクス円筒胴を入れて水圧試験を行う、下:試験による圧壊後の形状。円筒胴は無傷で残っているが半球部は全壊した

2) 対象とするクラゲ(5cm程度のくらげを想定)を探索、認識・測位し、サンプリングするシステムの研究開発については、7000mモデルとなる原型の1000mモデルを用いた基本アルゴリズムを基に、2機のシートレーザーによる探索、2機のTVカメラシステムによる認識、クラゲ位置に向かって前進、ロボットの口から吸い込むという探索・認識・採取システムを開発して、7,000m級大深度潜航用のテストベッドに実装した。

3) ロボットへのシステム実装と航法

AUVは、海底付近を航走しつつ、縦に広がるシートレーザーを両舷から斜め前方に照射して前方にいるクラゲを探索する。クラゲがレーザーによる照射幕を通過する際には、反射光が見られるためこれを検知して、レーザーと同方向に設置された2機のカメラシステムにより、対象までの距離を図りつつ接近する。画像のサイズからクラゲであることを確認できた場合には(サイズ5cm程度のものをクラゲと想定する)、そのまま前進、海中ロボット下部に取り付けたロボットの口の中に吸い込む。

採取においては、対象を口の正面に捉えるため、ロボット両翼にあるTVカメラでとらえた対象が画面の中央にくるように2基の前後進用スラストおよび垂直スラストを用いて艇体の位置と方位を自動調整し、直進して口の中に押し込む機能を開発して組み込んだ。口には戻り防止用の網があり、一度中に入ると出ることはできない。そして、口の中に入るまでの一連の動作を両翼のTVカメラで追尾できる。

これらシステムを7,000m級大深度潜航用のテストベッドに実装して、水槽試験においてその機能の有効性を実証した(図4および図5参照)。

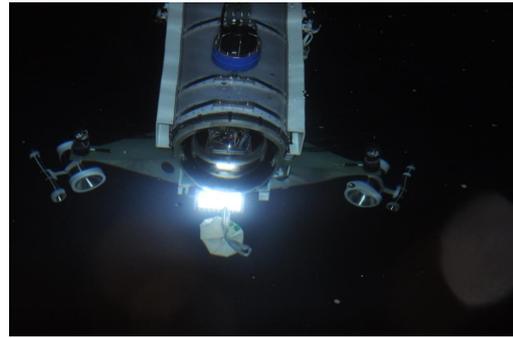
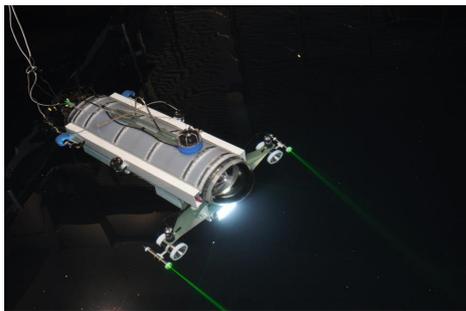


図4 水槽試験での対象(体長5cmのクラゲモデル)採取テスト、上:対象をシートレーザーで探索、中:対象を両翼のTVカメラで捉える、下:対象がロボットの口に押し込まれる

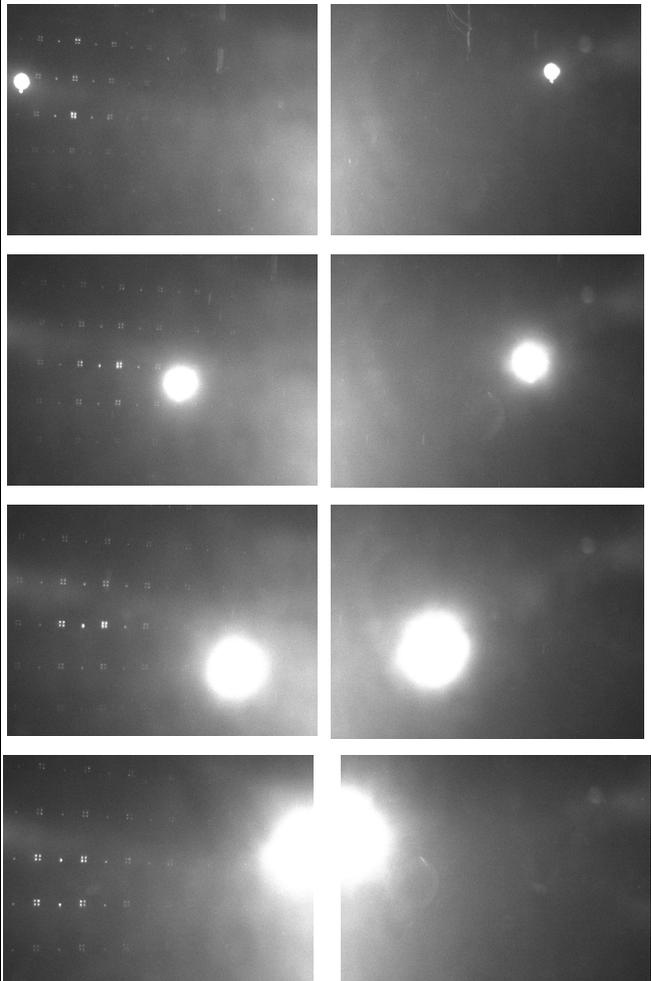


図5 AUVの両翼(左右)に取り付けたTVカメラの映像、下の左右のカメラ映像は、まさに対象を飲み込む直前の状態のものである

本研究では、7,000m 級大深度 AUV の開発へ挑戦し、深海に棲息するクラゲのような生物のサンプリングというチャレンジングな課題を遂行した。7000m 級深海へ潜航するための大深度仕様の高強度・軽量・小型セラミックス耐圧容器の開発は、今後の海中工学に新しい世界を拓くための次ぎの課題として残されたが、クラゲを採取するためのシステム開発に成功し、その有効性を実証した。本システムを既存 AUV 等に取り付けて、クラゲを採取するなど、今後の実応用が期待される。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

①Adrian Bodenmann・Blair Thornton・Tamaki Ura:” 3D Seafloor Mapping With Autonomous Data Analysis – The Generation and Application of 3D Color Reconstruction for Quantitative Algorithm-Based Analysis-”, Sea Technology, Vol. 53, No. 10, (2012.12), pp.41-46 査読なし

②高川真一: New Ceramic Pressure Hull Design for Deep Water Application", Proc. Oceans'10 Sydney, (2010), CD-Rom proceedings 査読なし

③Dhugal J. Lindsay・三宅裕志: 日本近海に出現する中・深層性刺胞動物ならびに有櫛動物の目録”, 月刊海洋, Vol. 41, No. 8, (2010). pp. 393-400 査読有り

④山田康人・浦環・Thornton Blair・能勢義昭・坂巻隆; Development of the AUV 'T-Pod' for Catching of Deep Sea Jelly-Fish”, Proc. ROBOMECH 08, (2008), 2A1-A12, 査読なし

[学会発表] (計 6 件)

①笹川宏子・三宅裕志他: アケボノクラゲ Chiarella jasnowi (Hydrozoa Anthomedusae)の長期飼育 “, ブルーアースシンポジウム 2013, 東京, 2013.3.15

②Adrian Bodenmann・Thornton Blair・浦環他: Development of 8m Long Range Imaging Technology for Generation of Wide Area Color 3D Seafloor Reconstructions”, Proc. Oceans2012 Hampton Roads, Virginia Beach, USA, 2012.10.18

③Adrian Bodenmann・Thornton Blair・浦環他: High Resolution 3D Visual Mapping of the Seafloor Using One Camera and a Sheet Laser”, 第 22 回海洋工学シンポジウム講演論文集, 東京, 2011.3.17

④Adrian Bodenmann・Thornton Blair・浦環他: Pixel Based Mapping Using a Sheet Laser and Camera for Generation of Colored 3D Seafloor Reconstructions, Oceans'10 Seattle, Seattle, USA, 2010.10.15

⑤Adrian Bodenmann・Thornton Blair・浦環他: Pixel Mapping for Generation of 3D Colored Seafloor Bathymetry Using a Signal Camera, AUV2010, Monterey, California, USA, 2010.09.22

⑥高川真一: New Ceramic Pressure Hull Design for Deep Water Applications, Oceans'10 Sydney, Sydney, Australia, 2010.05.26

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 耐圧容器およびこれを備える深海調査活動装置

発明者: 吉田政生、大久保直幸、高川真一、浦環

権利者: 東京大学

種類: 特許

番号: 特願 2010-203747

出願年月日: 2010.9.10

国内外の別: 日本

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

徳になし

6. 研究組織

(1)研究代表者

浦環 (URA TAMAKI)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号: 60111564

(2)研究分担者

巻俊宏 (MAKI TOSHIHIRO)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号: 50505451

ソーントンブレア (THORNTON BLAIR)

東京大学・生産技術研究所・特任准教授

研究者番号: 60526789

三宅裕志 (MIYAKE HIROSHI)

北里大学・水産学部・講師

研究者番号: 00373465

(3)連携研究者

高川 真一 (TAKAGAWA SHINICHI)
東京大学・生産技術研究所・特任教授
研究者番号：60359122