

6. 海洋調査技術開発（自律型無人潜水機の研究開発）

独立行政法人海洋研究開発機構 海洋工学センター海洋技術研究開発プログラム 青木 太郎 (aokit@jamstec.go.jp)

1. 研究の目的

人類の活動に伴う二酸化炭素の温室効果ガスの排出量が増大し、このことで、地球温暖化が進み、地球環境が変化しているといわれている。現在、このメカニズムを明らかにすることが重大な課題となっている。地球温暖化の兆候が最も顕著に現れる場所は南北両極であり、その中でも人類活動の盛んな北半球に連なる北極圏である。氷下の水温、氷の厚みや形状等の調査が重要なテーマとなっているが、従来の船舶、航空機、人工衛星では困難なこれらの調査に自律型無人潜水機（AUV；Autonomous Underwater Vehicle）が活用できると期待されている。しかしながら、北極域は気象等の環境が厳しく、また高緯度によるため、方位検出が難しい等、航法技術も難しい。また、将来発生する可能性が高い東南海沖地震、東海地震等の海底地震の予知には現在の海底面の調査が重要であり、この調査のためには波浪の影響を受けずに広範囲に渡り調査が可能な無人潜水機が大きく寄与できる。このような観点から、自律して長距離を航行し連続的に海洋データ及び海水サンプルを取得することが可能な自律型無人潜水機の開発し、各種の試験を行い、実用機開発の基礎とする。



220km航走後の揚収風景

2. 研究の方法

AUVは、支援母船から発進し、巡航速度数ノットで航走する。慣性航法や音響ホーミングによる自律航行能力をもち、航行中に海洋データを連続的に自動収集する。平成10年度に建造したAUV試験機を用い、自律機能による3,500m潜航、リチウムイオン電池による100km連続航行、陸上試験、燃料電池によるさらなる長距離連続航行試験等、

段階的に高度化する研究開発を行う。

3. 研究の成果

平成10年、AUV試験機の建造を開始した。

平成11年度は、AUVを組立て、陸上試験、水槽試験を実施した。燃料電池を製作し発電試験を行った。航法システムはシミュレーションを行った。

平成12年度は、4回の海域試験を行い、深度1,753mまで潜航し運動性能試験や搭載している観測機器の深海での作動確認を行うことができた。また陸上において燃料電池の基本性能試験、船舶上の動揺を模擬した、動揺下発電試験等の応用試験を実施した。

平成13年度は4回の海域試験を行い、潜航能力の目標であった深度3,518mに達した。この潜航中、水中カラーTVカメラで撮影したカラー映像の音響画像伝送に成功した。また、自律航行においても連続して60kmの航走距離を走破した。燃料電池においては、陸上で長距離航走を模擬した連続発電試験を実施した。また、水素吸蔵合金を試作し水素の吸収・放出特性に関する試験を行い、水素の貯蔵に関してより安全な方式とする可能性を得た。

平成14年度は、2回の海域試験を行い、駿河湾にて自律機能により連続航続距離132.5km、連続線鋳時間29時間を達成した。燃料電池においては、次年度からの潜水機への搭載を想定して、水素吸蔵合金から水素を供給を行い、燃料電池の発電により得られた電気を観測機器へ給電するという一連のシステムの作動試験に成功した。これを受け年度の後半に動力源の換載工事を実施した。

平成15年度は、動力源を燃料電池として3回の水中航走試験を実施した。8月に燃料電池搭載の目人潜水機としては世界初の潜航に成功した。またこの年に、潜航深度1,507m、連続航続距離30km、潜航時間約7時間を達成した。

平成16年度は6月までに2回の海域試験を行い、水深800mにて43時間で220kmの連続長距離航走に成功した。

4. 今後の課題

年度後半に行う海域試験において、航続距離目標である連続航続距離300km、約60時間潜航の長

時間耐久性能試験を達成する。

CTDO計(塩分、水温、溶存酸素)、海水サンプリング、環境計測センサ(pHセンサ等)、CO₂リアルタイム計測装置等の調査装置を用いて、海洋調査の研究に資する。高精度な海底地形図を取得可能な合成開口ソナー等の探査機能の充実を図り、深海底調査の研究に資する。国内初の自律型無人潜水機の実運用へ向けた、オペレータ育成による技術の習熟等、体制の確立を行う。海洋調査の効率向上を目的とした自律機能の性能向上、燃料電池や貯蔵技術の改良による調査範囲の長大化する。

5. 成果文献

成果文献の中で、平成15年度に発表したものは以下の通りである。

- 1) 青木太郎, 百留忠洋, 中村敏明, 田村兼吉, 越智寛, 村島崇, 月岡哲, 中條秀彦, 井田匡彦, 赤澤克文, 橋本菊夫, 2001: Deep and Long Range AUV URASHIMA, The Eleventh International OFFSHORE AND POLAR ENGINEERING CONFERENCE, Vol.2, pp.314-320
- 2) 村島崇, 青木太郎, 中村敏明, 田村兼吉, 越智寛, 月岡哲, 中條秀彦, 百留忠洋, 井田匡彦, 2001: Sea Trial of AUV "URASHIMA" with Lithium-ion Rechargeable Battery, OCEANS 2001
- 3) 百留忠洋, 青木太郎, 前田俊夫, 村島崇, 月岡哲, 広川潔, 井田匡彦, 中條秀彦: 自律型無人潜水機に対するセンサ技術, 西部造船会会報、第103号、pp. 35-42
- 4) 青木太郎, 村島崇, 月岡哲, 中條秀彦, 百留忠洋, 井田匡彦, 2002: Cruising Autonomous Underwater Vehicle URASHIMA, The Twelfth International Offshore and Polar Engineering Conference. Vol.2 pp.315-318
- 5) 月岡哲, 青木太郎, 村島崇, 中條秀彦, 百留忠洋, 井田匡彦, 2002: An investigation of low noise reduction gear for the AUV "Urashima" and sea trial of its acoustic communication, International symposium on Underwater Technology 2002
- 6) 村島崇, 青木太郎, 月岡哲, 中條秀彦, 百留忠洋, 井田匡彦, 2002: Optical Communication System for URASHIMA, The twelfth (2002) International Offshore and Polar Engineering Conference. Vol.2 330-335
- 7) 村島崇, 2002: 長距離航行型海中ロボット「うらしま」, 日本機械学会 2002年度
- 8) 月岡哲, 青木太郎, 越智寛, 村島崇, 中條秀彦, 百留忠洋, 井田匡彦, 2002: An investigation of low noise reduction gear for the AUV "Urashima" and sea trial of its acoustic communication, The Twelfth International Offshore and Polar Engineering Conference. Vol.2 pp.319-324
- 9) 百留忠洋, 青木太郎, 村島崇, 月岡哲, 中條秀彦, 井田匡彦, 前田俊夫, 市川卓示, 2002: Buoyancy Control for Deep and Long Cruising Range AUV, The twelfth International Offshore and Polar Engineering Conference. Vol.2 325-329
- 10) 百留忠洋, 青木太郎, 村島崇, 月岡哲, 吉田弘, 中條秀彦, 井田匡彦, 石橋正二郎, 2002: Key Technologies for AUV "URASHIMA", Oceans 2002 MTS/IEEE/Volume one/pp. 162-166
- 11) 青木太郎, 村島崇, 月岡哲, 吉田弘, 百留忠洋, 橋本彰, 橋崎克雄, 谷俊宏, 横山和久, 2003: PEFC 深海巡航探査機「うらしま」, 第10回燃料電池シンポジウム講演予稿集, pp.90-95
- 12) 月岡哲, 青木太郎, 村島崇, 吉田弘, 中條秀彦, 百留忠洋, 石橋正二郎, 2003: Experimental Results of an Autonomous Underwater Vehicle "Urashima", Oceans2003
- 13) 村島崇, 青木太郎, 月岡哲, 吉田弘, 百留忠洋, 中條秀彦, 井田匡彦, 2003: 深海巡航探査機「うらしま」の海上試験と燃料電池システム, ロボティクス・メカトロニクス講演会2003
- 14) 越智寛, 渡辺佳孝, 志村拓也, 澤隆雄, 2003: マルチパス環境下におけるQAM音響通信実験, 第24回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム講演論文集

6. 海洋調査技術開発（先進的技術の研究開発）

独立行政法人海洋研究開発機構 海洋工学センター海洋技術研究開発プログラム 青木 太郎 (aokit@jamstec.go.jp)

1. 研究の目的

長期観測ステーション、有人潜水船、無人探査機、地球深部探査船等の海洋調査研究・利用のための機器を研究開発するにあたり、海洋産業のみならず、陸上産業、宇宙開発及び他の海洋研究組織における先端的技術について検討し、これらの技術の海洋研究への応用と独自の研究開発に先進的に取り組む。

これまで開発してきた深海調査システムは、深海の未知であった領域を明らかにするとともに、地震・火山・津波の発生メカニズムの解明や海洋生態系などの研究に大きく貢献してきた。しかしながら、海洋の活動と密接に関連している地球温暖化、地震や異常気象による自然災害等の地球規模の諸問題の解決に向けて、さらに大深度かつ広域における海洋調査を可能とする技術レベルの飛躍的向上が求められる。また、今後我が国の海洋開発の進展に伴い要求されるニーズに対応できるように、先進的で高度な要素技術について研究開発を実施する必要がある。この先進的な要素技術の研究開発により、地球環境変動予測等の研究に必要な長距離航行型無人潜水機等の高性能海洋調査機器の開発が可能となる。また、我が国周辺で発生したナホトカ号事故に見られる大規模海洋汚染の防止等に必要な技術開発への応用、あるいは開発される調査機器による沈没船の調査等大規模海難事故への対応が期待される。

2. 研究の方法

本研究開発は、以下の6項目でありそれぞれの研究テーマについて、

海洋機器用構造部材に関する研究として、ナノレベルまで物質を微細化できる技術を利用し、強度とじん性（しなり具合）兼ね備えた高比強度な素材を開発する。

動力源に関する研究として、陸上機器用及び宇宙開発用の動力源として高効率、長寿命、安全かつ静粛な動力源が開発されつつあるものの中から水中用動力源に適したものについて、設計・試作し、実用化への研究開発を行う。

水中音響技術に関する研究として、水中機器間のデータ通信、水中機器の位置計測等に高い信頼性の得られる水中音響技術について研究する。

これまでに試みられていない高い周波数帯域を使用した高速水中音響通信技術の構築を行う。

計測及びセンサ技術に関する研究として、水中を移動する無人潜水機が自動的に自己の移動距離を計測できる技術について研究する。

人工衛星による海洋機器の遠隔制御の研究として、人工衛星を介し地上局と海洋局（船舶、深海探査機、ブイ、離島に設置した機器）との通信や、遠隔制御をリアルタイムで衛星通信用プロトコル、高精細高圧縮の圧縮技術、衛星追尾方法等の通信制御方法について研究する。

環境計測技術に関する研究として、有人潜水船、無人潜水機及び観測ステーションと組み合わせ、高圧の深海環境下において効率的な計測が可能な固体素子等を用いた環境計測用センサを開発する。

3. 研究の成果

平成15年度から開始した本研究開発では、次のような結果を得ている。

比較対照用基準材（6・4チタン合金）、及び選定した数種の候補合金について材料特性評価試験を実施した。この結果、試験片段階で、新チタン合金で比強度1.25倍を達成した。

燃料電池セル単体の評価試験システムを構築した。概念検討を行い、セパレータ、電極、システム全体を改善することで効率を改善することを決定した。新規セパレータの試作を実施した。

アルゴリズムの検討、通信プログラムの製作、送受波器の製作を行い、試験装置の製作に着手した。また、水槽実験によりプログラムの確認を行った。

地球の自転の影響を除去するためのレートテーブル（回転台）を製作した。慣性航法装置を搭載して実験を実施し、計測誤差と回転速度の関係を把握した。計測性能を改善するための加速度計を検討した。

、平成16年度開始の研究につき成果なし。

4. 今後の課題

新材料で成形した場合の特性評価（試験片との比較）、水中利用に関する評価をし、従来にない軽量で高強度な部材や耐水圧容器を開発し、海

中機器の安全性の向上、省エネルギー化に寄与する。

動力源の高効率化、長寿命化を達成するためには構成要素の一つ一つの機能を向上させる必要がある。このため、ナノカーボン材等の新材料を用いた電極等の試作や、セパレータの試作等の新規に構成要素の開発を実施し、評価試験システムの機能向上を行い、試作した部品の評価を進める。また、燃料電池システム全体での効率改善方法についても検討を行う必要がある。このように小型・軽量、長寿命の動力源を開発し、より長時間・長距離の潜航が可能な有人潜水船や無人探査機、そして海底ステーション等の開発へ寄与する。

通信プログラムの検証を水槽および実海域での通信実験を進め、高速・高信頼性の水中音響通信技術を開発し、無索無人潜水機の高度な制御や、海底ステーション等からの大量のデータの回収に寄与する。

ジャイロ及び加速度計の計算アルゴリズムを開発し、位置計測誤差が少なく高精度に自己位置を計測できるセンサを開発することで、有人・無人潜水機の長距離あるいは長時間にわたる、安全で正確な潜航に寄与する。

データ圧縮伝送等の通信制御方法について研究し、無人探査機が取得した映像や海洋データ等の情報を人工衛星を介して陸上基地に送信可能な技術を開発し、遠隔地（陸上）から現場の状況を把握するシステムの確立に寄与する。

即時かつ連続的な計測が可能なセンサを開発し、深海環境を連続的かつ3次元的に把握可能にすることで、深海の熱水鉱床や海底火山の研究に寄与する。

5. 成果文献

成果文献の中で、平成15年度に発表したものは以下の通りである。

- 1) 越智寛, 渡辺佳孝, 志村拓也, 澤隆雄, 2003 : 16QAM変調方式を用いた水中音響伝送実験について, 日本音響学会2003年秋季研究発表会
- 2) 越智寛, 2004 : 深海域における音響データ通信について, 日本機械工業連合会海洋機器開発委員会
- 3) 越智寛, 渡辺佳孝, 佐藤禎章, 志村拓也, 澤隆雄, 網谷泰孝, 2003 : 駿河湾における音響信号伝送実験について, 海洋音響学会2003年度研究発表会
- 4) 越智寛, 渡辺佳孝, 志村拓也, 澤隆雄, 網谷泰孝, 2003 : 深海域における多チャンネルDFEを

用いた高速通信実験結果について, 電子情報通信学会超音波研究会

- 5) 越智寛, 渡辺佳孝), 志村拓也, 澤隆雄, 2003 : マルチパス環境下におけるQAM音響通信実験, 第24回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム講演論文集
- 6) 青木太郎, 村島崇, 月岡哲, 吉田弘, 百留忠洋, 橋本彰, 橋崎克雄, 谷俊宏, 横山和久, 2003 : PEFC深海巡航探査機「うらしま」, 第10回燃料電池シンポジウム講演予稿集, pp.90-95

6. 海洋調査技術開発（波力装置技術の研究開発）

独立行政法人海洋研究開発機構 海洋工学センター海洋技術研究開発プログラム 青木 太郎 (aokit@jamstec.go.jp)

1. 研究の目的

地球温暖化現象等の地球環境問題に関心が深まり、二酸化炭素排出量の削減等が叫ばれているとともに原油価格の高騰が続く今日、クリーンで再生可能な自然エネルギーの利用に対して社会的に関心が高まっている。自然エネルギーの代表的なものとしては、太陽光発電や風力発電が挙げられるが、周囲を海で囲まれたわが国日本の状況を考えた場合、海における波のエネルギーの活用も考慮すべきものの一つであろう。沿岸海域の開発・利用と活性化のためにも、波エネルギーの活用と静穏な海域の創生が可能な、波浪エネルギー利用技術の確立が将来的に必要不可欠になることが予想される。そこで、海洋科学技術センター（現独立行政法人海洋研究開発機構）では、浮体式波浪エネルギー利用装置実用化のための設計・評価手法の確立を目的とし、沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」を提案・設計し、世界初の試みとしてプロトタイプ（下図）を建造し、実海域実験を行った。実海域実験結果を通じて、その性能および安全性の評価を行い、浮体式波力装置設計システムの構築を目的とした研究開発を実施した。



沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」

2. 研究の方法

本研究開発は、波浪エネルギー利用装置の基礎研究に始まり、沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」プロトタイプ（全長50m×全幅30m、定格発電出力110kW）の設計・建造、実海域実験の実施、その実用化のために有用な浮体式波力装置の設計手法の確立に至るまで、研究開発全体としては平成元年から平成15年までの15年間に亘って実施された。この研究開発期間の中で、プロトタイプを用いた実海域実験は、平成10年度から平成13年度の約3年半に亘って三重県度会郡南勢町の

五ヶ所湾沖で実施され、発電に関するデータや海象・気象に関するデータ、浮体運動に関するデータなど多岐に亘る貴重なデータを取得した。平成15年度は研究開発最終年度にあたり、平成14年度における実海域実験サイトからの「マイティーホエール」プロトタイプ浮体部の撤去に引き続き、係留システムの撤去を行った。実験サイトから撤去された係留システムは耐久性や安全性に関する試験に供された。また、これまでの研究開発成果と実海域実験から得られた成果の総合的なとりまとめを行った。

3. 研究の成果

本研究開発では、沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」プロトタイプを用いた実海域実験を実施し、浮体式波浪エネルギー利用装置全体の実用化を目標とした設計手法の構築とその妥当性の評価を行った。

特に、浮体式波浪エネルギー利用装置の開発にあたっては、これまで海洋科学技術センター（現独立行政法人海洋研究開発機構）において行われてきた研究の成果として、実用的な浮体式波力装置の設計手法を構築した。さらに、その設計手法に基づき安全性や性能を評価し、浮体式波浪エネルギー利用装置である沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」プロトタイプを建造した。そして実海域実験を通して、設計手法の妥当性を検証するとともに、浮体式波浪エネルギー利用装置の性能・安全性に関する問題点を明確にした。これら研究開発成果を総括し、技術移転を念頭に置いた形で浮体式波浪エネルギー利用装置実用化のための総合的な設計・評価手法を提案した。

実海域実験における「マイティーホエール」プロトタイプの発電性能は、入射する波エネルギーを電気エネルギーに変換する効率が最大でおよそ15%であり、実験期間を通じた平均発電電力量は約190kWh/日であった。これは日本の平均的な家庭のおよそ18世帯分の消費電力に相当する。実験海域は年間を通じて平均波高が0.5m程度であり波エネルギー量としてはさほど大きくはない。仮に平均波高1.0m程度の海域を想定した場合、波のエネルギーは波高の二乗に比例するため、およそ70世帯への給電が可能になるものと考えられる。

また地球温暖化問題との関係では、最適化され

た波力装置に関してライフサイクルでのCO₂排出量について検討を行った。検討の結果、波力装置のライフサイクルCO₂排出量は太陽光発電や風力発電等の自然エネルギーと同程度の値を示し、波力装置が地球温暖化に対して有用な装置であることが改めて確認された。

これらの成果をとりまとめる形で総合報告書「波浪エネルギー利用技術の研究開発」¹⁶⁾を作成した。また、波力装置の実用化に資するために、これまで高度な設計技術が必要とされてきた波力装置の設計を簡素化するための波力利用装置最適設計システムを構築し、「振動水中型波力装置の技術マニュアル」¹⁷⁾として公表した。

4. 今後の課題

本研究開発を通じて、波力装置の実用化という観点から波力装置の設計手法を構築し、実海域実験によって、設計手法を評価しその妥当性を確認した。波力装置の今後の課題としては、発電効率の向上、送電システムの最適化、建造コストの削減とともに長期耐用化やメンテナンスフリー化による維持コストの削減が挙げられるのと同時に、法制度等の面から波力装置の建設・運用に対する理解が深まることが期待される。本研究開発の成果が、今後の沖合に係留される浮体式波浪エネルギー利用施設の実用化に寄与できれば幸いである。

5. 成果文献

成果文献の中で、平成15年度に発表したものは以下の通りである。

- 1) 大澤弘敬, 宮崎剛, 緒方輝久, 坂下晴空, 宮部宏彰, 山下誠也, 2003: 沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」の自由動揺実験, 日本造船学会講演会論文集, 第1号, pp. 81-82
- 2) 大澤弘敬, 宮崎剛, 緒方輝久, 竹内孝行, 岡山修三, 2003: 沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」の波力・太陽ハイブリッド発電システム, 日本造船学会講演会論文集, 第1号, pp. 85-86
- 3) 大澤弘敬, 宮崎剛, 緒方輝久, 宮崎英剛, 小寺山巨, 洪龍杓, 2003: 沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」に設置されたフレキシブルホースの動的挙動の計測, 日本造船学会講演会論文集, 第1号, pp. 83-84
- 4) 大澤弘敬, 2003: 浮体の流体力学 - 実験と解析 -, 成山堂書店・日本造船学会(海洋工学委員会性能部会編集), pp. 308
- 5) 大澤弘敬, 宮崎剛, 緒方輝久, 小林日出雄, 宮部宏彰, 2003: 「マイティーホエール」の撤去解体時諸試験, 第17回海洋工学シンポジウム, pp. 211-216
- 6) 大澤弘敬, 緒方輝久, 宮崎剛, 田中伸和, 2003: 浮体式波力装置「マイティーホエール」の付着生物のモニタリング, 第17回海洋工学シンポジウム, pp. 169-174
- 7) 大澤弘敬, 緒方輝久, 宮崎剛, 田中伸和, 山崎隆弘, 2003: 浮体式波力装置「マイティーホエール」防食アノード経年変化, 第17回海洋工学シンポジウム, pp. 491-496
- 8) 大澤弘敬, 緒方輝久, 宮崎剛, 2003: 「マイティーホエール」実海域実験データベースについて, 第17回海洋工学シンポジウム, pp. 217-222
- 9) 前田久明, 増田光一, 居駒知樹, 大澤弘敬, 緒方輝久, 有田守, 2003: 浮体式振動水柱型波エネルギー吸収装置の波エネルギー吸収性能の向上に関する基礎的研究, 第17回海洋工学シンポジウム, pp. 189-196
- 10) 大澤弘敬, 宮崎剛, 緒方輝久, 小林日出雄, 宮部宏彰, 2003: 沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」のLCAに関する検討, 第17回海洋工学シンポジウム, pp. 203-206
- 11) 大澤弘敬, 宮崎剛, 緒方輝久, 竹内孝行, 岡山修三, 2003: 「マイティーホエール」のタービン・発電機の評価, 第17回海洋工学シンポジウム, pp. 207-210
- 12) 大澤弘敬, 宮崎剛, 緒方輝久, 中川寛之, 日根野元裕, 2003: 波力装置の最適設計システム, 第17回海洋工学シンポジウム, pp. 197-202
- 13) 大澤弘敬, 宮崎剛, 緒方輝久, 竹内孝之, 岡山修三, 2003: 沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」のLCAに関する検討, 第17回海洋工学シンポジウム, pp. 207-206
- 14) 大澤弘敬, 2003: エネルギー資源の利用技術の進展と研究動向/5. 自然エネルギー/5.5 海洋, 日本エネルギー学会誌, Vol. 82, No. 7, pp. 455
- 15) 大澤弘敬, 宮崎剛, 緒方輝久, 竹内孝之, 2004: 沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」の波力・太陽光・ハイブリッドシステム, 日本造船学会論文集, 第194号, pp. 247-254
- 16) 大澤弘敬, 宮崎剛, 鷲尾幸久, 堀田平, 宮崎武晃, 2004: 波浪エネルギー利用技術の研究開発 - 沖合浮体式波力装置マイティーホエールの開発 -, 海洋科学技術センター, 386pp.
- 17) 海洋科学技術センター監修, 2004: 振動水柱型波力装置の技術マニュアル, (株)三井造船昭島研究所, 87pp.