

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 2 日現在

機関番号：53203

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02431

研究課題名(和文) 無人電池推進船による浅岸域海洋試料採取に関する研究

研究課題名(英文) Research on Seawater and Marine Sediment Sampling in Shallow Shore Region by Remotely Steerable Unmanned Battery Boat

研究代表者

賞雅 寛而 (TAKAMASA, Tomoji)

富山高等専門学校・その他部局等・校長

研究者番号：20134851

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、世界最高性能の無人電池推進船を開発し、海洋探査機器として、我が国の喫緊の課題である原子力発電所の海水モニタリング及び浅岸域海洋試料採取を行った。系統的な無人電池推進船海上試験及び既存船の改良後に、柏崎原子力発電所において発電所港内での海水モニタリング試験を実施し、課題点の抽出と解決方法の策定を行った。動揺低減方法を施さなければならないことが明らかになったため、全く新しい船舶の減揺システム及び位置保持システムを開発し、海洋探査機器として提唱した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海底火山や震災時などの危険区域の海洋試料サンプリングは、無人電池推進船が必要(土壌、海水採取から大気計測などに比較して大出力が要求される)である。本研究実施により短給電時間によって内燃機関性能に近い出力維持性能を持つ急速充電対応型電池推進船を無人化し、また新しく開発した動的動揺低減装置の負荷による荒天域での海洋試料サンプリングシステムを構築できたことにより、我が国の喫緊の課題となっている原子炉海洋汚染水処理及び海洋メカニズム解明のデータ取得が可能となった。本研究は十分に独創的な結果を得ており、我が国の海洋研究の進展に非常に意義がある。

研究成果の概要(英文)：A new type of seawater and marine sediment sampling system using remotely steerable unmanned battery boat has been developed and designed in this study. The system has some special and unique features that set it apart from existing marine sampling system. First, it utilizes an innovative proactive stabilizer which can reduce pitching, rolling, and heaving of the boat by two pairs of vertical moving floats and three-dimensional thrusting propellers. Some tests in a port of nuclear power plant have revealed the effectiveness of the system. This system could lead to significant possibility in seawater and marine sediment sampling even in rough sea condition.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：船舶工学 海洋探査 制御工学 無人海洋探査船

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 原子力発電所港内外の海水・生物放射能汚染

東日本大震災による地震動と津波の影響により、東京電力の福島第一原子力発電所で発生した炉心熔融など一連の放射性物質の放出をともなった原子炉事故は、国際原子力事象評価尺度において最悪のレベル7(深刻な事故)に分類される事故であった。この事故により、多くの放射能がいわゆる汚染水として海洋中に流失し、福島県沿岸での漁業操業は一部の魚種を対象とした「試験操業」を除き、申請時現在においても全て自粛されている。政府及び東京電力は、これまで海洋への放射能流失を防ぐ可能な限りあらゆる手立てを講じてきており、並行して海水中放射能計測を発電所港湾内外及び取水口内で行ってきている。また東京海洋大学はこれまで練習・観測船(海鷹丸・神鷹丸)を用いて、事故後毎年2回の福島沖の海水・海底土・魚類の放射能強度計測を行っている。これらは一部米国ウッズホール研究所との共同計測として実施され、継続的な海洋放射能計測の重要性が多くの上昇に取上げられるなど社会的注目度も高く、またその解析結果は2013年度宇田賞(石丸:研究分担者)2014年度環境科学賞(神田:連携研究者)を受賞(いずれも海洋学会)するなど国内外からの高い学術的評価を得ている。これら東京電力及び海洋大の計測結果から、神田は「主要流失放射線核種であるリチウム、ストロンチウム 90 及びセシウム 137 の原子炉内及び港湾内外の計測相対比が各部で大きく異なっていることから、流出源も流出経路も複数存在し、その実態はいまだ明らかにされていない」と強く指摘している(原子力学会誌 56-4, 2014)。この指摘を受けて持たれた東京電力と神田ら海洋研究者による「汚染水の、海洋影響に関する検討会」(2014年度)では、いくつかのシミュレーションの結果から、現在進められている漏えい防止対策効果の評価及び今後の廃炉促進に向けて、陸側から海洋への流出状況(特に港湾内外の定期的な各放射線核種の3次元計測)及び生物への影響を継続して計測することが必要であることが示されている。

これまでの東京電力及び海洋大の計測は、それぞれ練習・観測船及び漁船などを用いて行われているが、有人の手動採取であるため作業者の被爆防護が必要とされている(現状の定点計測点の放射能強度は必要とされるレベルではないが作業者の主として心因的理由から防護服の着用などが講じられている)こと、気象海象の影響があることから、安定的な定期採取がなされていない。さらに東京電力の計測ではこれらの制約から取水は主として表層海面から行われており、海底被覆近傍の計測はなされていない。2011年の事故直後に、東京電力は内燃機関駆動の無人小型船を発売し、自動サンプリングを試みているが、後述のように内燃機関船は、低速域の制御が難しく定点保持ができないなどの制約があり、実質的な使用に至っていない。

(2) 浅岸域の海底土壌・溶岩・海水・生物試料サンプリング及び解析

例えば小笠原諸島西之島周辺海域では、1973年の噴火以降、海底溶岩や生物試料の採取が行われている。2014年の再噴火で新しく誕生した陸地は拡大されており陸域表面及び生態系の変動については遠隔操作可能な無人ドローンなどを用いて調査が精力的に実施されている。ここで西之島のような海底火山の溶岩を採取解析することで、大陸出現メカニズムの解明につながる。また西之島は1973年の噴火後に海底でも熱水の湧き出しがあり、それに伴う生物活動が観察された。優占的に集まっていたカニの1種は新種として報告されているが、その後西之島周辺では海底熱水活動が収束し、それに伴う生物群集も消失したことが確認されている。

海底では熱水活動に伴う生物群集が再度形成されている可能性は非常に高いが、浅海域における大型の固有動物を伴う熱水噴出活動の報告は非常に稀であり、噴出活動の開始時点から経時的に生物群集の消長を観察した例は皆無である。深海域の熱水噴出孔生物群集と異なり、浅海域では海底下からのエネルギーに加え、太陽光エネルギーの影響が無視できず、2つの巨大エネルギーがせめぎ合う表層熱水系で繰り広げられる生態系の変動を克明に観測することは、太陽光エネルギーを唯一の一次生産エネルギーとして捉える一般的な生態系の研究では決して得られない新たな海洋生態系ダイナミクス理解につながる。

(3) 電池推進船及びその無人化



図1 らいちょうIとらいちょうS

研究代表者らは世界初の急速充電対応型電池推進船「らいちょうI」(3トン)及びこれも世界初のモーター駆動ウォータージェット船「らいちょうS」(1トン)を2010年及び2012年にそれぞれ研究開発し建造した(図1、内燃機関に比較して低い電池のエネルギー密度を補てんする給電時間はいずれも世界最短)。その革新性が学術的技術的にも高く評価され、「日本シップ・オブ・ザ・イヤー2010(小型旅客船部門)」「日本船舶海洋工学会」、「日本ボート・オブ・ザ・イヤー2010特別賞」(日本ボート・オブ・ザ・イヤー実行委員会)及び「マリンエンジニアリング・オブ・ザ・イヤー2013」(マリンエンジニアリング学会)を受賞している。電池推進船は既存の

内燃機関船と異なり、1) 吸気を必要としないために、例えば火山灰や荒天時の海水が機関内に入り、ストール（機関停止）や故障することがない、2) モーター駆動であるので停止発動が容易であり、細かな回転制御ができる、3) GPS 位置制御により定点観測が容易などの特徴を持つ。

2. 研究の目的

海洋開発及び海洋環境保全において、海底土壌・岩石・海水・生物試料は非常に重要な研究資料である。これらは研究船または漁船などによるサンプリング装置（例えば海底土壌はピストンコアラーなど）を用いた採取が通常行われているが、手動採取であるため人手がかかること及び海底火山や震災時などの危険区域の採取は難しい。本研究では、1) 東京海洋大学が開発した世界初の急速充電対応型電池推進船 2 隻を完全無人化するとともにサンプリング採取装置の自動化、及び2) 母船・陸上施設とのデータ通信・充電設備設置により、現在喫緊の計測課題となっている3) 原子力発電所港内・港外直近の海水・生物試料サンプリング・解析、及び4) 浅岸域の海底土壌・溶岩・海水・生物試料サンプリング・解析を行う。

3. 研究の方法

通常の海洋試料に用いられる CTD 及び海水サンプリング機器の他の自動化する試料採取機器、及び無人化する電池推進船の概要を下記に示す。

(1) 海洋試料採取機器

① 溶岩採取系機器（図 2）

- ・粘着式採岩器：採岩器下端に取り付けられたパイプ内側の粘着性グリスに溶岩を粘着採取する。
- ・田村式採岩器：採岩器下端のジョーの海底着岸時の閉鎖により、溶岩を採取する。
- ・ドレッジ式採岩器：海底で引きずられ、採岩器下端の間口で溶岩を採取する。

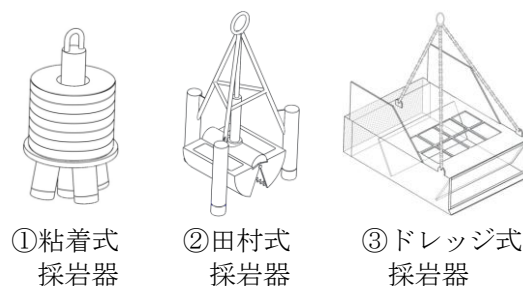


図 2 溶岩採取系機器

採岩操作は母船との無線 LAN 通信が確立しているときに行い、採岩の様子を監視カメラにより遠隔監視する。採岩ポイントに到着後、ウインチに取り付けられた採岩器を海底まで自由落下させ、採岩後にウインチで採岩器を船側に寄せて巻き上げをする。

② 生物採取系

- ・エックマン・バージ採泥器：海底の堆積物等を掴むタイプの採泥器
- ・スラップガン：潜水調査船、ROVに取り付けて使う水中掃除機
- ・小型 ROV「クラムボン」：電池推進船を母船としてデータ通信・エネルギー補給に使用
- ・ミニマルチプルコアラー：海底の堆積物を採集するための装置

(2) 電池推進船の無人化

① らいちょう I（図 3）

母船（練習・研究船など）随行し、外洋までのサンプル採集・海底調査を可能にし、遠隔操縦運転、プログラム運転、自律運転機能の他定点保持制御機能を付与する。

- ・内部区画変更、バルジ追加
- ・アウトドライブ 2 基取付
- ・操舵機をサーボ式に変更
- ・発電システム及び燃料タンク追加（20kW+300 リットル）
- ・採集用デリックとウインチ、Wi-Fi 用アンテナ、カメラ、GPS 追加
- ・無人用制御部追加（含むソフトウェア）

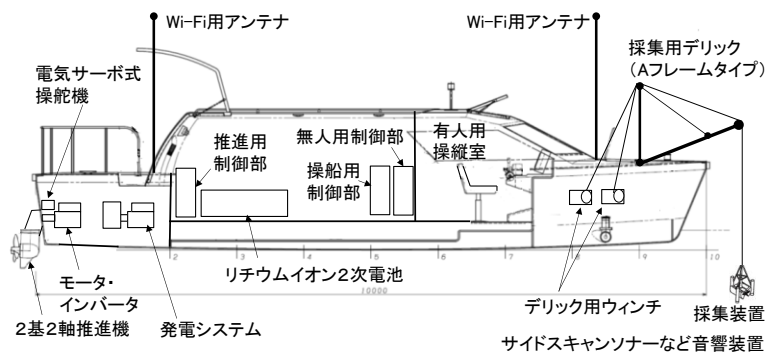


図 3 らいちょう I 無人化

4. 研究成果

本研究の目的は、世界最高性能の無人電池推進船を開発し、海洋探査機器として、我が国の喫緊の課題である原子力発電所の海水モニタリング及び浅岸域海洋試料採取を行うことである。

平成29年度は、引き続き、1) 急速充電対応型電池推進船の完全無人化・サンプリング採取装置の自動化、2) 母船・陸上施設とのデータ通信・充電設備設置として、a) 船体・資料採取機器改造設計→b) 船体無人化改造→c) 海洋試料採取機器自動化→d) 陸上試験を既存の電池推進船について行い、電池推進船に試料採取機器・GPSなどを取り付けるなどの改造を行った。10月に行った海上無人航行試験及びその解析をもとに、「無人電池推進船を用いた世界最高性能（出力、安定性）の海洋探査機器の開発」の達成について課題を整理した。その結果当初の予測に反し、主として対波浪性の観点から推進・無線操縦システム等船舶構造が安全航行するには不十分であると判明したため、既存の電池推進船のさらなる改造を、年度研究期間を2か月延長して行った（平成30年3月末から5月末まで）。

柏崎原子炉においては、現在東京電力によって実施されている港湾内及び港湾外の漁船・手動計測による定点定期的海水放射能計測と同等のポイントで行い計測値を評価し、無人電池推進船による計測が非常に有用であることを示した。しかしながら定点保持された停船電池推進船への波浪動揺によるサンプリングの困難は、漁船・手動計測と同様であり、小型船舶あるいは洋上浮体の定点保持時の動揺低減方法を施さなければ、広い気象海象条件でのサンプリングに呈さないことが明らかになった。また1年を通しての外洋域の海象気象に対応した海水モニタリングのためには、電池推進船の対波浪性・位置保持性能の抜本的な向上が必要であることも判明したため、全く新しい船舶の減揺システムを考案し、その3か月にわたる予備実験を行った(図4, 5)。その結果、これまでにない6成分の減揺が可能になることが明らかになり、特許を出願した。電池推進船の動揺低減化を図6に示す。

並行して電池推進船の推進効率および操作性向上のためのモーター制御に関する予備実験を平成28年度に継続して行い、これまでのモーター推進船のプロペラ推進に比較して新しいプロペラ作動検知を提唱することができたため、2件の特許（プロペラ近傍のキャビテーション気泡及び巻き込み気泡の検出方法及びプロペラ負荷検出方法）を出願した。また以上の結果を専門学会誌に3件の論文として投稿した。



図4 動揺低減装置

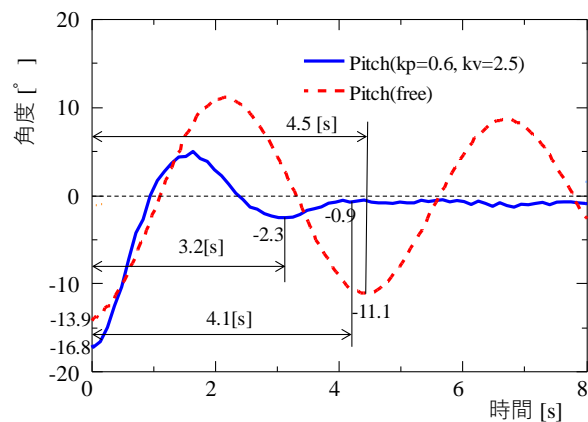


図5 ステップ応答特性

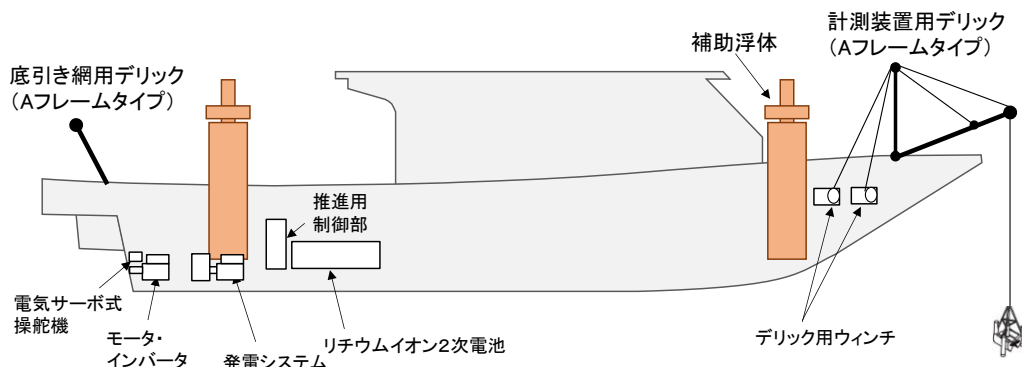


図6 電池推進船動揺低減化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Ode Tsuyoshi、Takamasa Tomoji、Hazuku Tatsuya、Ihara Tomonori	4. 巻 53
2. 論文標題 Characterization of Near-Propeller Bubbles and Thrust Fluctuation in a Constant Rotational Speed Control Motor Propulsion System	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Marine Engineering	6. 最初と最後の頁 582 ~ 588
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.5988/jime.53.582	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Ode Tsuyoshi、Takamasa Tomoji、Hazuku Tatsuya、Ihara Tomonori	4. 巻 53
2. 論文標題 Characterization of Near-Propeller Bubbles and Fluctuation in Thrust Force in a Constant Torque Control Motor Propulsion System	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Marine Engineering	6. 最初と最後の頁 576 ~ 581
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.5988/jime.53.576	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Ode Tsuyoshi、Takamasa Tomoji、Shimizu Etsuro、Hazuku Tatsuya、Kifune Hiroyasu、Ihara Tomonori	4. 巻 53
2. 論文標題 Detection of Near-propeller Bubbles and Thrust Power in a Constant Torque Control Motor Propulsion System	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Marine Engineering	6. 最初と最後の頁 362 ~ 367
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5988/jime.53.362	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Tsuyoshi Ode, Tomoji Takamasa, Etsuro Shimizu, Tatsuya Hazuku, Hiroyasu Kifune, Tomonori Ihara
2. 発表標題 Detection of Near-propeller Bubbles and Thrust Power in a Constant Torque Control Motor Propulsion System
3. 学会等名 The 11th International Symposium on Marine Engineering (ISME2017 TOKYO) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大出 剛、清水悦郎、波津久達也、井原智則、山口源貴
2. 発表標題 モーター推進におけるプロペラ周辺気泡発生検知
3. 学会等名 第87回(平成29年)マリンエンジニアリング学術講演会要旨集
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 気泡発生装置及び気泡発生検出方法	発明者 大出剛、賞雅寛而、清水悦郎、波津久達也、井原智則	権利者 東京海洋大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-095263	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 プロペラ負荷状態推定装置、プロペラ負荷状態推定方法、及びプロペラ負荷状態推定プログラム	発明者 大出剛、賞雅寛而、清水悦郎、波津久達也、井原智則	権利者 東京海洋大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-095748	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 浮体構造物	発明者 賞雅寛而、他9名	権利者 国立高専機構、東京海洋大学、東京電力ホール
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-187828	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>東京海洋大学 海洋工学部 動力エネルギー工学研究室 http://www2.kaiyodai.ac.jp/~takamasa/ 急速充電対応型電池推進船開発プロジェクト http://www2.kaiyodai.ac.jp/~takamasa/kaiyodai-ees-project/ 動的動揺低減装置 http://www2.kaiyodai.ac.jp/~takamasa/kenkyu.html, PW: raicho2019</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	波津久 達也 (HAZUKU Tatsuya) (60334554)	東京海洋大学・学術研究院・教授 (12614)	
研究分担者	山本 桂一郎 (YAMAMOTO Keiichiro) (40321418)	富山高等専門学校・その他部局等・教授 (53203)	
研究分担者	清水 悦郎 (SHIMIZU Etsuro) (60313384)	東京海洋大学・学術研究院・教授 (12614)	