

令和 3 年 6 月 21 日現在

機関番号：56302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K01346

研究課題名(和文) 水域ネットワークを構成して底質を一括走査する協調型環境調査船システムの開発

研究課題名(英文) Development of Collaborative Sediment Environment Survey Boat that Scan the Bottom in Waters Network

研究代表者

田房 友典 (Tabusa, Tomonori)

弓削商船高等専門学校・情報工学科・教授

研究者番号：20321507

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：湖や海底の底質や地形の調査は、水産業における漁獲量の改善や地震の発生メカニズムを解明する上で大変重要である。本研究では、調査船を分解して携行可能な小型で軽量の自立航行走査船を開発した。開発した調査船は、モーターと魚群探知機とマイコン(ラズベリーパイ)で構成されている。調査船は主船を追従し、効率的な走査を行うことができる。提案した調査船を実現させるため、新たに協調型自律航行制御アルゴリズムを開発し、実際に海洋で実証実験を行い、その優位性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国立海洋研究開発機構(JAMSTEC)「かいめい」のような大型船が調査することのできない沿岸・危険水域での一括した底質調査を目的とし、底質データを必要とする多くの研究者、社会などに寄与する。学術的に、環境調査を目的に開発された調査船として、複数の船舶が水域ネットワークを利用した協調作業によって自律航行する研究は世界的にも皆無であり、本研究成果は、災害支援、船舶工学や環境調査の分野においても研究進展に対する大きな貢献ができ、その学術的な波及効果も大きい。

研究成果の概要(英文)：Surveys of lake and seafloor sediments and topography are very important for improving fisheries catches and elucidating the mechanisms of earthquake occurrence. In this research, we developed a compact and lightweight self-navigation scanning boat that is easy to disassemble and carry. The research vessel we developed consists of a motor, a fish-finder, and a microcomputer (Raspberry Pi). The survey boat can follow the main vessel and perform efficient scanning. In order to realize the proposed survey boat, we developed a new collaborative self-navigation control algorithm and conducted a practical experiment in the ocean to confirm its superiority.

研究分野：情報工学

キーワード：環境調査 水域ネットワーク Zigbee 底質調査 協調船

1. 研究開始当初の背景

国立海洋研究開発機構(JAMSTEC)は、2016年海底広域研究船「かいめい」を竣工し、世界最先端の技術で未開拓地域の海底地形調査や海底地形図作成に取り組んでいる。申請者は、2010年にタイ王国ナコンパノム大学の研究者らとメコン川の底質地形調査を目的に、環境に及ぼす影響を調査する環境調査船を開発し、底質地形図を出力する技術を確立した。

本研究は、「かいめい」のような大型船が調査することのできない沿岸・危険水域での一括した底質調査を目的とし、底質データを必要とする多くの研究者、社会などに寄与する。

学術的に、環境調査を目的に開発された自動航行船が既に報告されているが、何れの船舶も単体での使用を前提に設計されたもので、複数隻が協調して調査する機能を有しておらず、また船舶の大きさが3mを超え、重量もあるため携帯搬送できない。底質調査を目的に、船舶が水域ネットワークを利用した協調作業によって自律航行する研究は世界的にも皆無であり、本研究成果は、災害支援、船舶工学や環境調査の分野においても、研究進展に対する大きな貢献ができ、その学術的な波及効果も大きい。

2. 研究の目的

東日本大震災では、未だに約2500人が行方不明となっているが、震災当時、海底質の調査を迅速に行うことができれば、行方不明者数は減っていた可能性がある。人命救助、事件捜査における証拠物の捜索など短時間で正確な底質地形の調査ができれば、社会システムに大きな貢献となる。本研究は、災害や事件が発生したときの緊急の底質調査、大型船が運航できない港湾などの浅瀬、湖や河川等の底質調査を短時間かつ高精度で行うことを目的とする。実現するために、これまでの研究成果を発展させ、水域ネットワークを構成し、複数隻の船舶が協調制御によって底質を一括走査する調査船システムを開発する。

従来の調査船の走査は、調査対象領域において風や流れの影響を受けて重複や走査漏れを起こす。このような非効率な走査によって、地形図として作成できない領域や精度の低下、無駄な調査時間、労力、限られた環境調査船の推進エネルギーも消費する。効率的な海底走査を行うために、水域ネットワークを構成した複数隻の調査船が、協調しながら一斉に底質走査を行い、陸上では各々の調査船状況を把握し走査漏れのない測深を支援するシステム開発を研究期間内に行う。

3. 研究の方法

初年度(平成29年度)は、調査船が複数台となるため調査船の形状と構造、構成機器などを再設計し複数隻の調査船を試作する。また陸上側と調査船間が無線ネットワークを構成し、調査船間の協調制御、航行情報をモニタリングできるソフトウェアを開発する。調査船の構成は世界の研究者、底質・地形解析を必要とする多くの現場へ寄与できるように小型かつ安価、さらに安全性の高いシステムとする。平成30年度以降は、底質測深に特化した調査船の協調制御の研究に着手する。研究目標に応じた研究計画を3ステージにステップ分けする。各ステージに基づいて舵角とモータ出力を制御するアルゴリズムを開発する。また、複数隻の航海情報は、陸上で常に把握できるよう初年度開発したソフトウェアを拡張する。

(1)船体構造の設計と構築

開発する調査船の船体は、複数隻になるため従来よりも小型かつ軽量化する。従来3時間以上の連続航行を想定していたが協調走査により走査時間は半分以下に短縮されるため、バッテリーやモータ出力値の見直し等を行う。

(2)水域ネットワークの開発

水域ネットワークとは、調査船間と陸上の通信を行うネットワークであり、調査船が移動しても走査中途切れることがないネットワークである。陸上と調査船間は、実証実験で500m以上の通信が可能なZigbeeモジュールを用いる。本研究では、水上の複数隻の調査船間の相互通信を可能とし、陸上からの指令や調査船の情報を相互通信するため、通信距離に応じて帯域の異なるBluetoothやWi-Fiを相互に組み合わせたネットワークを開発し、実験的により検証する。

(3)モニタリングソフトウェアの開発

調査船が目視できないほどの遠方に離れると、調査船の船首方位などの航海情報(現在位置、船首方位、舵角、モータ出力、船体速度)を把握することが困難となるため、軌跡の表示と自律走査の支援を行うモニタリングソフトウェアを開発する。開発するソフトウェアは、調査船が走

査した軌跡を google マップ上に表示する領域と調査船の航海情報を表示する情報領域と魚群探知機の情報を表示する測深領域から構成する。調査船の位置情報によって軌跡とエレキモータの状態がリアルタイムに表示されるため、目視できない領域でも支援が可能となる。

(4)自律制御アルゴリズムの第1ステージ(直進制御)

1隻の調査船で、目標地に向かって波や風の影響を配慮しながら直進する自律制御アルゴリズムを完成させ、続いて複数隻で協調制御の開発を行う。主となる調査船は、直進制御を行い、従となる複数隻が主調査船に対して追従するアルゴリズムを開発する。このとき、制御が可能となる環境情報(風、波高、潮汐)を記録し、協調制御が可能となる環境情報の境界についても明らかとする。

(5)自律制御アルゴリズムの第2ステージ(旋回制御)

第1ステージと同様に、まずは1隻において90度の旋回制御の開発を行い、次に複数隻の協調制御へと拡張する。自律航行は、急な舵角制御をしたとき制御不能になることが多いため、「あて舵」のアルゴリズムを活用する。旋回制御も同様に「あて舵」を用い、航海情報の相互通信を行いながら制御を行う。万が一に備えて自律的な衝突防止対策だけでなく、陸上側からの緊急停止機能もあわせて開発する。

(6)自律制御アルゴリズムの第3ステージ(直線+旋回制御)

直線と旋回の切替え制御に時間を費やすことが予測されるが、水域ネットワークによる航海情報の相互通信と画像処理利用による安定した協調制御アルゴリズムを検討する。さらに、開発したモニタリングソフトウェアを、複数隻の調査船の航行軌跡や航行状態(現在位置、船首方位、舵角、モータ出力、船体速度)が一元管理できるように改良を行う。

(7)実証実験

安全性と効率的な走査を考慮しながら実証実験を行い、随時必要機能の改修を行う。申請者が所属する高専の周りは穏やかな瀬戸内海の海に囲まれており、繰り返し実証実験を行うことが可能である。

4. 研究成果

(1)環境調査船とシステム構成

開発した環境調査船(以下、調査船)のサイズは1.2[m]×0.8[m]×1.0[m]、本体重量は約35.0[kg]、速力は約1~2.5[knot]、連続航行時間は2時間以上の性能を有する(図1)。また、調査船の前方には2種までのソナーを搭載するための治具が設置可能であり、推進力として水中モータを2基搭載している。さらに、容易に分解や組み立てをすることも可能で、車が入れないような進入困難水域においても、分解して運搬が可能である。このように底質調査に特化した必要最小限の装置を搭載し、軽量化することで搬送が容易となり、水中モータの推進が長時間可能となった。

図2に開発した調査船のシステムの構成図を示す。魚群探知機には、Lowrance社製HDS-7gen2を用いNMEA Network Starter Kitにより高精度GPSアンテナPoint-1を接続し、GPSや船首方位をNMEA0183形式で取り出す。シリアル通信で接続されているRaspberry Piにて魚群探知機等から取得したデータをフォーマット変換し、ZigBee規格で通信可能なXbeeProS2Cによって陸上に転送する。陸上の専用コントローラにもZigBee端末が接続されており、調査船へ走査の開始を指示する。また、取得した深度などの環境データは、魚群探知機のSDカードへと保存されている。



図1 環境調査船

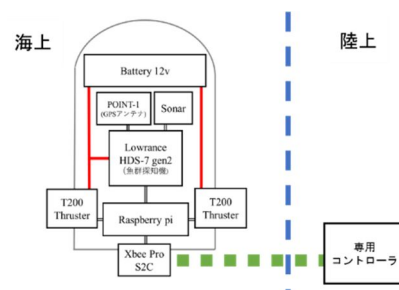


図2 システム構成図

(2) 水域ネットワーク

Zigbee 規格による水域ネットワークの構築を行う。図 3 に示す中継器は、カメラの三脚と XBee S2C、XBee 用外部アンテナ U.FL コネクタ型から構成されている。操縦者と調査船の距離が遠方になることが想定される場合に、適切な箇所に設置することで ZigBee の通信範囲を 500m よりもさらに拡大することができる。ZigBee は通信頻度に影響を受けるが、ひとつのネットワークに最大で 65,536 個の端末を接続することができるため、広範囲な水域ネットワークを構成することができる。



図 3 水域ネットワークの中継器

(3) モニタリングソフトウェア

魚群探知機から出力される航海・環境情報を、水域ネットワークを経由して陸上へ転送し、それらの情報をビジュアル的に表示する。ソフトウェア開発には、Python pyqtgraph を用い、船首方位と対地速度、バッテリー残量、マップ(現在地)、水温、水深を確認することができる。船首方位は 10Hz、その他のデータは 1Hz 間隔で更新される。

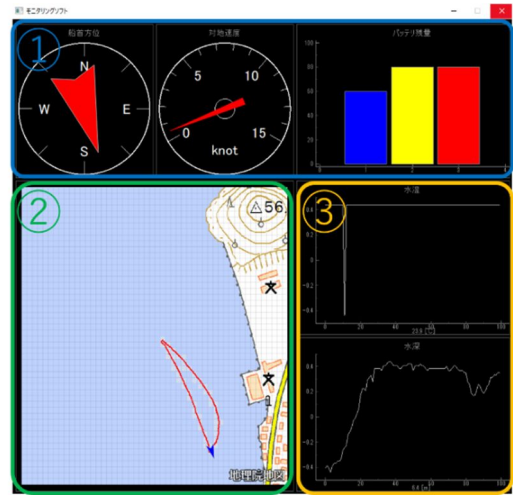


図 4 モニタリングソフトウェア

(4) 自律制御アルゴリズムの実証実験

自動走査制御の実証実験を弓削島(愛媛県越智郡上島町弓削上弓削)水域で行った。実証実験 1 は 2019 年 11 月 4 日、実証実験 2 と 3 は 11 月 22 日に実施した。実証実験 1 から 3 の軌跡は、底質走査における調査船の走査航路を想定しており、効率的に調査範囲を走査できるよう配慮した航路軌跡である。

図 5 に示す実証実験 1 は、約 70m の正方水域に 9 つのウェイポイントを設置して同図の ST 地点からウェイポイントを経由して GL ポイントまで走査する。赤点(丸点)はウェイポイント、緑破線は理想の走査航路を示している。実験当日、平均風速(北西の風)3[m/sec]、潮流は南方向に流れていた。風や潮流などの外乱の影響が大きく、最大で理想経路より 10m 程度離れることがあったが、全てのウェイポイントを経由することができた。

実証実験 1 のように渦巻状に自動走査制御を行うと、調査水域の中心ほどウェイポイント間の距離が短く、円に近い経路になるため、図 6 に示すように実証実験 2 では走査経路を螺旋状にし、ウェイポイント間の距離を約 100m に設定している。

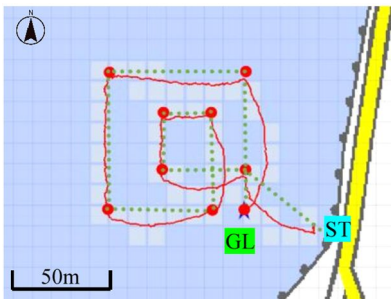


図 5 実証実験 1

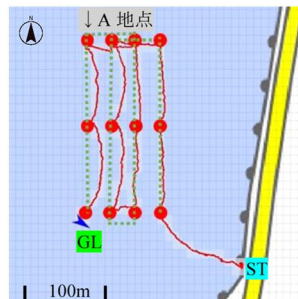


図 6 実証実験 2

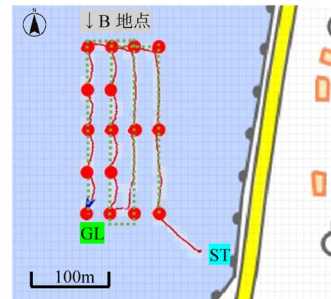


図 7 実証実験 3

図7に示す実証実験3は、南方向に進行する時の理想経路との誤差を減少させるために、ウェイポイントの中間点に新たなウェイポイントを追加した。理想経路との最大誤差は7m程度に減少した。なお、実証実験2と3において、風速平均(北西の風)2[m/sec]、潮流は南方向に流れていた。

(5)調査船(主船と従船)とのデータ通信

2隻の調査船が協調制御を行うための一連のデータ流れを図8に示す。各船から陸地に送信されたデータは、モニタリングソフトウェアによって確認する。主船から陸地にはGPSデータ等の計6つのデータを送信し、主船から従船にはGPSデータのみを送信する。従船から陸地にはGPSデータ等の計5つのデータを送信する。従船は、主船からのGPSデータを用いてヒュベニの公式で距離と方位角を求め、従船の船首方位と方位角との角度差と算出した距離を用いてモータの出力値を算出する。

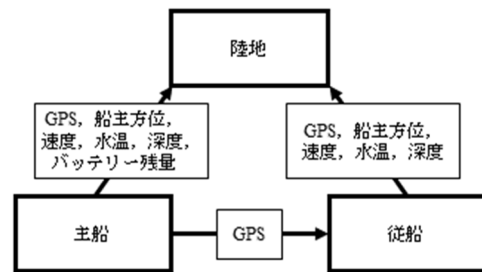


図8 主船と従船からの送信データ

(6)2隻による協調制御アルゴリズムの実証実験

2020年11月17日、愛媛県越智郡上島町の高浜八幡神社前の海洋で主船に対する従船の追従実験を行った。図9は、実証実験で得られた主船と従船の航路軌跡を重ね合わせ比較した図である。同図より、主船の軌跡に重なることなく主船に追従した軌跡をたどっており、最も2隻の間隔が離れた位置は約15mであった。図10は主船と従船の距離を示しており、約7から18mの範囲で主船を追従していることを確認できる。

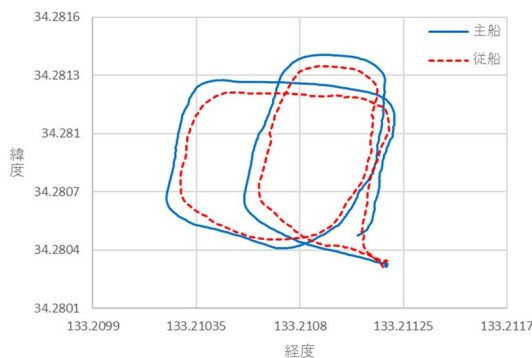


図9 主船と従船の航路軌跡

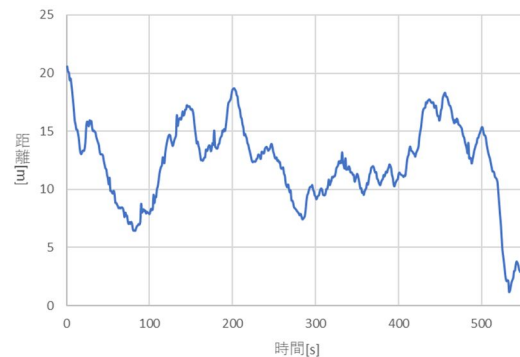


図10 主船と従船間の距離変化

<引用文献>

- 福戸淳司：自律船研究の動向，日本航海学会誌 NAVIGATION，200 巻 p. 4-11，2017.
- 羽根冬希：方位制御システムに基づく航路制御システムにおける潮海流の推定と制御，計測自動制御学会論文集，46 巻，8 号，p.420-429，2010.
- 山崎新太郎・原口強・伊藤陽司：レジャー用魚群探知機を利用した水底地形調査，応用地質，54 巻 5 号，p.204-208，2013.
- 田房友典・澤村 幸樹・向井利夫・葛目幸一：小型自律走査艇の開発とメコン川の川底三次元地形図の作成，日本航海学会誌 NAVIGATION，186 巻，p.15-23，2013.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Shintaro Yamasaki, Tomonori Tabusa, Shunsuke Iwasaki and Masahiro Hiramatsu	4. 巻 4:25
2. 論文標題 Acoustic water bottom investigation with a remotely operated watercraft survey system	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 1,9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40645-017-0140-y	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 該当する

1. 著者名 田房友典、山本廉太、益田大輝、山崎新太郎	4. 巻 144
2. 論文標題 進入困難水域を自動走査する底質環境調査船の開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本航海学会論文集	6. 最初と最後の頁 採録決定
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 該当する

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 正岡優之介, 田房友典
2. 発表標題 小型環境調査船のモニタリング・操船支援システムの開発
3. 学会等名 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 益田大輝, 田房友典
2. 発表標題 Webカメラを用いた協調調査船支援システムの開発
3. 学会等名 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本廉太, 田房友典
2. 発表標題 小型環境調査船の自律制御システムの開発
3. 学会等名 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 正岡優之介, 山本廉太, 田房友典
2. 発表標題 モニタリングシステムによる小型環境調査船の遠隔制御
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 正岡 優之介, 益田 大輝, 田房友典
2. 発表標題 小型環境調査船の航海・環境情報モニタリングシステムの開発
3. 学会等名 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本 廉太, 田房友典
2. 発表標題 遠隔制御機能を有する携行可能な小型環境調査船の開発
3. 学会等名 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------