

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年6月28日現在

機関番号：82706
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2011~2012
課題番号：23760778
研究課題名（和文） 自律型海中ロボットによる熱水地帯の精密画像観測システムの開発
研究課題名（英文） Development of an observation system for hydrothermal area using an autonomous underwater vehicle
研究代表者 中谷 武志 (NAKATANI TAKESHI) 独立行政法人海洋研究開発機構・海洋工学センター・技術研究副主任 研究者番号：00581753

研究成果の概要（和文）：本研究では、自律型海中ロボット(AUV)の更なる知能化により、海底熱水地帯の広範囲かつ精密な画像観測を実現した。熱水チムニーが点在する海域において全自動観測活動を行うためのAUVのナビゲーション手法、3次元画像モデルの取得方法、取得データの自動処理手法までを含めたトータルとしてのシステム開発を行い、各種の学術的調査や、海底資源開発の議論に用いるための定量的なデータを取得することを可能とした。

研究成果の概要（英文）：In this research, we developed an AUV's intelligence and achieved a precise visual observation system for a wide hydrothermal area. The main developmental techniques of the system are as follows; a navigation method of AUV around hydrothermal chimneys, a 3D visual modeling method of seafloor including the chimneys, and an automatic analysis method of the modeling. The observation system enables to achieve a quantitative data for an academic investigation or a development of seabed resource.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：海中ロボット学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：海中ロボット、画像観測、ナビゲーション、自律型、海底熱水地帯

1. 研究開始当初の背景

熱水地帯調査の観測プラットフォームとして、コストおよび労力の観点から自律型海中ロボット(Autonomous Underwater Vehicle AUV)が期待されている。

しかしながら、熱水地帯にはチムニーとよばれる煙突状の熱水噴出孔が点在し、単純な地形追従を行う従来の航行手法では、AUVは

熱水チムニーを障害物として回避しなければならず衝突の危険性も高かった。そのうえ、重要な観測対象であるチムニーおよびその周辺を撮影することは困難であった。

2. 研究の目的

(1) AUV航路上の熱水チムニーを認識し、一時的に航路を離れて詳細にチムニーの観測

を行う航法手法を開発する。これにより、従来は重要な観測対象物でありながら障害物として回避せざるを得なかったチムニーの観測が可能となる。

(2) チムニーの精密な画像観測を実現するため、回転式シートレーザーを用いた形状取得装置を開発する。この装置によって、ミリ精度でチムニーの3次元形状を取得する。また、同時に撮影したカメラ画像とこの3次元形状を統合することにより、色付きの3次元画像モデルを空間的に再構築する。

(3) 観測によって得られた膨大なデータを活用するため、得られた海底の3次元画像モデルから、興味ある対象物の領域抽出やカウントなどを行う自動処理アルゴリズムを開発する。そして、チムニーや生物群集の観測結果を分布図や生息数などの定量的なデータとして示す手法を提案する。

3. 研究の方法

上記の目的を概念図としてまとめたのが図1である。この目標を達成するため、次の3点の要素技術を開発する。

- ・ AUV が熱水チムニーを観測するための行動制御手法
- ・ 熱水チムニーの3次元画像モデルの取得手法
- ・ 取得データの自動処理手法

なお、開発した要素技術の実証実験には、東京大学生産技術研究所のAUV “Tuna-Sand”を使用する。本AUVは研究代表者らが2007年に開発したホバリング型AUVであり、空中重量250kg、耐圧深度1,500mである。水槽実験を行って改良を加えたのち、実際に海底熱水地帯に展開し、実環境下においてその有効性を検証する。1年に1~2度のペースで実海域実験を行い、システム全体をブラッシュアップさせる。

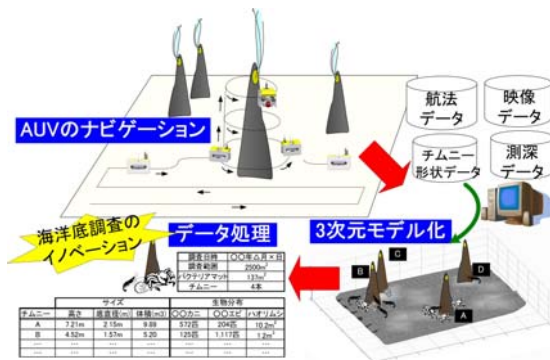


図1 提案する「AUVによる熱水地帯の精密観測システム」

4. 研究成果

(1) 「AUVのナビゲーション手法」として光切断法を用いた測距センサと、自律航行制御プログラムを開発し、チムニーに正対した状態で一定距離を保ちながら全自動で周回する技術を開発した。水槽実験にて、チムニーを模擬した塩ビパイプ(直径30cm,長さ3m)を底に設置し、AUVにその周囲を全自動で航行させた。また、チムニーの直径が無限に大きい場合として壁に追従させた。どちらの場合も、塩ビパイプに衝突することなく周回することに成功し、航法アルゴリズムの有効性を示した。

(2) 「3次元画像モデルの取得方法」として、チムニーの形状を色付きでスキャンできる3次元スキャニング装置を開発した。本装置は、シートレーザー・カメラ・回転台から構成される観測機器である。図2にAUVに取り付けられた本装置の写真を示す。

1回のスキャンではチムニーの一部しかスキャンできないため、チムニーの全面をスキャンするには複数の方向から撮影する必要がある(図3参照)。しかしながら、3次元形状の取得を複数地点から行うと、位置精度の問題から各スキャン結果に位置ずれが発生する。そこで、補正手法としてICP(Iterative Closest Point)アルゴリズムを適用し、つなぎ目のない3次元モデルを作成するプログラムを開発した。実際に実海域で得た、チムニーの3次元画像モデルの一例を図4に示す。

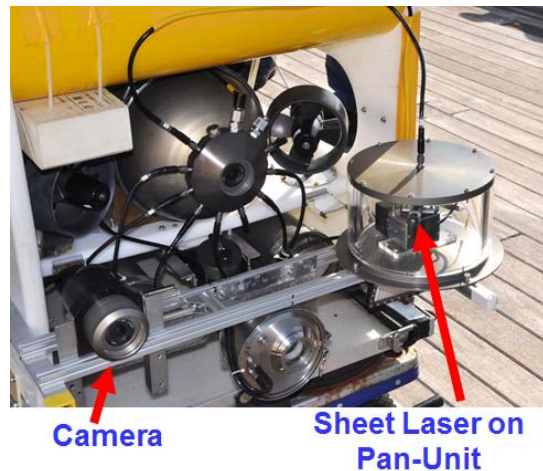


図2 開発した海中3次元カラー・スキャニング装置

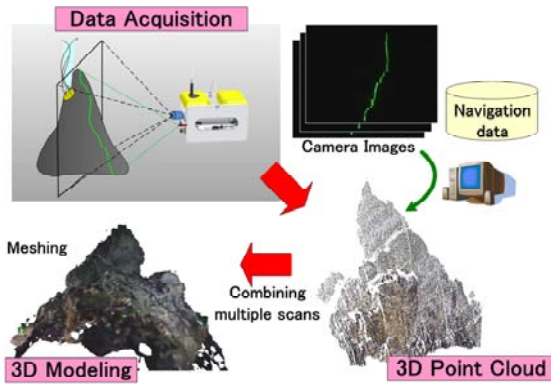


図3 熱水チムニーの3次元画像モデル取得手法

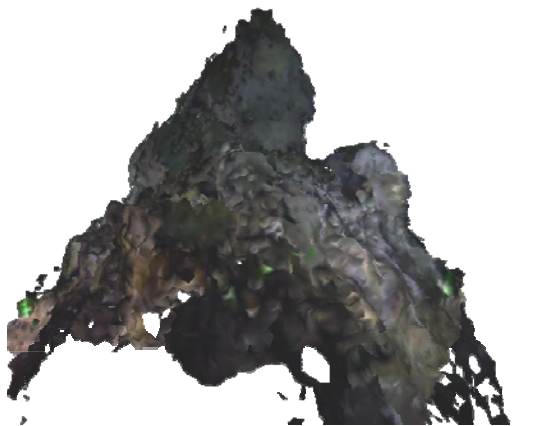


図4 熱水チムニーの3次元画像モデル(高さ約1.8m、底部の直径約3.3m)

(3)「取得データの自動処理手法」として、3次元画像モデルからチムニーの高さ、底部の直径、体積などの特徴量を算出するソフトウェアを開発した。また、生物などの対象物のカウントや領域抽出などを自動で行うアルゴリズムを開発した。そして、実海域で得たデータに適用し、バクテリアマットや底生生物の自動抽出に成功した(図5参照)。本手法は、画像から目視によって数え上げる従来手法と比べ、効率性において大いに優れている。

(4) AUVによる海底構造物の観測については既に様々な提案・研究がなされているが、既存研究のほとんどは防波堤や漁礁などの人工構造物を対象としたものであった。人工構造物は施工時の図面などから形状や寸法、材質について既知である場合が多く、詳細な環境マップをロボットに与えることができる。それに対し、本研究では自然構造物であるチムニーを対象としており、事前に正確な位置や形状情報を得ることが難しい。つまり、マップが存在しない環境を対象としており、よ

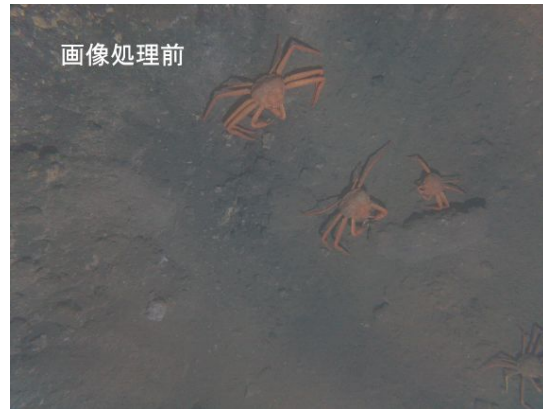


図5 色情報を用いた、海底画像からの底生生物(ベニズワイガニ)の領域抽出

り高度なアプローチが求められる。また、開発した行動制御手法はチムニーとは全く逆の形状の大きな窪地地形でも応用可能であり、メタンハイドレード地帯のポックマーク内壁の全自動観測による科学的成果も期待される。

また、AUVのナビゲーション情報に基づく画像のマッピングを行い、自動的に得られた3次元モデルから興味ある対象物の領域を抽出したり、生物の生息数を自動でカウントすることができるようになった。ビデオ映像から目視によって数え上げる従来手法に比べて効率性において一線を画している。正確性については現状では目視に比べて劣るが、今後の研究によって改善されることが大いに期待される。

さらに、既存研究においてAUVによる熱水地帯の画像観測まで至った例は世界でもほとんどなく、できたとしても局所的であった。本研究では実際に日本近海の熱水地帯にAUVを展開し(第四与那国海丘[YK11-10 研究航海], スミスカルデラ[KY12-13 研究航海])、定量的なデータを取得することに成功した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① 浦環, 中谷武志, “二種類の海中ロボットを用いて高精度な海底の自動観測”, 解説記事, 検査技術, 査読無, vol.16, No.7, pp.58-63, 2011.7.1.

[学会発表] (計5件)

- ① 金岡秀, 浦環, 坂巻隆, 中谷武志, 小島淳一, 岡村慶, 中根健志, 小幡忠正, 小山寿史, 大藪祐司, “AUVによる海底熱水地帯調査の新戦略,” Blue Earth '13, BE13-P85, pp.220-221, 東京, 2013.3.15
- ② 浦環, 永橋賢司, 金岡秀, 坂巻隆, 西田裕也, 関根司, 中根健志, 小幡忠正, 小山寿史, 田中裕也, 大藪祐司, 小島淳一, 中谷武志, 伊藤譲, 伊藤洋道, 野瀬勇伺, 岡村慶, “複数 AUV の同時展開による新しい海洋調査手法,” Blue Earth '13, BE13-23, pp.54-55, 東京, 2013.3.15
- ③ Takeshi Nakatani, Shuhao Li, Tamaki Ura, Adrian Bodenmann, Takashi Sakamaki, “3D Visual Modeling of Hydrothermal Chimneys using a Rotary Laser Scanning System,” The International Symposium on Underwater Technology (UT2011), pp.1-5, Kona, USA, 2011.9.21.
- ④ 浦環, 中谷武志, 松本良, “海底を観る,” 海洋音響学会 2011 年度研究発表会, pp.105-108, 東京, 2011.5.31.
- ⑤ 中谷武志, “日本海ガスハイドレード地帯における AUV「Tuna-Sand」の潜航 – AUV を用いた深海底の生物分布調査の提案 –”, 招待講演, 第 47 回 海中海底工学フォーラム, 東京, 2011.5.13

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中谷 武志 (NAKATANI TAKESHI)
独立行政法人海洋研究開発機構
海洋工学センター・技術研究副主任
研究者番号：00581753

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし