

浦 環

九州工業大学・社会ロボット具現化センター
センター長、特別教授

センチメートル海底地形図と海底モザイク画像を基礎として生物サンプリングを行う自律型海中
ロボット部隊の創出

§1. 研究実施体制

(1)「研究総括」

- ① 研究代表者:浦 環 (九州工業大学・社会ロボット具現化センター・センター長・特別教授)
- ② 研究項目
 - ・ 研究総括
 - ・ 他課題および他の研究プロジェクトとの連携
 - ・ 国際共同研究の推進

(2)「ロボット部隊」グループ

- ① 研究代表者:浦 環 (九州工業大学・社会ロボット具現化センター・センター長・特別教授)
主たる共同研究者:浅田 昭(東京大学生産技術研究所・教授)
- ② 研究項目
 - ・ ロボット部隊編成と展開
 - ・ 海底センシング技術開発
 - ・ 海底モザイク技術開発

(3)「サンプリング」グループ

- ①主たる共同研究者:石井 和男 (九州工業大学・大学院生命体工学研究科・教授)
- ② 研究項目
 - ・ 海底サンプリング技術開発
 - ・ 把持対象の認識技術開発
 - ・ 通信時間差を有するロボットシステムの制御

(4)「生物」グループ

- ①主たる共同研究者:丸山 正(海洋研究開発機構海洋生命理工学研究開発センター・センター長代理)

② 研究項目

- ・ AUV で底生動物の生殖細胞や幼生を含むプランクトンを採取・分類・同定するシステムの開発
- ・ AUV で底生動物を追跡するためのマーキングおよび生物への積極的働きかけ方法の検討
- ・ AUV で底生生物群集を解析するために、過去に取得した鯨骨を含む深海底生動物の過去の生物データを整理し・DNA 解析などで生物リストを整備

(5)「熱水」グループ

①主たる共同研究者：(東京大学大気海洋研究所・教授)

②研究項目

- ・既存データに基づく観測要件の検討と提示
- ・海域調査試験で得られた地形・地質・海洋化学データの解析と手法の検証

§ 2. 研究実施の概要

(1)「総括」:A

サンプリング AUV およびサンプリングシステムの開発・建造計画とスケジュールの検討・調整、AUV による海域実証試験および運用展開のための調整、取得データの統合的解釈と今後の展開に向けた検討を行い、課題が全体として円滑に推進するための総括指揮を行った。また、他のクレジット課題との連携によるプロジェクトの多面的展開を進め、赤松チームと連携して AUV による生物音の録音を行った。文部科学省の新基盤ツール課題「海洋鉱物資源広域探査システム開発」プログラムや「戦略的イノベーションプログラム(SIP)」における海洋関連課題「次世代海洋資源調査システムの開発(海のジパング計画)」との連携も進めている。ロボット部隊とセンシンググループを中心に進めている 3 次元画像マッピングについては、オーストラリアシドニー大学との国際共同研究を推進、共同ワークショップを開催し、国際的な研究ネットワークの強化を推進した。

(2)「ロボット部隊」グループ:A

支援船、自走式ブイ、航行型 AUV、ホバリング型 AUV、海底ステーション等からなるマルチプラットフォームを段階的に運用し、海表面から深海底までのマルチスケールのデータをマルチレゾリューションで取得し、ついにはサンプリングにより「実物」を得ることを目指して、ロボット部隊を創出し、システムチックな観測システムを構築することを目指している。AUV(航行型、ホバリング型)の効率的な同時展開には、ASV を海表面に展開し、AUV の追従・データ転送を行い、母船および AUV の運用付加を軽減させる方法が効果的である。このため、開発した AUV(自走式ブイ)とホバリング型 AUV の同時運用海洋試験を平塚沖および小笠原海台で実施、自走式ブイによる AUV の高精度追従に成功した。AUV による生物観測アプリケーションとして過年度より継続的に実施しているホバリング型 AUV による海底面の広域画像マッピングのミッションと底生生物の資源量調査については、北見大和堆にホバリング型 AUV を展開、広域マッピングを行い、底生生物の分布密度と環境状況そして体長の分布を定量化することで、AUV による底生生物の定量的評価手法を構築した[1]。サンプリングなど海底と干渉のできる AUV の開発については、サンプリングおよび生物グループと連携して、既存 AUV「TUNA-SAND」の実用機としての運用性能を活かして設計コンセプトは共通化しつつ、2000m 仕様とし、低高度 3 次元画像マッピングシステムを標準品として装備したサンプリング AUV の詳細設計とロボット建造を進めた。また、サンプリング補助機能として、AUV(自走式ブイ)/母船から捕捉対象を指示することができる高速大容量画像データ通信システムの開発を進めた。

・海底センシング技術開発に関しては、

2 つの異なるレゾリューション(高高度/低高度)の 3D 画像マップを統合することで、広域かつ、部分的に詳細なハビタットマッピングを実施し、生物群衆の多様性及び個体密度を定量的に評価する手法を開発した[2]。本手法を用いて、伊平屋北海域の 2 つの異なるサイト、また、東北沖の津波デブリーサイトをマッピングして、熱水活動や人工物の生物分布への影響を解析した。また、伊平屋北のサイトに関してはこれまでに取得した画像データと比較することによって、広域にわたって異なる時期のデータを比較、生態系の経年変化を効率的に調べることに成功した。これらの調査と並行し、コンパクトで、高性能な高高度画像マッピング装置「seaXerocks 3」を航行型 AUV に搭載

し、実海域での機能検証試験を行った。

・海底モザイク技術開発に関しては、浅海域での実験により、基準局として予め設置した海底ステーションから最大 300m 離れたの AUV 運用に成功し、海底ステーションを中心とする半径 300m の円内、約 283,000 m² の領域における全自動高精度観測が可能であることを実証した。また、鹿児島湾奥ハオリムシサイトにおいて、海底ステーションと AUV の連携により約 1,000 m² を密に画像マッピングし、ハオリムシ群集の観測に成功した[3]。さらに複数の AUV による相互ランドマーク測位による広域マッピング手法については、昨年度の成果をもとにアルゴリズムを改良し、浅海域において試験を実施、約 300m の相互ナビゲーションに成功した。

(3)「サンプリング」グループ:B

海底サンプリング技術開発に関して、水深 2000m 耐圧性能を有する生物把持用マニピュレータを開発した。アクチュエータ駆動用耐圧容器は油漬けを基本とした均圧構造、駆動には油圧方式を採用した5自由度マニピュレータを開発し、耐圧試験機における制御実験において動作確認を行った。生物把持用として、スラップガン方式のエンドエフェクタを開発し性能評価を行った。制御系 CAD の Matlab/Simulink においてロボットの行動確認が行えるシミュレータを開発し、仮想的に時間遅れを生じさせたロボットシステムを構築し時間遅れシステムに対する制御系を構築した。把持対象の認識技術開発に関して、色相変換及び SIFT オペレータを用いた生物領域抽出及び認識システムを構築した。

(4)「生物」グループ:C

AUV を用いた底生生物群集解析のため、ロボット部隊・センシンググループと連携して、AUV に搭載する熱水性生物の幼生の詳細な分布を記録しながら、同時に採集し、後で形態や DNA を解析できる新しい装置の開発に向けた検討を進めた。また、サンプリンググループと連携して、AUV による特定の底生生物の追跡を可能とするため、染色した深海底生動物をマーカーとして行動観測を行う事を計画、ゴエモンコシオリエビ (*Shinkaia crosnieri*) を対象として、外骨格の主成分であるキチンの染色を試みた。DNA バーコーディングについては、JAMSTEC が実施した QUELLE2013 航海の底生生物試料を中心に、143 配列の解読を実施。解読を試みた試料はカイメン動物門、刺胞動物門、環形動物門、節足動物門、軟体動物門、棘皮動物門、脊索動物門などである。

(5)「熱水」グループ:D

過年度までに実施してきたセンサ技術・データ解析手法の開発結果を元に、実際の熱水噴出孔周辺でのデータ取得および解析を行い、開発した技術・手法の有効性を確認した。また、取得データの統合的な可視化に向けた取り組みを実施した。熱水域の地形・表層地質・地質構造に関しては、伊豆小笠原弧ベヨネース海丘カルデラおよび沖縄トラフ南部において AUV を中心とした探査と解析を実施し、地形・磁気構造を明らかにして熱水域の特徴を明らかにした。過年度開発した解析技術が極めて有効であることが確認された。海域試験で得られた化学データの解析と評価に関しては、海中の濁りのセンサへの影響を評価し、運用面への課題を明らかにした。また、AUV 搭載用小型多連式採水器 MINIMONE の複数展開による実海域試験を行い、熱水探査に有効かつ安定に利用できることがわかった。画像と化学データの統合的な可視化については、センサデータを観測後数時間で統合的に表示することが可能になった。

主要論文

- [1] Yuya Nishida, Tamaki Ura, Takeshi Nakatani, Takashi Sakamaki, Junichi Kojima, Yuzuru Itoh, and Kangsoo Kim: “Autonomous Underwater Vehicle “Tuna-Sand” for Image Observation of the Seafloor at a Low Altitude“, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.24, No.6, pp.519-521, 2014.
- [2] Adrian Bodenmann, Blair Thornton & Tamaki Ura: “Visual 3D Mapping to Measure Hydrothermal Deposit Growth Rates at a Man-Made Deep Sea Vent,” In Proc. AUV 2014, Mississippi, US, 2014.
- [3] Toshihiro Maki, Yoshiki Sato, Takumi Matsuda, Reyes Tatsuru Shiroku and Takashi Sakamaki: “AUV Tri-TON 2: An intelligent platform for detailed survey of hydrothermal vent fields,” In Proc. AUV 2014, Mississippi, US, 2014.