

# ホバリング型 AUV “Tuna-Sand” による 伊豆・小笠原海域スミスカルデラの潜航調査

## Hovelling Type AUV “Tuna-Sand” Dive Surveys on Smith Caldron in Izu-Ogasawara Ocean Area

○ 正 西田 祐也 (東大)                      正 浦 環 (東大)  
正 坂巻 隆 (東大)                      小島 淳一 (KDDI 研究所)  
伊藤 譲 (海洋工学研究所)              金 岡秀 (東大)

Yuya NISHIDA, the University of Tokyo, ynishida@iis.u-tokyo.ac.jp  
Tamaki URA, the University of Tokyo  
Takashi Sakamaki, the University of Tokyo  
Junichi Kojima, KDDI R&D Laboratories  
Yuzuru ITO, Ocean engineering research, Inc.  
Kangsoo Kim, the University of Tokyo

We have been working on survey system by AUV troop to extend survey efficiency during one cruise. This paper reports about dive survey system for AUV troop and observation results by hovelling type AUV “Tuna-Sand” in KY12-13 research cruise that Izu-Ogasawara ocean area was observed on October 2012. “Tuna-Sand” dived three times and total diving time is over six hours in the cruise. “Tuna-Sand” took over 170 pictures of Smith caldron sea floor in first dive. “Tuna-Sand” navigated along serpentine course during observation, because periodic current in sea floor is strong for “Tuna-Sand”. Diver survey by 3 AUVs include “Tuna-Sand” was success in second, but “Tuna-Sand” had CPU problems and emergency surfaced. In third, “Tuna-Sand” could not observe for lack of time.

**Key Words:** AUV, Image observation

### 1. 研究背景

我が国の排他的経済水域内は、熱水鉱床などの鉱物資源やメタンハイドレードなどのエネルギー資源、魚類や甲殻類などの生物資源が豊富に存在し、その多くが深海底に広範囲に分布している。これらの海底資源を広範囲に渡って観測するため、著者らは全自動で潜航でき、大きな甲板設備を必要としない自律型海中ロボット(AUV: Autonomous Underwater Vehicle)の研究開発を行い、海底の詳細な画像観測を行っている [1]。しかし、AUV は全自動観測可能とはいえ、トラブル対応や AUV の位置を把握するため、船上で人が常に監視しているのが現状である。運用中は常に支援船が AUV を追跡する必要があるので、1度の調査では1台の AUV しか展開できず、大きなコストがかかる支援船を有効活用できていない。

限られたシフト時間を有効活用するため、著者らは複数台の AUV を同時展開し、海底資源を観測できるシステムの実現を目的に研究を行っている。本稿では、著者らが行った 2013 年 10 月に伊豆・小笠原海域で行った 3 台の AUV の同時展開 (KY12-13 研究航海) のシステム概要とホバリング型 AUV “Tuna-Sand” [2,3](以降: TS) の潜航調査について報告する。KY12-13 の研究航海において TS は 3 潜航(合計で 6 時間以上潜航)行った。第 1 潜航は 170 枚のスミスカルデラ低の撮影に成功、第 2 潜航は 3 台の AUV 同時展開に成功、第 3 潜航は潜航したものの調査海域の状況が悪化したため画像観測できなかった。本稿では主に第 1 潜航の結果について述べる。

### 2. 潜航調査システム

#### 2.1 ホバリング型 AUV “Tuna-Sand”

Table1 に TS の性能、Fig.1 に TS の外観と取り付けられている装置の位置を示す。TS は上部に 2 つの浮力材、中火に CPU ボードや慣性航法装置(INS: Inertial Navigation System)を格納した制御容器、下部にリチウムイオン電池を格納した 2 つの電池容器を持ち、比重が約 1.0 の高密度ポリエ

Table 1 Specification of “Tuna-Sand”

Dimension	1.1 x 0.7 x 0.7 [m]
Weight	278 [kg]
Maximum velocity	1.7 [knot]
Maximum depth	1500 [m]
Duration	8.0 [h]
Actuators	Thrusters 220 [W] x 4, 100 [W] x 2
Battery	Li-ion battery 50.4 [V] 18 [Ah] x 4
Sensors	INS, GPS, DVL, Depth sensor, SSBL
Observation devices	Video camera, Digital camera, Profiling sonar

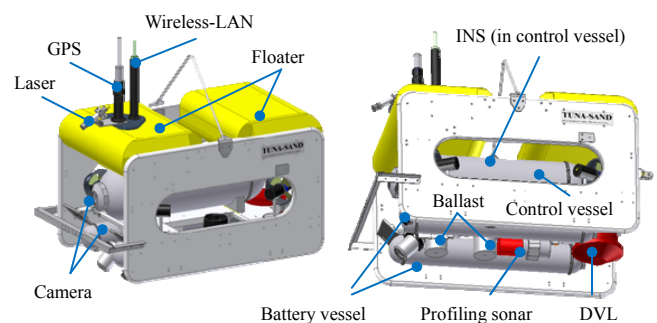


Fig.1 General arrangement of the “Tuna-Sand”

チレンの板を構造部材として使用している。前方浮力材の上部に取り付けられている GPS は INS のアライメントに使用し、無線 LAN アンテナは陸上または海上で通信する際に使用する。水平方向の移動用に 220W のスラスタを 4 基、垂直方向の移動用に 100W のスラスタ 2 基を搭載し、Surge, Sway, Heave, Roll, Yaw (Heading) 方向の制御が可能である。TS は、Sway 方向より Surge 方向に高い推力を発揮できるようにスラスタが配置されている。自己位置の推定は下部に取り付けられたドップラー式対地速度系(DVL: Doppler Velocity

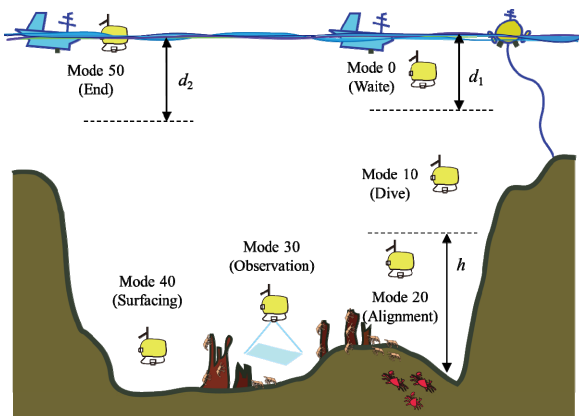


Fig.2 Dive observation flow of the “Tuna-Sand”

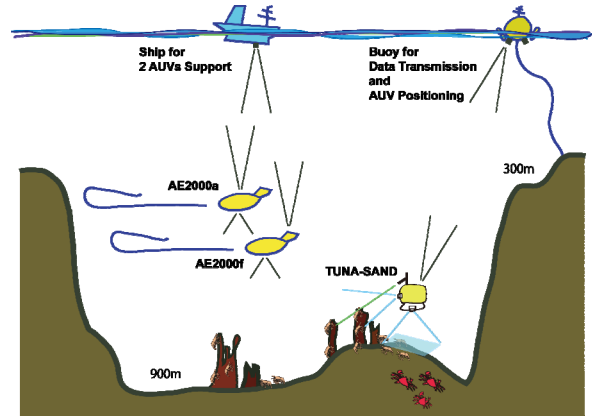


Fig.3 AUV troop observation

Log)とINSを組み合わせを行い、高い精度で自己位置を実現している。前方に取り付けられたレーザから照射したシート状の緑色レーザをカメラで撮影することで幾何学的に前方障害物までの距離を計測できる。シートレーザとカメラは、前方の熱水噴出孔などの海底構造物の計測にも用いる。その他として、海底面を撮影するためのストロボとカメラ、海底面の形状を即適するためのプロファイリングソナー、海中で通信するためのプロファイリングソナー、潜航、浮上用のバラストを投下するデバラスターを搭載している。

## 2.2 “Tuna-Sand” による潜航調査

TSによる実海域の海底調査は複数のモードから構成されており、モードごとに設定された条件を達成することで次のモードに遷移する。Fig.2にTSにおける海底調査の流れを示す。2つのバラストを搭載した状態で海中重量を8[kg]程度に調整したTSを海に投入すると自身の重さにより平均速度0.4[m/s]海中を潜航する。設定した深度 $d_1$ に到達後、Mode10に遷移し、DVL等の機器に電源を投入する。DVLで対地速度を計測できる高度 $h$ に到達すると潜航用バラストを投下し、TSの海中重量を中性浮力にする(Mode 20)。またMode 20では、DVLから得られる速度情報をINSに与え、再度INSのアライメントを行う。Mode 20後、設定したウェイポイントに沿って航行し、海底面の形状や状況を観測する(Mode 30)。ウェイポイントを追跡している際、TSはあらかじめ決められた方位を目標値として航行するが、潮流等で2つのウェイポイントを結んだ側線から離れた場合は側線に復帰するように目標方位を変更する。全てのウェイポイントを通過後、Mode 40に遷移し、バラストを投下し浮上する。海底付近(深度 $d_2$ )に到達すると全てのスラスタを停止し、調査を終了する。TSは以上のような流れに沿って潜航することで、全自動で海底面を観測可能であるが、DVLが使用できない高度で先行している際、INSは純慣性状態で位置を計測するため、位置精度が低下する。したがって、高い位置精度で観測するには、潜航中は支援船でTSの位置を補正し、TSの位置を更新させる必要がある。

## 2.3 総合潜航システム

本研究では、著者らの研究室で所有するグライダー型AUV“AE2000a”(以後、AEa)、“AE2000f”(以後、AEf)とTSの3台を同時に展開し、調査を行う。海底観測機器として、AEaには海底面の音響画像を取得するためのインターフェロメトリソナー、AEfには海中温度や塩分濃度を計測するためのCTDセンサーと3軸の地磁気計、TSには海底面を撮影するためのカメラとストロボが搭載する。

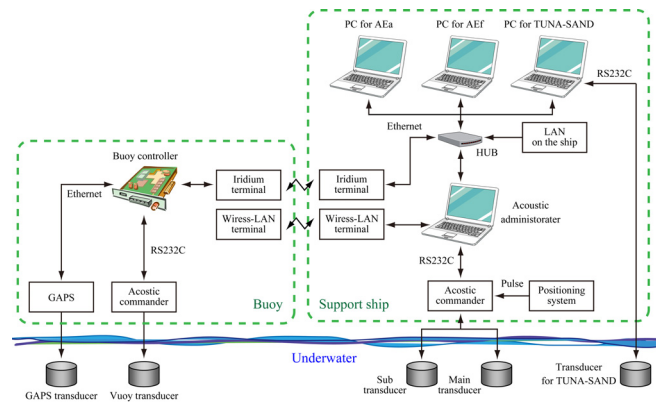


Fig.4 System of AUV troop observation

本研究では、3台のAUVを同時展開させるため、Fig.3に示すような調査方法、Fig.4に示すような調査システムを開発した。AEaとAEfは、ほぼ同じウェイポイントを通過しながら高高度で移動しながら海底面を観測し、TSは海底付近を航行しながら海底面を撮影する。同時展開中、支援船はAEaとAEfを追従、位置を補正し、必要に応じて音響通信で命令を送る。その間、TSは支援船から離れるため、溪流ブイに搭載したSSBL装置で位置を補正し、衛星通信で離れた支援船に位置情報を送る。溪流ブイは、衛星通信経由で支援船からの命令をTSに送ることが可能である。本潜航システムは、Fig.4に示すように位置測定や通信用のトランスデューサーが複数存在するため、GPS時間を用いて音波を出すタイミングを決定している。

## 3. スミスカルデラ低の潜航調査

上記のブイを展開した状態で伊豆・小笠原海域内にある $31^{\circ}27.00'N$ 、 $31^{\circ}32.00'N$ 、 $140^{\circ}00.00'E$ 、 $140^{\circ}06.00'E$ の緯線・経線で囲まれたスミスカルデラ低の調査をTSで行った。スミスカルデラの縁は円形に近く、カルデラ床の大きさは $5.0 \times 6.2$ [km]、水深は $800 \sim 900$ [m]である。投入予定地点を $31^{\circ}30.50'N$ 、 $140^{\circ}2.90'E$ 、浮上予定地点を $31^{\circ}30.50'N$ 、 $140^{\circ}2.90'E$ 、観測地点を $31^{\circ}30.53'N$ 、 $140^{\circ}2.93$ 周辺に設定し1度目の潜航調査を行った。Fig.5に $31^{\circ}30.39'N$ 、 $140^{\circ}2.90'E$ を原点としたTSの移動経路と設定したウェイポイントを示す。図を見て分かるように、海に投入してから着底するまでの間にTSは、南に20[m]、西に40[m]程度流され、観測地点周辺に向けて航行していた。Fig.6に観測中の移動経路とウェイポイントを示す。観測を始める前にTSはプロファイリングソナーの調整を行うために100秒間船首を北(絶対角度 $0$ [deg])に方位制御しながら

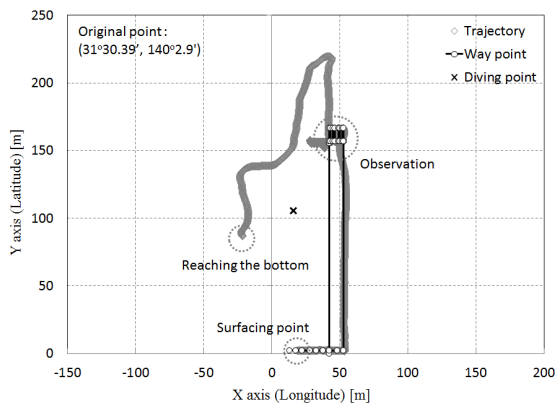


Fig.5 Total trajectory of dive 1

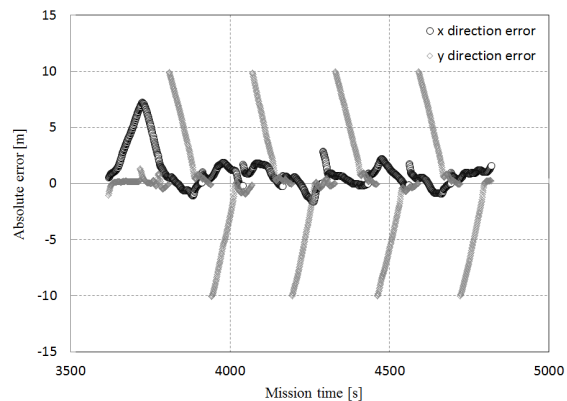


Fig.7 Position error duration observation of dive 1

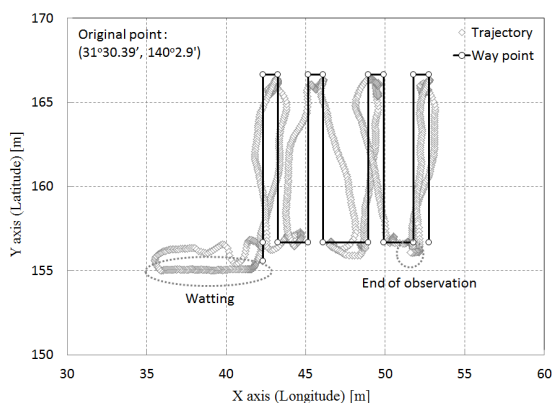


Fig.6 Trajectory duration observation of dive 1

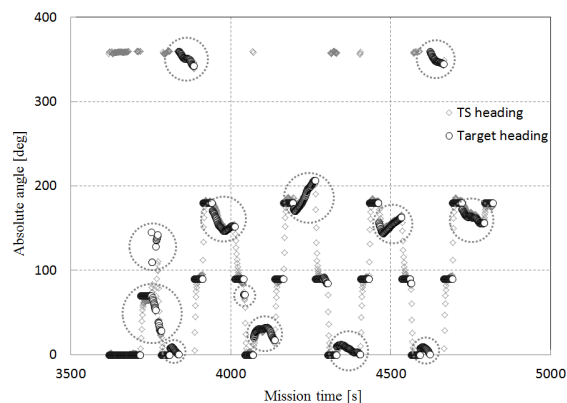


Fig.8 Heading duration observation of dive 1

ら定点を保持するが、その間に西 6[m]程度流されていた。このことから、潜航時に海底では TS の Sway 方向に出せる最大推力以上の潮流があったと判断できる。観測中、TS は誤差 4[m] 以内に位置制御しながら Fig.6 に示すように蛇行していた。蛇行した原因は、潮流の影響で TS がウェイポイントの側線から離れすぎ、目標方位が変更したことだと考えられる。Fig.7 に観測中の絶対座標における TS の位置誤差、Fig.8 に観測中の TS の方位と目標方位を示す。Fig.7 において、断続的に誤差が増加している箇所はウェイポイントが更新された時のデータ、Fig.8 において点線で囲ってある箇所はウェイポイントの更新以外で目標方位を変更した箇所である。x 軸方向の誤差が大きくなった際に、TS は船首を東よりに向けるように方位を修正していた。これにより、潮流がある環境においてもウェイポイントの近づくように航行している。1 潜航目において、TS は 1 時間 59 分の潜航(潜航: 49 分, 観測: 31 分, 浮上: 39 分)を行い、合計で 170 枚の海底の撮影に成功した。Fig.9 に TS が撮影した写真の一部を示す。Fig.9 には海底に生息するエビの仲間が写っている。

#### 4. 結論

本稿では KY12-13 研究航海で行われた 3 台の AUV 同時展開のシステムや TS の調査方法について述べ、TS の潜航調査の結果により、第 1 潜航時に海底では TS の Sway 方向の最大推力以上の潮流が存在していたことを示した。また、自動的に目標方位を変更することで潮流がある環境においても最大誤差 4[m] の範囲で TS がトラッキングできることを示した。しかし、第 1 潜航時の結果のように蛇行しては調査地点周辺の詳細な海底モザイク画像は得られない。今後は速度情報とスラストの推力情報から潮流方向を推定し航行する手法の実現を目指す予定である。



Fig.9 Picture taken by "Tuna-Sand"

#### 謝辞

KY12-13 研究航海を遂行するに当たり、「かいよう」の船員の方々から多大なる支援を頂いた。ここに関係者各位に深く感謝の意を表す。

#### 文献

- [1] 巻俊宏, 浦環, Hanumant Singh, 坂巻隆, 自律型水中ロボットによる鹿児島湾たざり噴気帯の 3 次元画像マッピング (第 3 報) - 測位情報と視覚的特徴の併用による画像モザイク手法, 海洋調査技術, 23 (1), pp.1-10, 2011
- [2] 中谷武志, 浦環, 坂巻隆, 自律型海中ロボット「TUNA-SAND」, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第 43 巻, 第 4 号, pp.69-72, 2008
- [3] T. Nakatani, etc., AUV TUNA=SAND and its exploration of hydrothermal vents at Kagoshima bay, IEEE Oceans'08, pp.1-5, 2008
- [4] T. Nakatani, etc., Terrain based localization for pinpoint observation of seafloor, IEEE Oceans'09, pp.1-6, 2009