

2024/10/24

第3回AUV官民プラットフォーム全体会議

自律型海中ロボット（AUV）の 研究開発動向と研究事例

巻 俊宏

東京大学生産技術研究所

海中観測実装工学研究センター

<http://makilab.iis.u-tokyo.ac.jp/>

maki@iis.u-tokyo.ac.jp

自律型海中ロボット (AUV)

- テザーケーブル無し
- 全自動
- 利点
 - 自由かつ安定した動き
 - 広い活動範囲
 - 観測効率
 - 将来の可能性
- 欠点
 - 限られた通信・エネルギー
 - 予期せぬ事態への対応
 - 喪失リスク

	Cruise / クルーズ型	Hovering / ホバリング型	Glider / グライダー型
形状・特徴	細長い胴体で後部に主推進器を持つ。魚雷形。	前進のみでなく、上下や横方向にも推進器を持つ。その場停止（ホバリング）できる。	プロペラによる推進器を持たず、本体の浮力変化により移動する。
利点	推進効率に優れるため、広範囲の観測に向く	複雑な動きができるため海底や構造物付近での調査に向く	消費電力が非常に小さいため、長距離・長期の観測に向く
適用事例	深浅測量、資源探査、水質調査	海底や人工物の詳細観測、画像マッピング	水質調査
航続距離	O(100km)	O(10km)	O(1000km)
例	うらしま REMUS r2D4	Nereus HROV Tuna-Sand	Spray Sea glider



REMUS 6000 (USA)



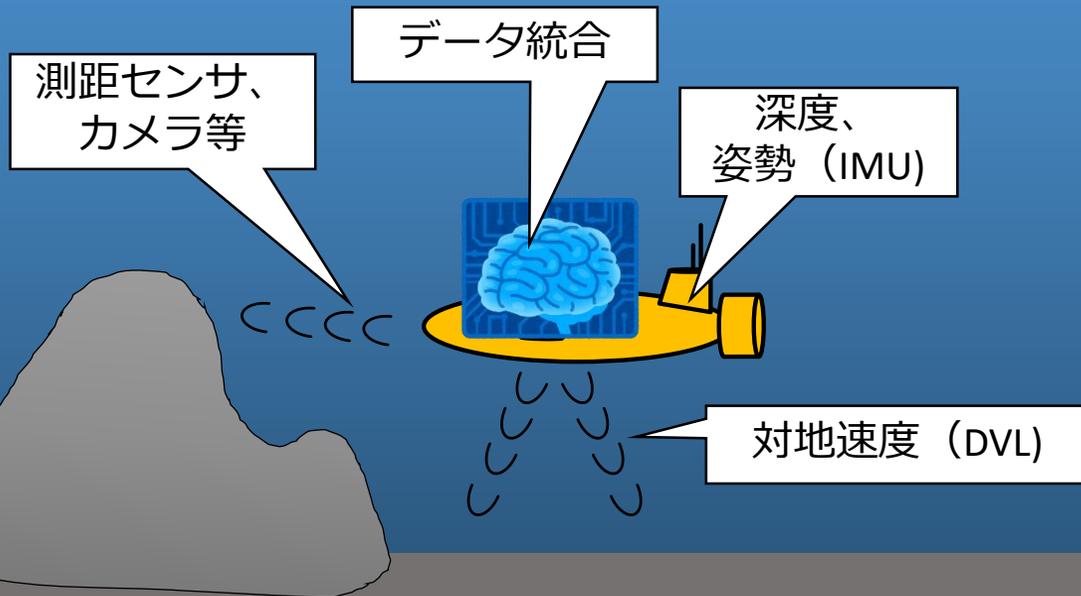
Tuna-Sand (Japan)



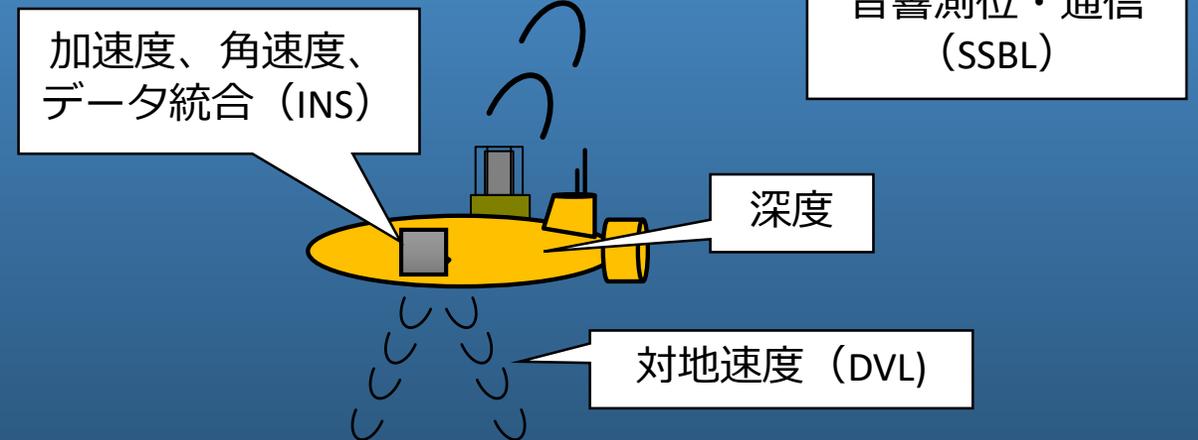
Slocum (USA)

AUVの測位

相対測位 (相対座標)



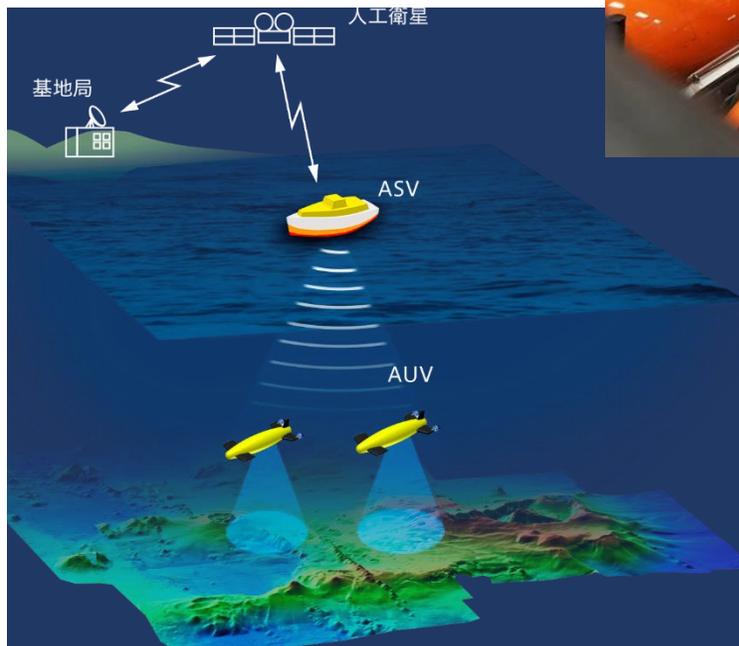
絶対測位 (緯度経度)



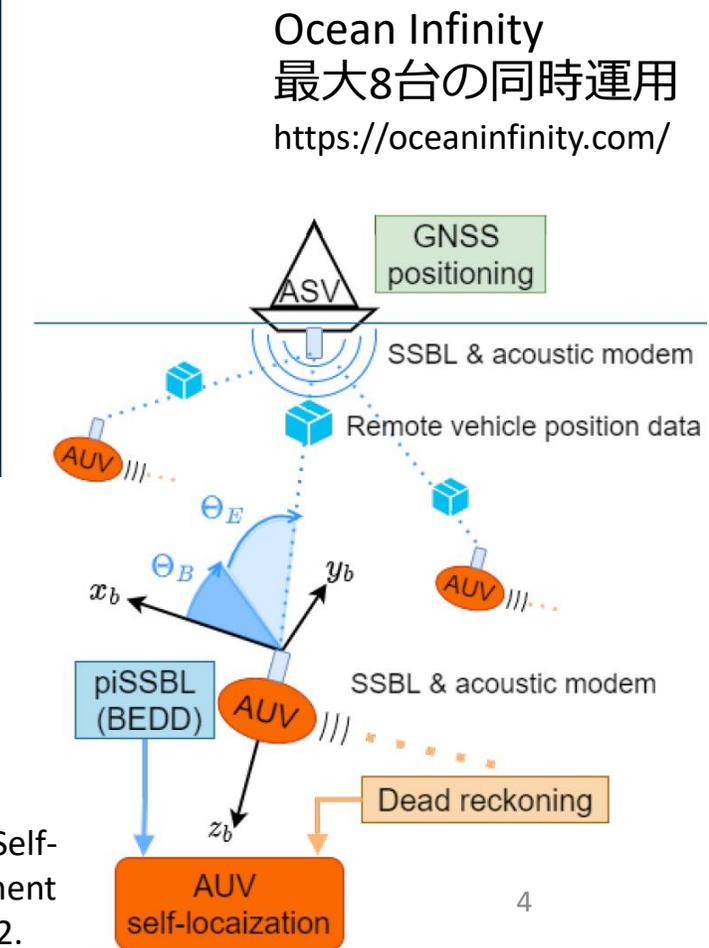
近年のトレンド

マルチビークル

- 複数AUVの同時運用
- 広域の効率的な探査
- シップタイムの有効活用
 - Force Multiplier
- キーテクノロジー
 - スケーラブルな測位
 - 隊列制御
 - 着揚収
 - 通信
 - 信頼できるハード・ソフト
 - 大量のデータの処理方法



Team KUROSHIO (2018)
<https://www.jamstec.go.jp/team-kuroshio/>

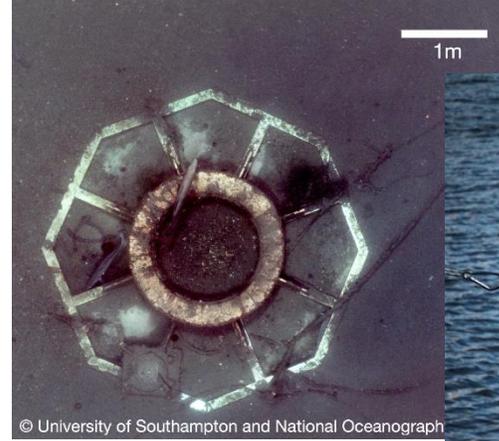


Sekimori Y., et al., Acoustic Passive BEDD Self-localization for a Fleet of AUVs: A Sea Experiment Validation, OCEANS 2022 Hampton Roads, 2022.

近年のトレンド

単体の機能強化

- より遠くへ – Over the Horizon
- より長く – Persistent Autonomy
- より賢く
- より高精度に
- より厳しい環境へ



© University of Southampton and National Oceanography



ALR6000 (Boaty McBoatface)

NOC, Southampton Univ., UK

20日、1000kmに及ぶ母船レス運用、高精度画像マッピング

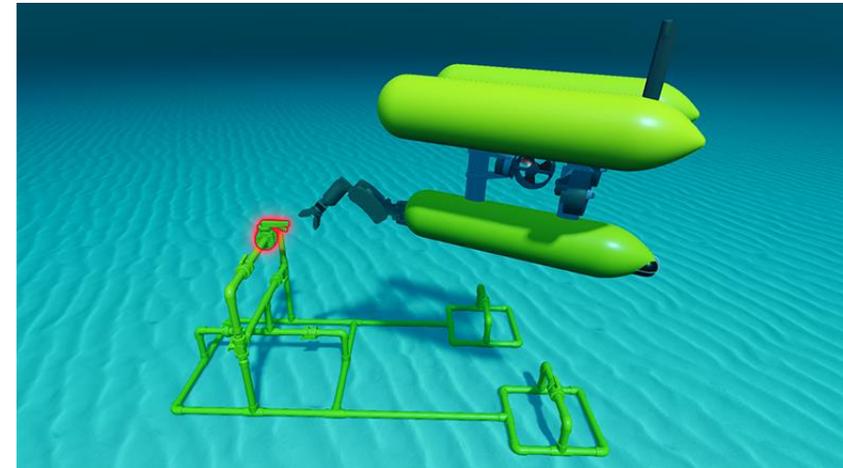
<https://www.southampton.ac.uk/news/2022/11/biocam-atsea-mission.page>



CUREE WHOI, USA

画像によるナビゲーションや生物トラッキング

<https://warp.whoi.edu/curee/>



Girona 500 Girona Univ. of Girona, Spain

インターベンション

<https://cirs.udg.edu/doctoral-thesis-automated-3d-object-recognition-in-underwater-scenarios-for-manipulation/>

近年のトレンド

低コスト

- 低コストかつ小型のセンサ、プラットフォームが続々登場
 - (空の) ドローン技術の進化、オープンソースのソフトウェア・ハードウェアの普及が背景
 - 価格としては従来の1/10程度か
 - 水中ドローン
- 小型軽量なので運用コストも削減できる
 - 特にクレーンが不要になるとメリット大
- AUVは亡失のリスクをゼロにできないため、普及のためには本体の低コスト化が重要
- 低コストなセンサの能力は限られる → ソフトウェアが重要



<https://www.blueprintsubsea.com/>



www.waterlinked.com



<https://www.ecosub.uk/>



<https://www.advancednavigation.com/>

東京大学 生産技術研究所 巻研究室

海に光を、ロボットに冒険を！

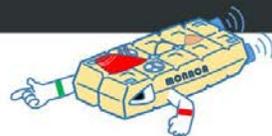
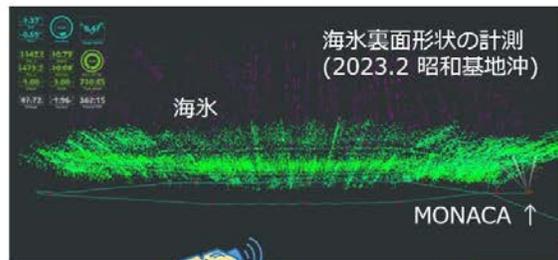
実際にAUVを海で動かすことに
こだわっています。

<http://makilab.iis.u-tokyo.ac.jp/>

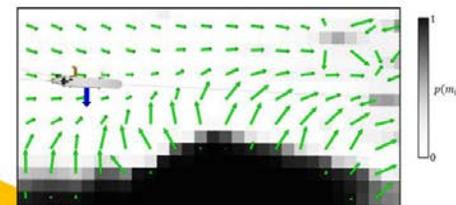
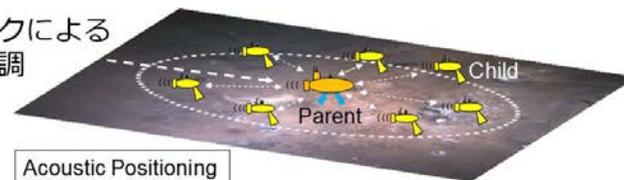


巻研YouTubeチャンネル

海氷・棚氷下の探査
2023年、南極での初運用に成功！



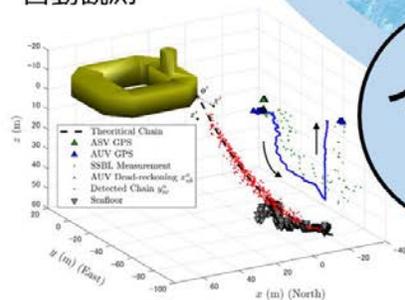
音響ネットワークによる
複数AUVの協調



極域探査



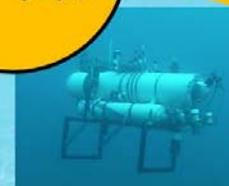
浮体係留索の
自動観測



インフラ
点検



Tri-Dog 1

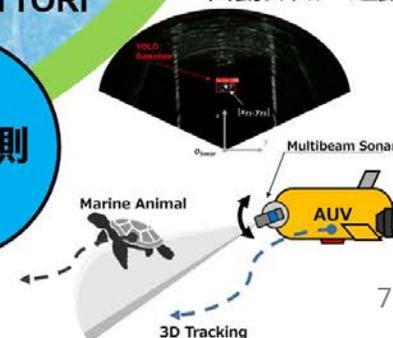


低コスト
AUV



生物観測

遊泳生物の
自動探知・追跡



低コスト AUV / ASV システム

AUV HATTORI

Highly Agile Terrain Tracker for Ocean Research and Investigation

サイズ: 1.0 (L) × 0.48 (W) × 0.29 (H) [m]

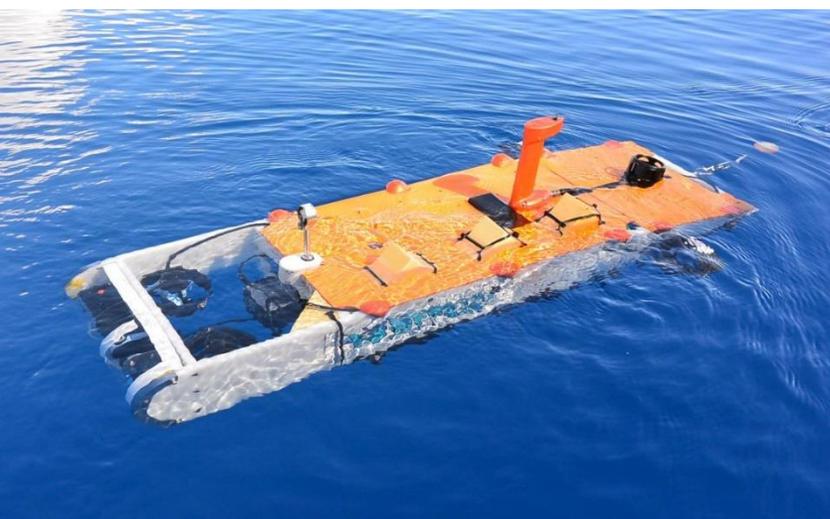
重量: 19 kg

センサ: Scanning Sonar, DVL, AHRS, Depth, SSBL, Camera

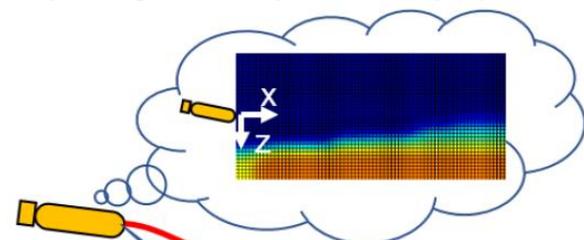
機能:

複雑な海底の低高度追従

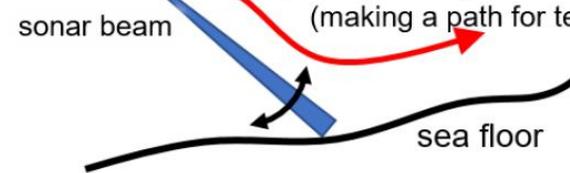
垂直潜航・浮上



(A) Environment estimation
(making obstacle potential map **P**)



(B) Path planning
(making a path for terrain following)



ASV BUTTORI

Buoy for HATTORI

サイズ: 0.8 (L) × 0.8 (W) × 1.6 (H) [m]

重量: 20 kg

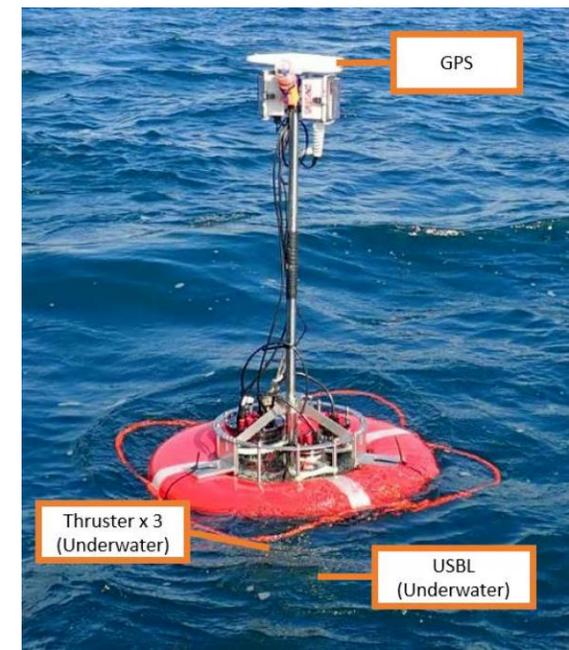
センサ: GNSS Compass, SSBL

機能:

HATTORIの測位と状態監視

定点保持

HATTORIの追尾



観測の流れ

HATTORI



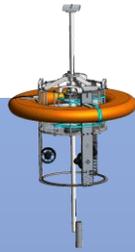
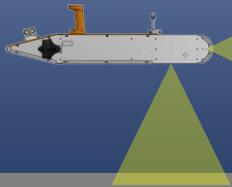
① 潜航

ミッション開始指示を受けると、下向きに潜航を開始する。



② 海底観測

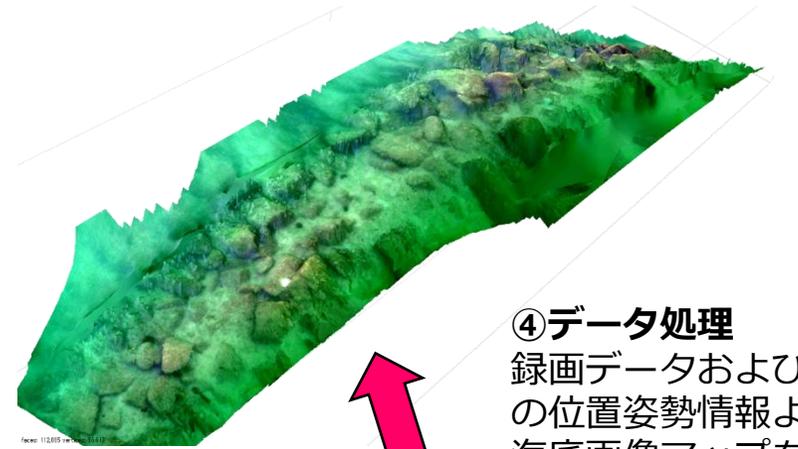
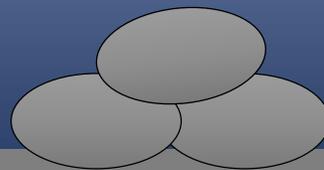
海底に対して一定高度を維持しつつ、指定の方位、速度で前進する。下向きおよび前向きビデオカメラで海底を観測する。障害物は自動で回避する。



BUTTORI



超音波でHATTORIをモニターしつつ、HATTORIを追いかける。



④ データ処理

録画データおよびAUVの位置姿勢情報より、海底画像マップを生成する。



③ 浮上

指定した経路の観測が終わったら、上を向いて一気に浮上する。



沿岸域での試験

BUTTORI

2020.12 @平塚

水深: ~20 m

航行時間: 1 hour

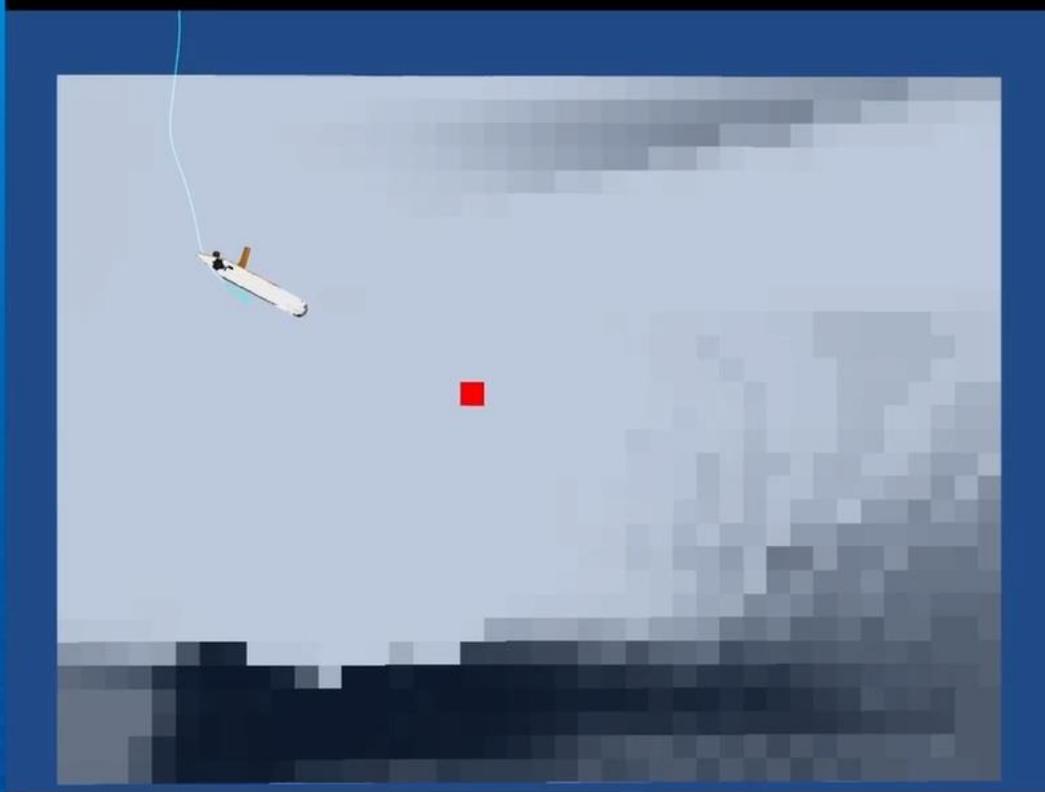
航行距離: 2.5 km

海底画像マッピングに成功.



外洋への展開

2021.7 @西之島
小笠原諸島に属する火山島
0.5 m/s以上かつ複雑な流れ
火山活動による複雑な海底地形



Dive 15

Down the Cliff



Downward Camera

Forward Camera

43.29 0.13

Depth roll

40.90 -1.17

rearac_depth pitch

16.09 -0.39

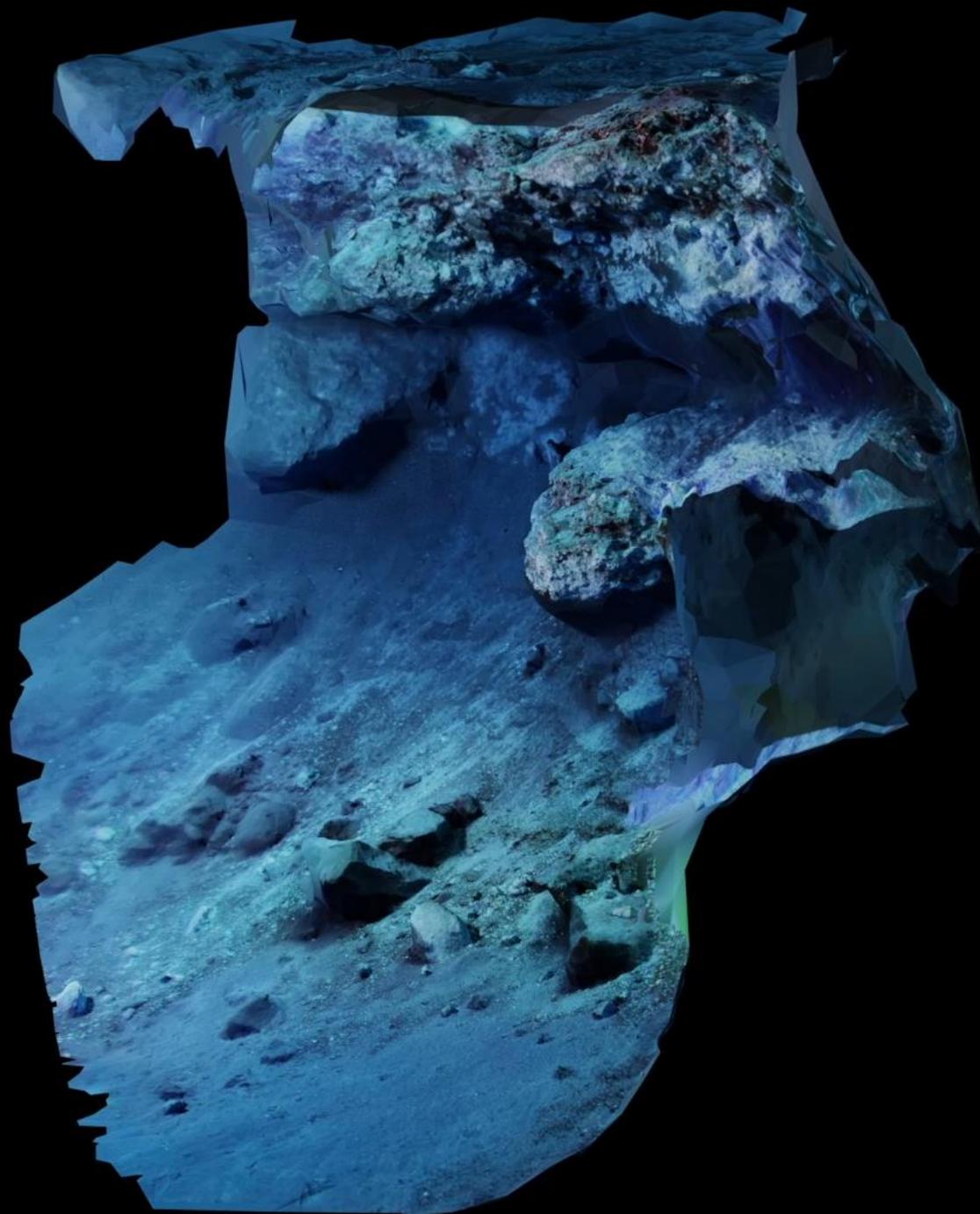
Voltage yaw



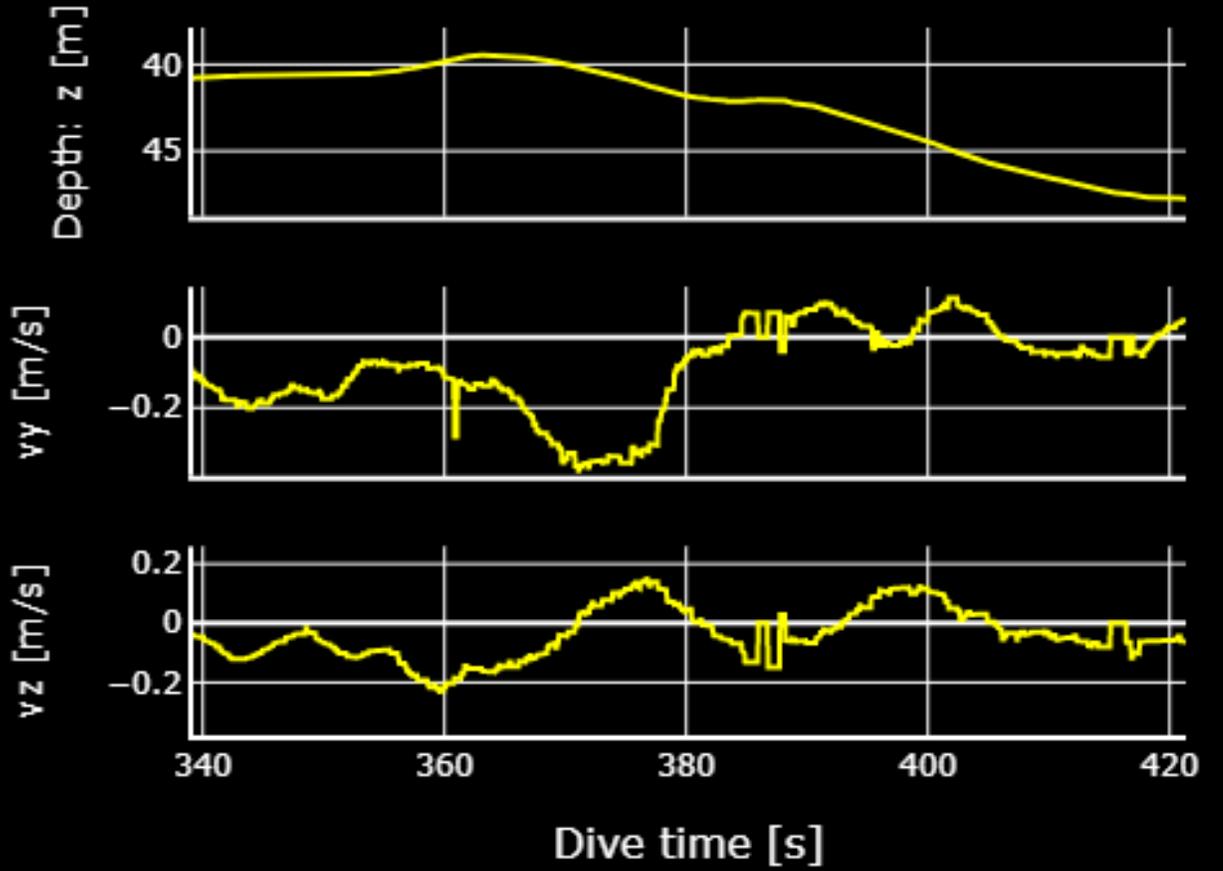
Side
view



Top
view



Height:
~ 7 [m]



✓ HATTORI came through the irregular current of 0.5 [m/s]

参考情報

- **駒場リサーチキャンパス公開**

- 東京大学生産技術研究所（@駒場）の一般公開
- 例年5月末～6月上旬の金土に開催
- 当研究室では大水槽においてAUVの実演 & ROVの体験操縦を行います。
- <https://komaba-oh.jp/>

- **柏キャンパス公開**

- 柏キャンパス全体の一般公開
- 当研究室では、生産技術研究所海洋工学水槽（@柏）にてAUVの実演を行います。
- **2024/10/25-26（今週金・土です！）**
- https://www.kashiwa.u-tokyo.ac.jp/open_campus_2024/

- **Underwater Technology 2025 (UT25)**

- IEEE OESが主催する海中工学に関する国際学会
- 2025/3/2-5 @Taipei
- AUVに関する発表も多数ありそうです。
- <https://ut2025.org/>

耐圧試験装置の維持にご協力を！

「Full Ocean Depth EX基金」寄付募集中

<https://utf.u-tokyo.ac.jp/project/pjt189>