

2022/11/30

第7回 海洋資源開発技術プラットフォーム会合

自律海中プラットフォームシステムの 新展開

巻 俊宏

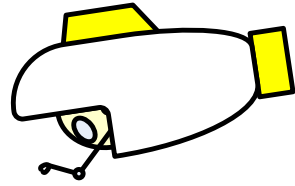
東京大学生産技術研究所 海中観測実装工学研究センター

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

海中ロボット

HOV

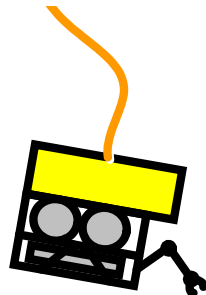
Human Occupied Vehicle
有人潜水艇



Human Occupied

ROV

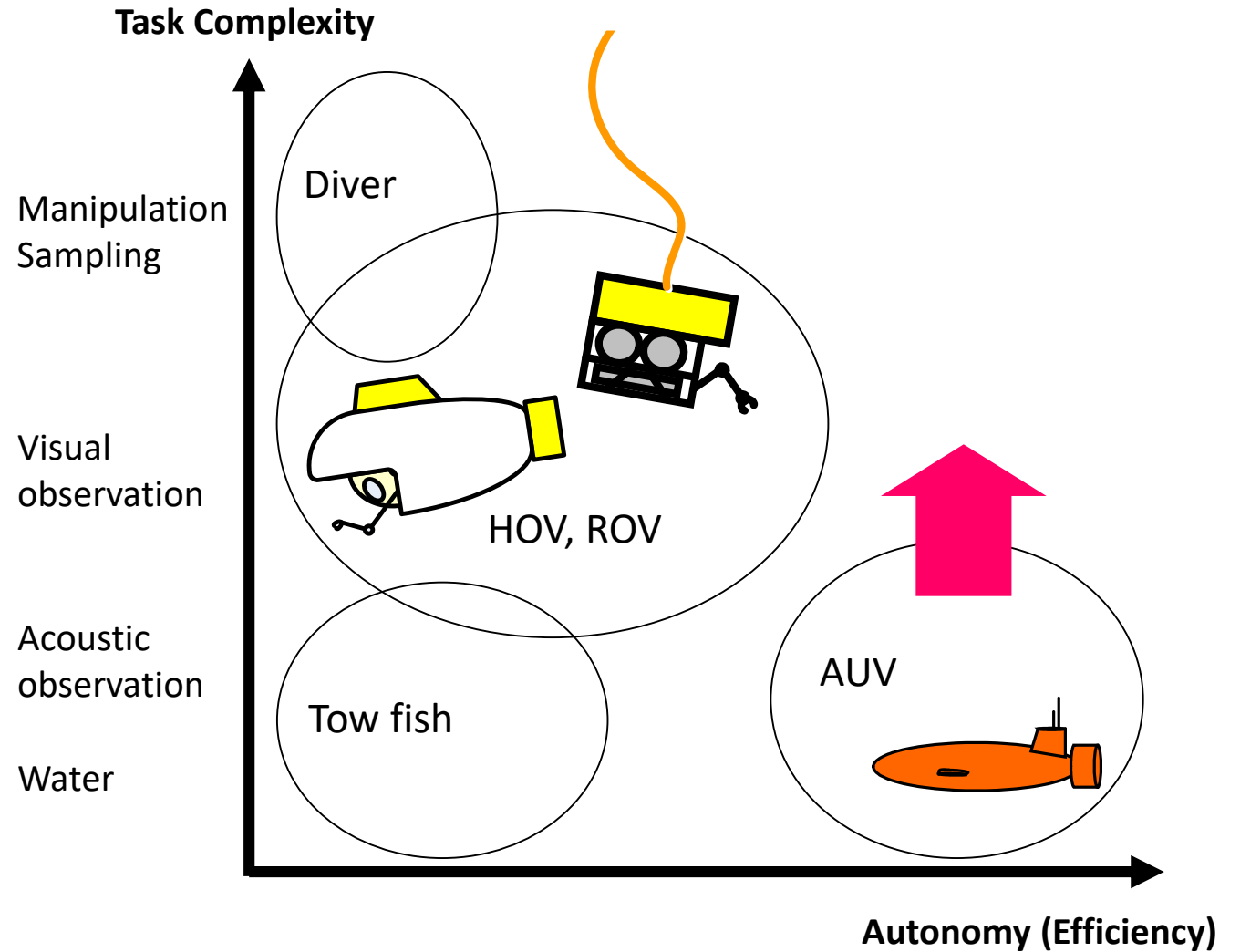
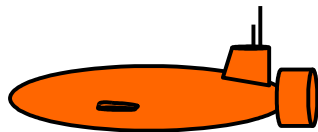
Remotely Operated Vehicle
遠隔操縦ロボット



Human Controlled

AUV

Autonomous Underwater
Vehicle
自律型海中ロボット



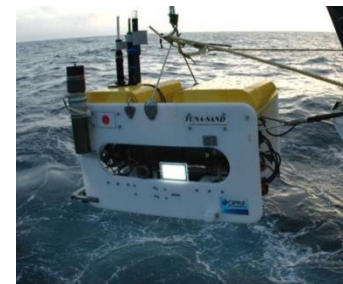
自律型海中ロボット (AUV)

- 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)



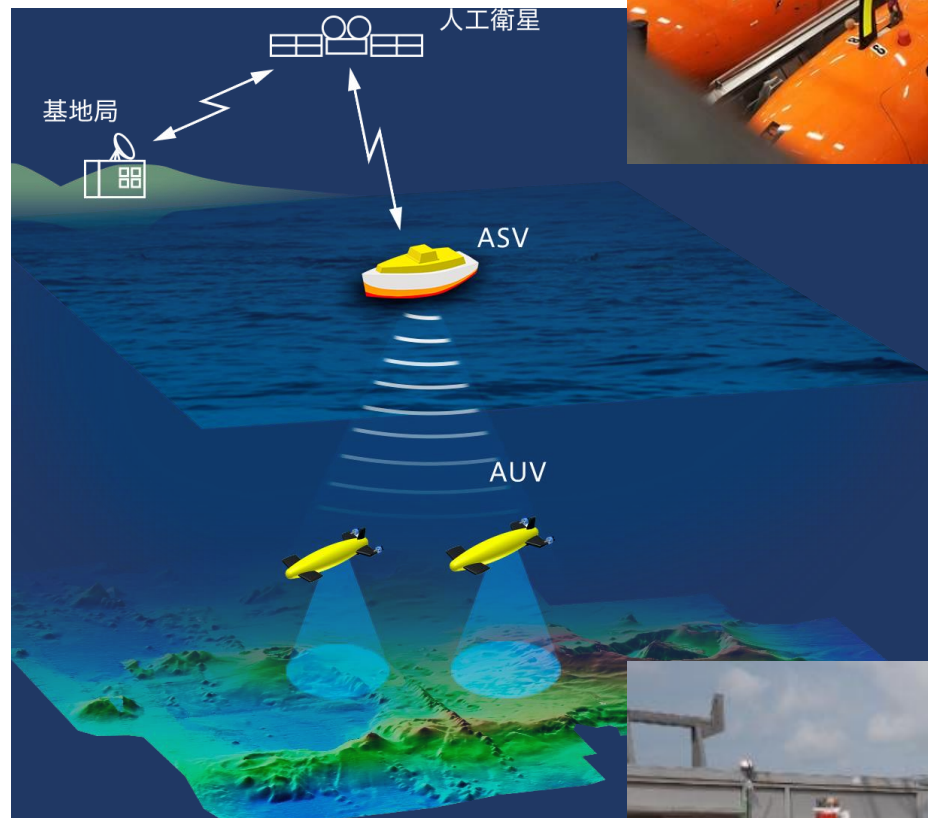
Tuna-Sand (Japan)



Slocum (USA)

マルチビークル

- 複数AUVの同時展開
- 短時間で広域の探査を実現する
- ‘Force Multiplier’ – シップタイムの有効活用（AUVの台数分、同じ時間で観測範囲を拡大できる）
- ASVとの連携が重要
- カギとなる技術
 - 協調ナビゲーション(測位, 隊列制御)
 - 着揚収
 - 通信（AUV間, AUV-ASV, ASV-Ship）
 - システムの信頼性
 - 大量のデータの扱い



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



Ocean Infinity
<https://oceaninfinity.com/>



第2期SIP
<https://www.jamstec.go.jp/sip2/>

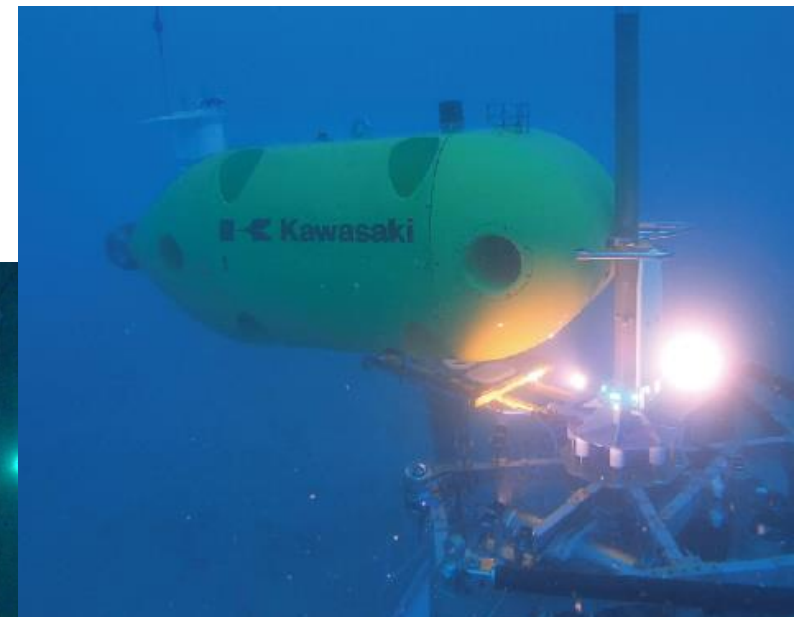
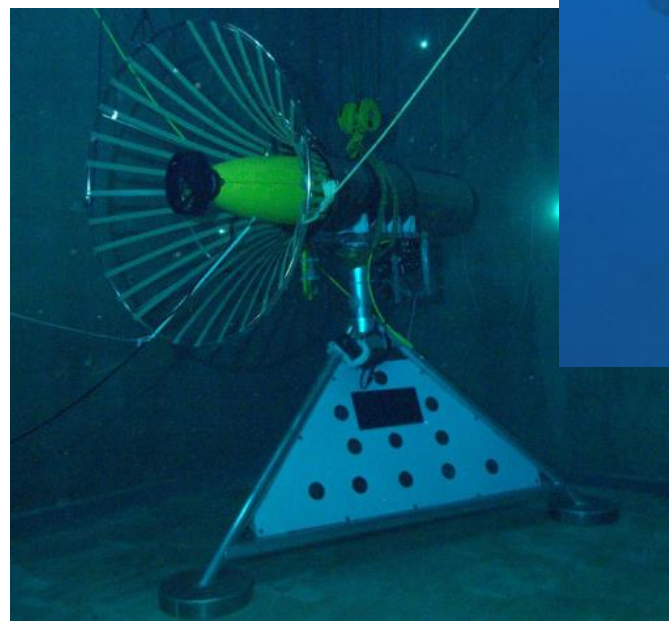
レジデント

- 海底ステーションを基地とするROVやAUVの長期展開
- 船舶に頼らない長期観測を実現する
- ドッキング技術は船舶を用いた運用でも重要（着揚収が不要になる）
- 考え方は20年以上前から存在するが、周辺技術の進化により実用化に近づく
- カギとなる技術
 - ドッキング
 - 非接触充電
 - 通信
 - 長期運用時の信頼性



ISE

<https://ise.bc.ca/>



第2期SIP

MBARI

<https://www.mbari.org/>

低コスト

- 低コストなセンサ、パーツ、機体が増えつつある
 - 背景に（空の）ドローンの普及、ソフトウェアのオープンソース化等がある
- 従来の1/10以下の価格帯のものも
- 小型、軽量なので運用コストも削減できる
- 海中ロボットの用途拡大、市場拡大につながる可能性
- 性能は「高級品」に比べて劣るので、使いこなすには用途の絞り込み、データ処理手法の工夫が重要



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



www.waterlinked.com

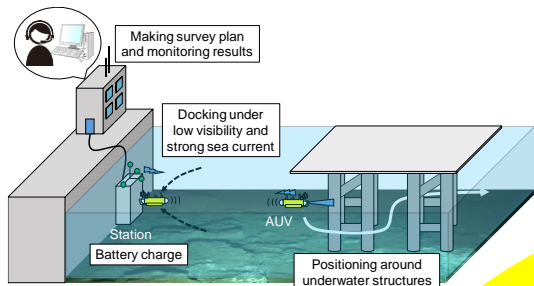


<https://bluerobotics.com/>



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

巻研究室における取り組み：海 × 自律ロボット

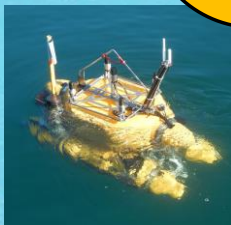


海底ステーションとAUVによる水中構造物の長期モニタリング

レジデント



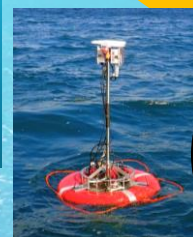
Seafloor Station



Tri-TON 2



Tri-Dog 1



BUTTORI



HATTORI 2



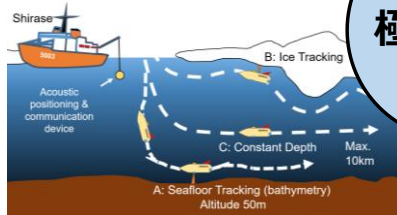
HATTORI



MONACA



海氷・棚氷下の探査
2022年に南極へ展開予定！

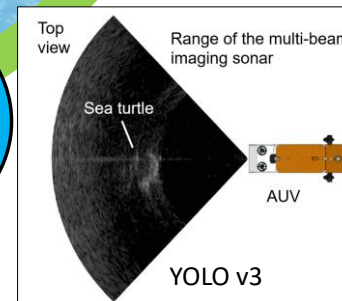


極限環境

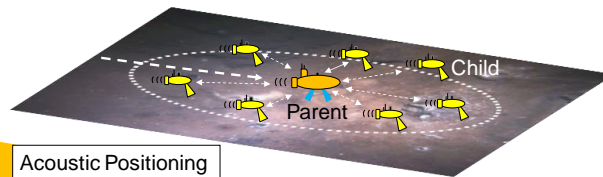


Tri-TON

生物観測



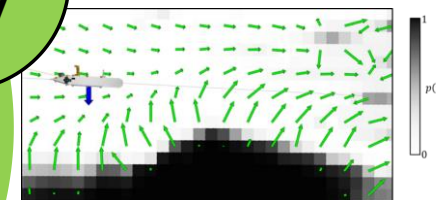
マルチ
ビークル



Acoustic Positioning
Cooperation
Formation Control

音響ネットワークによる
複数AUVの協調展開

低コスト
AUV



海底の低高度・高速追従

ウミガメの
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]

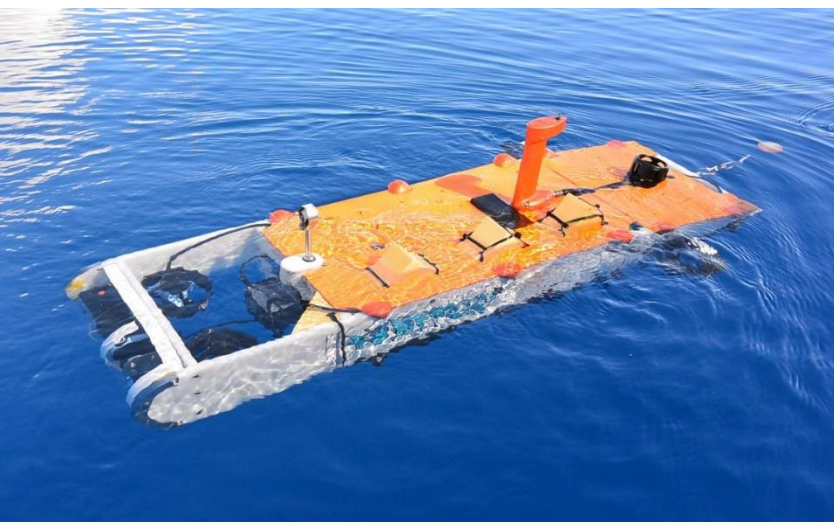
重量: 19 kg

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

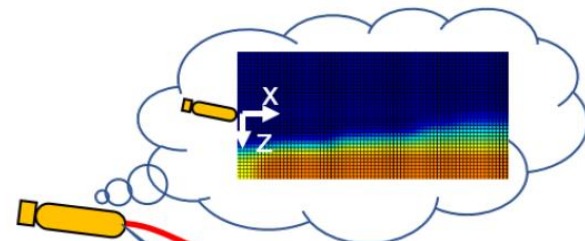
機能:

複雑な海底の低高度追従

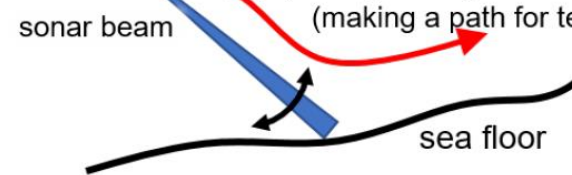
垂直潜航・浮上



(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

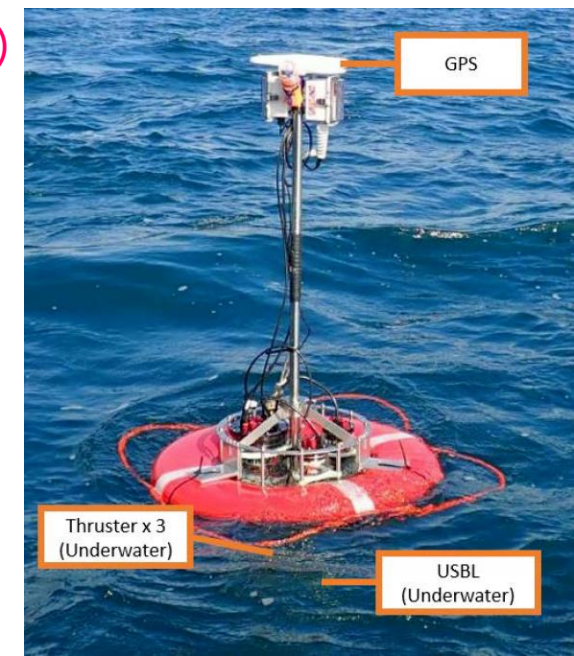
センサ: GNSS Compass, SSBL

機能:

HATTORIの測位と状態監視

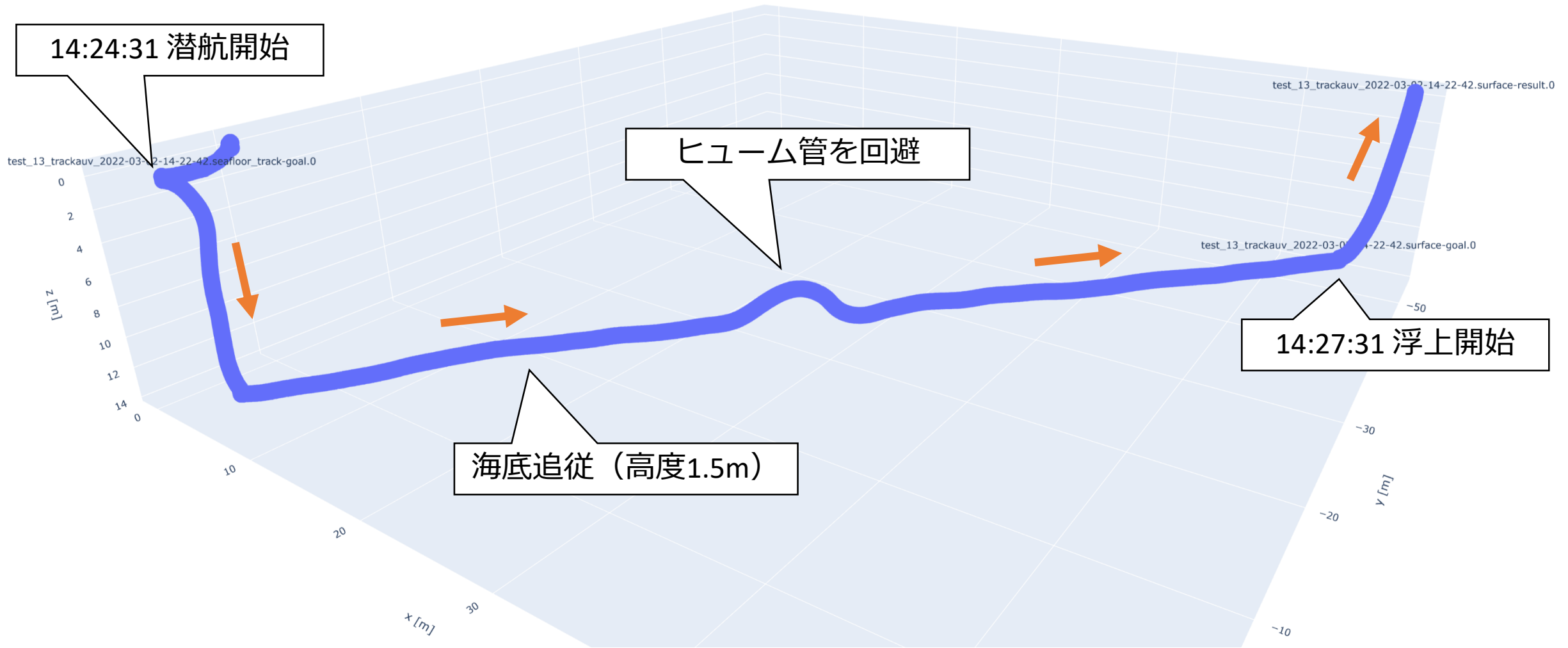
定点保持

HATTORIの追尾 (開発中)



HATTORIの航跡（2022.3 @神戸 須磨海釣り公園）

HATTORIによるリアルタイム推定値（デッドレコニング）

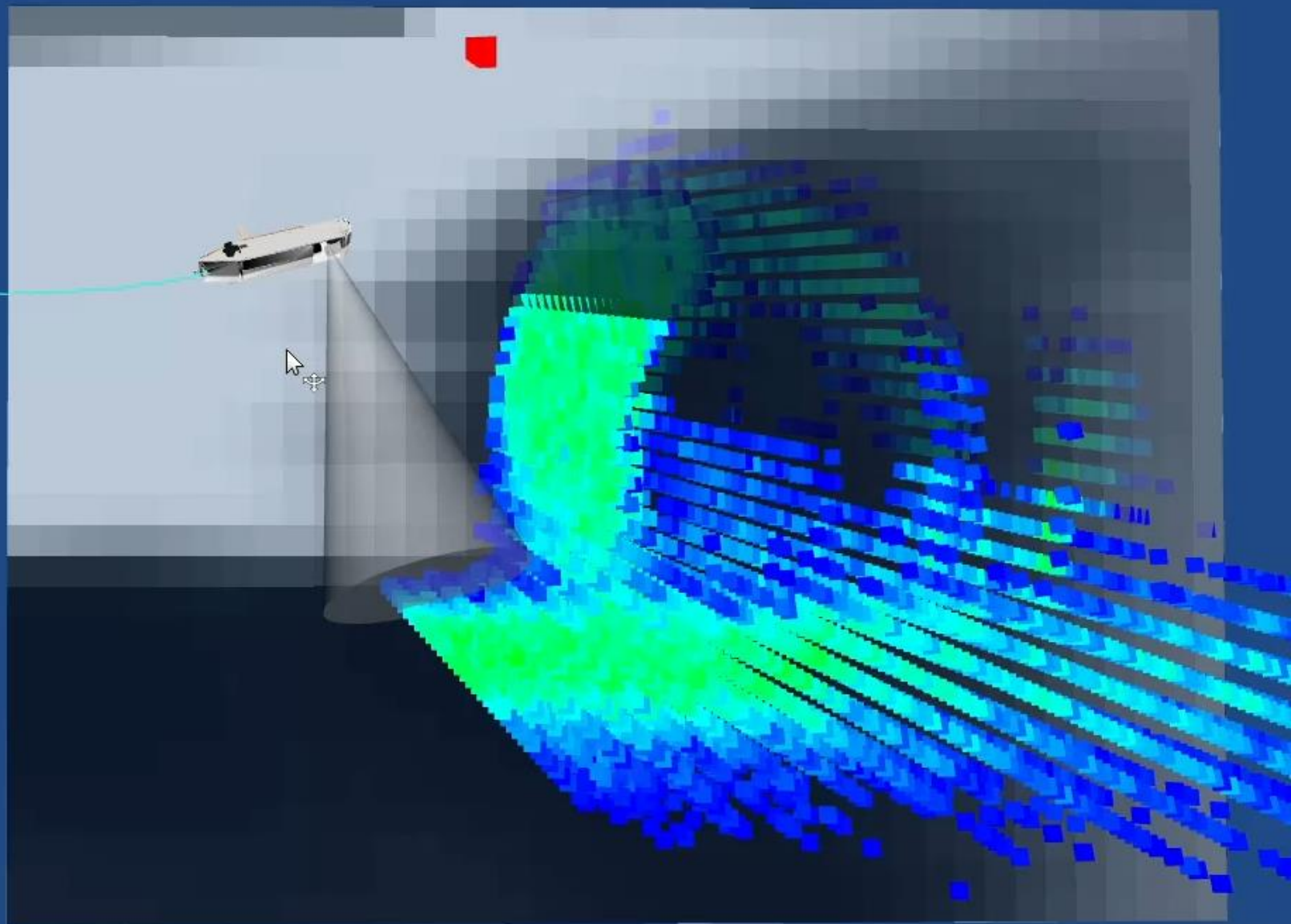


海底追従の様子 (Dive 10 ヒューム管を回避)

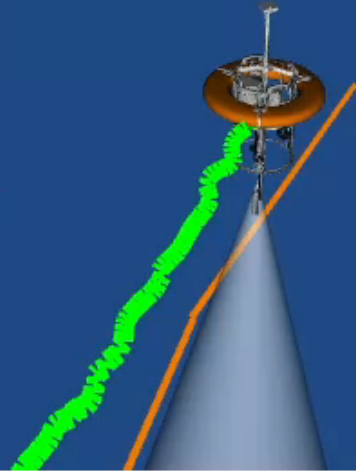
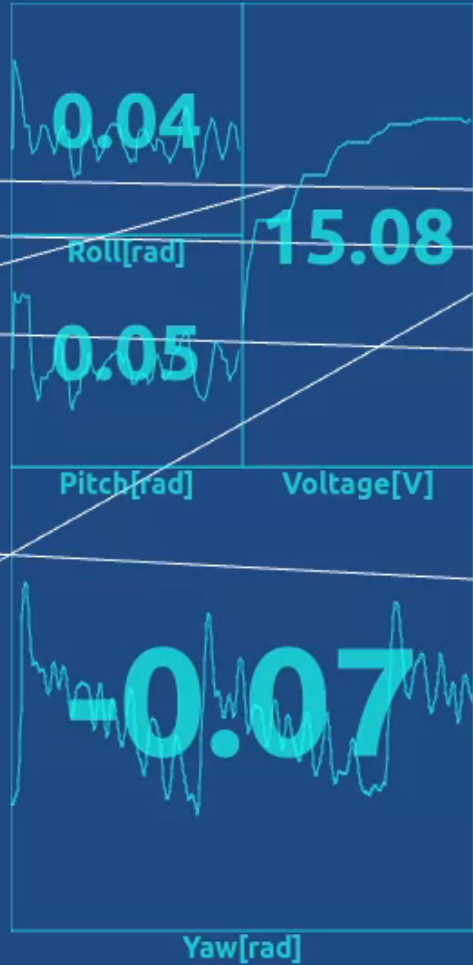
12.46 -0.42
Depth roll

11.00 0.24
seatrac_depth pitch

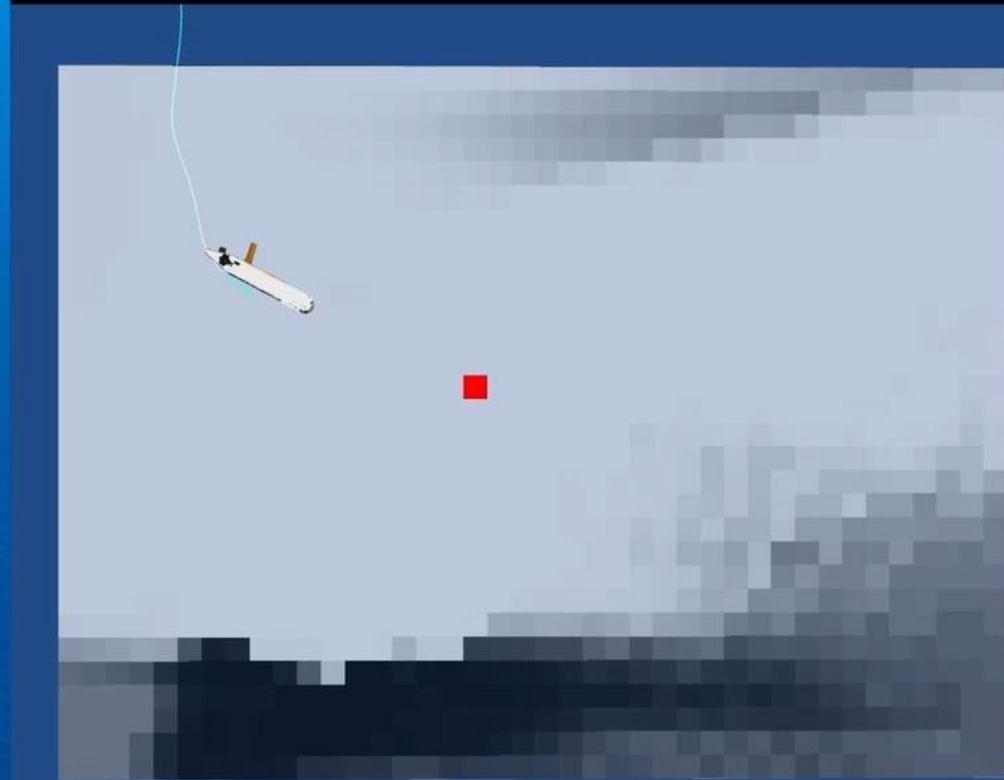
15.00 -0.82
Voltage yaw



BUTTORIによるHATTORIの 音響測位と自動追従 (Dive 28)



外洋への展開（2021.7 @西之島）



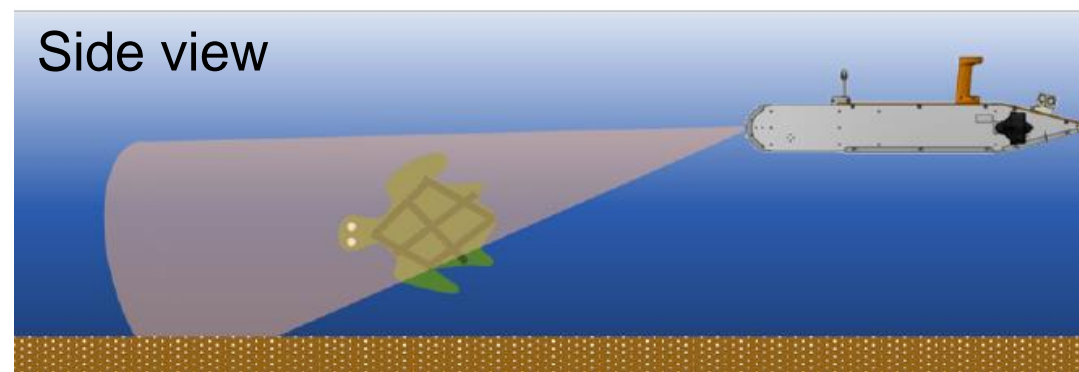
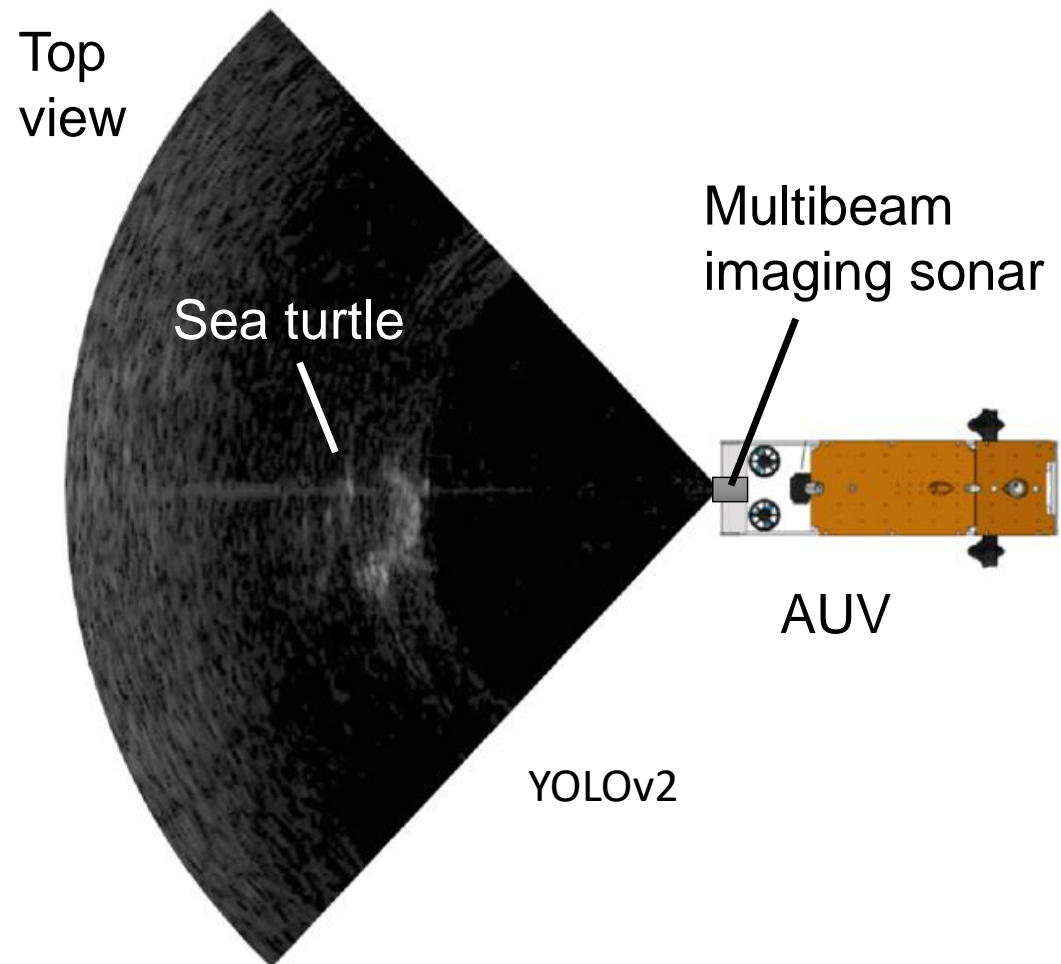
AUVによる 遊泳生物の自動追跡

遊泳生物の新たな観測手法の確立を目指す。

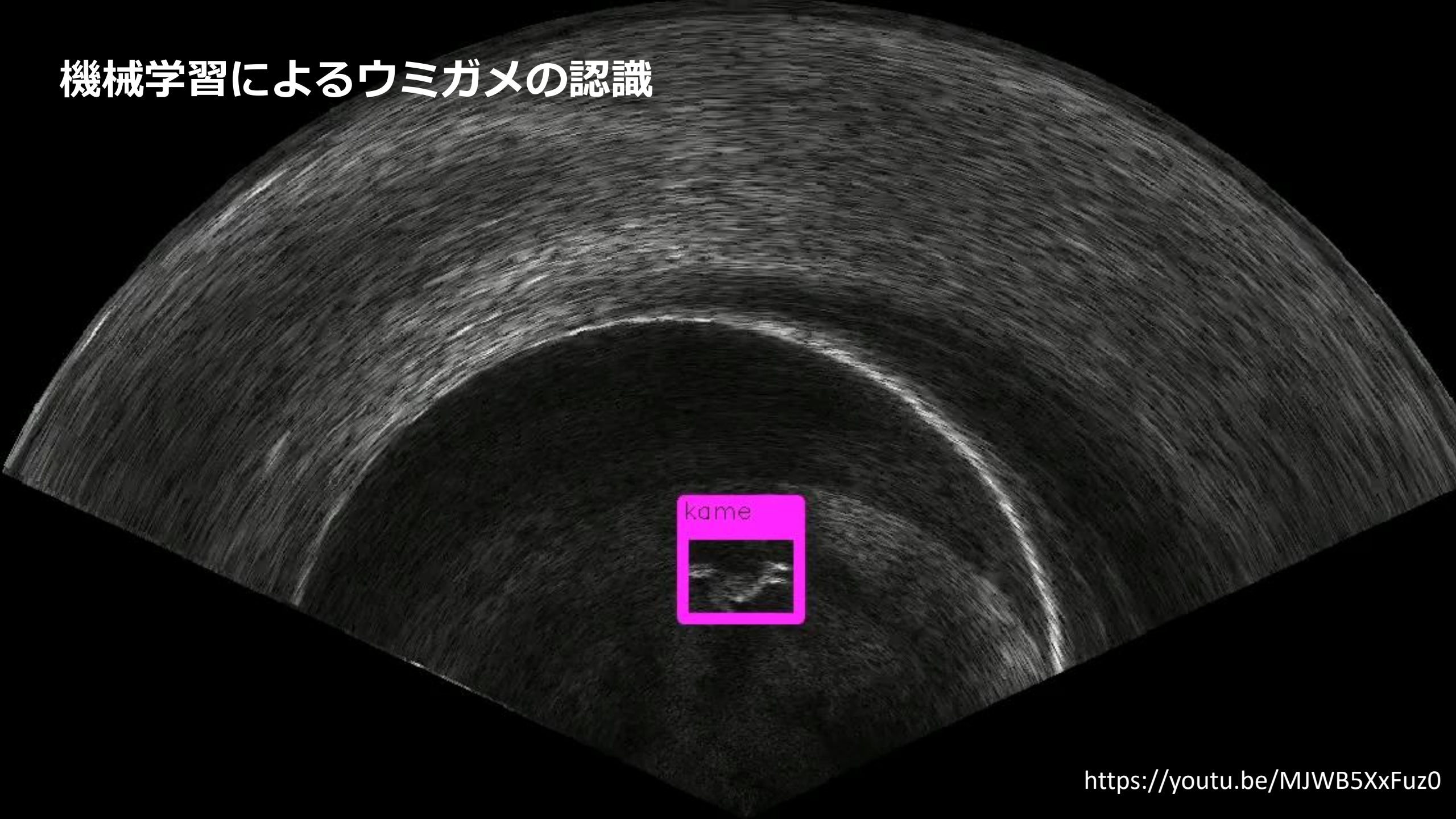
生物にタグ等を取り付けず、まったく自然状態での長期観測を実現する。

水中で広域を探知できるソーナール（音響センサ）とAIを組み合わせる。

最初のターゲットは**ウミガメ**



機械学習によるウミガメの認識

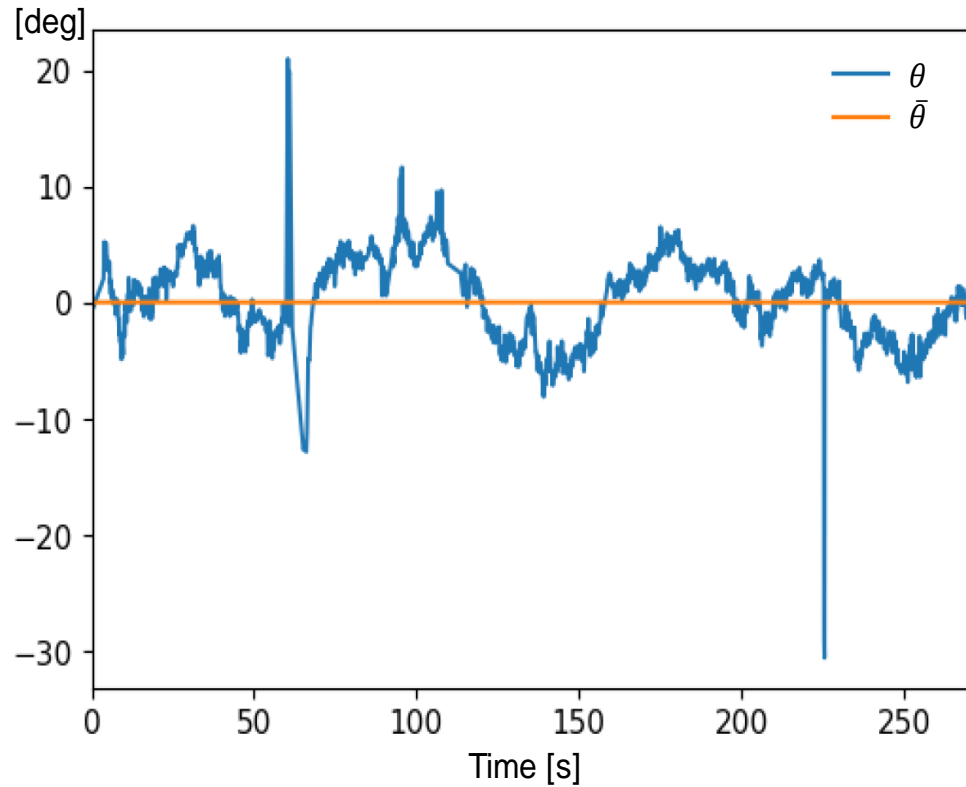
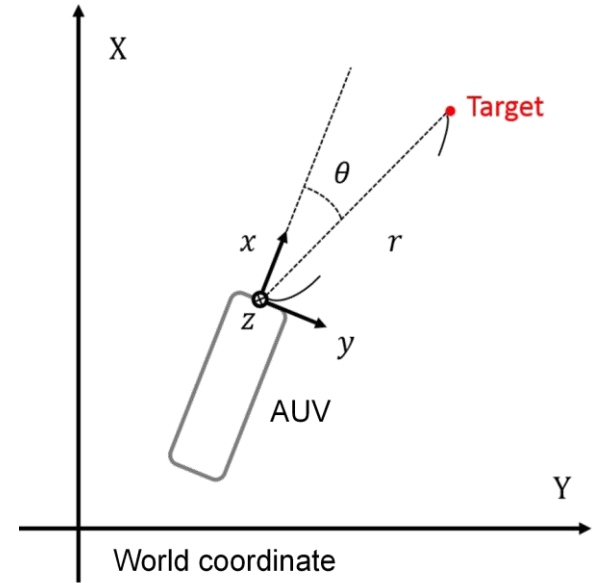


AUV HATTORIによるウミガメ追跡実験

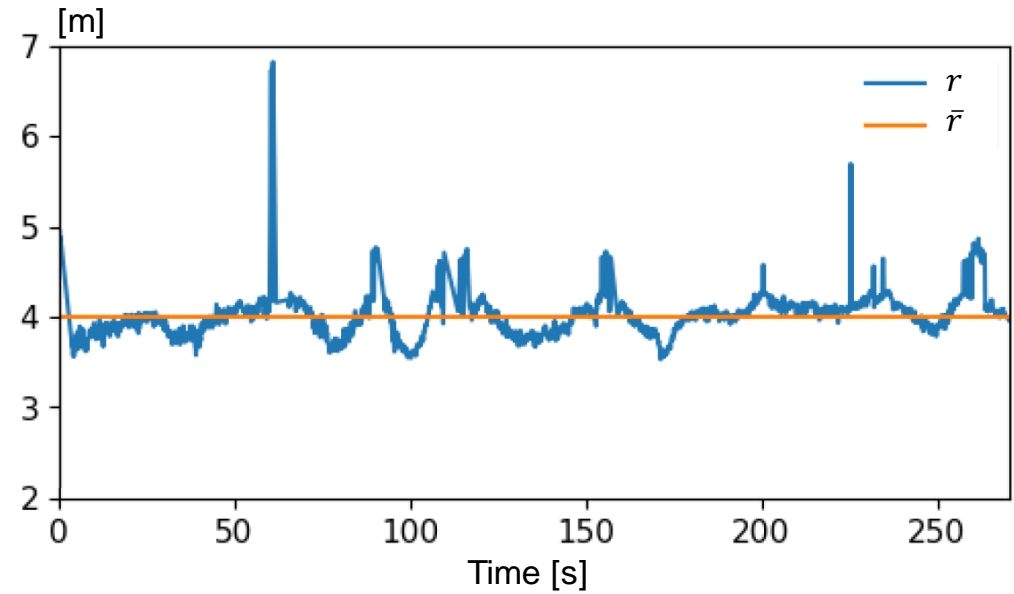
Target: Loggerhead Turtle (Carapace length 0.85m) Speed: x4

<https://youtu.be/eazR6KzuwBA>

実験結果： ウミガメとの位置関係



Direction, θ



Distance, r



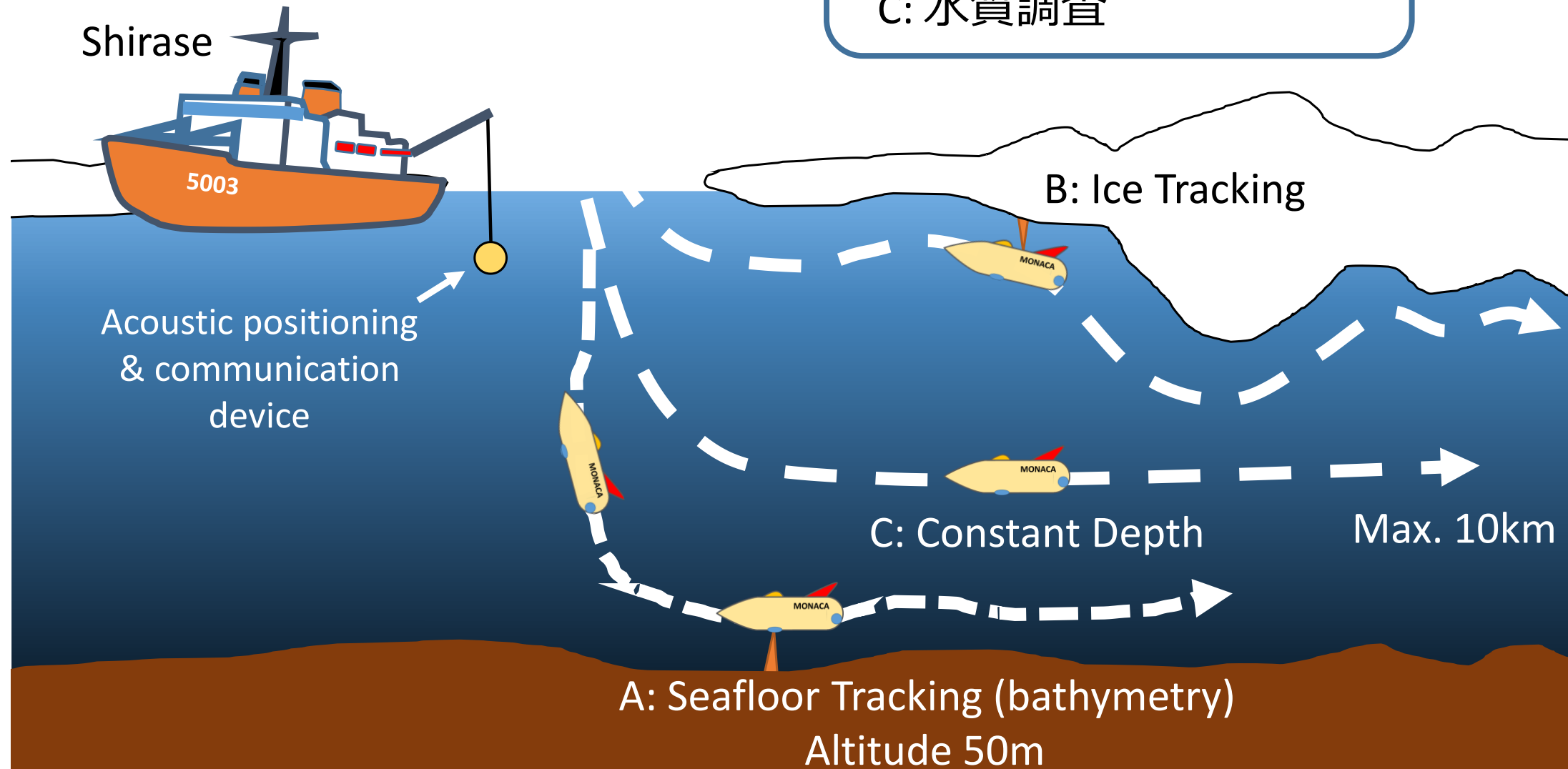
AUV MONACA

Mobility **O**riented **N**adir **A**ntarctic **C** Adventurer

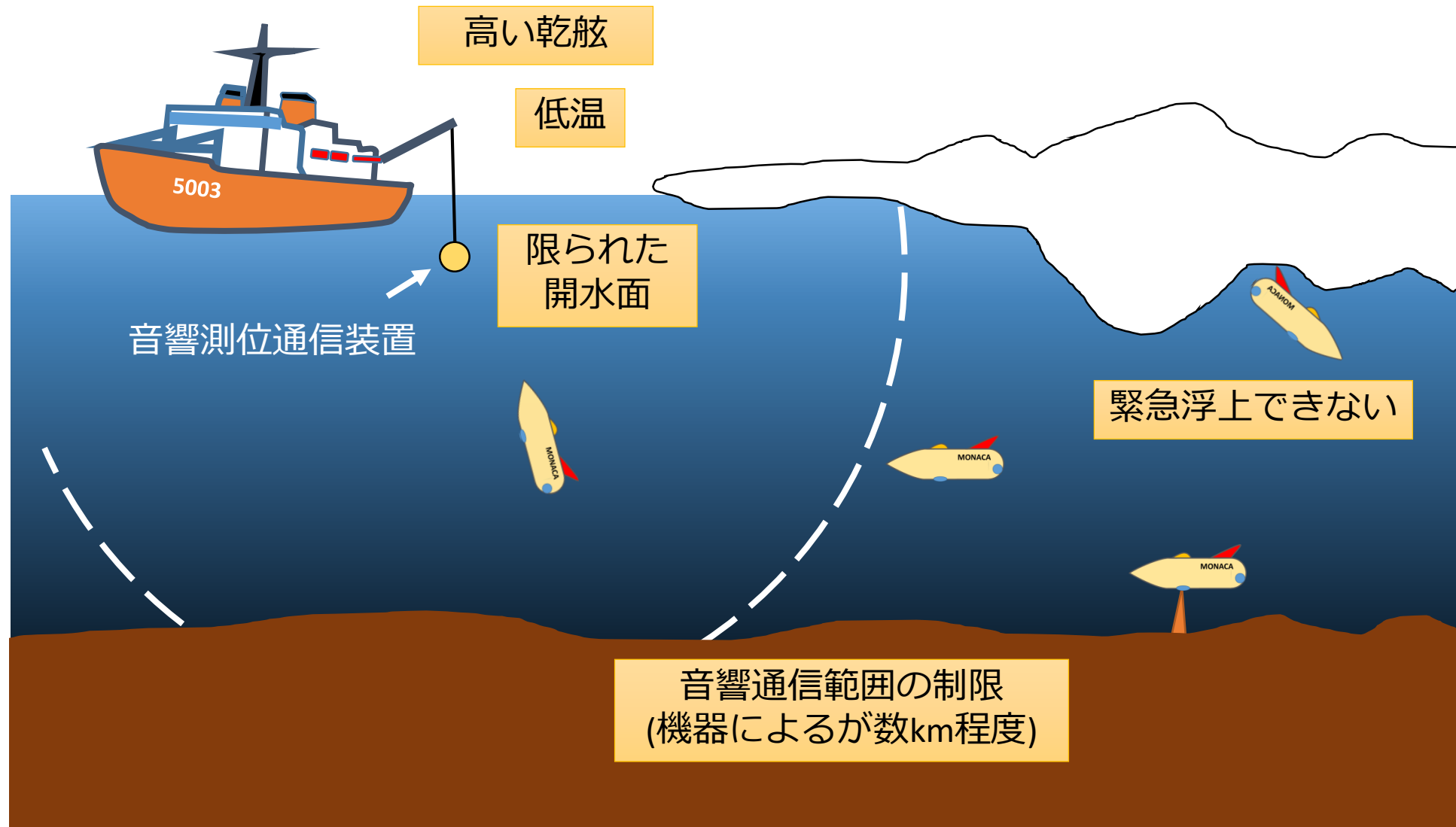


MONACAのミッション

- A: 海底探査 (地形, 画像)
- B: 氷探査 (形状, 画像)
- C: 水質調査



氷下へのAUV展開のための課題

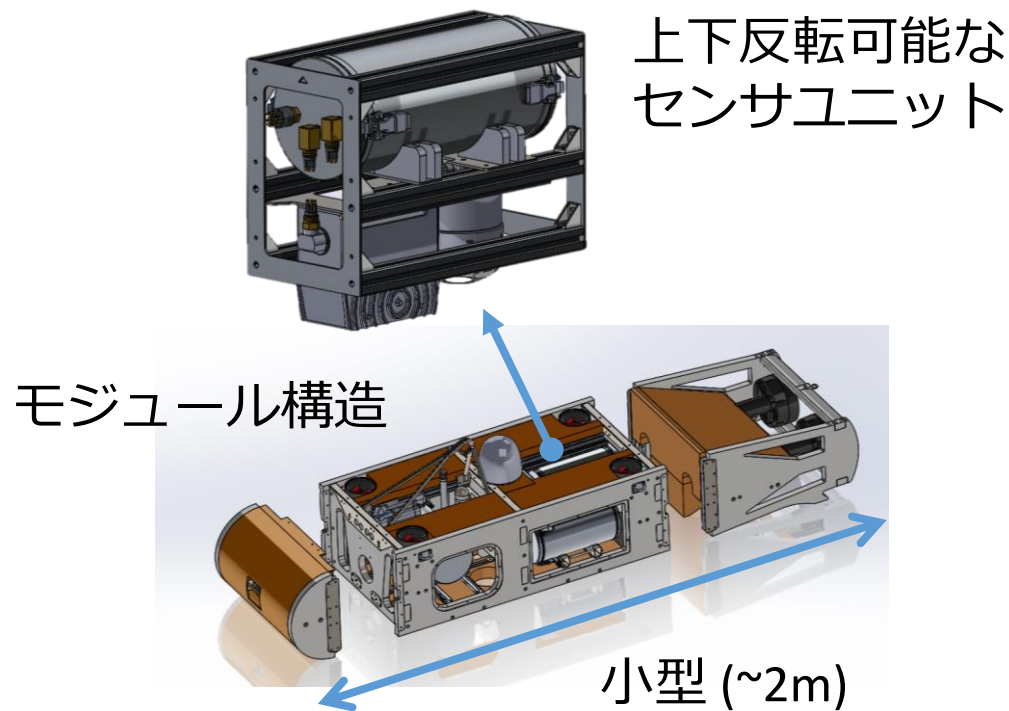


設計コンセプト

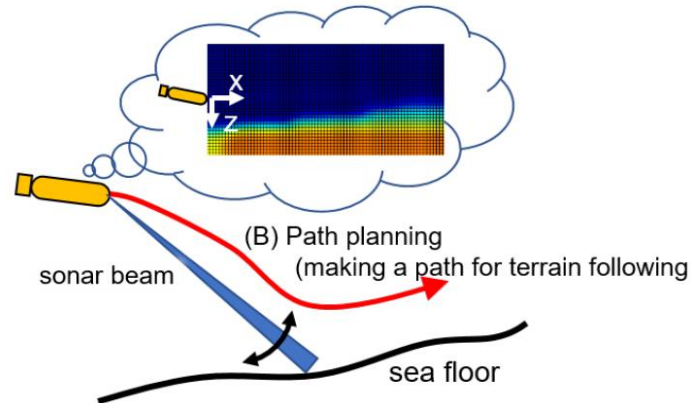
- 小型
 - 運用しやすい
 - しらせから着揚収可能
 - 低コスト
- モジュール構造
 - 多様な観測に対応
 - 分解して運搬可能
 - メンテナンスが容易
- 複雑地形の低高度追従に対応
 - ホバリング型
 - スキャニングソナーによる手法*, **
 - 海氷、棚氷、海底の画像観測にも対応 (将来)

* T. Maki, et al., Low-altitude and High-speed Terrain Tracking Method for Lightweight AUVs, Journal of Robotics and Mechatronics, 30(6), 971-979 (2018)

**小知井秀馬, 山縣広和, 巻俊宏, AUVによる極域探査のための複雑地形の追従手法 - シミュレーションによる性能評価-, 令和3年度 日本船舶海洋工学会 秋季講演会, (2021)



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



ハードウェア

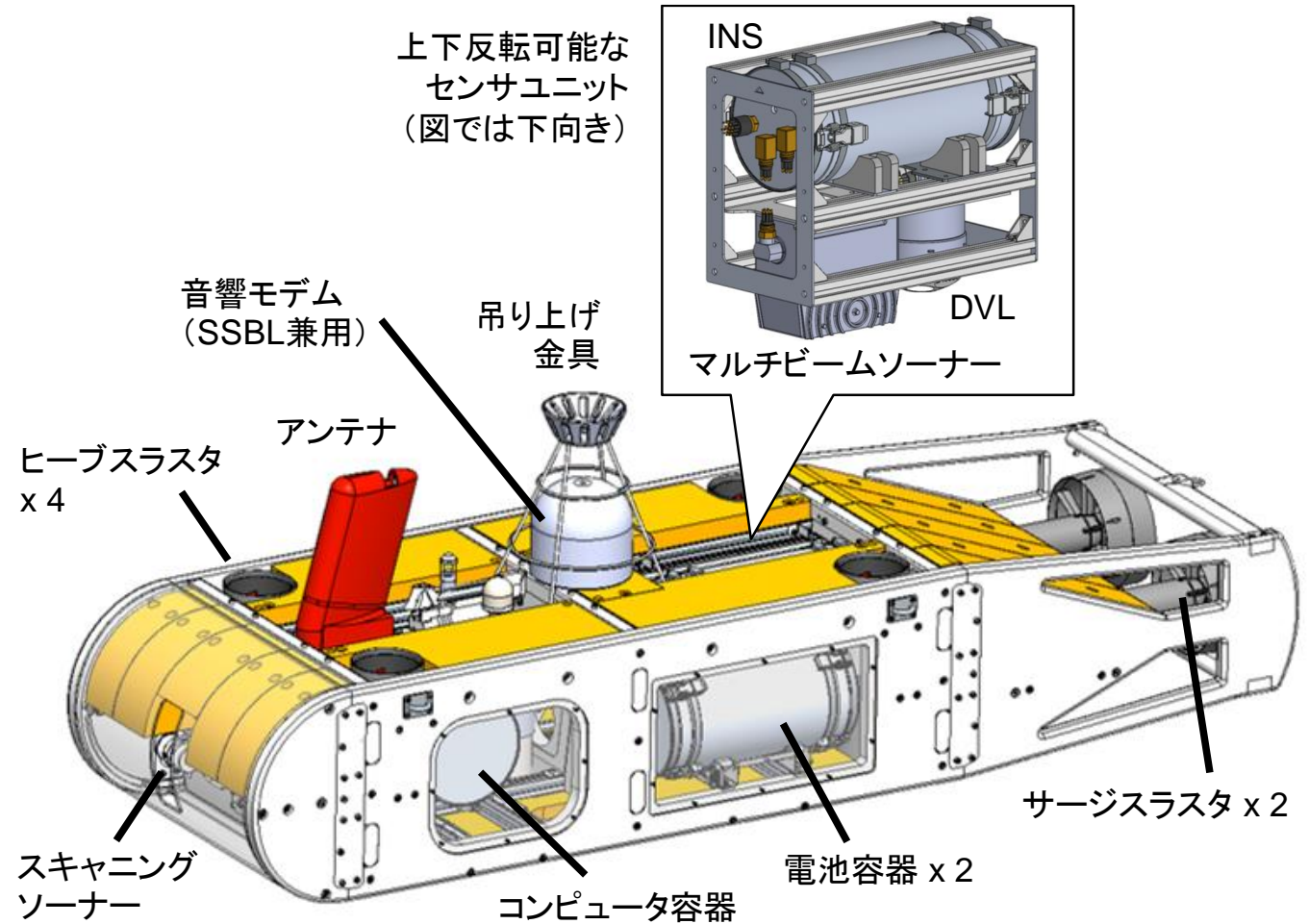
Navigation

- DVL (Doppler Velocity Log)
- INS (Inertial Navigation System)
- SSBL (<3km)
- Scanning Sonar

Payload

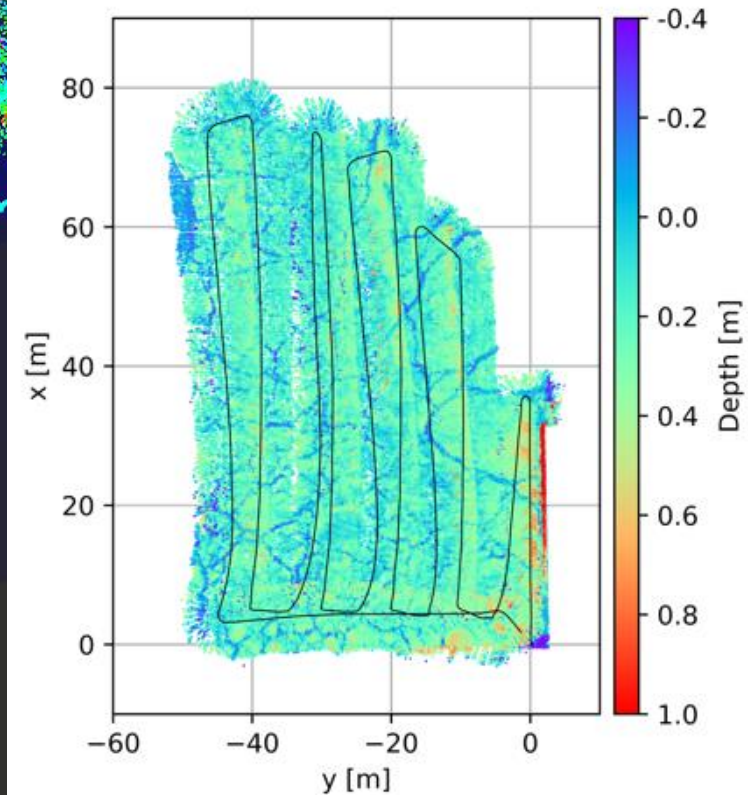
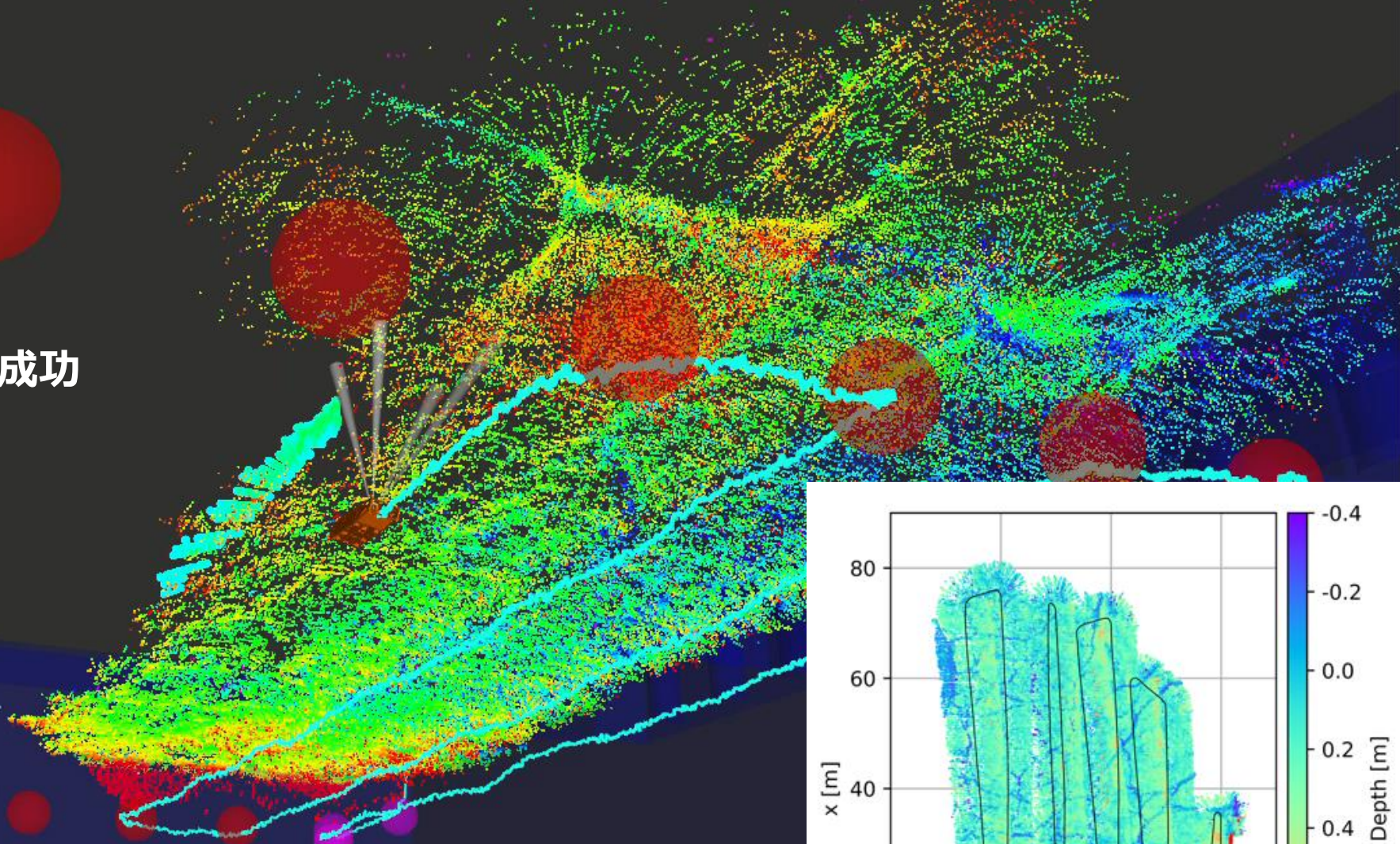
- Multi-beam Sonar
- CTD
- (Camera)

Size	2.12 x 0.65 x 0.40 [m]
Weight	230 (in air), 0 (in water) [kg]
Max. Depth	1500 [m]
Velocity	1.0 [m/s] (2 knot)
Duration	> 8 [h]
Range	> 20 [km]



2021紋別

2021年2月@北海道 紋別港
海氷・海底のマッピングに成功



Depth



Heading



Altitude



Surge speed



Next WP No.

<https://youtu.be/cSe7Wg-tsPg>

そして南極へ・・・

YAHOO! ニュース
JAPAN

温暖化の謎解明へ海中ロボ初投入、ガチャピンも同行 64次南極観測隊、11日出発へ

11/5(土) 11:30 配信 10



産経新聞



第52次南極観測隊に隊員として参加、昭和基地沖で観測船「しらせ」をバックに記者や観測隊員らと記念撮影する中村卓司所長（後列中央）
=平成23年1月、南極・昭和基地（52次観測隊員撮影）

南極・昭和基地に向け、第64次南極観測隊（伊村智隊長）が11日、観測船「しらせ」で東京・青海を出発する。地球温暖化が南極の氷に与える影響を解明するため、今回は厚い氷の下に潜り込めるAUV（自律型無人海中ロボット）を初めて投入。昭和基地があるリュツォ・ホルム湾で氷河の下部の形状や海底地形、水質などの観測を行う。期待される成果などを国立極地研究所の中村卓司所長に聞いた。

【地図でみる】昭和基地があるリュツォ・ホルム湾

海中工学に関する国際シンポジウム「UT23」
2023年3月@東大生研にて開催予定！



International Symposium on Underwater Technology

March 6-9, 2023

In Person Meeting (with webinar option)

IIS Conference Hall “Haricot” Tokyo, Japan

Advanced Underwater Technology for the Ocean



参考情報

- **巻研究室HP**

- 実験の様子をYouTubeで公開中
- <http://makilab.iis.u-tokyo.ac.jp/>

- **駒場リサーチキャンパス公開**

- 東京大学生産技術研究所の一般公開
- 例年6月上旬の金・土に実施
- 当研究室は例年、水槽にてAUVのデモンストレーションを実施中
- <https://2022.komaba-oh.jp/>

- **日本水中ロボネット**

- 水中ロボット競技会を運営しているNPO法人
- 巻研メンバーも多数関わっています
- Twitterで情報発信中（モナカの南極展開についても）
- <http://underwaterrobonet.org/>