



第22回 海上技術安全研究所研究発表会



海底資源探査・洋上風力発電設備における AUVの新しい活用技術

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

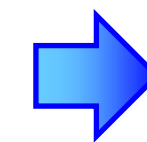
海上技術安全研究所

海洋先端技術系

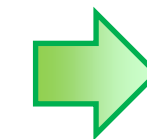
篠野 雅彦 岡本 章裕 稲葉 祥梧 藤原 敏文



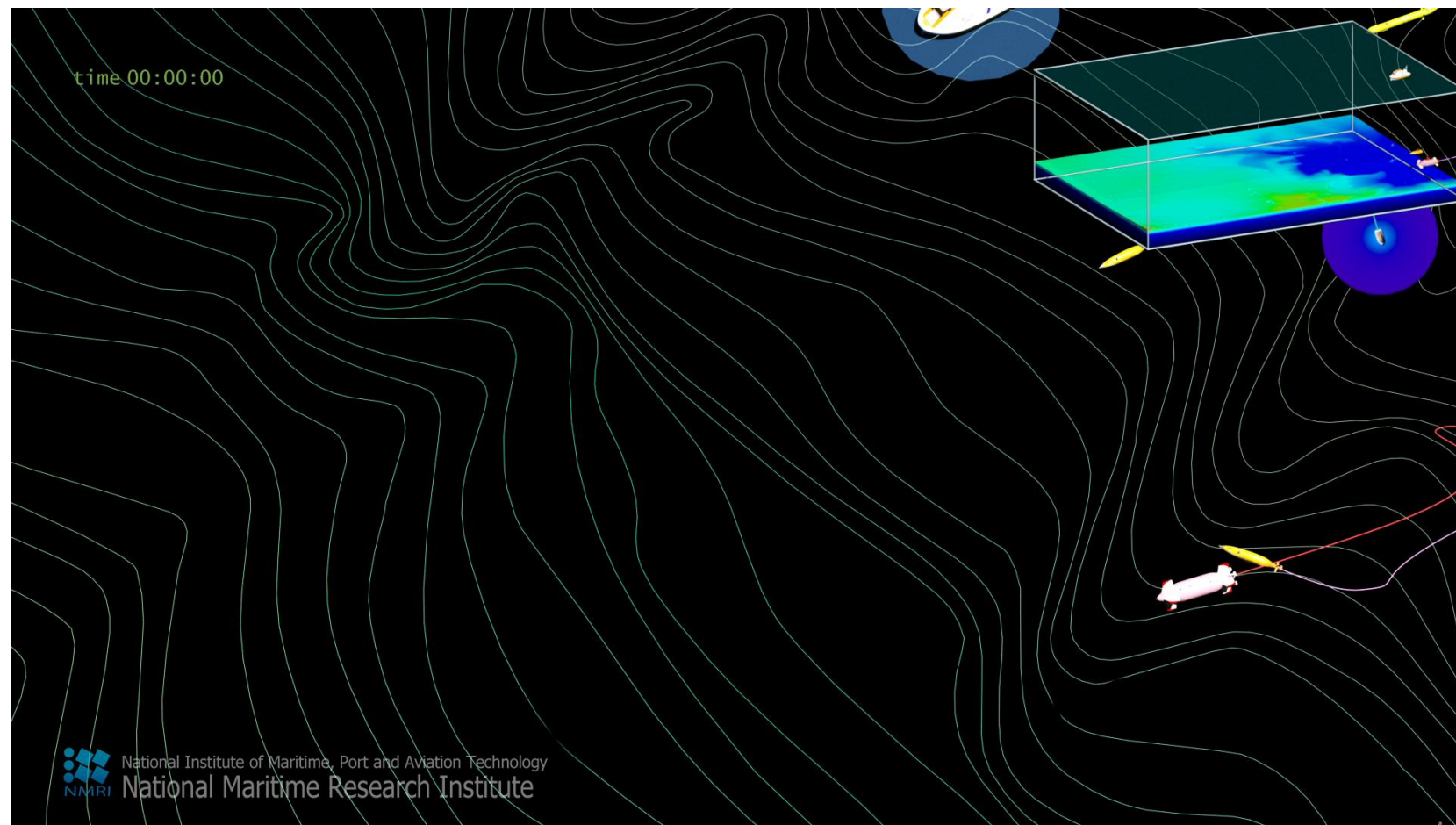
- 海技研がSIPプロジェクトの中で開発しているAUV技術（～2,000m）の簡単な紹介
- さらに深海（～6,000m）へ適用するための新しいAUV技術開発の紹介
- より浅海（<100m）へ適用するための新しいAUV技術開発の紹介



本講演では…
琵琶湖(水深～90m)で技術実証



銚子沖(水深～12m)で技術実証



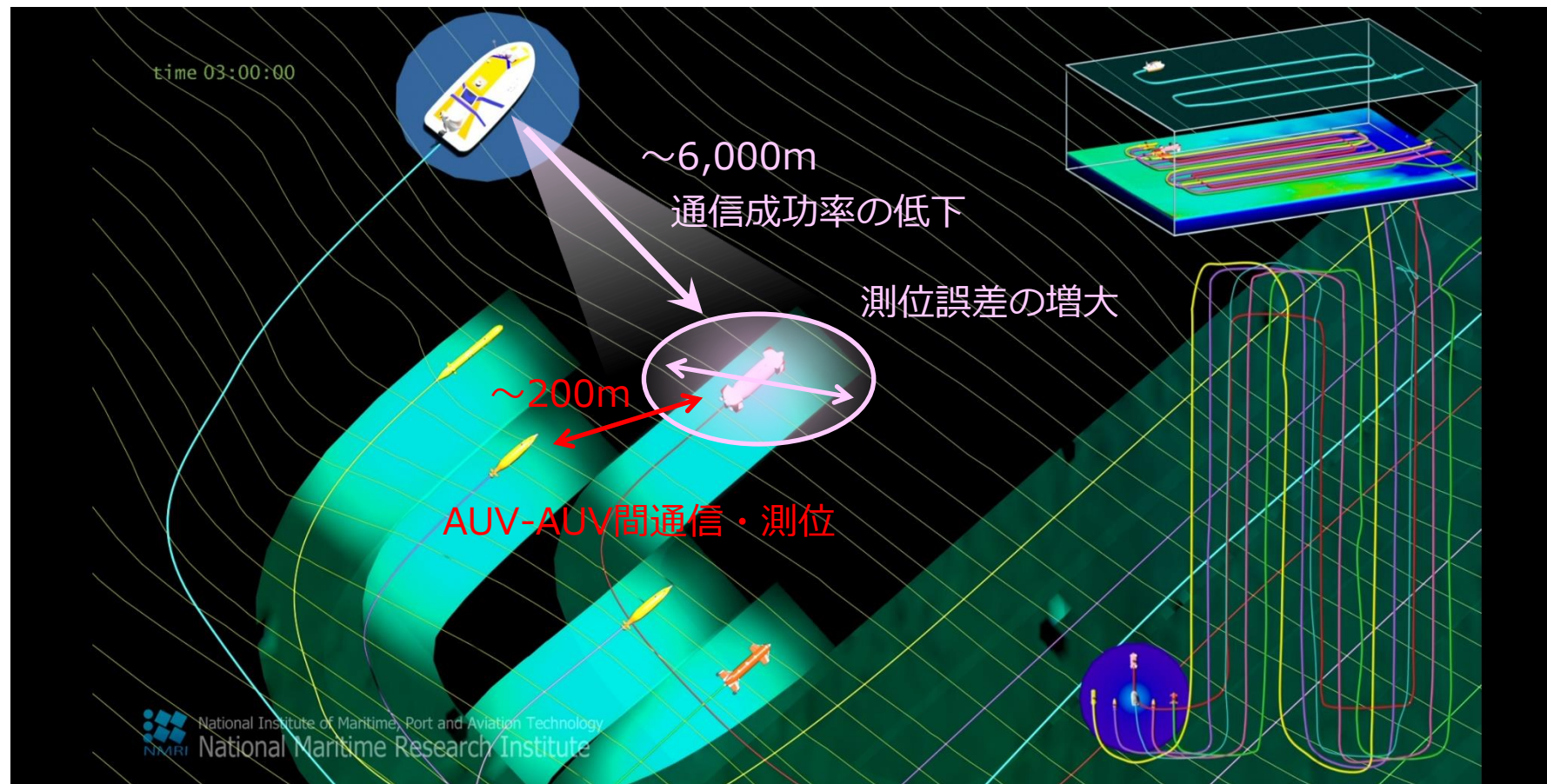
- AUV (Autonomous Underwater Vehicle)
自律型無人潜水機、ケーブルなしの海中ロボット
- 高速移動、深海潜航、複数機同時運用が可能
→ 深海底の高精度調査に適している
- 母船との水中音響モデムによる通信速度が遅い
→ AUV艇体内での自律判断が重要
→ 海底観測データは、浮上・揚収後に回収

SIP「革新的深海資源調査技術」の
「深海AUV複数運用技術に関する研究開発」の目標イメージ

→ 2022年9月に駿河湾（水深<2,000m）でAUV 5機隊列制御の実証予定

深海（海底資源探査）におけるAUVの活用技術

複数AUVの大深度運用（～6,000m）で予想されること…



大深度の海底では、AUVが海面からのサポートを受けづらい

- 通信距離が長くなるため、通信成功率が低下。
- 測位距離が長くなるため、測位誤差が増大。



深海AUV複数運用に必要な技術として、
AUV-AUV間通信・測位の技術実証

1. AUV 2機による隊列航行試験

- AUV-AUV通信を用いた協調ウェイポイント航行
- AUV-AUV測位を用いたLeader-Follower航行

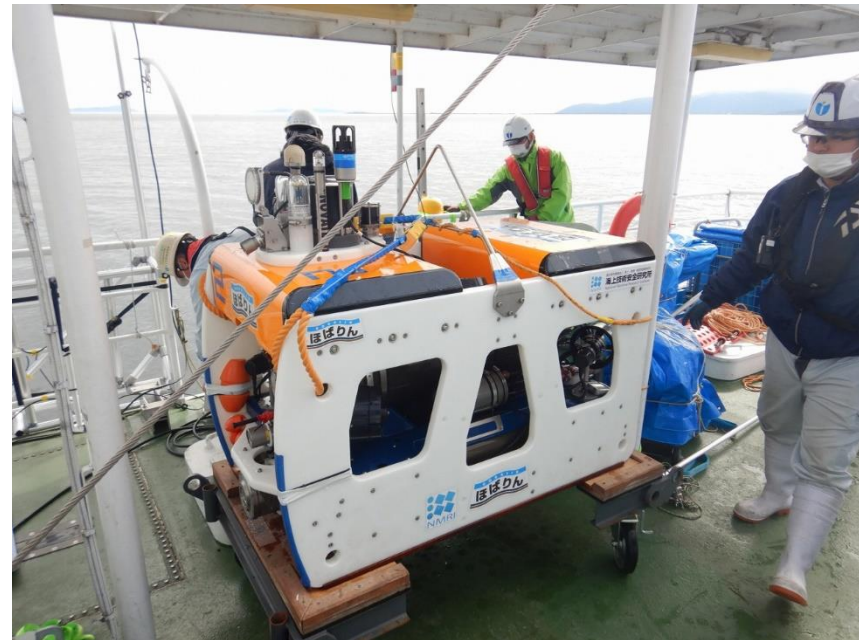
2. AUV 2機による水平ケーブル音波探査（HCS）試験

3. 「江戸っ子1号」とAUVによる「水中音響灯台」試験

深海底調査のための複数AUV運用技術実証



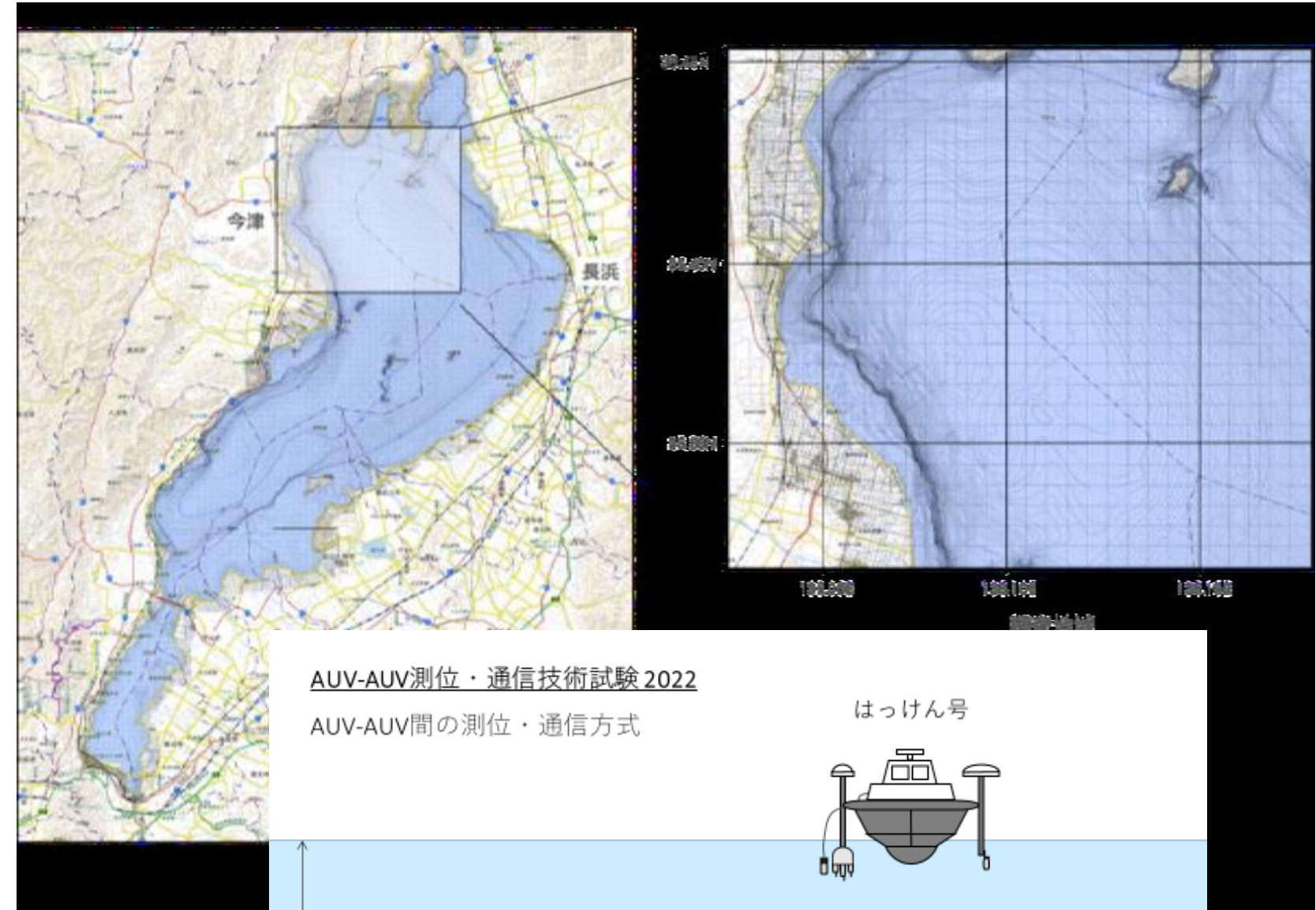
びわ湖トラスト 実験調査船「はっけん号」



ホバリング型AUV「ほばりん2」

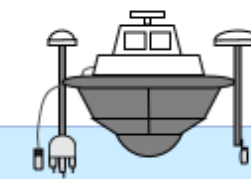


ホバリング型AUV「ほばりん」



AUV-AUV測位・通信技術試験 2022
AUV-AUV間の測位・通信方式

はっけん号



深度 85 m

USBL測位 / 音響通信
(SeaTrac X150)

ほばりん

ほばりん2

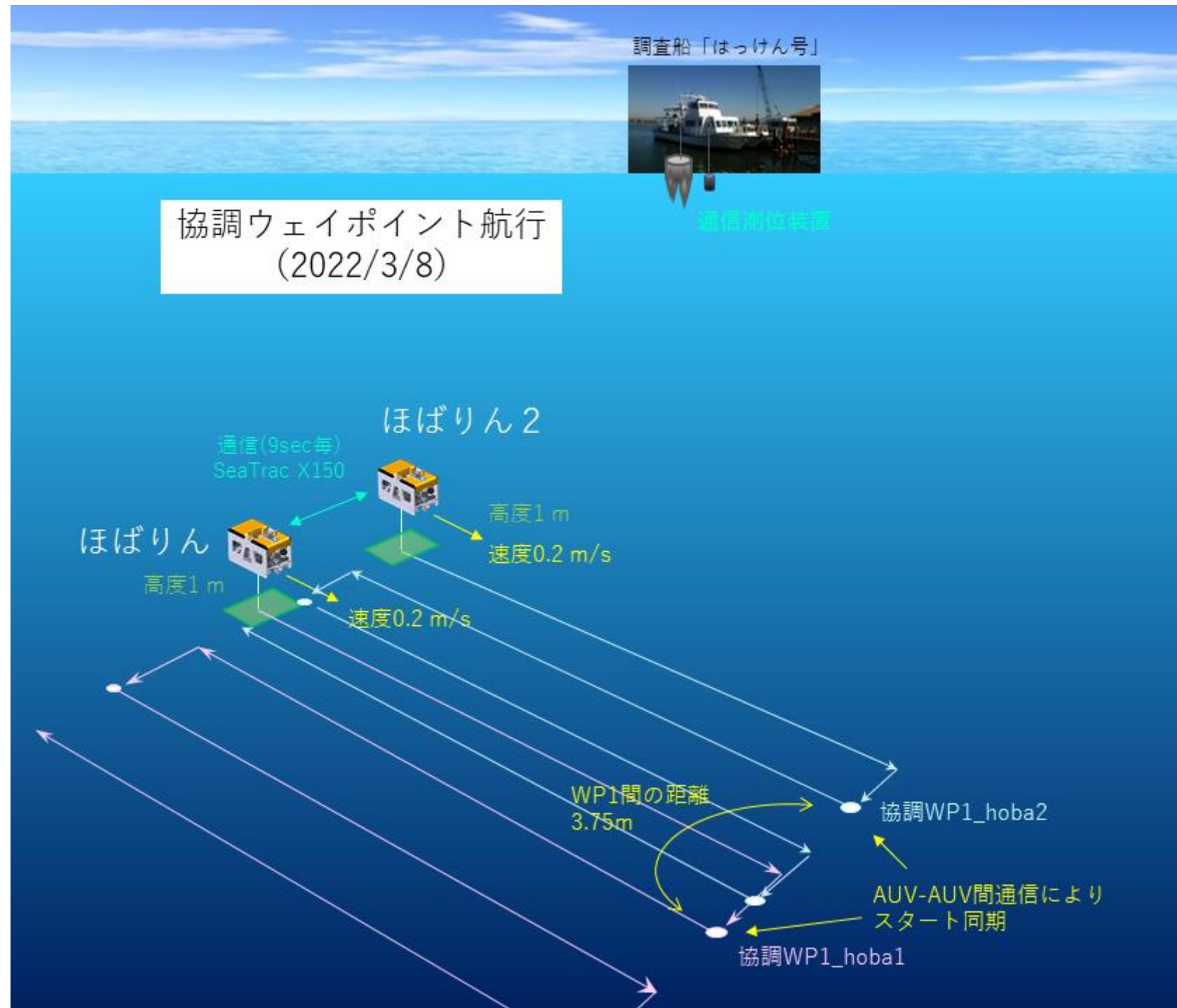
高度 1 m

海底写真

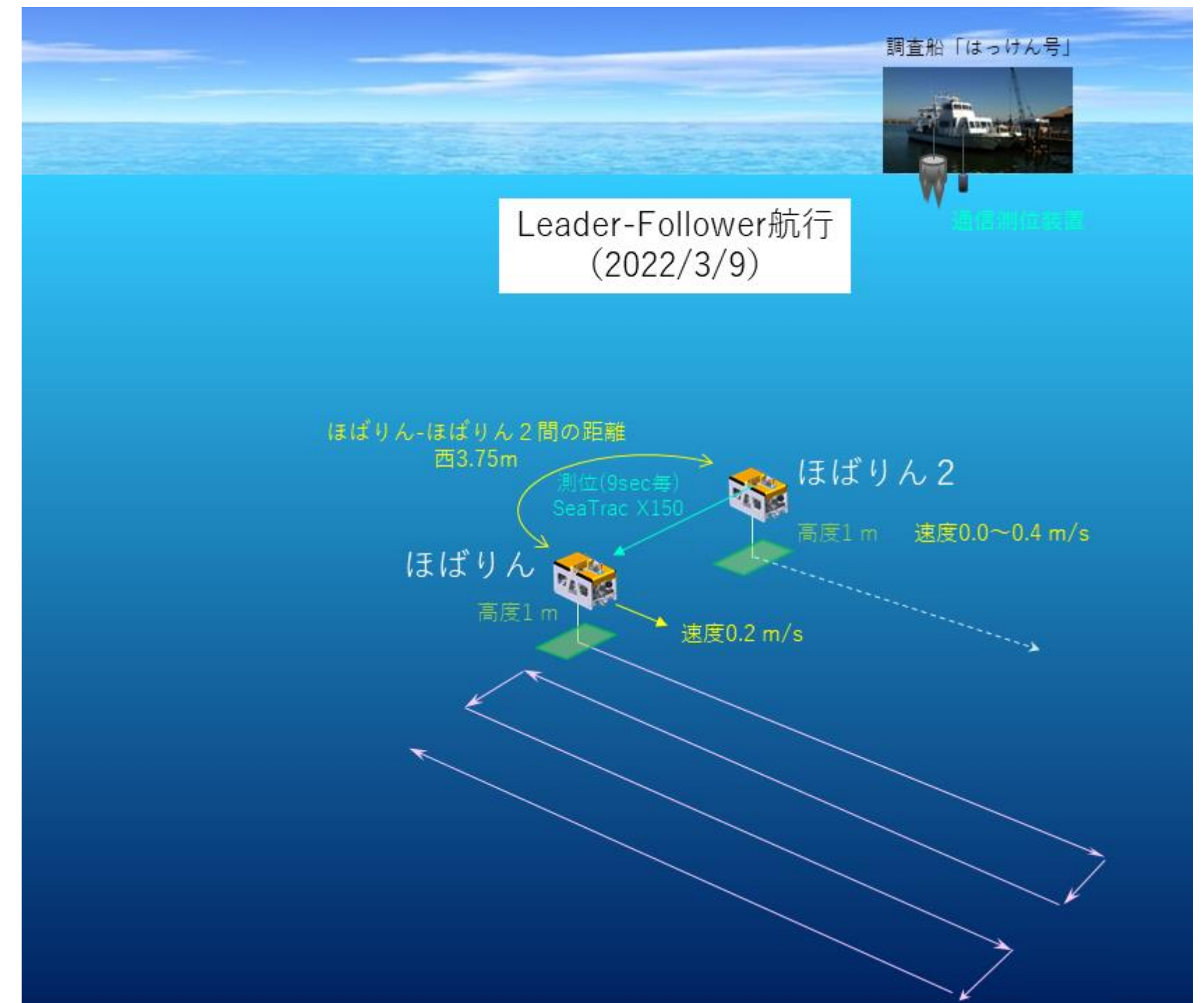
AUV 2機による隊列航行試験（2種類のAUV隊列制御）



目的：AUV 2機による湖底のモザイク写真撮影試験



AUV-AUV通信を用いた協調ウェイポイント航行



AUV-AUV測位を用いたLeader-Follower航行

AUV 2機による隊列航行試験（航跡）



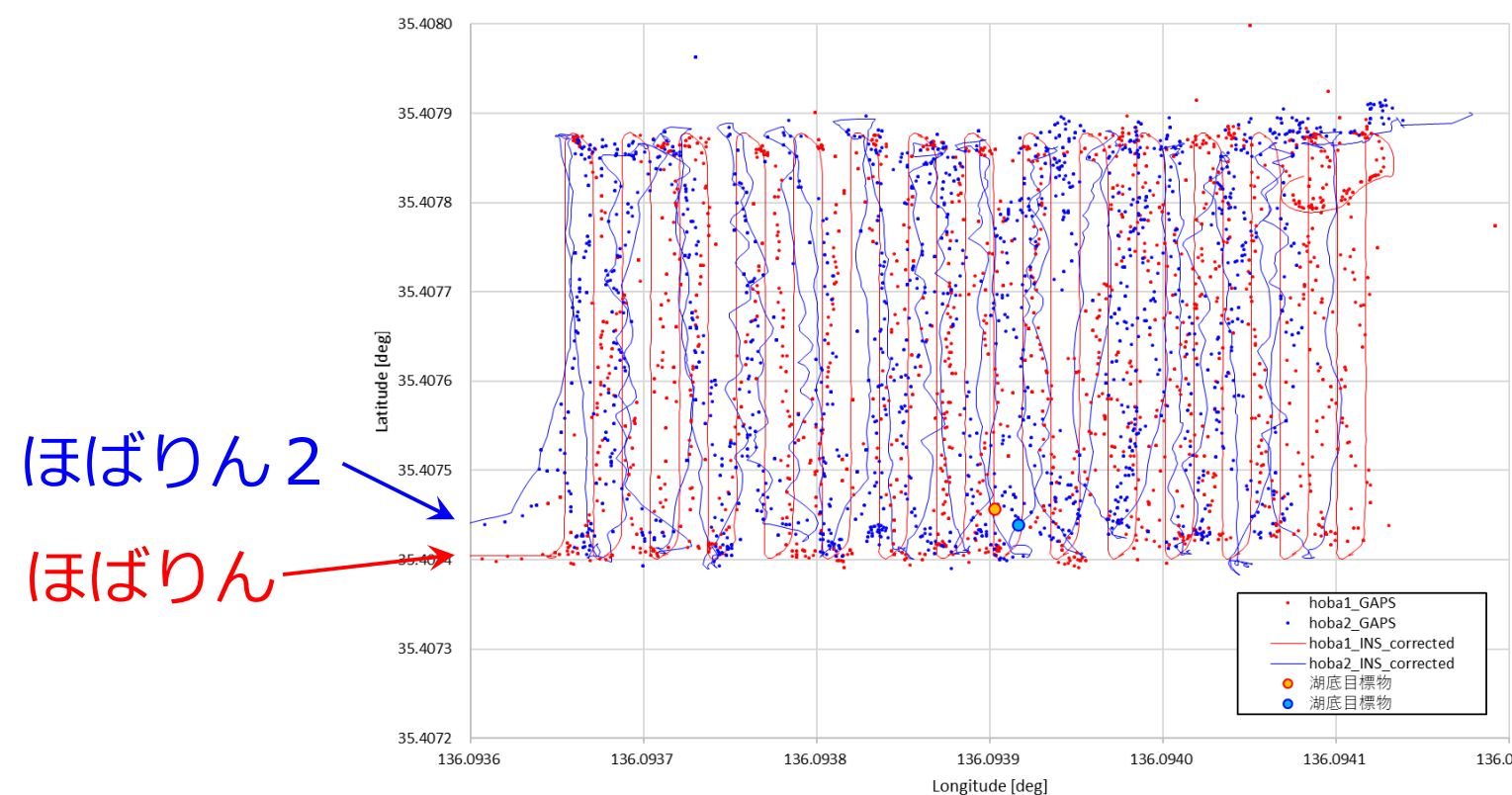
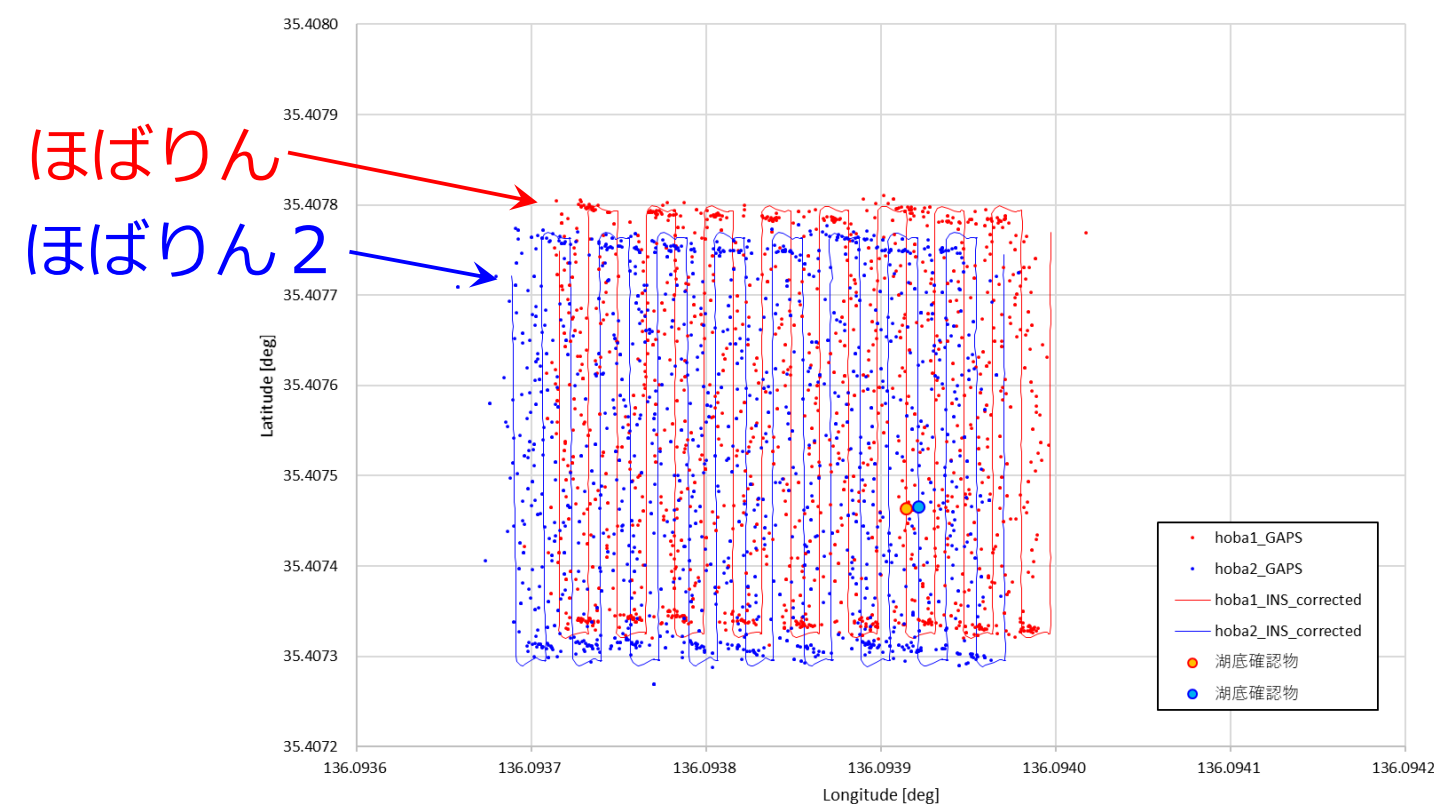
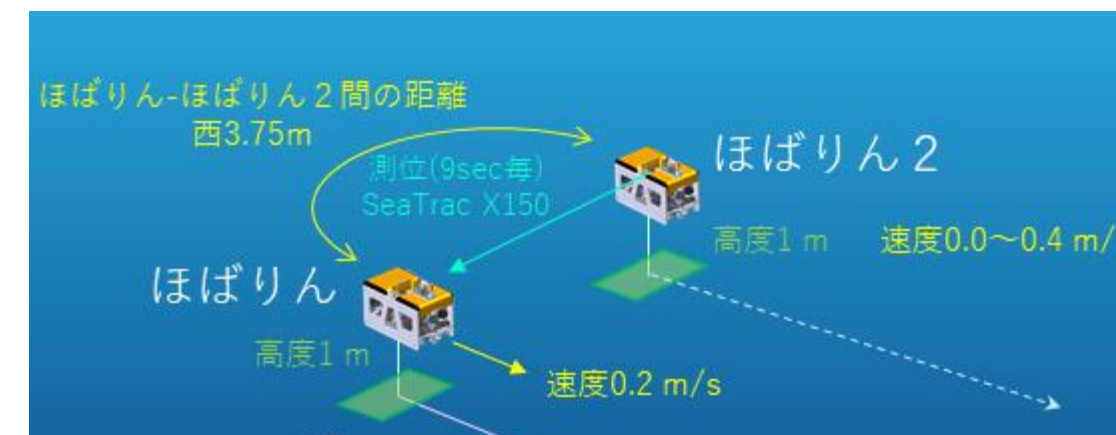
協調WP航行：

AUV-AUV通信のみを用いたAUV隊列方法。
各AUVの航跡は安定する。
航行開始前にポジションアップデートが必要。
(AUV-AUV間の初期予定位置にずれが生じた場合、最後までずれる。)



Leader-Follower航行：

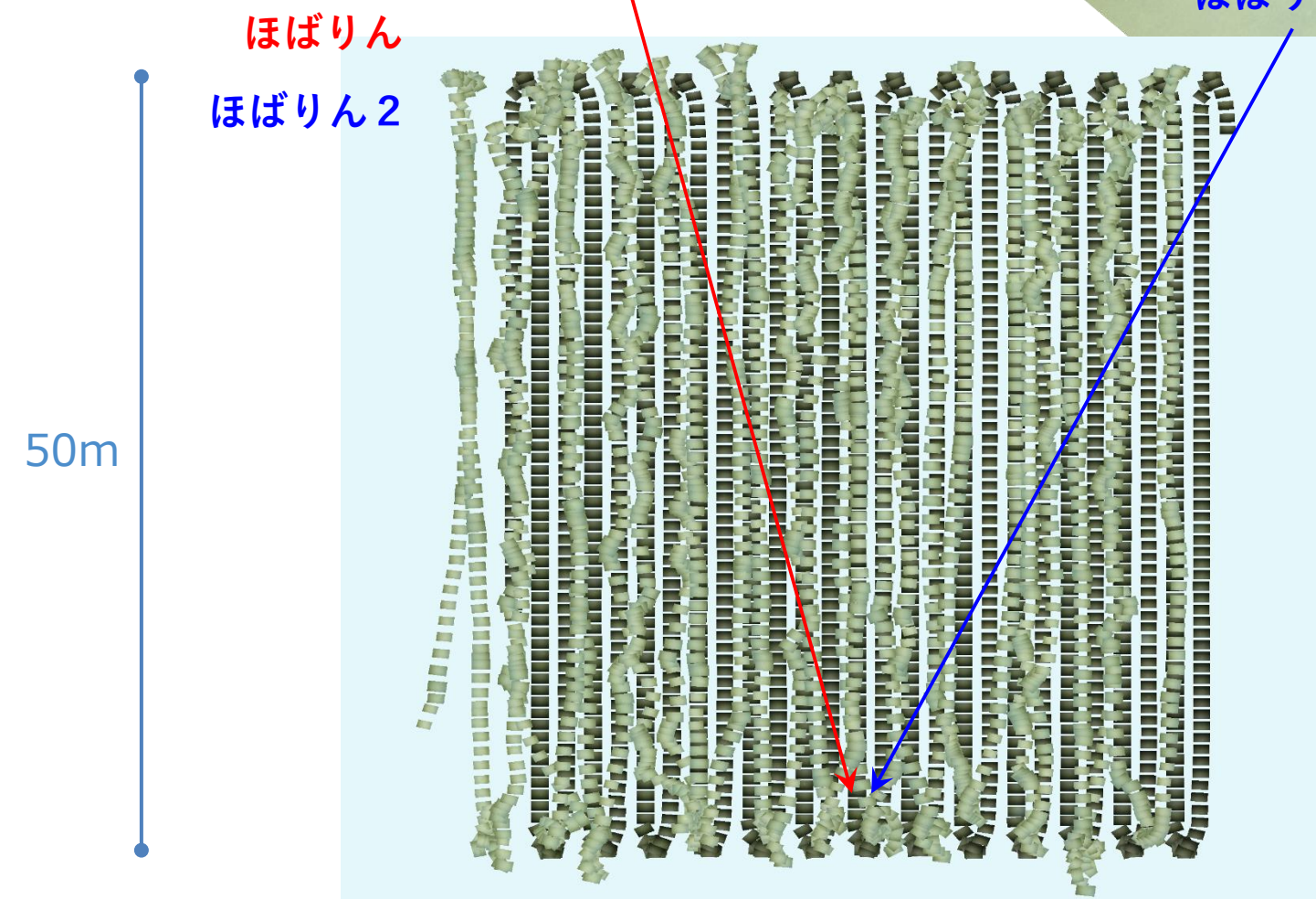
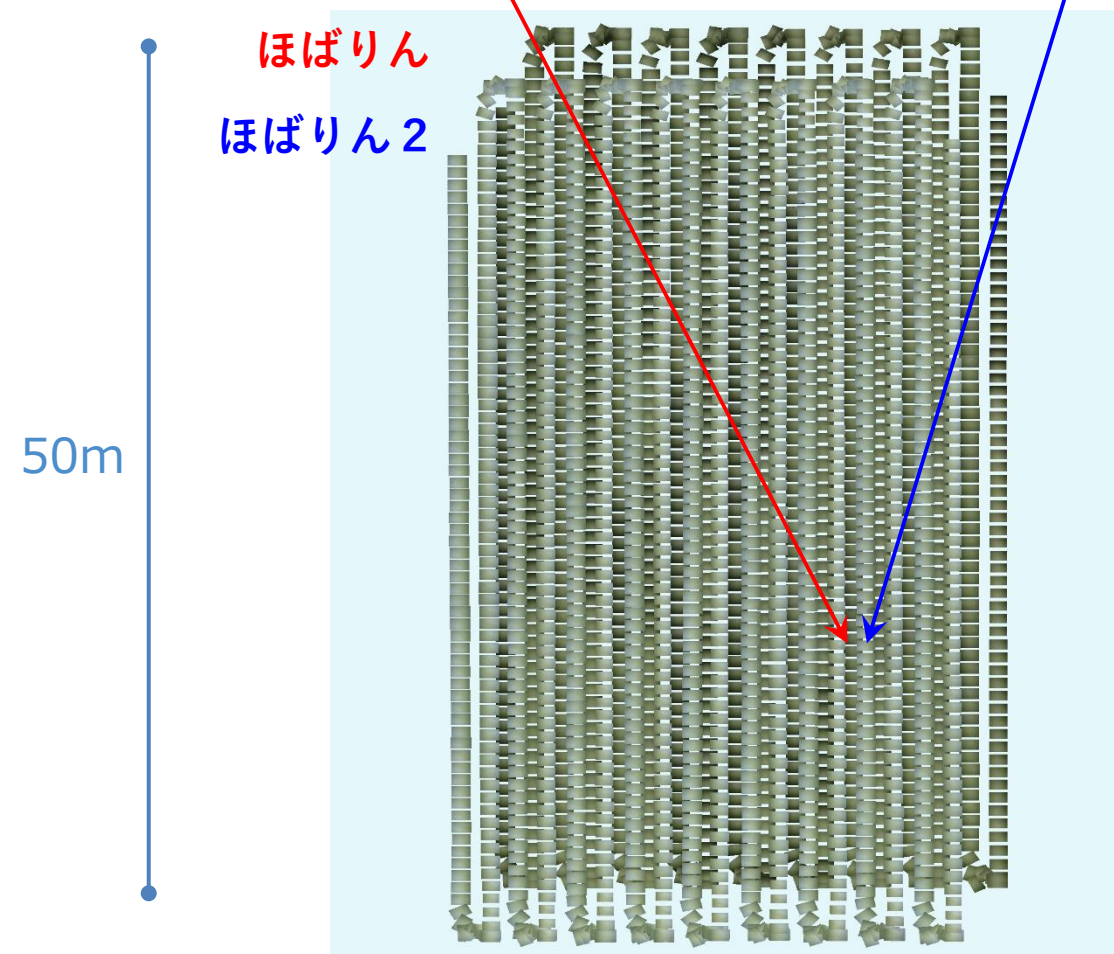
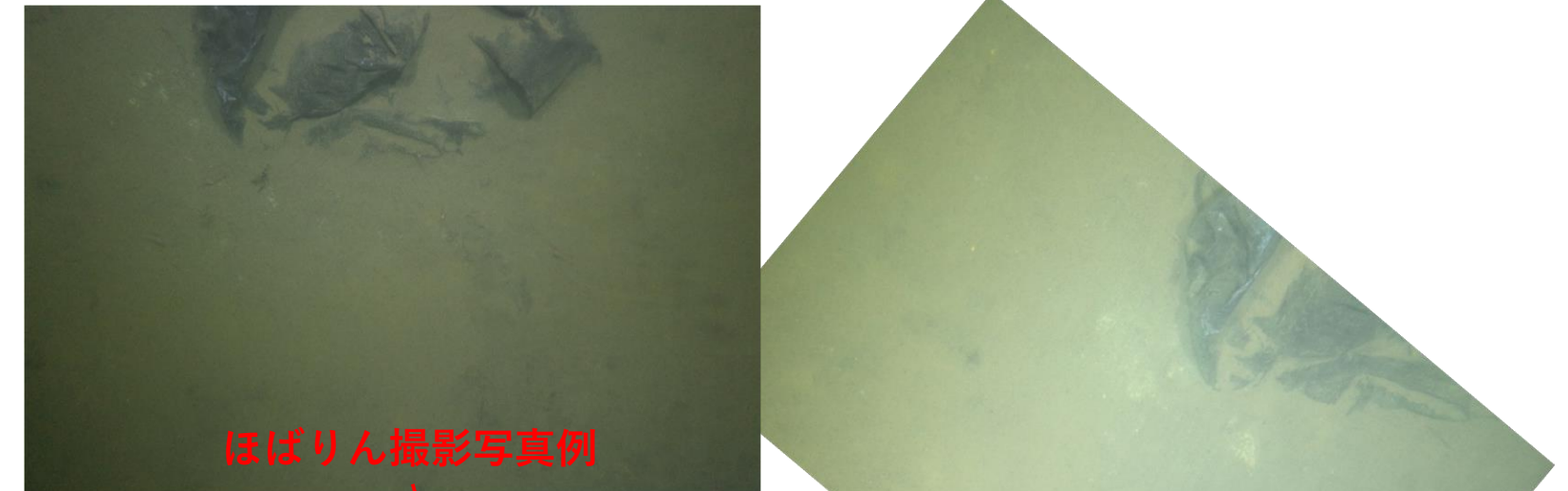
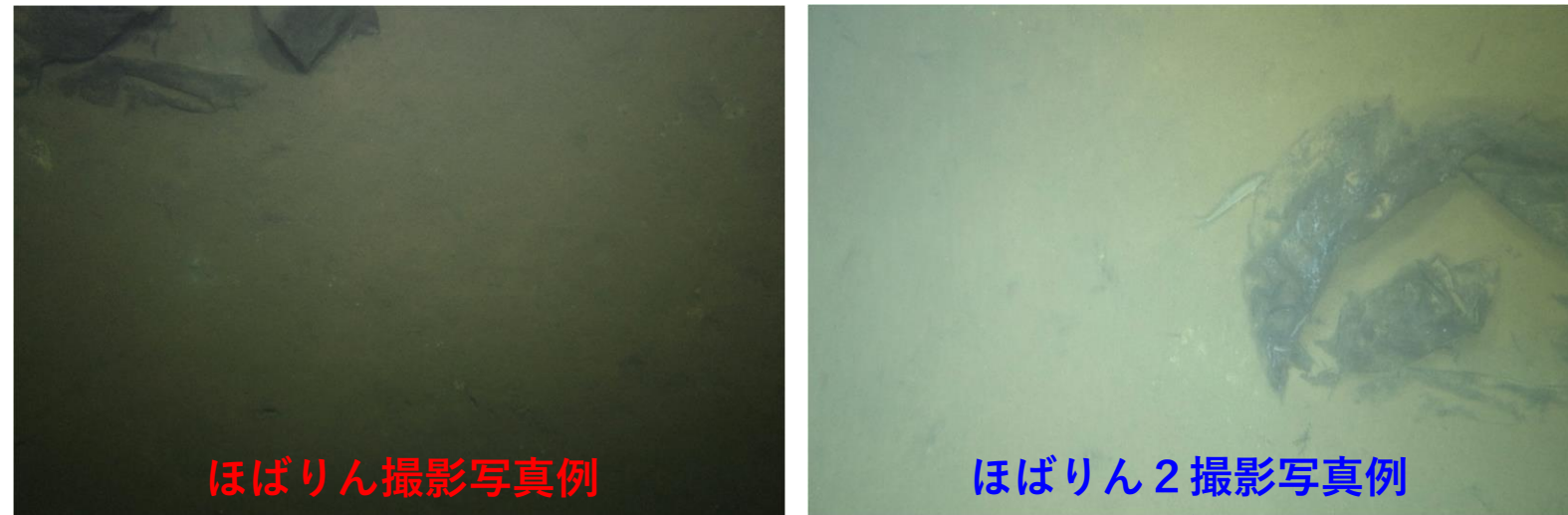
AUV-AUV測位のみを用いたAUV隊列方法。
Follower-AUVの航跡は、AUV-AUV測位誤差を含むため安定しない。
航行開始前のポジションアップデートは不要。



AUV-AUV通信を用いた協調ウェイポイント航行の航跡
(ライン：AUV艇体内INSログ、ドット：船上USBL測位結果)

AUV-AUV測位を用いたLeader-Follower航行の航跡
(ライン：AUV艇体内INSログ、ドット：船上USBL測位結果)

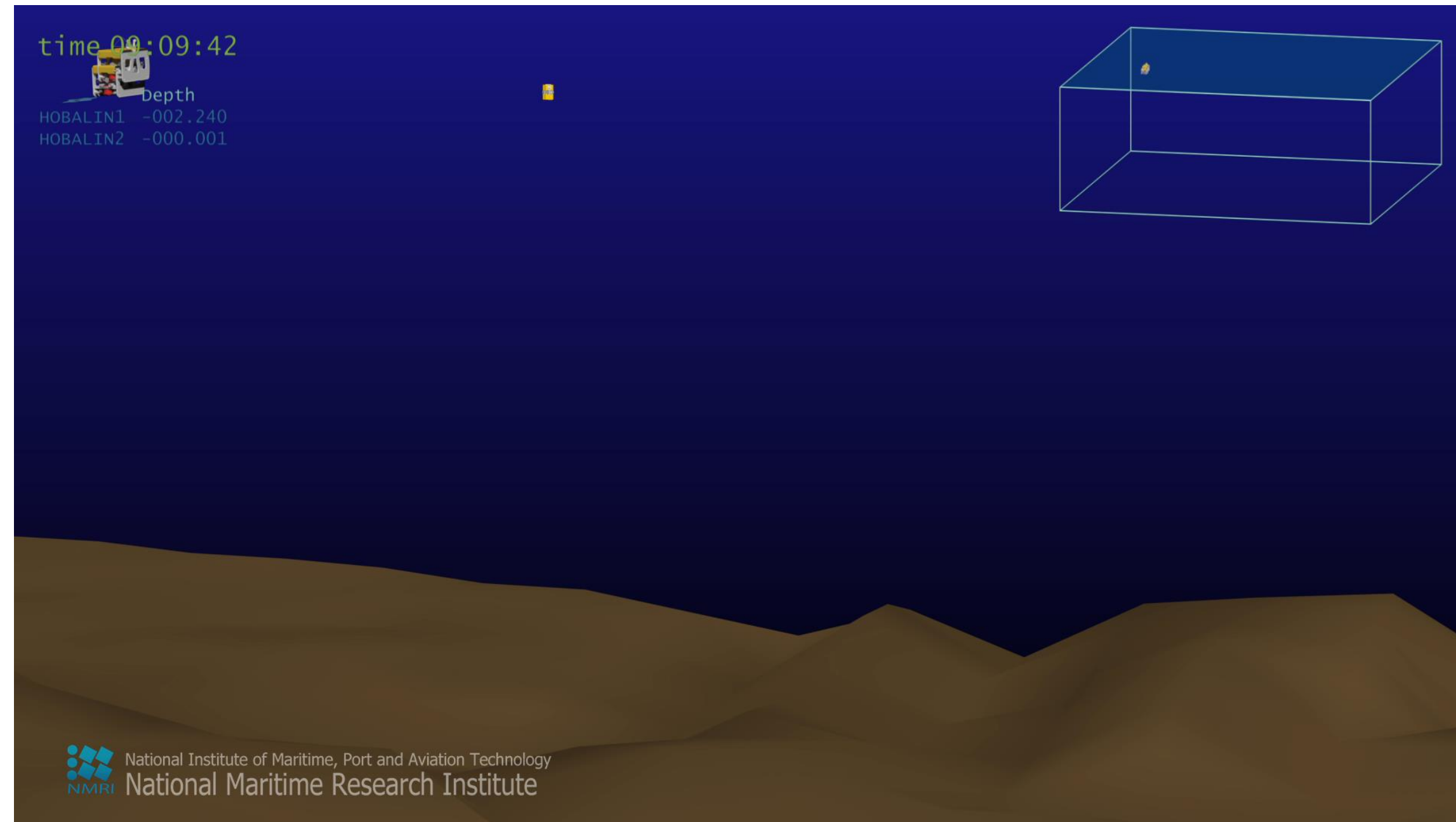
AUV 2機による隊列航行試験（湖底モザイク写真）



AUV-AUV通信を用いた協調ウェイポイント航行の
ほばりん、ほばりん2湖底撮影モザイク写真

AUV-AUV測位を用いたLeader-Follower航行の
ほばりん、ほばりん2湖底撮影モザイク写真

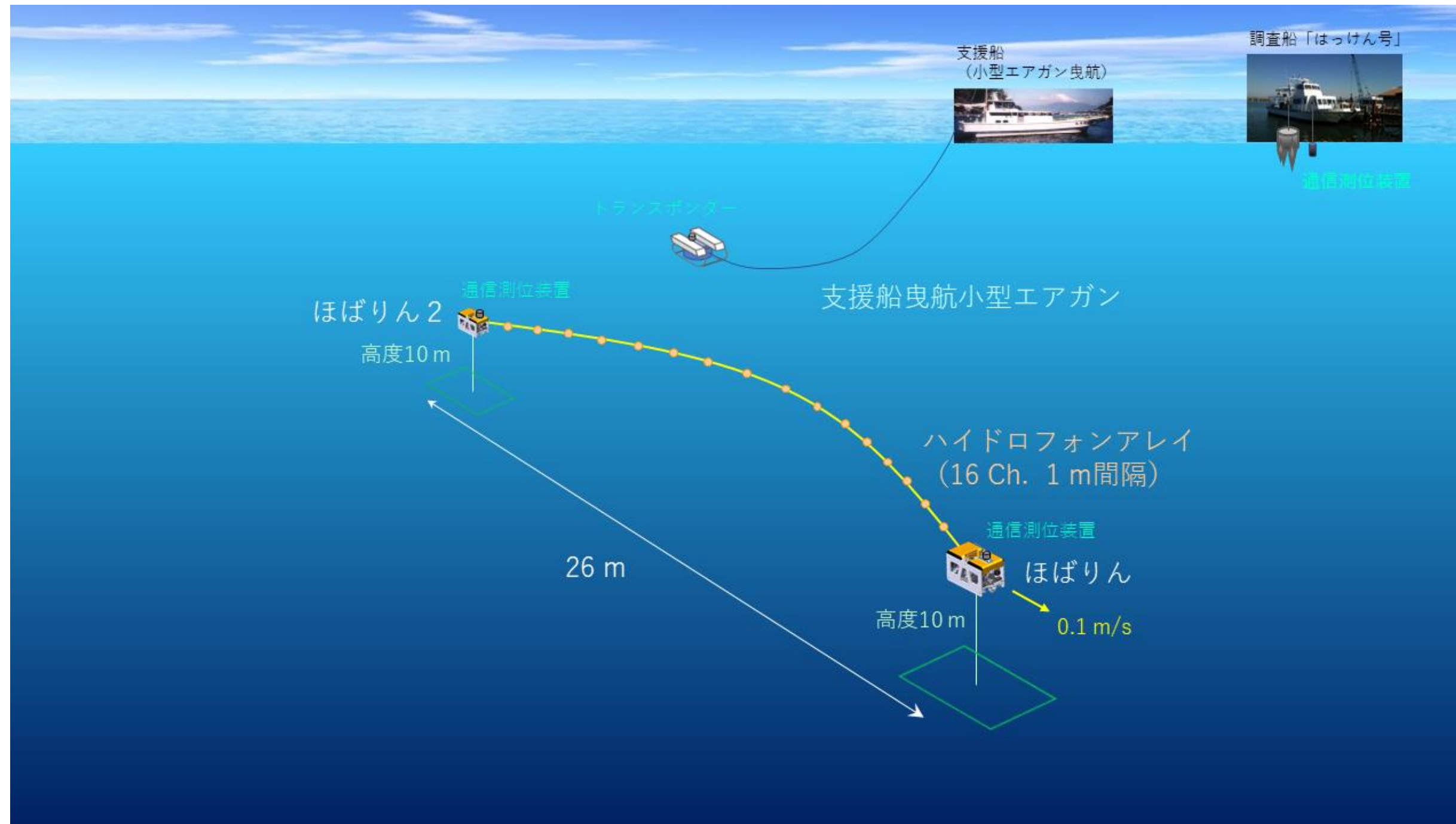
AUV 2機による協調潜航試験（ポジションアップデート）



AUV-AUV通信・測位を用いた
AUV-AUV間相対ポジションアップデート試験結果
(船上USBL測位データ・INS姿勢ログデータを用いた動画表示)

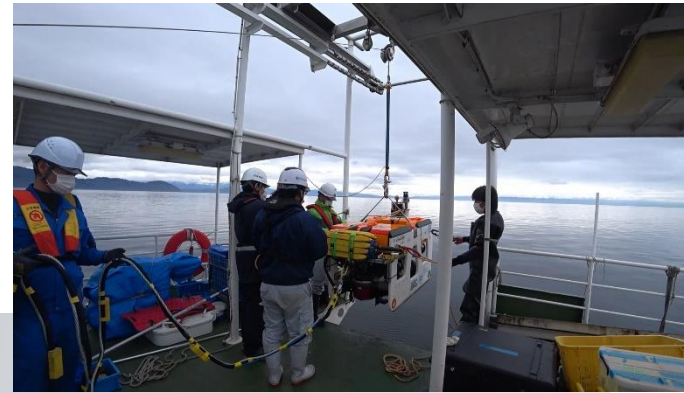
AUV 2機によるHCS (Horizontal Cable Seismic) 試験

目的：AUV 2機による湖底付近での水平ケーブル地震探査（音響探査）

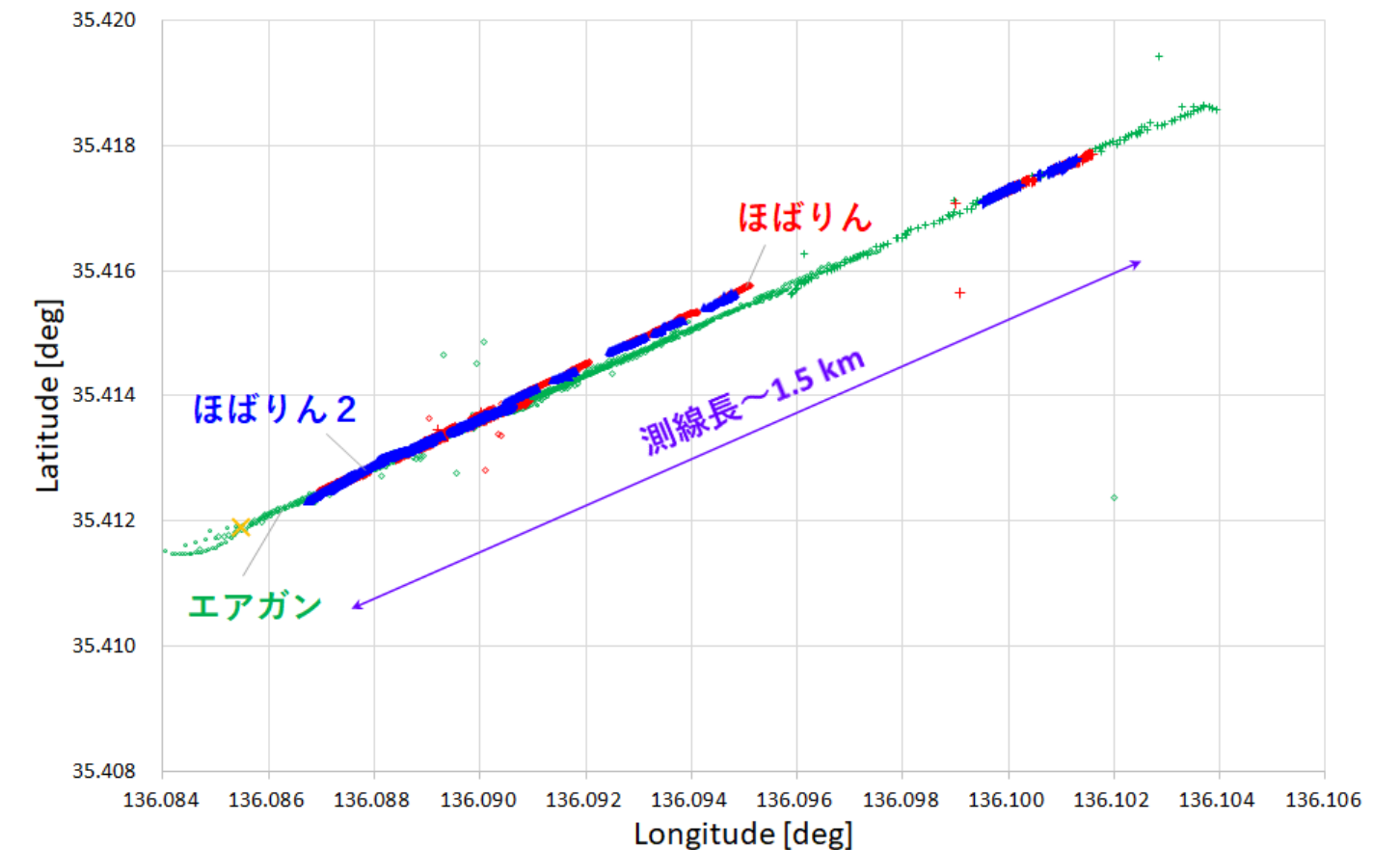


- AUV 2機両端保持および高度保持によるハイドロフォンアレイケーブル水平展張
- 小型船舶からの吊架によるエアガン曳航

AUV 2機によるHCS (Horizontal Cable Seismic) 試験



ほぼりん、ほぼりん2、エアガンの航跡 (船上USBL測位)



ほぼりんーほぼりん2 ハイドロフォンアレイケーブル連結 HCS(水平ケーブル地震探査)試験

- ほぼりんWP航行、ほぼりん2ドリフト航行により、26m長のケーブルを湖底付近で水平保持
- 小型船舶からの吊架・曳航によるエアガン発振

江戸っ子1号を水中音響灯台としたAUV潜航試験

目的：江戸っ子1号（長期撮影）とAUV（移動撮影）の連携による湖底環境調査

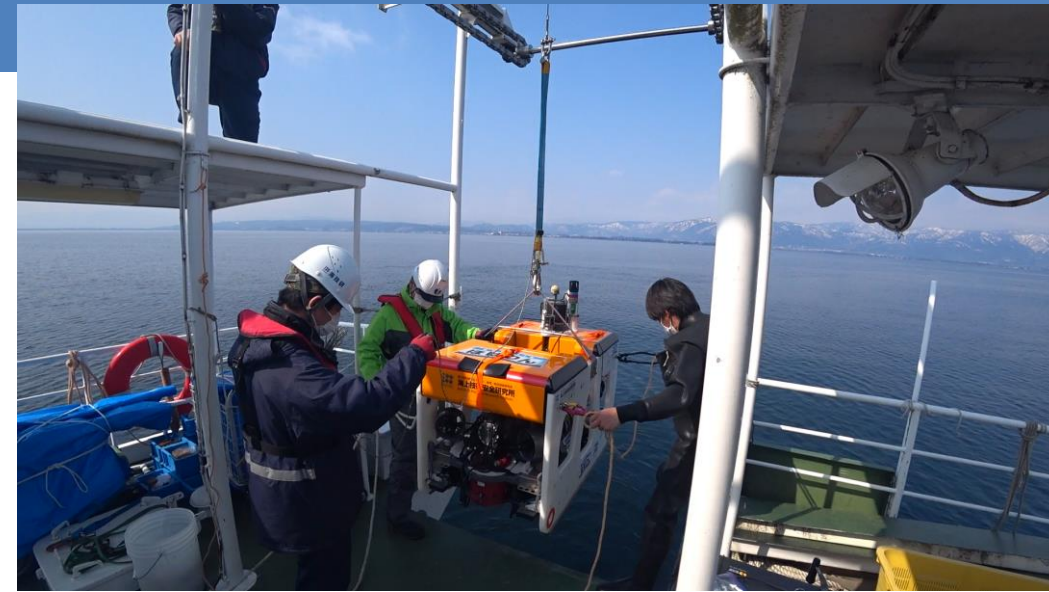


- 江戸っ子1号COEDOにトランスポンダを設置、湖底の基準位置（水中音響灯台）として利用
- ほばりんによるCOEDOの水中音響測位と相対移動

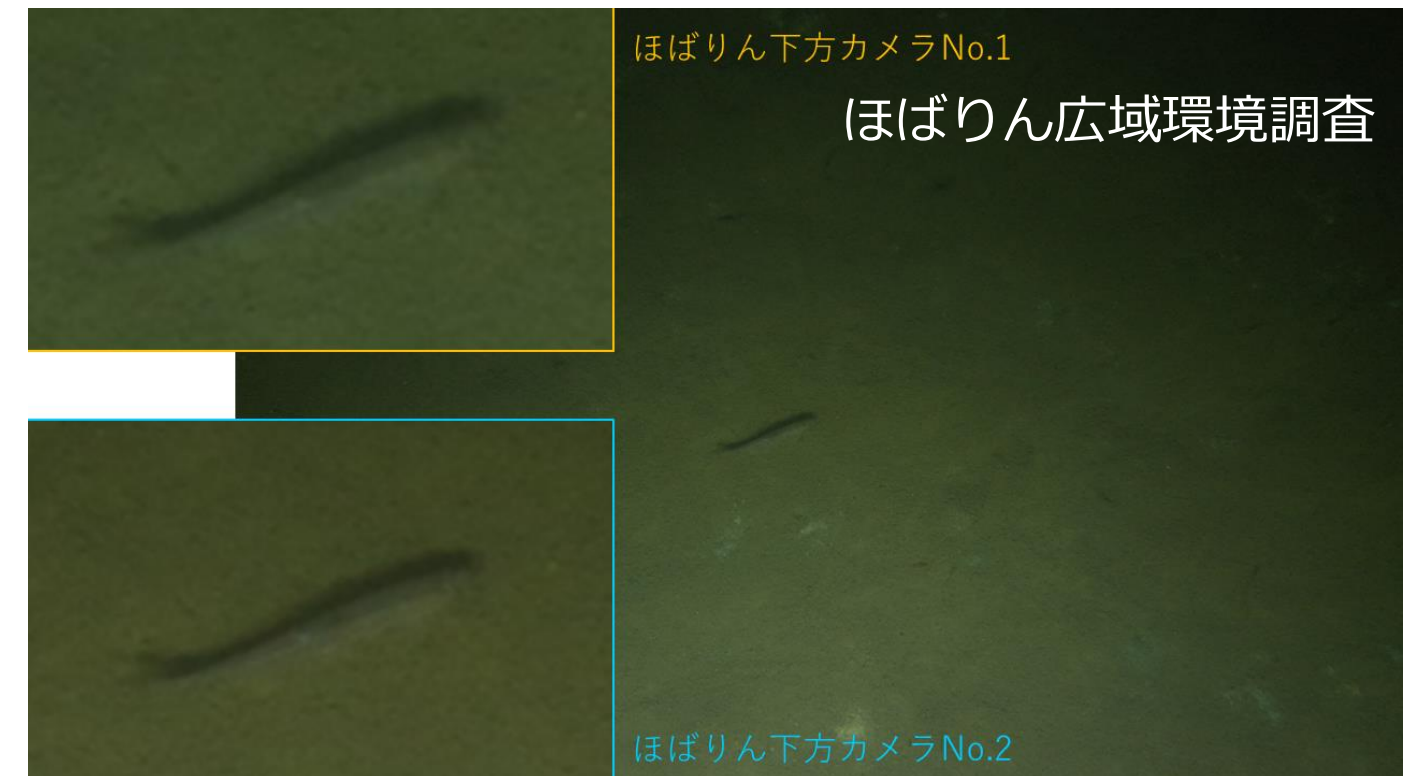
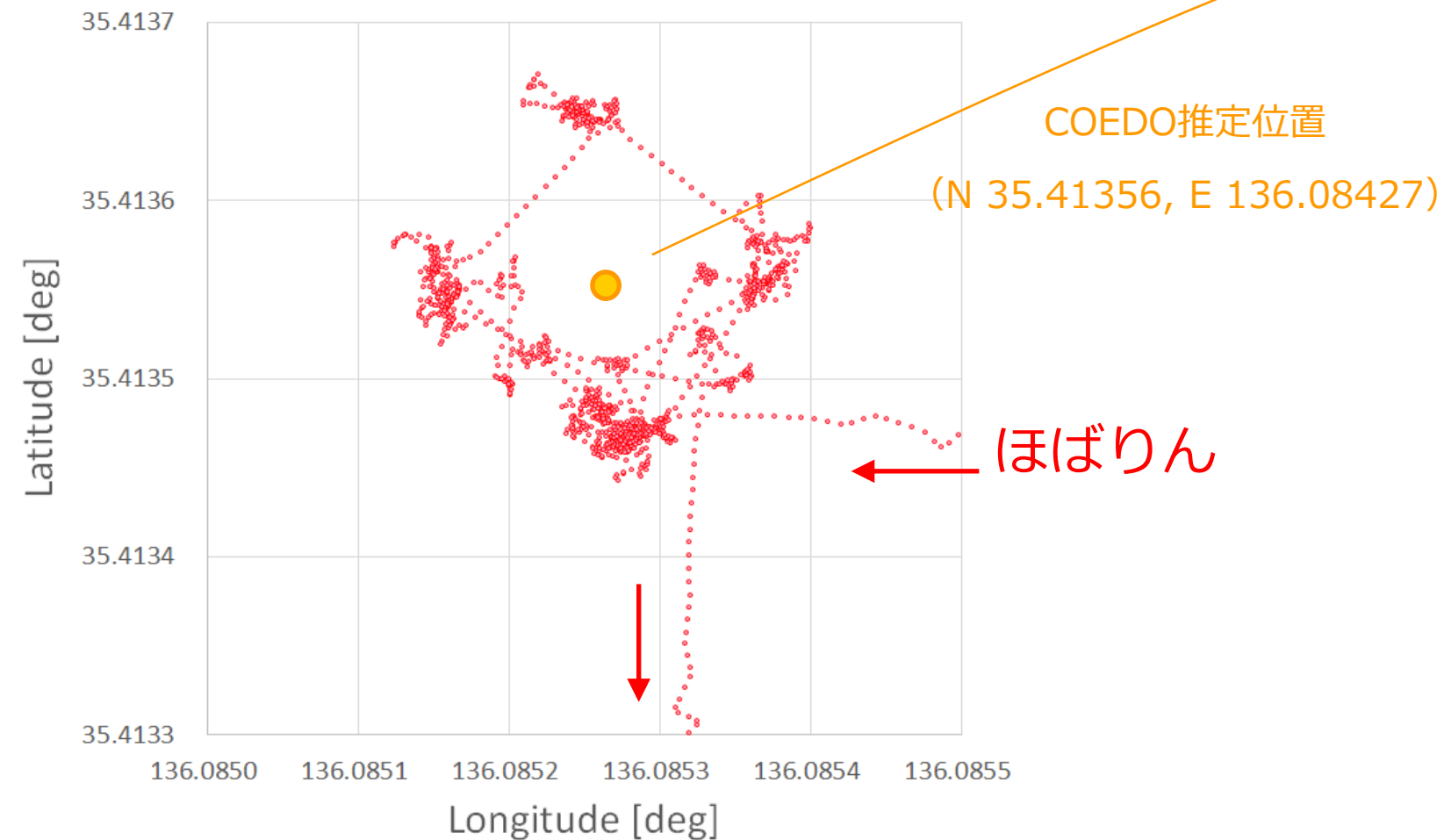
江戸っ子1号を水中音響灯台としたAUV潜航試験



COEDO投入 (中村丸)



ほぼりん投入 (はっけん号)



江戸っ子1号COEDOを水中音響灯台として、ほぼりんが測位・相対移動

浅海（洋上風力発電設備）におけるAUVの活用技術

AUVの安全運用ガイドラインの概要



背景

AUV：Autonomous Underwater Vehicle・機器本体が自動的に状況を判断して水中を航行できる無人機

- 洋上風力発電の導入が世界的に進展（国内導入目標：2040年までに30～40GW）。洋上風力発電は水中・海底に設置された設備のメンテナンスを効率的に行いコスト低減を図ることが課題。
- 欧州では、コスト低減に向け、従来ダイバーやROV（遠隔操作型無人潜水機）により実施していたメンテナンスでのAUV（自律型無人潜水機）の活用を検討。また、石油・ガス開発でのメンテナンスでの活用も検討。
- AUV活用のメンテナンスは、稼働中設備とAUVの接触等のダイバーとは異なる事故や経済的リスクが存在するが、現状、AUVを安全に運用するための国内指針が存在しない。
- このため、HAZID（Hazard Identification Study）会議を行い、洋上風力発電設備のメンテナンス等でのAUV運用で考慮すべきリスク特定し、リスクを低減する安全要件等をまとめたガイドラインを作成。



浮体式洋上風力発電設備



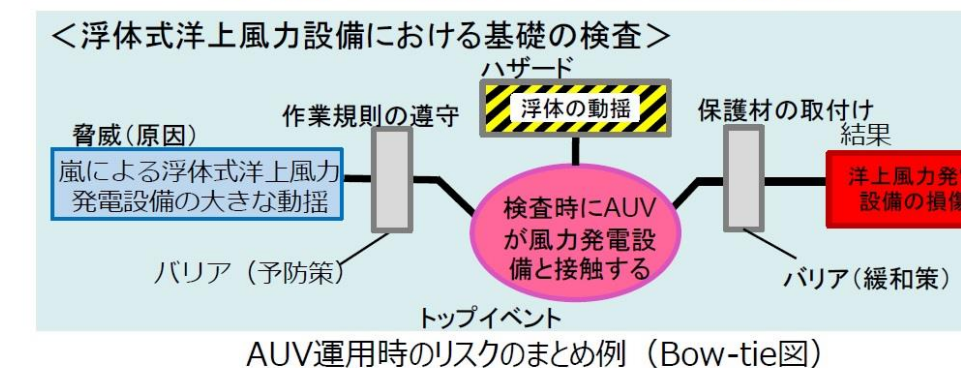
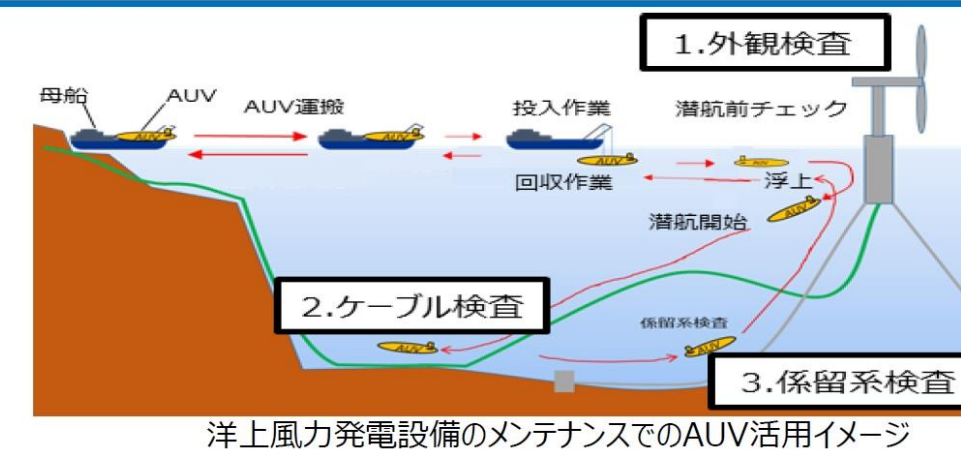
AUVイメージ図
海上技術安全研究所のホバリング型AUV「ほぼりん」

ガイドライン概要

オペレータや開発事業者等を含め洋上風力発電・石油ガス開発でのAUV運用時のリスク低減策となる安全要件等を取りまとめ

- AUVの機能・設備要件
 - 自律的かつ適切に緊急浮上が可能となる緊急対応システムのAUVへの搭載
 - 母船や基地局と適切にコマンドを送受信できる通信システムの構築 など
- AUVの各運用フェーズ（事前点検、投入、潜航、揚収）に沿ったリスク回避手法
 - 潜航計画の確認による作業中止基準や工程の共有
 - 非常事態の判断基準及び周辺状況に応じた緊急浮上の方法の検討 など
- 適用法令の解説・対応
 - 母船を伴う作業や輸出規制に関する国内法規に規定された申請手続 など
- 洋上風力発電・石油ガス開発のメンテナンス等でのAUV運用時のリスクのまとめ
 - メンテナンス・検査・修理業務でのAUV運用時に発生する可能性のあるリスクをBow-tie図※に整理

※想定される事故を中心に原因と結果を左右に配置してハザードを分析する蝶ネクタイのような図



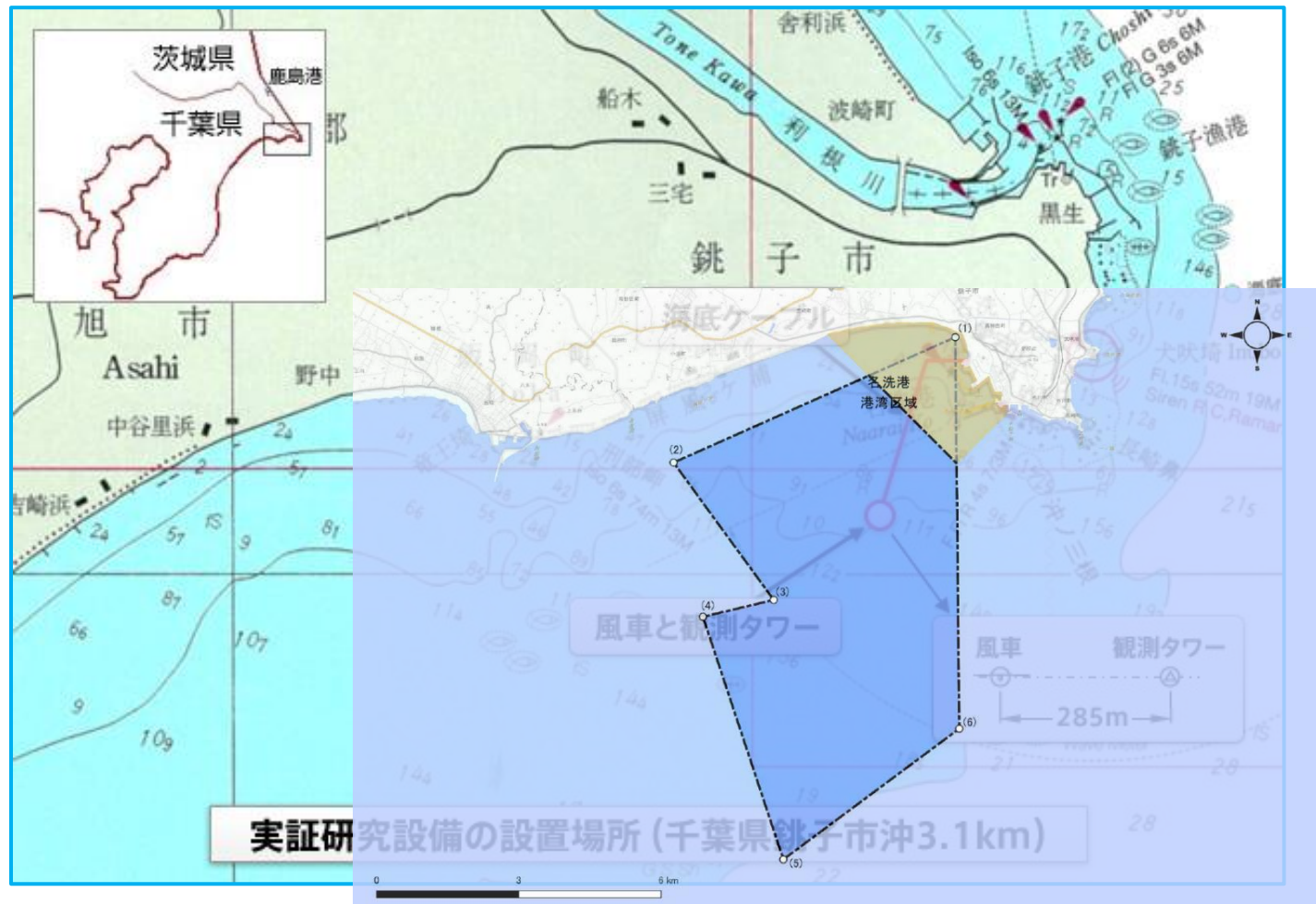
効果

- 洋上風力発電設備のメンテナンス等において商用利用が進むAUVの効率的かつ安全な活用（保険の契約締結時にもAUVの安全性担保のため活用）
- 洋上風力発電や海底油田・ガス開発等の海洋開発の促進

浅海底調査のための複数AUV運用技術（点検試験の対象）



https://www.tepco.co.jp/rp/business/wind_power/offshore.html



https://www.tepco.co.jp/rp/business/wind_power/list/choshi.html

洋上風力発電設備点検試験を実施した海域

- 波浪、潮流の影響大
- 濁度が高く、濁度の日変化が大きい



AUVの機動性、自律航行機能と
ROVのリアルタイム映像確認機能の
両方が必要

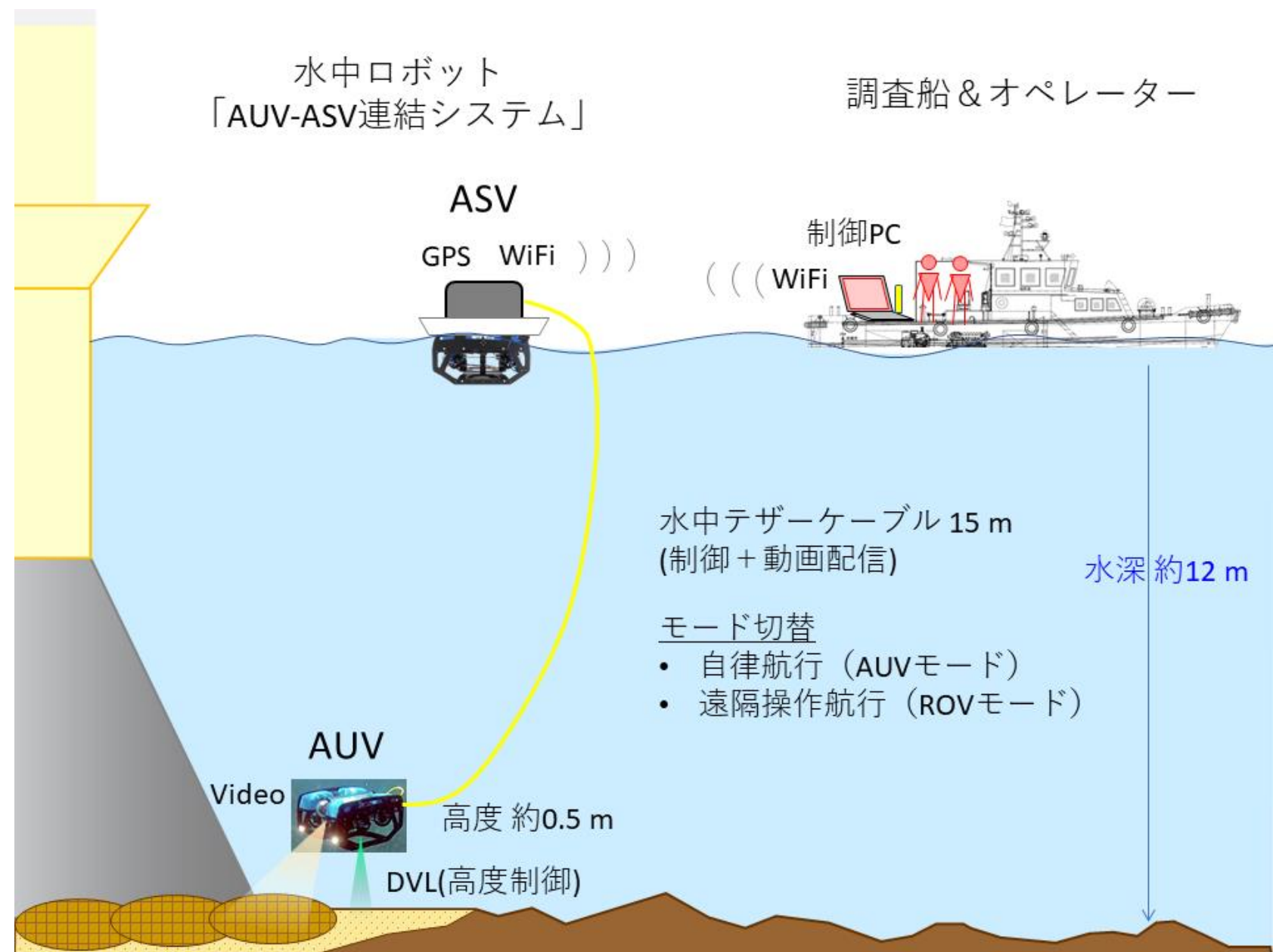


2018年11月ほぼりん銚子沖潜航試験の水中映像
(ダイバー撮影)

【千葉県銚子市沖に係る
海洋再生可能エネルギー発電設備整備促進区域】

https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/yojo_furyoku/

浅海底調査のための複数AUV運用技術（システム概要）



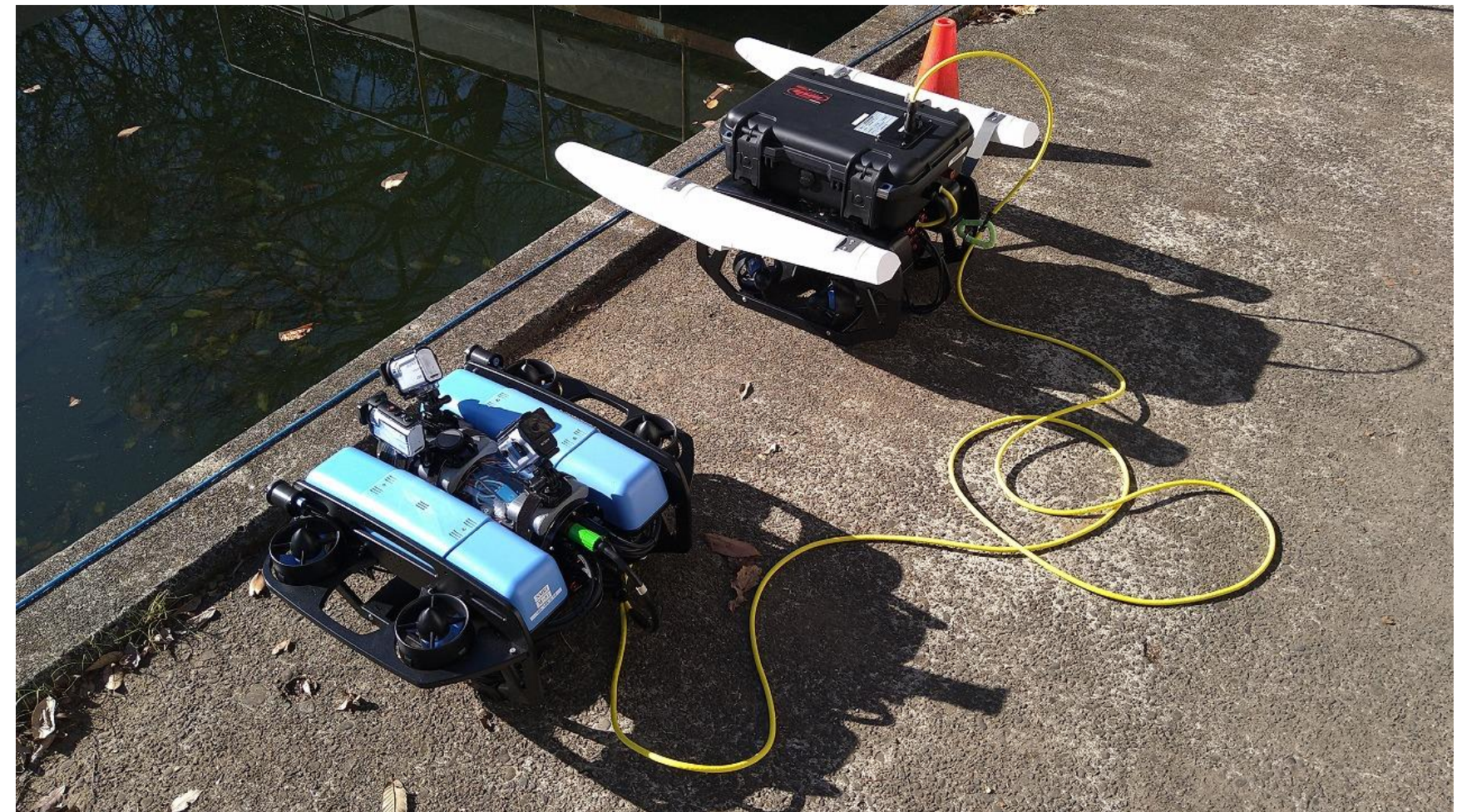
「AUV-ASV連結システム」概要

- 調査船上オペレーターとASVの間はWiFi（無線電波）通信
- ASVとAUVの間は鉛直テザーケーブル（有線）通信
- ASVの測位はGPS利用
- AUVの測位はAHRS（姿勢方位基準装置）とDVL（対地速度計）利用
- 点検用映像の調整（距離、角度、照明等）は船上オペレーターが遠隔操作

浅海底調査のための複数AUV運用技術（システム）

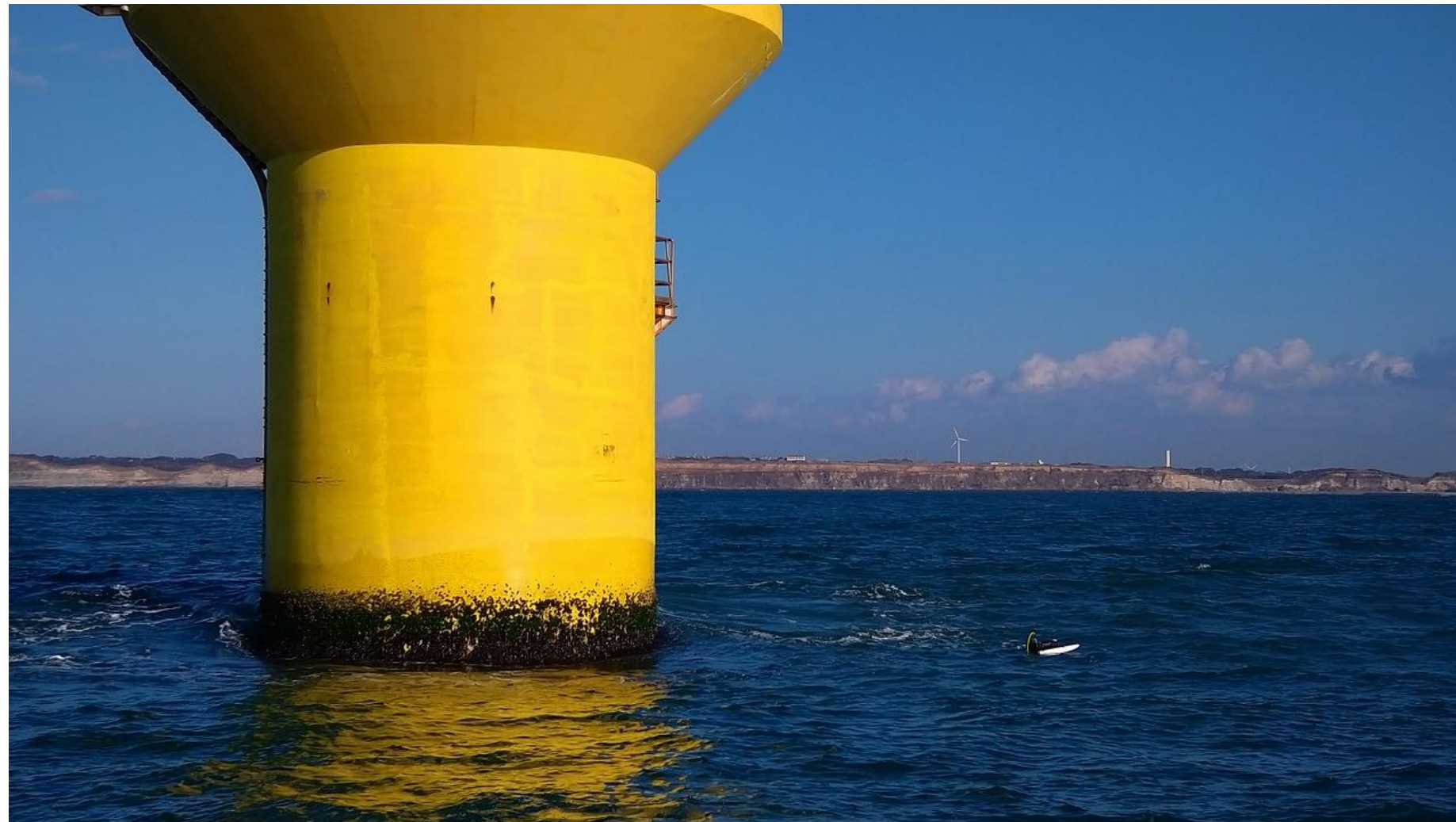


	AUV	ASV
外寸	W 0.56 m L 0.45 m H 0.25 m	W 0.70 m L 0.71 m H 0.39 m
重量	14.0 kg (バッテリー含む)	13.0 kg (バッテリー含む)
スラスト	水平×4 鉛直×4	水平×4
バッテリー	Li-Ion 15V 266Wh	Li-Ion 15V 266Wh
航行用センサ	DVL A50 (1MHz)	DGPS
撮影用カメラ	水中Webカメラ ActionCam (Option)	水中Webカメラ
通信	LANケーブル (5,10,15,20,30 m)	LANケーブル WiFiルータ
制御モード	自律航行 (AUV) / 遠隔操作 (ROV)	自律航行 (ASV) / 遠隔操作 (ROV)

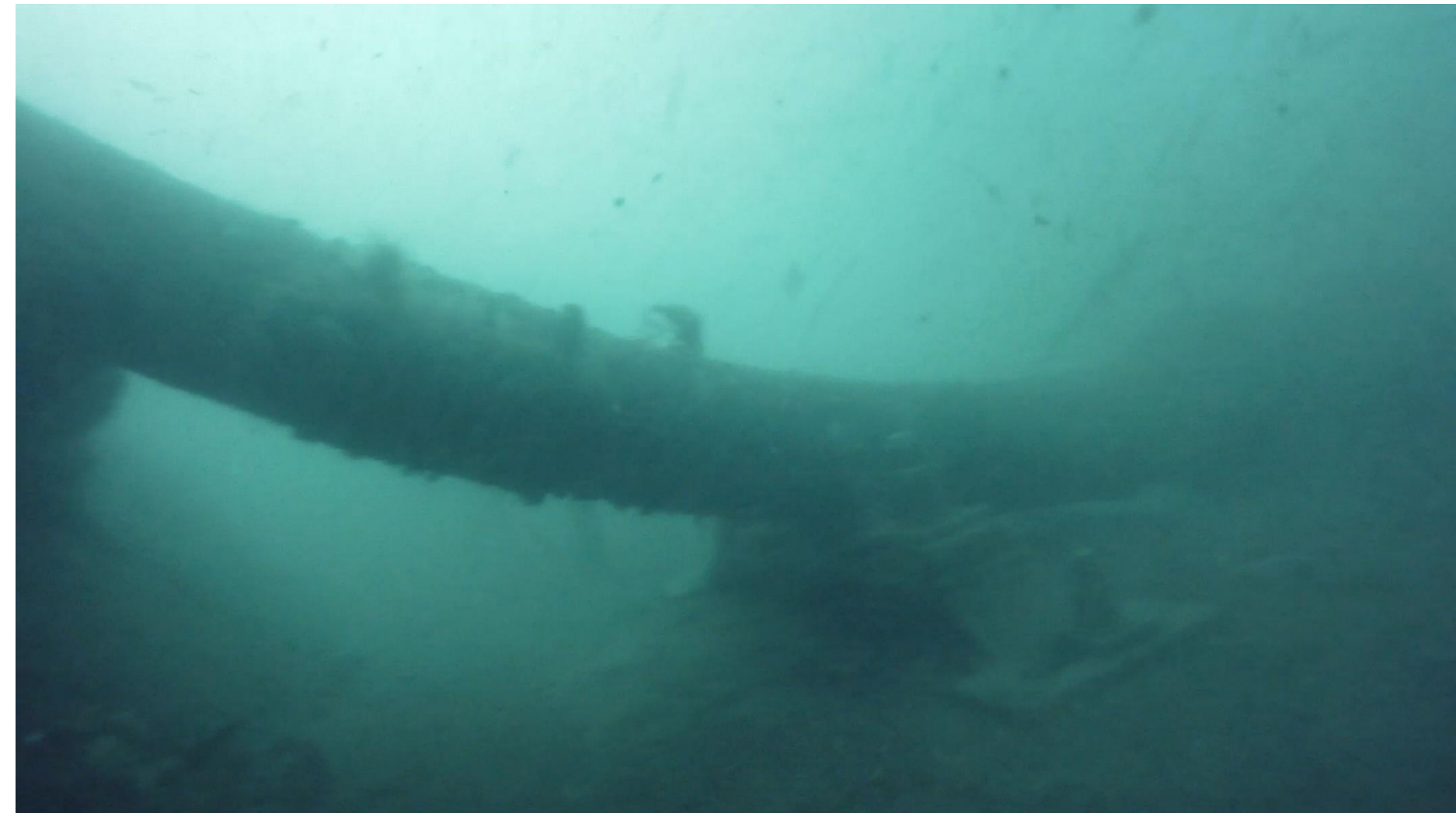


「AUV-ASV連結システム」

浅海底調査のための複数AUV運用技術（運用試験結果）

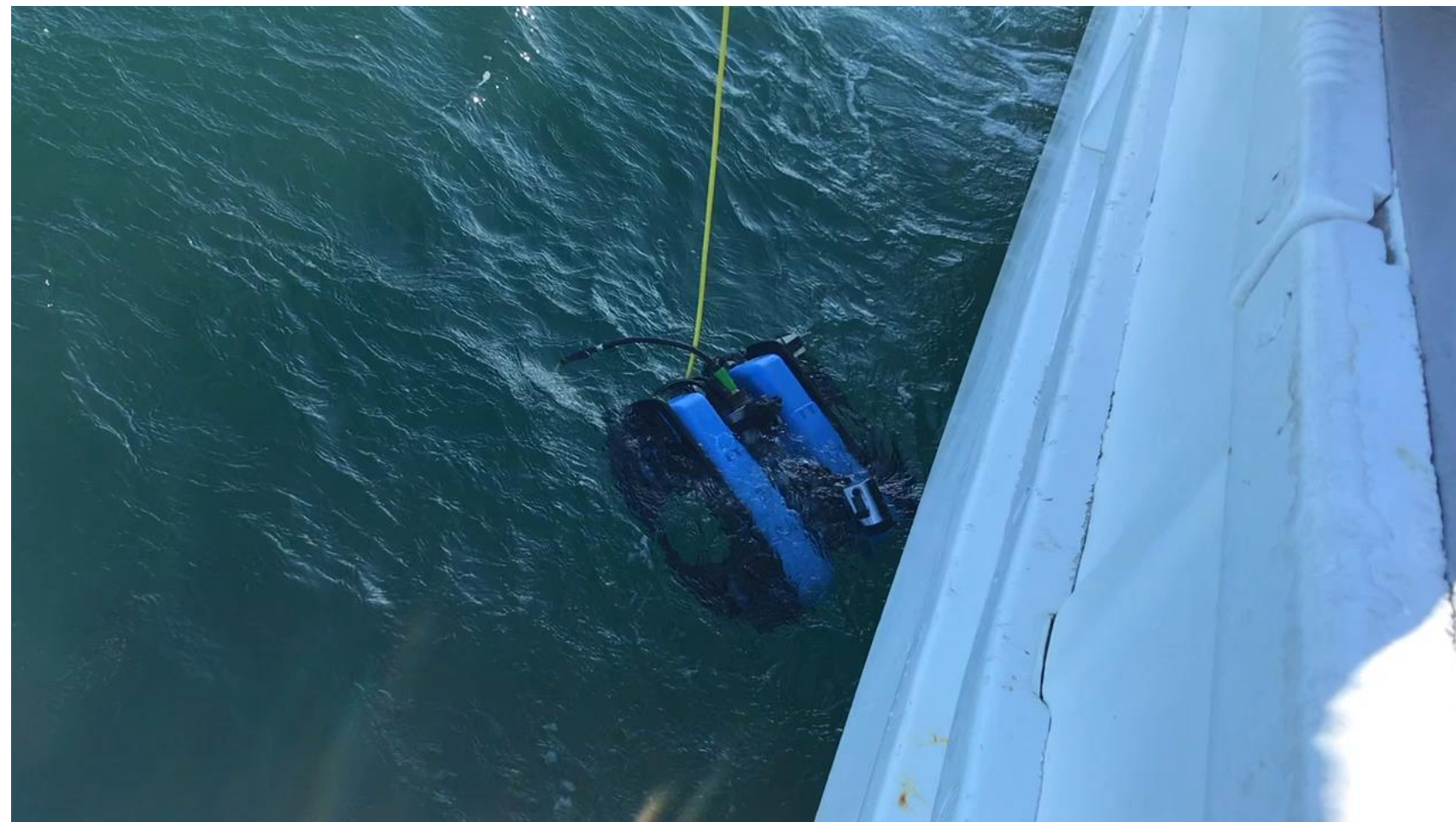


洋上風力発電設備周辺を航行するASV



洋上風力発電設備海中部のケーブル保護管
(AUV撮影)

浅海底調査のための複数AUV運用技術（運用方法）

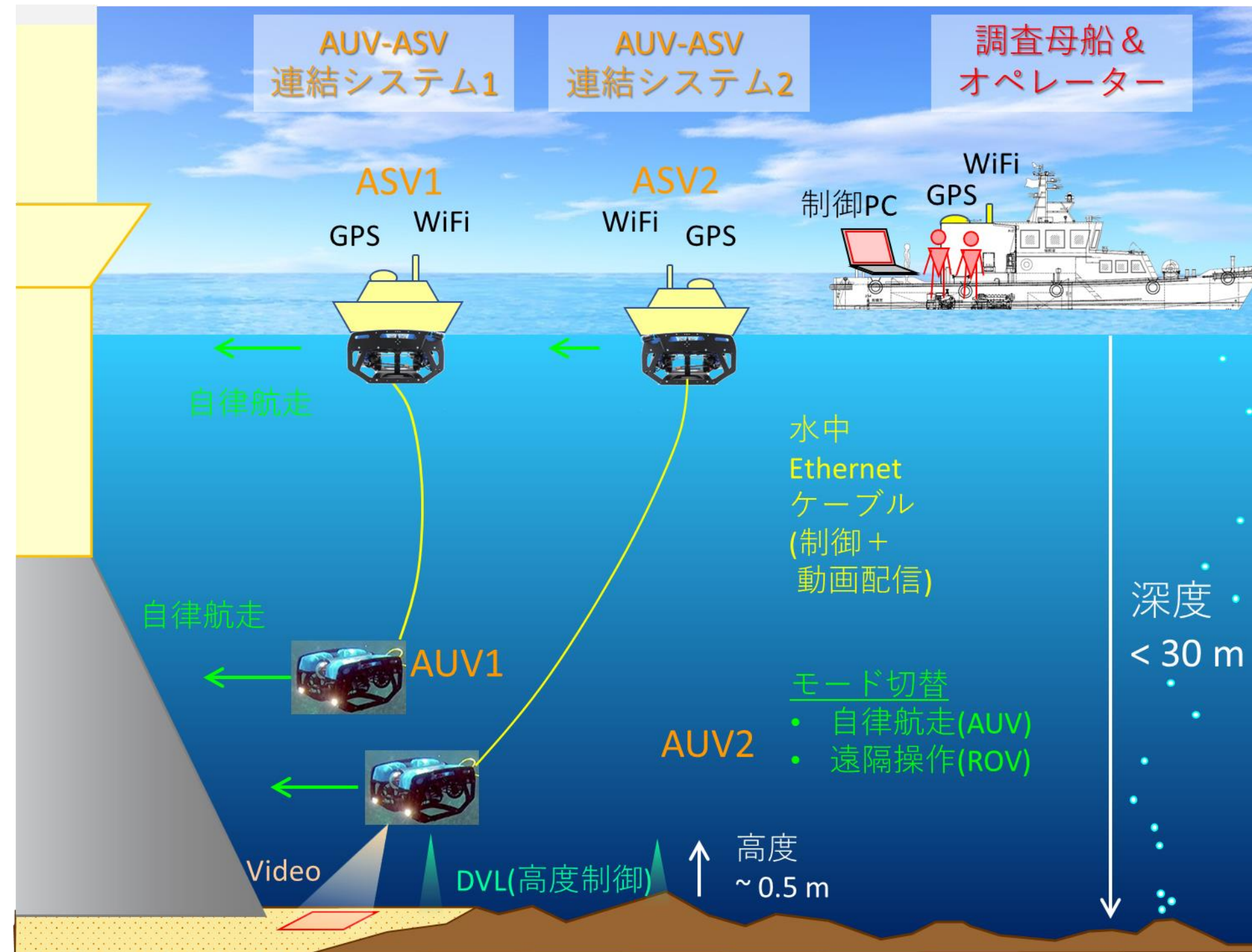


長所	短所
<ul style="list-style-type: none">・自動航行、自己位置推定・リアルタイムに海底映像の確認/調整が可能・亡失(ロスト)の危険性小・ケーブルトラブルの危険性小・複数機同時運用が可能	<ul style="list-style-type: none">・低速航行・鉛直テザーケーブル長の制限により浅海のみ適用可能

「AUV-ASV連結システム」運用動画

<https://haloworld.co.jp/detail.html?no=54964>

浅海底調査のための複数AUV運用技術（将来計画）



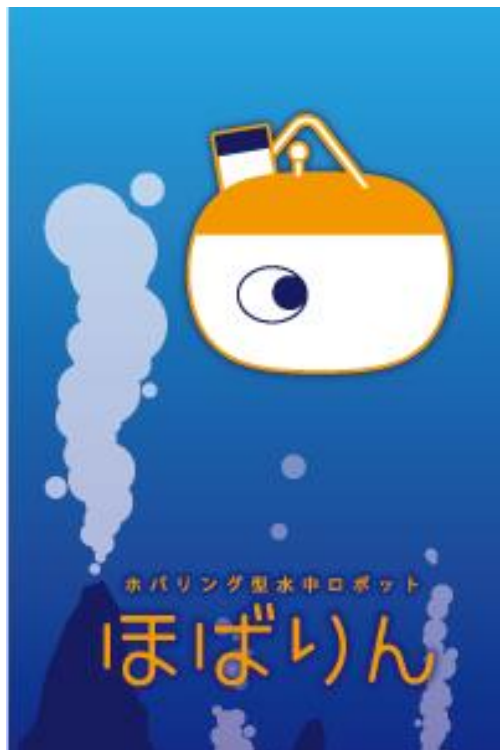
「AUV-ASV連結システム」複数機運用のイメージ

1. 深海（海底資源探査）におけるAUVの新しい活用技術として、AUV-AUV通信・測位技術を開発し、複数AUV隊列、HCS（水平ケーブル地震探査）、水中音響灯台への応用を実証した。
2. 浅海（洋上風力発電設備）におけるAUVの新しい活用技術として、「AUV-ASV連結システム」を開発し、着床型洋上風力発電設備の海中部点検への応用を実証した。

ご清聴ありがとうございました



国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所
National Maritime Research Institute



謝辞

本研究の一部は、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の課題「次世代海洋資源調査技術」（海のジパング計画，研究推進法人：JAMSTEC）で製作したAUVを使用させていただきました。また，SIPの課題「革新的深海資源調査技術」（研究推進法人：JAMSTEC）によって実施された内容を含んでおります。関係各位に深く感謝申し上げます。

琵琶湖 複数AUV利用技術試験の実施にご協力いただきました，NPO法人びわ湖トラストを始めとする関係各位に感謝申し上げます。

「AUV-ASV連結システム」の開発にご協力いただきましたHaloworld株式会社，銚子沖での技術試験にご協力いただきました東京電力リニューアブルパワー株式会社を始めとする関係各位に感謝申し上げます。

本研究を進めるに当たり，AUVの水槽試験等，様々な作業にご協力いただきました当研究所の海洋先端技術系の皆様に深く感謝申し上げます。