

水中光無線通信を使って、 深海底でランダーとAUVをつなぐ

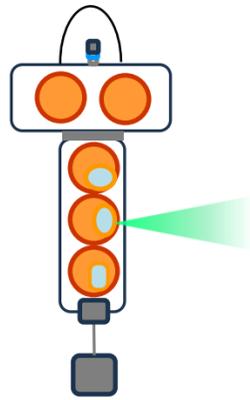
篠野 雅彦¹, 岡本 章裕¹, 稲葉 祥梧¹, 小畠 かな子¹, 金 岡秀¹, 藤原 敏文¹,
杉本文孝², 松本 宙², 三輪 哲也², 山本 啓之²

- 1 海上技術安全研究所
- 2 海洋研究開発機構



■ ランダー（着底型無人探査機）

Edokko Mark-I

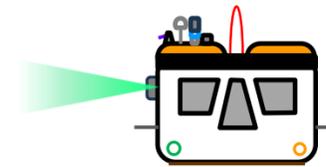


江戸っ子1号T型

- 重さ 120~140kg程度
（+ 錘40~50kg程度）
- 観測 1~365日
- 海底インターバル撮影
（長所）長期間の環境変化調査

■ AUV（自律航行型無人探査機）

Hobalin



ホバリング型AUV「ほぼりん」

- 重さ 300kg程度
- 観測 最大8h
- 海底移動撮影
（長所）局所アノマリー調査



ランダーからAUVへの水中データ転送（データハーベスティング）

(Underwater Data Harvesting from Lander to AUV)

Introduction 1

(水中データハーベスティングのコンセプト説明)



ミツバチによる花粉の収穫

ハチの巣

遺伝情報の拡散

距離、方向、外見、においによる花の位置の認識

AUVによる海底観測情報の収穫

調査船

長期間
観測データ
の転送

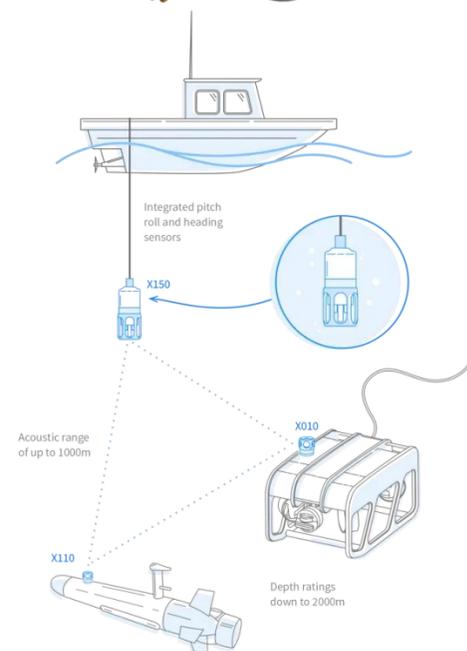
デッドレコニング、USBL音響測位による着底探査機の位置の認識

水中音響通信測位装置 “SeaTrac X150”

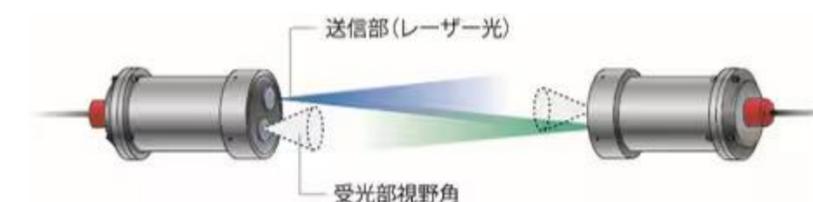
水中光無線通信装置 “MC100”



■ 音響通信測位機 (通信距離～1km)



■ 光通信機 (通信距離～10m)



95 Mbps
10 m (水中減衰量0.5 dB/mのとき)
100 BASE-TX
5 W以下
DC24 V
SubConn社製コネクタ : DBH13 M
可視光レーザー / 450 nm (青色)、520 nm (緑色)
5 mW 未満 / クラス3R JIS C 6802:2018
約3 kg (付属品を除く)
約1.6 kg (付属品を除く)
-5 °C～40 °C
-20 °C～60 °C
36 Mpa以上 (3500 m 耐水圧相当)

	SeaTrac X150
Length	132mm (exc con) 160mm (inc con)
Diameter	54mm body 59mm cage
Weight	720g (Air) 530g (Water)
Depth Rating	100/2000m
Construction	316 Stainless Steel
Temp. Rating (Operating)	-5°c up to +40°c

Acoustic

	SeaTrac X150
Ranging	Yes
Positioning (USBL)	Yes
Acoustic Range	1km radius horizontal, 1km vertical (hemispherical)
Range Resolution	±0.1m (dependant on provided VOS accuracy)
Angular Resolution	typ 2% of Acoustic Range * (~±1°)
Velocity of Sound Range	1300ms-1 to 1700ms-1 (can auto-compute from water temp & depth)
Beacon Velocity	Active Doppler compensation, up to 15kts (28kph)
Communications	Broadband spread spectrum encoding, 24-32kHz, 100 baud. Multi-tiered Acoustic Protocol Stack.
Targets (Addressing)	15 unique beacon identifiers, broadcast to all capability. Allows up to 14 targets to be tracked from a single X150 USBL beacon.

Electrical

	SeaTrac X150
Connector	Teledyne Impulse MCBH-5-MP (5-way)
Communications	Single RS-232
Supply Voltage	9-28VDC
Power Consumption	Approx 0.6W when idle, approx 6W when transmitting
Integrated Sensors	Water Pressure & Temperature, 3-axis MARG, Supply Voltage
Attitude and Heading	Internal 9-DOF AHRS with ±1° Yaw & ±0.2° Pitch & Roll std-deviation*

blueprint subsea SeaTrac X150

<https://www.blueprintsubsea.com/seatrac/seatrac-standard>

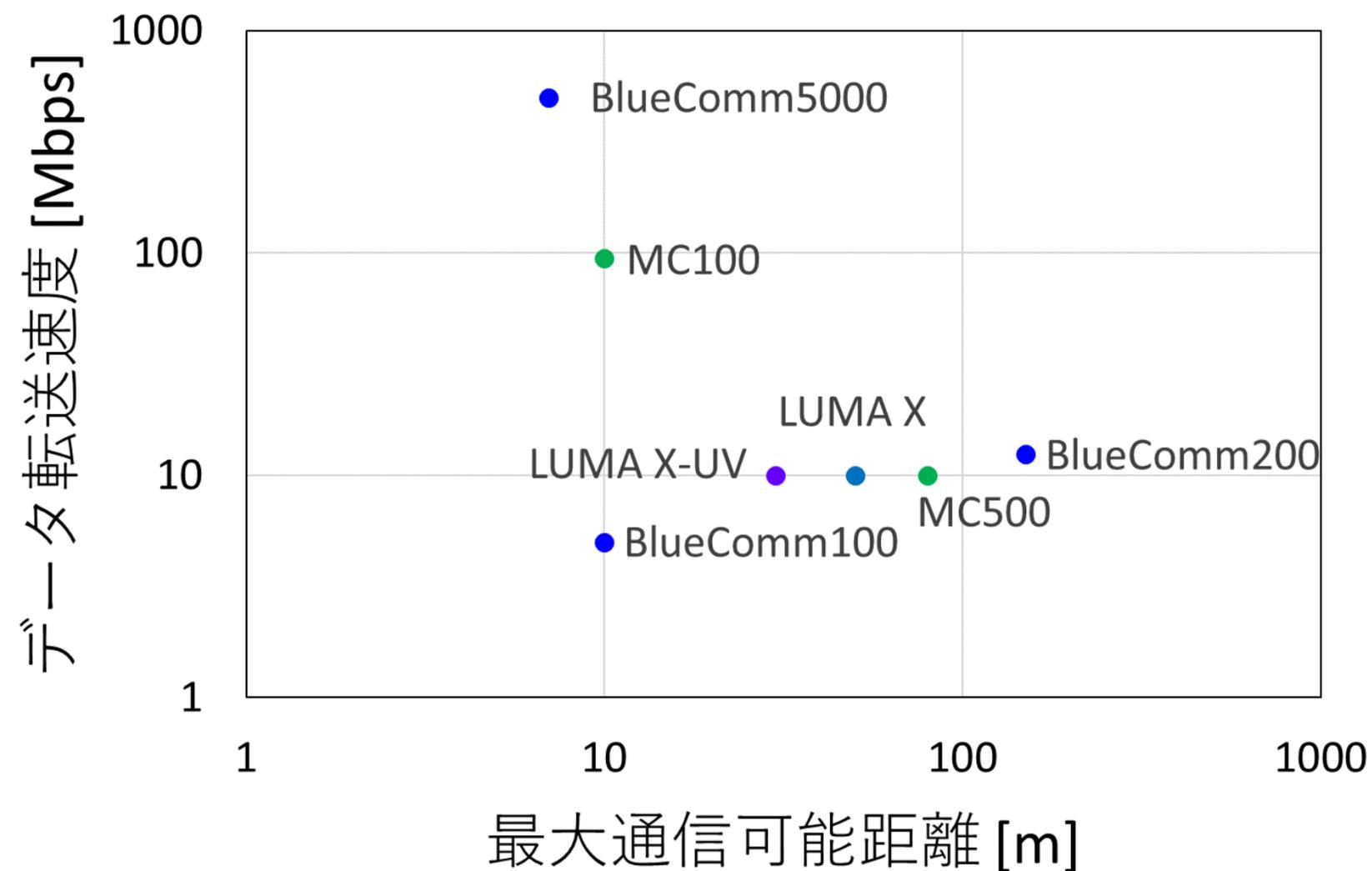
Shimadzu UOWC MC-100

<https://www.shimadzu.co.jp/industry/products/underwater/mc100.html>

水中光無線通信装置（市販品）のまとめ



メーカー	製品名	波長 [nm]	最大通信距離 [m]	最大データ転送レート [Mbps]
Sonardyne	BlueComm 100	450	10	5
	BlueComm 200	450	150	12.5
	BlueComm 5000	450	7	500
Hydromea	Luma X	480	50	10
	Luma X-UV	395	30	10
島津製作所	MC100	520	10	95
	MC500	520	80	10

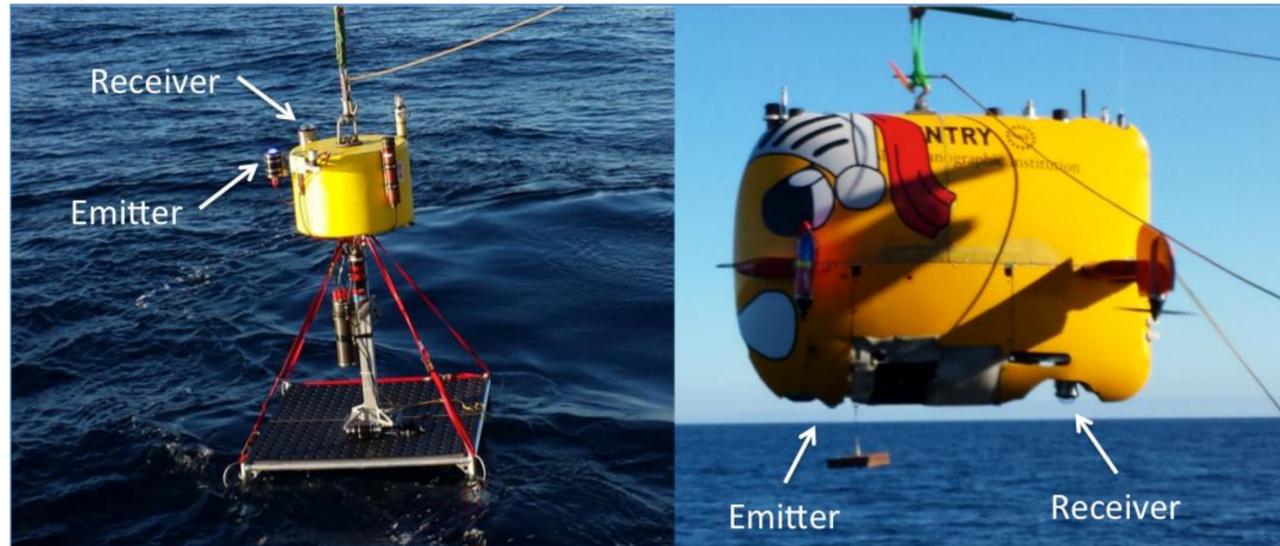


Introduction 2

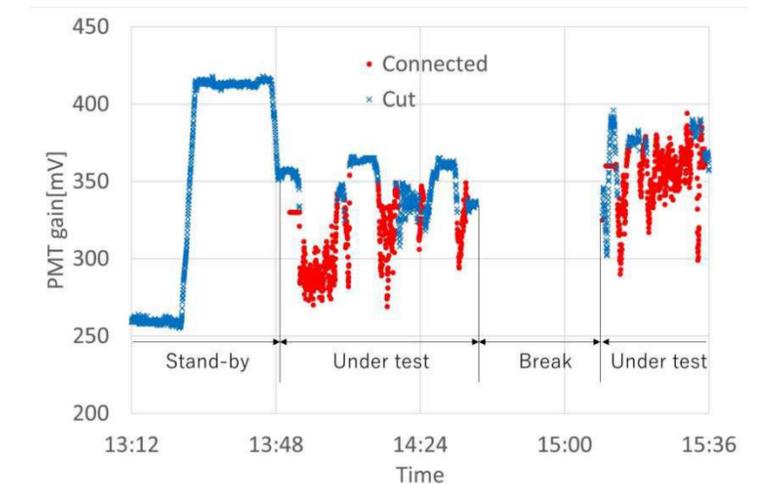
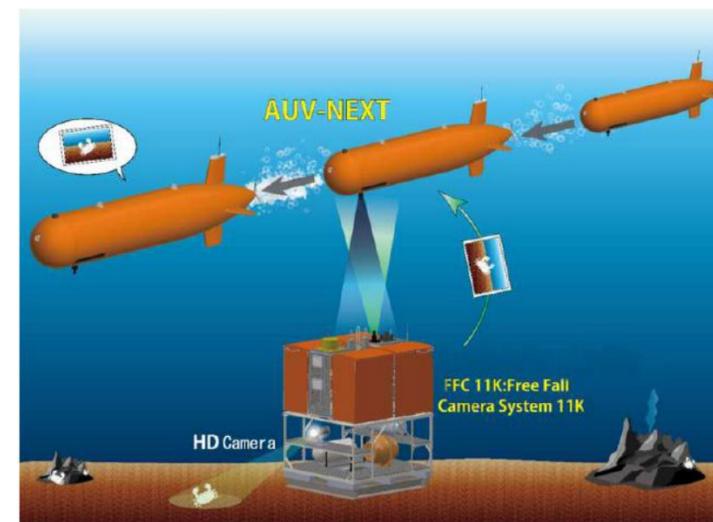
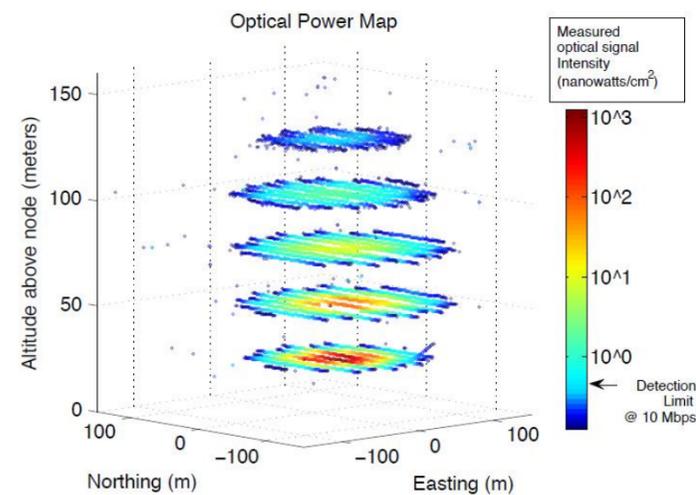
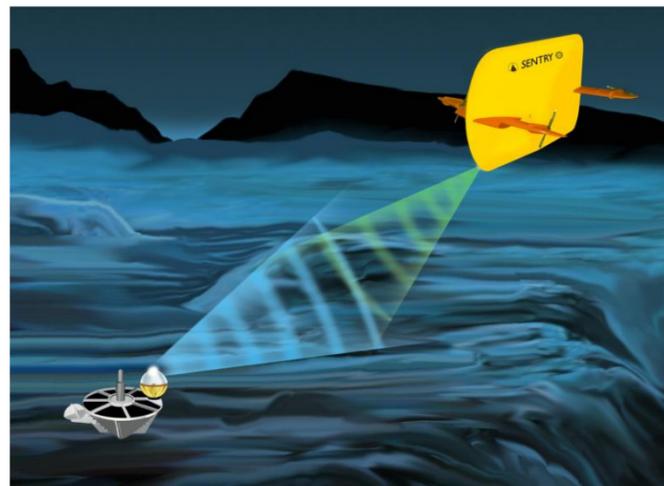
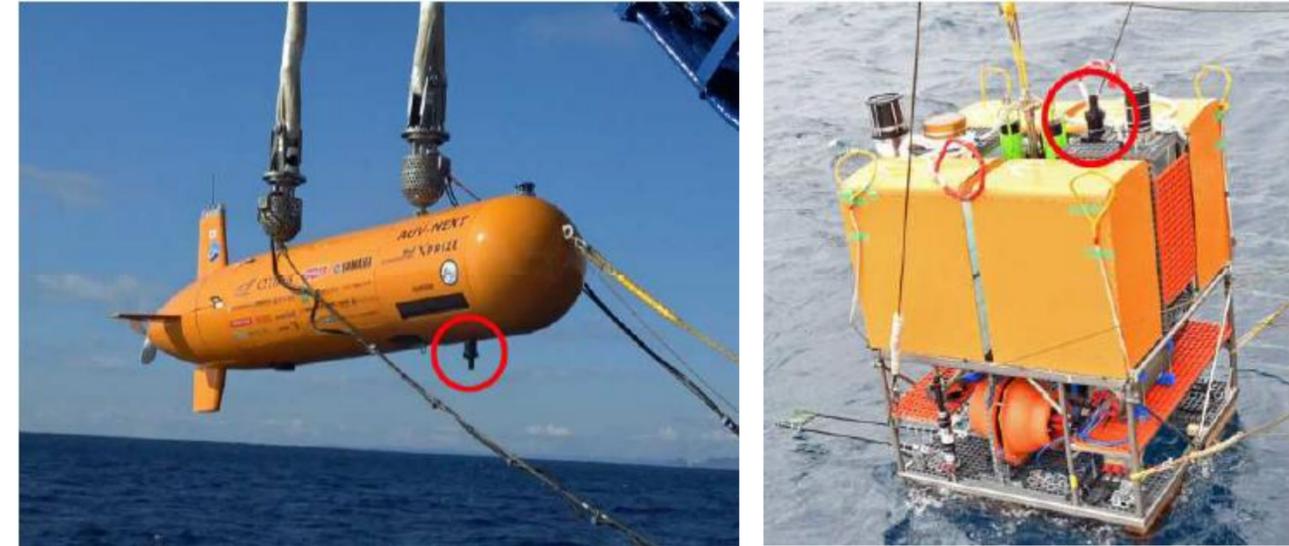
(水中データハーベスティングの先行研究例)



WHOI (C.Pontbriand, et al., OCEANS 2015)



JAMSTEC (T.Sawa, et al., ISCAS 2024)



先行研究 と 本研究の比較



研究船

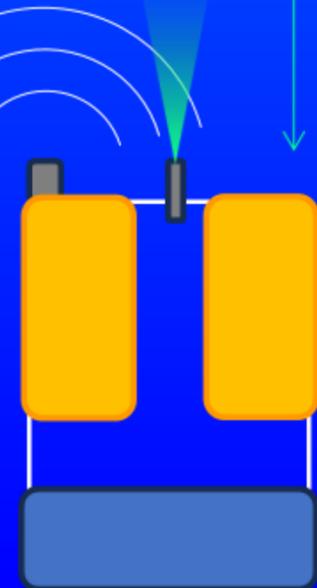
音響通信 &
SSBL音響測位

1 m/s
←



航行型AUV
AUV-NEXT

水中光無線通信
~30 m



海底設置型観測システム
FFC 11K

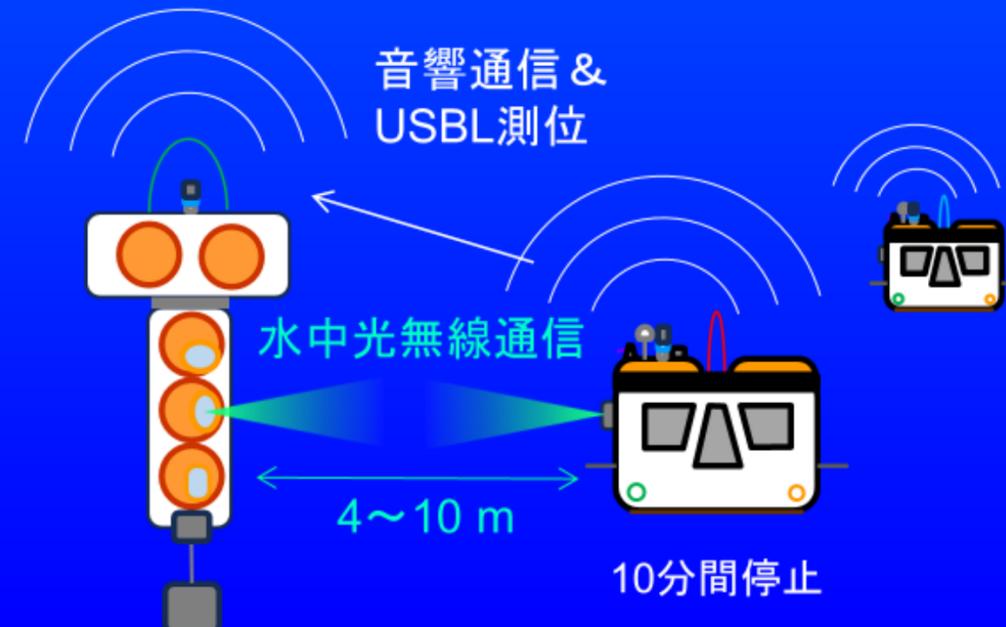
本研究:

水中機器の自律制御による
位置・姿勢保持と光無線通信

江戸っ子1号
T型

ホバリング型AUV
ほぼりん&ほぼりん2

音響通信 &
USBL測位



水中光無線通信

4~10 m

10分間停止

本研究による実海域試験



2024/6/30, 7/2
35.058°N, 138.651°E
水深 1,000 m
濁度 0.5 – 1.0 FTU



2024/5/29, 30
35.041°N, 138.848°E
水深 100 m
濁度 0.3 – 0.8 FTU

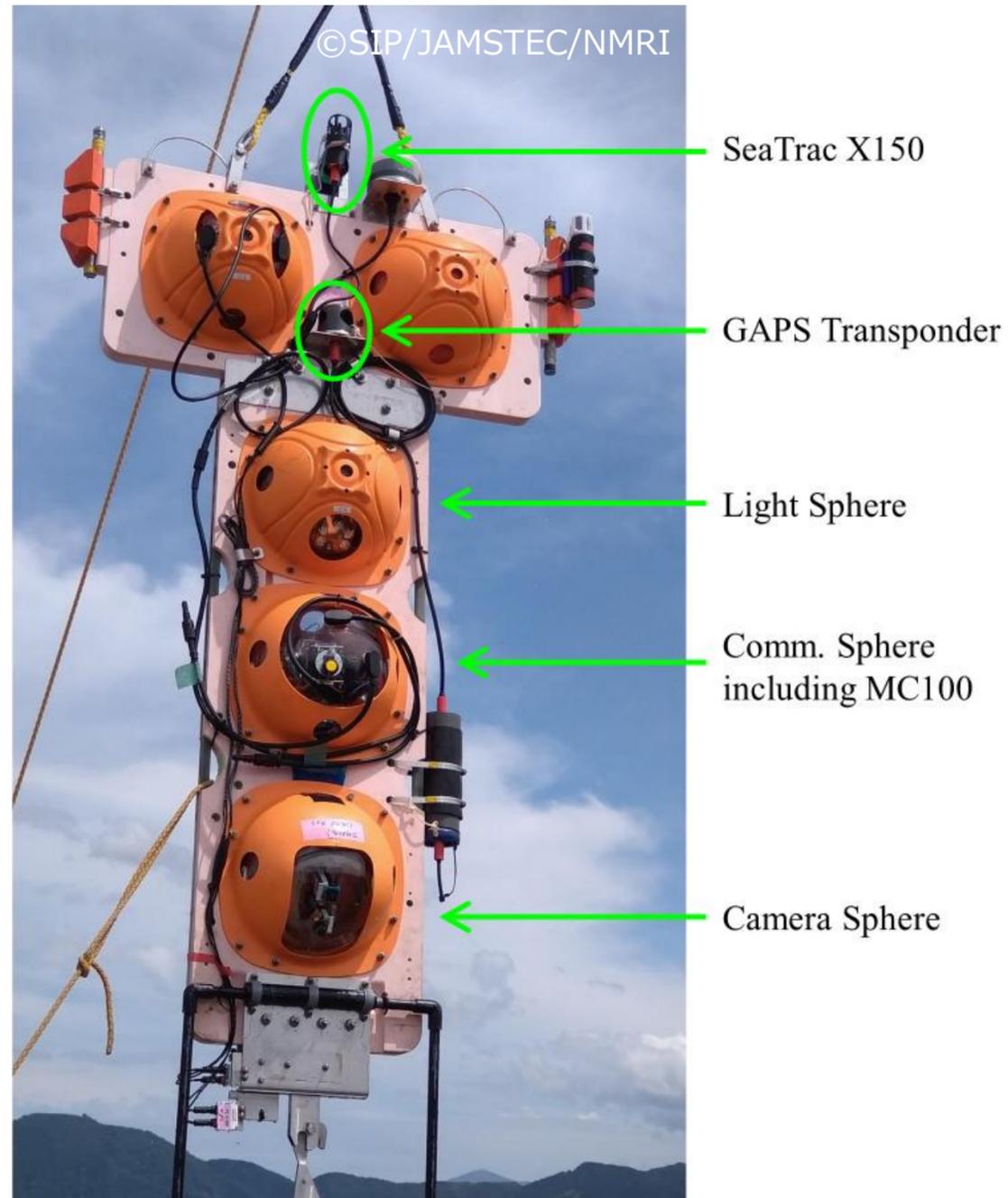


©SIP/JAMSTEC/NMRI

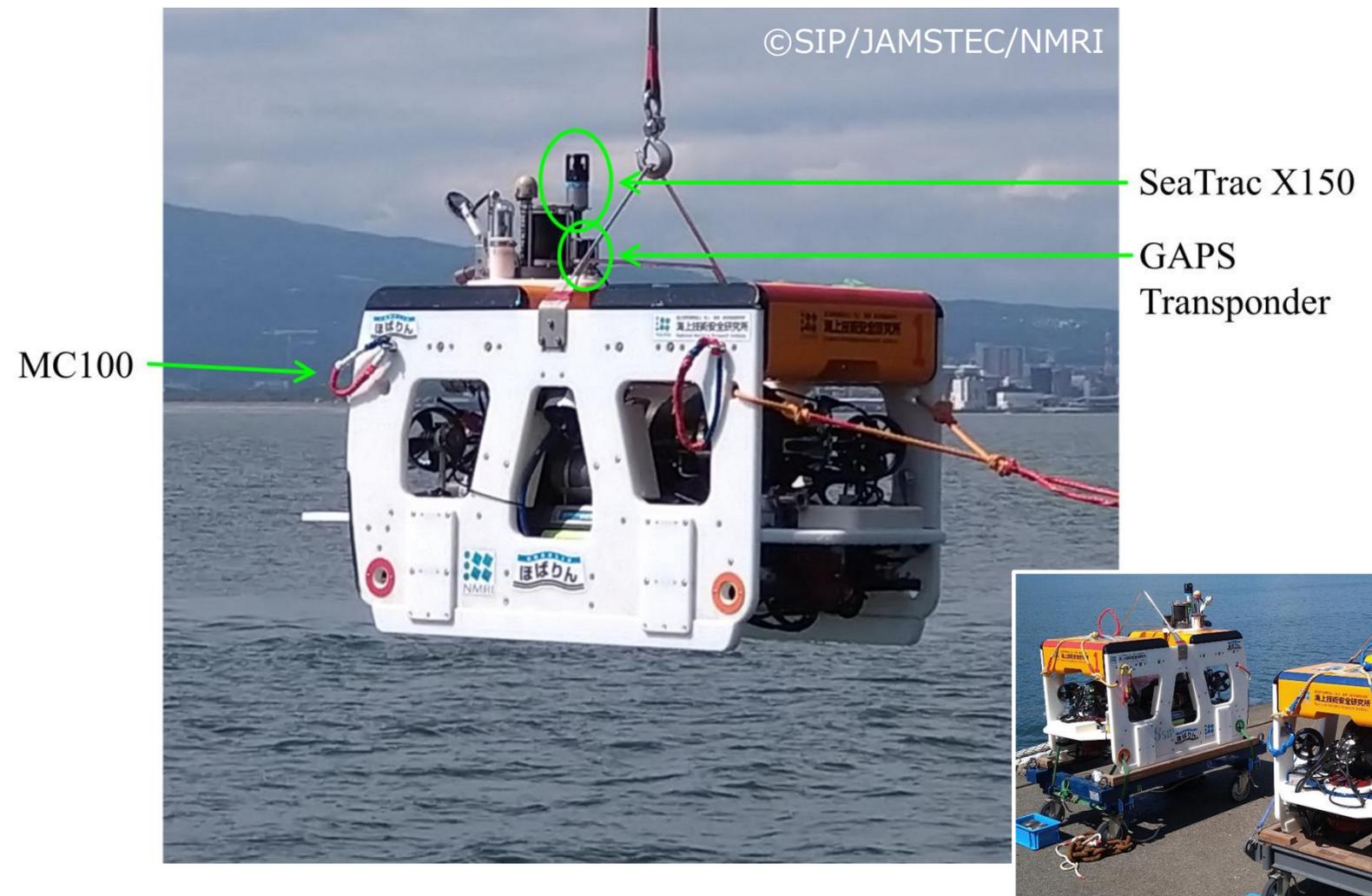


©SIP/JAMSTEC/NMRI

ランダー「江戸っ子1号」と AUV「ほぼりん」

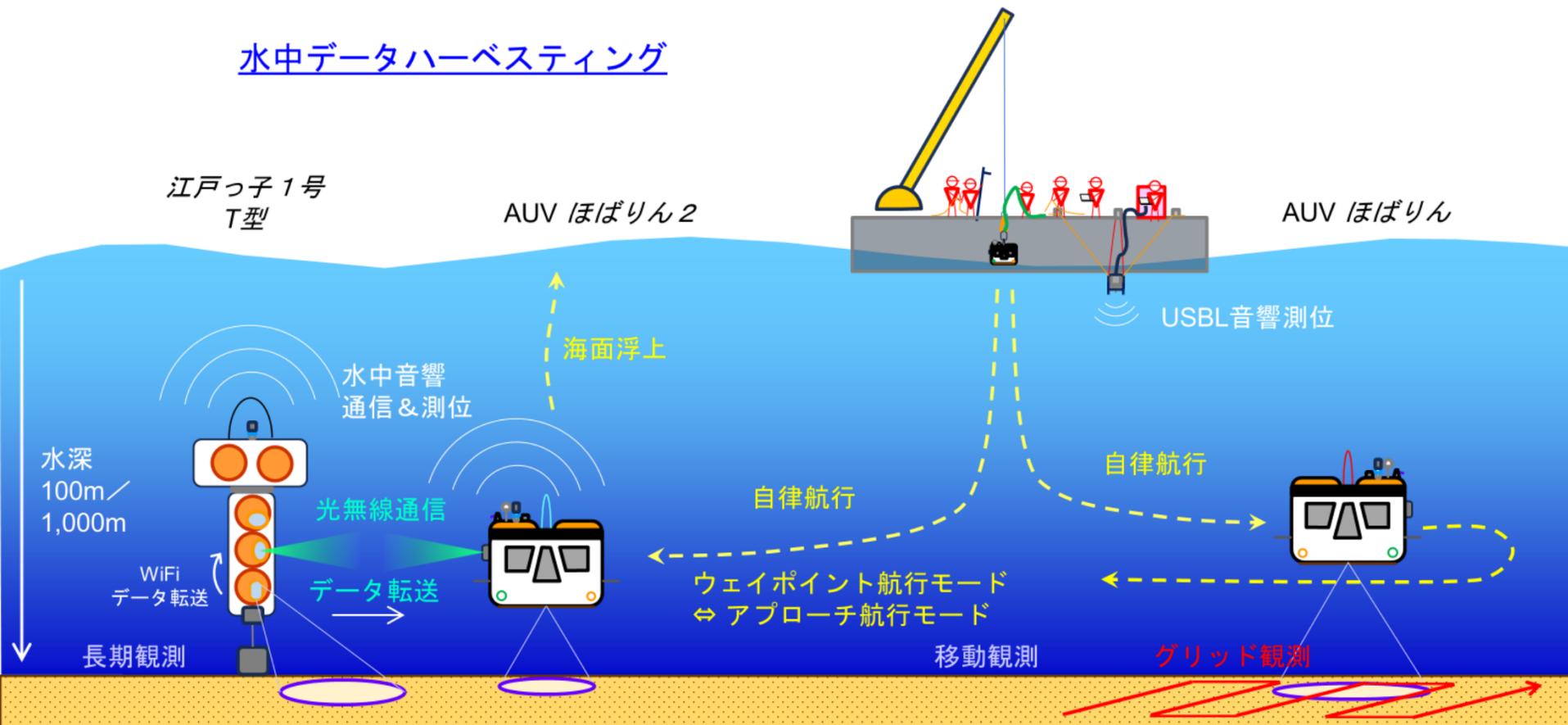


Lander *Edokko Mark-I type T2*



Hovering AUV *Hobalin & Hobalin2*

水中データハーベスティング



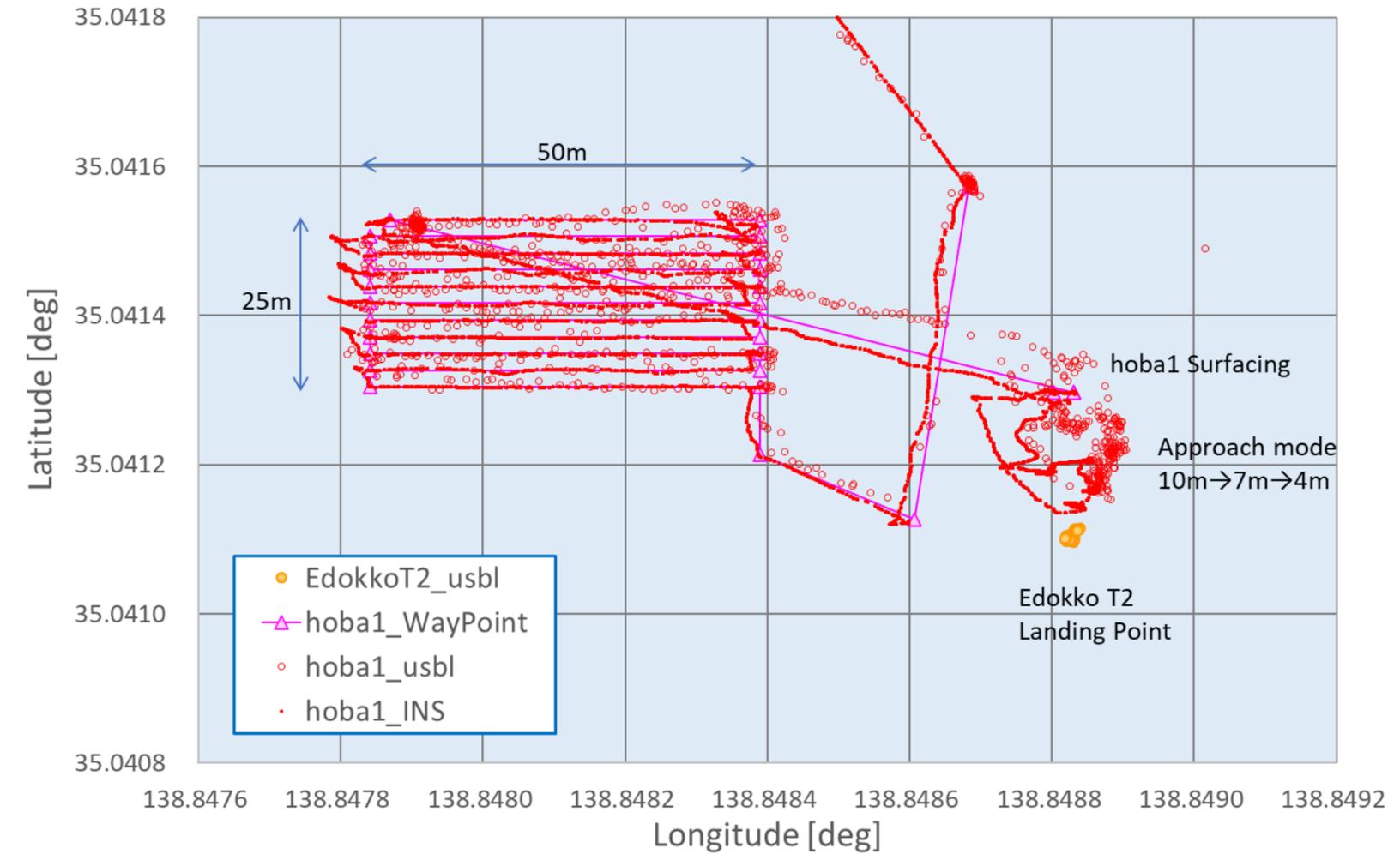
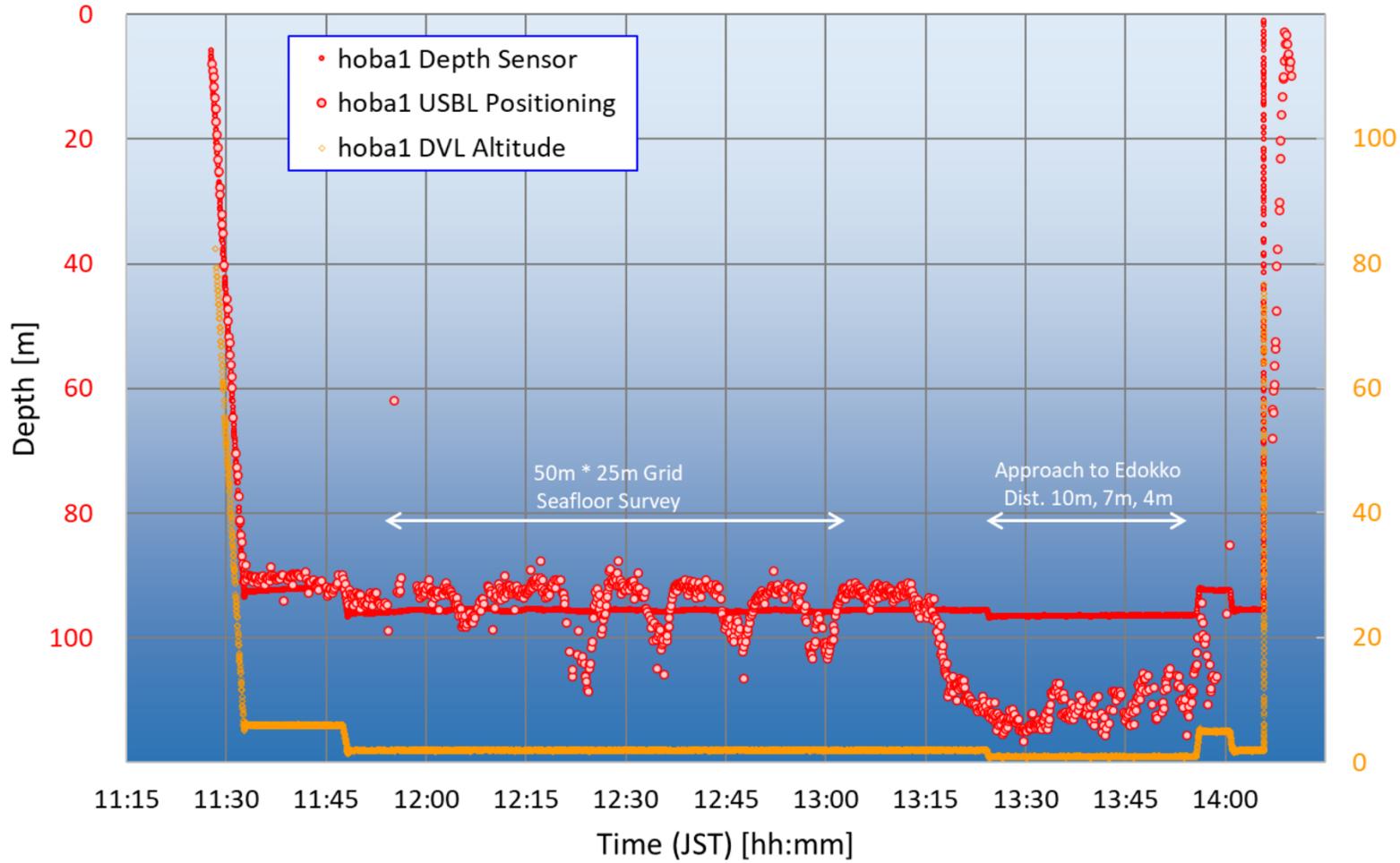
1. WayPoint航行で水平距離約30mまで接近
2. アプローチモードに遷移、USBL測位と相対方位受信により、江戸っ子1号正面の距離10m位置に移動
3. 双方**緑色レーザー**による水中光無線通信を実施（半二重通信）
4. ランダーからAUVへのFTP通信によるデータ転送を実施
5. 相対距離10m、7m、4mの位置で各10分間のデータ転送
6. 再びWayPoint航行に遷移

AUVの航跡 (Waypoint航行モード & アプローチ航行モード)



Depth and Altitude of H-AUV "Hobalin"
in Suruga-Bay, 98m Depth, 2024/May/29

Lander "Edokko Mark1 T2" and H-AUV "Hobalin"
in Suruga-Bay, 98m Depth, 2024/May/29

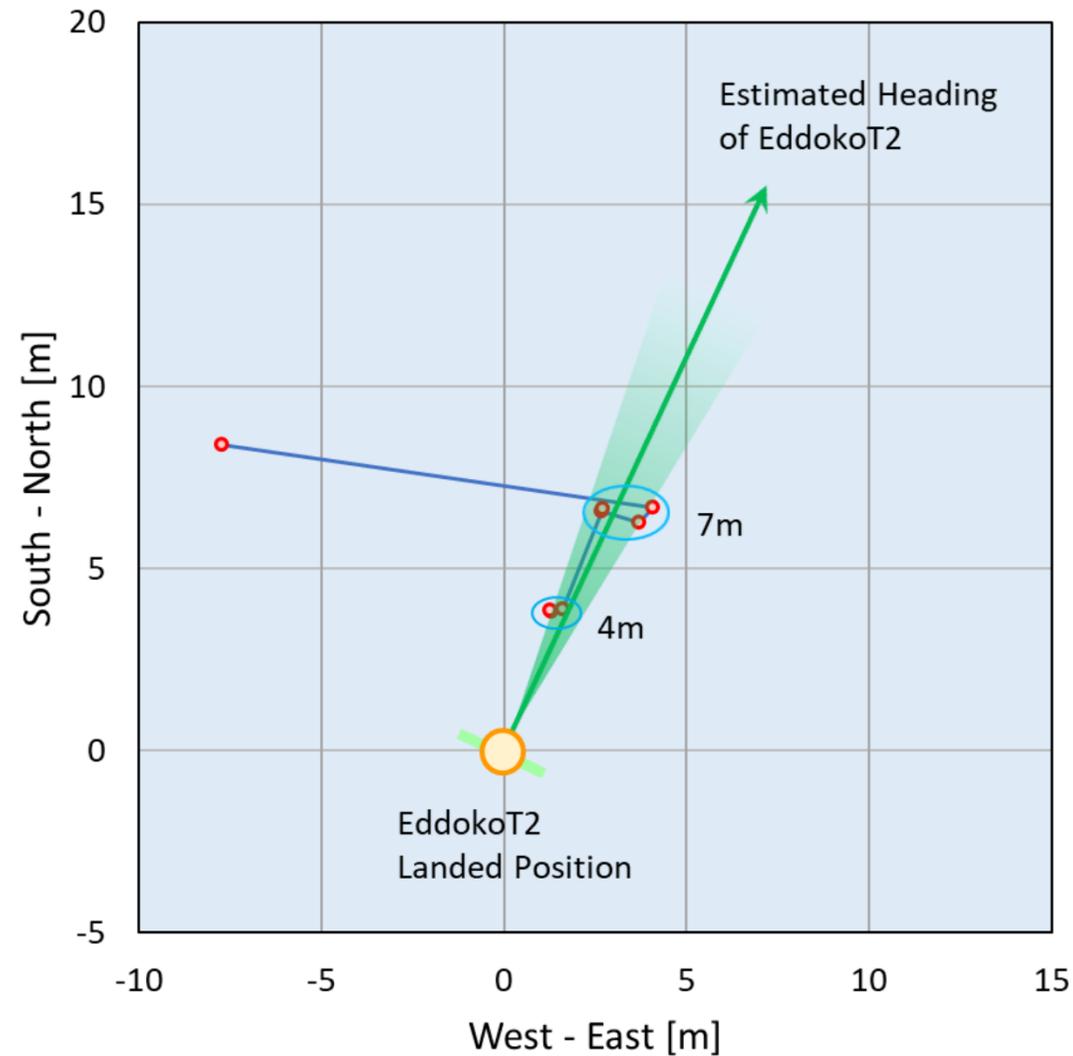


Date	Lander Edokkko Mark-I		AUV Hobalin	
	Launch	Recovery	Launch	Recovery
May 29	10:24	15:18	11:26	14:25
May 30	09:55	13:53	10:45	13:28

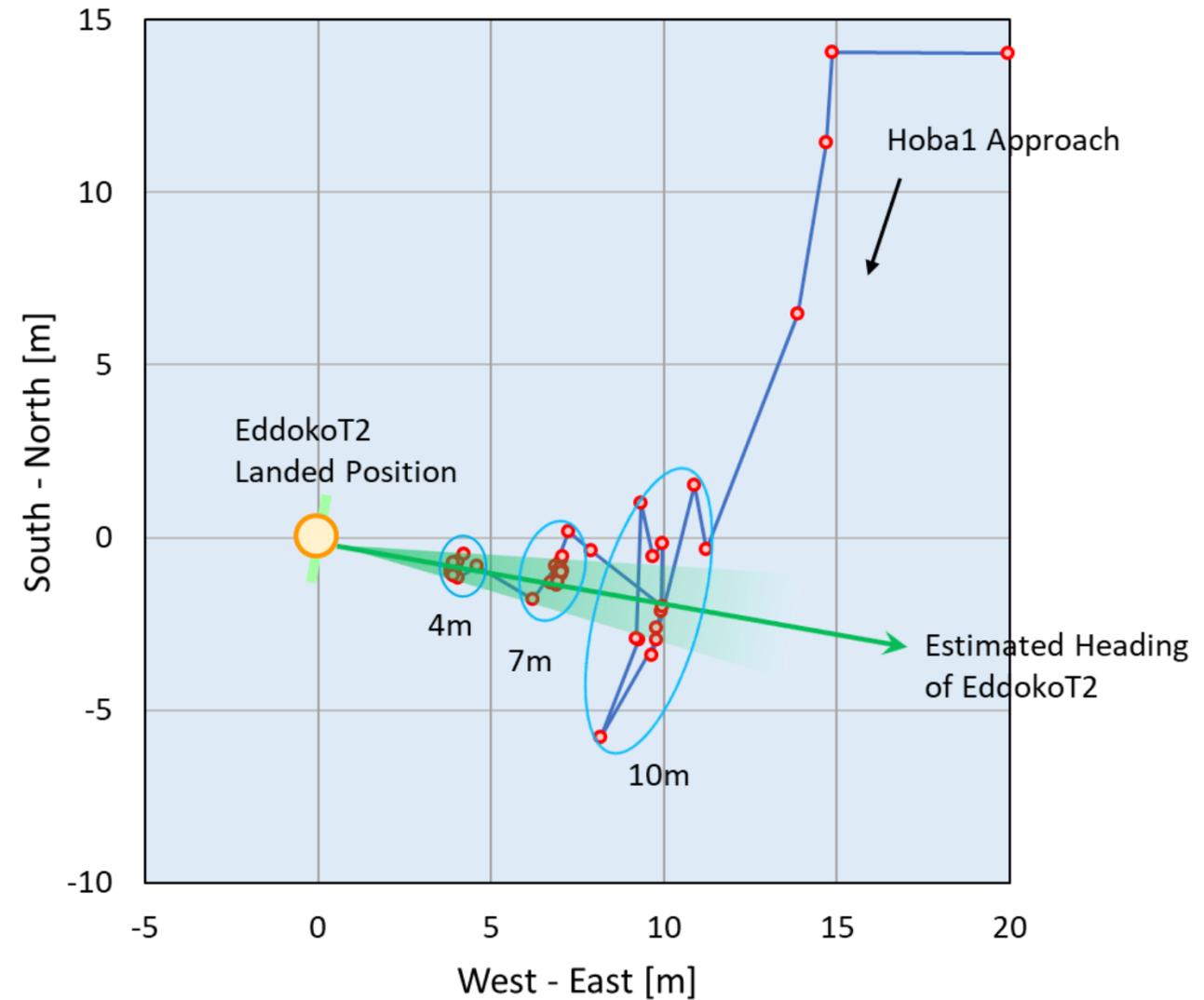
AUVの航跡 (アプローチ航行モード)



Hoba1 Approach Mode and
SeaTrac USBL Positioning from EddokoT2 to Hoba1 on 2024/May/29

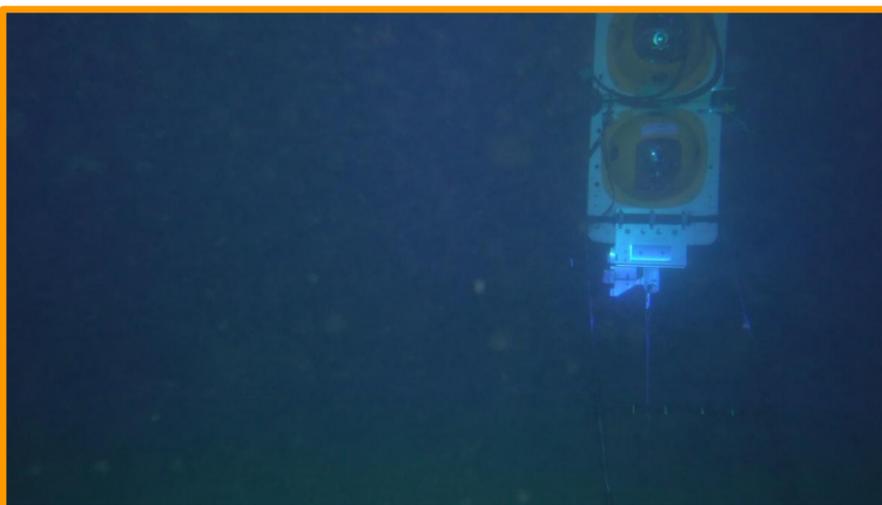
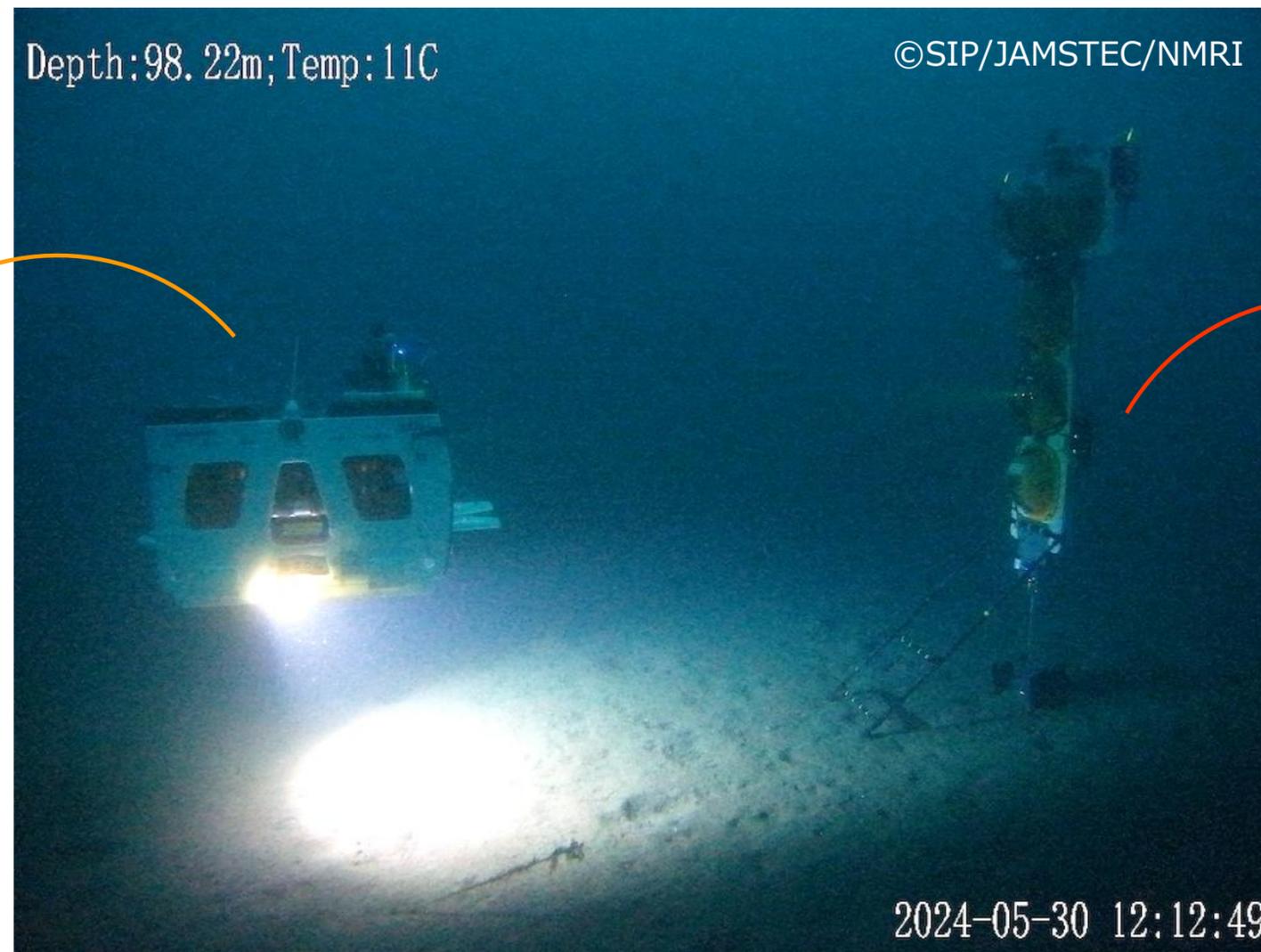


Hoba1 Approach Mode and
SeaTrac USBL Positioning from EddokoT2 to Hoba1 on 2024/May/30



Date	Lander Eddokko Mark-I		AUV Hobalin	
	Launch	Recovery	Launch	Recovery
May 29	10:24	15:18	11:26	14:25
May 30	09:55	13:53	10:45	13:28

ランダーとAUV間の水深100m 光無線通信による 大容量データ転送の様子 (小型ROVで水中撮影)



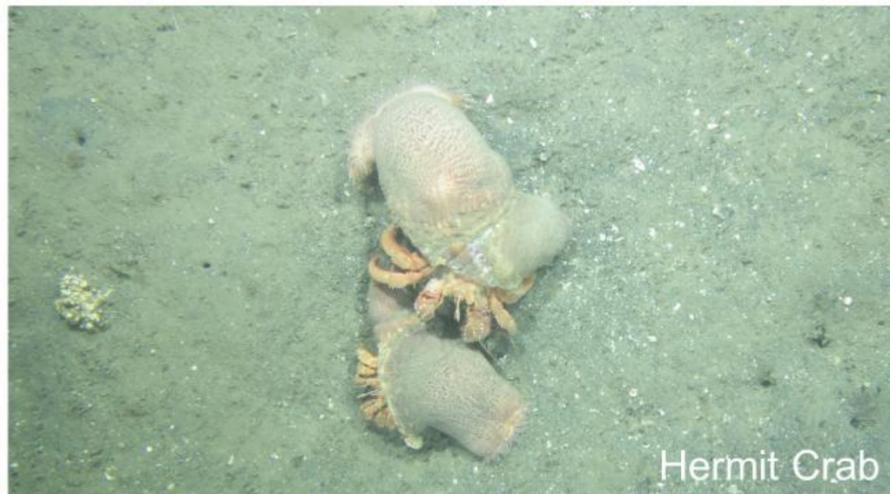
ほぼりんの江戸っ子 1号観測画像
(2024/5/30 12:12)



江戸っ子 1号のほぼりん観測画像
(2024/5/30 12:06)

動画データ (3 GB) のコピーに成功
(距離 7m と 4m, 各10分間)

AUVによる水深100m海底観測データ例（左）、 ランダーによる水深100m海底観測データ例（右）



ほぼりん、ほぼりん2の海底観測画像

江戸っ子1号の海底観測画像

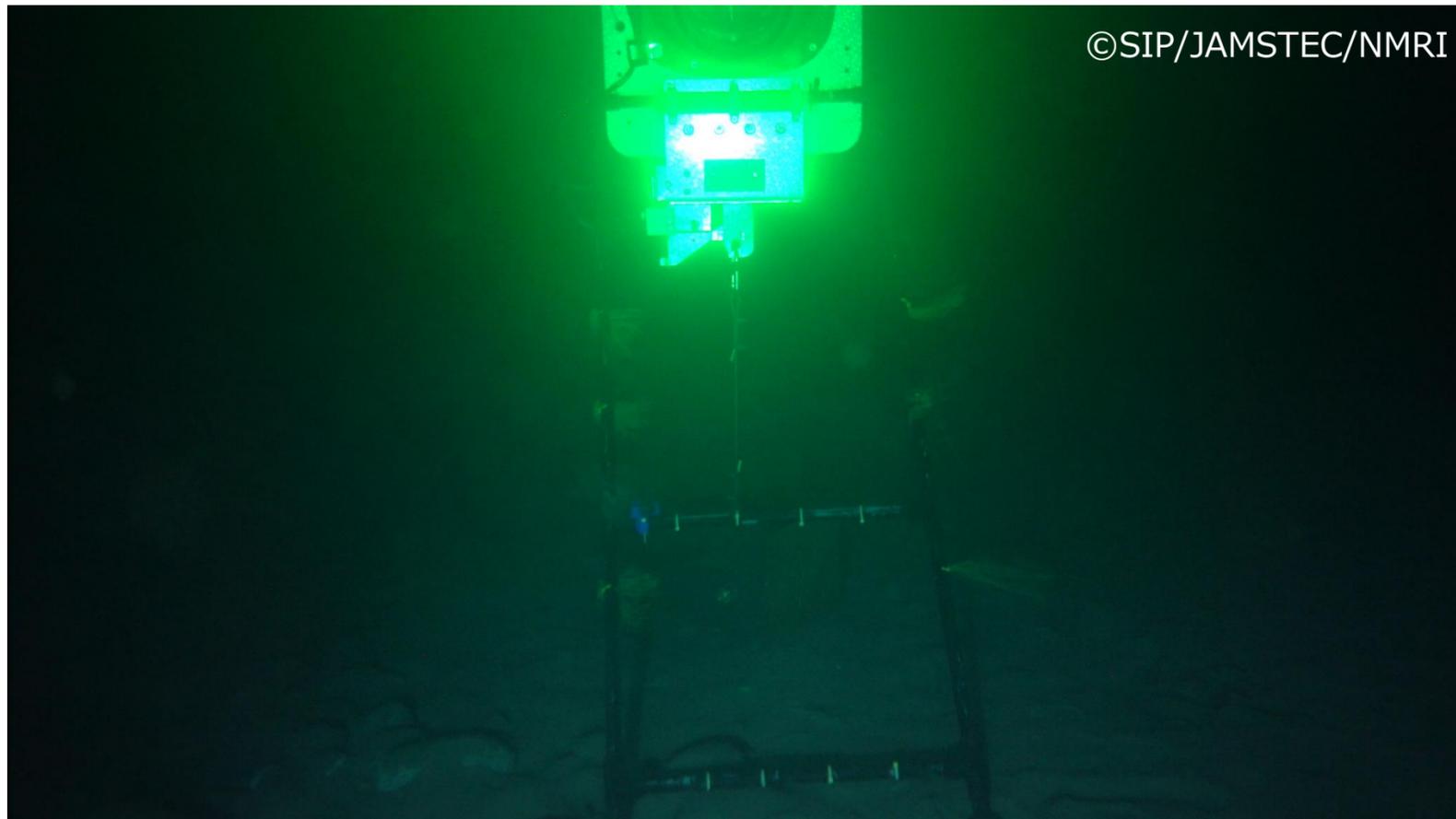
AUVによる水深930m ランダー観測画像例（左）、 ランダーによる水深930m AUV観測画像例（右）



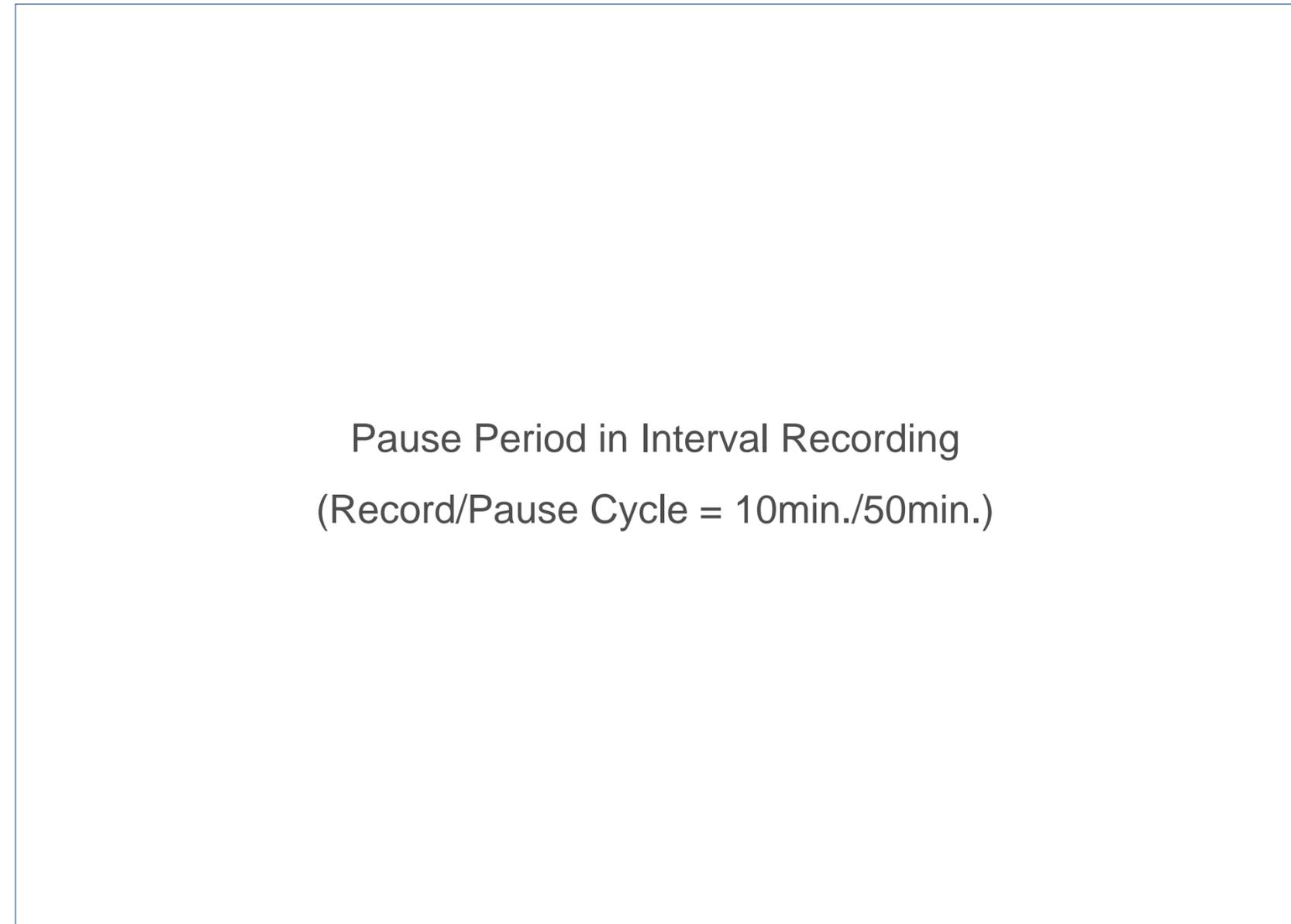
ほぼりんの江戸っ子 1 号観測画像
(2024/7/2 13:01)



江戸っ子 1 号のほぼりん観測画像
(2024/7/2 13:01)



ほぼりんの江戸っ子 1号観測画像
(2024/7/2 13:14)



江戸っ子 1号はインターバル撮影の撮影休止期間中
(2024/7/2 13:14)

ランダー・AUVによる海底観測、および 水中データハーベスティング（光通信によるデータ回収）

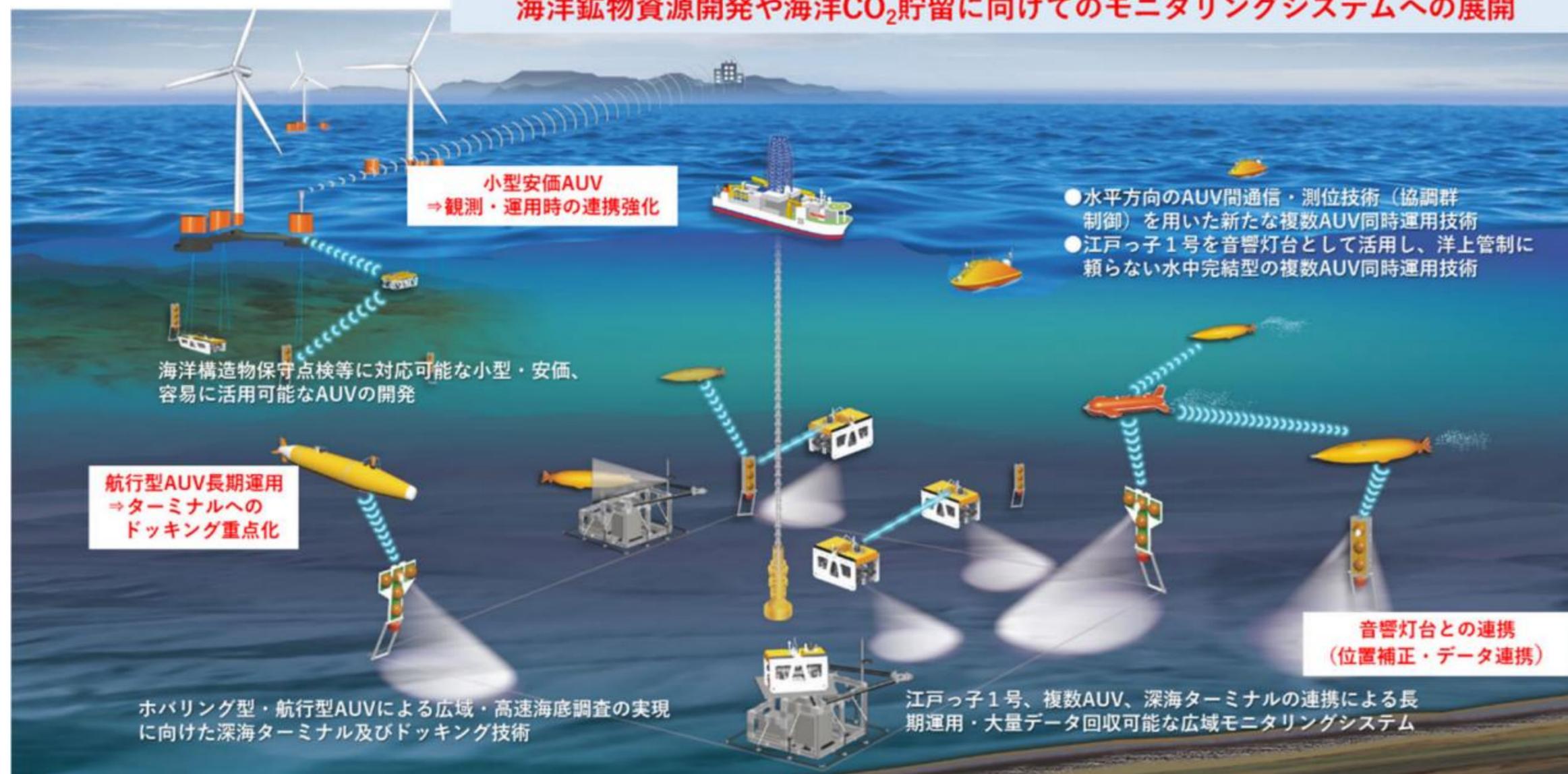


本研究では、以下の技術を実証した。

1. ランダーとホバリング型AUV 2機が同時に深海底調査を実施
2. 音響測位・通信を使って、ランダーにAUV 2機が交互に自律接近し、水平距離～10m, 7m, 4mでランダーと相対し、10分間の保持
3. 水平方向の水中光無線通信を使って、ランダーとAUVの間でLANを確立
4. ランダーの大容量観測データ（～数GB）をAUVに転送
5. AUV 2機が（自機の観測データに加えて）、ランダーの観測データも記録し、海面浮上。調査船上でランダーの観測データを確認（水中データハーベスティング）。

その後、ランダーも海面浮上し、調査船に揚収。
調査船上で、3通りの保存先から同じ海底映像を確認した。

AUV、深海ターミナル等を高機能化し、海洋環境広域モニタリングシステムにより、海洋鉱物資源開発や海洋CO₂貯留に向けてのモニタリングシステムへの展開



小型安価AUV
⇒観測・運用時の連携強化

●水平方向のAUV間通信・測位技術（協調群制御）を用いた新たな複数AUV同時運用技術
●江戸っ子1号を音響灯台として活用し、洋上管制に頼らない水中完結型の複数AUV同時運用技術

海洋構造物保守点検等に対応可能な小型・安価、容易に活用可能なAUVの開発

航行型AUV長期運用
⇒ターミナルへのドッキング重点化

ホバリング型・航行型AUVによる広域・高速海底調査の実現に向けた深海ターミナル及びドッキング技術

音響灯台との連携
(位置補正・データ連携)

江戸っ子1号、複数AUV、深海ターミナルの連携による長期運用・大量データ回収可能な広域モニタリングシステム

https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/sip_3/keikaku/05_kaiyo.pdf

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「革新的深海資源調査技術」（研究推進法人：JAMSTEC）によって実施されました。関係各位に深く感謝申し上げます。

また、本研究を進めるにあたり、駿河湾試験の実施にご協力いただきました、OKIコムエコース、いであ、岡本硝子を始めとする関係各位に感謝申し上げます。