

2023年8月4日

SCOPE研究開発助成 成果報告会

ターゲット追跡機能を持つ小型ASVによる 水中移動体の高精度測位手法

巻 俊宏

東京大学生産技術研究所

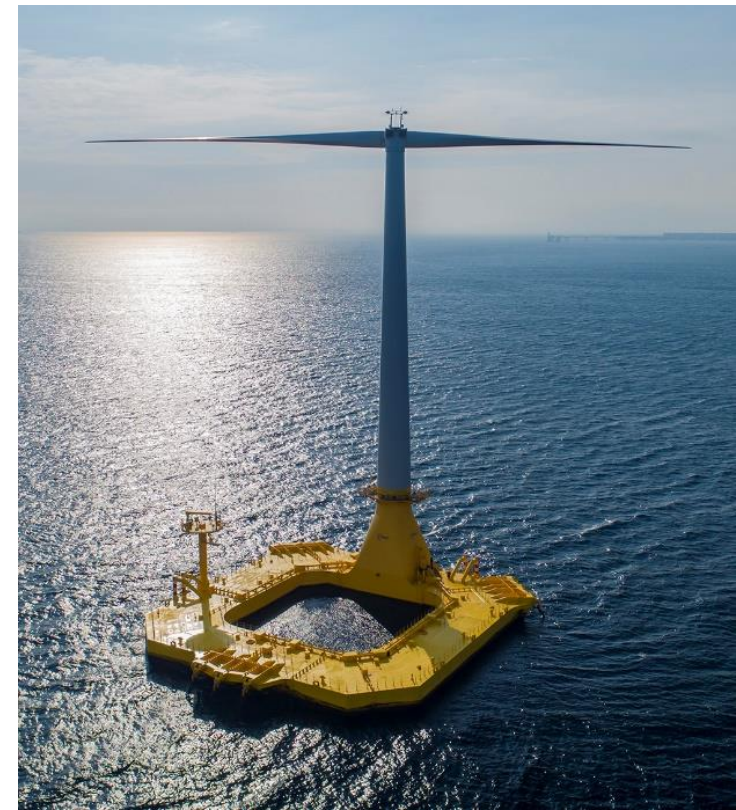
<http://makilab.iis.u-tokyo.ac.jp/>

maki@iis.u-tokyo.ac.jp

研究開発の目的・意義

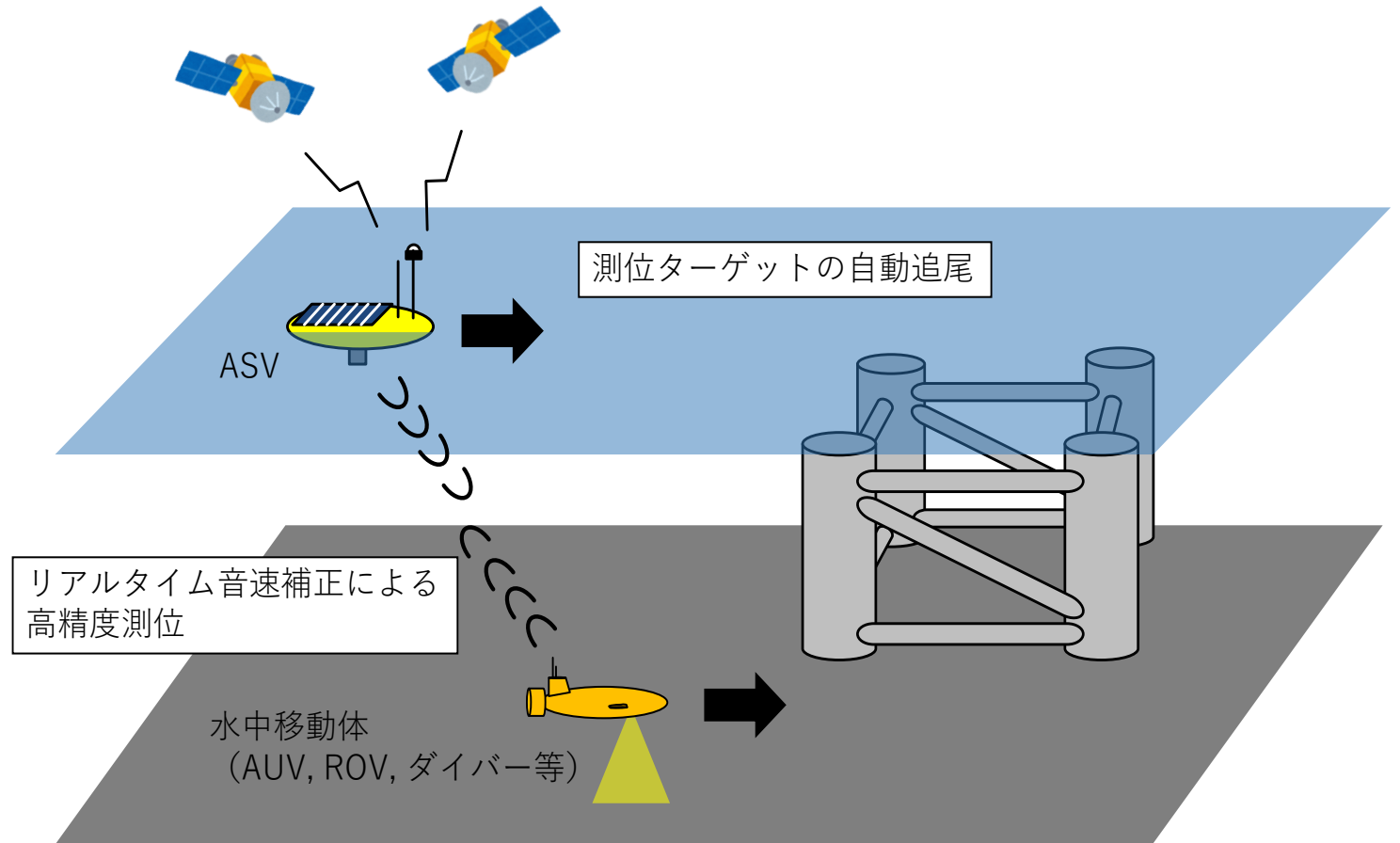
- 水中構造物や港湾、沿岸施設の維持管理や点検のためには、水中移動体（海中ロボットやダイバー等）の高精度な測位が不可欠
- しかし、従来の音響測位を入り組んだ環境で使う場合、多重反射（マルチパス）や音響の陰となる領域の問題がある。
- そこで、計測ターゲットの自動追尾機能を備えたASV（自律無人ボート）を開発し、これを音響測位の基準局として用いることで、安定的かつ広域での測位を実現する。

作業船レスの広域・全自動観測の実現により、水中構造物や沿岸域の効果的かつ効率的な維持管理に貢献する！



研究開発の進め方

- 開発する手法の概要
 - ASVにターゲットの自動追尾機能を持たせ、ターゲットの直上に常に位置保持させる。これによりASV-ターゲット間の距離を最小化することができるため、マルチパスやシャドウゾーンの影響の最小化、測位精度向上が期待される。
- 研究の進め方
 - シミュレーション
 - 海域試験1 定点保持
 - 海域試験2 固定ターゲット
 - 海域試験3 移動ターゲット



ターゲット追従機能を持つ小型ASVによる水中移動体の高精度測位手法

開発に用いるプラットフォーム

AUV HATTORI

Highly Agile Terrain Tracker for Ocean Research and Investigation

寸法: 1.0 (L) × 0.48 (W) × 0.29 (H) [m]

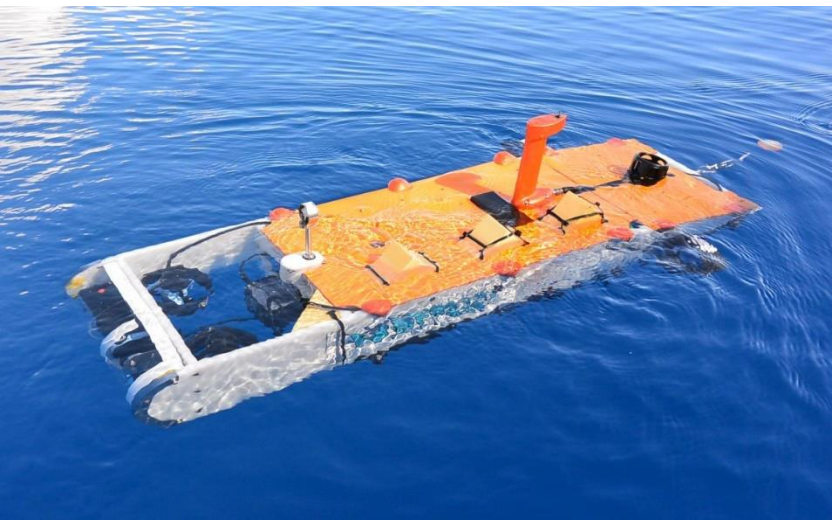
重量: 19 kg

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

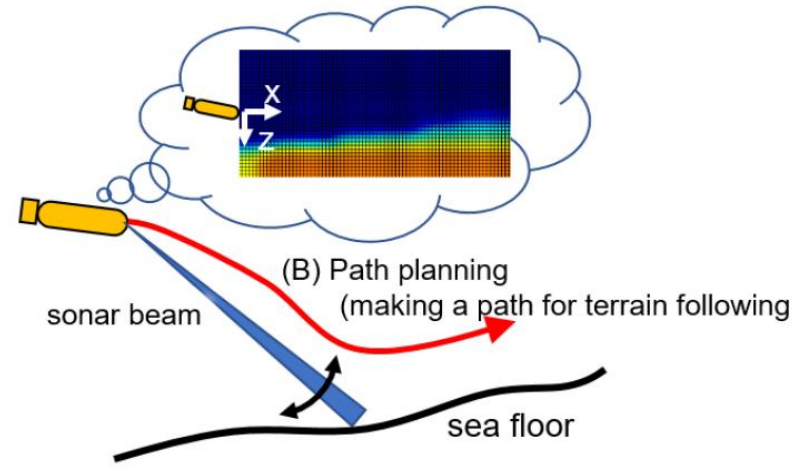
機能:

起伏のある海底の低高度追従

真上・真下を含む任意方向への移動



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



ASV BUTTORI

Buoy for HATTORI

寸法: 0.8 (L) × 0.8 (W) × 1.6 (H) [m]

重量: 20 kg

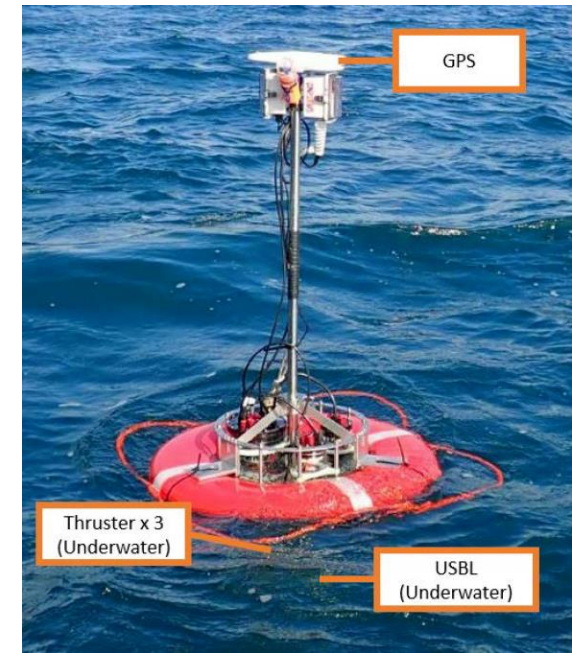
センサ: GNSS Compass, SSBL

機能:

音響によるHATTORIの位置・状態モニタリング

定点保持

ターゲットの追跡（開発中）



使用する音響測位装置

SeaTrac (Blueprint Subsea社製)

- 測位方式 SSBL
- 音響周波数 24-32 kHz
- 測位レンジ 1 km
- 音響モデム機能あり



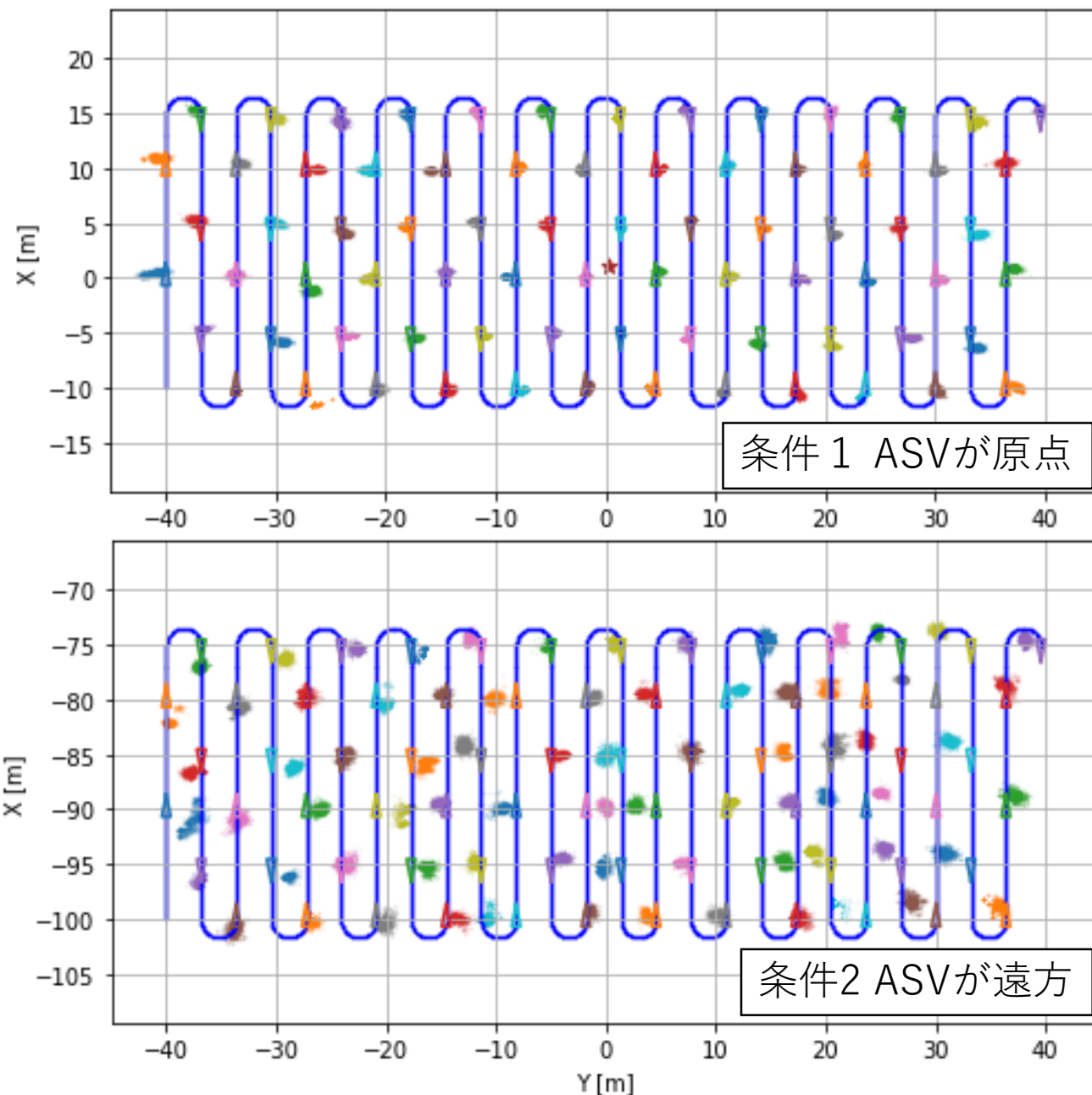
<https://www.blueprintsubsea.com/>

ASVとAUVの距離と測位誤差のシミュレーション

- ASVを静止させた状態で、AUVをジグザグに走行させ、測位誤差範囲を調べた。
- AUVの測位はデッドレコニング+SSBL確率的手法（パーティクルフィルタ）により両者を融合

- 青線：AUVの航跡
- 点群：AUVの誤差範囲（パーティクルの分布）

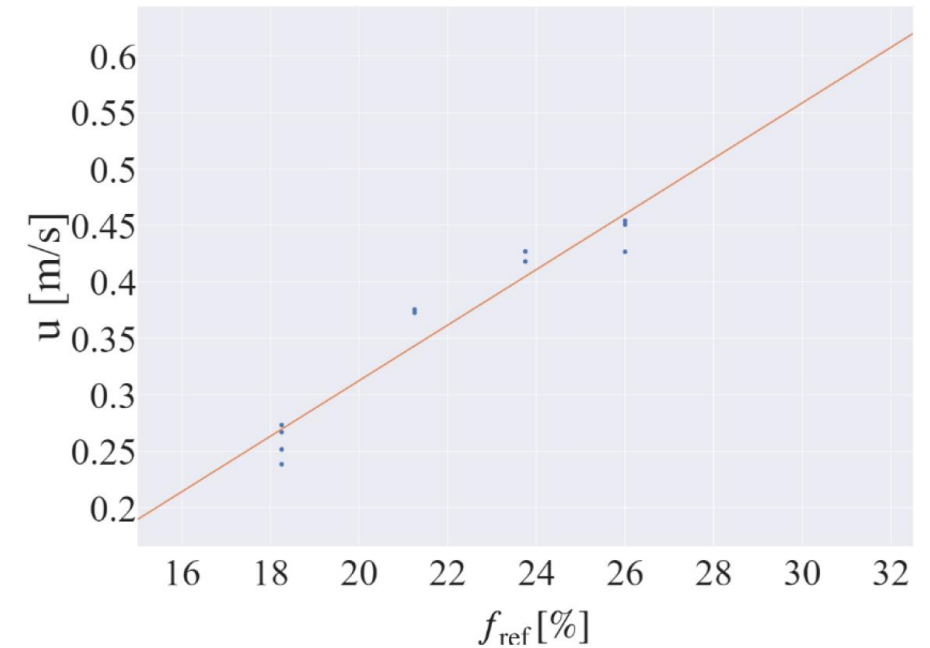
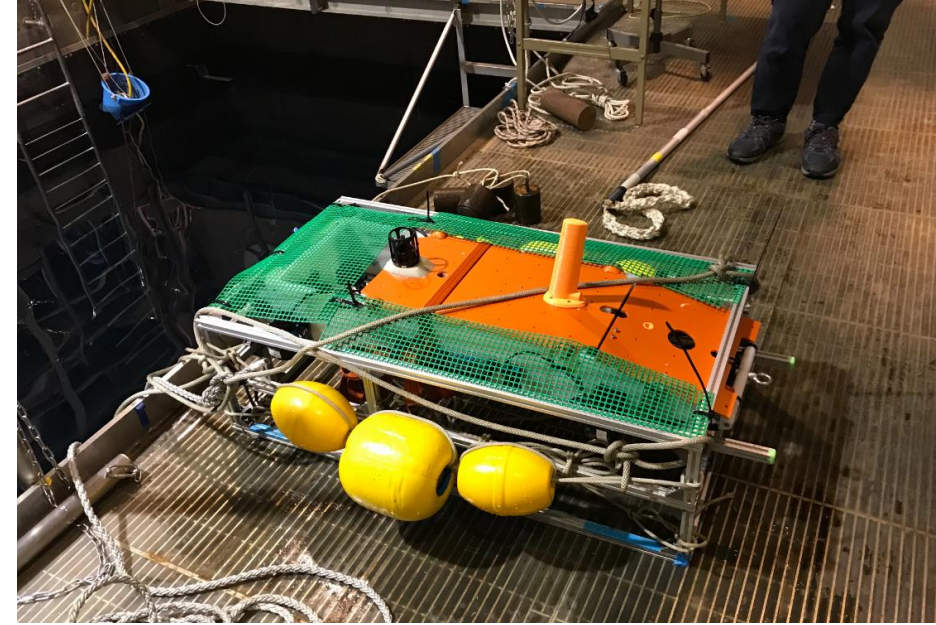
→ ASVとの水平距離が短いほど、AUVの測位誤差が小さくなる傾向が確認された。



海域試験の準備

海域試験に向けて、ASV BUTTORIおよびAUV HATTORIの整備ならびに水槽での動作試験を実施した。

- 内部配線の見直し
- 電源回路の更新
- ネットワーク機器の更新 (BUTTORI)
- DVL (ドップラー式対地速度計) の取り付け (HATTORI)
- ソフトウェア更新
- サージ推力とサージ速度の関係の計測



HATTORIのサージ推力とサージ速度 u の関係

海域試験

2022年10月31日～11月4日
@平塚新港周辺海域

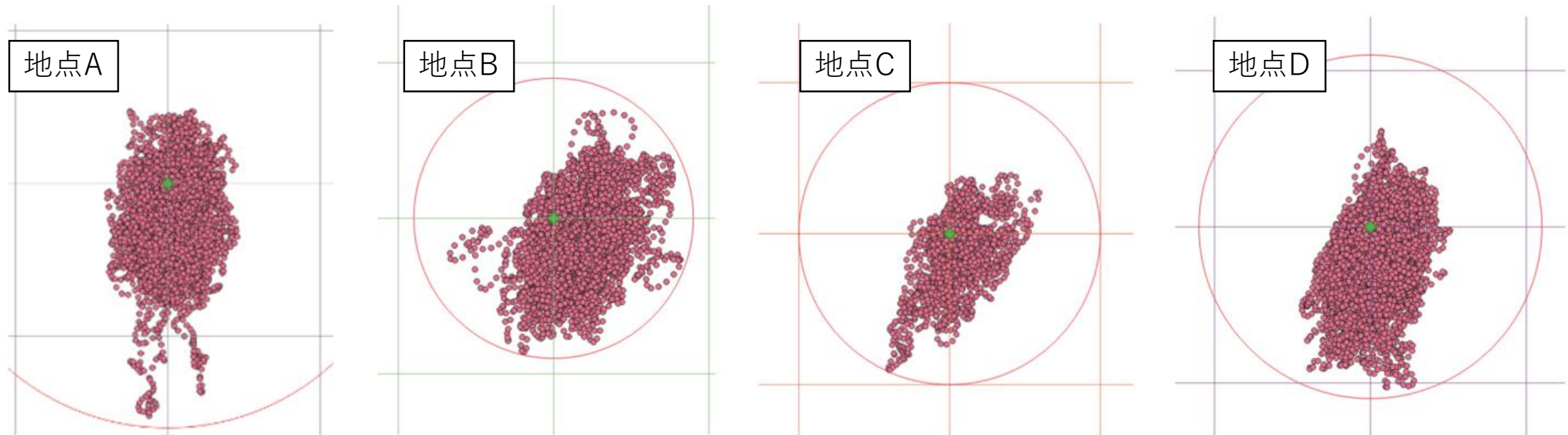
BUTORI

HATTORI



結果 1：定点保持性能

- BUTTORIを複数の地点で定点保持させた状態で、GPSで位置を計測した。
- 保持時間 いずれも6～10分
- 有義波高 0.4m、流速0.07m/s、風速6～10m/s



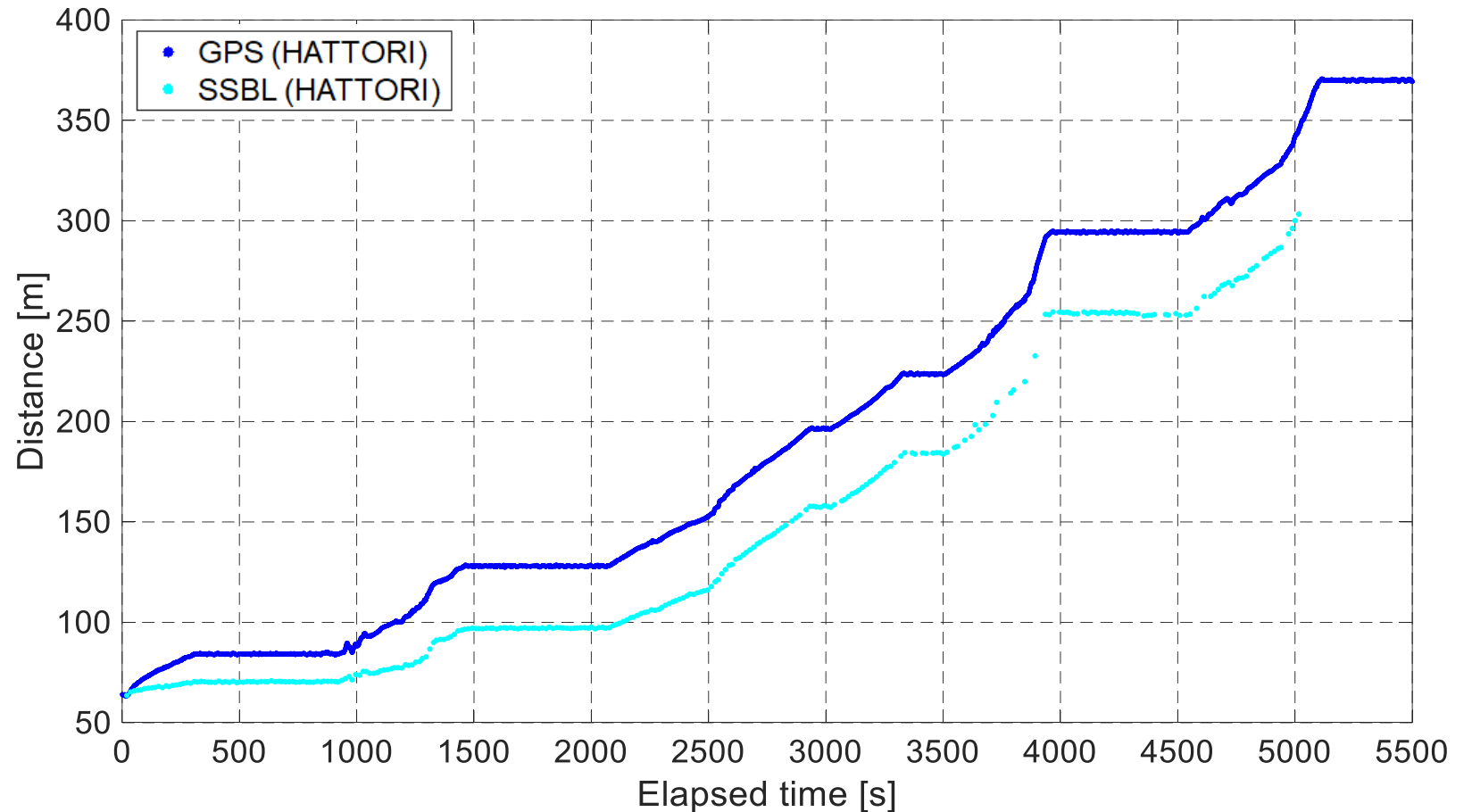
BUTTORIの定点保持中の航跡（グリッド幅1m）

結果 2：固定ターゲットの測位性能

HATTORIを海底に設置した状態で、BUTTORIを複数の地点で定点保持させ、SSBLによりHATTORIを測位した。

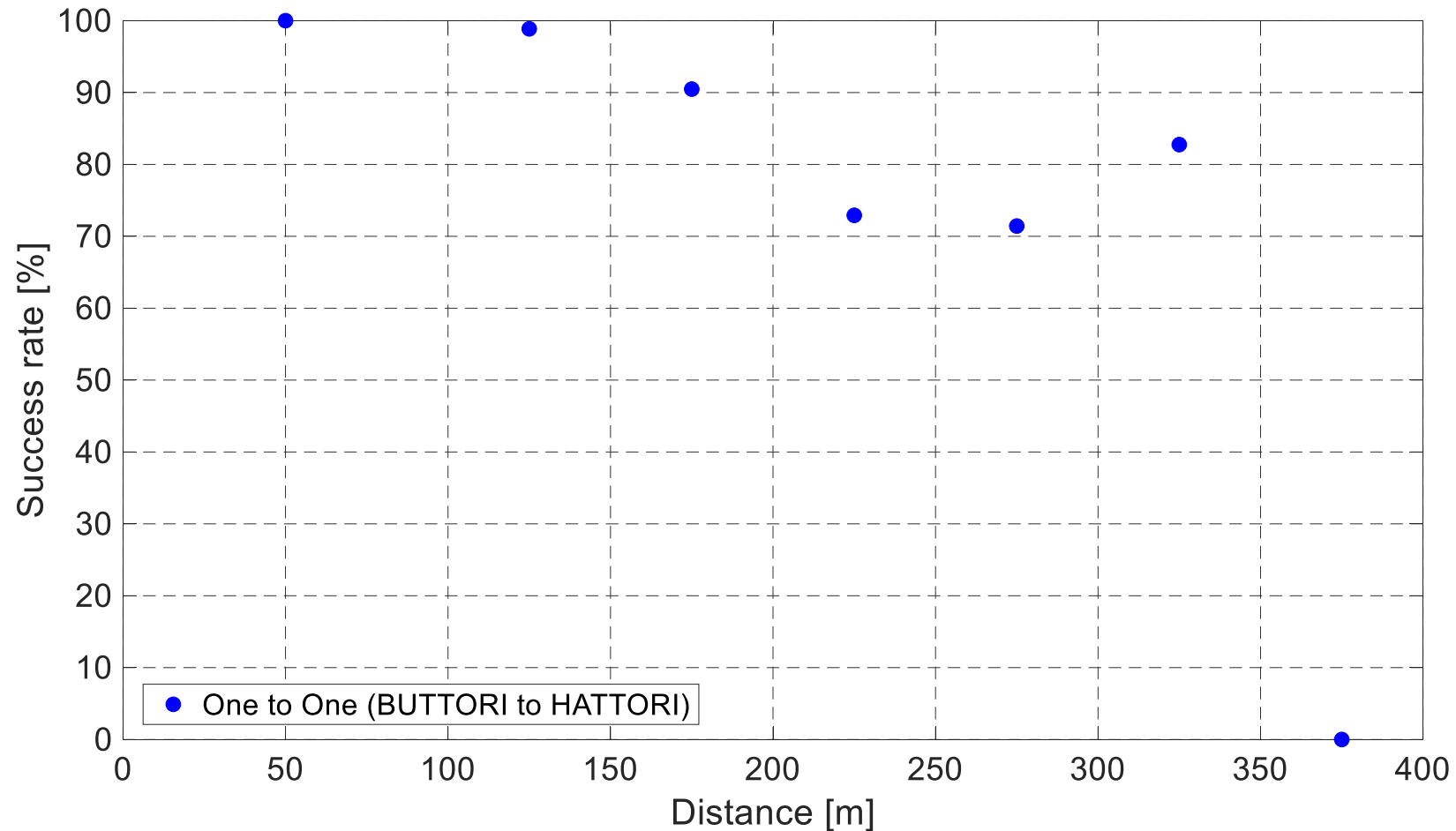
定点保持中（GPSの値が一定の区間）はSSBLの測位結果も一定になっていることから、SSBLにより安定した測位が行われたことが確認できる。

両者の間に50～80m程度のオフセットがある。



BUTTORI—HATTORI間距離の時間変化

結果 2：固定ターゲットの測位性能

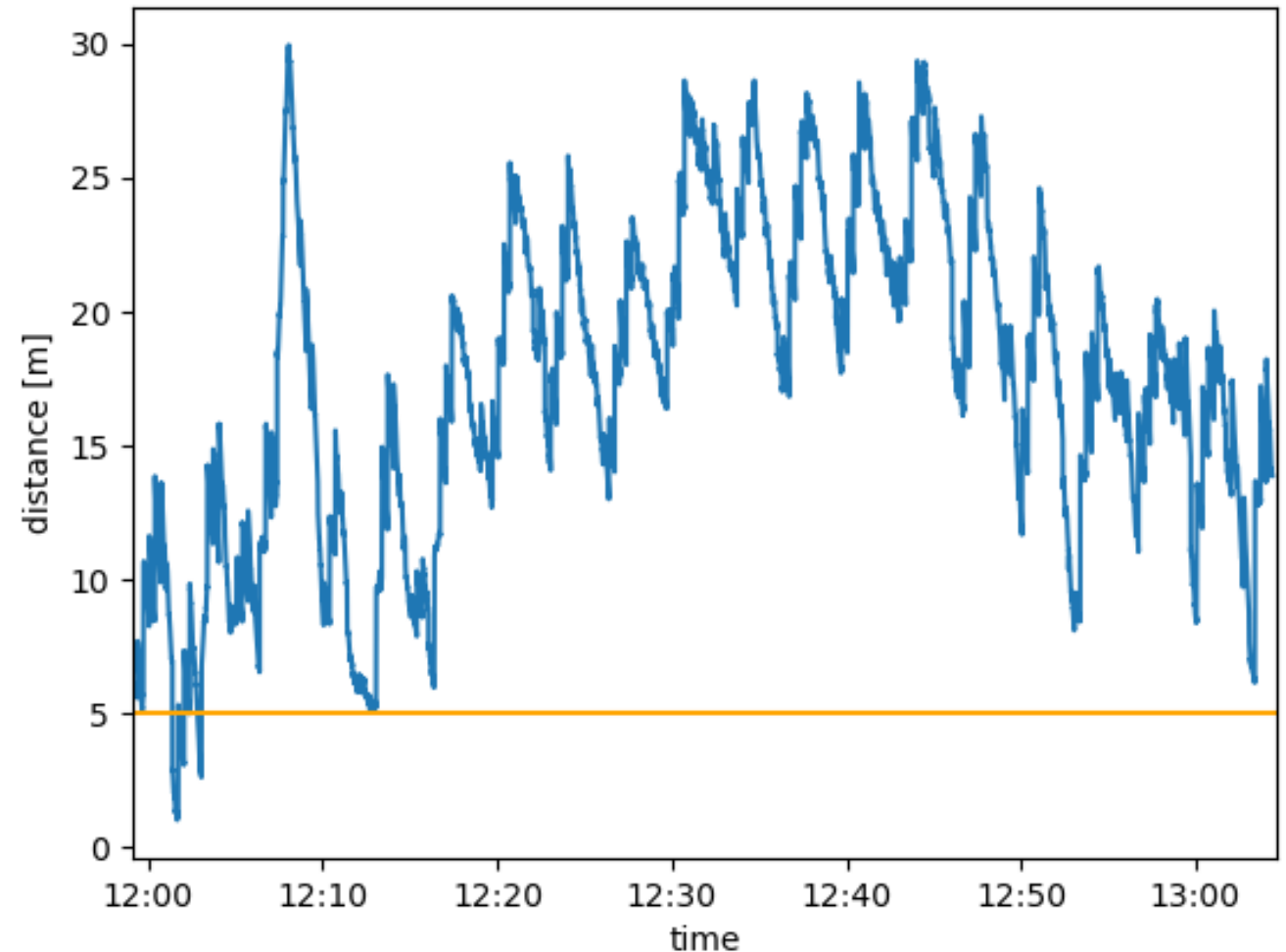


BUTTORI－HATTORI間距離とSSBL測位成功率の関係

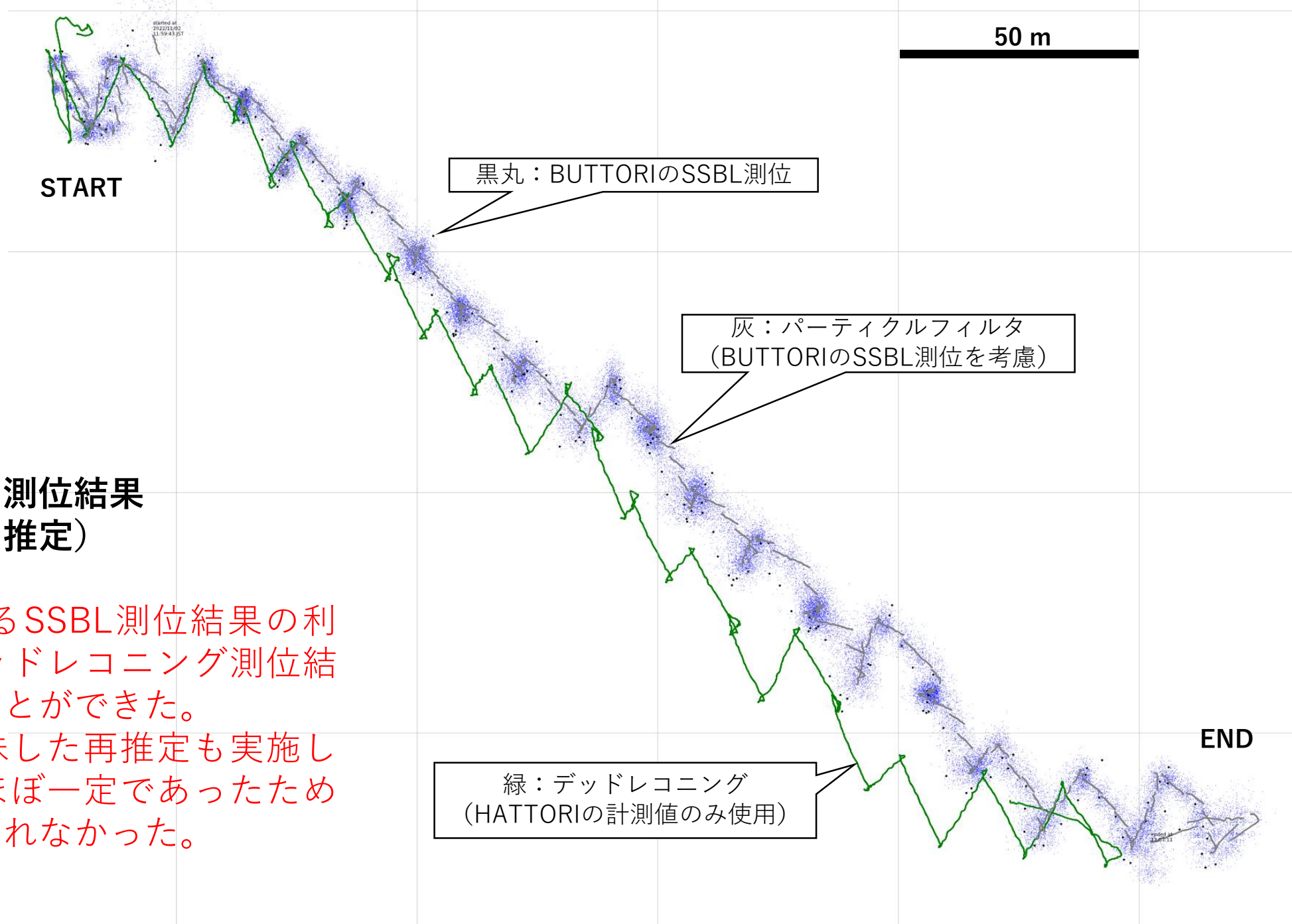
結果 3 : 移動ターゲットの測位性能

AUVが移動する場合の追従性能および測位性能を評価

- HATTORI
 - 高度一定 (1m)
 - サージ推力一定
 - 進路は3分毎に180度反転させる
- BUTTORI
 - SSBLによりHATTORIを計測
 - HATTORIに対して追従制御



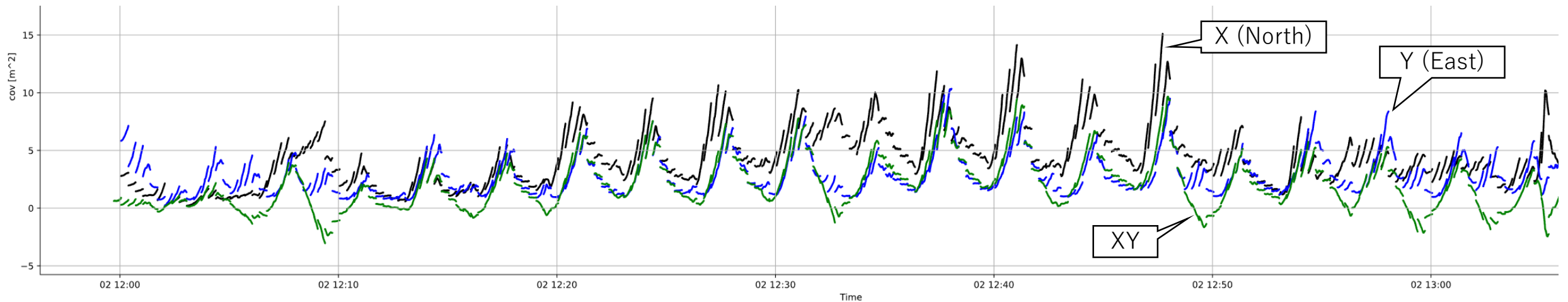
BUTTORI—HATTORI間距離の時間変化



提案手法による測位結果 (後処理による推定)

BUTTORIによるSSBL測位結果の利用により、デッドレコニング測位結果を補正することができた。
音線屈折を加味した再推定も実施したが、音速がほぼ一定であったため有意な差は見られなかった。

結果 3 : 移動ターゲットの測位性能



パーティクルフィルタのサンプルの分散・共分散

SSBL測位の利用により、デッドレコニングによる誤差の増加が抑えられている。

まとめ

- 港湾のような複雑環境において水中移動体の安定的かつ広域に測位するため、計測ターゲットの自動追尾機能を備えたASV (Autonomous Surface Vehicle, 自律無人ボート) を音響測位の基準局として用いる手法を提案した。
- AUV HATTORIおよびASV BUTTORIにより、沿岸域で試験を行った結果、BUTTORIは誤差1m以内で安定して定点保持できること、水平距離150mまではほぼ確実に海底のターゲットを測位できることがわかった。
- 海中を移動するターゲットに対しても、水平距離30m以内を保ちつつ追従できること、SSBLにより安定してターゲットを測位できること、さらにその測位結果を用いることで、デットレコニング時の測位誤差を修正できることを確認した。
- 音速補正による測位性能向上については試験時の水中音速がほとんど一定であったため評価できなかったが、提案手法により、沿岸域であっても安定的かつ広域で水中移動体を測位できることが示された。