



船舶の自動離着栈における GNSSの活用手法の研究

修士論文発表会

海運ロジスティクス専攻科

青木 京平

- ✓ 研究背景
- ✓ システム概要
- ✓ 汐路丸実験
- ✓ 特定位置算出手法
- ✓ やよい実験
- ✓ まとめ

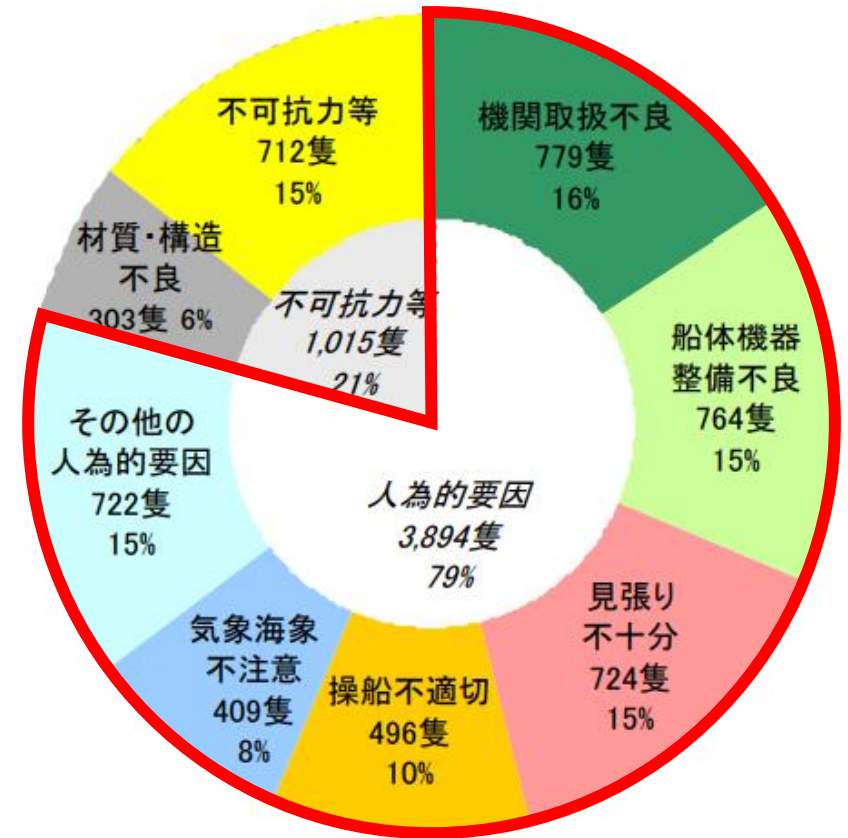
研究背景(1/3)_研究目的

海難事故の原因の多くを占める
ヒューマンエラー削減に船舶の
自動・自律運航化が注目されている。

特に高度な操船スキルが求められ、
操船者の大きな負担となっている
離着棧の自動化を検討する。

自動離着棧システム構築の前段階
として、**離着棧を行う操船者を支援
するシステムの構築を行った。**

海難事故の約8割はヒューマンエラー



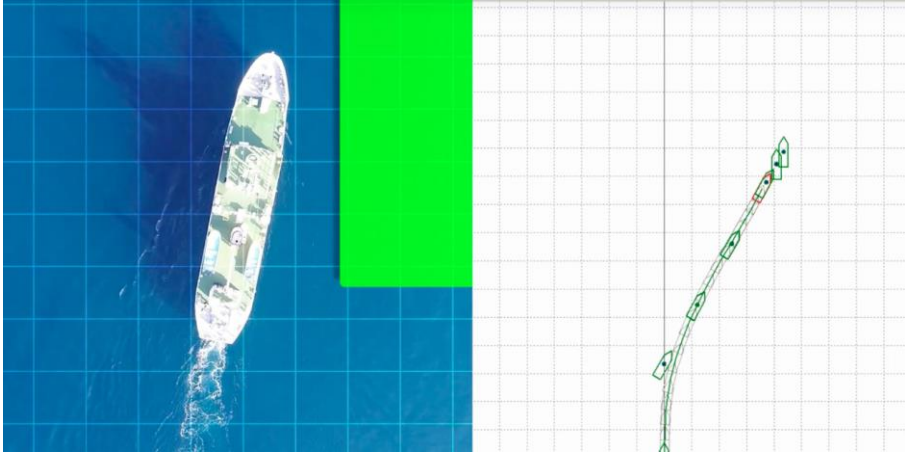
(過去5年間の合計)
プレジャーボートの事故原因割合
「交通政策審議会第26回海事分科会の開催について」
海上保安庁 海難統計等

研究背景(2/3)_自動着棧に向けた取り組み

2

船舶の自動化にはどんな情報が必要なのか.....

✓ 船舶位置情報と他の物標との距離



「自動離着棧の様子」
MOL 自動離着棧の実証実験を実施

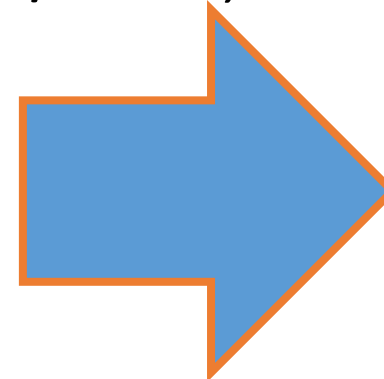
- 船舶位置はGPS/GNSSで取得。
(現在主流のSBASを利用した測位精度は数m程度だが、**地上と通信して行うRTK測位ではcm級の精度**)

- 他の物標との距離は
GPS/GNSS,LIDAR,画像処理,レーダー,etc...

✓ **速度と進行方位**

→現在の船位から棧橋に安全に近づくために把握、決定することが必要。

GPS/GNSSから取得することが可能!!



GPS/GNSSのみで自動着棧システムに必要なパラメータが揃う!!

研究背景(3/3)_GNSS速度推定精度

3

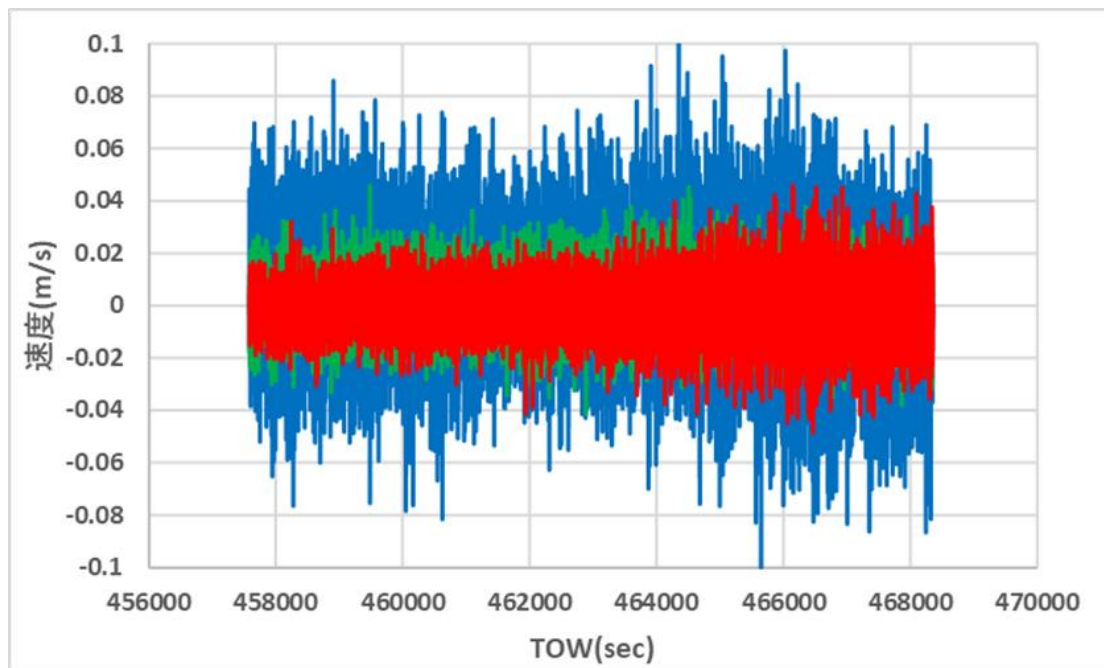
東京海洋大学第4実験棟屋上での静止点速度比較

—— 経度

—— 緯度

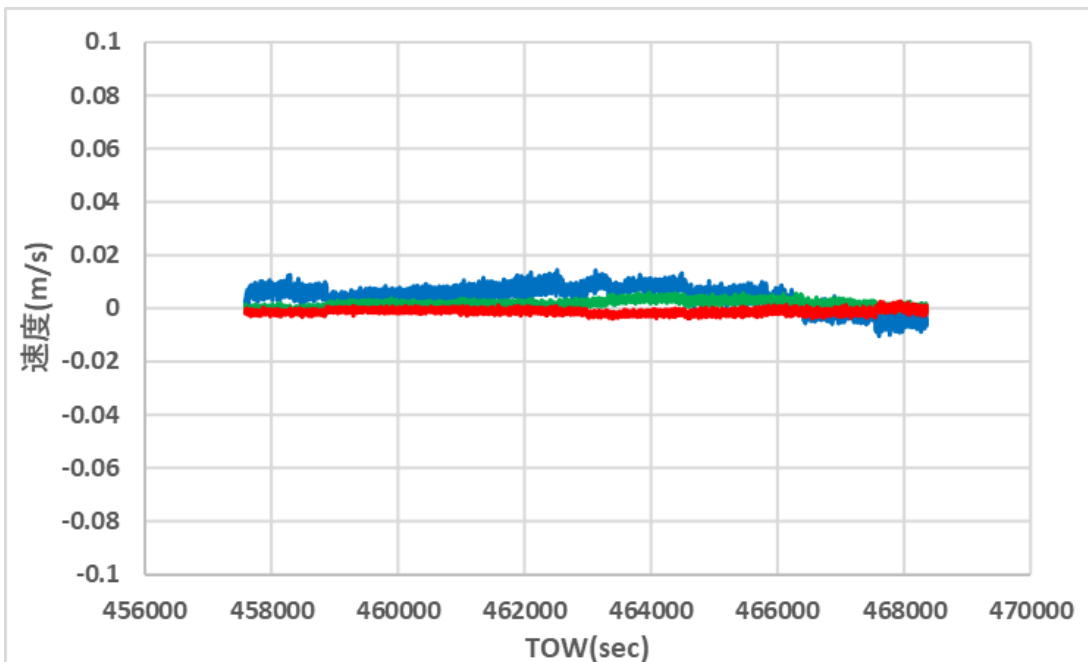
—— 高度

ドップラー観測値(従来手法)



単位:m/s	平均誤差	標準偏差
緯度	0.0020	0.0109
経度	-0.0010	0.0106
高度	0.0041	0.0243

搬送波位相観測値



単位:m/s	平均誤差	標準偏差
緯度	0.0017	0.0014
経度	-0.0011	0.0008
高度	0.0045	0.0041

搬送波位相観測値での速度推定を用いて運航支援システムを構築した。

システム概要(1/6)_RTK通信キット詳細

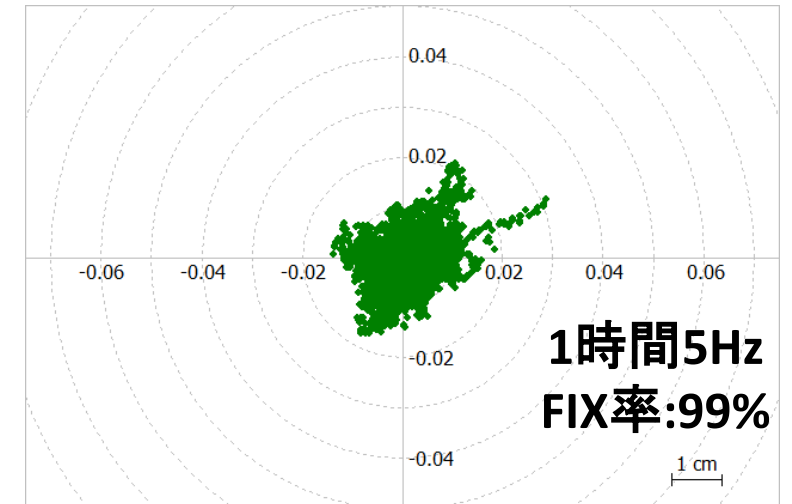
4

- Multi-band GNSS antenna ¥7400
- 低コスト受信機 (ublox社 F9P) ¥27000
- Raspberry pi 3 Model B ¥5000
- CANDY pi **LTE-M** ¥12000
- Micro SD card 16GB ¥700
- Mobile power bank 10000mAh ¥2000
- LTE Data sim (docomo)

¥54100 + sim cost



作成したRTK通信キット



海洋大基準局を用いたRTK測位結果(1時間5Hz)



システム概要(2/6)_岸壁距離

5

船位Pから線AB(点ABが栈橋の端点)へ垂らした垂線の足Cの座標が求める。

緯度をY、経度をXとすると

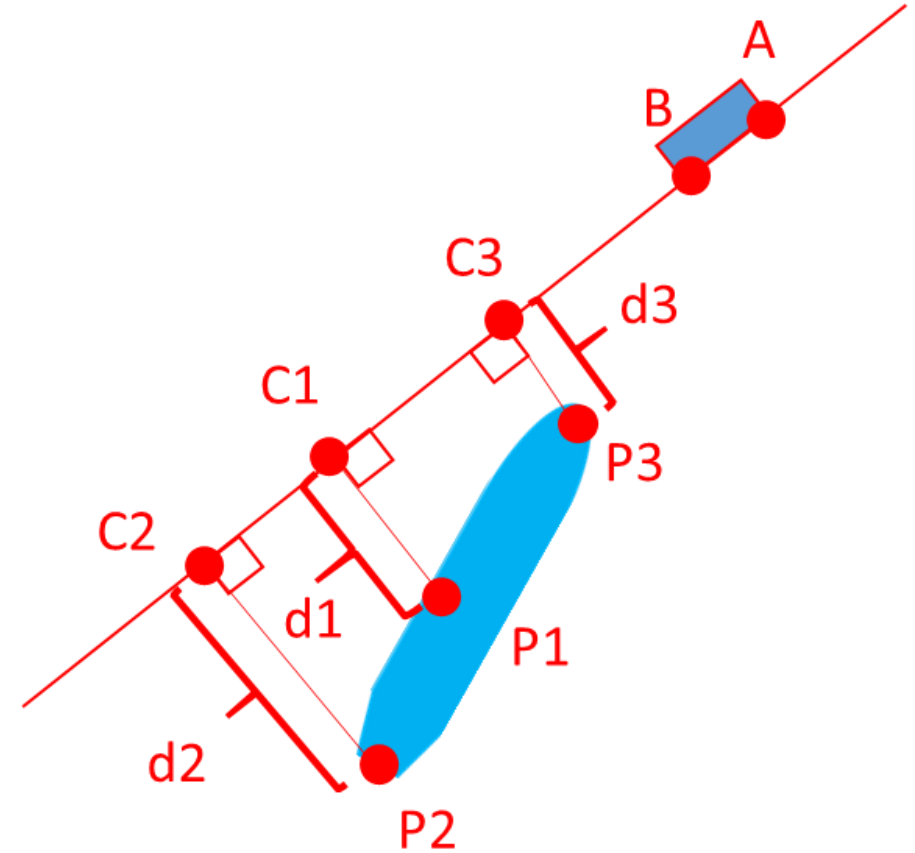
$A(X_A, Y_A)$ 、 $B(X_B, Y_B)$ 、 $P(X_P, Y_P)$

Pに最も近い直線状の座標C (X_C, Y_C)は

$$X_C = \frac{(X_B - X_A)^2 X_P + (Y_B - Y_A)(X_B - X_A)Y_P - (Y_B - Y_A)(X_B Y_A - X_A Y_B)}{(Y_B - Y_A)^2 + (X_B - X_A)^2}$$

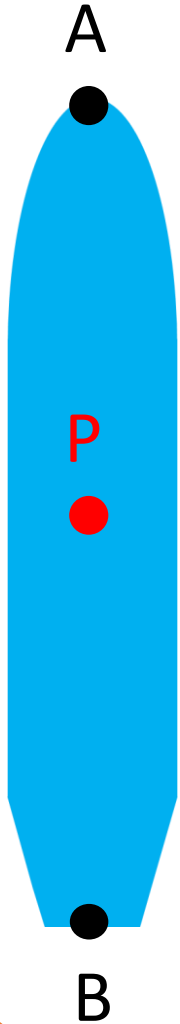
$$Y_C = \frac{(Y_B - Y_A)(X_B - X_A)X_P + (Y_B - Y_A)^2 Y_P + (X_B - X_A)(X_B Y_A - X_A Y_B)}{(Y_B - Y_A)^2 + (X_B - X_A)^2}$$

求めた点Cと船上の点Pの距離dを岸壁距離した。



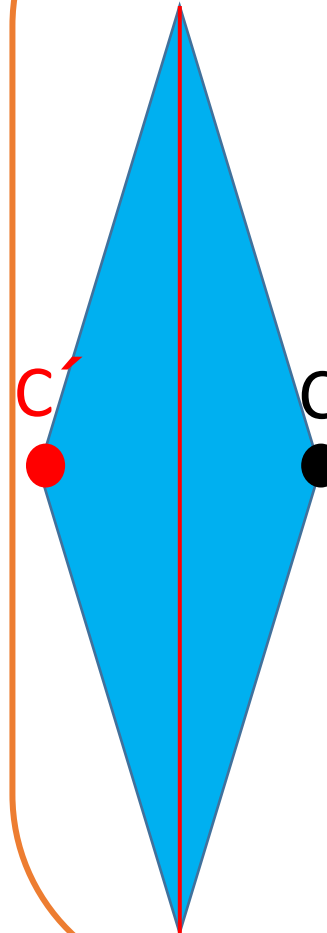
船舶の各部位ごとに距離を得ることで操船難易度を下げられると考えた!

通常モード



- コンパスデッキの一点を表す、ECDIS等と同様の表示。
- 船首方位と位置を参照に表示する。(船首方位は船首尾アンテナ位置のベクトルから、位置は船首尾アンテナ位置の平均から得る。)
- 今回実験では汐路丸の平面図を模した図形を用いる。

詳細モード



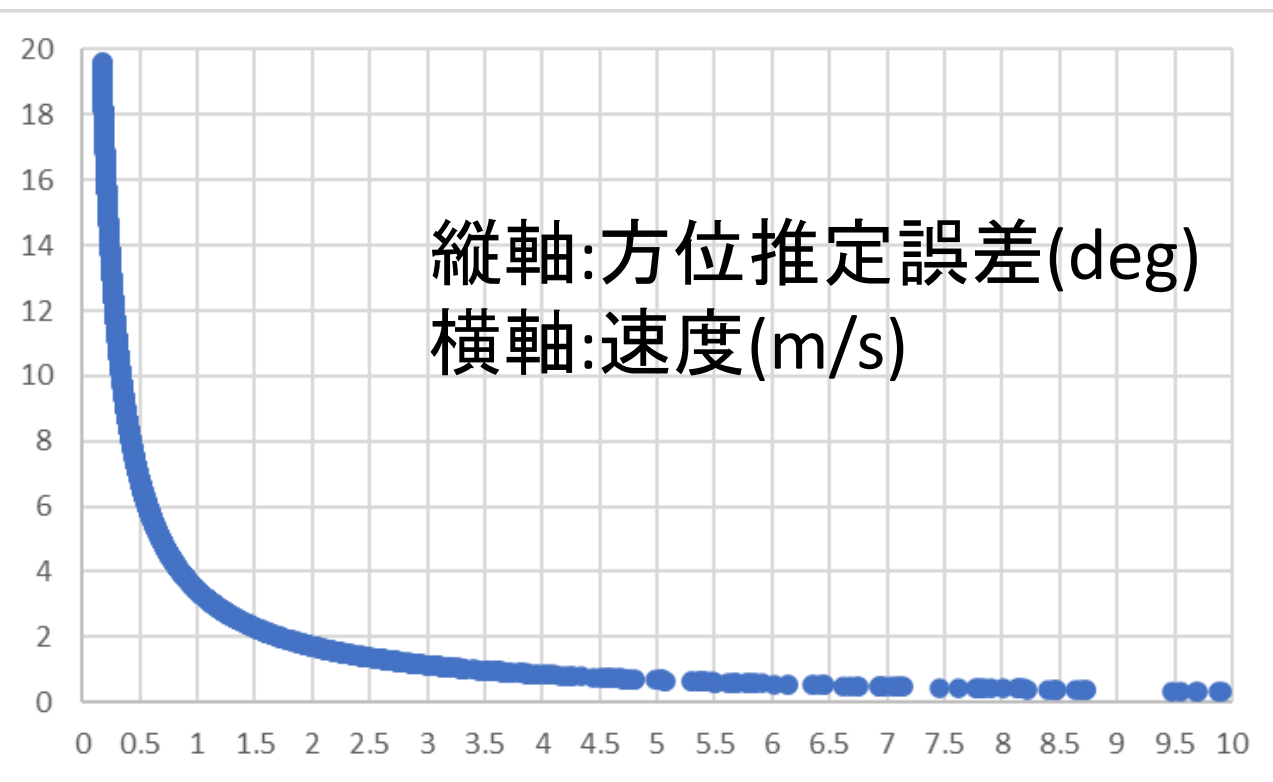
- アンテナをつなげて表示し、船の形をひし形で表した形。(3点の場合は、船首尾線を軸に関して船横の位置を対称移動させて4点目を作成)
- 通常モードでは船の大きさを図面上で相対的に把握することができる。
- 栈橋や物標との関係をより把握できると考える。

システム概要(4/6)_進行方位信頼性

7

- ・ 進行方位は速度が低くなるにつれ精度が劣化する傾向がある。
- ・ 進行方位誤差を推定し、方位の信頼性を考慮してシステムを構築した。

$$f(x) = 180 - (1 + 5.193/700x)^{700x} \times \text{HDOP}$$



x : 水平速度(GNRMICから取得)
HDOP : 水平精度低下率
(GNGGAから取得、測位衛星配置に依存)

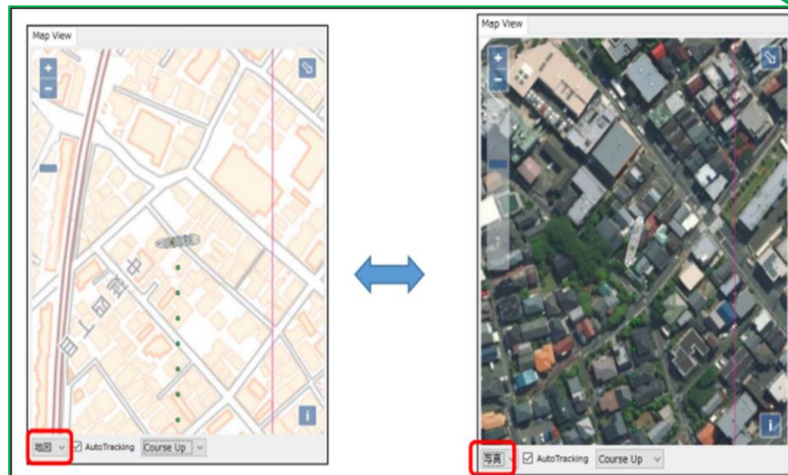
今回実験では進行方位誤差が 15° 以上を示すとき、ディスプレイ上に速度と進行方位を非表示とした。

$$180 - (1 + 5.193/700x)^{700x}$$

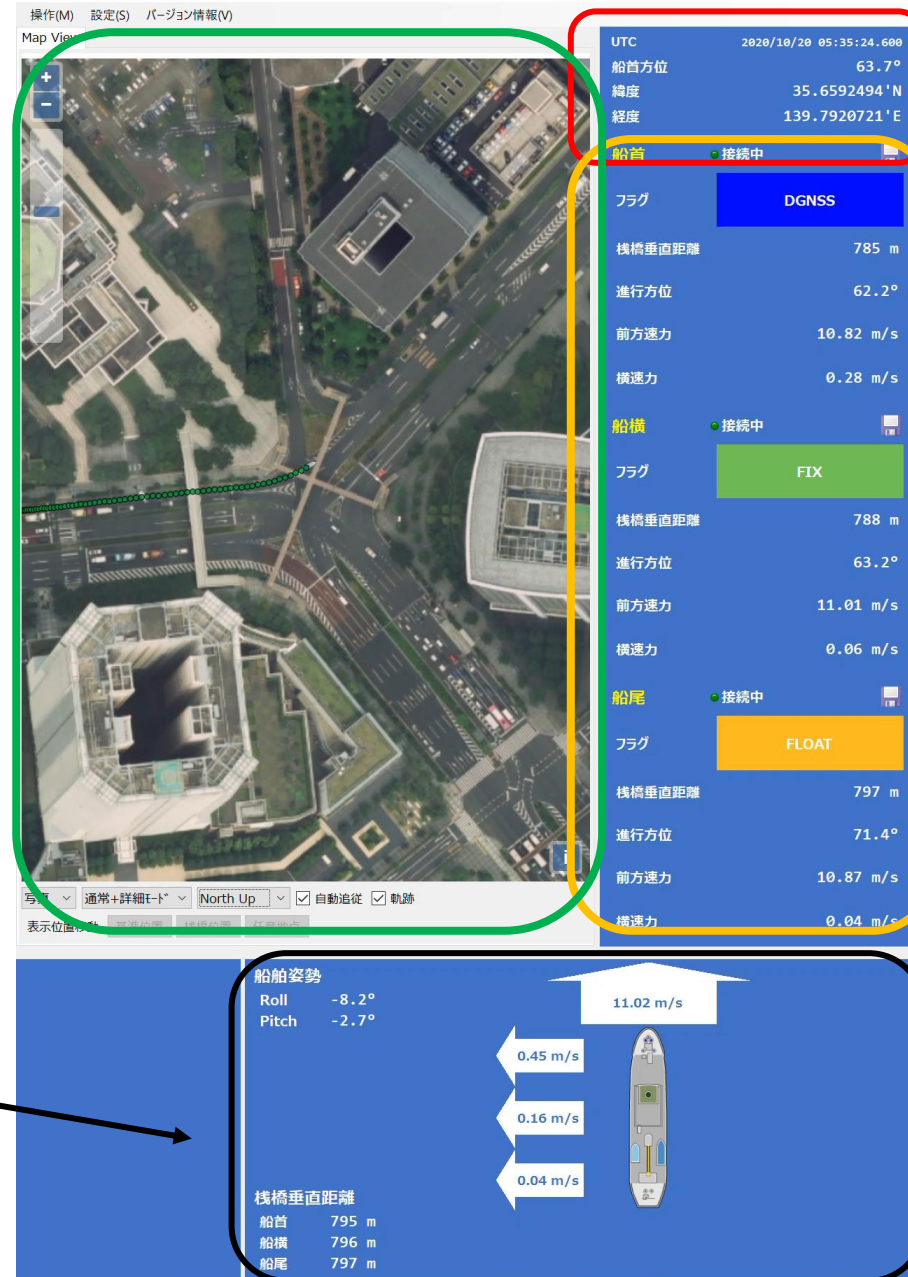
システム概要(5/6)_アプリ外観

8

船舶表示画面



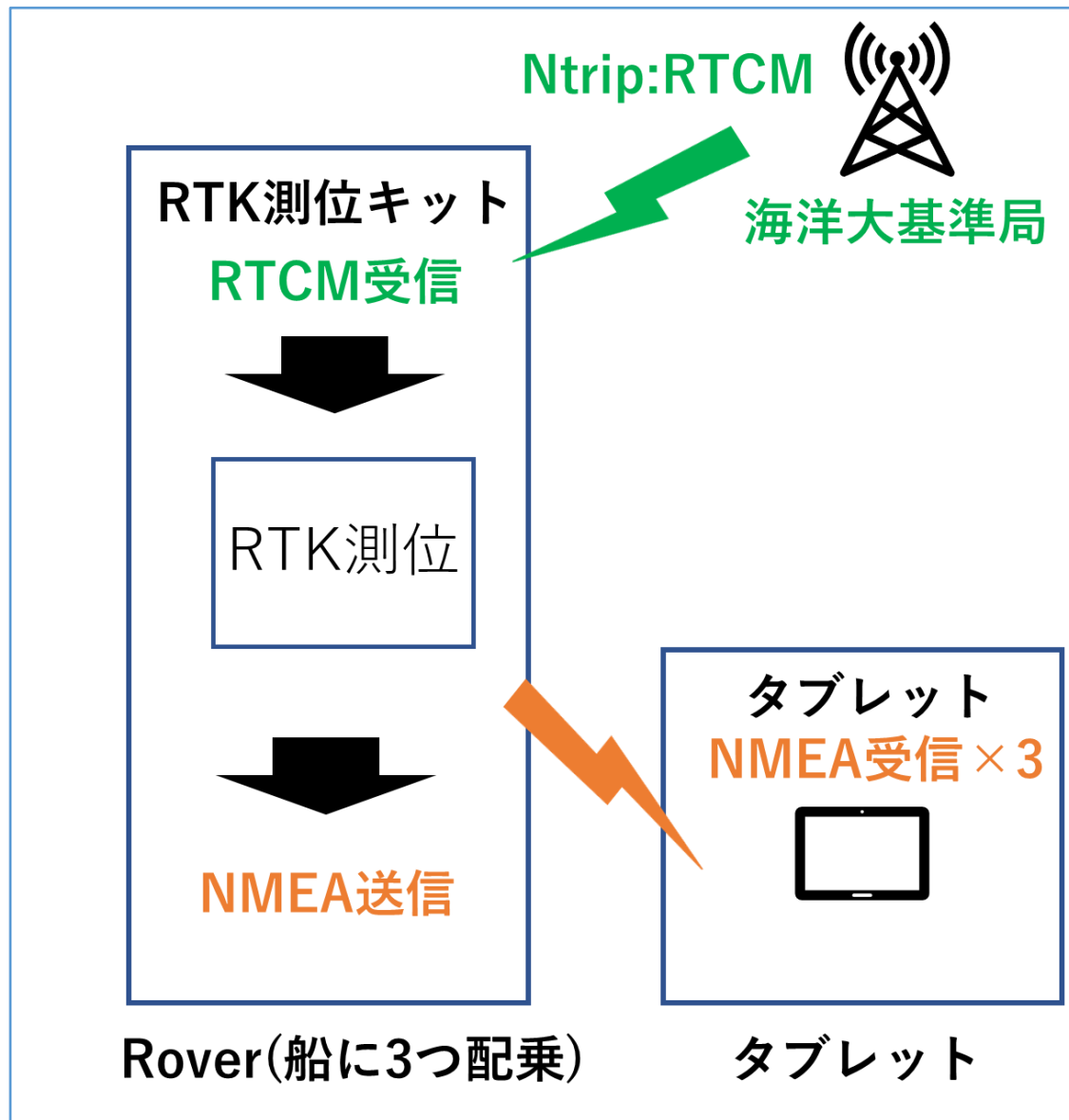
船体の動向



車体実験における
タブレット表示画面

UTC、船位等

各部位ごとの
測位フラグ、
進行方位、
栈橋水平距離、
前速力、横速力



システム構成図

✓ NTRIP:LTE通信を介してデータの送受信を行うプロトコル。

✓ RTCM:RTK測位に必要な基準局のデータの配信フォーマット。

✓ GNGGA:NMEAメッセージの一つで、主に時間や位置が記入されている。

✓ GNRMC:NMEAメッセージの一つで、主に水平速度や進行方位が記入されている。

汐路丸実験(1/3)_実験概要

- 実験航路:
勝どき埠頭～浦賀水道～勝どき埠頭
- 使用機材
RTK通信キット×3
運航支援システム
- 測位時間:
6時間,[5Hz],(2020/10/28 JST1000～1600)



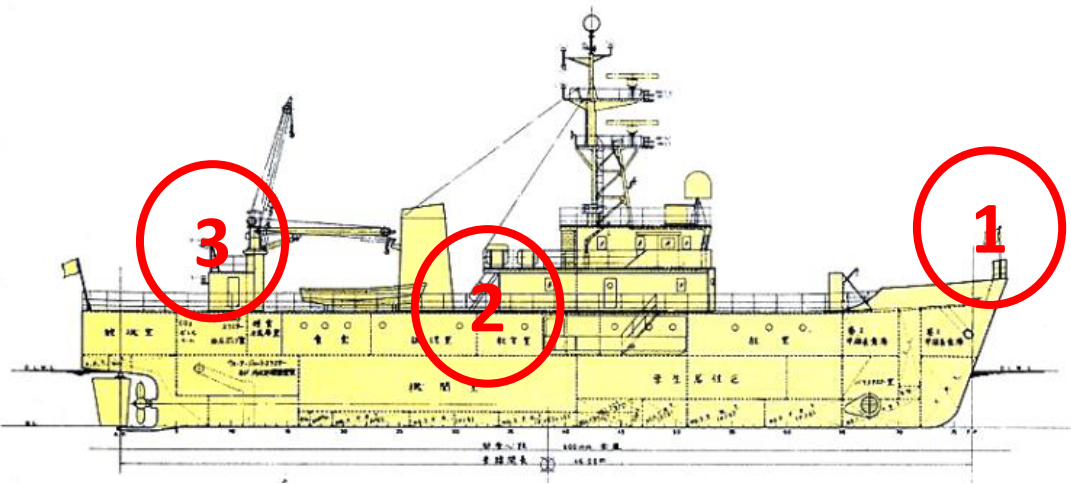
AMOアンテナ



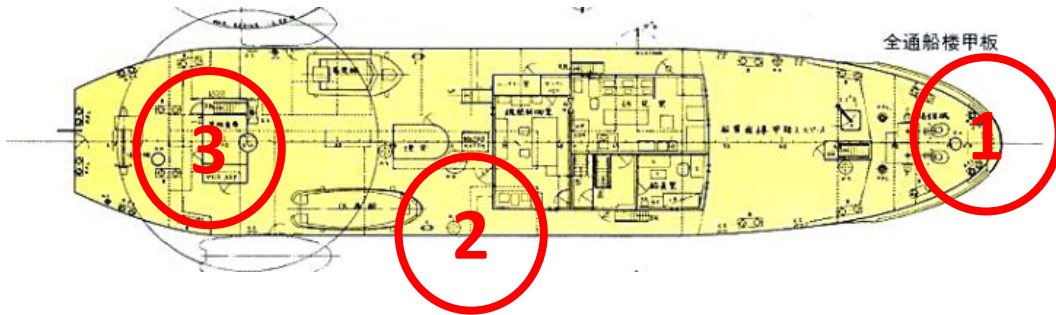
ublox_ZED_F9P



実験航路



汐路丸平面図_アンテナ設置位置



汐路丸実験(3/3)_着栈の様子

- オレンジで示される四角部分は栈橋で、青のひし形で示される部分が船舶。
- 着栈時に回頭していることで横方向にドリフトし、船首と船尾で船体横速度が異なる様子が分かる。
- 航海中安定した測位精度により詳細モードで表示するひし形が大きく崩れなかったことから、実運用においても有用性が期待できる。



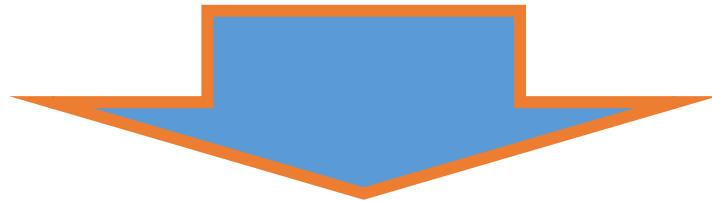
特定位置算出(1/3)_背景

13

船舶にGNSSアンテナを複数置くことで船舶の動向を明細化出来る!!



実際の船舶にアンテナを複数置くことが果たして可能なのか...?



設置ができないなら位置を推定することで補えないか??

船体構造物が電波を妨げる等、船舶衛星測位にとって悪環境であることが多い...



「LNG SAKURA」
KHI LNG(液化天然ガス)運搬船

特定位置算出(2/3)_概要

14

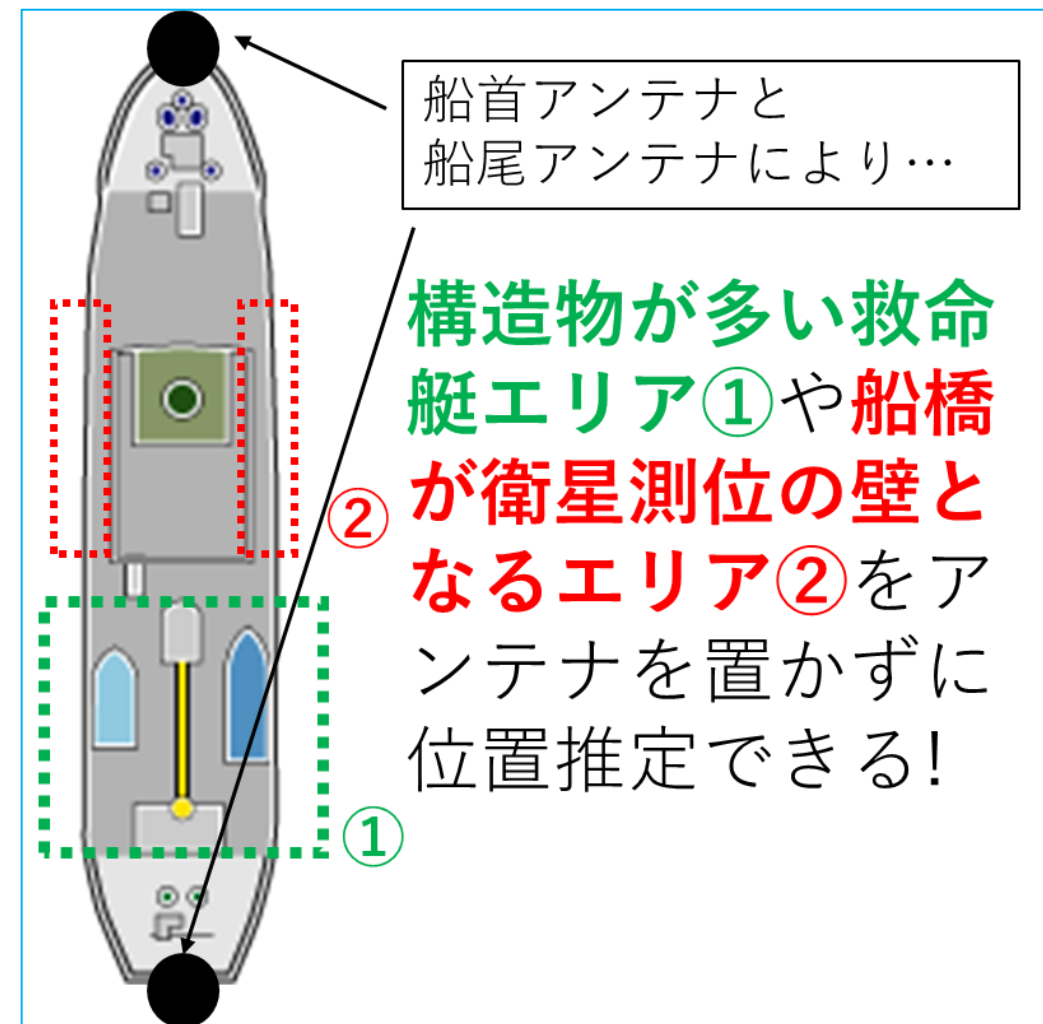
- 船舶において比較的環境が良い船首と船尾にアンテナを置き、それらの測位結果を用いて船舶上の求めたい位置を算出を試みる。
- 必要となるパラメータは以下。

✓ 目的地点と船首、船尾の相対関係(距離、方位) ← 事前に調査

✓ 船首方位と船首尾長
← 船首尾アンテナで取得可能

✓ 船舶の姿勢(*Roll, Pitch*)
← 船首尾アンテナと他のセンサ併用で取得

※海図(平面)上で船舶の形を正確に表すため船体姿勢を考慮する。



汐路丸の船上環境における特定位置算出例

①船首アンテナから目標地点への水平移動距離 L_f は

$$L_f = \sqrt{(d_f \cos(Z_f) \cos(Pitch))^2 + (d_f \sin(Z_f) \cos(Roll))^2}$$

d_f : 目標地点と船首アンテナ間の距離(m)
 Z_f : 目標地点と船首アンテナの成す角度(radian)

② L_f と同様に船首方位から目標地点への水平移動距離 L_a を求める。

③平面における現在の船首尾長 L_m は

$$L_m = L * |\cos(Pitch)|$$

L : 船首尾長(m)

④船首アンテナから目標地点に投影するために移動する方位 D_f は

$$D_f = Z_m + \left[180 - \arccos \left\{ \frac{-(L_a)^2 + (L_f)^2 + (L_m)^2}{2L_f L_m} \right\} \right]$$

Z_m : 現在の船首方位

やよい実験(1/4)_実験概要

- 実験航路:
東京海洋大学～浦安沖～東京海洋大学)
- 使用機材
低コストRTK測位可能GNSS受信機 × 3
低コストGNSSアンテナ × 3
IMU
- 測位時間:
2時間, [5Hz], (2020/11/30 JST1300～1500)



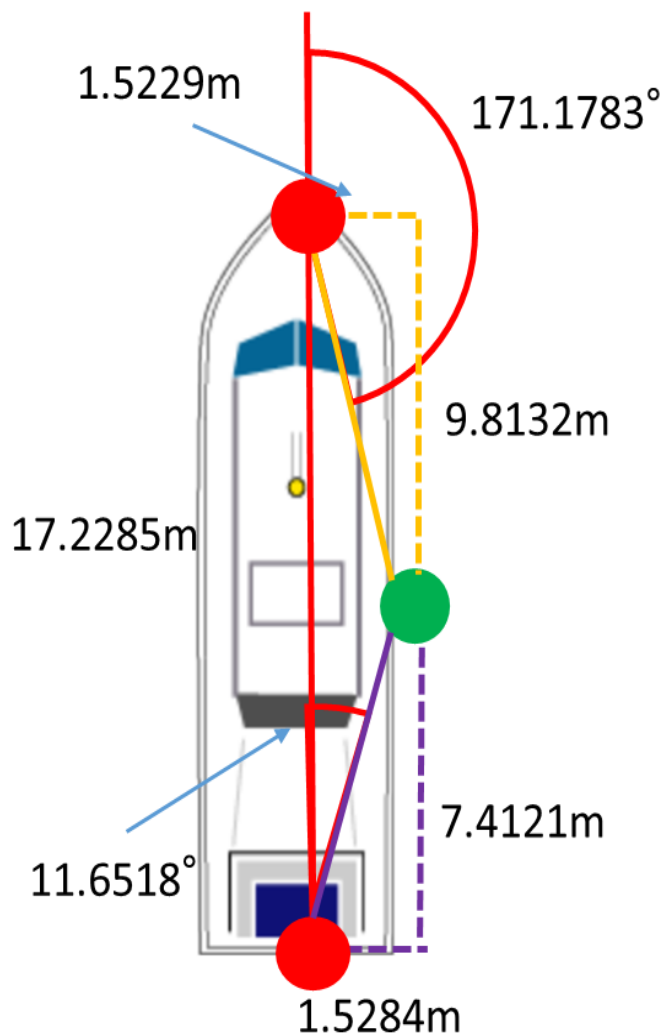
AMOアンテナ



ublox_ZED_F9P



IMU



船首→目的位置

船舶縦向き距離=9.8132(m)

船舶横向き距離=1.5229(m)

角度 = 171.1783°

船尾→目的位置

船舶縦向き距離=7.4121 (m)

船舶横向き距離=1.5284 (m)

角度 = 11.6518°

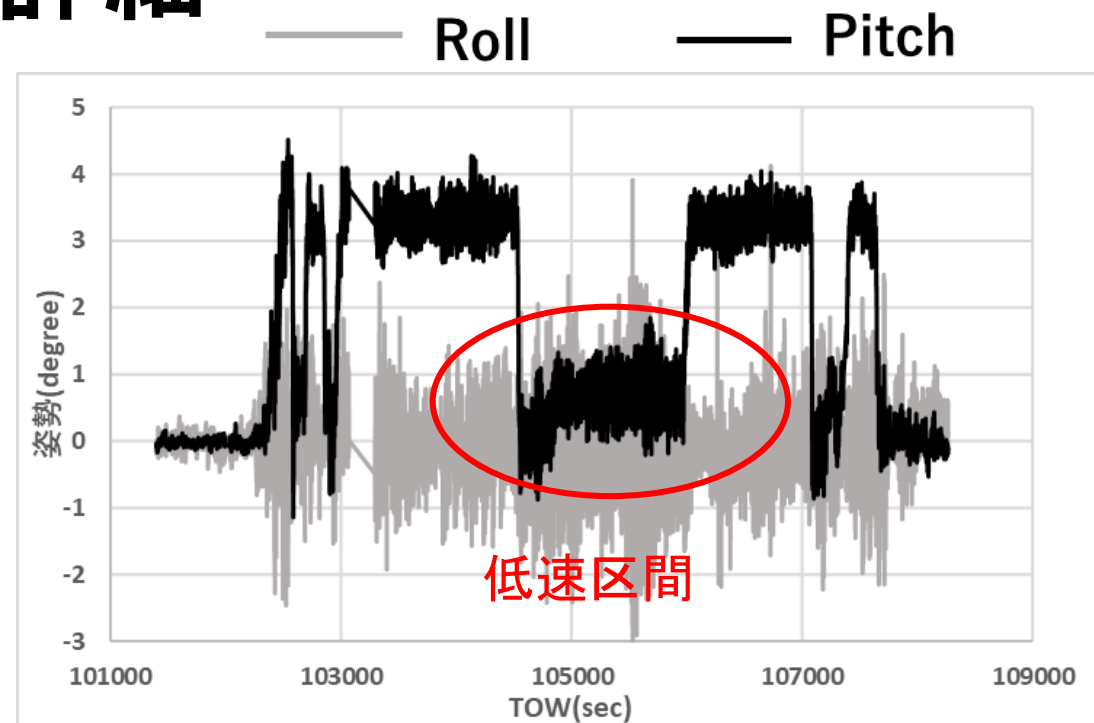
船首→船尾

船首尾線=17.2285m

● : アンテナ位置

● : 目的位置

やよいにおける各アンテナ間の相対関係と船首尾長



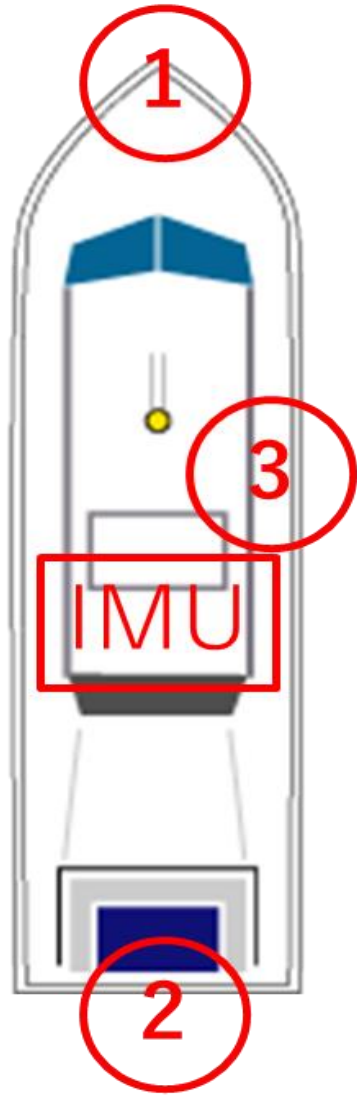
航海中の船舶姿勢

特定位置推定に必要な値は...

- ✓ 特定位置と各アンテナの相対関係
- ✓ 船首尾長 L
- ✓ 現在の船首方位 Z_m
- ✓ 現在の船舶の姿勢($Roll, Pitch$)

やよい実験(3/4)_実験機材配置

18



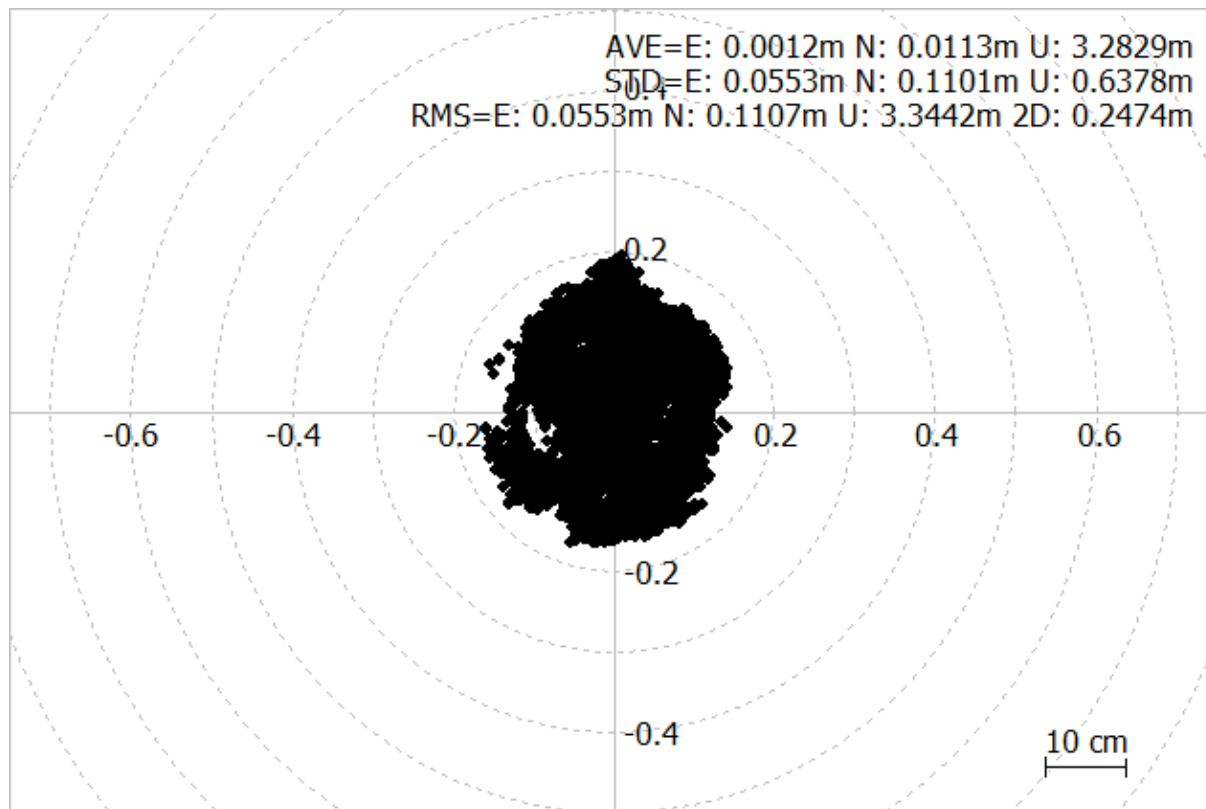
やよい機材設置位置



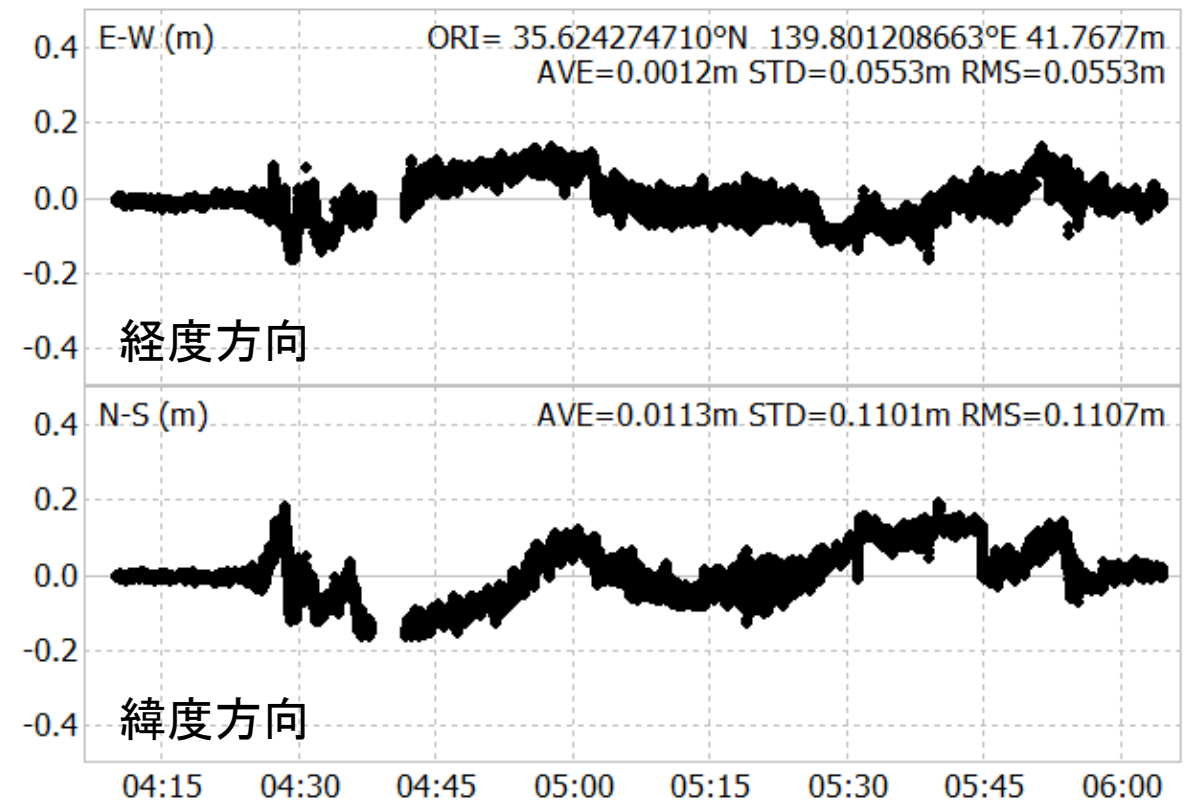
やよい実験(4/4)_実験結果

19

- RTK測位のFIX率が船首: 98.6%、舷側: 97.3%、船尾: 94.4%であり、特定位置算出は91.9%の区間で行った。
- 誤差10cmを超える結果の割合は、約31%であった。
- 平均水平誤差は0.062m、標準偏差は0.047m、95%値は0.137mとなった。



水平プロット図



時系列誤差

- 本稿では、GNSSを用いた船舶の運航支援システムを作成し、その利便性を確認した。着棧時において、船舶の動きをタブレット上で正確に把握することができた。
- GNSSアンテナ設置が困難な船舶に対して船舶の特定位置算出手法を提案した。船首と船尾にGNSSアンテナを設置し、IMU等とあわせて船舶の姿勢を把握することで、高精度で目標位置を算出できることを海上実験での実データとともに示した。
- 棧橋と船舶の位置関係や対地速度の把握は離着棧において重要な要素であり、自動化においても欠かせないものとなると考える。特定位置算出について、自動着棧支援はもとより、現航の船舶においても位置推定の手法が増えるメリットは大きいと考えた。



ご清聴ありがとうございました

