



慣性計測装置を用いた 自律航行に関する研究

2017年12月20日

海事システム工学科4年

餅原 和音

指導教員：久保 信明 准教授

発表の流れ

1.背景

2.目的

3.実験方法

4.実験結果

5.考察

背景

自律船・無人船

コスト削減

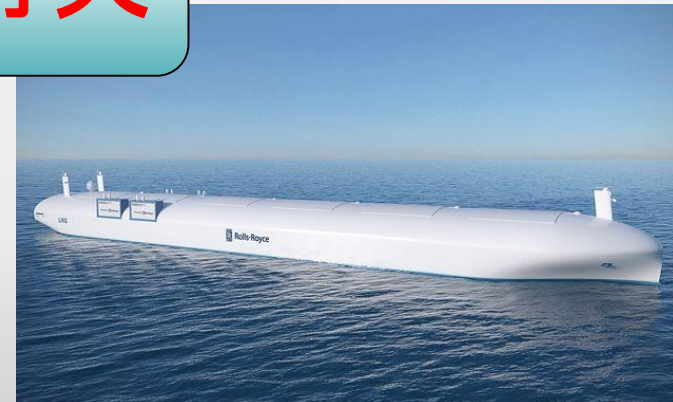
安全性向上

環境負荷軽減

- MUNINプロジェクト
- Rolls-Royce
- 邦船大手企業も開発

センサの高度化が不可欠

- カメラ
- 慣性計測装置
- レーダー
- 気象センサ

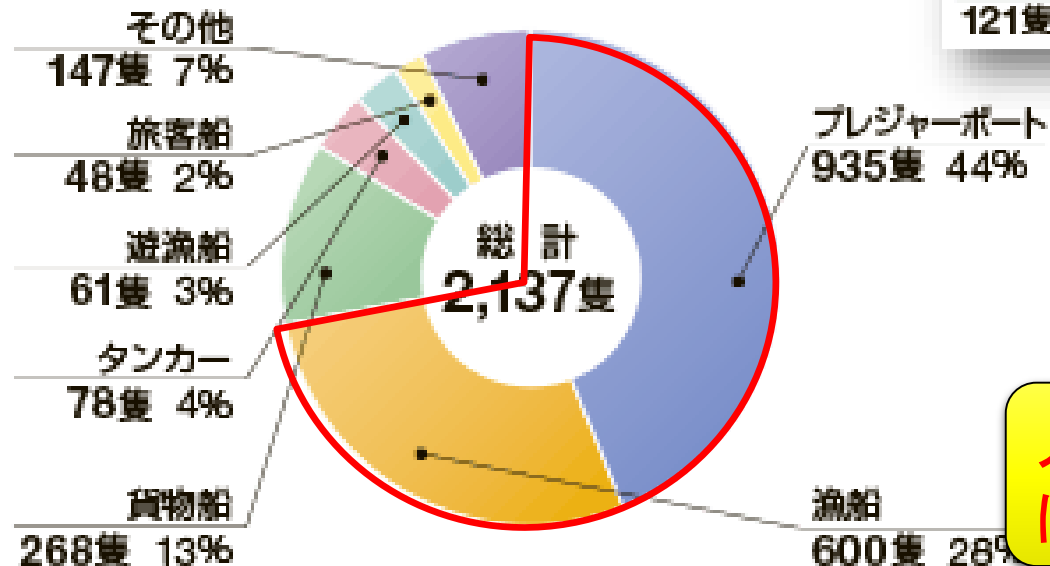
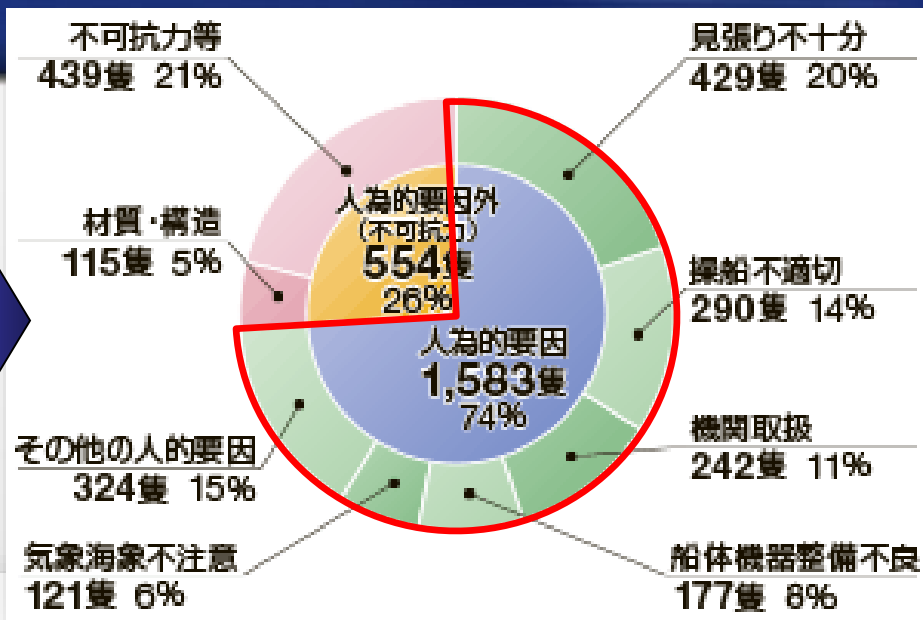


※ロールスロイスHPより引用

背景

船舶の事故の内訳

事故原因の**74%**が人為的要因
事故の**72%**が小型船舶



小型船の**自動化**を提案

人為的要因(ヒューマンエラー)による海難事故の低減

目的

- 船舶の位置情報

GNSS

天測・クロスベアリング等

【問題点】

自律運航における船舶の位置情報は
GNSSに依存

運河や海峡等の狭水道において...

橋梁下等、GNSS測位が
出来ない場所がある。



目的

【問題点】

橋梁下等、GNSS測位が出来ない場所がある。



衛星測位できない間、位置を推定する必要性

解決策1

測位できなくなるまでの
速度ベクトルを利用し測位

解決策2

左記速度ベクトル+センサ
により測位を行う
(Dead Reckoning)

上記2つの方法により、100%測位を実現する。

Dead Reckoning(DR)

【概要】 ジャイロセンサや速度計を用いて位置を推定する手法

◆船舶の主な計器

<船速>

電磁ログ,ドップラーログ,GNSS受信機

<方位>

ジャイロコンパス,GPSコンパス

速度と方位が分かれば
位置を推定することが可能

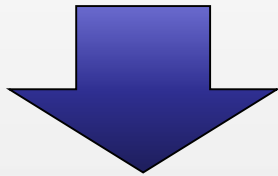
今回利用できるものはGNSS受信機とIMUのみ

橋梁下に入る前(位置を保存)	橋梁下の途中
入る直前の速度	IMUで橋梁下でも速度を計算
入る直前の方位	IMUで橋梁下でも方位を計算

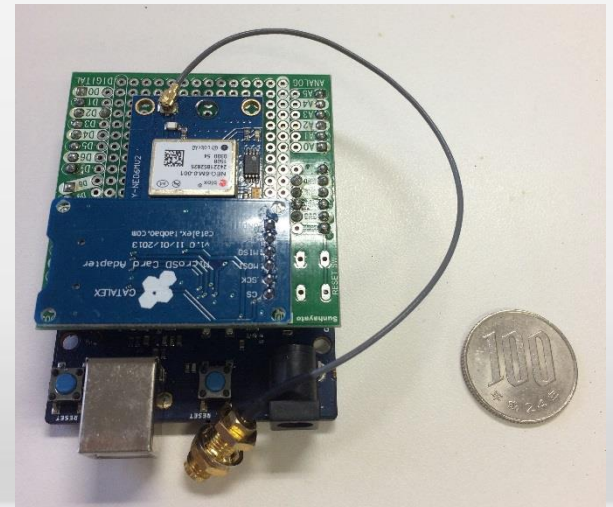
IMU(慣性計測装置)

【概要】

- 3軸の加速度・角加速度を計測するセンサ
- 短時間では精度が良い
- 時間が経つにつれてバイアス誤差が蓄積する



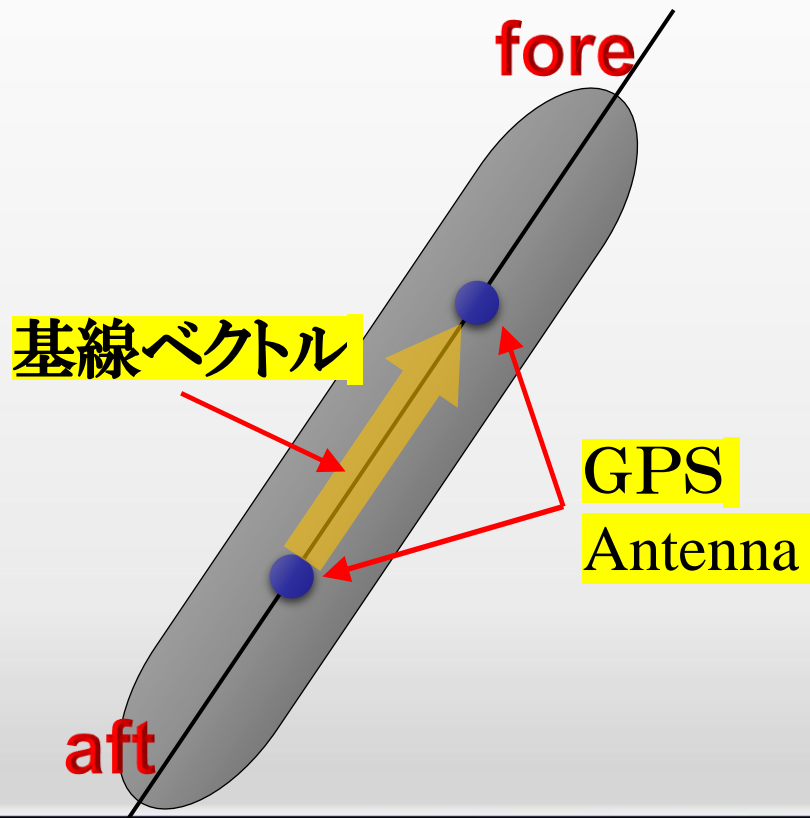
YAW方向の角速度を時間積分することで、
船首方位を算出できる。



※自作したIMU

GPSコンパス

- GNSSで求めた、それぞれのアンテナの相対位置から方位を求める装置
- 基線ベクトルが50~100cmの場合→ $1^{\circ} \sim 0.5^{\circ}$ の精度



船首尾方向に2基のアンテナを設置



実験概要

実験①: IMUの性能試験

IMUを手で動かし、姿勢角・方位角の精度を検証する。

実験②: 船舶の姿勢角の検出 / 低コストDRの精度検証

低コストのGNSS受信機とIMUを用いて、船舶の姿勢角検出と橋梁下でのDead Reckoningの精度評価を行った。

&

実験③: GNSSによる船体の歪み検出

船首尾にアンテナを設置し、船体の歪みを検出する実験

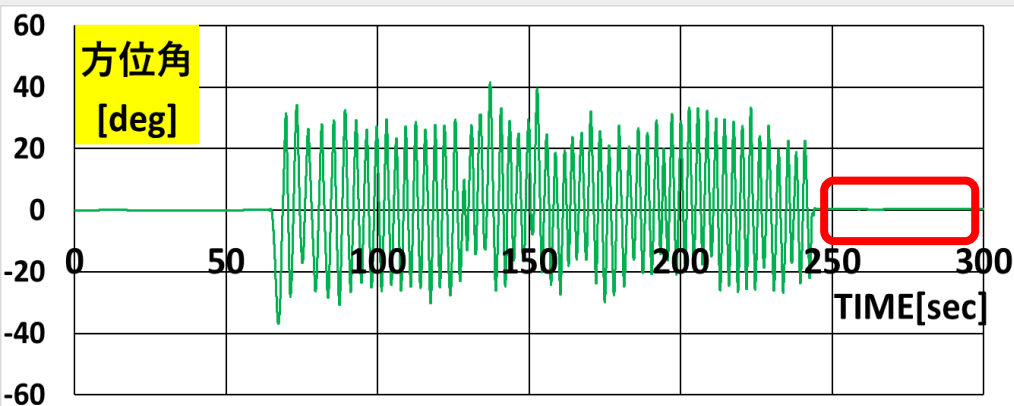
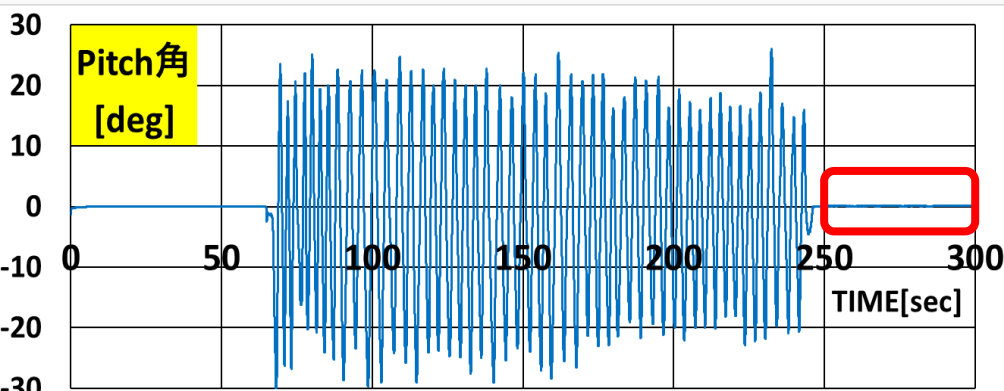
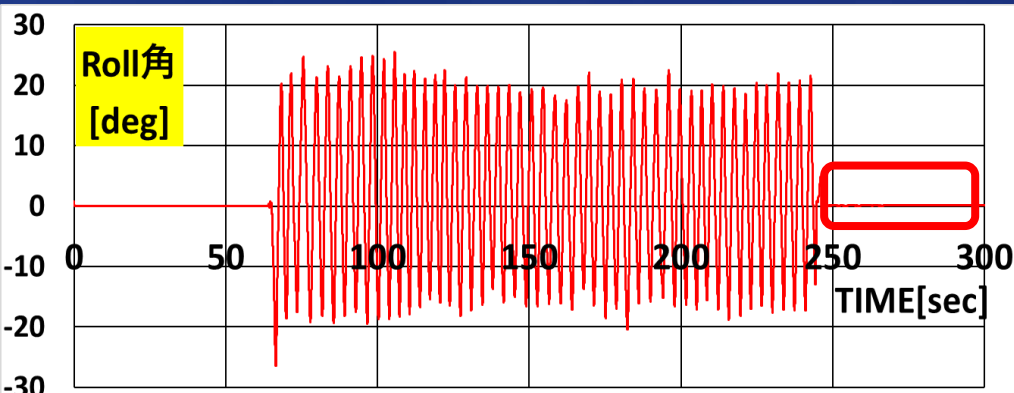
実験①: IMUの性能試験

- IMUを手で動かすことにより姿勢角・方位角の検出を行う。
- Roll角・Pitch角は、オープンソースのプログラムにより、加速度・角速度のカップリングを行って求める。
→ **重力加速度が考慮されることで精度が向上。**
- 方位角は、Yaw方向の角速度を時間積分し求める。

項目	概要
使用機材	東京航空計器製IMU 「CSM-MG100」
取得データ	3軸の加速度・角加速度
データ取得周期	100Hz



実験①: 姿勢角解析結果



実験開始時の姿勢と比較

Roll角・Pitch角

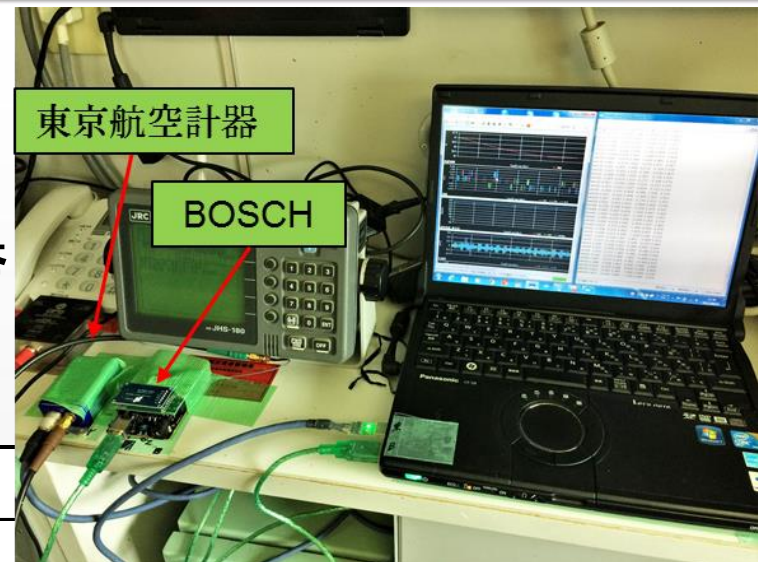
→ 3分間動かした後もずれなし

方位角

→ 3分間動かした後0~1°のずれ

実験②: 概要

- 8月3日の実験航海でデータ取得
- IMU2基、低コストGNSS受信機2基



日時	2017年8月3日 13:00~15:00				
使用船舶	やよい				
航行域	海洋大ポンド~大井ふ頭				
	IMU		GNSS		
	BOSCH	東京航空計器	ublox	Trimble	
使用機器	BMI160	CSM-MG100	M8P	NetR9	SPS855
取得データ	6軸ジャイロ	6軸ジャイロ	GPSコンパス	観測情報	観測情報
取得周期	5Hz	100Hz	5Hz	1Hz	1Hz
使用衛星	GPS	GPS	GPS,QZSS,Beidou	GPS,QZSS,Beidou, GLONASS,Galileo	

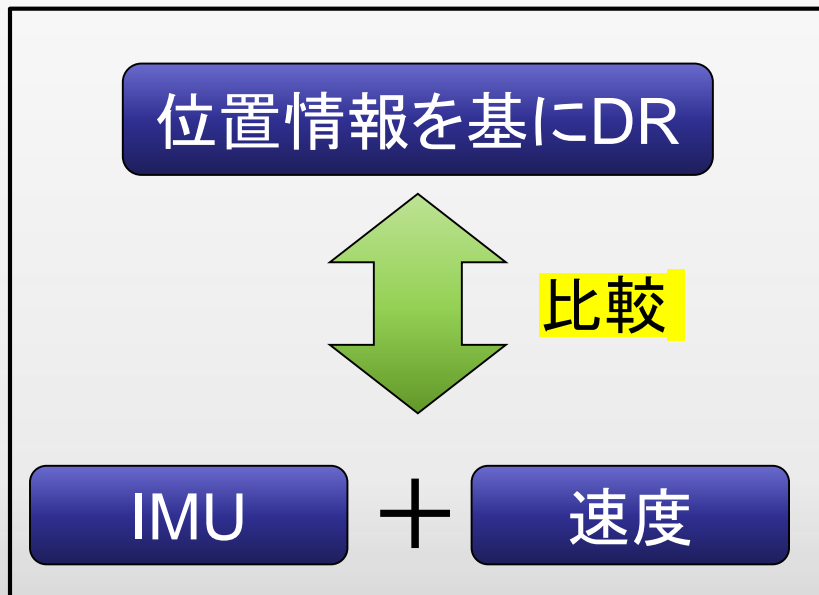
実験②：概要

①【実験①】で用いたプログラムで船体姿勢角を解析

②実験航海で通過した5箇所 of 橋梁下でDRを実施

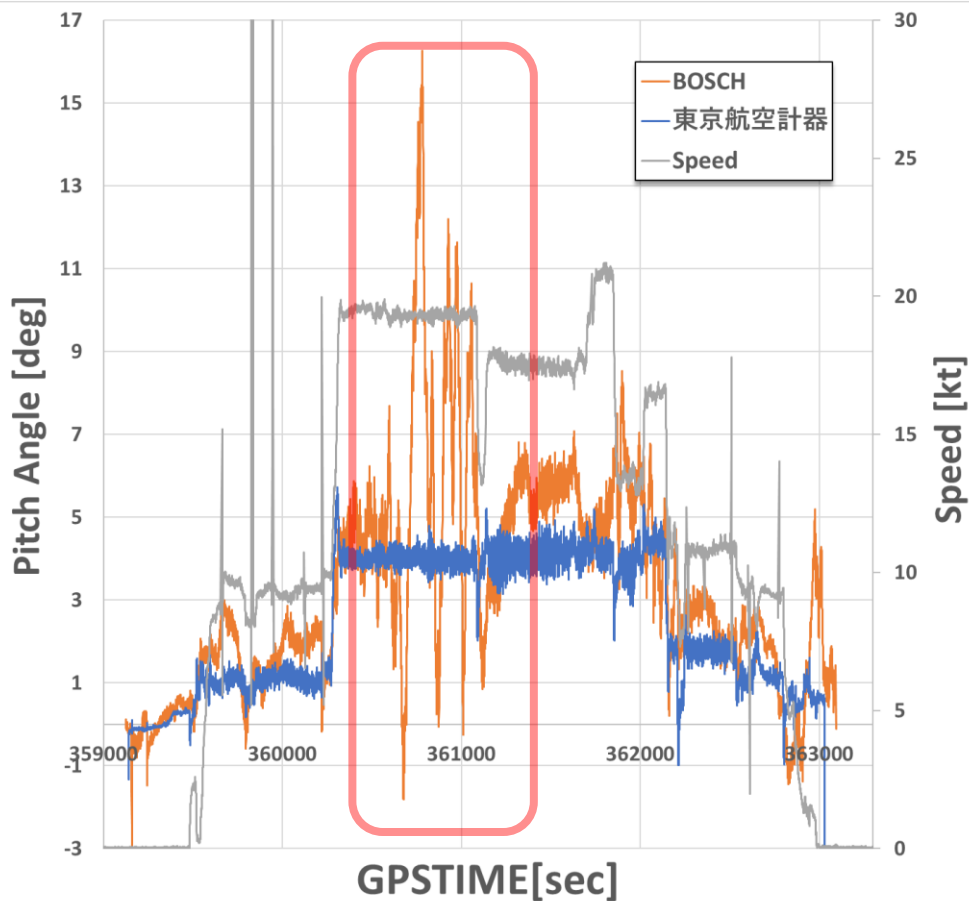
<DR概要>

2基のアンテナによるGPSコンパス

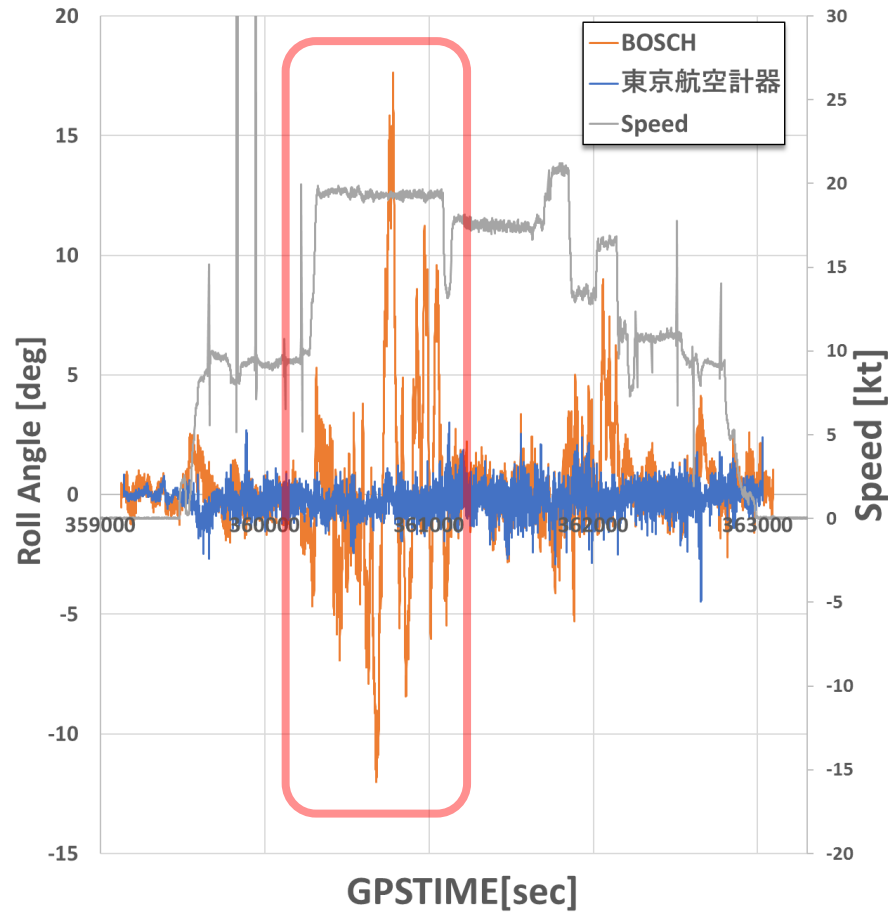


実験②: 船舶の姿勢角検出結果

Pitch角



Roll角

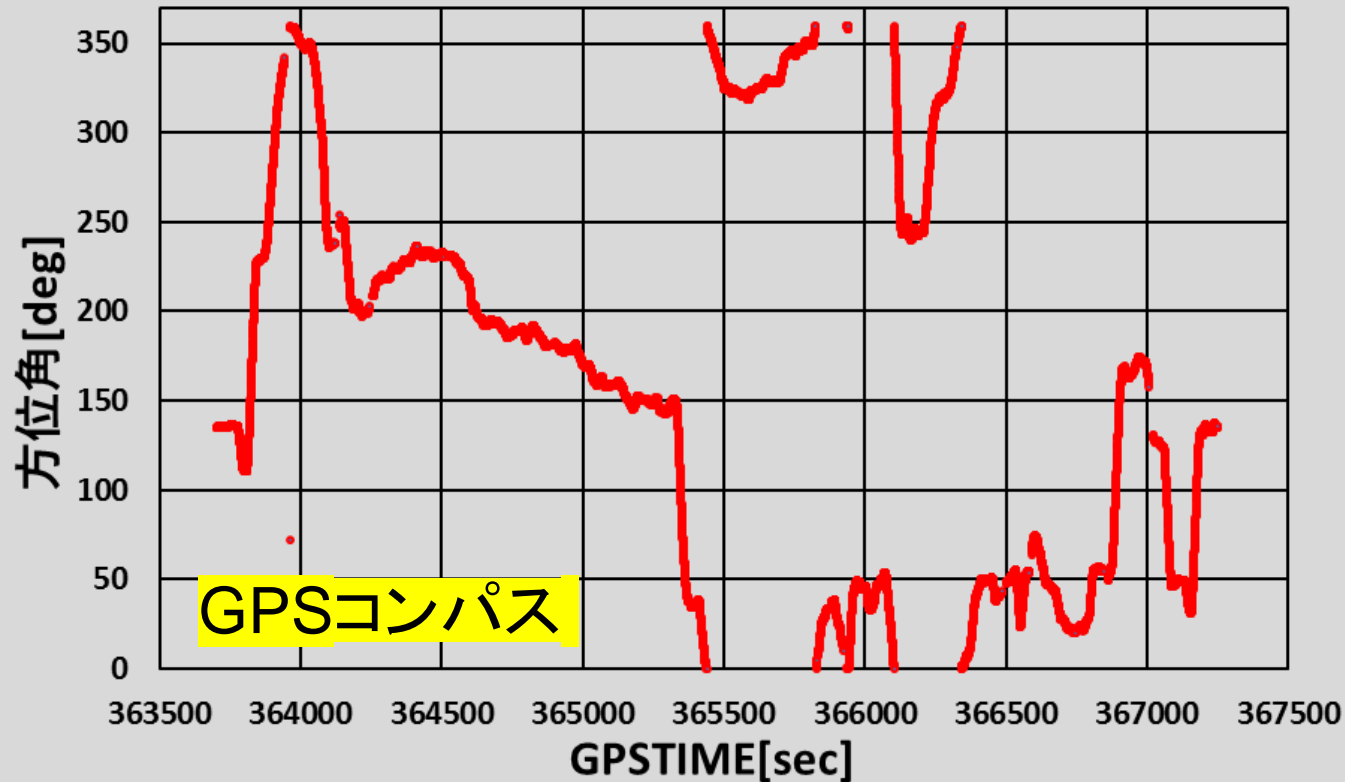


低コストRTKによる測位結果



← **92%**の区間でRTK測位(数cm)

↓ **94%**の区間でGNSSコンパス方位出力

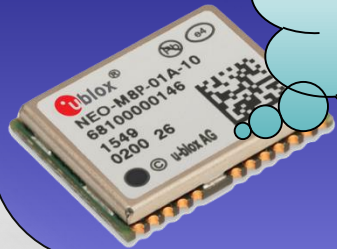


実験②: 低コストでのDR実施

- 安価なGNSS受信機とIMUを利用

Dead Reckoning

低コストGNSS受信機
u-blox M8P



低コストで
RTK測位に
対応

低コストIMU
東京航空計器
CSM-MG100



MEMS式な
ので安価

実験②: DRのアルゴリズム

◆緯度、経度方向の速度を計算。

$$v_{lat} = \frac{l_t - l_{t-1}}{\Delta t} \quad v_{Lon} = \frac{L_t - L_{t-1}}{\Delta t}$$

◆速度を計算。

$$V = \sqrt{v_{lat}^2 + v_{Lon}^2}$$

◆方位角を計算。

$$\theta_t = \theta_{t-1} + \frac{\delta_t + \delta_{t-1}}{2} * \Delta t$$

◆速度ベクトルと方位から位置を計算(DR)

$$\begin{cases} l_t = l_{t-1} + V_{t-1} * \Delta t * \cos \theta_{t-1} \\ L_t = L_{t-1} + V_{t-1} * \Delta t * \sin \theta_{t-1} \end{cases}$$

v_{lat} : 緯度方向速度[m/s]

v_{Lon} : 経度方向速度[m/s]

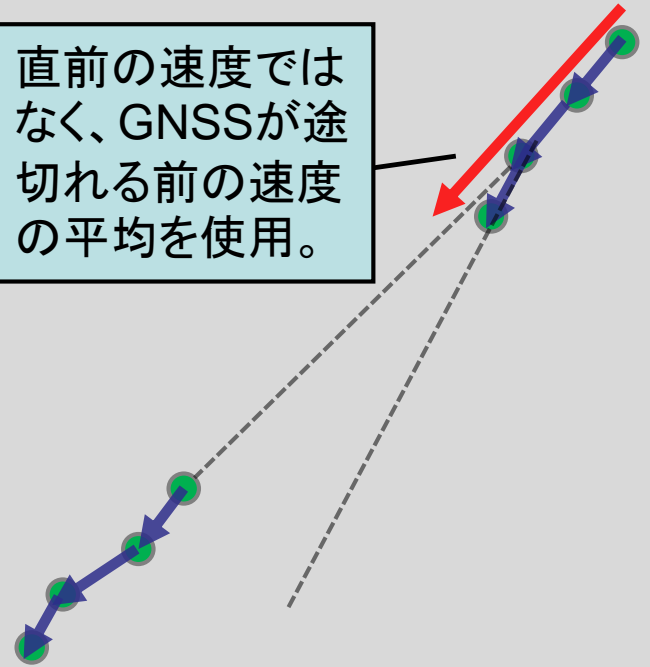
l_t, L_t : 緯度, 経度[m]

V : 速度[m/s]

Δt : 時間差[sec]

θ : 方位角(針路) δ_t : 角速度[deg/s]

直前の速度ではなく、GNSSが途切れる前の速度の平均を使用。

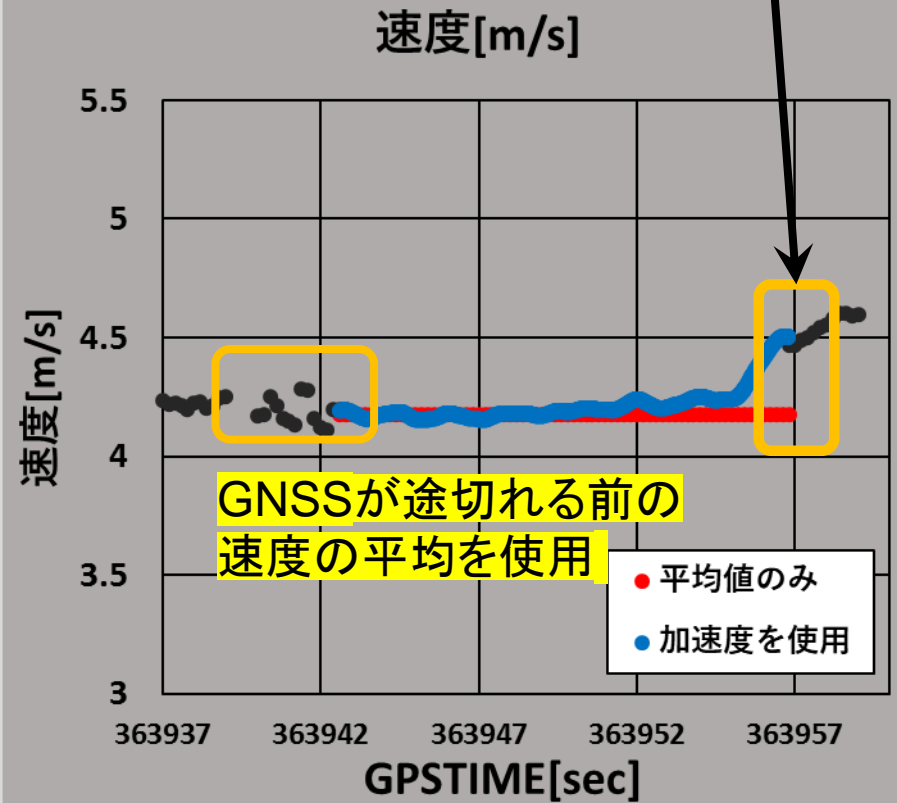
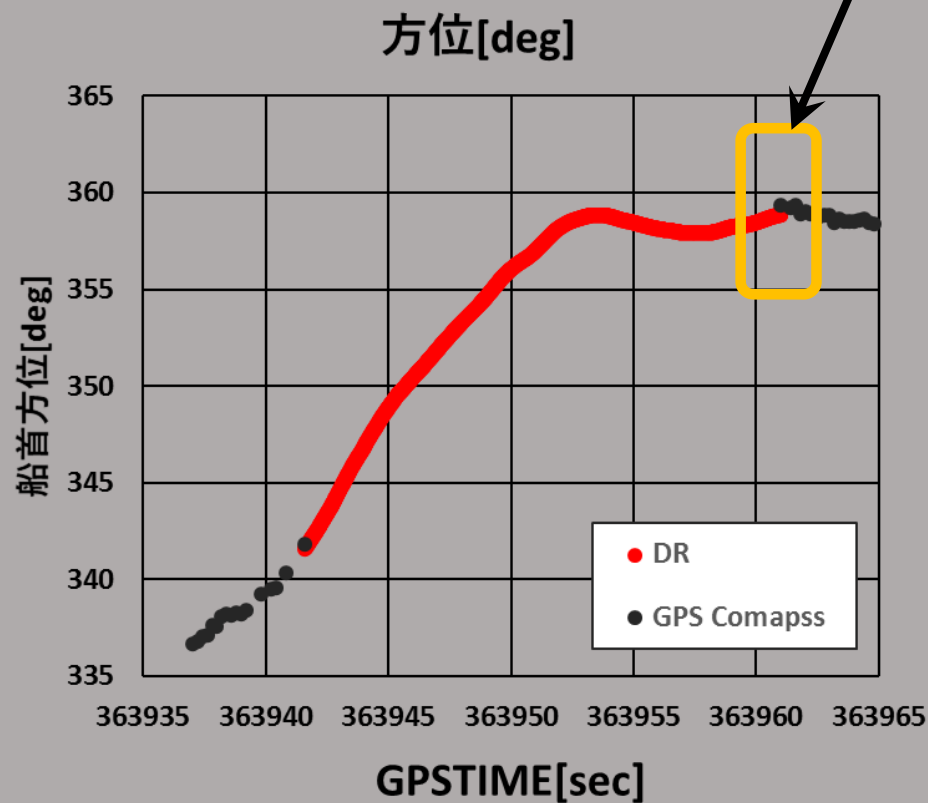


実験②: DR結果

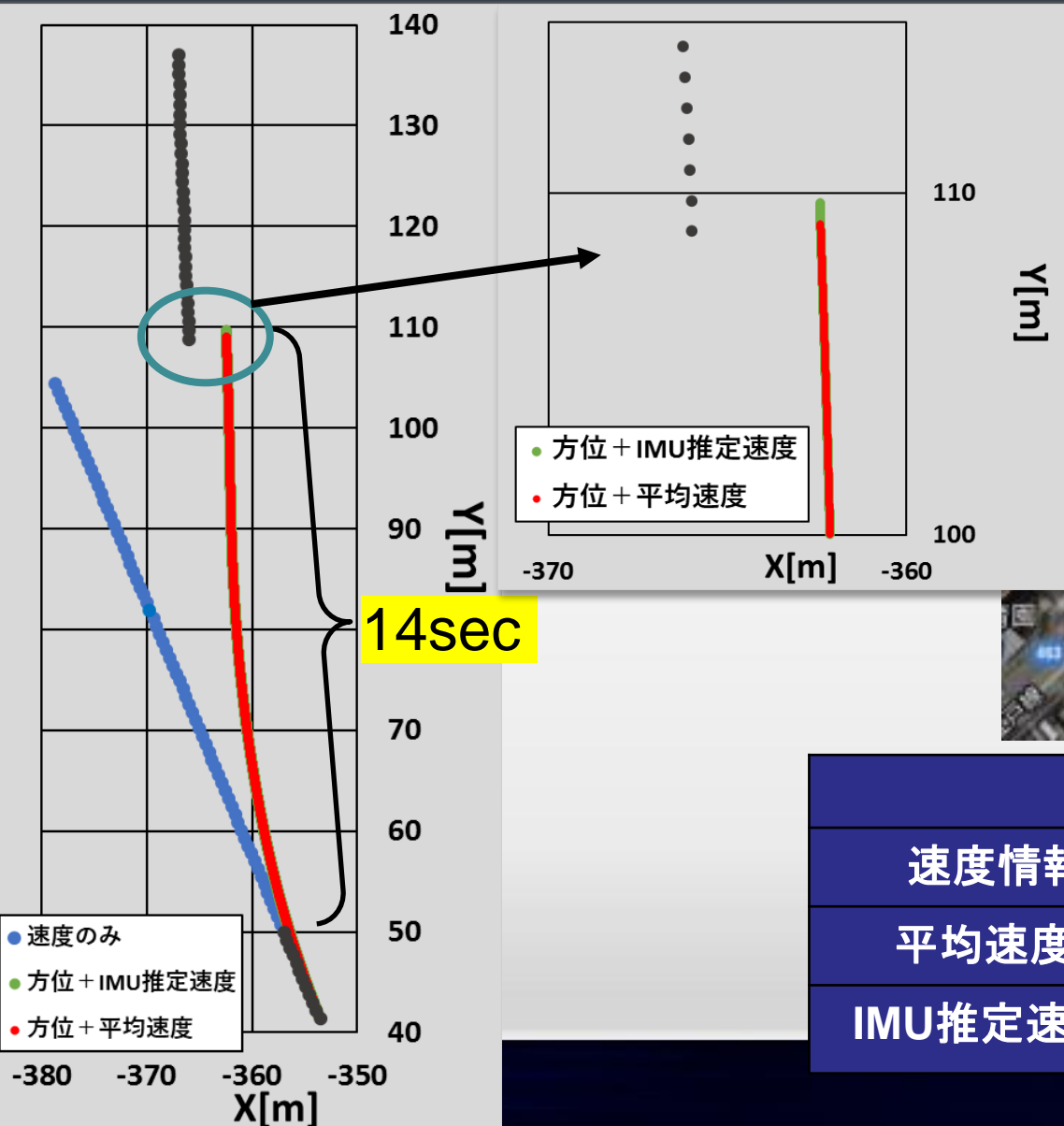
1区間目: 相生橋

0.5°

平均値のみ: 0.3[m/s]
加速度を使用: 0.03[m/s]



実験②: DR結果(航跡)



相生橋



	通過後のずれ[m]
速度情報のみ	13.47
平均速度+方位	3.61
IMU推定速度+方位	3.67

実験②: DR結果 (全区間)

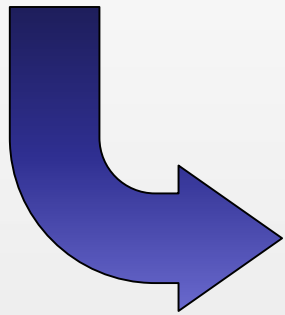
橋梁下通過後の位置のずれ[m]

	1航海目		2航海目	
	速度のみ	速度 + IMU	速度のみ	速度 + IMU
1区間目	15.1	4.2	13.5	3.6
2区間目	0.8	1.3	3.9	2.6
3区間目	4.1	2.3	5.7	0.8
4区間目	0.6	0.8	1.7	0.4
5区間目	3.3	3.1	1.9	1.1
1区間目(戻り)	17.2	3.8	22.0	4.6
2区間目(戻り)	1.5	0.2	3.7	1.1
3区間目(戻り)	1.7	1.1	1.8	2.1
4区間目(戻り)	2.9	2.0	1.8	2.7
5区間目(戻り)	2.1	0.7	3.6	1.9

- 数十m～数m測位精度が向上。
- 変針しつつ橋梁下を航行した場合に違いが顕著

実験②:まとめ

- IMUを用いて船体の姿勢角を検出することが出来た。
- Dead Reckoningを行い、精度を比較することが出来た。

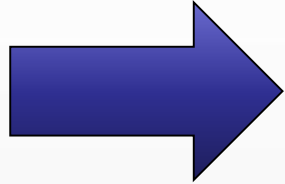


橋梁下を

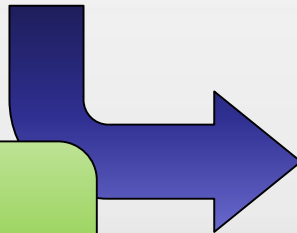
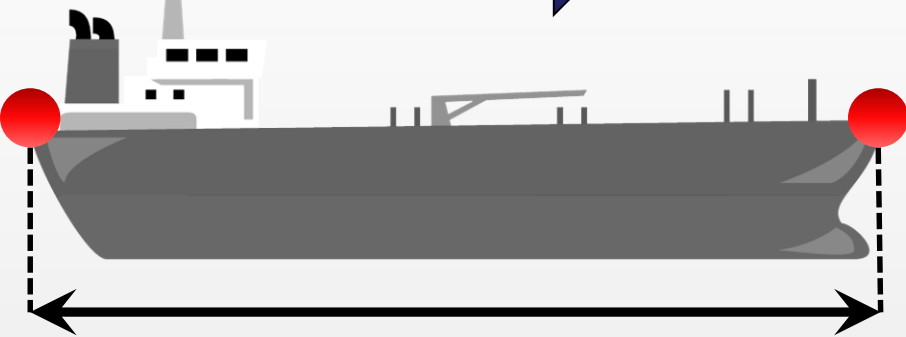
- 一直線に航過した場合は...
→大きな差は見られない
- 曲がりつつ航過した場合は...
→精度が大きく向上した

実験③：船体の歪み検出

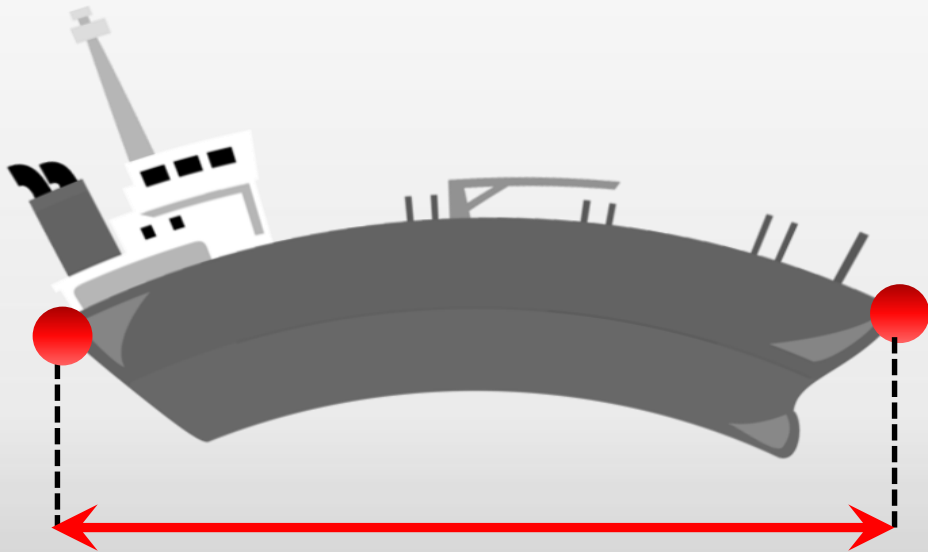
低コストRTK測位により、 $\pm 1\text{cm}$ の精度でアンテナの3次元位置を求められる。



船体の歪みの検出に応用



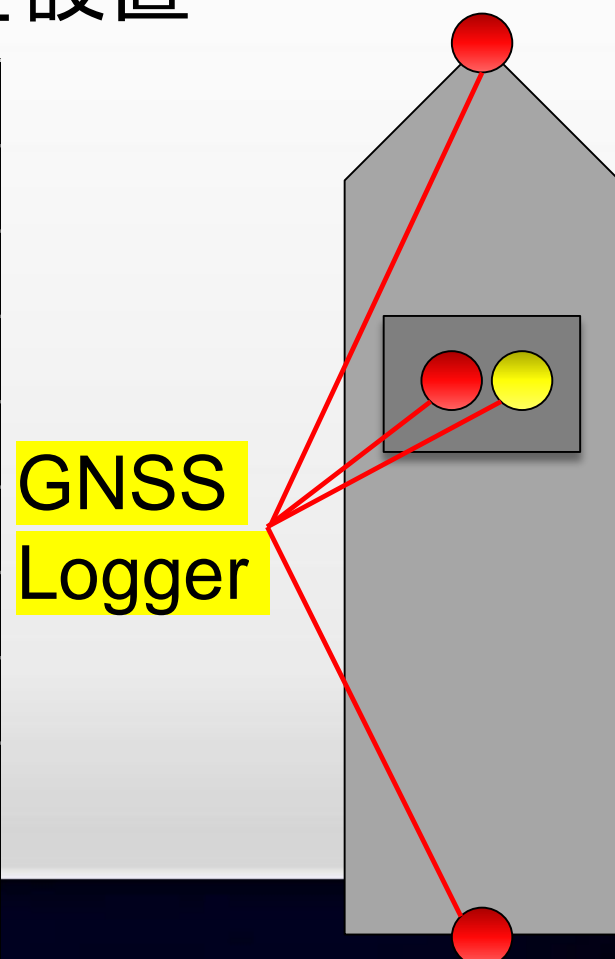
船体が歪むと
アンテナ間の距離が変化



実験③：船体の歪み検出

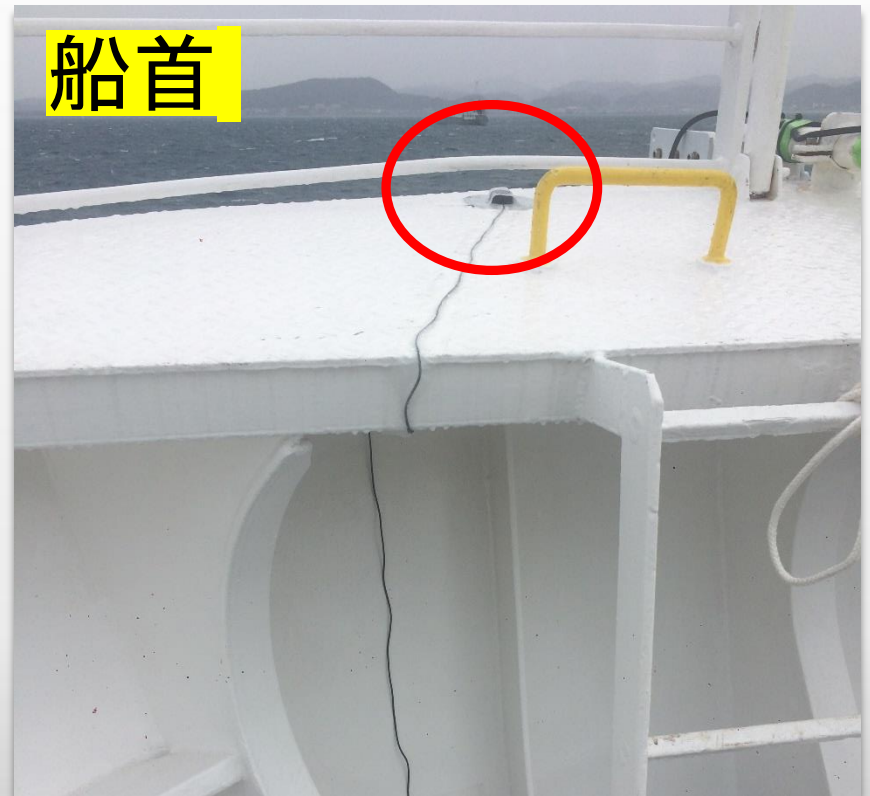
- 10月24日～26日、汐路丸にて実験航海
- 船橋・船首尾にGNSSロガーを設置

日時	2017年10月24日～26日	
使用船舶	汐路丸	
航行域	東京湾～館山湾	
	GNSS	
	ublox	Trimble
使用機器	NEO-M8T	SPS855
取得データ	観測情報	観測情報
取得周期	5 Hz	1 Hz
使用衛星	GPS, Galileo, Beidou, QZSS	GPS, Galileo, Beidou, QZSS, GLONASS



実験③：船体の歪み検出

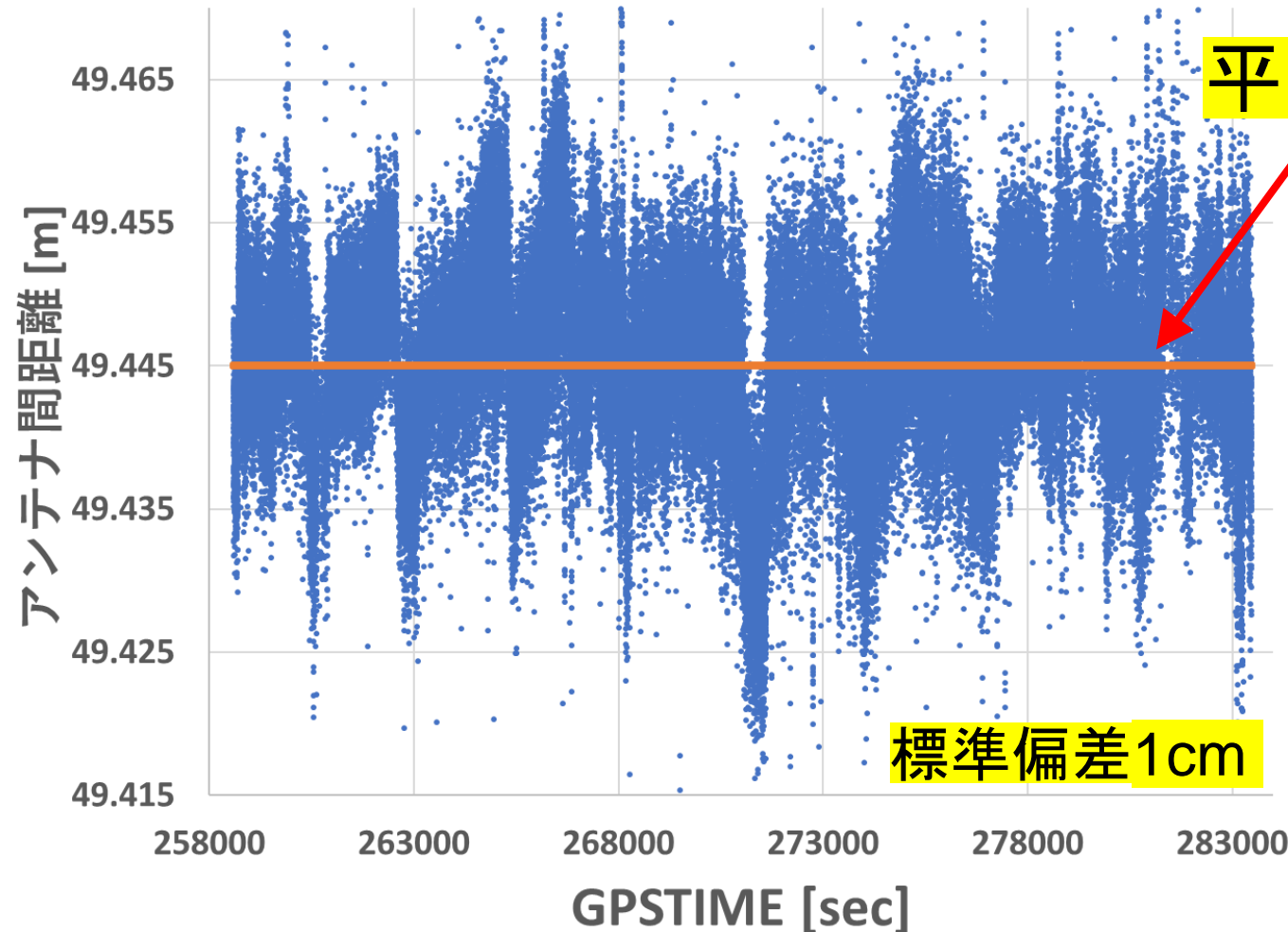
- ・船首尾：Tallysman製パッチアンテナ



実験③：結果

10月25日実験航海

汐路丸の全長は
49.93m



実験③:まとめ

- 船首尾アンテナ間の距離をモニタリングすることに成功した。
- 汐路丸では船の歪みを検出することが出来なかったと考えられる。



※Wikipediaより引用

Thank you For Listening!!



IMUの原理

【MEMS式振動ジャイロ】

コリオリ力を計測することにより角速度を算出する装置。

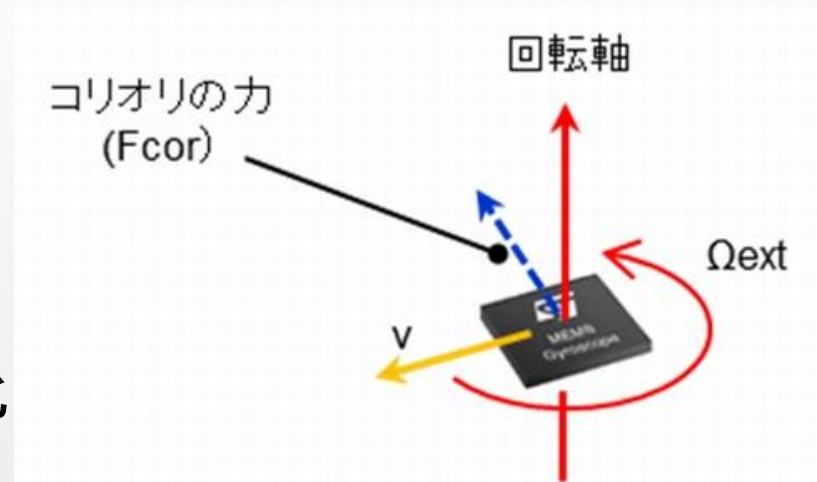
3軸の角速度・角加速度を計測できる。

【原理】

- ① チップを振動させ速度 v を発生させる
- ② 速度 v に対しコリオリ力 F_{cor} が発生
- ③ チップに回転が加わると F_{cor} が変化
- ④ F_{cor} から角速度を逆算し、出力する

$$F_c = -2m\Omega * v$$

F_c : コリオリ力 Ω : 角速度 m : 質量 v : 速度



<http://myenigma.hatenablog.com/entry/2015/11/09/183738>