

船体運動測定装置の開発

高岡 俊輔*・村田 航**・久保 雅義***

Development of Ship Motion Measurement System

Shunsuke Takaoka*, Kou Murata** and Masayosi Kubo***

1. はじめに

地球環境保全を目的とする海洋環境及び海上輸送分野の研究がここ数年めざましい発展をとげている。この研究分野において、著者らは環境対応型港湾と環境対応型船舶の研究を進めて来た。特に環境対応型船舶については、風力というクリーンエネルギーの利用が行える帆装船を対象船舶として広範な基礎調査の結果⁽¹⁾⁽²⁾を踏まえ、来るべき時代に対応できる帆装船の制御法やその制御による船体運動をコンピュータによるシミュレーションで表現⁽³⁾⁻⁽⁶⁾できるまでに進展させてきた。研究の進展に伴い、現在までに開発してきたシミュレーションとの比較に実船での正確な実測データが不可欠のものとなっていた。このような折、神戸商船大学、弓削商船高等専門学校、三井造船とで船体の運動を精密に測定できる装置の開発を行う機会が得られ、その装置による測定実験をすることができたので、ここに装置開発の概要とテストラン的に行った実験の状況を報告する。

2. システム設計の要件

2.1 基本条件

今回開発したシステムは、洋上において船舶の運動（重心周りの6自由度の運動）を非常に正確な位置で、さらに従来の装置よりもより高精度に測定できることを目標に設計を行った。

本システムの基本設計のコンセプトは以下に示す条件とした。

- (1) 波浪周期約4秒～120秒の波浪中で、対地速力30ノット以下で航走中の船舶の動揺、船首方位及び船位の計測が精度良く測定できること
- (2) 小型船は元よりあらゆる船舶の船体運動を測定できること

- (3) 装置は船舶への取り付けが簡単である可搬式のコンパクトなシステムであること
- (4) 船体運動等においては、船位及び重心回りの6自由度の運動が正確に時間同期が取れて計測できること
- (5) 計測時に全計測データの波形概要等の表示ができ、かつデータを時系列でテキスト収録できること
- (6) 可能な限り維持費の必要のないシステムであること

2.2 システム構築に関する検討

先に述べた基本条件を満たすシステムの検討を行ったところ、次の2案が捻出された。

- (1) Seapath 200採用システム
- (2) RTK 採用システム

Seapath 200採用システムは図1に示したシステムであり、その中で取り出されるデータの流は図2に示す。このシステムは船首方位検出部と位置/速力検出部及び船体運動検出部の3つの部分に分かれており、船首方位検出は2個のGPSアンテナによるキネマチック測定方式で計測、位置及び速力情報はDGPS方式、ヒープ、ロール、ピッチ等の船体運動の検出はサーボ式加速度計と光

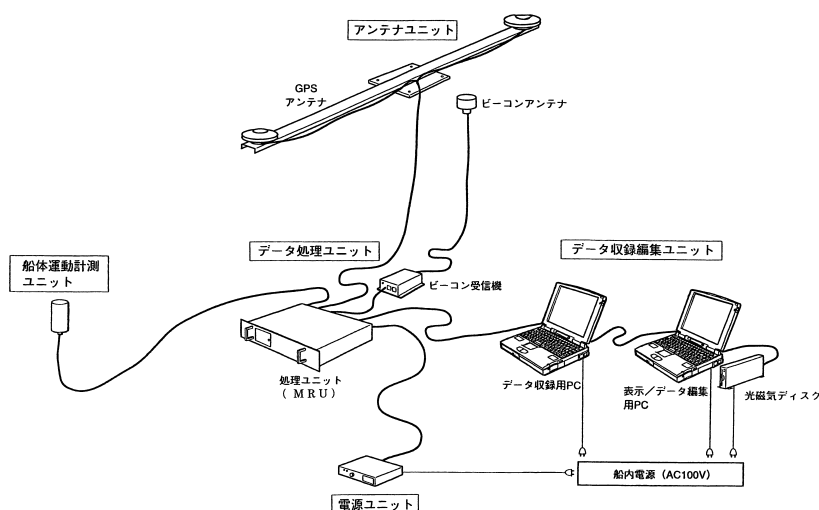


図1 シーパス200採用システムの構成

* 商船学科

** 三井造船株式会社

*** 神戸商船大学

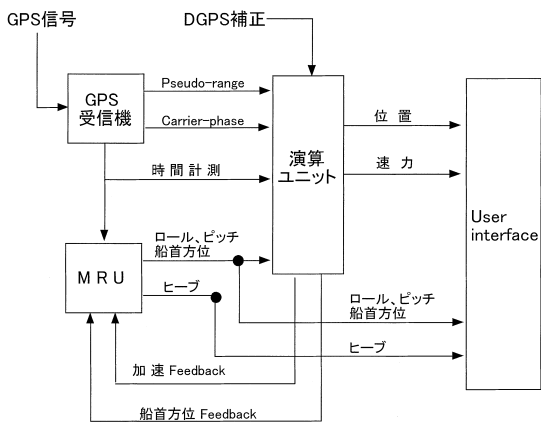


図2 シーパス200のデータフロー

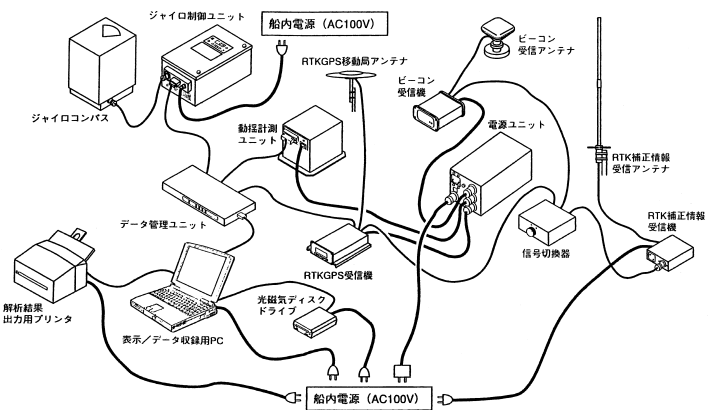


図3 RTK 採用システム (船舶側ユニット) の構成

ファイバージャイロを内蔵した MRU (Motion Reference Unit) と呼ばれる装置で計測されるシステムである。特徴としてはヒープ及び船首方位の検出の精度 (0.05°) が高いことや計測周期が非常に高速 (0.01秒) でおこなえる点である。

これに対し, RTK 採用システムは船舶側と陸上側とのユニットから成り, 図3及び図4に示すシステムである。計測装置部分においては, 動揺計測部, ジャイロコンパス部に加え, 非常に高精度な測位位置センサーである RTKGPS を用いて船体の運動を計測できるシステムである。

両者を比較すると, 前述した必要条件は両方とも満たしており, 検出する項目で多少精度が異なる程度で全体的な精度はほとんど変わらない。しかし, Seapath 200採用システムは船への設置時にジャイロコンパスとの比較校正が厄介なことやアンテナ部の取り付け精度が計測精度に大きく影響することから設置業者が必要となり, セットアップに約8時間を要する欠点がある。また, RTK採用システムは陸上局の設置及び人員が必要となるため, 船単体での計測ができないという欠点を持っている。

この両者の得失を考え合わせた場合, Seapath 200採用システムは定時運行されている船への設置に長時間を要するという致命傷ともいべき欠点が判明したため, このシステムの採用を断念し RTK 採用システムで構築することとした。

3. 装置の概要

3.1 装置の構成

本装置は図3, 図4に示したように, 「船上側ユニット」と「陸上側ユニット」とに分かれている。このユニット間でのデータ計測及び収録の信号系統を図5に示す。また, データ解析時に関する信号系統は図6となっており, RS232C を介して PC (Personal Computer) 及び光磁気ディスク間でやり取りができると共に光磁気ディスクに全データをテキストファイル形式で保存できるよ

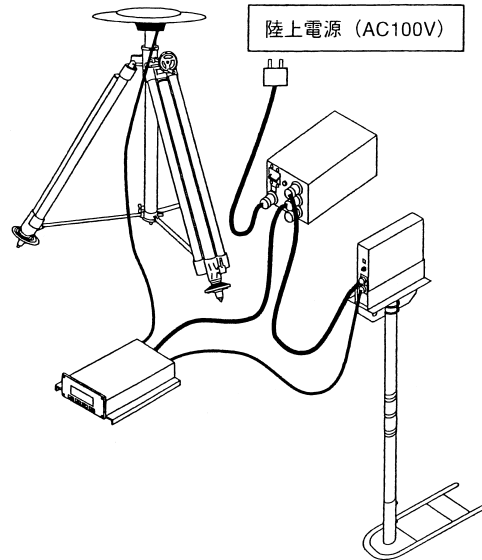


図4 RTK 採用システム (陸上側ユニット) の構成

表1 各装置の単体性能

要素名	レンジ	分解能	精度 (1σ)
3軸角速度	±100度/秒	0.4度/秒	±3% + 1度/秒
角度	±45度 (ロール・ピッチ)	0.1度	±0.2度
	0~360度 (絶対方位角)		±0.5度
3軸加速度	±2G	0.01G	±0.02G
移動速度	30ノット以下		
変位 RTK時		±0.02m + 2ppm (上下)	
		±0.01m + 2ppm (緯度・経度)	
変位 DGPS時		±2.0m (上下)	
		±1.0m (緯度・経度)	
計測間隔	最低0.2秒 (5回/秒以上)		

うになっている。

以下に装置の構成と用途を記し, 表1に各測定量に対

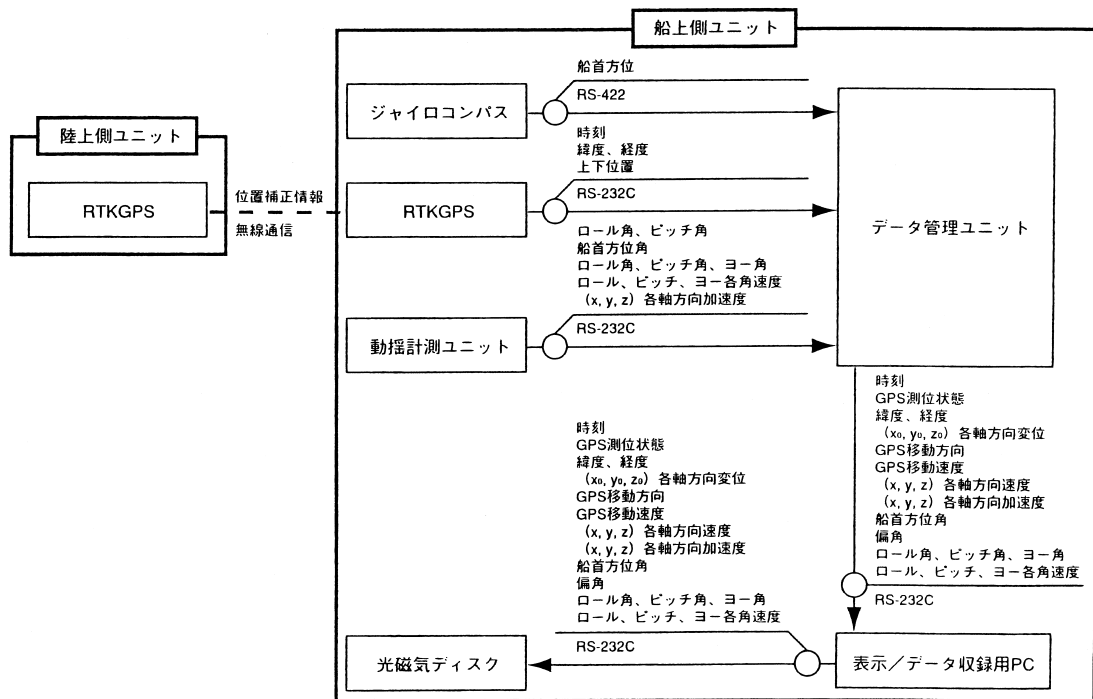


図5 データ計測・収録時のデータフロー

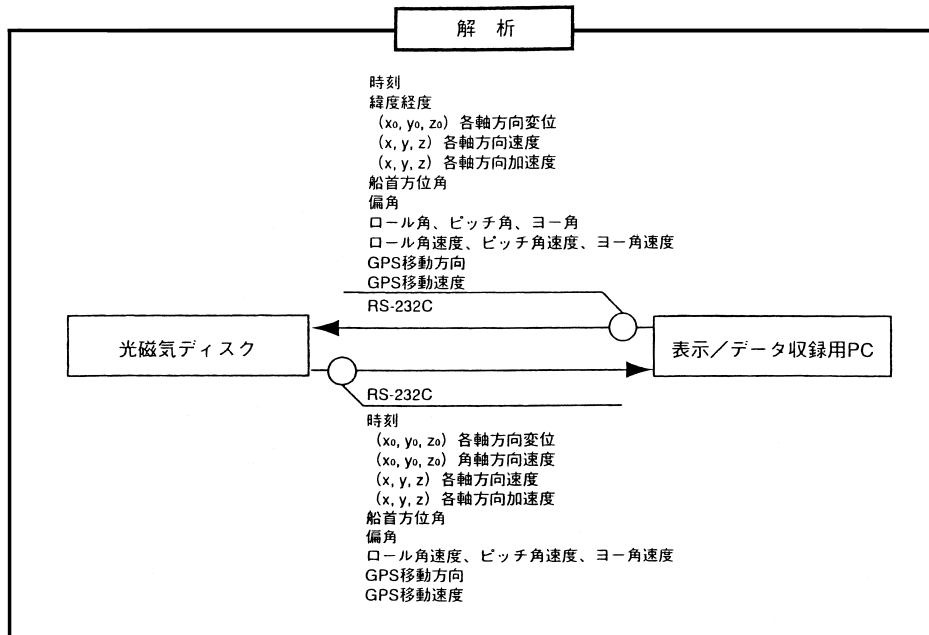


図6 データ解析時のデータフロー

しての性能 (装置単体性能) を示す。

(船上側ユニットの構成)

1. 動揺計測ユニット
2. ジャイロコンパス, ジャイロ制御ユニット
3. RTKGPS 受信機及び受信アンテナ
4. RTK 補正情報受信機及びアンテナ
5. ピーコン受信機及びアンテナ
6. 信号切換器
7. データ管理ユニット

8. データ収録 / 表示用 PC

9. 光磁気ディスク

10. 電源ユニット

11. プリンター

(陸上側ユニットの構成)

1. RTKGPS 受信機及びアンテナ
2. RTKGPS 補正情報送信機及びアンテナ
3. 電源ユニット

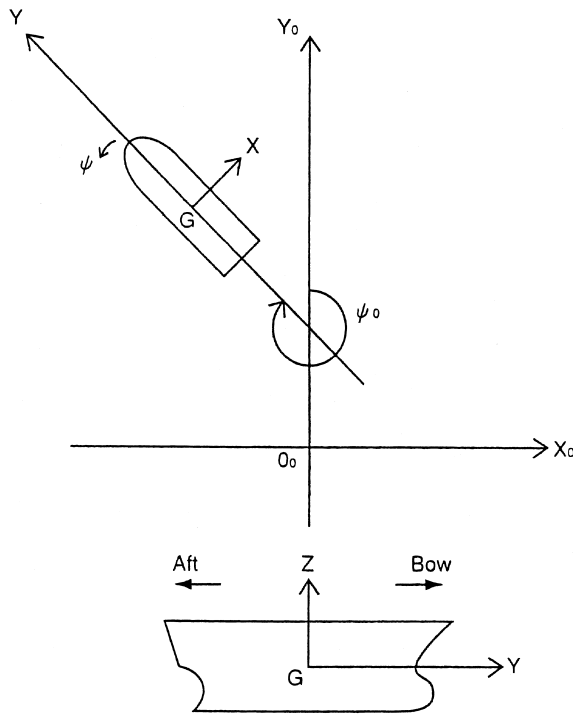


図7 船体運動計測の座標系

3.2 装置の機能

3.2.1 船体運動計測機能

船の運動を計測する場合に用いた座標系を図7に示す。また、座標系に示す各要素は以下である。

- ① $O_0 - X_0 Y_0 Z_0$ は空間固定座標系であるため O_0 は原点であり、 Z_0 は O_0 から鉛直上向きになる
- ② $G - XYZ$ は船体固定座標系であり、 G は船の重心。
Y軸は船首方向としているため X は船横方向
- ③ ψ_0 は船首方位で矢印の向きを正とする
- ④ ψ はヨー角で矢印の向きを正とする

船体固定座標系部分において、X軸及びY軸の取り扱いが造船関係で使われている座標系と異なっているため留意しておく必要がある。

船上の重心位置付近に設置した動揺計測ユニットから3軸加速度、3軸角速度、ロール角、ピッチ角、ヨー角を計測する。このデータを元にデータ管理ユニットにより3軸速度を算出する機能となっている。また、ジャイロコンパスより船首方位角の計測も同時に行われ、このデータから偏角がデータ管理ユニットで計算される。

その他、RTKGPSよりアンテナ設置位置の位置情報(緯度・経度)並びに船体上下変位量 Z_0 が計測され、計

表2 データ収録項目一覧

データ名	信号種類	データ範囲	単位	データ元
GPS時刻(年)	RS232C	0000 ~ 9999	年	RTKGPS
GPS時刻(月)	RS232C	01 ~ 12	月	RTKGPS
GPS時刻(日)	RS232C	01 ~ 31	日	RTKGPS
GPS時刻(時)	RS232C	00 ~ 23	時	RTKGPS
GPS時刻(分)	RS232C	00 ~ 59	分	RTKGPS
GPS時刻(秒)	RS232C	00.0 ~ 59.0	秒	RTKGPS
GPS測位状態	RS232C	R, D, N, R : RTK, D : DGPS, N : Normal)		RTKGPS
GPS緯度(N/S)	RS232C	N, S (N:North, S:South)		RTKGPS
GPS緯度(度)	RS232C	0 ~ 90	度	RTKGPS
GPS緯度(分)	RS232C	00.00000 ~ 59.99999	分	RTKGPS
GPS経度(W/E)	RS232C	W, E (W:West, E:East)		RTKGPS
GPS経度(度)	RS232C	0 ~ 179	度	RTKGPS
GPS経度(分)	RS232C	00.00000 ~ 59.99999	分	RTKGPS
GPS変位(x_0)		- 9999999.99 ~ + 9999999.99	m	計算
GPS変位(y_0)		- 9999999.99 ~ + 9999999.99	m	計算
GPS変位(z_0)	RS232C	- 99.99 ~ + 99.99	m	RTKGPS
GPS移動方向	RS232C	0.0 ~ 359.9	deg	RTKGPS
GPS速度	RS232C	0.0 ~ 30.0	kt	RTKGPS
x軸方向速度		- 15.00 ~ + 15.00	m/sec	計算
y軸方向速度		- 15.00 ~ + 15.00	m/sec	計算
z軸方向速度		- 15.00 ~ + 15.00	m/sec	計算
x軸方向加速度	RS232C	- 2.000 ~ + 2.000	G	動揺計測ユニット
y軸方向加速度	RS232C	- 2.000 ~ + 2.000	G	動揺計測ユニット
z軸方向加速度	RS232C	- 2.000 ~ + 2.000	G	動揺計測ユニット
船首方位角	RS232C	0.0 ~ 359.9	deg	ジャイロコンパス
偏角		- 180.0 ~ + 180.0	deg	ジャイロコンパス(計算)
Roll角	RS232C	- 45.00 ~ + 45.00	deg	動揺計測ユニット
Pitch角	RS232C	- 45.00 ~ + 45.00	deg	動揺計測ユニット
Yaw角	RS232C	- 180.0 ~ + 180.0	deg	動揺計測ユニット
Yaw角		- 180.0 ~ + 180.0	deg	ジャイロコンパス(計算)
Roll角速度	RS232C	- 30.00 ~ + 30.00	deg/sec	動揺計測ユニット
Pitch角速度	RS232C	- 30.00 ~ + 30.00	deg/sec	動揺計測ユニット
Yaw角速度	RS232C	- 180.0 ~ + 180.0	deg/sec	動揺計測ユニット
Yaw角速度		- 180.0 ~ + 180.0	deg/sec	ジャイロコンパス(計算)

算により船位の変位量 X_0, Y_0 が算出される。

3.2.2 データ収録機能

表2に本装置で収録できる項目等を示す。RTKGPS, ジャイロコンパス, 動揺計測ユニットから得られた各データを0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10, 30, 60秒に分かれている8個の収録間隔の中から選択してデータを収録できるようになっている。収録されたデータはPCに取り込まれ, 光磁気ディスクに保存される。

3.2.3 データ表示機能

データ収録機能により収録されたデータは船上においてPC上でモニタ表示できるようになっているため, データの収録状況を確認できる。このモニタ表示できる画面はトレンド画面と呼ばれ, 次の8画面がある。

- ① 位置トレンド画面
- ② 速度トレンド画面
- ③ 角速度トレンド画面
- ④ 角度トレンド画面
- ⑤ 角速度トレンド画面
- ⑥ 船首方位トレンド画面
- ⑦ 航跡プロット画面
- ⑧ 警報表示画面

上記トレンド画面中, 速度トレンド画面の表示例を図8に示す。

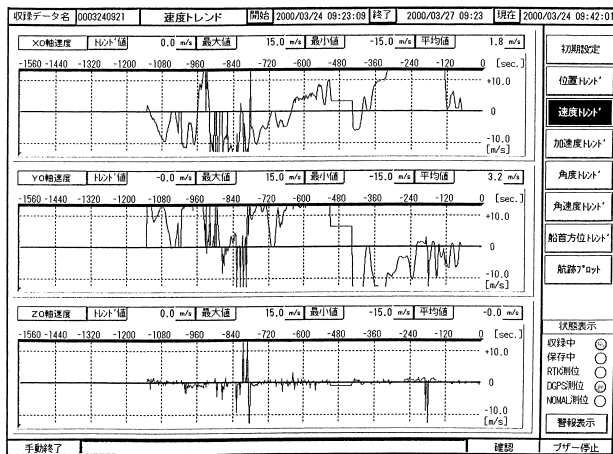


図8 速度トレンド画面の表示例

3.2.4 データ解析機能

光磁気ディスクに保存されている各種データの重心補正やロール, ピッチ補正及びスペクトル解析を行い, これらをグラフィック表示できるようになっている。また, 船位の変位量の表示には船首方位データから舟形を重畳表示できるようになっているため, 運動中の船体挙動がわかるようになっている。

この他に, 解析結果の表示機能としては図9に示すように14種類の表示が可能となっている。解析画面の例として, 図10に舟形を重畳させた航跡プロット画面の例を, 図11にスペクトル解析を行った空間固定座標系速度デー

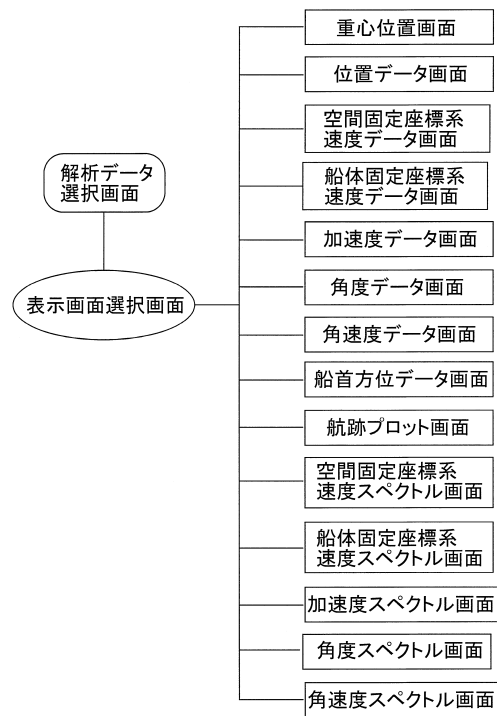


図9 データ解析時の表示画面

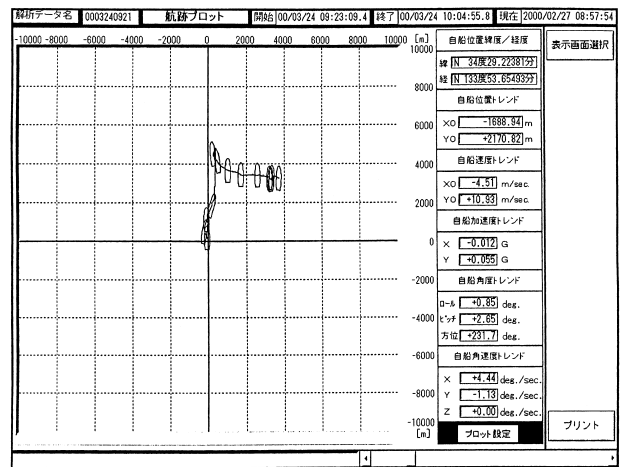


図10 航跡プロット画面 (舟形重畳) の表示例

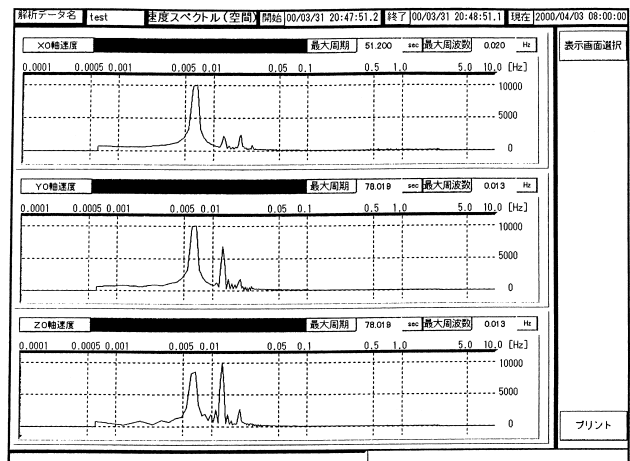


図11 空間固定座標系速度スペクトル画面の表示例

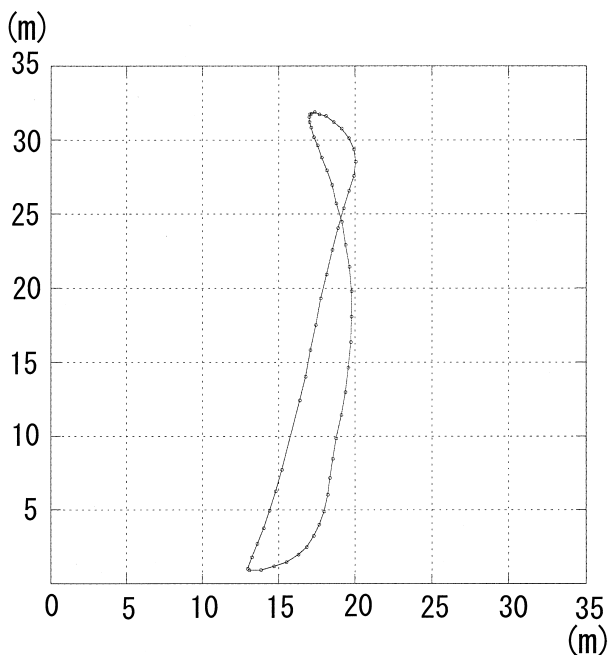


図12 振れ回り運動の一周期

夕画面の例を示す。

4. 本装置による計測例

本装置を使用して錨泊時の船体運動を計測する機会を得たのでその結果のみを簡単に紹介しておく。

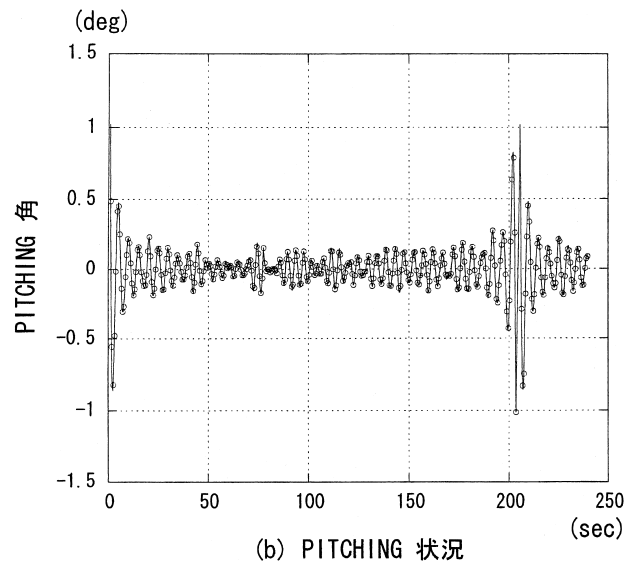
計測した船は弓削商船高等専門学校、練習船「弓削丸」(240トン)で、実験海域は弓削島北端沖の燧灘(水深14.8m)で行った。実験時の風速は7~12m/sと風速が弱かったため、錨泊の運動を見るためには良好な実験状態ではなかったが、キネマチック測位の状態が多くつづいたことから精度の良い計測ができたものと思われる。本装置で得られた錨泊運動の測定結果の一例を図12、図13に示す。

5. 本装置の有効性と今後の課題

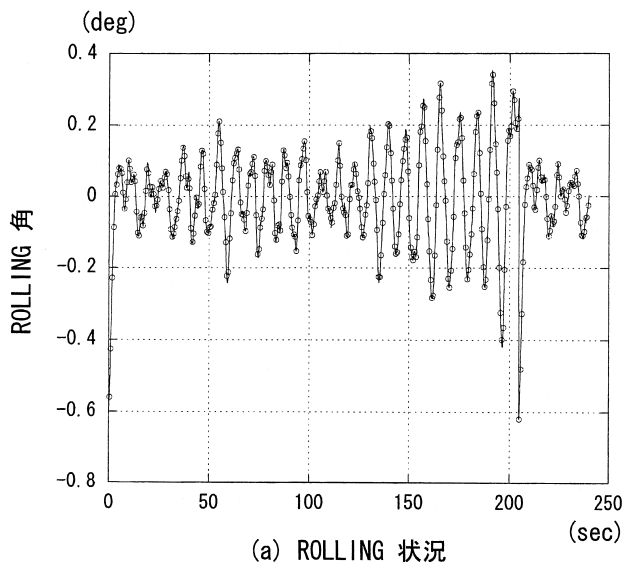
5.1 装置の有効性

本装置を用いて錨泊運動の計測を行った結果、次の有効性が確認された。

- ① 船舶へ搬入する各機器はポータブルなものが多いため、搬入時間も含め1時間程度で設置が完了する。そのため装置設置に対して船舶の定時性に影響を与えることが少ない
- ② 上記ゆえ、大型船、小型船を問わず、電源供給のできる船舶ならばあらゆる船舶で計測が可能
- ③ 装置の設置後は、装置に対して重心位置やアンテナ位置及び高さの入力程度でよく、装置自体の調整等は不必要であるため短時間で測定に入れる
- ④ 陸上側の設置においては、船舶側よりも更に簡便



(b) PITCHING 状況



(a) ROLLING 状況

図13 錨泊時の船体動揺 (PITCHING, ROLLING の状況)

であるため、装置の設置に時間がかからない

- ⑤ 装置の安定性は高く、また、ユーザーインターフェースが良いため計測に対しての特別な技術訓練等はない。

5.2 今後の課題

装置の設置時の状況や錨泊海域到着までの航行時と錨泊時及び計測終了後の解析の状況から、本装置の課題を挙げると以下である。

- ① KGPS 測位での計測は陸上局側との距離が2km以内であるため、長距離におよぶ測定には陸上局側を移動させる必要が生じる
- ② GPS 衛星との受信状態の関係でキネマチックでの測定状態が DGPS 状態又は GPS 状態に切り換わる場合がある
- ③ 時間同期が GPS の時間で行われるため、PC の時間を GPS の時間に合わせていないと事後解析時に新

たな整合が必要となる

- ④ 無線または携帯電話等で、船舶と陸上側との連絡手段を確保しておく必要がある
- ⑤ 測定後、解析のためにスペクトル解析等の各種ソフトが添付されているが、装置が全て繋がっている状態でないとできないため、PC 単体での手軽な事後解析ができない

6. おわりに

本装置は神戸商船大学、弓削商船高専及び三井造船との共同研究により開発されたものである。錨泊実験などの状況から、幾つかの運用上の問題点が挙げられるが、装置の精度及び汎用性においては十分に設計の理念にかなった物と考える。今後は本装置を用いて本論文の冒頭で述べたように、波浪の厳しい港湾への入港船の運動や帆装船舶の運動に対して各種のデータの取得に活用して行きたいと考えている。

参考文献

- (1) 久保雅義, 高岡俊輔: 帆装商船の運航実態とその問題点について, 日本航海学会誌, 第120号, pp. 69 ~ 77, 1994年
- (2) 久保雅義, 高岡俊輔: 帆装商船の日本海航路適用性について, 日本航海学会論文集, 第92号, pp. 231 ~ 239, 1995年
- (3) 高岡俊輔, 村山雄二郎, 久保雅義: 帆装型船舶の帆の利用による操船能力について, 日本航海学会論文集, 第98号, pp. 265 ~ 276, 1998年
- (4) 高岡俊輔, 村山雄二郎, 久保雅義: 帆装型船舶の帆を利用した錨泊法について, 日本航海学会論文集, 第99号, pp. 215 ~ 226, 1998年
- (5) 高岡俊輔, 村山雄二郎, 久保雅義: 帆装型船舶の制御とその評価, 日本航海学会論文集, 第100号, pp. 91 ~ 101, 1999年
- (6) 高岡俊輔, 村山雄二郎, 久保雅義: 帆装型船舶の機帆走時の船体運動特性, 日本航海学会論文集, 第101号, pp. 121 ~ 130, 1999年
- (7) 久保雅義, 水井真治他: 波浪下における出入港時の船体運動測定装置の開発, 日本航海学会誌, 第134号, pp. 1 ~ 8, 1997年
- (8) 三井造船株式会社: 船体運動・環境分析装置取扱説明書, 2000年

