

船舶用レーダー波浪観測装置

Marine Wave Observation System with Radar

平 山 圭 一 岡 圭 一 馬 場 満 徳
Keiichi Hirayama Keiichi Oka Mitsunori Baba

要 旨

近年、船舶が排出するCO₂、NO_xなどの削減の研究に伴い、きめ細かな波浪状況の把握も求められている。しかし、一般に商船では乗組員の目視観測に頼らざるを得ないため夜間の計測が難しく、精度やばらつきの点でも問題がある。当社は、船舶用レーダーによって観測された海面反射を解析し、波高、波向などをリアルタイムで算出するレーダー波浪観測装置を開発した。本装置は、実証実験において目視波高、波向と比較し良好な相関結果が得られた。本稿では、移動体である船舶での波浪解析を可能にしたレーダー波浪観測装置について報告する。

Abstract

Wave information is important for safe and economic navigation, and for protection of marine environment. The researches to reduce the GHG (Greenhouse Gas) emissions from shipping require more detail wave information.

The marine wave observation system is an equipment to observe ocean waves by using a radar. A X-band marine radar is used as a sensor. This system outputs wave height, direction, speed and length by analyzing sea clutter observed with the radar. JRC has been working on the development of the radar wave observation system installed at coast since 1990's and succeeded in its commercialization in 2004. JRC presents the marine wave observation system based on the technology here.

1. まえがき

一般に、航海に使用される船舶用レーダー装置では、船舶やブイなどの識別が主目的であるため、海面からの反射波（シークラッタ）を適切に除去することが性能を決定する重要なファクターとなっているが、ここで紹介するレーダー波浪観測装置は、そのシークラッタを解析し、波浪状況の判断基準となる、波向、波長、波速、波高をリアルタイムで算出して画面上に表示すると共に、これらの解析結果を出力するものである。

波浪情報は、船舶の安全かつ経済的な運航にとって必要不可欠なものであり、また、海洋環境に関する情報としても重要である。近年、船舶が排出するCO₂、NO_xなどの削減の研究に伴い、きめ細かな波浪状況の把握も求められている。しかし、一般に商船では乗組員の目視観測に頼らざるを得ないため夜間の計測が難しく、精度やばらつきの点でも問題がある。

当社は、レーダービデオ信号を用いた波浪解析の研究を長年手がけ、2004年から陸上に設置した波浪解析装置を製品化した。本稿では、その技術をベースにして、移動体である船舶での波浪解析を可能にしたレーダー波浪観測装置について報告する。

2. 装置の概要と構成

2.1 装置の概要

レーダー波浪観測装置は、一般の船舶用レーダーをセンサとして使用している。レーダーで波浪を観測すると、図1

に示すようにシークラッタが縞模様となって表示される。

本装置で行っている波浪解析処理は、そのシークラッタに対し、2次元FFT、クロススペクトルおよびスペクトル積分等の演算処理を行うことにより波向、波長、波速、波高を算出する。

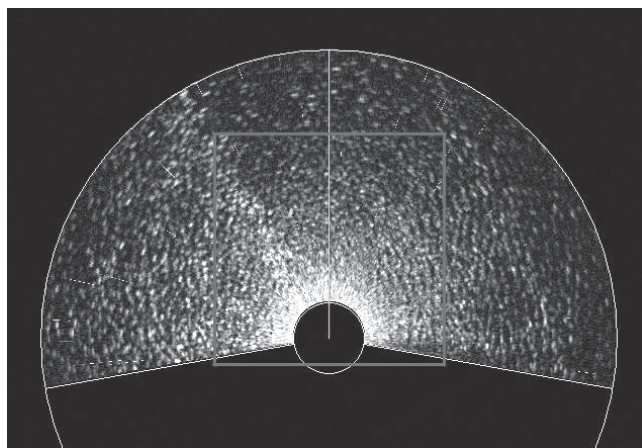


図1 シークラッタ
Fig.1 Sea clutter

2.2 装置の構成

船舶搭載型であるレーダー波浪観測装置は、船舶用Xバンドレーダーと波浪解析装置から構成されている。図2に船舶用レーダー波浪観測装置のシステム構成を示す。

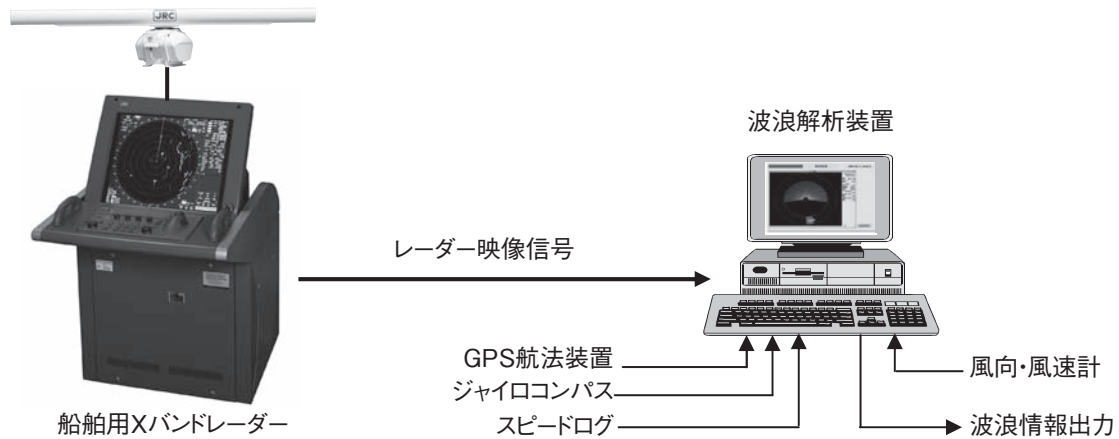


図2 船舶用レーダー波浪観測装置のシステム構成

Fig.2 System configuration of marine wave observation system by radar

■ 船舶用Xバンドレーダー

9GHz帯の電波を輻射し、海面で反射した電波を受信し、映像信号として波浪解析装置へ送る。

■ 波浪解析装置

レーダーから送られてきた映像信号を内蔵のビデオ取込みボードで受け、解析処理を行ない波向、波長、波速、波高を算出する。

■ 入力信号

・ GPS航法装置

GPSから送られてくる正確な時刻を入力し、解析装置の観測時刻を補正する。

・ ジャイロコンパス

船首方位を取得し、船舶の方位補正を行なう。

・ スピードログ

対水速度を取得し、船舶の移動補正を行なう。

・ 風向・風速計

算出した波浪情報を分析する際の参考情報として用いる。

3. 波浪解析装置の表示画面例

図3に波浪解析装置の表示画面例を示す。波浪解析装置は、一辺が1920mの解析エリア内のシークラッタについて解析処理を行う。レーダー映像は常にヘッドアップモードで表示しており、自船後方の映像は、船が走ったことによってできる波の影響を避けるために、解析の対象からはずしている。

波高は有義波高を示している。また、レーダー映像の外側に50m間隔で同心円を表示しており、その上に表示された楕円形のマーカーの位置により算出された波向と波長が示

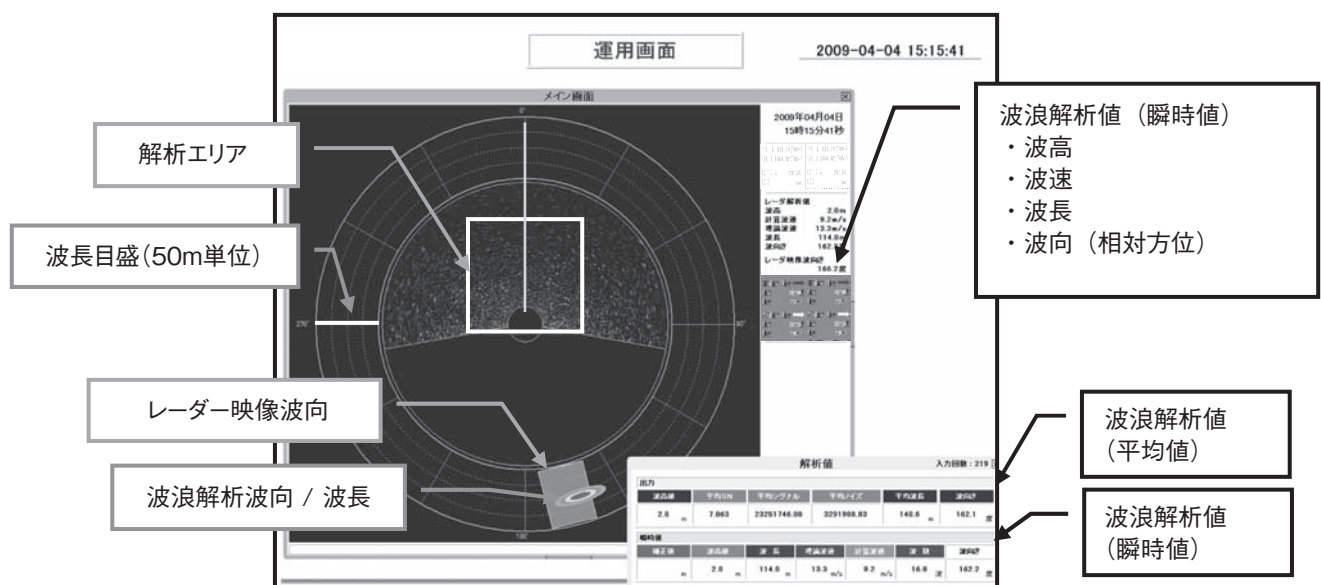


図3 波浪解析装置の表示画面例

Fig.3 Display of ocean wave analyzer

される。また、レーダー映像波向を示す四角形のマーカーは、レーダー映像の相互相関によって導かれた波向を示している。波向はすべて船首方位を基準とした相対波向である。

4. 波浪解析処理⁽¹⁾

波浪は、空中線が1回転する時間(2~3秒)で移動するので、この連続したレーダー画像を1回転毎に収録し、時間、空間周波数解析を行い、波浪の波数と周期の関係から実在する波浪を抽出して波浪の方向スペクトルおよび波高等を求める。以下にその処理について述べるとともに図4に波浪解析処理フローを示す。

(1) 波浪測定海域

波浪処理は、波長40m程度の波から100~480m程度のうねりを対象とした解析性能を得るため1メッシュ7.5m×7.5mの256×256メッシュ、一辺1920mの2次元領域を波浪測定海域とする。

(2) レーダー信号の読み込み

送信パルス毎に受信するアナログのレーダービデオ信号をデジタル変換し、空中線の方位角信号および距離ゲート信号と共にメモリに格納する。

(3) 近距離エコーの抑圧

レーダービデオ信号の振幅成分から直流要素を取り除き、波の変動を強調する処理を行う。

(4) 極座標→直交座標変換

直流成分除去後のレーダー受信信号を空中線の方位角および距離ゲートから換算した波浪測定2次元領域の各々の座標に格納する。

(5) 2次元FFT処理

格納したレーダー受信信号を2次元FFT処理により時間領域から周波数領域に変換し、スペクトルを保存する。

(6) クロススペクトル・波浪計算

空中線1回転毎の2次元FFTスペクトルからクロススペクトルを計算する。このクロススペクトルと偏角から各波長のパワーと計算波速を算出する。波浪計算は、波長と重力加速度から求める理論的な波速とクロススペクトルの計算波速の比から波浪スペクトルとノイズスペクトルを分離し、分離したスペクトルから波向、波長、波速、波高の計算を行う。

(7) スペクトル積分・移動平均

2分間の移動平均値として、クロススペクトル50回分の積分によるS/N比向上、うねり検出補正、波浪計算および移動平均を施し、品質の高い積算平均値とした上で波浪解析出力とする。尚、波高については、実験式から算出している。

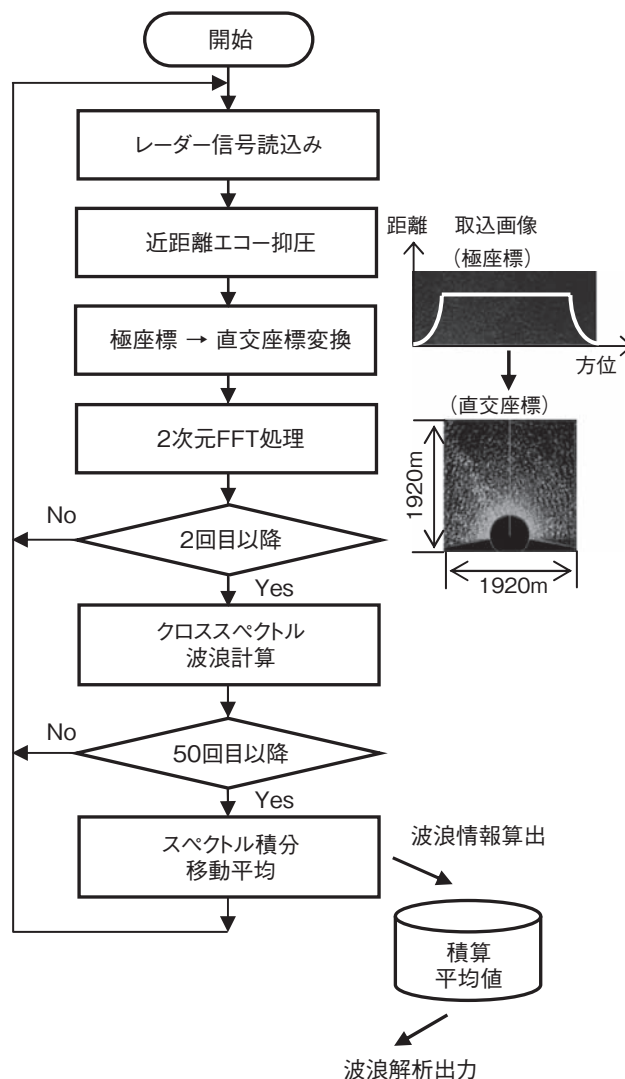


図4 波浪解析処理フロー

Fig.4 processing flow of ocean wave

5. 装置の主要諸元

5.1 Xバンドレーダー

以下にレーダーの諸元を示す。

- 1) 水平ビーム幅： 1.2° 以下
- 2) 垂直ビーム幅： 25° 以下
- 3) 空中線回転数： 24 rpm
- 4) 送信出力： 10 kW以上
- 5) 繰返周波数： 1900 Hz 以上
- 6) 送信パルス幅： 約80 nsec
- 7) 空中線高さ： 30 m 以上

5.2 波浪解析装置

以下に解析装置の諸元を示す。

- 1) 計測範囲
 - ・ 距離： 3.8km 以内
 - ・ 方位： 約190°
- 2) 処理範囲： 1920 × 1920m

- 3) 解析対象波高: 1m 以上
- 4) 解析対象波長: 40m 以上
- 5) 解析出力

- ・ 有義波高 (m)
- ・ 相対波向 (°)
- ・ 波速 (m/sec)
- ・ 波長 (m)

尚, 波浪を計測する際には, Xバンドレーダーのレンジを1.5NM, 送信パルスをショートパルスに設定する必要がある。航海用のレーダーとは別に波浪観測専用にもう一台Xバンドレーダーを装備することを推奨している。

6. レーダー波浪観測装置の観測例

レーダー波浪観測装置で観測した例を紹介する。3月から4月までの期間, コンテナ船に波浪解析装置を搭載し観測を行なった。観測海域は, ヨーロッパ - アメリカ東岸 - パナマ運河 - アメリカ西岸 - 日本 という航路である。実験期間中, データをハードディスクに記録し, 実験終了後, 陸上にて解析処理を行ない目視によって測定した値と解析結果の比較を行なった。図5に波高, 図6に波向の目視観測と解析結果の相関グラフを示す。波高, 波向ともに概ね良好な相関関係が得られた。また, 図7に目視観測と解析結果を時系列に並べ比較したグラフを示す。海域によって値が異なる場所もあるがこちらも概ね一致した結果となっていることがわかる。

7. あとがき

船舶用に開発した本装置は, 実証実験において, 目視波高, 波向と比較し良好な相関結果が得られた。今後, 継続的に評価を行い, 更なる精度の向上を図る。また, リアルタイムで得られる波浪情報を「安全運航」, 「燃費向上」などの面から有効に利用できるよう検討を行なう。なお, レーダー波浪観測データの収集, 使用に際して, 株式会社商船三井殿ならびにユニバーサル造船株式会社殿にご協力を賜りました。ここに厚く御礼申し上げますと共に, 関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

1. 馬場満徳・板垣隆博・高橋明彦・荒井文男・佐藤公規・荒井秀伸: レーダー波浪観測装置, 日本無線技報, No.48, 2005, pp.60.

用語一覧

FFT: Fast Fourier Transformation (高速フーリエ変換)
S/N比: Signal to Noise (信号対雑音比)

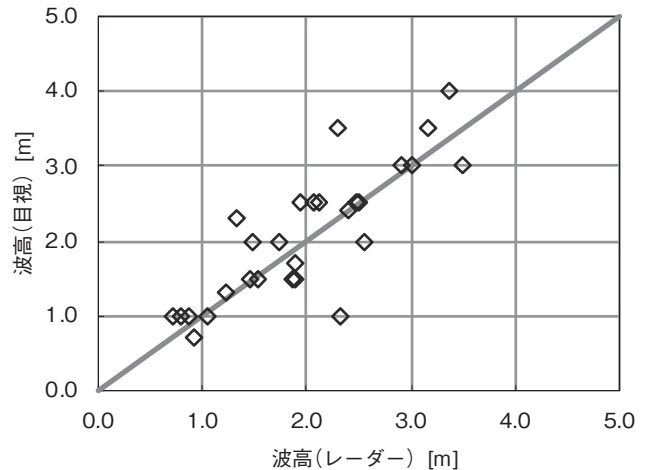


図5 目視波高と解析波高の相関

Fig.5 Wave height correlation between visual and analysis

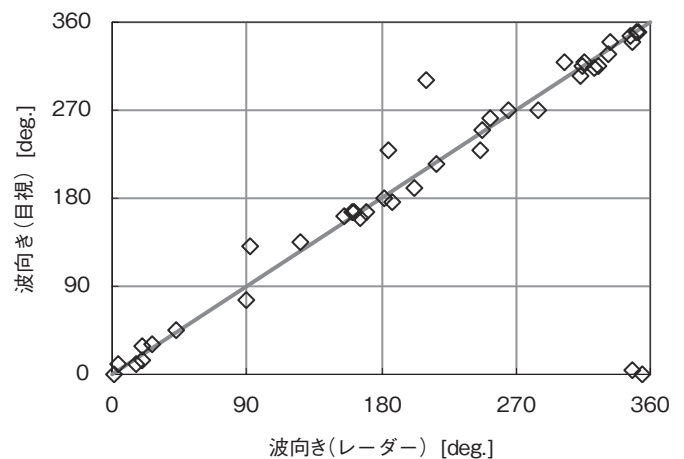


図6 目視波向と解析波向の相関

Fig.6 Wave direction correlation between visual and analysis

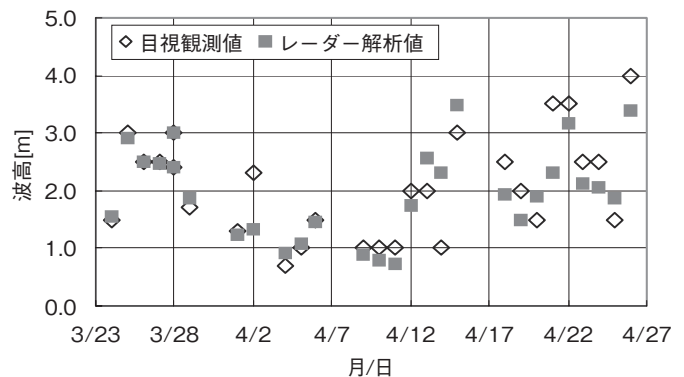


図7 目視波高と解析波高との比較

Fig.7 Comparison between visual and analysis wave height