

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 25 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360395

研究課題名(和文) 気・液界面の3次元リアルタイム計測法に関する基礎的研究

研究課題名(英文) On the basic research on 3-D and real time measurement method of gas and liquid interface.

研究代表者

星野 邦弘 (HOSHNO, KUNIHORO)

独立行政法人海上技術安全研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：40399514

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円、(間接経費) 4,080,000円

研究成果の概要(和文)：海の波は様々な方向からの不規則な波が重なりあった複雑な現象である。本研究では、このような波を試験水槽で起こした場合の計測方法の開発を行った。開発した計測手法は、球面状に広がる超音波を利用して一度に広い範囲の計測を行うものである。計測システムは完成したが、最終結果を得るためのアルゴリズムは完成しなかった。本研究により得られた成果をもとに引き続き研究を行い、実用的な計測法の開発を進める。

研究成果の概要(英文)：The ocean wave is complicated phenomenon in which the irregular wave form various directions overlapped. In this study, the method for measuring such wave by experimental tank was developed. Developed measurement technique carries out the at one time wide area using the ultrasonic wave which spreads in spherical shape. The measurement system was completed. The algorithm for obtaining final data was not completed. The research will be continuously carried out on the basis of this study result.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：気・液界面 超音波 球面音波 トランスデューサアレイ 水槽試験 3次元 波浪計測

1. 研究開始当初の背景

海の波は様々な方向からの不規則な波が重なりあった複雑な現象である。一方、試験水槽においてもこのような自然界の不規則多方向波をコンピュータ制御で制御・運転することにより再現することが可能である。また、波浪中を動揺しながら航行する模型船の周りの波を面的に計測することは、造波抵抗低減等の船型学分野で重要である。船体運動と船の周りの波高分布を同時に計測できれば、荒天時の船の耐航性能を検討する際にも貴重な情報を得ることが出来る。

試験水槽に起こした波の面的波浪場計測法として現状では以下の手法が用いられている。

- 1) 複数のシングルポイント波高計による計測と方向波解析。
- 2) 自由表面の可視化と画像処理による計測。

複数のシングルポイント波高計による計測法は、容量線式や抵抗線式などの波高計を多数設置（波高計アレイ）して方向波スペクトルを推定する方法と多数のシングルポイント波高計群による水位計測結果を補間して直接波面形状を求める方法等が考えられている。多数のシングルポイント波高計による計測は、波高計を水槽に常設する

ことが通常試験の妨げになるとともに、波高計の設置により波面を乱してしまうため通常は行わない。従って、効率的な面的波浪場の計測法として自由表面の可視化と画像解析による解析法が近年、盛んに検討されている。その中で水面上方の参照画像（ランダムまたはグリッド）を光源として、波面の反射像の位置から波面勾配を計測する水面反射法が提案されている。この計測法は、従来の画像処理的な波浪計測法で必要であった水面の散乱性の調整や懸濁物質を水中に溶かし込み空気と水との透過率の差を大きくするなどの工夫が必要でないため、船舶海洋工学の試験水槽での波浪計測法として有望である。しかしながら、画像処理による計測法は、計測領域と撮像センサーの持つ画像分解能の関係から平面水槽のような広い領域を精度良く計測することは困難である。

本研究では、以上の水槽試験における面的波浪場計測の現状を鑑みて、水中超音波を用いた広域計測法を提案する。超音波を用いた計測法としては、水中発射式や空中発射式波高計が cm 以下の精度で実海計測用として既に実用化されているが、シングルポイントの計測装置であり、新たに水面を 3 次元気・液界面として捉え超音波を用いた面的な波浪計測法を開発する。

2. 研究の目的

本研究では、水槽内に起こした方向波の計測とその変形および波浪中の模型船の運動とその周りの波浪場の計測をリアルタイム

に効率的に行う計測法技術を開発することを目的とする。なお、その手法として、水槽において広範囲に空間分解能の高い計測が可能となる水中超音波を用いて計測手法を開発する。

3. 研究の方法

図 1 に示すように水槽の底から無指向性の球面音波を放射し、同じく水槽底に設置した受波素子のトランスデューサアレイで一度に受波して面的波浪場を計測しようとするものである。

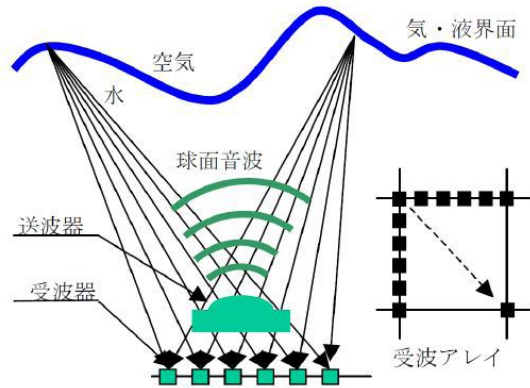


図-1 超音波トランスデューサアレイによる波浪場の計測

当初研究計画における具体的な研究の進め方は以下の通りであった。

- 超音波を使った気・液界面の計測システムの機器構成の検討
- 計測アルゴリズムの検討と予備実験
- 計測システムの詳細設計と試作
- 水槽試験での検証

4. 研究成果

(1) 2次元計測実験

無指向性の超音波トランスデューサ 1 個を使って反射物体の反射点位置の同定実験を行なった。解析アルゴリズムは逆誤差伝搬法を用いた。

簡単のために 2 次元空間で反射体が一つの場合を考える。図 2 に示すようにある一つの反射体が存在する空間に対して扇型に広がる超音波で計測すると仮定すると、トランスデューサ X1-X7 で計測された反射信号は図に示すように反射体と計測点の距離の変化にしたがって異なった時間に観測される。そこで、受信時間の違いからこの点反射体の位置を特定することが可能となる。逆誤差伝搬法は、トランスデューサと計測対象間の距離と超音波の TOF (Time Of Flight) の関係から計測対象の位置を推定する手法である。 (x_2, y_2) に存在する点反射体と (x_1, y_1) におかれた超音波トランスデューサの距離 s は、

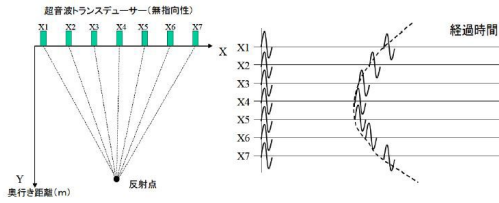


図2 複数の超音波トランスデューサで受信した単一反射点からの反射信号

る手法である。(x2, y2) に存在する点反射体と(x1, y1) におかれた超音波トランスデューサの距離 s は、

$$s = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (1)$$

となる。図3に示すように振動子を中心にこの伝播時間に相当する距離の空間上に反射体が存在するとし、振動子を中心とした球面上のすべての点に輝度値を与え、複数の超音波トランスデューサによって受信された信号を加算していく。この時、最も輝度値が上昇した点を反射点とする。

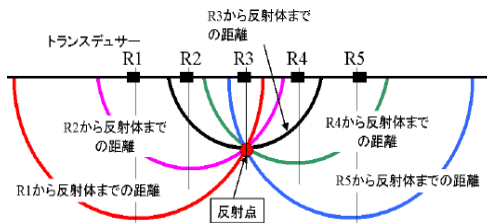


図3 逆誤差伝播法

2次元計測実験で得られた反射波の計測例として第1反射の計測例を図4に示す。真の反射データに対してエネルギーレベルの低いゴーストが発生している。

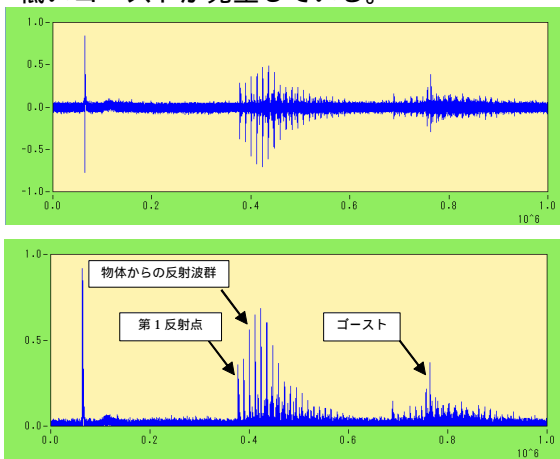
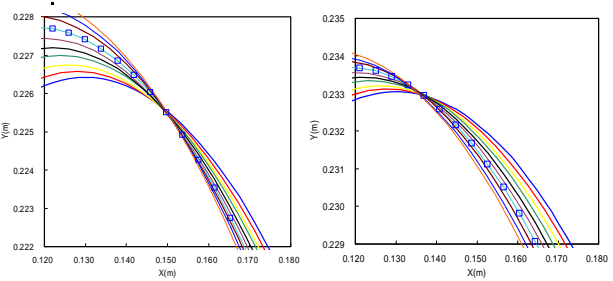


図4 反射波の計測例

図5に第1反射と第2反射の位置を逆誤差伝播法で解析して求めた例を示す。第1反射か



(第1反射) (第2反射)

図5 第1反射および第2反射の同定から第10反射まで反射点位置の同定が出来た。(2) 球面音波生成装置の試作とその性能
球面音波発生装置の試作を行なった。まず、試作した防水送受一体型の球面音波生成装置の外観および寸法図を図6に示す。

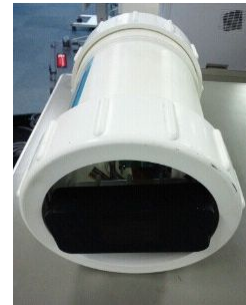


図6 水送受一体型のトランスデューサレイ

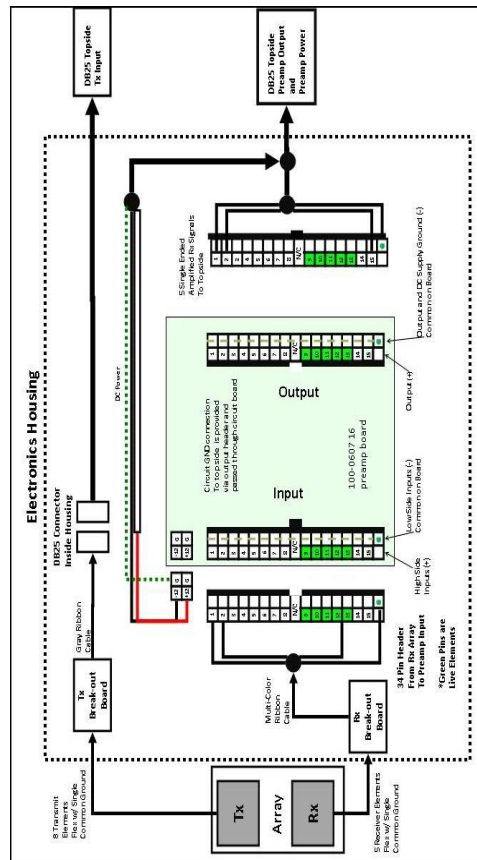


図7 防水送受一体型のトランスデューサレイの内部回路構成

図7に防水送受一体型のトランスデューサアレイの内部回路構成を示す。図8および図9に試作した送波部の垂直方向と水平方向のビーム角特性を示す。構成する素子数の問題から完全な球面音波は生成できなかった。が素子数を増やすことで対応可能である。

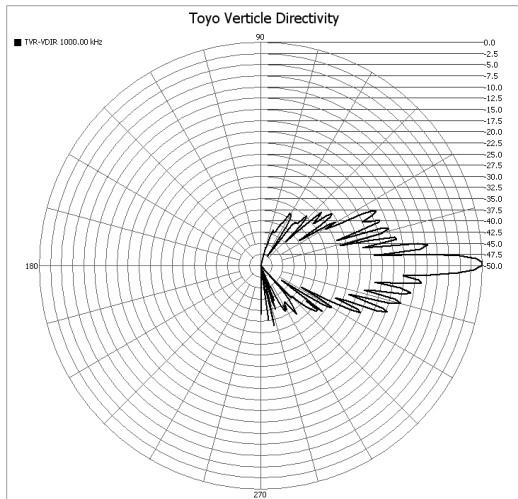


図8 送波部垂直方向ビーム角特性

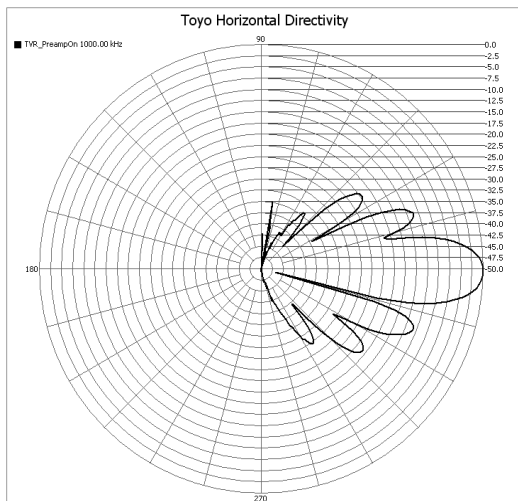


図9 送波部水平方向ビーム角特性

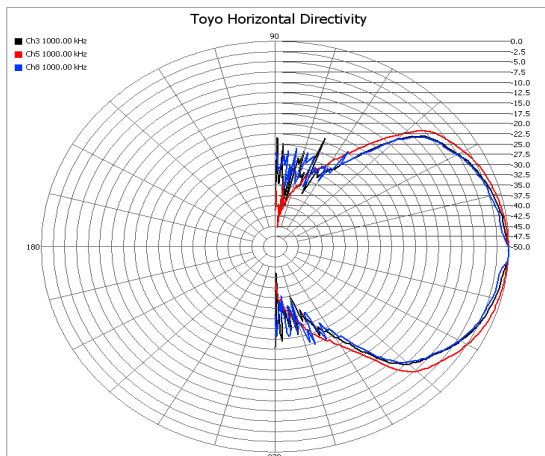


図10 受波部水平方向ビーム角特性

図10に受波素子の水平方向のビーム角特性を示す。受波部は送波部の確認用であり、ほぼ無指向性の特性が確認された。

球面音波生成装置として、より球面状の音波に近い生成装置の製作を行なった。製作した球面音波生成装置の外観を図11に示す。ドーム状に20個の1MHzの送波用のトランスデューサを配置した。無指向性の送波部の組合わせて位置と数の組合せて簡単に球面音波を生成することが出来る。



図11 無指向性の送波部組合せによる球面音波生成装置の外観

(3) 受波素子アレイの試作

図12に試作した受波素子アレイの外観を示す。1MHzの送波用のトランスデューサを4×4の正方格子状に配置した。トランスデューサの配置間隔は任意に変更可能である。



図12 受波素子アレイ

(4) 全体計測システムの構築

超音波データ収録用の高速完全同時サンプリング25MHz×16chでA/D変換できるデータ収録装置を完成させ、暗騒音等に対するノイズ対策を行ない球面音波生成から計測までの一連のシステムを完成させた。図13に完成したシステムの構成を示す。

関数発生装置は、送波器へ与える任意の信号を与える装置でありパルスアンプはこの信号を増幅し、送波器の各ピエゾ素子をドライブするために必要な数10～数100Vに増幅するための高速高圧絶縁アンプである。

受波素子が受ける信号には常に外来の騒

音や暗騒音等が重畳して信号 S/N 比がかなり悪いことが判明した。S/N 比改善のためにフィルターアンプとプリアンプを導入した。ノネル間は電磁的にも完全にシールドを行なった。

(5) 水槽試験での検証

完成したシステムを用いて水槽での検証実験を行なった。水槽試験における送波器と

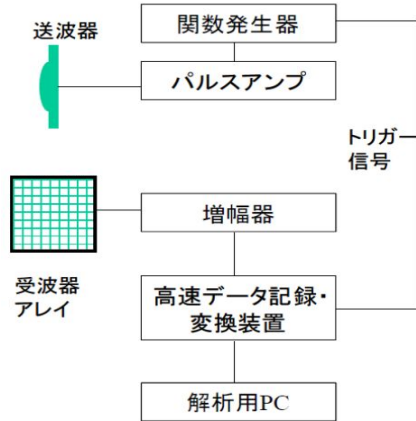


図 13 全体計測システムの構成

受波素子アレイの配置を図 14 に示す。水槽試験の様子を図 15 示す。

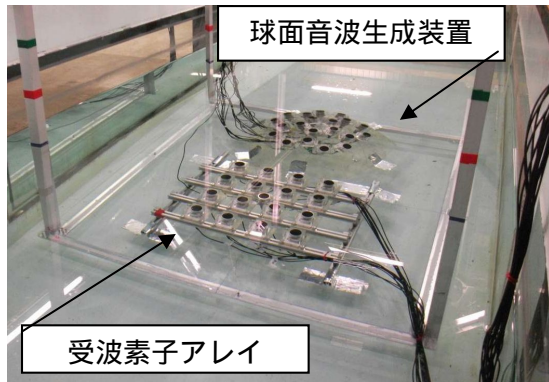


図 14 水槽試験における送波器と受波素子アレイの配置

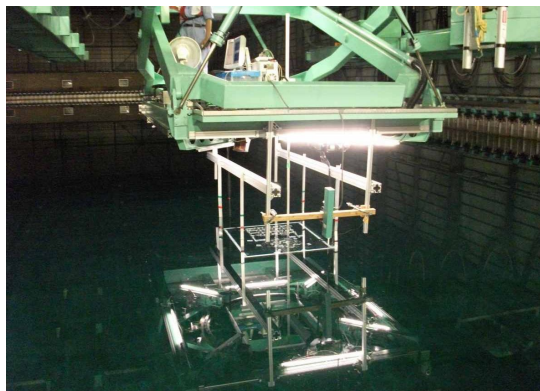


図 15 水槽試験

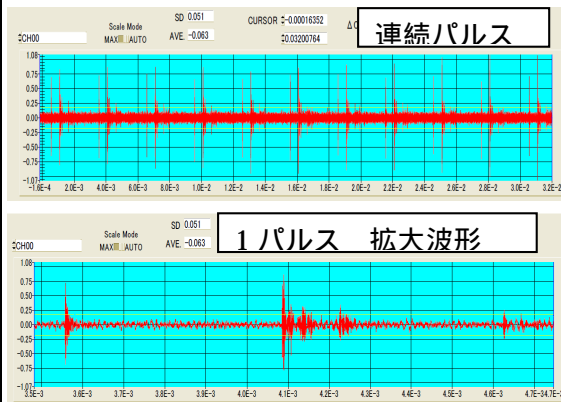


図 16 波浪中計測データの 1 例

実際に計測された波浪中の計測データの一例を図 16 に示す。多数の場所からの反射波が重畳された形で計測され、これを分離し、それぞれの反射点位置を同定し 3 次元波面を再構成する必要がある。この数値処理として逆伝搬法を検討し、各受波信号と送波信号の相関演算と相関値の遅延から求める方法を検討したが、研究期間中に解析結果を示すにいたらなかった。

研究遅れの原因は計測データにノイズが多く、その対策に手間取ったことが挙げられる。システムは既に完成し、幾つかの波浪中の反射波データを既に取得している。今後は、本研究で得られた成果を活用して水槽に置ける 3 次元波浪場計測法として気・液界面の 3 次元リアルタイム計測法を完成させる。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]
出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

取得状況 (計 件)

名称 :

発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

星野 邦弘 (HOSHINO KUNIHIRO)

研究者番号：40399514

(2) 研究分担者

池本 義範 (IKEMOTO YOSHUINORI)

研究者番号：80358407

牧野 雅彦 (MAKINO MASAHIKO)

研究者番号：80358407

(3) 連携研究者

()

研究者番号：