

所 外 発 表 論 文 等 概 要

Towing Support Tool and Object Drift at Sea

曳航支援ツールと海上物体の漂流の開発と
その評価

原正一、星野邦弘、湯川和浩、長谷川純、
谷澤克治、上野道雄、山川賢次

平成16年5月

Proceedings of Ocean Ops04

荒天下において機関故障等により航行不能に陥った船舶(損傷、折損・分離、転覆により異常形状となった船舶またはその一部)の漂流を阻止し、安全な場所に曳航する技術を確立することによって、大きな二次的災害を引き起こす危険性を未然に防止することが本研究の目的である。ここでは、パソコン上で航行不能船舶の漂流運動、曳航索張力、曳航操船および曳船の曳航馬力を予測して操作者に最適な曳航支援が可能な情報を提供する最適曳航支援システムを開発した。さらに、漂流する船体あるいは浮遊物体の漂流抵抗を推算する手法を示した。

本報告では、最適曳航支援システムの流れを詳細に説明し、その計算例を紹介した。まず、システムの有する相似処理機能、上部構造物入力機能、重量重心計算機能、船体メッシュ作成機能、船体最終姿勢予測機能、転覆・折損時の復原性計算機能、縦強度計算機能、流体力、運動計算機能、定常漂流力計算機能、操船シミュレーション計算について述べた。次に、15万トンタンカーを例にとり、船首より2/3の長さの点で折損した場合を想定して、想定された船内区画に連続的に浸水するシナリオにより船体姿勢の推定、復原性能計算を実施した。残存部が船首および船尾の場合と、満載状態とバラスト状態2種類について計算を行い、折損時の縦強度計算についても行った。

漂流予測については、20フィートと40フィートの2種類の標準コンテナを例にとり、漂流抵抗の試算を行った。

避航操船判断情報の支援効果に関する考察

Study on Support Effect of the Decision
Making Information for Evasive Maneuvering

有村信夫、福戸淳司、田中邦彦、岡崎忠胤

平成17年3月

日本航海学会論文集第112号

内航船においては、少人数当直運航体制が実施されており、避航操船時の見張り作業負担の軽減と運航の安全性確保が重要な課題になっている。

したがって、幅員海域の衝突事故を防止して、航行安全を確保するためには、衝突の危険性が発生した場合、操船者に衝突の危険性と衝突危険領域を認識し易いようにARPA画面上に表示して、操船判断支援情報を効率良く確実に伝達することが、衝突予防援助機能として重要である。

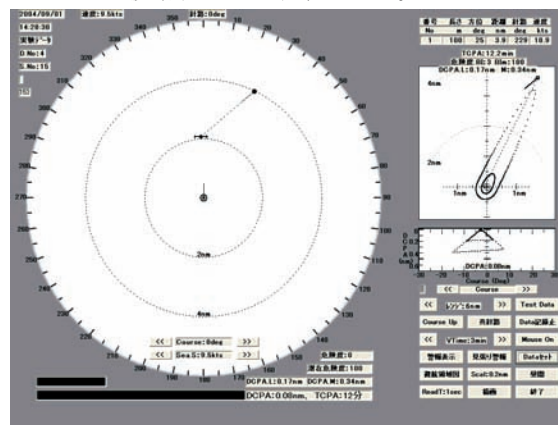
本研究は、衝突予防支援機能を向上するために、航行環境評価指標の要素に船舶の停止性能特性を取り入れて、衝突の危険性の高い避航危険領域を避けるために必要な回避幅情報を表示する方式の支援効果について検討した。

本考察では、回避幅情報の支援効果を検討するために、ARPAシミュレータを作成して、ARPAシミュレータを用いたシミュレーション実験で、被験者が回避幅情報の表示領域を避航した場合の避航後の最接近距離と、避航危険領域の回避離隔距離との関係を解析して、回避幅情報の安全及び有効性を調べた。

考察の結果は、次の通りである。

- ① 被験者が回避幅情報の表示領域を避航した結果、避航後の最接近距離分布は回避目標の避航危険領域の回避離隔距離よりも大きい距離に分布しているため、安全に避航していることを確認した。
- ② 避航針路に対する最接近距離をグラフ形式で表示した情報からは、回避幅情報の表示領域を避航するために必要な針路の最接近距離と回避離隔距離を推測することが容易にできた。

したがって、回避幅情報は、避航危険領域に関する注意喚起の警報情報として、また、避航危険領域を避けるための支援情報として有効である。



図：ARPAシミュレータの画面

損傷船舶の曳航に関する研究 (その3 各種船型の損傷・折損時の運動と波漂流力)

On the Towing of Damaged Ships
(3rd Report Motion and Wave Drift Fore of Damaged
and Broken Ships of Various Types)

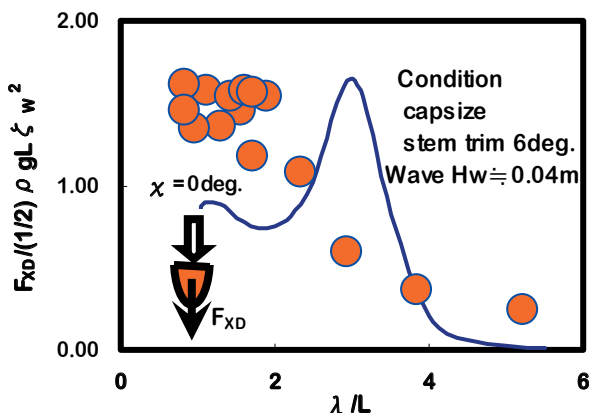
原正一、星野邦弘、湯川和浩、山川賢次
平成17年3月

関西造船協会論文集第243号

著者らは、荒天下において機関故障等により航行不能に陥った船舶(損傷、折損・分離、転覆により異常形状となった船舶またはその一部)の漂流を阻止し、安全な場所に曳航する技術を確立することによって、大きな二次的災害を引き起こす危険性を未然に防止することを目指し、漂流運動予測および曳航技術に関して研究を実施してきた。最終目標として最適曳航支援システムを開発し、パソコン上で航行不能船舶の漂流運動、曳航索張力、曳航操船及び曳船の曳航馬力を予測して操作者に最適な曳航支援ができる情報を提供することを目的とした。

本報告では、当所で開発した最適曳航支援システムによって、特に損傷、折損した船舶を荒天時に曳航する際の船体運動および波漂流力に着目して解析を行った。対象とした船型は、システムのデータベースに保有している船舶で、タンク配置、載荷状態などの諸データが収められている。船型と主要寸法が既知であれば、相似船型が自動的に生成されて、漂流運動、曳航時の挙動等の解析が可能である。船型による差異がこれらの諸量にどのような影響を与えるかを示した。

タンカー(ダブルハル)が船首から 1/3 の箇所まで折損した場合を想定して、その残存船首部と残存船尾部及び折損前の元の船体の3つの場合の向波中の応答を比較した。折損した船体はどちらも 6°トリムしているが、船体運動応答は残存船尾部にピッチとヒーブの極端に大きな応答があった。また、波漂流力についても元の非折損船体のそれと比較して全波長域で応答が大きくなった。また、折損タンカーを模擬した模型船を使用して波漂流力等の計測した模型実験結果と、数値計算結果を比較した。その結果、折損船体の船体運動の特異性により、波漂流力のオーダーは合致するが定性的にも一致は良くなかった。



図：折損転覆船体に働く波漂流力の実験と計算結果の比較

相変化を伴う過渡二相流 (その2: 沸騰系過渡現象) Transient Two-Phase Flow with Phase Change (Part 2: Transient Phenomena in Boiling System)

綾威雄、稲坂富士夫、安達雅樹

平成17年4月

ターボ機械 第33巻4号

前号その1では、相変化を伴う過渡二相流として凝縮系である凝縮起因水撃、チャギング・凝縮振動、液中フラッシングを取り上げたが、本号その2では沸騰系の密度波振動、ガイセリング、バーンアウト、蒸気爆発、並びに数値解析の現状について解説する。

沸騰系二相流の代表的な流動不安定現象が密度波振動である。この現象は、貫流型ボイラや多チャネル沸騰系によく現れることから、自然循環系と強制循環系について多くの研究がなされてきた。密度波振動の基本メカニズムは、二相流の流動抵抗が単相流より大きいことに起因し、流体が蒸発開始点からドライアウト点に達するまでの所要時間が現象を支配している。非線形性が強いにもかかわらず、振動周期は、線形解析からの予測値とよく一致する。防止策の一つとして、水単相流となっている上流部分に強い絞りを設け、流量が伝熱管内の流動抵抗の変化によらず余り変動しないようにする方法が考えられている。

ガイセリングは、鉛直管において逆流が間欠的に生じる現象であるが、ボイラや沸騰水型炉のスタートアップ時に生じることが指摘されている。ガイセリングの発生には、流路を覆う大気泡の発生とヘッダー内のサブクール水の存在が必須である。また、実験から、単チャネルの場合は流速が0.02m/s以上、2チャネルの場合は流速が0.25m/s以上になるとガイセリングが発生しないことが判明している。

バーンアウトは、熱流束が沸騰伝熱の限界に達すると、膜沸騰に移り、伝熱管が焼き切れるという深刻な事故であることから、多くの研究がなされ、現象のモデル化や実験式の提案が盛んである。高サブクール度・高質量流束下の限界熱流束は非常に大きいことから、将来の核融合炉における除熱法の有力候補の一つとして期待されている。

軽水炉のシビアアクシデント時に生じる可能性がある蒸気爆発には、(1)予混合、(2)トリガ、(3)伝播、(4)爆発の4つの素過程があり、それぞれについて実験研究がなされた。最近では、火山爆発への応用研究も盛んになってきた。また、蒸気爆発に伴う水撃現象について、空気-水系で模擬した実験も行われている。

前号および本号で述べた7つの過渡現象は、熱伝達率が非常に高いことが多く、それに見合うタイムステップが小さいことが、現象全体を数値的に解くことを困難にしている。しかし、二流体モデルの他、過渡現象に適した、粒子法やCIP法などが一般的な数値解析法として有望であり、今後の発展が期待される。

ニッケル溶射皮膜の構造、機械的性質および熱伝導

Structure, Mechanical Properties and Thermal Conductivity of Thermal Sprayed Nickel Coatings

村上健児、松本弘司、中嶋英雄

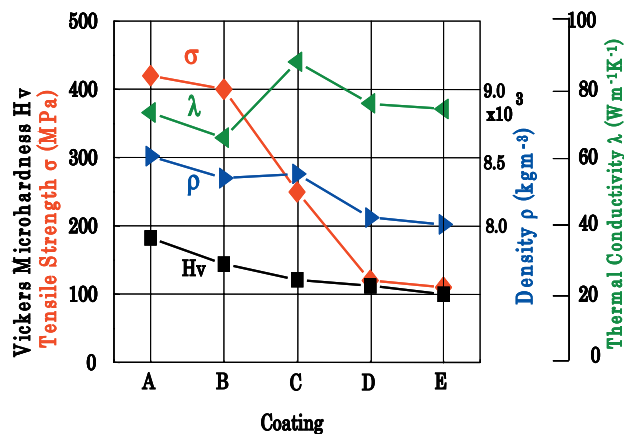
平成16年12月

高温学会誌 Vol.30, No.6

金属材料を溶射するときに、皮膜の温度を上げて溶射を行うと皮膜の特性が向上することを著者の1人は示してきた。この現象を基礎的に解明するために、溶射に特有な急冷凝固やその後の熱処理によっても結晶構造が変化しない純ニッケルを鋼基材に減圧プラズマ溶射して、皮膜の構造と特性におよぼす皮膜温度および熱処理の影響を調べた。

溶射中の皮膜温度が低いときには、皮膜は溶射粒子が衝突・扁平化したスプラットからなる典型的な積層構造を持ち、各スプラットはそれに垂直に成長した微細な柱状晶からなる。皮膜温度が高くなるに従って積層構造は消失し、柱状晶の長さはスプラット厚さの数十倍に達する。溶射粒子衝突時の温度変化を数値計算した結果、長い柱状晶は溶射中に皮膜最表面が瞬間的に熔融したために形成されたと考えられる。このような温度上昇による長い柱状晶の形成や皮膜再熔融の系統的な計算は従来報告されていない。低温で形成された皮膜を熱処理すると、柱状晶は消えて粗大な等軸晶が形成される。低温で形成された皮膜のニッケルにはプラズマガス中の水素が過飽和に固溶しており、皮膜の温度上昇あるいは熱処理によってこの水素が気体として放出されるために皮膜に大きな気孔が生じる。

溶射中の温度および熱処理によって気孔の形態や量、および結晶粒組織が変化するために、測定された皮膜特性は下図のように変化する。



図：溶射皮膜の引張強さ、熱伝導率、密度および硬さ。溶射中の温度は皮膜Aで670K以下、皮膜Bで880K、皮膜Cで1570K。皮膜DとEは皮膜Aをそれぞれ1520Kで180sおよび1273Kで3600s熱処理して作製。

鋼材の延性破壊発生挙動に及ぼす予ひずみの影響

The Effect of Prestrain on Ductile

Fracture Initiation of Steel

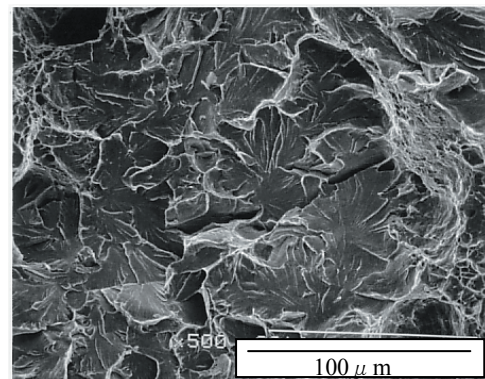
吉成仁志、榎並啓太郎、菅満春、金田重裕

平成17年3月

材料 平成17年3月号(Vol.54No.3)

供試材に As-Rolled 材 (JIS-SM490B) と TMCP 材 (JIS-SM490YB) を用いて、予ひずみ材の延性き裂発生点を応力三軸度-相当塑性ひずみ関係で表される延性限界曲線で評価した。その結果、両供試材ともに予ひずみによって延性が低下することが確認された。しかし、As-Rolled 材では予ひずみによって延性限界曲線自身が低下するという現象が確認され、その低下量は予ひずみが大きくなるにつれて、また切欠半径が小さくなるにつれて大きくなる傾向が見られた。一方、TMCP 材では延性限界曲線の低下は見られず、材料固有の限界曲線と考えられる。

試験片の破面を SEM によって観察した結果、延性限界曲線が低下したものについては、延性き裂の発生に先立って、局所へき開き裂が発生していることが観察された。延性限界曲線が低下する条件と、局所へき開き裂が発生する条件は一致していた。また、低下量の大きさと局所へき開き裂の大きさの傾向も一致していた。以上のことから、予ひずみ材の延性限界曲線の低下は局所へき開き裂の発生が支配的な要因であるとする仮説で説明がつくことを明らかにした。



30% prestrain, 2mmR, As-Rolled steel

図：30%予ひずみ材に見られる局所へき開き裂

簡易計算法による放射性物質の海上輸送時の ガンマ線遮蔽評価

Evaluation of Gamma-ray Shielding
Performance in Sea Transport of Radioactive
Material by Using Simple Calculation Method
小田野直光、大西世紀、澤村英範、田中由美子、
西村和也

平成17年3月

日本原子力学会2005年春の年会予稿集

当所では、放射性物質の海上輸送時の事故が発生した際の事故影響を評価するためのシステムの構築を実施している。同システムは、万一の事故時において、事故影響評価を迅速に実施し、規制当局の緊急時対応を支援するものであり、遮蔽性能評価、大気・海洋拡散計算などの機能を有している。遮蔽性能を評価するためのプログラムとして、MCNP4C3を採用しているが、モンテカルロ計算では十分な計算精度を得るためには時間がかかってしまうという問題がある。そこで、本研究では、短時間で計算結果を得るための機能を持たせるため、ガンマ線の遮蔽評価を対象として、点減衰核積分法をMCNP4C3に導入した。

MCNP4C3への点減衰核積分法の導入にあたっては、MCNP4C3のpoint detector tally(点検出器)の機能を利用することとした。線源領域から点検出器への点減衰核による線量率寄与を評価する際、MCNP4C3の点検出器の機能では、線源領域の粒子発生点から点検出器までの平均自由行程数を計算し、非衝突線束を求めている。従って、点検出器への点減衰核による線量率寄与をMCNP4C3で求めるために、ビルドアップ係数と線量率換算係数を計算する機能をMCNP4C3に追加することとした。また、ビルドアップ係数と線量率換算係数を計算する機能については、QAD-CGGP2Rのものを使用する。

一辺が14cmのU及びLiで構成される立方体中での(座標位置は(X,Y,Z)=(8.0,0.0,0.0))線量率を各種計算コードで評価した。ガンマ線線源領域は一片0.2cmのUとHで構成される立方体とし、典型的な使用済み燃料からのガンマ線スペクトルを18群で与えた。検出器位置での線量率は開発したコードによる計算結果は、QAD-CGGP2Rによる結果と完全に一致し、MCNP4C3による結果とは10%以内で一致した。

低レベル放射性廃棄物運搬船(LLW)における居住区及びハッチカバー上の線量率を実測した結果について、開発した計算コードとMCNP4C3による解析を実施した。その結果、MCNP4C3による結果と開発した計算コードによる結果は、比較的良好一致を示した。

MCNP4C3に点減衰核積分法を導入した計算コードを開発し、複雑な体系においてもMCNP4C3の計算とほぼ同等の結果を得られることを確認した。本計算コードの計算時間は非常に短いので、迅速な対応が求められる事故時の線量評価に有効である。

Modeling Internal Structure of Sea Ice in the South Sea of Okhotsk for Observing Thickness of Deformed Ice Using a Ship-borne Electro-magnetic Inductive Sensor

船載型電磁誘導センサによる南部オホーツク海変形
氷の観測を目的とした海水内部構造のモデル化

宇都正太郎、下田春人

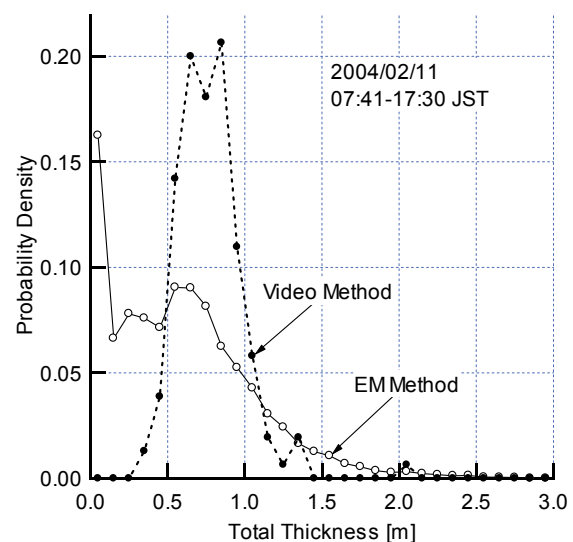
舘山一孝、豊田威信、白澤邦男

平成17年2月

第20回北方圏国際シンポジウム プロシーディングス

サハリン開発の進展により、流水季を含む通年で原油及び天然ガスの船舶による輸送が近く開始される。オホーツク海における航行安全を確保し、環境を保全するためには海水の実態を把握することが必要不可欠である。当該海域において船舶の航行に脅威となる厚い海水の殆どは力学的な変形作用を受けた変形氷であるが、その実態は殆ど明らかになっていない。地球科学の観点からも、地球規模の環境変動を明らかにするためにはオホーツク海の海水生産量をモニタリングすることが重要であると考えられている。このため海水体積の過半を占める変形氷の厚さを観測する手法の確立が望まれる。

近年、当所では電磁誘導法を用いた氷厚観測に関する研究を実施してきた。従来は非変形氷を主な観測対象としていたが、本研究では変形氷の厚さを精度良く観測するためのモデル化を検討した。北海道沿岸オホーツク海で取得された海水コアデータを基に、海水の電気伝導度及びボイド分布を一次元多層近似したモデルを提案した。本モデルを用いて2004年2月に巡視船「そうや」航路上で取得された電磁誘導法による観測データを解析した。本手法とビデオを用いた観測結果から求めた氷厚の確率密度分布を比較した結果、氷厚1mを超える変形氷の分布に大きな差があることがわかった。今後、精度の検証を進める予定である。



図：氷厚の確率密度分布の比較(本手法とビデオ法)

高分解能衛星画像データを利用した 係留小型船舶の認識

Recognition Technique of Moored Small
Vessel Using High Resolution Satellite Imagery

桐谷伸夫

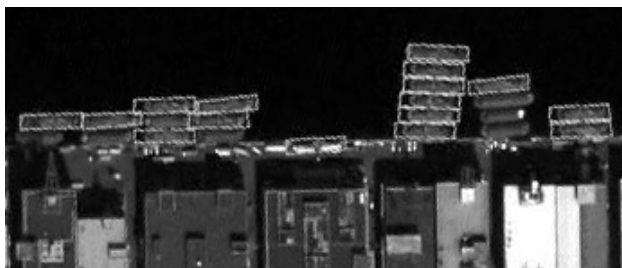
平成17年3月

日本航海学会論文集第112号

近年、地上分解能 1m 以下の高分解能衛星画像データの利用が民生分野においても広まりつつあり、その可能性や有効性が注目されている。そこで本研究では、洋上や港湾内の大型の航行船舶に止まらず、昨今社会問題となりつつある河川域の小型係留船の自動判別や認識までも高分解能衛星画像を用いて実現することを目的とした。

コンピュータによる自動判別・認識を考えるならば、高分解能画像を用いても決して容易なことではない。すなわち小型船を探索目標とした場合、船舶固有の反射特性を得ることが困難であり、例えばバンド間演算による指標値を手掛かりとして非海面であることの判別は実現できるが、直接的に船舶であることを同定することは非常に困難である。特に岸壁に接岸し係留された小型船舶の場合には多くの課題が発生する。そこで、船舶の形状に注目してマッチング処理によって自動判別・認識を実施することを検討した。採用したテンプレート・マッチング処理は、マッチング・モデルとなるテンプレート画像をそれより大きな解析対象画像内で動かして類似度(相関)を調べることを逐次実行するものである。従来のマッチング処理は、このような画素レベルでの相関を求める処理を繰り返し行うため、膨大な時間を必要とすることが問題となっていた。しかし、コンピュータの処理能力の強化や処理アルゴリズムの進展により、最近ではモデルの回転や縮小拡大処理を含めたテンプレート・マッチング処理を高速に実行することが可能となっている。また結果的に対象画像内における探索画像の位置や回転角、そして大きさを示す縮小拡大率が求められる利点を持つものである。

岸壁に接岸しているはしけを対象としたテンプレート・マッチング処理の実行結果を図に示した。白ワクに囲まれた船舶が、モデル画像に対して十分なマッチングが確認され、船舶として自動判別・認識されたものであり、自動認識成功率は約 85[%]である。このように高分解能衛星画像とマッチング処理によって、係留小型船舶の自動判別・認識が可能であることが明らかとなった。



図：マッチング処理によって自動判別・認識された
小型係留船舶の状況

Sail – Sail and Sail – Hull Interaction Effects of Hybrid-sail Assisted Bulk Carrier

複合帆を装備したバルクキャリアの帆と帆
及び帆と船体の干渉影響

藤原敏文、G.E.Hearn、北村文俊、上野道雄

平成17年6月

Journal of Marine Science and Technology Vol.10-2

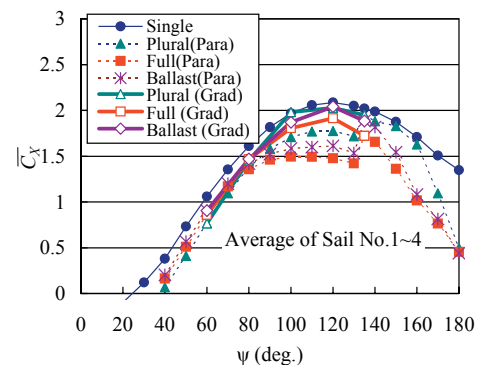
当所においては CO₂ 排出削減効果による環境負荷の少ない外航帆装船の有効性を評価するための研究を実施した。本稿では風洞実験により帆を船体に設置する際の高さや幅の制約を考慮し、複数の帆が甲板上に存在する場合の空力特性の変化(帆と帆及び帆と船体の干渉影響)を調査したので報告する。

設置を想定する船舶は、4本のクレーンをデッキ上に装備した載荷重量約5万トンのバルクキャリアである。それらのクレーンに帆の機能を付加させることを念頭に置いた。帆の形状は翼型硬帆、スラット、軟帆からなる複合帆であり、単独帆実験結果から得られたデータを元に矩形型帆、三角型帆の2種類を対象として実験を行った。

実験の結果、帆及び船体の干渉影響により、単独帆の推進力と比較した場合の推進力減少量を明らかにした。1例として下図に矩形型帆の結果を示す('Single'; 単独帆、'Para'; 船体上複数帆の1帆換算の結果)。

さらに4本の複合帆の風向角を様々に変化させることにより、推進力の減少を緩和させる方策についても検討を行い(下図中、'Grad'; 傾斜配列の結果)、有効な帆の設定角度を明らかにした。その結果、横風中で顕著であった干渉影響による推力減少は大幅に緩和され、帆装船の航行状態・推進利得を検討する際には、概ね斜め後方から追い風にかけての干渉影響に配慮する必要があるとの知見を得た。

また、帆装時の船全体に作用する風圧力及びモーメントを調査し、干渉力は回頭モーメントにも大きな影響を及ぼしていることが明らかとなった。



図：並列配置及び傾斜配置時の矩形型帆の
平均推進力係数

Water Hammer Caused by Rapid Gas Production in a Severe Accident in a Light Water Reactor

軽水炉のシビアアクシデント時における
気泡急成長による水撃力
稲坂富士夫、安達雅樹、汐崎浩毅、綾威雄、
成合英樹
平成17年2月

JSME International Journal Series B, Vol.48, No.1

軽水炉のシビアアクシデント時には、水-金属反応や水蒸気爆発によって大量の気体が格納容器内プール水中に急発生することが予想される。この気体急発生に伴う気泡急成長によって水塊がコヒーレント性(水塊個々の運動の同時性と同方向性)を保ったままピストン状に押し上げられるなら、格納容器内構造物には多大な水撃が作用することになる。しかしながら、水塊運動による水撃力に着目した実験的研究は、ほとんど為されていないのが現状であり、格納容器内構造物の破損確率には大きな不確定性が残されたままとなっていた。本研究は、コヒーレント性を有する水塊運動の発生条件を明らかにし、格納容器内構造物に作用する水撃力の定量的評価手法を提案することを目的とする。

水撃実験は、内径1.0mと0.428mの模擬格納容器を用い、高圧空気をプール水中に放出することにより気体の急発生を模擬した。実験パラメータは、放出空気圧($P_0=0.5-2.0\text{MPa}$)と容器内に貯められたプール水無次元初期水位($H_0^*= \text{水位}/\text{容器内径}=0.6-1.4$)とし、高圧空気をプール水中に放出した時の気泡急成長による水塊運動の様子や、プール水上方に取り付けた模擬構造物への水塊による水撃圧、容器内壁への衝撃圧、容器全体にかかる水撃による荷重を計測した。また、内径0.428mの容器については、容器の一部を同内径の亚克力管と交換することにより単一気泡の成長過程を詳細に観察した。

得られた主な結果は、次の通りである。

- 本実験範囲では、急成長する単一気泡は、気泡の先端がほぼ水面に達するまでは、水面を平らに保ったまま(完全なコヒーレント性を持って)水塊のある高さまで押し上げてから水面を突き抜け、気泡を含む水塊群となって上方に飛散する。また水塊の挙動は、ほぼ等加速度運動となる。
- 完全なコヒーレント性を持つ水塊の上昇距離と、その時の上昇速度を H_0^* に対して示すと、両者は H_0^* が1.0近傍においてピーク値を持つ。内径1.0m容器の場合、最大水撃圧は $P_0=2.0\text{MPa}$ の時で約50MPaになると推定される。
- 格納容器内構造物に作用する水撃力を予測するための実験相関式を提案した。

分散型小型炉に関する研究 (10) —小型炉炉心におけるガドリニアの燃焼特性— Study on Small Reactors for Distributed Energy System (10)

-Burn-up Characteristics of GD_2O_3
in The Core of Small Reactor-
澤田健一、中島伸也、小田野直光
平成17年3月

日本原子力学会2005年春の年会予稿集

本報告では、需要地近接立地を目的とした小型の分散型発電用原子炉 PSRD において、炉心燃焼特性に重要な役割を果たすガドリニアに関して特性評価を行った。

PSRD は PWR 型原子炉であり、以下のような特徴を持つ。経済性等の観点から、炉心設計においては長期間連続運転を主たる設計方針とし、全出力運転で5年間、燃料無交換での連続運転を行うこととした。また、安全性向上の観点からさらなる系統の簡素化を目指し、反応度制御には可溶性ボロンを用いずに制御棒のみで行う方針とした。そのため、初期反応度の抑制のため燃料棒の中に可燃性毒物としてガドリニウムを混入している。ガドリニウム入り燃料棒は、国内 PWR プラントにおいて濃度 10wt%まで含んだ燃料の開発が進んでいるが、運転期間中バッチ交換やホウ素による反応度制御を行う。このため PSRD 炉心においては異なるガドリニア入り燃料棒の最適化を行う必要がある。また PSRD は炉心が小型であるため中性子の漏れが大きくなることから、径方向出力分布の均一化が大型炉に比べて困難になる。以上の観点から、集合体中のガドリニア入り燃料棒の本数、ガドリニア濃度および配置に関して燃焼特性の評価を行った。

炉心の燃焼計算は、汎用核計算コードシステム SRAC95 を用いて行った。その結果、PSRD 炉心においては、燃焼初期の炉停止余裕を確保するには現行 PWR より集合体当たりのガドリニア添加量を増加させる必要があることが明らかとなった。また、これらの傾向より、寿命・出力分布の均一化の観点からガドリニア入り燃料の濃縮度・本数・配置等の最適化を行った。

超小型炉による深層水利用の生産プラント ー立地方式とボトミングサイクルー

Co-production Plant with very Small Reactor by Upwelling
Deep Ocean Water

-Site and Bottom Cycle-

石田紀久、小林英一、澤田健一、小田野直光、
外川織彦、大塚耕治、佐藤徹、湯原哲夫

平成17年3月

日本原子力学会2005年春の年会予稿集

原子力エネルギー利用の一つとして、小規模発電(あるいは水素生成)と未利用分野の Li、Mg、食塩等の多様な工業製品を生産する、コー・プロダクションプラントを提案する。本報告では、プラントの立地方式と深層水の低温性を有効利用するためのボトミングサイクルについて述べる。

原子炉には、改良船用炉 MRX 又はこれをさらに発展させた分散型小型炉を採用する。復水器の冷却には低温(10℃以下)の深層水を利用し、発電効率を向上させる。復水出口冷却海水の使い方に二つのケースが考えられる。①復水出口冷却海水を海の表層域に放水し、工場でのコー・プロダクションには別途、表層域から海水を取水する(単独型)。②復水出口冷却海水をコー・プロダクション用に導き、表層域に海水を放出する(カスケード型)。単独型は発電に重きをおいた場合であり、カスケード型は、発電効率と工業製品生産性がトレードオフ関係にあり最適な海水温度が存在する。

原子炉と工場の設置場所を陸上にするか海上にするかにより、①臨界立地方式、と②洋上方式がある。前者は、深層水取水のために長距離の水路を必要とし、場所も固定される。後者は取水管が短くなると同時に移動が容易であるが、波浪に耐えうる浮体構造物が必要となる。

「カスケード型」+「洋上方式」の場合、富栄養の深層水を復水器で温度を高めて表層域に放水することで人工湧昇流を形成し、漁場を創生することができ、広い意味でのコージェネレーションと見なし得わが国の食料供給にも大いに貢献できる可能性がある。

^6Li 含有熱蛍光シート線量計による中性子2次元測定 Two-dimensional Neutron Measurement with ^6LiF -rich Thermoluminescent Dosimeter

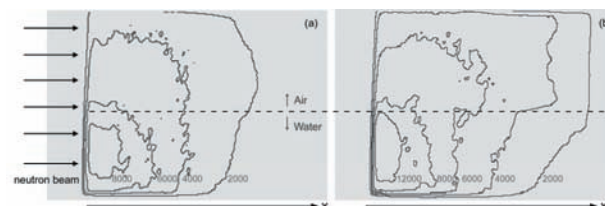
近内亜紀子、小田野直光、成山展照、大西世紀、
中島伸也、山本和喜、岸敏明、小笹尚登、石川雄三
平成17年3月

日本原子力学会2005年春の年会予稿集

原子炉を用いた中性子ビーム照射設備の照射野は一般に一辺10~20cmと広く設定されているため中性子強度が不均一であり、対象物に対して正確な照射計画を立てるには中性子エネルギー及び2次元強度分布の把握が重要となる。現在は主に金線の放射化を利用した中性子束測定が行われているが、広面積において連続的な2次元中性子分布を測定するのは難しい。我々は近年開発した2次元熱蛍光線量計に高濃度 ^6LiF を加え、 $^6\text{Li}(n,\alpha)^3\text{H}$ 反応によって中性子を検出するシート状の中性子検出器を開発した。最終的には中性子のエネルギー情報も含めた2次元線量分布測定を目標としているが、今回はその前段階として中性子の2次元強度分布を10cm角のシートによって測定した。

シート状中性子検出器は、熱蛍光物質 LiF:Mg,Cu,P とエチレンテトラフルオロエチレン共重合体の混合物に、天然同位体存在比の LiF に対し20重量%の94.71%濃縮 ^6LiF を加え、加熱シート加工によって製作した。中性子線照射実験は日本原子力研究所研究炉JRR-4内にある中性子ビーム照射設備において行った。シート状検出器を中性子ビーム軸と平行に設置し、水ファントムを用いて空気中及び水中の中性子減衰を観測した。また、厚さ60mm、幅7mmの LiF 含有ポリエチレン製のマルチリーフコリメーターを照射口に設置し、格子状及び円状の中性子2次元強度分布を作り中性子強度分布測定を行った。ガンマ線量及び中性子束は、それぞれTLD及び金線によってモニターした。下図に通常のシートと ^6LiF 含有シートの中性子照射結果を示す。水中で熱化した中性子が、空気中よりも早く減衰する様子が観測された。この減衰傾向は、金線及びTLDでモニターした結果と一致した。また、2次元強度分布を測定した両シート状検出器における熱蛍光強度比は、2.65であり、これは ^6Li の含有割合から計算された値2.71と比較して妥当な結果であると言える。

本研究における中性子分布測定法は、中性子がほう素に吸収され $^{10}\text{B}(n,\alpha)^3\text{Li}$ 反応を起こす確率分布を直接的に観測することができるため、最近脳腫瘍治療に効果を上げているほう素中性子捕捉療法での活用が期待される。



図：(a)通常熱蛍光シート、(b) ^6LiF 含有熱蛍光シート

各熱蛍光シート検出器の上半分は空気中、下半分は水中であり、中性子減衰の様子が検出されている。

核融合原型炉用増殖ブランケットの
局所TBR計算評価
Evaluation of Calculated Local TBR for
Blanket System of Fusion DEMO Reactor
平尾好弘、佐藤聡
平成17年3月
日本原子力学会2005年春の年会予稿集

日本原子力研究所において提案されている SSTR に代わる超臨界圧水冷方式の核融合原型炉概念および増殖ブランケットシステムに基づき、規定の設計仕様を考慮しつつブランケット核設計を実施している。設計要件としてトリチウム増殖比(TBR)、出口温度そして遮蔽性能をバランスさせながら、最適解を導く必要がある。本研究の目的は、現状、実現性の高いオプションとして固体一体型、Be、Li₂O による増倍増殖、フェライト鋼構造材、層状水冷式を選定し、これに基づく詳細なトカマク炉およびブランケット設計による最重要要件である正味TBR の評価である。第一段階として、トカマクの赤道面およびポロイダル面での全モジュールを考慮した局所TBR 評価を行って、最適なブランケット構造を導くパラメータ解析について報告する。

解析の手順として、中性子壁負荷最大となるトカマク赤道面で局所 TBR に関して最適構造をパラメータ推定したのち、壁負荷のポロイダル方向分布を考慮してトカマクの上半部をトロイダル断面でいくつか切って同様に一次元評価を行う。これによって大体の全モジュールTBR を評価する。次に、モンテカルロ計算によって三次元計算を行い、赤道面と全モジュールの TBR を一次元計算のそれと比較して計算精度評価を行う。設計に有用な SN コードを用いた場合の誤差を見積もるためである。他の設計要件である線束(線量)、核発熱(温度)も同時に評価する。

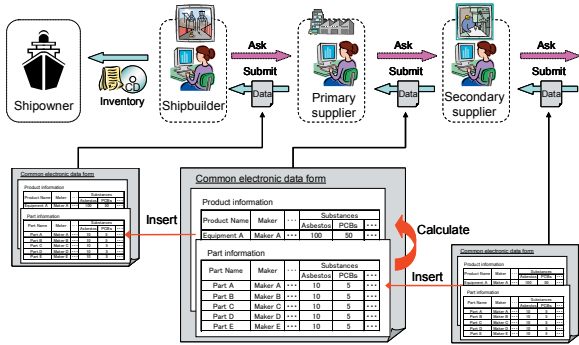
過去において同様の解析が行われているが、核データの不確実さによる結果の信頼性について注意があるため、今回の解析では全て JENDL3.3 ベースの核定数を用いた。過去の FUSION40、APPLE3 定数ベースの報告と比較して局所 TBR や Be 増倍部線束等の特性が多少低めにでる傾向があり、現在、最適な構造と組成の組を再検討している。今後、ポート、ダイバータを含めた全カバレッジ評価を行ってより実的な TBR 誤差評価を実施する予定である。

Ship Recycling – An Initiative to
Recycle-oriented Maritime Society
船舶のリサイクル循環型海事社会への
イニシアチブ
成瀬健、松岡一祥、林慎也、砂川祐一
平成17年2月
IMAREST, Sustainable Shipping... progress in a
changing world, Conference Notes

船舶解撤における労働安全衛生および環境問題への世界的な関心の高まりを背景に、2003 年 12 月に船舶のリサイクルに関する IMO ガイドラインが作成された。本ガイドラインは、船舶を一元的に所管する立場から作成されており、その内容には、船舶に使用される有害物質の所在および量を示す一覧表等から構成される“グリーンパスポート”を船主が本船に携帯すべきことが記述されている。さらに、新造船の建造において、有害物質を最小化すべきことも記述されており、積極的な代替物質の導入も勧めている。

このような状況を背景に、当所は、国土交通省海事局からの委託を受けて、船舶解撤に関する調査研究を実施しており、グリーンパスポート作成を支援するとともに新造船の建造における有害物質の最小化に寄与することを目的としたシステム(船舶材料トレーサビリティシステム)を提案した。その一環として、共通電子データフォームにより、実船一隻分のすべての機器・材料に含まれる有害物質の調査を試行する実験を実施するとともに、建造後に新たに特定される有害物質に対応できるデータベースシステムのプロトタイプを開発している。

本研究は、IMO ガイドライン遵守を促進し、海事産業全体において、循環型社会を構築するためのイニシアチブとして期待されるものである。それを推進するためには、予見される多くの課題を解決する必要があり、海事産業全体で協力体制を築くことが重要である。



図：共通電子データフォームによる化学物質調査
のイメージ

シミュレーションベースの船型設計 Simulation Based Design of Ship Hull Forms

日野孝則

平成17年1月

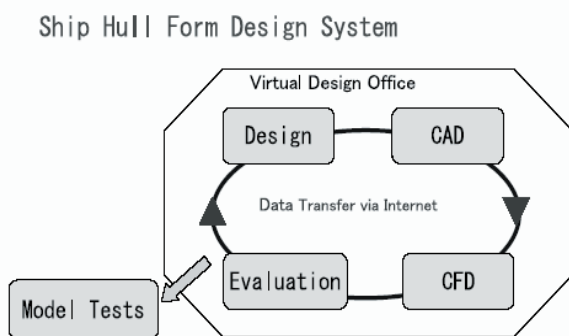
第54回理論応用力学講演会論文集

船型設計において、CFD(計算流体力学)は船体の流体力学的性能を予測するためのツールとして用いられるようになってきた。さらに、近年になってCFDと種々の最適化アルゴリズムを組み合わせた自動形状最適化の研究が進み、新しい設計ツールとして期待されている。

船型設計は通常、CAD(計算機援用設計)ソフトウェアを用いて行われているので、CADとCFDおよび最適アルゴリズムを一つのシステムに統合することができれば、CFDを有効活用した効率的な設計プロセスを実現できると考えられる。

本論文では、まずCFDを用いた船体まわりの流れの計算例をレビューし、抵抗性能推定、造波現象の解析、複雑形状の扱いなどに関して数値シミュレーションによる船舶の性能予測の現状を述べる。さらにCFDによる船体形状最適化の解析例を示してその有効性を述べる。次にCADとCFDを用いた船型開発プロジェクトの事例を紹介し、下図に示すような、CADとCFDの併用が設計プロセスを効率的にすることを示す。

最後に、CAD/CFD/最適化を統合した設計システムのコンセプトを提示し、システムコンポーネントの機能およびインターフェースについて述べ、シミュレーションベースの船型設計に向けた研究開発課題を明らかにする。



図：CAD/CFDによる船型設計

ソフト探触子による腐食部材厚さ測定精度の改善 Improvement on Thickness Measurement of Corroded Plates Using Soft Element Probes

島田道男、成瀬健、秋山繁

平成17年3月

日本機械学会関東支部第11期総会講演会講演論文集

超音波厚さ測定における腐食凹凸面の平滑化を省略することにより、腐食部材の管理を合理化するため、ソフト探触子を用いた腐食部材の厚さ測定実験を行った。このような条件では、従来型超音波探触子は探触子と腐食凹凸面間に存在する余分な接触媒質のため、厚さを過大評価する危険性がある。ソフト探触子は腐食面に沿って接触面が柔軟に変形するため、余分な接触媒質が減少し、精度向上が見込まれた。

そこで、実船舶から採取した腐食鋼板(表面粗さ0.5~1 mm程度、厚さ7mm~13mm)にソフト探触子と従来型探触子による厚さ測定を実施し、その精度を比較するとともに、周波数、振動子径、試料厚さ等が測定に与える影響を調べた。5MHzのソフト探触子による測定では、誤差平均値を従来型探触子の半分以下に出来た。個々の測定値と実厚さの関係を、図1と図2に示した。個々の測定値においてもソフト探触子の測定誤差が小さいことが分かった。また、振動子径は10φより5φが精度良く、周波数に関しては5MHzと10MHzで余り差がないことが分かった。

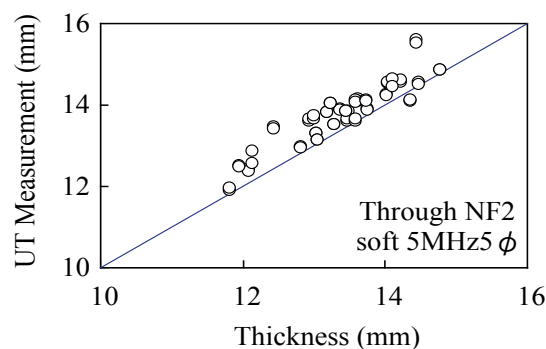


図1：ソフト探触子による測定結果の例

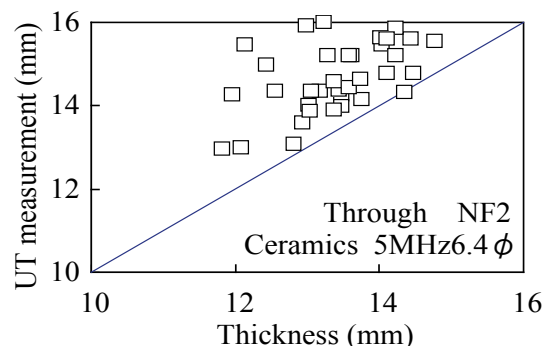


図2：従来型探触子による測定結果の例

浮体式風力発電用基盤浮体に関する基礎的研究 A Study on Base Structure for Floating Wind Power System

矢後清和、大川豊、太田真、中條俊樹、西村洋佑
平成17年1月

第18回海洋工学シンポジウム

地球温暖化問題に代表されるように、化石燃料に依存した大量消費社会の発展は新たな弊害をもたらしつつあり、近年、広い意味で太陽エネルギーを起源とする再生可能エネルギーを積極的に活用して行こうという考え方が世界的に広がりを見せている。京都議定書は2005年には批准される可能性が高まっており、新たな規制の枠組みが今後の環境対策の重要な柱となるものと思われる。

風力発電は、ライフサイクルという観点で考えた時、再生可能エネルギーの中でも、CO₂量が比較的少ない有望な資源であるため、欧米各国を中心にして大規模な開発が進められている。風力エネルギーの大規模な導入量達成のためには、洋上への展開が不可欠である。ヨーロッパでの導入海域は沿岸から数10kmでも水深10m以浅という有利さがあり着定式工法が可能であるが、我が国では急に水深の深くなる海域が大多数であり、広大な遠浅海域の確保は困難である。また、歴史的にも昔から漁業等が活発で、沿岸域は高度に利用されており、権利関係も存在することから、大規模な導入は容易ではない。このため、我が国では影響の少ない沖合へ浮体式を用いて導入するのが有利と考えられている。

また、自然エネルギーは一般にエネルギー密度が低いため、広大な面積を必要とする。風力発電も同様で、広大な設置海域が必要な上、時間変動が大きいため計画供給ができないという短所を持っている。本研究では、エネルギー貯蔵の観点から、風力で得られた電力を利用して海水の電気分解により水素を生成し、さらに現在のインフラに直結して使いやすいメタンに改質して供給するシステムを考えることとした。

本研究で対象とする浮体式システムは、現在最大級の5,000kW級風力発電機を複数基搭載して、既存の造船所で建造できる規模を想定している。研究目標は、沖合の過酷な海象下でも安全性が確保でき、かつ発電性能を損なわない基盤浮体を開発することである。設計波高として沖合の有義波高12.5mという過酷な条件を課している。

浮体形式には、ボックスガダーを井桁に組んだ格子構造を持つ大型浮体式構造物を考えた。当初、3棟の風車を搭載した長さ367m長の浮体について波浪応答を調べた結果、弾性挙動が卓越し、強度的に成立しない事がわかった。そのため、全長を187mと短くし、風車基数も2棟とすることで成立を見た。本論文では、そうした浮体最適化の過程について紹介している。

箱形と櫛形の複合形状メガフロートの水槽試験 Hydroelastic Response and Mooring Characteristics of Megafloat for Re-extension

Plan of Haneda Airport
大川豊、井上俊司、島田潔、太田真
平成17年1月

第18回海洋工学シンポジウム

羽田空港再拡張事業に対して提案された浮体工法について、滑走路島全体モデルによる波浪中弾性応答の水槽模型試験と数値シミュレーション計算を行い、それらの結果を比較した。

本事業の滑走路島は、その南側約1/3は多摩川の河口部に当たり、流線上に位置することから、当該部分については通水性の要求が課せられた。そこで、河口部に当たる部分は「櫛形」の浮体が提案され、従来の「箱形」メガフロートと接合した複合型の浮体となった。

このような複合型メガフロートは実事業対応としては初めてであったため、滑走路島全体の模型が必要であった。そこで、水槽の大きさを勘案して模型の縮尺は1/200とした。模型の構造はアルミ合金およびステンレス鋼を骨材とし、発泡スチロールを浮力材にしたバックボーンモデルとした。水深は縮尺1/200では10cmとなり、造波が出来ないので80cm(実機対応160m)とした。

計測項目は、滑走路上の1ラインおよび櫛形・箱形接合部付近の上下変位(72点)、滑走路上および接合部の歪み48点、係留力3点、入射波高2点、透過波高4点等である。波の条件は実機相当で5.6秒から14秒、波高は20mmを目標とした。波の入射角は0°から180°まで30°間隔とし、計測枠ごと回転させてセットした。

シミュレーション計算はメガフロート技術研究組合が開発した「詳細3次元弾性応答解析プログラム」によった。

実験とシミュレーションを比較した結果、得られた知見は以下の通りである。

- (1) 実験結果と計算結果は概ね良い一致が見られた。
- (2) 波上側の構造領域の応答が大きく、波下端部で応答が大きくなる現象は見られない。
- (3) 縦曲げモーメントは箱形部で大きく櫛形部で小さい。接合部では櫛形より若干大きくなるが、箱形より遙かに小さい。
- (4) 波周期10～14秒の領域では、波周期の増大に伴って箱形部の応答は増加するが、櫛形部の応答はほぼ一定である。
- (5) 櫛形部の波の透過率は概ね0.5以下であるが、この値は櫛形のフーティングの幅や喫水の影響を強く受けるものと考えられる。

櫛形メガフロートの要素浮体試験

An Experimental Study on Elemental Floating Bodies of the Comb-type Mega-float

大川豊、加藤俊司、井上俊司

小林顕太郎、太田真

平成17年1月

第18回海洋工学シンポジウム

羽田空港再拡張事業の滑走路島は、その南側約1/3が多摩川の河口部に当たり流線上に位置することから、当該部分については通水性の要求が課せられた。そこで、その部分は「櫛形」の浮体が提案された。櫛の歯の部分は十分な浮力を確保するために底面付近が幅広くなっており、2次元断面で見るとセミサブ形式のような要素浮体である。このような要素浮体形状では減衰力に粘性影響が現れることが知られているため、線形理論とどの程度の差があるのかを調べておく必要がある。また、要素浮体の側面にまで遡上するような非線形波が当たった場合の波圧分布の推定法が問題になった。そこで、要素浮体の強制上下揺れ試験、波強制力試験、および波圧計測試験を行った。

模型の縮尺は1/50とし、水深も縮尺通り40cmとした。模型はアクリル製で強制動揺と波強制力用には長さ1mのもの3体を作り、単体および3体平行に並べたモデルについて実験を行った。波圧計測試験は幅50cmの小型2次元水槽で行ったため、幅496mmとして中央に小型圧力変換器を13個分布させた。

波および強制動揺の周期は実機相当で4秒から16秒、振幅は全振幅で1m、2m、3m相当とした。

比較する理論計算は、強制動揺と波強制力では3次元特異点分布法による計算値、波圧試験については境界要素法に基づく2次元数値水槽シミュレーションを行った。

実験と計算を比較した結果、以下の知見が得られた。

- (1) 要素浮体の波強制力および上下揺れ付加質量は線形理論で評価できる。
- (2) 上下揺れ減衰係数は速度の2乗に比例する粘性減衰を含み、その抗力係数は4～5である。
- (3) 要素浮体間の距離に起因する irregular frequency が周期4.5秒付近に存在し、付加質量は不連続になる。減衰係数は線形理論では無限大に近くなるが、実験ではそれほど大きくならない。
- (4) 平水面上の波圧などを求めるには境界要素法に基づく数値水槽によるシミュレーションが有効である。
- (5) 直立壁に当たる波に対する波圧は合田式よりも小さく、合田式は安全側の設定になっている。

今後の問題として、粘性減衰を合理的に弾性応答計算に織り込む手法を開発する必要がある。

「拓海」の挙動と設置海域の海象について

On the Behavior of “Takumi” and Neighboring Sea Conditions

大川豊、田村兼吉、矢後清和、前田克弥

高井隆三、伊藤和彰、返町秀治、宮部宏彰

平成17年1月

第18回海洋工学シンポジウム

海洋肥沃化装置「拓海」は2004年5月に相模湾中央部に設置され、水深約200mの深層水と表層水を混合して水深20mの有光層に密度流として吐出し、周辺海域の漁場造成を目標とした実海域実験を行っている。その実験の一環として、「拓海」自身の動揺や気象・海象の計測を行っている。

装備した計測機器は、動揺計測用にFOGおよび3軸サーボ式加速度計、超音波式風向風速計、空中発射型超音波式波高計3台である。この他深層水取水管のほぼ中央円周上に7枚の歪みゲージが張っており、曲げ歪みを計測できるようにになっている。これらは毎時正時を挟んで30分間、100Hzのサンプリング周波数でPCに収録される。DGPSおよびADCPのデータは別系統で収録されている。

「拓海」は水深1,000m程度の海域に1点係留されており、その動きと船首方位はDGPSで捉えられている。その計測結果によると、シンカー設置位置より500m以上離れた位置を中心に直径500m程度の範囲で移動していることがわかった。その移動方向は流れの変化する方向に強く依存している。

3台の波高計で得られた相対波高は、波高計付近で計測している上下加速度または動揺計測から得られる波高計設置点での上下変位から絶対波高に変換される。このようにして得られた波スペクトルから、うねりと風浪をそれぞれJONSWAP型の波スペクトルで表せると仮定してそれぞれの成分に分離したところ、概ね良好な推定値が得られた。波高は風浪がうねりより卓越しており、平均周期は風浪が7秒、うねりが14秒程度であった。

風速計から得られる風向はDGPSの方位データによって修正する必要がある。この修正の妥当性は神奈川県水産総合研究所の城ヶ島沖浮き魚礁ブイで計測されている風向と比較することで確かめられた。風速についても強い相関があった。三浦、辻堂におけるアメダスの風速データと比べると海上の風速は約2倍である。風の乱れ度、突風率等も求めて他の陸上データと比べると、強風域ではかなり小さいことが判明した。これらにより、風力発電に利用するとすれば、一般に海上の方が風況がよいと言われていることが裏付けられた。

Model Tests of Riser Pipe in Deep-Sea Basin

深海水槽におけるライザー模型実験について

前田克弥、田村兼吉、安藤裕友、新富恭子

平成17年2月

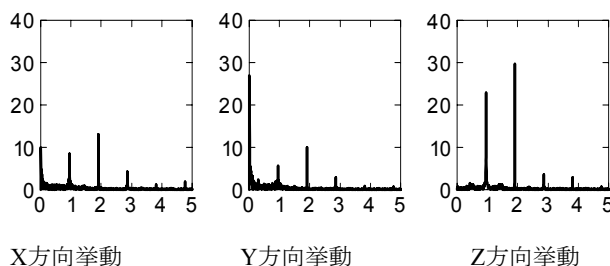
Proceedings of International Symposium on
Technology of Ultra Deep Ocean Engineering 2005

海中・海底の資源開発や学術的調査等において必須の技術としてライザー技術がある。ライザー技術の確立の為に、ライザー管が潮流中や波浪中においてどのような挙動を示しているかを模型試験により把握する必要がある。ここでは、深海水槽におけるライザー挙動実験の実験方法及び計測結果について報告している。

対象とするライザー管は実機で長さ 3,500m、外径 0.416m で、実験には 1/100 模型を用いた。模型製作に当たっては、全長、外径はもとより、曲げ剛性を実機と合わせる必要があり、模型材質の選定が重要となる。

実験はライザー管上端部を強制動揺装置に取り付け、ライザー管下端部が固定されている場合及び切り離されている場合の2状態について、X方向及びZ方向への加振を行い、その挙動の計測を行った。

本計測結果から特にZ方向への強制動揺を行った場合においても、パラメトリック励振によるX方向およびY方向への挙動が計測されており、水平面内挙動に起因して、Z方向の挙動も強制動揺周波数以外の周波数でも計測されており、実際にライザー管を用いる場合に鉛直方向の挙動を無視できないことが明らかとなった。



図：Z軸方向強制動揺試験計測結果

(横軸：周波数、縦軸：振幅、強制動揺周波数：1.9Hz)

Dynamic Behavior Analysis of a Riser Based on Coupled Fluid-structural System

流体・構造連成系システムに基づいたライザーの動的挙動解析

伊藤和彰、田村兼吉、増田光一、近藤典夫、
前田久明、林昌奎

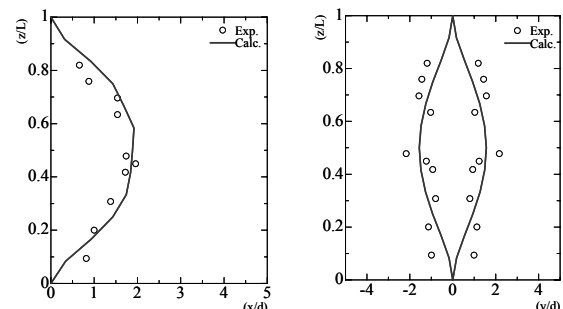
平成17年2月

Proceedings of International Symposium on
Technology of Ultra Deep Ocean Engineering 2005

ライザーは海洋開発に用いられる浮体と海底を繋ぐパイプを指す。海洋石油掘削・生産、海洋温度差発電、マントルの採取等の用途に用いられる。本研究では主に石油生産用ライザーを対象とした。ライザーは厳しい海象条件の中で稼働するため、破断・破損が重要な問題となり、ライザーの設計に際しては、ライザーに作用する力を適切に評価する必要がある。ライザーは断面の諸寸法に比べて全長がはるかに長い一次元的であるという構造的特長を持つ。このため、軸方向の変形は小さく軸に垂直な方向への変形が相対的に大きくなり、さらには応答が非線形となるため、挙動解析が困難になっている。

ライザーに関する諸問題で特に問題とされているものは、ライザー周りで生じる非定常な渦剥離により引き起こされる振動である。この振動はVortex-induced Vibration (以下VIV)と呼ばれている。このVIVは高周波数成分を含むため、ライザーの疲労破壊の原因であるとされている。従って、VIVを含む流体力を精度良く評価することが設計において最も重要である。このため、ライザーの挙動の解析には流体系と構造系との相互作用を考慮した連成解析が必要となる。そこで本論では、ライザーの挙動解析に移動境界を含む流体力解析を連成させ、相互に計算結果を受け渡し、構造系の挙動と流体系の運動を交互に計算することで、非定常な干渉結果を表現した。具体的には、有限要素法による流体力解析手法と構造解析手法を連成させたシステムの開発を行った。

下図に計算結果の一例を示す。左側が一樣流中 (Re 数 = 500)でのライザーのinline方向の最大到達範囲であり、右側がtransverse方向の最大到達範囲である。下図のように、本手法の解析結果とライザーの挙動実験結果を比較し、本研究の妥当性が明確にされた。



図：抗力および揚力方向の最大振幅の比較
(レイノルズ数500の場合)

光学計測によるマイクロバブル溶解への乱流影響に関する研究

Investigation of Turbulence Effects on Microbubble Dissolution by Optical Measurements

杉山和靖、羽田智信、藤原暁子、川島久宜、
菱田公一、亀田正治、児玉良明

平成16年11月

日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集

溶解を伴う気泡流は多くの分野で観測され、工学的に重要である。径が 1mm 以下のマイクロバブルは溶解性が高く、その活用に注目が集まっている。本研究では、水噴流中のマイクロバブルを対象とした光学計測を行い、その溶解挙動を調べた。本論文では乱流による気泡の溶解促進を考察した。

まず、Interferometric Laser Imaging 法による気泡径計測を行った。そして、気泡発生ノズルからの高さ x と気泡半径 R の確率密度関数(図 1)を調べた。その結果、気泡の溶解に伴う気泡半径の変化を捉えられることを確認した。次に、Particle Image Velocimetry-Laser Induced Fluorescence 法による速度場計測を行った。そして、対称軸上の平均速度分布(図 2)、噴流の半値幅(図 3)を調べた。その結果、気泡発生装置より十分下流での液相速度が十分に発達した円筒自由噴流の状態に近いことを確認した。この結果を踏まえ、円筒自由噴流の自己相似性を考慮して、気泡と乱流の長さ、時間、速度スケールを比較し、本実験条件における気体溶解に対する乱流影響を議論した。そして、気泡径が乱流中の微細渦よりも小さい条件でのシャーウッド数の相関式を、乱流エネルギー散逸率の関数として提案した。また、計測した気泡半径の累積個数分布の下流方向への変化から、溶解に伴う気泡半径を統計的に推算したところ、本相関式から予測される結果と整合することを確認した。今後は、統計的な方法の代わりに、個々の気泡半径の過渡的な変化から、詳細に溶解速度を捉える予定である。

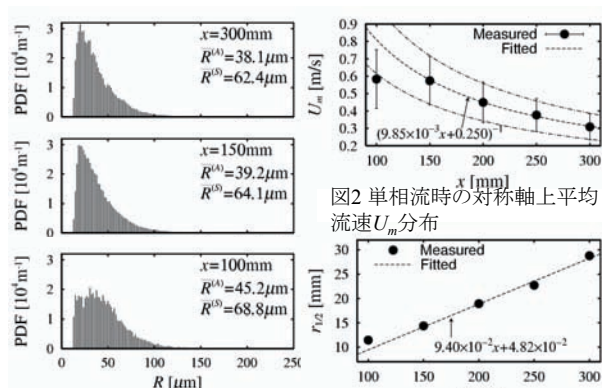


図1 高さ $x=100, 150, 300(\text{mm})$ での気泡半径の確率密度関数分布

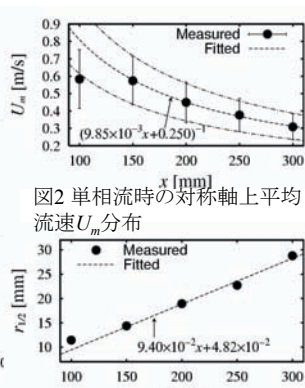


図2 単相流時の対称軸上平均流速 U_m 分布

球形ガス気泡の非線形運動に対する熱伝達効果のモデリング

Modeling of Heat Transfer Effect on Nonlinear Motion of a Spherical Gas Bubble

杉山和靖、高木周、松本洋一郎

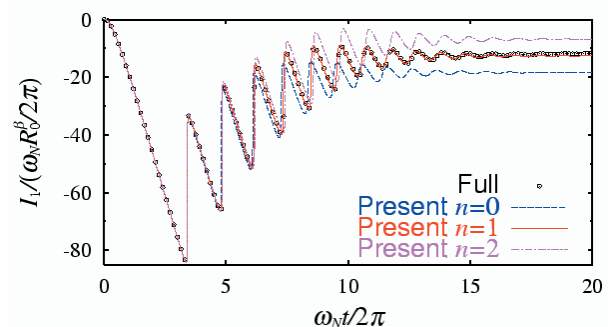
平成17年1月

第54回理論応用力学講演会 講演論文集

変動を伴う圧力場中における気泡半径運動はキャビテーションを伴う流体機械、超音波造影などで重要である。気泡半径運動は気泡内部の熱的效果に大きく依存することが知られている。この効果を考慮するには温度の空間分布を解く必要があり、多数の気泡を扱う数値解析では、計算時間が莫大となる。本研究では、単一気泡の半径運動を対象として、気泡内温度の空間分布を解く代わりに、時間のみに依存する関数として熱的減衰効果をモデル化した。

モデル化の際には、(1)周期的な駆動圧力に対する気泡半径、気泡壁熱伝達の波としての挙動、(2)気泡の崩壊・リバウンド時の短期間における熱伝達の急激な変化に注目した。本論文では、気泡運動の非線形性を考慮した摂動解析、および、数値シミュレーションを行い、本モデルの妥当性を検証した。

(1)の影響については、気泡運動の線形摂動解析に基づいてモデルパラメータを決定した。そして、弱非線形摂動解析を行い、本モデルの数学的合理性を確認した。(2)の影響については、気泡半径の自由減衰振動の数値解析を行い、モデルパラメータを決定した。具体的には、まず、気泡半径 R の β 乗の微分方程式を導出し、気泡の崩壊・リバウンド時の気泡半径変化を支配する熱伝達の影響を求めた。次に、温度浸透厚さのモデル化に必要である温度補正に関して、その冪指数を先験的に調査した(下図参照)。そして、気泡半径変化を調査し、気泡内温度分布を直接解く full モデルと本モデルの結果がよく一致することを確認した。本モデルの結果は、広範囲の条件で full モデルの結果とよく一致し、高い汎用性があると考えられる。



図：気泡半径の $5/2$ 乗の時間微分に対する熱的效果の時間発展。 n は温度浸透厚さのモデル化に対する温度補正の冪指数。(初期気泡半径 $R_0=10\mu\text{m}$ 。時刻 0 で $P_{L0}=100(\text{kPa})$ から $P_{L1}=10(\text{kPa})$ に減圧し、気泡半径が極大となった際に P_{L0} に戻す。)

Recent Progress in Unstructured Navier-Stokes Solver for Ship Flows

船舶まわりの流れ解析のための非構造格子
NSソルバーの開発

日野孝則

平成17年2月

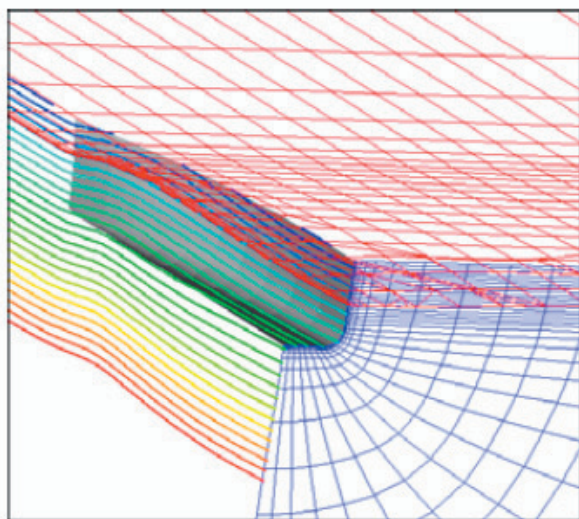
「移動境界および界面の流れ解析」論文集

CFD(計算流体力学)の中で、非構造格子を用いる手法は、その形状適応性の高さから複雑形状の扱いにおいて有効であると考えられている。当所では、船舶まわりの流れの解析に非構造格子を適用するための技術を開発している。船舶まわりの流れの特徴は、自由表面影響と高レイノルズ数の乱流境界層と伴流の存在である。

乱流を扱うためには乱流モデルの導入が必要であり、非構造格子に対しても適用可能なモデルとして、移流拡散方程式の形で渦動粘性係数の分布を求める1方程式モデルを採用した。

また、自由表面を扱う手法には、界面適合法と界面捕獲法の2種類のアプローチがある。界面適合法は自由表面の変形に伴って、格子を自由表面に適合するように移動させながら流れを解く手法である。境界条件を精度よく課することができる半面、物体表面における格子の移動の際には特別の注意が必要となる。非構造格子では格子の接続関係に自由度が高いため、格子移動のアルゴリズムは複雑になる。そこで、ここでは界面捕獲法を用いることにした。界面捕獲法では、自由表面位置を表現するスカラー変数を導入し、その移流方程式を解くことで自由表面を追跡する。スカラー変数として、自由表面からの距離関数であるレベルセット法を用いる。下図はレベルセット関数の分布形状を示したものである。

以上のような非構造格子ナビエ・ストークス・ソルバーの概要を示すとともに、最近の計算例を紹介し、その有効性を示す。



図：レベルセット関数による自由表面表現

Estimation of the Nonlinear Motion of a Ship in Rough Seas

荒天中での非線形船体運動の推定

小川剛孝

平成17年2月

2004年度九州大学応用力学研究所国際研究集会

「移動境界および界面の流れ解析」

波浪中における船舶の耐航性能は、船体運動や波浪荷重を指標として評価される。これらを推定するための実用的手法としては、線形ストリップ法が一般的に用いられている。これは、比較的波高が低く、船が細長であるとの仮定のもとに静止時の水面下形状について流体力係数を求めて船体応答を推定する手法である。これによる計算値は実験結果をよく説明しており、合理的な推定手法であることがよく知られている。

しかしながら、船舶は少なからず荒天中を航行するため、波浪中船体応答は大振幅になる場合がある。このような大振幅応答と微小波高中での応答振幅は、入射波高に対して比例するわけではない。このことから、荒天中での船体運動や波浪荷重は波高に対して非線形となることがよく知られている。また、荒天中ではスラミングや海水打ち込みによる衝撃荷重の検討も重要となる。そのためには、水面下だけでなく水面上形状も考慮する必要がある。近年、安全基準を合理的に設定する観点からも、乾舷、舷弧等の水面上形状と船体応答の関係についての検討が求められており、当所が中心となって検討を行っている。

これらのことを背景として、静止時の水面上形状を考慮した推定手法の開発が求められているが、現状では手法が確立されているとは言い難い。とりわけ、波高の非線形影響を考慮した斜波中での船体応答の推定については、数値計算上の難しさもあることから、現時点では十分な検討が行われているわけではない。将来的にはCFD等の数値計算手法による高精度推定法の開発が望ましいが、こちらも実用に供されるまでに至っていない。そのため、高精度推定法の開発と平行して実用的推定法の開発が必要となっている。

著者は波浪中での操縦運動の解析に用いられているHorizontal Body座標系を用いた船体運動方程式を導いた。これをもとに、波高の非線形影響を考慮した実用的な船体運動推定法を開発した。コンテナ船の船体運動とスラミングによるフレア衝撃圧を推定して模型実験の結果と比較したところ、波高の非線形影響を考慮して精度良く推定できることが分かったので報告する。

実海域の操縦性能

Ship Manoeuvrability at Sea

原口富博、上野道雄

平成17年3月

TECHNOMARINE 日本造船学会誌第884号

ある船固有の最も基本的な操縦性能は、深水域・平水中・無外乱時における性能を一般に指している。これに対し、実海域での操縦性能は実海域で避けることのできない風・波・潮流などの環境要因の影響を受けた結果としての性能とすることができる。

風や波の中での操縦性能を正しく知ることは幅輻域や港湾域あるいは荒天下における衝突や座礁などの操縦性能が直接関係する海難事故を防ぐ上で重要である。

多様な性質を持つ実海域での操縦性能を評価するためには、風や波など実海域の環境要因が操縦性能におよぼす影響を正しく評価する必要がある。この評価手法は操縦性基準にも関連して、実海域における操縦性能試験から逆に船固有の基本的な操縦性能を推定・評価するためにも必要となる。

本稿では、風・波・潮流・水深など多様な実海域における環境要因のうち、風と波が操縦性能におよぼす影響に関するこれまでの研究動向について概観するとともに、操縦性基準に関連して性能評価法についての課題を指摘した。

研究動向では、外力としての風や波が船舶に及ぼす影響を定量的に評価する方法や、その外力が旋回運動などの操縦運動に及ぼす影響を評価した研究をレビューした。

さらに操縦性基準に関して、海上試験で行われる操縦運動に及ぼす風と波の影響、積み荷によって横メタセンタ(GM)が変化する船舶でのGMの影響、さらに載貨状態による操縦性能への影響について、研究結果を示しながらその課題について述べた。

最後に実海域での操縦性能を考えた場合、操縦性基準関連の性能評価のみならず、港湾等での外乱下の操縦性能の評価は船舶の安全運航に重要であることから、研究の必要性を指摘した。

Experimental Study of Frictional Drag Reduction by Microbubbles

: Laser Measurement and Bubble Generator

マイクロバブルによる摩擦抵抗低減の実験的研究:

レーザ計測と気泡発生

川島久宜、藤原暁子、斎藤雄介、菱田公一、児玉良明

平成17年3月

Proceedings of the 6th Symposium on Smart Control of Turbulence

タンカーなどの船舶が水から受ける抵抗の多くは摩擦抵抗であるため、燃費、性能向上を得るためにこれを低減することが望まれている。摩擦抵抗低減法として、微小気泡(マイクロバブル)を用いた方法が注目されている。本研究では、マイクロバブルの発生装置の開発、光学計測によるせん断力センサの開発、複合画像計測によるマイクロバブル流れ計測について紹介する。

マイクロバブルの発生には、ベンチュリ管を利用した(図1参照)。本装置では、ノズル部での圧力低下により気泡が発生し、その後膨張、崩壊に至る。また、マイクロバブルは、急激な気泡の崩壊により生成される機構を開発した。

光学式せん断力センサは、2つのレーザ光を通過する粒子または気泡から発するドップラー信号を利用して計測できる(図2参照)。本手法では、ドップラー信号の強弱を利用して、液体中に散布された粒子と気泡とを判別し、それぞれのせん断力を計測するシステムを構築した。

複合画像計測では、水平アクリルチャンネル内のマイクロバブル流れを対象に計測した。実験では、流速、空気吹出し量、計測位置をそれぞれ変化させ、液体中に散布された蛍光粒子に対してLIF法を利用して速度場を算出した。その結果、レイノルズ応力と摩擦抵抗低減効果が、計測位置を除いて良く一致することを示した(表1参照)。

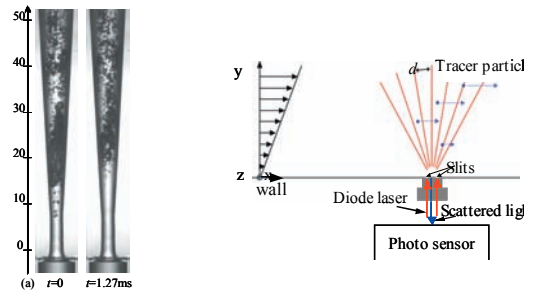


図1：マイクロバブル発生 図2：光学式せん断力センサ概略図

表1：画像計測のまとめ

(a: レイノルズ応力低減量, b: 摩擦低減効果)

	a	b
Air flow rate ↗	↗	↗
Mean velocity ↗	↘	↘
Measuring position ↗	↗	↘

↗: increase ↘: decrease

Recent Progress of Microbubble Flow Simulation for Elucidating Drag Reduction Mechanism

抵抗低減メカニズム解明のためのマイクロバブル
流れのシミュレーションの最近の進歩

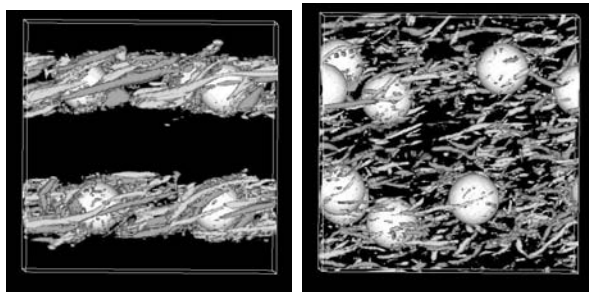
杉山和靖、川村隆文、高木周、松本洋一郎

平成17年3月

Proceedings of the 6th Symposium on Smart Control of
Turbulence

乱流境界層へのマイクロバブルの吹出しは80%もの摩擦抵抗低減効果があることが確認されており、燃費削減技術として期待を集めている。実用化には、抵抗低減に対して最も重要な要因を明らかにする必要がある。本研究では、これまで、マイクロバブル流れの抵抗低減機構の解明を目的とした種々の数値シミュレーションを行ってきた。本論文では、その最近の進歩について述べており、得られた知見を以下のようにまとめている。

(1) 発達過程の流れにおいて、気泡分散は抵抗低減に寄与するが、気泡周囲で増大する散逸率は抵抗増加に寄与する。後者の影響の評価には大きな計算資源を要するが、抵抗低減機構の調査にはこの影響を考慮すべきである。(2) 壁面レイノルズ数 Re_τ が200以下のチャンネル流では、気泡周囲での散逸率の増加が無視できず、摩擦抵抗は増加する傾向にある。(3) Re_τ が約1,000以上のチャンネル流では、気泡運動によって乱流構造が大局的に変調し、摩擦抵抗が減少する。 $Re_\tau=1,100$ 、ボイド率1%の条件で数値シミュレーションを行ったところ、場全体での散逸率が減少し、その結果、2~3%の抵抗低減に至る。この抵抗低減効果は、従来の計測値と同程度である。(4) 摩擦抵抗に寄与するレイノルズせん断応力(RSS)の増減を調べるため、気泡を含む一様せん断乱流のシミュレーションを行ったところ、気泡の周囲で局所的に強い渦が形成する場合に、RSSは増加する(図(a)参照)。それに対して、十分にバルク乱れが強ければ、渦構造は一様に分布し、RSSは減少する(図(b)参照)。これらの結果は、上述の(2)(3)の知見と整合する。せん断レイノルズ数、乱流レイノルズ数、ウェーバー数が高い場合に、RSSは小さくなる傾向があり、摩擦抵抗の低減に至ると考えられる。



(a) バルク乱れ弱 (b) バルク乱れ強
図: 気泡周囲の渦構造分布

波浪観測データ

Observation Data of Wave

小川剛孝

平成17年3月

TECHNOMARINE 日本造船学会誌第884号

波浪データは、実海域での船舶等の性能評価における環境条件、つまり評価のための入力データとして重要である。とりわけ、実海域での長期の性能を評価する上で重要となるのは、船舶が航行する平均的な海象と大波高の長期発現頻度である。これらを把握するためには、波浪データを蓄積して波浪統計を作成する必要がある。

ここでは、波浪データのうち、観測により得られるデータについて紹介した。代表的な観測データである船舶からの観測データ、ブイデータ及び人工衛星等を用いたリモートセンシングデータについて、計測原理と現状を総括的に紹介して、各方法の長所と短所を整理した。

ここで紹介したように、波浪の計測方法にはそれぞれ長所と短所があるため、単独の計測方法だけで実用に供するものは無い。とりわけ、下図に示すように著者らの研究結果では、各種データ間に決して無視できない差があることがわかっている。計測期間、位置、手段、データの処理方法など多くの要因が考えられるため、現状では、優劣などの結論を出すことはできない。最も精度が高いと考えられているブイでも波高10mを越える波の信頼性が十分に検証されているわけではない。それぞれの精度向上を図りつつ、補完しながら活用していくべきであると考えられる。

活用例として、人工衛星に搭載したマイクロ波放射計を用いた海上風データの活用方法を紹介した。得られた海上風の精度はさらに検討の余地があるものの、グローバルな海上風の分布を入力とすることで波浪推算・追算の推定精度向上が期待されている。2004年の11月から、気象庁の数値天気予報の入力の一部にマイクロ波放射計のデータが定常的に活用された結果、予測精度が大きく改善されたことが報告されている。

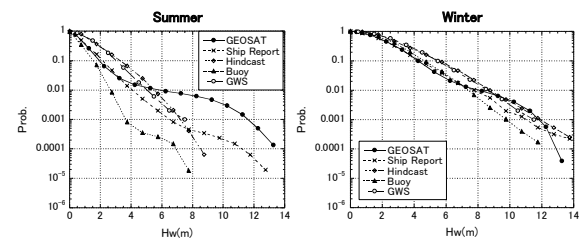


図: 北太平洋における波高の超過確率の比較例(小川他)

船上観測データに基づく南極リュツォ・ホルム湾 定着氷の夏季における氷厚及び積雪深 分布特性について

Characteristics of Sea Ice Thickness and Snow
Depth Distributions of Land-fast Ice During
Summer in Lützow-Holmbukta, Antarctica,
Revealed from Ship-based Observations

宇都正太郎、下田春人、泉山耕、牛尾収輝、青木茂
橋田元、若林裕之、西尾文彦

平成16年11月

南極資料 第48巻3号

南極観測船「しらせ」船上で取得された海氷観測結果をもとに、リュツォ・ホルム湾定着氷の夏季における氷厚及び積雪深分布について考察した。ビデオ観測結果から求めた各年の全氷厚(氷厚+積雪深)確率密度分布は薄氷型と厚氷型に分けられることがわかった(図1参照)。

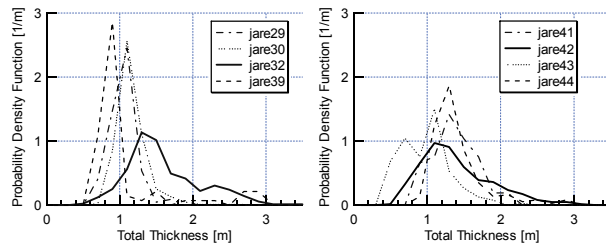


図1: ビデオ法によるリュツォ・ホルム湾定着氷の
全氷厚の確率密度分布(左: 薄氷型、右: 厚氷型)

また大陸沿岸から約20km圏内では全氷厚及び積雪深は沿岸に向かって漸減する傾向を示した。これは北東方向の卓越風による積雪輸送によると考えられる。電磁誘導法によって観測された全氷厚分布には不連続的な変化が認められた。NOAA/AVHRR画像と比較した結果、不連続の位置は定着氷流出後の再結氷域における一年氷と、未流出の厚い多年氷との境界に一致することがわかった。定着氷の流出範囲は年によって大きく変動する。流出位置が沖側に後退すると厚い多年氷域の割合が多くなり厚氷型になり、沿岸に近づく積雪影響も相まって厚い多年氷域が縮小または消滅し、薄氷型になるというメカニズムが明らかになった。

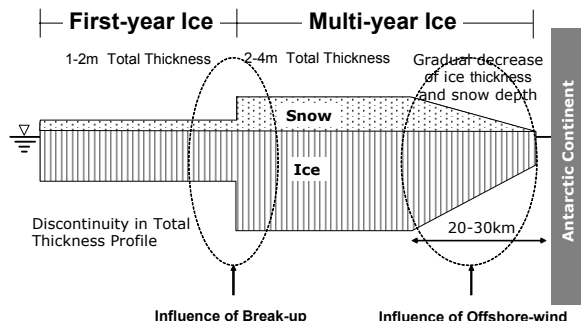


図2: 「しらせ」航路上リュツォ・ホルム湾夏季定着氷の氷厚
及び積雪深分布モデル

Recent Progress in Unstructured Navier-Stokes Solver for Ship Flows

船体流れ用の非構造格子NSソルバーの最近の進展

日野孝則

平成17年3月

Proc. 5th Osaka Colloquium on Advanced Research
on Ship Viscous Flow and Hull Form Design by
EFD and CFD Approaches

CFD(計算流体力学)の中で、非構造格子を用いる手法は、その形状適応性の高さから複雑形状の扱いにおいて有効であると考えられている。当所では、船舶まわりの流れの解析に非構造格子を適用するための技術を開発している。船型設計のための性能推定においては、自由表面影響とプロペラ影響の考慮が必要となる。

自由表面は造波抵抗の源であり、抵抗性能にとって重要要素である。自由表面を扱う手法には、界面適合法と界面捕獲法の2種類のアプローチがあるが、自由表面の表現と追跡に柔軟性がある、界面捕獲法を用いることにした。界面捕獲法では、自由表面位置を表現するスカラー変数を導入し、その移流方程式を解くことで自由表面を追跡する。スカラー変数として、自由表面からの距離関数であるレベルセット法を用いる。

プロペラ影響を扱う手法にもいくつかの方法があるが、ここでは体積力モデルを用いた。体積力の算定には、モデルが比較的簡単でありながら、プロペラ流入速度の影響を考慮することができる、無限翼数プロペラ理論による方法を採用した。

また、操縦性分野へのCFD適用のためには、斜航あるいは旋回する船体まわりの流れを計算する機能が必要となる。

このような非構造格子ナビエ・ストークス・ソルバー開発の概要を示すとともに、いくつかの計算例を紹介することによって、最近の進展を示す。下図は計算例の一つで斜航角12度の場合の肥大船まわりの流れを示している。

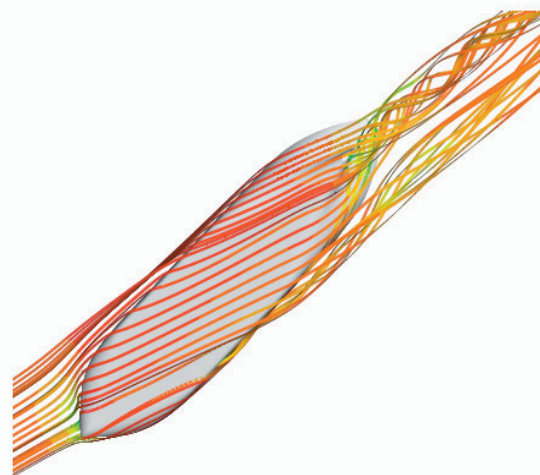


図: 斜航角12度の場合の肥大船まわりの流れ

船舶システムの安全設計およびその評価
Safety Design and Assessment for Ship System
 沼野正義、的場正明、下野雅生
 平成17年3月
 電子情報通信学会2005年総合大会論文集

船舶のような大規模複雑システムの設計においては、果たすべき機能の設計に加えて、不具合発生時のシステム全体としての機能維持、ならびに、人的要素を加えた運用、機能維持のための保全、改良、廃棄と続くライフサイクルを通じた安全を考慮した設計が不可欠である。このためには、システムの構造として、モジュール化、階層化を採用するとともに、各モジュールの機能分担、モジュール間のインタフェース等、機能維持、不具合の伝搬を阻止する機能を備えるとともに、これらの機能について、製造者および使用者が共通認識をもつための適切な評価が必要である。

船舶運航は多くのハード・ソフトを用いて、人間が巨大なシステムを安全かつ効率的に運転することと見なすことができる。基本は、単に、巨大なマスを巨大なアクチュエータで動かすことであるが、人間にとってはこれだけでも適切なインタフェースがなければ安全を担保できない。さらに、これを安全かつ効率的に動かすために様々なハード・ソフトが導入され、結果として、大規模複雑系となって、人間を含めた全体の適切な設計が重要となっている。

船舶システムの運用にあたってのリスクと危険源を整理し、これらを考慮して、ETA、FTA、ならびにシステムのFMEA等の手法を適宜用いて、設計段階から評価を行う必要がある。

評価結果は、確率論的なものとならざるを得ないため、製造者および使用者のコンセンサス、すなわち許容できるかどうかが決めてとなる。

システムの受容性は、製造者、利用者のコンセンサスに基づくものであり、運用に即したシナリオに基づくことにより、製造者だけでなく、利用者にも理解できるシステムとなると考える。

**判別分析を用いたPSCターゲットシステム
 に関する研究**
**PSC Targetting System with Discriminant
 Analysis**
 伊藤博子、松岡猛、岡田光豊
 平成17年3月
 日本航海学会論文集112号

ポートステートコントロールでは、港湾に入港する船舶の中から検査すべき対象を選定するためにターゲットシステムと呼ばれる評価基準を設定している。これまでのターゲットシステムでは、検査者等の経験に基づいて評価基準が決められていたが、限られた資源をより効率的に充当するために、拘留による改善を必要とする船舶を検査対象として捕捉する割合を向上させることが求められている。本研究では、ターゲットシステムの評価値算定のために判別分析の考え方を導入することで、捕捉率の向上を目指す。

判別分析は、分類されるグループとして既知の標本があるときに、与えられた新しい測定値がどのグループに属するかを判別する多変量解析の方法のひとつである。ここでは、まず、判別分析の手法を用いることで、過去4回の検査結果等の履歴データや、船種、船齢といった属性データを説明変数とし、検査の必要な船舶の捕捉率が高くなるように、検査が必要かどうかを判別する判別関数を導出する。次に、得られた判別関数を用いて、検査にあたることのできる人員等の資源の量の変化に応じて、効率よく検査対象を選出する方法を考えた。判別関数の定数項を二分法で動かしながら、可能な検査率に対応する定数とその場合に予測される捕捉率を計算することとした。これにより、判別関数の定数項、評価値、捕捉率の関係が整理され、ターゲットシステムとして使いやすくなった。また、ここで提案する評価基準を、「2003年修正案」と呼ばれる最新のターゲットシステムによる捕捉率と比較して、提案するターゲットシステムの有効性を確認した。