

所 外 発 表 論 文 等 概 要

<推進性能部>

**Hydrodynamic Shape Optimization of Ship Hull  
Forms Using CFD**

CFD による船型の流体力学的形状最適化

日野孝則、児玉良明、平田信行

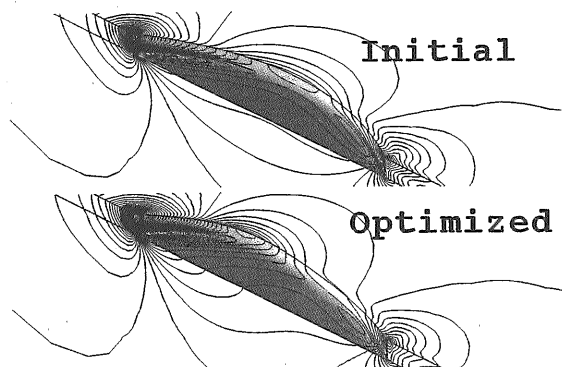
平成10年5月

Proceedings of Third Osaka Colloquium on Advanced  
CFD Applications to Ship Flow and Hull Form Design

流れ場のCFD (計算流体力学) 解析技術とSQP (逐次2次計画法) と呼ばれる最適化手法を組み合わせ、3次元物体の流体力学形状最適化手法を開発した。

この手法では、まず物体形状を設計変数と呼ばれるパラメータで表現する。次に、各種の制約条件を満たしながら、抵抗などの流体力学的な性能が最適になる設計変数の組合せを探索する。最適化される流体力学的な性能 (目的関数) はCFD を用いて求める。また、感度解析 (設計変数に対する目的関数の感度係数を求める手続き) のために、Adjoint (ナビエ・ストークス方程式に対する随伴方程式を解く手法) を用いた。さらに、形状変更に伴う格子変形の手法を組み込み、自動最適化システムを構成した。

この手法を船体の抵抗最適化に対して応用した。単純化のため、船体は多項式の組合せでその形状が表現されるものとし、それぞれの多項式の重みを設計変数とした。自由表面の影響を無視して粘性抵抗を目的関数とし、排水量一定という制約条件の下で抵抗を最小化する最適化問題とした。



初期形状 (上) と最終形状 (下) のまわりの圧力分布

図には、初期形状と最終形状のまわりの圧力分布を示す。この場合、最適化によって粘性抵抗は約5%低減し、本手法の有効性を確認した。

**Navier-Stokes Computations of Ship Flows on  
Unstructured Grids**

非構造格子による船体回り流れのナビエ・ストークス  
計算

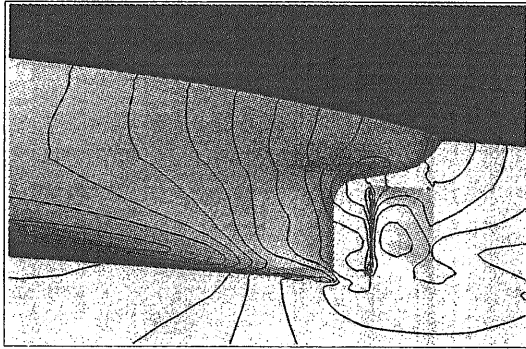
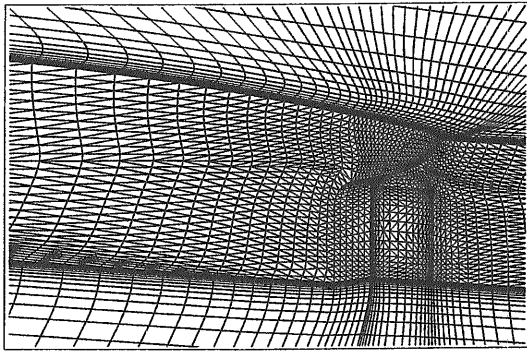
日野孝則

平成10年8月

Proceedings of 22nd Symposium on Naval  
Hydrodynamics

CFD (計算流体力学) 技術を複雑形状に適用する際の問題点の一つは格子生成に要する労力が過大になることである。この問題を克服するアプローチの一つが非構造格子法であり、格子の並びや形状に規則性を要求しないため、複雑形状のまわりの格子生成を柔軟に行えると期待される。また、格子のトポロジ形状に関する情報は格子自身が持っているため、流れ解析手法が単純化されるという利点もある。

本研究では、船体まわり流れの解析に用いるために非圧縮ナビエ・ストークス方程式を非構造格子上で数値的に解く手法を開発した。本手法では疑似圧縮性を導入したナビエ・ストークス方程式を有限差分法を用いて離散化している。非粘性項は2次精度の風上差分、粘性項はやはり2次精度の中心差分によって評価し、時間積分は後退オイラー法により、連立方程式の解法にはガウス・ザイデル法を用いた。また、乱流モデルには $\kappa$ - $\omega$ -SSTモデルを採用した。計算結果の例として舵付きのタンカー船型の船尾部分の格子と圧力分布を図に示す。



舵付きのタンカー船型の船尾部分の格子と圧力分布

#### An Unstructured Grid Method for Viscous Flow Computations around Complex Geometries

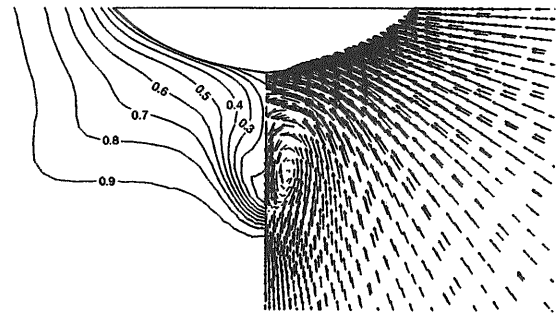
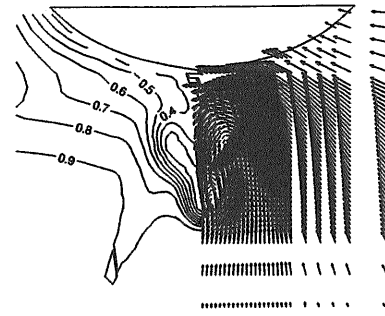
複雑形状まわりの粘性流れ計算のための非構造格子法  
日野孝則

平成10年10月

Proceedings of The 3rd International Conference on Hydrodynamics

CFD（計算流体力学）手法を複雑形状に適用するための有力なツールとして期待される非構造格子法を用いて、ナビエ・ストークス方程式を数値解析する手法について述べた。以前に開発した手法からの改良点として、空間離散化における粘性流束の評価の高精度化を行うとともに、複雑形状に適用可能な乱流モデルである  $\kappa$ - $\omega$ -SST2 方程式モデルを採用した。

本手法を船体まわり流れ計算の標準的なテストケースである、HSVAタンカーまわりの流れシミュレーションに適用した。結果として、これまで用いてきた1方程式乱流モデルよりも、実験結果により近い伴流分布が得られた。しかし、実験結果と計算結果の間にはまだ大きな差があり、今後のさらなる検討が必要であることが示された。



HSVAタンカー船型の伴流分布（上：実験、下：計算）

#### An Implicit/Multigrid Method for Incompressible Viscous Free Surface Flows

粘性自由表面流れのための陰的多重格子法

日野孝則

平成10年11月

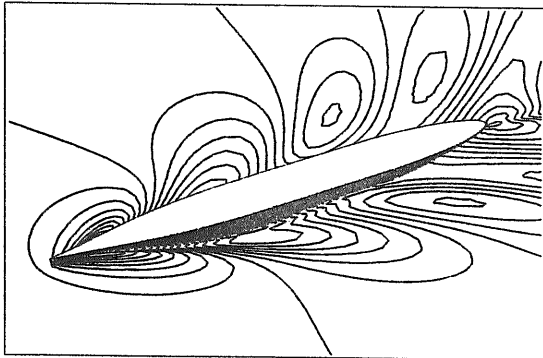
Proceedings of 6th Symposium on Nonlinear and Free Surface Flows

CFD（計算流体力学）は流体力学の様々な分野で実用的なツールとして用いられている。船舶流体力学においては水面波が極めて重要であるため、自由表面を扱える CFD 手法が望まれている。自由表面流れに対応したナビエ・ストークス・ソルバーがいくつか開発されているが、その多くは無限流体中の計算手法に比べて効率が悪い。非線形自由表面条件を扱うこと、格子移動や格子の再生成が必要なこと、自由表面波の発達に時間を要することなどがその理由と考えられる。言うまでもなく、実用的なツールとしてはより高速な手法が望ましい。さらに、近年、CFD を利用した形状最適化手法の研究が活発に行われている。この場合には最適化サイクルの中で、CFD 解析は何百回も実行されるため、非常に効率的な手法が求められる。

本論文では、船体まわりの粘性自由表面流れを高速に解析する計算手法の開発について述べる。無限流体に対する高速解法として開発した陰的多重格子法によるナビエ・ストークス・ソルバーを自由表面流れに対応するように拡張した。非線形自由表面条件を考慮し

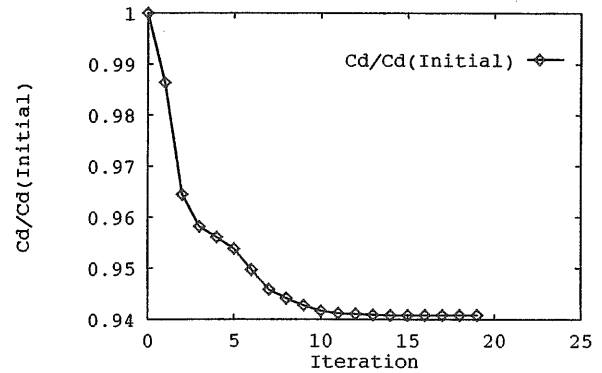
て、力学的条件から速度と圧力に関する境界条件を導出した。また、運動学的条件を有限体積法のコンセプトに基づいて離散化し、ナビエ・ストークス方程式と同様に陰の多重格子法を用いることにより、効率のよい計算法とした。

シリーズ60船型に対して試計算を行い、効率及び精度を確認した。図は、計算された波形の鳥瞰図である。レイノルズ数 $4.21 \times 10^6$  フルード数0.316 であり、格子は $105 \times 25 \times 57$ の計約15万点である。



**実用船型の流体力学的形状最適化**  
**Hydrodynamic Shape Optimization of Practical Ship Hull**  
**Forms**  
 日野孝則  
 平成10年12月  
 第12回数値流体力学シンポジウム論文集

陰的時間進行法と多重格子法による高効率のNSソルバーと反復解法による感度解析法、および逐次2次計画法による最適化手法を組合せて、CFD(Computational Fluid Dynamics)を用いた形状最適化システムを構築した。この3次元形状最適化システムを実用的な船型形状に適用するためには、一般的な形状に適用可能な形状変更手法を組み込む必要がある。ここでは、原船型の半幅に重み関数を掛ける形の単純な形状変更法を用いて、実用的なタンカー船型に対して粘性抵抗を最小化するように船型を最適化する数値実験を試みた。その結果、今回のような比較的単純な形状変更手法を用いても、約6%の粘性抵抗の低減が得られ本システムの有効性が示された。下の図は、最適化サイクルにおける、粘性抵抗の履歴がある。約19回の反復で粘性抵抗の小さい最終船型が得られる様子が分かる。



最適化サイクルにおける目的関数(粘性抵抗)の履歴

**CFD 技術の最近の動向**  
**Review on Recent CFD Technology**

日野孝則  
 平成11年1月  
 日本造船学会誌 第835号

粘性流体の運動方程式であるナビエ・ストークス方程式の数値解法に関する技術の最近の動向をレビューした。

まず、特に設計ツールとしてのCFD技術に焦点を当てて、CFD技術の開発動向を概観する論文を紹介し、船舶、航空、建築、機械の各分野におけるCFD技術の現状について概説するとともに、要素技術として、LES(Large Eddy Simulation)、乱流モデル、多相流などの研究動向を分析した。実用ツールとしてのCFD手法に求められることは、1)複雑形状まわりの、2)複雑な流れを、3)短時間に解析することであり、それぞれ1)格子生成、2)乱流モデル、3)計算効率と密接に関連している。

船舶流体力学関連のCFD技術の実用化についても上記のポイントがそのままあてはまる。船舶CFDに関する最近のレビューを紹介し、最近の研究動向および将来展望を以下のように考察した。

- 1) 複雑形状のための格子生成については、非構造格子法と構造格子による複合格子法の両立がしばらくは続くと思われる
- 2) 自由表面の扱いにおいては、大規模変形やトポロジの変化を扱う必要があるため、現在主に用いられている格子を自由表面に適合する手法(Interface Fitting)から界面捕獲法(Interface Capturing)へ移行するであろう。
- 3) CFDを用いた形状最適化については、実用化を目指して今後も研究が継続していくことになるであろう。

最後に、現在活発に議論されている話題の一つであるCFDにおける不確かさに関する文献紹介を行なった。

<運動性能部>

積分 Green 関数法による radiation 流体力の計算  
Calculation of Radiation Forces Acting on Advancing  
Ships by Integrated Green's Function Method

田口晴邦、渡辺 巖

平成10年11月

西部造船会会報 第97号

波浪中を前進しながら動揺する船体回りの非定常流場の1つである3次元 Green 関数法では、一般的に水線面付近の座標について Green 関数を評価する際に数値的な問題が生じ、精度の良い計算結果が得られないことが、最大の問題点とされている。この問題を解決するために前報では、フーリエ積分型 Green 関数を用いて特異点についてパネル面上の積分を先に行った後、フーリエ型積分を実施して、Green 関数の評価を行う方法（積分 Green 関数法）を提案した。本報告では、前報に引き続き積分 Green 関数法に基づいて船体周りの非定常流場の計算を行い、本手法の有効性について検討した結果を報告する。

まず、核関数の数値計算上の問題や線積分項の取り扱いなどの問題がない没水楕円体を対象に縦運動の radiation 流体力の計算を行い、岩下らの計算結果と比較した。その結果、本計算法による流体力の計算値は岩下らの計算値とほぼ一致しており、また、没水体が水面に近づいても本計算法により安定した計算が行えることが明らかになった。

次に水面貫通物体である modified Wigley model を対象に上下揺れの radiation 流体力の計算を行い、Delft 工科大学で実施された実験結果と比較した。その結果、本計算法による付加質量の計算値は、その船長方向の分布も含めて実験値とよく一致していることが確認できた。一方、減衰力係数に関しては、動揺周波数が低い範囲では、計算値は実験値に比較的近い値を示すが、周波数が高くなると、計算値と実験値の一致度は悪くなり、特に、船尾部付近の減衰力の分布に関しては、計算値は実験値と全く異なる傾向を示す結果となった。

更に、線積分項の取り扱いに関連して水線面に接するパネルの大きさが radiation 流体力の計算値に及ぼす影響を調べた。その結果、今回計算を行った modified Wigley model の場合、水線面に接するパネルの大きさが喫水の1/10～1/1000の範囲では、上下揺れの付加質量及び減衰力係数の計算値に大きな違いは見られないことが明らかになった。

A Time-Domain Simulation Method for Hydroelastic  
Impact Problem

流力弾性衝撃問題の時間領域シミュレーション法

谷澤克治

平成10年12月

Proceedings of the 2nd International Conference on  
Hydroelasticity in Marine Technology

本論文は、時間領域の浮体運動非線形数値シミュレーション法を拡張し、流体と弾性浮体との非線形相互作用を時間領域でシミュレーションする手法について論じたもので、理想流体の運動方程式、浮体の運動方程式、弾性振動の方程式の3つの方程式の連成問題を加速度ポテンシャルを用いて定式化し、弾性体表面での加速度ポテンシャルに関する陰境界条件を導いている。さらに自由表面が存在することによって生じる問題を解決するための数値計算上の種々の技術について記述している。例えば、弾性振動を離散化して解くための弾性体の節点と流体運動を離散化して解くための弾性体接水表面の節点位置は、自由表面が存在する場合には接水表面が時々刻々変化するために一対一に対応させることが困難である。このような場合には何らかの内挿技術およびその逆操作を行う技術が必要となる。本論文では Cubic-B Spline を用いた内挿行列の求め方を示すと共にその正則性について論じ、さらに陰境界条件を導くためや弾性振動の加速度を求めるためなどに不可欠な、内挿行列の逆行列を求める方法を示している。一般に内挿行列は正方行列ではないため逆行列は唯一ではなく、逆行列を求めることは必ずしも容易ではない。内挿行列の場合は、行列のランクが一定の条件を満たすようにすることで、Moore-Penrose 一般逆行列と呼ばれる唯一の逆行列が求められるのである。

本論文の後半ではこれらの数値計算技術を総合して開発した2次元の流力弾性問題の時間領域シミュレーションプログラムを用い、流力弾性衝撃のシミュレーション計算の結果を示している。

本論文で論じている手法は流力弾性問題を時間領域でシミュレートするための一般的な方法であり、その応用範囲は衝撃問題だけに止まらず、種々の問題に適用可能である。

**Statistics of Heavy Weather Actual Ocean Wave Data  
in North Sea and Japan Sea with Reference to  
Abnormal Waves**

異常波浪に関連した荒天時実海域波浪データの統計—  
北海および日本海—  
富田 宏、沢田博史  
平成11年6月

Proceedings of the Ninth(1999) International Offshore  
and Polar Engineering Conference

海洋の実地観測は一般に人的、時間的、財政的のどの面から見ても極めて困難である。海洋波浪の現地観測もまたその例に漏れない。本研究ではノルウェー沿岸の北海および日本海、由良沖において観測された実地波浪データについての詳しい統計解析を行い、その結果から近年世界各地で話題となっているいわゆる異常波浪、およびその一例である Freak 波の成因を考察しようとするものである。

よく知られているように、波浪統計には短期統計(20~30分程度)と長期統計(100年程度)があり、各々異なる種類のデータと手法を必要としている。ここではノルウェー理工科大学を介して STATOIL 社から提供されて荒天時水位データ並びに当所海洋開発工学部による日本海のデータについて短期統計を適用した結果を示している。その際 Gauss 過程に基づく確率論的手法が高波高時には十分でないことが再確認される一方、波形データの解析からの直接 Zero Down Cross 法によって求められた有義波高の値が、レーリー分布を仮定し、スペクトルの0次モーメントから理論的に求められた有義波高と極めて良い一致を与えることが示された。これは波高10m以上の荒天海面でも線形理論が成立することを意味し、意外な結果である。

今回のデータが非常に豊富であることを利用し、短期海象諸量の間の関係を求める多変量解析を行った。その結果、異常波浪が水面の統計量(尖度:kurtosis)と良い正の相関を持つことが見いだされた。同時にそれは有義波高とは負の相関を持ち、平均風速とは無相関である等の新しい知見を得た。これはいわば中期統計とでも呼ばれるべき新しい分野であり、今後結果の蓄積、検定法の充実等を期するべきと思われる。

異常波浪の中でも極めて特異な現象である Freak 波は北海のデータ中では見いだされなかったが、日本海のおよそ18万波の中に典型的な二例が発見された。この不思議な現象を解明するには単に統計的以外に波の本性に踏み込んだ理論的考察が必要である。

**A Numerical Simulation Method of Hydroelastic  
Water Surface Impact based on Acceleration  
Potential**

加速度ポテンシャルによる流力弾性水面衝撃問題の一般  
値計算法  
谷澤克治  
平成11年7月

Proceedings of FEDSM99 3rd ASME/JSME Joint Fluids  
Engineering Conference

本論文は、時間領域の浮体運動非線形数値シミュレーション法を拡張し、流体と弾性浮体との非線形相互作用を時間領域でシミュレーションする手法について論じたもので、理想流体の運動方程式、浮体の運動方程式、弾性振動の方程式の3つの方程式の連成問題を加速度ポテンシャルを用いて定式化し、弾性体表面での加速度ポテンシャルに関する陰境界条件を導いている。さらに自由表面が存在することによって生じる問題を解決するための数値計算上の種々の技術について記述している。例えば、弾性振動を離散化して解くための弾性体の節点と流体運動を離散化して解くための弾性体接水表面の節点位置は、自由表面が存在する場合には接水表面が時々刻々変化するための一対一に対応させることが困難である。このような場合には何らかの内挿技術およびその逆操作を行う技術が必要となる。本論文では Cubic-B Spline を用いた内挿行列の求め方を示すと共にその正則性について論じ、さらに陰境界条件を導くためや弾性振動の加速度を求めるために不可欠な、内挿行列の逆行列を求める方法を示している。一般に内挿行列は正方行列ではないため逆行列は唯一ではなく、逆行列を求めることは必ずしも容易ではない。内挿行列の場合は、行列のランクが一定の条件を満たすようにすることで、Moore-Penrose 一般逆行列と呼ばれるユニークな逆行列が求められるのである。

本論文の後半ではこれらの数値計算技術を総合して開発した2次元の流力弾性問題の時間領域シミュレーションプログラムを用い、流力弾性衝撃のシミュレーション計算の結果を示している。

本論文で論じている手法は流力弾性問題を時間領域でシミュレートするための一般的な方法であり、その応用範囲は衝撃問題だけに止まらず、種々の問題に適用可能である。

### <構造強度部>

#### 巡視船「てしお」の氷荷重による構造応答の計測 Full-scale Measurement of Structural Response to Ice

##### Load of Icebreaker PM “TESHIO”

岡 修二、宇都正太郎、山田安平

泉山 耕、成田秀明

平成10年12月

第14回寒地技術シンポジウム

寒地技術論文・報告集Vol.14

サハリン沖大陸棚の石油ガス開発プロジェクトが本格化する21世紀初頭には、オホーツク海の船舶航行が質、量ともに飛躍的に拡大すると予想される。それに伴い、当該海域における警備救済及び海洋汚染防止等の業務に従事する砕氷型巡視船の重要性も益々高まると思われる。このため当所は海上保安庁装備技術部と共同研究を実施し、今後建造される砕氷型巡視船の設計・建造を目的とした基礎データ収集及び解析を実施している。

本研究の一部として、砕氷型巡視船の氷荷重による構造応答計測を主眼とした実船実験を実施した。実験は平成7年に就役した新鋭の砕氷型巡視船「てしお」を用いて、平成10年2月に知床岬沖合の海域で行われた。計測項目は構造応答以外に、船体運動、推進性能及び海水の状況など極めて多岐にわたった。このうち構造応答の計測では、船首部の肋骨、外板を中心に5箇所65点に歪みゲージを配置した。これにより各部材に作用する応力状態の評価と氷荷重の推定に資する情報を得た。試験時の航走方法としては連続砕氷試験、ラミング砕氷試験及び平水中航行試験の3種類を実施した。

本論文では、氷荷重の比較的高いラミング砕氷時の構造応答計測について報告するとともに、構造応答の性質を考察した。主要な結論は以下の通りである。

- 1) 船体と水の接触による歪み応答は急峻なパルス状の波形を有し、その持続時間は0.2秒程度である。停船直前の歪み波形は氷縁突入直後に比べて持続時間が長く、且つピークが大きい。
- 2) 歪み波形の極値の分布は指数分布型とあり「すその」の広い性状を有する。分布形状はワイブル分布で近似できる。またその近似精度が良いことから、最大期待値の推定ができる。
- 3) 推定値をみると船首寄りの3カ所を除けば概ね一致した値となる。船首寄りでは氷荷重が比較的喫水線に近い位置で作用し、後方ではその作用点が深い位置にシフトすることが推測される。
- 4) 船首近傍の構造応答の性質は前後加速度との相関が比較的高い。
- 5) 船首肩部の構造応答の性質は明らかに異なる。ラミング砕氷時の平均的な歪みレベルは低いものの、

時々特異な大歪みが発生することがある。

- 6) 船首肩部の大歪み発生要因の一つにラミング砕氷時の回頭運動が考えられる。

#### ばら積石炭船倉内の腐食を模擬した希硫酸環境における造船用鋼の腐食および腐食疲労

##### Corrosion and Corrosion Fatigue of a Ship Structural Steel in Dilute Sulfuric Acids Substituted for a Corrosion Environment of a Coal Cargo Hold

小林佑規、田中義久、後藤英信、松岡一祥

平成11年5月

日本造船学会論文集 第185号

本報告では、ばら積石炭船倉内が酸性腐食環境となる状態を石炭滲出液により再現し、腐食速度、き裂進展速度および腐食疲労に関する実験的検討を行った結果について示した。ばら積石炭船倉内の腐食に関しては、輸入炭からの滲出液が酸性になることを確認し、その滲出液および希硫酸環境の腐食速度を求めた。腐食疲労に関しては、希硫酸環境における腐食ピットから疲労き裂が発生する力学的条件を求め、実海洋環境の繰返し速度におけるき裂進展速度を検討した。また、希硫酸環境における疲労強度に関しては、公称応力、修正MIL-HDBK-5法の等価応力および応力拡大係数範囲とき裂発生寿命の関係について、既報の海水腐食疲労試験結果と合わせて検討した。以下、得られた主な結論を示す。

- (1) 石炭を純水に浸漬し、浸漬時間が120時間以内であれば、その滲出液は、酸性濃度が時間とともに増加し、pH2.5程度に低下する。この酸性は、石炭中の硫酸鉄によるものである可能性が高い。石炭を200時間以上浸漬して滲出した液は、ほぼ中性の溶液となる。石炭からの酸性滲出液中における腐食速度は、希硫酸環境の腐食試験で模擬できる。このことから、酸性腐食環境における腐食速度とpHの関係が得られた。
- (2) 希硫酸環境の疲労強度Seq/Nc線図は、平滑試験片の最大応力が下降伏点相当の等価応力Llyを境に折れ曲がる。Seq>Llyにおける線図の勾配は、大気中、海水中および溶接基礎継手と変わらないが、Seq<Llyにおける勾配は海水環境より大きくなる。
- (3) 希硫酸pH4およびpH3環境のき裂進展特性は、海水環境pH8.2とほとんど変わらない。希硫酸pH4およびpH2環境において、腐食ピットから疲労き裂が発生する条件 $\Delta K_{cf}$ はそれぞれ3.60および5.39MPa $\cdot m^{1/2}$ であり、腐食溶解が支配的となるき裂進展速度はそれぞれ $5.63 \times 10^{-10}$ および $1.90 \times 10^{-9} m/cycle$ と推定される。
- (4) き裂進展特性から得られる基本 $\Delta K/Nc$ 線図 $\Delta K=CcNc^{1/m}$ は、定数Ccが応力集中係数Ktと直線関

係  $C_c = C_1 K t + C_2$  にある。その勾配  $C_1$  は海水環境と希硫酸環境ともほぼ等しく、 $C_2$  は希硫酸環境が海水環境より小さい。

#### Fatigue Strength of Coated Steel Plate in Seawater

海中における塗装鋼板の疲労強度

小林佑規、熊倉 靖、高梨正祐、  
富士彰夫、北川正樹、小島正男

平成11年5月

Proceedings of the International Offshore and Polar  
Engineering Conference

塗装鋼板の腐食疲労に及ぼす温度の影響および溶接継手の腐食疲労に及ぼす塗膜厚の有効性を明らかにするため、人工海水中で腐食疲労試験を実施した。試験片は、NK規格KA32、板厚10mmのTMCP鋼であり、溶接継手の応力集中を模擬するために、切欠き試験片の応力集中係数を2.0とした。試験片は、1日に2回散水し、20日間大気中に暴露することで造船所での製作工程の腐食状況を模擬した。試験片には、その表面にタールエポキシ塗装を施工した。

主な試験結果は、次のとおりである。

- (1) 非塗装試験片の疲労強度は、海水中の方が大気中より低下し、この傾向は長寿命域において顕著であった。
- (2) 疲労強度低下に及ぼす温度の影響を25℃における疲労強度低下との比(腐食係数Kc)として表すと、40～60℃のKcは、1.03～1.13であった。このことは、塗装材の腐食疲労強度が高温で低下することを示している。
- (3) 長寿命腐食疲労では、疲労き裂が大気中暴露による腐食ピットから発生し、塗膜は疲労き裂発生後に破壊した。大気中20日間の散水暴露では、腐食ピットの深さが30～40μmであった。腐食ピットからのき裂発生を応力レベルで見ると、高応力より低応力の方が顕著に現れた。
- (4) 膜厚200と300μmの試験片の腐食疲労強度は、非塗装試験片の大気中疲労強度とほぼ同様であった。膜厚が200μm以上であれば、海中の疲労強度は、大気中とほぼ同等の疲労強度を保持している。

<機関動力部>

#### Influence of Airborne-salt on Performance of Solid Oxide Fuel Cell

固体酸化物燃料電池の性能に及ぼす海上大気中塩分の影響

川越陽一、熊倉孝尚、波江貞弘、  
汐崎浩毅、中島康晴、千田哲也

平成10年11月

1998 Fuel Cell Seminar Program and Abstracts

環境保全を考慮しつつ、エネルギーの有効利用を図るための種々の研究が進められる中で、燃料電池は抵公害、高効率の点から新しい発電装置として大きな注目を受けている。燃料電池は定置式ばかりでなく、移動用交通機関への適用の可能性を有している。当所においては、電解質に固体酸化物(YSZを使用)を用いた固定酸化物燃料電池(SOFC)を、船用機関として適用する際の技術的な問題点を抽出しその対策を検討するための実験的研究を行っている。海上、あるいは沿岸で燃料電池を使用する際に海上雰囲気に含まれる塩分のセル(燃料電池において直接発電を行う役割を担う部分をセルと称し、電解質と空気側、燃料側の各電極から構成される)への影響が懸念される。塩分がSOFCに及ぼす影響を実験によって明らかにしておくことは、SOFCを船用動力源として設計・使用する際に重要である。本論文はセル発電体に及ぼす塩分の影響を調べた結果を整理したものである。

結果をまとめると、1) 本実験で実施した250時間程度の試験では、塩分は発電性能に悪影響を及ぼさない。またセル材料への影響も無視できる。2) 塩分はセルの電圧を増加させる効果がある。その程度は塩分の濃度が高いほど顕著であり、実海上空気中の塩分濃度では非常に小さい。3) 空気中への塩分供給を停止すると電圧上昇分は無くなり、もとの電圧値に戻る。4) 塩分蒸気は空気極内部に浸透する。EPMA測定による元素分布から、ナトリウム分子の一部は電極内に在留するが、塩素分子は残らない。これらの結果から塩分添加によるセル電圧増加について考察を加えた。

船用燃料油の単一液滴の燃焼時間  
Burning Time of Single Droplet of Marine Fuel Oils

羽鳥和夫

平成10年11月

日本船用機関学会

第61回学術講演会学術講演論文集

船用ディーゼル機関において燃焼に起因すると考えられる各種の問題を解決するには、燃焼の基礎研究として、燃料油の燃焼過程を解明することが重要である。

本研究では、船用燃料油の単一液滴を高温静止空気中で着火、燃焼させ、液滴の燃焼時間を調べた。実験ではC重油相当のものを8種類、軽質油を4種類、計12種類の燃料油を用いた。

単一組成燃料や軽質燃料の場合、燃焼中の液滴直径の二乗値は直線的に減少し、この直線の傾きを用いて燃焼割合を示すことができる（ $d$ 二乗則）。これに対し、C重油の燃焼や、空気温度が高い場合における軽質油の燃焼においては、燃焼中に液滴直径が増加するため、 $d$ 二乗則は成立しない。このため、本報告では、単一液滴の燃焼時間が初期直径の二乗値に比例することを確認し、この結果から、初期直径が1.6mm（初期直径の二乗値が $2.56\text{mm}^2$ ）に相当する液滴の燃焼時間を求めた。

単一液滴の燃焼時間は空気温度が上昇するにつれて増加し、空気温度950K付近で最大値を示す。さらに空気温度が上昇すると、燃焼時間は僅かに減少する。この現象は高温空気中における液滴直径の変化を調べることにより説明できた。前者は空気温度が上昇するにつれて着火遅れが小さくなることによる着火時の液滴直径が大きくなるため、後者は燃焼中に液滴直径が増加して燃焼中の蒸発量が増加することによる。

液滴の燃焼時間が着火遅れの影響を受けない、空気温度950K以上の結果を用いると、燃焼時間と燃料油の密度や動粘度に対して相関性は得られなかった。燃焼時間は燃料油が異なってもある幅を持ってほぼ一定値を示すと考えられる。

A Study on Fluid Transient in the Emergency Valve  
Closure of Crude Oil Loading Equipment

タンカー原油陸あげ時の緊急送油停止による水撃現象

汐崎浩毅、綾 威雄

平成11年7月

Proceedings of the 3rd ASME/JSME Joint Fluids  
Engineering Conference

原油タンカーを海上バースに係留し荷役作業中に、強風によって船がバースを離れてローディングアームが切断され、原油が海上流出するという事故がかつて東京湾で発生した。

こうした事故の防止のため、ローディングアーム先端のカップラー部に緊急遮断弁を設け、風で船体が動き出す等の緊急時には、遮断弁を閉鎖したのちカップラー部を切離すという機構が開発された。

しかしながら、遮断弁を短時間で閉鎖する際には、主に弁の前後に空洞が生成し（液柱分離現象）、再びそれが消滅する際に弁や管路に大きな水撃圧力を生じる。条件によっては管路破壊に至る危険もあり、特に長さ10km程度の海底管路部において破壊が生じた場合には被害が甚大である。

本研究は、こうした系の水撃現象について解析したものである。また、同時に簡便かつより安全な水撃防止装置を考案し、その性能について述べている。

主な結果は以下の通り。

- (1) 設備の建造・使用条件によっては、水撃圧力は管路耐圧を越えることがあり得る。大きな水撃圧力の発生を防ぐには、ローディングアームの緊急遮断弁と、陸上タンク内の原油液圧の高低差が特に重要なパラメータである。また緊急弁閉鎖途中でカップラーが切断されるようなケースでは、油流出を防ぐため速やかに弁を閉めると、かえって大きな水撃圧力を生じ危険な場合がある。
- (2) 現在数億円規模の水撃防止装置が使われているが、新たに提案した装置ははるかに簡便であり、また従来の機構が現象をゆるやかにすることでピーク圧を緩和するのに比べ、油を外部系統に解放することで直接的に圧力を減じるため、安全性もより高い点が特長である。



船舶からの大気汚染物質

—「船舶排ガスの地球環境への影響と防止技術の調査」

委員会報告書の概要—

Air Pollutant from Ships

-Summary of Committee Report on the Study on Global-  
Environmental Effect by Exhaust Gas from Ships and its  
Preventing Technologies-

波江貞弘

平成11年7月

日本内燃機関連合会講演論文集

船舶からの大気汚染防止に関しては、国際海事機関(IMO)により1997年9月にMARPOL条約新付属書VIが採択された。また、1997年12月に開催された地球温暖化防止京都国際会議(COP3)では、大気汚染防止についての世界的な排出削減数値目標が初めて合意され、「京都議定書」が採択された。一方、近年、大気汚染防止に関する諸技術の進歩や世界経済の大きな変化があった。

このような背景から、「船舶排ガスの地球環境への影響と防止技術の調査」委員会(シップ・アンド・オーシャン財団、委員長 芝浦工業大学 平田賢教授)において、船舶から排出されるNO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub>、HC等の大気汚染物質排出量の算定、船舶排ガスに関する規制動向、及び大気汚染物質の排出量削減技術に関する調査が実施され、その成果が報告書にまとめられた。本報は、上記委員会の委員として、その概要、特に大気汚染物質排出の現状について述べたものである。結論として、以下の事項が得られている。

(1) 排ガスの算出方式には、IMO方式、環境庁方式、IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)方式の3種類がある。日本全体や世界全体の排出量を算定するには、燃料消費量から排出量を算定するIPCC方式が適している。(2) 環境庁のNO<sub>x</sub>規制マニュアルの排出係数は他の調査やIMO規制値と比較して小さく、現状の排出状況を表現するのに必ずしも十分でない。燃料使用量については、従来の算定式が妥当なものである。(3) 国内の船用機関メーカーに対する調査で、主にNO<sub>x</sub>排出係数についての知見を得た。また、国内においてNO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、CO、CO<sub>2</sub>、PMに関して実船調査を行った。陸上での試験結果より5~10%程度高めの排出濃度が観測された。(4) 日本国内、国内周辺、世界全体という3つのカテゴリにおいて燃料消費量を細かく推定した。従来、算定が曖昧であった漁船、ハーバータグボート、プレジャーボートの燃料消費量についても調査を行った。(5) 船舶からの大気汚染物質排出量を表にまとめた。

<材料加工部>

船舶の損傷事故と安全管理技術

Failure Accident and Safety Engineering for Ship

前中 浩、亀山道弘

平成10年10月

日本材料学会

第92回破壊力学部門委員会講演会資料

「社会資本の安全管理」と題して原子炉施設、鉄道車両、船舶、航空機が検討されることになり、最近の大型船舶の海難事故に関する事故調査及び関連研究の成果が船舶の安全確保にどの様に反映されてきたかをまとめた。

大型鉱石運搬船ほりばあ丸(1969.1)の損傷沈没事故以来、我が国の東方海上において冬季の厳しい海象条件下で多数の大型船舶が海難事故に遭遇した。このうち、尾道丸の折損沈没事故(1980.12)に関連して、「異常海難防止システムの総合研究開発(1982~1986)」が実施され、気象庁及び運輸省の関連研究所が調査研究を分担して野島崎沖の海域に発生する異常波浪、荒天下を航行する船舶の波浪衝撃特性及び船体強度特性を明らかにした。大型タンカーの衝突・座礁による油流出事故に関連して、「タンカー構造の衝突・座礁時の破壊予測の研究(H3~H8)」が造船業基盤事業協会で行われた。オランダにおける小型タンカーの衝突・座礁実験及び船体構造部材の破壊実験結果を基に衝突・座礁シミュレーションシステムが開発された。1990年頃から高齢ばら積み船の腐食衰耗による全損沈没事故及び大型船舶の疲労き裂による損傷事故が多発し、各国船級協会による損傷調査、日本造船研究協会によるSR220「バラスタタンの腐食疲労に関する研究(1993~1996)」等が行われた。当所においても、「船体の寿命評価技術に関する研究(1996~2000)」を実施し、腐食や疲労による構造部材の劣化・損傷に関するデータ収集と評価法の検討を行い、新造船に対する寿命設計及び現存船の検査に関する研究を行っている。

船舶の安全確保及び海洋汚染防止については、国際海事機関(IMO)の場で国際条約によって基準が定められており、船舶が登録されている国によって国際基準に従って検査される。これら国際基準には加盟各国で行われたこれまでの船舶事故の調査結果や関連研究の成果が反映されている。しかし、便宜置籍船の増加で国際基準を下回る性能の船による海難事故が増加しており、寄港国による外国船舶の検査を強化する機運が強まっている。