

## 所外発表論文等概要

### 〈推進性能部〉

#### 一次渦パネル法による SC 翼型の性能計算

Computation on a Two-Dimensional  
Supercavitating Hydrofoil Using the  
Linear Vortex Panel Method

工藤達郎、右近良孝

平成5年5月

西部造船会会報 第86号

近年、超高速船についての関心の高まりとともに、高速船用プロパルサの性能評価法の確立の必要性が増してきた。この種のプロパルサでは、翼から発生したキャビテーションが翼後縁より後方にまで存在するスーパーキャビテーション(SC)状態となることが避け難く、SC状態での性能を精度良く計算できる解析法が必要となる。

本論文ではプロペラの翼断面である2次元翼型についてSC状態での性能計算法として、一次渦パネル法を開発し、SC翼型について性能計算を行った。

一次渦パネル法は、SC翼型のように前縁が薄い翼型の性能を精度良く計算できるようにするため、渦分布が一次式で表される渦パネルで翼面およびキャビティ表面を表す、非線形特異点法である。この手法により、キャビテーションが翼前縁からのみならず、翼背面の途中から、あるいは翼後縁から発生している場合も含めて、SC状態にある2次元翼の性能を精度良く計算することができる。

詳しい実験データが得られているSC翼型について、本計算法による計算結果を実験結果と比較し、揚力および抗力について良い一致が得られた。

また、翼面上の圧力分布を与えて、翼面形状をキャビティ形状と同時に変形、逐次近似を行うことにより本手法を翼型設計に用いることができる。

### 〈運動性能部〉

#### Estimation of Hydrodynamic Forces Acting on a Ship in Manoeuvring Motion

船体に働く操縦流体力の推定

野中晃二

平成5年10月

Proceedings of MARSIM '93

船体に働く操縦流体力は lifting potential flow 問題として細長体近似により求められる事が多いが、推定式の精度と有効性の範囲についての理論的な検討はまだ十分になされてはいない。

本論文の目的は、lifting potential flow 問題として、船体に働く操縦流体力を求める方法について、流場および流体力についての整合性ある推定手法を提案し、計算と実験との比較によりこの推定手法の有効性を示す事にある。

まず始めに船体に限定せず、一般的な lifting potential flow 問題として、任意運動をしている任意形状の物体に働く流体力の厳密式を求める。この式は圧力分布を必要とせず、potential の値だけで表される非常に簡単な形をしているが、渦層全体についての情報を必要とするため、物体が運動を始めてから長時間後の流体力の計算は実際上は困難となる。そこで、流体中の後方検査面を物体に近づける事により、このような場合にも対応出来る流体力の厳密式を求める。

次に操縦流体力の推定への適用を考え、細長体近似のもとに厳密式を展開し、2nd order まで有効な式を求める。この式を用いるには、船体まわりの流場の推定精度も 2nd order まで有効である事を必要とする。そこで、このような問題における攪乱流場は、遠方では原点におかれた doublet による流場に似た挙動を示すという性質を考慮し、細長体理論における 2nd order まで有効な composite solution として流場を求める方法を示す。

以上の、流場及び流体力の近似推定手法を用い、3隻の模型船について斜航状態での sway force と yaw moment を、深水域と浅水域とで求め実験値と比較した。計算値と実験値との一致は良好であった。

短波長域を航走する VLCC の船側に働く  
波圧に関する模型試験

Experimental Study of Wave Pressure  
on VLCC Running in Short Waves  
谷澤克治、田口晴邦、猿田俊彦、渡辺 巖  
平成 5 年 11 月  
日本造船学会論文集 第 174 号

近年、肥大船の設計において船側喫水線近傍の部材の疲労強度を見積もる必要性から、船側喫水線近傍の波浪変動圧力を高精度で推定できる計算法の開発が望まれている。

そこで、新計算法開発に必要な実験データを蓄積するため、VLCC の木製 2 分割模型を用いた水槽試験を実施し、短波長域を航走する肥大船の船側喫水線近傍に働く波浪変動圧と船体中央部に働く曲げモーメント等を計測した。

また、試験結果と比較するため、NSM による計算を実施した。従来、肥大船の応答計算において NSM 等の精度が短波長域で低下する原因として、攪乱波を計算が厳密でない点が挙げられている。そこで、NSM をベースに攪乱波の計算法を改善した改良型 NSM による試計算も実施した。

計測データを NSM および改良型 NSM による計算結果と比較したところ、NSM では肥大船の短波長域では攪乱波の計算精度が悪いため、特に船側相対水位や波浪変動圧力の計算精度が不十分であるのに対し、改良型 NSM では波長船長比が 0.2 程度の短波長域でも計測値と良く一致し、計算精度がかなり改善できることが分った。

一方、船側喫水線近傍の波浪変動圧力の推定においては、水面からの出入りによる影響が無視できない。そこで、喫水線近傍の空中露出を伴う圧力変動を相対水位から推定することを試みた結果、波長が長い場合や船体運動が激しい場合、また水面近傍では短波長域でも推定可能であることが分った。また、この結果から、NSM 等による船側水圧の計算に空中露出影響を取り入れる簡便な方法を見出した。

〈機関動力部〉

Measurement of Flame Temperature Distributions  
by Fourier Transform Interferometry  
(Application of Dual Plate Method)

フーリエ変換干渉法による火炎温度測定  
(デュアルプレート法の適用)

佐藤誠四郎、熊倉孝尚

平成 5 年 9 月

IEA, Working Party on Energy Conservation in  
Combustion Proceedings of 15th Task Leaders  
Conference

予混合火炎の空間的な温度分布を測定するため、デュアルプレートフーリエ変換干渉法と CT (コンピュータ断層撮影法) を組合わせた方法を提案した。デュアルプレート法による干渉縞測定の自動化と高精度測定の有効性を数値シミュレーションと実験の両方から確認し、これらの結果を用いブンゼンバーナ火炎の三次元温度分布を測定した。

CT の適用には多くの干渉縞の処理が必要なため、これまで、干渉縞のデータ処理の自動化と精度向上を目的としてフーリエ変換干渉法を適用し、自動化の可能性と干渉 CT への適用性を明かにしている。しかしフーリエ変換法の適用には、キャリア周波数を求める必要があること、またキャリア周波数をフーリエ変換の基本周波数の整数倍にしなければならないなど、データ処理の手間は従来の干渉法と同等もしくはそれ以上であった。

このため本研究では、フーリエ変換法を適用する際、これらのキャリア周波数と基本周波数との関係などを全く考慮する必要のないデュアルプレートフーリエ変換法を提案し、干渉縞のデータ処理の自動化が容易に行えることを明かにしたものである。

デュアルプレート法は、2 枚の干渉写真を用い、フーリエ変換法で誤差が生ずる場合でも、同じ場所のデータを用いることにより、それぞれに加わる誤差などが全く同じになることから、これら 2 つの値を差し引くことにより、誤差などを零にする方法である。

デュアルプレート法の原理とシミュレーションによる有効性、変調した像とキャリアのみの像の撮影方法、および本手法を用いてバーナ火炎の温度を測定した結果について述べている。

CO<sub>2</sub>分離を目的とする固体電解質燃料電池  
複合サイクルの研究

Combined Cycle of Solid Oxide Fuel Cell and  
Turbines With the Aim of Separating CO<sub>2</sub> Gas  
波江貞弘、汐崎浩毅、野村雅宣、川越陽一、熊倉孝尚  
平成5年9月  
日本機械学会論文集 第59巻第565号

固体電解質燃料電池(SOFC)は第三世代の燃料電池として注目されており、近年のセラミック技術の急速な進歩にともなう、実用化の可能性が高まっている。

一方、最近の地球温暖化問題に対する関心の高まりにつれ、その原因物質の一つである二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の大気への排出抑制の必要性が指摘されている。これに対し永続的な重要課題は、エネルギー利用効率の向上である。また、長期的には、炭素固定化技術の確立、化石燃料以外のエネルギー源への転換が必要と考えられる。しかしながら、中期的に化石燃料に依存せざるを得ない期間においては、エネルギー変換時に生じるCO<sub>2</sub>の分離回収技術の確立が必要と思われる。

以上の背景から、本報告では、エネルギー変換効率の向上と同時に、CO<sub>2</sub>の効果的な分離回収を目的とするSOFC複合サイクルを提案し、その性能特性についてモデル計算を中心とする検討を行った。その結果は以下の通りである。

- (1) 燃料電池内での発熱が改質熱として有効に利用されるため、電流密度の比較的広い範囲に対して、総合熱効率は60%(LLHV)以上の値となる。
- (2) 総合熱効率は、燃料利用率の増加につれて上昇し空気過剰率、蒸気/炭素比、空気循環率の増加とともに低下する。系圧力が増加すると、電池本体の効率は増大するが、システム全体としては補助燃焼量が増し効率は低下する。
- (3) 本システムでは大気中に放出される二酸化炭素濃度が、在来の熱機関に対して1/10以下に減少する。一方、CO<sub>2</sub>分離装置入口の濃度は、燃料蒸気改質/CO<sub>2</sub>分離後での熱機関利用に対して3倍、在来機関の排気ガスに対して10倍程度に濃縮される。このためCO<sub>2</sub>分離効率の向上が期待されると同時に、単位プラント出力に対する処理ガス量が1/3~1/10に減少し、装置が小型化するため実用上極めて有利になると考えられる。

光干渉計測

Interferometric Measurement

佐藤誠四郎

平成5年9月

丸善(株) レーザ計測ハンドブック

光の干渉を利用した計測は、非接触で高精度の測定方法として、光学部品の検査や流体計測などに古くから用いられている。近年、光干渉法は、レーザ、エレクトロニクスなどによる周辺技術の発展、コンピュータによるデータ処理能力の向上によって、測定が格段に容易になり、より高精度の定量的な解析が可能となっている。

本稿は、干渉法を実際に適用するために必要な一般的な事項を述べたもので、主な内容として、干渉計測の特徴、干渉計の基本構成、干渉縞の性質と解析、高精度干渉測定法などから成る。

干渉計測法の特徴として、光の波長を単位とした計測であること、二次元的な画像計測であること、透明媒質では光路方向の平均値が得られることなどである。

3番目の特徴は、計算機トモグラフィと組み合わせることで、媒質内部の3次元分布の測定が可能となる。

干渉計の種類として、マッハツェンダー干渉計などの従来形干渉計とホログラフィ法をとりあげ、それぞれ特徴、具体的な配置例などを述べている。

干渉法の定量化に必要な干渉縞の性質、干渉縞の解析法について、主として熱流体計測の場合を中心に述べている。この他、近年各分野で多くの応用がなされている高精度干渉法として、ヘテロダイン干渉法、縞走査干渉法(位相シフト干渉法)、フーリエ変換干渉法について、測定原理、具体的な手法、特徴など干渉計測法の現状をまとめている。

ホログラフィ干渉法による計測  
Measurement of Flame Temperature Profiles  
by Holographic Interferometry  
佐藤誠四郎  
平成5年9月  
丸善(株) レーザ計測ハンドブック

光干渉法による測定では、局所の値と同時に広い範囲の分布の形状とか広がりのような全体の情報を非接触で得ることができる。本稿は、ホログラフィ干渉法とコンピュータ断層撮影法(CT)を用いた火炎温度の三次元空間分布測定法を中心に、測定原理、撮影光学系、適用例などを述べたものである。

レーザ干渉法による計測の特徴は、対象物体の情報が二次元的に一度に得られること、干渉縞という形で直接目で見るので、全体的な情報の把握に適していることである。さらに干渉法とCTを組合わせた燃焼温度の測定では、瞬時の三次元分布状態が非接触で得られるので、二次元計測法の補間法として、また燃焼現象の解明や数値解析などで得られる結果の評価やモデルの検証、構築などに有力な手法になると考えられる。

まず、干渉・CT法の適用に必要な多数の干渉像を撮影する多方向干渉計について、これまで提案されているいくつかの方法をまとめ、それぞれ問題点を述べている。干渉縞から火炎温度を求める計算式の導入や、ガス組成の取扱いにふれ、適用例として温度の分布形状が対称性などが無い非対称火炎やバーナからの層流火炎、乱流火炎の測定結果および本測定法のネックである干渉縞のデータ処理の自動化などについて述べている。

投影からの像再構成  
Image Reconstruction from Projection  
佐藤誠四郎  
平成5年9月  
丸善(株) レーザ計測ハンドブック

3次元的な拡がりをもつ物体の内部構造を非接触、非破壊で観察するためコンピュータ断層撮影法(CT)が用いられている。CTはさまざまな方向に対する透過データ(投影)からもとの分布または画像を再構成するもので、従来の手法では得られなかった情報がコンピュータの利用によって入手可能となったものである。

本稿は、物体の投影からもとの画像などを求める各種計算方法について、主に二次元物体の任意の面内の像再構成の原理、特徴などを述べたものである。

全体の構成は、CTの原理、平行ビーム投影からの再構成、円錐ビーム投影からの再構成、不完全投影からの再構成となっている。各項目について、実際の計算方法と特徴、適用例などを述べた。このうち現在最も多く用いられている重畳積分法については、従来参考書などで記述されているフィルタ関数などの計算方法の誤りを指摘している。

計算方法の多くは、投影データが完全な形で得られることを前提にした方法であり、データの一部が得られない場合、再構成像が劣化する。このような問題は、実際の場合に応用する際に多いと考えられる。これは欠落情報の推定問題と考えられ、投影データの冗長性などを用いた方法が試みられている。これらについては、制限角度投影、有限視野投影、小数方向投影に分け研究の現状について、概要をまとめている。

## 重質重油の性状が燃焼・排ガスに及ぼす影響

Effect of Fuel Properties on Combustion  
and Exhaust Emission

西尾澄人、塩出敬二郎、桑原孫四郎

菊地正晃、沼野正義、石村恵以子

平成5年10月

船用機関学会第52回学術講演会

(平成5年秋季)講演予稿集

船舶技術研究所における  
水中スターリングエンジンの研究  
Research on Underwater Stirling Engine

at Ship Research Institute

塚原茂司

平成5年10月

水中動力源講演会前刷集

近年環境に対する関心が高まってきており、船用ディーゼル機関においてもその排気ガスが問題となってきた。しかし、船用燃料の重質化が進んできており、それらの排気ガスは非常に悪いという状態である。また、重質重油の使用のためにおこる故障(燃焼不良による)が多く報告されている。これらの解決のためにも、燃料の性状が燃焼(着火遅れ)、排ガスに及ぼす影響を調べることは重要なことである。燃料の着火性や燃焼性を簡単に測定できる燃料性状(密度や動粘度など)で予測できれば非常に有用である。野村らは、燃料の着火性を表すものとして $I_1$ (着火性指標)、燃焼性を表すものとして $I_c$ (燃焼性指標)を次のように定義している。

$$I_1 = 131.5 - A_m - 0.166W_{300-}$$

$$I_c = 77.3 + 0.08I_1 - W_{500+}$$

 $I_1$ : 船用重油の着火性指標 $I_c$ : 船用重油の燃焼性指標 $A_m$ : 薄膜法で測定した混合アニリン点(°C) $W_{300-}$ : 熱天秤により測定した300°C以下の蒸発成分量(wt%) $W_{500+}$ : 熱天秤により測定した500°C以上の残分量(wt%)

またこれらの指標は、燃料の一般性状(D:比重(15/4°C)、V:動粘度(cSt@50°C)、C:残炭(Wt%))を用いて次のように近似的に表示されるとしている。

$$I_1 = 216.2D - 7.341 \log V - 129.5$$

$$I_c = 82.19 + 0.424D - 6.159 \log V - 0.0936C$$

これらと着火遅れ、燃焼効率、排ガスとの関係を8種類の重質重油(噴射ポンプ入り口で約25cStになるように設定してある。)を用いて船用中速4サイクルディーゼル機関で調べた。その結果以下のことが分かった。

$I_1$ によって着火遅れの傾向は分かる。しかし、その大きさは圧縮終り温度によって変わり、その温度が低いとそのばらつきも大きくなる。

$I_c$ によってSoot量やNOx濃度の傾向がだいたい分かると考えられる。

船舶技術研究所の研究の概要を述べる前に世界のスターリングエンジンについて概括した。スターリングエンジンは、各国において開発が進んでいるが、スウェーデンの潜水船用エンジン、アメリカの太陽熱発電エンジン、日本のヒートポンプ駆動用エンジンは実用化の段階に入ったと言える。

その内、水中スターリングエンジンは上述のスウェーデン・コッカムス社のエンジンが実用レベルとして有名である。スウェーデン海軍用とフランスの潜水船“SAGA”のエンジンを製作している。どちらも4シリンダダブルアクティング型75kWを2台搭載し、燃料は軽油、助燃剤は液体酸素である。“SAGA”は最大潜航深度600m、連続潜航期間10日で、飽和潜水作業支援船である。その他、フランスECA社の熔融塩蓄熱型エンジン、アメリカSTM社の金属燃焼型エンジンがある。我国では川崎重工業が、コッカムス社と技術提携し、防衛庁潜水艦エンジンとして開発中である。

船舶技術研究所においては、水中でスターリングエンジンを使用する場合の問題点の内、エンジンの動特性に関する研究と燃焼ガス再循環方式(CGR)における燃焼、伝熱の研究についてその概略を述べ、そして排ガスターボ方式エンジンシステムの検討については熱力学的には成立すること、高深度まで省エネルギー型として有望であることなどを述べた。

おわりに、上記排ガスターボ方式エンジンシステムをAUV(Autonomous Underwater Vehicle)に搭載したとして、その形状の概念図を描き、各部容積、重量、そして通常速力を求めた。

### 海洋開発と水中動力源

#### Underwater Power Sources and Applications

塚原茂司

平成5年10月

水中動力源講演会前刷集

現在の無索有人潜水船、無人潜水機のほとんどは動力源としてバッテリーを使用し、活動時間が8時間程度と短いため、1回の潜水による調査の活動が制限されている。しかし、これからの潜水活動にはさらに長時間の稼働が可能で出力のより大きなものが必要とされ、バッテリーに代わる動力源の出現が待たれている。

潜水船の用途には、①学術調査・観測・探査、②海底鉱物資源開発、③水産資源関連、④海中工事、⑤救難、沈船・海底落下物の捜査と対処、⑥観光、海洋レクリエーション等がある。適用対象として水深はそれぞれ浅海から深海にまで達し、所要出力も数百kW、稼働時間も1日～1ヶ月と幅広く、それらに適した動力源があるものと思われる。しかし、現時点では最適動力源の選択にまで至っていない。

水中動力源に要求される条件は、④安全で故障が少なく寿命の長いこと、⑤運転制御が容易であること、⑥潜航時間が長く取れること、⑦高効率で小型軽量であること、⑧広い範囲の出力が選択できること、⑨振動・騒音の少ないこと、⑩イニシャルコスト、ランニングコストの低いこと等がある。

これまで検討されている動力源としては、スターリングエンジン、燃料電池、密閉式ディーゼルエンジン(CCDE)、原子力機関、ラヂオアイソトープエンジン等があり、それぞれ特徴を有している。これまでいくつかの動力源は実際に潜水船に搭載されて実験した。最近になってスウェーデン、フランスにおいてスターリングエンジンが潜水艦用、水中作業支援潜水船用として搭載され、良好な成績を収めている模様である。我国でも各種委員会構成により、調査研究中であるが、三井造船ではCCDEを水中実験中であり、川崎重工業が防衛庁の潜水艦用として外国企業と技術提携してスターリングエンジンの研究を始めている。さらに各種動力源の開発の強力な推進が望まれている。

### 低質油液滴の着火

#### Ignition of Low Grade Fuel Droplets

羽鳥和夫、熊倉孝尚

平成5年10月

機械学会 山梨講演会講演論文集

近年、船用燃料油は高粘度化、高残炭化等により、低質化する傾向にある。このような燃料油を使用することにより、機関の燃焼室内の燃焼状態が変化し、排気弁の損傷や過給機の汚れ、排ガスエコノマイザーへの排煙付着等の問題が発生している。これらの問題を解決するためには、噴霧燃焼の基礎研究として、単一液滴を用いて燃料油の燃焼過程を調べる事が重要であると考えられる。筆者らは、船用低質油は Cutter 材と基材の混合燃料であることから、ヘキサンとパラフィンの二成分混合燃料の単一液滴の着火遅れについて調べてきた。しかし、低質油では二成分混合燃料とは異なり、液滴直径は時間とともに減少しない。このため、これらの結果をもとに低質油の着火遅れを検討するには十分とはいえない。

本研究では、高温静止空気中において、試作した低質油液滴の着火遅れ、および懸垂棒の先端の変位から液滴の質量変化を調べ、低質油の着火過程について考察した。

実験の結果、以下の結論を得た。

- 1) 低質油液滴は、二成分混合燃料と同様に、二段階の蒸発過程を示す。
- 2) 液滴は、空気温度が低い場合には基材で着火し、空気温度が高い場合には Cutter 材で着火する。
- 3) 低質油液滴の着火遅れは、空気温度が高くなると小さくなるが、着火が基材から Cutter 材に遷移するときに大きく変化する。

船用機関の故障診断および故障予測のための  
故障モデルの構築・運用インターフェース  
Representation of Failure Diagnosis and  
Prediction Model for Marine Engine and  
Its Interface on Construction and Operation  
石村恵以子、沼野正義  
平成5年11月  
日本船用機関学会 11月月例講演会予稿集

レーザ干渉法による火炎温度測定  
(位相同期検出法の適用)  
Measurement of Flame Temperature Profiles  
by Laser Interferometry  
(Application of phase fitting detection)  
佐藤誠四郎、熊倉孝尚  
平成5年11月  
日本燃焼学会 第31回燃焼シンポジウム前刷集

船用機関では、省人化、非専門家化が進行しており、航行中の船用機関でのトラブルへの対応が困難となってきた。このため、船用機関の故障予測を行ない、陸上で保全作業を実施することにより、航海中での保全作業は最小限にとどめることが必要となる。このことを行なうためには、船用機関を、機関を構成する要素と、要素間の故障に関する関係を定義した故障モデルをもちいた故障診断・予測手法が有効であり、この故障モデルを構築・運用するためのインターフェースが必要となってくる。

故障モデルを構築するときに必要なことからは

- ・機関を構成する要素
- ・機関を構成する要素間の故障に関する関係
- ・機関を構成する要素の故障における重要性

である。故障モデルを構築するインターフェースで、これらの要素や関係の生成・追加・変更・削除を容易に行なえば、新しい知識や、対象となる機関のタイプが違って、その対象となる機関の故障モデルが容易に構築できることになる。

また、運用時のユーザーを次のタイプにわけている。

- ・故障モデルの要素の追加や削除が可能なアドミニストレーター
- ・故障モデルの関係の修正が行なえるエキスパート
- ・機関運転時の故障情報などの情報をうけて、保全作業等を行なうエンドユーザー

これらのタイプのユーザーごとにインターフェースを作成する。これらのインターフェースで重要なことは、操作性の簡単さや、予測結果のわかりやすい表示である。

干渉CTを用いた火炎の空間的な温度分布の測定では、多量の干渉縞のデータ処理が必要である。筆者らはこれまでに干渉縞のデータ処理の自動化と測定精度向上を目的として、フーリエ変換干渉法を適用しその有効性を明らかにしている。しかしフーリエ変換法ではFFT(高速フーリエ変換)の順変換、逆変換、フーリエスペクトルのフィルタリングなどを必要とし、処理の手間は従来法と同等もしくはそれ以上であった。

本報では、データ処理の手間と計算量が大幅な低減が期待される位相同期検出法を適用し、測定精度や簡略化の程度などの実用性を調べた。

位相同期検出法はフーリエ変換法の近似法ともいわれ、近似に伴う誤差や、誤差の少ない処理条件などを検討するためコンピュータシミュレーションを行った。

位相同期検出法は、フーリエ変換法と同様に撮影の際、参照光を傾けることにより従来の干渉縞にキャリアと呼ばれる間隔の細かな干渉縞を導入する。キャリアを加えた(変調した)干渉縞をFFTによるのではなく簡単な積分計算によって縞次数などを求める方法である。シミュレーションでは、縞次数として二次曲線分布を与え、本法による誤差などを評価した。

位相同期検出法は、フーリエ変換干渉法と比べ、干渉縞の測定誤差はやや大きくなるが十分実用になること、データ処理の手間や、計算時間が1/4~1/5と大幅に短縮できることなどを明らかにした。CTのような多量のデータを扱う場合、処理が簡単になる利点は大きく、本結果を用いて、バーナ火炎の3次元温度分布を測定した。

レーザー干渉法によるプラズマジェット場の測定  
(第3報、実作動条件での測定)

Measurement of Plasma Jet Fields  
by Laser Interferometry

(3 rd. Rep. Temperature and Density  
of Actual Plasma Conditions)

佐藤誠四郎、植松 進、千田哲也

平成5年11月

日本溶射協会 第58回学術講演会論文集

プラズマ溶射におけるセラミック粒子の加熱過程などを明らかにするため、プラズマ場の温度、密度分布を知る必要がある。干渉法を用いた熱プラズマの温度と密度の測定では、電子と中性ガスの両方の影響を考慮する必要があり、従来から波長の異なる2つのレーザーを使用した2波長干渉法が用いられている。これまで筆者らは、1波長干渉法により電子の影響を無視し中性ガスとしてのプラズマの温度を求めていたが、プラズマの出力などが大きい場合、電子の影響が無視できなくなると考えられる。

本研究では、プラズマ場が局所熱平衡状態にあること、などの仮定から、1つの波長の干渉像から電子と中性ガスの両方の影響を考慮できる測定法を提案し、その可能性の検討を行った。実際の溶射条件では高出力のため、プラズマの密度が高速で変動し、連続発振のレーザーとシャッターを用いる方法では干渉縞を静止状態で撮影できないので、本実験では干渉法の光源にルビーレーザーを用いた。また干渉法の測定精度向上と干渉縞のデータ処理の自動化のため、前報までと同様に直角2方向干渉計とフーリエ変換干渉法を用いた。

プラズマジェットの作動条件は、チャンバー圧力を100~500 Torr、電流は200 Amp~900 Ampに変え、雰囲気はアルゴンガス、プラズマガスは、アルゴン100%のほか、アルゴンに水素(容積比10%)またはヘリウム(容積比21%)を加えた混合ガスを用いた。

シミュレーションにより、本測定法の限界、特徴などを考察し、一部の断面における温度を求めた。本研究では必ずしも妥当な結果が得られるとは限らず、これは干渉縞の測定精度によると思われるので誤差などの検討が必要である。

〈材料加工部〉

レーザー溶融処理によるアルミナ溶射皮膜の構造変化  
(第2報：パルス発振モードの場合について)

Structural Change in Plasma-Sprayed  
Alumina Coatings by Laser Melting

(Part 2: On Pulsed Mode Treatment)

高橋千織、千田哲也、天田重庚

平成5年9月

日本セラミックス協会学術論文誌 第101巻9月号

プラズマ溶射アルミナ皮膜のレーザー溶融処理を主にパルス発振モードを用いて行った。レーザーの照射を一方向片道のみ行うことで処理条件を単純化し、他の処理条件について系統的な実験を行うことにより、個々の処理条件が皮膜構造に及ぼす影響を明らかにした。パルス発振モードによるレーザー処理後の皮膜断面では連続発振モードの場合と同様に溶融部、熱影響部、溶射したままの領域の3つの層が観察され、溶融部および熱影響部は $\alpha$ -アルミナに相変化していた。しかしながら、連続発振モードでは、出力の増加とともに皮膜が損傷され基材からの剝離がみられたのに対し、パルス発振モードでは高出力側でも剝離することはなかった。溶融部と熱影響部の深さは平均出力、周波数、デューティなどのパルス発振パラメータに著しい依存性を示したが、これらの結果は1パルス中のビーム照射による皮膜の加熱過程とビーム休止時間中の冷却過程を考えることで1次元の熱伝導方程式から合理的に説明された。また、処理皮膜表面ではクラック、ハンプ、ボイドなどの欠陥が観察されたものの、溶融部のビッカース微小硬度は溶射したままの皮膜で測定した値に比べ、1.6~2.0倍に向上した。ビッカース硬度は溶融部深さが小さい条件で高くなる傾向がみられた。この原因としては主に溶融部深さが小さい条件では表面亀裂の幅やハンプが小さくなるのにもない、溶融部表面直下に生じるボイドなどの内部欠陥が少なくなるためと考えられた。得られたビッカース硬度の最大値は同じ条件で測定した焼結アルミナのビッカース硬度(16.7 GPa)と同じ程度であった。



## 傾斜機能材料の新展開

## —エネルギー変換材料への応用—

New Developments in Functionally Gradient  
Materials —Application to Energy  
Conversion Materials—

千田哲也

平成5年9月

日本船用機関学会誌 第28巻第9号

傾斜機能材料 (FGM) は、宇宙往還機などで想定されるような表裏の温度差の大きい環境で使用される耐熱材料において、内部の熱応力の緩和を目的として研究開発が進められたものであり、これまでに FGM 化による熱衝撃強度の向上の確認や、大型 FGM 材料の合成法の開発などの成果が得られている。一方、熱応力緩和型の構造材料だけでなく、材料内部の組成・構造が連続的に変化するという FGM の概念を機能材料に適用することで、大幅な機能の向上が期待できる。科学技術振興調整費による調査研究結果に基づき、熱電変換材料を中心とするエネルギー変換材料について、FGM 化による変換効率向上の可能性とその原理を解説した。

熱電変換は、物質内部に温度差があると起電力が生じるというゼーベック効果を利用した発電である。熱電素子は p 型と n 型の半導体のペアで構成されるが、このような熱電半導体の性能は、強い温度依存性を持っている。すなわち、個々の熱電材料は特定の温度範囲のみで優れた熱電変換特性を示す。高い効率を得るには温度差を大きくする必要はあるが、大きな温度差に対して単一の材料系で温度範囲をカバーすることは不可能で、いくつかの材料の複合化が必要になる。このとき、特性が材料内部の温度分布に一致するように熱電半導体のキャリア濃度を連続的に制御することでピーク値を示す温度範囲を広くすることができる。また、異なる材料を FGM 化して接続することでさらに広い温度範囲で変換効率の高い熱電材料を得ることができる。高温熱源に対しては、高温で効率のよい熱電子発電と複合化することにより総合変換効率を高めることも検討している。熱電子発電では、エミッタとコレクタ材料の FGM 化により電圧損失の低減をはかることが可能である。

## レーザー照射によるホウ化チタンの熱衝撃強度評価

Estimation of Thermal shock Resistance of  
Titanium Boride Ceramics by Laser Irradiation  
秋山繁、島田道男、千田哲也、吉井徳治、天田重庚

平成5年10月

(社)日本機械学会

第71期全国大会講演論文集 (Vol. B)

海洋・宇宙の分野における原子力の利用は、施設の重量・スペースの制約が厳しく、信頼性、経済性の面からも放射線遮蔽性能だけでなく機械的強度、耐熱性等にも優れた新しい遮蔽材料の開発が必要である。そこで、中性子吸収機能の優れたホウ化チタン ( $TiB_2$ ) が、遮蔽材料の一つとして検討されているが、熱衝撃強度特性についての検討は十分ではない。本研究では、有限要素法による準定常弾性熱応力解析を行い、レーザー熱衝撃強度特性の定量的評価及び実想定欠陥の検討の前段階として、気孔率による熱衝撃強度特性への影響の検討を行った。レーザー熱衝撃試験に用いた試験片は、寸法が  $30 \times 30 \times 8$  mm の平板で、気孔率が 3, 8 及び 15% の 3 種類のホウ化チタンである。有限要素法モデルは、簡単のため円柱とし、四辺形軸対称要素を用いた。熱衝撃強度特性の評価方法は、材料に照射するレーザービームのスポット径と発生する熱応力及びレーザーの出力密度との関係を明らかにし、材料に割れが発生する最小臨界出力密度をもって材料の熱衝撃強度特性とする手法である。本研究の結果、次の結論を得た。

- (1) 弾性熱応力解析により、最大引張応力は、スポット径が 20 mm までの範囲ではスポット径の大きさが大きくなるにつれて直線的に増大し、出力密度  $20 \text{ W/mm}^2$  以下ではスポット径 30 mm 以上でほぼ一定値となる。
- (2) ホウ化チタンが、引張強さで破壊すると仮定して熱衝撃破壊臨界曲線が得られ、スポット径約 30 mm 以上で一定の熱衝撃破壊臨界値となった。
- (3) 計算では、気孔率が 3, 8 及び 15% の 3 種類のホウ化チタンのレーザー熱衝撃強度特性値は、それぞれ  $16.5 \text{ W/mm}^2$ 、 $15.0 \text{ W/mm}^2$  及び  $14.0 \text{ W/mm}^2$  となり、アルミナの熱衝撃強度特性値約  $2.9 \text{ W/mm}^2$  の約 4.8~5.7 倍大きい耐熱衝撃強度を示すことがわかった。
- (4) 気孔率の小さいホウ化チタンでは、スポット径 10 mm において熱衝撃破壊臨界値の試験結果と計算結果がほぼ一致した。

き裂を有するセラミックスの腐食雰囲気中の高温強度  
(第2報)

Strength of Cracked  $\text{Si}_3\text{N}_4$  Ceramics  
in Hot Corrosive Environment (2nd Report)

宗像良幸、千田哲也

平成5年10月

日本機械学会 第71期全国大会講演論文集  
No. 930-63, Vol. B

低質油燃焼ガスにさらされる窒化ケイ素は表面にき裂がある場合でも溶融塩付着により、き裂先端の切欠感受性の鈍化と考えられる効果により無き裂材の引張強度と差のないことをこれまで報告して来た。

試験はガスタービンの実機雰囲気を模したバーナリグを用いたものであったが、飛来粒子によるエロージョンが認められた。腐食性燃焼生成物を全く含まない灯油燃焼ガス下ではエロージョン損傷が原因で引張強度が低下したが、上述のように重油燃焼下ではコロージョンが有利に作用して強度低下はなかった。

これらの結果を踏まえてエロージョンとコロージョンが共にある場合、それぞれが発生する時間的前後関係が破断強度にどのような影響を与えるかについて調べた。すなわちコロージョン発生後エロージョン発生、エロージョン発生後コロージョン発生、エロージョン、コロージョン同時進行、いずれか一方のみの場合などを想定して、1000°Cでの曲げ試験を行った。

試験片表面に損傷を与えるために1000°C下でアルミナ微粒子を高速で衝突させる方式のブラスト・エロージョン発生装置を製作し、腐食性雰囲気は硫酸ナトリウム塗布によって与え、以下の試験結果を得た。

エロージョン損傷があれば大気中では、その損傷規模に応じて確実に強度は低下するが、溶融塩付着があれば大気中強度のように大きく低下することが無いばかりでなく、高いレベルで強度を保っている。ただし溶融塩付着後の保持時間の影響は大きく、時間が短い場合は強度低下が著しい。また、エロージョンとコロージョンの発生がそれぞれ単独で生ずる場合、エロージョン先行は当然危険であるが、それが穏やかである限り、溶融塩付着が並行するので危険性は少なくなるなどの結果を得た。

超音波スペクトロスコピーを用いた  
薄板における超音波伝達関数の計算  
Measurement of Ultrasonic Transfer  
Function on Thin Plate Materials

島田道男、吉井徳治

平成5年10月

日本非破壊検査協会  
平成5年度秋季大会講演概要集

新素材の開発や応用が積極的に進められる中で、薄いコーティング層や接着層を非破壊的に評価する機会も増えている。これらに対し主に超音波探傷技術が適用され、欠陥の検出が行なわれている。現在では、より定量的に評価するために、欠陥検出だけでなく、層の厚さの測定や層の物性値を計測することが求められている。

ところが、薄い層に対する超音波の特性から、単純な伝播時間や振幅の計測による定量評価が困難となっている。薄い層に入射する超音波の波形と、その出力である透過波や反射波の波形が異なるため、伝播時間や振幅を簡単に定義できないからである。

このような困難を克服するため、出力波の周波数スペクトルを入射波の周波数スペクトルで割って得られる伝達関数を用いることを考えた。情報理論から、こうして得られた伝達関数は、入力の波形に無関係に薄い層の特性を表わすものとなる。

伝達関数による評価法の有効性を調べるため、水中に置いた薄いステンレスシッケネスゲージをモデルとして、計測実験を実施した。種々の板厚における伝達関数と、伝達関数の理論値との比較検討を行なった。

超音波探触子の有効な周波数範囲では、伝達関数の振幅と位相の双方において、理論と実験が一致した。ただし、反射波伝達関数の位相に関しては、正確な路程の補正が困難であるため、理論と実験を合せられなかった。理論式に含まれる板厚や伝播速度のパラメータを調節し実験と合せることにより、板厚の推定等が可能となる。伝達関数を用いた薄い層の定量評価が有効であることが分かった。

光学式超音波検出装置における  
大振幅超音波応答の改善とその限界  
Improvement of Large Amplitude Responce  
on Ultrasonic Optical Probe and it's Limitations  
吉井徳治、島田道男  
平成5年10月  
日本非破壊検査協会  
平成5年度秋季大会講演概要集

レーザーを用いて超音波の発生・検出を行なうレーザー超音波法は、非接触超音波計測技術として、材料計測あるいは非破壊評価技術への応用が期待されている。

著者らも、同装置を用いた応用研究を行ってきたが、超音波の振幅が大きいたまには、光学式超音波検出装置の出力に頭打ち現象が生じ、正確な計測がほとんど期待できないことが分かった。そこで、種々の厚さの試料にレーザーを照射し、振幅の異なる超音波を発生させた。その出力の現象の解明をすることにより、試料表面の超音波変位が検出光波長の1/8(79nm)で完全頭打ちになる事が分かった。

この頭打ち現象を回避するため、新たな信号処理法を試みた。これは試料反射光の干渉信号とブラックセル変調光の参照信号を用いて、種々の複雑な演算処理をディジタル的に行うものである。これにより、直流から約30MHzに及ぶ広い周波数帯域において、大振幅の超音波変位の絶対値が計測出来るようになった。また、この波形をバンドパスフィルタを通す事により、超音波探触子と同様な多重反射波形が得られる事も確認した。

本方式の限界は、超音波変位の速度によって定まる。極めて大きな速度では信号処理の際に用いたローパスフィルタの遮断周波数によって制限される。

これらの問題解決により、レーザー超音波の特徴である広帯域、高出力、広角性などを利用して、従来の欠陥検出への応用に加えて、超音波の現象と歪、応力等の力学量との対応をとることにより、より定量的な超音波計測技術としての利用が可能となると考えている。

重畳ランダム荷重下における  
アルミニウム合金溶接継手の疲労寿命推定  
— 2次元レインフロウ法の適用 —  
Fatigue Life Estimation of Welded Joints  
of Aluminium Alloys under Superimposed  
Random Load Waves — Application  
of 2-Dimensional Rainflow Method —  
高橋一比古、前中 浩、宮本 武  
平成5年11月  
日本造船学会論文集 第174号

実構造物・機器に加わる荷重パターンとして、比較的長周期の1次波の上に短周期の2次波が重畳しているような場合は比較的多く、そのような重畳ランダム荷重下における構造部材の疲労寿命を精度良く推定することは、工学的に重要なテーマである。そこで本研究では、船体用構造材料として用いられる耐食性アルミニウム合金 A5083P-O 材および A5183-WY 材のすみ肉溶接T継手を対象として、1次変動波形に2次変動波形が重畳する形の重畳ランダム荷重波形を用いた疲労試験を実施し、個々の応力振幅に対する平均応力効果を考慮に入れた高精度な寿命推定法について検討した。

試験片は、板厚10mmの主板におなじく板厚10mmのリップ板を1枚溶接した、荷重非伝達すみ肉溶接T継手を用いた。溶接はMIG自動溶接により行い、溶接先端部にはグラインダー仕上げを施した。疲労試験は片振りの3点曲げ荷重制御で実施し、1次波形としては一定の応力値を保持するもの(DC)と台形波(GAG)の2種類を、また2次ランダム波としては広帯域・狭帯域の2種類を用いた。

まず、1次元レインフロウ法および修正マイナー則による寿命推定はすべて危険側となっており、同方法によって高平均応力域の重畳ランダム疲労寿命を推定すると、推定誤差が寿命比で1桁近くなる場合もあり、適用に際しては注意を要することがわかった。

また、1次応力波は2次ランダム波に対して平均応力として作用するが、その度合いは定平均応力(DC)の場合よりも1次変動台形波(GAG)の場合の方が大きかった。そこで、応力波形を2次元レインフロウ法によってカウントし、1次波がGAGのときには引張強さ $\sigma_u$ を、DCのときには真破断強さ $\sigma_r$ を用いて修正グッドマン補正を施した後、修正マイナー則を適用すると、最も良好な寿命推定結果が得られた。

## 炭化タングステン-コバルト溶射皮膜の摩耗現象

Wear Behavior of Thermally Sprayed  
Tungsten Carbide-Cobalt Coatings

千田哲也、大森 明

平成5年12月

高温学会誌 19巻 Supplement (溶射特集号)

高速ガス炎法により溶射した2種類のWC-Co皮膜について、軟鋼および焼結アルミナを相手材とする乾式すべり摩耗試験ならびに噴射角度を変えたアルミナグリットによるエロージョン摩耗試験を行い、摩耗量の測定と摩耗メカニズムの考察を行った。対軟鋼すべり摩耗試験では、重量減少は軟鋼側に多く、摩耗粉は鉄とその酸化物が主であったことから、おもに軟鋼側が摩耗する凝着摩耗であると結論された。対アルミナすべり摩耗では、接触面圧が0.5MPaから1MPaに変化すると摩耗量は1桁増加した。摩耗面のSEM写真から、摩耗量が比較的少ない場合の表面の塑性変形と切削による摩耗(plastic cutting)から、摩耗量の多い場合の表面層の剝離(delamination)を伴う摩耗への変化が観察された。エロージョン摩耗では、噴射角度が低い場合の切削による摩耗から噴射角度が高い場合の脆性破壊を伴う摩耗へ変化し、摩耗量も増加した。このような傾向は脆性材料の特徴と考えられるが、その増加は2倍程度であり、脆性破壊効果の噴射角度依存性から推定される差より小さく、切削の寄与が大きいものと考えられる。溶射粉末の製法が異なる2種類の皮膜の差は小さかったが、いずれの摩耗においても、WCの熱分解が少なくまた粒径の小さい皮膜の方が摩耗量は少なかった。

## 画像処理法によるプラズマ溶射

アルミナ皮膜の細孔構造評価

Microstructural Analysis of Plasma-Sprayed  
Alumina Coatings by Image Processing Technique.

高橋千織、千田哲也

平成5年

日本溶射協会「溶射」第30巻第3号

画像処理法および水銀圧入法を用いてアルミナ溶射皮膜の細孔構造の解析を行った。画像処理法にもちいた皮膜にはクロム酸含浸処理を施し、走査電子顕微鏡による研磨断面の組成像写真に画像処理法を適用した。皮膜内の微細な気孔にまで入り込んだクロム酸は観察試料作製段階での皮膜粒子の脱落や研磨材の入り込みを抑制すると同時に皮膜粒子と気孔の識別を容易にした。この結果、皮膜内の気孔の形態は粒子間に存在する溶射原料粒子と同程度の大きさをもつマクロな気孔、粒子内のミクロな垂直亀裂、ラメラ間の不完全結合部である幅の狭い気孔から成ることが確認された。溶射距離による気孔率の変化は画像処理法、水銀圧入法で測定したいずれの場合もほとんどなかった。しかしながら、微構造観察により溶射距離が長くなると皮膜内の気孔全体に占める不完全結合部の割合は高くなり、ラメラ間の空隙の幅は広がるが、逆に粒子内のミクロな亀裂が大幅に減少することが明かとなった。また、溶射距離が長くなると個々のアルミナ粒子の扁平化の程度は低くなり、同時に $\alpha$ -アルミナである未溶融粒子の巻き込み量が少なくなるため皮膜は $\gamma$ 単相に近づいた。水銀圧入法による気孔径分布の測定結果は溶射距離が長くなるにつれて大きい方へシフトし、微構造観察の結果と定性的に一致した。しかし、皮膜の微構造観察でみられたような $10\mu\text{m}$ 以上の気孔は測定されなかった。これは皮膜内部に比較的大きい気孔が存在している場合でも $2\mu\text{m}$ 以下の不完全結合部などがボトルネックとなっているためと考えられた。今回の結果より、画像処理法では気孔の大きさや形を数値的に表すことができ、気孔率の測定法としてだけでなく、気孔形態も定量的に評価することのできる方法として期待できることが示された。

## 〈装 備 部〉

## 洗剤によるタンク洗浄

Tank Washing with Detergent

上田浩一、間島隆博

平成5年5月

日本船用機関学会 第51回学術講演会前刷

ケミカルタンカーのタンク洗浄において環境保全上、最適な洗浄方法の確立および必要洗浄水量の低減が望まれている。そこで洗浄水に洗剤を添加して洗浄した場合のタンク壁面の清浄状態と排水中の残液濃度を調査した。非水溶性で低粘性の着色したアルキルベンゼンを用い、模型タンクに付着させ、これを洗剤を添加した噴流で洗浄する場合について実験を行った。タンク内洗浄壁面として、洗浄され難い天井面の隅近傍の検査面と、洗浄され易い垂直面の中心部の検査面を選び、それらの面の洗浄後の付着残量について調べた。これらの結果を水洗浄した場合と比較し、検討した。その結果次のようなことがわかった。

非水溶性の低粘性物質を洗剤で洗浄する場合、洗浄水量は低減できる。模型タンク実験から得られた係数を基に計算すると、洗剤が無害な場合には約25%、洗剤が残液と同じ程度有害であると考えた場合には約15%の洗浄水が低減できる。

洗浄後壁面での付着残留量についても同様に、洗剤の付着量を付着残液に加えると、水洗浄より少しよくなる程度である。

## タンク洗浄機の操作について

On the Operation of the Tank Washing Machine

上田浩一

平成5年6月

日本船用機関学会誌 第28巻第6号

ケミカルタンカーのタンクを洗浄する場合、洗浄排水中の残留液の濃度がケミカル物質の有害性に応じて定められた濃度以下となり、タンクが空になるまで受入施設に排出する。その後タンクに追加された水は、定められた条件を満たす場合は海洋に排出することができる。現在のIMOの基準では少なくとも1回の洗浄水ジェットに全表面が暴露されるようなサイクル数等が定められている。タンク内の実際の貨物残留物量に対して使用すべき洗浄水量の最低量は定められていない。そこで最低水量の基準の必要性が言われている。

そこでタンク洗浄が理想的な均一混合に近いと仮定した計算を基に、タンク洗浄しながら洗浄水を排出する連続洗浄と、そのタンク内に洗浄水を溜めながら洗浄する溜洗浄、溜洗浄後洗浄水を繰り返し使用する循環洗浄について実験を行い検討した。タンク内のウェル部の残液量が1リットル程度以下になると、タンク内貨物残液量は主にタンク内付着残液量になる。そこで模型タンクによる付着試験結果から、実船のタンク内付着残液量を推定した。また洗浄機のノズル口径を細くすることにより、ある濃度まで洗浄する時の洗浄水量を減少できると考えられたので、細いノズルでのタンク洗浄について検討した。次のような結果が得られた。

水噴流による洗浄機でタンク洗浄をする場合、初期においては排出しながら洗浄する方が、濃い液が初期に排出されるため、よい。模型タンク実験結果では洗浄排水の濃度が、0.7~0.5%程度以後は洗浄効果が落ちるので、洗浄水を循環して洗浄する方が確実に洗浄水と付着残液を混合できるのでよい。循環洗浄もできるだけ、少量の水で回数を多く行う方が効果的である。ノズル口径を細くするとタンク内残液と洗浄水が均一に混合していると仮定して求めた濃度と洗浄水量の関係よりずれるが、ある濃度まで洗浄するのに必要な洗浄水量は低減できる。

衛星データによる大規模流出油の画像抽出  
Detection of Spilled Crude Oil Patterns  
from Satellite Imagery.

山之内博、山岸 進

平成5年9月

日本学術会議 安全工学研究連絡委員会  
第23回安全工学シンポジウム予稿集

油及び有害液体物質の海上輸送中に流出事故が発生した場合、海洋環境に及ぼす影響は計り知れないものがあり、早急に拡散範囲を予測し、防除処置を施さねばならない。日本沿岸における小規模の油流出事故の発生と防除対策の記録からも分かるように、小規模の流出油事故は後をたたない。このような船舶運航の海洋環境に及ぼす影響を知るため、汚染の観点から見たデータの蓄積と不断の環境監視を行うリモートセンシングが、欠くことのできない技術と考えられる。

本報では、これまでに購入したランドサット衛星から観測されたデータのうち、湾岸戦争時に発生した大規模流出油汚染に関するシーンと、1989年3月にアラスカで起きたエクソン・バルデーズ号により引き起こされた流出原油に関する基本的なスペクトル情報を検討した結果について述べる。

解析に使用した装置は、パソコンによる画像処理システム、およびEWSである。ランドサットデータはフルシーンデータを磁気テープで購入し、計算機センターからイーサネットを介して光磁気ディスクに取り込みMS-DOS上のファイルとして取り扱った。

湾岸の油汚染とバルデーズ号による流出原油についてここで行った処理は、明かに油と認められる領域とそれ以外の周囲の海面を識別するために、それぞれの微小領域をマウスで指定し、輝度値の平均値を調べた。その結果、バンド4、5、7については、海面の輝度値より油の輝度値の方が高くなっていることが分かった。特にバンド5では、他のバンドに比べてその差ははっきりとしているので、海上における油の識別のためにはバンド5を用いてコントラストの増幅を行い、画像化することによって識別が容易になることが分かった。

〈システム技術部〉

船舶諸元特性の統計解析に関する一考察

Study on Statistical Analysis of  
Various Elements Related to Vessel

有村信夫、山田一成、菅澤 忍、池上二郎

平成5年5月

日本航海学会論文集 第89号

近年、海上交通が輻輳化する中で船舶は大型化・高速化して、運航要員は少人数化する傾向にあるため、内航船や高速船においては航行の安全を確保するために、新しい世代の衝突予防援助装置の開発を要望している。

本論文は、新しい衝突予防支援システムで、他船の諸元性能を巨視的に把握する場合の判断資料を得るために考察を行なったものである。

考察では、日本船舶明細書と日本内航船舶明細書(平成4年度版)及び操縦性試験データを基に、諸元性能の統計データを解析して、船の総トン数、航海速度、型幅、型深、特性時間、旋回性能、停止性能等の諸係数、及び諸性能に係る船の長さとの関係を示すと共に、船の種類別の推定式を示している。

即ち、操船者は航行の安全性を判断するために、目視により相手船の大きさや速度等の情報を収集して、長年の実務経験で集積した統計データを基に相手船の諸元性能を推測して、操船判断時の情報にしているものと考えられる。

従って、船舶の形状に拘る諸係数と諸性能を統計的に解析して、船の諸元性能を巨視的に把握する判断資料を操船者に提供することは、避航領域を判断する場合や操船上における相手船の立場を知る判断材料としても重要である。また、船の諸元性能を巨視的に推定する統計的資料を集積することは、安全運航に関する操縦性基準(IMO)を検討する場でも必要である。

更に、考察の結果は見張り情報から他船の大きさを捉えて、他船の諸係数や諸性能を推定する操船支援システムの統計的判断資料として、役立つものとする。

The Mechanism of Sand Erosion  
of Glass Mat Reinforced Plastics

ガラスマット強化プラスチックの  
サンドエロージョン機構

原本信夫、北條英光、津田 健

平成5年7月

Proceedings of the Ninth International  
Conference on Composite Materials

金属材料などの代替材料として、近年大きな注目を浴びているFRPは、船舶のみならず化学プラントなどでも積極的に導入され、またその役割は年々重要なものとなっている。しかしながら、流体中の固体粒子の衝突による材料の損傷“エロージョン”は、他の均質材料同様FRPでも大きな問題となっている。特にエロージョン損傷による構造部材の寿命の減少は、その部材の信頼性のみではなく、プラント全体の稼働能力や信頼性に係わる重要なものである。

そこで、本研究では構造部材としてのFRPについて、その信頼性を評価するための一環としてエロージョン損傷に着目し、損傷挙動、寿命予測について検討している。

材料として用いたFRPは、一般的に用いられているガラスマットで強化したものを用い、実験装置としてはサンドブラストタイプのものを用いた。

実験結果から、繊維の含有率による損傷挙動の差が認められた。つまり、含有率の増加とともに脆性的な損傷が支配的になり、樹脂単体の場合とは、明らかに異なった挙動を示した。

SEMによる損傷面の観察から、粒子衝突方向と繊維のなす角度による損傷形態の差が認められた。

以上の結果と複合則を用いることにより、FRPがエロージョン損傷により受ける損傷量を予測する式を示した。この式により、繊維の含有率や粒子の衝突角度に係わらず、FRPの損傷量を予測することが可能となり、構造部材としてのFRPの信頼性を高めることになる。

A Database System for the Ship Reliability  
in Japan

日本における船舶信頼性データベースについて  
桐谷伸夫

平成5年10月

ICMES Proceedings of ICMES '93

船舶信頼性データベース(SRIC)は、「船舶信頼性調査委員会」によって過去10年にわたり調査された国内MO船における船用機器の故障情報を集約して構築されたシステムであり、船舶の信頼性向上を目的として各機器の信頼性解析に活用されている。また、このデータベースの機能拡張と活用の利便性を高めることを目的として、新たに最新のデータベース技術やハード・ウェアの導入を検討したデータベース・システム(SRIC II)のデザインを実施すると共にそのプロトタイプ構築を行った。

構築されたデータベース・システムは、10個のデータ・ファイルを同時に取り扱うリレーショナル・データベースとして旧システムの設計思想や既存データを漏らすことなく継承している。そして、収集整理された10万件以上のフィールド・データと利用者の要求に応えるためのソフト・ウェアが用意されており、さらに有効な利用を実現することが可能である。また、ハード・ウェアとしてワーク・ステーションを採用したことにより、小型高機能で安価なシステム構成が行われている。

## 海上における霧中信号の伝播特性について

On Properties of Sound Propagation  
of Foghorn over Ocean Waters

菅澤 忍、山田一成、有村信夫

原野勝博、藤井 忍

平成5年10月

日本音響学会 平成5年度秋季

研究発表会講演論文集

霧中信号の海上での伝播を、音源の種類と音源からの距離を変えてDAT (digital audio recorder) を用いて測定した。これをDAT インターフェースボードを用いてパーソナルコンピュータ上に読み込みデジタル的にスペクトル解析を行いその性質を調べた。音源の種類として電磁式とスチーム式の二つホーンを用いた。また、音源からの距離は、400m から1,500m の程度で、その間の数カ所で測定した。また、大気の状態としては、2~10m の間の風速の状況で測定した。

スペクトル解析の結果、電磁式ホーンから発生する霧中信号は単一の周波数のみからなり、スチームホーンでは、基本周波数の整数倍の周波数のスペクトルの合成からなっていることを確認した。

また、風が原因となって引き起こされる騒音のスペクトルを分析した結果、その主要部分は低周波側であって、風力が強くなるにしたがってスペクトルのすそ野が高周波側に伸びてきて霧中信号の成分の一部を覆い隠してしまうことがわかった。風の影響が少ない場合はローパスフィルターを用いることによって風による騒音の影響を除去することができることがわかった。

さらに、霧中信号のスペクトルの平均エネルギーの時間変化を考察すると、大気を伝播するとき大気の揺らぎ(風)に起因する歪みが生じ風が強いほどこの歪みが大きくなることがわかった。

## “G2” による PWR 簡易シミュレータの開発 (II)

Development of simplified PWR Simulator  
using “G2” (II)

井田俊雄、福戸淳司、松岡 猛、他2名

平成5年10月

日本原子力学会 秋季講演会予稿集

現在、自律型原子力プラントにおける知的マンマシン・インターフェイス (IMMI) の研究を目的として、エキスパートシステム構築用のツールである“G2”を用いて、加圧水型原子炉 (PWR) を対象とした簡易シミュレータを開発している。昨年度までに、PWR の基本的な動きを模擬する部分は構築できた。今年度は、シミュレータ実験を行う上で、必要となる、シナリオ生成機能、評価の対象となる簡易自律機能、シミュレーション結果の記録再生機能等の拡張を行ったので、その報告をする。

主な拡張機能としては、自動制御系の充実、機器故障の模擬、簡易自律機能の導入、シナリオ設定機能、操作履歴管理機能が挙げられる。これらの機能を拡張することにより、自動制御系の動作、機器故障時のプラントの挙動および自律機能によるプラントのコントロールのシミュレーションが可能となった。さらに、本シミュレータに付加したイベント起動機能および操作履歴管理機能が、IMMI の研究を行う上で、機能的に十分であることも確認された。



確率的な安全評価における火災リスク評価手法  
の研究(6)—COMPBRN IIIeによる壁面塗料  
の火災挙動の評価—

Study of Fire Risk Analysis Method in the  
PSA (6) —Estimation for the behavior of wall  
paint—in the fire condition by COMPBRN IIIe

原木信夫、松岡 猛

平成5年10月

日本原子力学会 1993年秋の大会予稿集

確率論的の火災リスク評価を原子力プラントに対して実施した際、プラント内壁面に塗られた塗料の潜在的発熱量は無視できないものであると思われた。そこでCOMPBRN IIIeを用いて種々の火災条件において塗料の燃焼、発熱の可能性を評価した。

原子力分野における火災リスク評価においては、従来から火災進展解析コードとしてCOMPBRN IIIが広く使用されてきた。最近、その使用性を考慮してCOMPBRN IIIeが開発され、COMPBRN IIIにおけるモデル化の不適切な部分の改良もなされている。本解析ではこのCOMPBRN IIIeを用いて解析を行った。

解析対象として、BWR型原子力プラントのコントロールルーム内の天井および壁に厚さ2mmの塗料が塗られているものを設定した。発火源としては3×3mのヘプタンプールを用いた。

- i) COMPBRN IIIとCOMPBRN IIIeの差について検討した結果、IIIでは輻射熱の効果は実際の現象とは異なるシミュレーションがされていたが、IIIeではこの点が改良され実際の現象に近いシミュレーションがされていることが認められた。
- ii) 壁面塗料の燃焼の可能性については、発火源に近い塗料から燃焼が伝播して行くことが認められた。
- iii) 発火源であるヘプタンの量を2分の1にした場合には、壁面の塗料は発火源に近いもののみが損傷を受ける程度で、塗料の燃焼には至らなかった。

今後は、COMPBRNコードにおける現象のモデル化の妥当性の検討も含めて、火災源規模、位置、継続時間、塗料の損傷・燃焼範囲の把握、室内の機器の配置の影響など、より現実的な火災条件について評価を行う予定である。

GO-FLOW手法による信頼性解析(14)  
— $\alpha$ ファクター法、MGL法による  
共通原因故障解析—

Reliability Analysis by the GO-FLOW  
Methodology (14) —Common Cause Failure  
Analysis by  $\alpha$  factor and MGL methods—

松岡 猛、小林道幸

平成5年10月

日本原子力学会 1994年秋の年会要旨集

船舶技術研究所で開発を進めているGO-FLOW手法において共通原因故障を $\alpha$ ファクター法、MGL法により直接取り扱う機能を整備した成果について報告した。

$\alpha$ ファクター法、MGL法においては、特定の共通原因に曝される機器群のうちで故障が同時に発生する機器の組み合わせすべてを考慮して共通原因故障の寄与を求める必要がある。そこで、機器の組み合わせ毎に共通原因故障が発生する事によるシステムの非信頼度の増加量を計算し、それらを加え合わせる方法を採用した。

解析対象としては、加圧水型原子炉補助給水系(AFWS)を取り上げた。この系は、4基の蒸気発生器のうち少なくとも2基の蒸気発生器への給水に成功すれば機能は満足されるものとした。共通原因故障機器群の組み合わせとしては、(1){ポンプ駆動用の2台の電動機の起動失敗、3台のポンプの起動失敗}、(2){ポンプ駆動用の2台の電動機の起動失敗、3台のポンプの運転中の故障}、(3){4個のモーター駆動弁の開閉操作}の三種類を取り上げ解析を実施した。

共通原因故障を考慮しない場合は、本解析対象の系は動作開始24時間後において $1.1 \times 10^{-5}$ の故障確率であったが、共通原因故障をすべて考慮した場合は $4.3 \times 10^{-4}$ となった。 $(\alpha$ ファクター法の場合)

GO-FLOW手法において共通原因故障を $\beta$ ファクター法、BFR法に加えて、 $\alpha$ ファクター法、MGL法により解析する機能が整備され、いずれも適切にモデル化されている事を確認した。

確率論的安全評価における火災リスク評価手法  
の研究(5)―炉心損傷頻度算出手順のまとめ―

Study of Fire Risk Analysis Method  
in the PSA (5) —Procedure for  
Estimating Core Damage Frequency—

松岡 猛、宮崎恵子、近藤雅明

平成5年10月

日本原子力学会 1994年秋の分科会要旨集

日本原子力研究所からの受託研究として実施している「火災リスク評価手法の検討」において炉心損傷頻度算出手順をまとめた結果、およびサンプル・プラントにこの手順を適用した結果についての報告である。

最近、米国電力中央研究所 (EPRI) では火災リスクを検討する際のスクリーニングのための手引きとして FIVE 手法をまとめている。本研究では、前年度までの研究成果をもとに、FIVE 手法を参考として、評価手順を整理された形でまとめた。

解析対象プラントとして、公開情報を参考に BWR 型原子力プラントを設定した。耐火壁で囲まれた領域を 1 火災区画として全体で 145 区画を同定した。順次スクリーニング手法により問題となる区画を絞り込んで行き、最後にスイッチ・ギア室内のケーブル火災、制御室内非常用冷却系盤出火の 2 ケースが残った。

以下、内的事象に準じて起因事象の選定、イベント・ツリーの作成、システム信頼性解析、事故シーケンスの選定、を実施し炉心損傷頻度を算出した。

サンプル・プラントを対象とした解析実施例においては、プラント内全区画が検討され、FIVE 手法で示されたスクリーニング手法が有効であることが確認された。今後の課題としては、火災区画間の火災伝播の可能性の評価や、消化作業の評価として適切な手法の開発が残されている。

Development of the Fire Risk Analysis  
Methodology for Nuclear Power Plants

原子力プラントにおける火災リスク評価手法の開発

松岡 猛、宮崎恵子、近藤雅明

平成5年11月

JKPSA ワークショップ予稿集

船舶技術研究所が日本原子力研究所の協力により進めている火災リスク評価手法開発の成果についての報告である。報告においては、炉心損傷頻度算出手順の説明、およびサンプル・プラントにこの手順を適用した結果について述べている。

最近、米国電力中央研究所 (EPRI) では火災リスクを検討する際のスクリーニングのための手引きとして FIVE 手法をまとめている。本開発では、この FIVE 手法を参考として、評価手順を整理された形でまとめた。

解析対象プラントとして、公開情報を参考に BWR 型原子力プラントを設定した。耐火壁で囲まれた領域を 1 火災区画として全体で 145 区画を同定した。

スクリーニング手法により問題となる区画を絞り込んで行き、スイッチ・ギア室、制御室の 2 区画が候補として残った。これら 2 区画の構造・レイアウトを設定し、内部で起こり得る火災条件を火災進展解析コード COMPBRN を用いて検討した結果、最後にスイッチ・ギア室内のケーブル火災、制御室内非常用冷却系盤出火の 2 ケースが残った。これらの火災条件に対して火災発生頻度を再評価する具体例として、実施内容を記述した。

以後の解析は内的事象に準じて起因事象の選定、イベント・ツリーの作成、システム信頼性解析、事故シーケンスの選定の順に実施し炉心損傷頻度を算出した。

サンプル・プラントを対象とした解析実施例においては、プラント内全区画が検討され、FIVE 手法で示されたスクリーニング手法が有効であることが確認された。今後の課題としては、火災区画間の火災伝播の可能性の評価や、消火作業の評価として適切な手法の開発が残されている。

## 〈原子力技術部〉

CO<sub>2</sub>深海貯留の可能性と技術的課題Possibility and Technically Unsolved Subjects  
of CO<sub>2</sub> Storage in the Deep Ocean

綾 威雄

平成5年9月

日本太陽エネルギー学会

「太陽エネルギー」第19巻第5号

地球表層における炭素(CO<sub>2</sub>)は大気を介して陸生生物(主に植物)と土壌及び表層海水の間で循環している。大気-陸生生物-土壌間は炭素が過不足なく循環しているのに対し、表層海水への吸収と放出はバランスしておらず、吸収の方が年間40億トン多い。化石燃料の燃焼と森林消失により大気へ放出される炭素量は70億トンであるため、その差30億トンの炭素が年々大気に蓄積されている。そして、表層海水-大気間の循環差40億トンは、最終的には深層海水(深海)に蓄えられている。従って、CO<sub>2</sub>の海洋処理は、海面を通してゆっくりと移動している自然の炭素循環を人工的に促進することに相当する。

CO<sub>2</sub>は高圧低温下では水と反応してクラスレート(包接化合物)と呼ばれる水素結合による化合物が形成される。液体CO<sub>2</sub>と海水間でクラスレートが生成されるのは、圧力が4.5MPa(水深450mに相当)以上で、温度が8.3°C以下の領域である。従って、CO<sub>2</sub>の海中処理は、クラスレートを利用しない溶解法(非クラスレート化)とクラスレート化を目指した深海貯留法とに分類することができる。

溶解法は、溶解後の拡散プロセスや酸性化域の問題など未解決点が多い。

クラスレート化法はクラスレートが結晶体であることから当初CO<sub>2</sub>の固定化に結び付くものと期待された。しかし、最近の実験的研究からCO<sub>2</sub>と水の界面に生じるクラスレートも溶解することが明らかにされた。しかしながら、回りが高濃度CO<sub>2</sub>水溶液であれば溶解はほぼ停止することが判明し、湖のように蓄えられるであろうCO<sub>2</sub>をこの高濃度水溶液で覆うことができれば、溶解を事実上抑制できることになる。このようなクラスレート化法を実現させるには、

①適正な貯留場所が十分分布していることの確認、

②濃度境界層の安定条件などの解明

が必要である。

## 凝縮起因水撃に及ぼす管径の影響

Effect of Pipe Diameter on the Condensation  
Induced Waterhammer

綾 威雄、山根健次、成合英樹

平成5年10月

日本原子力学会「1993年秋の大会」講演論文集

米国の軽水炉では1969年からの約20年間に計281回の水撃が発生したと報告されている。これは、平均すれば0.25回/炉年という高い頻度であり、その内72%は配管サポートに損傷をもたらし、10%は圧力バウンダリーの破損をもたらしている。中でも、急速な蒸気凝縮に起因した水撃はピーク圧力が高いため大きな損傷をもたらすことが多い。しかし、最大ピーク圧力の大きさ、配管系への荷重や管径の影響など不明な点が多く残されたままになっている。船舶技術研究所ではこれら未解決部分を明らかにするため、小規模装置による実験を続けてきた。今回、大口径管(100mmφ)を使った実験を行ったので、これまでの小口径管(25~40mmφ)との比較から、ピーク圧力におよぼす管径の影響を考察した。

従来の研究によれば、水撃時のピーク圧力(P<sub>MAX</sub>)は $c\rho V_s$ で表される[c:液中音速、 $\rho$ :液体密度、 $V_s$ :液スラグ衝突速度]。凝縮起因水撃の場合、 $V_s \approx \Delta P \Delta t / (\rho l_s)$ である[ $\Delta P$ :スラグ両側の圧力差、 $\Delta t$ : $\Delta P$ の作用時間、 $l_s$ :スラグ長さ]。水スラグが等加速度運動をすると仮定すれば、 $\Delta t = (2\rho l_s l_v / \Delta P)^{0.5}$ となる[ $l_v$ :気泡長さ]。これらの関係を使えば、

$$P_{MAX} \approx \{2\Delta P(l_v/l_s)/\rho\}^{0.5}$$

を得る。上式中の $\Delta P$ は熱的条件のみで定まり、寸法比 $l_v/l_s$ は管径に大きくは依存しないと考えられる。従って、 $P_{MAX}$ は管径に余り依存しないと予想される。

一方、実験はシステム圧力を大気圧として行ったが、小口径管で見られたのと同様の流動振動が生じるとともに、ピーク圧力が2MPaを越える水撃が多発することが分かった。このような水撃により、耐圧1MPaのポリカーボネイト製試験部に管を縦断する大きなき裂が発生した。これらの実験事実は、上述の考察結果「大口径管においても小口径管で観測されたのと同程度の水撃が生じる」を裏付けるものである。

TLD を用いた低エネルギー光子吸収線量測定  
における空洞理論の適用性

Applicability of the Cavity Theory to the  
Measurements of Absorbed Dose  
to Low Energy Photons using TLDs

成山展照、田中俊一、浅野芳裕、中根佳弘  
平山英夫、伴 秀一、中島 宏、波戸芳仁  
平成 5 年10月

日本原子力学会「1993年秋の大会」予稿集

放射光施設の増加に伴い、低エネルギーX線に対する吸収線量の正確な測定方法の確立が現在求められている。しかし、低エネルギーX線に対する空洞理論の適用性自体まだ十分に調べられていない。そこで今回薄型 TLD を用いて低エネルギーX線照射下の各種媒質中の吸収線量を測定することによって、同理論の適用性を調べた。また、電磁カスケードモンテカルロコード EGS4 による解析もあわせて行った。

実験は、高エネ研の放射光実験施設にて行った。用いた TLD は、厚さ $100\mu\text{m}$ のポリイミドフィルム上に粒径 $90\mu\text{m}$ の $\text{CaSO}_4:\text{iTm}$ 素子を付着させたものである。この TLD をテフロン、アルミ、銅、金の薄いホイルでそれぞれはさみ、20、40keV 単色X線を照射してその線量を測定した。EGS4の計算については媒質としてテフロン、アルミ、銅を選び、40、80、200keV のエネルギーにて計算を行った。その結果、20、40keV において実験値と計算値はほぼ一致したが、80keV X線に対する銅ホイル内の $f(E)$ が空洞理論と EGS4の間で大きく異なった。この不一致の原因を明らかにするため、EGS4を用いて TLD 内の深さ方向線量分布を計算した。その結果は、境界領域の部分的な吸収エネルギーの増大が結果的に全体の線量を増大させていることを示した。つまり、銅のような高Z媒質から発生する電子はフルーエンスが TLD 内で発生する電子より数倍大きい。そのため減衰が大きくても全体の線量に影響をもちうるが、既存の空洞理論はその電子フルーエンスの大小を考慮しないことが一致しない原因と推測される。

モンテカルロ法の実体系への適用  
Application of Monte Carlo Method  
for Actual Systems

植木紘太郎

平成 5 年10月

日本原子力学会 1993年秋の大会予稿集

モンテカルロ法が実用的な放射線遮蔽計算法として用いられるようになったのは1960年代に入ってからのものである。以来30余年、今日では核データの評価計算あるいは新型原子炉の遮蔽設計にまで採用されるようになった。

近年我が国で急速にモンテカルロ法が理解されるようになったのは、米国ロスアラモス国立研究所で開発された連続エネルギーモンテカルロコード MCNP の普及であろう。MCNP コードでは分散低減法として Weight Window の使用を推奨している。これを使うために必要な空間(Cell)とエネルギーに依存した重みは Weight Window Generator によって求められるようになっているが、一般にこの Generator によって作られる値は Weight Window としては不十分である。そこで、筆者は MCNP コードのサブルーチン HSTORY を改訂することにより、Weight Window として十分使用できる重みを得ることに成功した。これによって、Weight Window をシステムティックに与えることが可能になるので、より大型で複雑な体系の計算に威力を発揮するものと期待される。

一方、原研では HTTR (High Temperature Test Reactor) の建設が進められており、この遮蔽解析に MCNP を使い、モンテカルロ分割結合計算法を応用した計算が行われた。計算は炉心からスタートし、まず第1ステップで炉心上部の一次上部遮蔽体下面まで解き、角度カレントを求め、第2ステップでは第1ステップの角度カレントを面線源として一次上部遮蔽体の上部にあるスタンドパイプ室での中性子線量当量率分布を求めた。本計算によって、スタンドパイプ室における中性子ストリーミング効果を鮮明に捕えることができた。

この他、使用済燃料輸送容器、運搬船、再処理施設等の実体系の遮蔽安全性評価にモンテカルロ法が適用されている。

Effect of CO<sub>2</sub> Concentration in Water  
on the Dissolution Rate of its Clathrate

CO<sub>2</sub>クラスレートの溶解速度に  
及ぼす水中 CO<sub>2</sub>濃度の影響

綾 威雄、山根健次、山田信夫

平成5年11月

CO<sub>2</sub>固定化とエネルギー効率利用に関する  
国際シンポジウム論文集

地球温暖化の主因とされる大気中 CO<sub>2</sub>濃度の増加を抑制する手段として、発電所などから回収された CO<sub>2</sub>を密度が海水より高くなる3000m以深の深海に貯留する方法が、このような高圧低温下では CO<sub>2</sub>と海水が反応して包接化合物(クラスレート)をつくり、それが結晶構造をした固体であることから、CO<sub>2</sub>の固定化に結び付くものと期待された。ところが、クラスレートは液体 CO<sub>2</sub>と水の界面に薄い膜状に生成された後、徐々に溶解する性質のあることが、筆者らの実験から明らかにされた。そこで、このクラスレートの溶解性を前提とした新たな貯留法が提案されるに至った。それは、深海底に湖のように溜られるであろう CO<sub>2</sub>の界面上方に厚い濃度境界層を形成させるというものである。

今回、新提案の実現性を探るため、溶解 CO<sub>2</sub>濃度がクラスレートの安定性などに及ぼす影響を30MPa対応の高圧回流水槽を使って調べ、以下の結論を得た。

1. クラスレート生成域にあっても、クラスレート膜ができない場合があり、液体 CO<sub>2</sub>の溶解速度は氷点近傍まで温度依存性は見られない。これに対し、クラスレート膜で被われた CO<sub>2</sub>液泡の溶解速度は温度の低下とともに小さくなる。溶解速度の減少割合は、水：クラスレート：CO<sub>2</sub>間の平衡温度(30MPaの清水では約12°C)からのサブクール度に比例しており、3000m級の深海温度である2~3°Cでは、クラスレート膜のない場合の1/3程度になる。
2. 水中 CO<sub>2</sub>溶解濃度が増加するとともにクラスレートおよび CO<sub>2</sub>の溶解速度は急減する。この事実は、物理的に安定した濃度境界層を貯留 CO<sub>2</sub>の上方に形成されるならば、CO<sub>2</sub>の深海への溶解は境界層中の分子拡散分配となり、事実上抑制されることになる。
3. 高濃度溶解水を冷却するとクラスレートが析出する。この事実は、2~3°Cにおける飽和濃度は平衡温度より高温で計測された従来の値からの外挿値よりも相当低いことを示唆している。

〈海洋開発工学部〉

Study on the Towline Tension During Towing  
(2nd Report: Behavior of the Towline in Waves)

曳航時の索張力に関する研究  
(その2: 波浪中における挙動)

原 正一、山川賢次

平成5年5月

関西造船協会誌 第220号

前報において、平水中曳航時の変針などの際に発生するふれまわり運動が曳航索に衝撃力を引き起こし、索切断の事故につながる重要な要素の一つであることを述べた。本報では索切断事故の主な要因になると思われる、波浪中における索張力を究明するため、前報と同様のバージ型とセミサブ型の2種類の代表的な海洋構造物を用いて波浪中曳航実験を実施した。タグボートのような自航模型を用いたこの種の実験は、あまり例がみあたらない。また、没水した曳航索の強制動揺実験を行い、その動的張力について理論との比較を行った。これらにより、以下のような結論を得た。

- (1) 被曳船の索張力は、短波長領域において最大で曳船の索張力とほぼ同等になるので、ブライドルはホーサーの強度と同程度のものが必要である。
- (2) セミサブの索張力変動は、短波長領域を除いて、大略サージ運動によりほぼ推定できる。
- (3) Hermite moment モデルを用いて、曳航時の索張力の統計分布に適用した。その結果、索長が船長の4倍程度の強非線形な索張力を発生するような場合を除くと、Hermite moment モデルは、実験と良く一致しその最大値の予測は安全側の推定値を与える。
- (4) 曳船で曳航した場合、索張力の曳船及び被曳船の運動に与える影響は少ない。
- (5) 曳航索の強制サージ試験を行い、索の動的張力の実験と計算を比較した。索がスラックな状態の場合 Fylling の簡易な推定式は有効であるが、索が緊張する場合はランプドマス法あるいは Shin による推定手法が実験とよく一致し、クリッピング現象の生ずる場合でも Shin の方法は実験との対応が良かった。

今回の実験で、波浪中曳航の場合の索張力変動の概要を把握することができた。今後は、波浪中での索張力の最大値の推算手法を確立していく必要がある。

浮遊式海洋構造物による実海域実験

その10 波浪構造応答について

At-Sea Experiment of a Floating Offshore Structure Part 10. Effects of Hydrodynamic Interaction on Structural Responses in waves.

矢後清和、大川 豊、齊藤昌勝

平成5年11月

日本造船学会論文集 第174号

本論文は山形県鶴岡市沖で実施した浮遊式海洋構造物「POSEIDON」による実海域実験の成果報告の一つである。

実験構造物は10m 間隔に配置された12本のフーティングで支持された浮体構造物であるため、浮体間の流体力学的相互干渉により波浪の変形が生じ、それに伴って浮体に作用する波力、流体力が変化すると考えられる。本論文では、流体力学的相互干渉の効果を考慮して波力、流体力の計算を行い、妥当性を模型試験で確認した。計算法は3次元特異点分布法を用いた。その結果、実機相当5秒以下での波周期で相互干渉効果が顕著になる事が分かった。この波周期の範囲では構造応答関数が大きくなる事が、これまでの成果から明らかになっているため、相互干渉を考慮した構造解析を行い相互干渉を無視した場合と比較した。波力の計算結果同様、相互干渉の効果が認められた。

実海域実験のデータを用い相互干渉の効果を検証した。実海域実験データは短波頂波中の応答データであるため直接計算結果と比較する事は難しい。そこで、実測された波の2次元スペクトルを用い、線形重ね合わせにより応答スペクトルを推定し、実測した応答スペクトルとの比較を行った。その結果、相互干渉を考慮した場合の結果は実測結果と良い一致を示した。

実海域実験では、特定の海象時のアナログデータを取得している。このデータを用い、構造応答の高次成分を解析し、固有値解析結果と比較した。

波浪構造応答は、疲労被害と関連が深いと考えられる。相互干渉効果、波浪の方向分散性、波スペクトルの提案式と疲労被害の関係について、スペクトル理論により考察した。

〈大阪支所〉

地球温暖化抑制対策としてのCO<sub>2</sub>深海貯留について

Confinement of CO<sub>2</sub> in Deep Seas as a Way to Mitigate the Earth Warming

山根健次、綾 威雄、山田信夫

平成5年8月

日本造船学会誌8月号 第770号

既に、温暖化気体によって0.55°Cの地球温暖化がもたらされ、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)は全温暖化気体の71%を占めている、との試算がある。温暖化抑制を可能とするためには、産業活動に伴って排出される極めて大量のCO<sub>2</sub>を大気と隔離しなければならない。

このような状況下において、CO<sub>2</sub>が液化する水深500m以深の深海が、CO<sub>2</sub>の貯留場所として注目を集めるようになり、我が国においてもCO<sub>2</sub>の深海貯留法の研究が始められるようになった。この方法を成立させるためには、発電所など大量、かつ、集中的な発生源からのCO<sub>2</sub>回収に始まり、液化、輸送、深海への注入に至る各プロセスにおいて経済性評価を伴った技術開発が必要となるが、その前提条件として長期(永久)的な効果と深海環境への影響を明らかにすることがなによりも重要である。

代表的な深海貯留の方法として、一定の圧力、温度の条件下でCO<sub>2</sub>と海水の反応によって生成されるクラスレートがCO<sub>2</sub>の海水への溶出を抑制するという性質を利用し、海底に沈澱させ固定化させるクラスレート法があるが、CO<sub>2</sub>クラスレートの特性など不明な点が多く残されている。

今回、クラスレート化法の深海環境への影響評価に有用な資料を得るため、回流が可能な3,000m級深海模擬装置を使い、深海におけるCO<sub>2</sub>クラスレートの安定性等についての実験を行った。ビデオ観察から得られたCO<sub>2</sub>液泡収縮速度の測定結果は、液体CO<sub>2</sub>を被うクラスレート膜が、CO<sub>2</sub>の溶出速度を抑制するものの、期待されたほど安定に存在するものではなく、溶解法と本質的には変わらないことが判明した。また、高圧海水にCO<sub>2</sub>が溶解した場合の溶解量とpHの関係を実験的に求め計算値との比較を行った。これらの結果は、CO<sub>2</sub>深海貯留法を検討するさいに配慮されるべき事実であると考えられる。

地球温暖化ガス (CO<sub>2</sub>) の深海貯留についてConfinement of a greenhouse effect gas  
(CO<sub>2</sub>) into Deep Sea

山根健次、綾 威雄

平成5年9月

FRP 漁船研究会 「FRP 漁船」会誌 第159号

地球温暖化を抑制するためには、温暖化気体の中で濃度が際立って高い二酸化炭素問題の解決が不可欠である。温暖化を抑制するには、極めて大量のCO<sub>2</sub>を処理しなければならない。このような状況下において、CO<sub>2</sub>が液化する水深500m以深の深海が、CO<sub>2</sub>の貯留場所として注目を集めるようになった。

筆者等は1,000m級深海環境を模擬する予備実験装置と回流が可能な3,000m級深海模擬装置を使い、深海中にCO<sub>2</sub>を固定化する方法と考えられる溶解法とクラスレート化法の問題点を整理した。

溶解法では水深500~900mの大西洋垂深海中に適用可能であるが、液体CO<sub>2</sub>は海中を上昇するので、溶解速度に対し余り大きなCO<sub>2</sub>液泡の形で放出すると、海面近くまで上昇し、気化する。上昇速度と溶解速度の実験結果から単一液泡が100m上昇して溶解消滅する液泡径は3.7mmであることを明らかにした。

クラスレート化法では主にCO<sub>2</sub>クラスレートの安定性実験を行った。ビデオ観察から得られたCO<sub>2</sub>液泡収縮速度の測定結果は、たとえ液体CO<sub>2</sub>がクラスレート膜で被われていても、100m<sup>2</sup>当たり毎秒3.6m<sup>3</sup>ものCO<sub>2</sub>溶出を意味している。これは、クラスレート生成条件下でもクラスレート自身が高圧水に対して安定でないか、或は膜そのものは安定だがCO<sub>2</sub>分子が薄い膜を通過して水側へ拡散するかのいずれかと考察されるが、これまでのところクラスレート生成条件下でのCO<sub>2</sub>溶出現象のメカニズムは不明である。クラスレート生成条件下におけるCO<sub>2</sub>の溶出メカニズムの解明はともかく、本実験から明らかになったCO<sub>2</sub>クラスレートの不安定性は、深海環境への悪影響や2千年程度と言われる深海水の循環によるCO<sub>2</sub>の大気への逆流などをもたらす可能性を示唆するものであり、クラスレートの安定性を前提に行われているCO<sub>2</sub>の深海処理に関連した研究に一石を投ずるものであると考えられる。

## 〈東海支所〉

Estimate of (n,p) Cross Section for Unstable  
Nuclide <sup>60</sup>Co by multistep Hauser-Feshbach  
Model with Pre-equilibrium Correction前平衡過程補正付き多段階 Hauser-Feshbach  
モデル計算による不安定核種 <sup>60</sup>Co の (n,p)

反応断面積の推定

小野田直光、岩崎 信、梶山一典

平成5年11月

Journal of Nuclear Science and Technology  
第30巻第11号

<sup>60</sup>Co(n, p)<sup>60</sup>Fe 反応は、その残留核 <sup>60</sup>Fe の半減期が1.5×10<sup>6</sup>年と超長半減期であるため、原子炉の廃棄物処理の観点から、放射化率推定のために断面積評価が要求されている反応である。しかし、<sup>60</sup>Co(n, p) 反応断面積の実験データは皆無であり、このような不安定核種に対する反応断面積の評価は反応断面積の系統式あるいは、理論計算に頼らざるを得ない。本研究では、<sup>60</sup>Co に対する反応断面積を、前平衡過程からの寄与を励起子模型によって補正することのできる、多段階 Hauser-Feshbach モデルコード“GNASH” (簡易核反応断面積計算システム SINCROS-II に組み込まれているもの) を用いて推定した。計算に用いた光学模型ポテンシャルパラメータ、準位密度パラメータ等は <sup>60</sup>Co の隣接核である <sup>59</sup>Co (安定核) の計算を行い、(n, p)、(n, 2n)、(n, α) 反応断面積、放出中性子スペクトルの実験データを再現するように決定した。

本研究で得られた理論計算値を、14MeV 付近で知られている反応断面積の系統式から得られる値と比較して、理論計算値の予測精度について検討した。実験値の存在する <sup>59</sup>Co に対する反応断面積の理論計算値、実験値、系統式との相互比較からの類推により、理論計算による断面積値は、応用上要求されている精度、30%よりも、精度が高いものと考えられ、要求精度が高い反応については、反応の系統式を用いるよりも理論計算を行う方が望ましいことを示した。

本研究は、不安定核種に対する断面積計算におけるパラメータ推定の指針を示すとともに、今後、要求が高まると思われる、原子炉の廃棄物処理、材料損傷評価に関連した不安定核種に対する断面積計算の予測精度に関する示唆を与えるものである。