

所外発表論文等概要

<推進性能部>

Numerical Computation of Unsteady Incompressible Flow in Complex Geometry Using a Composite Multigrid Technique

複合多重格子法を用いた複雑形状内の
非定常非圧縮流れの数値計算

日夏宗彦 J.H. Ferziger

平成3年11月

International Journal For Numerical
Methods in Fluids Vol.13, No.8

複雑な形状を有する流場を差分法によって数値解析するとき、支配方程式を解くための格子生成に多くの努力が費やされるのが普通である。特に単一な構造格子系で分割することはかなりの困難を伴う。これを避ける一手法に複合格子法がある。これは、流れ場を複数の領域に分け、それぞれの領域において直交性のよい単純な構造格子系で分割し、全体の計算はそれぞれの計算結果をやりとりしながら反復計算して解を求め手法である。本研究では、この手法を流れの解析に応用した。

一方、今回対象とした流れは非定常非圧縮流れで、これは Fractional Step Method により時間積分した。このとき、圧力に関するポアソン方程式を解かなければならず、この部分に多くの計算時間が費やされる。この部分を効率よく解くことは、計算時間の短縮につながり非常に重要である。本研究では、この計算に楕円型方程式を効率よく解く手法の一つである多重格子法を用いた。

上記のように流れ場は複合格子法により複数領域に分割されているため、圧力を解くときには複合格子法と多重格子法を組み合わせる必要がある。そこで、まず始めに、一次元のモデル方程式を用いて複合多重格子法における内部境界条件の取扱いについて考察し、効率のよい計算手法を開発した。

次に差分法による流れの解析プログラムのチェックを、二次元正方キャビティー流れを計算することで行った。その後、応用計算例として、食い違い正方キャビティー流れと正方形-扇形組み合わせキャビティー流れをそれぞれ計算し、本計算法の有効性を示した。

水中翼とストラットが付いた
没水体まわりの流れ場について

On Flow Fields around a Submerged Body
with Hydrofoils and Surface-Piercing
Struts in Tandem

平田信行、日野孝則、不破 健

平成3年11月

関西造船協会、関西造船協会誌 第217号

ストラット付き没水体周りの流れ場について

Flow Fields around
a Submerged Body with Tandem
Surface-Piercing Struts

平田信行

平成3年12月

第5回数値流体力学シンポジウム講演集

没水体、前後水中翼、これらと上部船体とを繋ぐストラットの3つの船型要素から構成される水中翼付き船型が高速で航走すると、スプレー、ベンチレーション、キャビテーション等の高速流体特有の現象が生じ易く、また複合船型なために、各船体要素がもたらす造波、排除、粘性影響を通した流体力学的な干渉も考慮する必要がある。

この様に複雑な問題には、自由度の高い数値流体力学の手法が有効であると考えられる。本論文では、フルード数が高いため造波現象が支配的と考えて非粘性を仮定し、水中翼付き船型の自由表面流れを考えた。また、実験結果と比較するために、詳細な実験を行った水中翼無し船型周り流れについても考えた。

計算はオイラー方程式をMAC法のアルゴリズムの有限差分法で解いた。高速流体特有の現象に関しては特にモデル化を施していない。速度は没水体長さに基づくフルード数で0.891とした。

まず、水中翼に対する他の船体要素からの干渉を調べるために、水中翼無し船型周り流れの波と後翼に対応する位置での流速を実験結果と比較した。波はスプレーの落ちた部分を除くとほぼ表現できている。また、流速も良く一致している。但し、流れが翼位置全域にわたり下向きとなり、揚力低下を示唆している。

次に、水中翼付き船型周り流れの揚力を実験結果と比較した。前翼は良く一致しているが、後翼は上述の下向きの流れのために単独性能時と比べて大幅に落ちてはいるが、実験との一致度は良くない。原因としては、(1)前翼の粘性後流の無視、(2)スプレーを考慮していない、(3)粗い計算格子、等が考えられる。高速で航走する複合物体について数値流体力学の手法を用いてかなりシミュレートできることがわかった。しかし、複合物体に対する乱流モデルの与え方、スプレー等の高速流体特有の現象に対するモデリングが今後必要である。

高速で航走する複合物体周りには、スプレー、ベンチレーション、キャビテーション等の高速流体特有の現象が生じ易く、また船型が複合なために、各船体要素がもたらす造波、排除、粘性影響を通した流体力学的な干渉も考慮する必要がある。

この様に複雑な問題には、自由度の高い数値流体力学の手法が有効であると考えられる。本論文ではまず、フルード数が高いため造波現象が支配的と考えて非粘性を仮定し、水中翼付き船型の主要船体要素のうちタンデムな水面を貫通するストラットが付いた回転没水体周りの自由表面流れを考えた。

計算はオイラー方程式と連続の式を支配方程式として、任意形状を取り扱えるように一般曲線座標系に支配方程式を変換し、基本的にはMAC法のアルゴリズムの有限差分法で解いた。但し、自由表面形状を1価の波高関数で表したために、スプレーの様な多価関数の波形をシミュレートすることはできない。また、高速流体特有の現象に関しては特にモデル化を施していない。速度は没水体長さに基づくフルード数で0.891とした。

計算結果の波形を実験結果と比較した。没水体、ストラットから発生する波及び波の干渉は、おおむねよく表現でき、高速で航走する複合物体について数値流体力学の手法を用いてかなりシミュレートできることがわかった。しかし、スプレーが落ちて場を乱したと思われる部分、波形が振動する船体後方の中心面近傍等の改良が今後必要である。

グローバルな保存性をもった非圧縮流
NS ソルバーによる船の抵抗計算

Computation of Ship's Resistance using a
Globally Conservative Incompressible NS Solver

児玉良明

平成3年12月

第5回数値流体力学シンポジウム論文集

船舶流体力学の抵抗・推進分野では定常直進運動をする船のまわりの流場が主要研究テーマである。そのなかでも船の抵抗値の推定は、船速の保証に関連して、船型設計にとって重要である。

NS方程式を数値的に解こうとするCFDの手法は、流速分布など流場の定性的傾向を推定することは得意であるが、船体抵抗値などの積分値を高精度に計算することは苦手である。本報告では、質量・運動量の保存性を厳密に満たした、グローバルな保存性をもつNSソルバーの開発と、それを用いて計算した平板とシリーズ60船型の抵抗値について述べた。

平板流れはレイノルズ数 $Re=4 \times 10^6$ で、Baldwin-Lomayの乱流モデルを用いて計算した。格子点数・最小格子間隔等を変えて数種類の計算を行った。得られた抵抗値は、シェーンヘルの実験式に2%以下の誤差で一致したが、格子に対する依存性がやや見られた。

シリーズ60船型まわりの流れをレイノルズ数 $Re=4 \times 10^5 \sim 4 \times 10^7$ の範囲で計算した。曳航水槽における計測値と比較したが、低中速ではよく一致し、高速では計算値がやや高めの値を与えた。この原因として、格子依存性・乱流モデルの限界等が考えられるが、今後さらに研究を行うことが必要である。

水面貫通ストラット付没水体まわりの流場

An Investigation on the Flow Field around a
Submerged Body with Surface Piercing Struts

長谷川 純、竹子春弥、不破 健

平成4年1月

第41回応用力学連合講演会予稿集

近年、造船界では大型超高速船への関心が高まっているが、大型でかつ造波抵抗係数のラストハンプを越えた速度で航走することから、船体重量を静的浮力と動的揚力で支える複合型の新形式船舶が考案されている。すなはち、排水量の割に造波抵抗の少ない没水体（静的浮力）と揚抗比の大きい水中翼（動的揚力）および上部船体と下部船体とを結合するストラットの3要素からなる複合船型である。このような船型まわりの流れ場は、構成要素間の干渉の為に複雑であり理論的実験的な調査が必要と考えられる。

本論文では、長さ約4 mの没水体にコード長約0.8 mの2本のストラットを前後にタンデムに接続した基本的複合船型を取り上げ、高速航走時の流場計測を行い理論計算と比較検討した結果を述べる。

流場計測として、模型から離れた線上での縦切り後続波形の記録、タフト法を用いた船体表面の流向の観察及び前後のストラット表面から発生するスプレーの観察を行った。理論計算として、高速船の造波抵抗に付いては有用といわれている線型造波抵抗理論の内、特異点法の一つである Neumann-Kelvin 法を使った。

その結果、スプレーと関係のあるストラット前縁での水位に付いては理論計算で干渉影響が判るとどまり定量的な一致はみられなかった。また、後続波形と水面の影響の少ない深さでの流向に付いては線型造波抵抗理論である程度推定可能であることが判った。

高速走行する試験水槽の曳引車がつくる波について

Waves Generated by Towing Carriage of Ship
Model Basin Running at High Speed

柳原 健、日夏宗彦、藤沢純一

平成4年1月

第41回応用力学連合講演会予稿集

船の性能推定には一般に模型を使った水槽試験が重要な手段として実施される。平水中試験は試験前の水面には波がないこと、試験データには水槽の側壁および底の影響を受けないことが前提条件である。曳航水槽における水槽試験では模型を曳引車が曳航するため、模型が造る波のほかに曳引車によっても水面が攪乱され、特に高速試験では試験データに影響を及ぼすと考えられる。そこで、曳引車が造る波の性状を計測および数値シミュレーションにより調査した。

その結果

1. 曳引車が造る波には水深から計算される浅水波の限界速度で伝播する波が認められ、さらにその波は振動していること。
2. 曳引車に伴って伝播する波は曳引車が定速走行になっても成長を続けその後変化をしており、その変化は限界速度で伝播する波の振動とも対応していることが確認された。
3. 曳引車による水面攪乱の計測結果の波の性状は、水面に生ずる圧力分布は複雑と思われるが、今回用いた簡単な計算モデルによっても満足すべき精度でシミュレート出来た。

<構造強度部>

荷重非伝達すみ肉溶接継手の疲労強度に
及ぼす降伏応力の影響

Effect of Yield Stress on Fatigue Strength of
Non-load-carrying Fillet Welded Joints

松岡一祥、高橋一比古、藤井英輔

平成4年5月

日本造船学会論文集 第171号

本論文の目的は、荷重非伝達すみ肉溶接継手の疲労強度に及ぼす降伏応力の影響を明らかにしようとするものである。まず、溶接残留応力を考慮した実際の最大応力と応力範囲の関係、および、溶接残留応力と応力比の複合効果について概説する。上述を考慮して、公表された疲労試験結果に基づき、降伏応力の影響について検討する。

第一段階として、残留応力を考慮した実際の最高応力が降伏応力に達していると推定される試験結果を取り扱い、応力範囲、降伏応力及び破断に至る荷重繰り返し回数との関係式を作る。次に、総ての結果について検討し、以下の関係式を導く。

$$\Delta\sigma = 33680 \cdot \sigma_Y^{-0.2282} \cdot N_F^{-0.3071} \\ + 47.76 \cdot \sigma_Y^{-0.5508} \cdot N_F^{-0.1249} \\ \times (\sigma_Y - \sigma_{\max}')$$

ここに、 $\Delta\sigma$ は応力範囲(MPa)、 σ_Y は降伏応力(MPa)、 N_F は破断に至る荷重繰り返し回数、 σ_{\max}' は残留応力を考慮した実際の最高応力(MPa)である。

以上に基づき、疲労強度に及ぼす降伏応力の影響について検討した。得られた主要な結論を以下に示す。

- (1) 最大応力に残留応力を加えた値が降伏応力を超える場合、降伏応力が同程度なら、疲労強度も同程度となる。
- (2) 所定の疲労寿命では、疲労強度は残留応力を考慮した平均応力とほぼ線形関係にあり、この応力が大きいほど疲労強度は低くなる。
- (3) それぞれの寿命で、残留応力を考慮した平均応力の総ての範囲で、疲労強度は降伏応力が高いほど大きい。
- (4) 上記にもかかわらず、降伏応力が高いと残留応力を考慮した平均応力の取りうる範囲が広くなり、実際に加わる最大応力が降伏応力に達する場合には、降伏応力が高くなると、疲労強度が低下する傾向がある。

<機関動力部>

**Energy Analysis and CO₂ Emission Evaluation of
a Solar Hydrogen Energy System for the
Transportation System in Japan
(2 Evaluation of the System)**

日本の運輸交通機関用太陽水素エネルギーシステム
のエネルギー解析とCO₂排出の評価
(2, システムの評価)

平岡克英、渡辺健次、森下輝夫、野村雅宣
菅 進、井亀 優、千田哲也
平成3年11月

International Journal of Hydrogen Energy
第16巻 第11号

石油の将来における枯渇や大気中CO₂濃度増加による地球温暖化、あるいは大都市における自動車からの排気ガスによる大気汚染が大きな問題となっている。これらの問題に対処するために自然エネルギーを利用したエネルギーシステムの検討が重要となる。そこでわが国の運輸交通機関が現在使用している燃料を太陽エネルギーを利用して製造した水素で代替する太陽水素エネルギーシステムを第1部で概念設計した。

本システムを構成する液化水素製造後や液化水素タンカー等の各種設備は在来のエネルギーすなわち石油、石炭、電気を利用して製造することにする。この場合、太陽エネルギーから水素が製造されとしても水素エネルギーシステムを構成するために多大の化石エネルギーを必要とし、従来の化石エネルギーシステムが消費していた化石エネルギーよりも多くの化石エネルギーを消費するシステムとなつては石油代替エネルギーシステムとしては意味をなさない。

石油燃料を水素に代替すれば直接のCO₂排出は抑制されるが、一方では水素エネルギーシステムの諸設備製造時に化石燃料を使用するためCO₂を排出することになる。

本報告(第2部)では水素エネルギーシステムの各設備に投入されるエネルギーとそのCO₂排出量を推定し、本システムの省石油とCO₂排出抑制の効果を検討した。

現状技術においては、本システムは現在の石油エネルギーシステムよりも多くの在来エネルギーを消費する。将来、技術目標がすべて達成されれば、現在の石

油システムが消費している在来エネルギーの69%を節約でき、またCO₂排出量を71%低減できる。現状技術においても水素製造後の浮体構造にコンクリートを応用すればCO₂排出量を12%低減できる。

なお、本稿は既報の当所研究報告(平成2年7月)の内容を英文用に書き直したものである。

レーザー干渉・CTによる燃焼温度の空間分布計測

Interferometric Tomography Measurement of
Spatial Temperature Distribution
in Combustion Flame

佐藤誠四郎

平成3年12月

応用物理学会 光波センシング技術研究会
第8回光波センシング技術研究会講演論文集

燃焼のような非定常現象では、瞬時における分布計測の重要性は論をまたない。これはポイント測定に基づいた結果は、多くの場合平均値的なものとなり、誤った推論を導くおそれがあるからである。近年、エンジンや燃焼機器の性能向上にともない、より高度な現象の理解と高性能機器の開発のため、高精度、高信頼度で情報量の多い計測法が要求されている。

一般にエンジンや燃焼機器の燃焼解析には、火炎内の温度、流速、化学種濃度およびこれらの分布、時間変動量などの計測が必要である。このため、最近のレーザー、撮像管およびデータ処理技術などの進歩を背景として、レーザー応用計測が用いられ、レーザー分光法など主に1点の計測だったものが、瞬時における2次元計測が可能となり、1点の計測法を強力的に補間する方法として有力なツールとなっている。

このように現象をまず2次元的にとらえイメージとして把握することが重要とされるが、最終的には燃焼中での諸量の三次元的な現象の理解が必要なことはいうまでもない。

干渉法による燃焼温度の測定では、局所の値と同時に広い範囲の空間的な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ので、1点の計測の場合と同様に二次元計測法の補間法として、現象などの解明に有力な手法になると考えられる。

本稿では、燃焼で最も基本的な火炎温度測定法をとりあげ、レーザー干渉法と計算機トモグラフィ(Computed Tomography, CT)を用いた温度の三次元空間分布測定法について、測定原理、多方向干渉光学系、測定例としてバーナからの層流火炎、乱流火炎の結果などを述べたものである。

デュアルプレート・フーリエ変換法による
火炎温度計測Measurement of Flame Temperature
Distributions by Dual Plate Fourier Transform
Interferometry

佐藤誠四郎、熊倉孝尚

平成4年3月

第39回応用物理学会連合講演会講演予稿集

フーリエ変換干渉法は、従来のホログラフィ干渉法などの測定精度の向上、干渉縞のデータ処理の自動化のために提案されている高精度干渉法の一つであり、近年のコンピュータによるデータ処理能力の向上によって噴流の濃度分布などの流体計測や、モアレ縞の解析による物体の変位、変形測定などに用いられるようになってきている。

本研究では、干渉CTを用いた火炎温度測定のため、フーリエ変換干渉法の新しい処理方法を提案し、データ処理が簡略化され自動化が容易になることを示したものである。

まず従来の干渉縞にキャリア周波数(搬送周波数)と呼ばれる等間隔の縦縞を加えることによって変調した干渉像とキャリアのみの像を、別々に2枚の乾板に記録し、この2つの像を基に干渉縞の位相を抽出する方法である。フーリエ変換法の処理には2つのデータについて、変調した干渉像とキャリア像の、ある線上の同じ範囲を取込み、スペクトル計算、信号部分のフィルタリング、逆フーリエ変換法などを全く同じに行い、それぞれ抽出した位相の差引を行なって求める。

本方法によりこれまで必要であったキャリア周波数のチェックおよびフィルタリング範囲を厳密に行なう必要がなく、また初期位相による誤差も同時に除かれ、干渉縞の自動処理が容易となる。

変調した像とキャリアのみの像の撮影方法について述べている。

<材料加工部>

ジャーナル軸受の損傷診断に関する研究
(第2報：焼付き時の摩擦と温度特性)

Study on Failure Diagnosis of Journal
Bearings (2nd Report: Friction and
Temperature Properties in Seizure)

前橋正雄

平成3年11月

日本船用機関学会第48回学術講演会

軸受の焼付きは、致命的損傷となる場合が多く、また、他の損傷もそれが起因となって焼付きに至る場合もある。すべり軸受の焼付き時の軸受特性については、実験室においてもその再現性の難しさから、データが少なく不明の点が多い。本報では、軸受圧力、軸回転速度、軸面粗さ及び潤滑油の低粘度化の組合せで、軸受の作動状態を流体潤滑領域から、メタル接触を伴う境界潤滑領域へ移行させることによって、軸受の焼付きを発生させ、軸受メタルの温度特性を摩擦トルクとの関連において調べた。すべり軸受は運転の続行に伴い、軸と軸受間になじみが進行するために、同一軸そのままでは、軸受定数のほぼ一定のもとで、焼付き試験を行うことは難しい。そこで、軸受解放時に軸表面を研磨布で研磨して、軸面のなじみを除き、新面にちかい状態に戻して試験を実施した。ホワイトメタル軸受の場合、焼付き損傷状態になっても、ホワイトメタルが熔融流動するため、軸と軸受が熱膨張により固着し、軸が停止する最悪状態は起きない。焼付き時、軸受摩擦トルク急上昇から決定的損傷状態に至るまでに、摩擦トルクは2~3の山を作りながら変化している。この山は軸受面メタルの流れ発生点と考えられる。トルクの第一の山に至る直前で回避した場合は、比較的軽度の損傷であり、軸受性能回復が可能であった。第一の山を焼付き点とすると、WJ2軸受の焼付き温度は約175℃であった。摩擦トルクの変化に対するメタル部の温度変化は、かなりよい対応を示すが遅れが生じる。焼付き初期においては、メタル内の半径方向と軸方向に温度勾配が大きく生じているので、遅れが大きくなる場合がある。また、焼付き時間中における軸と軸受の間隙損失量の計算を行った。

レーザー照射によるアルミナ溶射皮膜の表面改質

Laser treatment of Plasma-Sprayed
Alumina Coatings

高橋千織、千田哲也、天田重庚

平成4年1月

高温学会溶射部会溶射総合討論会講演概要

プラズマ溶射したアルミナ皮膜を用いて、1パスのみのレーザー照射による表面改質処理を行った。連続発振モードおよびパルス発振モードについてビーム移動速度、レーザー出力、周波数、デューティなどのレーザー処理条件を変えて、皮膜構造の変化を調べた。

レーザー照射したアルミナ皮膜の構造は、今回実験した条件のいずれの場合もレーザー照射により熔融・再凝固したと考えられる熔融部、その周囲に存在するもとの溶射皮膜より見かけ上気孔率が高い熱影響部、および熱影響を受けないもとの溶射皮膜の3つの層に分けられた。これら3つの層についてX線回折分析を行った結果、もとの溶射皮膜は γ -アルミナが主であったが、熔融部及び熱影響部は α -アルミナとなっていた。 γ -アルミナは、1000℃以上で α 相に転移することから、熱影響部は、熔融はしなかったものの高温になったために γ 相から α 相への相転移があった部分であると考えられる。熱影響部の見かけの気孔率増加はこの相転移による体積変化に起因するものと考えられる。

パルス発振では連続発振に比べ、広いレーザー出力条件で皮膜は損傷されずに処理できた。熔融部深さは出力の増加に伴い増大し、明瞭な周波数依存性を示した。今回の実験条件では、ビーム速度1m/min、デューティ20%のときに周波数200Hzで熔融部深さは最小値をとり、100w以上でほとんど変わらなかった。これに対し、200Hzより低い周波数および高い周波数条件では、ともに連続発振モードに近づく傾向がみられた。パルス発振モードでは各パルス間の休止時間に皮膜が冷却され、皮膜厚さ方向への熱伝導が連続発振モードに比べて小さくなると考えられる。実験条件による熔融部深さの違いはこの熱サイクルの違いによるものと考え、今回の実験結果を1パルス中のレーザー照射時間と休止時間、すなわち加熱時間と冷却時間によって再整理したところ、周波数、デューティに関係なく系統的に説明することができた。

<装備部>

ホルムアルデヒドの
YAG三倍波による励起についてExcitement of Formaldehyde by YAG
Third Harmonics山岸 進、土屋正之
平成3年12月

第29回燃焼シンポジウム

ホルムアルデヒドは炭化水素燃焼の中間生成物として重要であると共に刺激性の強い有害成分でもある。これを大気圧下の燃焼においてin situで局所的に測定する方法の開発が望まれている。筆者らは、紫外域の353nmをヘッドにした吸収バンドpP, pQバンドによってYAG THG(354.7nm)が吸収されて発生する蛍光バンドを350~450nmにわたって確認した。蛍光の最大値はレーザー照射から約20nsec遅れて生じ、蛍光強度が1/eに落ちる時間、即ち蛍光寿命は、各振動ともほぼ同じ値を示しており、振動スペクトルで見る限り、クエンチング効果の違いは少ないと考えられる。

火炎の測定実験で、過燃料 ($\phi=1.7$) エチレン・空気炎の火炎面近傍を水平方向にスキャンしたスペクトルに強いホルムアルデヒドのバンドスペクトルを観測した。常温と火炎のバンドパターンが大きく変わっていないことから、振動、回転遷移が、火炎中でも大きな影響を受けていないと考えられる。従って、散乱断面積比にも大きな変化は無いとして、基準となる N_2 成分のラマンスペクトルを同時に観測し、観測した線強度比と散乱断面積比から濃度を計算した。また、温度は N_2 振動回転ラマンのストークス波形の積分強度から理想気体の状態式を仮定して求める方法を用いた。観測値から求めたホルムアルデヒドのピーク値はエチレン火炎についての化学シミュレーションで計算されている推定値とほぼ一致している。

<システム技術部>

GO-FLOW手法による信頼性解析(11)
- β ファクタ法による共通原因故障の取り扱い-Reliability Analysis by the GO-FLOW
Methodology(11)-An Analysis of Common Cause Failure
by the β -factor Method-松岡猛、小林道幸
平成4年3月

日本原子力学会 年会要旨集

船舶技術研究所において開発を進めているGO-FLOW手法において、共通原因故障を考慮した信頼性解析を実施する方法についての報告である。共通原因故障のモデルとしてはPSA(確率論的安全評価)において広く用いられている β ファクター法を用いた。

解析対象として、加圧水型原子炉補助給水系(AFWS)を取り上げた。この系には3台のポンプが備えられており、2台は電動機駆動、1台はタービン駆動である。このAFWSにより、4基の蒸気発生器のうちの2基への給水が成功すれば、系の機能は満足されるものとした。要求される機能継続時間は24時間と設定し、共通原因故障機器群としては、ポンプ駆動用の2台の電動機の起動失敗及び継続運転失敗、3台のポンプの起動失敗及び継続運転失敗、4基のモータ駆動弁の開操作失敗を取り上げた。それぞれの共通原因故障発生率を β 値により与えた。

機器類の故障を独立故障と共通原因故障の部分に分け、GO-FLOWチャート中において別々のオペレータによりモデル化する。共通原因故障を表すオペレータは各々の共通原因故障毎に1個作成し、その出力を、それぞれの機器の独立故障を表すオペレータの出力信号線とANDオペレータにより結合する。この様な表現方法を取る事により、異なった機器に発生する共通原因故障の間の従属性がGO-FLOW解析手法の特長により適切に取り扱われる。

解析の結果、共通原因故障を考慮しない場合は、 1.1×10^{-6} の故障確率(動作開始後24時間)を与えたが、共通原因故障を考慮すると、 1.3×10^{-3} となった。

本報告により、共通原因故障をGO-FLOW手法において、 β ファクタ法を用いて適切に取り扱う方法が示された。

〈原子力技術部〉

大気圧におけるねじりテープ旋回流
サブクール沸騰限界熱流束

Critical Heat Flux of Subcooled Boiling with
Twisted-Tape Swirl Flow at Atmospheric
Pressure

稲坂富士夫、成合英樹、藤崎 亘、石黒 博
平成4年1月

日本機械学会論文集 B編 第58巻 第545号

現在、核融合炉の開発を目指した研究が精力的に行われているが、高熱流束機器の除熱能力の向上が最も重要な課題の一つになっている。これらの機器では、 $10\sim 100\text{MW}/\text{m}^2$ もの定常的熱負荷を受けることが想定されているが、比較的低圧、低質量速度、低圧力損失といった有利な設計条件を考えると、せいぜい $10\text{MW}/\text{m}^2$ ぐらいの限界熱流束 (CHF) しか達成できないことが予想され、これ以上のCHFを得るためには、ねじりテープを挿入するなどの限界熱流束向上策に頼らざるを得ない。現在、水によるサブクール沸騰とねじりテープ挿入による旋回流との組み合わせが最もCHF特性に優れているものと考えられているが、これらに関する系統的な実験的研究は極めて少なく、信頼性のある旋回流CHF相関式の確立が望まれている。

本報告では、ねじりテープ挿入管のサブクール沸騰CHFへの影響を系統的に調べるための実験結果、および旋回流CHF実験式の提案について述べる。

用いたスワール管は、内径6mm、肉厚0.25mmのステンレス管内に、幅5.4mm、厚さ1.2mmのジルコニア製のねじりテープを挿入したもので、この管内に垂直上向きに水を流し、直流電源により直接ジュール加熱した。実験は、管出口圧力を大気圧とし、入口水温 40°C 、水の質量速度 $6\sim 17\text{Mg}/(\text{m}^2\cdot\text{S})$ 、テープねじり比2.8、4.0、9.0およびねじりが無い平板の ∞ の4通りについて実施し、次のことを明らかにした。(1)旋回流CHFは、質量速度の増大とともにほぼ正比例して増大するが、テープのねじり比が小さくなるほどその増大率は大きくなる。(2)旋回流CHFは、テープのねじり比の逆数が約0.1以上では、逆数の $1/3$ 束に比例して増大する。(3)提案した旋回流CHF実験式は、大気圧における本実験データ、およびGambillの圧力 1.0MPa 以下のデータを、ほぼ $\pm 20\%$ 以内で予測可能である。

〈氷海技術部〉

Algorithm for Remote Sensing of Vertical
Salt Density Distributions in the Sea Ice

海水中の垂直方向塩分濃度分布
リモートセンシングのアルゴリズム

山越寿夫、高島逸男、前田利雄、桜井昭男
平成4年2月

紋別市役所 氷海研究グループ
第7回北方圏国際シンポジウム講演要旨集 (1992)

氷海域で船舶可航々路を探知する際、人工衛星による広域海水分布情報が参考となり得るが、下記の理由からこれを補う氷況探知技術の開発が不可欠である。すなわち、人工衛星による観測は太陽光の反射に基づくため、夜間の海水情報が得られぬことと、人工衛星の運行周期が海水の動きに比較して長すぎること、距離分解能が数十米と未だ大きすぎることが挙げられる。

人工衛星観測に相補的な氷況探知技術として、ヘリコプター或いは航空機に搭載したマイクロ波送受信装置による船舶附近の中域、狭域の海水強度並びに厚さの探知技術の開発が出来れば、夜間でも比較的高い距離分解能で船舶の可航々路の探査が可能となる。

この技術の研究課題のひとつとして、海水から反射するマイクロ波の反射率、位相データを観測し、海水強度の支配要因である氷中塩分濃度分布並びに氷厚を如何に求めるか、その手法の開発があるが、このような手法の研究は世界的にも未だ着手されてはいない。

今回の発表では、観測した反射率、位相データから氷中塩分濃度分布を求める手法の理論、計算のアルゴリズムとその信頼性検証結果等を紹介する。

理論の根幹を成すものは、海水構造の多重層モデルである。これは海水深さ方向に連続分布する塩分濃度を階段状の不連続分布で近似するものであり、これで反射波の数学的取り扱いが容易となる。この結果、海水からの反射波位相、反射率が各層の厚さと複素誘電率を用いて比較的単純な漸化式として表される。

観測データから塩分濃度分布を求めることは、この漸化式を逆算する、いわば逆問題を解くことに相当し本来は解くのがむづかしい問題となるが、電波の氷中侵入深さの周波数依存性を考慮すれば、浅い層から順に解いて行ける。今回発表するアルゴリズムではこの漸化式逆算手法の流れを示す。海水層を含めた三重層で手法精度は10%と充分高く、手法は有効である。

(175)

〈大阪支所〉

Pressure Oscillation due to Vapor Condensation in Liquid
(Effect of Vapor Outlet Condition in Chugging)

液中蒸気凝縮に伴う圧力振動
 (チャギングにおける蒸気出口条件の効果)

綾 威雄、賞雅寛而、飯島伸雄
 平成3年8月

First Baltic Heat Transfer Conference
 Proceedings of above Conference

沸騰水型原子炉の圧力抑制系では、冷却材喪失事故時に格納容器内に放出される蒸気をベント管を通してプール水中で凝縮させることにより系内の圧力と温度の上昇を防ぐ。プール水中凝縮の形態は、凝縮振動(CO)、チャギング及びバブリングと呼ばれる様式に分類されている。特に、チャギングでは、蒸気泡崩壊に伴い高い圧力スパイクが発生するため、事故時の安全性確保の上で解明すべき重要な現象と考えられている。今回、管軸に沿って横穴を設けた単ベント管のチャギング抑制効果を明らかにするための実験を行った。

試験ベント管は、直円管(ストレート管)と蒸気出口部に直径5.5mmの横穴16個を異なった配置で設けたもの3本の4種類を用いた。横穴の分布が、上部を密にしたものをA管、均等にしたものをB管、下部を密にしたものをC管と呼び、出口総面積は全て同一である。チャギング発生の有無は、界面がベント管に設けた熱電対に達するか否かで判定した結果、蒸气流束一定及びプール水温一定のいずれの場合においても、C管が最もチャギングが発生しにくいことが分かった。典型的なチャギングでは、界面がベント管内に存在する時間割合が大きいという特徴がある。ベント管内の熱電対の信号から、この時間割合を調べると、ストレート管に比べて、横穴を空けたベント管はいずれも典型的なチャギングの発生領域が狭くなっており、チャギングを避ける観点からは、横穴放出は有効であると言える。この傾向はC管において特に強くなっている。

CO領域では蒸気-水界面の凝縮変動により、ベント管内にヘッダーへの進行圧力波が発生することが知られている。チャギング時に発生する圧力波に対して

管軸方向の位相の相関を調べたところ、進行波となる場合の存在することが明らかとなった。これは、チャギングに伴って現れる圧力波のコントロール容積は蒸気泡であることを意味しており、チャギング時の圧力振動を正確に数値解析する上で考慮すべき事実である。

制御発破によるFRP船の解体実験（第4報）
—沈船魚礁化実験—

Breaking Test of FRP Boats by Controlled
Blasting (4th Rep.)

—Test of Reutilization for Artificialreef—

吹上紀夫、津島 聰、小野正夫、有田武巧、
佐藤俊一、富山紀光

平成3年11月

工業火薬協会平成3年度秋季大会

FRP廃船の再利用方法として人口魚礁にすることを目的に、これまでFRP試験材、FRP製実船および部分構造体について、爆薬による切断実験を行って来た。本報告は、これら基礎実験によって得られた資料をもとに、実際のFRP廃船を水上に浮かせた状態で船体底部および船側部を爆薬で穿孔し、沈設実験を行った結果である。

実験に用いた廃船は、全長12m、5総トン（旧測度法）の漁船で、2隻を同一方向にならべて固縛した。船体を穿孔する爆薬はこれまでのものと同じベンスリット系シート爆薬を用いた。その性能は、比重が1.26、爆轟速度が7000m/sで粘土質のものである。雷管は爆発音を抑えるため段発型（DS-7および8）を使用した。

穿孔は船底部に14カ所、船側部に24カ所とし、穿孔径は、船体の補強材位置の関係からφ160mmおよびφ200mmとした。なお、沈船に対する規定値（水産庁通達）は、本実験の場合、1区間（魚艙、エンジンルーム等）φ50mm以上であれば良い。

実験結果として、これまでの基礎実験で得られた計算式から爆薬量をきめ、水に接している船底部および空気に接している船側部の穿孔を行ったが、共に、容易に穿孔することができた。ただ、雷管が段発型であったため、隣接した部分で、先に爆発したショックによって他の爆薬が剝離したところがあり、2カ所穿孔できない所があった。

これらの要領で穿孔し浸水させた結果、完全水没までの時間が約7分であった。そして、FRP廃船を魚礁として利用する場合の要件である穿孔作業が、爆薬を利用することによって沈設現場で容易に実施できることが確認できた。

コールドレグ流動振動に及ぼす動揺周期の影響

Effect of Rolling Period on the
Cold-Leg Flow Oscillation

綾 威雄、山根健次、成合英樹

平成4年4月

日本機械学会第69回総会講演会論文集

原子力船の事故シナリオに及ぼす船体運動の影響の解明を求めているIMO勧告の趣旨に従い、コールドレグ流動振動に及ぼす船体運動の影響を明らかにするための実験を行ってきた。今回、代表的な船体運動である動揺の影響を調べたので報告する。

実験は緊急炉心冷却（ECC）水注入部を念頭に置いた試験部を動揺装置に搭載することにより実施した。重力式を採用している動揺装置の周期はほぼ一定（約3秒）であるため、動揺と流動振動との関わりは、流動振動周期を支配する蒸気容積の変更により調べた。ECC水が注入される水平管は40Aのポリカーボネイト製またはステンレス鋼製で長さ約2.3mである。蒸気流束は蒸気空間を模擬したヘッダー上流側のオリフィス部で臨界流とすることにより計測した。その他の実験パラメータは、注水の流束と温度及び動揺振幅〔30°以内〕である。水平試験部の3点を含む計6点で圧力変動を計測するとともに、水平管に沿う10点とヘッダーで温度を計測した。

流動振動と動揺に近い周期〔それぞれ2.9秒と3.1秒〕をもつ場合、流動振動に伴う圧力振動波形は動揺と極めて良く同期している。温度波形から、流動振動は水平管全域に亘っており、水撃発生のための層状水が形成されていることが判明した。水撃は最大下り傾斜を示すときに発生する。理由は明らかでないが、動揺時の水撃発生時刻は、注水流束と蒸气流束で示される水撃発生領域が上り勾配時に広がるという定傾斜の場合と趣を異にしている。

ヘッダー容積を1/8にすると、流動振動の周期は約1/4になり、動揺に同期した圧力振動はほとんど消え、独立した短周期な振動が卓越するようになる。そして、短周期であるため流動振動は注水点近傍に制限され、水撃発生のための層状水は形成されなくなる。圧力変動と動揺角の相互相関も調べたが、上記の結果を支持するものであった。

＜東海支所＞

Development of a Glow Curve Measuring System of TLDs and its Applications

TLDグローカーブ測定システムの開発とその応用

成山展照、田中俊一、古澤道夫、平山英夫
伴 秀一、中島 宏、波戸芳人、中根佳弘
平成4年2月

日本原子力研究所 JAERI-M レポート

熱ルミネッセンス線量計 (TLD) は従来数十 keV 以上のガンマ線、X線に対する個人被曝線量計として広く用いられてきたが、それ以下のさらに低エネルギーなX線に対してもTLDの適用性を調べるため、直線加熱特性と広測定領域をもつTLDグローカーブ測定器を新たに開発した。本測定器は0.5、1、2、3、5°C/Sの加熱速度を室温から450°Cまで±2%の直線性で制御し、0.01 nAから100 μAの光電子増倍電流に対応するTL出力を電流デジタイザーで1 m秒毎にデジタル化して測定できる。電流デジタイザーの直線性は0.1%以下の精度で保証されている。またTLD試料の発光スペクトルに適合した光学フィルターの選択によって多種多様な物質からの熱ルミネッセンスを低ノイズで測定できることに特徴がある。

実験ではこうした本システムの性能を確認するため、⁶⁰Coガンマ線とシンクロトロン放射光からの10 keVから40 keVの単色X線に対するLiF、Li₂B₄O₇(Mn)、Li₂B₄O₇(Cu) TLDのグローカーブと線量特性を数千Gyまでの線量において測定した。グローカーブの測定では加熱速度の変化によるピーク温度シフトが観察された。また光子エネルギー間および照射線量間におけるグローカーブの相違が見られた。線量特性に関しても光子エネルギーおよび照射線量依存性が見られ、高ピーク分解能をはじめとする本測定システムの優れた性能が示された。

10, 30 keV単色X線に対するLiFTLDの線量応答
— LET依存性 —

LET Dependence for Dose Responses of LiFTLD to Monochromatic X-rays of 10 and 30 keV

成山展照、平山英夫、伴 秀一、波戸芳仁
田中俊一、中島 宏、古澤道夫、中根佳弘
平成4年3月

日本原子力学会 1992年春の年会

LiFTLDの線量応答がsupralinear領域でLET依存性をもつことは、重荷電粒子および中性子を用いた実験により知られているが、γ、X線に対しても同様な効果を示すことが報告されている。そこで本実験では放射光からの10, 30 keV単色X線を用いてLiFTLDの線量応答を測定し、従来⁶⁰Co γ線に対して提案されているsupralinearityモデルの低エネルギーX線に対する適用性を調べた。

実験は高エネルギー物理学研究所の放射光実験施設にて行った。照射線量はあらかじめ全吸収熱量計との相関を取った自由空気電離箱を用いて約2.8%の精度でモニターした。実験に用いたTLDは3.2 mm四方で厚さ0.38 mmのTLD-100 (Harshaw製) である。照射は10, 30 keVの2種のエネルギーで行った。照射した線量は10 keV X線で 8.2×10^{-3} Gyから 8.6×10^2 Gy、30 keV X線で 1.1×10^{-2} Gyから 2.6×10^2 Gyであった。線量応答による実験の結果Co-60 γ線に対するsupralinearityは最大3.9であるが、10 keV X線に対しては2.2と明らかなLET依存性を示した。なお30 keV X線では照射線量が不十分でありsupralinearityの最大値は確認されていない。

supralinearityを説明するモデルはいろいろ出されているが、捕獲電子、ホール間の距離がLETに依存するMckeeverによって提案されたモデルを適用した。γ、X線のLET依存性はTLD中での2次電子スペクトル分布を用いた吸収線量平均LET \bar{L} によって表される。10 keV X線に対する $\bar{L}_{100.0}$ はCo-60 γ線に対する $\bar{L}_{100.0}$ の約1.9倍であり、捕獲電子、ホール間の距離とLETの逆比例性を仮定して両エネルギーに対する線量応答を計算した。