

## 所外発表論文等概要

### Research & Development of a Computer-aided Navigation Support System for Safety

船載型安全運航支援システムの研究開発について

菅井 和夫

昭和62年12月

Proceedings of the International Seminar on  
Ship Weather Routing

野島崎沖で起きたかの有名な尾道丸海難事故を契機として、その約1年後の1982年に運輸省は“異常海難防止システムの総合研究開発”という5年に亘る大型研究開発プロジェクトを発足させ、荒天時に船体に加わる力の解明と航行安全対策について精力的に取り組んできた。

そのプロジェクトの具体的な成果の一つとして、船載型安全運航支援システムの研究開発が挙げられる。この装置は、船にいろいろなセンサーを取付けて波浪中での船の各種状態を計測するとともに、現在置かれ

ている船の危険の度合いや変針後の変化の様子を操船者に知らせ、船の荒天中安全運航の参考に供しようとするものである。

船載型安全運航システムは、一般にいうウエザー・ルーティングが陸上からの支援を受けて安全、経済運航を大洋横断規模で成立させているのに対して、もっと局所的に一つのあらしの中での安全操船を船内のコンピューターの助けを借りて成立させているという違いはあるが、大きな目で見るとウエザー・ルーティングの一つと見做すこともできよう。

そうした意味で、ウエザー・ルーティング、セミナーの一題目として船載型安全運航支援システムを取り上げ、そのハードウェア及びソフトウェアの説明を行うことになった。また、実際に船に載せて実験したときの様子にもふれ、同システムの有用性について述べる。また、将来改良すべき点についても二三ふれられる。

なるべく速やかに、広く本システムが普及することが大切で、そのための努力が必要であるとして本稿を結んでいる。

## (推進性能部)

ゼロ方程式モデルを用いた船体まわり流れの  
数値シミュレーションNumerical Simulation of the Flow Past a Ship  
Hull Using the Zero-equation Model.

児玉 良明

昭和62年1月

第2回NSTシンポジウム

船体まわりの粘性流の数値シミュレーションの方法としてはナビエ・ストークス方程式を近似なしに解くのが最も合理的である。ここでは差分法を用いてNS方程式を解き、さらに高レイノルズ数での乱流の効果を入れるためにゼロ方程式を用いた。

計算結果は、風洞を用いて得られた Sandaの実験結果と詳細に比較されている。船体表面圧力分布は実験値とよく一致し、特に船尾部での粘性影響がよく表現されている。速度分布については実験と計算のレイノルズ数の違いを考慮すれば良く一致しているといえる。せん断応力分布については両者の一致は悪く、計算では実験では起こっていない剝離が船尾で発生した。

計算時間は大型汎用機で数時間程度で、何とか手に負える範囲内であると考えられる。流れ方向の各断面で流量を積分し、流量の保存性を調べたが、非保存形の差分形を使っているにもかかわらず、保存性はかなり良かった。また、収束解における付加数値粘性項の大きさを移流・拡散項などの物理項の大きさと比較したところ、AP近傍の船体表面に非常に近い部分で、数値粘性項が物理粘性項と同じオーダーの大きさを持ち、過大になっていることがわかった。

k-ε Modeling of MHD Flow and its  
Simulation of Channel FlowMHD流れのk-εモデルとチャンネル流れでの  
シミュレーション

日夏 宗彦

昭和62年5月

日本造船学会論文集 161巻

電磁力を利用して流場制御を行うとき、流場の運動を決定するのは電磁流体力学方程式 (MHD方程式) となる。船舶流体力学の分野では、流場は乱流であるのが一般であるので、乱流場における電磁流体力学を解く必要がある。本論文では、乱流モデルにk-εモデルを採用して電磁力の影響を考慮したk-ε方程式を導きChannel流れに対して計算を行った。

ここで伝導流体は海水に限った。海水は電気伝導度が非常に小さいために、方程式の取り扱いも簡単化できる。

定式化した結果から、乱動エネルギー、乱動エネルギー散逸率が、磁場の影響で減衰を受けることが示された。チャンネル流れの計算結果からは、磁場のみ存在するときは、乱動エネルギーとその散逸率が共に減少することが確かめられた。さらに電場を印加すると、電磁力が上流側に作用するときは、乱動エネルギーと散逸率は減少し、下流側に作用するときは増加することがわかった。

チャンネルに働く摩擦力と電磁力による抵抗の和は常に圧力勾配による力と釣り合っており、精度良く計算されていることが確かめられた。

Computation of High Reynolds Number Flows  
Pasta Ship Hull Using the IAF Scheme

IAF法を用いた船体をすぎる高レイノズル  
数流れの数値計算

児玉 良明

昭和62年 5月

日本造船学会論文集 161巻

近似なしのナビエ・ストークス方程式を、IAF法を用いて、Wigley船型まわりの流れについて、レイノズル数=106で計算した。二層式代数的乱流モデルであるボールドウィン・ロマックスのモデルを用いて、乱流の効果を表わした。このスキームは数値安定性にすぐれ、計算時間は、大型のスカラ計算機を用いて5時間であった。自由表面は対称面として近似され、波の影響は考慮されていない。

計算によって得られた伴流分布は、実験結果と良い一致を示した。以前の計算に顕著にみられた圧力の振動は、境界条件の改良によって著しく減少した。AP近傍で圧力にわずかな振動がみられるものの、船体表面圧力分布は実験値とよく一致している。しかし、せん断応力分布は、実験値との一致があまりよくなかった。また、速度分布については、水線面上で実験結果と比較したが、船体のMidshipから一船長下流に至るまで、両者の一致は良好であった。今後は、計算の数値安定性をさらに向上させて計算時間の節約をはかるとともに、せん断応力分布などについて、改良する必要がある。

指数表現を用いた  $k-\epsilon$  方程式による乱流場の  
数値シミュレーション

Numerical Simulation of Turbulent Flow Using  
the Exponential Expression of  $k-\epsilon$  Equation

日夏 宗彦・児玉 良明

昭和62年 6月

第5回航空機計算力学シンポジウム

$k-\epsilon$ 方程式は乱流場の数値シミュレーションを行うときによく用いられる方程式である。しかし普通用いられている  $k-\epsilon$ 方程式は、計算途中で  $k$  や  $\epsilon$  が負になることがしばしばあり、これにより解が急激に発散するという困難さがあった。

著者の一人は、この困難さを克服するために  $k-\epsilon$ 方程式を  $m = \log(k)$ ,  $n = \log(\epsilon)$  で定義される  $m$ ,  $n$  の方程式に書き換えて解くことを提案した。しかし境界条件の取り扱い上、壁面近傍の流速が零に近づくと計算が困難になる点が問題として残されていた。

本報告では、流速分布を境界層の遷移域から内層までなめらかに表現している Spalding の式を用い、また  $k$  と  $\epsilon$  に関しては、壁面の流速が小さくなったときには境界層の内層でのふるまいを考慮した新しい境界条件の取り扱いを提案した。これを用いて NACA0012 翼型まわりの迎角  $5^\circ$  における乱流場 (レイノズル数  $= 10^6$ ) を数値シミュレーションした。本計算では層流から乱流への遷移は考慮されていないので、翼前縁付近の急激な圧力変化はとらえきれていないものの、全体的な解の傾向は 0-方程式モデルによる結果ともよく合っており、任意形状の乱流場の計算には、本手法は有効であると考えられる。

電磁力を利用した翼型周り流場制御の  
数値シミュレーション

Numerical Simulation of Flow around a  
Wing Section Controlled by MHD Effect

日夏 宗彦

昭和62年12月

第37回応用力学連合講演会抄録集

本研究は、電磁力を利用することで、どの程度流場の制御が可能かを主として数値流体力学の手法を用いて研究したものである。流場の対象としては工学的に興味のある翼型周りの流れを選んだ。今回は、流れは層流の場合を扱った。

迎角を有して直進する翼の背面では層流の場合、大きな剥離領域が生じる。翼背面に翼後縁に向う方向に電磁力を印加すると、流体が電磁力により翼後縁に引き込まれるため、剥離領域がせまくなり、やがて剥離が消滅することが数値シミュレーションで確認された。翼背面の圧力分布は、電磁力を印加すると翼背面の負圧のピークが負側に大きくなるために、揚力の増加がはかれることが示された。

没水翼型のつくる波の計算

Comparison of Calculation Methods for 2-D Free-Surface Flow about Hydro-Foil

日野 孝則・鈴木 勝雄

昭和62年12月

日本造船学会船舶数値流体力学フォーラム講演集

日本造船学会船舶数値流体力学研究会 (NTG) の企画により、2次元没水翼のまわりの自由表面流れに関する幾つかの計算法の比較を行った。

翼型は、NACA0012と4412の2種であり、比較した計算法は、ナビエ・ストークス方程式の差分法3種と、速度ポテンシャルを境界要素法で解くもの3種である。

自由表面形状、翼面上の圧力分布、揚力および抗力について、計算結果相互と実験結果とを比較した。その結果、ポテンシャル理論は、適用を誤らなければ十分に信用にたる結果を得ることができると、また、ナビエ・ストークス方程式を有限差分法を用いて解く方法は、ポテンシャル理論等で扱えない現象をシミュレートする可能性を十分に持っており、近い将来、強力な流場解析の方法となり得ることが、判明した。

### Numerical Simulation Method for Overturning Waves

オーバーターニングする波の数値シミュレーション法

日野 孝則

昭和62年12月

日本造船学会船舶数値流体力学フォーラム講演集

砕波現象は、海洋構造物や船舶に与える影響が大きく、その解明は重要である。しかし、砕波は極度に非線形性の強い現象であり、解析は容易ではない。

ナビエ・ストークス方程式の差分解法は、近年の計算機ハードウェアの発展と、計算技法の進歩に伴い、広く一般の流体現象に応用されるようになってきた。しかし、砕波現象の完全なシミュレーションが可能になるためには、自由表面の取り扱いに関して、より一層の研究が必要である。

ここでは、砕波をシミュレートするための第1ステップとして、オーバーターニングする波の取り扱い法を開発した。自由表面形状が多価関数になるため、自由表面条件の取り扱いを工夫して、ナビエ・ストークス方程式の差分解法の中に取り込んである。

進行する大波高の波の数値シミュレーションを行い、手法の有効性を確認した。

### Numerical Computation of 2-D Turbulent Flow around a Wing Section by IAF Scheme with $k-\epsilon$ Equations

$k-\epsilon$ 方程式を用いた、IAF法による翼型まわりの2次元乱流場の数値計算

日夏 宗彦

昭和62年12月

船舶数値流体力学フォーラム講演集

乱流場を実用的な範囲で、数値的に解析するためには、適当な乱流のモデル化が必要となる。 $k-\epsilon$ モデルは、広い分野で利用されており工学的に非常に有用なモデルである。本論文ではこの $k-\epsilon$ モデルを用いて翼型まわりの乱流場をIAF法 (Implicit Approximate Factorization) によって計算した。

通常、 $k-\epsilon$ モデルを用いるときは境界条件に対数則と局所平衡の仮定が用いられる。しかし一般の2次元流れでは剥離点や再付着点などがあり、この近傍ではこれらの条件を境界条件に用いることは不適切となる。本論では、剥離点近傍等の壁面摩擦力が小さいところから十分発達した乱流境界層域までを、摩擦力を用いて無次元化した壁面距離によって場合分けを行って、それぞれの場合の適当な境界条件を用いることで境界条件の扱いを改善した。

計算で得られた結果を、0方程式モデルで得られた結果と比較し検討した。その結果、圧力分布等の分布形状は大略一致していることが確かめられた。しかし、本計算法では、層流から乱流への遷移の影響が考慮されておらず、このため翼前縁付近で、圧力分布のピークがなだらかになっていることが示された。 $k-\epsilon$ 方程式モデルに乱流遷移の影響をいかにとりこむかが今後の課題である。

## 自由表面問題の有限差分シミュレーション

Finite-difference Simulation of  
Free Surface Problems

日野 孝則

昭和62年12月

第37回応用力学連合講演会抄録集

自由表面を含む流体問題は、工学の種々の分野に存在するが、特に、船舶・海洋工学によっては本質的な重要性を持っている。

自由表面問題を正確に解くことは容易ではない。それは、自由表面条件が非線形であり、自由表面形状そのものを解の一部として求めなければならない点に起因している。線形化した自由表面条件を用いる近似解法は広く用いられているが、急峻な波の形成や砕波といった、非線形性の強い自由表面現象には無力である。

ここでは、Navier-Stokes方程式の有限差分法をベースとして、非線形自由表面条件を取り込んだ、自由表面問題用のスキームを開発した。進行する浮体まわりの造波現象のシミュレーションに適用し、有効性を確認した。さらに、自由表面の扱いに著者の提案による新しい手法を用いることにより、自由表面のオーバートーニングから砕波に至る過程をシミュレートすることが可能であることを示した。

## 〈運動性能部〉

An Experimental Investigation into  
Non-linear Resonant Wave Interactions in  
the Ship Model Basin

船舶試験水槽における非線形波共鳴の実験的研究

富田 宏・沢田 博史

昭和62年 8月

Proceedings of IUTAM Symposium

水面波の非線形性に関する理論的研究は、最近の四半世紀の間に著しい進歩を遂げた。一方、それに対応する観測或は実験的研究は未だ理論的成果の全てを確認するに足るものとなっていない。就中、重力波の共鳴相互作用の如く、本質的に2次元（水平方向）的な現象については、一般に実験を行うことが難しい。

そこで、この論文では、耐航性試験に用いられる2次元造波水槽を利用して、90°の角度で交差する2つの波列の共鳴によって生ずる第3の波の長時間的な振舞いを調べるために行った実験について述べる。

条件の設定は、Longuet-Higgins等（1966）及びMcGoldrick等（1966）達の行った実験とほぼ同じであるが、彼等の使用した装置が小規模（3m×3m×1m）であったため、共鳴の初期段階の生長率を計測するのみに止まったのに対し、本実験では水槽の大きさ（80m×80m×4.5m）を利用して共鳴の初期のみならず、発達期、減衰期に涉って計測を行った。

結果をZakharov方程式に基く理論と比較したが、波峻度 $ak$ の小さい場合とは、両者の間に良好な一致が見られた。

Etude numérique sur l'interaction résonante  
entre des vagues d'amplitude finie

有限振幅波の共鳴相互作用についての数値的研究

富田 宏

昭和62年 8月

日仏海洋学会誌25巻3号

海洋に存在する種々の波系間に生じる複雑な非線形過程を研究するための手段の一つとして、それらのうちに内在する素過程をとり出し、理想化された条件の下で、その性質を調べる方法がある。ここでは、深水重力波の間の共鳴相互作用の機構を明らかにする目的で、最も単純な3波の間のエネルギーのやりとりについて数値的な検討を行い、併せて実験データとの比較を行った。

任意の方向に伝播する多成分波系について、3次のオーダーでの相互作用とそれによって生じる可成成分波のエンベロープの時間発展を記述するものとしてZakharovの微分積分方程式がある。本論では共鳴及び非共鳴の場合に直交する2つの波系によって生じる第3の波の消長についてこれを初期値問題として取扱い各々の波系のエンベロープ関数 $A_i$ の振舞いについて詳しく調べた。結果の概要は次のようである。

- (1) エネルギーは $A_1$ から $A_2$ 及び $A_3$ へ流れる。
- (2) この流れは或る時間から逆の向きとなり、やがて状態は始めに戻る。(回帰時間 $T_R$ )
- (3) 共鳴波の振幅は最大の時主波と同程度にまで生長する。(最大振幅 $A_M$ )
- (4) 非共鳴の条件下では $A_M$ ,  $R_R$ は $A_1$ と共に増加するが $A_2$ が大きくなると $T_R$ は減少する。
- (5) 共鳴の条件下では $A_1$ と $A_2$ はその役割りが逆になる。共鳴波の空間的発達について水槽実験を行い、生長率を測定した。結果は理論との間に良い一致を示すことがわかった。

船載型安全運航支援システムの実船試験

Full-Scale Experiment on Computer Aided  
Navigation System for Safety

谷澤克治・岡 修二・竹本博安・橋爪 豊

昭和62年11月

日本造船学会論文集 162号

近代的な荒天中の運航技術の早期確立を目指す一つの試みとして開発した船載型安全運航支援システムの正常動作の確認、性能の評価、データ収集を行うため昭和61年11月14日から翌年1月17日にかけてコンテナ船ジャパンアライアンスに本システムを搭載し北太平洋航路において実船試験を実施した。本システムは電源投入以外のすべての処理を自動的に行うと共に、他の処理と並列に随時に対話処理が可能なリアルタイムのマンマシンインターフェースを有しているため、実船データの計測は無人で行い、操船者が情報を必要とする時は、本システムと対話してもらって、実験を遂行した。計測項目は、波浪(レーダ波浪計による自動計測)、上下加速度2点、上甲板応力4点、船体動揺(ピッチロール)、船速などである。試験期間中、アラスカ沖を日本へ向けて航行中、有義波高5m、ほぼ向い波でバウフレア部に頻繁にスラミングが発生する海象に遭遇し、有意義なデータを得た。これらの計測データや本システムが船上で行ったデータ解析結果を回収して検討した結果、本システムは設計通り正常に動作していたことを確認した。また解析機能についても危険性評価のアルゴリズムに改良の余地はあるもののほぼ満足できる性能を発揮した。この試験結果から本システムは荒天時運航支援システムとして有効であると考えられる。本システムを船舶に搭載すれば

- 1) 操船者に客観的で正確なベータを提示できる。
- 2) 操船者に船舶がどの程度危険な状態にあるかを明示できるので、早目の避航操船により船舶がこれ以上危険な状態に陥ることを未然に防止できる。
- 3) 短期予測機能を用いて操船者に適切な避航操船法を示すことができる。
- 4) データをすべて保存できるので船舶の保守や新造船の設計に役立つ。

などの具体的なメリットが期待できる。

荒天中を航行する船舶の縦強度に関する確率的な危険性の判定法について ー第1報ー

Probabilistic Estimate of Potential Risk on Longitudinal Strength of Ship in Rough Seas

谷澤 克治

昭和62年11月

日本造船学会論文集 162号

荒天中を航行する船舶の運航を支援するためのコンピュータシステムは近年盛んに研究開発が行われている。このようなシステムにとって船舶の危険性を適確に評価する機能は最も重要かつ基本的であると考えられるが、未だに危険性評価法に関しては明確な考え方が示されていない。著者は以前に船載型安全運航支援システムの研究開発を実施した際、危険性判定に確率的手法を用いたが、荒天海域を脱出するのに要する時間や、スラミング衝撃荷重の影響は考慮していなかった。そこで本報ではこれらの影響を考慮した、船舶の縦強度の危険性の確率的な評価法を提案する。また、この評価法を用いて高速コンテナ船ジャパンライアンスが冬季北太平洋航路を航行中に計測した実船データを解析して、実験当時の縦強度の危険性評価を行った。この結果、船体縦強度に関する危険性を正しく評価するためにはスラミングなどの衝撃荷重によって誘起される船体弾性応答は無視できないこと、特に船首部に近い船体断面に生じる曲げモーメントの最大値は出会い波周期の変動成分よりホイッピング成分が支配的であること、荒天海域を脱出するのに要する時間も考慮すべきであること、船首部の設計にはスラミング衝撃荷重を考慮することが望ましいことなどが判明した。本報で提案している危険性判定法は簡単明快で操船者にも判り安いと思われるが、荒天時運航支援システムなどのコンピュータシステムが機械的な危険性の評価を行う際に、特に有効であると考えられる。危険性の評価に必要な演算は、その大半が畳み込み積分であるが、FFTの手法を用いれば十分高速化が可能であり16bit CPU程度の演算能力のコンピュータでも一連の計算を約1分程度で実行できるため、コンピュータシステムに本危険性評価法を導入する際に大きな障害はないと思われる。

追波中の船の大振幅前後揺れと波乗り現象

Surging of Large Amplitude and Surf-riding of Ships in Following Seas

菅 信・猿田俊彦・安野三樹雄・山越康行・鈴木四郎

昭和62年11月

日本造船学会論文集 第162号

追波中をあるプロペラ回転数で航行中の船が、その回転数で出せる平水中速力よりはるかに高い速力まで加速され、そのまま波とともに走らされる波乗り現象は、操縦不能から転覆に至る危険性を持ついわゆるブローチング現象の発生に深くかわりがあり、古くから一部の運航者には知られていたようである。

著者等はこの度、完全自航模型船による規則的追波中での300航走以上に及ぶ自航試験結果から、波乗りの発生には大振幅の前後揺れから波乗りに移行する明確な限界があり、この限界は船の平均速度とそのまわりに変動する前後揺れによる変動速度との和、すなわち船の時々刻々の速度が波の位相速度に達した瞬間であることを明らかにし、更にこれを解析的にも明らかにすることを試みた。船の前後方向の力の釣合いを表わす運動方程式において、時間に依存する項がなくなっても成り立つ状態は静的な釣合状態であって、一旦この状態に達すれば、これを初期条件として元の運動方程式を解く際に明らかのように、静的な釣合状態である初期状態から変化することはできないということの説明できると考えている。

波乗り発生の条件が上のように明確であれば、前後揺れの応答特性を精度良く推定できるという条件のもとに、波乗りを避ける限界の平水中船速や対応するプロペラ回転数を波長、波高、出会角との関連で、船型、載貨状態ごとに特定できることを示し、更に高速艇や漁船等の小型船の波乗り回避のための安全運航指針として役に立つ、限界波高や限界船速の簡易な求め方を提案した。また、この簡易推定法による限界船速が、模型実験との比較により10%程度安全側に出る性質をもっており、指針として適切なものであることを明らかにしている。

## Effects of the Three-Dimensionality of Ship Hull on the Wave Impact Pressure

波浪衝撃水圧に及ぼす船体形状の三次元性影響について

渡辺 巖

昭和62年11月

日本造船学会論文集 第162号

著者はこれまでに船体に働く水面衝撃水圧の流体力学的な発生機構について研究を進めてきたが、本論文は、これまでに定式化してきた三次元衝撃の理論的考察を、波浪中で船体が運動している時に発生する波浪衝撃水圧の場合に拡張することを目的として書かれたものである。まず波浪中で船体が水面に突入していく場合の流力の境界条件の考察を行い、衝撃の発生に関わる船底上の境界条件が、浅喫水、長波長の仮定の下で、船体と波面のなす水線平面で満たすものと近似的に置けることを示した。このことにより、波浪衝撃の問題が、これまでに扱ってきた水面衝撃の問題と全く同じ形に帰着することが示された。

すなわち、拡大する平板と端部流れの組合せで、流場が表わされることが明らかになった。そして圧力のピーク値、接続時間および高压域の拡がり等の推定値を求められることを示した。

この推定法を実際の船に生ずる衝撃水圧の推定に適用するためには船体運動を知る必要があるが、それにはストリップ法計算の値を入力とする方法を提唱した。

次にこの理論推定法の妥当性を検証するための模型実験結果について述べた。角水槽で行った撒積貨物船の波浪中自航模型の船首船底水圧を対象に選んだ、比較考察の結果を要約すれば、実験結果と推定値は、定性的には概ね良い一致を示すが、定量的には推定値がかなり大きくなってしまう。その理由は船体運動とりわけ相対水位の推定が十分な精度で行われていないことによること、そして実験で求めた相対水位等を導入すれば、推定値は良い一致を示すようになることを示した。

## 〈構造強度部〉

### FRPタンクの実例と試験

Examples and Performance Tests FRP Tank

小林 佑規

昭和63年1月

日本高圧力技術協会、HDI技術セミナー、FRPによる地下タンク、圧力容器の技術指針と安全性

わが国では、ガソリン及び重油などの小容量可燃性液体は、鋼製の貯蔵タンクにより地下に埋設される。鋼製の埋設貯蔵タンクは防食されているが、長期間の使用に対して腐食し、液体の漏洩が生じている。一方、FRP（強化プラスチック）は鋼と比較し耐食性に優れているため、米国等ではガソリンなどの可燃性液体貯蔵タンクが、FRP製に変わってきている。近年、わが国においてもFRPの普及に伴い、FRP製圧力容器の開発及び試作が行われるようになってきた。そのため、FRPタンクの設計、製造、性能試験に関する技術指針について日本高圧力技術協会（HPI）の主催する研究委員会で検討されている。

本報告は、FRPタンクの実例として、船舶、水槽、わが国で開発・試作された燃料等の貯蔵タンク及び米国の燃料等貯蔵用地下タンクをとり挙げ、それらの設計・製造・性能試験について示したものである。また、FRP製タンクは、材料の設計・製造がそのまま構造体としての容器の成形に連携しており、それら一連の過程がタンクの強度及び性能を支配する。FRP製タンクがその品質及び性能を保証するためには、タンク製造時における試験・検査がきわめて重要である。さらに、タンクは可燃性液体を貯蔵するので、気密及び液密性でなければならない。そのため、FRP製圧力容器の性能確認に関する試験の技術基準について検討するとともに、FRPの接合強度及び疲労強度に関して検討した。

## レーザー干渉法とCT法による火炎温度分布測定

Measurement of Flame Temperature Distributions  
by Laser Interferometry and Computed Tomography

佐藤誠四郎・熊倉 孝尚

昭和62年 8月

日本機械学会第65期講演会

光干渉法による温度測定では光路に沿った積分量が得られるので、測定対象が二次元場とか軸対称場に限定される。しかしCT（コンピュータ断層撮影法）を用いることによって、局所的な値だけでなく広い範囲の三次元空間分布の計測が可能となり、燃焼の分野でもCTと光散乱法、吸収法、熱線などを用いたガス温度、濃度計測などへの応用がなされている。

本報では干渉法とCTを用いて、任意の分布形状をもつ火炎の温度を測定するため、24方向の干渉写真が同時に得られる多方向ホログラフィ干渉光学系を提案し、これを用いてアルコール芯火炎の温度測定を行った。また比較のため熱電対との同時測定を行い、レーザー干渉法とCT法による非対称火炎温度の空間分布測定の可能性を明らかにした。

使用した多方向干渉光学系は、ミラーなどの回転やスキャンニングなどの運動部分がなく、24方向の干渉像を全て同時に撮影できる方式とした。光学部品の節約などのため、使用ビームは平行光とし、対物レンズからの発散光をそのまま用いるなど簡略化している。光源はアルゴンイオンレーザを用い、干渉写真は二重露光法で撮影した。干渉写真から火炎の屈折率を求めるCTの再構成計算には、重畳積分法を用いた。

主な結果はつぎの通りである。

- 1) 24方向の干渉写真が一度に得られる多方向ホログラフィ干渉光学系を提案し、干渉写真の撮影角度範囲は168.2度、視野は縦約80mm、横約90mmが得られた。
- 2) アルコール芯火炎の任意の断面の温度分布を求め、熱電対法とほぼ一致することを明らかにした。

## 複合材料の推進軸への適用について(第1報)

Fundamental Evaluation of Composite  
Propulsion Shaft

高井 元弘

昭和62年10月

日本船舶機関学会第41回学術講演会

CFRPやKFRPなどの先進複合材料は、比強度、比剛性などが金属に比べ非常に優れていることから宇宙、航空、自動車部品や構造強度部材として応用が進んでいる。複合材料の船用構造部材への適用は主にGFRPについて中小船舶や浮き消波堤、漁礁などへ行なわれているが、先進複合材料の高強度、軽量の特性を積極的に生かした適用例は少ないようである。船用推進軸への適用は、コスト、製造技術などの面で未だ現実的ではないと思われるが、材料設計技術の高度化が可能であり、推進軸の大幅な軽量化と軸系の信頼性向上の実現は設計者にとって魅力的な課題と考えられる。

本報告では、繊維としてカーボン繊維、ケブラー繊維、ガラス繊維、マトリックスにはエポキシ樹脂を使用し、FW法（フィラメント・ワインディング法）を用いて、単純な積層手法であるヘリカル巻きによりプロペラ軸、中間軸を製作した場合の軸径、軸重量、軸剛性について求め、既存材料SF45、SF60による軸との比較を行った。また、軸の半径方向の繊維含有率を設計変数とし、重量最少の最適設計の試みも行った。検討結果は以下のようにまとめられる。

- ① 軸径はCFRPでは既存材料軸より同程度以下にすることが可能であるが、KFRP、GFRPではかなり大きくすることが必要である。軸重量は、いずれの複合材でも軽量化が可能であり、特にCFRPでは $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ となる。
- ② 軸剛性は低下し、CFRP軸では、ねじり剛性が約 $\frac{1}{2}$ 、曲げ剛性が約 $\frac{1}{3}$ となり、曲げ剛性を高める積層方法を工夫する必要があると思われる。
- ③ (FRP軸についての重量最少最適設計結果では、軸重量減少量は小さいが、繊維使用量は約6%減少し、材料コスト減のメリットが大きいと考えられる。

## Measurement of Three-Dimensional Flame Temperature Fields by Holographic Interferometry and Computed Tomography

ホログラフィ干渉法とコンピュータ断層撮影法による  
火炎温度場の三次元分布測定

佐藤誠四郎

昭和62年10月

Laser Diagnostics and Modeling of Combustion

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開発した。レーザ干渉法による温度測定では光路に沿った積分量が得られるので、測定対象が二次元場とか軸対称場に限定される。しかしCTを用いることによって、任意の分布形状の場合でも測定が可能となり、局所的な値のみならず広い範囲の三次元空間分布を求めることができる。しかしCTを適用するには多方向からの干渉データを必要とし、火炎ではゆらぎ等の影響を避けるため、これらのデータは全て同一時刻に得る必要がある等の問題がある。

本稿では、多方向干渉光学系の現状を述べ、拡散光を用いるものと平行光などの非拡散光を用いるものに分け、それぞれの光学系の特長、問題点などを検討した。これら干渉光学系の問題点をふまえ、24方向の干渉データが一度に得られる多方向干渉光学系の例を示した。

適用例として、非対称形状をもつアルコール芯火炎と標準予混合バーナの測定結果を述べた。標準予混合バーナは種々の測定法の比較、検定などのために用意されているものである。本測定法と熱電対法との比較ではほぼ一致する結果が得られ、温度空間分布について新しい知見が得られている。

干渉法では、温度とガス組成変化とが一緒になったものとして測定されるので、温度測定におよぼすガス組成の影響を調べ、これらは僅少であることを明らかにしている。

本測定法は、非定常燃焼場の任意の瞬間における温度の三次元空間分布の測定が可能であり、火炎構造などの研究に有力な手法となることが期待される。

## 船用鑄鉄仕切弁の加圧実験

Pressure Test on a Cast Iron Marine Gate Valve

山倉康隆・菊池正晃・前橋正雄・天田重庚

昭和62年12月

日本船用機関学会誌 第22巻12号

本報告はJISF7363(5<sup>k</sup>-200)弁の加圧実験結果をまとめたもので、実験の第一目的は平行し実施しているFEM解析の実証データを得ることであるが、その他仕切弁やハンドルトルクの影響等も解明することも狙いとした。加圧は油圧ポンプ、作動油は粘度VG100相当、負荷圧力は4~12kgf/cm<sup>2</sup>でこの間を2kgf/cm<sup>2</sup>の間隔で増加し加え、同時にハンドルトルクを6, 8, 11, 14kgf-mと変化し加えた。測定項目は弁殻壁内外表面のひずみおよび水平フランジ中央の半径方向たわみである。

主な内容は次の通りである。

- 1) ひずみ測定の結果から内圧と弁殻壁の応力分布の関係を得た。また、リブの効果および水平フランジのフープ効果を指摘した。
- 2) ISO形(PN10-200)弁の実験値と比較し、寸法差が応力分布に及ぼす影響について考察を加えた。
- 3) ハンドルトルクの影響を調べ、弁座背面外壁のひずみと弁座の静的当りの関係を示した。さらにこの関係を基に動的当り(内圧とハンドルトルクを同時に加えた場合の弁座面の当り)とこれに影響を及ぼす内圧の影響についても検討を加えた。
- 4) 水平フランジのたわみ $y_A$ と内圧の関係を求めた。またこの値が橋原の式およびJISFの式の計算値のいずれとも良く合うことを示した。
- 5) 内圧とハンドルトルクを重畳し加えると $y_A$ 値は減少することがあり、その減少傾向は比較的両者の定格値に近い値で最も顕著となった。
- 6) 加圧側管部への加圧の有無と $y_A$ の関係を明らかにし、管部の寸法形状が弁座部の機密性能と密接な関係があることを示した。

## 爆薬によるFRP船解体(1)

Breaking up waste FRP Boats by Explosive  
(Part 1)

林 慎也・川村 実・永田富博  
黒川孝一・服部勝英

昭和62年11月  
工業火薬協会講演会

FRP船廃船処理システムを開発するための第1段階として解体技術を確立するために、熱切断等各種既存技術の改良が試みられている。本報告では、爆破切断法を取り上げ、そのFRP切断能力について調べた結果について述べている。

FRP切断を試みた爆薬は5種類と市販の商業爆薬である：ダイナマイト系特殊特桐ダイナマイト及びアーバナイト、含水爆薬チタマイト、高爆速爆薬シート爆薬、並びに導爆線。

これらの爆薬を10mm厚FRP材に張り付け爆破し、その切断能力を調査した。その結果、各爆薬のFRP材切断に要する最少薬量は、アーバナイト(爆速2580m/s)40g、チタマイト(爆速2810m/g)30g、特殊特桐ダイナマイト(爆速5980m/s)、導爆線(爆速6670m/s)18g、シート爆薬(爆速7300m/s)8gとなり、爆速が切断能力に大きな影響を持っている結果となった。

更に、チタマイトとシート爆薬について20mm及び30mm厚FRPを爆破切断し板厚と薬量の関係を求めた。その結果、衝撃波がFRPを構成しているガラス繊維から不飽和ポリエステル樹脂に入射したときのショックインピーダンスの差による境界面への引張応力による剥離現象が板厚が厚い程顕著になる。従って、FRP切断には板厚が厚い程薬量を多く必要とした。

また、FRP廃船の老朽化に伴うFRP材の剥離を想定して、2枚のFRP板を重ねて発破(爆薬チタマイト)したが、2枚の板が見掛け上密着している場合にも、一体のFRP板と比べて約2倍の薬量が必要であった。

## 304ステンレス鋼溶接部の超音波特性について

Study on Ultrasonic Characteristics of  
304 Stainless Steel Weldment

島田 道男  
Laszlo Adler, Stanislav I. Rokhlin

昭和62年10月  
非破壊検査 第36巻9号

耐蝕性に加えて強度、靱性等にも優れた性質を有する304ステンレス鋼はパワープラントや化学プラント等において多用されているが、その溶接部は溶接条件や熱処理等により材質が劣化することがあり、構造物の安全性を確保する上でその材質評価は重要である。

ここでは304ステンレス鋼溶接部の機械的性質(靱性等)を超音波を用いて非破壊的に評価することを目的として、その超音波特性を実験的に調べ、溶接部金属組織と対応づけて検討した。

試験片は板厚1インチの304ステンレス鋼突き合せ溶接部から切り出したものであり、超音波測定用に表面を滑かに仕上げた。超音波測定は広帯域探触子を用いた水浸法によった。

音速測定では板厚方向において溶接部音速が母材部音速より遅い事(90%)が観測されたが、これは溶接部中央に発達している柱状晶の弾性定数の異方性によるものと考えられた。この溶接部に対し超音波減衰率を計算する場合、溶接部透過前後で超音波波形が著しく異なり、単純にこれらの波形の振幅比から計算できないため、周波数分布を求めそれぞれの周波数ごとに減衰率を求めた。また減衰率の計算では超音波ビームの広がりによるロスや水-鋼材境界での透過、反射ロスも補正した。

母材での減衰率は周波数によらず小さかったが、溶接部では周波数に比例して大きくなった。また溶接部では板厚方向より溶接線方向で大きな減衰が観測された。文献によるステンレス鋼の減衰率測定例と比較すると、溶接部の減衰率はレーリー散乱による値よりやや大きく拡散(Diffusive)による減衰との中間の値であった。この減衰を生じる原因となる散乱体の大きさは溶接部柱状晶の大きさに相当しており、超音波測定より柱状晶の発達状況がある程度推定できると思われる。このことは材質評価にも役立つものと思われる。

## 〈装 備 部〉

## 床上漏出油からのガス発生と換気について

Ventilation of engine room to exclude gas evaporated from the spilled gasoline on the floor

土屋 正之・長田 修

昭和62年7月

第17回安全工学シンポジウム講演集

小型船舶の機関室の様に狭く、換気の悪い所では床上に漏れたガソリンから発生した可燃性ガスが室内に充満し、引火爆発する恐れがある。そこで、小型船の機関室の実寸模型を用い、換気口の寸法、配置及び換気量を変えて実験を行い、床上に置いたガソリンからのガス発生量及び拡散状態を調査した。

機関室模型による、自然換気及び強制換気状態の実験結果より、まずガソリンの蒸発速度係数を求め、次にガス発生量と換気回数を変数とし、計算値と実験結果とを比較し、防火、安全上、機関室の適切な換気口の配置と換気量を求めるための基礎資料を得た。

## 波力発電用ウェルズタービンの騒音

Noise Assessment of Wells Turbine for Wave Activated Generator

勝原光治郎・北村 文俊

昭和62年10月

日本船用機関学会第41回学術講演会

空気式波力発電装置は、エアータービンから大きい騒音を発生させるので、設置に際しては予め十分環境評価をしておくかねばならない。

まず、音源の音響出力をうるために、直径0.8mの実寸大タービンを風洞の吸込み側にセットし、軸上2mの位置で、運転条件を変え、騒音を計測した。(本実験に先立って、音源の指向性、周囲物体・地面の影響などを調べ、測定点の妥当性を確認した。)

ウェルズタービンの騒音は、経験的に知られている軸流送風機の騒音レベルとほぼ同等な大きさであった。音響出力は、タービン騒音の、回転数による変化から求めた。波力発電では、空気流の脈動に従って、音響出力も変化するが、変動する騒音のうるさは定常音より大きいので、評価に用いる音響出力は、迎え角最大のときの値を用いることとした。

次に、タービン騒音のスペクトル分析を行った。タービン騒音は、流れの摩擦音、渦音および翼の回転音から成っている。前2者は連続スペクトルであるが、回転音は離散スペクトルで、タービン回転数と翼枚数の積で表わされる基本周波数ないしはその高調波である。スペクトル分析の結果、タービン騒音は回転音が支配的であり、とくに2次高調波で特徴付けられることがわかった。そこで、空気中の音の吸収減衰は2次高調波の周波数で推定した。

以上をまとめ、タービンの回転数と灯標からの距離で、騒音レベルを表わした。灯標設置予定の地点から陸地までの最短距離の所でも、すべての回転数に対し、環境基準が満たされることがわかった。

**Multiple Species Concentration and Temperature  
Measurements in Hydrocarbon Flame  
by Pulsed Laser Raman**

パルスレーザラマンによる炭化水素炎の  
多成分濃度温度計測

山岸 進  
昭和62年10月

**Laser Diagnostics and Modeling of Combustion**

本論文は燃焼計測に使われるレーザラマン法の改善とそれを使った測定例についての研究報告である。スポンテナアスレーザラマン法は、シングルビームで同時に多数の分子種の温度、濃度情報が得られる特徴を持っている。これは基準となる成分（例えば $N_2$ ）のスペクトルを観測域に含んで測定すると求める成分のスペクトルはそれとの比として求まり、光源や光路及び電子回路から発生する誤差要因を相殺することができるためより高い精度の観測が可能となる。しかし、信号が弱い主要な成分を測る場合でも輝度の弱い火炎にしか適用されなかった。ここでは、波長355nmの紫外域高出力パルスレーザを励起光に使用し、ゲート操作を用いて18nsecの露光時間に5.6nsecの信号を捕らえて他の時間は受光しないようにタイミングがとれる受光システムを作り、ラマン測定のスNR（信号雑音比）を改善し輝炎中でも測定を可能にした。更に感度を上げるためにカセグレン型の集光器を使って観測立体角を大きくとった。励起光の強度を上げると約 $10^9$ W/cm<sup>2</sup>以上でブレイクダウンが生じノイズのため測定不能になるためピークパワーはこれ以下にとどめなければならない。この方法で約 $1000$ cm<sup>-1</sup>を同時に受光し、エチレン火炎の多成分観測例を示した。ガス温度を求めるには $N_2$ ラマン積分強度を用いた。このラマンスペクトルは高温になるとプロフィールが変化するため、スリット幅を考慮したシミュレーション計算によって補正項を求めた。成分濃度は同時に観測されたスペクトルの中にある濃度既知の成分との強度比から求めることができる。室温の酸素濃度測定限界は±0.5%（SNR=3）であった。より精度を上げるには高感度受光器とパルス幅の長いレーザが有効と考えられる。計算には各成分のラマン散乱断面積についてのデータが必要であるが、一般に燃焼ガス温度域での3原子以上の計算値はまだ十分な精度が得られておらずデータの蓄積が必要である。

〈システム技術部〉

**重大故障要因分析**

Factor Analysis of Marine Engine Failure

村山雄二郎

昭和62年3月

自動化船機器の信頼性調査に関する成果発表会

船舶信頼性調査委員会の船舶の信頼性に関するデータベースに基づき、中核6社の海運会社保有船190隻を対象として、運航へ影響のあった重大故障の要因を分析するために、昭和56年10月から昭和61年9月までの5年間に発生した、該当する故障1,651件について、故障因子毎の発生割合の推移、故障因子間の相関、故障データの主成分の抽出を行った。

各故障因子に関連する故障の発生割合の推移からは、自動化機器への依存や、少人数化の影響が、窺える。

因子間の相関係数の分布からは、関連の深い因子の組がわかり、例えば次のような典型的な故障像が、浮かび上がってくる。即ち、「運航への影響が10分から5時間という件数の一番多い故障は、MO中に多く発生するが、運転員によって主機で発見されることが多い。主機の手動停止を伴い、修理や部品の交換で処置される。」

因子間の相関係数を基にして行った主成分分析の結果から、主成分軸の持っている意味が、抽出された。また、主成分空間における距離の少ない因子を、それぞれグループ化して、故障を特徴付けている。

重大故障要因分析には、各年度ごとの特徴はあるが、着実に自動化、少人数化の影響が現れている。それにもかかわらず、主機の手動停止故障が重大故障の半数以上を占めていることは、故障検知の面から、日本船の乗組員の優秀さを示していると考えられる。このことが、故障の初期発見と早期処理を通じて、運航への影響が5時間を越えるような重大故障が極端に少ないことへとつながっている。

故障データの第2主成分に、故障発見が機械か人間かという軸が現れ、故障の発見技術が重要な要素であることを意味している。乗組員の持つ故障の検知、診断に関する知識、ノウハウを組み込んだ故障診断装置や、人間の五感に近い、新しいセンサーの実現が重大故障低減のために、待たれるところである。

オブジェクト指向型プログラミングを  
応用したシミュレーション手法

A Simulation Technique Based on the Concept  
of Object Oriented Style of Programming

金湖富士夫・沼野 正義

昭和62年 6 月

第 6 回シミュレーション・テクノロジーコンファレンス  
発表論文集

オブジェクト指向プログラミングの考え方を応用して、船舶の航行に要する種々の作業の自動化手法の評価に用いるシミュレーションシステムの基本設計を行った。

この目的に用いられるシミュレーションシステムの重要な要件は、避航判断、航路設定等の航行作業毎に開発される多数の自動化手法のシミュレーションへの組込みの容易さ、及び、それらの自動化手法を備えた船舶が通過すべき環境条件の設定の容易さである。以上の要件に適合するプログラミング方式としてオブジェクト指向がある。それは、種々の状態を表現する一群のデータとそれらのデータを更新する処理プログラムより構成されるデータ構造（オブジェクト）を作成し、オブジェクトへの動作指令によりオブジェクトを動作させる方式にプログラミングを行うことを言う。この方式の利点は、各種の処理プログラムを他とは独立にシステムに登録でき、それらをコードによる選択で容易に使用できることである。ここではその利点を利用し、自動化手法のプログラムのシステムへの組込みを容易にするため、航行作業の主体（航路設定装置等）をオブジェクトとした。さらに本システムでは、航行作業の主体より構成される船舶、潮流、風等の外乱、管制センター、シミュレーションそのもの等をオブジェクトとして扱っている。また、環境設定を容易にするため、シミュレーション実行以前に時間変化がすべて定まる外乱等のオブジェクトを実行以前に何種類か用意しておき、実行時には、それらの組合せを選択するだけで環境設定が行えるようにした。さらに、リアルタイムシミュレーションへの対応、およびシミュレーション状況の動的変化の管理のための工夫を行った。

システムの安全性に関する一考察

A Consideration on System Safety

村山雄二郎

昭和62年 8 月

電子情報通信学会第 1 回安全性研究会

システムの安全性を保つことは重要であるが、システムの多面性や複雑さ故に、それは容易ではない。その理由は、システムの安全性が多くの分野に関連しているため、予測・推定が難しく、そのシステムの安全の意味を決めることすら困難なことにある。それ故にシステムの安全性確保には、各分野からの協力と、安全への共通の考え方を持つことが大事である。

システムの安全性は、①無加害性の意味と、②自己保全性の意味があると考えられる。しかし、実際のシステムでは、システムが危害を与える可能性の経路も、システムの安全を損なう可能性の経路も多数あり、これらを漏れなく想定して評価し、その対策をたてることは難しいが、安全なシステムを設計するには、次の事項が重要である。

- 1) 当該システムを取り巻く環境と、その上位システムの範囲の確認と設定。
- 2) 当該システムの安全を阻害する要因と影響経路の洗い出しと影響の程度の評価。
- 3) 当該システムの安全と上位システムの安全との関係の評価。
- 4) 当該システムが原因となる上位システムの安全への影響経路の洗い出しと影響の程度の評価。
- 5) 当該システムの構成要素の故障がシステムの安全を阻害する影響経路の洗い出しと程度の評価。特に制御系・安全系の故障の影響の重視。
- 6) 人間的構成要素の評価と、当該システムにおける人間的要素と機械的要素の役割分担の適正化。

特に 3) は、システムをフェイル・セーフに設計する際や、操作系をフル・プルーフに設計する際に、システムの状態と上位システムの状態の関係によってはフェイル・セーフにする方向や、フル・プルーフにする方向が逆になり得るので重要であり、そこに人間が介入できる余地や、AI の導入も必要と考える。

## 自動航行システムの評価用のシミュレーション システム SISANAMについて

Introduction of SISANAM-Simulation System for  
Automatic Navigation and Vessel Traffic  
Management

沼野 正義・不破 健

昭和62年 8月  
日本造船学会誌698号

自動化機器の発達について、船舶においても自動化が行われつつある。現在、産官学の協同のもとに進められている高信頼度知能化船の研究の中で、輻輳海域における自動運航システムの開発が行われている。

この自動運航システムを計算機上のシミュレーションによって評価するために、航行する船舶をとりまく様々な環境を必要な精度で計算機上に表現し、実時間で船舶の航行をシミュレーションするシステムを船舶技術研究所において構築中であるので、これを紹介する。SISANAMとは、本システムの愛称であり、Simulation System for Automatic Navigation and Vessel Traffic Managementの略称である。

本システムは、データ駆動型の柔軟なシステムであり、その構成は、FORTRANを主言語とする主コンピュータを中心とし、LISPを主言語とする副コンピュータ、および3次元景観表示用のグラフィック・ワークステーションがネットワーク上に接続されている。知能化船の自動運航システムの各機能を受け持つ実機システムは、必要に応じて、同じネットワーク上に接続して、シミュレーションによる評価を行う。

現在、東京湾を想定して、風・波・潮流等の自然環境データが設定されており、水深・海岸線等の海図情報や、東京湾での船舶の航行状況のモデルを導入して、交通環境が設定されている。また、必要に応じて、様々な精度の船舶の操縦運動等のモデルが使用できる。シミュレーション結果は、計器・ARPA・景観表示装置を用いて、シミュレーション実行中のモニター並びに事後の評価・検証が可能である。

現時点では、知能化船の各機能を模擬するプロセスを主コンピュータ内で走らせることによって、シミュレーションを行いつつ改良を行っている。また、港内航行だけでなく、離着機や錨泊への拡張計画も進んでいる。  
(478)

## Evaluation Simulator for Automatic Ship Navigation Systems

自動航行システムの評価用シミュレータについて

不破 健・小野武之・西岡敏孝

昭和62年10月

Pro. 8th Ship Control Systems Symposium 1987

航行・操船の信頼性と安全水準を向上するために、自動航行システムの開発は有用である。本論文は、そのようなシステムの安全評価を含めた性能評価を、コンピュータ・シミュレーションにより実施するためのシミュレーション・システムと、その設計概念、適用例についてまとめたものである。実システムはまだ実現されていないので、シミュレーション・システムの設計・構築のためにも、実システムの機能に関する概念設計が必要となる。実システムに対する検討、シミュレーション・システムの機能・構成・性能に関する基本的検討にもとづき、設計が行われた。実時間シミュレーションを実施するための高速演算性能、実システムが具備する判断等のアルゴリズムを表現するための知識処理能力、組合的評価のためにマンマシンインタフェースとしてのグラフィックス処理表示性能がコンピュータシステムに要求される。また、現実に近い航行環境条件を表現するためのシステム構成、データベースなど特徴的なシミュレーション・システムとなっている。特に、機能の異なる複数のコンピュータおよび実機を接続するネットワークと、マルチプロセス方式による設計は、多様な用途や設定条件に容易に対応するために有用である。適用例としては、東京湾を航行する状態を対象に、地形、自然、交通についての環境条件を設定し、安全評価の場となる状況と、自動航行システムの応答結果を記録したもののの中から、典型的なものを紹介している。また、今後の発展とシミュレーションおよび評価手法についても付言している。

## 〈原子力技術部〉

GO-FLOW: A New Reliability Analysis  
Methodology

GO-FLOW: 新しい信頼性解析手法

松岡 猛・小林 道幸

昭和62年

Nuclear Science and Engineering Vol. 98 No. 1

原子力プラントに代表される大規模システムの信頼性解析手法としては、インベント・ツリー解析、フォールト・ツリー解析及びGO手法等が知られている。しかし、これらの解析手法には種々の問題点がある。

そこで、著者らはGO手法を基本とし、その特徴を生かしたままGO手法における限界を克服するため、GO-FLOW手法を開発してきた。

本報告では、GO-FLOW手法の説明とGO-FLOW手法による解析例が与えられている。

GO-FLOW手法の説明においては、信号の意味、タイム・ポイントの意味、各オペレータの機能の説明を与え、次に、サンプル問題について解析手順を詳しく説明している。これによりGO-FLOW手法の基本的原理の説明がなされている。

解析実施例においては、沸騰水型原子炉非常用炉心冷却系を対象としたフェーズドミッシュン問題と、加圧水型原子炉補助給水系を対象とした時間経過に伴うアンアベイラビリティ解析を取り上げた。いずれも、解析対象のシステム図、GO-FLOW手法における表現図、タイム・ポイントの定義、解析結果の図表を与え、解析手順の説明がなされている。

本手法は、システム信頼性解析において広い適用可能性を持つとともに、解析も比較的容易に実施できる有用な手法である事が示された。

Optimum Arrangement for the Neutron Dose  
Rate of an Iron-Polyethylene Shielding System鉄-ポリエチレン遮蔽体系の中性子線量率  
に対する最適配列

植木紘太郎・波戸 芳仁

昭和62年 6月

Nuclear Science and Engineering Vol. 96 No. 1

本論文は鉄-ポリエチレン遮蔽体系の中性子線量率に対する最適配列について述べたものである。

本研究によって鉄-ポリエチレン遮蔽体系にあっては最適遮蔽配列、すなわち中性子線量率を最小にする配列があることが分った。遮蔽実験は鋼板の全厚さは一定の32cmで、ある厚さのポリエチレン平板を線源に近い方から暫時検出器側へ移動させ、線量率をレムカウンターで測定し、線量率の変化を調べた。実験に用いた中性子源は $^{252}\text{Cf}$ の $14.4\mu\text{g}$  ( $3.37\times 10^7\text{n/s}$ )であった。またモンテカルロコードMORSE-CGを用い、スプリットティングを採用して実験を解析し、実験で明らかになった最適遮蔽配列の出現を実証することができた。

中性子最小線量率点はポリエチレン平板を検出器側へ設置したときに観測された。例えばポリエチレンの厚さ6cm、鋼板の全厚さが32cmの場合、ポリエチレン平板を鋼板25cmの後、すなわち、線源に近い方から、鋼板25cm+ポリエチレン6cm+鋼板7cmの配列が最小線量率点を与えた。逆に最大線量率点はポリエチレン平板を最も線源側、すなわち、ポリエチレン6cm+鋼板32cmの配列のときであった。ポリエチレンの厚さ6cmの場合、最大線量率/最小線量率の値はおよそ3.1であった。またポリエチレンの厚さが10cmになるとその比は4.8になり、14cmでは5.4と大きな値を示した。したがって最適配列を選定することによって全体の厚さは一定でも中性子線量率を数分の1に低減可能である。

このように鉄-ポリエチレン体系に最適遮蔽配列が出現する理由には、基本的には中性子エネルギー $\sim 2\text{MeV}$ を境に、それ以上では鉄が、それ以下ではポリエチレンがそれぞれより遮蔽効果が高いことが掲げられる。 $^{252}\text{Cf}$ の平均中性子エネルギーは $\sim 2.35\text{MeV}$ である。

MORSE-CGコードおよびNGCP9-70核データライブラリーは、最適遮蔽配列を見出す有効な手段である。

(479)

GO-FLOW: A Reliability Analysis Methodology  
— Its Basic Concept and Applicability —

GO-FLOW：信頼性解析手法  
— その基本概念と適用可能性 —

松岡 猛・小林 道幸

昭和62年9月  
Transactions of PSA'87

複雑な動作モードを持つ系の信頼性解析，時間経過に伴う故障率の算出等が容易に実施可能な信頼性解析手法として，船舶技術研究所において，GO-FLOW手法を開発しているが，本論文は，その基本的概念と適用可能性について報告している。

GO-FLOWは機器の機能をモデル化した12種の標準オペレータと信号線を用いて，解析対象とするシステムの構成，機能をGO-FLOWチャートに表現し，信号の流れを追うという解析方法をとる。GO-FLOW手法における信号は，配管中の流体の流れ，電流，情報，指令等を意味している。“信号の存在”とは，これら信号が実際に存在する場合に加えて，下流の抵抗が零になった場合にその場所において信号が存在する事も意味すると考える。また，信号には“強度”という量が伴っており，それにより，信号の存在する確率あるいは，時間経過量を表わしている。更に，系の動作の進行に対応して，離散的な時刻を示すタイム・ポイントが定義される。解析は，着目する信号線の強度をすべてのタイム・ポイントにおいて求める事により完了する。

解析実施例として，BWR非常用炉心冷却系を対象とした Phased Mission Problem，PWR補助給水系を対象とした Time Dependent Unavailability 解析，船用炉非常用炉心注入系の電源系を対象とした待機冗長系の三例について紹介した。いずれも，GO-FLOWチャート，簡単な解析手順についての説明，解析結果，等が与えられている。

以上の解析例から，GO-FLOW手法は，非常に広い適用可能性を持つと共に，解析も比較的容易に実施でき，信頼性解析における有用な手法である事が示されたと言える。

NEACRPキャスクベンチマーク問題の  
モデルおよび計算コード間の比較

Comparison of Models and Codes on the NEACRP  
Cask Benchmark Problems

植木紘太郎・田中 俊一・坂本 幸夫

昭和62年10月  
日本原子力学会 昭和62年秋の大会

OECD・NEA (Nuclear Energy Agency) がキャスクの遮蔽ベンチマーク問題を作成し，CRP (Coordinated Research Programme) として OECD加盟各国に提案してきている。このキャスクベンチマーク問題の提案国は西独であり，CASTORキャスクという鋼製キャスクを様々にモデル化して，6個のモデルを提案している。これに対し，我が国でも ANISN，DOT-3.5，および MORSE-CGコードによってキャスク周囲の線量率分布を求め，キャスクモデルおよび計算コード間の比較を行なった。

CASTORキャスクの特徴は中性子遮蔽としてポリエチレンロッドを使用している点である。MORSE-CGコードはこのロッドの形状を正確に計算に乗せることができるが，ANISNやDOT-3.5コードでは三次元計算ができないので，全ロッドの断面積を保存するように等価なポリエチレン層に置き換え，一次元および二次元モデルを作成し，それぞれのコードで計算した。

ANISN，DOT-3.5，および MORSE-CGコードでキャスクの中心，並びにキャスクの表面から10mの範囲で相互比較をした結果，次のような事が分った。

1. ポリエチレンロッドをポリエチレン層に置き換えた体系では，MORSE-CGの結果はDOT-3.5の値に対し，キャスク表面から10mの範囲で全て $1\sigma$ 内で一致した。
2. ポリエチレンロッドを正確にモデル化したMORSE-CGによる計算では，ポリエチレン層の結果と比較し，キャスク表面から10mの範囲でおよそ40%高い線量率になっている。したがって，ポリエチレンロッドを単に断面積を保存させたモデルでは不十分であり，むしろ過少評価になることが分った。

## 〈海洋開発工学部〉

GO-FLOW手法による衝突・座礁時の船用炉  
炉心冷却系の信頼性解析

A Reliability Analysis by the GO-FLOW Methodology: An Analysis of Emergency Core Cooling System of Marine Reactor under Collision or Grounding Accident Condition

松岡 猛・小林道幸・仁熊義則・高倉正秀・竹村教男

昭和62年12月

第2回確率論的安全評価(P S A)に関する  
国内シンポジウム論文集

船舶技術研究所において開発を進めているGO-FLOW手法により原子力タンカーの工学的安全系の信頼性解析を実施した。オペレータ総数195個となる比較的大きなシステムが複雑な動作モードを持つ場合の時間経過に伴う信頼性解析が容易に実施でき、GO-FLOW手法は広い適用可能性を持つ事が示された。

海難と原子炉事故という船舶特有の問題点を具体的船舶に対して検討する目的で、速力18ノット、8万トンの原子力タンカーを選定した。原子力タンカーの船体構造・配置、機器・系統の構成・配置は造研NSR-7、RR-26の研究成果、「むつ」等を参考として求めた。非常用炉心冷却系、余熱除去系は原子炉区画の二次遮蔽外側の左右両舷に各一系統づつ分離して設置し、工学的安全施設関連系統の補機冷却系、主発、補発は機関室に、非発は船橋甲板に配置した。座礁と一般商船による衝突を取り上げ、海難発生と同時にLOCA(100φ破断)が発生すると仮定した。衝突・座礁による系統・機器の直接的損傷はなく浸水による二次的な機能喪失が生ずるものとし、海難時の船体事故状態としては、(1)原子炉区画、機関室とも非浸水、(2)原子炉区画の一方に浸水、(3)機関室に浸水の三種類を選定した。LOCA発生後の工安系の要求される動作は時間経過に伴って変じており、フェーズド・ミッション問題となっている。このフェーズド・ミッション問題が、タイプ40オペレータを用いる事により容易に解析できる事が示された。本解析で、複数の事故状態、複数のフェーズにおけるシステム機能のモデル化が一枚のGO-FLOWチャートにより可能であり、一度の計算で時間経過に伴う故障確率の推移まで求められる事が示された。

GO-FLOW手法は非常に広い適用可能性を持っていると共に、解析が容易であるので、今後、各方面において広く利用される事が期待される。

## セミサブ型石油掘削船の静的復原性について

On the Static Stability of Semisubmersible  
Offshore Drilling Rigs

高井隆三・影本 浩・高石敬史

昭和63年1月

第8回海洋工学シンポジウム論文集

国際海事機関(IMO)に於て、現在、海底石油掘削船に関する復原性基準が見直しの対象となり国際的な論議を呼んでいる。本論文はIMOでの討議に資するため我が国が提出した復原性に関する研究のうち、静的復原性についての系統的な計算結果をとりまとめたものである。対象としたセミサブ型石油掘削船は3隻(2ロワーハル型で、コラム本数が8本、6本および4本)であり、これらのSurvival operationおよびtransitの各喫水状態について、いわゆるGZ曲線を計算した。パラメータとして、重心の高さ(KG)をとり、非損傷時と損傷時およびパラスト水移動時について、風圧力による定常傾斜角、浸水時の傾斜角などの状況から、セミサブ型石油掘削船が安全性の面で備えるべき最小GM値等、復原性基準との関連のもとで考察すると

- 1) 最小GM値は、1mより大きくとるのが良い。
- 2) 非損傷時における風圧転倒モーメントによる傾斜角および浸水等の損傷時における傾斜角は15度以内にする。

ことが望ましいと考えられる。

## 救命筏の耐寒性能の改善

Improvement of Cold-Proof Performance of  
Inflatable Liferaft

桜井昭男・上村 晃・高島逸男・前田利雄

昭和62年11月

第3回寒地技術シンポジウム講演論文集

膨張式救命筏は、その取扱いが簡便で、乗員は迅速に脱出でき、しかも救助率が高いので、救命設備として寒冷海域においても有効に使用されてきた。しかし、厳寒時には展張性が低下し、また保温性に欠けることから、筏の性能が十分には発揮されにくくなる。

これらの問題に対処するため、低温特性の優れたアラミド気室布を試作するとともに、充気装置には化学反応を利用した固体式ガス発生器を用いることとした。また、軟質ウレタンラミネート布を天幕の内装に用いた新しい保温構造を考案した。

これらの改善方策について、低温下における評価試験を行った結果、耐寒性能は良好であり、 $-60^{\circ}\text{C}$ にお

いても十分使用に耐え得ることがわかった。

救命筏の低温下における問題点の抽出では、現用の10人乗筏を使用して、低温展張試験を行った。その結果、 $-60^{\circ}\text{C}$ においても大きな損傷を生じることなく、部分的な損傷のみにとどまったことから、膨張式救命筏がかなり耐寒性のよい救命設備であることがわかった。また、固体式ガス発生器は容器の温度上昇に一部問題がみられるが、 $-60^{\circ}\text{C}$ においても十分な膨張作動性態を持つ有効な充気装置であることがわかった。

気室布の耐寒性能の改善については、新素材のアラミド繊維及び耐寒性の良好な天然ゴムを採り上げ、気室布を試作した。これらは現用のナイロン気室布に比べ、引張強度及び引裂強度に優れており、さらに、温度繰返しに対する耐久性も良好であった。

また、保温性の改善については、天幕の構成素材として、軟質ウレタンフォームの両面に防水処理布をラミネートし、これに空気層を設けたものを試作し、保温性能の要素試験を行った。その結果、従来型のものに比べて優れた熱抵抗を示すことを確認した。