

所外発表論文等概要

<特別研究官>

積分 Green 関数法に基づく
3次元非定常波動流場の計算法
(その1、積分 Green 関数の性質について)
Integrated Green's Function Method
for 3-dimensional Unsteady Flow Field
around an Advancing Ship
(On the properties of Integrated Green's Function)
渡辺 巖
平成9年5月
日本造船学会論文集 第181号

波浪中を航行する船舶周りの流体现象の解析手法としてはストリップ法が実用的なものとして使われているが、多くの点で不十分である。本来の流れ場は3次元であり、3次元計算法の確立が長く望まれているが、数値的な問題点が克服できずに今日に至っている。本論文ではこの3次元計算法の一種である Green 関数法に着目し、新しい考え方による数値解法を提案する。ここで提案するのは Green 関数を超関数としてとらえ、それを直接数値計算するのではなく、パネル上で積分された Green 関数を用いる方法である。この考え方によれば、水線面近傍でも係数マトリクス(核関数)は発散しないこと、数値計算が困難とされてきた線積分項も計算できること等従来問題とされてきた数値解析上の問題点のほとんどが克服できることを示す。本論文ではこの研究の第一報として、積分方程式の骨格をなす積分 Green 関数の数値的性質を中心に考察している。

<推進性能部>

地面効果翼機の開発と近距離交通網への利用
Development of Wing-in-Ground Effect Vehicles
and their Application
to Domestic Transport Services
不破 健
平成9年5月
日本機械学会誌 第100巻第942号(1997年5月号)

地面効果により翼の特性が大きく影響されることは古くから知られ、地面効果翼機あるいは表面効果翼艇の開発の歴史も長い。我が国でも小型機が開発され、旧ソ連時代には軍事目的の大型機が‘カスピ海のモンスター’として注目を集めた。平坦な大地の少ない我が国では、輸送ニーズからも実用的には海上から発着し海面すれすれを航行する高速船に限定される。揚抗比が大きく輸送効率が高いため、翼面積の減少や、離着陸速度の低下も可能となる。また、小アスペクト比の翼により構造重量の軽減、操縦性能の向上が実現され、設計の自由度が高い。翼の形状や配置も地面効果を高める独特なものとなる。運航面でも上昇燃料が節約され長距離を除き通常の航空機より有利である。航空機と高速船に関連する知見と技術とを包含すれば、設計、建造、運航においてブレークスルーすべき新規の要素はないので、社会状況の変化により条件が整備され身近な交通機関として実用化される可能性が高く、交通網の再編整備も期待できる。

近い将来の開発目標は、第一にレジャー/交通用の小型機から離島などのコンピュータ機が対象となる。安全確保のため、波との関係や既存の海上交通機関との調和が重要である。第二の目標は超高速旅客船の開発であるが、接水の危険を避け地面効果も十分に利用するためには大型機が有利である。この場合には、輸送需要や既存の交通機関との競合関係が重要となる。空港施設や都市へのアクセスなどの社会基盤の整備、あるいは、自然環境保全や騒音の生活環境への影響など、不確定で推算の難しい要素も多いが、中距離輸送で航空機との共存が可能である。交通網が整備されている我が国においては、幹線輸送を補完する新しい高速交通機関としての役割が主となるが、社会基盤が不十分で、最近、輸送需要が急増している東アジア地域では基幹的な輸送機関としても期待されている。最後に、輸送需要と大規模な設備投資を前提に、大都市間の大量輸送手段としても検討されている。深深度地下の利用計画の一環でジオプレーン計画や、磁気浮上に代わる空力浮上方式による新幹線鉄道の高速度化が提案されている。

NICE 法による斜航・定常旋回状態の
肥大船まわり流れの計算

Computation of Flow around Full Hull Forms
in Oblique Towing or Steady Turning
Using NICE code
牧野 雅彦、児玉 良明
平成9年5月
日本造船学会 造船学会論文集

近年の海洋環境保護の機運の高まりや、大型タンカーの衝突・座礁時の流出油による海洋汚染の深刻化のために、事故回避を目的とする船舶の操縦性能の確保を目指して、IMO（国際海事機関）によって1993年に操縦性暫定基準が制定された。この暫定基準を満足するためには、設計段階において船舶の操縦性能を十分な精度で推定する必要がある。

CFD（Computational Fluid Dynamics、数値流体力学）は、流体運動の支配方程式である Navier-Stokes 方程式（略称、NS 方程式）を数値計算によって解く手法である。当研究所では、船体まわり流れの CFD 計算のために、NICE コードを開発した。CFD を操縦性能推定、特に強い船尾縦渦が発生する肥大船まわりの流れの推定に用いる場合は、乱流モデルが重要な働きをする。ゼロ方程式モデルに属する Baldwin-Lomax 乱流モデル（以下 BL モデル）は、肥大船船尾流れでは、船尾縦渦を過小評価する。BL モデルの改良版として、SR222 修正 Baldwin - Lomax 乱流モデル（以下、MBL モデル）が開発され、船尾縦渦の高精度推定が可能になった。

今回、BL モデルおよび MBL モデルを組み込んだ NICE コードを用いて、SR221A、SR221B の2つの肥大船型について、斜航状態および定常旋回状態の CFD 計算を行い、実験値と比較した。BL モデルを用いた計算では縦渦が小さく評価された。MBL モデルを用いた計算では、縦渦はより強く評価され、また、力の分布と積分力の両方において、実験値との一致度が向上した。定常旋回状態においても、MBL モデルは、BL モデルよりも実験との一致度が良くなる傾向を示したが、旋回半径が小さくなるにつれて一致度は低下した。

海面効果翼船（WISES）の外乱に対する
応答特性について

A study on motion characteristics of WISES
under disturbances
南 佳成、不破 健
平成9年5月
西部造船学会報 第94号

海面上を完全に浮上して高速航行する海面効果翼船（WISES）は、海面と接触すると大事故につながる危険性が高いので、外乱に対する応答を検討し、航行限界を明らかにしておく必要がある。このような立場から、筆者らは海面効果を考慮して構築した運動モデルにより、まず縦方向の応答特性の高度による変化と非線形の強い大局的な運動特性を考察した（西部造船学会報 第89号）。

今回は運動モデルを6自由度に拡張し、このモデルを用いて典型的な WISES を例に様々な状況でシミュレーションを行い、風、波浪に対する応答特性を検討した。海面効果内での縦運動と横運動の特性の違い、WISES 独特の特性や航行上の問題点を中心に考察した結果、海面効果と深く関連する WISES の特性として以下の知見が得られた。

- (1)航行高度によっては横風に対する突風応答で高度が大きく変化する、海面とのクリアランスが小さくなる可能性がある。これは横運動が縦運動との連成を誘起し、結果として高度変動が大きくなっていることが時系列データの検討から分った。この連成は海面効果の影響による現象であり、航空機にはあまり見られない WISES に特有の運動特性である。
- (2)波浪に対する応答では、海面効果によって生じるロールの復原モーメントが大きくなり、横運動の減衰項が小さいことや横方向の慣性能率が縦方向と比べて小さいために横運動が大きくなり、連成運動も生じる。このために横波状態が非常に危険であることが分かった。

このように、縦運動のみならず横方向の応答特性も安全性や航行限界に直接影響すること、安全性の向上のためには6自由度の運動モデルによる運動特性の検討が不可欠であることが分かった。また、連成運動のメカニズム解明のためには、運動に対する海面効果の影響に関する流力的考察も大切である。

数値流体力学の研究動向

Review on Recent CFD Researches

日野 孝則

平成9年8月

日本造船学会誌 1997年8月号

船舶関連のCFD技術の最新の動向を展望するために、比較的最近に行なわれたいくつかの国際研究集会、すなわち1996年12月に開かれた第2回アジアCFD会議(東京)、第2回国際水力学会議(香港)、および1997年1月に開かれた米国航空宇宙学会(AIAA)第35回航空宇宙科学会議で発表されたCFD関連の論文のうち船舶・海洋分野に関連すると思われるトピックスを紹介した。

自由表面流れに関しては、領域分割法を船体まわりの自由表面粘性流れ解析に適用した例が見られる。船体近傍ではナビエ・ストークス・ソルバーによって粘性流れとして解き、その外側はポテンシャル流れを仮定して非粘性自由表面流れとして解く手法である。

CFDで複雑形状を扱うための有力な手法である非構造格子法は、3次元ナビエ・ストークス・ソルバーの開発が進められ、並列計算や、高精度計算、非定常流れ解析などについて進展が見られた。さらに、複雑形状に対するもう一つのアプローチであるマルチブロック法についても、自由表面流れに適用した例が示された。非構造格子法に関してはその特徴を生かした解適合格子法の研究が活発に行なわれている。

船体の操縦運動へのCFDの応用も始まっており、斜航時や旋回時の流れや流体力の解析が行なわれ、CFDの適用範囲の拡大が進みつつある。さらに、プロペラまわりの流れや自航状態の流れのシミュレーション技術の研究も行なわれている。

CFDを用いた形状最適化はCFDの出力する大量の情報をも有効に利用する技術の一つとして注目されている。CFDによる流れ解析と非線形計画法による形状最適化の研究が活発に実施されている。

CFD手法が信頼性を持つためには、その手法がよく検証されている必要がある。CFD手法の検証は計算結果と実験結果との詳細な比較によってなされる。船体まわりの流れに対してCFD手法検証のための詳細な実験と計算を行なう計画が米国において進行中である。

〈運動性能部〉

非線形シミュレーションによる波漂流減衰力の一考察

A Study on wave-drift damping

by fully nonlinear simulation

谷澤 克治、内藤 林

平成9年5月

関西造船協会誌 第228号

海洋構造物や荷役のため係留中のタンカーなどの係留船舶の波浪中動揺には、入射波周期の調和振動的な運動に加え、係留系の固有周期に近い長周期の非線形大振幅動揺がしばしば観測され、その振幅の見積もりが係留系の設計において重要な要素となっている。長周期の大振幅動揺では一般に造波減衰や粘性減衰は小さく、入射波と長周期動揺との相互作用に起因する波漂流減衰力が支配的な減衰力であるため、長周期動揺の振幅を正確に見積もるには波漂流減衰力を正確に計算する必要がある。そこで、波漂流減衰力の研究が実験と理論の両面から精力的に行われて来た。ところが、これまでの波漂流減衰力の主な研究では入射波と長周期動揺との相互作用を準静的であると仮定しており、理論においても実験においても本来動的な相互作用を正確に表現するに至っていない。

そこで本報では、ポテンシャル理論に基づく非線形数値計算法(Fully nonlinear time domain simulation method)を用いて波浪中浮体の長周期動揺を長時間シミュレートし、その数値解から入射波と長周期動揺との相互作用に起因する流体力を純粋に抽出する方法を見出した。また、その流体力の解析から、波漂流減衰力のより合理的な定義式および相互作用に起因する付加質量の定義式を示し、それらの大きさを概算した。本報で示したこれらの定義式は入射波と長周期動揺との動的な相互作用を表現しており、その考え方は入射波と長周期動揺の相互作用に関する今後の理論研究および実験方法にも応用できると考える。

A Study on Parametric Roll Motions
by Fully Nonlinear Numerical Wave Tank
非線形数値造波水槽によるパラメータ横揺れの研究
谷澤 克治、内藤 林
平成9年5月
7th International Offshore
and Polar Engineering Conference
Proc. of ISOPE'97

本論文は2次元浮体のパラメータ横揺れについて、理論的、数值的、実験的に論じたものである。数値解析には数値造波水槽を用いた。これは流体と浮体の連立運動方程式を解いて時間領域で自由表面と浮体の運動を追跡する、非線形シミュレーション法を応用して構築された数値水槽で、水槽両端で放射条件を近似的に満足する波の減衰領域を用いることで、波浪中浮体の大振幅動揺を高精度でかつ長時間計算することができる。この数値造波水槽を用いて規則波中での船首部形状2次元浮体の運動シミュレーションを行い、パラメータ横揺れが発生する限界波高を求めた。通常、パラメータ横揺れの理論解析にはマシュー方程式が用いられる。そこで本論でも上下揺れと横揺れの連成運動方程式から横揺れのマシュー型方程式を導き、これを用いたパラメータ横揺れの理論的な限界波高を求めた。また、検証のため水槽実験を実施し、実験と数値計算ならびに理論から得られた限界波高とを比較した結果、理論値は実験結果と定性的に一致し、数値計算結果は実験結果と定性的にも定量的にも良く一致することが分かった。

自由航走模型船を用いた操縦性能実験における
GPS (RTK-OTF 測位システム) の
有効性について

Evaluation of RTK-OTF Positioning System
for Free Running Manoeuvrability Test
of a Model Ship
上野 道雄、二村 正、藤原 敏文、野中 晃二
平成9年5月
関西造船協会誌 第228号

IMOにおける操縦性能暫定基準の採択に見られるように、初期設計段階での船の操縦性能推定が国際的にも重要性を増しつつある。操縦性能推定手法としては数値的手法と実験的手法があるが、なかでも自由航走模型実験は実際の物理現象を観測できることにその最大の特長がある。しかしながら、自由航走模型実験を実施することは一般に容易ではない。それは、模型船の正確な位置を精度よくしかも高速サンプリングで計測することが一般に困難であるとの理由による。そこで、著者らは近年自動車等に普及の著しいGPSの自由航走模型実験への応用の可能性を調べ、従来使用している超音波による位置計測結果とも比較検討し、その有効性を確認した。

GPS (Global Positioning System) による位置計測については現在もっとも精度が高いと考えられるリアルタイムキネマティックオンザフライ (RTK-OTF) 法による計測をおこなった。模型船の長さは4.29mで、実験場所は三鷹船舶第一試験水槽 (80m角水槽) である。この計測システムはGPS受信機3台と補正データ送信用の無線装置、ならびに計測データ格納用の小型計算機から構成される。1台のGPS受信機は基準局として地上に固定され、残り2台は模型船の船首と船尾に設置される。位置データ格納用の小型計算機も模型船上に設置される。位置計測のサンプリングは5 Hzと1 Hzである。

船上のGPS受信機を地上に設置しておこなった固定点の位置計測結果によると、5 Hzサンプリングの場合は誤差約4 cmであり、1 Hzサンプリングの場合は0.4 cmであった。模型船航走時の計測結果を船首と船尾のアンテナ間の固定距離計測誤差で評価した結果は5 Hzサンプリングの場合で誤差約5 cmであった。船首と船尾の位置から算出される船速や船首方位角、横流れ角、回頭角速度は5 Hzのサンプリングにおいてもほぼ満足できる精度を持っていることが確認された。

この計測システムは可搬性に優れ、取り扱いも容易であることから今後の有効な模型実験の計測手法となると考えられる。

〈構造強度部〉

Corrosion Fatigue Strength of
a Butt Welded Joint
on a Ship Structural Steel Plate in Seawater
海水中における船体用鋼板の突合せ溶接継手の
腐食疲労強度
小林 佑規、田中 義久、後藤 英信
松岡 一祥、本橋 嘉信
平成9年7月
IPMM'97 Australasia-Pacific Forum
on Intelligent Processing & Manufacturing
of Materials

船舶をはじめとする海洋構造物は、常に海水の腐食環境にさらされている。船舶の腐食は、船齢8年頃から目立ちはじめ、船齢が増す毎に著しくなる。腐食は溶接部に集中することが経験されており、その要因は塗装劣化によるところが大きい。腐食による板厚減少は、船体構造強度の低下を招き、さらに波浪による繰返し荷重が重畳されて疲労寿命の低下を招くことになる。このことから、船舶の設計、検査および寿命予測のために、溶接部の腐食疲労強度を求めることが重要である。

本稿は、MAG溶接による突合せ継手の大気中および海水中疲労強度について報告したものである。疲労強度は、き裂発生寿命に対する公称応力および溶接止端部の歪を用いて検討し、さらに母材の切欠き材と比較した。また、き裂発生点における溶接止端形状の局所的な応力集中と歪ゲージによるマクロ的な応力集中を求めて検討した。得られた結果は以下のとおりである。

- (1)大気中試験には疲れ限度が見られた。疲れ限度は、溶接止端の応力集中係数が3.1を超えることから、母材の切欠き材から推定される値と一致した。
- (2)海水腐食疲労強度は、大気中疲労強度にほぼ等しいが、大気中のような明らかな疲れ限度は見られなかった。大気中疲れ限度以下の応力範囲における腐食疲労強度は、大気中試験のS-N線図を延長して求めることができる。この点からは、止端形状は直接腐食疲労強度に影響を及ぼさない。
- (3)溶接止端の歪範囲とき裂発生寿命を基準とした ϵ -N線図では、海水中のき裂発生寿命は大気中のそれよりやや短寿命となる。

〈機関動力部〉

運輸交通機関用
太陽水素メタノールエネルギーシステム
Solar Hydrogen-Methanol Energy System
for Transportation Sector in Japan
城田 英之、平岡 克英、菅 進、井亀 優
平成9年11月
No.97-25 日本機械学会 熱工学講演会 講演論文集

大気中CO₂濃度の増大による地球温暖化と、化石燃料の将来的な枯渇問題に対処する一つの方策として、海外の自然エネルギーの利用を想定した様々な水素エネルギーシステムが提案されている。著者らも、日本の運輸部門で消費されている石油燃料を海外の太陽光発電を利用して得られる水素で代替する太陽水素エネルギーシステムの評価研究を進めている。太陽水素エネルギーシステムの下でメタノールを供給するシステムを太陽水素メタノールエネルギーシステムと名付ける。このシステムは、化石燃料の消費低減と大気中のCO₂濃度低減の観点からCO₂を再利用するものであり、エネルギーフローとしては新たに化石エネルギーを消費せず、CO₂を排出しないシステムとなる。しかしこの場合、大面積光発電設備等のような大規模設備を要するため、設備製造時に投入される化石エネルギーと排出されるCO₂をライフサイクルで評価(LCA=Life Cycle Assessment)する必要がある。

本報告では、日本の運輸部門における全エネルギー消費量の約84%を占める自動車消費している石油燃料をメタノールに代えて供給する太陽水素メタノールエネルギーシステムの概要及びシステム的设计条件を示すとともに、その化石エネルギーの消費低減とCO₂排出量低減について現状レベルの太陽電池(SOG-Si)技術で評価した結果を示した。

システムの化石エネルギー投入量を評価するため、火力発電のみを考慮した火力ベースと、水力と原子力を含めた全電力ベースの2つの場合について電力への化石エネルギー投入量を計算し、等価年数を算出した。

評価の結果として、日本の運輸部門の自動車が消費している石油燃料をメタノールに代えて供給する太陽水素メタノールエネルギーシステムは、その耐用年数を30年とした場合、太陽電池の現状技術で化石エネルギー消費量とCO₂排出量を約4分の1～3分の1に低減することができることを示した。

メタノールエネルギーシステム下の
ディーゼル機関からのCO₂回収
CO₂ Recovery from Diesel Engines
in a Solar Methanol Energy System
平岡 克英、井亀 優、菅 進、熊倉 孝尚
平成10年1月
日本船用機関学会誌 第33巻第1号

日本の運輸部門は1994年度全部門エネルギー最終消費量の24.1%、原油換算で9,081万klを消費しており、特に石油依存率は98%と高い。今後のエネルギー事情を考慮すると何らかの形で運輸部門に自然エネルギーを導入する必要がある。その方法の一つが海外の自然エネルギーを利用して製造した水素と回収したCO₂とで製造するメタノールを供給するメタノールエネルギーシステムである。

このメタノールエネルギーシステムにより運輸部門が1994年度に消費した石油燃料をすべてメタノールに代替すると仮定すると、必要なメタノールは低位発熱量基準で換算して18,350万トンとなる。メタノール製造地をオーストラリアの砂漠と仮定すると日射量は0.24kW/m²であり、電池効率を10%をすると必要な太陽電池の面積は8,100km²となる。輸送に必要なタンカーは、輸送距離を約8,900km、航海速度を15ktとすると、23.9万DWメタノールタンカー63隻、14.5万DW液化CO₂タンカー144隻になる。

このメタノールエネルギーシステム下で使用する船用メタノールディーゼル機関からCO₂を回収する場合、装置の小型化が可能な化学吸収法が適し、吸収液としては再生が可能で吸収効率が高いモノエタノールアミン水溶液が適すと考えられる。小型の充填塔を用いて行ったCO₂吸収と再生に関する基礎的実験結果およびこの結果をもとに作成したCO₂回収装置内のCO₂移動計算モデルは別に報告している。

このCO₂移動計算モデルを用い、出力1万kW熱効率50%の主機ディーゼル機関の排熱を利用して排気ガス中のCO₂回収について解析した。すなわち、溶液濃度、液・ガス・蒸気供給速度、再生温度等のCO₂回収パラメータがエンジン性能とCO₂回収率に及ぼす影響を調べた。CO₂回収に必要な全熱量をエンジン排気ガスから得ることになるとエンジン吸気の補助的な過給動力を必要とし、エンジン正味出力の低減が避けられない。例えば、最大CO₂回収率を80%とするとエンジン出力は約20%低下する。また、CO₂回収率とエンジン出力低下は、排気ガス流量に対する再生蒸気の流量の比に依存することを示した。

<材料加工部>

アルミニウム構造の溶接変形
Weld deformations in aluminium structures
松岡 一祥
平成9年5月
軽金属溶接構造協会、平成9年度研究発表会講演集

アルミニウム合金溶接構造物の溶接変形は鋼製のそれに比べて大きい。その理由は、アルミニウム合金の剛性、熱容量が鋼材に比べて小さいことに併せて、熱伝導率が大きいことによる。

溶接変形には、面外変形、横収縮、縦収縮などがあり、それぞれ研究されてきたが、それらには相互に矛盾する結果も見られた。これらの変形を統一的に評価しようとする試みもほとんど行われていない。また、基礎継手による実験結果を複雑な実構造物に適用する方法についてはほとんど取り扱われていない。

本報告は、構造物の溶接変形を計算する方法を提示したものである。

まず固有応力法について概説し、収縮力と縦および横変形の関係を示した。また、有限要素法(FEM)で溶接変形を計算する方法を示し、計算の基礎となる数値をA5083合金について定めた。

以下に得られた主な結論を示す。

- 1) 縦収縮変形には部材形状の影響が大きい。
- 2) これを計算するためには、収縮力を求め数値解析等を行う必要がある。ただし、平均的な縦収縮量は収縮力と断面積から計算できる。
- 3) 横収縮量は裏面までの溶融の程度により定まる部分と収縮力による部分に分けられる。
- 4) 上記前者は3から8mmの板厚では突き合わせ溶接で0.3mm程度であり、後者は縦方向と同じ収縮力により(1)式で算定される。
- 5) 収縮力は縦方向および横方向共に共通と考えられ、その値は入熱量と比例する。

以上の結果を用いてA5083合金については有限要素法による構造物の溶接変形の計算ができる。

〈装 備 部〉

Measurements of Fluorescence Decay
of Formaldehyde

ホルムアルデヒドの蛍光減衰の測定

山岸 進

平成9年9月

Proceedings of 19th TASK Leaders Meeting
IEA Implementing Agreement Energy Conservation
and Emissions Reduction in Combustion

LIF (Laser Induced Fluorescence) は極めて高感度な検知であり、燃焼計測に広く用いられるようになってきた。蛍光は、時間履歴を持っており、この間に他の粒子との衝突等によるエネルギーの失活(クエンチング)がある。成分識別と定量測定の精度向上には、蛍光時間履歴を把握することが重要である。しかし、クエンチングについては、特に、多原子分子については精度の良い理論的な予測は困難であり、実験的研究が必要と考えられる。また、実際の火炎計測では、ラマン散乱や雑音光が混在するため、これらを分離、評価する工夫も重要である。

これまで、筆者らは、炭化水素炎の火炎面近傍をYAG THG (354.7nm) レーザで励起したときのスペクトルを分析し、火炎帯の前縁部分で見られるスペクトルにはホルムアルデヒド (H_2CO) の蛍光が強いことを確認し、その特性を調べてきた。本報告では、蛍光の時間履歴をストリークカメラで直接測定して、減衰定数を求めるとともに、スペクトルの分離と雑音の評価法について検討した。

用いたストリークカメラの時間分解能は50psecであり、減衰定数測定には時間的に十分な分解能を有している。レーザ(YAG THG)は、繰り返し数10Hz、半値幅は7nsecである。測光は入射レーザビームに対して 90° の方向から行き、 $f=250\text{mm}$ 、分解能0.221nm/chの分光器(CHROMEX250IS)でスペクトルを分析した。

蛍光履歴解析は、最小自乗法にもとづく Iterative convolution 法を用いた。ラインフィティングの結果、大気圧下における H_2CO の蛍光履歴は、単一指数関数で近似できることが分かった。振動スペクトル全体にわたって各枝が類似したパターンを持つことから、振動準位間のエネルギー遷移が非常に速く行われており、衝突による影響は少ないと考えられる。減衰定数の平均値は約45nsecである。しかし、その値は、各枝間でばらついており、この要因についての考察は今後の課題である。スペクトル分離に関しては、火炎中の蛍光とラマンスペクトルの混合した多チャンネルデータについて主成分分析を試み、ラマン光との分離抽出及び雑音レベルの評価を行った。

ホルムアルデヒドの蛍光スペクトル分離について
Discrimination of Fluorescence Spectral
of Formaldehyde

山岸 進

平成9年11月

第35回燃焼シンポジウム講演集

LIF (Laser Induced Fluorescence) は極めて高感度な検知であり、燃焼計測に広く用いられるようになってきた。蛍光は、時間履歴を持っており、この間に他の粒子との衝突等によるエネルギーの失活(クエンチング)がある。成分識別と定量測定の精度向上には、蛍光時間履歴を把握することが重要である。しかし、クエンチングについては、特に、多原子分子については精度の良い理論的な予測は困難であり、実験的研究が必要と考えられる。また、実際の火炎計測では、ラマン散乱や雑音光が混在するため、これらを分離、評価する工夫も重要である。

これまで、筆者らは、炭化水素炎の火炎面近傍をYAG THG (354.7nm) レーザで励起したときのスペクトルを分析し、火炎帯の前縁部分で見られるスペクトルにはホルムアルデヒド (H_2CO) の蛍光があることを確認し、その特性を調べてきた。本報告では、蛍光の時間履歴を直接測定して、減衰定数を求めるとともに、スペクトルの分離と雑音の評価法について検討した。

使用したストリークカメラの時間分解能は50 psecであり、減衰定数測定には時間的に十分な分解能を有している。蛍光履歴の解析は、最小自乗法にもとづく Iterative convolution 法を用いた。ラインフィティングの精度向上を図るため、励起レーザプロファイルを測定して、これを装置関数を含む入力として、蛍光減衰を指数関数型に仮定すると、大気圧下における H_2CO の蛍光減衰履歴は、単一指数関数で近似できることが分かった。減衰定数の平均値は約45nsecである。しかし、その値は、各枝間でばらついており、この要因の一つと考えられる遷移枝個々の特性についての考察は今後の課題である。スペクトル分離に関しては、火炎中の蛍光とラマンスペクトルの混合した多チャンネルデータについて、主成分分析を試み、雑音レベルの評価を行った。

〈システム技術部〉

The GO-FLOW Reliability Analysis Methodology

-Analysis of Common Cause Failures
with Uncertainty

GO-FLOW信頼性解析手法

-不確実さを考慮した共通原因故障解析-

松岡 猛、小林 道幸

平成9年

Elsevier Science 社

Nuclear Engineering and Design Vol.175 (1997)

船舶技術研究所で開発を進めている GO-FLOW 手法において不確実さ幅を考慮して共通原因故障解析を実施する機能を整備した内容についての論文である。

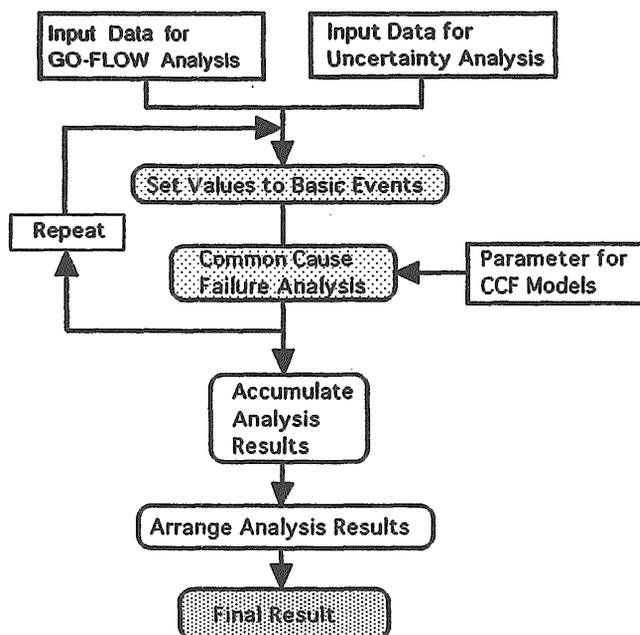
本論文においては、まず GO-FLOW 手法の概要を述べ、次に共通原因故障の GO-FLOW 手法における取り扱い方法、機器の不確実さを幅を考慮しながら共通原因故障からの寄与を評価する手順について述べている。更に、解析対象として、加圧水型原子炉補助給水系 (AFWS) を取り上げ、2 群の共通原因故障機器群を考慮し MGL モデルを用いた解析例の紹介をおこなっている。

共通原因故障解析を実施する場合には同時に故障する機器の種々の組み合わせを考慮する必要があり、考慮すべきミニマル・カット・セットも異なってくる。また、近年の計算機能力の向上もあり従来困難であった長時間を要する計算も実施可能となった。そこで、

本解析においては図に示す解析手順を採用した。この方法においてはミニマル・カット・セットを求めることなく共通原因故障を考慮した GO-FLOW 解析を故障確率を変化させて多数回実施する。それらの結果を最後に集計し全システムの信頼度分布を求める。

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台はそれぞれ個別の電動機により駆動される電動ポンプ、1台はタービン駆動ポンプである。このうち少なくとも1台のポンプで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。要求される機能継続時間は24時間と設定した。共通原因故障機器群としては、(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} の2群を選び、 β ファクタ法を適用した。故障確率の分布としては、チェック弁故障、タンク漏洩には正規分布、タービン起動失敗には対数正規分布、電動機・ポンプの運転中の故障にはヒストグラム分布を与えた。試行回数として、5000回について実施した。

GO-FLOW 手法において不確実さ幅を考慮した共通原因故障解析を実施する機能が整備された。ミニマル・カット・セットを求める事なく直接的に解析する方法であり、従来困難であったフェーズドミッション問題における不確実さ解析も実施できるようになった。



船舶信頼性情報を利用した
フォールトツリー・モデルと
GO-FLOW 解析の検討

Study of FT Modeling and GO-FLOW Analysis
by using SRIC data

桐谷 伸夫
平成9年5月

The Marine Engineering Society in Japan
Proceedings of The 58th Conference, May 1997

船舶信頼性調査は、船用機器の信頼性向上を目的として1982年より開始されて現在に至っており、機器の故障情報等のフィールド・データの収集、解析が実施されている。収集・整理されたデータの総数は約11万件であり、船舶信頼性のデータベース(SRIC Database System)として船舶技術研究所システム技術部において集積され、種々の信頼性解析の実施や評価が行われている。

これまでに実施された信頼性情報の解析例としては、標準の推進プラントを想定して、このようなフィールドデータに基づき各機器の故障率などの情報を導入したFTAがある。ここで提案された推進プラントFTモデルでは、種々のサブシステムが複数OR接続され、トッピイベントには「ディーゼル主機関正常運転に異常発生」が設定されている。本論では、最新の故障情報を導入したFTを検討すると共に、システム信頼性解析手法として有効なGO-FLOW手法を用いたシステムの信頼度やアベイラビリティの評価手法の試みを検討した。

GO-FLOW手法は、船舶技術研究所システム技術部松岡らによって開発されたシステム信頼性解析手法のひとつであり、対象システムを構成する各種機器の故障を表現するオペレータとそれらを結ぶ信号線によってGO-FLOWチャートと呼ばれるモデルを作成して、その信頼性評価を実施するものである。すなわち、モデル化されたオペレータに対して故障発生に関わるデータを与え、信号線を通る信号を処理することによってシステムの動作を検討するものであり、燃料油や空気、動力や電気信号の具体的な流れによって表現される機関部モデルへの適用が容易である。またGO-FLOWチャートの作成においては、標準推進プラントFTへの評価を実施してより現実的なフローを実現した信号線の設置やオペレータの選択を実現したモデル化の検討を実施した。

<原子力技術部>

Measurements and calculations
of TLD responses backed by different media
for 20-40 keV monoenergetic photons

異なる媒質を後方にもつ熱蛍光線量計(TLD)の
20-40keV単一エネルギー光子に対する
応答測定と解析

成山 展照、波戸 芳仁、伴 秀一、平山 英夫
平成9年8月

Proceedings of
the First International Workshop on EG24

人体が高原子番号物質に隣接した状態で低エネルギー光子に照射されると、媒質からの2次電子や蛍光光子により、その境界で電子平衡状態における線量より大きな線量を受ける。一方、そうした線量を計算する上で必要なルーチンのうち、光電子角度分布のサンプリングに加えて、L殻からの光電子と蛍光光子の輸送計算ルーチンが、モンテカルロ輸送計算コードEGS4に最近組み込まれた。本研究では、その改良されたEGS4コードの後方散乱に対する適用性を調べるため、異なる媒質と後方で隣接したTLD(熱蛍光線量計)の線量をシンクロトロン放射光からの20-40keV単一エネルギー光子を用いて測定した。

実験は、高エネルギー加速器研究機構のフォトンファクトリー(PF)にて行った。0.38mm厚さのフッ化リチウムTLDに0.1mm厚の銅、0.5mm厚の銀、0.01mm厚の金をそれぞれ密着させ、20、30、40keV単一エネルギー光子をTLD側から照射した。その結果、40keV光子に対する銅、銀、金の後方散乱係数として、それぞれ1.36、2.13、1.38の値が得られ、その値は光子エネルギーの減少とともに小さくなった。また、後方散乱のみによって与えられるエネルギーは、全線量と自由空気中における線量の差から得られ、その値は、EGS4による計算値と誤差内で一致した。他方、光電子の角度サンプリングを行わない場合、すなわち、光電子の放出角度をもとの光子と同一の方向と仮定した場合、40keVにおける計算値は測定値を銅で40%、金で46%過小評価した。しかし、40keV以下では、蛍光光子の影響が支配的になるため、そうした依存性は観察されなかった。

以上、20-40keV光子によって照射された高原子番号物質からの後方散乱線量は、L殻の光電子と蛍光光子を考慮したEGS4計算値と実験値の間でよく一致した。

Responses and glow curves of
 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$, BeO and $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ TLDs
 to 10–40 keV monoenergetic photons
 from synchrotron radiation
 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$, BeO, $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ 熱蛍光線量計の
 放射光からの10–40keV単一エネルギー光子に
 対する応答とグロー曲線
 成山 展照、田中 俊一、中根 佳弘、浅野 芳裕
 中島 宏、平山 英夫、伴 秀一、波戸 芳仁
 平成9年11月
 Nuclear Technology Publishing
 Radiation Protection Dosimetry, 74巻, 3号

熱蛍光線量計 (TLD) は、原子炉や加速器等の放射線利用施設における線量測定に広く用いられる。その理由として、材料の種類が多くあること、サイズが小さいこと、直線域が広いことなどがある。しかし、いくつかの TLD について、低エネルギー領域における発光効率や線量応答の光子エネルギー依存性が指摘されている。そこで、本研究では、放射光の10–40keV単一エネルギー光子を用いて、 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$ (ホウ酸リチウム)、BeO (酸化ベリリウム)、 $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ (硫酸酸カルシウム) TLD のエネルギー応答、直線性を測定した。

実験は、高エネルギー加速器研究機構の放射光実験施設にて、Si (111) モノクロメータにより単色化された10, 15, 20, 30, 40 keV光子を用いて行った。 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$ 、 $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ は、粒径90 μm の素子が厚さ120 μm のポリイミドフィルム上に付着した形状を、BeO は、径1.2mmのガラスロッド中に粉末素子が封入された形を成している。TLD の読み取りには独自に開発した直線加熱方式のリーダーを用い、グロー曲線の面積を全積分することにより TLD 応答を得た。

その結果、 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$ のエネルギー応答は空洞理論値より8~20%小さい、すなわち発光効率の低下が観察された。逆にBeOのエネルギー応答は、空洞理論値より70%大きく、 $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ も、8~24%大きい値を示した。線量応答も同様に光子エネルギー依存性を示した。すなわち、 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$ の場合、Co-60 γ 線に対して650Gyまで直線性を示したのに対し、10keV光子に対しては300Gyで飽和を起した。また、BeOは2.6Gyまでエネルギーに依らず直線性を示したが、 $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ の直線領域は、Co-60 γ 線に対し0.5Gyまで、40keV光子に対しては1Gyまで観察された。また、両者のグロー曲線の変化も線量に応じて観察された。

<海洋開発工学部>

A Progressive Collapse Simulation
 of Multiple Point Mooring Dolphin System
 of VLFS in Waves
 超大型浮体式海洋構造物の多点ドルフィン係留系の
 波浪中崩壊シミュレーション
 齊藤 昌勝、加藤 俊司、安藤 裕友
 平成9年4月
 16th International Conference on
 OFFSHORE MECHANICS AND
 ARCTIC ENGINEERING

メガフロートのような超大型浮体式海洋構造物は、その規模と公共性から高い信頼性と安全性が要求される。係留系に関しては、浮体の漂流事故が最も懸念されるものであろう。何らかの理由により多点係留系の一部が破損した場合、係留反力の負担割合の変化によって多点係留系が漸次崩壊に至る場合も考えられる。そのような場合、係留系がどのように崩壊に至るかは係留系の設計において重要な情報である。しかし、係留系の崩壊現象を扱った例は見受けられない。

多点係留系の崩壊の契機には、次の二つが考えられる。

- ①波浪中での系の一部の初期通過破壊から崩壊に至る場合
- ②地震や衝突等の非継続的荷重により系の一部が破壊した後に波浪中で崩壊する場合

本論文では、①の場合に注目し、多点係留浮体運動の時間領域シミュレーションと波浪中での実験によって多点係留系の崩壊現象を再現し、両者の崩壊パターンを比較することでシミュレーションモデルの妥当性を検討した。また、漸次崩壊限界状態での係留系の安全性の評価指標として、係留系の一部の破壊から崩壊までの時間を確率変数とする確率密度および累積確率を導入し、長さ500mの浮体に対して13基の係留装置を等間隔に配置した場合のケーススタディを行い、時間領域シミュレーションを用いたモンテカルロ法により累積確率を求めた。

これらのケーススタディにより、①の場合において係留装置の破壊が浮体端部から中央に向かって進行する係留系の崩壊現象が確認された。また、波浪中で係留装置の破壊が生じた場合、極めて短い時間でほぼ100%崩壊に至ることが確認され、バックアップ係留の設置乃至は係留系の冗長性を高めるための工夫の検討の必要性が指摘された。

多点係留系の波浪中漸次崩壊特性
The Characteristics of Progressive Collapse
of Multiple Mooring System
of Huge Floating Structures in Waves
齊藤 昌勝、加藤 俊司、安藤 裕友
平成9年11月
日本造船学会論文集

構造物の安全性を評価するためには、起こり得る全ての事故を想定し、その発生確率を求める必要がある。超大型浮体式海洋構造物は多数の係留装置で係留されるものでその一部が何らかの原因でダメージを受けた場合その影響が他の係留装置におよび係留系全体が崩壊して浮体が漂流する事故が想定される。ここではこれを漸次崩壊と呼ぶ。

本論文では、多点係留系の漸次崩壊を引き起こす要因をまとめたイベントツリー図を示し、そのシナリオに沿って漸次崩壊現象の有無を確認する実験を行った。実験に基づき変動波漂流力の簡易計算モデルを構築し、波浪中で初期破壊が発生する場合を対象に初期破壊後の崩壊時間を求めるモンテカルロシミュレーションを実施した。

超大型浮体式海洋構造物の水平面内運動の固有周期は一般に長く、変動波漂流力に同調して大きな係留反力がかかる。変動波漂流力を求める場合ニューマン近似がよく用いられるが、超大型の箱形浮体の場合ニューマン近似がオーバーエスティメイトであることを挙動計測実験により示し、また、変動漂流力の時系列を計算するにあたって重畳積分することで波スペクトルの情報を含んだ1変数のインパルス応答関数を用いることにより計算時間が短縮されモンテカルロシミュレーションの実施を容易にした。

波浪中で初期破壊が発生する場合、時間の長短はあるがほぼ100%崩壊に至ることが実験およびシミュレーションから明らかになった。本シミュレーションに用いた係留装置の破壊特性においては、初期破壊後の崩壊時間の期待値は有義波高の減少に伴って長くなるが、分布は波高によらず極めて短い時間に集中している。また、耐力総計を一定にして係留基数を増やしても崩壊時間には有為な差は見られない。

〈水海技術部〉

Experimental study on deformation and fracture
of ice sheet by propagating water wave
進行波による氷板の変形と破壊に関する実験的研究
堺 茂樹、劉 曉東、笹本 誠
金田 成雄、泉山 耕
平成8年9月
アメリカ土木学会 海岸工学講演集(第25巻)

氷板で存在する海域では、氷板は波浪と共に運動し、構造物への衝突や海岸侵食などの多くの問題が起きている。氷板群内での波のエネルギーを見積もるには、氷板下での波の変化を理解する必要がある。氷板群に波が進入して氷板群内で破壊が進むと波浪に対する氷板群の影響が変化し、内部を伝播する波浪に変化が生じる。従って、波浪による氷板の破壊は、そこに形成される氷板群の特性及び氷板群による波浪変形を検討する際の重要な要素である。また、氷板が破壊するかどうかについては、氷板の変形の度合いに依存することから波浪による氷板の変形は破壊を考察するための基礎となる。そこで、模型氷を用いた造波実験を行い波浪による氷板の変形及び破壊特性について検討した。

実験はまず小さな波高で造波し、氷板の変形を計測する。次から徐々に波高を大きくし、同様の計測を行う。これを氷板に数本のクラックが発生するまで繰り返して行った。このような実験から、氷板内に波浪が進入した際の氷板の変形特性及び波浪による氷板の破壊特性について検討した。また、これらの点について、理論的考察も行い実験結果との比較を行った。

本研究の主要な結果は以下のとおりである。

- (1)氷板内での波高は水縁近傍で急激に低下し、その後氷板の中で徐々に低減を続ける。このような波高の減衰率は、波高を入射波高により無次元化し、まとめることが出来る。
- (2)氷板内の波速は開水域におけるものとは一般に異なるものとなる。線形理論による波速の計算結果は、実験結果と良い一致を示した。
- (3)弾性理論により、波浪による氷板の破壊条件を求めた。この結果は、実験結果と良い一致を示した。
- (4)波浪により氷板内に発生するクラックの間隔は波長の $1/4 \sim 1/2$ 程度となる。

〈大阪支所〉

Control of Corrosion Fatigue in Steel
by Paint Coating

塗膜による鉄鋼の腐食疲労制御

在田 正義、田辺 弘往

平成9年10月

The 10th Asia Pacific
Corrosion Control Conference (APCCCX)

海洋構造物、特に将来建造が予想されている超大型浮体構造物に注目して、そのメンテナンスシステムを構築するために必要となる技術の概要を示し、その中における塗膜防食及び塗膜による腐食疲労強度の改善の位置づけを示した。その上で、突き合わせ及び角回し隅肉溶接継手試験片を用いた人工海水中での腐食疲労実験結果の概要を述べ、メンテナンスシステムとの関係で検討を加えた。

海洋構造物のメンテナンスで必要となる技術としては、構造物の建築から廃棄までの劣化プロセス (EDP) の推定技術、稼働中の検査・補修技術及びその過程で得られたデータの蓄積及びそのデータベース化技術、得られた稼働中の検査データに基づく EDP の修正技術、最終的な稼働停止の条件の設定とその実行に関する技術である。塗膜による腐食の防止、腐食疲労の改善程度の推定技術は、EDP の精度向上のために必要な技術と位置づけることが出来る。

腐食疲労実験は、突合わせ溶接継手及び隅肉溶接継手試験片を用いて、空气中及び人工海水中の繰り返し曲げ試験として行った。実験のパラメーターは、継手種類、試験片に塗布したタールエポキシ塗膜の厚さ (50 μm 及び 200 μm)、空气中か人工海水中かという環境の違いの別である。実験結果、荷重方式による疲労強度の違いは、塗膜の有無に関係なく存在すること、この違いにもかかわらず塗膜が腐食疲労強度改善に効果があることは明確であること、また塗膜厚さが増すにつれてその効果が大きくなること等が明らかとなった。この結果及びこれまでに著者が行った、塗膜やその厚さ分布、継ぎ手の細部形状が腐食疲労改善に及ぼす効果についての同種の実験結果から、塗膜の仕様、塗膜の施工の良否、塗膜厚さの分布、塗膜の経年劣化をも考慮した場合の、塗膜付き鋼板の疲労強度に関する模式図を提案した。この模式図を利用することによって、塗膜仕様の選択、適切な施工の選択、こうした選定との関係での塗膜による防食をした海洋構造物の疲労強度の推定、さらには適切な検査及び補修時期の選定等が可能となる。