

## 所 外 発 表 論 文 等 概 要

<推進性能部>

船舶流体シミュレーションの可視化  
Visualization of Ship Flow Simulations  
牧野雅彦、日野孝則、日夏宗彦  
平成11年7月  
可視化情報学会  
第27回可視化情報シンポジウム論文集

平底模型船を用いたマイクロバブルによる  
摩擦抵抗低減実験  
Experimental Skin Friction Reduction by  
Microbubbles Using a Ship with a Flat Bottom  
高橋孝仁、角川 明、川島英幹、児玉良明  
平成11年7月  
日本流体力学会 '99年会講演集

流体の運動を表す基礎方程式を数値計算する CFD (計算流体力学) の発達により実用的な流れも計算可能になりつつある。当所においても、CFD に関する研究を精力的に続けているが、流れの可視化はこれらの CFD 計算結果の利用方法として極めて有効であると期待される。

ここでは、最近のいくつかの可視化例を報告している。高速貨物船の造る波を可視化することで、どの部分でどのような波が発生しているかを視覚的に把握する事が出来る。また、斜航状態および旋回状態のタンカーまわり流場の可視化では、斜航状態と旋回状態での随伴渦などの流場構造の違いが容易に理解できることが示された。

船型設計のツールとして抵抗が最小となる船型を、CFD 技術を用いて自動探索する船型最適化過程を可視化した。船型の最適化過程を解釈するためには、船型の変化とそれに伴う流場の変化を理解することが重要であり、船体形状と流場や抵抗値の関係がより直感的に把握でき有効な設計支援ツールとなる。

流体中の壁面近傍に微小翼をおくと摩擦抵抗を減少させる効果があることが知られている。このような微小翼 (LEBU: Large Eddy Break Up Device) まわりの乱流を LES (Large Eddy Simulation) 手法によって計算した。可視化により、物体表面で発生した縦渦が寸断されて、壁面近傍の乱流構造が変化することが示された。

これらの結果から、CFD の結果の解釈と活用のために可視化技術が極めて有効であることが分かった。

タンカーなど排水量型船舶では、摩擦抵抗が全抵抗の 8 割を占める。この摩擦抵抗を低減できれば燃費や速度の向上につながる。摩擦抵抗を低減する手法のなかで、マイクロバブルは船舶への実用化が最も期待される手法であり、実験で摩擦抵抗低減率 80% が確認されている。マイクロバブルは、微小な気泡を乱流境界層中へ混入し、境界層内の乱流構造を変えることで、摩擦抵抗を低減させる手法である。マイクロバブルを船舶へ実用化するための問題点は、抵抗低減に必要な流入空気流量が非常に多く、空気吹き出しに要する出力を含めた正味の出力低下に至っていないことである。従って、マイクロバブルの船舶への実用化のためには、抵抗低減に効率的なマイクロバブルの条件、例えば、境界層内の気泡分布を検討する必要がある。これらは内部流れを中心に検討されており、外部流中での最適なマイクロバブルの条件は解明されていない。

本研究では、外部流れにおいて、すなわち長さ 12 m の平底模型船を水槽で曳航することにより、微小気泡による摩擦抵抗低減を調査した。気泡吹き出し量を変更し、模型船の全抵抗及び船底 3 箇所に取り付けたセンサーにより局所摩擦抵抗を計測した。曳航速度は 5 m/s と 7 m/s の 2 速度で、摩擦抵抗低減効果の速度による相違も調べた。また、吹き出し部からの距離による局所摩擦抵抗の相違の原因を調べるため、センサー取り付け位置の船首側船尾側の 2 箇所で境界層内ポイド率分布を計測した。これらから以下の結果を得た。

- (1) 船体全摩擦抵抗成分の低減率は、曳航速度 5 m/s で約 50% に達する。
- (2) 船体全摩擦抵抗低減率は、同一の無次元化空気流量  $q$  に対し、5 m/s の方が 7 m/s より高い。
- (3) 全摩擦抵抗低減率が 5 m/s の方が 7 m/s より高いのは、局所摩擦抵抗計測から、下流における局所摩擦抵抗低減率の差によるとわかった。
- (4) 吹き出し直後 0.5 m の摩擦抵抗低減率の高い場所では、船底近傍で高いポイド率を示していたのに対し、吹き出しから 5.8 m 下流の摩擦抵抗低減率の低い場所では、境界層内に一様にポイド率は分布している。壁近傍のポイド率が摩擦抵抗低減率と関係が深いことがわかった。

今後は、気泡径も含めた気泡分布と摩擦抵抗低減との関係を調べる必要がある。

## &lt;運動性能部&gt;

Estimation of Wave Drift Force by  
Numerical Wave Tank

数値造波水槽による波漂流力の推定  
谷澤克治、南真紀子、内藤 林  
平成11年 6月

Proceedings of the 9th International Offshore  
and Polar Engineering Conference

運動性能部波浪外力研究室では、特別研究「荒天下における航行不能船舶の漂流防止等に関する研究」の一環として大波高時の漂流運動の研究を担当している。著者らは本研究にはこれまでに開発してきた時間領域における波浪中浮体運動の非線形数値計算法、通称数値造波水槽が強力なツールとして活用できると考えているが、これには本数値造波水槽による波漂流力の計算精度を検証しておく必要がある。そこで平成10年度には、規則波中に置かれたルイスフォーム断面を有する2次元浮体を対象に、数値造波水槽で求めた波漂流力と線形理論による推定値ならびに実験計測値との比較検討を実施し、波漂流力についても数値造波水槽で高精度に計算可能であることを確認した。

本論文は以上の精度検証の概要について述べたもので、前半では数値造波水槽の概要を簡単に紹介し、後半では数値計算結果と理論値ならびに野尻らによる実験値との比較を紹介している。比較した項目は(1)固定された浮体による波の反射透過係数、浮体に働く1次の流体力、波漂流力、(2)自由に動揺する浮体による波の反射透過係数、浮体の3自由度の動揺振幅、波漂流力等である。論文ではこれらの項目について、入射波の波長と波高をパラメータとして変化させた詳細な比較結果を示すことで、数値造波水槽が幅広い周波数帯で高精度に波漂流力を推定可能であることを検証している。また、波漂流力に対する波高影響についても検討を行い、横揺れ固有周波数に近い帯域で波漂流力に対する波高影響が強まることを示している。

以上、本論文は大波高時の漂流運動の研究に数値造波水槽が活用できることを精度面から検証したものである。

On Engine Power and Manoeuvring Safety  
of High-speed Small Crafts

小型高速艇の機関出力と操船安全性について  
上野道雄、旗手光清、鈴木輝昭  
佐藤和範、谷上明彦  
平成11年 9月

Proceedings of Fifth International Conference  
on Fast Sea Transportation

海洋レジャーの普及に伴いプレジャーボート等が増加し小型船舶の事故も増加傾向にある。小型船舶の特徴の1つとして船体と機関の組み合わせを変更できることが上げられるが、過大な出力の機関を搭載することは、船速の増加によって旋回中に乗船者が投げ出されたり、機関重量の増加に伴う船尾トリムの増大によって視界が狭まり他船と衝突するなどの重大な事故につながる可能性がある。

小型船舶の適正な機関出力すなわち許容される最大出力を定める基準が設けられているのは、船体に対して過大な機関を搭載することによる海難事故を未然に防ぐという意味合いを持つ。日本小型船舶検査機構(JCI)の基準は米国ボートヨット協議会(ABYC)の規則を基礎にして定められたものであるが、このABYC規則はヨーロッパ各国でも同種の基準の基礎となっており、実態によく適合した規則と考えられている。

しかし、JCI基準もそのもとになったABYC規則も機関出力と操船安全性を何らかの物理的指標を用いて明確に関連づけているとはいえない。現在、国際標準化機構(ISO)において対象船舶の拡大に伴う最大機関出力に関する基準等の見直しが検討されているが、有意な議論を通して合理的な基準を策定するためには、機関出力と操船安全性の関係を明確にすることが不可欠であると考えられる。

本報告では、まず操船安全性を表す物理的指標として乗船者に働く横加速度と危険回避距離を取り上げて、この指標と機関出力の関係を解析的検討と実艇試験を通じて明らかにした。さらにこれらの指標を用いたJCI基準とISOの操縦性試験案を解析し、小型船舶の実態調査も含めて、これらの基準等が確保しようとしている操船安全性について考察した。その結果、JCI基準は船が大きくなるに伴って許容しうる最大横加速度は減少することを示していると解釈されることが明らかとなった。一方、ISOの操縦性試験案は限られた大きさの小型船舶に適用されるべきものと考えられることがわかった。

## 旋回運動する船体の船尾流場

Stern Flow Field of a Ship in Turning Motion

二村 正、宮崎英樹、上野道雄、野中晃二

平成11年10月

可視化情報学会誌 Vol. 19 Suppl. No. 2

タンカーの座礁事故による大規模な海洋汚染を契機に、国際海事機関 (IMO) では船舶の操縦性能面からの海難事故減少対策として、極端に操縦性能の悪い船舶の排除を目的とした「操縦性能暫定基準」が総会決議された。著者らは、この「操縦性能暫定基準」等に対応するため、船体に働く操縦流体力の精度良い推定法の開発を進めているが、そのためには、船体まわりの流場の把握が重要である。そこで、これまで斜航運動状態の船体まわりの流場計測を行ってきたが、実際の運動状態に近い旋回運動中の流場の資料は少なく、公表されている詳しい流場計測データは東大で行われた数例のデータのみである。

そこで、大型タンカー船型の旋回運動中の船尾流場を5孔ピトー管により計測し、以前に行った斜航状態の流場と比較した。その結果、旋回状態の伴流分布の特徴としては、渦の集中度の高い位置に伴流の増速現象が見られ、この現象は翼車型流速計による計測でも確認された。旋回状態の渦度分布の特徴は、船尾縦渦が斜航状態に比べ非常に強くなることである。この渦度分布の違いは、船尾部への幾何学的な流入角が回頭運動により大きくなるためであることが明らかとなった。このような旋回運動中の特徴的な流場の様子が把握できた。

また、旋回運動状態の流場の数値計算例を示し、流場計測結果と比較した。この計算法は当所で最近開発された NEPTUNE コードを筆者らの一人が操縦運動用に拡張したものである。実用的な数値計算法としては比較的良く流場が計算できていると考えられるが、定量的には伴流が全体的に弱いこと、船速よりも早い伴流の発生が計算できていないこと、渦度分布では渦強さが計測値に比べ小さく、形状についても十分に計算できているとは言い難いことなど、今後更に計算法について検討を進める必要があることが明らかとなった。

## &lt;機関動力部&gt;

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について

Solar Hydrogen-Methanol Energy System  
for Transportation Sector in Japan

城田英之、平岡克英

平成11年4月

日本造船学会誌 第838号

大気中 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 濃度低減の観点から CO<sub>2</sub> 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、CO<sub>2</sub> を排出しないシステムとなる。しかしこの場合、大面積の光発電設備や長距離輸送タンカーのような大規模な設備を要するため、設備製造時に投入される化石エネルギーとこれに伴って排出される CO<sub>2</sub> をライフサイクルで評価する必要がある。

本解説では、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の概要及びシステムの設計条件を示した。そしてさらに、その石油代替効果及び CO<sub>2</sub> 排出抑制効果について、太陽電池への投入エネルギーに関する詳細なデータを基に、①現状の太陽電池製造開発技術レベルを最も良く反映していると考えられるケース、及び②将来的に太陽電池製造開発技術レベルが向上した場合のサンプルケースの2通りについて評価を試みた結果を示した。

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、現在自動車が消費している石油燃料に対して、太陽電池の現状技術で化石エネルギー消費量と CO<sub>2</sub> 排出量を約4分の1~3分の1まで低減することができること、また、太陽電池技術開発のさらなる進歩によって、化石エネルギー消費量と CO<sub>2</sub> 排出量を約7分の1~8分の1まで低減することができる可能性があることを示した。

Study of Emission Characteristics of Air Pollutants  
from 4-stroke Marine Diesel Engine with Emulsified  
Fuel at both Shop and On-board Tests

陸上及び海上試験における乳化燃料を使用した船用  
ディーゼル機関からの大気汚染物質の排出特性の研究  
中島康晴、高杉喜雄、菊地正晃、桑原孫四郎  
西尾澄人、石村恵以子、張 潔、山本訓史  
平成11年9月

Proceedings of 4th International Conference of  
Internal Combustion Engines

陸上試験及び海上試験において、乳化燃料を用いた4  
サイクル船用ディーゼル機関からの大気汚染物質の排出  
特性を検討した。さらに、乳化燃料による実船搭載機関  
の長期運転試験の後、燃料系内の主要部品における腐食  
及び摩耗の検査、ならびに燃焼・排気系内における付着  
物の分析を行い、乳化燃料がこれらに与える影響につい  
ても検討した。

陸上試験の結果、以下の排出特性が明らかになった。  
NO<sub>x</sub> は乳化燃料の加水率の増加に対して減少し、NO<sub>x</sub>  
低減率はC重油よりもA重油の方が高い。また、NO<sub>x</sub>  
低減率は負荷率の上昇に伴って向上した。亜酸化窒素  
(N<sub>2</sub>O) はA重油及びB重油を基材とした乳化燃料の排  
ガス中にはほとんど検出されなかったが、C重油の場合、  
50 ppm程度含まれ、加水率の増加とともに減少した。  
一酸化炭素(CO)は加水率の増加とともに低負荷  
域では増大したが、高負荷域では減少した。CO低減率  
はA重油よりもC重油の方が高い。炭化水素(HC)及  
び粒子状物質(PM)は低負荷域では加水率の増加とと  
もに増大したが、高負荷域では加水率の増減による顕著  
な変化は見られなかった。燃料油性状の違いによる影響  
は、HCには見られなかったが、PMではC重油使用の  
方が排出率が増大した。海上試験においても、陸上試験  
とほぼ同様な排出特性が確認された。

次に、部品検査及び付着物分析の結果、燃料噴射弁及  
びポンプにおいて、通常燃料を使用した場合よりもわず  
かながら腐食及び摩耗が進行していること、また、ピス  
トンヘッド上に硫酸カルシウムを主成分とする付着物が  
堆積し、さらにわずかながらピストン表面の部材が溶け  
た跡とみられる模様が存在することが観察された。しか  
し、当初懸念された摩耗による燃料噴射孔の拡張や、燃  
料パイプの著しい腐食等は観察されなかった。ピストン  
ヘッド及び燃料噴射弁については、機関の安全性の観点  
から、材質、形状等を再検討する必要性が指摘されるも  
の、全体としては乳化燃料の使用は機関部品に対して  
著しい支障を与えないと考えられる。

以上の結果から、4サイクルディーゼル機関における  
NO<sub>x</sub>低減技術としての乳化燃料の有効性が確認された。

内航船機関室通風システムの実船計測  
On-board Measurement for Engine Room  
Ventilation Systems of Domestic Vessels

青木修一、松村隆義、立見藤雄  
平成11年10月

日本船用機関学会  
第63回マリンエンジニアリング学術講演会講演予稿集

船用主機に与える影響、機関室での作業環境の観点か  
ら運輸施設整備事業団共有の内航船3隻を用いて機関室  
通風システムおよび機関室内の風速、風温、静圧を実船  
計測した。3隻の供試船の内499総トン型貨物船A丸、  
749総トン型油送船B丸は在来型のダクト方式機関室通  
風システム、6,000総トン型RO/RO船C丸はダクトレ  
ス方式である。A丸の風温は機関室主床板上の主機周  
りが外気温に対して10.5~16℃高く、燃料油タンク付  
近で20℃ほど高温である。また、乾舷甲板上の主機周  
りでは11~14℃高い。C丸の風温は機関室主床板上の  
主機周りが外気温に対して20~23℃高い。乾舷甲板上  
の主機給気ダクト近くでは外気温に対して3.5℃高く、  
その他の主機周りは13~18℃高い。気流計測の結果、  
A丸、C丸共に機関室主床板より乾舷甲板の方が空気の  
流れは良い。通風ダクトの抵抗計算を行った結果、A  
丸の通風システムは定格風量の時には主ダクト終端で残  
存総圧がマイナスとなり、定格風量を流せない。更に定  
格風量の50%風量時でも、通風機総圧はダクト抵抗の一  
番小さな主機給気用パンカールブルに計測風速を与え  
るに過ぎない。B丸では定格風量の62.3%風量で、通風  
機総圧は主機関用ダクト吹出口に計測風速を与えられ  
る。勿論、定格風量では主ダクト終端までに総圧はマイ  
ナスとなるので、定格風量は流せない。A丸、B丸共に  
計画風量を流すためには現在よりダクト断面を太くする  
か、送風機総圧の大きな機種を採用すべきである。C丸  
についてはダクトレス方式という優れた通風システムを  
生かすためにも、CFDを用いた機関室内気流のシミュ  
レーションまたは風洞や水流モデルを用いた流れの可視  
化により適切な機関室通風を計画すべきである。

昨年制定されたJISに基づき機関室通風容量の検討を  
行ったが、通風機容量は3隻共に不足しており、A丸、  
B丸、C丸の順に不足度は大きい。

今後これらの結果を踏まえて、内航船の機関室通風シ  
ステムの設計を見直し、適正な機関室換気を行う必要が  
あると思われる。

## &lt;材料加工部&gt;

キーレスプロペラテーパ接触部の  
力学的挙動のシミュレーションStress Analysis on Tapered Joint Surface of  
Keyless Propeller by Computer Simulation

高井元弘

平成10年9月

日本船用機関学会誌 第33巻第9号

船舶のキーレスプロペラや動力伝達軸の継ぎ手フランジなどでは、テーパ結合や焼きばめによる結合が使われている。キー方式に比べ構造が簡単なだけでなく、キー溝底すみ部の応力集中による強度低下がないなどの利点がある反面、接触面の圧入しり、加工仕上げ、擦り合せなどの圧入設計や工程の管理に高度な技術を必要とする。

現在、固定ピッチ船ではほとんどの場合テーパ軸にプロペラボスを圧入してプロペラを取りつけるキーレス方式が採用されており、キー方式に比べその信頼性の高さは周知のとおりであるが、トルクスリップなどのトラブルの発生は皆無ではなく、圧入工程管理の問題や過大な負荷によるものと推定されている。

圧入部の信頼性の確保やコストダウン、軸系の軽量化、効率向上を目的として圧入部の肉厚や接触部の長さの減少化の検討や接触部の表面粗さや摩擦係数に関する研究が実機プロペラや縮尺モデルを用いて行われているが、実機試験は費用や労力の面で、モデル試験では接触面における力学的挙動の相似則の問題がある。

数値的手法を使った仮想的な実験は実機とモデルの関係を明らかにする有力な手法と考えられる。そこで、本報告では、実機プロペラを対象としてテーパ軸への押込み過程から押込み後のトルクスリップまでの過程を有限要素法 (FEM) によりシミュレーションし、ボスと軸のテーパ接触部の力学的挙動について検討した。

押込み量と押込み荷重の関係、テーパ結合におけるスリップトルク、ボスと軸のテーパ接触面における応力分布など良く推定することが可能となった。また、プロペラボス材料、軸材料の弾塑性特性を考慮したモデルにより、テーパ接触部が塑性変形までにいたる過大押込み時の挙動についても明らかにすることができた。

Fatigue Behavior of Stiffened Panel  
Subjected to Pulsating Load

## 防撓板の疲労挙動

松岡一祥、田中義照、安藤孝弘、佐久間正明  
平成11年7月

International Institute of Welding

IIW Doc. XIII-1786-99

構造軽量化のために桁の高さを大きくし、ウェブの板厚を小さくすると、せん断荷重で桁が座屈することがある。桁にせん断座屈が生じると、(1)崩壊、(2)座屈の面外変形による疲労の2つの問題が生じる。桁のせん断荷重下での崩壊強度については多くの研究が見られるが、座屈の疲労強度に及ぼす影響についての研究は見られない。本報は、せん断荷重によりウェブが繰り返し座屈する場合の疲労強度を取り扱っている。

防撓材と上下の面材により仕切られた2つのウェブを持つ桁の模型を5体製作し、1体で静的崩壊試験を、残り4体で疲労試験を実施した。

崩壊試験では、ウェブの曲げひずみ、面内主応力およびその方向に注目し、座屈前および座屈後挙動について検討した。疲労試験は、座屈荷重直上の最大荷重の1試験と、座屈荷重以下の3試験を実施した。

疲労試験結果を崩壊試験における座屈前および座屈後挙動と比較して検討し、以下の結論を得た。

- 1) 疲労挙動は全体座屈荷重を境界にして2つに分けることができる。
- 2) 最大荷重が全体座屈荷重に到らない座屈前の場合は、ウェブの面外変形により生じる曲げ応力により疲労被害が生じる。
- 3) 最大荷重が全体座屈荷重以上となる場合には、ウェブに張力場が生じる。生じた張力場内の引張応力は降伏応力となるため、疲労寿命は非常に短くなる。

Fatigue Strength Improvement of Box Welds  
by Low Transformation Temperature  
Welding Wire and PWHT

低温変態溶接ワイヤと溶接後熱処理による  
角回し溶接部の疲労強度の改善  
松岡一祥、太田照彦、渡辺 修  
前田芳夫、鈴木直之、久保高広  
平成11年 7月

International Institute of Welding  
IIW Doc. XIII-1758-99

低温変態材料の溶接ワイヤおよび溶接後熱処理によって、角回し溶接継手の疲労強度を改善した。溶接ワイヤに用いた合金（10%ニッケルと10%クロムを含む）は、冷却過程の180°Cでオーステナイトからマルテンサイトへの変態が始まり、室温で変態が終了する。この変態は体積膨張を伴うため、溶接部には圧縮の残留応力が導入される。この圧縮残留応力により、溶接のままでも疲労強度の改善が見られるが、本報では、この効果をより確実なものにするために、溶接後熱処理を実施した。

溶接後熱処理は、720°Cで1時間保持しその後空冷した。これにより、溶接金属総てをオーステナイトに変態させた後、冷却過程で同時にマルテンサイト変態させ、圧縮残留応力の導入を確実なものとした。

780 MPa 級鋼を母材として、通常の溶接材料を用いた溶接継手と、この溶接材料と溶接後熱処理による溶接継手を用いて、完全片振り、試験速度3から40 Hzの疲労試験を実施した。通常の溶接材料を用いた場合に比べ、この溶接材料と溶接後熱処理による溶接継手の疲労強度は3倍になった。また、低温変態材料を用い溶接後熱処理した試験片の疲労亀裂発生箇所が、通常の溶接止端部ではなく、溶接金属内のブローホールであったことから、止端部の疲労強度は通常の3倍を超えるものであったと結論された。

Analytical Solutions for Transient Temperature  
of Semi-Infinite Body Subjected to 3-D  
Moving Heat Sources

3次元移動熱源による半無限体中の過渡温度の解析解  
松岡一祥、N. T. Nguyen、太田昭彦  
鈴木直之、前田芳夫  
平成11年 8月  
The Welding Journal

溶接残留応力および変形の生成機構には溶接過程の温度履歴が大きな影響を与える。この温度履歴の計算方法は種々検討されてきたが、その中に2次元正規分布型のエネルギー密度の熱源を移動させる方法がある。しかし、この方法では、板厚方向の分布は一様であり、実際の適用には問題がある。

本研究では、移動熱源のエネルギー密度の分布を移動方向前方、後方、移動方向の垂直方向および板厚方向の都合4方向で変化させることができるように分布幅を代表する4つのパラメータを用いて定式化し、溶接による半無限体中の過渡温度分布を計算できるようにした。

入熱量と4つのパラメータの関係、ここで提案した分布関数と既存研究の分布関数の比較等の検討を行った後、実験を行い、計算方法の検証を行った。

実験は、正方形板上に「く」の字型の溶接ビードを置くもので、折れ曲がる溶接線の影響が計算で正しく評価できるか検証することを目的としている。温度計測は、熱電対を用い、ビード直下、溶接止端部直下、溶接線折れ曲がり部近傍の表面で実施した。

実験結果と計算結果を比較検討して、ここで提案した過渡温度の計算方法が有効であることを確認した。

## ライフ・サイクル・アセスメント (LCA)

—その概要と船舶への応用—

Life Cycle Assessment (LCA)

—Outline and its Application to Ships—

千田哲也、亀山道弘、成瀬 健、木原 洗

平成11年9月

日本船舶機関学会誌 第34巻第9号

## セラミックスの摩擦面の力学的挙動

Mechanical Behaviors of Ceramics

at the Wear Surfaces

千田哲也

平成11年9月

第31回日本セラミックス協会

高温材料技術講習会テキスト

ある製品に関する地球温暖化、資源枯渇等の環境負荷を、原料採取から製造、使用、廃棄までの環境影響をすべて算出して評価する手法として、ライフ・サイクル・アセスメント (LCA) が提唱されている。LCA では、製造から廃棄までに投入された資源と排出された物質のすべてを調べ、その環境への様々な影響を見積もらなければならない。現実には簡略化や不足データの補完のノウハウが必要である。このような LCA 手法の概要を解説し、当所で進めている船舶の LCA の紹介を行った。

LCA は目的と調査範囲の設定、インベントリー分析、影響評価及び解釈の4つの段階に分けられる。目的として実施理由、報告の対象者、結果の用途を、調査範囲として対象範囲、機能単位、手法・前提・制約条件等を設定する。次に、製品の生涯にわたる物質の収支すなわちインベントリー分析として、構成材料を重量別に集計し、加工・運搬等のエネルギーや廃棄物を積算する。環境影響評価では、環境影響領域ごとの負荷を定量的に求める。まず、排出物ごとの集計を行い、影響領域の種類を定義して排出物を割り振り、影響度を定量化する。異なる環境影響の統一的な評価は現実には困難である。データの確実性を評価し、結果の妥当性の検証を行う段階を解釈と呼ぶ。

造船に関する LCA の問題点を検討するために行っている油タンカーに関する LCA の試解析の例を紹介した。建造段階に関して、造船所における鋼板の搬入、切断、曲げ、溶接、塗装、及び機関・配管のぎ装等の各工程ごとの電力・資材・廃棄物等の調査を行った。投入された資材は船または工程ごとにより正確に把握されているが、廃棄物は工場単位の数値を按分して割付ける等の推定が必要になる。溶接のヒュームや塗装溶剤の飛沫等の大気排出物は測定・記録されていない。一方、設計資料等から得た数値を用いた船1隻のインベントリー分析として、船舶建造を鋼板の溶接のみと簡略化した場合の環境負荷として、資源消費、大気・水中への排出及び固形廃棄物にわけて集計した例を示した。この例では、たとえば二酸化炭素排出量は2,000トンと見積もられた。

セラミックスの摩擦面でみられる変形・破壊等の力学的挙動について、研究の現状紹介とともに摩擦面で特有の現象を中心に解説した。

接触点近傍の応力とき裂発生については、Hertz 理論を基礎とした応力解析がなされ、接触点の直下の内部に生じる最大剪断応力部において塑性降伏を伴うき裂が発生することが明らかにされている。これをもとに、脆性的なき裂による摩耗の解析が行われているが、多結晶セラミックスについては、結晶粒界に発生するき裂が摩耗を引き起こしており、解析モデルとはき裂の形態が異なる。また、アルミナについて報告されている摩耗量の結晶粒径依存性のデータによると、破壊靱性値の高い粗大粒の方が摩耗量は多くなり、マイルド摩耗からシビア摩耗への遷移も早くなる。このような挙動は、破壊靱性値等を用いたマクロの力学解析モデルでは説明できず、接触点近傍のミクロな応力場を考え、転位等の塑性変形が蓄積することで粒界にき裂が発生するというメカニズムが提案された。

また、アルミナのすべり摩耗の温度依存性を調べると、高温で摩耗量が非常に低くなる。高温では摩擦面に微細結晶の層が形成されており、摩擦面近傍の微細構造から動的再結晶を伴う塑性流動が起きるためであるという結論が得られている。一方、中温度域以下では脆性的な破壊による摩耗がみられ、摩耗粉による応力集中の緩和のため塑性変形は顕著ではなく、弾性き裂による脆性的な摩耗が示唆された。脆性一延性遷移は試験温度では700℃から800℃の範囲で起きるが、摩擦発熱を考慮すると遷移温度は曲げ試験における脆性一延性遷移で報告されている1,000℃程度と推定された。

これらの知見から、摩擦面の力学的挙動は真実接触点での微細構造が関与するミクロな現象であること、脆性材料でも塑性変形が重要な役割を果たすことなどに留意して現象の解明を行う必要があることを指摘した。

アルミナ・セラミックスの高温サンド・エロージョン  
 Sand Erosion of Alumina Ceramics at  
 Elevated Temperatures  
 千田哲也、新井和吉、安嶋賢哲  
 平成11年10月  
 日本セラミックス協会第12回秋季シンポジウム

セラミックスは高温構造材料として期待されるが、船用機関の高温燃焼ガス流路等に応用する場合には、固体粒子衝突によるエロージョン損傷が問題となる。セラミックスの耐エロージョン性については、室温でのデータを除いてほとんど報告がない。そこで、焼結アルミナについて、気流中に含まれる固体粒子が材料表面に繰り返し衝突することによる損傷であるサンド・エロージョン特性を、室温から900°Cの範囲で調べた。ホッパーから供給される固体粒子と圧縮空気の混相流を管状炉によって昇温し、ノズルから噴射し箱形電気炉内に置いたアルミナ試験片に衝突させた。試験片には市販の焼結アルミナ（純度99.5%）を、また、衝突固体粒子には研磨剤の白色アルミナ（平均粒径：363 μm）を使用した。衝突速度は65 m/sで一定とし、試験片台の角度で固体粒子の衝突角度を30°から90°まで、また、試験温度を室温から919°Cの範囲で変化させた。衝突粒子の単位重量あたりの損傷体積として定義した体積損傷速度 [cm<sup>3</sup>/g] を評価に用いた。

サンド・エロージョン試験では、脆性的損傷は高衝突角度側で、延性的損傷は低衝突角度側で最大値を示すとされるが、すべての温度において高衝突角度側で体積損傷速度が大きく、アルミナのエロージョンでは脆性的損傷が支配的であった。温度の上昇に伴い体積損傷速度は増加し、高温になるほど高衝突角度側の体積損傷速度がより多く増加し脆性的損傷の影響が大きくなった。さらに特徴的なこととして、体積損傷速度は800°C以上で急激に増加した。高衝突角度での損傷面のSEM観察によれば、室温近傍では結晶粒径単位または結晶粒内のき裂による損傷であったのに対し、高温では複数の結晶粒の集合体が脱離した痕があった。このような変化は、曲げ強度の低下する温度とも対応し、粒界層の軟化により大規模な粒界破壊を起こしやすくなったためにエロージョン損傷が増大したものと考えられる。一方、低衝突角度の場合には、切削型の損傷面も多く観察された。

ぎょう鉄（焼き曲げ）作業の定量化  
 （その1：作業の分析と因子の抽出）  
 Quantification of Thermal Bending Work :  
 1st Report-Breaking Down of Working  
 Procedure and Grasping Substance  
 林 慎也、松岡一祥、岩田知明  
 平成11年11月  
 溶接学会秋期全国大会講演概要

船舶の船殻は曲面で構成されているので、鋼板の曲げ加工は重要な工程である。現在、我が国の造船業では、曲面作製は熱加工により行っているが、この作業をぎょう鉄と呼んでいる。この造船特有の伝統技芸であるぎょう鉄は名人と呼ばれる熟練技能工により代々体で覚えさせる方法で伝達・継承されてきた。しかし、ぎょう鉄工の老齢化や減少により、その技能の継承が危ぶまれる状況になっている。

このぎょう鉄技能を次代へ継承するためには、熟練技能工の持っているノウハウを定量化することが必要不可欠と考え、ぎょう鉄作業の定量化に着手した。本報告では、その第1段階として、ぎょう鉄作業の分析及び曲げ形状と熱変形について言及し、影響因子と基礎式を提案した。

- (1) ぎょう鉄作業の分析：ぎょう鉄作業における材料、補助線、曲げ型、加熱線方向と間隔及び型合わせと修正方法について分析した。
- (2) 曲げ形状と熱変形：熱変形種類の分類と必要な熱変形について検討し、曲げと縮みの干渉について言及した。
- (3) 影響因子と基礎式：以上の情報から熱曲げの基礎式を提案し、その影響因子について調べた。

## 曲がりブロックの溶接変形の推定法

An Estimation Method on Deformation in  
Welded Built-up Block with Curved Shell Plate

松岡一祥、吉井徳治、安藤孝弘、宇野清隆

平成11年11月

日本造船学会論文集 第186号

船舶の建造においてブロックの精度はそれを船台上に搭載する時の作業工数に大きな影響を与える。そこで、伸ばし、伸べ尺等を用いて、予め部品寸法に熱収縮を考慮することで溶接変形に対応している。しかし、曲面外板のある曲がりブロックでは、溶接時に面内変形と面外変形が連成するため、伸ばし、伸べ尺だけでは対応できない変形が生じる。そこで、曲がりブロックの精度は一般に悪く、搭載工数も多くなりがちである。そこで、曲がりブロックに適用できる溶接変形の推定方法が求められている。

本報では、溶接変形を汎用構造解析プログラムで計算する手法を取り扱う。まず、曲がりブロックの溶接変形に適用できる計算方法についての評価を行う。次に、簡略な計算方法を提案し、その方法で使用する角変形、横収縮および縦収縮のモデル化、並びに溶接条件、鋼材の降伏応力および板厚により変化する変形量の設定方法を示す。

次に、計算方法の妥当性を確認するために、平板上に骨をすみ肉溶接し、その前後の変形量の計測結果を計算結果と比較して示す。計測および計算結果は良く一致し、計算方法の妥当性が確認される。

さらに、円筒形の外板にリング状の骨を溶接する実験を行い、溶接変形の計測結果と計算結果を比較して、提案した計算方法が曲がりブロックにも有効であることを示す。

最後に、実験結果および計算結果から、曲がりブロックの溶接変形の特徴、精度管理の留意点等について考察する。

## &lt; 装備部 &gt;

船室における最近の固体音対策例

Recent Structure-Borne Sound Measures in Cabins

原野勝博、今里元信、藤井 忍

平成10年 9月

日本騒音制御工学会

研究発表会講演論文集

筆者等が、以前から提案していた新方式の防振内装船室が、1997年に建造された航海訓練所の練習船「青雲丸」の一室に施工された。当初は新方式の防振内装となる予定であったが工法上の制約や技術的に詰めきれないことがあり、完成してみると従来の本格的な防振内装法と余り差異がないものとなった。しかし、同船には各種の騒音対策がなされており、防振内装船室の隣室にも床面のみで制振材を貼った対策(簡易型)が行われていたので同船の公試運転中に、2つの防振対策船室の振動・騒音を計測しそれぞれの対策の効果を比較検討した。得られた主な結果は以下のとおりである。

- (1) 本格的対策と簡易対策とでの船室の騒音レベル差は、5 dB (A) と小さかった。この理由は浮き床と制振材貼付床の効果の差が小さかったことに因る。浮き床式の効果は予測値より小さかった原因は特定できなかった。
- (2) 天井や壁の船体との取付箇所は、フレーム等の振動レベルの小さい場所を選ぶと、そうしない場合に比べ内装材の振動レベルを約10 dB 低減できる。
- (3) カセットパネル壁を鋼板に取り付ける場合、天井甲板から吊るように支持すればパネルへの振動伝達を小さくでき、弾性支持の場合との振動レベルの差異は少ない。
- (4) 天井に使われている従来の防振ハンガーは、防振効果が800 Hz 以上の周波数でしかなく改善の余地がある。
- (5) 制振シートは内装面の振動低減に有効で25 mm 厚のカセットパネル貼付した場合、50 mm 厚パネルと同等以上の性能があった。
- (6) 浮き床の振動レベルを低減するには、ロックウール層を厚くし、内装床の面密度と減衰性能を大きくすれば良いが、実船においては、軽量・コンパクト・低いコストのものが求められており、これら矛盾する性能を満たすことが浮き床方式の将来の課題である。

避難者モデルの構築に関する研究

A Study on Development of Evacuee Model

戴 暁旬、金湖富士夫、福元正明、山尾 崇  
平成10年10月

日本機械学会 第76期全国大会講演論文集 (V)

本研究では、災害時における人間の避難行動を明らかにすることを目的とし、避難行動の基礎モデルの研究を行った。そこで、避難者の心理状態による避難の状況を正確に把握するため、知識工学の手法を用い、災害状況下における避難者の心理・行動を考慮した避難者モデルの構築方法を提案した。今回は避難経路の決定に影響を与える避難者個人の属性を取り扱うために、避難者モデルとしては固体モデルを採用し、避難を実行する空間を忠実に表現するため、座標モデルによる空間モデルを採用した。さらに開発したモデルを用い、避難シミュレーションを実施した。

空間モデルを開発する際、座標データによる全体の空間構造及び各空間の関係を処理するため、空間とノードの概念を導入した。空間とは、人が移動できる壁により囲まれたスペースである。ノードとは、各空間の出入口であり、同時にそれぞれの空間を連結する節点である。空間モデルは、複数の空間と各空間をリンクするノードとにより構成される。このような空間モデルは、フレーム知識表現形式により構築した。今回は、空間モデルの一例として船舶の空間モデルを開発した。

避難者モデルを、図に示すような二つの部分、現状認識モデル、避難実行モデルにより構成した。現状認識モデルは、災害時の周辺の環境、空間構造、災害状況、混雑度を時々刻々認識する役割を担っている。避難実行モ

デルは、現状認識モデルにより現状を認識した上で、避難者の心理状態に応じ、避難経路の選択および避難行動を実施する役割を担っている。それにより避難行動する度に变化する情報は現状認識モデルにフィードバックされ、新たに現状認識し、避難実行が行われる。この経過は避難終了まで継続する。一方関連知識を処理するため、知識工学の手法を用い、現状認識モデルに現状認識知識ベース、個人属性知識ベース、避難実行モデルに長期避難経路知識ベース、短期避難経路知識ベース、個人属性知識ベースを各々導入した。

A Methodology for Evaluating Effectiveness of Risk Control Measures for Ships

船舶のリスク制御方法の有効性  
評価のための方法論について

金湖富士夫、遠藤久芳、石田茂資、太田 進  
池本義範、戴 暁旬、福元正明、山尾 崇  
平成10年10月

International Federation of Automatic Control  
Proceedings of Control Applications in Marine Systems

船舶のリスクを制御し、安全を確保するための手段は、1) 事故発生を防止するもの、2) 事故発生後の火災、浸水等の災害の拡大を抑制するもの、3) 災害抑制が失敗した場合の被災船からの避難・脱出を可能とするものの大きく3種類に分類される。舵、主機、プロペラ等は1)、スプリンクラー、防火扉、クロスフラディング装置等は2)、救命艇等は3) のリスク制御手段にそれぞれ分類される。これらのリスク制御手段の有効性が定量的に評価できれば、それらの間で有効性が比較でき、船舶の設計および基準の審議にとって有効である。本報告は、船舶のリスク制御手段の有効性を評価するための方法論を提案し、この方法論を実現するために開発されたシステムを紹介している。

この方法論の基礎となるのは、確率論的リスク評価(PRA: Probabilistic Risk Assessment)であり、本報告では、まず、Alexandrovによって導かれた人命損失確率の式を拡張し、事故発生から最終状態にいたるまでの被災船舶の状態変化の時系列(事故シナリオ)毎に人命損失期待値、および事故シナリオ(事故後の船舶の状態の時系列)の発生確率が求まるようにした。次にこの基礎式を実現するために、各種事故の発生確率、発生した事故における事故シナリオ発生確率、各事故シナリオ毎の人命損失期待値を求める手順を概説した。本報告では、この手法の例示として、リスク制御手段としてスプリンクラーを取り上げ、その効果を検討した。まず、ロイド海難統計から事故発生確率を求め、次に、事故発生以降の火災による煙の拡散過程をイベントツリーを用いて表現し、各イベントシーケンスに対応する煙流動シ

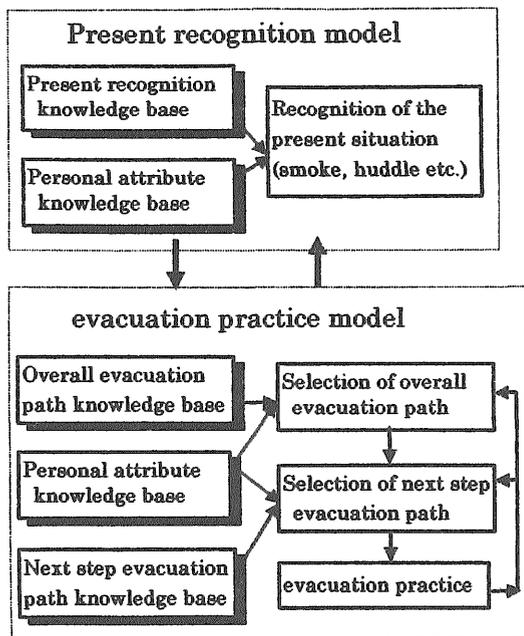


Fig. 1 Modeling the evacuee model

ミュレーションを実施して、火災事故シナリオを求めた。その後、得られた3通りの火災事故シナリオで避難シミュレーションを実施して人命損失数を推定し、スプリンクラーの有無に対応した人命損失を指標とするリスクを求めた。

船舶災害時における避難解析手法について  
 ー第1報、避難者モデルの構築方法及びシミュレーションについてー  
 An Evacuation Analysis Method at Ship Disaster  
 (1st Report : Development of Evacuee's Model and Evacuation Simulation)  
 戴 暁旬、金湖富士夫  
 平成10年11月  
 日本造船学会論文集 第184号

計算機上で避難シミュレーションを行うため、避難シミュレーションを実行する環境をモデル化した船舶の空間モデルおよび災害時における避難者の心理・行動を組み込む避難者モデルを開発した。特に避難者の属性(今回船舶空間構造の熟知度を取り扱った)により、異なる避難行動について検討した。さらに開発したモデルを用い、煙流動データを使用し、避難シミュレーションを実施した。煙状況および避難開始時刻の違いによる避難状況の変化を推定した。

本研究では、座標データによる全体の空間構造及び各空間の関係を処理するため、空間とノードの概念を導入した。空間とは、人が移動できる壁により囲まれたスペースである。ノードとは、各空間の出入口であり、同時にそれぞれの空間を連結する節点である。空間モデルは、複数の空間と各空間をリンクするノードとにより構成される。今回は、フレーム知識表現形式により図1のような船舶の空間モデルを開発した。

避難者モデルを、図2に示すような二つの部分、現状認識モデル、避難実行モデルにより構成した。現状認識モデルは、災害時の周辺の環境、空間構造、災害状況、混雑度を時々刻々認識する役割を担っている。避難実行モデルは、現状認識モデルにより現状を認識した上で、避難者の心理状態に応じ、避難経路の選択および避難行動を実施する役割を担っている。それにより避難行動する度に变化する情報は現状認識モデルにフィードバックされ、新たな現状認識、避難実行が行われる。この経過は避難終了まで継続する。

また開発したモデルを用い、あらかじめ設定した初期条件のもとで、毎秒の各空間の煙情報を入手し、避難シミュレーションを行った。さらに避難開始時刻による避難状況を検討するため、避難開始時刻を変化させてシミュレーションを行い、避難開始時刻が遅くなるほど、失敗者が多くなる結果となった。

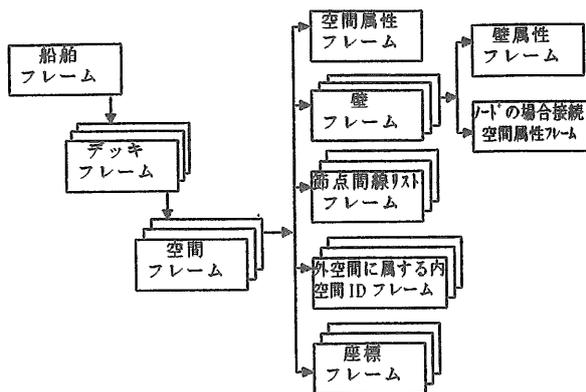


Fig. 1 Modeling the space model on the frame

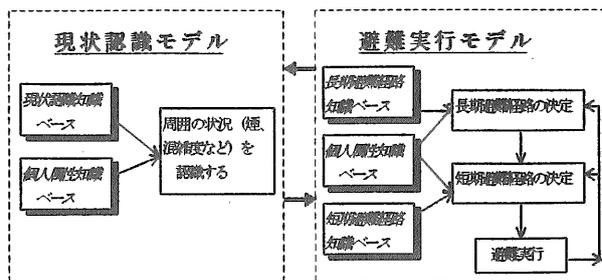


Fig. 2 Modeling the evacuee model

Detection and Classification of Oil Spill  
Using a Compact Imaging Lidar System  
小型画像ライダーによる流出油の検知と分類  
山岸 進、樋富和夫、山之内博  
平成11年3月  
1999 Proceedings of International  
Oil Spill Conference

相次ぐ大規模流出油事故の経験から、現場では効率良く防除体制を組織するために実時間汚染画像情報を重要視していることが分かった。本報は、この要求に答えるためのコンパクトな画像ライダー開発に関するフィジビリティスタディである。

装置は、紫外線レーザーによって生ずる蛍光をバンドパスフィルタ、高速ゲート操作付きイメージンテンシファイアと CCD を用いて実時間画像として得るものである。高速ゲート操作は背景光雑音の除去に非常に有効であり、シミュレーションによれば小型 YAG レーザの 3 倍波 (THG) を用いた場合の昼間観測有効距離は約 350 m となる。

油面と水を区別し、さらに成分識別を行うには蛍光特性を用いる。実験室において蛍光波長と減衰時間特性をストリークカメラで観測した。輸送量の多い工業原料のエチレングリコール等のピークは波長幅の狭いスペクトルピークを持つが、燃料油は幅広いスペクトルピークを持ち、最大ピークは軽油、A 重油、C 重油の順に長波長側にシフトしている。また、減衰定数にも特徴があり、軽油を例にとると時定数は短波長側で小さく、長波長側では約 2 倍の 25 nsec であることが明らかになった。

また、流出油量を知るには油膜厚さ情報が必要となる。厚さ測定には、レーザーに励起された水のラマン散乱光が油膜によって減衰する度合いを用いる。実験では、既知の厚さの油膜で覆った場合について、レーザー光路に沿ったラマン強度の減衰から油膜の消散係数 (光エネルギーの減衰度合いを示す係数) を求めた。この方法によれば光路上の分布を画像から測ることができるため、実用的な消散係数の測定法としても活用できる。

Marine Pollution Detection Using a  
Compact Imaging Lidar  
小型画像ライダーによる海洋汚染の検知  
山岸 進、樋富和夫、山之内博  
柴田俊明、山口良隆  
平成11年9月  
1999 Proceedings of International Laser Sensing  
Symposium

相次いだ大規模流出油事故の経験から、迅速な防除作業の展開には汚染画像情報を実時間で供給する体制を必要とすることが分かった。本報は、これに応える検知装置の開発についてのフィジビリティスタディである。取り上げたレーザー誘起蛍光による観測手法は、海洋のクロロフィル観測などに用いられていたが、装置が大型であるなどのため防除作業現場で活用されることはほとんどなかった。本装置は、最近の小型高性能化したレーザー技術を取り入れ、紫外線レーザー、狭帯域バンドパスフィルタ、高速ゲート操作付きイメージンテンシファイア及び CCD を用いて汚染領域の画像を実時間で表示するように構成した。レーザー誘起蛍光を用いることにより、従来の光学的手法では困難であった問題は解決され、油と水を明瞭に識別し、昼夜を問わない観測が可能となる。さらに、蛍光特性は各物質固有のものであり、より詳細な汚染物質の識別も可能となる。ストリークカメラによる蛍光観測により、エチレングリコールなどの工業製品は波長幅の狭いスペクトルピークを持つ、一方、油は幅広いスペクトルピークを持ち、そのピークは、軽油、A 重油、C 重油の順に長波長側にシフトしていることが示された。蛍光の減衰にもそれぞれ特徴があり、軽油を例にとると短波長側で減衰は速く、10 nsec 以下であるが、長波長側では比較的遅く、25 nsec であることが示された。また、画像データから光路上の強度分布を測り、媒体の消散係数を求めることもできる。同様な画像解析により、レーザーに励起された水のラマン散乱光が油膜によって減衰する度合いを測定して、膜厚さが求まることを示した。

プロトタイプを製作し、実船 (弓削丸) に搭載して、瀬戸内海で野外での機能確認実験を行った。この結果、晴天下においても、高速ゲート操作とフィルターを用いることにより、背景光雑音を効果的に抑制して、信号を連続した画像として取り込めることを確認した。

## 船舶に用いた制振鋼板の経年変化

Aging Effect on Loss Factor of High-Damping  
Steel Sheets for Ship

金丸貞己、木原 洗、宮田 修

平成11年 9月

日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集

船舶に制振鋼板を長期間使用する際、居住区等油漏洩のない場所ではほとんど問題にならないが、機関室や補機室等では、機関架台や冷却水・燃料等配管系の開口部が比較的油に汚染されやすいため制振効果に悪影響を及ぼすことが考えられる。そこで、制振鋼板を2年間エンジンオイルに浸漬(以下、オイル浸漬)し、油汚染による損失係数への影響と、航海訓練所練習船『銀河丸』のガスタービン演習室に3年間使用した制振鋼板の経年変化について調べた。

オイル浸漬に用いた制振鋼板は、粘弾性材が樹脂系とゴム系の2種類である。オイルは、当初の小型船用機関で使用している“Nitseki # 30”で、制振鋼板をオイルで満たした各容器中に完全に浸漬した。損失係数は、オイル浸漬前・オイル浸漬1・2・4・8・15・24ヶ月後の計7回測定し、同時に制振鋼板周囲の粘弾性材のオイルによる浸食状況も調べた。銀河丸に用いた制振鋼板は、2種類の樹脂系で、現在使用中の一部を切り取ったものである。損失係数は、機械インピーダンス法によって、恒温槽内で10℃～60℃まで10℃ごとに測定した。

オイル浸漬及び銀河丸の損失係数は、各測定時の温度依存性や、浸漬期間の影響を調べた結果、若干バラツキが見られるが、これが経年変化の影響であると断定する程の変化ではないことが分かった。そこで、これらの損失係数が正規分布で近似されるものとし、真の損失係数の平均値の区間推定を行い、さらに、オイル浸漬前の損失係数とオイル浸漬後の損失係数の平均値との相関を調べた。各測定時の損失係数と周波数依存性のグラフから、特定の周波数に換算した換算損失係数を求め、これらの損失係数を用いて、平均値、標準偏差を求め、信頼度95%で区間推定を行った。

また、オイル浸漬前の損失係数とオイル浸漬後の損失係数の関連の度合いを表す相関係数を求めた。

各周波数の損失係数の平均値を3次自然スプライン補間して表示した。また、オイル浸漬6回分の損失係数を求め各温度ごとに区間推定を行い浸漬後の真の損失係数の平均値を推定した。銀河丸に用いた制振鋼板も使用前後の損失係数を測定し、オイル浸漬と同様の方法で整理した。

その結果、制振鋼板の粘弾性材が樹脂系の場合は、機械インピーダンス、損失係数ともほとんどオイル浸漬による影響はなかった。しかし、ゴム系の場合は、オイル浸漬の長期化、測定温度の高温化に伴って機械インピーダンスが変形し、そのため500 Hz以上の高周波数範囲における損失係数に悪影響を及ぼすことが分かった。

実船に使用した制振鋼板は、2種類とも損失係数への影響は見られなかった。

## 水面上の堰前の油層

Oil Layer in front of a Barrier on Water Surface

上田浩一、山之内博

平成11年10月

日本機械学会

流体工学部門講演会講演論文集

タンカー等の事故により油が流出した場合、油の広がるのをオイルフェンスで防ぐ。流れがある場合にオイルフェンスで油を堰止める場合を考えて堰前に滞留する油層を調べた。回収部の堰やオイルフェンスを垂直平板でモデル化し、回流水槽を用いて滞留する油層の挙動について、一定油量での流速と滞留油層長さの関係を実験的に検討した。この場合油層の滞留状況を水流速度を代表速度とした油層フルード数と無次元油層長さ(油層長さを単位水路幅当たりの油量の平方根で割ったもの)で表し実験式を求めた。さらに粘性の異なる油層の油層フルード数と無次元油層長さの関係を調べた。

実際に油回収する場合のような移動堰前の滞留油層の状況も実験的に調べた。静止した水面上に浮遊した油を回収するには、油層を厚くして回収しないと回収油中の含水量が多くなる。堰の移動距離と堰前の滞留油層長さ及び油層厚さをビデオカメラ及びモータードライブカメラによる撮影から求め、堰前の滞留油層量を求めた。この場合は堰の速度を代表速度とした油層フルード数を用いて、無次元油層長さとの関係を求めた。

流れに置かれた堰前の油層も移動堰前の油層も、灯油のような低粘性(2 mPa・s)の油層長さはB重油のような中程度(620 mPa・s)の油層より長くなる。B重油のような中程度の粘性の油層は短くなり、冬季のC重油のような高粘性(18 Pa・s)の油は変形し難いため、中程度の粘性の油層より長くなる。

低粘性の灯油の場合に流れのある水面上に設置された堰前の油層と移動堰前の油層を比較すると、流れに設置された堰前の油層では16 cm/sから油水界面に油膜が生じはじめた。移動堰では25 cm/sから油滴が発生し始めた。低粘性油層の場合の移動する堰前の油層長さは水流中に置かれた堰前の油層に比べて短くなる。油層が短くなることは油層が厚くなることであり、移動堰により回収性能をあげることができると考えられる。

<システム技術部>

An Application of the GO-FLOW Methodology  
—Hazard and Operability Analysis of Olefin Plant—

GO-FLOW 手法の応用

—オレフィンプラントの危険・運転可能性解析—

松岡 猛

平成10年 9月

Prosceedings of International Conference on  
Probabilistic Safety Assessment and Management

大規模複雑なシステムの安全管理のためには確率論的安全評価 (PSA) が有用な手法として用いられている。本会議は主に原子力分野における PSA に関する国際会議であるが、航空、化学プラント等多岐にわたる分野を含んでいる。本報告においては船舶技術研究所により開発したシステム信頼性解析手法 GO-FLOW についての適用例としてオレフィンプラントを取り上げ、その危険・運転可能性解析を実施した結果について述べている。

従来から化学プラントの解析には、HAZOP (Hazard and Operability Study) が用いられているが、これはプラントに不具合が起こったときどの様なことになるか定性的に解析する手法である。本報告では GO-FLOW 手法を用いて定量的な解析を実施した。

オレフィンプラントはアルケン/アルカンの単量体を重合し二量体に変換するプラントである。このプラントシステム中、中間貯蔵タンクから反応炉へ供給する手前のタンクまでの部分を取り上げ解析を行った。モノマーが反応部へ正常に供給される場合及び化学物質の漏洩による事故発生を GO-FLOW チャートにモデル化した。その際、HAZOP 解析でリストアップされた“原因”を GO-FLOW チャート中にオペレータを用いてモデル化した。論文にやや詳細な GO-FLOW チャートへのモデル化に関する説明が与えられている。チャート中には正常動作を表す信号線の系統と、漏洩を表す信号線の系統が同時に記されている。

機器の故障データとしては原子力プラントのデータを用いて評価した。90日間連続運転中の正常運転成功 (運転可能性) 確率及び漏洩事故発生 (危険性) 確率を一度の解析で算出できた。

GO-FLOW 手法により化学プラントの運転成功と事故発生確率を一枚の GO-FLOW チャートで一時に求める方法が示された。

An Application of the GO-FLOW Methodology

—A Reliability Analysis of Automatic Train  
Control System of Shinkansen in Japan—

GO-FLOW 手法の応用

—日本の新幹線自動列車制御システムの信頼性解析—

松岡 猛、中川賢治

平成10年 9月

Prosceedings of International Conference on  
Probabilistic Safety Assessment and Management

大規模複雑なシステムの安全管理のためには確率論的安全評価 (PSA) が有用な手法として用いられている。本会議は主に原子力分野における PSA に関する国際会議であり、本報告においては船舶技術研究所により開発したシステム信頼性解析手法 GO-FLOW についての適用例として JR 新幹線の自動列車制御装置 (ATC) を取り上げ、その解析の実施方法、解析結果について述べている。

自動列車制御装置 (ATC) とは、先行列車との間隔および進路の条件に応じて、運転室内に列車の許容速度を表示するとともに、列車がその制限速度以上となれば自動的にブレーキが働いて、列車を安全に停止させるものである。許容速度の決定、列車上における制限速度の検出には冗長系を用い信頼性の向上を図るとともに、万一、制限速度が得られない場合はフェイル・セーフによりブレーキが働く機構となっている。

ATC の制御回路図をもとにシステム動作・故障を GO-FLOW チャートにモデル化した。システムを構成する機器・部品の故障率は、主として平成8年度の山陽新幹線における関連事故情報に基づき推定した。

解析の結果、ATC のシステム信頼度の時間に伴う推移が GO-FLOW 手法により容易に求められることが示された。信号処理系は十分な信頼度を有していると考えられ、電源系、ブレーキ系、地震・降雪等の外部的要因のシステム信頼度に対する影響は大きいと考えられる。

An Application of the GO-FLOW Methodology  
—Safety Analysis of Fuel Cell Propulsion  
System for a 1,500 DWT Cargo Vessel—

GO-FLOW 手法の応用 —1,500トン貨物船の

燃料電池推進システムの安全性解析—

松岡 猛、近藤雅芳、寺尾雅之

平成10年9月

Proceedings of International Conference on  
Probabilistic Safety Assessment and Management

燃料電池は化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換するシステムで、高効率・クリーンなエネルギー源として期待されている。この燃料電池システムを貨物船の推進力として実現するための研究が造船研究協会のもとで実施された。本報告は、1,500トン貨物船用に設計した燃料電池システム及びそれと同等の出力のディーゼルエンジンシステムの安全性解析を GO-FLOW 手法により実施してそれらの結果を比較し、改善点を指摘した結果についての報告である。

まず、燃料電池による推進システムの概要を説明し、次に GO-FLOW によるモデル化手順、解析手順の説明が与えられている。解析において作成した GO-FLOW チャートの一部を載せ、チャート中の信号線で得られる情報の種類についての説明が与えてある。解析により、燃料電池システムから水素ガスが漏れ爆発する危険性、一酸化炭素ガスが漏れ中毒被害が発生する危険性が評価された。これらの事故の発生確率は $0.7 \times 10^{-9}/h$ 、及び $0.8 \times 10^{-5}/h$ と算出され、ディーゼルエンジンシステムの約半分と評価された。

燃料電池システムの改善点として

- (1) 燃料電池スタックの部屋に二重の換気装置を設置する。
- (2) 漏洩ガスの検出器として、作動原理の異なるものを二重に設置する。
- (3) 燃料液面計として封入型を用いる。  
の3点を指摘した。

航空機リモートセンシングにおける  
可視光センサを用いた海上漂流物捜索法  
A Detection Method for Floating Targets with  
Visible Ray Sensor in Airbone Remote Sensing

松倉洋史、桐谷伸夫、金井康二

平成10年9月

日本航海学会論文集 第99号

海難の発生により海上を漂流する救命いかだ（以下ラフトという）などを捜索する手段としては、船舶や航空機からの目視やレーダを用いた観測が主たるものである。捜索業務に関わる観測員の能力や使命感は非常に高いものであるが、負担を軽減し、更に捜索力を向上させるためにも、対象海面を連続的に監視し目標物を自動的に抽出・判断して観測員に情報を提供する「海上監視支援システム」の開発が求められる。本論文では航空機を用いた「海上監視支援システム」のうち可視光センサを使用した海上漂流物の発見アルゴリズムについて報告した。

そのアルゴリズムでは、ラフトを含んだ海面画像を可視光線カメラから取得し、それを光の3原色である Red・Green・Blue に分解し、256段階のデジタル量にして3次元散布図に表す。海（ここでは海面中で青色が支配的な部分）・白波・ラフト各要素の分布モデルを作り、それを用いて海上漂流物を捜索する。

今回提案した方法の利点は ①“ラフトらしい点”を探すのではなく“海面らしくない点”を探すので、海上漂流物一般に利用可能なこと ②捜索条件の影響による輝度遷移を考慮に入れているため捜索条件が悪化しても利用可能なこと ③計算量が比較的少ないこと ④基準平面をその都度ダイナミックに設定し直すため海色の変化に対応できることである。

空気圧ゴム人工筋によるパラレル駆動機構の運動制御  
Motion Control of In-Parallel Actuated Mechanisms  
with Pneumatic Rubber Muscles

丹羽康之、武田行生、舟橋宏明、増田倫文

平成10年10月

日本機械学会 第76期全国大会講演論文集 (V)

著者らはすでに、 $N+1$ 本のワイヤを用いた $N$ 自由度のパラレルワイヤ駆動機構について、各ワイヤから出力筋への力伝達特性の評価指数(運動伝達指数)を開発した。また、運動方程式がきわめて複雑であったり、正確に求められない機械運動系の制御に適用することを目的として、系の状態空間内の多数の代表点について外部構造を予め実験によりデータベース化しておき、これを用いて制御を行う手法を開発した。

本報では、3本の空気圧ゴム人工筋を用いた2自由度関節機構を取り上げ、上記の特性評価に基づいて機構設計を行い軌道実験により検討を加えた。そして、入出力関係が非線形でありヒステリシスを有する空気圧ゴム人工筋を用いたパラレル機構の運動制御へ上記の制御手法を適用して軌道制御実験を行い、検討を加えた。

ゴム人工筋はゴムチューブを組紐上にスリーブで被ったものであり、ゴムチューブを加圧すると軸方向に収縮する。本研究では実際にゴム人工筋を製作した。またゴム人工筋の圧力、収縮率および発生力の関係を実験により測定した。測定結果より発生力の大きさによらず圧力と収縮力の間にはヒステリシスが存在することが確認された。

次に、ゴム人工筋を2自由度パラレルワイヤ駆動機構に適用する際、運動伝達指数を適用して、人工筋から出力筋への力伝達特性を考慮した機構設計を行った。機構を決定するパラメータにより作業領域の大きさおよび作業領域内の運動伝達指数の分布が大きく異なることを確認した。

実際に運動伝達指数の大きな機構定数のゴム人工筋で構成されるパラレルワイヤ駆動機構の制御を行った。制御法として状態の代表点毎に予め入出力の関係のパラメータを同定し、状態が代表点の間の場合はパラメータを線形内挿により推定した。軌道制御実験を行ったところ、本制御手法はフィードバック制御よりも良好な軌道制御が確認された。

本報では、空気圧ゴム人工筋を用いたパラレル機構において、パラレルワイヤ駆動機構における運動伝達指数に基づく機構設計法および入出力関係の実験的同定に基づく制御法が有効であることが確認できた。

物流の構造分析と新システム検討に必要な  
物流情報解析システムに関する研究

Transportation Data and Analysis System for  
Analysis of Transportation Mechanism and  
Proposal of New System

勝原光治郎、大高慎自、岡崎忠胤、丹羽康之、  
伊藤泰義、不破 健、千田哲也、山之内博、  
有村信夫、古川 武、李 永雨

平成10年12月

海上物流・新船舶システムとその技術開発  
環境シンポジウム テキスト

本研究報告は運輸事業団の基礎研究制度による公募型研究の中間報告である。

日本の国づくりの観点から物流研究を行う際、マクロ物流の情報を用い、分析し問題を洗い出し、新たな物流システムを提案し、評価し、広く国民に提示するという作業が必要になる。しかるに、現在これらの情報、分析方法などは散在し、しかも電子化されていない場合も多い。そこで、これらを統合した実践的知識の体系を一つのシステムとしてコンピューター上に構築することを提案し、「物流情報解析システム」(Transportation Data and Analysis System 略称「TDAS」)と名づけた。このシステムの効用は、①複雑な物流知識の体系化、②データとツールが同居し、馴染んでいるので、解析作業効率が向上、③知識の組織的掌握と伝承、④知識の蓄積・成長、⑤入力から出力までの一貫性があるなどである。

物流の知識は複雑で、データもツールも多種多様であるので、雑学的教養的知識を排除するため、実践的に研究成果を出しながら、データとツールを蓄積する。船舶技術研究所として研究の中長期的課題を設定しその中で中核的技術は何かを考えると、日本の物流の需要と供給の将来図を描くことである。従来の需要予測は回帰分析とロジットモデルによる手法で、これは過去の実績データに大きく依存し、今日のダイナミックに変貌する物流システムには適さないと思われる。

そこでダイナミズムに対応するためシミュレーション手法を取り上げた。対象として重油の海上輸送をとりあげ、列島モデルを作る前に小型モデルを作った。そして需要の注文量と頻度が一定の場合、ランダムに変動する場合のそれぞれについて、必要な船隊、その船型分布、稼働率、積載率を調べ、今後の課題と、本システムに取り込むデータとツールを考察した。更に「フェリー航路の国内物流ネットワーク分布」「運輸部門のCO<sub>2</sub>発生量と船舶への期待」の両研究のデータとツールについて具体的に示した。

## 海上監視支援システム

A System for Automatic Detection on  
Maritime SEARCH and RESQUE

桐谷伸夫

平成11年4月

日本造船学会誌 第838号

海難事故が発生した場合に、遭難情報を送受信する衛星通信やデジタル通信技術によるシステムの利用を制定した「海上における人命の安全のための国際条約」：74 SOLAS 条約改正に伴い、我が国では GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System) の導入が平成4年2月より段階的に開始され、本年2月をもって完全移行となった。このような世界的な GMDSS 体制を背景として、我が国の海上保安庁では衛星 EPIRB (非常用位置指示無線標識) などからの遭難情報を入手するシステムを運用している。この GMDSS がひじょうに有効なシステムであることは言うまでもないが、救命救難活動の信頼性向上のためには仮に GMDSS が機能しない場合でも迅速に捜索活動が実行される必要がある。そこで、対象海域を連続的に監視し、目標物を自動的に抽出・判断して観測員への情報提供と捜索業務の支援を実現する航空機搭載型「海上監視支援システム」の研究開発が船舶技術研究所と電子航法研究所との共同研究として開始された。

平成7年より開始された研究は最終段階を迎えており、昨年9月には南伊豆妻良沖海域に小型救命いかだを漂流させて航空機より観測する実証実験を実施した。実験の結果、構築したシステムは海上の目標を自動的に検出・認識して警報を発するまでの処理を、ほぼリアルタイムで実行することが確認された。開発されたシステムは、可視光 RGB カメラと赤外線カメラ画像による4チャンネルのデジタル画像データや GPS 装置による位置データを入力として機能する。また、これらの入力情報は複数の目標物探索・認識アルゴリズムによって処理され、音声と表示による警報の発令により観測員へ伝達されるものである。

「海上監視支援システム」は、基本コンセプトにおいて決して捜索業務の完全な機械化や自動化を目指したものではなく、人間との協調作業により救命救難活動の高信頼性度化を図ることを目的としている。従って、より有効なヒューマン・インターフェースの設計と導入が重要であり、今後の課題と考えられる。

Safety Analysis System using Thermo-Hydrodynamic  
Simulation of Accident Sequences in Event  
Tree/GO-FLOWイベント・ツリー/GO-FLOW 解析体系における  
事故シーケンスの熱流動シミュレーション  
を用いた安全性解析システム

松岡 猛、井田俊夫、中村 寛

平成11年8月

Proceedings of International Topical Meeting  
on Probabilistic Safety Assessment

原子力プラント等大規模システムの確率論的安全評価 (PSA) では、システム信頼性解析に基づき、主要事故シーケンスを同定する事が重要となるが、それを行うためには、それぞれの事故シーケンスに対応する事象を理解し、その妥当性を確認することが不可欠である。本報告は、事故シーケンスの同定、事故進展の熱流動解析シミュレーション、事故進展状況の表示までを一貫して実施して、安全性を評価するシステムの開発について述べている。

まず、本安全性評価システムの全体構成、個々の要素解析・評価・表示機能の関連を図を用いて示した。

イベント・ツリーのヘディング分岐確率に GO-FLOW の解析結果を直接的に使用できる様に、イベント・ツリーに時間の要素を与えた動的イベント・ツリーを開発した。この、動的イベント・ツリーには以下の機能を与え、従来のイベント・ツリーより進んだ機能を持った解析方法とした。(1)GO-FLOW 解析結果との結合、(2)タイム・ポイントの導入、(3)イベント・ツリー中の複数箇所への同一事象の設置、(4)ヘディングのタイム・ポイント順の並び換え機能、(5)ヘディング間の従属性の設定機能。

イベント・ツリー情報を受け取り、選択された事故シーケンスに沿ったシミュレーション解析を実施、解析結果を表示するための管理システムをエキスパートシステム G2 により作成した。

熱流動シミュレーション解析のための入力データはイベント・ツリーのヘディングからほぼ自動的に生成される。熱流動解析コードとしては MARCH 2 を利用している。また、解析の対象としては、日本原子力研究所において設計検討されている改良船用炉 (MRX : Marine Reactor X) を選定した。

また、選択された事故シーケンスにおけるプラントの状態を系統図上の弁の開閉状態、配管破断箇所として表示する機能も備えてある。さらに熱流動解析結果をアニメーション表示することが可能である。表示画面としては全体図、圧力容器部詳細図、炉心部温度分布図の3種が用意されており、必要に応じてプロセス量推移のグラフ表示も可能である。

＜原子力技術部＞

いくつかの核データライブラリーを用いた  
キャスク体系の中性子遮蔽解析

Neutron Shielding Analysis of a Cask using  
Some Nuclear Data Libraries

植木紘太郎

平成10年9月

日本原子力学会「1998年秋の大会」要旨集

今日、我が国においては、新燃料、使用済核燃料、MOX燃料、高レベルガラス固化体、低レベル固化体等が、各種輸送容器（以下、キャスク）に入れられて輸送されている。これらの放射性物質からは中性子やガンマ線が放出されるので、キャスクの遮蔽解析は輸送従事者はもとより、広く国民に対する放射線安全性からも重要である。

そこで、キャスクモデルとして乾式キャスクと称されるキャスクを想定し、その構造を単純に線源-鉄-水球体系とした。使用したライブラリーはANISNコードではDLC 23 E: ENDF/B-II、-III、P<sub>3</sub>で自己共鳴遮蔽因子を考慮せず、JSSTD L (100群構造をDLC 23 Eと同じ22群に縮約): JENDL-3.1、-3.2、P<sub>3</sub>で自己共鳴遮蔽因子を考慮、およびSSL 90 B (DLC 23 Eとほぼ同じ24群に縮約): JENDL-3.1、-3.2、P<sub>3</sub>で自己共鳴遮蔽因子を考慮、である。また、MCNP 4 BではJENDL-3.2およびENDF 60を用いた。

ANISNによる計算では、中性子線源エネルギーはDLC 23 Eライブラリーの9群(2.35~2.46 MeV)であり、1 cm<sup>3</sup>当たり1個の中性子を発生させた。鉄50 cmを透過した位置および鉄50 cm+水15 cm透過した位置におけるエネルギースペクトルを見ると、DLC 23 Eの結果がJSSTD Lの結果に比べ特に鉄外表面で過小評価している。これは、主にDLC 23 Eライブラリーは自己共鳴遮蔽因子が考慮されていないので、その効果が水よりも鉄に強く現れるので、鉄透過後のエネルギースペクトルが過小評価されるものと考えられる。しかし、この過小評価はJSSTD L等自己共鳴遮蔽因子を考慮した核データライブラリーを採用する事により、容易に解決できる。

放射線ストリーミングパスの解明とその低減法  
Explication of Radiation Streaming Path and  
the Reduction Technique

植木紘太郎、川合将義

平成10年11月

日本原子力学会誌 Vol. 40, No 11

モンテカルロ法は広範囲の放射線輸送問題を解く有力な手法である。その特徴は、ポイントワイズ断面積を用いると、ボルツマン輸送方程式をほぼ近似なしに解くことが出来ることである。本研究はこの特徴を生かし、放射線のストリーミングパス(経路)の特定とその寄与を定量的に解明すると共に、ストリーミングを低減するための補償遮蔽についても検討した。

まず、放射線がストリーミングするパスを特定する手法について検討する。ストリーミング体系としては、3本のダクトを持った体系を想定する。中央のダクト入り口の外側におかれた線源から発生した放射線は3本のダクトあるいは遮蔽体中を透過し、ダクト中におかれた検出器で測定される。実際の検出器で測定される放射線はどのダクトを通過して来たかを特定することは出来ない。しかし、連続エネルギーモンテカルロコードMCNP 4 BのCFカード(Cell-Flagging Card)あるいはSFカード(Surface-Flagging Card)を用いることにより、例えば、外側のダクトの出口に置かれた検出器にはどのダクトの入り口を通過した放射線がどのくらい寄与するかが、定量的に解明できる。

ストリーミングパスの解明については、大阪大学のOKUTAVIANで行われた14 MeV中性子のストリーミングベンチマーク実験をCFカードを用いて解析した。また、ストリーミングを低減するための補償遮蔽については、厚さ2 mのコンクリート中に直径10 cmのダクトが30度、2回屈曲している体系を想定し、ダクトの入り口やダクトの外回りに合計6個のFlagging Cellを設定して、ダクトの出口に置かれたDetector Cellに寄与する中性子線量当量率を調べ、補償遮蔽の最適な設定位置について検討した。

本研究によって、従来、経験と試行錯誤に頼ってきたダクトストリーミングに対する補償遮蔽の設計に定量的な予測を用いることによって、補償遮蔽の最適化が可能になるものと期待される。

角柱列を挿入した脈動流の PTV による可視化  
Flow Visualization of Pulsating Flow obstructed  
by an Array of Square Rods with PTV

村田裕幸、澤田健一、小林道幸  
平成11年7月

第27回可視化情報シンポジウム講演論文集

脈動流が船用炉の熱水力特性に及ぼす影響を評価する研究の一環として、二次元チャンネルに角柱列を周期的に挿入した脈動流を対象として流れの可視化実験を実施し、脈動流がその流動特性に及ぼす影響を検討した。流れを可視化するため、循環水に界面活性剤を添加したナイロン12の微粒子をごく微量懸濁させ、CCDカメラで撮影した可視化画像を3時刻パターン・マッチング法を用いた PTV 装置によって画像処理した。実験の結果、以下のことが明らかとなった。

脈動がない定常流の場合、角柱の配列ピッチ： $L/H=2.0, 3.0, 4.0$ では、各々の角柱からはカルマン渦がほぼ一定周期で角柱の上下から交互に放出され、そのストローハル数は約0.3となる。また、流路レイノルズ数の増大により、各配列ピッチにおけるストローハル数は減少した。一方、 $L/H=1.0$ の場合には、カルマン渦が周期的に放出されない不安定な流れとなった。

脈動周期がカルマン渦放出周期よりも1桁大きい、比較的周期の長い脈動流中に置かれた単一角柱の数値解析を行った西村らは、角柱からの渦放出様式は脈動振幅がかなり大きい場合、脈動接近流のレイノルズ数変化に対して準静的に変化せず、脈動流の加速時には角柱背後の流れの  $y$  方向動揺が小さくなって角柱後流を安定化させ、逆に減速時には  $y$  方向動揺が大きくなって角柱後流を不安定化させることを報告している。

本実験の場合、脈動周期はカルマン渦放出周期の0.6～7倍程度と、西村らの場合と比較すると脈動周期が相対的に短いため、脈動周期がカルマン渦放出周期に比較してかなり長い場合と、カルマン渦放出周期に比べて短い場合とに注目し、脈動流の及ぼす効果を検討した。その結果、脈動周期がカルマン渦放出周期よりもかなり長い場合、脈動振幅が大きいと、西村らの指摘どおり、加速時に角柱後流が安定化し、減速時に不安定化する様子が観察された。しかし、脈動振幅が小さくなると、定常流との顕著な差は見いだせなかった。一方、脈動周期がカルマン渦放出周期よりも短い場合、脈動振幅が大きいと、脈動流の加速・減速によってカルマン渦が形成・崩壊する脈動流支配の流れとなった。

Influence of Auger and M, N-shell Electrons to  
Energy Deposition Near Gold Irradiated with  
Synchrotron Radiation

シンクロトロン放射光に照射された金近傍のエネルギー  
沈積に対するオージェおよび M、N 殻電子の影響

成山展照

平成11年8月

Proceeding of 18th International Conference  
on X-ray and Inner-shell process

人体内に高原子番号物質が取り込まれ、X線照射を受けた場合、その物質近傍で大きなエネルギー沈積が生じる。この場合、高原子番号物質からの光電子およびオージェ電子が重要な役割を担う。エネルギー沈積の評価には、モンテカルロ輸送計算法が有用であるが、汎用の輸送計算コードでは、K、L殻からの光電子は考慮しているが、M、N殻電子やオージェ電子は無視するか、計算精度が十分に確かめられていない。そこで本研究では、光子による電離過程のシミュレーション精度を調べるため、金からの反射電子エネルギーをモンテカルロ輸送計算コードにより解析し、実験値との比較を行った。

用いた実験値は、厚さ90ミクロンのホウ酸リチウム熱蛍光線量計 (TLD) の背後に厚さ1ないし0.25ミクロンの金箔を接し、放射光からの15～40キロ電子ボルト単一エネルギー光子を照射した時の TLD 線量値である。電子のエネルギー反射の度合いは、後方散乱因子すなわち金箔がある場合とない場合の TLD 線量の比により定義した。計算には、ITS 光子・電子輸送モンテカルロコードを用い、得られた散乱因子を実験値と比較した。その結果、M、N殻電子輸送を考慮しない場合、光子エネルギーがL吸収端エネルギーより上であっても、後方散乱因子の計算値は、実験値より小さくなることを明らかにした。オージェ電子の影響は見られなかった。0.25ミクロン厚さに対して実験値と計算値があまり一致しない理由は、コードに用いられている多重散乱理論の薄い金箔に対する適用性によるものと考えられる。つぎに、M、N殻電子とオージェ電子の線量寄与のエネルギー依存性を個別に見るため、反射電子エネルギーの入射光子エネルギーに対する比を計算した。その結果、M、N殻電子とオージェ電子の影響は各吸収端に近づくほど大きくなることがわかった。その理由として、吸収端に近づくにつれ、K、L殻光電子のエネルギーは非常に小さくなるため、オージェ電子および M、N殻電子エネルギーが相対的に大きくなることが挙げられる。

<海洋開発工学部>

水槽試験における画像処理の応用 (その1 格子傾斜  
モアレトポグラフィによる波高分布の計測)

Application of the Image Processing in the Tank  
Test (Part 1, Measurement of Wave-Height  
Distribution Using the Inclined Grid Moiré Topography)

星野邦弘、山川賢次、湯川和宏、原 正一

平成11年 8月

西部造船会会報 第98号

船型学の分野では、波の持つ物理的な情報は極めて重要であり、過去においてステレオ写真法やモアレトポグラフィ法による波紋観察が船型改良に重要な役割を果たしてきたことは良く知られている。近年では、計測精度の関係から模型船の波紋等の等高線を求める手法として、楕形に配置した容量式や抵抗線式波高計によって得られた波高の時間変化から求める手法が多く用いられてきた。しかしながら、波高計による計測は基本的に点計測であるため複雑な空間波高分布を同時計測するには不向きである。最近では、パーソナルコンピュータの処理能力の飛躍的な向上と画像処理技術の発展により、可視化画像から空間的波高分布を求める手法が見直され、種々の方法が試されている。

本研究は、水槽試験で従来用いられてきたモアレトポグラフィ法では判定不可能な変動水面の静止水面からの凸凹を判断するために、モアレ格子を静水面に対して僅かに傾斜させて設置する傾斜モアレトポグラフィ法を水槽試験へはじめて応用したものである。適用例として、当所で研究開発を行っている多目的作業用船舶のムーンプール内水位変動の計測結果を示した。また、計測システムと水面との間の相対的距離を微小に変化させることで計測精度の検証を行った。本研究で開発した計測システムは、画像をハイビジョン CCD カメラで取り込むことで画像取り込み分解能の向上を図り、さらに12ビット分解能で A/D 変換した画像の濃度データを8ビット(256階調)データに圧縮することで不鮮明な画像からコントラストの強い鮮明な画像を取り出しパーソナルコンピュータ上に1/60秒間隔で記録している。また、画像取り込みから波高分布の計測までを同一のパーソナルコンピュータ上で一貫して処理するシステムを開発し、計測の自動化と表示の多様化を図った。

本研究で開発した、格子傾斜モアレトポグラフィによる波高分布計測システムは次の特徴を有する。

- (1) 格子を傾斜させることにより水面の凸凹判定が可能となった。
- (2) 画像取り込みにハイビジョン CCD カメラを用いたことで入力画像の分解能が向上し、総合測定分解能として0.2 mm以上の精度を得た。
- (3) 波高計による点計測では、計測不可能な波長の短い波や波面の微小変動も空間的に計測できる。
- (4) 3次元カラー表示により複雑な波面データの理解を容易とした。

(278)

Seismic Behaviors of a Horizontally Elastic  
VLFS Supported with Dolphins

ドルフィン係留された超大型浮体式海洋構造物の  
面内弾性を考慮した地震時挙動

渡辺喜保

平成11年 9月

Proceedings of the Third International Workshop  
on Very Large Floating Structures

日本ではここ数年、空港として使用される超大型浮体式海洋構造物の研究開発が行われている。超大型浮体式海洋構造物は、長さがおおよそ5,000 m、幅が1,000 m~2,000 m、深さがおおよそ10 mの箱形浮体で、防波堤で囲まれた海域内で多くのドルフィンにより係留される。

超大型浮体式海洋構造物の地震応答解析は、主として浮体を剛体と仮定して行われてきた。しかしながら、超大型浮体式海洋構造物の地震時応答解析において、浮体の面内剛性が考慮された場合、浮体、フェンダーおよびドルフィンにどのような影響が与えられるかを研究することは重要である。特に、地震波の進行方向と速度、ドルフィンとフェンダーの間のギャップなどが浮体、フェンダーおよびドルフィンに与える影響を総合的に検討することが必要である。

本論文では、上で述べた総合的な検討の第一歩として、長手方向に49基のドルフィンで支持された浮体がギャップ要素を介してバネとダッシュポットで支持された面内弾性平板としてモデル化され、地震荷重は2種類のサイン波でモデル化され、地震応答解析が行われた。そしてその結果として、以下の結論を得た。

- (1) ドルフィンとフェンダーの間にギャップがない場合は、浮体には、負荷されたサイン波の周期にかかわらず、浮体の固有周期での運動が発生し、これに負荷されたサイン波と同じ周期の高次の振動が伴う。
- (2) 外側のフェンダーとドルフィンの上に0.4 mのギャップがある場合、浮体の横方向の振動の周期はフェンダーを通じてドルフィンより浮体に与えられた運動量の大きさにより決定される。

<氷海技術部>

Preliminary Study on Sea Ice Observation  
Using a Ship-born Laser Altimeter

船舶に搭載したレーザー高度計を用いた  
海水観測に関する予備的研究

下田春人、宇部正太郎、岡 修二

平成11年2月

The 14 th International Symposium on  
Okhotsk Sea & Sea Ice Abstracts

氷厚観測手法の高度化及び氷丘氷や氷丘脈などの変形氷の形状特性を把握することを目的として、船載式レーザー高度計による海水の表面高度観測を実施した。実船実験は海上保安庁の巡視船「てしお」を用いて、1998年2月に知床岬北方のオホーツク海で行われた。レーザー高度計による観測と同時に、舷側に設置したビデオカメラを用いて氷厚を計測した。また実験期間中に2カ所で氷盤上に降りて、掘削により氷厚及び積雪深を実測した。本研究では「てしお」が砕氷後にチャンネル中を低速で後進している際のレーザー高度計データを解析した。これは高度データに及ぼす船体運動の影響を無視できると考えられるからである。

氷盤掘削による実測値と比較し、レーザー高度計による海水の表面高度 (sail 高さ) の計測精度 (図-1) 及び全厚さ (海水厚と積雪深の和) の推定精度 (図-2) について検討した。また高度データを用いて変形氷表面の凹凸の特性を考察した。本研究によって得られた主要な結論は以下の通りである。

- 1) レーザ高度計による sail 高さは氷盤掘削による実測値と比較的良好な一致を示した。
- 2) 当該海域における氷盤の sail 高さと喫水の比は 2.86と定められた。
- 3) この値を用いて sail 高データから全厚さを推定し、実測値と比較したが良好な一致は得られなかった。推定精度を向上させるためには、sail 高データの基準レベルである海面高度を精度良く計測する必要がある。
- 4) 変形氷の起伏幅 (sail 幅) は2.4~30.1 m の範囲に分布し、5~10 m の頻度が最も高かった。
- 5) 変形氷の sail 幅と高さには有意な相関は認められなかった。

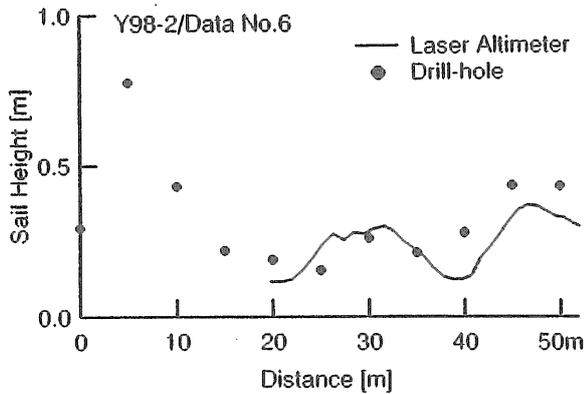


図1 sail 高さの計測精度

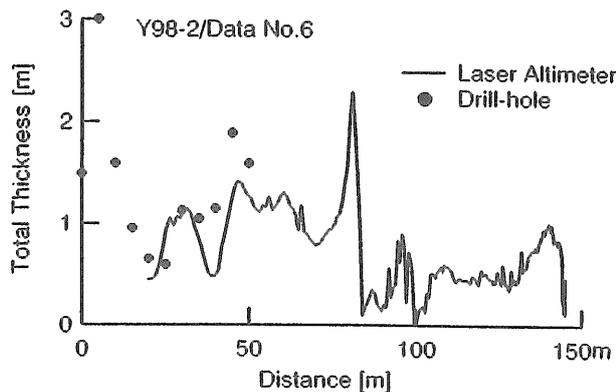


図2 全厚さの推定精度

## Ice Force Distribution around a Ship Hull

船体周りの氷荷重分布

泉山 耕、若生大輔、宇部正太郎

平成11年 8月

Proceedings of 14 th International Conference  
on Port and Harbour Engineering under  
Arctic Conditions

水中を航行する船舶は、周囲の氷との接触によりその船殻に大きな力、氷荷重を受ける。氷荷重は一般に、全体荷重及び局所荷重という二つの観点に分けて取り扱われる。全体荷重は、砕氷抵抗という形で船舶の氷中航行性能に対する支配因子となる。氷海水槽における模型実験は、砕氷船・耐氷船等の氷中船舶の設計における重要な手法である。近年、WAAS 船型、スプーンバウ船型等の従来のものとは大きく異なる船型を有する船舶が建造され、実績を上げているが、これらの新船型開発にあたって、氷海水槽実験の果たした役割は大きい。氷海水槽における実験の主要な目的は、対象船舶の砕氷抵抗を求めてその氷中性能を推定することにある。砕氷抵抗は、船体各所に働く局所氷荷重の和として与えられる。従って、船体周囲の局所荷重の分布を知ることは、砕氷抵抗の観点から効率的な船型を設計するという意味において重要である。本研究では、シート状の圧力センサーを用いて船体周りの局所荷重の計測を試みた。

本研究で用いた圧力センサーは、厚さ0.3 mm 程度のセンサーシートと制御用コンピューターからなる。センサーシート上には、約2,000点の感圧スポットがあり、各スポットで計測された圧力はコンピューターに取り込まれ、二次元の圧力分布として表示される。実験では、センサーシートを模型船舶体上に貼り付け、模型船を平坦水中に曳航する時にセンサーに加わる氷荷重を計測した。実験は、実船状態で、1 m の厚さの平坦氷中において1及び5ノットの船速に対して実施した。実験並びに解析結果の概要は以下のとおりである。まず、氷板と船体との接触は、水平の細長い領域で起きることが観測された。このような氷と船体との接触状態は、特殊な観測窓を取り付けた実船実験においても観測され、line-like contact として知られているが、模型実験においても同様の接触状態が確認されたこととなる。次に、船体上における氷荷重の分布について考察した。まず、氷荷重の鉛直分布については、喫水線から喫水深の約30%の深さまでの領域に卓越的に発生していることが示された。なお、ピーク荷重に関しては、模型船の速度による明瞭な差は認められない。一方、氷荷重の水平方向の分布については、船速5ノットの場合が1ノットの場合に対して船首部の荷重が卓越していることがわかった。この差が砕氷抵抗の差となっているものと考えられる。

## Ship-based Sea Ice Observations in the Southernmost Part of the Sea of Okhotsk

船舶による南部オホーツク海の海水観測

宇部正太郎、下田春人、田村兼吉

平成11年 8月

Proceedings of the 15 th International Conference on  
Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions

サハリン沖の石油・ガス開発プロジェクトの進展に伴って、オホーツク海の海上交通量が飛躍的に拡大するとともに海洋汚染の危険性が高まることが懸念される。特に流水季に当該海域を航行する船舶の安全性を確保することは緊急の課題であるが、当該海域の海水状況、特に海水の厚さに関する情報は極めて限られている。

当所では海上保安庁装備技術部と共同で、1991年以来、砕氷巡視船「そうや」及び「てしお」の氷海試験を実施している。本試験では船舶の氷中性能の基礎データとして各種の海水観測を実施してきた。主な計測項目は氷厚及び積雪深、密接度、表面高度、温度及び塩分濃度である。このうち氷厚観測はビデオカメラを用いるとともに、いくつかの氷盤ではドリルによる掘削観測を行った。本研究ではこれらの氷厚観測結果を用いて、北緯45度以南の南部オホーツク海域の氷厚分布の特性について考察した。本研究で得られた結論は以下のとおりである。

- 1) 南部オホーツク海域で最も頻繁に観察される氷盤は、厚さ0.3~0.4 m の変形していない平坦氷である。
- 2) 厚さ0.4 m 以下の氷盤のほとんどは非変形氷である。

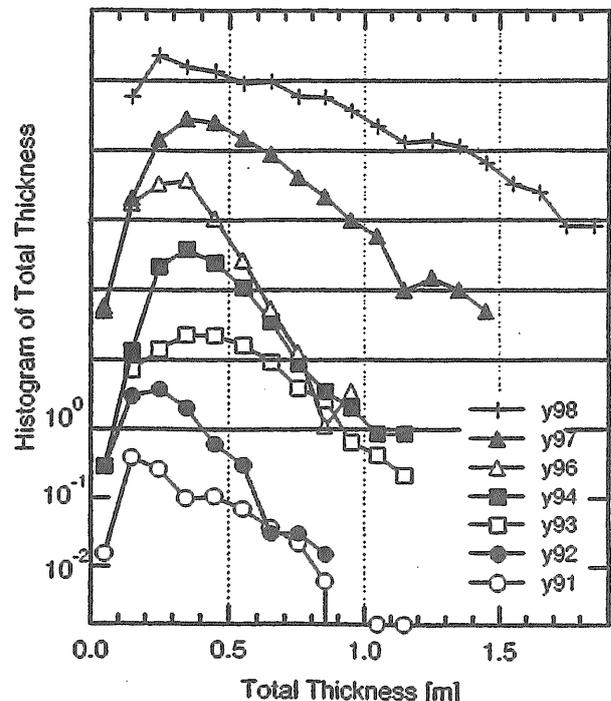


Fig. 8 Histogram of Total Thickness by Video Measurements-2

- る。これは理論式による非変形氷の最大厚さの推定結果と良く一致する。
- 3) 一方、当該海域を航行する船舶の障害による厚さ0.5 m以上の氷盤のほとんどは変形氷であり、その性質を明らかにすることが航行安全を確保する上で必要不可欠であると考えられる。
  - 4) 変形氷の割合はビデオ観測による氷厚分布のヒストグラムを片対数表示した Fig. 8 の傾きによって表現される。変形氷の割合は年によって変化が激しいことがわかった。
  - 5) ビデオによる氷厚観測結果は、南部オホーツク海の平均氷厚とオホーツク海全体の海水面積の総和に正の相関があることを示唆している。
  - 6) レーザ高度計を用いた表面高度計測結果を用いて氷厚を推定し、氷盤掘削結果と比較したが満足する結果は得られなかった。本推定は積雪の深さ及び密度の影響を強く受けるので、本手法による氷厚推定の精度を高めるためには積雪観測データの充実を図る必要がある。

#### 砕氷巡視船に関する調査研究(その2) 第10報(速報)

宇都正太郎、金田成雄、下田春人、瀧本忠教、  
岡 修二、山田安平、野口雅史、東 繁樹、  
白鳥孝司、七嶋直幸

平成11年 8月

海上保安庁装備技術部船舶課

船舶開発技報 第25号

サハリン沖原油・ガス開発プロジェクトは平成11年7月から無氷期のみ原油生産に着手し、21世紀初頭には本格生産を開始するといわれている。これに伴い、オホーツク海海上取引の飛躍的増加が予想されるとともに、油流出等による海洋環境汚染に対する対応をさらに強化することが求められるであろう。今後、同海域における海上保安業務は拡大し、砕氷巡視船に期待される役割はますます大きくなると思われる。

同海域を流水季に航行可能な巡視船は、ヘリコプター1機搭載型砕氷巡視船「そうや」(PLH-01)及び中型砕氷巡視船「てしお」(PM-15)の二隻である。特に「そうや」は厚さ1 mの氷盤を連続砕氷航行できるほどの高い氷海航行能力を有するが、船齢が21年に達し、代船建造の基本計画に着手する時期が近づきつつある。

この様な認識に鑑み、海上保安庁装備技術部船舶課と当所氷海技術部との間で、「そうや」代船の設計建造を想定した基礎資料収集を目的とした共同研究「砕氷巡視船の設計手法の高度化に関する研究」を平成8年度より開始した。

オホーツク海流氷域での運用に最適な巡視船を設計するためには、既存巡視船による実船計測を行い氷海航行性能及び氷海状況に関するデータを取得し、解析することが必要不可欠である。例年、流水が北海道沿岸に接岸する2月上旬に巡視船「そうや」によるアイスパトロールが行われているが、この時期の海水の状況は概ね穏やかである。そこで流水の勢力が強い2月下旬の約一週間を選び、巡視船「そうや」(平成8年度)及び巡視船「てしお」(平成9年度)を用いて、航行限界に近い厳しい氷況の下で本格的な氷海試験を企画・実施した。平成10年度は3年計画の最終年度であり、昨年度に引き続いて巡視船「てしお」氷海試験を実施するとともに、過去3年間の研究成果のとりまとめを行った。

平成10年度氷海試験は平成11年2月21日～27日の7日間行われ、巡視船「てしお」のラミング性能試験及び平坦水中での直進航行試験を実施した。これらの試験で構造応答、軸出力、氷況データ等を取得し、航行性能の評価及び運航・操船上の諸問題の抽出を試みた。特に今年度は本船の航行限界を超えるような厳しい氷況下で各種計測を成功させることができた。

本報告では、はじめに過去3年間の研究成果の概要を2節で述べた。続いて本年度の氷海試験結果の概要を3節及び4節で記述した。氷海は極めて特殊な環境であり、そこでの試験を感覚的に理解するのは必ずしも容易ではない。そこで末尾に本試験に従事した二名の手記を掲載した。

## 船型主要目及び馬力の変遷について（その1 油槽船）

On Principal Dimensions and Performance  
of Built Ships

(Part 1 Oil Tanker)

山口眞裕

平成11年11月

関西造船協会講演論文集

1960年代から急速に油槽船の船型が大型化するとともに、貨物船もコンテナ船の出現で高速化されている。これら船型の変遷については、日本造船学会百周年記念の元良東大名誉教授の講演などで代表的な船型について示されている。しかし、一般の船全体でどのように変化しているかを示した資料は見当たらないので、今回船舶全体のデータ収集を行い、船舶の船型性能の変遷を調査することにした。今回は、油槽船について報告する。

船型データ収集に当たっては、建造船舶の排水量が記載されていることが必要で、日本海運集会所の日本船舶明細書に記載されていることがわかり、これよりデータを収集した。

収集した船舶の中で、今回は油槽船についてまとめた。収集したデータを解析した段階で、載貨重量約1万トン及び船の長さ約150 mを境に性能の変化が異なることがわかり、そこで、ここでは、長さ150 m以上の油槽船について述べることにした。

収集したデータは日本に船籍を置いているものであり、過去において積載重量が最大約50万トンで、最近では約27万トンが大きい油槽船である。これらの資料から、推進性能を示すアドミラルティ係数と有効抗揚比を求め、年代による変化を調べた。また、大胆な仮定で、全抵抗係数および造波抵抗係数を求め、船型の大型化による粘性抵抗係数の減少とともに、造波抵抗係数の減少を解析結果から判明することが出来た。

今回は長さ150 m以上の油槽船について報告したが、150 m以下の油槽船では、船型による性能向上の実績が余り明白でなく、今後の調査が必要と思われる。