

所 外 発 表 論 文 等 概 要

<特別研究官>

Study on the Application of LCA to Ship

船舶建造の LCA

木原 洸、亀山 道弘、浦 環

平成11年11月

第3回エコバランス国際会議

(主催：未踏科学技術協会、産業環境管理協会他)

第3回エコバランス国際会議プロシーディング

自動車業界や家電業界等多くの業界は製品に関するLCAを実施している。しかし船舶は多品種少数生産であり、部品も多く、船舶のLCAは困難と考えられている。本論文は船舶の建造工程を把握して建造時における使用エネルギー及び排出物を算出する方法について述べている。

船舶のLCAを実施するには製造、運航及び解撤に至るまでの消費エネルギーと環境負荷を与える排出物について数量的に算出する必要がある。本論文では製造工程に着目し、造船所における詳細な工程プロセスを調査した結果をフローチャート化した。またLCI (Life Cycle Inventory) の算出例としてタイプシップとして85,000tタンカーを選択し、この船を製造するための資材の投入量及び製造過程における全投入エネルギー量、及び製造過程におけるCO₂の排出量の概略を算出した。造船所における投入資材は主に鉄鋼であり、鉄の単位当たりの投入エネルギーとCO₂の排出量を基本に算出した。また、製造工程は溶接が主であるため、溶接線長から投入エネルギーとCO₂の排出量を基本に算出した。計算に当たっては日本のデータベースが未完成のため、ヨーロッパのデータベースと計算プログラムを用いて計算した。

本計算は概算計算であり、今後精度良い計算を行うには以下の検討が必要になる。

- ① 本計算は事業所全体の使用電力量からタイプシップの建造分を案分比例した結果であり、詳細には工程各プロセスでの収支を明確にする必要がある。
- ② ヨーロッパのデータベースは日本と異なる(発電方法、製造方法等)ため、日本のデータベースを他の研究機関と共同で作製する必要がある。
- ③ 溶接方法による使用エネルギー量と排出物の量を精査する必要がある。
- ④ 以上の検討に当たっては造船業者の協力が必要である。

<推進性能部>

A Relation Between Drag Reduction and the Distribution of Microbubbles

マイクロバブルの分布と抵抗低減の関係

川島英幹、角川 明、児玉良明、高橋孝仁

平成10年2月

Office of naval research

自由表面及び壁面乱流及び気泡流に関する

ONR Workshop 前刷集

マイクロバブルを用いた摩擦抵抗の低減法は、大変効果的な抵抗低減法として良く知られている。しかし現状では空気吹きだしに要するエネルギーが大きすぎるため、実用化を図るには、より効率的な空気の吹き出し法の開発が不可欠である。そのためにはマイクロバブルの境界層内におけるより効果的な位置と流れ方向における抵抗低減効果の持続性についての知見を得る必要がある。

そこで小型高速流路において、平均ボイド率と流速をパラメトリックに変化させ、また計測位置の空気吹き出し部からの距離を変えて、局所摩擦抵抗と局所ボイド率を計測する実験を行なった。

この局所摩擦抵抗の計測結果から、吹きだし位置より境界層厚さの200倍程度下流においても、抵抗低減効果が得られることを確認した。

さらに局所摩擦抵抗と局所ボイド率の計測結果を検討すると、同じ平均ボイド率の流れでも、壁面近傍の局所ボイド率の高い場合の方が、壁面近傍の局所ボイド率が低い場合に比べて、摩擦抵抗低減効果が大きくなっている。このことより壁付近の局所ボイド率が壁面摩擦抵抗の減少に重要であることが判った。

ボラード状態のプロペラにより誘起される
変動水圧について

Fluctuating Pressure Induced by a
Propeller in the Bollard Condition

黒部雄三、松田 登、右近良孝

平成10年 5月

日本航海学会第98回講演会 日本航海学会論文集第99号

現在、環境問題について大きな関心を持たれているが、本論文は船舶の航行により引き起こされる港湾及び水路で生じる環境影響のうち、船舶の発進及び停船時に生じる底泥の巻き上げや岸壁近傍や水路で起こる洗掘等の原因となるプロペラの変動水圧について研究結果を記述した。船舶の離岸、着岸時には、船速が殆ど無いため、ボラード状態でプロペラが作動する。このような作動状態の時、プロペラがまわりに対してどのような強さの変動水圧を発生し、この現象がどのような要因からなっているかについての研究は現在まで殆どなされていない。

本論文ではボラード状態で作動するプロペラが誘起する変動水圧を大型キャビテーション試験水槽で計測した。この計測では、翼数の異なる3種類のプロペラを用いるとともに、海底をシュミレートする計測平板とプロペラとの位置関係をも変化させて計測を行い、貴重なデータを取得した。

また、今回の計測データを用いて底泥の巻き上げの予測計算を提案するとともに計算例を示した。

次に、ボラード状態で作動するプロペラが誘起する変動水圧を分析した結果、プロペラ自身による規則的変動水圧成分と、プロペラ・ハル・ボルテック・キャビテーションによる不規則的成分とプロペラ後流による広い周波数をもつ成分からなり、前者が格段に大きいことが分かった。港内や水路での底泥巻き上げや洗掘を避けるためには、プロペラ・ハル・ボルテックスを発生しない様にすることが効果的であると言える。

最後に、今後研究すべき課題について提言した。

Large Eddy Simulation around a
LEBU Drag Reduction Device

抵抗低減装置 LEBU 周り流れのラージ・エディー・
シミュレーション

日夏宗彦、児玉良明、牧野雅彦

平成10年 9月

ハンブルグ大学 船舶工学研究所
数値水槽シンポジウム論文集

流体抵抗を低減させる装置の一つである LEBU (Large Eddy Break Up Device) がどのような流体力学的な機構で抵抗低減効果を発揮するのか調べるために、LES (Large Eddy Simulation) を用いて LEBU 周りの乱流場を解析した。今回は、計算上の利点から無限に続くチャンネル内に厚さが0の平板状の LEBU を周期的に挿入したモデルを用い、抵抗低減効果を調べた。計算領域はチャンネル幅(壁から壁方向)を1とし、流れ方向に10、スパン方向(奥行き方向)に1.6とした。LEBU は長さ1のものを壁から0.25だけ離れたところに設置した。

数値計算は SMAC 法を用い、圧力のポアソン式は LSOR 法によった。計算格子は直交格子を用い、流速及び圧力の定義点はスタガード配置とした。乱流シミュレーションには LES を用いた。乱流モデルはスマゴリンスキー型モデルを採用した。このモデルにはモデル係数を与える必要があり、今回は流場データから係数を評価するダイナミックモデルを用いた。

まず計算コードのチェックのために平行平板間流れの乱流場の LES を行った。この結果から、平均流速分布は対数則とよく一致することを確かめた。乱れの強度については、流れ方向の乱れ強度は実験結果とよく合っているが、壁から垂直方向成分及びスパン方向成分の乱流強度は実験結果より小さく評価された。しかし、強度分布は定性的に合っており、LEBU による乱流場の定性的な特性を議論することが可能と判断した。

本コードを用いて、上記の EBU まわりのシミュレーションを行った。この結果、厚さが0の LEBU でも流れに対して大きな排除影響を有することがわかった。このため、平均流速分布が LEBU による減速を受けることが明らかになった。また、LEBU が無いときは壁から、チャンネル中央部に向かってたて渦のわき上がりがおこり、大規模な縦渦構造が見られるが、LEBU があるときはそれらは分断され大きな渦構造に発達するのが阻害されることが分かった。このため乱れ強度も弱められ、これにより摩擦抵抗が減少する結果が得られた。ただし、LEBU まで含めた全抵抗は増加する結果となった。

今後の課題として、LEBU 長さや抵抗低減量の関係を明らかにすること、計算手法の定量的な精度を向上させることがある。また、今回の方法では、LEBU 厚さは0として、これをチャンネル流れに挿入したモデルを用いているが、LEBU の厚み影響を調べるためには、LEBU に沿った座標系を導入する必要がある。このためには、今回のコードを、一般曲線座標系に書き直すことが必要である。

マイクロバブルによる摩擦抵抗低減と 局所ボイド率の関係

A Relation Between Frictional Drag Reduction
by Microbubbles and Local Void Ratio

川島英幹、角川 明、児玉良明

平成10年 9月

日本航空宇宙学会 日本流体力学会

第30回流体力学講演会前刷集

マイクロバブル吹きだしによる摩擦抵抗低減法を船舶等において実用化するためには、より効率的に摩擦抵抗を低減できるようにマイクロバブルの吹きだし方法を改良する必要がある。そのためには、摩擦抵抗低減に効果的な気泡分布を知ることが不可欠であり、そこで局所ボイド率分布と局所摩擦抵抗の関係調べ、摩擦抵抗低減に効果的な局所ボイド率分布を調べた。

実験は小型高速流路で行ない、平均ボイド率を変化させ、5 m/s、7 m/s、10 m/s の3速度の流れにおいて、空気吹きだし部から下流側に500mm、1000mm、1500 mm の3箇所局所摩擦抵抗と局所ボイド率を計測した。局所摩擦抵抗の計測には剪断力計を、局所ボイド率の計測には吸い込み式のボイド率計測システムを用いた。

平均ボイド率 $\alpha_a = 0.08$ において、7 m/s の流れでは、各計測位置における抵抗低減率の差は、極僅かであったが、10 m/s の流れでは、下流側の2箇所、抵抗低減率が小さくなっていた。この時の各位置での局所ボイド率を計測すると10 m/s の流れの抵抗低減率の小さい計測箇所では、壁面付近のボイド率分布が相対的に小さくなっている。これは乱流による気泡の拡散効果によるものと考えられる。

これらの実験結果から壁面付近の局所ボイド率が高くなるのが、壁面摩擦抵抗の減少に効果的であることが判った。

マイクロバブルを含む流れの PIV による速度計測 Velocity Measurement of

Flow Field With Microbubbles Using PIV

角川 明、川島英幹、児玉良明

平成10年10月

日本機械学会関西支部第256回講演会論文集

船舶の摩擦抵抗低減デバイスの一つであるマイクロバブル (Microbubble) は、船体表面に発達する境界層中に微細な気泡を注入し、摩擦抵抗を低減させるものである。その抵抗低減メカニズムは未だほとんど明らかになっていないが、境界層に混入された気泡によって境界層内の乱流渦が影響を受け、壁近傍の速度勾配が緩やかになり、壁面摩擦応力が減少すると考えられる。その抵抗低減メカニズムを実験的に明らかにするため、小型高速流路に形成した境界層内におけるマイクロバブルを含む流速10m/sec の流れを、PIV (Particle Image Velocimeter) により速度計測し、気泡の有無による速度分布の差を検討した。

小型高速流路はマイクロバブル研究専用に製作された、十分に発達した2次元乱流境界層流れにおける実験を行う装置である。マイクロバブルは、同試験部上流端から1038mm 下流の上部壁面に設置した公称孔径 $2\mu\text{m}$ の多孔質板を通して、空気を水流中へ吹き込むことにより生成させた。本報告では、空気吹き出し部から下流500 mm の位置において、流速10m/sec における気泡あり (抵抗低減効果が大きいボイド率 $\alpha_a = 0.081$ の場合) と気泡なし ($\alpha_a = 0.0$) の2状態の PIV による速度計測結果を比較した。

その結果、気泡なしの場合の速度分布において、PIV と Pitot Tube による計測結果は良く一致した。また壁面から1 mm 以内を除いて、管内流の境界層内速度分布を表すとして一般的に用いられている1/7乗則の値ともほぼ一致した。この結果から気泡なしの状態の水流に対する PIV 計測結果は信頼できるといえる。

気泡ありの場合 (マイクロバブルを含む流れ) の PIV による速度計測値は、大部分の領域で水流の速度ではなくマイクロバブルの移動速度が計測されている。その理由はレーザー照射による気泡の輝度が水流トレーサの輝度に対して10~100倍も明るいため、水流トレーサの画面内相対輝度が低下し、水流の速度解析が困難になるためである。

マイクロバブル流れの特徴として、流れ方向平均速度 u が全域で増加している。その理由は、流路上流端の速度を10m/sec 一定とするため主流速を加速していること、および気泡混入により流路試験部空間の見かけの密度 ρ が減少することである。上下方向平均速度 v は上部壁面へ向かう0.2m/sec の流れが目立っている。浮力の影響としてはやや大きく、継続調査の必要がある。今後はマイクロバブルに対する PIV 計測手法の改良と抵抗低減メカニズムの解明を進めて行く予定である。

<運動性能部>

An Application of Fully Nonlinear Numerical Wave Tank to the Study on Chaotic Roll Motions

非線形数値造波水槽のカオス横揺れ研究への応用

谷澤克治、内藤 林

平成10年 5月

第8回国際極地沿岸工学会議プロシーディング

本論文は、時間領域の浮体運動非線形数値シミュレーション法を用いて構築した数値造波水槽の応用可能性を追求する研究の一環として、浮体のカオス横揺れの研究に対する適用性を調べたものである。本研究で用いた数値造波水槽は、非常に波の吸収効率の高い数値減衰領域を水槽両端に有し、反射波の影響が殆ど無い長時間の安定した運動シミュレーションが可能であるのが特徴であり、水槽実験と比して極めて高い S/N 比を保った運動波形を得ることができる。また運動の周期性を仮定しない時間領域の計算法であるため、カオス等の非線形現象の解明にも威力を発揮すると考えられる。

本論文では前半で数値造波水槽の概要を簡単に紹介し、後半で非常に小さな負の GM を有する不安定な 2 次元浮体（幅 74cm）の規則波中（波長 10m）での動揺計算の結果を紹介している。この浮体は通常の船舶の船体中央横断面形状を有しており、小さな負の GM は損傷時の船舶の Hydrostatics をモデル化したもので、左右に約 4 度傾斜した状態で安定である。このような状態の船舶は負の微小な線形復元力と正の 3 次の非線形復元を有している。本論文ではパラメータとして波高を 1 cm から 30cm まで順次増加変化させ、波高に対する横揺れ運動の変化を調べた結果を簡潔に示している。その概要を説明すると、波高が 1 cm と微小な時は運動は入射波周期の線形動揺であるが、波高を上げるに従い、Period Doubling による長周期運動が重畳するようになり、7.5 cm から 10cm では明確なカオス横揺れに至る。さらに波高を上げると運動が 2 倍周期の安定軌道に復帰し、いわゆる Bifurcation diagram のウィンドーが確認できる。もっと波高を上げて 30cm では再びカオス横揺れに至る。

以上、本論文は非線形数値造波水槽のカオス現象への応用可能性を具体的な計算例を上げて示したものである。

<構造強度部>

Timoshenko equation of vibration for plate-like floating structures

平板状浮体構造物の振動応答に関する

ティモシェンコ方程式

遠藤久芳、吉田宏一郎

平成10年12月

International Conference on Hydroelasticity in Marine Technology

Proc. of 2nd International

Conference on Hydroelasticity in Marine Technology

平板状浮体の動的挙動を支配するパラメータは、流体力特性および構造特性を表すものに分類される。構造特性を表すものは、ティモシェンコ方程式適用を考慮すれば、曲げ剛性、有効剪断剛性および断面回転慣性からなる。これまで、浮体の流体力学応答を解析する場合には、構造特性についてア priori に曲げ剛性のみ採り上げられ、他は無視されてきた。本論文では先ず、上述の構造特性パラメータを総て考慮して自由振動および強制振動のティモシェンコ方程式を導出した。また、通常の平板曲げ要素を用いた FEM プログラムにティモシェンコ方程式を組み込むことができることを示した。

次に、数種類の浮体構造を例に採り上げ、ティモシェンコ方程式を適用した自由振動解析および強制振動解析を実施し、剪断変形および回転慣性の影響をパラメトリックに評価し、以下の結果を確認した。通常の浮体構造物では剪断変形の影響は小さくて、回転慣性の影響は無視できる程度である。剪断変形の影響は、VLCC のように深さが大きい、または有効剪断面積が特に小さい断面特性を有する構造において顕著となる。さらにこの影響は応答の振動モード次数 n が大きくなるに従って顕著となるが、この閾値は大凡次式で表わされる。

$$D / \{Ga (L/n)^2\} > 0.02$$

D：曲げ剛性

Ga：有効剪断剛性

L：構造物の長さ

<機関動力部>

船用機関における脱硝装置の適合性について

Study on Suitability of SCR System
for Marine Diesel Engine

西尾澄人、高杉喜雄、桑原孫四郎、菊地正晃

石村恵以子、中島康晴、張 潔

平成10年11月

日本船用機関学会第61回学術講演会講演予稿集

実船における乳化燃料使用時排気特性の研究

Study on Emission Characteristics from
Onboard Engine with Emulsified Fuel

張 潔、高杉喜雄、桑原孫四郎、

菊地正晃、西尾澄人、石村恵以子

中島康晴、花原敏朗、西林 真

平成10年11月

日本船用機関学会第61回学術講演会講演予稿集

現在、地球環境問題は世界的に大きな関心事であり、船舶から排出される大気汚染物質については、NO_xとSO_xの規制が2000年1月から開始される予定となっている。

NO_x排出量低減の為に使用される脱硝装置は大幅なNO_xの低減が可能であり陸上ではすでに実用化されている。しかし船舶においては脱硝装置の大きさの制限や還元剤の安全性、エンジンの負荷変動といった陸上にはない問題点が存在するため実用化には至っていない。さらに、大型で低速の船用エンジンでは重質油を使用するため排ガス成分が陸上のものに比べて低質であり、排ガスの温度も陸上のものより低く、化学反応上の問題もある。

そこで船用中速4サイクルエンジンにA重油とC重油を用いて、排ガス成分(NO_x, N₂O, HC, CO)が脱硝装置によりどのような影響を受けるかを調べている。これまで、50%及び75%エンジン負荷での実験により、脱硝装置の使用によりNO_xは大幅に低減することが確かめられた。N₂OはC重油使用の場合はA重油の場合の10倍排出されるが、脱硝装置の使用により大幅に低減することが観察された。

今回は、排ガス温度がより低い25%エンジン負荷及び負荷変動がある場合、排ガス成分が脱硝装置によりどのような影響を受けるかを調べた。

実験から得られた結果を下記に記す。

- ・25%エンジン負荷時でも排ガス温度は300℃を越え、十分な脱硝効果が得られた。
- ・N₂Oは還元剤がない場合触媒層を含む排気管の中で増加するが、還元剤の注入により減少する。
- ・HCは還元剤がない場合触媒層を含む排気管の中で減少し、還元剤の注入によりさらに減少する。
- ・COは触媒層を含む排気管の中で増加するが、還元剤の有無による顕著な差はない。
- ・機関に周期的な負荷変動を与えた場合、NO_x及びCO濃度が変動する。その平均値は対応する平均負荷時の濃度とほぼ一致する。

NO_x排出量の低減は世界的な要求であり、国際海事機関(IMO)において船舶からの大気汚染防止に関するMARPOL条約新付属書録VI及びこれに関連するNO_xテクニカルコードの規制案が採択された。この規制は、出力130kWを超える船用ディーゼル機関に適用されるもので、2000年1月1日以降に建造される船舶に搭載されるエンジンを対象としている。規制の発効以後、5年毎に見直しがされ、徐々に規制が厳しくなることが予想されている。これに対応するため乳化燃料の使用等のNO_xの低減方法が検討されている。

乳化燃料の使用により、排ガス中のNO_xが低減することは実験室では確認されているが、実船での実績はほとんどない。しかしながら、運輸省航海訓練所の練習船日本丸の3号発電機(中速船用ディーゼル機関)において、平成8年9月より10年3月までの間、乳化燃料を使用して、長期運転を行った。

日本丸発電機乳化燃料の長期運転期間中、計3回にわたって、排ガス特性を測定し、分析した。その結果は実船の排ガス特性も実験室で得られた排ガス特性の傾向とほぼ一致していることが分かった。即ち：

- ・加水率の増加とともに、NO_x濃度が減少した。
- ・CO濃度は加水率の増加により、低負荷域で増加した。

また、3回の測定におけるNO_xの排出量を比較したところ、経年的に増加していることが分かった。

原子力船「むつ」モデルによる船用機関の
 負荷変動特性シミュレーション
 Marine Engine Performance Evaluation under
 Small Fluctuated Load Condition-Simulation
 Cases used the Nuclear Ship Engineering
 Simulator-
 青木修一、京谷正彦
 平成10年11月
 日本船用機関学会 第61回学術講演会講演予稿集

船用機関の負荷変動を日本原子力研究所の原子力船エンジン・シミュレーション・システム（ここでは「むつ」シミュレータと言う）を用いて解析した。「むつ」シミュレータは船用機関（ここでは加圧水型原子炉）を含む船体・推進系の挙動を一貫して模擬できる唯一の船用機関シミュレータである。このシミュレータを用いて、船は風上に向かって直進し、潮流は無いものと仮定し、初期条件として原子炉出力約90%、プロペラ軸出力約9,000PS、プロペラ回転数約188.5rpm、船速17.3kt、海水温24℃などを与えて、シミュレーション計算を行った。また、有義波高、波周期は北太平洋の波高表より内挿した波高0m～3.5mの場合を、0.5m毎に与え、風向、風速は無風状態と向かい風10m/sの場合を、プロペラ回転数フィードバック制御をONにした場合とOFFにした場合に分けて計算を行った。波は波向き0°、±30°、±60°の5成分の合成波を用いた。シミュレーションは初期条件の下に各条件のステップ毎に行い、統計的にみて安定したと思われるデータ3,000個を取り出して統計処理した結果を用いた。

プロペラ軸馬力を縦軸に取り、横軸に船速を取った軸馬力-船速線図では、トルク一定の機関（ディーゼル船に相当）は平水中から波浪中に入ると、船速低下量が大きいので左下がりの直線を示し、馬力一定の機関（タービン船に相当）は船速低下が少ないので横軸に水平な直線を示し、回転数一定の機関では左上がりの直線で示されると言われている。シミュレーション結果を整理すると原子力船「むつ」（蒸気タービン船のボイラを原子炉に置き換えたタービン船の一種）はプロペラ回転数フィードバック制御をかけない場合はほぼ横軸に水平な直線となり、波浪中での船速低下の少ない、いわゆる「腰の強い船」であることが検証できた。更にプロペラ回転数フィードバック制御をかけた場合には、同線図で左上がりの直線となり、一層波浪中での船速低下の少ない船であることを示せた。その他、波高と船速、波高とプロペラ軸馬力、波高と蒸気発生器蒸気流量及びタービン蒸気流量、軸馬力、船速、プロペラトルク、プロペラ回転数、波高の変動について図表で示した。

タンカー原油陸揚げ時の緊急送油停止による水撃現象
 A study on fluid transient in the emergency
 valve closure of crude oil loading equipment

汐崎浩毅、綾 威雄

平成10年12月

日本機械学会 第7回交通物流部門大会講演予稿集

1990年、東京湾で、海上のバースに係留中の原油タンカーから陸上のタンクに送油している際に、強風によって船がバースを離れて原油ローディングアームが切断し、原油が海上に流出するという事故が発生した。

こうした事故の防止のため、ローディングアーム先端のカップラー部分について、アーム側及び船側に各々緊急遮断弁を設け、船体がバースを離れる等の緊急時には、両弁を閉鎖したのちカップラーを切離すという機構が開発された。

しかしながら、こうした系において弁を短時間で閉鎖する際には、主に弁の前後にいわゆる液柱分離現象（減圧によるキャビティの生成）が起き、キャビティが再び消滅する際に弁または管路に大きな水撃圧力を生じる可能性がある。特に陸側の管路系統は、海上バースと陸上原油タンク間の距離が10km前後と長く、圧力波の往復に時間を要するため、キャビティ長は数10mにも成長し、水撃圧力も高くなることが予想される。

本研究は、こうした系の水撃現象について解析的予測を行ったものであり、以下のような結果を得た。

- (1) 大きな水撃圧力の発生を防ぐには、ローディングアームの緊急遮断弁と、陸上タンク内の原油液位の高低差に留意する必要がある。条件によっては、水撃圧力が管耐圧を越える危険がある。また、水撃圧力は、弁部分より海底の送油管において大きくなる可能性が高く、事故が生じたときの被害も後者の方が大きいため、送油系の設計に当たって注意が必要である。
- (2) 緊急弁閉鎖途中でカップラーが切断された場合、アーム側管路については空気が流入し、これが水撃緩和作用を持つ。切断後、油流出を防ぐため速やかに弁を閉めると、かえって大きな水撃圧を生じ危険な場合がある。一方、この送油系では、船側については速やかにバブルを閉鎖するのがよい。

4 サイクル船用ディーゼル機関への乳化燃料の適用

Application of Emulsified Fuel to

4-stroke Marine Diesel Engine

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、西林 眞、花原敏朗

平成10年12月

日本機械学会 第7回交通物流部門大会講演論文集

N₂O 等有害排ガスに与える燃料性状及び
脱硝装置の影響Effect of fuel property or SCR system
on Harmful Emission such as N₂O

桑原孫四郎、高杉喜雄、菊地正晃、西尾澄人

石村恵以子、中島康晴、張 潔

平成11年2月

日本船用機関学会誌第34巻第2号

我々は、船用ディーゼル機関における窒素酸化物(NO_x)排出抑制技術として、乳化燃料の使用を検討してきた。本報では、陸上及び実船試験における、乳化燃料を用いた4サイクル中速船用ディーゼル機関からのNO_x及びその他の大気汚染物質の排出特性について報告する。

NO_xは乳化燃料の加水率の増加に対して減少し、NO_x低減率はC重油よりもA重油の方が高い。また、NO_x低減率は負荷率の上昇に伴って向上した。亜酸化窒素(N₂O)はA重油及びC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い。C重油の場合、50ppm程度含まれ、加水率の増加とともに減少したが、負荷率によるN₂O低減率への影響はほとんど見られなかった。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。実船試験における、NO_xとCOの排出特性は、陸上試験とほぼ同様であった。

乳化燃料を使用した場合、水の蒸発潜熱により火炎温度が低下し、NO_xが減少する一方でCOは増加するが、HC及びPMは特に低負荷域でCOと類似した排出特性を示すことがわかった。

また、N₂Oの排出については、N₂Oが高温では分解しやすいこと、硫黄分の少ないA重油を使用した場合には殆ど発生しない一方で、硫黄分の多いC重油を使用した場合には高濃度で発生していること、ならびに乳化燃料を使用した場合の低減傾向がNO_xと類似していることから、N₂Oは燃焼後の過程においてNO_xとSO_xの反応により生成するのではないかと示唆される。

以上の結果から、燃料の種類及び負荷率に応じた加水率の選択すれば、船用ディーゼル機関への乳化燃料の適用は、他の大気汚染物質の増加を抑制しつつNO_xを低減する方法として極めて有用であると考えられる。

現在、地球環境問題は世界的に大きな関心事であり、船舶から排出される大気汚染物質については、NO_xとSO_xの規制が2000年1月から開始される予定となっている。

NO_x排出量低減の為に使用される脱硝装置は大幅なNO_xの低減が可能であり陸上ではすでに実用化されている。しかし船舶においては脱硝装置の大きさの制限や還元剤の安全性、エンジンの負荷変動といった陸上にはない問題点が存在するため実用化には至っていない。さらに、大型で低速の船用エンジンでは重質油を使用するため排ガス成分が陸上のものに比べて低質であり、排ガスの温度も陸上のものより低く、化学反応上の問題もある。

そこで船用中速4サイクルエンジンにA重油と2種類のC重油を用いて、排ガス成分(NO_x、N₂O、HC、CO)が燃料性状及び脱硝装置によりどのような影響を受けるかを調べた。

実験から得られた結果を下記す。

1. C重油を使用した場合、A重油の場合に比べ約10倍ものN₂Oがディーゼル機関から排出される。
2. ディーゼル機関から排出されるN₂Oは、燃料中の窒素分の影響よりも燃料中の硫黄分の影響を強く受けるものと考えられる。
3. ディーゼル機関に同一燃料を使用した場合、N₂O濃度はNO_x濃度と関係する。N₂O濃度はNO_x濃度の増加とともに増加する。
4. 脱硝装置の使用により、NO_xに加えN₂O、HCの低減も可能である。

<材料加工部>

コンプレッサーホイールの超音波探傷の実験について

Ultrasonic Testing for Compressor Wheel

勝又健一、千田哲也、菅 進

平成10年9月

日本非破壊検査協会 超音波分科会資料(1998、第2回)

高速船主機として使用されているガスタービンエンジンのコンプレッサーの第1段ホイールの損傷事故が発生した。同種のエンジンを調べた結果、多数のエンジンで同一箇所なき裂の発生が認められた。き裂の有無はエンジンを分解し、蛍光浸透探傷で調べることができ、船からエンジンを取外したりと分解検査には多くの時間と経費がかかり、より簡便な検査法が望まれている。本報告は、船舶用ガスタービンコンプレッサーのホイールに発生したき裂を、非破壊的に検出する実験を行ったものである。手法には実用的な見知と簡便性などから超音波探傷を適用した。試料の第1段ホイール(直径190mm)はスロットが設けてある(ブレードスロットラグ33ヶ)。スロットラグ直下に発生したき裂を検出するため、探傷面はラグの表面である。探傷の距離は5mmと短いので、周波数10MHzの垂直探傷子を使用した。

健全全部の場合の底面エコー、100%に対してスロットラグの中心線を一部貫通するようなき裂がある場合は、底面からのエコーが出現しなかった。比較的低いエコーが得られる場合、エコー高さ40%以下をき裂が存在すると判断した。100%~40%の範囲のエコー高さはき裂が存在するとは判断しないことにした。以下二つのホイール(試料A及び試料B)に対して超音波探傷と蛍光探傷とを比較した。33ヶのラグに対し、蛍光及び超音波探傷によるき裂の検出は試料Aで13、10ヶ及び試料Bでは3、2ヶであった。蛍光探傷でき裂を検出した4ヶのラグ(試料Aで3ヶ、試料Bで1ヶ)に対して、超音波探傷では検出していない。これらは蛍光模様からみて、ラグの隅から発生している短いき裂であった。これは超音波で探傷をラグ中央に限ったこと、あるいはき裂の奥行が小さいことにもよると思われる。しかし、中心部を通るような大きなき裂は両者とも一致しており、検査の利便性から考慮すると超音波の方が容易に検査可能で、迅速であると考えられる。なお、ホイールのラグにブレードが付いている状態でも、探傷面の幅10mmを確保できるため超音波探傷はコンプレッサーを分解せずに実施が可能であり、実用的にも検査に支障はないと思われる。

鋼球の反発係数を用いた板厚測定手法の検討

Study on thickness measurement

by steel ball rebound

島田道男、吉井徳治、成瀬 健

平成10年10月

日本機械学会 第76期全国大会講演論文集 Vol. I

高齢船舶では、構造部材腐食衰耗量の測定が構造健全を判断する上で極めて重要である。そのため、船舶検査において超音波厚さ計測を実施しているが、腐食生成物の除去と表面研磨が必要なため、適用性が悪くその改善が求められている。

現在のところ、超音波厚さ計の適用性を大幅に改善することは困難であり、また腐食部材を対象とした場合には、高い測定精度は不要である。適用性に優れた測定法が求められるゆえんである。

そこで、新しい板厚測定法を検討するため、鋼板上に落下させた鋼球の反発挙動を実験的に調べた。予備実験によって、鋼板の厚さと鋼球の反発係数の間に相関が見られたので、以下のような実験方法を用いて検討を進めた。a.裏面に井桁状の補強材を溶接した厚さの異なる3種の1m角の鋼板を用意し、表面の黒皮を除去した。b.鋼球と鋼板が接触している時に電圧が現れる回路を形成し、デジタルオシロを用いて鋼球の跳ね返り時間間隔、接触時間を測定できる計測システムを準備した。c.鋼板厚さ(10mmt、16mmt、22mmt)、鋼球径(10mmφ、20mmφ、30mmφ、40mmφ)、測定位置(補強材からの距離0~26cm)、落下高さ(8cm、16cm、32cm)を変えて実験データを収集・検討した。

反発係数は、裏面に補強材がある位置で大きく、そこから離れるに従い低下したが、100mm程度離れると一定値になった。低下の程度は、鋼板が薄いほど、また、鋼球径が大きいほど大きかった。このことは、大きい鋼球による反発係数が板厚と相関があり、補強材からある程度離れると補強材からの影響を受けずに板厚の推定が可能であることを示していると考えられた。接触時間には、大きな鋼球径において板厚との相関が見られた。反発係数および接触時間は落下高さによって大きく影響されることはなく、落下高さに対して鈍感であった。

アルミナ溶射皮膜の結晶構造分析
Crystallography of plasma-sprayed
alumina coatings

高橋千織、植松 進、千田哲也、矢野不二夫
平成10年10月

日本溶射協会第68回全国大会講演論文集

溶射原料粉末として市販のホワイトアルミナより分級して得られた α -アルミナ粉末M (粒径分布: 38~63ミクロン) 及びL (粒径分布: 20~38ミクロン) と活性アルミナとして市販されている γ -アルミナ粉末G (中心粒径: 40~50ミクロン) の3種類の粉末を用いて溶射皮膜を作製した。これらの皮膜についてX線回折による詳細な結晶構造分析を行い、比較検討を行った。粉末Mの皮膜は溶射距離100mm までは15%の α 相含有率を示したが、溶射距離が長くなるにつれて α 相含有率は激減した。これに対し、粉末Lの場合には溶射距離が比較的短い時には粉末Mと同様に α 相含有率は15%程度であるが、溶射距離が長くなると、粉末Mの場合とは逆に α 相含有率は多くなった。一方、粉末Gの場合には溶射距離100mm までは30%程度の α 相含有率となっており、溶射距離が長くなるにつれて α 相は直線的に減少し、溶射距離200mm で粉末Lと逆転する。これらの結果より粉末粒子のプラズマジェット中での加熱過程やその後基板にぶつかるときの冷却過程は、原料粉末のサイズ (すなわち熱容量) や結晶構造に影響され、皮膜構造にも大きな影響を与えることがわかった。すなわち、これら皮膜の結晶構造解析を詳細に検討することで、溶射粒子の熱的過程を明らかにすることができることを示した。

2軸繰り返し荷重下における角回し溶接継手の疲労挙動
Fatigue behavior of boxing welded joint
under biaxial cyclic loads

高橋一比古、高田篤志、秋山 繁
牛嶋通雄、前中 浩

平成10年11月

日本造船学会論文集第184号

船体構造には、重力、波浪外力、慣性力等、様々な外力が様々な方向から複合的に作用する。従って、船体構造部材の強度や寿命を論じる場合、この複合 (多軸) 荷重状態の影響を明らかにしておく必要がある。これまでも、直交2軸の繰り返し引張荷重による疲労を実験的にあつかった研究はあるが、切欠付きの母材に関するものが多く、溶接継手を対象としたものは少ない。今回、主として位相差 π をもつ直交2軸の繰り返し荷重を受ける角回し溶接継手の疲労挙動について若干の知見を得たので報告した。

供試材は溶接構造用鋼 SM400B (板厚12mm) で、試験体は主板の中央部・表裏面にスティフナーを2枚、CO₂半自動の角回し溶接により接合したものである。疲労試験には寿命評価実験棟に整備した複合荷重試験装置を用い、中点不動荷重制御の2軸疲労試験を実施した。まず、2軸繰り返し荷重下においても、1軸試験と同様、角回し溶接止端部に生じたき裂は横方向にほぼまっすぐ進展し、横方向荷重によるき裂の斜行は生じなかった。止端部近傍の残留応力が降伏応力に達しており、また溶接止端部における応力集中の度合いが横方向よりも縦方向で著しいことから、き裂進展の初期段階でき裂が横方向に進むことは説明できるが、その後の経路予測については、両軸荷重の振幅比、試験体幅等の影響も含め更なる検討が必要である。次に、2軸荷重が位相差 π を持つ場合、横方向繰り返し荷重による応力レンジ $\Delta\sigma_x$ の増大 (σ_x の下限値低下) がき裂発生寿命 N_c を短くする度合は、1軸試験における $\Delta\sigma_x$ の増大 (σ_x の上限値上昇) がもたらすものとほぼ同等であった。これは、止端部近傍に降伏応力程度の高い x -方向引張残留応力が存在し、 σ_x の変動が常に引張側に保たれていることに起因すると思われる。最後に、FE解析結果と1軸疲労試験データより、2軸試験体の疲労寿命を推定したところ、安全側の比較的良好な評価が得られた。推定誤差の主な原因は、FE解析による応力レンジ $\Delta\sigma_0$ の過大評価と、2軸試験のき裂伝播寿命に対する過小評価であった。

微細粒のくさび効果による疲労き裂進展抑制

Restraint of fatigue crack propagation

by wedge effect of fine particles

高橋一比古、高橋千織、古谷典ゆき

平成10年11月

日本造船学会論文集第184号

微細粒を含んだ油が疲労き裂内に侵入した場合、き裂先端に輸送された微細粒によるくさび効果が、疲労き裂の進展に対してどのような影響を及ぼすのかを、き裂進展試験および破面解析により実験的に検討した。供試材としてはアルミ合金 A5083P-O を用い、板厚 5 mm の平板試験片の中央部に人工切欠きを加工した。微細粒としては、磁粉探傷用の磁粉および粒度分布の異なる 2 種類のアルミナ粒子を用い、これを油で溶いてペースト状にし、試験片の切欠き部および予想されるき裂進展経路に塗布した。疲労試験中は適当な間隔で荷重振幅を減少させ、破面にピーチマークを導入した。試験終了後、微細粒によるき裂進展抑制メカニズムをよりミクロな見地から検討するため、CCD マイクロスコープ、SEM、EPMA 等、種々の観察機器を用いて破面観察・破面解析を行った。

まず、磁粉および平均粒径 $15.2 \mu\text{m}$ のアルミナ粒子を用いた場合、微細粒のくさび効果による疲労き裂進展抑制作用が確認された。特に後者の場合は効果が大きく、破断寿命が 40 万回ないし 70 万回延びた。一方、平均粒径 $47.3 \mu\text{m}$ のアルミナ粒子を用いた場合には、粒子がき裂内にうまく輸送されず、効果が無かった。

次に、微細粒の疲労き裂進展抑制作用は、き裂発生後、伝播過程のごく初期の段階において顕著であり、疲労き裂長さが 3 mm を超えるとその効果は殆どみられなくなった。また、微細粒ペーストが有効であった試験体に対する破面解析の結果、切欠き底近傍の破面には、くさびとして作用した微細粒が圧着していることが確認された。磁粉の場合には、押しつぶされた粒子が切欠き底から数 mm の範囲で比較的均一に分布しており、アルミナ粒子の場合には、細かく粉碎された粒子が切欠き底から約 1 mm の領域に顕著な表層を形成していた。

以上から、微細粒のくさび効果による疲労き裂進展抑制作用を扱う場合には、微細粒の材質、平均粒径、硬度等の粒子特性が重要な因子であり、また、その進展抑制作用はき裂伝播過程のごく初期の段階に限られるという点を考慮に入れておく必要があることがわかった。

二、三の反射源波形における合成

スペクトル紋と可聴変換出力

Study on Spectrum Pattern and Frequency

Conversion Output of Some Reflection Wave

勝又健一

平成10年11月

日本非破壊検査協会

平成10年度秋期大会発表論文集

構造物等の安全性を図る上で非破壊検査は欠かせない。表面に現れている欠陥は目視検査などで調べることが可能であるが、材料内部に存在する欠陥は超音波による検査が有力な方法と言える。ただし、超音波探傷は欠陥からの反射波形のみが情報となるので欠陥の種類を判断することが容易ではない。欠陥種類の判別法は研究的に多く行われてはいるが、決定的と思われるものは未だないようである。しかしながら、検出した欠陥が有害なき裂であると判断できれば検査の信頼性・有効性が向上することになる。

本報告は超音波探傷における欠陥種類の判別を目指したもので、人の聴覚の能力に依存する手法を採用しているものである。具体的には、探傷で得られた波形を音響出力に変換して音色などの差から欠陥の種類を調べるものである。実験は標準試験片に使用されている横孔、縦孔及び人工的に作成した内部スリットを反射源とした。斜角探傷によって、これら反射源から受信した波形に対して、連続波及びパルスの参照波を加える。位相あるいは時間ごとに順次 FFT 解析していくことで、スペクトルの紋が作成される。実験及び解析の結果から横孔及び縦孔などの標準反射源においてはスペクトル紋は差異が見られない。しかし、スリットの場合、スペクトルの紋は上記の形と異なっているようで、高周波領域が減少していると思われた。

周波数変換による可聴信号は、受信波形自体及びスペクトル紋作成時の波形群から成立っており、これらの音響出力を聴いた結果、反射源による音色などの変化はあるように思われたが、はっきりと差があると断言できなかった。今回の反射源は幾何的には異なった形の反射体を使用した。今後は実際の欠陥に対して同様の分析・処理を行って本手法の有効性が得られるかを調べていきたい。

レーザー処理したセラミック溶射皮膜の構造

Laser Melting of Plasma Sprayed Ceramic Coatings

植松 進、高橋千織、千田哲也

平成10年11月

高温学会 第7回溶射総合討論会講演概要

セラミックス材料の溶射では溶射材料を十分に溶融させた場合でも内部にポロシティなどの構造欠陥が含まれており耐食性、耐摩耗性などの用途への適用には問題がある。セラミックスは金属よりも炭酸ガスレーザーのエネルギー吸収率が高いため、セラミックス溶射皮膜をレーザー処理することにより広い範囲の皮膜表面を緻密化することができ皮膜の高性能化が期待できる。本実験ではオシレートビームを照射したセラミック溶射皮膜の構造とレーザー処理の問題点を明らかにした。使用したサンプルは軟鋼板上にプラズマ溶射により皮膜作成し、その皮膜にビームスキャナー装置でミラーで揺動したレーザービームを照射しながら皮膜部分を100mm/secで移動させることにより幅8mm 長さ30mm の再溶融部を作成し皮膜の組織観察とX線回折による評価を行った。レーザー出力は100~400Wの範囲で変化させている。

再溶融処理した皮膜表面は溶融部分の再凝固際の収縮や基材との熱膨張差で生じたと思われる割れが存在するものの、光沢のある平坦な表面が得られており溶射皮膜特有の扁平粒子層は消失しており、本処理による皮膜の剥離は見られなかった。組織観察結果からレーザー処理部分は完全溶融部、焼結部、溶射積層部の各領域に分類することができた。完全溶融部分はコラム状の結晶成長がみられ、その下は溶融部の熱により扁平粒子が等軸晶化し、10 μ m程度にまで成長した部分が存在していた。溶融部と溶射積層部の間には5 μ m以下の微細な粒子が互いによく結合している領域が存在しており、溶融部の熱で積層化皮膜の再結晶化とともに焼結が進行した領域と思われる。

溶融粉碎したアルミナ粒子のプラズマ中での溶融挙動

Melting Behavior of Alumina Particles

in Plasma Spraying

植松 進、高橋千織

平成11年1月

日本金属学会誌 第63巻第1号1999年

溶射粒子のプラズマ中での加熱および冷却、基材上での扁平・凝固過程が非常に短時間でマイクロな現象であるため、これらを直接観察する方法はいまのところ見いだされていない。本研究では、分級したアルミナ粒子を用い、基材上に衝突し扁平・凝固した溶射粒子と基材に衝突させずに途中で捕集した溶射粒子とを比較することにより、主として未溶融粒子の形態を調べ、プラズマジェット中の材料粒子の加熱・溶融状態を推定しようと試みたものである。ワイプテストから得られた粒子の分類から、基材に衝突する前の飛行中に溶射粒子上で分離・合体挙動が生じていると考えなければ説明できない点が多く見いだされた。セラミックス材料では、粒子の加熱・溶融状態は金属材料に比べて著しく悪く、粒子が未溶融、あるいは半溶融状態で基材に衝突するケースでは皮膜品質に大きな影響を与えるため、飛行中の粒子をなるべくその状態を保ったまま捕集する方法を検討した。カーボンテープで捕集された Ar-He プラズマ中の未溶融粒子についての SEM による観察結果を基にセラミック材料のプラズマジェット中での溶融機構を考察し、比較的大きいセラミックス粒子の溶融メカニズムの推察と、基材へ衝突時における粒子の多様性が生ずる原因について明らかにすることができた。本研究で用いたカーボンテープによる飛行粒子捕集観察法は、特別の装置を使わないプラズマ溶射プロセスのチェック方法として有効であると考えられる。

Brittle to Ductile Transition in Sliding Wear of Alumina

アルミナのすべり摩耗における脆性から延性への遷移

千田哲也、矢野不二夫、John Drennan

安田榮一、Richard C. Bradt

平成11年1月

The American Ceramic Society

Abstracts of 23rd Annual Cocoa Beach Conference

舶用機関の耐摩耗性高温構造材料として期待されるアルミナ・セラミックスのすべり摩擦における摩耗メカニズムを、室温から1000℃までの範囲で調べた。摩擦係数は温度の上昇とともに低下するが、その傾きは700℃付近で変化した。また、比摩耗量は600℃と800℃の間で大きく減少し、高温では $10^{-6}\text{mm}^3/(\text{N}\cdot\text{m})$ 以下の低いレベルになった。電子顕微鏡観察によると、室温及び600℃では、摩擦面近傍に高密度の転位網はみられず、摩耗は脆性的な破壊によるものと推測された。このような微細構造の特徴は、転位や双晶が報告されているダイヤモンドによるスクラッチ摩耗面とは異なっている。1000℃では、摩耗量はほぼゼロに低下し、摩擦面は平滑な鏡面となっていた。表面は動的再結晶により形成されたと考えられる微細な結晶から構成されていた。この微細結晶の表面層の下は高密度の転位と双晶がみられた。これらの観察から、高温での摩耗量の低下は、摩擦面の材料挙動が脆性から延性へ遷移することによるものと考えられ、この遷移は、摩擦係数の変化のみられる700℃付近で起きると推測される。

<装備部>

二重船体構造モデルタンクよりの油流出—V —衝突時の油流出—

Oil Spills from Model Tanks with Double Hull-V

-Oil Outflow from Sideo Damage-

山口勝治、山之内博、間島隆博

平成10年5月

日本航海学会 平成10年度春季講演会

日本航海学会論文集 第98号

タンカー事故が起こると大量の油が海に流出して環境汚染を引き起こし、大きな社会問題となる。このため、事故が起こっても、環境汚染の少ないタンカーの開発が望まれている。そのようなタンカーとして、タンクの外側にもう一重外板を設けて貨物槽を保護した二重構造タンカーが建造されるようになった。しかし、現在建造中の二重構造タンカーでも激しく座礁したり、衝突すると外板と貨物槽壁がともに破壊し、タンカーから油が流出するものと懸念されている。

二重構造タンカーが座礁事故を起こした時の油流出についての資料は整備されつつあるが、衝突時の油流出についてのデータは少ない。二重構造タンカーが増加し、本格的二重構造タンカー時代を迎えつつある現在、事故のうちでも発生頻度の高い、衝突事故時の油流出に関する資料の整備が求められている。

本研究はダブルハルタンカー衝突事故のタンク損傷を模擬した側部模擬破口より流出する油流出速度について、模型タンクを用いて、静水水槽中でシングルハルタンクとの比較において調査したものである。

実験は幅×長さ×深さ=0.8m×5.0m×1.0mの静水試験水槽中で、支持枠に固定された幅×奥行き×高さ=0.3m×0.5m×0.55mのモデルタンクを用い、シングルハルおよびダブルハルの模擬試験を行うことができる構造となっている。ダブルボトム高さは0.06m、ダブルサイドの寸法は0.055m、0.082mおよび0.115mと、三種変えて実験した。模擬破口には、大きさが二種類、形状が四種類、合計八種類の異なるものを用いた。油流出試験中、モデルタンク内の油面高さとお水界面高さの経時変化をフロート式液面計によって計測し、油流出速度を求めた。供試油には粘度30.3cSt (40℃)、密度860kg/m³ (15℃)のタービンオイルを用いた。

実験の結果、(1)衝突時の油流出は破口でのタンク内外の水頭差によって起こった後、破口水深方向のタンク内外の圧力差分布に基づいて起こり、(2)通常、破口でのタンク内外の水頭差は破口水深方向のタンク内外の圧力差より大きいので、前者の流出速度が後者の流出速度より大きいこと、(3)ダブルハルという条件を除き他のすべての条件が同じ時、ダブルハルはシングルハルに比べ換水速度は小さく、ダブルサイドの寸法が大きくなるほど小さくなること等、衝突時の油流出の基本的特性が明らかとなった。しかし、より現実的な事故に対応するためには(4)より複雑な破口形状および破口の寸法効果と供試油の粘性の影響に対するデータの蓄積が望まれる。

ケミカルタンカーにおけるベンゼン荷役、輸送中の作業環境濃度について

Benzene Concentration on Chemical Tankers During Transfer Operations

間島隆博、山口勝治、藤井 忍、山之内 博

平成10年5月

日本航海学会 平成10年度春季講演会

日本航海学会論文集 第98号

ベンゼン等揮発性物質は岸壁での荷役作業中及び海上輸送中に蒸発し、ガスとなって船舶から大気中に漏出・排出されているが、低濃度のベンゼンガスであっても乗組員及び荷役従事者が慢性的に暴露されると白血病の原因になると懸念されている。ここでは、ベンゼン荷役、海上輸送中のケミカルタンカー上でどの程度の濃度となっているのかを実船計測によって調査した。

ベンゼンを荷役・輸送するケミカルタンカーの作業を区分すると、ベンゼン生産地での「積み荷役」、ベンゼンを搭載したまま積み地から揚げ地への輸送を行う「航海」、揚げ地でのベンゼンの荷下ろしを行う「揚げ荷役」、ベンゼンを積み込んでいたタンクを洗浄、清浄する「クリーニング」の4つに分けられる。各々の作業におけるベンゼンガスの発生、排出形態が異なるため、計測(大気の採取)は上記した4つの作業で区分して行った。また、タンカー上でも場所によって濃度に差が生じると考えられたため、乗組員が室内で作業及び休養している操舵室及び食堂、濃度が比較的高いと考えられるベンゼンの揚げ荷時に使用されるポンプ室、作業がよく行われる甲板上を代表してベント管直下において大気の採取を行った。また、ガスの採取及び分析方法は平成9年環境庁大気保全局によって示された「有害大気汚染物質測定マニュアル」に従って行われた。

測定の結果を作業形態毎に見てみるとタンククリーニング時が最も高い値を示した。また、採取場所別に見ると操舵室や食堂が甲板上やポンプ室より低い値を示した。

レーザー励起蛍光を用いた油膜厚さの測定
Measurements of Oil Film Thickness by

Laser Induced Fluorescence

山岸 進、樋富和夫、山之内 博

平成10年6月

第19回レーザーセンシングシンポジウム講演論文集

ナホトカ号海難事故などの経験から、流出防除作業には油と水を識別して、夜間も追跡できる監視技術が必要とすることが再認識された。このため汚染画像を実時間表示する小型装置の開発を行っている。本報では、このプロトタイプを用いて、ラマン画像から油膜厚さを測定する実験について報告した。

紫外レーザーにより生ずる水のラマン散乱光またはクロロフィルの蛍光にバンドパスフィルターの通過波長を合わせておけば、油膜層が薄い場合、油膜部分が影として表示され、この減光度合いから膜厚さを知ることが可能である。水の消散係数の測定値は、文献に示された吸収係数に較べて桁ちがいに大きなもので、状態によって大きく異なるため現場測定しなければならない。また、油など汚染物質には特異な吸収帯があるため、波長依存度を知ることが重要であるが、現在のところ十分な資料がないため実測データを集積する必要がある。

実験では、ガラス容器に蒸留水を入れ、資料油をマイクロシリンジで計量滴下して一様に広がった状態を観測して、それぞれの消散係数を求めた。計測は、パルス発生器の内部トリガーにより、YAG レーザの3倍波(最大出力11mj)、高速ゲート操作つき(3 nsec) ICCD カメラ、およびデータ処理 CPU の同期をとった。同期周波数を10Hz、ICCD の解放ゲート幅を13ns とし、遅延時間をナノ秒オーダーで適宜セットした。スペクトル選択には、水のラマン波長に合わせた狭帯域フィルター(405 nm, FWHM: 10nm)を用いた。

油膜のある場合、レーザー入射部では水のラマン光と油膜蛍光が合わさった強い光、より深い部分からはラマン光のみ、また、容器の底面の反射光による水面の油膜蛍光を観測することができる。この画像を用いた方法によれば、幾何学的に光路長が計算でき、消散係数が求まる。得られた水の消散係数は 0.0019mm^{-1} であり、文献から推定した吸収係数(0.00005mm^{-1})よりかなり大きい値であった。油膜については、軽油 1.35mm^{-1} 潤滑油 0.30mm^{-1} などの消散係数が得られた。

今後、油の変質による蛍光分布の変化、表面波の効果等について検討する予定である。

自由落下式救命艇の座席にクッション材を使った
場合の人体に対する衝撃緩和効果について

Shock Absorbing Effect on Human Body by using
Cushion Materials for Free Fall Lifeboat Seats

原野勝博、今里元信

平成10年9月

日本航海学会論文集 第99号

自由落下式救命艇 (FFLB) が海面に突入する時、艇体は時には10Gを超える衝撃加速度を受ける。この衝撃加速度の作用時間は0.1秒程度で人体に傷害を与える程度ではないが、座席で衝撃を緩和できれば、突入時の姿勢が悪い場合でも乗員の安全を確保できるし、艇体の許容加速度を大きくとれるから経済的な艇体の設計ができる等の利点が考えられる。現在 FFLB の座席は硬質ウレタンなどの硬い材質で作られており緩衝材は使われていない。本研究は、経済性の面から最も実用性がありそうなスポンジシート等の緩衝材を使った場合の緩衝効果とその評価法について実験的に検討し以下の結果を得た。

- ① 実艇での緩衝効果は、緩衝材の周波数領域での緩衝効果と実艇の衝撃波形から推定できる。
- ② クッション材が有効か否かは、実艇の受ける衝撃波形のスペクトルに拠っている。厚さ20mm~30mmのクッション材で緩衝効果が現れる周波数は10Hz以上で、実艇の計測波形に適用した例では、ピーク値が約20%減少する結果を得た。
- ③ ダミーの表皮部やクッション材は加速度振幅によりその特性がかなり変化するので実験は実際に艇にかかる衝撃に近いレベルで行う必要がある。
- ④ 本実験を通じ、ハイブリッドⅢ型人体ダミーの衝撃緩衝特性を把握できた。ダミー自体は、座位状態では、腰一頭方向は1自由度の振動系と見なせ、そのばね定数は $4.5 \times 10^5 \text{N/m}$ と比較的小さいから挿入する緩衝材もそれに見合う材質を選ぶ必要がある。

ベンゼン輸送船の環境ガス濃度測定
—積み込み時のガス濃度—

Measurement of Gas Concentration on
Benzene Transfer Vessels

-Gas Concentration during Loading Operation-

山口勝治、藤井 忍、間島隆博

山之内 博、坂本慎二

平成10年10月

日本労働衛生工学会第38回学会抄録集

ベンゼンは化学製品の基礎材料として幅広く使われており、大量のベンゼンがケミカル船によって海上輸送されている。ベンゼンガスは数 ppm の低濃度でも慢性的に暴露されると癌の原因になりうると懸念されているため、船舶からのベンゼンガス排出量やベンゼンガス濃度を計測することにより実態を把握し、健康被害を未然に防止するための対策を検討する必要がある。本報告では、ベンゼンを輸送する船舶の積み荷時に排出口から大気中に排出されるベンゼンガス濃度および船内作業場所でのガス濃度を計測した結果について述べた。

計測対象船舶として最も数が多く、よく用いられる、総トン数499トンの液体化学薬品バラ積み船を選定した。ターミナルからタンカーへの積み荷中、タンクで発生したガスは通気管を通して、ベント管から大気中に排出される。排出されたガスは船上に拡散する。荷役作業は甲板上、居住区 (食堂・操舵室) ポンプ室において行われるため、計測場所は食堂、操舵室、ポンプ室、ベント管下とし、また、積み荷中のベンゼンガス排出口であるベント管出口でガスを採取した。採取されたガスをガスクロマトグラフ質量計にて分析し、濃度を求めた。

貨物タンクから排出されたベンゼンガスの濃度は、液面高さ2m位までは低く、その後、急激にガス濃度は増加し、タンク内でガスは層状をなし、液面近くで濃度が高くなっていることが分かった。ベント管出口での平均ガス濃度は貨物温度とともに上昇し、積み荷時の排出ガス濃度を減少させるには貨物温度を下げるのが効果的であることを明らかにした。

船内作業場所での積み荷中の平均ガス濃度は、排出ガス濃度が高いほど高く、排出口から離れるほど低くなる。ベント管から最も離れている居住区での値は低く、居住区よりガス排出口に近いポンプ室は居住区より幾分高い値を示した。風速が大きいとベント管直下の値は低くなり、排出口の風下では濃度が高いことが判明した。

以上の結果、積み荷時の間の船内平均ガス濃度は比較的低く、1 ppm を超える場所はないこと、積み荷時貨物から発生するガスの濃度を低減し、排出ガスを減少させるためには、貨物の温度を下げるのが効果的であることが明らかとなり、ベンゼン貨物積み荷時の船内ガス濃度管理のための有力な資料が得られたものと思われる。

<システム技術部>

赤外線画像を用いた航行船舶の観測

Observation of the Navigating Vessels

with Infrared Ray Sensor

松倉洋史、桐谷伸夫、室原陽二

平成10年5月

日本写真測量学会平成10年度年次学術講演会論文集

確率論的安全評価手法

Probabilistic Safety Assessment

松岡 猛

平成10年11月

電気学会 大規模システム安全管理支援の
高度化協同研究委員会技術報告書

航行中の船舶において現在用いられている海上監視の主な手段は、船橋からの目視観測と、レーダー・ARPA等の計器観測である。目視は有効な監視方法であるが、夜間もしくは視野制限時には十分な情報を得ることが出来ない。また、ARPAによって提供される情報は周囲の船舶の位置とその速度ベクトルを基本としており、操船判断を行うために有効となる相手船の船種とその状態を把握することが困難である。これらの情報を提供し、かつ人間との親和性の高いインターフェースを持つ海上監視の支援システムが求められている。そのため、各種画像センサ情報を複合的に利用して情報を提供する船舶搭載型の海上監視支援システムを開発中である。

本論では夜間や霧中における海上監視を支援するため、センサーとして赤外線カメラを利用することを提案した。そして東京湾において収集した航行船舶の赤外線画像を分析したうえで、画像処理によって有益な情報提供の行える海上監視支援システムが可能であることを確認し、その問題点を整理した。

今後の課題としては、①ヨー・ロール方向の揺れも吸収できる機構の付加、②対抗・追い越し・斜行船舶等の様々な位置関係にも対処できるような改良、③水温・気温・風・位置関係等を変化させた、様々な状況下での実船実験による有効性の検証、などが挙げられる。将来は、船種・状況の自動判断を行う方向へ発展させ、また、他のセンサーとの連携、ARPAとのデータリンクを行う予定である。

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) が有用な手法と考えられる。本報告書では PSA において主要な位置を占めるシステム信頼性解析手法 GO-FLOW についてサンプル問題を用いての解析手順を示し、基本概念の説明を行っている。次に現在までに備えられた主要機能、解析支援システムについての説明が与えられている。

解析実施例として 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を詳細に記述するとともに、解析結果についての検討を行った。

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。

事故を引き起こさない安全確保のためにはブレーキ系の動作の信頼度が重要であることが判明した。

シミュレータを用いた内航船舶の
運航の安全性評価について
Safety assessment for navigation of
coastal tanker using simulator
伊藤泰義
平成10年6月
電気学会 交通・電気鉄道研究会講演集
TER-98-15~21

内航海運の業界は、いわゆる3Kの職場で若年労働者から敬遠されている状況のため、人手不足と高齢化高齢化が進み、常に慢性的な労働不足の状態にある。

こうした状況の改善のため、船舶技術研究所（船研）と全国内航タンカー海運組合（内タン）は、共同で内航タンカーを対象とした、航海支援システムの開発研究を実施した。

目標としては、若年労働者からは、魅力ある職場として認められるように、また、積み荷の危険性のため社会からは、厳しく一層の安全性の向上を求められていることを認識し、安全性の確保を最優先の課題として、一人当直（いわゆるOMBO）で船橋業務を十分に余裕を持ってかつ操作も容易に出来るような、航海支援システムの開発である。

航海支援システムの設計に反映するため、内航路の航行における問題点を抽出する事を目的にして、内航船が航行する輻輳海域や狭水道の航行及び沿岸海域における長時間の一人当直の状況等を船舶技術研究所にあるシミュレータで再現し、操船者がそれぞれの状況でどのような情報、機能を欲しているか、また、どうあって欲しいか等をシミュレータ実験で求めた。

この航海支援システムは、人に優しいことをキーワードとして、経験ある航海士として、居眠りをしない有能な見張りとして、また熟練した操舵手の役割と一人3役を同時に果たして、人間の操船者を補助し、負担を大幅に軽減してくれるものである。

このシステムの特徴は、音色の全面的採用である。操船者は、航行中見張りに専念しながら音声により情報を入手し、かつ音声で、操舵等の指令を発することが出来ることである。さらに、避航航路の提案など種々の航海業務を軽減する機能も数多く有している。

この人に優しい航海支援システムの実船搭載の第1号は、新ぶろばん丸に搭載され、平成9年の9月1日に竣工した。

この新ぶろばん丸に装備された航海支援システムについて、一人当直で船橋業務を十分に余裕を持って行えるかどうかの評価と次の段階の改善、研究の目標を明らかにすること目的として、システムの安全性および有用性について評価を半年かけて、種々の自然環境や航行条件に遭遇した実際の航海において実施した。その結果、この航海支援システムは、一人当直で複数人の当直と同等または、それ以上の安全性を有していることが明らかになった。

交通事故調査における問題点
—日本学術会議第28回安全工学シンポジウムでの議論—
Problems on the investigation of transportation accidents
-Discussions held in the 28th Safety Engineering Symposium of the Science Council of Japan-
松岡 猛
平成10年10月
安全工学協会 安全工学 37巻5号

平成10年7月2～3日、日本学術会議主催の安全工学シンポジウムが開かれそのなかのセッションにおいて信楽高原鉄道事故の事故調査のあり方に関する報告とそれに関連した提言があった。これらの発表の後、活発な質疑応答・議論が持たれた。そこでは安全確保についての貴重な議論がなされたので、取り上げられた意見の要約を紹介し、当日セッションに参加していなかった方々にも事故調査のありかた、調査結果の情報公開方法等を考えていく上での参考になればと思い本報告をまとめた。

私達が日常生活を送っていく中で交通事故に巻き込まれる危険性は無視できないものがあると考えられる。不幸にして発生してしまった事故を貴重な教訓として活かしていくシステムを確立しておくことは社会的な責務であろう。

安全工学シンポジウムにおいて、我が国における鉄道事故調査の現状、分析すべき内容、専門家の必要性、中立専門的な事故調査機関の必要性、警察の捜査との関連、調査結果の情報公開のあり方、外国における現状等について種々の意見が出され活発・熱心な討議がなされた。本報告はまとめた結論を述べたものではないが、当日のシンポジウムの雰囲気を感じ取って頂けたことと思う。今後の事故調査のあり方、交通機関の安全性向上を考えていく上で本報告が何らかの参考になれば幸いと思う。

フェリー航路の国内物流ネットワーク分析
Analysis of Ferry Routes by Networking
of Main Cities and Harbors

勝原光治郎

平成10年10月

日本海運経済学会 海運経済研究 第32号

地球環境問題や道路渋滞などのため、自動車から海運・鉄道への輸送貨物の移動（モーダルシフト）が要請されている。そのためにまずモーダルシフトが進む条件を明らかにする必要がある。

そこで、モーダルシフトの対象船であるフェリーの航路がどのような特性を持ち、どのような条件で経路として選択されるかを明らかにするために、日本国内のトラック物流をネットワーク分析することを考えた。ネットワークとしては、主要幹線道路と主要フェリー航路をノードとパスで結んだ。パスに距離と種別番号（一般・有料・高速道路・フェリー航路）を与え、都道府県間のすべての輸送経路を算出し、経路選択モデルにより最適経路を選択した。経路選択モデルとしては、費用と所要時間を考慮した犠牲量モデルを採用した。

このネットワーク計算の変数はトラック車種・車長・荷役時間・無人／有人航送・高速道路料金体系・フェリー料金体系・フェリー船速・航路の新設廃止などである。まず、基準ケースについて都道府県発着貨物がフェリー航路か陸路かどちらを選択するかを調べ、次に変数を変えてその影響を調べた。

結論は、①都道府県発着貨物の最適経路および、最適フェリー航路を得た。また、②フェリー航路の市場圏を明示した。次に、変数を変えて計算し、フェリー航路選択の加減から、③荷役時間が小さいこと、航路料金が低く、高速道路料金が高くすることによってモーダルシフトを推進でき、その度合いを知ることができた。とくに、④フェリー運賃の割引の効果は大きいことが分かった。⑤高速船にリプレースして、市場圏が大きくなる航路としない航路があることが分かった。

<原子力技術部>

深海調査船用原子炉 DRX の貫流型

蒸気発生器の流動安定性解析

HYDRAULIC INSTABILITY ANALYSTS OF
DEEP-SEA REACTOR DRX'S ONCE-THROUGH
STEAM GENERATOR

安達雅樹、石田紀久

平成10年9月

日本原子力学会1998年秋の大会予稿集

深海調査船用原子炉 DRX は大型船舶用原子炉 MRX と同様に貫流型蒸気発生器（以下 SG と呼称）を採用している。このとき二次冷却水が流れる伝熱管内では相変化に伴い密度波不安定などの流動不安定現象が発生する。そこで水力学的安定化対策のために解析評価を行った。さらに DRX は崩壊熱除去に SG を用いるので自然循環による崩壊熱除去性能への影響を検討した。解析手法は、一般的な線形安定性解析法に従った。このときの仮定は、・一次元流・均質流、・一様熱負荷、・圧力変化に伴う物性値の変化無視である。両ヘッダー間の圧力差一定という境界条件のもとに、特性方程式を導き、これを使って系の安定判別を行うが、各パラメータが安定限界に及ぼす影響を調べるためにネイマルクの D 分割法を用いた。本解析の前に、昭和56年に船研で行った貫流型蒸気発生器の実験結果と比較することで解析の精度を検証した。一例として、実験番号“IN-5-31-194-1200”のでの解析の場合、安定化する絞係数の最小値は、実験結果では1420であるのに対し、本解析では1627となった。振動周期は、実験では11.4秒、解析では10.53秒（5次）である。他の実験条件の場合も同程度であり、本解析は概ね妥当な精度と言える。工学設計の段階では二次水の流れは密度波不安定に陥る可能性があることから、想定される炉の出力に対して伝熱管の挙動を安定させるのに必要な入口での最小絞係数（ k_{in} ）を評価した。 k_{in} の値はおおむね管内圧力損失の30%から50%であり、管内の圧力損失の見積もり計算へ影響を与えていることを確認した。これは飽和部（二相流）における摩擦力による圧力損失の評価方法及び圧力と流量に対する評価方法の適用範囲に原因があると考えられる。従って k_{in} もこの影響を受けることがいえる。以上の解析結果を基に安定化対策として、オリフィスを給水入口に設ける。このオリフィスを給水入口に設ける。このオリフィスを設置することで、SG 内の流動圧力損失が増加する。これと関連して崩壊熱除去時に十分な流量が確保されるかを検証した。例えば定格出力の5%に相当する崩壊熱を除去するのに必要な流量が定格時の5%とすると、SG の全圧力損失がオリフィスにより1.76kPa から1.84kPa に増えるが、自然循環の駆動水頭が30kPa であるので5%流量が確保でき崩壊熱除去性能への影響は問題ない。以上の結果から DRX の SG の水力学的安定性を解析評価し、給水入口にオリフィスを設置することにより、安定な運転が出来ることを明らかにした。また、崩壊熱除去性能への影響がないことを確認した。さらに、解析精度について実験との比較により妥当であることを確認した。

チャンネル流路内円柱列を過ぎる脈動流の可視化実験
Flow visualization of oscillating flow in a channel
obstructed by an array of circular cylinders

澤田健一、村田裕幸、小林道幸

平成11年3月

日本原子力学会「1999年春の大会」要旨集

船用炉が自然循環により炉心冷却を行う場合、横揺れ等の船体運動を受けると一次冷却水流は脈動流となることが知られている。このため、受動安全型船用炉の蒸気発生器のような複雑流路における脈動流の熱水力挙動を明らかにすることは重要である。本研究ではチャンネル流路内に円柱列を配した脈動流実験装置を制作して可視化実験を実施した。実験装置には回流式流水槽を用いた。測定部は、高さ $H=50\text{mm}$ 、幅 $W=400\text{mm}$ として流れの二次元性を保ち、長さ $L=4000\text{mm}$ として流れを十分に発達させるようにした。またチャンネル流路中に直径 15.4mm の円柱を流路高さ中心面上に流れに直交して配置した。流れの脈動は測定部上流に設置した可変ピストンによって制御した。その結果、流量 $Q=Q_1+Q_2\sin\omega t$ で表される周期的な脈動流を発生させた。流れの可視化には、直径 $30\mu\text{m}$ のナイロン粒子を流れ場に懸濁させ、スリット光を照射して流れ場を撮影する方法を採った。可視化画像は3時刻法を用いたPTVによって画像処理した。

はじめに定常流におけるカルマン渦のストローハル数 St の特性を調べたところ、 St 数は円柱列のピッチが大きくなるにしたがって増加すること、レイノルズ数 $Re_a=163,320$ の間においては St 数に有意な変化は見られないことがわかった。次に流れに脈動を加えたときの流れの様子を調べた。ただし、脈動の平均レイノルズ数 $Re_a=160$ 、脈動周期 $\gamma=15s$ 、脈動振幅 $Q_2/Q_1=0.57$ とした。流れ場の等渦度線図を定常流と比較したところ、脈動流の加速時には定常流に比べて剥離点が下流に移りし円柱後流の y 方向動揺が小さくなり、逆に減速時には剥離点が上流に移りし円柱後流 y 方向動揺が大きくなることわかった。今後は、流れの熱水力特性についても検討する予定である。

<海洋開発工学部>

初期設計時における針路安定性の推定に関する研究

An Estimation of Course Stability at
Initial Design Stage

湯川和浩、貴島勝郎

平成10年11月

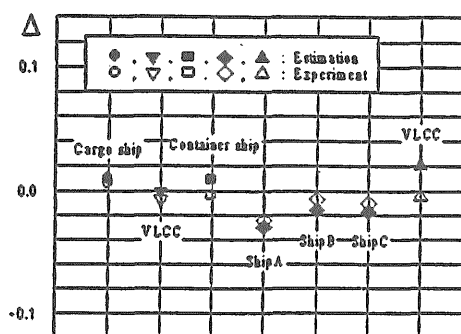
日本造船学会 平成10年度秋季講演会

日本造船学会論文集

近年発生したいくつかの大型タンカーの海難事故および原油流出による環境汚染を契機に、IMOでは1993年11月に操縦性暫定基準 A.751 (18) が採択された。これは操縦性能が劣悪な船を排除するためのものであるが、正式に条約として採択されれば、今後の建造船については、操縦性能がこの基準を満足することが必要になるため、初期の設計段階で船の操縦性能を正確に把握しておくことが大切なこととなる。

現在では、コンピュータの発達と相まって、数値シミュレーションを行なうことで船の操縦性能を評価する方向へと向かいつつあるが、数値シミュレーションで用いる数学モデルを構成する流体力の表現が問題となる。従って、数値シミュレーションを行なって船の操縦性能を正確に評価するためには、流体力を精度良く推定することが重要であるが、その中でもとりわけ支配的であると考えられる、主船体に作用する流体力（以下、船体流体力と呼ぶ）を精度良く推定することが必要不可欠なこととなる。

そこで本研究では、ある程度取り扱いが簡便であり、短時間で船体流体力を推定することが可能であると思われる細長体理論に基づいた不破の方法をベースに、船体形状を考慮した理論的な船体流体力の推定法を提案した。さらに、船体流体力の推定結果をもとに針路安定判別を行なうことで、初期の設計段階における本計算法の適用の可能性を検証し、局所的な船体形状の違いに起因すると考えられる針路不安定現象を検討するうえで、実用的な観点から有効な手法であることを示した。



Model ships
針路安定判別

<氷海技術部>

氷板下に流出した油の拡散挙動に対する界面張力の影響

Effects of Interfacial Tension on the
Spreading of Oil under an Ice Cover

泉山 耕、宇都正太郎、成田秀明、田崎 亮

平成10年7月

14th International Symposium on Ice

現在、サハリン島北東海域において石油の本格的開発が開始されようとしている。本資源開発は、我が国のエネルギー需給の多角化につながるものとして期待されているが、その一方、石油の開発現場あるいは輸送途上における原油の流出事故による環境の汚染も懸念されている。この海域には、サハリン島東側に沿って強い南向きの海流があるため、一度原油の流出事故が起これば、その被害が北海道を中心とする我が国に及ぶ可能性は大である。油の流出事故が発生した場合、油の時間的・空間的拡散挙動に関する情報は、油の回収及び汚染防除対策にとって最も重要な情報である。しかしながら、この海域は冬季には流水に覆われるが、氷の存在する海域において油流出事故が発生した場合の油の拡散挙動については、通常海域におけるものに比べて研究例が少なく、我が国においてはこの種の知見は皆無と行って良い。特に、氷の下に油が流出した場合は、油の存在領域の特定が困難であり、何らかの方法でこれを推定する必要がある。

本研究では、氷板に覆われた静穏な海域に油が流出し、氷板下面に沿って軸対称に拡散する状態を想定して、油の拡散挙動を考察した。研究の手法は、水槽における実験と理論解析である。水槽実験では、氷海水槽に製氷した氷板の下面の一点から機械用潤滑油を流出させ、水槽底部の観測窓からのその拡散挙動を撮影した。実験結果を Yapa による理論解並びに実験結果と比較したところ、油膜の半径が経過時間の平方根に比例して増加するという、定正的な意味では一致するものの、定量的には差があることが認められた。この差が、Yapa の理論では無視されている。油に働く界面張力の影響にあると考え、これの影響を考慮した新たな理論解を導いた。新理論解によれば、油の流量、密度、粘性係数及び界面張力により与えられる無次元パラメーターにより、氷板下の油の拡散挙動が支配される。Yapa の実験結果と当所における実験結果の違いは、この無次元パラメーターの違いにより説明される。また、油の粘性が油種によって大きく異なることから、新理論解を用いて実際の流出事故を想定した試算を行い、油の粘性の違いが拡散挙動にどのような影響を与えるかを示した。

POSSIBLE RISKS OF OIL SPILLS IN
THE SEA OF OKHOTSK

オホーツク海での油流出事故の可能性について

成田秀明、山口真裕、田村兼吉

平成10年11月

第22回 UJNR/MFP 会議 論文集

Proceedings of The 22nd

Marine Facilities Panel/UJNR Meeting

1997年1月2日に日本海で発生したロシアタンカー「ナホトカ」号の重油流出事故は、大規模海洋汚染に対する我国の対応能力のさまざまな欠陥を指摘するものとなった。法的制度、緊急事故対応組織、指揮情報システム、外洋むけ油回収船と回収機器の全てに互り、対応能力の不足が点検され、改善の方策が国、地方自治体、汚染防除組織の総力を挙げて検討された。国際海事機構 IMO の1990年の OPRC 条約に基づき、日本海周辺諸国の外洋油流出事故対応に関する相互協力協定が結ばれ、「北西太平洋行動計画」と言う協力体制が構築されつつある。米国、日本及びロシアによる汚染防除の演習が1998年5月にオホーツク海南部で実施された。

現在進行中の二つのサハリンプロジェクトは、21世紀初頭に本格的な石油・ガスの生産に入り、オホーツク海を10余万トン級の大型原油タンカー、LNG タンカーが通年頻りに運航することがほぼ確実である。冬季に結氷するオホーツク海は、季節風やそれに因って駆動される動きの早い流水のため、船舶の運航が大きく阻害される。それゆえ、海上交通の安全確保および油汚染防除のための備えを緊急に進める必要がある。そのためには、バルト海諸国が持つような航行支援体制の整備、船舶構造設備の規則の強化、氷況に応じた運航技術の開発などの予防的の制度とともに、流水域で使用できる油拡散・風化の予測技術や回収技術の開発が必要である。

流水域油汚染の可能性と対策について
Preparedness for Oil Spills in Pack Ice
成田秀明、山口真裕、田村兼吉、在田正義
平成11年2月
第14回 オホーツク海と流水に関する
国際シンポジウム講演要旨集

97年1月に日本海で突発したナホトカ号による大規模油流出事故は、我国の緊急時対応能力の欠陥を暴露した。この結果、法制、組織、装備、教育訓練等の面での改善措置が執られたが、それは、通常海域に対するものであり、これから発展が予想されるオホーツク海の油汚染の可能性への配慮を欠くものである。サハリンプロジェットの進捗は当面順調であり、99年秋以降生産プラットフォームからの原油輸出が開始される。本格的生産は2003年以後とされ、サハリン南部の輸出基地から、大型の油タンカーとLNGタンカーを使って原油とLNGがアジア諸国向けに輸出される予定である。

この大規模な経済開発の進展にともない、海洋油流出のリスクも増大する。経済的見地より、冬季も生産・輸送活動が行なわれると考えられ、その結果流水季でも、油井や船舶および積み込み基地での油流出のリスクが高まる。特に、流水季に大型船舶をこの海域で運航するのは未曾有のことであり、極めて大きなリスクに挑戦することになる。

この論文では、主として流水季のオホーツク海での船舶運航上の問題に焦点を当てて、油流出のリスクを論じ、主たる流出源として石油生産現場と船舶の事故を考え、それぞれの場合の油流出の成りゆきを想像し、対応のあり方を考える。現在は、流水がある場合の対応は殆どなにも為すすべがないが、今後時間を掛けてどのような備えを固めて行くべきかについていくつかの提案を示す。

氷海に於ける塗膜の摩擦・摩耗特性
Friction-Wear Characteristics of Paint
Coating Films at Frozen Sea
北村 茂、前田利雄、高島逸男、田村兼吉
千田哲也、在田正義、永井昌憲、田辺弘往
平成11年2月
第14回オホーツク海と流水に関する
国際シンポジウム講演集

氷海域は、厳しい腐食環境である。氷海域を航行する船舶や氷海域で稼働する海洋構造物に使用される氷海用塗膜は、海水や流水との摩擦、摩耗に十分耐える必要がある。塗膜と海水との摩擦、摩耗に関する研究は多く報告されている。本研究は塗膜と海水との摩擦、摩耗に注目し、塗膜の表面粗さ、温度及び鉛直応力と摩擦係数の関係を求めると共に、塗膜の水摩擦による摩耗量を調べた。

供試塗膜には超厚膜エポキシ、タールエポキシ、ウレタンエラストマー、ガラスフレーク系塗料の4種類を用いた。また、摩擦係数の測定は水平に固定した供試板上の水試片を移動させた時の抵抗力を高感度低容量荷重計で計測することにより求めた。

摩擦係数は塗膜の種類だけでなく、その表面粗さと氷の温度、圧力等の影響を受けることがわかった。塗膜上に氷柱を一定時間置いたときに、圧力溶融によって生じた水の層で潤滑されるという考えがしばしば行われてきた。各塗膜の表粗さ Ra はウレタンエラストマー、タールエポキシ、ガラスフレーク、超厚膜エポキシの順に大きくなっていったが、溶融水量はガラスフレーク、超厚膜エポキシ、ウレタンエラストマー、タールエポキシの順となった。氷柱の鉛直応力が0.63~0.66kPa、-7℃の場合、摩擦係数は超厚膜エポキシ、ウレタンエラストマー、ガラスフレーク、タールエポキシの順に大きくなり、氷柱の移動速度の影響はあまり認められなかった。その結果、摩擦係数と表面粗さ、溶融水量とは必ずしも対応しなかった。

摩耗試験は塗膜の単離膜を平板回転式摩耗試験機の回転板に取り付け、回転板上の2ヶ所で氷の角柱を押しつけて供試材表面を摩耗させて行うもので、試験板を5 r. p. m. で回転させた。試験中にある時間毎に試験を中止し、摩耗量の測定を行った。氷柱は氷厚70mmの海水の氷板から切り出し、側面を摩耗面として試験に供した。

摩耗量は塗膜の材質に強く依存し、表面粗さが試験初期に摩耗量にやや影響を及ぼすが、それ以後はほとんど影響しないことがわかった。氷に対する耐摩耗性はガラスフレーク系塗料が最も優れた結果を示し、超厚膜エポキシ、ウレタンエラストマー、タールエポキシの順であった。

<大阪支所>

Nondestructive Evaluation of Fatigue Damages in
FRP Using Ultrasonic Waves

超音波による FRP の疲労損傷の非破壊評価

津島 聰、小野正夫

平成10年4月

U. S-Pacific Rim Workshop on Composite
Materials for Ship and Offshore Structures

FRP 船体の信頼性や安全性を維持するためには疲労損傷の状態を監視し、き裂の進展を未然に防ぐ必要がある。FRP の疲労損傷は樹脂層のマイクロクラックの発生、樹脂・繊維界面の剝離、繊維の破断と進展する。このような疲労損傷を超音波のエコー高さの変化から評価した。

試験体はチョップドストランドマット (M) とロービングクロス (R) を交互に積層した MR 構成の GFRP を用いた。樹脂は不飽和ポリエステルとビニルエステルの二種類とした。形状・寸法は長さ250mm, 幅16mm, 板厚4.4~5.8mm のダンベル型である。疲労の程度が疲労寿命 (N_F) の約30、60及び90%の試験体をそれぞれ一本作製した。これらの試験体を用いて次の実験を行った。

- 1) エコー高さの比較：疲労試験前後の試験体を用い、第一R層 (R1) からのエコー高さの比較を行った。
- 2) ヤング率の測定：疲労試験前後のヤング率を音響法で測った。
- 3) 引張破断強度：疲労試験を受けない材料と試験後の材料の破断強度を測定した。
- 4) き裂密度の測定：疲労試験後の試験体の樹脂層のマイクロクラックの密度 ρ (本/cm) をエッジワイズ方向から光学顕微鏡 (100倍) で測定した。

実験の結果、次のことがわかった。1) 疲労による ρ の増加とともに R1 エコー高さ (Δ hdB) は線形に減少した。2) ヤング率と ρ との関係は N. Laws らの式で近似できた。3) ρ の増加による破断強度 (非破壊試験後実施) の減少は小さかった。しかし、荷重繰返し数 $N \times 10^6$ の材料では強度は大きく減少した。4) N - Δ h の関係はばらつきが大きかった。

カムテック訪問記

Visit Report of Recovered Oil Burning at KAMTEK

在田正義

平成10年12月

海洋工学研究所

単行本「重油汚染—明日のために」

単行本「重油汚染—明日のために」の一部として、回収された油の最終処理について述べる。本書の主旨は、「世界の石油の約9%が日本で消費され、石油なしには生活出来ない現状にも係わらず、石油生産とその利用の実態は知られていない。ナホトカ号重油流出事故は、普段隠されている石油利用の一面が露見すると同時に、日本の緊急事態対応に問題点があることを明らかにした。日本近海には事故多発で悪名高い便置籍船を含め多くの外国船が運航されており、大規模油流出事故が再び起こることを想定して対策を講じておく必要がある。このため、ナホトカ号事故の全容をまとめ、事故を未然に防止する国際的枠組み作りや、生態系の視点に立ったの事故処理、石油文明に対する考察についても触れる」というものである。

「カムテック訪問記」では、回収した油の最終的な焼却がどのように行われているかを、焼却工場の現場レポートとして報告した。訪問したのは、株式会社カムテックの福山工場である。ここでは、回収された油の約半分に相当する22,000トンが処理された。ドラム缶に詰めて送られたり、ガット船でばら積みされたり、大型回収船清龍丸で直接持ち込まれ、全て焼却処分されることになった。油は流出して海水にもまかれると吸水し、一見油のかたまりのようであっても、油分はせいぜい20%程度となる。カムテックに持ち込まれた“油”には、各種の油回収用機材や容器、衣服等と共に大量の海水が含まれており純粋の油分は精々7%程度であったから、燃焼には相当のエネルギーを補給することになった。この工場は産業廃棄物の焼却処理をしているので、“油”に産業廃棄物を混ぜ、新たな燃料を出来る限り使わないよう工夫していた。持込み油の全量処理に1年以上を予定している。現在、回収兼処理船が必要であるが、日本には一隻もないことが明らかになった。

船用玉形弁における配管より受ける外力の影響

The Effect of External Force through
Pipes on Marine Globe Valves

伊飼通明、綾 威雄、畑中哲夫、太田正博

平成10年11月

日本船用機関学会 第61回学術講演会

講演前刷集

船用弁規格の国際整合性が問われることとなり、安全率8以上を基準にISO規格に適合した弁の最適設計を行ってきた。内圧のみ作用する場合を基準に設計を行ってきたが、さらに軽量化を図るとなると、船用弁の設置時や航行時の揺れ等により、配管を通して船用弁に外力が作用する場合は考えられ、内圧のみで最適設計することに問題が生じる場合もある。このため、船用弁について配管より受ける外力の影響を実験・数値解析により調べた。

実験では、呼び径をすべて80とした管、弁を用い、固定部分、短管（長さ15cm）、船用玉形弁（材質FCD400）そして3mの配管と順次接続し、配管の端に外力を作用させて行った。船舶内の船用弁は通常、Uボルト等で固定され、自由度はある。しかし、船体付弁、燃料タンク付弁等では弁の一方が船体に固定されているので、自由度はない。そこで、最も条件の厳しい船体付・燃料タンク付弁等を模擬した実験装置とした。実験は、弁に対して外力を水平方向及び垂直方向に作用して行った。外力は変位と荷重の2種類で与えた。また、弁箱胴内壁側に生じる応力を知るためにFEM解析も行った。

実験・数値解析により以下のことが分かった。

- (1) 弁箱胴に水平にたなが存在するため、水平方向に比較して垂直方向に外力が作用した場合の方が、玉形弁はたわみ易く、強度的に弱い。
- (2) 玉形弁に外力が作用した場合の大きな応力の発生場所であるが、垂直方向上向きの外力の場合は円筒部付け根部分の下側であり、水平方向の外力の場合は円筒部付け根部分の側面側である。
- (3) 船用弁に内圧のみ作用した場合を基準に弁を設計してきたが、同時に外力が作用するとさらに大きな応力が発生し、弁の安全率の低下が考えられる。従って、外力も考慮して、弁を設計する必要がある。

<東海支所>

Intelligent information data base of flow boiling characteristics in once-through steam generator for integrated type marine water reactor.

一体型船用炉用貫流蒸気発生器の流動沸騰特性に関する知的情報データベースの開発

稲坂富士夫、成合英樹

平成10年10月

First Korea-Japan Symposium on Nuclear Thermal Hydraulics and Safety.

Proc. of the above mentioned symposium.

船舶技術研究所で過去に実施した一体型船用炉用貫流蒸気発生器の熱流動に関する我が国唯一の貴重な実験的知見を、知的情報データベースプログラムとして構築した。プログラムは、Visual Basicを用い、windows用アプリケーションとして創られた。プログラムには、次のような機能が盛り込まれている。(1)任意の設計条件に対するヘリカルコイル式貫流型蒸気発生器の熱流動静特性解析と不安定流動判別、(2)実験データの解析と比較、(3)静特性データベースの検索とグラフ表示、(4)不安定流動特性データベース検索と不安定流動発生境界条件のグラフ表示、(5)実験装置の系統図、主要目などの表示、(6)ヘルプ、プリンター設定、印刷などのメニューバー。

本報告では、主として蒸気発生器の静特性解析について述べる。伝熱管内における流体の予熱部、サブクール沸騰部、飽和沸騰部、過熱部の各長さ、温度・圧力分布、熱流束分布などの解析結果は、質量速度が非常に大きい場合の二相流部圧力損失を除き、実験結果と非常に良く一致した。本プログラムは、windows用アプリケーションとして利用可能であり、次世代一体型船用炉のみでなく、ヘリカルコイル式蒸気発生器を持つ小型原子炉の設計にも有用であることが期待される。