

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・
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必要がある。

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

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。

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

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を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A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、50 ppm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%以下な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までの冷却過程は、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。