

所 外 発 表 論 文 等 概 要

＜推進性能部＞

マイクロバブルを用いた局所摩擦抵抗低減実験

Local skin friction reduction using microbubbles

高橋 孝仁、角川 明、川島 英幹、児玉 良明

平成9年5月

関西造船協会誌 第228号 平成9年9月

タンカーなど排水量型船舶では全抵抗成分のうち摩擦抵抗成分が70～80%を占める。この摩擦抵抗を低減させる手法の一つとしてマイクロバブルが注目されている。マイクロバブルは水流中物体表面周りを微小な気泡で覆い、境界層内の流れの構造、表面付近の速度勾配を変えることにより摩擦抵抗を低減させるものであり、平板を用いた実験では局所摩擦抵抗低減率80%が計測されている。しかし実船適用への試算を行ったところ、必要な吹き出し空気量は膨大で、吹き出しに要する馬力が抵抗低減効果による馬力低減を上回り、トータルでは馬力低減に至っていないことがわかった。実用化のためには、少量の気泡で抵抗低減させることが必要で、そのためには気泡と摩擦抵抗低減量との関係をさらに詳細に調査する必要がある。そこで本研究では、専用の流路を用い、局所摩擦抵抗が正しく計測できているかを検証した後、様々な流速における低減効果、低減効果の下流方向への持続性を調査した。

これらを調査する実験装置は、流れが単純であること、微小な領域の計測が可能であること、高速流れが実現できることなどの条件が必要であるため、2次元の内部流れを実現した矩形断面形状を持つ小型高速流路を用いた。流速(3～12m/s)と空気流量を変化させ局所摩擦抵抗を計測した。また下流方向への摩擦抵抗低減効果の持続性を下流方向3箇所での局所摩擦抵抗を計測することにより調査した。計測を行った流速の範囲の内、流速5m/s以上のすべての流速において抵抗低減を確認でき最大抵抗低減率はそれぞれ約30%であった。また抵抗低減効果は吹き出し部より境界層厚さ(=流路高さの半分)の200倍下流においても確認され、外部流れの時よりも効果の持続性が保たれることを確認した。このことは、気泡のある範囲に閉じこめることができれば抵抗低減効果の持続性が保たれることを示している。また気泡と摩擦抵抗との関係を調べるためには、まずマイクロバブルを発生させることと、気泡径計測が必要であるが、スチールカメラによる写真から気泡径を測り、直径1mm以下の気泡を発生できていることを確認し、気泡径分布の計測も行った。今後実用化のために、以上のデータに加えてさらに、ボイド率と抵抗低減との関係を調べていくことが必要である。

マイクロバブルを含む流れの PIV 計測

PIV Measurement of Microbubble Flows

角川 明、高橋 孝仁

平成9年7月

可視化情報学会誌 第17巻(1997) Suppl.1

第25回可視化情報シンポジウム講演論文集

地球温暖化をもたらす大気中のCO₂増加への対応策として船舶の省エネルギーが求められ、摩擦抵抗低減研究の必要性が高まってきている。船舶の摩擦抵抗低減デバイスに関する研究は、古くから数多く行われているが、有望なデバイスはあまり見当たらない。一方、乱流構造に関する研究が進展し、抵抗低減デバイスについて高度な研究が行われるようになった。そのような状況の下で、摩擦抵抗低減に関する実験的な研究を進めているが、その中からマイクロバブル(微小気泡)を用いた抵抗低減デバイスの可視化例について報告する。

マイクロバブルは、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を明らかにするには、境界層内に混入した高密度のマイクロバブルの速度分布を高速な流れの中で求める必要がある。しかし、その困難さから低減メカニズムや気泡の分布および形状については、今までほとんど報告されていない。

今回、YAGパルスレーザを照明光源とするPIV(Particle Image Velocimeter)を利用することにより、小型高速流路(閉鎖型の小型回流水槽:試験部長さ3000mm、幅100mm、高さ15mm)に形成した境界層内において、高密度のマイクロバブルを含む流れを可視化することに成功した。マイクロバブルの可視化は、流速 $U=10\text{m/sec}$ において気泡流入比(流入空気量と水流量の体積比)0.20まで可能となり、抵抗低減効果が最も大きく現れる条件において、そのメカニズムを明らかにするための情報(気泡の形状、速度および分布)を得ることが可能になった。

マイクロバブルによる摩擦抵抗低減の流れ方向分布

Streamwise Distribution of
the Skin friction Reduction by microbubbles

高橋 孝仁、角川 明、児玉 良明

平成9年11月

日本造船学会論文集 第182号

地球温暖化への対応策として、船舶にも排気ガスの削減が求められている。大型船舶の抵抗の大部分は摩擦抵抗が占めるので、これを低減させることができれば船舶の排気ガス削減につながる。マイクロバブル流入法は船体表面に形成される境界層中に微細な気泡を流入し、この摩擦抵抗を低減させる手法として知られているが、空気吹き出しに要する仕事量を含めた正味の抵抗低減には従来ほとんど成功していない。従って、マイクロバブル流入法の実用化のためには、抵抗低減のメカニズムを解明することによって、空気流量を節約することが必要である。さらに流入気泡による抵抗低減が下流まで持続すること、つまり低減効果の持続性も実用化のための大きな要素となる。

筆者らは、十分に発達した2次元流れ（管内流）の境界層において、マイクロバブルによる摩擦抵抗の低減効果を計測した。その結果、抵抗低減効果は1.5m下流まで持続し、発達中の境界層での実験結果よりも2～3倍下流まで低減効果が持続することを確認した。発達中の境界層における従来の実験では高速ほど抵抗低減効果が高い結果が得られていたが、今回の実験では流速7m/secの方が流速10m/secより抵抗低減効果が大きくなった。これは流速10m/secにおいては気泡が管内全体に分散し低減効果が小さくなったのに対し、流速7m/secにおいては気泡が壁付近に集中したためと考えられる。これによりボイド率分布が抵抗低減効果に重要な要素であることがわかった。さらに詳細にボイド率分布の影響を調べるため、境界層内ボイド率分布を計測したところ、壁付近の局所ボイド率が高いほど抵抗低減効果は高いことがわかった。また、従来困難であった高密度気泡流れにおけるPIV計測について、YAGレーザを用いることにより、気泡分布の計測が可能であることを確認した。

〈機関動力部〉

セル発電性能に及ぼす塩分の影響（第2報）

Effect of Airborne Seasalt
on the SOFC Performances

川越 陽一、熊倉 孝尚、波江 貞弘、

汐崎 浩毅、千田 哲也

平成9年12月

第6回SOFC研究発表会論文集

燃料電池は、燃料の持つ化学エネルギーを途中で熱の形態を介さずに直接電気エネルギーに変換するため、より高い効率を持つ発電装置として有望視されている。また、環境調和性が高いことに加え、固体酸化物燃料電池（以下SOFCと省略）は出力密度が高いため船用等の動力として適していると考えられる。当所においては、電解質に固体酸化物（YSZを使用）を用いたSOFCを、船用機関として適用する際の技術的な問題点を抽出しその対策を検討するための実験的研究を行っている。海上、あるいは沿岸で燃料電池を使用する際に海上雰囲気に含まれる塩分のセル（燃料電池において直接発電を行う役割を担う部分をセルと称し、電解質と空気側、燃料側の各電極から構成される）への影響が懸念される。塩分がSOFCに及ぼす影響を実験によって明らかにしておくことは、SOFCを船用動力源として設計・使用する際に重要である。

前報では、飽和蒸気となる非常に高濃度のNaClと低濃度のNaClの蒸気をセル空気極に供給した際の性能の変化を調べた。前者においては明らかな性能の低下が見られたが、後者においては明確な性能の低下は見られなかった。今回は低濃度領域での塩分の影響をより詳細に調べるため、250時間の発電実験を行い、塩分の供給による発電性能の変化や、与えるNaCl濃度を変化させた際の性能の変化を調べた。その結果、本実験の範囲内では、空気極へのNaClの流入はセルの発電性能およびセル構成材料に悪影響を及ぼさず、セルの電圧を若干上昇させることが分かった。

<システム技術部>

Advanced Support System for Plant Operation
- Matching to Human Recognitin
and Senses and Its Application
to Group Operation Support -

プラント運転支援の高度化
-人間の認識および感覚機能との適合化
およびそのグループ運転支援への応用-

沼野 正義

平成9年11月

Proceedings of International Symposium
on Artificial Intelligence, Robotics and
Intellectual Human Activity Support
for Nuclear Applications

Toward a New Man-machine Interface
for Autonomous Power Plant Systems
- Observation system for Autonomous, Diverse
and Cooperative Functions -

自律型プラントにおける新しいマンマシン
インターフェイスシステムに向けて
-自律分散協調機能監視システム-

松岡 猛、沼野 正義、福戸 淳司、宮崎 恵子
染谷 実、三友 信夫、松倉 洋史、丹羽 康之

平成9年11月

International Symposium
on Artificial Intelligence, Robotics and
Intellectual Human Activity Support
for Nuclear Applications AIR&IHAS'97

原子力プラント等の大規模かつ複雑なシステムは、運転におけるヒューマンエラーを排除するために、多くの自動化システムが取り入れられている。しかし、ひとたびプラントの状態が設計条件を超える場合は、人間の運転員がその状態に対して適切な処置を施し安全な状態に導くことが要求されている。このような場合には適切なインターフェイスもしくは支援システムがヒューマンエラーを防止する上で重要である。また、安全性をさらに向上させるために複数の人間が適切な役割分担を行って運転している。

プラントの異常原因の同定や適切な処置の決定、操作等の運転員の知的活動におけるエラーを排除するために、人間のプラント状態についての認識や感覚機能の適合したインターフェイスを提案し、3D-VR 状態表示と感覚フィードバック入力システムを試作した。複数の人間からなる運転員のグループを支援するために、情報の共有および操作に対するフィードバックの共有手法について考察し、その有効性を明らかにした。

原子力基盤クロスオーバー研究の成果発表会として開かれた海外からの研究者を集めての国際シンポジウムにおける発表である。

まず、将来型のプラントを構成するであろう自律的な基本単位(エージェント)の考え方を議論し、次に自律型プラントの概念としてクロスオーバー研究参加5機関の議論により得られた現知見について述べている。自律機能として機能維持、自己防衛、自己組織化、機能改良、環境との調和が考えられている。

次に、自律型プラントシミュレータをエキスパートシステムを用いて開発した成果について述べている。加圧水型原子力プラントの基本的運転モードおよび幾くつかのトランジェント状態の模擬ができる。更に、自律機能を容易に編集、組み込むための機能が作成されている。

自律型プラントにおけるマン・マシン・インターフェイス(MMI)には、プラント機能モデルが保持されており、このモデルに基づいて適切な情報提示を行うと考えられている。このプラントモデルをオブジェクト指向言語CLOSを用いて開発した。この機能モデルは、上記プラントシミュレータと結合されておりシミュレータからのデータを受け取り、その状態を判定する。未経験のプラント状態を分類し、さらに判定のための規則を自動的に作成する機能を持っている。

多数存在するプラント状態間の関連を樹状の構造に自動的に分類し、分かりやすく表示する機能が逐次学習法であるCOBWEB手法を応用して開発された。この成果についても述べている。

プラント状態を人間(運転員)に提示する方法として、三次元カラー・グラフィックス表示がある。プラント状態を視覚的に表示するため加圧水型プラントの各構成機器を作成し、その表面、内部を状態量(温度、圧力、流量、水位)に対応して色彩等を変化させる機能を作成。シミュレータからのデータを受け取り、ほぼ実時間でプラント状態の変化の様子を視覚的に表示できるようになっている。異常状態の機器について注意を喚起する機能が整備されている。

クロス・オーバー研究としての理研、動燃等他機関との接続を目指した研究も現在実施中である。

〈原子力技術部〉

Evaluation of
Neutron Shielding Enhancement Effect
due to structural Material

構造材による中性子遮蔽高揚効果の評価

植木紘太郎、大橋 厚人

平成9年2月

Proceedings of the 7th International Symposium
on Radiation Physics

構造材の中性子遮蔽に対する高揚効果を調べるため構造材としてステンレススチール (SS)、遮蔽材としてはポリエチレンおよび蛇紋石コンクリートを用い、 ^{252}Cf 中性子源による遮蔽実験を行った。

タイプ1の実験では、中性子遮蔽材そのものの1/10価層を測定した。タイプ2の実験では、1つのケースはSSを線源側に置き、他のケースではSSを検出器側に設定した。SS+中性子遮蔽材という遮蔽体系では、SSが線源側にあることにより、ポリエチレンおよび蛇紋石コンクリートともそれぞれを単独で使用した場合よりも1/10価層がおおよそ1/2に減少された。これこそがSSによる高揚効果 (enhancement effect) である。この高揚効果はSSを遮蔽体系の検出器側に置いた場合では観測されなかった。タイプ3の実験はタイプ2で用いた材料を使い、最適遮蔽を構築する実験である。

この高揚効果は先に述べたように顕著なものであり、SSを線源側に置き、その後ポリエチレンおよび蛇紋石コンクリートを置くと、それぞれの1/10価層は単独使用のおおよそ1/2に減少する。また、最適遮蔽については、全線量当量率 (中性子+2次ガンマ線) は遮蔽特性の異なった物質の組み合わせによって最適遮蔽の構築が可能であることが分った。ポリエチレン-SSおよび蛇紋石コンクリート-SS遮蔽体系では、もっとも線量率の高い配列と最適遮蔽配列における線量当量率の比は2~3以上である。これらの3つのタイプの実験はすべて次期面交差評価子 (next event surface crossing estimator) を用いた連続エネルギーモンテカルロ法による解析で十分良く再現性が見られている。そして、高揚効果についてはモンテカルロ法によるスペクトル解析によってもこの現象が解明されている。

〈氷海技術部〉

Measurement of Sea Ice Conditions
and Manoeuvrability of Icebreaker "PLH SOYA"
at the Sea of Okhotsk

オホーツク海における氷況及び巡視船「そや」の
操縦性能の計測について

下田 春人、宇都正太郎、吉田 三雄、小山 鴻一

平成9年4月

Proceedings of the 16th International Conference
on Offshore Mechanics and Arctic Engineering

船舶技術研究所では1991年よりオホーツク海の南部海域において巡視船「そや」による実船実験を実施してきている。本実船実験の目的は、当該海域の氷況 (氷厚、氷盤密接度等) データベースを構築すること、「そや」の水中航行性能の評価を行うことである。本論文では、1) ビデオ録画による船上氷況 (氷厚、氷盤密接度) 観測の方法およびその結果、2) 小氷盤および大氷盤中における「そや」の操縦性能について述べた。

船上氷況観測として、航路上の氷盤密接度は船のマスト上部にビデオカメラを設置して進行方向の氷況を録画し、後に画像処理をすることによって求めた。氷厚は船首部で破壊された氷盤片が回転運動しながら浮き上がり、破断面 (=氷厚面) が上を向く状況を船側に取付けたビデオカメラで撮影し、後にその画像から氷厚を計測した。氷況観測結果から氷厚においては、各年毎 (Y91=1991年) の氷厚分布は Fig.1 に示すように、ある値以上の領域ではおおよそ指数分布に従うことがわかった。また、ビデオカメラ画像から求めた氷盤密接度の平均値は衛星観測による値と良い一致を示した。

「そや」の操縦性能は旋回試験及びZ試験を氷海域で実施することによって評価した。氷中での操縦性能は氷況によって大きく異なることがわかった。比較的小さい氷盤 (直径2m以下) から成る流氷群中での

旋回性能は、Fig. 2に示すように氷の厚さと密接度の積で定義した氷量 (Ice Volume) が操縦性指数 K' の逆数に対してまよりの良い関係を示した。一方、船長に比べて十分に大きな氷盤中での旋回性能は氷厚の自乗の関数で表せることがわかった。

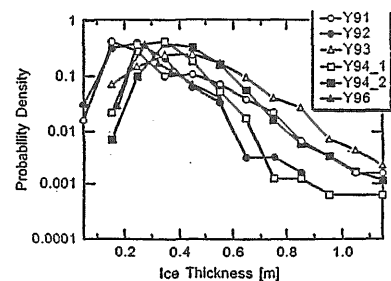


Fig.1 Discrete Probability Density of Ice Thickness

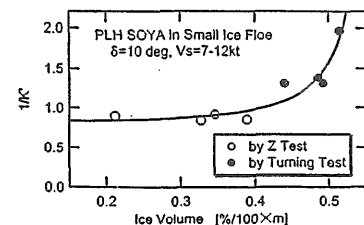


Fig.2 Relation between $1/K'$ and Ice Volume-1

〈大阪支所〉

海洋の油汚染防止

On the Countermeasure
against Marine Oil Pollution

在田 正義

平成9年10月

船用機関学会第59回学術講演会・シンポジウム予稿集

FRPの船舶低温環境への応用技術開発

Study on Cryogenic FRP for Marine Use

櫻井 昭男

平成10年1月

(社)強化プラスチック協会

強化プラスチック 第44巻第1号

平成9年1月に発生したナホトカ号の折損、重油大量流出事故に関連し、海洋の油汚染防止策の大枠を示した。

はじめに、ナホトカ号に関連して運輸省に設置された流出油防除体制総合検討委員会の中間報告及びナホトカ号事故原因調査委員会の最終報告について触れた。ついで、ナホトカ号事故を振り返り、この事故から得られた教訓を示した。さらに、海洋の油汚染防止対策を立てる場合の前提になる事項について述べた後、対策の全体像、これを構成する4つの対応策について今後研究・開発すべきことを示した。

ナホトカ号事故から学んだ教訓としては、第三国航路に従事するタンカー等の船舶による海洋油汚染も考慮する必要があること、折損した船体の漂着予測についての研究が必要であること、油汚染対策を立てる際の最大流出油の量について十分考慮する必要があること、の3点をあげた。

海洋油汚染対策を立てる際の前提事項としては、日本の原油輸入量を確保すること、海洋全体としては十分な汚染物質負担能力があること、事故処理において大気への汚染も併せて考えること、流出量の最大値については従来想定されていると思われる量の数倍程度とすること、の5つをあげた。これらの前提は、本来明示されるべきものが従来は明示されていなかったため、あえて提示したものである。汚染問題の根本的な解決のためには、常に検討すべき事項であることを付け加えた。

海洋油汚染防止対策の全体は、事故の防止、事故発生時の油流出量最小化、流出した油の迅速処理、事故情報のフィードバックの4つの対応策からなるとし、各対応策を有効に実施するために現段階で必要なことを、研究課題、ソフト面で研究・開発すべきこと、ハード面で研究・開発すべきことに区別して示した。

FRPは、1) 軽量で強度が大きい、2) 断熱性、耐食性に優れている、3) 成形加工が容易である、などの特色を持っているため、航空、船舶、建築、輸送などの多方面の機械部品や構造部材に広く利用されるようになった。船舶分野では1960年代初頭に船舶用構造材料に適用されて以来30数年が経過し、FRPは舟艇・小型船舶の構造材料として定着し、今や、漁船の8割弱がFRP船であると言われるまでになっている。これと並行して、FRPの比強度や断熱性に優れた特性を生かして、氷海低温環境、超低温環境等の極限分野への応用展開に関する研究が進められてきた。本報告は、近年の船舶用低温材料の需要変化と、それに呼応して技術開発が行われた低温用FRPの特性について、氷海用FRP(常温 \sim -60 $^{\circ}$ C)、超低温用FRP(LNG温度 \sim LN₂温度)、極低温用FRP(LHe温度)に区分して、船研における過去20年にわたる研究成果を中心にまとめたものである。

氷海用FRPについては、冬季オホーツク海側の湾内及び湖内への流水進入の防止策として、設置が比較的容易で、船舶航行への影響が少なく、さらに海水交流を妨げない浮遊式防水構造物が提案されているので、その候補材料として先進FRPを採り上げ、耐氷材料として重要な、低温での強度特性、摩擦係数、吸水性等について検討した結果を述べた。

超低温用FRPに関しては、FRPによるLNGタンク方式の開発研究の成果について記述した。LNG運搬船のカーゴタンク材料には低温用特殊鋼が使用されているが、その溶接や機械加工などにかなり高度の技術が要求され、また熱伸縮対策が必要で、工作上的困難も大きい。このため、LNGタンクの工作技術の簡易化、安全性の確保並びに低コスト化を図るべく、長期実証試験を実施した。

極低温用FRPについては、1980年代の超電導技術や液体水素の利用開発に伴って急務となってきた、経済的で信頼できる極低温機用構造部材としてCFRP等の高強度FRPをとりあげ、LHe温度域までの強度特性、熱的特性及び熱衝撃による耐久性等を明らかにするとともに、極低温特性に及ぼす複合構成の影響について検討を行った結果を述べた。