

所 外 発 表 論 文 等 概 要

〈推進性能部〉

FREQUENCY DOWNSHIFT IN THE EVOLUTION OF WEAKLY NON-LINEAR WAVE TRAINS

弱非線形波列の発達に伴う周波数通減

Mohamed Hourri、富田 宏、沢田博史

平成12年4月

Proceedings of 25th. Annual Assembly of the European
Geophysical Society

海洋波浪の周波数通減過程はその見かけの単純さにかかわらず、現象の定量的な究明が十分に行われているとは言い難い。さらに、Benjamin-Feirの不安定の下での水の波の時間的発達の様相は高度に非定常な現象であるために、これを表現するためには時間-周波数両方の領域での同時解析法の適用が強く望まれる。

ここでは、弱非線形水面波動の長時間発展に対する実験によって得られたデータを解析するために、新しいWavelet変換の方法が用いられている。高周波ならびに低周波側面側帯波の同時発達の様子が波の変調の異なる段階について注意深く追跡されている。本解析により次の結果が得られた。

- (1) Fourier解析によって搬送波が卓越していると見られる場合にも、周波数の通増、通減が交互に起こっていることがWavelet変換により明らかに認められた。
- (2) 周波数の増大と最大の波峰（ここでは弱い砕波が認められる）は同時に起こることが分かった。
- (3) 二つの波峰の間では周波数の減少と波列の復調が同時に起こることが分かった。
- (4) 波群の峰の数が減少する最終段階では周波数の減少している時間が次第に長くなり、ついには永久的な周波数通減が観測された。

Wavelet解析を用いて、我々はModified Non-Linear Schroedinger (MNLS) 方程式による波列の周波数通減理論に対する実験的検証を行った。この方法では波の時系列を周波数領域に変換したときその時間的情報が失われないという利点を有することから、波列の時間的ならびに周波数情報を同時に観測するこ

とによって、水面変動の性質に与える砕波の役割の重要性ならびにそれによる上下側帯波の選択的発達の特性について明らかにすることが出来た。これらの結果は現実の海域においてしばしば観測される波浪の群化現象の説明を与え、また海洋波動場の非ガウス性を強く示唆する根拠を提供するものである。

CFD Simulation of Free-surface Flows around Modern Cargo Ships

実用船型まわりの自由表面流れの

数値シミュレーション

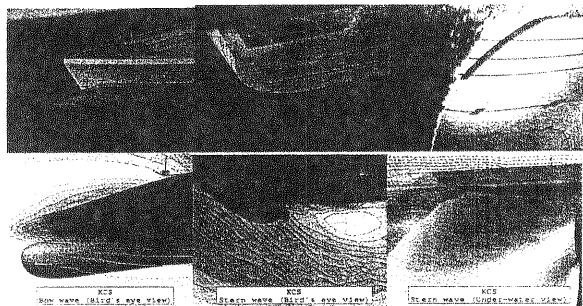
李 信亨、日野孝則

平成 12 年 12 月

九州大学応用力学研究所研究集会

「移動境界とその周りの流れ解析」

計算流体力学による流体性能解析の実用化のためには、実用船型の持つ複雑形状を扱う必要がある。格子の並び方に規則性を持たない構造格子法は複雑形状まわりの格子生成として有効な手法であり、非構造格子をベースにしたナビエ・ストークス・ソルバーは複雑形状まわりの粘性流れ解析の有力なツールとして期待されている。一方、船舶流体力学においては自由表面流れが極めて重要であり、特に船体まわりの流れ解析では、粘性と自由表面の干渉を正確にシミュレートする必要がある。自由表面流れの数値シミュレーション手法としては界面適合法と界面捕獲法があるが、格子を自由表面形状に適合させる界面適合法は自由表面形状が変化する度に格子生成を行う必要があり、複雑形状まわりの流れ解析には不利である。一方の界面捕獲法では計算格子を空間に固定し、水面形状は各点で定義されたスカラー関数の値を用いて追跡される。この手法には格子生成の労力が最初の一回だけでよいという利点がある。ここでは、非構造格子法と界面捕獲法による自由表面粘性流れ解析コードを開発し、実用的なコンテナ船型まわりの流れのシミュレーションを行った。図は計算された波形と水槽試験における写真とを比較したものであり、非線形な自由表面の特性を数値シミュレーションがよく捉えていることを示している。



Comparison of wave pattern around bow and stern

〈運動性能部〉

船体と舵の干渉計算

Study of Interaction between Ship Hull and Rudder
by Computation

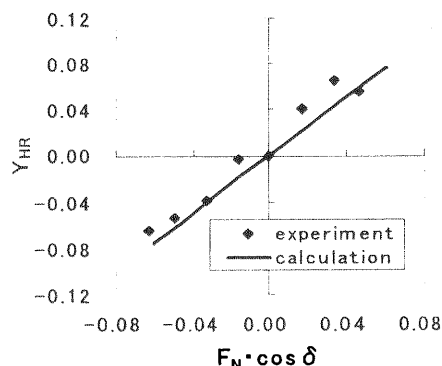
宮崎英樹、野中晃二、二村 正、上野道雄

平成 12 年 5 月

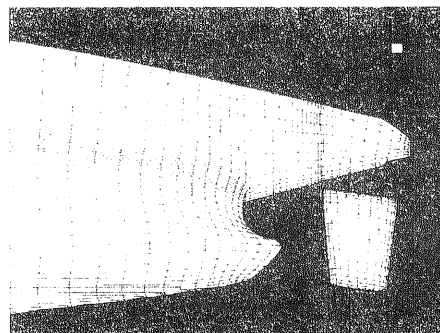
日本造船学会論文集 (189 号)

現在、船舶の操縦性能を推定する方法は幾つか存在するが、中でも最も多く用いられる方法に MMG モデルによるシミュレーション計算がある。MMG モデルのもととなる数学モデルは流体力微係数により構築されるため、如何に船舶の操縦流体力を精度良く推定するかが重要となる。船舶の操縦性能を評価する上で船体・プロペラ・舵間の干渉問題を精度良く推定することは重要となる。

今まで三者間の相互干渉はその現象の複雑さから実験による検証が中心となってきたが、当所の日野、平田らにより発展してきた NEPTUNE コードを拡張することにより船体と舵角付きでの舵を同一計算領域として取り扱うことを可能とし、最終的には三者間の相互干渉計算を行うことを目標として研究を進めている。本論文ではまず船体と舵間の相互干渉係数を数値計算により推定し、実験結果との比較により推定精度について検証する。



Comparison of Sway Force



Gridsystem around Sturn with Rudder

Development of 3D-NWT

for Simulation of Running Ship Motions in Waves

航走する船舶の運動シミュレーションのための

三次元数値造波水槽の開発

谷澤克治、南真紀子

平成13年4月

Proceeding of IWWWF-2001

水波と浮体に関する国際ワークショップ講演集

本論文は航行不能船舶の漂流運動を時間領域でシミュレートすることを目的に現在開発中の三次元線形数値造波水槽(3D-NWT)の概要速報である。自由に漂流する任意形状浮体の運動と波漂流力を計算する必要上、本3D-NWTでは前進速度(漂流速度)の影響を考慮することが可能な定式化がなされているのが特徴で、論文の前半はその数学的な定式化を中心に記述されている。本3D-NWTは浮体の平均速度で浮体と一緒に移動する慣性座標系を用いて定式化されており、前進速度は浮体に対する相対的な流れとして扱われる。定式化の概要では、まず速度場と加速度場における境界積分方程式を導き、前進速度影響を考慮するため、水槽壁面上での流入・流出条件、浮体表面条件、自由表面条件等の境界条件に流れの成分を反映させた境界条件式を示した。浮体運動と流体運動との連成条件は二次元の非線形造波水槽と同様に、加速度場の境界値問題の浮体表面条件に組み込み、連成運動はモード分解法と呼ばれる手法を用いて解く。本3D-NWTは加速度場において浮体と流体との連成運動を解いて自由表面運動もシミュレートするため、ラプラス変換に基づく線形時間領域シミュレーションに必要なメモリー影響関数は不要であり、現在は線形計算法であるが、原理的に非線形計算法への拡張が可能な定式化がなされている。論文の後半は試計算の結果の紹介である。計算対象はModified Wigley hull formと呼ばれる数式船型船が、向波中を定常航走する際の船体運動ならびに船体周りの波浪場で、向波中をフルード数0.2で航走する場合を例に、波長船長比で0.3から3.0まで変化させた時の計算結果を示し、柏木による実験ならびにNSMとEUTによる計算結果と比較した結果を示した。精度的にはまだ不十分であるが、計算コードの骨組みは完成したといえる。

練習船の操縦性能に関する模型実験と実海域実験

Model Experiment and Sea Trial for Investigating

Manoeuvrability of a Training Ship

上野道雄、二村 正、宮崎英樹、野中晃二、

藤原敏文、矢吹英雄

平成13年5月

日本造船学会

平成13年春期講演会論文前刷

および日本造船学会論文集189号

船の操縦性能を明らかにするためには、最終的には実海域における操縦性能試験が必要と考えられる。しかし、実海域における操縦性能試験データの信頼性がしばしば十分ではないことや風や波、潮流といった外乱情報の不足のため実海域における試験結果を適切に評価することはそれほど容易ではない。

1997年に就航した航海訓練所の練習船は船内LANによる情報処理システムを装備しており、このシステムを利用することによって、多種類のデータを同期した時系列データとして取得することができる。これらのデータには船速や舵角、プロペラ回転数の他、絶対風向や絶対風速、潮流の流向や流速に関するデータが含まれている。著者らは本練習船の建造段階から操縦性能に関する拘束模型実験や自由航走模型実験を実施するとともに、建造後は実海域における実船実験や水面上構造模型による風洞実験を実施してきた。

本報告では、まず基本的な操縦流体力等を求めるための拘束模型実験結果の一部について説明する。次に、自由航走模型実験結果とそのシミュレーション計算結果との比較検討によってシミュレーション計算の有効性についての検証を行った結果について述べる。さらに、実船対応のシミュレーション計算と実海域実験データとの比較検討によって、本練習船の船内LANによる情報処理システムによって得られるデータの有効性を検証し、実海域の風と潮流の影響下での実船の操縦運動を解析した結果について説明している。

今回の実海域における実船の操縦性能計測とそのシミュレーション計算によって、船内LANによる情報処理システムを用いて収集されたデータが有効性の高いものであることが確認された。特に風と潮流といった外的要因を表すデータの有効性が確認されたことは実海域での操縦性能推定にとって重要であ

と考えられる。今後、外乱下の実海域データから平水中の操縦性能をどのような手法で推定できるかといった重要な問題等を取り扱う際にも、本研究で得られたデータが有効に活用されることが期待される。

〈機関動力部〉

高温空気中における船用燃料油の
単一液滴の燃焼時間

Burning Time of Single Droplet of Marine Fuel Oils
in the High-temperature Air

羽鳥和夫

平成 12 年 4 月

日本マリンエンジニアリング学会誌第 36 巻 4 号

近年、船用燃料油は低質化する傾向があり、これに起因すると考えられる障害が発生している。燃焼油に起因する問題を解決するためには、その燃焼過程を解明することが重要であり、これまでも単一液滴を用いた基礎研究が行われてきた。しかし、船用燃料油は多成分混合燃料であることから単一組成燃料の解析手法が適用できないため、その燃焼過程を十分に解明するには至っていない。

筆者は、船用燃料油が残渣油と軽質油を混合した二成分混合燃料であるとの観点に立ち、これまでに高温空気中で単一液滴を燃焼させる手法を用いて混合燃料油の着火・燃焼過程や船用燃料油の着火過程について調べ、次のようなことを明らかにした。

液滴が高温空気中に入ると、最初、主に低沸点成分の軽質油が蒸発する。空気温度が高く、軽質油の燃料蒸気が十分であれば、液滴はこの燃料蒸気で着火する（ケースⅠ）。この燃料蒸気が着火に至る前に周囲に拡散した場合、液滴は後から蒸発する残渣油の燃料蒸気で着火する。この時、着火遅れは残渣油自体の着火遅れより大きくなる（ケースⅡ）。両者の境界に於いて、着火遅れは初期直径に対しステップ状に変化する。そして、着火遅れは初期直径が小さい範囲（ケースⅡ）で大きく、初期直径が大きい範囲（ケースⅠ）で小さい値を示す。また、燃焼時間は空気温度が高ければ、軽質油の混合割合が小さい範囲で減少することを示した。

本報告は、各種船用燃料油の単一液滴を大気圧下の高温静止空気中で燃焼させて主に液滴の燃焼時間を調べ、これまでの研究結果を基に燃焼過程の考察を行った。この結果を要約すると、液滴の燃焼時間は着火時の液滴量と燃焼中の蒸発量で決まり、空気温度が低くても高くても減少する。このため燃焼時間は空気温度に対して最大値を示す。また、液滴の寿命は燃焼時間よりも着火遅れが影響し、空気温度が上昇するにつれて減少する。

Waterhammer Prevention in Emergency Valve Closing of Crude Oil Unloading Equipment

原油荷役設備におけるバルブ緊急閉鎖時の水撃防止

汐崎浩毅、綾 威雄

平成12年10月

Proceedings of the 6th International Symposium

On Marine Engineering TOKYO 2000

原油タンカーを海上バースに係留し荷役作業中に、強風によって船がバースを離れてローディングアームが切断され、原油が海上流出するという事故がかつて東京湾で発生した。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に緊急遮断弁を設け、風で船体が動き出す等の緊急時には、遮断弁を閉鎖したのちカップラー部を切離すという機構が開発された。

しかしながら、遮断弁を短時間で閉鎖する際には、主に弁の前後に空洞が生成し(液柱分離現象)、再びそれが消滅する際に弁や管路に大きな水撃圧力を生じるため、条件によっては管路が破壊され、大規模な原油流出事故につながる危険がある。

本研究は、こうした系の水撃現象について解析したものである。また、同時に簡便かつより安全な水撃防止装置を考案し、その性能について述べている。主な結果は以下の通り。

- (1) 設備の建造・使用条件によっては、水撃圧力は管路耐圧を越えることがあり得る。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が特に重要なパラメータである。また緊急弁閉鎖途中でカップラーが切断されるようなケースでは、油流出を防ぐために速やかに弁を閉めると、かえって大きな水撃圧力を生じ危険な場合がある。
- (2) 現在数億円規模の水撃防止装置が使われているが、本報告で提案した補助バルブと非常事態用タンクを備える方法ははるかに簡便であり、また従来の機構が現象をゆるやかにすることでピーク圧を緩和するのに比べ、油を外部系統に解放することで直接的に圧力を減じるため、安全性もより高い点が特徴である。

フィルター振動法による実船での PM計測について(その2)

Practical Measurement on Vessel for Particulate Matter
by Tapered Element Oscillating Microbalance (Part 2)

大橋厚人、中島康晴、高杉喜雄、西川和美、

大立康祐

平成13年5月

第65回マリンエンジニアリング学術講演会

講演論文集

船用ディーゼル機関から排出される粒子状物質(PM)は地球環境や人体に甚大な影響を与える恐れがあると認識はされているものの、実船における排出実態の報告例は少ない。我々は、実船測定の実績を目標として、フィルター振動法によるPM測定器(R&P社製 TEOM-1400、以下TEOMと略す)を用いて可搬可能な測定系の確立を目指してきた。前回の発表では、「銀河丸」停泊中に発電機原動機のPM測定を行い、発電出力一定であってもおよそ4分周期の排出変動を示し、また、ISOで規定されているフィルター重量法の結果より過小評価することがわかった。過小評価の原因の一つとして、測定系内でのPMの沈着が考えられ、できるだけ短くするように改良した。今回は、「銀河丸」の主機におけるPM測定結果と、フィルター重量法の測定系にTEOM本体を組み込み比較を行った。

「銀河丸」主機排ガス中のPM濃度は、30%出力で10(mg/m³)、3分20秒の周期変動が観察できた。ただし、以下の問題点があった。

- ・排ガス流速に対して等速サンプリングしていない。
- ・サンプリング部が加圧されているので希釈比に影響を与えている可能性がある。
- ・TEOM本体とフィルター重量法とは、結果が一致していない。
- ・測定系内の沈着量の評価が必要。

また、TEOMを実船に持ち込む場合は、船体動揺の影響を大きく受けるのでTEOMの設置に工夫が必要である。また、動揺の影響を受けない測定法の検討も必要である。

燃料噴射系の電子制御化による
船用ディーゼル機関の排ガス特性の改善
その2 A重油および乳化燃料使用時の
熱発生率の解析

Exhaust Emission Characteristics of a Marine Diesel
Engine with an Electronically Controlled Fuel Injection
System Part2 Heat-Release Analysis on the Cases of
Marine Diesel Fuel and Water-Emulsified fuel

張 潔、高杉喜雄、石村恵以子、菅 進

平成13年5月

日本マリンエンジニアリング学会第65回学術講演会
講演予稿集

船用ディーゼル機関の排ガス特性の改善を目的として、我々は実験用ディーゼル機関の燃料噴射系を油圧駆動電子制御方式に改造し、A重油および乳化燃料を使用した運転試験を実施した。この結果、A重油使用の場合、低負荷では排ガス特性と燃料消費率を同時に改善出来る着火時期を選ぶことができ、燃料噴射系電子制御化が排ガス特性の改善に有効であることを実証した。しかし、最適な噴射時期（着火時期）と噴射圧の組み合わせは、燃料によっても異なっており、制御パラメータの最適な組み合わせを実験によって探し出すことは容易ではない。このため、広範な運転条件に対して最適条件を探索する方法として、数値解析法の適用が望まれる。ディーゼル機関の実サイクルの数値解析については多くの研究が行われているが、我々は比較的簡便な計算法を用いて、計測された圧力から熱発生率および温度分布の解析を行った結果、電子制御化で得られた特徴的な実験結果をよく説明することができた。

本報告では、下記の特徴的な適用例について検討を行った。

- (1) A重油使用、着火時期と負荷の影響
- (2) 乳化燃料使用、着火時期と負荷の影響
- (3) カム駆動と油圧駆動の比較

以上の結果、最適燃焼設計には着火時期、噴射持続時間と燃焼終了時期、及び着火遅れの制御が重要であることを確認した。

電子制御化ディーゼル機関の運転
その1 吸排気弁開閉時期の設定について

Operation of Electronical Controlled
Marine Diesel Engine

Part 1 Setting Sample for Valve Timing

高杉喜雄、石村恵以子、大橋厚人、桑原孫四郎、
西尾澄人、張 潔、菅 進

平成13年5月

第65回マリンエンジニアリング学術講演会
講演論文集

近年、地球環境保護の観点から、また、健康面から船用ディーゼル機関からの大気汚染物質の排出が問題となっている。当所ではCO₂の低減を計りつつNO_x、PM（微粒子状浮遊物質）の低減を目指し4サイクル中型中速ディーゼル実験機関の燃料噴射装置を電子制御化を行い、この目標を低負荷域にて実現した。これに続き、動弁装置の電子制御化についても実行し、吸排気弁の弁タイミングを自由に変更できるようにした。この電子制御式燃料噴射装置と動弁装置の相乗効果で更なる燃料消費率の向上、大気汚染物質の低減を目指すものである。

今回、動弁装置の電子制御化に伴い、吸排気作動状態表示システムを構築し、カム駆動時と排ガス温度が同程度になる吸排気弁開閉時期を求め、カム駆動時との比較を行った。

結果は、下表のような吸排気弁開閉時期により、カム駆動時とほぼ同等の排気温度で運転できた。しかし、電磁弁の作動に起因するばらつきのため、吸排気弁の設定あるいは変更は困難であり、この問題に対応する必要がある。

表. 吸排気弁開閉時期

	開閉時期	排気弁	吸気弁
カム駆動	開 閉	下死点前80度 上死点後35度	上死点前66 下死点後35
電子制御 25%負荷	開 閉	下死点前55度 上死点後40度	上死点前55 下死点後40
電子制御 50-100%負荷	開 閉	下死点前60度 上死点後40度	上死点前60 下死点後40

電子制御化ディーゼル機関の運転について

その2 燃料噴射時期と

吸排気弁開閉時期制御について

Operation of Electronically Controlled

Marine Diesel Engine

Part2 Monitoring System for Timings

of Valve and Fuel Injection

石村恵以子、高杉喜雄、大橋厚人、桑原孫四郎、

西尾澄人、張 潔、菅 進

平成13年5月

第65回マリンエンジニアリング学術講演会

講演論文集

実験用中型中速4サイクルディーゼル機関の、より高い熱効率で有害排ガス成分の削減を目指し、燃料噴射装置および吸排気弁装置について油圧駆動式電子制御化を行い燃料噴射、吸排気弁開閉時期を自由に变更できるようにした。従来の機関では燃料噴射ポンプ、吸排気弁はクランク軸と機械的に同期されるため、燃料噴射、吸排気弁開閉時期の表示は必要としなかった。しかし、本装置では電気信号が発せられ燃料噴射ポンプあるいは吸排気弁が作動を始めるまでに時間遅れがあるため、回転速度により燃料噴射、吸排気弁開閉時期は変化するので、確実な運転のためには実際のクランク角に対する燃料噴射、吸排気弁開閉時期の表示が必要となる。更に、この時間遅れは電磁弁作動等に由来するバラツキがあり、回転速度が一定でも一回転毎の燃料噴射、吸排気弁開閉時期は変化する。この問題を解決するため、燃料噴射・吸排気弁開閉時期表示システムを構築し、燃料噴射・吸排気弁開閉時期の平均化表示を行い、その効果を調査した。

燃料噴射時期に対して着火時期との関係から平均化表示が有効なものであることが解った。また、吸排気弁開閉時期に対しては排気弁開閉時期を代表としてPV線図より求めた排気弁開閉時期との比較を行い、多少の誤差があるものの平均化表示が有効なものであることが解った。

電子制御化ディーゼル機関の運転

その3 燃料噴射・吸排気弁の

電子制御化運転の結果について

Operation of Electronically Controlled

Marine Diesel Engine

Part3 Electronic Control Operation Test Result

of Fuel Injection and Inlet/Exhaust Valve

西尾澄人、高杉喜雄、大橋厚人、石村恵以子、

中島康晴、張 潔、菊地正晃、桑原孫四郎、菅 進

平成13年5月

(社)日本マリンエンジニアリング学会

第65回マリンエンジニアリング学術講演会

講演論文集

燃料消費率と排ガス特性の改善を目的として、これまで、実験用ディーゼル機関の燃料噴射系を油圧駆動電子制御方式に改造し、運転試験をし、低負荷においてこれらを同時に改善できることを実証した。続いて更なる改善をめざし、吸排気弁系に対しても電子制御化の試みを行い、燃料噴射系と吸排気弁系を共に電子制御化した実験機関の運転に成功した。本電子制御ディーゼル機関は中速4サイクル機関の3気筒全ての燃料噴射ポンプ及び吸排気弁を油圧駆動に改造したものである。今回はこの電子制御ディーゼル機関を用いて噴射タイミングの変更、噴射圧の変更、排気弁の開き時期の変更を行い実験を行った。まだ、試運転であること、データ数が少ないこと等のため、結論的なことは述べられないが、今後の研究に向けて、参考となるデータを得たのでこれを報告する。

1. 電子制御ディーゼル機関において低負荷時(25%、50%負荷)では、NOx排出量及び燃料消費率を同時に改善する最適着火時期があることを確認した。
2. 着火時期が同じ状態で燃料噴射圧を上げると燃料消費率は改善される傾向を示すが、NOx排出量はやや増加する。
3. 排気弁の開き時期を調整することによりNOx排出量及び燃料消費率を同時に改善できる可能性があることを確認した。今後は最適排気弁開閉時期を得るための実験を行う予定である。

気管－気管支模型内における
ラドン娘核種フリー成分沈着実験の解析（第2報）
Simulation for Deposition Experiment of Free Radon
Daughters to Tracheobronchial Tree Model (Part2)
大橋厚人、山田裕司、下 道國
平成13年5月
日本保健物理学会第35回研究発表会講演要旨集

気管－気管支壁へのエアロゾル沈着分布を求めるための解析手法を確立することを最終目標とし、その第一歩として、Weibelの肺モデルから作成した模型を用いて行ったラドン娘核種フリー成分の沈着実験（大橋厚人、下 道國、保健物理、25、23～28（1990））を解析する。

解析は、模型内の流れ場計算と、この結果を用いた沈着計算とに分けられる。前者には、汎用熱流体解析コード PHOENICS を用いた。計算領域は、Weibel モデルで示されている円柱と、実験用模型作成時の記憶から数式化した分岐部分からなる。媒質には、20℃、1気圧、密度一定の空気を採用し、模型上部を大気圧、内壁表面で速度をゼロとし、定常流とした。流量と管径からレイノルズ数が層流域であるため、乱流モデルを組み込まなかった。グリッドの作成は、コードに組み込まれている VR-EDITOR（デカルト座標系）を使用し、Poiseuille の流れ場が十分再現できる程度に細かくした。圧力の緩和係数には線形緩和を、速度には擬似タイムステップを用いた。模型の対称性から 1/4 モデルに関して計算し、かつ、メモリー容量制限のため第2分岐までと第2分岐から第4分岐までを分割計算している。後者については、線源項を無視した定常拡散方程式を差分化（有限体積法、べき乗法、中心差分）し、先に計算した流れ場を入力し繰り返し計算を行うことで模型内の濃度分布を求め、透過率から沈着率を求めた。なお、プログラムの妥当性評価のために、Gormley and Kennedy の式との比較を行った。

前回の発表では、第一分岐までの解析を行い、解析手法の validation が必要との指摘をうけた。今回、流れ場の計算では Poiseuille の流れ、沈着計算では Gormley and Kennedy の式と比較を行いよい一致を得た。現在、第2分岐までの流れ場計算を終了し、第2分岐から第4分岐までの計算に取りかかっている。今後計算を進め、第4分岐までの沈着計算を終了し発表する。

〈材料加工部〉

Relationship Between Thermal Shock Strength by Laser Irradiation Technique and Fracture Toughness for ceramics

セラミックスのレーザ照射法による熱衝撃強度と破壊靱性の関係
秋山 繁、天田重庚、古谷典子
平成12年6月

Proceedings of the Fourth International Congress on Thermal Stresses, "THERMAL STRESSES 2001"

構造用セラミックスには、優れた耐熱特性を有するものがあり、非常に高い温度あるいは熱流速の実環境にさらされる場合がある。そのため、その熱衝撃特性を研究することは、非常に重要である。近年、構造用セラミックスの熱衝撃強度を評価するために、セラミックス表面にレーザパルス照射する新しい評価法が提案された。このレーザ照射法は、試験片が破壊するレーザビームの臨界出力密度によって熱衝撃強度を評価する。また、従来から行われている、急冷した試験片の曲げ強度が急激に低下するときの臨界温度差 ΔT_c で評価するクエンチング法に比べ、高熱流速が得られる、熱伝達係数が非常に安定しているなど、非常に優れた点がある。

しかしながら、レーザ照射によるセラミックスの破壊メカニズムは、はっきりとは解明されていない。熱衝撃による破壊は、材料内部の欠陥から発生していると考えられている。このことは、熱衝撃強度が、材料の破壊靱性に密に関係していると考えられる。そのため、本研究は、レーザ照射法による熱衝撃強度 $P_L(W/mm^2)$ とインデンテーションフラクチャー法による破壊靱性 $K_{Ic}(MPa \cdot m^{1/2})$ との関係を明らかにするために行われた。

熱衝撃試験と破壊靱性試験は、 TiB_2 、 Si_3N_4 、 Cr_3C_2 、 Al_2O_3 、 $3Al_2O_3 \cdot SiO_2$ 、MACOR（商品名）の各セラミックスを用いて行った。用いた試験片は、 TiB_2 は $30 \times 30 \times 8mm$ の平板、残りは全て直径 50mm、高さ 10mm の円板である。熱衝撃試験に用いた試験機は、出力が 1kW と 3kW の炭酸ガスレーザーである。試験片表面におけるレーザの出力密度を変化させて、ディフォーカスしたレーザビームを試験片表面に 1 秒間照射し、その後、自然空冷させた。一方、破壊靱性試験に用いた試験機は、マイクロビッカース硬さ試験機で、試験荷重は、4.9N と 9.8N とした。また、試験片に生じたき裂と圧痕の観察は、走査型電子顕微鏡

を用いた。そして、熱衝撃強度と破壊靱性値の間に良い相関が得られ、次式の様に、熱衝撃強度を破壊靱性値の指数関数で表わした。

$$P_L = 0.069 \cdot \exp(1.1 \cdot K_{IC})$$

最後に、レーザ照射法により得られた熱衝撃強度は、破壊靱性と密な関係があると結論した。

**放射線触媒半導体被覆材料による
沸騰熱伝達特性改善 (第1報 表面の濡れ性)**

Inhancement of Boiling Heat Transfer
by Radiation Catalyst Semiconductor-coated Material
(1st Report, Surface of Wettability)

賞雅寛而、今井康之、斑目春樹、岡本孝司、
三島嘉一郎、植松 進

平成13年3月

(社)日本原子力学会 春の年会要旨集

酸化チタン等の半導体材料に、可視光以上の振動数の電磁波を照射すると、材料表面において光触媒反応が生じ、電気分解、酸化による接触気液体の除菌、セルフクリーニングに利用されている。また、この光触媒壁面に接触する液体の表面張力を減じ、接触面の濡れ性が向上することが明らかになっているが、これを核沸騰熱伝達壁面に用いることにより、壁面を熱損傷することなく、核沸騰遷移条件の高熱伝達側への移行すなわち高効率核沸騰の安定化が達成できることになる。

本研究では、プラズマ溶射用のプラズマジェットを用いてチタン、ジルカロイ等の金属材料表面に安定な酸化膜を形成させた後、東大及び京大の原子炉施設において、 ^{60}Co γ 線照射を行った結果、酸化チタン皮膜等の半導体材料では積算照射量が250～300kGy照射後の濡れ性が著しく向上し、超親水性状態を示すことを明らかにした。

このような表面を半導体化した材料の使用により、原子炉内部など放射線環境下の熱伝達特性を向上させることができる。

放射線触媒半導体被覆材料による

沸騰熱伝達特性改善

(第2報 ライデンフロスト温度と CHF)

Enhancement of Boiling Heat Transfer by Radiation

Catalyst Semiconductor-coated Material

(2nd Report, Leidenfrost Temperature and CHF)

今井康之、賞雅寛而、岡本孝司、小川矩弘、

三島嘉一郎、植松 進

平成 13 年 3 月

(社) 日本原子力学会 春の年会要旨集

γ 線による触媒反応を用いた沸騰熱伝達特性の向上を目的として、 ^{60}Co γ 線照射による酸化チタン等の半導体材料のライデンフロスト温度とプール沸騰限界熱流速 (CHF) の向上を確認する実験を行った。実験は、プラズマ溶射用のプラズマジェットを用いてチタン、ジルカロイ等の金属材料表面に安定な酸化膜を形成させた後、原子炉施設において、 ^{60}Co γ 線照射した。

ライデンフロスト温度は、設定温度に保持された溶融鉛ビスマス上にその試験片 ($30 \times 30 \times 1\text{mm}$) を置いて、純水液滴の蒸発現象を CCD カメラを通して観察し、液滴の消滅時間を計測した。酸化チタン皮膜試片では、 γ 線照射前と後 (積算照射量 1600kGy) で照射後のライデンフロスト温度は 40°C 上昇していたが、照射後約3週間暗所においた試片では、 γ 線触媒効果は消滅し、照射前とほぼ同じになることが確認された。

プール沸騰における限界熱流速実験では、幅 3mm 、長さ 120mm の試験片を用いて純水中でバーンアウトが生じたときの限界熱流速を求めた。この場合も γ 線照射により、照射前の約2倍の限界熱流速が得られた。また、酸化膜の無い場合のチタンでは、 γ 線照射後の限界熱流速向上効果は少なかった。

Sand Erosion of Ni-base Superalloys

at Elevated Temperatures

Ni 基超合金の高温サンドエロージョン

千田哲也、新井和吉、佐々木康裕、安田雄治

平成 13 年 6 月

High Temperature Materials 2001

サンドエロージョンは、高速ガス流路で使用される部材にみられる損傷であり、熱機関で使用される材料では高温サンドエロージョン特性が重要である。本研究では、ガスタービン用材料として開発されている単結晶 Ni 基超合金の 800°C までのサンドエロージョン試験を行い、その損傷機構を検討した。

電気炉で加熱された試験片に、加熱された圧縮空気と個体粒子の混相流を噴射する試験を行い、損傷体積を質量変化から求めた。試験片には第三世代に属する2種類の Ni 基超合金 TMS-75 と CMSX-10 の単結晶材を用い、厚さ 3mm の円板を直径 10mm (TMS-75) または 12.7mm (CMSX-10) の丸棒から切り出した。衝突粒子には平均粒径 $360\mu\text{m}$ のアルミナ粒子を用い、粒子衝突速度を $50 \sim 120\text{m/s}$ の範囲で変化させ、衝突角度は 75° とした。衝突粒子の単位質量あたりの損傷体積を損傷速度と定義した。

室温における衝突速度の影響を調べたところ、損傷速度は2つの合金でほぼ同じであり、衝突速度のべき乗に比例した。その指数は TMS-75 で 2.59、CMSX-10 で 2.71 であり、これらの値は脆性損傷でみられる典型的な値である 2.8 に近い。つぎに温度の影響を調べたところ、損傷速度は 800°C までは温度の上昇とともに増加した。損傷量は2つの合金でほぼ同じであり、窒化ケイ素と比較すると 400°C 以下ではほぼ同じ、 600°C 以上では窒化ケイ素より多かった。またアルミナと比較するとすべての温度で損傷量は低かった。損傷面近傍の断面の反射電子像観察によると、 γ 相と γ' 相により形成される格子構造の変化から塑性変形が起きていることがわかったが、高温になるほどその程度は激しく範囲は広がった。また、 800°C では、高温変形過程で形成されるとされる TCP (Topologically-Close-Packed) 相とみられる輝点が、変形層の境界に観察された。損傷は塑性変形を伴う掘り起こし機構が主であり、高温で塑性変形抵抗の低下とともに損傷量が増大したものと推測される。

セラミックスの高温摩耗試験方法

Test Method of High-Temperature Wear of Ceramics

千田哲也、和田重孝

平成13年6月

新樹社 月刊トライボロジー 15巻6号

構造用セラミックスは耐熱性があり硬い材料であるために、ガスタービンやディーゼル機関の高温しゅう動部等に用いられる耐摩耗材料に適している。材料の適合性評価、高温しゅう動材料の開発のためには、高温での摩耗特性を評価することが必要である。そこで、日本ファインセラミックス協会で、セラミックスの高温摩耗試験方法の標準化のための調査研究が行われ、日本工業規格の原案が作成された。

セラミックスの摩擦摩耗特性は条件により大きく変化するため、特定の条件を定める標準化は本来非常に難しい。しかし、相互の摩耗試験結果の比較や、材料開発にともなう第一段階の評価試験として、標準試験方法が必要であり、セラミックスの摩耗試験としてのJIS R 1613-1993や機械材料の摩耗に関する日本機械学会基準JSME S 013が定められている。本調査では、室温から1,000℃程度の高温までで共通試験片による試験を行い、問題点を検討した。試験結果はかなりのばらつきを示したが、高温における摩擦・摩耗の標準的な試験装置や試験手順・条件を示すことを目的とし、高温摩擦摩耗の標準的な試験装置や試験手順・条件を規定し、測定において注意すべき点を明らかにするものとして、JISの原案を作成することとした。

試験方法はJIS R 1613で採用されたボールオンディスク法をベースにしたが、試験の条件はJIS R 1613のように特定せず選択の幅を持たせた。それは、実用条件に近い試験条件を設定できることを重視したこと、及び湿度の影響がないため条件を限定しなくても室温に比べ再現性のあるデータが得やすいことによる。球状試験片と円板状試験片を同じ温度に加熱し、試験温度は円板状試験片のバルク温度で規定することとした。荷重、しゅう動速度は実際の使用条件にあわせて設定できるが、材料間の比較のために荷重10N、しゅう動速度0.1m/s、しゅう動円直径30mm、摩擦距離1,000mmという推奨条件を与えた。摩耗量の計測は、微小な変化を測定するのに適する形状変化の測定を基本とし、可能であれば質量変化を測定してもよいことにした。

チタンすみ肉溶接継手の強度

Strength of Fillet Welded Joint of Titanium

岩田知明、松岡一祥

平成13年7月

軽金属溶接構造協会誌 Vol.39 No.7

チタンの、高い耐食性による維持コスト削減、高比強度による燃費向上などの、環境・経済効果が船舶分野で近年注目されて来ており、検査規準の緩い漁船においては、既に構造部材に使われ始めている。しかし、検査規準の厳しい客船・貨物船においては、実績が乏しく、設計、製造及び検査方法が確立されていないため、規準化のための基礎資料整備が望まれている。特に船舶では、船体構造特有の隅肉溶接箇所が多く、これらのデータ不足が適用の妨げになっている。本研究では、チタン船開発を促進するため、溶接製チタン薄板構造の基礎資料整備として、隅肉溶接継手の引張試験・疲労試験を行った。

縦隅肉溶接継手引張試験結果における、公称応力が100MPaの場合の歪み分布測定値を用いて構造的応力集中係数を計算する。二次曲線近似により、溶接止端部から0.5t(1mm)、1.5t(3mm)の点の応力はそれぞれ、151.8MPa、140.7MPaとなる。この2点の線形近似により、溶接止端部の構造的応力集中係数は1.57となる。

縦隅肉溶接継手の疲労強度は、母材や他の継手の疲労強度を大きく下回ったため、鋼材の設計用疲労強度を満たさなかった。鋼材においては、縦隅肉溶接継手の疲労強度は突合せ溶接継手の約70%であるのに対し、チタンにおいては約50%であり、縦隅肉溶接継手の疲労強度の低下が著しい。特に、鋼材の場合とS/N曲線の勾配が異なっているため、短寿命側の強度低下が大きい。縦隅肉溶接継手の疲労強度が、船体の寿命を最も大きく左右するので、軟鋼製船舶の部材寸法をそのままにしてチタンに代替するためには、母材強度の差による板厚補正よりも、この縦隅肉継手の疲労強度低下による板厚補正の方が重要となる。

応力集中係数からホットスポット応力を計算すると、縦隅肉継手の場合も、構造的形状応力の効果を取り除けば、他の溶接継手に近い疲労強度となることがわかる。他の溶接継手より20MPaほど低下しているのは、残留応力の寄与分と考えられる。特に長寿命側ほど低下が大きくなる。残留応力に関しては、現在計測中である。

Sliding Wear Mechanisms of Alumina

アルミナのすべり摩耗メカニズム

千田哲也、John Drennan

平成 13 年 9 月

Proceedings of International Tribology Conference

Nagasaki 2000

船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について、これまでにを行った室温から 1,000℃までの範囲の摩擦摩耗試験のレビューとして、おもに摩擦面近傍の微細構造観察によりアルミナの摩耗メカニズムを考察した結果を報告した。

アルミナのしゅう動摩耗試験では、温度を上昇させると 700℃と 800℃の間で比摩耗量が大きく減少し、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。室温から 600℃付近までは比摩耗量が高く摩耗粉が発生する。このときの摩擦面を SEM 観察すると、表面に摩耗粉の凝集層が観察される。電子顕微鏡観察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が、X 線回折によると摩耗粉には強い塑性変形が存在した。摩擦面に摩耗粉が介在することで応力再配分効果を示し、バルク表面の局所的な応力集中が起きにくいために塑性変形があまり生じなかったと考えられる。

1,000℃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。電子顕微鏡観察によると摩擦面近傍には高い転位密度の塑性変形領域があり、表面は動的再結晶により形成された微細な結晶から構成されていた。700℃と 800℃の間で起きる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る。この温度は、アルミナの塑性挙動が発現する温度より低い、摩擦熱を考慮すると遷移温度は 950℃から 1,030℃と推定され、破壊試験で報告されている脆性－延性遷移と同じ温度レベルであった。遷移温度付近では、摩擦面に脆性、延性双方の特徴がみられ、局所的な温度・応力分布により両方の挙動が現れたと考えられる。

Sand Erosion of Alumina and Silicon Nitride Ceramics at Elevated Temperatures

アルミナと窒化ケイ素セラミックスの

高温サンドエロージョン

千田哲也、新井和吉、佐々木康裕、松原暁雄、

安嶋賢哲

平成 13 年 12 月（予定）

The American Ceramic Society

Ceramic Engineering and Science Proceedings, Vol.22

セラミックスは高温でも高硬度、高強度であり、熱機関の高温部材に応用することで熱効率や信頼性が向上すると期待されている。高温・高速のガス環境で使用される場合、粒子衝突による損傷が考えられるため、アルミナと窒化ケイ素について、高温環境でのサンドエロージョン特性を評価した。試験温度は室温から 920℃、アルミナ粒子の衝突速度を 65m/s、衝突角度を 30°から 90°とし、電気炉で加熱された試験片に圧縮空気と固体粒子の混相流を噴射する試験を行い、衝突粒子の単位質量あたりの損傷体積を損傷速度と定義した。

アルミナでは、衝突角度が大きいほど、また温度上昇とともに損傷速度は増加し、800℃をこえると急激な増加がみられた。損傷面には粒界破面が多く観察され、粒界のマイクロき裂が主な損傷機構であると考えられる。脆性材料のエロージョンでは脆性的損傷と延性的損傷がある。損傷速度に占める脆性的損傷成分が粒子の衝突速度の垂直成分の 2 乗に比例し、衝突角度が 90°の損傷はすべて脆性的であると仮定して、各衝突角度における脆性的損傷成分を推定し、延性的損傷成分は全損傷速度から脆性的損傷成分を引いた差として求めた結果、延性的損傷は温度によりあまり変化せず、脆性的損傷が温度の上昇に伴い増加したと推定された。また損傷速度の温度依存性と曲げ強さとの間に相関がみられた。高温での曲げ強さの低下は粒界ガラス相の軟化によるものとされるが、粒界相の軟化がき裂進展抵抗を低下させ損傷量が増大したと推測される。

窒化ケイ素でも、温度上昇とともに体積損傷速度は増加し、800℃付近から急激に増加する傾向がみられた。600℃以下の低い温度では衝突角度依存性があまりなく、脆性損傷成分の寄与が小さかった。800℃以上では、粒界相のメリライト ($\text{Y}_2\text{Si}_3\text{O}_7\text{N}_4$) が酸化により $\text{Y}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ に変化し、このとき体積膨張を伴うため粒界強度の低下が起きたことが損傷速度増大の原因と推定された。

〈装備部〉

避難者モデルに関する研究

A Study on Evacuee Model

戴 暁旬、金湖富士夫

平成11年9月

情報処理学会平成11年

第59回全国大会講演論文集

災室、火災階、非火災階の避難者を分けて扱った。
また火災探知及び乗組員の火災への確認時間を考慮し、避難開始時間のシナリオを設定した。

船舶に火災あるいは浸水などの災害が発生する場合、乗船者を迅速かつ安全に避難させるために、避難者の避難状況を把握することは重要である。しかし、実船実験はあまりにも危険で現実的ではない。これに代わるものとして、計算機による避難シミュレーションは有効な手段であると考えられている。避難シミュレーションを行うため、空間モデル、避難者モデル、災害モデルは三つの不可欠な要素だと思われる。そのため、本研究では、空間モデル、避難者モデルを開発し、また煙流動シミュレーションによる火災のシナリオをシステムに組み込み、さらにこれらを用いた避難シミュレーションを実施した。

空間モデルは避難者が移動できる船舶空間のモデルであり、本研究では、空間とノードを空間モデルの基本構成要素として、フレーム知識表現方法に基づき、船舶の設計図面などの電子情報化処理を行う船舶入力モジュールから読み込んだ座標より船舶を構成する種々の用途を持つ空間の位相的關係を生成し、階層的な空間モデルを開発した。避難者モデルは、人間情報処理システムに基づき、災害状況の検出、認識、避難行動の選択、実行の各段階を含む個々の避難者の避難状況を推定する避難者モデルを開発した。それは現状認識モデルおよび避難実行モデルにより構成される。現状認識モデルは災害状況の検出及び認識の役割を果たしており、避難実行モデルは避難行動を選択、実行する役割を果たしている。避難シミュレーションについては、実行環境としては多層のデッキにより構成した客船の空間モデルであり、火災発生場所はDデッキの中央部の客室を想定し、出火時刻は昼食事時間帯と昼食事以外の時間帯を二つのケースに設定した。避難者の初期配置はそれぞれの出火時刻に対応して、例えば、食事時間帯の場合、基本的にCデッキの食堂に集中に配置し、食事以外の時間帯に基本的にC、Dデッキの客室に分散に配置した。避難場所はCデッキの外側遊歩道に設定され、歩行速度は戸川の水平な通路における密度による歩行速度に基づいた。避難開始時期は火

避難シミュレータ実験による避難者モデルの開発

Development of Evacuees' Model by Using

Evacuation Simulator

金湖富士夫、池本義範

平成 12 年 9 月

日本造船学会論文集 第 186 号

避難結果に大きな影響を及ぼす要素として、分岐部における経路選択がある。分岐部に接続されている空間の選択如何によって避難場所までの長さが異なるだけでなく、火災であれば煙との遭遇の有無が異なる場合が生じ、避難成功、失敗が大きく左右される。本研究では、被験者の心理モデルとして、分岐部における接続空間の選択確率のモデルを開発することを当面の目的とし、避難シミュレータを用いた被験者実験の結果を用いて避難者モデルのパラメータを求めた。

避難者は、感覚器官に入力されてくる時々刻々の情報を適宜処理して各時点での行動を決定し行動を起こすと考えられる。分岐部でない廊下のようなところは、どちらか一方に移動する。分岐部においては、選択可能な方向を選択し、その方向に移動する。その場合、どの方向を選択するかは、当該分岐部に接続している空間の属性に影響されると仮定する。すなわち、図 1 において①から⑥は分岐部に接続されている空間であり、それぞれ、内部あるいは外部の空間、階段等の不変の属性、および、空間の扉等の接続部分における避難者による混雑等の可変の属性を持ち、被験者は、各空間が持つそれらの属性から確率的に選択方向を決定すると仮定する。なお、接続されている空間の情報のうち、分岐部から自然に得ることができると思われる情報のみを利用することにする。

ここでは、他避難者による混雑の影響を検討するため、接続空間の属性として、外部空間であるかないか、階段であるかないか、少数の人間がいるか、多数の人間がいるか等を考慮した。

こうしたモデル化に従い、対象船舶を設定し、2箇所の分岐部および公室を用いて4人の被験者により避難シミュレータ実験を行なって選択確率を求め、それらから各人のモデルのパラメータを算定した。実験では、用いた箇所毎に密度を異ならせた避難者を発生させた。被験者は避難シミュレータのHMD（Head Mounted Display）で周囲の景観を見渡して

から進行方向を決めその方向に移動する。

その結果、得られたモデルから逆算した経路選択確率が、各人の実験値と良くあっており、このモデル化の妥当性が検証された。

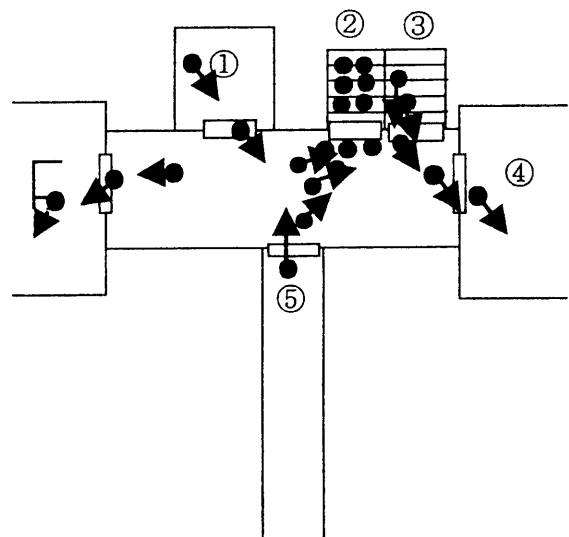


図 分岐部および接続空間

**Structure-Borne Noise Reduction Measures
in Cabins**

船室の固体音低減対策

原野勝博、今里元信、宮田 修

平成12年10月

日本船用機関学会

第6回海洋工学に関する国際シンポジウム

船室の騒音低減対策として、内装材を船体構造から振動絶縁を図る防振内装法があるが、内装材のなかでも最も軽量でフレキシブルな天井面の防振が最も難しい。最近の本格的防振内装を行った船の施工例でも、天井の防振ハンガーの効果が認められたのは800Hz以上の周波数で、防振対策例としては不十分なものであった。この報告は、天井の防振ハンガーとフレキシブル構造の天井の合理的設計資料を得るために、防振内装を改良するために作られた船室モデルを使って実際に近いモデルにより行った振動実験の結果を述べたものである。振動絶縁のよい浮き床を持つ船室モデルで得られた主な実験結果は以下の通りである。

- (1) 防振ハンガーにより低減し得る天井の振動レベルは、全周波数帯域において、高々12dBであった。
- (2) 緩やかなパネル結合体である天井にも振動モード解析は有効で、良好な振動モードを得られることを確認出来た。
- (3) 天井の振動レベルの予測に際しては、低下の機構を単純化するため船体構造からの振動レベルの低下量を幾つかのステップに分割して考えることが有用である。

**The Observation of Chemical Spices on Surface
of Ocean by LIDAR**

ライダーによる海洋表面の化学種観察

山口良隆、田口 昇、山之内博、柴田俊明、

樋富和夫、山岸 進

平成12年11月

International Conference on Colloid and Surface Science
(Division of Colloid and Surface Chemistry,
The Chemical Society of Japan)

コロイド及び界面科学において、界面における化学的及び物理的性質の解明、またスケールが異なるその延長線上のコロイド系での分散状態把握や分散質、分散媒について性質の解明は非常に重要な課題である。我々は、コロイド及び界面の実際の系として水と各種オイルについて着目し、水/オイル界面の物理的および化学的性質について研究を行って来た。その目的としては、コロイド及び界面科学の技術が海洋における環境センサーに応用できるためである。例えば、オイル流出事故が起こり海上に漂流している流出オイル検出のためのセンサーへの応用やそれらを起源とした海中に分散する微量オイル成分の計測手段に利用できる。

界面分析のために我々はレーザを光源に使用した、リモートセンシングシステムの構築を行った。このシステムは光源に紫外光レーザを用いているため、オイルからは蛍光、水からはラマン散乱が得られ、それぞれの情報から界面の性質を観察しようというものである。まずは実験室内で水/オイル界面について基礎データの取得を行った。オイルはA重油、灯油、潤滑油などを使用し、条件を整えば蛍光分析オイル成分の比較ができることがわかった。また水からのラマン散乱とオイルから蛍光のそれぞれの減衰定数と実際の強度を利用して膜厚測定も可能である事がわかった。

また現場での応用実験として、船舶および小型航空機に装置を搭載して実海域観察を行った。船舶搭載ではオイル以外にも微生物観察に使用できることがわかり、また飛行機実験ではナホトカ号沈没ポイント近辺で海上に浮遊したオイルについて太陽光励起ではあるが蛍光画像が取得できた。

以上の様にコロイド及び界面科学の手法を海洋環境観察へ応用を行い、海洋における事故対応や自然界での物質循環についての計測装置の開発を行い、現在高度化を目指している。

化学物質輸送船乗員のガス曝露について

Gas Exposure of Chemicals to Crews

during Marine Transfer Operations

山口勝治、藤井 忍、間島隆博、山之内博、

阿曾 薫

平成 12 年 11 月

日本労働衛生工学会第 40 回学会抄録集

有害揮発性化学物質を海上輸送する船舶では岸壁での荷役作業中およ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、移流・拡散して大気を汚染する。汚染空気を呼吸することにより人は有害ガスに曝露され、低濃度であっても慢性的に曝露されると発ガンや機能障害の原因になりうると懸念されている。乗員のみならず荷役従事者および周辺住民へのガス曝露による健康被害の未然防止の観点に立って、曝露の実態を把握し、排出抑制、影響緩和等の対策を講じる必要がある。

本報告は輸送量が多く、健康被害が大きいと懸念されている有害揮発性化学物質であるベンゼン、トルエン、キシレンを海上輸送する船舶の通常の荷役時および輸送時に船上で作業する乗員の曝露の実態を把握するために実施したものである。

我が国の内航タンカーのうち、最も数が多く、よく用いられる、一隻あたりの乗組員数が4～7人である500トン積み船および1,000トン積み船を主たる計測対象船として選定し、通常のベンゼン、キシレン、トルエン輸送作業中に、それらのガスに曝露された乗員個人の輸送作業開始から終了までの間の平均曝露濃度を計測した。計測にはパッシュサンプラー（3M社製有害ガスモニター#3500、#3520）を用い、乗員一人一人の襟元に装着してガスを吸着し、吸着ガスを抽出後ガスクロマトグラフィーで分析することにより濃度データを得た。

トルエン、ベンゼン、キシレンとも1輸送あたりの乗組員個人の曝露濃度は船ごとに異なり、同一船内でも、乗員ごとに作業内容や作業場所が異なるため、個人曝露濃度の違いは大きい。また輸送する物質により、曝露濃度の中央値や個人曝露濃度のばらつきは異なることが分かった。

曝露濃度低減策として高濃度作業時に呼吸具を装着する方法を評価し、大幅な曝露低減が期待されることを示した。本研究で得られた成果は有害ガス曝露に伴う乗組員の健康被害を未然に防止するための方策を検討するにあたり有力な資料になるものと期待される。

A Study on Analytical Technique

for Oil Pollution of Sea Surface

海洋表面におけるオイル汚染分析法の研究

山口良隆、田口 昇、山之内博、柴田俊明、

樋富和夫、山岸 進

平成 12 年 12 月

The 2000 International Chemical Congress
of Pacific Basin Societies(PACIFICHEM 2000)

我々は、リモートセンシング法（ライダー）を用いての海洋環境モニタリング装置の開発を行ってきた。その結果として、瀬戸内での実船実験ではプランクトン起源と考えられる蛍光スポットを、また飛行実験では日本海・ナホトカ号沈没現場において太陽光励起のオイル蛍光像を取得することができた。蛍光ライダーではこのような海洋表面の環境情報を得ることができる。またライダーが高度化されれば、オイル流出事故時に回収・防除のための情報取得や微生物分布についての海洋環境モニタリングに使用できる。

また海洋ではライダー検出限界以下での微量な汚染もあり、この領域でのモニタリングの必要性も出てきている。その例として、水鳥などの体内汚染のオイルは起源がわからないと言う報告がある。日本海域のオイル濃度は非常に低く、数十から数百 ppb 程度である。このような微量なオイルが微生物、魚、鳥類、哺乳類と長期にわたり生態内に取り込まれ濃縮されていると考えられる。まずは第一段階の海洋での基礎濃度を広域に把握する必要がある。また季節や年の経時変化を長期にわたるものも必要である。またそれぞれの海域での微生物状態の把握も併せて分析できるものが必要である。我々はこのような分析装置も作製している。本装置を定期船舶に搭載しその場で分析をし、データを蓄積すれば先ほどのニーズに答えられる。また船舶利用の際のサンプリング用の取水口の水の起源をシミュレートするとほぼ海水表面近傍のものであることがわかっている。船載型微量分析装置では濃度範囲が合えばライダーデータの補完もできる。また船内でリアルタイム分析を行いさらに通信を使うことにより、実験室が船の中、データ解析が陸上の研究所という新しい環境研究のスタイルも確立しようとしている。

この様に様々な角度から海洋表面の環境データを取得する装置の開発を行い、その時の分析結果と新しい環境分析システムについて述べる。

ブレスト (仏) で開催された
エリカ号セミナーに参加して
Report of the Seminar on the Erika
Accident held at Brest in France
山岸 進
平成 13 年 4 月
海上防災 2001 年 4 月号

1999 年 12 月 12 日エリカ号 (Erika) が遭難、約 20,000 トンの重質燃料油が流出し、大規模な海洋汚染が発生した。翌年 7 月ブレスト (Brest) で開催されたセミナーに参加するとともに、被害の大きかったロワール川河口付近の沿岸回復作業を見学することができた。これに関して、エリカ号とナホトカ号両事故の比較、沿岸汚染処理の現況、セミナーの様子等を紹介した。

ブレストにあるセドレ研究所と当所はナホトカ号汚染事故を契機に研究協力の覚書を交わしており、セドレの提案でナホトカ号とエリカ号の事故の対応についてタイムリーに議論する国際的なセミナーとなり、詳細な報告で参加者の関心が高かった。稀有の汚染事故の経緯と対処経験を多くの関係者に共有して貰うことが、国際的にも重要な事業の一つであろう。

航行不能船体の曳航技術、センシング・漂流予測、沖合い・沿岸防除、野鳥保護、沈没船体からの油抜き取り計画またメディア対策等多くの課題が浮き彫りにされた。

フランスでは当初マスコミやWebという新しい情報戦略において混乱もあったが、時間経過とともに国内での役割分担と国際的な情報発信が比較的スムーズにいったと推察され、IMO等で国際的にも積極的に働きかけを行うと予想される。また、地方の汚染対応組織の整備や危機管理体制の改善が進められ、セドレ自身もエリカ号事故を契機に法律も含む新たな分野の専門家を増強し、より総合的な観点から海洋環境問題に対処しようとしている。

日本はナホトカ号汚染を経験し、詳細な報告や研究成果も多く発表されているが、非常に貴重な経験であり、その後の経過も含めて国際的に積極的に発信し、より広く関係者に知って貰うことが重要である。

船舶の上部構造物に制振鋼板を用いた場合の
騒音減少効果
Noise Reduction Effect of Usage Vibration Damping
Steel Sheet on Super Structure of Ship
木原 洸、金丸貞己、矢吹英雄、斎藤重信、
今井嗣郎
平成 13 年 5 月
第 65 回マリンエンジニアリング学術講演会講演集

船内における騒音は、主機や発電機が主な原因であり、発生する騒音や振動が船体構造を伝わり居住区等に達する。船内騒音を減少するためには発生源の防振支持や防音処理が必要であるが、問題となる居住区や区画の騒音を減少するためにはその区画での制振対策が必要である。練習船「青雲丸 (97/10 就航)」の建造に際し、居住区を想定した騒音対策として制振鋼板に注目し、制振鋼板を用いた部屋を設置した。その結果、公試運転時 (内装無し) と就航直後 (内装あり) 及び就航 3 年目の実船実験で、その部屋の騒音を同一甲板・同区画で同程度の容積を有する左右対称の部屋と比較し以下のような騒音減少効果を得た。

- (1) 97/8 の公試運転時では、主機の出力に関係せず 10dB(A) の騒音減少効果を得た。
- (2) 97/10 の就航直後の内装が施工された状態では、航海時 6dB(A) 停泊時 3dB(A) の効果を得た。
- (3) 99/12 の就航 3 年目では、航海時約 5dB(A) 停泊時約 3dB(A) の差が有り制振鋼板の有効性を確認した。
- (4) 但し、99/12 の騒音計測では両ロッカーともに騒音が増加傾向であった。

(4) に示したように騒音の増加傾向を示したので、1/3 オクターブ分析等を行い騒音増加に影響した因子の検討を行った。その結果、青雲丸の使用発電機やプロペラ等に起因する周波数成分を検出し原因が判明した。

実海域でのリアルタイムオイル成分分析手法の研究

Study on Real-Time Analytical Technique

for Oil Pollution In Marine

山口良隆、田口 昇、山之内博、柴田俊明、

樋富和夫、山岸 進

平成 13 年 5 月

日本環境化学会 第 10 回環境化学討論会

第 10 回環境化学討論会講演予稿集

オイルタンカーが今年 1 月にエクアドル・ガラパゴス諸島で座礁し、オイル流出事故が起ったのは記憶に新しい。このような事故はたびたび起り、オイルによる生態系など環境への影響が懸念されている。このようなオイル流出事故時は、機械や人間の手によりかなりの量の流出オイルが回収される。しかしながら必ず未回収オイルが海洋環境中に残存する。またこれらの未回収オイルの挙動は明らかではなく、環境影響についてもあまり知られていない。少ない影響評価データの一つとして、オイルの生物汚染の報告があり、大量の流出オイル中で死んでいた水鳥の体内汚染は流出オイルと異なる起源のものであると結論付けている研究グループもある。そこで我々は生態系へ取りこまれる前の状態や環境影響評価のために海洋中の微量オイル濃度を計測する手法について検討を行っている。また海洋で広域計測及び時間的变化を追跡するために、最終的には定期船舶を用いた計測を行えるよう取り組んでいる。該当する分析手法はいくつかあるが、計測の自動化も目標にしているためにフロー系と分光法的手法を組み合わせた分析手法開発に取り組んでいる。今回は水中のオイル量計測の基礎的実験として分光法の一つである蛍光分析法で計測を行った。水または海水に既知量の A 重油または軽油を入れて高速攪拌を行い分散させたものを標準試料とした。最終的に 10ppb から 10ppm の間で数種類のオイル含有量について調整を行った。これらの標準試料について蛍光スペクトル測定を行った。結果として A 重油と軽油はスペクトル的にはさほどの違いが見られなかった。このような基礎データを取り、これらの結果と実海水中の蛍光とを比較して海洋に溶けこんでいるオイルの解析を行っていく。

〈システム技術部〉

一名当直用航海支援システムの

開発と安全の作り込み

Development of a navigation support system
for One Person Bidge Operation and implementation
of safety functions

福戸淳司、沼野正義

平成 13 年 3 月

情報システム学シンポジウム

「信頼性とシステム安全学」予稿集

近年、船員の減少と高齢化が大きな問題となっている。また、海運業界の経済的低迷から、現在すでに少人数による運航が進んでおり、船員に対して大きな負担を強いている。このため、安全の確保と省力化の両立が望まれている。

その 1 つの解として一名当直用航海支援システムの開発を行った。このシステムの開発は、全国内航タンカー海運組合と当所及び三菱重工と共同で 1993 年から実施された。開発においては、一名当直のために必要な仕様を求めるため、操船シミュレータ実験を実施した。

本講演では、操船シミュレータを用いた航海支援システムの設計法、開発システムの概要、特に Bridge Watch Alarm (BWA) を中心に一名当直に対応した安全対策について紹介する。

システムの開発においては、熟練操船者から操船シミュレータ等を用いて、省力化のための自動化機能、ユーザビリティおよびシステムの安全性に注目して意見を集約し、航海支援システムの仕様として確立した。

これらの仕様をもとに、本システムでは、トラックコントロールシステムを中心とした自動航行機能と音声入出力を主体としたヒューマンマシンインタフェースを導入すると共に、音声を用いた就労監視システムを航海支援システムに組み込んだ。

最後に本研究で開発した航海支援システムの使用状況と主観的・客観的評価結果を示す。

グループとしての人間の
総合的機能の利用技術の研究

Advanced Support for Plant Operation Based on Human
Recognition and Understanding as Individual and Group

沼野正義

平成13年3月

(財)国際交通安全学会

国際交通安全学会誌

本研究では、プラントの運転における知的作業に起因する誤操作の防止に着目し、①人間の認識機能に適合したプラント状態の表示、②人間の認識および感覚機能に適合したプラント操作結果のフィードバック、③人間の認識機能に適合したプラント状態の将来予測表示、および④グループでの意思決定および操作支援、についての研究を行った。

人間のプラント理解を論理的な理解と直感的な理解が相互に補完するものとしてモデル化し、従来のインタフェースと3D-VR情報表示との併用、操作におけるフィードバック、グループ内での情報の共有技術についてプロトタイプを作成してこれらにおける機能要件を明らかにした。

従来の運転支援は人間の論理的な理解を支援するものが主であったが、人間の総合的な機能を利用するためには、現場での運転における直感的な理解との相互補完を可能とする運転支援が必要である。プラントの状態量を3次元の立体画像表示(3D-VR表示)し、透過型ヘッドマウントディスプレイを採用して従来のインタフェースと併用するとともに、同表示内を用いてグループでの運転が円滑に行うための3Dポインター等、操作に対応したプラント状態の変化を同時に複数の人間に返す入力装置を試作し、情報共有の有効性を確認した。

人間の総合的機能の利用を考慮するとともに、グループないしはチームでの運転を支援することは、大規模かつ複雑なプラントの運転には不可欠であると考えられる。

船舶での避難行動シミュレーション

Simulation of Human Escape on Board

勝原光治郎、松倉洋史

平成12年3月

ファジィ学会

ファジィ・コンピューティング研究部会

ワークショップ

人間が船上で避難するとき、パニックに陥らない条件下でどんな挙動をするか、モデルを作ってシミュレーションした結果を示した。人間は心理的に種々の状態に居るので一般配置図が同一でも避難の仕方がたくさんありうる。また、集団心理が支配的で個々人の独立した行動は想定できない。集団心理といっても集団を引っ張っていくリーダー的存在があり、引っ張られる側の大衆も例え周辺のミクロ状況で動いても集団の意志があるかのごとく動く。そして、全体としては早期に避難場所に到着したいという願望がある。このようなモデルでシミュレーションした結果が実船実験と良く一致する。

つぎに、例として国内フェリーの場合に避難甲板が3層に渡っているケースを計算した。人々は階段を上がったり下りたりする自由度がある。階段も9ヶ所ある場合である。上下甲板における心理状態が矛盾ない場合には、スムーズに人々は動く。しかし、例えば、下の甲板からみてある階段から上に行くとき早く避難場所に着くという想像が働いているとき、その階段を上って上の甲板に行ったらそこでは下の甲板の方が早いという心理状態であつたら、その人はその階段の midpoint で動けなくなる。そこで、最初の下甲板の心理を貫徹し、上の甲板で動くことにすると、上の甲板の人々は下の甲板に行こうとしぶつかる。このとき、下からの集団が少数なら、対峙後しばらくして多数に押し切られ最初の心理状態に戻り、退却するのが自然である。だが、対立する観念をもった大集団が対峙したときはどのようなことになるかまだ解けないでいると、問題提起をした。

原子力プラントの保全のための情報場技術

Digital Maintenance Field Technology

for the Maintenance of Nuclear Power Plant

浅間 一、佐藤知正、喜多伸之、沼野正義

平成 13 年 3 月

日本原子力学会 2001 年（第 39 回）春の年会要旨集

原子力プラントの保全のためには、保全する場に関する様々な情報が必要となる。これらの状況をふまえ、本稿では保全する場に関する情報を「欲しい場所で、欲しい人に、欲しい内容を、欲しい形で、自由に利用可能にする」技術体系の核となる考え方「情報場技術」を示し、それを可能とする構成要素に関して、それぞれの備えるべき必要機能をのべ、実現に向けた取り組みを紹介する。

そのために必要な機能として、どこを見ればいいのかを教えてくれる機能、および、そこになんとしてもいつてくれる機能について、それぞれ、モデル学習劣化予測機構、環境適合移動機構の研究を理研が、異なる時間に収集した情報の整合性を保つ機能、長時間にわたる情報を蓄積する機能について、変動除去技術、注意制御技術、仮想空間投射技術の研究を電総研が、大局観を失わない提示機能、直感的提示機能について、エージェント協調表示機構、信号源推定機構の研究を当所が、それぞれ行っている。

原子力プラントの保全を機械と人との協調によって実現する人間共存型プラントの基盤技術として、保全場から得られる情報を体系的に収集、維持、提示することを可能とする「情報場技術」という技術体系を示した。そのうえで、情報場技術を構成する a) 情報場構築技術、b) 情報場維持技術、c) 情報場提示技術に求められる必要機能を示し、その技術課題の概要を整理した。このような技術に関して、現在は、情報の空間的、時間的、意味的シームレス化を念頭に、情報場の構築・維持・提示技術の研究開発をすすめている状況にあるが、今後は、それらの情報の統合化も追求されねばならない。特に情報の統合化の研究・開発は、保全情報を空間軸、時間軸と意味軸で表現した場合、それらの軸のはる立体空間を追求する努力であり、これらが可能となつてはじめて保全技術を体系化することが可能になると考えている。

原子力プラントの保全のための情報場提示技術

Human Interaction in Digital Maintenance Field

Technology for Nuclear Power Plants

丹羽康之、沼野正義、松岡 猛、福戸淳司、

宮崎恵子、田中邦彦、三友信夫、岡崎忠胤

平成 13 年 3 月

日本原子力学会 2001 年（第 39 回）春の年会要旨集

原子力プラント等の大規模システムの運転・保全においては、時々刻々のセンサ情報とこれらの時系列的な蓄積と保全履歴とが重要である。これらを統合した保全情報場の概念を導入し、その構築、維持技術が検討されている。人間である運転員がこの情報場を利用して作業を行う場合には、必要な情報を切り出して意味づけを行う必要がある。

プラントの運転・保全作業をインタラクティブな情報収集、ヒューリスティックな判断や意思決定を人間が受け持ち、大量情報の処理や連続監視、制御を機械エージェントが受け持つものとした役割分担を想定する。機械エージェントの中で統括エージェントを導入し、これを通した人間への情報提示を行うことにより、多くのエージェントが稼働する大規模システムにおいても情報の集約が可能である。

直感的提示として、大画面表示や、VR 表示等を併用した環境没入型の情報提示システムを提案し、画像や音響情報から信号源を推定し視覚情報や聴覚情報として運転員に与える技術の開発を目指す。時系列として蓄積された情報を基にした信号源推定、提示技術の開発を目指す。大局観提示として、機械エージェントの中で統括エージェントを導入し、これを通した人間への情報提示を行うことにより、多くのエージェントが稼働する大規模システムにおいても情報の集約が可能であり、これに加えて、航海支援システムにおいて実運用されている音声会話による情報の提示技術を用いることにより効果的に大局的な情報を人間に提示する技術を開発する。

エージェント間の直接の情報交換や、注視点情報により形成される監視包囲網を基にした共同作業が運転員と機械エージェントにより行われる。これらの共同作業を監視し適正化を図る必要から、情報場の共有、意思決定のための情報交換ならびに交換情報の監視による共同作業のモニタリングと作業分析を行う。

今後は、理研、電総研と密接に連携し、情報場を

提供する環境サーバとそのなかでの注視点情報を利用するとともに、ロボットエージェントによる巡回点検や、異常箇所からの情報の収集等、保全作業の具体的な局面について、共同作業とこれを実現するインターフェースについて、具体的なシナリオを設定して研究を進める予定である。

**WHEELCHAIR ACCESSIBLE
AND BARRIER-FREE DESIGN
OF PASSENGER VESSEL IN JAPAN**
日本における旅客船の車いすアクセシブル化と
バリアフリーデザイン

鎌田 実、宮崎恵子、平田宏一、今里元信

平成13年7月

Proceedings of 9th International Conference on
Mobility and Transport for Elderly and Disabled People

日本は、長距離フェリーや離島航路等の旅客船の航路数が多く、船が重要な生活の足となっている。また、高齢化社会にもなっており、特に離島のような地方の過疎地域での高齢化率は高い。従って、船をあらゆる人にとって利用しやすいものとするためのバリアフリー化は日本にとって重要な課題である。一方、船は陸上交通に比べて、動揺等の特有条件がある。本論文では、小型船まで含めてバリアフリー化を義務化した日本の状況を説明し、海上交通の特殊性を鑑みて策定した技術基準及び進行中の研究的アプローチを紹介し、今後の海上交通のあり方を論じている。

著者等が集計した国内定期航路旅客船データベースから、699トン以下の船の占める割合が大きく、旅客船のバリアフリー化を推進するためには、このような小型船にもバリアフリー技術基準を適用する必要があることを明確にした。しかし現状では、旧型船や中小型船でのバリアフリー化は遅れている。IMO等で国際的なガイドラインも策定されているが、基準面でも実際面でも大型船での対応が殆どであり、中小型船での規定はない。

日本では、交通バリアフリー法が、2000年5月に策定、11月に施行され、船にも初めて技術基準が示された。特に、最小で5トンクラスに至る中小型船への適用について、スペース・重量・定員などの面から可能な姿を詳細に検討したこと、大型船ではあまり問題にならない揺れや傾きの影響を勘案して細かな規定を設けていることが特筆される。動揺の影響については、十分な検討が済んでいるわけではなく、著者等は、船内の車いす利用に関する研究を実施し、安全走行についての意見聴取や、製作した傾斜装置上で開発した計測用車いすによる走行実験、車いすの走行シミュレーションの開発、安全・快適の評価指標の検討、動揺装置による車いすの固定の実験等

を実施している。これらの結果を交通バリアフリー法の技術基準へ反映させていくと共に、外部とも協力しながら、旅客船のバリアフリー化を進めていく。

〈原子力技術部〉

**TRANSIENT OF ONE-DIMENSIONAL
AND TWO-COMPONENT FLOW DUE
TO RAPID GAS PRODUCTION**

気体急発生による一次元二成分流の過渡変化

安達雅樹、Jim C.P.Liou、Richard R.Schultz、

綾 威雄、汐崎浩毅、吉江伸二

平成 13 年 4 月

Proceeding of ICONE-9

(9th International Conference On Nuclear Engineering)

次世代軽水炉の設計で重要な項目に、シビアアクシデント（設計基準を越えて炉心が重大な損傷を受ける事故）に対する格納容器の健全性評価がある。その中の一つとして、熔融した炉心が原子炉容器から冷却用の水張区画へ流れ込み、蒸気爆発が起きた後の事象に対する評価がある。水中で短時間に大量発生した気体によって、上部の水が同時に同方向に加速されると（これを水塊運動のコヒーレント性と呼ぶ）、水塊が構造物へ衝突して激しい水撃力を及ぼす恐れがある。しかしこうした事象について、これまで実験的な検討はほとんどなされていない。

このような水塊運動が実際に起こりうるかどうかを検証するために、内径 1m の模擬格納容器を用いた実験を行った。この実験では、気体の短時間での大量発生を、空気タンクから急速開放弁を通じて水中に高圧空気を注入することで模擬し、空気噴出孔を基準として水面高さ、初期空気圧力等をパラメータとしている。結果として、水面の高い条件において、実際にコヒーレント性の高い運動が生じることを高速度ビデオの撮影等で確認した。またこの時容器内に設置した絞り部（オリフィス板）において激しい水撃が生じた。

一方、既存の数値解析コードによってこうした水塊の運動、水撃力がどの程度予測されるかを検証するため、原子炉プラントの挙動評価で多く使われる二相熱流動解析コード RELAP5-3D を使った解析を行った。人力モデルは、第一段階として一次元構造とした。ただし空気タンクと急速開放弁については直接モデル化せず、実験で計測した弁下流側の圧力変化を境界条件として使用した。解析の結果、水面位置とその速度の過渡変化に関しては実験結果と良い一致が見られた。また容器途中に設けられたオリフィス板に生じる水撃圧力に関しては、計算による予測値は実験値よりもかなり大きな値を示すことがわかった。

〈海洋開発工学部〉

**Natural Circulation Characteristics of a Marine Reactor
in Rolling Motion, and Heat Transfer in the Core**

船用炉の横揺れ時自然循環特性と炉心部熱伝達

村田裕幸、澤田健一、小林道幸

平成 13 年

Elsevier Nuclear Engineering and Design

船用炉の横揺れ時自然循環特性は、自然循環駆動力に加えて横揺れ運動による加速度変動が作用するため、非常に複雑なものとなる。本研究では、船用炉の横揺れ時自然循環特性及び炉心部熱伝達を明らかにするため、船用炉を模擬した実験装置を用いて、2種類の分離効果試験（定傾斜自然循環実験、非加熱横揺れ実験）を実施した後、ヒーター出力、動揺周期、横揺れ振幅を変化させた横揺れ自然循環実験を実施した。その結果、横揺れ自然循環におけるホットレグ、コールドレグ流量は横揺れ角に対応して周期的に変動し、流量変動の振幅は動揺周期が短くなるにつれて増大し、横揺れ角に対する位相遅れも増加することが明らかとなった。一方、炉心流量は時間的に変動しないが、その値は動揺周期、ヒーター出力、動揺振幅によって変化すること、その変化は動揺のレイノルズ数、レイリー数によって整理できることが分かった。また、一次元解析モデルによる計算結果と実験結果との比較により、炉心流量の変化は横揺れ運動による加速度変動によって直接生ずるのではなく、横揺れの加速度によって自然循環駆動力とループの一巡圧力損失が変化することにより間接的に起こることが明らかとなった。

一方、正立時の炉心部の熱伝達は、本研究と類似の体系で自然、強制、複合対流実験を実施したE1-Genkらの結果と比較したところ、彼らの自然対流の熱伝達整理式とよく一致することが明らかとなった。また、本実験の範囲では定傾斜の影響は殆どないことが分かった。さらに、炉心部の熱伝達は横揺れによって促進されること、その変化は動揺のレイノルズ数とグラスホフ数の比である動揺のリチャードソン数によって整理され、次の3つの領域に分類されることが明らかとなった。すなわち、(1)動揺のリチャードソン数が0.3より小さい場合には熱伝達は横揺れ運動のみに支配され、(2)動揺のリチャードソン数が0.3から2までの領域では熱伝達は横揺れ運動と自然対流の双方に支配され、(3)動揺のリチャードソン数が2より大きい場合には熱伝達は自然対流のみに支配される。

**Development of An Oil-Recovery Ship Workable
in Large Wave**

大波高中で稼働する油回収船の開発

山川賢次、星野邦弘、原 正一、湯川和浩、
疋田賢次郎、影本 浩、木下嗣基、丸亀 力

平成 13 年 6 月

Proceedings of OMAE 2001

日本近海は、油タンカーの輻輳海域であり、その上に冬季は季節風による、また夏季から秋季には台風による厳しい気象・海象が出現する。こうした条件の下で、ロシア籍油タンカー「ナホトカ号」の海難のような大規模な油流出事故が再び発生する可能性は十分にある。このような油タンカー等の海難が発生した場合、流出油の拡散による広域海岸汚染などの危険性がある。したがって、速やかに流出油を回収して拡散を防ぐことが重要である。本論は、波浪中の海面に浮遊する流出油を効率よく集めて、波浪低減の処置を施した油捕捉水面（ムーンプール）に取入れ、機械的な回収装置を用いて直接回収する方式について、模型実験により効果的方式を見出すべく検討したものである。

実験に用いた模型船は、全長×全幅×高さ＝3,500mm×1,200mm×250mm、船体中央部に長さ×幅＝1,000mm×600mmのムーンプールと呼ばれる作業水面を設けた箱型台船である。船尾に浮遊物の取入部を設け、水路部を経て水面がムーンプールに通じるものである。取入部と水路部には浅水効果を期待して底板を設けた。波浪低減のために使用した付加物は、取入部およびムーンプール入口水面下の傾斜板、ムーンプールのスリットのある底板および傾斜板である。取込んだ油を回収するために、ムーンプールの中心部に機械的な油回収装置を設置した。縮尺は想定される実機の1/20とした。実験は、当所の動揺水槽（清水）と（株）海洋開発技術研究所の水理実験水槽（浮遊油）で行った。清水中の実験では、付加物の波浪低減効果を詳しく調べた。また浮遊油を用いた実験では、波浪低減効果と油の回収量を調べた。波浪低減の効果は、ムーンプール中心部の相対水位の分散値を入射波の分散値で無次元化した値で評価した。その結果、稼働する波長帯における応答は、0.3以下の値が得られた。波浪中での油の回収効率は、波長が長いほど、また相対水位の水面変動が小さいほど良好な傾向である。

〈水海技術部〉

船型主要目及び馬力の変遷について

(その4 新造船要目表の船舶)

On Study of Propulsive Performance of Ships Built
in Japan Since 1950 (The 4th Report)

山口眞裕、菅井信夫

平成13年5月

平成13年度 春季講演会 関西造船協会講演論文集

一般商船は1960年代から急速に油槽船では大型化され、また、コンテナ船の出現で高速化されてきている。前報までに、油槽船、コンテナ船とフェリーについて船型主要目と馬力の変遷を報告した。これらは日本海運集会所の日本船舶明細書から収集した日本国内で運航された船舶であった。本報告では、関西造船協会の会誌とらんの新造船要目表に記載された船舶データを収集した船舶について、これらの変遷を調べた。今回収集した船舶は、国内向けはもちろん、輸出船も含まれている。報告では、船型主要目と馬力の変遷について油槽船やコンテナ船等の船種毎に識別して示した。また、船型性能を示す係数として、アドミラルティ係数、有効抗揚比、全抵抗係数、粘性抵抗係数及び剰余抵抗係数の関連を示すとともに、それらの一部を図で示した。今回は、実船と模型船との性能の相関に関して、表面粗度修正係数を考慮して、剰余抵抗係数について検討を行い、実船の長さの相違による剰余抵抗係数の相違を少なくなるように補正を行った。その剰余抵抗係数の C_b 及び F_n に対する変化として解析した。しかし、剰余抵抗係数の形では船型の主要目の影響も含まれているので、このままでは性能の向上などを判断することは出来ない。そこで、今回は、既存の船型性能の設計チャートを基準にして比較することにした。ここでは、母船型が艦艇であるTaylorの設計チャートから性能を推定し、その値と比較することにより、性能変遷を示すことにした。Taylorの設計チャートの B/d や ∇/L^3 の上限値を越えている船舶が多く見られたが、大胆な外挿で性能推定を行った。推定した結果は相対的に今回の実船の結果よりも全体的に小さいが、このTaylorの設計チャートからの推定値と実船の結果との比の年代変化をみると、性能が向上していることが出来た。今回触れることが出来なかった新造船要目表の試運転時の結果について、次回以降に検討していきたいと考えている。

〈大阪支所〉

ストレス付加時の CO_2 ハイドレート膜の再生速度

Rebuilding Rate of CO_2 Hydrate Membrane
under Stress

山根健次、小島隆志、綾 威雄、山本敬之、
中村香幸、成合英樹、阿部 豊

平成13年5月

第38回日本伝熱シンポジウム講演論文集

地球温暖化対策の一つとして、火力発電所等の大量排出源から CO_2 を回収・液化し、広大な海洋を利用して処理する方法が提案されているが、その実現性を評価するためには、深度500~900m以深で生成する CO_2 ハイドレートの性質を明らかにすることが重要である。

著者らは、これまでDu-Nouy式表面張力計を用いて(海)水と液体 CO_2 との界面に生成する CO_2 ハイドレート膜の強度を測定してきたが、今回、「ストレス付加時においてハイドレート膜は再生成する」という考えに基づき、ハイドレート膜が破断しない限界のリング降下速度を再生成限界速度として評価した。そして、この再生成限界速度と、画像解析から得られたハイドレート膜の成長速度を比較検討した。

実験は、ねじり力により白金リングを押し下げる鋼線径を太くすることにより、ハイドレート膜側の抵抗の大小に関わりなく、予め定めた一定速度でリングを押し下げることができるよう工夫した。

その結果、リング降下速度が遅い場合には膜の再生成により膜が成長を続け(見た目には、膜が伸びているように見える)、界面は常にハイドレート膜で覆われているが、ある限界値を超えると、膜が破断し、裸の界面が現れることが確認できた。この限界速度と、一旦裸になった界面上をハイドレート膜が成長する際の速度はほぼ一致するとともに、いずれもハイドレート解離温度からのサブクール度とともに増加することが判明した。また、今回画像処理から求めたハイドレート膜成長速度は、公表されているハイドレート膜成長速度データともほぼ一致した。

次に、ハイドレート膜の再生成機構を説明するための分子レベルの模式図を提案した。それによると、ストレスの付加に伴い、膜には微細な亀裂が生じるが、 CO_2 と水分子が亀裂に入り込み新たなハイドレートクラスターを形成する。そして最終的に、整

列したクラスター群が形成され、亀裂の修復が完了する。これらの過程が繰り返され、クラスターの再生成が連続して起こる。これを巨視的に見ると、「ハイドレート膜が伸びている」ことになる。リング降下速度が限界値を超えると、膜の再生成が追いつかず、巨視的にも膜が破断することになる。

以上の実験結果と考察から、ハイドレート膜の再生は、膜の生成と本質的には同じと考えられる。

**Unexpected Natures of CO₂ Hydrate Membrane
in Saturated Water: An Explanation
by the Free Water Molecule Model**

飽和水中における CO₂ハイドレート膜の特異現象：

自由水分子モデルに基づく説明

綾 威雄、山根健次、小島隆志、山本敬之、
成合英樹

平成 13 年 6 月

Proceedings of ISOPE-2001 Stavanger Conference

温暖化対策技術としての CO₂海洋処理法を評価するため、深度 500m (北太平洋) ～ 900m (北大西洋) 以深で生成する CO₂ハイドレートの物性値を求めてきた。これまでの研究から、CO₂ハイドレート共存溶解度は、温度上昇とともにほぼ直線的に増加することが明らかにされている。従って、飽和状態から濃度を変えずに温度を上げると次第に飽和から離れることになる。これらの事実を念頭に置き、濃度一定条件下の CO₂ハイドレート膜の強度を、Du-Nouy 型表面張力計を用いて測定した。その際、膜厚が不明のため、N/m の単位で評価した。その結果、いずれの濃度においても、飽和状態で強度が際だって大きく、少しの温度上昇、つまり飽和状態から少し離れるだけで強度が急激に減少し、清水中強度に近づくことが明らかとなった。さらに、飽和と未飽和とでは、強度だけでなく、白金リングを上方から押し込んだ際の膜変形の様子が全く異なることも判明した。つまり、未飽和水中では、荷重の付加により膜が大きく下方に伸びるのに対し、飽和水中では、10 倍以上の荷重でも膜はほとんど変形せず、荷重が膜強度に達した時点でいきなり破断する。

未飽和水中の膜変形量は非常に大きく、弾性変形や塑性変形では説明がつかない。また、ストレス付加時の膜変形の違いは、CO₂濃度に依存する膜厚の違いからは説明できない。

しかし、著者らが提案している「自由水分子 (溶質をさらに溶かし込むことのできる水分子)」という概念を使えば、従来理論からは説明の困難な CO₂ハイドレートのこのような特異な性質を次のように説明することができる。

未飽和水中では、自由水分子が、ストレスの付加による水素結合の解離を助け、膜の至る所に水素結合の谷間ができ、その谷間に CO₂分子が入り込み、ハイドレート膜が自己再生する。これらが連続して

起こるため、外見上は変形のように見える。一方、自由水分子の存在しない飽和水中では、ストレスが膜の持つ本来の強度に達するまで、自己再生できないため、外見上ほとんど変形しないことになる。

また、自由水分子モデルの考えに基づけば、一定流量でCO₂の供給を受けるCO₂液泡が、未飽和水中ではなめらかに膨張を続ける（膜の自己再生が続く）が、飽和水中では膜破断が間欠的に起こる（膜の非弾性）という、最近他の研究グループから公表された現象も容易に説明できる。

Density Changes of CO₂ Dissolved Water in Hydrate Forming Region

ハイドレート生成条件下における

CO₂溶解水の密度変化

小島隆志、山根健次、綾 威雄

平成13年6月

Proceedings of ISOPE-2001 Stavanger Conference

最大の温室効果ガスであるCO₂問題の特徴は、従来の公害と異なり、温暖化傾向を緩和するに要する処理量が極めて膨大となる点である。そこで、広大な海洋を利用したCO₂処理法が注目されるようになった。当所では、10年前より、深海底の窪地にCO₂を液体として溜める貯留法に関する研究を行ってきたが、当初、難溶解と見られていたCO₂ハイドレートがCO₂ガスの1/2程度まで溶解することが判明し、貯留法もCO₂ハイドレートの溶解性を前提とする必要に迫られた。そして、密度的に安定となる貯留深度の推定や溶解後の拡散過程を解析する上で、CO₂溶解海水の密度データが不可欠となった。従来、もう一つのCO₂海洋処理法である溶解法の評価用として、振動式密度計による計測が試みられているが、未だ、信頼できる絶対測定データがない。そこで、今回、高压容器内でCO₂を溶解させると圧力が低下する、即ち、高密度となることを利用し、高精度な絶対測定を行った。

実験は、既存の深海模擬装置を用いて行った。装置全体は良質な平均値を得る上で好都合な循環型となっており、温度は、熱交換器により、±0.5℃の精度で制御した。CO₂の注入は、清水で5MPaまで加圧したループに接続したCO₂容器内の飽和圧力（最大7MPa）を利用して行った。圧力と温度は、それぞれ、ループ下部の圧力計と測温抵抗体により計測した。

CO₂溶解水の密度は、密度の定義（総重量／空間容積）から求めた。その際、総重量はループ内への水、溶解水及びCO₂の注入・排出重量の総和から求めた。空間容積は、30MPaにおける容器内水重量、一定圧力降下に見合う排水量と圧縮水密度表から、温度と圧力の関係形として与えた。

今回得られた4点のデータを、密度差を縦軸に、CO₂重量濃度を横軸に示した。密度を計算する際、3桁も桁落ちするため、総重量と空間容積の評価精度は、4桁では不十分で、5桁以上が要求されるが、空

間容積の精度は、4～5桁で表示されている圧縮水表（蒸気表）の精度に依存していることを考慮すると、今回のデータに含まれるばらつきは、本方式による限界に近いものと考えられる。

密度差と重量濃度との関係を示す直線の傾きから、CO₂溶解水の密度上昇率は、0.00255 (kg/ℓ/wt%) となっている。この値は、振動式密度計による大隅らの値0.00272 (kg/ℓ/wt%) と比較すると、約6%小さい。

Numerical Simulation of Agglomeration of CO₂ Droplets Covered with Hydrate Film

ハイドレート被覆 CO₂液泡群の

集合特性シミュレーション

山根健次、小島隆志、綾 威雄、Liujuan Tang、

Stephen M.Masutani

平成 13 年 6 月

Proceedings of ISOPE-2001 Stavanger Conference

地球温暖化緩和を目的とする CO₂海洋隔離法の内、溶解法においては、深度 1,000～2,000m に放出される CO₂液泡は大部分の海域で界面がハイドレートで被覆され、溶解によって液泡径を減じながら海中を上昇すると考えられている。このハイドレート被覆液泡個々が相互に集合する可能性は無視できると考えられていたが、P.G.Brewer（モンテレー湾海洋研究所）らの小規模実海域実験で2～3個の液泡が融合し、上昇していくことが確認された。液泡同士の集合が起きた場合、上昇速度が速くなり未溶解液泡が CO₂気化深度を越える等、CO₂海洋隔離の有効性に悪影響を及ぼす可能性がある。そこで、深度 1,000～2,000m ハイドレート生成条件下にある深海中に放出された CO₂液泡群の運動をラグランジュ的に数値シミュレーションし、液泡群が接触する確率を通してハイドレート膜で被われた液泡が集合化する特性（集合特性）を明らかにすることを目的としてプログラム開発を行った。

開発した数値シミュレーションプログラムを用い、直線上に等間隔ピッチで配置された 100 個の放出孔から、液泡（直系 3mm）1,000 個を一定時間内に放出し、放出後に液泡が接触する確率を求めた。その結果、放出流量 0.5L/min 以上、放出孔ピッチ 14mm 以下で、放出後 10 秒以内に、20% 以上の液泡が 2 個以上の液泡に集合する可能性のあることが分かった。3 個以上の集合液泡も数% 見られ、これらの結果は溶解法施設の設計にあたり無視できない値であると考えられる。今回開発したプログラムでは、液泡群の運動中に起きる接触や衝突は全て液泡集合に寄与するという仮定を与えているが、これらの未確認チューニングパラメータを実験によって確定できれば、より正確な解析結果を導出できるようになり、有望な CO₂海洋隔離法と考えられている溶解法の主要要件である、上昇液泡群の集合が無視できる放出孔ピッチや放出流量の推定が可能となる。