

所 外 発 表 論 文 等 概 要

〈推進性能部〉

マイクロバブルによる摩擦抵抗低減について
(局所ボイド率の影響)

Frictional Drag Reduction by Microbubbles (The
Effect of Local Void Ratio)

川島英幹、角川 明、高橋孝仁、児玉良明

平成10年10月

航空宇宙技術研究所特別資料

タンカー等一般的な排水量型の船舶の抵抗の約80%は、摩擦抵抗で占められている。そのため船舶の低燃費化を図るには、摩擦抵抗の低減を図るのが効率的な方法である。

摩擦抵抗低減法のなかでもマイクロバブルを用いた摩擦抵抗の低減法は、効果的な方法として良く知られている。この方法を実船に適用する場合、船底部で水圧に抗して空気を吹き出す仕事が必要となるが、大型タンカーの場合、喫水が約20mと深いため、実質的な抵抗低減効果を得るのが難しい。そのため、一般商船への実用化を図るためには、より効率的な空気を吹き出し法の開発が不可欠であるが、マイクロバブルによる抵抗低減メカニズムが明らかになっておらず、この解明が必要である。

そこで局所ボイド率分布と局所摩擦抵抗の関係を調べ、またPIV法によりマイクロバブル混入時の速度分布を計測した。実験は小型高速流路において行ない、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だ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。今回、吸い込み式のボイド率計測システムに改良を加え、圧力を調整式にして、気泡無し時の流速分布と同じ速度での吸い込みを行なった。実験結果は従来の結果と同じく壁面付近の局所ボイド率が高くなることから、壁面摩擦抵抗の減少に効果的であることを示した。

Effect of Body Geometry Expression and Grid
Resolution on the Optimization of a Two -
Dimensional Symmetric Wing

2次元対称翼型の最適化における形状表現と
格子解像度の影響

児玉良明、日野孝則

平成11年7月

Proceedings of the 1999 ASME/JSME Joint Fluids
Engineering Conference

CFDと最適化アルゴリズムを組み合わせ、物体の流体力学的性能を自動的に最適化する技術は、計算機の能力をフルに生かすこれからのソフトウェア技術として、盛んに研究されている。本研究では、船型の最適化技術の開発を目標として、基礎技術を固めるため、2次元翼型を例にとり、最適化における形状表現技術の格子解像度などの影響を検討した。すなわち、2次元翼型の最適化を、抵抗最小化を目的として体積一定の条件の下に実施した。

流れは、Baldwin・Lomax乱流モデルを組み込んだNSソルバーを用いて、レイノルズ数 $Re = 1.0 \times 10^6$ で計算した。感度解析には随伴変数法を、非線形最適化アルゴリズムにはSQP法を用いた。翼型形状は姫野の多項式またはNURBS基底関数を用いて表現した。姫野の多項式を使用した場合、NURBSを用いた場合よりも大きな抵抗低減が得られた。これは、姫野の多項式が表す形状が次数間の独立性が高いためと思われる。また、NURBS多項式では、用いる関数のノード数を増やすと、より大きな抵抗低減が得られた。これは、関数のノード数が増えると、それだけ形状表現の自由度が高まるためと考えられる。ただし、ノード数を或る程度以上増やしても、抵抗低減の大きさは増えなくなる。格子解像度については、解像度を高めると、抵抗低減量が大きくなった。これは、高い解像度では、形状表現関数で表した翼型形状をより忠実に表現できるようになるためと考えられる。

以上、NURBSの基底関数は形状表現関数として姫野の多項式よりも一般性があり、表現自由度も高いが、最適形状を求めることについては姫野の多項式の方が優れており、それぞれに一長一短があることが分かった。

Cavitation Stimulation Technique Using Water - Repellent Coating in a Propeller Model Test

撥水塗料を用いたプロペラ模型試験における
キャビテーション発生促進技術

工藤達郎、右近良孝

平成11年7月

Proceedings of the 3rd ASME/JSME Joint
Fluids Engineering Conference
& 1999 ASME Fluids Engineering Division
Summer Meeting

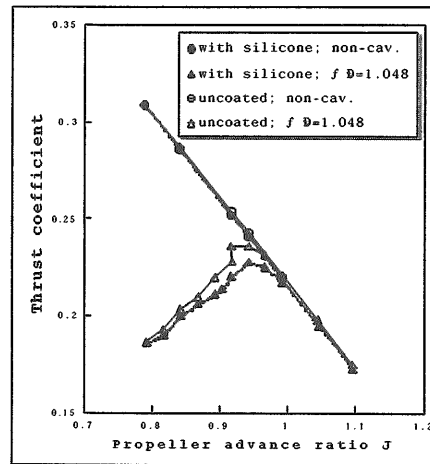
プロペラのキャビテーション試験においては、実機で生じるキャビテーションを模型試験においていかに再現するかが重要である。実機と模型では、スピードの違い、水中に存在する気泡核分布の違いなどがあり、そのため模型試験では実機に比べてキャビテーション発生量が少ない傾向にある。本論文では撥水性塗料を模型プロペラ翼面に塗布することによりキャビテーションの発生を促し、より実機に近い状態をシミュレーションするための新しい実験手法を提案し、実験によりその効果を実証した。



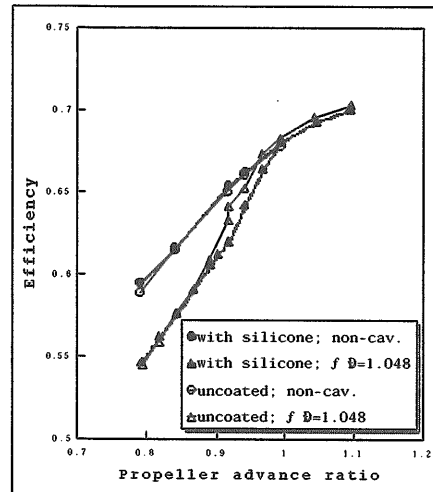
キャビテーションの発生状況 (シリコン系撥水剤)



キャビテーションの発生状況 (無塗装)



(a) スラスト



(b) 効率

プロペラ性能の比較

マイクロバブルによる摩擦抵抗低減と船舶への適用性
Skin Friction Reduction by Microbubbles and Its

Applicability to Ships

児玉良明、加藤洋治

平成11年7月

第27回可視化情報シンポジウム

第27回可視化情報シンポジウム論文集

マイクロバブルによる摩擦抵抗低減に関する実験的研究を、気泡吹き出し位置から計測点までの距離の大ききの順にレビューした。その結果、(1)マイクロバブルは壁面摩擦係数を大幅に低減させる効果をもつ、(2)その低減効果の下流方向の持続性は流速に依存して変化するが、境界層厚さに基づく予測値よりもはるかに大きな持続性をもつ、そして、(3)壁面摩擦係数の低減効果は、局所ボイド率のような局所的な量に支配的な影響を受けることが分かった。また、長尺平板模型船を用いた実験結果によれば、マイクロバブルの実用性は従来の知見よりも大幅に改善されている。

最後に、マイクロバブルがレイノルズ応力を減少させる効果をもつことを強く示唆する実験結果を示した。

Velocity Measurements of Flows with Microbubbles
Using PIV

PIVによるマイクロバブル流れの速度計測

角川 明、川島英幹、高橋孝仁、児玉良明

平成11年7月

Proceedings of International Conference on
Advanced Technology in Experimental Mechanics
'99

大型船舶の抵抗の大部分を占める摩擦抵抗低減方法の一つであるマイクロバブル(微小気泡)は、船底表面に気泡を流し摩擦抵抗を低減するものである。しかし最適な抵抗低減装置として開発するためには、明らかになっていない抵抗低減のメカニズムを解明せねばならない。

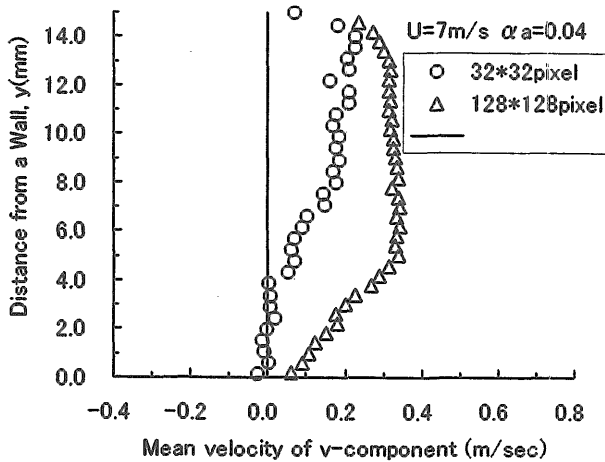
マイクロバブルによる摩擦抵抗低減メカニズムを実験的に明らかにするため、著者らは、小型高速流路試験部(全長3000mm、全幅100mm、全高15mm)の空気吹き出し部下流500mmに形成された境界層内において、マイクロバブルを含む流速 $U=7,10\text{m/sec}$ の流場をPIV(Particle Image Velocimeter)により速度計測し、流速 $U=7,10\text{m/sec}$ で平均ボイド率 $\alpha_a=0.00, 0.040$ と 0.080 の6状態の流れ方向垂直断面内速度分布を得た。速度計測断面の大ききは、流れ方向18mm、垂直方向15mmである。マイクロバブル生成は、多孔質板を用いて、流路内水流中に空気を吹き込むことにより行った。多孔質板は、流れ方向76mm、幅方向76mmのブロンズ製焼結金属板(厚さ:3mm、空気孔直系 $2\mu\text{m}$)である。摩擦抵抗は、水用せん断力センサー(三計エンジニアリング社製、定格容量2g重)により計測した。

PIVによる速度解析領域は、 $32*32\text{pixels}$ ($0.57*0.57\text{mm}$)と $128*128\text{pixels}$ ($2.29*2.29\text{mm}$)の2種類を用いた。その結果、速度成分 U はほとんど差がないが、速度成分 V は明らかな差が表れた。下図に示すように速度解析領域を大きくすると、平均速度分布における上向き流れが大きくなる。その理由および速度の真値は不明であり、今後の課題として明らかにせねばならない。

マイクロバブルによる抵抗低減効果が顕著な平均ボイド率 $\alpha_a=0.080$ の気泡流において、PIVにより速度分布が得られることが確認された。マイクロバブルと速度分布の関係を見ると、マイクロバブルを含む流れは水流のみの流れよりも乱れ度が大きいこと、および $U=7\text{m/sec}$ において上向き速度成分 V が上半分に発生していることが明らかになった。

今回は抵抗低減効果を計測した範囲(500~1500mm)で最も空気吹き出し部に近い $x=500\text{mm}$ の速度分布を計測したが、抵抗低減効果、ボイド率と速

度分布の関係をj知るためには、さらに下流での速度分布も実験データに加える必要がある。また今後の課題として、写真撮影した気泡の輝度が水流中のトレーサの輝度よりも圧倒的に明るいため、PIVによる速度計測結果が主に気泡移動速度を表していることがある。混相流としてのマイクロバブル流れを精度良く計測するためには、気泡と水流を同時に計測する方法(例えば可視化トレーサの改良等)を開発せねばならない。さらに、速度を求めるための平均化の領域の大きさが計測結果に与える影響の検討などにより、計測精度の向上をはかる必要がある。



PIV速度解析領域が速度分布へ与える影響
U=7m/sec、 $\alpha a=0.04$ 、速度成分V

Experimental Study on Microbubbles and Their Applicability to Ships for Skin Friction Reduction

マイクロバブルとその船舶への摩擦抵抗低減のための適用性に関する実験的研究

児玉良明、角川 明、高橋孝仁、川島英幹

平成11年9月

Proceedings of the 1st International Symposium on Turbulent Shear Flow Phenomena

タンカーなどの船舶の抵抗の80%を占める摩擦抵抗を低減させる抵抗低減デバイスとして、微細な気泡を船体表面に注入するマイクロバブルは、リブレットなどの摩擦速度に基づくデバイスよりもはるかに適している。

マイクロバブルの基礎実験を行うため、回流型の小型高速流路を製作した。気泡は公称孔径 $10\mu\text{m}$ の多孔質板を通して吹き出し、壁面せん断応力を摩擦応力センサーを用いて直接計測した。摩擦応力センサーの較正は、 $1\sim 2\text{g}$ の重りをセンサー部に直接ぶら下げる方法と、流路において計測した圧力損失との比較の2方法を用いて行い、良好な結果を得た。

気泡吹き出し状態で摩擦抵抗低減効果を測定し、吹き出し空気量の増加に伴い低減効果が増え、流速を低速・中速・高速と変化させると低減効果が減少するという結果が得られた。また、摩擦抵抗低減効果の流れ方向の持続性は、低速・中速において良好であった。

流れの局所的なボイド率(水に対する空気量の割合)を吸い込み管式の計測装置を作って計測した。吸い込み圧力は、気泡が無い状態での局所的な流速に応じて調節した。その結果、摩擦抵抗低減率は壁近傍のボイド率と強い正の相関があることが分かった。

多孔質板の代わりに配列多孔板(直径 1mm の孔を規則的に多数開けた板)を用いて気泡を注入して摩擦抵抗低減効果を計測し、多孔質板と同等な低減効果を得た。また、計測データのバラつきは、多孔質板のそれよりも小さかった。

マイクロバブルの実船への適用性について論じた。上記のような低減効果のデータを、境界層内の平均ボイド率で整理して実船の場合に当てはめると、低い低減効果しか得られないが、長さ 40m の平板を用いて行った実験結果では数倍の低減効果が得られ、マイクロバブルによる摩擦抵抗低減効果には尺度影響があり、大きなスケールになるほど低減効果が大きくなる可能性があることを示した。

トランスキャビテーション・プロペラの
理論的設計に関する研究

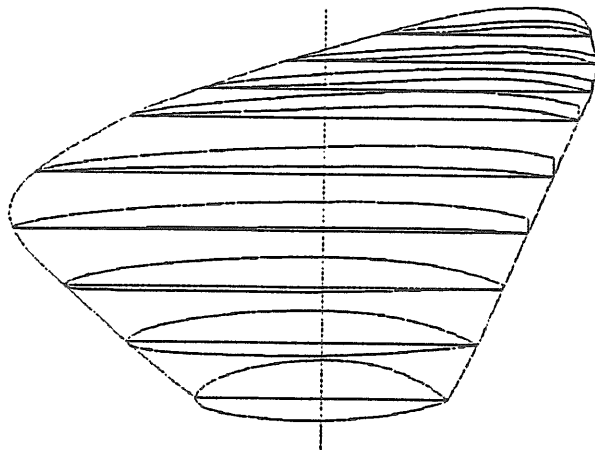
Study on Theoretical Design Method of
Transcavitating Propeller

工藤達郎、右近良孝、加藤洋治
平成11年11月
日本造船学会論文集第186号

トランスキャビテーション・プロペラ (TCP; 低中速船用の通常型プロペラと超高速船用のスーパーキャビテーション (SC) プロペラの間の遷移領域を作動状態として設計されるプロペラ。同一翼面上に同時にSC領域と非キャビテーションまたは部分キャビテーション領域を持つため、SC翼断面とエアロfoil翼断面を組み合わせる複雑な翼形状が必要となる。) について、揚力面理論に基づく理論的設計法を開発し、実際に設計した8個のTCPについて模型試験により性能を確認した。その結果、本設計法が概ね±5%以内の精度で推力を合わせた設計が可能であり、キャビテーション条件の厳しい35ノット高速船用の浅没水高馬力可変ピッチプロペラでも単独効率で65%近い高効率 (同条件下の通常型プロペラに対して12.3%増) の高性能プロペラが設計可能であることを示した。

翼型にはSCPで実績のあるSRJN翼型の他、東京大学でTCP用に開発され近年シリーズ化されたUT-SC翼型およびUT-NC翼型を適用したTCP設計も行い、両翼型がTCPに有効であることを示した。

その一方で、効率の向上を狙いキャビティを極端に薄く設計すると、計算、実験ともに問題が生じることがあり、実機の設計には注意が必要であること、また、通常型プロペラに合わせて発達してきたプロペラ試験法やプロペラのNC加工による製法も、TCPに対してはそれぞれキャビテーション・パターンの妥当性やNCデータの作成法などに問題が生じることなどが明らかになった。



設計されたTCPの翼形状の例

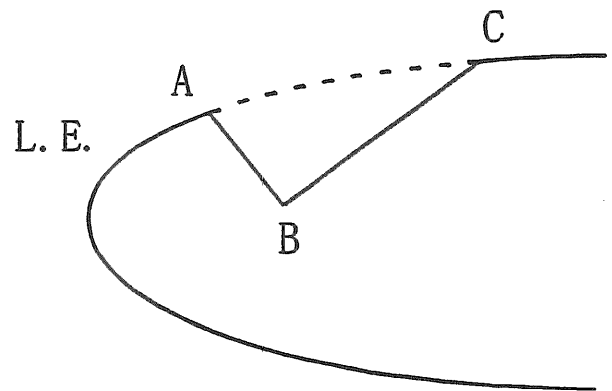
SCPにおけるキャビテータの効果の研究

Study on Effect of a Cavitator on a Supercavitating
Propeller

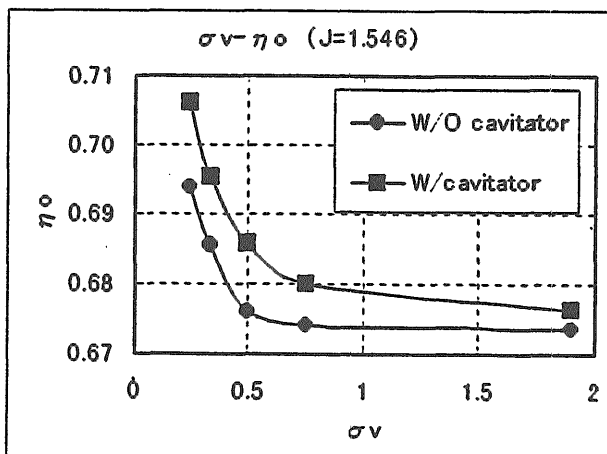
工藤達郎、右近良孝、住野吉胤
平成11年11月

第10回キャビテーションシンポジウム前刷集

従来の船用スクルー・プロペラでは、高速になり大きなキャビテーションが発生すると推力が低下し、効率も悪化する。そのような高速域で使用することを前提に設計されるプロペラとして、SCP (スーパーキャビテーション・プロペラ) があり、キャビテーションがプロペラ翼のほぼ全面を覆い尽くすような状態において、高い効率を発揮する。SCPはシート状のキャビテーションが翼の前縁から後縁後方までを覆う状態を前提として設計されるが、高い効率を追求するにはそのキャビテーションが極力薄くなるように設計する必要がある。しかし、そのように設計されたSCPでは、しばしばキャビテーションが前縁から意図通りに発生せず、そのためにトルクおよび推力が設計値よりも大きくなったり、不安定な変動力の原因となったりすることがある。この現象を防止するには、安定したシート状のキャビテーションを発生させる必要がある。一般に、シート状キャビテーションは翼前縁の層流剥離をきっかけとして発生することが知られている。キャビテーションを安定させるには、安定した剥離を起こせば良いとの考えから、本論文では翼の前縁にキャビテータと呼ばれる細い溝を設け、強制的に剥離を引き起こすことによりキャビテーションの発生を安定化させる方法を提案し、その効果を模型実験によって検証した。



キャビテータの断面形状
(翼断面前縁部の拡大図。流れは左から右。)



キャビテータの効果
(キャビテーション数に対するプロペラ効率の変化)

〈運動性能部〉

Stern Flow Field of Ships in Maneuvering Motion

操縦運動する船の船尾流場

上野道雄、二村 正、宮崎英樹、野中晃二

平成11年 5月

Proceedings of The 2nd Pacific Symposium on Flow
Visualization and Image Processing

操縦運動する船に働く流体力と船体周りの流場は密接な関係にあり、流体力推定のためには実際の船体周りの流場、特に船尾付近の流場を把握しておく必要がある。しかし、船体周りの流場に関する実験データは少なく、特にプロペラや舵の影響までを含めて流場を調べたデータはほとんど報告されていない。

本報告は、模型船の船尾流場に対する旋回および横流れといった操縦運動の影響をプロペラ回転数と舵角の影響を含めて実験的に調べた結果について述べたものである。

実験は中水槽と海洋構造物試験水槽で行った。操縦運動はCMT試験装置を用いて模型船に横流れ角と旋回角速度を与えることによって実現した。また、船体単独状態だけでなく、斜航状態についてはプロペラ回転数と舵角の影響をも調べた。計測項目は船尾断面(A.P.、S.S.-2断面等)における直交する流速3成分である。流速は5孔ピトー管で計測した。計測された流速成分は伴流分布と渦度分布の形で整理し、旋回角速度と横流れ角、プロペラ回転数、舵角の船尾流場に対する影響を考察した。

実験の結果、船体前半部の形状が同一でも船尾のフレームラインが少し異なるだけで伴流分布や渦度分布がかなり異なったものとなることや、運動状態によっては伴流に増速域が出現することが確認された。また、プロペラ回転数による非対称性の出現、舵角とプロペラ後流の干渉効果等が定量的に計測されたものと考えられる。しかし、船体単独の場合の基本的流場は定性的に比較的理解しやすいものの、プロペラ回転数や舵角の影響については定性的な流場の解釈も困難と思われるほど流場が複雑なものとなることもわかった。プロペラ回転数と舵角の影響については、今後CFD等の計算結果との比較検討を通じてより理解が深まるものと考えられる。そのような意味から、今回の実験で得られたデータは、計算結果の検証データとしても重要な資料となると期待される。

**Comparative Study on the Time - Domain Analysis of
Non - Linear Ship Motions and Loads**

非線形船体運動と荷重に関する時間領域計算法の
比較検討

渡辺 巖、Carlos Guedes Soares

平成11年7月

Journal of Marine Structures

波浪中を航行する船舶に働く波浪荷重を推定するためには、通常は線形計算法が用いられる。しかし、この方法は微小波高の仮定に基づいているので、本当に荒れた海象下での荷重推定には精度が劣ることが言われている。これを補うためには、荒天時の荷重推定には非線形性を考慮に入れた推定法が必要であり、いくつかの計算法が提案されている。これらは時間領域の応答変化をシミュレートする手法が広く用いられているが、アルゴリズムの作り方により精度が左右されるなど、線形計算法とは別の問題点が指摘されており、精度の信頼性は明らかでない。そのため著者等は、船体・海洋構造物に関する国際会議 (International Ship and Offshore Structures Congress : ISSC) の下の荷重委員会 (Committee on Loads) の活動として、非線形時間領域船体応答シミュレーション計算法の比較計算を実施した。

本論文はその結果をまとめたものである。比較計算に参加した機関は世界各地の大学研究機関であった。参加機関は、指定した船 (コンテナ船舶型、S-175モデル) の指定航行状態での、船体運動、波浪荷重、上下加速度、相対水位変動の計算を行った。それらの結果を集約して比較検討を行った。その結果によれば、各計算法とも波高が低い状態ではほぼ良い一致を示し、線形計算法とも対応する結果をあたえるものの、波高が高くなると、10%以上の結果の差は珍しくないことが分かった。これはプログラムにより採り入れている非線形要素に違いがあることが原因と考えられる。今後更にプログラムの内容に立ち入った検討や実験結果との検討などを行う必要があることなどが、述べられている。

〈機関動力部〉

**Performance Analysis of Combined Cycle Power Plant
with Packed Column CO₂ Separator Using Aqueous
Monoethanolamine Solution**

モノエタノールアミン水溶液を用いた充てん塔式CO₂
分離装置を持つコンバインドサイクルプラントの性能

井亀 優、菅 進、平岡克英、熊倉孝尚

平成11年11月

Proceedings of the International Gas Turbine
Congress 1999 Kobe

大気中へのCO₂放出量の削減が国際的に重要な課題になっている。この対策としてモノエタノールアミン (MEA) 水溶液を用いたCO₂分離装置を備えたCO₂回収型コンバインドサイクルプラントを想定し、著者らが作った計算モデルを用いてCO₂回収率、プラントの正味効率と運転条件の関係を調べた。本研究では出力150MWのメタン焼きガスタービンをを用いたプラントを検討対象とした。

CO₂分離装置はCO₂を吸収したMEA水溶液の再生に熱を必要とし、ガスタービンの排熱の一部をこれにあてる。このため通常のコンバインドサイクルプラントに比べて蒸気タービンの出力が小さくなり、正味効率が低下する。本報告ではCO₂分離装置の必要熱量の最少化の手順を提案すると共に、最適化したCO₂回収型コンバインドサイクルプラントの運転状態を示す。

CO₂分離装置の運転条件を最適化した場合、プラントの正味効率はCO₂回収率のみの関数となり、CO₂回収率を高くするにしたがって、正味効率は低下し必要な充てん層の体積は大きくなる。正味効率は、CO₂回収装置のないプラントでは47.1%が見込まれるが、CO₂回収率を80%とした場合、正味効率は40.3% (高位発熱量基準) に、CO₂の放出量は88kg (MWh)⁻¹になることがわかった。

CO₂分離装置が必要とする熱を別に設置したボイラによって得るシステム、十字流充てん層を持つCO₂分離装置を持つプラントについても検討したが、これらのプラントでは正味効率が大きく低下することがわかった。さらに処理する排気ガスの流量の削減とCO₂濃縮を意図して排気再循環を行うガスタービンをを用いたプラントについても検討したが、MEA水溶液を用いたプラントでは、CO₂分離装置を小さくできる利点はあるものの、正味効率を改善する効果はないことがわかった。

船用主機の製造工程におけるLCI解析

Application of Life Cycle Inventory Analysis to
Manufacturing Process of Marine Main Engine

城田英之、平岡克英、亀山道弘、木原 洸、福元正明
千田哲也、成瀬 健
平成11年12月

日本機械学会第8回交通・物流部門大会講演論文集

大型船舶の造船所における建造工程では、船用主機・機関補機及び艤装品は製造されず完成品が購入されて据え付けられているが、こうした購入完成品の中で船用主機はサイズ及び重量が比較的大きく、しかもその構成部品の点数は小物部品まで数えると相当な数に上る。同時に船用主機は極めて高い信頼性が要求される機械であり、高い加工精度が要求される。このため、船用主機の製造工程で使用されるエネルギーや発生する廃棄物・排出物は船舶建造の場合のそれとは大きく異なっていると考えられる。以上のような理由により、船舶へのLCA (Life Cycle Assessment) の適用を考えるにあたって、船用主機の製造工程を船舶の建造工程と切り離して別途検討を試みた。すなわち、複数の船用主機製造工場を対象とした聞き取り調査を行い、船舶のLCAの主要部であるインベントリー分析の一環として、船用主機製造インベントリーの予備的分析を行った。

調査の対象とした船用主機は、載荷重量85,000 [ton]のタンカーに搭載される主機の出力レベルにほぼ相当すると思われる2サイクルディーゼルエンジンとし、主要機種を製造しているメーカーの中から国内3社について聞き取り調査を行った。調査内容は、各工場での製造実績・製造工程とその作業プロセス、各作業プロセスで使用した電力・水・燃料等のエネルギー等や、素材・部品等資材の出入量、及び環境中へ排出した排出物等の把握の現状である。次にこれらの調査の結果に基づいて、LCAを行う際に考慮すべき構成部品の範囲/種類、取り扱うべき製造工程の範囲等について試分析及び考察を行った。試分析の結果として、(1)船用主機製造工場における製造工程の中では、試運転におけるエネルギー（電力及び重油）の使用量及びこれに伴う環境への排出物（排気ガス）の量がかなり大きな割合を占めること、(2)船用主機の製造工程のインベントリー分析の精度向上のためには、試運転におけるプロセスデータをより正確に蓄積するとともに、主要部品の製造インベントリー調査が必要であること、(3)現在は環境排出物として明確に意識されていない排出物についても今後は注意していく必要があること等を示した。

〈材料加工部〉

Fatigue Behaviour of a Box - Welded Joint under Biaxial Cyclic Loads

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
高橋一比古、牛嶋通雄、高田篤志、秋山 繁、前中 浩
平成11年10月

Fatigue & Fracture of Engineering Materials &
Structures, Vol.22, No.10

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。これまでにも、直交2軸の繰り返し引張荷重による疲労を実験的に扱った研究はあるが、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殆ど無い。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、今回実施した2軸荷重条件下では、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。止端部近傍の縦方向残留応力がほぼ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、試験片幅等の影響も含め更なる検討が必要である。次に、溶接止端部から5mmの位置における縦方向の平面応力振幅 $\Delta\sigma_x$ で整理すると、き裂発生寿命 N_c は1軸試験よりも2軸試験の方が若干短く、一方、破断寿命 N_b はほぼ同等となることがわかった。これらの結果は主として、止端部近傍に降伏応力程度の高い縦方向引張残留応力が存在し、縦方向応力 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考えられる。 N_c と N_b とで2軸効果が異なる原因については、残留応力、応力集中、き裂形状等、種々の要因が挙げられるが、より詳細に検討する必要がある。

最後に、FE解析結果と1軸疲労試験データより、 $\Delta\sigma_x$ を用いて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。他方、位相差 π をもつ横方向荷重の影響を無視した場合の推定は著しく危険側となり、疲労寿命評価においては多軸荷重効果は無視できないことが実証された。

アルミナのすべり摩擦における脆性-延性遷移
Brittle to Ductile Transition in Sliding Wear of
Alumina

千田哲也、矢野不二夫、安田榮一

平成11年11月

日本セラミックス協会第18回高温材料基礎討論会
講演集

船舶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、すべり摩擦における摩耗メカニズムを、室温から1000°Cまでの範囲で調べた。600°C付近の脆性破壊による摩耗が起きる温度領域の摩擦面を透過電子顕微鏡で詳細に調べると、バルクの表面では転位等の塑性変形は限られた部分にしか観察されなかった。しかし、摩耗粉のX線回折を行うと回折線の広がりがあり、大きく塑性変形していることが示唆された。回折線の広がりから、Wilsonの積分幅法により格子歪みと結晶子サイズを求めて両者の関係を分析すると、摩耗粉はポリゴニゼーション構造を有することが推定された。これらの分析結果から600°C以下での摩耗メカニズムを考察すると、生成した摩耗粉がバルクの局所的な応力分布を緩和するために、塑性変形は主な破壊メカニズムにはならず、弾性範囲で微小き裂が形成されて摩耗が進行するというプロセスであるという結論が得られた。

また、摩耗量と温度の関係を調べたところ、700°Cから800°Cの間で摩耗量が大きく低下し、750°Cはその遷移領域にあたることがわかった。走査電子顕微鏡で摩擦面を観察すると、600°Cでは粒界破壊の特徴を示すバルク表面に摩耗粉が堆積した構造であり、800°Cでは動的再結晶により微細化した結晶からなるち密な表面層が形成されていた。750°Cでは、それぞれの特徴を示す領域が分布しており、低温域での脆性的特徴と高温域での塑性変形の特徴を示す領域が、局所的な温度、応力等に依存して形成されたと考えられる。このような脆性から延性への遷移は試験温度では700°Cと800°Cの間であったが、摩擦発熱を考慮した表面の局所的な温度(フラッシュ温度)を計算すると、950°Cから1030°Cの範囲で遷移が起きていると推定され、アルミナ単結晶について、1030°Cから1150°Cと報告されている曲げ強度試験における脆性-延性遷移温度と近い温度範囲であった。

曲面外板ブロック製造時の溶接変形推定方法の検討
Study on Deformation of Welded Built-up Block
with Curved Shell Plate

松岡一祥、吉井徳治、安藤孝弘、宇野清隆

平成11年11月

溶接学会全国大会講演概要第65集

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

本報ではまず、溶接変形を汎用構造解析プログラムで計算する手法を取り扱う。角変形、横収縮および縦収縮のモデル化、並びに、溶接条件、鋼材の降伏応力および板厚により変化する変形量の設定方法を示す。

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

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

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

〈装備部〉

リモートセンシング技術を用いた海洋監視システムの開発

Development of monitoring system of marine pollution using remote sensing technique

山口良隆、山之内博、樋富和夫、山岸 進
平成11年3月

日本化学会第76春季年会予稿集第1分冊

1997年に起こったロシア船籍「ナホトカ号」のオイル流出事故は、重油が日本海沿岸地域まで漂着し海洋環境汚染を引き起こした。オイル流出事故を最小限にとどめるために、システムを構築する必要がある。漂着・拡散がある程度予測できれば被害を最小限にできると考え、我々は昼夜を問わず海上のオイル群の挙動を把握できる海洋監視システムを作製した。このシステムにより海洋に流出したオイル群の回収のサポートができるものである。本海洋監視システムには気象観測などに利用されているリモートセンシング技術であるライダー (Lidar: Light Detection and Ranging) を応用した。本装置の性能を確認するために、疑似事故現場を再現し流出オイルについての観察を行った。

本装置の分析原理は、紫外光を使用した蛍光分析である。蛍光分析をリモートセンシングに応用したものは蛍光ライダーと呼ばれる。本システムの光源には、紫外線を発するNd:YAGレーザー(355nm)を使用した。また、光源を時間幅の短いパルスレーザーを用い、受光側にバンドパスフィルターと高速ゲートを装備した。これにより物質固有な蛍光波長とともに固有の蛍光減衰が観測でき、成分分析が可能となった。また実海域測定で船にのせるために装置は容量を小さくし、さらに温度・湿度が一定にできるデシケーターに梱包してある。実験は水槽に重油を入れ、そこにレーザーを照射しターゲットからの蛍光測定を行った。

まずは本装置において軽油、重油などのオイル種について分類できるか分析を行った。これらを蛍光分析で判別し、オイル種はスペクトルの形状や減衰時定数から識別を行った。蛍光波長435.8 μ mでの減衰において、軽油、A重油、灯油、潤滑油の識別ができた。また、実際の海洋での測定を想定して、ある程度距離を離れた水面上のオイル成分についても本装置で測定を行った。測定において油分由来の蛍光と領域の確認ができた。

これらの結果より海上でのオイル成分の検出が可能であり、本装置は海洋汚染の監視システムとして重要な役割を果たすと考えられる。

次世代型海洋環境モニタリング・システムに関する研究
A Study of The Novel Monitoring System for
Marine Environment山口良隆、山之内博、柴田俊明、樋富和夫、山岸 進
平成11年7月
日本環境化学会

レーザー光を用いたリモートセンシング技術を海洋環境測定に用いた。本システムの海洋環境測定のターゲットの一つとして事故船起源の流出油の海上での状態把握がある。これにより流出油防除作業のサポートをスムーズに行うことができる。内容としては、船上からリアルタイムで油群の分布やその拡散状態について把握でき、さらに光を用いていることにより昼夜問わずその状態観測できることである。また海洋などの広域観測においては人工衛星を用いると瞬時に状態が捉えられるが、現場までに衛星をもっていく時間や海洋や地上と衛星の間には、雲などの障害があると観察できないというデメリットがある。そのため船舶や飛行機に搭載できる小回りの利く観測システムの必要がある。

分析原理は、紫外光をターゲットに照射し、そこから出た蛍光を分析し化学情報や状態情報を得るものである。これをリモートセンシングに応用したものをライダーといい、大気を中心とした環境測定に用いられてきた。本システムは紫外光を照射したターゲットからの蛍光分析を行うので蛍光ライダーとよばれる。装置の構成は、光源には紫外線源のNd:YAGレーザー(355nm)を使用した。さらに時間幅を指定できるパルスレーザーを用いて、受光側にもバンドパスフィルターと高速ゲートがある。これにより物質固有な蛍光波長とともに固有の蛍光減衰を観測し成分分析が行える。

実験では、水上の軽油・重油など油種の分析を行った。結果は油種が分離でき、これらのデータは今後のデータベースとして使用できるものである。また本システムの環境への他の応用として、海洋健康度測定があげられる。海洋健康度とは、海洋環境の指標になる物質や生物の経時変化を測定することにより、海洋の定常状態を把握し、これらのデータを船舶・航空事故後や港湾などの工事後のものと比較し、これらの影響による海洋環境の変化を把握しようというものである。様々な海域で指標生物や物質のデータベースを作成することにより、事故や工事などで海洋環境にどれだけ影響を与えるかという、海洋の健康度の指標作りができると考えられる。

次世代型海洋監視システムを用いての海上観察
The Observation of Marine Environments by New
Ocean Monitoring System

山口良隆、山之内博、柴田俊明、多田光男、松下邦幸
樋富和夫、山岸 進

平成11年9月

日本化学会、第77秋季年会講演予稿集

ナホトカ号沈没事故の教訓のひとつとして、「夜間は目測で流出オイル群の観察が難しく事故の対策がたてられない」ということがあげられた。この問題を解決するための新しい「目」としてリモートセンシング技術を利用した次世代型海洋監視システムの開発を行ってきた。また、海洋環境監視の目的から、船舶事故後の海洋のオイル汚染の回復状況や海洋及び湾岸開発により環境状態の変化のモニタリングを行う必要がある。しかしながら標準的な測定法はまだ確立していない。また様々な手法で実際に測定されており、さらに現在でも新しい分析手法や装置開発が行われている。我々が製作した海洋監視システムも化学物質や微生物を中心とした海洋環境のリアルタイムの測定を行うことができる。本システムの新しい環境測定技術としての評価をおこなった。

海洋監視システムは、ライダー (Lider: Light Detection and Ranging) 技術を応用した。装置として光源に時間幅の短いパルス紫外線レーザーを装備し、海面に紫外光を照射し蛍光分析を行うものである。また受光系にバンドパスフィルターと高速ゲートを搭載してある。またGPSの位置情報も組み込めるようになっている。本システムを国立弓削商船高等専門学校練習船「弓削丸」に搭載し実船実験を行った。搭載場所は船尾右舷である。今回の実船実験の航路として弓削島近辺および瀬戸内海である。この近海の海洋環境観測を行った。

実船のライダー観測結果として、バックグランドに差があるが海面にレーザーを照射したActive Siteは昼夜を問わず観測できた。しかし航海中に、海上にオイル成分は浮いておらず、現在持っているデータでは対応できなかった。そこで海面での蛍光の原因を探るために測定した箇所の海水を採取して来た。それらの海水を光学顕微鏡を用いて観察を行った。結果として数種の微生物が確認された。これらの光学的データと顕微鏡での海水分析データの相関関係の解析を行っている。

ケミカルタンカーにおけるベンゼン輸送中の乗員の
ガス暴露濃度

Exposure of Benzene Gas to Workers during
Marine Transfer Operations

山口勝治、藤井 忍、間島隆博、山之内博

平成11年10月

日本航海学会第63回講演会講演予稿集

日本航海学会論文集99号、91 (1998)

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、乗組員の暴露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で作業する乗組員が作業中に暴露されるベンゼンガス濃度を計測した結果およびガスに暴露された乗組員の健康影響を評価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、500トン積み船と1000トン積み液体化学薬品バラ積み船を選定した。通常の「積み荷役」「航海中作業」「揚げ荷役」「タンククリーニング作業」ごとに、乗組員個人個人の襟元にバッジ状のバッシュサンプラーを装着して、サンプラーを構成する活性炭にガスを吸着させ、二硫化炭素でベンゼンを抽出後、クロマトグラフィーにて分析することにより作業中の個人暴露濃度を計測した。500トン積み船3隻、1000トン積み船4隻、総データ数は153であった。また、作業内容や暴露要因等に関する情報を収集するため、現場調査、調査票による書面調査およびヒアリング調査を行った。

計測の結果以下のことが分かった。乗組員の輸送当たりの個人暴露濃度は相当の幅をもち、中央値は1.3ppmと推定されたこと、積み荷役、航海中、揚げ荷役では中央値濃度の推定値は作業時保護具装着勧告値を下回っていること、タンククリーニング時においては中央値濃度の推定値が1ppm以上となることありうることから、健康リスクをより小さくする観点から作業時には保護具を装着するか、暴露濃度の低減を図る必要がある。また、暴露濃度や健康被害の大きさは設備の管理状況、気象条件、海象条件、荷役条件、作業方法、作業時間、輸送従事回数等によっても影響され、コントロールできることが明らかとなった。

これらの成果はベンゼン貨物輸送中の船内ガス濃度管理を行う上で役立つと期待される。

〈システム技術部〉

船上の避難行動のシミュレーション—III
Simulation of Human Escape on Board—III

勝原光治郎、亀山道弘、宮田 修

平成11年3月

日本航海学会論文集 第99号

本学会論文集での前2報で、ヒューマンファクターを考慮した経路選択の避難行動シミュレーションと経路固定のシミュレーションが、共に実船実験結果を再現し妥当であることを示した。そこで本報ではこれらのシミュレーションプログラムを使って船舶の避難安全を評価する解析方法を提案した。

この解析において考慮できる変数は、①人の配置(居室配置、集中配置等) ②人のタイプ(大人、子供、老人、障害者—歩行速度と行動開始時間が異なる) ③事故シナリオ(火災等により通行不能箇所がある) ④乗客の心理(集団心理)の4つである。また、解析の目的関数は、総避難時間と最大滞留時間である。このプログラムには経路の飽和状態を解析する機能が付いていて、避難流動のボトルネックを示すことができるので、シミュレーション画面を見ながら設計変更箇所を容易に特定できる。

まず、予備解析では経路選択のシミュレーションプログラムを用いて、一般配置図における段階・通路などの配置と経路中について概ねその設計を済ませる。次に、本解析では変数を変えて計算する。ここでは3甲板180人定員のモデル船での計算例を示した。心理量を変数にとり、避難時間を示す3次元グラフで、最適避難経路や、最悪避難経路を示した。無数の計算の中で、当該船舶の避難性能を解明するのに必要十分な場合は、最適ケースと最悪ケースである。そして、この船舶の避難特性は両ケースにおける避難時間と最大滞留時間で与えられるとした。それらがどのようなかを解析例で示した。

最適ケースはすべての最終避難経路から出てくる人数が丁度同時に避難終了するときが発生することが分かった。また、最悪ケースは最も狭い経路にすべての人が集中してきたときである。ただし、避難段階が多数ある船の場合で、乗客全員が1段階に集まることが考えにくい場合が存在しうるので、この件に関しては留保付きとした。

光学系画像センサによる海上監視支援システム
A System for Automatic Detection on Maritime
Search and Rescue by using Optical Image Sensors

桐谷伸夫

平成11年9月

オプトロニクス(1999) No.9

「海上における人命に安全のための国際条約」74SOLAS条約改正に伴い、我が国ではGMDSS(Global Maritime Distress and Safety System)の導入が平成4年2月より段階的に開始され、平成11年2月をもって完全移行となった。救難救命において、衛星通信やデジタル通信技術により遭難情報を送受信するシステムの利用を規定したGMDSSが非常に有効なシステムあることは言うまでもない。例えば、衛星EPIRB(非常用位置指示無線標識)などからの遭難情報を入手するシステムが完全に機能していれば、航空機によるホーミング捜索により、効率的に遭難者を捜索救助する事が可能である。しかしながら捜索業務を実行する立場においては、仮にGMDSSが機能しない場合でも迅速に捜索業務を行わなければならない。そこで、対象海域を連続的に監視し、目標物を自動的に抽出・判断して観測員への情報提供と捜索業務の支援を実現する航空機搭載型の海上監視支援システムの研究開発が当所と電子航法研究所との共同研究として実施された。

海上監視支援システムの研究開発は平成7年より開始され、平成10年9月には南伊豆妻良沖海域に小型救命いかだを漂流させて航空機より観測する実証実験の実施に至った。この実験の結果、構築したシステムが海上を漂流する目標の救命いかだを自動的に検出・認識して警報を発するまでの処理サイクルを1秒間隔の、ほぼリアルタイムで連続実行することを確認した。このシステムは、可視光RGBカメラと赤外線カメラ画像による4チャンネルのデジタル画像データやGPS装置からの位置情報を入力データとして計算処理し、その結果を音声や表示などのマルチメディア情報による警報の発令により支援情報として観測員に伝えるものであり、捜索業務の効率化や信頼度の向上に大きく寄与するものと考えられる。また航空機搭載を前提に開発された民生用システムとして、海上監視支援システムは複数画像センサ情報の利用や汎用コンピュータによる高速画像処理、そして情報提供のためのヒューマン・インターフェースなどの要素技術の開発と統合利用を実現したものとして高い先進性を持っている。

確率論的安全評価法によるタイタニック号事故の解析
—不確実さを考慮した解析—

Analysis of the Titanic Accident by the PSA
method

—Analysis in Consideration of Uncertainty—

松倉洋史、三友信夫、松岡 猛

平成11年10月

電子情報通信学会技術研究報告書

安全性Vol.99 No.391

大規模で複雑なシステムを設計・建設・運転する際には、そのシステムが公衆や運転員に被害を与える恐れが無い様、事前の十分な検討が要求される。特に、プラントや大規模交通システムなど多数の人員が関与するシステムにおいては、事故時の影響の大きさから万が一にも大事故を発生させるわけにはいかない状況にある。そのための安全評価法としては、決定論的安全評価手法に加えて、システムを構成する機器の故障・破損やシステムを取りまく状況の発生を確率的な事象を捉え、システムにとり不都合な事態（事故）が発生する確率を定量的に評価することのできる確率論的安全評価手法（PSA: Probabilistic Safety Assessment）が導入されてきている。著者らは同手法の船舶分野に対する利用の一例として、同手法をタイタニック号事故に対して適用した。

本報告では、解析シナリオを精緻化すると共に、不確実さ解析を行うことによって、イベントツリーを作成する際に設定した様々な仮定の影響や、分岐確率の定量化にあたり使用するデータにばらつきが存在すること等の影響を考慮した分析を行った。なお、今回の解析では、個々の事象の不確実さ分布としては、均等分布の確率密度関数を用いた。

解析で求めた確率は、(当時の一般船舶の事故発生確率ではなく) タイタニック号という特定の船がその特有な環境下でどの程度の確率で事故に遭うかである。その結果、同事故と同等以上の海難事故の発生確率は 2.37×10^{-3} 回/航海であった。これは、およそ42航海に1回という大きな割合で同事故と同等以上の事故が起こることを示している。90%信頼度幅での値ならば、およそ29~71航海に1回という値であった。これらの値から、タイタニック号事故は非常にまれな事故ではなく、ある程度起こるべくして起こった事故であるといえる。また、得られた遭難者数-累積発生確率曲線は水平に近い形をしている。これは、同事故の様な状況下で事故が発生するとほとんど大事故となることを示している。このことからタイタニック号の航海が、リスク制御性の低い危険なものであったことが分かった。

〈原子力技術部〉

Influence of Secondary Electrons Produced in Iron
or Lead Shield Irradiated with Gamma and X Rays to
Skin Dose

ガンマ線、X線照射された鉄、鉛遮蔽体発生2次電子
の皮ふ線量に及ぼす影響

成山展照

平成11年8月

Proceedings of the 8th EGS4 Users' Meeting in
Japan

ガンマ線、X線照射された鉄、鉛などの遮蔽体後方近傍では、発生する2次電子による皮ふ線量への影響が考えられる。しかし、放射線施設の遮蔽安全基準は一般に1cm線量当量により決定され、70マイクロメートル線量当量は1cm線量当量の10倍を超えるおそれのある場合のみ評価される。この場合の70マイクロメートル線量当量は遮蔽体から一定距離離れた電子平衡状態における値を指していると考えられ、線量換算係数もそのような条件で算出されている。しかし、ICRP90年勧告において、実効線量の算出に皮ふ線量が加えられ、また、ALARAの精神からも不必要な被曝は極力避ける必要がある。そのためにも、遮蔽体からの2次電子の皮ふ線量に及ぼす影響の定量的な評価が必要である。すなわち、遮蔽体に接近した場合にも被曝線量は1cm線量当量の10倍を超えないのか、また、どの程度遮蔽体から離れば電子平衡状態になるのかを明らかにしておく必要がある。そこで、100KeV・1.0MeV光子を照射した厚さ1-3mfpの鉄、鉛遮蔽体後方における70マイクロメートル深さ線量を遮蔽体とファントムとの距離を変えて計算を行った。

70マイクロメートル深さ線量は、厚さ15cmのICRU4元素平板内に沈積されるエネルギーを計算した。用いた計算コードは、EGS4・PRESTAであり、L-X線、L殻電子も考慮した。1mfp厚さの鉄遮蔽体では、70マイクロメートル深さ線量は、1.05MeVでは距離に関わらずほぼ一定であったが、0.2,0.1MeVでは、遮蔽体近傍で1.5倍ほど増大を示した。2mfp厚さでは、0.5MeV光子に対しても1.25倍ほど遮蔽体表面で増大し、1mの距離までの間に次第に減衰した。0.2,0.1MeVでは一度減衰して再び増大するbuild-upを示した。鉛遮蔽体では、鉄遮蔽体より2次電子の顕著な影響が現れ、1mfp厚さ、0.2MeV光子に対し4.4倍の増大となった。距離については、0.5MeV光子に対して影響が1m過ぎまで見られたが、遮蔽厚が3mfpになると60cmで平衡になるなど、遮蔽厚に依存して距離依存性に変化が見られた。鉄、鉛遮蔽体とも、線量の増大と距離の依存性を考慮すると、0.5-0.2MeV付近の光子が最もその2次電子が皮ふ線量に影響をおよぼす可能性をもつことが明らかになった。

〈海洋開発工学部〉

船舶技術研究所変動風水洞について

On the Pulsating Wind Tunnel with Water Tank at

Ship Research Institute

北村文俊、青木修一、佐藤 宏

平成10年5月

第60回・61回風洞研究会議論文集

航空宇宙技術研究所特別資料42号

船舶や海洋構造物は、水面という空気と水の接する部分で運用されるため、水と空気という2種類の流体の外力を受ける。風荷重が重要になるのは、速度がゼロまたはごく遅い係留船や海洋構造物、及び逆に超高速の海面効果翼船(WISES)などである。

当所の変動風水洞は、最大風速30m/sの通常の風洞としての機能に加えて、船舶や海洋構造物の実験に対応するために、従来の風洞にはないユニークな特徴を持っている。まず風洞の計測部の下に水槽を備えており、船舶や海洋構造物の模型を浮かべた状態での実験が可能である。つぎに、水槽には、造波機及び潮流発生装置を備えており、波、風及び流れの中での実験が可能である。さらに、風速一定の定常風の他に、正弦変動風及び外部信号による変動風をも発生できる。天秤などの付属装置も変動風水洞の目的にあわせた仕様のものになっている。

このように、変動風水洞においては、変動する風、不規則波及び潮流という実際の海域と同様の条件の再現が可能である。完成以来今までに、変動風水洞の機能を生かして、風と波の相互干渉に関する実験、超大形浮体式海洋構造物の風荷重に関する研究、WISESの性能に関する研究、オイルフェンスの波、風及び流れのなかでの挙動に関する実験、消火水のうの挙動および放水特性に関する実験、停泊船舶の風荷重に関する研究、船首周りの流れの可視化、など様々な実験研究が行われてきた。

本論文では、このような変動風水洞の機能性能について述べるとともに、行われた実験研究の代表的なものについて紹介する。

大型浮体式海洋構造物ユニットの曳航

Towing of VLFS Unit

原 正一

平成11年3月

日本作業船協会「作業船」第242号

メガフロート技術研究組合では、平成7年度より超大型浮体式海洋構造物の実現に向けて横須賀市沖の海上で実証実験を実施しており(フェイズ1)、平成10年度から新たにメガフロートの第2段階の研究として「メガフロートの空間利用に関する実証的研究」を行うことになっている(フェイズ2)。フェイズ1の実験は、平成7年11月に東京湾内の別々の造船所で建造された4つの浮体ユニットを曳航輸送して洋上で接合する実験によって組立て設置されて開始されたものである。平成8年7月には、さらに5つの浮体ユニットを建造して、接合済みの4ユニットに追加接合する実験が行われ、このうち3つの浮体ユニットは長距離輸送された。曳航された浮体ユニットの寸法は、長さ100m、幅20m、深さ2m、喫水0.5mであり、幅及び長さと比較して喫水が非常に浅いのが特徴である。また、防波堤に囲まれた設置海域での海象条件のみを考慮して設計・建造されたので、建造所から設置場所までの波浪域の曳航時の安全性が重要な課題であった。

当所では、平成8年度に水島からの曳航時に曳航索張力、甲板のひずみ、浮体の運動などの計測を実施する機会を得た。本実験は沿岸域ではあったが太平洋上の曳航であり、波浪域での貴重なデータを取得できた。

メガフロート浮体ユニットの実機曳航実験を行い、以下のことがわかった。

- (1)斜め追波中の実機の実験から求めた波浪曲げモーメントの応答関数は、数値計算と良く一致した。
- (2)実機実験で得られたブライドル張力は、ワイヤロープが没水するため動的張力の影響により大きな変動張力を発生する。索張力の瞬時値分布は、ガウス分布から若干はずれており弱非線形であった。

超大型浮体式構造物に働く変動漂流力の推定法

- その1: 長波頂波中模型実験 -

Estimation Method of Slowly Varying Wave Drift
Force Acting on Very Large Floating Atructures
- 1st Report Model Tests in Long Crested Irregular
Waves -

難波康広、加藤俊司、齊藤昌勝

平成11年11月

日本造船学会論文集 第186号

超大型浮体式海洋構造物は、わが国の国土事情や環境面及び防災面での優位性等から、近年海洋空間の有効利用の一手段として注目され、その実現が現実味を帯びてきている。現在、想定されている超大型浮体式構造物は、鉛直方向の寸法に比べ水平方向の寸法が非常に大きな箱型の形状を持ち、それゆえに従来の海洋構造物に比べ流力弾性挙動が卓越するという特徴を有する。超大型浮体式海洋構造物の用途としては、例えば空港として使用することが想定されているわけであるが、このような大規模公共施設の安全性の観点からすれば、それに作用する流体力の推定法を開発することは重要な課題である。このような考慮されるべき流体力のひとつとして浮体に作用する長周期変動漂流力がある。長周期変動漂流力は、浮体式海洋構造物一係留ライン系の水平方向振動の固有周期と同調し、大振幅の応答を発生させる可能性があるため、超大型浮体に限らず従来から係留構造物においては注意を要するものであった。超大型浮体式構造物に作用する長周期変動漂流力を推定する場合には、従来の推定法に加えて超大型浮体の特徴である弾性挙動も考慮に入れる必要がある。本研究の最終的な目的は、多方向不規則波中における大型浮体式海洋構造物に作用する長周期変動漂流力の算定法を開発することである。そのためには単純に考えれば従来の海洋構造物に対する長周期変動漂流力推定法に加えて、弾性挙動による効果を考慮に入れれば良いはずである。しかしながら多方向不規則波中での超大型浮体式構造物の挙動を計算し長周期変動漂流力を計算することを考える場合、従来の方法を単純に拡張しただけでは浮体の弾性挙動に伴って現れる項の計算量が膨大なものとなり、とうてい実用的とは思われない。

そこで本論文では多方向不規則波中에서도適用できることを最終目的として、超大型浮体式構造物に働く長周期変動漂流力をより簡便に評価する次のような方法を提示した。すなわち超大型浮体式構造物を浅喫水の弾性板でモデル化し、浮体に働く漂流力をいわゆる近場法によって弱非線型の仮定の元で求める時、長周期変動漂流力は相対水位の二乗を浮体側面上で一周積分した項と、浮体底面が傾くことによって生じる項との

和で表現されるのであるが、入射波の振幅に比べて大型浮体の上下変位が十分小さければ後者は無視することができ、これによって計算労力を大きく軽減することができる。

本論文では長波頂不規則波中の模型実験によってこの算定方法の検証を行った。その結果今回の模型実験では本論文で提示した方法が有効であることが確認できた。本論文で提示した方法は多方向不規則波中でも適用できる現実的な長周期変動漂流力算定法であると期待できると思われる。

(氷海技術部)

塗料の硬化過程におけるひずみの発生

Measurements of Strain with the Hardening
Process of Paint Films

北村 茂、前田利雄、高島逸男、松岡一祥

永井昌憲、田邊弘往、*

平成11年9月

第46回材料と環境討論会講演集

硬化後もひずみの値に変化がみられるのは、外気による温度の変化によるものと思われる。

塗装した塗膜は硬化過程において収縮に起因する内部ひずみが発生する。このひずみは塗膜の亀裂発生や剥離の原因となる。筆者らは塗膜の硬化過程における内部ひずみ及び塗膜中に残留するひずみの計測を試みた。塗膜の内部ひずみの測定法については、ひずみゲージを塗膜表面に接着し、その表面のひずみから内部の応力を推定する方法、ひずみゲージを接着後応力解放を行い、塗膜の残留ひずみを測定する方法、薄い金属板に塗料を塗布して、硬化過程の変形を裏面に接着したひずみゲージで検出する簡易測定法、塗膜の内部にひずみゲージを埋め込む方法等の各種の方法が考えられる。筆者らはひずみゲージを埋め込む方法で、ゲージ長がどれくらいの長さが適当か調べた。さらに、塗膜の膜厚による内部ひずみの発生及び経時変化について調べた。塗膜には海洋構造物の没水部や船舶の補修塗装として多く適用されている塗料（SDCコート#402T-F、SDCシーラー）を用いた。

ひずみの計測は、市販のひずみゲージを用い、ベースは薄く、出来るだけゲージ長の長いものを用い、1ゲージ法で計測した。ひずみゲージの配線は3線式で配線し、塗料がひずみゲージの表裏に均一に行き渡るように塗布した。ひずみの値はレーザ変位計で塗膜の厚さ及びある標点間（ゲージが埋め込んである位置近傍のゲージ長さ）の変位を計測し、比較検討した。得られた結果を要約すると以下のとおりである。

- (1)塗膜の硬化収縮により発生したひずみをひずみゲージで計測した値とレーザ変位計で計測した変位から求めたひずみの値とで比較した結果、双方の値は異なったが変動傾向は良く似ていた。
- (2)塗膜の硬化過程における内部ひずみの値は、室温の変化で微妙に影響を受けた。塗膜が硬化するときのひずみを計測するには、ひずみゲージのベースが大きくて薄く、ゲージ長が70mm以上必要である。また塗膜の厚いものほど内部ひずみの値は小さかった。
- (3)塗料を3回重ね塗りした時の内部ひずみは、1層目がゴム状になった24時間後に2層目、さらに48時間後に3層目の塗料を塗ったが、1層目の塗料には影響を及ぼさなかった。3層目の場合は2層目の塗料のひずみゲージの値に影響を及ぼし、両層のひずみは一時的に緩和される傾向を示した。

腐食疲労試験に於ける塗膜の特性 Characteristics of Paint Films under Corrosion

Fatigue Test

北村 茂、高島逸男、前田利雄、松岡一祥

永井昌憲、田邊弘往

平成11年11月

第99回西部造船会例会論文梗概

塗装した塗膜は硬化過程において溶剤の蒸発による収縮に起因する内部ひずみが発生する。このひずみは塗膜のき裂発生や剥離の原因となる。筆者らは塗膜の硬化過程における内部ひずみ及び塗膜中に残存するひずみの計測を試みた。塗膜の内部ひずみの測定法については、ひずみゲージを塗膜表面に接着し、その表面のひずみから内部のひずみを推定する方法、ひずみゲージを接着後応力解放を行い、塗膜の残留ひずみを測定する方法、薄い金属板に塗料を塗布して、硬化過程の変形を裏面に接着したひずみゲージで検出する簡易測定法、塗膜の内部にひずみゲージを埋め込む方法等の各種の方法が考えられる。筆者らはひずみゲージを埋め込む方法で、ゲージ長がどれくらいの長さが適当か調べた。また、塗膜の膜厚による内部ひずみの発生及び経時変化について調べた。さらに、腐食疲労試験後の塗膜の内部ひずみを計測した。

塗膜には海洋構造物の没水部や船舶の補修塗装として多く適用されている塗料を用いた。ひずみの計測は市販のひずみゲージを用い、ベースは薄く、出来るだけゲージ長の長いものを用い、1ゲージ法で計測した。ひずみゲージの配線は3線式で配線し、塗料がひずみゲージの表裏に均一に行き渡るように塗布して、塗膜の硬化過程におけるひずみを計測した。また、塗装後22ヵ月経過後の塗膜の内部ひずみを応力解放して求めた。さらに腐食疲労試験による塗膜の劣化についても調べた。得られた結果を要約すると以下のとおりである。

- (1) 塗膜の内部ひずみは塗膜が硬化後も温度の影響を敏感に受け、その値は収斂しなかった。
- (2) 塗膜の硬化過程における内部ひずみの計測に適しているひずみゲージは、ベースが薄くて、面積が大きく、ゲージ長の長いゲージであった。
- (3) 塗膜の硬化過程における内部ひずみは、膜厚の厚いものほど内部ひずみの値が小さくなる傾向を示した。
- (4) 腐食疲労試験におけるひずみ-変位曲線から求めたヒステリシスループの面積から塗膜の劣化状況を把握することができる。また、人工海中での腐食疲労試験では塗膜にき裂が入らなければ、空気中のSN曲線とほぼ同じSN曲線を示した。

氷板下での油拡散に及ぼす流れの影響に関する 実験的研究

Experimental Study on the Effects of Current on the Behaviour of Oil Slick Spreading under Ice Cover

金田成雄、泉山 耕、堺 茂樹、花井宏太、笹本 誠

平成11年11月

土木学会海岸工学講演会論文集 第46巻

ロシア領海内サハリン島北東部沖合での石油及び天然ガスの商業生産が本年より開始された。これに伴い原油生産及び海上輸送が活発化すれば海域環境汚染も危惧され、開発の本格化に比例し油流出事故が起こる可能性も増大する。オホーツク海ではサハリン島から北海道へ向かう東カラフト海流が卓越している。開発鉱区内或いはその近海で油流出事故が発生した場合、南下した流出油は北海道のオホーツク海沿岸にも多大な環境被害を及ぼす可能性がある。また、この海域は冬季には流水に覆われるため、氷の存在する海域での流出油の回収設備・回収技術及び油拡散の予測手法に関する早急な研究・開発が望まれている。本研究では、平坦氷板下の油拡散に対する流れの影響について検討した。

実験は当所氷海船舶試験水槽で行った。実験方法は、水槽全面に製氷された厚さ約40mmの氷板から長さ10m程度の部分を切り出し、前方の氷板を取り除いた。10mの氷板下面には、所定の位置に所定の量の油を流出させ、曳引車により所定の速度でこの氷板を移動させた。この時の油の運動をビデオカメラにより撮影し、画像処理装置により油膜の移動速度及び変形挙動を求めた。本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 流れによる油膜の変形挙動は、油の量と流速によって分類される。
- 2) 油膜の扁平化による形状抵抗の増大とこれに伴う相対速度の減少による全流体力の減少が釣り合うように、油膜の投影面積と移動速度が決定される。
- 3) 上記の平衡状態に至らない場合には、油膜形状の扁平化が進行するが、ある限界に達すると分裂が生じ扁平化が抑制される。
- 4) 移動中の油膜と氷板に作用するせん断抵抗力としてクーロン摩擦を仮定すると油膜と流れの相対速度とレイノルズ数を含むパラメータとの間にある一定の関係が見られる。
- 5) 油膜の移動速度は油の量が少ないほど速いため、分裂した小規模な油膜は本体から急速に離れることになり、回収が困難となる可能性がある。

船舶の主要寸法と馬力の変遷について
(船型改善の実績)

On the Performance and Principal Dimensions of
Ships

山口眞裕

平成11年12月

日本造船学会 試験水槽委員会シンポジウム

従来の日本造船学会の試験水槽委員会シンポジウムでは、それぞれ船型の性能向上について設計手法や共同研究の成果について講演が行われてきたが、設計手法や共同研究による成果として実際に建造した船舶の性能については、代表的な船型についての性能の比較があっても、一般の船舶全般を含めて性能の変化についてはあまり明確には示されてこなかった。

それで、ここでは、造船技術開発協議機構の追跡評価委員会・流力部会が1998年2月に作成した資料を主体にして、この40年余りの国内の産官学の共同研究を顧みるとともに、船舶の諸元の変化について、著者のその後の若干のデータ解析を加えて、性能評価と性能変化の面から考察することにする。なお、追跡評価委員会・流力部会の資料は、国内で実施してきた共同研究の研究開発の成果についてその活用状況を調査する目的をもって、「船型改善に関する研究」を選定してまとめたものである。内容は主として推進性能の向上を目的に、過去40年以上にわたり積み重ねられてきた日本造船研究協会のSR研究部会における研究等をはじめとして、産官学一体となって推進されてきた船型改善に関する研究と、それらの研究成果を踏まえて建造された船舶について調査を行ったものである。

調査は次の3点に大別される。

- (1)SR等の研究内容を対象船舶、研究項目等について整理・分類して、これら研究の有用性を時代背景となる造船業界の動向等を視野に入れて考察する。
- (2)調査可能な範囲の船舶について、船舶の主要目をはじめとして推進性能に関わる諸係数を抽出して、それらが前項で調査した技術の進歩とともにどのような変遷を遂げてきたかを知る。また、船の種類、大きさ等に応じた船型改善の状況を定量的に把握することも試みる。
- (3)主として外航船を建造する造船所の協力を得て、船舶の設計に際してどのような船型改善を行ったかについてのアンケート調査を実施して、SR等の研究成果の活用状況ならびにその成果を知る。

〈大阪支所〉

CO₂深海貯留—地球温暖化防止に向けて—
Ocean Storage of Carbon Dioxide—for the
Mitigation of Global Warming—

綾 威雄、山根健次

平成11年11月

日本船用機関学会誌 34巻11号

1997年12月の気候変動枠組条約第3回締約国会議において、我が国が国際的に約束したCO₂排出削減量(1990年実績の-6%)を2008~2012年までに達成させるには、省エネルギーなどの従来型の対策のみでは困難との認識が行政府内にも広がり、1998年6月19日に決定された「温暖化対策大綱」には、CO₂深海貯留が今後開発すべき革新的技術の一つとして掲げられるに至った。

CO₂の海洋処理は、8.7℃以下、4.47MPa以上の高圧低温下では海水と反応してハイドレートとなること、深度2,700m以深では海水より重くなるというCO₂の性質から、2,000m以浅の海中に液泡又は気泡として放出し、海面に達するまでに溶解拡散させる「溶解法」と、CO₂がCO₂飽和溶解海水より重くなる3,500m以深の深海底窪地に溜める「貯留法」に分類できる。溶解法は、処理深度が浅いことから技術的に容易であるが、CO₂溶解による酸性域が広いこと、海洋隔離期間が50~200年と比較的短いことが難点と考えられている。一方、貯留法は、処理深度が深いことによる技術面とコスト面の問題が指摘されているが、隔離期間が海水の鉛直循環周期の2000年程度(溶解法の10倍以上)が期待できることと海洋環境への影響範囲が限定できるという大きな利点がある。

当所では、貯留法の難点を克服する新たなCO₂投入法COSMOS(CO₂ Sending Method for Ocean Storage)を考案し、1999年3月、特許を得た。COSMOSは、火力発電所等の集中発生源から分離回収されるCO₂が、タンク圧力をできるだけ低くしたいという設計上の要請から3重点に近い-55℃程度の低温液体として船舶輸送されることに着目したものである。つまり、そのような低温CO₂は、500m程度の浅海でも十分海水より重くなるため、放出する液泡径がある限界値より大きければ、沈降途中の海水からの受熱と低温液泡を被う氷層の浮力を考慮しても、密度平衡深度の2,700mを越え、深海底の貯留サイトまで自然沈降させることができる。今後、このような低温大液泡を安定放出できるノズルや放出深度まで導く長大管の開発が重要な課題となる。

また、CO₂貯留法を実現させるには、ロンドン・ダンプン条約においてCO₂を海洋投棄可能物質としてリスト化せると行政上の課題もある。

Static Strength Properties of SMC for Personal
Water Craft

小型船舶用SMCの静的強度特性
櫻井昭男、小野正夫、津島 聡
平成11年11月

第3回日中複合材料交流会講演論文集

近年、飛躍的に市場が拡大し、しかも性能の向上が著しい水上オートバイの船殻に、SMC工法により製作された材料が使用されている。しかし、この小型船舶の強度の確認については「水上オートバイ特殊基準」等に基づき落下試験等を行うのみである。そこで、新たにSMC材を使用した小型船舶の検査・設計上の留意事項を策定するための基礎データとして、水上オートバイの船殻として新規に形成された素材各部位より切り出した試験片について、組成調査並びに静的試験を実施した。

今回の試験では、国内水上オートバイメーカー2社の3種類の材料を使用した。いずれも水上オートバイ用の船殻として新規に成形されたものである。外観検査の結果からは、供試材はいずれもキズ、ひげ、変形等の欠陥は目視では観察されなかった。また、板厚は3種類の供試材とも採取部位により違いがあるものの、同一の供試材では比重及び繊維含有率等の組成の違いがほとんど認められなかった。

引張強さは、側板よりも底板が、また船長方向よりも船幅方向が大きな値を示した。試験部位による強さの違いは板厚が影響し、異方性については強化繊維の配向の影響が強いものと思われる。すなわち、側板では、プレス成形工程におけるSMCの型内流動が顕著で、繊維が流動方向に揃いやすいため、強さの方向依存性がよりはっきりと現れている。

また、側板では船長方向の圧縮強さが100MPaに達しなかったものが多いが、これは繊維の方向性の影響に加えて、板厚が薄いためにバックリング変形が生じたためである。その他の供試材の圧縮強さは引張強さのおよそ2倍の値を示した。

曲げ強さは船幅方向が船長方向より卓越しており、その違いは圧縮強度特性の場合よりも顕著であった。これは曲げ試験において大きな応力が生じる供試材表面近傍において繊維方向の偏りがより顕著であることによるものと考えられる。

CO₂貯留日米共同実海域実験

In Situ CO₂ Release Joint Experiment with U. S. A.

綾 威雄、山根健次
平成11年12月

TECHNO MARINE日本造船学会誌第846号

地球の温暖化傾向を緩和する有望な工学的手段として期待が高まっている回収CO₂の深海貯留方の実現性を判断するには、実海域における確認が不可欠である。そのような中、米国のモンテレー湾海洋研究所 (Monterey Bay Aquarium Research Institute, MBARI) に所属するBrewer博士のグループは、長年培ってきたメタンハイドレートの観測技術を活用し、数年前より独自にCO₂実海域投入実験を開始していた。著者らは、1993年に当所に招へいたことのあるコロラド鉱山大学のE.Dendy Sloan, Jr.教授(ガスハイドレートの世界的権威)の仲介により、Brewer博士グループとの接触を試み、1997年、著者の一人が科学振興調整費の国際共同研究制度によるMBARIへの訪問を契機に協力関係を築いた。そして、1998年11月、船舶技術研究所からの2名が参加した第1回目の共同実海域実験を行うに至った。

二日間にわたって数回行った深度600m程度の海底近傍へ液体CO₂を投入した共同実験の結果、CO₂の溶解パターンに、フォーム状ハイドレートからの速い溶解と、フラット界面からの遅い溶解の二つのパターンのあることが確認された。また、深海魚への影響実験から、深海魚はCO₂を感知する能力は小さいが、pH5程度では直ちに気絶するほどの影響が出ることが判明した。しかし、今回の実海域実験は限られた条件で行われたものであり、今後も共同実海域実験を積み重ね、データの信頼性を高めることが必要である。また、温暖化対策技術の開発は、国際協調の下でなされることが重要との考えに立ち、モンテレー湾海洋研究所との共同研究を重視したい。

当所は、1999年3月、-55°C程度の低温で船舶輸送されるCO₂が、深度500mの浅海でも海水より重くなる性質に着目した新たな投入システムCOSMOS (CO₂ Sending Method for the Ocean Storage)の特許を取得し、その実用化研究に着手している。そこで、今後のMBARIとの実海域CO₂投入実験は、COSMOS開発を念頭においたものとなる可能性が高いと考えている。

〈東海支所〉

コンクリート中円筒ダクトガンマ線ストリーミング
簡易計算法

Simple Calculation Method of Gamma Rays
Streaming Through Cylindrical Ducts in Concrete
Shield

三浦俊正、平尾好弘、頼経 勉

平成11年3月

日本原子力学会「1999年春の年会」要旨集

コンクリート壁の円筒ダクトをストリーミングするガンマ線の簡易計算法を検討するため、日本原子力研究所のJRR-2炉室において実験を行った。線源は ^{60}Co で強度が3.7Gベクレルである。測定は熱蛍光線量計で行った。また、厚さ1.5mの普通コンクリート中の直円筒ダクト中心軸上線量当量率空間分布の計算をモンテカルロ計算コードで行った。ダクト口径20cm、入射方向が45度の場合、0.5, 1.25及び6 MeVの単色線源と核分裂線源の4種類の面線源に対する比較では核分裂線源と1.25MeVの場合はほぼ一致し、0.5 MeVの場合は最大で約50%低めとなった。これらは入口から100cmを過ぎるとほぼ一致しエネルギーの差の影響は少なかった。

一方、6 MeVの場合は1.25 MeVに比べ最大で約3倍ほど高めの分布となった。これらの差はリップ効果の差と考えられたのでエネルギー1.25 MeVで口径が20cmと40cmの場合についてリップ効果の影響を計算した。リップ効果は計算位置によって変化するが口径20cmの場合は線源に近いところで遮蔽壁前面に入射する場合の方が入口のみに入射する場合に比べて線量当量率で5倍～10倍大きく、口径40cmの場合は3.5～7倍大きかった。次に、等方線源による直視線の式と入射角度が30, 45, 60度の平面線源の結果をダクト口径が20cmの場合で比較すると減衰は直視線の式の方が緩やかであるが、絶対値では入射方向が30度の場合は0～100cm、45度の場合は0～60cmの範囲で過小評価となった。面線源でダクト口径が5, 10, 20, 30, 40cmの5種類に対し計算した線量当量率分布は口径の変化とともにかなり規則的に変化している。入口から100cm以上のところでは例えば口径が40cmと5cmではその比は100以上である。しかし、直視線の式によればその比は64である。

以上の計算結果等を用いてダクトに対して斜めに方向にある線源からダクトに入射し、ストリーミングするガンマ線の線量当量率を簡単に計算できる簡易計算式を提案した。

Study on the Development of High Performance
Shielding Material

高性能遮蔽材の開発に関する研究

三浦俊正、平尾好弘、金井康二

平成11年11月

American Nuclear Society 1999 Winter Meeting
TRANSACTION

船用炉に関しては遮蔽をできるだけ軽量にする必要がある。一方、実施設においては被曝低減に対する努力がなされている。これらの問題を解決するため、本研究では中性子及びガンマ線の双方に良い遮蔽特性を示す新しい材料を開発してきた。原子炉に対して最も効果的な遮蔽材は恐らく含水素物質、重い物質及び熱中性子吸収材を混合することによって得られる。遮蔽材は紫外線硬化法により作成した。従って、高含水素物質としては紫外線硬化モノマーが選ばれた。本研究では単官能基の長鎖脂肪族アクリレート、ステアリルアクリレート等を使用した。これらを使用するとかなり弾力のある遮蔽材が作成される傾向にあった。多官能基の場合は比較的硬い遮蔽材となったが、脆く、ひび割れしやすい傾向にあったため、これまでのところ十分検討はしていない。モノマーに混合する遮蔽材としては硝酸鉛、硼酸鉛、硼酸、鉛粉等を使用した。これらの物質の混合割合は最終的な遮蔽材の密度が2.2となるという制約条件のもとに決定した。この密度では原子炉からの中性子とガンマ線の減衰割合がほぼ同じとなる。ANISNコードによれば、硼素の遮蔽効果はその含有量が0.2%から5%の範囲で変化しないが、鉛化合物の沈降を緩やかにするため、多少多めの硼素を加えた。この混合液をビニールシート上に厚さ約1 mm程度塗布し紫外線照射した。同じ手続きを繰り返すことにより厚さ約1 cmの遮蔽材を作成した。この試作品は、ファジー理論による元素最適値と比較して水素が87%、鉛が92%と多少少なく、硼素は2.4倍と極めて多かった。試作品は200°Cまで昇温して重量の変化を熱重量法で、また放出されるガスをガスクロマトグラフィ/質量分析法で調べた。その結果、100°C以下では重量変化、ガスの放出ともになかったが、それ以上の温度になると水とモノマーの断片が検出された。これにより水は結合水として存在していたか、あるいは化学反応により生じたものと考えられる。また、試作品は100°C以下で使用可能といえる。遮蔽並びに放射化解析を行ったところ、遮蔽性能に関しては普通コンクリートに比べその厚さの約半分で同等の遮蔽効果を示し、また、放射能はコンクリートの10万分の1以下であった。