

## 所 外 発 表 論 文 等 概 要

### 〈運動性能部〉

斜航する模型船の船底の流れ (注入流脈法)

#### **Stream lines on the Bottom of a Ship model with Drift Angle**

二 村 正

昭和59年10月

流れの可視化学会誌 第4巻15号

斜航する模型船の船底の水の流れを注入流脈法で撮影し、その写真を発表した。

模型船は長さ4mのタンカー船型である。船体にうめ込まれた530本の内径1.0mmの圧力計測用銅管を利用し、水溶性蛍光染料を注入した。撮影は水槽の底面に固定したカメラボックスから行った。

この可視化は、斜航する船体のまわりの流れ場の調査の一環として実施したもので、大型の模型船を用い曳航水槽で撮影したところに特徴がある。

## 二方向波中の船体運動と波浪衝撃について

**On Ship Motions and Wave Impacts in Bi-directional Waves**

渡辺 巖, 石田 茂資, 沢田 博史

昭和 59 年 11 月

日本造船学会論文集 第 156 号

波浪衝撃の発生に関連して、複数のうねりが異った方向から伝播してくる海象への関心が高まっている。特にうねりの伝播方向が互いに鋭角をなしている場合に、そのような波浪を船が向波状態で受けると大きな波浪衝撃の生ずる可能性があるということが指摘されている。二方向波中での船体応答に関する研究は実験施設が少ないこともあり数少ない。

二方向波は、観点を変えると短波頂波の簡略化されたものとみなすことができる。短波頂海面の耐航性能研究にもつ重要性は古くから認識されてきたが、今もなお活発な分野になっているとは言い難い。この理由は計算、理論に基づく推定を検証し得る実験データが数少ないこともその一つとしてあげられる。このような状況を解決するために当部角水槽の造波機を改修し二方向波の伝播方向が直交する場合だけでなく、任意な角度をもつ波を発生させることが可能となった。

この施設を利用して、互いに鋭角をなす二方向波を発生させ波の交差角の違いが船体応答にどのような影響を持つかを調べるために、大型撒積船の満載状態弾性模型を用いた実験を行い、船体運動、船首上下加速度、水圧を計測した。本研究により得られた結果は次のとおりである。

- (1) 二方向波のスペクトルは各方向からの成分波の重ね合わせで表現できる。また船体応答のスペクトルも概ね各成分波への応答の重ね合わせとして表現できる。
- (2) 二つの波を共に向い波状態に受ける航行状態は船体応答が大きくなる。この応答の強さは各成分の足し合わせに基づいて推定できる。
- (3) スラミングと靑波衝撃は本船型の場合、ほぼ同じ頻度で発生する。しかし靑波衝撃による縦衝撃荷重はスラミングに比べて小さい。

## 〈船体構造部〉

**Ferro-Cement Boat Building and its Prospect in Malaysia**フェロセメント船建造と  
マレーシアにおけるその将来性遠藤 久芳, Mohd Afifi bin Abdul Mukti  
AKM Moazzem Hussain

昭和 59 年 3 月

First National Seminar on the Marine Industries  
of Malaysia-Present and Future

構造材料としてのフェロセメントの特徴は、高度に補強された通常のコンクリートとしての特性を有すると共に、特別に密な補強を施すことにより船殻等に有利な薄板を形成しうることにある。さらに、フェロセメント船は、耐衝撃強度・崩壊強度・耐腐食性・断熱性等において大変優れている上に、材料が安価で入手し易くあまり大きな建造設備を必要としない。このため既に、近隣の東南アジア諸国を含めて全世界的に船殻材料として普及している。

マレーシアのように長大な海岸線を有する海洋国にとって、漁船・渡し船・巡視船または遊覧船のような小型船の需要は非常に大きい。フェロセメントは、木材・FRP・アルミニウムや鋼に比べて、材料が安価で当地に豊富であり入手し易い上に、高度な建造技術や高価な設備投資を必要としないので、人手が安価で豊富な当地に有利な船殻材料である。建造費用は、他の材料を用いた場合と同程度であるが、耐用年数が長く、保守が容易であるために、結果的には極めて経済的となる。

以上の展望を述べるとともに、実際にフェロセメント船を設計・建造する場合の参考に供すべく、(1)モルタルの混合法、(2)補強金網・棒鋼・鋼管の種類と積層法、(3)フレームの種類とその使用法、(4)船殻板厚の設計法、(5)各部建造法、(6)モルタルの塗布・養生・塗装法、の各項目について解説した。

さらに、船舶技術研究所で行われた実寸法船体断面模型による横強度実験結果を引用して、「ひび割れ強度」や「崩壊強度」上の特性を解説して、強度設計のための資料を与えた。

浮遊式可撓性プラットフォームの波浪中弾性振動

**Wave-Forced Vibration of Floating  
Compliant Platforms**

遠藤 久芳

昭和 59 年 5 月

日本造船学会論文集 第 155 号

海洋空間を利用して、海上空港や沖合中継基地を建設するという構想を実現するための調査ならびに研究が進められつつある。いずれの場合でも、これまでに浮遊式プラットフォームとして試設計されたプロトタイプは、多数の要素浮体を有し長大な割に深さが小さいために、相対的曲げ剛性 ( $EI/L^4$ ) が小となり、波により大きな弾性撓み変形を受ける。さらに、撓み振動の固有周期が大きくなり、通常の波周期と同調することがある。

本報では、上記プラットフォームの波との共振のメカニズムを明らかにするために、構造物を単純な 1 本の梁としてモデル化し、規則波を受けて強制振動する場合の曲げモーメント応答を計算し、一部実験結果と比較した。

まず、プラットフォームの固有振動モード形状と波長との位相関係のみに依存する「特性曲げモーメント」の概念を導入して、各固有振動モードと同調する波長の関係を明らかにした。

次に、固有振動周期と波周期との同調による調波共振時の曲げモーメント応答は、上記「特性曲げモーメント」が周期的同調により何倍かに増幅されたものである事を FEM 計算結果を用いて説明した。また共振によるこの増幅率は、プラットフォームの相対的曲げ剛性と浮体の静的復原力係数の比によって支配される事を明らかにした。

最後に、非線形流体力として Morison 式で表わされる抗力を採り上げ、その高次成分によりプラットフォームが高次の倍数調波共振を受ける現象について、そのメカニズムを明らかにした。特に、対象としたモデルにおいては、抗力の 3 次成分とプラットフォームの 2 節振動との顕著な共振が生じる事を実験例と計算結果から示した。

フェロセメント—船体用材料としての強度特性  
(その 1) (その 2)

**Ferrocement-Characteristics  
of Strength as Hull Materials**

小林 佑規

昭和 59 年 10 月号, 11 月号

日本造船学会誌 第 664 号, 665 号

フェロセメントは、薄板の無機質複合材であり、海洋のような腐食環境にとって耐久性に優れているため、ボート、漁船など小型船舶用材料として発達して来た。鉄筋コンクリートに比べ、ひび割れ分散性および水密性に優れているため、今後小型海洋構造物をはじめ、大型コンクリート構造物へも応用されていくものと思われる。フェロセメント船は、わが国でも既に建造実績があり、それらに関する記述は各誌に紹介されているが、フェロセメントの強度特性全体にわたって記述されたものは、まだわが国には見られない。

本報告は、フェロセメントを船体用材料として使用するにあたり、構成材料、強度特性、耐久性等について解説したものである。特に設計等においては、ひびわれ強度が一つの基準となるので、その点を中心にわが国および各国で行われた研究をもとに概説した。

構成材料では、セメント、骨材、補強材について述べた。補強材としての金網は、その種類と網目形状が強度に与える影響は著しいが、セメントの種類は強度より耐久性に影響を及ぼす。

強度特性では、圧縮、引張、曲げ、疲労、せん断、衝撃、乾燥・収縮、クリープ特性について、変形、強度、ひびわれの点から概説した。フェロセメントは、鉄筋コンクリートに比べ比付着指数が 10 倍もあるため、このことが強度の向上とひび割れ制御に重要な役割をはたしている。

海洋環境での使用では、水密性、腐食、劣化等の耐久性が問題となるが、適切な材料の選択および水セメントを小さくすることにより、これらの問題は解決できるものである。

わが国においても、フェロセメント船の基準について整備が行われつつあるが、本報告はそのための資料を提供したものである。

軟鋼の低サイクル疲労における  
ヒステリシスループに関する一考察

**A Consideration to Hysteresis Loops  
in Low Cycle Fatigue of Mild Steel**

井上 肇

昭和 59 年 11 月

日本造船学会論文集 第 156 号

低サイクル疲労試験で得られるヒステリシスループは試験中に起っているプロセスを推察する最大の手がかりであるが、今までエネルギー蓄積をクライテリオンとする破壊発生理論でヒステリシスエネルギーを使う以外、あまり利用されていない。

本報告では、材料を線型硬化型の弾塑性体要素の集合体とするモデルを設定し、材料の力学的挙動およびヒステリシスエネルギーの解釈を試みた。その時、要素が塑性状態に入る限界の歪値が確率分布すると仮定した。

以上のモデルにより、軟鋼の軸方向歪制御低サイクル疲労試験の結果を解析した。要素の塑性状態に入った時の接線係数はほぼヤング率の 1% であった。塑性変形の限界の歪値の確率分布については対数正規分布とワイブル分布のあてはめを行ない解析した。

ヒステリシスエネルギーのうち破壊に有効な部分を仮定して、有効ヒステリシスエネルギーの亀裂発生までの総和と歪範囲との関係をしらべた。歪範囲が 0.02 以上では総和はほぼ一定であったが、それよりも歪範囲が小さくなると総和は大きくなる傾向があった。

その他、検討を行ない今後に残された問題点を摘出した。

楔形模型による矩形板の水面衝撃実験とその解析

**Water Impact Test of a Wedge with Rectangular  
Plate and its Analysis**

竹本 博安

昭和 59 年 11 月

日本造船学会論文集 第 156 号

楔形物体の水面衝撃は船舶の波浪衝撃荷重に対して最も基本的なものであるが、まだ残された問題もある。その一つが水面衝撃水圧の相似則である。実際には Froude の法則が用いられているが、多くの実験結果はこの相似則と矛盾するものである。

もう一つの問題は水面衝撃に対するパネルの応答に関するものである。これまでに提案された衝撃水圧に対する構造の応答の計算法では、衝撃水圧はパネルに一樣に作用すると考えている。しかし、Wagner 型の衝撃水圧は物体表面を高速で移動することを特徴としており、その影響は無視できないと思われる。

この様な経緯から著者は矩形板を底面に持つ楔形模型により水面衝撃実験を実施した。底面に複数の水圧計を配し、模型の大きさの影響を調べる。またパネルの応答は歪ゲージにより計算する。

衝撃水圧の計測結果は、模型が大きい程そのピーク値が高くなるが、これには上限値がありそれがほとんど Wagner の理論値に等しいことを示している。

従って(1)衝撃水圧は Wagner の理論に従う(2)計測値は水圧計により変形されたものであると仮定して、水圧計の解析を行ったところ実験結果と相似則の矛盾をうまく説明できることが分かった。

次にパネルの応答に関しては上記の結果に従い Wagner の理論に従う衝撃水圧を移動する荷重としてパネルの応答を求めたところ実験値とよく合う結果を得た。また衝撃圧が一樣に作用するものとする応答は移動する場合の 2~3 倍になることが示された。

以上により次の結論を得た。(1)かなり限定された場合についてはあるが楔形物体の衝撃水圧は Wagner の理論に従うと考えてよいことを確認した。(2)構造の応答に関しては衝撃水圧を移動する荷重として取り扱う必要がある。

## 水面衝撃水圧に関する一考察

## Some Considerations on Water Impact Pressure

竹本 博安

昭和 59 年 11 月

日本造船学会論文集 第 156 号

水面衝撃水圧に関する重要な問題の一つが相似則である。従来、水面衝撃水圧の実験結果には相似則として、通常 Froude の法則が適用されているが、実験結果自体に矛盾があることが指摘されていた。著者は別報にてこの点に注目して楔形模型の水面衝撃実験を実施し、実験結果の解析から(1)楔形物体に作用する水面衝撃水圧は Wagner の理論に従う、(2)計測データは水圧計により上記の変形されたものであると推論した。上の 2 つの仮定の下に水圧計の挙動を解析したところ、実験結果を非常によく説明できることが分った。上の仮定が正しいものとするとき相似則は従来通り Froude の法則が成り立ち、実験結果とも矛盾しないことになる。

以上の結果は楔形模型の一実験について確認したものであるが、本論文ではより一般的にこの仮定が成り立つことを確かめることを目的としている。

従来の実験データの中から S.L. Chuang の楔形模型と円錐形模型の水面衝撃実験結果を対象とする。理論式は楔形に対しては Wagner、円錐形に対しては Chuang により与えられている。

Chuang の実験は自由落下によるものであるが、模型には重力の他に衝撃水圧による反力が作用する。したがって、この衝撃水圧に理論式を用いて運動方程式を解き、真の衝撃速度を求め、さらに衝撃水圧を求める。これに水圧計の特性を考慮すれば実測値に対応する推定値を得る。

このようにして求められた推定値と実験値は、楔形模型においても円錐形模型においても、衝撃角  $1^\circ$  の場合を除いて非常によく一致した。

これらの結果から水面衝撃水圧として楔形模型に対し Wagner、円錐形模型に対して Chuang の理論式が成立つと考えてよいことを確認した。

## 〈溶接工作部〉

引張り疲労における磁界中の  
超音波減衰特性についてUltrasonic Attenuation Characteristics of Tensile  
Fatigue Damage of Steel in Magnetic Field

勝又 健一, 榊 昌英, 神尾 昭, 島田 道男

昭和 59 年 10 月

非破壊検査 33 巻 9 号

磁界中の超音波減衰量は疲労損傷度が大きくなるにつれて、増加することが筆者らによって調べられた。前報告では、50キログラム級船体用鋼を用い、応力比が  $-1$  の曲げ疲労試験における磁界中の超音波減衰量を調べた。そして、試験片には外的変形が残らない場合でも非破壊的に余寿命を判断することが出来ることを見出した。

本報告は磁界中の超音波減衰特性を引張疲労試験について調べたものである。使用した鋼材は SM 50 A (降伏点:  $37 \text{ kg/mm}^2$ ) である。平行部をもつ 4 mm 厚の平板疲労試験を西原式疲労試験機により、初期設定応力を  $0-\sigma_y$  及び  $0-0.9\sigma_y$  として疲労試験した。これは高応力疲労である。本材料の疲労限は疲れデータシートによると、 $0.83\sigma_y$  となっている。磁界中の超音波減衰測定はコの字型磁石を用いて直流電流を流し、超音波の透過パルス高さを調べて求めた。ただし、測定部は試験片の平行部の中央及び両端部(ネック部)の 3ヶ所である。測定は適当な応力繰返し数ごとに行った。繰返し応力が  $0-\sigma_y$  における破断回数  $N_f$  は  $4 \times 10^5$  回、 $0-0.9\sigma_y$  では  $9 \times 10^5$  であった。破断部の伸びが明確に記録されたのは前者では  $5 \times 10^3$ 、後者では  $5 \times 10^4$  回であった。この時点で永久歪が残留した。磁界中の超音波減衰量は疲労によって永久歪が残留した時点で増加し、それ以後は大きな変化がない。このとき、 $E_H/E_0$  ( $E_H$ ,  $E_0$  は磁界がある場合及びない場合の 2 探法透過高さ) が dB 値で負となる(反転現象という)ことから逆に永久歪が生じたことを確認できる。とくに、減衰量が增大した疲労回数は繰返し応力が  $0-\sigma_y$  では  $5 \times 10^3$ 、 $0-0.9\sigma_y$  では  $5 \times 10^4$  回であり、 $N_f$  に対して各々 1.3% 及び 5.6% となる。この結果から引張疲労においても磁界中の超音波減衰量を測定することで、非破壊的に疲労余寿命を判断することが可能であることを見出すことが出来た。

熱影響部の遅れ割れ特性に対する  
二次熱サイクルの影響

**Effects of 2nd Thermal Cycle on Delayed  
Cracking in Heat Affected Zone**

西川 和美, 小林 卓也, 植松 進

昭和 59 年 10 月

溶接学会全国大会講演概要 第 35 集

低合金鋼厚板の多層溶接部に、遅れ割れの一種とみられる熱影響部割れが発生することが知られている。この割れの発生には、次層溶接の熱サイクル（二次熱サイクル）による水素の拡散集積、組織変化、熱応力、変態応力などが関連し、これらは二次熱サイクルによる熱影響部の最高到達温度（以下二次最高温度という）によって変化するものと思われる。本報では、主として、二次最高温度が熱影響部の遅れ割れ特性に及ぼす影響を、2パスインプラント試験及び水素添加再現熱影響部試験により検討した。

供試鋼には HT 80 鋼板（板厚 25mm）を用いた。2パスインプラント試験では、第1パスを被覆アーク溶接し、第2パスはティグアークで溶融溶接した。ティグアークの入熱を変化することにより、二次最高温度を 350～800°C の範囲で変化し、付加応力を 60 kgf/mm<sup>2</sup> 一定として実験を行った。二次最高温度が 500～600°C の場合に熱影響部破断が起こりやすく、かつ結晶粒界破断の割合が最大となる傾向がみられた。二次最高温度がこれより高温側あるいは低温側では溶接金属破断を生じやすく、破断面の性状は主として水素擬へき開であった。また破断に要する時間は二次最高温度の低下につれて減少する傾向がみられた。

水素添加再現熱影響部試験では、第1パス溶接に相当する一次熱サイクル及び最高到達温度を 450～800°C の範囲で変化させた二次熱サイクルを与えた再現熱影響部試験片に、陰極電解法により水素を添加した後段階的に荷重を増加する破断試験を行った。二次最高温度が 550°C の場合に荷重開始後 2 分で低応力（55 kgf/mm<sup>2</sup>）で破断し、かつ結晶粒界破断の割合が最大となり、2パスインプラント試験結果と傾向がよく一致した。なお、水素を添加しない場合は最高 85 kgf/mm<sup>2</sup> の応力でも破断せず、また、二次熱サイクルを与えない場合は高応力（77 kgf/mm<sup>2</sup>）に達しないと破断しなかった。

超音波画像表示法における検出像の改善について

**Improvement of Defect Image  
in Ultrasonic Imaging Techniques**

島田 道男, 榎 昌英  
神尾 昭, 勝又 健一

昭和 59 年 10 月

非破壊検査協会誌 第 33 巻 9 号

超音波画像表示法は、欠陥の 2 次元的及び 3 次元的な情報を総合的に理解する点で優れた探傷方法と考えられる。しかし実験的にその基本性能を調べてみると、最も基本的な B スコープ（断面像）において、欠陥像が細長く歪むこと及び遅れエコーによるゴースト像が発生すること等の問題点があった。今回これらの問題点の解決を、2 方向からの画像を合成する方法により試み、その有効性を実験的に検討し、さらに本方法を立体像表示法にも応用した。

用いた画像表示装置は、探触子で鋼材表面を走査しつつ欠陥からの超音波エコーを取り込み、探触子位置と超音波の伝播時間から欠陥位置を求め、CRT 上に表示するものである。画像の合成は、異なった入射角の超音波を用いて作成した 2 つの画像の共通像を取り出すことにより行う。同方法の有効性を調べるため、5 MHz、屈折角 45 度の探触子による左右方向からの探傷画像の合成を、一定深さにある径の異なる複数の横穴及び底面からのスリット状人工欠陥の入った試験片に適用した。横穴では、高感度探傷にもかかわらずゴースト像の少ない画像となり、像形状も小さい丸みを帯びたものとなり、画像合成の有効性が確かめられた。しかし像の形状と実際の欠陥形状は対応せず、又大きな径の横穴では像位置のずれが観測され、画像合成上問題が残った。

スリット状欠陥では、その開口部及び先端部が小さい丸みを帯びた像となり、欠陥形状の判断が容易となった。

立体表示では、多数の B スコープ像を斜め上方にずらしつつ重ね合せ、同時に側面及び底面投影像を表示する方法を用いて、底面から深さの異なる複数のドリル穴のあいた試験片を探傷した。この場合も画像合成により、欠陥像が小さく、ゴースト像も少ない画像になり見やすい画像となった。しかし水平方向の像の広がりには残り、今後さらに改良の余地があった。

## 〈機関開発部〉

変動回転を受ける円板の動的せん断応力解析

**Dynamic Shear Stress Analysis of  
Discs Subjected to Variable Rotations**

天田 重庚

昭和 59 年 10 月

日本機械学会論文集, A 編 第 50 巻 458 号

円板が急激な変動回転を受ける場合、遠心力のみを考慮した準静的解析では不十分であり、応力を精度よく求めることはできない。本報告は遠心加速度以外の加速度成分をも考慮した動的解析によって、円板内に生ずるせん断応力を求め、準静的応力と比較した。内周が剛体軸に固定された環状の円板が、剛体軸より任意の回転負荷を受ける場合、内部に生ずる周方向変位とせん断応力の一般式を導いた。

円板の変動速度としては指数関数的にある一定回転まで上昇する過程を採用した。

$$\omega = \omega_0 [1 - \exp(-ct)] \quad (1)$$

ただし、 $\omega_0$  は定数であり、 $c$  は回転上昇の割合を示すパラメータであり、本報告では  $c$  を種々に変えて変位、応力を計算した。上限の一定回転数として 10,000rpm を採用した。結論として次のようなものを得た。

1. 円周上のせん断応力の時間変動は sine 状の周期変動し、時間の経過と共にその平均値は減少し、ゼロに近づく。
2. 周期は  $c$  の値に関係なく、 $0.10035 \times 10^{-2}$  sec となる。
3. ほぼ一定回転に達した状態での応力変動の振幅  $|\Delta \bar{r}\theta|$  と(1)式の係数  $c$  との関係は近似的に  $|\Delta \bar{r}\theta| = 0.1126 \times 10^{-3} c$  (2) にて与えられる。
4.  $|\Delta \bar{r}\theta|$  の時間的変化は、回転数の増加の割合が大きい領域では減少し、一定回転である 10,000rpm に近づくにつれて漸近的にある一定値に近づく。
5. 動的応力の最大値と準静的応力の最大値との比は、 $c$  が 0.5~5.0 の範囲では約 2.0 になるが、 $c$  が増加するにつれてこの比は減少する。

本解析においては、加速度成分  $\omega^2$  ( $\nu$ : 周方向変位) を  $r d\omega/dt$  ( $r$ : 半径) に比して小さいと仮定し、省略したが、この項の応力におよぼす影響についてはさらに検討したい。

## 〈機関性能部〉

**Macro Fault Tree and Its Application to  
Petro-Chemical Plant-Accidents**

マクロフォルトツリーと  
石油化学プラント事故への応用

寺野 寿郎, 増井 重弘, 村山雄二郎

合田 周平, 秋山 登

昭和 59 年 7 月

9th IFAC World Congress

大規模なプロセス・プラントの事故解析の手法として、Fault Tree Analysis (FTA) や Event Tree Analysis (ETA) が使われている。これらの手法は特定のプラントの安全評価には適しており、とくに稀に起る重大故障の分析に効果的である。しかし、通常のプラント事故は、日常発生している小さな故障がいくつか重複して大事故に発展することが多い。その中でも人間のミスがかなり大きな部分を占めている。このような事故の解析には、FTA や ETA はあまり適していない。本論文では、この種の複合原因に基づく事故の内容を把握して一般的な安全対策を導くために、事故のシーケンシャルな過程を理解しやすく表現できるマクロ故障樹木法 (MFTA) を提案している。これは、多変量解析とフォールト・ツリーとを組合せたもので、イベントを集合として扱い、その生起や推移の過程には Fuzzy 性を導入することによって、理論的な根拠を与えている。これによって事故の発展過程に対する人間の主観的評価を適宜導入することもできる。この MFTA によって、1965年から1977年までの12年間に川崎地区の石油コンビナートで発生した86件の事故記録を解析した結果、在来の方法では得られなかった事故の一般的な傾向、それも時系列的な因果関係が明らかになった。結果の一例として、爆発事故の多くは、初期原因として、施工不良、設計不良、保守・点検不良など運転以外の人為的ミスと、運転員や作業員の不注意によるものに、確率的に起きにくい停電、腐食、外乱などが重畳して異常反応、異常圧力を惹起していることが判った。この例では、初期の人為ミスというマクロ事象を起さないことが防爆の第1歩であることが判る。このようにプラント事故に人間行動が関連しているような場合、すなわち、マン・マシン系の事故の分析に本手法は有効な手段と考える。

## ディーゼルエンジンの最適化制御

## Optimizing Control of a Diesel Engine

村山雄二郎, 寺野 寿郎  
増井 重弘, 藤野 宏明

昭和 59 年 7 月

The 1st International Conf. on Fuzzy Information  
Processing

大型ディーゼルエンジンの燃料消費率を最少にする最適化制御は、一般に勾配法で行われる。しかし、燃料流量信号にはノイズ分が含まれているため、制御のために精度良く燃料消費率を計測する際に、ノイズの影響を消すために、非常に長く燃料流量の測定をしなければならず、実用的ではない。そこで本論文では、最適燃料調節点に関する運転員の知識の利用と、燃料流量信号の処理に Fuzzy 論理の適用をすすめている。これを行うと燃料流量の測定回数と、燃料消費率の頂点近傍でのハンチングを大幅に減らすことができる。

この制御系には2つのキーポイントがある。1つは測定された燃料消費率の勾配の信頼度を、燃料流量の測定値の信頼区間から導くことである。制御装置はこの値に応じて制御量を調節するか、または、更に測定を繰返すかして頂点へと近づいていく。この方法は、燃料流量の測定回数を大きく減らすのに効果がある。

2つめのポイントは、燃料消費率の頂点に関する知識を Fuzzy 数の形で制御装置が持っていることである。新しく求めた最適と思われる制御量は、この知識で検定され、そのメンバーシップ関数が0.9以上の時には新しい知識として採用される。この頂点に関する知識は、周期的に見直される。この2つめの機能は、頂点近傍でおこりやすいハンチングと、頂点から離れた点を頂点と誤認することを、効果的に防いでいる。

これらの機能を持った最適化制御系は、中型のディーゼルエンジンの燃費を燃料噴射時期で制御する効率制御系として、実験とシミュレーションが行われた。その結果、頂点へ到達する時間は、精度を犠牲にすることなく、在来の方法に比べて3~5倍も短いことが確認された。

## 並行2作業時の人間の信頼性

## Human Reliability in Parallel Job

村山雄二郎, 寺野 寿郎  
増井 重弘, 秋山 登

昭和 59 年 7 月

第23回計測自動制御学会 学術講演会

マン・マシン系における人間の作業の信頼性を把握する一連の研究として、ここでは、一人の運転者が同時に進行する2つの目的の作業を並行して行う場合の信頼性について行った実験について報告している。

並行しておこなった作業の1つは、CRT ディスプレイ上にランダムに現れる1桁の3数字の和の奇偶を判定して、対応したキーを制限時間内に押す作業( $f$ 作業)で、100試行の成功率をもって作業の信頼度とした。他の1つの作業は、メータの中央の安全ゾーンからランダムに左右にずれてゆく指針がはずれないように、左右のずれる方向に対応した修正キーを正しく押す作業( $m$ 作業)である。実験は被験者に与える作業の負荷量を変えたときの作業の信頼度の変化を測定した。

実験の結果は、作業負荷量の増加に対して作業の信頼度は、平均値としては低下してはいるものの、その分布は広く、作業負荷量増加に伴う緊張による能力増加に基づく信頼度向上と考えられる分、パニック化による信頼度低下の分、更に作業負荷量の増加した作業へ能力を再配分していると考えられる分がみられる。

これらの実験結果を基にして、従来の作業負荷量、作業能力だけで作業信頼度を表わす生理面だけのモデルを改善し、緊張—作業能力、作業能力の配分等心理面まで考慮した作業信頼性モデルを提唱している。

このモデルは、変量を Fuzzy 数で表現することもでき、より広く、マン・マシン系の信頼性評価に利用できる。

船用ディーゼル機関の摩耗金属分析  
(第2報 主成分分析)

**Analysis of Wear Metals of Marine Diesel Engine  
(The Second Report: Principal Component Analysis)**

山岸 進, 加藤 寛  
村山雄二郎, 福田 誠治

昭和59年10月

日本船用機関学会 第35回学術講演会

機関摩耗の進行状況や摩耗と運転条件、燃料性状等との関連については未解明な点が多い。このため、船用ディーゼル機関の摩耗金属モニターシステムに関する研究を行っている。これまで、主として原子吸光分析を用いて大形2サイクルディーゼル機関のシリンダードレインを対象に分析を行ってきた。

本報では、鉄の分析法を改良して、前報より大きな粒子に対しても高い回収率を発揮できるようにした。

シリカ、バナジウムについては希釈法を用いて濃度履歴を測定し、分析値とその他の機関データを使って特性値相互関係を分析した。

その結果、試料を王水処理抽出することによりほぼ100%の回収率で鉄を測定できることが分かった。

鉄分の濃度履歴から初期摩耗を経て安定期へ移行する様子が明瞭となり、本機ではほぼ2000 hrで安定期に入り、鉄濃度で約100 ppmを保っている。

この事は主成分分析による散布図上でもグループ化することができる。また、17試料15成分について主成分分析を行い項目間の相関関係が明らかにされた。燃料の特性値は多項目にわたり整理のしにくいものである。このため燃料特性10成分を取り上げ主成分分析を行った結果、二つの互に独立な無次元数で燃料特性を整理できることが分かった。

コンピュータ制御によるディーゼル機関の  
燃料噴射装置

(その1, 燃料噴射調節機構について)

**Fuel Injection of Diesel Engine by Computer  
(Pt.1 On Mechanical Part of Fuel Injection System)**

塚原 茂司, 村山雄二郎  
沼野 正義, 桑原孫四郎

昭和59年10月

日本船用機関学会第35回講演会

ディーゼル機関の燃費改善策の中で、最近試みられているものに、機関の各負荷において燃費最低となる様に燃料の噴射条件を自動的に調節し得る装置の開発があり、結果がいくつか報告されている。

船舶技術研究所においても、中小型4サイクルディーゼル機関を用いて、各負荷において燃費最小の状態をコンピュータあるいは手動作により維持し得る燃料噴射システムについて研究を行っている。本システムは燃料噴射タイミング、噴射圧力そして噴射ノズル開弁圧が自由に変えられ、以下の特徴を有する。

第1に停電あるいはコンピュータの故障時にもディーゼル機関は正常に作動し続けられること、第2にシステムの維持が容易で、信頼性の高いこと、第3にいかなる負荷においても容易に燃焼改善が行えること、等である。

本報告では、実験用4サイクルディーゼル機関(3シリンダ)で、手動作による噴射タイミングを変えた時のテスト結果を示す。

本実験結果から、本システムがディーゼルエンジンの各負荷において、噴射タイミングを変更することにより燃費を低減することは容易で、効果的であることを確認した。

冷却面に吹きつけるアセチレン炎のラマン計測

**Raman Measurement of Acetylene Flame  
Impinging to the Cooled Wall**

山 岸 進

昭和 59 年 11 月

第22回燃焼シンポジウム

非接触測定法として有望視されているレーザ・ラマン法を用いて、壁面近くの温度と燃焼ガス成分を計測した結果、排ガス中の炭化水素量にとってクエンチング層はさほど大きな役割りは果していないとの報告がなされている。しかし、低質油燃焼に際して、未燃炭化水素を主体とする壁面堆積物は燃焼器や伝熱面トラブルの主要な原因であり工業的に重要な問題である。これ等の堆積物は未燃炭化水素を主体とし各種の金属も含まれており、その堆積・付着のメカニズムは未解明な点が多い。

このため、本研究では“すす”が発生し易いアセチレン炎を冷却壁面に吹きつけるモデルを作り、レーザ・ラマン法を用いて計測した。その結果、窒素のラマンストークス光を用いて温度測定をするに際して、微弱光を多チャンネル解析装置を用いて観測することができ、測定能率と精度が飛躍的に向上し、同じ装置で、アセチレンのラマンストーク光も測定でき、アセチレンの分布を測定できる可能性が確認できた。さらに、この手法を用いた噴流火炎の温度分布は計算値と良く一致していた。

管内急拡大流れ再付着域の熱伝達

**Heat Transfer of Reattachment Region  
of Sudden Expansion Flow in Ducts**

涌坂 伸明

昭和 59 年 11 月, 昭和 60 年 1 月

928回熱工学講演会 機械学会論文集 51巻461号

再付着点付近流れの極大熱伝達率については、熱伝達率増進とも関連した技術的関心事であるのみならず物理現象についての追求が盛んである。しかし実測値として得られる極大熱伝達率は通常人為的工学上の定義義に依るものであるから、高次の物理的要因から現象を論じる前に、なおその基本的特性について種々に検討の余地があると思われる。この様な観点を踏えて本報では乱流域の空気流の非対称急拡大矩形ダクトの拡大比を変化させて、再付着流側の熱伝達実験を行ない解析した。再付着点位置の判定は壁面圧力差を基とした新たな方法に依った。

熱伝達解析の基本となる流体側温度分布の測定結果から、再付着点の上流において、剝離泡域と主流との界面に大きな温度勾配すなわち熱移動に対する大きな抵抗が存在するため、その域での熱伝達率が低く定義されている事が明らかとなった。従って再付着点近傍で熱伝達率が極大を示す現象は、その上流の熱伝達率が見掛け上低く算定されている事にも依存していると言える。また本実験と他の実験結果を併せて解析した結果、管内流の再付着域の熱伝達は上流からの到達距離によっても支配されているので、極大値も含むヌセルト数  $Nu$  の表示式を流路の拡大比  $AR$  をも因子として次のように提案した。

$$Nu = C \cdot AR^k \cdot Pr^m \cdot Re^n$$

ここで  $Pr$  はプラントル数、 $Re$  はレイノルズ数、 $C$  は定数である。 $k$ 、 $m$ 、 $n$  は指数であって、急拡大管やオリフィスの場合の数値も示した。拡大比が大きい程極大熱伝達率は減少するが、従来 of 如く拡大後の流れの熱伝達率と対比して表示すれば拡大比の大きい程増加するかの如く示される。

再付着域の熱伝達率極大も、基本的には流路の拡大がもたらす流速の低下に基づく熱伝達率の減少過程に属する、ある特定の現象と言うことができよう。

## 〈機 装 部〉

## 制約水域への油拡散現象

**The phenomenon of Oil Diffusion at  
Restricted Water Area**

小黒 英男

昭和 59 年 5 月

日本航海学会論文集 第71号

タンカー等衝突時の災害防止に関する研究の一つとして、衝突した両船で制約された海面へ荷油が流出した場合を想定した観察実験を試み、ステップ拡散の理論式および有限要素解析を用い検証した。

実験は、静止水面と流動水面に何んらの制約を加えない場合、模型船 1 隻で $180^\circ$ の領域制約を行った場合および模型船 2 隻で $30^\circ \sim 150^\circ$ の領域に制限した場合とについて実施した。

実験用の油にはタービン油を赤色に着色して用いた。拡散領域は直上に設置したカメラで 2～5 秒毎に撮影した写真を図形解析装置にかけて測定した。

実験の結果、拡散面積の時間変化は、静止水面への流出の場合、制約条件にほとんど関係なく、ステップ拡散理論式の数値係数を変化させれば求められることがわかった。流れのある水面への流出の場合、制約条件で拡散過程が異なったが、約 25 秒後の流出終了時以後は制約条件に関係なく、速度勾配係数を静止水面（このときは  $C=1$ ）の約  $\frac{1}{2}$  とおいて概算し得ることがわかった。

流れのある水面へ流出した場合には、油は流れに乗り帯状になって拡散するが、静止水面での実験結果との比較により、潮流が 1 ノット以上の場合には理論式から求めた拡散面積を潮流の速度と時間との積で除して拡散幅が求められることもわかった。

有限要素解析法によれば、全ての条件で油の拡散領域と各部分の厚さが求められるが、現在実験結果との突き合わせを行っている状態である。

## 海中転落の要因分析

**An Analysis of Situational Factors  
on Men Falling Overboard**

桐谷 伸夫

昭和 59 年 5 月

日本航海学会論文集 第 71 号

船舶海難によらない乗船者の人身事故の発生は、ここ 10 年間に於いてもほぼ横ばいといった状況であり、未だ数多くの死傷事故が起きている。特に海中転落事故では、例年転落者の 8 割近くが死亡・行方不明となっており、今なお多数の人命が失われている現状である。

本研究は、海中転落が作業者の不安全な行動と不安全な状態の物との係わり合いによって発生する事故であり、そこにいくつかの事故発生のパターンが見られることに注目して、その背後要因との関係を調査したものである。調査資料としては、海難審判庁裁決録より海中転落事故例を抽出して使用し、数量化理論のⅢ類によって解析を行っている。

数量化のⅢ類を適用した結果により海中転落事故を大別するならば、第 1 に「波浪」を加害物として発生する事故、第 2 に「漁具」に因って発生する事故、第 3 には「甲板、作業床」が加害物となって発生する事故、そして甲板作業中に「索具類」に因って発生する事故の 4 グループに分類することができる。「波浪」が加害物となった海中転落は、例えば風力が 6 以上といった荒天下において、大波が甲板上に打ち込んで作業者を海中に転落させた事故である。このような状況下では、作業甲板周囲の手すり等の高さが転落防止に重要と思われたが、実際には 1 m 以上の高さのものが設置されていても転落事故が発生している。また、「漁具」あるいは「索具類」に因って発生した海中転落は、その発生形態において類似な事故であり、事故の発端となった現象に共通な「事故の型」を持っている。そして、甲板上で移動中に「甲板・床」、「機装品」が原因となった海中転落の発生していることなどが明らかとなった。

出入港自動化システムについて

**On the System for Automatic Navigation  
and Vessel Traffic Management**

翁長 一彦, 出入港自動化システムグループ

昭和 59 年 11 月

造船研究 第16巻 3号

出入港自動化システムは運技審第13号答申により、最重要課題の一つとして採り上げられ、船研においても至上命令の下に 4 研究部共同のプロジェクトグループが結成された。

研究課題名の出入港とは、必ずしも港内への出入りだけを言う訳ではなく、狭水路や輻輳水域の航行すべてを含む必要がある、との観点の下に、海上交通工学の概念の利用と発展を考慮することとなり、陸上や航空の交通実態と管制方式を参考として、出入港を自動化するシステムに対するシステム設計に着手した。

問題点は大きく 3 つに分類でき、その一つは情報の伝達と処理であり、在来船では操縦上必要な情報の入手が著しく劣っている事を改善する必要がある、特に他船の操船意図や行動目的の情報が伝達され把握されれば、自動操船の意志決定に大きく寄与すると認められる。

第二は船体運動の制御であり、一般の操船という概念をさらに拡大し、流体力の解明により船体運動の制御を高精度化するシステムを考えるべきである。このためには実験と理論による操縦性データベースが必要となる。

第三は操船意志決定のアルゴリズムを確立することである。これは従来は操船者のノウハウとしてあった判断や決定の過程をシステムに取り入れるためであり、知識工学等の手法が必要となろう。

さらに自動化システムの故障等に備えたマン・マシン系の研究も必要である。造船研究協会で開始されたプロジェクトに対し、船研は安全性と信頼性の評価を行う立場にあるが、いずれ両者が相補完し合って、出入港自動化システムの達成にと結びつく必要がある。

〈原子力船部〉

モンテカルロカップリング法における誤差伝播

**Statistical Error Propagation  
in the Monte Carlo Coupling Technique**

植木紘太郎

昭和 59 年 10 月

日本原子力学会誌 第26巻10号

深層透過とストリーミングの両方を含み、しかも減衰の大きい遮蔽問題に対し、モンテカルロカップリング法 (Monte Carlo Coupling Technique) は有効である。このモンテカルロカップリング法の特徴は、実際の線源と検出器の間にもう 1 つ、仮想検出器 (Pseudo Detector) を設定し、モンテカルロ計算を線源から仮想検出器、仮想検出器から実際の検出器まで、と 2 段に分けて実行するところにある。

モンテカルロ計算には常に統計誤差 (Statistical error, あるいは分散: Variance) が伴っており、カップリング計算では各段におけるモンテカルロ計算の誤差の伝播が当然予想され、その解明は重要である。本研究はカップリング計算において、最終的に求める量に対する誤差伝播の評価式を導びいた。誤差伝播は各段のモンテカルロ計算で全中性子束が与えられた場合、およびエネルギー束だけが与えられた場合に対する評価式をそれぞれ導いた。さらに、エネルギースペクトルに対する誤差伝播の評価式も求めた。この評価式を中性子ストリーミングのベンチマーク実験解析に適用し、カップリング計算結果の誤差伝播の効果を評価した。

## A simple Expression for Radiation Dose Rate Distributions Around a Cylindrical Shell Source with a Finite Height

高さが有限な円筒殻状線源の  
周辺放射線総量率分布の簡単な表示式

山越 寿夫

昭和 59 年 10 月

American Nuclear Society

Nuclear Science and Engineering Vol. 88

使用済燃料輸送容器遮蔽計算を簡便に精度良く行う方法の研究の一環として、容器表面線量率と容器の幾何形状に関する簡単な関数として、容器周辺線量率の空間分布を表わす式を導びいた。容器表面の線量率の簡易計算法は既に導びかれており、今回導びいた式と併用することで、当初目的とした簡易計算法の一層の活用性が高められた。

今回導びいた式は、実キャスク周辺の測定ガンマ線々量率分布を非常に良く説明できるが、さらに、測定から既に知られている、径方向線量率分布の空間依存性の法則を、式の変形から理論的にうらづけられること、経験測に現われるパラメータの値の物理的意味付けも理論的に容易であることが明らかとなった。

理論式の導出では、実キャスクを一樣な表面線源を持つ高さの有限な円筒で近似し、線量率の空間分布が単一エネルギーの放射線の線束に対する空間分布で表わせることを先ず示した。次いで、線束の数学的表現に於ける積分式が、通常は数値積分以外に遂行不可能であるが物理的考察から被積分関数に近似を施す事で、解析的に実行出来て、簡単な解析関数で表わせることを示した。解析関数は測定線量率の空間分布を非常によく再現する。

実キャスク周辺の測定から、 $\gamma$  をキャスク中心から径方向の観測点までの距離として、キャスク近傍で  $\gamma^{-1.2}$ 、遠方で  $\gamma^{-2}$  の関数形で線量率が分布することが経験的に知られている。導出した関数から、キャスク近傍で  $\gamma^{-1.3}$ 、遠方で  $\gamma^{-2}$  の関数形が理論的に導びかれることも示した。経験測の 1.2 は、測定誤差 10% を考慮に入れば理論値 1.3 と良く一致すること、経験測の値 1.2 は半径 1 m 程度の容器で成立するが、より細い容器では 1.0 に近づき、より太い容器では、より大きな値として測定されたであろうとすることを理論的に示した。

## G $\bar{O}$ 手法による信頼性解析

### Reliability Analysis by G $\bar{O}$ Methodology

松岡 猛, 小林 道幸

昭和 59 年 10 月

日本原子力学会秋の分科会

原子力プラントに代表される大規模システムの確率的な安全評価手法としては、フォールト・ツリー解析、イベント・ツリー解析がある。WASH-1400 の公刊以来、フォールト・ツリー解析は原子力プラントのシステム信頼性評価に広く用いられる様になった。しかし、フォールト・ツリー解析では、頂上事象として、ひとつのシステムの不作動だけしか選定できない事、フォールト・ツリーの作成には、解析者の熟練を要し、作成されたフォールト・ツリーに論理的欠陥がない事を確認するのが難かしい、等の問題点がある。これらの問題点を補う解析手法として GO 手法がある。これは、1960 年代に主として電気回路の解析を目的として米国 KAMAN SCIENCE 社により開発されたものであり、原子力分野における本手法の適用例はまだ少なく、現在 EPRI により大幅な改良が試みられている。そこで我々は、原子力船“むつ”の非常用崩壊熱除去系を、日本原子力研究所で整備した G $\bar{O}$ -UA コードを用いて解析し、本手法の配管系への適用性を調べた。

非常用崩壊熱除去系は通常待機状態に置かれ、作動要求のあった時点で作動を開始する。作動開始後は一定時間以上の継続運転が要求される。本システムをモデル化した GO チャートは、四種類の標準タイプオペレータにより表現できた。解析の結果、作動要求時、10 時間運転時の故障確率は、それぞれ、 $3.51 \times 10^{-2}$ 、 $6.44 \times 10^{-2}$  と得られ FTA 解析の結果と同一であった。また不確実さ解析により、それらに対する (Median, 上限値, 下限値) はそれぞれ、 $(3.67 \times 10^{-2}, 9.51 \times 10^{-2}, 1.58 \times 10^{-2})$ 、 $(7.51 \times 10^{-2}, 3.15 \times 10^{-1}, 2.87 \times 10^{-2})$  と求まった。G $\bar{O}$  手法により標準のオペレータのみで配管系の解析が十分可能である。GO チャートはシステム構成との対応が密接であるため、チャート作成の際、解析者の恣意が入らず比較的客観的な解析が実施できる。また本解析の結果、先に実施した FTA 解析の際作成したフォールト・ツリーの妥当性が確認された。

## 〈海洋開発工学部〉

灯標に利用する円筒固定型の  
空気式波エネルギー吸収装置の特性

**Wave Energy Absorption Characteristics of  
Circular Air Chamber for Use of Light Beacon**

井上 令作, 岩井 勝美  
矢作 勝 山崎 啓雄

昭和59年11月

第1回波浪エネルギー利用シンポジウム

航路標識として岩礁等に設置される灯標は、その設置場所の関係上、灯光電源の確保が極めて困難であることから、灯光の電源としてその周辺に存在する波エネルギーを利用することは、極めて有利な方法といえる。

本研究では、このような固定式灯標の電源として実用性の高い空気式の発電装置を開発することを目的とし、ここで述べる一次変換装置のほかに二次変換装置に関する研究も実施している。

灯標の電源としての波浪発電装置は年間を通してのエネルギーの供給が必要であり、そのためには潮汐の干満による水位の変動、波高及び波周期、波の入射方向などにかかわらず、必要最小限のエネルギーの吸収が保障されなければならない。このような条件に適した波エネルギー吸収装置の型式として、灯標基礎部の周囲に円筒型空気室をもつ発電装置を採用した。

模型は先に行った二次元模型実験をもとに、設置想定地域の波浪及び潮汐のもとで、設定発電量が可能となるように設計し、縮尺 $1/4$ で製作した。装置の基本的性能を調べるために、空気室の数やノズル開口比、水深及び波の入射角なども変化させて実験を行った。

その結果、これらの実験で本装置の波エネルギー吸収特性を明らかにすることができた。また、灯標のための発電に必要な所定の吸収エネルギーを得ることができるという見通しを立てることもできたが、今後は実海域における波浪及び潮汐の期間的変化をもとに、実際の出力変動を推定しておく必要がある。

## 〈大阪支所〉

ハロン系消火剤の噴出帯電

**On the Electrification of  
Spouted Halon Fire Extinguishers**

吉田紘二郎, 山根 健次, 林 慎也

昭和59年10月

静電気学会講演論文集 '84

CO<sub>2</sub>または粉末消火装置について、テスト作動時あるいは誤作動時の可燃性ガス内での放電の問題や、操作員の受ける電撃などについて検討を行ってきた。最近では消火効率の良さや安全性とから、陸上のみならず船舶用にも、ハロン系の消火剤が採用される事が多くなっており、今回、ハロン系消火剤が噴出した際の静電気帯電についての資料を得る目的で、若干の実験を行ったものを報告する。

船舶用に主に使用されるのはハロン1301およびハロン1211と称されるもので、その他にも、ハロン2402などがある。今回の実験では比較のため、CO<sub>2</sub>及びフロン12(冷媒)を加えて、それぞれ約1ℓを、高压容器底部の、径と形状を変化させたノズルより噴出させて、発生静電気を計測した。

今回のように単純化したノズルから流出した場合の電荷密度は、CO<sub>2</sub>では、流出流量が0.3kg/sec 辺りで既に10<sup>-6</sup>C/m<sup>3</sup>に達するのに対し、ハロン系消火剤の場合、流量が1kg/secを超えても10<sup>-7</sup>C/m<sup>3</sup>程度であった。ハロン1301について、N<sub>2</sub>を飽和するまで長時間加圧溶解した試料と、噴出直前にN<sub>2</sub>を加圧したものを比較した処、噴出時の帯電極性の逆転が見られた。しかし発生電荷密度の絶対値はいずれも10<sup>-7</sup>C/m<sup>3</sup>以内にある事が判った。ハロン1211およびハロン2402については、常温での蒸気圧が低いためもあって、ほぼ流体のまま噴出し、流量0.5kg/sec以上で電荷密度10<sup>-7</sup>C/m<sup>3</sup>程度となった。又、この場合、実験結果から計算すると発生電流はほぼ噴出流速の2~3乗に比例することが判った。

CO<sub>2</sub>消火剤に比較すると、ハロン系消火剤の静電気帯電は一桁程度小さく、消火剤必要量も少ない(CO<sub>2</sub>の1/2~1/4)ことから、帯電危険に関してもCO<sub>2</sub>より有利と考えられる。ただ、実際の噴出ホーンの形状などにより帯電状態は大きく変化する事を考慮する必要がある。

(東海支所)

**Buildup Factors of Gamma Rays Including  
Bremsstrahlung and Annihilation Radiation for  
Water, Concrete, Iron and Lead**

制御輻射および消滅放射線を含めたガンマ線の水、  
コンクリート、鉄および鉛に対する再生係数

竹内 清, 田中 俊一

昭和 59 年 8 月

Nuclear Science and Engineering Vol. 87

ガンマ線遮蔽設計計算に長い間使用されている再生係数はゴールドシュタインとウィルキンマによるモーメント法の計算のものである。しかし、この再生係数には二次線源としてコンプトン散乱線源のみ考慮されて計算されたものである。比較的高いエネルギーのガンマ線の物質透過の場合、制動輻射や消滅放射線の再生係数への寄与は増大する。したがって、この両現象を無視することは計算値が危険側に算出されることを意味するので、特に遮蔽物質が重い物質の場合大きな問題となる。そこで今回は平板遮蔽体へ垂直に入射する場合および等分布で入射する場合のガンマ線の水、コンクリート、鉄および鉛物質に対する照射再生係数を1次元の直接積分コード PALLAS-PL, SP-Br を用いて計算した。PALLAS コードの計算精度を確かめるために、まず実測値との比較を行った。その1は5 cm, 10 cm および 15 cm 厚の鉛平板に 6.2 MeV のガンマ線が等分布で入射する場合である。比較は鉛板透過後のエネルギースペクトルについて行われ、0.5 MeV に現われる消滅線のするどいピークも含めて非常に良い一致をみた。その2は6種類の厚さの鉛平板におよそ 8 MeV のガンマ線が垂直に入射する場合で、比較は照射線量について行われた。誤差は最大でも 20% 程度でこのケースもかなり良い一致を示した。次に軽い物質の代表である水について 0.5 MeV および 3 MeV のガンマ線の垂直入射に対する他の計算値との比較を照射再生係数について行った。BIGGI コードによる計算値とは非常に良い一致を示したが古い計算値であるモーメント法の値とは深い透過距離で差が出た。

照射再生係数の値は各物質毎に入射エネルギーが 0.1 から 15 MeV (鉛のみ 0.4 から 15 MeV) に対して 0.5 mfp から 40 mfp まで表の形で与えてある。

**Gamma-Ray Energy Spectrum Calculations for Plane  
Perpendicular Incident Source Including Annihilation  
and Bremsstrahlung Photons**

平板垂直入射線源に対する消滅および制動放射線を含むガンマ線エネルギースペクトル計算

竹内 清, 田中 俊一

昭和 59 年 10 月

Journal of Nuclear Science and Technology

Vol. 21 No. 10

平板垂直入射線源に対して一次元輸送コードの PALLAS-PL, SP-Br を用いて、水中、コンクリート中、鉄中および鉛中におけるガンマ線のエネルギースペクトルを計算した。この計算は二次光子線源として、コンプトン散乱光子の他に消滅光子および制動放射光子を考慮に入れている。計算精度評価のために、水について 4 MeV ガンマ線の垂直入射に対する計算とモーメント法による計算との比較を行い、さらに 3 MeV ガンマ線についても同様の比較を行った。また、1 MeV ガンマ線の鉛平板に対する垂直入射および 6 MeV ガンマ線の鉄平板に対する垂直入射についても本計算とモーメント法による計算の比較を行った。その際に鉄における 6 MeV ガンマ線問題の場合、PALLAS 計算は制動放射線を除外したものを使用した。これは高いエネルギーのガンマ線の場合、制動放射線がエネルギースペクトルに大きな影響を及ぼすからである。一方、制動放射線源を含む場合については、エネルギースペクトル測定値および計算値が求められていないので直接の比較はできなかった。その代りに 8 MeV ガンマ線の鉛平板透過後の減衰線量が実験により求められているので、この問題を PALLAS コードで計算し、減衰線量についての実験と計算との比較を行った。以上の比較で計算精度が確かめられたので、代表的な遮蔽物質である、水、コンクリート、鉄および鉛について各物質中におけるガンマ線のエネルギースペクトルを計算し図の形で与えてある。線源エネルギーは 0.1 MeV ~ 15 MeV の中から代表的な数エネルギー点について、平板の物質厚さは 43 mfp 厚であり、この中で 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 7.0, 10.0, 20.0 および 40.0 mfp の透過位置についてエネルギースペクトルを示した。

遮蔽欠損部の  $\gamma$  線挙動に対する実験的研究  
(I) 円筒形状遮蔽体における欠損部

Experimental Study of Gamma-ray Streaming in  
Shield Irregularity, (I) Ducts and Slits in Cylindrical  
Shield

山路 昭雄, 斉藤 鉄夫  
昭和 59 年 10 月  
日本原子力学会

原子力施設のコンクリート遮蔽壁に設けられるダクト等の遮蔽欠損部は可能な限り線源から離し、かつ遮蔽壁外面において欠損部は線源を通常直視しないように配置される。このような体系における  $\gamma$  線の挙動を明らかにし、設計あるいは遮蔽安全評価に役立たせるには、実験データを蓄積し、これに基づいて計算コードの検証あるいは経験式の導出を行う必要がある。本研究の目的は、上記の体系を模擬した実験体系にて、欠損部の位置、大きさ等をパラメトリックに変え、それぞれの体系における  $\gamma$  線の挙動を実験的に明らかにすることと実験値に基づいた経験式を導出することにある。実験は JRR-4 散乱実験室実験孔 (内径 30.5cm) からの  $\gamma$  線を用いて行った。遮蔽体は内径 90cm, 外径 130cm の円筒形状コンクリートで、その中心軸が実験孔中心軸と一致するように配置した。欠損部はこの遮蔽体に設けられた直円筒ダクトと直スリットである。これらの欠損部は実験孔出口面から、45, 78, 168cm 離れた位置にそれぞれ設けた。欠損部において、ダクトの径は 1.5, 2, 3, 4 インチ, スリット幅は 2, 5, 10, 20cm と変化させた。測定器は熱蛍光線量計, 電離箱および NaI(Tl) シンチレーションカウンタを用い、線量とエネルギースペクトルを求めた。

$$\text{ダクト: } \ln D/D_0 = 0.10d - 0.665\sqrt{\theta}$$

$$\text{スリット: } \ln D/D_0 = 0.14w - 0.665\sqrt{\theta}$$

ここで、 $D_0$ ,  $D$ : 入口と出口における線量率,  $d$ : ダクト直径 (cm),  $w$ : スリット幅 (cm),  $\theta$ : 欠損部に入射する  $\gamma$  線の角度。上記の経験式は実験値と  $\pm 17\%$  以内の精度で一致する。さらに、一回散乱コード G-33 で本実験を解析し、その精度評価、欠損部出口の線量に寄与する直接線の割合、遮蔽体内の散乱領域と欠損部出口の線量との関係を明らかにした。

遮蔽欠損部の  $\gamma$  線挙動に関する実験的研究  
(II) 直円筒ダクト内

Experimental Study of Gamma-ray Streaming in  
Shield Irregularity, (II) Cylindrical Duct

山路 昭雄, 斉藤 鉄夫  
昭和 59 年 10 月  
日本原子力学会

JRR-4 散乱実験室実験孔からの  $\gamma$  線を用いて、厚さ 1m のコンクリート壁内に設けた直径 8.9cm の直円筒ダクトについての 4 種類の実験 (実験 1 ~ 4) を行った。実験 1: ダクト入口が実験孔中心軸の延長線上にある体系において、 $\gamma$  線のダクト入射角度とダクト内での挙動との関係を明らかにするための実験。ここで、実験孔出口面とダクト入口との距離  $Z$  は 100, 200, 400cm と変化させ、実験孔中心軸とダクト中心軸との角度  $\theta$  は  $0^\circ, 5^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  と変化させた。実験 2: ダクト入口が実験孔中心軸の延長線上から外れた体系において、 $\gamma$  線のダクト入射角度とダクト内での挙動との関係を明らかにするための実験。ここで、ダクト中心軸は実験孔中心軸より 30cm 高い位置にあり、実験孔から実験孔軸に平行に放出される  $\gamma$  線はダクト入口に入射しない。この高さにおいて遮蔽体を水平方向に回転させた。 $Z$  は実験 1 と同じである。実験 3: 実験孔の延長線上にコンクリート遮蔽体 (B) を、この延長線上から離れた位置にダクト付遮蔽体をそれぞれ置き、実験孔からの  $\gamma$  線が遮蔽体 (B) で散乱後にダクト入口に入射する体系において、 $\gamma$  線のダクト入射角度とダクト内での挙動との関係を明らかにするための実験。実験 4: 上記実験 3 体系のダクト付遮蔽体の前方に、コンクリート遮蔽体 (C) を置き、遮蔽体 (B), (C) で散乱された  $\gamma$  線のダクト内での挙動を明らかにするための実験。実験 1, 2 から、(1)ダクト内での  $\gamma$  線の減衰は  $\theta=0^\circ$  を除けば実験 2 の方が緩やかであること、(2)ダクト入口近傍と  $\theta=0^\circ, 5^\circ$  のデータを除けばダクト内での  $\gamma$  線量率の減衰は指数関数で近似できること、が明らかとなった。実験 3, 4 からは、ダクト入口での実験 3 と 4 体系の  $\gamma$  線の値に有意な差は見られないが、ダクト内での  $\gamma$  線の減衰は実験 4 体系の方が実験 3 体系に比べ緩やかであり、入口から 75cm ダクト内に入った点の実験 4 体系の  $\gamma$  線量率は実験 3 体系のその約 1.5 倍高い値を示した。