

所 外 発 表 論 文 等 概 要

〈推進性能部〉

**Numerical Study on the Aerodynamic
Characteristics of a Three-Dimensional
Power-Augmented Ram Wing in Ground Effect**
3次元PAR-WIGの空力特性に関する数値解析

平田 信行

平成8年5月

日本造船学会 日本造船学会論文集第179号

**Fluid-dynamic Shape Optimization Using
Sensitivity Analysis of Navier-Stokes Solutions**

ナビエ・ストークス解の感度解析による
流体力学的な形状最適化

日野 孝則

平成8年5月

関西造船協会 関西造船協会誌第226号

WIG (Wing In Ground effect)の大型化には離着水速度が低いことが必須であり、高揚力化という技術課題を克服しなければならない。この問題の解決策の一つが、PAR (Power Augmented Ram)の概念である。これは、翼の前方に推進器を配置し、その推進器で加速された気流を翼下部に流し込むことにより翼下面の圧力を上げ、大きな揚力を得ることである。この概念を導入すると超低速での離着水が可能になり、翼重量、艇体下部の構造重量、エンジン重量を小さくし、ペイロードを増やすことができる。

本研究では、前方にプロペラを配置した翼端板付き矩形翼まわりの流れをCFD手法により求め、プロペラ、地面、翼の空気力学的な干渉について検討を行った。

数値解法は、疑似圧縮性を考慮したナビエ・ストークス方程式を有限体積法で離散化して解くものであり、対流項はFlux Difference Splittingによる3次上流差分で評価した。形状が複雑なため、流れ場を複数のブロックに分けて解くマルチブロック法を適用した。プロペラはHough-Ordwayが提唱した体積力分布で表現し、乱流モデルはBaldwin-Lomaxの代数モデルを用いた。

対象とした翼は、翼断面形状がNACA6409、アスペクト比0.6の矩形翼に翼端板を取り付け、レイノルズ数は 2.4×10^5 、翼後縁での高度は翼弦長の2~10%、迎角は 6° にした。プロペラは、翼前縁より一翼弦長前に下向き 33° の角度をつけて固定した。地面における境界条件として、実際の航行状態($u=1$)、風洞実験で用いる地面板の状態($u=0$)の2つを課した。

はじめに、翼下面の圧力と空気力に関して風洞実験の結果と比較した。全ての高度域で計算結果と実験値とは良く一致しており、本手法がPAR-WIGまわりの計算に適用可能であることを確認した。また、スパン方向に圧力分布がほぼ一定の2次元的な流れになっており、翼端板の有効性が確かめられた。

次に、地面での境界条件の違いによる影響を調べた。風洞実験で用いる地面板状態では、高度が低いときに翼前縁付近の地面板上で剥離が生じるため、翼下部の堰止め効果が弱まって圧力が上がりきらず、実際の航行状態に比べて揚力が小さくなることが明らかになった。

CFD (Computational Fluid Dynamics) 技術の進展と計算機ハードウェアの発達により、複雑形状周りの流れの解析は実用段階に達しつつあり、CFDは理論解析や模型試験と並んで工学的設計ツールとして用いられるようになってきた。これまで、CFDは形状を与えてその周りの流れを解析する、いわゆる順問題へ適用されることが多かったが、近年の計算機能力向上に伴い、流れの状態を規定して形状を求める逆問題への適用も検討されている。

CFDの特性、すなわち、形状取り扱いにおける汎用性、粘性影響と非粘性影響を同時に考慮可能な点などから、CFDによる形状最適化は強力な設計ツールになると期待されている。反面、多大な計算資源を必要とすることが欠点の一つであり、計算時間や必要な記憶容量を削減するアルゴリズムの開発が実用化への鍵となっている。

CFDによる形状最適化は、1)形状の定義および変更(CAD)、2)CFD解析(ナビエ・ストークス・ソルバー)、3)感度解析(CFD解の形状依存性解析)、4)最適化アルゴリズム(最適解に近付くための形状変更情報を出力)の4段階をループする。ここでは、CFDによる形状最適化手法を実現化するための検討として、上記の3)感度解析の部分に重点を置いて最適化問題を解析した。

感度解析には種々の手法が提案されているが、ここでは設計変数が多い場合に効率が良いとされる、Adjoint Variable Methodを採用した。簡単な最適化問題に適用した結果、感度解析は効率的に行なわれ、本手法の有効性が示された。

〈機関動力部〉

Characteristics of stoichiometric H_2-O_2
combustion in water with premixing
and diffusion burners

予混合および拡散バーナを用いた

水素・酸素水中燃焼特性

熊倉 孝尚、菅 進、平岡 克英、井亀 優

平成8年8月

International Association for Hydrogen Energy Int.

J. Hydrogen Energy Vol.21, No.8, 1996

海中および海底の作業や調査を目的にした海中作業船用に新しい動力源の要求の高まりに対し、筆者らが以前提案し発表した内燃式蒸気タービンサイクルは海中作業船の動力源の一つと考えられる。この熱機関では、量論の水素と酸素の燃焼熱で直接水を蒸発させ、そのとき発生する蒸気とともにこれらの蒸気をタービンの作動ガスとして使用するもので、従来のボイラ炊きの蒸気タービンサイクルに比べ熱損失がなく、熱効率の高いサイクルとなりうる。本研究は直接水加熱の際の酸水素燃焼の基礎資料を得る目的で、酸水素の水中燃焼実験を行い、使用するバーナの燃焼方式による安定燃焼と完全燃焼の両面の特性を調べてきた。予混合式バーナについては前報(1992年発表の上記機関のジャーナル)で発表しており、この方式はほぼ完全燃焼が得られるが、安定燃焼の点で実用上難点があることを示した。本論は主として、バーナの燃焼方式を燃焼の安定性の良い拡散方式について燃焼特性の結果を示すとともに、燃焼効率を改善する燃焼方式を示し、安定燃焼と完全燃焼の両面をほぼ満足できることを明らかにした。更に燃焼効率に及ぼす水温の影響についても明らかにした。

拡散燃焼方式は水素と酸素が混合しつつ燃焼するので、予混合燃焼方式で発生する逆火の現象はなく安定に燃焼する。しかし、水中での狭い燃焼領域では燃焼が完了できず、未反応の水素と酸素の量が多くなりサイクル効率に悪影響を与える。燃焼効率を予混合方式のそれに近づける方法として、拡散燃焼の水素と酸素の一部を予混合するいわゆる部分予混合燃焼方式を採用した。実験では予混合と拡散の割合を0.5以上にすればほぼ完全燃焼に近い値(室温水中で99.86%)が得られ、更にこの割合が0.95までの範囲では逆火が生じなかった。

一方、水温が飽和温度(大気圧中では100℃)まで上昇すると燃焼効率は室温水中よりも低下することがわかった。この原因は火炎を取りまく気泡中の蒸気濃度が高くなり、酸水素の燃焼反応の進行が阻害されるためと考えられる。

なお、本論文は1994年上記機関主催の会議で発表したものを一部修正してジャーナルに投稿したものである。

多量の不凝縮ガスを含む蒸気の凝縮に関する研究
(ガス濃度および冷却温度の影響の考察)

On the Vapour Condensation in the Presence of
Large Amount of Non-condensable Gas

(Estimation of Effects of Gas Concentration
and Cooling Temperature)

波江 貞弘、汐崎 浩毅

平成8年9月

日本機械学会 第74期全国大会講演論文集

多量の不凝縮ガスを含む蒸気の凝縮現象は、ディーゼル主機やボイラ等動力装置の排ガスからの顕熱・潜熱回収によるエネルギー利用効率の向上や、燃料電池、海中動力源における二酸化炭素分離技術と関連して注目されている。同様な現象に関する研究は、新形式を含む原子炉における崩壊熱除去あるいは中低温排熱回収用2成分混合冷媒サイクルにおける凝縮器等に関しても実施されている。しかしながら、統一的な観点からこれら各分野の結果を比較考察した例は少ない。本報告は、各分野に共通する課題として、凝縮現象における熱伝達と物質伝達に及ぼす不凝縮ガス濃度あるいは蒸気濃度ならびに冷却面温度の影響に注目し、従来検討が十分でなかった乱流気相側の拡散抵抗を中心とする解析手法について相互比較を行うとともに、これと対応させて、各分野の研究で得られている実験データを整理し、今後の実験研究に反映させることを目的としている。

研究成果として、以下の結論を得ている。(1)本研究で提案した表示法を用いると各分野にわたる広い範囲の蒸気濃度や冷却温度に対して、また、気相が層流、乱流の場合を含めてその拡散抵抗を統一的に比較考察することが可能である。(2)冷却温度の減少につれ吸込み境界層の影響は大きくなるが、凝縮液膜界面での不凝縮ガス濃度の効果は小さくなるため、総合結果として熱と物質伝達の間通常成立するアナロジーで推測される値からのずれは減少する。一方、界面蒸気濃度が主流蒸気濃度に近い場合においては、蒸気濃度の増加につれ吸込みのない通常のアナロジーによる推測値からのずれは大きくなる。(3)各分野での実験値間および解析結果との間で、傾向はほぼ一致しているが、広範囲のデータの取得ならびに解析との詳細な比較検討が今後の課題である。

干渉CTによる火炎温度空間分布測定
 (デュアルプレート・フーリエ変換干渉法の適用)
 Interferometric Tomography Measurement of
 Spatial Temperature Profiles in Premixed Flame
 (Application of Dual Plate Fourier
 Transform Interferometry)
 佐藤 誠四郎、熊倉 孝尚
 平成8年12月
 日本機械学会論文集、
 B編、第62巻、604号、(1996-12)。

光干渉法とCT(計算機トモグラフィ)を組合わせた干渉CTは、流体の密度などの瞬時に於ける完全な空間分布の測定が可能であることから、ヘリウム噴流の濃度分布、対流場やアルコール芯火炎の温度分布などの測定に用いられている。しかし干渉CTの適用には多くの干渉縞の処理が必要なため、現状では一部の結果を得るにとどまっております、実験で得られる干渉縞の情報が充分引き出されていない。これは干渉縞の測定やデータの適切な補間法などの処理が、人間の判断や、多大の労力と時間を必要としているためと考えられる。

近年計算機の能力向上、データ処理技術の発展により、フーリエ変換干渉法などの干渉縞の新しい解析法が提案され、測定精度向上や、自動解析処理が行われている。しかし、フーリエ変換干渉法の適用には、離散的フーリエ変換を用いることによる誤差や、フィルタ処理を行うための判断を必要とするなどの問題がある。

本研究では、干渉CT適用の際の干渉縞測定の簡略化と精度向上を目的として、デュアルプレートフーリエ変換干渉法を提案し、シミュレーションと実験により有効性を調べた。デュアルプレート法は、火炎の干渉縞にキャリア(搬送波)と呼ばれる等間隔の縦縞を加えた干渉像と、火炎のない状態の干渉縞に縦縞を加えた干渉像を、別々に2枚の乾板に記録し、この2つの像からそれぞれ従来のフーリエ変換法を用いて干渉縞の抽出を行い、得られた2つの処理結果を差し引くことにより干渉縞を測定する方法である。

デュアルプレート法では、従来のフーリエ変換法に伴う誤差が計算の過程で除かれ、フィルタ処理などの判断が不要となり、精度向上と測定の簡略化が得られることを明らかにした。これらの結果および6方向の干渉像が同時に得られる撮影光学系を用いて、バーナ火炎の瞬時に於ける空間的な温度分布を測定した。デュアルプレート法の原理、2つの干渉像の撮影方法、測定温度の熱電対法との比較などについて述べている。

〈材料加工部〉
 レーザ照射によるセラミックスの熱衝撃疲労強度試験
 Thermal Shock Fatigue Test of Ceramics
 by Laser Irradiation
 秋山 繁、天田 重庚、千田 哲也
 平成8年9月
 (社)日本機械学会
 第74期全国大会講演論文集 (Vol. II)

一般に、セラミックス材料は、高温特性に優れているため、大きな熱流束を受ける過酷な環境で使用されることが多い。このような環境では、セラミックス材料は、繰り返し急激な温度変化にさらされるため、熱応力により破壊される危険性がある。そのため、セラミックス材料の耐熱衝撃特性について十分に検討しておくことが重要である。

そこで筆者らは、従来より、炭酸ガス(CO₂)レーザを用いて、レーザを1回照射することによって材料に亀裂が発生する破壊臨界レーザ出力密度(エネルギー密度)でセラミックス材料の熱衝撃強度特性を評価してきた。しかし、実環境では、セラミックス材料は、繰り返し熱衝撃を受けると考えられるので、レーザ単一照射による熱衝撃強度特性よりもむしろ、熱衝撃疲労強度特性について検討しておく必要がある。今回、以前にレーザ単一照射による熱衝撃強度特性を評価したセラミックス材料(商品名:マコール、石原薬品(株)製、主成分:SiO₂-MgO-Al₂O₃)を用いて、1秒レーザ照射、60秒自然空冷の条件を繰り返すレーザ熱衝撃疲労試験を行い、次の結果を得た。

- (1) 熱衝撃疲労破壊臨界レーザ出力密度 P_{fc} (W/mm²)と試験片に亀裂が発生するまでのレーザ照射回数 N_f (cycle)の関係は、両対数軸表示で直線関係となった。
- (2) マコールのレーザ熱衝撃疲労強度は、レーザ1回照射の結果の約60%に低下した。
- (3) セラミックス部材の使用設計にあたっては、レーザ1回照射ではなく、レーザ繰り返し照射による熱衝撃疲労強度特性評価を行う必要がある。

アルミナのすべり摩耗における焼結温度の影響

Influence of Sintering Temperature
on Sliding Wear of Alumina

千田 哲也、安田 榮一

平成8年10月

日本セラミックス協会第9回秋季シンポジウム
講演予稿集

アルミナの高温すべり摩耗への結晶粒径等の微構造の影響を調べるために、焼結温度・時間を変えて平均粒径 $3.4\mu\text{m}$ から $11.6\mu\text{m}$ の範囲で3水準のアルミナを作製し、大気中無潤滑で、平面对平面のすべり摩擦摩耗試験を室温、 600°C 及び 1000°C で行った。摩擦係数は温度の上昇とともに低下する傾向を示し、結晶粒径が大きいほど（焼結温度が高いほど）高くなった。比摩耗量は、 600°C のときにもっとも高く、 1000°C ではほぼゼロになった。また、粒径が大きくなると若干増加した。粒径と摩耗量の関係については、アプレシブ摩耗に関する報告があり、概ね粒径の増大に伴って摩耗量は増加するとされる。本研究は、同種の材料のすべり摩耗であるが、室温と 600°C ではやはり粒径が大きいほど摩耗量は増加したが、その傾向は必ずしも明確ではなかった。これは、粒径の小さい（焼結温度の低い）試料では密度がやや低いためと思われる。SEM観察によると、摩耗はおもに粒界破壊によるもので、粒径の大きな試料では一部で粒内破壊がみられた。 1000°C で摩耗量がほぼゼロになる現象が粒径にかかわらず観察され、摩擦面には微細粒子からなる表面層が形成されていた。

超音波探傷への信号分析の利用について

Study of Ultrasonic Testing Using Signal Analysis

勝又 健一、林 慎也

平成8年10月

日本非破壊検査協会 平成8年度秋期大会発表論文集

超音波探傷において、欠陥の種類を分類する信号分析の手法を提言した。信号分析は超音波探傷信号をスペクトル解析して、声紋のような信号の紋を作り出すことにある。探傷信号自身は変化しないために、別に参照波を発生・合成する。ただし、参照波は時間ごと（ゲート領域毎）に位相を変える。これによって、合成波のスペクトルは順次変わり、信号紋ができる。このパターンは信号波形によって応答すると考えられる。

本報告において、参照波はゲート領域内サイン波とし、その振幅は設定レンジに対して10%、参照波の周波数は超音波探触子の公称周波数である。なお、位相はレンジ $2 \times 2\pi$ 間を等間隔ステップで変える。実験はアルミ-空気の境界面エコー波形及び、アルミと銅をエポキシ樹脂で接着したアルミ側からの接着面エコー波形で行った。これらの波形を信号分析して両者の紋のパターンを比較した。探触子は公称周波数5MHzで行い、信号波形のピーク周波数は5MHz強であった。

アルミ底面エコーと接着面エコーとでは、波形の位相が異なった。これはアルミと空気及びアルミと銅の境界による音響インピーダンスの大小から生じるものである。両波形の信号分析から、低周波側と高周波側の振幅の紋が相反していた。すなわち、振幅の大きいピーク周波数に対して振幅の弱い両端の周波数範囲における信号の紋の形が反転している様相が得られた。これらのパターンは、波形の位置を変えたゲート領域の信号分析でも変化しないようであった。

実験と同じ材料の音響定数を用いた数値シミュレーションにより作成される波形を求めて、信号分析をも行った。信号の紋はアルミと空気、アルミと銅（樹脂の接着厚さ： 0.05mm ）の波形による場合においてもパターンは実験に近い形であった。紋のパターンは今後、デジタル処理の分類法を見越して数値化した。

角回し溶接継手の残留応力

Weld residual stress in corner boxing joints

松岡 一祥、吉井 徳治

平成8年11月

日本造船学会論文集第180号

縦骨面材上のスティフナ端部などの角回し溶接部には疲労き裂が多発する。その原因としては、応力集中と溶接残留応力があげられる。応力集中についてはホット・スポット応力基準があり、これを用いることができる。しかし、溶接残留応力については推定方法がない。ここでは、角回し溶接のような、有限長さの曲がった溶接ビードによる残留応力の推定法を確立し、角回し溶接継手の残留応力の影響因子について、パラメータスタディーを行った。以下に得られた結論を示す。

- 1) 固有応力法による残留応力推定法を示し、その有効性を確認した。
- 2) 残留応力は、2つの無次元量 $\theta = T(\sigma_y/Q)^{1/2}$ および $\rho = W(\sigma_y/Q)^{1/2}$ で整理できることを示した。ここに、TとWは面材の板厚と板幅、 σ_y は降伏応力、Qは入熱量である。
- 3) 上述の2つの無次元量が小さいほど、すなわち、面材の断面寸法が小さいほど残留応力は小さくなる。しかし、この寸法効果には以下の限界がある。
縦リブ十字継手で寸法効果は著しいが、残留応力の下限値は無次元量 θ で定まり、この限界値は、同じ板厚、入熱量の横すみ肉十字継手の溶接線直角方向残留応力とはほぼ同じ値である。
一方、面材の寸法効果は、外板、ウェブおよび面材からなる実構造では小さい。
- 4) 縦リブ十字継手、実構造ともに、角回しの付加物横の軸方向の溶接を省略すると残留応力は小さくなる。これが現状では最も実用的な残留応力の低減法であると考えられるが、実験的検証が必要である。

〈装備部〉

Ship-board lidar sensing of the mixed layer over the sea

船舶搭載ライダーによる海上大気混合層の観測

山岸 進、山之内 博、土屋 正之

平成8年7月

第18回国際レーザーダ会議講演論文集

国境を越えて長距離輸送された大気汚染物質による環境破壊が国際的な問題となっており、東アジア地域でもこれらについての評価が重要な課題となってきた。この地域では汚染物質が海上を輸送されるため、欧米のモデルをそのまま導入することはできず、独自のモデルを用意する必要がある。しかし、海上で多数の観測点を展開し、大気状態を立体的に観測することが難しいためもあり、汚染物質の移流拡散に関するデータは陸上に比べて極めて少なく、モデルの検証は十分行われていない。そこで、航海訓練所の協力を得て、広域観測を行うに有効なライダーを船舶に搭載して次の観測調査を実施した。

- ① 船舶搭載ライダーを使った観測、解析手法の開発。
- ② 南西諸島での平均的海上大気境界層の観測。
- ③ 冬季日本海での寒気の吹き出しに伴う対流の観測。

その結果、ライダー観測は大気境界層全域の時間的変化を調べる非常に有効な手段であることを確認した。大気は高さとともに気温が低くなっていると不安定であり、逆に高くなっていると安定である。この度合を示す大気安定度は熱輸送の方向を示す重要な指標である。南西諸島における観測では、気温と水温の差が小さく、大気安定度は中立の場合がほとんどで、境界層高度は0.6~1.5 kmであった。しかし、安定した層が多層に分布する場合もしばしば観測された。これ等は、海洋大気境界層の一般的特性を示していると考えられる。混合層内のエアロゾル濃度変化の周波数減衰特性は、中立時は高度に関わらずほぼ一様な特性を持ち、 $-5/3$ 乗則に合い速度変動のそれと近いことが示された。

一方、隠岐における観測では、大陸からの寒気の吹き出しのある冬季日本海の特有な現象を観測することができた。層内には強い対流現象が生じており、海面近くに基のあるブルームが明瞭にライダーで捉えることができた。また境界層上部に発達した雲はほぼ一体化してその厚さは1500~2600mに達していた。このような状態で西よりの風が続いた時、 SO_2 のピークが観測されており、これは冬季大陸から汚染物資が輸送される気象状況の一つの典型例と考えられる。

〈システム技術部〉

**Sharing of Plant State Information for
Group Decision Making**

グループでの意思決定支援のためのプラント情報の共有

沼野 正義、宮崎 恵子、福戸 淳司、

三友 信夫、平尾 好弘、松岡 猛

平成7年7月

Materials of Post HCI'95 Seminar

原子力プラント等の大規模プラントの運転においては、ヒューマンエラーを防止するために様々な自動化システムが取り入れられている。しかし、設計時に考慮していない「想定外事象」が生じた場合には、人間の運転員が適切な対応をとることが求められている。このような場合、ヒューマンエラーを防止するために組み込まれた自動化システムが、かえって運転員のプラント状態把握を妨げることになる。このようなプラントのブラックボックス化を避けることによって、人間である運転員が、プラントの状況を的確に把握し的確な操作を行うことが可能となる。運転員のこのような知的活動におけるヒューマンエラーを防止するためには、プラント状態を表す数値情報だけでなく、人間の知覚や感覚に適合したインターフェイスが必要となる。

人間の知覚や感覚等の機能に適合したインターフェイスを実現するものとして、人間の空間把握機能を利用して、プラント状態の3次元表示を提案する。また、現場感覚を模擬するものとして、プラント操作に対する遠隔のアクチュエータの動作およびプラント状態の変化を反力、振動等によって人間にフィードバックする手法について提案する。また、これらのインターフェイス手法を複数の人間のグループによる運転に適用するものとして、プラント状態表示および操作結果のフィードバックをグループ内で共有するための手法を提案する。プラント状態についての情報は、グループを構成する各運転員の担当に応じた個別の情報、グループ内で共有すべき情報およびグループによる意思決定のための運転員間で交換される情報とに分類できる。これらの情報は、それぞれ分類に応じた表現方法をとるとともに、グループでの意思決定過程に対応した情報制御機能をもつ必要がある。また、グループ内で操作結果に対するフィードバックを共有するためには、複数の連動した入力装置による反力等のフィードバックや音響・振動等を環境情報として共有することが有効と考えられる。これらによって、グループでの意思決定による誤り訂正や、複数の人間に協調動作が可能となる。

内航近代化船のための航行支援システム

Navigation Support System for
Advanced Coastal Ship

沼野 正義

平成7年12月

(社)日本機械学会 第4回交通・物流部門大会講演集

日本の経済を支える内航海運の経済性や安全性と乗組員の快適な作業および住環境を実現すべく、近代化船の開発が検討されている。特に、全国内航タンカー海運組合では、実証船の建造に向けてブレイクスルー技術の洗い出しとその開発について検討してきた。航海の分野では、経済性、安全性と快適な作業環境を両立するために、経済性の面から少数の船橋当直による運航を想定し、船舶技術研究所と共同研究を実施し、安全性と快適性を担保するための航行支援システムについて検討した。

航海における船橋での当直体制は、出入港や幅狭海域では、少なくとも船長と操舵員およびレーダ等監視員の3人の役割分担で成り立っている。これは、船長による状況把握と意思決定を他の2人が支援する体制と考えることができる。レーダ等監視員は、計画航路中および海図中での本船の位置の確認や、航行海域内の衝突危険船の発見およびその遭遇情報の取得および座礁等の危険の発見を行い、必要に応じて船長に報告するとともに、船長の要求に応じた情報の収集を行う。操舵員は、船長の指示に従って、本船の進路を維持したり、新進路に変針を行う。また、船長の指示に従って、本船の速力を維持したり変更したりする。

これら、船長、操舵員およびレーダ監視員の3人からなる船橋での航海作業の役割分担が航海の安全を担保する上でどのような機能を果しているかをモデル化し、航海支援機器がこれらの機能を肩代わりすることができるようにその仕様を詰める必要がある。3人の役割分担の内には、おもてだった主機能の他に、指令、要求および報告の中に隠れた情報を認識・確認する作業や、人間にとって不可避である、「思いこみ」や「見落とし」等のエラーを相互に補完する機能が重要である。支援機器を設計する上でこれらの機能を考慮することが必要である。IMOで取り上げられているONBO (One Man Bridge Operation) を実現するためには、これらに、船長が真の意味での見張りに専念できるための支援、およびエラー対策以外の孤独対策を加えた人に優しい高度な航海支援システムである必要がある。

原子力における確率論的安全評価法(その1)

Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Plants (Part 1)

松岡 猛

平成8年9月

日本信頼性学会誌 Vol.18 No.6、9月号

原子力分野で導入されてきている確率論的安全評価法(PSA: Probabilistic Safety Assessment)についての解説で、3回連載の第一回分である。

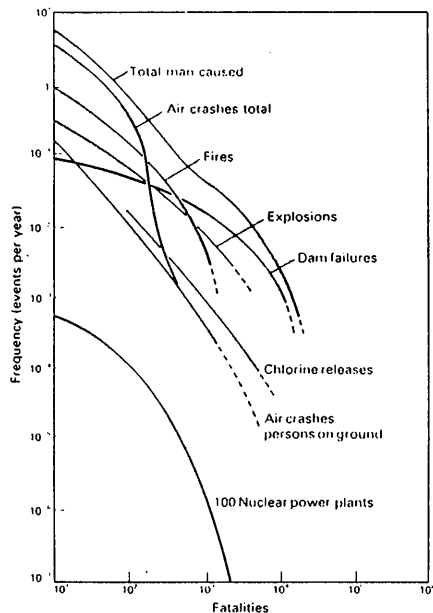
まず、原子力分野にPSAが本格的に導入された経緯を簡単に紹介してある。

次に、確率論的安全評価の考え方を従来からの方法(決定論的方法)と比較しながら考察している。ここでは単一の構造物・機器を念頭に置き、機器に加わる荷重と機器の持っている耐力にそれぞれ分布が存在することを前提に、それらの分布をどう取り扱うかで確率論的と決定論的の違いが出てくると説明している。

さらに、システムの安全評価において確率論的な取り扱いではどこまでの事を考慮しているかを述べ、PSAでは事故の発生確率(Pi)と被害の大きさ(Ci)の積の総和でリスクを表している事を説明。

原子力分野における解析手順として、情報収集、システム解析、格納容器解析、環境への影響評価、外的事象解析、不確かさ解析、解析結果の表示と解釈の各項目について説明を与えてある。解析の結果得られるリスクの表現方法の一例としてラスムッセン報告の図を紹介してある。

第一回の解説の最後の部分として、事故シーケンスの定量化に使用されているイベント・ツリーとフォールト・ツリーについてそれらの意味、作成方法、解析方法、解析プログラム等について図を用いて説明を与えてある。



An Application of the GO-FLOW Methodology Evaluation of Emergency Decay Heat Removal Systems for New Type Marine Reactor

GO-FLOW手法の応用:新形式船用炉の非常用崩壊熱除去系の評価

松岡 猛、小林 道幸、山路 昭雄、三友 信夫、落合 政昭

平成8年10月

The Proceedings of International Topical Meeting on Probabilistic Safety Assessment (PSA'96)

船舶技術研究所で開発を進めているGO-FLOWシステム信頼性解析手法を応用したシステムの信頼性解析についての発表である。

論文においては、解析対象として取り上げた新形式船用炉の概要を説明し、次に崩壊熱除去方法として検討した2種類のシステムの説明を与えている。これらのシステムは信頼性を向上させるため、ほぼ受動的全系として設計されており、いずれも自然循環力により除熱される。

各システムの動作要求時間は30日間と設定し、保守は一年毎に実施され全ての機器は健全なものに初期化されるとした。機器の故障率は米国で収集された原子力分野の故障率データを参考に設定した。ただし、ディーゼル発電機の故障データは日本のデータを用いた。更に、IAEA(国際原子力機構)で整理した種々の故障率データの比較表も参考とし、設定した故障率が保守側に評価されている事を確認した。

解析の結果、第一のタイプの方式が第二のタイプ(蒸気発生器を通しての除熱)よりも信頼度が高い事が示された。運転継続失敗確率としては 10^{-6} (30日間連続運転時)の程度であった。

共通原因故障を考慮すると、 10^{-5} の程度の運転継続失敗確率となる結果が得られた。

GO-FLOW解析による評価の結果、ヒート・パイプ中に設置された手動弁を除去すると更に信頼度が向上する事がわかり、その様な設計変更の勧告も行えた。

現在設計段階にあるシステムを共通原因故障、事故時の条件、等を考慮した種々の観点から評価する事が、GO-FLOW手法を用いる事により容易に実施でき、解析結果の設計への反映も実施された。

本論文により設計段階のシステムの解析が容易に実施でき、設計への反映もなされた事例が示され、システム解析の手法としてGO-FLOWが有用な手法であることが確認された。

〈原子力技術部〉

油分を含むCO₂液泡の深海条件下における溶解過程
Dissolution Process of a CO₂ Droplet with Small
Amount of Oil at the Condition of Deep Ocean

綾 威雄

平成8年3月

日本混相流学会 混相流 10巻1号

地球温暖化対策としてのCO₂海洋処理法は、大きく、溶解法と深海貯留法とに分類されている。溶解法は、海洋の分子数の多さにものを言わせ、海洋全体に均質に溶解させることにより、溶解後の海中CO₂の濃度の増加を無視できることを狙ったものである。また、深海貯留法は、深度2750m以深では、CO₂の方が海水より重くなる性質を利用して、深海底の窪地にCO₂を湖のように貯め、できるだけ影響範囲を処理サイト近傍に限定させようとするものである。

CO₂は、8.7°C以下、4.5MPa以上の海水中では、水と反応してClathrateと呼ばれる包接化合物となる。このCO₂ Clathrateの生成条件は上記のCO₂海洋処理法のいずれの方法においても当てはまることから、CO₂ Clathrateの低温高圧海水中における性質の解明が、CO₂海洋処理に伴う海洋環境への影響を評価する上で、極めて重要であると考えられるようになった。

船舶技術研究所でCO₂ Clathrateを対象とした実験が始められた1989年当時、マスコミの論調は、結晶構造を持った個体であるClathrateにCO₂の完全固定化を期待するものが多かった。しかし、Clathrateを構成する水分子間の結合力は水素結合というかなり強いものであるが、水分子とゲスト分子との結合力は、弱いVan Der Waals力であるため、一旦形成されたCO₂ Clathrateは、Clathrate生成条件においても、徐々に溶解することが、当所の実験から定量的に示された。その後、CO₂ Clathrate膜で被われたCO₂液泡の溶解メカニズムの解明に研究者の関心が集まるようになり、Clathrate膜欠陥モデル、Clathrate膜抵抗モデルや濃度差モデルなどが提案されている。

不純物として2%の潤滑油を混入させた場合、Clathrate膜で被われたCO₂液泡は、溶解の途中、数多くの小さな‘へこみ’が表面上に現れ、拡大と合体を通して次第に大きなへこみへと成長し、あたかもゴルフボールのようになる。そして、最後には、油滴だけが残り、上昇する。現在、この特異な現象の中に、CO₂液泡の溶解メカニズム解明に有用な情報が含まれていないか検討中である。

モンテカルロ法によるガンマ線
CCDカメラ用コリメータの設計

Design of a Collimator for a Gamma-Ray
CCD Camera by the Monte Carlo Method

植木 紘太郎、山口 作太郎、他12名

平成8年9月

日本原子力学会 1996年秋の大会予稿集

原子力施設等において、放射性物質の漏洩や放射化によって汚染された物質から発生するガンマ線の発生位置および強度をリアルタイムで同程することを目的として、ガンマ線用のCCD (Charged Coupled Device) カメラの開発に着手した。本報はまず第1段階として、ガンマ線の発生位置および強度を同定するために必要な鉛製コリメータの設計を連続エネルギーモンテカルロコードMCNP4Aで行い、1 MeVのガンマ線源を仮定してCCDの位置におけるエネルギースペクトルを解析した。また、このエネルギースペクトルにCCDの応答関数(量子効率: Quantum Efficiency)を乗じ、CCDの位置と光輝度との関係および線源の位置と光輝度との関係を調べた。

コリメータの設計条件を次のように定めた。(1)ガンマ線のエネルギーは1 MeVとする。(2)コリメータの素材は鉛とする。(3)ピンホールは極力細くし、線源位置に対する分解能を高める。以上のような設計条件をもとに、CCDの位置におけるガンマ線のエネルギースペクトルを解析した。鉛球殻の厚みは10cm、球殻の内径は2.5cm、ピンホールの直径は0.25cmで長さは10cm、また1 MeVの点等方線源がCCDの中心から20cmの球面上にあるものとして、中心軸からの角度 θ をパラメータにしたモンテカルロ解析を行った。

ピンホールの中心軸上に線源がある場合のCCD廻りのガンマ線フラックスは、ピンホールの直径が2.5mm、長さが100mmと非常に細長いので、CCD中心部のフラックスは 2×10^{-4} p/cm²・sec程度であるのに対し、中心から僅か3 mm離れると 5×10^{-7} p/cm²・sec程度に減衰している。したがって、本コリメータの位置に対する分解能は実用化に向けて十分であると考えられる。また、CCDの各位置におけるエネルギースペクトルを見てみると、スペクトルの変化は専ら非散乱線と小角度散乱線からなる1.0~0.9MeVのエネルギーピンだけであり、それ以下のエネルギースペクトルはCCDの位置に関係なくほとんど一定であることも分った。それなので、0.9MeV以下のスペクトルに対応したCCDの画像を何らかの方法で処理し、バックグラウンドとして差し引くことができれば、CCDの位置における線源エネルギースペクトルの変化がさらに顕著になり、位置に対する分解能の向上が期待できる。 θ を3度にした場合ではCCDの中心から4 mm離れた位置にフラックスの最大値が表れたが、その値は 2×10^{-6} p/cm²・sec程度であり、 θ が0度の場合の1/100になるので、非散乱線はほとんど到達していないことが分かった。

凝縮起因水撃の発生に及ぼす管径の影響

Effect of Pipe Diameter on the Occurrence of
Condensation-Induced Waterhammer

綾 威雄、安達 雅樹、成合 英樹

平成8年9月

日本原子力学会「1996年秋の大会」予稿集、C39

米国の軽水炉では、1969年からの19年間に、計281回の水撃が発生し、その82%は何らかの損傷を配管系にもたらしたと報告されている。中でも、凝縮に起因した水撃は荷重が特に大きく、圧力バウンダリーの破損に至ることがあり、また、水撃被害は管径が大きいほど大きくなると考えられることから、凝縮起因水撃の発生と管径との因果関係の解明は重要である。この問題についての研究としては、著者らによる内径10cmまでの水平管を使った実験があるが、これより大口径管についての実験は行われていない。そこで、従来の研究から明らかにされている水撃発生条件である水スラグ発生に着目し、層状水の盛り上がり加速蒸気流の吸い上げ効果により発達するか減衰するかの限界を解析的に調べた。

その結果、十分長い水平管でスラグが発生するための限界無次元流速として次式を得た。

$$j_{SD}^* = 1/2(\pi/h^*)^{1/2} \alpha^{3/2} \quad (\text{円管}) \quad (1)$$

$$j_{SH}^* = \alpha^{3/2} \quad (\text{矩形ダクト}) \quad (2)$$

ただし、 $j_{SD}^* \equiv [\rho_s / (\rho_L g D)]^{1/2} \alpha u_s$ 、 $j_{SH}^* \equiv [\rho_s / (\rho_L g H)]^{1/2} \alpha u_s$ 、 α : ボイド率、 ρ_s : 蒸気密度、 ρ_L : 水の密度、 $h^* \equiv 2[h/D(1-h/D)]^{1/2}$ 、 D : 円管内径、 H : 矩形ダクト高さ、 h : 管内水位、である。式(1)、(2)は、限界流速 u_s が管径(D or H)の $1/2$ 乗に比例していることを示している。つまり、大口径管ほどスラグ発生に高速蒸気流が必要となり、その分、凝縮起因水撃が起こりにくいことになる。実炉においては、大口径管ほど L/D が小さくなる傾向にあり、限界流速はさらに大きくなるものと予想される。

上式で示される限界流速は、層状部分が十分長く、蒸気流速が維持される場合である。コールドレグ流動振動のように蒸気流速が大きく変動している現実の水撃発生時には、上式を上回る蒸気流速になっているものと考えられる。そこで、内径29mmの小規模実験で得た圧力変動データなどから、水撃発生直前の j_{SD}^* を求めたところ、理論値の2~5倍の範囲でバラツキが大きかった。しかし、蒸気流速が理論限界値を超える時間は、本小規模実験の場合、0.05~0.1秒程度と比較的バラツキが小さかった。

A Numerical Investigation of Flow in a Channel
Obstructed by an Array of Square Rods

角柱列を挿入した平行平板間流れの数値解析

村田 裕幸、小林 道幸、鈴木 健二郎

平成8年10月

Proceedings of 3rd KSME/JSME

Thermal Engineering Conference

脈動流が船用炉の熱水力特性に及ぼす影響を評価するため、流れ方向の周期性を仮定した数値解析コードを開発した。コードの妥当性を検証するため、体系を平行平板間に角柱が周期的に挿入された系として数値解析を行い、周期境界条件が数値解に及ぼす影響を検討した。

まず、計算領域を角柱が1個含まれる最小の周期区間に限って計算を行った(以後、1区間の解析と呼ぶ)ところ、角柱の配列ピッチが最も長い $L/H=4.0$ (L :角柱のピッチ、 H :平行平板間距離)の場合には安定で妥当と考えられる結果が得られたが、 $L/H=2.0, 3.0$ の場合には解は不安定となった。この原因は、1区間の解析ではカルマン渦の放出が全ての角柱で同時に起こるという非現実的な条件を課すことによるものと考えられ、各角柱のカルマン渦が相互に干渉しない場合($\therefore L/H=4.0$)には解は妥当なものとなるものの、カルマン渦が相互に干渉する場合には課された条件によって解が不安定になると考えられる。そこで、 $L/H=2.0$ の場合について計算領域を角柱が2、3、…、6個含まれるように拡大して数値解析を行ったところ、安定した解が得られた。これらの結果では、角柱からのカルマン渦の放出は周期的で、各々の角柱の渦放出の位相差は互いに等しくなっている。また、各角柱表面での熱伝達もカルマン渦の放出に対応して周期的に変動する。

隣り合う角柱からの渦放出の位相差は計算領域の大きさによって変化し、計算領域が5区間までの場合には位相差は $2\pi/N$ [rad](N :計算領域内部に含まれる角柱の数)と表されて計算領域の拡大につれて次第に減少する傾向を示すが、6区間の場合には位相差は $4\pi/6$ [rad]となって5区間の場合の位相差よりも増加する。このような位相差の変化は「計算領域の増加につれて位相差が単調に減少するならば、計算領域が無限に大きい場合の位相差はゼロとなって1区間の解析結果に近づくことになり矛盾が生ずる」ことを考えれば、妥当な結果と考えられる。流れの特性量であるストローハル数、揚力係数、抗力係数も渦放出の位相差に対応して変化するため、5区間の解析の場合に各々のピークを示した。これらの結果から、 $L/H=2.0$ の場合、現実的な結果を得るためには最低限5、6区間の計算領域が必要であることが明らかとなった。

〈海洋開発工学部〉

曳航時の変動索張力の確率的手法による推定

Estimation of Dynamic Towline Tension
During Towing

by the Probabilistic Method

原 正一

平成8年5月

関西造船協会誌第226号

近年、海洋空間の有効利用のための大型海洋構造物の構想が数多く発表されている。このような巨大な海洋構造物の建造は、従来の規模の海洋構造物のように全てドックで完成させる建造方式ではなく、海洋構造物のユニットをドックで建造、設置海域まで曳航による輸送、洋上接合によってユニットを接合して完成する方式が採られると考えられる。このユニットは300m規模の浮体構造物と想定され、従来の被曳航浮体に比べて非常に大型のものとなる。したがって、大型海洋構造物の曳航時の安全性評価手法を確立する必要があり、そのために曳航力の伝達機構である曳航索の張力の詳細を明らかにしておくことは不可欠の課題である。

曳航索の張力は、定常張力に変動張力が加わる。非定常な現象である変動張力は、曳船と被曳航浮体の相対的な位置の変化にともなう相対運動、あるいは索が水中で動揺することによって生じる。前者は、波による周波数成分と長周期成分の重畳した運動であり、後者は、索が水をきる速度の2乗に比例する抗力成分である。動的な張力を確率的に捉えた研究としては、安藤らが小寺山らが示した動的張力を表現する式を用いて、係留ラインに働く動的張力の確率密度関数を導いた。一方、Borgmanは、抗力項と慣性力項の結合確率密度関数から、海洋構造物などの要素部材に働く波及び流れによる力の確率密度関数を求めた。Vinjeは、波と流れが共存する場合のモリソン型の波力の極値分布を示した。また、波力が大きい場合のアップクロスの平均値の漸近解を示した。Naessは、これより最大極大値の期待値を表わす式を導いた。

本報告では、曳航時の曳船と被曳航浮体の相対距離が大きくなった場合、静的索張力が指数関数的に増加することを考慮して、曳航索張力を曳航索が変動する変位速度の2乗に比例する抗力項と復原力を指数関数で近似した非線型復原力項とで表現する。いわゆるクロスフロッドラッグと非線型復原力を用いた非線型モデルにより、曳航時の変動索張力の確率密度関数及び最大極大値の期待値を求める式を導くことを試みたものである。これは、従来の線型な復原力項を用いた式を一般化したものと考えられる。さらに、シミュレーション計算によって、導かれた理論式の有効性を実証した。

〈氷海技術部〉

波浪による氷板の破壊に関する氷海水槽実験

Experimental Study on Ice Sheet Fracture
by Water Waves

堺 茂樹、笹本 誠、平山 健一、劉 曉東、

松村 洋、金田 成雄、泉山 耕

平成7年11月

土木学会 海岸工学講演集(第42巻)

近年、北欧と極東を結ぶ最短航路となる北極海航路の開発に伴う研究が進められている。この研究の中で、工学的分野では氷海航行用の最適船の開発と寄港先となる港湾の耐氷設計法の確立が主なものである。氷海域においては、船舶航行時の船首波と氷板の干渉影響、構造物近傍で起こる氷板の運動や破壊、また氷片の挙動などを解明する必要がある。著者らは、これまで疑似氷板及び模型氷を用いて、波浪による氷板の変形特性に関する理論解析と実験を行ってきた。本実験では、模型氷を用いて(1)氷板の破壊条件、(2)破壊長さ、(3)氷片による波浪減衰など氷板の破壊特性について検討した。

実験ではまず小さな波高で造波し、氷板の変形を計測する。次からは徐々に波高を大きくし、同様の計測を行う。これを氷板に数本のクラックが発生するまで繰り返し行った。得られた主な知見は以下の通りである。

(1)弾性理論と線形波動理論による氷板破壊時の波高の推定式を用いて破壊条件を示した理論解とボトムテンションでの曲げ強度を用いた実験結果を比較すると、理論解と実験値は定量的にも極めて良く一致し、理論の有効性が検証された。また、このことより模型氷板の破壊は、波谷で発生することが明らかとなった。

(2)南極の周辺海域で撮影された写真によると、氷板は波浪によりほぼ規則的に破壊されている。模型氷を用いた氷海水槽での実験では、氷板の破壊長さは $1/4 \sim 1/2$ 波長の範囲内であり、氷板の破壊は波長に強く依存している。また、この実験は実海域での波浪による規則的な氷板破壊パターンを良く再現していると言える。

(3)氷板は均質であり、同一の周期であれば氷板前の氷片の有無に関わらず、破壊発生位置での波高は同一と考えられる。従って、氷板破壊前と後の開水域での波高の比が氷片の存在による減衰率を表すことになる。以上の方法で推定した減衰率は、距離の増加に伴い指数関数的に減衰している。ポリプロピレン板を疑似氷片として用いた実験での減衰係数に対し、本実験では非常に大きな値を示している。両実験での違いは、弾性率と厚さが大きく異なることから、氷片による波の反射、或いは散乱に影響し、減衰率の違いに現れた可能性がある。

〈大阪支所〉

試作船用球状黒鉛鑄鉄(ダクタイル鑄鉄)
玉形弁の性能試験

The performance tests on new ductile cast iron globe valves for marine use

伊飼 通明、綾 威雄、猪野 義隆

平成8年8月

(財)日本船舶標準協会

船舶標準7月号(96年)No.213

新規船用ダクタイル鑄鉄製玉形弁のJIS規格作成に当たり、ISO規格といかに整合させるかが問題となった。そこで、現行のJISF7305規格を基に設計されたJISF改造弁とISO規格の導入を図り、設計されたISO適合弁の両者について強度試験、数値解析及び流体抵抗試験を行った。これらの試験から、以下の結果を得た。

①強度試験から、ISO適合弁の方が優れた結果が得られたが、JISF改造弁、ISO適合弁ともに業界の推奨値である安全率8以上で問題がないことが分かった。ただし、呼び径80のJISF改造弁の玉形部曲率R160mmに対して、ISO適合弁はRを136mmとしているため、数値解析結果から弁箱内壁側の一部にJISF改造弁より高い応力値が得られている。さらに小さいRの値を採用した場合、弁箱内壁側の応力値が大きくなると考えられることから、Rの採り方に注意する必要がある。

②流体抵抗試験から、玉形弁の使用目的である中間開度での流体制御性能について適確に流体を制御できるかで評価をすると、ISO適合弁の方が中間開度(弁体の開き)での制御範囲が広い結果が得られた。しかし、最も制御性能の優れたものは従来弁であり、従来弁の制御性能の高さを示す結果となった。一方、玉形弁をON-OFF弁として使用する場合には、弁箱を小さくしたため、ISO適合弁の方が若干流体抵抗が大きい結果が得られた。

③軽量化については、ISO適合弁は従来弁に比較して約31%の軽量化が図られており、JISF改造弁の約10%に比較してはるかに優れた結果が得られた。

〈東海支所〉

Estimation of Covariance Data for JENDL-3.2.

JENDL-3.2に対する共分散データの推定

神田 幸則、千葉 敏、長谷川 明、石川 真、
河野 俊彦、菊池 康之、松延 廣幸、村田 徹、
中島 豊、小田野 直光、杉本 昌義、柴田 恵一

平成8年9月

日本原子力研究所

Proceedings of the International Conference
on the Physics of Reactors, PHYSOR96

評価済核データの分散及び共分散データは、核計算の不確かさを推定するために必要とされるものである。最近の評価済核データであるENDF/B-VI及びJEF-2はこの要求を満たすべく、誤差ファイルを含んでいる。しかし、1994年に公開された日本の核データライブラリJENDL-3.2には誤差ファイルが含まれておらず、一部のユーザから、我が国独自の誤差ファイルの評価に対する要求が強く出されている。そこで、日本原子力研究所シグマ研究委員会では共分散データ評価ワーキンググループを組織し、共分散データの評価手法の検討を行い、いくつかの核種について共分散データの評価を行った。

実験データが十分に存在する核種については、一般化最小二乗法に基づくGMAコードにより共分散データを導出した。このコードでは存在する実験データの誤差情報を解析し、統計誤差と系統誤差に分類し、実験値の誤差情報を入力することで、評価エネルギー点における断面積値、誤差、相関行列を得ることができる。

一方、実験データがわずかしか存在しないような核種や反応については、理論計算によって共分散を導出する必要がある。このアプローチでは、核データ計算コードのパラメータとその誤差を推定するKALMANシステムを利用した。KALMANシステムは、統計モデルの計算コードであるELIESE-3、CASTHY、GNASHに対する光学模型、準位密度パラメータの断面積値に対する感度係数を計算することができる。推定されるパラメータの誤差、感度に基づいて、誤差の伝播則により、計算される断面積値の共分散を得ることができる。

また、JENDL-3.2の評価のうち、重要な核分裂性の核種については2種類の断面積値を同時に評価する同時評価という手法が用いられた。これらの核種については、同時評価の過程で共分散データも得られるため、それらのデータをJENDL-3.2の共分散データとして採用した。

現在これらの評価手法に基づき、Li、C、O、Na、Ti、Fe、U-233、U-235、U-238、Pu-239、Pu-240、Pu-241の共分散データの評価を進めている。

Verification of Vectorized Monte Carlo Code
MVP using JRR-4 Experiment

Fast Neutrons Penetrating Through
Graphite and Water

グラファイト及び水を透過する高速中性子
に関するJRR-4での実験による

ベクトル化モンテカルロコードMVPの検証

小田野 直光、三浦 俊正、山路 昭雄

平成8年9月

日本原子力研究所

Proceedings of the International Conference
on the Physics of Reactors, PHYSOR96

日本原子力研究所では次世代の船舶用原子炉MRXの設計研究を行っている。MRXでは一体型PWRの採用により、蒸発発生器が原子炉炉心の斜め上方に設置されるため、 $^{16}\text{O}(n, p)^{16}\text{N}$ によって二次水が放射化し、機関室や原子炉室内の二次系の線量当量が増加することを考慮しなければならず、設計においては、その線量当量を設計基準値よりも十分に低くすることが必要である。

^{16}N による線量当量の評価においては、 ^{16}N の生成に寄与する10MeV以上の高速中性子の輸送計算が重要となる。そこで本研究では、JRR-4原子炉を用いた実験により、MRXの設計に用いられているベクトル化モンテカルロコードMVPの高速中性子領域における精度の検証を行った。

実験は、JRR-4原子炉を利用し、原子炉の反射体領域(気送管照射設備)と原子炉タンクの外側の水中において、高速中性子に感度を有する放射化検出器により放射化反応率の測定を行った。放射化反応率の測定をした反応は、 $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$ 、 $^{93}\text{Nb}(n, 2n)^{92m}\text{Nb}$ 、 $^{127}\text{I}(n, 2n)^{126}\text{I}$ 、 $^{90}\text{Zr}(n, 2n)^{89}\text{Zr}$ 、 $^{58}\text{Ni}(n, 2n)^{57}\text{Ni}$ の5反応で、いずれも10MeV以上の高速中性子に対して感度を持っている。反応率の測定は、放射化検出器を気送管照射設備内では1~2分、プール内では1~2時間照射し、照射後の誘導放射能を高純度Ge検出器で測定することで導出した。放射化反応率の測定誤差は5~13%である。

上記の実験を、ベクトル化モンテカルロコードMVPで解析した。計算は実験体系の3次元形状をほぼ忠実に模擬した。estimatorにはtrack length estimatorを用いた。核データライブラリにはJENDL-3.2に基づくものを使用した。また、放射化断面積のライブラリとしてJENDL Dosimetry FileとIRDF-90.2を使用した。計算による放射化反応率と実験値を比較した結果、JENDL Dosimetry Fileを用いた $^{127}\text{I}(n, 2n)$ 反応の反応率を除いて実験値と計算値は20%以内で一致した。実験値の誤差、入力となる核分裂スペクトルの10MeV以上での不確かさ等を考慮すると、MVPは10MeV以上の中性子の輸送計算に対して十分な精度を有していることを明らかにした。また、JENDL Dosimetry Fileを用いた $^{127}\text{I}(n, 2n)$ 反応反応率の不一致より、微分データの検討から断面積そのものを見直す必要があることを明らかにし、また同反応の高速中性子モニターとしての有用性を示した。

多重箔放射化法による制動放射ガンマ線
スペクトルの測定

Measurement of Brsmsstrahlung Gamma

Ray Spectra by Multi-Foil Activation Method

小田野 直光、三浦 俊正、小林 捷平、山本 修二

平成8年9月

日本原子力学会1996年秋の大会

Proceedings of the 1996 Fall Meeting of
the Atomic Energy Society of Japan

電子線の遮蔽においては、制動放射ガンマ線と、その制動放射ガンマ線が光核反応を起こすことで生成される放射化による線量の評価が必要となる。そこで、制動放射ガンマ線を光核反応の一つである (γ, n) 反応による誘導放射能を測定することで、放射化反応率を測定し、ガンマ線のスペクトルを導出することを試みた。

実験は京都大学原子炉実験所の46MeV電子線形加速器を利用して行った。平均エネルギー30MeV(平均電流62 μA)をTaターゲット(強制水冷)に入射させ、入射電子のビーム軸に対して0度方向及び90度方向に多数組の放射化箔を設置し、制動放射ガンマ線及び光中性子による誘導放射能を高純度Ce検出器で測定した。放射化箔にはAu、Rh、Mn、Co、In、Ni、Ti、Cuの高純度金属箔を用いた。

試料を設置した場所は、制動放射ガンマ線と光核反応による光中性子が混在する場であり、 (γ, n) 反応と $(n, 2n)$ 反応の残留核は同一なことから、 ^{196}Au 生成に対するガンマ線と中性子による寄与を分離する必要がある。 (n, γ) 反応による ^{198}Au の放射化反応率は0度と90度位置で20%の差があるが、光中性子生成が角度に依存しないと仮定すると、0度方向の ^{198}Au 生成反応率は90度位置の30.9倍で、0度方向における放射化に対する寄与のほとんどが (γ, n) 反応によるものであることを示している。90度方向における放射化に対するガンマ線の寄与については、モンテカルロ法によるシミュレーション等により推定する必要がある。

多重箔放射化法により制動放射ガンマ線のスペクトルを実験的に導出することを試み、制動放射ガンマ線による放射化反応率を測定した。また、SAND-IIコードによりスペクトル調整を行い、モンテカルロ法による解析との比較も行った。