

原子力安全技術研究所 公募研究

原子力安全技術研究所では、浜岡原子力発電所のさらなる安全性向上と発電所の運営改善に向け、将来にわたる原子力の安全利用に必要な技術を中心として、大学や研究機関と連携して取り組むことをねらいに「公募研究（一般）」を実施している。また、原子力発電所を将来にわたって安全に利用していくために必要性の高い将来技術・新技術に関して、研究開発を一層進めるとともに、原子力の将来を担う人材の育成に貢献することを目的に、募集するテーマを限定し研究規模を拡大した「特定テーマ公募研究」を実施している。

1 公募研究(一般)

全国の大学、公的研究機関および静岡県内の企業を対象にアイデアを募集し、これまでにない視点で幅広い技術を見出すことに努めている。

募集の概要
募集対象：全国の大学・公的研究機関および静岡県内の企業
研究規模：研究費 1件あたり500万円以内/年 研究期間 2年以内
採択件数：10件程度
選考方法：社外の学識経験者で編成した選考委員会（アドバイザー・コミッティ）による選考を経て採択研究を決定
募集した研究のテーマ（領域）
(1) 原子力の将来技術に資する基礎基盤的研究
(2) 原子力発電所の安全性向上に資する研究
(3) 浜岡原子力発電所1、2号機の廃止措置の改善に資する研究
(4) 浜岡原子力発電所3、4、5号機の保守性・作業性の向上に資する研究

第1回目となる平成25年度は、81件の応募から13件を、第2回目となる平成26年度は、42件の応募から10件を採択し、研究を実施している。

第3回目となる平成27年度は、54件の応募から10件を採択している。
(採択研究件名は当社お客さま向けホームページのプレスリリースに掲載)

2 特定テーマ公募研究

全国の大学および公的研究機関を対象にテーマを限定し研究規模を拡大した「特定テーマ公募研究」を平成26年度に実施し、1件を採択して研究を行っている。

募集の概要
募集対象：全国の大学・公的研究機関
研究規模：総額1億円以内、研究期間5年以内
採択件数：1件
選考方法：社外の学識経験者の意見・アドバイスを踏まえ、採択研究を決定

募集した研究のテーマ（領域）

- (1) 使用済燃料・放射性廃棄物の処理・処分に関する研究
- (2) 既存のBWR炉の安全性向上のための新技術に関する研究
- (3) 新しい概念に基づいた新型原子炉の開発に関する研究

平成26年度は10件の応募から次の1件を採択し、研究を進めている。

研究テーマ	研究代表者
加速器駆動システムによる核変換処理の実現に向けた要素技術の基盤構築	京都大学 原子炉実験所 (ビョン チョルホ) 卞 哲浩 准教授

3 公募研究の成果の公開

公募研究を含め、原子力安全技術研究所におけるさまざまな研究の成果を、技術開発本部にて開催する「テクノフェア」において紹介するとともに、研究所のある浜岡原子力発電所の地元、静岡県御前崎市において「研究発表会」を平成26年度から開催し、地域の皆さまに広く公開している。



第2回 研究発表会の様子(ポスターセッション)
(平成27年6月13日御前崎市市民会館にて)

これまで実施してきた公募研究の中から、第1回目の採択研究のうち次の3件の研究成果について、次頁より紹介する。

研究テーマ	研究代表者
レーザー除染条件明確化と粉塵飛散防止機構の研究	光産業創成大学院大学 藤田 和久 教授
空気冷却器を利用した崩壊熱除去システムに関する研究	福井大学 望月 弘保 教授
高比重消波ブロックの耐津波安定性評価手法の構築に関する研究	名古屋大学 水谷 法美 教授

公募研究紹介
その①

レーザー除染条件明確化と粉塵飛散防止機構の研究

1 背景・目的

大型構造物の塗装の現場除去を目的として開発されたポータブルレーザー塗膜除去装置（第1図）は、処理速度の速さおよび二次廃棄物量の少なさから、原子力分野においても廃止措置の放射能除染技術として適用できる可能性がある。そこで、本研究では、レーザー塗膜除去装置の除染技術への適用可能性を確認するため、以下の項目について、原理を確認するための基礎実験を行った。

- ▶ レーザー照射による金属表面の除去速度の推定
- ▶ レーザー照射により金属表面の除去で発生した粉塵飛散防止機構の検討

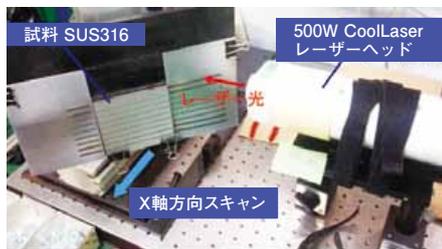


第1図 ポータブルレーザー塗膜除去装置

2 研究の内容

(1) 金属表面除去速度の推定

金属部材の汚染は放射性物質が鋼材表面の酸化被膜に付着することで生じるため、レーザー除染の処理速度は、放射性物質が含まれる深さまでの表層除去に必要なエネルギーを投入しながら、鋼材表面を走査する速度として評価できる。そこで、第2図のように、500Wのレーザー照射装置を用いて、無垢の316 ステンレス表面への照射実験を行い、レーザーフルエンスをパラメータとして、ステンレス表面の除去量を測定した。

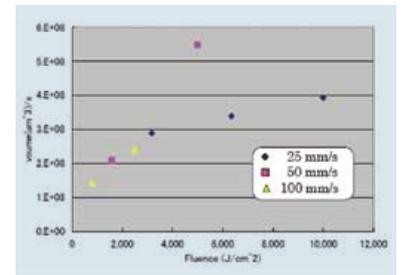


第2図 実験装置のレイアウト

ステンレス表面の除去量のレーザーフルエンス依存性を第3図に示す。この図から、除去量はレーザーフルエンスとともに増加するが、特異的に除去量が大きくなる条件があることが分かった。

この結果を用いて、ポータブルレーザー塗膜除去装置に市販の最大級出力をもつ10kWレーザーを搭載、放射性物質の浸透深さを10 μ mと仮定し、最適照射条件にお

ける処理速度を推定すると、1m²あたり15分となる。除染対象物によって必要な処理速度は異なるものの、十分に検討に値する速度であり、実用化の可能性が期待できる。



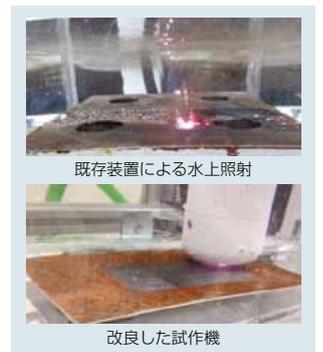
第3図 金属表面除去量のレーザーフルエンス依存性

(2) 粉塵飛散防止機構の検討

粉塵飛散防止機構は、除染対象物の属性（構造物・解体物、放射能レベル、大きさ、形状等）に応じて適切な方法が異なるが、現段階では具体的な除染対象物を選定していない。そこで、レーザー除染の対象を広げる観点から、従来の気中プロセスよりも作業員への粉塵飛散の影響緩和が可能な水中プロセスによる方式に取り組んだ。

第4図上に、既存のレーザー照射装置を用いて表面を錆に覆われた金属面を水上から照射した実験の様子を示す。照射直後は錆が除去されるものの、除去物で水面が濁りレーザーが遮られ、除去が継続できなかった。そこで試作機では、照射部に水の吸収孔を設け、ろ過装置を用いて浄化する機能を持たせることとした。あわせて、前項で近接させた照射部レンズへの除去物付着防止のため、照射部に水の噴射孔を設けた。

上記検討に基づき簡易試作機を作成し、照射実験を行って問題点の抽出・解決を行った。その結果を反映して改良した試作機で基礎実験を行い、水中での錆除去が連続して行えることを確認した（第4図下）。



第4図 水中除染による粉塵飛散防止の検討

3 研究の成果

基礎実験で適用可能性を見出せたことから、平成26年度より、本研究の委託先であった大学および装置開発元のメーカーとの共同研究として、具体的な適用対象を想定した装置の試作・模擬試験等を実施している。

執筆者

原子力安全技術研究所 プラントG 稲垣 博光

公募研究紹介
その②

空気冷却器を利用した崩壊熱除去システムに関する研究

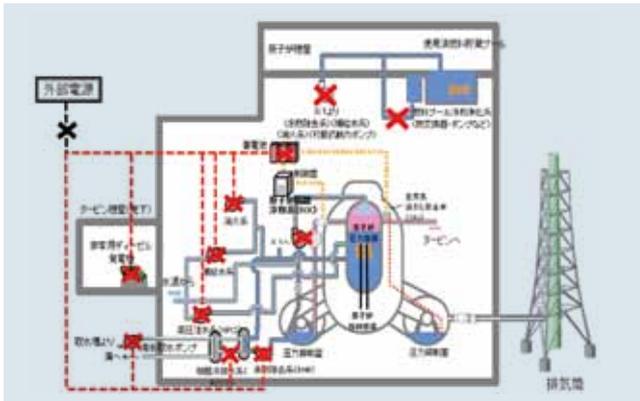
1 背景・目的

2011年3月11日に発生した地震と津波により、東北地方の原子力発電所に深刻な事象が発生した。このうちのひとつである福島第一原子力発電所では地震発生と同時に原子炉に制御棒が自動挿入され、原子炉は冷温停止状態へ移行したものの、その約1時間後に襲来した津波により、原子炉を冷却するための海水冷却系、非常用ディーゼル発電機が停止し、原子炉の冷却機能が喪失した。

その結果、原子炉を冷却していた機器は原子炉隔離時冷却装置を除き、全て停止した。

唯一、蓄電池で動作していた原子炉隔離時冷却装置も約8時間後に電池の枯渇により停止し、1~3号機の原子炉の冷却が不可能な状態に至った。

この結果、第1図に示す原子炉冷却用の機器は全て動作不能の状態に至り、原子炉からの崩壊熱を除去できず、最終的に炉心が熔融し、環境中に放射性物質が放出される事象となった。



第1図 津波襲来後8時間経過後の原子炉の状態

このようなことから、「もんじゅ」で採用されているような電源を必要としない空気冷却器を軽水炉に設置する方法が考えられるが、「もんじゅ」で使用されている高温液体ナトリウムと違い、軽水炉では冷却水と空気の温度差による自然循環が弱く、除熱量が少ないため、空気冷却器を設置するためには原子炉の崩壊熱を除去できる容量の冷却器仕様を設計する必要がある。また、コンピューターシミュレーションで流動伝熱を解析する必要がある。

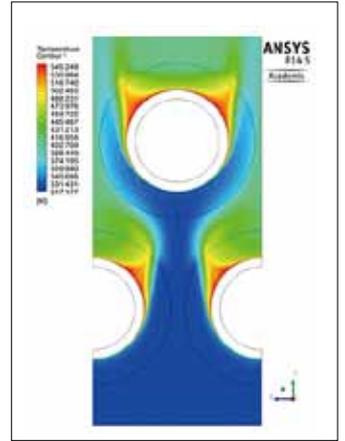
2 研究の内容

管内蒸気凝縮を伴う空気冷却器に関する計算論理をNETFLOW++コードに適用して、沸騰水型炉の全電源喪失時に空気冷却器を作動させた場合のプラント挙動解析を実施し、崩壊熱が除去できることを確認した。

空気冷却器は、「もんじゅ」に設置されている仕様を参

考にして、軽水炉用に設計し直したものとした。

また、空気がフィン付伝熱管の間を流れる場合の圧力損失を見積もる式の適用範囲が、本研究で設計し採用した仕様範囲外になったことより、第2図に示すように3次元の流体力学コードを用いて計算し、圧力損失を見積もる式の適用が問題ないことを確認した。



第2図 1パス目のフィン付伝熱管周りの温度分布

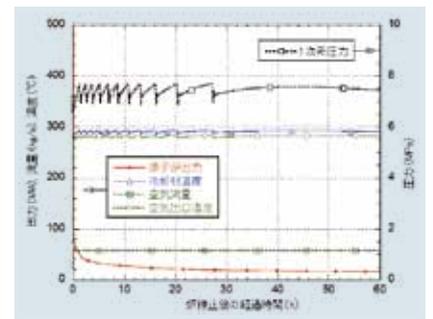
3 研究の成果

設計で提案した空気冷却器では、空気を200kg/s以上の総流量で供給すると、プラントの崩壊熱は、逃し安全弁の作動を伴わず除去できる結果になった。また、これまでの研究成果から、蒸気を凝縮させるタイプと、单相流域に設置した空気冷却器の除熱性能には本質的な差は無く、どちらのタイプでも利用できることが明らかになった。

このような結果になる理由は、空気側の伝熱が総括熱伝達率に対して律速になっているため、管内部の流体から伝熱管壁への熱伝達や伝熱管の熱伝導は、ほとんど総括熱伝達率に影響しなくなることによる。

この空気冷却器を自然対流で使用した場合には、40mのダクト長さとする、原子炉停止後2日程度は、逃し安全弁が作動して崩壊熱を蒸気として外に逃がすが、2日目以降は崩壊熱が減少して空気冷却器で除去できる状況になる。

このため、本研究で標準型として提案した空気冷却器では、全崩壊熱を空気自然対流状態で除去することはできないが、伝熱管本数を約3倍増加させるとか、水で冷却するタイプの崩壊熱除去系の補助に使うのであれば、自然対流型でも熱除去は可能である。(第3図)



第3図 自然対流での崩壊熱除去

執筆者

原子力安全技術研究所 プラントG 池堂 和仁

公募研究紹介
その③

高比重消波ブロックの耐津波安定性評価手法の構築に関する研究

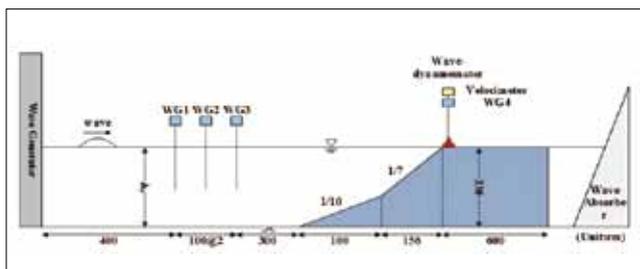
1 背景・目的

東日本大震災以降、海岸保全施設には「粘り強い」構造が求められている。消波ブロックが津波に対して安定する質量の算定式（イスバッシュ式と呼ばれている）では、その質量は流速の6乗に比例するとされており、設計津波が増大するにともない必要な質量は急激に増加する。一方で、ブロックが大きくなると、流速の変化により受ける力（慣性力）が無視できなくなる。慣性力の影響が大きくなると、ブロックを大きくしても安定する質量は得られず、密度を増加させなければならない。

本研究では、未確立である密度変化を考慮した消波ブロックの評価手法の構築を行う。南海トラフ巨大地震津波が懸念されている現在、海岸保全施設の安定性向上を実現する上で重要な成果が期待される。

2 研究の内容

大きさと密度の異なる複数のテトラポッド模型を作り水理実験を行った（第1図、第2図参照）。津波を模擬した波を徐々に大きく作用させ、テトラポッドが動き出す津波の大きさを求めた。津波の水位、流速、波力の時間変化から、動き始める時の津波力と安定質量の関係を求めた。また、名古屋大学で開発した数値解析手法や既存の波力算定式と比較するなど、津波の水位、流速と加速度の時間変化から安定質量を算定する式を提案した。



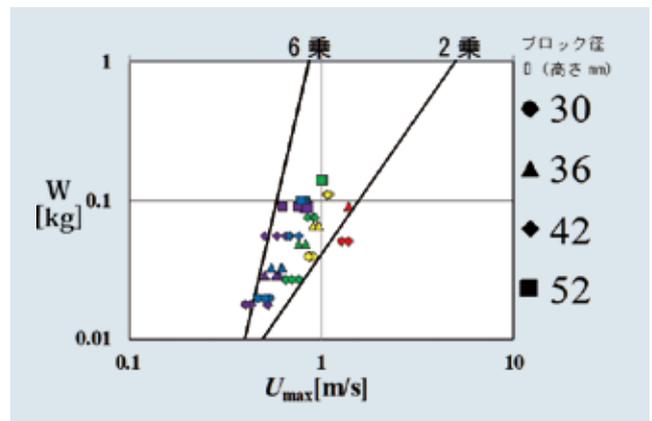
第1図 実験水槽の概略



第2図 実験の様子

3 研究の成果

- (1) 実験のほとんどのケースで、ブロックの移動形態は滑動であり、その時の水平波力とブロック重量はほぼ比例関係であった。よって、移動し始める状態では摩擦力と波力がほぼ釣り合っているといえる。
- (2) ブロック径Dが一定の場合、移動し始める時のブロック重量は流速の2乗に比例するが、密度 ρ_S が一定の場合、流速の6乗に比例する（第3図参照）。



第3図 ブロック重量と最大流速の関係

- (3) 消波ブロックの安定質量算定式を式(1)のように導いた。

$$\frac{\rho_S}{\rho_W} = \frac{C_D K_A}{2\mu K_V} \frac{u^2}{gD} + \frac{C_M}{\mu} \frac{du}{dt} \frac{1}{g} \quad \dots \text{式(1)}$$

ここで、 ρ_S : 模型の密度、 ρ_W : 水の密度、
 C_D : 抗力係数、 C_M : 慣性力係数、
 K_A, K_V : 形状係数、 μ : 摩擦係数、
 u : 流速、 t : 時間、 g : 重力加速度

4 今後の課題

本研究では、水平に設置された消波ブロックの必要安定質量の算定式を提案した。今後の課題としては、斜面上に設置された消波ブロックや斜面を覆うように設置された被覆ブロックについて耐津波安定質量の評価手法の構築が挙げられる。

執筆者

原子力安全技術研究所 地震・津波・防災G 豊田 淳史