

**原子力システム研究開発事業 ー基礎研究開発分野ー**  
**若手対象型 事後評価総合所見公表用フォーマット**

研究開発課題名（研究機関名） 高機能代替流体による高速軽水炉燃料の熱的限界予測手法の開発 （国立大学法人横浜国立大学） 研究開発担当者 機関名：国立大学法人横浜国立大学                      総括代表者：森 昌司 機関名：株式会社東芝    代表者：秋葉 美幸 研究期間及び予算額 平成18年度～平成20年度（2.5年計画）    29,463 千円	
項目	要 約
1. 当初の目的・目標	<p>核分裂反応に高速中性子を用いる軽水炉（以下、低減速スペクトル炉と略記）は軽水炉での増殖が可能な魅力ある原子炉である。現状の原子炉燃料の開発は、実機条件下（圧力7MPa、温度285℃）での実証試験により改良を繰り返すことが必須となっているが、高温高圧試験のため莫大な費用と時間がかかっている。そこで低減速スペクトル炉がその優位性をさらに主張するためには、従来軽水炉と同等、又はそれ以上の出力密度を有する経済性の高い大型原子力プラントを迅速に開発することが必要不可欠である。</p> <p>このような現状を鑑み、本事業では、高温高圧の実機燃料内の気液二相流動を高機能代替流体（エタノールとエアコンガスHFC134a）により常温低圧下において再現し、それから得られる液膜データとサブチャンネル解析を組み合わせることで、除熱性能の高い稠密燃料の開発を格段に効率化する手法を開発した。この技術開発により、燃料集合体1タイプの開発費用を大幅にコストダウンすることが見込まれる。</p> <p>本事業では、以下の研究開発項目を実施した。</p> <p>(1)代替流体による高温高圧の稠密燃料内流動を低圧下で再現する手法の開発</p> <p>①実験装置設計製作および測定系全体の精度の検証          高温高圧の蒸気－水系の気液二相流動を再現可能な実験装置を製作し、予備実験を行い、測定系全体の測定精度を検証した。</p> <p>②スパーサが液膜挙動に与える影響の検証（流路形状：単管）          流路形状を単管とし、スパーサが有る場合と無い場合に関して、液膜厚さ、液膜流量、差圧を測定し、(2)のサブチャンネル解析に利用するスパーサ増倍係数を実験的に求めた。</p> <p>③スパーサが液膜挙動に与える影響の検証（流路形状：ロッドチャンネル）          流路形状がロッドチャンネルの場合について、(1)②と同様な実験を行い、ロッドチャンネルの場合のスパーサ増倍係数を求め、流路形状の違いによる影響を明確にした。</p>

	<p>(2) 熱的限界予測手法の開発</p> <p>①サブチャンネル解析コードの検討と選定 サブチャンネル解析に関する既存コードの中から今回の解析対象に最適なものを選定した。</p> <p>②予備解析 選定したサブチャンネル解析コードを用いて、(1)①の予備実験で得られる単管の液膜流量試験を模擬した予備解析を実施した。さらに、公開されている単管限界出力試験を模擬した予備解析を実施した。</p> <p>③本解析 (1)③で得られるスぺーサ無しの場合のロッドチャンネル流路形状試験の解析を同解析コードを用いて実施した。次に、(1)③スぺーサ有の場合の試験結果から得られるスぺーサ増倍係数を用い、試験結果のスぺーサ下流の液膜流量を解析により模擬できることを確認した。最終的にそのスぺーサ増倍係数を用いて実燃料集合体(管群)体系の限界出力を予測・検証することで熱的限界予測手法を確立した。</p>
<p>2. 研究成果</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・当初予定の成果</li> <li>・特筆すべき成果</li> <li>・副次的な成果</li> <li>・論文、特許等</li> </ul>	<p>高温高压の蒸気-水系の二相流動を常温低压下で再現するために、主要な物性値が、高温高压下の水、蒸気と同程度である HFC134a ガス-エタノール系およびそれと気液の物性が大きく異なる窒素ガス-水系において実験を行った。得られた研究開発成果を総括すると以下の通りである。</p> <p><b>【事業項目1】代替流体による高温高压の稠密燃料内流動を低压下で再現する手法の開発</b></p> <p>○当初想定して得られた成果 高温・高压下を模擬したHFC134a-エタノール系およびそれと気液の物性が大きく異なる窒素ガス-水系において、スぺーサが無い場合およびスぺーサを設置した場合のその下流における液膜流量を測定し、スぺーサ増倍係数(スぺーサが有る場合の液膜流量をスぺーサが無い場合の液膜流量で除した値として定義)を得た。その傾向は、HFC134a ガス-エタノール系および窒素ガス-水系において、流路形状(単管またはロッドチャンネル)に関わらず、気相の見かけ流速 <math>j_g</math> が低い場合にはスぺーサ増倍係数はほぼ1であるが、<math>j_g</math> が増加するにつれて、スぺーサの効果が増大するため、その値は最大1.1程度まで増加する。</p> <p>○当初想定していたが得られなかった成果 特になし</p> <p>○当初想定していなかったが副次的に得られた成果 スぺーサが無い場合の液膜挙動の基礎的な特性について検討した結果、HFC134a ガス-エタノール系と、それと気液の物性が大きく異なる窒素ガス-水系において、液膜流量、液膜厚さ特性、じょう乱波通過頻度など液膜挙動に関わる重要な指標が、見かけの無次元気相流速 <math>jG^*</math> また</p>

は $We$ の特性数で整理できるという学術的、工学的に興味深い結果を得た。これらは、高温・高圧下の液膜流動を実験の容易な大気圧下の窒素ガス-水系などで模擬出来る可能性を示唆する極めて重要な研究成果で、このことは本事業の代替流体（HFC134aガス-エタノール系）を用いた実験より、初めて明らかになったものである。また、従来の気液二相流に関する実験データはその多くが大気圧下の空気-水系で得られているので、それらの液膜データを本知見に基づいて考慮すれば、高温高圧下の液膜流動の設計に応用できる可能性もある。

#### ○新たな研究の展開

今回の事業では、高温高圧下を模擬した実験より得られるスプレーサ増倍係数とサブチャンネル解析コード(NASCA)を組み合わせて限界出力を予測し、非常に精度良く限界出力を予測できるという結果を得ている。一方、サブチャンネル解析コード(NASCA)は、スプレーサがない場合であれば、限界出力を精度良く予測できることを考慮すれば、現状のサブチャンネル解析コード(NASCA)の中のスプレーサモデルは実験を用いて補正を行わないと正確には決まらないことがわかる。従って、将来的には、本事業で開発した代替流体による高温高圧の稠密燃料内流動を低圧下で再現する手法により、常温・低圧下でスプレーサ形状を様々に変化させ、サブチャンネル解析コード(NASCA)の中のスプレーサモデルを高度化し、それらより得られる結果を実機の高温・高圧の限界出力の測定データと比較・検討することで、その妥当性を確認する。これによって最終的には実験を行わずに、サブチャンネル解析コード(NASCA)だけで限界出力を予測する手法を開発できると考えられる。

#### 【事業項目2】熱的限界予測手法の開発

##### ○当初想定していた得られた成果

スプレーサを設置した場合に得られた、HFC134a ガス-エタノール系におけるスプレーサ増倍係数とサブチャンネル解析を組み合わせることで限界出力を算出し、スプレーサによる限界出力への効果を予測・評価した。その結果、本手法は最も重要な定格運転条件では限界出力の予測値が実測値に対して約 3.7%の誤差で非常に精度良く予測する結果が得られ、熱的限界予測手法の妥当性が示された。

##### ○当初想定していたが得られなかった成果

特になし

	<p><b>【事業全体】</b>を通じて 高温高压の実機燃料内の気液二相流動を高機能代替流体(エタノールとエアコンガス HFC134a)により常温低压下において再現し、それから得られる液膜データとサブチャンネル解析を組み合わせることで、定格運転状態での限界出力を高精度で予測することが可能な熱的限界予測手法を開発し、その妥当性を確認した。</p> <p>論文、特許等については、以下のとおりである。</p> <p>○学会口頭発表</p> <p>(1) 熱流動現象の模擬方法及び模擬試験装置 特願 2006-127094, 申請中(発明者: 森昌司, 奥山邦人)</p> <p>(2) 森 昌司, 奥山邦人, 環状二相流中の液膜挙動に与える気液密度比の影響, 日本混相流学会 年会講演会 2008, pp. 92 -93 .</p> <p>(3) 森 昌司, 高温高压下を模擬した気液環状二相流における液膜厚さ計測, 第 12 回オーガナイズド混相流フォーラム, 2008. 11. 7-8. (招待講演)</p>
<p>3. 事後評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・目的・目標の設定の妥当性</li> <li>・研究計画設定の妥当性</li> <li>・研究費用の妥当性</li> <li>・研究の進捗状況</li> <li>・研究交流</li> <li>・研究者の研究能力</li> </ul>	<p><b>【目的・目標の設定の妥当性】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・基礎現象に着目しながら、応用まで組み込んで目標を定めたことは一定の方向性が示せたものと評価する。ただ、代替流体による実験の実施にあたって、目標の達成に向けて代替流体の物性の影響を調べる実験計画がより多くあってしかるべきと考える。</li> </ul> <p><b>【研究計画設定の妥当性、研究の進捗状況】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・研究はほぼ計画通り進展したと考える。今後は、CFD(computational fluid dynamics)研究者との交流を深めて、実験と CFD との架け橋となるような取り組みを進めてもらいたい。</li> </ul> <p><b>【研究交流、人材育成、研究者の研究能力、成果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉への適用の観点からはまだ多くの課題が残っているが、本事業の研究資源を有効に活用し、代替流体により燃料集合体における液膜挙動を統一的に評価できる可能性を示すことができた。また、原子力開発を支える二相流計測技術の向上が図られており、人材育成に大きな成果があったと考える。外部発表を確実にし、成果を広く普及させてもらいたい。</li> </ul>

4. その他	<p>・代替流体による試験の位置付けを開発コストの低減としているが、実機プラントに適用することを考えた場合、現実には実流体の試験を無くすことはできず、模擬性を考えると、実流体で進めるほうが早い可能性もある。この研究をさらに展開するのであれば、燃料集合体開発のプロセスにおいて、代替流体による試験が実流体の試験と相補完する関係にあり、実流体では得られないデータが得られることを示すことが必要となる。</p>
5. 総合評価	<p>・挑戦的な実験、物理現象の把握に努力し、一定の成果を得ることができた。特に、これまで蓄積してきた二相流中の液膜厚さ計測技術を用いて、精度良い実験がなされたことを評価する。今後は、得られたデータの物理的考察をさらに進めることによって、二相流研究の新しい展開に結びつけてゆくことを期待したい。</p> <p>A) 想定以上の成果が得られ、今後に大いに期待できる。  <b>B) 想定通りの成果が得られ、今後が期待できる。</b>  C) 想定通りの成果が一部得られなかった。  D) 想定通りの成果が全く得られなかった。</p>