

## 課題目標・目的及び研究成果

研究開発課題名（研究機関名）： <p style="text-align: center;"><b>水素化物中性子吸収材を用いた革新的高速炉炉心に関する研究開発</b>                  （国立大学法人東北大学）</p>																	
研究開発の実施者 <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;">機関名：国立大学法人東北大学</td> <td style="width: 50%; border: none;">代表者氏名：小無 健司</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">機関名：エンジニアリング開発株式会社</td> <td style="border: none;">代表者氏名：田原 義壽 (H18, H19) / 安部 晋司 (H20)</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">機関名：日本核燃料開発株式会社</td> <td style="border: none;">代表者氏名：平井 睦</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">機関名：国立大学法人大阪大学</td> <td style="border: none;">代表者氏名：黒崎 健</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">機関名：国立大学法人東京大学</td> <td style="border: none;">代表者氏名：鈴木 晶大</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">機関名：ニュークリア・デベロップメント株式会社</td> <td style="border: none;">代表者氏名：木戸 俊哉</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">機関名：学校法人東海大学</td> <td style="border: none;">代表者氏名：松村 義人</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">機関名：独立行政法人日本原子力研究開発機構</td> <td style="border: none;">代表者氏名：佐藤 一憲</td> </tr> </table>		機関名：国立大学法人東北大学	代表者氏名：小無 健司	機関名：エンジニアリング開発株式会社	代表者氏名：田原 義壽 (H18, H19) / 安部 晋司 (H20)	機関名：日本核燃料開発株式会社	代表者氏名：平井 睦	機関名：国立大学法人大阪大学	代表者氏名：黒崎 健	機関名：国立大学法人東京大学	代表者氏名：鈴木 晶大	機関名：ニュークリア・デベロップメント株式会社	代表者氏名：木戸 俊哉	機関名：学校法人東海大学	代表者氏名：松村 義人	機関名：独立行政法人日本原子力研究開発機構	代表者氏名：佐藤 一憲
機関名：国立大学法人東北大学	代表者氏名：小無 健司																
機関名：エンジニアリング開発株式会社	代表者氏名：田原 義壽 (H18, H19) / 安部 晋司 (H20)																
機関名：日本核燃料開発株式会社	代表者氏名：平井 睦																
機関名：国立大学法人大阪大学	代表者氏名：黒崎 健																
機関名：国立大学法人東京大学	代表者氏名：鈴木 晶大																
機関名：ニュークリア・デベロップメント株式会社	代表者氏名：木戸 俊哉																
機関名：学校法人東海大学	代表者氏名：松村 義人																
機関名：独立行政法人日本原子力研究開発機構	代表者氏名：佐藤 一憲																
研究期間及び予算額：平成 18 年度～平成 20 年度（3 年計画）      479,464 千円 <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%;">平成 18 年度</td> <td style="width: 40%;">204,204 千円</td> <td style="width: 30%;"></td> </tr> <tr> <td>平成 19 年度</td> <td>156,903 千円</td> <td></td> </tr> <tr> <td>平成 20 年度</td> <td>118,357 千円</td> <td></td> </tr> </table>		平成 18 年度	204,204 千円		平成 19 年度	156,903 千円		平成 20 年度	118,357 千円								
平成 18 年度	204,204 千円																
平成 19 年度	156,903 千円																
平成 20 年度	118,357 千円																
項目	内容																
1. 目的・目標	エネルギーの長期的安定供給および環境負荷の低減のために高速炉の開発が進められている。本研究開発課題では、酸化物燃料を用いたナトリウム冷却高速炉の経済性向上のため、高速中性子に対して高い制御能力を持つ水素化物中性子吸収材を用いた新しい高速炉の炉心制御技術の確立を目指す。 本研究開発課題では、水素化物中性子吸収体を適用した高速炉炉心の設計研究を行い成立性を確認すると共に、コスト削減効果、廃棄物削減効果を評価する。また本研究開発課題の主要な要素技術として水素化物ペレットと内面コーティング済み被覆管を開発する。高速炉「常陽」を用いた照射試験を実施し照射健全性を確認する																
2. 研究成果	<p><b>【研究開発項目（1）設計手法検証】</b>                  [得られた成果]                  本研究の炉心設計では、連続エネルギーモンテカルロ計算コード MVP と核データライブラリ JENDL3.3 を用いている。この手法について、日本原子力研究開発機構の高速炉臨界実験装置 (FCA) や安全性研究炉 (NSRR) で行われた Hf、Gd、Zr 水素化物などを用いた原子炉実験データを解析し、水素化物制御棒を用いた高速炉炉心の評価に十分な精度があることを確認した。また、本研究では原子力機構で開発した既存の炉心設計コードを使用しているが、このコード計算の妥当性を検証した。</p> <p><b>【研究開発項目（2）炉心設計】</b>                  [得られた成果]                  ハフニウム水素化物制御棒を用いたナトリウム冷却酸化物燃料大型炉心 (FS 炉心) を設計し、核熱特性検討を実施した結果、ハフニウム水素化物</p>																

制御棒の制御能力が4サイクル（6年）持続することを確認した。これにより大幅な制御棒交換本数削減が達成できコスト削減に貢献出来ることを確認した。また、ガドリニウム含有ジルコニウム水素化物バーナブルポイズンを用いたナトリウム冷却酸化燃料大型炉心を設計し、核熱特性検討を実施した結果、主炉停止系の制御棒本数が大幅に削減でき制御棒駆動機構のコストを削減できることを確認した。照射挙動解析コードを用い、定常時及び過渡時の水素化物ピンの挙動を評価した。特に水素のペレット内再分布、被覆管水素透過量を評価し水素化物ピンの設計に資した。

#### 【研究開発項目（3）安全性評価】

[得られた成果]

代表的な評価対象事象を選定し炉心の安全性評価を実施した。通常運転時および設計基準外事象を含めた広範な領域での水素化物中性子吸収材の応答特性を検討した結果、800℃で1時間程度、900℃で10分程度の水素化物ペレットの安定性を確認できれば、設計基準内事象に対しては従来型B<sub>4</sub>C制御棒を使用した場合の安全性シナリオと同一と判定できることが分かった。また、設計基準外事象では、同様に1000℃で1分程度の水素化物の安定性を確認できれば良いことが分かった。H19にP0裁量経費が認められこれらの条件を模擬した炉外試験を実施し水素化物ペレットの安定性および被覆管からの水素透過ともに問題のないことを実験データにより示した。

#### 【研究開発項目（4）水素化物ペレット作成】

[得られた成果]

高速炉炉心のような高温で安定して使える水素化物ペレットを開発し、密度、熱伝導率、熱膨張率などの基礎物性データを取得した。これらのデータをもとに物性モデルを作成し定常時及び過渡時の挙動解析を行えるように水素化物挙動解析プログラムを改良した。

#### 【研究開発項目（5）被覆管内面処理と水素透過試験】

[得られた成果]

高温での被覆管からの水素透過を抑制するため被覆管内面コーティング技術を短尺被覆管において確立し、長尺被覆管に適用した。この内面処理膜は十分な水素透過抑制効果が有ることを水素透過試験により確認した。また内面処理膜の密着性が良好なことを熱サイクル試験、繰り返し変形付与試験の2種の検査で確認した。

#### 【研究開発項目（6）ピン作成試験】

[得られた成果]

この項目は当初の計画には含まれていなかったが、H20にP0裁量経費が認められ実尺ピン作成試験を実施した。また、ペレット-被覆管のギャップ巾をパラメータとしたナトリウム充填試験を実施した。これらの試験の結果により実用化の可能性が高い技術であることを示した。

#### 【研究開発項目（7）模擬ピン炉外健全性試験】

[得られた成果]

水素化物ペレットは、高温で一定時間保持する耐高温試験、温度の上昇と下降を繰り返す熱サイクル試験および短時間に高温まで加熱する温度急昇試験を実施し異常な変形や割れが起こらず健全であることを確認した。

また、万一の制御棒被覆管破損の事象発生時には、水素化物ペレットは高速炉冷却剤と接触することになる。そこで、高温ナトリウム環境中（600℃）に水素化物ペレットを長時間（6000時間）浸漬させ、その共存特

性を調査した結果、高温ナトリウムとの接触における健全性を確認できた。この試験結果によりナトリウムボンドピンの成立性があると判断し開発を開始した。ナトリウムボンドによって水素化物ペレットの温度を低下させることが出来るためより広い照射条件での使用が可能になった。

#### 【研究開発項目（８）「常陽」照射試験】

[得られた成果]

高速中性子照射下での安定性を調べるため、高速炉「常陽」での照射試験を実施した。ハフニウム水素化物、ガドリニウム含有ジルコニウム水素化物を、「常陽」において、ハフニウム水素化物（590℃、 $5.13 \times 10^{19}$  (n/cm<sup>2</sup>) ( $E \geq 0.1$  MeV)) ガドリニウム含有ジルコニウム水素化物（580℃、 $5.61 \times 10^{19}$  (n/cm<sup>2</sup>) ( $E \geq 0.1$  MeV)) 照射した結果、健全に照射されたことを確認した。また、この照射量ではスエリングは見られなかった。

#### 【事業全体】を通して

（当初予定していなかったが副次的に（あるいは発展的に）得られた成果及び当初想定していたが得られなかった成果を含めて記入。）

設計研究により、高速炉炉心において水素化物中性子吸収材を利用することによって十分なコストおよび廃棄物発生量の削減効果がもたらされる事を確認した。また、水素化物ペレット及び内面に水素透過抑制コーティングを施した被覆管の要素技術を確立し当初の目標を達成した。高速炉「常陽」での照射試験により短期間照射ではあるが水素化物ペレットの照射健全性を確認出来たことは、3年間という短い実施期間を考えれば特筆に値する。

他の特筆すべき点は、上記当初予定していた研究成果に加えて、P0 裁量経費が認められ当初予定していなかった研究課題を取り入れる事ができた点である。その一つとしては、ハフニウム水素化物とナトリウムとの共存性が極めて良好との研究成果が H19 年度の途中に得られたため、ナトリウムボンドピンの開発を計画に取り入れ設計裕度を高めることが出来た。また、安全性研究成果により事故事象の解析に必要な実験データが特定されたため、事故時条件での水素化物ペレットの安定性を評価するための試験を追加し安全性評価の内容を確実性の高いものとする事が出来た。これらの研究課題を追加することで、研究成果を充実させる事が出来た。また、次の段階へ移行するために十分な準備を行うことができた。

#### 【論文、特許等】

論文 3 件、(投稿中 2 件)

1. T. Iwasaki and K. Konashi

Development of Hydride Absorber for Fast Reactor

-Application of Hafnium Hydride to Control Rod of Large Fast Reactor-  
J. Nucl. Sci. Technol., 46, 8, (2009)1-9.

2. Y. Kitano a, K. Kurosaki, M. Ito, H. Muta, M. Uno, K. Konashi, S. Yamanaka

Fabrication and mechanical characterization of zirconium and gadolinium hydrides

J. Nucl. Mater. 389 (2009) 170-172.

3. M. Ito, K. Kurosaki, H. Muta, M. Uno, K. Konashi and S. Yamanaka  
Thermal Conductivity of Hafnium Hydride

to be published in J. Nucl. Sci. Technol.

	<p>国際会議 1件</p> <p>1. 2008年革新炉国際会議(ICAPP2008)於米国アナハイム市1件(2008.6.8-12)</p> <p>Study on an Innovative Fast Reactor Utilizing Hydride Neutron Absorber K. Konashi, T. Iwasaki, K. Itoh, M. Hirai, I. Sato, K. Kurosaki, A. Suzuki, Y. Matsumura, Y. Tahara Proc. of ICAPP '08, Anaheim, CA USA, June 8-12, 2008, Paper 8307</p> <p>学会 18件</p> <p>1. 日本原子力学会 2008年春の年会 8件シリーズ発表(2008.3.26-28、大阪大学)</p> <p>2. 日本原子力学会 2008年秋の大会1件(2008.9.4-6、高知大学)</p> <p>3. 日本原子力学会 2009年春の年会 9件シリーズ発表(2009.3.23-25、東京工業大学)</p>
<p>3. 事後評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実施計画の進捗</li> <li>・革新的なブレイクスルー</li> <li>・成果及び発展性</li> </ul>	<p><b>【実施計画の進捗】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・当初計画に加え、プログラム・オフィサーの指導と裁量により、技術成立性に重要な項目を追加して実施し、重要な結果が得られている。</li> </ul> <p><b>【革新的なブレイクスルー】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本研究によりFBR実用化の選択肢が拡充できたことを評価する。また、本研究の成果は、大いに経済性向上へ寄与できると判断する。経済的メリットの大きさについて、定量的に評価してもらいたい。</li> </ul> <p><b>【成果及び発展性】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・要素技術試験では、有用な成果が得られている。バーナブルポイズンの効果に関する検証、設計手法に関する検証を今後さらに発展的に検討してもらいたい。</li> </ul>
<p>4. その他</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水素化物バーナブルポイズン導入のメリットについて、経済性、安全性の両面より詳細に検討してもらいたい。</li> </ul>