

原子力システム研究開発事業 —基礎研究開発分野—  
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） 放電プラズマ焼結による革新炉燃料ペレット製造に関する研究開発（国立大学法人大阪大学） 研究開発担当者 機関名：国立大学法人大阪大学                      総括代表者：牟田浩明 研究期間及び予算額 平成17年度～平成19年度（3年計画）    82,356 千円	
項目	要 約
1. 当初の目的・目標	<p>革新炉・高速炉燃料では多量の核分裂生成物析出により燃料の顕著な形状や物性の変化を生じることから、高燃焼度化に対応できるよう燃料ペレットの微細構造を制御する必要がある。また低除染であるため、その焼結工程はできるだけ短縮され簡便であることが望ましい。本事業では、この燃料製造プロセスに放電プラズマ焼結法を適用することにより、構造制御およびプロセス簡略化が可能になると考えた。放電プラズマ焼結法とは、試料に電流を印加することによって昇温を行う比較的新しい焼結技術であり、対象となる試料粉体の接触部に電圧・電流が集中することによって粒子表面が活性化され、迅速かつ短時間での焼結が可能となる。本事業の目的は、この放電プラズマ焼結法の燃料ペレット焼結への適用性を評価することである。このため次世代炉用燃料として期待される酸化物、金属、窒化物すべての燃料形態について、本焼結法によるペレット焼結を行いその焼結特性を評価するとともに、微細構造および燃料物性として重要な熱・機械的特性を測定して従来試料との比較を行う。本事業では、以下の研究開発項目を実施した。</p> <p>(1) 放電プラズマ焼結法による高燃焼度対応酸化物燃料の研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・UO<sub>2</sub>ペレット試料の作成および微細構造評価</li> <li>・作成ペレット試料の熱物性評価</li> <li>・作成ペレット試料の弾性定数評価</li> <li>・作成ペレット試料のクリープ特性評価</li> </ul> <p>(2) 放電プラズマ焼結法による高燃焼度対応金属燃料の研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・U-Zrペレット試料の作成および微細構造評価</li> <li>・作成ペレット試料の熱物性評価</li> <li>・作成ペレット試料の弾性定数評価</li> <li>・作成ペレット試料のクリープ特性評価</li> </ul> <p>(3) 放電プラズマ焼結法による高燃焼度対応窒化物燃料の研究開発</p> <p>(a) 単体窒化物試料への適用</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・単体窒化物ペレット試料の作成および微細構造評価</li> <li>・作成ペレット試料の熱物性評価</li> <li>・作成ペレット試料の弾性定数評価</li> </ul> <p>(b) 複合窒化物試料への適用</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・複合窒化物ペレット試料の作成および微細構造評価</li> <li>・作成ペレット試料の熱物性評価</li> <li>・作成ペレット試料の弾性定数評価</li> <li>・作成ペレット試料のクリープ特性評価</li> </ul>
<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><b>【事業項目1】放電プラズマ焼結法による高燃焼度対応酸化燃料の研究開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・UO<sub>2</sub>ペレット試料の作成および微細構造評価</li> </ul> <p>粒径0.1-0.5 μmのUO<sub>2</sub>粉末および直径0.6 mmの球状UO<sub>2</sub>粒子を黒鉛製ダイスに充填し、放電プラズマ焼結法によりペレット試料を作成した。ペレット試料密度の制御はあらかじめ黒鉛ダイスにスペーサーを入れ、最大変位量を固定することで行った。作成したペレット試料について走査電子顕微鏡を用いて微細構造を観察し、粒界等の不純物分析としてエネルギー分散型X線分析で元素分布を評価した。</p> <p>従来の常圧焼結法では、UO<sub>2</sub>粉末はおよそ1700℃の高温で4~5時間かけて焼結される。ここでは放電プラズマ焼結法の適用により、UO<sub>2</sub>粉末の焼結は800℃以下で終了し、また焼結時間は10分程度と、焼結温度と時間のいずれも著しく低減されることがわかった。高いもので理論密度の90%程度の高密度ペレットが得られ、またスペーサーの使用によってペレット密度を制御することができた。この微細構造を観察したところ、その粒径は0.3-0.5 μmと非常に小さく、ほぼ出発物質のまま保たれていることがわかった。これは焼結温度及び時間が著しく低減されたためと考えられる。一方の球状UO<sub>2</sub>粒子を用いた試料では、粒子同士の接触面のみが結合した構造を有するペレットが得られた。このときの焼結温度は1300~1500℃とUO<sub>2</sub>の融点よりはるかに低いが、粒子接触面は明らかに熔融・結合しており、放電プラズマ焼結時に局所的な高温状態が生じていることが示唆された。接触部以外では各粒子の球形状が保たれており、粉末での結果とあわせて出発物質の形状を残した微細構造が形成されることがわかった。また、いずれの試料においても不純物の偏析や黒鉛ダイスからの炭素の浸出は見られなかった。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・作成ペレット試料の熱物性評価</li> </ul> <p>作成した試料について、示差走査熱量分析による比熱容量測定を行った。また真空中にてレーザーフラッシュ法による熱拡散率測定を行い、ペレット試料密度の測定結果とあわせ、熱伝導率(ペレット試料密度×比熱容量×熱拡散率)を評価した。また示査法により熱膨張率を評価した。これら物性値について、通常の焼結法で作成した試料との比較を行った。</p> <p>これまで報告されているUO<sub>2</sub>試料と比較して、放電プラズマ焼結法でUO<sub>2</sub>粉末より作成した試料は同程度の比熱容量を持つものの、1/5程度の著しく低く温度に依存しない熱伝導率を示した。これは出発物質の時点で含まれている過剰な酸素、大きいO/U比のずれが保たれたためと考えられる。一方の球状UO<sub>2</sub>粒子から作成した試料においては、報告値と</p>

同程度の高い熱伝導率が保たれていることがわかった。熱膨張率についても過去の報告値と一致し、またこれより 1300℃までの測定範囲では焼きしまりによる試料形状の変化等は見られなかった。

・作成ペレット試料の弾性定数評価

室温でのヤング率、ポアソン比を超音波パルスエコー法で測定するとともに、片持ち共振法により高温での弾性定数を評価した。また、機械的特性として室温におけるビッカース硬度の測定を行った。

UO<sub>2</sub> 粉末から放電プラズマ焼結法により作成した試料は、常圧焼結法で作成した試料に比べ低い弾性定数および硬度を示した。このような軟化は熱伝導率と同様、低温・短時間焼結により保持された過剰の酸素と結晶性の低さのためと考えられる。一方の球状 UO<sub>2</sub> 粒子から作成した試料は粒界・粒内ともに過去の報告値と同程度の硬度を示した。

・作成ペレット試料のクリープ特性評価

作成したそれぞれのペレット試料について、400℃から 600℃の範囲で押し込み法によるクリープ特性試験を行った。

球状 UO<sub>2</sub> 粒子から作成した試料については過去の報告値とほぼ同じ値が得られた。一方の UO<sub>2</sub> 粉末から作成した試料についてはいずれの温度でもクリープ速度が増加する傾向が見られた。かけた荷重範囲においては転位クリープが支配的であり、試料における過剰の酸素がこの転位を促進したものと考えられる。

【事業項目 2】放電プラズマ焼結法による高燃焼度対応金属燃料の研究開発

・U-Zr ペレット試料の作成および微細構造評価

平均で 8 wt%の Zr を含む U 合金の切断片を黒鉛製ダイスに充填し、放電プラズマ焼結法によりペレット試料を作成した。作成したペレット試料について電子顕微鏡を用いて微細構造を観察し、粒界等の不純物分析として元素分布を評価した。

およそ 700℃以上で焼結を行ったところ、金属片の接触部分のみが結合した強固な焼結体を得られた。元素分布の評価から、接触部では溶解した跡が見られ、焼結時の局所的な高温部の生成が示唆された。また黒鉛ダイスから試料への炭素の浸出、酸素等の不純物元素の混入は見られなかった。

・作成ペレット試料の熱物性評価

比熱容量、熱拡散率測定を行い、試料密度から熱伝導率を評価した。また熱膨張率を評価した。

室温から 800℃までの比熱容量を評価したところ、焼結前の U-Zr 合金と同じ値が得られた。700℃から 800℃までの範囲において、金属 U の相変態に対応する二つの発熱ピークが見られた。この温度において、熱膨張率もこの相変態に対応して大きく値が変化した。熱伝導率は密度

が低下したことにより減少したものの、高い値が保たれた。また、これらの値は 800°C までの熱処理によって変化しないことが確かめられた。

・作成ペレット試料の弾性定数評価

超音波パルスエコー法および片持ち共振法により、ヤング率、ポアソン比を評価した。

室温から 700°C までの測定を行ったところ、焼結前の U-Zr ロッドとほぼ同じヤング率、ポアソン比が得られており、放電プラズマ焼結による影響は見られなかった。金属 U に比べ 1~2 割ほど低い値をとり、これは Zr の固溶およびヤング率・剛性率が小さい  $\alpha$ -Zr 相が存在するためと考えられる。

・作成ペレット試料のクリープ特性評価

焼結温度を 600°C、700°C、850°C として作成した U-Zr ペレット試料について、押し込み法によるクリープ特性試験を行い、データを集積した。また比較のため金属 Zr、U 片についても同様に測定を行った。

U-Zr 試料は金属 Zr、U と比べてクリープしにくくなっており、 $\alpha$ -Zr の析出強化が起こっているものと考えられる。また放電プラズマ焼結法で作成した試料においては焼結温度にほぼ依存しない結果が得られた。

【事業項目 3】放電プラズマ焼結法による高燃焼度対応窒化物燃料の研究開発

(a) 単体窒化物試料への適用

・単体窒化物ペレット試料の作成および微細構造評価

ボールミル処理を行った平均粒径およそ 1  $\mu$ m の UN 粉末と、未処理の粒径 100  $\mu$ m の UN 粉末、及び FP と PuN の模擬材料である粒径約 200  $\mu$ m の NdN、DyN 粉末について、放電プラズマ焼結法による高密度ペレット試料の作成を試みた。この際、焼結温度、焼結圧力、昇温速度をパラメータとして変化させた。作成したペレット試料について微細構造観察を行った。

未処理の UN 粉末を用いたところ、焼結温度 1500°C で理論密度のおよそ 90 % の高密度試料を得ることができた。また、焼結は昇温時間と保持時間をあわせて 30 分程度で終了した。従来の常圧焼結法では、同程度の試料密度を得るためにはボールミルを行った微粉末を用い、さらに焼結温度 1800°C、焼結時間 4 時間程度を要する。これと比較して、放電プラズマ焼結法の適用によって大きく焼結温度と時間を低減することができたといえる。また、この試料密度は焼結温度と圧力に強く依存することがわかった。DyN、NdN についても 1500°C 以下の焼結温度で 90 % 以上の高密度試料が得られた。UN 試料について破砕面での微細構造観察を行ったところ、用いた粉末の粒径がほぼ保たれていることが確認できた。これは焼結温度および時間の低減によるものと考えられる。元素分析より炭素の浸出は見られず、焼結時間を長くした試料以外では酸素の混入も見られなかった。

(b) 複合窒化物試料への適用

・複合窒化物ペレット試料の作成および微細構造評価

窒化物燃料は難焼結性であり、また高温で分解する AmN を含むため、低温・短時間での高密度ペレット試料の作成技術が望まれている。UN 試料において、焼結温度・時間ともに良好な結果が得られたため、これをふまえて不活性マトリクス TiN あるいは ZrN を含む複合窒化物燃料ペレット試料への適用を試みた。まず窒化物粉末を合成するために、酸素量及び水分量を十分低減できるガス循環精製装置一体型グローブボックスと、これに隣接した雰囲気調整型電気炉を整備した。次に  $UO_2$ 、 $Dy_2O_3$ 、 $TiO_2$ 、 $ZrO_2$  粉末と炭素粉末を混合し、加熱することで窒化させた。作成した複合窒化物試料について、窒素フロー中で放電プラズマ焼結法による高密度ペレット試料の作成を行った。

グローブボックスおよび電気炉内では酸素濃度、水蒸気いずれも 10 ppm 以下に保てることを確認した。これを用いることで、いずれの試料においてもほぼ目的の窒化物試料を得ることができた。不活性マトリクスとして用いた ZrN は UN や DyN と完全に固溶するが、TiN はいずれにも固溶せず、二相混合試料となることがわかった。TiN、ZrN 単体については 1800°C での放電プラズマ焼結により理論密度の 90% 以上の試料密度が得られた。UN 試料については購入粉末を用いたときと同様に 1500°C、他の複合窒化物試料では 1600°C での焼結で同様の高密度試料が得られ、従来の常圧焼結法で作成したときに比べて著しく焼結温度と焼結時間が低減できることがわかった。また、このため結晶粒と粒内の気孔の成長が大きく抑制されていることがわかった。TiN を含む混合試料においては、放電プラズマ焼結法によってそれぞれの粒径を制御することができ、不活性マトリクスとしての効果を高くすることができることが示唆された。

・作成ペレット試料の熱物性評価

作成した UN ペレット試料および複合窒化物試料について比熱容量、熱拡散率測定から熱伝導率を算出し、また熱膨張率の測定を行った。

室温からおよそ 800°C までの範囲において、TiN、ZrN、UN における比熱容量はほぼ文献値と同じ値が得られた。TiN あるいは ZrN を加えた複合窒化物試料においても、比熱容量はこれらの足し合わせでほぼ評価できることがわかり、ここからこれまで報告例のない DyN の比熱容量の推定値が得られた。熱伝導率は過去の報告値と比べて同じかあるいは高い値を示すことがわかった。この結果は試料の非常に小さい粒径からすると考えにくい、放電プラズマ焼結法によって粒界での不純物が減少し、熱抵抗が弱められたためと考えられる。熱膨張率についてはほぼ文献値と一致する値が得られた。

・作成ペレット試料の弾性定数評価

超音波パルスエコー法による室温でのヤング率、ポアソン比等の弾性

定数を評価した。またビッカース硬度の測定を行った。

単体試料である TiN, ZrN, UN については、ほぼ過去の報告値と同じヤング率を示すことが確認できた。ヤング率については焼結方法による明確な違いは見られず、複合材料においてはいずれも各単体試料の中間の値をとった。ここから巨視的な機械的特性であるヤング率等の弾性定数については大きく変化しないことが確かめられた。一方のビッカース硬度については、UN 試料および複合窒化物試料ともに放電プラズマ焼結で作成した試料が高い値を示した。これは非常に小さく保たれた粒径のためと考えられる。以上から、ヤング率などの弾性定数においては焼結方法による違いが見られないが、粒径および粒界が強く影響する硬度においては明らかな違いが見られることがわかった。

・作成ペレット試料のクリープ特性評価

UN ペレット試料及び複合窒化物ペレット試料について、押し込み法によるクリープ特性試験を行い、データを集積した。常圧焼結法で作成した同組成の試料についても測定し比較を行った。

傾向として放電プラズマ焼結法で作成した試料の方が応力指数値が低く、クリープ変形しにくくなっていることがわかった。これは粒成長の抑制によるものと考えられる。また TiN, ZrN の添加によってもクリープ変形が起りにくくなる傾向が見られた。これは粒径がさらに小さくなることに加え、TiN については析出物、ZrN については固溶による強化が起こったためと考えられる。

【事業全体】を通じて

これまでの酸化物、金属、窒化物試料に対する本業務の成果から、これらの特徴をまとめ、ここから燃料ペレット焼結法としての適用性を評価した。

・焼結特性

過去に常圧焼結法によっても作成されたことがある酸化物、窒化物試料について、焼結温度と時間、ボールミル条件の比較をまとめた。

酸化物粉末、各窒化物粉末の焼結において、850℃（酸化物）、200℃～300℃（窒化物）と大幅に焼結温度が低減され、また焼結時間も 90 % 以上低減されていることがわかる。窒化物試料においては、これまで試料密度を高めるために行われてきた数十時間のボールミル処理ならびに焼結助剤の添加を行わず、合成後の粉末をそのまま用いて高密度試料が得られることが確認できた。これは粉末表面が電流によって活性化し、ネックの形成・焼結が促進されるためと考えられる。この低温・短時間焼結特性は本焼結法の最も重要な特徴であり、予想通りの結果が得られたといえる。

形態	試料組成	ボールミル時間 (h)	焼結温度 (K)	焼結時間 (min)	理論密度 (%TD)
酸化物	UO <sub>2</sub>	—	1973 → 1123 (850°C低減)	240 → 10 (99%低減)	95-98 → 88
窒化物	UN	40 → 0 (省略できる)	2073 → 1773 (300°C低減)	320 → 18 (94%低減)	90-92 → 90-91
	TiN + UN (Ti:U = 6:4)	40 → 0 (省略できる)	2073 → 1873 (200°C低減)	480 → 19 (99%低減)	93.1 → 95.5
	Zr <sub>0.6</sub> U <sub>0.4</sub> N	65 → 0 (省略できる)	2073 → 1873 (200°C低減)	1680 → 19 (99.9%低減)	92.1 → 96.3

・微細構造の制御

放電プラズマ焼結ではどのような形状のものでも焼結・接合することができ、出発物質の形状を残した微細構造を作成することができる。直径 0.6 mm の UO<sub>2</sub> 粒子と 0.5~1 mm 角の U-Zr 切断片のような粗大粒子を用いた焼結では、接触部のみが結合し、出発物質の組成、試料形状をそのまま残した焼結体を作成できた。一方、微粉末を用いた酸化物・窒化物試料においては、著しく粒成長が抑制され、ナノメートルレベルの微細な粒径を保つことが可能であることが確かめられた。これは上述の低温・短時間焼結によるものである。これは複合材料にも応用が可能であり、窒化物の複合試料ではサブマイクロメートルレベルで均質に分散した高密度焼結体を作成できた。以上のように、様々な形状・組成の出発物質の形状を残しつつ焼結体を形成できるため、微細構造の制御に適した焼結法であることが確認できた。

・焼結体の熱・機械物性

比熱容量、熱膨張率については過去の報告値とほぼ一致する結果が得られた。熱伝導率については、UO<sub>2</sub> 粉末を用いた試料のように組成がずれているものを除き、従来法で作成した試料と比べいずれも過去の値と同程度かそれよりも高い値が得られた。このように、粒径が小さい試料でも熱物性の劣化は見られなかった。機械的特性においては、弾性定数はいずれも文献値と一致したものの、硬度やクリープ特性など、粒径に強く依存する特性では違いが見られた。

・燃料製造プロセスへの適用性

燃料製造に用いた際の利点として、i) 造粒工程・焼結工程の省略あるいは簡素化、ii) 微細構造の制御によるスウェリング抑制効果、iii) マイナーアクチニドの蒸発抑制が考えられる。

i) 酸化物燃料や窒化物燃料の製造において、試料の密度と均質性を

向上させるための助剤添加やボールミル等による粉碎処理が行われているものの、放電プラズマ焼結法ではこれらの工程が不要であるため、この造粒工程の省略が可能となる。また焼結時間の大幅な減少により、取扱い時間を低減させることができる。

ii) 適切な形状の出発物質を用いて微細構造を制御することで、例えばはじめから連続気孔を持たせることによってスウェリング等の形状変化を抑制できる可能性があるといえる。

iii) Am化合物は比較的高い蒸気圧を持ち、焼結時に分解・蒸発することが問題とされている。放電プラズマ焼結法による大幅な焼結温度の低減、さらに9割以上の焼結時間の低減により、この元素の蒸発を大きく抑制できると考えられる。

逆に、問題点としてはi) 量産性、ii) 製造コストがあげられる。

i) 一回あたりの焼結時間は低減できるものの、数千のペレットをまとめて焼結できる常圧焼結法と比較して量産性は落ちる。装置メーカーにおいて量産用のロータリー型放電プラズマ装置などが開発され、実用化がなされたこともあるが、燃料集合体あたり数万～数十万個必要なペレット作成は難しいと考えられる。

ii) 既存装置に加えて焼結装置の設備費用、耐久性の低い黒鉛ダイス等の消耗品コストがかかる。一方、酸化物燃料では大規模化によってコストを低減できる見込みが既にあり、また金属燃料は経済性に優れた射出鑄造法があるため、コスト的に不利であると思われる。

以上の放電プラズマ焼結の特徴と利点、問題点を考慮すると、既に製造方法が確立されつつある酸化物、金属燃料に対して新たに用いることに大きなメリットはないと思われる。一方、窒化物燃料においてははまだ製造方法が確立されていない。窒化物燃料は難焼結性であるため、現行ではボールミル処理が行われているが、低除染燃料に対して処理量も限られるボールミルを数十時間行うというのは大きい問題点であるといえる。このため、本焼結法における粉碎処理・焼結助剤なしで容易に高密度試料が得られるという特徴を最も活かすことができる。さらに窒化物はマイナーアクチニドとの相溶性に優れることからその消滅処理用燃料として期待されており、本焼結法での低温・短時間焼結によるAmなどマイナーアクチニドの蒸発抑制効果が最も力を発揮できる対象といえる。本事業により、放電プラズマ焼結法は高密度試料を得ることが難しく、また焼結温度の低減が望まれているマイナーアクチニドを含む窒化物燃料や、あるいは長寿命FPターゲット燃料の製造プロセスに適用できる可能性があることが確かめられた。

論文、特許等については、以下のとおりである。



	<p>1. プロシーディング・論文</p> <p>① H. Muta, K. Kurosaki, M. Uno, and S. Yamanaka, “Thermal and mechanical properties of uranium nitride prepared by SPS technique”, J. Materials Science (Proceedings of the Symposium on Spark Plasma Synthesis and Sintering), online published.</p> <p>② H. Muta, K. Kurosaki, M. Uno, and S. Yamanaka, “Preparation of nitride fuel by spark plasma sintering technique”, Materials Research Society Symposium Proceedings (2008), 1043-T13-04.</p> <p>③ H. Muta, K. Kurosaki, M. Uno, and S. Yamanaka, “Characterization of composite nitride pellet prepared by SPS technique”, Proceedings of Material Science &amp; Technology 2008 Conference, accepted.</p> <p>④ H. Muta, K. Kurosaki, M. Uno, and S. Yamanaka, “Thermophysical Properties of Several Nitrides Prepared by Spark Plasma Sintering, J. Nucl. Mater., accepted.</p> <p>2. 口頭・ポスター発表</p> <p>① 日本原子力学会 2006 年秋の大会での口頭発表「放電プラズマ焼結による燃料微細構造の制御と物性評価」</p> <p>② International Information Exchange Meeting on Thermodynamics of Nuclear Fuels での口頭発表「Characterization and microstructure of fuels prepared by spark plasma sintering」</p> <p>③ 日本原子力学会 2007 年秋の大会での口頭発表「放電プラズマ焼結による窒化物燃料の作成と物性評価」</p> <p>④ 7th Pacific RIM Conference on Ceramic and Glass Technologyでの口頭発表「Preparation of nitride fuel using SPS technique」</p> <p>⑤ 2007 Material Research Society Fall Meetingでの口頭発表「Preparation of Nitride Fuel by Spark Plasma Sintering Technique」</p> <p>⑥ 日本原子力学会2008年春の年会での口頭発表「放電プラズマ焼結を用いた窒化物試料の焼結」</p> <p>⑦ 12th Symposium on Thermo-chemistry and Thermo-physics of Nuclear Materials でのポスター発表「Thermophysical Properties of Several Nitrides Prepared by Spark Plasma Sintering」</p> <p>⑧ Material Science &amp; Technology 2008 Conference and Exhibition でのポスター発表「Characterization of composite nitride pellet prepared by SPS technique」</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>・ 革新炉の燃料製造法について、新たな方法である放電プラズマ焼結の適用性を試みるものであり、適切な目標が設定されていた。</li> <li>・ 大学に所属して、実際のウランを使った実験的研究を進めたことは大いに評価できることである。</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>・ 核燃料物質を取り扱う実験は、通常物質を取り扱うことに比べ格段に制約が多くなり困難を伴うものであるが、安全にかつ概ね計画通りに遂行し良い成果を得ていることは、特筆に値する。</li> <li>・ 困難な実験を進めたことは高く評価できる。</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>・ 放電プラズマ焼結を広範囲の燃料形態に適用し、基本特性を把握する成果を得て、実用上のメリットと限界を明確にした。</li> <li>・ 窒化物燃料の従来製法に比して、放電プラズマ焼結による低温・短時間焼結の特性を明らかにした点は大変有用な知見である。特に、マイナーアクチニド（MA）燃料に適用できることを確認したことは意義が大きい。核変換処理用燃料の製造法のオプションとして準備できたという新しい途を拓いたことは、今後の展開が期待できる。</li> <li>・ 研究途中において、種々のコメント等を適切に実験に取り入れ、当初想定していなかった条件での実験も行い、新たな製造法の適用性について明確な結論を導き出している。</li> <li>・ 専門的にはやや不慣れな分野と思われるがその分チャレンジングであり、所定の目的はほぼ達している。本研究により、広範な経験が蓄積されたと思われる。</li> </ul>
<p>4. その他</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 現在の日本の大学では、核物質を扱った研究がほとんどなくなった中で、ウランを扱ったテーマに取り組まれた努力に敬意を表す。</li> <li>・ 若手対象事業として相応しい課題であった。</li> </ul>

<p>5. 総合評価</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 革新炉の燃料製造に係る課題をよく理解して着実なアプローチが採られて研究が進められており、新たな製造法の適用性に関しての問題点、利点がよく整理されていると評価できる。</li> <li>• マクロ量のウランを使った研究であり、実際に焼結プロセスにまで到達できていることは意義あるすばらしい成果であり、今後、MAやLLFP含有燃料あるいはターゲットの製造法として期待される。</li> <li>• ペレット中の組成分布、原料物質のプラズマ焼結過程における組成変動の有無など製作したペレットの空間的な非均質性の詳細な調査、照射挙動確認など、放電プラズマ焼結法の改良とその実用化に向けた今後の研究の進展を期待したい。</li> <li>• 特に、本焼結法の特徴が生かせるMA含有窒化物燃料に特化することで、実用化を指向した研究への進展が期待される。</li> <li>• なお、窒化物燃料はもともとPCMIが一つの課題とされていることから、放電プラズマ焼結による窒化物燃料のクリープ速度が減少する傾向を有する点の評価と今後への考え方が示されるのが望ましい。</li> <li>• 燃料の研究者として、着実に成長することが期待される。</li> </ul> <p>○ A) 想定以上の成果が得られ、今後に期待できる。  B) 想定通りの成果が得られ、今後に期待できる。  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>
----------------	--