

**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**

<p>研究開発課題名（研究機関名）          中性子共鳴吸収によるMOX燃料ペレット模擬体分析法の開発研究（国立大学法人北海道大学）          研究開発担当者          機関名：国立大学法人北海道大学                      総括代表者：加美山 隆          研究期間及び予算額          平成17年度～平成19年度（3年計画） 83,459 千円</p>	
項目	要 約
<p>1. 当初の目的・目標</p>	<p>① 想定した革新的原子力システム</p> <p>原子力技術の高度化に伴い、新しい原子炉用の燃料は、信頼性の向上や燃料サイクルの確立、使用済み燃料発生源の低減等を目標として、さまざまに開発が行われている。今後、高速増殖炉における MOX 燃料の使用も含めて、高度化された燃料の利用が進められるが、これら核燃料の研究開発、品質管理等には燃料体の精確な検査・分析技術が要求される。これまで、燃料体について分析を実施するには、多くの場合対象物を破壊する必要があった。それに対し、核種毎に中性子共鳴吸収エネルギーが異なる現象を利用し核種を識別する方法は、非破壊・非接触に試料内核種の識別を行うことを可能とする。さらに非破壊・非接触で物体内部の核種分布の解析が行えれば、装荷前の燃料体の検査のみならず、燃焼による燃料体の変化を追跡することも可能となる。</p> <p>一方で、このような分析法の基盤となるべき加速器中性子施設の現状は J-PARC 計画に代表されるように極めて大型化しており、このような目的には建設コストが100分の1以下である小型加速器施設の利用が占有可能時間の面からも原子力分野の非破壊分析システムとして有用と考えられる。さらに J-PARC のような大型加速器施設ではビームパルスに微細な構造があり、共鳴吸収ピークの測定には向かないため、小型加速器の利用を前提とした分析システムを構築し評価しておくことは、実際の応用に向けての基盤となる。</p> <p>そこで、本事業では、この原理に基づく核種分布の非破壊分析システムを構築するため、安価に建設可能な小型加速器施設を用いた中性子共鳴吸収分光法 (Neutron Resonance Absorption Spectroscopy; N-RAS) と計算機断層撮像法 (Computer Tomography; CT) の組み合わせによる分析法 (N-RAS/CT) を用いたシステムを提案し、燃料ペレットサイズ大の複数核種混合系である測定対象物の分析に応用する小型加速器利用システムを想定した。</p> <p>② 到達目標</p> <p>本事業全体の到達目標は、ペレットサイズ程度の物体に対する小型加速器利用の中性子共鳴吸収断層撮像を実証し、分析システムとして総合的に評価することである。このために、小型加速器として既設の北海道大学 45MeV 電子線加速器を利用し、共鳴吸収分光器と断層撮像用試料ステージを中心とした N-RAS/CT 分析システムを構築する。事業は3つの</p>

開発項目、(1)小型加速器に対応した中性子共鳴吸収分光器に関する研究開発、(2)45MeV 電子線加速器ビームラインに関する研究開発、(3)CT スキャンシステムに関する研究開発、から成り、これらから構築した分析システムを総合的に評価する。

それぞれの項目に対する到達目標は以下の通り。

(1)小型加速器に対応した中性子共鳴吸収分光器に関する研究開発

中性子共鳴吸収分光器の設計を小型加速器に対応させるため、高感度検出器の採用、検出器数の増大、遮蔽強化による S/N 比の向上といった対策により、北大施設より強度 100 倍の中性子源に設置された既存分光器と同程度の効率を持つ分光器を完成する。

(2)45MeV 電子線加速器ビームラインに関する研究開発

小型の中性子源で共鳴吸収の測定が可能となるように、S/N 比の向上のため、遮蔽を組み込んだ中性子線源集合体の設計やビームパスの真空化、ビームコリメータによるビームの整形といったノイズ源となる放射線を減らすビームラインを構築する。

(3)CT スキャンシステムに関する研究開発

小型加速器中性子源では断層撮像用に大量の投影スペクトルを取得することが困難なので、少量の投影スペクトルで効率よく断層像を再構成可能なソフトウェアを作成する。投影スペクトル測定用に遠隔操作型中性子スリットおよび試料回転ステージを製作し、断層撮像測定実験を行う。これらにより、直径が燃料ペレット大の 10mm φ の対象物の分析を 1mm のスリット幅で断層撮像する。さらに本分析システムによる非破壊温度測定を実施し、その可能性を示す。

③ 事業としての全体計画

これまで、N-RAS/CT 法は大型施設の加速器を用いた中性子源において開発が進められてきた。しかしながら現実の核燃料製造や核燃料サイクル過程を考えた場合、大型の加速器中性子源を用いる分析は難しく、小型加速器に N-RAS/CT システムを構築する方が望ましい。幸い中性子共鳴吸収断面積は比較的大きく、小型の中性子源でも共鳴吸収スペクトルの測定が可能と期待される。そこで本事業では、N-RAS/CT システムを北海道大学の 45MeV 電子線ライナックに構築し、MOX 燃料ペレット大の模擬体を対象として、小型加速器中性子源における N-RAS/CT 核種・温度分布分析システムの妥当性について検討することを目的とした。

このために、事業全体の実施計画としては、(1)小型加速器中性子源でも共鳴吸収スペクトルが測定可能な高検出効率かつ高 S/N 比の分光器を建設し性能を評価すること、(2)N-RAS/CT に適する中性子源を含めたビームラインを施設に構築すること、(3)CT スキャンによる断層撮像システムを構築すること、の 3 点を順次実施して、最終的に総合的に完成した分析システムを評価することとなる。これに基づき、本事業では以下の開発項目を実施した。

(1) 小型加速器に対応した中性子共鳴吸収分光器に関する研究開発

① 本体の設計と製作

	<ul style="list-style-type: none"> <li>② <math>\gamma</math> 線検出システムの構築・整備</li> <li>③ 小型加速器による共鳴吸収スペクトル測定の実験</li> <li>④ 試料恒温装置の製作</li> </ul> <p>(2) 45MeV 電子線加速器ビームラインに関する研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① ビームの整形と遮蔽</li> </ul> <p>(3) CT スキャンシステムに関する研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① CT スキャンシステムの整備</li> <li>② MOX 燃料模擬体の製作</li> <li>③ 模擬体内核種分布の測定</li> <li>④ 模擬体温度の測定</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>【事業項目 1】小型加速器に対応した中性子共鳴吸収分光器に関する研究開発</p> <p>① 当初想定して得られた成果</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本体の設計と製作</li> </ul> <p>小型加速器線源の中性子強度の弱さをカバーするために共鳴吸収による即発 <math>\gamma</math> 線の効率的な検出を改良点とし、高感度の 3 組式 BaF<sub>2</sub> シンチレーションプローブの利用と、試料周りの立体角をできるだけ大きくカバー可能な検出器配置を検討して、測定の効率化を図った。この際、BaF<sub>2</sub> シンチレーション結晶先端形状を整形し、各プローブ同士の検出面を密に配置し、検出面が試料周囲の立体角を可能な限り大きく覆うようにして、試料周囲に高密度で高感度の <math>\gamma</math> 線検出器を増設することができた。</p> <p>小型加速器を中性子線源として利用する中性子共鳴吸収分光器では測定効率を上げるため S/N 比を高くする必要がある。このため、遮蔽実験を実施した成果を利用して分光器本体の設計・製作を行い、高エネルギー中性子遮蔽用の鉄、低エネルギー遮蔽用のボロン、<math>\gamma</math> 線遮蔽用の鉛から成る 3 層構造の分光器本体を導入し、中性子共鳴吸収分光器として完成させた。本体遮蔽の完成により、スペクトル測定の S/N 比がそれまでと比べて 5 倍程度向上していることが確認された。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>\gamma</math> 線検出システムの構築・整備</li> </ul> <p>中性子共鳴吸収分光法では、中性子のエネルギーを決定するため、中性子の飛行時間分析を利用する。通常の中性子散乱法に比較して比較的高いエネルギーの熱外中性子を利用するため、高速な飛行時間分析が可能な TA(飛行時間分析)モジュールを核として、中性子共鳴吸収分光器用計測システムを整備した。高速時の安定性を高めて時間揺らぎを小さくした TA モジュールと、測定効率向上用に多数実装した <math>\gamma</math> 線シンチレーションプローブ駆動用の高圧電源を整備することで、安定して効率よく中性子共鳴吸収時の即発 <math>\gamma</math> 線を測定できるようになった。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 小型加速器による共鳴吸収スペクトル測定の実験</li> </ul> <p>整備された中性子共鳴吸収分光器を用いて、Ag、Nd、Ta、W、Cs、</p>

Sb、In、Sm といった試料について共鳴吸収スペクトル測定実験を行い 北海道大学 45MeV 電子線加速器のような小型加速器線源で中性子共鳴吸収の測定が可能であることを実証した。いずれの核種に関しても中性子共鳴吸収が観測され、そのピークのエネルギー位置の違いから核種同定が可能であることが確認できた。また、中性子共鳴吸収分光器の改良により測定効率が向上して、既存の共鳴吸収分光器と同程度となり、計画通りの性能が得られたことを確認した。

・ 試料恒温装置の製作および広い温度範囲の測定

測定対象物(試料)に含まれる共鳴吸収核種の精確な吸収断面積や面密度を求めるため、広い温度範囲で測定対象物の温度を一定に保ちつつ吸収断面積を求める真空断熱式の試料恒温装置を設計・製作し、その使用環境を整備するとともに、広い温度範囲で共鳴吸収スペクトルを測定した。

Ta の測定を基に温度解析の手順を構築し、中性子パルス関数の最適化および核種の実効温度を含む共鳴吸収断面積を精確に求めるための共鳴吸収ピークフィッティングプログラムを作成した。中性子共鳴吸収分光器用の真空恒温槽を用いて、Ag、Nd、Ta、Sb、In、Sm の共鳴吸収核種について共鳴吸収スペクトルを広い温度範囲にわたって測定した。ここから試料中の共鳴吸収温度に対する共鳴吸収ピークの変化について実測を得ると共に共鳴吸収ピークフィッティングコードのパラメータとなる中性子パルスに関する情報を抽出した。

② 当初想定していたが得られなかった結果

特に無し。

③ 当初想定していなかったが副次的に得られた成果

特に無し。

④ 新たな展開が考えられる特筆すべき成果

・ 中性子共鳴吸収分光器は検出器と遮蔽を含めて完成の域に達したと考えられることから、S/N 比が重視される小型加速器中性子源用のみならず、大型加速器施設においても運用できる中性子共鳴吸収分光器が得られた。他の施設への設置により、幅広い産業利用にも期待できる。J-PARC 施設への適用に関しては、本事業で導入した高速飛行時間分析器の利用によって中性子パルス内の微細構造を考慮したスペクトル解析が行える可能性についての検討が必要である。大型施設の利用により、より高分解能の断層撮像も視野に入る。

・ 広い温度範囲の測定から最適な中性子パルス形状を決定する手順が整備されたことから、これまで温度 1 点の測定で決定されていた加速器中性子源のビーム特性の測定を、より精度良く実施することが可能となる。また、逆に温度を変えて測定することで、核種密度、あるいは共鳴吸収断面積の測定精度を向上することが可能となる。

**【事業項目 2】 45MeV 電子線加速器ビームラインに関する研究開発**

① 当初想定していた得られた成果

・ビームの整形と遮蔽

N-RAS/CT 分析システムによる利用に適したビームラインについて検討を行った。中性子共鳴吸収分光法では、通常中性子散乱で利用される数 meV～数百 meV の低エネルギー中性子ではなく、1eV 以上の中性子ビームを扱うため、中性子の遮蔽やビームラインから発生する  $\gamma$  線が測定ノイズ源となる。このため、適当なビームの整形法や遮蔽について検討した。ノイズ源として一番大きいのが、ターゲットから直接入る  $\gamma$  線であるため、ターゲットおよび水モデレータの配置を検討して、中性子共鳴吸収分光器に適したターゲット-減速材-黒鉛反射体アセンブリーを設計・製作し、ターゲットからの  $\gamma$  線が直接分光器に入ることを防止した。中性子共鳴吸収分光器では高エネルギー中性子を利用するため、その遮蔽が必要となる。このため、ビームダクトに、開口部を可変可能なビームコリメータを装備した可変式  $B_4C$  コリメータ台を 2 基設置して余分な中性子を遮蔽するとともに、これを利用してビームの広がりを押さえる実験配置を検討し、実際の測定に利用した。

② 当初想定していたが得られなかった結果

特に無し。

③ 当初想定していなかったが副次的に得られた成果

CT 測定時に、中性子の遮蔽を目的として真空ビームダクトに設置したビームコリメータを CT スキャン用の中性子スリットと連動して移動させることにより、ビーム発散を抑えて空間分解能を向上できることを示した。これにより、中性子線源に十分な中性子強度があれば、さらに空間分解能をあげたスキャンを行うことが可能である。

④ 新たな展開が考えられる特筆すべき成果

特に無し。

**【事業項目 3】 CT スキャンシステムに関する研究開発**

① 当初想定していた得られた成果

・CT スキャンシステムの整備

CT スキャンの測定の際、測定対象物のスキャンをするため、本事業で整備された中性子共鳴吸収分光器に適応するよう、制限された空間内において中性子スリットの移動と試料の回転を遠隔制御できる CT スキャンステージを設計・製作、さらにその駆動プログラムを整備して、中性子 CT スキャンステージシステムとして完成させた。完成したステージは幅 10cm の検出器間で動作するようになっており、中性子上流側の中性子スリット(稼動範囲約 80mm、位置分解能 0.01mm、繰り返し位置精度 0.01mm)、試料回転ステージ(360 度回転可、角度分解能 0.05 度)の 2

軸を遠隔操作で制御する。中性子スリットは  $B_4C$  焼結体の棒材でできており、スリット開度は 0~3mm まで調整可能である。

CT 用投影スペクトル測定の際、試料各部にあたる中性子スペクトルをそれぞれの位置でモニターするため、Li 直読式二次元型検出器をモニターとして設置し、CT 測定時のスリット位置や試料位置の確認・補正に利用すると共に、入射中性子ビームプロファイルの測定にも利用できることを確認した。

また、将来の中性子 CT スキャンに適する検出器の検討のため、高位置分解能を持つ近接型イメージインテンシファイアを用いた中性子共鳴吸収スペクトル測定を実施して、二次元平面上での中性子検出能力と時間応答性について確認した。

#### ・MOX 燃料模擬体の製作

CT スキャンの測定に使用する、中心軸対称性を持つように核種分布を調整可能な試料セルを作成し、共鳴吸収測定の対象として利用した。

#### ・模擬体内核種分布の測定

本事業で整備した中性子共鳴吸収分光器と中性子 CT スキャンステージシステムを用いて、核種分布可変試料セル内で円筒対称分布させた In、Ta、Ag、Sb に対する一連の位置分解中性子共鳴吸収スペクトルを測定した。このスペクトルについて、作成した最尤推定-期待値最大化法による CT 解析プログラムを用いて再構成を行うことで、Ta 及び Ag の核種分布断層像を得た。これにより、小型加速器中性子源を利用して中性子 CT 分析が可能であることを実証した。さらに、核種密度分布の絶対値測定を目標として、フィッティングコードの開発および精密化した測定を実施し、核種密度の絶対値で CT の断層分布が得られるようになった。この断層内分布の密度絶対値測定について、本事業では <10% の精度で再構成することができた。これは部分投影スペクトルの統計精度を上げることで、再構成像の精度をより向上することが期待できる。

また、真空ビームダクトに設置したビームコリメータを併用して実際のペレット径サイズである直径 10mm の試料の CT 測定を実施し、このサイズでも断層像の再構成が行えることを確認した。これらの結果を元に、分析時間の短縮を目指した効率的な測定方法について検討を行い、必要な分解能に応じたスキャンの最適化を行うことで強度の弱い小型加速器中性子源を利用しても断層内における核種分布の均一性に関する情報が得られることを示した。

#### ・模擬体温度の測定

整備した CT スキャンシステムを使用して、模擬体内の共鳴核種の温度を測定する実験を実施し、小型加速器中性子源を利用した非接触の温度分析法について有効性の検証を行った。核種の実効温度分布測定の検討を行うために作成した共鳴吸収ピーク形状フィッティングプログラムを利用して、Ta が均一に分布した模擬体に対し、試料セル中に温度

勾配をつけた場合の実効温度の分布を CT で可視化する解析を実施した。これに関し、広い温度範囲で最適化された中性子パルス関数をフィッティングに使用することで、温度勾配の分布形状を非接触に得ることができた。

② 当初想定していたが得られなかった結果  
特に無し。

③ 当初想定していなかったが副次的に得られた成果

CT 測定時に、共鳴吸収ピーク形状をフィッティングし、パラメータとして得られた核種密度を用いて再構成することで核種密度分布が絶対値で得られるようになった。これは、定性的な核種分布の断層撮像ではなく、断層撮像に定量性を持たせたということで重要な成果と考えられる。

④ 新たな展開が考えられる特筆すべき成果

高位置分解能を持つ近接型イメージンテンシファイアとLiガラス中性子シンチレータを組み合わせた検出器により、二次元平面上で中性子検出が可能で、それにより共鳴吸収スペクトルが得られたという結果は、新しい中性子共鳴吸収分光器の可能性を示す成果である。現行のスリット移動によるCTスキャンでは非常に測定時間がかかるため、二次元の中性子スペクトルイメージを一度に取れる高分解能検出器は、高速・三次元のCT撮像用として期待される。ただし、実用化には熱外エネルギー領域の中性子を効率よく検出できるコンバータと高速なデータ読み出しの仕組みが必要で、検出器の開発研究を行う必要がある。

**【事業全体】**を通じて

事業全体として、ここで開発した小型加速器利用の核種分布分析システムに関し、効率的な CT 測定法の検討、分光器遮蔽構造の評価、分析システムの検討・評価を行った。

本事業で開発した核種分布分析システムでは、効率的な CT スキャンステージ運用により、空間分解能を落とすことを前提とすれば、燃料ペレット中の核種分布の均一性を確認する施設が小型加速器利用施設でも成立するという結論を得た。また、分光器の S/N 比向上は共鳴吸収ピークの識別に欠かせないため、構築した遮蔽構造を評価した結果、分光器本体遮蔽がバックグラウンド構造を無くしたことから、これが完成したものとして評価した。

本手法で分析可能な元素・核種について、定性分析では概ね 500eV 以下に中性子共鳴吸収を持つ元素・核種が全て対象となる。即ち、 $^{23}\text{V}$ 、 $^{25}\text{Mn}$ 、 $^{27}\text{Co}$ 、さらに  $^{29}\text{Cu}$  より重い元素・核種の殆ど ( $^{37}\text{Rb}$ 、 $^{39}\text{Y}$ 、 $^{58}\text{Ce}$  を除く) が分析可能である。この場合、量的には、大部分の核種で中性子ビームの照射野中に大体  $1 \times 10^{-3} \sim 10^{-4} \text{mol}$  の核種個数があれば確認可

能となる。例として、 $^{233}\text{U}$  や  $^{235}\text{U}$  では  $10^{-3}\text{mol}$ 、 $^{238}\text{U}$  では  $10^{-4}\text{mol}$ 、 $^{240}\text{Pu}$  では  $10^{-5}\text{mol}$  の量で分析可能と期待できる。CT スキャン時の部分投影スペクトル上にこれらのピークが観測されれば、定性的な核種断層分布は再構成可能である。また、これらのうち、定量分析は、共鳴吸収ピーク形状が精度良く得られる約 200eV 以下に中性子共鳴吸収を持つ核種で可能となる。この分析精度は共鳴吸収ピーク測定の統計精度に依るため、十分な測定時間を取ることで 1%程度の定量分析精度が期待でき、この分析値を用いて定量的な核種断層分布像が再構成可能である。

本事業で構築した分析法は、他の分析手法に比較すると、非破壊・非接触で核種の識別や密度・温度の断層分布測定が可能という点でユニークである一方、空間分解能や測定時間が加速器中性子線源強度に依存し、もちろん最低限の測定は現在の北大施設でも可能であるが、実施にはある程度の規模の加速器施設が必要という限界を持つと評価された。この分析法は能力的にはサブミリメートルの空間分解能を持てるが、中性子線源強度が弱いと空間分解能や測定時間に悪影響を与えるので、測定試料の数量・分析精度といった周辺要因に応じて適切な規模の小型加速器を導入する必要があるという結論を得た。

論文、特許等については、以下のとおりである。

○学会口頭発表

- (1) 加美山隆他, ” 小型加速器中性子源への中性子共鳴吸収分光器の設置”, 日本原子力学会 2007 春の大会
- (2) 宮本直樹他, ” 中性子共鳴吸収分光法と計算機断層撮像法を利用した核種分布の非破壊分析”, 日本原子力学会 2007 秋の大会
- (3) 宮本直樹他, ” 小型加速器を利用した中性子共鳴吸収 CT による核種分布の非破壊分析”, 日本非破壊検査協会平成 19 年度秋季講演大会
- (4) 加美山隆, ” 中性子共鳴吸収による MOX 燃料ペレット模擬体分析法の開発研究”, 原子力システム研究開発事業 2007 年度成果報告会
- (5) 加美山隆他, ” 小型加速器中性子源を用いた中性子共鳴吸収断層撮像”, 日本原子力学会 2008 秋の大会
- (6) T. Kamiyama, et. al., “Epithermal Neutron Tomography using Small Electron Linear Accelerator”, The 6th International Topical Meeting on Neutron Radiography (ITMNR-6), Kobe, 2008
- (7) T. Kamiyama, et. al., “Epithermal Neutron Tomography using Compact Electron Linear Accelerator”, Nucl. Instrum. Meth. A, accepted.



<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>・非破壊・非接触で物体内の核種分布の解析を中性子共鳴吸収分光法と計算機断層撮像法の組み合わせによる方法で行うというのは着眼点がよく、意欲的な取り組みである。</li> <li>・ただ、空間分解能の目標設定については、その分析目的からどれだけの分解能が必要かあらかじめ定量的な検討をしておくことが望まれた。</li> </ul> <p><b>【研究計画設定の妥当性、研究の進捗】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計画された事項は計画に沿って着実に遂行されており、当初目標とした成果に繋げており、妥当であったと判断される。</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>・ほぼ完成された中性子共鳴吸収分光器が得られており、本法を適用することにより、非破壊で核種密度の絶対値が得られるようになった。まだまだ開発段階の初期にあると判断されるが、良くまとまった試みであったと判断される。</li> <li>・ほぼ想定通りの成果が挙げられ、中性子線源強度が弱いと空間分解能、測定時間、分析精度に影響するという予想されたことが改めて結論付けられるという結果になった。</li> <li>・線源としてエピソード中性子を利用する場合には、ペレット内での減衰が大きいので測定精度上の課題として残ることから、今後、この課題を解決することが必要になる。</li> <li>・予算に見合った、かなり大がかりな計画であるが、確実に実施されており、マネージング能力を含めた研究者の成長が認められる。</li> </ul>
<p>4. その他</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本研究は照射燃料の特性研究のための試験・分析ツールとしての利用可能性がある。</li> <li>・得られた成果は、今後、論文にして公表することに努めてもらいたい。</li> </ul>
<p>5. 総合評価</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新しいアイデアを実際に試し、目標としたシステムを作り上げることができ、中性子共鳴吸収により非破壊での核種分布分析の可能性を示したことで、ほぼ想定の結果を得ている。また、中性子共鳴吸収法の限界と問題点も明らかにしていることから、本法の今後の進展が期待される。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>• 本技術の適用分野として、燃料ペレットに限られる訳ではないので、広く応用が考えられることから、今後、何を目標に、どのように発展させていくか、よく考えながら研究を進めていくことが望まれる。</li><li>• 設備コストや測定時間の長さ等、実用化にあたっての課題は多いが、新規性を備えた研究開発であることから、一定の規模での研究の継続を期待する。</li></ul>
	<p>A) 想定以上の成果が得られ、今後に期待できる。</p> <p><input checked="" type="radio"/> B) 想定通りの成果が得られ、今後に期待できる。</p> <p>C) 想定通りの成果が一部得られなかった。</p> <p>D) 想定通りの成果が全く得られなかった。</p>