

**研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム
産業ニーズ対応タイプ 完了報告書(公開版)概要**

技術テーマ	:コンパクト中性子源とその産業応用に向けた基盤技術の構築
研究課題名	:小型定常中性子源を用いた中性子透過撮像
プロジェクトリーダー	
機関名	:国立大学法人 名古屋大学
氏名	:清水 裕彦

1. 研究の目的

小型中性子源を用いた中性子の透過撮像を実用化することで、産業応用上求められる即時利用性を追求する。特に、利用目的を限定することで、実用性の確保を試みる。具体的には、燃料電池から排出される水が、安定的かつ継続的に排出されるような排水機構の設計に必要な、気液混合流の振る舞いを実機レベルでの実用的な検査手法の開拓を目的とし、製品開発において随時利用可能な中性子透過撮像システムの基礎の確立を目標とする。

低速中性子は、マクロスケールの被検体を透過する能力に優れるとともに、水分子によって強く散乱を受けるため、燃料電池内部の水の挙動を直接観察する有効な手段である。しかし実際に中性子を利用できる場所は、原子炉もしくは大型の加速器中性子源施設に限られており、製品開発において重要な即時的フィードバックを実現するに至っていない。本課題では、加速器駆動型中性子源を目的に応じて特化することで、製品開発に実用可能な最小限のシステムを構成し、その性能向上を試みる。

2. 研究成果の創出状況

マイルストーン	達成状況
(1)熱中性子源が1kW以上のビームパワーで使用可能であること(平成30年度第3四半期)	名古屋大学加速器中性子源 NUANS は静電加速器からの2.8MeV陽子ビームを用いて、連続中性子ビームを発生させる装置である。NUANSでは2本の陽子ビームラインにそれぞれ中性子発生標的を構築するような配置となっており、本研究課題に関わるBL2ではBe(p,n)反応による中性子発生と常温減速体による熱中性子発生を行なっている(図1)。中性子発生標的は4kWのビーム強度に堪えるように設計を行い、これまでに加速器出口で陽子ビーム強度400 μ A(1.1kW)のビームを用いて中性子透過像の計測を行った。また同時に中性子発生標的の損傷の有無の評価を行なっているが、これまで問題なく機能している。

<p>(2) 熱中性子ビームが検出器位置で $\epsilon \phi \geq 1.4 \times 10^4 \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ が満たされること(平成 30 年度第 3 四半期)</p>	<p>NUANS BL2 で熱中性子を発生させ、検出効率 80% の中性子検出器を用いて、検出器位置での中性子強度の計測を行い、$\epsilon \phi$ が約 $1.4 \times 10^4 \text{n/cm}^2/\text{s}$ になっていることを確認した。</p>
<p>(3) IIT 型検出器が $\epsilon \phi \geq 1.4 \times 10^4 \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ の強度下で 60 秒積分の静止画像が取得可能であること(平成 28 年度末)</p>	<p>IIT 型検出器に産業用 CMOS カメラを組み合わせた撮像システムを構築した。露光時間 60 秒以上での長期安定性の評価を行い、さらなる長期安定性を達成するために冷却機構を付加し、安定に動作することを確認した。</p>
<p>(4) 冷中性子源が 1kW 以上のビームパワーで使用可能であること(平成 30 年 4 月)</p>	<p>冷中性子源における中性子発生標的に関する要求は熱中性子源と同じである(図2)。冷中性子源の場合はこれに加えて冷却能力を評価する必要がある。シミュレーション計算によると 2.8MeV、1kW のビーム強度においては中性子発生標的からの熱負荷は約 0.5W と見積もられる。また冷凍機は遮蔽体の外に設置する必要があるため、その間を繋ぐ冷却バーでの熱入力は約 1W であり、合計 1.5W の冷却能力が必要となる。そのため市販されている 20K10W の冷凍機を用いることで冷中性子源の構築が可能であることが確認された。</p>
<p>(5) 冷中性子ビームがシミュレーション計算で検出器位置で $\epsilon \phi \geq 1.4 \times 10^4 \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ が満たされる設計であること(平成 29 年度末)</p>	<p>温度 20K のメシチレン減速体に陽子ビームを 1mA 照射したとして、発生する冷中性子(1-10meV)の強度を計算してみると $4 \times 10^4 \text{n/cm}^2/\text{s}$ となることが確認された。</p>
<p>(6) 視認度が $p \geq 6\text{db}$ を満たす画像を取得すること(平成 30 年度第 3 四半期)</p>	<p>NUANS BL2 での中性子透過像の計測結果をもとに視認度 p を計算すると、画素サイズである $46 \mu\text{m}$ 角において 1 分照射の場合で 8.6db を達成した。</p>



図1. 構築した NUANS BL2 の写真

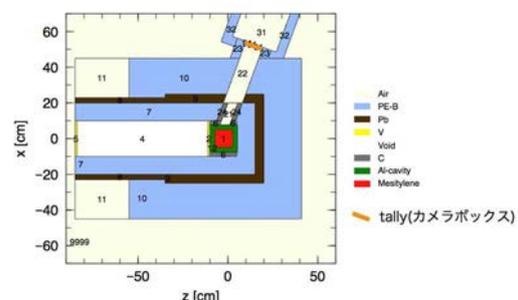


図2. シミュレーションで用いた減速体配置

3. 今後の展開

本課題により中性子イメージング分野において、小型中性子源を用いて画像の定量的評価を行う指針を持ち込むことができた。このように、小型中性子源は大強度の大型施設とは異なる中性子利用を提案することができる能力を持ちうる。また大型施設のように日本に1,2台しかない施設を全国全世界から利用に行って精密測定を行うだけではなく、企業の近くに、可能であれば各企業が自社で所有できるような小型中性子源があることが望ましい。その一方で現状においては小型になる程中性子強度が弱くなり、適用可能範囲が狭くなるのも実情である。そのためには小型中性子源のさらなる高度化と並んで進めるべきものは、現状の小型中性子源よりも1-2桁中性子強度が高く、計測適用範囲は広がるけれども、大規模中性子施設程大きくないような施設を構築し、複数の企業が共同で利用できるような中性子源を構築することである。このような中性子源を大都市近傍に建設することは「なんとか日帰りで中性子計測を行うことができる」環境を提供することにつながるので、企業としても自社で管理する製品を計測に行ってその日に持ち帰れるような施設となり、有意義になると考える。

我々は現在このような施設を「地域中性子源」と名付けて、今後の展開の柱とすることを考えている。

以上のように

- ・小型中性子源のさらなる高度化
- ・地域中性子源の構築

の2点が今後の展開の柱と考えている。

以上