

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	:複合材料の品質管理を目指した小型中性子源小角散乱イメージング装置の開発
プロジェクトリーダー	
機関名	:茨城大学 理工学研究科
氏名	:小泉 智

1. 研究の目的

小型中性子源を利用した複合材料の品質管理を目指して、小角散乱とイメージングを融合した構造評価装置(小角散乱イメージング装置と呼ぶ)を開発する(図1)。ナノスケールの構造の評価の最適な小角散乱を複合材料の各部位で網羅的に計測して、その構造情報をマッピングする(図2)。その結果、産業界で取り扱う繊維強化プラスチック、タイヤ、鉄筋コンクリート、金属基材料などの複合材料の内部構造を定量的に材料の場所ごとに可視化できる非破壊検査法が実現する。特に中性子が高い感度を有する水素(水)の検出も目指す。構造情報として干渉性散乱として、(1)母材の結晶化度、結晶方位、結晶ひずみ(広角検出器)、(2)分散粒子の形状因子からその密度や配向分布(小角検出器)、(3)母材と分散材のあいだの剥離、亀裂(小角検出器)などの情報をマッピングする。非干渉性散乱(広角および背面検出器)から水分分布を評価し可視化する。

本開発装置を理研(和光)の陽子線ライナック小型中性子源(RANS、出力 7MeV)に設置し計測を行う。小型中性子源のターゲットの直下にマルチピンホールを設置して、大面積に発生する中性子ビームを効率よく利用する。「飛行時間法」と「マルチピンホール」の組み合わせによって、小型中性子源の「強度不足」を克服する。また、J-PARC 茨城県産業利用構造解析装置(i-MATERIA)の小角散乱の測定性能との定量的な比較を行う。RANSにおける実測をもとに本開発装置を利用するために最適なターゲット&モデレータの形状を、モンテカルロシミュレーション等を用いて評価し、最適化の指針を明示する。

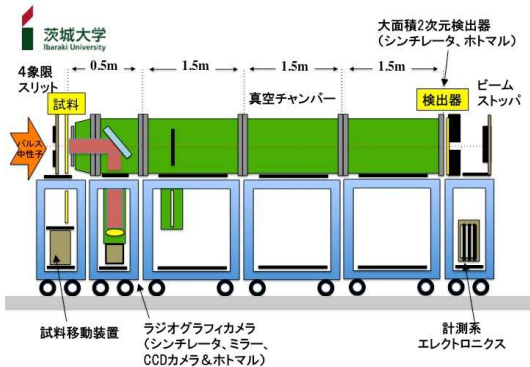


図1 開発する小角散乱イメージング装置の概念図

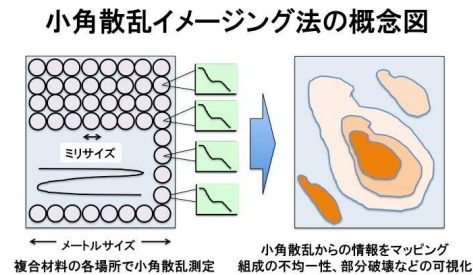


図2 小角散乱イメージング法の概念図. マクロサイズの試料の各場所にミクロな構造パラメータをマッピングして可視化する.

2. 研究成果の創出状況

マイルストーン	達成状況
(1) 大面積2次元検出器で中性子ビームを検出 (チェックポイントCP1.)	達成度 100%。 平成27年度、28年度においてフラットパネル型2次元検出器(ホトマル)を試作した。検出位置分解能を最適にするために、シンチレータと2次元検出器の間に光拡散ガラスを装填し効果を確認した。
(2) 大面積2次元検出器で集光ビームを検出 (チェックポイントCP2.)	達成度 100%。 理研RANSにおける実測の結果、ベリリウムターゲットより発生した熱中性子線のうちで、検出器位置(1500mm)に集まる中性子線を選別し集光することができた。本技術の特許出願した。
(3) 大面積2次元検出器で小角散乱を検出 (チェックポイントCP3.)	達成度 100%。 検出器の面積(立体角)を考慮して散乱真空槽を設計し製作完了した。小角散乱解析ソフトウェアに試料位置制御プログラムを付加し、自動測定制御を可能とした。
(4)CCD カメラによるラジオグラフィーの確立 (チェックポイント CP4)	達成度 100%。 グラッシーカーボンの標準試料においてカーボン層状構造の小角散乱、および回折を観察した。
(5)シリコン完全結晶による高分解小角散乱の測定 (チェックポイント CP5)	達成度 100%。 (9x9)形式のマルチピンホールの穴径をさらに小さくすることと、冷中性子源(理研 山形グループ)の成果を組み合わせることで、最低観測波数を $q=0.007 \text{ \AA}^{-1}$ へと拡張した。
(6) ターゲット部の遮蔽を改造、設計 (チェックポイント CP6)	達成度 100%。 冷中性子源(理研 山形グループ)の成果や、マルチピンホールの成果を組み入れた新しい遮蔽体構造を設計した。

3. 今後の展開

これまでの中性子利用は、原子炉や加速器の大型実験施設に限られてきた。特に東日本大震災以降は、研究炉 JRR3 の運転が停止し、大強度陽子加速器 J-PARC が唯一の中性子源である。J-PARC のような大型実験施設では、一つのビームラインを複数のユーザーが入れ替わり立ち代わりに利用する共同利用の体制のため実験の機会は限られる。今回完成した小型中性子源の小角散乱装置 ib-SAS を組み合わせることで、X 線のようなラボ X 線装置と放射光施設の2段構えのピラミッド型の利用体制（図21）が構築すれば効率の良い予備実験が可能となる。また、大型施設にはない小型中性子源施設の自由度を活用すれば、大強度施設では困難な中性子を補足するイオンビームや X 線等の複合ビームの同時計測や、高温高圧等の暴露試験が可能になる。また大学院の教育にも小型中性子源の併用が望ましい。

理研 RANS は大強度加速器施設と比較して、小型中性子源は強度不足（1/1000）という弱点があるが、これを補う試みとして、ターゲットの直下にマルチピンホールを設置して、大面積に発生する中性子ビームを効率よく利用した。また「飛行時間法」と組み合わせ、広い波長域の熱冷中性子を同時に利用したことによって、小型中性子源の「強度不足」を克服し、実用に耐える材料試験装置を建設できた。さらに実験の対象は、桁外れの大きさの散乱断面積を有する水素関連物質に集中することで、小型中性子源においても実用に耐える分析装置を実現する作戦である。今後、水素社会を迎えるにあたり、中性子を利用した材料評価試験が活躍すると期待が高まる。水素製造、輸送貯蔵、FCV 等のエネルギー利用、水素を取り扱う鉄鋼、高分子の材料分野において、安全と効率を確保する革新的材料・製品開発に中性子を利用できるだろう。安全を担保するためにさまざまな材料の物性や劣化挙動などを評価するために、水素雰囲気等の極限条件下の暴露試験（例えば高圧高温耐久試験等 100MPa）が必要であるが、大強度陽子加速器 J-PARC では安全規制とビームタイムに制限があり困難である。そこで小型中性子源に散乱計測の技術を構築して、これを民間の工場等の手元で利用できれば材料開発、試験研究が加速すると期待できる。

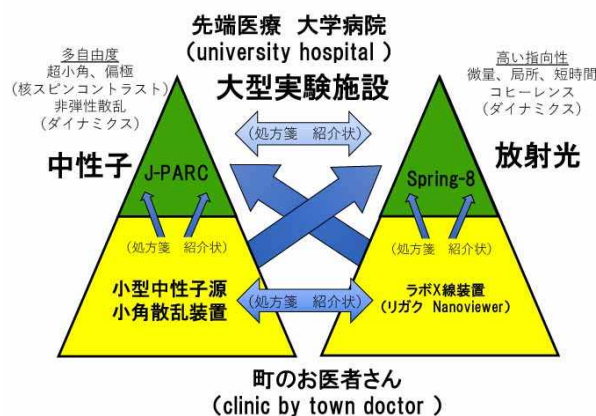


図 21

以上