

平成20年度量子ビーム基盤技術開発プログラム

「中性子ビーム利用高度化技術の開発」

成果報告書

平成21年5月

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

本報告書は、文部科学省の量子ビーム基盤技術開発プログラムによる委託業務として、独立行政法人日本原子力研究開発機構が実施した平成20年度「中性子ビーム利用高度化技術の開発」の成果を取りまとめたものです。

委託業務の題目「中性子ビーム利用高度化技術の開発」

実施機関：独立行政法人日本原子力研究開発機構

1. 委託業務の目的

中性子偏極・集光・検出及びイメージングなどの中性子ビーム基盤技術研究を発展させ、その基盤技術をJ-PARC及びJRR-3の中性子科学研究施設の高角散乱、小角散乱、イメージングの実験装置に導入し、中性子ビームの高品質化、高輝度化、高精度化を実現することで、これまで出来なかったナノ領域からマイクロ領域の階層的な磁性、軽元素、構造歪み、ダイナミクスなどの高精度の中性子計測を可能にすることを目的とする。

このため、独立行政法人日本原子力研究開発機構、国立大学法人北海道大学、国立大学法人東北大学、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、国立大学法人東京大学、国立大学法人京都大学と共同で業務を行う。

独立行政法人日本原子力研究開発機構では、中性子偏極・集光・イメージングシステムの開発と応用に関する研究を実施する。

2. 1 実施計画

①中性子偏極・集光・イメージングシステムの開発と応用に関する研究

^3He 偏極フィルター、磁気集光光学素子、反射光学素子を利用する高精度な中性子ビーム実験システムの開発研究を行う。そのため、JRR-3およびJ-PARCにおける中性子ビーム実験試験システムの整備とその性能評価に着手する。また、パルス中性子イメージングシステムの開発研究を行う。そのため、J-PARCにおけるパルス中性子イメージング試験システムの整備とその性能評価に着手する。

②プロジェクトの総合的推進

プロジェクト全体の連携を密としつつ円滑に運営していくため、運営会議や技術検討会の開催など、参画各機関の連携・調整にあたる。特に、プロジェクト全体の進捗状況を確認しつつ計画の合理化を検討し、必要に応じて調査或いは外部有識者を招聘して意見を聞くなど、プロジェクトの推進に資する。プロジェクトで得られた成果については、積極的に公表し、今後の展開に資する。

2. 2 実施内容(成果)

① 中性子偏極・集光・イメージングシステムの開発と応用に関する研究

i) 中性子偏極用 ^3He フィルターの評価システム整備

中性子偏極用 ^3He フィルターを用いて偏極した中性子や試料により散乱された中性子の偏極度を評価する際に中性子スピン偏極状態を制御する中性子スピン極性反転器（スピンフリップパー）を用いる必要がある。そこで、H20 年度、中性子偏極用 ^3He フィルターの評価システム整備として、短波長領域の中性子に有効な磁気シールド付き対向コイル型スピンフリップパーとその駆動電源系を整備した他、長波長領域の中性子に有効な直流磁場勾配付

き高周波スピントリッパの駆動電源系を整備した。また、偏極した中性子を減偏極させることなく輸送するためのガイド磁場コイル駆動電源を整備した。

ii) 中性子集光・整形デバイスの開発

本プロジェクト研究では、中性子集光・整形デバイスとして中性子反射光学素子の開発と中性子磁気集光素子の開発を行う。H20 年度は、反射光学素子の開発として、Ni/Ti 多層膜スーパーミラーを応用した中性子集光デバイスの開発を行うため、原子力機構の大面積イオンビームスパッタ装置 (図 1) を用いた成膜準備として、スパッタターゲット材料 (Ti) の調達を行うとともに、スーパーミラーの 1 次元楕円基板への成膜の均一性を確保するための成膜条件の検討を実施した。

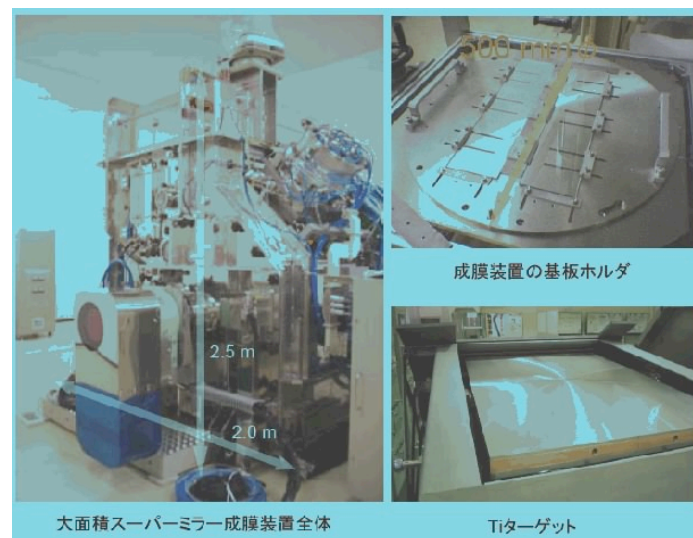


図 1 大面積スーパーミラー製膜装置の外観と内部

また、磁気集光素子の開発においては、六極磁石に基づくパルス中性子集光用磁気複合光学系（図 2）の原理検証実験を実施するための評価システムとして、中性子検出器の出力信号処理回路および中性子スピン制御システムの整備を行った。



図 2 六極磁石に基づくパルス中性子集光用磁気複合光学系のプロトタイプ機

iii) 中性子イメージングデバイスの開発

1) ロータリーコリメータ基幹部の製作

J-PARC の中性子実験装置の 1 つである特性試験装置（BL10）では、イメージング実験に適した比較的平行度の良い大面積の中性子ビームを利用できる。しかしながら、より平行度の高いビームを用いて、例えば空間分解能 1mm 以下の質の高いデータ（高 L/D 比、高 S/N 比、高 n/γ 比）を得るためには、試料位置より上流部に高い中性子エネルギーまでビームを遮蔽整形できるコリメータが必要である。

そこで特性試験装置のビームライン中間地点に、実験目的によりサイズを選択できる遠隔操作のロータリーコリメータを導入することを計画し、平成 20 年度はその基幹部（本体及び架台）を製作した。図 3 に製作したロータリーコリメータ基幹部の写真（左上）及び、特性試験装置での設置予定位置を示す。

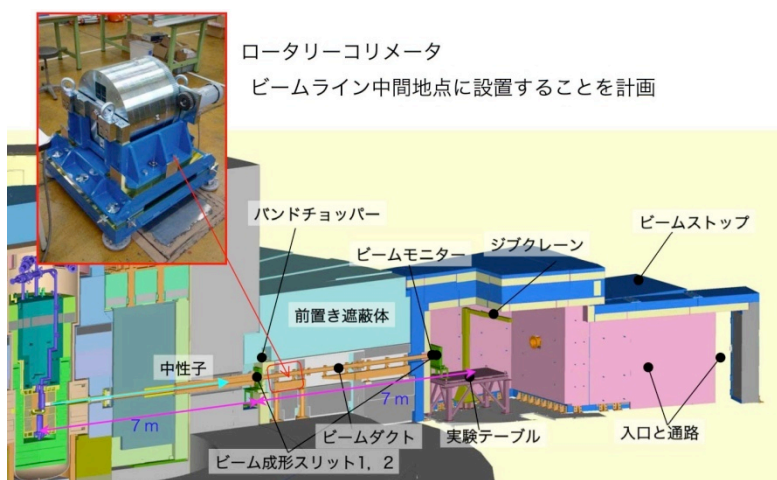


図 3 特性試験装置全体図及びロータリーコリメータ基幹部

製作したロータリーコリメータ単体の動作確認試験を行い、コリメータ挿入孔の位置再

現精度が 0.5mm（定規の最小目盛り）程度であることを確認し、要求精度（1mm 以下）を満足した。H21 年度は本ロータリーコリメータに制御システムを付加して完成させ、特性試験装置に据付け、秋以降に実中性子ビームを用いた性能を評価する予定である。

2) 高速動作中性子シャッターの製作・設置・動作試験

中性子を用いたイメージング実験は、高強度の中性子ビームが試料を透過した後の強度分布を検出器により測定することにより行われる。この際、中性子照射による試料や測定用機器の放射化や損傷を低減するため、照射する時間は極力短い方が望ましい。

J-PARC の特性試験装置には、開閉に 1 分程度の時間を要する大型の中性子シャッターが設置されているが、試料の透過像を撮影する時間以外にも大型シャッターを開閉するのに要する間、試料や測定装置が中性子に曝されることになり、実験を行うにあたって好ましい環境ではなかった。このため、主に熱・冷中性子を遮蔽するブロックを高速で動作するステージ上に設置し、2 秒程度の速度で開閉できる高速中性子シャッターを製作し、装置室内に設置した（図 4）。中性子照射による放射化は、ほとんどが熱・冷中性子で引き起こされるため、本シャッターの設置により、試料の放射化や測定装置の損傷は大幅に低減できる見込みである。

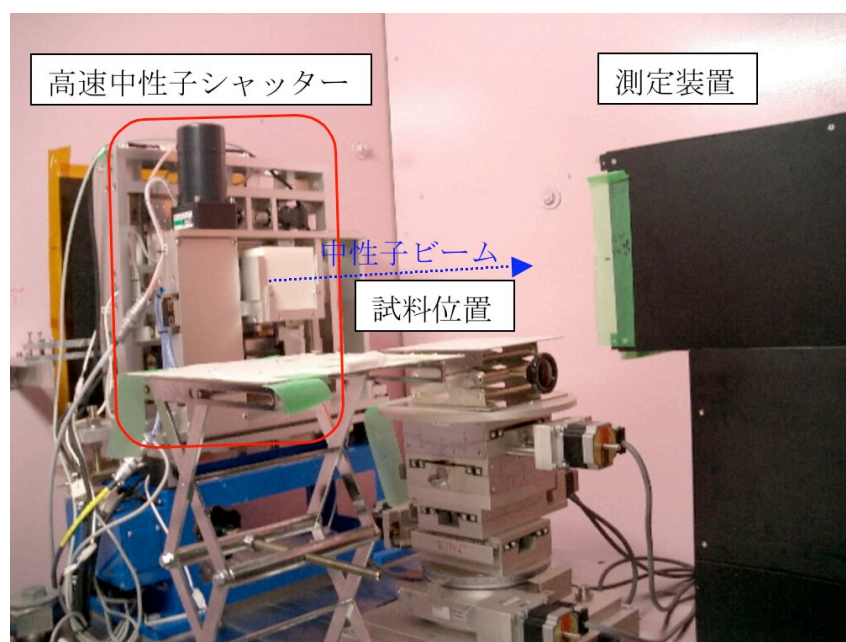


図 4 イメージング実験における装置室内の配置

3) 計測系等の整備

パルス中性子を用いたイメージングを行なうための、計測系等の整備を進めた。イメージング実験に使用する検出器の位置を中性子ビームに対して精密に決定するための自動ステージ、および光学機器類を再現性良く配置するためのベンチ類を整備した。検出器位置

決め用自動ステージは垂直・水平方向に駆動可能（最大移動量 300mm）であり、要求される位置決め精度 0.1mm 以下を満たすことを確認した。

また、中性子検出器に使用する大面積 Li ガラスシンチレータを購入し、その波高分布の測定を行ない、中性子による信号とガンマ線による信号が弁別可能であることから所期の性能を有することを確認した。

② プロジェクトの総合的推進

プロジェクト全体の密な連携と円滑な運営、また、プロジェクト全体の進捗状況確認しつつ計画の合理化を図るため、全参画機関による 2 度の全体運営会議を開催した。

第 1 回目は JAEA 原科研（茨城県東海村）において当プロジェクト研究のキックオフ会合を開催し、全体およびサブテーマの計画について、全参画機関の関係者で議論を行った。第 2 回目は、JAEA 東京事務所において、プロジェクト研究の進捗状況の確認と H21 年度の研究計画について議論を行った。また、本プロジェクトで開発を行う偏極、集光、イメージングデバイスと密に関連のある偏極中性子を用いた研究に関する国際的情報収集および発信を行うため偏極中性子国際会議 PNCMI2008/QuBS2008 を共催した。また、海外の有識者をのべ 3 名招聘し、効率的な技術開発を推進するための意見交換を行った。

2.3 成果の外部への発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
高精度非球面基板上の高性能スーパーミラーによる中性子集光と斜入射小角散乱、口頭発表	山崎 大	立教大学（日本物理学会 第64回年次大会）	平成21年3月30日	国内
パルス中性子集光用磁気複合光学系の開発、口頭発表	奥 隆之	立教大学（日本物理学会 第64回年次大会）	平成21年3月30日	国内

2.4 活動（運営委員会等の活動等）

平成 20 年度、以下の活動を行った。

（会議名、開催場所、時期）

- 1) 偏極中性子国際会議 PNCMI2008/QuBS2008（共催）、テクノ交流館リコッティ（茨城県東海村）、平成 20 年 9 月 1 日～5 日
- 2) 第一回プロジェクト運営会議、JAEA 原科研（茨城県東海村）、平成 20 年 10 月 27 日
- 3) 第二回プロジェクト運営会議、JAEA 東京事務所（東京都千代田区）、平成 21 年 3 月 11 日

2.5 実施体制

平成 20 年度の実施体制を別表 1 に示す。

別表1 平成20年度に於ける実施体制

研究項目	担当機関等	研究担当者
1. 中性子偏極・集光・イメージングシステムの開発と応用に関する研究	J-PARC センター 物質・生命科学ディビジョン 中性子利用セクション 〃	○鈴木淳市 新井正敏
(1) 中性子偏極用 ^3He フィルターの評価システム整備	J-PARC センター 物質・生命科学ディビジョン 中性子利用セクション	奥 隆之
① 中性子スピン反転器の整備	J-PARC センター 物質・生命科学ディビジョン 中性子利用セクション	吉良 弘
② 偏極中性子輸送用ガイド磁場の整備	量子ビーム応用研究部門 中性子偏極解析磁性研究グループ	坂口佳史
③ ^3He フィルターの中性子散乱研究への利用検討	量子ビーム応用研究部門 中性子偏極解析磁性研究グループ 〃 〃	武田全康 松田雅昌 脇本秀一
④ ^3He フィルター開発に関する助言	量子ビーム応用研究部門 中性子偏極解析磁性研究グループ	遠藤康夫
(2) 中性子集光・整形デバイスの開発	J-PARC センター 物質・生命科学ディビジョン 中性子基盤セクション	曾山和彦
① 中性子反射光学素子の開発	J-PARC センター 物質・生命科学ディビジョン 中性子基盤セクション 〃 量子ビーム応用研究部門 中性子偏極解析磁性研究グループ	山崎大 丸山龍治 長壁豊隆
② 中性子磁気集光素子の開発	J-PARC センター 物質・生命科学ディビジョン 中性子利用セクション	奥隆之
(3) 中性子イメージングデバイスの開発	量子ビーム応用研究部門 中性子産業利用技術研究ユニット	松林政仁
① パルス中性子コリメータ開発	J-PARC センター 物質・生命科学ディビジョン 中性子源セクション 〃 〃 〃 〃 〃	及川健一 前川藤夫 甲斐哲也 酒井健二 原田正英 大井元貴
② イメージング用高速シャッターの製作と計測系の整備	量子ビーム応用研究部門 中性子産業利用技術研究ユニット 中性子イメージング・分析研究グループ 〃 〃 〃 J-PARC センター 物質・生命科学ディビジョン 中性子利用セクション 〃 〃	酒井卓郎 安田良 飯倉寛 林田洋寿 相澤一也 高田慎一 篠原武尚
2. プロジェクトの総合的推進	量子ビーム応用研究部門 〃	◎加倉井和久 新井麻里

