

平成21年度科学技術試験研究委託事業

「中性子ビーム利用高度化技術の開発」
(中性子偏極・光学技術の開発に関する研究)

成果報告書

平成22年5月26日

大学共同利用機関法人
高エネルギー加速器研究機構

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務として、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構が実施した平成21年度「中性子ビーム利用高度化技術の開発」（中性子偏極・光学技術の開発に関する研究）の成果を取りまとめたものです。

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。

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構では、中性子偏極・光学技術の開発に関する研究を実施する。ここでは、ビームの位相空間形状及びスピン自由度の制御技術を実用レベルで普及することにより、中性子ビーム利用効率の向上を実現するとともに、新たな計測手法の開拓に資する。特に新手法の開拓を目指す上で、研究対象から導くべき物理量の精度とそれを実現する光学制御機器の性能の間の論理的関係を体系化し、最適化のために必要となる新たな制御機器の実証を行う。

2. 平成21年度（報告年度）の実施内容

2.1 実施計画

① 中性子偏極・光学技術の開発に関する研究

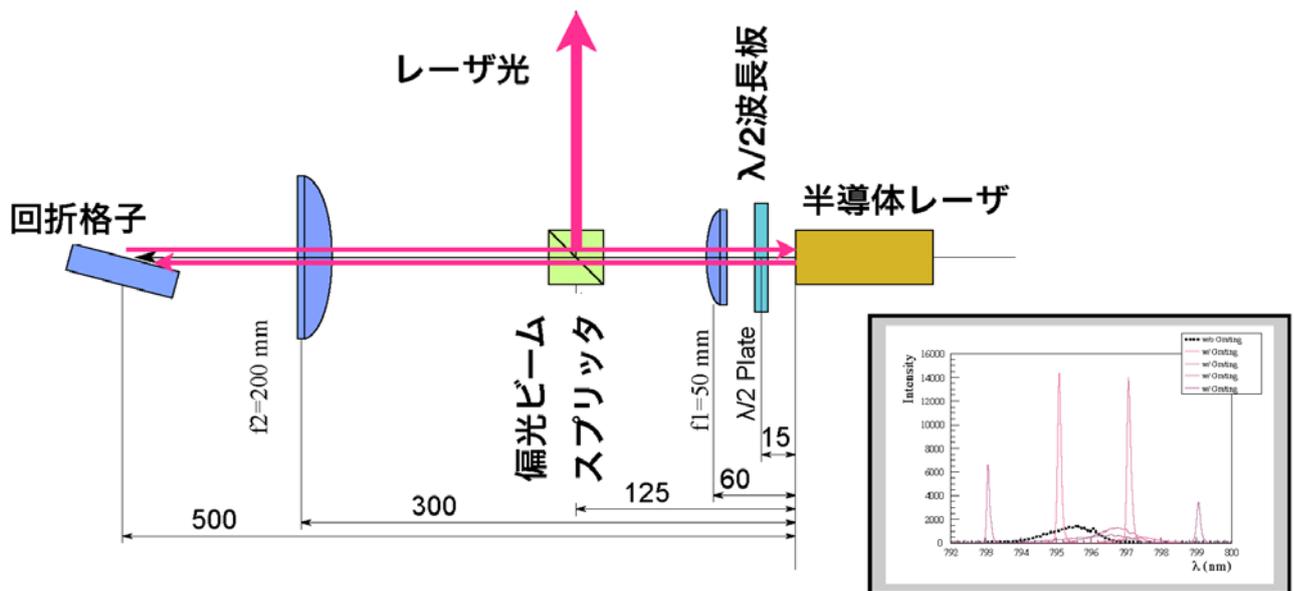
^3He 偏極フィルターを作成する。また、光学系及び検出系の高性能化による中性子ビームを用いた測定における中性子利用効率の最大化の検討を開始するとともに、各種中性子源等を用いて実証を開始する。

2.2 実施内容(成果)

① 中性子偏極・光学技術の開発に関する研究

本年度は、中性子偏極用の核偏極ヘリウム3フィルターの高度化を目指したレーザー光学系の開発やシミュレーション計算により広い空間で一様磁場を実現する磁気回路の設計を進めると共に、中性子ビームライン上でヘリウム3の核偏極を行うオンビーム型偏極装置のテスト実験、ヘリウム3フィルターによる中性子ビーム偏極度の解析実験、中性子散乱実験を行った。

高強度レーザー光学系の開発としては、一個の素子で100 Wの出力が得られる、半導体レーザーアレーを用いたレーザーシステムの構築を行い、その基本特性の評価を行った。また、この高強度レーザーシステムに回折格子を用いた外部共振装置を増築し、レーザー発信幅の狭化実験を行って、レーザーシステムの高性能化を達成した。外部共振装置は、射出レーザーパワーの一部を回折格子へ戻すことにより、半導体レーザーの発振幅を大幅に狭めることができるが、最適な光学的調整を行わないと半導体レーザー素子の損傷や発振線幅の狭化がうまくできない。そこで、本研究では、新たな光学調整機構を開発し、これにより、半導体レーザーの損傷無しに、大幅なレーザー効率のアップがはかられた。下図に見るよう、レーザー発振の線幅は1/10以下に、ピークパワーは10倍以上となり、合わせて100倍以上にレーザーの効率が上がっている。



外部共振装置による半導体レーザー発振線幅の狭化。左は外部共振装置の光学系。右下の図は発振波長スペクトルで、4本の鋭いピークはこの外部共振装置により得られたもので、下方の幅広い分布は外部共振装置なしでの波長分布である。

ヘリウム3フィルターによる中性子ビーム偏極の解析実験としては、J-PARCの中性子源にて唯一偏極中性子ビームラインを有するBL05中性子基礎物理ビームラインで、そのビーム偏極率を高精度で測定する実験を行った。この実験では、KEK（茨城県つくば市）にて偏極したヘリウム3ガスをJ-PARC（茨城県東海村）まで核偏極を保持したまま輸送し、測定に供した。この偏極ヘリウム3ガスを中性子スピフィルターとして偏極度解析に用いることにより、中性子の偏極率を 10^{-3} 以下の高精度で得られることを実証された。

一方、ビーム最適化の系統的研究として、冷中性子集光光学系の設計を行なった結果、小規模中性子源を実用上問題の無い性能に引き上げられることが示された。光学系の高度な利用を最大限利用する必要がある中小規模中性子源への適用の可能性が確認された結果、日本国内での新たな小型中性子源の開発研究を発足させるに至った。これは中性子利用機会の増大をもたらし、中性子科学全体の高度利用の基礎を支える。平成22年度以降は物質構造科学研究所へその活動を引き継ぐための作業を除き、本課題における活動を終了する。

2.3 成果の外部への発表

1. 学会等における口頭・ポスター発表

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
中性子光学を用いた中性子高度利用について (Neutron Optics for Enhancement of Neutron Utilization Efficacy, 口頭)	清水裕彦	1st International Mini-workshop on Compact Pulsed Hadron Sources	2009/6/2	国外
小型中性子源と中性子光学による産業応用について (小型中性子線装置産業利用の展望, 口頭)	清水裕彦	理研シンポジウム「中性子イメージング技術とその産業応用」	2009/6/19	国内
小型中性子源と中性子光学による中性子利用普及について (中性子利用の普及について, ポスター)	清水裕彦	物構研シンポジウム「放射光・中性子・ミュオンを用いた表面・界面科学の最前線」	2009/11/17	国内
中性子光学を用いた中性子高度利用について (Neutron Science, 口頭)	清水裕彦	Joint Asian Accelerator Workshop	2009/12/22	国外
中小型加速器中性子源の開発に必要な中性子光学全般の基礎について (中小型加速器中性子源の開発に必要な中性子光学全般の基礎, 口頭)	清水裕彦	京都大学原子炉実験所研究会「原子炉実験所における加速器中性子源の開発及びその応用」	2009/12/11	国内
小型中性子源と中性子光学による研究展開について (小規模低速中性子源による研究展開, 口頭)	清水裕彦	京都大学理学部物理学教室談話会	2009/12/7	国内
小型中性子源と中性子光学デバイスの開発について (小型中性子源と光学デバイス, 口頭)	清水裕彦	つくばスパイラル対話シリーズ「第7回小型加速器」	2010/1/9	国内

中性子光学を用いた素粒子物理学の精密測定について(Precision Frontiers with Optically Controlled Neutrons, 口頭)	清水裕彦	京都大学グローバル COE シンポジウム「対称性の破れと量子現象」	2010/2/16	国内
中性子光学を用いた素粒子物理学の精密測定について(Present Status of KENS, 口頭)	清水裕彦	量子ビームイメージング・ワークショップ	2010/2/19	国内
KENS における研究展開と中性子光学、小型中性子源について(Precision Frontiers with Optically Controlled Neutrons, 口頭)	清水裕彦	19th International Collaboration on Advanced Neutron Sources	2010/3/9	国外
KENS における研究展開と中性子光学、小型中性子源について(Precision Frontiers with Optically Controlled Neutrons, 口頭)	清水裕彦	Union of Compact Accelerator-driven Neutron Sources 設立会議	2010/3/13	国外
偏極 3He 中性子スピフィルターの開発について(偏極 3He 中性子スピフィルターの開発 その 1, 口頭)	有本靖, 猪野隆, 清水裕彦, 神山崇, 吉良弘, 坂口佳史, 奥隆之, 鈴木淳市, 中村充孝, 新井正敏, 遠藤康夫, 加倉井和久, 大山研司, 平賀晴弘, 山田和芳	日本物理学会	2009/9/17	国内
偏極 3He 中性子スピフィルターのための均一磁場コイルの開発について(偏極 3He 中性子スピフィルターのための均一磁場コイルの開発, 口頭)	有本靖, 猪野隆, 清水裕彦, 神山崇, 吉良弘, 坂口佳史, 奥隆之, 鈴木淳市, 中村充孝, 新井正敏, 遠藤康夫, 加倉井和久, 大山研司, 平賀晴弘, 山田和芳, 堤建之, 佐藤博隆, 佐藤孝一, 加美山隆, 鬼柳善明	日本物理学会	2009/3/23	国内

<p>偏極 3He 中性子スピフィルターの開発について (Development of Polarized Helium-3 Neutron-Spin-Filter Based on Spin-Exchange Optical Pumping in Japan , ポスター)</p>	<p>Y. Arimoto, T. Ino, H. M. Shimizu, T. Kamiyama, Y. Sakaguchi, H. Kira, T. Oku, J. Suzuki, M. Nakamura, M. Arai, Y. Endo, K. Kakurai, M. Takeda, S. Wakimoto, D. Yamazaki, S. Koizumi, K. Ohyama, H. Hiraka, K. Yamada, K. Tsutsumi³, and L-J. Chang⁴</p>	<p>19th International Collaboration on Advanced Neutron Sources</p>	<p>2009/3/8</p>	<p>国外</p>
<p>偏極 3He 中性子スピフィルターの開発について (Development of Polarized Helium-3 Neutron-Spin-Filter Based on Spin-Exchange Optical Pumping in Japan , ポスター)</p>	<p>Y. Arimoto, T. Ino, H. M. Shimizu, T. Kamiyama, Y. Sakaguchi, H. Kira, T. Oku, J. Suzuki, M. Nakamura, M. Arai, Y. Endo, K. Kakurai, M. Takeda, S. Wakimoto, D. Yamazaki, S. Koizumi, K. Ohyama, H. Hiraka, K. Yamada, K. Tsutsumi³, and L-J. Chang⁴</p>	<p>International Workshop on Neutron Optics NOP2010</p>	<p>2009/3/18</p>	<p>国外</p>

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外 の別
(なし)				

2.4 活動（運営委員会等の活動等）
なし。

2.5 実施体制
別表1の通り。

別表1 平成21年度に於ける実施体制

業務項目	担当機関等	研究担当者
① 中性子偏極・光学技術の開発に関する研究	物質構造科学研究所 中性子科学研究系 同上 同上 同上	◎ 清水 裕彦 ○ 猪野 隆 山田 悟史 有本 靖

注1. ◎:業務主任者、○:実施責任者（業務計画書のⅡ.2章の2.業務項目別実施区分の業務項目と担当責任者に対応）

注2. 本業務に携わっている方(参加者リストに記載されている方)を、全て記入。