

# 平成20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21年5月29日

機関名 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20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20年度の実施内容

### 2.1 実施計画

$^3\text{He}$  偏極フィルターのプロトタイプを作成し、JRR-3 の中性子ビームラインに搭載して性能評価を行う。また、新手法の開拓を目指す上での光学系の性能を数値的に評価するための枠組みとして、シミュレーションプログラムの整備を行う。

### 2.2 実施内容

ヘリウム 3 の原子核はスピンに依存した大きな中性子吸収断面積を持つので、これを偏極することにより、中性子スピフィルターが可能となる。ヘリウム 3 の核偏極を得るために、本研究ではスピン交換法 (Spin-Exchange Optical Pumping - SEOP) を用いる。SEOP は、光ポンピングによりルビジウム等のアルカリ金属原子を偏極させ、その電子偏極とヘリウム 3 原子核との超微細相互作用によるスピン交換を通してヘリウム 3 の核偏極が達成される。SEOP におけるヘリウム 3 核偏極  $P_{He}$  の時間発展は次の式で表される。

$$P_{He} = \frac{\gamma_{SE}}{\gamma_{SE} + \Gamma_R} P_{Rb} (1 - e^{-(\gamma_{SE} + \Gamma_R)t})$$

ここで、 $P_{Rb}$  はルビジウムの偏極率、 $\gamma_{SE}$  はルビジウムの電子とヘリウム 3 原子核とのスピン交換レート、 $\Gamma_R$  はヘリウム 3 原子核の偏極緩和レートである。従って、高いヘリウム 3 偏極率を達成するためには、ルビジウム偏極率  $P_{Rb}$  を大きくし、ヘリウム 3 原子核の偏極緩和  $\Gamma_R$  を  $\gamma_{SE}$  に比べ充分小さくする必要がある。ヘリウム 3 のスピン核偏極は様々な原因で失われる。おもだったものは、ヘリウム 3 ガスを密封している偏極セル内側表面の汚れ、セルに含まれるごく微量の磁性不純物、偏極保持のための磁場一様性、ヘリウム 3 核同士のダイポール相互作用などである。特にヘリウム 3 偏極セルに関しては、磁性不純物を含まず、内側表面が清浄であることが必須となる。また、ヘリウム 3 の核スピンは非一様磁場で容易に反転されるため、これを極力抑えるために非常に高い一様性を持った保持磁場が必要である。一方、高いルビジウム偏極率を得るためには、精密でパワフルなレーザー光学系が必要である。ルビジウムの光ポンピングでは D1 吸収線の光を要するが、ルビジウムを高効率で偏極させるためにレーザーの発振幅が D1 吸収線幅と同等かそれ以下が望まれる。これら技術の総合により、ヘリウム 3 中性子スピフィルターは実現される。

平成 20 年度は、ヘリウム 3 スピフィルター開発に必要な基盤整備をすすめ、またプロトタイプのスピンフィルター試作器を開発し中性子ビームによる実測を行った。

基盤整備としては、ルビジウム偏極用の連続出力 100W 半導体レーザーの試作を開始した。一般に、半導体レーザーは発振波長幅が広く、レーザー出力に対するルビジウム偏極の効率は低い。そこで、ホログラフィック・グレーティングによるフィードバック共振系を半導体レーザーに加える方法がある。これを実現するために必要な装置類の整備として、半導体レーザー本体およびレーザードライバー、ホログラフィック・グレーティングや水晶波長板、レンズ、ホルダー等の光学部品、レーザーの出力特性を測定するスペクトルアナライザーおよびレーザーパーメーターなどを購入し、半導体レーザーの発振テストを行った。また、100W の光を出力する半導体レーザーは 100W 以上の発熱をする。これを冷却し、かつ 0.1℃程度の精度で半導体レーザー本

体の温度をコントロールするためのシステムについても検討を行い、基本設計を進めた。

プロトタイプのスピンフィルター試作器については、図1に示した装置を開発し、日本原子力研究開発機構の研究用原子炉 JRR-3 にて、そのテストを行った。

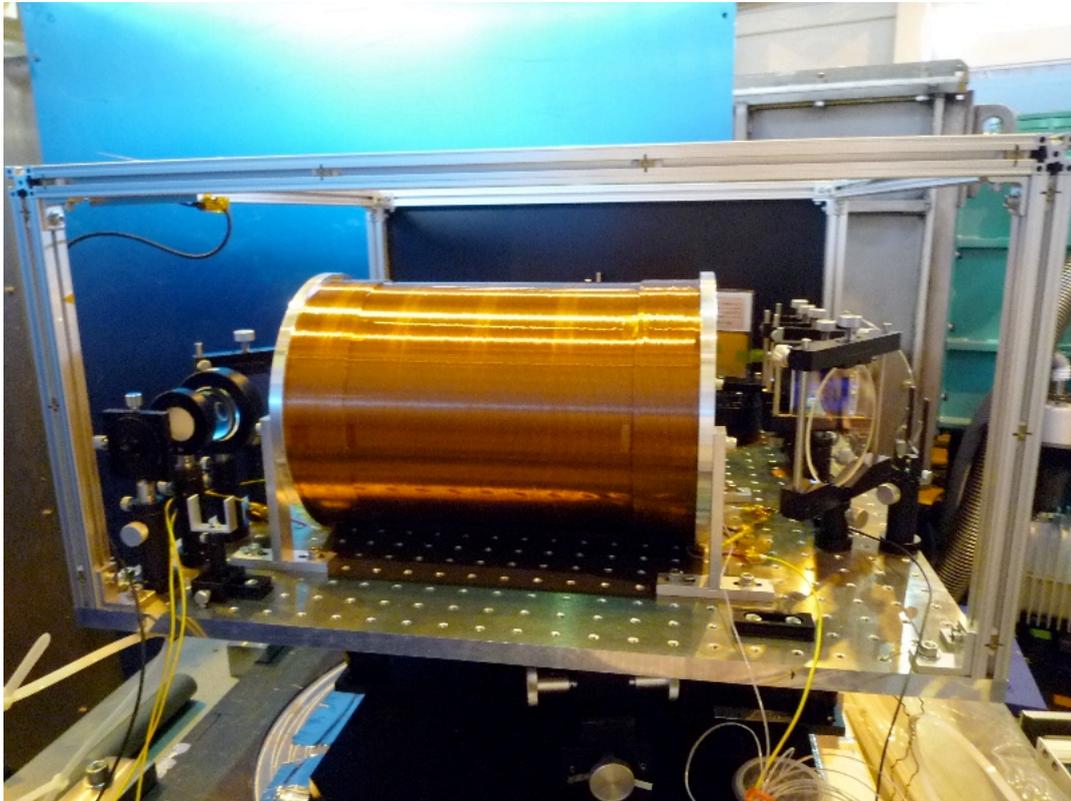


図1 ヘリウム3中性子スピンフィルター試作器の中性子ビームテスト

本試作器は、可搬型の中性子スピンフィルターとして高性能を維持しつつ可能な限りコンパクトに設計し実現したものである。本体の大きさは 60 cm×60 cm×30 cm で、レーザー光学系は波長狭化外部共振系を含む高効率のものとなっている。偏極保持用の磁場は、設計値で  $2 \times 10^{-4}$  /cm と一様性に優れたものとなっている。2009年3月に行われたテストビーム実験では、本試作器装置を JRR-3/NOP ビームライン上に設置することにより、中性子偏極解析能力が実証された。

### 2.3 成果の外部への発表

#### 成果発表

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）
スピン偏極を含む中性子光学を用いた中性子の高度利用についてのこれまでの研究など (Fundamental Physics with Slow Neutrons, 口頭)	清水裕彦	China Center for Advanced Science and Technology, Beijing, China (Asia Science Seminar on Frontier Scieece at High-Intensity Proton Accelerators)
中性子光学を用いた中性子高度利用について (Neutron Optics for the Enhancement of Neutron Utilization Efficiency, 口頭)	清水裕彦	Royal Garden Hotel, Dongguan, China (2nd US-China Workshop on Scientific & Industrial Applications using Neutron, Muons & Protons)

また 100W 半導体レーザーの開発、ヘリウム3中性子スピンフィルター試作器の中性子ビームテスト等について 2009年9月に開催される日本物理学会年会で発表する予定である。

2.4 活動  
特に無し

2.5 実施体制

1. 業務主任者

役職・氏名 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構  
物質構造科学研究所 教授 清水 裕彦  
Eメールアドレス：hirohiko.shimizu@kek.jp  
TEL：029-864-5613 FAX：029-864-1410

2. 業務項目別実施区分

業 務 項 目	実 施 場 所	担 当 責 任 者
①中性子偏極・光学技術の開発に関する研究	茨城県つくば市大穂1-1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所	高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 教授 清水 裕彦

3. 経理担当者

役職・氏名 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構  
研究協力部 研究協力課長 池田 崇  
研究協力係長 塙 正広  
Eメール：kenkyo1@mail.kek.jp TEL：029-864-5124 FAX：029-864-4602

4. 知的財産権の帰属

知的財産権は乙に帰属することを希望する。

5. 委託契約書の定めにより甲に提出することとされている著作物以外で委託業務により

作成し、甲に納入する著作物の有無

( 有 ・  無 )