

機関番号：82110

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20360042

研究課題名 (和文) 新概念に基づく中性子超高偏極・集光システムの開発と応用

研究課題名 (英文) Development and application of a neutron polarizing and focusing system based on magnetic field gradients

研究代表者

奥 隆之 (OKU TAKAYUKI)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・J-PARC センター・研究副主幹

研究者番号：10301748

研究成果の概要 (和文)：本研究では、偏極中性子ビームの高効率利用を目的として、中性子の磁気モーメントと磁場との電磁相互作用を利用して、中性子を偏極させるとともに集光する新概念 (四極および六極磁場の利用) に基づく中性子高偏極・集光システムの開発を行う。このシステムは、非常に良質な偏極集光中性子ビームを必要とする集光型偏極中性子小角散乱実験で有用である。本研究では、JRR-3 の C3-1-2-1 ポートにおいて、本課題で製作した大口径四極磁石を用いた中性子ビーム実験を行い、高偏極中性子ビームの発生に成功した。さらに、2台の六極磁石型中性子集光用磁気レンズと組み合わせて、パルス中性子を偏極・集光するための磁気複合光学システムを構築した。この磁気複合光学システムを用いてパルス中性子ビームの偏極・集光実験を行った結果、波長帯域幅 0.2nm のパルス偏極中性子ビームの集光に成功した。本課題で開発した中性子高偏極・集光システムは、J-PARC のパルス中性子小角散乱装置の入射光学系として採用されることが決定し、現在、実機の建設が進んでいる。

研究成果の概要 (英文)：In this study, we have developed a neutron polarizing and focusing device based on interaction between a neutron magnetic moment and a magnetic field, where we use quadrupole and sextupole magnets to polarize and focus neutrons, respectively. The device is considered useful for small angle polarized neutron scattering experiments with focusing geometry. The neutron polarizer is an extended Halbach-type quadrupole magnet with an inner diameter of 15 mm and length of 2,200 mm. The magnetic field gradient inside the quadrupole magnet was measured to be  $\sim 150$  T/m. We set up the neutron polarizing and focusing device composed of the quadrupole magnet and two sextupole magnets at the beamline C3-1-2-1 of JRR-3, and performed pulsed neutron polarizing and focusing test. As the result, we could focus the pulsed neutrons in the wavelength range from 0.8 to 1.05 nm. The neutron polarizing and focusing device has been determined to be installed to a small angle neutron scattering instrument of J-PARC.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	10,600,000	3,180,000	13,780,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
年度			
総計	13,000,000	3,900,000	16,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎  
キーワード：放射線，偏極中性子

### 1. 研究開始当初の背景

偏極中性子ビームは、物質の磁気構造評価やスピン非干渉性散乱断面積の大きな元素(特に水素)を含む物質の構造研究において、非常に優れた性質を備えている。しかし、一般に原子炉や加速器施設で発生可能な中性子ビームの強度は、放射光施設で発生できる X 線と比較して、桁違いに強度が弱いという問題がある。この問題を根本的に解決するためには、大強度中性子源の開発が必要であり、現在、国内外において大強度パルス型中性子源の建設が進んでいる。しかし、それに加えて、発生した中性子ビームを効率よく利用するための光学系の開発も極めて重要な要素である。また、中性子ビームを偏極するための既存の偏極子としては、磁気多層膜ミラー、磁性体結晶、原子核スピン偏極ガスフィルター等があるが、全て中性子と物質との相互作用を利用して、偏極中性子を抽出するものであり、物質固有の性質に基づく中性子の吸収や散乱が不可避であり、得られる中性子の偏極度や発生・利用効率の理想値からの低下は否めない。そこで、我々は中性子と物質との相互作用を一切用いることなく、中性子の磁気モーメントと磁場との電磁相互作用のみを利用して、中性子を偏極させると共に集光させることにより、偏極中性子を高効率で発生し、且つ、効率良く利用出来ると考え、本課題の開発研究に着手した。

### 2. 研究の目的

本研究において、我々は四極磁石と六極磁石を用いて実用レベルの性能を有する中性子超偏極・集光システムを開発すると共に、非常に良質な集光偏極中性子ビームを必要とする集光型偏極中性子小角散乱実験へ本システムを応用し、最先端の応用研究に供することを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、非常に良質な集光偏極中性子ビームを必要とする集光型偏極中性子小角散乱実験へ応用することを目的として、四極磁石と六極磁石を用いた新概念に基づく中性子超偏極・集光システムを開発する。本研究では、まず口径が 10mm φ の大口径四極磁石を設計・製作する。その後、開発した四極磁石単体の性能評価実験を行い、十分な中性子偏極性能が得られていることが確認された後、現有の磁気レンズと組み合わせて、中性子超偏極・集光システムを構築し、システムとしての性能評価実験を行う。システム性能評価実験終了後、本システムを用いて、集光型偏極中性子小角散乱実験試験を行う計

画である。

### 4. 研究成果

本研究では、偏極中性子ビームの高効率利用を目的として、中性子の磁気モーメントと磁場との電磁相互作用のみを利用して、中性子を偏極させると共に集光する新概念(四極および六極磁場の利用)に基づく中性子高偏極・集光システムを開発した。そして、本システムを非常に良質な偏極集光中性子ビームを必要とする集光型偏極中性子小角散乱実験へ応用する。

H20 年度は、超高偏極中性子を発生させるための四極磁気回路の設計、製作および評価を行った。四極磁石は、三次元磁場計算により、強力永久磁石 NdFeB と高飽和磁化材料である軟鉄を用いた最適な発展型 Halbach 四極磁気回路ユニット(口径 15mm φ, 磁石長 60mm)を設計した。設計完了後、最適設計に基づいた発展型 Halbach 四極磁気回路ユニットを 37 個製作し、全ユニットを連結して、実効長 2220mm の発展型 Halbach 四極磁気回路とした。四極磁気回路の製作後、ホールプローブを用いた磁場測定により、ほぼ設計通りの磁場が四極磁気回路内部に発生できていることを確認した。また、H21 年度以降、日本原子力研究機構の研究用原子炉 JRR-3 実験施設内にある中性子光学素子評価用中性子ビームライン(C3-1-2-1 NOP)において、本四極磁気回路単体での中性子偏極性能評価実験を行うための準備として、ビームラインの整備を行った。

H21 年度は、H20 年度に設計および製作した超高偏極中性子を発生させるための四極磁気回路の中性子偏極性能評価試験を行った。評価試験では、中性子ビームライン(C3-1-2-1 NOP)に製作した四極磁気回路を設置し、波長 8Å の冷中性子を用いて、その中性子偏極性能を評価した。四極磁気回路の直上流にピンホールスリットを設置し、Stern-Gerlach 型の実験配置を採った。そして、四極磁気回路の下流に中性子二次元検出器を配置し、四極磁気回路内を透過した中性子の軌道の並進量を測定し、その並進量から、四極磁気回路内の磁場強度勾配を評価した。その結果、ほぼ設計通りの磁場強度勾配が四極磁気回路内で実現されていることが、中性子ビーム実験により確認でき、小角散乱実験で用いる低エネルギー中性子を偏極するのに十分な能力があることが分かった。

H22 年度は、中性子ビームライン(C3-1-2-1 NOP)において、本課題で製作した大口径四極磁石を用いた中性子ビーム実験を行い、偏極中性子ビームの発生に成功した。さらに、

2 台の六極磁石型中性子集光用磁気レンズと組み合わせて、パルス中性子を偏極、集光するための磁気複合光学システムのプロトタイプを構築した。次に、磁気複合光学システムを用いてパルス中性子ビームの偏極・集光実験を行った。その結果、波長帯域幅 0.2nm のパルス偏極中性子ビームの集光に成功した。

本課題で開発した中性子高偏極・集光システムは、J-PARC のパルス中性子小角散乱装置の入射光学系として採用されることが決定し、現在、実機の建設が進んでいる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

1) “Development of a triplet magnetic lens system to focus a pulsed neutron beam”  
T. Oku, H. Kira, T. Shinohara, S. Takata, M. Arai, 他 2 名, Journal of Physics: Conference Series 251 (2010) 012078(4), 査読有り

2) “Practical Applications of Permanent Magnet Multipoles”  
Y. Iwashita, M. Ichikawa, M. Yamada, T. Sugimoto, (T. Oku, 9 番目), 他 8 名, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 20, 842-845 (2010), 査読有り

3) “Pulsed neutron beam control using a magnetic multiplet lens”  
T. Oku, T. Shinohara, J. Suzuki, R. Pynn, H.M. Shimizu, NIM-A, 600, 100-102 (2009), 査読有り

4) “ Small-angle polarized neutron scattering study of spherical Fe16N2 nano-particles for magnetic recording tape”  
T. Oku, T. Kikuchi, T. Shinohara, J. Suzuki, Y. Ishii, 他 6 名, Physica B, 404, 2575-2577 (2009) , 査読有り

5) “Design of a neutron polarizer using polarizing super mirrors for the TOF-SANS instrument at the J-PARC”  
T. Shinohara, J. Suzuki, T. Oku, S. Takata, H. Kira, 他 5 名, Physica B, 404, 2640-2642 (2009), 査読有り

6) “Application of a neutron-polarizing device based on a quadrupole magnet to a focusing SANS instrument with a magnetic

neutron lens”

T. Oku, T. Shinohara, T. Kikuchi, Y. Oba, H. Iwase, 他 3 名, Measurement Science and Technology, 19, 034011(4pp) (2008), 査読有り

7) “Highly polarized cold neutron beam obtained by using a quadrupole magnet”  
T. Oku, S. Yamada, T. Shinohara, J. Suzuki, K. Mishima, 他 3 名, Physica B, 397, 188-191 (2007), 査読有り

[学会発表] (計 6 件)

1) T. Oku, “Small-angle polarized neutron scattering study of spherical Fe16N2 nano-particles for magnetic recordings tape”, PNCMI2008 2008.9.4 Tokai, Ibaraki

2) 奥隆之, 四極磁石に基づく中性子高偏極デバイスの開発と集光型中性子小角散乱法への応用, 2002 年 12 月 2 日, 名古屋大学 (名古屋)

3) 奥隆之, パルス中性子集光用磁気複合光学系の開発, 日本物理学会第 64 回年次大会, 2009 年 3 月 30 日, 立教大学 (東京)

4) T. Oku, “Spin Selective Neutron Transportation and Shaping by using Multiplet Magnetic Lenses”, International Workshop on Neutron Optics NOP2010 2010 年 3 月 18 日, アルプデュエズ (仏)

5) T. Oku, “Development of a quadrupole magnet to polarize cold neutrons for SANS experiments”, PNCMI2010, 2010.7.5, デルフト (オランダ)

6) T. Oku, “Current status and perspective of neutron polarization device development and application in neutron scattering experiments in Japan”, JCNS Workshop, Modern Trends in Production and Applications of Polarized 3He, 2010.7.12, Munich-Ismaning (ドイツ)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

奥 隆之 (OKU TAKAYUKI)

独立行政法人日本原子力研究開発機構

・J-PARC センター・研究副主幹

研究者番号：10301748

### (2) 研究分担者

篠原 武尚 (SHINOHARA TAKENAO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構

・J-PARC センター・研究員

研究者番号：90425629

鈴木 淳市 (SUZUKI JUNICHI)

独立行政法人日本原子力研究開発機構

・J-PARC センター・研究主幹

研究者番号：40354899

岩瀬 裕希 (IWASE HIROKI)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門中性子産業利用研究ユニット・任期付研究員

研究者番号：70391266

(H20→H21：連携研究者)

小泉 智 (KOIZUMI SATOSHI)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・先端基礎研究センター・研究主幹

研究者番号：00343898

(H20→H21：連携研究者)

### (3) 連携研究者

猪野 隆 (INO TAKASHI)

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 中性子科学研究系・講師

研究者番号：10301722

武藤 豪 (MUTO SUGURU)

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 中性子科学研究系・講師

研究者番号：90249904

清水 裕彦 (SHIMIZU HIROHIKO)

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 中性子科学研究系・教授

研究者番号：50249900

横山 淳 (YOKOYAMA MAKOTO)

茨城大学・理学部・准教授

研究者番号：70361285

西原 美一 (NISHIHARA YOSHIKAZU)

茨城大学・理学部・教授

研究者番号：70282275