

機関番号：14301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21760050

研究課題名（和文） 大強度パルス中性子に対応した中性子干渉光学素子の高性能化

研究課題名（英文） Development of high-performance devices using neutron coherent optics for intense pulsed neutrons

研究代表者

北口 雅暁 (KITAGUCHI MASAOKI)

京都大学・原子炉実験所・助教

研究者番号：90397571

研究成果の概要（和文）： 冷中性子干渉計は Aharonov-Chasher 効果など基礎物理研究に有用である。大強度パルス中性子を用いれば高統計での測定が可能になる。干渉計構成に必要な各デバイスをパルス中性子に対応させ、J-PARC MLF の冷中性子ビームライン BL05 において中性子飛行時間法を用いて干渉縞を測定することに成功した。

中性子共鳴スピネコーは試料のダイナミクスを高分解能で測定できる中性子準弾性散乱装置である。その主要構成要素である高周波共鳴スピフリップパーをパルス対応させ、J-PARC MLF の冷中性子ビームライン BL05 において MIEZE 型スピネコーシグナルを測定することに成功した。J-PARC への本格装置設置に向けて開発を続けている。また共鳴スピフリップパーの小型化により、既存の装置へのスピネコー測定オプションの組み込みを可能にする研究を進めている。

研究成果の概要（英文）： Neutron interferometer has the advantage for fundamental physics experiments, for example, precision measurement of Aharonov-Chasher effect. It is important that high precision measurements using intense pulsed neutrons. We developed optical devices applicable to pulsed neutrons. Clear interference fringes were observed using time-of-flight method at beam line BL05 in J-PARC MLF.

Neutron spin echo (NSE) spectrometer is one of the techniques for quasi-elastic scattering with the highest energy resolution. We developed high frequency resonance spin flippers for pulsed neutrons. Intensity modulated spin echo signals, which are called as MIEZE signals, were observed according to the time-of-flight at beam line BL05 in J-PARC MLF. We plan to construct the spectrometers for practical use at J-PARC. We are also developing the compact devices for spin echo option for various spectrometers.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・応用物理学一般

キーワード：中性子光学・J-PARC・中性子干渉計・基礎物理・ソフトマター

1. 研究開始当初の背景

低エネルギー中性子はその波動性を利用して重力・電磁気力・核力の中性子波動との相互作用を精密に測定することができる。また中性子は水素等の軽元素に敏感な解析手段であり、特に生体物質の研究においてX線では見ることのできない水素の情報を直接引き出すことができる。平成20年には大強度陽子加速器施設 J-PARC が稼動を始め、物質・生命科学実験施設で中性子ビームを用いた物質科学・生命科学・基礎物理実験が開始された。J-PARC 中性子源では白色の中性子がパルス状に発生し、検出器には波長に応じて時間差を持って到達する。測定を時間分解すると各波長での測定を同時に行うことができ、中性子を有効に利用できる。原子炉で発生させる定常中性子を単色化して用いる場合に比べ実効的に数十倍の強度を得ることができる。中性子干渉光学素子を白色パルス中性子に対応させれば、冷中性子干渉計や中性子分光装置の性能向上が可能になる。

2. 研究の目的

研究代表者らが開発した「ビームスプリッティングエタロン」は中性子波動を空間的に分割・重ね合わせする素子であり、2つ用いることで Jamin 型冷中性子干渉計を構築することができる。ビームスプリッティングエタロンを白色中性子に対応させることで干渉計をパルス中性子に対応させる。パルス中性子を有効に利用することで実質強度を数十倍にし、これまでの干渉実験で不足していた統計精度を向上させることができる。研究代表者らはこれまでに複数の波長に対応した「多色干渉計」の開発に成功している。その他の素子もパルス中性子に対応させ、実際にパルス中性子源に装置全体を設置し、実験を開始することが目的である。

中性子干渉計開発で培った位相制御技術を分光装置開発に応用する。中性子スピネコー装置は準弾性散乱分光装置としては最高のエネルギー分解能を持ち、試料の散乱による中性子の速度変化を試料前後でのスピン成分間の位相差の変化からとらえる。干渉計でも用いられる中性子スピフリップパーを高周波化しパルス中性子に対応させ、実際にパルス中性子源に設置し、実験を行う。高分解能化の際に問題になるスピン状態間の位相のばらつきを補正するデバイスの開発を行う。

3. 研究の方法

(1) 白色パルス中性子対応干渉計を構築する。ビームスプリッティングエタロンは2枚の基板上に中性子ミラーを形成し間隔を開けて組み合わせたもので、ビームを斜入射する

ことで中性子を空間的2経路に分割する。幅広い波長域を反射できる中性子スーパーミラーを利用しエタロンを白色対応させる。位相制御を容易にするためスピン干渉を用いる。必要なスピン制御素子（偏極素子、偏極解析素子、スピフリップパー）を白色パルス対応させる。実際にパルス中性子源 J-PARC に装置を構築し、実証実験を行う。一方で、基礎物理実験のために干渉計の経路の分離の拡大を図る。

(2) パルス中性子対応高周波共鳴スピフリップパーを開発する。中性子共鳴スピエコー分光器のエネルギー分解能は共鳴スピフリップパーの周波数に比例する。より高周波で駆動し、パルス中性子に対応するスピフリップパーを開発する。開発したフリップパーを用いてスピエコー分光器を構築し、実際にパルス中性子源 J-PARC にて実証実験を行う。位相補正デバイスを開発し、その位相補正能力をテストする。

4. 研究成果

(1) まずビームスプリッティングエタロンを用いない、経路を分離していない干渉計を構築した。J-PARC MLF の冷中性子ビームライン BL05 において中性子飛行時間法を用いて干渉縞を測定することに成功した。(図1) 経路を分離した干渉計では明瞭な干渉縞は観測されていない。環境による擾乱に非常に敏感なことが原因のひとつである。一方、単色中性子を用いた干渉計では環境整備を進めた結果、経路間隔を従来の20倍の200 μ mにまで拡大することに成功した(雑誌論文②)。これを導入することで J-PARC でも経路が大きく分離した冷中性子干渉計の構築が可能である。

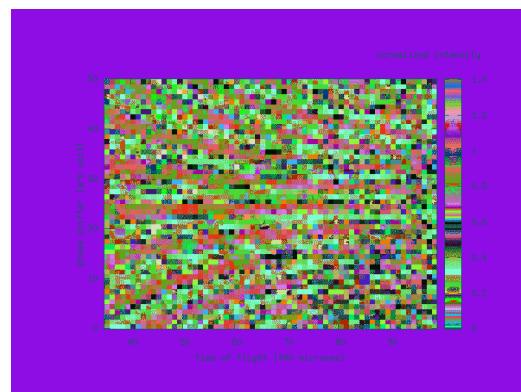


図1：J-PARC MLF BL05 において観測されたスピン干渉。横軸は波長に対応、縦軸は位相制御のための磁場の強さ。

(2) 中性子共鳴スピネコーの主要構成要素である高周波共鳴スピンフリップパーをパルス対応させた。スピンフリップに必要な高周波 RF の位相を複数台のフリップパー間で完全に同期させ、さらにパルス中性子発生のタイミングとも同調してその振幅を制御することで、共鳴スピネコー装置全体をパルス対応させることに成功した。J-PARC MLF の冷中性子ビームライン BL05 において実行周波数最大 600MHz の MIEZE 型スピネコーシグナルを測定することに成功した (図 2)。J-PARC への本格装置設置に向けて開発を続けており、装置設置提案書を提出している。また共鳴スピンフリップパーの小型化により、既存の装置へのスピネコー測定オプションの組み込みを可能にする研究を進めている。

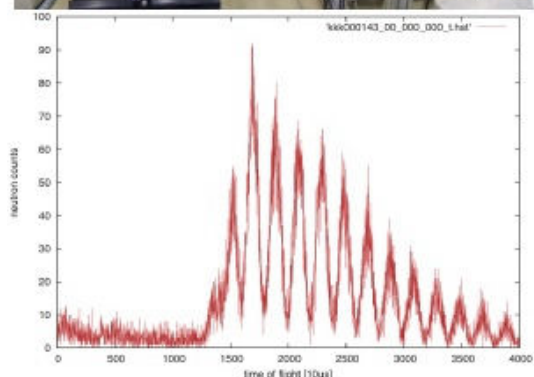


図 2 : J-PARC MLF BL05 に設置された MIEZE 型共鳴スピネコー装置 (上図) と観測された実効周波数 0.5kHz の時間依存スピネコーシグナル (下図)。

(3) 高分解能スピネコーの場合、ビーム強度を得るためにビームサイズを大きくすると試料での散乱前後での中性子飛行経路がばらつき、経路差による位相の乱れが問題になる。2次元回転楕円体の反射を用いれば大きな発散角を持つビームでも経路長をそろえることができる。曲面ミラーを用いた位相補正素子について数値計算によってその位相補正能力を確認した。(雑誌論文①) (図 3)

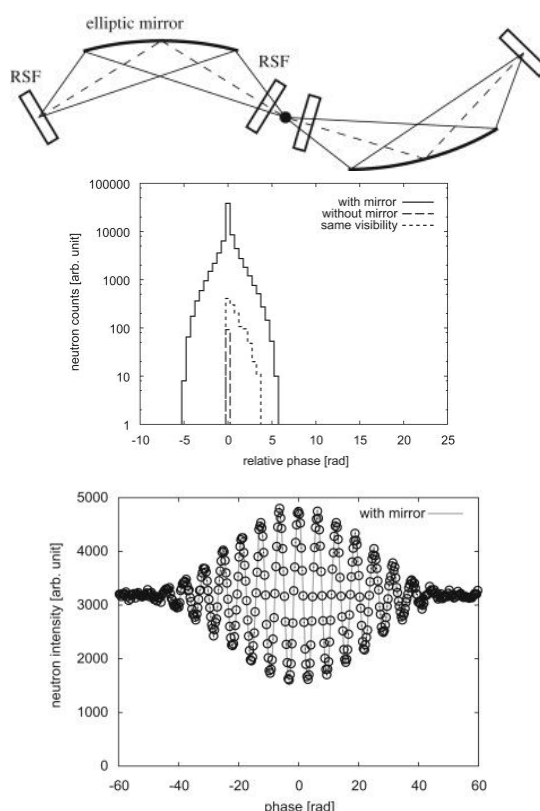


図 3 : 2次元回転楕円体ミラーを用いた位相補正の共鳴スピネコーの体系 (上図)。有限のビームサイズによる位相差の分布。ミラーを用いると幅広い発散角を取り込める (中図)。その際のスピネコーシグナル。ビーム強度を落とさずに明瞭なシグナルを得られる (下図)。

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 13 件)

① Masaaki Kitaguchi, Masahiro Hino, Yuji Kawabata, Seiji Tasaki, Ryuji Maruyama and Toru Ebisawa, High resolution NRSE spectrometer with 2D-focusing supermirrors, Physica B: 査読有, 2011, in press.

② Yoshichika Seki, Haruhiko Funahashi, Masaaki Kitaguchi, Masahiro Hino, Yoshie Otake, Kaoru Taketani, Hirohiko M. Shimizu, Multilayer Neutron Interferometer with Complete Path Separation, J. Phys. Soc. Jpn., 査読有 79, (2010) 124201.

③ M. Kitaguchi, M. Hino, Y. Kawabata, S. Tasaki, H. Hayashida, R. Maruyama, T. Ebisawa, Development of neutron resonance spin flipper for high resolution spin echo spectrometer, Physica B, 査読有, 404, 2009, pp. 2590-2593.

④Kenji Mishima, Takashi Ino, Kenji Sakai, Takenao Shinohara, Katsuya Hirota, Kazuaki Ikeda, Hiromi Sato, Yoshie Otake, Hitoshi Ohmori, Suguru Muto, Norio Higashi, Takahiro Morishima, Masaaki Kitaguchi, Masahiro Hino, Haruhiko Funahashi, Tatsushi Shima, Jun-ichi Suzuki, Koji Niita, Kaoru Taketani, Yoshichika Seki, et al., Design of neutron beamline for fundamental physics at J-PARC BL05, Nucl. Instr. and Meth A, 査読有, 600, 2009, pp. 342-345.

⑤Kaoru Taketani, Kenji Mishima, Takashi Ino, Tamaki Yoshioka, Suguru Muto, Takahiro Morishima, Hirohiko M. Shimizu, Takayuki Oku, Junichi Suzuki, Takenao Shinohara, Kenji Sakai, Hiromi Sato, Katsuya Hirota, Yoshie Otake, Masaaki Kitaguchi, Masahiro Hino, Yoshichika Seki, Yoshihisa Iwashita, Masako Yamada, Masahiro Ichikawa, et al., Highly polarized very cold neutrons through a permanent magnet quadrupole, Physica B, 査読有, 404, 2009, pp. 2643-2645.

⑥ Toru Ebisawa, Kazuhiko Soyama, Dai Yamazaki, Ryuji Maruyama, Seiji Tasaki, Yutaka Abe, Hiroyuki Hayashida, Masahiro Hino, Masaaki Kitaguchi, Yuji Kawabata and Koji Niita, Shield evaluation of cold neutron curved guide tubes for J-PARC neutron resonance spin echo spectrometers, Nucl. Instr. and Meth. A, 査読有, 600 (2009) pp. 126-128.

〔学会発表〕(計5件)

① 北口雅暁, 中性子電気双極子モーメント測定実験のための高密度超冷中性子輸送法の開発, 日本物理学会, 2011年3月28日, 新潟県新潟市.

② 北口雅暁, 超冷中性子を用いた基礎物理と J-PARC での展開, 日本中性子科学会年会, 2010年12月9日, 宮城県仙台市.

③ 北口雅暁, J-PARC BL05 低発散ブランチにおける干渉計・スピンエコー開発, 日本中性子科学会年会, 2009年12月9日, 茨城県東海村.

④ Masaaki Kitaguchi, Cold neutron interferometry, 第3回日米物理学会合同核物理分科会(Hawaii2009)Workshop “Physics with neutrons”, 2009年10月13日, アメリカ ハワイ.

⑤ 北口雅暁, 中性子スピン光学, 日本物理学会 2009年秋季大会 素粒子実験領域, ビーム物理領域, 実験核物理領域合同シンポジウム「中性子基礎物理」, 2009年9月12日, 甲南大学, 兵庫県.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/neutron/optics/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北口雅暁 (KITAGUCHI MASA AKI)

京都大学・原子炉実験所・助教

研究者番号: 90397571

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし