

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24510133

研究課題名(和文) 高効率中性子非弾性散乱実験法の開発

研究課題名(英文) Development of High Performance Inelastic Neutron Experiment Method

研究代表者

中島 健次 (Nakajima, Kenji)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 J-PARCセンター・研究主幹

研究者番号：10272535

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、マルチチョッパー型分光器について測定効率向上のための研究を実施した。計測手段を高度化するパルス整形チョッパーの多スリット化、及び、その運用方法の研究と実証試験を企図した。運用方法においては、シミュレーション等の検討により、多重Ei測定を用いて利用可能な入射エネルギーの帯域を拡大する測定条件についての定式化を示した。この測定法に必須となる多スリット型ディスクチョッパーについては、FEM等による工学的な成立性の検討を行ったが、製作を引き受けるメーカーが同分野から撤退したため、実機の製作とそれによる検証試験までには至らなかった。

研究成果の概要(英文)：We have investigated a novel method of measuring inelastic neutron scattering with disk-chopper spectrometers. A key technology is a multi-Ei measurement method by using a repetition rate multiplication. By enhancing the usable wave band-width, our final target is establish new method measuring with wide range of many different energy resolutions i.e., wide range of many different time scale to cover different modes (with different energy scales) of dynamics in the material by carrying out a single experiment. We have investigated experimental conditions by carrying out numerical studies and we have formulated them. On the other hand we try to develop a new multi-slit disk for a disk-chopper spectrometer, which is dedicated to carrying our merriments of the new method. We have finished technical investigations on a disk but we could not produce a test disk, which was necessary to carry out test experiments.

研究分野：中性子科学

キーワード：中性子散乱 チョッパー型分光器 多重Ei測定

### 1. 研究開始当初の背景

中性子非弾性散乱は、磁性体の動的帯磁率の測定、格子振動の分散の測定、固体、液体中の原子や分子の拡散の観測などを行うことができ非常に幅の広い分野で強力な測定手段となり得る測定手法である。しかしながら、放射光などの強力な線源が存在する X 線と比べて、もともと線源としては脆弱な中性子のさらにエネルギー分析を行うこの手法は散乱強度の問題や測定効率などの点で問題があった。一方で、研究開始当時、国内に新たな中性子源として、大強度陽子加速器研究施設 (J-PARC) の物質・生命科学実験施設 (MLF) が建設された。従来の同種の施設の 1 桁以上の中性子強度を生み出す J-PARC、MLF の中性子源には、測定手法、実験機器の技術なども最新のものが投入された結果、全く新しい中性子非弾性散乱実験の可能性を拓いた。その 1 つが、J-PARC、MLF の中性子分光器の 1 つで実証された複数の入射中性子エネルギーを同時利用する多重  $E_i$  測定法である。この手法は測定効率の格段の向上とさらに従来にない革新的な測定法が開発できる可能性を秘めたものである。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、多重  $E_i$  測定法と複数の入射エネルギーの入射に適したディスクチョッパー型分光器を組み合わせ、高効率で中性子非弾性散乱を行うのみならず、従来にない革新的な測定法を実現させる基盤を研究する。具体的には、多数の異なる入射エネルギーを利用し、この広い範囲で分解能の異なる測定を同時実施し、得られた結果を同時に処理することで、中性子非弾性散乱実験が通常得る  $I(Q, E)$  ではなく直接  $I(Q, t)$  ( $I$ : 散乱強度、 $Q$ : 運動量遷移、 $E$ : エネルギー、 $t$ : 時間) を精度と信頼性を高く得ることで、緩和現象等の観測に格段の威力を発揮する新手法、拡張波長帯域中性子非弾性散乱実験法について、測定手法の検証と技術的問題点の確認、及び、その解決、測定にかかるデータ取得方法の開発、そして、データ解析方法の開発を行う。

### 3. 研究の方法

本研究では、机上計算、シミュレーション等を元にした運用にかかる条件の研究と、実際の実験装置を用いた試験測定を最終目標としたハードウェアの整備についての研究を行う。実際の実験装置としては、J-PARC、MLF に設置されている「AMATERAS」分光器を想定する。数値計算による測定手法の妥当性の検討する一方で、「AMATERAS」で新手法を実施するための鍵となる複数の異なる数のスリットを持つ拡張波長帯域中性子非弾性散乱実験法用のディスクの開発を行う。拡張波長帯域中性子非弾性散乱実験法用のディスクは試作がなかった場合「AMATERAS」へ実際に装備して、実際の実験測定を実施し、検証実験を試みる。

### 4. 研究成果

本研究の目的となる拡張波長帯域中性子非弾性散乱実験法実現の柱の一つとなる、多重  $E_i$  測定法を拡張した広帯域の入射中性子エネルギーを利用する実験手法の鍵は、単色化用チョッパーの 1 回のスリット開口を、従来 1 つだけの入射エネルギーの選別だけに用いていたものを複数のエネルギーの選別に用いることである (図 1)。そのことによって利用できる入射中性子エネルギーの数を増やし、測定効率を向上させ、広く異なったダイナミックレンジの測定を実現する。そのために必要な条件について研究を行い、1 回のスリット開口タイミングで取り出すエネルギーの条件、必要な汚染除去チョッパーの条件、複数の入射エネルギーから生じる非弾性散乱が検出器位置での時間のタイミングで互いに汚染を引き起こさない条件について定式化した。結果については、現在、論文文化の作業を進めている。(T. Kikuchi, K. Nakajima, "Optimization of Instrumental Parameters for Wide-Band Polychromatic  $E_i$  Measurements on Chopper Spectrometers", *in preparation*) 実際には AMATERAS 分光器で実施されている条件について図 2 に示す。

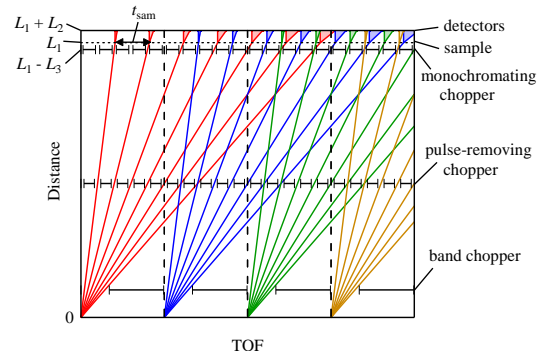


図 1 単色化用チョッパー ( 図中 monochromating chopper ) の 1 回の開口タイミングで複数のエネルギーの入射中性子を取り出す TOF ダイアグラム例。

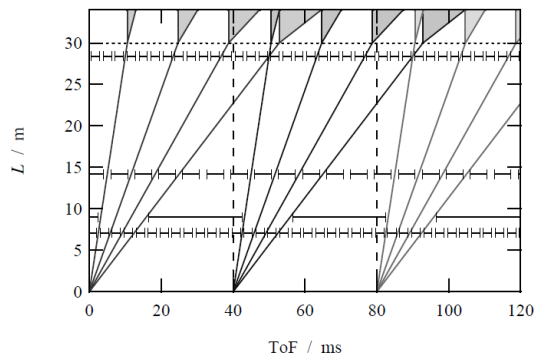


図 2 AMATERAS で広帯域の入射中性子エネルギーを取り出した例。42.1 meV、7.74 meV、3.13 meV、1.68 meV を取り出し、うち、42.1 meV、1.68 meV の 2 つのエネルギーを単色化用チョッパーの 1 回のスリットの開口タイミングのみで取り出している。

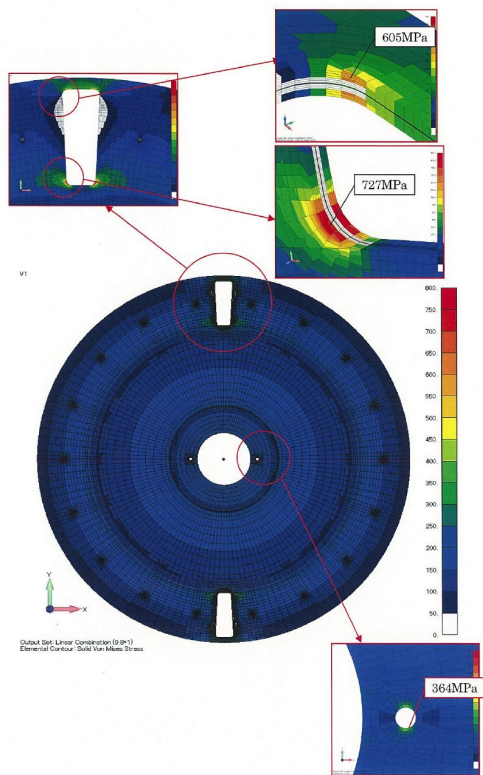


図3 拡張波長帯域中性子非弾性散乱実験法用のディスク(2スリット型)の応力計算結果(ミーゼス応力コンタ図)。最大の応力がかかる部分はスリットのエッジであり、その大きさは十分製作可能な領域である。

もう1つの研究の柱は、取り出せる異なる入射エネルギーの中性子を増やすための物理的な手段の開発である。この鍵は、中性子ディスクチョッパーの多スリット化である。これを開発し、AMATERAS分光器に搭載することで、検討した実験条件についての実証試験を行うことを目指した。この種の分光器に用いられるディスクチョッパーのディスクは、高回転故に内部に高い力がかかり、中性子を通すためのスリットの数を増やすと構造を弱めるために機械的に成立が難しくなる可能性がある。研究第1年度について、まず、2スリット型のディスクについて機械的が成立性をFEM計算により実施した。その結果、スリットを、従来のような切れ込みではなく、外周を残したくりぬき型にすることで成立することが確かめられた(図3)。残念ながら、国内で唯一この種のディスクを製造するメーカー((株)神戸製鋼所)が採算性の問題から研究開始初年度以降にこの事業からの撤退を決めた。研究期間を延伸するなどして神戸製鋼所担当者への説得する一方で代替のメーカーの探索を行ったが、技術的に高いレベルを要求される製造物であり、最終的には試験用のディスクの製造を断念するほかなかった。そのため、AMATERAS分光器による実証試験を十分には行えなかった。唯一、現状のAMATERAS分光器が装備しているディスクチョッパーの条件でも実施で

きる広帯域で入射中性子エネルギーを取り出す条件(図2)については、これが実際の中性子散乱実験において有用であることは確かめた。しかし、それを越える広い波長域での実験を試みられなかったのは、メーカーの撤退は事前に予想できなかったこととはいえ、本研究において痛恨である。

## 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 1件)

H. Seto, S. Itoh, T. Yokoo, H. Endo, K. Nakajima, K. Shibata, R. Kajimoto, S. Ohira-Kawamura, M. Nakamura, Y. Kawakita, H. Nakagawa, T. Yamada, "Inelastic and quasi-elastic neutron scattering spectrometers in J-PARC", BBA - General Subjects, 査読有, in press, DOI: 10.1016/j.bbagen.2016.04.025 (2016)

〔学会発表〕(計 10件)

K. Nakajima, 「Inelastic Instruments at MLF, J-PARC- Opportunities at MLF -」(招待講演) ANSTO-J-PARC Workshop, 2016年3月2日~3月2日, J-PARCセンター(茨城県東海村)

K. Nakajima, 「Inelastic Instruments at MLF, J-PARC- Opportunities at MLF -」(招待講演) The 15th Korea-Japan Meeting on Neutron Science, 2016年1月6日~1月8日, HOTEL NONGSHIM, (大韓民国プサン市)

中島健次, 「J-PARCの共同利用とサイエンス」(招待講演) 第63回重粒子医科学センター研究交流会, 2014年11月6日, 放射線医学総合研究所(千葉県千葉市)

K. Nakajima, 「Inelastic Instruments & Materials Sciences at J-PARC」(招待講演) The 13th Japan-Korea Meeting on Neutron Science, 2014年2月16日~2月20日, Hotel Lotte Buyeo (大韓民国プヨ市)

中島健次, 「冷中性子ディスクチョッパー型分光器アマテラス」(招待講演) 第7回三機関連携「量子複雑現象」研究会, 2014年1月17日, 理化学研究所(埼玉県和光市)

中島健次, 河村聖子, 中村充孝, 梶本亮一, 新井正敏, 吉田勝彦, 「パルス中性子源におけるダブルディスクチョッパー型分光器の実用化」(招待講演) 日本中性子科学会第13回年会, 2013年12月12日~12月13日, さわやかちば県民プラザ(千葉県柏市)

中島健次, 「J-PARCにおける中性子利用研究」(招待講演) 第2回東北大学光・量子ビーム科学連携ワークショップ 量子ビームを用いた物質・生命科学の新展開(II) - 東北大学と大型施設の連携と異分野融合 -, 2013年1月7日, 東北大学金属材料研究所(宮城県仙台市)

K. Nakajima, 「Inelastic neutron scattering experiments at Materials & Life Science Facility,

J-PARC」(招待講演) RIKEN Workshop on High-Resolution Spectroscopy with X-Rays、2012年11月15日～11月16日、理化学研究所(埼玉県和光市)

T. Kikuhci, K. Nakajima, S. O.-Kawamura, Y. Inamura、「Optimization of Polychromatic Ei Measurements on Chopper Spectrometers」(ポスター発表)、Nikko Joint Conference between 10th International Conference on Quasielastic Neutron Scattering 5th Workshop on Inelastic Neutron Spectrometers、2012年9月30日～10月4日、日光総合会館(栃木県日光市)

K. Nakajima、「RRM Based Techniques at Inelastic Instruments at MLF - Lessons Learned During Commissioning & Experiments -」(招待講演)、Nikko Joint Conference between 10th International Conference on Quasielastic Neutron Scattering 5th Workshop on Inelastic Neutron Spectrometers、2012年9月30日～10月4日、日光総合会館(栃木県日光市)

菊地龍弥、中島健次、河村聖子、稲村泰弘、「中性子チョッパ型分光器における測定の高効率化と解析の高度化」(口頭発表)、日本物理学会2012年秋季大会、2012年9月18日～9月21日、横浜国立大学(神奈川県横浜市)

〔図書〕(計 0件)  
なし

〔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  
なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中島 健次 (Nakajima, Kenji)  
国立研究開発法人日本原子力研究開発機

構・原子力科学研究部門 J-PARC センター・研究主幹  
研究者番号：10272535

(2) 研究分担者  
なし

(3) 連携研究者  
なし