

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23740185

研究課題名(和文) 神岡鉱山地下における原子核乾板を用いた中性子フラックスの測定

研究課題名(英文) Development of Measurement Technique of Fast Neutron Flux with Nuclear Emulsion in the Underground Laboratory

研究代表者

森島 邦博 (MORISHIMA, Kunihiro)

名古屋大学・エコトピア科学研究所・研究員

研究者番号：30377915

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円、(間接経費) 750,000円

研究成果の概要(和文)：原子核乾板は、高速中性子による反跳陽子を3次元飛跡として検出することにより、その飛来方向やエネルギーの測定が可能であるが、ガンマ線起因の電子飛跡がバックグラウンドとなる。本研究では、原子核乾板の受光素子である臭化銀結晶に電子トラップとして働くロジウムをドーピングして感度制御を行う事で、高いシグナルノイズ比で中性子起因の反跳陽子飛跡の解析が可能な原子核乾板の開発に成功した。本研究において開発した原子核乾板を用いた高速中性子検出技術は、神岡鉱山やイタリア・グランサッソ研究所などにおける地下の高速中性子フラックス測定に用いる事が可能である。

研究成果の概要(英文)：Nuclear emulsion is high sensitive photographic film used for detection of three-dimensional trajectory of charged particles. The principle of the measurement of fast neutron with nuclear emulsion is the detection of proton recoiled by neutron. However, electron tracks scattered by gamma rays are also recorded in the nuclear emulsion. These electron tracks are major background for fast neutron measurement. We developed new nuclear emulsion by adding a tiny amount of the rhodium into the silver bromide crystals in order to control the sensitivity and achieved high performance of electron background rejection. We can use this new emulsion to measure fast neutron flux in the underground experiment.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：高速中性子 原子核乾板 感度制御

### 1. 研究開始当初の背景

地下実験における検出器の高感度化に伴い、精密な地下高速中性子フラックスの理解が重要となってきた。特に、反跳原子核を検出するような暗黒物質探索実験に於いては、同様の検出原理であるために主要なバックグラウンド源となり、その理解は不可欠である。

我々は、ニュートリノ振動実験 OPERA を進める中で、原子核乾板解析技術の高度化及び高速化を進めて来た。また、原子核乾板による暗黒物質探索実験のための超微粒子乳剤の開発のために導入された原子核乳剤製造装置を研究者自らが駆使して、様々な改良を加えた原子核乳剤の開発が可能となった。

このような背景により、地下中性子フラックスの精密測定のための高速中性子検出に適した原子核乾板の開発を進めた。

### 2. 研究の目的

原子核乾板を用いた地下中性子フラックスの精密測定のための高速中性子計測に適した原子核乳剤の開発、その原子核乾板化、及びその性能評価を行い、地下実験施設での測定へ向けた基礎開発、及びその実用化を進める。

### 3. 研究の方法

原子核乾板は、高速中性子による反跳原子核(陽子など)をサブミクロンという高い解像力での3次元飛跡として記録する。その原理は以下の通りである。まず、反跳原子核が臭化銀結晶(原子核乾板の感光材料)を通過する際に引き起こす電離作用により潜像核(銀核)が生成される。次に、化学現像により潜像核を臭化銀結晶サイズ程度(サブミクロン)の大きさの銀粒子へ成長させる事で、反跳原子核の通過経路に沿った銀粒子列(飛跡)として顕在化する。これらの銀粒子を高倍率光学顕微鏡などで観察する事で、飛跡の認識が可能となる。

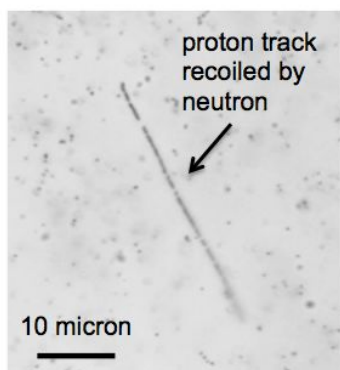


図1. 原子核乾板で記録された高速中性子による反跳陽子の飛跡の光学顕微鏡写真

中性子による反跳原子核の銀粒子列の3次元位置を全て計測する事により、その飛跡の長さ、方向の情報を得る事が出来る。この反跳原子核の飛程から反跳原子核のエネルギーの測定が可能である。入射中性子の飛来方向を仮定する事で、その反跳原子核の方向の情報と合わせる事で入射中性子のエネルギーを得る事が出来る。

中性子による反跳原子核と同様に、ガンマ線による散乱電子の飛跡も記録される。特に、数 MeV 領域の中性子による反跳陽子の飛跡長は数 10 ミクロン以下と短いため、ガンマ線起因の電子飛跡が主要なバックグラウンドとなる。

このような電子飛跡との識別能力を向上させるため、原子核乾板の受光素子である臭化銀結晶に電子トラップとして働くロジウムを極微量ドーピングする。このロジウムのドーピング量を変えて感度をコントロールする事で、中性子起因の陽子飛跡を記録しつつ、ガンマ線起因の電子飛跡を記録しないような、高いシグナルノイズ比を実現する原子核乳剤の開発、その原子核乾板化技術の開発、及びその性能評価を行う。

原子核乳剤の製造、開発は名古屋大学原子核乳剤製造装置を用いて行う。製造した乳剤を下処理した透明なプラスチック基材上に塗布、乾燥を行い、原子核乾板を製造する。性能評価は、結晶にドーピングするロジウムの量を振り、高速中性子に対して十分な感度が得られる条件を探り、それらに対するガンマ線感度を評価する事で行う。

### 4. 研究成果

中性子に対する感度評価は、Cf-252 線源を用いて行った。電子に対する感度評価は、ガンマ線源 Am-241 線源を用いて行った。ロジウムを添加する事で感度が低下するため、中性子による反跳陽子飛跡に対して感度を保つロジウムドーピング量、及び現像条件を探った。次に、中性子に対する感度を維持した条件で、従来の原子核乾板における電子感度との比較を行った。その結果、従来の原子核乾板と比較して、電子に対する感度を約2桁低下させる事に成功した。これにより、1平方センチあたり10の9乗のガンマ線バックグラウンド(Am-241線源)下での使用を実現した。

原子核乾板化については、原子核乾板の基材となるプラスチックベースの放電加工、ゼラチン塗布を行い、原子核乳剤塗布後の乾燥に対して剥がれない条件を探り、厚さ70ミクロンの乳剤厚を持つ原子核乾板の製造法を確立した。

更に、原研の核融合中性子源 FNS を用いて、DD 核融合中性子(検出器への入射中性子エネ

ルギーは 2.8MeV)を上記の方法で製造した原子核乾板へ照射した。記録された高速中性子による反跳陽子の飛跡を解析し、エネルギー分解能、及び検出効率(乳剤層中での反跳陽子発生数)の測定を行った。この結果と GEANT4 によるシミュレーションとの比較を行い、両者共に良い一致を得た(エネルギー分解能は 10%)。

現在、エネルギー測定精度向上のため、これまで開発してきた飛跡読み取り装置 S-UTS とは異なる新しい飛跡認識アルゴリズムによる自動測定技術の開発も進めている。

本研究において開発された原子核乾板を用いた高速中性子検出技術は、神岡鉱山やイタリア・グランサツソ研究所などにおける地下の高速中性子フラックス測定に用いる事が可能である。

また、得られた研究成果の波及効果として、高いガンマ線バックグラウンド下での高速中性子、高速イオン計測技術を必要とする分野(核融合中性子計測、高強度レーザーによる粒子加速イオン計測など)への応用の実施、検討を始めた。

#### 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 5 件)

K. Morishima, M. Isobe, H. Tomita, T. Nakano, M. Nakamura, M. Sasao, "Development of 14-MeV neutron measurement with nuclear emulsion for D-T burning plasma diagnostics", Plasma Fusion Res. Volume 8, 2402164, 2013

K. Morishima, K. Hamada, R. Komatani, T. Nakano, K. Kodama, "Development of Automated Nuclear Emulsion Analyzing System" Radiation Measurements, 50, 237, 2013

H. Tomita, F. Yamashita, Y. Yamamoto, H. Minato, K. Morishima, Y. Sakai, M. Isobe, K. Ogawa, T. Nakano, M. Nakamura, J. Kawarabayashi, T. Iguchi, K. Ochiai and M. Cheon, "Development of Fusion Neutron Pinhole Imaging using Nuclear Emulsions for Energetic Ion Diagnostics", Plasma Fusion Res. Volume 8, 2406095, 2013

K. Ishihara, K. Takagi, H. Minato, J. Kawarabayashi, H. Tomita, S. Maeda, T. Naka, K. Morishima, T. Nakano, M.

Nakamura, T. Iguchi, "Fast neutron detection under intense gamma-ray fields with novel nuclear emulsion technique", Radiation Measurements, 55, 79-82, 2013

森島邦博, 「原子核乾板による高エネルギー中性子計測」, 放射線, Vol.37, No.3 (2011) 173-178.

〔学会発表〕(計 15 件)

高速中性子検出用原子核乾板の開発、待井翔吾、森島邦博、中竜大、桑原謙一、2014 年度日本写真学会年次大会、2014 年、5 月、千葉

高速中性子トラッキング検出器の開発 (1)原子核乾板、待井翔吾、浅田貴志、中竜大、中野敏行、森島邦博、吉本雅浩、日本物理学会 69 回年次大会、2014 年、3 月、東海大学

高速中性子トラッキング検出器の開発 (2)読み取りシステム、吉本雅浩、浅田貴志、中竜大、中野敏行、待井翔吾、森島邦博、日本物理学会 69 回年次大会、2014 年、3 月、東海大学

Development of fast neutron detector with nuclear emulsion、Kunihiro Morishima、Shogo Machii、Tatsuhiko Naka、Kenichi Kuwabara、ISETS2013、2013、December、Nagoya

中性子とガンマ線の識別能力向上を目指した原子核乳剤の開発、待井翔吾、桑原謙一、森島邦博、2013 年度日本写真学会秋季研究発表会、2013 年、11 月、京都

Development of fast neutron and proton detector in high gamma ray field and its applications、Kunihiro Morishima、Workshop on Nuclear Track Emulsion and its Future、2013、October、Romania

「高速自動解析に適した中性子検出用原子核乾板の開発」、森島邦博、日本写真学会、2013 年、5 月、千葉

"Development of an Automated Nuclear Emulsion Analyzing System and its applications", K. Morishima, QFPU Final International Forum, March 8-10, 2013, Gifu, Japan

"Development of 14MeV neutron measurement with nuclear emulsion for D-T burning plasma diagnostics", K.

Morishima, M. Isobe, H. Tomita, T. Nakano, M. Nakamura, M. Sasao, 22nd International Toki Conference, November 19-22, 2012, Gifu, Japan

「原子核乾板による地下環境中性子フラックス測定技術の開発」、森島邦博、中竜大、浅田貴志、中野敏行、佐藤修、中村光廣、De Lellis Giovanni、Sirignano Chiara、D'Ambrosio Nicola、日本物理学会、2012年、9月、京都

“Nuclear Emulsion Scanning Facility and Development of Ultra-High Speed System in Nagoya University”, K. Morishima, The XXV International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics, Neutrino 2012, June 3-9, Kyoto, Japan

「原子核乾板自動解析システムの開発と応用」、森島邦博、18th ICEPP Symposium、2012年、2月、長野

“Development of Automated Nuclear Emulsion Analyzing System and Its Application”, K. Morishima, K. Hamada, R. Komatani, T. Nakano, K. Kodama, 25th International Conference on Nuclear Tracks in Solids, September 4-9, 2011 Puebla, México

「原子核乾板を用いた中性子検出技術の開発」、森島邦博、増田光、駒谷良輔、中野敏行、日本物理学会、2011、9月、弘前

「原子核乾板を用いた中性子計測技術の開発」、森島邦博、日本写真学会、2011、4月、東京

〔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

森島邦博 (MORISHIMA, Kunihiro)  
名古屋大学・エコトピア科学研究所・研究員

研究者番号：30377915

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：