

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：32661

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26287049

研究課題名(和文)ステライルニュートリノ存在の検証実験－磁場印加型エマルジョン検出器の開発－

研究課題名(英文)An experiment to verify the existence of sterile neutrinos - Development of Emulsion Spectrometers -

研究代表者

渋谷 寛 (SHIBUYA, Hiroshi)

東邦大学・理学部・教授

研究者番号：40170922

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,800,000円

研究成果の概要(和文)：標準的な3種類ニュートリノ混合の枠組みから外れたステライルニュートリノの存在検証を目標に、J-PARCニュートリノ実験施設にエマルジョン検出器を持ち込み、新しい実験を開始した。最初のステップは低エネルギーニュートリノ反応の詳細研究である。数回のテストビーム照射実験の結果、多重度の高い反ニュートリノ反応候補約千事象を検出することに成功し、詳細な研究を開始した。磁場印加型エマルジョン検出器に適したベース材として平面性の優れたアクリル板、スペーサーとして低密度物質ロハセルを用いた原型製造試験を行った。

研究成果の概要(英文)：Having an aim to verify the existence of sterile neutrinos, which do not fit in the framework of the standard 3-flavor neutrino mixing, we have started a new experiment with an emulsion-based detector at J-PARC. The first step is detailed studies of low-energy neutrino-nucleus interactions. As a result of several test beam experiments, we have successfully detected a thousand events of antineutrino-nucleus interaction candidates with high multiplicity and have started studying them in detail. For the development of emulsion spectrometers, some prototypes have been produced by using lucite plates as good-planarity base material and Rohacell plates as low density spacer between emulsion films.

研究分野：素粒子実験

キーワード：素粒子実験 エマルジョン 原子核乾板 ニュートリノ 磁場

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 宇宙線・大気ニュートリノの観測で発見されたニュートリノ振動の確認を目指した加速器ニュートリノ振動実験 OPERA の解析は順調に進み、着実にタウニュートリノの反応の観測を積み重ねていた。スイスの CERN 研究所からミューニュートリノを発射し、730 km 離れたイタリアのグランサッソ研究所に設置した OPERA 検出器でタウニュートリノ観測が確認されれば、ニュートリノ振動の確実な証拠となる。

(2) 一方、標準的な3種類ニュートリノ混合の枠組みから外れたステライルニュートリノの存在を示唆する実験報告も相次いでおり、その存在の検証は喫緊の課題である。

(3) そこで、OPERA 実験の解析を進めつつ、OPERA 実験の中で開発し改良を加えたエマルジョン検出器の技術を、より低エネルギーで大強度のミューニュートリノを発生できる J-PARC ニュートリノ施設に持ち込み、まだ分かっていないことの多い低エネルギーミューニュートリノ反応の詳細解析を行うと共に電子ニュートリノ反応も観測することができれば、ミューニュートリノから電子ニュートリノの振動観測を通して第4のステライルニュートリノの存在検証の実験を行うことができる。その際、電子ニュートリノと反電子ニュートリノを区別した観測が重要で、その識別を可能にする磁場印加型エマルジョン検出器の開発を目指すことになった。

## 2. 研究の目的

本研究の究極の目的は、このステライルニュートリノの存在を検証し、決着を付ける実験であり、その実験に必要な電子ニュートリノと反電子ニュートリノを識別して検出できる磁場印加型エマルジョン検出器を開発すること、そしてこれを J-PARC ニュートリノ施設で実用化し、さらに実際のデータ取得を目指すことである。しかし、現実には J-PARC ニュートリノ実験施設にエマルジョン検出器を持ち込んだことは本研究の開始前にはなく、先ずそのための環境調査が必要で、次にその環境状況を踏まえてニュートリノ反応を検出するための検出器を開発・製造し、さらに低エネルギーニュートリノ反応の解析法の研究・開発、反応過程ごとの断面積測定を行った後に、ミューニュートリノビームに約 1% 含まれる電子ニュートリノの観測とそのフラックスの測定を経て、磁場を印加して電子ニュートリノと反電子ニュートリノを識別してステライルニュートリノの存在を検証する段階に達する。

そこで、上記のプロセスを順次実施し、研究を進めることとした。

## 3. 研究の方法

(1) 加速器ニュートリノ振動実験 OPERA はエ

マルシオンフィルムの準備、ビーム照射実験の遂行、エマルシオンフィルムの現像、高速自動飛跡読取装置でのスキャン、ニュートリノ反応の解析まで、すべての技術と経験が次世代のニュートリノ実験の基礎となる。従って、この実験の解析にも積極的に参加し、解析技術を磨く。

(2) J-PARC ニュートリノ実験施設での実験には、以下の作業が必要になる。

検出器の材料、新型原子核乳剤を製造する。

その乳剤を支持体(ベース)に塗布する。冷暗所に保管し、必要に応じて、解析の障害になる不要な放射線飛跡を消去するリセット(リフレッシュ)処理を行う。

エマルジョン検出器を製作する。

製作した検出器を実験施設に設置する。

ビームを照射する。

検出器を取り出し、フィルムを現像する。

超高速飛跡読取装置 HTS を用いたスキャン。

それぞれの過程(特に から の新型エマルシオンフィルムの製造は初めての経験)で名古屋大学大学院理学研究科にて必要な技術を学ぶと共に、新たな装置の製法などを開発していく。

(3) 取得したデータを基にニュートリノ反応の詳細研究を行う。過程ごとの断面積測定やモンテカルロシミュレーションとの比較などの物理解析を行う。

(4) 磁場印加型エマルジョン検出器の構造と具体的な製法の研究を進める。テストビーム照射実験の結果とモンテカルロシミュレーションの比較をしながら、電子ニュートリノ・反電子ニュートリノ反応識別に最適なフィルム間隔を探り、その間隔にフィルムを保ち固定する機構を検討する。

## 4. 研究成果

(1) 長基線ニュートリノ振動実験 OPERA

本研究期間中に4番目、5番目のタウニュートリノ反応候補事象を報告することができた。これらの観測がすべてバックグラウンドである確率は $10^{-7}$ なので、タウニュートリノ出現を確実なものにすることができた。この過程で大角度最小電離粒子の検出を可能にする本学独自の自動飛跡読取装置 FTS を完成させることができた。そしてこの装置を用いて、タウ崩壊のハドロンバックグラウンド評価に実験的裏付けを与えることができた。

(2) J-PARC におけるテスト実験 T60 の実施

まず、共同研究者達とエマルジョン検出器を用いたテスト実験の年次計画と研究の進め方等の議論を開始した。本研究期間中に次の4つのニュートリノビーム照射実験を実施することができた。

2014年10月~12月 ニュートリノ POT= $1.3 \times 10^{20}$  2kg 鉄板標的 ECC(SS 階)

原子核乳剤製造，設置，実験場の環境等のテストである。標的兼検出器の鉄 ECC とエマルジョン多段シフターを設置した。エマルジョン多段シフターは多段のエマルジョンフィルム（原子核乾板）を時間と共に動かし，エマルジョン検出器に時間情報を与える装置で，宇宙ガンマ線精密観測計画 GRAINE で開発された技術である。本実験で初めて加速器ニュートリノ実験に応用された。同時にモニター用小型 ECC 検出器も設置して，環境放射線，製造した高感度フィルムの感度劣化や潜像退行の様子をモニターした。最小電離粒子に対する初期感度は  $100\mu\text{m}$  あたり 80 グレイン，ノイズとなるフォグの密度は  $1000\mu\text{m}^3$  あたり 3 ~ 4 個と，本研究の遂行に十分な高性能を確認できた。潜像退行の研究では，室温（摂氏 23）に 2 ヶ月程度の設置なら問題ないが，より長期間照射するなら低温に保つ対策が有効であることがわかった。長時間運転でのシフターの位置再現性は  $1\mu\text{m}$  以下であることを確認できた。

2015 年 1 月 ~ 4 月反ニュートリノ POT= $1.38 \times 10^{20}$  2kg 鉄板標的 ECC (SS 階) フロア照射条件は と同じだが，HTS でのスキャンを経て，最初のニュートリノ反応候補の検出に成功した。また，エマルジョン多段シフターについてもその時間分解能，ニュートリノビームモニター INGRID との対応性能を評価することができた。

2015 年 5 月 ~ 6 月反ニュートリノ POT= $0.8 \times 10^{20}$  1.5kg 水標的 ECC (SS 階) ニュートリノ・水反応を研究するため，水槽に真空パックしたエマルジョンフィルムとアクリルフレームのスペーサーを積層したものをに入れて，反ニュートリノ照射実験を行った。その結果，反ニュートリノ・水反応の初観測に成功した。一方，エマルジョンフィルムの変形が観測され，標的兼検出器の製作上の課題が明らかになった。

2016 年 1 月 ~ 6 月反ニュートリノ POT= $4.0 \times 10^{20}$  60kg 鉄板標的 ECC (SS 階) これまでの実験で明らかになった潜像退行を避けるため，標的兼検出器とエマルジョン多段シフター全体を冷蔵庫（10）に保管したビーム照射実験を実施した。エマルジョン検出器は  $25\text{cm} \times 25\text{cm}$  の鉄板 22 枚とエマルジョンフィルム 23 枚を積層した ECC 検出器 12 個からなり，全有効質量は 60kg である。照射実験の後，取り出したフィルムの現像は日本大学生産工学部の暗室で行った。

(3) 反ニュートリノ・原子核反応の詳細解析  
まず，2015 年 1 月 ~ 4 月照射の鉄板標的 ECC の解析では，すべてのエマルジョンフィルムに対して名古屋大学の超高速飛跡読取装置 Hyper Track Selector (HTS) で全面スキャンを行い，フィルムに垂直 ( $0^\circ$ ) から  $60^\circ$  までの飛跡を取得できた。3 本以上の飛跡（高電離粒子を含む）が標的中で測定誤差と多重電磁散乱によるずれの 3 シグマ範囲内で

交わるという条件により，反ニュートリノ反応候補 12 事象を検出することができた。エマルジョン多段シフターを介して下流の検出器 INGRID と対応を付けることにも成功している。これらの結果は PTEP に投稿され，掲載が決定している（雑誌論文，）。

2015 年 5 月 ~ 6 月照射の水標的 ECC では，反ニュートリノ反応候補 6 事象（このうち，2 個は水標的領域，4 個は鉄板・検出器領域）の検出に成功した。一方，フィルムのたわみも観測され，エマルジョン検出器の構造を検討するための資料を得ることができた。

2016 年 1 月 ~ 6 月照射の 60kg 鉄板標的 ECC では，超高速飛跡読取装置 HTS での全面スキャンを行った後，二次粒子多重度が 3 以上（高電離粒子を含む）の反ニュートリノ反応候補探索をスタートさせ，全体の約 85% の領域に対して，すでに 1048 事象の検出に成功している。様々な物理結果が期待される。

検出された低エネルギー反ニュートリノ反応を詳細に研究し，分類するためには反応から放出された二次粒子の多重度，放出角度，飛程の測定に加えて，二次粒子の電離損失や運動量の精密な測定が必要となることが，ニュートリノ反応ジェネレーター GENIE を用いた比較研究からわかった。この電離損失の測定に用いる乾板中の飛跡体積 (PHV) の測定値には飛跡角度への依存性と潜像退行の効果があり，その補正をするための基礎的な結果を得た。さらに，エマルジョン検出器に  $0.1 \sim 2.0\text{GeV}/c$  のミュオンを垂直入射させるシミュレーションを実施し，多重電磁散乱の測定に基づく運動量測定の誤差を評価した。23 枚の乾板を使用すれば， $0.1 \sim 2.0\text{GeV}/c$  のミュオンの運動量は 50% 以下の誤差で測定可能であること，特に  $0.5\text{GeV}/c$  以下のミュオンは 3 枚の乾板の測定でも 50% 以下の誤差で運動量の測定が可能ながわかった。

(4) 磁場印加型エマルジョン検出器の構造と具体的な製作法の研究

先行実験の小型エマルジョン検出器と同構成の検出器を組み込んだシミュレーションで実験結果を再現することができた。

先行実験では中心部に穴をもつ塩化ビニル板製の枠を用いて空気ギャップを生成したが，この方法では周辺に物質の大きな領域ができてしまうため，実際の実験での使用には好ましくない。そこで，枠を代わりに低密度物質として硬質発泡材「ロハセル」IG51 を購入し，スペーサーとして使用を試みた。

フィルムの平面性の重要性を再認識し，新しいベース材料を検討した。特に透明なアクリル板への乳剤塗布を試み，宇宙線を照射したところ，良好な結果を得た。一方，一部の乾板では現像時にベースから乳剤がはがれることがあり，放電加工の方法などの製作上の課題も明らかになった。ベース材によってエマルジョンフィルム（乾板）の剛性も変わる。それぞれに最適な検出器構造を検討した。

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 13 件)

K. Yamada, T. Fukuda, T. Matsuo, S. Mikado(22 番目), S. Ogawa(38 番目), H. Shibuya(44 番目) et al. (計 50 名), First demonstration of emulsion multi-stage shifter for accelerator neutrino experiment in J-PARC T60, Accepted for Publication in Prog. Theor. Exp. Phys.(2017). 査読有 arXiv:1703.03737 [physics.ins-det]  
T. Fukuda, T. Matsuo, S. Mikado(21 番目), S. Ogawa(37 番目), H. Shibuya(43 番目) et al. (計 50 名), First neutrino event detection with nuclear emulsion at J-PARC neutrino beamline, Accepted for Publication in Prog. Theor. Exp. Phys.(2017). 査読有 arXiv:1703.03659 [hep-ex]  
N. Agafonova, T. Fukuda, T. Matsuo, S. Mikado(76 番目), S. Ogawa(87 番目), H. Shibuya(116 番目) et al. (計 143 名), Determination of the muon charge sign with the dipolar spectrometers of the OPERA experiment, JINST 11 P07022 (2016). 査読有 DOI:10.1088/1748-0221/11/07/P07022  
Tomokazu Matsuo, Hiroshi Shibuya, Satoru Ogawa, Tsutomu Fukuda, Shoji Mikado, Large angle tracking and high discriminating tracking in nuclear emulsion", Radiation Measurements 83 (2015) 41-42. 査読有 DOI: 10.1016/j.radmeas.2015.04.020  
S. Aoki, T. Fukuda, N. Kitagawa, M. Komatsu, T. Matsuo, S. Mikado, N. Naganawa, M. Nakamura, Y. Nakatsuka, S. Ogawa, O. Sato, and H. Shibuya, A Test Experiment to Develop a Neutrino Detector with Emulsions for Neutrino-Nucleus Cross Section Measurements at J-PARC, Proc. 2nd Int. Symp. Science at J-PARC - Unlocking the Mysteries of Life, Matter and the Universe - JPS Conf. Proc. **8**, 023004 (2015). 査読有 DOI : 10.7566/JPSCP.8.023004  
N. Agafonova, T. Fukuda, T. Matsuo, S. Mikado(74 番目), S. Ogawa(87 番目), H. Shibuya(115 番目) et al. (計 141 名), Discovery of Neutrino Appearance in the CNGS Neutrino Beam with the OPERA Experiment, Phys. Rev. Lett. **115** (2015) 121802. 査読有 DOI: 10.1103/PhysRevLett.115.121802  
N. Agafonova, T. Fukuda, T. Matsuo, S. Mikado(69 番目), S. Ogawa(80 番目), H.

Shibuya(105 番目), et al. (計 130 名), Limits on muon-neutrino to tau-neutrino oscillations induced by a sterile neutrino state obtained by OPERA at the CNGS beam, JHEP 06 (2015) 069. 査読有 DOI:10.1007/JHEP06(2015)069  
K. Nakazawa, S. Fukunaga, S. Ogawa(15 番目), H. Shibuya(16 番目) et al. (計 24 名), The first evidence of a deeply bound state of  $\Xi^- - ^{14}\text{N}$  system", Prog. Theor. Exp. Phys. 2015, 033D02. 査読有 DOI: 10.1093/ptep/ptv008  
T. Fukuda, S. Fukunaga, H. Ishida, T. Matsumoto, T. Matsuo, S. Mikado, S. Nishimura, S. Ogawa, H. Shibuya, J. Sudou, A. Ariga, and S. Tufanli, Automatic track recognition for large-angle minimum ionizing particles in nuclear emulsions, JINST 9 P12017 (2014). 査読有 DOI: 10.1088/1748-0221/9/12/P12017  
N. Agafonova, T. Fukuda, H. Ishida, T. Matsuo, S. Mikado(79 番目), S. Ogawa(91 番目), H. Shibuya(118 番目) et al. (計 147 名), Observation of tau neutrino appearance in the CNGS beam with the OPERA experiment, Prog. Theor. Exp. Phys. 2014, 101C01. 査読有 DOI: 10.1093/ptep/ptu132  
H. Ishida, T. Fukuda, T. Kajiwara, K. Kodama, M. Komatsu, T. Matsuo, S. Mikado, M. Nakamura, S. Ogawa, A. Sheshukov, H. Shibuya, J. Sudou, T. Suzuki, and Y. Tsuchida, Study of hadron interactions in a lead-emulsion target, Prog. Theor. Exp. Phys. 2014, 093C01. 査読有 DOI: 10.1093/ptep/ptu119  
N. Agafonova, T. Fukuda, H. Ishida, T. Matsuo, S. Mikado(74 番目), S. Ogawa(85 番目), H. Shibuya(112 番目) et al. (計 139 名), Procedure for short-lived particle detection in the OPERA experiment and its application to charm decays, Eur. Phys. J. C (2014) 74:2986. 査読有 DOI:10.1140/epjc/s10052-014-2986-0  
N. Agafonova, T. Fukuda, H. Ishida, T. Matsuo, S. Mikado(74 番目), S. Ogawa(85 番目), H. Shibuya(112 番目) et al. (計 138 名), Measurement of the TeV atmospheric muon charge ratio with the complete OPERA data set, Eur. Phys. J. C (2014) 74:2933. 査読有 DOI:10.1140/epjc/s10052-014-2933-0

[学会発表](計 30 件)

水沢萌, OPERA 実験でのバックグラウンドとなるハドロン反応の詳細解析, 日本

物理学会 第 72 回年次大会, 2017 年 3 月 19 日, 大阪大学豊中キャンパス(大阪府・豊中市).

福田努, J-PARC T60 実験: J-PARC での原子核乾板を用いたニュートリノビーム照射実験, 日本物理学会 第 72 回年次大会, 2017 年 3 月 19 日, 大阪大学豊中キャンパス(大阪府・豊中市).

稲生恒明, ハイパー核生成実験における多重電磁散乱測定を用いた粒子識別, 日本物理学会 第 72 回年次大会, 2017 年 3 月 18 日, 大阪大学豊中キャンパス(大阪府・豊中市).

大島仁, J-PARC T60 実験におけるミュオンニュートリノ荷電カレント反応の研究, 日本物理学会 第 72 回年次大会, 2017 年 3 月 17 日, 大阪大学豊中キャンパス(大阪府・豊中市).

森元祐介, J-PARC T60 実験のニュートリノ反応点の詳細解析, 日本物理学会 第 72 回年次大会, 2017 年 3 月 17 日, 大阪大学豊中キャンパス(大阪府・豊中市).

Yusuke Morimoto, Study of neutrino-nucleus interactions with nuclear emulsion at J-PARC, HINT2016, 2016 年 12 月 5 日, いばらき量子ビーム研究センター(茨城県・那珂郡東海村).

森元祐介, J-PARC における原子核乾板を用いたニュートリノ実験, 画像関連学会連合会第 3 回秋季大会, 2016 年 11 月 18 日, 京都工芸繊維大学松ヶ崎キャンパス(京都府・京都市左京区).

Hitoshi Oshima, J-PARC T60 -Study of neutrino-nucleus interactions with nuclear emulsion at J-PARC, Asia-Europe-Pacific School of High Energy Physics 2016, 2016 年 10 月 16 日, University of Chinese Academy of Sciences (Beijing, China).

Hiroshi Shibuya, Compact Emulsion Spectrometer, Workshop on Hadron Production Measurements with Nuclear Emulsions, 2016 年 10 月 3 日, 名古屋大学東山キャンパス(愛知県・名古屋市).

森元祐介, J-PARC における原子核乾板を用いたニュートリノビーム照射実験 T60 の解析報告, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月 23 日, 宮崎大学木花キャンパス(宮崎県・宮崎市).

三角尚治, J-PARC T60 実験: 現像室整備と原子核乾板の現像状況報告, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月 23 日, 宮崎大学木花キャンパス(宮崎県・宮崎市).

松尾友和, J-PARC T60 実験における水標的検出器の飛跡解析, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月 23 日, 宮崎大学木花キャンパス(宮崎県・宮崎市).

福田努, J-PARC T60 実験における水標的検出器の飛跡解析, 日本物理学会 2016 年

秋季大会, 2016 年 9 月 23 日, 宮崎大学木花キャンパス(宮崎県・宮崎市).

水沢萌, OPERA 実験でのタウ崩壊検出におけるバックグラウンドとなるハドロン反応の研究, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月 21 日, 宮崎大学木花キャンパス(宮崎県・宮崎市).

Tsutomu Fukuda, Precise measurement of neutrino-nucleus interactions with Nuclear Emulsion, NUFAC 2016 (招待講演), 2016 年 8 月 26 日, International Centre for Interdisciplinary Science and Education (Quy Nhon, Vietnam).

森元祐介, J-PARC における原子核乾板を用いたニュートリノ実験, 2016 年度日本写真学会年次大会, 2016 年 6 月 9 日, 東京工業大学すずかけ台キャンパス(神奈川県・横浜市).

松尾友和, 原子核乾板における grain ベースの解析に向けた研究開発, 2016 年度日本写真学会年次大会, 2016 年 6 月 9 日, 東京工業大学すずかけ台キャンパス(神奈川県・横浜市).

水沢萌, OPERA 実験でのタウ崩壊検出におけるバックグラウンドとなるハドロン反応の研究, 日本物理学会 第 71 回年次大会, 2016 年 3 月 21 日, 東北学院大学泉キャンパス(宮城県・仙台市).

松尾友和, J-PARC T60 実験: 原子核乾板を用いた水標的検出器の解析, 日本物理学会 第 71 回年次大会, 2016 年 3 月 19 日, 東北学院大学泉キャンパス(宮城県・仙台市).

森元祐介, J-PARC における原子核乾板を用いたニュートリノビーム照射実験 T60 extension の準備状況, 日本物理学会 第 71 回年次大会, 2016 年 3 月 19 日, 東北学院大学泉キャンパス(宮城県・仙台市).

21 福田努, J-PARC T60 実験: J-PARC での原子核乾板を用いたニュートリノビーム照射実験, 日本物理学会 第 71 回年次大会, 2016 年 3 月 19 日, 東北学院大学泉キャンパス(宮城県・仙台市).

22 森元祐介, J-PARC における原子核乾板を用いた次期ニュートリノビーム照射実験の準備状況, 日本物理学会 2015 年秋季大会, 2015 年 9 月 26 日, 大阪市立大学杉本キャンパス(大阪府・大阪市).

23 福田努, J-PARC T60 実験: J-PARC での原子核乾板を用いたニュートリノビーム照射実験, 日本物理学会 2015 年秋季大会, 2015 年 9 月 26 日, 大阪市立大学杉本キャンパス(大阪府・大阪市).

24 Yusuke Morimoto, Performance of T60 Nuclear Emulsion, The 1<sup>st</sup> International Conference on Advanced Imaging (1<sup>st</sup> ICAI 2015), 2015 年 6 月 19 日, National Center of Science (Chiyoda-ku, Tokyo).

- 25 Tsutomu Fukuda, Neutrino Research Program with Nuclear Emulsion at J-PARC, The 1<sup>st</sup> International Conference on Advanced Imaging (1<sup>st</sup> ICAI 2015), 2015年6月19日, National Center of Science (Chiyoda-ku, Tokyo).
- 26 森元祐介, J-PARC T60 実験で使用した原子核乾板の性能評価, 日本物理学会 第70回年次大会, 2015年3月22日, 早稲田大学早稲田キャンパス(東京都・新宿区).
- 27 福田努, J-PARC T60 実験: J-PARC での原子核乾板を用いたニュートリノビーム照射実験, 日本物理学会 第70回年次大会, 2015年3月22日, 早稲田大学早稲田キャンパス(東京都・新宿区).
- 28 福田努, J-PARC における原子核乾板を用いたニュートリノ実験, 画像関連学会連合会 第1回秋季合同大会, 2014年11月21日, 京都工芸繊維大学松ヶ崎キャンパス(京都府・京都市左京区).
- 29 Tsutomu Fukuda, New Experimental Project for Study of Neutrino with Nuclear Emulsion Detector at J-PARC, 26<sup>th</sup> International Conference on Nuclear Tracks in Solids, 2014年9月15日, Integrated Research Center of Kobe University (兵庫県・神戸市).
- 30 H. Shibuya, A test experiment to develop a neutrino detector with emulsions for neutrino-nucleus cross section measurements at J-PARC, The 2<sup>nd</sup> International Symposium on Science at J-PARC, 2014年7月15日, Tsukuba International Congress Center (茨城県・つくば市).

〔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  
 東邦大学 教育・研究データベース  
[http://www.toho-u.ac.jp/kenkyu\\_db/](http://www.toho-u.ac.jp/kenkyu_db/)  
 東邦大学理学部物理学科  
<http://www.sci.toho-u.ac.jp/ph/lab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渋谷 寛 (SHIBUYA, Hiroshi)  
 東邦大学・理学部・教授  
 研究者番号: 4 0 1 7 0 9 2 2

(2) 研究分担者

三角 尚治 (MIKADO, Shoji)  
 日本大学・生産工学部・准教授  
 研究者番号: 8 0 4 0 8 9 4 7

(3) 連携研究者

小川 了 (OGAWA, Satoru)  
 東邦大学・理学部・教授  
 研究者番号: 1 0 2 5 6 7 6 1

(4) 研究協力者

福田 努 (FUKUDA, Tsutomu)  
 名古屋大学・高等研究院(理学研究科)・YLC 特任助教  
 研究者番号: 1 0 4 4 4 3 9 0