

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：32661

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03680

研究課題名(和文)コンパクト・エマルジョン・スペクトロメーターを用いたタウニュートリノの研究

研究課題名(英文)Study of tau neutrinos by using compact emulsion spectrometer technique

研究代表者

渋谷 寛 (SHIBUYA, Hiroshi)

東邦大学・理学部・名誉教授

研究者番号：40170922

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：正・反タウニュートリノ反応を識別して研究することを目指し、そのためのコンパクト・エマルジョン・スペクトロメーター(CES)技術の実用化に向けた課題とその解決法を探った。CESに適した原子核乾板の塗布、実用型CES構造体の製作と組み立て、加速器ビームや宇宙線の照射実験、原子核乾板に記録された粒子飛跡の測定から電荷符号識別の解析まで、全体の流れを繰り返し、調査した。CESの性能を決めるサジッタ分布の広がり、飛跡位置の測定精度と多重散乱を組み入れたシミュレーションの予測とほぼ一致し、理解できることがわかった。CES技術は実用化の段階に入った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

標準理論を越えた新物理の手がかりを探索するには、まだよくわかっていない粒子を詳しく調べるのがよい。タウニュートリノは標準理論の構成粒子の中で最後に見つかった第3世代の粒子で、さらに、パートナーのタウレプトンを含む崩壊には標準理論からのずれの可能性が示唆されている。そのタウニュートリノを詳細に研究するためには、粒子・反粒子を分離する必要があり、そのためのカギとなる技術、コンパクト・エマルジョン・スペクトロメーターの実用化に向けた研究を行い、その基礎技術を確立した。

研究成果の概要(英文)：To study tau neutrinos with particle-antiparticle separation, we investigated problems on the realization of the compact emulsion spectrometer technique and how to solve the problems. We examined the whole chain of the CES technique: production of nuclear emulsion plates suitable to the CES, assembly of the CES chamber, the exposure to either accelerator beams or cosmic rays, the measurement of particle tracks recorded in the CES, analysis of their electric charge separation. As a result, we found the width of the sagitta distribution, which determines the performance of the CES technique, well reproduced by a Monte Carlo simulation with position measurement errors of charged particle tracks and their multiple scattering in the CES materials. The CES technique has reached the stage of practical use.

研究分野：素粒子実験

キーワード：コンパクト・エマルジョン・スペクトロメーター タウニュートリノ 原子核乾板 磁場

1. 研究開始当初の背景

2012年のヒッグス粒子発見で素粒子物理学の標準理論は完成した。この標準理論は、この約50年間蓄積されてきた素粒子実験のほぼ全てを矛盾なく説明する。一方で究極の理論としては多くの謎が残されており、この標準理論を超える新物理の探索は急務である。どこをどのように探るか。さまざまな対象や領域が探索の対象として考えられ、実際に試みられているが、まだよくわかっていないところを調べるのがベストである。その一つがタウニュートリノである。

最後に見つかったレプトンで、報告された観測例はまだ十数事象しかない。さらに、パートナーであるタウを含むB中間子の崩壊には、まだ統計は十分ではないが、標準理論のレプトン普遍性にに基づいた計算とのズレを示唆する実験結果もある。そこで本研究では、タウニュートリノの研究を前進させることを考えた。

タウニュートリノを研究するにはタウニュートリノのビームが必要である。純粋なタウニュートリノビームの生成は難しいが、タウニュートリノを多く含むビームはビームダンプ法により生成可能である。このビームダンプ法による新しい研究施設をCERNに建設するSHiP計画が立案された。この中でタウニュートリノ研究が可能になるので、我々も参画することにした。

SHiP実験計画でタウニュートリノの標的兼検出器となるのは、原子核乾板と鉛板を交互に積層したECCで、タウニュートリノ反応の観測に対して唯一の実績をもつ装置である。ただし、既存のECCでは電荷符号はわからないので、タウニュートリノと反タウニュートリノを識別することはできない。そこでSHiP実験では、磁場中に3枚の原子核乾板を15mmずつ離して配置するコンパクト・エマルジョン・スペクトロメータCESの導入を計画している。標的兼検出器ECCのすぐ下流にCESを設置して、タウニュートリノの荷電カレント反応で放出されたタウの崩壊娘粒子の曲がりの向きから正・反タウニュートリノを判別し、さらに飛跡の曲がりの程度(サジッタの大きさ)から運動量の大きさを測定する。たとえば、運動量10 GeV/cの荷電粒子が1.2 Tの磁場中に設置された全長30 mmのCES検出器に入ってきた場合、飛跡の曲がり(サジッタ)は約4 μm である。このサジッタの検出は、通常の検出器には小さすぎて、原子核乾板でないと実現できない。また、同じECC検出器でミューニュートリノや電子ニュートリノの反応も検出できるので、一つの検出器の中でレプトン普遍性を精査することができる。

そこで、原子核乾板を用いたユニークな検出器コンパクト・エマルジョン・スペクトロメータCESの実用化に向けた研究を開始した。

2. 研究の目的

このCESの原理は、すでに我々が過去にKEK PSで実施した実験で実証されている。しかし、これは小さな乾板(約50 mm \times 約50 mm)を用いたCESで、ビーム運動量は0.5~2.0 GeV/c、垂直照射という限られた条件下での検証であった。これを実際の実験で使用するには、原子核乾板のサイズは、少なくとも標準OPERAフィルムのサイズの125 mm \times 100 mm、運動量は10 GeV/c程度まで、また飛跡の乾板に対する傾きも $\tan \theta = 0.3$ 程度までに、測定可能な領域を拡張する必要がある。そのためには、原子核乾板自体の平面性や一様性が要求され、CES本体としても乾板の平行性を担保し、固定する構造が必要である。さらに、解析方法やその手順について、大量の粒子飛跡の電荷符号識別と運動量測定を可能にする方法を確立する必要がある。これらの課題を解決し、条件を満足するCES原型を作り上げ、加速器ビームや宇宙線を照射してその性能を確認し、この技術の実用化を推進することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

現実の実験で使用するのに必要最小限な原子核乾板のサイズは、標準OPERAフィルムの125 mm \times 100 mmである。そこで本研究では、このサイズのCES検出器を製作した。

(1) まず、最初の加速器ビーム照射実験の方法と手順は、以下の通りである。

CESに適した原子核乾板の製造、塗布

原子核乾板は透明なベースの両面に乳剤を塗布したものである。ベース材料として、厚さ約200 μm のポリスチレンシート、アクリルプレート、ガラス板の3種類を使用し、それぞれ原子核乾板を製造し、CESに組み込んだ。

CES構造体として、乾板の間に低密度のスペーサーを入れてバネで挟む構造と、アクリル製の枠に乾板を挿入し、その間に空気ギャップを作り、固定する構造の2種類のCESを製造した。

CERN PS T9ビームラインにて、磁束密度1 Tの電磁石(MNP17)の内部に、4種類のCESを順に設置し、1~10 GeV/cのハドロンビームを照射した。照射ビームの傾きは、乾板に対して、垂直($\tan \theta = 0$)、および $\tan \theta = 0.3$ の傾きである。

CERN研究所の暗室にて、使用した原子核乾板を現像した。

日本に持ち帰った原子核乾板は、表面銀の拭き取り作業の後、超高速自動飛跡読み取り装置HTSで、貫通する粒子飛跡の位置、傾き、濃さ等のデータを読み取り、ディスクに保存した。

CESを構成する各原子核乾板の飛跡データに対して、ベース両側の乳剤層の飛跡(マイクロトラック)を連結し、ベーストラックの飛跡データを構成した。

CESを構成する各原子核乾板間の位置、回転、膨張・収縮、傾きを補正し、3枚の原子核乾板を貫通する飛跡を再構成した。

再構成された各飛跡に対し、磁場による曲がり（サジッタ）を計算した。これは電荷符号と運動量の測定に直結する。その際、同じ運動量ビームの各飛跡のサジッタの分布は、測定誤差とCESを構成する物質による多重電磁散乱により、広がりを持つ。この広がりや予想されるサジッタ値との比が、CESの電荷分離性能を決める分解能を与える。この広がりを生むサジッタ測定誤差には、単純な飛跡位置の測定誤差、ビームに垂直な平面内の原子核乾板同士の位置ずれと回転角の誤差の他に、原子核乾板自体の非平面性、原子核乾板間の傾きやビーム方向距離の不定性など様々な要因がある。これらをいかにして小さくするか、解析を行いながら、検討した。

(2) 最初の加速器ビーム照射実験の結果を受け、見つかった課題の解決と、更なる改良を目指し、2回の宇宙線照射実験を行った。

加速器ビーム照射実験の結果、ベース材料としてはガラス板が最適とわかった。厚さ500 μm ガラス板をベースとした乳剤を塗布し、原子核乾板を製作した。

改良したCES構造枠を用いて、CESを組み上げた。

宇宙線照射実験では、電磁石を使用できなかったため、CESの下流側にECCを配置し、運動量を測定した。

下流にはガラスベース原子核乾板の飛跡位置、角度測定精度を評価するための密着原子核乾板2枚組パックを配置した。照射時間は1回目約12時間、2回目約24時間であった。

現像後の原子核乾板は、表面銀の拭き取り作業の後、超高速自動飛跡読み取り装置HTSで飛跡データを読み取り、ディスクに記録、保存した。

CESを構成する各原子核乾板間の位置、回転、膨張・収縮、傾きを補正し、3枚の原子核乾板を貫通する飛跡を再構成した。

再構成された各飛跡に対し、磁場による曲がり（サジッタ）を計算するが、宇宙線照射実験では電磁石を使用していないため、磁場による飛跡の曲がりは観測できない。しかし、3枚貫通し、連結された荷電粒子飛跡に対してサジッタを計算すると、さまざまな測定の誤差、アライメントの誤差、多重電磁散乱などのため、サジッタの値はゼロにまわりに分布する。この分布の幅は、実際の実験において荷電粒子の電荷符号を分離し、運動量を測定する際の誤差となる。宇宙線実験ではこの分布の幅を測定し、精度の評価を行った。ただし、多重電磁散乱によってもこの分布の幅は増加する。この増加分は荷電粒子の運動量の大きさに反比例するので、下流に設定したECCにより、運動量を測定して、運動量ごとのサジッタ分布の幅を評価した。

4. 研究成果

(1) CERN PSの加速器ビーム照射実験の結果、わかったことをまとめる。

運動量1 GeV/c から6 GeV/cまでの電荷符号が正・負のハドロンビームのサジッタを測定したところ、きれいに分離できることがわかった。各ビームのサジッタ分布を図1に示す。(測定可能な運動量領域の拡張)

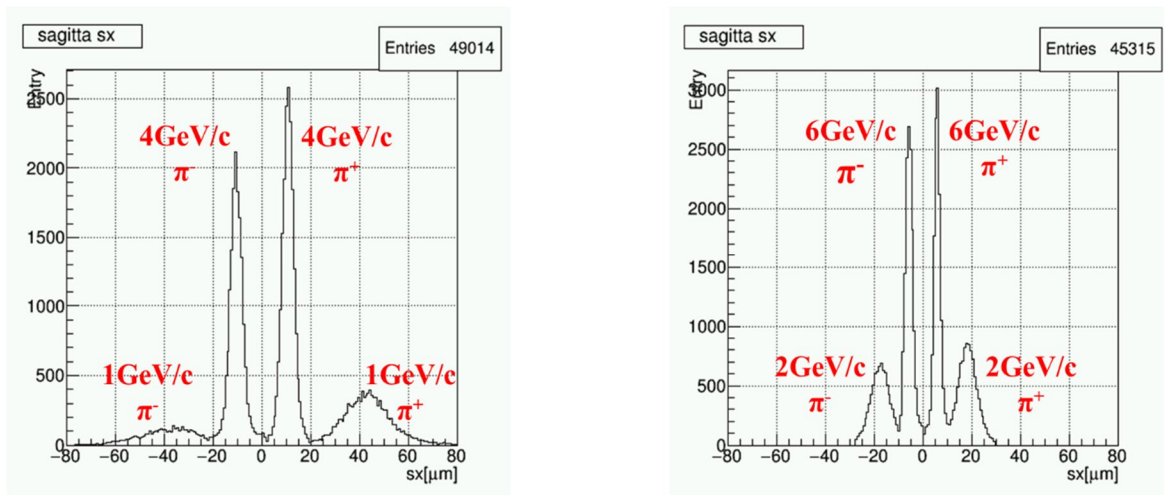


図1 CERN ビーム照射実験で観測されたサジッタの分布

使用した原子核乾板の50~70 cm²の面積において、飛跡のサジッタをよい分解能で測定できることがわかった。(測定可能なCES面積の拡張)

荷電粒子飛跡の乾板に対する傾きが、 $\tan = 0.3$ まで、飛跡のサジッタをよい分解能で測定できることがわかった。(測定可能角度領域の拡張)

以上、当初の目標のうち、測定可能領域拡張の目標はほぼ達成できた。また、CES製作に関して、次の知見を得た。

ベース素材としては、ガラス板が最適である。ただし、加速器ビーム照射実験で試したガラス板は厚さ $200\ \mu\text{m}$ で、特に注意深い取扱いが必要なことがわかった。他のプラスチックベースと比べると、平面性はよいが、たわみが観測された。

CES 構造体として、低密度スペーサーを挟むタイプのチェンバーは、低密度スペーサーとして使用した口ハセル板の厚さの均一性が十分ではなく、またバネで押すことによるたわみも観測され、本研究に必要な精密なサジッタ測定には、性能が十分ではないように思われた。一方、空気ギャップを作り出す枠型の CES 構造は、乾板を押さえる機構を工夫するとともにガラス板を厚くすれば、改良型が作れそうなのことがわかった。

(2) 最初の加速器ビーム照射実験の結果に基づき、実施した 2 回の宇宙線照射実験の結果は、以下の通りである。

ベース素材として厚さ $500\ \mu\text{m}$ のガラス板を用いた原子核乾板は、予想通り、扱いやすさは大きく向上し、たわみも少ないことがわかった。

CES 用の改良型アクリル製ケースは、従来のものと比べ、3 枚の乾板の平行度や平面性をよく保つことができた。

CES, ECC, 2 枚組密着乾板の乾板は、すべて水平な状態に設置した (図 2 参照)。照射された宇宙線の傾きは、 $\tan = 0.0 \sim 1.0$ 程度まで広がった分布をしている。ここで、 θ は天頂角であり、乾板垂線に対する角度である。

密着原子核乾板 2 枚組において、2 枚とも貫通している飛跡を抜き出し、2 枚の乾板での飛跡測定値の比較から、位置と角度の測定精度 (分布の幅) を見積もることができる。測定精度は、乾板に対する傾きが大きくなるにつれて、悪くなる傾向が見られた。そこでその原因を理解するために、飛跡を含む面と乾板面の垂直交線方向 (L 軸) と乾板面上で L 軸に垂直な方向 (T 軸) からなる LT 座標系に変換し、解析を行ったところ、T 軸方向では入射角度によらず、乾板 1 枚での測定精度として、中央部分の $40\ \text{mm} \times 40\ \text{mm}$ の領域において、位置測定精度は $0.37\ \mu\text{m}$ 、角度測定精度は $0.79\ \text{mrad}$ と、十分満足な値を得ることができた。これは、現実の超高速自動飛跡読み取り装置 HTS での飛跡位置・角度測定精度と考えることができる。この位置測定精度をモンテカルロ・シミュレーションに組み込んだ。

観測された飛跡を、下流の ECC で測定された運動量ごとにグループ分けし、横軸運動量、縦軸サジッタ分布の幅の図にプロットすると、予想通り、運動量が高くなるにつれてサジッタ分布の幅が小さくなるグラフが得られた。しかしながら、ほぼ同じ条件で行ったはずの第 1 回目 (2019 年実施) と第 2 回目 (2020 年実施) の間に不一致も観測された。

そこで、解析方法を見直した。従来から 2 層間の飛跡連結の際には、乾板の拡大縮小 (スケールリング) と乾板間隔 (z シフト) を調整することにより、予測位置と測定位置のずれを最小化してきたが、CES 解析時には、この 2 つのパラメータはそれぞれ設計値の 1、 $15,000\ \mu\text{m}$ を初期値として、微調整を行うように変更した。この解析手法の見直しにより、2 回の実験間での再現性が確認でき、測定されたサジッタ分布の幅はシミュレーションによる予測とほぼ一致した。

運動量 $1 \sim 6\ \text{GeV}/c$ の粒子に対して、約 2.5 以上の電荷分離性能があることがわかった。この結果を、宇宙線照射実験の配置図とともに、図 2 に示す。

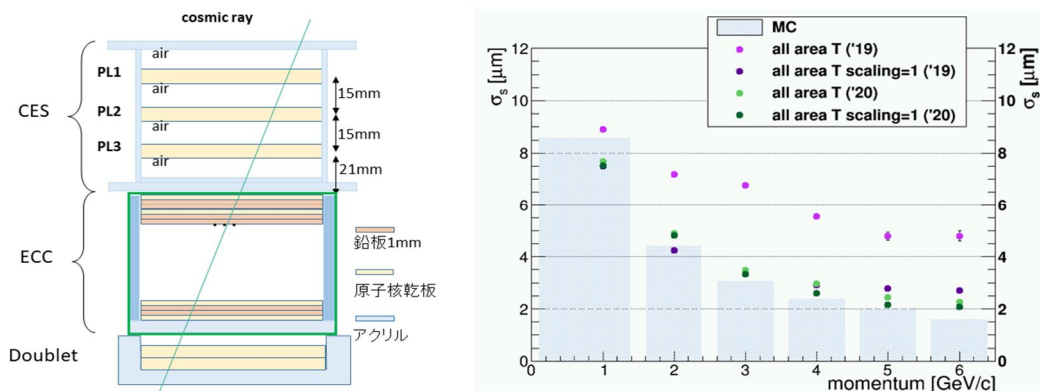


図 2 宇宙線照射実験の配置図と観測されたサジッタ分布の幅

まとめると、研究期間全体を通じて実施した、加速器ビーム照射実験と 2 回の宇宙線照射実験の解析により、CES に適したガラスベース乾板の塗布法と CES 本体の製法を見出すことができた。そして、CES の電荷識別性能を決める飛跡サジッタ分布の幅、すなわちサジッタ測定の精度はほぼ理解できた。その結果、飛跡サジッタ測定の最適な解析手順を確立することができたといえる。今後はタウニュートリノ研究の実験に組み込む CES 実機的设计と製作である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 11件／うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 N. Agafonova, T. Fukuda, T. Matsuo, S. Mikado, S. Ogawa, H. Shibuya et al. (OPERA Collaboration)	4. 巻 80
2. 論文標題 First observation of a tau neutrino charged current interaction with charm production in the OPERA experiment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 699 1~10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-020-8160-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 A. Hiramoto, T. Fukuda, T. Matsuo, S. Mikado, K. Mizuno, Y. Morimoto, S. Ogawa, H. Oshima, H. Shibuya, H. Takagi et al. NINJA Collaboration	4. 巻 102
2. 論文標題 First measurement of μ and μ charged-current inclusive interactions on water using a nuclear emulsion detector	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 072006 1~21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.102.072006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 H. Oshima, T. Fukuda, T. Matsuo, S. Mikado, K. Mizuno, Y. Morimoto, S. Ogawa, H. Shibuya, H. Takagi et al. NINJA Collaboration	4. 巻 2021
2. 論文標題 First measurement using a nuclear emulsion detector of the μ charged-current cross section on iron around the 1 GeV energy region	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 033C01 1~24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptab027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 C. Ahdida, M. Komatsu, S. Mikada, S. Ogawa, H. Shibuya et al.,	4. 巻 4
2. 論文標題 Sensitivity of the SHiP experiment to light dark matter	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 199 1~28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP04(2021)199	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 C. Ahdida, S. Ogawa, H. Shibuya et al. (SHiP Collaboration)	4. 巻 4
2. 論文標題 Sensitivity of the SHiP experiment to Heavy Neutral Leptons	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 077 1~16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP04(2019)077	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 N. Agafonova, T. Fukuda, T. Matsuo, S. Mikado, S. Ogawa, H. Shibuya et al. (OPERA Collaboration)	4. 巻 100
2. 論文標題 Final results on neutrino oscillation parameters from the OPERA experiment in the CNGS beam	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 051301 1~8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.051301	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 N. Agafonova, T. Fukuda, T. Matsuo, S. Mikado, S. Ogawa, H. Shibuya et al. (OPERA Collaboration)	4. 巻 10
2. 論文標題 Measurement of the cosmic ray muon flux seasonal variation with the OPERA detector	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 003 1~12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2019/10/003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 C. Ahdida, S. Ogawa, H. Shibuya et al. (SHiP Collaboration)	4. 巻 14
2. 論文標題 Fast simulation of muons produced at the SHiP experiment using Generative Adversarial Networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 P11028 1~15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/14/11/P11028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 C. Ahdida, S. Ogawa, H. Shibuya et al. (SHiP Collaboration)	4. 巻 15
2. 論文標題 The magnet of the scattering and neutrino detector for the SHiP experiment at CERN	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 P01027 1~21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/15/01/P01027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 C. Ahdida, S. Ogawa, H. Shibuya et al. (SHiP Collaboration)	4. 巻 80
2. 論文標題 Measurement of the muon flux from 400 GeV/c protons interacting in a thick molybdenum/tungsten target	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 284 1~11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-020-7788-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 N. Agafonova, T. Fukuda, T. Matsuo, S. Mikado, S. Ogawa, H. Shibuya et al. (OPERA collaboration)	4. 巻 120
2. 論文標題 Final Results of the OPERA Experiment on Appearance in the CNGS Neutrino Beam	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 211801 1~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.120.211801	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 N. Agafonova, T. Fukuda, T. Matsuo, S. Mikado, S. Ogawa, H. Shibuya et al. (OPERA collaboration)	4. 巻 2018
2. 論文標題 Final results of the search for μ \rightarrow e oscillations with the OPERA detector in the CNGS beam	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 151 1~12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP06(2018)151	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 C. Ahdida, S. Ogawa, H. Shibuya et al. (SHiP collaboration)	4. 巻 14
2. 論文標題 The experimental facility for the Search for Hidden Particles at the CERN SPS	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 P03025 1~21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/14/03/P03025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計16件(うち招待講演 0件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 大島仁、渋谷寛、小川了、松尾友和、森元祐介、水野耕作、高木秀彰、他NINJA Collaboration
2. 発表標題 NINJA実験における1GeV領域のニュートリノ・鉄荷電カレント反応の全断面積測定
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鶴岡千穂、渋谷寛、小川了、中竜大、松尾友和、荒井知佳、大島仁、小松雅宏、他SHiP Collaboration
2. 発表標題 SHiP実験に向けたコンパクトエマルシヨンスペクトロメーターの開発
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小松雅宏、佐藤修、中村光廣、中野敏行、宮西基明、森島邦博、長縄直崇、福田努、六條宏紀、北川暢子、児玉康一、渋谷寛、小川了、中竜大、鶴岡千穂、青木茂樹、高橋覚、三角尚治
2. 発表標題 SHiP実験におけるタウニュートリノ研究
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大島仁、渋谷寛、小川了、松尾友和、森元祐介、水野耕作、高木秀彰、他NINJA Collaboration
2. 発表標題 NINJA実験における1 GeV領域のニュートリノ-鉄荷電カレント反応の断面積測定
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Oshima, T. Matsuo, S. Ogawa, H. Shibuya et al. (NINJA collaboration)
2. 発表標題 First cross section measurement of neutrino charged current interactions in the iron ECC
3. 学会等名 NUFACT 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Oshima, T. Matsuo, S. Ogawa, H. Shibuya et al. (NINJA collaboration)
2. 発表標題 Study of neutrino charged current interactions on iron in the NINJA experiment
3. 学会等名 TAUP 2019 (16th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Matsuo, K. Hirose, A. Kono, Y. Kosakai, K. Mizono, Y. Morimoto, S. Ogawa, H. Oshima, H. Shibuya, H. Takagi, C. Tsuruoka, S. Mikado, Y. Hanaoka, T. Fukuda, M. Nakamura, O. Sato
2. 発表標題 Upgrading of momentum measurement techniques in emulsion-based particle detectors
3. 学会等名 ICMaSS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松尾友和, 渋谷寛, 小川了, 森元祐介, 大島仁, 小坂井悠介, 水野耕作, 高木秀彰, 他 NINJA Collaboration
2. 発表標題 NINJA実験の鉄ECC中におけるニュートリノ反応解析のための基礎的測定
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大島仁, 渋谷寛, 小川了, 松尾友和, 森元祐介, 小坂井悠介, 水野耕作, 高木秀彰, 他 NINJA Collaboration
2. 発表標題 NINJA実験におけるニュートリノ-鉄荷電カレント反応の研究
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高木秀彰, 渋谷寛, 小川了, 松尾友和, 森元祐介, 大島仁, 小坂井悠介, 水野耕作, 他 NINJA Collaboration
2. 発表標題 NINJA実験における反ミューニュートリノ - 鉄荷電カレント反応の研究
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大島仁, 渋谷寛, 小川了, 松尾友和, 森元祐介, 小坂井悠介, 水野耕作, 高木秀彰, 他 NINJA Collaboration
2. 発表標題 NINJA実験における1 GeV領域のニュートリノ - 鉄荷電カレント反応の測定結果
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鶴岡千穂, 渋谷寛, 小川了, 中竜大, 福島知佳, 松尾友和, 森元祐介, 大島仁, 廣瀬寛士 他 SHiP Collaboration
2. 発表標題 SHiP実験に向けたコンパクトエマルシヨンスペクトロメーターの開発
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河野歩実, 渋谷寛, 小川了, 福島知佳, 松尾友和, 森元祐介, 大島仁, 佐伯加奈, 廣瀬寛士, 他 SHiP Collaboration
2. 発表標題 SHiP実験に向けたコンパクトエマルシヨンスペクトロメーターの開発
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大島仁, 渋谷寛, 小川了, 松尾友和, 森元祐介, 小坂井悠介, 他 NINJA Collaboration
2. 発表標題 NINJA実験における反ミューニュートリノ-鉄 荷電カレント反応の解析
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河野歩実, 渋谷寛, 小川了, 福島知佳, 松尾友和, 森元祐介, 大島仁, 佐伯加奈, 廣瀬寛士, 他 SHiP Collaboration
2. 発表標題 SHiP実験に向けたコンパクトエマルシヨンスペクトロメーターの開発
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会(2019年)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大島仁, 渋谷寛, 小川了, 松尾友和, 森元祐介, 小坂井悠介, 他 NINJA Collaboration
2. 発表標題 NINJA実験: ミューニュートリノ-鉄 荷電カレント反応の研究
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会(2019年)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東邦大学 教育・研究業績 データベース https://gyoseki.toho-u.ac.jp/ 東邦大学 理学部 物理学科 研究室・教員 https://www.toho-u.ac.jp/sci/ph/lab/</p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	小川 了 (OGAWA Satoru) (10256761)	東邦大学・理学部・教授 (32661)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	松尾 友和 (MATSUO Tomokazu)		
研究協力者	森元 祐介 (MORIMOTO Yusuke)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	大島 仁 (OSHIMA Hitoshi)		
研究協力者	河野 歩実 (KONO Ayumi)		
研究協力者	鶴岡 千穂 (TSURUOKA Chiho)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関