

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02888

研究課題名(和文)原子核乾板による電子ニュートリノ・原子核反応の精密測定

研究課題名(英文) Precise measurement of electron neutrino interactions with nucleus by nuclear emulsion.

研究代表者

佐藤 修 (Sato, Osamu)

名古屋大学・未来材料・システム研究所・助教

研究者番号：20377964

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,400,000円

研究成果の概要(和文)：sub-few GeVのエネルギー領域のニュートリノと原子核の反応の際には原子核の影響が強く表れ、その不定性が大きい。本研究では、サブミクロンの位置分解能をもつ原子核乾板を用い、そのエネルギー領域のニュートリノ反応を精密に解析した。鉄板と原子核乾板フィルムの積層構造ECCによりニュートリノ反応を捉え、原子核乾板の位置精度と高サンプリング構造により確実に鉄板中での反応であるものに限定することで鉄とニュートリノの反応断面積の測定を行った。この結果を論文にまとめて投稿のための内部査読中である。また電子ニュートリノの同定手法を開発し、次期実験でのステライルニュートリノ探索での貢献が期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ニュートリノの研究はニュートリノ振動の発見を経て3世代間の混合角や質量差が測られ、現在はその精密化の段階である。しかしニュートリノの世代が4世代でなければ説明できない実験結果を出している実験がある。もし、本当に4世代目のニュートリノの存在が確かであればニュートリノのみならず素粒子標準理論の変更が必要である。しかも普通のニュートリノのように物質とは反応しない(ステライル)と考えられている。一方で低エネルギーニュートリノでの電子ニュートリノ出現に対する背景事象の理解不足の可能性もある。本研究ではステライルニュートリノ問題解明に向けて、低エネルギー領域でのニュートリノ反応の精密解析を行った。

研究成果の概要(英文)：Studies with sub-few GeV neutrino are suffering large systematic uncertainty from target nucleus effect. The large systematic errors appear on neutrino interaction cross section or secondary particle (like proton, pi, pi-zero, etc.) multiplicity. There are doubts on sterile neutrino discovery claims from LSND, MINIBOONE and so on. It is due to the large uncertainty on electron neutrino's background estimation at the energy range. In such a situation, we used nuclear emulsion detector as the ideal tracking device which have sub-micrometric position resolution and very high sampling rate (a tracker per every sub mm in beam direction). An emulsion cloud chamber with iron plates of total weight 65kg were analyzed for evaluating neutrino cross section and secondary particle's multiplicity with its particle identification (muon pion proton). A new electron identification method with nuclear emulsion was developed here. The results are reported at JPS meetings and international conferences.

研究分野：素粒子物理学, ニュートリノの物理

キーワード：ステライルニュートリノ ニュートリノ反応断面積 ニュートリノ振動 原子核乾板

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

素粒子標準模型は、クォーク族、レプトン族、と力を媒介するゲージボソン及び、素粒子に質量を与えるヒッグス粒子を万物の構成要素とし、これらの間に働く「弱い相互作用」「電磁相互作用」[強い相互作用]による振る舞いを正確に記述する。クォーク族、レプトン族はそれぞれ3世代あることが知られている。

ニュートリノも電子型、ミュー型、タウ型の3世代が存在する。この順に第1、第2、第3世代と呼ぶ。ニュートリノの質量は、上限値しか測定されておらず、質量ゼロとして標準理論に組み込まれていた。ニュートリノが、ゼロではない有限な質量を持っていることが確認されたのは1998年の事である。スーパーカミオカンデ(SK)で得られた大気ニュートリノ観測で μ ニュートリノの減少は、ニュートリノが質量を持っている場合にのみ起きるニュートリノ振動現象(μ 型からタウ型へ変化)であるとして説明された。このニュートリノの第2世代と第3世代間の質量差はニュートリノ振動現象を利用して継続的に測定され、 $m^2_{23}=(2.4 \pm 0.06) \times 10^{-3} \text{eV}^2$ (PDG2015)の値が得られた。 μ ニュートリノが振動して確かにタウニュートリノになっていることは、OPERA 実験によるタウニュートリノの出現事象の観測により2015年に確認された(Phys.Rev.Lett.115(2015)12,121802)。第1世代と第2世代間のニュートリノ振動は太陽からのニュートリノの検出数の不足及び原子炉ニュートリノ実験により観測され、その質量差は $m^2_{12}=(7.53 \pm 0.18) \times 10^{-5} \text{eV}^2$ (PDG2015)と測定された。観測された質量差が $m^2_{12} \ll m^2_{23}$ であるため、3世代のニュートリノ間のニュートリノ振動で観測される質量差は2通りの値(m^2_{12} と $m^2_{23} \sim m^2_{13}$)のみ許される。しかしLSND 実験、MINBOONE 実験はニュートリノ振動により、この2つの値と完全にかげ離れた m^2 の測定値、約 1eV^2 を報告し、第4世代のニュートリノ(Z^0 とカップルしないためステライルニュートリノと呼ばれる)の存在を示唆した。もしニュートリノに第4世代目が存在すると、クォーク族、レプトン族が3世代として組み立てられている標準模型の土台が崩れる。ステライルニュートリノ存否検証は標準理論の根幹にかかわる重要課題である。しかし、現在に至るもステライルニュートリノの存否には決着がついていない。

2. 研究の目的

ステライルニュートリノへのニュートリノ振動の有無に対する結論が不明瞭な原因として、ステライルニュートリノの信号検出を報告しているLSND 実験などが、標的原子核の原子核効果が強く表れるエネルギー領域(sub ~ few GeV)でのニュートリノ振動実験であり、ニュートリノ反応断面積の不定性が理論的にも実験データとしても大きいこと、および、振動の信号である電子ニュートリノ反応と同定されたものに対する背景事象見積の不定性があげられる。そのため、間違いなくステライルニュートリノを捉えているとの結論に至っていない。

本研究ではJ-PARCでのニュートリノを原子核乾板と鉄板の積層構造のECC 標的に照射し、ニュートリノ反応を精密に測定する。原子核乾板 ECC を用いることで上記の不定性を最小限にした理想的な検出条件で、このエネルギー帯でのニュートリノ反応断面積測定、ステライルニュートリノ解析にむけた電子ニュートリノ同定手法の開発・探索を行うことが目的である。

3. 研究の方法

検出器は茨城県東海村の J-PARC にある T2K 実験の前置検出器ホールに設置する。原子核乾板 ECC は 0.5 ミリ厚の鉄板とトラッキング検出器である 0.3 ミリ厚の原子核乾板が交互に積層した構造の検出器である。トラッキング検出器がミリメートル程度の間隔で積層された高精細なサンプリング検出器である。個々のトラッキング検出器（原子核乾板 1 枚）はサブマイクロンの精度で荷電粒子の位置情報および角度情報を 3 次元的に捉える。これにより、ニュートリノ反応点から複数の飛跡が放出されていても飛跡を 3 次元的に分離できるため 2 本の近接飛跡の分解において通常の x-y プロジェクションタイプの検出器で生じる x-y プロジェクションの組み合わせ間違い等による誤認識は生じえない。しかも飛跡をとらえる位置分解能はサブマイクロン、原子核乾板 1 枚でも角度精度は 2mrad であり、線による電子対生成も最小限の検出器物質で誤認することなく同定できる。つまり原子核乾板 ECC では電子ニュートリノに対する主背景事象（ニュートリノ中性カレント反応によるパイゼロ生成→からの電子対を 1 本の電子と誤認識）は無視できる。実際に μ 付反応の反応を使い線が反応した鉄板中で対生成し電子 1 本の飛跡と誤認されてしまうものがないことは μ ニュートリノ反応で実証することができる。

ニュートリノ反応の精密測定にあたり、原子核乾板の特徴を生かした解析を行う。まず原子核乾板の全面をスキャンして、ECC 中の複数の原子核乾板で捉えられた飛跡をつなぎトラックを再構成する。トラック情報から ECC 中のニュートリノ反応を再構成する。さらに μ 粒子同定には INGRID からミュー粒子のトラック情報をもらい、そのミューのトラックを原子核乾板 ECC につなぐ。T2K 実験の前置検出器 INGRID は鉄とシンチレーターからなる検出器で大きさは $1.2 \times 1.2 \times 0.9 \text{ m}^3$ である。6.5cm の鉄標的層を 2 層以上貫通するものを μ と同定する。エネルギー閾値は約 150MeV である。このミュートラックの発生源が原子核乾板 ECC 中にある事象にたいして、ミューニュートリノの荷電カレント反応として解析を行った。原子核乾板は時間情報を持たないため、つなぐためのインターフェースとして機械仕掛けで複数枚の原子核乾板を時計の時針、分針、秒針のように同期して動かし、粒子の貫通した時間情報を原子核乾板間での飛跡の位置ずれとして記録する原子核乾板シフターを ECC と INGRID の間に配置することでミュートラックの接続を行った。ECC 中の電磁多重散乱による飛跡の角度ズレから μ 粒子の運動量は約 10~20%の精度（観測可能原子核乾板フィルム数に依存）で求まる。また ECC 中でエネルギーを失い止まってしまうトラックはその飛程から粒子の運動量を測定した。トラックの電離損失量 dE/dX は原子核乾板に記録された飛跡の濃さで評価された。電離損失量と運動量情報により粒子同定（パイ粒子、陽子）を行った。

電子の同定は、他の粒子と違い物質を貫通する間にエネルギーを失う割合が多い事を利用する。約 17 ミリの鉄を貫通すると電子のエネルギーは初期値に対して約 37%になる。エネルギー(運動量)の低下にとともに大きくなる軌跡のふらつき量の変化を捉える事で電子と同定する (Rev.Sci.Instrum.74(2003) 53-56)。ニュートリノ反応点から放出された荷電粒子の粒子同定は、鉄板貫通の際に受ける電磁多重散乱による飛跡の角度ふらつき量を統計的に処理し、エネルギーの損失量が貫通鉄板の枚数の関数として変化しないもの（、 μ など）とエネルギー損失量が貫通鉄板枚数と共に増大していく電子とに分別する。

4. 研究成果

ニュートリノと鉄とのニュートリノ反応結果をまとめた。この解析には2016年1月にビーム照射したデータサンプルを用いた。この鉄標的(65kg)原子核乾板ECCには正ニュートリノモードで 0.4×10^{20} POT、反ニュートリノモードで 3.53×10^{20} POTのビーム照射を行った。正ニュートリノモードでは、蓄積されるニュートリノ反応は98.6%が正ニュートリノで反ニュートリノの混入は1.4%に抑えられている。一方で反ニュートリノモードでは正ニュートリノの混入が28.2%もあり反ニュートリノの純度が低い。今回は、正ニュートリノモードの事象を選別することで正 μ ニュートリノと鉄との反応を解析した。

INGRIDからの μ 粒子候補を上流ECCに向かって追いかけて、最終的に12個のECC標的65キログラムでのニュートリノ荷電カレント反応候補221事象に行きついた。この221事象の反応点近傍の原子核乾板フィルムを詳細に顕微鏡観察で確認し、鉄との反応として194事象を同定した。原子核乾板ECCとミュオン粒子同定のためINGRIDによる複合検出器を用いることでニュートリノ反応毎に2次粒子の粒子同定(ミュオン粒子、パイ粒子、陽子)を行った。

2次粒子の中でミュオン粒子でないものに関しては、原子核乾板ECCのトラック情報から dE/dX と運動量を測定し粒子同定(パイ粒子、陽子)を行った。現在は、粒子多重毎の微分反応断面積および全断面積をまとめてNINJAコラボレーション内での最終確認精査である。結果は論文にまとめて投稿される予定である。解析状況および暫定結果を日本物理学会、及び国際会議で報告している。

Detection condition

$|\tan\theta_x| \leq 1.7, |\tan\theta_y| \leq 1.7, N_{\text{plane}}(\text{Number of INGRID iron layers}) \geq 2 \Rightarrow P_{\mu} > \sim 300 \text{ MeV}/c$

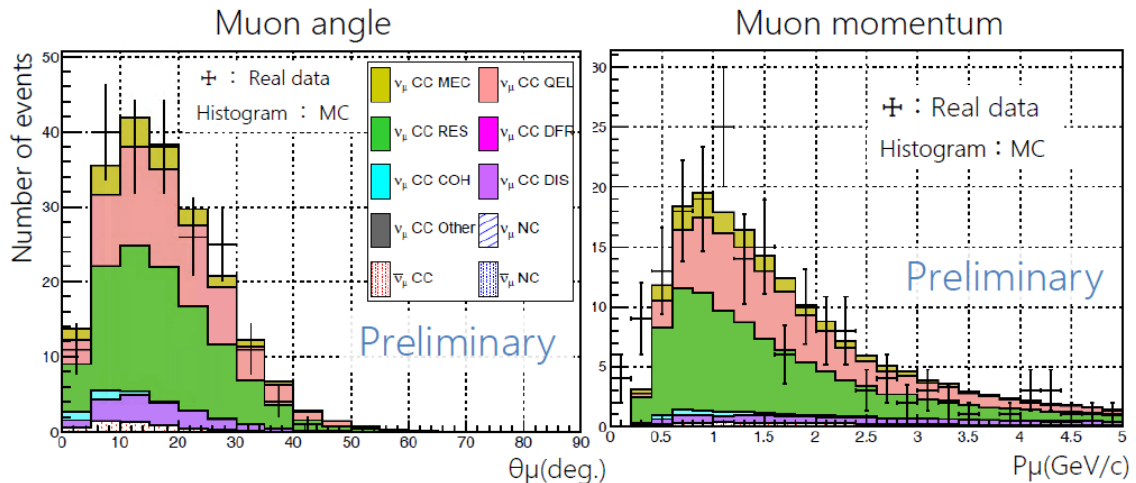


図1. μ 粒子の角度分布(左)、運動量分布(右)(日本物理学会2019秋季大会、大島仁)

図2にパイ粒子の、図3に陽子の角度および運動量分布を示す。

ビーム方向に放出されたものだけでなくビーム方向に対して後方に放出されたものもしっかりとらえている。

また図3にしめすように陽子に関しては運動量の下限値で200 MeV/cのものまで捉えられており他の検出器では観測できていない領域の陽子の情報を得ることができている。特に低エネルギー陽子の情報は、今後ニュートリノと原子核の反応のモデルの峻別に使う予定である。

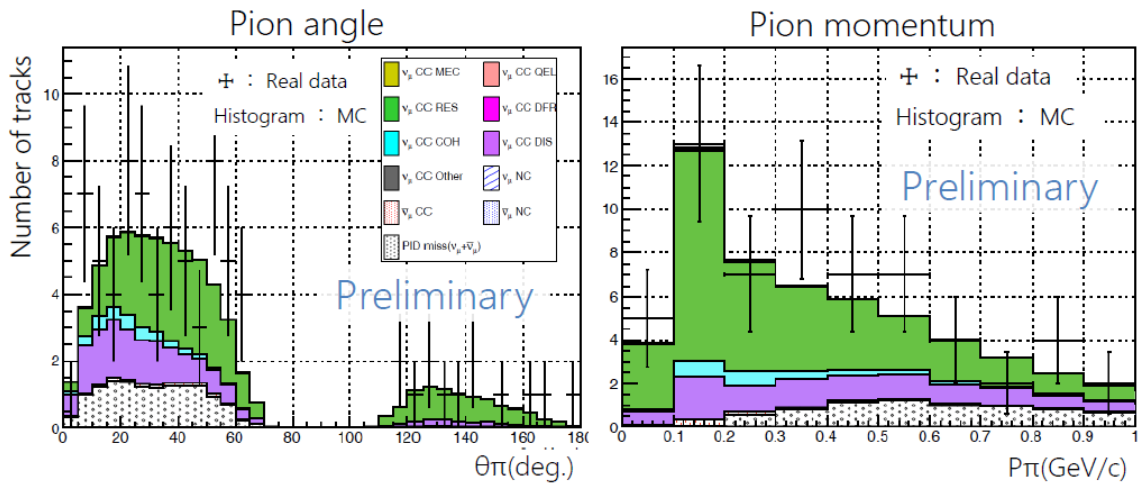


図2 . パイ粒子の角度分布（左）、運動量分布（右）（日本物理学会 2019 秋季大会、大島仁）角度 60 度～120 度までは検出アクセプタンス外、60 度以下がビーム方向に放出されているもの。120 度以上はビームに対して後方に放出されたものである。ビーム後方へのパイ粒子もしっかりと捉えられている。

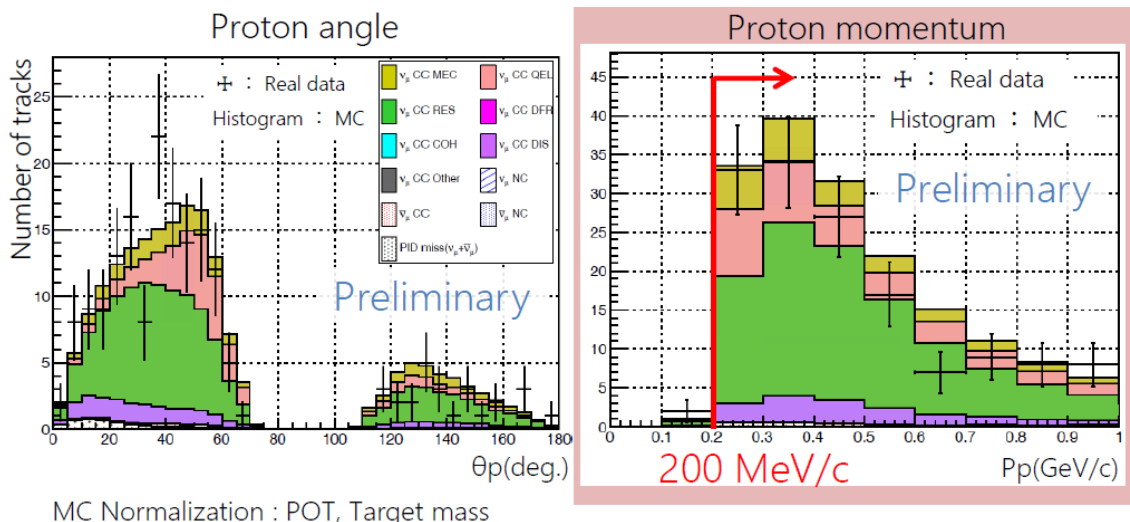


図3 . 陽子の角度分布（左）、運動量分布（右）（日本物理学会 2019 秋季大会、大島仁）

現在最終段階であるが暫定的な結果を日本物理学会、及び国際会議で報告している。電子同定に関して電離損失の相対論的な向上の信号を用い、運動量と電離損失の測定による同定ができそうなことが分かった。

また本科研費により、原子核乾板検出器作成され 2019 年 11 月にビーム照射を遂行し、現像され、これから解析が始まる鉄 130 kg、水 75 kg、プラスチック 15 kg の複合標的 ECC でのニュートリノ反応解析に対し、本研究で開発された 2 次粒子同定法および電子同定手法を適用してニュートリノ反応断面積の更新を行う。同時に、ビームに混入している 100 事象程度の電子ニュートリノの解析を行い、ステライルニュートリノへの振動解析を始める道具の準備ができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 OPERA Collaboration	4. 巻 JHEP06
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 J. High Energy Phys.	6. 最初と最後の頁 151
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/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 T. Fukuda et al.	4. 巻 2017
2. 論文標題 First neutrino event detection with nuclear emulsion at J-PARC neutrino beamline	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 no.6, 063H02
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ptep/ptx077	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 K. Yamada et al.	4. 巻 2017
2. 論文標題 First demonstration of an emulsion multi-stage shifter for accelerator neutrino experiments in J-PARC T60	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 no.6, 063C02
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ptep/ptx083	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 -

〔学会発表〕 計38件（うち招待講演 3件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 松尾友和
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
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 平本綾美
2. 発表標題 NINJA実験テストランにおける水標的ニュートリノ反応の解析
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 鈴木陽介
2. 発表標題 NINJA実験の物理ランに向けた準備状況と今後の展望
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 小田川高大
2. 発表標題 NINJA実験物理ランに向けたトラックの製作と性能評価
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 谷原祐史
2. 発表標題 NINJA実験物理ランに向けた粒子識別手法の検証
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 平本綾美
2. 発表標題 NINJA実験テストランにおける水標的ニュートリノ反応の測定結果
3. 学会等名 日本物理学会 2020年年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小田川高大
2. 発表標題 NINJA 実験物理ランにおけるシンチレータトラッカーの運用と性能評価
3. 学会等名 日本物理学会 2020年年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大島仁
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 2020年年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高木秀彰
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 2020年年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内木茉柚子
2. 発表標題 大角度飛跡を用いた水標的ニュートリノ-原子核反応の解析
3. 学会等名 日本物理学会 2020年年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 SUZUKI Yosuke
2. 発表標題 Cross section measurement with NINJA: Status and Prospects
3. 学会等名 Rencontres du Vietnam : 3 Neutrinos and Beyond (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T.Fukuda
2. 発表標題 NINJA Experiment: Neutrino Interaction research with Nuclear emulsion and J-PARC Accelerato
3. 学会等名 NuInt2018: 12th International Workshop on Neutrino-Nucleus Interactions in the Few-GeV Region (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福田 努
2. 発表標題 NINJA実験 - 2019年・物理ランの展望 -
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 鈴木陽介
2. 発表標題 NINJA実験物理ランに向けた水標的検出器の開発
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 高尾智暉
2. 発表標題 NINJA実験物理ランに向けた原子核乾板の準備状況及びその性能評価
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 大島 仁
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解析
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 平本 綾美
2. 発表標題 NINJA実験における水標的ニュートリノ反応の解析
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 福田 努
2. 発表標題 NINJA実験によるニュートリノ - 原子核反応の精密研究
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 鈴木 陽介
2. 発表標題 NINJA実験における水標的検出器の飛跡解析
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 大島 仁
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 平本 綾美
2. 発表標題 NINJA実験におけるファイバートラッカーを用いた水標的ニュートリノ反応の再構成
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 福田 努
2. 発表標題 原子核乾板を用いたニュートリノ反応の精密測定
3. 学会等名 画像関連学会連合会第5回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森元祐介 他NINJAコラボレーション
2. 発表標題 NINJA実験におけるニュートリノ 鉄反応の詳細解析
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大島仁 他NINJAコラボレーション
2. 発表標題 NINJA実験における反ミューニュートリノ荷電カレント反応のハイブリッド解析
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 丸嶋利嗣 他NINJAコラボレーション
2. 発表標題 J-PARCニュートリノ実験NINJA: 原子核乾板を用いた時間分解型大面積多段シフターの検出器性能評価
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松尾友和 他NINJAコラボレーション
2. 発表標題 NINJA実験における鉄ECC中におけるニュートリノ反応二次粒子の運動量測定
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木陽介 他NINJAコラボレーション
2. 発表標題 NINJA実験における大角度飛跡の読み取り及び再構成
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 平本綾美 他NINJAコラボレーション
2. 発表標題 NINJA実験のためのファイバートラッカーの開発
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 福田努 他NINJAコラボレーション
2. 発表標題 NINJA実験: J-PARCでの原子核乾板を用いたニュートリノ反応精密測定実験
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木陽介 他NINJAコラボレーション
2. 発表標題 NINJA実験における水標的検出器の解析
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 平本綾美
2. 発表標題 NINJA実験におけるファイバートラッカーの開発と運用
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森元祐介 他NINJAコラボレーション
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解析
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大島仁 他NINJAコラボレーション
2. 発表標題 NINJA実験：鉄ECC中の飛跡によるニュートリノ反応の研究
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 福田努 他NINJAコラボレーション
2. 発表標題 NINJA実験の現状と展望
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T.Fukuda for NINJA Collaboration
2. 発表標題 NINJA Experiment: A Neutrino Experiment with Nuclear Emulsion at J-PARC for revealing the matter-dominated universe
3. 学会等名 ICMaSS2017 session3 (Nuclear emulsion workshop for fundamental physics and applications) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T.Fukuda for NINJA Collaboration
2. 発表標題 NINJA Experiment
3. 学会等名 11th International workshop on Neutrino-Nucleus Scattering in the Few-GeV Region (NuInt2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T.Fukuda for NINJA Collaboration
2. 発表標題 Neutrino research program with Nuclear Emulsion at J-PARC
3. 学会等名 The 3rd KMI Interbational Symposium on "Quest for the Origin of Particles and the Universe" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>F研 基本粒子研究室 - ニュートリノ反応精密測定実験 NINJA - http://flab.phys.nagoya-u.ac.jp/2011/experiment/ninja ニュートリノで拓く素粒子と宇宙 https://www-he.scphys.kyoto-u.ac.jp/nucosmos/index.html 名古屋大学理学研究科・素粒子宇宙物理系 F研 基本粒子研究室 http://flab.phys.nagoya-u.ac.jp/2011/</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	福田 努 (Fukuda Tsutomu) (10444390)	名古屋大学・高等研究院(理)・特任助教 (13901)	
研究分担者	中平 武 (Nakadaira Takeshi) (30378575)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子 原子核研究所・准教授 (82118)	
研究分担者	渋谷 寛 (Shibuya Hiroshi) (40170922)	東邦大学・理学部・教授 (32661)	

6. 研究組織（つづき）

	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	中家 剛 (Nakaya Tsuyoshi) (50314175)	京都大学・理学研究科・教授 (14301)	
研究分担者	三角 尚治 (Mikado Shoji) (80408947)	日本大学・生産工学部・准教授 (32665)	
研究協力者	大島 仁 (Oshima Hitoshi)		
研究協力者	鈴木 陽介 (Suzuki Yosuke)		
研究協力者	平本 綾美 (Hiramoto Ayami)		
研究協力者	森元 祐介 (Morimoto Yuske)		
研究協力者	松尾 友和 (Matsuo Tomokazu)		
研究協力者	高尾 智暉 (Takao Tomoki)		