

令和 6 年 9 月 16 日現在

機関番号：13901

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H05541

研究課題名（和文）ニュートリノ精密測定にむけた原子核乾板開発

研究課題名（英文）Study of Nuclear Emulsion production for precise measurements of neutrino properties

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・特任准教授

研究者番号：20377964

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 79,500,000円

研究成果の概要（和文）：従来の10倍規模の新規原子核乳剤製造装置を導入し、安定した原子核乾板供給体制を構築した。DsTau、FASER、SND@LHC、NINJA、GRAINE 実験に向けて2022年度に380平米、2023年は、計画目標の1000平米/年を超える1060平米の原子核乾板フィルムを供給した。原子核乾板からの飛跡読み出しをより高速にするため、倍率を下げた読み出し（HTS2）向けに現像後の飛跡のコントラスト向上の開発を2つの方法で行った。1つ目は臭化銀の大きさを大きくする開発、2つ目は通常の原子核乾板フィルムを用いるが現像主薬を変更し現像銀を太らせる現像（溶解物理現像）で、コントラストの向上を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

原子核乾板フィルムを用いたニュートリノ実験、宇宙線観測は、1枚の厚み0.3ミリ程度で飛跡のサンプリングがサブミクロンの位置精度で測定できるため、低物質密度で反応点あるいは線発生点直下0.3mmから極めて高精度のトラッキング、物理量測定が可能な検出器である。近年の飛跡読み出し速度の向上により、さらに多くの原子核乾板を用いることでこれらの測定・観測での高精度化、低不定性が見込める。またミュオンラジオグラフィに供給することで透視能力の向上が期待できる。本研究課題は、従来規模の10倍量の乳剤製造装置群の整備および運用体制を構築した。各種実験への原子核乾板フィルムの供給により物理成果が期待できる。

研究成果の概要（英文）：A new nuclear emulsion production facility has been established which has 10 times production power than running machine at the time of this plan. We supplied nuclear emulsion films for the DsTau, FASER, SND@LHC, NINJA, and GRAINE experiments, a total nuclear emulsion surface of 380 square meters in 2022, and 1,060 square meters in 2023, exceeding the planned target of 1,000 square meters per year. In order to read tracks from nuclear emulsion films faster, two methods were developed to improve the contrast of the tracks after development for the scanning system (HTS2) with reduced magnification. The first was achieved by developing a nuclear emulsion with enlarge the size of silver bromide crystals by adjusting parameters such as chemicals and temperature during nuclear emulsion manufacturing. The second uses normal nuclear emulsion films, but a development method that changes the developing agent but enlarge the size of chemical developed silver grains (Solution Physical Development).

研究分野：素粒子物理学

キーワード：ニュートリノ 原子核乾板 素粒子実験 位置分解能

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本研究の前身となる新学術領域研究「ニュートリノフロンティアの融合と進化」計画研究 B01 班(H25-H29、中村光廣)により、研究者が自ら最適な原子核乾板を製造し、各種プロジェクト(ニュートリノ実験、ガンマ線望遠鏡、ミュオンラジオグラフィ等)で革新的な研究成果が出始めていた。一方で、原子核乾板の類まれなる位置分解能、2 飛跡分解能の良さから信号事象に対する背景事象を極めて少なくできることから、解析統計数を上げることで更なる成果が見こまれる状態である。つまり用いる原子核乾板の面積、量を増やすことにより、解析事象数の増加に比例して成果があがる事が見込まれていた。

一方で、名古屋大学の超高速、原子核乾板自動飛跡読み取り装置(HTS-1 型)は $1000\text{m}^2/\text{年}$ の読み出し能力があり、現在の原子核乾板の製造能力約 $300\text{m}^2/\text{年}$ を凌駕している。さらに次号機(HTS-2 型)では読み出し速度は約 5 倍になることが予定されており、原子核乾板からの飛跡の読み取り速度は十分であり、各実験プロジェクトの大型化に残された課題は大量の原子核乾板の安定入手であった(図 1 参照)。

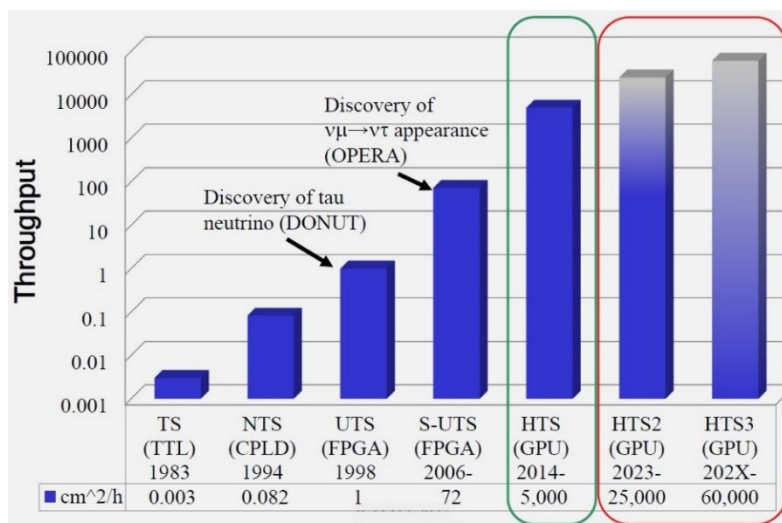


図 1 . 飛跡読とり速度の改善

飛跡読み取り速度は継続的に改善されてきており、読みだせる原子核乾板フィルムの量は増え続けている。研究開始時は HTS が花道しており、次期機的设计開発が始まったところであった。

本研究課題は、原子核乾板を供給することで特にニュートリノ実験への貢献を考えた。ニュートリノは素粒子標準理論では質量がゼロとされていたが、ニュートリノ振動の発見により質量を持つことが証明された。またニュートリノフレーバー間の混合角は最大限に大きな値をとっており、クォーク間の混合角が小さいことに対して特異的である。さらに T2K 実験暫定結果では CP 位相も最大限に破れているとの暫定結果を報告している。われ等は、ニュートリノが標準理論を超えた物理への架け橋と感じ、原子核乾板のサブミクロンの位置分解能を活用し、事象選別の不定性が極めて少ないニュートリノ実験を推進している。ニュートリノ反応は、反応時の原子核効果などの影響により、反応特性そのものに大きな不定性が残っている。この不定性(系統誤差)が残っている限りニュートリノ検出器の規模を拡大し、統計誤差を小さくしても系統誤差の為に物理成果が頭打ちになる。我々の

供給する原子核乾板でのニュートリノ実験(NINJA)により、 μ ニュートリノ生成の不定性の削減および各種原子核との反応断面積の不定性を抑制する事に貢献する。ニュートリノ生成の不定性削減(50% - 10%)を目指す DsTau 実験および、また将来的に正ニュートリノ・反ニュートリノをそれぞれ区別してタウニュートリノ反応断面積の精密測定 (SHiP 実験) にも原子核乾板を供給することで貢献する事を目指した。

2 . 研究の目的

本計画の目的は、原子核乾板の生産能力を名古屋大学 F 研に既存の製造装置の 10 倍に上げ、原子核乾板の供給体制を確立し、各実験プロジェクトを推進することである。特に欲しいときに欲しいだけの原子核乾板を供給できる体制を構築することで、瞬発力をもった実験を行えるようにし、ニュートリノ実験を飛躍的に発展させることが目的である。

具体的には、A02 班のミューニュートリノ反応精密測定実験、タウニュートリノの反応断面積の精密測定 (SHiP 実験)、タウニュートリノビームの生成特性測定 (DsTau 実験)、高エネルギーニュートリノ反応断面積測定 (FASER 実験)、及び将来のニュートリノ実験への原子核乾板の大量製造体制を構築である。また、これらの大量生産体制の構築は宇宙線天文学、宇宙線ミューオンを用いた透視・考古学研究でも活用され、波及効果は文系・理系の垣根を超えたものとなる。

3 . 研究の方法

名古屋大学理学研究科 F 研の原子核乾板自動飛跡読み取り装置の超高速化に後押しされ、原子核乾板を用いた各プロジェクトは、常に数年先の大規模化計画を持っている。年間で数 1000m² 規模の原子核乾板が必要となってきた。本研究課題では**原子核乳剤製造装置の大規模機を導入することで、各プロジェクトの需要にこたえることのできる原子核乾板の供給体制を構築することであった。**

本計画申請時に名古屋大学で所有していた乳剤製造装置の 10 倍量の製造能力をもつ**新規原子核乳剤製造装置**を 3 年度間で建設・試運転を行い、その後、原子核乳剤の生産・品質管理体制を構築するものであった。新規乳剤製造装置の導入にあたり、元富士フィルム社員、大関勝久氏、桑原謙一氏の協力のもと装置設計を行った。また各実験のプロジェクトリーダーを研究分担者に加え、原子核乾板性能に対する個別の要望・情報交換を行った。供給した原子核乾板の性能試験は実際に飛跡読み取り装置を用いて研究分担者ともに行った。そのため研究分担者にニュートリノ実験グループ、ガンマ線望遠鏡グループ、ミューオンラジオグラフィグループの代表的立場の研究者に加わってもらい、各実験グループの要望、原子核乾板フィルムに対する要求スペックを満たす共同研究開発を行った。原子核乾板を供給するにあたり原子核乳剤自動塗布が本格的に稼働し、最適なベース基材選択、乳剤塗布厚、粘度の調整、乾燥時の温度・湿度の最適条件出し等の原子核乾板塗布装置設計に必要な開発研究を行った。各プロジェクトの目的に応じてベース基材の厚み、原子核乾板の厚み、密度が異なる。また、半年以上の長期使用に耐えるように原子核乾板の性能向上追求・開発を継続して行った。

4 . 研究成果

2018 年度から新規乳剤製造装置の設置場所の選定、各パーツの設計・発注をすませ、**2019 年度**に装置群の組み立て、臭化銀(AgBr)結晶生成 (メインタンク、MT)、不要イオン排除 (水洗タン

ク、WT) 感度向上(後熟タンク、ART) のための 3 つの製造タンクを整備した。各タンクの温調器の条件出し、硝酸銀溶液、臭化カリウム溶液の精密送液用シリンダーピストンの条件出しを技官・修士学生でおこなった。新規乳剤製造装置で 1 バッチ製造し、荷電粒子に対する飛跡蓄積の能力、バックグラウンドのランダム銀粒子が既存の装置で作ったものと遜色ない事を確認した。**2020 年度**、それぞれ独立に整備した MT, WT, ART を配電版整備、コントロールモニターノ整備、量産化へ向けた各作業工程の効率化を行った。原子核乳剤の分散不良の問題が発生、攪拌プロペラの形状変更、攪拌方法の変更、Ph のコントロールすることで改善した。同時に大量生産で問題になる廃液処理の確立。低倍率顕微鏡での読みだしのための大粒子乳剤の試作をおこなった。**2021 年度**、**週 2 バッチの乳剤製造を連続的に行い、原子核乾板フィルムの面積で 110 平米分を作成し、DsTau 実験向けに供給した(これが本計画での初供給)**。25 cm x 20 cm の定型サイズへのカットの効率化を行った。11 月に乳剤製造装置が故障するハプニングがあったが原因究明し、復旧させることができた。この期間に現像後の表面に析出する不要銀をなくすためにプロテクションコート¹の試作を行った。**2022 年度**、更なる効率化をはかり、**週 4 バッチの乳剤製造を連続して 1 年間安定してこなす体制を構築した**。DsTau 実験、FASER 実験、SND@LHC 実験、NINJA 実験及び GRAINE 実験に向けて原子核乾板を供給した。2022 年度に 380 平米、2023 年には計画目標の 1000 平米/年を超える 1060 平米を供給した(図 2 参照)。フィルムの大きさをそれぞれの実験の定型サイズにカットすることで手動カットに比べフィルムサイズを揃えることができた。プロテクションコートに関しては現像後に表面銀が析出しないものを作成できたが、実験前に蓄積してしまった要らない飛跡を消去するプロセス、“リフレッシュ”を行うと表面に細かいしわができてしまうという大問題が発覚、プロテクションコートノ完成は今後の課題として残った。

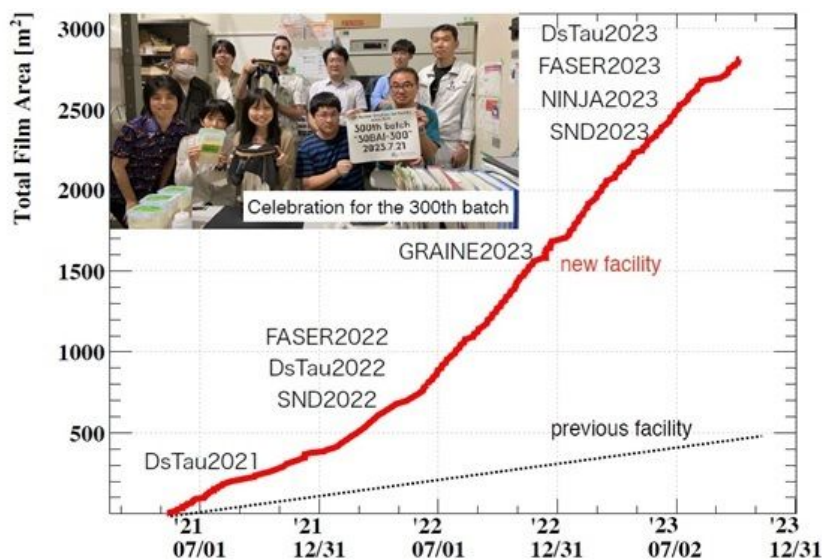


図 2 . 2021 年 ~ 2023 年末までに実験グループに供給した原子核乾板フィルム(総面積で表示)
2023 年末までに総計 3000 平米に迫る量を供給。グラフ中に供給したものを「実験グループ名」
+ 「実験実行年」で表記。下方の点線は既存の製造装置で生産した場合。

原子核乾板からの飛跡読み出しをより高速にするため、倍率を下げたスキャニングシステム(HTS2) 向けに現像後の飛跡のコントラストを向上する開発が 2 つの方法で行った(図 3 参照)。1 つ目は臭化銀(AgBr) 結晶の大きさを大きくし、現像銀を大きくする開発、乳剤製造時の薬品・温度等のパラメータを調整することで実現し、長期安定性試験を経て **NINJA 実験で使われた**。

2 つ目は通常の原子核乾板フィルムを用いるが現像主薬を変更し現像銀が太る現像(溶解物理現像)を行うことでコントラスト向上を実現した。この現像手法は GRAINE 実験で採用され 2023 年のオーストラリアでのフライトを終えたフィルムのスキャンは HT2 で高い検出効率かつより高速に読みだすことができている(図 4 参照)。

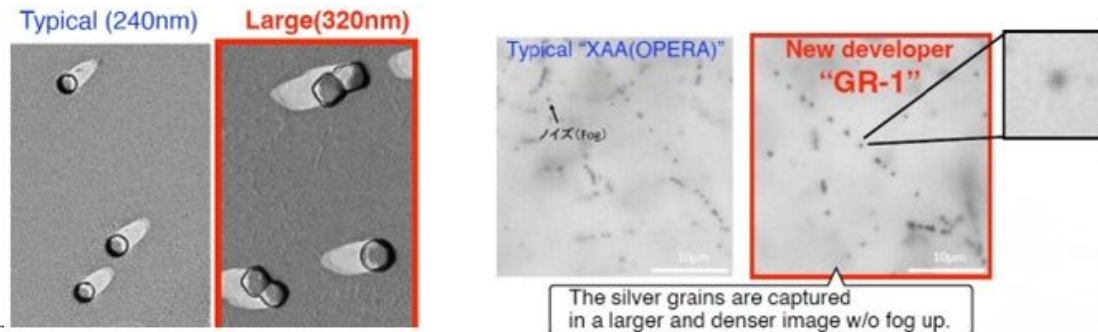


図 3 . 低倍率での読み出しに耐える飛跡のコントラスト改善開発。

- 左 AgBr 結晶のサイズを従来品の直径 240nm から大きく(直径 320nm)した。電子顕微鏡写真。NINJA 実験で用いられた。
- 右 現像処方の変更で現像銀を太らせる開発。通常現像(XAA)と溶解物理現像(GR-1)での飛跡の顕微鏡写真。GRAINE 実験で用いられた。

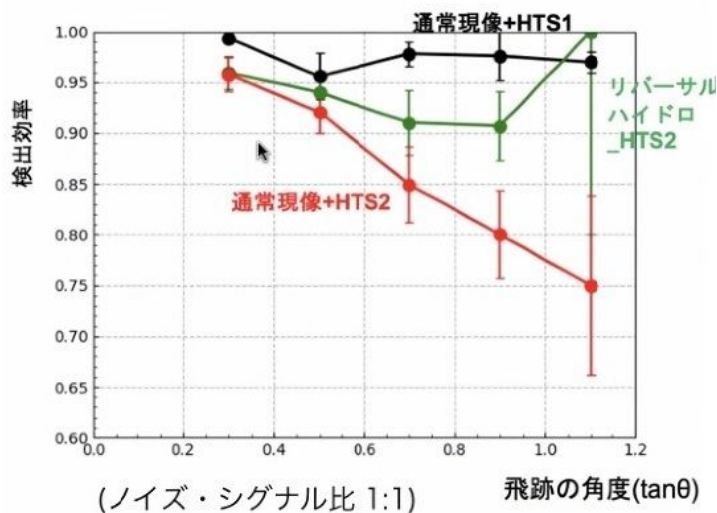


図 4 . 飛跡の読み出し検出効率

現行機の HTS(通常現像+HTS1)に対し低倍率の顕微鏡、飛跡読み出し装置 HTS2 での飛跡読み出しでは検出効率が落ちる(通常現像+HTS2)。溶解物理現像(緑線)採用で HTS2 スキャン時の検出効率を維持。HTS2 で、より高速に飛跡読み出しができるようになった(図 1 参照)。

本計画で、原子核乾板製造能力は計画時の目標(1000 平米/年)を達成した。最終年度、繰り越し年度には作業工程の見直し、効率化研究が続けられさらに 2 倍の製造能力を持たせるべく研究開発を富士 OB の大関氏、研究分担者、連携研究者との協力体制での共同研究を行い、2 倍量を 1 回の製造で行う製造レシピがほぼ完成した。近い将来 2000 平米/年の原子核乾板供給能力を持つ。これにより臨機応変に機動力のあるニュートリノ実験等のグループに原子核乾板を供給することでさらなる物理成果の量産に貢献できると考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 FASER Collaboration	4. 巻 104
2. 論文標題 First neutrino interaction candidates at the LHC	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. D	6. 最初と最後の頁 L091101(2021)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.104.L091101	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 Y. Nakamura for GRAINE collaboration	4. 巻 2021
2. 論文標題 Performance of an emulsion telescope for gamma-ray observations in the GRAINE2018 balloon-borne experiment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Prog. Theor. Exp. Phys.	6. 最初と最後の頁 123H02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptab148	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 et.al. (The NINJA Collaboration)	4. 巻 033C01
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 PTEP	6. 最初と最後の頁 033C01
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 A. Hiramoto et al. (NINJA Collaboration),	4. 巻 102
2. 論文標題 First measurement of ν_{μ} and ν_{μ} charged-current inclusive interactions on water using a nuclear emulsion detector	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. D	6. 最初と最後の頁 72006
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 Tani T., Nishio A., Uchida T., Morishima K.	4. 巻 975
2. 論文標題 Latent image stabilization in nuclear emulsions for cosmic-ray imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A	6. 最初と最後の頁 164163
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2020.164163	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 -

1. 著者名 有賀昭貴, 有賀智子	4. 巻 84巻1号
2. 論文標題 原子核乾板で拓くニュートリノ研究のエネルギーフロンティア: CERN-FASER実験	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本写真学会誌	6. 最初と最後の頁 0
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 福田 努・木河達也	4. 巻 75巻 第7号
2. 論文標題 【話題】J-PARCで新しく始まったニュートリノ反応測定実験	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本物理学会誌	6. 最初と最後の頁 0
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 青木茂樹, 高橋覚, 六條宏紀 for GRAINE collaboration	4. 巻 68
2. 論文標題 気球搭載型エマルジョン望遠鏡による宇宙高エネルギーガンマ線精密観測計画GRAINE	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RADIOISOTOPES	6. 最初と最後の頁 877-891
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3769/radioisotopes.68.877	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 H. Rokujo, M. Komiyama, S. Aoki, K. Hamada, T. Hara et al.	4. 巻 14(2019)09
2. 論文標題 Development of a balloon-style pressure vessel gondola for balloon-borne emulsion gamma-ray telescopes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JINST	6. 最初と最後の頁 P09009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/14/09/P09009	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 S. Aoki et al, (DsTau Collaboration)	4. 巻 01(2019)033
2. 論文標題 DsTau: Study of tau neutrino production with 400 GeV protons from the CERN-SPS	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JHEP	6. 最初と最後の頁 33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP01(2020)033	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 H. Abreu et al, (FASER Collaboration)	4. 巻 80
2. 論文標題 Detecting and Studying High-Energy Collider Neutrinos with FASER at the LHC	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-020-7631-5	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 OPERA Collaboration	4. 巻 100
2. 論文標題 Final results on neutrino oscillation parameters from OPERA experiment in the CNGS beam	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys.Rev.D	6. 最初と最後の頁 5,051301
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 有賀昭貴, 有賀智子, 小松雅宏, 佐藤修, 吉本雅浩	4. 巻 Vol138. No4
2. 論文標題 CERN SPSを用いたタウニュートリノ測定と新物理探索: SHiP計画 + DsTau/NA65実験	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 高エネルギーニュース	6. 最初と最後の頁 115-123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 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
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 OPERA Collaboration	4. 巻 1806
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
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 Ariga Akitaka, Ariga Tomoko et.al.	4. 巻 2
2. 論文標題 A Nuclear Emulsion Detector for the Muon Radiography of a Glacier Structure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Instruments	6. 最初と最後の頁 1~13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/instruments2020007	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 Naganawa N., Ariga T. et.al.	4. 巻 78
2. 論文標題 A cold/ultracold neutron detector using fine-grained nuclear emulsion with spatial resolution less than 100 nm	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 959
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-018-6395-7	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 H.Rokujo, S.Aoki et.al	4. 巻 2018, issue6
2. 論文標題 First demonstration of gamma-ray imaging using a balloon-borne emulsion telescope	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 063H01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/pty056	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 Takahashi Satoru, Aoki Shigeki	4. 巻 62
2. 論文標題 GRAINE project, prospects for scientific balloon-borne experiments	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advances in Space Research	6. 最初と最後の頁 2945 ~ 2953
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.asr.2017.08.029	査読の有無 無
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

〔学会発表〕 計52件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 26件)

1. 発表者名 O. Sato
2. 発表標題 Measurement of TeV neutrinos with FASERnu at the LHC
3. 学会等名 DIS2022: XXIX International Workshop on Deep-Inelastic Dcattering and Related Subjects (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 0. Sato
2. 発表標題 Study of tau neutrino production with nuclear emulsion at CERN-SPS
3. 学会等名 NuFcat2021: The 22nd International Workshop on Neutrinos from Accelerators (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 0. Sato
2. 発表標題 Proton interaction and Charm production study by a function of thickness of nuclear material
3. 学会等名 3rd Forward Physics Facility Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Ariga
2. 発表標題 Measuring three-flavor neutrinos with FASERnu at the LHC
3. 学会等名 16th International Workshop on Tau Lepton Physics (TAU2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Ariga
2. 発表標題 Measuring TeV neutrinos with FASERnu in the LHC Run-3
3. 学会等名 European Physical Society Conference on High Energy Physics (EPS-HEP2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Ariga
2. 発表標題 FASERnu Update and First Neutrino Interaction Candidates
3. 学会等名 2nd Forward Physics Facility Workshop (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Ariga
2. 発表標題 Detecting and studying high-energy neutrinos with FASERnu at the LHC
3. 学会等名 2021 Phenomenology Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Matsuo
2. 発表標題 Current Status and Future Plan of NINJA Experiment at J-PARC
3. 学会等名 International Conference on Advanced Imaging 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Oshima
2. 発表標題 Measurement of neutrino charged-current interactions on iron using a nuclear emulsion detector in the NINJA experiment
3. 学会等名 International Conference on Advanced Imaging 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Takahashi
2. 発表標題 GRAINE precise γ -ray observations: latest results on 2018 balloon-borne experiment and prospects on next/future scientific experiments
3. 学会等名 37th International Cosmic Ray Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Rokujo
2. 発表標題 Observation of sub-GeV atmospheric gamma rays on GRAINE 2018 balloon experiment and comparison with HKKM calculation
3. 学会等名 37th International Cosmic Ray Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 A. Iyono
2. 発表標題 Application of Desensitized Nuclear Emulsion films for Chemical Composition Study of Cosmic-ray Nuclei in GRAINE 2018 balloon-borne experiment
3. 学会等名 37th International Cosmic Ray Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤修、有賀昭貴、有賀智子、早川大樹、金井巧、小松雅宏、三浦真登、中野敏行、奥井一暁、奥村虎之介、六條宏紀、吉田純也、吉本雅浩
2. 発表標題 400GeV陽子反応によるタウニュートリノ生成反応 NA65/DsTau 2018年・2021年データ解析状況
3. 学会等名 日本物理学会 2022年度 年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤修、中野敏行、吉本雅浩、有賀智子、有賀昭貴
2. 発表標題 原子核乾板の高位置分解能を利用したDsTau実験での物理解析
3. 学会等名 日本写真学会 2021年度 年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 有賀智子, 有賀昭貴, 稲田知大, 中野敏行, 音野瑛俊, 六條宏紀, 佐藤修, 田窪洋介, 他 FASER Collaboration
2. 発表標題 FASERnu : 2022年ランに向けた準備状況と測定の展望
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2021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由来の陽子と荷電パイ中間子の測定
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021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ニュートリノ反応に由来する荷電粒子の運動量再構成
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋寛
2. 発表標題 原子核乾板望遠鏡気球実験による宇宙ガンマ線精密観測GRAINE ~2018年気球実験最新結果及び科学観測実験展望~
3. 学会等名 2021年度 日本写真学会オンライン年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村悠哉
2. 発表標題 ガンマ線観測性能向上を目的とした新たな原子核乾板の読み取り手法開発
3. 学会等名 日本物理学会 2021年 秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 臼田育矢
2. 発表標題 GRAINE計画：次期気球実験に向けた大口径エマルジョン望遠鏡の準備状況
3. 学会等名 日本物理学会 2021年 秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoko Ariga
2. 発表標題 Neutrinos at CERN
3. 学会等名 XXIX International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics (Neutrino 2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Takahashi for GRAINE collaboration
2. 発表標題 GRAINE project, Results on 2018 balloon-borne experiment and balloon-borne experiments in 2021 and future
3. 学会等名 43rd COSPAR Scientific Assembly (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Nakamura for GRAINE collaboration
2. 発表標題 GRAINE project, Flight data analysis on 2018 balloon-borne experiment for precisely cosmic gamma ray observation
3. 学会等名 43rd COSPAR Scientific Assembly (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中野 昇
2. 発表標題 原子核乾板における現像銀粒子像の詳細測定
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 内木 茉柚子
2. 発表標題 NINJA実験物理ランの原子核乾板における大角度飛跡の評価
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 杉村 昂
2. 発表標題 次期原子核乾板実験のための自動フィルム塗布装置の開発
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 六條 宏紀
2. 発表標題 次期原子核乾板実験のための自動フィルム塗布装置の開発現状
3. 学会等名 日本写真学会 2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉村 昂
2. 発表標題 原子核乾板連続塗布設備の構築(4)
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 鶴岡千穂, 他SHiPコラボレーション
2. 発表標題 SHiP実験に向けたコンパクトエマルジョンスペクトロメータの開発
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 佐藤修 他、DsTau コラボレーション
2. 発表標題 原子核乾板の高位置分解能を利用したDsTau実験での運動量測定
3. 学会等名 日本写真学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 六條宏紀 for GRAINE coll.
2. 発表標題 GRAINE計画：次期気球実験に向けた大面積エマルジョン望遠鏡の開発現状
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小田美由紀for GRAINE coll.
2. 発表標題 GRAINE計画：次期気球実験に向けた新型多段シフターの開発
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 O. Sato
2. 発表標題 Study of ta-neutrino production at the CERN SPS
3. 学会等名 NUFACT2019 (The 21st International Workshop on Neutrinos from Accelerators) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Ariga
2 . 発表標題 Study of TeV neutrinos in the FASER experiment at the LHC
3 . 学会等名 The European Physical Society Conference on High Energy Physics (EPS-HEP2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H.Oshima 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 TAUP2019 (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 et.al (NINJA Collaboration)
2 . 発表標題 Upgrading of momentum measurement techniques in emulsion-based particle detectors
3 . 学会等名 ICMaSS 2019 (International Conference on Materials and Systems for Sustainability) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Aoki for GRAINE Collaboration
2 . 発表標題 GRAINE Project: Balloon-borne Gamma-ray Telescope with Nuclear Emulsion
3 . 学会等名 ICMaSS 2019 (International Conference on Materials and Systems for Sustainability) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 眞部祐太, 森島邦博, 西尾晃, 久野光慧, 干潟紘太郎, 榊原亜美, 北川暢子
2. 発表標題 高精度原子核乾板検出器の開発
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 石塚唯和、六條宏紀、伊藤和也、渡部僚、中村光廣、中野敏行、佐藤修、小松雅弘、長縄直崇、森島邦博、福田努、大関勝久、桑原謙一
2. 発表標題 次期原子核乾板実験のための大規模原子核乳剤製造装置の立ち上げ
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 杉村昂、六條宏紀、中村光廣、長縄直崇
2. 発表標題 原子核乾板の自動塗布設備構築に向けた研究(2)
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 青木茂樹 (GRAINE Collaboration)
2. 発表標題 GRAINE 計画: ロードマップと次期豪州気球実験
3. 学会等名 大気球シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 有賀 智子, 有賀 昭貴, 中野 敏行, 音野 瑛俊, 佐藤 修, 田窪 洋介, 他 FASER Collaboration
2. 発表標題 LHC-FASER 実験におけるニュートリノ研究: テストランでのニュートリノ反応検出とRun3 に向けた実験準備
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 鈴木陽介 他NINJA Collaboration
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 鶴岡千穂 他SHiP Collaboration
2. 発表標題 SHiP実験に向けたコンパクトエマルジョンスペクトロメーターの開発
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 O.Sato
2. 発表標題 Study of tau neutrino production property with measuring open-Charm at 400 GeV proton beam dump
3. 学会等名 XXVI International Workshop on Deep Inelastic Scattering and Related Subjects (DIS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 O.Sato
2. 発表標題 Final results from the OPERA experiment in the CNRS neutrino beam
3. 学会等名 14th Recontres du Vietnam, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NEUTRINO FRONTIER (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 O.Sato
2. 発表標題 DsTau experiment and introduction to SHiP
3. 学会等名 14th Recontres du Vietnam, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NEUTRINO FRONTIER (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T.Ariga
2. 発表標題 Study of tau-neutrino production at the CERN SPS
3. 学会等名 39th International Conference on High Energy Physics (ICHEP2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H.Rokujo
2. 発表標題 GRAINE project: precise gamma-ray observation with balloon-borne emulsion telescope
3. 学会等名 20th Intern. Symp. on Very High Energy Cosmic Ray Interactions (ISVHECRI 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S.Takahashi
2. 発表標題 GRAINE project and a 2018 balloon-borne experiment
3. 学会等名 42nd Scientific Assembly of the Committee on Space Research (COSPAR) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤 修
2. 発表標題 400GeV陽子ビームダンプによるタウニュートリノ生成研究 (DsTau実験) の現状報告
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 有賀 智子
2. 発表標題 タウニュートリノ生成研究 (DsTau実験): 2018年pilot runの実施報告と解析の展望
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

新学術研究 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
<https://flab.phys.nagoya-u.ac.jp/2011/>

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)	
研究分担者	青木 茂樹 (Aoki Shigeki) (80211689)	神戸大学・人間発達環境学研究科・教授 (14501)	
研究分担者	小松 雅宏 (Komatsu Msahiro) (80345842)	名古屋大学・教養教育院・准教授 (13901)	
研究分担者	有賀 智子(古川) (Ariga Tomoko) (00802208)	九州大学・基幹教育院・助教 (17102)	削除：2021年1月14日
研究分担者	森島 邦博 (Morishima Kunihiro) (30377915)	名古屋大学・理学研究科・特任助教 (13901)	削除：2020年2月19日
研究分担者	渋谷 寛 (Shibuya Hiroshi) (40170922)	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	中野 敏行 (Nakano Toshiyuki) (50345849)	名古屋大学・理学研究科・准教授 (13901)	

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	六條 宏紀 (Rokjo Hiroki) (00725814)	名古屋大学・未来材料システム研究所・助教 (13901)	
研究協力者	福田 努 (Fukuda Tsutomu) (10444390)	名古屋大学・高等研究院・特任講師 (13901)	
研究協力者	有賀 昭貴 (Ariga Akitaka) (20377922)	千葉大学・大学院理学研究科・准教授 (12501)	

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