

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 8 月 23 日現在

機関番号：82118  
 研究種目：基盤研究(S)  
 研究期間：2016～2020  
 課題番号：16H06344  
 研究課題名(和文)ステライルニュートリノ探索で探る標準模型を超えた物理

研究課題名(英文) Searching for a sterile neutrino at J-PARC MLF

## 研究代表者

丸山 和純 (MARUYAMA, Takasumi)

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

研究者番号：80375401

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 141,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、素粒子標準理論で説明できない新型ニュートリノの探索をJ-PARC物質・生命科学実験施設(MLF)にて世界に先駆けて行うことである。そのため、令和元年度までに50トン液体シンチレータ検出器を建設し、COVID-19の影響で遅れが出たものの令和2年6月には探索実験を開始した。また、同12月には検出器を再設置し本格的なデータ取得を行っている。

検出器を当初予定通り設置し、検出器較正などを進め、データ解析も急ピッチで進んでいる。これらの成果を受け、更に本研究を飛躍的に加速させ、またMLF自身の能力も向上させるため、特別推進研究の前年度申請を行い、令和2年度から採択された。

## 研究成果の学術的意義や社会的意義

前述のとおり、我々の実験は素粒子の標準理論では説明できない新型のニュートリノ(ステライルニュートリノ)の探索を行うことである。ステライルニュートリノの存在が確定されれば、素粒子の標準理論は覆り、また新粒子を発見したことから素粒子物理学界に大きなインパクトを与えることになる。ステライルニュートリノは通常のニュートリノと違い、重力しか感じない粒子であり、その性質から間接的、もしくは直接的な暗黒物質との関係も指摘されている。この面からも存在の確定が急務で、本研究はその探索に関する結果を出す旨を付けた。

研究成果の概要(英文)：During this grant-in-aid period, we have completed to construct the 50 tons of liquid scintillator detector in 2020 February from the scratch. The detector is installed in the J-PARC Material and Life science Facility (MLF), and started the data taking from 2020 June in spite of COVID-19 effects. The proton beam power from the J-PARC accelerator facility is 60% compared to the design value and COVID-19 affects to the delay of schedule, thus the planned results with 2 years of accumulated data have not yet been achieved, however we are performing the detector calibration and data analysis well. In addition, one of our co-I supports the beam transportation study from the accelerator to MLF to get better beam power.

With these achievements so far, we submitted the application of the "Grant-in-Aid for Specially Promoted Research" in 2020 and adopted. We are making the best effort to get and extend the good results.

研究分野：素粒子実験

キーワード：ニュートリノ ステライルニュートリノ 液体シンチレータ

### 1. 研究開始当初の背景

ニュートリノ振動は、2015年10月に梶田氏と Art McDonald 氏がノーベル賞を受賞し、一躍脚光を浴びた物理現象である。これは、ニュートリノがその飛行距離とエネルギーに依存してフレーバー（電子、ミュー、タウ、(ステライル)）を変える現象であるが、本研究は、未解決である「フレーバーの変化の中に少量のステライルが含まれるか否か」という問題を高い確度で探る。

### 2. 研究の目的

ステライルニュートリノは通常のニュートリノと違い、弱い相互作用をしないニュートリノの総称であり、現在の素粒子標準模型では説明出来ない粒子である。例えば、マヨラナ型右巻ニュートリノである可能性がある。ステライルニュートリノの存在が確定できれば振動発見時と同様に定説が覆される。

ステライルニュートリノは弱い相互作用を行わないため、その存在の確認は主に弱い相互作用を行うニュートリノとの振動を通じてなされる。いくつかの加速器・原子炉・線源を使ったニュートリノ実験でその存在が示唆されているが、決定的な証拠がない状況で、決定的な検証が急務である。現在、その検証に向け、世界でいくつかの実験が提案されており、また、いくつかの実験で結果が出始めている。本研究はそれらの実験の中でも短期間で世界に先駆けて決定的な結果を出すことを目的とする。

### 3. 研究の方法

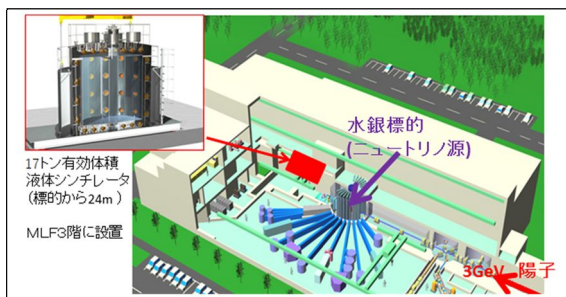


図1: MLF 建屋と検出器

図1に本研究を行う際のセットアップを示す。図1右方向から来る3 GeVの陽子が水銀標的に衝突する際、 $\mu^+$ 静止崩壊から大量のニュートリノを生成する。本実験ではこの際生成される反ミューニュートリノが、標的から24 m先のMLF3階に設置された50トン(有効体積17トン)液体シンチレータ測定器で検出される間に振動して反電子ニュートリノへ変化する割合を精査する。この短距離での振動は、先駆実験で示唆されているステライルニュートリノがある場合のみ起こる。液体シンチレータは素粒子がその中を通過すると大

量の光(シンチレーション光)を生成するため、その光の多さや生成時間を通して素粒子のエネルギーや生成時間を捉えることができる。

反電子ニュートリノは後述するアクリルタンク内のガドリニウム入りの液体シンチレータ内の陽子と逆ベータ崩壊反応( $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$ )を起こす。このうち、反応後の陽電子( $e^+$ )は液体シンチレータ内ですぐにシンチレーション光を生成するのに対し(先発信号)、中性子は液体シンチレータ内で徐々に他の核子と衝突を繰り返すことによりエネルギーを失い(専門用語で「熱化する」という)、最後はガドリニウムに吸収されることで、総計8MeVのエネルギーの光子を生成する(後発信号)。この2つの連続信号を光センサーで検出することにより、背景事象を可能な限り抑え、探索信号を検出する。

### 4. 研究成果

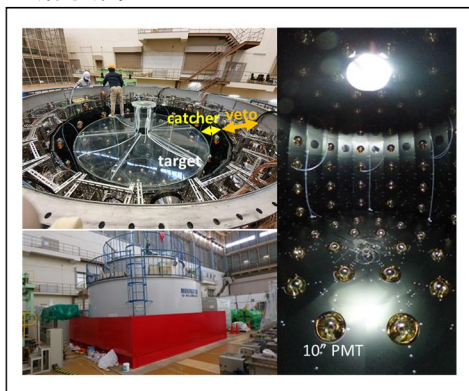


図2: 検出器

図2に令和2年2月までに完成された検出器の写真を示す。右が、120個の10インチの光電子増倍管(光センサー)を設置した最終的な検出器内部の様子。左上が、更に検出器内にガドリニウム入りの液体シンチレータを充填するためのアクリルタンクを設置した際の写真。左下が検出器の外観になる。この検出器をMLF建屋3階に設置するため、(あ) J-PARC から正式な実験開始許可を2018年11月に得、(い) 大量の液体シンチレータ(60,000リットル)を使用するための消防法の許可を得て、(う) MLF3階は通常の実験エリアでなく、建屋・施設側の水銀標的やビーム関連の装置のメンテナンスを行うエリアである。その作業の干渉を減らすため、検出器を毎年メンテナンス時期の7月~10月

にかけてMLF建屋外に搬出する等の実務的取り決めを行った。

これらの努力の結果、データ取得に至った。

図3には、微弱な中性子放射線源 ( $^{252}\text{Cf}$  線源) を検出器内に仮設置し、反応を見た際の光の量 (ほぼエネルギーに比例する) の図を掲載する。青点が線源無しでの光量分布 (総光量は事象のエネルギーにほぼ比例する) 緑が線源有りの光量分布である。中性子が Gd に吸収された際に発せられる総計 8MeV に相当するピークがクリアに見える。この結果は検出器内の事象エネルギーや位置再構成の理解に使用できるだけでなく、前述した逆ベータ崩壊事象の探索信号のうち、少なくとも、反応後中性子側の応答や原理を忠実にかつハードウェア的にシミュレーションしたものであり、建設した検出器によってステライルニュートリノ探索が可能であることを示す。

図4には、陽子ビームが来るタイミング付近の事象の様子を示した。横軸が陽子ビームが水銀標的に衝突した際の時間からの経過時間、縦軸が総光量 (エネルギーに比例) である。MLF では、40 ミリ秒に一回、100 ナノ秒程度の幅を持つビームの塊が2つ来る。陽子ビームが水銀標的に衝突した際に生成される中性子が検出器で生成した事象が見える。我々の実験で使用する (振動前の) 反ミュー型ニュートリノは水銀標的内で長い崩壊時間 (2200 ナノ秒) をかけて静止崩壊したミュオンから生成されるため、この中性子事象を時間的に避けて探索を行うことができる。この時間を考慮して選んだ探索領域が図4のオレンジの四角枠である (ステライルニュートリノ探索信号で陽電子 (先発信号) を探索する領域となる) オレンジの枠内にもいくつかの事象が散見されるが、これは主に宇宙線と呼ばれる地球の大気中で生成されるミュオン起因の背景事象である。我々の検出器には、宇宙線ベトー層と呼ばれるシンチレータ層 (図2左上写真のオレンジで「Veto」となっている部分) が存在し、検出器外部から入ってくる粒子を識別し除去できるため、散見される事象のほとんどは、ベトー層によって除去される。更に、我々が探索している逆ベータ崩壊反応は、オレンジ枠の事象に加え、追加で中性子が Gd に吸収される後発信号がなくてはならない。これは強力な事象選択であり、現在までのデータ解析によれば十分に我々の実験技術設計書(発表論文[12]) 程度に背景事象を抑えることができる、と考えられている。

前述したように、元々のこの基盤研究 (S) の計画では、探索結果を2年間のビーム時間を得て出すことになっていたが、現在の施設側のビーム供給能力 (陽子強度6割: ニュートリノ生成量も6割となる) の限界 ( ; 水銀標的の強度や加速器施設の冷却能力の限界に起因するもの) や新型コロナウイルスの影響もあり、予定期間に結果を出すことが不可能な状況となっている。しかしながら、前述したような、検出器性能の理解や取得したデータの様子、また、データ取得の状況から、科学研究補助金、特別推進研究 (20H05624 : 「JSNS<sup>2</sup> 実験による J-PARC 物質生命科学研究施設ニュートリノ研究の発展と展開」) に前年度申請した結果、採用の結果を得た。今後、特別推進研究の分担者には施設側ビーム供給能力の向上に直接関わっているものもあり、ビーム強度の増強も含め、結果を速やかに出せるよう努力を継続する。

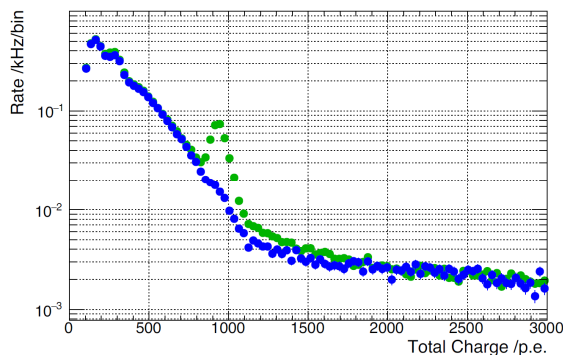


図3 :  $^{252}\text{Cf}$  (中性子用微弱線源) を液体シンチレータ内に仮設置した際の光量分布。青が線源なし、緑が線源有り。クリアな 8 MeV のピークが見える。

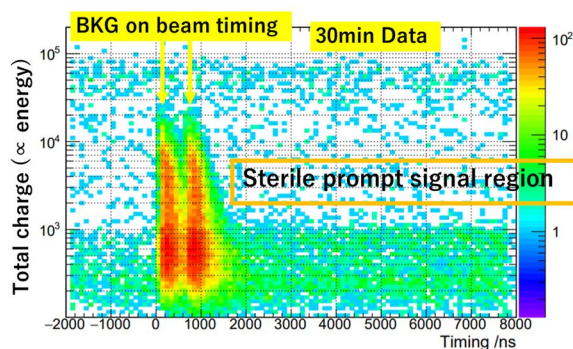


図4 : ビーム時間付近の事象の様子。横軸が陽子ビームが水銀標的に衝突した際の時間からの経過時間、縦軸が総光量 (エネルギーに相当) 。オレンジの四角の中がステライルニュートリノ探索信号で陽電子 (先発信号) を探索する領域。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Park J.S., Kim S.Y., Rott C., Lee D.H., Jung D., Suekane F., Furuta H., Jang H.I., Jeon H.K., Yu I., Choi J.H., Jang J.S., Joo K.K., Ju K.W., Pac M., Gwak P.J., Kim S.B., Hasegawa S., Jeon S.H., Maruyama T., Ujiie R., Hino Y., Park Y.S.	4. 巻 14
2. 論文標題 Production and optical properties of liquid scintillator for the JSNS2 experiment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 T09010 ~ T09010
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/T09010	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 Hino Y., Furuta H., Hasegawa S., Maruyama T., Nishikawa K., Park J.S., Suekane F., Sugaya Y.	4. 巻 14
2. 論文標題 Stainless steel tank production and tests for the JSNS2 neutrino detector	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 T09001 ~ T09001
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/T09001	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 Hino Y., Furuta H., Suekane F.	4. 巻 14
2. 論文標題 Aging study of Gd concentration in LAB-based Gd loaded liquid scintillator exposed to passivated stainless steel	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 P09007 ~ P09007
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/P09007	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.Ajimura, et al	4. 巻 1705.08629
2. 論文標題 Technical Design Report (TDR): Searching for a Sterile Neutrino at J-PARC MLF (E56, JSNS2)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 arXiv	6. 最初と最後の頁 1-91
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 該当する

1. 著者名 J.S.Park for the JSNS2 collaboration	4. 巻 128
2. 論文標題 Searching for a Sterile Neutrino at J-PARC MLF: JSNS2 experiment	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of Science	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.314.0128	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 M.Harada, T.Maruyama, et al	4. 巻 1610.08186
2. 論文標題 Status Report (22th J-PARC PAC): Searching for a Sterile Neutrino at J-PARC MLF (E56, JSNS2)	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 arXiv	6. 最初と最後の頁 1-20
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 該当する

1. 著者名 T.Maruyama	4. 巻 482
2. 論文標題 Searching for a Sterile Neutrino at J-PARC MLF: JSNS2 experiment	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 PoS (ICHEP2016)	6. 最初と最後の頁 1-6
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 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38件 (うち招待講演 21件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 T.Konno
2. 発表標題 Neutrino Source for Sterile Neutrino Searches
3. 学会等名 International Workshop on Neutrinos from Accelerators (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 F.Suekane
2. 発表標題 Status of JSNS2 Experiment
3. 学会等名 International Workshop on Neutrinos from Accelerators (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J.Spitz
2. 発表標題 Review and Summary of Short Baseline Neutrino Experiments
3. 学会等名 International Workshop on Neutrinos from Accelerators (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 C.Rott
2. 発表標題 JSNS2 Experiment
3. 学会等名 16th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Maruyama
2. 発表標題 Sterile Neutrino Search at J-PARC MLF
3. 学会等名 Erice School/Workshop: Star Mergers, Gravitational Waves, Dark Matter and Neutrinos in Nuclear, Particle and Astro-Physics, and in Cosmology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Maruyama
2. 発表標題 Review of Accelerator-Based Sterile Neutrino Searches
3. 学会等名 3rd J-PARC symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J.Jordan
2. 発表標題 Neutrino Physics Opportunities at the J-PARC MLF
3. 学会等名 the Magnificent CEvNS workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S.Hasegawa
2. 発表標題 JSNS2 experiment
3. 学会等名 JPS-KPS joint symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古田久敬
2. 発表標題 J-PARC MLFにおけるステライルニュートリノ探索実験(JSNS2; J-PARC E56) -1
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 日野陽太
2. 発表標題 J-PARC MLFにおけるステライルニュートリノ探索実験(JSNS2; J-PARC E56) 2
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jungsic Park
2. 発表標題 JSNS2 is coming
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸山和純
2. 発表標題 いよいよ始まるJSNS2実験
3. 学会等名 日本物理学会 年次大会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jungsic Park
2. 発表標題 The JSNS2 experiment : commissioning
3. 学会等名 日本物理学会 年次大会(2020)
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 J.S.Park
2. 発表標題 JSNS2 experiment
3. 学会等名 14th Rencontres Du Vietnam INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NEUTRINO FRONTIERS (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T.Maruyama
2. 発表標題 Review of the sterile neutrino searches
3. 学会等名 DBD2018 workshop in Hawaii (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 丸山和純
2. 発表標題 Light Sterile Neutrinos: Is there any good pictures?
3. 学会等名 KEK理論セミナー (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古田久敬
2. 発表標題 J-PARC MLFにおけるステライルニュートリノ探索実験(JSNS2; J-PARC E56) 1
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 日野陽太
2. 発表標題 J-PARC MLFにおけるステライルニュートリノ探索実験(JSNS2; J-PARC E56) 2
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑田和輝
2. 発表標題 J-PARC MLFにおけるステライルニュートリノ探索実験(JSNS2; J-PARC E56) 3
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jungsic Park
2. 発表標題 Sterile neutrino search experiment at J-PARC MLF (JSNS2, J-PARC E56)-4
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 J.S.Park
2. 発表標題 Searching for a Sterile Neutrino at J-PARC MLF: JSNS2
3. 学会等名 EPS-HEP (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T.Kawasaki
2. 発表標題 Sterile Neutrino experiments at Acdelelator
3. 学会等名 Recontres du Vietnam Neutrino workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T.Maruyama
2. 発表標題 Sterile Neutrino Searches at J-PARC MLF
3. 学会等名 Erice School/Workshop: Neutrinos in Cosmology, in Astro, in Particle and in Nuclear Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T.Maruyama
2. 発表標題 JSNS2 overview
3. 学会等名 Korean Physics Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 J.S.Park
2. 発表標題 JSNS2 detector construction
3. 学会等名 Korean Physics Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 丸山和純
2. 発表標題 J-PARC MLFにおけるステライルニュートリノ探索実験(JSNS2; J-PARC E56) 1
3. 学会等名 日本物理学会(年次大会; 大阪大学)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 日野陽太
2. 発表標題 J-PARC MLFにおけるステライルニュートリノ探索実験(JSNS2; J-PARC E56) 2
3. 学会等名 日本物理学会(年次大会; 大阪大学)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岩井瑛人
2. 発表標題 J-PARC MLFにおけるステライルニュートリノ探索実験(JSNS2; J-PARC E56) 3
3. 学会等名 日本物理学会(年次大会; 大阪大学)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 丸山和純
2. 発表標題 ステライルニュートリノ探索実験(JSNS2)
3. 学会等名 核物理の将来勉強会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T.Maruyama
2. 発表標題 Neutrinos which is sensitive to only gravity
3. 学会等名 KMIコロキウム(名古屋大学)(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 丸山和純
2. 発表標題 J-PARC MLFにおけるステライルニュートリノ探索実験(JSNS2; J-PARC E56) 1
3. 学会等名 日本物理学会(秋季大会:宇都宮大学)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 日野陽太
2. 発表標題 J-PARC MLFにおけるステライルニュートリノ探索実験(JSNS2; J-PARC E56) 2
3. 学会等名 日本物理学会(秋季大会:宇都宮大学)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 J.S.Park
2. 発表標題 Sterile neutrino search experiment at J-PARC MLF (JSNS2, J-PARC E56) - 3
3. 学会等名 日本物理学会(秋季大会:宇都宮大学)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 丸山和純
2. 発表標題 Searching for a Sterile Neutrino at J-PARC MLF: JSNS2 experiment
3. 学会等名 ICHEP 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 末包文彦
2. 発表標題 Review of short-baseline programs in the world
3. 学会等名 HINT2016 workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 嶋達志
2. 発表標題 Neutrino-Nucleus Interaction studied with MeV Neutrino Beam at J-PARC
3. 学会等名 Nuclei in the Cosmos XIV (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 丸山和純
2. 発表標題 J-PARC MLFにおけるステライルニュートリノ探索実験(JSNS2; J-PARC E56)の展望
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 日野陽太
2. 発表標題 ステライルニュートリノ探索実験JSNS <sup>2</sup> 本検出器設置候補地におけるビーム由来背景事象粒子識別測定
3. 学会等名 日本物理学会年会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 丸山和純	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Cross	5. 総ページ数 6
3. 書名 J-PARC 物質生命科学研究施設で行うステライルニュートリノ探索実験	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>J-PARC MLF中性子源を用いたステライルニュートリノ探索  <a href="https://research.kek.jp/group/mlfn/index.html">https://research.kek.jp/group/mlfn/index.html</a></p> <p>JSNS2 experiment  <a href="https://research.kek.jp/group/mlfn/eng/index.html">https://research.kek.jp/group/mlfn/eng/index.html</a></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	川崎 健夫  (Kawasaki Takeo)  (00323999)	北里大学・理学部・教授    (32607)	

## 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
研究分担者	末包 文彦 (Suekane Fumihiko) (10196678)	東北大学・ニュートリノ科学研究センター・教授  (11301)	
研究分担者	嶋 達志 (Shima Tatsushi) (10222035)	大阪大学・核物理研究センター・准教授  (14401)	
研究分担者	明午 伸一郎 (Meigo Shinichiro) (80354728)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 J-PARCセンター・研究主幹  (82110)	
研究分担者	長谷川 勝一 (Hasegawa Shoichi) (90391333)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 先端基礎研究センター・研究主幹  (82110)	

	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	パク ジュンシ (Park Jungsic)		
研究協力者	リ ドンハ (Lee Dongha)		
研究協力者	今野 智之 (Konno Tomoyuki)		



## 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	菅谷 頼仁  (Sugaya Yorihiro)		
研究協力者	新山 雅之  (Niiyama Masayuki)		
研究協力者	中野 貴志  (Nakano Takashi)		
研究協力者	味村 周平  (Ajimura Syuhei)		
研究協力者	山口 雄司  (Yamaguchi Yuji)		
研究協力者	日野 陽太  (Hino Yota)		
研究協力者	百々 拓  (Dodo Taku)		

## 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			
米国	ミシガン大学	ブルックヘブン国立研究所	アラバマ大学	他2機関
韓国	ソウル国立大学	チョンナン大学	成均館大学	他8機関
英国	サセックス大学			