

科学研究費助成事業（特別推進研究）公表用資料 〔令和4（2022）年度 中間評価用〕

令和4年3月31日現在

研究期間：	2020～2024
課題番号：	20H05624
研究課題名：	JSNS2 実験による J-PARC 物質生命科学実験施設ニュートリノ研究の発展と展開
研究代表者氏名（ローマ字）：	丸山 和純（Takasumi Maruyama）
所属研究機関・部局・職：	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

研究の概要（4行以内）：

本研究は、J-PARC 物質・生命科学実験施設の水銀標的で生成される短パルスニュートリノビームと高質液体シンチレータ検出器を用いることにより、世界で先駆けて、短距離（24m、48m）でニュートリノ振動が起こるかどうかを探る。ステライル型のフレーバがあれば、このような短距離で振動が起こる。また、感度強化の一環として行う研究を通じ、物質・生命科学実験施設（MLF）の施設能力向上も狙う。

研究分野：物理学 素粒子実験

キーワード： J-PARC、物質・生命科学実験施設、（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年に梶田氏とMcDonald氏がノーベル賞を受賞し脚光を浴びた。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型（電子、ミュー、タウ、ステライル）を変える現象で、本研究は、未解決の「型変化の中に少量のステライルが含まれるか?」という問題を高い確度で探る。

ステライル型は弱い相互作用をしないニュートリノであり、素粒子標準理論で説明出来ない。ステライル型の存在が確定されれば、大きく定説が覆される。

ステライル型は弱い相互作用を行わないため、その存在の確認は他のニュートリノとの振動を通じてなされる。いくつかの実験でその存在が示唆されているが、決定的な証拠はない状況で、確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行われている。

我々の実験（JSNS²、JSNS²-II）もこの厳しい競争下、ステライルニュートリノが存在する場合に起こる短距離でのニュートリノ振動探索を行い、世界に先駆けて結果を出すことを目指す。

2. 研究の目的

本研究は、J-PARC MLF 水銀標的内で、 μ 粒子静止崩壊から生成される大量の短パルス反ミュー型ニュートリノが反電子型ニュートリノへと振動する事象を探索する JSNS² 実験の感度強化を行う（図1）。

（あ）屋外新後置 48m 検出器設置、
（い）液体シンチレータの改良、（う）電子回路の改良、（え）J-PARC 物質・生命科学実験施設の陽子ビーム最終段収束の改良、（お）ニュートリノ親粒子の生成量の不定性減少、の5つの項目における実験の改良を行い、ステライルニュートリノ探索感度強化を行う。この強化により、国際競争に勝ち、世界の実験の中で最良の結果を出す。

また、MLFの水銀標的内では、 μ 粒子のみではなく、 K^+ 中間子も大量に生成する。この K^+ が静止2体崩壊する際に236MeVの単色エネルギーのニュートリノも生成する。この単色エネルギーニュートリノを用いて、ニュートリノと物質の相互作用、特に準弾性散乱に関する精密測定を行う。

上記の（え）（お）の研究は、他のMLFでの研究にも正のフィードバックを与える。（え）により、中性子実験の背景事象を減少させたり、ビーム強度の増強を可能にする。また（お）は、他の（将来も含めた）ニュートリノ実験や、中性子量の測定により中性子量を最適化できる可能性がある。

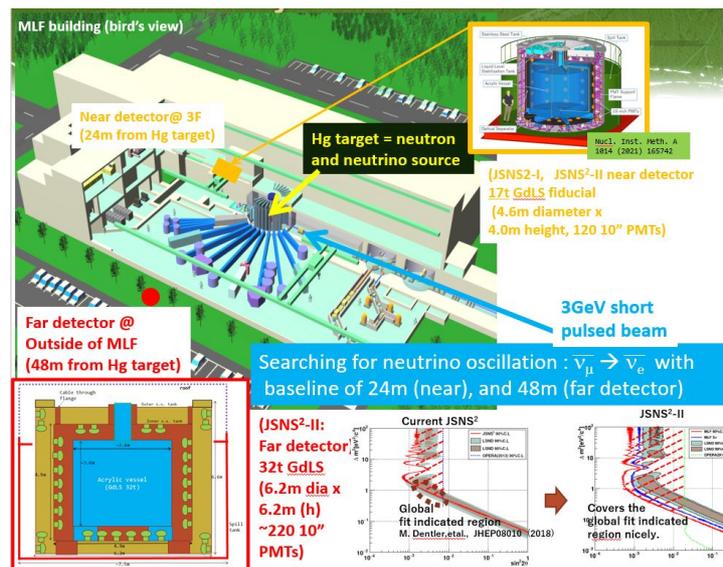


図1：JSNS²-II 実験のセットアップ。

3. 研究の方法

図1に示した通り、MLFの屋外48m地点に有効体積32トンの新規後置液体シンチレータ検出器を、現

存する 17 トン前置検出器に加えて設置することにより、図 1 の感度図 (左) から感度図 (右) への感度強化を行う。感度図の横軸は振動が起こる割合、縦軸は質量固有値の差の 2 乗である。現行実験の感度 (左斜線部) は、本研究によって大幅な感度強化が可能である (右)。液体シンチレータには、前置・後置検出器とも、通常の Gd 入りの液体シンチレータにジソプロピルナフタレン (DIN) を重量比 10% 加え、最大の背景事象である宇宙線由来の背景事象を波形弁別方で除去できるように改良する。また、現在使用している電子回路は、 μ 粒子崩壊から来るニュートリノ (最大エネルギー 53MeV) を捕獲するのに最適化されているため、 K^+ 静止崩壊からの単色ニュートリノ (236MeV) の検出エネルギー領域に拡大するため、電子回路の観測可能な直線性を倍増する。

上記のような検出器の設置や改良のみならず、3GeV 陽子の輸送、特に水銀標的直前でのビーム収束を、ビーム特性を理解しながら改良する。また、これまでに測定されることがない 3GeV 陽子と水銀の衝突によるニュートリノ親粒子 (μ 、 K) や中性子の生成断面積の測定も CERN-NA61 実験に参加して行う。

4. これまでの成果

既存 24m 検出器に関しては、液体シンチレータの改良 (2020) 後、2021 年に 6 ヶ月の長期物理データ取得を行い、2022 年も 1 月末から長期データ取得を行っている。現在、既存検出器 1 基実験で J-PARC から許可されたビーム陽子数の 20% 程度を得ている。また、2020 年の試運転ランの結果と DIN 溶解の効果を [3] にまとめ出版している。電子回路は設置寸前まで開発・試験を進め、2022 年度内の設置を計画している。ビームに関しては、収束に関する理解を進め、またビーム強度も研究当初の 600kW から 800kW (2022 年 4 月 7 日からを予定) に増強する。

新後置検出器は、直径 6.2m x 高さ 6.2m ステンレスタンク作製が終了し、光電子増倍管の設置を 2022 年に行う予定である。液体シンチレータの Daya-Bay 実験からの寄贈は成功裏に終了し、2022 年初頭の光電子増倍管の Double-Chooz 実験からの寄贈も計画とおり行われる予定である。現在、3.3m 直径 x 3.3m 高さのアクリルタンク作製に関する入札の準備を進めている。

CERN-NA61 実験に関しては、2024 年からのデータ取得に向け準備を進めている。水銀標的の設置に関する安全の議論や、シミュレーションによる検出器アクセプタンスの議論を行った。また、粒子識別能力向上のため、エアロジェルチェレンコフカウンターの設置に向けた検出器の準備を進めている。

5. 今後の計画

既存 24m 検出器に関しては、陽子ビーム運転中のデータ取得を継続する。データは順調に蓄積されつつあるため、解析を進め、可能な限り速やかに論文、国際発表、記者会見等で公表していく。改良された電子回路は 2022 年度内に設置する。ビームに関しては、ビームロスモニタおよびビームプロファイルの高度化をさらに進め、さらなる安定した大強度陽子ビーム運転に資する計画とする。予定通りの利用運転が順調に進めば、2023 年 4 月より 900 kW の利用運転を開始し、2024 年 4 月より目標とした 1 MW の利用運転を開始する予定となる。

新後置検出器は、2022 年初頭に Double-Chooz 実験から光電子増倍管の寄贈を受ける。J-PARC に到着し次第、設置作業を進める。2023 年の初めには作製されたアクリルタンクが J-PARC へと納品されるはずであるため、設置作業を行う。2024 年度には液体シンチレータを充填し、データ取得を開始する。検出器等の理解を進め、結果が出次第、論文、国際発表、記者会見等を通して、発表していく。

CERN-NA61 実験に関しては、引き続き 2024 年のデータ取得に関して、準備を進めていく。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

主なもののみ。

- [1] M.A. Acero, T. Maruyama *et al*, "White Paper on Light Sterile Neutrino Searches and Related Phenomenology," arXiv:2203.07323 [hep-ex].
- [2] 明午伸一郎 (JAEA)、他、"SiC ワイヤにおける二次電子放出の大強度ビームに対する耐久性", 第 18 回日本加速器学会年会 報文集, 2021 年 8 月 9-12 日 オンライン開催, pp 296 - 301 (2021)
- [3] Y. Hino, S. Hasegawa, T. Kawasaki, T. Maruyama, S. Meigo, F. Suekane, Y. Sugaya, *et al*, "Characterization of the correlated background for a sterile neutrino search using the first dataset of the JSNS² experiment", arXiv:2111.07482 [hep-ex] (2021)
- [4] S. Ajimura, S. Hasegawa, T. Kawasaki, T. Maruyama, S. Meigo, F. Suekane, Y. Sugaya, *et al*, "The JSNS² detector", Nucl. Inst. Meth. A 1014 (2021) 165742
- [5] J-PARC 報道機関向け合同記者会見「新種のニュートリノを探れ! - JSNS2 実験のデータ取得を J-PARC で開始 -」2021 年 2 月
- [5] S. Ajimura, S. Hasegawa, T. Kawasaki, T. Maruyama, S. Meigo, F. Suekane, Y. Sugaya, *et al*, "Proposal: JSNS2-II", arXiv:2012.10807 [hep-ex] (2020)

7. ホームページ等

ホームページ

日本語版 : <https://research.kek.jp/group/mlfnu/index.html>

英語版 : <https://research.kek.jp/group/mlfnu/eng/index.html>