

令和 2 年 6 月 21 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13554

研究課題名(和文) 光子ビームを用いた中性子過剰 ハイパー核の弱崩壊過程の研究

研究課題名(英文) Study on the weak decay process of neutron-rich Lambda hypernuclei with the photon beams

研究代表者

永尾 翔 (NAGAO, Sho)

東北大学・理学研究科・助教

研究者番号：30781710

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、ハイパー核弱崩壊過程の測定を目指した研究である。特にこれまで行われてきた実験手法ではアプローチが困難であったハイパー三重水素核やハイパー四重水素核の崩壊を精密に測定できれば、ハイパー核研究を大いに進展させることができる。本研究では、ガンマ線を用いるという新しいハイパー核生成手法を取り入れることで、ハイパー四重水素核の寿命、崩壊過程を測定することを目指した。本研究を通して、ハイパー核同定に必要なK⁺中間子識別用TOF検出器および崩壊測定に必要な高時間分解能検出器の製作を行い、ガンマ線を用いたハイパー核生成、崩壊寿命測定実験の土台を構築することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によってガンマ線を用いたハイパー核生成実験に必要なセットアップが完成したことにより、継続的なハイパー核実験が可能になりつつある。より広範囲な領域でハイパー核研究が展開できるようになることで、ハイパー核という粒子を含んだ核子多体系への理解が進むと期待できる。

研究成果の概要(英文)：A goal of this research was measurements of the hypernuclear weak decay. The investigation would proceed with hypernuclear studies if we measure hyper-hydrogen nuclei, which is difficult to generate with the standard reaction e.g. the (π , K) or the (K, π) reactions. The investigation tried to generate hyper-hydrogen nuclei with a new reaction method (γ , K⁺) reaction. We successfully developed a new TOF counter for a Kaon identification and a high time resolution detector for measure decay particles. Those detectors are essential detectors to expand hypernuclear experiments with the photon beams.

研究分野：数物系科学

キーワード：ストレンジネス核物理 ハイパー核

1. 研究開始当初の背景

本研究の研究対象である Λ ハイパー核は、素粒子である軽クォーク ($u \cdot d \cdot s$ クォーク) と実際に物質として存在する原子核を結びつけるために重要な研究対象の一つである。その中でも近年、高精度のもと Λ 束縛エネルギーが決定された結果、 Λ 核子間相互作用におけるアイソスピン対称性の破れの研究が大幅に進展するなど、少数系ハイパー核の精密測定実験が注目されていた。一方で、 Λ ハイパー核の弱崩壊過程に関する研究は1990年代に陽子数 \sim 中性子数の Λ ハイパー核について測定されて以来、観測データが乏しかった。特に、これまで頻繁に利用されてきた中間子ビームを用いた手法では、中性子過剰な Λ ハイパー核が生成困難であることから、中性子過剰な Λ ハイパー核の弱崩壊過程は直接測定された例が無かった。しかし、近年のCERNやBNLなどの重イオンコライダー実験によりハイパー三重水素核がこれまでの常識では考えられないほど短寿命であることが示唆されるなど、 Λ ハイパー核弱崩壊過程の研究の重要性が再認識されており、新しいアイデア・最先端の技術を用いた高精度実験が望まれていた。

2. 研究の目的

このような状況のもと、本研究では中性子過剰な Λ ハイパー核を生成し、その弱崩壊過程を測定することが目的である。特に、少数系精密理論計算との厳密な比較が可能な4体系のハイパー核 (ハイパー四重水素核) の寿命測定を目指した。この目標を達成するため、加速器からのガンマ線を用い、 (γ, K^+) 反応によって Λ ハイパー核を生成するという新しいハイパー核生成手法を確立することが重要な目標であった。

3. 研究の方法

(γ, K^+) 反応によるハイパー核生成実験のセットアップを図1に示す。東北大学電子光学研究センター (ELPH) に既設の光子ビーム標識化装置によってエネルギーおよびタイミングを標識化したガンマ線ビームと、同じく既設のNKS2 スペクトロメータによって測定する K^+ 中間子の運動量を用い、反応の欠損質量を測定することでハイパー核同定を行う。光子ビーム標識化装置と、標的周辺を囲む高時間分解能検出器で測定した時刻の差、もしくは、新TOF検出器と高時間分解能の時刻の差を取ることで、ハイパー核の崩壊寿命を測定できる。

この実験において新たに必要な検出器として、 K^+ 中間子を効率的に集めるため、電子陽電子が主に通過する領域を取り除いた新TOF検出器 (電子陽電子非感応検出器) が必要であった。また、標的周辺には100 psの時間分解能を有する高時間分解能検出器も必要とした。加えて、標的とNKS2の間に新たに新TOF検出器を設置することでハイパー核の寿命測定の精度を向上させた。

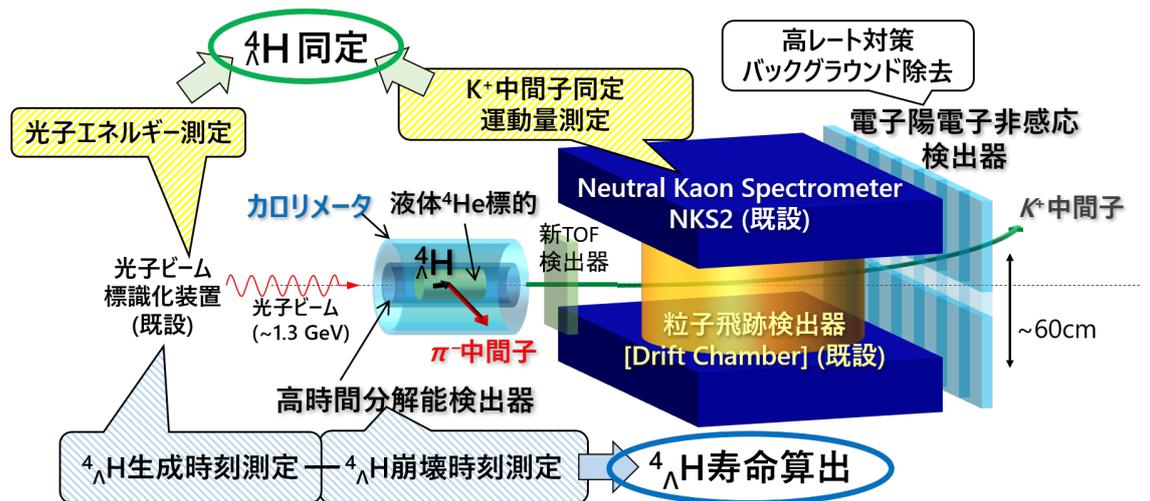


図1：本研究におけるハイパー核実験のセットアップ。

4. 研究成果

本研究において、ハイパー核寿命測定実験に必要な重要な3つの検出器開発が完了した。

(1) 電子陽電子非感応検出器の開発

シンチレータ (ELGEN EJ-230) に SiPM (浜松ホトニクス S14160-3015PS) を組み合わせた検出器を開発した。開発にあたり、シンチレータの種類やサイズを変更しながら、宇宙線や ELPH における実際の実験を想定したセットアップのもと実験することで K+中間子用検出器として最適な仕様を決定することができた。図2に開発した検出器と、シンチレータの種類毎に測定した時間分解能の結果を示す。幅 20 mm のシンチレータと SiPM を組み合わせ、印可電圧を浜松ホトニクスの指定値プラス 6V とすることで K+中間子識別に必要な時間分解能 (150 ps 以下) を得ることが可能であることを示すことに成功した。

この検出器に関して、国際発表 1 件 [S. Nagao, “Precision Spectroscopy of Lambda Hypernuclei with Electro-photo production” 3rd EMMI Workshop, Wrocław (2019)], 国内学会 1 件 [T. Fujiwara, “ELPH における Λ ハイパー核実験のための新 ToF 測定器の開発”, 日本物理学会第 75 回年次大会 (2020)] 等で発表し、大面積シンチレータの SiPM による読み出し法に関して有効なデータを示すことができた。

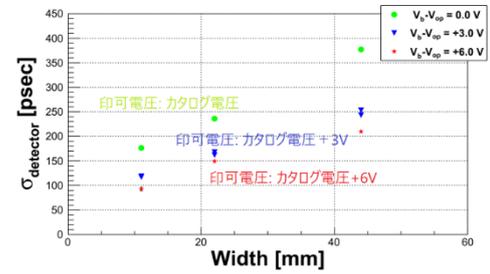


図2：電子陽電子非感応検出器の外観 (上) と性能評価試験結果の例 (下)。

(2) 高時間分解能検出器の開発

ハイパー核からの崩壊粒子を測定する高時間分解能検出器としてシンチレータ (ELGEN EJ-200) と SiPM (浜松ホトニクス S13360-3050PS) を組み合わせたものを開発した (図3)。新たに AD8000 を基本とした SiPM 用アンプ回路を開発し、SiPM を高時間分解能のもと読み出すことが可能な回路を確立することができた。ここで開発した回路は、上述の電子陽電子非感応検出器や後述の新 TOF 検出器へ応用することで、SiPM を読み出すうえで非常に汎用的な回路となりうることを証明できた。

本検出器を用いて 2018 年度に行ったハイパー核寿命測定を想定した実験では、光子標識化装置との TOF を取ることで、実験で期待される時間分解能が約 160 ps であることが分かった。目標とする 100 ps に到達していない要因のひとつは、光子ビームの時間ジッタであることが明らかになった。この光子ビームの時間ジッタを消す検出器として、後述の新 TOF 検出器を導入することで解決を図った。

この検出器に関して、数件の国際発表 [Y. Toyama, “Developments of a detector system for lifetime measurement of light hypernuclei”, HYP2018, Norfolk (2018)] [Y. Toyama, “Status of a lifetime measurement of light hypernuclei using high intensity tagged photon beam at ELPH”, QNP2018, Tsukuba (2018)] があり、本検出器および読み出し回路の性能を周知できた。

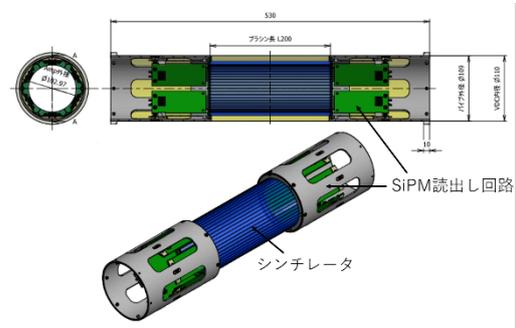


図3：高時間分解能検出器の外観

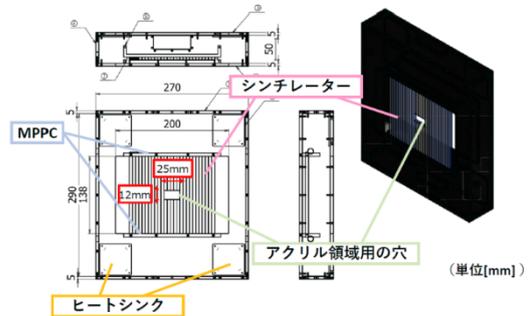


図4：新 TOF 検出器の外観

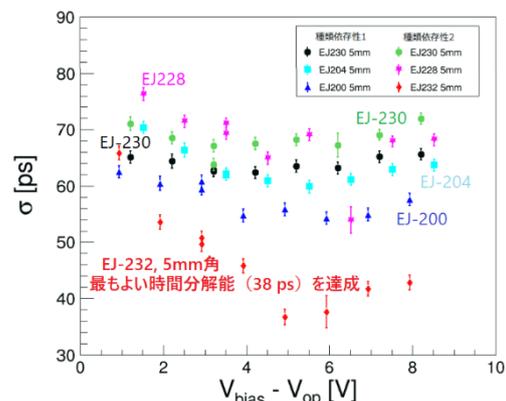


図5：新 TOF 検出器による時間分解能測定結果。

(3) 新 TOF 検出器の開発

2018 年度に行った実験により、光子標識化装置と高時間分解能検出器との時間差では、光子ビームが持つ時間ジッタのため十分な時間分解能のもとハイパー核の寿命が測定できない可能性があることが判明した。そのため、光子標識化装置の代わりに標的直後に新たに高時間分解能検出

器を設置することで、時間ジッタに依存しない測定を目指した。この検出器の外観を図4に示した。上述の高時間分解能検出器で得られた知見を応用し、シンチレータ (ELGEN EJ-232) と SiPM (浜松ホトニクス S13360-3050PS) を組み合わせることで約 40 ps というきわめて高い時間分解能を達成することができた。

この検出器に関しても様々な場所で講演を行った[S.Nagao, “Precision Spectroscopy of Lambda Hypernuclei with Electro-photo production” 3rd EMMI Workshop, Wrocław (2019)][K.Uehara, “Development of beamline detectors for the lifetime measurement of Λ hypernuclei at ELPH”, SNP School 2019, Sendai (2019), Incentive Prize 受賞]。

本研究を通してハイパー核寿命測定に必要な検出器を揃えることができた。これにより光子ビームを用いたハイパー核実験、寿命測定実現へ大きく前進した。現在は令和2年度の実験に向けて最終調整を進めている。

本研究内容は、国内学会での発表に加え、国際発表でも進捗状況を報告しており、ハイパー核寿命測定の新しいアプローチとして国内外にアピールすることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 K.Takeshi, S.Nagao et al.	4. 巻 2130
2. 論文標題 Gamma-ray spectroscopy of single -hypernuclei at J-PARC: Results and perspective	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 20011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1063/1.5118379	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 Klag Pascal, Achenbach Patrick, Herrmann Philipp, Lauth Werner, Pochodzalla Josef, Gogami Toshiyuki, Kaneta Masashi, Konishi Yoshihiro, Nagao Sho, Nakamura Satoshi, Toyama Yuichi	4. 巻 50
2. 論文標題 Revealing experimental instabilities and improvements in the optics for Undulator interferometry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft	6. 最初と最後の頁 50018691
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 M.Nakagawa, S.Nagao et al.	4. 巻 26
2. 論文標題 Search for Excited State of ${}_{\Sigma}^{4}\text{He}$ Hypernucleus in the J-PARC E13 Experiment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 23005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7566/JSPSC.26.023005	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 Toyama Yuichi, Gogami Toshiyuki, Itabashi Kosuke, Kanda Hiroki, Konishi Yoshihiro, Maeda Kazushige, Nagao Sho, Nakamura Satoshi N., Uehara Keita, Kaneta Masashi	4. 巻 26
2. 論文標題 Status of a Lifetime Measurement of Light Hypernuclei Using High Intensity Tagged Photon Beam at ELPH	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 31018
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7566/JSPSC.26.031018	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 Margaryan A., Ajvazyan R., Grigoryan N., Kakoyan V., Khachatryan V., Vardanyan H., Zhamkochyan S., Achenbach P., Pochodzalla J., Nakamura S.N., Nagao S., Toyama Y., Annand J.R.M., Livingston K., Montgomery R.	4. 巻 935
2. 論文標題 Decay pion spectroscopy: A new approach	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 40 ~ 50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.nima.2019.04.063	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 K.Takeshi, S. Nagao et al.	4. 巻 2130
2. 論文標題 Gamma-ray spectroscopy of single α -hypernuclei at J-PARC: Results and perspective	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 20011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1063/1.5118379	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 Klag Pascal, Achenbach Patrick, Herrmann Philipp, Lauth Werner, Pochodzalla Josef, Gogami Toshiyuki, Kaneta Masashi, Konishi Yoshihiro, Nagao Sho, Nakamura Satoshi, Toyama Yuichi	4. 巻 50
2. 論文標題 Revealing experimental instabilities and improvements in the optics for Undulator interferometry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft	6. 最初と最後の頁 50018691
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 該当する

1. 著者名 M. Nakagawa, S. Nagao et al.	4. 巻 26
2. 論文標題 Search for Excited State of ${}^{\sigma}_{\alpha}\text{He}$ Hypernucleus in the J-PARC E13 Experiment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 23005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7566/JPSCP.26.023005	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 Toyama Yuichi, Gogami Toshiyuki, Itabashi Kosuke, Kanda Hiroki, Konishi Yoshihiro, Maeda Kazushige, Nagao Sho, Nakamura Satoshi N., Uehara Keita, Kaneta Masashi	4. 巻 26
2. 論文標題 Status of a Lifetime Measurement of Light Hypernuclei Using High Intensity Tagged Photon Beam at ELPH	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 31018
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7566/JSPSCP.26.031018	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 Klag P., Achenbach P., Biroth M., Gogami T., Herrmann P., Kaneta M., Konishi Y., Lauth W., Nagao S., Nakamura S.N., Pochodzalla J., Roser J., Toyama Y.	4. 巻 910
2. 論文標題 Novel optical interferometry of synchrotron radiation for absolute electron beam energy measurements	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 147 ~ 156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2018.09.072	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 Gogami T., Chen C., Fujii Y., Hashimoto O., Kaneta M., Kawama D., Maruta T., Matsumura A., Nagao S., Nakamura S.N., Okayasu Y., Reinhold J., Tang L., Tsukada K., Wood S.A., Yuan L.	4. 巻 900
2. 論文標題 Experimental techniques and performance of α -hypernuclear spectroscopy with the(e,e K ⁺)reaction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 69 ~ 83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2018.05.042	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 Margaryan A., Ajvazyan R., Grigoryan N., Kakoyan V., Khachatryan V., Vardanyan H., Zhamkochyan S., Achenbach P., Pochodzalla J., Nakamura S.N., Nagao S., Toyama Y., Annand J.R.M., Livingston K., Montgomery R.	4. 巻 -
2. 論文標題 Decay pion spectroscopy: A new approach	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2019.04.063	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 P. Klag, P. Achenbach, M. Biroth, T. Gogami, P. Herrmann, M. Kaneta, Y. Konishi, W. Lauth, S. Nagao, S. N. Nakamura, J. Pochodzalla, J. Roser, Y. Toyama	4. 巻 -
2. 論文標題 Precision beam energy measurement by undulator radiation at MAMI	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Project Status Report 2018 for the Graduiertenkolleg (GRK) 2128 AccelencE	6. 最初と最後の頁 -
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26件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 S. Nagao
2. 発表標題 Design & Construction of new separation magnets for the next hypernuclear experiment
3. 学会等名 JLab Hall-A meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Nagao
2. 発表標題 Overview of lifetime measurements on hyper-hydrogens at ELPH Tohoku
3. 学会等名 Workshop on electro- and photo-production of hypernuclei 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Nagao
2. 発表標題 Precision Spectroscopy of Lambda Hypernuclei with Electro-photo production
3. 学会等名 3rd EMMI Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S.Nagao
2. 発表標題 Design of New Particle Charge Separation Magnet
3. 学会等名 International meeting for electron beam spectroscopy of hypernuclei: nn analysis (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永尾翔
2. 発表標題 JLabにおける次世代ハイパー核分光実験の準備状況
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 永尾翔
2. 発表標題 大強度電子線を使ったハイパー核分光実験のための前置磁気スペクトロメータ
3. 学会等名 新学術領域「クラスター階層」「量子ビーム応用」合同検出器ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永尾翔
2. 発表標題 Development of pair of charge separation magnets and cryogenic target system for hypernuclear study
3. 学会等名 新学術領域「宇宙観測検出器と量子ビームの出会い、新たな応用への架け橋」第1回領域全体会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K.Uehara
2. 発表標題 Development of beamline detectors for the lifetime measurement of hypernuclei at ELPH
3. 学会等名 SNP School 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S.Nagao
2. 発表標題 Design & Construction of new separation magnets for the next hypernuclear experiment
3. 学会等名 JLab Hall-A meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S.Nagao
2. 発表標題 Overview of lifetime measurements on hyper-hydrogens at ELPH Tohoku
3. 学会等名 Workshop on electro- and photo-production of hypernuclei 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S.Nagao
2. 発表標題 Precision Spectroscopy of Lambda Hypernuclei with Electro-photo production
3. 学会等名 3rd EMMI Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S.Nagao
2. 発表標題 Design of New Particle Charge Separation Magnet
3. 学会等名 International meeting for electron beam spectroscopy of hypernuclei: nn analysis (JLab E12-17-003) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永尾 翔
2. 発表標題 JLabにおける次世代ハイパー核分光実験の準備状況
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 永尾 翔
2. 発表標題 大強度電子線を使ったハイパー核分光実験のための前置磁気スペクトロメータ
3. 学会等名 新学術領域「クラスター階層」「量子ビーム応用」合同検出器ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永尾 翔
2. 発表標題 Development of pair of charge separation magnets and cryogenic target system for hypernuclear study
3. 学会等名 新学術領域「宇宙観測検出器と量子ビームの出会い、新たな応用への架け橋」第1回領域全体会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永尾翔
2. 発表標題 1GeV 領域の光子ビームを用いたハイパー核物理の展開
3. 学会等名 RCNP研究会「ガンマ線ビームを用いた原子核・ハドロン物理の新局面と今後の展望」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永尾翔
2. 発表標題 Prospects of hypernuclear weak-decay studies with the tagged photon beam
3. 学会等名 The 52nd Reimei Workshop
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永尾翔
2. 発表標題 高エネルギー光子とガンマ線検出器を用いたハイパー核ガンマ線分光の提案
3. 学会等名 新学術領域「量子ビーム応用」キックオフシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S.Nagao
2. 発表標題 High resolution mass spectroscopy of hypernuclei with primary electron beams: Recent results and prospects
3. 学会等名 QNP2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S.Nagao
2. 発表標題 Feasibility of lifetime measurements on hyperhydrogens with the photon beams
3. 学会等名 HYP2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S.Nagao
2. 発表標題 Lifetime measurement of hypertriton at ELPH
3. 学会等名 ストレンジネス核物理を考える会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 外山裕一
2. 発表標題 MPPCを用いたハイパー核寿命測定用高時間分解能検出器・TDLの開発(2)
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 外山裕一
2. 発表標題 ハイパートライトン寿命測定用検出器
3. 学会等名 新学術領域研究若手ハードウェア研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Toyama
2. 発表標題 Status of a lifetime measurement of light hypernuclei using high intensity tagged photon beam at ELPH
3. 学会等名 QNP2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Toyama
2. 発表標題 Developments of a detector system for lifetime measurement of light hypernuclei
3. 学会等名 HYP2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Toyama
2. 発表標題 Feasibility study of lifetime measurement of hypernuclei at ELPH
3. 学会等名 ストレンジネス核物理を考える会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究協力者	外山 裕一 (Toyama Yuichi)		

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 協力 者	上原 圭太 (Uehara Keita)		