

令和四年度 (2022年度)

年 次 報 告 書

大阪大学大学院理学研究科物理学専攻  
Department of Physics, Graduate School of Science  
Osaka University



## はじめに

この年次報告書は、大阪大学大学院理学研究科・物理学専攻の2022年度(2022年4月～2023年3月)の教育・研究・社会貢献などの活動とその成果をまとめたものです。その目的は、学内外への情報発信と私たち自身の自己評価に資することです。

物理学専攻の基幹講座には、大きく分けて、素粒子・原子核理論、素粒子・原子核実験、物性理論、物性実験、それに学際物理学の合計5つの研究グループ(大講座)があります。これらの基幹講座の各研究グループは、豊中キャンパスに活動の拠点を置き、教員と博士研究員、大学院生などにより研究・教育を推進しています。

研究面について、物理学専攻の基幹講座のメンバーは、物理学専攻の協力講座や専攻外の学内の研究室、さらには日本国内の大学や研究機関と連携・協力しています。また、米国、欧州、アジアなどの海外の大学や研究機関とも広く共同研究を行い、世界をリードする多くの優れた研究成果をあげています。

教育においては、毎年多くの優秀な学生や若手研究者を育成し、社会に送り出しています。博士課程教育リーディングプログラム「インタラクティブ物質科学カデットプログラム」、卓越大学院プログラム「先導的量子ビーム応用卓越大学院プログラム」、理工情報系オナー大学院プログラム、理学研究科の高度博士人材養成プログラムに参画しており、これまでの博士課程の教育から一層進化した人材育成を模索しております。さらに、海外から大学院留学生を受け入れ、英語による講義を行う International Physics Course (IPC) を設置し、国際化を積極的に推進しています。また、高校での出前講義や一般市民の方々への講演活動などのアウトリーチ活動などを通じた社会貢献も進めております。

2022年度も、2021年度に引き続き、新型コロナウイルス感染症によるパンデミックが影響を与える中での研究、教育、社会貢献活動となりました。2023年度に入った現在、やや状況は改善されてきているように思えます。その一方で、政府主導の大学改革が予想外のスピードで進められており、私共物理学専攻としましても、その対応は必須となります。また、この数年間に何名もの教授の方が退職または異動され、研究室の入れ替わりが進んでおります。准教授や助教の方の転出、退職も多くあり、2022年度から現在に至るまで、数多くの教員の方が着任、または昇任されました。このように物理学専攻は目まぐるしく大きな変化を経験しつつも、世界の物理学研究における物理学専攻のプレゼンスを保つため、これからも努力を続けていきます。この年次報告書の基礎データを、専攻の進むべき道を探るための一助とし、物理学分野の発展、社会の発展に貢献するよう努めてまいりたいと思っております。

この年次報告の中で人名の肩に付けた記号の説明

$s$  = 教員、特任教員、特任研究員

$i$  = 招へい教員、招へい研究員

$PD$  = 日本学術振興会特別研究員 (PD)

$DC$  = 日本学術振興会特別研究員 (DC1、DC2)

$d$  = 博士後期課程学生

$m$  = 博士前期課程（修士課程）学生

$b$  = 学部学生

\*=国際会議講演，学会講演等において実際に登壇した人

# 目次

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| <b>第1章</b> | <b>各研究グループの研究活動報告</b>                         | <b>1</b>   |
| 1.1        | 青木グループ  | 1          |
| 1.2        | 川畑グループ  | 8          |
| 1.3        | 山中グループ  | 34         |
| 1.4        | 工藤グループ  | 42         |
| 1.5        | 新見グループ  | 48         |
| 1.6        | 豊田グループ  | 55         |
| 1.7        | 花咲グループ  | 60         |
| 1.8        | 松野グループ  | 69         |
| 1.9        | 素粒子理論グループ                                     | 74         |
| 1.10       | 原子核理論グループ                                     | 94         |
| 1.11       | 小川グループ  | 102        |
| 1.12       | 黒木グループ  | 103        |
| 1.13       | 越野グループ  | 109        |
| <b>第2章</b> | <b>受賞と知的財産</b>                                | <b>116</b> |
| <b>第3章</b> | <b>学位論文</b>                                   | <b>119</b> |
| 3.1        | 修士論文  | 119        |
| 3.2        | 博士論文  | 122        |
| <b>第4章</b> | <b>教育活動</b>                                   | <b>123</b> |
| 4.1        | 大学院授業担当一覧                                     | 123        |
| 4.2        | 学部授業担当一覧                                      | 137        |
| 4.3        | 共通教育授業担当一覧                                    | 140        |
| 4.4        | 物理学セミナー                                       | 144        |
| <b>第5章</b> | <b>物理談話会</b>                                  | <b>145</b> |
| <b>第6章</b> | <b>学生の進路状況など</b>                              | <b>146</b> |
| 6.1        | 学部卒業生の進路                                      | 146        |
| 6.2        | 博士前期課程修了者の進路                                  | 147        |
| 6.3        | International Physics Course (IPC) 前期課程修了者の進路 | 148        |
| 6.4        | 博士後期課程修了者の進路                                  | 148        |
| 6.5        | 学生のインターンシップ参加                                 | 148        |

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| <b>第7章</b>  | <b>博士課程教育リーディングプログラム「インタラクティブ物質科学・カデットプログラム」</b> | <b>150</b> |
| 7.1         | プログラムの目的   | 150        |
| 7.2         | プログラムの概要・特徴                                      | 150        |
| 7.3         | 令和4年度の活動   | 151        |
| <b>第8章</b>  | <b>理数オーナープログラム</b>                               | <b>154</b> |
| 8.1         | 令和4年度活動概観  | 154        |
| 8.2         | オーナーセミナー   | 155        |
| 8.3         | 自主研究と発表会   | 156        |
| 8.4         | 大学院科目等履修生, リーディング大学院生との関係                        | 156        |
| 8.5         | オーナープログラム参加者の活動記録                                | 158        |
| <b>第9章</b>  | <b>国際化推進事業</b>                                   | <b>159</b> |
| 9.1         | International Physics Course (IPC)               | 159        |
| <b>第10章</b> | <b>大学院等高度副プログラム</b>                              | <b>161</b> |
| 10.1        | プログラムの目的   | 161        |
| 10.2        | 基礎理学計測学  | 161        |
| <b>第11章</b> | <b>国際交流活動</b>                                    | <b>163</b> |
| 11.1        | 目的   | 163        |
| 11.2        | 活動の内容  | 163        |
| 11.3        | 海外から阪大への来訪者                                      | 163        |
| 11.4        | 海外研究機関との交流                                       | 164        |
| 11.5        | 海外研究機関および阪大における海外拠点との国際会議・シンポジウム・集中講義            | 164        |
| 11.6        | 部局間学術交流協定  | 165        |
| 11.7        | その他  | 166        |
| <b>第12章</b> | <b>湯川記念室</b>                                     | <b>167</b> |
| 12.1        | 令和4年度活動概観  | 167        |
| 12.2        | 湯川記念講演会  | 167        |
| 12.3        | 南部コロキウムの共催                                       | 168        |
| 12.4        | SAPの後援   | 169        |
| 12.5        | 南部陽一郎記念室ホームページの制作                                | 169        |
| 12.6        | 塩見記念室ホームページの制作                                   | 169        |
| <b>第13章</b> | <b>社会活動</b>                                      | <b>170</b> |
| 13.1        | 物理学科出張講義の記録                                      | 170        |
| 13.2        | 最先端の物理を高校生に Saturday Afternoon Physics 2022      | 172        |
| 13.3        | 「いちよう祭」「まちかね祭」などにおける施設の一般公開                      | 175        |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第 14 章 大阪大学オープンキャンパス (理学部) | 176 |
| 第 15 章 令和四年度の年間活動カレンダー     | 177 |
| 第 16 章 物理学専攻における役割分担       | 178 |
| 第 17 章 グループ構成 (令和四年度)      | 182 |





# 第1章 各研究グループの研究活動報告

## 1.1 青木グループ

暗黒物質や暗黒エネルギー、軽いニュートリノ質量、物質優勢宇宙など、素粒子の標準理論だけでは適切に説明できない事柄が存在する。これらの謎は、素粒子の標準理論を超えた「新物理」によって説明できるはずである。本グループでは、量子効果を通して発生する稀な現象に着目し、これを実験的に研究することによって新物理に迫ろうとしている。

### 令和四年度の研究活動概要

ミュー粒子・電子転換過程 ( $\mu^- + N \rightarrow e^- + N$ ) は、荷電レプトン・フレーバ保存則を破るため標準理論では強く抑制されているが、標準理論を超えた様々な新しい物理モデルではその存在が自然であると考えられている。この過程が発見されれば宇宙・素粒子研究が大きくブレイクスルーするだろう。これまでに実施された過去の実験から与えられている分岐比の上限値は、金を標的とした  $7 \times 10^{-13}$  (90% C.L.) (SINDRUM II) やチタンを標的とした  $4.6 \times 10^{-12}$  (90% C.L.) (TRIUMF)、 $4.3 \times 10^{-12}$  (90% C.L.) (SINDRUM II) である。

**COMET** COMET 実験は、茨城県東海村にある大強度陽子加速器施設 (J-PARC) の主リングで生成する大強度パルス陽子ビームを用いて、Phase-I で  $3 \times 10^{-15}$ 、Phase-II で  $3 \times 10^{-17}$  の実験感度 (Single Event Sensitivity) でミュー粒子・電子転換過程を探索する実験計画である。Phase-I では、90度のミュー粒子輸送湾曲ソレノイドの下流にミュー粒子実験装置を設置して、その内部にミュー粒子静止標的と円筒型ドリフトチェンバー (CDC)、トリガーホドスコープ (CTH) を実装し、運動量 105 MeV/c の転換電子を探索する。

COMET 実験は世界 17 カ国 40 機関 200 名余りの研究者で構成される国際共同実験である。青木グループは、ミュー粒子実験装置の建設ならびに CDC や CTH の開発・製造、トリガーシステムの構築など、COMET Phase-I の中核メンバーとして大きく貢献している。

本年度は、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) と協力して、DS 用熱シールド部品などの製造・調達を行った [青木]。また、DS 鉄ヨークの設計と鉄材料の調達や、超伝導検出器ソレノイド電磁石システムを COMET 実験ホールに実装する手順の検討なども行った [青木]。

昨年度から引き続き、オーストラリア・モナシュ大学と共同で CTH の開発を進めた [若林、上野、青木]。モナシュ大学が開発しているファイバー読出し CTH では、高い放射線照射環境の下で SiPM を動作させる必要がある。前年度までの結果より、SiPM の冷却を行うことで COMET Phase-I での CTH 読出しデバイスとして使用できることが見出されたため、冷却システムの開発を進めていた。今年度は、プロトタイプ機の冷却試験データを詳細に解析

することにより、 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ まで冷却をした SiPM ならば COMET Phase-I の要求性能を十分満たすことを確認した [若林]。

また、CTH と CDC からのトリガー信号を処理するトリガー回路の統合動作試験を実施した [宮滝、上野]。深層ニューラルネットワークを用いた高度なトリガー判断を実行するロジックを開発し、実際のトリガー回路に実装できることを確認した [宮滝]。

さらに、COMET Phase-I 実験で使用するビーム診断のための検出器 (ストロートラッカー) およびその信号の読み出し、処理を行う回路の開発を行った。ストロートラッカー実機 1 号機を完成させた [上野]。

2023 年 2-3 月に、ミュオン粒子輸送ソレノイドを用いたビーム試験 (COMET Phase- $\alpha$ ) を実施した。COMET Phase- $\alpha$  では、 $\mu^{\pm}$ 、 $\pi^{\pm}$ 、 $e^{\pm}$  などが分離されない状態でビームラインから飛来する。物質中での寿命の違いを利用して  $\mu^{-}$  の運動量分布のみを測定できるレンジカウンターシステムを開発した。当該装置を用いて、ミュオン粒子輸送湾曲ビームラインの性能試験を実施した [栗林、上野、青木、佐藤]。負電荷ミュオン粒子からの信号を明確に観測することができており、現在詳細なデータを進めている。また、実際の実験環境における放射線レベルの調査も並行して進めている [上野]。

**DeeMe** DeeMe は、J-PARC RCS からの 3 GeV パルス陽子ビームを用いて、一次陽子標的 (炭素) 中に生成されるミュオンニック炭素原子を利用してミュオン粒子・電子転換過程を探索する実験であり、大阪公立大学や KEK と共同で研究を進めている。本実験で使用する大立体角ビームライン (H ライン) が 2021 年度に完成し、本年度は DeeMe 検出器システムを H1 エリアに設置して実際のビームを用いた測定装置の総合性能試験を実施した。総合性能試験では、測定装置のレート耐性試験や正電荷ミュオン粒子のミッシュル崩壊からの陽電子を利用した運動量校正データの収集などを実施した [東野、長尾、青木]。

**MuSIC およびミュオン粒子応用研究** 大強度ミュオン粒子源 MuSIC で使用するために、 $\mu\text{SR}$  測定システムのミュオン X 線分析による 2 次元元素マッピングシステムの開発を進めた [佐藤]。

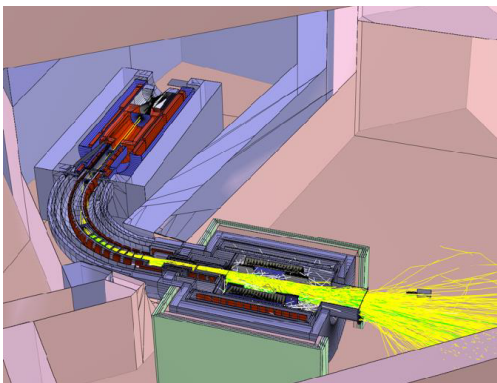


図 1.1: COMET Phase-I 実験

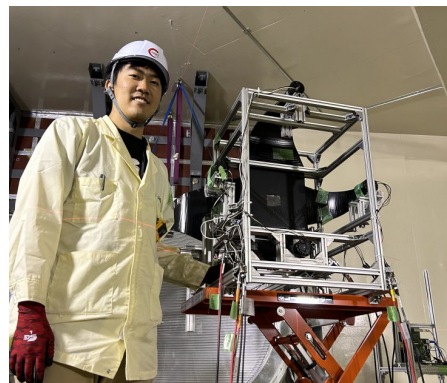


図 1.2: COMET Phase- $\alpha$  用レンジカウンターシステム

スイス PSI 研究所との研究連携で行ったミュオン X 線分析では、ドリフトチェンバーを用いた 2 次元元素マッピングに成功した。また、九州大学や京都大学のグループと協力して、宇宙線ミュオンによる半導体ソフトエラーの影響を研究している。産業界との共同研究では、製鉄所高炉内の状態を宇宙線ミュオンにより透視する予備測定を行った [佐藤]。

### 学術雑誌に出版された論文

#### **Measurement of proton, deuteron, triton, and alpha particle emission after nuclear muon capture on Al, Si, and Ti with the AlCap experiment**

Andrew Edmonds, John Quirk, Ming-Liang Wong, Damien Alexander, Robert H. Bernstein, Aji Daniel, Eleonora Diociaiuti, Raffaella Donghia, Ewen L. Gillies, Ed V. Hungerford, Peter Kammel, Benjamin E. Krikler, Yoshitaka Kuno, Mark Lancaster, R. Phillip Litchfield, James P. Miller, Anthony Palladino, Jose Repond, Akira Sato<sup>s</sup>, Ivano Sarra, Stefano Roberto Soleti, Vladimir Tishchenko, Nam H. Tran, Yoshi Uchida, Peter Winter, Chen Wu

Physical Review C **105** (3) (2022) 035501

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/physrevc.105.0355>).

#### **Multiple Coulomb scattering of muons in lithium hydride**

M. Bogomilov, R. Tsenov, G. Vankova-Kirilova, Y. P. Song, J. Y. Tang, Z. H. Li, R. Bertoni, M. Bonesini, F. Chignoli, R. Mazza, V. Palladino, A. De Bari, D. Orestano, L. Tortora, Y. Kuno, H. Sakamoto, A. Sato<sup>s</sup>, S. Ishimoto, M. Chung, C. K. Sung, F. Filthaut, M. Fedorov, D. Jokovic, D. Maletic, M. Savic, N. Jovancevic, J. Nikolov, M. Vretenar, S. Ramberger, R. Asfandiyarov, A. Blondel, F. Drielsma, Y. Karadzhov, G. Charnley, N. Collob, K. Dumbell, A. Gallagher, A. Grant, S. Griffiths, T. Hartnett, B. Martlew, A. Moss, A. Muir, I. Mullacrane, A. Oates, P. Owens, G. Stokes, P. Warburton, C. White, D. Adams, V. Bayliss, J. Boehm, T. W. Bradshaw, C. Brown, M. Courthold, J. Govans, M. Hills, J. B. Lagrange, C. Macwaters, A. Nichols, R. Preece, S. Ricciardi, C. Rogers, T. Stanley, J. Tarrant, M. Tucker, S. Watson, A. Wilson, R. Bayes, J. C. Nugent, F. J.P. Soler, R. Gamet, P. Cooke, V. J. Blackmore, D. Colling, A. Dobbs, P. Dornan, P. Franchini, C. Hunt, P. B. Jurj, A. Kurup, K. Long, J. Martyniak, S. Middleton, J. Pasternak, M. A. Uchida, J. H. Cobb, C. N. Booth, P. Hodgson, J. Langlands, E. Overton, V. Pec, P. J. Smith, S. Wilbur, G. T. Chatzitheodoridis, A. J. Dick, K. Ronald, C. G. Whyte, A. R. Young, S. Boyd

Physical Review D **106** (9) (2022) 092003

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.106.092003>).

#### **Vacuum-Compatible, Ultra-Thin-Wall Straw Tracker; Detector construction, Thinner straw R&D, and the brand-new graphite-straw development**

H. Nishiguchi, H. Danielsson, E. Hamada, Y. Hashimoto, N. Kamei, S. Mihara, O. Osawa,

J. Suzuki, Z. Tsamalaidze, N. Tsverava, K. Ueno<sup>s</sup>, A. Volkov, K. Watanabe  
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment **1042** (11) (2022) 167373  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.nima.2022.167373>).

**Non-Destructive Composition Identification for Mixtures of Iron Compounds Using a Chemical Environmental Effect on a Muon Capture Process**

Kazuhiko Ninomiya, Meito Kajino, Akihiro Nambu, Makoto Inagaki, Takuto Kudo, Akira Sato<sup>s</sup>, Kentaro Terada, Atsushi Shinohara, Dai Tomono, Yoshitaka Kawashima, Yoichi Sakai, Tsutomu Takayama  
Bulletin of the Chemical Society of Japan **95** (12) (2022) 1769–1774  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1246/bcsj.20220289>).

**宇宙線を用いた完全非破壊オンサイト組成分析法の開発：シミュレーションによる分析性能の評価**

佐藤 朗<sup>s</sup>  
考古学ジャーナル **774** () (2022) 48–52.

**The non-destructive investigation of a late antique knob bow fibula (Bügelknopffibel) from Kaiseraugst/CH using Muon Induced X-ray Emission (MIXE)**

Sayani Biswas, Isabel Megatli-Niebel, Lilian Raselli, Ronald Simke, Thomas Elias Cocolios, Nilesh Deokar, Matthias Elender, Lars Gerchow, Herbert Hess, Rustem Khasanov, Andreas Knecht, Hubertus Luetkens, Kazuhiko Ninomiya, Angela Papa, Thomas Prokscha, Peter Reiter, Akira Sato<sup>s</sup>, Nathal Severijns, Toni Shiroka, Michael Seidlitz, Stergiani Marina Vogiatzi, Chennan Wang, Frederik Wauters, Nigel Warr, Alex Amato  
Heritage Science **11** () (2023) 43  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1186/s40494-023-00880-0>).

**国際会議報告等**

**Detector Systems Development for Inter-Bunch Extinction Measurements at the 8 GeV Slow Extracted Pulsed Proton Beam for the COMET Experiment at J-PARC**

K. Oishi<sup>\*</sup>, Y. Fujii, Y. Fukao, Y. Higuchi<sup>m</sup>, R. Honda, Y. Igarashi, F. Ikeda, Y. Nakazawa, H. Nishiguchi, K. Noguchi, M. Shoji, K. Ueno and H. Yoshida  
Proceedings of Science **402** (3) (2022) 206.  
The 22nd International Workshop on Neutrinos from Accelerators (NuFact2021) (Sept. 6–11 2021), Italy.

**Extinction Measurement at J-PARC MR with Slow-Extracted Pulsed Proton Beam for COMET Experiment**

Noguchi Kyohei\*, Yuki Fujii, Yoshinori Fukao, Yoshinori Hashimoto, Yuya Higuchi<sup>m</sup>, Ryotaro Honda, Yoichi Igarashi, Fumihito Ikeda, Satoshi Mihara, Ryotaro Muto, Yu Nakazawa, Hajime Nishiguchi, Kou Oishi, Masayoshi Shoji, Fumihiko Tamura, Junji Tojo, Masahito Tomizawa, Kazuki Ueno<sup>s</sup>, Hisataka Yoshida

Proceedings of Science **402** (3) (2022) 104.

The 22nd International Workshop on Neutrinos from Accelerators (NuFact2021) (Sept. 6–11 2021), Italy.

**国際会議における講演等****The Trigger Development for the COMET Cylindrical Detector System**

Masaki Miyataki<sup>m\*</sup>

Third International Workshop on the Extension Project for the J-PARC Hadron Experimental Facility (3rd J-PARC HEF-ex WS) (Mar. 14–16, 2023)

**DC Muon Facility RCNP-MuSIC**

Akira Sato<sup>s\*</sup>

Workshop on muon elemental analysis research (Mar. 20, 2023)

**Some Comments on PRISM study towards the US-JP program**

Akira Sato<sup>s\*</sup>

Workshop on a Future Muon Program At Fermilab (at Fermilab, US, Mar. 28, 2023, 参加者約 80 名)

**日本物理学会，応用物理学会等における講演****COMET における計測システム開発**

上野 一樹 <sup>s\*</sup>(招待講演)

RCNP 研究会「原子核実験の次世代データ収集システム基盤開発にむけて」(於 RCNP、2022 年 5 月 16 日 – 17 日)

**COMET Phase-I に向けたニューラルネットワークを実装した FPGA によるオンライン事象選別の研究**

宮滝 雅己 <sup>m\*</sup>

第 1 回 ML@HEP ワークショップ (於 東京大学、2022 年 7 月 8 日 – 9 日)

**ナノブリッジ FPGA の加速器実験応用検討**

上野 一樹<sup>\*\*</sup>(招待講演)

耐放射線エレクトロニクス研究会 2022 (Workshop on Radiation Hard Electronics 2022) (於 KEK、2022年8月10日、参加者約50名)

**J-PARC MLF H1 エリアにおける  $\mu$ - $e$  転換過程探索実験 DeeMe 検出器コミッションング**

東野 祐太<sup>m\*</sup>, 青木 正治<sup>s</sup>, 長尾 大樹<sup>d</sup> その他

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 - 9 月 8 日)

**COMET Phase-I に向けたニューラルネットワークを実装した FPGA によるオンライン事象選別の研究**

宮滝 雅己<sup>m\*</sup>, 藤井祐樹, 中沢遊, 吉田学立, 上野 一樹<sup>s</sup>, 青木 正治<sup>s</sup>, MyeongJae Lee

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 - 9 月 8 日)

**COMET 実験トリガー検出器用 SiPM の中性子による損傷と冷却の効果**

若林 寛之<sup>m\*</sup>, 青木 正治<sup>s</sup>, 五十嵐洋一, 上野 一樹<sup>s</sup>, 佐藤 朗<sup>s</sup>, 東城順治, 藤井祐樹, 吉田学立  
日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 - 9 月 8 日)

**COMET Phase- $\alpha$  に用いるレンジカウンターの研究開発**

栗林 志恩<sup>m\*</sup>, 青木 正治<sup>s</sup>, 上野 一樹<sup>s</sup> その他

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 - 9 月 8 日)

**宇宙線ミュオンによる文化財資料のオンサイト非破壊元素分析**

佐藤 朗<sup>\*\*</sup>(招待講演)

宇宙線研究会 2022 「宇宙線で繋ぐ文明・地球環境・太陽系・銀河」(於 京都大学、2022 年 10 月 25 日 - 10 月 26 日)

**大阪大学・核物理研究センター連続状ミュオンビーム施設 RCNP-MuSIC**

佐藤 朗<sup>\*\*</sup>(招待講演)

第 7 回 文理融合シンポジウム 量子ビームで歴史を探る —加速器が紡ぐ文理融合の地平—  
(於 高エネルギー加速器研究機構、2022 年 11 月 2 日 - 11 月 3 日)

**連続状ミュオンビームの将来と可能性 — RCNP-MuSIC —**

佐藤 朗<sup>\*\*</sup>(招待講演)

中間子科学の将来討論会 (於 理化学研究所、2022 年 11 月 9 日 - 11 月 11 日)

**ミュオン粒子素粒子物理学**

上野 一樹<sup>\*\*</sup>(招待講演)

中間子科学の将来討論会 (於 理化学研究所、2022 年 11 月 9 日 - 11 月 11 日)

**阪大 RCNP-MuSIC**

佐藤 朗<sup>s\*</sup>

第 13 回 Muon 科学と加速器研究会 (於 理化学研究所、2023 年 1 月 10 日 – 1 月 11 日)

**$\mu$ - $e$  転換過程探索実験 DeeMe における磁気スペクトロメータの運動量校正**

東野 祐太<sup>m\*</sup>, 青木 正治<sup>s</sup>, 長尾 大樹<sup>d</sup> その他

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

**Realistic Detector Response Simulation of COMET Cylindrical Drift Chamber**

Sun Siyuan<sup>d\*</sup>, Masaharu Aoki<sup>s</sup>, Yoshitaka Kuno, Yohei Nakatsugawa, Akira Sato<sup>s</sup>, Kazuki Ueno<sup>s</sup>, Chen Wu, Hisataka Yoshida and COMET-CDC Group

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

**COMET Phase-I における高速オンライン事象選別トリガーシステムの開発状況**

宮滝 雅己<sup>m\*</sup>, 上野 一樹<sup>s</sup>, 中沢遊, 藤井祐樹, 吉田学立, MyeongJae Lee

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

**COMET Phase- $\alpha$  に用いるレンジカウンターの研究開発**

栗林 志恩<sup>m\*</sup>, 青木 正治<sup>s</sup>, 五十嵐洋一, 上野 一樹<sup>s</sup>, 大石航, 中津川洋平, 西口創, 深尾祥紀, 三原智, 吉田学立, Roden Derveni

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

**COMET 実験トリガー検出器用 SiPM 冷却装置の開発**

若林 寛之<sup>m\*</sup>, 青木 正治<sup>s</sup>, 五十嵐洋一, 上野 一樹<sup>s</sup>, 佐藤 朗<sup>s</sup>, 東城順治, 藤井祐樹, 水野貴裕, 吉田学立

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

**書籍等の出版, 日本語の解説記事**

## 1.2 川畑グループ

### 令和四年度の研究活動概要

#### トリプルアルファ反応率の測定

宇宙の元素合成過程において最も重要な反応のひとつは3つの $\alpha$ 粒子から $^{12}\text{C}$ 原子核を合成するトリプルアルファ反応である。この反応では、2つの $\alpha$ 粒子が合成して形成された $^8\text{Be}$ の共鳴状態に、さらに $\alpha$ 粒子が捕獲されることで、主に $^{12}\text{C}$ の励起エネルギー  $E_x = 7.65$  MeV ( $0_2^+$ ) の励起状態が生成される。このように生成された $0_2^+$ 状態の大半は再び3つの $\alpha$ 粒子へと崩壊するが、稀に電磁崩壊により $^{12}\text{C}$ の基底状態へと脱励起する。このため、 $0_2^+$ 状態の電磁崩壊確率は、トリプルアルファ反応率を決定する重要なパラメータである。

$0_2^+$ 状態の電磁崩壊確率は、1970年代までに精力的に測定がなされている。ほとんどの測定結果はその重みつき平均値  $\Gamma_{\text{rad}}/\Gamma = 4.16(11) \times 10^{-4}$  と誤差の範囲内で一致しており、これまで、この平均値が多く元素合成計算に使われてきた。しかし、近年、この電磁崩壊確率を約50%も上方修正するという衝撃的な報告がなされており、学界に驚きを持って迎えられている。もし、この報告が正しいければ、元素合成過程の理解に大きな影響を及ぼすことは避けられない。

過去の電磁崩壊率測定の多くが、核反応によって $0_2^+$ 状態が生成された後に脱励起した $^{12}\text{C}$ を測定することによって電磁崩壊事象を同定していたのに対して、大きな電磁崩壊確率を報告した実験では、 $0_2^+$ 状態の脱励起のときに放出される $\gamma$ 線を測定しており、測定結果の齟齬は、測定手法の違いに起因している可能性がある。そこで我々は、ルーマニアの国立IFIN-HH研究所において、 $\alpha$ 粒子と $^{12}\text{C}$ の非弾性散乱による追実験を実施し、散乱された $\alpha$ 粒子に加え、脱励起 $\gamma$ 線と脱励起後の反跳 $^{12}\text{C}$ を同時計測した。散乱 $\alpha$ 粒子と反跳 $^{12}\text{C}$ はSi半導体検出器で検出し、脱励起 $\gamma$ 線は25個の $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ 検出器からなるROSPHERE検出器アレイによって検出した。現在、データ解析は最終段階にあり、2023年度中に学術論文を執筆して成果を公表する予定である。

#### アルファ凝縮状態の探索

原子核の多くの状態は平均場ポテンシャル中で核子が1粒子運動しているという殻模型でよく記述される一方で、複数の核子が強い相関を持つクラスター模型によって説明される状態の存在が知られている。最も有名なクラスター状態は、ホイール状態と呼ばれる $^{12}\text{C}$ の $E_x = 7.65$  MeVに存在する $0_2^+$ 状態である。この状態は、アルファ凝縮状態としても知られている。アルファ凝縮状態では全ての $\alpha$ クラスターが最低エネルギー軌道に凝縮しており、低密度であると考えられている。これは通常の原子核密度が飽和密度でほぼ一定であることと比較して大変興味深い現象である。アルファ凝縮状態は $^{40}\text{Ca}$ までの自己共役な $A = 4k$ 核において存在しうると理論的に予言されているが、その存在が確立しているのは $^8\text{Be}$ と $^{12}\text{C}$ の2核種のみである。そこで、我々は $^{24}\text{Mg}$ におけるアルファ凝縮状態の探索を実施した。

アルファ凝縮状態は、各凝縮状態間の波動関数の重なりが大きいために軽い核種のアルファ凝縮状態を経由して崩壊すると期待される。そこで、本研究では $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ 反応を用い



て  $^{24}\text{Mg}$  の励起状態を生成し、アルファ凝縮状態とされる  $^{12}\text{C}$  の  $0_2^+$  状態を経由して6つの  $\alpha$  粒子へと崩壊する事象を探索した。

測定は、日本原子力研究開発機構タンデム加速器施設にて行った。 $^{12}\text{C}$  ビームのエネルギーを  $E_{\text{beam}} = 35\text{--}50$  MeV の範囲で変化させつつ、 $^{24}\text{Mg}$  の励起エネルギー  $E_x = 31.4\text{--}38.9$  MeV を走査し、放出された荷電粒子を大面積 Si 検出器アレイ「SAKRA」を用いて検出した。SAKRA 検出器からの出力信号は FADC を用いて波形を取得し、波形解析により粒子識別を行った。そして、検出された  $\alpha$  粒子について、3 粒子の不変質量を決定して  $^{12}\text{C}$  の  $0_2^+$  状態を経由して崩壊した事象を同定した。現在、データ解析は最終段階にあり、2023 年度中に学術論文を執筆して成果を公表する予定である。

### MAIKo+ アクティブ標的の開発

宇宙における元素合成反応の解明や、自然界には存在しない不安定な原子核における特異な構造を探索するために、MAIKo+ アクティブ標的の開発に取り組んだ。MAIKo+ は飛跡検出器 Time Projection Chamber (TPC) の検出ガスを標的ガスとしても用いることで、低エネルギーの荷電粒子を広い立体角で検出できる。MAIKo+ は既存の MAIKo の有感領域を  $10 \times 10 \times 15$  cm<sup>3</sup> から  $30 \times 30 \times 30$  cm<sup>3</sup> へ大型化したシステムである。このアップグレードによって、実験で得られる統計量は 10 倍向上する見込みである。

2022 年度は TPC からの 1536 チャンネルの信号を処理する新型読み出し回路を実装した。従来の読み出し回路では飛跡データを VME モジュールを経由して読み出していたが、新しい回路では、SiTCP によって直接読み出し回路からデータ取得することが可能となった。これにより、読み出し速度の向上 (1 kHz) と回路の簡略化が実現された。

2022 年 10 月には、完成した MAIKo+ の性能を評価するために、工学研究科 OKTAVIAN 施設において、14 MeV 中性子ビームによる  $^{12}\text{C}$  非弾性散乱の測定を実施した。実験のセットアップを図 1.1 に示す。14 MeV の中性子ビームはトリチウム標的に重水素ビームを照射して起こる DT 核融合反応によって発生させた。この中性子ビームをコリメータによって直径 20 mm に絞り、MAIKo+ へ入射させた。中性子ビーム強度は下流に設置した液体シンチレータによって測定した。MAIKo+ は 100 hPa の isoC<sub>4</sub>H<sub>10</sub> (10%) + H<sub>2</sub> (90%) 混合ガスで動作させた。混合ガス中の  $^{12}\text{C}$  と中性子が非弾性散乱を起こし、7.27 MeV のアルファ崩壊閾値以上に励起された  $^{12}\text{C}$  が放出する 3 つの  $\alpha$  粒子を MAIKo+ によって検出した。3 つの  $\alpha$  粒子の飛跡画像を人間の目によって識別し、散乱が起こった点、3 つの  $\alpha$  粒子の飛跡の終端点を抽出した。この情報から  $\alpha$  粒子のエネルギーと運動量を算出し、不変質量法によって  $^{12}\text{C}$  の励起エネルギーを求めた。得られた  $^{12}\text{C}$  励起エネルギースペクトルを図 1.2 に示す。 $E_x = 7.65$  MeV の  $0_2^+$  状態、 $E_x = 9.64$  MeV の  $3_1^-$  状態を同定することに成功した。

MAIKo+ の検出、解析効率をモンテカルロ・シミュレーションによって評価し、得られた収量から非弾性散乱断面積を求めたところ、 $3_1^-$  状態については過去の測定結果と矛盾しない結果を得たが、 $0_2^+$  状態については、過去の結果と比べて 50% 程度低い結果となった。 $0_2^+$  状態への断面積が低くなったのは、TPC のガス増幅率が十分でなかったため、検出効率が低下してしまったためと考察されており、今後改良を行って再度テスト実験を実施する計画である。

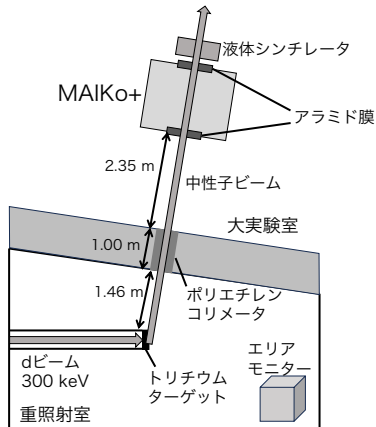


図 1.1: OCTAVIAN 施設での実験セットアップ。

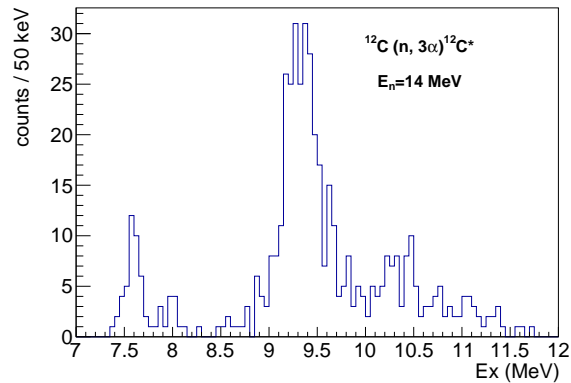


図 1.2:  $^{12}\text{C}(n, n')^{12}\text{C}^*$  反応の励起エネルギースペクトル。

## スピン偏極した不安定核ビームによる中性子過剰な原子や原子核の特異な構造の研究

スピン偏極した不安定核のベータ崩壊の非対称性から娘核の構造の精密な情報を引き出すという独自の手法を持つ我々日本グループ [大阪大学、九州大学、東京農工大学、高エネルギー加速器研究機構 (KEK)] と、大強度不安定核ビーム供給施設と独自のレーザー技術・イオントラップ技術を持つカナダの TRIUMF が協力して、軽い中性子過剰な原子や原子核の特異な構造解明のための国際共同研究を行っている。特に現在は、安定核近傍では魔法数である中性子数 20 が、中性子過剰核ではその性質を失い、原子核は変形しているという「逆転の島」と呼ばれる質量領域の原子や原子核の構造解明を進めている。

2019 年度に実施したスピン偏極  $^{31}\text{Mg}$  核のベータ崩壊の実験では、予定の高スピン偏極度を達成できなかった。TRIUMF の共同研究者とともにその原因を追及し、TRIUMF のプロジェクトとして、高偏極度化に向けた改良計画 (ビーム輸送系にコイル磁場の設置、偏極保持のための永久磁石の設計・製作と設置、など) を行った。

2023 年度にいよいよ高偏極度のスピン偏極  $^{33}\text{Mg}$  核のベータ崩壊による  $^{31}\text{Al}$  核の実験を実施予定である。低偏極度ではあったが、 $^{31}\text{Mg}$  核のベータ崩壊による  $^{31}\text{Al}$  核の実験の結果がまとまり、基底状態では球形であるが、励起状態で集団的な構造が出現していることが明らかとなった。現在、投稿論文を執筆中であり、国際会議でも結果を報告した。

さらに 2022 年度に、毎秒 100 個以下の原子の超微細構造の測定実験の手法を開発するため、レーザー核分光実験の準備も行った。2023 年度に安定核 Na ビームを用いた実験を実施予定である。

## 宇宙での重元素合成 (r 過程) で重要となる質量数 140 領域の中性子過剰核の研究

質量数 140 周辺中性子過剰核は、宇宙での重元素合成過程である r 過程で中性子捕獲とベータ崩壊を繰り返しながら質量数 230 あたりの原子核へと至る道筋の途中にある重要な原子核であるが、実験データはほとんどない。そこで、中性子過剰核を世界最高強度で生成可

能な理化学研究所 (理研) RI ビームファクトリ (RIBF) で、生成限界近傍の原子核のベータ崩壊とアイソマー探査を行う国際共同研究 EURICA プロジェクトの一つとして実施した。その結果、ベータ崩壊するアイソマーを我々のグループは発見した。このアイソマーは現在の元素合成計算では組み込まれておらず、 $r$  過程の反応スピードに影響を与える可能性がある。 $^{140}\text{Xe}$  偶偶核の原子核構造を議論した論文を投稿論文として発表した。また、 $^{141}\text{Xe}$  や  $^{143}\text{Xe}$  など奇核のデータを解析中であり、途中経過を国際会議や日本物理学会で報告した。

### チタンやバナジウム中性子過剰核の新魔法数の消失の研究

KEK や理研などの国際共同研究により、理研 RIBF の超伝導 RI ビーム生成分離装置 (BigRIPS) および低速 RI ビーム生成装置 (SLOWRI) と多重反射型飛行時間測定式質量分光器 (MRTOF) を用いて、チタンやバナジウム中性子過剰核の高精度質量測定に成功した。その結果を博士後期課程の学生が 2021 年度に博士論文としてまとめ、2022 年度に投稿論文として発表し、また、KEK・理研・大阪大学共同でプレスリリースを行った。

### 教育用ビームタイム: ゼノン 132 核から放出される $\gamma$ 線の角度相関実験

大阪大学核物理研究センターの EN コースにおいて、教育用ビームタイムを利用して学部 4 年生の卒業研究のための実験を行った。核融合反応で  $^{132}\text{Xe}$  核を生成し、放出される  $\gamma$  線の角度相関を求め、Geant4 によるシミュレーションとの比較を行った。この結果を日本物理学会「学部学生ポスターセッション」において発表した。

### $^{48}\text{Ca}$ の二重ベータ崩壊の研究

ニュートリノを伴わない二重ベータ ( $0\nu\beta\beta$ ) 崩壊の発見は、レプトン数の破れを意味する。素粒子物理学における、このレプトン数の破れは、宇宙がなぜ物質だけの世界になっているかという謎を解き明かす重要な手掛かりになると考えられている。 $^{48}\text{Ca}$  の二重ベータ崩壊の研究を、 $\text{CaF}_2$  シンチレータ (主検出器 300 kg) と液体シンチレータ (Veto 検出器) を用いた CANDLES-III 検出器を、神岡地下実験室 (地下 1000 m) に設置して、進めている。また、次世代検出器として  $^{48}\text{Ca}$  同位体濃縮と  $\text{CaF}_2$  蛍光熱量検出器の開発を行っている。令和四年度は、CANDLES-III 検出器で取得したデータ解析と、その結果を解釈するためのモンテカルロシミュレーション (MC) の構築を進めた。CANDLES-III 検出器での測定の主なバックグラウンド事象は、結晶内部の放射性不純物 ( $^{232}\text{Th}$  崩壊系列核種) による  $^{212}\text{Bi} \rightarrow ^{212}\text{Po}$  (半減期  $0.3 \mu\text{sec}$ )  $\rightarrow ^{208}\text{Pb}$  の連続崩壊事象 ( $^{212}\text{BiPo}$  事象)、および  $^{208}\text{Tl}$  のベータ崩壊事象 ( $^{208}\text{Tl}$  事象) である。

$^{212}\text{BiPo}$  事象は、これまでのパイルアップ波形フィッティングによる事象識別に加えて、新たに機械学習解析を導入した。その結果を図 1.3 に示す。ここでは、人工的に作成したパイルアップ事象に対して機械学習解析を導入し、時間差を判定している。縦軸が  $^{212}\text{BiPo}$  事象の除去効率、横軸は連続崩壊の時間差を示している。機械学習解析の結果、2 事象の全エネルギーが 3 MeV 領域と低い場合、時間差が 1 ch (2 nsec) の事象の判定効率は 85% 以下とや

や低い、 $0\nu\beta\beta$  崩壊事象のエネルギー領域である 4 MeV 以上の領域では、時間差が 2 nsec の  $^{212}\text{BiPo}$  事象の除去効率を 99%以上と十分に改善することができた。

$^{208}\text{Tl}$  事象は、 $^{212}\text{Bi} \rightarrow ^{208}\text{Tl}$  (半減期 3分) の後に連続して起こるため、先行の  $^{212}\text{Bi}$ - $\alpha$  崩壊事象を同定することで識別できる。この  $^{212}\text{Bi}$ - $\alpha$  と  $^{208}\text{Tl}$  事象のペアを多くの偶然発生事象からより正確に選別する必要がある。そのために、 $^{212}\text{Bi}$ - $\alpha$  崩壊と  $^{208}\text{Tl}$  事象の再構成位置の距離 ( $\Delta R$ ) と偶然発生事象の再構成位置相関を調査した。その結果を図 1.3 に示す。 $^{212}\text{Bi}$ - $\alpha$  崩壊事象と  $^{208}\text{Tl}$  事象の再構成位置が同一結晶でなかった場合の 2 事象の再構成された距離  $\Delta R$  のシミュレーション結果を示している。偶然発生事象の場合は、隣に配置した  $\text{CaF}_2$  結晶に相当する位置に分布するが、 $^{208}\text{Tl}$  事象の場合は、 $\Delta R$  が近いことを示している。この違いを利用し、 $\Delta R \leq 90$  を  $^{208}\text{Tl}$  と判定することで 95%以上を除去できる見込みであることが分かった。今後これらの解析手法を二重ベータ崩壊測定解析に導入する事で大幅な感度改善を実現できる。

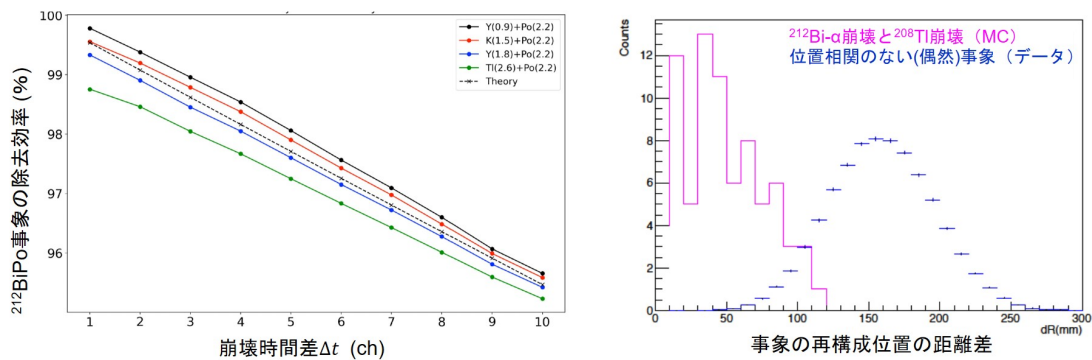


図 1.3: (左図)  $^{212}\text{BiPo}$  事象の除去効率。横軸は除去する崩壊時間差 ( $\Delta t$ ) で、エネルギー領域ごとに除去効率を評価している。黒線は  $^{212}\text{Po}$  崩壊曲線 (半減期 =  $0.3 \mu\text{sec}$ ) から算出された境界での  $^{212}\text{BiPo}$  事象の理想的な除去効率を示している。(右図) 2 事象の再構成された位置の距離  $\Delta R$  の分布。 $^{212}\text{Bi}$ - $\alpha$  崩壊事象と  $^{208}\text{Tl}$  事象の再構成位置が同一結晶ではなかった場合の 2 事象の再構成された位置距離をピンクで示している。

## レプトン普遍性の破れ探索

J-PARC E36 実験で収集したデータの解析を進めている。この研究は、荷電中間子  $K^+$  から発生する  $K^+ \rightarrow e^+\nu$  ( $K_{e2}$ ) 崩壊と  $K^+ \rightarrow \mu^+\nu$  崩壊 ( $K_{\mu 2}$ ) の分岐比の比  $R_K = \Gamma(K_{e2})/\Gamma(K_{\mu 2})$  を測定することで、レプトン普遍性 (LFU) の破れを探索している。実験は、J-PARC 施設で生成された  $K^+$  ビームを、超伝導トロイダル電磁石の中心部分に設置したアクティブ標的に静止させる静止  $K^+$  法を採用している。 $K^+$  崩壊によって生じた  $e^+$  と  $\mu^+$  は、電磁石によって運動量が測定される。粒子の飛跡は C1-C4 のトラッキング系で決定し、粒子識別は TOF 測定、AC チェレンコフ検出器、鉛ガラスチェレンコフ検出器で行った。 $K^+$  崩壊から生じるガンマ線は、静止標的の回りを囲むように設置された 768 本の  $\text{CsI(Tl)}$  モジュールで構成されるカロリメータと磁石の外に置かれた鉛プラスチック検出器 (GSC) で観

測された。 $R_K$  の決定には、構造依存 (SD) 放射と呼ばれる終状態に  $\gamma$  線を含む崩壊チャンネル  $K^+ \rightarrow e^+ \nu \gamma$  ( $K_{e2\gamma}$ ) がバックグラウンドになり、差し引く必要がある。CsI(Tl) データを用いた  $K_{e2\gamma}$  解析結果は既存のデータと大きく乖離していて、これらは Phys. Let. B **862**, 136913 (2022) として発表された。更に、GSC データを用いた  $K_{e2\gamma}$  解析も進められ、CsI(Tl) 解析を支持する結果が得られている。図 1.4 に GSC にガンマ線がヒットした時の  $e^+$  運動量分布を示す。

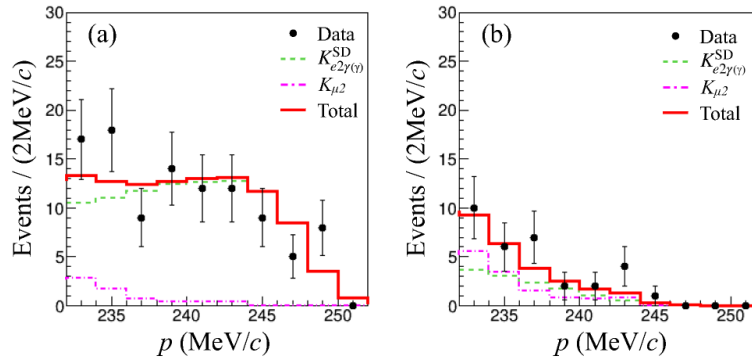


図 1.4: GSC にガンマ線がヒットした時の  $e^+$  運動量分布。 $e^+$  と  $\gamma$  線が通過したギャップセクター差が (a) 6、(b) 5 であり、運動量分布が違っていることが分かる。

更に、新しい研究の試みとして  $K^+ \rightarrow \mu^+ \pi^0 \nu$  ( $K_{\mu 3}$ ) 崩壊を用いた時間反転対称性破れ (T 非保存) 探索実験の準備を開始した。 $K_{\mu 3}$  崩壊平面に垂直なスピン偏極成分存在は標準模型では生じえない T 非保存物理量であり、精密測定によって見出すことは極めて重要である。従来の研究方法は、荷電粒子を磁器スペクトロメータで測定する方法を採用しており、有限な信号は未発見である。この方法に対して、新たに全ての粒子をカロリメータのみで観測することで検出器アクセプタンスを 1000 倍向上させる方法を提案している。この実験ではミュオンの偏極をカロリメータで保持できることが必要になるが、一般的なガンマ線検出器では一瞬にして偏極が消え去るとされてきた。しかし、J-PARC MLF 研究施設から提供される偏極ミュオンビームを  $\text{CeF}_3$  と  $\text{LaF}_3$  ガンマ線検出器に打ち込み、残留偏極度を調べたところ、図 1.5(a)(b) のように常温でも 90% 以上が保持されることを見出した。図の青丸が 100% の偏極度に相当する較正用のデータである。この発見により、新しい T 非保存探索実験の有効性が確認されたことになり、今後は具体的な実験準備を行っていく。

## 荷電変化断面積・相互作用断面積の測定

不安定原子核の核構造究明や核物質状態方程式を明らかにするため、原子核衝突の確率を反映する反応断面積・核子剥離断面積・荷電変化断面積等を利用して、核半径および核内の陽子・中性子・核子密度分布を決定し、原子核の構造およびその相互作用を明らかにする研究を行っている。

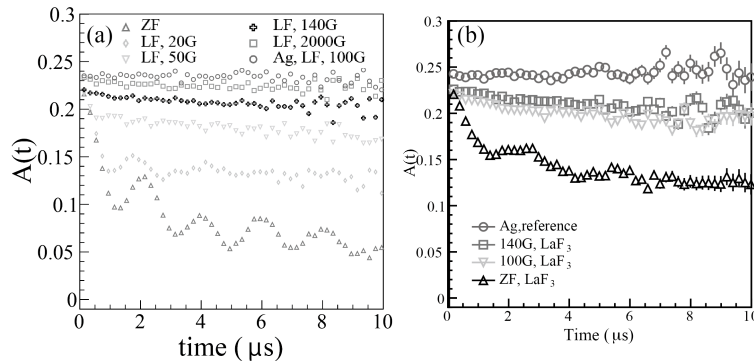


図 1.5: 外部磁場を変化させながら測定した (a)  $\text{CeF}_3$ 、(b)  $\text{LaF}_3$  結晶での残留ミュオン偏極度。青丸は 100% の偏極度に相当する較正用のデータである。

荷電変化断面積 ( $\sigma_{cc}$ ) は、入射核の陽子数が変化する全断面積として定義され、陽子分布半径をプローブできる物理量として注目されている。我々の最近の研究結果から、 $\sigma_{cc}$  は必ずしも陽子分布だけで決まっているわけではなく、中性子剥離反応に起因する荷電粒子蒸発効果の重要性が明らかとなった。ただし、中性子過剰領域では大きな陽子結合エネルギーのためこの効果は抑制されて、 $\sigma_{cc}$  から良い精度で陽子分布半径が導出できることもわかった。これらの結果をまとめて Physical Review C 誌に発表した。図 1.6(a) に示すのは、中性子剥離に起因する荷電粒子蒸発確率を質量数の関数としてプロットしたもの (実線 + 幅) である。(b) はそのモデルで計算した  $\sigma_{cc}$  (実線 + 幅) を実験値と比較したもので、このモデルが実験値をよく再現しており、中性子過剰になるほど蒸発効果無しでの計算値 (下の実線幅無し) に近づくことがわかる。このことから、中性子過剰領域ではモデル依存性からくる誤差が小さくなり、 $\sigma_{cc}$  による陽子分布半径の良い精度の導出が可能となることがわかる。

理研 RIBF での実験計画が認められている Sn 同位体チェーンの核物質半径を求めるための相互作用断面積 ( $\sigma_I$ ) 測定では、固体水素標的 (SHT) の使用が計画されている。 $\sigma_I$  精密測定のためには SHT の厚さを高精度で知る必要があるが、SHT は真空中で極低温状態で形成されるためその厚さ測定は難しい。そこで我々は、SHT 厚さを C 標的と  $\text{CH}_2$  標的を用いたビームエネルギーの相対測定から高精度で求める新しい手法を開発した。このテストを量子医科学研究所 HIMAC 重イオンシンクロトン施設において、 $^{132}\text{Xe}$  420A MeV の 1 次ビームから生成される複数核種の 2 次ビームを用いて行った。その結果、図 1.7 に示すように、核種による測定値は互いに誤差の範囲でよく一致し、SHT の厚さを  $\sim 0.1\%$  程度の非常に良い精度で決定することに成功した。挿入図は厚さが既知の  $\text{CH}_2$  標的と (SHT + C) 標的によるエネルギー損失を比較して、それぞれの直線の交点から SHT 厚さ求めるためのプロット例である。

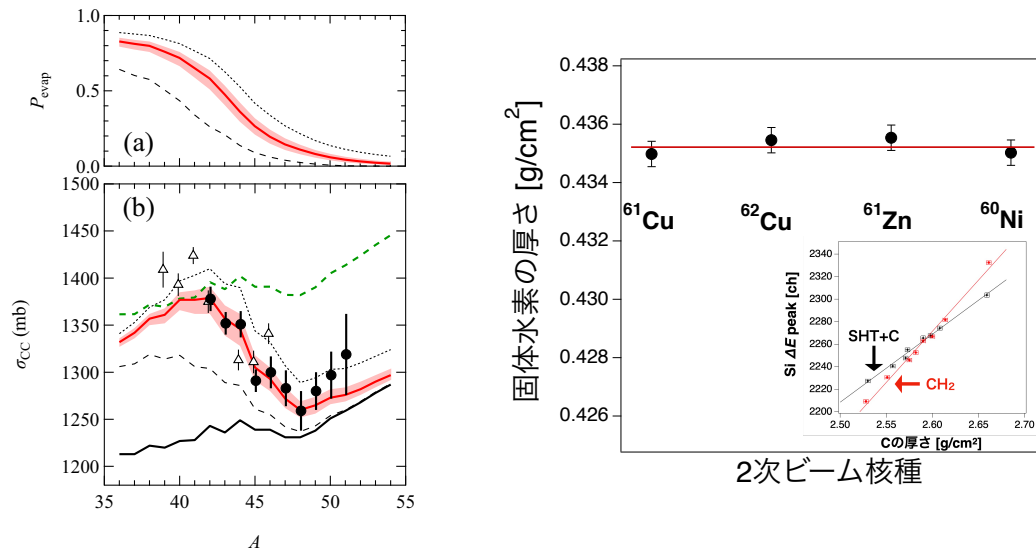


図 1.6: Ca 同位体の  $\sigma_{cc}$  実験値と理論値の比較。

図 1.7: 2次ビームのエネルギー損失から導出したSHT 厚さ。

### $\beta$ -NMR 法および $\mu$ SR 法を用いた物質科学研究

原子核のベータ崩壊やミュオンの崩壊では、弱い相互作用におけるパリティ非保存により、崩壊の際に放出される電子/陽電子は核スピンやミュオンスピンの向きに対し非対称な角度分布を示す。このことは、物質透過力が高くかつ容易に検出可能な崩壊電子/陽電子を検出すれば、非常に高い感度で崩壊時のスピン偏極が検出可能となることを意味している。我々は、この特徴を活かした実験手法であるベータ線検出核磁気共鳴 ( $\beta$ -NMR) 法やミュオンスピン回転・緩和 ( $\mu$ SR) 法を駆使することによりユニークな物質科学研究を行っている。2022年度は、以下に示すように水・水中の窒素の化学状態に関する研究や、ファイバートラッカー検出器によるイメージング技術の開発などを行った。

水や水の中に高いエネルギーを持つイオンが入射した場合、熱平衡状態では起こらないような化学反応が促進され、様々な化学種が形成される可能性がある。入射イオンが最終的にどのような化学状態を形成するかは、宇宙の化学進化や粒子線治療とも関連する興味深い問題である。我々は、負ミュオンスピン緩和 ( $\mu^-$ SR) 法と短寿命核  $^{17}\text{N}$  ( $I = 1/2$ ,  $T_{1/2} = 4.2$  s) を用いた  $\beta$ -NMR 法を用いて、 $\text{H}_2\text{O}$  中にエネルギーを持った窒素不純物が侵入するとどのような化学種を形成するのかを調べるための実験を行った。負ミュオンを用いる  $\mu^-$ SR 法では、 $\text{H}_2\text{O}$  中に入射した負ミュオンにより、化学的には窒素として振る舞うミュオン酸素原子  $\text{O}\mu^-$  が形成されることを利用する。図 1.8 に J-PARC/MLF の D1 エリアで測定した 50K の  $\text{H}_2\text{O}$  (氷) および  $\text{D}_2\text{O}$  (重水氷) 中のゼロ磁場 (ZF-)  $\mu^-$ SR スペクトルを示す。 $\text{H}_2\text{O}$  中のスペクトルはガウシアン的な形状を示し、解析により窒素不純物位置における局所磁場の分布幅  $\Delta = (0.4 \pm 0.1) \mu\text{s}^{-1}$  が得られた。この値は、氷 Ih 相における結晶格子位置の  $^1\text{H}$  核からの双極子磁場の寄与により概ね説明できることが示された。一方  $\text{D}_2\text{O}$  中の ZF- $\mu^-$ SR スペクトルは、重水素核  $^2\text{H}$  と  $^1\text{H}$  核の磁気モーメント比約 1/4 では説明できない速い緩和

成分の存在を示唆する結果となった。

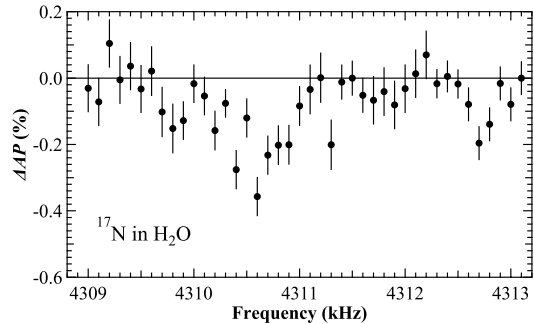
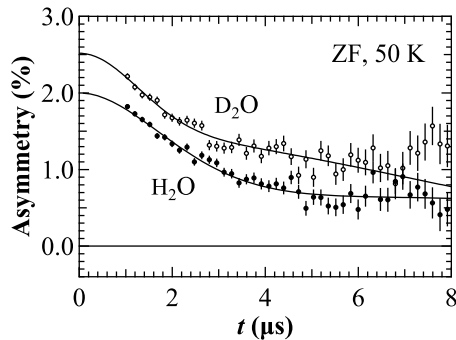


図 1.8: 氷 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) および重水氷 ( $\text{D}_2\text{O}$ ) 中の負ミュオンスピン緩和スペクトル。 図 1.9: 水 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) 中  $^{17}\text{N}$  の  $\beta$ -NMR スペクトル。

HIMAC では、スピン偏極  $^{17}\text{N}$  ビームを液体  $\text{H}_2\text{O}$  試料中に入射させ、室温で高分解能  $\beta$ -NMR スペクトルの測定を行った。広範囲にわたる共鳴線探索の結果、図 1.9 に示すように複数本の共鳴線が現れ、水中に入射した窒素イオンが様々な化学種を形成することが明らかとなった。化学種同定を行うためには化学シフトを決定する必要があり、そのための参照試料となる物質の探索も行っている。

電子/陽電子検出器に位置検出の機能を備えたファイバートラッカーを製作し、 $\beta$ -NMR や  $\mu\text{SR}$  信号を画像化するミュオン・核スピンイメージング法の開発を行った。図 1.10 は、HIMAC で生成したスピン偏極した短寿命核  $^{12}\text{B}$  ビームを、偏極を保持する Si と、保持しないフッ素樹脂 PTFE を組み合わせた板状試料中に入射させ、ベータ線のトラッキングにより得られた  $\beta$ -NMR 信号 (asymmetry) の二次元イメージである。まだ統計が不十分であるが、十字型をした Si の部分で asymmetry が大きくなっているように見える。

TRIUMF ではミュオンビームによる実験を行った。図 1.11 は、隕石試料にミュオンを入射させ、崩壊陽電子のトラッキングにより求めたミュオンの位置分布のイメージである。解析を進めて各位置における  $\mu\text{SR}$  スペクトルを作成し、画像化する予定である。

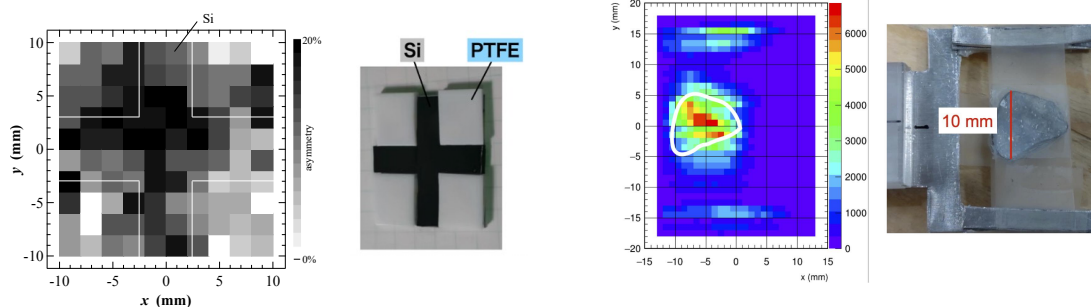


図 1.10: ベータ線トラッキングを利用して作成した  $^{12}\text{B}$  の二次元核磁気共鳴イメージ。

図 1.11: ミュオンから放出された陽電子のトラッキングにより求めた隕石試料のイメージ。



### 学術雑誌に出版された論文

#### Various nuclear structures in $^{140}\text{Xe}$ studied by $\beta$ decay of ground and isomeric states in $^{140}\text{I}$

A. Yagi<sup>d</sup>, A. Odahara<sup>s</sup>, H. Nishibata<sup>DC</sup>, R. Lozeva, C.-B. Moon, S. Nishimura, K. Yoshida, N. Yoshinaga, C. Watanabe, K. Higashiyama, T. Shimoda<sup>i</sup>, R. Daido<sup>m</sup>, Y. Fang<sup>m</sup>, P.S. Lee, B. Moon, P. Doornenbal, G. Lorusso, P.-A. Soderstrom, T. Sumikama, H. Watanabe, T. Isobe, H. Baba, H. Sakurai, F. Browne, Z. Patel, S. Rice, L. Sinclair, J. Wu, Z.Y. Xu, R. Yokoyama, T. Kubo, N. Inabe, H. Suzuki, N. Fukuda, D. Kameda, H. Takeda, D.S. Ahn, Y. Shimizu, D. Murai, F.L. Bello Garrote, J.-M. Daugas, F. Didierjean, E. Ideguchi, S. Iimura<sup>d</sup>, T. Ishigaki<sup>m</sup>, H.S. Jung, T. Komatsubara, Y.K. Kwon, C.S. Lee, S. Morimoto<sup>m</sup>, M. Niikura, I. Nishizuka, K. Tshoo

Phys. Rev. C **105** (Apr) (2022) 044325 - 1 - 14

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.105.044325>).

#### Study of the N=32 and N=34 Shell Gap for Ti and V by the First High-Precision Multireflection Time-of-Flight Mass Measurements at BigRIPS-SLOWRI

S. Iimura<sup>d</sup>, M. Rosenbusch, A. Takamine, Y. Tsunoda, M. Wada, S. Chen, D.S. Hou, W. Xian, H. Ishiyama, S. Yan, P. Schury, H. Crawford, P. Doornenbal, Y. Hirayama, Y. Ito, S. Kimura, T. Koizumi, T.M. Kojima, H. Koura, J. Lee, J. Liu, S. Michimasa, H. Miyatake, J.Y. Moon, S. Naimi, S. Nishimura, T. Niwase, A. Odahara<sup>s</sup>, T. Otsuka, S. Paschalis, M. Petri, N. Shimizu, T. Sonoda, D. Suzuki, Y.X. Watanabe, K. Wimmer, H. Wollnik

Phys. Rev. Lett. **130** (Jan) (2023) 012501 - 1 - 6

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevLett.130.012501>).

#### Gamow-Teller decay of $^{142}\text{Te}$ to $^{142}\text{I}$

B. Moon, C.-B. Moon, A. Odahara<sup>s</sup>, R. Lozeva, S. Nishimura, C. Yuan, F. Browne, P. Doornenbal, G. Lorusso, Z. Patel, S. Rice, L. Sinclair, P.-A. Soderstrom, T. Sumikama, H. Watanabe, J. Wu, Z.Y. Xu, A. Yagi<sup>d</sup>, D.S. Ahn, H. Baba, F.L. Bello Garrote, R. Daido<sup>m</sup>, J.M. Daugas, F. Didierjean, Y. Fang<sup>m</sup>, N. Fukuda, B. Hong, E. Ideguchi, N. Inabe, T. Ishigaki<sup>m</sup>, T. Isobe, H.S. Jung, D. Kameda, I. Kojouharov, T. Komatsubara, T. Kubo, Y.K. Kwon, C.S. Lee, P. Lee, S. Morimoto<sup>m</sup>, D. Murai, M. Niikura, H. Nishibata<sup>DC</sup>, I. Nishizuka, H. Sakurai, Y. Shimizu, H. Suzuki, H. Takeda, K. Tshoo, R. Yokoyama

Phys. Rev. C **107** (Jan) (2023) 014311 - 1 - 9

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.107.014311>).

#### Search for Supernova Neutrinos and Constraint on the Galactic Star Formation Rate with the KamLAND Data

S. Abe, S. Asami, M. Eizuka, S. Futagi, A. Gando, Y. Gando, T. Gima, A. Goto, T. Hachiya, K. Hata, K. Hosokawa, K. Ichimura, S. Ieki, H. Ikeda, K. Inoue, K. Ishidoshiro, Y. Kamei, N. Kawada, Y. Kishimoto, M. Koga, M. Kurasawa, N. Maemura, T. Mitsui,

H. Miyake, T. Nakahata, K. Nakamura, K. Nakamura, R. Nakamura, H. Ozaki, T. Sakai, H. Sambonsugi, I. Shimizu, Y. Shirahata, J. Shirai, K. Shiraishi, A. Suzuki, Y. Suzuki, A. Takeuchi, K. Tamae, H. Watanabe, Y. Yoshida, S. Obara, A. K. Ichikawa, S. Yoshida<sup>s</sup>, S. Umehara, K. Fushimi, K. Kotera, Y. Urano, B. E. Berger, B. K. Fujikawa, J. G. Learned, J. Maricic, S. N. Axani, Z. Fu, J. Smolsky, L. A. Winslow, Y. Efremenko, H. J. Karwowski, D. M. Markoff, W. Tornow, A. Li, J. A. Detwiler, S. Enomoto, M. P. Decowski, C. Grant, H. Song, T. O'Donnell, S. Dell'Oro

Geophysical Research Letters **49** (16, Aug) (2022) 099566 1-10

(<http://dx.doi.org/doi:10.1029/2022gl099566>).

### **Search for Supernova Neutrinos and Constraint on the Galactic Star Formation Rate with the KamLAND Data**

S. Abe, S. Asami, M. Eizuka, S. Futagi, A. Gando, Y. Gando, T. Gima, A. Goto, T. Hachiya, K. Hata, K. Hosokawa, K. Ichimura, S. Ieki, H. Ikeda, K. Inoue, K. Ishidoshiro, Y. Kamei, N. Kawada, Y. Kishimoto, M. Koga, M. Kurasawa, N. Maemura, T. Mitsui, H. Miyake, T. Nakahata, K. Nakamura, K. Nakamura, R. Nakamura, H. Ozaki, T. Sakai, H. Sambonsugi, I. Shimizu, J. Shirai, K. Shiraishi, A. Suzuki, Y. Suzuki, A. Takeuchi, K. Tamae, H. Watanabe, Y. Yoshida, S. Obara, A. Ichikawa, S. Yoshida<sup>s</sup>, S. Umehara, K. Fushimi, K. Kotera, Y. Urano, B. E. Berger, B. K. Fujikawa, J. G. Learned, J. Maricic, S. N. Axani, L. A. Winslow, Z. Fu, J. Smolsky, Y. Efremenko, H. J. Karwowski, D. M. Markoff, W. Tornow, A. Li, J. A. Detwiler, S. Enomoto, M. P. Decowski, C. Grant, H. Song, T. O'Donnell, S. Dell'Oro

The Astrophysical Journal **934** (1, July) (2022) 85 1-6

(<http://dx.doi.org/doi:10.3847/1538-4357/ac7a3f>).

### **KamLAND's search for correlated low-energy electron antineutrinos with astrophysical neutrinos from IceCube**

S. Abe, S. Asami, M. Eizuka, S. Futagi, A. Gando, Y. Gando, T. Gima, A. Goto, T. Hachiya, K. Hata, K. Hosokawa, K. Ichimura, S. Ieki, H. Ikeda, K. Inoue, K. Ishidoshiro, Y. Kamei, N. Kawada, Y. Kishimoto, T. Kinoshita, M. Koga, M. Kurasawa, N. Maemura, T. Mitsui, H. Miyake, T. Nakahata, K. Nakamura, R. Nakamura, H. Ozaki, T. Sakai, H. Sambonsugi, I. Shimizu, J. Shirai, K. Shiraishi, A. Suzuki, Y. Suzuki, A. Takeuchi, K. Tamae, H. Watanabe, Y. Yoshida, S. Obara, A.K. Ichikawa, S. Yoshida<sup>s</sup>, S. Umehara, K. Fushimi, K. Kotera, Y. Urano, B.E. Berger, B.K. Fujikawa, J.G. Learned, J. Maricic, S.N. Axani, J. Smolsky, J. Lertprasertpong, L.A. Winslow, Z. Fu, J. Ouellet, Y. Efremenko, H.J. Karwowski, D.M. Markoff, W. Tornow, A. Li, J.A. Detwiler, S. Enomoto, M.P. Decowski, C. Grant, H. Song, T. O'Donnell, S. Dell'Oro

Astroparticle Physics **143** (Oct.) (2022) 102758

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.astropartphys.2022.102758>).

### Search for the Majorana Nature of Neutrinos in the Inverted Mass Ordering Region with KamLAND-Zen

S. Abe, S. Asami, M. Eizuka, S. Futagi, A. Gando, Y. Gando, T. Gima, A. Goto, T. Hachiya, K. Hata, S. Hayashida, K. Hosokawa, K. Ichimura, S. Ieki, H. Ikeda, K. Inoue, K. Ishidoshiro, Y. Kamei, N. Kawada, Y. Kishimoto, M. Koga, M. Kurasawa, N. Maemura, T. Mitsui, H. Miyake, T. Nakahata, K. Nakamura, K. Nakamura, R. Nakamura, H. Ozaki, T. Sakai, H. Sambonsugi, I. Shimizu, J. Shirai, K. Shiraishi, A. Suzuki, Y. Suzuki, A. Takeuchi, K. Tamae, K. Ueshima, H. Watanabe, Y. Yoshida, S. Obara, A.K. Ichikawa, D. Chernyak, A. Kozlov, K.Z. Nakamura, S. Yoshida<sup>s</sup>, Y. Takemoto, S. Umehara, K. Fushimi, K. Kotera, Y. Urano, B.E. Berger, B.K. Fujikawa, J.G. Learned, J. Maricic, S.N. Axani, J. Smolksy, Z. Fu, L.A. Winslow, Y. Efremenko, H.J. Karwowski, D.M. Markoff, W. Tornow, S. Dell' Oro, T. O' Donnell, J.A. Detwiler, S. Enomoto, M.P. Decowski, C. Grant, A. Li, H. Song

Physical Review Letters **130** (5, Jan.) (2023) 1801

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/physrevlett.130.051801>).

### Charge-changing cross sections for $^{42-51}\text{Ca}$ and effect of charged-particle evaporation induced by neutron-removal reactions

M. Tanaka, M. Takechi, A. Homma, A. Prochazka, M. Fukuda<sup>s</sup>, D. Nishimura, T. Suzuki, T. Moriguchi, D.S. Ahn, A. Aimaganbetov, M. Amano, H. Arakawa, S. Bagchi, K.-H. Behr, N. Burtebayev, K. Chikaato, H. Du, T. Fujii, N. Fukuda, H. Geissel, T. Hori, S. Hoshino, R. Igosawa, A. Ikeda, N. Inabe, K. Inomata, K. Itahashi, T. Izumikawa, D. Kamioka, N. Kanda, I. Kato, I. Kenzhina, Z. Korkulu, Y. Kuk, K. Kusaka, K. Matsuta, M. Mihara<sup>s</sup>, E. Miyata, D. Nagae, S. Nakamura, M. Nassurlla, K. Nishimuro, K. Nishizuka, K. Ohnishi, M. Ohtake, T. Ohtsubo, S. Omika, H.J. Ong, A. Ozawa, H. Sakurai, C. Scheidenberger, Y. Shimizu, T. Sugihara, T. Sumikama, H. Suzuki, S. Suzuki, H. Takeda, Y. Tanaka, Y.K. Tanaka, I. Tanihata, T. Wada, K. Wakayama, S. Yagi, T. Yamaguchi, R. Yanagihara, Y. Yanagisawa, K. Yoshida, T.K. Zholdybayev

Phys. Rev. C **106** (Jul.) (2022) 014617 1-17

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.106.014617>).

### Measurement of residual $\mu^+$ polarization in various scintillating materials to search for T-violating $\mu^+$ polarization in $K^+ \rightarrow \pi^0 \mu^+ \nu$ decay

K. Horie, M. Mihara<sup>s</sup>, S. Shimizu<sup>s</sup> *et al.*

Nuclear Inst. and Methods in Physics Research A **1037** (June) (2022) 166932

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.nima.2022.166932>).

### Pole position of $\Lambda(1405)$ measured in $d(K^-, n)\pi\Sigma$ reactions

S. Aikawa, S. Ajimura, T. Akaishi<sup>d</sup>, H. Asano, G. Beer, C. Berucci, M. Bragadireanu, P. Buehler, L. Busso, M. Cargnelli, S. Choi, C. Curceanu, S. Enomoto, H. Fujioka, Y.

Fujiwara, T. Fukuda, C. Guaraldo, T. Hashimoto, R.S. Hayano, T. Hiraiwa, M. Iio, M. Iliescu, K. Inoue, Y. Ishiguro, S. Ishimoto, T. Ishikawa, K. Itahashi, M. Iwai, M. Iwasaki, K. Kanno, K. Kato, Y. Kato, S. Kawasaki, P. Kienle, Y. Komatsu, H. Kou, Y. Ma, J. Marton, Y. Matsuda, Y. Mizoi, O. Morra, R. Murayama, T. Nagae, H. Noumi, H. Ohnishi, S. Okada, Z. Omar, H. Outa, K. Piscicchia, Y. Sada, A. Sakaguchi<sup>s</sup>, F. Sakuma, M. Sato, A. Scordo, M. Sekimoto, H. Shi, K. Shirotori, D. Sirghi, F. Sirghi, K. Suzuki, S. Suzuki, T. Suzuki, K. Tanida, H. Tatsuno, A.O. Tokiyasu, M. Tokuda, D. Tomono, A. Toyoda, K. Tsukada, O. Vazquez-Doce, E. Widmann, T. Yamaga, T. Yamazaki, H. Yim, Q. Zhang, J. Zmeskal

Phys. Lett. B, **837** (Feb.) (2023) 137637

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.physletb.2022.137637>).

## 国際会議報告等

### Status of the mass measurement of neutron-rich nuclei at A 50-60 using SLOWRI/ZD-MRTOF

S. Iimura<sup>d</sup>, M. Rosenbusch, A. Takamine, D. Hou, M. Wada, S. Chen, J. Liu, W. Xian, S. Yan, P. Schury, S. Kimura, T. Niwase, Y. Ito, T. Sonoda, T.M. Kojima, Y.X. Watanabe, S. Naimi, S. Michimasa, S. Nishimura, A. Odahara<sup>s</sup>, and H. Ishiyama  
RIKEN Accelerator Progress Report 2021 **55** (Sep) (2022) 3.

### Status of the search for <sup>48</sup>Ca double beta decay with CANDLES

Yuto Minami<sup>\*</sup>, Kenichi Fushimi, Akihiro Hashimoto, Ryuta Hazama, Tasuku Hiraiwa, Takashi Iida, Yumiko Kishida, Tadafumi Kishimoto, Pantiwa Kumsut, Kenji Matsuoka, Noriaki Miyanaga, Go Miyoshi, Yoshiki Muramatsu, Kyohei Nakajima, Jun'ya Nakajima, Hideaki Niki, Yudai Niwa, Izumi Ogawa, Hironori Okuda, Anawat Rittirong, Toshiki Sakai<sup>m</sup>, Akitoshi Sakaue, Kohtaku Suzuki, Yukichi Takihira, Yoichi Tamagawa, Shigeki Tokita, Masashi Tozawa, Masahiro Uemukai, Sei Yoshida<sup>s</sup>, Atsushi Yoshioka<sup>m</sup>, Ren Yuhaku  
Proceedings of Science **414** (Jan.) (2023) 1142 1-4.

41st International Conference on High Energy physics(ICHEP2022), (July 2022, 参加者約 1000 名), Italy.

### Development of $\beta$ -ray tracker for $\beta$ -NMR spectroscopy and imaging

Y. Mizoi<sup>\*</sup>, M. Mihara<sup>s</sup>, Y. Kimura<sup>m</sup>, T. Sugisaki<sup>m</sup>, G. Takayama<sup>m</sup>, M. Fukuda<sup>s</sup>, Y. Otani, M. Fukutome<sup>DC</sup>, R. Taguchi<sup>m</sup>, K. Matsuta, M. Tanaka, T. Izumikawa, N. Noguchi, K. Takatsu, T. Ohtsubo, A. Kitagawa, S. Sato

KEK Proceedings-2022 **3** (Jan.) (2023) 54-63.

36th Workshop on Radiation Detectors and Their Uses (Jan., 2022, 参加者約 100 名).

**Measurement of structure dependent radiative  $K^+ \rightarrow e^+ \nu \gamma$  decay at J-PARC**K. Shimizu<sup>s\*</sup> for the J-PARC E36 collaborationJournal of Physics: Conference Series **2446** (2023) 012014.

International Conference on Kaon Physics 2022 (Sep., 2022, 参加者約 100 名).

**Measurement of muon spin relaxation time in various scintillating materials**K. Horie\*, K. Kamada, M. Mihara<sup>s</sup>, S. Shimizu<sup>s</sup>Journal of Physics: Conference Series **2446** (2023) 012040.

International Conference on Kaon Physics 2022 (Sep., 2022, 参加者約 100 名).

**Status of J-PARC E73 experiment: first direct Hypertriton lifetime measurement with  ${}^3\text{He}(K^-, \pi^0)_\Lambda {}^3\text{H}$  reaction**T. Akaishi<sup>d\*</sup>, A. Sakaguchi<sup>s</sup>, T. Toda<sup>m</sup>, M. Tokuda<sup>m</sup>, H. Asano, K. Itahashi, M. Iwasaki, Yue Ma, R. Murayama, H. Outa, F. Sakuma, T. Yamaga, A. Clozza, C. Curceanu, R. Del Grande, C. Guaraldo, M. Iliescu, M. Miliucci, K. Piscicchia, A. Scordo, D. Sirghi, F. Sirghi, C. Han, X. Yuan, P. Zhang, Y. Zhang, T. Hashimoto, K. Tanida, S. Ishimoto, S. Suzuki, M. Sato, K. Inoue, H. Noumi, K. Shirotori, H. Ohnishi, S. Okada, H. ZhangSuplemento de la Revista Mexicana de Fisica **3** (No.3, July) (2022) 0308120.

19th International conference on hadron spectroscopy and structure in memoriam Simon Eidelman (July 2021, 参加者約 500 名), Mexico.

**Summary of the  $K^-pp$  bound-state observation in E15 and future prospects**Fuminori Sakuma\*, Shuhei Ajimura, Takaya Akaishi<sup>d</sup>, Hidemitsu Asano, Massimiliano Bazzi, George Beer, Hyoungchan Bhang, Mario Bragadireanu, Paul Buehler, Luigi Busso, Michael Cargnelli, Seonho Choi, Alberto Clozza, Catalina Curceanu, Shun Enomoto, Hiroyuki Fujioka, Yuya Fujiwara, Tomokazu Fukuda, Carlo Guaraldo, Tadashi Hashimoto, Ryugo S. Hayano, Toshihiko Hiraiwa, Masami Iio, Mihai Iliescu, Kentaro Inoue, Yosuke Ishiguro, Takashi Ishikawa, Shigeru Ishimoto, Kenta Itahashi, Masahiko Iwasaki, Masaaki Iwai, Koki Kanno, Kazuma Kato, Yuko Kato, Shingo Kawasaki, Paul Kienle, Hiroshi Kou, Yue Ma, Johann Marton, Yasuyuki Matsuda, Marco Miliucci, Yutaka Mizoi, Ombretta Morra, Rie Murayama, Tomofumi Nagae, Hiroyuki Noumi, Hiroaki Ohnishi, Shinji Okada, Haruhiko Outa, Kyoichiro Ozawa, Kristian Piscicchia, Yuta Sada, Atsushi Sakaguchi<sup>s</sup>, Masaharu Sato, Alessandro Scordo, Michiko Sekimoto, Hexi Shi, Kotaro Shirotori, Diana Sirghi, Florin Sirghi, Shoji Suzuki, Takatoshi Suzuki, Kiyoshi Tanida, Hideyuki Tatsuno, Makoto Tokuda, Dai Tomono, Akihisa Toyoda, Kyo Tsukada, Oton Vazquez Doce, Eberhard Widmann, Takumi Yamaga, Toshimitsu Yamazaki, Chihiro Yoshida, Qi Zhang, Johann ZmeskalEPJ Web of Conferences **262** (Sep.) (2022) 01008.

International Conference on Exotic Atoms and Related Topics - EXA2021 (Sep. 2021, 参

加者約 120 名), Austria.

### 国際会議における講演等

#### **MAIKo active target for RI beam experiments and measurement of alpha inelastic scattering of $^{10}\text{C}$**

T. Furuno<sup>s\*</sup> (invited)

KPS 70th Anniversary and 2022 Fall Meeting (at Busan, October, 2022)

#### **Alpha cluster structures in nuclei and their related issues in nuclear astrophysics**

T. Kawabata<sup>s\*</sup> (invited)

International Symposium on Nuclear Spectroscopy for Extreme Quantum Systems (NUSPEQ2023) (at Shizuoka, Japan, March 7-9, 2023, 参加者約 100 名)

#### **Shape coexistence and shell evolution in neutron-rich Mg and Al nuclei studied by $\beta$ -decay spectroscopy with spin-polarized RI beams**

A. Odahara<sup>s\*</sup>

Symp. on ‘Developments of Physics of Unstable Nuclei (YKIS2022b) (at Kyoto ハイブリッド, May 23-27, 2022, 参加者約 80 名)

#### **Nuclear Structure Study of Neutron-Rich Xe Nuclei by $\beta$ - $\gamma$ Decay Spectroscopy**

Nurhafiza M. Nor<sup>d\*</sup>

The 21th CNS International Summer School (A3F-CNSSS22) (at Saitama, Aug. 20-24, 2022, 参加者約 100 名)

#### **Nuclear Structure Study of Neutron-Rich Odd Xe Nuclei by $\beta$ - $\gamma$ Spectroscopy (poster)**

Nurhafiza M. Nor<sup>d\*</sup>

Int. Symp. on Nuclear Spectroscopy for Extreme Quantum Systems (NUSPEQ2023), (at Shizuoka, Mar. 7-9, 2023, 参加者約 70 名)

#### **Improvement of pulse shape discrimination analysis for background reduction in CANDLES (poster)**

吉岡篤志<sup>b\*</sup>

Unraveling the History of the Universe and Matter Evolution with Underground Physics (UGAP2022) (Tokyo University of Science, June 13 - 15, 2022, 参加者約 100 名)

#### **Energy Resolution Improvement for CaF<sub>2</sub> Scintillating Bolometer by Machine**

**Learning Analysis (poster)**白井 竜太 <sup>m\*</sup>

Unraveling the History of the Universe and Matter Evolution with Underground Physics (UGAP2022) (Tokyo University of Science, June 13 - 15, 2022, 参加者約 100 名)

**Background rejection by pulse shape analysis of the machine learning for the study of  $0\nu\beta\beta$  decay with CANDLES-III (poster)**阪井 俊樹 <sup>m\*</sup>

Unraveling the History of the Universe and Matter Evolution with Underground Physics (UGAP2022) (Tokyo University of Science, June 13 - 15, 2022, 参加者約 100 名)

**Development of magnetic resonance imaging (MRI) system using beta-NMR technique**

T. Sugisaki<sup>m\*</sup>, Y. Kimura<sup>m</sup>, G. Takayama<sup>m</sup>, M. Tanaka, Y. Mizoi, M. Mihara<sup>s</sup>, M. Fukuda<sup>s</sup>, Y. Otani, M. Fukutome<sup>DC</sup>, R. Taguchi<sup>m</sup>, S. Chen<sup>b</sup>, S. Ishitani<sup>b</sup>, R. Miyahara<sup>b</sup>, K. Watabane<sup>b</sup>, T. Izumikawa, N. Noguchi, K. Takatsu, D. Nishimura, H. Takahashi, A. Yano, H. Seki, T. Ohtsubo, K. Matsuta, A. Kitagawa, S. Sato

15th International Conference on Muon Spin Rotation, Relaxation and Resonance ( $\mu$ SR2020), (Parma, Italy, 29 Aug.-2 Sep., 2022, 参加者約 200 名)

**Negative muon spin relaxation in water and ice**

Y. Kimura<sup>m\*</sup>, M. Mihara<sup>s</sup>, Y. Otani, G. Takayama<sup>m</sup>, T. Sugisaki<sup>m</sup>, K.M. Kubo, A.D. Pant, K. Shimomura, A. Koda, S. Takeshita

15th International Conference on Muon Spin Rotation, Relaxation and Resonance ( $\mu$ SR2020), (Parma, Italy, 29 Aug.-2 Sep., 2022, 参加者約 200 名)

**One-neutron removal cross sections for the  $^{16}\text{N}$  isomeric state**

M. Fukutome<sup>DC\*</sup>, M. Fukuda<sup>s</sup>, M. Tanaka, D. Nishimura, M. Takechi, T. Ohtsubo, M. Mihara<sup>s</sup>, T. Suzuki, T. Yamaguchi, T. Izumikawa, S. Sato, S. Fukuda, A. Kitagawa, N. Noguchi, H. Takahashi, G. Takayama<sup>m</sup>, Y. Kimura<sup>m</sup>, S. Sugawara, T. Takatshu, A. Yano, R. Taguchi<sup>m</sup>, T. Sugisaki<sup>m</sup>

VI Topical Workshop on Modern Aspects in Nuclear Structure, (Bormio, Italy, 6-11 Feb., 2023, 参加者約 130 名)

**One-neutron removal cross sections for the  $^{16}\text{N}$  isomeric state (poster)**

M. Fukutome<sup>DC\*</sup>, M. Fukuda<sup>s</sup>, M. Tanaka, D. Nishimura, M. Takechi, T. Ohtsubo, M. Mihara<sup>s</sup>, T. Suzuki, T. Yamaguchi, T. Izumikawa, S. Sato, S. Fukuda, A. Kitagawa, N. Noguchi, H. Takahashi, G. Takayama<sup>m</sup>, Y. Kimura<sup>m</sup>, S. Sugawara, T. Takatsu, A. Yano, R. Taguchi<sup>m</sup>, T. Sugisaki<sup>m</sup>

55th Zakopane Conference on Nuclear Physics -Extremes of the Nuclear Landscape- (Za-

kopane, Poland, 28 Aug.-4 Sep., 2022, 参加者約 100 名, Best poster presentation 賞受賞)

**Magnetic resonance imaging (MRI) by  $\beta$ -ray tracking using scintillation-fiber detectors (poster)**

Y. Kimura<sup>m\*</sup>, M. Mihara<sup>s</sup>, T. Sugisaki<sup>m</sup>, G. Takayama<sup>m</sup>, M. Tanaka, Y. Mizoi, Y. Otani, M. Fukuda<sup>s</sup>, M. Fukutome<sup>DC</sup>, S. Ishitani<sup>b</sup>, S. Chen<sup>b</sup>, R. Miyahara<sup>b</sup>, K. Watabane<sup>b</sup>, R. Taguchi<sup>m</sup>, T. Izumikawa, D. Nishimura, N. Noguchi, T. Ohtsubo, H. Seki, K. Takatsu, A. Yano, K. Matsuta, A. Kitagawa, S. Sato

19th International Conference on Electromagnetic Isotope Separators and Related Topics (EMIS), (Daejeon, South Korea, 3-7 Oct., 2022, 参加者約 170 名)

**Development of ultra-fast plastic scintillation counter with reaching time resolution around 5 ps (poster)**

M. Fukutome<sup>DC\*</sup>, M. Tanaka, D. Nishimura, M. Fukuda<sup>s</sup>, G. Takayama<sup>m</sup>, Y. Kimura<sup>m</sup>, R. Taguchi<sup>m</sup>, T. Sugisaki<sup>m</sup>, A. Ozawa, S. Fukuda, T. Izumikawa, N. Kaname, M. Kanda, A. Kitagawa, S. Momota, T. Moriguchi, A. Moriyama, S. Sato, N. Shinozaki, S. Sugawara, T. Suzuki, H. Takahashi, T. Yamaguchi, A. Yano, N. Noguchi, Y. Ohta, T. Ohtsubo, K. Takatsu, M. Takechi, T. Une, T. Fukushima, Y. Nakamura

19th International Conference on Electromagnetic Isotope Separators and Related Topics (EMIS), (Daejeon, South Korea, 3-7 Oct., 2022, 参加者約 170 名)

**Measurement of structure dependent radiative  $K^+ \rightarrow e^+ \nu \gamma$  decay at J-PARC**

S. Shimizu<sup>s\*</sup> for the J-PARC E36 collaboration

International Conference on Kaon Physics 2022 (at Osaka, Japan, Sep., 2022, 参加者約 100 名)

**Performance evaluation of a prototype Ring-Imaging Cherenkov detector for the charm baryon spectroscopy experiment at J-PARC (poster)**

T. Toda<sup>m\*</sup>

International symposium on Clustering as a Window on the Hierarchical Structure of Quantum Systems (CLUSHIQ2022) (at Sendai, Oct. 31 - Nov. 3, 2022, 参加者約 100 名)

**Design and performance evaluation of optics system of Ring-Imaging Cherenkov detector for the charm baryon spectroscopy experiment at J-PARC (poster)**

M. Tokuda<sup>m\*</sup>

International symposium on Clustering as a Window on the Hierarchical Structure of Quantum Systems (CLUSHIQ2022) (at Sendai, Oct. 31 - Nov. 3, 2022, 参加者約 100 名)

**Development of the TOF-RPC for the study of charmed baryons at J-PARC (poster)**



F. Hayashi<sup>m\*</sup>

International symposium on Clustering as a Window on the Hierarchical Structure of Quantum Systems (CLUSHIQ2022) (at Sendai, Oct. 31 - Nov. 3, 2022, 参加者約 100 名)

**Development of a Precise Time and Position Resolution TOF-tracker Resistive Plate Chamber for the study of proton structure at J-PARC (poster)**

R. Uda<sup>m\*</sup>

International symposium on Clustering as a Window on the Hierarchical Structure of Quantum Systems (CLUSHIQ2022) (at Sendai, Oct. 31 - Nov. 3, 2022, 参加者約 100 名)

**Development of a Precise Time and Position Resolutions TOF-tracker RPC for the  $\pi 20$  Beamline at J-PARC**

Ryusuke Uda<sup>m\*</sup>

XVI Workshop on Resistive Plate Chambers and Related Detectors (RPC2022), (at Geneva, Sep. 26-30, 2022, 参加者約 100 名)

**Comparison of  ${}^3_{\Lambda}\text{H}/{}^4_{\Lambda}\text{H}$  production cross section via  $(K^-, \pi^0)$  reaction at J-PARC**

Takaya Akaishi<sup>d\*</sup>

14th International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physics (HYP2022) (at Prague, June 27 - July 1, 2022, 参加者約 160 名)

## 日本物理学会，応用物理学会等における講演

**重陽子非弾性散乱を用いた  ${}^{12}\text{C}$  の  $3_1^-$  状態の  $\gamma$  壊確率測定のための反跳重陽子検出器 Gion と重水素吸着チタン標的の性能評価**

本多 祐也<sup>m\*</sup>, 川畑 貴裕<sup>s</sup>, 古野 達也<sup>s</sup>, 辻 聖也<sup>m</sup>, 氷見 香奈子<sup>m</sup>, 坂梨 公亮<sup>d et al.</sup>

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 - 9 月 8 日)

**ホイル状態からの  $\gamma$  崩壊率測定**

坂梨 公亮<sup>d\*</sup>, 川畑 貴裕<sup>s</sup>, 古野 達也<sup>s et al.</sup>

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 - 9 月 8 日)

**大型アクティブ標的 MAIKo+を用いた  ${}^{12}\text{C}(n, n'){}^{12}\text{C}(0_2^+)$  散乱断面積の測定**

氷見 香奈子<sup>m\*</sup>, 古野 達也<sup>s</sup>, 川畑 貴裕<sup>s</sup>, 林 益帆<sup>b</sup>, 陳 斯坦<sup>b</sup>, 坂梨 公亮<sup>d</sup>, 辻 聖也<sup>m</sup>, 本多 祐也<sup>m</sup>, Samu Eteläniemi<sup>m et al.</sup>

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 - 3 月 25 日)

**重陽子非弾性散乱を用いた  ${}^{12}\text{C}$  の  $3_1^-$  状態の  $\gamma$  崩壊確率測定のためのテスト実験**

本多 祐也<sup>m\*</sup>, 川畑 貴裕<sup>s</sup>, 古野 達也<sup>s</sup>, 坂梨 公亮<sup>d</sup>, 辻 聖也<sup>m</sup>, 氷見 香奈子<sup>m et al.</sup>

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

**機械学習による MAIKo アクティブ標的の TPC 飛跡データの解析 (ポスター)**

林 益帆<sup>b\*</sup>, 古野 達也<sup>s</sup>, 川畑 貴裕<sup>s</sup>, 氷見 香奈子<sup>m</sup>, 陳 斯坦<sup>b et al.</sup>

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

**液体シンチレーターと波形取得法による中性子ビームの強度計測 (ポスター)**

陳 斯坦<sup>b\*</sup>, 古野 達也<sup>s</sup>, 川畑 貴裕<sup>s</sup>, 氷見 香奈子<sup>m</sup>, 林 益帆<sup>b</sup>, 坂梨 公亮<sup>d</sup>, 辻 聖也<sup>m</sup>, 本多 祐也<sup>m</sup>, Samu Eteläniemi<sup>m et al.</sup>

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

**Experimental determination of the triple-alpha rate**

川畑 貴裕<sup>s\*</sup>

RIBF ULIC ワークショップ「星の進化と爆発天体における核反応の物理」(理化学研究所 2023 年 2 月 20–21 日)

**Search for alpha condensed states in  $^{20}\text{Ne}$  and  $^{24}\text{Mg}$**

川畑 貴裕<sup>s\*</sup>

大阪公立大研究会「原子核におけるクラスター物理の新展開」(大阪公立大学 2022 年 10 月 19–20 日)

**ホイル状態からの  $\gamma$  崩壊確率測定**

坂梨 公亮<sup>d\*</sup>

大阪公立大研究会「原子核におけるクラスター物理の新展開」(大阪公立大学 2022 年 10 月 19–20 日)

**重陽子非弾性散乱を用いた  $^{12}\text{C}$  の  $3_1^-$  状態の  $\gamma$  崩壊確率測定のための反跳重陽子検出器 Gion と重水素吸着チタン標的の性能評価**

本多 祐也<sup>m\*</sup>

大阪公立大研究会「原子核におけるクラスター物理の新展開」(大阪公立大学 2022 年 10 月 19–20 日)

**変形進化と変形共存～中性子過剰核  $^{140}\text{I}$  の基底状態とアイソマーの  $\beta$  崩壊による  $^{140}\text{Xe}$  の核構造研究**

小田原厚子<sup>s\*</sup>, 八木彩祐未<sup>d</sup>, 西畑洗希<sup>DC</sup>, R. Lozeva, C.-B. Moon, 西村俊二, 吉田賢市, 吉永尚孝, 渡邊千夏, 東山幸司, EURICA collaboration

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 – 9 月 8 日)

**Nuclear Structure Study of Neutron-Rich Odd Nuclei  $^{141}\text{Xe}$  and  $^{143}\text{Xe}$  by  $\beta$ - $\gamma$  Spectroscopy**

Nurhafiza M. Nor<sup>d\*</sup>, A. Odahara<sup>s</sup>, A. Yagi<sup>d</sup>, R. Lozeva, C.-B. Moon, S. Nishimura, H. Nishibata<sup>DC</sup>, P. Doornenbal, G. Lorusso, T. Sumikama, H. Watanabe, F. Brown, Z.Y. Xu, J. Wu, R. Yokoyama, T. Isobe, H. Baba, H. Sakurai, H. Suzuki, N. Inabe, D. Kameda, N. Fukuda, H. Takeda, D.S. Ahn, Y. Shimizu, T. Kubo, S. Iimura<sup>d</sup>, Y. Fang<sup>m</sup>, R. Daido<sup>m</sup>, T. Ishigaki<sup>m</sup>, S. Morimoto<sup>m</sup>, E. Ideguchi, T. Komatsubara, M. Niikura, I. Nishizuka and the EURICA collaborators

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 – 9 月 8 日)

### **Nuclear Structure Study of Neutron-Rich Odd Xe Nuclei by $\beta$ - $\gamma$ Spectroscopy**

Nurhafiza M. Nor<sup>d\*</sup>, A. Odahara<sup>s</sup>, A. Yagi<sup>d</sup>, R. Lozeva, C.-B. Moon, S. Nishimura, H. Nishibata<sup>DC</sup>, P. Doornenbal, G. Lorusso, T. Sumikama, H. Watanabe, F. Browne, Z.Y. Xu, J. Wu, R. Yokoyama, T. Isobe, H. Baba, H. Sakurai, K. H. Suzuki, N. Inabe, D. Kameda, N. Fukuda, H. Takeda, D.S. Ahn, C. Y. Shimizu, T. Kubo, S. Iimura<sup>d</sup>, Y. Fang<sup>m</sup>, R. Daido<sup>m</sup>, T. Ishigaki<sup>m</sup>, S. Morimoto<sup>m</sup>, E. Ideguchi, T. Komatsubara, M. Niikura, K. I. Nishizuka and the EURICA collaborators

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

### **$^{132}\text{Xe}$ の $\gamma$ 線角度相関と Geant4 によるシミュレーションの比較 (ポスター)**

宮原里菜<sup>b\*</sup>, 石谷壮史<sup>b</sup>, 小田原厚子<sup>s</sup>, 井手口栄治, Nurhafiza M. Nor<sup>d</sup>, M. Khandelwal, 川畑 貴裕<sup>s</sup>, 古野 達也<sup>s</sup>, 青井考, H.J. Ong, 下田正<sup>i</sup>, 西畑洗希, 飯村俊

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

### **$\gamma$ 線核分光法による $^{132}\text{Xe}$ の準位構造の構築 (ポスター)**

石谷壮史<sup>b\*</sup>, 宮原里菜<sup>b</sup>, 小田原厚子<sup>s</sup>, 井手口栄治, Nurhafiza M. Nor<sup>d</sup>, M. Khandelwal, 川畑 貴裕<sup>s</sup>, 古野 達也<sup>s</sup>, 青井考, H.J. Ong, 下田正<sup>i</sup>, 西畑洗希, 飯村俊

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

### **機械学習による $\text{CaF}_2$ シンチレーティングボロメーターのエネルギー分解能改善**

白井 竜太<sup>m\*</sup>

新学術領域「地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化」若手研究会 (茨城県つくば市、2022 年 11 月 23 日-24 日)

### **CANDLES 実験における 208Tl 背景事象除去の為の波形弁別解析**

吉岡篤志<sup>b\*</sup>

新学術領域「地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化」若手研究会 (茨城県つくば市、2022 年 11 月 23 日-24 日)

### **CANDLES 実験による二重ベータ崩壊の研究における機械学習を用いた波形解析によるバックグラウンド除去の評価**

阪井 俊樹<sup>m\*</sup>

新学術領域「地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化」若手研究会（茨城県つくば市、2022年11月23日-24日）

#### CANDLES 実験における $^{208}\text{Tl}$ 背景事象除去の為に波形弁別の改善

吉岡篤志 <sup>b\*</sup>

日本物理学会 2023 年春季大会（於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日）

#### CANDLES 実験における $^{232}\text{Th}$ 起因バックグラウンドの低減に向けた機械学習を用いた解析手法の改良

阪井 俊樹 <sup>m\*</sup>

日本物理学会 2023 年春季大会（於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日）

#### 研究用原子炉ニュートリノを使った研究の可能性

吉田 斉 <sup>s\*</sup>

第 1 回研究用原子炉を用いた原子核素粒子物理学 (FPUR-I), (大阪大学、2022 年 5 月 29 日-30 日)

#### Basic Research on Radiation Response of Semiconductor Quantum Devices

吉田 斉 <sup>s\*</sup>, 西川 隆博 <sup>b</sup>, 柴田 真尚 <sup>b</sup>, 岸本康宏, 大塚朋廣

東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会（東北大学片平キャンパス、2022 年 2 月 16 日）

#### 半導体量子デバイスの放射線応答調査のためのデバイス放射化と定量分析

吉田 斉 <sup>s\*</sup>, 西川 隆博 <sup>b</sup>, 柴田 真尚 <sup>b</sup>, 湯田秀明, 岸本康宏

（宇宙線研究所（東大柏キャンパス）、2023 年 2 月 21 日-22 日）

#### 原子炉でのステライルニュートリノ探索

吉田 斉 <sup>s\*</sup>

第 2 回研究用原子炉を用いた原子核素粒子物理学 (FPUR-II), (福井大学敦賀キャンパス、2023 年 3 月 16 日-17 日)

#### $\beta$ 線トラッキングによる核磁気共鳴イメージング

杉崎堯人 <sup>m\*</sup>, 木村容子 <sup>m</sup>, 高山元 <sup>m</sup>, 田中聖臣, 溝井浩, 三原基嗣 <sup>s</sup>, 福田光順 <sup>s</sup>, 大谷優里花, 福留美樹 <sup>DC</sup>, 田口諒 <sup>m</sup>, S. Chen <sup>b</sup>, 石谷壮史 <sup>b</sup>, 宮原里菜 <sup>b</sup>, 渡辺薫 <sup>b</sup>, 泉川卓司, 野口法秀, 高津和哉, 西村太樹, 高橋弘幸, 矢野朝陽, 関響咲, 大坪隆, 松多健策, 北川敦志, 佐藤眞二

日本物理学会 2022 年秋季大会（素核宇）（於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 – 9 月 8 日）

#### Ne-Mg 領域中性子過剰同位体の荷電変化断面積

福田光順 <sup>s\*</sup>, 田中聖臣, 福留美樹 <sup>DC</sup>, 高橋弘幸, 高山元 <sup>m</sup>, 菅原奏来, 西村太樹, 武智麻耶, 田口諒 <sup>m</sup>, 木村容子 <sup>m</sup>, 杉崎堯人 <sup>m</sup>, 三原基嗣 <sup>s</sup>, 松多健策, 原山朔弥, 鈴木健, 山口貴之, 坂上護,

野口法秀, 高津和哉, 大坪隆, 泉川卓司, 森口哲朗, 佐藤眞二, 福田茂一, 北川敦志  
日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学, 2021 年 9 月 6 日 - 9 月 8 日)

#### 中高エネルギー重イオンビームを用いた固体水素標的厚さ新測定方法の開発

高山元 <sup>m\*</sup>, 福田光順 <sup>s</sup>, 森口哲朗, 矢野朝陽, 田中聖臣, 福留美樹 <sup>DC</sup>, 田口諒 <sup>m</sup>, 要直登, 西村太樹, 高橋弘幸, 菅原奏来, 野口法秀, 高津和哉, 太田夕紀子, 松多健策, 三原基嗣 <sup>s</sup>, 大谷優里花, 木村容子 <sup>m</sup>, 杉崎堯人 <sup>m</sup>, 本多 祐也 <sup>m</sup>, 林双葉 <sup>m</sup>, 小沢顕, 宇根千晶, 福嶋知隼, 中村佑生, 大坪隆, 武智麻耶, 鈴木健, 山口貴之, 神田真矩, 篠崎稔, 関響咲, 泉川卓司, 佐藤眞二, 福田茂一, 北川敦志

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学, 2021 年 9 月 6 日 - 9 月 8 日)

#### 入射核破砕片 <sup>12</sup>Be のアイソマー比とアイソマー状態の寿命測定

田口諒 <sup>m\*</sup>, 福田光順 <sup>s</sup>, 福留美樹 <sup>DC</sup>, 高山元 <sup>m</sup>, 田中聖臣, 西村太樹, 高橋弘幸, 菅原奏来, 松多健策, 三原基嗣 <sup>s</sup>, 大谷優里花, 木村容子 <sup>m</sup>, 杉崎堯人 <sup>m</sup>, 宇根千晶, 中村佑生, 福嶋知隼, 大坪隆, 武智麻耶, 野口法秀, 高津和哉, 太田由紀子, 泉川卓司, 鈴木健, 神田真矩, 関響咲, 篠崎稔, 小沢顕, 森口哲朗, 要直登, 矢野朝陽, 佐藤眞二, 福田茂一, 北川敦志

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学, 2021 年 9 月 6 日 - 9 月 8 日)

#### 放射性核ビームを用いた H<sub>2</sub>O 中の窒素不純物の化学状態の研究

木村容子 <sup>m\*</sup>, 三原基嗣 <sup>s</sup>, 松多健策, 福田光順 <sup>s</sup>, 若林諒, 大谷優里花, 福留美樹 <sup>DC</sup>, 高山元 <sup>m</sup>, 杉崎堯人 <sup>m</sup>, 田口諒 <sup>m</sup>, 南園忠則 <sup>i</sup>, 石谷壮史 <sup>b</sup>, 宮原里菜 <sup>b</sup>, 渡辺薫 <sup>b</sup>, S. Chen <sup>b</sup>, 西村太樹, 高橋弘幸, 泉川卓司, 大坪隆, 野口法秀, 生越瑞揮, 佐藤弥紗, 高津和哉, 百田佐多生, 矢野朝陽, 小沢顕, 長友傑, 北川敦志, 佐藤眞二

日本物理学会 2022 年秋季大会 (物性) (於 東京工業大学, 2022 年 9 月 12 日 - 9 月 15 日)

#### 氷の中の負ミュオンスピン緩和測定

三原基嗣 <sup>s\*</sup>, 木村容子 <sup>m</sup>, 久保謙哉, A.D. Pant, 大谷優里花, 高山元 <sup>m</sup>, 杉崎堯人 <sup>m</sup>, 下村浩一郎, 幸田章宏, 竹下聡史

日本物理学会 2022 年秋季大会 (物性) (於 東京工業大学, 2022 年 9 月 12 日 - 9 月 15 日)

#### 重粒子線による核反応断面積の研究

福田光順 <sup>s\*</sup>

2021 年度 HIMAC 共同利用研究成果発表会 (オンライン開催, 2022 年 5 月 30-6 月 1 日)

#### 物性プローブとしての高偏極不安定核ビーム生成法の開発

三原基嗣 <sup>s\*</sup>

2021 年度 HIMAC 共同利用研究成果発表会 (オンライン開催, 2022 年 5 月 30-6 月 1 日)

#### アイソマーの断面積測定実験計画 1

福田光順 <sup>s\*</sup>

「反応断面積研究の新しい展望」(研究会・理研, 2022年11月9-10日)

#### Be 同位体の荷電変化断面積と陽子分布半径 (ポスター)

高山元  $m^*$ , 福田光順  $s$ , 田中聖臣, 福留美樹  $DC$ , 西村太樹, 高橋弘幸, 菅原奏来, 森口哲朗, 矢野朝陽, 生越瑞揮, 野口法秀, 高津和哉, 泉川卓司, 田口諒  $m$ , 木村容子  $m$ , 松多健策, 三原基嗣  $s$ , 大谷優里花, 本多 祐也  $m$ , 林双葉  $m$ , 小沢顕, 要直登, 大坪隆, 武智麻耶, 鈴木健, 山口貴之, 神田真矩, 関響咲, 宇根千晶, 佐藤眞二, 福田茂, 北川敦志

日本量子医科学会第2回学術大会(つくば国際会議場, 2022年12月9-10日)

#### $^{16}\text{N}$ アイソマーの中性子剥離断面積測定と理論モデルとの比較 (ポスター)

福留美樹  $DC^*$ , 福田光順  $s$ , 堀内渉, 田中聖臣, 西村太樹, 武智麻耶, 大坪隆, 三原基嗣  $s$ , 松多健策, 鈴木健, 山口貴之, 泉川卓司, 佐藤眞二, 福田茂一, 北川敦志, 高橋弘幸, 木村容子  $m$ , 菅原奏来, 高津和哉, 高山元  $m$

日本量子医科学会第2回学術大会(つくば国際会議場, 2022年12月9-10日)

#### 入射核破砕片 $^{12}\text{Be}$ のアイソマー比とアイソマー状態の寿命測定 (ポスター)

田口諒  $m^*$ , 福田光順  $s$ , 福留美樹  $DC$ , 高山元  $m$ , 田中聖臣, 西村太樹, 高橋弘幸, 菅原奏来, 松多健策, 三原基嗣  $s$ , 大谷優里花, 木村容子  $m$ , 杉崎堯人  $m$ , 宇根千晶, 中村佑生, 福嶋知隼, 大坪隆, 武智麻耶, 野口法秀, 高津和哉, 太田由紀子, 泉川卓司, 鈴木健, 山口貴之, 神田真矩, 関響咲, 篠崎稔, 小沢顕, 森口哲朗, 要直登, 矢野朝陽, 佐藤眞二, 福田茂一, 北川敦志

日本量子医科学会第2回学術大会(つくば国際会議場, 2022年12月9-10日)

#### $\beta$ 線核磁気共鳴法を用いたイメージング法の開発

木村容子  $m^*$ , 杉崎堯人  $m$ , 高山元  $m$ , 田中聖臣, 溝井浩, 三原基嗣  $s$ , 小嶋健児, 佐藤渉, 福田光順  $s$ , 大谷優里花, 福留美樹  $DC$ , 田口諒  $m$ , S. Chen  $b$ , 石谷壮史  $b$ , 宮原里菜  $b$ , 渡辺薫  $b$ , 泉川卓司, 野口法秀, 高津和哉, 西村太樹, 高橋弘幸, 矢野朝陽, 関響咲, 大坪隆, 松多健策, 北川敦司, 佐藤眞二

令和4年度京大複合研専門研究会「短寿命RIを用いた核分光と核物性研究VX」(オンライン開催, 2023年1月11日)

#### 水中に入射した窒素イオンが形成する化学種の探索

三原基嗣  $s^*$ , 木村容子  $m$ , 大谷優里花, 杉崎堯人  $m$ , 福留美樹  $DC$ , 高山元  $m$ , 田口諒  $m$ , 松多健策, 福田光順  $s$ , 南園忠則  $i$ , 石谷壮史  $b$ , 宮原里菜  $b$ , 渡辺薫  $b$ , S. Chen  $b$ , 高橋弘幸, 西村太樹, 泉川卓司, 野口法秀, 高津和哉, 生越瑞揮, 佐藤弥紗, 大坪隆, 小沢顕, 矢野朝陽, 長友傑, 北川敦志, 佐藤眞二, 百田佐多生, 久保謙哉, A.D. Pant, 下村浩一郎, 幸田章宏, 竹下聡史

令和4年度京大複合研専門研究会「短寿命RIを用いた核分光と核物性研究VX」(オンライン開催, 2023年1月11日)

#### $\beta$ 線トラッカーを用いた核磁気共鳴イメージング法の開発

三原基嗣  $s^*$ , 木村容子  $m$ , 杉崎堯人  $m$ , 高山元  $m$ , 田中聖臣, 溝井浩, 西村太樹, 大谷優里花, 福

留美樹<sup>DC</sup>, 田口諒<sup>m</sup>, S. Chen<sup>b</sup>, 石谷壮史<sup>b</sup>, 宮原里菜<sup>b</sup>, 渡辺薫<sup>b</sup>, 福田光順<sup>s</sup>, 泉川卓司, 野口法秀, 高津和哉, 高橋弘幸, 矢野朝陽, 関響咲, 大坪隆, 松多健策, 北川敦司, 佐藤眞二, 小嶋健児, 佐藤涉

研究会「放射線検出器とその応用」(第37回)(KEK or オンライン, 2023年1月25-27日)

#### <sup>22</sup>Mg, <sup>22</sup>Ne の荷電変化断面積の測定 (ポスター)

渡辺薫<sup>b\*</sup>, 福田光順<sup>s</sup>, 福留美樹<sup>DC</sup>, 高山元<sup>m</sup>, 田口諒<sup>m</sup>, 田中聖臣, 西村太樹, 高橋弘幸, 菅原奏来, 松多建策, 三原基嗣<sup>s</sup>, 木村容子<sup>m</sup>, 大坪隆, 武智麻耶, 野口法秀, 高津和哉, 太田夕紀子, 泉川卓司, 鈴木健, 神田真矩, 関響咲, 篠崎稔, 小沢顕, 森口哲朗, 要直登, 矢野朝陽, 佐藤眞二, 福田茂一, 北川敦志

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

#### Li, Be 同位体の荷電変化断面積と新しい陽子分布半径導出法

高山元<sup>m\*</sup>, 福田光順<sup>s</sup>, 田中聖臣, 福留美樹<sup>DC</sup>, 木村容子<sup>m</sup>, 田口諒<sup>m</sup>, 渡辺薫<sup>b</sup>, 西村太樹, 高橋弘幸, 菅原奏来, 小沢顕, 森口哲朗, 矢野朝陽, 大坪隆, 武智麻耶, 野口法秀, 高津和哉, 鈴木健, 山口貴之, 関響咲, 神田真矩, 泉川卓司, 松多健策, 三原基嗣<sup>s</sup>, 佐藤眞二, 福田茂一, 北川敦志

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

#### <sup>12,13</sup>B, <sup>11</sup>C, <sup>12,13</sup>N の荷電変化断面積とその標的依存性

田口諒<sup>m\*</sup>, 福田光順<sup>s</sup>, 高山元<sup>m</sup>, 福留美樹<sup>DC</sup>, 田中聖臣, 高津和哉, 西村太樹, 高橋弘幸, 菅原奏来, 松多建策, 三原基嗣<sup>s</sup>, 木村容子<sup>m</sup>, 大坪隆, 武智麻耶, 生越瑞揮, 泉川卓司, 鈴木健, 山口貴之, 小沢顕, 森口哲朗, 矢野朝陽, 佐藤眞二, 福田茂一, 北川敦志

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

#### <sup>16</sup>N アイソマーの中性子剥離断面積・反応断面積測定

福留美樹<sup>DC\*</sup>, 福田光順<sup>s</sup>, 堀内涉, 田中聖臣, 西村太樹, 武智麻耶, 大坪隆, 三原基嗣<sup>s</sup>, 松多健策, 鈴木健, 山口貴之, 泉川卓司, 佐藤眞二, 福田茂一, 北川敦志, 高橋弘幸, 木村容子<sup>m</sup>, 菅原奏来, 高津和哉, 高山元<sup>m</sup>

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

#### シンチレータ中でのミュオン偏極緩和現象と素粒子物理研究への応用

清水 俊<sup>s\*</sup>, 堀江圭都, 鎌田圭, 三原基嗣<sup>s</sup>

研究会「光検出器およびシンチレータの開発と応用」(浜松アクトシティ, 2022年12月26-27日)

#### K 中間子ビームを用いたハイパートライトン寿命測定実験の現状

Takaya Akaishi<sup>d\*</sup>

J-PARC ハドロン研究会 2023 (於 オンライン + KEK J-PARC 東海分室、2023 年 3 月 27 日 – 3 月 29 日)

**K 中間子ビームによる軽いハイパー核の生成断面積測定**

赤石貴也 <sup>d\*</sup>, 他 J-PARC E73 コラボレーション

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 - 3 月 25 日)

**J-PARC におけるチャームバリオン分光実験用リングイメージングチェレンコフ検出器の開発**

戸田匡哉 <sup>m\*</sup>, 徳田恵 <sup>m</sup>, 阪口篤志 <sup>s</sup>, 白鳥昂太郎, 野海博之, 石川貴嗣, 田端誠, 宇田隆佑 <sup>m</sup>, 林双葉 <sup>m</sup>, 他 J-PARC E50 コラボレーション

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 - 3 月 25 日)

**J-PARC におけるチャームバリオン分光実験用のリングイメージングチェレンコフ検出器の粒子識別性能評価**

徳田恵 <sup>m\*</sup>, 戸田匡哉 <sup>m</sup>, 白鳥昂太郎, 阪口篤志 <sup>s</sup>, 野海博之, 石川貴嗣, 田端誠, 宇田隆佑 <sup>m</sup>, 林双葉 <sup>m</sup>, 他 J-PARC E50 コラボレーション

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 - 3 月 25 日)

**J-PARC におけるチャームバリオン分光実験で用いる飛行時間測定用大型 Resistive Plate Chamber の開発**

林双葉 <sup>m\*</sup>, 宇田隆佑 <sup>m</sup>, 富田夏希, 阪口篤志 <sup>s</sup>, 白鳥昂太郎, 野海博之, Wen-Chen Chang, Ming-Lee Chu, Chia-Yu Hsieh, 他 J-PARC E50 コラボレーション

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 - 3 月 25 日)

**J-PARC  $\pi$  20 ビームラインで用いるミュオン飛行時間・飛跡同時測定用 Resistive Plate Chamber (RPC) の開発**

宇田隆佑 <sup>m\*</sup>, 林双葉 <sup>m</sup>, 富田夏希, 阪口篤志 <sup>s</sup>, 野海博之, 白鳥昂太郎, Wen-Chen Chang, Ming-Lee Chu, Chia-Yu Hsieh, 他 J-PARC E50 コラボレーション

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 - 3 月 25 日)

**J-PARC におけるチャームバリオン分光実験用のリングイメージングチェレンコフ検出器のテスト機の性能評価**

戸田匡哉 <sup>m\*</sup>, 徳田恵 <sup>m</sup>, 阪口篤志 <sup>s</sup>, 白鳥昂太郎, 野海博之, 石川貴嗣, 田端誠, 宇田隆佑 <sup>m</sup>, 林双葉 <sup>m</sup>, 他 J-PARC E50 コラボレーション

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 - 9 月 8 日)

**J-PARC におけるチャームバリオン分光実験用のリングイメージングチェレンコフ検出器の光学系の設計と性能評価**

徳田恵 <sup>m\*</sup>, 戸田匡哉 <sup>m</sup>, 阪口篤志 <sup>s</sup>, 白鳥昂太郎, 野海博之, 石川貴嗣, 田端誠, 宇田隆佑 <sup>m</sup>, 林双葉 <sup>m</sup>, 他 J-PARC E50 コラボレーション

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 - 9 月 8 日)



**J-PARC  $\pi$ 20 ビームラインで用いる Resistive Plate Chamber(RPC) の開発**

宇田隆佑 <sup>m\*</sup>, 林双葉 <sup>m</sup>, 富田夏希, 阪口篤志 <sup>s</sup>, 白鳥昂太郎, Wen-Chen Chang, Ming-Lee Chu, Chia-Yu Hsieh, 他 J-PARC E50 コラボレーション  
日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学, 2021 年 9 月 6 日 – 9 月 8 日)

**書籍等の出版, 日本語の解説記事**

**宇宙核物理を築いた女性研究者たち –カレンダー国際プロジェクトと日本国内における取り組み**

川畑貴裕

日本物理学会誌 第 77 巻第 12 号 pp.823–826 (2022 年 12 月発行)

**恒星内の元素合成 –He から Fe まで**

川畑貴裕

科学 第 92 巻第 9 号 pp.829–834 (岩波書店 2022 年 9 月発行)

**“ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊” で宇宙の謎を探る**

梅原さおり, 吉田 斉 <sup>s</sup>

日本物理学会誌 第 77 巻第 8 号 pp.514–522 (2022 年 8 月発行)

## 1.3 山中グループ

### 令和四年度の研究活動概要

我々は J-PARC KOTO 実験と、ヨーロッパの CERN LHC ATLAS 実験に取り組んでいる。

#### J-PARC KOTO 実験

J-PARC KOTO 実験の目的は、中性の K 中間子の  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  崩壊を用いて、CP 対称性を破る新たな素粒子物理を探ることである。今年度は次のことを行なった。

- **2021 年に取得したデータの解析：** 中性 K 中間子のビームに  $O(10^{-5})$  の割合で混在している荷電 K 中間子に起因する背景事象を削減するために、2020 年の末に 0.5 mm 角のプラスチックシンチレータを一層並べた検出器 (UCV0.5) を中性 K 中間子のビームに入れた。データ解析を進め、UCV0.5 の検出効率を 93% と評価した。2021 年に取得したデータ (single event sensitivity:  $7.9 \times 10^{-10}$ ) における荷電 K 中間子に起因する背景事象数を系統誤差込みで  $0.042 \pm 0.014$  と見積った [白石]。
- **ビーム中荷電粒子検出器の改良：** UCV0.5 に比べより薄く、高感度な荷電粒子検出器を開発した。16 cm × 16 cm の大きさで、0.2 mm 厚のシンチレータフィルムを用いる UCV0.2 である。薄いシンチレータ内を伝搬する光は大きく減衰するため、シンチレータの表面から外に出る光を薄い鏡を使って集光し、14 本の光電子増倍管で検出する (図 1.1)。真空中で高いレートでも稼働する光電子増倍管のベース、差動出力増幅器、光電子増倍管のベース部の温度モニタを開発した。電子ビームにより UCV0.2 の検出効率を 99.97% と評価した (図 1.2)。また、J-PARC での実験中に検出効率を測定するための可動式トリガーカウンターも開発した。これらを 2023 年度の始めに J-PARC に設置する [小野、北川、川田、柴田、小寺、南條]。
- **高速データ収集システム：** 加速器のビームパワーの増強に対処するためにデータ収集システムを更新する。最終段では 6 台の PC が 40 Gbit/s でデータを受信し、データ選択とデータ圧縮を行う。その後段にある 1 台の PC のハードディスクにデータを保存し、KEK のコンピュータセンタに送信する。これを J-PARC に設置し、シカゴ大学、国立台湾大学のグループとともに、データ収集システムを構築し、試験と性能評価を進めた。2023 年度始めに J-PARC でのデータ取得を目指している [Gonzalez]。
- **次世代実験：** KOTO 実験の次世代の実験 (KOTO II) では、直径 3 m のカロリメータ、長さ 20 m のバレル部検出器を用い、1 年間の運転時間で、標準理論であれば  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  信号を 35 事象収集できる見込みである。 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  崩壊の発見と、標準理論を超える新物理の検出を目指し、検出器と実験エリアの設計を進めた [南條]。
- **KAON2022 国際会議の主催：** K 中間子を用いる素粒子物理学の実験と理論の研究者が集まり、発表と議論を行う国際会議を、ハイブリッド形式で開催した。現地参加

53名(うち海外から29名)、リモート参加53名であった。コロナ下であったが、入念な準備のうえ、エクスカージョン(図1.3)とバンケットも行い、発症者もなく、対面とリモートでの活発な議論ができた[全員]。

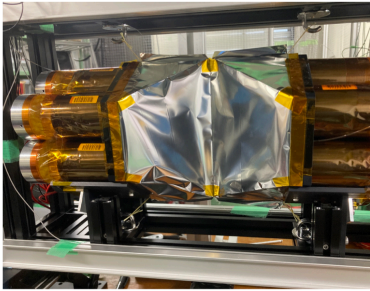


図 1.1: UCV0.2 の写真

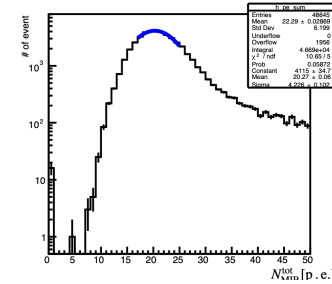


図 1.2: UCV0.2 の光量分布



図 1.3: KAON2022 の写真

## CERN ATLAS 実験

LHC ATLAS 実験では、世界最高エネルギーの陽子-陽子衝突を用いて、重い新粒子の探索や素粒子標準模型パラメータの精密測定などを進めている。ATLAS 大阪グループでは、特にヒッグス粒子の性質測定とシリコン検出器の運用や研究開発を重点的に進めている。今年度は次のことを行った。

- ヒッグス粒子がチャームクォーク対に崩壊する事象の探索：** ヒッグス粒子が第二世代粒子と結合するかの初検証を目指し、我々はヒッグス粒子がチャームクォーク対に崩壊する事象を探索している。クォーク、グルーオンはジェット事象として観測されるので、そこからチャームクォークの生成を同定する。この効率が探索感度を決める。この同定効率を用いて背景事象数や信号事象数を求めるので、同定効率を正確に評価することが解析の肝である。我々は多変数解析の一種であるグラフニューラルネットワークを利用し、ジェット同定効率を精度よく評価する研究を進めた。従来の手法よりも系統誤差を減らすことができ、次年度はこれを用いた物理結果を公表する予定である。[Wickremasinghe、廣瀬]
- LHC 第3期運転に伴うシリコンマイクロストリップ検出器の運転：** 約3年のシャットダウン期間が終わり、2022年6月にLHCの第3期運転が始まった。今年度の当初のLHC運転前に、これまで我々が開発してきた検出器の性能監視ツール(SCT PAT、図1.4)の最終調整や試運転を行った。これを用い、運転開始直後から検出器の安定した運転に貢献した。運転再開後に発見されたいくつかの問題については、それらが再発した際にすぐに運転チームにフィードバックできるように、SCT PATのデータベースとウェブインターフェースを向上させた。これらの活動を通して、残り3年間のLHC第3期運転でデータを円滑に収集する。[Wickremasinghe、廣瀬]

- **高輝度 LHC に向けたシリコンピクセル検出器の量産態勢の構築**：2029 年から高輝度 LHC での ATLAS 実験が始まる計画である。日本グループは、これに用いるピクセル検出器モジュール(約 4 cm 角のシリコン検出器、図 1.5)を、約 2000 個(全体の約 20%)製造する。これに先立ち全体の 10%を製造するプレ量産を行い、量産に問題ないことを確認する。今年度はこの準備を進めた。量産はハヤシレピック株式会社と協力して行うため、ハヤシレピック館山工場のクリーンルーム内に製造設備や試験設備の設置して試験運用などを行った(図 1.6)。次年度初頭にプレ量産を開始する。[全員]

図 1.4: SCT PAT の Web ユーザーインターフェース

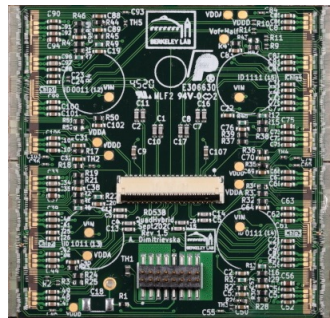


図 1.5: ピクセル検出器モジュール



図 1.6: 量産設備の様子

## 学術雑誌に出版された論文

**Search for the Pair Production of Dark Particles  $X$  with  $K_L^0 \rightarrow XX$ ,  $X \rightarrow \gamma\gamma$**   
 Lin C., Taku Yamanaka<sup>s</sup>, Hajime Nanjo<sup>s</sup>, Katsushige Kotera<sup>s</sup>, Ryota Shiraishi<sup>d</sup>, Mario Gonzalez<sup>d</sup>, Keita Ono<sup>m</sup>, Ayumu Kitagawa<sup>m</sup> *et al.*

Phys.Rev.Lett. **130** (11, Mar) (2023) 111801

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevLett.130.111801>).

## New physics searches at kaon and hyperon factories

Goudzovski Evgueni, Hajime Nanjo<sup>s</sup> *et al.*

Rept.Prog.Phys. **86** (1, Jan) (2023) 16201

(<http://dx.doi.org/doi:10.1088/1361-6633/ac9cee>).

## Direct constraint on the Higgs-charm coupling from a search for Higgs boson decays into charm quarks with the ATLAS detector

Georges Aad, Hajime Nanjo<sup>s</sup>, Minoru Hirose<sup>s</sup>, Lakmin Wickremasinghe<sup>d</sup> *et al.*

Eur.Phys.J.C **82** (, Aug) (2022) 717

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.105.092003>).

## Measurements of Higgs boson production cross-sections in the $H \rightarrow \tau^+\tau^-$ decay channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector

Georges Aad, Hajime Nanjo<sup>s</sup>, Minoru Hirose<sup>s</sup>, Lakmin Wickremasinghe<sup>d</sup> *et al.*  
JHEP **8** (, Aug) (2022) 175  
([http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP08\(2022\)175](http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP08(2022)175)).

**Constraints on Higgs boson production with large transverse momentum using  $H \rightarrow b\bar{b}$  decays in the ATLAS detector**

Georges Aad, Hajime Nanjo<sup>s</sup>, Minoru Hirose<sup>s</sup> *et al.*  
Phys.Rev.D **105** (9, May) (2022) 92003  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1140/epjc/s10052-022-10366-1>).

**国際会議報告等**

**KOTO II at J-PARC : toward measurement of the branching ratio of  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$**

Hajime Nanjo<sup>s\*</sup>  
J.Phys.Conf.Ser. **2446** (1, Mar) (2023) 12037.  
KAON2022 (Sep, 2022, 106).

**Hadron shower background in KOTO 2019 - 2021 data**

Katsushige Kotera<sup>s\*</sup>  
J.Phys.Conf.Ser. **2446** (1, Mar) (2023) 12043.  
KAON2022 (Sep, 2022, 106).

**Reduction of charged kaon background in the KOTO experiment**

Ryota Shiraiishi<sup>d\*</sup>  
J.Phys.Conf.Ser. **2446** (1, Mar) (2023) 12051.  
KAON2022 (Sep, 2022, 106).

**Online Event Selection and GPU-based Waveform Compression at the High Level Trigger of the KOTO Experiment**

Mario Gonzalez<sup>d\*</sup>  
J.Phys.Conf.Ser. **2446** (1, Mar) (2023) 12039.  
KAON2022 (Sep, 2022, 106).

**Thin scintillation counter with a new readout method for the KOTO experiment**

Keita Ono<sup>m\*</sup>  
J.Phys.Conf.Ser. **2446** (1, Mar) (2023) 12048.  
KAON2022 (Sep, 2022, 106).

**Development of a PMT base used for the new charged veto detector in the J-PARC KOTO experiment**Ayumu Kitagawa<sup>m\*</sup>J.Phys.Conf.Ser. **2446** (1, Mar) (2023) 12042.

KAON2022 (Sep, 2022, 106).

**J-PARC hadron experimental facility extension project**Sakuma Fuminori\*, Hajime Nanjo <sup>s</sup> *et al.*EPJ Web Conf. **271** (, Nov) (2022) 11001.

HYP2022 (Sep, 2022, 158), Czech.

**国際会議における講演等****Kaon Experiments**

Taku Yamanaka\* (invited)

KM50

**Status of the KOTO experiment to search for rare kaon decays**

Hajime Nanjo\* (invited)

DISCRETE2022

**KOTO step-2 at J-PARC toward measurement of branching ratio of  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$** 

Hajime Nanjo\*

KAON2022

**Online event selection and GPU-based waveform compression for the High Level Trigger of the KOTO experiment (poster)**

Mario Gonzalez\*

KAON2022

**Development of a PMT base used for an in-beam charged particle detector for the J-PARC KOTO experiment (poster)**

Ayumu Kitagawa\*

KAON2022

**Estimation of Hadron shower background in KOTO 2019 - 2021 data (poster)**

Katsushige Kotera\*

KAON2022

**Thin scintillation counter with a new readout method for the KOTO experiment (poster)**

Keita Ono\*

KAON2022

**Reduction of charged kaon background in the KOTO experiment (poster)**

Ryota Shiraishi\*

KAON2022

**Properties of the Higgs boson at the LHC (ATLAS+CMS)**

Minoru Hirose\* (invited)

IAP2022

**Graph Neural Network (GNN) based Truth-tagging Tool in ATLAS (poster)**

Lakmin Wickremasinghe\*

BOOST2022

**Prospects in Kaon Decay Physics**

Hajime Nanjo\* (invited)

Snowmass Summer Meeting 2022

**日本物理学会，応用物理学会等における講演**

**薄いシンチレータからの漏れ光収集による KOTO 実験用荷電粒子検出器の性能**

小野啓太\*

日本物理学会 2023 年春季大会

**KOTO 実験における荷電粒子検出器に用いる信号増幅回路の開発**

川田悠統\*

日本物理学会 2023 年春季大会

**KOTO 実験 2021 年物理データ解析での荷電 K 中間子背景事象の評価**

白石諒太\*

日本物理学会 2023 年春季大会

**(企画講演) 高輝度 LHC と ATLAS 検出器高度化の最前線から～着々と進む高輝度実験に向けた準備と物理の展望**

廣瀬穰\*

日本物理学会 2023 年春季大会

**HL-LHC ATLAS 実験用シリコンピクセル検出器を用いたテストビームラインにおける飛跡検出システムの開発と性能評価**

久郷莉奈\*

日本物理学会 2023 年春季大会

**KOTO 実験における真空中で動作する荷電粒子検出器に用いる 14 本の光電子増倍管の温度監視**

柴田哲平\*

日本物理学会 2023 年春季大会

**Packet capture at 40 Gbps at the new High Level Trigger of the KOTO experiment**

Mario Gonzalez\*

日本物理学会 2023 年春季大会

**Development and commissioning of the LHC-ATLAS Semiconductor Tracker Performance Analysis Tool**

Lakmin Wickremasinghe\*

日本物理学会 2023 年春季大会

**KOTO 実験のビーム中荷電粒子検出器に用いる PMT の基板部開発**

北川歩\*

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇)

**薄型プラスチックシンチレータを新手法で読み出す KOTO 実験用荷電粒子検出器の性能評価**

小野啓太\*

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇)

**J-PARC KOTO 実験 2021 年物理データを用いた荷電 K 中間子背景事象の見積もり**

白石諒太\*

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇)

**KOTO 2021 年データ解析の結果として予測されるハドロン背景事象**

小寺克茂\*

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇)

**HL-LHC のための新型 ATLAS ピクセル検出器の閾値調整および評価手法の研究**

荒久田周作\*



日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇)

**HL-LHC ATLAS ピクセル検出器量産時における外観検査のための OpenCV を用いた  
欠陥判定ツールの開発**

藤田侑葵子 \*

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇)

**書籍等の出版，日本語の解説記事**

## 1.4 工藤グループ

### 令和四年度の研究活動概要

#### ハニカムネットワークを持つ BaPtAs、BaPtSb の超伝導

プラチナニクタイト AEPtPn (AE = Ca, Sr, Ba; Pn = P, As, Sb) は、多様な六方晶構造を示す。例えば、KZnAs 型 SrPtAs ( $P6_3/mmc$ ,  $D_{6h}^4$ , No. 194) と SrPtSb 型 BaPtAs、BaPtSb ( $P\bar{6}m2$ ,  $D_{3h}^1$ , No. 187) は、いずれも Pt と As/Sb からなる秩序型ハニカムネットワークを含む六方晶構造をとる。私たちは、これまで、それらの化合物において超伝導を報告してきた。KZnAs 型と SrPtSb 型には空間反転中心の有無に違いがあり、KZnAs 型では、ハニカム層が Pt の上に As、As の上に Pt が位置するように積層し、空間反転対称性が保たれている。一方、SrPtSb 型では、ハニカム層が Pt の上に Pt、As/Sb の上に As/Sb が位置するように積層しており、空間反転対称性が破れている。本研究では、空間反転中心を持たず、かつ、強いスピン軌道相互作用を期待することができる BaPtAs と BaPtSb に着目し、物質開発と基礎的な物性測定を進めた。その結果、BaPtAs と BaPtSb の固溶体において、従来型の超伝導状態では説明できない結果を得ることができた。

BaPtAs が多形を示すため、合成方法を慎重に検討しながら固溶体 BaPt(As<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub>) ( $P\bar{6}m2$ ,  $D_{3h}^1$ , No. 187) の多結晶試料を合成した。粉末 X 線回折実験で結晶構造、エネルギー分散型 X 線分光実験で化学組成を評価し、良質と認められた試料について磁化測定と比熱測定を行なった。その結果、 $x$  を変化させると BaPt(As<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub>) の超伝導転移温度が非単調に変化することが明らかになった。超伝導転移温度の  $x$  依存性がピークを示す。一方で、格子定数は  $x$  の増加とともに単調に増加し、さらに、電子比熱係数とデバイ温度は  $x$  にほとんど依存しないことが分かった。これらのことは、この系の超伝導が、電子格子相互作用に基づく従来型の超伝導発現機構では単純には説明できないことを示唆している。今後、この系について物性測定を進めて、超伝導状態の詳細を明らかにしたい。

#### 角度分解光電子分光法による鉄系超伝導体の $xy$ 電子軌道バンドに関する研究

鉄系超伝導体は、Fe の 3d 電子軌道に起因する複数のバンドがフェルミ準位近傍に存在するマルチバンド系である。これらのバンドが、ブリルアンゾーンの中心にホールフェルミ面、ゾーン端に電子フェルミ面を形成し、フェルミ面間のネスティングに起因する電子的なゆらぎが、高温超伝導機構に関与している。3d 電子軌道の中でも、 $xy$  軌道特性を持つホールバンドやフェルミ面が、高温超伝導機構に対し重要な役割を果たしていることが、本系の発見当初から理論的に指摘されてきた。この  $xy$  軌道バンドのエネルギー準位は、Fe 周囲の局所結晶構造を変化させることで、制御可能であることが知られている。1111 系と呼ばれる鉄系超伝導体 RFeAs(O,F) (R は希土類元素) においては、As を P で置換することにより、Fe 周囲の As/P 四面体構造が正四面体に近い構造から、よりひずみの大きな構造へと変化する。それに伴い、 $xy$  軌道バンドのエネルギー準位が変化すると考えられている。しかし、1111 系における  $xy$  軌道バンドの観測例が少ないため、このバンドと超伝導との関係は、実験面からは明らかになっていない。そこで、本研究では As/P を固溶した NdFeAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>O<sub>0.9</sub>F<sub>0.1</sub> を研究対象として、角度分解光電子分光法 (ARPES) を用いて、 $xy$  軌道バンドのエネルギー

準位の P 置換量依存性を明らかにすることを第一の目的とした。更に、 $xy$  軌道バンドが本系の  $x = 0$  付近の高い超伝導転移温度 ( $T_c \sim 50$  K) を持つ超伝導と相関があるか否かについて検証することを、本研究の第二の目的とした。

ARPES 測定により、 $\text{NdFeAsO}_{0.9}\text{F}_{0.1}$  ( $x = 0$ ) では  $xy$  軌道特性を持つバンドが、フェルミ準位以下の約 50meV ( $\gamma$  バンド) と、約 20meV ( $\alpha_1$  バンド) に観測された。 $\alpha_1$  バンドの  $xy$  軌道成分は、バンド頂点付近にのみ存在している。本系で As を P で置換すると、 $\gamma$  バンドはフェルミ準位以下のより深いエネルギーへと沈み込むことが明らかになった。一方、 $\alpha_1$  バンドでは P 置換に伴いエネルギー準位が上昇し、P 濃度  $x = 0.4$  付近で  $xy$  軌道成分を持つバンド頂点がフェルミ準位よりも高いエネルギーへとシフトすることが判明した。この物質系では、 $x = 0.4$  付近より低い P 濃度領域では  $T_c$  は高いのに対し、P の高濃度領域では  $T_c$  は約 15 K 以下と極めて低くなる。また、この  $xy$  軌道成分を持つ  $\alpha_1$  バンドの頂点部分は、 $x = 0$  においてはフェルミ準位以下に存在しているにも関わらず超伝導応答を示すことが、ARPES スペクトルの温度依存性の測定から明らかになった。これらの結果は、本系の  $x = 0$  付近の高い  $T_c$  を持つ超伝導状態に、 $xy$  軌道特性を持つ  $\alpha_1$  バンドが関係していることを示唆している。

#### 層状ペロブスカイト型バナジウム酸化物層を有する $\text{Sr}_2\text{VMAsO}_3$ ( $M = \text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}$ ) における電子秩序の研究

電子間に強い相互作用が働いている層状遷移金属化合物では、電荷・スピン・軌道および格子の自由度が絡み合うことにより、多彩な物性が発現する。層状ペロブスカイト型バナジウム酸化物は、 $\text{VO}_2$  層においてスピンと軌道の自由度に起因する特異な物性を示す。

私たちは、ペロブスカイト型のバナジウム酸化物層と逆蛍石型の遷移金属ヒ化物層を併せ持つ層状化合物  $\text{Sr}_2\text{VMAsO}_3$  ( $M = \text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}$ ) に着目して研究を進めてきた。 $M = \text{Fe}, \text{Co}$  では、約 150 K に詳細不明の相転移が現れ、その起源が興味を集めている。2021 年度には、それまで物性が不明であった  $\text{Sr}_2\text{VNiAsO}_3$  に対して、不純物の少ない多結晶試料の合成に成功し、160 K で相転移が起きること、60 K 以下で短距離磁気秩序が形成されることを突き止めた。2022 年度は、 $\text{Sr}_2\text{VMAsO}_3$  の示す相転移が、 $\text{VO}_2$  層で生じるものとして統一的に理解できるのか、それとも、ヒ化物層の遷移金属の違いに起因する異なる現象なのかを明らかにすることを目標として研究を行った。

本研究では、 $M = \text{Co}, \text{Ni}$  に対して様々な条件での試料合成を行い、酸素欠損量の制御を試みた。 $M = \text{Fe}$  の場合には、酸素欠損の導入は  $c$  軸長を長くし、物性に大きな影響を与えていることが分かっている。酸素欠損量の制御は、電子状態を理解するためには不可欠である。本研究で試した合成条件の範囲では、不純物の量を少なく抑えたまま、 $c$  軸長を広い領域で変化させることは難しかったが、 $\text{Sr}_2\text{VMAsO}_3$  の示す物性の変化については観測できた。 $M = \text{Co}$  における磁化の温度依存性は、 $c$  軸長が短いときには  $M = \text{Fe}$  の場合と、長いときには  $M = \text{Ni}$  の場合と類似した振る舞いを示した。 $\text{Sr}_2\text{VMAsO}_3$  に共通して現れる振る舞いについては、 $\text{VO}_2$  層で生じているものとして、統一的に理解できる可能性がある。

## 学術雑誌に出版された論文

**Enhanced superconductivity and moderate spin fluctuations suppressed at low energies in heavily electron-doped La1111-based superconductor**

T. Kouchi, S. Nishioka, K. Suzuki, M. Yashima, H. Mukuda, T. Kawashima<sup>m</sup>, H. Tsuji<sup>m</sup>, K. Kuroki<sup>s</sup>, S. Miyasaka<sup>s</sup>, S. Tajima

Phys. Rev. B **105** (No. 14, Apr.) (2022) 144510 1-6

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.105.144510>).

**Observation of bands with  $d_{xy}$  orbital character near the Fermi level in NdFeAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>O<sub>0.9</sub>F<sub>0.1</sub> using angle-resolved photoemission spectroscopy**

Z. H. Tin<sup>d</sup>, T. Adachi<sup>DC</sup>, A. Takemori<sup>m</sup>, K. Yoshino<sup>m</sup>, K. Katayama<sup>m</sup>, S. Miyasaka<sup>s</sup>, S. Ideta, K. Tanaka, S. Tajima

Phys. Rev. B **105** (No. 20, May) (2022) 205106 1-10

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.105.205106>).

**Domain dependent Fermi arcs observed in a striped phase dichalcogenide**

T. Mizokawa, A. Barinov, V. Kandyba, A. Giampietri, R. Matsumoto, Y. Okamoto, K. Takubo, K. Miyamoto, T. Okuda, S. Pyon, H. Ishii, K. Kudo<sup>s</sup>, M. Nohara, and N. L. Saini  
Adv. Quantum Technol. **5** (No. 9, July) (2022) 2200029 1-9

(<http://dx.doi.org/doi:10.1002/qute.202200029>).

**Two-step Mott transition in Ni(S,Se)<sub>2</sub>:  $\mu$ SR studies and charge-spin percolation model**

Q. Sheng, T. Kaneko, K. Yamakawa, Z. Guguchia, Z. Gong, G. Zhao, G. Dai, C. Jin, S. Guo, L. Fu, Y. Gu, F. Ning, Y. Cai, K. M. Kojima, J. Beare, G. M. Luke, S. Miyasaka<sup>s</sup>, M. Matsuura, S. Shamoto, T. Ito, W. Higemoto, A. Gauzzi, Y. Klein, Y. J. Uemura

Phys. Rev. Res. **4** (No. 3, Sept.) (2022) 033172 1-14

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevResearch.4.033172>).

**Hidden Nematic Quantum Critical Point and Precursor to Mott Insulating State with  $3d^5$  Electron Configuration in Iron-Based Superconductors**

S. Miyasaka<sup>s</sup>

JPSJ News and Comments **19** (Nov.) (2022) 18 1-2

(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSJNC.19.18>).

**Non-monotonic Variation of Superconducting Transition Temperature in BaPtAs–BaPtSb Solid Solution**

T. Ogawa, K. Manabe<sup>m</sup>, T. Takeuchi, T. Kida, H. Kuroe, M. Hagiwara, J. Goryo, T. Adachi, and K. Kudo<sup>s</sup>

J. Phys. Soc. Jpn. **91** (No. 12, Dec.) (2022) 123702 1-4

(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSJ.91.123702>).

**Temperature dependent local inhomogeneity and magnetic moment in (Li<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>)OHFeSe superconductor**

G. Tomassucci, L. Tortora, G. M. Pugliese, F. Stramaglia, L. Simonelli, C. Marini, K. Terashima, T. Wakita, S. Ayukawa, T. Yokoya, K. Kudo<sup>s</sup>, M. Nohara, T. Mizokawa, and N. L. Saini

Phys. Chem. Chem. Phys. **25** (No. 9, Mar.) (2023) 6684-6692

(<http://dx.doi.org/doi:10.1039/D3CP00004D>).

**国際会議報告等**

**<sup>75</sup>As NMR studies on iron-based La1111 superconductors in lightly and heavily electron doped states**

T. Kouchi<sup>\*</sup>, K. Yoshinaga, S. Nishioka, T. Shiota, M. Yashima, H. Mukuda, K. Kuroki<sup>s</sup>, S. Miyasaka<sup>s</sup>, S. Tajima

J. Phys.: Conf. Ser. **2323** (No. 1, Aug.) (2022) 012011 1-6.

The 34th International Symposium on Superconductivity (Nov., Dec., 2021, 参加者数約 340 名), Online.

**国際会議における講演等**

**Enhanced Superconductivity in Close Proximity to Polar-Nonpolar Structural Phase Transition in Chemically Doped PtBi<sub>2</sub> (poster)**

K. Takaki<sup>m</sup>, T. Takeuchi, M. Nakajima<sup>s</sup>, and K. Kudo<sup>s\*</sup>

29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (at Sapporo, Japan and Online, Aug. 18-24, 2022, 参加者数約 1,100 名)

**Superconducting properties in Se-doped PtBi<sub>2</sub> thin films (poster)**

M. Maeda<sup>m\*</sup>, M. Tokuda<sup>DC</sup>, R. Nakamura<sup>m</sup>, M. Watanabe<sup>DC</sup>, K. Takaki<sup>m</sup>, K. Kudo<sup>s</sup>, and Y. Niimi<sup>s</sup>

29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (at Sapporo, Japan and Online, Aug. 18-24, 2022, 参加者数約 1,100 名)

**Enhanced superconductivity in close proximity to polar-nonpolar structural phase transition by chemical doping of PtBi<sub>2</sub>**

K. Kudo<sup>s\*</sup> (invited)

The 15th Asia Pacific Physics Conference (APPC15) (at Online, Aug. 21-26, 2022, 参加

者数約 1,000 名)

**Different superconducting states and BCS-BEC crossover in 1111-type iron pnictide revealed by studies of electronic phase diagram and superfluid density**

S. Miyasaka<sup>s\*</sup>, T. Kawashima<sup>m</sup>, S. Sano<sup>m</sup>, D. Tomono, W. Higemoto, Z. H. Tin<sup>d</sup>, M. Nakajima<sup>s</sup>, S. Tajima

The 15th Asia Pacific Physics Conference (APPC15) (at Online, Aug. 21-26, 2022, 参加者数約 1,000 名)

**Doping-induced polar-nonpolar structural phase transition and enhancement of superconductivity in platinum pnictides**

K. Kudo<sup>s\*</sup> (invited)

Pacific Rim International Conference on Superconducting Materials : Fundamentals and Applications (PRISM2022) (at Online, Sept. 22-23, 2022, 参加者数約 150 名)

**Importance of  $d_{xy}$  orbital and strong electron correlation in iron-based superconductors**

S. Miyasaka<sup>s\*</sup> (invited)

The International Conference on Quantum Materials and Technologies (ICQMT2022) (at Milas-Bodrum, Turkey and Online, Oct. 16-22, 2022, 参加者数約 300 名)

**日本物理学会，応用物理学会等における講演**

**精密反射率測定によるネマティックドメイン及びそのダイナミクスの観測**

中島 正道<sup>s\*</sup>

新学術領域研究「量子液晶の物性科学」第2期公募研究キックオフミーティング (於 東京大学物性研究所・オンライン、2022年6月17日 - 18日)

**高温超伝導における最近の研究の進展 (ポスター)**

宮坂 茂樹<sup>s\*</sup>

第7回 大阪大学豊中地区研究交流会 (於 大阪大学会館アセンブリーホール、2022年11月4日)

**化学ドーピングした  $\text{PtBi}_2$  における極性非極性構造相転移と超伝導転移温度の上昇**

高木 健輔<sup>m\*</sup>, 竹内 徹也, 中島 正道<sup>s</sup>, 工藤 一貴<sup>s</sup>

第21回低温工学・超伝導若手合同講演会 (於 関西学院大学大阪梅田キャンパス、2022年11月18日)

**元素特性を利用した構造制御による遷移金属化合物の新超伝導体開発 (依頼講演)**

工藤 一貴<sup>s\*</sup>

大阪大学スピン学際研究部門「量子材料研究会」(於 大阪大学、2022年12月1日)

**Superconductivity in BaPt(As<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub>) with honeycomb networks**

工藤 一貴<sup>s\*</sup>

令和4年度 新学術領域研究「量子液晶の物性科学」領域研究会 (於 名古屋大学・オンライン、2022年12月8日 - 10日)

**Elastoresistivity measurement on iron-based superconductors with novel tetragonal phases (ポスター)**

中島 正道<sup>s\*</sup>

令和4年度 新学術領域研究「量子液晶の物性科学」領域研究会 (於 名古屋大学・オンライン、2022年12月8日 - 10日)

**元素特性を利用した構造制御による遷移金属化合物の超伝導物質開発 (依頼講演)**

工藤 一貴<sup>s\*</sup>

低温工学・超電導学会関西支部 2022年度第3回講演会 (於 大阪公立大学文化交流センターホール、2023年2月3日)

**新しい超伝導体を創る (依頼講演)**

工藤 一貴<sup>s\*</sup>

第12回 理学研究フォーラム/第11回 研究交流セミナー (於 大阪大学南部陽一郎ホール、2023年3月13日)

**鉄系超伝導体 Sr<sub>2</sub>VFeAsO<sub>3</sub> の単結晶育成とその評価**

中島 正道<sup>s\*</sup>

日本物理学会 2023年春季大会 (於 オンライン、2023年3月22日 - 3月25日)

**書籍等の出版，日本語の解説記事**

## 1.5 新見グループ

### 令和四年度の研究活動概要

ナノメートルスケールの微小な伝導体（金属、半導体、超伝導体、磁性体など）では、バルクには現れない効果が発現することが知られている。このような微小伝導体の研究は、近年のナノテクノロジーの進展によって初めて可能になったものであり、量子力学的効果の検証、スピントロニクスや量子コンピュータへの応用など、幅広い分野にわたって研究が行われている。その最大の特長は、電子及びスピン状態を人工的に制御できる点にある。

近年、当該分野に大きなブレイクスルーがあった。それがグラフェンの発見である。これを契機に、2次元性の強い物質を機械的に剥離して、結晶性のよい原子層薄膜を簡便に作製できるようになった。さらに、このような原子層薄膜を人工的に組み合わせることで、天然結晶では実現しない物性が発現することが報告され、現在世界中で研究が進んでいる。

本グループでは、2次元性の強い超伝導体や磁性体などを微細化し、それらを人工的に組み合わせることで新現象の発見を目指すと同時に、新しい測定手法の開発を行っている。令和四年度、我々は主として以下のテーマに取り組んだ。

- a) カイラル磁性体  $\text{CrNb}_3\text{S}_6$  薄膜におけるスピン輸送測定
- b)  $\text{BiNi}$  超伝導薄膜デバイスを用いた超伝導特性の評価とスピン輸送測定
- c) ファンデルワールス強磁性体・反強磁性体を用いた原子層デバイスの作製と物性評価
- d) ファンデルワールス反強磁性体におけるスピントロニクス転移の研究
- e) ファンデルワールス超伝導体を用いたジョセフソン接合デバイスの作製と物性評価
- f) 表面弾性波による擬1次元電荷密度波の変調
- g) グラフェンを用いたスピン輸送測定
- h) 空間反転対称性の破れた原子層物質の伝導特性

以下では、「d) ファンデルワールス反強磁性体におけるスピントロニクス転移の研究」について紹介する。

### ファンデルワールス反強磁性体におけるスピントロニクス転移の研究

2017年に単原子層の2次元強磁性体が発見されて以来、ファンデルワールス磁性体の研究が急進展している。発見当初は強磁性絶縁体のみで、強磁性転移温度  $T_C$  も 60 K 程度であったが、その後すぐに強磁性金属のファンデルワールス強磁性体が発見され、さらに  $T_C$  も室温以上になる物質が発見された。このようなファンデルワールス強磁性体は、将来の原子層スピントロニクスデバイスへの応用も期待される。

さまざまなファンデルワールス磁性体の中で  $\text{FeGeTe}$  は、他の原子層強磁性体（例えば  $\text{CrI}_3$ :  $T_C \approx 61$  K,  $\text{Cr}_2\text{Ge}_2\text{Te}_6$ :  $T_C \approx 66$  K）に比べてキュリー温度が高く ( $T_C > 200$  K)、金属化合物であるため伝導測定が可能である。 $\text{FeGeTe}$  系の中でも  $\text{Fe}_5\text{GeTe}_2$  バルク結晶は、室温以上の  $T_C$  ( $\approx 310$  K) を示す。また一部の Fe を Co や Ni で置換することで、 $T_C$  の増大や磁気異方性の変調、磁性自体を強磁性から反強磁性に出来ることも報告されている。 $\text{Fe}_5\text{GeTe}_2$



を用いた原子層デバイスの研究では、薄膜化によって磁気特性に変化が表れることが知られているが、一部の Fe を Co 置換した物質ではその詳細な報告はなされていない。

そこで本研究では、Co 置換率が異なる様々な  $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_5\text{GeTe}_2$  バルク結晶 ( $x = 0, 0.05, 0.19, 0.46$ ) を用いて薄膜デバイス (20 ~ 30 nm) を作製し、Co 置換率の違いによる磁気特性の変化を系統的に評価した。各 Co 置換率  $x$  の薄膜デバイスを用いて測定したホール抵抗率を図 1.1 に示す。バルク試料を用いた磁化測定で示されている通り、薄膜デバイスでも  $x = 0, 0.05$  では垂直磁気異方性をもつ強磁性体、 $x = 0.19$  では面内磁気異方性をもつ強磁性体であることが分かった。一方  $x = 0.46$  ではその他の  $x$  の値と異なり、有限のホール抵抗率が低磁場で観測されないことから反強磁性体であると言える。

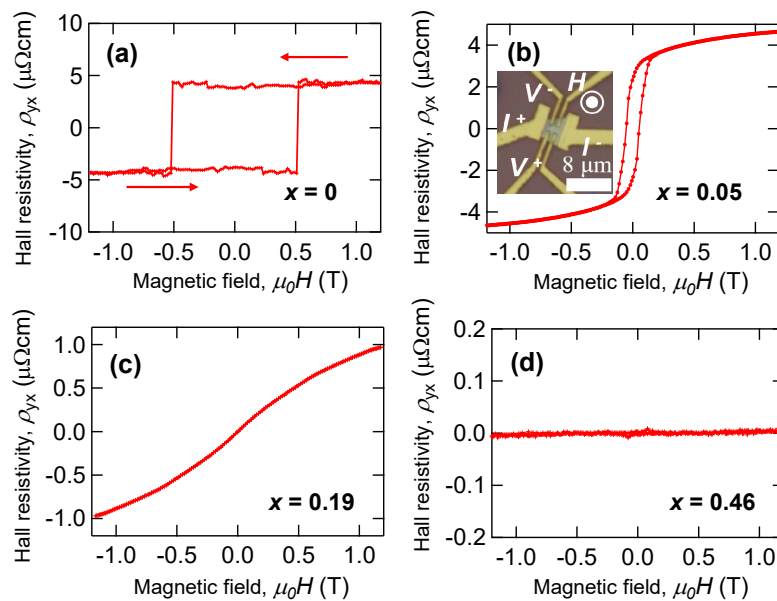


図 1.1:  $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_5\text{GeTe}_2$  薄膜デバイスで測定されたホール抵抗率。測定温度は全て  $T = 70$  K。(a)  $x = 0$ 、(b)  $x = 0.05$ 、(c)  $x = 0.19$ 、(d)  $x = 0.46$ 。(b) の挿入図には、デバイスの光学顕微鏡像と磁場の印加方向を示している。(a)、(b) では明瞭な磁気ヒステリシスが観測されている一方、(c) ではヒステリシスは消失し、(d) では有限のホール抵抗率はほぼゼロである。

さらに  $x = 0.46$  のデバイスに対しては、8 T までの磁場を印加した。その結果、図 1.2(a) に示すように  $\pm 2.5$  T 付近でスピントロップ転移に伴うホール抵抗率の大きな飛びが観測され、明瞭な磁気ヒステリシスを示すことが分かった。このヒステリシスの幅  $\Delta B$  は、30 K 以下の低温部で顕著に増大する (図 1.2(b) 参照)。同様の傾向は、磁気抵抗でも現れた。

通常バルク試料ではスピントロップ転移にヒステリシスは伴わないが、表面や欠陥によってスピントロップ状態がピン留めされた場合は、ヒステリシスは現れうる。本研究では薄膜デバイスにしているため、表面や欠陥の寄与は大きくなり、ヒステリシスが低温で明瞭に観

測されたと考えられる。このような特性は、ファンデルワールス磁性体を積層させたデバイス設計に重要な指針を与える。

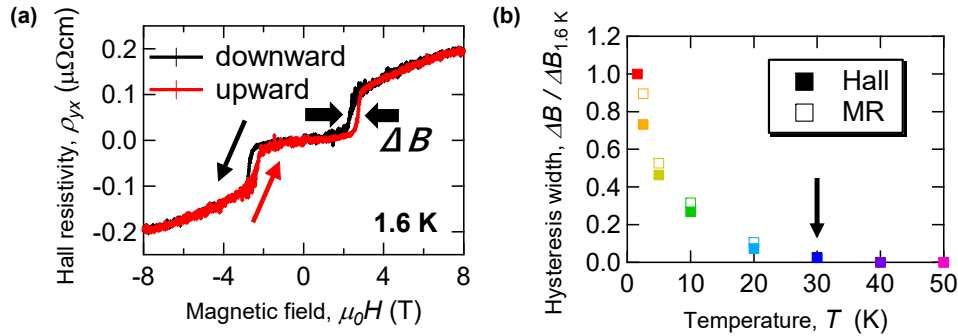


図 1.2: (a)  $\pm 8$  T の範囲で測定した  $x = 0.46$  のホール抵抗率。測定温度は  $T = 1.6$  K。 $\pm 2.5$  T 付近に明瞭な磁気ヒステリシスが観測されている。図中にはヒステリシス幅  $\Delta B$  も定義されている。(b) ホール抵抗率及び磁気抵抗 (MR) で観測された  $\Delta B$  の温度依存性。 $T = 1.6$  K で観測された  $\Delta B$  の値で縦軸は規格されている。 $T = 30$  K 以下で有限の  $\Delta B$  がホール抵抗率、MR の両方で観測された。

### 学術雑誌に出版された論文

#### Microwave Dynamical Conductivity in the Quantum Hall Regime

T. Arakawa, T. Oka, S. Kon, and Y. Niimi<sup>s</sup>

Physical Review Letters **129** (No. 4, Jul.) (2022) 046801/1-6

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevLett.129.046801>).

#### Higher harmonic resistance oscillations in micro-bridge superconducting Nb ring

M. Tokuda<sup>DC</sup>, R. Nakamura<sup>m</sup>, M. Maeda<sup>m</sup>, and Y. Niimi<sup>s</sup>

Japanese Journal of Applied Physics **61** (No. 6, May) (2022) 060908/1-5

(<http://dx.doi.org/doi:10.35848/1347-4065/ac6a37>).

### 国際会議報告等

**国際会議における講演等****Magnetotransport properties of van der Waals ferromagnet  $\text{Fe}_5\text{GeTe}_2$  and their application to spintronic devices (poster)**T. Ohta<sup>DC\*</sup>, K. Kondou, K. Yamagami, Y. Okada, Y. Otani, and Y. Niimi<sup>s</sup>

24th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2022) (at Okinawa, Jul. 10 - Jul. 15, 2022, 参加者数約 200 名)

**Observation of Little-Parks oscillations in Bi/Ni bilayer film (poster)**M. Tokuda<sup>DC\*</sup>, M. Nakao<sup>m</sup>, M. Watanabe<sup>DC</sup>, R. Nakamura<sup>m</sup>, M. Maeda<sup>m</sup>, S.-H. Lee<sup>d</sup>, D. Yue, K. Aoyama, T. Mizushima, X.-F. Jin, K. Kobayashi, and Y. Niimi<sup>s</sup>

24th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2022) (at Okinawa, Jul. 10 - Jul. 15, 2022, 参加者数約 200 名)

**Unique magnetoresistance and Hall effects in classical triangular antiferromagnet  $\text{Ag}_2\text{CrO}_2$  (poster)**M. Watanabe<sup>DC\*</sup>, R. Asama<sup>m</sup>, M. Tokuda<sup>DC</sup>, S. Suzuki<sup>DC</sup>, H. K. Yoshida, and Y. Niimi<sup>s</sup>

24th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2022) (at Okinawa, Jul. 10 - Jul. 15, 2022, 参加者数約 200 名)

**Magnetotransport properties in quantum-spin triangular-lattice antiferromagnet  $\text{Ag}_2\text{CoO}_2$  thin films (poster)**R. Asama<sup>m\*</sup>, M. Watanabe<sup>DC</sup>, I. Sasaki<sup>m</sup>, R. Nakamura<sup>m</sup>, H. K. Yoshida, and Y. Niimi<sup>s</sup>

24th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2022) (at Okinawa, Jul. 10 - Jul. 15, 2022, 参加者数約 200 名)

**Electrical transport measurement on van der Waals magnet  $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_5\text{GeTe}_2$  (poster)**K. Kurokawa<sup>m\*</sup>, T. Ohta<sup>DC</sup>, M. Watanabe<sup>DC</sup>, K. Yamagami, Y. Okada, and Y. Niimi<sup>s</sup>

24th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2022) (at Okinawa, Jul. 10 - Jul. 15, 2022, 参加者数約 200 名)

**Electric current control of spin helicity and memory effect in an itinerant helimagnet**N. Jiang<sup>s\*</sup>, Y. Nii, H. Arisawa, E. Saitoh, J. Ohe, Y. Onose

24th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2022) (at Okinawa, Jul. 10 - Jul. 15, 2022, 参加者数約 200 名)

**Observation of Little-Parks oscillations in Bi/Ni bilayer film (poster)**M. Tokuda<sup>DC\*</sup>, M. Nakao<sup>m</sup>, M. Watanabe<sup>DC</sup>, R. Nakamura<sup>m</sup>, M. Maeda<sup>m</sup>, S.-H. Lee<sup>d</sup>,D. Yue, K. Aoyama, T. Mizushima, X.-F. Jin, K. Kobayashi, and Y. Niimi<sup>s</sup>

29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (at Sapporo, Aug. 18 - Aug. 24, 2022, 参加者数約 1200 名)

**Thickness-induced crossover from strong to weak collective pinning in exfoliated FeTe<sub>0.6</sub>Se<sub>0.4</sub> thin films at 1 T (poster)**

R. Nakamura<sup>m\*</sup>, M. Tokuda<sup>DC</sup>, M. Watanabe<sup>DC</sup>, M. Maeda<sup>m</sup>, M. Nakajima, and Y. Niimi<sup>s</sup>  
29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (at Sapporo, Aug. 18 - Aug. 24, 2022, 参加者数約 1200 名)

**Superconducting properties in Se-doped PtBi<sub>2</sub> thin films (poster)**

M. Maeda<sup>m\*</sup>, M. Tokuda<sup>DC</sup>, R. Nakamura<sup>m</sup>, M. Watanabe<sup>DC</sup>, K. Takaki, K. Kudo, and Y. Niimi<sup>s</sup>  
29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (at Sapporo, Aug. 18 - Aug. 24, 2022, 参加者数約 1200 名)

**Electric current control of spin helicity and memory effect in an itinerant helimagnet**

N. Jiang<sup>s\*</sup>, Y. Nii, H. Arisawa, E. Saitoh, J. Ohe, Y. Onose  
29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (at Sapporo, Aug. 18 - Aug. 24, 2022, 参加者数約 1200 名)

**Observation of Little-Parks oscillations in Bi/Ni bilayer film**

M. Tokuda<sup>DC</sup>, M. Nakao<sup>m</sup>, M. Watanabe<sup>DC</sup>, R. Nakamura<sup>m</sup>, M. Maeda<sup>m</sup>, S.-H. Lee<sup>d</sup>, N. Jiang<sup>s</sup>, D. Yue, K. Aoyama, T. Mizushima, X.-F. Jin, K. Kobayashi, and Y. Niimi<sup>s\*</sup> (invited)  
International workshop on superconducting spintronics (Superconducting spintronics 2022) (Online, Nov. 2-3, 2022, 参加者数約 20 名)

**日本物理学会，応用物理学会等における講演**

**スピン流を用いたスピン液晶の磁化制御**

新見 康洋<sup>s\*</sup>

新学術領域研究「量子液晶の物性科学」第2期公募研究キックオフミーティング（於 東京大学物性研究所、2022年6月17日 - 18日）

**新しい原子層磁性体の開拓とそのスピン物性**

新見 康洋<sup>s\*</sup>

第50回 薄膜・表面物理セミナー（2022）「二次元磁性体研究の最前線」（於 東京理科大学、2022年7月22日）

**量子スピン三角格子反強磁性体  $\text{Ag}_2\text{CoO}_2$  薄膜におけるホール効果**

浅間 遼太郎 <sup>m\*</sup>、渡邊 杜 <sup>DC</sup>、佐々木 壱晟 <sup>m</sup>、中村 瞭弥 <sup>m</sup>、蔣 男 <sup>s</sup>、吉田 紘行、新見 康洋 <sup>s</sup>  
日本物理学会 2022 年秋季大会 (物性) (於 東京工業大学、2022 年 9 月 12 日 - 9 月 15 日)

**Se ドープ  $\text{PtBi}_2$  薄膜超伝導の上部臨界磁場測定**

前田 将輝 <sup>m\*</sup>、徳田 将志 <sup>DC</sup>、中村 瞭弥 <sup>m</sup>、渡邊 杜 <sup>DC</sup>、蔣 男 <sup>s</sup>、高木 健輔、工藤 一貴、  
新見 康洋 <sup>s</sup>

日本物理学会 2022 年秋季大会 (物性) (於 東京工業大学、2022 年 9 月 12 日 - 9 月 15 日)

**T 字型 4 量子ドット系における Lieb フェリ磁性と近藤効果の競合**

徳田 将志 <sup>DC\*</sup>、西川 裕規

日本物理学会 2022 年秋季大会 (物性) (於 東京工業大学、2022 年 9 月 12 日 - 9 月 15 日)

**マイクロブリッジ型 Nb リング素子における抵抗の高次高調波振動 (ポスター)**

徳田 将志 <sup>DC\*</sup>、中村 瞭弥 <sup>m</sup>、前田 将輝 <sup>m</sup>、新見 康洋 <sup>s</sup>

日本物理学会 2022 年秋季大会 (物性) (於 東京工業大学、2022 年 9 月 12 日 - 9 月 15 日)

**Observation of higher-order spin fluctuations in triangular antiferromagnet  $\text{Ag}_2\text{CrO}_2$  thin films (ポスター)**

M. Watanabe <sup>DC</sup>, R. Asama <sup>m</sup>, M. Tokuda <sup>DC</sup>, S. Suzuki <sup>DC</sup>, H. Ishizuka, H. K. Yoshida,  
and Y. Niimi <sup>s\*</sup>

令和 4 年度 新学術領域研究「量子液晶の物性科学」領域研究会 (於 名古屋大学、2022 年  
12 月 8 日 - 10 日)

 **$\text{FeTe}_{0.6}\text{Se}_{0.4}$  薄膜素子における磁束ピン留め機構のクロスオーバー**

中村 瞭弥 <sup>m\*</sup>、徳田 将志 <sup>DC</sup>、渡邊 杜 <sup>DC</sup>、前田 将輝 <sup>m</sup>、中島 正道、新見 康洋 <sup>s</sup>

第 28 回 渦糸物理ワークショップ (於 青山学院大学、2022 年 12 月 15 日 - 17 日)

**Se ドープ  $\text{PtBi}_2$  薄膜超伝導の上部臨界磁場測定**

前田 将輝 <sup>m\*</sup>、徳田 将志 <sup>DC</sup>、中村 瞭弥 <sup>m</sup>、渡邊 杜 <sup>DC</sup>、蔣 男 <sup>s</sup>、高木 健輔、工藤 一貴、  
新見 康洋 <sup>s</sup>

第 28 回 渦糸物理ワークショップ (於 青山学院大学、2022 年 12 月 15 日 - 17 日)

**表面弾性波照射による  $\text{NbSe}_3$  薄膜の CDW ダイナミクスの変調**

藤原 浩司 <sup>DC\*</sup>、中村 瞭弥 <sup>m</sup>、渡邊 杜 <sup>DC</sup>、新見 康洋 <sup>s</sup>

第 28 回 渦糸物理ワークショップ (於 青山学院大学、2022 年 12 月 15 日 - 17 日)

**らせん磁性体における内部自由度制御**

蔣 男 <sup>s\*</sup>

スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク (Spin-RNJ) 2022年度報告会 (於 京都大学、2023年3月20日 - 21日)

**Bi/Ni 薄膜超伝導体を用いたスピン輸送素子作製の試み (ポスター)**

松本 史弥<sup>b\*</sup>、徳田 将志<sup>DC</sup>、浅間 遼太郎<sup>m</sup>、中村 瞭弥<sup>m</sup>、蔣 男<sup>s</sup>、Yue Di、Jin Xiao-Feng、新見 康洋<sup>s</sup>

スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク (Spin-RNJ) 2022年度報告会 (於 京都大学、2023年3月20日 - 21日)

**グラフェン/Nb ヘテロ接合におけるスピン流-電流変換 (ポスター)**

山口 優陽<sup>b\*</sup>、大星 和毅<sup>m</sup>、中村 瞭弥<sup>m</sup>、蔣 男<sup>s</sup>、新見 康洋<sup>s</sup>

スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク (Spin-RNJ) 2022年度報告会 (於 京都大学、2023年3月20日 - 21日)

**原子層磁性体 (Fe<sub>1-x</sub>Co<sub>x</sub>)<sub>5</sub>GeTe<sub>2</sub> におけるスピントロニック転移に由来した磁気ヒステリシスの観測**

太田 智陽<sup>DC\*</sup>、黒川 開斗<sup>m</sup>、山神 光平、岡田 佳憲、新見 康洋<sup>s</sup>

日本物理学会 2023年春季大会 (於 オンライン、2023年3月22日 - 3月25日)

**書籍等の出版，日本語の解説記事**

**原子層デバイスの魅力 ～ナノスケール物理の舞台として～**

新見 康洋<sup>s</sup>

生産と技術 Vol. 74, 76 (2022).

## 1.6 豊田グループ

### 令和四年度の研究活動概要

#### はじめに

当研究グループでは、独創的／最先端な質量分析装置の開発と、それらを用いた応用研究を行っている。特に最近では、我々のグループで開発した小型・高分解能のマルチターン飛行時間型質量分析計や、ピコリットルの溶媒を用いた抽出-イオン化法を核として、それを利用した新しい分析装置の開発や、応用研究を行っている。また、外部の研究機関・企業との共同研究も積極的に進めている。さらにイオン軌道のシミュレーション手法の開発も行っている。

#### マルチターン飛行時間型質量分析計を中心としたプロジェクト

飛行時間型の質量分析装置は、質量分解能が飛行距離に比例するため、高分解能を得るには装置の大型化が避けられない。我々のグループでは、同一飛行空間を多重周回させることで飛行距離を長くするという原理で、小型でありながら高分解能が得られるマルチターン飛行時間型質量分析計を開発した。この装置は扇形電場を4個用いたイオン光学系を採用しており、空間・時間の両方について完全収束条件を満足するよう設計されている。今年度は、このマルチターン飛行時間型質量分析計をベースとして次のようなプロジェクトを進めた。

##### 1. マルチターン飛行時間型質量分析計を核とした分野横断型融合研究

当グループで開発した小型でありながら高分解能が得られるマルチターン飛行時間型質量分析計は、医学や歯学、環境科学などの様々な分野で広く用いることが可能である。理学研究科附属フォアフロント研究センターフォアフロント研究部門先端質量分析学プロジェクトを拠点として、分野横断型の研究を学内外の様々な研究者と推進している。

大阪大学歯学研究科の村上教授らと、歯肉溝滲出液中の代謝物の網羅解析による歯周病診断に関する研究を行ない、歯周病を表す唾液中の代謝物マーカーを特定し、オンサイト診断に向けた迅速前処理法を構築するとともに、歯学部附属病院に質量分析装置を持ち込み、「その場」で分析を行う体制を構築した。残念ながら今年度も、新型コロナウイルス感染症の拡大で、病院内でのサンプル採取が困難であり、実際の測定は行えなかった。また、土壌中および土壌表面から発生するガスのフラックス連続計測システムの構築（北海道大学農学院当真教授らとの共同研究）を行い、土壌中複数箇所での $N_2O$ のガス濃度を同時に測定できることを実証した。

#### 放射性微粒子の直接その場分析に向けた単一微粒子質量分析装置の開発

福島第一原子力発電所の事故により発生した燃料デブリの切削による取り出しにおいて、生成が想定される放射線微粒子の直接その場分析を目的とし、単一微粒子質量分析装置の

開発を行っている。今年度は、微粒子を質量分離部へと導入する粒子検出部の設計・開発を行った。さらに、その性能評価を行うため、簡易型の飛行時間型質量分析装置を製作した。

### 超臨界流体抽出・クロマトグラフィーと中真空化学イオン化法を組み合わせた新しい分析技術の開発

超臨界流体は、液体に近い密度でありながら、その粘度は十分の1以下であり、拡散係数は液体の千倍にも及ぶことから、超臨界流体を移動層として用いる超臨界クロマトグラフィー(SFC)は、高速液体クロマトグラフィー(HPLC)では達成し得ない高分解能が得られることが数多く報告され、かつ、ガスクロマトグラフィー(GC)では分析不可能な高分子量化合物並びに熱によって分解を受けやすい化合物にも応用可能である。これまでSFCと質量分析装置を接続する場合には、SFC出口でエタノールのような有機溶媒を加えなければ、イオン化が困難で、超臨界流体のメリットを活かせていなかった。我々は中真空化学イオン化(MVCI)法とSFCを組み合わせることで、この問題を解決できるのではないかと考え、二酸化炭素の超臨界流体を用いたシステムを製作し、評価を行った。様々な化合物についての定量限界の評価を行い、既存の分析法に比べて1~3桁向上することを示した。

### フェムト秒レーザー脱離イオン化質量分析装置の開発

市販の質量分析装置のレーザー脱離イオン化には、比較的安価な窒素レーザーやNd:YAGレーザーの3倍波のなどの紫外のナノ秒レーザー光が用いられているが、フェムト秒レーザー光を用いると、超高速非平衡現象による特異的な脱離イオン化が生じると考えられる。そこで、飛行時間型質量分析装置に高繰り返し再生増幅チタンサファイアレーザーシステムからのチャープ制御レーザー光を導入し、フェムト秒レーザー脱離イオン化質量分析装置を開発した。ナノ秒レーザー脱離イオン化との顕著な違いを見出しており、また、フェムト秒レーザーによって、高感度、高分解能、かつ、非侵襲性の高い分析が可能であることを示唆する予備的な実験結果を得た。

### ピコリットル溶媒を用いる抽出-イオン化法の開発

多彩な細胞がネットワークを作る生体組織の、疾病状態の詳細な把握や診断のためには、生体組織の複雑な化学種の分布状態を調べる質量分析イメージング技術が重要になる。これまでに、振動するキャピラリープローブとピコリットル液体を用いる独自の抽出イオン化法「タッピングモード走査型プローブエレクトロスプレーイオン化法(t-SPESI, tapping-mode scanning probe electrospray ionization)」を開発してきた。本年度はt-SPESI計測システムを高質量分解能の質量分析装置に接続したことで、生体組織の成分分布をより高精度に計測できるようになった。本計測システムを用いて、抽出-イオン化を行う溶媒の物理的・化学的性質が、マウス脳組織切片の脂質イメージングに与える影響を調べ、論文発表を行った。医学系研究者やライフサイエンス系研究者との共同研究を推進し、疾患組織中の脂質分布の変化を可視化することに成功した。また、t-SPESIによるイメージングの空間分解能を向上



させるための計測システムの開発を進め、1細胞中の脂質分布を可視化することに成功した。本装置に関する特許を出願した。

## 共同研究

以下の共同研究を外部研究機関・企業と行っている。

1. 日本電子 YOKOGUSHI 協働研究所 (日本電子 (株))
2. 小型マルチターン飛行時間型質量分析計の開発 (カノマックスアナリティカル (株))
3. 土壌から発生する温室効果ガスの連続モニタリング手法の確立 (北海道大学農学研究院)
4. 歯周病のオンサイト診断法の確立 (歯学研究科, 九州大学生体防御医学研究所)
5. 新しいイオン検出器の開発 (浜松ホトニクス (株))
6. 環境モニタリング装置の開発 (紀本電子工業 (株), 清華大学)
7. 火山ガスのオンサイト計測装置の開発 (東京大学)
8. t-SPESI の開発 (島津製作所)
9. t-SPESI を用いたヒト疾患組織の質量分析イメージング (工学研究科, 医学系研究科)

## 学術雑誌に出版された論文

### Shape-dependent conduction regime in self-doped polyaniline

J. Bao, Y. Otsuka<sup>s</sup>, H. Ohyama, T. Matsumoto

J. Phys. Chem. C. **126** (May) (2022) 8029-8036.

(<http://dx.doi.org/doi:10.1021/acs.jpcc.1c10929>).

### Advances in Mass Spectrometry Imaging for Visualization of Cellular Information in Biological Tissues

Y. Otsuka<sup>s</sup>

Proteome Letters **7** (Oct.) (2022) 53-62.

([http://dx.doi.org/doi:10.14889/jpros.7.2\\_53](http://dx.doi.org/doi:10.14889/jpros.7.2_53)).

### Solvent effects of N,N-dimethylformamide and methanol on mass spectrometry imaging by tapping-mode scanning probe electrospray ionization

Y. Otsuka<sup>s</sup>, N. Ote<sup>b</sup>, M. Sun<sup>m</sup>, S. Shimma, O. Urakawa, S. Yamaguchi, T. Kudo, M. Toyoda

Analyst **148** (Feb.) (2023) 1725-1284.

(<http://dx.doi.org/doi:10.1039/d2an01953a>).

**国際会議報告等****国際会議における講演等****Mass spectrometry imaging of biological tissues with picolitre charged solvents**Y. Otsuka<sup>s\*</sup> (invited)

14th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices' 22 (ALC '22)

**Development of scanning probe electrospray ionization for mass spectrometry imaging of tissues**Y. Otsuka<sup>s\*</sup> (invited)

Workshop on Ion Chemistry and Plasmas (WICP2022)

**Development of Tapping-mode Scanning Probe Electrospray Ionization for Lipid Imaging of Tissues (poster)**Y. Otsuka<sup>s\*</sup>, S. Shimma, H. Kioka, T. Ohtani, Y. Sakata

6th International Symposium of Kyoto Biomolecular Mass Spectrometry Society / International Symposium on Mass Spectrometry Imaging 2023 Kyoto (at Kyoto, January 30-31, 2023)

**Development of Tapping-mode Scanning Probe Electrospray Ionization for Lipid Imaging of Tissues (poster)**M. Okada<sup>m\*</sup>, Y. Otsuka<sup>s</sup>, M. Sun<sup>m</sup>, H. Sindou, T. Hashidate, M. Toyoda

6th International Symposium of Kyoto Biomolecular Mass Spectrometry Society / International Symposium on Mass Spectrometry Imaging 2023 Kyoto (at Kyoto, January 30-31, 2023)

**Effect of Probe Vibration Frequency on Tapping-mode Scanning Probe Electrospray Ionization (poster)**M. Sun<sup>m\*</sup>, Y. Otsuka<sup>s</sup>, M. Okada<sup>m</sup>, S. Shimma, M. Toyoda

6th International Symposium of Kyoto Biomolecular Mass Spectrometry Society / International Symposium on Mass Spectrometry Imaging 2023 Kyoto (at Kyoto, January 30-31, 2023)

**日本物理学会，応用物理学会等における講演****走査型プローブエレクトロスプレーイオン化法を用いた高空間分解能質量分析イメージング**大塚 洋一<sup>s\*</sup>, 孫 夢沢<sup>m</sup>, 岡田 菜樹<sup>m</sup>, 豊田 岐聡

第 83 回応用物理学会秋季学術講演会

**タッピングモード走査型プローブエレクトロスプレーイオン化法によるマウス精巢の脂質イメージング**

岡田 茉樹<sup>m\*</sup>, 大塚 洋一<sup>s</sup>, 孫 夢沢<sup>m</sup>, 進藤 英雄, 橋立 智美, 豊田 岐聡

第 70 回応用物理学会春季学術講演会

**Effect of Probe Vibration Frequency and Polarity of the Solvent on Tapping-Mode Scanning Probe Electrospray Ionization**

孫 夢沢<sup>m\*</sup>, 大塚 洋一<sup>s</sup>, 岡田 茉樹<sup>m</sup>, 新聞 秀一, 豊田 岐聡

第 70 回応用物理学会春季学術講演会

**タッピングモード走査型プローブエレクトロスプレーイオン化法によるヒト拡張型心筋症組織の質量分析イメージング**

大塚 洋一<sup>s\*</sup>, 新聞 秀一, 木岡 秀隆, 大谷 朋仁, 坂田 泰史

第 70 回質量分析総合討論会

**タッピングモード走査型プローブエレクトロスプレーイオン化法による質量分析イメージングの溶媒選択性 (ポスター)**

大手 虹歩<sup>b</sup>, 大塚 洋一<sup>s\*</sup>, 孫 夢沢<sup>m</sup>, 新聞 秀一, 豊田 岐聡

第 70 回質量分析総合討論会

**マルチターン飛行時間型質量分析計を用いた土壌中ガスの連続測定 (ポスター)**

鈴木 舜也<sup>m\*</sup>, 当真 要, 中山 典子, 本堂 敏信, 河井 洋輔, 大塚 洋一<sup>s</sup>, 古谷 浩志, 豊田 岐聡

第 70 回質量分析総合討論会

**フェムト秒レーザーイオン化飛行時間型質量分析装置の開発 (ポスター)**

西澤 正崇<sup>m\*</sup>, 王 健仲<sup>m</sup>, 井川 翔太<sup>m</sup>, 兼松 泰男, 豊田 岐聡

第 70 回質量分析総合討論会

**書籍等の出版, 日本語の解説記事**

**ピコリットルの液体で調べる生体組織の多次元化学分布情報**

大塚 洋一<sup>s</sup>

生産と技術 **74** (2022) 76-80.

## 1.7 花咲グループ

### 令和四年度の研究活動概要

#### シンプルなバンド構造をもつトポロジカル磁性体の開拓

近年、トポロジカルな電子状態を持つ磁性体は、従来にはない電気伝導や光学応答を示すため、基礎物理と産業応用の両面から注目を集めている。通常の強磁性体よりも小さい自発磁化でも巨大なホール効果を示す物質も見出されており、このような物質ではワイル点と呼ばれるバンド交差点に発生する大きなベリー位相が新奇物性を引き起こしていると考えられている。ところが、これまでのワイル磁性体の多くは、トポロジカルなバンド構造以外にも、金属的なバンドが複数存在するため、純粋なワイル点の寄与を明らかにすることは容易ではなかった。そこで、本研究ではシンプルなバンド構造でワイル点が形成される磁性体として  $\text{EuMg}_2\text{Bi}_2$  を開拓した。

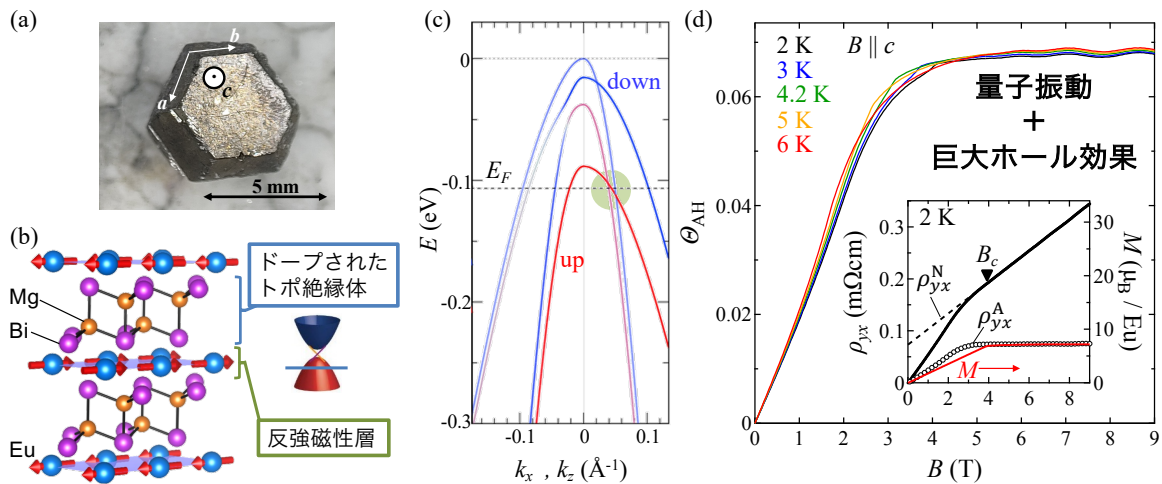


図 1.1:  $\text{EuMg}_2\text{Bi}_2$  の (a) 単結晶と (b) 結晶構造の模式図。 (c) Eu スピンが強磁性的に揃った場合のバンド構造。赤 (青) はスピニアップ (ダウン) のバンドに対応。  $E_F$  はフェルミエネルギーを示しており、量子振動から実験的に決定した。 (d) 反強磁性転移温度以下における異常ホール角  $\theta_{\text{AH}}$  の磁場  $B$  依存性 (磁場は  $c$  軸方向)。5 T 以上での振動構造は量子振動に起因する。挿入図はホール抵抗率  $\rho_{yx}$  (黒実線) の磁場依存性 (2 K)。磁化が飽和する磁場 ( $B_c$ ) 以上において線形フィットすることにより通常ホール成分 ( $\rho_{yx}^N$ : 点線) を見積もった。  $\rho_{yx}^N$  を差し引いた結果が異常ホール成分 ( $\rho_{yx}^A$ : 白丸) となり、磁化  $M$  (赤字線) にほぼ比例している。

本物質は、 $\text{AMg}_2\text{Bi}_2$  ( $A$ : アルカリ土類 Sr-Ba) を母構造としている。 $\text{AMg}_2\text{Bi}_2$  は  $A$  サイト元素の種類に依存して、トポロジカル絶縁体やディラック半金属へ変化するトポロジカルなバンド構造を有する上、運動量空間の中央の点 ( $\Gamma$  点) 近傍にのみバルクバンドが存在することが、これまでの研究からわかっている。そこで、 $\text{AMg}_2\text{Bi}_2$  の  $A$  サイトを磁性イオン Eu で置換した  $\text{EuMg}_2\text{Bi}_2$  [図 1.1(a), (b)] では、シンプルなトポロジカル電子状態と磁性の

相互作用が期待されるため、純良単結晶を合成し磁場中での電気伝導（磁気抵抗効果、ホール効果）を実験的に解明することを目指した。まず、得られた単結晶の結晶構造をもとにバンド計算を行った結果、本物質もゼロ磁場において、 $\Gamma$  近傍で2本の放物線バンドのみが交差するシンプルなバンド構造を持つことが明らかとなった。さらに、Eu スピンが磁場により強磁性的に揃えられた場合は、図 1.1(c) に示すように、それぞれのバンドがスピニアップとスピンドアウンに分裂し、交差点が複数のワイル点に分裂する。興味深い点は、大きなベリー位相の発生源となるワイル点の一つが、フェルミエネルギー近傍に位置することである [図 1.1(c) の薄緑色の円]。ここで、本研究で合成した高品質の単結晶では、強磁場中で量子振動が観測されたため、実験的にフェルミ面の大きさとフェルミエネルギーの位置を決定できている。このようなワイル点の形成を反映して、磁化に比例する巨大な異常ホール効果も観測された [図 1.1(d) の挿入図]。図 1.1(d) には異常ホール角と呼ばれる縦抵抗率 ( $\rho_{xx}$ ) に対する異常ホール抵抗率の比 ( $\rho_{yx}^A/\rho_{xx}$ ) の磁場依存性を示している。異常ホール角は磁化と同様に  $B_c$  以上で飽和し、その大きさは約 7% であり、最近報告されたワイル強磁性体と同程度の値である。さらに、異常ホール角から算出された異常ホール伝導度は、バンド計算に基づきベリー位相から計算した伝導度と定量的に一致している。このように、2本のシンプルなバンド構造をもつ磁性半導体において巨大な異常ホール効果が発現し、その起源が磁場中で形成されるワイル点であることを、実験的に明らかにすることに成功した。 [Phys. Rev. B **107**, L121112 (2023).]

### 希薄キャリア密度磁性半導体 $\text{CeTe}_{2-x}\text{Sb}_x$ における異方的な巨大磁気抵抗効果の発見

磁場中で物質の電気抵抗率が著しく変化する巨大磁気抵抗効果は古くから研究されており、その現象は磁気記録素子の読み取りや磁気センサー等へ応用されている。また、液体ヘリウム温度領域では電気抵抗率の変化が数桁に達する磁性半導体や半金属が次々と発見されており、物性物理学の最も興味深い研究対象となっている。一般的に物質の磁気抵抗効果の大きさは磁場の方向に対してはほとんど変化することはないが、我々は電気抵抗率が磁場方向に依存して4桁も変化する層状磁性半導体  $\text{CeTe}_{1.83}\text{Sb}_{0.17}$  を発見した。本物質では、2 K において結晶の  $c$  軸 ([001]) 方向に磁場をかけると、わずか 0.4 テスラで電気抵抗率が 1/10000 程度にまで劇的に減少する。一方で、 $c$  軸方向と垂直方向の磁場中では高磁場領域まで電気抵抗率はほとんど変化しない。これほどの規模の異方性磁気抵抗効果を示す物質は最近まで知られていなかった。我々は、キャリア密度を制御した層状磁性半導体  $\text{CeTe}_{2-x}\text{Sb}_x$  の単結晶を合成し磁気抵抗効果を測定することにより、 $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  程度以下の希薄なキャリア密度の場合には2桁超の巨大な負の磁気抵抗効果が発現することを明らかにした。

研究対象物質の  $\text{CeTe}_2$  は、磁性を担う CeTe 層と、電気伝導を担う Te 正方格子層から構成される擬2次元的な半導体である (図 1.2(a))。正方格子層の Te-5p 軌道のフェルミ面はシート状であり、平行移動により自身の向かい合わせの面に重なる領域が大きい (ネスティングがよい) ために、その部分がブリルアンゾーンの端となるように格子変調 (結晶中の電子が感じるポテンシャル場の周期の変化) が起こることでバンドギャップを開けて電子系のエネルギーを下げる。これを電荷密度波状態という。一般的に系の次元性が高いとフェルミ

面が立体的となりネスティング条件が悪くなるので、電子状態が2次元以上の既知物質は低温まで金属のままである。本物質は擬2次元構造でありながら、ネスティング条件が非常によいため、伝導電子の密度が単位格子あたり  $1/10000$  程度以下の希薄な状態となっている。我々は、Te サイトを電子が1つ少ないSbで部分置換することにより、結晶構造を保ったまま電子密度をさらに何桁も希薄な状態に制御した真性半導体単結晶の合成に成功した。

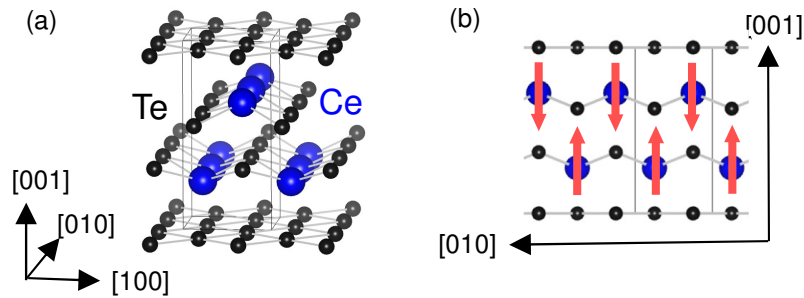


図 1.2: (a)  $\text{CeTe}_2$  の結晶構造。(b) 低温ゼロ磁場での磁気秩序状態。

本物質は低温ゼロ磁場下で反強磁性秩序を示す(図 1.2(b))。図 1.3(a) と (b) に示すように、キャリア密度が希薄な極限の試料では、2 K において  $c$  軸方向におよそ 0.4 テスラの磁場をかけると強制強磁性状態となり、そこに至る過程で電気抵抗率が4桁近く減少する。一方で  $c$  軸と垂直方向の磁場中ではより高い磁場領域まで電気抵抗率の変化はわずかであった。永久磁石や電磁石で到達可能な 0.4 テスラ程度の低い磁場で 7500 倍に達する角度依存磁気抵抗効果を示す物質は前例がない。次に、結晶軸に対して磁場の方向を連続的に変えながら電気抵抗率の測定を行った(図 1.3(c))。その結果、電気抵抗率の値は、様々な磁場範囲において磁場の  $c$  軸方向への射影成分に対して非常によく一致しており、磁化容易軸である  $c$  軸方向の磁化成分に支配されていることが明らかとなった。[Phys. Rev. Mater. **6** 054604 (2022).]

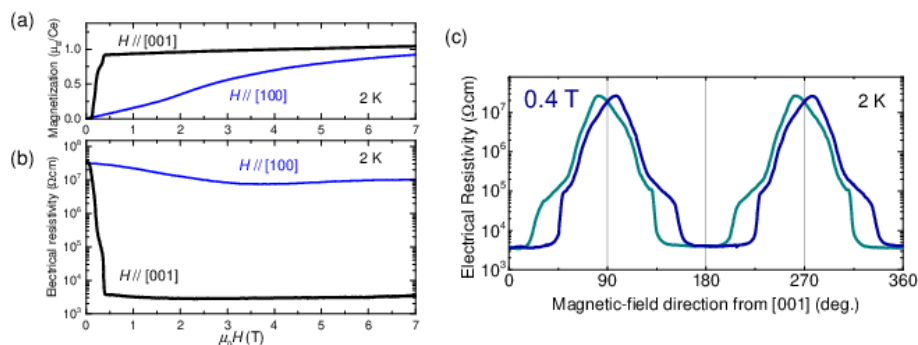


図 1.3: (a),(b)  $\text{CeTe}_{1.83}\text{Sb}_{0.17}$  の (a) 磁化と (b) 電気抵抗率の磁場依存性 (2 K)。(c) 電気抵抗率の磁場方向依存性。

### 線ノード半金属 $\text{PbTaSe}_2$ における異常ネルンスト効果の観測

グラフェンをはじめとする幾つかの物質中では、結晶構造の対称性に起因してディラック粒子やワイル粒子を記述する線形な分散関係に従うバンド電子が存在する。このディラック電子、ワイル電子は移動度が極めて高いとともに、その運動状態は波動関数に付加的に加わる位相と密接に関係している。これはベリー位相とよばれ、バンド交差点に対して電子の運動経路が囲む立体角の大きさに比例しており、磁場中のサイクロトロン運動では1周あたり位相が $\pi$ 変化する。また、波動関数に加わるベリー位相は数学的にはベクトルポテンシャルとして扱われる量と関係しており、このようなバンド構造に従う電子には実効的に磁場がはたらいっていると見なすことができるため、これに起因した様々な新奇物性の発現が理論的に期待されている。しかしながら、既知の候補物質ではディラック電子、ワイル電子の他に通常のバンド分散に従う「その他の」電子が圧倒的に多く存在しており、それらが輸送特性を支配している。このため、線形分散のバンド交差に由来する仮想磁場の影響を直接反映した電子物性の観測は容易ではない。今回我々は空間反転対称性の破れた物質  $\text{PbTaSe}_2$  においてネルンスト効果とよばれる熱輸送特性にこの仮想磁場の効果が明瞭に現れることを示唆する結果を得た。

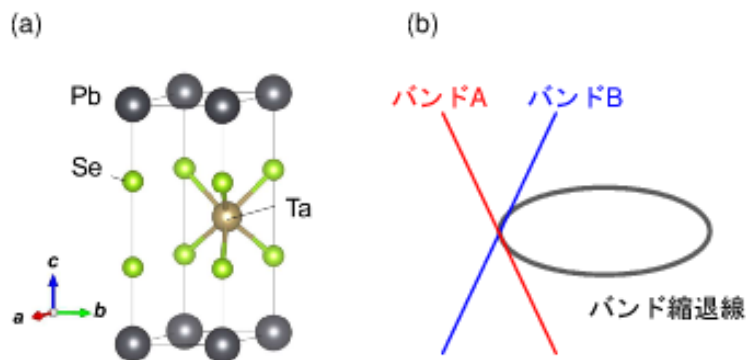


図 1.4: (a) $\text{PbTaSe}_2$  の基本格子。(b) 線ノード型バンド交差のイメージ図

図 1.4 は  $\text{PbTaSe}_2$  の結晶構造である。本物質では結晶構造の対称性を反映して波数空間の様々な領域で線状にバンド交差が実現するため、バンドが点で交差する一般的な状況と比べて仮想磁場の影響を受ける電子の数が多い特徴がある。しかしながら、本物質中においてもバンド交差と関係のない通常の電子の方がはるかに多く存在するため、電気伝導特性における仮想磁場の検出はその他の物質と同様に極めて困難である。そこで、我々はネルンスト効果の測定を試みた。ネルンスト効果とは、試料に温度勾配をつけてそれと垂直に外部から磁場をかけたときに、それらのいずれとも垂直な方向に起電力が発生する現象である。通常バンド電子ではこの効果は極めて小さいが、仮想磁場の影響を受ける線形バンド分散に従う電子ではこの効果が大きいことが理論的に予想されている。さらに、本物質は比較的容易に到達可能な静水圧下で構造相転移が起こり、それに伴って線形バンド交差線がほぼ消滅することが理論計算により期待されている。このため、構造相転移前後のネルンスト係数の絶対値の変化にも仮想磁場の効果が直接的に反映されると考えられる。図 1.5 は様々

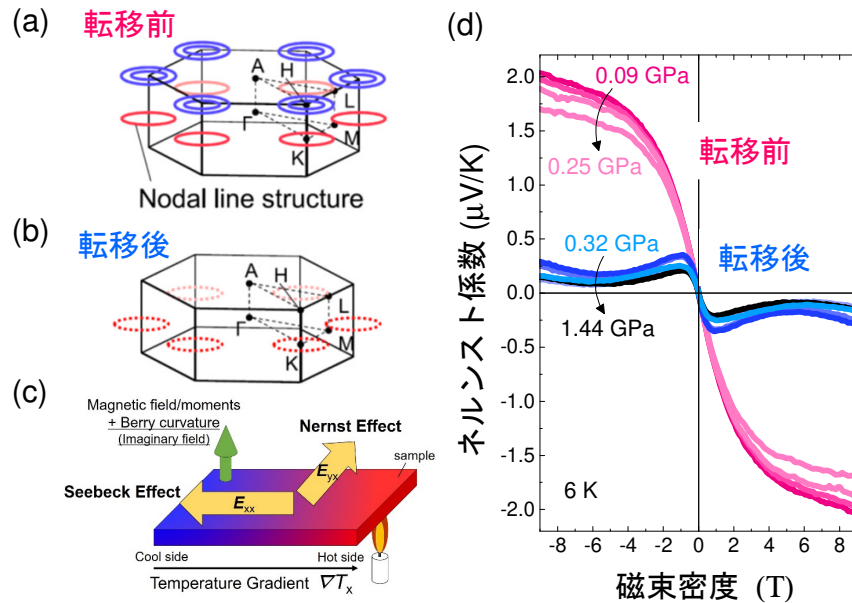


図 1.5: ブリルアンゾーン内の線ノードの分布。(a) 構造転移前 (低圧力領域)、(b) 構造転移後 (0.3 GPa 以上)。(c) ネルンスト効果のイメージ図。(d) ネルンスト係数の磁場依存性。

な圧力下で測定したネルンスト係数の磁場依存性である。線形バンド交差線が多数存在する常圧ではネルンスト効果の絶対値が大きい一方で、構造相転移が起こる 0.3 GPa 以上の圧力領域ではその絶対値は大幅に小さくなっている。この結果は理論的な予測とよく一致しており、物質中のディラック・ワイル電子が感じる仮想磁場の効果を実験的に観測できたことを示している。[Phys. Rev. B **106** 115118 (2022).]

## 学術雑誌に出版された論文

### Giant anisotropic magnetoresistance at low magnetic fields in a layered semiconductor

H. Murakawa<sup>s</sup>, Y. Nakaoka<sup>m</sup>, T. Kida, M. Hagiwara, H. Sakai<sup>s</sup>, and N. Hanasaki<sup>s</sup>

Physical Review Materials **6** (May) (2022) 054604-1-5

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevMaterials.6.054604>).

### In-plane anisotropic charge dynamics in the layered polar Dirac semimetal BaMnSb<sub>2</sub>

H. Yoshizawa, H. Sakai<sup>s</sup>, M. Kondo<sup>d</sup>, M. Ochi, K. Kuroki, N. Hanasaki<sup>s</sup> and J. Fujioka

Physical Review B **105** (June) (2022) L241110-1-7



(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.105.L241110>).

**A giant negative magnetoresistance effect in semiconducting crystals composed of an octahedrally ligated phthalocyanine complex with high-spin manganese(III)**

Kosuke Mine, Masayuki Yamaguchi, H. Murakawa<sup>s</sup>, N. Hanasaki<sup>s</sup>, and Masaki Matsuda  
RSC Advances **12** (June) (2022) 17944-17949  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1039/d2ra00188h>).

**Reversible Insulator–Metal Transition by Chemical Doping and Dedoping of a Mott Insulator**

Ryota Teruya, Tetsu Sato, Masahiro Yamashita, N. Hanasaki<sup>s</sup>, Akira Ueda, and Masaki Matsuda  
Angewandte Chemie International Edition **2022** (June) (2022) e202206428-1-5  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1002/anie.202206428>).

**Anomalous Nernst effect in the nonmagnetic nodal-line semimetal PbTaSe<sub>2</sub>**

K. Yokoi<sup>d</sup>, H. Murakawa<sup>s</sup>, H. Sakai<sup>s</sup>, and N. Hanasaki<sup>s</sup>  
Physical Review B **106** (Sept.) (2022) 115118-1-7  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.106.115118>).

**High-field Studies on Layered Magnetic and Polar Dirac Metals: Novel Quantum Transport Phenomena Coupled with Spin-valley Degrees of Freedom**

H. Sakai<sup>s</sup>  
J. Phys. Soc. Jpn. **91** (Oct.) (2022) 101001-1-12 [Special Topics 招待論文]  
(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSJ.91.101001>).

**Field-tunable Weyl points and large anomalous Hall effect in the degenerate magnetic semiconductor EuMg<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>**

M. Kondo<sup>d</sup>, M. Ochi, R. Kurihara, A. Miyake, Y. Yamasaki, M. Tokunaga, H. Nakao, K. Kuroki, T. Kida, M. Hagiwara, H. Murakawa<sup>s</sup>, N. Hanasaki<sup>s</sup>, and H. Sakai<sup>s</sup>  
Physical Review B **107** (March) (2023) L121112-1-7  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.107.L121112>).

**国際会議報告等**

**国際会議における講演等**

Study of anomalous Hall effect and quantum oscillation in EuMg<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub> with field-tunable Weyl points (poster)

M. Kondo<sup>d\*</sup>, H. Sakai<sup>s</sup>, M. Ochi, R. Kurihara, A. Miyake, Y. Yamasaki, M. Tokunaga, H. Nakao, K. Kuroki, T. Kida, M. Hagiwara, H. Murakawa<sup>s</sup>, and N. Hanasaki<sup>s</sup>  
 29th International Conference on Low Temperature Physics 2022 (LT29) (Sapporo, August 18-24, 2022, Approx. 1000 participants)

**Tunable spin-valley coupling and nonreciprocal transport in polar Dirac metal BaMnX<sub>2</sub> (X=Sb, Bi)**

H. Sakai<sup>s\*</sup>, M. Kondo<sup>d</sup>, M. Ochi, T. Kojima, R. Kurihara, M. Kimata, K. Sudo, D. Sekine, M. Matsubara, A. Miyake, M. Tokunaga, K. Kuroki, H. Murakawa<sup>s</sup>, and N. Hanasaki<sup>s</sup>  
 29th International Conference on Low Temperature Physics 2022 (LT29) (Sapporo, August 18-24, 2022, Approx. 2000 participants)

**Block-layer design of magnetic and polar Dirac/Weyl semimetals**

H. Sakai<sup>s\*</sup> (invited)

The 6th Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and the 5th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science (Online, October 24–27, 2022, Approx. 100 participants)

**Observation of topological Hall effect dependent on antiferromagnetic order in EuAu<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub> (poster)**

N. Yuasa<sup>m\*</sup>, H. Sakai<sup>s</sup>, M. Kimata, A. Miyake, M. Tokunaga, T. Kida, M. Hagiwara, R. Kurihara, H. Murakawa<sup>s</sup> and N. Hanasaki<sup>s</sup>  
 Asia-Pacific Conference on Condensed Matter Physics 2022 (Sendai (Hybrid), November 21-23, 2022, Approx. 100 participants)

**Large anomalous Hall effects due to field-tunable Weyl points in antiferromagnetic degenerate semiconductor EuMg<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub> (poster)**

M. Kondo<sup>d\*</sup>, H. Sakai<sup>s</sup>, M. Ochi, R. Kurihara, A. Miyake, Y. Yamasaki, M. Tokunaga, H. Nakao, K. Kuroki, T. Kida, M. Hagiwara, H. Murakawa<sup>s</sup>, and N. Hanasaki<sup>s</sup>  
 Asia-Pacific Conference on Condensed Matter Physics 2022 (Sendai (Hybrid), November 21-23, 2022, Approx. 100 participants)

**Local disorder and atomic displacement in medium entropy alloys (poster)**

N. Hanasaki<sup>s\*</sup>, D. Furuya, M. Oda, Z. Chen, H. Murakawa<sup>s</sup>, H. Sakai<sup>s</sup>, H. Nitani, H. Abe, H. Sagayama, H. Nakao and H. Inui  
 International Workshop on High Entropy Alloys (Kyoto, Feb.14-15, 2023, Approx. 200 participants)

**日本物理学会，応用物理学会等における講演****磁性・極性を有するディラック・ワイル半金属の強磁場輸送現象 (招待講演)**酒井英明<sup>s\*</sup>

ISSP ワークショップ-1000 テスラ超強磁場科学の開拓 (オンライン、2022年6月10日~11日)

**EuAu<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub> の反強磁性秩序に依存したトポロジカルホール効果の観測**湯浅直樹<sup>m\*</sup>、酒井英明<sup>s</sup>、三宅厚志、徳永将史、木田孝則、萩原政幸、村川寛<sup>s</sup>、花咲徳亮<sup>s</sup>  
日本物理学会 2022 年秋季大会 (東京工業大学、2022 年 9 月 12 日)**fcc 型ミディアムエントロピー合金の局所構造解析 (ポスター)**古谷大樹<sup>m\*</sup>、花咲徳亮<sup>s</sup>、陳正昊、村川寛<sup>s</sup>、酒井英明<sup>s</sup>、仁谷浩明、阿部仁、佐賀山基、中尾裕則、乾晴行

日本物理学会 2022 年秋季大会 (東京工業大学、2022 年 9 月 13 日)

**スピネル型チタン酸化物 Mg<sub>1+x</sub>Ti<sub>2-x</sub>O<sub>4</sub> における  $\mu$ SR 測定 (ポスター)**源拡栄<sup>m\*</sup>、渡邊功雄、Widyaiswari Utami、幸田章宏、中村惇平、西村昇一郎、酒井英明<sup>s</sup>、村川寛<sup>s</sup>、花咲徳亮<sup>s</sup>

日本物理学会 2022 年秋季大会 (東京工業大学、2022 年 9 月 12 日)

**直流電流下における反強磁性金属 EuMnBi<sub>2</sub> の量子振動測定 (ポスター)**宮本雄哉<sup>m\*</sup>、酒井英明<sup>s</sup>、木俣基、近藤雅起、村川寛<sup>s</sup>、花咲徳亮<sup>s</sup>

日本物理学会 2022 年秋季大会 (東京工業大学、2022 年 9 月 14 日)

**CeTe の磁気ポーラロン機構による巨大磁気抵抗効果**村川寛<sup>s\*</sup>、岩瀬圭祐<sup>m</sup>、中岡優大<sup>m</sup>、木田孝則、萩原政幸、酒井英明<sup>s</sup>、花咲徳亮<sup>s</sup>

日本物理学会 2022 年秋季大会 (東京工業大学、2022 年 9 月 12 日)

**ワイル反強磁性体 EuMg<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub> における巨大異常ホール効果とパルス強磁場による量子振動観測 (ポスター)**近藤雅起<sup>d\*</sup>、酒井英明<sup>s</sup>、越智正之、栗原綾佑、三宅厚志、山崎裕一、徳永将史、中尾裕則、黒木和彦、木田孝則、萩原政幸、村川寛<sup>s</sup>、花咲徳亮<sup>s</sup>

強磁場科学研究会・東北大学金属材料研究所国際ワークショップ (オンライン、2022 年 11 月 24 日-25 日)

**Observation of topological Hall effect dependent on antiferromagnetic order in EuAu<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub> (ポスター)**湯浅直樹<sup>m\*</sup>、酒井英明<sup>s</sup>、木俣基、三宅厚志、徳永将史、木田孝則、萩原政幸、栗原綾佑、村川寛<sup>s</sup>、花咲徳亮<sup>s</sup>

強磁場科学研究会・東北大学金属材料研究所国際ワークショップ (オンライン、2022 年 11

月 24 日-25 日)

**スピン・バレー結合したバルク極性ディラック半金属  $\text{BaMnX}_2$  ( $X = \text{Sb}, \text{Bi}$ ) の非相反電気伝導**

近藤雅起<sup>d\*</sup>、酒井英明<sup>s</sup>、木俣基、須藤健太、越智正之、金子竜也、黒木和彦、阪口駿也<sup>m</sup>、村川寛<sup>s</sup>、花咲徳亮<sup>s</sup>、

日本物理学会 2023 年年次大会 (オンライン、2023 年 3 月 24 日)

**磁化に比例しない異常ホール効果を示す正方晶  $\text{EuAu}_2\text{Ge}_2$  における自発的な四回対称性の破れ**

湯浅直樹<sup>m\*</sup>、酒井英明<sup>s</sup>、木俣基、三宅厚志、徳永将史、栗原綾佑、木田孝則、萩原政幸、村川寛<sup>s</sup>、花咲徳亮<sup>s</sup>

日本物理学会 2023 年年次大会 (オンライン、2023 年 3 月 22 日)

**電荷密度波磁性半導体  $\text{GdTe}_2$  の磁性と電気伝導特性 (ポスター)**

岩瀬圭祐<sup>m\*</sup>、村川寛<sup>s</sup>、前田涼太<sup>b</sup>、木田孝則、萩原政幸、酒井英明<sup>s</sup>、花咲徳亮<sup>s</sup>

日本物理学会 2023 年年次大会 (オンライン、2023 年 3 月 24 日)

## 1.8 松野グループ

### 令和四年度の研究活動概要

二つの異なる物質が接する境界 = 界面は、単一の物質では実現できない豊かな物性の舞台である。現代テクノロジーを支える半導体デバイスが、かたまり（バルク）ではなく界面に生じる機能に基づくことからわかるように、界面物性は基礎から応用に至るまで広がりを持つ物性物理学の最先端トピックである。

本グループでは強相関電子系の界面に着目している。強相関電子系は電荷・スピン・軌道の自由度が絡みあうことで超伝導や磁性などの多彩な電子相を示す。それらを組み合わせた「強相関界面」にもさらに興味深い未知の物性が隠されているのではないかと。そのような問題意識から、本グループでは原子レベルで制御された強相関界面を自ら設計し、薄膜合成・素子作製・物性評価までを一貫して実施している。現在主に推進しているテーマは以下の2つである。

1. 強相関物質におけるスピン流の物理とスピントロニクス
2. 強相関界面の物性：磁性と超伝導

### 強相関物質におけるスピン流の物理とスピントロニクス

強いスピン-軌道相互作用を持つ物質と磁性体との界面はスピン流物性の舞台として近年盛んに研究が行われている。特に金属スピントロニクスの分野ではスピン-軌道相互作用の強い物質としてPtがよく用いられ、事実上の標準物質となっている。本研究では以下の3つの理由からPtに加えて5d電子系酸化物を用いた：(i)Ptと異なり6s電子を含まないため5d電子のスピン-軌道相互作用を十全に活用できる、(ii)酸化物ではエピタキシャル界面の形成が容易であり界面スピン流物性の微視的理解に適する、(iii)5d電子の強相関性に由来する新しいスピン流物性が期待できる。本年度は以下の4つの界面系を取り上げた。

#### 1. エピタキシャル SrIrO<sub>3</sub> 薄膜を用いた電流-スピン流変換現象

スピン-軌道相互作用によって引き起こされる多彩な物理現象は近年の物質科学における中心課題の一つとなっている。中でも高い注目を集めているのがスピンホール効果であり、これはスピン-軌道相互作用によって電流からスピン角運動量の流れであるスピン流を誘起する現象である。磁性層と非磁性層からなる二層膜においてスピンホール効果を利用した磁化反転が実証され [1,2]、電流を伴わないスピン流の性質が省電力デバイスの要素技術として期待されている。これまで非磁性層としては強いスピン-軌道相互作用を持つPtやTaなどの5d遷移金属が広く用いられて来たが、その電流-スピン流変換効率は十分ではなく、既存研究を打破するような非磁性材料の探索が課題となっている。

この課題解決のため、変換効率の向上が見込める新たな非磁性層として5d電子系酸化物SrIrO<sub>3</sub>に着目した。5d電子系酸化物のフェルミ準位近傍は5dバンドで支配されており、強いスピン-軌道相互作用を持つ5d電子のみが伝導に寄与する。そのため5d電子系酸化物では、6s電子も伝導に寄与するPtやTaなどの5d遷移金属とは定性的に

異なるスピントロニクス物性が期待される。本研究ではパルスレーザー堆積法を用いて SrIrO<sub>3</sub> を DyScO<sub>3</sub> 基板にエピタキシャル成長させ、磁性層として Co<sub>20</sub>Fe<sub>60</sub>B<sub>20</sub> をスパッタ法で成膜した。二層膜 Co<sub>20</sub>Fe<sub>60</sub>B<sub>20</sub>/SrIrO<sub>3</sub> の作製後、フォトリソグラフィと Ar イオンミリングを用いてホールバー型デバイスへと加工し、高調波ホール抵抗の測定により電流-スピントロニクス変換効率を評価した。その結果、SrIrO<sub>3</sub> が Pt の約 3 倍という高い変換効率を持つことを明らかにした。これは 5d 電子系酸化物の特異な電子構造がスピントロニクス生成に強く影響することを示唆しており、酸化物の持つスピントロニクス材料としての可能性を切り拓く成果である [3]。

[1] I. M. Miron *et al.*, Nature **476**, 189 (2011).

[2] L. Liu *et al.*, Science **336**, 555 (2012)

[3] S. Hori *et al.*, Appl. Phys. Lett. **121**, 022402 (2022).

## 2. 5d 電子系 IrO<sub>2</sub> の結晶性がスピントロニクス生成に与える影響

スピントロニクスの生成はスピントロニクス分野における磁化制御技術の根幹であるため、電流からスピントロニクスへの変換を可能にするスピントロニクス効果がスピントロニクスの生成機構として注目されている。5d 電子系 Ir 酸化物は強いスピントロニクス相互作用を担う 5d 電子のみが伝導に寄与する特異な電子構造を持つため、実績のある 5d 遷移金属 Pt や Ta を凌駕するスピントロニクス生成が見込まれる。最近では SrIrO<sub>3</sub> [1] や非晶質 IrO<sub>2</sub> [2] の高効率スピントロニクス生成が実現される一方で、結晶性がスピントロニクス生成に与える影響は未だ解明されていない。本研究では Ir 酸化物の結晶性に注目し、非晶質状態、多結晶状態とエピタキシャル結晶状態の IrO<sub>2</sub> におけるスピントロニクス物性を実験的に明らかにした。

始めに、マグネトロンスパッタ法と基板温度の制御によって Si 基板上に非晶質、多結晶 IrO<sub>2</sub> と Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(0001) 基板上にエピタキシャル IrO<sub>2</sub>(100) を各々成膜し、その結晶構造を X 線回折から評価した。次に、非磁性体 IrO<sub>2</sub> と金属強磁性体 Co<sub>20</sub>Fe<sub>60</sub>B<sub>20</sub> 合金との界面を有する二層膜構造 Co<sub>20</sub>Fe<sub>60</sub>B<sub>20</sub>/IrO<sub>2</sub> を作製し、フォトリソグラフィと Ar イオンミリングを用いてホールバー型デバイスへと加工した。スピントロニクスは磁性層の磁化に対して有効磁場として作用し、ホール電圧の二次高調波から検出される。この有効磁場からスピントロニクス生成効率を評価した。その結果、生成効率は非晶質状態で 8.4%、多結晶状態で 5.3%、そしてエピタキシャル結晶状態で 1.3% と順に減少し、電気抵抗率と逆の傾向を示した。生成効率から導出したスピントロニクス伝導率は電気伝導率に対して概ね一定であり、スピントロニクス相互作用に基づくスケールリング則による内因性領域の振る舞いと矛盾しない。以上の結果はスピントロニクスが結晶性に強く依存することを示唆しており、酸化物における多彩な結晶性の制御によって明らかになった成果である。

[1] S. Hori *et al.*, Appl. Phys. Lett. **121**, 022402 (2022).

[2] K. Ueda *et al.*, Phys. Rev. B **102**, 134432 (2020).

## 3. Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub>/非磁性導電体の界面状態とスピントロニクス注入効率との相関解明

スピントロニクスを用いた磁化制御において、非磁性層と磁性層との界面におけるスピントロニクス注入効率の向上は重要である。この効率を定量的に評価するために広く用いられてい

るのがスピンホール磁気抵抗効果 (SMR) である。特に、Pt とフェリ磁性絶縁体である  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  (YIG) との界面における SMR は広く研究されており、先行研究では  $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  (GGG) 基板の上にエピタキシャル成長させた YIG が用いられてきた。一方、スピンゼーバック効果においては Si 基板の上に成長させた多結晶 YIG もエピタキシャル YIG と同程度の熱誘起スピン流を生成するという報告があり、YIG の結晶性とスピン流特性との関係は明らかではない。これを明らかにするために、本研究では YIG 薄膜を Si ならびに  $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  (GGG) 基板の上に室温でスパッタ法で成膜した後、ポストアニール温度を制御して YIG を結晶化させ、その上に Pt を成膜した。SMR を二種の Pt/YIG に対して測定した結果、アニール温度を最適化した Si 上の YIG は GGG 上のエピタキシャル YIG と比較して同程度の SMR を示す、すなわち SMR の最大値が多結晶薄膜とエピタキシャル薄膜でおよそ同じであることが明らかとなった。さらに、SMR は磁化、界面粗さ、キャリア密度と良く相関することを見出した。これらの結果は YIG 薄膜の合成条件最適化がスピン流に基づく磁化の制御に向けて非常に重要となることを示唆している [1]。

[1] K. Fukushima *et al.*, Appl. Phys. Lett. **121**, 232403 (2022).

#### 4. ペロブスカイト型 Mn 酸化物におけるスピン流特性の検出

強磁性層と強いスピン-軌道相互作用を持つ非磁性層との界面で出現する電流-スピン流変換がスピントロニクス研究において注目されている。これまでは金属のみで構成される二層膜が電流-スピン流変換の中心となってきたが、格子不整合から生じる不明瞭な界面がスピン流変換効率の低下を引き起こす可能性がある。そのため、結晶性を制御した高品質な酸化物界面の実現により、電流-スピン流変換効率の向上が見込まれる。本研究では、強磁性酸化物の代表であるペロブスカイト型 Mn 酸化物におけるスピン流特性の検出を目標とした。

最初に  $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$  (LSMO) をパルスレーザー堆積法により作製し成膜条件を最適化し、次に LSMO 上に Pt をスパッタリング法で成膜した。二層膜の作製後、デバイスに加工し二層膜と LSMO 単層膜に対して高調波縦抵抗測定を行った。その結果、二層膜のみで一方性磁気抵抗効果 (UMR) の信号が観測され、UMR 率は Pt/Co に匹敵すると見積られた。これにより、Mn 酸化物が界面を介したスピン流特性を検出するための有望な強磁性物質であることが明らかとなった。

### 学術雑誌に出版された論文

#### Spin-orbit torque generation in bilayers composed of CoFeB and epitaxial $\text{SrIrO}_3$ grown on an orthorhombic $\text{DyScO}_3$ substrate

S. Hori<sup>d</sup>, K. Ueda<sup>s</sup>, T. Kida, M. Hagiwara, and J. Matsuno<sup>s</sup>

Appl. Phys. Lett. **121** (No. 2, July) (2022) 022402 1-5

(<http://dx.doi.org/doi:10.1063/5.0094935>).

**Spin Hall magnetoresistance in Pt/Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub> bilayers grown on Si and Gd<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>O<sub>12</sub> substrates**K. Fukushima<sup>m</sup>, K. Ueda<sup>s</sup>, N. Moriuchi<sup>m</sup>, T. Kida, M. Hagiwara, and J. Matsuno<sup>s</sup>Appl. Phys. Lett. **121** (No. 23, Dec.) (2022) 232403 1-5<http://dx.doi.org/doi:10.1063/5.0124583>.**国際会議における講演等****Spin-current generation from 5d transition-metal oxides (poster)**K. Ueda<sup>s</sup>, S. Hori<sup>d</sup>, T. Kida, M. Hagiwara, J. Matsuno<sup>s\*</sup>

29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (at Sapporo (hybrid), Aug. 18-24, 2022, 参加者数約 1000 名)

**日本物理学会，応用物理学会等における講演****界面に誘起されるトポロジカル磁気構造の微視的機構解明**松野 丈夫<sup>s\*</sup>

新学術領域「量子液晶の物性科学」公募班第二期キックオフ研究会（於 東京大学物性研究所+オンライン、2022年6月17日）

**三層膜 MgO/CoFeB/IrO<sub>2</sub> における磁気異方性の磁性層膜厚とアニール温度依存性 (ポスター)**沖本 稜弥<sup>m\*</sup>、上田 浩平<sup>s</sup>、木田 孝則、萩原 政幸、松野 丈夫<sup>s</sup>

第 83 回応用物理学会秋季学術講演会（於 東北大学川内キャンパス、2022年9月22日）

**Estimation of DM interaction at oxide interfaces**S. Hori<sup>d</sup>, K. Ueda<sup>s</sup>, J. Matsuno<sup>s\*</sup>

令和 4 年度新学術領域研究「量子液晶の物性科学」領域研究会（於 名古屋大学東山キャンパス、2022年12月10日）

**エピタキシャル SrIrO<sub>3</sub> 薄膜を用いた電流-スピン流変換現象**堀 惣介<sup>d\*</sup>、上田 浩平<sup>s</sup>、木田 孝則、萩原 政幸、松野 丈夫<sup>s</sup>

新学術領域「量子液晶の物性科学」第 2 回量子物質開発フォーラム（於 東北大学青葉山キャンパス、2023年1月7日）

**エピタキシャル二層膜 La<sub>2/3</sub>Ba<sub>1/3</sub>MnO<sub>3</sub>/SrIrO<sub>3</sub> におけるスピン流生成 (ポスター)**堀 惣介<sup>d\*</sup>、上田 浩平<sup>s</sup>、木田 孝則、萩原 政幸、松野 丈夫<sup>s</sup>



第 70 回応用物理学会春季学術講演会（於 上智大学四谷キャンパス、2023 年 3 月 16 日）

**Si 及び  $Gd_3Ga_5O_{12}$  基板に成膜された二層膜 Pt/磁性絶縁体  $Y_3Fe_5O_{12}$  のスピンホール磁気抵抗効果**

上田 浩平<sup>s\*</sup>、福島 健太<sup>m</sup>、木田 孝則、萩原 政幸、松野 丈夫<sup>s</sup>

第 70 回応用物理学会春季学術講演会（於 上智大学四谷キャンパス、2023 年 3 月 17 日）

**エピタキシャル  $WO_2$  から誘起されるスピン軌道トルク**

上田 浩平<sup>s\*</sup>、藤井 駿人<sup>m</sup>、木田 孝則、萩原 政幸、松野 丈夫<sup>s</sup>

第 70 回応用物理学会春季学術講演会（於 上智大学四谷キャンパス、2023 年 3 月 17 日）

**5d 電子系  $IrO_2$  の結晶性がスピン流生成に与える影響**

森本 鉄郎<sup>m\*</sup>、上田 浩平<sup>s</sup>、松野 丈夫<sup>s</sup>

第 70 回応用物理学会春季学術講演会（於 上智大学四谷キャンパス、2023 年 3 月 17 日）

## 1.9 素粒子理論グループ

### 令和四年度の研究活動概要

#### 一般化された対称性

小出、名古屋、山口は、一般化された対称性的一种である非可逆対称性と境界についての研究を行った。境界条件が非可逆対称性で関係づいている場合、境界の繰り込み群において単調に変化する量である半球分配関数の比が理論の詳細によらず、対称性だけで決まることを判明した。特に4次元の  $Z_2$  格子ゲージ理論の非可逆対称性で結びついている境界条件を構成し、それらの半球分配関数の比が実際に対称性だけで決まることを示した。

森川、和田、山口は、線形 quiver ゲージ理論の相構造を、一般化された対称性的一种である高次形式対称性を含む対称性を用いて調べた。高次形式対称性を含む 't Hooft アノマリー整合条件も相構造に制約を与える。Quiver の長さが偶数の場合と奇数の場合でアノマリーの構造は大きく異なり、それに伴って相構造も異なる。それぞれの場合について、相構造の候補を挙げ、それらがアノマリー整合条件を満たすことを示した。

山口は、一般化された対称性的一种である部分系対称性について研究を行った。特に  $U(1)$  部分系対称性を持つ5次元の場の理論に対して  $SL(2, Z)$  変換によって移り合う場の理論の集合があることを示した。これは、Witten が以前に3次元の普通の  $U(1)$  対称性がある系に関して発見していたもののアナロジーである。特に、近年発展が進んでいる、対称性を高次元から理解する試みに重要な役割を果たす。

川上と山口は、部分系対称性と密接な関係も持つと考えられている4次元のエクゾチックな質量のあるフェルミオンの系に関して、境界の研究を行った。この理論は境界がない場合にはギャップがあり、真空が唯一の「自明」な相にある。境界がある場合には、ギャップは開いたままだが、残留エントロピーが境界の面積に比例するような非常に大きな真空の縮退が生じることが分かった。これは、今回考えた4次元の理論がある種の対称性に守られたトポロジカル相にあることを示唆している。

#### Left-Right 対称模型から予言されるヒッグスセクターの研究

柳生 慶, 榊原 蒼司は,  $SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_{B-L}$  ゲージ対称性に基づく Left-Right 対称模型から, 低エネルギー有効理論として予言されるヒッグスセクターの構造を分類した. シナリオによっては非最小のヒッグスセクターが予言されることを示し, 特に 2 Higgs doublet model が電弱スケールに現れる場合の現象論的な帰結を研究した.

#### ヒッグス3重項場を含むヒッグスセクターにおける CP の破れ

柳生 慶は国立台湾大の Ting-Kuo Chen と Cheng-Wei Chiang との共同で, 電弱  $\rho$  パラメータがツリーレベルで1となるようなヒッグス3重項場を含む模型においてそのスカラーポテンシャルに物理的な CP を破る位相が現れることを示し, 現在の EDM 実験及び LHC 実験における制限を調べた. また CP の破れを LHC 実験で検証する手法として, 2種類の付加的な中性ヒッグスポソンが  $Z$  ボソンと発見されたヒッグスポソンに崩壊する過程を提案し, 将来の高輝度 LHC 実験における検証可能性を明らかにした.

### **$U(1)$ ゲージ対称性の破れを共通起源とする素粒子未解決現象の説明**

柳生 慶は野村 敬明（四川大）、松井 俊憲（KIAS）との共同で TeV スケールにおける新たな  $U(1)$  ゲージ対称性の自発的破れを伴う新物理模型において、ニュートリノの微小質量、暗黒物質の存在及びその安定性の起源、そして宇宙のバリオン数非対称性の問題を同時に説明する可能性を示した。このシナリオでは  $U(1)$  対称性の破れによって、ベクトル的な中性フェルミオンがマヨラナ質量を獲得し、それがレプトジェネシス及び輻射シーソー機構を引き起こす。また、 $Z_2$  対称性がレムナントとして残存することによって暗黒物質の安定性が保証され、最も軽い  $Z_2$ -odd な中性の新粒子が暗黒物質の候補となる。我々は、現在のニュートリノ振動データ、宇宙のバリオン数密度及び暗黒物質密度を満たすベンチマークシナリオのあることを具体的に示した。

### **アーベル的格子ゲージ理論における分数トポロジカル電荷の研究**

対称性は物理学において非常に重要な概念であり、特にゲージ対称性は物質場の位相の大域的対称性を局所化するプロセス（ゲージ化）から現れる。近年の一般化された大域的対称性とそのゲージ化により、素粒子論・物性理論などで様々な成果があげられている。一方で、素粒子を記述する場の量子論は数学的に厳密に定義することが難しく、一つの最も良く確立された非摂動的な手法は格子場理論と呼ばれる。森川 億人は、阿部 元一と鈴木 博（九州大学）と共同で、一般化された対称性のゲージ化として  $Z_q$  1 次ゲージ対称性に付随する  $Z_q$  2 次ゲージ場を格子ゲージ理論に導入し、 $U(1)/Z_q$  ゲージ理論のトポロジカル電荷が分数値  $1/q^2$  を取ることや、 $q$  が偶数かつ  $\theta = \pi$  で混合't Hooft アノマリーの実証を行った。

### **膨張宇宙を表すミクロな模型の発見**

西岡は京都大学基礎物理学研究所 瀧 祐介氏、疋田 泰章氏、高柳 匡氏とともに 3 次元ドジッター宇宙に対するホログラフィー原理の具体例の構成に成功し、膨張する宇宙を表すミクロな模型を発見した。「宇宙がどのように無から生まれたのか？」という宇宙創成のメカニズムの解明に向けて、重力理論を物質の理論に帰着させるホログラフィー原理はこの問題解決の鍵と期待されている。しかし、従来のホログラフィー原理は宇宙定数が負の宇宙を対象としており、現実の膨張宇宙に相当する宇宙定数が正のドジッター宇宙を扱うことは困難であった。本研究では共形場理論と呼ばれる量子的な物質の一種に対して新しい極限をとることで、3 次元ドジッター宇宙の重力と理論として同一になる 2 次元共形場理論を見出した。

### **欠損入り共形場理論の解析**

西岡と嶋守は東京大学の奥山氏との共著 Phys. Rev. D 106, no.8, L081701 (2022) において、電磁気学における鏡像法のように、欠損演算子入りの共形場理論における相関関数が通常の共形場理論の相関関数として常に書き表せることを示した。また共著 JHEP 03, 051 (2023), JHEP 03, 203 (2023) では  $(4 - \epsilon)$  次元における  $O(N)$  ベクトル模型において境界および線演算子という欠損が存在する場合を調べ、これらの理論における様々な点演算子の共形次元を 3 つの物理的に自然な公理系のみを用いて導出した。またこの手法で得られた点演算子の共形次元に対する結果が摂動論を用いて得られたものと一致することを示した。

### **Curved domain-wall fermion and its anomaly inflow**

青木 匠門、深谷 英則は 2021 年度に曲がったドメインウォール質量を持つ格子フェルミオン

系で重力が誘導されることを示したが、2022年度はさらにゲージ場との相互作用によるアノマリー流入の解析も行った。正方格子に円  $S^1$  および球  $S^2$  を埋め込み、 $U(1)$  ゲージ場をリンク変数として与え、Dirac 方程式のスペクトルを解析した。従来の平坦なドメインウォールと同様に、質量のないカイラルなエッジ状態がドメインウォールに現れること、ドメインウォールの埋め込みから誘導される非自明なスピン接続の影響を受ける、つまり、スピン接続を通じて、重力を感じる、ゲージ場との相互作用によるアノマリー流入を確認した。

### トポロジカル絶縁体中の磁気単極子

トポロジカル絶縁体中に磁気単極子を入れると  $1/2$  の電荷を持ち、ダイオンになるという理論的予言が知られている。Witten 効果と呼ばれるこの現象の微視的な記述をめざし、青木、深谷、簡、越野研究室の越野幹人、松木義幸は、トポロジカル絶縁体中の電子の Dirac 方程式を詳細に解析した。その結果、磁気単極子のまわりに、小さいが有限のドメインウォールが生成され、その2次元球面の質量ゼロの端状態が現れること、その端状態は表面の端状態と必ずペアで出現し、トンネル効果で  $1/2$  ずつの振幅を持つ mixing を起こすこと、Half-filling 状態では磁気単極子まわりの電荷がちょうど単位電荷の半分になることをつきとめた (図 1.1 参照)。

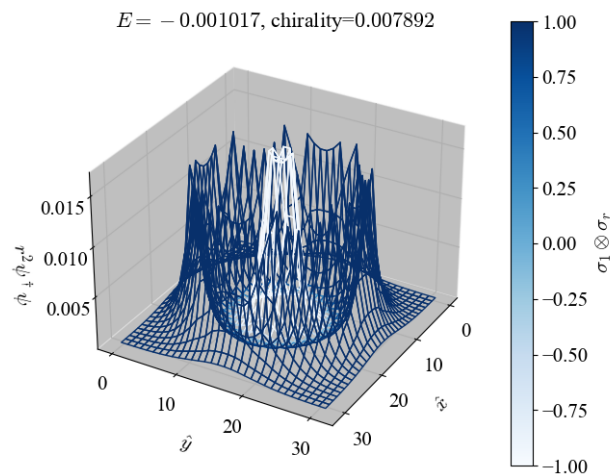


図 1.1: 磁気単極子のまわり ( $xy$  断面) に局在するゼロモード波動関数の分布。中心の磁気単極子、外側の球状の domain-wall に  $1/2$  ずつ局在する (near) zero モードが出現することで磁気単極子の獲得する電荷を説明できる。

### 同位体効果を用いた新物理探索

田中 実は、山本康裕 (NCTS, 台湾)、高橋義朗 (京大) らと共同で、最新の実験データを用いてイッテルビウムのスペクトルの同位体効果における一般化線形性の検証を行い、非線形性を発見した。さらに、これに基づいて新しい物理の探索を行った。この研究について、京都大学においてプレスリリースを行った。

### ガンマ線光渦

田中 実は、田代基慶 (東洋大)、笹尾 登 (岡山大) と共同で、軌道角運動量を持つ光の研究を行ない、加速されたヘリウム様重イオンからのガンマ線光渦の放射およびその背景事象を、光学ブロッホ方程式を用いて定量的に明かにした。

### 量子ドットを用いた指数崩壊則の検証

田中 実は、吉見彰洋 (岡山大)、吉村太彦 (岡山大) と共同で、量子力学が予言する指数崩壊則からのずれについて研究を行い、量子ドットにおけるトンネル効果を用いて、これを検証する可能性を明かにした。

### 量子コヒーレンスを用いた暗黒物質探索

田中 実は、Wang Jing (岡山大) らと共同で、量子コヒーレンスを用いた銀河ハロー暗黒物質の探索実験計画を進め、形状因子および黒体輻射による背景事象について調べた。

### 質量のないダークフォトンとレプトンとの相互作用

田中 実は、Xiaolong Deng、Florentin Jafferdo (INFN, Pisa) と共同で、質量のないダークフォトンについて研究を行った。特に荷電レプトンとの双極子相互作用に注目し、レプトンファミリーを変換するような相互作用への実験からの制限について調べた。

### 経路積分砂時計法によるゲージ理論のエンタングルメントエントロピー

エンタングルメントエントロピーは Hilbert 空間が直積の構造を持たない場合、スピン系のような定義が使えない。特にゲージ理論では、ガウスの法則により直積の構造をもたず、Bell Pair に相当するエンタングルメントエントロピーの計算は単純な経路積分の結果と食い違う。Lehman college (米国) の Daniel Kabat 氏とともに姉川尊徳、飯塚則裕は、昨年度に開発した砂時計法という新しい手法をさらに発展させ、分割する領域が球面の場合、この手法により経路積分から Bell Pair に相当する正しい係数をゲージ理論で導くことに成功した。

### 極限ブラックホールのアトラクターとそのフロー

温度ゼロの極限ブラックホールはアトラクターという現象を示す。アトラクターとはブラックホールのホライズンでスカラーが特定の値しかとれないという現象である。飯塚則裕は近畿大学の石橋明浩氏、芝浦工業大学の前田健吾氏とともに、この極限ブラックホールに不安定性を導入し、極限ブラックホールから別の極限ブラックホールにどのように崩壊していくかの過程を調べた。

### ベビー宇宙による蒸発するブラックホールの微細構造

ブラックホールの蒸発は粗視化すると情報が損失しているように見える。本問題に対し飯塚則裕は東京大学の宮田晃宏氏、京都大学の宇賀神知紀氏とともにブラックホールの蒸発の微細構造をみるために仮想的にベビー宇宙を導入し、この効果が半古典近似の重力による描像をどのように変えるのかについて調べた。

### Flow 方程式と GKP-Witten 関係式

大野木は、共同研究者との研究で CFT に対する双対なバルク理論を構築するため、flow 方程式の拡張を行った。通常の flow 方程式は flow 時間について 1 階微分であるが、これを 2 階微分を含むよう 1 パラメータで変形する。これを用いて flow された演算子の共形変換が正確にアンチ ド シッター空間 (AdS) のアイソメトリになる特殊なパラメータの値があることを発見しました。この特殊な流れ方程式を  $O(N)$  ベクトル モデルに適用することにより、AdS 幾何学と GKP-Witten 関係を満たすスカラー場がこのフレームワーク内で同時に出現することを明示的に示した。

### 一般相対論におけるエネルギー保存量

大野木は共同研究者との研究によって最近提案された、一般相対性理論におけるエネルギー/エントロピーの共変定義を、擬テンソルや準テンソルからのエネルギーの定義などの既存のエネルギー定義と厳密に比較した。一般相対性理論におけるエネルギーの既存の定義は、一般座標変換に対するネーターの第 2 定理からの保存電荷であり、その保存は局所対称性によって暗示される恒等式にすぎず、運動方程式を使用しなくても常に成り立つことを示した。それに対して、一般相対性理論におけるエネルギー/エントロピーの我々の新しい定義は、一般に保存された非ネーター電荷であり、ブラックホールの質量、重力崩壊、宇宙の膨張などのさまざまな場合に対して物理的に合理的な結果を与えることを示した。

### 原始ブラックホール観測による電弱相転移現象の検証に関する理論研究

兼村晋哉と田中正法は、高橋智 (佐賀大), 端野克哉 (福島高専) と共同で、原始ブラックホール観測を通じた電弱 1 次相転移を検証する方法に関する理論的研究を行なった。具体的な新物理模型に依らない原始ブラックホールと電弱 1 次相転移の関係を議論するために、新粒子による大きな量子補正を適切に扱える nearly aligned Higgs EFT を用いて解析を行なった。これまでに、将来の加速器実験でのヒッグス 3 点結合の測定とレーザー干渉計による電弱相転移由来の重力波観測が、電弱 1 次相転移を検証する有効な方法であることが知られていた。我々は、加速器実験と重力波観測に加えて、現在及び将来の原始ブラックホール観測を通じて電弱 1 次相転移が検証可能であることを示した。また、新物理模型の広いパラメータ領域が原始ブラックホール観測を通じて探れることを明らかにした。

### 強い一次的電弱相転移における新物理粒子のスケールの上限に関する理論研究

兼村晋哉と田中正法は、拡張ヒッグス模型における電弱相転移のダイナミクスの解析を行なった。我々は強い電弱 1 次相転移の条件と摂動ユニタリティによる理論的制限を組み合わせることで、拡張ヒッグス模型における付加的ヒッグスの質量に対する上限と下限が得られることを定量的に示した。また、付加的ヒッグスの質量が TeV スケールにある場合でも、強い電弱 1 次相転移が実現できることを示した。さらに、そのような比較的重い付加的ヒッグスによって電弱 1 次相転移を実現する新物理模型では、将来の加速器実験におけるヒッグスポテンシャルの自己 3 点結合の測定と、LISA などの宇宙空間でのレーザー干渉計による電弱相転移由来の重力波観測の相関関係によって付加的ヒッグスの質量スケールを間接的に探れる可能性についても明らかにした。

### 新しい拡張ヒッグス模型による電弱バリオン数生成の研究

榎本一輝、兼村晋哉、村勇志は、Aligned two Higgs doublet model における電弱バリオン数生成の現象論について研究した。電子の電気双極子モーメントからの厳しい制約を、複数の CP 位相による効果の干渉によって回避できる機構を備えた本模型において、その他の様々な実験的、理論的制約を満たしつつ電弱バリオン数生成を実現できるいくつかのベンチマークポイントが存在することを示した。加えて、それらベンチマークポイントが将来の宇宙重力波望遠鏡によって検証可能であることを発見した。この研究成果は 学術論文として JHEP に掲載された。

### トップ-チャーム混合による電弱バリオン数生成の研究

兼村晋哉、村勇志は、トップ-チャーム混合を引き起こす結合が電弱バリオン数生成に重要となるシナリオに着目して研究を行った。本研究によって、電弱バリオン数生成に対するこのトップ-チャーム結合の CP 位相の効果は、従来考えられていたよりも遥かに小さくなることを明らかにした。また、トップ-チャーム結合の効果はその絶対値に比例し、ヒッグスポテンシャルに存在する CP の破れを拾うことでのみバリオン数生成に寄与することを明らかにした。加えて、K 中間子の稀崩壊プロセスに着目し、本シナリオの将来フレーバー実験での検証に向けたベンチマークポイントを作成した。

### 新しいヒッグス有効理論と電弱相転移への応用

兼村晋哉、長井遼、田中正法は、新粒子による大きな量子補正効果を伴う拡張ヒッグス模型を有効的に記述する有効場の理論である naHEFT を有限温度系に拡張をし、電弱相転移のダイナミクスの解析を定量的に行なった。これまでの先行研究では、電弱スケールよりも重い新粒子による量子効果を一般的に扱える有効場の理論として、標準模型に高次元演算子を追加した SMEFT の枠組みを用いて、電弱相転移の性質などが議論されてきた。我々は、naHEFT と SMEFT での電弱相転移の性質に対する予言を比較した。そして、電弱 1 次相転移のような新粒子による大きな量子補正効果が重要な役割を果たす現象を議論する際には、SMEFT よりも naHEFT の方が適当であることを定量的に示した。加えて、naHEFT を用いてヒッグスポテンシャルにおける 3 点自己結合や電弱相転移由来の重力波のスペクトルについても解析を行い、将来の加速器実験や重力波観測を通じて、電弱 1 次相転移を伴う拡張ヒッグス模型が検証可能であることを明らかにした。

### 逆符号の湯川結合を伴う拡張ヒッグスセクターの検証可能性

兼村 晋哉, Tanmoy Mondal, 柳生 慶は、標準模型的なヒッグスボソンの湯川結合の値が標準模型での値と大きさが等しく符号が逆であるシナリオが 2 Higgs doublet model において実現可能であり、現在のフレーバー実験及び LHC 実験の制限を満たすことを示した。この「逆符号のシナリオ」はミューオン  $g-2$  に見られる実験値と標準理論の予言値との間の有意なずれ (約  $4\sigma$ ) を説明する新物理のシナリオにおいて現れることがある。我々はこの逆符号のシナリオにおいて、複数個の発見されたヒッグスボソンを終状態に含むようなシグナルが LHC 実験において現れ得ることを明らかにし、「正符号のシナリオ」と区別する可能性を示した。この研究成果は学術論文として JHEP に掲載された。

### CDF II 実験における W ボソン質量のアノマリーの新物理による説明

兼村 晋哉, 柳生 慶は CDF II 実験で報告された W ボソン質量の測定値と標準理論における予言値との間の差 (約  $7\sigma$ ) を新物理の効果によって説明する可能性を研究した. 特に Type-II シーソー機構において導入されるヒッグス 3 重項場を標準理論に追加した模型において, 1 ループレベルで W ボソン質量を含む電弱精密測定量を計算した. 計算の結果, 付加的なヒッグスボソンの質量差が  $\mathcal{O}(100)$  GeV 程度でかつ 3 重項場ヒッグス場の真空期待値が  $\mathcal{O}(1)$  GeV であるとき, 上記の差を説明することが可能であることを明らかにした. この研究成果は学術論文として Phys. Lett. B に掲載された.

### 拡張されたヒッグスモデルにおけるヒッグス粒子の崩壊現象に関する輻射補正の系統的研究

愛甲将司, 兼村晋哉, 菊地真吏子, 桜井巨大, 柳生慶は, 将来のコライダー実験でヒッグス粒子の精密測定が実施されることを見据えて, ロングタームの研究プロジェクトとしてさまざまな拡張ヒッグス系の模型におけるヒッグス粒子の崩壊, 生成過程に関する輻射補正の系統的研究プロジェクト (H-COUP プロジェクト) を実施してきた. これまで, 拡張ヒッグスセクターにおける繰り込みスキームの定式化, 発見されたヒッグス粒子に関する生成, 崩壊プロセスに対する 1 ループ補正の包括的研究は完了し, 2021 年度から 2022 年度にかけては拡張ヒッグス系に現れる荷電ヒッグス粒子や CPodd なヒッグス粒子など, 新たに現れるヒッグス粒子等の崩壊現象の系統的计算に着手し, その成果は逐次論文として発表した. 活発に国際研究集会や学会で発表している. これらの包括的研究で開発した計算コードは 2022 年中に完成し, 近く HCOUP ver 3 として公開する予定である.

### ミュー粒子の電気双極子モーメント

佐藤 亮介は, 中井 (上海交通大 TDLI), 重神 (上海交通大 TDLI) とともに, two Higgs doublet model において, 電子の電気双極子モーメントを小さく抑えつつミュー粒子の電気双極子モーメントが大きくなれることを示し, さらに将来の実験で観測できる可能性を示した.

### ミュー粒子の質量が輻射補正で生まれる模型における暗黒物質とミュー粒子電気双極子モーメント

佐藤 亮介は, Khaw (上海交通大 TDLI), 中井 (上海交通大 TDLI), 重神 (上海交通大 TDLI), Zhang (上海交通大 TDLI) とともに, ミュー粒子の質量が, 暗黒物質セクターによる輻射補正で生まれる模型を議論した. この模型では大きなミュー粒子電気双極子モーメントが予言されることを示し, 暗黒物質の模型としても有効なパラメーター領域があることを示した.

### Kinetic misalignment scenario におけるアクシオンの振る舞いの詳細な解析

佐藤 亮介は, Eröncel (DESY), Servant (DESY), Sørensen (DESY) とともに, アクシオン暗黒物質の生成シナリオとして Kinetic misalignment scenario に注目し, アクシオン場への揺らぎへとエネルギーの散逸が起る効果について詳細な解析を行った. エネルギー散逸が起る条件を示し, アクシオン暗黒物質のパラメーター領域への示唆や, エネルギー散逸時に発生する重力波の検証可能性などを議論した.



## 学術雑誌に出版された論文

**Special flow equation and the GKP-Witten relation**S. Aoki, J. Balog, Tetsuya Onogi<sup>s</sup>, S. YokoyamaPTEP **2023** (No.6, May) (2023) 013B03 1-9<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptad00>).**Conserved non-Noether charge in general relativity: Physical definition versus Noether's second theorem**S. Aoki and Tetsuya Onogi<sup>s</sup>Int. J. Mod. Phys. A **37** (No.22, Sep) (2022) 2250129 1-28<http://dx.doi.org/doi:10.1142/S0217751X22501299>).**FLAG Review 2021**Y. Aoki and Tetsuya Onogi<sup>s</sup>, *et al.*Eur. Phys. J. C **82** (Oct) (2022) 869 1-296<http://dx.doi.org/doi:10.1140/epjc/s10052-022-10536-1>).**Method of images in defect conformal field theories**Tatsuma Nishioka<sup>s</sup>, Yoshitaka Okuyama<sup>d</sup>, Soichiro Shimamori<sup>m</sup>Phys. Rev. D **106** (Iss. 8, October) (2022)<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.106.L081701>).**Comments on epsilon expansion of the  $O(N)$  model with boundary**Tatsuma Nishioka<sup>s</sup>, Yoshitaka Okuyama<sup>d</sup>, Soichiro Shimamori<sup>m</sup>Journal of High Energy Physics **2023** (March) (2023) 51[http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP03\(2023\)051](http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP03(2023)051)).**The epsilon expansion of the  $O(N)$  model with line defect from conformal field theory**Tatsuma Nishioka<sup>s</sup>, Yoshitaka Okuyama<sup>d</sup>, Soichiro Shimamori<sup>m</sup>Journal of High Energy Physics **2023** (March) (2023) 203[http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP03\(2023\)203](http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP03(2023)203)).**Curved domain-wall fermions**Shoto Aoki<sup>d</sup>, Hidenori Fukaya<sup>s</sup>PTEP **2022** (6, Jun.) (2022) 22<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptac075>).**Curved domain-wall fermion and its anomaly inflow**Shoto Aoki<sup>d</sup>, Hidenori Fukaya<sup>s</sup>

PTEP **2023** (3, Mar.) (2023) 22  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptad023>).

#### **Chiral fermion on curved domain-wall**

Shoto Aoki<sup>d</sup>, Hidenori Fukaya<sup>s</sup>  
PoS LATTICE2021 (2022) (May 16) (2022) 535  
(<http://dx.doi.org/doi:10.22323/1.396.0535>).

#### **Flows of extremal attractor black holes**

Norihiro Iizuka<sup>s</sup>, Akihiro Ishibashi, Kengo Maeda  
J. High Energy Phys. **09** (2022) (Sept) (2022) 093  
([http://dx.doi.org/doi:doi:10.1007/JHEP09\(2022\)093](http://dx.doi.org/doi:doi:10.1007/JHEP09(2022)093)).

#### **Extractable entanglement from a Euclidean hourglass**

Daniel Kabat, Takanori Anegawa<sup>DC</sup>, Norihiro Iizuka<sup>s</sup>  
Phys. Rev. D **106** (8) (2022) 085010  
(<http://dx.doi.org/doi:doi:10.1103/PhysRevD.106.085010>).

#### **A comment on a fine-grained description of evaporating black holes with baby universes**

Norihiro Iizuka<sup>s</sup>, Akihiro Miyata, Tomonori Ugajin  
J. High Energy Phys. **09** (2022) (Sept) (2022) 158  
([http://dx.doi.org/doi:doi:10.1007/JHEP09\(2022\)158](http://dx.doi.org/doi:doi:10.1007/JHEP09(2022)158)).

#### **Defining entanglement without tensor factoring: A Euclidean hourglass prescription**

Daniel Kabat, Takanori Anegawa<sup>DC</sup>, Norihiro Iizuka<sup>s</sup>  
Phys. Rev. D **105** (8) (2022) 085003  
(<http://dx.doi.org/doi:doi:10.1103/PhysRevD.105.085003>).

#### **Electroweak phase transition in the nearly aligned Higgs effective field theory**

Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Ryo Nagai, Masanori Tanaka<sup>DC</sup>  
JHEP **06** (June) (2022) 027  
([http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP06\(2022\)02](http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP06(2022)02)).

#### **Probing double-aligned two-Higgs-doublet models at the LHC**

Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Michihisa Takeuchi, Kei Yagyu<sup>s</sup>  
Phys. Rev. D **105** (no.11, June) (2022) 115001  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.105.115001>).

**Implication of the W boson mass anomaly at CDF II in the Higgs triplet model with a mass difference**Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Kei Yagyu<sup>s</sup>Phys. Lett. B **831** (August) (2022) 137217<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.physletb.2022.137217>).**Strongly first-order electroweak phase transition by relatively heavy additional Higgs bosons**Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Masanori Tanaka<sup>DC</sup>Phys. Rev. D **106** (No.3, August) (2022) 035012<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.106.035012>).**New benchmark scenarios of electroweak baryogenesis in aligned two Higgs double models**Kazuki Enomoto, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Yushi Mura<sup>d</sup>JHEP **2022** (September) (2022) 121[http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP09\(2022\)121](http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP09(2022)121)).**Primordial black holes as a probe of strongly first-order electroweak phase transition**Katsuya Hashino, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Tomo TakahashiPhys. Lett. B **833** (October) (2022) 137261<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.physletb.2022.137261>).**Next-to-leading order corrections to decays of the heavier CP-even Higgs boson in the two Higgs doublet model**Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Mariko Kikuchi, Kei Yagyu<sup>s</sup>Nucl. Phys. B **983** (October) (2022) 115906<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.nuclphysb.2022.115906>).**Probing first-order electroweak phase transition via primordial black holes in the effective field theory**Katsuya Hashino, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Tomo Takahashi, Masanori Tanaka<sup>DC</sup>Phys. Lett. B **838** (January) (2023) 137688<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.physletb.2023.137688>).**Radiative corrections to decay branching ratios of the CP-odd Higgs boson in two Higgs doublet models**Masashi Aiko, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Kodai SakuraiPhys. Lett. B **986** (January) (2023) 116047

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.nuclphysb.2022.116047>).

### Exploring wrong sign scenarios in the Yukawa-Aligned 2HDM

Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Tanmoy Mondal<sup>i</sup>, Kei Yagyu<sup>s</sup>

JHEP **02** (February) (2023) 237

([http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP02\(2023\)237](http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP02(2023)237)).

### Probing the chirality structure in the lepton-flavor-violating Higgs decay $h \rightarrow \tau\mu$ at the LHC

Mayumi Aoki, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Michihisa Takeuchi, Lalu Zamakhsyari

Phys. Rev. D **107** (March) (2023) 055037

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.107.055037>).

### CFT duals of three-dimensional de Sitter gravity

Yasuaki Hikida, Tatsuma Nishioka<sup>s</sup>, Tadashi Takayanagi, and Yusuke Taki

J. High Energy Phys. **05** (May) (2022) 129

([http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP05\(2022\)129](http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP05(2022)129)).

### Fractional topological charge in lattice Abelian gauge theory

Motokazu Abe, Okuto Morikawa<sup>PD</sup>, and Hiroshi Suzuki

Prog. Theor. Exp. Phys. **2023** (2) (2023) 023B03

(<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptad009>).

### Chiral symmetry breaking and the quark bilinear condensate in large-N QCD

Ryosuke Sato<sup>s</sup>

Prog. Theor. Exp. Phys **2022** (No. 10, October) (2022) 103B03

(<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptac133>).

### Baryon asymmetric Universe from spontaneous CP violation

Kohei Fujikura, Yuichiro Nakai, Ryosuke Sato<sup>s</sup>, Masaki Yamada

Journal of High Energy Physics **04** (April) (2022) 105

([http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP04\(2022\)105](http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP04(2022)105)).

### Muon electric dipole moment as a probe of flavor-diagonal CP violation

Yuichiro Nakai, Ryosuke Sato<sup>s</sup>, Yoshihiro Shigekami

Phys. Lett. B **831** (August) (2022) 137194

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.physletb.2022.137194>).

### ALP dark matter from kinetic fragmentation: opening up the parameter window

Cem Eröncel, Ryosuke Sato<sup>s</sup>, Géraldine Servant, Philip Sørensen  
Journal of Cosmology and Astroparticle Physics **2022** (No. 10, October) (2022) 053  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1088/1475-7516/2022/10/053>).

#### **A large muon EDM from dark matter**

Kim Siang Khaw, Yuichiro Nakai, Ryosuke Sato<sup>s</sup>, Yoshihiro Shigekami, Zhihao Zhang  
Journal of High Energy Physics **02** (February) (2023) 234  
([http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP02\(2023\)234](http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP02(2023)234)).

#### **Observation of Nonlinearity of Generalized King Plot in the Search for New Boson**

Koki Ono, Yugo Saito, Taiki Ishiyama, Toshiya Higomoto, Tetsushi Takano, Yosuke Takasu, Yasuhiro Yamamoto, Minoru Tanaka<sup>s</sup>, Yoshiro Takahashi  
Physical Review X **12** (2, May) (2022) 021033 1-17  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevX.12.021033>).

#### **Generation of Twisted Gamma - Rays via Two - Photon Transition**

Motomichi Tashiro, Noboru Sasao, Minoru Tanaka<sup>s</sup>  
Annalen der Physik (Berlin) **534** (June) (2022) 2200168 1-10  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1002/andp.202200168>).

#### **Quantum dots as a probe of fundamental physics: deviation from exponential decay law**

Akihiro Yoshimi, Minoru Tanaka<sup>s</sup>, Motohiko Yoshimura  
The European Physical Journal D **76** (July) (2022) 113 1-13  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1140/epjd/s10053-022-00437-z>).

#### **Explanation of the W mass shift at CDF II in the extended Georgi-Machacek model**

Ting-Kuo Chen, Cheng-Wei Chiang, Kei Yagyu<sup>s</sup>  
Phys. Rev. D **106** (no.5, September) (2022) 055035  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.106.055035>).

#### **CP-violating 2HDMs emerging from 3-3-1 models**

Zhiyi Fan, Kei Yagyu<sup>s</sup>  
JHEP **06** (June) (2022) 014  
([http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP06\(2022\)014](http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP06(2022)014)).

#### **Gravitational waves in models with multicritical-point principle**

Yuta Hamada, Hikaru Kawai, Kiyoharu Kawana, Kin-ya Oda, Kei Yagyu<sup>s</sup>

Eur. Phys. J. C **82** (no.5, May) (2022) 481  
<http://dx.doi.org/doi:10.1140/epjc/s10052-022-10440-8>).

### Dark sector as origin of light lepton mass and its phenomenology

Cheng-Wei Chiang, Ryomei Obuchi, Kei Yagyu<sup>s</sup>  
 JHEP **05** (May) (2022) 070  
[http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP05\(2022\)070](http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP05(2022)070)).

### SL(2,Z) action on quantum field theories with U(1) subsystem symmetry

Satoshi Yamaguchi<sup>s</sup>  
 PTEP **2023** (2, February) (2023) 023B06  
<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptad008>).

### Phase structure of linear quiver gauge theories from anomaly matching

Okuto Morikawa<sup>PD</sup>, Hiroki Wada<sup>d</sup>, Satoshi Yamaguchi<sup>s</sup>  
 Phys. Rev. **D107** (February) (2023) 045020  
<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.107.045020>).

## 国際会議報告等

### Thermodynamics with Möbius domain wall fermions near physical point II

S. Aoki, Y. Aoki, Hidenori Fukaya<sup>s</sup>, J. Goswami, S. Hashimoto, I. Kanamori\*, T. Kaneko and Y. Zhang  
 PoS Lattice2022 **176** (Feb.) (2023) 1-8.  
 The 39th International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2022)(Aug. 8–13, 参加者数約 500 名), Germany.

### Axial U(1) symmetry at high temperatures in Nf=2+1 lattice QCD with chiral fermions

S. Aoki, Y. Aoki, Hidenori Fukaya<sup>s</sup>, S. Hashimoto, I. Kanamori, T. Kaneko, Y. Nakamura, C. Rohrhofer, K. Suzuki\*  
 PoS Lattice2021 **332** (Jul.) (2022) 1-7.  
 The 39th International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2022)(Aug. 8–13, 参加者数約 500 名), Online.

### What is chiral susceptibility probing?

Hidenori Fukaya<sup>s\*</sup>, S. Aoki, Y. Aoki, S. Hashimoto, C. Rohrhofer, K. Suzuki on behalf of JLQCD Collaboration  
 PoS Lattice2021 **050** (Jul.) (2022) 1-9.

The 39th International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2022)(Aug. 8–13, 参加者数約 500 名), Online.

**A physicist-friendly reformulation of the Atiyah-Patodi-Singer index (on a lattice)**

Hidenori Fukaya<sup>s\*</sup>

PoS Lattice2021 **012** (Jul.) (2022) 1-10.

The 39th International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2022)(Aug. 8–13, 参加者数約 500 名), Online.

**A physicist-friendly reformulation of the mod-two Atiyah-Patodi-Singer index**

Y. Matsuki<sup>\*</sup>, Hidenori Fukaya<sup>s</sup>, M. Furuta, S. Matsuo, Tetsuya Onogi<sup>s</sup>, Satoshi Yamaguchi<sup>s</sup> and M. Yamashita

PoS Lattice2021 **617** (Jul.) (2022) 1-10.

The 39th International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2022)(Aug. 8–13, 参加者数約 500 名), Online.

**Two-loop corrections to the Higgs trilinear coupling in classically scale-invariant theories**

J. Braathen<sup>\*</sup>, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Makoto Shimoda<sup>d</sup>

Proceedings of Science **398** (May) (2022) 605.

EPS-HEP2021, Germany.

**Bulk Reconstruction from a Scalar CFT at the Boundary by the Smearing with the Flow Equation**

S. Aoki<sup>\*</sup>, J. Balog, Tetsuya Onogi<sup>s</sup>, S. Yokoyama

Springer Proc. Math. Stat. **396** (Jan.) (2023) 277-285.

Lie Theory and Its Application in Physics(Jun. 2021), Bulgaria.

**国際会議における講演等**

**A microscopic description of the Witten effect with negatively massive fermions**

Hidenori Fukaya<sup>s\*</sup>

KEK Theory Workshop 2022, (online, Dec. 8, 200 名)

**Curved domain-wall fermion and its anomaly inflow**

Shoto Aoki<sup>d\*</sup>

KEK Theory Workshop 2022 (online, Dec 7-9, 参加者 200 名)

**Electroweak phase transition in the nearly aligned Higgs effective field theory**Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Ryo Nagai, Masanori Tanaka<sup>DC\*</sup>

Physics in LHC and Beyond (at Shimane, Japan, May. 12-15, 2022, 参加者数 190 名)

**Electroweak phase transition in the nearly aligned Higgs EFT**Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Ryo Nagai, Masanori Tanaka<sup>DC\*</sup>

ICHEP 2022 International Conference on High Energy Physics (at Bologna, Italy, Jul. 6-13, 2022, 参加者数 1546 名)

**Probing extended Higgs models with the non-decoupling effect by future collider and cosmological experiments**Katsuya Hashino, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Tomo Takahashi, Masanori Tanaka<sup>DC\*</sup>

Higgs 2022 (at Pisa, Italy, Nov. 6-11, 2022, 参加者数約 190 名)

**Primordial black holes as a probe of electroweak phase transition**Katsuya Hashino, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Tomo Takahashi, Masanori Tanaka<sup>DC\*</sup>

KEK Theory Meeting on Particle Physics Phenomenology (KEK-PH2022) (at Tsukuba, Japan, Nov. 29- Dec. 2, 2022, 参加者数約 150 名)

**Electroweak baryogenesis in the Higgs alignment scenario**Kazuki Enomoto, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Yushi Mura<sup>d\*</sup>

Physics in LHC and Beyond (at Matsue, Japan, May. 12-15, 2022, 参加者数約 190 名)

**Electroweak baryogenesis in aligned two Higgs doublet model**Kazuki Enomoto, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Yushi Mura<sup>d\*</sup>

Workshop on Multi-Higgs Models (at Lisboa, Portugal, Sept. 30-2, 2022, 参加者数約 50 名)

**Electroweak baryogenesis in aligned two Higgs doublet model**Kazuki Enomoto, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Yushi Mura<sup>d\*</sup>

ICHEP2022 (at Bologna, Italy, Jul. 6-13, 2022, 参加者数約 1500 名)

**What is chiral susceptibility probing?**Hidenori Fukaya<sup>s\*</sup> (invited)

RIKEN R-CCS workshop "Challenges and opportunities in Lattice QCD simulations and related fields" (RIKEN R-CCS, Feb. 15-17, 40 名)

**A microscopic description of the Witten effect with negatively massive fermions**Naoto Kan<sup>i\*</sup> (invited)

QFT and Related Mathematical Aspects (at Shizuoka, Japan, Mar. 13-15, 2023, 参加者



数約 30 名)

**Extended Higgs models for BSM phenomena, and their tests at future experiments**

Shinya Kanemura<sup>s\*</sup> (invited)

PPP14 (at Tamkang University, Taiwan, June 22-24, 2022, 参加者数約 100 名)

**EW Baryogenesis in the aligned 2HDM**

Shinya Kanemura<sup>s\*</sup> (invited)

Higgs Days 2022 (at Santander, Spain, September 5-9, 2022, 参加者数約 50 名)

**EW Baryogenesis in the aligned 2HDM**

Shinya Kanemura<sup>s\*</sup> (invited)

Higgs Days 2022 (at Santander, Spain, September 5-9, 2022, 参加者数約 50 名)

**Axion Fragmentation**

Ryosuke Sato<sup>s\*</sup> (invited)

Physics in LHC and beyond, (島根県松江市, May 12-15 2022, 参加者約 200 名)

**Axion Fragmentation**

Ryosuke Sato<sup>s\*</sup> (invited)

Kobe Workshop on Cosmology and Fundamental Physics, (兵庫県神戸市, Jul 4-8 2022, 参加者約 30 名)

**Axion Fragmentation**

Ryosuke Sato<sup>s\*</sup> (invited)

KEK-PH 2022, (茨城県つくば市, Nov 29-Dec 2 2022, 参加者約 150 名)

**ALP Dark Matter**

Ryosuke Sato<sup>s\*</sup> (invited)

19th Rencontres du Vietnam: TMEX-2023, (Quy Nhon, Jan 5-11 2023, 参加者約 70 名)

**Axion fragmentation and its application**

Ryosuke Sato<sup>s\*</sup> (invited)

Early Universe Mini-workshop, (兵庫県神戸市, Jan 31-Feb 2 2023, 参加者約 30 名)

**Axion fragmentation**

Ryosuke Sato<sup>s\*</sup> (invited)

Chung-Ang University BSM workshop, (Seoul, Feb 20-24 2023, 130)

**Isotope shift as a probe of new physics**Minoru Tanaka<sup>s\*</sup> (invited)

The 8th Quantum Science symposium, ICCMSE 2022, Oct. 26-29, 2022

**Generation of Twisted Gamma-Rays Using Accelerated Ions**Minoru Tanaka<sup>s\*</sup> (invited)

Mie Meeting of Quantum Science 2022, Dec. 8-9, 2022, 約 20 名

**W Mass Shift in Extended Higgs Sectors**Kei Yagyu<sup>s\*</sup> (invited)

Rapid Response Workshop on W boson mass anomaly (NCTS, May 27, 2022, 参加者約 30 名)

**Non-invertible symmetries and disk partition functions**Satoshi Yamaguchi<sup>s\*</sup> (invited)

QFT and Related Mathematical Aspects (at Shuzenji, Mar. 13 – 15, 2023, 参加者約 50 名)

**Non-invertible symmetries on the lattice**Satoshi Yamaguchi<sup>s\*</sup> (invited)

KEK Theory Workshop 2022 (at KEK, Dec. 7 – 9, 2022, 参加者約 200 名)

**Non-invertible symmetries on the lattice**Satoshi Yamaguchi<sup>s\*</sup> (invited)

East Asia Joint Workshop on Fields and Strings 2022 (at Korea Institute for advanced Study, Seoul, Korea, Nov. 14 – 18, 2022, 参加者約 100 名)

**Topological excitation of QCD near the critical temperature (poster)**Hidenori Fukaya<sup>s\*</sup>

The 30th Anniversary Symposium of the Center for Computational Sciences (the University of Tsukuba, Oct 14, 参加者約 100 名)

**Curved domain-wall fermions (poster)**Shoto Aoki<sup>d\*</sup>

Localization 2022 (at Hokkaido, Aug 25-30, 参加者 100 名)

**Curved domain-wall fermions (poster)**Shoto Aoki<sup>d\*</sup>

Challenges and opportunities in Lattice QCD simulations and related fields (at Kobe, 2/15-17, 参加者 50 名)

**The epsilon expansion of  $O(N)$  model with a line defect from conformal field theory (poster)**Soichiro Shimamori<sup>m\*</sup>

Extreme Universe, Second Annual Meeting (Kobe convention center, 2022/12/26-2022/12/28)

**Multicritical Point Principle and Its Phenomenology (poster)**Yuta Hamada, Hikaru Kawai, Kiyoharu Kawana, Kin-ya Oda, Kei Yagyu<sup>s\*</sup>

ICHEP2022 (at Bologna, Italy, July 8, 2022, 参加者約 1000 名)

**Non-invertible symmetries in  $Z_2$  lattice gauge theory with a boundary (poster)**Masataka Koide, Yuta Nagoya<sup>d\*</sup>, Satoshi Yamaguchi

Kavli Asian Winter School (KAWS) on Strings, Particles and Cosmology, 2023 (at Daejeon, Jan 09-18, 参加者数約 100 名)

**日本物理学会，応用物理学会等における講演****QCD のカイラル相転移における  $U(1)$  量子異常の役割**青木慎也, 青木保道, 深谷 英則<sup>s\*</sup>, 橋本省二, 金森逸作, 金児隆志, 中村宜文, Christian Rohrhofer, 鈴木溪 (JLQCD Collaboration)

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

**正方格子上の曲がったドメインウォール上のアノマリー**Shoto Aoki<sup>d\*</sup>, Hidenori Fukaya<sup>s</sup>

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

**Curved domain-wall fermion and its anomaly inflow**Shoto Aoki<sup>d\*</sup>, Hidenori Fukaya<sup>s</sup>

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 – 9 月 8 日)

**負の質量を持つフェルミオンによる Witten 効果の微視的記述**青木 匠門<sup>d</sup>, 深谷 英則<sup>s</sup>, 簡 直人<sup>s\*</sup>, 越野 幹人<sup>s</sup>, 松木 義幸<sup>s</sup>

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

**Higgs to Higgs 崩壊による逆符号の湯川結合を伴うシナリオの検証**兼村 晋哉<sup>s</sup>, Tanmoy Mondal<sup>i</sup>, 柳生 慶<sup>s\*</sup>

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 – 9 月 8 日)

**Higgs to Higgs 崩壊による逆符号の湯川結合を伴うシナリオの検証**端野克哉<sup>\*</sup>, 兼村 晋哉<sup>s</sup>, 高橋智, 田中正法

日本物理学会 2022 年秋季大会（素核宇）（於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 – 9 月 8 日）

#### **H-COUP の進展：重いヒッグス粒子の崩壊に関する NLO 計算の包括的研究**

愛甲将司, 兼村 晋哉<sup>s</sup>, 菊地真吏子<sup>\*</sup>, 桜井巨大, 柳生慶

日本物理学会 2022 年秋季大会（素核宇）（於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 – 9 月 8 日）

#### **拡張ヒッグス模型における 1 ループレベルでの摂動的ユニタリー性**

愛甲将司<sup>\*</sup>, Jorg Holsten, 兼村 晋哉<sup>s</sup>

日本物理学会 2022 年秋季大会（素核宇）（於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 – 9 月 8 日）

#### **拡張されたヒッグス有効理論における原始ブラックホールを通じた電弱相転移の検証**

兼村 晋哉<sup>s</sup>, 高橋智, 田中 正法<sup>DC\*</sup>, 端野克也

日本物理学会 2022 年秋季大会（素核宇）（於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 – 9 月 8 日）

#### **Large N QCD におけるカイラル対称性の破れ**

佐藤 亮介<sup>\*\*</sup>

日本物理学会 2022 年秋季大会（素核宇）（於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 – 9 月 8 日）

#### **欠損入り高次元共形場理論における鏡像法**

西岡 辰磨<sup>s</sup>, 奥山 義隆<sup>d</sup>, 嶋守 聡一郎<sup>m\*</sup>

日本物理学会 2022 年秋季大会（素核宇）（於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 – 9 月 8 日）

#### **defect 共形対称性に基づく、Feynman 図に依らない defect CFT データの解析**

西岡 辰磨<sup>s</sup>, 奥山 義隆<sup>d</sup>, 嶋守 聡一郎<sup>m\*</sup>

日本物理学会 2023 年春季大会（於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日）

#### **質量のないダークフォトンのレプトンとの相互作用への制限**

田中 実<sup>\*\*</sup>, Xialong Deng<sup>m</sup>, Florentin Jaffredo

日本物理学会 2023 年春季大会（於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日）

#### **3+1 次元のギャップのあるエキゾチックなフェルミオン系の境界**

川上 紘輝<sup>d\*</sup>, 山口 哲<sup>s</sup>

日本物理学会 2022 年秋季大会（素核宇）（於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 – 9 月 8 日）

#### **連続理論と格子理論での指数定理と $\eta$ 不変量**

山口 哲<sup>\*\*</sup>

格子上の場の理論と連続空間上の場の理論（於 京都大学基礎物理学研究所、2022 年 7 月 19 日 – 7 月 22 日）

#### **電弱バリオン数生成を実現するノンデカップリング効果に対する理論的制限**

Kazuki Enomoto, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Yushi Mura<sup>d\*</sup>

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 – 9 月 8 日)

アライメントシナリオにおける電弱バリオン数生成と将来フレーバー実験による検証

Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Yushi Mura<sup>d\*</sup>

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

高次ゲージ化を用いた 3 次元 Z2 ゲージ理論における可逆なトポロジカル演算子の境界の解析

小出 真嵩<sup>d</sup>, 名古屋 雄大<sup>d\*</sup>, 山口 哲<sup>s</sup>

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 – 9 月 8 日)

高次ゲージ化を用いた 3 次元 Z2 ゲージ理論の可逆なトポロジカル演算子の境界の解析

小出 真嵩<sup>d</sup>, 名古屋 雄大<sup>d\*</sup>, 山口 哲<sup>s</sup>

場の理論と弦理論 2022

### 書籍等の出版, 日本語の解説記事

数理科学 「電磁気学と現代物理 物理学発展の礎に迫る」

電子論から量子電気力学へ: 古典電子論の困難と繰り込み理論の成功

大野木 哲也<sup>s</sup>

サイエンス社 2022 年 10 月発行

同位体シフトによる新物理探 – 精密分光で迫る基本法則

田中 実<sup>s</sup>, 小野滉貴, 山本康裕, 高橋義朗

日本物理学会誌 2022 VOL. 77, No. 6, 355-360

電弱対称性の破れの破れ? W ボソン質量アノマリー

遠藤基, 北原鉄平, 柳生 慶<sup>s</sup>

高エネルギーニュース, Vol. 41, Number 2 (2022 年 7 月, p. 62-70)

## 1.10 原子核理論グループ

### 令和四年度の研究活動概要

#### 相対論的重イオン衝突における QCD 臨界点探索

超高温・高密度環境下における QCD 相構造の探索は高エネルギー原子核衝突実験の究極的な目標の一つである。近年、QCD 相構造の探索に有用な実験的観測量としてイベント毎解析で観測される保存電荷ゆらぎの研究が活発に行われている。北沢は、筑波大学の野中、江角と共に、原子核衝突実験でゆらぎ観測を行う際に検出器特性などがもたらす観測結果への歪み補正に関する研究に取り組んだ。本年度は、保存電荷二次キュムラント比に着目した実験結果の考察のほか、アクセプタンス補正の重要性を論じる研究を行った。北沢は、フランス SUBATECH の Bluhm, Nahrgang らと共に、確率論的拡散方程式を用いて QCD 臨界点や一次相転移周辺におけるゆらぎの時間発展を記述する研究を行った。北沢、Touroux は、フランス SUBATECH の Nahrgang、京大基研の村瀬らと共に、原子核衝突のダイナミクスの記述に必要な数値相対論的流体方程式の研究に取り組んでいる。本年度は、時間方向への数値積分に初めて陰解法を適用する研究を行い、従来の陽解法によるソルバーよりも高効率な実装が可能であることを示した。西村、北沢は、京都大学の国広と共に、高エネルギー原子核衝突実験で QCD 臨界点を観測するための物理量の研究に取り組んだ。これまでカラー超伝導に対して行ってきた研究を拡張し、QCD 臨界点付近でカイラルソフトモードが成長した際に、ゆらぎの対崩壊がレプトン対生成にもたらす効果を Aslamasov-Larkin 項を計算することで評価し、低不変質量領域に顕著な増大が現れることを示した。西村は、京大基研の大西、理研の田屋と共に、原子核衝突実験で発生する電場・磁場の大きさを定量的に評価する研究に取り組んでいる。ハドロンスケードモデル JAM を用い、バリオン数密度や電磁場の時空発展を調べている。

#### QCD 臨界点における Model H による動的臨界現象

QCD 臨界点のダイナミクスは model H であることが知られている。Model H とは保存量である臨界ゆらぎが運動量密度と結合したものである。赤松、浅川は、新潟大学の本郷とイリノイ大学の Stephanov、Yee らとともに、Model H にもとづく光子の生成率を計算した。光子の生成率を 1 ループ近似で計算すると、光子運動量  $k$  のベキ則  $\propto k^{-0.5}$  に従って低運動量で増加し、ゼロ運動量では相関長に比例した増大を示すことがわかった。また、赤松、浅川は、重クォークが臨界ゆらぎと結合した時に示す特異性についても調べた。重クォークの運動量拡散係数の特異性は、動的臨界指数の値に敏感であり、 $z \simeq 4$  の model B の場合には臨界点近傍で強く増大するが、 $z \simeq 3$  の model H の場合にはほとんど特異性を示さないことがわかった。

#### 格子 QCD 数値シミュレーション、および関連するトピック

格子 QCD 数値シミュレーションは、QCD の非摂動的性質を第一原理的に理解する現状唯一の手段であり、高エネルギー原子核衝突実験と並ぶ原子核理論研究グループの主要研究

課題である。北沢、芦川は、新潟大の江尻、筑波大の金谷らと共に、QCDの重クォーク領域に存在する臨界点の研究を行った。従来の研究を高精細化した  $N_t = 6$  の大体積数値シミュレーションを行い、臨界点付近における有限サイズスケリングを調べた。格子QCD計算による  $Z_2$  普遍類のスケリングの再現は従来困難だったが、この研究により、秩序変数を適切に選択することで再現できることが分かった。北沢は、筑波大の金谷、新潟大の江尻、九州大の鈴木、広島大の梅田らで構成される WHOT-QCD 共同研究において、勾配流を用いた物理量測定によってフルQCDの熱力学量を測定する研究を行っている。本年度は、これまでの研究を継続して配位生成とデータ解析を進めた。

伊藤と北沢は、量子場の理論に現れるソリトン構造（キルク）周辺のエネルギー運動量テンソル (EMT) 分布を調べる研究に取り組んだ。本年度は、 $1+1$ 次元の  $\phi^4$  理論に現れるキルク解周辺の EMT 分布を1ループ近似で計算し、この結果が保存則と整合することを確かめた。更に、同様な研究の Sine-Gordon 模型への拡張およびトポロジカル電荷密度の解析にも取り組んだ。

北沢は、理研の末永と共に、有限温度ヤンミルズ理論において空間方向に課された境界条件が熱力学に及ぼす影響を研究した。2種類の Polyakov ループを含んだ有効模型を構成し、格子数値解析で得られた非等方な熱力学量がどのように発生するかを模型の範囲内で調べた。

### 相対論的重イオン衝突における量子開放系の研究

陽子や中性子など核子内に閉じ込められているクォークやグルーオンは高温領域でクォーク・グルーオン・プラズマ (QGP) に変化する。重い原子核同士の衝突により QGP を生成させる実験が LHC や RHIC といった加速器施設で進められている。QGP の生成を示すシグナルの1つとしてクォークoniumの生成量の抑制がある。クォークoniumとは重いクォークと反クォークからなるメソンであり、その不変質量が大きいことからその生成量の観測が比較的容易となっている。実験で具体的にクォークoniumの量が時間とともに減少していく様子を観測することは困難であるため、理論的にクォークoniumの時間発展について数値計算を行い実験と比較する研究が行われている。赤松、浅川は、三浦、開田の在籍当時の計算を整理し、QGP中のクォークoniumの時間発展についての阪大グループの集大成となる論文を書いた。

Hanbury-Brown-Twiss 相関は、同種粒子の量子統計性を用いてソースの大きさを測る手段であり、現在、相対論的重イオン衝突実験においても用いられている。赤松は上智大学の平野、山本と共に、ハドロン散乱によるデコヒーレンスが相関関数にどのような影響を及ぼすか調べた。相対運動量がゼロの場合の量子性はデコヒーレンスによって失われないが、相対運動量が有限の場合の干渉はデコヒーレンスによって減少することを発見した。これを半古典近似で解釈すると、散乱によって粒子の軌跡がぼやけるため、ソースの大きさが実際よりも大きく見えてしまうことによる。

## J-PARC 重イオン計画

陽子加速器 J-PARC の加速器群を用いて重イオン加速を行い重イオン衝突実験を実現する計画「J-PARC 重イオン計画 (J-PARC-HI) が近年国内で議論されている。北沢は、この計画の中心メンバーおよび KEK 理論センター J-PARC 分室の客員スタッフとして J-PARC-HI の実現に向けた検討・議論や勉強会の開催、執筆などに取り組んでいる。

## 学術雑誌に出版された論文

### Gravitational form factors of a kink in 1 + 1 dimensional $\phi^4$ model

H. Ito<sup>d</sup>, M. Kitazawa<sup>i</sup>

JHEP **2023** () (2023) in press.

### Enhancement of dilepton production rate and electric conductivity around QCD critical point

T. Nishimura<sup>d</sup>, M. Kitazawa<sup>i</sup>, T. Kunihiro

PTEP **2023** () (2023) in press.

### Effective model for pure Yang-Mills theory on $\mathbb{T}^2 \times \mathbb{R}^2$ with Polyakov loops

D. Suenaga, M. Kitazawa<sup>i</sup>

Phys. Rev. D **107** (No. 7, March) (2023) 074502 (1-14)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.107.074502>).

### Critical net-baryon fluctuations in an expanding system

G. Pihan, M. Bluhm, M. Kitazawa<sup>s</sup>, T. Sami, M. Nahrgang

Phys. Rev. C **107** (No. 1, Jan.) (2023) 014908 (1-13)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.107.014908>).

### Ratio of baryon and electric-charge cumulants at second order with acceptance corrections

M. Kitazawa<sup>s</sup>, S. Esumi, T. Nonaka

Nucl. Phys. A **1030** (Feb.) (2023) 122591 (1-10)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.nuclphysa.2022.122591>).

### Anomalous enhancement of dilepton production as a precursor of color superconductivity

T. Nishimura<sup>d</sup>, M. Kitazawa<sup>s</sup>, T. Kunihiro

PTEP **2022** (No. 9, Sep.) (2022) 093D02 (1-14)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptac100>).



**Simulation of Lindblad equations for quarkonium in the quark-gluon plasma**T. Miura<sup>d</sup>, Y. Akamatsu<sup>s</sup>, M. Asakawa<sup>s</sup>, Y. Kaida<sup>m</sup>Phys. Rev. D **106** (No. 7, Oct.) (2022) 074001 (1-12)(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.106.074001>).**国際会議報告等****Baryon/Charge Cumulant Ratio at Second Order**M. Kitazawa<sup>i\*</sup>, S. Esumi, T. NonakaActa Phys. Polon. Supp. **16** (No. 1, Jan.) (2023) 82 (1-6).

29th International Conference on Ultra-relativistic Nucleus-Nucleus Collisions (Quark Matter 2022), (Apr., 2022, 参加者約 900 名), Poland.

**Phase structure and critical point in heavy-quark QCD at finite temperature**K. Kanaya<sup>\*</sup>, R. Ashikawa<sup>m</sup>, S. Ejiri, M. Kitazawa<sup>i</sup>, H. SuzukiProc. Sci. **LATTICE2022** (2023) 177 (1-9).

The 39th International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2022), (Aug., 2022, 参加者約 400 名), Germany.

**From lattice to observables: Real and virtual experiments for exploring hot and dense QCD**M. Kitazawa<sup>i\*</sup>Euro. Phys. J Web Conf. **276** (March) (2023) 01024 (1-6).

20th International Conference on Strangeness in Quark Matter 2022 (SQM2022), (June, 2022, 参加者約 250 名), Korea.

**Anomalous enhancement of dilepton production due to soft modes in dense quark matter**T. Nishimura<sup>d\*</sup>, M. Kitazawa<sup>i</sup>, T. KunihiroEuro. Phys. J Web Conf. **276** (March) (2023) 01003 (1-4).

20th International Conference on Strangeness in Quark Matter 2022 (SQM2022), (June, 2022, 参加者約 250 名), Korea.

**Roles of Polyakov loops in Yang-Mills theory on  $\mathbb{T}^2 \times \mathbb{R}^2$** D. Suenaga<sup>\*</sup>, M. Kitazawa<sup>i</sup>Euro. Phys. J Web Conf. **274** (Dec.) (2022) 02014 (1-8).

15th Conference on Quark Confinement and the Hadron Spectrum (Confinement XV), (Aug., 2022, 参加者約 300 名), Norway.

**Critical fluctuations of QCD phase transitions and their related observables**T. Nishimura<sup>d\*</sup>, M. Kitazawa<sup>i</sup>, T. KunihiroEuro. Phys. J Web Conf. **274** (Dec.) (2022) 05009 (1-5).

15th Conference on Quark Confinement and the Hadron Spectrum (Confinement XV), (Aug., 2022, 参加者約 300 名), Norway.

**The J-PARC heavy ion project**K. Ozawa\*, M. Kitazawa<sup>i</sup>, *et al.*Euro. Phys. J Web Conf. **271** (Nov.) (2022) 11004 (1-6).

14th International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physics (HYP 2022), (July, 2022, 参加者約 250 名), Czechia.

**国際会議における講演等****Dilepton production as a signal to explore QCD phase diagram**M. Kitazawa<sup>i\*</sup>

Infinite and Finite Nuclear Matter (INFINUM-2023), (at Dubna, Russia, Feb. 27 – Mar. 3, 2023, 参加者約 100 名)

**Lattice study of the critical point in heavy-quark QCD**M. Kitazawa<sup>i\*</sup>, R. Ashikawa<sup>m</sup>, S. Ejiri, K. Kanaya, H. Suzuki, N. Wakabayashi

Workshop on Critical Point and Onset of Deconfinement (CPOD2022) (online, Nov. 28 – Dec. 2, 2022, 参加者約 100 名)

**Critical points in hot and dense QCD**M. Kitazawa<sup>i\*</sup> (invited)

15th Asia Pacific Physics Conference (APPC15) (online, Aug. 21-26, 2022, 参加者約 100 名)

**Energy-momentum tensor around a soliton in 1 + 1 dimensional  $\phi^4$  model and its regularization**H. Ito<sup>d\*</sup>, M. Kitazawa<sup>i</sup>

15th Conference on Quark Confinement and the Hadron Spectrum (Confinement XV) (at Stavanger, Norway, Aug. 1-6, 2022, 参加者約 250 名)

**Critical fluctuations of QCD phase transitions and their related observables (poster)**T. Nishimura<sup>d\*</sup>, M. Kitazawa<sup>i</sup>, T. Kunihiro

15th Conference on Quark Confinement and the Hadron Spectrum (Confinement XV) (at

Stavanger, Norway, Aug. 1-6, 2022, 参加者約 250 名)

**Lattice QCD and physics at nonzero temperature**

M. Kitazawa<sup>s\*</sup> (invited)

Nuclear Physics School (NPS2022) (at Busan, Korea, June 27 – July 1, 2022, 参加者約 60 名)

**From lattice to observables: Real and virtual experiments for exploring hot and dense medium**

M. Kitazawa<sup>s\*</sup> (invited)

The 20th International Conference on Strangeness in Quark Matter (SQM 2022) (at Busan, Korea, June 13-17, 2022, 参加者約 250 名)

**Anomalous enhancement of dilepton production due to soft modes in dense quark matter**

T. Nishimura<sup>d\*</sup>, M. Kitazawa<sup>s</sup>, T. Kunihiro

The 20th International Conference on Strangeness in Quark Matter (SQM 2022) (at Busan, Korea, June 13-17, 2022, 参加者約 250 名)

**Gravitational form factor of soliton in 1 + 1 dimensional  $\phi^4$  model (poster)**

H. Ito<sup>d\*</sup>, M. Kitazawa<sup>s</sup>

The 20th International Conference on Strangeness in Quark Matter (SQM 2022) (at Busan, Korea, June 13-17, 2022, 参加者約 250 名)

**Flux-tube structure via energy-momentum tensor**

M. Kitazawa<sup>s\*</sup>, H. Ito<sup>d</sup>

Gauge Topology, Flux Tubes And Holographic Models: The Intricate Dynamics Of Qcd In Vacuum And Extreme Environments (at Trento, Italy, May 23-27, 2022, 参加者約 50 名)

**A distribution of Energy-momentum tensor around a soliton in 1+1 dimensional  $\phi^4$  model**

H. Ito<sup>d\*</sup>, M. Kitazawa<sup>s</sup>

Gauge Topology, Flux Tubes And Holographic Models: The Intricate Dynamics Of Qcd In Vacuum And Extreme Environments (at Trento, Italy, May 23-27, 2022, 参加者約 50 名)

**Baryon/charge cumulant ratio at second order**

M. Kitazawa<sup>s\*</sup>, S. Esumi, T. Nonaka

29th International Conference on Ultra-relativistic Nucleus-Nucleus Collisions (Quark

Matter 2022) (at Krakow, Poland, Apr. 4-10, 2022, 参加者約 900 名)

**The anomalous enhancement of dilepton production due to diquark fluctuations in dense quark matter (poster)**

T. Nishimura<sup>d\*</sup>, M. Kitazawa<sup>s</sup>, T. Kunihiro

29th International Conference on Ultra-relativistic Nucleus-Nucleus Collisions (Quark Matter 2022) (at Krakow, Poland, Apr. 4-10, 2022, 参加者約 900 名)

**日本物理学会，応用物理学会等における講演**

**機械学習を用いた SU(3) ヤンミルズ理論の局所的なトポロジカル構造探索**

北沢 正清<sup>i\*</sup>, 河野泰宏

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 - 3 月 25 日)

**1+1 次元実スカラー理論に現れるソリトンのトポロジカル電荷密度の量子補正**

伊藤 広晃<sup>d\*</sup>, 北沢 正清<sup>i</sup>

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 - 3 月 25 日)

**$N_t = 6$  における重クォーク QCD 臨界点の精密測定**

芦川 涼<sup>d\*</sup>, 北沢 正清<sup>i</sup>, 江尻信司, 金谷和至

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 - 3 月 25 日)

**ハドロン輸送模型用いた中間エネルギー重イオン衝突実験で生成される電磁場の解析**

西村 透<sup>d\*</sup>, 田屋英俊, 大西明

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 - 9 月 8 日)

**1+1 次元系に現れるキंक周辺のエネルギー運動量テンソル分布の量子補正**

伊藤 広晃<sup>d\*</sup>, 北沢 正清<sup>i</sup>

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 - 9 月 8 日)

**QCD 臨界点及びカラー超伝導相転移のソフトモードの効果を取り入れた伝導率及び緩和時間の解析**

西村 透<sup>d\*</sup>, 北沢 正清<sup>i</sup>, 国広悌二

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 - 9 月 8 日)

**重クォーク QCD 臨界点の  $N_t = 6$  における格子数値解析**

芦川 涼<sup>d\*</sup>, 北沢 正清<sup>i</sup>, 江尻信司, 金谷和至

日本物理学会 2022 年秋季大会 (素核宇) (於 岡山理科大学、2021 年 9 月 6 日 - 9 月 8 日)

**QCD 臨界点近傍の臨界流体によるソフトな電磁放射**

赤松 幸尚<sup>\*\*</sup>, 本郷 優, 浅川 正之<sup>s</sup>, Misha Stephanov, Ho-Ung Yee

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

**書籍等の出版，日本語の解説記事**

**超高温・高密度のクォーク物質**

北沢 正清<sup>i</sup>, 国広 悌二

共立出版 (2022 年 9 月発行, 162 頁)

## 1.11 小川グループ

### 令和四年度の研究活動概要

本グループでは、非平衡系における量子物性を主軸に研究を行っている。とりわけ半導体の電子励起多体状態は、基礎学術の観点からも半導体レーザーに代表される工学応用の観点からも非常に重要であるため、この系の準熱平衡状態にある反転分布(準熱平衡電子正孔系)の光学応答や金属絶縁体転移(励起子モット転移)・電子正孔対凝縮などにおける電子相関効果、光励起および電流注入によって生成される非平衡定常状態における相関効果および量子凝縮の形成・崩壊のダイナミクス、反転分布と混成した共振器光子場および外部出力光子場の量子コヒーレンスと揺らぎ・雑音特性等について調べ、多体相関効果を取り入れた量子光学応答理論の構築を目指した研究に長年注力してきた。本年度の研究活動において具体的な成果は出ていないが、今後は、量子計算や量子機械学習に関わる新たな研究テーマにも挑戦したいと考えている。

## 1.12 黒木グループ

### 令和四年度の研究活動概要

#### 非従来型超伝導

我々の研究室では、これまでに、 $d^8$  電子配置を持つニッケル化合物において、多軌道型の incipient band 機構による非従来型高温超伝導がおこる可能性があることを提唱し、2019 年に新しく発見された層状ニッケル酸化物の発現機構が関係している可能性があることを指摘した。これまでの研究では、合成報告のない物質が研究対象となっていたが、すでに合成されている (が超伝導にはなっていない)  $d^8$  電子配置を持つニッケル化合物の圧力効果を理論的に調べて圧力印加によって超伝導が実現する可能性があることを見出し、論文執筆に着手した。また、層状ニッケル酸化物超伝導において、合成時に生じる可能性のある残留水素が超伝導に及ぼす影響を調べ、我々の  $d^8$  電子配置ニッケル化合物に対する理論提案との関係を考察した。

また、銅酸化物超伝導体  $\text{Pr}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{15-\delta}$  は、2000 年代初頭に、 $\text{CuO}_2$  平面ではなく、この物質の結晶構造の一部をなす  $\text{CuO}_2$  二重鎖構造が超伝導になる可能性が指摘された物質であるが、近年、良質な試料が作成され、あらためて、その可能性が実験的に報告されている。我々の研究室では、以前にも二重鎖構造における超伝導の可能性を理論的に考察したが、現在の視点でこの問題を再訪することに着手した。

#### 遷移金属複合アニオン化合物の第一原理的研究

いくつかの遷移金属複合アニオン化合物について、実験研究者と連携した研究を行なった。SrVO<sub>2.2</sub>N<sub>0.6</sub> について、biaxial strain による相制御ができることが最近明らかになった一方で、等方的と考えられる化学圧力効果に対しては 15R 構造が robust に保たれることを、実験と理論の両面から示した。orthorombic Ca<sub>3</sub>CrN<sub>3</sub> に水素を加えて生じる hexagonal Ca<sub>3</sub>CrN<sub>3</sub>H について、空隙において電子がアニオンとして働く electrideride のような電子状態が実現することを明らかにした。Sr<sub>2</sub>NiO<sub>3</sub>Cl において、 $e_g$  軌道間の相互作用に起因した反強磁性秩序が実現していることを示唆する結果を得た。

#### Eu の磁性と特徴的なバンド分散の共存する固体における特異な輸送特性の研究

EuMg<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub> について阪大花咲研と共同研究を行なった。印加磁場の方向によって Eu スピンの方向が変わり、それによって Weyl 点のエネルギー位置が変化することで、異常ホール伝導度の変化が説明できることを明らかにした。超伝導性を示す極性半金属 EuAuBi について、阪大基礎工学研究科石渡研究室と共同研究を行なった。上部臨界磁場の異方性と、Eu スピンの方向に依存した Rashba 型バンドの変形について議論した。

### 熱電物質の不純物計算

Zintl 相化合物  $\text{CaZn}_2\text{X}_2$  ( $X = \text{As}, \text{P}$ ) について、電子ドーピングによる高性能化の可能性が理論的に指摘されていた。そこで、いくつかのドーパントについて、安定な電子ドーピングが可能かどうかを理論的に調べた。その結果、La の Ca 置換が比較的安定であることや、 $X = \text{As}$  のほうが P よりもドーピングされやすいことがわかった。また、熱電物質  $\text{Mg}_3\text{Sb}_2$  において、金属原子の侵入効果を Nudged-elastic band 法を用いた第一原理計算によって調べた。

### 波動関数理論に基づく第一原理計算手法の開発

波動関数理論に基づく第一原理計算手法の開発を行なった。原子系において Jastrow 相関因子と一電子軌道を交互に最適化する計算スキームについて、いかにして安定な最適化が可能かを、計算精度と併せて検証した。また固体電子系の計算ソフトをオープンソースで github に公開し、計算手法の詳細に関する論文を出版した。

### Mott 絶縁体における Stark 効果と高次高調波発生

半導体を主な舞台として研究されてきた物質における Stark 効果と高次高調波発生を強相関電子系である Mott 絶縁体において研究した。1次元の量子多体系を精密に扱える iTEBD 法なども使い、静電場による光学励起スペクトルの分裂、特に Wannier-Stark 梯子の出現と励起子の Stark 分裂を明らかにした。また、Mott 絶縁体の高次高調波発生に対する励起子効果を調べ、スペクトル強度の変化やサブサイクルのダイナミクスを数値的に調べた。

### 光ドーピングされた Mott 絶縁体の理論解析

Mott 絶縁体において光でキャリア生成された状態を理研などの理論グループと共に解析した。1次元系においては、ホールドーピングした系と同様の電荷-スピン分離に加え、光ドーピング系で現れるキャリア（ダブロンとホロン）の自由度を記述する  $\eta$  擬スピンも分離していることがわかった。また、2次元系への拡張も目指し、梯子構造を持った Hubbard 模型において光励起状態での超伝導相関関数の計算なども進めた。

### Stochastic method to calculate the $L^2$ localisation landscape

We developed a stochastic method to calculate the  $L^2$  localisation landscape for the problem of Anderson localisation. We applied this to electron localisation in random potentials in one and two dimensions and to two-dimensional systems in strong magnetic fields in the regime of the Quantum Hall Effect.



## 学術雑誌に出版された論文

**Second-order magnetic responses in quantum magnets: Magnetization under ac magnetic fields**T. Kaneko<sup>s</sup>, Y. Murakami, S. Takayoshi, A. J. MillisPhys. Rev. B **105** (No. 19, May) (2022) 195126 1–8<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.105.195126>).**Possibility of N-type Doping in CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>-type Zintl Phase Compound CaZn<sub>2</sub>X<sub>2</sub> (X = As, P)**K. Nishiguchi<sup>s</sup>, M. Ochi<sup>s</sup>, C. H. Lee, K. Kuroki<sup>s</sup>J. Phys. Soc. Jpn. **91** (No. 6, May) (2022) 064707 1–6<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSJ.91.064707>).**Chemical Pressure Effect on Structural and Physical Properties of 15R-SrVO<sub>2.2</sub>N<sub>0.6</sub> with Anion-Vacancy Order**K. Murayama, H. Takatsu, M. Ochi<sup>s</sup>, M. Namba, K. Kuroki<sup>s</sup>, H. KageyamaJ. Phys. Soc. Jpn. **91** (No. 6, May) (2022) 064805 1–5<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSJ.91.064805>).**Excitonic effects on high-harmonic generation in Mott insulators**M. Udono, K. Sugimoto, T. Kaneko<sup>s</sup>, Y. OhtaPhys. Rev. B **105** (No. 24, June) (2022) L241108 1–5<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.105.L241108>).**In-plane anisotropic charge dynamics in the layered polar Dirac semimetal BaMnSb<sub>2</sub>**H. Yoshizawa, H. Sakai<sup>s</sup>, M. Kondo<sup>d</sup>, M. Ochi<sup>s</sup>, K. Kuroki<sup>s</sup>, N. Hanasaki<sup>s</sup>, J. FujiokaPhys. Rev. B **105** (No. 24, June) (2022) L241110 1–7<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.105.L241110>).**Topochemical Synthesis of Ca<sub>3</sub>CrN<sub>3</sub>H Involving a Rotational Structural Transformation for Catalytic Ammonia Synthesis**Y. Cao, M. A. Kirsanova, M. Ochi<sup>s</sup>, W. A. Maksoud, T. Zhu, R. Rai, S. Gao, T. Tsumori, S. Kobayashi, S. Kawaguchi, E. Abou-Hamad, K. Kuroki<sup>s</sup>, C. Tassel, A. M. Abakumov, Y. Kobayashi, H. KageyamaAngew. Chem. Int. Ed. **61** (No. 39, Aug.) (2022) e202209187 1–5<http://dx.doi.org/doi:10.1002/anie.202209187>).**Two-step Mott transition in Ni(S,Se)<sub>2</sub>:  $\mu$ SR studies and charge-spin percolation model**

Q. Sheng, T. Kaneko<sup>s</sup>, K. Yamakawa, Z. Guguchia, Z. Gong, G. Zhao, G. Dai, C. Jin, S. Guo, L. Fu, Y. Gu, F. Ning, Y. Cai, K. M. Kojima, J. Beare, G. M. Luke, S. Miyasaka<sup>s</sup>, M. Matsuura, S. Shamoto, T. Ito, W. Higemoto, A. Gauzzi, Y. Klein, Y. J. Uemura  
Phys. Rev. Research **4** (No. 3, Sep.) (2022) 033172 1–14  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevResearch.4.033172>).

**Crystal and electronic structures of BiS<sub>2</sub>-based compounds Sr<sub>0.5</sub>X<sub>0.5</sub>FBiS<sub>2</sub> (X = rare earth) under pressure: Correlation with the change in the superconductivity from unconventional to conventional**

H. Yamaoka, A. Yamashita, Y. Nakahira, M. Ochi<sup>s</sup>, K. Kuroki<sup>s</sup>, H. Arima, K. Matsubayashi, H. Ishii, N. Hiraoka, Y. Mizuguchi  
Phys. Rev. B **106** (No. 20, Nov.) (2022) 205122 1–13  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.106.205122>).

**Impact of mixed anion ordered state on the magnetic ground states of  $S = 1/2$  square-lattice quantum spin antiferromagnets, Sr<sub>2</sub>NiO<sub>3</sub>Cl and Sr<sub>2</sub>NiO<sub>3</sub>F**

Y. Tsujimoto, J. Sugiyama, M. Ochi<sup>s</sup>, K. Kuroki<sup>s</sup>, P. Manuel, D. D. Khalyavin, I. Umegaki, M. Månsson, D. Andreica, S. Hara, T. Sakurai, S. Okubo, H. Ohta, A. Boothroyd, K. Yamaura  
Phys. Rev. Mater. **6** (No. 11, Nov.) (2022) 114404 1–12  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevMaterials.6.114404>).

**Superconductivity in a magnetic Rashba semimetal EuAuBi**

H. Takahashi, K. Akiba, M. Takahashi, A. H. Mayo, M. Ochi<sup>s</sup>, T. C. Kobayashi, S. Ishiwata  
J. Phys. Soc. Jpn. **92** (No. 1, Dec.) (2022) 013701 1–5  
(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSJ.92.013701>).

**TC++: First-principles calculation code for solids using the transcorrelated method**

M. Ochi<sup>s</sup>  
Comput. Phys. Commun. **287** (No. 6, Feb.) (2023) 108687  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.cpc.2023.108687>).

**Spin, Charge, and  $\eta$ -Spin Separation in One-Dimensional Photodoped Mott Insulators**

Y. Murakami, S. Takayoshi, T. Kaneko<sup>s</sup>, A. M. Läuchli, and P. Werner  
Phys. Rev. Lett. **130** (No. 10, Mar.) (2023) 106501 1–7  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevLett.130.106501>).

**Field-tunable Weyl points and large anomalous Hall effect in the degenerate**

**magnetic semiconductor EuMg<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>**

M. Kondo<sup>d</sup>, M. Ochi<sup>s</sup>, R. Kurihara, A. Miyake, Y. Yamasaki, M. Tokunaga, H. Nakao, K. Kuroki<sup>s</sup>, T. Kida, M. Hagiwara, H. Murakawa<sup>s</sup>, N. Hanasaki<sup>s</sup>, H. Sakai<sup>s</sup>  
Phys. Rev. B **107** (No. 12, Mar.) (2023) L121112 1–7  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.107.L121112>).

**国際会議報告等****国際会議における講演等****Improved estimate of the critical exponent of the Anderson transition**

K. Slevin<sup>s\*</sup>

Localisation 2022 (Sapporo, August 25-30, 270)

**Exciton-spin interaction in charge-transfer insulators**

T. Kaneko<sup>s\*</sup>, Y. Murakami, D. Golež, Z. Sun, A. J. Millis  
APS March meeting (Las Vegas, USA, March 5-10, 2023)

**A novel impurity solver in dynamical mean field theory: Iterative perturbation theory combined with the parquet equations (poster)**

Ryota Mizuno\*, Masayuki Ochi, Kazuhiko Kuroki

13th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity and High Temperature Superconductors (Vancouver, July 17-22, 2022)

**Development of efficient methods in dynamical mean field theory based on the characteristics of the frequency dependence of the local vertex (poster)**

Ryota Mizuno\*, Masayuki Ochi, Kazuhiko Kuroki

29th International Conference on LOW TEMPERATURE PHYSICS, (Sapporo, Japan, August 18-24, 2022)

**日本物理学会，応用物理学会等における講演****電荷移動型絶縁体における励起子-スピン相互作用**

金子竜也<sup>s\*</sup>, 村上雄太, Denis Golež, Zhiyuan Sun, Andrew J. Millis

日本物理学会 2023 年春季大会 (於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日)

**TC++ : Transcorrelated 法に基づく固体の第一原理計算コードの開発 (ポスター)**

越智正之<sup>s\*</sup>

日本物理学会 2023 年春季大会（於 オンライン、2023 年 3 月 22 日 – 3 月 25 日）

## 1.13 越野グループ

### 令和四年度の研究活動概要

#### グラフェン/hBN 系におけるモアレフォノン

モアレ物質においては、電子と同様にフォノンもモアレ周期の影響を受け、スペクトルが超格子バンドに再構成される。これはモアレフォノンと呼ばれるが、ツイスト二層グラフェンにおいて研究がされている一方で、異種二次元物質からなるヘテロ系での詳しい研究は今までになかった。ここではグラフェン/六方晶窒化ホウ素モアレ超格子の面内音響フォノンを、連続体モデルを用いて理論的に研究した。個々の層のフォノンバンドは強く混成され、分散バンドと平坦バンドからなるモアレフォノンバンドに再構築されることを実証した。このフォノンバンド構造は、モアレ領域壁の運動を模した単純なネットワークモデルによって実効的に記述することができ、フラットバンドのモードは独立した弦の振動として解釈されることを示した。また、モアレフォノンは hBN による反転対称性の破れによって角運動量を持つことを明らかにした。[Phys. Rev. B 107, 115301 (2023)]

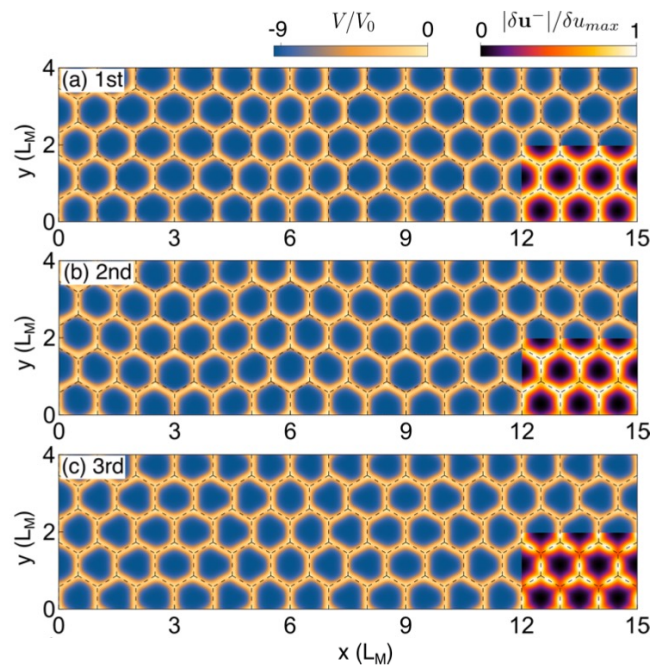


図 1.1: グラフェン/hBN 系におけるモアレフォノンの振動モードの例

#### NbSe<sub>2</sub> のファンデルワールス界面における自発的スピンバレー分極

2次元 NbSe<sub>2</sub> が、2次元強磁性体 V5Se8 との vdW 界面で自発的なスピン分極を持つ強磁性基底状態を形成することを実証した。この磁性 vdW ヘテロ構造の異常ホール効果 (AHE) を調べたところ、V5Se8 層の数を単層限界まで薄くすると、AHE の符号が反転することが

わかった。興味深いことに、これらの試料の AHE 信号は面内磁場によって増強され、AHE 信号には磁化以外の寄与があることが示唆される。この特異な振る舞いはバンド構造計算でもよく再現され、面内磁化によって生じたベリー曲率によって説明できることを示した。これによって、反転対称を持たない 2 次元量子物質における磁性とゼーマン型スピン軌道相互作用のユニークな相互作用が明らかにされた。(東大・理研との共同研究) [Nat. Commun. 13, 5129 (2022)]

### ツイストトポロジカル絶縁体積層における 1 次元界面状態

3 次元トポロジカル絶縁体のツイスト積層における界面状態の電子構造を理論的に研究した。表面ディラックコーンの中心がブリルアンゾーンの辺の midpoint に位置するとき、ツイスト系ではほぼ独立した 1 次元チャンネルの界面状態が形成されることを見出した。逆向きの速度をもつ 2 つの 1 次元チャンネルは反対のスピン偏向を持ち、スピンに依存しない不純物によって散乱されない。このユニークな 1 次元状態は、ねじれ角を有効的な磁場とする有効ランダウ準位と理解することができる。[Phys. Rev. Research 4, 043209 (2022)]

### ツイスト二層グラフェンにおけるモアレ周期乱れの効果

無秩序なモアレパターンを持つ魔法角ねじれ二層グラフェンの電子構造を研究した。不均一な格子歪みを取り入れた拡張連続体モデルを用いることで、フラットバンドの局所的な状態密度はほとんど広がらず、ほとんどの場所で上下のサブバンドに分裂することを見いだした。この分裂エネルギーの空間依存性は、ヘテロ歪みによって誘起される有効ベクトルポテンシャルの局所的な値によってほぼ決定され、局所的なねじれ角や局所的なモアレ周期の変化は、電子構造に比較的小さな影響を与えることが分かった。我々は、この局所ベクトルポテンシャル依存性を、魔法角フラットバンドに対する擬ランダウ準位像によって説明し、歪み振幅の関数として分割エネルギーの解析的表現を得た。[Phys. Rev. B 105, 245408 (2022)]

## 2.5 次元材料の科学：未来の社会イノベーションに向けた材料科学のパラダイムシフト

(学術変革領域「2.5 次元物質科学」のメンバーによる共著レビュー論文) 過去数十年にわたる材料科学の発展は、主に有機分子や高分子、無機結晶や薄膜における共有結合やイオン結合などの剛直な化学結合の制御に依存してきた。近年、グラフェンなどの 2 次元材料が発見され、その弱い面外ファンデルワールス (vdW) 相互作用を制御することで材料を合成する新しいアプローチが提供されている。異なる種類の 2 次元材料を人工的に積み重ねることは、材料合成における新しい概念であり、積み重ねは剛体化学結合や格子定数によって制限されることはない。このことは、新しい物理学、化学、工学を探索する多くの機会を提供する。我々はこの新しい科学分野を「2.5 次元材料」と呼び、この新しい科学概念に基づく最近の研究開発について概説する。[Sci. Technol. Adv. Mater. 23, 275 (2022)]

**学術雑誌に出版された論文****Moiré phonons in graphene/hexagonal boron nitride moiré superlattice**Lukas.P.A. Krisna<sup>d</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>Phys. Rev. B **107** (Mar. 1, 2023) (2023) 115301<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.107.115301>).**Perfect one-dimensional interface states in a twisted stack of three-dimensional topological insulators**Manato Fujimoto<sup>DC</sup>, Takuto Kawakami<sup>s</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>Phys. Rev. Research **4** (Dec. 26, 2022) (2022) 043209<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevResearch.4.043209>).**Spontaneous spin-valley polarization in NbSe<sub>2</sub> at a van der Waals interface**H Matsuoka, T Habe, Y Iwasa, Mikito Koshino<sup>s</sup>, M NakanoNat. Commun. **13** (Sep. 22, 2022) (2022) 5129<http://dx.doi.org/doi:10.1038/s41467-022-32810-2>).**Science of 2.5 dimensional materials: paradigm shift of materials science toward future social innovation**Hiroki Ago, Susumu Okada, Yasumitsu Miyata, Kazunari Matsuda, Mikito Koshino<sup>s</sup>, Kosei Ueno, Kosuke NagashioSci. Technol. Adv. Mater. **23** (Apr. 7, 2022) (2022) 275<http://dx.doi.org/doi:10.1080/14686996.2022.2062576>).**Moiré disorder effect in twisted bilayer graphene**Naoto Nakatsuji<sup>d</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>Phys. Rev. B **105** (Jun. 14, 2022) (2022) 245408<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.105.245408>).**国際会議における講演等****Moiré quasicrystals in twisted 2D systems**Mikito Koshino<sup>s\*</sup> (invited)

Workshop on Innovative Nanoscale Devices and Systems (WINDS 2022), Kaua'i, Hawaii, USA, December 4-9, 2022

**Physics of Graphene and moiré materials**Mikito Koshino<sup>s\*</sup> (invited)

Novel Quantum States in Condensed Matter (NQS2022), Kyoto, October 31 - November

2 2022

### **Topological quasicrystals in moiré materials**

Mikito Koshino<sup>s\*</sup> (invited)

Pan-Pacific Workshop on Topology and Correlation in Exotic Materials, French Polynesia, October 24-27 2022

### **Spin texture of majorana bound state in topological superconductors**

Takuto Kawakami<sup>s\*</sup>, Xiao Hu (invited)

Pacific Rim International Conference on Superconducting Materials : Fundamentals and Applications (PRISM2022), [Online], September 22-23

### **Topological quasicrystals in twisted 2D systems**

Mikito Koshino<sup>s\*</sup> (invited)

Novel Electronic Properties of two-dimensional materials, San Sebastian, Spain, July 11-15 2022

### **Quasicrystals in twisted 2D systems**

Mikito Koshino<sup>s\*</sup> (invited)

10th A3 Foresight Project Workshop “Joint Research on Novel Physical Properties and Functionalities of Emerging 2D Materials and van der Waals Heterostructures” , Online, July 5-6, 2022

### **Topological quasicrystals in twisted 2D systems**

Mikito Koshino<sup>s\*</sup> (invited)

NT22: 22nd International Conference on the Science and Applications of Nanotubes and Low-Dimensional Materials, Hybrid, Suwon, Korea, June 19-24, 2022

### **Physics of twisted 2D materials**

Mikito Koshino<sup>s\*</sup> (invited)

Brookhaven National Laboratory NSLS-II and CFN Joint Meeting “2D materials and beyond”, Online, May 25-26, 2022

### **Topological domain walls in graphene nanoribbons with carrier doping**

Takuto Kawakami<sup>s\*</sup>, Gen Tamaki<sup>DC</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

APS March Meeting 2023 (at Las Vegas, USA, March 5-10, 2022)

### **Effects of electron-electron interactions on nontrivial flat bands in graphene nanoribbon networks**

Gen Tamaki<sup>DC\*</sup>, Yuji Hashimoto, Takuto Kawakami<sup>s</sup>, Yoshitada Morikawa Mikito Koshino<sup>s</sup>



APS March Meeting 2023 (at Las Vegas, USA, March 5-10, 2022)

**Moiré phonon in graphene/hexagonal boron nitride moiré superlattice**

Lukas.P.A. Krisna<sup>d\*</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

APS March Meeting 2023 (at Las Vegas, USA, March 5-10, 2022)

**Topological gap labeling with third Chern numbers in three-dimensional quasicrystals**

Kazuki Yamamoto<sup>m\*</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

APS March Meeting 2023 (at Las Vegas, USA, March 5-10, 2022)

**Moiré disorder effect in twisted bilayer graphene**

Naoto Nakatsuji<sup>d\*</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

RPGR2022 -The 13th Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (at Taipei, Taiwan, Hybrid, November 14-17, 2022)

**The dynamical conductivity of twisted bilayer quasicrystals**

Masaru Hitomi<sup>DC\*</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

RPGR2022 -The 13th Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (at Taipei, Taiwan, Hybrid, November 14-17, 2022)

**Topological domain walls in doped graphene nanoribbons**

Takuto Kawakami<sup>s\*</sup>, Gen Tamaki<sup>DC</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

RPGR2022 -The 13th Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (at Taipei, Taiwan, Hybrid, November 14-17, 2022)

**Orbital ordering induced by nontrivial flat bands appearing in graphene nanoribbon networks**

Gen Tamaki<sup>DC\*</sup>, Yuji Hamamoto, Takuto Kawakami<sup>s</sup>, Yoshitada Morikawa, Mikito Koshino<sup>s</sup>

RPGR2022 -The 13th Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (at Taipei, Taiwan, Hybrid, November 14-17, 2022)

**Topological gap labeling with third Chern numbers in three dimensional quasicrystal**

Kazuki Yamamoto<sup>m\*</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

RPGR2022 -The 13th Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (at Taipei, Taiwan, Hybrid, November 14-17, 2022)

**Topological edge and corner states and fractional corner charges in blue phosphorene**

Tenta Tani<sup>m\*</sup>, Masaru Hitomi<sup>DC</sup>, Takuto Kawakami<sup>s</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>  
 RPGR2022 -The 13th Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (at Taipei, Taiwan, Hybrid, November 14-17, 2022)

**The moiré distortion effect on the flat band of the magic-angle twisted bilayer graphene**

Naoto Nakatsuji<sup>d\*</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

NT22: 22nd International Conference on the Science and Applications of Nanotubes and Low-Dimensional Materials, Hybrid, Suwon, Korea, June 19-24, 2022

**Topological edge and corner states and fractional corner charges in blue phosphorene**

Tenta Tani<sup>m\*</sup>, Masaru Hitomi<sup>DC</sup>, Takuto Kawakami<sup>s</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

NT22: 22nd International Conference on the Science and Applications of Nanotubes and Low-Dimensional Materials, Hybrid, Suwon, Korea, June 19-24, 2022

**Topological edge and corner states and fractional corner charges in blue phosphorene (poster)**

Tenta Tani<sup>m\*</sup>, Masaru Hitomi<sup>DC</sup>, Takuto Kawakami<sup>s</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

Graphene Week 2022, Munich, September 5 - 9 2022

**Stable topological domain walls in doped graphene nanoribbons (poster)**

Takuto Kawakami<sup>s\*</sup>, Gen Tamaki<sup>DC</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29), Sapporo, August 18 - 24 2022

**Perfect one-dimensional interface states in a twisted stack of three-dimensional topological insulators (poster)**

Manato Fujimoto<sup>DC\*</sup>, Takuto Kawakami<sup>s</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

Novel Electronic Properties of two-dimensional materials, San Sebastian, Spain, July 11-15 2022

**Quasi-band approach for the twisted bilayer quasicrystals (poster)**

Masaru Hitomi<sup>DC\*</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

Novel Electronic Properties of two-dimensional materials, San Sebastian, Spain, July 11-15 2022

**Moiré phonons in graphene/hexagonal boron nitride moiré superlattice (poster)**

Lukas.P.A. Krisna<sup>d\*</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

NT22: 22nd International Conference on the Science and Applications of Nanotubes and

Low-Dimensional Materials, Hybrid, Suwon, Korea, June 19-24, 2022

### 日本物理学会，応用物理学会等における講演

#### ツイスト接合 3次元トポロジカル絶縁体の接合面に現れる 1次元電子状態

藤本 大仁<sup>DC\*</sup>, 川上 拓人<sup>s</sup>, 越野 幹人<sup>s</sup>

日本物理学会 2022 年秋季大会 (物性) (於 東京工業大学, 2022 年 9 月 12 日 - 9 月 15 日)

#### キャリアドーピンググラフェンナノリボンにおけるトポロジカル磁壁構造

川上 拓人<sup>s\*</sup>, 玉置 弦<sup>DC</sup>, 越野 幹人<sup>s</sup>

日本物理学会 2022 年秋季大会 (物性) (於 東京工業大学, 2022 年 9 月 12 日 - 9 月 15 日)

#### ねじれ 2 層準周期系に対する擬バンド理論

人見 将<sup>DC\*</sup>, 越野 幹人<sup>s</sup>

日本物理学会 2022 年秋季大会 (物性) (於 東京工業大学, 2022 年 9 月 12 日 - 9 月 15 日)

#### ツイストグラファイトにおける垂直電気伝導の理論 (ポスター)

谷 天太<sup>m\*</sup>, 川上 拓人<sup>s</sup>, 越野 幹人<sup>s</sup>

学術変革領域「2.5次元物質科学」第4回領域会議, つくば市, 3月13日, 14日

#### Recent progress of twisted bilayer graphene : from superlattice to quasicrystal (ポスター)

中辻 直斗<sup>d\*</sup>, 人見 将<sup>DC</sup>, 越野 幹人<sup>s</sup>

学術変革領域「2.5次元物質科学」第3回領域会議, 札幌市, 10月14日, 15日

## 第2章 受賞と知的財産

令和四年度における物理学専攻での受賞と当該年度に申請された特許権等の知的財産権の一覧は以下の通りである。

### 受賞

1. 受賞者名：越野 幹人（教授）  
賞の名称：Highly Cited Researchers 2022 (Clarivate)  
受賞内容や理由：
2. 受賞者名：酒井 英明（准教授）  
賞の名称：Reviewer of the Month (Outstanding Referee), Communications Materials  
受賞内容や理由：Communications Materials 誌で優れた論文審査を行った
3. 受賞者名：杉原 弘基（修士課程1年）  
賞の名称：UVSOR シンポジウム 2022 最優秀ポスター発表賞  
受賞内容や理由：YbCu<sub>2</sub>/Cu(111) 表面合金における重い電子状態
4. 受賞者名：中村 瞭弥（修士課程2年）  
賞の名称：Best poster award (LT29)  
受賞内容や理由：低温物理の国際会議（LT29）で優れたポスター発表を行った
5. 受賞者名：高木 健輔（修士課程2年）  
賞の名称：低温工学・超伝導若手奨励賞  
受賞内容や理由：第21回低温工学・超伝導若手合同講演会で優れた発表を行った
6. 受賞者名：小野 啓太（修士課程2年）  
賞の名称：第13回（2022年度）HUA 修士論文賞  
受賞内容や理由：修士論文が優れていた

7. 受賞者名：小野 啓太（修士課程 2 年）  
賞の名称：2022 年秋季大会 日本物理学会学生優秀発表賞  
受賞内容や理由：学会発表が優れていた
  
8. 受賞者名：湯浅 直輝（修士課程 2 年）  
賞の名称：若手優秀発表賞【ポスター発表】  
受賞内容や理由：強磁場科学研究会/東北大学金属材料研究所国際ワークショップで優れた発表を行った
  
9. 受賞者名：CHEN, Yitong（修士課程 2 年）  
賞の名称：2022 年度日本表面真空学会九州支部学術講演会 学生講演奨励賞  
受賞内容や理由：時間・角度分解光電子分光による硫化サマリウムにおける光励起バンド構造ダイナミクスの観測
  
10. 受賞者名：村 勇志（博士課程 1 年）  
賞の名称：秋季大会日本物理学会学生優秀発表賞  
受賞内容や理由：学会で優れた発表を行った
  
11. 受賞者名：藤原 浩司（博士課程 1 年）  
賞の名称：学生発表最優秀賞（第 28 回渦糸物理ワークショップ）  
受賞内容や理由：第 28 回渦糸物理ワークショップで優れた口頭発表を行った
  
12. 受賞者名：Lakmin Wickremasinghe（博士課程 1 年）  
賞の名称：ATLAS-ITk Master Thesis Award  
受賞内容や理由：修士論文が優れていた
  
13. 受賞者名：二本木 克旭（博士課程 2 年）  
賞の名称：若手優秀発表賞  
受賞内容や理由：強磁場科学研究会/東北大学金属材料研究所国際ワークショップ「マルチプローブ強磁場測定が解き明かす強相関物性」で優れた発表を行った
  
14. 受賞者名：姉川 尊徳（博士課程 2 年）  
賞の名称：大阪大学大学院理学研究科優秀研究賞  
受賞内容や理由：量子ブラックホールの研究で優れた研究実績をあげた

15. 受賞者名：名古屋 雄大（博士課程2年）  
賞の名称：秋季大会日本物理学会学生優秀発表賞  
受賞内容や理由：学会で優れた発表を行った
  
16. 受賞者名：近藤 雅起（博士課程3年）  
賞の名称：Best poster award  
受賞内容や理由：国際学会 (29th International Conference on Low Temperature Physics) で優れた発表を行った
  
17. 受賞者名：徳田 将志（博士課程3年）  
賞の名称：日本物理学会学生優秀発表賞（領域6）  
受賞内容や理由：領域6・低温（超低温・超伝導・密度波）の分野で、優れた発表を行った
  
18. 受賞者名：徳田 将志（博士課程3年）  
賞の名称：Best poster award (LT29)  
受賞内容や理由：低温物理の国際会議（LT29）で優れたポスター発表を行った
  
19. 受賞者名：森川 億人（学振特別研究員 (PD)）  
賞の名称：Prog. Theor. Exp. Phys. Editors' Choice Award  
受賞内容や理由：アーベル的格子ゲージ理論における分数トポロジカル電荷の研究
  
20. 受賞者名：石谷 壮史（学部4年生）  
賞の名称：日本物理学会 学生優秀発表賞  
受賞内容や理由：日本物理学会 2023年春季大会の「学部学生ポスターセッション」において、優れた発表を行った

## 知的財産

1. 特許名称：振動装置、振動システム、抽出-イオン化システム、質量分析システムおよび振動方法  
発明者：大塚洋一  
出願人：大阪大学  
出願番号：PCT/JP2023/ 9488  
出願日：2023年3月13日

## 第3章 学位論文

### 3.1 修士論文

令和四年度に修士の学位を取得された方々の氏名，論文題目は以下の通りであった。

| 学生氏名    | 指導教員  | 論文題名   |
|---------|-------|--|
| 坂川 裕則   | 西岡 辰磨 | ブラックホールと Hawking 輻射  |
| 山本 智士   | 木村 真一 | GaSb における光誘起 THz 波の起源の特定   |
| JEON    | 菊池 誠  | Simulations of teacher-student scenario in deep neural networks                          |
| SEOKTAM |       |  |
| 芦川 涼    | 浅川 正之 | 格子 QCD 数値計算を用いた重クォーク QCD 臨界点の有限サイズスケーリング解析の高精細化  |
| 荒久田 周作  | 山中 卓  | 高輝度 LHC ATLAS 実験で用いるシリコンピクセル検出器モジュールの閾値調整における目標閾値からの乖離                                   |
| 井川 翔太   | 兼松 泰男 | フェムト秒レーザーを用いた走査型イメージング質量分析装置の開発  |
| 池上 魁    | 西岡 辰磨 | Variant axion モデルによる axion 生成  |
| 大星 和毅   | 新見 康洋 | グラフェンスピン輸送素子を用いた超伝導 Nb の逆スピントラップ効果の観測  |
| 小野 啓太   | 山中 卓  | 薄膜プラスチックシンチレータを用いた KOTO 実験用荷電粒子検出器の開発  |
| 梶谷 拓矢   | 黒木 和彦 | NdNiO <sub>2</sub> のスピン揺らぎ媒介超伝導における残留水素の影響に関する研究   |
| 金子 悠仁   | 保坂 淳  | ホログラフィック QCD による電磁遷移過程の研究  |
| 神田 哲汰   | 大岩 顕  | 短周期超格子ドープ GaAs/AlGaAs 量子井戸構造を用いたゲート制御量子素子の作製と光照射効果の評価                                    |
| 岸大路 泰宏  | 工藤 一貴 | Pt ニクタイトにおける多形制御と超伝導に対する化学置換効果   |
| 北川 歩    | 山中 卓  | J-PARC KOTO 実験のビーム中荷電粒子検出器に用いる光電子増倍管の高電圧供給基板部の開発   |
| 木村 容子   | 福田 光順 | $\beta$ 線検出核磁気共鳴法を利用したイメージング法の開発   |
| 黒川 開斗   | 新見 康洋 | ファンデルワールス磁性体 (Fe <sub>1-x</sub> Co <sub>x</sub> ) <sub>5</sub> GeTe <sub>2</sub> の磁気抵抗効果 |
| 阪井 俊樹   | 吉田 斉  | CANDLES 実験での <sup>212</sup> Bi 起源バックグラウンドの低減   |

|        |        |   |
|--------|--------|---|
| 榊原 蒼司  | 兼村 晋哉  | Left-Right symmetric model におけるヒッグスセクターの研究  |
| 嶋守 聡一郎 | 西岡 辰磨  | 拡がりのある演算子を持つ共形場理論の解析  |
| 高木 健輔  | 工藤 一貴  | PtBi <sub>2</sub> における Se/Te 部分置換による極性非極性構造相転移と超伝導転移温度上昇の発見   |
| 高山 元   | 福田 光順  | 軽核同位体チェーンにおける荷電変化断面積と陽子分布半径の新導出法  |
| 立川 慎吾  | 木村 真一  | 硫化サマリウムの電流誘起金属化における電子状態変化の観測  |
| 谷 天太   | 越野 幹人  | ツイストグラファイトにおける垂直電気伝導の理論   |
| 辻 聖也   | 川畑 貴裕  | $\alpha$ 非弾性散乱を用いた Hoyle 状態の電磁崩壊確率測定  |
| 徳田 恵   | 阪口 篤志  | J-PARC におけるチャームバリオン分光実験用リングイメージングチェレンコフ検出器の粒子識別性能評価   |
| 戸田 匡哉  | 阪口 篤志  | J-PARC におけるチャームバリオン分光実験用リングイメージングチェレンコフ検出器の開発   |
| 中田 悠介  | 浅野 建一  | 擬一次元素における電子正孔プラズマ中の励起子分子の安定性  |
| 中村 瞭弥  | 新見 康洋  | 鉄カルコゲナイド超伝導体薄膜素子における輸送測定  |
| 新名 嶺偉  | 民井 淳   | <sup>12,13</sup> C の光核反応における崩壊分岐比の測定  |
| 水見 香奈子 | 川畑 貴裕  | 大型アクティブ標的 MAIKo+ を用いた <sup>12</sup> C(n, n') <sup>12</sup> C(0 <sub>2</sub> <sup>+</sup> ) 散乱断面積の測定 |
| 廣瀬 有経  | 松野 丈夫  | ペロブスカイト型 Mn 酸化物におけるスピン流特性の検出  |
| 藤井 隆弘  | 工藤 一貴  | インターグロース構造を利用した層状ペロブスカイト型 V 酸化物における物性開拓   |
| 藤田 侑葵子 | 山中 卓   | 高輝度 LHC ATLAS 実験で使うシリコンピクセル検出器量産時の外観検査用ソフトウェアの開発  |
| 堀内 健司  | 黒木 和彦  | 正方格子及び三角格子上の Hubbard 模型における輸送係数の研究  |
| 前川 珠貴  | 藤岡 慎介  | 硬 X 線計測と発見的手法を用いた高速電子の特性の診断   |
| 宮滝 雅己  | 青木 正治  | COMET Phase-I にむけたトリガーシステムの統合と深層学習による事象選別の開発  |
| 三好 剛   | 梅原 さおり | CANDLES 実験でのバックグラウンド事象低減に向けたモンテカルロシミュレーション開発  |
| 森本 鉄郎  | 松野 丈夫  | 5 d 電子系 IrO <sub>2</sub> の結晶性がスピン流生成に与える影響  |
| 柳川 耀平  | 浅川 正之  | AdS/CFT 対応を用いた遅延グリーン関数の非一意性に関する理論的解析  |
| 山本 和輝  | 越野 幹人  | 空間変化する電場が誘起するマグノン流の理論   |
| 山本 勇次  | 野海 博之  | ドリフトチェンバー用読み出し回路 ASAGI ASD カードの性能評価   |



|                |               |  |
|----------------|---------------|--|
| 湯浅 直輝          | 花咲 徳亮         | 正方晶 $\text{EuAu}_2\text{Ge}_2$ の回転対称性の破れた磁性相における異常ホール効果の巨大変化   |
| 吉岡 篤志<br>吉田 悠人 | 吉田 斉<br>木村 真一 | CANDLES 実験での $^{208}\text{Tl}$ 起源バックグラウンドの低減<br>スピン偏極共鳴電子エネルギー損失分光装置の高効率化と<br>$\text{NiO}$ の共鳴非弾性電子散乱スペクトル測定 |
| 若林 寛之          | 青木 正治         | COMET Phase-I トリガー検出器用 SiPM 冷却システムの開発  |
| 鄧 暁龍           | 兼村 晋哉         | Lepton Rare Decays in Massless Dark Photon Model (無質量ダークフォトンモデルによるレプトンの希少崩壊)                                 |

## International Physics Course (IPC) の修了者

| 学生氏名              | 指導教員  | 論文題名   |
|-------------------|-------|--|
| TIANCHEN<br>ZHANG | 保坂 淳  | $c\bar{c}$ potentials in different gauges from Nambu-Bethe-Salpeter wave function in Lattice QCD   |
| JINYUAN DUN       | 藤岡 慎介 | Laboratory Measurement of L-Shell Opacity with High-Intensity Laser  |
| YITONG CHEN       | 木村 真一 | 硫化サマリウム の光誘起バンドシフトと格子定数変化  |
| MINH NHAT LY      | 千徳 靖彦 | Theoretical And Numerical Study On The Formation Of Collisionless Electrostatic Shocks   |
| JIANZHONG<br>WANG | 兼松 泰男 | Development of Femtosecond Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometer based on Ion Trajectory Simulation               |
| YUBO WANG         | 藤岡 慎介 | Experimental hydrogen radical ( $\text{H}^*$ ) detection and comparison between EUV photoionized plasma and VUV photo dissociated plasma |

### 3.2 博士論文

令和四年度に博士の学位を取得された方々の氏名，論文題目は以下の通りであった。

| 学生氏名  | 主査    | 論文題名  |
|-------|-------|---|
| 中川 智裕 | 大岩 顕  | Study on spin-related transport in few-electron lateral quantum dots for the photon-spin interface using a (110) GaAs quantum well ((110)GaAs 量子井戸を用いた光子-スピンインターフェースに向けた少数電子横型量子ドットにおけるスピンに関係した伝導の研究) |
| 藤井 大輔 | 保坂 淳  | Dynamical properties of baryon resonances in the holographic QCD (ホログラフィック QCD によるバリオン共鳴の動的性質の研究)   |
| 近藤 雅起 | 花咲 徳亮 | Unconventional transport phenomena coupled with magnetism and lattice polarization in layered topological materials (層状トポロジカル物質における磁性・極性と結合した非従来型輸送現象)  |
| 杉本 馨  | 千徳 靖彦 | Theoretical and numerical study of non-equilibrium radiative plasma driven by intense laser light (高強度レーザーが駆動する非平衡輻射プラズマの理論・シミュレーション研究)   |
| 住本 尚之 | 西岡 辰磨 | Data-driven construction of holographic QCD model (ホログラフィック QCD 模型のデータ主導な構築)  |
| 田中 正法 | 兼村 晋哉 | Theoretical studies on cosmological implications of the electroweak symmetry breaking (電弱相転移の宇宙論的意味に関する理論的研究)   |
| 徳田 将志 | 新見 康洋 | Studies of Bi/Ni bilayer superconductor in nanoscale devices (ナノスケールデバイスにおける Bi/Ni 薄膜超伝導体の研究)   |
| 藤本 大仁 | 越野 幹人 | Theory of topological charge pumping by moiré pattern sliding (モアレ模様のスライドによるトポロジカル電荷ポンプ)  |
| 松本 雄太 | 大岩 顕  | Ultra-fast and high fidelity single-spin qubit operation (超高速で高忠実度な単一電子量子ビット操作)   |
| 池田 良平 | 木村 真一 | Terahertz electric-field drive of Weyl fermions (ワイルフェルミオンのテラヘルツ電場駆動)   |
| 森田 泰之 | 福田 光宏 | A new adjustment method for ECR ion sources using machine learning (機械学習を用いた新たな ECR イオン源制御手法)   |

## 第4章 教育活動

令和四年度も、大学院教育、学部教育、共通教育のそれぞれにおいて、物理学専攻の教員は以下に掲げる授業科目を担当し、大阪大学の教育活動の一翼を担った。

< > 内は協力講座、他専攻、他部局の教員である。(ただし、大学院授業担当一覧には当てはまりません。)

### 4.1 大学院授業担当一覧

大学院の開講科目表を以下に示す。

**研究科共通科目**  
**(前・後期課程)**

| 課程             | 分類     |               |               | 時間制<br>コード | 授 業 科 目                              | 単<br>位 | 時 期   | 曜<br>日 | 時<br>限 | 担 当 教 員  | 備 考   |
|----------------|--------|---------------|---------------|------------|--------------------------------------|--------|-------|--------|--------|--|---|
|                | 専門教育科目 | 高度国際性<br>教育科目 | 高度国際性<br>教育科目 |            |                                      |        |       |        |        |  |   |
| 前・<br>後期<br>課程 |        |               | ○             | 241749     | 科学技術論A1                              | 1      |       |        |        |  | *<br>日程等詳細はシラバスを参照すること                                  |
|                |        |               | ○             | 241750     | 科学技術論A2                              | 1      |       |        |        |  | *<br>日程等詳細はシラバスを参照すること                                  |
|                |        |               | ○             | 241751     | 科学技術論B1                              | 1      | 春学期   | 木      | 5      |  | *<br>日程等詳細はシラバスを参照すること                                  |
|                |        |               | ○             | 241752     | 科学技術論B2                              | 1      | 夏学期   | 木      | 5      |  | *<br>日程等詳細はシラバスを参照すること                                  |
|                |        |               | ○             | 241686     | 研究者倫理特論                              | 0.5    | 春学期   |        |        | 中野   | 集中<br>オンライン講義<br>MC平成30(2018)年度以前入学者は<br>修了要件外          |
|                |        |               | ○             | 241714     | 科学論文作成概論                             | 0.5    | 春学期   |        |        | 高木(慎)  | 集中<br>オンライン講義<br>MC平成30(2018)年度以前入学者は<br>修了要件外          |
|                |        |               | ○             | 241673     | 研究実践特論                               | 0.5    | 秋～冬学期 | 木      | 3      | 未定   | 集中<br>MC平成30(2018)年度以前入学者は<br>修了要件外                     |
|                |        |               | ○             | 241674     | 企業研究者特別講義                            | 0.5    |       |        |        |  | 集中<br>日程はKOAN掲示により通知する<br>MC平成30(2018)年度以前入学者は<br>修了要件外 |
|                |        |               | ○             | 24P044     | Radiation science in the environment | 1      | 通年    |        |        | 青井(核)・高橋(安管)                                   | 集中  |
|                |        |               | ○             | 241811     | 実践科学英語A                              | 1      | 春～夏学期 | 水      | 3      | M.D.Sheehan                                    | 集中<br>人数制限あり<br>MC平成30(2018)年度以前入学者は<br>修了要件外           |
|                |        |               | ○             | 241812     | 実践科学英語B                              | 1      | 秋～冬学期 | 水      | 3      | M.D.Sheehan                                    | 集中<br>人数制限あり<br>MC平成30(2018)年度以前入学者は<br>修了要件外           |
|                |        |               | ○             | 249609     | 科学英語基礎                               | 1      | 秋～冬学期 | 月      | 5      | E.M.Hail                                       | *<br>人数制限あり<br>MC平成30(2018)年度以前入学者は<br>修了要件外            |
|                |        |               | ○             | 241420     | 先端機器制御学                              | 2      | 通年    |        |        | 兼松・豊田  | 集中 ◆<br>日程は受講生決定後に調整する                                  |
|                |        |               | ○             | 241421     | 分光計測学                                | 2      | 通年    |        |        | 兼松・豊田  | 集中 ◆<br>日程は受講生決定後に調整する                                  |
|                |        |               | ○             | 241201     | 先端の研究法:質量分析                          | 2      | 通年    |        |        | 豊田・寺田・高尾・大塚・河井・<br>上田・佐藤                       | 集中 ◆<br>日程は受講生決定後に調整する<br>ナノ教育プログラム                     |
|                |        |               | ○             | 241202     | 先端の研究法:X線結晶解析                        | 2      | 通年    |        |        | 今田・栗栖(蛋)・中川(蛋) 他                               | 集中 ◆<br>日程は受講生決定後に調整する                                  |
|                |        |               | ○             | 241203     | 先端の研究法:NMR                           | 2      | 通年    | **     | **     | 上垣(近畿大)・<br>林(理化学研究所)・<br>松永(理化学研究所)・<br>村田・梅川 | 集中 ◆  |
|                |        |               | ○             | 241763     | 先端の研究法:低温電子顕微鏡                       | 2      | 通年    |        |        | 今田・加藤(蛋)・岸川(蛋)・<br>栗栖(蛋)・高崎(蛋)・田中(蛋)           | 集中 ◆<br>日程は受講生決定後に調整する                                  |

| 課程                     | 分類         |                 |                | 時間制<br>コード | 授 業 科 目                 | 単<br>位 | 時 期               | 曜 日 | 時<br>限 | 担 当 教 員  | 備 考                            |
|------------------------|------------|-----------------|----------------|------------|-------------------------|--------|-------------------|-----|--------|--|--------------------------------|
|                        | 専門<br>教育科目 | 高度<br>国際性<br>科目 | 高度<br>学位<br>科目 |            |                         |        |                   |     |        |  |                                |
| 前・<br>後<br>期<br>課<br>程 |            |                 | ○              | 241256     | ナノマテリアル・ナノデバイス<br>デザイン学 | 1      | 通年 <sup>注3)</sup> | ※   | ※      | 森川(工)・濱田(工)・稲垣(工)・<br>濱本(工)・佐藤(工)・<br>Wilson Agerico Tan Dino(工)・<br>黒木(理)・小口(基スピン)・<br>赤井(東大)・福島(東大)・<br>吉田(東大)・草部(兵庫県立大)・<br>船島(近大高専)・小野(神戸大)・<br>植本(神戸大)・江上(北大)・<br>下司(ナノ)他 | ナノ教育プログラム実習(集中)・<br>世話教員:森川(工) |
|                        |            |                 | ○              | 240928     | ナノプロセス・物性・デバイス学         | 1      | 通年 <sup>注3)</sup> | ※   | ※      | 藤原(工)・笹林(工)・田中(産)・<br>家(産)・桑原(工)・近藤(工)・<br>梶井(工)・尾崎(工)・藤井(工)・<br>塩谷(ナノ)他   | ナノ教育プログラム実習(集中)・<br>世話教員:藤原(工) |
|                        |            |                 | ○              | 240929     | 超分子ナノバイオプロセス学           | 1      | 通年 <sup>注3)</sup> | ※   | ※      | 出口(基)・宮坂(基)・廣瀬(基)・<br>伊都(基)・五月女(基)・寺尾・<br>近江(医)・三宅(工)・<br>新岡(データビリティ)・<br>福島(基)・野井(ナノ)他  | ナノ教育プログラム実習(集中)・<br>世話教員:出口(基) |
|                        |            |                 | ○              | 240930     | ナノ構造・機能計測解析学            | 1      | 通年 <sup>注3)</sup> | ※   | ※      | 酒井(基)・福井(基)・伊都(基)・<br>藤平(基)・林(基)・菅原(工)・<br>光岡(電顕)・市川(電顕)・<br>吉田(産)・神内(産)・難波(生)・<br>加藤(産)・栗栖(産)・今田・<br>伊藤・竹田(ナノ)・<br>中島(ナノ)他  | ナノ教育プログラム実習(集中)・<br>世話教員:酒井(基) |
|                        |            |                 | ○              | 240931     | ナノフォトニクス学               | 1      | 通年 <sup>注3)</sup> | ※   | ※      | 宮坂(基)・伊都(基)・<br>五月女(基)・芦田(基)・<br>一宮(滋賀県立大)・<br>渡曾(ナノ)・野井(ナノ)他  | ナノ教育プログラム実習(集中)・<br>世話教員:宮坂(基) |

注1) 開講時期が空欄は今年度開講しない。

注2) 博士後期課程の学生においては、上記全科目とも修了要件外とする。

注3) この授業科目は年2回、夏期に在学生用、春期に社会人用として開講され、どちらかを受講することで記載の単位修得とする。

\*は学部と共通科目である。

\*\*開講日程は、別途KOAN掲示により通知する。

◆は大学院高度副プログラム(基礎理学計測学)の科目である。

※ナノ教育プログラム実習(上記表中の5科目)は収容人数に制限があるため、履修希望者は4月に大学院係及びナノ高度学際教育研究訓練プログラムに履修申請し、許可を得るものとする。詳細はナノ教育研究訓練プログラムの冊子を参照すること。

#### (後期課程)

| 課程               | 分類         |                 |                | 時間制<br>コード | 授 業 科 目         | 単<br>位 | 時 期 | 曜 日 | 時<br>限 | 担 当 教 員  | 備 考                      |
|------------------|------------|-----------------|----------------|------------|-----------------|--------|-----|-----|--------|--|--------------------------|
|                  | 専門<br>教育科目 | 高度<br>国際性<br>科目 | 高度<br>学位<br>科目 |            |                 |        |     |     |        |  |                          |
| 後<br>期<br>課<br>程 | ○          |                 |                | 241658     | 学位論文作成演習        | 0.5    | 通年  |     |        |  | 修了要件外                    |
|                  | ○          |                 |                | 241659     | 高度理学特別講義        | 0.5    | 通年  |     |        |  | 修了要件外                    |
|                  |            |                 | ○              | 241660     | 企業インターンシップ      | 1      | 通年  |     |        |  | 修了要件外                    |
|                  |            |                 | ○              | 241325     | 産学リエゾンPAL教育研究訓練 | 5      | 通年  |     |        | 伊藤(ナノ)・竹田(ナノ)・<br>藤岡(ナノ)・菰田(ナノ)・<br>相澤(ナノ)   | 集中<br>ナノ教育プログラム<br>修了要件外 |
|                  |            |                 | ○              | 241326     | 高度学際萌芽研究訓練      | 5      | 通年  |     |        | 伊藤(ナノ)・竹田(ナノ)・<br>藤岡(ナノ)・森川(工)・<br>下司(ナノ)・藤原(工)・<br>塩谷(ナノ)・出口(基)・<br>福島(基)・野井(ナノ)・<br>中島(ナノ) | 集中<br>ナノ教育プログラム<br>修了要件外 |

## 物理学専攻

## 共通授業科目 (A、B、Cコース共通)

## (前期課程)

| 課程               | 分類     | 時間割<br>コード               | 授業科目  | 単<br>位 | 時<br>期 | 曜<br>日 | 時<br>限 | 担当教員              | 備<br>考            |
|------------------|--------|--------------------------|---|--------|--------|--------|--------|-------------------|-------------------|
|                  |        |                          |   |        |        |        |        |                   |                   |
| 前<br>期<br>課<br>程 | ○      | 240176                   | 加速器科学                                       | 2      |        |        |        |                   | ◆                 |
|                  | ○      | 241427                   | レーザー物理学                                     | 2      | 春～夏学期  | 月      | 3      | 中井・有川             | ナノ教育プログラム         |
|                  | ○      | 240178                   | 複雑系物理学                                      | 2      | 秋～冬学期  | 火      | 2      | 渡辺                |                   |
|                  | ○      | 240181                   | 非線形物理学                                      | 2      |        |        |        | 吉野                |                   |
|                  | ○      | 241346                   | 原子核反応論                                      | 2      |        |        |        |                   | 隔年で2022年度はなし      |
|                  | ○      | 24P043                   | Electrodynamics and Quantum Mechanics       | 1      | 秋学期    | 水      | 3      | L. Baiotti        | 英語科目、修了要件外        |
|                  | ○      | 24P033                   | Quantum Field Theory I                      | 2      | 春～夏学期  | 木      | 3      | 西岡                | 英語科目              |
|                  | ○      | 24P026                   | Quantum Field Theory II                     | 2      | 秋～冬学期  | 金      | 2      | 大野木               | 英語科目              |
|                  | ○      | 24P045                   | Theoretical Particle Physics                | 2      | 秋～冬学期  | 月      | 4      | 兼村                | 英語科目              |
|                  | ○      | 24P032                   | Introduction to Theoretical Nuclear Physics | 2      | 春～夏学期  | 水      | 3      | 保坂                | 英語科目              |
|                  | ○      | 24P028                   | Quantum Many-body Systems                   | 2      | 春～夏学期  | 火      | 1      | 小川                | 英語科目              |
|                  | ○      | 24P037                   | Condensed Matter Theory                     | 2      | 秋～冬学期  | 火      | 3      | Keith M. Slevin   | 英語科目              |
|                  | ○      | 24P038                   | Solid State Theory                          | 2      |        |        |        | 黒木                | 英語科目              |
|                  | ○      | 24P039                   | High Energy Physics                         | 2      |        |        |        | 青木                | 英語科目、隔年で2022年度はなし |
|                  | ○      | 24P031                   | Nuclear Physics in the Universe             | 2      | 春～夏学期  | 金      | 4      | 大田                | 英語科目              |
|                  | ○      | 24P029                   | Optical Properties of Matter                | 2      |        |        |        | 木村・兼松・渡邊(浩)       | 英語科目              |
|                  | ○      | 24P035                   | Synchrotron Radiation Spectroscopy          | 2      | 春～夏学期  | 金      | 2      | 木村                | 英語科目              |
|                  | ○      | 24P040                   | Computational Physics                       | 2      |        |        |        | 千徳                | 英語科目              |
|                  | ○      | 24P046                   | Cosmology                                   | 2      | 秋～冬学期  | 火      | 2      | 長峯                | 英語科目              |
| ○                | 24P047 | High Energy Astrophysics | 2   |        |        |        | 井上     | 英語科目、隔年で2022年度はなし |                   |

注) 開講時期が空欄は今年度開講しない。

◆は大学院高度副プログラム(基礎理学計測学)の科目である。

以下の科目は英語で開講される場合があります。

同じ科目を異なる年度に英語科目名と日本語科目名で履修しても、修了要件単位として認められるのはいずれか一つの科目となります。

| 日本語科目名        | 英語科目名                                       |
|---------------|---|
| 場の理論 I        | Quantum Field Theory I                      |
| 場の理論 II       | Quantum Field Theory II                     |
| 素粒子物理学特論 II   | Theoretical Particle Physics                |
| 原子核理論序説       | Introduction to Theoretical Nuclear Physics |
| 量子多体系の物理      | Quantum Many-body Systems                   |
| 物性理論 II       | Condensed Matter Theory                     |
| 固体電子論 I       | Solid State Theory                          |
| 光物性物理学        | Optical Properties of Matter                |
| シンクロトロン分光学    | Synchrotron Radiation Spectroscopy          |
| 計算物理学         | Computational Physics                       |
| 宇宙論 (※)       | Cosmology                                   |
| 高エネルギー天文学 (※) | High Energy Astrophysics                    |

※日本語科目名は宇宙地球科学専攻開講科目。

## (後期課程)

| 課程               | 分類 | 時間割<br>コード | 授業科目  | 単<br>位 | 時<br>期 | 曜<br>日 | 時<br>限 | 担当教員   | 備<br>考           |
|------------------|----|------------|---|--------|--------|--------|--------|--|------------------|
|                  |    |            |   |        |        |        |        |  |                  |
| 後<br>期<br>課<br>程 | ○  | 24P019     | Topical Seminar I<br>[Structure of Hadrons] | 1      | 秋～冬学期  | **     | **     | Hyun-Chul Kim<br>(Inha University)             | 集中(MC・DC共通)、英語科目 |
|                  | ○  | 24P020     | Topical Seminar II<br>[Material Learning]   | 1      | 秋～冬学期  | **     | **     | Wilfred van der Wiel<br>(University of Twente) | 集中(MC・DC共通)、英語科目 |
|                  | ○  | 24P021     | Topical Seminar III                         | 1      |        |        |        |  | 集中(MC・DC共通)、英語科目 |
|                  | ○  | 24P022     | Topical Seminar IV                          | 1      |        |        |        |  | 集中(MC・DC共通)、英語科目 |

注) 開講時期が空欄は今年度開講しない。

\*\*集中講義の開講日程は、別途KOAN掲示により通知する。

## Aコース（理論系：基礎物理学・量子物理学コース）

## （前期課程）

| 課程   | 分類            |              | 時間割コード    | 授業科目           | 単位    | 時期    | 曜日 | 時限 | 担当教員            | 備考               |  |
|------|---------------|--------------|-----------|----------------|-------|-------|----|----|-----------------|------------------|--|
|      | 専門教育科目        | 高度国際性<br>国際性 |           |                |       |       |    |    |                 |                  |  |
| 前期課程 | <b>【基礎科目】</b> |              |           |                |       |       |    |    |                 |                  |  |
|      | ○             |              | 240161    | 場の理論序説         | 2     | 春～夏学期 | 月  | 3  | 佐藤(亮)           | *修了要件外           |  |
|      | ○             |              | 240163    | 原子核理論序説        | 2     | 春～夏学期 | 水  | 3  | 保坂              | 英語科目、隔年で2022年度開講 |  |
|      | ○             |              | 240164    | 散乱理論           | 2     |       |    |    |                 |                  |  |
|      | ○             |              | 240165    | 一般相対性理論        | 2     | 春～夏学期 | 金  | 2  | 大野木             | *修了要件外           |  |
|      | <b>【専門科目】</b> |              |           |                |       |       |    |    |                 |                  |  |
|      | ○             |              | 240182    | 素粒子物理学Ⅰ        | 2     |       |    |    | 大野木             |                  |  |
|      | ○             |              | 240183    | 素粒子物理学Ⅱ        | 2     |       |    |    | 兼村              |                  |  |
|      | ○             |              | 240184    | 場の理論Ⅰ          | 2     | 春～夏学期 | 木  | 3  | 西岡              | 英語科目             |  |
|      | ○             |              | 240185    | 場の理論Ⅱ          | 2     | 秋～冬学期 | 金  | 2  | 大野木             | 英語科目             |  |
|      | ○             |              | 240802    | 原子核理論          | 2     | 春～夏学期 | 火  | 3  | 浅川・赤松           |                  |  |
|      | ○             |              | 240188    | 物性理論Ⅰ          | 2     |       |    |    | 浅野              | ナノ教育プログラム        |  |
|      | ○             |              | 240189    | 物性理論Ⅱ          | 2     | 秋～冬学期 | 火  | 3  | Keith M. Slevin | 英語科目、ナノ教育プログラム   |  |
|      | ○             |              | 240190    | 固体電子論Ⅰ         | 2     |       |    |    | 黒木              | 英語科目、ナノ教育プログラム   |  |
|      | ○             |              | 240191    | 固体電子論Ⅱ         | 2     | 秋～冬学期 | 火  | 2  | 越野              | ナノ教育プログラム        |  |
|      | ○             |              | 240192    | 量子多体系の物理       | 2     | 春～夏学期 | 火  | 1  | 小川              | 英語科目、ナノ教育プログラム   |  |
|      | ○             |              | 241715    | 計算物理学          | 2     |       |    |    | 千徳              | 英語科目             |  |
|      | ○             |              | 241870    | 高エネルギー密度プラズマ科学 | 2     | 春～夏学期 | 火  | 4  | 岩田              |                  |  |
|      | <b>【トピック】</b> |              |           |                |       |       |    |    |                 |                  |  |
|      | ○             |              | 240193    | 素粒子物理学特論Ⅰ      | 2     |       |    |    | 山口(哲)           |                  |  |
| ○    |               | 240194       | 素粒子物理学特論Ⅱ | 2              | 秋～冬学期 | 月     | 4  | 兼村 | 英語科目            |                  |  |
| ○    |               | 240195       | 原子核理論特論Ⅰ  | 2              |       |       |    |    |                 |                  |  |
| ○    |               | 240196       | 原子核理論特論Ⅱ  | 2              |       |       |    |    |                 |                  |  |
| ○    |               | 240197       | 物性理論特論Ⅰ   | 2              |       |       |    | 越智 |                 |                  |  |
| ○    |               | 240198       | 物性理論特論Ⅱ   | 2              |       |       |    | 菊池 |                 |                  |  |

注) 開講時期が空欄は今年度開講しない。

\*は学部と共通科目である。

## （後期課程）

| 課程   | 分類            |              | 時間割コード | 授業科目  | 単位 | 時期    | 曜日 | 時限 | 担当教員                                       | 備考                       |  |
|------|---------------|--------------|--------|---|----|-------|----|----|--|--------------------------|--|
|      | 専門教育科目        | 高度国際性<br>国際性 |        |   |    |       |    |    |  |                          |  |
| 後期課程 | <b>【トピック】</b> |              |        |   |    |       |    |    |  |                          |  |
|      | ○             |              | 240273 | 特別講義AⅠ<br>「フレーバーとCP対称性で<br>探る新しい素粒子理論」                | 1  | 春～夏学期 | ** | ** | 遠藤 基<br>(高エネルギー加速器研究機構<br>素粒子原子核研究所理論センター) | 集中(MC・DC共通)              |  |
|      | ○             |              | 240274 | 特別講義AⅡ<br>「量子アノマリー」                                   | 1  | 秋～冬学期 | ** | ** | 米倉 和也<br>(東北大学大学院理学研究科)                    | 集中(MC・DC共通)              |  |
|      | ○             |              | 240275 | 特別講義AⅢ<br>「原子核におけるシェル構造とクラスター構造<br>—その起源としての非中心力の役割—」 | 1  | 秋～冬学期 | ** | ** | 板垣 直之<br>(大阪公立大学大学院<br>理学研究科物理学専攻)         | 集中(MC・DC共通)              |  |
|      | ○             |              | 240276 | 特別講義AⅣ<br>「トポロジカル超伝導の物理」                              | 1  | 秋～冬学期 | ** | ** | 田仲 由喜夫<br>(名古屋大学大学院工学研究科)                  | 集中(MC・DC共通)<br>ナノ教育プログラム |  |
|      | ○             |              | 240277 | 特別講義AⅤ  | 1  |       |    |    |  | 集中(MC・DC共通)              |  |

注) 開講時期が空欄は今年度開講しない。

\*\*集中講義の開講日程は、別途KOAN揭示により通知する。

## Bコース（実験系：素粒子・核物理学コース）

## （前期課程）

| 課程   | 分類            |                 | 時間割コード | 授業科目         | 単位 | 時期    | 曜日 | 時限 | 担当教員   | 備考                      |  |
|------|---------------|-----------------|--------|--------------|----|-------|----|----|--------|-------------------------|--|
|      | 専門教育科目        | 高度国際性<br>涵養教育科目 |        |              |    |       |    |    |        |                         |  |
| 前期課程 | <b>【基礎科目】</b> |                 |        |              |    |       |    |    |        |                         |  |
|      | ○             |                 | 240748 | 素粒子物理学序論A    | 2  | 春～夏学期 | 月  | 2  | 山中     | *修了要件外                  |  |
|      | ○             |                 | 240749 | 素粒子物理学序論B    | 2  | 秋～冬学期 | 金  | 2  | 青木     | *修了要件外                  |  |
|      | ○             |                 | 240167 | 原子核物理学序論     | 2  | 春～夏学期 | 月  | 1  | 民井     | *修了要件外                  |  |
|      | ○             |                 | 241871 | 放射線計測学1      | 2  |       |    |    |        | ◆、<br>*修了要件外、2023年度から開講 |  |
|      | <b>【専門科目】</b> |                 |        |              |    |       |    |    |        |                         |  |
|      | ○             |                 | 240201 | 高エネルギー物理学Ⅰ   | 2  | 春～夏学期 | 月  | 3  | 山中     |                         |  |
|      | ○             |                 | 240202 | 高エネルギー物理学Ⅱ   | 2  |       |    |    | 青木     |                         |  |
|      | ○             |                 | 240205 | 原子核構造学       | 2  | 春～夏学期 | 金  | 3  | 小田原・民井 |                         |  |
|      | ○             |                 | 240751 | 加速器物理学       | 2  | 春～夏学期 | 水  | 1  | 福田(光宏) | ◆                       |  |
|      | ○             |                 | 240752 | 放射線計測学       | 2  | 春～夏学期 | 木  | 4  | 青井・野海  | ◆、2022年度で終了             |  |
|      | ○             |                 | 241872 | 放射線計測学2      | 2  |       |    |    |        | ◆、2023年度から開講            |  |
|      | <b>【トピック】</b> |                 |        |              |    |       |    |    |        |                         |  |
|      | ○             |                 | 240207 | 高エネルギー物理学特論Ⅰ | 2  |       |    |    | 山中     |                         |  |
|      | ○             |                 | 240208 | 高エネルギー物理学特論Ⅱ | 2  | 秋～冬学期 | 月  | 3  | 青木     |                         |  |
|      | ○             |                 | 240209 | 素粒子・核分光学特論   | 2  | 春～夏学期 | 木  | 2  | 吉田     |                         |  |
|      | ○             |                 | 240210 | 原子核物理学特論Ⅰ    | 2  |       |    |    |        |                         |  |
|      | ○             |                 | 240211 | 原子核物理学特論Ⅱ    | 2  | 春～夏学期 | 火  | 2  | 青井     |                         |  |
|      | ○             |                 | 240212 | ハドロン多体系物理学特論 | 2  | 春～夏学期 | 金  | 4  | 野海     |                         |  |

注) 開講時期が空欄は今年度開講しない。

\*は学部と共通科目である。

◆は大学院高度副プログラム(基礎理学計測学)の科目である。

## （後期課程）

| 課程   | 分類            |                 | 時間割コード | 授業科目                                    | 単位 | 時期    | 曜日 | 時限 | 担当教員   | 備考          |  |
|------|---------------|-----------------|--------|---|----|-------|----|----|--|-------------|--|
|      | 専門教育科目        | 高度国際性<br>涵養教育科目 |        |   |    |       |    |    |  |             |  |
| 後期課程 | <b>【トピック】</b> |                 |        |   |    |       |    |    |  |             |  |
|      | ○             |                 | 240278 | 特別講義BⅠ<br>「タウレプトンの物理と<br>フレーバーファクトリー実験」 | 1  | 春～夏学期 | ** | ** | 早坂 圭司<br>(新潟大学教育研究院<br>自然科学系数理物質科学系列)                    | 集中(MC・DC共通) |  |
|      | ○             |                 | 240279 | 特別講義BⅡ<br>「国際協力による磁場閉じ込め<br>核融合研究開発の進展」 | 1  | 秋～冬学期 | ** | ** | 中平 昌隆・浦野 創・<br>坂本 宜照<br>(量子科学技術研究開発機構<br>量子エネルギー部門那珂研究所) | 集中(MC・DC共通) |  |
|      | ○             |                 | 240280 | 特別講義BⅢ                                  | 1  |       |    |    |  | 集中(MC・DC共通) |  |
|      | ○             |                 | 240281 | 特別講義BⅣ                                  | 1  |       |    |    |  | 集中(MC・DC共通) |  |
|      | ○             |                 | 240282 | 特別講義BⅤ                                  | 1  |       |    |    |  | 集中(MC・DC共通) |  |

注) 開講時期が空欄は今年度開講しない。

\*\*集中講義の開講日程は、別途KOAN掲示により通知する。



## Cコース（実験系：物性物理学コース）

## （前期課程）

| 課程   | 分類            |                 | 時間割コード  | 授業科目       | 単位    | 時期    | 曜日 | 時限             | 担当教員        | 備考          |  |
|------|---------------|-----------------|---------|------------|-------|-------|----|----------------|-------------|-------------|--|
|      | 専門教育科目        | 高度国際性<br>涵養教育科目 |         |            |       |       |    |                |             |             |  |
| 前期課程 | <b>【基礎科目】</b> |                 |         |            |       |       |    |                |             |             |  |
|      | ○             |                 | 240958  | 固体物理学概論1   | 2     | 春～夏学期 | 金  | 4              | 松野          | *修了要件外      |  |
|      | ○             |                 | 241110  | 固体物理学概論2   | 2     | 秋～冬学期 | 月  | 2              | 阿久津         | *修了要件外      |  |
|      | ○             |                 | 241111  | 固体物理学概論3   | 2     | 春～夏学期 | 火  | 2              | 新見          | *修了要件外      |  |
|      | ○             |                 | 240173  | 放射光物理学     | 2     |       |    |                |             | ◆           |  |
|      | ○             |                 | 240174  | 極限光物理学     | 2     | 春～夏学期 | 月  | 2              | 藤岡          | *修了要件外      |  |
|      | <b>【専門科目】</b> |                 |         |            |       |       |    |                |             |             |  |
|      | ○             |                 | 240172  | 光物性物理学     | 2     |       |    |                | 木村・兼松・渡邊(浩) | 英語科目        |  |
|      | ○             |                 | 241124  | 半導体物理学     | 2     | 春～夏学期 | 水  | 4              | 大岩          |             |  |
|      | ○             |                 | 240216  | 超伝導物理学     | 2     |       |    |                | 工藤・宮坂・中島    |             |  |
|      | ○             |                 | 240217  | 量子分光学      | 2     |       |    |                |             |             |  |
|      | ○             |                 | 241453  | シンクロトロン分光学 | 2     | 春～夏学期 | 金  | 2              | 木村          | ◆、英語科目      |  |
|      | ○             |                 | 240218  | 荷電粒子光学概論   | 2     | 秋～冬学期 | 月  | 2              | 大塚          | ナノ教育プログラム   |  |
|      | ○             |                 | 241347  | 孤立系イオン物理学  | 2     | 春～夏学期 | 水  | 3              | 兼松・豊田       | ◆、ナノ教育プログラム |  |
|      | ○             |                 | 241428  | 量子多体制御物理学  | 2     |       |    |                | 大岩・新見       | ナノ教育プログラム   |  |
|      | ○             |                 | 241854  | 物質科学概論     | 2     |       |    |                | 工藤・宮坂・中島    |             |  |
|      | <b>【トピック】</b> |                 |         |            |       |       |    |                |             |             |  |
|      | ○             |                 | 240219  | 強磁場物理学     | 2     |       |    |                | 萩原・鳴海・木田    |             |  |
|      | ○             |                 | 240222  | 強相関系物理学    | 2     | 秋～冬学期 | 木  | 2              | 花咲・酒井・村川    |             |  |
| ○    |               | 241743          | 界面物性物理学 | 2          | 春～夏学期 | 木     | 2  | 松野(丈)・塩貝・上田(浩) | ナノ教育プログラム   |             |  |

注) 開講時期が空欄は今年度開講しない。

\*は学部と共通科目である。

◆は大学院高度副プログラム(基礎理学計測学)の科目である。

## （後期課程）

| 課程   | 分類            |                 | 時間割コード | 授業科目  | 単位 | 時期    | 曜日 | 時限 | 担当教員   | 備考          |  |
|------|---------------|-----------------|--------|---|----|-------|----|----|--|-------------|--|
|      | 専門教育科目        | 高度国際性<br>涵養教育科目 |        |   |    |       |    |    |  |             |  |
| 後期課程 | <b>【トピック】</b> |                 |        |   |    |       |    |    |  |             |  |
|      | ○             |                 | 240283 | 特別講義C I<br>「非線形レーザー分光学の基礎から<br>農学・獣医学・医学への応用まで」 | 1  | 春～夏学期 | ** | ** | 三沢 和彦<br>(東京農工大学大学院<br>工学研究院・先端物理工学部門/<br>工学部・生体医用システム工学科) | 集中(MC・DC共通) |  |
|      | ○             |                 | 240284 | 特別講義C II<br>「量子ドット:閉じ込めと開放の物理学」                 | 1  | 秋～冬学期 | ** | ** | 勝本 信吾<br>(東京大学物性研究所)                                       | 集中(MC・DC共通) |  |
|      | ○             |                 | 240285 | 特別講義C III                                       | 1  |       |    |    |  | 集中(MC・DC共通) |  |
|      | ○             |                 | 240286 | 特別講義C IV  | 1  |       |    |    |  | 集中(MC・DC共通) |  |
|      | ○             |                 | 240287 | 特別講義C V   | 1  |       |    |    |  | 集中(MC・DC共通) |  |

注) 開講時期が空欄は今年度開講しない。

\*\*集中講義の開講日程は、別途KOAN掲示により通知する。

## セミナー（前期課程）

## ■ 物理学 A

| 分類 | 高度国際性<br>専門教育科目<br>時間割<br>コード | 授業科目                     | 単<br>位 | 時<br>期    | 担当教員                | 備<br>考 |
|----|-------------------------------|--------------------------|--------|-----------|---------------------|--------|
| ○  | 241454                        | 素粒子論<br>半期セミナーⅠ          | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 大野木・<br>田中(実)・深谷    |        |
| ○  | 240980                        | 場の理論<br>半期セミナーⅠ          | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 西岡・<br>山口(哲)・飯塚     |        |
| ○  | 240981                        | 場の理論<br>半期セミナーⅡ          | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 兼村・<br>佐藤(亮)・柳生     |        |
| ○  | 240982                        | 原子核理論<br>半期セミナーⅠ         | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 浅川・北澤・<br>赤松        |        |
| ○  | 249304                        | 原子核理論<br>半期セミナーⅡ         | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 保坂・石井               |        |
| ○  | 240985                        | 多体問題<br>半期セミナーⅡ          | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 菊池(誠)・<br>吉野(元)     |        |
| ○  | 240986                        | 物性理論<br>半期セミナーⅠ          | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 黒木・Slevin・<br>越智・金子 |        |
| ○  | 241712                        | 物性理論<br>半期セミナーⅢ          | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 越野・川上               |        |
| ○  | 241813                        | 物性理論<br>半期セミナーⅣ          | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 浅野                  |        |
| ○  | 249319                        | 数理論理学<br>半期セミナー          | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 小川・大橋               |        |
| ○  | 241718                        | 高エネルギープラズマ<br>物性理論半期セミナー | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 千徳・岩田・<br>佐野        |        |

## ■ 物理学 A

| 分類 | 高度国際性<br>専門教育科目<br>時間割<br>コード | 授業科目                     | 単<br>位 | 時<br>期    | 担当教員                | 備<br>考 |
|----|-------------------------------|--------------------------|--------|-----------|---------------------|--------|
| ○  | 249679                        | 素粒子論<br>半期セミナーⅠ          | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 大野木・<br>田中(実)・深谷    |        |
| ○  | 249294                        | 場の理論<br>半期セミナーⅠ          | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 西岡・<br>山口(哲)・飯塚     |        |
| ○  | 249297                        | 場の理論<br>半期セミナーⅡ          | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 兼村・<br>佐藤(亮)・柳生     |        |
| ○  | 249298                        | 原子核理論<br>半期セミナーⅠ         | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 浅川・北澤・<br>赤松        |        |
| ○  | 249305                        | 原子核理論<br>半期セミナーⅡ         | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 保坂・石井               |        |
| ○  | 249307                        | 多体問題<br>半期セミナーⅡ          | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 菊池(誠)・<br>吉野(元)     |        |
| ○  | 249310                        | 物性理論<br>半期セミナーⅠ          | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 黒木・Slevin・<br>越智・金子 |        |
| ○  | 249717                        | 物性理論<br>半期セミナーⅢ          | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 越野・川上               |        |
| ○  | 249758                        | 物性理論<br>半期セミナーⅣ          | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 浅野                  |        |
| ○  | 249320                        | 数理論理学<br>半期セミナー          | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 小川・大橋               |        |
| ○  | 249721                        | 高エネルギープラズマ<br>物性理論半期セミナー | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 千徳・岩田・<br>佐野        |        |

## ■ 物理学 B

| 分類 | 高度国際性<br>専門教育科目<br>時間割<br>コード | 授業科目                   | 単<br>位 | 時<br>期    | 担当教員   | 備<br>考 |
|----|-------------------------------|------------------------|--------|-----------|--|--------|
| ○  | 240990                        | 高エネルギー物理学<br>半期セミナーⅠ   | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 山中・南條・<br>廣瀬                                 |        |
| ○  | 240991                        | 高エネルギー物理学<br>半期セミナーⅡ   | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 青木(正)・<br>上野・佐藤(朗)                           |        |
| ○  | 241816                        | 原子核実験学<br>半期セミナー       | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 川畑・阪口・<br>福田(光順)・<br>小田原・吉田・<br>清水・三原・<br>古野 |        |
| ○  | 240992                        | クォーク核物理学<br>半期セミナー     | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 中野(貴)・<br>野海・味村・<br>堀田・白鳥・<br>梅原             |        |
| ○  | 249338                        | 原子核反応<br>半期セミナー        | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 青井・民井・<br>井手口・<br>嶋・大田・<br>小林・鈴木(智)          |        |
| ○  | 241873                        | 基礎原子核物理学<br>半期セミナー     | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 民井・大田・<br>小林                                 |        |
| ○  | 241125                        | 加速器科学<br>半期セミナー        | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 福田(光宏)・<br>依田・神田                             |        |
| ○  | 240998                        | 高エネルギー密度物理<br>半期セミナー   | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 藤岡・有川・<br>Morace                             |        |
| ○  | 241855                        | レーザプラズマ加速ビーム<br>半期セミナー | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 細貝・金・<br>松門・入澤                               |        |

## ■ 物理学 B

| 分類 | 高度国際性<br>専門教育科目<br>時間割<br>コード | 授業科目                   | 単<br>位 | 時<br>期    | 担当教員   | 備<br>考 |
|----|-------------------------------|------------------------|--------|-----------|--|--------|
| ○  | 249322                        | 高エネルギー物理学<br>半期セミナーⅠ   | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 山中・南條・<br>廣瀬                                 |        |
| ○  | 249323                        | 高エネルギー物理学<br>半期セミナーⅡ   | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 青木(正)・<br>上野・佐藤(朗)                           |        |
| ○  | 249759                        | 原子核実験学<br>半期セミナー       | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 川畑・阪口・<br>福田(光順)・<br>小田原・吉田・<br>清水・三原・<br>古野 |        |
| ○  | 249326                        | クォーク核物理学<br>半期セミナー     | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 中野(貴)・<br>野海・味村・<br>堀田・白鳥・<br>梅原             |        |
| ○  | 249339                        | 原子核反応<br>半期セミナー        | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 青井・民井・<br>井手口・<br>嶋・大田・<br>小林・鈴木(智)          |        |
| ○  | 249781                        | 基礎原子核物理学<br>半期セミナー     | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 民井・大田・<br>小林                                 |        |
| ○  | 249504                        | 加速器科学<br>半期セミナー        | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 福田(光宏)・<br>依田・神田                             |        |
| ○  | 249348                        | 高エネルギー密度物理<br>半期セミナー   | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 藤岡・有川・<br>Morace                             |        |
| ○  | 249776                        | レーザプラズマ加速ビーム<br>半期セミナー | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 細貝・金・<br>松門・入澤                               |        |

## ■ 物理学C

| 分類 | 高度国際性<br>専門教育科目 | 時間割<br>コード | 授業科目               | 単<br>位 | 時<br>期    | 担当教員                         | 備<br>考 |
|----|-----------------|------------|--------------------|--------|-----------|------------------------------|--------|
| ○  |                 | 241874     | ナノスケール物性<br>半期セミナー | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 新見・蔭                         |        |
| ○  |                 | 241001     | 質量分析物理<br>半期セミナー   | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 豊田・兼松・<br>大塚                 |        |
| ○  |                 | 241002     | 超伝導半期セミナー          | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 工藤・宮坂・<br>中島                 |        |
| ○  |                 | 241744     | 界面物性<br>半期セミナー     | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 松野・塩貝・<br>上田                 |        |
| ○  |                 | 241004     | 半導体半期セミナー          | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 大岩・木山・<br>藤田                 |        |
| ○  |                 | 241328     | 量子物性<br>半期セミナー     | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 花咲・酒井・<br>村川                 |        |
| ○  |                 | 241456     | 光物性半期セミナー          | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 木村(真)・<br>渡辺(純)・<br>渡邊(浩)・中村 |        |
| ○  |                 | 241007     | 強磁場物理<br>半期セミナー    | 4.5    | 春～夏<br>学期 | 萩原・鳴海・<br>木田                 |        |

## ■ 物理学C

| 分類 | 高度国際性<br>専門教育科目 | 時間割<br>コード | 授業科目               | 単<br>位 | 時<br>期    | 担当教員                         | 備<br>考 |
|----|-----------------|------------|--------------------|--------|-----------|------------------------------|--------|
| ○  |                 | 249782     | ナノスケール物性<br>半期セミナー | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 新見・蔭                         |        |
| ○  |                 | 249361     | 質量分析物理<br>半期セミナー   | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 豊田・兼松・<br>大塚                 |        |
| ○  |                 | 249362     | 超伝導半期セミナー          | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 工藤・宮坂・<br>中島                 |        |
| ○  |                 | 249724     | 界面物性<br>半期セミナー     | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 松野・塩貝・<br>上田                 |        |
| ○  |                 | 249368     | 半導体半期セミナー          | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 大岩・木山・<br>藤田                 |        |
| ○  |                 | 249616     | 量子物性<br>半期セミナー     | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 花咲・酒井・<br>村川                 |        |
| ○  |                 | 249681     | 光物性半期セミナー          | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 木村(真)・<br>渡辺(純)・<br>渡邊(浩)・中村 |        |
| ○  |                 | 249377     | 強磁場物理<br>半期セミナー    | 4.5    | 秋～冬<br>学期 | 萩原・鳴海・<br>木田                 |        |

## 海外文献研究（前期課程）

## ■ 物理学 A

| 分類         |                   | 時間制<br>コード | 授 業 科 目                | 単 位 | 時 期 | 担 当 教 員         |
|------------|-------------------|------------|------------------------|-----|-----|-----------------|
| 専門<br>教育科目 | 高度<br>国際性<br>教育科目 |            |                        |     |     |                 |
|            | ○                 | 241780     | 海外文献研究(素粒子論Ⅰ)          | 1   | 通年  | 大野木・田中(実)・深谷    |
|            | ○                 | 241781     | 海外文献研究(場の理論Ⅰ)          | 1   | 通年  | 西岡・山口(哲)・飯塚     |
|            | ○                 | 241782     | 海外文献研究(場の理論Ⅱ)          | 1   | 通年  | 兼村・佐藤(亮)・柳生     |
|            | ○                 | 241783     | 海外文献研究(原子核理論Ⅰ)         | 1   | 通年  | 浅川・北澤・赤松        |
|            | ○                 | 241784     | 海外文献研究(原子核理論Ⅱ)         | 1   | 通年  | 保坂・石井           |
|            | ○                 | 241786     | 海外文献研究(多体問題Ⅱ)          | 1   | 通年  | 菊池(誠)・吉野(元)     |
|            | ○                 | 241787     | 海外文献研究(物性理論Ⅰ)          | 1   | 通年  | 黒木・Slevin・越智・金子 |
|            | ○                 | 241789     | 海外文献研究(物性理論Ⅲ)          | 1   | 通年  | 越野・川上           |
|            | ○                 | 241815     | 海外文献研究(物性理論Ⅳ)          | 1   | 通年  | 浅野              |
|            | ○                 | 241790     | 海外文献研究(数理物理学)          | 1   | 通年  | 小川・大橋           |
|            | ○                 | 241791     | 海外文献研究(高エネルギープラズマ物性理論) | 1   | 通年  | 千徳・岩田・佐野        |

## ■ 物理学 B

| 分類         |                   | 時間制<br>コード | 授 業 科 目              | 単 位 | 時 期 | 担 当 教 員                          |
|------------|-------------------|------------|----------------------|-----|-----|----------------------------------|
| 専門<br>教育科目 | 高度<br>国際性<br>教育科目 |            |                      |     |     |                                  |
|            | ○                 | 241792     | 海外文献研究(高エネルギー物理学Ⅰ)   | 1   | 通年  | 山中・南條・廣瀬                         |
|            | ○                 | 241793     | 海外文献研究(高エネルギー物理学Ⅱ)   | 1   | 通年  | 青木(正)・上野・佐藤(朗)                   |
|            | ○                 | 241795     | 海外文献研究(原子核実験学)       | 1   | 通年  | 川畑・阪口・福田(光順)・<br>小田原・吉田・清水・三原・古野 |
|            | ○                 | 241794     | 海外文献研究(クォーク核物理学)     | 1   | 通年  | 中野(貴)・野海・味村・堀田・白鳥・梅原             |
|            | ○                 | 241797     | 海外文献研究(原子核反応)        | 1   | 通年  | 青井・民井・井手口・鈴木(智)・小林・大田            |
|            | ○                 | 241875     | 海外文献研究(基礎原子核物理学)     | 1   | 通年  | 民井・大田・小林                         |
|            | ○                 | 241799     | 海外文献研究(加速器科学)        | 1   | 通年  | 福田(光宏)・依田・神田                     |
|            | ○                 | 241801     | 海外文献研究(高エネルギー密度物理)   | 1   | 通年  | 藤岡・有川・Morace                     |
|            | ○                 | 241856     | 海外文献研究(レーザプラズマ加速ビーム) | 1   | 通年  | 細貝・金・松門・入澤                       |

## ■ 物理学 C

| 分類         |                   | 時間制<br>コード | 授 業 科 目          | 単 位 | 時 期 | 担 当 教 員              |
|------------|-------------------|------------|------------------|-----|-----|----------------------|
| 専門<br>教育科目 | 高度<br>国際性<br>教育科目 |            |                  |     |     |                      |
|            | ○                 | 241876     | 海外文献研究(ナノスケール物性) | 1   | 通年  | 新見・蔭                 |
|            | ○                 | 241803     | 海外文献研究(質量分析物理)   | 1   | 通年  | 豊田・兼松・大塚             |
|            | ○                 | 241804     | 海外文献研究(超伝導)      | 1   | 通年  | 工藤・宮坂・中島             |
|            | ○                 | 241805     | 海外文献研究(界面物性)     | 1   | 通年  | 松野・塩貝・上田             |
|            | ○                 | 241806     | 海外文献研究(半導体)      | 1   | 通年  | 大岩・木山・藤田             |
|            | ○                 | 241807     | 海外文献研究(量子物性)     | 1   | 通年  | 花咲・酒井・村川             |
|            | ○                 | 241808     | 海外文献研究(光物性)      | 1   | 通年  | 木村(真)・渡辺(純)・渡邊(浩)・中村 |
|            | ○                 | 241809     | 海外文献研究(強磁場物理)    | 1   | 通年  | 萩原・鳴海・木田             |

## 特別セミナー（後期課程）

## ■ 物理学 A

| 分類         |           | 時間制<br>コード | 授 業 科 目              | 単 位 | 時 期 | 担 当 教 員         |
|------------|-----------|------------|----------------------|-----|-----|-----------------|
| 専門<br>教育科目 | 高度<br>国際性 |            |                      |     |     |                 |
| ○          |           | 240288     | 場の理論特別セミナー           | 9   | 通年  | 兼村・佐藤(亮)・柳生     |
| ○          |           | 240289     | 場の数理論特別セミナー          | 9   | 通年  | 西岡・山口(哲)・飯塚     |
| ○          |           | 249557     | 素粒子論特別セミナー           | 9   | 通年  | 大野木・田中(実)・深谷    |
| ○          |           | 249207     | 原子核理論特別セミナー          | 9   | 通年  | 浅川・北澤・赤松        |
| ○          |           | 249194     | 多体問題特別セミナー           | 9   | 通年  | 保坂・石井・緒方        |
| ○          |           | 241022     | 物性理論特別セミナー I         | 9   | 通年  | 黒木・Slevin・越智・金子 |
| ○          |           | 241713     | 物性理論特別セミナー III       | 9   | 通年  | 越野・川上           |
| ○          |           | 241814     | 物性理論特別セミナー IV        | 9   | 通年  | 浅野              |
| ○          |           | 240294     | 統計物理学特別セミナー          | 9   | 通年  | 菊池(誠)・吉野(元)     |
| ○          |           | 249274     | 数理論物理学特別セミナー         | 9   | 通年  | 小川・大橋           |
| ○          |           | 241719     | 高エネルギープラズマ物性理論特別セミナー | 9   | 通年  | 千徳・岩田・佐野        |

## ■ 物理学 B

| 分類         |           | 時間制<br>コード | 授 業 科 目             | 単 位 | 時 期 | 担 当 教 員                          |
|------------|-----------|------------|---------------------|-----|-----|----------------------------------|
| 専門<br>教育科目 | 高度<br>国際性 |            |                     |     |     |                                  |
| ○          |           | 241025     | 高エネルギー物理学特別セミナー I   | 9   | 通年  | 山中・南條・廣瀬                         |
| ○          |           | 241026     | 高エネルギー物理学特別セミナー II  | 9   | 通年  | 青木(正)・上野・佐藤(朗)                   |
| ○          |           | 241796     | 原子核実験学特別セミナー        | 9   | 通年  | 川畑・阪口・福田(光順)・<br>小田原・吉田・清水・三原・古野 |
| ○          |           | 241029     | クォーク核物理学特別セミナー      | 9   | 通年  | 中野(貴)・野海・味村・堀田・白鳥・梅原             |
| ○          |           | 249398     | 原子核反応特別セミナー         | 9   | 通年  | 青井・民井・井手口・鈴木(智)・小林・大田            |
| ○          |           | 241877     | 基礎原子核物理学特別セミナー      | 9   | 通年  | 民井・大田・小林                         |
| ○          |           | 249507     | 加速器科学特別セミナー         | 9   | 通年  | 福田(光宏)・依田・神田                     |
| ○          |           | 241031     | 高エネルギー密度物理特別セミナー    | 9   | 通年  | 藤岡・有川・Morace                     |
| ○          |           | 241857     | レーザープラズマ加速ビーム特別セミナー | 9   | 通年  | 細貝・金・松門・入澤                       |

## ■ 物理学 C

| 分類         |           | 時間制<br>コード | 授 業 科 目        | 単 位 | 時 期 | 担 当 教 員              |
|------------|-----------|------------|----------------|-----|-----|----------------------|
| 専門<br>教育科目 | 高度<br>国際性 |            |                |     |     |                      |
| ○          |           | 241878     | ナノスケール物性特別セミナー | 9   | 通年  | 新見・蔭                 |
| ○          |           | 241032     | 強磁場物理特別セミナー    | 9   | 通年  | 萩原・鳴海・木田             |
| ○          |           | 241745     | 界面物性特別セミナー     | 9   | 通年  | 松野(丈)・塩貝・上田          |
| ○          |           | 249244     | 半導体特別セミナー      | 9   | 通年  | 大岩・木山・藤田             |
| ○          |           | 241034     | 超伝導特別セミナー      | 9   | 通年  | 工藤・宮坂・中島             |
| ○          |           | 249247     | 質量分析物理特別セミナー   | 9   | 通年  | 豊田・兼松・大塚             |
| ○          |           | 241329     | 量子物性特別セミナー     | 9   | 通年  | 花咲・酒井・村川             |
| ○          |           | 241460     | 光物性特別セミナー      | 9   | 通年  | 木村(真)・渡辺(純)・渡邊(浩)・中村 |

## I P C コース (国際物理特別コース)

## (前期課程)

## [ 専 門 科 目 ]

| 授業科目   | 単位数 | 担当教員                 | 備考  |
|--|-----|----------------------|---|
| Quantum Field Theory I                         | 2   | 西岡辰磨                 |   |
| Quantum Field Theory II                        | 2   | 大野木哲也                |   |
| Theoretical Particle Physics                   | 2   | 兼村晋哉                 |   |
| Electrodynamics and<br>Quantum Mechanics       | 1   | <Luca Baiotti>       | These credits cannot be used to<br>fulfill the requirements of graduation |
| Introduction to Theoretical<br>Nuclear Physics | 2   | < 保坂 淳 >             | Biennially  |
| Quantum Many-body Systems                      | 2   | 小川哲生                 | Biennially  |
| Condensed Matter Theory                        | 2   | Keith Slevin         | Biennially  |
| Nuclear Physics in the Universe                | 2   | < 大田晋輔 >             |   |
| Synchrotron Radiation Spectroscopy             | 2   | < 木村真一 >             |   |
| Radiation Science in<br>the Environment        | 1   | < 青井 考 ><br>< 高橋賢臣 > |   |
| Cosmology                                      | 2   | < 長峯健太郎 >            | Biennially  |

## [セミナ一]

| 授業科目                  | 単位数 | 担当教員     | 備考 |
|-----------------------|-----|----------|----|
| Semestral Seminar I   | 4.5 | < 木村真一 > |    |
| Semestral Seminar I   | 4.5 | < 兼松泰男 > |    |
| Semestral Seminar I   | 4.5 | < 千徳靖彦 > |    |
| Semestral Seminar I   | 4.5 | < 藤岡慎介 > |    |
| Semestral Seminar I   | 4.5 | 越野幹人     |    |
| Semestral Seminar I   | 4.5 | < 石井理修 > |    |
| Semestral Seminar I   | 4.5 | 兼村晋哉     |    |
| Semestral Seminar I   | 4.5 | < 大岩 顕 > |    |
| Semestral Seminar I   | 4.5 | < 細貝知直 > |    |
| Semestral Seminar II  | 4.5 | < 保坂 淳 > |    |
| Semestral Seminar II  | 4.5 | < 木村真一 > |    |
| Semestral Seminar II  | 4.5 | < 兼松泰男 > |    |
| Semestral Seminar II  | 4.5 | < 千徳靖彦 > |    |
| Semestral Seminar II  | 4.5 | < 藤岡慎介 > |    |
| Semestral Seminar II  | 4.5 | 越野幹人     |    |
| Semestral Seminar II  | 4.5 | 兼村晋哉     |    |
| Semestral Seminar II  | 4.5 | < 石井理修 > |    |
| Semestral Seminar III | 4.5 | < 保坂 淳 > |    |
| Semestral Seminar III | 4.5 | < 木村真一 > |    |
| Semestral Seminar III | 4.5 | < 兼松泰男 > |    |
| Semestral Seminar III | 4.5 | < 千徳靖彦 > |    |
| Semestral Seminar III | 4.5 | < 藤岡慎介 > |    |
| Semestral Seminar III | 4.5 | 越野幹人     |    |
| Semestral Seminar III | 4.5 | 兼村晋哉     |    |
| Semestral Seminar III | 4.5 | < 石井理修 > |    |
| Semestral Seminar IV  | 4.5 | < 保坂 淳 > |    |
| Semestral Seminar IV  | 4.5 | < 木村真一 > |    |
| Semestral Seminar IV  | 4.5 | < 兼松泰男 > |    |
| Semestral Seminar IV  | 4.5 | < 千徳靖彦 > |    |
| Semestral Seminar IV  | 4.5 | < 藤岡慎介 > |    |
| Semestral Seminar IV  | 4.5 | 山中 卓     |    |
| Semestral Seminar IV  | 4.5 | < 大岩 顕 > |    |
| Semestral Seminar IV  | 4.5 | 越野幹人     |    |
| Semestral Seminar IV  | 4.5 | 兼村晋哉     |    |
| Semestral Seminar IV  | 4.5 | < 石井理修 > |    |

## (後期課程)

## [トピックス]

| 授業科目  | 単位数 | 担当教員  | 備考             |
|---|-----|---|----------------|
| Topical Seminar I<br>“Structure of Hadrons” | 1   | <Hyun-Chul Kim><br>(Inha University, Korea)<br>12月19日、20日、21日                       | 集中<br>MC・DC 共通 |
| Topical Seminar II<br>“Material Learning”   | 1   | <Wilfred G. van der Wiel><br>(University of Twente, The Netherlands)<br>11月2日、4日、7日 | 集中<br>MC・DC 共通 |

## [セミナー]

| 授業科目                            | 単位数 | 担当教員    | 備考 |
|---------------------------------|-----|---------|----|
| Seminar for Advanced Researches | 9   | 青木正治    |    |
| Seminar for Advanced Researches | 9   | <大岩 顕>  |    |
| Seminar for Advanced Researches | 9   | <青井 考>  |    |
| Seminar for Advanced Researches | 9   | <細貝知直>  |    |
| Seminar for Advanced Researches | 9   | <菊池 誠>  |    |
| Seminar for Advanced Researches | 9   | <木村真一>  |    |
| Seminar for Advanced Researches | 9   | 松野丈夫    |    |
| Seminar for Advanced Researches | 9   | <井手口栄治> |    |
| Seminar for Advanced Researches | 9   | <野海博之>  |    |
| Seminar for Advanced Researches | 9   | <民井 淳>  |    |
| Seminar for Advanced Researches | 9   | <藤岡慎介>  |    |
| Seminar for Advanced Researches | 9   | 小田原厚子   |    |
| Seminar for Advanced Researches | 9   | 越野幹人    |    |
| Seminar for Advanced Researches | 9   | 山中 卓    |    |
| Seminar for Advanced Researches | 9   | 浅川正之    |    |
| Seminar for Advanced Researches | 9   | <保坂 淳>  |    |
| Seminar for Advanced Researches | 9   | 大野木哲也   |    |



## 4.2 学部授業担当一覧

| 授業科目名           | 毎週授業<br>時間数 | 単位数 | 担当教員  |
|-----------------|-------------|-----|---|
| 力学1             | 2           | 2   | < 吉野元 >   |
| 力学1 演義          | 2           | 2   | < 吉野元 >・< 渡辺純二 >  |
| 力学2             | 2           | 2   | < 井上芳幸 >  |
| 力学2 演義          | 2           | 2   | < 井上芳幸 >・越智正之   |
| 数理物理1           | 2           | 2   | < 浅野建一 >  |
| 数理物理1 演義        | 2           | 2   | < 浅野建一 >・柳生慶  |
| 電磁気学1           | 2           | 2   | 西岡辰磨  |
| 電磁気学1 演義        | 2           | 2   | 西岡辰磨・赤松幸尚   |
| 熱物理学            | 2           | 2   | < 波多野恭弘 >   |
| 数理物理2           | 2           | 2   | キース スレヴィン   |
| 数理物理2 演義        | 2           | 2   | キース スレヴィン・川上拓人  |
| 量子力学1           | 2           | 2   | 浅川正之  |
| 量子力学1 演義        | 2           | 2   | 浅川正之・大橋琢磨   |
| 量子力学2           | 2           | 2   | 兼村晋哉  |
| 量子力学2 演義        | 2           | 2   | 兼村晋哉・北澤正清   |
| 統計力学1           | 2           | 2   | < 菊池誠 >   |
| 統計力学1 演義        | 2           | 2   | < 菊池誠 >・田中実   |
| 統計力学2           | 2           | 2   | < 湯川諭 >   |
| 物理学実験1          | 12          | 4   | 花咲徳亮・宮坂茂樹・小田原厚子・<br>福田光順・清水俊・三原基嗣・<br>佐藤朗・古野達也・南條創・<br>< 小林信之 >・廣瀬穰・<br>中島正道・大塚洋一・<br>酒井英明・上田浩平・村川寛・<br>< 竹内徹也 > 塩貝純一・蔣男・<br>< 木村 淳・山本憲 >・<br>< 河井洋輔・鈴木大介・野田博文 >・<br>< 桂誠・久富修 > |
| 物理学実験2          | 12          | 4   | (同上)  |
| <b>【選択必修科目】</b> |             |     |   |
| 物理学特別研究         | 12+12       | 8   | 物理学科各教員   |
| 宇宙地球科学特別研究      | 12+12       | 8   | 物理学科各教員   |

| 授業科目名               | 毎週授業<br>時間数 | 単位数 | 担当教員  |
|---------------------|-------------|-----|---|
| 【選択科目】              |             |     |   |
| 物理学セミナー             | 2           | 1   | 物理学科各教員   |
| 現代物理学入門             | 2           | 2   | 松野丈夫  |
| 電磁気学2               | 2           | 2   | < 千徳靖彦 >  |
| 熱物理学演義              | 2           | 2   | < 波多野恭弘 >・深谷英則  |
| 地球科学概論              | 2           | 2   | < 近藤忠 >   |
| 物理実験学               | 2           | 2   | < 大田晋輔 >  |
| 数理物理3               | 2           | 2   | 越野幹人  |
| 惑星科学概論              | 2           | 2   | < 寺田健太郎 >   |
| 物性物理学1              | 2           | 2   | 松野丈夫  |
| 質量分析学               | 2           | 2   | 大塚洋一  |
| 光物理学                | 2           | 2   | < 木村真一 >  |
| プラズマ物理学             | 2           | 2   | < 岩田夏弥・坂和洋一 >   |
| 連続体力学               | 2           | 2   | 工藤一貴  |
| 量子力学3               | 2           | 2   | 越智正之  |
| 宇宙構造形成論             | 2           | 2   | < 長峯健太郎 >   |
| 生物物理学概論             | 2           | 2   | < 久富修 >   |
| 原子核物理学1             | 2           | 2   | 川畑貴裕  |
| 物性物理学2              | 2           | 2   | < 阿久津泰弘 >   |
| 宇宙物理学               | 2           | 2   | < 松本浩典 >  |
| 先端物理学・宇宙地球科学輪講      | 2           | 2   | 物理学科各教員   |
| 宇宙地球フィールドワーク<br>1～4 | 集中 45       | 各 1 | < 佐伯和人・桂木洋光・寺田健太郎・<br>近藤忠・大高理・山中千博・<br>横田勝一郎・西真之・境家達弘<br>青山和司 > |
| 相対論                 | 2           | 2   | 大野木哲也   |
| 素粒子物理学1             | 2           | 2   | 山中卓   |
| 原子核物理学2             | 2           | 2   | 民井淳   |
| 物性物理学3              | 2           | 2   | 新見康洋  |
| 地球惑星物質学             | 2           | 2   | < 佐々木晶・佐伯和人・木村淳 >   |
| 数値計算法               | 2           | 2   | 上野一樹  |
| 相対論的量子力学            | 2           | 2   | 佐藤亮介  |
| 素粒子物理学2             | 2           | 2   | 青木正治  |
| 極限光物理学              | 2           | 2   | < 藤岡慎介 >  |
| 放射線計測学基礎            | 2           | 2   | < 青井考・野海博之 >  |

| 授業科目名          | 毎週授業<br>時間数 | 単位数 | 担当教員                |
|----------------|-------------|-----|---------------------|
| 物理オーナーセミナー 1 ~ | 2           | 各 1 | 物理学科各教員             |
| 科学技術論 A 1      | 1           | 1   | < 外部講師 >            |
| 科学技術論 A 2      | 1           | 1   | < 外部講師 >            |
| 科学英語基礎         | 2           | 1   | <Hail, Eric Mathew> |
| 数値計算法基礎        | 2           | 2   | < 降旗大介 >            |
| 将来展望特論 A       | 集中 1        | 0.5 | < 桂木洋光 >            |
| <b>【補習授業】</b>  |             |     |                     |
| 数理物理基礎特別演習     | 2           | 0   | 大橋琢磨                |

## 4.3 共通教育授業担当一覽

## 専門基礎教育科目（理系）担当教員

| 授業科目名   | 担当教員       | 配当学部            | 学期 | 曜日時限 |
|---------|------------|-----------------|----|------|
| 力学入門    | < 杉山清寛 >   | 理 (数・化・生)       | I  | 月3   |
|         | < 山中千博 >   | 医 (医・看・放・検)・歯・薬 | I  | 火3   |
| 力学通論    | < 山中千博 >   | 理 (数・化・生)       | I  | 月3   |
| 力学通論    | < 山本 憲 >   | 工 (然1~85)       | I  | 月1   |
|         | < 高棹真介 >   | 工 (然86~170)     |    |      |
|         | < 萩原政幸 >   | 工 (然171~)       |    |      |
| 力学通論    | 金子竜也       | 医 (医)           | I  | 火3   |
|         | < 細貝知直 >   | 医 (看・放)・歯       |    |      |
|         | < 田中慎一郎 >  | 医 (検)・薬         |    |      |
| 力学詳論 I  | < 小無啓司 >   | 基 (シ1~90)       | I  | 月1   |
|         | 小田原厚子      | 基 (シ91~)        |    |      |
|         | < 杉山清寛 >   | 基 (情)           |    |      |
| 力学詳論 I  | 新見康洋       | 理               | I  | 月3   |
|         | 花咲徳亮       | 理               |    |      |
| 力学詳論 I  | < 鷹岡貞夫 >   | 工 (理1~95)       | I  | 月4   |
|         | 飯塚則裕       | 工 (理96~190)     |    |      |
|         | < 萩原政幸 >   | 工 (理191~)       |    |      |
| 力学詳論 I  | < 渡辺純二 >   | 工 (地)           | I  | 火1   |
| 力学詳論 I  | < 桂木洋光 >   | 工 (電1~80)       | I  | 火2   |
|         | 青木正治       | 工 (電81~)        |    |      |
| 力学詳論 I  | < 猿倉信彦 >   | 工 (環)           | I  | 火3   |
|         | ・ < 清水俊彦 > |                 |    |      |
| 力学詳論 I  | 清水 俊       | 基 (電1)          | I  | 金4   |
|         | < 西浦宏幸 >   | 基 (電2)          |    |      |
|         | 三原基嗣       | 基 (化)           |    |      |
| 力学詳論 II | 飯塚則裕       | 理 (数・化・生)       | II | 月3   |
| 力学詳論 II | < 小無啓司 >   | 工 (理1~95)       | II | 月4   |
|         | < 増田賢人 >   | 工 (理96~190)     |    |      |
|         | 佐藤亮介       | 工 (理191~)       |    |      |
| 力学詳論 II | 金子竜也       | 工 (地)           | II | 火1   |
| 力学詳論 II | < 高棹真介 >   | 工 (電1~80)       | II | 火3   |
|         | 深谷英則       | 工 (電81~)        |    |      |
| 力学詳論 II | < 清水俊彦 >   | 工 (環)           | II | 金1   |
|         | ・ < 猿倉信彦 > |                 |    |      |

| 授業科目名     | 担当教員  | 配当学部   | 学期                | 曜日時限           |
|-----------|---|--|-------------------|----------------|
| 力学詳論 II   | < 木村真一 ><br>越野幹人                                | 基 (シ1~100)<br>基 (シ101~)                        | II                | 金1             |
| 力学詳論 II   | < 山田亮 ><br>< 田中歌子 ><br>< 住 貴宏 >                 | 基 (電1)<br>基 (電2)<br>基 (化・情)                    | II                | 金4             |
| 電磁気学入門    | 川上拓人  | 医 (医・看・放・検)・歯・薬                                | II                | 水4             |
| 電磁気学入門    | < 鷹岡貞夫 >  | 理 (数・化・生)                                      | II                | 金4             |
| 電磁気学通論    | < 山中千博 ><br>黒木和彦<br>赤松幸尚                        | 医 (医)<br>医 (放・検) 歯1~27<br>薬・歯28~               | II                | 水4             |
| 電磁気学通論    | 福田光順<br>酒井英明<br>宮坂茂樹                            | 工 (然1~85)<br>工 (然86~170)<br>工 (然171~)          | II                | 金1             |
| 電磁気学通論    | 南條 創  | 理 (数・化・生)                                      | II                | 金4             |
| 電磁気学詳論 I  | < 鳴海康雄 ><br>田中 実<br>< 植田千秋 >                    | 基 (化)<br>基 (シ1~120)<br>基 (シ121~・情)             | II                | 月1             |
| 電磁気学詳論 I  | < 民井 淳 ><br>< 横田勝一郎 ><br>柳生 慶                   | 工 (理1~95)<br>工 (理96~190)<br>工 (理191~)          | II                | 火1             |
| 電磁気学詳論 I  | < 野田博文 ><br>大野木 哲也                              | 理<br>理   | II                | 金4             |
| 電磁気学詳論 II | 青山 和司<br>< 湯川 諭 ><br>< 西浦宏幸 >                   | 基 (化)<br>基 (シ・情)・理 (数)<br>理 (化・生)              | III<br>III<br>III | 月3<br>火1<br>水2 |
| 電磁気学詳論 II | < 浜口智志 ><br>・ < 吉村 智 ><br>< 井手口栄治 ><br>< 依田哲彦 > | 工 (理1~95)<br>工 (理96~190)<br>工 (理191~)          | III               | 火1             |
| 熱学・統計力学要論 | 工藤一貴<br>< 桂木洋光 ><br>< 阿久津泰弘 >                   | 基 (電)<br>基 (シ1~90・情)・理 (数)<br>基 (シ91~・情)・理 (数) | III               | 月2             |
| 熱学・統計力学要論 | < 大岩 顕 ><br>・ < 藤田高史 ><br>< 堀田智明 ><br>< 服部梓 >   | 工 (電)<br>工 (環)<br>工 (地)                        | III               | 火1             |

| 授業科目名    | 担当教員      | 配当学部        | 学期 | 曜日時限 |
|----------|-----------|-------------|----|------|
| 物理学の考え方  | 川畑貴裕      | 全学部         | I  | 水2   |
|          | < 豊田岐聡 >  | 全学部         |    | 金1   |
| 現代物理学の基礎 | 兼松泰男      | 全学部         | I  | 月1   |
|          | 山中 卓      | 全学部         |    | 月5   |
| 基礎物理学実験  | 村川 寛      | 基(電・化・情)    | 春  | 火3~5 |
|          | 廣瀬 穰      |             |    |      |
|          | < 半澤弘昌 >  |             |    |      |
|          | < 久世尚美 >  |             |    |      |
|          | < 伊庭野健造 > |             |    |      |
| 基礎物理学実験  | 吉田 斉      | 工(理A)・理(物)  | 秋  | 水3~5 |
|          | < 小林拓真 >  |             |    |      |
|          | 廣瀬 穰      |             |    |      |
|          | < 山藤浩明 >  |             |    |      |
|          | < 上向井正裕 > |             |    |      |
|          | < 谷垣健一 >  |             |    |      |
| 基礎物理学実験  | < 上野原努 >  | 医(放・検)・基(シ) | 秋  | 木3~5 |
|          | 上田浩平      |             |    |      |
|          | 古野達也      |             |    |      |
|          | < 清野 健 >  |             |    |      |
|          | < 木田孝則 >  |             |    |      |
|          | < 小林信之 >  |             |    |      |
| 基礎物理学実験  | < 渡邊 浩 >  | 工(然B・環・地)   | 秋  | 金3~5 |
|          | 蔣 男       |             |    |      |
|          | 中島正道      |             |    |      |
|          | 大田晋輔      |             |    |      |
|          | < 武内崇晃 >  |             |    |      |
|          | < 青木 嵩 >  |             |    |      |
| 基礎物理学実験  | 佐藤 朗      | 工(電)・医(医)   | 夏  | 木3~5 |
|          | < 木田孝則 >  |             |    |      |
|          | < 松崎賢寿 >  |             |    |      |
|          | < 村田秀則 >  |             |    |      |
|          | < 中村拓人 >  |             |    |      |
|          |           |             |    |      |

| 授業科目名      | 担当教員  | 配当学部           | 学期  | 曜日時限 |
|------------|---|----------------|-----|------|
| 基礎物理学実験    | 蔣 男<br><平 雅文><br><森 直樹><br><竹田 敏><br><小林信之><br><中村拓人> | 工(理B)・理(生・化・数) | 冬   | 水3～5 |
| 基礎物理学実験    | <小泉圭吾><br><鳴海康雄><br>中島正道<br>古野達也                      | 工(然A)          | 冬   | 金3～5 |
| 物理学実験(再履修) | 吉田 齊<br><渡邊 浩><br>上田浩平                                | 全学部            | III | 月3～5 |
| 物理学実験(再履修) | 佐藤 朗<br>村川 寛  | 全学部            | IV  | 月3～5 |

## 4.4 物理学セミナー

物理学セミナーは物理学科1年生に教員の顔が見えるようにするとともに、研究の現場を覗くチャンスを早いうちから与えて、物理を勉強する意欲を高めてもらう目的で、春学期の木曜日4限に専門教育科目の選択科目として開講している。

担当した研究グループは以下の通り。

### 物理学専攻（基幹講座）

浅川グループ

青木グループ

花咲グループ

### 物理学専攻（協力講座）

藤岡グループ

浅野グループ

萩原グループ

木村グループ

### 宇宙地球科学専攻（基幹講座）

長峯グループ

住グループ

近藤グループ



## 第5章 物理談話会

令和四年度に行なわれた教室談話会（先端物理学・宇宙地球科学輪講）の日程，講師，講演題目を以下に列挙する．

|             |        |                                    |
|-------------|--------|------------------------------------|
| 2022年10月7日  | 井上 芳幸  | ガイダンス・マルチメッセンジャーで探る宇宙              |
| 2022年10月14日 | 南條 創   | 素粒子物理学の謎に実験でどう迫るのか？                |
| 2022年10月21日 | 大高 理   | 量子ビームを用いた高圧研究                      |
| 2022年10月28日 | 松野 丈夫  | 界面の物理学 - 物質の可能性を追求する -             |
| 2022年11月11日 | 西岡 辰磨  | ホログラフィー原理と量子情報                     |
| 2022年11月18日 | 寺田 健太郎 | 月周回衛星「かぐや」が明らかにした月-地球システムの新しい知見    |
| 2022年11月25日 | 桂 誠    | 固液混合物のレオメトリー                       |
| 2022年12月2日  | 新見 康洋  | ナノスケール物理学とスピン流                     |
| 2022年12月9日  | 大田 晋輔  | 核子物質の物性を探る                         |
| 2022年12月16日 | 黒木 和彦  | 超伝導の起源・その多様性と普遍性 ～電子たちは仲が悪い？ 良い？ ～ |
| 2022年12月23日 | 松本 浩典  | X線で探る宇宙                            |
| 2023年1月6日   | 工藤 一貴  | 超伝導体開発の最前線                         |
| 2023年1月20日  | 境家 達弘  | レーザーで切りひらく地球・惑星内部                  |
| 2023年1月27日  | 佐藤 亮介  | 強いCP問題と標準模型を超える物理                  |

## 第6章 学生の進路状況など

令和四年度の学部卒業生，博士前期課程修了者，博士後期課程修了者のその後の進路は以下の通りであった。

### 6.1 学部卒業生の進路

|   |     |
|---|-----|
| 大阪大学大学院博士前期課程進学（物理学専攻）                      | 40名 |
| 大阪大学大学院博士前期課程進学（宇宙地球科学専攻）                   | 22名 |
| 大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程進学<br>（システム創成専攻・数理科学領域） | 1名  |
| 他大学大学院博士前期課程（修士課程）進学                        | 2名  |
| 国家公務員                                       | 1名  |
| 民間企業就職                                      | 6名  |
| 就職準備  | 4名  |
| 未定  | 1名  |
| 合計  | 77名 |

#### 学部卒業生の進路の内訳：

|                     |    |
|---------------------|----|
| 株式会社イマオコーポレーション     | 1名 |
| 株式会社サイバーエージェント      | 1名 |
| 株式会社JR西日本コミュニケーションズ | 1名 |
| 日鉄ソリューションズ株式会社      | 1名 |
| 富士通フロンテック株式会社       | 1名 |
| 有限会社三心ゼミナール         | 1名 |

## 6.2 博士前期課程修了者の進路

|              |         |     |
|--------------|---------|-----|
| 大阪大学博士後期課程進学 | (理学研究科) | 9名  |
| 民間企業就職       |         | 34名 |
| 留学準備等        |         | 1名  |
| その他          |         | 2名  |
| 合計           |         | 46名 |

### 博士前期課程修了者の進路の内訳：

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 株式会社IDEC Corporation        | 1名 |
| アズワン株式会社                    | 1名 |
| イーソル株式会社                    | 1名 |
| 株式会社ウェザーニューズ                | 1名 |
| 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ            | 2名 |
| ギガフォトン株式会社                  | 1名 |
| 株式会社経営共創基盤                  | 1名 |
| サイバネットシステム株式会社              | 1名 |
| 株式会社島精機製作所                  | 1名 |
| ソニー株式会社                     | 1名 |
| 株式会社テクノプロ                   | 1名 |
| デロイトトーマツファイナンシャルアドバイザリー合同会社 | 1名 |
| 株式会社デンロコーポレーション             | 1名 |
| 株式会社東陽テクニカ                  | 1名 |
| 日本電気株式会社                    | 1名 |
| 日本アイ・ビー・エム株式会社              | 1名 |
| 日本碍子株式会社                    | 1名 |
| 日本コンベンションサービス株式会社           | 1名 |
| ヌヴォトンテクノロジージャパン株式会社         | 1名 |
| 株式会社日立インダストリアルプロダクツ         | 1名 |
| 株式会社日立製作所                   | 2名 |
| 株式会社日立ハイテク                  | 1名 |
| フジアルテ株式会社                   | 1名 |
| 富士通株式会社                     | 1名 |
| 株式会社富士テクニカルリサーチ             | 1名 |
| 株式会社堀場エステック                 | 1名 |
| マイクロンメモリジャパン株式会社            | 2名 |
| ヤフー株式会社                     | 1名 |
| レバレジーズ株式会社                  | 1名 |
| パナソニック株式会社                  | 1名 |
| 三菱電機株式会社                    | 1名 |

### 6.3 International Physics Course (IPC) 前期課程修了者の進路

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 大阪大学博士後期課程進学（理・物理学専攻） | 6名 |
| 合計                    | 6名 |

### 6.4 博士後期課程修了者の進路

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 民間企業就職              | 1名  |
| 国立大学法人・研究員          | 4名  |
| 国立研究開発法人・研究員        | 3名  |
| 独立行政法人日本学術振興会・特別研究員 | 2名  |
| 海外の大学及び研究機関・研究員     | 1名  |
| 合計                  | 11名 |

#### 博士後期課程修了者の進路の内訳：

|   |    |
|---|----|
| 東京エレクトロンテクノロジーソリューションズ株式会社                          | 1名 |
| 大阪大学 特任研究員  | 2名 |
| 筑波大学 物理学系 研究員                                       | 1名 |
| 東京大学 大学院工学研究系 物理工学専攻 研究員（学振PD）                      | 1名 |
| 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 物質学専攻 特任研究員                      | 1名 |
| 東京大学 物性研究所 研究員（学振PD）                                | 1名 |
| 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究員                             | 1名 |
| 国立研究開発法人産業科学研究所物理計測標準研究部門 研究員                       | 1名 |
| 国立研究開発法人理化学研究所 仁科加速器科学研究センター<br>基礎科学特別研究員           | 1名 |
| Delft University of Technology(The Netherlands) 研究員 | 1名 |

### 6.5 学生のインターンシップ参加

令和四年度における、学生が参加したインターンシップは以下の通りである。

| 参加日数  | インターンシップ受け入れ先   |
|-------|---|
| 5 日以上 | Ecole Normale Superieure、ワシントン大学、CERN、University of Chicago、Spintec、University of Sharjah、Extreame Light Infrastructure – Nuclear Physics、Wits Rural Facility、Fermi National Accelerator Laboratory、Nuclear Physics Institute Czech Academy of Sciences、パルマ大学、パルマ大学、Institute for Basic Science (IBS)、¥internshipD224B21892Siyuan SunCERN ジュネーブスイス 2022/8/222022/8/265、Institute for Basic Science (IBS)、INFM |
| 5 日未満 | CERN、Spintec、Technical University of Munich   |

## 第7章 博士課程教育リーディングプログラム 「インタラクティブ物質科学・カデット プログラム」

### 7.1 プログラムの目的

本プログラムは、人類の持続的発展に貢献する物質科学研究を担う次世代人材育成を目的とし、既存の大学院と並存する学位プログラムとして平成24（2012）年度に開始した。履修生を物質科学研究・事業における幹部候補生（Material Science Cadet）と位置づけ、化学・物性物理学・材料工学など、物質科学のさまざまな領域・手法を専門とするプログラム担当者が協働し、産・官・学の広いセクターにおいて物質科学研究・事業の中心的役割を担う人材を輩出することを目指す。

育成を目指す博士人材に期待される能力は、以下のとおりである。

- (1) 物質科学の一領域における確固たる「高度な専門性」
- (2) 主専門とは異なる分野にも目を向ける「複眼的思考」や「俯瞰的視点」
- (3) 他の専門領域の人たちと議論ができる「コミュニケーション力」
- (4) 自ら課題を見出し、その解決に向かう「企画力」、「自立力」
- (5) 既存の考え方に捉われない「セレンディピティ」的な視点・思考力
- (6) 時代と共に変わりゆく社会の動向に対応できる「柔軟性」
- (7) 世界を相手に自らの考えを認めさせることができる「国際突破力」

### 7.2 プログラムの概要・特徴

本プログラムは、大阪大学国際共創大学院学位プログラム推進機構インタラクティブ物質科学・カデットプログラム部門が実施するという形態をとるが、担当教員は、基礎工学研究科（物質創成専攻、システム創成専攻）、理学研究科（物理学専攻、化学専攻、高分子科学専攻）、工学研究科（マテリアル工学専攻、物理学系専攻、応用化学専攻）の各専攻に所属する教授39名と、理化学研究所・放射光科学研究センターの研究員2名、情報通信研究機構の研究員1名、計42名で構成される。また、平成4（2022）年度はプログラム第六期生から第十期生まで50名の履修生が在籍しプログラムの活動に励んだ。

履修生は、所属する専攻の大学院課程科目の修得に加えて、本プログラム独自の科目や他専攻・他研究科の科目を所定の単位数履修することが要求される。中でも特徴的な必修科目として、物理系学生が化学を学ぶ「物質化学入門」（その逆の科目もある）、他研究室に3ヶ

月滞在して研究を行う「研究室ローテーション」、国内の企業や公的研究所に3ヶ月滞在する「物質科学国内研修」、海外の研究機関等に3ヶ月滞在する「物質科学海外研修」がある。海外研修を実施のあるものにするための「物質科学英語1、2」も必修科目である。また、2年次の最後に「博士論文研究企画」を発表する2nd Qualifying Examination (QE)、4年次に英語で行う博士論文中間発表(3rd QE)などを経て、所属研究科の博士論文審査後に実施する本プログラムのFinal QEに合格すると、博士号の学位に加え、本プログラムの修了証が授与される。ちなみに、5年一貫の博士コースであるため、修士論文に関する報告や審査ではなく2ndQEとして「博士論文研究企画」の発表と審査が義務づけられている。

## 7.3 令和4年度の活動

### 7.3.1 新型コロナウイルス感染拡大沈静化により活度が再開

本年度は新型コロナウイルス感染拡大が沈静化したため、多くの活動が再開された。昨年度から開始した教室定員の2/3以下、隣の席を空けて座るなどのルールの下、対面の講義が継続された。また対面と遠隔を併用した「ハイブリッド」型の講義も継続したため、学生の希望に合わせた講義スタイルの開発も進んだ。さらに、企業のインターンシップ受け入れも進み、コロナ感染拡大の鎮静化により各国の入国制限が緩和され、海外研修も再開されるなどようやく平常の活動に戻りつつある年度となった。

春夏学期はプログラムの独自科目である物性物理学入門、物質化学入門、物質科学英語、物質科学キャリアアップ特論aが開講された。物性物理学入門と物質化学入門は、新入生対象科目で、自身の専門とは異なる授業の受講となるため、毎年担当の教員に細心の注意を払って講義いただいている科目であり、昨年度の経験を踏まえてより理解の深まるための工夫が盛り込まれた。秋冬学期には、科学史、物質科学英語、物質科学キャリアアップ特論bが開講された。

物質科学英語は両学期とも対面での授業が実施され、今課題に思っていることを科学的視点で資料を用いて解説する、自分の研究内容をレゴブロックで具体化し、何故それが解になっているかを英語で説明するといった授業内容に、履修生からは英語に関する様々なスキルを学ぶことが出来たとの高評価を得た。

自分の専門とは異なる異分野の研究室に長期間滞在して、視点や経験の拡大を実践する研究室ローテーションについては、第十期生の14名が受講した。関係する多くの先生方、研究室の協力を支えられて、異分野での取り組みから多くの学びを得ることが出来た。加えて異なる研究室文化にも触れる機会となり、履修生の研究者としての幅を広げる事が出来た。2月10日には報告会が開催され、異分野の研究室に滞在する事で、いままで気付かなかった多くの視点の獲得したこと、獲得した俯瞰的視点を今後研究者としてどのように活用していくかについて力強い報告が相次いだ。報告会には、ローテーション先の指導教員の先生や実際に指導いただいた若手教員も参加、コメントもいただいた。また、今回の滞在中に共同研究の種が生まれ、論文投稿にまで発展したケースが数件あり、さらに半数以上の履修生が今後も実験を継続するという嬉しい成果も得られている。本年度は履修生の自主活動も再開し、第十期生が中心となり、8月28日、29日にインタラクティブ交流会が開催された。1日

目と2日目の午前は履修生らによるの口頭発表10件と26件のポスター発表のほか、シンガポールからZoomを使ってご講演いただいた先生を含めて3名を招待講演者としてお招きして、活発な議論が交わされました。2日目の午後は、住友化学株式会社大阪工場での企業見学も行われ、企業の開発現場を肌で感じることができました。履修生が自らの企画運営を経験し交流も十分に図ることができ、充実した2日間となりました。

### 7.3.2 国内研修、海外研修の実施

本年度は第八期生と九期生を中心に13名が「物質科学国内研修」(必修)として民間企業や独立研究法人にて約3ヶ月間の研修を行った。本年度はコロナウイルス対策も緩和され、民間企業での受け入れも再開し、9名が企業で、4名が国立研究機関で研修を行った。履修生は学外の研究環境の中で、自身の研究分野がどのような広がりがあるかを実感するとともに、チームでの仕事の取組みを体験し、新たな人間関係を構築するなど実りの多い経験を行うことができた。

「物質科学海外研修」は必修科目であるが、コロナウイルスの世界的流行の影響で海外渡航が実質的に不可能になり、昨年度までは代替としてオンライン受講の課題を設定した。本年度は渡航条件が大幅に緩和されたため、9名が実際に渡航して研修を受講した。最終年度の3名は最終年度の単位認定期限と博士論文提出期限の関係でオンライン受講を選択した。渡航先は理学研究科物理学専攻の1名含む4名が米国に、5名が欧州で研修を行った。異文化の中で自分がマイノリティーとなって長期間生活する事で、独力で研究を進める心構えや、配属先研究室のPIのリーダーシップを学ぶことが出来た。報告会では、今後世界を舞台に活躍する基本的な姿勢をしっかりと身に付けて来た事が確認出来た。

### 7.3.3 Qualifying Examination (QE) と十期生選抜

履修生の質保証の目的で、Qualifying Examination (QE) を実施している。専門分野の基礎学力を評価するために2年次に受験する博士後期課程の研究企画を試問する博士論文企画審査(2nd Q.E.)、4年次に取り組む博士論文の中間報告を英語により報告させる3rd Q.E.が昨年同様に実施された。履修生の質保証のための取組みであるが、プログラムとしては気付きを与える機会としても重要であると考えており、課題のある履修生については、評価委員のコメント含めて何が不十分であったかを伝え、どの様に改善したらよいかの方向性を示すなどの指導を行った。本年度は第六期生6名と特別選抜の第七期生1名がプログラム履修の成果を問うFinal Examination (FE) に臨んだ。FEでは事前に提出する小論文と、それに基づく口頭発表と試問がなされた。小論文として以下の課題を与え、1ヶ月後に回収し評価委員に事前配布した。課題は昨年度と同じく「20~30年後の未来に、我が国をはじめ世界の抱える社会的問題や経済・産業構造の変化を予測し、自分がリーダーシップを発揮して科学技術に基づきこれらの課題にどのように対応していくのか、自分の進路と関連付けながら2000字程度で述べよ」という問いかけに履修生は真摯に取り組んだ。発表と口頭試問には10名のプログラム担当教員が評価委員として参加、また7名の外部評価委員も質疑に参加いただき、将来課題の捕え方、どの様にリーダーシップを発揮して社会貢献をしていくか



について具体的な質疑応答が行われた。プログラム履修生としての質を保証する場であり、厳しい質問の連続に回答が滞る場面も何度もあり、緊張した雰囲気の中で進められた。審査の結果、7名が合格となった。合格者のうち1名については課題の捕え方が表面的でありもう一步踏み込んだ考察が必要ではないかとの指摘があり、評価委員で議論した結果各評価委員からのコメントをフィードバックしそれに答えさせる小論文を課した。小論文はプログラムコーディネーターとシニアメンターを務める企業出身の特任教授が査読し内容を確認し合格とした。第十一期生の募集を1月23日から30日の間実施し、27名が応募し、書類選考に合格した22名に対して面接による選抜を3月10日と13日に実施した。結果、14名が合格となった。理学研究科からは8名が合格、うち物理学専攻からは2名の学生が合格した。

#### 7.3.4 平成29年度採択六期生の課程修了

平成30年度に入学した一般選抜六期生6名（うち1名が理学研究科物理学専攻、2名が化学専攻）と31年度に入学した特別選抜第七期生1名がカデットプログラムのFinal Examinationに合格し課程を修了することとなった。学位授与式に先立ち3月22日にプログラム修了認定証が授与された。履修生はいずれもプログラムの趣旨をよく理解しており、積極的にプログラムに参加するばかりでなく様々な自主活動を起案、推進することで続く後輩にあるべき姿を示してくれたことに感謝している。修了証授与式では、プログラムコーディネーターである芦田基礎工学研究科教授の祝辞に対し基礎工学研究科の玄地慎吾さんが履修生を代表して将来への誓いを述べた。7名のうち理学研究科物理学専攻の1名は学術振興会PDとして、東京大学及びハーバード大学で研究継続する。化学専攻の1名は高エネルギー加速器研究機構の助教として、化学専攻のもう1名が本学産業科学研究所PDとして活動する。4名の履修生は企業に活動の場を求め、それぞれ旭硝子、トクヤマ、NTT、キオクシアでこれまで学んだことを実践する。彼らの活躍を期待している。

#### 7.3.5 大阪大学改革とプログラムの推進

大阪大学では、令和6年度開始予定の国際卓越研究大学申請にあたり、新たな学位プログラム共創機構の構想を明らかにしている。その中で、リーディング大学院は大学院学位プログラムの将来構想に位置付けられており、引き続き本学の大学院教育の中核を担っていく。当プログラムは平成24年度開始から10年を経過して、カリキュラム構成や学生支援についてのノウハウも蓄積され、大阪大学の物質科学系研究室にも認知度高まり、研究室ローテーションの協力研究室も開始当初の30研究室から現在は60を超える研究室の協力が得られている。プログラム修了生も70名を越え、第一期生は実社会で活動を開始して6年が経過し、プログラムで学び獲得した様々な知識を社会還元しつつある。プログラムでは引き続き次代を担う物質科学博士人材を輩出すべく取り組んでまいります。今後ともプログラム活動へのご指導、ご支援をよろしくお願いいたします。

（文責：越野 幹人）

## 第8章 理数オナープログラム

### 8.1 令和4年度活動概観

理数オナープログラムは、学問の違いを考慮して学科毎に提供しているが、参加する学生は学科の壁を越えて履修することができる。理数オナープログラムに参加する学生は、各学科がオナーカリキュラムとして指定する科目を履修するとともに、オナーセミナーを少なくとも2科目2単位履修しなければならない。従って、本プログラムに参加する学生数は、オナーセミナーを受講する学生数で計ることができる。オナーセミナーに参加した学生数の年度毎の変化を図8.1に示している。H21-22は100~120名程度であったが、H25年度は66名、H26年度は56名、H27年度は49名、H28年度は44名に減少した。しかし、H29年度は72名に増加し、H30年度~R2年度までは62-65名でほぼ横ばいであった。R3年度は48名に減少したが、R4年度はのべ63名と平年並に戻った。理数オナープログラムが対象とする2,3年生の学生総数は約500名なので、対象となる延べ学生総数は前後期合わせて1,000名程度で、R4年度の参加者数はその6.3%にあたる。

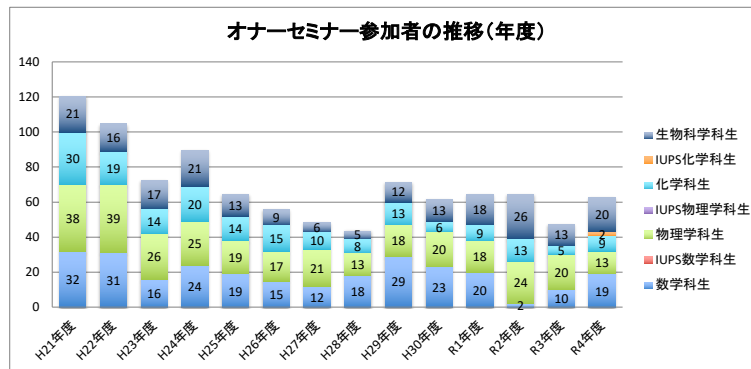


図 8.1: オナー参加者数の推移

理数オナープログラムのコアであるオナーセミナーは、主に学部2,3年生を対象としている。

オナープログラム修了者の推移を図8.2に示す。H27に、修了者の数が減って以来、しばらく増加傾向は見られなかったが、R1年度の修了者は10名であったが、R2年度は減少し4名となった。R4年度は13名に増えたが、R4年度の物理学科修了者は3名であった。

また、将来、社会に出てからリーダーとなる素質を持つ学生を学部段階から育成する理数オナープログラムでは、リーダーに欠かせない高度な専門性に裏付けられた広い視野と社会性を涵養することを目的として、理数オナープログラム修了者の中から、優れた学業成績を

修め、かつ、在学中に特筆すべき社会活動、体験活動、教育活動等（オナー体験）に積極的に取り組んだ学生を「優秀修了」として認定している。H25年度理数オナープログラム修了者から適用し、R4年度には9名（内、物理学科は3名）の優秀修了者がでた。

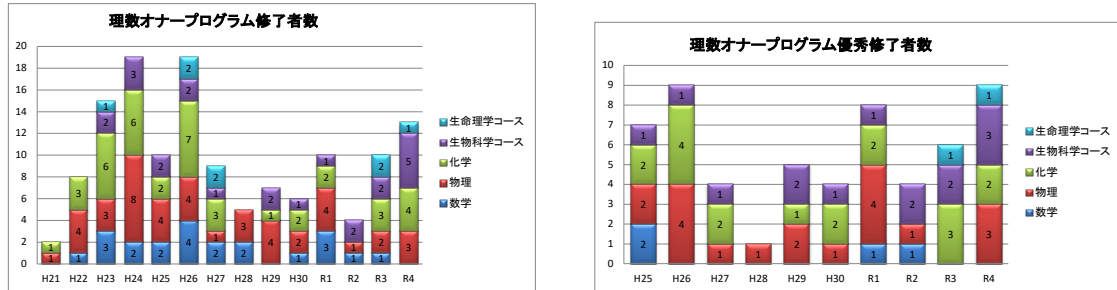


図 8.2: オナープログラム修了者数と優秀修了者数

## 8.2 オナーセミナー

学部の低学年から意欲ある学生をさらに引き上げる方法として、少人数制の理数オナーセミナーを開講している。高度な内容の授業を行うとともに、主体的な学習態度を身につけさせ、セミナー終了後は教員および学生の評価をもとにセミナーをさらに改良することを目標とする。少人数制のため、個々の能力を教員が的確に把握できるので、彼らの実力を加味しつつ、学生の好奇心を引き出し、通常授業の枠にとられない内容を展開する。H23年度は28のオナーセミナーを開講したが、R4年度は春夏学期・秋冬学期合わせて35（春夏学期19、秋冬学期16）のオナーセミナーを開講し、のべ63名（春夏学期34名、秋冬学期29名）が履修した。物理学科では、春夏学期は4セミナーを開講、秋冬学期は2セミナーを開講したが、開講数は例年よりかなり少なかった。

《春夏学期》物理オナーセミナー 開講4セミナー 受講者数9名

C モノ作りから始める自然科学（兼松 泰男）

生物科学科生命理学コース4年1名

D 光で探る量子力学の世界（渡辺 純二）

物理学科2年2名、3年1名

E 加速器で宇宙を紐解いてみよう（民井 淳、大田 晋輔、小林 信之）

物理学科1年1名、2年2名

F ブラックホールを通して見る宇宙（井上 芳幸）

物理学科3年2名

《秋冬学期》物理オナー 開講2セミナー 受講者数3名

G 放射線を利用して身の回りの謎に挑戦してみよう（福田 光順）

物理学科3年2名

S 研究室に入って好きな研究をしてみよう（田中実）

物理学科3年1名

### 8.3 自主研究と発表会

自分で研究課題を見いだした学生には、オナーセミナーの中で何度か発表をさせて実行可能な課題となるように指導した。なかなか自分で課題を見いだせない学生に対しては、担当教員が用意した大きなテーマの中から学生に選ばせ、討論を通して具体的な研究課題を見いだすように指導した。最終的に参加学生が選択した研究課題は資料にまとめた。自主研究の課題探しは、オナーセミナー開始後2ヶ月目から始める。

オナーセミナーの授業と並行して、自ら課題を見つけ自主研究に取り組んだ成果を発表するために研究成果発表会を春夏学期1回、秋冬学期1回ずつ合計2回開催した。発表時間は一人10分、質疑応答は5分とした。全学科ともオナーセミナーの通常授業の平常点と発表会の出来を合算し、成績評価を行った。

発表のパフォーマンス力が高かった学生を聴衆の投票結果により表彰し、学生のやる気をも高めるようにした。また、研究データの考察方法や、文章による説明能力を養うため、この研究結果を自主研究報告書にまとめさせて提出させた。

#### 2022 春夏学期 オナー自主研究発表会

2022年9月28日(水) 9:55-17:30 at 南部陽一郎ホール

物理オナーセミナーからの発表 4セミナー 参加学生8名5演題

〈兼松 G〉モノ作りから始める自然科学

1 陰極線観測装置の再現研究 生物科学科生命理学コース4年

〈井上 G〉ブラックホールを通して見る宇宙

2 恒星進化計算で探るブラックホール形成条件 物理学科3年

〈渡辺 G〉光で探る量子力学の世界

3 光の強度干渉 物理学科2年2名共同発表

4 量子コンピューターの仕組みを実感する 物理学科3年

〈民井・大田・小林 G〉加速器で宇宙を紐解いてみよう

5 宇宙リチウム問題に関わる原子核反応を測定する 物理学科1年1名、2年2名共同発表

#### 2022 秋冬学期 オナー自主研究発表会

2023年3月30日(木)10:10-16:50 at 南部陽一郎ホール

物理オナーセミナーからの発表 1セミナー 参加学生2名2演題

〈福田 G〉放射線を利用して身の回りの謎に挑戦してみよう

1 宇宙線ミュオン量の方位角依存性 物理学科3年

2 物質中のフォトン速度観測 物理学科3年

### 8.4 大学院科目等履修生、リーディング大学院生との関係

理学部では、早めに自立して研究ができる学力を習得させるため、一定以上の成績をとった学生を対象に、3、4年次の段階で大学院生に混ざって授業が受けられる制度を用意して

いる。全学科学部生を対象としており、選抜方法等、各学科長に一任されている。元々は理数オナープログラム受講生に対し、学年を超えた勉強の機会を提供しようとして導入された制度であるので、各学科ごとの基準とはいえ、おのずと理数オナープログラム参加者の認定が多い。R4年度に大学院科目等履修生の資格を与えられた者の数を、以前のデータと共に表 8.1 にまとめる。28 名中、16 名がオナー参加者である。

表 8.1: 大学院科目等履修生（候補者）の数

| 学科    | 学年  | 候補者数, オナー参加者数 |       |       |      |       |      |       |       |       |       |
|-------|-----|---------------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
|       |     | H25           | H26   | H27   | H28  | H29   | H30  | R1    | R2    | R3    | R4    |
| 物理学科  | 4年生 | 6,3           | 20,6  | 7,3   | 5,3  | 10,6  | 9,2  | 6,6   | 15,5  | 18,6  | 16,5  |
| 化学科   | 4年生 | 2,2           | 8,8   | 3,3   | 2,2  | 1,1   | 3,3  | 3,3   | 4,4   | 3,3   | 6,6   |
| 生物科学科 | 4年生 | 3,2           | 7,3   | 17,8  | 9,1  | 8,3   | 9,2  | 12,1  | 11,2  | 17,8  | 6,5   |
| 合計    |     | 11,7          | 35,17 | 27,14 | 16,6 | 19,10 | 21,7 | 21,10 | 30,11 | 38,17 | 28,16 |

大阪大学では、既存の研究分野の枠にとらわれず、より広く深い知識を身につけ、それを社会で実践し、グローバルに活躍できる人材を育てる「博士課程教育リーディングプログラム」を文科省の支援を受け、平成 23 年度から全学で取り入れている。国の将来を担う人材の候補生として、大学も力を入れてバックアップしているプログラムである。また、R2 年度からは新たに理工情報系オナー大学院プログラムと量子ビーム卓越大学院プログラムがスタートした。理学研究科の博士課程に進学した理学部卒業生のうち、本大学院プログラムに選抜された奨学生とその中でのオナー生の人数を表 8.2 に記す。

表 8.2: 博士課程教育リーディングプログラムへのオナー参加者数

| プログラム名               | 理学研究科採択者数, オナー参加者数 |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |
|----------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
|                      | H24                | H25 | H26 | H27 | H28 | H29 | H30 | R1  | R2   | R3   | R4   |
| 超域イノベーション            | 2,0                | 2,0 | 1,0 | 3,1 | 0,0 | 2,1 | 0,0 | 0,0 | 1,0  | 1,0  | 3,1  |
| 生体統御ネットワーク<br>医学教育   | 2,2                | 2,2 | 0,0 | 2,1 | 2,0 | 2,1 | —   | —   | —    | —    | —    |
| インタラクティブ<br>物質科学カデット | 11,8               | 9,7 | 8,1 | 7,4 | 8,3 | 7,1 | 4,1 | 3,1 | 1,1  | 1,1  | 4,0  |
| 理工情報系オナー大学院          | —                  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | 4,0  | 8,1  | 6,2  |
| 量子ビーム卓越大学院           | —                  | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | 16,4 | 11,1 | 13,1 |

## 8.5 オナープログラム参加者の活動記録

オナープログラムも今年度で16年目を迎えた。オナーセミナーを受講している学部生は、何事にも好奇心旺盛である点などで仲良くなるスピードも早く、研究発表や交流会を通して、学科、学年を超えた集団ができていく。こういう元気な学生が在籍する理数オナープログラムの卒業生が今後どの方面で活躍していくか楽しみであり、先端的な取り組みを始めた大阪大学理学部の誇りであると言える。

オナーセミナー、発表会以外にも学生が中心となり、企画運営したR4年度の活動内容を下記に記す。

- 1) オープンキャンパス
  - ・マイハンドアイアプリを利用した Web 開催 (8/1 - 9/30)  
オナー紹介動画作成
  - ・8月10日(水) 対面での学科等ツアー中止により Zoom ウェビナーにてオナー紹介  
オナー参加者9名 参加者(視聴者)約130名
- 2) 2022 春夏学期自主研究発表会 R4.9/28 理学部 J 棟南部陽一郎ホール
- 3) オナープログラム修了式 R5.3/23 理学部 D 棟 D501  
理数オナープログラム修了者13名 優秀修了者9名
- 4) 2022 秋冬学期自主研究発表会 R5.3/30 理学部 J 棟南部陽一郎ホール

(文責：兼村 晋哉)

## 第9章 国際化推進事業

### 9.1 International Physics Course (IPC)

国際化推進事業は、「国際化拠点整備事業（グローバル30）」をもとに、大学の機能に応じた質の高い教育の提供と、海外の学生が我が国に留学しやすい環境を提供する取組のうち、英語による授業等の実施体制の構築や、留学生受け入れに関する体制の整備、戦略的な国際連携の推進等、我が国を代表する国際化拠点の形成の取組を支援することにより、留学生と切磋琢磨する環境の中で国際的に活躍できる高度な人材を養成することを目的としています。

文部科学省 HP

[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/houdou/21/07/1280880.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/21/07/1280880.htm)

平成20年に策定された「留学生30万人計画」の具体的な実現への方策の一部として、英語のみで受講・卒業できるコースの創設、国際公募による外国人教員の採用、受け入れ体制の整備等、特に大学のグローバル化に重点が置かれているところが特徴です。

大阪大学は、学位取得が可能な英語コースとして、「化学・生物学複合メジャーコース」（理学部・工学部・基礎工学部共同）、「人間科学コース」（人間科学部）の学部コース及び「統合理学特別コース」、「国際物理特別コース」（理学研究科）の大学院コースを平成22年度に新設しました。これらのコースは、既存の英語コース（フロンティアバイオテクノロジー英語特別プログラム、船舶海洋工学英語特別コース、“Engineering Science 21st Century”プログラム、量子エンジニアリングデザイン研究特別プログラム）に加えて、本学の教育プログラムの幅を一段と広げるものとして期待されるものです。留学生数については、G30の定める目標年である平成32年までに、約2倍の3,000名とすることを目標値として掲げています。構想では、現在約200名弱の受け入れがある1年未満の短期留学生数を今後拡大し、平成32年にはおよそ1,000名規模まで拡大することを目指します。

大阪大学大学院理学研究科物理学専攻では、平成22年10月に国際物理特別コース（IPC）を新しく開設しました。このコースは授業・研究指導とも英語で行われ、国際共同研究や実験など、国際舞台で活躍できる人材を育成します。大阪大学は高強度レーザーと高エネルギー加速器の両方の大型装置を所有している唯一の大学です。凝縮系物理学や他の分野に興味がある学生の方や、海外からの留学生も歓迎しています。奨学金制度もあります。定員は、MSコースが1学年5名、PhDコースが1学年5名です。

IPCは令和4年に第十三期生を迎え入れ、4月1日の入学者は、MSコースが1名、PhDコースが2名で、国籍は、中国2名、ドイツ1名です。10月1日の入学者はMSコースが3名、PhDコースが5名（学内進学2名）で、国籍は、中国3名、アメリカ2名、エチオピア

1名、インド1名、オランダ1名です。

平成22年度～令和3年度の入学者数

| 年度     | 月   | 入学者 | 修士 | 博士 | 学内進学 | 国籍   |
|--------|-----|-----|----|----|------|--|
| 平成22年度 | 10月 | 8   | 5  | 3  | -    | 中国3、ベトナム3、エストニア1、バングラデシュ1                        |
| 平成23年度 | 10月 | 6   | 5  | 1  | -    | 中国3、ベトナム1、インドネシア1、マレーシア1                         |
| 平成24年度 | 10月 | 5   | 2  | 3  | 3    | 中国4、ベトナム1  |
| 平成25年度 | 10月 | 10  | 5  | 5  | 2    | フランス1、ドイツ1、シンガポール1、中国1、モンゴル1、ベトナム3、マレーシア2        |
| 平成26年度 | 10月 | 5   | 4  | 1  | 1    | 中国3、ベトナム2  |
| 平成27年度 | 4月  | 1   | -  | 1  | -    | マレーシア1   |
|        | 10月 | 9   | 3  | 6  | 1    | 中国1、インドネシア1、マレーシア1、カザフスタン1、インド1、イラン1、イタリア1、ベトナム2 |
| 平成28年度 | 4月  | 2   | 1  | 1  | 1    | マレーシア1、モンゴル1                                     |
|        | 10月 | 10  | 3  | 7  | 4    | ベトナム3、中国4、マレーシア2、インド1                            |
| 平成29年度 | 4月  | 3   | 2  | 1  | -    | ベトナム2、韓国1  |
|        | 10月 | 6   | 1  | 5  | 2    | ベトナム1、インドネシア1、中国1、マレーシア1、フランス1、カザフスタン1           |
| 平成30年度 | 4月  | 3   | 2  | 1  | 1    | 中国1、ジョージア1、マレーシア1                                |
|        | 10月 | 2   | 1  | 1  | -    | ベトナム1、バングラデシュ1                                   |
| 平成31年度 | 4月  | 3   | 1  | 2  | 1    | 中国1、ベトナム1、ブラジル1                                  |
|        | 10月 | 7   | 5  | 2  | -    | インドネシア1、アメリカ1、スペイン1、中国1、イタリア1、ベトナム1、インド1         |
| 令和2年度  | 4月  | 1   | -  | 1  | 1    | 中国1  |
|        | 10月 | 4   | 3  | 1  | -    | 中国3、マレーシア1                                       |
| 令和3年度  | 4月  | 7   | 4  | 3  | 1    | 中国5、ベトナム1、日本1名                                   |
|        | 10月 | 7   | 4  | 3  | 2    | インドネシア2、マレーシア1、中国1、スペイン1、フランス1、日本1               |

(文責：越野 幹人)



## 第10章 大学院等高度副プログラム

### 10.1 プログラムの目的

「大学院等高度副プログラム」は、大学院レベルの学生が幅広い領域の素養や複眼的視野を得るとともに、新しい分野について高度な専門性を獲得する学際融合的な教育プログラムである。同プログラムは、各実施部局及び学際融合教育研究センターが協力して推進している。

同プログラムは、幅広い分野の知識と柔軟な思考能力を持つ人材など、社会において求められる人材の多様な要請に対応する取組として、教育目標に沿って、一定のまとまりを有する授業科目により構成され、体系的に履修することができるプログラムである。このプログラムは、平成20年度より開設され、平成23年度からは、一部のプログラムについて、6年生課程の学部（医学部・歯学部・薬学部）5、6年次生も対象とされている。プログラム毎に定める修了の要件を満たすことで、プログラムの修了認定証が交付される。

理学研究科では、物理学専攻が中心になり、平成24年度から「基礎理学計測学」と「放射線科学」の2つのプログラムを新規提案し、実施している。なお、2019年度（平成31年度、令和元年度）より、「放射線科学」は放射線科学基盤機構に実施部局が変更になった。

「高度副プログラム」の詳細は、以下のURLを参照。

<http://www.osaka-u.ac.jp/ja/education/fukusenkou>

### 10.2 基礎理学計測学

#### 10.2.1 プログラム概要

様々な計測機器や分析機器は、物理、化学、生物科学、ライフサイエンス、環境科学など幅広い分野の研究において、必要不可欠なものとして用いられている。しかしながら、近年、装置がブラックボックス化し、その原理をよく理解せずに機器を利用し、得られた結果についての考察や評価を十分に行えないケースが増えてきている。また、他の誰も見たことがないようなモノを見ようとする時には既存の計測機器では不可能な場合がほとんどで、新たに機器を開発することが必要となる場合もある。このような場合にも、測定原理などをしっかりと理解していることが必須である。

本プログラムでは、「質量分析」、「NMR」、「X線結晶解析」、「放射線計測」、「機器制御」、「分光計測」、「低温電子顕微鏡」などの分析・計測法に関して、その機器や測定の基本原理

を系統的に講義形式で学ぶとともに、その技術を体得するための実習も同時に行うことを特徴とする。さらにこのような最先端計測技術の基礎となっている原理についても講義形式で学ぶことができる。このプログラムで学んだ計測技術を実際の研究に役立てられることを目指す。

### 10.2.2 修了要件

7単位以上。ただし、実習形式の講義（先端的研究法、先端機器制御学、分光計測学）の中から4単位以上必ず取得すること。

### 10.2.3 授業科目

#### 選択必修科目

先端的研究法：質量分析、先端的研究法：X線結晶解析、先端的研究法：NMR、先端機器制御学、分光計測学、先端的研究法：低温電子顕微鏡

#### 選択科目

放射線計測基礎1、放射線計測基礎2、放射線取扱基礎、放射線計測学、放射光物理学、加速器科学、加速器物理学、孤立系イオン物理学、有機分光化学(I)、生体分子化学(I)、核化学1(I)、核磁気共鳴分光学(I)、無機分光化学概論、先端物性工学、表面分析工学、時空間フォトンクス、レーザー分光学、基礎物理学I、基礎物理学実習

### 10.2.4 プログラム登録者数

2022年度のプログラム登録者数は2名であった。その内訳は、理学研究科化学専攻1名(M2)、薬学研究科医療薬学専攻1名(D2:1名)である。

なお、2022年度の本プログラム修了者は1名(理学研究科化学専攻1名(M2))であった。

(文責：豊田 岐聡)

## 第11章 国際交流活動

### 11.1 目的

大阪大学大学院理学研究科（物理学専攻）での国際交流活動の主たる目的は

1. 物理学専攻の教育研究の成果を海外に向けて積極的に情報発信すること
2. 海外の大学や研究機関から本研究科博士前・後期課程への学生の入学を推進することである。

このような活動には、教員個々人のチャンネル形成と信頼関係の形成が必要である。それに加え、研究科としてオーソライズされた組織的なプロモーション活動も必要であり、物理学専攻としてはこれらについて努力している。2022年度の活動は、以下の通りである。

### 11.2 活動の内容

- 本研究科・専攻・教育研究・International Programs の紹介。
- 本研究科・専攻の大学院生への経済的支援の説明。
- 本研究科・専攻の短期、長期の研究活動の可能性、希望や意見などの聴取。
- 在学中から Home Institute と連絡を取り合い、一人の学生を育てていく Double Degree Program (以下 DDP) や、留学生の経済支援について Home Institute との co-funding の検討・議論。
- Workshop の実施。
- 教育研究関連公的機関への訪問・情報収集。

### 11.3 海外から阪大への来訪者

1. Retief Neveling, iThemba LABS, 南アフリカ, 2022/6/30-2022/7/9; 民井
2. Dennis Nielinger, ユーリッヒ研究所, ドイツ, 2022/8/10/2023/1/4; 大岩
3. Tommaso Rizzo, Sapienza University of Rome, イタリア, 2023/1/18-2023/1/27; 吉野
4. Dr.Adil Jueid, 韓国高等科学院, 韓国, 2023/2/1-2023/2/15; 兼村
5. Ida Rosenqvist, University of Oslo, ノルウェー, 2023/3/5-2023/4/19; 民井

## 11.4 海外研究機関との交流

教職員延べ38名、学生延べ49名が共同研究参加、招待講演および学術的会合の参加等を目的として、以下の国々を訪問した。アメリカ(9件)、アルゼンチン(1件)、イタリア(6件)、オーストラリア(2件)、オランダ(2件)、カナダ(3件)、韓国(6件)、ギリシャ(1件)、スイス(6件)、スペイン(2件)、台湾(3件)、ドイツ(2件)、トルコ(1件)、ノルウェー(2件)、フランス(3件)、フランス領ポリネシア(1件)、ベトナム(1件)、ポルトガル(1件)、南アフリカ(3件)、ルーマニア(2件)、UAE(3件)。

またオンラインでの共同研究参加、招待講演および学術的会合の参加も活発に行われた。教職員延べ36名、学生延べ22名アメリカ(6件)、イタリア(5件)、イギリス(2件)、インド(2件)、韓国(7件)、台湾(2件)、スイス(3件)、スロベニア(1件)、中国(5件)、ノルウェー(1件)、フランス(2件)、ベトナム(1件)、ポーランド(1件)。

## 11.5 海外研究機関および阪大における海外拠点との国際会議・シンポジウム・集中講義

区分, 事業名, 代表者名, 相手国機関名, 国名, 期間, 参加者数

1. スクール/セミナー 先端強磁場科学&カデットプログラム共催セミナー 萩原政幸  
Department of Physics, Indian Institute of Technology Madras インド 2022/5/31  
16名
2. スクール/セミナー サマースクール 藤岡慎介 ミシガン大学 アメリカ 2022/6/6-  
6/10 116名
3. スクール/セミナー Capstone projects NCP Grant program in Japan 兼松泰男  
ロイヤルメルボルン工科大学 オーストラリア 2022/7/4-7/15 9名
4. ワークショップ NHWG34 兼村晋哉 IJCLab 他 フランス・韓国・アメリカ・ス  
페인・台湾 2022/8/19 63名
5. スクール/セミナー Dr Tzu-kan Hsiao セミナー 大岩顕 デルフト工科大学 オ  
ランダ 2022/8/29 11名
6. ワークショップ WIRMS 2022 木村真一 アメリカ・イギリス・ドイツ・フランス  
他 2022/10/6-10/9 80名
7. ワークショップ トリプルアルファ反応率決定の為のワークショップ 川畑貴裕  
Horia Hulubei National Institute of Physics and Nuclear Engineering ルーマニア  
2022/10/18 11名
8. スクール/セミナー van der Wiel 教授セミナー 大岩顕・松本卓也 トゥウェン  
テ大学 オランダ 2022/11/7 30名

9. ワークショップ NHWG35 兼村晋哉 IJCLab 他 フランス・韓国・アメリカ・スペイン・台湾 2022/11/18 37名
10. ワークショップ NHWG36 兼村晋哉 IJCLab 他 フランス・韓国・アメリカ・スペイン・台湾 2023/2/19 41名
11. スクール/セミナー INTPART School 民井淳 The Research Council of Norway/University of Oslo ノルウェー 2023/2/20-3/3 51名
12. ワークショップ PANDORA Workshop 民井淳 University of the Witwatersrand 南アフリカ 2023/3/4-3/7 35名

## 11.6 部局間学術交流協定

2022年度現在で、物理学専攻の教員がコンタクトパーソン（CP）となっている海外研究機関との部局間学術交流協定は、以下の通りである。

1. インペリアル・カレッジ・ロンドン（自然科学部）（英国）  
2006/6/19-2023/5/6 CP:青木正治教授
2. マレーシア工科大学（理学部）（マレーシア）  
2009/8/5-2024/8/4 CP:青木正治教授
3. イスタンブール大学（理学部）（トルコ）  
2009/10/21-2024/10/20 CP:川畑貴裕教授
4. ユヴァスキュラ大学（数学科学部）（フィンランド）  
2010/12/2-2025/12/1 CP:小川哲生教授
5. フリードリッヒ・ヴィルヘルム大学ボンとケルン大学によるボン・ケルン統合物理・天文大学院（ドイツ）  
2011/3/14-2026/7/3 CP:越野幹人教授、福田光順准教授
6. インハ大学（理学部）（韓国）  
2011/12/22-2026/12/21 CP:保坂淳教授、浅川正之教授
7. フリードリヒ・シラー大学イエーナ（物理・天文学部）（ドイツ）  
2011/12/21-2027/1/30 CP:花咲徳亮教授、松本卓也教授
8. デリー大学（理学部）（インド）  
2012/8/30-2023/6/13 CP:越野幹人教授, Luca Baiotti 特任准教授
9. ブレーメン大学（物理・電気工学科）（ドイツ）  
2013/3/4-2023/3/3 CP:越野幹人教授

10. アルファラビ・カザフ国立大学（物理工学部）（カザフスタン）  
2013/6/4-2026/6/3 CP:保坂淳教授、越野幹人教授、Luca Baiotti 特任准教授
11. 蘭州大学（物理科学技術学院）（中国）  
2016/8/14-2021/8/13 CP:保坂淳教授、川畑貴裕教授
12. モナシュ大学（理学部）（オーストラリア）  
2017/12/7-2022/12/6 CP:青木正治教授
13. 国立清華大学（理学部）（台湾）  
2018/6/27-2023/6/26 CP:越野幹人教授、久保孝史教授
14. ロイヤルメルボルン工科大学（オーストラリア）  
2019/3/23-2024/3/22 CP:兼松泰男教授、豊田岐聡教授、近藤勝義教授
15. 南京大学（物理学院）（中国）  
2019/5/20-2024/5/19 CP:青木正治教授

## 11.7 その他

物理学専攻（博士前期・後期課程）の在籍留学生人数は、2022年4月1日現在で合計33名。（国費留学生：6名、私費留学生：26名、政府派遣留学生：1名）

| 国名      | 前期課程 | 後期課程 | 非正規生 | 合計 |
|---------|------|------|------|----|
| インドネシア  | 1    | 1    | 0    | 2  |
| スペイン    | 0    | 1    | 0    | 1  |
| スリランカ   | 0    | 1    | 0    | 1  |
| ドイツ     | 0    | 1    | 0    | 1  |
| バングラデシュ | 0    | 1    | 0    | 1  |
| ブラジル    | 0    | 1    | 0    | 1  |
| フランス    | 0    | 2    | 0    | 2  |
| ベトナム    | 1    | 2    | 1    | 4  |
| ポルトガル   | 0    | 0    | 1    | 1  |
| マレーシア   | 1    | 1    | 0    | 2  |
| 大韓民国    | 0    | 1    | 0    | 1  |
| 中国      | 7    | 8    | 0    | 15 |
| 香港      | 1    | 0    | 0    | 1  |
| 計       | 11   | 20   | 2    | 33 |

（文責：越野 幹人）

## 第12章 湯川記念室

### 12.1 令和4年度活動概観

大阪大学湯川記念室は、湯川博士の中間子論が大阪大学(旧大阪帝国大学)理学部にて生まれ、日本で最初のノーベル賞として実を結んだことを記念して、1953年、本部に直属する組織として発足し、1976年に改めて附属図書館内に設置された。2022年4月より、大阪大学大学院理学研究科・理学部に移管された。室長は深瀬浩一理学研究科長、運営委員会委員長は兼村晋哉である。湯川記念室の所属は理学研究科であるが、湯川記念室運営委員会は全学的な組織であり、様々な部局からの委員によって構成される。その中でも理学研究科、特に物理学専攻のメンバーが中心的に運営をにない、物理学や自然科学の基礎の社会的、学内的な啓蒙活動に積極的に取り組んでいる。

令和4年度は、南部コロキウムの共催やSAPの後援などに加え、南部陽一郎記念室と塩見記念室のホームページ制作などを行った。

湯川記念室のホームページ: <http://www-yukawa.phys.sci.osaka-u.ac.jp/>

### 12.2 湯川記念講演会

令和4年度は、新型コロナウイルス感染防止のため2020年度と2021年度は実施を見送った湯川記念講演会を3年ぶりに再開した。

2023年1月22日(日)14:00-16:30、大阪大学豊中キャンパス南部陽一郎ホールで開催した。湯川記念室が主催、日本物理学会大阪支部が共催、日本物理教育学会近畿支部が後援、大阪大学21世紀懐徳堂が協力。72名の参加者があった。

1. 兼村 晋哉(大阪大学大学院理学研究科・理学部湯川記念室)  
“阪大の素粒子論研究と湯川秀樹”
2. 西岡 辰磨(大阪大学大学院理学研究科物理学専攻・教授)  
“弦理論の導入、Dブレーン、双対性、ホログラフィ原理、量子情報”
3. 飯塚 則裕(大阪大学大学院理学研究科物理学専攻・助教)  
“量子重力理論、ブラックホール、ホログラフィなど”

<https://www-yukawa.phys.sci.osaka-u.ac.jp/news/1962>

講演会には大阪大学の教職員、学生や一般市民の方など72名がご参加くださった。講演後には、多くのご質問もいただき、それに対して講師の先生方が丁寧に回答してくださった。

参加者の方は、科学への興味が更に引き起こされた様子であった。アンケートでの満足度については、98%の方が、「非常に満足した」「満足した」との回答であり、また、「来年も参加したいですか?」という質問に対しては、全員が「参加したい」という回答だった。このことから、参加者が湯川記念講演会の内容に対して、楽しんでいただけたことが伺える。

### 12.3 南部コロキウムの共催

令和4年度においては、湯川記念室が共催となり、下記の南部コロキウムをオンラインまたは、対面とオンラインのハイブリッドで開催した。各々、教員と学生が多く参加する等、成功を収めた。

#### 第33回 南部コロキウム

開催日：2022年5月12日（木）

講師：高柳 匡 先生

[京都大学基礎物理学研究所 素粒子論グループ 教授]

講演：「量子情報から創発する理論物理学」

#### 第34回 南部コロキウム

開催日：2022年6月16日（木）

講師：古澤 力 先生

[理化学研究所 生命機能科学研究センター チームリーダー/東京大学 大学院理学系研究科 生物普遍性研究機構 教授]

講演：「進化のルールを探る ～進化実験によるアプローチ～」

#### 第35回 南部コロキウム

開催日：2022年7月7日（木）

講師：白石 直人 先生

[東京大学大学院 総合文化研究科 広域科学専攻相関基礎科学系 准教授]

講演：「マクロな熱平衡化現象は、ミクロな量子力学から説明できるか」

#### 第36回 南部コロキウム

開催日：2022年10月13日（木）

講師：永長 直人 先生

[東京大学 大学院工学系研究科 物理工学専攻 教授]

講演：「固体電子の感じる時空」

#### 第37回 南部コロキウム

開催日：2022年12月1日（木）

講師：清水 克哉 先生

[大阪大学 基礎工学研究科 附属極限科学センター 教授]



講演：「超高压力による高温超伝導水素化物の合成研究」

第38回 南部コロキウム

開催日：2023年2月2日（木）

講師：石原 安野 先生

[千葉大学グローバルプロミネント研究基幹・大学院理学研究院 教授]

講演：「高エネルギーニュートリノで見る宇宙」

第39回 南部コロキウム

開催日：2023年3月2日（木）

講師：川村 静児 先生

[名古屋大学大学院理学研究科 教授]

講演：「宇宙重力波望遠鏡 DECIGO」

## 12.4 SAP の後援

今年度も SAP の後援となった。2022 年度の SAP は 10/22・10/29・11/5・11/12 にオンラインと対面で開催された。

## 12.5 南部陽一郎記念室ホームページの制作

本学の特別荣誉教授であった故南部陽一郎先生のご遺品について、御子息のご厚意で遺品の一部を大阪大学理学研究科へ寄贈していただくことになり、その手続きを湯川記念室が行なった。また南部陽一郎先生の人柄、業績、南部陽一郎先生と大阪大学の関係についてまとめた南部陽一郎記念室ホームページを制作した。

<https://nambu-memorial.sci.osaka-u.ac.jp>

## 12.6 塩見記念室ホームページの制作

大阪大学理学部、そして大阪大学の創設に大きな役割を果たした塩見理化学研究所と、その創設に情熱をかけた塩見政次氏の足跡と情熱を伝えるべく、塩見記念室のホームページを制作した。

<https://shiomi-memorial.sci.osaka-u.ac.jp>

(文責：兼村 晋哉)

## 第13章 社会活動

### 13.1 物理学科出張講義の記録

主に高校生を対象とした2022年度の物理学科出張講義等の教育活動が、物理学専攻の福田光順准教授の取りまとめにより、宇宙地球科学専攻と物理学専攻の教員の協力で、以下の4校において実施された。新型コロナウイルス感染状況に波があったが、前年度に比べ開催形態として対面が多かった。

| 学校名           | 所在地 | 日時       | 講師     | 対象               |
|---------------|-----|----------|--------|------------------|
| 大阪府立生野高等学校    | 大阪市 | 7月15日(金) | 吉田 齊   | 2年生 約40名         |
| 長野県屋代高等学校     | 千曲市 | 9月17日(土) | 北澤 正清  | 2年生 約80名         |
| 帝塚山学院中学校高等学校  | 大阪市 | 9月28日(金) | 波多野 恭弘 | 2年生 約20名         |
| 宮崎県立都城泉ヶ丘高等学校 | 都城市 | 3月22日(水) | 川畑 貴裕  | 理数科1年生・2年生 約100名 |

(文責：福田 光順)

その他に、令和四年度に以下のようなアウトリーチ活動が物理学専攻の教員によって実施された。

| イベント名                   | 開催場所        | 講師   | 開催日                      | 対象             |
|-------------------------|-------------|------|--------------------------|----------------|
| サマーセミナー<br>「原子核の世界」     | 京都府立嵯峨野高等学校 | 川畑貴裕 | 8月1日                     | 高校生<br>(約40名)  |
| 学問発見講座「原子核と<br>元素合成の秘密」 | 福井県立藤島高等学校  | 川畑貴裕 | 10月28日                   | 高校生<br>(約20名)  |
| 出張講義「フェムトワー<br>ルドの探検」   | 滋賀県立膳所高等学校  | 川畑貴裕 | 10月31日<br>11月4日<br>11月9日 | 高校生<br>(約240名) |
| 出張講義<br>「原子核と放射線」       | 滋賀県立膳所高等学校  | 川畑貴裕 | 1月16日,<br>1月18日          | 高校生<br>(約120名) |

|   |                    |              |                       |                           |
|---|--------------------|--------------|-----------------------|---------------------------|
| 出張講義<br>「原子核と放射線」   | 滋賀県立膳所高等学校         | 古野達也         |                       | 高校生<br>(約 80 名)           |
| 課題研究発表会<br>審査・講評  | 滋賀県立膳所高等学校         | 川畑貴裕         | 2月17日                 | 高校生<br>(約 40 名)           |
| 帝塚山中学校 施設見<br>学・講義とりまとめ   | 大阪大学<br>核物理研究センター  | 小田原厚子        | 7月11日                 | 中学生+教<br>師 (134名)         |
| SS 先進科学 阪大原子<br>核物理学研修  | 三重県立津高校            | 小田原厚子        | 10月21日                | 高校生<br>(20名)              |
| 「創造応用 IS」<br>研究指導   | 兵庫県立兵庫高等学校         | 小田原厚子        | 2022/9/7-<br>2023/2/8 | 高校生<br>(10名)              |
| 女子中高生のための関<br>西科学塾 実験講座   | 大阪大学豊中キャンパス        | 小田原厚子        | 3月18日<br>3月19日        | 中高年生<br>(10名)             |
| 土曜講座「ニュートリノ<br>が解き明かす宇宙の謎」                                      | ヴィアートル学園<br>洛星高等学校 | 吉田斉          | 2月4日<br>2月18日<br>3月4日 | 高校生<br>(28名)              |
| 実習「宇宙線検出器を<br>使って、宇宙線を測定<br>しよう！」                               | 大阪市立科学館            | 上野一樹         | 11月6日                 | 中高生<br>(約 20 名)           |
| International Summer<br>Program 「Particle<br>Physics with Muon」 | Online             | 青木正治         | 7月6日                  | 海外大学生<br>大学院生<br>(約 70 名) |
| KEK サマーチャレンジ<br>「光子を実感する」                                       | 高エネルギー加速器研究<br>機構  | 青木正治<br>上野一樹 | 8月18日-<br>26日         | 大学生<br>(6名)               |

## 理学研究科、物理学専攻主催または共催で行われた講演会

| イベント名   | 開催場所             | 講師           | 開催日   | 対象                           |
|---|------------------|--------------|-------|------------------------------|
| サイエンスナイト 2022<br>「厚さ 100 万分の 1mm の物<br>質 - グラフェンの物理学」 | 大阪大学<br>南部陽一郎ホール | 越野幹人         | 6月15日 | 一般 (約 100<br>名, オンライン<br>含む) |
| 第 12 回 理学研究フォーラム<br>/ 第 11 回 研究交流セミナー<br>「新しい超伝導体を創る」 | 大阪大学<br>南部陽一郎ホール | 工藤一貴         | 3月13日 | 学生, 教職<br>員, 一般<br>(58名)     |
| 第 36 回 湯川記念講演会<br>「超弦理論の最前線」                          | 大阪大学<br>南部陽一郎ホール | 西岡辰磨<br>飯塚則裕 | 1月22日 | 一般<br>(約 60 名)               |

## 物理学専攻関連で実施された SEEDS プログラム

|                                      |                   |              |
|--------------------------------------|-------------------|--------------|
| SEEDS 実感コース<br>(4月9日から9月4日まで 全 18 回) | 「放射線を使った研究に挑戦しよう」 | 川畑貴裕<br>古野達也 |
|--------------------------------------|-------------------|--------------|

## 13.2 最先端の物理を高校生に Saturday Afternoon Physics 2022

日時：2022年10月22日、29日、11月5日、12日(土) 15時 – 18時

Web： <http://www-yukawa.phys.sci.osaka-u.ac.jp/SAP/>

主催：大阪大学大学院理学研究科

共催：大阪大学大学院工学研究科、基礎工学研究科、全学教育推進機構、核物理研究センター、レーザー科学研究所

協力：大阪大学 低温センター

2005年より開催され、今年度で第18回を数える「最先端の物理を高校生に Saturday Afternoon Physics 2022 (SAP2022)」は、10月22日から11月12日までの4週間にわたり、大阪大学豊中キャンパス理学研究科および吹田キャンパスを会場として、感染症対策を徹底した現地開催とWeb会議サービスZoomを使用したオンライン開催を組み合わせた、ハイブリッド方式にて実施された。今年度も理学研究科が主催となり、工学研究科、基礎工学研究科、核物理研究センター、レーザー科学研究所、全学教育推進機構の共催での開催となった。

今回、2年間の完全オンライン開催を経て、対面による企画を再開するにあたり、実体験が重要になる実習、体験と見学の企画を優先して対面授業として開講し、コロナ感染状況の悪化の可能性と運営上の負担軽減を考慮し、講義形式の授業は従来のまま完全オンラインとするプログラムを編成した。講義の内容は、「自然界をめぐる旅へのいざない」と「量子の世界への旅立ち」の毎回定番である入門講座に加え、3つのスポット講義として、高校生にとって関心が高い「超伝導」、「地震」、「素粒子物理」についてのバラエティに富んだテーマを選定した。講義はオンラインではあったが、活発な質疑応答が行われ、高校生からの意欲が伝わる講義となった。10月29日の工学研究科、核物理研究センター、レーザー科学研究所の最新設備の見学と、11月5日の豊中キャンパスでの実習・体験は、対面参加とオンライン配信を同時に行う、初めてのスタイルで実施された。

生の講義を受けたいという熱意のある高校生の対面参加で、見学会、実習・体験は非常に盛況だった。一方で、趣向を凝らした配信専用の動画や臨場感のあるライブ配信も、種々の事情で現地参加が叶わないオンライン参加の学生に対して、好評を博した講義となった。今回得られたノウハウと反省点をふまえ、2023年度のSAPもより充実した内容にて開催する所存である。

以下に、SAP2022のプログラムの概要をまとめる。

- 【10月22日】(オンライン)
  - 講義1：「自然界をめぐる旅へのいざない」 藤田 佳孝 (核物理研究センター)
  - 講義2：「量子の世界への旅立ち – 光の物理から量子力学へ –」 渡辺 純二 (生命機能研究科)
  - 講義3：「物質の世界への旅立ち – 新しい超伝導体を創る –」 工藤 一貴 (理学研究科)

- 【10月29日】（現地：吹田キャンパス＋オンライン）  
施設見学：大学院工学研究科・レーザー科学研究所・核物理研究センターの各所の見学
- 【11月5日】（現地：豊中キャンパス＋オンライン）  
実習1：「分光計で見る量子の世界」 福田 光順（理学研究科）  
体験：「身の回りの物理を体験しよう」 阿部 真之（基礎工学研究科）、藤田 佳孝（核物理研究センター）、竹内 徹也（低温センター）、理学研究科技術部  
実習2：「霧箱を作って放射線を見よう」 三原 基嗣（理学研究科）、小林 信之（核物理研究センター）
- 【11月13日】（オンライン）  
講義1：「宇宙への旅立ち – 地震予知はなぜ難しいか –」 波多野 恭弘（理学研究科）  
講義2：「原子核・素粒子の世界への旅立ち – 素粒子と対称性 –」 西岡 辰磨（理学研究科）

SAP2022の実施にあたり、理学研究科から、深瀬 浩一（SAP2022 校長）、兼松 泰男、工藤 一貴、阪口 篤志（実行副委員長）、谷口 一也、鳥越 美月、鳴海 康雄（実行委員長）、福田 光順、三原 基嗣らが実行委員として中心的運営を担った。

（文責：鳴海 康雄）

**Saturday Afternoon Physics 2022**

大阪大学

10/22 11/12

毎週土曜日 (4週連続) 15:00~18:00

オンライン&対面 豊中・吹田キャンパス

募集対象: 高校生 参加費: 無料

募集人数: 200名程度

申込先: <http://www.yukawa.phys.sci.osaka-u.ac.jp/SAP/>

**Saturday Afternoon Physics 2022**

大阪大学

10/22 11/12

毎週土曜日 (4週連続) 15:00~18:00

■プログラム(予定) — 宇宙から極微の世界まで —

オンラインと対面で開催します。プログラムは、変更する場合があります。

参加者の声 STUDENTS VOICES

10/22

- 自然界をめぐる旅へのいざない
- 量子の世界への旅立ち — 光の極限から量子の世界へ
- 物質の世界への旅立ち — 新しい超伝導体を探る

10/29

- 吹田キャンパス見学 工学研究所、核物理研究センター、レーザー科学研究

11/5

- 身の回りの物理を体験しよう
- 分光計で見る量子の世界
- 露箱で放射線を見よう

11/12

- 宇宙への旅立ち — 地盤予知はなぜ難しいか —
- 原子核・素粒子の世界への旅立ち 修了式

■参加申し込み方法

Webページの申し込み欄に必要事項をご記入ください。お申し込みの際は、保護者のサインが必要となります。(事前申し込みが必要。人数制限あり)

必要事項: 氏名(ふりがな)、年齢、性別、学年、住所、電話番号、メールアドレス、参加希望の曜日(オンライン・対面)

申し込み期限: 2022年9月8日(木) ※定員を上回る場合は、参加できない場合があります。

■申し込み先

QRコードから入れない場合は、下記URLからアクセスして下さい。

<http://www.yukawa.phys.sci.osaka-u.ac.jp/SAP/>

■お問い合わせ

F:560-0043 豊中校舎517号111 大阪大学 大学院理学研究科 SAP事務局  
TEL: 06-6850-5347 E-mail: [sap@phys.sci.osaka-u.ac.jp](mailto:sap@phys.sci.osaka-u.ac.jp)

図 13.1: SAP2022 参加者募集のチラシ



図 13.2: 配信、実習風景

### 13.3 「いちょう祭」「まちかね祭」などにおける施設の一般公開

2022年度いちょう祭は5/3と5/4に開催された。コロナウイルス感染症対策としてキャンパス内への入場者制限（1日あたり5000名）があり、参加希望者は事前に予約をする必要があった。参加者にはそれぞれ番号を割り当てたQRコードが配布され、各会場への入場者はQRコードリーダーで管理した。休日ということもあり、物理学専攻の企画には100人以上の参加者があった。

物理学専攻では以下の企画があった。

- 素粒子のおもちゃ箱
- 施設公開（強磁場施設、極限科学研究棟）
- 放射線検出器で探る素粒子・原子核・そして宇宙
- 素粒子で探る未知の世界
- 体験！ 磁気抵抗、熱電変換、磁気浮上
- Youtubeチャンネル「原子核の世界」
- Youtubeチャンネル「SAP2020動画」
- 施設紹介（オンライン）

H棟西側の大通りの歩行者数はかなり多かったものの、その大半はモノレールの利用者がキャンパス北部共通教育棟エリアやグラウンドで開催される学生企画への往復で通過する場面が多かった。これは歩行者から見て、H棟内で企画が開催されていることが分かりにくいためであることが指摘された。このため歩道からH棟内への誘導をはじめたところ、着実に参加人数が増えた。歩道側の窓や柱にポスターを掲示するなどの対策が必要であることがわかった。1日あたり5000名の人数制限は思いのほか厳しいようで、事前予約でチケットを購入できなかったという話をいくつか聞いた。親子で参加したかったが一人分しか取れなかったという大学生、チケットが取れないままとりあえず最寄り駅まで来てみて、たまたま出たキャンセル枠を取ることができたと喜んでいた熱心な高校生もいた。かなり多くの方々から注目されているイベントであることが改めてわかった。

## 第14章 大阪大学オープンキャンパス(理学部)

2022年度の大阪大学理学部オープンキャンパスは、2020、2021年度に新型コロナウイルス感染拡大防止のためオンラインのみで開催されていたものを、当初3年ぶりに対面の研究室訪問企画を復活させる予定であった。ただし、感染症対策のために対面企画も完全予約制で、ツアー形式を取り管理体制を強化した形での制限の大きなものを計画していた。しかしながら、開催直前に感染者急増傾向となり、開催日付近で増加のピークを迎えることが予想されたため、対面企画（研究室訪問ツアー）は急遽中止となった。

対面企画以外の各学科の「模擬講義」・「学科説明会」は完全オンライン形式で、2021年度同様に各学科から1名の模擬講義（8/8開催・Zoom, YouTube使用）と、8/9開催の学科紹介（Zoom使用）・女性講演会が開催された。また、中止された対面企画の代わりに、オーナープログラムによるオンライン企画が8/10に開催された。

理学部への参加者数は、8/8模擬講義へはのべ1094名、8/19学会紹介・女性講演会へは1113名であった。物理学科からは、模擬講義として

「X線宇宙を観測する！」（松本 浩典教授）

のZoom配信、

学科長・黒木和彦教授による学科紹介

のZoom配信を行ったほか、Webにおける学科紹介パンフレットの掲載や、

（厚さ100万分の1mmの物質 グラフェンの物理学：越野 幹人教授）

や

（地下深くの断層に到達、地震発生の謎に迫る：廣野 哲朗准教授）

の動画配信なども行った。

（文責：福田 光順）



## 第15章 令和四年度の年間活動カレンダー

|               |                            |
|---------------|----------------------------|
| 4月4日          | 新入生オリエンテーション               |
| 4月5日          | 入学式                        |
| 4月11日         | 春学期授業開始                    |
| 4月21日         | 物理学専攻教室会議(第376回)           |
| 5月3日 - 5月4日   | いちょう祭                      |
| 5月26日         | 物理学専攻教室会議(第377回)           |
| 6月10日         | 春学期授業終了                    |
| 6月13日         | 夏学期授業開始                    |
| 6月23日         | 物理学専攻教室会議(第378回)           |
| 7月28日         | 物理学専攻教室会議(第379回)           |
| 8月8日          | 夏学期授業終了(夏季休業8月11日 - 9月30日) |
| 8月30日         | 大学院合同入試 筆記試験               |
| 9月1 - 2日      | 大学院合同入試 面接試験               |
| 9月29日         | 物理学専攻教室会議(第380回)           |
| 10月3日         | 秋学期授業開始                    |
| 11月4日 - 7日    | 大学祭                        |
| 10月20日        | 物理学専攻教室会議(第381回)           |
| 11月24日        | 物理学専攻教室会議(第382回)           |
| 12月2日         | 秋学期授業終了                    |
| 12月5日         | 冬学期授業開始                    |
| 12月15日        | 物理学専攻教室会議(第383回)           |
| 12月27日 - 1月3日 | 冬季休業                       |
| 1月14日 - 15日   | 大学入学共通テスト                  |
| 1月19日         | 物理学専攻教室会議(第384回)           |
| 2月1日 - 3日     | 博士論文公聴会                    |
| 2月8日          | 冬学期授業終了                    |
| 2月8日 - 9日     | 修士論文発表会                    |
| 2月22日         | 物理学専攻教室会議(第385回)           |
| 2月25日         | 入学試験(前期日程)                 |
| 3月30日         | 物理学専攻教室会議(第386回)           |
| 3月23日         | 卒業式                        |

## 第16章 物理学専攻における役割分担

### <物理学専攻>

|                                     | 令和四年度 担当者           |
|-------------------------------------|---------------------|
| 専攻長 (物理学専攻)                         | 黒木                  |
| 副専攻長                                | 松野、浅川               |
| 物理学教室会議 議長団                         | 上野、塩貝、宮坂            |
| 物理学科長                               | 黒木                  |
| 専攻長 (宇宙地球科学専攻)                      | < 松本 >              |
| 大学院教育教務委員会                          | 山中                  |
| 大学院カリキュラム委員会                        | 山中                  |
| 大学院入試実施委員会                          | 山中、大野木              |
| 大学院入試説明会 WG                         | 黒木、山中、青木、工藤、兼村、浅野   |
| 物理学専攻・宇宙地球科学専攻入学案内資料作成              | < 植田、井上 >           |
| 前年度の年次報告書作成担当                       | 吉田、山中               |
| ネットワーク (ODINS) 管理                   | 佐藤 (亮)、上野           |
| 専攻 web 管理作成                         | 小田原                 |
| 理学部教職員過半数代表委員                       | 宮坂、赤松               |
| OCCS 化学薬品管理支援システム担当 (物理学専攻スーパーバイザー) | 上田                  |
| OGCS 高圧ガス管理支援システム                   | 上田                  |
| IPC 運営委員会                           | 越野○、< 保坂◎、Baiotti > |
| 図書委員                                | スレヴィン               |
| 物理メンバー写真パネル                         | 山中                  |

### <物理学科>

|                      | 令和四年度 担当者                 |
|----------------------|---------------------------|
| 学年クラス担任 (2022 年度入学生) | 青木 (1 組)、< 湯川 > (2 組)     |
| 学年クラス担任 (2021 年度入学生) | 工藤 (2 組)、< 山中 (千) > (1 組) |
| 学年クラス担任 (2020 年度入学生) | 松野 (1 組)、< 横田 > (2 組)     |
| 学年クラス担任 (2019 年度入学生) | 川畑 (2 組)、< 植田 > (1 組)     |

|                  |   |
|------------------|---|
| 拡大物理学教務委員会       | 新見○、西岡、塩貝、スレヴィン、小田原、宮坂（物理学実験）、越智（共通教育講義）、福田（共通教育実験）、＜桂木＞◎ |
| 3年生物理学生実験        | 花咲◎、宮坂、小田原、＜久富＞   |
| 生命理学コース運営・教務委員会  | 松野、＜住＞  |
| 1年生研修旅行          | 酒井◎、小田原（2022年度は中止）  |
| 能動性懇談会           | 工藤  |
| 就職担当             | ＜松本＞、R5.1より青木   |
| TA 担当 (理)        | 豊田  |
| TA 担当 (共通教育)     | 三原、清水   |
| TA 担当 (高度副プログラム) | 豊田  |
| 物理学科出張講義         | 福田  |
| 大阪大学理学部物理系同窓会    | 萩原◎、豊田、花咲、鳴海、野海（核物理研究センター）、吉田、廣瀬、黒木（専攻長、常任幹事）             |

＜理学研究科・理学部＞

|                     | 令和四年度 担当者   |
|---------------------|---|
| 研究科長・学部長            | ＜深瀬＞  |
| 副研究科長               | 豊田、＜近藤＞   |
| 企画調整会議              | 豊田、＜深瀬、近藤、久保、西田、藤原、水谷＞                              |
| 専攻長                 | 黒木、＜松本＞   |
| 産学連携推進部             | 豊田◎（副研究科長）  |
| 研究企画推進部会            | 豊田◎（フォアフロント、副研究科長）、青木、萩原（先端強磁場）                     |
| 共通機器管理部会            | 豊田◎（副研究科長）、福田                                       |
| 理学研究科ブロック・安全衛生管理委員会 | 大塚（専攻代表、電気・機械）、川畑（エックス線）、兼松（フォアフロント）、萩原（先端強磁場）、＜久富＞ |
| 防災委員会               | 黒木（専攻長）、萩原（液化室長）、萩原（先端強磁場）、川畑（放射線取扱主任者）             |
| 防災班員（第2班：物理学専攻）     | 黒木（班長）、松野、浅川  |
| いちよう祭実行ワーキンググループ    | 村川  |
| ネットワークシステム委員        | 佐藤（亮）、（フォアフロント）、木田（先端強磁場）                           |
| web 情報委員会           | 小田原   |
| 広報委員会               | 福田、越野   |

|                          |                              |
|--------------------------|------------------------------|
| オープンキャンパス小委員会            | 福田、工藤（イベント担当）                |
| SAP                      | 鳴海◎、福田                       |
| 技術部運営委員会                 | 萩原                           |
| 技術部各室連絡会議：               |                              |
| 分析機器測定室連絡会議              | 大塚、豊田（フォアフロント）               |
| 広報情報推進室連絡会議              | 越智                           |
| 教育研究支援室連絡会議              | 豊田（フォアフロント）◎、＜山中（千）＞         |
| 安全衛生支援室連絡会議              | 川畑、萩原（先端強磁場）◎                |
| 理学研究科等ハラスメント相談員          | 小田原                          |
| 理学研究科等(S)ハラスメント対策委員会委員   | 大塚                           |
| 国際交流委員会                  | 越野◎                          |
| 理学部入試委員会                 | 黒木（専攻長、学科長）                  |
| 理学部入試実施委員会（理学部AO入試実施委員会） | 川畑                           |
| 理学部共通教育連絡委員会             | 越智                           |
| 学部教育教務委員会                | 新見、西岡、＜桂木＞、大野木（教育実習担当）       |
| 理学部プロジェクト教育実施委員会         | 兼村                           |
| 学生生活委員会                  | 松野、工藤                        |
| 学生相談員                    | 松野、工藤                        |
| 大学院入試委員会                 | 大野木、山中（大学院教育教務委員）、黒木（専攻長）、小川 |
| 大学院教育教務委員会               | 山中                           |
| 施設マネジメント委員会              | 新見、萩原（先端強磁場）◎                |
| 放射線取扱主任者                 | 川畑                           |
| エックス線・放射線専門委員会           | 川畑                           |
| 放射線安全委員会                 | 川畑、小川                        |
| 放射線障害防止委員会               | 古野                           |
| 情報資料室運営委員会               | スレヴィン                        |
| フォアフロント研究センター運営委員会       | 豊田◎（フォアフロント、副研究科長）、小川○       |
| 構造熱科学研究センター運営委員会         | 花咲                           |
| 社会学連携委員会                 | 松野◎                          |
| 理学懇話会運営委員会               | 黒木（専攻長）、萩原                   |
| 先端強磁場科学研究センター運営委員会       | 萩原（先端強磁場）◎、花咲、松野、鳴海（先端強磁場）   |
| 大学院教育プログラム実施委員会          | 青木                           |

|         |                   |
|---------|-------------------|
| 選挙管理委員会 | 黒木（専攻長）、萩原（先端強磁場） |
| 留学生担当教員 | 越野                |
| 高大連携委員会 | 工藤                |

◎は委員長（リーダー、責任者）、< >内は協力講座、他専攻、他部局

## 第17章 グループ構成(令和四年度)

|                |   |
|----------------|---|
| グループ           | 研究テーマ   |
|                | 正メンバー   |
|                | 準メンバー   |
|                | 大学院学生<br>学部4年生  |
| 素粒子理論<br>(兼村)  | テーマ: 素粒子論的宇宙論, 素粒子現象論   |
|                | 正: 兼村晋哉, 佐藤亮介, 柳生慶<br>準: 片寄泰佑, Tanmoy Mondal  |
|                | D3: 田中正法<br>D2: 片山兼渡, 下田誠<br>D1: 村勇志<br>M2: 榊原蒼司, 鄧曉龍<br>M1: 谷口宙, 山中拓夢, GUOHAO YING<br>B4: 佐野弘明, FAN ZHIYI, 安田航一郎 |
|                |   |
| 素粒子理論<br>(大野木) | テーマ: 素粒子物理学, 格子ゲージ理論, 場の量子論   |
|                | 正: 大野木哲也, 田中実, 深谷英則<br>準: 〈高杉英一〉, 〈細谷裕〉, 窪田高弘, 東島 清   |
|                | D3: 川上紘輝<br>D2: 青木匠門, 小出真嵩, 西川航平<br>D1: 嶋守聡一郎<br>M2: 坂川友亮, 渡辺涼太, 山岡起也<br>M1: 荒木匠, 大澤駆, 藤岡李久<br>B4: 荒木匠, 大澤駆, 藤岡李久 |
|                |   |
| 素粒子理論<br>(西岡)  | テーマ: 超弦理論, 場の量子論, 量子重力, 数理物理, 量子情報  |
|                | 正: 西岡辰磨, 山口哲, 飯塚則裕<br>準: 森川億人   |
|                | D3: 住本尚之<br>D2: 姉川尊徳, 名古屋雄大<br>D1: 和田博貴<br>M2: 安藤恵一, 藤村晴伸<br>M1: 大手優斗, 河邊潤, 蓬郷修一郎<br>B4: 大手優斗, 河邊潤, 蓬郷修一郎         |
|                |   |
| 原子核理論          | テーマ: 高エネルギーハドロン物理学  |
|                | 正: 浅川正之, 北澤正清, 赤松幸尚<br>準: 河野泰宏  |
|                | D3: 伊藤広晃, 西村透<br>D2: NATHAN TOUROUX<br>D1: 芦川涼, 柳川耀平<br>M2: 北尾紫洗, 平岩義寛<br>M1: 井上恭輔, 水谷耕介<br>B4: 井上恭輔, 水谷耕介        |
|                |   |

|         |  |
|---------|--|
| 青 木     | テーマ: 素粒子実験物理学  |
|         | 正: 青木正治, 上野一樹, 佐藤朗<br>準: 板橋隆久, 小出義夫, 長尾大樹  |
|         | D3: WEICHAO YAO, DORIAN PIETERS<br>D2: SUN SI YUAN<br>D1: 東野祐太<br>M2: 宮滝雅己, 若林寛之, 杉田和正, 山科晴太, 元石尊寛<br>M1: 宮島秀明, 塩見篤史<br>B4: 佐藤蒼汰, 佐々木涼花, 城塚真也, 塩見篤史  |
| 川 畑     | テーマ: 原子核の構造研究、一般化されたハドロン間相互作用研究、ニュートリノ欠損二重ベータ崩壊の探索、原子核物理学的手法を用いた物性研究   |
|         | 正: 川畑貴裕, 小田原厚子, 吉田斉, 福田光順, 清水俊, 三原基嗣, 古野達也<br>準: 足立智, 阪口篤志, 岸本忠史, 下田正, 南園忠則, 松岡健次, 梅原さおり, 南雄人  |
|         | D3: 赤石貴也<br>D2: 坂梨公亮, NURHAFIZA BINTI MOHAMAD NOR<br>D1: 福留美樹<br>M2: 木村容子, 阪井俊樹, 高山元, 辻聖也, 徳田恵, 戸田匡哉, 氷見香奈子, 吉岡篤志<br>M1: 宇田隆佑, 白井竜太, 杉崎堯人, 田口諒, 林双葉, 本多祐也<br>B4: 岸野晃平, 柴田真尚, CHEN SITAN, 西川隆博, 宮原里菜, LIN YI-FAN, 渡辺薫, 石谷壮史 |
| 山 中 (卓) | テーマ: 高エネルギー物理学 (素粒子実験物理学)  |
|         | 正: 山中卓, 南條創, 廣瀬穰<br>準: 小寺克茂  |
|         | D3:<br>D2: 白石諒太, WICKREMASINGHE LAKMIN<br>D1: MARIO GONZALEZ<br>M2: 荒久田周作, 小野啓太, 藤田侑葵子, 北川歩<br>M1: 荒木田陸斗, 川田悠統, 久郷莉奈, 柴田哲平<br>B4: 安藤彰洋, 着本壮人   |

|     |  |
|-----|--|
| 小 川 | テーマ: 物性理論 (開放系の量子力学)、量子光学  |
|     | 正: 小川哲生, 天橋琢磨<br>準: 越野和樹, 石川陽  |
| 黒 木 | テーマ: 物性理論  |
|     | 正: 黒木和彦, Keith Martin Slevin, 金子竜也<br>準: 白井秀知, 越智正之  |
|     | D3:<br>D2:<br>D1:  |
|     | M2: 梶谷拓矢, 堀内健司<br>M1: 相田哲明, 梶昌孝, 八木俊輝<br>B4: 植田涼太, 榎並龍太郎, 田中天, 宮本英雄  |
| 越 野 | テーマ: 物性理論  |
|     | 正: 越野幹人, 川上拓人<br>準: 松木義幸, Priyadarshini Kapri  |
|     | D3: 岡裕樹, 藤本大仁<br>D2: 中辻直斗, 人見将<br>D1: LUKAS PRIMAHATVA ADHITYA KRISNA, 玉置弦<br>M2: YUFEI LIU, 谷天太, 山本和輝, TAKAAKI JOYA<br>M1: 五十嵐勇治, 河岡巧真<br>B4: ALIZADEH KASHTIBAN EHSAN, 園悠希 |
|     |  |



|    |   |
|----|---|
| 工藤 | テーマ: 超伝導体の物質開発  |
|    | 正: 工藤一貫, 宮坂茂樹, 中島正道   |
|    | D3:<br>D2:<br>D1:<br>M2: 岸大路泰宏, 高木健輔, 藤井隆弘<br>M1: 須崎洋岳, 花田洗志, 真鍋馨, 守安悠人, 和田大輝<br>B4: 浦矢郁人, 岡宏大, 眞崎世間              |
| 新見 | テーマ: 新奇ナノスケール物性の開拓とスピン流物理の学理の構築   |
|    | 正: 新見康洋, 蔣 男  |
|    | D3: 徳田将志<br>D2: 太田智陽, 渡邊杜<br>D1: 藤原浩司<br>M2: 大星和毅, 黒川開斗, 中村瞭弥<br>M1: 浅間遼太郎, 前田将輝<br>B4: 松本史弥, 山口優陽                |
| 豊田 | テーマ: 学際的質量分析学を拓くイオンの物理  |
|    | 正: 大塚洋一<br>準: 豊田岐聡, 兼松泰男, 河井洋輔, 古谷浩志, 市原敏雄, 大須賀潤一, 本堂敏信, 樋上照男   |
|    | D3: 小林浩之<br>D2:<br>D1:<br>M2: 井川翔太, 西澤正崇, JIANZHONG WANG<br>M1: 岡田菜樹, 鈴木舜也, MENGZE SUN<br>B4: 吉松佑華, 中村勇貴          |
| 花咲 | テーマ: 強相関電子系の量子輸送現象  |
|    | 正: 花咲徳亮, 酒井英明, 村川寛<br>準: <渡邊功雄>   |
|    | D3: 近藤雅起<br>D2:<br>D1:<br>M2: 源拓栄, 湯浅直輝, 川原優人<br>M1: 岩瀬圭祐, 古谷大樹, 宮本雄哉<br>B4: 西真輝, 前田涼太, 見里朝彦                      |
| 松野 | テーマ: 強相関電子系の界面における物性物理学   |
|    | 正: 松野丈夫, 塩貝純一, 上田浩平<br>準:   |
|    | D3:<br>D2:<br>D1: 堀惣介, KARL ERIK FRISCHMUTH<br>M2: 廣瀬有経, 森本鉄郎<br>M1: 厚美竜二, 沖本稜弥, 小林友祐<br>B4: 石田一成, 田島悠輔, 森祐輔, 神山周 |

|         |  |
|---------|--|
| 協力講座の学生 | <p>D3: WANG XUAN, 廣本政之, 吉川大幹, 松本雄太, 杉本馨, 武田佳次朗, 原隆文, 池田良平, JIBON KRISHNA MODAK, GABRIEL GULAK MAIA, NGUYEN VAN HOANG VIET, 藤井大輔, OMAR ZHADYRA, TUNG THANH PHAM</p> <p>D2: 二本木克旭, YUKI REA HAMANO, 森浩睦, 近藤亮太, 中井創, 高木悠司, 瀧澤龍之介, ZHENZHE LEI</p> <p>D1: RENDONG HU, 岩中章紘, 枝川知温, 中田響, 莊浚謙</p> <p>M2: 小宮立樹, 富田幸宏, 中田悠介, 立川槇吾, 吉田悠人, YITONG CHEN, TIANCHEN ZHANG, 金子悠仁, 西岡蒼矢, ZHAO HANG, 新名嶺偉, 三好剛, 山本勇次, MINH NHAT LY, JINYUAN DUN, 前川珠貴, 吉田知生, YUBO WANG, 神田哲汰, 山本智士, 上野裕也</p> <p>M1: 兵頭周, 大江海静, 織戸悠輔, 丸山恭史, 三川基, 森本大幹, 杉原弘基, MUHAMMAD FRASSETIA LUBIS, 湯田秀明, 佐藤新悟, 小松伴行, 築道拓実, 小島陸, KAI WEN KELVIN LEE, 橘 高正樹, 松井昇大朗, 宮本憲伸</p> <p>B4: 西裕介, 松木海登, 長井駿, 吉田桃大, 西原快人, 藤井聡志, 伊飼貴一, 新正朋暉, 井上祥, 山下慧, 富永浩介, 井村友紀</p> |
|---------|--|

【注1】 〈 〉 招へい教員

【注2】 協力講座は大学院生と学部4年生のみ記載