

令和元年度 (2019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2019年度(2019年4月～2020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。

研究面については、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、さらに日本国内の大学や研究機関と協力しています。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、数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、これまでの博士教育とは異なる大学院教育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て英語による講義を行う International Physics Course (IPC) を設置し、国際化を推進しています。また、高校での出前講義などの多くの社会貢献も進めております。

現在、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、私共物理学専攻も無関係ではられません。また、この数年間に何名もの教授の方が退職され、研究室の入れ替わりが進みました。このように物理学専攻は大きな変化を経験しましたが、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。

2020年度物理学専攻長 花咲 徳亮

**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	川畑グループ	1
1.2	久野グループ	30
1.3	山中（卓）グループ	41
1.4	小林グループ	49
1.5	田島グループ	60
1.6	豊田グループ	67
1.7	花咲グループ	70
1.8	松野グループ	80
1.9	素粒子理論グループ	84
1.10	原子核理論グループ	108
1.11	小川グループ	117
1.12	黒木グループ	119
1.13	越野グループ	128
<b>第 2 章</b>	<b>受賞と知的財産</b>	<b>136</b>
<b>第 3 章</b>	<b>学位論文</b>	<b>139</b>
3.1	修士論文	139
3.2	博士論文	143
<b>第 4 章</b>	<b>教育活動</b>	<b>145</b>
4.1	大学院授業担当一覧	145
4.2	学部授業担当一覧	160
4.3	共通教育授業担当一覧	163
4.4	物理学セミナー	167
<b>第 5 章</b>	<b>物理談話会，南部コロキウム</b>	<b>168</b>
5.1	物理談話会	168
5.2	南部コロキウム	169
<b>第 6 章</b>	<b>学生の進路状況など</b>	<b>170</b>
6.1	学部卒業生の進路	170
6.2	博士前期課程修了者の進路	171
6.3	International Physics Course (IPC) 前期課程修了者の進路	172

6.4	博士後期課程修了者の進路 . . . . .	172
6.5	International Physics Course (IPC) 後期課程修了者の進路 . . . . .	173
6.6	学生のインターンシップ参加 . . . . .	173
<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>174</b>
7.1	プログラムの目的 . . . . .	174
7.2	プログラムの概要・特徴 . . . . .	174
7.3	令和1年度の活動 . . . . .	175
<b>第8章</b>	<b>理数オナープログラム</b>	<b>179</b>
8.1	令和元年度活動概観 . . . . .	179
8.2	オナーセミナー . . . . .	180
8.3	自主研究と発表会 . . . . .	181
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 . . . . .	182
8.5	オナープログラム参加者の活動記録 . . . . .	182
<b>第9章</b>	<b>国際化推進事業</b>	<b>184</b>
9.1	International Physics Course (IPC) . . . . .	184
<b>第10章</b>	<b>大学院等高度副プログラム</b>	<b>187</b>
10.1	プログラムの目的 . . . . .	187
10.2	基礎理学計測学 . . . . .	187
10.3	放射線科学 . . . . .	188
<b>第11章</b>	<b>国際交流活動</b>	<b>190</b>
11.1	目的 . . . . .	190
11.2	活動の内容 . . . . .	190
11.3	海外から阪大への来訪者 . . . . .	190
11.4	海外研究機関訪問 . . . . .	191
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 . . . . .	191
11.6	部局間学術交流協定 . . . . .	191
11.7	その他 . . . . .	193
<b>第12章</b>	<b>湯川記念室</b>	<b>195</b>
12.1	令和元年度活動概観 . . . . .	195
12.2	第35回湯川記念講演会 . . . . .	195
12.3	その他 . . . . .	196

<b>第 13 章 社会活動</b>	<b>197</b>
13.1 物理学科出張講義の記録	197
13.2 最先端の物理を高校生に Saturday Afternoon Physics 2019	200
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	202
13.4 理科教育セミナー	204
<b>第 14 章 大阪大学オープンキャンパス (理学部)</b>	<b>206</b>
<b>第 15 章 令和元年度の年間活動カレンダー</b>	<b>207</b>
<b>第 16 章 物理学専攻における役割分担</b>	<b>208</b>
<b>第 17 章 グループ構成 (令和元年度)</b>	<b>212</b>





# 第1章 各研究グループの研究活動報告

## 1.1 川畑グループ

### $^{10}\text{C}(\alpha',\alpha)$ 反応の測定と $Z = 6$ の魔法性の検証

近年、陽子半径の系統的な測定から、中性子過剰核において陽子数  $Z = 6$  が魔法数の性質を示すことが指摘されている。そこで、我々はこの魔法性が陽子過剰側を含む炭素同位体で広く成立するものであるかを検証するために、陽子過剰な  $^{10}\text{C}$  に対するアルファ散乱の測定を行った。

測定は大阪大学核物理研究センター (RCNP) において実施した。96 MeV/u の  $^{12}\text{C}$  ビームを  $^9\text{Be}$  標的に照射し、68 MeV/u の  $^{10}\text{C}$  二次ビームを生成して、MAIKo アクティブ標的に入射した。 $^{10}\text{C}$  ビームと MAIKo アクティブ標的中の He ガスの散乱により反跳された  $\alpha$  粒子を検出し、質量欠損分光法によって  $^{10}\text{C}$  の励起エネルギースペクトルを得た。MAIKo アクティブ標的を用いることで、 $q = 0.4 \text{ fm}^{-1}$  という低運動量移行領域での測定に成功し、弾性散乱及び  $2_1^+$  状態への非弾性散乱について微分断面積の角度分布を決定した。そして、これらを包括的に解析することにより、 $^{10}\text{C}$  の  $2_1^+$  状態に対する中性子遷移行列要素  $M_n$  を得た。さらに、同じ状態の寿命測定から得られた陽子遷移行列要素  $M_p$  と比較することで、中性子と陽子の遷移強度比  $M_n/M_p = 1.05 \pm 0.11(\text{fit}) \pm 0.17(\text{sys.})$  が得られた。 $M_n/M_p$  が 1 に近い値であることは、陽子過剰な  $^{10}\text{C}$  における  $Z = 6$  の魔法性が顕著なものではないことを示しており、 $Z = 6$  の魔法性が中性子過剰核に特有な現象であることが明らかになった。この成果を Phys. Rev. C 誌 [T. Furuno *et al.*, Phys. Rev. C **100**, 054322 (2019).] において公表した。

### 高密度環境下におけるトリプルアルファ反応率の測定

トリプルアルファ反応は  $^{12}\text{C}$  より重い元素を合成するための戸口反応であり、宇宙での元素合成において最も重要な原子核反応のひとつである。トリプルアルファ反応では、主に  $3\alpha$  崩壊の閾値近傍に位置する  $3\alpha$  共鳴状態である  $^{12}\text{C}(0_2^+)$  状態を経由する。大半の  $^{12}\text{C}(0_2^+)$  状態は3つの  $\alpha$  粒子へ崩壊するが、稀に  $\gamma$  線を放出して脱励起をすることで、 $^{12}\text{C}$  の基底状態へと至る。しかし、 $\rho \sim 10^6 \text{ g/cm}^3$  のような高密度環境下では、自発的な  $\gamma$  崩壊に加え、背景に存在する粒子との非弾性散乱による脱励起が増加し、トリプルアルファ反応を劇的に促進すると指摘されている。特に電荷を持たない中性子はクーロン障壁の影響を受けないため脱励起を促進する効果が大きい。

トリプルアルファ反応に対する中性子非弾性散乱の影響を評価するには、 $^{12}\text{C}$  と中性子の非弾性散乱により  $^{12}\text{C}(0_2^+)$  状態を励起する断面積を決定する必要がある。特に、 $^{12}\text{C}(0_2^+)$  状

態を励起することができる中性子エネルギーの閾値近傍 ( $E_n = 8.3$  MeV) における断面積が重要である。しかし、閾値近傍における非弾性散乱では終状態における放出粒子のエネルギーが低いために、通常の実験セットアップでこれを測定することは容易でない。そこで、我々は MAIKo アクティブ標的を用いた測定を着想した。

2019年度、我々は大阪大学の強力 14 MeV 中性子工学実験施設 (OKTAVIAN) においてテスト実験を実施した。OKTAVIAN から供給される中性子ビームをイソプタンと He ガスで満たした MAIKo アクティブ標的へ照射し、 $^{12}\text{C}(0_2^+)$  状態から崩壊した3つの低エネルギー  $\alpha$  粒子の運動量を測定した。3つの  $\alpha$  粒子の不変質量を評価することで、 $^{12}\text{C}$  の励起エネルギーを決定し、 $^{12}\text{C}(0_2^+)$  状態の励起を同定することに成功した。

### 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原子核の  $\beta$  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ことが出来る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、高エネルギー加速器研究機構、東京農工大学) と、新世代の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の研究を行っている。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、変形しているという「逆転の島」と呼ばれる質量領域があり、それら原子や原子核の構造解明を進めている。

2019年11月に逆転の島の領域の境界に位置する原子核である、アルミニウム 31 核とアルミニウム 33 核の原子核構造を解明するために、上記の手法を用いた実験を TRIUMF において実施した (図 1.1、図 1.2)。低い励起エネルギー領域に様々な形や運動をする状態 (変形共存) の出現が期待でき、現在、データ解析を進めている。

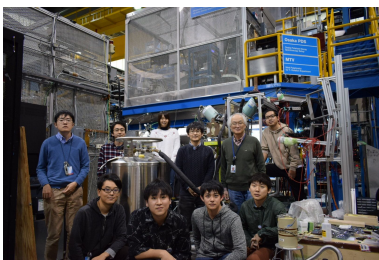


図 1.1: TRIUMF 実験時の写真。

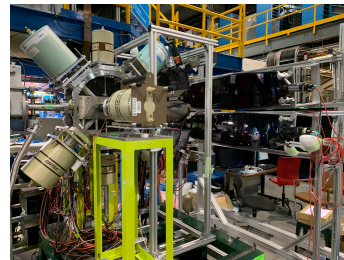


図 1.2: TRIUMF 実験の検出器。

### 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

質量数が 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  $\beta$  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。しかし、この質量領域の原子核の生成は非常に難しいために質量や寿命などの基本的な実験データさえほとんどなく、シミュレーション計算では理論的予測に基づく物理量が使われている。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 RI ビー

ムファクトリーで、生成限界の原子核の $\beta$ 崩壊と寿命をもつ励起状態（アイソマー）探査を行う国際共同研究 EURICA プロジェクトが実施された。その結果の1つとして、新しく決定した半減期をまとめた論文は来年度はじめに出版予定である。また、我々のグループは $\beta$ 崩壊するアイソマーを発見し、論文を執筆中である。このアイソマーは現在の元素合成理論では考慮されておらず、 $r$ 過程の反応スピードに影響を与える可能性がある。

## J-PARC E36 実験

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 ( $K_{\mu2}$ ) の分岐比の比  $R_K = \Gamma(K_{e2})/\Gamma(K_{\mu2})$  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分析される。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  $\gamma$  線は、静止標的の回りを囲むように設置された 768 本の CsI(Tl) モジュールで構成されるカロリメータで観測された。 $R_K$  の決定には、構造依存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。図 1.3 に (a) 荷電粒子解析で得られた  $K_{e2}$  崩壊 (b)  $\gamma$  線を CsI(Tl) で検出することで観測された  $K_{e2\gamma}$  の陽電子運動量分布を示す。得られた結果は既存のデータと大きく乖離しており、今後の動向が注目されている。

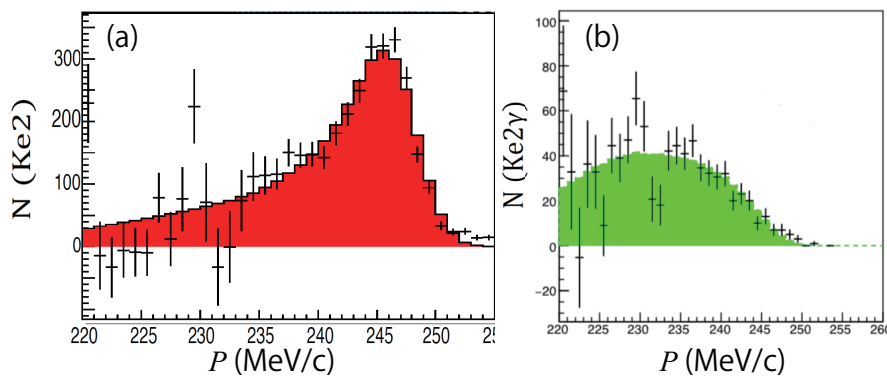


図 1.3: (a) 荷電粒子解析で得られた  $K_{e2}$  崩壊。(b)  $\gamma$  線を CsI(Tl) で検出することで観測された  $K_{e2\gamma}$ 。

更に、新しい研究の試みとして  $K^+ \rightarrow \mu^+\pi^0\nu$  ( $K_{\mu3}$ ) 崩壊を用いた時間反転対称性破れ (T 非保存) 探索実験の準備を始めた。 $K_{\mu3}$  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、荷電粒子を磁気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 [図 1.4(a)]。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 $\gamma$ 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 $\text{CeF}_3$ 結晶に打ち込み、残留偏極度を調べたところ、図1.4(b)のように常温でも80%以上が保持されることを見出した。赤丸と青丸が $\text{CeF}_3$ データで、黒丸が100%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。

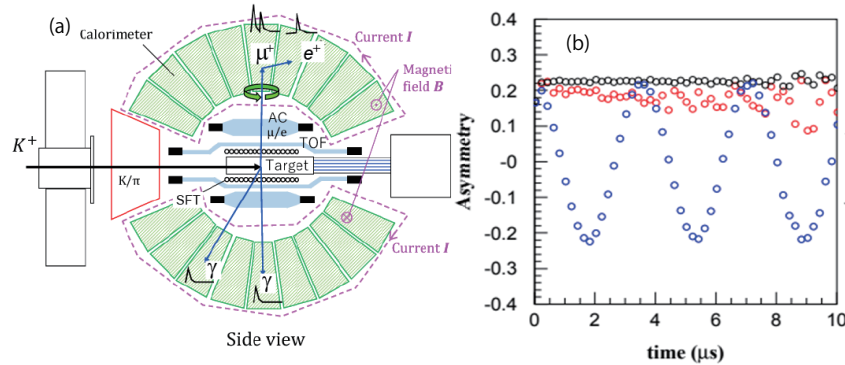


図 1.4: (a) 新しく提案された実験のセットアップ。(b)  $\text{CeF}_3$  結晶での残留ミュオン偏極度。赤丸と青丸が  $\text{CeF}_3$  データで、黒丸が 100% 偏極に相当する。

## ストレンジネス核物理

ストレンジネスの自由度を導入した新たな原子核について研究を行っている。原子核中の核子はアップとダウンクォークで構成されている。これらと異なるストレンジクォークを原子核中に導入することにより、ハドロン間相互作用に関する研究が可能となる。これに関連した以下の研究を進めている。

ストレンジネスを持つバリオンである $\Lambda$ ハイペロンや $\Xi$ ハイペロンを原子核に埋め込んだハイパー核の研究を行っている。 $\Lambda$ ハイペロンを2個原子核に導入すると、ダブル $\Lambda$ ハイパー核が、また $\Xi$ ハイペロンを導入すると、 $\Xi$ ハイパー核が生成される。ハイパー核の研究により、2個の $\Lambda$ ハイペロン間の相互作用および $\Xi$ と核子間の相互作用の研究が可能になる。しかし、ダブル $\Lambda$ あるいは $\Xi$ ハイパー核の生成はこれまで数例しかなく、十分な情報が得られていない。多数のダブル $\Lambda$ および $\Xi$ ハイパー核を生成するため、2個のストレンジクォークを導入可能な $(K^-, K^+)$ 反応と、ハイブリッド・エマルジョン法を用いたハイパー核生成実験(J-PARC E07 実験)の解析を進めた。解析により、多数のダブル $\Lambda$ ハイパー核および $\Xi$ ハイパー核の生成事象の候補が見つかった。特に、 $\Xi$ ハイパー核について、生成ハイパー核が不定性なく決まる事象が発見され、詳細な解析により $\Xi$ ハイペロンと核子の相互作用に関する貴重な情報が得られた。

ストレンジネスを持つ他のバリオンとして $\Sigma$ ハイペロンがある。 $\Sigma$ ハイペロンを原子核中に埋め込んだものは $\Sigma$ ハイパー核と呼ばれるが、これまでに発見された $\Sigma$ ハイパー核は一種( $^4_2\text{He}$ )のみで、その基底状態の存在だけが実験的に知られている。このため $\Sigma$ ハイペロンと原子核の相互作用についての情報は十分ではない。 $\Sigma$ ハイペロンと原子核の相互作用

のより詳しい情報を得るため、 $(K^-, \pi^-)$  反応を用いて  $\Sigma$  ハイパー核の励起状態を探索する実験 (J-PARC E13 実験) を実施しデータ解析を進めている。また、 $\Sigma$  ハイペロンと核子の相互作用を、 $\Sigma N$  散乱の直接測定により研究する J-PARC E40 実験を実施した。従来の実験を大きく上回る量の  $\Sigma^- p$  散乱および  $\Sigma^+ p$  散乱の実験データが得られ、散乱断面積を導出するためのデータ解析を精力的に進めている。

最も軽い  $\Lambda$  ハイパー核として知られている  ${}^3_{\Lambda}\text{H}$  の弱崩壊の寿命が最近話題となっている。理論的には、 ${}^3_{\Lambda}\text{H}$  の寿命は  $\Lambda$  ハイペロンの寿命程度 (約 263 ps) と予想されているが、それよりはかなり短い寿命の値が、高エネルギー重イオン衝突実験で生成された  ${}^3_{\Lambda}\text{H}$  の測定から得られている。J-PARC において、 ${}^3\text{He}(K^-, \pi^0){}^3_{\Lambda}\text{H}$  反応を用いて、この  ${}^3_{\Lambda}\text{H}$  の寿命を高精度で測定するためのプロジェクトを進めつつある。

#### ${}^{48}\text{Ca}$ の二重ベータ崩壊の研究 宇宙における物質起源の解明

我々の宇宙は、「物質」だけで構成されており「反物質」が存在する証拠はない。この「宇宙における物質と反物質の非対称性問題」の有力な解として、レプトジェネシスシナリオが期待されている。このシナリオが成立するためには、レプトン数保存則を破る「ニュートリノを放出しない二重ベータ ( $0\nu\beta\beta$ ) 崩壊」の実験が不可欠である。この「 $0\nu\beta\beta$  崩壊」は、非常に稀な事象 (半減期が  $10^{26}$  年以上) であり、極低バックグラウンドかつ超大型の高感度検出器が必要である。

我々は、 ${}^{48}\text{Ca}$  を標的原子核とした  $0\nu\beta\beta$  崩壊探索のため、CANDLES 実験計画を推進している。 ${}^{48}\text{Ca}$  は全ての二重ベータ崩壊原子核のなかで最も Q 値が高い (4.27 MeV) ので、本質的に放射性バックグラウンドの少ない環境での測定を実現しやすい。CANDLES 検出器は  ${}^{48}\text{Ca}$  同位体を含む  $\text{CaF}_2$  シンチレータを利用しており、神岡地下実験施設に設置され、バックグラウンドの少ない高感度測定を実現している。

2019 年度は、これまでに取得した 778 日分のデータを解析し結果を得ることに成功した。図 1.5(a) は、 $0\nu\beta\beta$  崩壊測定用の事象選択を行った結果のエネルギースペクトルを示す。Q 値の領域 (4.17–4.48 MeV) には 3 事象のバックグラウンドが観測されており、結果として、我々は  ${}^{48}\text{Ca}$  の  $0\nu\beta\beta$  崩壊半減期の下限值に対して世界最高感度を更新し続けている。

バックグラウンドの低減には、検出器のエネルギー分解能改良が極めて有効である。我々のグループは、韓国 IBS 研究所と共同で、MMC (Metallic Magnetic Calorimeter) 超伝導センサーと  $\text{CaF}_2$  シンチレータを組み合わせた、高分解能検出器の開発を進めている。図 1.5(b) は、 $\text{CaF}_2$  検出器内部に含まれるウラン系列の放射性核種から放出される  $\alpha$  線を同定して得られたエネルギースペクトルである。世界で初めて  $\text{CaF}_2$  結晶を使った蛍光熱量計の開発に成功し、1.8% (@4.9 MeV) のエネルギー分解能を達成した。

#### 原子核における陽子・中性子・核子密度分布の測定

不安定原子核の核構造や核物質の状態方程式を明らかにするため、原子核衝突の反応断面積を利用して、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。中性子過剰核の中性子スキンの厚さ

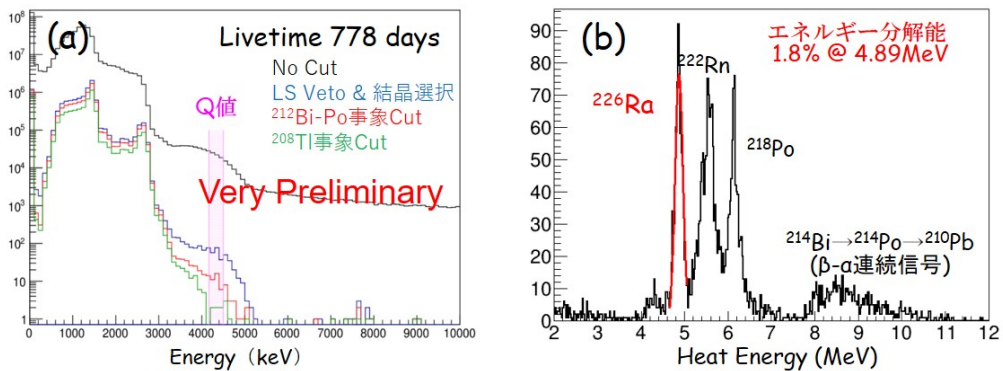


図 1.5: (a) CANDLE III 検出器の  $\text{CaF}_2$  シンチレータで得られたエネルギースペクトル。778 日の測定データに、バックグラウンド事象を除去する解析を行った。(b)  $\text{CaF}_2$  蛍光熱量検出器によって得られた熱量エネルギースペクトル。

は、非対称核物質の状態方程式パラメータと密接な関連があり、このパラメータは、中性子星の構造や超新星爆発メカニズムなどの宇宙物理学の問題を明らかにするための鍵といわれている。そこで我々は、Ni および Ca 同位体の相互作用断面積・荷電変化断面積を測定することにより、中性子スキンの厚さを系統的に質量数の関数として調べる研究を進めている。

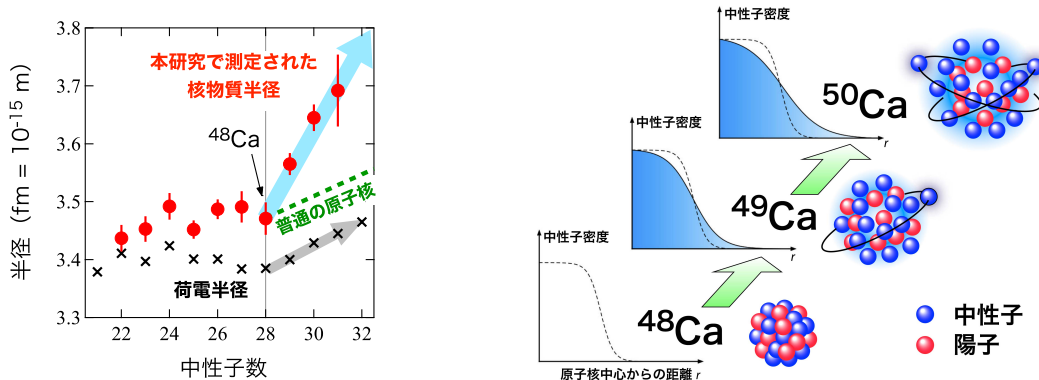


図 1.6: Ca 同位体の核物質半径 図 1.7:  $N \geq 28$  の Ca 同位体で  $^{48}\text{Ca}$  芯が膨れる様子

理化学研究所 RI ビームファクトリーにて 350 MeV/u に加速された  $^{238}\text{U}$  ビームの飛行核分裂反応を用いて得られた  $^{42-51}\text{Ca}$  同位体の相互作用断面積（衝突確率に相当する）から得られた核物質半径を図 1.6 の丸印に示す。この図に見られるように、二重魔法数核  $^{48}\text{Ca}$  の中性子魔法数  $N = 28$  を越えたところで核物質半径が急激に増加し始めることが発見され、この増加率はこれまでに分かっていた荷電半径の増加率を遥かに大きく上回ることがわかった。この核半径増大は、単純に  $^{48}\text{Ca}$  芯の完全に外側に中性子を付け加えていった時の核半径増大を大きく超えており、付け加えた中性子が  $^{48}\text{Ca}$  芯をあたかもふやけさせたかのように膨らませていると考えられ (図 1.7 参照)、大変興味深い。この発見は、Phys. Rev. Lett. 誌に掲載 [M. Tanaka *et al.*, Phys. Rev. Lett. **124**, 102501 (2020).] されたほか、プレスリリースされ科学新聞 (2020 年 3 月 27 日, 3771 号) でも取り上げられた。

原子核同士の衝突確率（相互作用断面積や反応断面積）による核半径の研究は前述のように極めて有効であるが、一般的にはこの方法で求められるのは陽子・中性子を区別しない核子の空間分布に関する情報である。この衝突確率を利用して、同時に陽子・中性子それぞれの分布を区別して調べることができたら極めて有効な研究手段となる。我々はそのような試みに、荷電変化断面積の測定によって挑戦中である。荷電変化断面積 ( $\sigma_{cc}$ ) とは核反応の前後で陽子数が変化する全断面積であり、陽子分布半径に感度があると考えられている。つまり、入射核中の陽子分布半径が大きいほど、陽子が標的核に衝突する確率が大きくなり、 $\sigma_{cc}$  が大きくなると考えられ、実際にそのような実験データが報告されている。しかし、最近の我々の研究により  $\sigma_{cc}$  と陽子分布半径の関係はそれほど単純ではないことがわかってきた。そこで、これらの関係を明らかにするために、陽子分布半径が既知の Na, Mg 同位体チェーンについて精度よく  $\sigma_{cc}$  を測定した。放射線医学総合研究所重イオンシンクロトロン HIMAC により加速された 250 MeV/u の  $^{40}\text{Ar}$  1 次ビームから入射核破砕反応により生成された、150–200 MeV/u の  $^{21-28}\text{Na}$  および  $^{22-31}\text{Mg}$  2 次ビームに対し、炭素標的に対する荷電変化断面積を測定した。Na 同位体についての測定結果とモデル計算の比較を図 1.8 に示す。この図から、(i) 中性子過剰になるにつれて  $\sigma_{cc}$  は減少する傾向にあり、(ii) 中性子数の偶奇性が  $\sigma_{cc}$  に影響を与えていることが明らかとなり興味深い。

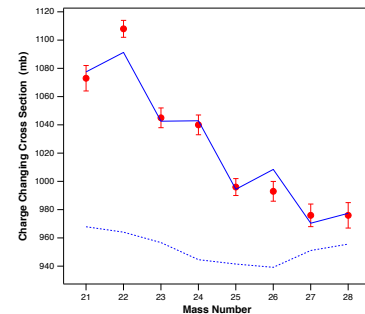


図 1.8: Na 同位体の  $\sigma_{cc}$  実験値とモデル計算値 (実線・点線)

## 超高時間分解能 TOF 検出器の開発

核反応生成物の速度を測定することは、その生成物の粒子識別に利用できるだけでなく、運動量分布などの核構造を反映する物理量測定にも貢献する。例えば、 $^{16}\text{N}$  アイソマー状態核半径を、より感度よく調べるためには、 $^{16}\text{N}$  の 1 中性子剥離反応で生成される  $^{15}\text{N}$  の運動量分布を測定することが有効である。このような測定を限られた実験スペースで実現するために、飛行時間 (TOF) 測定のための超高時間分解能検出器の開発を行っている。クエンチ剤を添加した特殊なプラスチックシンチレータと新型の高速光電子増倍管 (浜松ホトニクス) を組み合わせて製作した結果、図 1.9 にプロットされた 1 次ビームによるテスト実験の成果が示すように、軽核領域で時間分解能  $\sigma \sim 10$  ps, 原子番号  $\sim 50$  領域で  $\sigma \sim 5$  ps という極めてよい値を達成することに成功した。この検出器を用いれば、飛行距離わずか 2 m でも、運動量分解能 0.1% を余裕で切ることが可能であり、前述のような研究に有効利用できることがわかった。

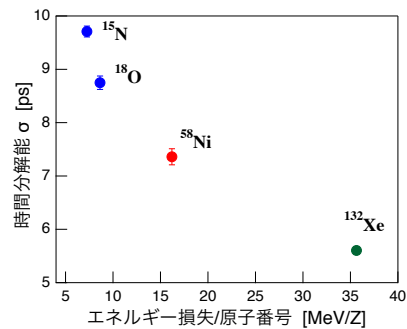


図 1.9: 超高時間分解能 TOF 検出器のテスト結果

### $\beta$ 線検出核磁気共鳴法を用いた物質科学研究

短寿命放射性核を用いることにより、従来の核磁気共鳴 (NMR) に比べ格段に高い検出感度を有する  $\beta$ -NMR ( $\beta$ 線検出核磁気共鳴) 法を用いたユニーク物質科学研究を行っている。我々は、液体の水の中の  $\beta$ -NMR 測定に世界で初めて成功し、水中に打ち込まれた窒素イオンが少なくとも2種類の化学種を形成することを明らかにした。

本年度は、これらの化学種を同定するために、NMR における化学シフトを決定するための参照試料の探索を行った。図 1.10 に示すように、様々な窒素化合物水溶液または溶媒中に打ち込まれた短寿命窒素同位体  $^{17}\text{N}$  ( $T_{1/2} = 4.173 \text{ s}$ ) の  $\beta$ -NMR スペクトルを測定した。その結果、母体試料中の窒素と置換している可能性をもつ、すなわち参照試料として有望な物質があることが示された。今後さらに精密な測定を行っていく予定である。

地球上に豊富に存在する酸素は大変重要な役割を担う元素であるが、NMR 観測可能な安定同位体  $^{17}\text{O}$  の天然存在比が 0.038% と非常に小さいため、従来の NMR 法による信号検出は困難な状況にある。我々は、酸素の放射性同位体  $^{19}\text{O}$  ( $T_{1/2} = 27 \text{ s}$ ) の NMR プローブ核としての有用性に注目し、スピン偏極  $^{19}\text{O}$  ビームの生成テストを行った。70 MeV/u の  $^{18}\text{O}$  ビームを用いて、中性子ピックアップ反応により  $^{19}\text{O}$  を生成し、図 1.11 に示すようにいくつかの酸化物結晶中に停止させた後の偏極  $P$  の時間変化を測定した。その結果、 $\beta$ 線非対称度  $AP$  ( $A = -0.67$ ) の大きさが最大約 7% と大きく、かつ強度も高いことから、今回テストした方法が有望であることが示された。

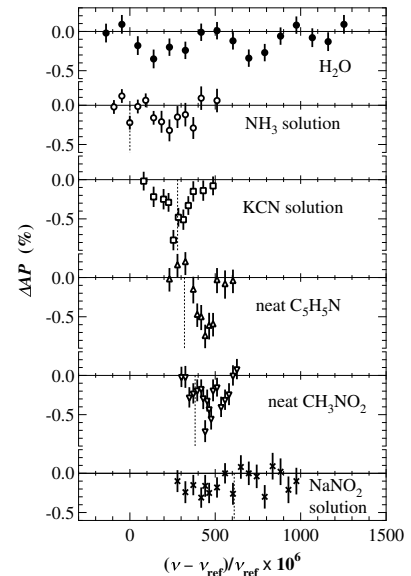


図 1.10: 窒素化合物水溶液中  $^{17}\text{N}$  の  $\beta$ -NMR スペクトル

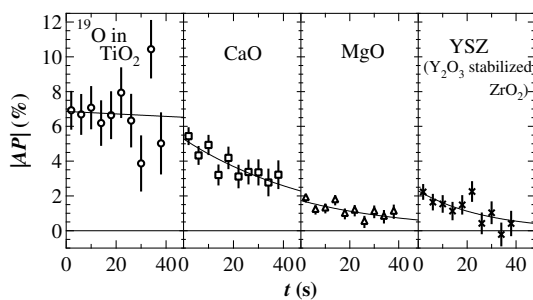


図 1.11: 酸化物結晶中での  $^{19}\text{O}$  偏極時間変化

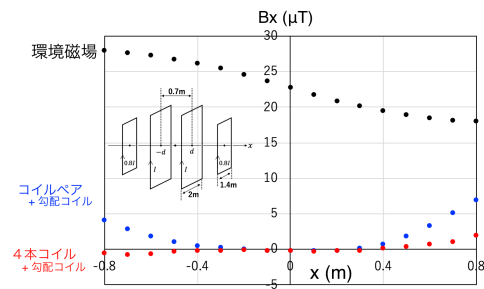


図 1.12: 準球面配置型コイルでの磁場分布



### 超冷中性子を用いた中性子電気双極子モーメント測定

超冷中性子を用いた中性子電気双極子モーメント測定では、比較的低温、一様性の良い磁場中でラムゼー共鳴を行う必要がある。これを実現するため、第1段階の磁気遮蔽で必須になる、地磁気など環境磁場を効率良く自動補償する3次元アクティブシールドの開発を行っている。中心磁場と磁場勾配のテンソル要素まで補償するが、これまで中心磁場の補償に用いていた準ヘルムホルツコイル対を改良し、正方形コイル4本の準球面配置を導入した。磁気遮蔽領域が格段に広がり、これまでの2倍にあたる、中心付近  $x = \pm 0.5$  m の範囲で残留磁場  $1 \mu\text{T}$  以下を達成した (図 1.12)。

### 学術雑誌に出版された論文

#### Compression-mode resonances in the calcium isotopes and implications for the asymmetry term in nuclear incompressibility

K. B. Howard, U. Garg, M. Itoh, H. Akimune, S. Bagchi, T. Doi, Y. Fujikawa, M. Fujiwara, T. Furuno, M. N. Harakeh, Y. Hijikata, K. Inaba, S. Ishida, N. Kalantar-Nayestanaki, T. Kawabata<sup>s</sup>, S. Kawashima, K. Kitamura, N. Kobayashi, Y. Matsuda, A. Nakagawa, S. Nakamura, K. Nosaka, S. Okamoto, S. Ota, S. Weyhmler, and Z. Yang

Phys. Lett. B **801** (Feb.) (2020) 135185 1-5

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.physletb.2019.135185>).

#### Neutron quadrupole transition strength in $^{10}\text{C}$ deduced from the $^{10}\text{C}(\alpha, \alpha')$ measurement with the MAIKo active target

T. Furuno, T. Kawabata<sup>s</sup>, S. Adachi<sup>s</sup>, Y. Ayyad, Y. Kanada-En'yo, Y. Fujikawa, K. Inaba, M. Murata, H. J. Ong, M. Sferrazza, Y. Takahashi, T. Takeda, I. Tanihata, D. T. Tran, and M. Tsumura

Phys. Rev. C **100** (Nov.) (2019) 054322 1-12

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.100.054322>).

#### Measurement of $\gamma$ rays from giant resonances excited by the $^{12}\text{C}(p, p')$ reaction at 392 MeV and $0^\circ$

M. S. Reen, I. Ou, T. Sudo, D. Fukuda, T. Mori, A. Ali, Y. Koshio, M. Sakuda, A. Tamii, N. Aoi, M. Yosoi, E. Ideguchi, T. Suzuki, T. Yamamoto, C. Iwamoto, T. Kawabata<sup>s</sup>, S. Adachi<sup>s</sup>, M. Tsumura, M. Murata, T. Furuno, H. Akimune, T. Yano, T. Suzuki, and R. Dhir

Phys. Rev. C **100** (Aug.) (2019) 024615 1-14

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.100.024615>).

#### Interplay between nuclear shell evolution and shape deformation revealed by the magnetic moment of $^{75}\text{Cu}$

Y. Ichikawa, H. Nishibata<sup>DC</sup>, Y. Tsunoda, A. Takamine, K. Imamura, T. Fujita<sup>d</sup>, T. Sato,

S. Momiyama, Y. Shimizu, D.S. Ahn, K. Asahi, H. Baba, D.L. Balabanski, F. Boulay, J.M. Daugas, T. Egami, N. Fukuda, C. Funayama, T. Furukawa, G. Georgiev, A. Gladkov, N. Inabe, Y. Ishibashi, T. Kawaguchi, T. Kawamura<sup>m</sup>, Y. Kobayashi, S. Kojima, A. Kusoglu, I. Mukul, M. Niikura, T. Nishizaka, A. Odahara<sup>s</sup>, Y. Ohtomo, T. Otsuka, D. Ralet, G.S. Simpson, T. Sumikama, H. Suzuki, H. Takeda, L.C. Tao, Y. Togano, D. Tominaga, H. Ueno, H. Yamazaki, X.F. Yang  
 Nat. Phys. **15** (Apr.) (2019) 321-325  
<http://dx.doi.org/doi:10.1038/s41567-018-0410-7>).

**New isomers in  $^{125}\text{Pd}_{79}$  and  $^{127}\text{Pd}_{81}$ : Competing proton and neutron excitations in neutron-rich palladium nuclides towards the  $N=82$  shell closure**

H. Watanabe, H.K. Wang, G. Lorusso, S. Nishimura, Z.Y. Xu, T. Sumikama, P.-A. Söderström, P. Doornenbal, F. Browne, G. Gey, H.S. Jung, J. Taprogge, Zs. Vajta, J. Wu, A. Yagi<sup>d</sup>, H. Baba, G. Benzoni, K.Y. Chae, F.C.L. Crespi, N. Fukuda, R. Gernhauser, N. Inabe, T. Isobe, A. Jungclaus, D. Kameda, G.D. Kim, Y.K. Kim, I. Kojouharov, F.G. Kondev, T. Kubo, N. Kurz, Y.K. Kwon, G.J. Lane, Z. Li, C.-B. Moon, A. Montaner-Piza, K. Moschner, F. Naqvi, M. Niikura, H. Nishibata<sup>DC</sup>, D. Nishimura, A. Odahara<sup>s</sup>, R. Orlandi, Z. Patel, Zs. Podolyak, H. Sakurai, H. Schaffner, G.S. Simpson, K. Steiger, Y. Sun, H. Suzuki, H. Takeda, A. Wendt, K. Yoshinaga  
 Phys. Lett. B **792** (May) (2019) 263 - 268  
<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.physletb.2019.03.053>).

**Proton Shell Evolution below  $^{132}\text{Sn}$  : First Measurement of Low-Lying  $\beta$ -Emitting Isomers in  $^{123,125}\text{Ag}$**

Z.Q. Chen, Z.H. Li, H. Hua, H. Watanabe, C.X. Yuan, S.Q. Zhang, G. Lorusso, S. Nishimura, H. Baba, F. Browne, G. Benzoni, K.Y. Chae, F.C.L. Crespi, P. Doornenbal, N. Fukuda, G. Gey, R. Gernhauser, N. Inabe, T. Isobe, D.X. Jiang, A. Jungclaus, H.S. Jung, Y. Jin, D. Kameda, G.D. Kim, Y.K. Kim, I. Kojouharov, F.G. Kondev, T. Kubo, N. Kurz, Y.K. Kwon, X.Q. Li, J.L. Lou, G.J. Lane, C.G. Li, D.W. Luo, A. Montaner-Piza, K. Moschner, C.Y. Niu, F. Naqvi, M. Niikura, H. Nishibata<sup>DC</sup>, A. Odahara<sup>s</sup>, R. Orlandi, Z. Patel, Z. Podolyak, T. Sumikama, P.-A. Söderström, H. Sakurai, H. Schaffner, G.S. Simpson, K. Steiger, H. Suzuki, J. Taprogge, H. Takeda, Zs. Vajta, H.K. Wang, J. Wu, A. Wendt, C.G. Wang, H.Y. Wu, X. Wang, C.G. Wu, C. Xu, Z.Y. Xu, A. Yagi<sup>d</sup>, Y.L. Ye, K. Yoshinaga  
 Phys. Rev. Lett. **122** (May) (2019) 212502 - 1 - 6  
<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevLett.122.212502>).

**Conceptual study on parasitic low-energy RI beam production with in-flight separator BigRIPS and the first stopping examination for high-energy RI beams in the parasitic gas cell**

T. Sonoda, I. Katayama, M. Wada, H. Iimura, V. Sonnenschein, S. Iimura<sup>d</sup>, A. Takamine, M. Rosenbusch, T. M. Kojima, D. S. Ahn, N. Fukuda, T. Kubo, S. Nishimura, Y. Shimizu, H. Suzuki, H. Takeda, M. Tanigaki, H. Tomita, K. Yoshida, H. Ishiyama  
 Prog. Theor. Exp. Phys. **2019** (Nov) (2019) 113D02 - 1 - 12  
 (<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptz120>).

### **Resonance width for a particle-core coupling model with a square-well potential**

K. Hagino, H. Sagawa, S. Kanaya<sup>DC</sup>, A. Odahara<sup>s</sup>  
 Prog. Theor. Exp. Phys. **2020** (Feb) (2020) 023D01 - 1 - 19  
 (<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptz163>).

### **High-rate performance of a time projection chamber for an H-dibaryon search experiment at J-PARC**

S. H. Kim, Y. Ichikawa, H. Sako, J. K. Ahn, T. Akaishi<sup>d</sup>, S. Ashikaga, S. W. Choi, H. Ekawa, S. Hasegawa, S. Hayakawa<sup>d</sup>, W. S. Jung, B. M. Kang, J. Y. Lee, T. Nanamura, S. Sato, K. Shirotori, K. Suzuki, K. Tanida, S. B. Yang and J. Yoshida  
 Nucl. Instrum. Methods A **940** (Oct.) (2019) 359-370  
 (<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.nima.2019.06.050>).

### **Observation of a Be double-Lambda hypernucleus in the J-PARC E07 experiment**

H. Ekawa, K. Agari, J.K. Ahn, T. Akaishi<sup>d</sup>, Y. Akazawa, S. Ashikaga, B. Bassalleck, S. Bleser, Y. Endo, Y. Fujikawa, N. Fujioka, M. Fujita, R. Goto, Y. Han, S. Hasegawa, T. Hashimoto, S.H. Hayakawa<sup>d</sup>, T. Hayakawa<sup>m</sup>, E. Hayata, K. Hicks, E. Hirose, M. Hirose, R. Honda, K. Hoshino, S. Hoshino<sup>m</sup>, K. Hosomi, S.H. Hwang, Y. Ichikawa, M. Ichikawa, M. Ieiri, K. Imai, K. Inaba, Y. Ishikawa, A. Iskendir<sup>m</sup>, H. Ito, K. Ito, W.S. Jung, S. Kanatsuki, H. Kanauchi, A. Kasagi, T. Kawai, M.H. Kim, S.H. Kim, S. Kinbara, R. Kiuchi, H. Kobayashi, K. Kobayashi<sup>m</sup>, T. Koike, A. Koshikawa, J.Y. Lee, J.W. Lee, T.L. Ma, S.Y. Matsumoto, M. Minakawa, K. Miwa, A.T. Moe, T.J. Moon, M. Moritsu, Y. Nagase, Y. Nakada<sup>d</sup>, M. Nakagawa<sup>d</sup>, D. Nakashima, K. Nakazawa, T. Nanamura, M. Naruki, A.N.L. Nyaw, Y. Ogura, M. Ohashi, K. Oue<sup>m</sup>, S. Ozawa, J. Pochodzalla, S.Y. Ryu, H. Sako, Y. Sasaki, S. Sato, Y. Sato, F. Schupp, K. Shirotori, M.M. Soe, M.K. Soe, J.Y. Sohn, H. Sugimura, K.N. Suzuki, H. Takahashi, T. Takahashi, Y. Takahashi, T. Takeda, H. Tamura, K. Tanida, A.M.M. Theint, K.T. Tint, Y. Toyama, M. Ukai, E. Umezaki, T. Watabe, K. Watanabe, T.O. Yamamoto, S.B. Yang, C.S. Yoon, J. Yoshida, M. Yoshimoto, D.H. Zhang and Z. Zhang  
 Prog. Theor. Exp. Phys. **2019** (No. 2, Feb.) (2019) 021D02  
 (<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/pty149>).

**Operation of Multi-MPPC System for Cylindrical Scintillation Fiber Tracker**

Yuya Akazawa, J.K. Ahn, T. Aramaki, S. Ashikaga, S. Callier, N. Chiga, S.W. Choi, H. Ekawa, P. Evtoukhovitch, N. Fujioka, M. Fujita, S. Hasegawa, S. Hayakawa<sup>d</sup>, R. Honda, S. Hoshino<sup>m</sup>, K. Hosomi, M. Ichikawa, Y. Ichikawa, M. Ieiri, M. Ikeda, K. Imai, Y. Ishikawa, S. Ishimoto, W.S. Jung, H. Kanauchi, H. Kanda, B.M. Kang, H. Kawai, S.H. Kim, K. Kobayashi<sup>m</sup>, T. Koike, K. Matsuda, Y. Matsumoto, K. Miwa, R. Nagatomi, Y. Nakada<sup>d</sup>, M. Nakagawa<sup>d</sup>, I. Nakamura, T. Nanamura, M. Naruki, S. Ozawa, L. Raux, A. Sakaguchi<sup>s</sup>, H. Sako, S. Sato, T. Shiozaki, K. Shirotori, K. Suzuki, S. Suzuki, M. Tabata, C.d.L. Taille, H. Takahashi, T. Takahashi, T.N. Takahashi, H. Tamura, Z. Tsamalaidze, H. Umetsu, M. Ukai, T.O. Yamamoto and K. Yoshimura

JPS Conf. Proc. **27** (Nov.) (2019) 011008

(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSCP.27.011008>).

**Study of  $Y^*$  in Nuclei through  $C(K^-, \pi^+)X$  Spectrum at 1.8 GeV/c in the J-PARC E05 Experiment**

Ryotaro Honda, Jung Keun Ahn, Yuya Akazawa, Kanae Aoki, Elena Botta, Hiroyuki Ekawa, Petr Evtoukhovitch, Alessandro Feliciello, Manami Fujita, Toshiyuki Gogami, Shoichi Hasegawa, Shuhei Hayakawa<sup>d</sup>, Tomonari Hayakawa, Kenji Hosomi, Ken'ichi Imai, Yudai Ichikawa, Wooseung Jung, Shunsuke Kanatsuki, Shinhyung Kim, Sinji Kinbara, Kazuya Kobayashi<sup>m</sup>, Jaeyong Lee, Simonetta Marcello, Koji Miwa, Taejin Moon, Tonofumi Nagae, Yoshiyuki Nakada<sup>d</sup>, Manami Nakagawa<sup>d</sup>, Takuya Nanamura, Megumi Naruki, Atsushi Sakaguchi<sup>s</sup>, Hiroyuki Sako, Susumu Sato, Yuki Sasaki, Kotaro Shirotori, Hitoshi Sugimura, Toshiyuki Takahashi, Hirokazu Tamura, Kiyoshi Tanida, Zviadi Tsamalaidze, Mifuyu Ukai and Takeshi O. Yamamoto

JPS Conf. Proc. **26** (Nov.) (2019) 023014

(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSCP.26.023014>).

 **$\Lambda(1405)$  Spectroscopy via the In-flight  $d(K^-, n)$  Reaction at the J-PARC K1.8BR**

Shingo Kawasaki, Shu Aikawa, Shuhei Ajimura, Takaya Akaishi<sup>d</sup>, Hidemitsu Asano, George Beer, Carolina Berruci, Mario Bragadireanu, Paul Buehler, Luigi Busso, Michael Cargnelli, Seonho Choi, 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, Masaaki Iwai, Masahiko Iwasaki, Koki Kanno, Kazuma Kato, Yuko Kato, Paul Kienle, Yusuke Komatsu, Hirofumi Kou, Yue Ma, Johann Marton, Yasuyuki Matsuda, Yutaka Mizoi, Ombretta Morra, Tomofumi Nagae, Hiroyuki Noumi, Hiroaki Ohnishi, Shinji Okada, Zhadyra Omar, Haruhiko Outa, Kristian Piscicchia, Yuta Sada, Atsushi Sakaguchi<sup>s</sup>, Fuminori Sakuma, Masaharu Sato, Alessandro Scordo, Michiko Sekimoto, Hexi Shi, Kotaro Shirotori, Diana Sirghi, Florin Sirghi, Ken Suzuki, Shoji Suzuki, Takatoshi Suzuki, Kiyoshi Tanida, Hideyuki Tatsuno, Atsushi O. Tokiyasu, Makoto Tokuda,

Dai Tomono, Akihisa Toyoda, Kyo Tsukada, Oton Vazquez Doce, Eberhard Widmann, Takumi Yamaga, Toshimitsu Yamazaki, Heejoong Yim, Qi Zhang and Johann Zmeskal  
 JPS Conf. Proc. **26** (Nov.) (2019) 022009  
 (<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSCP.26.022009>).

#### **A $\Sigma p$ scattering Experiment at J-PARC and the Analysis Status**

Yoshiyuki Nakada<sup>d</sup>, Jung Keun Ahn, Yuya Akazawa, Takashi Aramaki, Sakiko Ashikaga, Stephane Callier, Nobuyuki Chiga, Sung Wook Choi, Hiroyuki Ekawa, Petr Evtoukhovitch, Norina Fujioka, Manami Fujita, Shoichi Hasegawa, Shuhei Hayakawa<sup>d</sup>, Ryotaro Honda, Suharu Hoshino, Kenji Hosomi, Masaya Ichikawa, Yudai Ichikawa, Masaharu Ieiri, Michihiko Ikeda, Ken'ichi Imai, Yuji Ishikawa, Shigeru Ishimoto, Woo Seung Jung, Honoka Kanauchi, Hiroki Kanda, Byung Min Kang, Hideyuki Kawai, Shin Hyung Kim, Kazuya Kobayashi<sup>m</sup>, Takeshi Koike, Kumpei Matsuda, Yuki Matsumoto, Koji Miwa, Ryohei Nagatomi, Manami Nakagawa<sup>d</sup>, Isamu Nakamura, Takuya Nanamura, Megumi Naruki, Shotaro Ozawa, Ludovic Raux, Atsushi Sakaguchi<sup>s</sup>, Hiroyuki Sako, Susumu Sato, Takehiro Shiozaki, Kotaro Shirotori, Kazuki Suzuki, Shoji Suzuki, Makoto Tabata, Christophe de La Taille, Hitoshi Takahashi, Toshiyuki Takahashi, Tomonori Takahashi, Hirokazu Tamura, Manobu Tanaka, Kiyoshi Tanida, Zviadi Tsamalaidze, Mifuyu Ukai, Hiroo Umetsu, Takeshi O. Yamamoto, Seong Bae Yang and Koji Yoshimura  
 JPS Conf. Proc. **26** (Nov.) (2019) 023024  
 (<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSCP.26.023024>).

#### **Search for Excited State of ${}^4_{\Sigma}\text{He}$ Hypernucleus in the J-PARC E13 Experiment**

Manami Nakagawa<sup>d</sup>, Michelangelo Agnello, Yuya Akazawa, Nobuaki Amano, Kanae Aoki, Elena Botta, Nobuyuki Chiga, Hiroyuki Ekawa, Petr Evtoukhovitch, Alessandro Feliciello, Manami Fujita, Toshiyuki Gogami, Shoichi Hasegawa, Shuhei H. Hayakawa<sup>d</sup>, Tomonari Hayakawa<sup>m</sup>, Ryotaro Honda, Kenji Hosomi, Sanghoon Hwang, Natsumi Ichige, Yudai Ichikawa, Michihiko Ikeda, Ken'ichi Imai, Shigeru Ishimoto, Shunsuke Kanatsuki, Minh Kim, Shinhyung Kim, Shinji Kinbara, Takeshi Koike, Jaeyong Lee, Simonetta Marcello, Koji Miwa, Taejin Moon, Tomofumi Nagae, Sho Nagao, Yoshiyuki Nakada<sup>d</sup>, Yu Ogura, Atsushi Sakaguchi<sup>s</sup>, Hiroyuki Sako, Yuki Sasaki, Susumu Sato, Takehiro Shiozaki, Kotaro Shirotori, Hitoshi Sugimura, Sadami Suto, Shoji Suzuki, Toshiyuki Takahashi, Hirokazu Tamura, Kosuke Tanabe, Kiyoshi Tanida, Zviadi Tsamalaidze, Mifuyu Ukai, Takeshi O. Yamamoto, Yasutaka Yamamoto and Seongbae Yang  
 JPS Conf. Proc. **26** (Nov.) (2019) 023005  
 (<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSCP.26.023005>).

#### **First $\gamma$ -Ray Spectroscopy of an sd-Shell Hypernucleus, ${}^{19}_{\Lambda}\text{F}$**

Seongbae Yang, Jung Keun Ahn, Yuya Akazawa, Kanae Aoki, Nobuyuki Chiga, Hiroyuki Ekawa, Petr Evtoukhovitch, Alessandro Feliciello, Manami Fujita, Shoichi Hasegawa,

Shuhei Hayakawa<sup>d</sup>, Tomonari Hayakawa<sup>m</sup>, Ryotaro Honda, Kenji Hosomi, Sanghoon Hwang, Natsumi Ichige, Yudai Ichikawa, Michihiko Ikeda, Kenfichi Imai, Shigeru Ishimoto, Shunsuke Kanatsuki, Shin Hyung Kim, Shinji Kinbara, Kazuya Kobayashi, Takeshi Koike, Jaeyong Lee, Koji Miwa, Taejin Moon, Tomofumi Nagae, Yoshiyuki Nakada<sup>d</sup>, Manami Nakagawa<sup>d</sup>, Yu Ogura, Atsushi Sakaguchi<sup>s</sup>, Hiroyuki Sako, Yuki Sasaki, Susumu Sato, Kotaro Shirotori, Hitoshi Sugimura, Sadami Suto, Shoji Suzuki, Toshiyuki Takahashi, Hirokazu Tamura, Kiyoshi Tanida, Yuichi Togawa, Zviadi Tsamalaidze, Mifuyu Ukai, Taofeng Wang and Takeshi O. Yamamoto

JPS Conf. Proc. **26** (Nov.) (2019) 023015

(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSCP.26.023015>).

### Results of $\bar{K}NN$ Search via the $(K^-, n)$ Reaction at J-PARC

Takumi Yamaga, Shuhei Ajimura, Hidemitsu Asano, George Beer, Carolina Berucci, Hyeongchan Bhang, Mario Bragadireanu, Paul Buehler, Luigi Busso, Michael Cargnelli, Seonho Choi, 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, Koki Kanno, Kazuma Kato, Yuko Kato, Shingo Kawasaki, Paul Kienle, Hirofumi Kou, Yue Ma, Johann Marton, Yasuyuki Matsuda, Yutaka Mizoi, Ombretta Morra, Tomofumi Nagae, Hiroyuki Noumi, Hiroaki Ohnishi, Shinji Okada, Haruhiko Outa, Kristian Piscicchia, Yuta Sada, Atsushi Sakaguchi<sup>s</sup>, Fuminori Sakuma, Masaharu Sato, Alessandro Scordo, Michiko Sekimoto, Hexi Shi, Kotaro Shirotori, Diana Sirghi, Florin Sirghi, Ken Suzuki, Shoji Suzuki, Takatoshi Suzuki, Kiyoshi Tanida, Hideyuki Tatsuno, Makoto Tokuda, Dai Tomono, Akihisa Toyoda, Kyo Tsukada, Oton Vazquez Doce, Eberhard Widmann, Toshimitsu Yamazaki, Qi Zhang and Johann Zmeskal

JPS Conf. Proc. **26** (Nov.) (2019) 023008

(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSCP.26.023008>).

### Kaonic Atom Experiments at J-PARC

T. Hashimoto, S. Aikawa, S. Ajimura, T. Akaishi<sup>d</sup>, H. Asano, M. Bazzi, G. Beer, D. Bennett, C. Berucci, D. Bosnar, M. Bragadireanu, P. Böhler, L. Busso, A.D. Butt, M. Cargnelli, Seonho Choi, C. Curceanu, W.B. Doriese, M.S. Durkin, S. Enomoto, Y. Ezoe, J.W. Fowler, H. Fujioka, T. Fukuda, C. Guaraldo, F.P. Gustafsson, C. Han, R. Hayakawa, R.S. Hayano, T. Hayashi, J.P. Hays-Wehle, G.C. Hilton, T. Hiraiwa, Y. Ichinohe, M. Iio, Y. Iizawa, M. Iliescu, K. Inoue, S. Ishimoto, Y. Ishisaki, K. Itahashi, M. Iwasaki, S. Kawasaki, Y. Ma, J. Marton, Y. Matsuda, Y. Mizoi, O. Morra, T. Murakami, T. Nagae, T. Nishi, H. Noda, H. Noumi, K. Nunomura, G.C. OfNeil, T. Ohashi, H. Ohnishi, S. Okada, H. Outa, K. Piscicchia, C.D. Reintsema, Y. Sada, A. Sakaguchi<sup>s</sup>, F. Sakuma, M. Sato, D.R. Schmidt, A. Scordo, M. Sekimoto, H. Shi, K. Shirotori, D. Sirghi, F. Sirghi, K. Suzuki, S. Suzuki, T. Suzuki, D. S. Swetz, A. Takamine, K. Tanida, H. Tatsuno, D.

Tomono, A. Toyoda, C. Tripl, K. Tsukada, J. Uhlig, J.N. Ullom, O. Vazquez Doce, E. Widmann, S. Yamada, T. Yamaga, T. Yamazaki and J. Zmeskal  
JPS Conf. Proc. **26** (Nov.) (2019) 023013  
(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSCP.26.023013>).

**Experimental Study of Di-quark Correlation by Charmed Baryon Spectroscopy at J-PARC High-Momentum Secondary Beam Line**

Yusuke Komatsu, Jung-Kun Ahn, Shuhei Ajimura, Takaya Akaishi<sup>d</sup>, Kazuya Aoki, Hidemitsu Asano, Wen-Chen Chang, Ryotaro Honda, Yudai Ichikawa, Takatsugu Ishikawa, Yue Ma, Koji Miwa, Yoshiyuki Miyachi, Yuhei Morino, Kei Nagai, Takashi Nakano, Megumi Naruki, Hiroyuki Noumi, Kyoichiro Ozawa, Fuminori Sakuma, Takahiro Sawada, Kotaro Shirotori, Yorihito Sugaya, Tomonori Takahashi, Kiyoshi Tanida, Natsuki Tomida, Takumi Yamaga and Seongbae Yang  
JPS Conf. Proc. **26** (Nov.) (2019) 022029  
(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSCP.26.022029>).

**Status of the J-PARC E07, Systematic Study of Double Strangeness Nuclei with the Hybrid Emulsion Method**

J. Yoshida, K. Agari, J. K. Ahn, T. Akaishi<sup>d</sup>, Y. Akazawa, S. Ashikaga, B. Bassalleck, S. Bleser, H. Ekawa, Y. Endo, Y. Fujikawa, N. Fujioka, M. Fujita, R. Goto, Y. Han, S. Hasegawa, T. Hashimoto, S. H. Hayakawa, T. Hayakawa<sup>m</sup>, E. Hayata, K. Hicks, E. Hirose, M. Hirose, R. Honda, K. Hoshino, S. Hoshino<sup>m</sup>, K. Hosomi, S. H. Hwang, Y. Ichikawa, M. Ichikawa, M. Ieiri, K. Imai, K. Inaba, Y. Ishikawa, A. Iskendir<sup>m</sup>, H. Ito, K. Ito, W.S. Jung, S. Kanatsuki, H. Kanauchi, A. Kasagi, T. Kawai, M.H. Kim, S.H. Kim, S. Kinbara, R. Kiuchi, H. Kobayashi, K. Kobayashi<sup>m</sup>, T. Koike, A. Koshikawa, J.Y. Lee, J.W. Lee, T.L. Ma, S. Y. Matsumoto, M. Minakawa, K. Miwa, A. T. Moe, T.J. Moon, M. Moritsu, Y. Nagase, Y. Nakada<sup>d</sup>, M. Nakagawa<sup>d</sup>, D. Nakashima, K. Nakazawa, T. Nanamura, M. Naruki, A.N.L. Nyaw, Y. Ogura, M. Ohashi, K. Oue<sup>m</sup>, S. Ozawa, J. Pochodzalla, S.Y. Ryu, H. Sako, Y. Sasaki, S. Sato, Y. Sato, F. Schupp, K. Shirotori, M.M. Soe, M.K. Soe, J.Y. Sohn, H. Sugimura, K.N. Suzuki, H. Takahashi, T. Takahashi, Y. Takahashi, T. Takeda, H. Tamura, K. Tanida, A.M.M. Theint, K.T. Tint, Y. Toyama, M. Ukai, E. Umezaki, T. Watabe, K. Watanabe, T.O. Yamamoto, S.B. Yang, C.S. Yoon, M. Yoshimoto, D.H. Zhang and Z. Zhang  
JPS Conf. Proc. **26** (Nov.) (2019) 023006  
(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSCP.26.023006>).

**Status of J-PARC E07: Systematic study of double strangeness nuclei with hybrid emulsion method**

Junya Yoshida, Keizo Agari, Jung Keun Ahn, Takaya Akaishi<sup>d</sup>, Yuya Akazawa, Sakiko Ashikaga, Bernd Bassalleck, Sebastian Bleser, Wonji Choi, Woo Seung Chung, Hiroyuki

Ekawa, Yoko Endo, Yuki Fujikawa, Norina Fujioka, Manami Fujita, Ryosuke Goto, Yuncheng Han, Shoichi Hasegawa, Tadashi Hashimoto, Shuhei Hayakawa<sup>d</sup>, Tomonari Hayakawa<sup>m</sup>, Emi Hayata, Kenneth Hicks, Erina Hirose, Masanori Hirose, Ryotaro Honda, Kaoru Hoshino, Suharu Hoshino, Kenji Hosomi, Sang Hoon Hwang, Yudai Ichikawa, Masaya Ichikawa, Masaharu Ieiri, Kenichi Imai, Kento Inaba, Yuji Ishikawa, Abzal Iskendir, Hiroki Ito, Kazuyua Ito, Shunsuke Kanatsuki, Honoka Kanauchi, Ayumi Kasagi, Toshihide Kawai, Min Ho Kim, Shin Hyung Kim, Sung Hyun Kim, Young Jun Kim, Shinji Kinbara, Ryuta Kiuchi, Hidetaka Kobayashi, Kazuya Kobayashi, Takeshi Koike, Ami Koshikawa, Jae Yong Lee, Jong Won Lee, Myeong Jae Lee, Tianli Ma, Shota Matsumoto, Michifumi Minakawa, Koji Miwa, Aung Thu Moe, Tae Jin Moon, Manabu Moritsu, Yuichi Nagase, Yoshiyuki Nakada<sup>d</sup>, Manami Nakagawa<sup>d</sup>, Daisuke Nakashima, Kazuma Nakazawa, Takuya Nanamura, Megumi Naruki, Aung Nay Lin Nyaw, Yu Ogura, Masaki Ohashi, Kenichiro Oue<sup>m</sup>, Shotaro Ozawa, Josef Pochodzalla, Sun Young Ryu, Hiroyuki Sako, Yuki Sasaki, Susumu Sato, Yoshinori Sato, Falk Schupp, Michiko Sekimoto, Koutarou Shiratori, Min Min Soe, Myint Kyaw Soe, Jong Yoon Sohn, Hitoshi Sugimura, Kazuki Suzuki, May Sweet, Hitoshi Takahashi, Toshiyuki Takahashi, Yu Takahashi, Tomoya Takeda, Hirokazu Tamura, Kiyoshi Tanida, Aye Moh Moh Theint, Khin Than Tint, Yuichi Toyama, Mifuyu Ukai, Eiichi Umezaki, Toyoki Watabe, Ken Watanabe, Takeshi Yamamoto, Seong Bae Yang, Chun Sil Yoon, Masahiro Yoshimoto, Donhai Zhang and Zhi Zhang

AIP Conf. Proc. **2130** (No. 1, July) (2019) 020016

(<http://dx.doi.org/doi:10.1063/1.5118384>).

#### **Observation of a $\Xi$ bound state in the $^{12}\text{C}(K^-, K^+)$ reaction at 1.8 GeV/c**

Tomofumi Nagae, Jung Keun Ahn, Yuya Akazawa, Kanae Aoki, Elena Botta, Hiroyuki Ekawa, Petr Evtoukhovitch, Alessandro Feliciello, Manami Fujita, Toshiyuki Gogami, Shoichi Hasegawa, Tomoyuki Hasegawa, Shuhei Hayakawa<sup>d</sup>, Tomonari Hayakawa<sup>m</sup>, Ryotaro Honda, Kenji Hosomi, Yudai Ichikawa, Ken'ichi Imai, Wooseung Jung, Shunsuke Kanatsuki, Shinhyung Kim, Sinji Kinbara, Kazuya Kobayashi<sup>m</sup>, Jaeyong Lee, Simonetta Marcello, Koji Miwa, Taejin Moon, Yoshiyuki Nakada<sup>d</sup>, Manami Nakagawa<sup>d</sup>, Takuya Nanamura, Megumi Naruki, Atsushi Sakaguchi<sup>s</sup>, Hiroyuki Sako, Susumu Sato, Yuki Sasaki, Kotaro Shiratori, Hitoshi Sugimura, Toshiyuki Takahashi, Hirokazu Tamura, Kiyoshi Tanida, Zviadi Tsamalaidze, Mifuyu Ukai and Takeshi O. Yamamoto

AIP Conf. Proc. **2130** (No. 1, July) (2019) 020015

(<http://dx.doi.org/doi:10.1063/1.5118383>).

#### **$\bar{K}$ and nucleus system studied by $^{12}\text{C}(K^-, p)$ spectrum**

Yudai Ichikawa, Junko Yamagata-Sekihara, Jung Keun Ahn, Yuya Akazawa, Kanae Aoki, Elena Bottta, Hiroyuki Ekawa, Petr Evtoukhovitch, Alessandro Feliciello, Manami Fujita, Toshiyuki Gogami, Shoichi Hasegawa, Tomoyuki Hasegawa, Shuhei Hayakawa<sup>d</sup>, Tomonari Hayakawa<sup>m</sup>, Satoru Hirenzaki, Ryotaro Honda, Kenji Hosomi, Kenfichi Imai, Wooseung Jung, Shun-



suke Kanatsuki, Shinhyung Kim, Sinji Kinbara, Kazuya Kobayashi<sup>m</sup>, Jaeyong Lee, Simonetta Marcello, Koji Miwa, Taejin Moon, Tomofumi Nagae, Yoshiyuki Nakada<sup>d</sup>, Manami Nakagawa<sup>d</sup>, Takuya Nanamura, Megumi Naruki, Atsushi Sakaguchi<sup>s</sup>, Hiroyuki Sako, Susumu Sato, Yuki Sasaki, Kotaro Shirotori, Hitoshi Sugimura, Toshiyuki Takahashi, Hirokazu Tamura, Kiyoshi Tanida, Zviadi Tsamalaidze, Mifuyu Ukai and Takeshi O. Yamamoto

AIP Conf. Proc. **2130** (No. 1, July) (2019) 040017

(<http://dx.doi.org/doi:10.1063/1.5118414>).

#### **$\Sigma p$ scattering experiment at J-PARC – results of commissioning run**

K. Miwa, J.K. Ahn, Y. Akazawa, T. Aramaki, S. Ashikaga, S. Callier, N. Chiga, S.W. Choi, H. Ekawa, P. Evtoukhovitch, N. Fujioka, M. Fujita, S. Hasegawa, S. Hayakawa<sup>d</sup>, R. Honda, S. Hoshino<sup>m</sup>, K. Hosomi, M. Ichikawa, Y. Ichikawa, M. Ieiri, M. Ikeda, K. Imai, Y. Ishikawa, S. Ishimoto, W.S. Jung, H. Kanauchi, H. Kanda, B. M. Kang, H. Kawai, S.H. Kim, K. Kobayashi<sup>m</sup>, T. Koike, K. Matsuda, Y. Matsumoto, R. Nagatomi, Y. Nakada<sup>d</sup>, M. Nakagawa<sup>d</sup>, I. Nakamura, T. Nanamura, M. Naruki, S. Ozawa, L. Raux, A. Sakaguchi<sup>s</sup>, H. Sako, S. Sato, T. Shiozaki, K. Shirotori, K. Suzuki, S. Suzuki, M. Tabata, C.D.L. Taille, H. Takahashi, T. Takahashi, T.N. Takahashi, H. Tamura, Z. Tsamalaidze, H. Umetsu, M. Ukai, T.O. Yamamoto and K. Yoshimura

AIP Conf. Proc. **2130** (No. 1, July) (2019) 020006

(<http://dx.doi.org/doi:10.1063/1.5118374>).

#### **Spectroscopic study of the $\Lambda(1405)$ resonance via the $d(K^-, n)$ reaction at J-PARC**

H. Asano, S. Aikawa, S. Ajimura, T. Akaishi<sup>d</sup>, 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, T. Ishikawa, S. Ishimoto, 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, 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 and J. Zmeskal

AIP Conf. Proc. **2130** (No. 1, July) (2019) 040018

(<http://dx.doi.org/doi:10.1063/1.5118415>).

#### **Gamma-ray spectroscopy of single $\Lambda$ -hypernuclei at J-PARC: Results and perspective**

Takeshi Koike, M. Agnello, J. K. Ahn, Y. Akazawa, N. Amano, K. Aoki, E. Botta, N.

Chiga, H. Ekawa, P. Evtoukhovitch, A. Feliciello, M. Fujita, T. Gogami, S. Hasegawa, S.H. Hayakawa<sup>d</sup>, T. Hayakawa<sup>m</sup>, R. Honda, K. Hosomi, S.H. Hwang, N. Ichige, Y. Ichikawa, M. Ikeda, K. Imai, S. Ishimoto, S. Kanatsuki, M.H. Kim, S.H. Kim, S. Kinbara, K. Kobayashi<sup>m</sup>, J.Y. Lee, S. Marcello, K. Miwa, T.J. Moon, T. Nagae, S. Nagao, Y. Nakada<sup>d</sup>, M. Nakagawa<sup>d</sup>, Y. Ogura, A. Sakaguchi<sup>s</sup>, H. Sako, Y. Sasaki, S. Sato, T. Shiozaki, K. Shirotori, H. Sugimura, S. Suto, S. Suzuki, T. Takahashi, H. Tamura, K. Tanabe, K. Tanida, Y. Togawa, Z. Tsamalaidze, M. Ukai, T. F. Wang, T.O. Yamamoto and S.B. Yang  
AIP Conf. Proc. **2130** (No. 1, July) (2019) 020011  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1063/1.5118379>).

**A new experimental method to search for T-violation using a sequential CeF<sub>3</sub> scintillating calorimeter**

S. Shimizu<sup>s</sup>, K. Horie, Y. Igarashi, H. Ito, K. Kamada, S. Kimura, A. Kobayashi, M. Mihara<sup>s</sup>, A. Yamaji, A. Yoshikawa  
Nuclear Inst. and Methods A **945** (Aug.) (2019) 162587  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.nima.2019.162587>).

**Detectors for direct Dark Matter search at KamLAND**

A. Kozlov, D. Chernyak, Y. Takemoto, K. Fushimi, K. Imagawa, K. Yasuda, H. Ejiri, R. Hazama, H. Ikeda, K. Inoue, S. Yoshida<sup>s</sup>, R.A. Etezov, Yu. M. Gavrilyuk, V.V. Kazalov, V.V. Kuzminov, S.I. Panasenko  
Nucl. Instrum. Meth. A **958** ((1)) (2020) 162239  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.nima.2019.05.080>).

**Neutrino-less double beta decay of <sup>48</sup>Ca studied by CaF<sub>2</sub>(pure) scintillators**

S. Umehara<sup>i</sup>, T. Kishimoto<sup>i</sup>, M. Nomachi, S. Ajimura, Y. Takemoto, W.M. Chan<sup>d</sup>, K. Takihira, K. Matsuoka, N. Nakatani and V.T.T. Trang<sup>d</sup>, S. Yoshida<sup>s</sup>W. Wang<sup>d</sup>, T. Maeda T. Ohata<sup>d</sup>, K. Tetsuno<sup>d</sup>, K. Lee, X. Li<sup>d</sup>, M. Shokati<sup>d</sup>, B. Temuge<sup>d</sup>, K. Akutagawa<sup>m</sup>, K. Kanagawa, S. Katagiri<sup>m</sup>, B. T. Khai, M. Tsuzuki, N. Yotsunaga<sup>m</sup>, Moser, M. Ishikawa<sup>m</sup>, H. Kino, M. Kinoshita<sup>b</sup>, Y. Tamagawa, I. Ogawa, K. Nakajima, M. Tozawa, F. Dokaku, T. Hiyama, N. Takahashi, K. Teranishi, H. Hiraoka, K. Kawasaki, H. Sato, K. Shamoto, M. Shimada, T. Iida, K. Fushimi, R. Hazama, K. Suzuki and H. Ohsum  
Journal of Physics: Conference Series **Volume 1342** (1, Jan.) (2020) 012049  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1088/1742-6596/1342/1/012049>).

**The Dark Matter search at KamLAND**

A. Kozlov, D. Chernyak, Y. Takemoto, K. Fushimi, K. Imagawa, K. Yasuda, H. Ejiri, R. Hazama, H. Ikeda, K. Inoue, S. Yoshida<sup>s</sup>, R. A. Etezov, Yu. M. Gavrilyuk, V. V. Kazalov, V. V. Kuzminov and S. I. Panasenko  
Journal of Physics: Conference Series **Volume 1390** ((1)) (2019) 012118

(<http://dx.doi.org/doi:10.1088/1742-6596/1390/1/012118>).

**Precision measurement of the  $^{136}\text{Xe}$  two-neutrino  $\beta\beta$  spectrum in KamLAND-Zen and its impact on the quenching of nuclear matrix elements**

A. Gando, Y. Gando, T. Hachiya, M. Ha Min<sup>1</sup>, S. Hayashida, Y. Honda, K. Hosokawa, H. Ikeda, K. Inoue, K. Ishidoshiro, Y. Kamei, K. Kamizawa, T. Kinoshita, M. Koga, S. Matsuda, T. Mitsui, K. Nakamura, A. Ono, N. Ota, S. Otsuka, H. Ozaki, Y. Shibukawa, I. Shimizu, Y. Shirahata, J. Shirai, T. Sato, K. Soma, A. Suzuki, A. Takeuchi, K. Tamae, K. Ueshima, H. Watanabe, D. Chernyak, A. Kozlov, S. Obara, S. Yoshida<sup>s</sup>, Y. Takemoto, S. Umehara<sup>i</sup>, K. Fushimi, S. Hirata, B. E. Berger, B. K. Fujikawa, J. G. Learned, J. Maricic, L. A. Winslow, Y. Efremenko, H. J. Karwowski, D. M. Markoff, W. Tornow, T. O'Donnell, J. A. Detwiler, S. Enomoto, M. P. Decowski, J. Menéndez, R. Dvornický, and F. Šimkovic

Phys. Rev. Lett. **122** (May) (2019) 192501–

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevLett.122.192501>).

**Development of prototype RICH detector with multi-anode photomultipliers for radioactive ions**

M. Machida, D. Nishimura, M. Fukuda<sup>s</sup>, S. Yagi<sup>m</sup>, T. Sugihara<sup>m</sup>, K. Kanbe<sup>b</sup>, S. Yamaoka<sup>m</sup>, M. Takechi, M. Tanaka<sup>DC</sup>, M. Amano, J. Chiba, K. Chikaato, H. Du<sup>m</sup>, S. Fukuda, A. Homma, T. Hori<sup>b</sup>, A. Ikeda, R. Ishii, T. Izumikawa, Y. Kamisho<sup>m</sup>, N. Kanda, Ronja Kehl<sup>m</sup>, A. Kitagawa, K. Matsuta<sup>s</sup>, M. Mihara<sup>s</sup>, E. Miyata, A. Mizukami, T. Moriguchi, M. Nagashima, S. Nakamura<sup>b</sup>, M. Nassurlla, K. Onishi<sup>m</sup>, T. Ohtsubo, S. Sato, J. Shimaya<sup>b</sup>, T. Suzuki, S. Suzuki, T. Tahara, Y. Tanaka<sup>m</sup>, T. Yamaguchi, R. Yanagihara<sup>b</sup>

Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **931** (Apr.) (2019) 23-28

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.nima.2019.03.085>).

**Chiral  $g$ -matrix folding-model approach to reaction cross sections for scattering of Ca isotopes on a C target**

S. Tagami, M. Tanaka<sup>DC</sup>, M. Takechi, M. Fukuda<sup>s</sup>, and M. Yahiro

Phys. Rev. C **101** (Jan.) (2020) 014620 / 1-8

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.101.014620>).

**Swelling of doubly magic  $^{48}\text{Ca}$  core in Ca isotopes beyond  $N = 28$**

M. Tanaka<sup>DC</sup>, M. Takechi, A. Homma, M. Fukuda<sup>s</sup>, D. Nishimura, T. Suzuki, Y. Tanaka<sup>m</sup>, T. Moriguchi, D. S. Ahn, A. Aimaganbetov, M. Amano, H. Arakawa, S. Bagchi, K.-H. Behr, N. Burtebayev, K. Chikaato, H. Du<sup>m</sup>, S. Ebata, T. Fujii, N. Fukuda, H. Geissel, T. Hori<sup>b</sup>, W. Horiuchi, 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<sup>s</sup>, M. Mihara<sup>s</sup>, E. Miyata, D. Nagae, S. Nakamura<sup>b</sup>, M. Nassurlla,

K. Nishimuro, K. Nishizuka, K. Onishi<sup>m</sup>, M. Ohtake, T. Ohtsubo, S. Omika, H. J. Ong, A. Ozawa, A. Prochazka, H. Sakurai, C. Scheidenberger, Y. Shimizu, T. Sugihara<sup>m</sup>, T. Sumikama, H. Suzuki, S. Suzuki, H. Takeda, Y. K. Tanaka, I. Tanihata, T. Wada, K. Wakayama, S. Yagi<sup>m</sup>, T. Yamaguchi, R. Yanagihara<sup>b</sup>, Y. Yanagisawa, K. Yoshida, T. K. Zholdybayev

Phys. Rev. Lett. **124** (Mar.) (2020) 102501 / 1-6

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevLett.124.102501>).

## 国際会議報告等

### Experimental Study of the ${}^7\text{Be}(n, p_1){}^7\text{Li}^*$ Reaction for the Cosmological Lithium Problem

S. Ishikawa<sup>\*</sup>, N. Iwasa, S. Kubono, K. Asada, D. Guru, S. Hayakawa, K. Hirose, T. Kawabata<sup>s</sup>, K. Kominato, H. Makii, M. Matsuda, S. Nishimura, K. Nishio, R. Orlandi, and T. Sakakibara

JPS Conf. Proc. **31** (Mar.) (2020) 011037 1-4.

The 15th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG15) (July 2019, 参加者数 146 名).xxx

### Measurement of ${}^4\text{He}$ Photodisintegration in the Giant Dipole Resonance Region

M. Murata<sup>\*</sup>, S. Adachi<sup>s</sup>, H. Akimune, Y. Fujikawa, T. Furuno, K. Inaba, T. Kawabata<sup>s</sup>, and M. Tsumura

JPS Conf. Proc. **31** (Mar.) (2020) 011049 1-4.

The 15th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG15) (July 2019, 参加者数 146 名).xxx

### Particle Identification by Pulse-Shape Analysis with Neural Network

Y. Hijikata<sup>\*</sup>, T. Kawabata<sup>s</sup>, Y. Kanada-En'yo, K. Yoshida, Y. Arakawa, K. Inaba, S. Enyo, S. Okamoto, K. Katayama, R. Kongo, A. Sakaue, K. Sakanashi<sup>m</sup>, S. Takagi, T. Doi, Y. Fujikawa, T. Furuno, R. Matsumoto, T. Mikami, K. Miyazato, and M. Murata

JPS Conf. Proc. **31** (Mar.) (2020) 011050 1-4.

The 15th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG15) (July 2019, 参加者数 146 名).xxx

### Measurement of $\gamma$ Rays from the Giant Resonances in ${}^{12}\text{C}$ and ${}^{16}\text{O}$ Excited by the $(p, p')$ Reaction at 392 MeV

M. S. Reen<sup>\*</sup>, T. Sudo, I. Ou, M. Sakuda, D. Fukuda, A. Ali, Y. Koshio, M. Yosoi, A. Tamii, N. Aoi, E. Ideguchi, T. Suzuki, T. Yamamoto, C. Iwamoto, T. Kawabata<sup>s</sup>, S. Adachi<sup>s</sup>,

M. Tsumura, M. Murata, T. Furuno, H. Akimune, T. Yano, T. Suzuki, and R. Dhir  
JPS Conf. Proc. **31** (Mar.) (2020) 011054 1-4.

The 15th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG15)  
(July 2019, 参加者数 146 名).xxx

### **Pionic Atoms Spectroscopy at RCNP with the ( $p, ^2\text{He}$ ) Reaction**

A. Sakaue<sup>\*</sup>, S. Adachi<sup>s</sup>, Y. Fujikawa, H. Fujioka, T. Furuno, K. Inaba, K. Itahashi,  
T. Kawabata<sup>s</sup>, N. Kobayashi, M. Murata, A. Tamii, and Y. N. Watanabe

JPS Conf. Proc. **31** (Mar.) (2020) 011055 1-4.

The 15th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG15)  
(July 2019, 参加者数 146 名).xxx

### **Search for $\alpha$ -Condensed State in $^{20}\text{Ne}$**

Y. Fujikawa<sup>\*</sup>, S. Adachi<sup>s</sup>, T. Kawabata<sup>s</sup>, M. Tsumura, A. Sakaue, K. Inaba, T. Doi, R. Fujii,  
H. Furuta, T. Harada, S. Okamoto, R. Sekiya, A. Tamii, N. Kobayashi, T. Furuno,  
M. Itoh, Y. Matsuda, S. Ishida, Y. Maeda, K. Nonaka, C. Iwamoto, and H. Akimune

JPS Conf. Proc. **31** (Mar.) (2020) 011062 1-4.

The 15th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG15)  
(July 2019, 参加者数 146 名).xxx

### **New Analysis Method of TPC Data Using Neural Network**

T. Doi<sup>\*</sup>, T. Kawabata<sup>s</sup>, T. Furuno, Y. Fujikawa, K. Inaba, M. Murata, S. Okamoto, and  
A. Sakaue

JPS Conf. Proc. **31** (Mar.) (2020) 011064 1-4.

The 15th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG15)  
(July 2019, 参加者数 146 名).xxx

### **Search for $\alpha$ -cluster States in $^{13}\text{C}$**

K. Inaba<sup>\*</sup>, T. Kawabata<sup>s</sup>, Y. Sasamoto, M. Fujiwara, K. Hatanaka, K. Itoh, M. Itoh,  
K. Kawase, H. Matsubara, Y. Maeda, K. Nakanishi, K. Suda, S. Sakaguchi, Y. Shimizu,  
A. Tamii, Y. Tameshige, M. Uchida, T. Uesaka, and H. P. Yoshida

JPS Conf. Proc. **31** (Mar.) (2020) 011069 1-4.

The 15th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG15)  
(July 2019, 参加者数 146 名).xxx

### **Search for the $\alpha$ Condensed State by Measuring the Inelastic Resonance Scattering $^{12}\text{C}(^{12}\text{C}, ^{12}\text{C}[0_2^+])^{12}\text{C}(0_2^+)$**

K. Sakanashi<sup>m\*</sup>, T. Kawabata<sup>s</sup>, Y. Kanada-En'yo, K. Yoshida, K. Inaba, T. Doi, T. Furuno,  
A. Sakaue, Y. Fujikawa, S. Okamoto, K. Katayama, Y. Arakawa, S. Enyo, R. Kongo,  
S. Takagi, Y. Hijikata, R. Matsumoto, T. Mikami, and K. Miyazato

JPS Conf. Proc. **31** (Mar.) (2020) 011074 1-4.

The 15th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG15)  
(July 2019, 参加者数 146 名).xxx

**Study of neutron unbound states in  $^{18}\text{O}$  by  $\beta$ -delayed neutron decay of  $^{18}\text{N}$**

H. Umehara<sup>m</sup>, S. Iimura<sup>d</sup>, S. Kanaya<sup>DC</sup>, T. Hara<sup>b</sup>, M. Kinoshita<sup>b</sup>, R. Nakajima<sup>b</sup>, R. Shudo<sup>b</sup>, R. Wakabayashi<sup>b</sup>, M. Fukutome<sup>b</sup>, M. Hisamatsu<sup>b</sup>, H. Nishibata, T. Shimoda<sup>i</sup>, A. Odahara<sup>s</sup>

RCNP Annual Report **2018** (Apr.) (2019) .

**Homogeneous magnetic field for the neutron electric dipole moment (n-EDM) measurement using ultra-cold neutrons**

K. Matsuta<sup>s\*</sup>, Y. Masuda, M. Mihara<sup>s</sup>

Hyperfine Interactions **240** (Aug.) (2019) 89 1-5.

Int. Conf. on Hyperfine Interactions and their Applications (HYPERFINE 2019), (Feb. 2019, 参加者数約 100 名).xxx

**Beta-NMR of short-lived nucleus  $^{17}\text{N}$  in liquids**

M. Mihara<sup>s\*</sup>, T. Sugihara, M. Fukuda<sup>s</sup>, A. Homma, T. Izumikawa, A. Kitagawa, K. Matsuta<sup>s</sup>, T. Minamisono, S. Momota, T. Nagatomo, H. Nishibata, D. Nishimura, K. Ohnishi, T. Ohtsubo, A. Ozawa, S. Sato, M. Tanaka, R. Wakabayashi<sup>m</sup>, S. Yagi, R. Yanagihara

Hyperfine Interactions **240** (Sep.) (2019) 113 1-9.

Int. Conf. on Hyperfine Interactions and their Applications (HYPERFINE 2019), (Feb. 2019, 参加者数約 100 名).xxx

**In-beam Mössbauer spectra for  $^{57}\text{Mn}$  implanted sulfur hexafluoride**

Y. Yamada\* Y. Sato, Y. Kobayashi, T. Ando, N. Takahama, K. Some, M. Sato, M. Mihara<sup>s</sup>, M.K. Kubo, W. Sato, J. Miyazaki, T. Nagatomo, J. Kobayashi, A. Okazawa, S. Sato, A. Kitagawa

Hyperfine Interactions **240** (Feb.) (2020) 15 1-6.

Int. Conf. on the Applications of the Mössbauer Effect (ICAME 2019), (Sep. 2019, 参加者数約 200 名).xxx

**国際会議における講演等**

**Search for alpha condensed states by measuring alpha inelastic scattering**

T. Kawabata<sup>s\*</sup>

The 2nd Symposium on Clustering as a window on the hierarchical structure of quantum

systems (at Tokyo, Japan, May 31—June 1, 2019, 参加者約 60 名)

**Nuclear experimental approach to cluster correlation and nucleosynthesis in the universe**

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

The 15th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG15) (at Kyoto, Japan, July 2-5, 2019, 参加者数 146 名)

**Search for the  $\alpha$  Condensed State by Measuring the Inelastic Resonance Scattering  $^{12}\text{C}(^{12}\text{C}, ^{12}\text{C}[0_2^+])^{12}\text{C}(0_2^+)$  (poster)**

K. Sakanashi<sup>m\*</sup>, T. Kawabata<sup>s</sup>, Y. Kanada-En'yo, K. Yoshida, K. Inaba, T. Doi, T. Furuno, A. Sakaue, Y. Fujikawa, S. Okamoto, K. Katayama, Y. Arakawa, S. Enyo, R. Kongo, S. Takagi, Y. Hijikata, R. Matsumoto, T. Mikami, and K. Miyazato

The 15th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG15) (at Kyoto, Japan, July 2-5, 2019, 参加者数 146 名)

**Search for Rare  $\gamma$ -decay Modes in  $^{12}\text{C}$  and Recent Activities of Kyoto-Osaka Experimental Nuclear Cluster Physics Group**

T. Kawabata<sup>s\*</sup>

ECT\* Trento Workshop on “Light clusters in nuclei and nuclear matter: Nuclear structure and decay, heavy-ion collisions, and astrophysics” (at Trento, Italy, Sep. 2—6, 2019, 参加者約 50 名)

**Nuclear Astrophysics at RCNP**

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

JSPS/NRF/NSCF A3 Foresight Program “Nuclear Physics in the 21st Century” Joint Kick Off Meeting (at Kobe, Japan, Dec. 6—7, 参加者約 100 名)

**Search for the alpha-condensed state in  $^{20}\text{Ne}$  by measuring the  $^{20}\text{Ne}(\alpha, \alpha' + \alpha)$  reaction (poster)**

S. Adachi<sup>s\*</sup>

International symposium on Clustering as a Window on the Hierarchical Structure of Quantum Systems (CLUSHIQ2020) (at Beppu, Japan, Jan. 23-24, 2020, 参加者約 70 名)

**Search for lepton universality violation in J-PARC E36 experiment**

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

J-PARC Symposium 2019 (at Tsukuba, Japan, Sep 23—27, 2019, 参加者約 300 名)

**Study of a large CaF<sub>2</sub>(Eu) Scintillating Bolometer for Neutrinoless Double Beta Decay (poster)**

X. Li<sup>d\*</sup>

16th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics TAUP 2019, (September 9-13, 2019, 参加者約 300 名)

### Hydrogen Absorption-Desorption Process in Palladium Studied by Muon Spectroscopy

M. Mihara<sup>s\*</sup>, H. Araki, K. Shimomura, W. Higemoto, M. Mizuno, K. Sugita, Y. Tanaka, Y. Kitayama, D. Tomono, E. Torikai, W. Sato, K. Ohkubo, R. Murakami, N. Matsuoka, I. Watanabe<sup>i</sup>, T. Matsuzaki, R. Kadono

Materials Research Meeting 2019 (at Yokohama, Japan, Dec. 10-14, 2019, 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

#### GAGG シンチレータを用いた荷電粒子の波形弁別

坂梨 公亮<sup>m\*</sup>, 川畑 貴裕<sup>s</sup>, 足立 智<sup>s</sup>, 稲葉 健斗, 土井 隆暢, 古野 達也, 藤川 祐輝, 黒澤 俊介, 山路明宏

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学, 2020 年 3 月 16 日 - 3 月 19 日)

#### $^{20}\text{Ne}(\alpha, \alpha' + \alpha)$ 測定による $^{20}\text{Ne}$ 原子核のアルファ凝縮状態の探索

足立 智<sup>s\*</sup>, 藤川 祐輝, 川畑 貴裕<sup>s</sup>, 秋宗 秀俊, 石田 駿野, 稲葉 健斗, 伊藤 正俊, 岩本 ちひろ, 岡本 慎太郎, 小林 信之, 阪上 朱音, 関屋 涼平, 民井 淳, 津村 美保, 土井 隆暢, 野中 光太郎, 原田 健志, 藤井 涼平, 古田 悠稀, 古野 達也, 前田 幸重, 松田 洋平, 村田 求基

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学, 2020 年 3 月 16 日 - 3 月 19 日)

#### 原子核におけるクラスター相関と宇宙における元素合成

川畑 貴裕<sup>s\*</sup>

原子核三者若手夏の学校 (於 滋賀県高島市白浜荘 2019 年 8 月 8 日)

#### Development of gas cell to stop and collect high energy RI beam, and extract radioactive ions with a high efficiency (ポスター)

S. Iimura<sup>d\*</sup>, A. Takamine, J. Liu, S. Chen, M. Rosenbusch, M. Wada, H. Ishiyama

The ALL-RIKEN Workshop 2019 (at RIKEN, Saitama, Dec. 5-6, 2019, 参加者数約 50 名)

#### 理研 BigRIPS SLOWRI における RF カーペットガスセルの開発

飯村俊<sup>d\*</sup>, 高峰愛子, M. Rosenbusch, 和田道治, S. Chen, J. Liu, P. Schury, 園田哲, 小島隆夫, 渡辺裕, 小田原厚子<sup>s</sup>, 石山博恒

令和元年度 KUR 専門研究会「短寿命 RI を用いた核分光と核物性研究 VI」兼「第 11 回停止・低速 RI ビームを用いた核分光研究会」(at 京都大学複合原子力科学研究所, 京都, 2020



年1月16-17日、参加者数約50名)

### $\beta$ 崩壊後に放出される中性子を測定して原子核の構造を調べよう

大谷優里花<sup>b\*</sup>

KEK サマーチャレンジ世代間交流会」(at KEK 研究本館, 茨城, 2020年2月22-23日、参加者数約30名)

### ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ 寿命直接測定のための $\text{PbF}_2$ カロリメータの性能評価

赤石貴也<sup>d\*</sup>, 佐久間史典, 橋本直, Y. Ma, 山我拓巳, 他 the J-PARC P73 collaboration

日本物理学会 第75回年次大会(2020年)(於 名古屋大学, 2020年3月16日 - 3月19日)

### 大強度ビーム測定用のシンチレーションファイバー検出器の位置分解能の評価 (ポスター)

木村祐太<sup>b\*</sup>, 江川弘行, 阪口篤志<sup>s</sup>, 白鳥昂太郎, 辰巳凌平<sup>b</sup>, 他 J-PARC E50 コラボレーション

日本物理学会 第75回年次大会(2020年)(於 名古屋大学, 2020年3月16日 - 3月19日)

### 低屈折率エアロゲルを用いた粒子識別検出器の性能評価 (ポスター)

辰巳凌平<sup>b\*</sup>, 阪口篤志<sup>s</sup>, 白鳥昂太郎, 田端誠

日本物理学会 第75回年次大会(2020年)(於 名古屋大学, 2020年3月16日 - 3月19日)

### K 中間子重水素 X 線分光実験に用いるシリコンドリフト X 線検出器の性能評価

赤石貴也<sup>d\*</sup> for the J-PARC E57 collaboration

日本物理学会 2019年秋季大会(於 山形大学, 2019年9月17日 - 9月20日)

### J-PARC E40 実験における $\Sigma p \rightarrow \Lambda n$ 反応事象の解析状況

中田祥之<sup>d\*</sup>, 赤澤雄也, 足利沙希子, 荒巻昂, 家入正治, 池田迪彦, 石川勇二, 石元茂, 市川真也, 市川裕大, 鶴養美冬, 梅津裕生, 江川弘行, 小澤祥太郎, 梶川俊介, 叶内萌香, 後神利志, 小林一矢, 坂尾珠和, 塩崎健弘, 白鳥昂太郎, 鈴木一輝, 鈴木祥仁, 高橋俊行, 谷田聖, 田村裕和, 永尾翔, 永富亮平, 七村拓野, 早川修平<sup>d</sup>, 原田健志, 藤岡徳菜, 藤田真奈美, 星野寿春<sup>m</sup>, 本多良太郎, 松田薫平, 松本祐樹, 三輪浩司, 山本剛史, 吉田純也, S.W. Choi, W.S. Jung, B.M. Kang, S.H. Kim, T. Rogers, J-PARC E40 Collaboration

日本物理学会 2019年秋季大会(於 山形大学, 2019年9月17日 - 9月20日)

### シンチレータ中でのミュオンスピン偏極度緩和時間の測定

清水俊<sup>s\*</sup>, 堀江圭都, 五十嵐洋一, 伊藤博士, 鎌田圭, 木村翔太, 小林篤史, 三原基嗣, 吉川彰

日本物理学会 2019年秋季大会(於 山形大学, 2019年9月17日 - 9月20日)

### J-PARC E36 実験における静止 $K^+$ を用いた $K^+ \rightarrow e^+ \nu \gamma$ (SD) 崩壊の分岐比測定

清水俊<sup>s\*</sup> for the J-PARC E36 collaboration

日本物理学会 第75回年次大会(2020年)(於 名古屋大学, 2020年3月16日 - 3月19日)

### Development of a beam timing detector for measuring a high intensity secondary beam

T. Akaishi<sup>d\*</sup>, H. Asano, T. Aramaki, Y. Igarashi, T. Ishikawa, S. Kajikawa, A. Sakaguchi<sup>s</sup>, H. Sako, K. Shirotori, T. N. Takahashi, C. -Y. Chang, W. -C. Chang, K. Nagai, H. Noumi, R. Honda, Y. Ma, and for the J-PARC E50 collaboration  
 新学術領域「クラスター階層」「量子ビーム応用」合同検出器ワークショップ（於 東北大学、2019年9月20日 - 9月21日）

### Development of a beam timing detector for charmed baryon spectroscopy

T. Akaishi<sup>d\*</sup>, H. Asano, T. Aramaki, Y. Igarashi, T. Ishikawa, S. Kajikawa, A. Sakaguchi<sup>s</sup>, H. Sako, K. Shirotori, T. N. Takahashi, C. -Y. Chang, W. -C. Chang, K. Nagai, H. Noumi, R. Honda, Y. Ma, and for the J-PARC E50 collaboration  
 第二回クラスター階層領域研究会（於 東京工業大学、2019年5月31日 - 6月1日）

### 極低温技術による宇宙素粒子研究の高感度化

S. Yoshida<sup>s\*</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」領域研究会 2019年08月24日 - 2019年08月25日, 大阪大学

### 極低温検出器による宇宙素粒子研究（ポスター）

吉田 齊<sup>s\*</sup>  
 新学術領域「クラスター階層」「量子ビーム応用」合同検出器ワークショップ, 2019年9月20日, 東北大学青葉山キャンパス

### CANDLES による二重ベータ崩壊の研究 - エネルギースペクトルの評価と検出器のエネルギー安定性

伊賀友輝<sup>m\*</sup>  
 日本物理学会 2019年秋季大会（於 山形大学、2019年9月17日 - 9月20日）

### Bolometer Development using Neutron Transmutation Doped Ge in CANDLES for the study of Neutrinoless Double Beta decay

Ken Keong Lee<sup>d\*</sup>  
 日本物理学会 2019年秋季大会（於 山形大学、2019年9月17日 - 9月20日）

### CANDLES による二重ベータ崩壊の研究 CANDLES 実験の現状と今後の計画

吉田 齊<sup>s\*</sup>  
 日本物理学会 2019年秋季大会（於 山形大学、2019年9月17日 - 9月20日）

### CANDLES による二重ベータ崩壊の研究-波形および 0nbb 解析（ポスター）

伊賀友輝 <sup>m\*</sup>

Scintillator for Medical, Astroparticle and environmental Radiation Technologies(SMART2019),  
2019年11月18-19日、松山

#### 二重ベータ崩壊用 ScintillatingBolometer 開発

吉田齊 <sup>s\*</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」第1回低温技術研究会, 2020年  
1月10日、理化学研究所和光和キャンパス

#### CANDLES による二重ベータ崩壊の研究 – 新結晶の評価 –

伊賀友輝 <sup>m\*</sup>

日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学、2020年3月16日 - 3月19日)

#### <sup>48</sup>Ca の半減期測定に向けた Sc 捕集効率の評価 (ポスター)

原田卓明 <sup>b\*</sup>

日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学、2020年3月16日 - 3月19日)

#### <sup>48</sup>Ca の半減期測定に向けた GEANT4 による検出効率の評価 (ポスター)

山本朝陽 <sup>b\*</sup>

日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学、2020年3月16日 - 3月19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>, 松多 健策 <sup>s</sup>, 福田 光順 <sup>s</sup>, 南園 忠則 <sup>i</sup>, 若林 諒 <sup>m</sup>, 田中 聖臣, 杉原 貴信 <sup>m</sup>, 大西  
康介 <sup>m</sup>, 八木 翔一 <sup>m</sup>, 西村 太樹, 泉川 卓司, 大坪 隆, 本間 彰, 小沢 颯, 西畑 洗希, 長友 傑,  
北川 敦志, 佐藤 眞二, 百田 佐多生

平成30年度 HIMAC 共同利用研究成果発表会 (於 ホテルポートプラザちば, 2019年4月  
22日 - 4月23日)

#### 重粒子線による核反応断面積の研究

福田 光順 <sup>s\*</sup>, 田中 聖臣 <sup>DC</sup>, 福留 美樹 <sup>b</sup>, 本間彰, 武智麻耶, 西村太樹, 泉川卓司, 大坪隆, 鈴  
木健, 三原 基嗣 <sup>s</sup>, 松多 健策 <sup>s</sup>, et al.

平成30年度 HIMAC 共同利用研究成果発表会 (於 ホテルポートプラザちば, 2019年4月  
22日 - 4月23日)

#### 電池材料研究のための高偏極リチウム及び酸素同位体ビーム開発

三原 基嗣 <sup>s\*</sup>

新学術領域研究「宇宙観測検出器と量子ビームの出会い。新たな応用への架け橋。」ワーク  
ショップ (第1回領域全体会議) (於 東京大学柏キャンパス, 2019年7月15日 - 7月16日)

#### 中性子 EDM 測定のための一様静磁場の開発 (8)

松多 健策<sup>s\*</sup>, 増田 康博, 三原 基嗣<sup>s</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学、2019 年 9 月 17 日 - 9 月 20 日)

#### 中性子 EDM 測定のための $^{129}\text{Xe}$ 核スピン磁力計の開発 XIII

三原 基嗣<sup>s\*</sup>, 増田 康博, 松多 健策<sup>s</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学、2019 年 9 月 17 日 - 9 月 20 日)

#### 超高時間分解能のプラスチックシンチレーションカウンターの開発とその性能評価

福留 美樹<sup>b\*</sup>, 福田 光順<sup>s</sup>, Ronja Kehl<sup>m</sup>, 若林 諒<sup>m</sup>, 三原 基嗣<sup>s</sup>, 松多 健策<sup>s</sup>, 山口 滉太, 本間 彰, 武智 麻耶, 富田 瑞樹, 茂住 圭一, 野口 法秀, 片山 美稀, 成瀬 彩夏, 吉村 暢也, 生越 瑞揮, 大坪 隆, 西村 太樹, 鈴木 健, 山口 貴之, Maulen Maulen, 藤居 朋也, 横田 健次郎, 坂上 護, 泉川 卓司, 小沢 颯, 森口 哲朗, 百田 佐多生, 佐藤 眞二, 福田 茂一, 北川 敦志

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学、2019 年 9 月 17 日 - 9 月 20 日)

#### 荷電変化断面積の中性子数依存性

福田 光順<sup>s\*</sup>, 武智 麻耶, 田中 聖臣, 若林 諒, 福留 美樹, 三原 基嗣, 松多 健策, 西村 太樹, 鈴木 健, 山口 貴之, 坂上 護, 大坪 隆, 富田 瑞樹, 茂住 圭一, 山口 滉太, 泉川 卓司, 佐藤 眞二, 福田 茂一, 北川 敦志

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学、2019 年 9 月 17 日 - 9 月 20 日)

#### 酸素 NMR プローブ核 $^{19}\text{O}$ の開発

三原 基嗣<sup>s\*</sup>, 松多 健策<sup>s</sup>, 福田 光順<sup>s</sup>, 若林 諒<sup>m</sup>, 沖本 直哉<sup>b</sup>, 福留 美樹<sup>b</sup>, 泉川 卓司, 野口 法秀, 生越 瑞揮, 大坪 隆, 西村 太樹, A. Gladkov, 北川 敦志, 佐藤 眞二

令和元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 VI」兼「第 11 回停止・低速 RI ビームを用いた核分光研究会」(於 京大複合原子力科学研究所, 2020 年 1 月 16 日 - 1 月 17 日)

#### 中性子 EDM 観測のための環境磁場補償装置の開発

松多 健策<sup>s\*</sup>, 増田 康博, 三原 基嗣<sup>s</sup>, 吉田 朋美<sup>b</sup>

令和元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 VI」兼「第 11 回停止・低速 RI ビームを用いた核分光研究会」(於 京大複合原子力科学研究所, 2020 年 1 月 16 日 - 1 月 17 日)

#### p-sd 殻領域中性子過剰核の陽子・中性子剥離断面積の比較

福田 光順<sup>s\*</sup>, 田中 聖臣, 若林 諒<sup>m</sup>, 沖本 直哉<sup>b</sup>, 福留 美樹<sup>b</sup>, 西村 太樹, 武智 麻耶, 泉川 卓司, 大坪 隆, 生越 瑞揮, 北川 敦志, 坂上 護, 佐藤 眞二, 鈴木 健, 高橋 弘幸, 富田 瑞樹, 野口 法秀, 福田 茂一, 本間 彰, 松多 健策<sup>s</sup>, 三原 基嗣<sup>s</sup>, 宮田 恵理, 茂住 圭一, 山口 滉太, 山口 貴之, 横田 健次郎

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 - 3 月 19 日)

**中性子 EDM 測定のための一様静磁場の開発 (9)**松多 健策<sup>s\*</sup>, 増田 康博, 三原 基嗣<sup>s</sup>, 吉田 朋美<sup>b</sup>

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

**中性子 EDM 測定のための  $^{129}\text{Xe}$  核スピン磁力計の開発 XIV**三原 基嗣<sup>s\*</sup>, 増田 康博, 松多 健策<sup>s</sup>

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

 **$^{16}\text{N}$  の一中性子剥離反応による  $^{15}\text{N}$  の運動量分布測定 (ポスター)**福留 美樹<sup>b\*</sup>, 福田 光順<sup>s</sup>, 沖本 直哉<sup>b</sup>, Ronja Kehl<sup>m</sup>, 若林 諒<sup>m</sup>, 三原 基嗣<sup>s</sup>, 松多 健策<sup>s</sup>, 山口 滉太, 本間 彰, 武智 麻耶, 富田 瑞樹, 茂住 圭一, 野口 法秀, 片山 美稀, 成瀬 彩夏, 吉村 暢也, 生越 瑞揮, 大坪 隆, 西村 太樹, 高橋 弘幸, 鈴木 健, 山口 貴之, Maulen Maulen, 藤居 朋也, 横田 健次郎, 坂上 護, 泉川 卓司, 小沢 顕, 森口 哲朗, 百田 佐多生, 佐藤 眞二, 福田 茂一, 北川 敦志, 田中 聖臣

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

 **$^{16}\text{N}$  アイソマー状態の中性子剥離断面積 (ポスター)**沖本 直哉<sup>b\*</sup>, 福田 光順<sup>s</sup>, 福留 美樹<sup>b</sup>, Ronja Kehl<sup>m</sup>, 若林 諒<sup>m</sup>, 三原 基嗣<sup>s</sup>, 松多 健策<sup>s</sup>, 山口 滉太, 本間 彰, 武智 麻耶, 富田 瑞樹, 茂住 圭一, 野口 法秀, 片山 美稀, 成瀬 彩夏, 吉村 暢也, 生越 瑞揮, 大坪 隆, 西村 太樹, 高橋 弘幸, 鈴木 健, 山口 貴之, Maulen Maulen, 藤居 朋也, 横田 健次郎, 坂上 護, 泉川 卓司, 小沢 顕, 森口 哲朗, 百田 佐多生, 佐藤 眞二, 福田 茂一, 北川 敦志, 田中 聖臣

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

**書籍等の出版, 日本語の解説記事****原子核におけるクラスター相関と宇宙における元素合成**川畑 貴裕<sup>s</sup>

原子核研究 64 Supplement 1 (2020 年 2 月発行, 13-21 頁)

## 1.2 久野グループ

### 令和元年度の研究活動概要

久野グループでは、荷電レプトン・フレーバー非保存過程を探索する研究 (COMET 実験と DeeMe 実験)、RCNP の大強度ミュオン源 MuSIC を使った学際研究やスーパーカミオカンデ実験への参加などを行っている。

**COMET** ミューオン・電子転換過程 [ $\mu^- + N \rightarrow e^- + N$ ] は、荷電レプトン・フレーバー保存則を破るため、標準理論では強く抑制されている。しかしながら、超対称性大統一理論や超対称性シーソー理論、余剰次元など標準理論を超える新しい物理モデルでは、現在の実験感度を数桁向上させることで、観測可能できると予言されている。現在、実験で得られている分岐比の上限値は、 $7 \times 10^{-13}$  (90% C.L.) (SINDRUM II 実験 (2006 年)) である。

COMET 実験は、J-PARC 主リングからの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) で探索する計画である。Phase-I では、90 度のミュオン輸送湾曲ソレノイド後にミュオン静止標的を配置し、標的を取り囲むよう配置した円筒型ドリフトチェンバー (CDC) を用いて、運動量 105 MeV/c の転換電子を探索する。

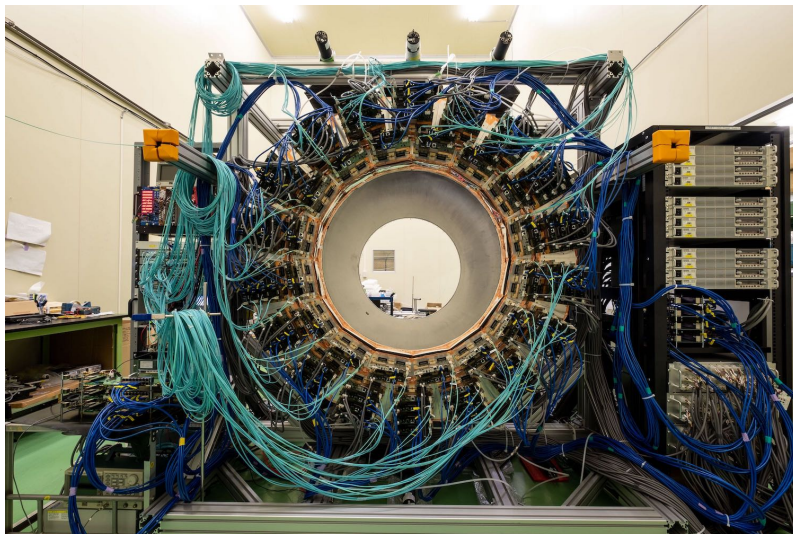


図 1.13: 宇宙線を用いた CDC 実機の性能評価試験の様子@KEK

令和元年度は、昨年度に引き続き、CDC 実機と宇宙線ミュオンを用いて取得したデータの解析や解析ツールの開発・性能向上・フレームワーク化を継続して行っている。本年度は、CDC 検出器の信号読み出し電子回路用の電源モジュールを増設し、対応する光ネットワーク・ケーブル、及び空冷装置も拡張し、全領域の信号読み出しに成功した。図 1.13 は、高エネルギー加速器研究機構にて、現在も継続して実施中の評価試験の様子である。CDC 検出器の上下に設置した宇宙線用のトリガーカウンターも約 3 倍の大きさに拡張し、全領域

において宇宙線を用いた動作試験・性能評価が可能となり、その最初の評価結果を修士論文(太田)にまとめた。

また、COMET 実験の環境下において、CDC 検出器が設置される実験エリアは、シミュレーションによって高い放射線レベルが予想されており、設置・使用される全ての電子機器・電子回路には、高い放射線耐性が要求されている。電子回路等に使用する個別のパーツ・素子・FPGA などに対して、ガンマ線・中性子線を用いた放射線耐性試験をこれまで継続的に行なってきたが、本年度も神戸大学のタンデム加速器で中性子照射試験を行い、トリガー用の電子回路のエラー耐性を評価した。加えて、それぞれ個々のパーツに対するこれまでの試験結果を論文にまとめて発表した。

信号となる運動量  $105 \text{ MeV}/c$  の電子を識別するためのオンライントリガーシステムの開発も進めている。読み出し電子回路からの電荷情報と信号検出タイミングをリアルタイムで集計し、ディープラーニングを用いたアルゴリズムによる計算をオンラインで処理することで、高効率で信号と背景事象を素早く区別可能となる。本年度は、実際に CDC 検出器を用いて、最小構成でのオンライントリガーシステムの動作試験・性能評価試験を行うことができた。引き続き、試験結果の解析、アルゴリズムの改良やシミュレーションによる見積もりを行い、COMET 実験 Phase-I における感度向上を目指す。

**DeeMe** DeeMe は、J-PARC RCS からの  $3 \text{ GeV}$  パルス陽子ビームを活用し、 $\mu^- + N \rightarrow e^- + N$  転換過程を探索する実験である。この実験では、一次陽子標的の中に静止する  $\mu^-$  によって生成されるミュオン原子を活用する。 $\mu^- + N \rightarrow e^- + N$  転換過程が存在する場合には、反応の結果発生する単色遅延電子が一次陽子標的から放出されるため、これを二次ビームラインで引き出すことによって、物理測定を行う。既存の炭素標的を用いて  $10^{-13}$  の感度を達成する物理測定の実施が J-PARC MLF のミュオン共同利用 S1 型実験課題として認められている。

これまでの研究で、電子の運動量を測定するスペクトロメータの開発は基本的に完了している。現在ビームライン(Hライン)の建設中であり、ビームラインが完成し次第、ビームコミッショニングを開始して、すみやかに物理測定に移行したいと考えている。

2017年3月、6月及び2019年3月に、本実験で使用する4台のMWCPやデータ収集装置などを使用して、 $50 \text{ MeV}/c$  近傍における Decay-in-Orbit(DIO)バックグラウンドの測定実験を行った。開発をした装置が全て正常に動作することを確認することができた。本年度は、これらのデータの解析を行っている。また、MWPCの性能を高度化することを目的として、ガス構成の最適化を行っている。プロンプトバーストで発生する大量のイオンに起因する遅延信号を抑えるために、メチラールを高い精度でガスに混合する特殊なガスシステムを開発した。京都大学複合原子力研究所の電子ライナックにおいて、このシステムを用いたビームテストを実施し、遅延信号を削減できることを確認した。また、ビームコミッショニングに備えて、大阪市立大と共同でパルスビームラインでの使用に最適化したビームプロファイルモニターの開発も行った。

**MuSIC** 本学核物理研究センター(RCNP)に建設した大強度ミュオン源 MuSIC と新しい連続状ミュオンビームライン MuSIC-M1 の開発を進めつつ、様々な分野におけるミュ-

オンを使用した基礎研究と応用研究を進めている。

2019年2月より RCNP 加速器が老朽化した AVF 加速器の更新のために長期シャットダウン期間となったため、本年度については、MuSIC ミューオン施設において新たに実施された実験はない。更新後のビーム供給は2021年秋頃に再開される予定である。この間に、MuSIC のビーム性能向上を達成すべく、過去のビーム測定データを再解析すると共に、シミュレーションも行い、ミューオン生成標的やビームライン光学の検討を進めた。また、CsI(Tl) 結晶を使用したアクティブターゲット法によるミューオン核変換研究手法の開発を行い、修士論文にまとめた。

共同利用実験については、過去に実施された実験データの解析が進み、数本の論文として発表した。RCNP-MuSIC における最初のミューオン非破壊分析である天保小判の分析結果を論文にまとめた。また、鉛同位体比測定のためのデータ解析も進め、結果を修士論文にまとめた。また、半導体ソフトエラー実験では、世界で初めてミューオン起因ソフトエラー断面積の絶対値の導出に成功し、国際会議およびその報告書で成果を報告している。

一方で、ビーム再開後の実験開始に備えて、新しい実験の準備を進めた。はやぶさ2が持ち帰る地球外資料や文化財・考古資料などの希少な資料をミューオンを使って非破壊で分析するために、素粒子原子核実験技術を盛り込んだ新しい高精度ミューオン X 線分析装置を開発している。これが完成すると、炭素、窒素、酸素などの軽い元素も検出可能な非破壊2次元元素マッピングが可能となる。さらに、ミューオン起因半導体ソフトエラー現象を基礎物理データに基づいて理解を深めるための実験準備も進めている。半導体素子中のシリコンとミューオンの反応を詳細に測定し、また、半導体へのミューオン入射位置とエラー率の関係を調べる検出器システムを新しく開発している。これらの新しい検出器システムは、RCNP が再稼働する前に、まず英国やスイスなどのミューオン施設で性能評価試験を行うべく、準備を進めている。



### 学術雑誌に出版された論文

#### First particle-by-particle measurement of emittance in the Muon Ionization Cooling Experiment

MICE Collaboration, D. Adams, D. Adey, R. Asfandiyarov, G. Barber, A. de Bari, R. Bayes, V. Bayliss, R. Bertoni, V. Blackmore, A. Blondel, J. Boehm, M. Bogomilov, M. Bonesini, C. N. Booth, D. Bowring, S. Boyd, T. W. Bradshaw, A. D. Bross, C. Brown, G. Charnley, G. T. Chatzitheodoridis, F. Chignoli, M. Chung, D. Cline, J. H. Cobb, D. Colling, N. Collomb, P. Cooke, M. Courthold, L. M. Cremaldi, A. DeMello, A. J. Dick, A. Dobbs, P. Dornan, F. Drielsma, K. Dumbell, M. Ellis, F. Filthaut, P. Franchini, B. Freemire, A. Gallagher, R. Gamet, R. B. S. Gardener, S. Gourlay, A. Grant, J. R. Greis, S. Griffiths, P. Hanlet, G. G. Hanson, T. Hartnett, C. Heidt, P. Hodgson, C. Hunt, S. Ishimoto, D. Jokovic, P. B. Jurj, D. M. Kaplan, Y. Karadzhov, A. Klier, Y. Kuno<sup>s</sup>, A. Kurup, P. Kyberd, J-B. Lagrange, J. Langlands, W. Lau, D. Li, Z. Li, A. Liu, K. Long, T. Lord, C. Macwaters, D. Maletic, B. Martlew, J. Martyniak, R. Mazza, S. Middleton, T. A. Mohayai, A. Moss, A. Muir, I. Mullacrane, J. J. Nebrensky, D. Neuffer, A. Nichols, J. C. Nugent, A. Oates, D. Orestano, E. Overton, P. Owens, V. Palladino, M. Palmer, J. Pasternak, V. Pec, C. Pidcott, M. Popovic, R. Preece, S. Prestemon, D. Rajaram, S. Ricciardi, M. Robinson, C. Rogers, K. Ronald, P. Rubinov, H. Sakamoto, D. A. Sanders, A. Sato<sup>s</sup>, M. Savic, P. Snopok, P. J. Smith, F. J. P. Soler, Y. Song, T. Stanley, G. Stokes, V. Suezaki, D. J. Summers, C. K. Sung, J. Tang, J. Tarrant, I. Taylor, L. Tortora, Y. Torun, R. Tsenov, M. Tucker, M. A. Uchida, S. Virostek, G. Vankova-Kirilova, P. Warburton, S. Wilbur, A. Wilson, H. Witte, C. White, C. G. Whyte, X. Yang, A. R. Young and M. Zisman

Eur. Phys. J. C **79** (257, Mar.) (2019) 1-15

(<http://dx.doi.org/doi:10.1140/epjc/s10052-019-6674-y>).

#### Search for heavy neutrinos in $\pi \rightarrow \mu\nu$ decay

A. Aguilar-Arevalo, M. Aoki<sup>s</sup>, M. Blecher, D.I. Britton, D. vom Bruch, D.A. Bryman, S. Chen *et al.*

Phys. Lett. B **798** (Apr.) (2019) 134980(5)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.physletb.2019.134980>).

#### A new approach for measuring the muon anomalous magnetic moment and electric dipole moment

M. Abe, S. Bae, G. Beer, G. Bunce, H. Choi, S. Choi, M. Chung, W. da Silva, S. Eidelman, M. Finger, Y. Fukao, T. Fukuyama, S. Haciomeroglu, K. Hasegawa, K. Hayasaka, N. Hayashizaki, H. Hisamatsu, T. Iijima, H. Inuma, H. Ikeda, M. Ikeno, K. Inami, K. Ishida, T. Itahashi<sup>i</sup>, M. Iwasaki, Y. Iwashita, Y. Iwata, R. Kadono, S. Kamal, T. Kamitani, S. Kanda, F. Kapusta, K. Kawagoe, N. Kawamura, B. Kim, Y. Kim, T. Kishishita, R. Kitamura, H. Ko, T. Kohriki, Y. Kondo, T. Kume, M. J. Lee, S. Lee, W. Lee, G. M.

Marshall, Y. Matsuda, T. Mibe, Y. Miyake, T. Murakami, K. Nagamine, H. Nakayama, S. Nishimura, D. Nomura, T. Ogitsu, S. Ohsawa, K. Oide, Y. Oishi, S. Okada, A. Olin, Z. Omarov, M. Otani, G. Razuvaev, A. Rehman, N. Saito, N. F. Saito, K. Sasaki, O. Sasaki, N. Sato, Y. Sato, Y. K. Semertzidis, H. Sendai, Y. Shatunov, K. Shimomura, M. Shoji, B. Shwartz, P. Strasser, Y. Sue, T. Suehara, C. Sung, K. Suzuki, T. Takatomi, M. Tanaka, J. Tojo, Y. Tsutsumi, T. Uchida, K. Ueno, S. Wada, E. Won, H. Yamaguchi, T. Yamanaka, A. Yamamoto, T. Yamazaki, H. Yasuda, M. Yoshida, T. Yoshioka  
 Progress of Theoretical and Experimental Physics **2019** (5, May) (2019) 1-22  
<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptz030>.

### Construction and performance tests of the COMET CDC

Manabu Moritsu, Yoshitaka Kuno<sup>s</sup>, Yugo Matsuda, Yu Nakazawa<sup>DC</sup>, Kaori Okinak, Hideyuki Sakamoto, Akira Sato<sup>s</sup>, Ming Liang Wong, Tingsam Wong<sup>d</sup>, Chen Wu<sup>s</sup>, Takahito Yamane, Hisataka Yoshida<sup>s</sup>, Hai-Bo Li, Jiang Xiaoshan, Jie Zhang  
 PoS (ICHEP2018) **340** (Aug.) (2019) 538  
<http://dx.doi.org/doi:10.22323/1.340.0538>.

### $SU(5)_{flavor} \times SU(3)_{family}$ model with unconventional family assignment

Yoshio Koide<sup>i</sup>  
 Phys. Lett. B **797** (Oct.) (2019) 134909-1-3  
<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.physletb.2019.134909>.

### Momentum distribution of the electron pair from the charged lepton flavor violating process $\mu^- e^- \rightarrow e^- e^-$ in muonic atoms with a polarized muon

Yoshitaka Kuno<sup>s</sup>, Joe Sato, Toru Sato, Yuichi Uesaka, and Masato Yamanaka  
 Phys. Rev. D **100** (Oct.) (2019) 075012-1-11  
<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.100.075012>.

### Irradiation Test of 65-nm Bulk SRAMs with DC Muon Beam at RCNP-MuSIC Facility

Takumi Mahara, Seiya Manabe, Yukinobu Watanabe, Wang Liao, Masanori Hashimoto, Takeshi Y. Saito, Megumi Niikura, Kazuhiko Ninomiya, Dai Tomono, Akira Sato<sup>s</sup>  
 IEEE Transactions on Nuclear Science (Feb.) (2020) 1-1  
<http://dx.doi.org/doi:10.1109/TNS.2020.2972022>.

### Nuclear isotope production by ordinary muon capture reaction

I.H. Hashim, H. Ejiri, F. Othman, F. Ibrahim, F. Soberi, N.N.A.M.A. Ghani, T. Shima, A. Sato<sup>s</sup>, K. Ninomiya  
 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A **963** (Mar.) (2020) 163749-1-7

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.nima.2020.163749>).

### Radiation hardness study for the COMET Phase-I electronics

Yu Nakazawa<sup>DC</sup>, Yuki Fujii, Eitaro Hamada, MyeongJae Lee, Yuta Miyazaki, Akira Sato<sup>s</sup>, Kazuki Ueno, Hisataka Yoshida<sup>s</sup>, Jie Zhang

Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A **955** (Mar.) (2020) 163247-1-7

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.nima.2019.163247>).

### COMET Phase-I technical design report

The. COMET. Collaboration, R. Abramishvili, G. Adamov, R. R. Akhmetshin, A. Allin, J. C. Ang é lique, V. Anishchik, M. Aoki<sup>s</sup>, D. Aznabayev, I. Bagaturia, G. Ban, Y. Ban, D. Bauer, . D. Baygarashev, A. E. Bondar, C. C â rloganu, B. Carniol, T. T. Chau, J. K. Chen, S. J. Chen, Y. E. Cheung, W. da Silva, P. D. Dauncey, C. Densham, G. Devidze, P. Dornan, A. Drutskoy, V. Duginov, Y. Eguchi, L. B. Epshteyn, P. Evtoukhovitch, S. Fayer, G. V. Fedotovitch, M. Finger. Jr, M. Finger, Y. Fujii, Y. Fukao, J. L. Gabriel, P. Gay, E. Gillies, D. N. Grigoriev, K. Gritsay, V. H. Hai, E. Hamada, I. H. Hashim, S. Hashimoto, O. Hayashi, T. Hayashi, T. Hiasa, Z. A. Ibrahim, . Y. Igarashi, F. V. Ignatov, M. Iio, K. Ishibashi, A. Issadykov, T. Itahashi<sup>i</sup>, A. Jansen, X. S. Jiang, . P. Jonsson, T. Kachelhoffer, V. Kalinnikov, E. Kaneva, F. Kapusta, H. Katayama, K. Kawagoe, . R. Kawashima, N. Kazak, V. F. Kazanin, O. Kemularia, A. Khvedelidze, M. Koike, T. Kormoll, G. A. Kozlov, A. N. Kozyrev, M. Kravchenko, B. Krikler, G. Kumsiashvili, Y. Kuno<sup>s</sup>, Y. Kuriyama, . Y. Kurochkin, A. Kurup, B. Lagrange, J. Lai, M. J. Lee, H. B. Li, R. P. Litchfield, W. G. Li, T. Loan, D. Lomidze, I. Lomidze, P. Loveridge, G. Macharashvili, Y. Makida, Y. J. Mao, O. Markin, . Y. Matsuda, A. Melkadze, A. Melnik, T. Mibe, S. Mihara, N. Miyamoto, Y. Miyazaki, . F. Mohamad. Idris, K. A. Mohamed. Kamal. Azmi, A. Moiseenko, M. Moritsu, Y. Mori, T. Motoishi<sup>m</sup>, . H. Nakai, Y. Nakai, T. Nakamoto, Y. Nakamura, Y. Nakatsugawa, Y. Nakazawa<sup>DC</sup>, J. Nash, . H. Natori, V. Niess, M. Nioradze, H. Nishiguchi, K. Noguchi, T. Numao, J. O' Dell, T. Ogitsu, S. Ohta<sup>m</sup>, K. Oishi, K. Okamoto, T. Okamura, K. Okinaka, C. Omori, T. Ota, J. Pasternak, A. Paulau, D. Picters, V. Ponariadov, G. Qu é mener, A. A. Ruban, V. Rusinov, B. Sabirov, H. Sakamoto, P. Sarin, K. Sasaki, A. Sato<sup>s</sup>, J. Sato, Y. K. Semertzidis, N. Shigyo, Dz. Shoukavy, M. Slunecka, D. St ö cking, M. Sugano, T. Tachimoto, T. Takayanagi, M. Tanaka, J. Tang, . C. V. Tao, A. M. Teixeira, Y. Tevzadze, T. Thanh, J. Tojo, S. S. Tolmachev, M. Tomasek, . M. Tomizawa, T. Toriashvili, H. Trang, I. Trekov, Z. Tsamalaidze, N. Tsverava, T. Uchida, Y. Uchida, K. Ueno, E. Velicheva, A. Volkov, V. Vrba, W. A. T. Wan. Abdullah, P. Warin-Charpentier, M. L. Wong, T.S. Wong<sup>d</sup>, C. Wu<sup>s</sup>, T. Y. Xing, H. Yamaguchi, A. Yamamoto, M. Yamanaka, T. Yamane, Y. Yang, T. Yano, W. C. Yao, B. Yeo, H. Yoshida<sup>s</sup>, M. Yoshida, T. Yoshioka, Y. Yuan, Yu. V. Yudin, M. V. Zdorovets, J. Zhang, Y. Zhang, K. Zuber

Progress of Theoretical and Experimental Physics **2020** (3, Mar.) (2020) 033C01(102)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptz125>).

### Improved search for two body muon decay $\mu^+ \rightarrow e^+ X_H$

A. Aguilar-Arevalo, M. Aoki<sup>s</sup>, M. Blecher, D.I. Britton, D. vom Bruch, D.A. Bryman, S. Chen *et al.*

Phys. Rev. D **101** (Mar.) (2020) 052014(4)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.101.052014>).

## 国際会議における講演等

### Experimental Prospects of Charged Lepton Flavour Violation

Yoshitaka Kuno<sup>s\*</sup> (invited)

International Workshop on Prospects of Neutrino Physics (at Kashiwa, Japan, Apr. 8-12, 2019, 参加者数約 100 人)

### COMET experiment

Hisataka Yoshida<sup>s\*</sup>

KPS-JPS joints symposium, KPS meeting (at Daejeon, Korea, Apr. 25, 参加者数約 40 人)

### RCNP-MuSIC: Status and prospects of muon activities

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

Neutrino Nuclear Responses 2019 (NNR19) for Double Beta Decays and Astro Neutrinos (at Osaka, Japan, May 8-9, 2019, 参加者数約 40 名)

### Physics Prospects with Muons

Yoshitaka Kuno<sup>s\*</sup>

The Open Symposium on 2020 Update of European Strategy for Particle Physics (at Granada, Spain, May 13-16, 2019, 参加者数約 300 人)

### DeeMe

Masaharu Aoki<sup>s\*</sup> (invited)

CLFV2019 : The 3rd International Conference on Charged Lepton Flavor Violation (at Fukuoka, Japan, Jun. 17-19, 2019, 参加者数約 80 名)

### Search for Muon to Electron Conversion at J-Parc: The Current Status of COMET Experiment

Chen Wu<sup>s\*</sup> (invited)

CLFV2019 : The 3rd International Conference on Charged Lepton Flavor Violation (at Fukuoka, Japan, Jun. 17-19, 2019, 参加者数約 80 名)

**The status and prospects of Cylindrical Drift Chamber for COMET Phase-I (poster)**Hisataka Yoshida<sup>s\*</sup>

CLFV2019 : The 3rd International Conference on Charged Lepton Flavor Violation (at Fukuoka, Japan, Jun. 17-19, 2019, 参加者数約 80 名)

**Development of the Fast Online Trigger System using FPGA-based Classification for COMET Phase-I (poster)**Yu Nakazawa<sup>DC\*</sup>

CLFV2019 : The 3rd International Conference on Charged Lepton Flavor Violation (at Fukuoka, Japan, Jun. 17-19, 2019, 参加者数約 80 名)

**Exploration of New Physics — Muon to Positron transition at COMET experiment (poster)**TingSam Wong<sup>d\*</sup>

CLFV2019 : The 3rd International Conference on Charged Lepton Flavor Violation (at Fukuoka, Japan, Jun. 17-19, 2019, 参加者数約 80 名)

**Search for Charged Lepton Flavour Violation with Muons**Yoshitaka Kuno<sup>s\*</sup>

International Workshop on Anomalies (at Hyderabad, India, Jul.18-20, 2019, 参加者数約 100 人)

**Overview of Charged Lepton Flavour Violation**Yoshitaka Kuno<sup>s\*</sup>

The 19th Lomonosov Conference (at Moscow, Russia, Aug. 22-28, 2019, 参加者数約 60 人)

**Pulsed Muon Beam Experiments**Yoshitaka Kuno<sup>s\*</sup>

The 21st International Workshop on Neutrinos from Accelerators (NuFACT2019) (at Daegu, Korea, Aug. 26-31, 2019, 参加者数約 150 名)

**Progress and scientific activities of the Japanese DC muon facility**Akira Sato<sup>s\*</sup>

The 21st International Workshop on Neutrinos from Accelerators (NuFACT2019) (at Daegu, Korea, Aug. 26-31, 2019, 参加者数約 150 名)

**Results and Prospects from the PIENU Experiment**M. Aoki<sup>s\*</sup> and the PIENU Collaboration (invited)

KAON2019, International Conference on Kaon Physics 2019 (at Perugia, Italy, Sept. 10 – 13, 2019, 参加者約 100 人)

**An experiment to search for  $\mu$ -e conversion by using a pulsed proton beam from J-PARC RCS - DeeMe**

Daiki Nagao<sup>d\*</sup> (invited)

The 3rd J-PARC Symposium (J-PARC2019) (at Tsukuba, Japan, Sept. 23-26, 2019, 参加者数約 300 名)

**Study of gas-gain saturation and cross-talk effect by low-energy protons with a test chamber for the COMET-CDC (poster)**

Hisataka Yoshida<sup>s\*</sup>

The 3rd J-PARC Symposium (J-PARC2019) (at Tsukuba, Japan, Sept. 23-26, 2019, 参加者数約 300 名)

**Muon to Electron Conversion with COMET at J-PARC**

Yoshitaka Kuno<sup>s\*</sup> (invited)

The 2019 International Workshop on Baryon and Lepton Number Violation (BLV2019) (at Madrid, Spain, Oct. 21-24, 2019, 参加者数約 100 人)

**Searching for Muon to Electron Conversion in a Muonic Atom**

Yoshitaka Kuno<sup>s\*</sup>

2nd IBS Conference on Dark World (at Daejeon, Korea, Nov. 4-7, 2019, 参加者数約 100 人)

**The Continuous Beam Muon Source in Japan, RCNP-MuSIC**

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

The 23rd International Conference on Accelerators and Beam Utilization (ICABU2019) (at Daejeon, Korea, Nov. 13-15, 2019, 参加者数約 250 人)

**Overview of Muon Physics**

Yoshitaka Kuno<sup>s\*</sup>

2nd International Workshop on EMUs Multidisciplinary Applications (at Hefei, China, Dec. 13-14 2019, 参加者数約 100 人)

**Muon to Electron Conversion in Muonic Atom**

Yoshitaka Kuno<sup>s\*</sup>

NCTS Dark Physics Workshop (at Hsinchu, Taiwan, Jan. 9-11, 2020, 参加者数約 50 人)

**日本物理学会，応用物理学会等における講演****DeeMe 実験における DIO 運動量測定解析**長尾大樹<sup>d\*</sup>，青木正治<sup>s</sup>，吉田学立<sup>s</sup>，元石尊寛，その他<sup>m</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会（於 山形大学、2019 年 9 月 17 日 – 9 月 20 日）

**COMET 実験のための新型 SiPM の中性子耐性評価試験**佐藤良紀<sup>m\*</sup>，上野一樹，吉田学立<sup>s</sup>，青木正治<sup>s</sup>，三原智，Matthias Dubouchet, Dzmitry Shoukavy

日本物理学会 2019 年秋季大会（於 山形大学、2019 年 9 月 17 日 – 9 月 20 日）

**COMET-CDC 検出器の現状と今後の計画**吉田 学立<sup>s\*</sup>，元石 尊寛<sup>m</sup>，太田 早紀<sup>m</sup>，久野 良孝<sup>s</sup>，佐藤 朗<sup>s</sup>，Wu Chen<sup>s</sup>，中沢 遊<sup>DC</sup>，TingSam Wong<sup>d</sup>，森津学，他 COMET-CDC グループ

日本物理学会 2019 年秋季大会（於 山形大学、2019 年 9 月 17 日 – 9 月 20 日）

**COMET-CDC 検出器における宇宙線試験の解析**太田 早紀<sup>m\*</sup>，吉田 学立<sup>s</sup>，元石 尊寛<sup>m</sup>，久野 良孝<sup>s</sup>，佐藤 朗<sup>s</sup>，Wu Chen<sup>s</sup>，中沢 遊<sup>DC</sup>，TingSam Wong<sup>d</sup>，森津学，他 COMET-CDC グループ

日本物理学会 2019 年秋季大会（於 山形大学、2019 年 9 月 17 日 – 9 月 20 日）

**低エネルギーミューオンの飛跡検出に向けた高空間分解能ガスチェンバーの開発 (2)**堀 孝之<sup>m\*</sup>，佐藤 朗<sup>s</sup>，寺田健太郎，友野大，川島祥孝，久野 良孝<sup>s</sup>，濱野 元太<sup>m</sup>，西川 凌<sup>m</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会（於 山形大学、2019 年 9 月 17 日 – 9 月 20 日）

**アクティブターゲットを用いた負ミューオン核反応研究法の検討 (2)**西川 凌<sup>m\*</sup>，佐藤 朗<sup>s</sup>，久野 良孝<sup>s</sup>，友野大，川島祥孝，濱野 元太<sup>m</sup>，堀 孝之<sup>m</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会（於 岐阜大学、2019 年 9 月 10 日 – 9 月 13 日）

**ミュオン電子転換過程探索実験-DeeMe-：準備状況 (13)**青木正治<sup>s\*</sup>，東野祐太<sup>m</sup>，長尾大樹<sup>d</sup>，山科晴太<sup>m</sup>，その他

日本物理学会 第 75 回年次大会（2020 年）（於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日）

**MWPC ガスへのメチラール蒸気混合による遅延ヒットの抑制**東野祐太<sup>m\*</sup>，青木正治<sup>s</sup>，その他

日本物理学会 第 75 回年次大会（2020 年）（於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日）

**COMET-CDC 検出器のフル稼働と今後の計画**吉田 学立<sup>s\*</sup>，太田 早紀<sup>m</sup>，久野 良孝<sup>s</sup>，佐藤 朗<sup>s</sup>，Wu Chen<sup>s</sup>，中沢 遊<sup>DC</sup>，TingSam Wong<sup>d</sup>，森津学，他 COMET-CDC グループ

日本物理学会 第 75 回年次大会（2020 年）（於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日）

**COMET-CDC 検出器における宇宙線試験の解析 (2)**

太田 早紀  $m^*$ , 吉田 学立  $s$ , 久野 良孝  $s$ , 佐藤 朗  $s$ , Wu Chen $s$ , 中沢 遊  $DC$ , 中津川洋平, TingSam Wong $d$ , 森津学, 他 COMET-CDC グループ

日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学、2020年3月16日 - 3月19日)

**DC ミューオンビームによる元素マッピングに向けたドリフトチェンバーの開発**

堀 孝之  $m^*$ , 久野 良孝  $s$ , 佐藤 朗  $s$ , 寺田健太郎, 友野大, 新倉潤, 西川 凌  $m$ , 二宮和彦, 室田雄太, 吉田 学立  $s$ , CHIU I-Huan

日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学、2020年3月16日 - 3月19日)



## 1.3 山中（卓）グループ

### 令和元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。

- **2016-2018 年に収集したデータの解析:** 2016-2018 年に収集したデータの解析を行った。信号領域を隠したまま事象選択のための全てのカットを決めた後、2019 年 8 月末に信号領域を開き、中を見た。信号領域内の背景事象数を  $(0.05 \pm 0.02)$  と予測していたのに対し、その値をはるかに超える 4 事象を観測した。2019 年 9 月にイタリアで開かれた KAON2019 国際会議では、結果は示さず、現状をそのまま報告した [篠原]。

その後、測定器の問題があった可能性、観測した事象の詳細、背景事象の見積もりなどについて調査を続けた [全員]。その中で、中性粒子のビームに、電荷を持った  $K^+$  粒子が混入し、その崩壊が背景事象になっている可能性が浮上した。しかし、その量については  $K^+$  のレートを実測する必要があるため、ビーム中の荷電粒子を検出するための測定器を製作し、設置した [清水、小寺]。次のビームタイムに  $K^+$  の量を観測し、その結果を踏まえて 2016-2018 年のデータを用いた最終結果を 2020 年度中には出す予定である [全員]。

- **改造した電磁カロリメータの性能評価:** ビームの外側を飛んできた中性子が電磁カロリメータに当たり、2つのクラスターを作ることによる背景事象を排除するため、2018 年秋に電磁カロリメータを改造した。中性子とガンマ線の反応の深さの分布の違いを利用して両者を識別する。その後 2019 年春に収集したデータを解析し、改造したカロリメータの中性子とガンマ線の識別能力を調べた。その結果、図 1.14 に示すように、シグナルを 90%残したまま、中性子による背景事象を  $(0.021 \pm 0.001)$  倍以下に削減できることを示した [大杉]。これは当初の予定の 0.1 倍を超える性能である。

#### CERN ATLAS 実験

LHC ATLAS 実験の目的は、エネルギーフロンティアでの素粒子物理標準模型を越える物理の探索と、発見された Higgs 粒子の性質解明である。2019 年度はデータ取得はなく、以前 4 年間の Run2 期間のまとめを行っている。また、2027 年からはビーム輝度を上げた High Luminosity LHC(HL-LHC) プロジェクトが計画されており、それに合わせ ATLAS 検出器の大幅なアップグレードを予定している。

**物理データ解析:**  $H \rightarrow \gamma \gamma_D$  解析 [大西、南條、廣瀬]: Higgs 粒子の光子 ( $\gamma$ ) とダークフォトン ( $\gamma_D$ : 標準理論の相互作用がない粒子) への崩壊を探索しはじめた。Higgs 粒子が Z 粒子

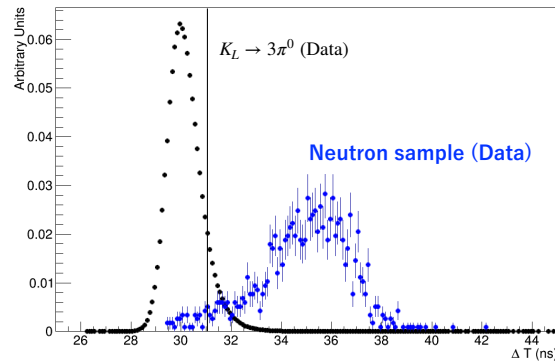


図 1.14: 電磁カロリメータの上流端につけた半導体検出器と、下流端につけた光電子増倍管の時間差の分布。黒点は  $K_L \rightarrow 3\pi^0$  崩壊の  $\pi^0$ 、青点は中性子を散乱させて作った、背景事象と同じ性質のサンプル。

縦の線より左側の事象を選ぶ。

と同時に生成する場合について、シミュレーションにより崩壊の特徴を理解した。

**現行 ATLAS 実験のシリコンストリップ検出器の運用**[廣瀬、南條]: 検出器の健全性監視ツールの維持管理を行った。新たに考案したシリコンセンサーの温度測定について、系統誤差を評価した。検出器のグループと共に、Run2 期間の運転を論文にまとめている。

**HL-LHC に向けた開発**: HL-LHC でのピクセル型シリコン飛跡検出器は、高輝度ビームに伴う荷電粒子の飛跡密度増加に対し、ピクセルサイズを細かく ( $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ ) する。この読み出し回路 (ASIC) は、同サイズのピクセル単位で、信号電荷の増幅、閾値によるヒット判定を行う。これを ASIC 内でまとめてデジタル信号を出力する ( $1.28\text{Gbps} \times 4$  本)。日本では、センサ・ASIC をフレキシブル基板上に組み上げ、モジュール (Fig. 1.15) を約 2000 個量産する。

- **読み出し ASIC の性能評価** [山家谷、廣瀬、南條]: ASIC のヒット判定閾値はデジタル値で設定する。これを入力電荷相当に換算した電荷閾値を、全ピクセルに対して揃える必要がある。新たな手法を開発し、プロトタイプ ASIC の 99.7% 以上のピクセルに対し、電荷閾値を標準偏差で  $40e$  (素電荷の 40 倍) 以内に揃えることができ、実験の要求を満たすことを示した (Fig. 1.16)。
- **量産時の評価試験システムの開発** [全員]: ASIC からの高速データを後段回路へ接続する中継基板を開発し、 $3\text{Gbps}$  まで対応できることを保証した。これを Filed Programmable Gate Array (FPGA) 回路で受信し、コンピュータにデータを保存する。 $1.28\text{Gbps}$  での受信ができる FPGA 回路の開発に成功した。また、量産時の半導体センサ及び ASIC の電源を制御し、監視するシステムを開発した。温度湿度なども含め、データを随時格納し、監視できるデータベースも開発した。さらに電源や ASIC の制御、読み出しなど全体を統合する試験プログラムも開発した。CERN での量産時の評価システムの開発にも参加した。廣瀬は ATLAS 日本グループ及び ATLAS 全体での、これらの開発を取り纏めるコーディネータの 1 人である。

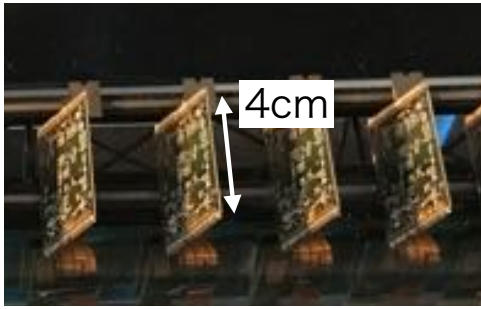


図 1.15: モジュールの様子 (4 台)

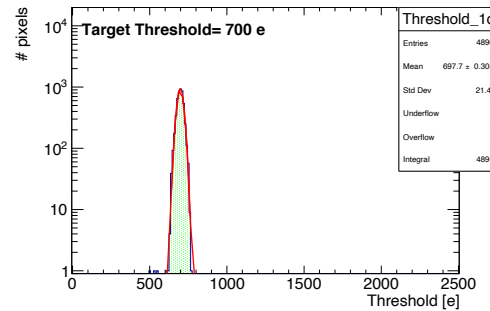


図 1.16: 調整後のピクセル毎の閾値分布

### 学術雑誌に出版された論文

#### A new cylindrical photon-veto detector for the $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ experiment

R. Murayama<sup>d</sup>, M. Togawa<sup>s</sup>, J. K. Ahn, J. Comfort, T. Inagaki, M. Isoe, I. Kamiji, E. J. Kim, J. L. Kim, T. K. Komatsubara, G. Y. Lim, T. Matsumura, K. Miyazaki<sup>m</sup>, H. Nanjo<sup>s</sup>, T. Nomura, H. Okuno, E. Pod, T. Sato, K. Shiomi, Y. Tajima, T. Toyoda<sup>m</sup>, Y. W. Wah, H. Watanabe, and T. Yamanaka<sup>s</sup>

Nucl. Instrum. Methods A **953** (Feb.) (2020) 163255 1–9

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.nima.2019.163255>).

#### Development of a radiation tolerant fine pitch planar pixel detector by HPK/KEK

K. Nakamura, J. Suzuki, H. Tokutake, K. Sato, Y. Abo, O. Jinnouchi, K. Hanagaki, K. Hara, S. Kamada, Y. Nakamura, H. Nanjo<sup>s</sup>, Y. Ikegami, Y. Sawada<sup>m</sup>, M. Togawa, K. Uchiyama, Y. Unno, S. Wada, D. Yamamoto<sup>m</sup>, H. Yamamoto, K. Yamamura

Nucl. Instrum. Methods A **924** (Apr.) (2019) 64

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.nima.2018.09.015>).

#### Cross-section measurements of the Higgs boson decaying into a pair of $\tau$ -leptons in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector

M. Hirose<sup>s</sup>, H. Nanjo<sup>s</sup>, M. Nomachi<sup>s</sup>, Y. Sugaya<sup>s</sup>, N. Ishijima<sup>d</sup>, K. Yajima<sup>d</sup> *et al.* (ATLAS Collaboration)

Phys. Rev. D **99** (072001, Apr.) (2019) 58

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.99.072001>).

### 国際会議報告等

#### Recent News from $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ and Perspectives KOTO

H. Nanjo<sup>s\*</sup>

Proceedings of the 54th Rencontres de Moriond, 2019 Electroweak Interactions and Unified Theories (Oct.) (2019) 15-20.

54th Rencontres de Moriond, 2019 Electroweak Interactions and Unified Theories (Mar. 2019, 参加者数約 150 名).xxx

## 国際会議における講演等

### Rare Kaon Decay Experiments

H. Nanjo<sup>s\*</sup>

KEK-PH2020 - KEK Theory Meeting on Particle Physics Phenomenology (at KEK, Ibaraki, Japan, Feb. 18 - 21, 2020)

### Four-dimensional calorimeter to discriminate gammas from neutrons for the KOTO experiment

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

CHEF2019 - Calorimetry for the High Energy Frontier 2019 (at Kyushu University, Fukuoka, Japan, Nov. 25 - 29, 2019)

### The upgrade of the KOTO Cesium Iodide calorimeter for the separation of gamma and neutron

N. Shimizu<sup>PD\*</sup>

J-PARC Symposium 2019 (at EPOCHAL Tsukuba, Ibaraki, Japan, Sept. 23 - 26, 2019)

### Introduction to KAON2019 - Experiments -

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

KAON2019 - International Conference on Kaon Physics 2019 (at Perugia, Italy, Sept. 10 - 13, 2019)

### Search for the rare decay $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ at J-PARC KOTO experiment

S. Shinohara<sup>s\*</sup>

KAON2019 - International Conference on Kaon Physics 2019 (at Perugia, Italy, Sept. 10 - 13, 2019)

### Neutron rejection performance of the upgraded KOTO CsI calorimeter (poster)

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

KAON2019 - International Conference on Kaon Physics 2019 (at Perugia, Italy, Sept. 10 - 13, 2019)

### Construction of the double-side readout calorimeter for $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ search (poster)

K. Kotera<sup>s\*</sup>

KAON2019 - International Conference on Kaon Physics 2019 (at Perugia, Italy, Sept. 10 - 13, 2019)

**Search for the  $K_L \rightarrow \pi^0 \gamma$  decay in the KOTO experiment**

N. Shimizu<sup>PD\*</sup>

KAON2019 - International Conference on Kaon Physics 2019 (at Perugia, Italy, Sept. 10 - 13, 2019)

**Calorimeter upgrade of the KOTO experiment with both-end readout of CsI crystals using MPPCs**

H. Nanjo<sup>s\*</sup>

KAON2019 - International Conference on Kaon Physics 2019 (at Perugia, Italy, Sept. 10 - 13, 2019)

**J-PARC KOTO**

T. Yamanaka<sup>s\*</sup>

NTU HEP April Flavor/Collider Workshop (at NTU, Taipei, Apr. 02 - 03, 2019)

**日本物理学会, 応用物理学会等における講演**

**MPPC の放射線ダメージが KOTO 実験 CsI カロリメータの時間分解能に与える影響**

乃一雄也<sup>m\*</sup>, 小寺克茂<sup>s</sup>, 篠原智史<sup>s</sup>, 清水信宏<sup>PD</sup>, 白石諒太<sup>m</sup>, 南條 創<sup>s</sup>, 山中 卓<sup>s</sup>, 他 KOTO コラボレーション

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学, 2019 年 9 月 17 日 - 9 月 20 日)

**$K_L \rightarrow \pi^0 \gamma$  崩壊を通じた新物理探索**

清水信宏<sup>PD\*</sup>, 他 KOTO コラボレーション

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学, 2019 年 9 月 17 日 - 9 月 20 日)

**J-PARC KOTO 実験 における  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  崩壊探索**

篠原智史<sup>s\*</sup>, 南條 創<sup>s</sup>, 山中 卓<sup>s</sup>, 塩見公志, 野村正, Kim JunLee, 林杰, Yu-Chen Tung, 他 KOTO Collaboration

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学, 2019 年 9 月 17 日 - 9 月 20 日)

**KOTO 実験の CsI カロリメータ前面に SiPM 4000 個を接着したことによるエネルギー分解能への影響**

小寺克茂<sup>s\*</sup>, 大杉真優<sup>m</sup>, 塩見公志, 篠原智史<sup>s</sup>, 清水信宏<sup>PD</sup>, 南條 創<sup>s</sup>, 野村正, 原 宜広<sup>m</sup>, 真利共生<sup>m</sup>, 山中 卓<sup>s</sup>, Chieh Lin, GeiYoub Lim, HongMin Kim, Yuting Luo

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学, 2019 年 9 月 17 日 - 9 月 20 日)

**KOTO 実験 CsI 電磁カロリメータ改良後の背景事象**

大杉真優<sup>m\*</sup>, 小寺克茂<sup>s</sup>, 塩見公志, 篠原智史<sup>s</sup>, 清水信宏<sup>PD</sup>, 南條 創<sup>s</sup>, 野村正, 原 宜広<sup>m</sup>, 真利共生<sup>m</sup>, 山中 卓<sup>s</sup>, Chieh Lin, GeiYoub Lim, HongMin Kim, Yuting Luo, 他, KOTO コラボレーション

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学, 2019 年 9 月 17 日 - 9 月 20 日)

**新型ピクセル検出器の量産時に行うフロントエンド ASIC の試験方法の開発**

山家谷昌平<sup>m\*</sup>, 南條 創<sup>s</sup>, 廣瀬穰<sup>s</sup>, 生出秀行, 金恩寵, 窪田ありさ, 陣内修, 河野能知, 小林大, 東城順治, 池上陽一, 外川学, 中村浩二, 花垣和則, その他 ATLAS 日本シリコングループ  
日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学, 2019 年 9 月 17 日 - 9 月 20 日)

**ATLAS 実験アップグレード用ピクセル検出器のための高速データ読み出しシステムの開発**

廣瀬穰<sup>s\*</sup>, 南條 創<sup>s</sup>, 矢島和希<sup>d</sup>, 花垣和則, 外川学, 池上陽一, 中村浩二, 陣内修, 生出秀行, 河野能知, Timon Heim, Maurice Garcia-Sciveres, 他 ATLAS 日本シリコングループ

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学, 2019 年 9 月 17 日 - 9 月 20 日)

**KOTO ビームラインに含まれる荷電 K 中間子を測定するシステム (1)**

小寺克茂<sup>s\*</sup>, 大杉真優<sup>m</sup>, 篠原智史<sup>s</sup>, 清水信宏<sup>PD</sup>, 白石諒太<sup>m</sup>, 南條 創<sup>s</sup>, 乃一雄也<sup>m</sup>, 野村正, 山中 卓<sup>s</sup>, 渡辺丈晃, GeiYoub Lim, Taylor Cassidy Nunes<sup>m</sup>, 他, KOTO collaboration  
日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学, 2020 年 3 月 16 日 - 3 月 19 日)

**KOTO ビームラインに含まれる荷電 K 中間子を測定するシステム (2)**

清水信宏<sup>PD\*</sup>, 大杉真優<sup>m</sup>, 小寺克茂<sup>s</sup>, 篠原智史<sup>s</sup>, 塩見公志, 白石諒太<sup>m</sup>, 南條 創<sup>s</sup>, 乃一雄也<sup>m</sup>, 山中 卓<sup>s</sup>, 渡辺丈晃, GeiYoubLim, Taylor Cassidy Nunes<sup>m</sup>, 他, KOTO collaboration  
日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学, 2020 年 3 月 16 日 - 3 月 19 日)

**J-PARC KOTO 実験における鉄壁設置による偶発的信号損失の低減効果の評価**

白石諒太<sup>m\*</sup>, 大杉真優<sup>m</sup>, 小寺克茂<sup>s</sup>, 塩見公志, 篠原智史<sup>s</sup>, 清水信宏<sup>PD</sup>, 南條 創<sup>s</sup>, 乃一雄也<sup>m</sup>, 野村正, 山中 卓<sup>s</sup>, 渡邊丈晃, Vuong Quynh Huong<sup>m</sup>, Taylor Cassidy Nunes<sup>m</sup>, 他 KOTO Collaboration

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学, 2020 年 3 月 16 日 - 3 月 19 日)

**J-PARC KOTO 実験におけるビームハロー KL の測定**

乃一雄也<sup>m\*</sup>, 大杉真優<sup>m</sup>, 小寺克茂<sup>s</sup>, 塩見公志, 篠原智史<sup>s</sup>, 清水信宏<sup>PD</sup>, 白石諒太<sup>m</sup>, 南條 創<sup>s</sup>, 野村正, 山中 卓<sup>s</sup>, Vuong Quynh Huong<sup>m</sup>, Taylor Cassidy Nunes<sup>m</sup>, 他 KOTO Collaboration

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学, 2020 年 3 月 16 日 - 3 月 19 日)

**J-PARC KOTO 実験 2016 - 2018 年物理ラン解析の最新状況阪大理, KEK, 台湾大,**

**Univ. of ChicagoC**

篠原智史<sup>s\*</sup>, 野村正, 塩見公志, 南條 創<sup>s</sup>, 山中 卓<sup>s</sup>, 林杰, Yu-Chen Tung, 他 KOTO Collaboration

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

**J-PARC KOTO 実験における CsI 両読み手法による中性子背景事象削減能力の評価**

大杉真優<sup>m\*</sup>, 小寺克茂<sup>s</sup>, 塩見公志, 篠原智史<sup>s</sup>, 清水信宏<sup>PD</sup>, 白石諒太<sup>m</sup>, 南條 創<sup>s</sup>, 乃一雄也<sup>m</sup>, 野村正, 原 宜広<sup>m</sup>, 真利共生<sup>m</sup>, 山中 卓<sup>s</sup>, Chieh Lin, GeiYoub Lim, HongMin Kim, Taylor Cassidy Nunes<sup>m</sup>, Vuong Quynh Huong<sup>m</sup>, Yuting Luo, 他, KOTO コラボレーション

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

**HL-LHC ATLAS ピクセル検出器の量産時に行う読み出し ASIC の低閾値帯での安定動作試験**

山家谷昌平<sup>m\*</sup>, 南條 創<sup>s</sup>, 廣瀬穰<sup>s</sup>, 生出秀行, 金恩寵, 窪田ありさ, 陣内修, 河野能知, 小林大, 東城順治, 池上陽一, 外川学, 中村浩二, 花垣和則, その他 ATLAS 日本シリコングループ  
日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

**高輝度 LHC で用いる ATLAS ピクセル検出器の量産時の試験に使う高速インターフェース・カードのデザインと性能評価**

Lakmin Wickremasinghe<sup>m\*</sup>, 南條 創<sup>s</sup>, 廣瀬穰<sup>s</sup>, 生出秀行, 池亀遥南, 松崎貴由, 鷺津優維, 小林大, 花垣和則, 外川学, 池上陽一, 中村浩二, その他 ATLAS 日本シリコングループ

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

**ATLAS 実験新型ピクセル検出器への熱伝導素材実装の QC 手法開発**

大西裕二<sup>m\*</sup>, 南條 創<sup>s</sup>, 廣瀬穰<sup>s</sup>, 田窪洋介, Susanne Kuehn, 他 ATLAS 日本シリコングループ

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

**J-PARC KOTO Experiment - Search for new physics beyond the Standard Model with a rare K decay –**

山中 卓<sup>s\*</sup>

九州大学、2019 年 11 月 7 日

**KOTO 実験 (invited)**

山中 卓<sup>s\*</sup>

FPW2019 – Flavor Physics Workshop 2019, 富田林、2019 年 11 月 20 日

**KOTO Experiment (invited)**

清水信宏<sup>PD\*</sup>

第9回高エネルギー物理春の学校、大津市、2019年5月17日

**K 中間子稀崩壊探索による新物理へのアプローチ**

塩見公志、野村正、山中 卓<sup>s</sup>

日本物理学会誌 **74**, No. 12, 830-838 (2019). (Dec. 2019)

**新しい素粒子物理を中性 K 中間子崩壊で探る J-PARC KOTO 実験**

山中 卓<sup>s</sup>

アイソトープニュース **767**, 2-5 (2020). (Feb. 2020)



## 1.4 小林グループ

### 令和元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見され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。

小林グループでは、このようなメゾスコピック系における様々な現象、主に量子多体現象、非平衡現象、スピン輸送現象などに注目して研究を行っている。高精度な電流ゆらぎ測定やスピン輸送測定を行うことで、定量的に量子輸送・スピン輸送を観測・制御することができ、これまで実現が困難であったような実験に挑むことが可能になる。さらにメゾスコピック系ならではの新しい現象の発見を目指して研究を進めている。

令和元年度、我々は主として以下のテーマに取り組んだ。

- a) 近藤効果における非平衡輸送と多体相関検出
- b) 2層2次元電子系量子ポイントコンタクトにおけるスピン依存伝導
- c) 表面弾性波を用いた原子層超伝導体の伝導特性の変調
- d) スピングラスにおける非線形スピン流電流変換
- e) 三角格子反強磁性体  $\text{Ag}_2\text{CrO}_2$  における磁気輸送測定
- f) 非共線の反強磁性体  $\text{Mn}_3\text{Ni}_{1-x}\text{Cu}_x\text{N}$  におけるスピン輸送測定
- g) 異方的超伝導体におけるスピン輸送測定と量子干渉効果
- h) カイラル磁性体  $\text{CrNb}_3\text{S}_6$  薄膜における磁気輸送測定
- i) 原子層超伝導体におけるスピン輸送測定
- j) 原子層強磁性体における磁気輸送測定
- k) 重い電子系原子層物質  $\text{CeTe}_3$  における量子振動及び磁気輸送測定
- l) グラフェンジグザグナノリボンの作製
- m) 表面弾性波による擬1次元電荷密度波の変調

以下では、「a) 近藤効果における非平衡輸送と多体相関検出」、「c) 表面弾性波を用いた原子層超伝導体の伝導特性の変調」について紹介する。

#### 近藤効果における非平衡輸送と多体相関検出

近藤効果については半世紀にわたって数多くの研究が行われてきた。理論的には近藤状態は「局所フェルミ液体」として記述されることが確立しており、近藤状態の振る舞いを研究することは、強い電子相関に支配される量子液体を研究することと等価である。

我々は、過去数年にわたって、カーボンナノチューブを用いて作製した量子ドットにおける近藤効果の研究を行ってきた。研究によって、近藤状態においては一粒子の伝導過程だけでなく二個の粒子が関与する伝導過程もあり、それによって電流ゆらぎが通常の値よりも増大することを明らかとした。この電流ゆらぎから、量子液体を特徴づけるウィルソン比を

求めることができ、量子ドットが極めて強い量子多体状態にあることを実証した。さらに、これまでに知られていなかった非平衡スケールング則を実験的に確立した。また、 $SU(2)$  と  $SU(4)$  という対称性の異なる近藤状態の間の連続的な遷移にもなうウィルソン比の変化を定量的に抽出することにも成功した。本年度はこれまでの成果を総説として報告した。

さらに、非平衡状態でも近藤相関が生き残ることを実験的に示した。通常、量子ドットにおける近藤効果は、微分伝導度におけるゼロバイアスピークとして観測される。これは平衡状態近傍の性質であるが、それに対し、有限バイアス下（非平衡）においても、近藤相関が輸送に影響を与える場合がある。例えば、カーボンナノチューブ量子ドットにおける近藤効果は、電子がスピンと軌道の両方の自由度を持つため、 $SU(2) \times SU(2)$  の対称性を示す。この場合、近藤効果は、クラマース擬似スピンを保持するように、非弾性トンネル過程を抑制する。つまり、クラマース擬似スピンの保存されるようなバイアス電圧においては、本来は伝導が生じない。ところが、我々は、そのようなバイアス電圧においても伝導が観測されることを実験的に見出した。我々は、この効果が、そのバイアス電圧において擬似スピンの保存しないような遷移が共鳴し強め合うためであることを理論的に明らかにした。このことは、非平衡状態においても、近藤相関が生き残っており、非平衡伝導に本質的な影響を与えることの証拠である。

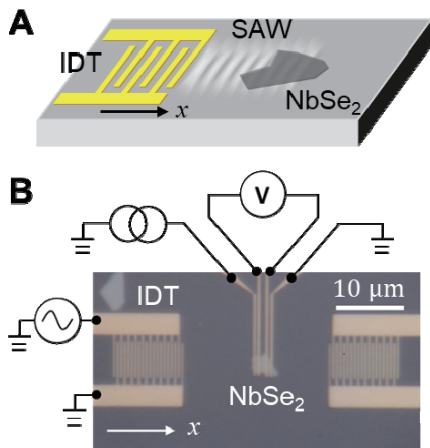


図 1.17: (A) 表面弾性波 (SAW) デバイスの概念図。楕型電極 (IDT) に GHz 帯域の交流電場を印加することで、 $\text{LiNbO}_3$  基板に表面弾性波を励振できる。(B) 原子層超伝導  $\text{NbSe}_2$  薄膜を用いた表面弾性波デバイスの光学顕微鏡像。

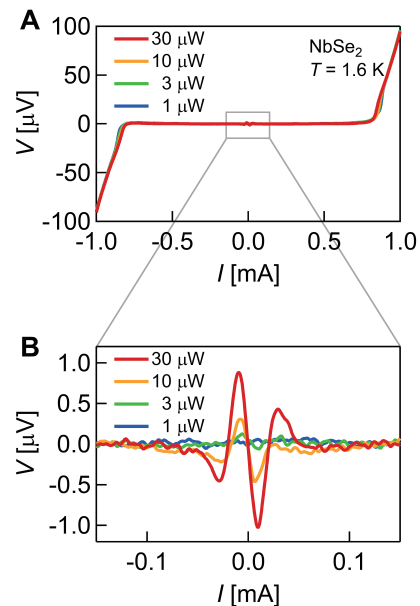


図 1.18: (A) 図 1.17(B) のデバイスで測定された電流電圧特性のマイクロ波パワー依存性。測定温度は 1.6 K で、 $\text{NbSe}_2$  の超伝導転移温度  $T_C = 7.2$  K より十分低い。(B) 図 1.18(A) のゼロ電流付近の拡大図。

### 表面弾性波を用いた原子層超伝導体の伝導特性の変調

半導体における負性抵抗は、トンネルダイオード（もしくはエサキダイオード）やガンダイオードに利用され、特にマイクロ波帯域の発振器や増幅器として実用化されている。ここでいう負性抵抗は、ある電流  $I$  を印加したときに生じる電圧  $V$  の微分値、つまり  $dV/dI$  のことであり、電流の向きと逆符号の電圧が生じる、いわゆる「負の抵抗」とは異なる。一般には、負の抵抗はエネルギー保存則もしくは熱力学の第二法則に反するため、通常の電気回路では実現しない。2000年代前半に脚光を浴びた、マイクロ波照射による2次元電子系におけるゼロ抵抗状態も、負の抵抗のドメインは生成されるが、結局は拡散電流によって正の抵抗のドメインと均一化され、負の抵抗自体が安定化することはない。

本研究では、上述の系と異なり、オームの法則が成り立たない超伝導体に着目した。劈開性のある超伝導体  $\text{NbSe}_2$  を原子層レベルまで薄くした薄膜デバイスを作製し、そこにマイクロ波帯域の表面弾性波を照射することで、負の抵抗を実現することに成功した。図 1.17 に、原子層超伝導  $\text{NbSe}_2$  薄膜と表面弾性波デバイスの模式図、及び光学顕微鏡像を示す。表面弾性波は、ピッチが  $1 \mu\text{m}$  の櫛型電極に、3 GHz の交流電場を印加することによって、励振される。表面弾性波を照射しない場合、 $\text{NbSe}_2$  薄膜は通常の電流電圧特性（つまり臨界電流まで電圧はゼロで、臨界電流以上で有限の電圧が観測される）を示す。一方、 $3 \mu\text{W}$  以上のパワーをもつ交流電場を櫛型電極に印加すると、図 1.18 に示す通り、ゼロ電流付近で有限の電圧が観測された。しかもこの電圧の符号は、電流と逆であり、ゼロ電流における負の抵抗が観測されたことに対応する。

負の抵抗の起源を実験的に探るために、我々は  $\text{Nb}$  薄膜、原子層超伝導  $\text{NbS}_2$  薄膜でも同様の素子を作製し、電流電圧特性を測定した。その結果、 $\text{NbSe}_2$  薄膜で観測されたような負の抵抗は観測されなかった。このことから負の抵抗には、超伝導、表面弾性波の他に、 $\text{NbSe}_2$  でしか実現しない電荷密度波が重要な要素であることが分かった。

原子層超伝導  $\text{NbS}_2$  薄膜で観測された負の抵抗の起源をさらに検証するために、我々は抵抗で短絡したジョセフソン接合と静電容量が直列に繋がったモデルで電流電圧特性を理論的に評価したところ、静電容量が時間とともに減衰する場合のみ、負の抵抗を再現することができた。このことは、表面弾性波の照射によって、電荷密度波に変調が生じ、静電容量の減少として現れることが負の抵抗の本質であることを示唆している。本研究は、原子層超伝導薄膜を用いた表面弾性波デバイスが、周期的な外場を駆動することで量子状態を制御できるフロッケエンジニアリングの舞台になり得ることを示す重要な成果である。

なお本研究は、本学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻の青山和司助教、東京大学大学院理学系研究科物理学専攻の福山寛教授との共同研究である。

### 学術雑誌に出版された論文

#### Spin transport measurements in metallic Bi/Ni nanowires

M. Tokuda<sup>m</sup>, N. Kabeya<sup>m</sup>, K. Iwashita<sup>m</sup>, H. Taniguchi<sup>d</sup>, T. Arakawa, D. Yue, X.-X. Gong, X.-F. Jin, K. Kobayashi<sup>s</sup>, and Y. Niimi<sup>s</sup>

Applied Physics Express **12** (No. 5, April) (2019) 053005/1-4

(<http://dx.doi.org/doi:10.7567/1882-0786/ab15ae>).

**Cavity resonator for circularly polarized microwave irradiation mounted on a cryostat**

T. Arakawa, S. Norimoto<sup>s</sup>, S. Iwakiri<sup>DC</sup>, T. Asano<sup>m</sup>, and Y. Niimi<sup>s</sup>

Review of Scientific Instruments **90** (No. 8, August) (2019) 084707/1-6

(<http://dx.doi.org/doi:10.1063/1.5098846>).

**Observation of the magnetization metastable state in a perpendicularly magnetized nanopillar with asymmetric potential landscape**

S. Iwakiri<sup>DC</sup>, S. Sugimoto, Y. Niimi<sup>s</sup>, K. Kobayashi<sup>s</sup>, Y. K. Takahashi, and S. Kasai

Applied Physics Letters **115** (No. 9, Aug.) (2019) 092407/1-5

(<http://dx.doi.org/doi:10.1063/1.5098866>).

**Unraveling a concealed resonance by multiple Kondo transitions in a quantum dot**

A. Lahiri, T. Hata<sup>DC</sup>, S. Smirnov, M. Ferrier<sup>i</sup>, T. Arakawa, M. Niklas, M. Marganska, K. Kobayashi<sup>s</sup>, and M. Grifoni

Physical Review B **101** (No. 4, Jan.) (2020) 041102(R)/1-5

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.101.041102>).

**Butterfly-shaped magnetoresistance in triangular-lattice antiferromagnet  $\text{Ag}_2\text{CrO}_2$**

H. Taniguchi<sup>d</sup>, M. Watanabe<sup>m</sup>, M. Tokuda<sup>m</sup>, S. Suzuki<sup>DC</sup>, E. Imada<sup>b</sup>, T. Ibe<sup>m</sup>, T. Arakawa, H. Yoshida, H. Ishizuka, K. Kobayashi<sup>s</sup>, and Y. Niimi<sup>s</sup>

Scientific Reports **10** (No. 1, Feb.) (2020) 2525/1-7

(<http://dx.doi.org/doi:10.1038/s41598-020-59578-z>).

**Conductance quantization and shot noise of a double-layer quantum point contact**

D. Terasawa, S. Norimoto<sup>s</sup>, T. Arakawa, M. Ferrier<sup>i</sup>, A. Fukuda, K. Kobayashi<sup>s</sup>, and Y. Hirayama

Physical Review B **101** (No. 11, Mar.) (2020) 115401/1-13

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.101.115401>).

**Enhancement of coercive field in atomically-thin quenched  $\text{Fe}_5\text{GeTe}_2$**

T. Ohta<sup>m</sup>, K. Sakai<sup>m</sup>, H. Taniguchi<sup>d</sup>, B. Driesen, Y. Okada, K. Kobayashi<sup>s</sup>, and Y. Niimi<sup>s</sup>

Applied Physics Express **13** (No. 4, Mar.) (2020) 043005/1-4

(<http://dx.doi.org/doi:10.35848/1882-0786/ab7f18>).

**Quantum noise in carbon nanotubes as a probe of correlations in the Kondo**

**regime**

M. Ferrier<sup>i</sup>, R. Delagrangé, J. Basset, H. Bouchiat, T. Arakawa, T. Hata<sup>DC</sup>, R. Fujiwara<sup>m</sup>, Y. Teratani, R. Sakano, A. Oguri, K. Kobayashi<sup>s</sup>, and R. Deblock  
 Journal of Low Temperature Physics (Sep.) (2019) (online published)  
 (<http://dx.doi.org/doi:10.1007/s10909-019-02232-4>).

**国際会議報告等****国際会議における講演等****Fine etching process for fabrication of single electron sources (poster)**

S. Norimoto<sup>s\*</sup>, S. Iwakiri<sup>DC</sup>, M. Yokoi<sup>DC</sup>, T. Arakawa, Y. Niimi<sup>s</sup>, and K. Kobayashi<sup>s</sup>  
 20th Anniversary of Superconducting Qubits (SQ20th): Progress and Future Directions  
 (at Tsukuba, Japan, May 13-15, 2019, 参加者数約 100 名)

**Butterfly-shaped magnetoresistance in Ising system induced by spin fluctuations**

H. Taniguchi<sup>d\*</sup>, M. Watanabe<sup>m</sup>, M. Tokuda<sup>m</sup>, S. Suzuki<sup>DC</sup>, T. Ibe<sup>m</sup>, T. Arakawa, H. Yoshida, H. Ishizuka, K. Kobayashi<sup>s</sup>, and Y. Niimi<sup>s</sup>  
 2019 Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2019) (Las Vegas, Nevada, USA, November 4-8, 2019, 参加者数約 2,000 名)

**Determination of Spin Freezing Temperature in Nanoscale Spin Glasses**

H. Taniguchi<sup>d\*</sup>, M. Tokuda<sup>m</sup>, T. Taniguchi, T. Arakawa, B. Go, T. Ziman, S. Maekawa, K. Kobayashi<sup>s</sup>, and Y. Niimi<sup>s</sup>  
 2019 Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2019) (Las Vegas, Nevada, USA, November 4-8, 2019, 参加者数約 2,000 名)

**Spin transport measurements in metallic Bi/Ni nanowires**

M. Tokuda<sup>m\*</sup>, N. Kabeya<sup>m</sup>, K. Iwashita<sup>m</sup>, H. Taniguchi<sup>d</sup>, T. Arakawa, D. Yue, X.-X. Gong, X.-F. Jin, K. Kobayashi<sup>s</sup>, and Y. Niimi<sup>s</sup>  
 2019 Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2019) (Las Vegas, Nevada, USA, November 4-8, 2019, 参加者数約 2,000 名)

**Non-equilibrium Fluctuations in Correlated Quantum Liquids**

K. Kobayashi<sup>s\*</sup> (invited)  
 Workshop of ENS-UTokyo (Tokyo, Japan, November 25-26, 2019, 参加者数約 60 名)

**Hall measurements in atomically thin CeTe<sub>3</sub> films (poster)**

M. Watanabe<sup>m\*</sup>, T. Ibe<sup>m</sup>, M. Tokuda<sup>m</sup>, H. Taniguchi<sup>d</sup>, Y. Okada, K. Kobayashi<sup>s</sup>, and

Y. Niimi<sup>s</sup>

International Symposium for Nano Science (ISNS2019) (Osaka, November 27-28, 2019, 参加者数約 100 名)

**Spin transport measurements in atomic-layer materials with strong spin-orbit interaction (poster)**

T. Ohta<sup>m\*</sup>, R. Kawahara<sup>m</sup>, S. Suzuki<sup>DC</sup>, H. Taniguchi<sup>d</sup>, K. Kobayashi<sup>s</sup>, and Y. Niimi<sup>s</sup>

International Symposium for Nano Science (ISNS2019) (Osaka, November 27-28, 2019, 参加者数約 100 名)

**Hall and butterfly-shaped magnetoresistance effects in atomically thin CeTe<sub>3</sub> films (poster)**

M. Watanabe<sup>m\*</sup>, S.-H. Lee<sup>d</sup>, T. Asano<sup>m</sup>, T. Ibe<sup>m</sup>, M. Tokuda<sup>m</sup>, H. Taniguchi<sup>d</sup>, U. Daichi, Y. Okada, K. Kobayashi<sup>s</sup>, and Y. Niimi<sup>s</sup>

New Perspective in Spin Conversion Science (NPSCS2020) (Kashiwa, Chiba, February 3-4, 2020, 参加者数約 200 名)

**Upper critical field measurements in Bi/Ni superconducting bilayer film (poster)**

M. Tokuda<sup>m\*</sup>, H. Taniguchi<sup>d</sup>, T. Arakawa, D. Yue, X.-X. Gong, X.-F. Jin, K. Kobayashi<sup>s</sup>, and Y. Niimi<sup>s</sup>

New Perspective in Spin Conversion Science (NPSCS2020) (Kashiwa, Chiba, February 3-4, 2020, 参加者数約 200 名)

**Measurements of anomalous Hall Effect in van der Waals ferromagnet Fe<sub>5</sub>GeTe<sub>2</sub> (poster)**

T. Ohta<sup>m\*</sup>, K. Sakai<sup>m</sup>, H. Taniguchi<sup>d</sup>, B. Driesen, Y. Okada, K. Kobayashi<sup>s</sup>, and Y. Niimi<sup>s</sup>

New Perspective in Spin Conversion Science (NPSCS2020) (Kashiwa, Chiba, February 3-4, 2020, 参加者数約 200 名)

**Spin transport measurement in noncollinear antiferromagnet Mn<sub>3</sub>Ni<sub>1-x</sub>Cu<sub>x</sub>N (poster)**

S. Suzuki<sup>DC\*</sup>, T. Hajiri, R. Miki, H. Asano, K. Zhao, P. Gegenwart, K. Kobayashi<sup>s</sup>, and Y. Niimi<sup>s</sup>

New Perspective in Spin Conversion Science (NPSCS2020) (Kashiwa, Chiba, February 3-4, 2020, 参加者数約 200 名)

**日本物理学会, 応用物理学会等における講演****ゆらぎは語る — 人工原子における非平衡量子液体**小林 研介<sup>s\*</sup>

物理学教室コロキウム (東京大学, 2019年6月28日)

**Fluctuations in Mesoscopic Systems**K. Kobayashi<sup>s\*</sup>

ipi seminar (The University of Tokyo, 2019年7月8日)

**ゆらぎで探る量子液体**小林 研介<sup>s\*</sup>

KEK 連携コロキウム (高エネルギー加速器研究機構, つくば, 2019年7月29日)

**Detection and control of fluctuations in mesoscopic systems**K. Kobayashi<sup>s\*</sup>

新学術領域研究「量子液晶の物性科学」キックオフ・ミーティング (東京大学, 2019年8月19日)

**Bi/Ni 薄膜におけるスピン輸送測定**新見 康洋<sup>s\*</sup>

第11回放射光学会若手研究会「放射光を用いたナノ分光技術とスピントロニクスとの協奏」(東北大学, 2019年8月22日)

**Magneto transport measurements in atomically thin CeTe<sub>3</sub> films**M. Watanabe<sup>m\*</sup>, T. Ibe<sup>m</sup>, M. Tokuda<sup>m</sup>, H. Taniguchi<sup>d</sup>, Y. Okada, K. Kobayashi<sup>s</sup>, and Y. Niimi<sup>s</sup>

日本物理学会 2019年秋季大会 (於 岐阜大学, 2019年9月10日 – 9月13日)

**グラフェンナノリボンを用いたスピン輸送測定の試み (ポスター)**花田 尚輝<sup>m\*</sup>, 松井 朋裕, 鈴木 将太<sup>DC</sup>, 井邊 昂志<sup>m</sup>, 谷口 祐紀<sup>d</sup>, 福山 寛, 小林 研介<sup>s</sup>, 新見 康洋<sup>s</sup>

日本物理学会 2019年秋季大会 (於 岐阜大学, 2019年9月10日 – 9月13日)

**カイラル磁性体 CrNb<sub>3</sub>S<sub>6</sub> 薄膜のスピン輸送測定 (ポスター)**川原 遼馬<sup>m\*</sup>, 谷口 祐紀<sup>d</sup>, 河上 司<sup>m</sup>, Y. A. Alaoui, 荒川 智紀, 乾 皓人, 島本 雄介, 高阪 勇輔, 戸川 欣彦, 小林 研介<sup>s</sup>, 新見 康洋<sup>s</sup>

日本物理学会 2019年秋季大会 (於 岐阜大学, 2019年9月10日 – 9月13日)

**スピン軌道相互作用の強い原子層物質におけるスピン輸送測定の試み (ポスター)**太田 智陽<sup>m\*</sup>, 川原 遼馬<sup>m</sup>, 鈴木 将太<sup>DC</sup>, 谷口 祐紀<sup>d</sup>, 小林 研介<sup>s</sup>, 新見 康洋<sup>s</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学、2019 年 9 月 10 日 - 9 月 13 日)

#### スピントルク発振素子における非線形現象

岩切 秀一<sup>DC\*</sup>, 杉本 聡志, 新見 康洋<sup>s</sup>, 小林 研介<sup>s</sup>, 葛西 伸哉

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学、2019 年 9 月 10 日 - 9 月 13 日)

#### 4 層グラフェンにおける伝導度測定および雑音測定 (ポスター)

S.-H. Lee<sup>d\*</sup>, 浅野 拓也<sup>m</sup>, 坂井 康介<sup>m</sup>, 新見 康洋<sup>s</sup>, 小林 研介<sup>s</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学、2019 年 9 月 10 日 - 9 月 13 日)

#### 雑音測定を用いたグラフェン量子ホールブレイクダウン前駆現象検出の試み (ポスター)

坂井 康介<sup>m\*</sup>, S.-H. Lee<sup>d</sup>, 浅野 拓也<sup>m</sup>, 荒川 智紀, 新見 康洋<sup>s</sup>, 小林 研介<sup>s</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学、2019 年 9 月 10 日 - 9 月 13 日)

#### 高温超伝導体 Bi<sub>2</sub>Te<sub>2</sub>/グラフェン接合素子の作製 (ポスター)

鈴木 将太<sup>DC\*</sup>, 岩崎 拓哉, 森山 悟士, 中払 周, 若山 裕, 宮坂 茂樹, 田島 節子, 小林 研介<sup>s</sup>, 新見 康洋<sup>s</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学、2019 年 9 月 10 日 - 9 月 13 日)

#### Bi/Ni 薄膜における超伝導特性の細線幅依存性 (ポスター)

徳田 将志<sup>m\*</sup>, 岩下 孔明<sup>m</sup>, 壁谷 奈津紀<sup>m</sup>, 谷口 祐紀<sup>d</sup>, 荒川 智紀, 新見 康洋<sup>s</sup>, 小林 研介<sup>s</sup>, X.-X. Gong, D. Yue, X.-F. Jin

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学、2019 年 9 月 10 日 - 9 月 13 日)

#### 原子層超伝導 ZrTe<sub>3-x</sub>Se<sub>x</sub> 薄膜における電気伝導特性 (ポスター)

藤原 聖士<sup>m\*</sup>, 横井 雅彦<sup>DC</sup>, 荒川 智紀, 小林 研介<sup>s</sup>, 新見 康洋<sup>s</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学、2019 年 9 月 10 日 - 9 月 13 日)

#### 三角格子反強磁性体 Ag<sub>2</sub>CrO<sub>2</sub> 薄膜における磁気伝導測定

谷口 祐紀<sup>d\*</sup>, 渡邊 杜<sup>m</sup>, 徳田 将志<sup>m</sup>, 井邊 昂志<sup>m</sup>, 荒川 智紀, 吉田 紘行, 石塚 大晃, 小林 研介<sup>s</sup>, 新見 康洋<sup>s</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学、2019 年 9 月 10 日 - 9 月 13 日)

#### Bi/Ni 薄膜におけるスピン輸送測定

新見 康洋<sup>s\*</sup>

令和元年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会「電荷とスピンの制御に基づく精密物性科学の構築とデバイス応用」(於 仙台市、2019 年 11 月 1 日 - 2 日)

#### 磁氣的トンネル接合における非線形伝導

小林 研介<sup>s\*</sup>



令和元年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会「電荷とスピンの制御に基づく精密物性科学の構築とデバイス応用」(於 仙台市, 2019年11月1日 - 2日)

#### ゆらぎ ~ 自然のささやきが教えてくれるもの

小林 研介<sup>s\*</sup>

第37回(2019年度)大阪科学賞表彰式・記念講演(大阪科学技術センター、2019年11月13日)

#### Hall and butterfly-shaped magnetoresistance effects in atomically thin CeTe<sub>3</sub> films (ポスター)

M. Watanabe<sup>m\*</sup>, T. Ibe<sup>m</sup>, M. Tokuda<sup>m</sup>, H. Taniguchi<sup>d</sup>, Y. Okada, K. Kobayashi<sup>s</sup>, and Y. Niimi<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拠点 2019年度年次報告会(大阪大学, 2019年12月9日)

#### Spin transport measurements in superconducting thin film NbS<sub>2</sub> (ポスター)

T. Ohta<sup>m\*</sup>, R. Kawahara<sup>m</sup>, S. Suzuki<sup>DC</sup>, H. Taniguchi<sup>d</sup>, K. Kobayashi<sup>s</sup>, and Y. Niimi<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拠点 2019年度年次報告会(大阪大学, 2019年12月9日)

#### 新しい原子層物質の開拓とその物性

新見 康洋<sup>s\*</sup>

物質理学セミナー(兵庫県立大学, 2019年12月19日)

#### Current Fluctuations in Mesoscopic Systems

K. Kobayashi<sup>s\*</sup>

BK21+ Seminar (POSTECH, Pohang, Korea, Jan. 17, 2020)

#### 固体素子におけるゆらぎの研究と将来展望

小林 研介<sup>s\*</sup>

トランススケール量子科学国際連携機構キックオフ会議(東京大学, 2020年2月21日)

#### ファンデルワールス強磁性体 Fe<sub>5</sub>GeTe<sub>2</sub> における異常ホール効果の測定

太田 智陽<sup>m\*</sup>, 坂井 康介<sup>m</sup>, B. Driesen, 岡田 佳憲, 小林 研介<sup>s</sup>, 新見 康洋<sup>s</sup>

日本物理学会 第75回年次大会(2020年)(於 名古屋大学, 2020年3月16日 - 3月19日)

#### リエントラントスピングラス AuFe における異常ホール効果とスピンホール効果の測定

井邊 昂志<sup>m\*</sup>, 渡邊 杜<sup>m</sup>, 谷口 祐紀<sup>d</sup>, 荒川 智紀, 谷口 年史, 小林 研介<sup>s</sup>, 新見 康洋<sup>s</sup>

日本物理学会 第75回年次大会(2020年)(於 名古屋大学, 2020年3月16日 - 3月19日)

**三角格子反強磁性体  $\text{Ag}_2\text{CrO}_2$  高純度薄膜における磁気異方性の電氣的検出 (ポスター)**

今田 絵理阿<sup>b\*</sup>, 谷口 祐紀<sup>d</sup>, 渡邊 杜<sup>m</sup>, 徳田 将志<sup>m</sup>, 鈴木 将太<sup>DC</sup>, 荒川 智紀, 吉田 紘行, 石塚 大晃, 小林 研介<sup>s</sup>, 新見 康洋<sup>s</sup>

日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学、2020年3月16日 - 3月19日)

**反強磁性体  $\text{Mn}_3(\text{Ni}_{1-x}\text{Cu}_x)\text{N}$  におけるスピン輸送測定 (ポスター)**

鈴木 将太<sup>DC\*</sup>, 羽尻 哲也, 三木 竜太, 浅野 秀文, K. Zhao, P. Gegenwart, 小林 研介<sup>s</sup>, 新見 康洋<sup>s</sup>

日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学、2020年3月16日 - 3月19日)

**カイラル磁性体  $\text{CrNb}_3\text{S}_6$  薄膜におけるスピン流注入の試み (ポスター)**

佐々木 壱晟<sup>b\*</sup>, 川原 遼馬<sup>m</sup>, 谷口 祐紀<sup>d</sup>, 荒川 智紀, 乾 皓人, 島本 雄介, 高阪 勇輔, 戸川 欣彦, 小林 研介<sup>s</sup>, 新見 康洋<sup>s</sup>

日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学、2020年3月16日 - 3月19日)

**表面弾性波照射により生じる超伝導  $\text{NbSe}_2$  薄膜の負抵抗状態の起源**

横井 雅彦<sup>DC\*</sup>, 藤原 聖土<sup>m</sup>, 河村 智哉<sup>m</sup>, 荒川 智紀, 青山 和司, 福山 寛, 小林 研介<sup>s</sup>, 新見 康洋<sup>s</sup>

日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学、2020年3月16日 - 3月19日)

 **$\text{NbSe}_3$  薄膜における電荷密度波特性**

藤原 浩司<sup>b\*</sup>, 岩切 秀一<sup>DC</sup>, 横井 雅彦<sup>DC</sup>, 渡邊 杜<sup>m</sup>, 小林 研介<sup>s</sup>, 新見 康洋<sup>s</sup>

日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学、2020年3月16日 - 3月19日)

**磁気トンネル接合におけるマグノン支援トンネル**

岩切 秀一<sup>DC\*</sup>, 杉本 聡志, 大湊 友也, 加藤 岳生, 松尾 衛, 新見 康洋<sup>s</sup>, 葛西 伸哉, 小林 研介<sup>s</sup>

日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学、2020年3月16日 - 3月19日)

**ジグザグ端グラフェンの作製及び輸送測定の試み (ポスター)**

花田 尚輝<sup>m\*</sup>, 浅野 拓也<sup>m</sup>, 鈴木 将太<sup>DC</sup>, 松井 朋裕, 福山 寛, 小林 研介<sup>s</sup>, 新見 康洋<sup>s</sup>

日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学、2020年3月16日 - 3月19日)

**磁気トンネル接合におけるマグノン支援トンネル**

岩切 秀一<sup>DC\*</sup>, 杉本 聡志, 大湊 友也, 加藤 岳生, 松尾 衛, 新見 康洋<sup>s</sup>, 葛西 伸哉, 小林 研介<sup>s</sup>

日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学、2020年3月16日 - 3月19日)

**電流雑音測定のための GaAs HEMT 低温増幅器の開発**

S.-H. Lee<sup>d\*</sup>, 橋坂 昌幸, 秋保 貴史, 小林 研介<sup>s</sup>, 村木 康二

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

**Bi/Ni 超伝導薄膜の上部臨界磁場測定 (ポスター)**

徳田 将志 <sup>m\*</sup>, 谷口 祐紀 <sup>d</sup>, 荒川 智紀, D. Yue, X.-F. Jin, 小林 研介 <sup>s</sup>, 新見 康洋 <sup>s</sup>

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

**書籍等の出版, 日本語の解説記事**

**スピン流とそのゆらぎ**

荒川 智紀, 小林 研介 <sup>s</sup>

日本物理学会誌 Vol. 74, No. 4, 222-227 (Apr. 2019)

## 1.5 田島グループ

### 令和元年度の研究活動概要

#### 1) $\mu$ SR による 1111 系鉄化合物超伝導体の研究

鉄化合物超伝導体の超伝導メカニズムについては、銅酸化物ほど電子相関が強くないことから、弱相関のスピン揺らぎモデルが第一の候補として議論されてきた。クーパー対形成を促す揺らぎの候補としては、軌道揺らぎやネマティック揺らぎなど電荷由来のものも提案されており、今のところ決定的な決め手がない。これらの理論モデルは、格子振動に代わるボソン揺らぎが電子対形成を媒介するという意味で、広義のBCS理論の枠内にあると言える。一方で、銅酸化物と同様なモット絶縁体近傍の強相関の枠組みで理解しようとする試みもあり、こちらは非BCS超伝導、或いは非従来型超伝導と呼ぶべきものである。BCS型を弱結合超伝導、非BCS型を強結合超伝導と分類する場合、鉄化合物超伝導体はどちらに属するのか。これを調べる一つの方法として、 $\mu$ SRによる磁場侵入長の測定がある。銅酸化物超伝導体発見直後に、Uemuraらによって、“超伝導転移温度 ( $T_c$ ) と磁場侵入長の逆数の2乗 ( $\lambda_L^2$ ) が比例する”という関係が見いだされた。このUemura plotに乗る超伝導体は、BCS超伝導体とは異なり、BECに近づきつつある強結合超伝導体とみなされている。

我々は、組成を変えることで局所的構造を制御し、電子相関の広い範囲をカバーできる1111系に着目し、As/P置換によって $T_c$ を大きく変化させた一連の試料 ( $\text{LaFeAs}_{1-x}\text{P}_x\text{O}_{0.9}\text{F}_{0.1}$ ) の $\mu$ SR測定を行った。実験は、阪大核物理センター内のMuSIC、及びカナダのTRIUMFのビームラインを用いて行った。最低温での磁場侵入長のデータから、P-richの組成はUemura plotから大きくはずれる従来型超伝導体であるのに対し、As濃度を上げていくとUemura plotに近づき、P濃度0.6以下ではUemura plotに乗る非従来型とみなせることがわかった。これまでP濃度の低い組成領域をSC1相、高い組成領域をSC2相と呼んで区別してきたが、今回の実験により、SC2相は、弱相関の従来型から相関が徐々に強まって非従来型に移行する組成領域であることがわかった。

また、磁場侵入長の温度依存性も二つの超伝導相で大きく異なることが明らかとなった。P濃度の高い組成 ( $x \geq 0.4$ ) では、s波ギャップとd波ギャップの二つの超伝導ギャップの存在が示唆され、As濃度の高い組成 ( $x = 0, 0.2$ ) では、ノードのないs波ギャップが開いていることが示唆された。このような超伝導ギャップ対称性の変化も、SC1相とSC2相とで超伝導対形成機構が異なることの一つの証拠と考えられる。

#### 2) 二軸歪みを用いたFeSe単結晶のバンド構造制御

「歪み」は物性を制御するための重要なパラメータの一つであるが、単結晶試料に対して均一な歪みを印加することは容易ではないため、一軸歪みはまでも、二軸歪みを用いた研究はほとんど行われていない。本研究では、バンド構造が結晶の局所構造に敏感な鉄系超伝導体に着目し、その中でもフェルミエネルギーが非常に小さく、歪みに対して大きな物性の変化が期待されるFeSeの単結晶に二軸歪みを加えることで、バンド構造の制御を試みた。

本研究では、物質間の熱膨張率の違いを利用して、FeSeに対して二軸歪みを印加した。FeSe単結晶を様々な基板に接着して冷却すると、基板の熱収縮に合わせてFeSeに等方的な二軸歪みが加わる。本研究で基板として用いたポリカーボネートは、歪みゲージを用いた測

定により、5 Kにおいて0.9%程度の圧縮歪みをFeSeに与えることが分かった。歪みを加えていないFeSeの超伝導転移温度は8.5 Kであったが、ポリカーボネート基板に接着したFeSeでは13.1 Kに達した。バンド構造の変化についてより詳細な知見を得るため、磁気輸送現象測定を行い、3キャリアモデルを用いて解析した。その結果、圧縮歪みに応じてキャリア密度が増加することが明らかになった。超伝導転移温度の上昇は、キャリア密度の増加と関連していると考えられる。キャリア数の変化は、バンドのシフトによってフェルミ面の大きさが変化したことを示唆している。本研究の結果は、二軸歪みを用いることにより、FeSe単結晶のバンド構造制御に成功したことを示している。

### 3) ディラック電子系NiTe<sub>2</sub>のPd置換効果によるディラック点のエネルギー制御

遷移金属ダイカルコゲナイドは層状構造を持ち、2次元構造に起因する物性に興味を持たれ、古くから研究が行われている。近年、第10族遷移金属ダイカルコゲナイドのPdTe<sub>2</sub>やPtTe<sub>2</sub>の $\Gamma$ -A点の間(0, 0,  $\sim 0.4c^*$ )でtype-II Dirac coneが存在していることが判明している。これらの物質系では、ディラック点はフェルミ準位よりも深いエネルギー位置(約-0.5 eV $\sim$ -1.0 eV)に存在していることが、角度分解光電子分光(ARPES)により判明している。上記の物質系の一つである、NiTe<sub>2</sub>も同様のtype-II Dirac coneを持つことが理論的に示唆されているが、この物質ではディラック点はフェルミ準位直上、約+100meVに位置していると考えられている。

ディラック電子系においては、フェルミ準位近傍にディラック点が存在しているときに、直流伝導度などに異常が観測される。そこで、本研究ではディラック点のエネルギー準位をフェルミレベル近傍に制御することを目的として、NiTe<sub>2</sub>とPdTe<sub>2</sub>の固溶系Ni<sub>1-x</sub>Pd<sub>x</sub>Te<sub>2</sub>の単結晶育成を行った。先にも述べたように、本系の母物質NiTe<sub>2</sub>とPdTe<sub>2</sub>では、ディラック点はほぼ同じ波数( $k$ )空間の位置のフェルミレベル直上、フェルミレベル以下の約-0.5 eVに位置しており、これらの固溶系ではディラック点をフェルミレベル近傍に制御可能であると考えた。

本物質系は、多バンド系であるため直流輸送現象には、ディラック電子以外のキャリアの影響が含まれてしまう。そのため、ARPESによりディラック点の直接観測を行った。Ni<sub>1-x</sub>Pd<sub>x</sub>Te<sub>2</sub>のPd濃度 $x=0, 0.05, 0.10$ のARPES測定を行ったところ、 $x=0$ (NiTe<sub>2</sub>)ではフェルミレベル直上に位置していたディラック点は、 $x=0.05$ ではフェルミレベル以下の約-50meV、 $x=0.10$ では約-100meVへと、系統的にフェルミレベル以下のエネルギー位置に沈み込んでいくことを解明した。これは、当初の目的のとおり、ディラック点のエネルギー準位が化学的要素置換により制御可能であることを示している。Niサイトに置換されたPdは、Niよりも $d$ 電子を過剰に内包しているため、母物質のNiTe<sub>2</sub>に電子を供給することになる。そのため、Pd置換効果はNiTe<sub>2</sub>本体のフェルミレベルを上げ、相対的にディラック点がフェルミレベル以下にシフトしたと考えている。

## 学術雑誌に出版された論文

High- $T_c$  iron phosphide superconductivity enhanced by reemergent antiferromagnetic spin fluctuations in [Sr<sub>4</sub>Sc<sub>2</sub>O<sub>6</sub>]Fe<sub>2</sub>(As<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>)<sub>2</sub> probed by NMR

F. Sakanoi, S. Miyasaka<sup>s</sup>, S. Tajima<sup>s</sup> *et al.*

Phys. Rev. B **100** (No. 9, Sept.) (2019) 094509-1-10

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.100.094509>).

**Electronic structure of  $\text{Sr}_{1-y}\text{Ca}_y\text{Fe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$  ( $x=0.25$ ,  $y=0.08$ ) revealed by angle-photoemission spectroscopy**

T. Adachi<sup>d</sup>, Z.H. Tin<sup>d</sup>, S. Miyasaka<sup>s</sup>, S. Tajima<sup>s</sup> *et al.*

J. Phys. Soc. Jpn. **88** (No. 8, July) (2019) 084701-1-8

(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSJ.88.084701>).

**Multilayer Effects in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+z}$  Superconductors**

G. Vincini<sup>d</sup>, S. Tajima<sup>s</sup>, S. Miyasaka<sup>s</sup> *et al.*

Supercond. Sci. Tech. **32** (No. 11, Oct.) (2019) 113001-1-12

(<http://dx.doi.org/doi:10.1088/1361-6668/ab4246>).

**Band-dependent superconducting gap in  $\text{SrFe}_2(\text{As}_{0.65}\text{P}_{0.35})_2$  studied by angle-resolved-photoemission spectroscopy**

H. Suzuki, T. Kobayashi<sup>d</sup>, S. Miyasaka<sup>s</sup>, S. Tajima<sup>s</sup> *et al.*

Scientific Reports **9** (Nov.) (2019) 16418-1-9

(<http://dx.doi.org/doi:10.1038/s41598-019-52887-y>).

**Doping dependence of the pinning efficiency in K-doped Ba122 single crystals prior to and after fast neutron irradiation**

D. Kagerbauer, M. Nakajima<sup>s</sup> *et al.*

Supercond. Sci. Technol. **32** (No. 9, July) (2019) 094004-1-6

(<http://dx.doi.org/doi:10.1088/1361-6668/ab2b51>).

**Experimental investigation of the suppressed superconducting gap and double-resonance mode in  $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$**

S. Ideta, M. Nakajima<sup>s</sup> *et al.*

Phys. Rev. B **100** (No. 23, Dec.) (2019) 235135-1-7

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.100.235135>).

**Lattice dynamics in FeSe via inelastic x-ray scattering and first-principles calculations**

N. Murai, M. Nakajima<sup>s</sup> *et al.*

Phys. Rev. B **101** (No. 3, Jan.) (2020) 035126-1-6

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.101.035126>).

**Superconducting gap and nematic resonance at the quantum critical point**

**observed by Raman scattering in  $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$** T. Adachi<sup>d</sup>, M. Nakajima<sup>s</sup>, S. Miyasaka<sup>s</sup>, S. Tajima<sup>s</sup> *et al.*Phys. Rev. B **101** (No. 8, Feb.) (2020) 085102-1-6(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.101.085102>).**国際会議における講演等****Nematic fluctuation and resonance in  $\text{BaFe}_2(\text{As,P})_2$  observed by Raman scattering spectroscopy**S. Miyasaka<sup>s\*</sup> (invited)

International Workshop "Research Frontier of Advanced Spectroscopies for Correlated Electron Systems" (at Sendai, June 13-15, 2019, 参加者数約 200 名)

**Optical spectroscopy of FeSe thin films on different substrates**M. Nakajima<sup>s\*</sup>, K. Yanase<sup>m</sup>, Y. Senoo<sup>m</sup>, S. Tajima<sup>s</sup> *et al.*

Spectroscopies in Novel Superconductors (SNS2019) (at Tokyo, June 16-21, 2019, 参加者数約 500 名)

**Nematic fluctuation and resonance in iron pnictide  $\text{BaFe}_2(\text{As,P})_2$  (poster)**S. Miyasaka<sup>s\*</sup>, T. Adachi<sup>d</sup>, M. Nakajima<sup>s</sup>, S. Tajima<sup>s</sup>

Spectroscopies in Novel Superconductors (SNS2019) (at Tokyo, June 16-21, 2019, 参加者数約 500 名)

**Superconducting gap of  $\text{NdFeAs}(\text{O,F})$  observed by Raman scattering spectroscopy (poster)**Z.H. Tin<sup>d\*</sup>, A. Takemori<sup>d</sup>, S. Miyasaka<sup>s</sup>, S. Tajima<sup>s</sup>

Spectroscopies in Novel Superconductors (SNS2019) (at Tokyo, June 16-21, 2019, 参加者数約 500 名)

**Nematic fluctuation and nematic resonance in iron based superconductor via Raman scattering spectroscopy**S. Miyasaka<sup>s\*</sup> (invited)

Superstripes 2019 (at Ischia, June 23-29, 2019, 参加者数約 500 名)

**Precursor of Superconductivity and BCS-BEC Crossover**S. Tajima<sup>s\*</sup> (invited)

The 5th International Symposium on Condensed Matter Physics and Material Science (ISCPMS2019) (at Depok, July 7-9, 2019, 参加者数約 500 名)

**Three superconducting phases of 1111-type iron-based superconductor  $R\text{FeAs}_{1-x}\text{Pn}_x\text{O}_{1-y}(\text{F,H})$  ( $R = \text{La}$  and  $\text{Nd}$ ,  $\text{Pn} = \text{P}$  and  $\text{Sb}$ )**

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

CM Seminar (at The University of British Columbia, July 18, 2019, 参加者数約 50 名)

**Global phase diagram of 1111-type iron-based superconductor  $R\text{FeAs}_{1-x}(\text{P/Sb})_x\text{O}_{1-y}(\text{F,H})_y$  ( $R = \text{La}$  and  $\text{Nd}$ ) with various parameters of local crystal structure and electron doping level**

S. Miyasaka<sup>s\*</sup>, T. Kawashima<sup>m</sup>, H. Tsuji<sup>m</sup>, M. Uekubo<sup>m</sup>, M. Nakajima<sup>s</sup>, S. Tajima<sup>s</sup>

The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES2019) (at Okayama, Sept. 23-28, 2019, 参加者数約 500 名)

**Electronic phase diagram of  $\text{Sr}_2\text{V}_{1-x}\text{Sc}_x\text{FeAsO}_3$  (poster)**

M. Nakajima<sup>s\*</sup>, T. Wakimura<sup>m</sup>, S. Miyasaka<sup>s</sup>, S. Tajima<sup>s</sup>

The 32nd International Symposium on Superconductivity (ISS2019) (at Kyoto, Dec. 3-5, 2019, 参加者数約 800 名)

**Study of  $\mu\text{SR}$  in Iron-based Superconductor  $\text{LaFeAs}_{1-x}\text{P}_x\text{O}_{0.9}\text{F}_{0.1}$  (poster)**

S. Sano<sup>m\*</sup>, T. Kawashima<sup>m</sup>, M. Nakajima<sup>s</sup>, S. Miyasaka<sup>s</sup>, S. Tajima<sup>s</sup> *et al.*

The 32nd International Symposium on Superconductivity (ISS2019) (at Kyoto, Dec. 3-5, 2019, 参加者数約 800 名)

**Study of optical properties in triple layer cuprates  $\text{Bi2223}$  (poster)**

Y. Ito<sup>m\*</sup>, K. Mizutamari<sup>m</sup>, M. Nakajima<sup>s</sup>, S. Miyasaka<sup>s</sup>, S. Tajima<sup>s</sup> *et al.*

The 32nd International Symposium on Superconductivity (ISS2019) (at Kyoto, Dec. 3-5, 2019, 参加者数約 800 名)

**Effect of in-plane strain on transport properties of  $\text{FeSe}$  single crystals (poster)**

Y. Ohata<sup>m\*</sup>, M. Nakajima<sup>s</sup>, S. Tajima<sup>s</sup>

The 32nd International Symposium on Superconductivity (ISS2019) (at Kyoto, Dec. 3-5, 2019, 参加者数約 800 名)

**日本物理学会，応用物理学会等における講演**

**Pd 二硫化物における半導体-金属転移**

宮坂 茂樹<sup>s\*</sup>

新学術領域研究「J-Physics」地域研究会 (於 東北大学金研、2019 年 6 月 12-13 日)

**ラマン散乱分光による鉄系超伝導体のネマティック量子臨界点の研究**



宮坂 茂樹<sup>s\*</sup>

高温超伝導フォーラム 第7回会合 (於 名古屋大学、2019年9月9日)

#### 弱相関から強相関へ：鉄系超伝導研究から見えたもの

田島 節子<sup>s\*</sup>

京大基研研究会「電子相関が生み出す超伝導現象の未解決問題と新しい潮流」(於 京都大学基礎物理学研究所、2019年10月28-30日)

#### 凝縮とは：物性物理学の立場から

田島 節子<sup>s\*</sup>

しゅんぽじおん (於 大阪大学、2019年11月7日)

#### 超伝導の物理と化学

田島 節子<sup>s\*</sup>

超伝導スクール 2019 (於 京都、2019年12月1日)

#### 鉄系超伝導の対形成メカニズムと植村プロット

田島 節子<sup>s\*</sup>

科研費合同研究会 (於 指宿 KKR、2019年12月20-22日)

#### Ni、Pd 硫化物における物性制御

宮坂 茂樹<sup>s\*</sup>

新学術領域研究「J-Physics」領域全体会議 (於 神戸大学、2020年1月6-8日)

#### FeSe 薄膜の光学スペクトルの基板による圧力依存性 (ポスター)

妹尾 祐輝<sup>m\*</sup>, 柳瀬 和哉<sup>m</sup>, 中島 正道<sup>s</sup>, 田島 節子<sup>s</sup> 他

日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学、2020年3月16日 - 3月19日)

#### Ba<sub>1-x</sub>K<sub>x</sub>Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> の弾性抵抗率測定

中島 正道<sup>s\*</sup>, 藤井 駿人<sup>b</sup>, 田島 節子<sup>s</sup>

日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学、2020年3月16日 - 3月19日)

#### 二軸歪みを用いた FeSe 単結晶のバンド構造制御と輸送現象測定

大畑 祐貴<sup>m\*</sup>, 中島 正道<sup>s</sup>, 田島 節子<sup>s</sup>

日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学、2020年3月16日 - 3月19日)

#### ARPES 測定によるディラック電子系物質 NiTe<sub>2</sub> の Pd 置換効果の研究

金山 諄志<sup>m\*</sup>, 吉野 健太郎<sup>m</sup>, Z.H. Tin<sup>d</sup>, 宮坂 茂樹<sup>s</sup>, 中島 正道<sup>s</sup>, 田島 節子<sup>s</sup>

日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学、2020年3月16日 - 3月19日)

**LaFeAs<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>O<sub>0.9</sub>F<sub>0.1</sub> における二つの超伝導相の $\mu$ SR による研究**佐野 慎三郎<sup>m\*</sup>, 川嶋 強<sup>m</sup>, 中島 正道<sup>s</sup>, 宮坂 茂樹<sup>s</sup>, 田島 節子<sup>s</sup> 他

日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学、2020年3月16日 - 3月19日)

**書籍等の出版, 日本語の解説記事****高温超伝導の若きサムライたち —日本人研究者の挑戦と奮闘の記録**田島 節子<sup>s</sup>

アグネ技術センター (2019年12月発行, 167-182頁)

## 1.6 豊田グループ

### 令和元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に設計されている。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。理学研究科附属基礎理学プロジェクト研究センター重点研究推進部門先進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した。また、PM<sub>2.5</sub>の原因物質と考えられている揮発性有機化合物（VOC）のオンサイト計測のためのプロトン移動反応を用いたイオン化法とマルチターン飛行時間型質量分析計を組み合わせたオンサイトモニタリングシステムの開発を行った。その他、トロヤ群探査機に搭載するための質量分析計の検討・開発（JAXA等との共同研究）や、水田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（北海道大学農学院波多野教授、愛媛大学当真准教授らとの共同研究）を行った。

##### 2. 超高分解能高速イメージング質量分析技術（質量顕微鏡）の構築

マルチターン飛行時間型質量分析計の完全収束性を活かし、広い範囲を一度にイオン化し、マルチターン飛行時間型質量分析計で像を保持したまま高分解能質量分離後、検出器に像を結像させる、像投影方式のイメージング質量分析計の開発と、この装置の特長を活かした研究を行った。空間分解能1μm以下、質量分解能1万以上を達成している。本年度は、生命機能研究科の上田研究室との共同研究ではCREST-AMEDのプロジェクトを推進し、1分子・質量イメージング顕微鏡の開発を進めた。

### 質量分析計への液体試料高効率導入インターフェイスの開発

溶液を界面活性剤などの薄膜で覆われた微粒子（エアロミセル）にすることで、真空中で溶液が揮発することなく質量分析計に直接導入できる画期的なサンプル導入インターフェイス（特許出願）の開発を、紀本電子工業との共同研究で開始した。特に今年度は、エアロミセルの生成メカニズムを解明するための飛行時間型粒径測定装置を開発し、大気中での粒径変化を測定した。

### 質量分析オープンイノベーション協働ユニットの設置

平成30年3月1日に、質量分析学に関わる基礎技術開発から応用研究までの新たなタネを生み出す場として、複数分野の研究者、複数企業からなるコンソーシアムである「質量分析オープンイノベーション協働ユニット」を立ち上げた。今年度は、ざつくばらんにディスカッションを行う「ワイガヤ会」を3回開催した。

### 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（MSI.TOKYO(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，愛媛大学農学部）
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. 投影型イメージング質量分析計を用いた一細胞イメージング（生命機能研究科）
6. 新しいイオン検出器の開発（浜松ホトニクス(株)）
7. 環境モニタリング装置の開発（紀本電子工業(株)，清華大学）
8. 火山ガスのオンサイト計測装置の開発（東京大学）

### 国際会議における講演等

#### Development of a Rapid Analytical Method of Metabolites in Saliva Using Gas Chromatography/Mass Spectrometry for Diagnosis of Periodontal Disease

M. Okuyama<sup>m\*</sup>, J. Osuga, J. Aoki, T. Nozaki, S. Murakami, M. Toyoda

Young Scientist Forum of the 8th Asia-Oceania Mass Spectrometry Conference 2020, (at University of Macau, Taipa, Macau, China, Jan. 4, 2020, 参加者 50 名)

**Development of a Rapid Analytical Method of Metabolites in Saliva Using Gas Chromatography/Mass Spectrometry for Diagnosis of Periodontal Disease (poster)**

M. Okuyama<sup>m\*</sup>, J. Osuga, J. Aoki, T. Nozaki, S. Murakami, M. Toyoda

8th Asia-Oceania Mass Spectrometry Conference 2020, (at University of Macau, Taipa, Macau, China, Jan. 5-7, 2020, 参加者 300 名)

**Development of a novel ion detector that combines a microchannel plate with an avalanche diode (poster)**

H. Kobayashi<sup>d\*</sup>, T. Hondo, N. Imaoka<sup>d</sup>, M. Suyama, M. Toyoda

8th Asia-Oceania Mass Spectrometry Conference 2020, (at University of Macau, Taipa, Macau, China, Jan. 5-7, 2020, 参加者 300 名)

**日本物理学会, 応用物理学会等における講演**

**歯周病診断法開発に向けた唾液中の代謝物マーカーの探索**

奥山 萌恵<sup>m\*</sup>, 大須賀 潤一, 青木 順, 野崎 剛徳, 村上 伸也, 豊田 岐聡

第 67 回質量分析総合討論会 (2019) (於 つくば国際会議場、2019 年 5 月 15 日 - 17 日)

**Nanoparticle Assisted Laser Desorption/Ionization for Imaging Mass Spectrometry of a Single Cell**

Brijesh<sup>d\*</sup>, 青木 順, 宮永 之寛, 川崎 英也, 豊田 岐聡

第 67 回質量分析総合討論会 (2019) (於 つくば国際会議場、2019 年 5 月 15 日 - 17 日)

## 1.7 花咲グループ

### 令和元年度の研究活動概要

#### 次世代熱電材料セレン化スズの電子バレー制御による発電性能向上

熱電変換技術は、現在捨てられている熱エネルギーから生じる温度差を直接電圧(熱起電力)に変換するため、クリーンで環境にやさしい発電技術として幅広い応用が期待されている。優れた熱電性能を達成するためには、物質中の電子状態、特に特定の運動量をもつ電子が安定化することで形成されるバレー状態を最適化することが最も重要となる。実際、摂氏650度(923ケルビン)付近で世界最高の熱電性能が近年報告されたセレン化スズ(図1.19A)でも、高温領域で熱電変換に寄与する電子バレーの個数が増加することが理論的に予想されている。しかし、電子バレー状態を観測する手段は限られており、その変化が実際に熱電性能におよぼす影響はこれまで明らかではなかった。

当研究室では、セレン化スズに外部から圧力を印加することで、室温を含む幅広い温度領域で、熱電性能(電力因子)が二倍以上増加することを発見した(図1.19B)。さらに、磁場中の電気抵抗変化(磁気抵抗効果)を高精度で同時に測定することにより、電子バレーのサイズを反映した抵抗の振動(量子振動現象)を検出し、異なる運動量を有するバレーが圧力印加により新たに形成されること(図1.19B上部の模式図)を、直接観測することに成功した。これにより、複数のバレーが存在するマルチバレー状態が、高い電気伝導と熱起電力を両立させ、電力因子の向上につながることを実験的に示すことができた。さらに、理論計算によりバレー状態の圧力変化を再現することにも成功し、熱電性能に有利なマルチバレー状態を実現できる結晶構造の特徴を明らかにした。この結果は、セレン化スズ系熱電材料全般に適用できると予想され、今後の熱電材料探索に向けた新しい指針となると期待できる。[Phys. Rev. Lett. **122**, 226601 (2019), クリーンエネルギー 11月号(2019).]

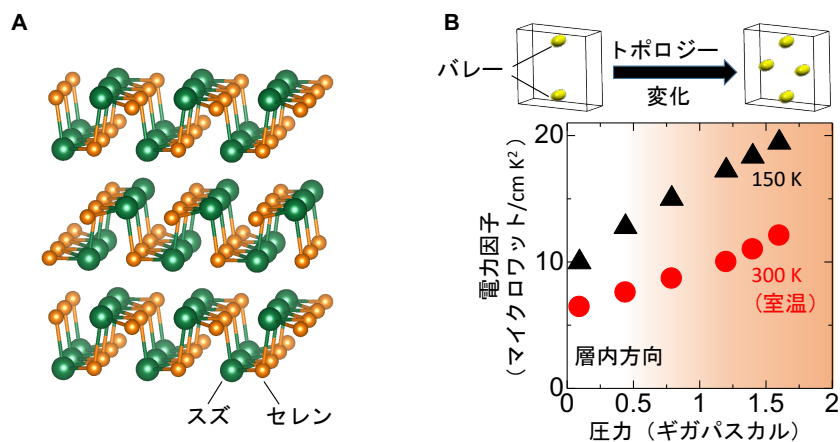


図 1.19: A. セレン化スズの結晶構造。B. セレン化スズの熱電発電における電力因子の印加圧力依存性。図上部の模式図は電子バレーのトポロジーの変化を表す。

### 磁性・極性と結合した量子伝導を示すディラック電子系物質の開拓

近年、固体中の電子状態が相対論的運動方程式（ディラック方程式）で記述できる物質が大きな注目を集めている。このような物質中の伝導キャリアはディラック電子と呼ばれ、光速近くまで加速された電子と同様に、エネルギーが運動量に比例する分散関係を持つ。このため、従来の半導体では実現できない特異な伝導特性を示す。最も有名な例は、2010年のノーベル賞の対象となった炭素単原子層のグラフェンである。グラフェンでは、シリコンを凌駕する高い移動度に加え、室温での量子ホール効果やベリー位相による半整数での量子化などが観測された。さらに最近ではグラフェンの三次元版に対応する物質群も精力的に開拓されている。しかし、どの物質においても、有効質量が消失した線形なバンド構造ではエネルギーギャップがないため、電界効果トランジスタなどによりフェルミエネルギーを調整することで伝導を制御することは困難であった。

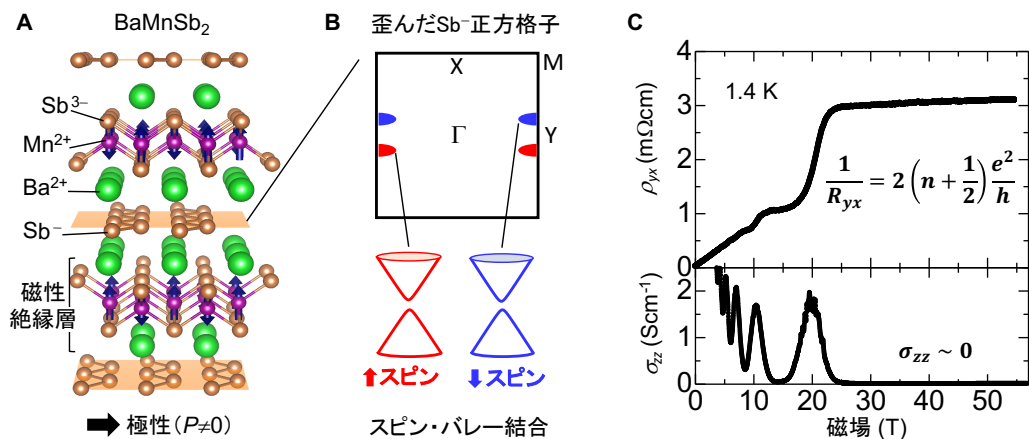


図 1.20: **A.** 極性を有する反強磁性体 BaMnSb<sub>2</sub> の結晶構造。 **B.** ジグザグ鎖状に歪んだ Sb<sup>-</sup> 層で生じるディラック電子のスピンのバレー結合状態の模式図。 **C.** 最低温 (1.4 K) における面内ホール抵抗率 (上) と面間伝導率 (下) の磁場依存性。

そこで当研究室では、固体中のスピンや格子の自由度とディラック電子をカップルさせ強相関状態を実現することで、そのバンド構造と伝導特性を制御できる物質の開拓を進めてきた。この結果、ディラック電子を有する原子層 (X<sup>-</sup> 層) と、磁性や格子歪みを担う絶縁層 (A<sup>2+</sup>-Mn<sup>2+</sup>-X<sup>3-</sup> 層) が自然積層したバルク物質 AMnX<sub>2</sub> (A: アルカリ土類、希土類, X=Bi, Sb) を近年見出した。これまでの研究では、A=Eu を中心とする磁性体を合成し、絶縁層の磁気秩序と強く結合したディラック電子の伝導特性を実証してきた。本年度はこれに加え、A サイトをイオン半径が Eu や Sr よりも大きい Ba で置換した BaMnSb<sub>2</sub> の純良単結晶の合成に成功した。精密 X 線構造解析の結果、BaMnSb<sub>2</sub> では Sb<sup>-</sup> 正方格子がわずかに歪み、ジグザグ鎖を形成することにより面内方向に極性 (強誘電性) が発現することを見出した (図 1.20A)。興味深いことに、この極性歪みは Sb の強いスピン軌道結合を通じ、Sb<sup>-</sup> 層のディラック電子のバンド構造に大きな影響を与える。実際、第一原理計算と光電子分光測定の結

果、本物質のフェルミ面はバレーの位置に依存したスピン偏極を示すことが明らかとなった (図 1.20B)。このような特異なスピン・バレー結合ディラック電子状態を反映し、強磁場下で実現するバルク量子ホール効果では、ディラック電子特有の半整数での量子化に加え、Sb<sup>-</sup> 層一層あたりのホール伝導度がスピンの完全偏極を反映した  $2e^2/h$  (2 バレー、単一スピンの) に一致することが実験的に示された (図 1.20C)。さらに今後は電気伝導特性に加え、従来にない熱輸送特性や光学特性の観測、また極性歪みの制御による多彩なスピン・バレー結合状態の実現などが期待できる。[Phys. Rev. B **101**, 081104(R) (2020).]

### ワイル半金属 NbAs の量子振動の測定によるランダウ準位の研究

バンド交差点を持つ3次元物質中の電子の磁場中エネルギー量子化則について調べるために、ワイル半金属 NbAs の単結晶を合成して阪大先端強磁場科学研究センターにおいて木田孝則助教のご協力のもと電気抵抗率を測定し、量子振動の位相解析を行った。

今回の研究対象である NbAs の結晶構造は空間反転対称性が破れており、スピン軌道相互作用で分裂したバンドが点で交差する状況が実現している。このバンド交差点近傍の電子はワイル粒子の分散関係に従っており、磁場中サイクロトロン運動の“軌道面上にバンド交差点 (ワイル点) が1つ存在する場合”にはディラック型分散が実現するグラフェンと同様の「磁場に依存しない最低ランダウ準位」が存在する。一方で、ワイル半金属ではサイクロトロン軌道面上に複数のワイル点が存在する場合や、軌道面がワイル点から離れた場合のように複雑な状況が実現するが、このときのエネルギー量子化則についてはこれまで実験的に明らかにされていなかった。

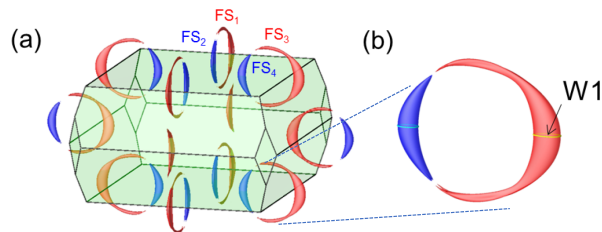


図 1.21: (a)NbAs のフェルミ面。(b) ワイル点を囲むフェルミ面の拡大図

図 1.21(a) のように NbAs では三日月型の異方的なフェルミ面が形成されており、大きい方のフェルミ面はワイル点ペア (W1) を囲んでいる (図 1.21(b))。量子振動はサイクロトロン極値軌道の電子状態を選択的に反映するため、磁場を傾けていくことでワイル点から離れた軌道面のエネルギー量子化則について調べることが可能となる。磁場方向を [001] から  $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$  傾けたときの極値軌道内のエネルギー分散関係は図 1.22 のようになる。

図 1.23(a) は様々な磁場方位下で測定した電気抵抗率である。横軸を磁場の逆数にしてそれぞれの周期 ( $1/B_F$ ) で規格化したものが図 1.23(b) である。 $\theta \leq 45^\circ$  と  $\theta \geq 75^\circ$  では  $B_F/B$  が半整数のときに量子振動がピークを取る。これは、放物型の分散関係が実現する単純金属と同様の振る舞いであり、2つのワイル点を考慮すると説明できる。一方で  $45^\circ < \theta < 75^\circ$



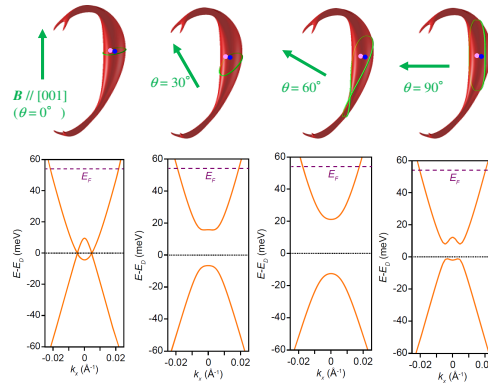


図 1.22: 様々な磁場方位下でのサイクロトン極値軌道と軌道面内でのエネルギー分散関係。

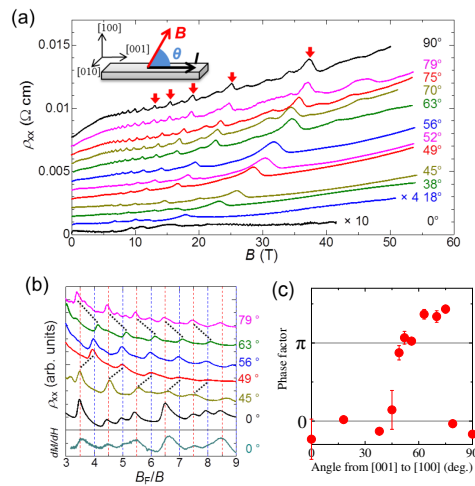


図 1.23: (a) パルス強磁場下で測定した NbAs の電気抵抗率。(b) 周期を規格化した各磁場方位下の量子振動。(c) 量子振動の位相項。

では  $B_F/B$  が整数のときに量子振動のピークが現れることが明らかになった。これは、磁場に依存しないランダウ準位が1つ存在するときと同様の振る舞いであり、従来モデルからの予想を超えた結果である。図 1.22 のエネルギー分散関係の変化と対応させてみると、この領域ではバンド反転が起きていないことがわかった。このように、3次元のワイル半金属ではサイクロトン軌道面ごとの複雑な分散関係を反映した非自明なエネルギー量子化が実現することを実験的に明らかにした。この研究は、花咲研の駒田盛是氏の学位論文 (2019 年度) のテーマとして行われ、PRB **101** 045135 (2020). に掲載された。

**学術雑誌に出版された論文****Large Enhancement of Thermoelectric Efficiency Due to a Pressure-Induced Lifshitz Transition in SnSe**

T. Nishimura<sup>m</sup>, H. Sakai<sup>s</sup>, H. Mori, K. Akiba, H. Usui, M. Ochi, K. Kuroki, A. Miyake, M. Tokunaga, Y. Uwatoko, K. Katayama<sup>m</sup>, H. Murakawa<sup>s</sup>, and N. Hanasaki<sup>s</sup>  
Physical Review Letters **122** (No. 22, June) (2019) 226601-1-6  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevLett.122.226601>).

**Defect-induced electronic structures on SnSe surfaces**

K. Asakawa, F. Oguro, Y. Yoshida, H. Sakai<sup>s</sup>, N. Hanasaki<sup>s</sup>, and Y. Hasegawa  
Japanese Journal of Applied Physics **58** (June) (2019) SIIA061-1-3  
(<http://dx.doi.org/doi:10.7567/1347-4065/ab147d>).

**High pressure synthesis of quasi-one-dimensional GdFeO<sub>3</sub>-type perovskite PrCuO<sub>3</sub> with nearly divalent Cu ions**

M. Ito, H. Takahashi, H. Sakai<sup>s</sup>, H. Sagayama, Y. Yamasaki, Y. Yokoyama, H. Setoyama, H. Wadati, K. Takahashi, Y. Kusano, and S. Ishiwata  
Chemical Communications **55** (July) (2019) 8931-8934  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1039/C9CC04656A>).

**Limits of validity of the Rashba model in BiTeI: High-field magneto-optical study**

S. Bordacs, M. Orlita, M. Sikula, H. Murakawa<sup>s</sup>, and Y. Tokura  
Physical Review B **100** (No. 15, Oct.) (2019) 155203-1-4  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.100.155203>).

**Giant enhancement of cryogenic thermopower by polar structural instability in the pressurized semimetal MoTe<sub>2</sub>**

H. Takahashi, K. Hasegawa, T. Akiba, H. Sakai<sup>s</sup>, M.S. Bahramy, and S. Ishiwata  
Physical Review B **100** (No. 17, Nov.) (2019) 195130-1-6  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.100.195130>).

**Intermolecular interactions of tetrabenzoporphyrin- and phthalocyanine-based charge-transfer complexes**

M. Nishi, Y. Hayata, N. Hoshino, N. Hanasaki<sup>s</sup>, T. Akutagawa, and M. Matsuda  
Dalton Transactions **48** (Dec.) (2019) 17723-17728  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1039/C9DT03653A>).

**Angular-dependent nontrivial phase in the Weyl semimetal NbAs with anisotropic Fermi surface**

M. Komada<sup>d</sup>, H. Murakawa<sup>s</sup>, M.S. Bahramy, T. Kida, K. Yokoi<sup>d</sup>, Y. Narumi, K. Kindo, M. Hagiwara, H. Sakai<sup>s</sup>, and N. Hanasaki<sup>s</sup>  
 Physical Review B **101** (No. 4, Jan.) (2020) 045135-1-6  
 (<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.101.045135>).

**Bulk quantum Hall effect of spin-valley coupled Dirac fermions in the polar antiferromagnet BaMnSb<sub>2</sub>**

H. Sakai<sup>s</sup>, H. Fujimura<sup>m</sup>, S. Sakuragi, M. Ochi, R. Kurihara, A. Miyake, M. Tokunaga, T. Kojima, D. Hashizume, T. Muro, K. Kuroda, T. Kondo, T. Kida, M. Hagiwara, K. Kuroki, M. Kondo<sup>m</sup>, K. Tsuruda<sup>m</sup>, H. Murakawa<sup>s</sup>, and N. Hanasaki<sup>s</sup>  
 Physical Review B **101** (No. 8, Feb.) (2020) 081104(R)-1-7  
 (<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.101.081104>).

**Angular dependence of interlayer magnetoresistance for antiferromagnetic Dirac semimetal AMnBi<sub>2</sub> (A = Sr, Eu)**

M. Kondo<sup>m</sup>, H. Sakai<sup>s</sup>, M. Komada<sup>d</sup>, H. Murakawa<sup>s</sup>, and N. Hanasaki<sup>s</sup>  
 JPS Conference Proceedings **30** (March) (2020) 011016-1-6  
 (<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSCP.30.011016>).

**Resonant X-ray Diffraction Study of Antiferromagnetic Transition in GdNiC<sub>2</sub>**

S. Shimomura, N. Hanasaki<sup>s</sup>, H. Nakao, and H. Onodera  
 JPS Conference Proceedings **30** (March) (2020) 011081-1-6  
 (<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSCP.30.011081>).

**国際会議における講演等**

**Bulk quantum Hall effect of massless Dirac fermions in BaMnSb<sub>2</sub>**

H. Sakai<sup>s\*</sup> (invited)  
 Workshop on Spin-Orbit Interaction and G-factor (SOIG2019) (at Paris, France, May 9-10, 2019, Approx. 50 participants)

**Correlated quantum transport in layered Dirac antiferromagnets**

H. Sakai<sup>s\*</sup> (invited)  
 Cond Mat Seminars (School of Physics and Astronomy, University of St Andrews) (at St Andrews, UK, May 15, 2019, Approx. 50 participants)

**Nanoscale Fluctuation of Ice-type Displacement in Spinel Titanates (poster)**

N. Hanasaki<sup>s\*</sup>, S. Torigoe<sup>d</sup>, T. Hattori<sup>m</sup>, T. Komoda<sup>m</sup>, T. Kawabata<sup>m</sup>, K. Kodama, T. Honda, H. Sagayama, K. Ikeda, T. Otomo, H. Nitani, H. Abe, H. Murakawa<sup>s</sup>, and

H. Sakai<sup>s</sup>

The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (SCES2019)  
(at Okayama, Japan, September 27, 2019, Approx. 900 participants)

**Angular dependence of interlayer magnetoresistance for antiferromagnetic Dirac semimetal  $AMnBi_2$  ( $A = Sr$  and  $Eu$ ) (poster)**

M. Kondo<sup>m\*</sup>, H. Sakai<sup>s</sup>, M. Komada<sup>d</sup>, H. Murakawa<sup>s</sup>, and N. Hanasaki<sup>s</sup>

The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (SCES2019)  
(at Okayama, Japan, September 27, 2019, Approx. 900 participants)

**Bulk Half-integer Quantum Hall Effect in Dirac Antiferromagnet  $BaMnSb_2$**

H. Sakai<sup>s\*</sup>, H. Fujimura<sup>m</sup>, R. Kurihara, A. Miyake, M. Tokunaga, T. Kida, M. Hagiwara, K. Tsuruda<sup>m</sup>, H. Murakawa<sup>s</sup>, and N. Hanasaki<sup>s</sup>

The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (SCES2019)  
(at Okayama, Japan, September 28, 2019, Approx. 900 participants)

**Angular dependent nontrivial phase in the Weyl semimetal  $NbAs$  (poster)**

H. Murakawa<sup>s\*</sup>

International Conference on Topological Materials Science 2019 (TopoMat2019) (at Kyoto University, Japan, December 3-7, 2019, Approx. 180 participants)

**日本物理学会，応用物理学会等における講演**

**ハイエントロピー合金における局所的構造物性の研究**

花咲徳亮<sup>s\*</sup>

新学術領域研究「ハイエントロピー合金」研究会 (於 キャンパスプラザ京都、2019年5月29日)

**元素置換した  $MgTi_2O_4$  におけるスピン液体的挙動**

花咲徳亮<sup>s\*</sup>

東邦大学理学部物理学科セミナー (於 東邦大学、2019年6月19日)

**トポロジカル線ノード半金属  $PbTaSe_2$  のゼーベック、ネルンスト効果の研究**

横井滉平<sup>d\*</sup>、村川寛<sup>s</sup>、酒井英明<sup>s</sup>、花咲徳亮<sup>s</sup>

日本物理学会 2019年秋季大会 (於 岐阜大学、2019年9月12日)

**ワイル点ペアを囲むサイクロトロン軌道におけるランダウ準位の研究**

駒田盛是<sup>d\*</sup>、村川寛<sup>s</sup>、M.S. Bahrany、木田孝則、横井滉平<sup>d</sup>、鳴海康雄、萩原政幸、酒井英明<sup>s</sup>、花咲徳亮<sup>s</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学、2019 年 9 月 12 日)

#### 強磁性ワイル半金属候補物質 PrAlGe の電気伝導特性の研究

中岡優大 <sup>m\*</sup>、村川寛 <sup>s</sup>、横井滉平 <sup>d</sup>、駒田盛是 <sup>d</sup>、木田孝則、中川賢人 <sup>m</sup>、藤村飛雄吾 <sup>m</sup>、鳴海康雄、萩原政幸、酒井英明 <sup>s</sup>、花咲徳亮 <sup>s</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学、2019 年 9 月 12 日)

#### 多層ディラック電子系物質 BaMnBi<sub>2</sub> の量子極限近傍における特異なランダウ準位構造

近藤雅起 <sup>m\*</sup>、酒井英明 <sup>s</sup>、藤村飛雄吾 <sup>m</sup>、中川賢人 <sup>m</sup>、栗原綾佑、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 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学、2019 年 9 月 12 日)

#### 空間反転対称性の破れた反強磁性体 BaMnSb<sub>2</sub> の特異なディラック電子状態

酒井英明 <sup>s\*</sup>、藤村飛雄吾 <sup>m</sup>、櫻木俊輔、越智正之、小島達弘、徳永将史、室隆桂之、黒田健太、近藤猛、黒木和彦、橋爪大輔、木田孝則、萩原政幸、近藤雅起 <sup>m</sup>、村川寛 <sup>s</sup>、花咲徳亮 <sup>s</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学、2019 年 9 月 12 日)

#### キャリア濃度制御した多層ディラック電子系 Eu<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>MnBi<sub>2</sub> におけるランダウ準位分裂の観測

中川賢人 <sup>m\*</sup>、酒井英明 <sup>s</sup>、鶴田圭吾 <sup>m</sup>、塩貝純一、木村尚次郎、淡路智、塚崎敦、村川寛 <sup>s</sup>、花咲徳亮 <sup>s</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学、2019 年 9 月 12 日)

#### 強磁場を用いたディラック電子系磁性体の強相関量子輸送現象の解明

酒井英明 <sup>s\*</sup>

物性研短期研究会/強磁場科学研究会-強磁場コラボラトリーによる強磁場科学の新展開 (第一回強磁場フォーラムフロンティア奨励賞講演) (於 大阪大学、2019 年 12 月 3 日-5 日)

#### キャリア濃度を制御した多層ディラック電子系 Eu<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>MnBi<sub>2</sub> におけるランダウ準位分裂の観測 (ポスター)

中川賢人 <sup>m\*</sup>、酒井英明 <sup>s</sup>、鶴田圭吾 <sup>m</sup>、塩貝純一、木村尚次郎、淡路智、塚崎敦、村川寛 <sup>s</sup>、花咲徳亮 <sup>s</sup>

物性研短期研究会/強磁場科学研究会-強磁場コラボラトリーによる強磁場科学の新展開 (於 大阪大学、2019 年 12 月 3 日)

#### フタロシアン分子系 1 次元伝導体の強磁場物性 (ポスター)

花咲徳亮 <sup>s\*</sup>、村川寛 <sup>s</sup>、酒井英明 <sup>s</sup>、木田孝則、萩原政幸、徳永将史、松田真生

物性研短期研究会/強磁場科学研究会-強磁場コラボラトリーによる強磁場科学の新展開 (於 大阪大学、2019 年 12 月 5 日)

**多層ディラック電子系物質 BaMnBi<sub>2</sub> の量子極限近傍における特異なランダウ準位構造 (ポスター)**

近藤雅起<sup>m\*</sup>、酒井英明<sup>s</sup>、藤村飛雄吾<sup>m</sup>、中川賢人<sup>m</sup>、栗原綾佑、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>

物性研短期研究会/強磁場科学研究会-強磁場コラボラトリーによる強磁場科学の新展開 (於大阪大学、2019年12月5日)

**強磁性ワイル半金属候補物質 PrAlGe の電気伝導特性の研究 (ポスター)**

中岡優大<sup>m\*</sup>、村川寛<sup>s</sup>、横井滉平<sup>d</sup>、駒田盛是<sup>d</sup>、木田孝則、中川賢人<sup>m</sup>、藤村飛雄吾<sup>m</sup>、鳴海康雄、萩原政幸、酒井英明<sup>s</sup>、花咲徳亮<sup>s</sup>

物性研短期研究会/強磁場科学研究会-強磁場コラボラトリーによる強磁場科学の新展開 (於大阪大学、2019年12月5日)

**ワイル点を1つまたは2つ囲む系のランダウ準位の研究**

駒田盛是<sup>d\*</sup>、村川寛<sup>s</sup>、M.S. Bahramy、木田孝則、横井滉平<sup>d</sup>、鳴海康雄、萩原政幸、酒井英明<sup>s</sup>、花咲徳亮<sup>s</sup>

物性研短期研究会/強磁場科学研究会-強磁場コラボラトリーによる強磁場科学の新展開 (於大阪大学、2019年12月5日)

**アンチモン、ビスマス化合物の多様な価数・結合・構造とスピン軌道結合のマリアージュ**

酒井英明<sup>s\*</sup>

スピン軌道結合に係る研究会 (招待講演) (於伊豆長岡温泉京急ホテル、2019年12月9日-10日)

**元素置換した MgTi<sub>2</sub>O<sub>4</sub> におけるアイス型格子変位とスピン液体的挙動**

花咲徳亮<sup>s\*</sup>

茨城大学大学院理工学研究科量子線科学専攻セミナー (於茨城大学、2020年1月9日)

**多層ディラック電子系 BaMnBi<sub>2</sub> における Bi 正方格子の極性歪に敏感なスピン・バレー状態**

近藤雅起<sup>m\*</sup>、酒井英明<sup>s</sup>、越智正之、栗原綾佑、小島達弘、櫻木俊介、三宅厚志、徳永将史、黒田健太、近藤猛、黒木和彦、藤村飛雄吾<sup>m</sup>、中川賢人<sup>m</sup>、村川寛<sup>s</sup>、花咲徳亮<sup>s</sup>

日本物理学会第75回年次大会 (於名古屋大学、2020年3月16日)

**磁場方位制御下でのワイル半金属 TaAs のランダウ準位の研究**

駒田盛是<sup>d\*</sup>、村川寛<sup>s</sup>、M.S. Bahramy、木田孝則、横井滉平<sup>d</sup>、鳴海康雄、萩原政幸、酒井英明<sup>s</sup>、花咲徳亮<sup>s</sup>

日本物理学会第75回年次大会 (於名古屋大学、2020年3月16日)

**空間反転対称性の破れた超伝導体 PbTaSe<sub>2</sub> における <sup>181</sup>Ta-NQR 測定**

横井滉平<sup>d\*</sup>、八島光晴、村川寛<sup>s</sup>、棕田秀和、山内邦彦、小口多美夫、酒井英明<sup>s</sup>、花咲徳亮<sup>s</sup>  
日本物理学会第75回年次大会 (於 名古屋大学、2020年3月17日)

**スピネル型チタン酸化物 ( $\text{Mg}_{1-x}\text{Li}_x$ ) $\text{Ti}_2\text{O}_4$  における局所的格子揺らぎ (ポスター)**

川畑宇矢<sup>m\*</sup>、薦田匠<sup>m</sup>、小田昌治<sup>b</sup>、佐賀山基、仁谷浩明、阿部仁、酒井英明<sup>s</sup>、村川寛<sup>s</sup>、  
花咲徳亮<sup>s</sup>

日本物理学会第75回年次大会 (於 名古屋大学、2020年3月18日)

**層状強磁性体  $\text{CrGeTe}_3$  単結晶におけるキャリアドーピングを利用した熱電性能向上 (ポスター)**

真栄城竜生<sup>m\*</sup>、酒井英明<sup>s</sup>、西村拓也<sup>m</sup>、村川寛<sup>s</sup>、花咲徳亮<sup>s</sup>

日本物理学会第75回年次大会 (於 名古屋大学、2020年3月18日)

**書籍の出版, 日本語の解説記事等**

**圧力による電子バレー制御を利用した熱電性能の向上**

酒井英明<sup>s</sup>

クリーンエネルギー (日本工業出版) (2019年11月発行、第28巻、第11号、20-24頁 (2019年))

**新奇伝導現象を示すディラック・ワイル電子系強相関物質の開発**

酒井英明<sup>s</sup>

生産と技術 (生産技術振興協会) (2020年1月発行、第72巻、第1号、91-93頁 (2020年))

## 1.8 松野グループ

### 令和元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。

本グループでは遷移金属酸化物 = 強相関電子系の界面に着目する。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」にはさらに興味深い未知の物性が隠されている可能性がある。本グループでは強相関界面を自ら設計し、作製・評価までを一貫して実施する。物質の対称性・次元性を原子レベルで制御した界面はそれ自体が「新しい物質」であり、新規物性開拓の可能性が広がるフロンティアである。

現在進行中の以下のテーマのうち、本年度は2.に焦点を当てて研究を実施した。

1. 強いスピン-軌道相互作用に由来する新たな電子相の開拓
2. 強相関界面におけるスピントロニクス、特にスピン流の学理解明
3. 界面エピタキシャル安定化を用いた新物質合成

### 強いスピン-軌道相互作用を持つ Ir 酸化物と磁性体との界面におけるスピン流物性

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 の代わりに Ir 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 Ir 酸化物からなる界面系を3つ取り上げてスピン流物性を調べるとともに、新たな磁性酸化物薄膜の開拓も行った。

#### 1. 2層膜 Py/IrO<sub>2</sub> におけるスピン軌道トルク生成

電流による磁化制御は、その根底にある電流 - スピン変換現象の理解が必要不可欠であるため、現代のエレクトロニクス分野において重要課題となっている。近年では、非磁性体と強磁性体の界面を持つ二層膜構造において、スピン軌道トルクによる磁化反転が実証されている。スピン軌道トルクは、強いスピン軌道相互作用に起因するスピンホール効果やラシュバ - エデルシュタイン効果から誘起され、Pt や Ta などの 5d 遷移金属が高効率の生成源として知られている。最近になって、5d 遷移金属の酸化物であるイリジウム酸化物を用いた逆スピンホール効果やスピンホール効果が観測され、遷移金属酸化物を基盤としたスピン流生成現象が注目されていることから、導電性を示すイリジウム酸化物 IrO<sub>2</sub> のスピン軌道トルク生成について研究を行った。



スパッタ法により試料 Sub. | 1.5 Ti | 4 Py |  $t$  IrO<sub>2</sub> を成膜し、フォトリソグラフィーとリフトオフによりホールバー構造のデバイスを作製した。IrO<sub>2</sub> の膜厚  $t$  は 4 - 15 nm である。スピン軌道トルクは磁化方向に依存する damping-like (DL) と磁化方向に依存しない field-like (FL) の 2 つの成分を持ち、有効磁場として磁化に作用する。ホール電圧の二次高調波を測定することで 2 つの有効磁場を独立して評価し、その膜厚依存性を調査した。この結果より IrO<sub>2</sub> が Pt や Ta と同程度の高い DL スピン軌道トルク生成効率を持つことが分かった。生成効率は膜厚の増大と共に徐々に高まり、飽和する傾向を示した。この結果は、ドリフト拡散モデルによるフィッティングと上手く一致し、生成効率はスピンホール効果に起因することが明らかとなった。

## 2. Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub>/IrO<sub>2</sub> 界面におけるスピン流物性

近年、電流-スピン流変換の舞台として強磁性絶縁体層とスピン-軌道相互作用の強い非磁性金属層の界面を持つ二層膜が着目されており、前者にイットリウム鉄ガーネット Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (YIG)、後者に Pt を用いた組み合わせが広く研究されている。最近では 5d 遷移金属酸化物であるイリジウム酸化物 IrO<sub>2</sub> を用いることで Pt と同程度以上のスピン流検出効率を得られることが報告されている。しかしながら、スピン流誘起熱電変換では YIG/IrO<sub>2</sub> の熱起電力が YIG/Pt に比べ 68 倍小さいという報告がなされており、5d を用いたさらなる界面特性評価が必要である。

電流-スピン流変換効率と界面におけるスピン流の透過度をスピンホール磁気抵抗効果 (SMR) をにより調べた。Si 基板上的多結晶 YIG/Pt において、報告例の多い Gd<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>O<sub>12</sub> 基板上的エピタキシャルな YIG/Pt と同程度の信号が観測された。その一方、YIG/IrO<sub>2</sub> では有意な信号が観測できなかった。これは先行研究と同じく、YIG と IrO<sub>2</sub> の界面の質が原因となっていると考えられる。今後は SMR と YIG の飽和磁化や表面粗さの相関を調査し、界面とスピン流との関係性をより精密に評価する予定である。

## 3. エピタキシャル SrIrO<sub>3</sub>/La<sub>2</sub>NiMnO<sub>6</sub> 界面におけるスピンポンピング

スピン流熱電変換は IoT センサーノードの自立電源などに適用できるエナジーハーベスティング技術として注目を集めている。その素子は磁性絶縁体と非磁性金属との 2 層膜で構成され、前者で温度差から生成されたスピン流が (スピンゼーバック効果)、後者に注入されて電圧へと変換される (逆スピンホール効果)。Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (YIG) - Pt の組み合わせを用いた研究が先行しているが、YIG が単結晶、Pt が多結晶であるため、その界面は乱雑である。スピン流が界面を通して非磁性金属に注入される際、理想的な界面ではより高い注入効率が期待される。原子層レベルで平坦な界面を形成できるペロブスカイト型酸化物を用いて、エピタキシャル界面におけるスピン流の測定を行い、界面がスピン流注入効率に与える影響の解明を目指した。

理想的な界面を得る組み合わせとして磁性絶縁体に La<sub>2</sub>NiMnO<sub>6</sub> (LNMO)、非磁性金属に SrIrO<sub>3</sub> (SIO) を選択し、2 層膜試料をパルスレーザー堆積法 (PLD) により LSAT(001) 基板上に作製した。評価手法として用いたスピンポンピング測定では、磁性層において強磁性共鳴 (FMR) により生じたスピン流を非磁性層に注入し、逆スピ

ンホール電圧として検出する。フォトリソグラフィにより FMR 用導波路を含むデバイス形成することにより、エピタキシャル界面 LNMO - SIO のスピンプンピング信号を確認することができた。これはエピタキシャル酸化物界面における初めてのスピントロニクスであると同時に、参照資料である LNMO-Pt と比べても同程度の信号強度であることから、スピントロニクスにおけるエピタキシャル界面の重要性を示唆している。

#### 4. 室温フェリ磁性体 $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_6$ のエピタキシャル薄膜合成

ダブルペロブスカイト  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_6$  (SFMO) はフェリ磁性のハーフメタルであり、室温よりも高い強磁性転移温度を持つことから室温でのスピントロニクスの検出を通じた磁気デバイスへの応用が期待できる。パルスレーザー堆積法 (PLD 法) により、SFMO の面内格子定数が  $\text{SrTiO}_3$  基板と一致するコヒーレントエピタキシャル薄膜が得られたが、面直格子定数が長く組成ずれが疑われる。強磁性転移温度や飽和磁化は先行研究の値に比べて低いことから、さらなる条件の最適化が必要である。

### 学術雑誌に出版された論文

#### Molecular beam epitaxy of three-dimensionally thick Dirac semimetal $\text{Cd}_3\text{As}_2$ films

Y. Nakazawa, M. Uchida, S. Nishihaya, S. Sato, A. Nakao, J. Matsuno<sup>s</sup>, and M. Kawasaki  
APL Mater. **7** (No. 7, Jul.) (2019) 071109 1-5  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1063/1.5098529>).

### 国際会議における講演等

#### Emergent phases at oxide interfaces with strong spin-orbit coupling

J. Matsuno<sup>s\*</sup> (invited)

Oxide Superspin 2019 Workshop (OSS2019) (at Seoul, Korea, Jun. 24-27, 2019, approx. 200 participants)

### 日本物理学会, 応用物理学会等における講演

#### 5d 電子系界面におけるスピントロニクス特性

松野 丈夫<sup>s\*</sup>

令和元年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会「固体素子における非平衡ダイナミクスの精緻な理解と機能開拓」(於 仙台、2019年11月1日 - 2日)

#### $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}/\text{IrO}_2$ 界面におけるスピントロニクス特性 (ポスター)

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

物性研短期研究会「強磁場コラボトリーによる強磁場科学の新展開」(於 大阪大学 2019年12月3日 - 12月5日)

**NiFe/IrO<sub>2</sub> 界面における電流-スピン流変換効率 (ポスター)**

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

物性研短期研究会「強磁場コラボトリーによる強磁場科学の新展開」(於 大阪大学 2019年12月3日 - 12月5日)

**Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub>/IrO<sub>2</sub> 界面におけるスピン流物性 (ポスター)**

福島 健太<sup>m\*</sup>, 森内 直輝<sup>m</sup>, 木田 孝則, 萩原 政幸, 上田 浩平<sup>s</sup>, 松野 丈夫<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拠点 2019年度年次報告会 (於 大阪大学 2019年12月9日)

**NiFe/IrO<sub>2</sub> 界面における電流-スピン流変換効率 (ポスター)**

森内 直輝<sup>m\*</sup>, 福島 健太<sup>m</sup>, 木田 孝則, 萩原 政幸, 上田 浩平<sup>s</sup>, 松野 丈夫<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拠点 2019年度年次報告会 (於 大阪大学 2019年12月9日)

**2層膜 Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>/IrO<sub>2</sub> におけるスピン軌道トルク生成**

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

2020年第67回応用物理学会春季学術講演会 (於 上智大学、2020年3月12日 - 3月15日)

**書籍等の出版, 日本語の解説記事**

**強いスピン-軌道相互作用を持つ酸化物界面**

松野 丈夫<sup>s</sup>

次世代熱電変換材料・モジュールの開発—熱電発電の黎明—, シーエムシー出版, 62-69 (Mar. 2020)

## 1.9 素粒子理論グループ

### 令和元年度の研究活動概要

#### ゲージ理論の't Hooft アノマリーとドメインウォール

't Hooft アノマリー釣り合い条件は、ゲージ理論の相構造を調べるための強力な手法である。山口は、ある種のゲージ理論において、カイラル対称性の自発的破れとドメインウォールを、1形式対称性を含むような't Hooft アノマリー整合条件を用いて調べた。この理論では離散的なカイラル対称性が破れ、そのために動的なドメインウォールが存在できる。このドメインウォールの低エネルギー有効理論が満たすべき拘束条件を1形式対称性の't Hooft アノマリー整合条件から導いた。

#### ハンブリー ブラウン・トゥイス干渉計を用いた原始重力波の量子性の検出

菅野は、早田次郎（神戸大）と共同で、宇宙の起源が量子揺らぎであったのかを明らかにするために、その量子揺らぎから直接生成される原始重力波に着目し、原始重力波の量子性を検出することが可能かどうかを調べた。原始重力波が量子性を保つ振動数領域を予言し、将来の重力波干渉計がターゲットとする振動数領域にあることを示唆した。

#### エンタングルした宇宙起源からの原始重力波

菅野は、宇宙が初期にエンタングルした状態であった場合に、そこから生成される原始重力波の量子性が、エンタングルしてない状態に比べて、どれだけ現在まで量子性を保つかどうかを調べた。エンタングルした状態で生成される原始重力波の方が、量子性を保ちやすいことを明らかにした。

#### ドメインウォールフェルミオンを用いた Mod 2 index の研究

アノマリーを理解する上で重要な指標となる mod 2 index はこれまで非物理的な境界条件で定式化されており、バルクとエッジの寄与の分離は難しいと考えられていた。深谷、川井、松木、大野木、山口はドメインウォールフェルミオンを用いて mod 2 index を物理的境界条件の下でバルクとエッジの寄与を分離することが出来る可能性を示した。松木はこの内容について学会発表を行った。

#### Atiyah-Patodi-Singer (APS) 指数定理と domain-wall Dirac 演算子の研究

深谷、大野木、山口は、2017年にAPS指数と同じ量が domain-wall Dirac 演算子から得られることを示した。この研究は発見法的になされたが、東大の古田、山下、名古屋大の松尾の3名の数学者が共同研究に加わり、一般に偶数次元のAPS指数は domain-wall Dirac 演算子の  $\eta$  不変量で書き直せることを数学的に証明、論文を発表し現在査読中である。さらに深谷、川井、松木、森、中山、大野木、山口はその格子ゲージ理論における定式化に成功し論文を発表し、PTEPへ掲載が決定した。奇数次元への応用も進め、学会発表を行った。

#### 高温 QCD で現れる近似的対称性の研究

深谷、Rohrhofer らは、2-flavor の高温 QCD をシミュレート、axial U(1) 量子異常が従来考えられてきたものより強く抑制されていることを確認した。さらに、380MeV 付近で

QCD の作用には存在しないはずの  $SU(4)$  の対称性が、2 体クォーク系の相関関数に近似的に現れていることを見出した。

### Renormalization group on a triad network

中山は National Tsing-Hua University の加堂氏とともに、テンソルネットワークを用いた新しいくりこみスキームを提案、従来の手法に比べて次元に依存する計算コストを引き下げる可能性を示した。

### GUT inspired ゲージヒッグス模型 - CKM と自然な FCNC 抑制

細谷は、Funatsu, Hatanaka, Orikasa, Yamatsu とともに大統一理論と整合する  $SO(5) \times U(1) \times SU(3)$  ゲージヒッグス統合理論を構成した。クォーク・レプトンの質量スペクトル、弱い相互作用における  $W$  ボゾンとの結合を表す CKM 行列を再現する。さらに、 $Z$  ボゾンとのフレーバーを変える結合 (FCNC) は、5 次元ゲージ不変性の結果  $10^{-6}$  のオーダーで抑制されることを示した。down, strange, bottom クォーク 3 世代の  $Z$  結合行列  $g_L^Z/g_w, g_R^Z/g_w$  は  $\theta_H = 0.10$  のとき

$$\begin{pmatrix} -0.4220 & -3 \cdot 10^{-7} & -4 \cdot 10^{-9} \\ -3 \cdot 10^{-7} & -0.4220 & -1 \cdot 10^{-7} \\ -4 \cdot 10^{-9} & -1 \cdot 10^{-7} & -0.4220 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0.0769 & -6 \cdot 10^{-7} & -4 \cdot 10^{-7} \\ -6 \cdot 10^{-7} & 0.0769 & -3 \cdot 10^{-6} \\ -4 \cdot 10^{-7} & -3 \cdot 10^{-6} & 0.0769 \end{pmatrix}$$

となる。標準理論を超える模型で自然な FCNC 抑制が実現される類まれな模型である。クォーク・レプトンのゲージ結合は 4 桁の精度で標準理論と一致するが、5 次元方向への励起モードに対応する  $Z'$  粒子への結合に大きなパリティの破れが生じ、250GeV の ILC 実験でその効果を明確に観測することができる。

### 同位体効果を用いた新物理探索

田中 実は、山本康裕 (NCBJ, ワルシャワ) と共同で、原子スペクトルにおける同位体効果による原子内で作用する新しい力の探索について研究を行ない、新しい力によるキング線形性の破れが相対論効果により増大することを示した。さらに、標準模型での非線形性についても相対論的に評価し、これも増大することを示すとともに、 $p_{3/2}$  状態を用いることでこれを抑制する方法を提案した。

### 原子ニュートリノ

田中 実は、津村浩二 (九大) らと共同で、原子ニュートリノ過程に対する QED 背景過程について調べた。Boost-trigger lock (BTL) 法により背景事象の光子のエネルギーを制御することができ、実現可能なフォトリック結晶の禁止帯を利用して、QED 背景過程を抑制できることを示した。さらに、同じ実験設定で原子ニュートリノ過程によるニュートリノ質量分光が可能であることも明かにした。

### 高エネルギー光渦

田中 実は、笹尾 登 (岡山大) と共同で、軌道角運動量を持つ光 (光渦) について研究を行った。特に、重イオン加速器を用いて、可視光領域の光渦をガンマ線領域に光渦に変換する方法について調べた。

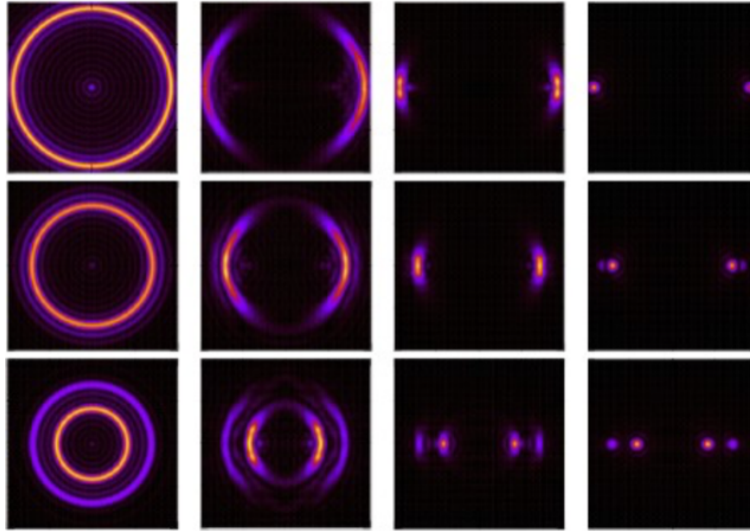


図 1.24: 今回提案した方法を用いて、物質側の物理量からアインシュタインリングの像を構成した例。温度(ブラックホール半径に対応)によって、リングの半径は変化する。また観測する角度によっても像が変形していく様子も見てとれる。

#### 物質において重力双対を見る方法の提案

橋本幸士は、村田佳樹(日本大)と木下信一郎(中央大)と共同で、ホログラフィー原理において重力側でのブラックホールによる現象をCFT側で直接見る方法を提案した。ブラックホールの直接撮像にはアインシュタインリングの観測が用いられるが、これをAdS/CFTにおいて定式化した。本研究はPhys.Rev.Lett.に掲載され、大阪大学からプレスリリースされた。

#### ホログラフィー原理を利用してQCDから核子多体系を記述する方法の発見

橋本幸士と松尾善典は、森田健(静岡大)と共同で、ホログラフィック原理をQCDに適用した際に導出されていた、少数核子系のラグランジアン基底状態と励起状態を具体的に構成する方法を発見した。この方法を用いて系を量子化すると、ゲルマン大久保公式に従うバリオンの質量が再現されるほか、原子核の魔法数についても定性的に導出することができる。この量子化法を用いて、様々な核子多体系のエネルギーを求め、実験と比較し予言を行なった。

#### QCD弦のカオスの解析

橋本幸士と芥川哲也と太田敏博は、村田佳樹(日本大)と共同で、クォークと反クォークをつなぐQCD弦の振動におけるカオスを、ホログラフィー原理をQCDに適用することで計算した。カオスはクォークの間の距離を離すに依りて弱くなるため、カオス自体が、QCD弦ではなくその端点のクォークに起因する、ということが判明した。

#### 量子重力補正をゲージ理論から読み取る研究

橋本幸士と住本尚之は、佐々木渉と共同で、AdS/CFT対応における量子重力補正について研究を行なった。D0ブレーンの双対の時空は、量子重力補正が知られているほぼ唯一の

時空である。そこに弦をプローブとして導入することで、対応するゲージ理論での物理量である Wilson loop から、量子重力補正の大きさを読み取るという方法を提案した。特に、弦の古典作用の計算から、ゲージ理論側での  $1/N$  の補正を予想した。

### ホログラフィー原理を機械学習のボルツマンマシンと同定する

橋本幸士は、AdS/CFT 対応と教師付き機械学習の類似性を検討し、AdS/CFT 対応における最も単純な状況が、ボルツマンマシンの特殊な例としてそのまま理解できることを示した。AdS/CFT における CFT の分配関数はボルツマンマシンで学習対象となる確率分布と同定され、学習によってボルツマンマシンの重みが決定されることは、AdS/CFT において古典時空が創発することに対応する。これにより、AdS/CFT 対応において機械学習を具体的に実装する手段が一般的に提案された。

### Hawking 輻射の効果を取り入れた重力崩壊の解析

松尾 善典は、Pei-Ming Ho, Shu-Jung Yang (National Taiwan University) と共同で、Hawking 輻射の効果を取り入れて重力崩壊の過程を数値的に解析した。多数の薄い球殻状の物質を重ねて重力崩壊する物質を構成した場合、初期条件によって、全ての球殻がそれぞれの感じる重力の Schwarzschild 半径に漸近する状態と一つの薄い球殻に収束する状態の 2 種類の状態のいずれかに収束することが明らかになった。

### Trapping horizon 上の真空の負のエネルギー

松尾 善典は、Pei-Ming Ho (National Taiwan University) と共同で、Trapping horizon 上における局所的な観測者から見た真空の負のエネルギーについて調べた。Trapping horizon が存在するための一般的な仮定と、エネルギーが量子論の効果として不自然に大きくはならないという仮定の下で、Trapping horizon 上での真空のエネルギーが模型の詳細によらない普遍的な振る舞いを持つことを示した。この結果は、定常なブラックホールの horizon での表面重力の一般化の候補を与えると考えられる。

### 欠陥がある格子上の Hofstadter 問題について

池田一毅と松木義幸は欠陥がある格子上の Hofstadter 問題の研究を行った。Hofstadter 問題は磁場中の格子上の電車状態のエネルギースペクトルが磁場に関してフラクタルに振る舞う問題のことである。格子に欠陥のない場合の Hofstadter 問題は広く研究されているが、一般的な物質のように欠陥がある場合は未解明であった。本研究では格子に欠陥がある場合のエネルギースペクトルのフラクタル性の物性的起源を調べた。

### D-Wave 量子アニーリングマシンの応用研究

池田一毅は中村悠馬と Travis Humble との共同研究で組み合わせ最適化問題を D-Wave 量子アニーリングマシンを用いて解く研究を行った。量子アニーリングはイジング形式のハミルトニアンエネルギー固有値をパラメータの断熱変化によって求める量子計算の手法である。D-Wave マシンは大規模計算に利用可能な唯一の量子アニーリングマシンであり、実用性に注目が集められている。本研究では、組み合わせ最適化問題の一つであるナーススケジューリング問題をイジング形式で定式化し、従来の古典アルゴリズムとの比較を行った。

### 量子最適輸送の基礎と応用

池田一毅は古典的最適輸送理論として知られる Monge-Kantorovich 問題の量子的場合を定式化し、量子最適輸送理論の基礎づけを行った。特に経済的な合理性の観点から、量子的な最適輸送理論を調べ、特に繰り返し量子ゲーム理論の均衡解の存在を世界で初めて証明した。

### 赤外発散のない漸近状態に関する解析

平井 隼人は、杉下(ケンタッキー大)と共同で、量子電磁力学における散乱振幅が赤外発散しない漸近状態の性質について解析した。その様な漸近状態の候補として Faddeev-Kulish(F-K) のドレス化状態が知られていたが、この状態はゲージ不変でないという問題があった。私たちは、従来の解析で用いられていたゲージ不変性の条件には問題があることを指摘し、正しいゲージ不変性の条件を導出した。また、F-K のドレス化状態が私たちが導いたゲージ不変性の条件を満たすことを示し、ゲージ不変な状態であることを明らかにした。さらに、漸近対称性の電荷とドレス化状態の関係を調べることで、F-K のドレス化状態は電子・陽電子が相対論的なクーロン場に囲まれている状態であることを明らかにした。

### 量子論における演算子の台の収縮とその応用

平井 隼人は、有限次元の量子力学系において、演算子が任意のある一つの量子状態に作用する場合に、その写像先を保ちながら演算子の台を部分系に収縮させる一般的な方法を明らかにした。これは場の量子論における Reeh-Schlieder の定理の有限次元版と考えられる。また、量子コンピュータを構築する上で重要な量子誤り訂正理論における演算子の性質や、AdS/CFT 対応におけるバルクの理論と境界上の理論の演算子対応の基本的な性質が上記の演算子の台の収縮という観点から理解できることを明らかにした。

### 重力双対な場の理論のエネルギー条件

どのような場の理論が重力双対を持ち、AdS/CFT 対応を満たすかは長年の重要な問題である。本問題に対し、飯塚は、近畿大学の石橋氏、芝浦工科大学の前田氏とともに、重力双対を持つ場の理論がどのようなエネルギー条件を満たさなければいけないかを、双対な重力理論の因果律から制限を与えた。結果、共形不変な null 方向のエネルギー積分値が負の場合、重力理論で因果律が破綻することを示した。ここから、共形不変な null 方向のエネルギー積分値が正であることが重力双対に欠かせないということを示した。

### 荷電カレントにおけるレプトン数の破れ ( $l^\pm l^\pm W^\mp W^\mp$ ) の理論的研究

榎本、兼村は、青木真由美(金沢大学)と共同で、レプトン数の破れに関する理論的研究を行った。シーソー機構等のようにニュートリノ微小質量がマヨラナ型である場合、レプトン数の破れが生じる。本研究ではレプトン数を破る次元5の演算子  $l^\pm l^\pm W^\mp W^\mp$  に注目し、この演算子の起源となるローレンツ不変な高次演算子との関係を理論的に調べた。ついで、この次元5の演算子の係数が現在のニュートリノを伴わない複ベータ崩壊実験やミュオン・電子転換実験でどのように制限されているかを研究した。その制限の下で、この演算子を直接 LHC 加速器実験で測定可能かを調べた。その結果、LHC 実験や後継の高輝度 LHC 実験で W ボソン融合過程  $pp \rightarrow W^* W^* jj \rightarrow lljj$  を探索することにより、この演算子をさらに強く絞り込むことができることが明らかになった。



### 拡張ヒッグス模型の大局的対称性構造と W ボソン融合過程の探索による検証

愛甲、兼村、馬渡はこれまでの各種実験によって示唆されるヒッグスセクターの対称性構造を研究した。すなわち、ヒッグスセクターが拡張されている場合には、その構造がキャストディアル SU(2) 対称性やさらに大きな対称性を持つ場合に、どのような理論的な性質を示し、将来の実験でどのように検証できるかを探究した。そして、拡張されたヒッグスセクターの対称性構造を探る上で、同電荷の単荷電ヒッグスボソンの対生成過程  $pp \rightarrow W^{\pm}W^{\pm}jj \rightarrow H^{\pm}H^{\pm}jj$  が重要な役割を果たすことを見出した。そして、現在の LHC 実験や将来の高輝度 LHC 実験において、この反応の信号が検出できる可能性があることをシグナル・バックグラウンド解析によって明らかにした。

### 電弱理論の非摂動解スファレロンのスファレロンエネルギーの将来実験での決定可能性

兼村と田中正法は、宇宙のバリオン数非対称性問題を解決する有力なシナリオに現れる、電弱理論の非摂動解スファレロンの理論的性質を研究した。バリオン数を変えるスファレオン遷移は、スファレロンのエネルギーに強く依存している。標準理論ではスファレロンのエネルギーは 9.1 TeV と計算されているが、標準理論を拡張したモデルでは異なる値を预言する。本研究では様々な新物理モデルで预言されるスファレロンエネルギーの標準理論の値からのズレが、ヒッグスポテンシャルのズレと関係していることを見出した。すなわち、各モデルにおけるヒッグス粒子の 3 点結合定数の標準理論からのズレが、スファレロンエネルギーのズレに良い近似で比例していることを発見した。この成果により、将来実験でヒッグス 3 点結合を測定し、標準理論からのズレを検出することにより、それぞれの新物理モデルにおけるスファレロンエネルギーを実験的に決定する道が世界で初めて拓かれた。

### 電気双極子モーメント実験を満たす CP の破れを伴うアライメント拡張ヒッグスセクターの新模型

兼村、柳生、久保田は、宇宙バリオン数非対称性問題を解決する有力候補である拡張ヒッグス模型に現れる CP の破れを研究した。初期宇宙で十分な量のバリオン数が生成されるためには、小林、益川行列位相以外の CP の破れが必要である。本研究では拡張ヒッグスセクターに現れる新しい CP 位相が、電気双極子モーメント (EDM) 等の各実験から与えられる強い制限の下で十分大きくなる可能性を探究した。重い追加ヒッグス粒子の湯川相互作用に現れる CP の破れの効果と、拡張されたヒッグスポテンシャルに現れる CP の破れの効果が、ある理論的条件の下では負の干渉を起こすことで EDM の実験を満たし得ることを見出した。さらにこのような条件を満たす理論は、テラスケール以上の高エネルギー領域での振る舞いも安定していることを、繰り込み群の解析により明らかにした。そして、この模型の CP の破れの効果や新しい追加ヒッグス粒子の効果は、現在および将来のコライダー実験で検証できることを見出した。

### 様々な拡張されたヒッグス模型に基づくヒッグス自己結合の 2-loop レベルの輻射補正計算

Braathen と兼村は、電弱対称性の自発的破れの本姓を探る上で最も重要な量であるヒッグス 3 点結合に対する 2 ループレベルの輻射補正を世界で初めて系統的に計算した。新物理模型では新粒子の量子効果が標準理論の预言値の 100% 程度と極めて大きくなり得ることが知られており、それを用いたバリオン数生成のシナリオが構築されていたが、これは摂動の

1次（1ループ）の計算に基づく。本研究では、様々な拡張ヒッグスモデルに基づいて、有効ポテンシャル法により2ループレベルの計算を実施した。1ループ効果によって大きな量子効果が生じ得ることが先行研究によって知られていたが、2ループの量子効果は1ループ補正に対して約20%程度となり、無視できる程ではないが、大きな新物理の量子効果が本質的な役割を果たす電弱バリオン数生成のシナリオ自体に影響はないことを明らかにし、長年の懸案に決着をつけた。

### 輻射シーソー機構を伴う $SU(3)_C \times SU(3)_L \times U(1)_X$ ゲージ理論の研究

Das、榎本、兼村、柳生は、ゲージ対称性  $SU(3)_C \times SU(3)_L \times U(1)_X$  をもつ理論において、カイラルフェルミオンの3世代構造の起源、ニュートリノ微小質量そして宇宙の暗黒物質の存在を同時に説明し得る新模型を構築した。3世代構造は、 $SU(3)_C$  カラーとフレーバーの自由度が量子異常の相殺において関連することから説明される。ニュートリノ微小質量は、レプトン数を破るスカラー場の相互作用を通して1ループレベルで自然に導出される。さらに、電弱対称性の自発的破れの後に残る厳密な  $Z_2$  対称性によって、暗黒物質の安定性が保証される。レプトンフレーバーの破れと暗黒物質の実験データを満たすパラメータ領域において、現在のニュートリノ振動データを再現できることを明らかにした。また加速器実験において、複荷電スカラー場の崩壊に特徴的なパターンが現れることを示した。

### ヒッグス粒子の崩壊率の輻射補正を計算するプログラムの開発

兼村、馬渡、柳生は、菊地（北九州高専）、桜井（カールスルーエ工科大）との共同で、様々な拡張ヒッグス模型において、ヒッグスボソンの崩壊率を1ループレベルで系統的に計算するプログラム H-COUP Ver. 2 を開発した。現バージョンでは、標準模型に加えて、ヒッグス1重項を含む模型、4種類の湯川相互作用をもつヒッグス2重項を2個含む模型、イナート2重項模型において、125 GeV のヒッグス粒子の崩壊率、崩壊幅、崩壊分岐比をオンシェルくりこみに基づくスキームにより1ループレベルで計算することができる。プログラムはパブリックツールとして、ウェブページ (<http://www-het.phys.sci.osaka-u.ac.jp/~hcoupl/>) 上で公開されている。

### 様々な拡張ヒッグス模型におけるヒッグス粒子の崩壊分岐比への輻射補正の研究

兼村、馬渡、柳生は、菊地（北九州高専）、桜井（カールスルーエ工科大）との共同で、様々な拡張ヒッグス模型において、高次（next leading order）の QCD 及び電弱相互作用の摂動効果を含めたヒッグスボソンの崩壊率 ( $h \rightarrow f\bar{f}$ ,  $h \rightarrow VV^* \rightarrow Vff$ ,  $h \rightarrow gg$ ,  $h \rightarrow \gamma\gamma$ ,  $h \rightarrow Z\gamma$ ) を計算した。数値計算は、プログラムツール H-COUP Ver. 2 を用いて系統的かつ包括的に行われた。模型によって、崩壊分岐比が標準模型の予言に対して特徴的なパターンをもってずれ得ることを明らかにし、将来の高輝度 LHC 実験や国際加速器実験で崩壊分岐比を精密に測定することにより模型を区別する可能性を示した。

### 大局的 $U(1)$ 対称性をもつ Zee 模型の研究

柳生は、野村（KIAS）との共同で、フレーバーに依存する大局的  $U(1)$  対称性を持つ模型において量子効果でニュートリノ微小質量を生成する新しいシナリオを研究した。この模型に含まれる新粒子は Zee 模型のそれと同じであるが、元々課されていた離散的  $Z_2$  対称性を  $U(1)$  対称性に拡張することによって、Zee 模型では説明できなかったニュートリノ振動

のデータをレプトンフレーバーの破れの実験結果と矛盾することなく説明できることを明らかにした。また、ヒッグスボソンの異なるフレーバーをもつ荷電レプトン対への崩壊に特徴的なパターンが現れることも示し、将来の高輝度 LHC 実験及び、国際線形加速器実験で検証される可能性を明らかにした。

2

### 学術雑誌に出版された論文

#### Matching renormalisable couplings: simple schemes and a plot

Johannes Braathen<sup>PD</sup> and Mark D. Goodsell and Pietro Slavich

Eur.Phys.J. C79 (Aug.) (2019) no.8, 669

(<http://dx.doi.org/doi:10.1140/epjc/s10052-019-7093-9>).

#### Displaced heavy neutrinos from $Z'$ decays at the LHC

Arindam Das<sup>PD</sup> *et al.*

JHEP **12**, (Dec.) 070 (2019)

([http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP12\(2019\)070](http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP12(2019)070)).

#### Sensitivity of Lepton Number Violating Meson Decays in Different Experiments

Arindam Das<sup>PD</sup> *et al.*

Phys. Rev. D **100**, 095022 (2019)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.100.095022>).

#### Long-lived TeV-scale right-handed neutrino production at the LHC in gauged $U(1)_X$ model

Arindam Das<sup>PD</sup> *et al.*

Phys. Lett. B **799**, (Dec.) 135052 (2019)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.physletb.2019.135052>).

#### Measuring the heavy neutrino oscillations in rare W boson decays at the Large Hadron Collider

Arindam Das<sup>PD</sup> *et al.*

J. Phys. G **47**, no.1, 015001 (2020)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1088/1361-6471/ab4ee8>).

#### Probing the seesaw mechanism at the 250 GeV ILC

Arindam Das<sup>PD</sup> *et al.*

Phys. Lett. B **797**, 134849 (2019)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.physletb.2019.134849>).

**Imaging black holes through AdS/CFT**Koji Hashimoto<sup>s</sup>, Shunichiro Kinoshita, Keiju MurataPhys.Rev.D **101** (2020) 066018<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.101.066018>).**Nuclear states and spectra in holographic QCD**Koji Hashimoto<sup>s</sup>, Yoshinori Matsuo<sup>s</sup>, Takeshi MoritaJHEP **12** (Dec.) (2019) 001[http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP12\(2019\)001](http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP12(2019)001)).**Chaos of QCD string from holography**Tetsuya Akutagawa<sup>d</sup>, Koji Hashimoto<sup>s</sup>, Keiju Murata, Toshihiro Ota<sup>d</sup>Phys.Rev.D **100** (2019) 046009<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.100.046009>).**AdS/CFT correspondence as a deep Boltzmann machine**Koji Hashimoto<sup>s</sup>Phys.Rev.D **99** (2019) 106017<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.99.106017>).**1/N correction in holographic Wilson loop from quantum gravity**Koji Hashimoto<sup>s</sup>, Wataru Sasaki, Takayuki Sumimoto<sup>m</sup>JHEP **12** (Dec.) (2019) 138[http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP12\(2019\)138](http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP12(2019)138)).**Einstein Rings in Holography, Edditor's Suggestion**Koji Hashimoto<sup>s</sup>, Shunichiro Kinoshita, Keiju MurataPhys.Rev.Lett. **123** (2019) 031602<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevLett.123.031602>).**Detecting nonclassical primordial gravitational waves with Hanbury-Brown – Twiss interferometry**Sugumi Kanno<sup>s</sup>, Jiro SodaPhys. Rev. D**99** (No.8, April) (2019) 084010 1-7<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.99.084010>).**Nonclassical primordial gravitational waves from the initial entangled state**Sugumi Kanno<sup>s</sup>Phys. Rev. D**100** (No.12, December) (2019) 123536 1-12

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.100.123536>).

### **Dressed states from gauge invariance**

平井 隼人 <sup>DC</sup>

JHEP **12** (Dec.) (2019) 128

([http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP12\(2019\)128](http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP12(2019)128)).

### **Dressed states from gauge invariance**

平井 隼人 <sup>DC</sup>, 杉下宗太郎

JHEP **06** (June) (2019) 023

([http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP06\(2019\)023](http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP06(2019)023)).

### **FLAG Review 2020**

Sinya Aoki, Tetsuya Onogi<sup>s</sup> et al.

Eur. Phys. J C80 (Feb.) (2020) 113

(<http://dx.doi.org/doi:10.1140/epjc/s10052-019-7354-7>).

### **TKNN formula for general lattice Hamiltonian in odd dimensions**

Hidenori Fukaya<sup>s</sup>, Tetsuya Onogi<sup>s</sup>, Satoshi Yamaguchi<sup>s</sup>, and Xi Wu

PoS(LATTICE2019) **363** (Jan.) (2020) 052.

### **Chiral-spin symmetry of the meson spectral function above $T_c$**

Christian Rohrhofer<sup>s</sup>, Y. Aoki, L. Ya. Glozman, S. Hashimoto

Phys. Lett.B 802 (Mar.) (2020) 135245

(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.physletb.2020.135245>).

### **Symmetries of spatial meson correlators in high temperature QCD**

Christian Rohrhofer<sup>s</sup>, Y. Aoki, G. Cossu, Hidenori Fukaya<sup>s</sup>, C. Gattringer, L.Ya. Glozman, S. Hashimoto, C.B. Lang, S. Prelovsek

Phys. Rev. D **100** (no. 1, July) (2019) 014502

(<http://dx.doi.org/doi:1103/PhysRevD.100.014502>).

### **GUT inspired $SO(5) \times U(1) \times SU(3)$ gauge-Higgs unification**

S. Funatsu, H. Hatanaka, Yutaka Hosotani<sup>i</sup>, Y. Orikasa, and N. Yamatsu

Phys. Rev. D **99** (No. 9, May) (2019) 095010 1-29

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.99.095010>).

### **CKM matrix and FCNC suppression in $SO(5) \times U(1) \times SU(3)$ gauge-Higgs unification**

S. Funatsu, H. Hatanaka, Yutaka Hosotani<sup>i</sup>, Y. Orikasa, and N. Yamatsu

Phys. Rev. D **101** (No. 5, March) (2020) 055016 1-20  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.101.055016>).

**Leading two-loop corrections to the Higgs boson self-couplings in models with extended scalar sectors**

Johannes Braathen<sup>PD</sup>, Shinya Kanemura<sup>s</sup>  
European Physical Journal C **80** (March) (2020) 227  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1140/epjc/s10052-020-7723-2>).

**Full next-to-leading-order calculations of Higgs boson decay rates in models with non-minimal scalar sectors**

Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Mariko Kikuchi, Kentarou Mawatari<sup>s</sup>, Kodai Sakurai<sup>PD</sup>, Kei Yagyu<sup>s</sup>  
Nucl. Phys. B **949** (December) (2019) 114791  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.nuclphysb.2019.114791>).

**Exploring the global symmetry structure of the Higgs potential via same-sign pair production of charged Higgs bosons**

Masashi Aikou<sup>d</sup>, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Kentarou Mawatari<sup>s</sup>  
Phys. Lett. **B797** (October) (2019) 134854  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.physletb.2019.134854>).

**New model for radiatively generated Dirac neutrino masses and lepton flavor violating decays of the Higgs boson**

Kazuki Enomoto<sup>d</sup>, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Hiroaki Sugiyama  
Phys. Rev. D **100** (July) (2019) 015044  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.100.015044>).

**On two-loop corrections to the Higgs trilinear coupling in models with extended scalar sectors**

Johannes Braathen<sup>PD</sup>, Shinya Kanemura<sup>s</sup>  
Phys. Lett. **B796** (September) (2019) 38-46  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.physletb.2019.07.021>).

**Selecting models of first-order phase transitions using the synergy between collider and gravitational-wave experiments**

Katsuya Hashino<sup>PD</sup>, Ryusuke Jinno, Mitsuru Kakizaki, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Tomo Takahashi, and Masahiro Takimoto  
PRD **99** (April) (2019) 075011  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.99.075011>).

**Probing CP-violating Higgs sectors via the precision measurement of coupling constants**

Mayumi Aoki, Katsuya Hashino<sup>PD</sup>, Daiki Kanneko, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Mitsunori Kubota<sup>d</sup>  
Prog. Theor. Exp. Phys. **2019** (No.5 May) (2019) 053B02  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptz038>).

**QED background against atomic neutrino process with initial spatial phase**

Minoru Tanaka<sup>s et al.</sup>  
Eur. Phys. J. Plus **135** (Mar.) (2020) 283  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1140/epjp/s13360-020-00290-2>).

**Zee Model with Flavor Dependent Global  $U(1)$  Symmetry**

Takaaki Nomura, Kei Yagyu<sup>s</sup>  
J. High Energy Phys. **10** (Oct.) (2019) 105  
([http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP10\(2019\)105](http://dx.doi.org/doi:10.1007/JHEP10(2019)105)).

**国際会議報告等**

**$B \rightarrow D(*)l\nu$  form factors from  $N_f=2+1$  QCD with Möbius domain-wall quarks**  
T. Kaneko\*, Y. Aoki, B. Colquhoun, Hidenori Fukaya<sup>s</sup>, S. Hashimoto on behalf of JLQCD Collaboration  
PoS(LATTICE2018) **334** (May) (2019) 311(7pages).  
The 36th Annual International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2018)  
(July, 2019, 参加者約 450 名) .xxx

**Axial  $U(1)$  symmetry and Dirac spectra in high-temperature phase of  $N_f=2$  lattice QCD**

K. Suzuki\*, S. Aoki, Y. Aoki, G. Cossu, Hidenori Fukaya<sup>s</sup>, S. Hashimoto on behalf of JLQCD Collaboration  
PoS(LATTICE2018) **334** (May) (2019) 152(7pages).  
The 36th Annual International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2018)  
(July, 2019, 参加者約 450 名) .xxx

**Gauge-Higgs unification at  $e^+e^-$  linear colliders**

Yutaka Hosotani<sup>i\*</sup>  
PoS(CORFU2018) **2018** (May) (2019) 075.  
Corfu Summer Institute 2018 "School and Workshops on Elementary Particle Physics and Gravity" (Sep. 2018, 参加者数約 100 名).xxx

**The Anomaly Inflow of the domain-wall fermion in odd dimension**

Hidenori Fukaya<sup>s</sup>, Naoki Kawai<sup>d</sup>, Yoshiyuki Matsuki<sup>DC\*</sup>, Makito Mori, Tetsuya Onogi<sup>s</sup> and Satoshi Yamaguchi<sup>s</sup>

PoS(LATTICE2019) (Jan.) (2020) 147.

37th International Symposium on Lattice Field Theory, (June, 2019, 参加者約 350 名).xxx

**A Composite 2-Higgs Doublet Model**

L. Delle Rose\*

Proceedings of Science **C19-07-10.1** (Jul.) (2019) .

2019 European Physical Society Conference on High Energy Physics (EPS-HEP2019).xxx

**国際会議における講演等****Atiyah-Patodi-Singer index theorem on a lattice**

Hidenori Fukaya<sup>s</sup>, Naoki Kawai<sup>d\*</sup>, Yoshiyuki Matsuki<sup>DC</sup>, Makito Mori, Tetsuya Onogi<sup>s</sup>, Satoshi Yamaguchi<sup>s</sup>

Proceedings, 37th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2019) (Hilton Hotel Wuhan Riverside, Wuhan, June 16-22, 2019 参加者約 350 名)

**Atiyah-Patodi-Singer index theorem on a lattice**

Hidenori Fukaya<sup>s</sup>, Naoki Kawai<sup>d\*</sup>, Makito Mori, Yoshiyuki Matsuki<sup>DC</sup>, Katsumasa Nakayama<sup>PD</sup>, Tetsuya Onogi<sup>s</sup>, Satoshi Yamaguchi<sup>s</sup>

Strings and Fields 2019 (at Yukawa Institute, Kyoto, Japan, August 19-23, 2019)

**Exploring the global symmetry structure of the Higgs potential via same-sign pair production of charged Higgs bosons**

Masashi Aikou<sup>d\*</sup>, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Kentarou Mawatari<sup>s</sup>

Scalars2019, (Warsaw, Sep. 11-14, 2019, 参加者数約 120 名)

**Exploring the global symmetry structure of the Higgs potential via same-sign pair production of charged Higgs bosons**

Masashi Aikou<sup>d\*</sup>, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Kentarou Mawatari<sup>s</sup>

KEK Theory Meeting on Particle Physics Phenomenology (KEK-PH2020), (Tsukuba, Feb. 18-21, 2020, 参加者数約 80 名)

**Two-loop corrections to the Higgs trilinear coupling in models with extended scalar sectors**

Johannes Braathen<sup>PD\*</sup> and Shinya Kanemura<sup>s</sup>

SUSY 2019 conference, Corpus Christi, Texas, May 2019, approx. 150 participants



**On two-loop corrections to the Higgs trilinear coupling in models with extended scalar sectors**Johannes Braathen<sup>PD\*</sup> and Shinya Kanemura<sup>s</sup>

Scalars 2019 conference, Warsaw, September 2019, 117 participants

**Two-loop corrections to the Higgs trilinear coupling in models with extended scalar sectors**Johannes Braathen<sup>PD\*</sup> and Shinya Kanemura<sup>s</sup>

International Workshop on Future Linear Colliders (LCWS2019), October 2019, 442 participants

**Two-loop corrections to the Higgs trilinear coupling in models with extended scalar sectors**Johannes Braathen<sup>PD\*</sup> and Shinya Kanemura<sup>s</sup>

KEK Theory Meeting on Particle Physics Phenomenology (KEK-PH2020), KEK (Tsukuba), February 2020, 81 participants

**Searching for the BSM scenarios from heavy resonance at the international linear collider**Arindam Das<sup>PD\*</sup>

LCWS (at Sendai, Japan, Oct. 27-30, 2019)

**Searching for Higgs from the heavy resonance under the general U (1)X scenario**Arindam Das<sup>PD\*</sup>

SUSY (Corpus Christi, Texas, 21 May, 2019)

**Jet substructure shedding light on heavy Majorana neutrinos at the colliders**Arindam Das<sup>PD\*</sup>

SUSY (Corpus Christi, Texas, 21 May, 2019)

**Searching for the BSM scenarios from heavy resonance at the international linear collider**Arindam Das<sup>PD\*</sup>

Prospects of Neutrinos (at Kavli-IPMU, Tokyo, Japan, 9th April, 2019)

**Higgs LFV decays in the model for Dirac neutrino masses and dark matter**Kazuki Enomoto<sup>d\*</sup>, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Kodai Sakurai, Hiroaki Sugiyama

Scalars2019 (at Warsaw, Poland, Sept. 11-14, 2019, 参加者数約 120 名)

**Higgs LFV decays in the model for Dirac neutrino masses and dark matter**

Kazuki Enomoto<sup>d\*</sup>, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Kodai Sakurai, Hiroaki Sugiyama  
Intensity Frontier in Particle Physics: Flavor, CP Violation and Dark Physics (at Taipei and Hsinchu, Taiwan, Oct. 3-6, 2019, 参加者数約 60 人)

**Higgs LFV decays in the model for Dirac neutrino masses and dark matter**

Kazuki Enomoto<sup>d\*</sup>, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Kodai Sakurai, Hiroaki Sugiyama  
International Workshop on Future Linear Colliders "LCWS2019" (at Sendai, Japan, Oct. 28-Nov. 1, 2019, 参加者数約 440 人)

**Probing charged lepton number violation**

Mayumi Aoki, Kazuki Enomoto<sup>d\*</sup>, Shinya Kanemura<sup>s</sup>  
KEK Theory Meeting on Particle Physics Phenomenology "KEK-PH2020" (at Tsukuba, Japan, Feb. 18-21, 参加者数約 80 人)

**Why is domain-wall fermion mathematically interesting?**

Hidenori Fukaya<sup>s\*</sup>  
Frontiers in Lattice QCD and related topics (YITP, Kyoto U, Apr. 2019, 参加者約 50)

**Domain-wall fermion and Atiyah-Patodi-Singer index**

Hidenori Fukaya<sup>s\*</sup>, M. Furuta, S. Matuso, Tetsuya Onogi<sup>s</sup>, Satoshi Yamaguchi<sup>s</sup>, M. Yamashita  
The 37th international conference on lattice field theory (Hilton Hotel Wuhan Riverside, June 2019, 参加者約 350)

**Mathematical proof for "physicist-friendly" reformulation of Atiyah- Patodi-Singer index**

Hidenori Fukaya<sup>s\*</sup>  
Workshop Strings and Fields 2019 (YITP, Kyoto U., Aug. 2019, 参加者約 150)

**What is sphaleron?**

Masanori Tanaka<sup>m\*</sup>  
26th Regular Meeting of the New Higgs Working Group, (Osaka Univ. , Aug. 8-9, 2019, 参加者数 32 名)

**The Anomaly Inflow of the domain-wall fermion in odd dimension**

Hidenori Fukaya<sup>s</sup>, Naoki Kawai<sup>d</sup>, Yoshiyuki Matsuki<sup>DC\*</sup>, Makito Mori, Tetsuya Onogi<sup>s</sup> and Satoshi Yamaguchi<sup>s</sup>  
37th International Symposium on Lattice Field Theory, (June 2019, 参加者約 350 名)

**A new model for electroweak baryogenesis without EDM constraints**Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Mitsunori Kubota<sup>d\*</sup>, Kei Yagyu<sup>s</sup>

KEK-PH2020 KEK Theory Meeting on Particle Physics Phenomenology (at Tsukuba, Ibaraki, Japan, Feb. 18-21, 2020, 参加人数 81 名)

**Symmetries of the Light Hadron Spectrum in High Temperature QCD**Christian Rohrhofer<sup>s\*</sup>, Y. Aoki, G. Cossu, Hidenori Fukaya<sup>s</sup>, C. Gattringer, L. Ya. Glozman, S. Hashimoto, C. B. Lang, K. Suzuki

The 37th Annual International Symposium on Lattice Field Theory (at Wuhan, China, June 16-22, 2019)

**Testing Composite Higgs Models at the Higgs Factory**Kei Yagyu<sup>s\*</sup>

LCWS2019: International Workshop on Future Linear Colliders (at Sendai, Japan, Oct. 28-Nov. 1, 2019, 参加者数約 440 名)

**A 2HDM from 331 Gauge Theories**Kei Yagyu<sup>s\*</sup>

MCHP: 1st Mediterranean Conference on Higgs Physics (at Tanger, Morocco, Sep. 23-26, 2019, 参加者数約 120 名)

**Zee Model with a Flavor Dependent Global U(1) Symmetry**Kei Yagyu<sup>s\*</sup>

7th RISE Collaboration Workshop: Non Minimal Higgs (at Helsinki, Finland, May. 27-29, 2019, 参加者数約 80 名)

**On two-loop corrections to the Higgs trilinear coupling in models with extended scalar sectors**Johannes Braathen<sup>PD\*</sup> and Shinya Kanemura<sup>s</sup> (invited)

Theory Challenges in Higher-Order New Physics Calculations KIT-NEP' 19, Karlsruhe, October 2019, 59 participants

**Domain-wall fermion and Atiyah-Patodi-Singer index**Hidenori Fukaya<sup>s\*</sup> (invited)

RMT in Sub-Atomic Physics and Beyond (ECT\*, Trento, 2019 Aug 6-9, 参加者約 50)

**Domain-wall fermion and Atiyah-Patodi-Singer index**Hidenori Fukaya<sup>s\*</sup> (invited)

Workshop: Mathematical approach for topological physics (II) (Nagoya U. 2019 Aug 6-9,

参加者約 50)

**Neural network as a discrete geometry for materials through holographic principle**

Koji Hashimoto<sup>s\*</sup> (invited)

第23回大阪大学産研国際シンポジウム “Scientific and Industrial Research for Space Age” (淡路夢舞台国際会議場, 9-10 Jan, 2020, 参加者約 150 名)

**Deep Learning and AdS/CFT**

Koji Hashimoto<sup>s\*</sup> (invited)

International workshop “Strings, Geometry, and Data Science” (Simons center for geometry and physics, Stony Brook, New York, 5-9 Jan, 2020, 参加者約 50 名)

**Neural network as a discrete geometry for materials through holographic principle**

Koji Hashimoto<sup>s\*</sup> (invited)

International conference “MATERIALS RESEARCH MEETING 2019” (Yokohama Symposia, Yokohama, 10-14 Dec, 2019, 参加者約 1000 名)

**Deep Learning and holographic QCD**

Koji Hashimoto<sup>s\*</sup> (invited)

International workshop “NCTS-Kyoto University Joint Meeting on Recent Advances in String and Quantum Field Theory 2019” (National Center for Theoretical Sciences (NCTS), Shinchu, 6 Sep, 2019, 参加者約 50 名)

**Boundary conditions of Weyl semimetals and edge-of-edge states**

Koji Hashimoto<sup>s\*</sup> (invited)

International long term program “Topological Quantum Matter: From Low-Temperature Physics to Non-Equilibrium Dynamics” NORDITA, Stockholm, 29 Jul, 2019, 参加者約 70 名)

**Deep Learning and holographic QCD**

Koji Hashimoto<sup>s\*</sup> (invited)

International workshop “Holographic QCD” (Stockholm, 22-26 Jul, 2019, 参加者約 50 名)

**Holography, matter and deep learning**

Koji Hashimoto<sup>s\*</sup> (invited)

Microsoft workshop “Physics Meets ML” (Microsoft Research, Seattle, 25-26 Apr, 2019, 参加者約 100 名)

**GUT inspired gauge-Higgs unification: CKM and ILCphysics**Yutaka Hosotani<sup>i\*</sup> (invited)

Scalars 2019, (at Warsaw, September 11 - 14, 2019, 150)

**Nambu and Unification — Einstein, Nambu, and ILC**Yutaka Hosotani<sup>i\*</sup> (invited)

LCWS 2019, (at Sendai, October 28 - November 1, 2019, 500)

**ILC phenomenology of gauge-Higgs unification**Yutaka Hosotani<sup>i\*</sup> (invited)

LCWS 2019, (at Sendai, October 28 - November 1, 2019, 500)

**Flavor mixing, FCNC, and CP violation in gauge-Higgs unification**Yutaka Hosotani<sup>i\*</sup> (invited)

New Higgs Working Group (at Osaka, December 13 - 14, 2019, 50)

**Probing the Higgs sector using the synergy of future experiments**Shinya Kanemura<sup>s\*</sup> (invited)

KIT-NEP' 19 (Karlsruhe Institute of Technology, October 7-9, 2019 参加者数約 60 名)

**Classification for models for radiative neutrino masses and Higgs LFV decays**Shinya Kanemura<sup>s\*</sup> (invited)

Intensity Frontier in Particle Physics, Flavor, CP Violation and Dark Physics (NTU Taipei and NCTS Hsinchu, 3-6 October 2019, 参加者数約 60 名)

**New Model for Radiative Neutrino Masses and Higgs LFV Decays**Shinya Kanemura<sup>s\*</sup> (invited)

First Mediterranean Conference on Higgs Physics (Tangier, September 23-27, 2019, 参加者数約 80 名)

**Probing the shape of the Higgs sector using the synergy of future experiments**Shinya Kanemura<sup>s\*</sup> (invited)

Scalars 2019 (Warsaw, September 11-14, 2019, 参加者数約 100 名)

**Probing the Higgs sector at ILC and synergy with other experiments**Shinya Kanemura<sup>s\*</sup> (invited)

The IFT Workshop “Opportunities at Future High Energy Colliders” (July 1-5, 2019, 参加者数約 50 名)

**Same-sign pair production of charged Higgs bosons at hadron colliders**Shinya Kanemura<sup>s\*</sup> (invited)

Helsinki RISE Whorkshop (U. of Helsinki, June 27-29, 2019, 参加者数約 80 名)

**APS index theorem from domain-wall fermion**Tetsuya Onogi<sup>s\*</sup> (invited)

Keio workshop (at Hiyoshi Keio Univ., JAPAN, Nov. 20-22, 2019, 参加者数約 60 名)

**TKNN formula for general lattice Hamiltonian in odd dimensions**Tetsuya Onogi<sup>s\*</sup> (invited)

Lattice 2019 (at Wuhan, China, June. 16-22, 2019, 参加者数約 350 名)

**Atiyah-Patodi-Singer index from the domain-wall Dirac operator**Satoshi Yamaguchi<sup>s\*</sup> (invited)

Mini-workshop on Symmetry and Interactions (at Shing-Tung Yau Center of Southeast University, China, Nov. 23-24, 2019, 参加者約 30 名)

**Detecting nonclassical primordial gravitational waves with Hanbury Brown and Twiss interferometry**Sugumi Kanno<sup>s\*</sup> (invited)

Quantum Entanglement in Cosmology (at Kavli-IPMU, JAPAN, May. 21-22, 2019, 参加者数約 30 名)

**Detecting nonclassical primordial gravitational waves with Hanbury Brown and Twiss interferometry**Sugumi Kanno<sup>s\*</sup> (invited)

COSMO 19 (at RWTH, GERMANY, Sep. 2-6, 2019, 参加者数約 270 名)

**Nonclassical primordial gravitational waves after environmental interaction**Sugumi Kanno<sup>s\*</sup> (invited)

The 4th Korea-Japan bilateral workshop on string axion cosmology (at Kagoshima, JAPAN, Jan. 17-20, 2020, 参加者数約 20 名)

**Shrinking of Operators in Quantum Error Correction and AdS/CFT (poster)**Hayato Hirai<sup>DC\*</sup>

Quantum Information and String Theory 2019, 2019 年 6 月 9 日. (at Kyoto, Japan, June, 9, 2019, 参加者約 280 名)

**Robust and Transferable Adversarial Examples from Deep Image Prior (poster)**Toshihiro Ota<sup>d\*</sup>

Deep Learning and Physics 2019 (at Yukawa Institute, Kyoto, Japan, October 31 - November 3, 2019 参加者数約 150 名)

**Symmetries of the Light Hadron Spectrum in High Temperature QCD (poster)**

Christian Rohrhofer<sup>s\*</sup>, Y. Aoki, G. Cossu, Hidenori Fukaya<sup>s</sup>, C. Gattringer, L. Ya. Glozman, S. Hashimoto, C. B. Lang, K. Suzuki

11th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (at Tsukuba, Japan, Oct. 15, 2019)

**Meson Spectrum in Holographic QCD and Deep Learning (poster)**

Takayuki Sumimoto<sup>m\*</sup>

Deep Learning and Physics in 2019 (at Kyoto, Japan, Oct. 31 - Nov. 2, 2019, 参加者約 100 名)

**日本物理学会, 応用物理学会等における講演**

**格子上での Atiyah-Patodi-Singer 指数定理**

深谷 英則<sup>s</sup>, 川井 直樹<sup>d\*</sup>, 松木 義幸<sup>DC</sup>, 森真輝人, 中山 勝政<sup>PD</sup>, 大野木 哲也<sup>s</sup>, 山口 哲<sup>s</sup>  
日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学、2019 年 9 月 17 日 - 9 月 20 日)

**ヒッグスポテンシャルの対称性と弱ゲージ場の融合過程**

愛甲 将司<sup>d\*</sup>, 兼村 晋哉<sup>s</sup>, 馬渡 健太郎<sup>s</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学、2019 年 9 月 17 日 - 9 月 20 日)

**拡張ヒッグス模型におけるアライメント条件の安定性**

愛甲 将司<sup>d\*</sup>, 兼村 晋哉<sup>s</sup>

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 - 3 月 19 日)

**将来加速器実験を用いたレプトン数非保存過程の検証**

青木 真由美, 榎本 一輝<sup>d\*</sup>, 兼村 晋哉<sup>s</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学、2019 年 9 月 17 日 - 9 月 20 日)

**高次演算子によるレプトン数非保存過程の将来加速器実験を用いた検証**

青木 真由美, 榎本 一輝<sup>d\*</sup>, 兼村 晋哉<sup>s</sup>

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 - 3 月 19 日)

**Nf=2 格子 QCD における高温領域の対称性**

青木慎也, 青木保道, 深谷 英則<sup>s\*</sup>, 橋本省二, Christian Rohrhofer<sup>s</sup>, 鈴木溪

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学、2019 年 9 月 17 日 - 9 月 20 日)

**オーバーラップフェルミオンで探るカイラル感受率**

青木慎也, 青木保道, 深谷 英則<sup>s\*</sup>, 橋本省二, Christian Rohrhofer<sup>s</sup>, 鈴木溪  
日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学, 2020年3月16日 – 3月19日)

**深層ボルツマンマシンと AdS/CFT**

橋本 幸士<sup>s\*</sup>  
日本物理学会 2019年秋季大会 (於 山形大学, 2019年9月17日 – 9月20日)

**Nuclear states and spectra in holographic QCD**

橋本 幸士<sup>s</sup>, 松尾 善典<sup>s\*</sup>, 森田健  
日本物理学会 2019年秋季大会 (於 山形大学, 2019年9月17日 – 9月20日)

**ハドロンデータを用いた深層学習による QCD と双対な時空の探索**

芥川 哲也<sup>d\*</sup>, 住本 尚之<sup>m</sup>, 橋本 幸士<sup>s</sup>  
日本物理学会 2019年秋季大会 (於 山形大学, 2019年9月17日 – 9月20日)

**ホログラフィー原理におけるスペクトルと機械学習**

住本 尚之<sup>m\*</sup>, 芥川 哲也<sup>d</sup>, 橋本 幸士<sup>s</sup>  
日本物理学会 2019年秋季大会 (於 山形大学, 2019年9月17日 – 9月20日)

**メソンスペクトルを用いた深層学習とホログラフィック QCD**

住本 尚之<sup>m\*</sup>, 橋本 幸士<sup>s</sup>, 芥川 哲也<sup>d</sup>  
日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学, 2020年3月16日 – 3月19日)

**CKM matrix and FCNC in  $SO(5) \times U(1) \times SU(3)$  gauge-Higgs unification**

細谷 裕<sup>i\*</sup>, 幡中久樹, 折笠雄太, 船津周一郎, 山津直樹  
日本物理学会 2019年秋季大会 (於 山形大学, 2019年9月17日 – 9月20日)

**素粒子で探る宇宙の成り立ち: 万物の根源と究極理論を求めて (招待講演)**

兼村 晋哉<sup>s\*</sup>  
日本物理学会 2019年秋季大会 (於 山形大学, 2019年9月17日 – 9月20日), 日本物理学会市民科学講演会 2019年9月21日 山形市

**電弱対称性の自発的破れの真空条件からのヒッグス自己結合定数への理論的制限**

田中 正法<sup>m\*</sup>, 兼村 晋哉<sup>s</sup>  
日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (於 名古屋大学, 2020年3月16日 – 3月19日)

**Dai-Freed 定理に基づく分配関数の位相の評価**

深谷 英則<sup>s</sup>, 川井 直樹<sup>d</sup>, 松木 義幸<sup>DC\*</sup>, 森真輝人, 大野木 哲也<sup>s</sup>, 山口 哲<sup>s</sup>



日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学、2019 年 9 月 17 日 – 9 月 20 日)

#### 物理的セットアップでの eta 不変量の評価

深谷 英則<sup>s</sup>, 川井 直樹<sup>d</sup>, 松木 義幸<sup>DC\*</sup>, 森真輝人, 大野木 哲也<sup>s</sup>, 山口 哲<sup>s</sup>

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

#### 複数の CP 位相を含む拡張ヒッグス模型の現象論

兼村 晋哉<sup>s</sup>, 久保田 充紀<sup>d\*</sup>, 柳生 慶<sup>s</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学、2019 年 9 月 17 日 – 9 月 20 日)

#### EDM 制限を満たす電弱バリオン数生成の新模型

兼村 晋哉<sup>s</sup>, 久保田 充紀<sup>d\*</sup>, 柳生 慶<sup>s</sup>

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

#### 一般化されたハミルトニアンを持つ奇数次元のトポロジカル絶縁体における TKNN 公式と有効場の理論によるトポロジカルな記述の等価性

深谷 英則<sup>s</sup>, 大野木 哲也<sup>s\*</sup>, 山口 哲<sup>s</sup>, Xi Wu

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学、2019 年 9 月 17 日 – 9 月 20 日)

#### TKNN formula for general Hamiltonian for $D=2n+1$ dimensions

大野木 哲也<sup>s\*</sup>

離散的手法による時空のダイナミクス 2019, 2019 年 9 月 10 日

#### クラス S 理論の線演算子と可積分格子模型の関係について

太田 敏博<sup>d\*</sup>

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

#### 同位体シフトで探る素粒子の新しい相互作用

田中 実<sup>s\*</sup>

新テラスケール研究会, 東大, 2019 年 6 月

#### 同位体シフトを用いた新物理探索における相対論効果

田中 実<sup>s\*</sup>, 山本康裕

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学、2019 年 9 月 17 日 – 9 月 20 日)

#### 重イオン加速器を用いた高エネルギー光渦の生成

田中 実<sup>s\*</sup>, 笹尾 登

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

#### 331 模型の有効理論と加速器実験による検証

Kei Yagyu<sup>s\*</sup>, Arindam Das<sup>PD</sup>, Kazuki Enomoto<sup>d</sup>, Katri Huitu, Shinya Kanemura<sup>s</sup>, Niko Koivnen

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学、2019 年 9 月 17 日 – 9 月 20 日)

### 輻射シーソー機構を伴う 3-3-1 ゲージ理論

Kei Yagyu<sup>s\*</sup>, Arindam Das<sup>PD</sup>, Kazuki Enomoto<sup>d</sup>, Shinya Kanemura<sup>s</sup>

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

### Review of Higgs Physics

Kei Yagyu<sup>s\*</sup>

ILC 夏の合宿、茨城県潮来市、Sept. 2019

### Higgs Phenomenology: An introduction to beginning grad students

Kei Yagyu<sup>s\*</sup>

関西地域セミナー、大阪大学、July 2019

### ゲージ理論におけるフェルミオン 4 次の演算子の凝縮について

山口 哲<sup>s\*</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学、2019 年 9 月 17 日 – 9 月 20 日)

### W ボソン融合過程による荷電ヒッグスボソンの同符号対生成とポテンシャル構造 (ポスター)

愛甲 将司<sup>d\*</sup>, 兼村 晋哉<sup>s</sup>, 馬渡 健太郎<sup>s</sup>

基研研究会 素粒子物理学の進展 2019 (於 京都大学基礎物理学研究所、2019 年 7 月 29 日 – 8 月 2 日)

### Zee Model with Flavor Dependent Global $U(1)$ Symmetry (ポスター)

Kei Yagyu<sup>s\*</sup>

基研研究会 素粒子物理学の進展 2019、京大基礎理学研究所、July 2019

### 書籍等の出版, 日本語の解説記事

#### Atiyah-Patodi-Singer 指数定理と量子異常

深谷 英則<sup>s</sup>

数理科学 Vol58-1 (2020 年 1 月発行, pp.44-50)

#### 『ディープラーニングと物理学』

橋本 幸士<sup>s</sup>, 田中章詞, 富谷昭夫

講談社 (2019 年 6 月発行, 300 頁)

**『物理学者、機械学習を使う —機械学習・深層学習の物理学への応用』**

橋本 幸士<sup>s</sup>, ほか

朝倉書店 (2019年10月発行, 212頁)

**『つながりを創り出す術』**

橋本 幸士<sup>s</sup>, ほか

大阪大学 CO デザインセンター監修、大阪大学出版会 (2020年2月発行, 216頁)

**物理学雑誌『ニュートン』別冊「無とは何か」**

橋本 幸士<sup>s</sup>, ほか

ニュートンプレス社 (2020年2月発行, 176頁)

**『ニュートン式超図解最強に面白い!!超ひも理論』**

橋本 幸士<sup>s</sup>

ニュートンプレス社 (2019年10月発行, 128頁)

**日本物理学会誌第 74 巻第 6 号「ホログラフィー原理 素粒子分野から広がる双対性」**

橋本 幸士<sup>s</sup>

日本物理学会 (2019年6月発行)

**物理学雑誌『ニュートン』5月号特集「無とは何か」**

橋本 幸士<sup>s</sup>, ほか

ニュートンプレス社 (2019年5月発行)

**物理数学講義ノート**

山口 哲<sup>s</sup>

サイエンス社 (2019年9月発行)

## 1.10 原子核理論グループ

### 令和元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

浅川、北沢は Duke 大学の Müller とともに、現在アメリカの Brookhaven 研究所で行われている、QCD の相図上の臨界点探索実験における物理的理解の問題点を指摘した。具体的には、次の3点の問題点をそれらに対する物理的な理由とともに摘示し、どのような実験的理論的改善がなされるべきかを議論した。まず、第一には現在の実験的理論的解析においては、高エネルギー原子核衝突において保存量揺らぎが化学凍結時にその変化が停止すると仮定されているという点。これは運動学的凍結に置き換えるべきである。第二は、保存量（例えばバリオン数）揺らぎの（高次）キュムラントと秩序変数場の相関距離の関係が、平衡状態におけるものが使用されているという点。一般には保存量揺らぎダイナミクスは保存量でない秩序変数場のダイナミクスよりは遅いということが無視されている。最後の論点は、ある運動量空間の領域内で観測されている量が、位置空間で計算されている量と直接比較されているという点である。すなわち、暗黙の裡に運動量空間における分布と位置空間における分布が同一であることが仮定されている。これは、臨界点探索実験のように比較的低エネルギーにおける原子核衝突では正当化されない。

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、イベント毎解析で観測される保存電荷ゆらぎの研究が、QCD 相構造の探索に有用な実験的観測量として実験・理論の双方から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の、検出器の特性がもたらす観測結果への歪みの効果を補正する議論の精密化に取り組んだ。また、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保存電荷ゆらぎの時間発展を記述する研究を行った。QCD 臨界点や、高密度での存在が予言される一次相転移の周辺で異常な振る舞いをするのが期待される保存電荷高次キュムラントの動的時間発展を記述する定式化を行い、またこの方程式を安全かつ高速に処理する数値アルゴリズムを開発した。これにより、現実的な高エネルギー原子核衝突実験でのゆらぎの時間発展を追跡し、実験結果を説明するための現象論的モデルを作った。

#### 格子 QCD 数値シミュレーション

柳原、北沢は、我々の以前の格子 QCD 数値シミュレーションで得られたクォーク・反クォーク間に発生するフラックスチューブ周辺における応力の空間分布を、双対超伝導描像に基づく有効模型を使って理解する研究に取り組んだ。超伝導の有効模型である Abelian-Higgs 模型を用いて磁束渦糸周辺のエネルギー・応力構造の解析を行い、格子 QCD シミュレーションの結果と比較した。これにより、従来の多くの研究では渦糸が無限長であることが仮定されていたが、数値計算結果を定性的に説明するためには有限長の効果が重要であることや、定量的な比較を行うと双対超伝導描像で数値計算結果を説明することには限界があることなどを示した。

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。我々は、勾配流法と呼ばれる手法を用いて、格子ゲージ理論上でのエネルギー運動量テンソルを解析する研究を行ってきた。北沢は、ケープタウン大学の Mogliatti, Kolbe, Horowitz らと共に、非等方な有限体積系でのエネルギー運動量テンソルを解析する研究を行った。非等方な有限体積系で定義された QED では、カシミア効果によって非等方な応力構造が発現し、量子効果に由来する境界面の引力相互作用をもたらす。本研究ではこの問題が非可換ゲージ理論の有限温度系でどのように現れるかを数値的に調べ、QED とは定性的に異なる応力構造が観測されることを示した。北沢は、筑波大の金谷、谷口、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、勾配流法をフル QCD 数値解析に適用し、熱力学量を測定する研究を行っている。本年度は、最近計算された摂動展開の高次係数を使った数値解析や、現実的なクォーク質量での熱力学量の測定、相関関数の測定などの解析を進めた。柳原、北沢、浅川は、理研の初田と共同で、非閉じ込め相に静的なクォーク荷が置かれたとき、その周辺に作られる応力構造を解析する研究を行った。これにより、QED では観測できない各チャンネルの絶対値の分離など、非可換ゲージ理論特有の興味深い現象が現れることをしめした。

北沢は、WHOT-QCD 共同研究において、重クォーク領域に存在する臨界点を調べる研究を行った。これまで  $N_t = 4$  でのみしか行われていなかった解析を、 $N_t = 6$  に拡張し、格子間隔依存性を調べる研究を行った。また、Polyakov ループを用いることでクエンチ QCD にクォーク行列式の効果を部分的に取り込んだモンテカルロ数値計算を開発し、重クォーク領域を従来の研究と比べ格段に高効率・高信頼度で調べる手法を確立した。さらに観測量として Binder キュムラントを用いることで重クォーク領域の臨界点の位置及び臨界指数の測定を実現した。

北沢は、阪大 RCNP の河野らと共に、非可換ゲージ理論のゲージ配位が持つトポジカル電荷を機械学習を用いて推定する研究を行った。勾配流変換をわずかに施したゲージ配位上での観測量を入力として畳み込みニューラルネットワークを学習させることにより、95% 以上の高い正答率で効率的にトポジカル電荷を特定するネットワークが構築できることを示した。また、空間次元縮約に対する正答率の依存性などを詳細に調べた。

### クォーク・グルーオン・プラズマ中の量子開放系としてのクォーコニウム

重イオン衝突実験において、重いクォーコニウムの収量は QGP 状態の生成に敏感な量であると考えられている。確率論的ポテンシャルモデルは、重いクォーコニウムの時間発展を記述する有力なモデルである。このモデルは量子開放系の理論に基づくものであり、格子 QCD 計算や摂動論によって得られた複素ポテンシャルについて物理的説明を与える。

梶本、赤松、浅川は、確率論的ポテンシャルモデルをカラー自由度を含む形に拡張し、クォーコニウムのカラー一重項・八重項状態のダイナミクスを解析した。カラーを含むこのモデルでは、熱揺らぎの持つ対称性によって初期状態波動関数の持っていたパリティが近似的に保存されることを指摘した。カラー SU(3) 自由度を含む確率論的 Schrödinger 方程式を数値的に解くことによって、SU(3) カラー八重項状態では、QGP の寿命程度の時間が経つと量子的

な相関がほぼ失われることを確認した。

三浦、赤松、浅川は、クォークグルーオンプラズマ中でのクォークの相対運動のダイナミクスを量子開放系理論に基づいて議論した。具体的には、そのダイナミクスを Lindblad 型と呼ばれるマスター方程式で記述し、それを Quantum State Diffusion と呼ばれる手法を用いて数値解析した。特に、量子散逸が相対運動に与える寄与について焦点を当てた解析を進めた。その結果、重イオン衝突実験において量子散逸の寄与は無視しえないことが示された。現在は、クォークが持つカラー自由度を含めた相対運動のダイナミクスの議論を進めている。

### コンプトン散乱におけるカイラリティ変化の物理的解釈について

大塚、赤松、浅川は、フェルミオンの質量を0とする極限においてもカイラリティを変化させる光子・フェルミオン間の散乱に注目して、カイラル輸送現象に対する影響を議論すべく研究を行ってきた。まずは、このような一見カイラルアノマリーに反する現象を理論的に解釈するため、散乱過程におけるカイラルアノマリーの関係式の遷移振幅を評価した。その結果、質量のあらわな破れを与える軸性スカラー項が散乱によるカイラリティ変化を与える要因であるという予想がたった。しかし、電子のカイラリティ変化を軸性スカラー項で説明できても光子のヘリシティの非保存を説明できないと言う課題が残った。

### 学術雑誌に出版された論文

#### Anisotropic pressure induced by finite-size effects in SU(3) Yang-Mills theory

M. Kitazawa<sup>s</sup>, S. Mogliacci, I. Kolbe, W.A. Horowitz

Phys. Rev. D **99** (Iss. 9, May) (2019) 094507, 1-10

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.99.094507>).

#### A Study of Stress-Tensor Distribution around Flux Tube in Abelian-Higgs Model

R. Yanagihara<sup>d</sup>, M. Kitazawa<sup>s</sup>

PTEP **2019** (Iss. 9, September) (2019) 093B02, 1-19

(<http://dx.doi.org/doi:10.1093/ptep/ptz093>).

#### Transits of the QCD critical point

Y. Akamatsu<sup>s</sup>, Derek Teaney, Fanglida Yan, Yi Yin

Phys. Rev. C **100** (Iss. 4, October) (2019) 044901, 1-23

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.100.044901>).

#### Quantum Brownian motion of a heavy quark pair in the quark-gluon plasma

T. Miura<sup>d</sup>, Y. Akamatsu<sup>s</sup>, M. Asakawa<sup>s</sup>, A. Rothkopf

Phys. Rev. D **101** (No.3, February) (2020) 034011  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.101.034011>).

**End point of the first-order phase transition of QCD in the heavy quark region by reweighting from quenched QCD**

S. Ejiri, S. Itagaki, R. Iwami, K. Kanaya, M. Kitazawa<sup>s</sup>, A. Kiyohara, M. Shirogane, and T. Umeda

Phys. Rev. D **101** (Iss. 5, March) (2020) 054505, 1-17  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevD.101.054505>).

**Issues with Search for Critical Point in QCD with Relativistic Heavy Ion Collisions**

M. Asakawa<sup>s</sup>, M. Kitazawa<sup>s</sup>, B. Müller

Phys. Rev. C **101** (Iss.3, March) (2020) 034913, 1-3  
(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevC.101.034913>).

**国際会議報告等**

**Exploring non-Abelian gauge theory with energy-momentum tensor; stress, thermodynamics and correlation**

M. Kitazawa<sup>s\*</sup>

Proc. Sci. **Confinement2018** (Sep.) (2019) 014, 1-12.

XIII Quark Confinement and Hadron Spectroscopy (Confinement2018) (August 2018, 参加者数約 300 名).xxx

**Dynamically Integrated Transport Approach for High-Energy Nuclear Collisions at High Baryon Density**

K. Murase<sup>\*</sup>, Y. Akamatsu<sup>s</sup>, M. Asakawa<sup>s</sup>, T. Hirano, M. Kitazawa<sup>s</sup>, K. Morita, Y. Nara, C. Nonaka, A. Ohnishi

JPS Conf. Proc. **26** (Nov.) (2019) 024016, 1-4.

8th International Conference on Quarks and Nuclear Physics (QNP2018) (Nov. 2018, 参加者数約 200 名) .xxx

**Stress distribution in quark-anti-quark and single quark systems at nonzero temperature**

R. Yanagihara<sup>d\*</sup>, T. Iritani, M. Kitazawa<sup>s</sup>, M. Asakawa<sup>s</sup>, T. Hatsuda

Proc. Sci. **LATTICE2019** (Jan.) (2020) 004, 1-7.

The 37th Annual International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2019) (June 2019, 参加者数約 400 名).xxx

**Determination of the endpoint of the first order deconfinement phase transition in the heavy quark region of QCD**

S. Ejiri\*, S. Itagaki, R. Iwami, K. Kanaya, M. Kitazawa<sup>s</sup>, A. Kiyohara, M. Shirogane, Y. Taniguchi and T. Umeda

Proc. Sci. **LATTICE2019** (Jan.) (2020) 071, 1-7.

The 37th Annual International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2019) (June 2019, 参加者数約 400 名).xxx

**Study of 2+1 flavor finite-temperature QCD using improved Wilson quarks at the physical point with the gradient flow”**

K. Kanaya\*, A. Baba, A. Suzuki, S. Ejiri, M. Kitazawa<sup>s</sup>, H. Suzuki, Y. Taniguchi, T. Umeda

Proc. Sci. **LATTICE2019** (Dec.) (2019) 088, 1-7.

The 37th Annual International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2019) (June 2019, 参加者数約 400 名).xxx

**Classifying topological sector via machine learning**

M. Kitazawa<sup>\*\*</sup>, T. Matsumoto, Y. Kohno

Proc. Sci. **LATTICE2019** (Jan.) (2020) 156, 1-7.

The 37th Annual International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2019) (June 2019, 参加者数約 400 名).xxx

**Calculation of PCAC mass with Wilson fermion using gradient flow**

A. Baba\*, S. Ejiri, K. Kanaya, M. Kitazawa<sup>s</sup>, A. Suzuki, H. Suzuki, Y. Taniguchi, T. Umeda

Proc. Sci. **LATTICE2019** (Jan.) (2020) 191, 1-7.

The 37th Annual International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2019) (June 2019, 参加者数約 400 名).xxx

**国際会議における講演等**

**Critical fluctuations in HIC: Theory overview**

M. Kitazawa<sup>\*\*</sup> (invited)

the EMMI Rapid Reaction Task Force “Dynamics of critical fluctuations: theory - phenomenology - HIC” (at Darmstadt, Germany, April 8-12, 2019, 参加者数約 50 名)

**Critical diffusion dynamics**

M. Kitazawa<sup>\*\*</sup> (invited)



the EMMI Rapid Reaction Task Force “Dynamics of critical fluctuations: theory - phenomenology - HIC” (at Darmstadt, Germany, April 8-12, 2019, 参加者数約 50 名)

**Stress tensor on the lattice: multi- and single-quark systems, Casimir Effect, and etc.**

M. Kitazawa<sup>s\*</sup> (invited)

YITP molecule workshop “Frontiers in Lattice QCD and related topics” (at Kyoto, Japan, April 15-26, 参加者数約 50 名)

**Theoretical study of QGP and phase transitions in RHIC**

M. Kitazawa<sup>s\*</sup> (invited)

2019 ANPhA Symposium “High-energy heavy ion studies in Asia/Pacific and world in coming 10 year” (at Jeju, Korea, June 28-29, 2019, 参加者数約 50 名)

**Lattice QCD and QGP**

M. Kitazawa<sup>s\*</sup> (invited)

HaPhy-CENuM joint workshop “The Future of lattice studies in Korea” (at Busan, Korea, Sep. 6-7, 2019, 参加者数約 30 名)

**What can quarkonium tell us about the QGP?**

Y. Akamatsu<sup>s\*</sup> (invited)

Quo vadis QCD theory: heavy-ion collision perspectives and beyond (at Stavanger, Norway, Sep. 30 - Oct. 2, 2019, 参加者約 20 名)

**Approach to thermalization and hydrodynamics**

Y. Akamatsu<sup>s\*</sup> (invited)

Quark Matter 2019 - the XXVIIIth International Conference on Ultra-relativistic Nucleus-Nucleus Collisions (at Wuhan, China, Nov. 4-9, 2019, 参加者約 850 名)

**Critical fluctuations and their evolution, and cumulants**

M. Kitazawa<sup>s\*</sup> (invited)

Workshop on QCD in the Nonperturbative Regime (at Mumbai, India, Nov. 18-20, 2019, 参加者数約 60 名)

**Stress tensor distribution around static quarks in hot medium**

R. Yanagihara<sup>d\*</sup>, T. Iritani, M. Kitazawa<sup>s</sup>, M. Asakawa<sup>s</sup>, T. Hatsuda

YITP molecule workshop “Frontiers in Lattice QCD and related topics” (at Kyoto, Japan, April 15-26, 参加者数約 50 名)

**Observing Critical Fluctuations in the Dynamics of Heavy Ion Collisions**

M. Kitazawa<sup>s\*</sup>, M. Nahrgang

2019 FKPL & TYL/FJPPL meeting (at Jeju, Korea, May 8-10, 2019, 参加者数約 50 名)

### **Classifying Topological Sector via Machine Learning**

M. Kitazawa<sup>s\*</sup>, T. Matsumoto, Y. Kohno

Lattice 2019 (37th international conference on lattice field theory) (at Wuhan, China, June 16-22, 2019, s 参加者数約 400 名)

### **Stress distribution in quark—anti-quark and single quark systems at nonzero temperature**

R. Yanagihara<sup>d\*</sup>, T. Iritani, M. Kitazawa<sup>s</sup>, M. Asakawa<sup>s</sup>, T. Hatsuda

Lattice 2019 (37th international conference on lattice field theory) (at Wuhan, China, June 16-22, 2019, s 参加者数約 400 名)

### **Quantum dissipation of quarkonium in quark-gluon plasma: Lindblad equation approach**

T. Miura<sup>d\*</sup>, Y. Akamatsu<sup>s</sup>, M. Asakawa<sup>s</sup>, A. Rothkopf

The 17th International Conference on QCD in Extreme Conditions (XQCD 2019) (at Tokyo, Japan, June 24-26, 2019, 参加者約 90 名)

### **Critical fluctuations in a dynamically expanding heavy-ion collision**

M. Kitazawa<sup>s\*</sup>, M. Nahrgang, M. Bluhm, G. Pihan, N. Touroux

Quark Matter 2019 (the XXVIIIth International Conference on Ultra-relativistic Nucleus-Nucleus Collisions) (at Wuhan, China, Nov. 4-9, 2019, 参加者数約 800 名)

### **Deep Learning Topological Sector in Lattice Gauge Theory (poster)**

M. Kitazawa<sup>s\*</sup>, T. Matsumoto, Y. Kohno

Deep Learning and Physics (DLAP2019) (at Kyoto, Japan, Oct. 30 - Nov. 1, 2019, 参加者数約 80 名)

### **Quarkonium dynamics with colorful stochastic potential (poster)**

S. Kajimoto<sup>d\*</sup>, Y. Akamatsu<sup>s</sup>, M. Asakawa<sup>s</sup>, A. Rothkopf

Quark Matter 2019 - the XXVIIIth International Conference on Ultra-relativistic Nucleus-Nucleus Collisions (at Wuhan, China, Nov. 4-9, 2019, 参加者約 850 名)

### **Quantum dissipation in the quarkonium evolution by Lindblad master equation (poster)**

T. Miura<sup>d\*</sup>, Y. Akamatsu<sup>s</sup>, M. Asakawa<sup>s</sup>, A. Rothkopf

Quark Matter 2019 - the XXVIIIth International Conference on Ultra-relativistic Nucleus-Nucleus Collisions (at Wuhan, China, Nov. 4-9, 2019, 参加者約 850 名)

**日本物理学会, 応用物理学会等における講演****カラー超伝導相転移と低不変質量領域のレプトン対の異常生成**M. Kitazawa<sup>s\*</sup>, T. Kunihiro

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学, 2019 年 9 月 17 日 – 9 月 20 日)

**SU(3) カラー自由度を取り入れたクォークoniumの時間発展**梶本 詩織<sup>d\*</sup>, 赤松 幸尚<sup>s</sup>, 浅川 正之<sup>s</sup>, Alexander Rothkopf

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学, 2019 年 9 月 17 日 – 9 月 20 日)

**散乱によるカイラリティ変化の寄与を含むカイラル運動論の構築**大塚 高弘<sup>d\*</sup>, 赤松 幸尚<sup>s</sup>, 浅川 正之<sup>s</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 山形大学, 2019 年 9 月 17 日 – 9 月 20 日)

**重イオン衝突実験におけるゆらぎを用いた QCD 相転移探索**M. Kitazawa<sup>s\*</sup>

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学, 2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

**SU(3) 確率ポテンシャル中でのクォークoniumカラー八重項状態のふるまい**梶本 詩織<sup>d\*</sup>, 赤松 幸尚<sup>s</sup>, 浅川 正之<sup>s</sup>, Alexander Rothkopf

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学, 2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

**応力テンソルで探るカラー電荷の熱遮蔽効果と結合定数**R. Yanagihara<sup>d\*</sup>, T. Iritani, M. Kitazawa<sup>s</sup>, M. Asakawa<sup>s</sup>, T. Hatsuda

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学, 2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

**書籍等の出版, 日本語の解説記事****高温物質中におけるクォーク間相互作用の微視的伝達機構の解明**北澤 正清<sup>s</sup>

サイバーメディア HPC ジャーナル No.9, 29 (Sep. 2019, 大阪大学サイバーメディアセンター)

**応力テンソルを用いたクォーク間相互作用と自己エネルギーの数値解析**北澤 正清<sup>s</sup>

東京大学情報基盤センタースーパーコンピューティングニュース Vol. 21, Special issue 1,

27 (Aug. 2019, 東京大学情報基盤センター)

**カイラリティを変化させる散乱の寄与を取り入れたカイラル運動論の構築**

大塚 高弘 <sup>d\*</sup>

原子核研究 第64巻 2019年夏の学校特集号, (2020年2月発行, 68-69頁)

## 1.11 小川グループ

### 令和元年度の研究活動概要

2019年8月25日に理事・副学長職の4年間の任期を終えて、8月26日から4年ぶりに研究室を再興した。昨年度は、研究活動の目に見える成果は無いが、新たな研究テーマの探索を進めた。

### 学術雑誌に出版された論文

#### Non-Hermitian phase transition from a polariton Bose-Einstein condensate to a photon laser

Ryo Hanai<sup>PD</sup>, Alexander Edelman, Yoji Ohashi, and Peter B. Littlewood

Physical Review Letters **122** (No. 18, May) (2019) 185301 1-6

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevLett.122.185301>).

#### Nonequilibrium strong-coupling theory for a driven-dissipative ultracold Fermi gas in the BCS-BEC crossover region

Taira Kawamura, Ryo Hanai<sup>PD</sup>, Daichi Kagamihara, Daisuke Inotani, and Yoji Ohashi

Physical Review A **101** (No. 1, January) (2020) 013602 1-20

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevA.101.013602>).

#### Strong-Coupling Theory for a Non-equilibrium Unitary Fermi Gas

Taira Kawamura, Daichi Kagamihara, Ryo Hanai<sup>PD</sup>, Yoji Ohashi

Journal of Low Temperature Physics (published online, 23 December) (2019) 1-8

(<http://dx.doi.org/doi:10.1007/s10909-019-02310-7>).

### 国際会議報告等

#### 国際会議における講演等

#### Non-Hermitian phase transition and the rise of a critical exceptional point in driven-dissipative condensates

Ryo Hanai<sup>PD\*</sup>

Yale Quantum Institute (YQI) Talk (at University of Chicago, USA, 9 October, 2019, 参加者約 50 名)

#### Critical exceptional point in a driven-dissipative coupled condensate

Ryo Hanai<sup>PD\*</sup> and Peter B. Littlewood

10th International Conference on Spontaneous Coherence in Excitonic systems (ICSCE10)

(at Melbourne, Australia, 29 January, 2020, 参加者約 200 名)

### 日本物理学会, 応用物理学会等における講演

#### 非エルミート凝縮体に現れる臨界例外点

花井 亮<sup>PD\*</sup>, Peter B. Littlewood

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学、2019 年 9 月 10 日 – 9 月 13 日)

## 1.12 黒木グループ

### 令和元年度の研究活動概要

#### 電子相関に起因する非従来型超伝導

我々のグループでは、電子相関に起因する非従来型超伝導機構の研究を推進してきた。超伝導転移温度を飛躍的に増強する機構として、2バンド系において、一方のバンドの上端または下端がフェルミ準位のごく近傍に位置する状況 (incipient band) におけるバンド間ペア散乱機構を提唱している。令和1年度においては、2本鎖梯子型格子や2層型正方格子上のハバード模型に対してFLEX近似を適用し、incipient bandの状況においては超伝導を抑制する低エネルギースピンスピン揺らぎが弱くなる一方、超伝導を増強する中程度の有限エネルギースピンスピン揺らぎが大きくなることに起因して、超伝導が飛躍的に増強されることを見出した。また、多変数変分モンテカルロ法による超伝導相関関数の計算結果を、FLEX近似によるエリアシュベルグ方程式の固有値の計算結果と比較することにより、弱相関領域から強相関領域にいたるまで、上記の描像が成立していることを示した。

2本鎖梯子系においてincipient bandに近い状態を実現するには、梯子の横木 (rung) 方向の電子のホッピングを大きくすればよい。2本鎖梯子系においてrung方向の電子のホッピングを大きくするには、直観的にはrung方向に一軸的な圧力をかければよいと期待される。しかし、実際に2本鎖梯子型銅酸化物に対して第一原理計算を行なってみると、直観とは逆に、梯子の脚 (leg) 方向に圧力をかけるとよいことがわかった。ワニエ基底の構築による多軌道タイト・バインディング模型の解析の結果、これは、銅の4s軌道が3d軌道とオンサイトで混成することにより、複数の電子のホッピングが干渉する効果であることがわかった。

近年、新しいタイプの銅酸化物高温超伝導体として、 $\text{Ba}_2\text{CuO}_{3+\delta}$  が注目を集めている。通常の銅酸化物において存在する  $\text{CuO}_2$  平面から多くの酸素が欠損し、かつ、多量のホールがドーピングされていることがわかっており、なぜ70Kを超える  $T_c$  が実現しているのか、謎となっている。我々は、結晶構造が実験的にわかっていないこの物質に対して、強磁性の研究で有名な Lieb 格子と類似の結晶構造を提案して、その多軌道模型に基づいて超伝導機構に関する研究を行った。その結果、軌道間相互作用が重要な役割を果たす超伝導機構が2種類存在しうることがわかり、特に、 $d_{3z^2-r^2}$  軌道を主起源とする incipient なバンドと  $d_{x^2-y^2}$  軌道を主起源とするバンドが共存することによって、スピンスピン揺らぎを起源として非常に高い超伝導転移温度が実現する可能性を見出した。従来、多軌道系におけるスピンスピン揺らぎ媒介型超伝導においては軌道内相互作用が重要と考えられてきたのに対して、軌道間相互作用が重要や役割を果たす新しい可能性を提唱するものである。

#### 熱電効果

我々のグループにおいては、既存の熱電物質の微視的な理解をもとに、新規高性能熱電物質の理論的設計、提案を目指して研究を行っている。令和1年度は以下の研究を行った。以前より研究を続けている層状  $\text{BiS}_2$  系化合物については、岩塩構造が挿入された  $\text{LaOPbBiS}_3$  とその類縁物質に研究を拡張した。Pb、Bi、S(二種類のサイト)を置換した場合についての第一原理計算の結果を比較することにより、スピンスピン軌道相互作用の大きさや、ニクトゲン・

カルコゲン層と岩塩層の間の混成度合いが変化し、熱電性能に大きな影響を及ぼすことがわかった。特に  $\text{LaOPbSbSe}_3$  において、 $\text{LaOPbBiS}_3$  の5倍程度の大きな電力因子が得られる可能性を指摘した。

また、層状  $\text{BiS}_2$  系化合物に対する研究で得た、低次元性や Dirac cone 型のバンド分散が熱電性能に及ぼす知見をベースに、アンチペロブスカイト構造を持つ酸化物や窒化物における熱電性能を第一原理的に研究した。立方晶系については、窒化物や  $\text{Ca}_3\text{GeO}$  において低次元性に起因して高温で大きな熱電性能を示し、また、 $\text{Ba}_3\text{PbO}$  においては複数の Dirac cone が寄与することにより低温において高い熱電性能を示しうることがわかった。また、斜方歪がある場合、ときにバンドのバレー縮退度が増し、 $\text{Ba}_3\text{GeO}$  や  $\text{Sr}_3\text{AsN}$  においては、高温で  $ZT > 1$  の高い熱電性能が期待できることを示した。

上記の熱電効果の理論研究を含むこれまでのほとんどの電力因子や  $ZT$  の計算においては、電子の緩和時間を一定とする近似が用いられている。しかし、実際には緩和時間は電子の状態密度等に依存すると考えられる。我々は、電子・フォノン相互作用を取り込んで電子の緩和時間を第一原理的に評価することにより各種輸送係数を計算する手法を開発中であり、現時点での成果を国際会議等で発表した。

## Quantum Transport and Anderson Localisation

At very low temperatures, disordered materials exhibit numerous quantum transport phenomena including weak-localisation, universal conductance fluctuations, Anderson localisation and the Anderson metal-insulator transition.

One very interesting aspect of the Anderson metal-insulator transition is the multifractal nature of the electron wavefunctions. The multifractal distribution of the wavefunction amplitudes gives rise to strong fluctuations of the local density of states which are in turn reflected in strong fluctuations of the Kondo temperature associated with the screening of magnetic impurities due to the Kondo effect. Previous work has shown this leads to a power law distribution of the Kondo temperature at the Anderson transition and that this power law has a universal exponent that is related to the multifractal spectrum of the wavefunction amplitude distribution. This exponent should be experimentally measurable in a corresponding power law for the temperature dependence of the magnetic susceptibility at the Anderson transition. This year saw the completion and publication of the results of large-scale numerical simulations performed in collaboration with Stefan Kettmann at Jacobs University, Bremen and Tomi Ohtsuki at Sophia University, Tokyo. The simulations were performed on the supercomputer system of the ISSP at the University of Tokyo. The results were published as an invited contribution to a topical issue on "Recent advances in the theory of disordered systems" in the European Physical Journal B. The simulations confirmed that the theoretical prediction is robust against the approximations made in the analytical derivation of the power law in previous work. Special care was needed with the simulations for two reasons. First very large systems needed to be simulated to reach the universal regime in which the prediction of the universal



power law holds. Second, the power law arises from the low temperature tail of the Kondo temperature distribution and care had to be taken when analysing the statistics of rare events.

### 学術雑誌に出版された論文

#### **Hidden kagome-lattice picture and origin of high conductivity in delafossite PtCoO<sub>2</sub>**

H. Usui<sup>s</sup>, M. Ochi<sup>s</sup>, D. Ogura<sup>d</sup>, K. Kuroki<sup>s</sup>, *et al.*

Phys. Rev. Mater. **3** (No. 4, Apr.) (2019) 045002 1–8

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevMaterials.3.045002>).

#### **Effective interaction for vanadium oxyhydrides Sr<sub>n+1</sub>V<sub>n</sub>O<sub>2n+1</sub>H<sub>n</sub> ( $n = 1$ and $n \rightarrow \infty$ ): A constrained-RPA study**

M. Ochi<sup>s</sup> and K. Kuroki<sup>s</sup>

Phys. Rev. B **99** (No. 15, Apr.) (2019) 155143 1–19

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.99.155143>).

#### **Large Enhancement of Thermoelectric Efficiency Due to a Pressure-Induced Lifshitz Transition in SnSe**

T. Nishimura, H. Mori<sup>d</sup>, H. Usui<sup>s</sup>, M. Ochi<sup>s</sup>, K. Kuroki<sup>s</sup>, *et al.*

Phys. Rev. Lett. **122** (No. 22, June) (2019) 226601 1–6

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevLett.122.226601>).

#### **Theoretical study of fluorine doping in layered LaOBiS<sub>2</sub>-type compounds**

N. Hirayama<sup>s</sup>, M. Ochi<sup>s</sup>, and K. Kuroki<sup>s</sup>

Phys. Rev. B **100** (No. 15, Sept.) (2019) 105201 1–8

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.100.125201>).

#### **Comparative First-Principles Study of Antiperovskite Oxides and Nitrides as Thermoelectric Material: Multiple Dirac Cones, Low-Dimensional Band Dispersion, and High Valley Degeneracy**

M. Ochi<sup>s</sup> and K. Kuroki<sup>s</sup>

Phys. Rev. Appl. **12** (No. 3, Sept.) (2019) 034009 1–15

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevApplied.12.034009>).

#### **Pressure-induced superconductivity in the layered pnictogen diselenide**

**NdO<sub>0.8</sub>F<sub>0.2</sub>Sb<sub>1-x</sub>Bi<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> ( $x = 0.3$  and  $0.7$ )**

R. Matsumoto, H. Usui<sup>s</sup>, K. Kuroki<sup>s</sup>, *et al.*

Phys. Rev. B **100** (No. 9, Sep.) (2019) 094528 1–10

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.100.094528>).

**Hidden robust presence of a hole Fermi surface in a heavily electron doped iron based superconductor  $\text{LaFe}_2\text{As}_2$**

H. Usui<sup>s</sup> and K. Kuroki<sup>s</sup>

Phys. Rev. Res. **1** (No. 3, Oct.) (2019) 033025 1–7

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevResearch.1.033025>).

**Multifractality and the distribution of the Kondo temperature at the Anderson transition**

K. Slevin<sup>s</sup>, S. Kettemann, T. Ohtsuki

The European Physical Journal B **92** (No. 12, Dec.) (2019) 281 1–8

(<http://dx.doi.org/doi:10.1140/epjb/e2019-100478-1>).

**First-principles study of  $\text{LaOPbBiS}_3$  and its analogous compounds as thermoelectric materials**

K. Kurematsu<sup>m</sup>, M. Ochi<sup>s</sup>, H. Usui<sup>s</sup>, and K. Kuroki<sup>s</sup>

J. Phys. Soc. Jpn. **89** (No. 1, Jan.) (2020) 024702 1–10

(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSJ.89.024702>).

**Bulk quantum Hall effect of spin valley coupled Dirac fermions in the polar antiferromagnet  $\text{BaMnSb}_2$**

H. Sakai, M. Ochi<sup>s</sup>, K. Kuroki<sup>s</sup>, *et al.*

Phys. Rev. B **101** (No. 8, Feb.) (2020) 081104(R) 1–7

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.101.081104>).

**Strongly enhanced superconductivity due to finite energy spin fluctuations induced by an incipient band : a FLEX study on the bilayer Hubbard model with vertical and diagonal interlayer hoppings**

K. Matsumoto<sup>m</sup>, D. Ogura<sup>d</sup>, and K. Kuroki<sup>s</sup>

J. Phys. Soc. Jpn. **89** (No. 3, Mar.) (2020) 044709 1–10

(<http://dx.doi.org/doi:10.7566/JPSJ.89.044709>).

**国際会議報告等**

**国際会議における講演等**

**Distribution of the Kondo temperature at the Anderson transition**

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

Random Geometries and Multifractality in Condensed Matter and Statistical Mechanics

(at International Institute of Physics, Natal, Brazil, Jun. 20 – Aug.2, 2019, 参加者数約 70 名)

**Effective Coulomb interaction in strontium oxyhydrides evaluated by the constrained random-phase approximation**

M. Ochi<sup>s\*</sup> (invited)

5th Japan-Korea Joint Symposium on Hydrogen in Materials (at Tokyo, Japan, Nov. 6–8, 2019, 参加者数約 100 名)

**Possibility of unconventional high  $T_c$  superconductivity originating from coexisting wide and incipient narrow bands**

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

Materials Research Meeting 2019 (at Yokohama, Japan, Dec. 10–14, 2019, 参加者約 2,000 名)

**Multifractality and the distribution of the Kondo temperature at the Anderson transition**

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

Spectra of Random Operators and Related Topics (at Gakushuin University, Tokyo, Japan, Jan. 13–15, 2020, 参加者数約 20 名)

**Transcorrelated method: solid-state calculation based on the Jastrow-Slater ansatz**

M. Ochi<sup>s\*</sup> (invited)

The 100th CSJ (Chemical Society of Japan) Annual Meeting (at Chiba, Japan, Mar. 22–25, 2020, 参加者数約 10,000 名)

**First-principles study on the Thermoelectric performance of  $\text{LaO}(\text{PbS})\text{BiS}_2$  and its analogous compounds (poster)**

K. Kurematsu<sup>m\*</sup>, M. Ochi<sup>s</sup>, H. Usui<sup>s</sup>, and K. Kuroki<sup>s</sup>

The 38th International Conference on Thermoelectrics (at Gyeongju, Korea, June 30–July 4, 2019, 参加者約 500 名)

**First-principles study on the transport properties of  $\text{TiS}_2$  (poster)**

H. Mori<sup>d\*</sup>, M. Ochi<sup>s</sup>, and K. Kuroki<sup>s</sup>

The 38th International Conference on Thermoelectrics (at Gyeongju, Korea, June 30–July 4, 2019, 参加者約 500 名)

**Strongly competing interaction as a possible driving force of valley and spin polarization in magic-angle twisted bilayer graphene (poster)**

M. Ochi<sup>s\*</sup>, M. Koshino, and K. Kuroki<sup>s</sup>

International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (SCES '19) (at Okayama, Japan, Sept. 23–28, 2019, 参加者約 1,000 名)

**Theoretical study of the possible lattice deformation effect on the superconductivity in two-leg ladder-type cuprates (poster)**

H. Sakamoto<sup>m\*</sup> and K. Kuroki<sup>s</sup>

International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (SCES '19) (at Okayama, Japan, Sept. 23–28, 2019, 参加者約 1,000 名)

**Temperature Dependent Scattering Mechanism of ZrS<sub>2</sub> from First-principles Calculation (poster)**

H. Mori<sup>d\*</sup>, M. Ochi<sup>s</sup>, and K. Kuroki<sup>s</sup>

The 22nd Asian Workshop on First-Principles Electronic Structure Calculations (ASIAN-22) (at Osaka, Japan, Oct. 28-30, 2019, 参加者約 200 名)

**Electronic Transport Properties of ZrS<sub>2</sub> with the Temperature Dependent Relaxation Time (poster)**

H. Mori<sup>d\*</sup>, M. Ochi<sup>s</sup>, and K. Kuroki<sup>s</sup>

The International Symposium for Nano Science (ISNS) (at Osaka, Japan, Nov. 27-28, 2019, 参加者約 100 名)

**Many-variable variational Monte-Carlo studies of superconductivity in the bilayer Hubbard model (poster)**

D. Kato<sup>d\*</sup> and K. Kuroki<sup>s</sup>

The International Symposium for Nano Science (ISNS) (at Osaka, Japan, Nov. 27-28, 2019, 参加者約 100 名)

**Many-variable variational Monte-Carlo studies of superconductivity with incipient bands in two-band Hubbard models (poster)**

D. Kato<sup>d\*</sup> and K. Kuroki<sup>s</sup>

The 32nd International Symposium on Superconductivity (ISS2019) (at Kyoto, Japan, Dec. 3–5, 2019, 参加者数約 400 名)

**Model Construction and Fluctuation Exchange Study of a New Cuprate Superconductor Ba<sub>2</sub>CuO<sub>3+delta</sub> (poster)**

K. Yamazaki<sup>m\*</sup>, M. Ochi<sup>s</sup>, K. Kuroki<sup>s</sup>, H. Eisaki, S. Shinichi, and H. Aoki

The 32nd International Symposium on Superconductivity (ISS2019) (at Kyoto, Japan, Dec. 3–5, 2019, 参加者約 400 名)

**Electron-phonon scattering mechanism on the transport properties of ZrS<sub>2</sub> from first-principles (poster)**H. Mori<sup>d\*</sup>, M. Ochi<sup>s</sup>, and K. Kuroki<sup>s</sup>

The 5th Workshop on ab initio phonon calculations (at Kraków, Poland, Dec. 3-6, 2019, 参加者約 60 名)

**Effective interaction for vanadium oxyhydrides Sr<sub>n+1</sub>V<sub>n</sub>O<sub>2n+1</sub>H<sub>n</sub> (n = 1 and ∞): A constrained-RPA study (poster)**M. Ochi<sup>s\*</sup> and K. Kuroki<sup>s</sup>

Materials Research Meeting 2019 (at Yokohama, Japan, Dec. 10-14, 2019, 参加者約 2,000 名)

**Theoretical study of the uniaxial compression and tension effects on the superconductivity in two-leg ladder-type cuprates (poster)**H. Sakamoto<sup>m\*</sup> and K. Kuroki<sup>s</sup>

Materials Research Meeting 2019 (at Yokohama, Japan, Dec. 10-14, 2019, 参加者約 2,000 名)

**First-principles Study on the Thermoelectric Performance of LaO(PbS)BiS<sub>2</sub> and Its Possible Enhancement in Analogous Compounds (poster)**K. Kurematsu<sup>m\*</sup>, M. Ochi<sup>s</sup>, H. Usui<sup>s</sup>, and K. Kuroki<sup>s</sup>

Materials Research Meeting 2019 (at Yokohama, Japan, Dec. 10-14, 2019, 参加者約 2,000 名)

**Electron-phonon Scattering Effect on the Transport Properties of TiS<sub>2</sub>: A First-principles Study (poster)**H. Mori<sup>d\*</sup>, M. Ochi<sup>s</sup>, and K. Kuroki<sup>s</sup>

Materials Research Meeting 2019 (at Yokohama, Japan, Dec. 10-14, 2019, 参加者約 2,000 名)

**Effective Coulomb interaction in strontium vanadium oxyhydrides evaluated by the constrained random-phase approximation (poster)**M. Ochi<sup>s\*</sup> and K. Kuroki<sup>s</sup>

1st International Symposium "Hydrogenomics" combined with 14th International Symposium Hydrogen &amp; Energy (at Sapporo, Japan, Jan. 7, 2020, 参加者約 100 名)

**日本物理学会, 応用物理学会等における講演****CuCh<sub>4</sub> (Ch = S, Se) 四面体を有する熱電物質における擬一次元的電子状態の第一原理的解析**越智正之<sup>s\*</sup>, 森仁志<sup>d</sup>, 加藤大智<sup>d</sup>, 白井秀知, 黒木和彦<sup>s</sup>

第16回日本熱電学会学術講演会 (於 名古屋工業大学御器所町キャンパス、2019年9月2日 - 9月4日)

**多変数変分モンテカルロ法を用いた二層ハバード模型における超伝導の研究**加藤大智<sup>d\*</sup>, 黒木和彦<sup>s</sup>

京都大学基礎物理学研究所研究会 “電子相関が生み出す超伝導現象の未解決問題と新しい潮流” (於 京都大学基礎物理学研究所、2019年10月28 - 30日)

**BiS<sub>2</sub> 系層状化合物におけるバンド形状最適化の試み**越智正之<sup>s\*</sup>

熱電変換材料の科学と工学の新展開 (於 東京理科大学森戸記念館、2019年12月25日)

**酸水素化物の新しい電子状態 –理論計算の立場から–**越智正之<sup>s\*</sup>

文部科学省科学研究費助成事業「新学術領域研究」平成28–平成32年度「複合アニオン化合物の創製と新機能」第4回公開シンポジウム (於 つくばグランドホテル、2020年1月15日)

**バナジウム酸水素化物の電子状態**越智正之<sup>s\*</sup>

第九回「凝縮系理論の最前線」(於 イマジンホテル&amp;リゾート函館、2020年2月6日 - 2月8日)

**複合アニオンに起因した多軌道性と低次元性からうまれる強相関電子物性の研究 (ポスター)**越智正之<sup>s\*</sup>

JHPCN: 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第11回シンポジウム (於 The Grand Hall、2019年7月11日 - 7月12日)

**第一原理計算を用いた機能性物質の理論探索 (ポスター)**越智正之<sup>s\*</sup>

第4回大阪大学豊中地区研究交流会 (於 大阪大学豊中キャンパス、2019年12月7日)

**熱電物質としてのBiS<sub>2</sub>化合物: バンド構造最適化への理論提案**越智正之<sup>s\*</sup>

日本物理学会2019年秋季大会 (於 岐阜大学、2019年9月10日 - 9月13日)

**一軸性格子変形下における二本鎖梯子型銅酸化物の超伝導に関する理論研究**

坂本ひかる  $m^*$ , 黒木和彦  $s$

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学、2019 年 9 月 10 日 – 9 月 13 日)

**多変数変分モンテカルロ法を用いたニバンド・ハバード模型における超伝導機構の研究 (ポスター)**

加藤大智  $d^*$ , 黒木和彦  $s$

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学、2019 年 9 月 10 日 – 9 月 13 日)

**第一原理計算に基づく複合アニオン化合物の物質機能の探索**

越智正之  $s^*$

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

**新型銅酸化物  $Ba_2CuO_{3+\delta}$  の多軌道 Lieb 格子模型に基づく超伝導機構の解析**

山崎公裕  $m^*$ , 越智正之  $s$ , 小倉大典  $d$ , 黒木和彦  $s$ , 永崎洋, 内田慎一, 青木秀夫

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

**2 層 Ruddlesden-Popper 型酸水素化物における非従来型超伝導の発現可能性に関する理論的探究**

北峯尚也  $m^*$ , 越智正之  $s$ , 黒木和彦  $s$

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

**第一原理バンド計算による層状ジントル相化合物の熱電効果の解析**

白井秀知  $s^*$ , 黒木和彦  $s$

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

**書籍等の出版, 日本語の解説記事**

Springer Theses, “Theoretical Study of Electron Correlation Driven Superconductivity in Systems with Coexisting Wide and Narrow Bands”

D. Ogura<sup>d</sup>

Springer, Singapore (2019 年 12 月発行)

次世代熱電変換材料・モジュールの開発 -熱電発電の黎明- 3.1 節 ”隠れた擬一次元性による電力因子の増強：新規カルコゲナイド物質の視点から”

黒木和彦  $s$

シーエムシー出版 (2020 年 3 月発行)

### 1.13 越野グループ

#### 令和元年度の研究活動概要

#### ねじれ2層グラフェンにおけるモアレ・フォノン

グラフェン2層が回転して重なった「ねじれ2層グラフェン (twisted bilayer graphene)」は、2018年超伝導の発見以来大きな注目を集めている。これまでモアレ干渉模様における電子状態の変調が詳しく研究されてきたが、フォノンに対する影響は議論されてこなかった。ここでは、ねじれ2層グラフェンのフォノン状態を有効モデルによって初めて理論的に計算した。モアレ効果により、グラフェンの音響フォノンバンドはモアレフォノンバンドに再構成される。その固有振動モードはモアレ模様を「原子」とする、有効的な結晶の格子振動として理解されることを明らかにした。韓国高等科学院 (KIAS) の Young-Woo Son との共同研究 [Phys. Rev. B 100, 075416 (2019)]。

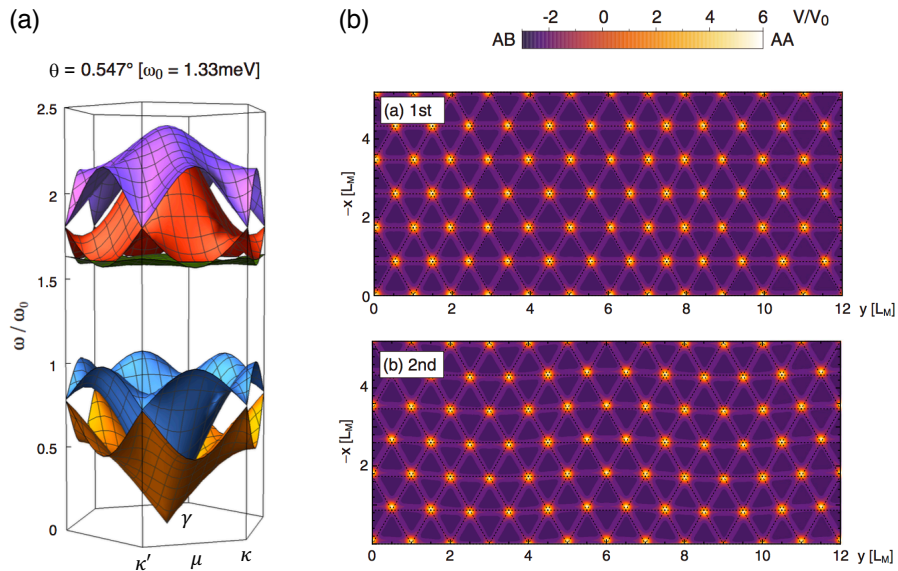


図 1.25: (a) ツイスト2層グラフェンにおけるモアレフォノンのエネルギー分散。(b) 下から2番目までのバンドに対応する振動の様子。

#### ねじれダブル2層グラフェンの電子状態

ねじれダブル2層グラフェン (twisted double bilayer graphene) とは、AB積層した2層グラフェン2組をモアレ積層した、計4層の系のことである。この系は2019の初頭に実験で実現され、垂直電場によるバンド変調により超伝導が実現している。この研究では、ねじれダブル2層グラフェンのバンド構造とそのトポロジカルな特性について理論的に調べた。



ねじれ2層グラフェン（単層+単層）とは異なり、ねじれダブル2層グラフェンは非自明な Chern 数を持つバレーホール絶縁体であることが示された。またこの系には180回転の自由度により AB-AB 積層と AB-BA 積層という2種が存在し、そのバンド構造は互いに酷似するも、全く異なるトポジカル数を持つ双子であることを明らかにした。この研究は、ねじれダブル2層グラフェンの理論として最初の一群の論文の一つである [Phys. Rev. B, 99, 235406 (2019)]。

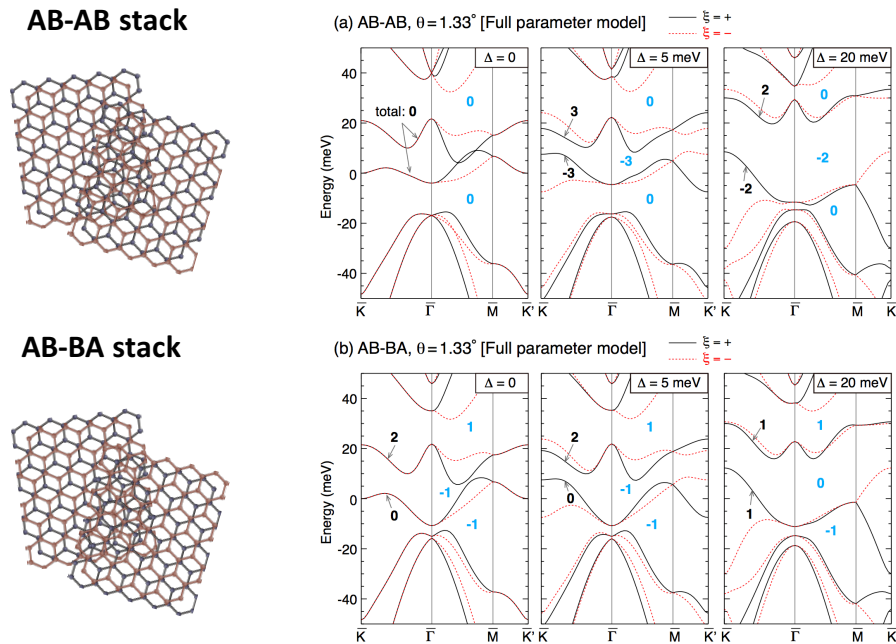


図 1.26: AB-AB 積層と AB-BA 積層のねじれダブル2層グラフェンの模式図とそのバンド構造。 $\Delta$  は垂直電場による上下層のポテンシャル差。

### 30度回転積層グラフェンの擬バンド構造の理論

グラフェン2枚が互いに30度で重なった2層系は、12回回転対称性を持つ準結晶としての性質を持つことが知られる。この30度回転積層グラフェンは最近実験で実現されており、その詳しい物性に注目が集まっている。理論的には、系に周期がないために通常バンド理論で記述することができない困難な系である。この研究では、このような準周期積層系での電子構造を記述するための理論手法を考案し、それを用いて30度積層グラフェンにおける電子構造を解析した。準周期系にもかかわらず、擬似的な Bloch 波数で固有状態をラベルすることができることを示した(下図)。12個の円錐が交わる特別なエネルギーで共鳴状態を生じ、それらの状態は12回回転に対する角運動量(周期系にはありえない)によってラベルされることが明らかになった。この「擬バンド理論」理論を用いることで、電気伝導、光

吸収を始めとする様々な物性が記述できると期待される。周期系を前提とした固体物理の基礎概念が、準周期系でどのように変わるかは興味深い問題である。P. Moon(ニューヨーク大学上海)、Y. W. Son (韓国高等科学院) との共同研究 [Phys. Rev. B 99, 165430 (2019)]。

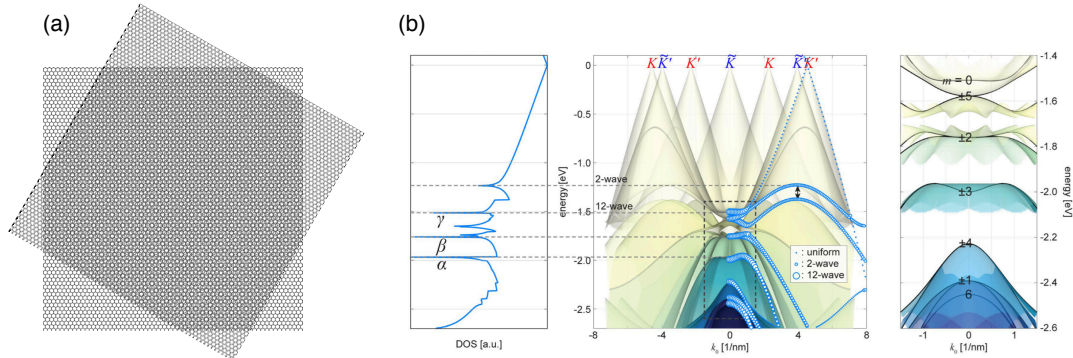


図 1.27: (a) 30層積層2層グラフェンと (b) その擬バンド構造。

### 学術雑誌に出版された論文

#### Perfect one-dimensional chiral states in biased twisted bilayer graphene

Bonnie Tsim, Nguyen N. T. Nam, Mikito Koshino<sup>s</sup>

Phys. Rev. B **101**, 125409 (2020)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.101.125409>).

#### Observation of Drastic Electronic-Structure Change in a One-Dimensional Moiré Superlattice

Sihan Zhao, Pilkyung Moon, Yuhei Miyauchi, Taishi Nishihara, Kazunari Matsuda, Mikito Koshino<sup>s</sup>, and Ryo Kitaura

Phys. Rev. Lett. **124**, 106101 (2020)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevLett.124.106101>).

#### Topological charge pumping by a sliding moiré pattern

Manato Fujimoto<sup>m</sup>, Henri Koschke<sup>m</sup> and Mikito Koshino<sup>s</sup>

Phys. Rev. B **101**, 041112(R) (2020)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.101.041112>).

#### Films of rhombohedral graphite as two-dimensional topological semimetals

Sergey Slizovskiy, Edward McCann, Mikito Koshino<sup>s</sup> and Vladimir I. Fal'ko

Commun. Phys. **2**, (Dec.) 164 (2019)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1038/s42005-019-0268-8>).

#### **Moiré phonons in twisted bilayer graphene**

Mikito Koshino<sup>s</sup>, Young-Woo Son

Phys. Rev. B **100**, 075416 (2019)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.100.075416>).

#### **Diamagnetic levitation and thermal gradient driven motion of graphite**

Manato Fujimoto<sup>m</sup> and Mikito Koshino<sup>s</sup>

Phys. Rev. B **100**, 045405 (2019)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.100.045405>).

#### **Band structure and topological properties of twisted double bilayer graphene**

Mikito Koshino<sup>s</sup>

Phys. Rev. B **99**, 235406 (2019)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.99.235406>).

#### **Quasicrystalline electronic states in 30° rotated twisted bilayer graphene**

Pilkyung Moon, Mikito Koshino<sup>s</sup> and Young-Woo Son

Phys. Rev. B **99**, 165430 (2019)

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.99.165430>).

#### **Topological crystalline superconductivity in Dirac semimetal phase of iron-based superconductors**

Takuto Kawakami<sup>s</sup> and Masatoshi Sato

Phys. Rev. B **100** (No. 9, September) (2019) 094520 1-9

(<http://dx.doi.org/doi:10.1103/PhysRevB.100.094520>).

### **国際会議における講演等**

#### **Moiré phonons in the twisted bilayer graphene**

Mikito Koshino<sup>s\*</sup> (invited)

Materials Research Meeting 2019 (Yokohama, Japan, December 10-14, 2019, 参加者数約 1000 名)

#### **Physics of twisted 2D materials**

Mikito Koshino<sup>s\*</sup> (invited)

The 4th Graphene Flagship EU-Japan Workshop on Graphene and related 2D materials (Pisa, Italy, November 18-20, 2019, 参加者数約 50 名)

**Physics of twisted 2D materials**Mikito Koshino<sup>s\*</sup> (invited)

76th CEMS Colloquium, RIKEN (Wako, Japan, October 20, 2019, 参加者数約 60 名)

**Lattice relaxation and moiré phonons in the twisted bilayer graphene**Mikito Koshino<sup>s\*</sup> (invited)

Recent Progress in Graphene and 2D Materials Research 2019 (Matsue, Japan, October 6-10, 2019, 参加者数約 300 名)

**Physics of twisted 2D materials**Mikito Koshino<sup>s\*</sup> (invited)

International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (SCES 2019), (Okayama, Japan, September 24-28, 2019), 参加者数約 1000 名

**Physics of twisted bilayer graphenes and van-der Waals superlattices**Mikito Koshino<sup>s\*</sup> (invited)

IBS Center for Correlated Electron Systems Regular Seminar (Seoul National University, July 19, 2019, 参加者数約 40 名)

**Electronics properties in twisted 2D materials**Mikito Koshino<sup>s\*</sup> (invited)

3rd International Workshop on 2D material (Sogang, Korea, July 1-2, 2019, 参加者数約 100 名)

**Electronics properties in twisted 2D materials**Mikito Koshino<sup>s\*</sup> (invited)

The 5th Conference on Condensed Matter Physics, (Liyang, China, June 27-30, 2019, 参加者数約 1000 名)

**Electronic theory of twisted bilayer graphene**Mikito Koshino<sup>s\*</sup> (invited)

Korean Physical Society Spring Meeting 2019, (Daejeon Korea, April 24-26, 2019, 参加者数約 1000 名)

**One dimensional topological pump induced by dynamics of moiré pattern**Manato Fujimoto<sup>m\*</sup>, Henri Koschke<sup>m</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

Recent Progress in Graphene and 2D Materials Research 2019 (Matsue, Japan, October 6-10, 2019, 参加者数約 300 名)

**Bulk edge correspondence of monolayer black phosphorene**Masaru Hitomi<sup>m\*</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

Materials Research Meeting 2019 (Yokohama, Japan, December 10-14, 2019, 参加者数約 1000 名)

**Topological superconductivity of Dirac semimetal in Fe(Se,Te) (poster)**Takuto Kawakami<sup>s\*</sup> and M. Sato

Oxide Superspin Workshop 2019. (at Seoul, Korea, June 24-28, 2019, 参加者約 100 名)

**Electric properties of hBN-graphene h-BN trilayer system (poster)**Hiroki Oka<sup>m\*</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

3rd International Workshop on 2D material (Sogang, Korea, July 1-2, 2019, 参加者数約 100 名)

**Diamagnetic levitation and thermal gradient driven motion of graphite (poster)**Manato Fujimoto<sup>m\*</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

3rd International Workshop on 2D material (Sogang, Korea, July 1-2, 2019, 参加者数約 100 名)

**Topological edge states of monolayer black phosphorene (poster)**Masaru Hitomi<sup>m\*</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

3rd International Workshop on 2D material (Sogang, Korea, July 1-2, 2019, 参加者数約 100 名)

**Band structure of hBN-graphene-hBN trilayer systems (poster)**Hiroki Oka<sup>m\*</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

Recent Progress in Graphene and 2D Materials Research 2019 (Matsue, Japan, October 6-10, 2019, 参加者数約 300 名)

**Bulk edge correspondence of monolayer black phosphorene (poster)**Masaru Hitomi<sup>m\*</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

Recent Progress in Graphene and 2D Materials Research 2019 (Matsue, Japan, October 6-10, 2019, 参加者数約 300 名)

**Electric properties of hBN-graphene h-BN trilayer system (poster)**Hiroki Oka<sup>m\*</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

The International Symposium for Nano Scientists (Osaka, Japan, November 27-28, 2019, 参加者数約 100 名)

**Topological charge pumping by sliding moiré pattern (poster)**

Manato Fujimoto<sup>m\*</sup>, Henri Koschke<sup>m</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

The International Symposium for Nano Scientists (Osaka, Japan, November 27-28, 2019, 参加者数約 100 名)

**Topological stability of polka-dot phase in superfluid  $^3\text{He}$  between parallel plates (poster)**

Takuto Kawakami<sup>s\*</sup> and T. Mizushima

International Conference on Topological Materials Science 2019. (at Kyoto, Japan, Dec. 3-7, 2019, 参加者約 180 名)

**Electronic properties in hBN-graphene-hBN trilayer systems (poster)**

Hiroki Oka<sup>m\*</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

Materials Research Meeting 2019 (Yokohama, Japan, December 10-14, 2019, 参加者数約 1000 名)

**Topological Pump Induced by Dynamics of moiré Pattern (poster)**

Manato Fujimoto<sup>m\*</sup>, Henri Koschke<sup>m</sup>, Mikito Koshino<sup>s</sup>

Materials Research Meeting 2019 (Yokohama, Japan, December 10-14, 2019, 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**

**ツイスト積層 2次元物質の電子・フォノン物性 (シンポジウム講演)**

越野幹人<sup>s\*</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学, 2019 年 9 月 10 日 - 9 月 13 日)

**平行平板間の超流動  $^3\text{He}$  における 2次元空間変調**

川上 拓人<sup>s\*</sup>, 水島健

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学, 2019 年 9 月 10 日 - 9 月 13 日)

**hBN-グラフェン-hBN 三層系の電子構造**

岡 裕樹<sup>m\*</sup>, 越野幹人<sup>s</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学, 2019 年 9 月 10 日 - 9 月 13 日)

**グラファイトの磁気浮上と温度勾配による運動**

藤本 大仁<sup>m\*</sup>, 越野幹人<sup>s</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学, 2019 年 9 月 10 日 - 9 月 13 日)

**単層黒リンのトポロジカルエッジ状態**

人見 将<sup>m\*</sup>, 越野幹人<sup>s</sup>

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学、2019 年 9 月 10 日 – 9 月 13 日)

**ツイスト二層グラフェンにおけるモアレスライドとトポロジカル電荷ポンプ**

藤本 大仁<sup>m\*</sup>, Henri Koschke<sup>m</sup>, 越野幹人<sup>s</sup>

日本物理学会 第 75 回年次大会 (2020 年) (於 名古屋大学、2020 年 3 月 16 日 – 3 月 19 日)

**MR 流体の数値シミュレーション**

人見 将<sup>m\*</sup>, 大槻 道夫

日本物理学会 2019 年秋季大会 (於 岐阜大学、2019 年 9 月 10 日 – 9 月 13 日)

**書籍等の出版, 日本語の解説記事**

**モアレ物質の世界**

越野幹人<sup>s</sup>

現代化学 587, 34-39 (Feb. 2020).

## 第2章 受賞と知的財産

令和元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：越野幹人（教授）  
賞の名称：久保亮五記念賞  
受賞内容：2次元物質の先駆的理論研究及び新奇物性の開拓
2. 受賞者：越野幹人（教授）  
賞の名称：日本学術振興会賞  
受賞内容：グラフェンの積層系に関する先駆的理論研究及び新奇物性の開拓
3. 受賞者：小林 研介（教授）  
賞の名称：第37回（2019年度）大阪科学賞（大阪府、大阪市及び一般財団法人 大阪科学技術センター）  
受賞内容：固体素子におけるゆらぎと非平衡機能に関する実験的研究
4. 受賞者：酒井英明（准教授）  
賞の名称：第一回強磁場フォーラムフロンティア奨励賞  
受賞内容：強磁場を用いたディラック電子系磁性体の強相関量子輸送現象の解明
5. 受賞者：新見 康洋（准教授）  
賞の名称：第23回（令和元年度）丸文学術賞（一般財団法人 丸文財団）  
受賞内容：微小伝導体内の電子の量子コヒーレンスとスピン輸送の研究
6. 受賞者：越智正之（助教）  
賞の名称：大阪大学賞 若手教員部門  
受賞内容：拡張された低次元電子状態から創発する固体の新奇物性機能の研究



7. 受賞者：赤松幸尚（助教）  
賞の名称：2019 八木アワード  
受賞内容：Quark Matter 2019 におけるプレナリー講演（日本人若手研究者に授与される）
  
8. 受賞者：平井隼人（博士課程 3 年）  
賞の名称：素粒子メダル奨励賞  
受賞内容：杉下宗太郎氏との共同論文 (JHEP 1807 (2018) 122) に対して。
  
9. 受賞者：佐藤和樹（博士課程 3 年）  
賞の名称：日本物理学会学生優秀発表賞  
受賞内容：日本物理学会で優れた発表を行った。
  
10. 受賞者：小林浩之（博士課程 1 年）  
賞の名称：Best Poster Award  
受賞内容：8th Asia-Oceania Mass Spectrometry Conference において優れたポスター発表を行った。
  
11. 受賞者：川井直樹（博士課程 1 年）  
賞の名称：日本物理学会学生優秀発表賞  
受賞内容：日本物理学会で優れた発表を行った。
  
12. 受賞者：飯村俊（博士課程 1 年）  
賞の名称：Best Poster Award  
受賞内容：2019 年 12 月 5-6 日に理化学研究所で開催された「The ALL-RIKEN Workshop 2019」において、優れたポスター発表を行った。
  
13. 受賞者：大杉真優（修士課程 2 年）  
賞の名称：HUA 修士論文賞  
受賞内容：優れた修士論文を書き、J-PARC ハドロンユーザー会の賞を得た。
  
14. 受賞者：徳田将志（修士課程 2 年）  
賞の名称：令和元年度下期海外論文発表奨励賞（一般社団法人生産技術振興協会）  
受賞内容：2019 年 11 月にラスベガスで開かれた国際会議 Magnetism and Magnetic Materials に口頭発表で参加するにあたり、発表内容が評価されたため。

15. 受賞者：近藤雅起（修士課程1年）  
賞の名称：物性研短期研究会 優秀ポスター賞  
受賞内容：物性研短期研究会「強磁場コラボラトリーによる強磁場科学の新展開」において、優れたポスター発表を行った。
  
16. 受賞者：白石諒太（修士課程1年）  
賞の名称：CERN Summer Student Programme 2019  
受賞内容：ヨーロッパの研究所での夏の学校に日本代表の一人として選ばれ、資金を得て参加した。
  
17. 受賞者：玉置弦（学部4年）  
賞の名称：R1 年度大阪大学理学部日本 EGF 協会奨励賞  
受賞内容：理数オーナープログラムを特に優秀な成績で修了した
  
18. 受賞者：渡辺涼太（学部4年）  
賞の名称：R1 年度大阪大学理学部日本 EGF 協会奨励賞  
受賞内容：オーナープログラムで優秀な研究を行なった。
  
19. 受賞者：木村裕太（学部4年）  
賞の名称：物理学会優秀若手発表賞  
受賞内容：2020年3月の日本物理学会における学部学生ポスターセッションにおける発表に対して受賞

## 知的財産

1. 特許名称：歯周病バイオマーカーおよび歯周病発症の判定方法  
発明者：豊田岐聡，大須賀潤一，村上伸也，野崎剛徳，奥山萌恵  
出願人：国立大学法人大阪大学  
出願番号：特願 2019-86080  
出願日：2019年4月26日

## 第3章 学位論文

### 3.1 修士論文

令和元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
濱野 元太	久野 良孝	シュミレーションによる阪大 RCNP-MuSIC におけるミューオンビーム精度向上の検討
徳永 雄斗	黒木 和彦	第一原理計算と強束縛モデルによる $\text{Na}_x\text{CoO}_2$ ならびに $\text{RZnAsO}$ ( $\text{R}=\text{Y}, \text{La}, \text{Bi}$ ) の熱電性能に関する理論研究
鳥海 篤	越野 幹人	Magnetic oscillation in nodal line semimetal (ノードルライン半金属における磁気振動)
中島 裕喜	木村 真一	異方的金属絶縁体転移を示す RuAs の電子構造
兵藤 友昭	保坂 淳	ポテンシャルフィットパラメータの AI による初期値生成
細川 智也	大野木 哲也	Double Field Theory の数学的構造について
浅野 拓也	小林 研介	多端子グラフェン素子の作製と電流雑音測定系の高効率化
石樽 一貴	千徳 靖彦	界面遷移層による Richtmyer-Meshkov 不安定性の抑制
市場 稜大	橋本 幸士	't Hooft アノマリーを用いたゲージ理論の相構造の解析
井邊 昂志	小林 研介	二元合金スピングラスにおけるスピン輸送特性
老田 侑平	黒木 和彦	Numerical Estimation of the $\beta$ -function of Anderson Localization in 2D Symplectic Universality Class (2次元 symplectic クラスにおける Anderson 局在の $\beta$ 関数の数値的推定)
大杉 真優	山中 卓	J-PARC KOTO 実験の改良型電磁カロリメータの中性子背景事象削減能力
太田 早紀	久野 良孝	COMET 実験 Phase-I における CDC の宇宙線を用いた性能評価試験と位置分解能の評価方法の開発
大畑 祐貴	田島 節子	二軸歪みを用いた FeSe 単結晶のバンド構造制御と輸送現象測定
岡崎 悠輝	菊池 誠	深層ニューラルネットワークのカオス・頑健性
岡 裕樹	越野 幹人	hBN / グラフェン / hBN 三層系の電子構造
岡本 旭史	大岩 顕	磁性半導体 GdN/GaN 超格子構造の結晶成長と Gd/N 供給比を変化させたことによる磁気特性への影響
奥山 萌恵	豊田 岐聡	オンサイト歯周病診断に向けた代謝物分析による歯周病迅速診断法の開発

嘉藤 佳奈	豊田 岐聡	広い粒径範囲に対応した粒子飛行時間型粒径測定装置の開発とエアロミセル生成過程の追跡
金山 諄志	田島 節子	ディラック電子系物質 $\text{NiTe}_2$ の Pd 置換効果の研究
河居 伸哉	豊田 岐聡	プロトン移動反応イオン源と飛行時間型質量分析計を接続する小型インターフェイスの開発
川上 紘輝	大野木 哲也	Boundary CFT から見る Verlinde の公式
川原 遼馬	小林 研介	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
呉松 慶也	黒木 和彦	$\text{LaO}(\text{PbS})\text{BiS}_2$ 及びその類縁化合物の熱電特性の第一原理的研究
薦田 匠	花咲 徳亮	元素置換したスピネル型酸化物 $\text{MgTi}_2\text{O}_4$ におけるスピン液体的挙動
近藤 雅起	花咲 徳亮	極性を持つ多層ディラック磁性体におけるスピン・バレー結合電子状態と新奇輸送現象の解明
坂本 ひかる	黒木 和彦	一軸格子変形による二本鎖梯子型銅酸化物における超電導増強の可能性に関する研究
佐野 慎三郎	田島 節子	$\text{LaFeAs}_{1-x}\text{P}_x\text{O}_{0.9}\text{F}_{0.1}$ における二つの超電導相の $\mu\text{SR}$ による研究
杉本 馨	千徳 靖彦	ペタワットレーザーによる重金属プラズマ形成過程における X 線輻射に関する理論研究
住本 尚之	橋本 幸士	AdS/QCD と深層学習を用いた模型構築
武田 佳次朗	福田 光宏	重陽子入射型 LLFP 核変換中性子源の開発
田中 正法	兼村 晋哉	電弱スファレロンとヒッグスポテンシャルの構造に関する理論的研究
徳田 将志	小林 研介	非従来型超伝導体 Bi/Ni 薄膜におけるスピン輸送および量子干渉効果の測定
徳舛 直樹	木村 真一	Bi/GaSb(110)-(2×1) 表面における Rashba スピン偏極非占有電子状態の観測
中川 賢人	花咲 徳亮	多層ディラック電子系 $\text{EuMnBi}_2$ におけるキャリア密度の広範囲制御とランダウ準位構造の解明
西川 凌	久野 良孝	アクティブターゲットを用いた負ミューオン核反応研究法の検討
西畑 穰	藤岡 慎介	偏極中性子発生に向けたスピン偏極重水素標的の開発
西村 萌	兼村 晋哉	標準理論を超える諸現象を説明する新モデルに関する理論的研究
野村 高史	越野 幹人	Graphyne 系物質の電子状態
原 隆文	福田 光宏	サイクロトロン共鳴を用いた陽子加速器
平吹 優樹	黒木 和彦	多層型酸化物における隠れた梯子型電子状態による超電導の研究
廣本 政之	嶋 達志	中性子干渉性散乱による未知相互作用探索に向けたナノ粒子標的の応答特性の研究

藤本 大仁	越野 幹人	モアレ模様による電荷ポンプとそのトポロジカルな性質の理論的解明
堀 孝之	久野 良孝	DC ミューオンビームによる元素マッピングに向けたドリフトチェンバーの開発
松本 雄太	大岩 顕	Spin-orbit induced spin manipulation enhanced by inter-dot tunneling (ドット間トンネルを利用した高速単一電子スピン操作)
水溜 勝也	田島 節子	光学フォノンスペクトルから見る電子ドープ銅酸化物 $\text{Pr}_{1.3-x}\text{La}_{0.7}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4+\delta}$ の還元アニール効果
水戸 陵人	萩原 政幸	正四角台塔系 $\text{Pb}(\text{TiO})\text{Cu}_4(\text{PO}_4)_4$ における強磁場電子スピン共鳴と共鳴シグナルの偏光依存性
宮元 幸一郎	能町 正治	$^3\text{He}$ ミューオン捕獲実験のための検出器開発と性能評価
宮脇 渉太	橋本 幸士	局所ローレンツ対称性と一般相対性理論の拡張
山家谷 昌平	山中 卓	高輝度 LHC ATLAS シリコンピクセル検出器用読み出し ASIC の閾値調整機構の性能評価
吉川 大幹	嶋 達志	中性子複合核共鳴を用いた時間反転対称性の破れ探索のための解析手法の研究
若林 諒	福田 光順	中性子過剰窒素同位体 $^{17,18,19}\text{N}$ の反応断面積と密度分布

## International Physics Course (IPC) の修了者

学生氏名	指導教員	論文題名
WANG XUAN	青井 考	Studying the high-momentum neutron in nuclei by $^{16}\text{O}(p, d)$ transfer reactions— Search for the effect of tensor interactions
GIORGI KUMSI-ASHVILI	久野 良孝	MUON TARGET OPTIMIZATION FOR COMET PHASE I EXPERIMENT

## 3.2 博士論文

令和元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
李 暁龍	川畑 貴裕	Study of a Large Volume $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ Scintillating Bolometer with Metallic Magnetic Calorimeter (大型 $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ シンチレーション結晶と金属磁気熱量計を用いた熱量蛍光検出器の研究開発)
池田 一毅	橋本 幸士	Quantum Dynamics and Computation with D-Wave Machine (量子ダイナミクスと D-Wave マシンを用いた計算)
梶本 詩織	浅川 正之	In-medium dynamics of quarkonium with colorful stochastic potential (カラー自由度を含む確率ポテンシャルによる媒質中クォークoniumのダイナミクス)
加藤 大智	黒木 和彦	Many-variable variational Monte-Carlo study of unconventional superconductivity in multiband systems (多変数変分モンテカルロ法による多バンド系における非従来型超伝導の研究)
駒田 盛是	花咲 徳亮	Nontrivial Phase Shift of Quantum Oscillation in Weyl Semimetals with Anisotropic Fermi Surface (異方的フェルミ面を持つワイル半金属における量子振動の非自明な位相シフト)
佐藤 和樹	萩原 政幸	Investigation of the Multiple- $q$ Ordered States of Frustrated Magnets under Pulsed High Magnetic Fields (パルス強磁場を用いたフラストレート磁性体における多重 $Q$ 秩序状態の研究)
谷口 祐紀	小林 研介	Electrical detection of magnetic fluctuations in nanoscale frustrated magnetic materials (フラストレートしたナノ磁性体における磁気ゆらぎの電氣的検出)
田原 大夢	萩原 政幸	Study of the Magnetic-Field and Pressure Effects on the Metal-to-Insulator Transition System $\text{BaVS}_3$ (金属-絶縁体転移を示す系 $\text{BaVS}_3$ の磁場-圧力効果の研究)
濱口 基之	小口 多美夫	First-Principles Investigations of Cation-Disordered Rock-Salt Type Oxides for Li-Ion Battery Cathodes (陽イオン不規則岩塩型構造を有するリチウムイオン電池用正極酸化物に対する第一原理的研究)
平井 隼人	兼村 晋哉	Towards Infrared Finite $S$ -matrix in Quantum Field Theory (場の量子論における赤外発散の生じない $S$ 行列の定式化の研究)

松尾 一輝	藤岡 慎介	Experimental studies on thermal transport in magnetized high energy density plasma for fast ignition inertial confinement fusion (レーザー核融合高速点火の為に高エネルギー密度磁化プラズマ中での熱輸送に関する実験的研究)
光元 亨汰	菊池 誠	Glass transition without quenched disorder: Spin-orbital glass transition of a pyrochlore magnet (凍結した乱れない系におけるガラス転移: パイロクロア磁性体におけるスピン軌道ガラス転移)
横井 雅彦	小林 研介	Studies of Electronic Properties in Atomically Thin Superconducting Films Modulated by Surface Acoustic Waves (表面弾性波照射により変調される原子層超伝導薄膜の電気伝導特性の研究)
李 昇浩	藤岡 慎介	Research on the generation of high energy density plasma using X-ray diagnosis (X線診断法を用いた高エネルギー密度プラズマ生成に関する研究)

## International Physics Course (IPC) の学位取得者

学生氏名	主査	論文題名
Ting Sam Wong	久野 良孝	Study of Negative Muon to Positron conversion in the COMET Phase-I experiment (COMET Phase-I 実験における負電荷ミュオン陽電子転換過程探索の研究)
BRIJESH	豊田 岐聡	A Study on Single-cell Analysis by a Stigmatic-type Imaging Mass Spectrometer using Nanoparticle-Assisted Laser Desorption/Ionization Technique (ナノ粒子支援レーザー脱離・イオン化法を用いた投影型イメージング質量分析装置による一細胞分析に関する研究)
Temuge Batpurev	川畑 貴裕	Background Reduction Techniques for Neutrinoless Double Beta Decay Search at CANDLES Experiment (CANDLES 実験でのニュートリノレス二重ベータ崩壊探索のためのバックグラウンド除去方法の開発)
Rajesh Kumar	藤岡 慎介	Ion acceleration by laser-driven collisionless shock in multi-species plasma (複数イオン種プラズマ中のレーザー駆動無衝突衝撃波によるイオン加速)
King Fai Farley Law	藤岡 慎介	Laboratory study on outflow jet formation via semi-relativistic magnetic reconnection with high-intensity laser (高強度レーザーを用いた半相対論的磁気リコネクションによるジェット放出過程の実験的研究)



## 第4章 教育活動

令和元年度も、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。

### 4.1 大学院授業担当一覧

#### Aコース (理論系: 基礎物理学・量子物理学コース)

##### (前期課程)

##### [基礎科目]

授業科目	単位数	担当教員	備考
場の理論序説	2	山口哲	学部との共通科目
原子核理論序説 (開講せず)	2	< 保坂 淳 >	
散乱理論 (開講せず)	2	未定	学部との共通科目
一般相対性理論	2	< 藤田裕 >	

##### [専門科目]

授業科目	単位数	担当教員	備考	
素粒子物理学 I (開講せず)	2	大野木哲也		
素粒子物理学 II (開講せず)	2	兼村晋哉		
場の理論 I	2	橋本幸士		
場の理論 II	2	山口哲		
原子核理論	2	浅川正之・赤松幸尚 北澤正清		
物性理論 I	2	< 浅野建一 >		ナノ教育プログラム
物性理論 II (開講せず)	2	Keith M. Slevin		ナノ教育プログラム, 英語科目
固体電子論 I	2	黒木和彦		ナノ教育プログラム, 英語科目

固体電子論 II (開講せず)	2	< 小口多美夫 >	ナノ教育プログラム
量子多体系の物理 (開講せず)	2	越野幹人	ナノ教育プログラム, 英語科目
計算物理学	2	< 千徳靖彦 >	英語科目

## [トピックス]

授業科目	単位数	担当教員	備考
素粒子物理学特論 I (開講せず)	2	未定	
素粒子物理学特論 II	2	兼村晋哉	
原子核理論特論 I (開講せず)	2	未定	
原子核理論特論 II (開講せず)	2	未定	
物性理論特論 I (開講せず)	2	阿久津泰弘	
物性理論特論 II	2	< 菊池 誠 >	

## [セミナー]

授業科目	単位数	担当教員	備考
素粒子論半期セミナー I	4.5	大野木哲也・田中実・深谷英則	※
場の理論半期セミナー I	4.5	橋本幸士・山口哲・飯塚則裕・菅野優美	※
場の理論半期セミナー II	4.5	兼村晋哉・尾田欣也・柳生慶	※
原子核理論半期セミナー I	4.5	浅川正之・北澤正清・赤松幸尚	※
原子核理論半期セミナー II	4.5	< 保坂淳・緒方一介・石井理修 >	※
多体問題半期セミナー I	4.5	阿久津泰弘・大橋琢磨	※
多体問題半期セミナー II	4.5	< 菊池 誠・吉野 元 >	※
物性理論半期セミナー I	4.5	黒木和彦・Keith M. Slevin・越智正之	※
物性理論半期セミナー II	4.5	< 小口多美夫・白井光雲・山内邦彦・笏田浩義 >	※
物性理論半期セミナー III	4.5	越野幹人・川上拓人	※
物性理論半期セミナー IV	4.5	< 浅野建一 >	※
高エネルギープラズマ物性理論半期セミナー	4.5	< 千徳靖彦・岩田夏弥・佐野孝好 >	※

注) ※は各教員がそれぞれのセミナーを開講する。

## (後期課程)

## [トピック]

授業科目	単位数	担当教員	備考
特別講義 A I 「くりこみ群 - 物性物理から プランクスケール物理まで」	1	< 川合光 > (京都大学・大学院理学研究科)	集中 MC・DC 共通 11月18日-20日
特別講義 A II 「量子熱力学の基礎」	1	< 沙川貴大 > (東京大学・大学院工学系研究科)	集中 MC・DC 共通 1月8日-10日
特別講義 A III 「弱束縛量子多体系における 2粒子相関のダイナミクス」	1	< 萩野浩一 > (東北大学・大学院理学研究科)	集中 MC・DC 共通 12月9日-12日
特別講義 A IV 「相関物質の第一原理計算」	1	< 三宅隆 > (産業総合技術研究所)	集中 MC・DC 共通 10月9日-11日

## [セミナー]

授業科目	単位数	担当教員	備考
場の理論特別セミナー	9	兼村晋哉・尾田欣也・柳生慶	※
場の数理論特別セミナー	9	橋本幸士・山口哲・飯塚則裕・ 菅野優美	※
素粒子論特別セミナー	9	大野木哲也・田中実・深谷英則	※
原子核理論特別セミナー	9	浅川正之・北澤正清・赤松幸尚	※
多体問題特別セミナー	9	保坂 淳・緒方一介・石井理修	※
物性理論特別セミナー I	9	黒木和彦・Keith M. Slevin・越智正之	※
物性理論特別セミナー II	9	< 小口多美夫・白井光雲・ 山内邦彦・笏田浩義 >	※
物性理論特別セミナー III	9	越野幹人・川上拓人	※
物性理論特別セミナー IV	9	< 浅野建一 >	※
統計物理学特別セミナー	9	阿久津泰弘・< 菊池誠・吉野元 >	※
高エネルギープラズマ物性理論 特別セミナー	9	< 千徳靖彦・岩田夏弥・佐野孝好 >	※

注) ※は各教員がそれぞれのセミナーを開講する。

## Bコース (実験系：素粒子・核物理学コース)

## (前期課程)

## [基礎科目]

授業科目	単位数	担当教員	備考
素粒子物理学序論A	2	青木正治	学部との共通科目
素粒子物理学序論B	2	南條創	学部との共通科目
原子核物理学序論	2	小田原厚子	学部との共通科目

## [専門科目]

授業科目	単位数	担当教員	備考
高エネルギー物理学I (開講せず)	2	山中卓	
高エネルギー物理学II	2	久野良孝	
原子核構造学	2	小田原厚子・<民井 淳>	
加速器物理学	2	<福田光宏>	
放射線計測学	2	<青井 考・野海博之>	

## [トピックス]

授業科目	単位数	担当教員	備考
高エネルギー物理学特論I	2	山中卓	
高エネルギー物理学特論II (開講せず)	2	久野良孝	
素粒子・核分光特論 (開講せず)	2	吉田齊	
原子核物理学特論I	2	<與曾井優>	
原子核物理学特論II (開講せず)	2	<青井 考>	
ハドロン多体系物理学特論 (開講せず)	2	<與曾井優>	

## [ セ ミ ナ ー ]

授業科目	単位数	担当教員	備考
高エネルギー物理学半期セミナー I	4.5	山中卓・南條創・廣瀬穰	※
高エネルギー物理学半期セミナー II	4.5	久野良孝・青木正治・佐藤朗	※
クォーク核物理学半期セミナー	4.5	< 中野貴志・野海博之・與曾井優 味村周平・郡英輝・堀田智明・ 白鳥昴太郎 >	※
原子核構造半期セミナー I	4.5	川畑貴裕・小田原厚子・清水俊・ 阪口篤志・吉田 齊・松多健策・ 福田光順・三原基嗣	※
原子核反応半期セミナー	4.5	< 青井考・民井淳・井手口栄治・ 下村浩一郎・鈴木智和・王恵仁・ 小林信之 >	※
核反応計測学半期セミナー	4.5	< 能町正治・嶋 達志・> 高久圭二・菅谷頼仁 >	※
加速器科学半期セミナー	4.5	< 福田光宏・依田哲彦・神田浩樹 >	※
高エネルギー密度物理半期セミナー	4.5	< 藤岡慎介・有川安信・ Alessio Morace >	※

注) ※は各教員がそれぞれのセミナーを開講する。

## (後期課程)

## [トピック]

授業科目	単位数	担当教員	備考
特別講義 B I 「素粒子・原子核物理学のための エレクトロニクス、トリガー、 データ収集システム」	1	< 坂本宏 > (東京大学)	集中 MC・DC 共通 10月16日-18日
特別講義 B II 「ストレンジネス原子核物理学」	1	< 齋藤武彦 > (理化学研究所)	集中 MC・DC 共通 12月23日-25日

## [セミナー]

授業科目	単位数	担当教員	備考
高エネルギー物理学特別セミナー I	9	山中卓・南條創・廣瀬穰	※
高エネルギー物理学特別セミナー II	9	久野良孝・青木正治・佐藤朗	※
原子核構造特別セミナー I	9	川畑貴裕・小田原厚子・清水俊・ 阪口篤志・吉田 齊・松多健策・ 福田光順・三原基嗣	※
核反応計測学特別セミナー	9	< 能町正治・嶋達志・ 高久圭二・菅谷頼仁 >	※
クォーク核物理学特別セミナー	9	< 中野貴志・野海博之・與曾井優 ・味村周平・郡英輝・堀田智明 白鳥昴太郎 >	※
原子核反応特別セミナー	9	< 青井 考・民井 淳・井手口栄治・ 下村浩一郎・鈴木智和・王恵仁・ 小林信之 >	※
加速器科学特別セミナー	9	< 福田光宏・依田哲彦・神田浩樹 >	※
高エネルギー密度物理特別セミナー	9	< 藤岡慎介・有川安信・Alessio Morace >	※

注) ※は各教員がそれぞれのセミナーを開講する。

## Cコース (実験系：物性物理学コース)

## (前期課程)

## [基礎科目]

授業科目	単位数	担当教員	備考
固体物理学概論 1	2	花咲徳亮	学部との共通科目
固体物理学概論 2	2	< 萩原政幸 >	学部との共通科目
固体物理学概論 3	2	宮坂茂樹	学部との共通科目
放射光物理学 (開講せず)	2	未定	ナノ教育プログラム
極限光物理学 (開講せず)	2	< 藤岡慎介 >	学部との共通科目

## [専門科目]

授業科目	単位数	担当教員	備考
光物性物理学	2	田島節子・宮坂茂樹	英語科目
半導体物理学	2	< 大岩顕・長谷川繁彦 >	
超伝導物理学 (開講せず)	2	田島節子・宮坂茂樹	
量子分光学 (開講せず)	2	未定	ナノ教育プログラム
シンクロトロン分光学	2	< 木村真一 >	英語科目
荷電粒子光学概論	2	石原盛男	ナノ教育プログラム
孤立系イオン物理学 (開講せず)	2	< 豊田岐聡 >	ナノ教育プログラム
量子多体制御物理学	2	小林研介・新見康洋	ナノ教育プログラム

## [トピック]

授業科目	単位数	担当教員	備考
強磁場物理学	2	< 萩原政幸・鳴尾康雄 ・ 木田孝則 >	
強相関係物理学 (開講せず)	2	花咲徳亮・酒井英明 ・ 村川寛	
重い電子系の物理 (開講せず)	2	< 杉山清寛 >	
極限物質創成学 (開講せず)	2	未定	ナノ教育プログラム
界面物性物理学	2	松野丈夫	ナノ教育プログラム

## [ セ ミ ナ ー ]

授業科目	単位数	担当教員	備考
メゾスコピック物理半期セミナー	4.5	小林研介・新見康洋	※
質量分析物理半期セミナー	4.5	< 豊田岐聡・兼松康男 >・石原盛男・ < 青木 順 >	※
超伝導半期セミナー	4.5	田島節子・宮坂茂樹・中島正道	※
界面半期セミナー	4.5	松野丈夫・上田浩平	※
半導体半期セミナー	4.5	< 大岩顕・長谷川繁彦・木山治樹・ 藤田高史 >	※
量子物性半期セミナー	4.5	花咲徳亮・酒井英明・村川寛	※
光物性半期セミナー	4.5	< 木村真一・渡辺純二・大坪嘉之・ 渡邊浩 >	※
強磁場物理半期セミナー	4.5	< 萩原政幸・鳴海康雄・木田孝則 >	※

注) ※は各教員がそれぞれのセミナーを開講する。



**(後期課程)**

## [トピック]

授業科目	単位数	担当教員	備考
特別講義 C I 「光電子分光による物性研究」	1	< 近藤猛 > (東京大学・物性研究所)	集中 MC・DC 共通 6月5日-7日
特別講義 C II 「極短パルスレーザーで見る 光と物質の相互作用」	1	< 岩井伸一郎 > (東北大学・大学院理学研究科)	集中 MC・DC 共通 12月16日-18日

## [セミナー]

授業科目	単位数	担当教員	備考
メゾスコピック物理特別セミナー	9	小林研介・新見康洋	※
強磁場物理特別セミナー	9	< 萩原政幸・鳴海康雄・木田孝則 >	※
界面物性特別セミナー	9	松野丈夫・上田浩平	※
半導体特別セミナー	9	< 大岩顕・長谷川繁彦・木山治樹・ 藤田高史 >	※
超伝導特別セミナー	9	田島節子・宮坂茂樹・中島正道	※
質量分析物理特別セミナー	9	< 豊田岐聡・兼松泰男 >・石原盛男・ < 青木 順 >	※
量子物性特別セミナー	9	花咲徳亮・酒井英明・村川寛	※
光物性特別セミナー	9	< 木村真一・渡辺純二・大坪嘉之・ 渡邊浩 >	※

注) ※は各教員がそれぞれのセミナーを開講する。

## 共通授業科目 (A, B, C コース共通)

## (前期課程)

授業科目	単位数	担当教員	備考
加速器科学 (開講せず)	2	未定	
自由電子レーザー学 (開講せず)	2	未定	
レーザー物理学	2	< 重森啓介 >	ナノ教育プログラム
複雑系物理学	2	< 渡辺純二 >	
相転移論 (開講せず)	2	阿久津泰弘	
ニュートリノ物理学 (開講せず)	2	未定	
非線形物理学	2	< 吉野 元 >	
原子核反応論	2	< 緒方一介 >	
数物アドバンスコア1 (開講せず)	2		
数物アドバンスコア2 (開講せず)	2		
Electrodynamics	2	< Luca Baiotti >	英語科目
Quantum Mechanics	2	< Luca Baiotti >	英語科目
Quantum Field Theory I	2	橋本幸士	英語科目
Quantum Field Theory II	2	山口 哲	英語科目
Introduction to Theoretical Nuclear Physics (開講せず)	2	< 保坂 淳 >	英語科目
Quantum Many-body Systems (開講せず)	2	越野幹人	英語科目
Condensed Matter Theory (開講せず)	2	Keith Slevin	英語科目
Solid State Theory	2	黒木和彦	英語科目
High Energy Physics	2	青木正治	英語科目
Nuclear Physics in the Universe	2	嶋達志	英語科目
Optical Properties of Matter	2	田島節子・宮坂茂樹	英語科目
Synchrotron Radiation Spectroscopy	2	< 木村真一 >	英語科目
Computational Physics	2	< 千徳靖彦 >	英語科目

**(後期課程)**

[トピック]

授業科目	単位数	担当教員	備考
Topical Seminar I 「Quantum annealing and its applications to optimization problem and machine learning」	1	<大関真之> (東北大学・ 大学院情報科学研究科)	集中 MC・DC 共通 9月17日-19日
Topical Seminar II 「The structure of exotic nuclei」	1	<Kathrin Wimmer> (東京大学・ 大学院理学系研究科)	集中 MC・DC 共通 5月20日-22日

**(前・後期課程)**

授業科目	単位数	担当教員	備考
科学技術論 A1	1	外部講師	学部との共通科目
科学技術論 A2	1	外部講師	学部との共通科目
研究者倫理特論	0.5	<梶原康宏>	高度博士人材養成プログラム, 集中, 修了要件外
科学論文作成法	0.5	<佐藤尚弘>	高度博士人材養成プログラム, 集中, 修了要件外
研究実践特論 (開講せず)	0.5	<佐藤尚弘>	高度博士人材養成プログラム, 集中, 修了要件外
企業研究者特別講義	0.5	<佐藤尚弘>	高度博士人材養成プログラム, 集中, 修了要件外
実践科学英語	1	<中澤康浩・ 梶原康宏>	高度博士人材養成プログラム, 修了要件外
科学英語基礎	1	<E.M. ヘイル>	学部との共通科目, 修了要件外

## (前・後期課程)

授業科目	単位数	担当教員	備考
先端機器制御学	2	< 兼松泰男・豊田岐聡 >	大学院副プログラム (基礎理学計測学) 集中
分光計測学	2	< 兼松泰男・豊田岐聡 >	大学院副プログラム (基礎理学計測学)
先端的研究法： 質量分析	2	< 豊田岐聡・青木 順・ 寺田健太郎・高尾敏文・ 上田祥久・佐藤貴弥 >	ナノ教育プログラム， 大学院副プログラム (基礎理学計測学)，集中
先端的研究法： X線結晶解析	2	< 今田勝巳・栗栖源嗣・ 中川敦史 > 他	大学院副プログラム (基礎理学計測学)，集中
先端的研究法： NMR	2	< 上垣浩一・林 文晶 > < 村田道雄・梅川雄一 >	大学院副プログラム (基礎理学計測学)，集中
先端的研究法： 低温電子顕微鏡	2	< 今田勝巳 >	大学院副プログラム (基礎理学計測学)，集中
放射線計測応用 1	1	< 青井 考・能町正治 > 他	集中
放射線計測応用 2	1	< 青井 考・能町正治 > 他	集中
放射線計測学概論 1	1	< 能町正治・高久圭二・鈴木智和 >	集中
放射線計測学概論 2	1	< 能町正治 >	集中，英語科目

授業科目	単位数	担当教員	備考
ナノマテリアル・ ナノデバイスデザイン学	1	< 森川良忠 > 他	ナノ教育プログラム 実習, 集中
ナノプロセス・物性・ デバイス学	1	< 藤原康文 > 他	ナノ教育プログラム 実習, 集中
超分子ナノバイオプロセス学	1	< 宮坂 博 > 他	ナノ教育プログラム 実習, 集中
ナノ構造・機能計測解析学	1	< 竹田精治 > 他	ナノ教育プログラム 実習, 集中
ナノフォトニクス学	1	< 宮坂 博 > 他	ナノ教育プログラム 実習, 集中

## (後期課程)

授業科目	単位数	担当教員	備考
学位論文作成演習	0.5	< 佐藤尚弘 >	高度博士人材養成プログラム, 修了要件外
高度理学特別講義	0.5	< 佐藤尚弘 >	高度博士人材養成プログラム, 修了要件外
企業インターンシップ	1	< 佐藤尚弘 >	高度博士人材養成プログラム, 修了要件外
海外短期留学	2	< 佐藤尚弘 >	高度博士人材養成プログラム, 修了要件外
産学リエゾン PAL 教育研究訓練	5	< 伊藤 正 > 他	ナノ教育プログラム, 集中 修了要件外
高度学際萌芽研究訓練	5	< 伊藤 正 > 他	ナノ教育プログラム, 集中 修了要件外

## I PC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	橋本幸士	These credits cannot be used to fulfill the requirements of graduation
Quantum Field Theory II	2	山口 哲	
Electrodynamics	2	<Luca Baiotti>	
Quantum Mechanics	2	<Luca Baiotti>	These credits cannot be used to fulfill the requirements of graduation
Solid State Theory	2	黒木和彦	Biennially
High Energy Physics	2	青木正治	
Nuclear Physics in the Universe	2	<嶋 達志>	
Synchrotron Radiation Spectroscopy	2	<木村真一>	
Computational Physics	2	<千徳靖彦>	Biennially
Optical properties of Matter	2	田島節子、宮坂茂樹	Biennially

## [セミナー]

授業科目	単位数	担当教員	備考
Semestral Seminar I	4.5	久野良孝	
Semestral Seminar I	4.5	山中 卓	
Semestral Seminar I	4.5	越野幹人	
Semestral Seminar I	4.5	<木村真一>	
Semestral Seminar I	4.5	<大岩 顕>	
Semestral Seminar II	4.5	山中 卓	
Semestral Seminar II	4.5	久野良孝	
Semestral Seminar III	4.5	<青井 考>	
Semestral Seminar III	4.5	久野良孝	
Semestral Seminar III	4.5	山中 卓	
Semestral Seminar III	4.5	<能町正治>	
Semestral Seminar III	4.5	<菊池 誠>	
Semestral Seminar IV	4.5	<能町正治>	
Semestral Seminar IV	4.5	久野良孝	
Semestral Seminar IV	4.5	<青井 考>	
Semestral Seminar IV	4.5	<菊池 誠>	

## (後期課程)

## [トピック]

授業科目	単位数	担当教員	備考
Topical Seminar I ”Statistical mechanics in quantum annealing”	1	<Masayuki Ohzeki> (Tohoku University) 9月17日、18日、19日	集中 MC・DC 共通
Topical Seminar II “The structure of exotic nuclei”	1	<Kathrin Wimmer> (Tokyo University) 5月20日、21日、22日	集中 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	久野良孝	
Seminar for Advanced Researches	9	吉田 齊	
Seminar for Advanced Researches	9	田島節子	
Seminar for Advanced Researches	9	< 福田光宏 >	
Seminar for Advanced Researches	9	< 野海博之 >	
Seminar for Advanced Researches	9	< 保坂 淳 >	
Seminar for Advanced Researches	9	< 大岩 顕 >	
Seminar for Advanced Researches	9	< 井手口栄治 >	
Seminar for Advanced Researches	9	< 豊田岐聡 >	
Seminar for Advanced Researches	9	< 木村真一 >	
Seminar for Advanced Researches	9	< 能町正治 >	
Seminar for Advanced Researches	9	< 藤岡慎介 >	
Seminar for Advanced Researches	9	< 菊地 誠 >	

## 4.2 学部授業担当一覧

授業科目名	毎週授業時間数	単位数	担当教員
<b>【必修科目】</b>			
安全実験法	集中 15	1	< 佐藤尚弘・杉山清寛・< 本岡和博 >・深瀬浩一・山本 仁・古屋秀隆・廣野哲朗・竹内徹也 >
力学1	2	2	キース スレヴィン
力学1 演義	2	2	キース スレヴィン・< 林田 清 >
力学2	2	2	阿久津泰弘
力学2 演義	2	2	阿久津泰弘・越智正之
数理物理1	2	2	橋本幸士
数理物理1 演義	2	2	橋本幸士・飯塚則裕
電磁気学1	2	2	< 吉野 元 >
電磁気学1 演義	2	2	< 吉野 元 >・田中 実
熱物理学	2	2	小林研介
数理物理2	2	2	兼村晋哉
数理物理2 演義	2	2	兼村晋哉・< 渡辺純二 >
量子力学1	2	2	黒木和彦
量子力学1 演義	2	2	黒木和彦・菅野優美
物理学実験基礎	6	2	松多健策・清水 俊・< 木田孝則・山中千博・住 貴宏 >
量子力学2	2	2	尾田欣也
量子力学2 演義	2	2	尾田欣也・赤松幸尚
統計力学1	2	2	< 川村 光 >
統計力学1 演義	2	2	< 川村 光 >・深谷英則
統計力学2	2	2	越野幹人
物理学実験1	12	4	福田光順・阪口篤志・荒川智紀 < 高久圭二 >・南條 創・三原基嗣・酒井英明・< 桂 誠・久富 修 >・< 木村 淳・竹内 徹也 >・宮坂茂樹・佐藤 朗・中島 正道・村川 寛・青木 順 >・新見 康洋・上田浩平 小田原厚子・廣瀬穰・< 河井洋輔・中山典子・野田博文 >
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 時間数	単位数	担当教員
<b>【選択科目】</b>			
物理学セミナー	2	2	物理学科各教員 兼村晋哉・橋本幸士・久野良孝・ 黒木和彦・花咲徳亮・松野丈夫 < 萩原正幸・寺田健太郎・ 松本浩典・中井光男 >
電磁気学 2	2	2	藤田裕
熱物理学演義	2	2	小林研介・北澤正清
地球科学概論	2	2	< 近藤 忠 >
数理物理 3	2	2	山口 哲
惑星科学概論	2	2	< 寺田健太郎 >
物性物理学 1	2	2	花咲徳亮
質量分析学	2	2	石原盛男
連続体力学	2	2	< 長峯健太郎 >
量子力学 3	2	2	< 細谷裕 >
物理実験学	2	2	< 鳴海康雄 >
プラズマ物理学	2	2	千徳靖彦・坂和洋一
地球惑星進化学	2	2	< 中嶋 悟 >
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	< 萩原政幸 >
物理学・宇宙地球科学輪講	2+2	4	物理学科各教員
宇宙地球フィールドワーク 1～4	集中 45	各 1	< 佐伯和人・廣野哲朗・寺崎英紀・ 中嶋 悟・境家達弘 >
相対論	2	2	< 藤田 裕 >
素粒子物理学 1	2	2	青木正治
原子核物理学 2	2	2	小田原厚子
物性物理学 3	2	2	宮坂茂樹
宇宙物理学	2	2	< 松本浩典 >
地球惑星物質学	2	2	< 佐々木晶 >
数値計算法	2	2	< 青山和司 >
相対論的量子力学	2	2	山口哲
素粒子物理学 2	2	2	南條 創
現代物理学入門	2	2	松野丈夫
光物性学	2	2	< 木村真一 >
極限光物理学	2	2	< 藤岡慎介 >

授業科目名	毎週授業 時間数	単位数	担当教員
物理オナーセミナー1～	2	各1	橋本幸士
科学技術論A	2	2	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>

## 4.3 共通教育授業担当一覧

## 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 >	医 (医・看・放・検)・歯・薬	I	火 3
	< 藤田佳孝 >	理 (数・化・生)	I	月 3
力学通論	< 山中千博 >	理 (数・化・生)	I	月 3
力学通論	< 佐藤 透 >	工 (然 1 ~ 8 5)	I	月 1
	山中 卓	工 (然 8 6 ~ 1 7 0)		
	< 萩原政幸 >	工 (然 1 7 1 ~)		
力学通論	< 嶋 達志 >	医 (医)	I	火 3
	< 小口多美夫 >	医 (看・放)・歯		
	< 田中慎一郎 >	医 (検) 薬		
力学詳論 I	< 小無啓司 >	基 (シ 1 ~ 9 0)	I	月 1
	松多健策	基 (シ 9 1 ~)		
	越智 正之	基 (情)		
力学詳論 I	久野良孝	理	I	月 3
	< 湯川 諭 >	理		
力学詳論 I	< 鷹岡貞夫 >	工 (理 1 ~ 9 5)	I	月 4
	< 菊池 誠 >	工 (理 9 6 ~ 1 9 0)		
	< 高杉英一 >	工 (理 1 9 1 ~)		
力学詳論 I	< 渡辺純二 >	工 (地)	I	火 1
力学詳論 I	松野丈夫	工 (電 1 ~ 8 0)	I	火 2
	阪口篤志	工 (電 8 1 ~)		
力学詳論 I	< 猿倉信彦 >	工 (環)	I	火 3
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 ~ 9 5)	II	月 4
	越智正之	工 (理 9 6 ~ 1 9 0)		
	< 能町正治 >	工 (理 1 9 1 ~)		
力学詳論 II	< 湯川 諭 >	工 (地)	II	火 1
力学詳論 II	< 富田賢吾 >	工 (電 1 ~ 8 0)	II	金 1
	深谷英則	工 (電 8 1 ~)		
	< 猿倉信彦 >	工 (環)		

授業科目名	担当教員	配当学部	学期	曜日時限
力学詳論 II	< 細谷 裕 > 越野幹人	基 (シ 1 ~ 1 0 0) 基 (シ 1 0 1 ~)	II	金 1
力学詳論 II	< 野村 光 > < 田中歌子 > < 松本浩典 >	基 (電 1) 基 (電 2) 基 (化・情)	II	金 4
電磁気学入門	川上拓人	医 (医・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	< 大高 理 > < 木村真一 > 赤松幸尚	医 (医) 医 (放・検) 歯 1 ~ 27 薬・歯 28 ~	II	水 4
電磁気学通論	< 芝井 広 > 酒井英明 北澤正清	工 (然 1 ~ 8 5) 工 (然 8 6 ~ 1 7 0) 工 (然 1 7 1 ~)	II	金 1
電磁気学通論	< 菊池 誠 >	理 (数・化・生)	II	金 4
電磁気学詳論 I	< 青山和司 > 田中 実 < 植田千秋 >	基 (化) 基 (シ 1 ~ 1 2 0) 基 (シ 1 2 1 ~・情)	II	月 1
電磁気学詳論 I	< 能町正治 > < 横田勝一郎 > 柳生 慶	工 (理 1 ~ 9 5) 工 (理 9 6 ~ 1 9 0) 工 (理 1 9 1 ~)	II	火 1
電磁気学詳論 I	< 谷口年史 > 新見康洋	理 理	II	金 4
電磁気学 II	< 千徳靖彦 > 吉田 齐	基 (化) 基 (シ・情)	III	月 3
電磁気学 II	< 浜口智志 > ・ < 吉村 智 > < 白鳥昂太郎 > < 依田哲彦 >	工 (理 1 ~ 9 5) 工 (理 9 6 ~ 1 9 0) 工 (理 1 9 1 ~)	III	火 1
熱学・統計力学要論	< 浅野建一 > < 谷口年史 > 菅野優美	基 (シ) 基 (シ) 基 (電・化・情)	III	月 2
熱学・統計力学要論	< 金崎 順一 > < 堀田智明 > < 白井光雲 >	工 (電) 工 (環) 工 (地)	III	火 1

## 4.3. 共通教育授業担当一覧

165

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 < 浅野建一 >	人文外法経 人文外法経	I	水 2
現代物理学の基礎	兼松泰男 山中 卓	工 工	I	月 1 月 5
基礎物理学実験	< 杉山清寛 > 石原盛男 廣瀬 穰 佐藤 朗 < 永島 壮 > < 藤原邦夫 >	工 (理 A)・理 (物)	秋	水 3～5
基礎物理学実験	上田浩平 荒川智紀 < 木田孝則 > < 市川修平 > < 半澤弘昌 > < 小嶋 勝 >	医 (放・検)・基 (シ)	秋	木 3～5
基礎物理学実験	< 渡邊 浩 > < 大坪嘉之 > < 高久圭二 > < 井淵貴章 > < 毎田 修 > < 加藤千図 >	工 (然 B・環・地)	秋	金 3～5
基礎物理学実験	吉田 斉 廣瀬 穰 < 藤原邦夫 > < 市川修平 >	工 (電)・医 (医)	冬	火 3～5

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	< 高久圭二 > 村川 寛 上田浩平 荒川智紀 < 庄司博人 > < 末松尚史 >	工 (理B)・理 (生・化・数)	冬	水3～5
基礎物理学実験	< 渡邊 浩 > < 大坪嘉之 > < 天方大地 > < 飯田隆人 >	工 (然A)	冬	金3～5
物理学実験	吉田 齐 佐藤 朗 村川 寛	医 (医)	III	木3～5
物理学実験	中島正道 青木正治 青木 順 < 犬伏正信 > < 馬越貴之 > < 岡田研一 >	医 (放・検)・基 (シ)	III	金3～5
自然科学実験2 物理	阪口篤志 石原盛男 大橋琢磨	理	III	水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、1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）

久野グループ  
花咲グループ  
松野グループ  
黒木グループ  
兼村グループ  
橋本グループ

### 物理学専攻（協力講座）

萩原グループ

### 宇宙地球科学専攻（基幹講座）

寺田グループ  
松本グループ

### 物理学専攻（協力講座）

中井グループ

## 第5章 物理談話会, 南部コロキウム

### 5.1 物理談話会

令和元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.

2019年10月4日	横田 勝一郎	ガイダンス
2019年10月11日	波多野 恭弘	ただし摩擦はあるものとする
2019年10月18日	小林 研介	量子力学とエレクトロニクス 過去・現在・未来
2019年10月25日	野田 博文	X線衛星でブラックホール近辺を探る
2019年11月8日	田中 実	原子からニュートリノを引き出せるか
2019年11月15日	野海 博之	クォークとハドロンと、ときどき新奇なハドロン
2019年11月22日	佐々木 晶	「はやぶさ2」が明らかにした小惑星「リュウグウ」
2019年11月29日	石井 理修	原子核物理学と量子色力学
2019年12月6日	近藤 忠	氷天体内部のH <sub>2</sub> Oが作る世界
2019年12月13日	河井 洋輔	隕石から探る太陽系の起源と進化
2019年12月20日	吉田 斉	地底から探る宇宙の謎
2020年1月10日	菊池 誠	統計物理学と生命の進化
2020年1月24日	兼松 泰男	測るを極める—細胞内に迫る生体分子質量分析イメージング—
2020年1月31日	花咲 徳亮	分子性電気伝導体と巨大応答現象



## 5.2 南部コロキウム

大阪大学理学部では、H25年度より、物理学専攻を中心として、南部陽一郎特別荣誉教授の名を冠したコロキウムシリーズを開始した。

<http://www.phys.sci.osaka-u.ac.jp/nambu/>

本コロキウムは、南部先生の研究に代表されるような、物理を中心とする科学分野を横断的にとらえる研究を進めていく刺激となるよう企画された。著名な研究者の講演から、分野の壁を越えてディスカッションが出来る雰囲気を作ることを目指している。教員だけではなく、学部生、大学院生の参加を歓迎することで、教育効果を高めることも目標としている。南部コロキウムを通じて、学術交流を促進し、大阪大学の理論科学・物理学の発展を加速させる。

大阪大学の基礎理学プロジェクト研究センターの「理論科学連携拠点」がコロキウムを主催オーガナイズする。理論科学研究拠点は多数の専攻の教員からなり、代表は物理学専攻の橋本幸士が務めている。

令和元年は、下記の南部コロキウムを開催し、各々、教員と学生が多く参加する等、成功を取めた。場所は理学研究科に南部陽一郎ホール、時刻は16:20-17:50である。自由な雰囲気を作り、質問が出やすくするなど、学術交流を円滑にするようにアレンジされている。

- 第26回 南部コロキウム

開催日：2019年11月14日（木）

講師：白田 孝 先生 [産業技術総合研究所 計量標準総合センター長]

講演：『科学が進めば単位が変わる：究極の基準を求めて』

- 第25回 南部コロキウム

開催日：2019年10月24日（木）

講師：藤井 啓祐 先生 [大阪大学大学院 基礎工学研究科 教授]

講演：『量子コンピュータ：宇宙最強のコンピュータへの挑戦』

(文責：橋本 幸士)

## 第6章 学生の進路状況など

令和元年度の学部卒業生、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)	39名
大阪大学大学院博士前期課程進学 (宇宙地球科学専攻)	21名
他大学大学院博士前期課程進学	11名
Department of Physics and Astronomy, Graduate School, Seoul National University	1名
大阪大学理学部物理学科・研究生	1名
進学準備	1名
就職準備	1名
学習塾・非常勤講師	1名
自営業	1名
その他専門学校入学	1名
未定	1名
民間企業就職	7名
合計	86名

#### 学部卒業生の進路の内訳：

株式会社 IDAJ	1名
近鉄グループホールディングス株式会社	1名
サービス&セキュリティ株式会社	1名
株式会社新日本ニーズ	1名
SOLIZE 株式会社	1名
明治安田生命保険相互会社	1名
有限責任監査法人トーマツ	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)	13名
民間企業就職	35名
国家公務員	1名
理科教員 (私立中学・高等学校)	1名
その他	2名
合計	52名

### 博士前期課程修了者の進路の内訳：

株式会社エーディーシー	1名
株式会社エヌ・ティ・ティ・データ (NTT データ)	1名
エム・アール・アイリサーチアソシエイツ株式会社	1名
キオクシア株式会社	1名
キヤノン株式会社	1名
サンディスク株式会社	1名
シーシーエス株式会社	1名
シスコシステムズ合同会社	1名
ジャパニアス株式会社	1名
昭和電線ホールディングス株式会社	1名
株式会社スタッフサービス・エンジニアリング事業本部	1名
住友電気工業株式会社	1名
セントラル硝子株式会社	1名
タイガー魔法瓶株式会社	1名
中部電力株式会社	1名
株式会社ディー・エヌ・エー	1名
デロイトトーマツファイナンシャルアドバイザー合同会社	1名
東京エレクトロン株式会社	1名
日産自動車株式会社	1名
株式会社ニューフレアテクノロジー	1名
株式会社日立製作所	1名
株式会社日立ハイテクノロジー	1名
株式会社日立パワーソリューションズ	1名
パーソルプロセス&テクノロジー株式会社	1名

パナソニックインフォメーションシステムズ株式会社	1名
富士通株式会社	3名
フジテック株式会社	1名
プロクター・アンド・ギャンブル・ジャパン株式会社	1名
株式会社メイテック	1名
三菱重工業株式会社	2名
三菱電機株式会社	2名
国家公務員（防衛装備庁）	1名
学校法人愛光学園	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）	1名
母国に帰国	1名
合計	2名

### 6.4 博士後期課程修了者の進路

民間企業就職	10名
その他法人・研究員	1名
国立研究開発法人・非常勤研究員	0名
独立行政法人国立高等専門学校機構・教員	1名
海外の大学・ポスドク	1名
母国で就職	1名
合計	14名

#### 博士後期課程修了者の進路の内訳：

京セラ株式会社	1名
東京エレクトロン株式会社	2名
株式会社島津製作所	1名
住友化学株式会社	1名
住友電気工業株式会社	1名
株式会社日立製作所	1名
三菱UFJモルガン・スタンレー証券株式会社	1名

## 6.5. International Physics Course (IPC) 後期課程修了者の進路

173

株式会社村田製作所	1名
株式会社リガク	1名
WINTECH AUTOMATION CO., LTD	1名
公益財団法人豊田理化学研究所	1名
独立行政法人国立高等専門学校機構 木更津工業高等専門学校	1名
カリフォルニア大学・サンディエゴ校	1名

## 6.5 International Physics Course (IPC) 後期課程修了者の進路

株式会社大阪鉛錫精錬所	1名
株式会社スカイディスク	1名
株式会社島津製作所	1名
株式会社堀場アドバンスドテクノ	1名
日本学術振興会・特別研究員 (P D)	1名
合計	5名

## 6.6 学生のインターンシップ参加

令和元年度における、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	マサチューセッツ工科、University of Missouri、スイス連邦工科大学チューリッヒ校 (ETH Zürich)、浦項工科大学校 (Postech)、ローム株式会社、京セラ株式会社、NEC、厚生労働省、富士通 中国支社、キーサイト・テクノロジー (2名)、大和証券、東海旅客鉄道株式会社
5日未満	J-PARC (3名)、PwC、TDK、アクセンチュア、キオクシア株式会社、シグマクシス、パナソニックインフォメーションシステムズ株式会社、みずほ証券株式会社、リコー電子デバイス株式会社、株式会社ディスコ、株式会社みずほフィナンシャルグループ、株式会社りそな銀行、株式会社堀場製作所、京セラ株式会社 (3名)、三井住友信託銀行、三菱UFJ銀行 (2名)、三菱マテリアル株式会社、住友生命保険相互会社、住友電気工業株式会社、全日本空輸株式会社、島津製作所 (2名)、東京エレクトロン株式会社 (2名)、東日本旅客鉄道株式会社、日東電工株式会社、日本製鉄、日立製作所 (3名)

## 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実施する。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、精密科学・応用物理学専攻、応用化学専攻、生命先端工学専攻）の各専攻に所属する教授40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43名で構成される。

履修生は、所属する専攻の大学院課程の科目を修得するのに加えて、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、1年次の最後に専門科目の筆記試験を行う1st Qualifying Examination (QE)、2年次の最後に「博士論文研究企画」を発表する2nd 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、いわゆる「修士論文」は課せられないが、「博士論文研究企画」の発表が義務づけられている。これに関連した研究成果を修士論文としてまとめ、所属専攻の修士論文発表会において発表して、修士号を得ることが、本プログラムの3年次への進級要件となっている。

## 7.3 令和1年度の活動

### 7.3.1 第6回カデット国際シンポジウムの開催

履修生の自主的な発案によるカデットプログラム主催の国際シンポジウムも本年度で6回を迎えた。理学研究科物理学専攻の履修生2名、化学専攻の履修生2名を含む7名の履修生が令和1年6月に実行委員会を立ち上げ、活動を開始した。シンポジウムは令和1年11月27日、28日に大阪大学豊中キャンパスにて開催された。今回は Nano Science をテーマとして、海外からの招待講演者を含め6名のゲストを迎えて講演いただき、それぞれの分野のトピックスを紹介いただくとともに、オリジナリティある研究テーマを進めるキッカケとなったインスピレーションや、それを得るに至った経緯などについてもお話いただいた。今回の企画には若手の助教と事務室がアドバイザー的な立場でサポートをたが、全ての活動を履修生が自発的に役割分担を決めて推進した。2日間のシンポジウムに104名が参加し、招待講演6件を含め12件の口頭発表と47件のポスター発表が行われ、Nano Science を駆使した先端科学の状況と新しい発想を得るに至ったプロセスを含めた研究開発の詳細理解と交流がなされた。また、シンポジウムの趣旨に賛同いただいた企業8社から協賛いただき本シンポジウムを成功裏に開催することが出来た。

### 7.3.2 履修生が進める阪大5リーディング「知の横断」

物理学専攻の三期生が、昨年度に引き続き阪大で取り組む5つのリーディング大学院取組の相互理解と連携を深めることと、大学院の研究活動を広く高校生にも啓蒙することで彼らの理解を深め、大学院を目指す学生をエンカレッジすることを目的に、シンポジウム「阪大院生五者 知の横断」第5回を11月4日に開催した。開催に当たっては、阪大の全リーディングプログラムと高等教育・入試研究開発センターの後援をいただいた。本会では、「化学」「言語学」「工学」をテーマとした大学院生の講演が行われました。各リーディングからは高校生や異分野の人にも分かりやすく配慮された研究発表を行った。具体的には「水はどうやって冷える?」「ほぼほぼとほぼは、同じ?」「知っていますか? 省エネ社会の鍵は『結晶』だということを」という3つの講演に加えて今回はポスターセッションも開催され参加者との交流が図られた。参加者は57名(うち中高生35名)でした。参加者からは「様々な

分野の話が気軽に聞けて面白かった」「講演者と交流ができてよ かった」といった評価をいただき、異分野交流やアウトリーチといった目標は十分に達成できたと考えている。特に高校生からは「講演者との距離が近くて面白かった」「様々な分野の発表があり視野が広がった」「大学での研究のイメージが出来て、自分でもこういった活動を大学でして見たいと思った」と言った感想が寄せられた。阪大のリーディング大学院が協力して開催する試みで、院生の交流、高校生へのアウトリーチ活動の二つの目的は概ね達成された。今後は他の研究科にリーダーを引き続き継続して進める方針であり、この取組みがどのように発展しているかが楽しみである。

### 7.3.3 国内研修、海外研修の実施

本年度は第五期生を中心に8名が「物質科学国内研修」(必修)に取り組んだ。6つの民間企業と2独立研究法人にて3ヶ月間の研修を行った。研究室の外に出てこれまでに無い環境で学ぶことで、社会への役立ちを考える機会となるなど、履修生は大学では学べない多くのことを持ち帰ることができた。物理学専攻の履修生は1名が受講し、NTT 物性科学基礎研究所で3ヶ月間の研修を行い、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、実りの多い経験をすることができた。理学部の化学専攻の2名は東レ、物質材料研究機構でそれぞれ研修を行った。高分子化学専攻の1名は日本ゼオンにてモノづくりの現場と基礎研究がどのようにつながっているかを実体験で知ることが出来た。

第四期生中心に14名が「物質科学海外研修」(必修)に取り組んだ。物理学専攻からは4名の履修生がミズーリ大学(米国)、マサチューセッツ工科大学(米国)、ETH(スイス)、浦項工科大学(韓国)で、化学専攻の1名がルードビヒ・マクシミリアン大学(ドイツ)でそれぞれ自身の研究分野をさらに深堀する研究活動を行った。この研修は、自らが持ち込んだテーマについて現地研修先の教員や学生と議論しながら推進するもので、海外において独力で研究を推進できる「国際突破力」の養成をはかることをねらいとしている。みな想定外の状況や困難を自ら解決して、成果を持ち帰って来た。特に2月、3月に受講した履修生はコロナウイルスによる緊急事態にも柔軟に対応し無事研修を完了した。この間の取組を共同研究につなげるなど、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を報告会や報告書で確認出来た。

### 7.3.4 Qualifying Examination (QE) と八期生選抜

専門分野の基礎学力を評価するために1年次に受験する筆記試験(1st Q.E.)、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。



本年度は第三期生 11 名と（うち 5 名が理学研究科所属）と特別選抜四期生 1 名が最終学年になり、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 6 名の外部評価委員に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、12 名全員が合格となった。合格者のうち 2 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。

3 月 4 日、5 日に令和 2 年度の入学者第八期生選抜を実施し、15 名の応募者から 10 名を合格させた。理学研究科物理学専攻からは 1 名の学生が応募し合格した。来年度から理工情報系オナー大学院プログラムが開始される。カデットプログラムはオナー大学院の物質科学ユニットを担当することになった。オナー大学院に入学した学生はカデットの準履修生という位置づけでカデットプログラムが準備したカリキュラムに沿って活動に取り組んでいただく。3 月 5 日にカデットプログラムの選抜試験に引き続きオナー大学院の選抜試験も実施し、応募者 1 名が優秀な成績で合格した。また、カデットプログラムの応募者の中で定員 (10 名) の関係で次点となった工学研究科の 1 名をオナー大学院物質科学ユニットの受講生として合格させた。

### 7.3.5 平成 26 年度採択二期生の課程修了

平成 27 年度に入学した一般選抜三期生 11 名（うち 3 名が理学研究科物理学専攻、2 名が化学専攻）と特別選抜四期生 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 19 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。12 名のうち 1 名は清華大学の博士研究員として中国に赴任する。1 名は大阪大学の博士研究員としての活動を開始する。10 名は企業に活躍の場を選び、4 月からは実社会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。

### 7.3.6 国際共創大学院学位プログラム推進機構によるプログラムの推進

平成24年度から進めてきた本プログラムは平成30年度で文部科学省からの支援が終了した。大阪大学では本プログラム含めて5つのリーディング大学院を受託し大学院改革を進めてきた。令和1年度以降も5つのリーディング大学院は大学院教育の柱として位置づけられており、西尾総長が機構長を務める国際共創大学院学位プログラム推進機構の中に博士課程教育リーディングプログラム事業として位置づけられ、令和1年度から開始された卓越大学院プログラム事業、オナー大学院プログラム事業とともに、大阪大学が進める Double-Wing Academic Architecture の一翼を担っていく。カデットプログラムはこれまでの変わらぬ運営体制で、次代を担う物質科学博士人材を輩出すべくプログラムに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、ご支援をよろしく申し上げます。

(文責：黒木 和彦)

## 第8章 理数オーナープログラム

### 8.1 令和元年度活動概観

理数オーナープログラムは、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。理数オーナープログラムに参加する学生は、各学科がオー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、オー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、オーナーセミナーを受講する学生数で計ることができる。オー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はほぼ100～120名程度で定常的になってきたように見えたが、H24年度は90名、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。H29年度は72名に増加した。H30年度は62名だった。R1年度は65名に微増した。理数オー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、R1年度の参加者数はその6.5%にあたる。

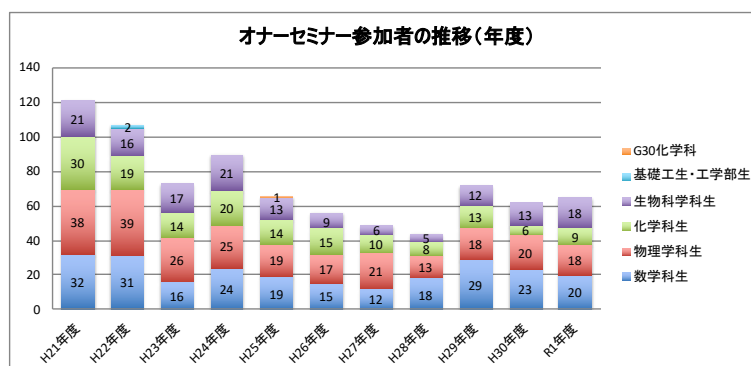


図 8.1: オナー参加者数の推移

理数オーナープログラムのコアであるオーナーセミナーは、主に学部2,3年生を対象としている。

オー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H30年度の6名から10名へと増加した。R1年度の物理学科修了者は4名だった。

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ー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、理数オー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」として認定しする。H25年度理数オナープログラム修了者から適用し、R1年度には8名（内、物理学科は4名）の優秀修了者がでた。

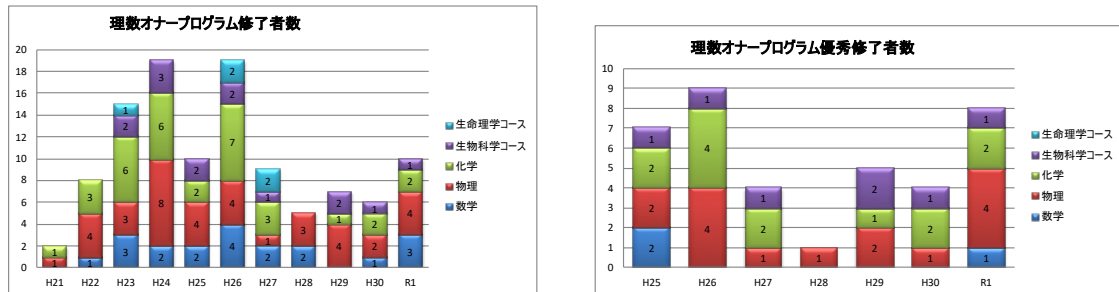


図 8.2: オナープログラム修了者数と優秀修了者数

## 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、R1年度は春夏学期・秋冬学期合わせて35（春夏学期17、秋冬学期18）のオナーセミナーを開講し、のべ65名（春夏学期35名、秋冬学期30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3セミナーを開講した。

《春夏学期》物理オナーセミナー 開講4セミナー 受講者数8名

A 反粒子の世界（板橋 隆久、久野 良孝）

物理学科1年1名、2年1名

C モノ作りから始まる物理学・科学（兼松 泰男）

物理学科2年2名、3年1名

D 自然放射線で量子力学を実感し活用しよう（高久 圭二、嶋 達志）

物理学科3年2名

E 自然界の物質が宇宙条件で得る磁気活性（植田 千秋、桂 誠）

物理学科2年1名

《秋冬学期》物理オナー 開講3セミナー 受講者数6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2年1名

H 自然放射線で量子力学を実感し活用しよう（高久 圭二、嶋 達志）

物理学科1年2名、物理学科3年1名

S 研究室に入って好きな研究をしてみよう (兼松 泰男)

物理学科 2 年 1 名、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。

2019 春夏学期 オナー自主研究発表会

2019 年 9 月 30 日 (月) 9:55-16:30 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 6 名 5 演題

〈板橋、久野 G〉反粒子の世界

1  $\beta$  崩壊における P 対称性の破れ 物理学科 1 年

〈兼松 G〉モノ作りから始まる物理学・科学

2 手作り太陽光発電 物理学科 2 年 2 名 (3 年 1 名発表なし) 共同発表

〈高久、嶋 G〉自然放射線で量子力学を実感し活用しよう

3 宇宙線ミュオン捕獲反応による特性 X 線の計測 物理学科 3 年

4 宇宙線ミュオンを触媒とした核融合反応の検証 物理学科 3 年

〈植田、桂 G〉自然界の物質が宇宙条件で得る磁気活性

5 磁場による物質の回転振動 物理学科 2 年

2019 秋冬学期 オナー自主研究発表会

2020 年 3 月 26 日 (木) 13:40-15:45 at 南部陽一郎ホール

2020 年 3 月 27 日 (金) 10:30-15:00 at 南部陽一郎ホール

物理オナーセミナーからの発表 3 セミナー 参加学生 6 名 5 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 土壌環境中における人工放射線量の研究 物理学科 2 年

〈高久、嶋 G〉自然放射線で量子力学を実感し活用しよう

2 環境ラドンの簡易モニターによる環境依存性 物理学科 1 年

3 宇宙線ミュオンのシンチレーション検出器による環境依存性 物理学科 1 年

4 宇宙線ミュオンを触媒とした核融合反応の検証 物理学科 3 年

〈オナー S 兼松 G〉研究室に入って好きな研究をしてみよう

5 オーロラの光の再現 物理学科2年1名、3年1名共同発表

## 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。R1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表 8.1 にまとめる。21人中、10人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							
		H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1
物理学科	4年生	7, 6	6, 3	20, 6	7,3	5,3	10,6	9,2	6,6
化学科	4年生	6, 6	2, 2	8, 8	3,3	2,2	1,1	3,3	3,3
生物科学科	4年生	5, 2	3, 2	7, 3	17,8	9,1	8,3	9,2	12,1
合計		18, 14	11, 7	35, 17	27,14	16,6	19,10	21,7	21,10

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。理学研究科、生命機能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。

## 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13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 R1 年度の活動内容を下記に記す。

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								
	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1
超域イノベーション	2, 1	2, 0	2, 0	1, 0	3, 1	0, 0	2, 1	0, 0	0, 0
生体統御ネットワーク 医学教育	4, 3	2, 2	2, 2	0, 0	2, 1	2, 0	2, 1	—	—
インタラクティブ 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) オナー交流会 R1.6/5 理学部 H 棟 7F コミュニケーションスペース  
学生参加者 17 名 職員 2 名
- 2) オープンキャンパス R1.8/8 理学部 H 棟 1F コミュニケーションスペース  
オナー参加者 12 名 来場者 約 200 名
- 3) 2019 春夏学期自主研究発表会 R1.9/30 理学部 J 棟南部陽一郎ホール
- 4) 2019 春夏学期オナー交流会 R1.9/30 理学部 J 棟南部陽一郎ホール交流サロン  
学生参加者 22 名 教職員 9 名
- 5) 第 9 回サイエンス・インカレ (文部科学省主催)R2.2/29,3/1 立命館大学  
びわこ・くさつキャンパス 新型コロナウイルス感染拡大防止のため中止  
出場予定者 4 名 (うち 1 名口頭発表、ポスター発表 (共同) 2 件採択)  
口頭発表者 2 演題 2 名 (物理 B2 1 名、B4 1 名)  
ポスター発表者 3 演題 3 名 (物理 B4 1 名、生物科学 B2 1 名、B3 1 名)  
出場予定者  
物理 B2 1 名 (口頭) 「土壌環境中における人工放射線量の研究」  
物理 B4 1 名 (口頭) 「物質の形で離散的に変わる物性:  
グラフェンナノリボンに現れるトポロジカル局在状態の一般的性質」  
物理 B4 東大 B1 2 名 (ポスター) 「統計力学的アプローチによるブレスレットモデルの再考」  
生物科学 B2 1 名 (ポスター) 「昆虫が触角を失ったときの視覚感受性の変化」  
生物科学 B3 1 名 (ポスター) 「細胞性粘菌の cAMP 走化性応答に関与する分子の同定」
- 6) オナープログラム修了式 R2.3/25 理学部 D 棟 D501  
理数オナープログラム修了者 10 名 優秀修了者 8 名
- 7) 2019 秋冬学期自主研究発表会 R2.3/26,27 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。



平成 22 年度は、平成 22 年 10 月 1 日に、第一期生を迎え入れました。入学者は、MS コースが 5 名、PhD コースが 3 名で、国籍は、中国 3 名、ベトナム 3 名、エストニア 1 名、バングラデシュ 1 名です。さらに、平成 23 年 10 月 1 日に、第二期生を迎え入れました。入学者は、MS コースが 5 名、PhD コースが 1 名で、国籍は、中国 3 名、ベトナム 1 名、インドネシア 1 名、マレーシア 1 名です。平成 24 年度 10 月 1 日に、第三期生を迎え入れ、入学者は、MS コースが 2 名、PhD コースが 3 名（学内進学）で、国籍は、中国 4 名、ベトナム 1 名です。平成 25 年 10 月 1 日に、第四期生を迎え入れ、入学者は、MS コースが 5 名、PhD コースが 5 名（学内進学 2 名）で、国籍は、フランス 1 名、ドイツ 1 名、シンガポール 1 名、中国 1 名、モンゴル 1 名、ベトナム 3 名、マレーシア 2 名です。平成 26 年 10 月 1 日に、第五期生を迎え入れ、入学者は、MS コースが 4 名、PhD コースが 1 名（学内進学）で、国籍は、中国 3 名、ベトナム 2 名です。

平成 27 年度から、PhD コースの 4 月入学制度を取り入れることになりました。平成 27 年 4 月 1 日に第六期生を迎え入れ、入学者は、PhD コースに 1 名で、国籍は、マレーシアです。10 月 1 日入学者は、MS コースが 3 名、PhD コースが 6 名（学内進学 1 名）で、国籍は、中国 1 名、インドネシア 1 名、マレーシア 1 名、カザフスタン 1 名、インド 1 名、イラン 1 名、イタリア 1 名、ベトナム 2 名です。

平成 28 年度から、MS コースの 4 月入学制度も取り入れることになりました。平成 28 年 4 月 1 日に第七期生を迎え入れ、入学者は、MS コースが 1 名、PhD コースが 1 名（学内進学）で、国籍は、マレーシア、モンゴルです。10 月 1 日入学者は、MS コースが 3 名、PhD コースが 7 名（学内進学 4 名）で、国籍は、ベトナム 3 名、中国 4 名、マレーシア 2 名、インド 1 名です。

平成 29 年 4 月 1 日に第八期生を迎え入れ、入学者は、MS コースが 2 名、PhD コースが 1 名で、国籍は、ベトナム、韓国です。10 月 1 日入学者は、MS コースが 1 名、PhD コースが 5 名（学内進学 2 名）で、国籍は、ベトナム、インドネシア、中国、マレーシア、フランス、カザフスタンです。

平成 30 年 4 月 1 日に第九期生を迎え入れ、入学者は、MS コースが 2 名、PhD コースが 1 名（学内進学）で、国籍は、中国、ジョージア、マレーシアです。10 月 1 日入学者は、MS コースが 1 名、PhD コースが 1 名で 国籍は、ベトナム、バングラデシュです。

平成 31 年 4 月 1 日に第十期生を迎え入れ、入学者は、MS コースが 1 名、PhD コースが 2 名（学内進学 1 名）で、国籍は、中国、ベトナム、ブラジルです。10 月 1 日入学者は MS コースが 5 名、PhD コースが 2 名で、国籍は、インドネシア、アメリカ、スペイン、中国、イタリア、ベトナム、インドです。

令和元年 12 月から令和 2 年 1 月にかけて、令和 2 年度の入学のための入試試験を行い、4 月

入学の PhD コースが1名（学内進学）、10月入学の MS コースが3名の合格者を発表しています。国籍は、中国、タイです。

（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

8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、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

2019年度のプログラム登録者数は12名であった。その内訳は、理学研究科化学専攻6名(M1:3名、M2:2名、D2:1名)、理学研究科生物科学専攻2名(M1:1名、D3:1名)、理学研究科高分子科学専攻1名(M2:1名)、薬学研究科創成薬学専攻1名(M2:1名)、基礎工学研究科物質創成専攻1名(M2:1名)、情報科学研究科バイオ情報工学専攻1名(D3:1名)である。

なお、2019年度の本プログラム修了者は2名(理学研究科博士前期課程化学専攻)であった。

## 10.3 放射線科学

### 10.3.1 プログラム概要

放射線計測は素粒子原子核実験を行う上で基礎的な技術であり、いまもなお先進的な研究開発が行われている。しかし、それにとどまらず、様々な分野に応用され、研究・実用において不可欠なものとなっている。本プログラムでは、基礎的な計測技術の習得から、加速器を用いた最先端の放射線科学を、実験実習を中心として習得する。

すでに、医学物理士コースのために核物理研究センターと理学研究科物理学専攻ならびに附属基礎理学プロジェクト研究センターは講義・実験を協力して行っている。本プログラム

はこれをさらに進めるとともに、最先端の医療現場での放射線計測についてもその基礎を学ぶ。

このような要求は日本だけでなく大きな加速器施設を持たない ASEAN 諸国でも非常に高い。理学研究科では核物理研究センターと共同で「物理実験基礎コース」を ASEAN・中国の学生を招聘して、英語での講義・実験を行ってきた。本プログラムではそれらの英語による講義・実験を用いる事により、日本国内だけでなく世界に開かれたプログラムとする。

### 10.3.2 修了要件

8 単位以上。

### 10.3.3 授業科目

#### 必修科目

放射線計測基礎 1、放射線計測基礎 2、放射線計測応用

#### 選択科目

加速器科学、放射線計測学、核化学 1(I)、放射線取扱基礎、放射線計測学概論 1、放射線計測学概論 2、Nuclear Physics in the Universe、放射線診断物理学、高精度放射線治療、粒子線治療

### 10.3.4 プログラム登録者数

2019 年度のプログラム登録者数は 2 名であった。その内訳は、理学研究科物理学専攻 1 名 (M1 : 1 名)、理学研究科化学専攻 1 名 (M1 : 1 名) である。

なお、2019 年度の本プログラム修了者は 0 名であった。

(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。2019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. Dr. Ya Zhang, 北京大学, 中国, 2019/7/8-2019/9/30 ; 兼村
2. Dr. Alexander Lehmann, University of Stavanger, ノルウェー, 2019/7/1-2019/7/3 ; 浅川
3. Dr. Melissa Hutcheson, ミシガン大学, アメリカ, 2019/7/13-2019/7/27 ; 山中
4. Dr. Marco Picco, ソルボンヌ大学(パリ第6大学) LPTHE-CNRS, フランス, 2019/7/8-2019/8/7 ; 吉野

5. Dr. Yulaing Jin, 中国科学院 理論物理研究所, 中国, 2019/7/30-2019/8/24 ; 吉野
6. Dr. Hongye Hu, University of California San Diego, アメリカ, 2019/10/26-2019/11/10;  
橋本

## 11.4 海外研究機関訪問

教職員延べ 158 名、学生延べ 62 名が、共同研究参加、招待講演および学術的会合の参加等へを目的として、以下の国々を訪問した。アメリカ (25 件)、イギリス (6 件)、イスラエル (1 件)、イタリア (10 件)、インド (9 件)、インドネシア (2 件)、オーストラリア (1 件)、オーストリア (5 件)、オランダ (7 件)、カナダ (9 件)、韓国 (21 件)、スイス (4 件)、スウェーデン (2 件)、ストックホルム (2 件)、スペイン (7 件)、スロベニア (1 件)、タイ (1 件)、台湾 (4 件)、中国 (27 件)、ドイツ (23 件)、ノルウェー (1 件)、フィリピン (1 件)、ブラジル (1 件)、フランス (12 件)、ベトナム (3 件)、ベルギー (3 件)、ヘルシンキ (1 件)、ポーランド (2 件)、香港 (2 件)、マダガスカル (1 件)、マレーシア (5 件)、南アフリカ共和国 (1 件)、ロシア (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

事業名, 代表者名, 相手国機関名, 国名, 期間, 参加者数

1. JICA, 豊田 岐聡, JICA, 中国, 2019/7/24-2019/7/24, 10 名
2. さくらサイエンスプラン, 能町 正治, ホーチミン市国家大学、原子核科学技術研究所、物理科学研究所、ダナン大学、ハノイ大学、ベトナム, 2019/11/21-2019/11/30, 12 名
3. さくらサイエンスプラン, 能町 正治, バンドン工科大学、インドネシア大学、インドネシア, 2019/11/21-2019/11/30, 6 名

## 11.6 部局間学術交流協定

2019 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:久野良孝教授
2. ヒューストン大学 (自然科学数学部) (米国)  
2009/7/8- 2019/7/7 CP:久野良孝教授

3. マレーシア工科大学 (理学部) (マレーシア)  
2009/8/5-2019/8/4 CP:久野良孝教授
4. イスタンブール大学 (理学部) (トルコ)  
2009/10/21-2019/10/20 CP:久野良孝教授、松多健策准教授
5. マラヤ大学 (理学部) (マレーシア)  
2009/12/14-2019/12/13 CP:久野良孝教授
6. タタ・インスティテュート (自然科学部)  
2010/3/23-2020/3/22 CP:久野良孝教授、福田光順准教授
7. ユヴァスキュラ大学 (数学科学部) (フィンランド)  
2010/12/2-2020/12/1 CP:久野良孝教授
8. 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)  
2011/3/14-2021/7/3 CP:久野良孝教授
9. インハ大学 (理学部) (韓国)  
2011/12/22-2021/12/21 CP:保坂淳教授、浅川正之教授
10. フリードリヒ・シラー大学イェーナ (物理・天文学部) (ドイツ)  
2011/12/21-2021/12/20 CP:花咲徳亮教授、松本卓也教授
11. インド工科大学ボンベイ (理学部) (インド)  
2012/2/24-2022/2/23 CP:久野良孝教授
12. デリー大学 (理学部) (インド)  
2012/8/30-2023/6/13 CP:久野良孝教授
13. ブレーメン大学 (物理・電気工学科) (ドイツ)  
2013/3/4-2023/3/3 CP:久野良孝教授
14. アルファラビ・カザフ国立大学 (物理工学部) (カザフスタン)  
2013/6/4-2021/6/3 CP:久野良孝教授、保坂淳教授、Baiotti Luca 特任准教授
15. ドレスデン工科大学 (理学部) (ドイツ)  
2014/11/7-2019/11/6 CP:久野良孝教授
16. ザグレフ大学 (理学部) (クロアチア共和国)  
2015/5/20-2020/5/19 CP:松多健策教授
17. ティビリシ国立大学 (精密自然科学部) (ジョージア)  
2015/10/8-2020/10/7 CP:久野良孝教授



18. バンドン工科大学（数学・自然科学部）（インドネシア）  
2015/12/25-2020/12/24 CP:久野良孝教授
19. ベラルーシ国立大学（物理学部）（ベラルーシ）  
2015/11/17-2020/11/16 CP:久野良孝教授
20. 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
21. ムンバイ大学（理学部）（インド）  
2016/5/12-2021/5/11 CP:久野良孝教授
22. 国立交通大学（理学院）（台湾）  
2017/3/22-2022/3/21 CP:久保孝史教授、越野幹人教授
23. マヒドン大学（理学部）（タイ）  
2017/4/27-2022/4/26 CP:久野良孝教授
24. モナシュ大学（理学部）（オーストラリア）  
2017/12/7-2022/12/6 CP:久野良孝教授、Baiotti Luca 特任准教授
25. 国立清華大学（理学部）（台湾）  
2018/6/27-2023/6/26 CP:久野良孝教授、久保孝史教授
26. ホーチミン市国家大学工科大学（応用科学部）（ベトナム）  
2018/7/19-2023/7/18 CP:久野良孝教授
27. 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
28. 南京大学（物理学院）（中国）  
2019/5/20-2024/5/19 CP:久野良孝教授

## 11.7 その他

物理学専攻（博士課程）の在籍留学生人数は、2019年4月1日現在で合計35名。  
（国費留学生：10名、私費留学生：23名、政府派遣留学生：2名）

（文責：越野 幹人）

国名	前期課程	後期課程	非正規生
イラン	0	1	0
インド	0	3	0
インドネシア	0	1	0
カザフスタン	0	1	0
ジョージア	1	0	0
スリランカ	1	0	0
ドイツ	0	0	1
バングラデシュ	0	1	0
ブラジル	0	1	0
フランス	0	1	0
ベトナム	2	4	1
マレーシア	0	5	0
大韓民国	1	3	0
中国	3	3	0
香港	0	2	0
計	8	26	2

## 第12章 湯川記念室

### 12.1 令和元年度活動概観

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。2008年10月より、大阪大学総合学術博物館に属する。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。

湯川記念室のホームページは <http://www-yukawa.phys.sci.osaka-u.ac.jp/> である。湯川記念室委員会は全学的な組織で、委員長は橋本幸士である。

### 12.2 第35回湯川記念講演会

2019年11月17日(日) 13:30-15:10、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。137名の参加者があった。

1. 橋本 幸士 (大阪大学総合学術博物館湯川記念室)

“湯川秀樹と素粒子論”

2. 青木 慎也 (京都大学基礎物理学研究所所長・教授)

“核力：湯川の間接子論からクォーク・グルーオンによる理解へ”

<https://www-yukawa.phys.sci.osaka-u.ac.jp/news/1570>

講演会には、合計137名の方がご参加くださった。なかには、鳥取県、岡山県や岐阜県など遠方からお越しになられた方もいらっしゃった。また、講演後に行った湯川黒板ツアーには、80名ほどの方が参加された。参加者は、黒板を触ってみたり、数式を書いたり、写真撮影したりと、それぞれが思い思いに楽しんでいらっしゃった。また、満足度については、90%の方が、「非常に満足した」「満足した」と回答くださり、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。

湯川記念講演会はこの20年あまり、市民に対する講演会として定着してきた。過去16年間の講演会参加者数の推移を表にまとめる。市民の満足度は非常に高い。

湯川記念室講演会参加者数推移（2004年度-2019年度）

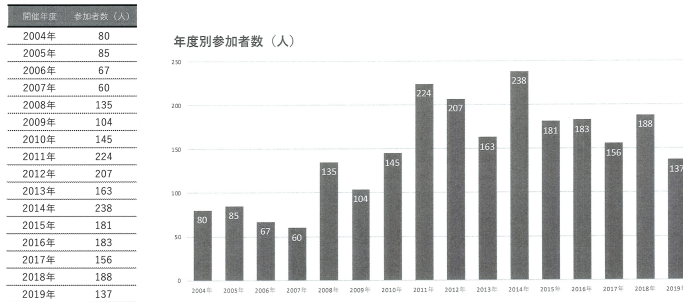


図 12.1: 湯川記念講演会の参加者数推移

### 12.3 その他

いちよう祭（2019年5月3日）で理学研究科H棟7階コミュニケーションスペースにおいて、湯川秀樹愛用の黒板公開、湯川秀樹博士関連の写真パネルを展示し、湯川秀樹博士、朝永振一郎博士、仁科芳雄博士のビデオ上映、研究者公開議論を行った。また、湯川博士の中間子論文レプリカや博士に関する書籍を手に取り、博士のマインドに触れていただいた。

（文責：橋本 幸士）

## 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令和1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5校において実施された。

学校名・講義内容	所在地	日時	講師	対象
静岡県星陵高等学校	富士宮市	6月19日(水)	芝井 広	2年生 65名
大阪府立天王寺高等学校・ 課題研究(6グループ)の 指導	大阪市	6月20日(木)	山中 卓	研究指導 約40名
大阪府立天王寺高等学校・ 第12回大阪サイエンスデ イ研究発表審査	大阪市	10月19日(土)	山中 卓・ 福田 光順	大阪府下スーパーサイエ ンスハイスクール19校 参加者 約200名(審査 者数 20名)
鹿児島県立鶴丸高等学校	鹿児島市	11月1日(金)	川畑 貴裕	1, 2年生 約30-40名× 2組
和歌山県立向陽高等学校・ 「高温超伝導の科学と夢 ～物性物理学への招待～」	和歌山市	11月6日(水)	田島 節子	2年生 約40名×2組

(文責：福田 光順)

その他に、令和元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
サイエンスフィールド ワーク「原子核の世界～ フェムトワールドの探検 ～」	南部陽一郎ホール	川畑貴裕	7月30日	高校1年生 (約80名)

ドクター教員による授業 「原子核と放射線」	滋賀県立膳所高等学校	川畑貴裕	12月9日	高校1年生 (約80名)
ドクター教員による授業 「原子核と放射線」	滋賀県立膳所高等学校	川畑貴裕	1月5日	高校2年生 (約40名)
ドクター教員による授業 「原子核の世界 その2 フェムトワールドをもっと探検」	滋賀県立膳所高等学校	川畑貴裕	10月23日、 29日、11 月5日	高校3年生 (約150名)
出張講義「地底から探る宇宙の謎」	学校法人ヴィアトール学園 洛星高等学校 (京都市)	吉田斉	12月9日	高校生 22名
出張講義「地底から探る宇宙の謎」	学校法人ヴィアトール学園 洛星高等学校 (京都市)	吉田斉	2月22日	高校生 22名
出張講義「地底から探る宇宙の謎」	学校法人ヴィアトール学園 洛星高等学校 (京都市)	吉田斉	2月29日	高校生 22名
SEEDS 体感科学研究「放射線とは何だろう? ~極微の世界からのメッセージを調べよう~」	大阪大学	吉田斉	9月14日	高校生 (5名)
朝日カルチャーセンター 「漁師と重力と超ひも理論 ~最新理論「ホログラフ ィー原理」とは?」第一回	朝日カルチャーセンター 中之島教室	橋本幸士	4月6日	一般(約50名)
朝日カルチャーセンター 「漁師と重力と超ひも理論 ~最新理論「ホログラフ ィー原理」とは?」第二回	朝日カルチャーセンター 中之島教室	橋本幸士	4月13日	一般(約50名)
サントリー文化財団 40周年記念事業 学芸ライブ 第1回「役に立って何?—モンゴル/超ひも理論/シロアリー」	サントリー文化財団	橋本幸士	4月15日	一般(約30名)
「超学校シリーズ 向き合い続ける第1回「わからないこと」を楽しむ」	ナレッジキャピタル	橋本幸士	6月18日	一般(約40名)
招待講義「宇宙を支配する数式」	大阪府立天王寺高校	橋本幸士	6月21日	高校生(約150名)

朝日カルチャーセンター 「重力とブラックホール、 その歴史と性質、現在の理 論」	朝日カルチャーセンター 中之島教室	橋本幸士	6月29日	一般(約5 0名)
「物理学者、機械学習を使 う」刊行記念トークイベ ント	書泉グランデ	橋本幸士	12月11日	一般(約4 0名)
西宮湯川記念科学セミ ナー「ディープラーニング と物理学」	西宮市ホール	橋本幸士	12月14日	一般(約2 50名)
朝日カルチャーセンター 「ディープラーニングと物 理学」	朝日カルチャーセンター 中之島教室	橋本幸士	2月22日	一般(約5 0名)
第65回豊中市理科展科学 教室	豊中市教育センター	小田原厚子	9月8日	幼小中高一 般(約300 名)
出張講義「小さな原子や原 子核～巨大な宇宙での重 要な役割とは?～」	三重県立津高等学校	小田原厚子	10月9日	高校生(21 名)
SEEDS 体感科学研究「放 射線とは何だろう?～極 微の世界からのメッセ ージを調べよう～」	大阪大学	小田原厚子	9月7日	高校生(5 名)
SGH「創造応用 I S」の 研究指導	兵庫県立兵庫高等学校	小田原厚子	2019年9 月4日か ら2020年 2月19日 (月2-3回)	高校生(5 名)
女子中高生のための関西 科学塾2019「大阪大学が 荒中にやってくる!《理系 の進路は楽しい!? その魅 力を知る》」	伊丹市荒巻中学校	田島節子	12月13日	中学生(約 70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 2019 「実験で探る素粒子の世界」	大阪大学 南部陽一郎 ホール	山中 卓	11 月 20 日	一般(約 80 名)
湯川記念室特別セミナー	大阪大学 吹田 共創イノ ベーション棟	橋本幸士	10 月 3 日	一般 URA (約 20 名)
第 3 5 回湯川記念講演会 「湯川秀樹と素粒子論」	大阪大学南部陽一郎ホー ル	橋本幸士	11 月 17 日	一般 (約 150 名)

## 13.2 最先端の物理を高校生に Saturday Afternoon Physics 2019

日時：2019年10月12日、19日、26日、11月2日、9日(土)15時–18時

(ただし10月12日は台風接近のため中止)

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、核物理研究センター、全学教育推進機構、レーザー科学研究所

SAPは、主として高校生を対象に、一線の研究者が最先端の物理を分かりやすく講義するだけでなく、様々な実験のデモや体験も取り入れ、物理、科学、およびその応用、実用化に対する興味を引き出すことを目指す野心的な試みである。今年度の「最先端の物理を高校生に Saturday Afternoon Physics 2019」は、5週に亘って実施の予定であったが、初回の10月12日は近畿地方に台風接近のため止む無く中止となり、4週に亘っての開催となった。10月19日から11月9日までの毎土曜日、午後3時から6時に、豊中キャンパス理学部D501大講義室等を使用して開催された。毎回、高校生、一般を含め、平均124人が出席した。3回以上出席した121名には田中理事・副学長から修了証書が授与された。

毎回3時間の授業は、2つの講義の間に、実験デモ、実演、展示を行うコーヒープレイクを挟む形態で行われ、自然の謎を解き明かす最先端の物理の探索とともに、我々の社会にこうした知識と技術がいかに活かされ実現されているか、未来への展望までがわかりやすく解説された。また、10月26日には、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を実施した。今年度の新たな取り組みとして、高校生を少人数のグループに分けた、グループワーク「ハテナからはじまる物理」をプログラムに組み入れた。



「知りたい、学びたい」と思って自主的に参加した高校生の熱気と質問に終始つまれながら、プログラムは順調に進行し、最終日には田中敏宏理事・副学長より祝辞が述べられ、修了証書が授与された。初回の台風による中止は残念であったが、残る4回のプログラムは盛況のうちに終了した。



図 13.1: 「最先端の物理を高校生に SAP2019」のポスター (左・中央) および風景 (右)

SAP2019 のプログラムは概ね以下のものであった。

- 【10月12日】 理学部 大講義室 (D501)  
台風のため中止
- 【10月19日】 理学部 大講義室 (D501)  
講義1: 宇宙への旅立ち –月の科学の最前線– 寺田健太郎 (理学研究科)  
コーヒーブレイク: ハテナからはじまる物理 兼松泰男、鳴海康雄 (理学研究科)
- 【10月26日】 施設見学 (吹田キャンパス見学会)  
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
- 【11月2日】 理学部 大講義室 (D501)  
講義1: マクロの宇宙からミクロの量子力学の世界まで 藤田佳孝 (核物理研究センター)、渡辺純二 (生命機能研究科)



図 13.2: 「最先端の物理を高校生に SAP2019」修了式後の集合写真

表 13.4: 「最先端の物理を高校生に SAP」の15年間の実績

開催年	2005	06-13	2014	2015	2016	2017	2018	2019
実行委員長	細谷 裕	略	藤田佳孝	藤田佳孝	浅野建一	浅野建一	阪口篤志	阪口篤志
副委員長	藤田佳孝	略	松多健策	松多健策	-	阪口篤志	鳴海康雄	山口哲
参加者数	171	略	173	153	158	177	171	165
高1, 高2	106, 54	略	76, 75	65, 68	86, 46	88, 56	89, 64	94, 46
平均参加者	141	略	141	113	120	136	128	124
修了証取得者数	146	略	140	110	120	124	124	121
全回出席者	83	略	83	42	50	63	55	55
リピーター	-	略	1	10	3	2	7	3
参加高校数	38	略	60	63	73	86	90	71

コーヒブレイク：分光計で見る量子の世界 福田光順（理学研究科）

講義2：測定器技術の入門 宮林謙吉（奈良女子大学自然科学系）

● 【11月9日】 理学部 大講義室（D501）

講義1：原子核・素粒子の世界への旅立ち -万物の根源を求めて- 兼村晋哉（理学研究科）

コーヒブレイク：霧箱を作って放射線を見よう 高久圭二（核物理研究センター）

修了式

実施にあたり、実行委員として理学研究科から、田島節子、尾西克之、兼松泰男、阪口篤志、鳥越美月、鳴海康雄、福田光順、山口哲らが中心的に運営に携わった。

この15年間の実績を表 13.4 にまとめた。また、アンケートを毎回 web 入力できるようにした結果、自由記述の量がこれまでに比べ倍増し、多くの高校生の生の声を聞くことができた。アンケート結果からは参加者に強い熱意があったことがうかがえた。SAP 参加申込みのペースは例年に比べ非常に速く、早々に申し込みを締切る必要があった。SAP プロジェクトが広く浸透し、認知度の高い大阪大学のアウトリーチ活動に成長していることが分かる。

（文責：阪口 篤志）

### 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

「いちよう祭」「まちかね祭」における施設の一般公開の状況は以下の通りであった。

公開行事名	担当(責任)者	公開日	参加人数
-------	---------	-----	------

素粒子で探る未知の世界	青木	5月3日	80
放射線検出器で探る素粒子・原子核 ・そして宇宙	吉田	5月3日	90
素粒子のおもちゃ箱	山中	5月3日	162
超伝導を体験しよう	宮坂	5月3日	200
体験！ 磁気抵抗、熱電変換、磁気浮上	村川	5月3日	151
加速器で見る原子核の世界	三原	5月3日	150
磁石であそぼう	小林、松野	5月2、3日	437
ビデオ上映「元素誕生の謎にせまる」 および「原子番号113の元素創生」	三原	5月3日	20
加速器で見る原子核の世界	三原	11月3日	150
ビデオ上映「元素誕生の謎にせまる」他	三原	11月3日	30

参加者総数：1,470名（高校生：308名 一般：1162名）

「いちよう祭」以外での施設の一般公開の状況は以下の通りであった。

公開日	公開内容	対象者	参加人数
12月23日	模擬授業（嶋）、 能町研、超強磁場第一研究施設公開	西緑台高校	48名
8月8日	オープンキャンパス 川畑研、核物質学、山中研、 久野研、田島研、花咲研、 小林研、松野研、質量分析、 萩原研、原子核理論、素粒子論、 越野研、黒木研	高校生、一般	2350名 (理学部 全体)

(文責：松多 健策)

### 13.4 理科教育セミナー

令和元年度の高大連携物理・化学教育セミナーは、理学研究科と基礎工学研究科の合同で12月22日（土）に開催されました。今回の講義は物理と化学の境界にあるために高校の教科書では取り上げられにくい放射化学の講演を行っていただきました。また、高大連携企画セミナーでは「探究力をのばす」というテーマのもと、探究力をのばす実施例を高校と大学側から提示し、参加者全員による意見交換を行い、「いかに高校生・受講生に興味を持たせ、かつ、持続させるか」の重要性が参加者全員の共通認識となりました。

この高大連携セミナーは、基礎工学研究科による「理科と情報数理の教育セミナー」における高校と大学教員のコミュニケーションの場としてスタートし、その重要性から理学研究科がこれに加わりました。その後、「高大連携物理教育セミナー」と「高大連携化学教育セミナー」に分離し、さらに、物理教育セミナーは、大学教育実践センター主催の「高大連携物理セミナーと合体しました。最終的に、平成29年度に、物理と化学の両セミナーは合体し、「高大連携物理・化学教育セミナー」として再スタートし、今年度はその3回目となります。

令和元年度 高大連携物理・化学教育セミナー

令和元年12月7日（土曜日） 13:30-19:00  
基礎工学国際棟（シグマホール）

13:30-13:35	挨拶	大阪大学大学院理学研究科 佐藤 尚弘
13:35-14:40	講演「放射能の基礎とニホニウムの発見」	大阪大学大学院理学研究科 篠原 厚
14:40-14:55	休憩	
高大連携企画 セミナー「探究力をのばす」		
14:55-15:00	はじめに	大阪大学大学院基礎工学研究科 関山 明
15:00-15:30	高校生の物性物理研究指導の経験より	大阪大学大学院基礎工学研究科 草部 浩一
15:30-16:00	大教大天王寺 SSH・課題研究の現状	大阪教育大学附属高等学校 天王寺校舎 糠野 順一

16:00-16:30	SEEDS プログラムを通じて感じたこと	大阪大学全学教育推進機構 杉山 清寛
16:30-16:40	休憩	
16:40-17:30	意見交換「探究力をのばすには？」	参加者全員による討論
17:30-19:00	情報交換会	

セミナーの参加者は、

高校、中学、高専の教員 15 名、 その他教育関係者 3 名、  
大阪大学側として、

理学研究科 3 名、 基礎工学研究科 3 名、全学教育推進機構 1 名、  
ナノデザイン教育研究センター 1 名  
の総計 26 名でした。

(文責 : 小田原厚子)

## 第14章 大阪大学オープンキャンパス(理学部)

令和元年8月8日(木曜日)に令和元年度大阪大学オープンキャンパス(理学部)が開催された。この催しの趣旨は、「大学進学を希望している受験生及び進路指導担当教諭等の方々に、大阪大学並びに理学部の教育・研究、入学試験などについて紹介し、適切な進路選択をするために必要な情報及び資料を提供し、本学部が期待する入学者を確保する」というものであり、例年、2000名を超える参加者を集めている。

大阪大学では数千名にも上る参加者に対応するために、7年ほど前からWebによる事前登録方式を採用し、理学部でも、学部長挨拶、模擬講義や学科説明会にこの事前登録による定員制を導入している。本年度も昨年度を踏襲して、同様なシステムで事前登録を行った。物理学科の模擬講義と学科説明会は事前登録では満杯となる盛況となった。学科説明会は南部陽一郎ホールで行われ、模擬講義はD501とその下D棟3,4階の6講義室への映像配信とともに行われた。物理学科では研究室公開を全時間帯(10-16時)のうちそれぞれのグループの希望に従って行い、物理学専攻から11グループ、宇宙地球科学専攻から8グループの公開があった。これに加えて午前・午後を通し、5年前から始めたビデオ上映(元素誕生の謎にせまる・原子番号113の元素創生の2本立て)も行った。

理学部全体の参加人数は、申込数2,967人に対し実際の参加者は2,550人と、昨年度に比べると絶対数は1割ほどの増加が見られた。物理学科の模擬講義(はやぶさ2探査機による小惑星リュウグウ探査:佐々木晶教授)はD501で行われ、予約席の定員192名に対し事前申込数も同数の満席で、さらに当日の予約不要席参加者も併せると、全体で参加者計454名にも達した。また、物理学科の学科説明会は4年前からと同様で45分×1回であった。物理学科説明会には207名の参加があった。今年度は学生アルバイトを昨年度と同じ5名を採用し、昨年同様、学科の受付・案内などの他にビデオ上映の世話、全体の会場受付なども担当してもらった。

日程は以下の通り。

1. 学科説明会	13:00-13:45	南部陽一郎ホール 寺田 健太郎 物理学科長代理
2. 研究室公開	10:00-16:00	各研究室 見学希望研究室を自由に見学してまわった
3. 模擬講義		「はやぶさ2探査機による小惑星リュウグウ探査」 11:00-11:45 D501 講義室および6 講義室への映像配信 佐々木 晶 教授 (宇宙地球科学専攻)
4. ビデオ上映		「元素誕生の謎にせまる」「原子番号113の元素創生」 10:00-16:00

(文責: 福田 光順)

## 第15章 令和元年度の年間活動カレンダー

4月2日	入学式
4月3日	新入生オリエンテーション
4月5日 - 6日	新入生研修旅行
4月8日	春学期授業開始
4月18日	物理学専攻教室会議 (第342回)
5月2日 - 3日	いちよう祭
5月25日	大学院入試説明会 (大阪)
5月30日	物理学専攻教室会議 (第343回)
6月8日	大学院入試説明会 (東京)
6月10日	春学期授業終了
6月11日	夏学期授業開始
6月20日	物理学専攻教室会議 (第344回)
7月18日	物理学専攻教室会議 (第345回)
8月7日	夏学期授業終了 (夏季休業8月8日 - 9月30日)
8月8日	オープンキャンパス, 合同ビアパーティ
8月27日	大学院合同入試ならびに東京入試筆記試験
8月28日	大学院合同入試面接試験
8月29日	大学院合同入試ならびに東京入試面接試験
8月30日	物理学専攻臨時教室会議 (第346回)
9月30日	物理学専攻教室会議 (第347回)
10月1日	秋学期授業開始
10月31日	物理学専攻教室会議 (第348回)
11月2日 - 4日	大学祭
11月27日	冬学期授業開始
11月21日	物理学専攻教室会議 (第349回)
12月9日	秋学期授業終了
12月19日	物理学専攻教室会議 (第350回)
12月20日	物理学科忘年会
12月26日	物理学専攻臨時教室会議 (第351回)
12月25日 - 1月3日	冬季休業
1月18日 - 19日	大学入試センター試験
1月30日	物理学専攻教室会議 (第352回)
2月5日 - 7日	博士論文公聴会
2月10日	冬学期授業終了
2月12日 - 14日	修士論文発表会
2月19日	物理学専攻教室会議 (話し合いのみ)
2月25日	入学試験 (前期日程)
3月25日	卒業式
3月26日	物理学専攻教室会議 (第353回)

## 第16章 物理学専攻における役割分担

### <物理学専攻>

	令和元年度 担当者
専攻長 (物理学専攻)	花咲
副専攻長	黒木、川畑
物理学教室会議 議長団	石原、尾田、福田
物理学科長	<長峯>
専攻長 (宇宙地球科学専攻)	<長峯>
大学院教育教務委員会	黒木
大学院カリキュラム委員会	黒木
大学院入試実施委員会	黒木、松野
大学院入試説明会 WG	黒木、花咲、<能町>、松野、橋本、千徳
物理学専攻・宇宙地球科学専攻入学案内資料作成	小田原
前年度の年次報告書作成担当	酒井、山中
ネットワーク (ODINS) 管理	南條、越智
専攻 web 管理作成	吉田
学術交流担当	松野
理学部教職員過半数代表委員	酒井、越智
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)	中島
OGCS 高圧ガス管理支援システム	中島
IPC 運営委員会	越野○、<保坂○、Baiotti>
図書委員	スレヴィン、橋本
留学生担当	久野
物理メンバー写真パネル	山中

### <物理学科>

	令和元年度 担当者
学年クラス担任 (2019年度入学生)	<植田> (1組)、川畑 (2組)
学年クラス担任 (2018年度入学生)	兼村 (1組)、<藤田> (2組)
学年クラス担任 (2017年度入学生)	<大高> (1組)、越野 (2組)



学年クラス担任 (2016 年度入学生)	< 萩原 > (1 組)、< 谷口 > (2 組)
拡大物理学科教務委員会	阿久津、◎兼村、尾田、小田原、新見、福田 (物理学実験)、山口 (共通教育講義)、阪口 (共通教育実験)、石原 (自然科学実験)、< 波多野 >
学部生特別ケア	阿久津
3 年生物理学生実験	花咲◎、福田、宮坂
生命理学コース運営・教務委員会	松野
1 年生研修旅行	南條○、菅野
1 年生研修旅行同行者	南條○、川畑、菅野
能動性懇談会	兼村
就職担当	川畑
TA 担当 (理)	中嶋
TA 担当 (共通教育)	松多
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、能町、豊田 >、花咲、< 鳴海 >、 松多、< 野海 >、吉田、< 長峯 >

< 理学研究科・理学部 >

	令和元年度 担当者
研究科長・学部長	田島
副研究科長	< 豊田 >
企画調整会議	田島、< 豊田、深瀬、柿本、橋爪、盛田 >
専攻長	花咲、< 長峯○ >
産学連携推進部	松野
研究企画推進部会	< 豊田 > ◎、川畑、< 萩原 >
共通機器管理部会	福田
理学研究科ブロック・安全衛生管理委員会	川畑、< 杉山 >、石原、< 久富 >
豊中地区事業場安全衛生委員会委員 (労基 署登録・衛生管理者)	石原
防災委員会	花咲、< 萩原 >
防災班員 (第 2 班：物理学専攻)	花咲 (班長)、川畑、黒木
情報倫理委員会	田島
いちよう祭実行ワーキンググループ	松多、< 青木順 >
ネットワークシステム委員	南條、< 青木順 >、木田
web 情報委員会	吉田
広報委員会	福田、越野◎

オープンキャンパス小委員会	福田
S A P	阪口◎、山口、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 広報情報推進室連絡会議 教育研究支援室連絡会議 安全衛生推進室連絡会議	石原、< 豊田 >、< 中嶋, 村田 > 酒井 < 豊田 > ◎、< 山中 (千) > < 萩原 > ◎
理学研究科等ハラスメント相談員	小田原 (2号相談員)
理学研究科等 (S) ハラスメント対策委員会 委員	宮坂
国際交流委員会	越野
理学部入試委員会	田島◎、花咲、橋本
理学部入試実施委員会 (理学部 AO 入試実 施委員会)	橋本◎、久野
国際科学特別入試 WG 委員	黒木
理学部共通教育連絡委員会	山口
学部教育教務委員会	兼村、尾田、< 波多野 >
理学部プロジェクト型教育プログラム実施委 員会→理学部プロジェクト教育実施委員会	兼村
学務評価委員会	久野、酒井
学生生活委員会	越野、阿久津
学生相談員	越野、阿久津
大学院入試委員会	松野、黒木、田島
大学院教育教務委員会	黒木
施設マネジメント委員会	山中、< 萩原 >
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	田島、山中
放射線障害防止委員会	廣瀬
情報資料室運営委員会	スレヴィン
基礎理学プロジェクト研究センター運営委 員会	橋本、< 豊田、能町 >
構造熱科学研究センター運営委員会	花咲
個人評価委員会	田島
社会学連携委員会	松野
理学懇話会運営委員会	花咲 (専攻長)、田島
先端強磁場科学研究センター運営委員会	田島、花咲、< 萩原 > ◎、< 鳴海、杉山 >
大学院教育プログラム実施委員会	川畑

選挙管理委員会	田島、花咲、< 萩原 >
留学生担当教員	久野
なんでも相談室運営 WG	阿久津◎

◎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(令和元年度)

グループ	研究テーマ
	正メンバー
	準メンバー
	大学院学生 学部4年生
素粒子理論 (兼村)	テーマ: 素粒子論的宇宙論, 素粒子現象論 正: 兼村晋哉, 尾田欣也, 柳生慶 準: 馬渡健太郎, 桜井巨大, 端野克哉, Johannes Alf Braathen, Arindam Das
	D3: 平井隼人 D2: 久保田充紀 D1: 愛甲将司 M2: 田中正法, 恒藤誠, 西村萌 M1: 柴田海輝, 芝野敦子, 下田誠 B4: 小島陽紀, 佐々木寿明, 和田博貴
	テーマ: 超弦理論, 場の量子論, 量子重力, 一般相対論・宇宙論 正: 橋本幸士, 山口哲, 飯塚則裕, 菅野優美 準: 松尾善典, 沼澤宙朗
	D3: 池田一毅 D2: 芥川哲也, 太田敏博 D1: 榎本一輝, 松木義幸 M2: 市場稜大, 坂川裕則, 住本尚之, 宮脇渉太 M1: 青木匠門, 姉川尊徳, 片山兼渡, 名古屋雄大, 毛受正裕 B4: 北川信哉, 小川直哉, CHOI JAE HYEOK, 渡辺涼太
素粒子理論 (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 準: 高杉英一, 〈細谷裕〉, 〈窪田高弘〉, 中山勝政, Christian Rohrhofer
	D1: 川井直樹 M2: 細川智也, 川上紘輝 M1: 小出真嵩, 西川航平 B4: WANG ZIYU, 村勇志, 和田淳太郎
	テーマ: ハドロン物理学 正: 浅川正之, 北澤正清, 赤松幸尚 準: 河野泰宏
	D3: 梶本詩織 D2: 三浦崇寛, 柳原良亮 D1: 大塚高弘 M2: 三宅浩雅 M1: 伊藤広晃, 大瀧涼介, 西村透, 肥後本拓也 B4: 開田有奏, 田中瑞樹, 吉田好希

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 準: 小寺克茂, 篠原智史, 清水信宏
	D1: 大西裕二 M2: 大杉真優, 山家谷昌平 M1: QUYNH HUONG THI VUONG, 白石諒太, 乃一雄也, WICKREMASINGHE LAKMIN B4: 杉浦聖也, 岩田和志
久 野	テーマ: 素粒子実験物理学
	正: 久野良孝, 青木正治, 佐藤朗 準: 吉田学立, Chen Wu, 〈内田善之〉, 石田勝彦, 荻津透, 板橋隆久, 小出義夫, 中井浩二, 吉田 誠
	D3: 長尾天樹, 中沢遊, TING SAM WONG, WEICHAO YAO D2: DORIAN PIETERS M2: 濱野元太, 元石尊寛, 太田早紀, 西川凌, 堀孝之, GIORGI KUMSIASHVILI M1: 佐藤良紀, 東野祐太, 山科晴太, SUN SI YUAN B4: 西村由貴, 樋口雄也, 吉田圭佑
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, 阪口篤志, 吉田斉, 松多健策, 福田光順, 清水俊, 三原基嗣 準: 岸本忠史, 下田正, 松岡健次, 梅原さおり, 鉄野高之介
	D3: 金谷晋之介, 中田祥之, MASOUMEH SHOKATI MOJDEHI, 李曉龍, KEN KEONG LEE D1: 飯村俊, 赤石貴也 M2: 中島諒, 永富亮平, 山本康平, 若林諒 M1: 伊賀友輝, 坂梨公亮, 前島大樹 B4: 沖本直哉, 吉田朋美, 大上能弘, 大谷優里花, 木村祐太, 辰巳凌平, 原田卓明, 福留美樹

黒 木	テーマ: 物性理論
	正: 黒木和彦, Keith Martin Slevin, 越智正之 準: 白井秀知,
	D3: 水野竜太, 加藤大智 D2: 森仁志 M2: 徳永雄斗, 老田侑平, 呉松慶也, 坂本ひかる, 平吹優樹 M1: 北峯尚也, 山崎公裕, HAN WOO SEOK B4: 小倉創, 井口雅樹, 福田良太
阿久津	テーマ: 物性理論
	正: 阿久津泰弘 B4: 呉晟鎬, 前田敏利, 西澤将太, 鈴木国斗
小 川	テーマ: 物性理論
	正: 小川哲生, 大橋琢磨 準: 花井亮, 越野和樹, 石川陽 D3: 西山 祐輔
越 野	テーマ: 物性理論
	正: 越野幹人, 川上拓人 M2: 鳥海篤, 岡裕樹, 野村高史, 藤本大仁 M1: 岨篤史, 中辻直斗, 人見将 B4: 大山晨, 河本京也, 玉置弦
小 林	テーマ: 固体素子を用いた精密物性科学と機能開拓
	正: 小林研介, 新見康洋, 荒川智紀 D3: 谷口祐紀, 横井雅彦 D2: 岩切秀一, LEE SANGHYUN D1: 鈴木将太 M2: 山下薫平, 浅野拓也, 井邊昂志, 川原遼馬, 徳田将志 M1: 太田智陽, 坂井康介, 花田尚輝, 藤原聖土, 渡邊杜 B4: 今田絵理阿, 佐々木壱晟, 藤原浩司
田 島	テーマ: エキゾチック超伝導体のメカニズムやその他新奇量子現象の研究
	正: 田島節子, 宮坂茂樹, 中島正道 D2: ZI HOW TIN M2: 伊藤優汰, 大畑祐貴, 金山諄志, 佐野慎三郎, 妹尾祐輝, 水溜勝也 M1: 山本俊樹, 吉野健太郎 B4: 藤井駿人
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 準: 〈渡邊功雄〉 D3: 駒田盛是 D1: 横井滉平 M2: 片山敬介, 薦田匠, 近藤雅起, 清水智可, 中川賢人 M1: 川畑宇矢, 中岡優大, 真栄城竜生 B4: 小田昌治, 川原優人, 阪口駿也
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, 上田浩平 M1: 大河内真哉, 福島健太, 森内直輝 B4: 杉野雅史, 峠原拓弥, 堀惣介

豊田	テーマ: 最先端質量分析装置の開発とそれを用いた新しいサイエンスの開拓
	正: 石原盛男 準: 豊田岐聡, 兼松泰男, 青木順, 古谷浩志, 三宅ゆみ, 中山典子, 市原敏雄, 大須賀潤一, 本堂敏信, 長尾博文, 樋上照男, 松岡久典
	D3: 今岡成章, BRIJESH M2: 奥山萌恵, 嘉藤佳奈, 河居伸哉 M1: 西澤正崇, 保久良友彦 B4: 檀原郁雄
協力講座の学生	D3: 光元亨汰, 奥谷顕, 佐藤和樹, 田原大夢, 李昇浩, RAJESH KUMAR, KHOA NHAT THANH PHAN, KING FAI FARLEY LAW, 松尾一輝, 濱口基之, 中川智裕, SANG-IN SHIM, 渡辺海, NEOH YUEN SIM, 原周平, BUI TUAN KHAI, 桂川仁志, 柳井優花, HOANG THI HA, 井上梓 D2: 池田良平, 東直樹, CHANG LIU, 森田大樹, AHMAD JAFAR ARIFI, 茶園亮樹, HUI WEN KOAY, CHAN PHAIK YING, OMAR ZHADYRA D1: 金子忠宗, JIBON KRISHNA MODAK, 中村拓人, MIR MUTAK-ABBIR ALOM, GABRIEL GULAK MAIA, 藤井大輔, 森田泰之, 甲田旭, TUNG THANH PHAM, 須藤高志 M2: CHENGWEI WANG, 岡崎悠輝, 水戸陵人, 中島裕喜, 徳舛直樹, 松本大輝, 石樽一貴, 杉本馨, 西畑穰, 岡本旭史, 木戸陽一, 松本雄太, 兵藤友昭, 武田佳次朗, 原隆文, NGUYEN VAN HOANG VIET, 宮元幸一郎, 廣本政之, 吉川大幹, WANG XUAN M1: 宮前陽充, 高橋真夏, 長澤莉希, 西井健剛, 二本木克旭, 松崎大亮, 飛鳥樹喜, 川畑太嗣, 柴田友里亜, 高木悠司, 巽悠輔, 滝沢龍之介, 嶽村真緒, 柳谷諭, 上野裕也, 枝川知温, 大本恭平, 近藤亮太, 中井創, 森浩睦 B4: 越田洗匠, JEON SEOKTAM, 山本智士, 菊田朋生, 茶園宙弥, 仲矢透, 久松万里子, 藤井健一, HONG DO KYEONG, 森川悦司, 割田祥

【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