２０２２年度
教育と研究に関する年次報告書

神戸大学
大学院理学研究科
物理学専攻

２０２３年７月

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

目次

1. 教室の構成と活動 4
1.1. 研究室人員表 4
1.2. 人事異動 4
1.3. 役務分担 5
1.4. 教室の行事 6
1.5. 社会活動 7
1.6. 海外渡航 8
1.7. 科学研究費等 9
1.7.1. 科研費(代表者分) 9
1.7.2. 科研費(分担者分) 10
1.7.3. そのほかの助成 11
1.7.4. その他の研究助成(院生，PD) 12
1.8. 海外からの訪問者 12
1.9. 国際共同研究 13
1.10. 国際的学術集会の開催 14
1.11. 研究環境の整備(50 万円以上の設備備品) 15
1.12. 研究支援体制(秘書の雇用) 15
1.13. 国際集会・国内集会などへの参加 15
1.13a. 著書・論文・解説報告 16
1.14. 受賞など 16
1.15. 特許 17
2. 教育活動 18
2.1. 開講科目担当一覧(学部) 18
2.2. 開講科目担当一覧(大学院) 19
2.3. 全学共通科目担当一覧 20
2.4. 博士論文 21
2.5. 修士論文 21
2.6. ４年生特別研究 22
2.7. 物理談話会 23
2.8. 素粒子理論セミナー 23
2.9. 宇宙論セミナー 23
2.10. 粒子物理学セミナー 24
2.11. 物性セミナー 24
2.12. 他大学への出講など兼業先一覧 24
2.13. TA の採用活用状況 24
2.14. RA の採用活用状況 24
2.15. ディプロマ・ポリシー達成度アンケート 24
2.16. 授業評価 26
2.17. 個別教育活動の記録 27
3. 研究活動 49
3.1. 素粒子理論 49
3.2. 宇宙論 52
3.3. 物性理論 53
3.4. 量子物性論 54
3.5. 粒子物理学 56
3.6. 極限物性物理学 64
3.7. 低温物性物理学 71
3.8. 電子物性物理学 74

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

3.9. 量子ダイナミクス 77

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

1. 教室の構成と活動

1.1. 研究室人員表

教育研究分野	教授	准教授	講師	助教	研究員	PD，外国人滞在者（予算の出所，期間）
素粒子理論		園田　英徳 坂本　眞人				
宇宙論	早田　次郎	野海　俊文			吉野　裕高 阿倍　慶彦 Lau Pak Hang 藤倉浩平 Zhou Siyi Chen Weig-Ming Ziwei Wang	科研費 科研費 科研費 学振特別研究員 学振特別研究員 学振特別研究員 学振特別研究員
量子物性論	播磨　尚朝					
物性理論		久保木　一浩 西野　友年				
粒子物理	藏重　久弥 竹内　康雄 山崎　祐司	身内 賢太朗 越智　敦彦	前田 順平	鈴木　州	東野　聡 日比　宏明	科研費 (R4.4.1~R5.3.31) 理学研究科研究員 (R4.4.1~R5.3.31)
極限物性	太田 仁 (分) 川村　光 （客員 分）	大道　英二 大久保 晋 (分)		高橋 英幸 （分） (~R4.10.31)	肘井　敬吾	理学研究科研究支援員
低温物性	藤　秀樹	小手川　恒			松井隆志	理学研究科研究員 (R4.10.1~R5.3.31)
電子物性	菅原　仁	松岡　英一				
量子ダイナミクス	河本　敏郎				櫻井　誠	理学研究科研究員 (R3.4.1~R5.3.31)

1.2. 人事異動

事項	氏名	年月日	教育研究分野	備考
退職	日比　宏明	2023/03/31	粒子物理	企業へ
退職	高橋　英幸	2022/10/31	極限物性	退職
転出	赤木　暢	2022/3/31	極限物性	東北大学金研・助教へ
転出	光元　享汰	2022/3/31	極限物性	東京大学生産研究所・PD へ

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

1.3. 役務分担

学内役務	氏名
評議会	竹内
ハラスメント防止委員会	竹内
入試改革推進本部員	菅原
研究シーズ取りまとめワーキンググループ	竹内
大学教育推進機構 全学評価・FD 委員会	竹内
大学教育推進機構 大学教育推進委員会	竹内
中和・曝気槽管理運営ワーキンググループ	小手川(B 棟)
分子フォトサイエンス研究センター運営委員会	藤
附属学校部運営委員会委員	菅原
施設マネジメント委員会専門委員会	松岡
創立 120 周年記念募金事業実行委員会	菅原
分子フォトサイエンス研究センター共同利用研究公募専門委員会	大久保
自然科学総合研究棟運用管理委員会	竹内
保育施設運営委員会	藏重
安全保障輸出管理室員	藏重
初年次セミナー運営委員会	坂本

学内役務（研究環分・研究基盤センター分）	氏名
研究基盤センター長	藤(研究基盤センター)
研究基盤センター 極低温部門長	太田
研究設備マネジメント委員会	藤(研究基盤センター)
研究基盤域連絡会議委員	藤(研究基盤センター)
研究基盤センター運営委員	藤(研究基盤センター)
研究基盤センター設備サポート推進室長	藤(研究基盤センター)
研究基盤センター運営委員会	早田

研究科内役務	氏名
副研究科長(評議員)	竹内
専攻長	山﨑
副専攻長	河本
教務委員会	(正)野海　(副)大久保
広報委員会	大道
ネットワーク運営委員会	園田
自己評価委員会	河本
入学試験委員会	(正)越智 (副)久保木
就職委員会	西野
惑星科学研究センター運営委員会	早田
学舎整備委員会	山﨑
外部資金アドバイザリーボード	播磨
安全衛生会議	小手川
「安全の手引」編集委員会	松岡
金工室運用会議	大久保
衛生管理者・六甲台地区安全衛生委員	鈴木

専攻内役務	氏名
予算委員	竹内

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

オープンラボ委員	(正)大久保　(副)西野
平成 27 年度生担任	(主)山﨑　(副)藏重
平成 28 年度生担任	(主)河本　(副)小手川
平成 29 年度生担任	(主)播磨　(副)坂本
平成 30 年度生担任	(主)藤　　(副)大久保
平成 31・令和 1 年度生担任	(主)菅原　(副)大道
令和 2 年度生担任	(主)竹内　(副)越智
令和 3 年度生担任	(主)早田　(副)西野
令和 4 年度生担任	(主)山崎　(副)前田

物理学教育部会内役務	氏名
部会長	早田
実験実施委員会委員長	前田
講義実施委員会	大道
学生用図書選書委員	西野

1.4. 教室の行事

日時	行事
2022 年	
04/05(火)	入学式
04/06(水)	編入生ガイダンス
04/07(木)	学部ガイダンス
04/08(金)	大学院ガイダンス，新入生歓迎会
04/11(月)	前期授業開始
04/22(金)	教授会（対面），定例専攻会議（遠隔）
04/29(金・祝)	第 1 回オープンラボ（大学院入試・3 年次編入説明会）オンライン実施
05/26(木)	第 1 回談話会（木村尚次郎・東北大）
05/27(金)	教授会（対面），定例専攻会議（遠隔）
06/17(金)	教授会（対面），定例専攻会議（遠隔）
06/18(土)	第 2 回オープンラボ （大学院入試・3 年次編入説明会）対面実施
07/03(土)，04(日)	三年次編入試験
07/22(金)	教授会（対面），定例専攻会議（遠隔）
08/04(木)	第 2 回談話会（Pablo Soler Gomis, Institute of Basic Science）
08/09(火)	第 3 回談話会（松村武・広島大）
08/10(水)	オープンキャンパス オンライン実施
08/23(火), 24(水)	博士前期課程試験
08/24(水)	臨時専攻会議（対面）
08/26(金)	博士後期課程試験（第 I 期）
09/02(金)	教授会（対面），定例専攻会議（遠隔）
09/21(水)	第 4 回談話会（Krzysztof Piotrzkowski, AGH Krakow, Poland）
10/04(火)	課程博士研究成果発表会（1 名）
10/07(金)	課程博士研究成果発表会（3 名）
10/20(木)	第 5 回談話会（沙川貴大・東京大）
10/21(金)	教授会，定例専攻会議
10/24(月)	第 6 回談話会（Oliver Portugall, CNRS, France/東京大学）
10/26(水)	第 7 回談話会（山口哲・大阪大学）
10/29(土)	ホームカミングデー
11/18(金)	教授会（対面），定例専攻会議（遠隔）
11/29(火)	第 8 回談話会（吉岡 英生・奈良女子大）

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

11/30(水)	第 9 回談話会（大谷航・東京大）
12/02(金)	博士後期課程試験（第 II 期）13:20- @Y101
12/08(木)	第 10 回談話会（清水格・東北大）
12/15(木)	第 11 回談話会（河野浩・名古屋大学）
12/16(金)	教授会（対面），定例専攻会議（遠隔）
2023 年	
1/14, 15(土，日)	大学入試共通テスト
1/20(金)	教授会（対面），定例専攻会議（遠隔）
1/27(金)	臨時専攻会議（対面）
2/03(金)	博士学位論文発表会（4 名）
2/09(木)	博士前期研究経過発表会
2/10(金)	卒業研究発表会（対面）
2/13(月)－2/15(水)	修士論文発表会（対面）
2/14(火)	臨時専攻会議（対面）
2/15(水)	定例専攻会議（対面）
2/17(金)	教授会
2/20(月)	博士後期課程研究経過発表（6 名）
2/21(火)，22(水)，24(金)	オープンラボ（高度教養セミナー理学部物理学入門）
2/25(土)	前期日程入試
3/03(金)	博士後期課程研究経過発表（1 名）
3/12(日)	後期日程入試
3/17(金)	定例専攻会議（対面）
3/23(木)	学位記授与式(博士)
3/24(金)	学位記授与式(学部,修士)

1.5. 社会活動

名前	学会委員等
坂本　眞人	基礎物理学研究所国際研究会「Strings and Fields 2022」世話人
早田　次郎	京都大学基礎物理学研究所運営協議会委員 西宮市湯川記念事業運営委員 日本物理学会　第 77～78 期代議員
西野 友年	日本物理学会 Jr セッション 審査委員 物理オリンピック日本委員会委員 神戸大学附属中等学校 SS 推進アドバイザー 神戸大学生活協同組合理事長 Tensor Network State – Algorithms and Application (TNSAA) Advisory Committee
久保木 一浩	日本物理学会 Jr セッション 審査委員 日本物理学会 領域 6 学生優秀発表賞 審査委員
播磨　尚朝	日本物理学会刊行委員会副委員長 日本物理学会 Jr セッション 審査委員 凝縮系科学賞選考委員 京都大学基礎物理学研究所運営協議会委員 SCES2022 国際諮問委員 SCES2022 若手賞選考委員長 SCES2023 国際諮問委員
竹内　康雄	宇宙線研究所共同利用研究運営委員会
山崎　祐司	Physics in Collision International Symposium International Advisory Committee DIS2018 International Advisory Committee

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

	日本物理学会理事
身内 賢太朗	宇宙線研究者会議将来計画委員 高エネルギー物理学研究者科会議将来計画委員
越智　敦彦	数学・理科甲子園 2022 問題作成委員、審査委員 MPGD2022 International Organizing Committee RD51 Collaboration Collaboration Board Chair (～2022.12.31) RD51 Collaboration Management Board (2023.1.1～) MEG II Collaboration Meeting organizing committee chair Aging 2023 Program Committee
鈴木　州	Vietnam School on Neutrinos (VSoN) organizer
前田　順平	ML@HEP ワークショップ Local Organizer 第 29 回東京大学素粒子物理国際研究センターシンポジウム プログラム委員
太田　仁	International EPR Society (IES) Associate Editor Asia-Pacific Asia-Pacific EPR/ESR Society (APES) Advisory Council Advisory Board of Applied Magnetic Resonance 福井大学遠赤外領域開発研究センター共同研究委員会委員 東京大学物性研究所協議会委員(2020 年 9 月 1 日～2022 年 8 月 31 日) 電子スピンサイエンス学会(SEST)事務局 日本赤外線学会会長（2021 年 6 月～2023 年 5 月） 日本赤外線学会新版本編集委員会委員 湯川記念財団望月基金運営委員会委員長 湯川記念財団理事(2020 年 6 月 23 日～2022 年 6 月 22 日) 日本物理学会 Jr セッション 審査委員
大久保　晋	日本赤外線学会理事（2021 年 6 月～2023 年 5 月） 日本赤外線学会総務委員会幹事 電子スピンサイエンス学会(SEST) 2023 年年会大会委員長 日本物理学会 Jr セッション 審査委員
大道　英二	日本赤外線学会表彰委員会幹事
藤　秀樹	日本物理学会代議員（2019 年 4 月～2021 年 3 月）

1.6. 海外渡航

期間	氏名	渡航国	訪問先	目的	費用
2022/6/05-6/18	越智 敦彦	スイス	PSI・CERN	MEG II 実験、及び RD51 会議のため	科研費（基盤 S 分担）
2022/7/1-9	身内 賢太朗	イタリア	トリノ大学	XENON 実験コラボレーションミーティングでの共同研究のため	東京大学宇宙線研究（森山茂栄科研費）
2022/7/9-7/28	鈴木　州	ベトナム	The International Center for Interdisciplinary Science and Education (ICISE)	Vietnam School on Neutrino(VSoN)オーガナイザー・講師・として参加	他機関（京都大学）
2022/7/19-23	身内 賢太朗	ベトナム	クイニョン ICISE	国際会議 Vietnam 2022 Neutrinos での研究成果報告	東京大学宇宙線研究（森山茂栄科研費）
2022/07/20-07/31	播磨 尚朝	オランダ	RAI Amsterdam（会議場）	SCES2022 に出席して研究発表と討論を行う。	一般財源（インセンティブ）

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2022/09/03-09/11	竹内 康雄	イタリア	Rosa Marina (Ostuni)	NOW2022 での招待講演	新学術科研費分担金
2022/9/12-17	身内 賢太朗	ドイツ	ハイデルベルク ＭＰＩＫ	国際会議 The 2nd DMNet International Symposium “Direct and Indirect Detection of Dark Matter"での研究成果報告	名古屋大学（久野純治 拠点形成費）
2022/9/17-9/25	前田　順平	ドイツ	ハイデルベルク	ATLAS 実験 TDAQ Week 参加・発表	科研費（基盤 B）
2022/9/18-10/1	越智 敦彦	スイス	PSI･CERN	MEG II 実験、RD51、RPC2022 workshop のため	科研費（基盤 S 分担）
2022/10/28-11/16	身内賢太朗	イタリア	ラクイラ LNGS	XENON 実験研究のため（シフト業務）	名古屋大学（久野純治 拠点形成費）
2022/11/27-12/4	越智 敦彦	スイス	CERN	RD51 ラボでの実験のため	科研費（基盤 B）
2022/12/10-12/18	東野　聡	イスラエル	レホボト ヴァイツマン科学研究所	国際会議 MPGD2022 での口頭発表	科研費 (新学術領域研究 (領域提案型))
2022/12/10-12/18	越智 敦彦	イスラエル	Weizmann Institute	MPGD 2022 国際会議参加のため	科研費（基盤 S 分担）
2023/1/17 - 1/23	早田 次郎	カナダ	サイモンフレーザー大学	国際会議出席	科研費
2022/12/14-12/18	野海 俊文	台湾	国立台湾大学	国際会議 “2022 NCTS Annual Theory Meeting: Particle Physics, String Theory, Cosmology, and Astrophysics” と国際会議 “NTU-Kyoto High Energy Physics Workshop” での招待講演。	他機関負担
2023/1/30-2/5	身内 賢太朗	イタリア	ラクイラ ラクイラ大学	XENON 実験コラボレーションミーティングでの共同研究のため	神戸大学（身内賢太朗 国際共同研究強化事業【A型】理学研究科支援事業・科研費）
2023//2/25-3/5	越智 敦彦	スイス	CERN	RD51 mini workshop 及び DRD1 pre collaboration meeting 参加のため	科研費（基盤 B 及び 基盤 S 分担）
20223/2/25-3/5	鈴木　州	ベトナム	The International Center for Interdisciplinary Science and Education (ICISE)	Vietnam School on Neutrino (VSoN) Harware Camp にオーガナイザー、および、講師として参加するため	他機関（京都大学）

1.7. 科学研究費等

1.7.1. 科研費(代表者分)

教育研究分野	種目	研究課題名(課題番号)	研究代表者	直接経費総額(円)	直接経費配分(円)	間接経費配分(円)
宇宙論	基盤研究(B)	自発的対称性の破れで解明する CMB アノーマリーの起源（17H02894）	早田　次郎	4,500,000	4,400,000	1,350,000

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

	基盤研究(B)	「高周波重力波物理学の開拓2」(22H01220)	早田　次郎	1,200,000	800,000	240,000
	新学術領域研（研究提型）	量子重力で探るニュートリノ質量の起源(21H00075)	野海　俊文	900,000	900,000	270,000
	学変A・公募	量子重力で探る暗黒物質と標準模型粒子の相互作用(21H05184)	野海　俊文	1,000,000	1,000,000	300,000
物性理論	基盤研究(C)	非一様系のエンタングルメント構造解析（17K05578）	西野　友年	900,000	900,000	270,000
粒子物理	新学術領域研究(領域提案型)	方向に感度をもった暗黒物質直接探索（19H05806）	身内　賢太朗	26,600,000	15,600,000	4,680,000
	基盤研究(A)	位置有感型ガス検出器によるミグダル効果の初観測(21H04471)	身内　賢太朗	13,260,000	8,800,000	2,640,000
	挑戦的研究（萌芽）	フッ素を含んだ大質量・エネルギー取得可能な暗黒物質検出器の開発(21K18628)	身内　賢太朗	1,600,000	1,600,000	480,000
	基盤研究(C)	ニュートリノ実験および原子炉モニターのための水ベース液体シンチレータの開発研究	鈴木　州	3,500,000	500,000	150,000
	若手研究	方向に感度のある暗黒物質探索におけるガスTPCの超微細読み出し（21K13943）	東野　聡	1,600,000	1,600,000	480,000
	新学術領域研究(領域提案型)	ガスTPCの超微細読み出しが切り拓く低質量暗黒物質探索(22H04574)	東野　聡	2,500,000	2,500,000	750,000
	基盤研究(B)	ダイヤモンド薄膜を用いた次世代高輝度粒子線実験のためのガス放射線検出器開発(21H01111)	越智　敦彦	3,100,000	2,700,000	810,000
極限物性	挑戦的研究(萌芽)	ナノダイヤモンドを用いた超高感度超高圧高周波数電子スピン共鳴測定法の開発	太田　仁	2,600,000	2,000,000	600,000
	基盤研究(B)	テラヘルツ波を用いた整数スピン反応中間体の時間分解電子スピン共鳴分光（21H01040）	大道　英二	4,420,000	3,400,000	1,020,000
	挑戦的研究(萌芽)	サーモリフレクタンス法による非接触熱伝導測定の凝縮系物性研究への応用（21K18603）	高橋　英幸	2,080,000	1,600,000	480,000
低温物性	基盤研究（C）	ゼロ磁場の強磁性量子臨界点の実現に対する微視的・系統的研究（21K03446）	小手川 恒	1,100,000	1,100,000	330,000
電子物性	基盤研究(C)	フラストレーションを有するf電子系における非従来型異常ホール効果の系統的検証(20K03861)	松岡英一	1,100,000	1,100,000	330,000
	基盤研究(C)	10GPa級超高圧下での量子振動効果によるフェルミ面の研究（21K03470）	菅原　仁	600,000	600,000	180,000

1.7.2. 科研費(分担者分)

教育研究分野	種目	研究課題名(課題番号)	研究代表者(所属機関)	研究分担者	直接経費配分(円)	間接経費配分(円)
素粒子理論	基盤研究(C)	巡回ライプニッツ則を使った格子超対称性の構築とテンソルネットワーク計算(21K03537)	宗　博人(愛媛大学)	坂本　眞人	150,000	45,000

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

宇宙論	基盤研究(B)	「弱い重力予想」に基づく素粒子論・宇宙論：量子重力理論への現象論的アプローチ（20H01902）	野海　俊文（神戸大学）	早田　次郎	100,000	0
	学変 A・計画	量子情報を用いた量子ブラックホールの内部の物理学の解明(21H05184)	飯塚 則裕（大阪大学）	野海　俊文	100,000	30,000
量子物性論	基盤研究(C)	量子振動による遍歴する j=3/2 フェルミオンの検出（21K03448）	野原 実（広島大学）	播磨尚朝	250,000	75,000
粒子物理	新学術領域研究(総括班)	地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化（19H05802）	井上 邦雄（東北大学）	身内　賢太朗	300,000	90,000
	基盤研究(A)	水チェレンコフ中性子検出器による XENONnT 実験での暗黒物質直接探索の高感度化（19H00675）	MARTENS, Kai（東京大学）	身内　賢太朗	1,000,000	300,000
	挑戦的研究(開拓)	新型ピクセル型シリコン検出器による極低バックグラウンド環境での太陽アクシオン探査(21K18151)	藤井 俊博	身内賢太朗	300,000	90,000
	新学術領域研究(研究提案型)	自然ニュートリノ観測と陽子崩壊探索を通して探る新たな素粒子物理（18H05536）	早戸良成（東京大学宇宙線研究所）	鈴木　州	7,950,000	2,385,000
	基盤研究(A)	ニュートリノフラックスの系統誤差抑制のためのハドロン生成・散乱断面積の精密測定	Roger Wendell（京都大学）	鈴木　州	30,000	9,000
	基盤研究(B)	ニュートリノ振動実験の精密化を実現する前置水チェレンコフ検出器の開発	久世正弘（東京工業大学）	鈴木　州	550,000	165,000
	基盤研究(A)	放射線シミュレータの新展開（21H04881）	佐々木　節（高エネ研）	藏重　久弥	100,000	30,000
	新学術領域研究（研究提案型）	超新星背景ニュートリノの高感度観測でせまる宇宙星形成の歴史(19H05807)	関谷 洋之(東京大学)	竹内　康雄	6,200,000	1,860,000
	基盤研究(S)	世界最高感度のミュー粒子稀崩壊探索で迫る素粒子の大統一(21H04991)	大谷　航（東京大学）	越智　敦彦	5,500,000	1,650,000
	基盤研究(B)	飛跡検出とトリガーの先鋭化による高エネルギー階層開拓の革新（22H01227）	生出　秀行（高エネ研）	前田　順平	1,300,000	390,000
	基盤研究(C)	新規な加速機構を通じた軽い暗黒物質検出における環境要因の評価と検証（21K03562）	長尾　桂子(岡山理科大学)	東野　聡	150,000	45,000
極限物性	挑戦的研究（萌芽）	新しい金属酵素研究へのテラヘルツ電子スピン共鳴法の応用（21K18937）	堀谷　正樹（佐賀大学）	大久保　晋	300,000	90,000
電子物性	基盤研究(C)	量子振動による遍歴する j=3/2 フェルミオンの検出	野原　実（広島大学）	菅原　仁	450,000	130,000
電子物性	基盤研究(C)	ゼロ磁場の強磁性量子臨界点の実現に対する微視的・系統的検証	小手川 恒（神戸大学）	松岡 英一	100,000	0

1.7.3. そのほかの助成

教育研究分野	種目	研究課題名	研究代表者(所属機関)	直接経費総額(円)	間接経費配分(円)
物性理論	奨学寄付金 計算科学振興財団	テンソルネットワークスキームに基づく異分野融合型計算科学研究	西野　友年	923,000	0

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

極限物性	日本板硝子材料工学助成会 研究助成	磁気的 Mie 共鳴効果を用いたテラヘルツ領域電子スピン共鳴イメージング法の開発	大道　英二	1,000,000	0
低温物性	ひょうご科学技術協会 学術研究助成金	カゴ状物質でゲストイオンの量子トンネリングの観測と二準位近藤効果の検証	藤　秀樹	1,000,000	0

1.7.4. その他の研究助成(院生，PD)

教育研究分野	種目	研究題目	特別研究員 (受け入れ研究者)	直接経費(円)
素粒子理論	特別研究員奨励費(DC3)	量子グラフの位相的構造の解明と標準模型を超えた理論への応用	井上　奉紀 (坂本　眞人)	700,000
	特別研究員奨励費(DC2)	アノマリーで探る一様磁場中の T^2/Z_N オービフォールドモデルの世代数構造	竹内　万記 (坂本　眞人)	700,000
宇宙論	特別研究員奨励費(DC1)	宇宙精密観測に基づく軽量スカラー・ベクトル暗黒物質モデルの検証	野村　皇太 (早田　次郎)	1,100,000
	海外特別研究員奨励費	インフレーション宇宙を用いた高エネルギー理論探査	Siyi Zhou (野海　俊文)	700,000
	海外特別研究員奨励費	散乱行列理論に基づく量子重力の現象論	Chen Weig-Ming (野海　俊文)	700,000
	次世代研究者挑戦的研究プログラム(DC2)	初期宇宙における弦理論の研究	竹内 俊暁	200,000
	次世代研究者挑戦的研究プログラム(DC2)	高周波重力波を用いた天文観測の発展に向けた包括的研究	齊藤 海秀	200,000
	若手研究	ユニタリー性を鍵とするインフレーション宇宙の観測に基づく超弦理論の検証	徳田　順生	700.000
低温物性	特別研究員奨励費(PD)	極限環境下で実現する強磁性量子臨界点近傍の微視的測定と新物質開発	眞砂　全宏 (藤　秀樹)	1,000,000

1.8. 海外からの訪問者

教育研究分野	氏名	国籍，所属	期間	目的	費用
物性理論	Andrej Gendiar	スロバキア科学アカデミー	11/16-11/29	研究打ち合わせ	先方持ち
	Roman Krcmar	スロバキア科学アカデミー	11/16-11/29	研究打ち合わせ	先方持ち
粒子物理	Andrea Mancuso	イタリア・ボローニャ大学	2023/2/10	研究打ち合わせ	相手方負担
	Krzysztof Piotrokowski	ポーランド・クラクフ大	2023/9/20~22	研究打ち合わせ 専攻談話会	相手方負担
	稲田 知大	日本・清華大学	2022/9/14	粒子物理学セミナー	相手方負担
	Gregori Robert Renz Mercelo	英国・シェフィールド大	2022/8/25~9/15	研究打ち合わせ	相手方負担
	Alasdair Gregor Mclean	英国・シェフィールド大	2022/8/25~9/15	研究打ち合わせ	相手方負担
	Alessandro Baldini	イタリア・INFN	2023/3/8~9	MEGII コラボレーション・ミーティング	相手方負担
	Angela　Papa	イタリア・INFN,PSI	2023/3/8~9	MEGII コラボレーション・ミーティング	相手方負担
	Antoine Venturini	イタリア・ピサ大	2023/3/8~9	MEGII コラボレーション・ミーティング	相手方負担
	Bastiano Vitali	イタリア・ローマ・ラ・サピエンツァ大学	2023/3/8~9	MEGII コラボレーション・ミーティング	相手方負担

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

	Dylan Palo	イタリア・カリフォルニア大学アーバイン校	2023/3/8~9	MEGII コラボレーション・ミーティング	相手方負担
	William Molzon	米国・カリフォルニア大学アーバイン校	2023/3/8~9	MEGII コラボレーション・ミーティング	相手方負担
	Francesco Renga	イタリア・INFN ローマ	2023/3/8~9	MEGII コラボレーション・ミーティング	相手方負担
	Giovanni Dal Maso	イタリア・パウルシェラー研究所	2023/3/8~9	MEGII コラボレーション・ミーティング	相手方負担
	Hicham Benmansour	イタリア・INFN ピサ	2023/3/8~9	MEGII コラボレーション・ミーティング	相手方負担
	Lorenzo Ferrari Barusso	イタリア・INFN ジェノバ	2023/3/8~9	MEGII コラボレーション・ミーティング	相手方負担
	Luca Galli	イタリア・INFN ピサ	2023/3/8~9	MEGII コラボレーション・ミーティング	相手方負担
	Marco Chiappini	イタリア・INFN ピサ	2023/3/8~9	MEGII コラボレーション・ミーティング	相手方負担
	Marco Francesconi	イタリア・INFN ナポリ	2023/3/8~9	MEGII コラボレーション・ミーティング	相手方負担
	Marco Panareo	イタリア・INFN レッチェ	2023/3/8~9	MEGII コラボレーション・ミーティング	相手方負担
	Matteo De Gerone	イタリア・INFN ジェノバ	2023/3/8~9	MEGII コラボレーション・ミーティング	相手方負担
	Paolo Walter Cattaneo	イタリア・INFN パビア	2023/3/8~9	MEGII コラボレーション・ミーティング	相手方負担
	Stefan Ritt	イタリア・パウルシェラー研究所	2023/3/8~9	MEGII コラボレーション・ミーティング	相手方負担
	Valerio Pettinacci	イタリア・INFN ローマ	2023/3/8~9	MEGII コラボレーション・ミーティング	相手方負担

1.9. 国際共同研究

教育研究分野	名前	相手機関または研究者	内容
素粒子理論	坂本 眞人	クロアチア、Ruder Boskovic Institute, Division of Theoretical Physics	磁場のかかったオービフォールドにおける指数定理の導出
宇宙論	早田 次郎 髙 鵬遠	国立清華大学	宇宙無毛仮説とゲージ場を伴うインフレーション
	Lau Pak Hang	APCTP	Emergent of time from quantum entanglement
	Chen Wei-Ming	National Taiwan University, Queen Mary University of London	Application of on-shell scattering amplitudes to gravitationa waves
	Siyi Zhou	Tsinghua University, University of Minnesota, University of Chicago	Gravitational Waves from an Inflation Triggered First Order Phase Transition
物性理論	西野 友年	スロバキア、Slovak Academy of Aciences	フラクタル上での相転移解析
量子物性論	播磨 尚朝	フランス、LNCMI-CNRS Grenoble	重い電子系のフェルミ面の研究
	播磨 尚朝	フランス、CEA-Grenoble	ウラン強磁性超伝導体の電子状態の研究
	播磨 尚朝	アメリカ、UC-San Diego	充填スクッテルド化合物の電子状態
粒子物理	藏重 久弥 山﨑 祐司 前田 順平	CERN, etc.	ATLAS collaboration （LHC・ATLAS 実験）

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

	藏重　久弥	CERN, SLAC, INFN　etc.	Geant4 collaboration （放射線検出器シミュレーション）
	藏重　久弥	スタンフォード大学 ICME，CENBG	MPEXS, MPEXS-DNA (GPGPU による次世代放射線シミュレータの開発)
	藏重　久弥	ジェファーソン研究所	Geant4 Application for Medical Physics (Geant4 の医学応用)
	身内　賢太朗	シェフィールド大学他	CYGNUS(方向に感度を持った暗黒物質探索)
	身内　賢太朗	コロンビア大学他	XENON（液体キセノンによる暗黒物質探索）
	越智　敦彦	CERN	RD51 collaboration (マイクロパターンガス検出器の開発)
	越智　敦彦	INFN，中国科学技術大学	DLC based electrodes for future resistive MPGDs (Common Project of RD51)
	越智　敦彦	PSI, INFN，他	MEG II collaboration (ミューオン稀崩壊実験)
極限物性	太田　仁	フランス、国立パルス強磁場研究所	強磁場物性研究
	太田　仁	ドイツ、 ローゼンドルフ研究センター ドレスデン強磁場研究所	強磁場 ESR による量子スピン系の研究
	太田　仁	ポーランド、アダム・ミツキェヴィチ大学	フラストレーション系磁性体の研究
	太田　仁	ロシア、General Physics Institute	強磁場 ESR による量子スピン系の研究
	太田　仁	ドイツ、 ライプニッツ固体物理材料研究所	強磁場電子スピン共鳴(ESR)を用いた磁性体の共同研究および双方の人的交流の推進
低温物性	小手川　恒	フランス、CEA-Grenoble	強相関電子系の低温・高圧実験
	藤　秀樹	ブラジル、ABC 大学	カゴ状物質の低温物性研究
	藤　秀樹	ドイツ　MPI-CP f S	強相関電子系の核磁気共鳴
	藤　秀樹 小手川　恒	アメリカ　Iowa State University	強磁性量子臨界に関する核磁気共鳴
	小手川　恒	中国　香港中華大学	強相関電子系の輸送現象に関する研究
	小手川　恒	ドイツ　Münster 大学	非共型空間群物質の非磁性相転移に関する研究
	小手川　恒	アメリカ　Oak Ridge National Laboratory	ノンコリニア磁性体 NbMnP の磁気構造に関する研究

1.10.　国際的学術集会の開催

教育研究分野	主催者リスト	集会名	開催場所	時期	参加者数	参加国数	外国人数	主な予算出所	金額（円）
素粒子理論	坂本眞人	Strings and Fields 2022	京都大学基礎物理学研究所	2022 年 8 月	260	4	5	基礎物理学研究所	400, 000
粒子物理	越智　敦彦	Global Developments of Researches in Lepton Flavor Physics with Muons	六甲ホール	2023 年 3 月	32	4	17	学振・研究拠点形成事業	50,000

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

極限物性	太田仁 大道英二 大久保晋	ISMAR-APNMR2021	オンライン（大阪）	2021 年 8 月	919			日本核磁気共鳴学会	30,500,000
	川村光 太田仁 大久保晋 赤木暢 光元享汰	International Conference on Frustration, Topology, and Spin Textures	ハイブリッド（神戸国際会議場）	2021 年 12 月	180			科研費 基盤(S)	2,200,000

1.11. 研究環境の整備(50 万円以上の設備備品)

教育研究分野	項目	金額（円）
粒子物理	超乾燥エアー供給ユニット　アイ・エイ・シー製 P6-QD20	654,500
	NIM 規格高電圧電源 CAEN N1741	1,067,000
	ﾗﾄﾞﾝ検出器　70L　MC 電解研磨付	1,408,000
	脱気膜ﾓｼﾞｭｰﾙ DIC㈱製　SEPAREL　EF-040P-JOU	4,928,000
極限物性	波長可変レーザー Pure Photonics, PPCL550	774,400

1.12. 研究支援体制(秘書の雇用)

物理学専攻事務	事務補佐員 1 名　(30 時間/週で 12 か月)
素粒子理論	事務補佐員 1 名　(12 時間/週で 4 ヶ月)
宇宙論	事務補佐員 1 名　(30 時間/週で 8 か月)
物性理論	事務補佐員 1 名　(12 時間/週で 2 ヶ月)
量子物性論	なし
粒子物理	事務補佐員 1 名　(24 時間/週で 1 か月)
	事務補佐員 1 名　(18 時間/週で 7 ヶ月)
	事務補佐員 1 名　(18 時間/週で 5 ヶ月)
極限物性	事務補佐員 1 名　(12 時間/週で 12 ヶ月)
低温物性	なし
電子物性	なし
量子ダイナミクス	なし

1.13. 国際集会・国内集会などへの参加

	登壇講演										受賞	
	国際		国内		学生		PD		その他	総数	総数	専攻内共同受賞
	招待	一般	招待	一般	国際	国内	国際	国内				
素粒子	0	0	0	0	4	9	0	0	0	0	0	0
宇宙論	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
物性理論	1	0	2	3	0	1	0	0	0	7	0	0
量子物性論	2	2	1	7	0	0	0	0	0	12	2	0
粒子物理	3	5	1	5	2	23	2	6	0	93	1	0
極限物性	2	6	2	9	2	19	0	0	0	40	2	0

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

低温物性	0	0	1	2	0	0	0	5	0	8	0	0
電子物性	0	1	0	2	1	6	0	0	0	10	0	0
量子ダイナミクス	0	0	2	0	0	4	0	0	0	6	0	0
総計	8	14	9	28	9	62	2	11	0	176	5	0

1.13a. 著書・論文・解説報告

	著書数				査読論文				査読なし論文	解説報告	
	総数（日本語）	専攻内共同研究	総数（外国語）	専攻内共同研究	総数（内数は筆頭・責任著者）（日本語）	専攻内共同研究	総数（内数は筆頭・責任著者）（外国語）	専攻内共同研究	総数	総数	専攻内共同研究
素粒子	0	0	0	0	0(0) (*)	0	5(5) (*)	0	1	0	0
宇宙論	0	0	0	0	0(0)	0	15(15)	5	0	0	0
物性理論	0	0	0	0	3(0)	0	0(0)	0	0	0	0
量子物性論	0	0	0	0	0(0)	0	7(0)	1	0	0	0
粒子物理	0	0	1	0	0(0)	0	44(0)	0	0	1	0
極限物性	0	0	0	0	0(0)	0	16(2)	5	0	1	0
低温物性	0	0	0	0	0(0)	0	6(3)	4	0	0	0
電子物性	0	0	0	0	0(0)	0	7(6)	7	0	0	0
量子ダイナミクス	0	0	0	0	0(0)	0	0(0)	0	2	0	0
総計	0	0	0	0	3(0) (*)	0	100(31) (*)	22	3	2	0

注意事項 ○専攻内共同研究とは、添付リストに他の教育研究分野の教員名が記載されている論文・講演・受賞数のこと
○登壇講演数は、教員が登壇した数、学生、PD が登壇した数であり、添付リストの総数ではない
○筆頭・責任著者は，多数の著者が共著する研究分野で公表していないものについては数えなかった。
(*)は教育研究分野間共同研究における重複分を差し引いたもの

1.14. 受賞など

教育研究分野	賞	受賞題目	受賞者	身分
量子物性論	JPSJ Ediotrs' Choice	Site Split of Antiferromagnetic alpha-Mn Revealed by ^{55}Mn Nuclear Magnetic Resonance J. Phys. Soc. Jpn. 91 (2022) 113701	播磨　尚朝	教授
	JPSJ Ediotrs' Choice	Symmetry Analysis of Zero-Field Antiferroquadrupole Order in CeB_6: Extremely Low-Frequency ^{11}B-NQR Study J. Phys. Soc. Jpn. 92 (2023) 034702	播磨　尚朝	教授
粒子物理	高エネルギー加速器科学研究奨励会 諏訪賞	物質と放射線との反応シミュレーションプログラム：Geant4 の国際的な開発運用	藏重 久弥	教授

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

	修士論文審査会 優秀発表賞	MEGⅡ実験背景事象抑制に向けた DLC-RPC 検出器の開発	高橋　真斗	大学院生
	修士論文審査会 優秀発表賞	LHC-ATLAS 実験 Run-3 における初段ミューオントリガーの機械学習を用いた最適化	中村　竜也	大学院生
極限物性	29th International Conference on Low Temeprature (LT29 2022) Best Poster Award	Development of Field-Angle-Dependent ESR Measurement Method under High Pressure by Thermal Detection	長澤　直生	院生
	第 11 回日本赤外線学会 優秀発表賞	3D プリンターを用いたテラヘルツ光 ESR 装置の開発	瀬川　和磨	院生
低温物性	日本物理学会第 27 回論文賞	Evolution toward Quantum Critical End Point in UGe_2	小手川恒	准教授

1.15. 特許

教育研究分野	出願者	出願内容	出願番号	備考
電子物性	菅原	断熱消磁冷凍機および断熱消磁冷凍方法	ＧＰ２２０６１２	

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2. 教育活動

2.1. 開講科目担当一覧(学部)

（※は 2015 年度以前の入学生向けの科目名）

授業科目名	単位数	年次	クォーター	履修者数	合格者数	担当教員
高度教養セミナー 理学部（物理）	1	4	1Q2Q	35	34	各教員
物理数学Ⅲ	2	3	1Q	48	45	西野　友年
解析力学Ⅱ ※	2	2	1Q2Q	3	2	河本　敏郎
量子力学Ⅰ	2	3	1Q	46	38	坂本　眞人
古典力学Ⅰ	1	1	1Q	94	89	松岡　英一
物理学情報処理	4	2	1Q2Q	35	34	山崎　祐司
物理学情報処理演習 ※	2	4	1Q2Q	5	4	山崎　祐司
初年次セミナー	1	1	1Q	44	42	山崎　祐司
統計物理学Ⅰ	2	3	1Q	50	44	播磨　尚朝
物理学実験Ⅲ	1.5	3	1Q	42	40	松岡　英一、菅原　仁、蔵重　久弥、 大道 英二、鈴木 州、大久保 晋、 西野　友年
電磁気学Ⅰ	2	2	1Q	40	38	藤　秀樹
現代物理学Ⅰ	1	1	1Q	49	38	野海　俊文、竹内　康雄、菅原　仁
物理実験学	2	2	1Q2Q	46	35	鈴木 州、大道 英二
一般相対性理論	2	3	1Q2Q	54	37	早田　次郎
特別研究Ａ（実験系）	12	4	通年	23	23	各教員
特別研究Ａ（実験系） ※	10	4	通年	4	4	各教員
特別研究Ｂ（理論系）	6	4	通年	7	7	各教員
化学科物理学概論	2	1	1Q	9	8	野海　俊文、竹内　康雄、菅原　仁
生物学科物理学概論	2	1	1Q	21	21	野海　俊文、竹内　康雄、菅原　仁
解析力学	2	2	1Q2Q	43	35	河本　敏郎
物理数学Ⅳ	2	3	2Q	48	45	西野　友年
Introduction to Physics	1	2	2Q	41	38	久保木　一浩、野海　俊文
惑星学科物理学概論	2	1	2Q	32	28	野海　俊文、竹内　康雄、菅原　仁
量子力学Ⅱ	2	3	2Q	49	35	坂本　眞人
古典力学Ⅱ	1	1	2Q	93	82	松岡　英一
統計物理学Ⅱ	2	3	2Q	51	44	播磨　尚朝
物理学実験Ⅳ	1.5	3	2Q	42	40	松岡　英一、菅原　仁、蔵重　久弥、 大道 英二、鈴木 州、大久保 晋、 西野　友年
電磁気学Ⅱ	2	2	2Q	46	41	藤　秀樹
現代物理学Ⅱ	1	1	2Q	49	39	野海　俊文、竹内　康雄、菅原　仁
先端物理学 宇宙論特論Ａ	1	4	前期	8	7	沙川　貴大
先端物理学 物性理論特論Ｂ	1	4	前期	5	3	吉岡　英生
先端物理学 電子物性学特論	1	4	前期	12	9	松村　武
高度教養セミナー 理学部物理学入門	1	3	3Q4Q	46	41	各教員
物理学実験Ⅰ	1.5	2	3Q	36	35	大久保 晋、前田 順平、 小手川 恒、山崎 祐司
物理数学Ⅰ	2	2	3Q	43	38	藏重　久弥

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

物性物理学Ⅰ	2	3	3Q	40	39	菅原　仁
古典電磁気学Ⅰ	1	1	3Q	82	59	前田　順平
統計物理学Ⅲ	2	3	3Q	46	40	播磨　尚朝
電磁気学Ⅲ	2	2	3Q	45	32	越智　敦彦
特殊相対性理論	2	2	3Q4Q	51	28	園田　英徳
物理学実験Ⅴ	1.5	3	3Q	36	36	竹内 康雄、大道 英二、河本 敏郎、鈴木 州、越智 敦彦、大久保 晋、山﨑　祐司
剛体の力学	2	1	3Q4Q	48	41	蔵重 久弥
量子力学Ⅲ	2	3	3Q	52	30	久保木　一浩
熱統計物理学	2	2	3Q4Q	47	34	太田　仁
素粒子物理学	2	3	3Q4Q	47	40	野海　俊文
先端物理学 量子物性論特論 B	1	4	後期	4	3	河野　浩
先端物理学 素粒子理論特論 B	1	4	後期	2	2	山口 哲
先端物理学 素粒子実験学特論 C	1	4	後期	12	11	大谷　航
先端物理学 素粒子実験学特論 D	1	4	後期	11	11	清水　格
先端物理学 極限物性学特論 B	1	4	後期	12	12	木村　尚次郎
物理学実験Ⅱ	1.5	2	4Q	35	34	大久保 晋、前田 順平、小手川 恒、山崎 祐司
物理数学Ⅱ	2	2	4Q	44	40	藏重　久弥
物性物理学Ⅱ	2	3	4Q	42	36	松岡　英一
古典電磁気学Ⅱ	1	1	4Q	85	61	前田　順平
電磁気学Ⅳ	2	2	4Q	40	32	越智　敦彦
統計物理学Ⅳ	2	3	4Q	46	40	播磨　尚朝
物理学実験Ⅵ	1.5	3	4Q	36	36	竹内 康雄、大道 英二、河本 敏郎、鈴木 州、越智 敦彦、大久保 晋、山﨑　祐司
量子力学Ⅳ	2	3	4Q	52	30	久保木　一浩

2.2.　開講科目担当一覧(大学院)

博士前期課程

授業科目名	単位数	学期	履修者数	合格者数	担当教員
素粒子理論Ⅰ	2	前期	10	7	園田　英徳
物性論Ⅰ	4	前期	12	10	太田　仁、藤　秀樹、菅原　仁、河本　敏郎
高エネルギー物理学Ⅰ	4	前期	8	7	竹内　康雄
低温物性学	2	前期	6	6	小手川　恒、藤　秀樹
量子物性Ⅰ	2	前期	14	13	久保木　一浩
理論物理学Ⅰ	4	前期	12	11	早田　次郎
科学英語 1	1	前期	13	11	ウェンデル　ロジャー
科学英語 2	1	前期	13	10	ウェンデル　ロジャー
特別講義　物性理論特論 B	1	前期	4	2	吉岡　英生
特別講義　電子物性学特論	1	前期	10	8	松村　武
特別講義　宇宙論特論 A	1	後期	6	6	沙川　貴大
論文講究Ⅰ	3	通年	1	1	各教員
特定研究Ⅰ	3	通年	1	1	各教員
論文講究Ⅰ	4	通年	27	25	各教員

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

特定研究Ⅰ	4	通年	27	25	各教員
論文講究Ⅱ	4	通年	19	19	各教員
特定研究Ⅱ	4	通年	19	19	各教員
先端融合科学特論A（物理学）	1	通年	27	25	各教員
電子物性学	2	後期	6	6	松岡　英一、菅原　仁
量子ダイナミクス	2	後期	4	4	河本　敏郎
極限物性学	2	後期	6	6	大道 英二、太田 仁、大久保 晋
量子物性Ⅱ	2	後期	5	5	播磨 尚朝
素粒子理論Ⅱ	1	3Q	7	7	坂本　眞人
素粒子実験学Ⅲ	1	後期	7	7	前田　順平
素粒子実験学Ⅳ	1	後期	7	6	竹内　康雄
特別講義　素粒子理論特論 B	1	後期	3	3	山口　哲
特別講義　素粒子実験学特論 C	1	後期	7	7	大谷　航
特別講義　素粒子実験学特論 D	1	後期	7	7	清水　格
特別講義 極限物性学特論 B	1	前期	11	10	木村　尚二郎
特別講義　量子物性特論 B	1	後期	3	3	河野　浩
宇宙論Ⅰ	2	4Q	7	7	早田　次郎
特別講義　プレミアムプログラムレクチャー（物理）	1	後期	5	5	野海　俊文

博士後期課程

授業科目名	単位数	学期	履修者数	合格者数	担当教員
高エネルギー物理学Ⅲ	2	前期	1	0	藏重　久弥
特別講義　物性理論特論 B	1	前期	1	1	木村　尚次郎
特別講義　電子物性学特論	1	前期	1	1	松村　武
理論物理学Ⅲ	2	後期	2	2	西野　友年
理論物理学Ⅲa	1	後期	3	3	西野　友年
理論物理学Ⅲb	1	後期	3	3	西野　友年
物性論Ⅲa	1	後期	1	1	大道　英二
物性論Ⅲb	1	後期	1	1	大道　英二
特別講義　素粒子理論特論 B	1	後期	3	3	山口　哲
特別講義　宇宙論特論 A	1	後期	5	5	沙川　貴大
特別講義　プレミアムプログラムレクチャー（物理）	1	後期	9	9	野海　俊文

2.3. 全学共通科目担当一覧

授業科目	単位	クォーター	履修者数	合格者数	担当教員
現代物理学が描く世界	1	1Q	36	26	野海　俊文
身近な物理法則	1	1Q	67	49	太田　仁
力学基礎 1	1	1Q	113	101	河本　敏郎
力学基礎 1	1	1Q	102	92	久保木　一浩
力学基礎 1	1	1Q	95	84	大道　英二
力学基礎 1	1	1Q	62	50	大久保　晋
量子力学基礎	1	1Q	54	37	坂本　眞人
物理学実験基礎	1	1Q	6	6	園田　英徳
物理学実験基礎	1	1Q	46	46	小手川　恒
物理学実験	2	前期	69	63	園田　英徳
物理学実験	2	前期	32	28	小手川　恒
現代物理学が描く世界	1	2Q	20	18	野海　俊文

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

身近な物理法則	1	2Q	39	32	太田　仁
力学基礎２	1	2Q	99	85	河本　敏郎
力学基礎２	1	2Q	85	63	久保木　一浩
力学基礎２	1	2Q	91	75	大道　英二
力学基礎２	1	2Q	62	53	大久保　晋
相対論基礎	1	2Q	52	42	坂本　眞人
現代物理学が描く世界	1	3Q	82	73	越智　敦彦
身近な物理法則	1	3Q	90	84	小手川　恒
電磁気学基礎１	1	3Q	130	126	野海　俊文
連続体力学基礎	1	3Q	48	43	藤　秀樹
連続体力学基礎	1	3Q	29	26	西野　友年
物理学実験	2	後期	46	39	鈴木　州
物理学実験	2	後期	77	75	前田　順平
現代物理学が描く世界	1	4Q	48	40	越智　敦彦
身近な物理法則	1	4Q	50	36	小手川　恒
電磁気学基礎２	1	4Q	130	122	野海　俊文
熱力学基礎	1	4Q	50	37	藤　秀樹

2.4. 博士論文

学位取得年月日	氏名	指導教員	論文題名	主査	副査
2023 年 3 月 23 日	井上　奉紀	坂本　眞人	Topological structure of quantum graph and its applications (量子グラフのトポロジカルな構造とその応用)	坂本　眞人	山田　泰彦 早田　次郎 野海　俊文
2023 年 3 月 23 日	佐竹　響	野海　俊文	The weak gravity conjecture and thermodynamics of spacetime （弱い重力予想と時空の熱力学）	野海　俊文	早田　次郎 竹内　康雄
2023 年 3 月 23 日	竹内　俊暁	野海　俊文	String Regge trajectory on de Sitter space （ド・ジッター時空における弦の Regge 軌跡）	野海　俊文	早田　次郎 山﨑　祐司
2023 年 3 月 23 日	齊藤　海秀	早田　次郎	High frequency gravitational waves from photon sphere of supermassive black holes (超巨大ブラックホール光子球からの高周波重力波)	早田　次郎	藏重　久弥 野海　俊文

2.5. 修士論文

氏名	指導教員	題名	主査
赤松　真裕美	坂本　眞人	d＋2 次元スカラー場の相構造	坂本　眞人
石垣　綾乃	小手川　恒	CeCoSi の非磁性秩序相に対する NMR/NQR による研究	小手川　恒
今井　広紀	坂本　眞人	磁束のかかった $T^2/\mathbb{Z}_N$ オービフォールドにおける指数と巻き付き数	坂本　眞人
大西　昂	松岡　英一	六方晶フラストレーション化合物 RMgIn（R=希土類）の磁性及び伝導	松岡　英一
岡本　淳	河本　敏郎	反強磁性体 Cr_2O_3 における電場誘起磁化と副格子スイッチのダイナミクス	河本　敏郎
金﨑　奎	身内 賢太朗	ミグダル効果初観測へ向けたアルゴンガス TPC 開発と中性子ビームを用いた性能評価	身内　賢太朗
薦田　拓也	菅原　仁	超伝導体を熱スイッチに用いた新しい断熱消磁冷凍機の試作	菅原　仁
砂川　浩諒	早田　次郎	回転ブラックホール周辺のアクシオン電磁気学	早田　次郎
高橋　真斗	越智　敦彦	MEG Ⅱ 実験背景事象抑制に向けた DLC-RPC 検出器の開発	越智　敦彦
長澤　直生	太田　仁	熱的検出による高圧下 ESR 測定手法の開発と応用	太田　仁
永富　寛弥	河本　敏郎	YIG における光励起キャリアの拡散ダイナミクス	河本　敏郎

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

中村　竜也	前田　順平	LHC-ATLAS 実験 Run-3 における初段ミューオントリガーの機械学習を用いた最適化	前田　順平
中山　郁香	身内 賢太朗	NEWAGE における暗黒物質探索実験の新しい測定条件による高感度化実験結果	身内　賢太朗
二斗蒔田亮太	小手川　恒	キラル構造をもつ $Ce_5Ru_3Ga_2$、$Ce_5Ru_3Al_2$ の磁気的性質に関する研究	小手川　恒
林　英利	松岡　英一	直方晶化合物 RAuZn 及び六方晶化合物 RPdPb (R = 希土類)の低温物性	松岡　英一
深川　韻	大道　英二	集積型ウィスパリングギャラリーモード共振器の作製	大道　英二
増田　祥大	大道　英二	コンパクトジャイロトロン光源を用いた力検出型 ESR 測定	大道　英二
丸元　星弥	前田　順平	FPGA 搭載型アクセラレータカードによるファームウェア開発・検証機構の構築	前田　順平
山下　翼	越智　敦彦	DLC を用いた resistive μ-PIC の X 線イメージングについての研究	越智　敦彦

2.6.　4年生特別研究

氏名	指導教員	題名
近藤　達彦	越智　敦彦	X17 粒子の探索・方法
片山　舞	越智　敦彦	X17 粒子の探索・装置
中島　大賀	越智　敦彦	X17 粒子の探索・データ収集
泉尾　翼	越智　敦彦	X17 粒子の探索・解析
藤田　幸成	早田　次郎	変分ベイズ法を用いた動的システムの知覚モデルとその神経基盤
相子　悠人	野海　俊文	de Sitter ブラックホールの熱力学
中戸　杏	早田　次郎	非等方で暖かいインフレーション
奥田　直樹	園田　英徳	スケール変換と臨界指数の総和則
庄田　圭吾	園田　英徳	過沸騰と過冷却
西　将汰	山﨑　祐司	宇宙線ミューオンが起こす光生成反応の理論と検出方法
樋口　流雲	山﨑　祐司	宇宙線ミューオンが起こす光生成反応検出装置と効率の見積もり
村田　優衣	山﨑　祐司	宇宙線ミューオンが起こす光生成反応の探索結果
水引　龍吾	身内 賢太朗	ガス検出器を用いた Ar および He のガスゲイン測定実験
光枝　慈喜	身内 賢太朗	ガス検出器における電子の雪崩増幅シミュレーション
井上　陸	身内 賢太朗	ガス TPC を用いた宇宙線ミューオン飛跡測定
生井　凌太	身内 賢太朗	ガス TPC を用いた宇宙線ミューオン飛跡解析
中西　青空	小手川　恒	ZrMnGe の単結晶試料の作製と物性評価
田中　裕斗	小手川　恒	$Y_3Co_8Sn_4$ の単結晶試料の作製と試料評価
本田　航大	藤　秀樹	$Y_{0.95}Pr_{0.05}Co_2Zn_{20}$ の非磁性 2 チャンネル近藤効果についての核四重極共鳴と NQR プローブ作製
永井　大介	藤　秀樹	$Y_{0.95}Nd_{0.05}Co_2Zn_{20}$ の Nd 近藤効果についての NMR
畠　光流	西野　友年	ペア分布行列を用いた量子スピン系の基底状態解析
小西　優太	西野　友年	井戸型ポテンシャルと量子ドット
福田　颯	大久保　晋	パルス強磁場 ESR 装置の立ち上げ
石井　俊介	大久保　晋	3D プリンターで作るミリ波 ESR 用光学素子開発
伊郷　祐馬	大道　英二	テラヘルツ帯ディアボロ型アンテナの作製
齋藤　文美博	菅原　仁	$CePt_3P$ の単結晶育成の試みと配向試料磁化測定
東原　有	菅原　仁	$CeRh_6Ge_4$ と CrAs の単結晶育成と高圧下物性測定
前谷　風弥	菅原　仁	$CeRu_2Al_{10}$ の高圧下物性測定
赤木　草太	松岡　英一	直方晶化合物 $CeIrIn_2$ の多結晶試料作製と物性評価
小島　大輝	大道　英二	ナノ秒パルスレーザーを用いたミリ波帯半導体光スイッチ
鍋田　百花	太田　仁	黒リンの圧力下サイクロトロン共鳴
濱田　優翔	太田　仁	パルス強磁場下における圧力下 THz ESR 装置の開発
徳山　湧人	河本　敏郎	光励起キャリアの拡散ダイナミクス
阿部　修也	河本　敏郎	反強磁性体酸化クロムにおける副格子スイッチの伝播

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2.7. 物理談話会

	日時	講師(所属)	題目
1	2022/05/26	木村尚次郎（東北大学・金属材料研究所）	遷移金属錯体[MnIII(taa)]における二次の電気磁気効果
2	2022/08/04	Pablo Soler Gomis (Institute of Basic Science)	Particle Physics and Cosmology in the Swampland
3	2022/08/09	松村武（広島大学・先進理工系科学）	希土類キラル磁性体 RNi3X9 (X=Al, Ga)におけるらせん磁気秩序
4	2022/09/21	Krzysztof Piotrzkowski (AGH Krakow, Poland)	Future High Energy ep Colliders and gamma-gamma Interactions
5	2022/10/20	沙川貴大（東京大学・工学系研究科）	Quantum Fluctuation Theorems under Measurement and Feedback
6	2022/10/24	Oliver Portugall（EMFL-LNCMI, CNRS, France、ISSP, University of Tokyo）	Megagauss magnetic fields in Europe: current status and future projects
7	2022/10/26	山口哲（大阪大学・理学研究科）	場の理論における一般化された対称性について
8	2022/11/29	吉岡 英生（奈良女子大学・自然科学系物理学領域）	金属フラーレンポリマーにおける朝永－ラッティンジャー液体状態
9	2022/11/30	大谷航（東京大学・素粒子物理国際研究センター）	ミュー粒子稀過程現象探索で迫る標準理論を超える新物理
10	2022/12/08	清水格（東北大学・ニュートリノ科学研究センター）	二重ベータ崩壊実験によるマヨラナニュートリノの探索
11	2022/12/15	河野浩（名古屋大学・理学研究科）	反強磁性体における創発スピン電磁場−トポロジカルスピンホール効果とスピン起電力−

2.8. 素粒子理論セミナー

	日時	講師 (所属)	題目
1	2022/7/20	K. Nishiwaki (Shiv Nadar U., India)	Beyond the plane-wave transitions by wave packets: anomalous kinetic effect in quarkonium decays
2	2023/3/2	大谷　聡 (日本大学)	離散的スケール不変性を持つ 1 次元多体問題

2.9. 宇宙論セミナー

https://www.research.kobe-u.ac.jp/fsci-pacos/seminar2022.html

	日時	講師 (所属)	題目
1	2022/4/12	阿部 慶彦（神戸大）	Origin of pseudo-Nambu-Goldstone dark matter
2	2022/4/26	Ziwei Wang（神戸大）	A New Realization of the Ekpyrotic Scenario
3	2022/5/10	早田 次郎（神戸大）	A puzzle in cosmology?
4	2022/5/24	藤倉 浩平（東京大 RESCEU）	A Nelson-Barr model
5	2022/5/31	野海 俊文（神戸大）	Phenomenological Motivation for Gravitational Positivity Bounds: A Case Study of Dark Sector Physics
6	2022/6/7	Pak Hang Chris Lau（神戸大）	Quantum information and abstract algebra
7	2022/6/14	Siyi Zhou（神戸大）	Inflation with extra dimension
8	2022/6/28	Song He (Jilin U.)	QCD phase diagram V.S. Holographic QCD
9	2022/7/12	Wei-Ming Chen（神戸大）	On-shell Scattering Amplitudes and Classical Gravity
10	2022/7/19	徳田 順生（神戸大）	Regge theory and its success: a biased review
11	2022/9/26	博士 3 年学生 3 名（神戸大）	Mock thesis defense of three D3 students

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

12	2022/10/5	野村 皇太（神戸大）	Photon-axion conversion in photon spheres of black holes
13	2022/10/12	宮地 大河（神戸大）	Tunneling in de Sitter spacetime via stochastic approach
14	2022/11/2	Chong-Bin Chen（神戸大）	Introduction of CMB physics
15	2022/11/9	佐藤 爽太（神戸大）	Asymptotic symmetry and soft theorem
16	2022/11/16	西井 莞治（神戸大）	String spectrum in AdS_3
17	2022/11/30	Alexandar Ganz (Jagiellonian U.)	Minimally Modified Gravity and its Phenomenological Properties
18	2022/12/7	高橋卓弥 （京都大）	Evolution of axion clouds in black hole binaries
19	2022/12/21	鎌田 耕平（東京大 RESCEU）	Baryon asymmetry of the Universe induced from Axion Inflation
20	2023/1/11	砂川 浩諒（神戸大）	Mock master thesis defense
21	2023/1/18	上田 大輝（KEK）	Entropy constraints on effective field theory

2.10. 粒子物理学セミナー

	日時	講師（所属）	題目
1	2022/9/14	稲田 知大（中国・清華大学）	LHC-FASER 実験の衝突点前方における新物理探索の展開
2	2023/2/2	内山雄祐（東大・ICEPP）	荷電レプトンフレーバーの破れの探索で目指す素粒子物理学の新展開

2.11. 物性セミナー

今年度はなし

2.12. 他大学への出講など兼業先一覧

氏名	身分	出講先
野海　俊文	非常勤講師	国立大学法人新潟大学
河本　敏郎	非常勤講師	国立大学法人福井大学
身内　賢太朗	非常勤講師	北海道大学理学部
野海　俊文	非常勤講師	明治大学大学院理工学研究科
野海　俊文	非常勤講師	国立大学法人九州大学
野海　俊文	非常勤講師	東北大学大学院理学研究科
竹内　康雄	客員上級科学研究員	東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構

2.13. TA の採用活用状況

TA 人数	のべ時間
43	1126 時間

2.14. RA の採用活用状況

RA 人数	のべ時間
2	760 時間

2.15. ディプロマ・ポリシー達成度アンケート

学部卒業生、大学院博士課程前期課程、および後期課程修了生に対して行ったディプロマ・ポリシー(DP)達成度アンケートの内容と結果を報告する。　（【 】内は大学院博士課程前期および後期課程修了生への設問）

設問 1）あなたは、理学部物理学科【理学研究科物理学専攻】のディプロマ・ポリシー(DP) を知っていますか。次の中から１つ選択してください。

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

選択肢： 1.よく知っていた /2. ある程度知っていた / 3.どちらともいえない /
4.あまり知らなかった / 5.全く知らなかった

設問 2) 理学部物理学科【理学研究科物理学専攻】の DP に基づいてお尋ねします。あなたは、物理学科【博士課程前期および後期課程】において次の能力等がどの程度身についたと思いますか。次の中から１つ選択してください。

選択肢： 1.大いに身についた / 2.どちらかといえば身についた / 3.どちらともいえない /
4.どちらかといえば身につかなかった / 5.全く身につかなかった

共通：

A) 様々な場面において、状況を適切に把握し主体的に判断する力
B) 専門性や価値観を異にする人々と協働して課題解決にあたるチームワーク力
C) 他の学問分野の基本的なものの考え方を学び、自らの専門分野との違いを理解する力
D) 能動的に学び、新たな発想を生み出す力
E) 複数の言語で異なる文化の人々と意思を通じ合うことができる力
F) 文化、思想、価値観の多様性を受容し、地球的課題を理解する力

学部：

G) 科学全般を俯瞰する能力
H) 物理学の基礎を理解し応用する能力
I) 物質の構造および機能を理解する能力
J) 現代物理学を理解する能力
K) 物理学の実験手法を応用する能力
L) 自ら課題を設定し、課題を創造的に解決する能力

大学院博士課程前期課程：

G) 研究成果発信のための英語能力
H) 学際的視野に基づいた創造的な研究能力
I) 物質の構造及び機能を根本原理から理解する能力
J) 物理学の各研究分野に関連した基礎能力、及びそれを研究に応用する能力
K) 現代物理学の広範な研究分野を俯瞰する能力
L) 物理学を深く探究するための基礎となる能力

大学院博士課程後期課程：

G) 研究成果発信のための英語能力
H) 学際的視野に基づいた創造的な研究能力
I) 物質の構造及び機能を根本原理から理解する能力
J) 物理学の各研究分野に関連した高度な能力、及びそれを研究に応用する能力
K) 現代物理学の広範な研究分野を俯瞰し、新たな研究課題の着想に活かす能力
L) 物理学の研究を自立して行うための能力

設問 3) 物理学専攻【博士課程前期課程】では、DP で定める知識や能力などを身につけさせるため、以下のようなカリキュラムを編成しています。これらの授業科目があなたの知識の習得に関してどの程度役にたったと思いますか。次の中から１つ選択してください。

（ア） 科学英語科目（研究成果発信のための英語能力の向上）
（イ） 特別講義科目（現代化学の広範な研究分野を俯瞰する能力の向上）
（ウ） 論文講究及び特定研究科目（物理学を深く探究するための基礎能力の向上）
（エ） コア授業科目という教育システム（専攻内の分野の枠を超えた専門的知識の習得）
（オ） 先端融合科学特論Ⅰという教育システム（幅広い自然科学の知識の習得）

選択肢： 1.大いに身についた / 2.役に立った / 3.ある程度役に立った / 4.役に立たなかった /
5.わからない /6.未履修

物理学科　R3 年度　学部卒業生　アンケート結果

	1)	2A)	2B)	2C)	2D)	2E)	2F)	2G)	2H)	2I)	2J)	2K)	2L)

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

1.	0	4	4	5	3	0	3	4	9	6	8	5	2
2.	5	18	16	10	16	8	7	14	19	15	18	19	17
3.	3	10	8	13	12	6	13	11	4	8	8	7	10
4.	11	1	3	4	3	15	8	4	1	4	0	2	2
5.	15	1	3	2	0	5	3	1	1	1	0	1	3

物理学専攻　R3 年度　大学院博士課程前期課程修了生　アンケート結果

	1)	2A)	2B)	2C)	2D)	2E)	2F)	2G)	2H)	2I)	2J)	2K)	2L)
1.	1	4	3	2	2	2	2	0	0	5	4	4	6
2.	2	10	10	7	11	8	5	11	14	8	10	9	9
3.	1	2	3	5	3	4	7	4	1	3	2	3	1
4.	8	0	0	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0
5.	4	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0

	（ア）	（イ）	（ウ）	（エ）	（オ）
1.	2	5	6	3	5
2.	5	4	6	5	3
3.	6	4	2	2	5
4.	0	0	0	1	0
5.	1	2	2	3	2
6.	2	1	0	2	1

物理学専攻　R3 年度　大学院博士課程後期課程修了生　アンケート結果

	1)	2A)	2B)	2C)	2D)	2E)	2F)	2G)	2H)	2I)	2J)	2K)	2L)
1.	0	0	2	0	2	1	1	0	1	2	0	1	2
2.	0	3	1	4	2	3	2	3	2	1	4	3	2
3.	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
4.	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2.16. 授業評価

物理学科・物理学専攻では、理学研究科・理学部による学生授業振り返りアンケートを行っている。全学的に統一されたウェブ上でのアンケートと並行して、部局独自のアンケートをウェブ上で実施している。アンケートの集計結果は担当教員に開示されていて、授業改善に役立てられている。
なお、学科会議での議論を受けて、物理学科では 2004 年度から学科長、教務委員、自己評価委員を中心に学生による授業振り返りアンケート結果を利用し、問題のある授業がないかチェックするとともに授業改善をすすめていくシステムを構築している。また、授業振り返りアンケートの内容の見直しも随時すすめていく。

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2.17. 個別教育活動の記録

2022 年度　教育活動の記録　　物理学専攻・准教授　坂本 眞人

担当授業科目等		
（全学共通）		
（学部）	(1) 量子力学 I,II	1Q,2Q　2 コマ　×　15 回
	(2) 教育原論「量子力学基礎」	1Q　1 コマ × 7.5 回
	(3) 教育原論「相対論基礎」	2Q　1 コマ × 7.5 回
（博士前期）	(4) 論文講究 I, II　（分担）	
	(5) 特定研究 I, II　（分担）	
	(6) 素粒子理論 III	3Q　1 コマ　×　7.5 回

授業内容と自己評価

(1)　量子力学 I,II の講義では、量子力学の基礎的部分について講義を行った。量子力学の内容は、数学的にも物理的にも高度な内容を含む。そのため、できるだけ詳しくわかりやすい解説を心掛けた。アンケートの結果からすると、講義はわかりやすいとの評価が得られたようである。毎週の演習問題（解答付き）を Web にアップして、学生に自主的に予習・復習を行うように促し、講義の内容の定着を計るとともに学力の向上を目指した。この演習問題を解けば、一通りの授業内容が理解でき、さらに授業では時間の関係で取り扱えなかった、発展問題も習得できるようにした。学生の出席率を上げるためと講義の内容を理解しているかの確認のため、その週の授業内容から小テストを演習時間に毎回実施した。これは、学生の理解の定着と出席率の向上に役立ったと思われる。

(2)　今年度は、統一の観点から現代物理学、特に素粒子理論の考え方を初めに紹介した。それから、現代物理学の根幹を成す量子力学について、専門ではない学生でもわかるように、具体例をもちいて説明した。次に相対性理論を説明し、最後は最新宇宙論に話題を持っていった。このとき、これらの内容を簡単な数式のみで理解できるよう工夫した。アンケートを見ると、この試みは成功したようである。それから、出席率を上げるために、毎回小テストを行った。また、今回の講義では毎回、質問を受け付けたので、その質問に答える形で次回の講義を始めるようにした。これは、質問を書いてくれた意欲のある学生にとって、大変好評のようであった。

(3) (4)　園田准教授と連携して、学生が論文を読んで理解をする能力を高めるための教育を行っている。また、専門家の話を聞くことによって新しい話題についても知識を得るようにしている。学生に基礎学力を付けさせるために、随時、基礎的なテーマで解説を行った。

(5)　場の量子論の輪講を行った。場の量子論としての基礎的な部分から入り、散乱行列、スペクトル表示、LSZ 簡約公式、散乱断面積、量子力学における経路積分、場の量子論における経路積分、摂動計算とファインマン・グラフ、ファインマン則、生成汎関数とグリーン関数、有効作用と有効ポテンシャル、くりこみ、1 ループと 2 ループのくりこみ、正則化、くりこみ可能性、くりこみ群を取り扱い、場の量子論の（ゲージ場の量子化を除いて）基礎的項目を一通り網羅できた。ただし、これらを全てカバーするには前期だけでは足りなかったので、授業科目としてはなかったが、引き続き後期も（したがって、通年）場の量子論の輪講を行った。場の量子論の習得のためには、半期では時間が短すぎる。

その他の特記事項

・西宮市立東高校で出前授業「相対論の不思議な世界」、奈良学園高等学校の高校生に対して 4 回、SS 基礎授業「相対論の不思議な世界」を行った。

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2022 年度 教育活動の記録　　物理学専攻・准教授　園田 英徳

担当授業科目等

（全学共通）（1）物理学実験基礎　1Q　2コマ×7.5回
（2）物理学実験　前期　2コマ×15回
（学部）（3）特殊相対性理論　後期　1コマ x15回

（博士前期）（4）素粒子理論 I　前期　1コマ x15回
（5）論文講究 I、II（分担）
（6）特定研究 I、II（分担）

授業内容と自己評価

(1,2) 実験指導に当たった 4 人の教員のまとめ役を務めた. 実験は, テーマ B「電気抵抗の温度変化（超伝導体・金属・半導体）」を指導した。

(3) 前半は Einstein の原論文に沿って特殊相対性理論の導出を講義し, 後半は現代的に記法を使って, 前半の内容をさらに発展させた. 最後は背景輻射を運動系で見ると温度が方向に依存することを説明した.

(4) 場の理論が非相対論的量子力学とスムーズにつながるよう工夫した．ラグランジアンからどのように Feynman 則を導くかがわかることを最終目的として，授業を組み立てた.

(5,6) 坂本准教授と連携して、学生が論文を読んで理解をする能力を高めるための教育を行っている．また、専門家の話を聞くことによって新しい話題についても知識を得るようにしている．学生に基礎学力を付けさせるために、随時、基礎的なテーマの解説を行った。

その他の特記事項
特になし

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2021 年度　教育活動の記録　　物理学専攻・教授　　早田　次郎

担当授業科目等

（学部）	(1) 一般相対性理論	前期 1 コマ×15 回
（博士前期）	(2) 理論物理学 I	前期 2 コマ×15 回
	(3) 宇宙論 I	4Q 2 コマ×7.5 回
	(4) 論文講究 I,II	
	(5) 特定研究 I,II	
（博士後期）	(6) 特定研究	

授業内容と自己評価

(1) 一般相対性理論は、重力を記述する理論である。それ故、様々な応用があり、特に宇宙論の基礎として重要である。等価原理から出発して重力がなぜ幾何学的に記述することができるのかを説明し、基礎方程式を導くことを試みた。重力波、ブラックホール、宇宙論についてほぼ完全な解説を試みた。かなり高度な内容であるため、演習問題を多く解かせる事で着実な理解を目指した。

(2) 物性における場の量子論の応用について、英語の教科書を輪講した。学部ではあまり習わない径路積分法による量子力学の定式化を始めとして、場の量子化の考え方がよく分かる題材であり、物理としての場の量子論を学ぶことができたと思う。

(3) 大学院の前期課程の授業である。宇宙論における摂動理論について基礎から丁寧に解説した。ニュートン的な流体の取り扱いによってジーンズ不安定性を説明し、相対論的な場合へと拡張するというスタイルをとった。インフレーション中での場の量子論の解説を行い、揺らぎの初期条件を導いた。それが宇宙背景放射にどのような予言を行うかを明らかにし、パワースペクトルの計算を行った。インフレーションから精密観測までの流れを一通り概観することで、現代宇宙論とは何かを理解することができたはずである。

(4) 論文講究では、それぞれの院生に興味のあるテーマに関する論文等に関して調べた上で発表させ、本質的に重要と思われる部分に関する議論を通して、テーマに関する深い理解につながる様に指導した。

(5) 特定研究では、論文につながるテーマを与え、定期的に議論によって指導した。

(6) 博士前期課程 2 名、博士課程後期課程 4 名の院生の研究指導を、共同研究を通して行った。うち、3 人については論文を書かせた。

その他の特記事項

指導していた 1 名が博士学位論文を授与された。

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

担当授業科目等

（学部）	(1) Introduction to Physics	2Q　1 コマ　×　7.5 回
	(2) 宇宙物理学	前期　1 コマ　×　15 回
	(3) 現代物理学	前期　1 コマ　×　5 回（分担回数）
	(4) 素粒子物理学	後期　1 コマ　×　15 回
（博士前期）	(5) 論文講究 I,II	
	(6) 特定研究 I,II	
（博士後期）	(7) 理論物理学 II	3Q　2 コマ　×　7.5 回
	(8) 特定研究	

授業内容と自己評価

(1) 理学部物理学科の 2 年生を対象とした英語による物理学への入門講義で、50 名程度が履修した。宇宙論・素粒子論を中心とした現代物理学への導入を行うと共に、研究者として国際的に活動することの面白さやその際に心がけるべきことを伝え、学生自身が今後世界で活躍するイメージを持てるように工夫した。

(2) 理学部物理学科の 3、4 年生を主な対象とした現代宇宙論への入門講義で、70 名程度が履修した。膨張宇宙論の基礎を観測・理論の両側面から解説し、さらにはインフレーションや暗黒物質、暗黒エネルギーなどの現代宇宙論の課題を説明することで、講義で学んでいる内容と最新の研究の関連性を伝えるよう心がけた。また、演習問題を配ることで、学生の学習の助けとなるようと工夫した。

(4) 理学部物理学科の 3 年生を主な対象とした素粒子物理学への入門講義で、40 名程度が履修した。素粒子標準模型が作られた歴史を説明するとともに、その課題や近年の研究動向も説明することで、講義で学んでいる内容と最新の研究の関連性を伝えるよう心がけた。また、演習問題を配ることで、学生の学習の助けとなるようと工夫した。

(5) 博士前期課程 2 年生 2 名を指導した。それぞれの大学院生が興味を持った最新の論文について学ばせ、内容を発表させた。特に、学んだ内容を自身の研究に繋げるよう意識させた。

(6) 博士前期課程 2 年生 2 名の研究指導を行い、(a) 加速膨張宇宙における弦のスペクトル、(b) 散乱振幅のユニタリー性と低エネルギー有効理論、に関する共同研究をそれぞれ行った。(a) については論文が 5 月に出版された。また、(b) については 2022 年 5 月に論文を arXiv で発表した。

(7)　博士後期課程向けの場の量子論の発展的講義である。受講学生らの要望を受け、本年度は共形場理論と超対称性理論の基本的内容を扱った。博士前期課程の学生らも聴講するなど、受講対象の博士後期学生だけでなく大学院生全体の教育に繋がった。

(8) 博士後期課程 2 年生 2 名の研究指導を行い、(a) 加速膨張宇宙における弦のスペクトル、(b) ブラックブレーンの熱力学と弱い重力予想、に関する共同研究をそれぞれ行った。(a) については論文が 5 月に出版された。また、(b) については現在論文を執筆中である。

その他の特記事項

研究室の大学院生と 2 本の共著論文を出版した。

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2021 年度　教育活動の記録　　物理学専攻・准教授　　久保木　一浩

担当授業科目等

（全学共通）	(1) 力学基礎 1	1Q 1 コマ×7.5 回
	(2) 力学基礎 2	2Q 1 コマ×7.5 回
（学部）	(3) 量子力学 III	3Q 2 コマ×7.5 回
	(4) 量子力学 IV	4Q 2 コマ×7.5 回
	(5) Introduction to Physics	2Q 1 コマ×4 回（分担）
	(6) 特別研究	
（博士前期）	(7) 量子物性 I	前期 1 コマ×15 回
	(8) 論文考究 I, II	
	(9) 特定研究 I, II	

授業内容と自己評価

(1),(2)力学基礎 1 および力学基礎 2 は共通専門基礎科目である。受講者（医学部保健学科）には高校で物理、数学 III を履修していない学生が多いことを踏まえ、基礎的な部分に十分時間をかけてつまずく学生が出ないように配慮した。具体的には、物理学の基本的考え方、微積分など数学の基礎知識およびその物理への応用についてくわしく解説した。また、授業内容の理解が深まるよう毎回かんたんな宿題を出したが提出率は高く教育効果があったと思われる。

(3),(4) 学部での物理教育の中でも中心的な科目である量子力学を担当した。量子論の基本的な概念と考え方を理解させたうえで、講義と直接関連した問題演習を行うことにより、実際に問題が解ける応用力を身につけさせるように努めた。具体的には荷電粒子と電磁場の相互作用、演算子の行列表示、スピン、同種粒子系、角運動量の合成、摂動法、変分法、原子分子、ポテンシャル散乱、Dirac 方程式を講じ、例題を豊富に取り扱った。これによって受講生に量子力学への興味を持たせることができたと考える。

(5) 高度教養科目である Introduction to Physics では量子論、物性物理に関する話題を英語で解説した。物理を専門としない他学部生も聴講していることを考慮して基本事項からスタートし、最近の研究成果が物理学の基本法則からどう理解されるかを講じた。

(7) 量子物性 I は超伝導と磁性と言う広い分野について基本事項を解説する講義である。超伝導に関しては実験事実の紹介と、それらを説明する BCS 理論、Ginzburg-Landau 理論の基礎を講じた。磁性に関しては Dirac 方程式から出発したスピン軌道相互作用、Zeeman 効果の解説のあと、磁性体における交換相互作用、量子スピン系の理論的取り扱い（平均場近似、スピン波理論）を講じ、さらに低次元磁性体に関する話題（Mermin-Wagner の定理、Berezinskii-Kosterlitz-Thouless 転移）を紹介した。やや専門性が高い科目であり、したがって受講者も専門の近い大学院生が集まるため、そのような学生の興味を惹きうるような講義を行うように努めたが、結果はおおむね好評だったと考える。

(6),(8),(9) ４年生のセミナーは 3 名の教員、大学院前期・後期のセミナーは２名の教員による分担である。

その他の特記事項

高校生対象に模擬授業を行った。（兵庫県立兵庫高等学校）

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2022 年度　教育活動の記録　　物理学専攻・准教授　　西野 友年

担当授業科目等

（学部）	(1) 物理数学 III	1Q　2 コマ　×　7.5 回
	(2) 物理数学 IV	2Q　2 コマ　×　7.5 回
	(3) 物理学実験 III	1Q　3 コマ　×　7.5 回
	(4) 物理学実験 IV	2Q　3 コマ　×　7.5 回
	(5) 連続体力学基礎	3Q　1 コマ　×　7.5 回
	(6) 特別研究	
（博士前期）	(7) 論文考究 I, II	
	(8) 特定研究 I, II	
（博士後期）	(9) 理論物理学 III	2S　2 コマ　×　15 回

授業内容と自己評価

(1)(2) フーリエ変換、ラプラス変換、級数などを用いた微分方程式の解法を概説した。原理の理解に重点を置きつつ、球面調和関数の導入にあたっては水素分子の原子（分子）軌道との関わりを、エルミート多項式の導入にあたっては調和振動子の量子力学的な取り扱いとの関わりを紹介し、物理現象の解明に使う数学の道具として数学的な知識を学ぶ意義を語った。

(3)(4) 受講者が持参したデジタルデバイスを用いて、線形帰還シフトレジスターを用いた乱数の発生や、それを利用したランダムウォークのシミュレーションを行い、歩数と到達距離の期待値のスケーリング関係式を導出させた。受講者それぞれが準備できる環境の下で、実験が完了できるように内容を厳選した。質問には随時メール等で応対し、必要に応じてコンパイラのインストールなどの手順をサポートした。また、デジタル処理に初めて遭遇する学生には、理解を深める補助的な資料を紹介し、メールなどを通じての質疑応答を行った。

(5) 連続体の基礎的な理解、変形と応力などについて、本質的な部分を平易な数学的取り扱いで概説した。弾性体では局所的な歪みの定義をまず導入し、対応する応力が「応力テンソル」を通じて与えられることを、基本的な変形について確認した。流体では静圧について復習した後に、定常流の圧力と流速などの関係を、流管を使ったダランベールの視点から解析しまた。粘性を持つ流体では、容器の表面での流速勾配をまず概観し、管を通じて運ばれる水量と圧力勾配の関係を導出した。弦の運動方程式から進行波や定常波の数学的な記述を導出した。遠隔・オンデマンド配信により実施した。

(6)(7)(8) ４年生のセミナーは 3 名の教員、大学院前期・後期のセミナーは２名の教員による分担である。私は特に、量子情報と統計力学、そしてデータサイエンスの関係等について、最近の進展を平易解説し、最先端の研究を行う素養を身につけることを目的として集団または個別の指導を行った。特に、情報理論とエントロピー、カオス、画像処理とディープニューラルネットワークによる機械学習等について、指導の時間を割いた。また、必要に応じて数値計算を用い、データ解析を行わせた。卒業研究発表の指導においては、半導体表面に生成した量子ドットの性質について、基本的なものを紹介した。また、量子エンタングルメントを可視化する方法についても検討させた。

(9) テンソルネットワーク形式を使って、量子力学系の基底状態解析や統計物理系の熱平衡状態を解析する数値計算法について概説した。また、機械学習など AI 分野への応用についても、最先端の取り組みからいくつか紹介した。

その他の特記事項

対面講義は同時に遠隔配信した

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2022 年度　教育活動の記録　　物理学専攻・教授　　播磨 尚朝

担当授業科目等

（学部）	(1) 統計物理学 I	1Q2 コマ　×7 .5 回
	(2) 統計物理学 II	2Q2 コマ　×7.5 回
	(3) 統計物理学 III	3Q2 コマ　×7.5 回
	(4) 統計物理学 IV	4Q2 コマ　×7.5 回
（博士前期）	(5)量子物性 II	後期 1 コマ　×15 回
	(6) 論文講究 I	
	(7) 特定研究 I	
（博士後期）		

授業内容と自己評価

(1)(2)(3)(4) 物理学科 3 年生配当で週に 2 コマの講義からなっている。従来の演習付きの科目と単位数は同じであり、1 クオータ（1Q）で 5〜6 回、演習問題を出してレポートの提出を求めている。レポートは TA の点検ののち、すべて返却している。昨年度から通年で担当することにより、一貫した講義が行えるようになった。1Q は統計力学の基礎、2Q はカノニカル分布の応用、3Q は量子統計力学のフェルミ分布とボース統計、4Q はイジングモデルを中心として相互作用のある系を扱うが、相互に学習する事項を参照しながら授業を進めることが可能になった。学生は常に統計物理学の全体の構成を意識しながら学ぶことが出来たと思う。感染症に注意しつつ対面のみでの講義が可能になったので、原則的に対面の講義を行った。今年度の 3 回生は感染症拡大時に入学した学年であり、毎日登校する習慣がついていないと思われることもあり、毎回出席を取ることとした。これにより、レポートの提出状況も出席状況も大幅に改善された。例年通りの授業内容にもかかわらず、筆記試験の成績は感染症拡大前と同じレベルかそれ以上の出来であった。昨年ハイフレックスの授業で成績が芳しくなかったことを考えれば、対面による教育効果の高さがうかがえる結果となった。

授業評価アンケートは、回答者数が少なくあまり参考にならないが、答案の返却が無駄であるという意見があった。教育効果を高めるために原則として採点した答案を返却して解説を行うことを 20 年近く行ってきたが、それを無駄と意見されたのは初めてである。教育方針が十分に伝わっていないか理解されていないのであろう。今後は教育方針の周知徹底にもつとめるようにしたい。

(5)　量子物性 II は強相関電子系の固体電子論を理解する上での基礎事項の講義を行なっている。実験系の学生が電子構造計算の論文を読んで理解出来るようになることを目標にしている。図面が多いことからスライド主体の講義であるが、スライドのコピーは学生に配布して、それに記入しながら受講をさせている。一般の書籍には書かれていない事項の内容の講義である。実験系の学生 3 名を含む 5 名が欠席することなく熱心に受講した。最近話題の非共型空間群の特別講義も行った。出席と課題提出で成績評価を行った。

(6)(7)　博士前期課程 2 名の研究指導を行なった。1 名は内部進学で、1 名は他大学からの進学である。Advanced Solid State Physics (Philip Phillips 著, Cambridge University Press 2012)の購読とそれぞれの研究テーマの指導を行い、それぞれ研究経過発表会で発表を行った。2 名のうち 1 名は博士後期課程への進学を希望しており、研究テーマの選択は今後につながるようなものにして、進学先の相談にものっている。

その他の特記事項

学部で出席をとった統計物理学は、通年で月曜の 1 限と 2 限である。週の始めの朝早くに大学に来ることで、生活のリズムがとれたのではないかと思われる。

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2022 年度　教育活動の記録　　物理学専攻・教授　　藏重 久弥

担当授業科目等

（学部）	(1) 剛体の力学	3Q,4Q　1コマ　×　15 回
	(2) 物理数学 I、II	3Q,4Q　2コマ ×　15 回
	(3) 物理学実験 III, IV	1Q,2Q　3コマ　×　15 回(分担)
	(4) 特別研究	
（博士前期）	(5) 論文講究 I、II	
	(6) 特定研究 I、II	
（博士後期）	(7) 高エネルギー物理学Ⅲ	前期　7.5 コマ(集中講義)

授業内容と自己評価

(1) 物理学科 1 年生の対面授業として開講。対面型授業ではあったが、一部の新型コロナウィルス感染症対策のため遠隔から授業参加する学生向けに ZOOM によるハイフレックス型のハイブリッド授業を行った。講義前に、質問受付・レポート問題開設の時間（30 分）を設けた。

(2) 物理学科 2 年生の対面授業として開講。対面型授業ではあったが、一部の新型コロナウィルス感染症対策のため遠隔から授業参加する学生向けに ZOOM によるハイフレックス型のハイブリッド授業を行った。各週の講義中での演習を行い、質問を受付けた。

(3) 物理学科 3 年生向けの授業で、宇宙線ミュー粒子実験を担当した。講義資料は BEEF で配布した。

(4)(5)(6)　卒研生（11 名)、M１（7 名)、M２（6 名）の研究指導・論文講究を、研究室のスタッフ全員と協力して学生の研究指導にあたった。

(7)　博士後期課程大学院生向けに、素粒子標準模型を超える理論とその実験についての対面授業として開講。

その他の特記事項

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2022 年度　教育活動の記録　　物理学専攻・教授　　竹内　康雄

担当授業科目等

（学部）	(1) 現代物理学 I,II	1Q,2Q　1 コマ　×　 5 回(分担)
	(2) 物理学実験 III, IV	1Q,2Q　3 コマ　×　15 回(分担)
	(3) 特別研究	
（博士前期）	(4) 素粒子実験学 IV	後期　7.5 コマ(集中講義)
	(5) 高エネルギー物理学 I	前期　2 コマ　×　15 回
	(6) 論文講究 I、II	
	(7) 特定研究 I、II	

授業内容と自己評価

(1) 学部 1 年生向けに、物理学科で行われている素粒子・宇宙実験分野の研究の概要を概説する授業であった。昨年度と同様に、新型コロナウィルス感染症対策のためオンデマンド型の授業を行った。毎回、ZOOM によるオンライン授業で履修指導を行った。講義資料を BEEF で配布し、履修者の予習・復習に配慮した。毎回の課題提出の際に学生からのフィードバックを集め、それを授業内容の改善に用いた。課題の提出には BEEF を活用した。

(2)　物理学科 3 年生向けの授業で、宇宙線ミュー粒子実験を担当した。講義資料は BEEF で配布した。対面型授業ではあったが、体調不良者の学修機会を確保するため対面型の補講や ZOOM を用いた補講を行った。レポートの提出には BEEF を活用した。

(3), (6), (7) 卒研生、M1、M2 の研究指導・論文講究を行った。研究室のスタッフ全員と協力して学生の教育にあたった。全体での研究打ち合わせや論文講究は ZOOM を用いたリアルタイム型の会議で行い、個別研究打ち合わせや大学の実験室での実験操作が必要な研究に関しては対面式で指導をした。マスク着用や手指消毒などの感染症対策を行った。

(4) 大学院生向けの授業である。ニュートリノと宇宙・天体研究との関連を学び、地下で行う素粒子・宇宙実験に関する理解を深めるテーマの授業にした。講義資料を BEEF で配布し、課題の提出には BEEF を活用した。

(5) 物理学専攻の大学院 1 年生向けに、素粒子標準模型に関して、テキストに沿って講義を行った。対面授業を行った。毎回課題を課し、予習・復習時間の実質化に配慮した。課題の提出には BEEF を活用した。講義中に学生に対する質問を行い、また、学生に練習問題の解答例を説明させるなどを行い、双方向性に配慮した。

その他の特記事項

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2022 年度　教育活動の記録　　物理学専攻・教授　　山﨑 祐司

担当授業科目等

（学部）	(1) 物理学情報処理	1Q, 2Q 各 2 コマ×7.5 回
	(2) 初年次セミナー	1Q 7.5 コマ（主担当）
	(3) 物理学実験Ⅲ・Ⅳ	3Q, 4Q 各 3 コマ×7.5 回（分担）
	(4) 物理学実験Ⅰ・Ⅱ	3Q, 4Q 各 3 コマ×7.5 回（分担）
	(5) 特別研究	
（博士前期）	(7) 論文講究 I、II	
	(8) 特定研究 I、II	

授業内容と自己評価

(1) 物理学情報処理演習から情報処理となり，単位数が倍増するに伴い，昨年 2021 年度に授業内容を大幅に刷新した。従来の Excel による物理および事務計算（計 3 回）は残しつつ，プログラミング言語は C++から Python に変更し，言語仕様（制御構造，関数，クラス）をきちんと学ぶ内容とした。数値計算の部分も残した。BEEF 小テストで理解も深めようと試みた。前年度は遠隔，今年度は対面であったが，理解の難しい学生，自分のコンピューターでプログラミングするにあたっての技術的困難など，様々な問題があることがわかった。TA を置いて対面で演習を含めた授業行ったことにより，今年度は前年よりは理解が深まっていたと感じている。

(2) 今年度は 1 学年の担任を務めているため，初年次セミナー全体を担当した。新入生が神戸大学のことを知るにあたって，それなりの効果があり，初年次セミナーの意義を感じることができた。

(3) 担当の実験科目は計算機実験であった。高エネルギーの粒子を物質中に入射するシミュレーションを行って，粒子と物質との反応を体感する課題であった。対面で演習を行うことができ，学修効果が従来通りあったと思われる。

(4) 担当の実験科目はロボティクスであった。課題解決型の実験で，受動的でない学修の機会を提供している。実地の実験を行えた。TA と協力して指導を行った。レポート指導にも注力した。

(5) 4 年生の論文紹介の発表では，積極的に質疑応答が起こるようにした。また，実験研究では宇宙線からのミューオンと原子核との反応（光生成反応）をとらえる試みを行った。今年度は前田講師との共同で指導した。2年目の試みでバックグランドを前年度よりは抑えることができた。理論的な散乱断面積の評価とシミュレーションに一定の合致が見られるなど，事象の理論的背景の理解も進んだ。

(6) 粒子物理学講座の教員の一人として大学院生の論文講究を担当・指導した。

(7) M1 学生 1 名の研究指導を行った。今年度は，LHC アトラス実験における初段トリガーの新しいデータ取得論理回路をイタリアグループなどが開発したのを受けて，その動作を検証する研究の指導を行った。この新論理は，近接する 2 つのミューオンが同じ測定器単位に入ったときにそれを知らせる信号をフロントエンドカードからトリガー論理判断装置まで導き，これら近接ミューオンのある事象の取得効率を向上させるものである。研究の結果，実際に取得したデータで効率が予想通りに向上していることがわかった。この指導は前田講師と共同で行った。

その他の特記事項

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2022 年度　教育活動の記録　　物理学専攻・准教授　　身内 賢太朗

担当授業科目等

（全学共通）
（学部）　(1) 特別研究
（博士前期）　(2) 論文講究 I、II
(3) 特定研究 I、II
（博士後期）

授業内容と自己評価

(1)　卒研生（11 名）の研究指導・論文講究を、研究室のスタッフ全員と協力して行った。特に後期の実験では、三次元ガス飛跡検出器を用いた宇宙線ミューオン測定の研究を指導した。測定装置の組み上げ、データ収集系の構築など、実験を 1 から立ち上げる楽しさ、さらには、問題への対処法などを自ら考える姿勢を直接伝えた。
(2)　粒子物理学大講座の教員の一人として大学院生の論文講究を担当・指導した。
(3)　博士課程前期課程の大学院生 4 名の指導を行い、うち 2 名の修士論文の指導・主査を行った。

※　2022 年度は専攻内サバティカルのため、講義などの担当が免除されていた。

その他の特記事項

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2022 年度　教育活動の記録　　物理学専攻・准教授　　越智　敦彦

担当授業科目等

（全学共通）	(1) 現代物理学の描く世界	3Q,4Q　各1コマ×7.5 回
（学部）	(2) 電磁気学Ⅲ／物理数学基礎	3Q　2 コマ×7.5 回
	(3) 電磁気学Ⅳ／電磁力学	4Q　2 コマ×7.5 回
	(4) 物理学実験Ⅴ・Ⅵ	3Q, 4Q　各 3 コマ×7.5 回
	(5) 特別研究 A(実験系)	
（博士前期）	(6) 論文講究Ⅰ・Ⅱ	
	(7) 特定研究Ⅰ・Ⅱ	

授業内容と自己評価

(1) 現代物理学の描く世界では、他学部他学科を対象に、教養原論の講義を行った。現代物理の中心である相対論と量子論について、その成立の歴史的背景を皮切りに、可能な限り数式を使わない形で文系に理解できるように説明し、ほんの百数十年の間に確立されてきた現代物理学が、現在の我々の生活でどのように使われているか、さらに最先端の素粒子実験や宇宙論に関して講義内容を展開した。内容を深く考察させるために、各回の講義で小レポートと期末レポートで課題を与え提出させる指導を行った。

(2)(3) 物理学科 2 年を対象に、波動物理とマクスウェル方程式を出発点とした準定常電流や電磁波を扱い、物質との相互作用、及び反射や屈折など光学の基礎までを講義内容とした。本講義は従来からのカリキュラムを変更し、ここ数年物理学科での教育の中で手薄だった波動物理を入れ、電磁力学分野を吸収する形で電磁気学にまとめた形で行った。

(4) 物理学実験Ⅴ・Ⅵでは、「パルス技術」を担当した。このテーマは測定項目が多いことから、TA を効率的に活用して装置の扱い方や正確なデータの取り方など、きめ細かに指導を行った。

(5) 卒研生（11 名）の研究指導・論文講究を、粒子物理学研究室のスタッフ全員と協力して行った。特に後期の実験では、4 名の 4 回生に対して、新粒子発見を目指した卒業研究の指導を行った。このテーマでは外部の加速器施設を用いて、実験の理論的計算、装置や試料の準備、測定、データ解析などを一通り経験させられたことで、教育的効果は大きいものと考えている。最終的には、役割を分担する形で卒業論文をまとめさせた。

(6)(7) 博士課程前期課程の大学院生 2 名の指導を行い、両名の修士論文の指導・主査を行った。論文講究については粒子物理学研究室の教員と共同で行った。

その他の特記事項

上記「現代物理学の描く世界」講義について、「ベストティーチャー賞受賞者に続いて学生からの高い評価を受けた教員」として発表された。

指導学生の高橋真斗君が、修士論文審査会優秀発表賞を受賞した。

上記担当授業とは別に、M1 向けに検出器に関するゼミを前期に開催し、指導を行った。

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2022 年度　教育活動の記録　　物理学専攻・講師　　前田 順平

担当授業科目等

（全学共通）	(1) 物理学実験	後期	2 コマ　×15 回
	(2) データサイエンス入門	2Q	1 コマ（分担）
（学部）	(3) 古典電磁気学 I、II	3Q, 4Q	各 1 コマ×7.5 回
	(4) 物理学実験 I、II	3Q, 4Q	各 3 コマ×7.5 回
	(5) 特別研究		
（博士前期）	(6) 素粒子実験学 III	後期	集中　7.5 コマ
	(7) 論文講究 I、II		
	(8) 特定研究 I、II		

授業内容と自己評価

(1) 主に工学部 1 年生が受講対象の基礎的な物理学実験である。実験に入る前の初回の基礎的な測定技術の講義および演習、その後 5 テーマの本実験を行う。「電気抵抗の温度変化」を担当した。

(2) 数理・データサイエンスセンターが開講している全学部学部生対象の講義「データサイエンス入門」の 1 コマを担当した。「素粒子物理学とデータサイエンス」という題目で、LHC 実験を具体例として、素粒子実験でデータの取得方法、分散コンピューティングによるビッグデータの取り扱い方、また統計処理や機械学習の応用などに対して概説した。

(3) 物理学科・惑星学科の 1 年生向けに電磁気学の講義を行った。電場・磁場の導入から Maxwell 方程式の解釈までを概観する内容であり、時間の都合上、演習問題は宿題とした。レポート・試験の解答から、積分やベクトル演算等の数学の基本知識に乏しい学生が散見されたため、そのフォローアップができるような指導・演習の提供を行えるようにしていきたい。

(4) 物理学科 2 年対象の実験であり、宇宙線を担当した。

(5) 卒研生（11 名）の研究指導・論文講究を粒子物理研究室のスタッフ全員と協力して行った。主に前期は基本的な実験技術を指導し、後期は論文講究に加え、山崎教授と共に宇宙線ミューオンが起こす光生成反応事象の測定を 3 名の卒業研究として指導した。

(6) 衝突型加速器を用いた高エネルギー実験から、地下で行うような低エネルギーにいたるまで、素粒子実験として土台となる部分の講義を行った。素粒子実験を行うための検出器、加速器、電子回路、データ取得、事象の再構成、解析手法など、全てにわたって概観した。これまでの研究で培った経験を紹介しながら、特定の実験に限らない知識も講義できたと思われる。

(7) 粒子物理学大講座の教員の一人として大学院生の論文講究を担当・指導した。

(8)　ATLAS 実験を研究テーマとする博士課程前期課程の大学院生 5 名の指導を藏重教授、山崎教授と共に行い、うち 2 名の修士論文の指導・主査を担当した。

その他の特記事項

指導学生の 1 名が修士論文審査会優秀発表賞を受賞した。また素粒子実験を研究対象とする他大学の大学院生や、データサイエンスに興味のある高校生に対しての出前講義を行った。

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2022 年度　教育活動の記録　　物理学専攻・助教　　鈴木　州

担当授業科目等

（全学共通）	(1) 物理学実験　基礎実験	後期　2コマ × 15回
（学部）	(2) 物理学実験 III, IV	1Q, 2Q 各 3 コマ × 8 回
	(3) 物理学実験 V, VI	3Q, 4Q 各 3 コマ × 8 回
	(4) 物理実験学	前期 1 コマ×8 回
	(5) 初年次セミナー	1Q 0.5 コマ×1 回
	(6) 特別研究	
（博士前期）	(7) 論文講究 I、II	
	(8) 特定研究 I、II	

授業内容と自己評価

(1)　誤差論、ローレンツ力と金属線の共鳴振動、電気抵抗の温度変化、水素原子のスペクトル、X 線、基礎電気測定といったテーマについて、2022 年度からは全面対面に戻して授業を行った。これにより、オンライン、ハイブリッド方式時に比べて教育効果は上がったと思う。

(2) 実験テーマが 8 つあるうちの γ 線源を用いた実験を担当している。2020 年度にオンライン授業用に用意した教材を有効利用することができた。

(3) 授業内容は(2)と同じである。

(4) 前期に開講される週 1 コマの授業のうちの前半 8 回を担当した。素粒子の実験的研究において必要な確率・統計、電気回路、粒子検出などの基本的知識について毎週課題を与えながら授業を行った。日常における具体例をあげるたり、物理学実験の授業で実際に行われている実験を紹介するなどして理解を深めてもらえたと思う。

(5) ニュートリノの実験的研究について対面授業で行った。あらかじめ質問を用意することで、どこに注目して授業を聞いてもらえば良いかをわかってもらえたと思う。

(6) Introduction to Elementary Particle Physics(A. Bettini 著)を教材とした 4 年生対象のゼミで、複数教員で担当した。英語の教科書を用いることで科学英語に慣れるとともに、素粒子物理についての基本知識を身につけてもらえたと思う。

(7)　研究室のスタッフ全員と協力して M１、M２の論文講究を行った。

(8) ニュートリノ実験に関連した研究をテーマとする博士課程前期課程の大学院生 1 名の指導を行った。

その他の特記事項

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2022 年度　教育活動の記録　　物理学専攻・教授　　太田　仁

担当授業科目等

(全学共通)	(1) 身近な物理法則 1,2	1Q,2Q　1コマ × 15 回
(学部)	(2) 熱統計物理学	3Q,4Q　1コマ × 15 回
	(3) 特別研究	
(博士前期)	(4) 物性論 I	1Q,2Q　2コマ ×　4 回(分担)
	(5) 論文講究 I、II	
	(6) 特定研究 I、II	
(博士前・後期)		

授業内容と自己評価

(1)2020 年度から再度担当の全学の教養原論で，2022 年度履修者は 1Q で 67 名，2Q で 39 名。原則対面授業となり，毎週課した小レポートなどと，対面定期試験の採点で成績評価した。原則対面授業に正常に復帰できたと自己評価している。

(2) 物理学科 2 年生を対象とするこの授業を一昨年度から担当している。コロナ対応ながら，原則対面授業で行い，レポートプラス 2 回の対面試験で成績評価した。先行する木曜日 3 限物理学科授業とのからみからか，引き続き出席が芳しくなく，依然として課題が残っていると考えている。

(3)(5)(6)卒研生（2 名）、M１（1 名）、M２（1 名）の研究指導を指導教員として行った。さらに，研究室の大道准教授，大久保助教，櫻井助教（研究基盤センター）と協力して，研究室全学生の研究指導にあたった。特に，研究は一昨年度より学生が研究室で研究するようになり，おおむね目標とする成果は達成されつつある。論文講究は大道准教授，大久保助教，櫻井助教（研究基盤センター）と協力して実施し，今年度より原則対面参加に移行し，学生が多角的な考え方や知識を得る上でそれなりに効果があったと考える。卒研生の輪講は，原則対面とし，毎週英語の教科書の 3 ページずつの課題問題を準備して学生に課し，それを提出させ，コメントをつけ返送するという，一昨年度からのきめの細かい対応を太田が行なった結果，卒研生の輪講により得た知識のレベルはコロナ前より，高くなったと自己評価している。

(4)物性物理学講座学生のミニマムコース授業で，４名の教員で分担している。学部の物性論の復習から少しアドバンスな内容まで，バンド理論の入門や格子比熱等について対面授業で行なった。成績は，各回 BEEF 上に提出したレポートと，今年度は対面定期試験で評価した。その結果，物性の基礎を知るという成果はあがってきたと自己評価している。

その他の特記事項　該当なし

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2022 年度　教育活動の記録　　物理学専攻・准教授　　大道　英二

担当授業科目等

(全学共通)	(1) 力学基礎 I	第 1Q 1コマ×7.5 回
	(2) 力学基礎 II	第 2Q 1 コマ×7.5 回
(学部)	(3) 実験物理学	第 2Q 1コマ×7.5 回
	(4) 物理学実験 III	第 1Q 3コマ×7.5 回
	(5) 物理学実験 IV	第 2Q 3コマ×7.5 回
	(6) 物理学実験 V	第 3Q 3コマ×7.5 回
	(7) 物理学実験 VI	第4Q 3コマ×7.5 回
(博士前期)	(8) 極限物性学	後期 1コマ×7 回(分担)
	(9) 論文講究 I、II	
	(10) 特定研究 I、II	
(博士後期)		

授業内容と自己評価

(1, 2)力学の初歩について指定教科書をもとに講義を行った。コロナの感染状況が下火になってきたので、今年度から対面での授業形式に戻った。対面で行った試験の結果も良好であり、また、授業評価はおおむね好評であったことから、内容、進度については適当だったと考えている。

(3)物理学実験に必要となる実験基礎知識の習得を目的として、独自の資料をもとに講義を行った。専門の授業についても対面での授業形式に戻った。授業毎に課題を出し、レポート点の合計で評価を行った。オンデマンドから対面形式に戻ったことで授業の出席率が下がっており、受講者の約 1/3 が不合格となった。授業出席率を上げるための工夫を検討する必要がある。

(4, 5, 6, 7)高温超伝導の実験を試料作製から測定まで全て学生自身が行う形式で進めた。少人数の学生実験であるため、単なる実験技術のみならず研究、実験に対する考え方、進め方などについてもエピソードを交えながら解説した。学生自身に工夫させる余地を残し、単なるルーチンワークにならないような工夫を行っている。

(8)MEMS を用いた最新の物理計測について、既知の実験結果と絡めながら解説を行った。講義はパワーポイントで行い、写真、図面による視覚的な理解が得られるように努めた。

(9, 10)修士学生（M2: 2 名、M1: 3 名)、学部学生（2 名）の研究指導を行った。最初に研究の目標を決め、実際の実施方法についてはできるだけ自分で考えながら進めるように指導した。

その他の特記事項

特になし

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2022 年度　教育活動の記録　　物理学専攻・准教授　　大久保　晋

担当授業科目等

学部）	(1) 物理学実験 III	1Q　3コマ x 7.5 回
	(2) 物理学実験 IV	2Q　3コマ x 7.5 回
	(3) 物理学実験 V	3Q　3コマ x 7.5 回
	(4) 物理学実験 VI	4Q　3コマ x 7.5 回
	(5) 物理学実験 I	3Q　3コマ x 7.5 回
	(6) 物理学実験 II	4Q　3コマ x 7.5 回
	(7) 力学基礎 I	1Q　1コマ x 7.5 回
	(8) 力学基礎 II	2Q　1コマ x 7.5 回
（博士前期）	(9) 極限物性学	後期　1コマ x 8 回（分担）
	(10) 論文講究 I、II	
	(11) 特定研究 I、II	

授業内容と自己評価

(1)(2)(3)(4)の物理学実験は、学科3年生を対象として専門性の高い実験の実習を行なっている。回折現象の実験を担当して、独自のテキストを用意し、説明と実験を行っている。学生実験として、結果が明瞭なものと、現実の実験の様に結論するには議論が必要な部分を持つ課題を課し、現実問題適応力を養った。2022 年度は新型コロナウィルス感染拡大防止対策をしながら対面形式を主として実験の実習を行なった。新型コロナウィルスの発生以前に行なっていた議論を多く行う反転学習は行えなかったが、実験の実習を通して座学では得られない教育効果があった。一方で諸般の事情から遠隔授業を希望する学生に対しては、昨年度までに用意した遠隔授業用のリソースを使い、可能な限り実体験となる努力を行なった。また実験結果についても過去において実際に取得された実験データを用いて解析を行ってもらうなど実験の実習に近い形で学習できるように配慮した。

(5)(6)の物理学実験は、学科2年生を対象とした基礎的な実験の実習を行なっている。真空実験を担当し、独自のテキストとビジュアル的な理解を助けるスライドによる説明を行なっている。目で見ることができないミクロな分子運動と目の前の装置で起る現象を繋げられるよう努力している。また、初学者である学生のためできるだけ実際に手を動かし身に付けてもらうため、ボルト、ナットやスパナの使い方等に至るまで TA とともに細かな指導を行なった。学生からのフィードバックが良好なことから、この些細と思える部分の指導が重要であることがわかった。

(7)(8)の力学基礎 I,II は工学部向けの授業で、履修者は 60 名以上である。物理教育部会の方針に従い、力学基礎全般の講義をおこなった。対面で講義を行い、講義時間内で不足する演習のため、演習問題と模範解答を配布し、要点の理解に努めた。

(9)大学院1年生の授業として太田、大道と分担している専門性の極めて高い内容の講義である。複数の教員による授業のため先端研究まで講義をするのは時間的にかなり厳しく、今後内容を絞ることや宿題を課すなどして受講学生の学力レベルに合わせて学習効果の高い内容に変更している。

(10)(11)卒研生（2 名）、M1（1 名）の研究指導を行った。各学生の特質の差に応じた個別指導を進めいる。特に、M1 は学会等で発表する機会を持てるよう時間をかけて準備し、優秀発表賞を受賞することができた。このように概ね目標を達成したが、年々自学の習慣が失われており、個別指導の比率をあげることが必要となっている。しかし行き過ぎた個別指導は独立した学習の妨げになりやすく，その方法論をよく検討する必要がある。論文講究は太田教授と協力し実施し英文による専門書を読む力を養えた。

その他の特記事項

卒研、修士の研究で必要な、寒剤利用、機械工作のための安全教育や研究リテラシー教育を実施するとともに、寒剤、機械、電子工作への習熟度を高めるよう努力した。これまでの生活で工具に触れることがないことや工作を体験したことがない学生が増えているので、このような地道な活動が学生の経験となると確信している。

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2022 年度　教育活動の記録　　物理学専攻・教授　　藤　秀樹

担当授業科目等

（全学共通）(1) 連続体力学基礎　(3Q　1 コマ×7.5 回)
(2) 熱力学基礎　(4Q　1 コマ×7.5 回)
（学部）(2) 電磁気学 I(旧　電磁気学 I)　(1Q　1 コマ×15 回)
(3) 電磁気学 II(旧　電磁気学 I)　(2Q 1 コマ×15 回)
(4) 特別研究
（博士前期）(5) 物性論 I　(前期 1 コマ× 7 回)（分担）
(6) 低温物性学 I　(前期 1 コマ × 7.5 回) (分担)
(7) 論文講究 I、II、
(8) 特定研究 I、II
（博士後期）なし

授業内容と自己評価

(1) 連続体力学基礎は工学部建築学科の学生約 50 名程度が受講している。本年度は全て対面で講義を実施した。講義資料は BEEF にて配付し、また、BEEF 小テストを行うなどして、学生の理解を助けるように心がけた。授業の理解度に関する評価は良好であった。
(2) 熱力学基礎は工学部建築学科の学生約 50 名程度が受講している。本年度は全て対面で講義を実施した。講義資料は BEEF にて配付し、また、BEEF 小テストを行うなどして、学生の理解を助けるように心がけた。特に、実際の熱機関の応用例などを盛り込んだ。授業の理解度に関する評価は良好であった。
(3) 電磁気学 I・電磁気学 II は 2 年生配当の科目である。講義中に例題問題を数多く取り入れ、一部手を動かして解いてもらうことで理解が深まるようにした。また、毎回、授業や例題演習の内容に関連したレポートを課して、の理解を更に深めるようにした。すべて対面で行った。多くの問題に触れてもらいたいとのことから課題を 4 題程度だしたが、学生からは課題が多すぎて大きな負担であとの意見があった。クオリティを下げずに問題数を減らす増やす工夫を考えたい。
(5) 物性論 I は、太田教授・菅原教授・藤・河本教授が分担する大学院生 1 年次生のコア科目である。藤は磁性の基礎について講義をするとともに、学会でも使える最低限の知識を修得できるように配慮した講義を行った。また、理解を深めるために学生に BEEF を通して講義資料を配付した。対面で実施した
(6) 低温物性学は、小手川准教授と分担担当した。後半を担当し、核磁気共鳴から見た低温物性について講義した。複数回レポートを課すことで理解を促した。講義内容は基本的に物理学会などで取り扱う先端的な内容も含めるようにして、基礎から先端までの接続を意識した講義を行った。
(4, 7,8)研究室学生の教育については、小手川准教授と協力して、卒研生(2 名)，　M1(2 名), M2(1 名)の 5 名の研究指導を行い、修士以上の学生は全員物理学会で口頭もしくはポスター講演を行った。論文講究は小手川准教授と協力して実施しており、学生にとっては多角的な知識が得られる等の教育効果が上がっている。なお、M2 学生が病のため 10 月に逝去したため、学位取得まで面倒を見ることができなかったのは残念である。

その他の特記事項

M2 の学生が病気のため、大学に出てくることが困難となっていたが、メールなどでやりとりをしつつ就学支援を行った。

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2022 年度　教育活動の記録　　物理学専攻・准教授　　小手川　恒

担当授業科目等

（全学共通）　(1) 物理学実験基礎　1Q　2 コマ×7.5 回
(2) 物理学実験　1Q,2Q　2 コマ×15 回
(3) 身近な物理法則　3Q　1コマ×7.5 回
(4) 身近な物理法則　4Q 1 コマ×7.5 回
（学部）　(5) 物理学実験 I　3Q　3コマ×7.5 回
(6) 物理学実験 II　4Q　3コマ×7.5 回
(7) 特別研究 A
（博士前期）　(8) 低温物性学　前期　1コマ×7.5 回(分担)
(9) 論文講究 I、II
(10) 特定研究 I、II

授業内容と自己評価

(1,2) 全学共通の物理学実験基礎・物理学実験を感染症対策を取りながら対面講義で行った。テーマ実験では X 線を担当し、X 線の透過についての実験を指導した。対面で行ったこともあり、学習効果は高かったと思われる。

(3,4)　工学部、海事科学部の学生に対して、高校の物理の発展から数式を用いて理解が可能となる身近な現象について解説した。例えば、コマの歳差運動、強制振動とエネルギー吸収の関係、電子レンジの発熱の原理、コマと磁場中のスピンとの関連、核磁気共鳴への応用などを扱った。授業に対する評価はおおむね良好であった。

(5,6) 物理学実験では増幅回路の実験を担当した。実験を通してオペアンプを用いた基礎的な増幅回路の仕組みと動作原理を解説した。実験終了後に結果についての簡単な考察や議論を行い、学生の理解の向上に努めた。

(8)　低温物性学では超伝導の基礎理論であるギンツブルグ・ランダウ理論を解説し、またこの数年の重要な進展や最近の実験結果についても解説した。

(7,9,10) M2（2 名）、卒研生（2 名）の研究指導を藤秀樹教授と協力して行った。卒研生に対しては勉強会を週一度行うなどして研究の理解度の向上に努めた。また、修士の学生には論文考究で最先端の論文を紹介させるたり、研究成果を物理学会等で発表する機会を与えることによって知識の向上に効果があったと思われる。また、M2 の学生が修士論文発表会で優秀発表賞を受賞した。

その他の特記事項

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2022 年度 教育活動の記録　　物理学専攻・教授　　菅原 仁

担当授業科目等

（学部）
(1) 初年次セミナー　1Q 1コマ × 0.5 回（分担）（オンライン）
(2) 現代物理学 I　1Q 1コマ × 3 回（分担）（オンライン）
(3) 現代物理学 II　2Q 1コマ × 2 回（分担）（オンライン）
(4) 現代物理学　前期 1コマ × 5 回（分担）（オンライン）
(5) 化学科物理学概論　前期 1コマ × 5 回（分担）（オンライン）
(6) 生物学科物理学概論　前期 1コマ × 5 回（分担）（オンライン）
(7) 惑星学科物理学概論　前期 1コマ × 5 回（分担）（オンライン）
※(4)～(7)は(2), (3)と同時開講
(8) 物理学実験 III　1Q 2コマ × 7.5 回
(9) 物理学実験 IV　2Q 2コマ × 7.5 回
(10) 物性物理学 I　3Q 2コマ × 7.5 回（オンライン）
(11) 特別研究 A

（博士前期）
(12) 物性論 I　前期 2コマ × 4回（分担）（オンライン）
(13) 電子物性学　後期 1コマ × 8 回（分担）（オンライン）
(14) 論文講究 I、II
(15) 特定研究 I、II

授業内容と自己評価

(1)は新入生向けの導入授業で、研究室で行っている研究内容をについて講義した。講義中の質疑応答や、講義後に提出された小レポートの質問に対して回答した。
(2)～(7)も新入生向けの導入授業で、物理学科で行われている最先端の研究について講義した。成績は毎回課す小レポートで評価した。
(8)(9)に関しては、パルス技術をテーマとした物理学実験であるが、成績はレポートで評価した。
(10)は物性物理学の基礎的な講義であるが、初学者にもわかりやすいように、できるだけ丁寧に講義資料を準備した。成績は講義後に課す小レポートで評価した。
(12)は物性実験系の大学院生向けの授業であるが、実際の研究で必要となる実用的な内容を中心に講義した。成績は講義後に課す小レポートと期末試験で評価した。
(13)はより専門的な物性実験系の大学院生向け授業であるが、受講生の中には分野外の学生も含まれていたため、実験的なテクニックに関することよりも、研究分野でのトピックスやその理論的な背景について詳しく講義した。成績は授業への取り組み状況や課題及びレポートを総合して評価した。
(11)(14)(15)に関しては M2（3 名）、M1（1 名）、卒研生（4 名）の研究指導を松岡英一准教授と協力して行った。論文講究も松岡英一准教授と協力して実施し、学生が多角的な考え方や知識を得る上で効果があった。

その他の特記事項

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

2022 年度　教育活動の記録　　物理学専攻・准教授　　松岡　英一

担当授業科目等

(学部)	(1) 古典力学 I	1Q　1コマ × 7.5 回(ハイブリッド授業)
	(2) 古典力学 II	2Q　1コマ × 7.5 回(ハイブリッド授業)
	(3) 物理学実験 III	1Q　2コマ × 7.5 回(対面授業)
	(4) 物理学実験 IV	2Q　2コマ × 7.5 回(対面授業)
	(5) 物性物理学 II	4Q　2コマ × 7.5 回(遠隔授業)
	(6) 特別研究 A	
(博士前期)	(7) 電子物性学	後期　1コマ × 7 回(分担)(遠隔授業)
	(8) 論文講究 I、II	
	(9) 特定研究 I、II	

授業内容と自己評価

(1)(2) 理学部物理学科と理学部惑星学科の一年生を対象とした科目である。コロナウイルス感染症の影響で、ハイブリッド授業（対面授業の様子を Zoom で同時配信）を行った。大学に入学して初めての専門科目であることを考慮し、公式を覚えて問題を解くという受験を想定した「物理」の学習から脱却し、基本法則と微分積分を用いて論理展開していくという「物理学」の学習へと思考に切り替えることを学生に意識させるように講義を行った。授業アンケートでは、「より深い理解が得られた」「高校物理が初歩の初歩に過ぎなかったことが分かった」などの感想があり、また「有益であった」または「どちらかと言えば有益であった」と回答した学生が 9 割近くに達したため、意図した教育効果が得られたと考えている。

(3)(4) 理学部物理学科の三年生を対象とした科目である。水銀ランプ、水素ランプ、タングステンランプの光スペクトルを分光器を用いて測定し、光の波長と色の関係の考察、リュードベリ定数の導出、光の吸収と反射、吸収係数の導出などを行った。実験を行う際の一般的な注意点に加えて、レポートの書き方についても指導を行い、卒業研究や大学院での研究を行う際に、適切に実験結果を第三者に伝える術を身に着けさせることを心掛けた。

(5) 理学部物理学科の三、四年生を対象とした科目である。コロナウイルス感染症の影響で、Zoom を用いたオンラインによる遠隔授業を行った。菅原教授担当の物性物理学 I に引き続いて、固体物性論の基礎を講義する科目であり、バンド理論、磁性、光物性、超伝導の基礎的な内容について講義した。小項目ごとにレポートを提出させて、受講生の理解の向上に努めた。

(7) 物性実験系の大学院生向けの講義である。コロナウイルス感染症の影響で、Zoom を用いたオンラインによる遠隔授業を行った。菅原仁教授と分担で、強相関電子系で見られる磁性の基本概念と、それらを実験的に研究するための手法について講義した。

(6)(8)(9) M2（3 名）、M1（1 名）、卒研生（4 名）の研究指導を菅原教授と協力して行った。論文講究も菅原教授と協力して実施し、研究を行う上での基礎知識や、周辺分野の知識を修得させた。(6)の一環である英語文献の輪講と、(6)と(9)の一環である研究室の報告会は、Zoom を用いたオンライン形式で行われた。

その他の特記事項

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

担当授業科目等

（全学共通）	(1) 力学基礎 1, 2	1Q,2Q	1 コマ × 15 回
（学部）	(2) 解析力学	1Q,2Q	1 コマ × 15 回
	(3) 物理学実験 V, VI（分担）	3Q,4Q	3 コマ × 15 回
	(4) 特別研究		
（博士前期）	(5) 物性論 I（分担）	2Q	2 コマ × 2 回
	(6) 量子ダイナミクス	3Q,4Q	1 コマ × 15 回
	(7) 論文講究 I，II		
	(8) 特定研究 I，II		

授業内容と自己評価

(1)指定された教科書に沿って対面授業を行った。前半は事前に BEEF にアップロードした講義ノートに沿ってパワーポイントを用いた授業を行い，後半は板書による例題演習を行った。対象は医学科の 1 年生であり，高校の「物理」を学んでない学生も多くいたため，この授業だけで閉じた構成にし，高校物理の知識がなくても理解できるよう心掛けた。また，重要な概念の理解には具体的な例示が効果的であるので，例題演習に十分時間を割くことを心掛け，毎回レポート課題の提出を課した。

(2) 前年度から解析力学 I・II が統合され，解析力学として対面授業を行っている。1Q では一般座標と一般速度で記述するラグランジェ形式，2Q では一般座標と一般運動量で記述するハミルトン形式の解析力学について授業を行った。前半は事前に BEEF にアップロードした講義ノートに沿った授業を行った。後半は板書による例題演習の時間を十分にとり，講義の理解を深めるようにした。

(3) 物理学実験 V・VI では，「光スペクトル」を担当し，対面授業を行った。プロジェクターで実験や関連する話題の説明を行った後，実験装置の操作方法やデータ処理法などを指導した。

(5) 物性論 I は 4 名の教員で分担し，私は固体の光学的性質について，事前に BEEF にアップロードした講義ノートに沿って対面授業を行った。

(6) 量子ダイナミクスは以前 2 名の教員で分担してきたが，前年度の続き本年度も私が一人で担当した。光と物質の相互作用および超高速レーザー分光について対面授業を行った。図，写真，表を多数引用するため，講義ノートを BEEF 上にアップロードし，プロジェクターに映して進めた。

(4)(7)(8) 卒研生（2 名）および M2（2 名）の研究指導を行った。先輩が後輩をリードして面倒をよく見てくれ，教育・研究を効果的に進めることができたと思う。学会や研究会で研究発表を行った。

その他の特記事項

・高校生対象に出前授業 1 回(西宮東高校)を行った。

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

3. 研究活動

3.1. 素粒子理論

3.1.1 超対称格子理論の研究

メンバー：坂本眞人、宗博人（愛媛大学)、加藤光裕（東京大学）
参考文献：なし　　講演：なし
超対称性理論の非摂動論的効果を調べるために，超対称性を格子上に乗せることが試みられた。ところが，格子超対称性理論は 25 年以上にわたって多くの研究者らによって研究されてきたにもかかわらず，未だに満足な形での定式化には誰も成功していない。我々はライプニッツ則に代わる格子上の巡回ライプニッツ則を提唱し，新しい超対称構造をもつ超対称量子力学格子模型を構築することに成功した。この巡回ライプニッツ則を Parisi-Sourlas 模型に適用し、格子上の段階で、この模型が場の量子論の結果と一致することを示すことに成功した。

3.1.2 磁束をもつオービフォールド模型の研究

メンバー：坂本眞人、竹内万記、今井広紀、小林達夫(北大)、大塚啓(北大)、内田光(北大)、龍田佳幸 (Ruder Boskovic Institute)
参考文献：[1,2,6]　　講演：[A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K]
一様磁場をもつ T^2/Z_N オービフォールドを余剰次元として考察した。この余剰次元模型には物質場にゼロモードが現れ，それがフェルミオンの世代数を与えることがわかった。ゼロモードの数はクォーク・レプトンの世代数と直接関係する重要な量である。我々は、これまで得られてきた演算子形式と波動関数の知識を用いてゼロモードの数を指数定理として導くことに成功した。オービフォールドは特異点をもつため、Atiyah-Singer の指数定理が適用できない。しかし、我々は、渦度を用いることで、オービフォールドのように特異点をもつ場合に指数定理を拡張することができた。また、特異点を除去してなめらかな多様体に置きかえる手法(blowup)を用いて、Atiyah-Singer 指数定理を適用することにも成功し、渦度を用いた結果と一致することを見出した。

3.1.3 量子グラフ上のフェルミオンと Altland-Zimbauer 分類

メンバー：坂本眞人、井上奉紀、上場一慶、佐藤昌利(基礎物理学研究所)
参考文献：[3]　　講演：[L,M]
1+0 次元のギャップを持つ自由フェルミオン系の分類と量子グラフの境界条件の分類の間に非自明な対応があることを明らかにした。前者の系は、トポロジカル半導体や超電導と関係しており、その分類は Altland-Zimbauer(AZ)対称性（時間反転対称性、粒子−ホール対称性、カイラル対称性）のある／なしに応じて 10 個のクラスに分類される。申請者は、量子グラフの系において、対応する対称性、および、対応する位相不変量の存在を明らかにした。

3.1.4 有限温度の場の理論における非解析項の研究

メンバー：坂本眞人、竹永和典（熊本保健科学大学)、
参考文献：[4]　　講演：なし
宇宙論的観測で物質に比べて反物質がほとんどないことが知られている。なぜ、物質と反物質の量に大きな非対称があるのかは、宇宙論の謎の 1 つである。これを解決する機構として、1 次相転移が宇宙の発展において重要な役割をもつことが提唱されている。スカラー場の理論において、有限温度効果によって 1 次相転移が起こりうることが知られている。このとき、1 次相転移起こるためには、非解析項が重要となる。そこで我々は、1 ループの範囲内で、有限温度効果を厳密に調べ、非解析項は質量の 3 次の項のみであることを明らかにした。

3.1.5 電荷のある調和振動子からの光子散乱断面積のくりこみ

メンバー: 園田英徳
参考文献: [5],　　講演: なし
電荷のある調和振動子による光子の散乱断面積は，厳密に求めることができるが，光子のエネルギーに紫

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

外カットオフを設ける必要がある．カットオフの存在は，カットオフの逆数に比例した散乱断面積の補正を与える．ナイーヴにカットオフを無限に取ると，タキオンが生じることを示した．

3.1.6 厳密くりこみ群の定式化を使った 4 次元スカラー理論の Large N 極限の解析

メンバー：園田英徳
参考文献：arXiv: 2302.09914[hep-th],　　講演：なし
4 次元 O(N)線形シグマ模型の Large N 極限を厳密くりこみ群の定式化を使って解析し，有効作用及び有効ポテンシャルを求めた．安易に繰り込むとタキオンが生じ，有効ポテンシャルに虚部が生じることは，1970 年代の Coleman, Jackiw, Politzer の仕事からよく知られているが，この仕事では，場の変数について有効ポテンシャルを解析接続することによって，具体的にその虚部を求めた．さらに紫外カットオフを残すことで，下に有界な有効ポテンシャルが得られることを確認し，有効作用からタキオンが消えることを示した．

＜参考文献＞(査読あり：)

[1] Yoshiyuki Tatsuta (Pisa, Scuola Normale Superiore),
"Index and winding numbers on T2/ZN orbifolds with magnetic flux",
Published in: Nucl.Phys.B 990 (2023) 116189,
e-Print: 2211.15541 [hep-th]

[2] Tatsuo Kobayashi (Hokkaido U.), Hajime Otsuka (Hokkaido U.), Makoto Sakamoto, Maki Takeuchi, Yoshiyuki Tatsuta, H. Uchida,
"Index theorem on magnetized blow-up manifold of T2/ZN",
Physical Review D に掲載決定
e-Print: 2211.04595 [hep-th]

[3] Makoto Sakamoto (Kobe U.), Kazunori Takenaga (Kumamoto Health Sci. U.),
"Nonanalytic term in the effective potential at finite temperature for a scalar field on compactified space",
Published in: Phys.Rev.D 106 (2022) 6, 065018,
e-Print: 2206.10195 [hep-th]

[4] Tomonori Inoue (Kobe U.), Makoto Sakamoto (Kobe U.), Masatoshi Sato (Kyoto U., Yukawa Inst., Kyoto), Inori Ueba (Tomakomai Natl. Coll. Tech.),
"Correspondence of topological classification between quantum graph extra dimension and topological matter",
Published in: Phys.Rev.D 106 (2022) 8, 8,
e-Print: 2204.03834 [hep-th]

[5] Hidenori Sonoda,
``Renormalization for the model of photon scattering off a charged harmonic oscillator,"
Int. J. Mod. Phys A 38 (2023) 03, 2350024, (18 pages)
https://doi.org/10.1142/S0217751X23500240
arXiv: 2212.13475 [quant-ph]

＜参考文献＞(査読なし：)

[6] Maki Takeuchi, Takanao Tsuyuki and Hikaru Uchida,
"Three-generation solutions of equations of motion in heterotic supergravit",
e-Print: 2303.09872 [hep-th]

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

＜講演＞
[A] M. Takeuchi,
“Blow-up of magnetized　and index theorem”,
Summer Institute 2022, Fuji-Yoshida, Japan

[B] M. Takeuchi,
“Index theorem on　orbifold with magnetic flux”,
Corfu Summer Institute 2022, Corfu, Greece

[C] M. Takeuchi,
“Blow-up of magnetized　and index theorem”,
Kobe Workshop on Cosmology and Fundamental Physics, Kobe, Japan

[D] M. Takeuchi,
“一様磁場のかかったオービフォールドの blow-up と指数定理”,
日本物理学会 2023 年春季大会, 2022 年 8 月

[E] M. Takeuchi,
“Blow-up of magnetized and index theorem”,
日本物理学会 2023 年春季大会, 2023 年 3 月

[F] 今井広紀、
“磁場がかかった T^2/Z_2 オービフォールド上の指数定理”
原子核三者若手　夏の学校 2022
2022/8/6

[G] 今井広紀、
“磁場のかかった T^2/Z_2 オービフォールド上の指数定理”
基研研究会　素粒子物理学の進展 2022(PPP2022)
2022/8/29

[H] 今井広紀、
“磁場のかかった T^2/Z_2 オービフォールド上の指数定理”
令和 4 年度瀬戸内サマーインスティテュート(SSI2022)
2022/9/27

[I] 今井広紀、
“T^2/Z_N オービフォールドにおける指数と巻き付き数”
素粒子現象論研究会 2022
2023/3/18

[J] 竹内万記、
“標準模型の謎と余剰次元模型”
東京女子大学セミナー,
2022 年 12 月

[K] 竹内万記、
“Blow-up of magnetized　and index theorem”
弘前大学セミナー,
2022 年 9 月

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

[L] 上場一慶、
"量子グラフにおける境界条件とトポロジー"、
日本大学理工学部素粒子論研究室コロキウム、
2022/06/17

[M] 井上奉紀、
"Correspondence of topological classification between quantum graph extra dimension and topological matter"、
Corfu 2022: Workshop on Standard Model and Beyond、
2022/09/05

3.2. 宇宙論

宇宙論研究室では、大きく分けて初期宇宙、重力理論、その他の理論物理学の研究を行なっている。

3.2.1 初期宇宙
メンバー：陳、早田、野海、S.Zhou、藤倉、野村、向野
参考文献：[1], [2], [4],[6], [7], [9], [11], [14],[15]
現在のところ、インフレーションのシナリオは存在するが、具体的な素粒子モデルとして決定的なものはない。モデル構築の観点から、初期宇宙のインフレーションモデルの普遍的な構造を明らかにすることは重要である。そこで、多数の場が存在する場合のインフレーションの理論構造を明らかにする研究を行なっている[1]。インフレーション中に生成される原始重力波の研究を様々な観点から研究している[2,6,15]。初期宇宙の特異点問題が宇宙論で果たす役割を明らかにする基礎的な研究を行なっている[4,7]。インフレーション中に暗黒物質が生成される可能性を調べた[9]。散逸とインフレーションが共存する場合にゲージ場が果たす役割を研究した[11]。インフレーションから暗黒物質やバリオン生成などを統一的に説明する可能性を研究した[14]。

3.2.2 重力理論
メンバー：W.Chen、野海、佐竹
参考文献：[3], [5], [8], [13]
重力理論と場の理論の観点から理解するための研究を行なっている[3]。ブラックホールの情報損失問題の研究を行なっている[5]。ブラックホールの安定性問題を有効場の理論の手法を使って研究している[8]。弱い重力予想を高階微分重力理論の枠組みで検証した[13]。

3.2.4 その他
メンバー：阿部、P.H.C.Lau
参考文献：[10], [12]
場の理論における位相欠陥の数学的な性質を研究した[10]。量子カオスの問題を SYK モデルを変形したモデルで調べた[12]。

<参考文献>
[1]C.B.Chen, J. Soda,"Geometric structure of multi-form-field inflation and primordial fluctuations", JCAP 05 (2022) 047.
[2]H.An, K.F.Lyu, L.T.Wang, S.Zhou,"Gravitational waves from an inflation triggered first order phase transition",JHEP, 06 (2022) 050.
[3] W.Chen, M.Z.Chung,Y.Huang, J.W Kim,"Lense-Thirring effects from on-shell amplitudes", JHEP 12 (2022) 058.

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

[4] K.Nomura, D.Yoshida, “Implications of the singularity theorem for the size of a non-singular universe”, Phys.Rev.D106 (2022) 124016.
[5] P.H.C.Lau, T.Noumi, Y.Takii,K.Tamaoka, “Page curve and symmetryes”, JHEP 10 (2022) 015.
[6] S.Kanno, J.Soda, K.Ueda, “Conversion of squeezed gravitons into photons during inflateon”, Phys.Rev.D106 (2022) 083508.
[7] Y. Cai, J.Xu, S.Zhao,S.Zhou, “Perturbative unitaryity and NEC violateon in genesis cosmology”, JHEP11 (2022) 063.
[8] J.Khoury, T.Noumi, M.Trodden, S.Wong, “Stability of hairy black holes in shift-symmetric scalar-tensor theoryes via the effective field theory approach”, JCAP 04 (2022) 035.
[9] H.An, X.Tong, S.Zhou, “Seperheavy dark matter production from a symmetry-restoring first-order transition during inflation”, Phys.Rev.D 107 (2023) 023522.
[10] Y.Abe, Y.Hamada, K.Saji, K.Yoshioka, “Quantum current dissipateion in superconducting strings and vortons”, JHEP 02 (2023) 004.
[11] S.Kanno, A.Mukuno, J.Soda, K.Ueda, “Anisotropic warm inflateon”, Phys.Rev.D107 (2023) 063524.
[12] S.He, P.H.C.Lau, Z.U.Xian, L.Zhao, “Quantum chaos, scrambling and operator growth in TT deformed SYK models”, JHEP 12 (2022) 070.
[13] T.Noumi, H.Satake, “Higher deriveative corrections to black brane thermodynamics and the weak gravity conjecture”, JHEP 12 (2022) 130.
[14] K.Fujikura, S.Hashiba, J.Yokoyama, “Generation of neutrino dark matter, baryon asymmetry, and radiateon after quintessential linflation”, Phys.Rev.D 107 (2023) 063537.
[15] S.Kanno, A.Mukuno,J.Soda, K.Ueda, “Impact of quantum entanglement induced by magnetic fields on primordiall gravitational waves”, Phys.Rev.D 107 (2023) 063503.

3.3. 物性理論

本年度の物性理論グループには、久保木・西野の教員2名と学部生・大学院生が在籍する。

3.3.1 電子密度に依存するホッピング項が相分離に与える影響に関する研究

メンバー：久保木一浩

講演［1］

銅酸化物高温超伝導体（cuprate)などの強相関電子系では電荷密度のゆらぎが大きく、電荷秩序状態や相分離への不安定性に近い状況にある。本研究では cuprate のモデルである t-J モデルを平均場近似で取り扱い、圧縮率を計算することで相分離の起こる条件を調べた。反強磁性相の出現する電子密度領域のうち half filling 近傍をのぞいた部分で相分離が起こりやすいことを明らかにした。このモデルでの相分離は電子密度に依存するホッピング項で説明が可能であると考えられる。最近, cuprate の有効１バンドモデルでも同様の電子密度に依存するホッピング項の存在が指摘されているため、引き続きこのモデルでも同様の考察を行う予定である。

3.3.2 強磁性・スピントリプレット超伝導共存相に関する研究

メンバー：久保木一浩

強磁性相とスピントリプレット超伝導相をもつモデルの相図を理解するため、このモデルから微視的に GL 方程式を導出した。現時点では２つの秩序の共存を説明できる項が得られており、引き続き研究を行っている。

3.3.3 テンソルネットワーク形式を用いたフラクタル系の熱力学解析

メンバー：Jozef Genzor, Andrej Gendiar, Tomotoshi Nishino

論文［1］

フラクタル格子上の古典統計模型は特異な臨界現象を示すことが知られている。シェルピンスキーカーペット上の相転移をテンソル繰り込み群法により解析し、至る所で局所的な臨界指数が異なってい

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

ることを明らかにした。これは表面臨界現象の一例であると解釈できるものの、定量的な理論的枠組みの探索が今後の課題として残った。

3.3.4 ツリーテンソルネットワークの自動最適化

メンバー：引原俊哉, 上田宏, 奥西巧一, 西野友年

論文 [2,3], 講演 [5,6]

テンソルネットワークによる精密解析には、解析対象である物理系のエンタングルメント構造を反映した幾何学的接続を持ったテンソルネットワークを用意する必要がある。しかしながら、その構造は事前に得られるものではない。このパラドックスを解決するために、ツリーテンソルネットワークの範囲内で、ネットワークの幾何学を動的に変更する計算アルゴリズムを提案した。幾つかのモデルシステムに対して応用し、よりエンタングルメントの低いツリーが生成されることを確認した。

3.3.4 テンソルネットワーク形式による統計物理系の取り扱い

メンバー：西野友年

講演 [3,4]

テンソルネットワーク形式は統計力学、量子力学、そして機械学習などを記述する基礎的な枠組みであり、かつ数値計算による定量的な物理量の精密評価を可能にする研究手段として、近年急速に発展している。この状況について取りまとめ、広報する活動を継続しつつ、量子測定や確率分布の学習など、未解決の問題へ向けての新たなアプローチを試みている。これらの現状についての広報活動も行なっている。

＜参考文献＞

[1] Jozef Genzor, Andrej Gendiar, and Tomotoshi Nishino, “Local and global magnetization on the Sierpinski carpet”, Phys. Rev. E 107, 044108, 1-9 (2023).
[2] Koich Okunishi, Hiroshi Ueda, and Tomotoshi Nishino, “Entanglement bipartitioning and tree tensor networks”, Prog. Theor. Exp. Phys. Vol. 2023, 023A02, 1-14 (2023).
[3] Toshiya Hikihara, Hiroshi Ueda, Koichi Okunishi, and Tomotoshi Nishino, “Automatic structural optimization of tree tensor networks”, Phys. Rev. Research 5, 013031, 1-11 (2023).

＜講演＞

[1] 久保木一浩, “引力相互作用による相分離不安定性と超伝導の競合”, 日本物理学会 2023年春季大会（2023年3月 オンライン）
[2] Tomotoshi Nishino, “Tensor Network in Statistical Lattice Models”, The 15th Asia Pacific Physics Conference (APPC15) online. (2022年8月,オンライン)
[3] 西野友年, “テンソルネットワーク法とその応用”, 格子上の場の理論と連続空間上の場の理論 (2022年7月, 基礎物理学研究所).
[4] 西野友年, “テンソルネットワーク”, 熱場の量子論とその応用 (2022年9月, 基礎物理学研究所).
[5] 西野友年, “Tree Tensor Network: 標準形・枝の組み替え・その影響”, 日本物理学会 2022年秋季大会 (2021年9月 東京工業大学)
[6] 西野友年, “Bipartite Entanglement Entropy を再現するペア分布行列を用いた量子スピン系の基底状態解析I”, 日本物理学会 2023年春季大会 (2022年3月, オンライン)

3.4. 量子物性論

本年度の量子物性論グループには、教員の播磨と学生2名（大学院生2名）が在籍する。本グループでは、密度汎関数理論に基づいた数値的電子状態計算の手法を用いて、主に強相関f電子系の電子状態を明らかにする研究を行なっている。フェルミ面や電場勾配などの実験と定量的に比較できる基底状態の物理量の研究を通じて、広く使われている局所密度近似の限界とその改良法の提案を行ない、具体的方法としてLDA+U法を発展させている。また、計算方法には汎用性があるために、MnやCrを含むd電子系についても同様の手法で研究を展開している。さらに、豊富な空間群の知見を基に、多極子秩序と構造相転移の関係についても理論的考察を進めている。近年特に力を入れているのは、電子状態と物性との関係におけるパリティ混成効果の研究であり、これを通じて物性に現われるスピン軌道結合とスピン軌道相互作用に関する重要な知見を得ている。小さなグループではあるが、新学術領域研究「J-Physics:多極子伝導系の物理」の領域代表を務めるなど、物性物理学において国際的にも中心的な役割を担い、学内外の実験研究室と学外の理論家と幅広く共同研究を行なってきている。

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

3.4.1 強相関電子系を中心とした系の電子状態とフェルミ面の研究

メンバー：播磨尚朝、学生 2 名、神戸大電子物性研究室、学外多数

参考文献[1, 2, 3, 5]

希土類化合物を中心とした強相関電子系やd電子系化合物の電子構造やフェルミ面を明らかにした。今年度のフェルミ面の研究は、f電子系はUTe_2[3]の発表にとどまったが、d電子系は東北大や阪大との共同研究の成果が論文として発表された[2, 5]。さらに点群S_4に属するCr_3Pや点群Tに属するPdGaという特別な対称性を持つ化合物のフェルミ面を明らかにして、それらは出版準備中である。また、九州大との共同研究で$ErCo_2$や$LuCo_2$のフェルミ面からホール効果を明らかにした[1]。神戸大の電子物性研究室とは、LuPtBiのフェルミ面の研究で共同研究を行っている。

3.4.2 物性物理学におけるパリティ混成効果に関する研究

メンバー：播磨尚朝、学外多数

講演[19]

物性物理学に遍在しているパリティ混成効果について、シンポジウムで講演を行った[19]。対称性が低下しているが故に現れる新奇物性を解明する上での注意点や期待を述べた。このシンポジウムは広島大学が主導する学術変革(A)の採択に繋がっている。

3.4.3 電場勾配の微視的起源に関する研究

メンバー：播磨尚朝、神戸大低温物性研究室、学外多数

参考文献[6, 7]

電子状態と電場勾配の計算を行い、実験的に得られたNQR周波数と比較した[7]。継続的な研究を行っているが、今年度はLaB_6の反強四極子秩序相のB-NQR周波数が分裂しないことから、新たな四極子秩序状態を提案した[6]。この論文[6]は、JPSJのeditors' Choiceに選ばれた。

3.4.4 電子空間群についての研究

メンバー：播磨尚朝、学外多数

参考文献[4]、講演[8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18]

群論的考察から、原子空間群よりも対称性の低い電子空間群が存在することを示し、原子空間群に関する実験では観測不可能な「真の隠れた秩序」について提案を行い、精力的に講演を行っている[8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18]。実際に「ほぼ隠れた秩序」がURhSnについて実現している可能性を指摘して、実験結果と整合する結果を得た[11, 12]。金属Ceの α 相についての最近の研究を紹介して、共同研究を提案した[18]。 α -Mnの研究では、NMR信号の分裂から磁気秩序相の対称性について提案を行った[4]。この論文[4]は、JPSJのeditors' Choiceに選ばれた。

<参考文献>

[1] "Hall effect of itinerant electron metamagnet $Co(S_{1-x}Se_x)_2$", K. Tanabe, Y. Maekawa, H. Wada, K. Yamauchi, T. Oguchi, H. Harima, J. Magn. Magn. Mater. 557 (2022) 169460.

[2] "Split Fermi Surface Properties of Noncentrosymmetric Compounds Fe_2P, Ni_2P, and Pd_2Si", Y. Onuki, A. Nakamura, D. Aoki, T.D. Matsuda, Y. Haga, H. Harima, T. Takeuchi, Y. Kaneko, J. Phys. Soc. Jpn. 91 (2022) 064712/1-10.

[3] "First Observation of the de Haas-van Alphen Effect and Fermi Surfaces in the Unconventional Superconductor UTe_2", D. Aoki, , H. Sakai, P. Opletal, Y. Tokiwa, J. Ishizuka, Y. Yanase, H. Harima, A. Nakamura, D. Li, Y. Homma, Y. Shimizu, G. Knebel, J. Flouquet, Y. Haga, J. Phys. Soc. Jpn. 91 (2022) 083704/1-5.

[4] "Site Split of Antiferromagnetic alpha-Mn Revealed by ^{55}Mn Nuclear Magnetic Resonance", M Manago, G. Motoyama, S. Nishigori, K. Fujiwara, K. Kinjo, S. Kitagawa, K. Ishida, K. Akiba, S. Araki, T.C. Kobayashi, H. Harima, J. Phys. Soc. Jpn. 91 (2022) 113701/1-5.

[5] "Single-Crystal Growth and Fermi Surface Properties of LaPd2Si2: Comparison with Pressure-Induced Heavy-Fermion Superconductor $CePd_2Si_2$", Y.J. Sato, F. Honda, J Pospisil, A. Nakamura, M. Valiska, Y. Shimizu, A. Maurya, Y. Homma, D. Li, V. Sechovsky, H. Harima, D. Aoki, J. Phys. Soc. Jpn. 91 (2022) 114708/1-8.

[6] "Symmetry Analysis of Zero-Field Antiferroquadrupole Order in CeB_6: Extremely Low-Frequency ^{11}B-NQR Study", T. Mito, H. Mori, K. Miyamoto, T. Tanaka, Y. Nakai, K. Ueda, F. Iga, H. Harima, J. Phys. Soc. Jpn. 92 (2023) 034702/1-6.

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

[7] "Observation of multigap and coherence peak in the noncentrosymmetric superconductor CaPtAs: 75As nuclear quadrupole resonance measurements", Y. Nagase, M. Manago, J. Hayashi, K. Takeda, H. Tou, E. Matsuoka, H. Sugawara, H. Harima, H. Kotegawa, Phys. Rev. B 10 (2023) 104512/1-6.

<講演>
[8] 播磨尚朝：「空間群入門：対称操作と点群と空間群」「共型空間群と非共型空間群-応用としての隠れた秩序」、物性セミナー、2022年4月12日（火）13日（水）：広島大学、東広島（広島）
[9] 播磨尚朝：「共型空間群に現れる隠れた秩序」、ウラン化合物を中心とする特異な物性の最前線、2022年4月25日（月）：神戸大学、神戸市灘区（兵庫）
[10] 播磨尚朝：「 空間群・固体電子論入門：対称性と電子状態：基礎編」、物性セミナー、2022年6月24日（金）：広島大学、東広島（広島）
[11] H. Harima: ”Hidden orders in uranium compounds”, SCES2022、2022年7月27日（水）：RAI、Amsterdam（オランダ）
[12] H. Harima: ”On the phase transition of URhSn”、LT29、2022年8月22日（月）：札幌コンベンションセンター、札幌（北海道）
[13] H. Harima: ”Hidden orders in uranium compounds”, UTe_2セミナー、2022年9月1日（木）:オンライン
[14] 播磨尚朝:「f電子系に現れる特異な電気的秩序状態」、東北大学金属材料研究所　大洗・アルファ合同研究会、2022年9月30日（金）：金属材料研究所2号館講堂、仙台（宮城）
[15] H. Harima: ”On electronic orders unaffecting crystal symmetry”, GIMRT, REIMEI and IRN Aperiodic joint international workshop Superconductivity, Structural Complexity and Topology of UTe_2 and Aperiodic Crystals, 2022年12月1日（金）：東北大金研2号館講堂、仙台（宮城）
[16] 播磨尚朝：「共型空間群と非共型空間群、さらに共型空間群に隠れた秩序」、2022年12月8日（木）：東京都立大、八王子（東京）
[17] 播磨尚朝：「共型空間群と非共型空間群、さらに共型空間群に隠れた秩序」、2022年12月22日（木）：琉球大学、（沖縄）
[18] 播磨尚朝：「金属Ceのγ-α転移の再考」、2023年1月26日（木）：金研大洗センター研究棟会議室、金研大洗（茨城）
[19] 播磨尚朝：「まとめと展望」、シンポジウム「非対称性が拓く量子物質科学の新展開 ~アシンメトリ量子の可視化に向けて~」、2023年3月23日（木）：日本物理学会2023春季大会オンライン

3.5. 粒子物理学

3.5.1 ATLAS 実験

メンバー: 藏重，山﨑，越智，前田，日比，丸元，中村，田路，山下、森本
査読論文: [1]-[29]，著書・解説: [45]，国内講演: [59]-[62]

加速器による暗黒物質探索実験として，欧州原子核研究機構（CERN）の世界最高エネルギーのハドロン衝突型加速器 LHC における陽子・陽子衝突実験アトラスによる研究を進めている。2022 年度は LHC 実験が第 1 期の加速器・実験アップグレードを終え，運転を再開した。本プロジェクトでは(1)第 1 期アップグレード後の実験運転・装置維持(2) 2028 年完了目標の第 2 期アップグレード(高輝度 LHC アップグレード)プロジェクトの推進(2) 2018 年度までに取得した総計 150fb−1 の 13TeV 衝突を用いたデータ解析を行っている。本プロジェクトは CERN 研究所，INFN ボローニャ（イタリア），ローマ大学，マンチェスター大学などと共同で行っている。2022 年度の研究概要は以下の通りである。

(1) については，まず前田が高輝度化に向けたトリガー装置の動作確認を行い，2022 年運転からすぐに安定動作させ，また問題点を短い時間で修正することに成功した。大学院生の中村とともにトリガー論理の参照表を機械学習で作成することにより，トリガーの性能向上とともに参照表アップデートの自動化・高速化を実現した。山下は第 1 期アップグレードで実装された近接する 2 ミューオントリガーのうち，初段ハードウェアトリガーが動作していることを前田とともに確かめた。田路は前田の指導の下，2022 年のデータ取得ミューオン検出器のタイミングを解析し，それを調整して，最終的質量が大きく光速より遅く飛

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

ぶ粒子の探索感度を上げることにつなげる研究を行っている。このほかにも前田はトリガー関連のグループのコーディネーションを行っている。

(2) については，前田と丸元が，第 2 期アップグレード以降に懸念される計算機リソース不足の解決策として，計算アルゴリズムを最構築可能なハードウェア論理により実装する技術的手法について，そのハードウェアを実際に使用する際の問題点を洗い出した。また，藏重・森本が，第 2 期アップグレードで制作する TGC 検出器の試験データなどに用いることのできる，プロセッサを内蔵する FPGA を用いた汎用のデータ取得ボードのファームウェア作成に取り組んでいる。山崎はミューオン検出器のアップグレードプロジェクト推進のためのスケジュール管理などを行っている。

(3) 物理データの解析は，新物理探索を主に進めている。藏重が前年度に行ったミュー粒子を終状態に持つ Higgsino 粒子の探索範囲を広げた結果は，現在機関による電子を用いた解析との統合を待って出版される予定である。

(4) 関連して，将来のコライダー実験（電子・陽子散乱）に関する検出器研究を山崎が行っている。

3.5.2 暗黒物質の直接探索実験

暗黒物質の直接探索実験として，(1) XENON 実験，(2) XMASS 実験，(3) NEWAGE 実験を推進する。まずは，有効質量の大きな XENON 実験・XMASS 実験で暗黒物質の直接検出を行い，将来的に方向に感度のある NEWAGE 実験でより確実な証拠・正体解明を目指す。2019 年度より新学術領域「地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化」が発足，身内が領域事務及び計画研究 B02 の研究代表者として研究を推進している。
査読論文: [30]-[36]，国際講演[47]-[52]，国内講演: [63]-[86]

(1) XENON 実験
メンバー: 身内、竹内、金崎、濱田
イタリアグランサッソ研究所で行われている 2 相型液体キセノン検出器を用いた暗黒物質直接探索実験「XENON 実験」に参画している。XENON 実験は，米国コロンビア大学，ドイツマックスプランク研究所，イタリアボローニャ大学，ドイツマインツ大学など世界から 20 機関以上が参加する国際共同研究である。XENONnT として 2020 年に大型検出器を建設、調整を開始、中性子反同時計測装置（nVeto）の製作、調整へ貢献している。2022 年度には、XENONnT の初期データによる電子反跳事象の新物理探索に関する論文等を出版した[30]。

(2) XMASS 実験
メンバー: 竹内，身内
XMASS 実験は岐阜県飛騨市の東京大学宇宙線研究所附属神岡宇宙素粒子研究施設の地下実験サイトにおいて，液体キセノンシンチレータ検出器による観測を 2013 年から 2019 年 2 月まで行った。2021 年度には，既存データの解析を進め、全データ解析の論文を投稿、論文の受理を持って実験グループを終了することを決定した。

(3) NEWAGE 実験
メンバー: 身内、東野、中山、大藤
NEWAGE 実験は，方向に感度を持った観測装置によって，暗黒物質検出を決定的なものとし，さらにその性質解明へとつなげることを目指す。現在，神岡宇宙素粒子研究施設の地下実験室で，小型の装置を用いた予備実験を進め，方向に感度を持つ暗黒物質検出器としては世界最高感度を示している。2022 年度には、高感度化した神岡地下での測定論文を投稿した。また、暗黒物質としてのアクシオン探索に関する論文を発表した[35]。

3.5.3 ニュートリノ実験

ニュートリノ実験では、世界最大の純水を用いた水チェレンコフ装置実験 Super-Kamiokande (SK)、加

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

速器ニュートリノ振動実験 T2K に参画し研究活動を行っている。併せて、現在建設中で 2027 年に観測開始予定の、次世代超大型水チェレンコフ装置実験 Hyper-Kamiokande (HK)に向けた開発研究も行う。本年度の主な研究概要は以下の通りである。
査読論文: [37]-[44]，国際講演[53]-[54]，国内講演:[87]-[90]

(1) スーパーカミオカンデ実験・ハイパーカミオカンデ実験
メンバー: 竹内，鈴木，尾崎、高木，鐘
2022 年 7 月に，SK 検出器に溶かすガドリニウムを 0.03%に増量して、SK-VII として，新たな観測を開始した。竹内は，前年度に引き続き低エネルギー解析グループの共同責任者として太陽ニュートリノ研究や超新星ニュートリノ研究の取りまとめを行った。HK に関して，竹内は前年度に引き続き宇宙物理研究グループの共同責任者を担当した。

(2) 東海-神岡間長基線ニュートリノ振動実験(T2K)
メンバー: 竹内，鈴木，鐘，青木（発達科学部）
2021 年度に引き続き、加速器の増強、ビームラインの改良、前置検出器のアップグレードなどを行っている。物理解析においては、アメリカで行われている長基線ニュートリノ振動実験である NOνA との共同解析（Joint Analysis）が進んでいる。HK 長基線実験計画における中間距離水チェレンコフ検出器(Inermediate Water Cherenkov Detector, IWCD)については、検出器較正のシミュレーションを始めている。

3.5.4 MPGD の開発研究
メンバー: 越智、高橋、山下
国際講演[55]-[58]，国内講演:[91]-[96]
次世代の粒子線イメージング検出器として，マイクロパターンガス検出器(MPGD)の開発を行っている。今年度は，（1) diamond-like-carbon（DLC）薄膜を用いた MPGD 開発, (2)MEG II 実験に向けた DLC 薄膜を用いた低物質量粒子線検出器開発 を行った。

(1) DLC 薄膜を用いた高抵抗陰極型 μ-PIC の開発では，異なる抵抗値を持つ検出器を試作し，電極構造の差による動作特性テストを行った。本年度は特に読み出しに光学的手法を用いる研究を、CERN にて初めて行った。この結果、イメージング検出器としての動作を、CCD カメラを用いて比較的簡便に実現できるようになり、検出器動作の一様性のチェックや動作の時間変化を観察する手法としても優れていることが分かるようになった。

(2) 昨年度より、正式に MEG II 実験（チューリッヒ郊外の PSI で行われている μ->eγ 崩壊探索実験）の共同実験に参加することとなり、本年はコロナ禍の海外渡航が若干緩和された段階で、初めて現地実験サイトにて研究に加わることができた。神戸大学が担当している後方 Radiative Decay Counter の開発については、検出器の素材入手の問題などから難航しているが、実機に向けた検出器試作を行い、動作試験やシミュレーションスタディを進めている。

3.5.5 Geant4 による医学・生物学への応用研究
メンバー：藏重
著書・解説: [46] ，国内講演: [97]
LHC 実験のために 1998 年に開発された放射線シミュレーターGeant4 は，素粒子・原子核・宇宙線実験だけでなく、粒子線治療の治療計画の検証や細胞レベルの放射線現象の研究などにも使用されている。近年の開発に関する解説記事[46]が日本物理学会誌に掲載された。
Geant4 日本グループは Geant4 の開発・保守に大きく貢献してきた。その業績に対して、公益財団法人高エネルギー加速器研究奨励会による 2021 年度諏訪賞を受賞した。また、ユーザーへの Geant4 初心者講習会を開催した[103]。

3.5.6 その他

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

一般向けの広報活動を積極的に行っている（[98-103]）。

＜参考文献＞

[査読論文]

[1] "Measurement of the nuclear modification factor for muons from charm and bottom hadrons in *Pb+Pb* collisions at 5.02 TeV with the ATLAS detector.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., Phys. Lett. **B829** (2022) 137077

[2] "Measurement of the energy asymmetry in *ttj* production at 13 TeV with the ATLAS experiment and interpretation in the SMEFT framework.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., Eur. Phys. J. **C82** (2022) 374

[3] "Search for associated production of a Z boson with an invisibly decaying Higgs boson or dark matter candidates at $\sqrt{s}$ =13 TeV with the ATLAS detector.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., Phys. Lett. **B829** (2022) 137066

[4] "Constraints on Higgs boson production with large transverse momentum using $H \to bb$ decays in the ATLAS detector.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., Phys. Lett. **B829** (2022) 137077

[5] "Search for flavour-changing neutral-current interactions of a top quark and a gluon in *pp* collisions at $\sqrt{s}$ =13TeV with the ATLAS detector.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., Eur. Phys. J. **C82** (2022) 334

[6] "Determination of the parton distribution functions of the proton using diverse ATLAS data from *pp* collisions at $\sqrt{s}$ =7, 8 and 13 TeV.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., Eur. Phys. J. **C82** (2022) 438

[7] "Search for associated production of a Z boson with an invisibly decaying Higgs boson or dark matter candidates at $\sqrt{s}$ =13 TeV with the ATLAS detector.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., Phys. Rev. **D105** (2022) 092002

[8] "Search for neutral long-lived particles in *pp* collisions at $\sqrt{s}$ =13 TeV that decay into displaced hadronic jets in the ATLAS calorimeter.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., JHEP **06** (2022) 005

[9] "Measurements of differential cross-sections in top-quark pair events with a high transverse momentum top quark and limits on beyond the Standard Model contributions to top-quark pair production with the ATLAS detector at $\sqrt{s}$ =13 TeV.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., JHEP **06** (2022) 063

[10] "Search for single production of a vectorlike T quark decaying into a Higgs boson and top quark with fully hadronic final states using the ATLAS detector.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., Phys. Rev. **D105** (2022) 092012

[11] "A search for an unexpected asymmetry in the production of $e^+\mu^-$ and $e^-\mu^+$ pairs in proton-proton collisions recorded by the ATLAS detector at $\sqrt{s}$ =13 TeV.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., Phys. Lett. **B830** (2022) 137106

[12] "Measurements of azimuthal anisotropies of jet production in Pb+Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}$ = 5.02 TeV with the ATLAS detector.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., Phys. Rev. **C105** (2022) 064903

[13] "Search for Higgs bosons decaying into new spin-0 or spin-1 particles in four-lepton final states

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

with the ATLAS detector with 139 fb^{-1} of pp collision data at $\sqrt{s}$ =13 TeV.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., JHEP **03** (2022) 041

[14] "A detailed map of Higgs boson interactions by the ATLAS experiment ten years after the discovery.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., Nature **607** (2022) 52-59

[15] "Study of $B^+_c \to J/\psi D^+_s$ and $B^+_c \to J/\psi D^{*+}_s$ decays in *pp* collisions at $\sqrt{s}$ = 13 TeV with the ATLAS detector.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., JHEP **08** (2022) 087

[16] "Search for events with a pair of displaced vertices from long-lived neutral particles decaying into hadronic jets in the ATLAS muon spectrometer in *pp* collisions at $\sqrt{s}$ =13 TeV.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., Phys. Rev. **D106** (2022) 032005

[17] "Measurements of jet observables sensitive to *b*-quark fragmentation in *tt* events at the LHC with the ATLAS detector.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., Phys. Rev. **D106** (2022) 032008

[18] "Two-particle Bose-Einstein correlations in pp collisions at $\sqrt{s}$ =13 TeV measured with the ATLAS detector at the LHC.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., Eur. Phys. J. **C82** (2022) 608

[19] "Observation of *WWW* Production in *pp* Collisions at $\sqrt{s}$ =13 TeV with the ATLAS Detector.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., Phys. Rev. Lett. **129** (2022) 061803

[20] "Search for long-lived charginos based on a disappearing-track signature using 136 fb^{-1} of *pp* collisions at $\sqrt{s}$ =13 TeV with the ATLAS detector.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., Eur. Phys. J. **C82** (2022) 606

[21] "Measurement of Higgs boson decay into *b*-quarks in associated production with a top-quark pair in *pp* collisions at $\sqrt{s}$ =13 TeV with the ATLAS detector.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., JHEP **06** (2022) 097

[22] "Constraints on Higgs boson properties using $WW^*(\to e\nu\mu\nu)jj$ production in 36.1fb^{-1} of $\sqrt{s}$ =13 TeV *pp* collisions with the ATLAS detector.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., Eur. Phys. J. **C82** (2022) 622

[23] "Search for invisible Higgs-boson decays in events with vector-boson fusion signatures using 139 fb^{-1} of proton-proton data recorded by the ATLAS experiment.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., JHEP **08** (2022) 104

[24] "Measurements of the Higgs boson inclusive and differential fiducial cross-sections in the diphoton decay channel with pp collisions at $\sqrt{s}$ =13 TeV with the ATLAS detector.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., JHEP **08** (2022) 027

[25] "Direct constraint on the Higgs–charm coupling from a search for Higgs boson decays into charm quarks with the ATLAS detector", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., Eur. Phys. J. **C82** (2022) 717

[26] "Measurements of Higgs boson production cross-sections in the $H \to \tau^+\tau^-$ decay channel in *pp* collisions at $\sqrt{s}$ =13 TeV with the ATLAS detector.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., JHEP **08** (2022) 175

[27] "Search for Higgs boson pair production in the two bottom quarks plus two photons final state in *pp* collisions at $\sqrt{s}$ =13 TeV with the ATLAS detector.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., Phys. Rev. **D106** (2022) 052001

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

[28] "Modelling and computational improvements to the simulation of single vector-boson plus jet processes for the ATLAS experiment.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., JHEP **08** (2022) 089

[29] "Measurement of the polarisation of single top quarks and antiquarks produced in the t-channel at √s = 13 TeV and bounds on the *tWb* dipole operator from the ATLAS experiment.", The ATLAS Collaboration; G.Aad et al., JHEP **09** (2022) 040

[30] Search for New Physics in Electronic Recoil Data from XENONnT", XENON collaboration Phys. Rev. Lett. 129, 161805 (2022)

[31] "An approximate likelihood for nuclear recoil searches with XENON1T data", XENON collaboration The European Physical Journal C volume 82, Article number: 989 (2022)

[32] "Double-weak decays of 124Xe and 136Xe in the XENON1T and XENONnT experiments", XENON collaboration Phys. Rev. **C 106**, 024328

[33] "Emission of single and few electrons in XENON1T and limits on light dark matter", XENON collaboration Phys. Rev. **D 106**, 022001

[34] "Application and modeling of an online distillation method to reduce krypton and argon in XENON1T", XENON collaboration Progress of Theoretical and Experimental Physics, Volume 2022, Issue **5**, May 2022

[35] "Axion search with quantum nondemolition detection of magnons", Tomonori Ikeda, Asuka Ito, Kentaro Miuchi, Jiro Soda, Hisaya Kurashige, and Yutaka Shikano Phys. Rev. D 105, 102004

[36] “Material radiopurity control in the XENONnT experiment”, XENON collaboration, The European Physical Journal C volume **82**, Article number: 599 (2022), arXiv:2112.05629 (DOI:10.48550/arXiv.2112.05629)

[37] “First Gadolinium Loading to Super-Kamiokande”, The Super-Kamiokande Collaboration, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 1027 (2022) 166248

[38] “Search for solar electron anti-neutrinos due to spin-flavor precession in the Sun with Super-Kamiokande-IV”, The Super-Kamiokande Collaboration, Astroparticle Physics Volume **139**, June 2022, 102702

[39] “Pre-supernova Alert System for Super-Kamiokande”, L. N. Machado et al. (The Super-Kamiokande Collaboration), The Astrophysical Journal, **935**, 40 (2022)

[40] “Search for proton decay via p→ μ +K0 in 0.37 megaton-years exposure of Super-Kamiokande”, R. Matsumoto et al. (The Super-Kamiokande Collaboration), Phys. Rev. **D 106**, 072003

[41] “Searching for Supernova Bursts in Super-Kamiokande IV”, M. Mori et al. (The Super-Kamiokande Collaboration), The Astrophysical Journal, **938**, 35 (2022)

[42] “Neutron tagging following atmospheric neutrino events in a water Cherenkov detector”, The Super-Kamiokande Collaboration, Journal of Instrumentation, Volume **17**, October 2022

[43] “Search for Cosmic-Ray Boosted Sub-GeV Dark Matter Using Recoil Protons at Super-Kamiokande”, The Super-Kamiokande Collaboration, Phys. Rev. Lett. **130**, 031802 (2023)

[44] “The Double Chooz antineutrino detectors”, H. de Kerret et al. (The Double Chooz Collaboration), Eur. Phys. J. **C 82**, 804 (2022)

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

[45] 花垣和則，田中純一，戸本誠，山崎祐司 “Experimental Techniques in Modern High-Energy Physics: A Beginner‘s Guide”, Springer open access book, 2022

[46] 藏重久弥、村上晃一「放射線シミュレーション・ツールキット Geant4 の最近の発展」日本物理学会誌 **78**, 120（2023）.

＜国際研究集会講演＞

[47] Kentaro Miuchi, “Future Axion dark matter detection with magnon (invited) “, QUP workshop: toward Project Q, 7-8 November 2022,Seminar Hall, 1st floor, building 4, KEK

[48] Kentaro Miuchi, “Future Directional DD and Migdal Detection (invited)”, The 2nd DMNet International Symposium, September 13-15th, 2022, Max Planck Institute for Nuclear Physics, Heidelberg, Germany

[49] Kentaro Miuchi, “Search for neutrinoless quadruple ß decay of 136Xe in XMASS-I”, 18th Rencontres du Vietnamm, July 17-23rd, 2022, ICISE, QUI Nyon, Vietnam

[50] Satoshi Higashino, "Development of negative-ion gaseous TPC using micro pattern readout for direction-sensitive dark matter search", MPGD2022, Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel, December 11-16th, 2022

[51] Satoshi Higashino, "Directional dark matter search with gaseous detectors", UGAP2022, Tokyo University of Science, Japan, June 13-15th, 2022

[52] Kentaro Miuchi, “Exploring the Nature of the Dark Matter by Direct Searches”, KMI Colloquium, Nagoya University 2023年1月25日

[53] Yasuo Takeuchi, “Study of radon adsorption properties using activated carbon fibers”, Neutrino 2022, May 30 – June4, 2022, Virtual Seoul, Korea, ポスター講演

[54] Yasuo Takeuchi, ”Recent oscillation results and future prospects of Super-Kamiokande”, Neutrino Oscillation Workshop 2022 (NOW 2022), 4 - 11 Sep 2022, Ostuni, Italy, 招待講演

[55] Masato Takahashi, “Development of ultra-low mass and high-rate capable DLC-RPC for background reduction in MEG II experiment”, RD51 Collaboration meeting, June 13–17th , 2022, CERN Switzerland

[56] Atsuhiko Ochi, “Development of DLC-RPC for Radiative Decay Counter of MEG II Experiment”, MPGD2022, Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel, December 11-16th, 2022

[57] Atsuhiko Ochi, “Micro-pixel chamber with photo readout”, RD51 Mini-Week workshop, February 27-28th, 2023, CERN Switzerland

[58] Masato Takahashi, “Radiation-hardness of DLC-RPC for upstream RDC”, Global Developments of Researches in Lepton Flavor Physics with Muons, March 8-10th, 2023, Kobe University

＜国内研究集会講演＞

[59] 中村竜也「LHC-ATLAS 実験 Run 3 における初段ミューオントリガーの運動量判定ロジックの新しい最適化手法の確立」，日本物理学会2022年秋季大会，2022年9月7日，岡山理科大学

[60] 前田順平「（企画講演）いよいよ始まった13.6 TeV衝突！ - トリガー改良から迫る新物理探索」，日本物理学会2022年秋季大会，2022年9月7日，岡山理科大学

[61] 田路航也「LHC-ATLAS 実験における速度の遅い粒子のための初段トリガー効率測定手法の開発」，日本物理学会2022年秋季大会，2022年9月8日，岡山理科大学

[62] 田路航也「LHC-ATLAS実験Run 3における速度の遅い荷電粒子用トリガーのためのTGC検出器のバンチ識別性能評価」，日本物理学会2023年春季大会，2023年3月23日，オンライン

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

[63] 東野聡「暗黒物質探索実験に向けた陰イオンガスTPCの動作検証」，日本物理学会2022年秋季大会，2022年9月6日，岡山理科大学
[64] 濱田悠斗「ミグダル効果観測のためのガスTPC開発」，日本物理学会2022年秋季大会，2022年9月6日，岡山理科大学
[65] 中山郁香「暗黒物質探索におけるガス低圧化地下実験」，日本物理学会2022年秋季大会，2022年9月6日，岡山理科大学
[66] 身内賢太朗「NEWAGE実験69：方向感度を持つ暗黒物質探索のための大型ガスTPC開発」，日本物理学会2022年秋季大会，2022年9月6日，岡山理科大学
[67] 大藤瑞乃「NEWAGE実験70：大型ガスTPCのガス不純物の除去」，日本物理学会2022年秋季大会，2022年9月6日，岡山理科大学
[68] 金崎奎「中性子ビームを用いたミグダル効果の探索と展望」，日本物理学会2022年秋季大会，2022年9月6日，岡山理科大学
[69] 東野聡「陰イオンガスTPCのピクセル読み出し計画」，日本物理学会2023年春季大会，2023年3月23日，オンライン
[70] 金崎奎「ミグダル効果観測に向けたアルゴンガス検出器の中性子ビーム試験結果」，日本物理学会2023年春季大会，2023年3月25日，オンライン
[71] 身内賢太朗「NEWAGE実験71：30cm角検出器による地下実験」，日本物理学会2023年春季大会，2023年3月25日，オンライン
[72] 東野聡「NEWAGE実験72：方向感度を持つ暗黒物質探索のための大型ガスTPC運転状況」，日本物理学会2023年春季大会，2023年3月25日，オンライン
[73] 大藤瑞乃「NEWAGE実験73：大型ガスTPCのためのモジュール型検出器の動作実験」，日本物理学会2023年春季大会，2023年3月25日，オンライン
[74] 身内賢太朗「暗黒物質直接探索の現状」北海道大理学院学物理学専攻セミナー、2022年6月22日
[75] 身内賢太朗「ガス飛跡検出器による暗黒物質探索実験」令和4年度宇宙線研究所共同利用研究成果発表研究会（東京大学柏キャンパス第二総合研究棟） 2023年2月21日-22日
[76] 大藤瑞乃「大型ガスTPCのためのモジュール型検出器の動作実験」、第29回ICEPPシンポジウム 2023年2月19-22日
[77] 濱田悠斗「ミグダル効果観測に向けた中性子ビーム試験結果」第29回ICEPPシンポジウム 2023年2月19-22日
[78] 金崎奎「ミグダル効果観測に向けたガスTPC開発」第29回ICEPPシンポジウム2023年2月19-22日
[79] 大藤瑞乃「高抵抗シートを用いたガスTPCの電場安定化にむけて」、MPGD&Active媒質TPC2022研究会 2022年12月9-10日
[80] 東野聡「方向感度を持つ暗黒物質探索のためのMPGDを用いた陰イオンガスTPC開発」、MPGD&Active媒質TPC2022研究会 2022年12月9-10日
[81] 金崎奎「ミグダル効果観測のためのアルゴンガスTPC開発」MPGD&Active媒質TPC2022研究会 2022年12月9-10日
[82] 東野聡「ガスTPCを用いた暗黒物質探索における低BG検出器開発状況」、第８回極低放射能技術研究会 2022年11月24-26日
[83] 東野聡「陰イオンガスTPCのピクセル読み出しのためのエレクトロニクス開発」、新学術「地下宇宙」若手研究会 2022年11月23-24日
[84] 中山郁香「NEWAGE地下測定における低閾値化に向けた解析状況」、新学術「地下宇宙」若手研究会 2022年11月23-24日
[85] 濱田悠斗「ミグダル効果観測のためのガスTPCにおけるDAQ開発」、新学術「地下宇宙」若手研究会 2022年11月23-24日
[86] 大藤瑞乃「ミグダル効果観測のための、中性子ビーム起源ガンマ線背景事象の測定」、第10回高エネルギー物理春の学校2022 2022年5月26-28日
[87] 高木優祐「活性炭繊維を用いたラドン除去空気供給装置の開発」，日本物理学会2023年春季大会，2023年3月23日，オンライン
[88] 高木優祐「活性炭素繊維を用いたRn除去空気供給装置の開発」、第3回新学術「地下宇宙」若手研究会、2022年11月23-24日
[89] 竹内康雄「C01班: 活性炭素繊維を用いた空気中ラドン除去の研究」、第８回極低放射能技術研究会 2022年11月24-26日、つくば国際会議場、招待講演

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

[90] 高木優祐「活性炭繊維を用いたラドン除去空気供給装置の開発」，日本物理学会2023年春季大会，2023年3月23日，オンライン
[91] 高橋真斗「MEG II実験背景事象削減のためのDLC-RPCの放射線耐性評価」，日本物理学会2022年秋季大会，2022年9月6日，岡山理科大学
[92] 山下翼「Solder Resist薄膜を絶縁性素材に使用したDLC μ-PICの基本性能の研究」，日本物理学会2022年秋季大会，2022年9月6日，岡山理科大学
[93] 高橋真斗「MEG II実験背景事象抑制に向けたDLC-RPC検出器の開発 -新型電極を用いた検出器の低レート環境下での性能評価-」，日本物理学会2023年春季大会，2023年3月23日，オンライン
[94] 山下翼「DLC μ-PICの光学的読み出しの研究」、MPGD & Active媒質TPC2022研究会、2022年12月9-10日
[95] 越智敦彦「RD51 及びMPGD開発の国外の動向」、MPGD & Active媒質TPC2022研究会、2022年12月9-10日
[96] 高橋真斗「MEG II実験 DLC-RPCの放射線長期照射による検出器性能への影響」、MPGD & Active媒質TPC2022研究会、2022年12月9-10日
[97] 藏重久弥「C++の発展と今後：Geant4開発を中心として」，諏訪賞受賞記念シンポジウム「Geant4の28年」，2022年5月31日，アルカディア市ヶ谷（私学会館）

＜国際研究会＞
なし

＜アウトリーチ＞
[98] 前田順平「多変量解析TMVA」「計算機実習」，第5回粒子物理コンピューティングサマースクール（PPCC-SS-2022），高エネルギー加速器研究機構
[99] 前田順平「素粒子実験でデータを取る！～ビッグデータとデータサイエンス～」，東京工業大学理科教育振興支援事業「データサイエンス素粒子原子核宇宙」（DSPN2022），高校生向け，オンライン
[100] 身内健太郎「分からないから面白い宇宙の謎　アインシュタイン16歳の疑問と暗黒物質探索」，ガリレオX，2022年6月12日，BSフジ
[101] 竹内康雄「地底から探る素粒子と宇宙の謎」、日本真空工業会関西支部 第36回講演会、2022年6月8日、アートホテル大阪ベイタワー
[102] 藏重久弥「放射線シミレーションGeant4とその医学応用」，神戸大学理学部サイエンスセミナー，2022年7月30日，神戸大学理学部
[103] 藏重久弥「放射線シミュレーションの概要」，Geant4 初心者講習会 2022，2022年12月14日，九州大学西新プラザ

3.6. 極限物性物理学

極限物性物理学教育研究分野では、強磁場・極低温・高圧下のテラヘルツ電子スピン共鳴（ESR）の装置開発とその物性への応用を推進している。強磁場テラヘルツ ESR 装置開発では、55T パルス強磁場と、後進行波管(BWO)をはじめとした高周波光源を用いて、強磁場でかつ、広帯域電磁波による ESR 測定を可能にしている。さらに 15T 超伝導磁石や 10T スプリット超伝導磁石を用いてマイクロ機械デバイスによるテラヘルツ超精密 ESR 測定装置の開発を進めている。また、従来の光検出とは異なる熱検出 ESR 測定の開発に成功し、今後広範囲な物質の測定が可能になると期待されている。さらには、高圧下テラヘルツ ESR 測定法の開発を世界に先駆けて成功させ、より高い圧力へと発展させている。これらの強磁場・極低温・高圧下のテラヘルツ ESR 装置を用いて、磁場・温度・圧力に加えて精密角度依存性測定など多様な実験手法を用いて、量子スピン系やスピンフラストレーション系などの低次元磁性体などのいわゆる"磁性体"をはじめとして、生態機能を発現させる金属タンパク質の機能中心金属の電子状態の研究を進め

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

ている。2022 年度は新しい試みとして 3D プリンターを用いて、パルス強磁場 ESR 装置の開発に成功している。また、引き続き多重極限テラヘルツ ESR の開発を推進した。研究基盤センターの櫻井と協力して高圧領域の測定開発を、さらに、大道と高橋と協力してメンブレン力検出型 ESR や熱検出型 ESR を中心に強磁場中のマイクロ計測の開発も推進した。特にこれらの手法の融合として高圧下の熱検出型 ESR 計測の装置開発を推進している。また、研究基盤センターの原も極限物性の研究活動に引き続き参画している。太田、大道、大久保と櫻井は多重極限強磁場 ESR および強磁場下マイクロ計測等の開発を進め、阪大、東北大、福井大との共同研究を通じて強磁場コミュニティー内で強磁場施設としての役割を引き続き担っている。そして、2013 年から始めた西日本における強磁場研究拠点強化にむけた、分子フォトサイエンス研究センター、大阪大学大学院理学研究科附属先端強磁場科学研究センター、大阪府立大学研究推進機構強磁場環境利用研究センターと福井大学遠赤外領域開発研究センターとの間の相互学術交流協定−KOFUC(Kobe Osaka Fukui University Network)ネットワークを継続し、強磁場実験入門セミナーや研究会の開催など学術交流をすすめている。また、学術創成研究費で平成２１年に導入された SQUID 磁気測定装置は、学内の理学研究科物理・化学専攻、工学研究科や大阪大学、山形大学の研究者に引き続き幅広く共同研究として利用されている。太田、大久保、大道は平成２９年度から行われている分子フォトサイエンス研究センターの共同利用研究のホストとして、広く国内外、学内の 18 の研究グループと共同研究を行っている。太田は International EPR Society (IES) Associate Editor Asia-Pacific、Asia-Pasific EPR/ESR Society (Advisory Council Member), Advisory Board of Applied Magnetic Resonance および電子スピンサイエンス学会（SEST, 事務局）などの活動を通じて、引き続き国内外の電子スピン共鳴に関連する学会で中心的な役割を果たしている。さらに、テラヘルツから赤外線領域の研究発展を指導する日本赤外線学会の会長、日本赤外線学会新版本編集委員会委員長を太田が、総務幹事と理事を大久保が、表彰委員幹事を大道がつとめている。また、太田は湯川記念財団理事、湯川記念財団望月基金運営委員会委員長、福井大学遠赤外領域開発研究センター共同研究委員会委員、東京大学物性研究所協議会委員などをつとめた。大久保は第 62 回電子スピンサイエンス学会年会大会委員長、分子フォトサイエンス研究センターの共同利用研究公募委員会委員長をつとめている。最後に 2022 年度の受賞に関して、学生では修士 2 年の長澤が第 29 回低温物理国際会議（29th international Conference on Low Temeprature Physics）で優秀ポスター賞を、修士 1 年の瀬川が第 31 回日本赤外線学会で優秀発表賞を受賞した。

3.6.1 量子スピン系の強磁場 ESR による研究

メンバー：太田、大久保、赤木暢、川村、光元、櫻井（研究基盤セ）、原（研究基盤セ）、藤原（東理大）、満田（東理大）、中尾（CROSS）、宗像（CROSS）、Mole（ANSTO）、矢野（NSRRC）、Yu（ANSTO）、竹端（NIMS）、今中（NIMS）、辻本（NIMS）、杉山（CROSS）、越智（阪大）、黒木（阪大）、Manuel（ISIS）、Khalyavin（ISIS）、梅垣（KEK）、Månsson（KTH）、Andreica（Babes-Bolyai University）、Boothroyd（University of Oxford）、山浦（NIMS）、富安（東北大）、青山（阪大）、水田（阪大）

参考文献：[1] - [8] 講演：[17]-[35]

量子スピン系は強い量子性のため低温においても長距離秩序化が妨げられ、特異な基底状態や新奇な量子相が現れる。我々は、強磁場を用いることで飽和磁場に至る全磁場相やテラヘルツに至るまでの広帯域の励起エネルギーを用いた強磁場テラヘルツ ESR 測定によって、高いエネルギー分解能で基底状態からの磁気励起の観測を行なっている。

S=1/2 一次元反強磁性体において、量子性とフラストレーションの競合、ならびに g テンソルと Dzyaloshinski-Moriya（DM）相互作用による異方性の競合は多様な基底状態を生み出す土壌になっている。このような系として $Na_2CuSO_4Cl_2$ の広い周波数領域における低温強磁場 ESR 測定を行なっている。単結晶試料による測定により、DM 相互作用の D ベクトルの方向を決定することができた[1]。次元性を 2 次元に引き上げた S=1/2 二次元正方格子反強磁性体 Sr_2NiO_3Cl、Sr_2NiO_3F では、結晶構造の対称性がよいため DM 相互作用はなく、低温まで長距離秩序化を示さないことから、極めて理想的な S=1/2 二次元反強磁性体と考えられる。この系の室温から 1.9K までの ESR の温度依存性測定を行った結果、低温において短距離秩序は発達するものの、長距離秩序化しないことを示すことに成功した[2]。

スピンフラストレーションに関連して近年、フラストレーションが導くトポロジカル安定な構造体であるスピンテクスチャががナノスケールサイズで現れることに注目されている。このフラストレーション起源のトポロジカル励起には Z2 渦やスカーミオン、3 次元的なテクスチャとしてヘッジホッグなど様々提案され、検証されつつある。川村とその共同研究者は、トポロジカル励起として現れるスピンテクスチャ

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

が DM 相互作用由来でないものについて精力的に研究を進めている。ブリージングパイロクロア反強磁性体に対しては、ヘッジホッグ格子やスカーミオンを基本としたカイラル秩序が現れることを数値計算によって明らかにした[3, 4]。RKKY 相互作用を持つ三角格子反強磁性体に対して、スカーミオン格子結晶が現れることを見出した[5, 6]。フラストレーション磁性体 $NaCrO_2$ に対して Z2 渦のゆらぎをモデル計算と中性子回折実験により明らかにした[7, 8]。

高周波数強磁場 ESR 装置の高感度化、故障によるダウンタイムを短くするため、3D プリンターを用いた強磁場 ESR 装置開発研究を行っている。これは近年、性能向上が目覚ましい光造形方式 3D プリンターならびに熱溶解積層方式 3D プリンターを使い、真空・低温といった厳しい環境におかれるプローブの開発に成功している[30, 31, 33, 34]。

太田は、多重極限 ESR 装置開発の成果を Modern Development of Magnetic Resonance, On-line (Kazan, Russia)（2022.10.3）、The 12th Asia-Pacific EPR/ESR Symposium (APES2022), On-line (Hangzhou, China)（2022.11.4-7）、新規遍歴電子物性を創成する遷移金属化合物における研究会・京都大学・（2023.3.25-26）で招待講演として発表している。

3.6.2　マイクロデバイスを用いたテラヘルツ領域における新しい ESR 測定法

メンバー：太田、大久保、大道、高橋、石川（福井大）、光藤（福井大）、藤井（福井大）

参考文献：[9] 講演：[17]-[18], [22], [36]-[43]

福井大学に設置されている高出力テラヘルツ光源であるジャイロトロンを用いた力検出型 ESR 測定法の開発を前年度から継続して行った。測定は福井大学の石川助教、藤井准教授、光藤教授と共同で行った。測定に用いたコンパクトジャイロトロンは複数の基本波共振モードとそれらの 2 次高調波発振を用いた多周波数発振が可能となっている。そのため、テラヘルツ ESR 分光測定への応用が期待される。今年度は粉末 DPPH 試料を用いて多周波数 ESR 分光測定の評価を行った。その結果、室温下、108-216 GHz の周波数範囲で ESR 信号の検出に成功した。さらにフィードバック回路を用いてジャイロトロンのパルス発振に伴う雑音除去のための技術開発を行った。また、2 次高調波発振モードを用いた測定も行ったが、ESR 吸収に起因する信号を観測することができなかった。高次高調波モードでは出力が基本波モードに比べて小さいため、信号検出には更なる感度向上が望まれる。この技術を用いることで将来的には、金属タンパク質溶液試料を室温下で測定可能にすることを目指している。

フォトミキシング光源を用いた周波数領域 ESR 測定法の開発も行った。位相変調法をもちいることにより周波数分解能として 1 MHz という値を達成することに成功した。しかし、この測定法では周波数ごとにテラヘルツ波の振幅を決めているため測定時間が長いという欠点があった。今年度は、この課題を解決するためフィードバック回路を用いて光電流が常に極大値を取るような測定系を構築した。この方法により従来手法に比べて 100 倍程度の高速周波数掃引が可能になった。この手法を用いて実際に、アセトニトリルのガス分光に適用し、回転運動準位間の遷移に相当する吸収信号の観測に成功した。

D1 学生の小路氏は The Third International Symposium on Frontiers in THz Technology FTT 2022・フェニックスプラザ（福井）（2022.11.16-18）において“Rapid-sweep frequency-domain terahertz spectroscopy by a dynamic optical path length control”という題目でポスター発表を行った。

3.6.3　高圧下テラヘルツ ESR 測定装置の開発とその応用

メンバー：太田、大道、大久保、高橋、長澤、西口、櫻井（研究基盤セ）、原（研究基盤セ）、嵯峨（研究基盤セ）、上床（物性研）、萩原（阪大）、岡村（徳島大）

参考文献：[10] 講演：[17]-[18], [20]-[22], [36], [44]-[53]

高圧、強磁場下におけるテラヘルツ ESR 測定は、多重極限環境下における新奇現象の探索、解明に非常に有用である。我々のシステムにおける最大の特徴は、ピストンシリンダー型圧力セルにおいて、すべての内部部品を破壊靭性と電磁波透過性に優れるジルコニア系セラミクスにより作製している点である。今年度は本システムを用いて、異種ダイマー系物質 CuVOF4(H2O)6· 6H2O の圧力依存性を観測した。本系においては基底状態である非磁性一重項から励起三重項への直接遷移を観測し、系のギャップエネルギーの圧力依存性を得ることに成功した。ギャップは圧力と共に増加し、2 GPa を超える圧力で急激に増加した。この急激な増加は同程度の圧力で生ずる構造相転移に対応していると考えられた。なお本研究は Augsburg 大（ドイツ）D. Kamenskyi 博士との共同研究である。本装置では、圧力下におけるサイクロトロン共鳴（CR）も行うことができる。ナローギャップ半導体である黒リンは、近年、圧力下での特異な量

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

子輸送現象等から注目される物質である。1.5 GPa 程度の圧力下で CR 測定を行ったところ、既報の常圧下での有効質量の 1/3 近くにまで有効質量が小さくなっていることがわかった。更に詳細について検討中である。本研究は岡村教授（徳島大）と共同研究である。

高圧下 ESR 装置にパルス強磁場を組み合わせることができれば､飛躍的な磁場領域の拡張につながる。大阪大学のパルス強磁場 ESR 装置に、我々の電磁波透過型圧力セルを組み込み、特に内部部品に透過性の非常に高いアルミナ系セラミクスを用いることで､常圧下ではあるが ESR の観測に成功した。しかし、アルミナ系セラミクスは靭性に乏しく、わずかな加圧で破壊することがわかった。一方ジルコニア系セラミクスでは電磁波が透過しない。今後、感度と圧力の両立を図って行く。本研究は萩原教授（阪大）との共同研究である。

高圧下熱的検出 ESR では、圧力セル中で、緩和に伴う試料の発熱を測定することにより ESR を観測する。プローブが非常にシンプルになることを利用し、横磁場印加が可能なスプリットペア型超伝導磁石を組み合わせることが出来るようになった。これにより圧力下での磁場角度依存性 ESR 測定に成功した。修士 2 年の長澤は、本手法の開発、応用について第 29 回国際低温学会において発表し、優秀ポスター賞を受賞した。

3.6.4　SQUID 磁気測定装置を用いた共同研究

メンバー：太田、大久保、櫻井（研究基盤セ）、原（研究基盤セ）、管原（物理）、松岡（物理）、齋藤（上智大）、小池（山形大）、内田（山形大）、櫻井（山形大）、稲葉（山形大）、加藤（山形大）、板倉（九州大）
参考文献：[11]-[16]

学術創成研究費で平成２１年に導入された SQUID 磁気測定装置を、学内の理学研究科物理・化学専攻の研究者に幅広く共同研究として利用してもらっている。特に 2017 年よりこの装置は分子フォトサイエンス研究センターの共同利用・共同研究プログラムの課題を受け付けている。この共同研究によって、物理学専攻の松岡・菅原グループによる成果が論文として出版された（詳細は当該教育研究部門の項目を参照)。さらに、山形大学の小池邦博と協力して強磁性体薄膜 Nd-Fe-B/Mo/FeCo の磁気異方性向上のための研究を進めている[16]。

3.6.5　その他

メンバー：太田、大久保
講演：[54]-[55]

太田と大久保は国内の ESR コミュニティー、強磁場コミュニティーの活動の一環として、研究・教育レベル向上のための初学者向けのセミナーを行なっている。太田は電子スピンサイエンス学会が主催する ESR 入門セミナーの講師として固体 ESR 測定についてのセミナーを行っている[54]。大久保は西日本パルス強磁場研究拠点 KOFUC ネットワークが主催する強磁場入門セミナーの講師として強磁場発生法に関するセミナーを行っている[55]。

＜参考文献＞

[1] M. Fujihala, Y. Sakuma, S. Mitsuda, A. Nakao, K. Munakata, R. A. Mole, S. Yano, D. H. Yu, K. Takehana, Y. Imanaka, M. Akaki, S. Okubo, and H. Ohta, “Relief of spin frustration through magnetic anisotropy in the quasi-one-dimensional S = 1 antiferromagnet $Na_2CuSO_4Cl_2$”, Phys. Rev. B. 105 , 144410/1-6, (2022)

[2] Y. Tsujimoto, J. Sugiyama, M. Ochi, K. Kuroki, P. Manuel, D. D. Khalyavin, I. Umegaki, M. Mansson, D. Andreica, S. Hara, T. Sakurai, S. Okubo, H. Ohta, A. Boothroyd, and K. Yamaura, “TImpact of mixed anion ordered state on the magnetic ground states of S=1/2 square-lattice quantum spin antiferromagnets, Sr_2NiO_3Cl and Sr_2NiO_3F”, Phys. Rev. Materials 6, 114404, (2022)

[3] Kazushi Aoyama, Hikaru Kawamura, “Hedgehog lattice and field-induced chirality in breathing-pyrochlore Heisenberg antiferromagnets”, Physical Review B, 106(6), 64412, (2022)

[4] Kazushi Aoyama, Hikaru Kawamura, “Emergent skyrmion-based chiral order in zero-field Heisenberg antiferromagnets on the breathing kagome lattice”, Physical Review B, 105(10), L100407, (2022)

[5] Kota Mitsumoto, Hikaru Kawamura, “Skyrmion crystal in the RKKY system on the two-dimensional triangular lattice”, Physical Review B, 105(9), 094427 (2022)

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

[6] Yo P Mizuta, Kazushi Aoyama, Keisuke Tomiyasu, Masato Matsuura, Hikaru Kawamura, “Spin Dynamics Simulation of the Z(2)-vortex Fluctuations”, Journal of the Physical Society of Japan, 91(3), 035001, (2022)

[7] Keisuke Tomiyasu, Yo P. Mizuta, Masato Matsuura, Kazushi Aoyama, and Hikaru Kawamura, “Observation of topological* Z2 * vortex fluctuations in the frustrated Heisenberg magnet $NaCrO_2$”, Phys. Rev. B, 106(5), 054407, (2022)

[8] Kazushi Aoyama, Hikaru Kawamura, “Zero-field miniature skyrmion crystal”, Journal of the Physical Society of Japan, 92(3), 033701, (2022)

[9] E. Ohmichi, Y. Shoji, H. Takahashi and H. Ohta, “H Frequency-domain antiferromagnetic resonance spectroscopy of NiO”, Journal of the Physical Society of Japan, 91, 095001/1-2, (2022)

[10] N. Nagasawa, T. Sakurai, H. Takahashi, E. Ohmichi, H. Ohta, “Development of thermal-detection-type high-pressure ESR measurement method in millimeter-wave region”, J. Jpn. Soc. Infrared Science & Technology (in Japanese), 32, 72-78, (2022)

[11] H. Hayashi, E. Matsuoka, H. Sugawara, T. Sakurai and H. Ohta, “Magnetic and transport properties of a new ferromagnetic orthorhombic compound $CePtAl_2$”, J. Phys.: Conf. Series, 2164, 012036/1-4, (2022)

[12] E. Matsuoka, T. Yoshimoto, H. Sugawara, T. Sakurai and H. Ohta, “Low-temperature physical properties of a new cubic compound $CeMgZn_2$”, J. Phys.: Conf. Series, 2164, 012035/1-4, (2022)

[13] K. Onishi, E. Matsuoka, H. Sugawara, T. Sakurai and H. Ohta, “Low-temperature physical properties of new orthorhombic compounds $RE_2Au_3Sn_6$ (RE = Ce, La)”, J. Phys.: Conf. Series, 2164, 012037/1-3, (2022)

[14] Y. Nakamura, E. Matsuoka, H. Sugawara, T. Sakurai and H. Ohta, “Low-temperature physical properties of new orthorhombic compounds $R_4Pt_9Al_{13}$ (R = Ce, Pr)”, J. Phys.: Conf. Series, 2164, 012038/1-4, (2022)

[15] T. Komoda, E. Matsuoka, H. Sugawara, T. Sakurai and H. Ohta, “Low-temperature physical properties of a new orthorhombic compound $Ce_2Ir_3Sb_4$”, J. Phys.: Conf. Series, 2164, 012039/1-4 (2022)

[16] K. Koike, T. Uchida, K. Sakurai, N. Inaba, H. Kato, M. Itakura, S. Hara, Y. Saito, S. Okubo and H. Ohta, “Infrared laser annealing of nanocomposite Nd–Fe–B/Mo/FeCo multilayered magnet films”, AIP Advances, 12, 035042/1-7, (2022)

＜講演＞

[17] H. Ohta, S. Okubo, E. Ohmichi, T. Sakurai, H. Takahashi, S. Hara
“New developments in multi-extreme THz ESR”
Modern Development of Magnetic Resonance, On-line (Kazan, Russia) (20222.10.3) (Invied/Plenary)

[18] H. Ohta
“Recent Developments of Multi-Extreme THz ESR”
The 12th Asia-Pacific EPR/ESR Symposium (APES2022), On-line (Hangzhou, China) (2022.11.4-7) (Invited)

[19] 太田仁
“Dzyaloshinsky-Moriya 相互作用と量子スピン系”
第 17 回量子スピン系研究会・那覇市ともかぜ振興会館（ハイブリッド）(2022.4.22-24)（口頭）

[20] 太田仁、奥藤涼介、櫻井敬博、田中秀数
“多重極限 THzESR による三角格子反強磁性体 $CsCuCl_3$ の研究”
日本赤外線学会　第 31 回研究発表会, 静岡大学浜松キャンパス　左鳴会館 (202211.7-8)（口頭）

[21] H. Ohta
“Development of Multi-Extreme THz ESR and Its Applications to Study Triangular Lattice Antiferromagnet $CsCuCl_3$”
The Third International Symposium on Frontiers in THz Technology FTT 2022・フェニックスプラザ（福井）(2022.11.16-18)（口頭）

[22] H. Ohta
“Development of Multi-Extreme THz ESR in Kobe”

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

Asia-Pacific Conference on Condensed Matter Physics 2022 (AC2MP2022)・東北大学金属材料研究所（ハイブリッド）(2022.11.20-23)（ポスター）

[23] S. Okubo, K. Segawa, K. Naka, T. Suzuki, S. Hara, T. Sakurai, M. Matsumoto, N. Kurita, H. Tanaka
"High Frequency ESR Measurements of S=1 Spin Gap System $CsFeCl_3$"
29th International Conference on LOW TEMPERATURE PHYSICS (LT29), Sapporo Convention Center (Hybrid)（2022.8.18-24）(Poster)

[24] 大久保晋、森満新、櫻井敬博、原茂生、太田仁、山本孟、東正樹
"マルチフェロイック物質 $BiFe_1$-$XCoxO_3$ のテラヘルツ強磁場 ESR 測定"
日本赤外線学会　第 31 回研究発表会, 静岡大学浜松キャンパス　左鳴会館 (202211.7-8)（口頭）

[25] 大久保晋、高橋昭彦、原茂生、櫻井敬博、太田仁、松岡英一、菅原仁、辻本吉廣、Su Yu、山浦一成
"２次元正方格子磁性体 $Sr_2MnO_2Cl_2$ の高周波 ESR 測定 II"
第 61 回電子スピンサイエンス学会年会　SEST2022・市民会館シアーズホーム夢ホール（熊本市民会館）(2022.12.2-4)（口頭）

[26] 大久保晋
"２次元正方格子磁性体 $Sr_2MnO_2Cl_2$ の ESR 測定"
第 18 回量子スピン系研究会・サンシーホール 浜坂/浜坂多目的集会施設（2022.12.16-18）(口頭)

[27] 大久保晋、森満新、櫻井敬博、原茂生、太田仁、山本孟、東正樹
"ペロブスカイト化合物 $BiFe1$-$xCoxO_3$ の強磁場"
日本物理学会　2023 年春季大会・オンライン・(2023.3.22-25)（口頭）

[28] 川村光
"Z2 渦転移の直接観測"
第 18 回量子スピン系研究会・サンシーホール 浜坂/浜坂多目的集会施設（2022.12.16-18）(口頭)

[29] 瀬川和磨、原茂生、櫻井敬博、大久保晋、太田仁、松本正茂、栗田伸之、田中秀数
"光造形 3D プリンターを用いたテラヘルツ光パルス強磁場 ESR 装置の開発"
日本物理学会　2022 年秋季大会, 東京工業大学（2022.9.12-15）(Poster)

[30] 瀬川和磨、原茂生、櫻井敬博、大久保晋、太田仁、松本正茂、栗田伸之、田中秀数
"3D プリンターを用いたテラヘルツ光 ESR 装置の開発"
日本赤外線学会　第 31 回研究発表会, 静岡大学浜松キャンパス　左鳴会館 (202211.7-8)（ポスター）

[31] 瀬川和磨、原茂生、櫻井敬博、大久保晋、太田仁、松本正茂、栗田伸之、田中秀数
"光造形 3D プリンターを用いた 55T パルス強磁場 ESR 装置の開発"
強磁場科学研究会/東北大学金属材料研究所国際ワークショップ「マルチプローブ強磁場測定が解き明かす強相関物性」・東京大学物性研究所、大阪大学豊中キャンパス（ハイブリッド）(2022.11.24-25)（ポスター）

[32] 西口律輝、櫻井敬博、D. Kamenskyi、大久保晋、太田仁、S.P.M. Curley
"異種イオンからなる S＝1/2 スピンダイマー物質 $CuVOF_4(H_2O)_6$・H_2O の多重極限 ESR"
強磁場科学研究会/東北大学金属材料研究所国際ワークショップ「マルチプローブ強磁場測定が解き明かす強相関物性」・東京大学物性研究所、大阪大学豊中キャンパス（ハイブリッド）(2022.11.24-25)（ポスター）

[33] 瀬川和磨、原茂生、櫻井敬博、大久保晋、太田仁、松本正茂、栗田伸之、田中秀数
"3D プリンターを用いた多周波数強磁場 ESR 装置の開発"
第 61 回電子スピンサイエンス学会年会　SEST2022・市民会館シアーズホーム夢ホール（熊本市民会館）(2022.12.2-4)（ポスター）

[34] 瀬川和磨、原茂生、櫻井敬博、大久保晋、太田仁、松本正茂、栗田伸之、田中秀数
"3D プリンターで造る極低温テラヘルツパルス強磁場 ESR 装置の開発"
若手フロンティア研究会　2022・神戸大学　百年記念館（2022.12.20）(ポスター)

[35] 瀬川和磨、原茂生、櫻井敬博、大久保晋、太田仁、松本正茂、栗田伸之、田中秀数

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

“$CsFeCl_3$ の強磁場 ESR 測定”
日本物理学会　2023 年春季大会・オンライン・(2023.3.22-25)（口頭）

[36] H. Ohta, S. Okubo, E. Ohmichi, T. Sakurai, H. Takahashi, S. Hara
“Multi-extreme THz ESR: Developments on New Detection Methods and under High-Pressure Condition”
61st Annual Rocky Mountain Conference on Magnetic Resonance, Copper　Conference Center, Colorado, USA（2022.7.25-29）(Oral)

[37] 重山紗葉、滝川稜人、佐藤春実、大道英二、太田仁
“3D プリンターを用いたテラヘルツ帯ロッドアンテナの作製と評価”
日本赤外線学会　第 31 回研究発表会, 静岡大学浜松キャンパス　左鳴会館 (202211.7-8)（ポスター）

[38] Y. Shoji, E. Ohmichi, H. Takahashi, and H. Ohta
“Rapid-sweep frequency-domain terahertz spectroscopy by a dynamic optical path length control”
The Third International Symposium on Frontiers in THz Technology FTT 2022・フェニックスプラザ（福井）(2022.11.16-18)（ポスター）

[39] 増田祥大、高橋英幸、廣澤康平、伊藤丈朗、石川裕也、藤井裕、光藤誠太郎、大道英二、太田仁
“フィードバック回路を用いた力検出型ジャイロトロン ESR 測定”
強磁場科学研究会/東北大学金属材料研究所国際ワークショップ「マルチプローブ強磁場測定が解き明かす強相関物性」・東京大学物性研究所、大阪大学豊中キャンパス（ハイブリッド）(2022.11.24-25)（ポスター）

[40] 深川韻、大道英二、太田仁
“集積型テラヘルツ帯 WGM 共振器の作製と評価”
若手フロンティア研究会　2022・神戸大学　百年記念館（2022.12.20）（ポスター）

[41] 滝川稜人、重山紗葉、大道英二、太田仁
“電磁波解析シミュレーションによる誘電体ロッドアンテナの放射特性評価”
若手フロンティア研究会　2022・神戸大学　百年記念館（2022.12.20）（ポスター）

[42] 増田祥大、高橋英幸、石川裕也、大道英二、太田仁
“ジャイロトロンを用いた力検出型 ESR 測定におけるフィードバック制御”
若手フロンティア研究会　2022・神戸大学　百年記念館（2022.12.20）（ポスター）

[43] 小路悠斗、大道英二、髙橋英幸、太田仁
“動的光路差制御による高速周波数掃引型テラヘルツ分光法の開発”
第 70 回応用物理学会春季学術講演会・上智大学四谷キャンパス（ハイブリッド）・(2023.3.17)（口頭）

[44] H. Ohta, T. Sakurai, R. Okuto, S. Okubo, D. Yamamoto, H. Tanaka, Y. Uwatoko
“High Pressure THz ESR Study of Triangular Lattice Antiferromagnet $CsCuCl_3$ at Low Temeprature”
29th International Conference on LOW TEMPERATURE PHYSICS (LT29), Sapporo Convention Center (Hybrid)（2022.8.18-24）(Poster)

[45] 太田仁
“多重極限 THzESR の開発と応用：Shastry-Sutherland モデル物質 $SrCu_2(BO_3)_2$ の圧力誘起相転移の観測”
新規遍歴電子物性を創成する遷移金属化合物における研究会・京都大学・(2023.3.25-26)（招待）

[46] T. Sakurai, R. Takehara, N. Nagasawa, H. Takahashi, M. Saga, K. Takahashi, S. Okubo, H. Ohta
“Pressure Effect of Spin Gap Substance $Cu_2(C_5H_{12}N_2)_2Cl_4$”
29th International Conference on LOW TEMPERATURE PHYSICS (LT29), Sapporo Convention Center (Hybrid)（2022.8.18-24）(Poster)

[47] 櫻井敬博、竹原良祐、長澤直生、高橋英幸、嵯峨慎、高橋一志、大道英二、太田仁
“スピンギャップ系物質 $Cu_2(C_5H_{12}N_2)_2Cl_4$ の圧力下熱検出型 ESR”
第 63 回高圧討論会・立命館いばらきフューチャープラザ（立命館大学大阪いばらきキャンパス）

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

（2022.12.13-15）（ポスター）

[48] N. Nagasawa, T. Sakurai, H. Takahashi, E. Ohmichi, H. Ohta
"Development of Field-Angle-Dependent ESR Measurement Method under High Pressure by Thermal Detection"
29th International Conference on LOW TEMPERATURE PHYSICS (LT29), Sapporo Convention Center (Hybrid)（2022.8.18-24）（Poster）

[49] 西口律輝、櫻井敬博、D. Kamenskyi、大久保晋、太田仁、S.P.M. Curley
"異種イオンからなる S＝1/2 スピンダイマー系物質 $CuVOF_4(H_2O)_6・H_2O$ の高圧下 ESR 測定"
日本物理学会　2022 年秋季大会, 東京工業大学（2022.9.12-15）（Poster）

[50] 西口律輝、櫻井敬博、D. Kamenskyi、大久保晋、太田仁、S.P.M. Curley
"異種イオンからなる S＝1/2 スピンダイマー物質 $CuVOF_4(H_2O)_6・H_2O$ の高圧下 THz ESR 測定"
日本赤外線学会　第 31 回研究発表会, 静岡大学浜松キャンパス　左鳴会館 (202211.7-8)（ポスター

[51] 長澤直生、櫻井敬博、髙橋英幸、大道英二、太田仁
"熱的検出による多重極限下における角度回転 ESR 測定手法の開発"
強磁場科学研究会/東北大学金属材料研究所国際ワークショップ「マルチプローブ強磁場測定が解き明かす強相関物性」・東京大学物性研究所、大阪大学豊中キャンパス（ハイブリッド）(2022.11.24-25)（ポスター）

[52] 西口律輝、櫻井敬博、D. Kamenskyi、大久保晋、太田仁、S.P.M. Curley
"S=1/2 スピンダイマー物質 $CuVOF_4(H_2O)_6・H_2O$ の高圧下 ESR 測定"
第 63 回高圧討論会・立命館いばらきフューチャープラザ（立命館大学大阪いばらきキャンパス）（2022.12.13-15）（ポスター）

[53] 西口律輝、櫻井敬博、D. Kamenskyi、大久保晋、太田仁、S.P.M. Curley
"S=1/2 スピンダイマー物質 $CuVOF_4(H_2O)_6・H_2O$ の多重極限 ESR 測定"
若手フロンティア研究会　2022・神戸大学　百年記念館（2022.12.20）（ポスター）

[54] 太田仁
"超入門"
第 17 回 ESR 入門セミナー・大学セミナーハウス（八王子）（2022.6.3）（招待/社会的貢献）

[55] 大久保晋
"強磁場発生の歴史"
第八回強磁場実験入門セミナー・大阪大学南部陽一郎ホール（2022.5.6）（口頭）

3.7. 低温物性物理学

本教育研究分野では希土類元素・アクチノイドや遷移金属を主たる構成要素として含む化合物が、電子間の強いクーロン相互作用に基づいて示す多様でエキゾチックな物性（ 磁気秩序, 重い電子状態, 超伝導, 非フェルミ液体, 多極子秩序, など）の発現機構を微視的な立場から明らかにする目的で、NMR （核磁気共鳴）や NQR(核四重極共鳴) を中心とし、高圧マクロ測定なども含め、実験的手法により研究している。とくに、小手川は最近遷移金属化合物の新規化合物の合成や物性評価に力を入れており、核磁気共鳴以外での多くの成果が出ている。

研究環境としては超高圧(4.5GPa)・強磁場(17 テスラ定常磁場)・極低温(100mK)を作り出す装置を有しマクロ測定・NMR 測定ができる。小手川を中心に電子物性物理学研究室と協力し遷移金属化合物の新規試料の作成も試みている。

[研究] 藤は、本年は磁気的 2 チャンネル近藤効果を示すと考えられている $NdCo_2Zn_{20}$ 及び関連物質の NMR 実験と電流誘起磁化を示す UNi_4B の低温での磁気秩序状態の NMR 信号探索を中心に研究を行った。

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

小手川は非共件空間群に属する物質を中心に新たなｄ電子系単結晶試料を作製と圧力誘起新奇相の探索を行った。とくにNbMnPでは反強磁性体においてゼロ磁場異常ホール効果を発見するなど新たな分野の開拓を行っている。
[専攻内共同研究] 電子物性研究室の協力を得て作製された試料の圧力下バルク測定、NMR測定を行っている。また、SQUID 磁束計による測定では極限物性研究室との共同研究や、バンド計算では量子物性論研究室と共同研究が進んでいる。
[国際共同研究] クラスレート化合物ではブラジルABC大学と、YbNi4P2ではドイツマックスプランクと、量子臨界点研究ではアメリカ・アイオワ州立大学・AMES研究所、フランス原子力庁（CEA）、最近小手川が精力的に研究をしているMn化合物ではドイツMunster大, Oak Ridge National Laboratoryとの共同研究などがある。
研究グループの主たる研究テーマとしては以下に挙げるとおりである。

3.7.1 重い電子化合物の強相関電子物性

Ce 系($4f^1$), Pr 系($4f^2$),U 系($5f^2$) 化合物が示す多様な強相関電子物性（磁気秩序, 重いフェルミ液体, 重い 電子超伝導, 非フェルミ液体, 価数揺動, 多極子秩序, など）の発現を制御している因子をNMR およびNQRを用いて微視的に研究している。

1. U系化合物に対する新奇物性の探索 講演[14],
メンバー：小手川、藤、播磨、芳賀（JAEA）、青木（東北大）他多数
キラル系化合物はその対称性の特徴から非自明な磁気秩序状態や外場応答が発現する。強いスピン―軌道相互作用が期待できるU系の化合物として、$U_3Cu_2Se_7$の単結晶作製を化学輸送法を用いて成功した。その結果、基底状態が非磁性であることを明らかにした。

2. RT_2Al_{20}系（R=Pr）および$NdCo_2Zn_{20}$の多極子自由度に関する研究 講演：[9]、論文[6]
メンバー：室岡（M1） 笹木（M1）, 本田（B4）, 永井（B４）、木村, 中瀬, 小手川、藤、鬼丸(広島大)、久保（岡山理科大）、東中(首都大)、青木(首都大)
$NdCo_2Al_{20}$ および$(Y_{0.9}Nd_{0.1})Co_2Al_{20}$ $(Y_{0.9}Pr_{0.1})Co_2Al_{20}$ 多結晶および単結晶試料の Co-NMR/NQR 実験をおこなった。Nd の磁気双極子の揺らぎは核磁気共鳴で直接検出できる。Nd 希薄系 $Y_{0.95}Nd_{0.05}Zn_{20}$ においては, NMR 核スピン格子緩和率 $1/T_1$ の温度依存性から低温・低磁場での磁気相関の発達を検出した。高磁場にする発散が抑えられ Nd のスピン揺らぎが抑制されていることがわかる。一方、$Y_{0.95}Pr_{0.05}Zn_{20}$ の Co-NMR スペクトルおよび緩和率測定から，低磁場ではコリンハ的な温度依存性を示すが、磁場をあげると 1/T1 が上昇することが明らかになった。このことは、高磁場で磁気揺らぎが増強されていることを意味する。

3.トロイダル磁気秩序を示すUNi_4Bの単結晶資料の作製と核磁気共鳴実験 講演[11]
メンバー：越智, 岸本、小手川、藤、青木(東北大学金属材料研究所)、他多数
UNi_4Bはトロイダル型磁気秩序を示すことが明らかとなっている。この物質に電流を印加すると磁気的異常が生じることが理論的に予測されている。最近この物質の磁気構造について、渦状磁気トロイダル秩序か、トライフォース型反強磁性・反強四極子ハイブリット秩序の可能性が指摘されているが、秩序の詳細は明らかとなっていない。秩序状態では極めて緩和時間が長いが、低温磁気秩序状態でのNMRスペクトルの観測に成功した。また、スピン格子緩和時間が少なくとも2成分からによることが明らかとなった。

4. CeCoSiの隠れた秩序に対するＮＭＲによる研究 講演[13]
メンバー：石垣（M2）、真砂(島根大)、藤、小手川、播磨
CeCoSiはT_0以下で秩序を示すが、どのような秩序が起きているか未解明である。この物質に対し、^{59}Co 核磁気共鳴（NMR）測定を行ったところ、 外部磁場によりドメイン選択が起きていることを明らかにした。また、スペクトルの変化と併せて、T_0以下ではO_{zx}型の四極子秩序が起きていることを示唆する結果を得た。

5. UBe_{13} のNMRによる研究 講演[12]
メンバー：松木（M2） , 藤、小手川、松野、芳賀（JAEA）、山本（JAEA）、大貫（大阪大理）、UBe_{13} の高磁場のNMRスペクトルについて、結晶対称性を考慮して電場勾配、古典双極子磁場、トラン

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

スファー磁場を考慮したシミュレーションを行いナイトシフトに関する定量的議論をおこないスピン磁化率の絶対値評価に対する指針を得た。これをもとに、NMRスペクトルの磁場依存性および磁場角度依存性の実験から、高磁場でナイトシフトが減少していることが明らかとなった

6. 新奇の量子臨界点の研究　論文[3]
メンバー：小手川、藤、松岡、菅原、太田、播磨
CeZnにおいて圧力下で出現する強磁性相が更なる加圧によってどのように消失するかを報告した。強磁性量子臨界点は理論的には実現しないと考えられているが、CeZnでは強磁性量子臨界点直前で強磁性相が別の反強磁性的な相に移り変わることが明らかとなった。

3.7.2　籠状構造における新奇物性に関する研究

1. テトラヘドライト$Cu_{12}Sb_4S_{13}$の金属半導体転移とラットリングに関する研究
メンバー：松井(研究員), 松野、小手川、藤、末國（九州大総合理工)、高畠（広大先端）
テトラヘドライト$Cu_{12-x}ZnxSb_4S_{13}$でNMR緩和率の系統的研究から、この系のピュアな物質では250K付近で緩和率に発散が見えることが明らかとなった。この異常は、ポーラロンが関与している可能性があることがわかった。

3.7.3　d 電子系新奇超伝導の探索

１．NbMnPの異常ホール効果に関する研究 講演[7,8]
　メンバー：小手川、中村（M2）,藤、菅原、他多数
ノンコリニア磁性体NbMnPに対してその反強磁性的な磁気構造から予測される異常ホール効果の観測を行った。反居磁性構造は微弱な自発磁化を通して外部磁場によって反転し、ホール電圧の反転を引き起こすことを明らかにした。

3. 空間反転対称性のない超伝導体CaPtAsのNQR測定による研究 論文[1]
メンバー：永瀬（M2）, 真砂（島根大）, 小手川, 藤, 菅原、松岡、播磨
空間反転対称性の欠如したCaPtAsの結晶を作成し、NQR測定を行った。試料作製の際には、CaPtAsには超伝導を示す高温相と半導体的な低温相が存在することを明らかにした。高温相を安定的に作成する手法を確立させ、NQR測定を行った結果、CaPtAsはs波が主要な成分を占めるマルチギャップ超伝導体である結果を得た。

＜参考文献＞
〇は専攻内共同研究
[論文発表]　すべて査読つき（論文題目、著者、掲載誌、巻、ページ、年　で記載）　分類は学術論文、言語は英語

[1] 〇“Observation of multigap and coherence peak in the noncentrosymmetric superconductor CaPtAs: 75As nuclear quadrupole resonance measurements”, Y. Nagase, M. Manago, J. Hayashi, K. Takeda, H. Tou, E. Matsuoka, H. Sugawara, H Sugawara, H. Harima, H. Kotegawa, Phys. Rev. B 107, 104512 (2023), DOI10.1103/PhysRevB.107.104512
[2] “Nested antiferromagnetic spin fluctuations and non-Fermi-liquid behavior in electron-doped CeCo1-xNixIn5”, H. Sakai, Y. Tokunaga, S. Kambe, J. -X. Zhu, F.　Ronning, J. D. Thompson, H. Kotegawa, H. Tou, K. Suzuki, Y. Oshima, M. Yokoyama, M. Yokoyama, Phys. Rev. B 106, 235152 (2022), DOI10.1103/PhysRevB.106.235152
[3] 〇“Avoided ferromagnetic quantum critical point in CeZn”,H. Kotegawa, T. Uga, H. Tou, E. Matsuoka, H. Sugawara,　Phys. Rev. B 106, L180405 (2022), DOI10.1103/PhysRevB.106.L180405
[4] 〇“Single crystal growth and de Haas-van Alphen effect in strong coupling s-wave superconductor SrPt3P”,M Horie, E Matsuoka, H Sugawara, H Kotegawa, H Tou, T Terashima and S Uji, Journal of Physics: Conference Series 2164 (2022) 012005, doi:10.1088/1742-6596/2164/1/012005
[5] “Ising-type quasi-one-dimensional ferromagnetism with anisotropic hybridization in UNi4P2” Arvind Maurya, Atsushi Miyake, Hisashi Kotegawa, Yusei Shimizu, Yoshiki J. Sato, Ai

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

Nakamura, Dexin Li, Yoshiya Homma, Fuminori Honda, Masashi Tokunaga, and Dai Aoki, Phys. Rev. B 107, 085142(2023), DOI:https://doi.org/10.1103/PhysRevB.107.085142

[6] ○"Analysis of Hyperfine Coupling in Non-Kramers System PrTa2Al20", Tetsuro Kubo, Hideki Tou, Hisashi Kotegawa, Hisatomo Harima, Ryuji Higashinaka, Akihiro Nakama, Yuji Aoki, Hideyuki Sato, Yoshihiko Ihara, Takayuki Goto, Michihiro Hirata, and Takahiko Sasaki, JPS Conf. Proc. 38, 011090 (2023), doi: https://doi.org/10.7566/JPSCP.38.011090

[国内学会講演]

[7] 小手川恒, 桑田祥希, 藤秀樹, Depeo Zhang, Qiang Zhang, 松田雅昌, 武田圭生, 林純一, 櫻井敬博, 太田仁, 菅原仁, NbMnPにおけるノンコリニア磁気構造とホール効果測定(24aH2-7), 日本物理学会 2023年春季大会 2023年3月22日（水）～25日（土）オンライン開催

[8] 中村彰良, 小手川恒, 藤秀樹, 菅原仁, 櫻井敬博, 大田仁, "空間反転対称性の無いNbMnGe及び関連物質における磁気秩序に対する研究" (24aH2-8), 日本物理学会 2023年春季大会 2023年3月22日（水）～25日（土）オンライン開催

[9] 新井祐樹, 小手川恒, 櫻井敬博, 太田仁, 菅原仁、"$Co_{1/3}TaS_2$ の単結晶作製と NMR 測定", 日本物理学会 2023 年春季大会 2023 年 3 月 22 日（水）～25 日（土）オンライン開催

[10] 室岡啓太, 本田航大, 永井大介, 本荘洋章, 小手川恒, 藤秀樹, 久保徹郎, 山本理香子, 山根悠, 鬼丸孝博, 非フェルミ流体的振る舞いを示す$Y_{0.95}Pr_{0.05}Co_2Zn_{20}$および$Y_{0.95}Nd_{0.05}Co_2Zn_{20}$のNMRによる研究, 24pPSH-82, 日本物理学会 2023年春季大会 2023年3月22日（水）～25日（土）オンライン開催

[11] 越智遥菜, 竹内涼介, 岸本恭来, 小手川恒, 播磨尚朝, 藤秀樹, 本多史憲, 本間佳哉, 仲村愛, 清水悠晴, 李徳新, 青木大, UNi_4Bの磁気秩序状態における角度分解NMR(24pPSH-87), 日本物理学会 2023年春季大会 2023年3月22日（水）～25日（土）オンライン開催

[12] 松木麟太朗, 森田恭平, 松野治貴, 小手川恒, 播磨尚朝, 藤秀樹, 山本悦嗣, 芳賀芳典, 大貫惇睦, 重い電子超伝導体UBe_{13}の角度分解NMR：常伝導状態の電子状態 (25aH1-10), 日本物理学会 2023年春季大会 2023年3月22日（水）～25日（土）オンライン開催

[13] 石垣綾乃, 小手川恒, 藤秀樹, 谷田博司, 真砂全宏, CeCoSiの非磁性秩序相に対するNMR測定による研究(12pW541-5) , 日本物理学会　2022年秋季大会, 2022年9月12日（月）～15日（木）東京都・東京工業大学（大岡山キャンパス）

[国内ワークショップ講演]

[14] 小手川恒, "キラル構造をもつ $U_3Cu_2Se_7$ の単結晶育成と物性評価"　東北大学金属材料研究所 大洗・アルファ合同研究会 2022 年 9 月 28-30 日（東北大学・仙台）

3.8. 電子物性物理学

本教育研究分野では、希土類や遷移金属元素を含む強相関化合物の新奇な超伝導や磁性現象の実験的研究を行っている。実験手段としては、テトラアーク炉による引き上げ法や高温電気炉によるフラックス法等の様々な方法で純良単結晶を作製し、電気抵抗、磁化、比熱等の基礎物性測定やドハース・ファンアルフェン(dHvA)効果や中性子散乱等の特徴ある測定手段を用いて研究を行っている。本年度は、4名の大学院生、および4名の学部生を教育しながら研究を行った。主な研究成果は以下の通りである。

3.8.1 超伝導物質を熱スイッチ用いた断熱消磁冷凍機の試作

メンバー： 薦田(M2)、松岡、菅原等

講演[8, 16]、特許申請[22]

異常磁性や非従来型超伝導などの強相関電子系の研究には極低温での測定が必要である。本研究では、超伝導体を熱スイッチに用いた断熱消磁冷凍機の試作を行なった。その結果、最適な第二種超伝導体を用いることにより、簡便に130 mK程度の最低温度を得ることに成功した。また、この成果について特許申請を行った。

3.8.2 ハーフホイスラー型化合物 RPtBi (R=Y, La, Lu) の純良単結晶育成と電子状態の研究

メンバー： 三嶋(M1)、松岡、播磨、菅原、野原（広島大）、青木(東北大)等

ハーフホイスラー型化合物RPtBi(R=Y, La,Lu)は強いスピン軌道結合に起因したj=3/2フェルミオン可能性が示唆されており、その特異な電子状態に起因した新しい超伝導機構の可能性が示唆されている。本研究では。ドハース・ファンアルフェン(dHvA)効果などの量子振動効果測定から、これらの物質のフェルミ面観測を目的とし純良単結晶育成に取り組んできた。今回LuPtBiの純良単結晶育成に成功しdHvA効果の

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

観測に初めて成功した。

3.8.3 反強磁性を示す重い電子系化合物$CePt_3P$の良質多結晶作製と物性測定

メンバー： 齋藤(B4)、松岡、菅原等

$CePt_3P$は反強磁性を示す重い電子系化合物として知られている。当研究室ではこの物質の良質結晶作製に取り組んでおり、その過程でアニール温度により物性が大きく変わることを明らかにしている。本研究ではアニール温度の違いによる物性変化を詳しく調べるため、700℃と900℃でアニールした多結晶試料を用いて粉末配向試料を作製し磁化の異方性を調べた。その結果、900℃アニール試料の磁化容易軸でのみ5T以下でメタ磁性を示すことが明らかとなった。

3.8.4 高圧下電子輸送効果および dHvA 効果による強相関電子系の圧力誘起相の研究

メンバー： 東原(B4)、前谷(B4)、松岡、小手川、藤、菅原等

圧力誘起超伝導体CrAs、強磁性量子臨界点を示す$CeRh_6Ge_4$、および反強磁性を示す近藤半金属$CeRu_2Al_{10}$の圧力誘起相の電子状態を調べるため、純良単結晶を育成し、高圧下で磁気抵抗、ホール効果、dHvA効果測定などを行った。その結果、0.4K以上、9Tまでの範囲ではSdH効果やdHvA効果などの量子振動効果観測には至らなかったが、ホール効果や磁気抵抗において顕著な圧力効果を観測し電子状態の圧力変化の観測に成功した。

3.8.5 フラストレーションを有する化合物群における非従来型異常ホール効果の検証

メンバー：松岡、菅原

一昨年度より、$R_6Pd_{13}Zn_4$（R＝ 希土類）と$R_6Mg_{23}X$（X＝Si, Ge）における非従来型の異常ホール効果（AHE）の検証を行っている。これまでに多結晶試料を用いたホール抵抗率の測定を、$Ce_6Pd_{13}Zn_4$, $Nd_6Pd_{13}Zn_4$, $Ce_6Mg_{23}Ge$, $Pr_6Pd_{13}Zn_4$, $Sm_6Pd_{13}Zn_4$, $Pr_6Mg_{23}Ge$, $Nd_6Mg_{23}Ge$, $Ce_6Mg_{23}Si$の八化合物について行ってきたものの、AHEは観測されていない。その理由として、AHEに異方性がある可能性が否定できない。すなわち、ある特定の方向に電流や磁場を印可した時にのみ小さなAHEの寄与がホール抵抗率が出現する場合、多結晶試料を用いた測定では方向が平均化されてしまうことでその寄与が見えなくなってしまう可能性がある。そこで今年度は、これら八化合物の単結晶試料作製と、そのホール抵抗率測定を試みた。

$R_6Pd_{13}X_4$と$R_6Mg_{23}Z$のいずれも、まずMoをるつぼとして用いたブリッジマン法による単結晶作製を試みた。粉末X線回折の結果からは目的とする化合物が得られたことが分かったものの、背面ラウエ法による結晶軸方位の同定を行ったところ、0.5mm角以上の単結晶としては成長していないことが分かった。この大きさではホール抵抗率の測定が不可能であるため、引き続いて$R_6Pd_{13}X$について、融点の低いX＝Zn, Cdを溶媒とした自己フラックス法による単結晶作製を試みたが、RとXとの二元化合物など、目的化合物とは異なる化合物の単結晶しか得られなかった。

3.8.6 新奇物性を示す新しい希土類化合物の探索

メンバー：松岡、大西（M2)、林（M1)、赤木（B4)、菅原、櫻井（極限物性)、太田（極限物性）

講演[12, 13, 20, 21]

f電子と伝導電子との強相関効果に由来する新奇物性の開拓を目的として、新しい希土類化合物の物質探索を行った。特に、結晶構造に幾何学的フラストレーションを持つ六方晶化合物RTX（T：遷移金属など、X：PbやMgなど）については、3.8.5で述べたAHEの検証を今後行って行く計画である。

＜RTX系化合物＞

(1) RMgIn

CeMgInがネール温度T_{N1} = 2.1 K, T_{N2} = 1.7 K, T_{N3} = 1.3 Kで逐次反強磁性転移を示すことが分かった。逆磁化率から見積もった常磁性キュリー温度の絶対値$|\theta_P|$とT_{N1}の比が$|\theta_P|/T_{N1}$ = 7.9と比較的大きいのは、フラストレーションによってT_{N1}が抑制されたためと考えられる。また、PrMgInが0.4 K以上で磁気秩序を示さないことが分かった。磁化率と比熱の温度依存性から、結晶場下で分裂したPrの4f準位の基底状態が非磁性の一重項であることが分かった。

(2) RPdPb

CePdPbが1.7 Kで強磁性的な相転移を示し、1.3 Kでも何らかの相転移を示す重い電子系化合物であることが分かった。一方、PrPdPbは0.4 K以上で磁気秩序を示さないことが分かった。磁化率と比熱の温度依存性から、結晶場下で分裂したPrの4f準位の基底状態が非磁性の一重項であることが分かった。また、SmPdPbがT_{N1} = 6.6 KとT_{N2} = 5.6 Kで反強磁性転移を示すことが分かった。磁化率がT_{N1}でカスプを示すものの、3.4 K以下で増加に転じる理由は、フラストレーションによってT_{N2}以下の温度においても、数十%程度のSmイオンの磁気モーメントが秩序化せずに揺らいでいるためであると考えられる。

＜直方晶化合物$CeIrIn_2$＞

新しい直方晶化合物$CeIrIn_2$が、T_N＝2.8 Kで反強磁性転移を示す高濃度近藤格子系化合物であることが分かった。

＜直方晶化合物$CePd_2Sn_3$＞

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

1.72 K以上で相転移を示さないことが報告されていたため、0.4 K以上で物性測定を行った結果、0.71 Kで反強磁性転移と思われる相転移を示すことが分かった。

＜論文＞

[1] ○M. Horie, E. Matsuoka, H. Sugawara, H. Kotegawa, H. Tou, T. Terashima, and S. Uji, Single crystal growth and de Haas-van Alphen effect in strong coupling s-wave superconductor $SrPt_3P$, J. Phys.: Conf. Ser. **2164**, 012005/1-4 (2021). 2022-04, DOI: 10.1088/1742-6596/2164/1/012005

[2] ○E. Matsuoka, T. Yoshimoto, H. Sugawara, T. Sakurai, and H. Ohta, Low-temperature physical properties of a new cubic compound $CeMgZn_2$, J. Phys.: Conf. Ser. **2164**, 012035/1-4 (2021). 2022-04, DOI: 10.1088/1742-6596/2164/1/012035

[3] ○H. Hayashi, E. Matsuoka, H. Sugawara, T. Sakurai, and H. Ohta, Magnetic and transport properties of a new ferromagnetic orthorhombic compound $CePtAl_2$, J. Phys.: Conf. Ser. **2164**, 012036/1-4 (2021). 2022-04, DOI: 10.1088/1742-6596/2164/1/012036

[4] ○K. Onishi, E. Matsuoka, H. Sugawara, T. Sakurai, and H. Ohta, Low-temperature physical properties of new orthorhombic compounds $RE_2Au_3Sn_6$ (RE = Ce, La), J. Phys.: Conf. Ser. **2164**, 012037/1-3 (2021). 2022-04, DOI: 10.1088/1742-6596/2164/1/012037

[5] ○Y. Nakamura, E. Matsuoka, H. Sugawara, T. Sakurai, and H. Ohta, Low-temperature physical properties of new orthorhombic compounds $R_4Pt_9Al_{13}$ (R = Ce, Pr), J. Phys.: Conf. Ser. **2164**, 012038/1-4 (2021). 2022-04, DOI: 10.1088/1742-6596/2164/1/012038

[6] ○T. Komoda, E. Matsuoka, H. Sugawara, T. Sakurai, and H, Ohta, Low-temperature physical properties of a new orthorhombic compound $Ce_2Ir_3Sb_4$, J. Phys.: Conf. Ser. **2164**, 012039/1-4 (2021). 2022-04, DOI: 10.1088/1742-6596/2164/1/012039

[7] ○H. Kotegawa, T. Uga, H. Tou, E. Matsuoka, and H. Sugawara, Avoided ferromagnetic quantum critical point in CeZn, Phys. Rev. B, **106**, L180495/1-5 (2022), 2022-11, DOI: 10.1103/PhysRevB.106.L180405

＜講演＞

[8] T. Komoda, Y. Nakamura, E. Matsuoka, and H. Sugawara “Development of New-type of Adiabatic Demagnetization Refrigerator Applied Superconducting Material to Heat Switch” 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (2022.8.18-24, Sapporo, Online Poster)

[9] ○E. Matsuoka, H. Sugawara, T. Sakurai, and H, Ohta “Low-Temperature Magnetic and Transport Properties of a New Orthorhombic Compound $CePt_3Sn_2$” 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (2022.8.18-24, Sapporo, Online Poster)

[10]寺嶋太一，廣瀬陽代，菊川直樹，宇治進也，Graf David,菅原仁「近藤半金属$CeFe_2Al_{10}$」12pW541-11, 日本物理学会 2022年秋季大会（2022年9月12-15日,口頭,オンライン）

[11]○今福太一，寺下敦規，佐戸礼津，松岡英一，櫻井敬博，太田仁，仲村愛，本間佳哉，青木大，菅原仁「反強磁性近藤格子$CePt_3P$のアニール効果」14pPSC-17,日本物理学会 2022年秋季大会（2022年9月12-15日，ポスター，東京工業大学）

[12]○大西昂，松岡英一，菅原仁，櫻井敬博，太田仁「六方晶フラストレーション化合物REMgIn（RE = 希土類）の低温物性」14pPSC-18,日本物理学会 2022年秋季大会（2022年9月12-15日,ポスター,東京工業大学）

[13]○林英利，松岡英一，菅原仁，櫻井敬博，太田仁「ZrNiAl型六方晶化合物RPdPb（R = 希土類）の低温物性」14pPSC-19,日本物理学会 2022年秋季大会（2022年9月12-15日,ポスター,東京工業大学）

[14]○中村優介，松岡英一，菅原仁，櫻井敬博，太田仁「ZrNiAl型六方晶化合物RAgMg(R = 希土類)の磁性と伝導」14pPSC-20,日本物理学会 2022年秋季大会（2022年9月12-15日,ポスター，東京工業大学）

[15]菅原仁「多極子伝導系および関連物質の電子状態の研究」，東北大学金属材料研究所大洗・アルファ合同研究会，2022 年 9 月 29 日(ポスター,オンライン）

[16]薦田拓也，中村優介，松岡英一，菅原仁「超伝導物質を熱スイッチに用いた断熱消磁冷凍機の試作」23pPSF-1,日本物理学会 2023 年春季大会（2023 年 3 月 22-25 日,ポスター,オンライン）

[17]○小手川恒，桑田祥希，藤秀樹，Depeo Zhang，Qiang Zhang，松田雅昌，武田圭生，林純一，櫻井敬博，太田仁，菅原仁「NbMnP におけるノンコリニア磁気構造とホール効果測定」24aH2-7,日本物理学会 2023 年春季大会（2023 年 3 月 22-25 日,口頭,オンライン）

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

[18]〇中村彰良，小手川恒，藤秀樹，菅原仁，櫻井敬博，大田仁「空間反転対称性の無い NbMnGe 及び関連物質における磁気秩序に対する研究」24aH2-8, 日本物理学会 2023 年春季大会（2023 年 3 月 22-25 日, ポスター, 口頭, オンライン）
[19]〇新井祐樹，小手川恒，櫻井敬博，太田仁，菅原仁「$Co_{1/3}TaS_2$ の単結晶作製と NMR 測定」24pPSH-18, 日本物理学会 2023 年春季大会（2023 年 3 月 22-25 日, ポスター, オンライン）
[20]〇大西昂，松岡英一，菅原仁，櫻井敬博，太田仁「六方晶フラストレーション化合物 REMgIn（RE = 希土類）の低温物性 II」24pPSH-54, 日本物理学会 2023 年春季大会（2023 年 3 月 22-25 日, ポスター, オンライン）
[21]〇松岡英一，菅原仁，櫻井敬博，太田仁「新しい直方晶化合物 $CePd_2Sn_3$ の低温物性」24pPSH-55, 日本物理学会 2023 年春季大会（2023 年 3 月 22-25 日, ポスター, オンライン）

〈特許申請〉
[22]菅原仁「断熱消磁冷凍機および断熱消磁冷凍方法」（特願ＧＰ２２０６１２）

3.9. 量子ダイナミクス

3.9.1 フェリ磁性体YIGにおける光励起キャリアの拡散ダイナミクス

メンバー：永富，徳山，虫明，川井，河本
参考文献：[1]
講演：[5,7]

イットリウム鉄ガーネット(YIG; $Y_3Fe_5O_{12}$) はキュリー温度 $T_C = 560$ K をもつフェリ磁性体であり，磁気光学効果や電気磁気効果に加え、光を照射することでその透磁率が変化する光透磁率効果を示すことでも知られている物質である。この透磁率の変化において、光励起キャリアを起源とする緩和励起状態におけるポーラロンの特性が一連の現象に大きな役割を持つと考えられるが、YIGにおける光励起キャリアの研究はほとんど行われていない。本研究では，YIG単結晶において，ポンプ-プローブ法による時間分解透過率測定を行い，ミリ秒領域におけるキャリア拡散ダイナミクスの空間的・時間的直接観測を行った。パルスポンプ光によって生成された吸収中心は，連続発振プローブレーザー光の透過光強度変化によって検出することができる。ポンプ光とプローブ光の間隔を変えてミリ秒領域の透過光強度変化の測定を行った結果，吸収中心がサンプル内を拡散していることが分かった。拡散方程式の特殊解を用いたフィッティングから拡散係数が得られる。電場印加による拡散の振る舞いの変化から，この吸収中心は負の電荷をもち，光励起によって生成された電子ポーラロンであることが分かった。また，拡散信号強度のポンプエネルギー依存性から，1064nm励起では 2 光子過程，355nm励起では 1 光子過程によって光キャリアが生成されていることが明らかになった。YIG における光励起キャリアの拡散ダイナミクスは本研究で初めて明らかになったものである。

3.9.2 反強磁性体酸化クロムにおける電気磁気効果と副格子スイッチのダイナミクス

メンバー：岡本，阿部，川畑，河本
参考文献：[2]
講演：[4,6,8,9]

酸化クロム(Cr_2O_3) はネール温度 $T_N = 307$ K を持つ反強磁性体であり，室温で電気磁気効果を示す珍しい物質である。電気磁気効果を示す最初の例として 50 年以上前に発見され，これまで数多くの研究報告がなされているが，ほとんどが定常状態の研究であり，時間領域に注目した研究は少ない。本研究では，線形電気磁気効果を示す反強磁性体 Cr_2O_3 に注目し，電場誘起磁化と反強磁性副格子スイッチのダイナミクスを解明することを目的として，パルス電場で誘起された磁化のダイナミクスを連続発振レーザー光の偏光面回転として検出する時間分解偏光分光法を適用することによって，ナノ秒領域の電場誘起磁化信号とその温度変化の観測に成功した。印加した電場と磁場がある閾値を超えると電場誘起磁化信号の符号が反転する副格子スイッチが起こることが確認され，ビーム径を変えた空間領域測定から副格子スイッチはミリメートル領域では大域的に起こること，また，時間領域測定から副格子スイッチはミリ秒領域で瞬時に起こることが分かった。観測された副格子スイッチは試料のどこかでスイッチが起こると，そこを起点にして試料全体に瞬時にスイッチが広がっていくという、反強磁性秩序状態における動的協力現象であることが明らかになった。反強磁性副格子スイッチの空間的・時間的ダイナミクスは、本研究で初めて明らかになったものである。

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved

3.9.3　シリコン結晶における光誘起キャリアダイナミクス

メンバー：上遠野，守安(福井大)，河本

講演：[3]

バルクと薄膜のシリコン単結晶において，超短光パルスレーザーとTHzパルス電場を用いた光ポンプ-THzプローブの実験を行うことにより，高密度に光励起された電子正孔系のキャリアダイナミクスを調べた。透過テラヘルツ電場のピークシフトは光励起によって負の遅延をもち，弱励起の場合は励起光強度とともに遅延が増加するが，強励起の場合は逆に遅延が減少していく振る舞いが観測された。弱励起の屈折率スペクトルは基本的なドルーデモデルで説明できるが，強励起のスペクトルはドルーデモデルでは説明できないことが分かった。

また，多モード半導体レーザーを光伝導アンテナの励起源としたテラヘルツ時間領域分光法（MLD-TDS）に新奇なテラヘルツ放射素子であるスピントロニック素子を適用することを目指している。光源にレーザーカオス光を用いることでMLD-TDS を安定化できることが報告されており，構築予定のスピントロニック素子を適用した MLD-TDS にもその利用を検討している。MLD-TDS にスピントロニック素子とレーザーカオス光を適用した場合の優位性について考察した。

＜参考文献＞

[1] 永富寛弥, 徳山湧人, 虫明侑一郎, 川井恵介, 河本敏郎,「YIG における光励起キャリアの拡散ダイナミクス」, 光物性研究会論文集 33, 99-102 (2022).
[2] 岡本淳, 阿部修也, 川畑将馬, 河本敏郎,「反強磁性体 Cr_2O_3 における電場誘起磁化と副格子スイッチのダイナミクス」, 光物性研究会論文集 33, 155-158 (2022).

＜講演＞

[3] 守安毅, 上遠野修大, 北原英明, 谷正彦, 栗島史欣, 河本敏郎, 熊倉光孝,「スピントロニック素子を適用した MLD-TDS へのレーザーカオス応用」, 電気学会北陸支部令和４年度学術講演会 (2022 年 8 月 12 日, オンライン) (招待講演)
[4] 河本敏郎,「反強磁性体酸化クロムにおける電場誘起磁化と副格子スイッチ」, 令和４年度日本分光学会中部支部北陸ブロック福井地区講演会 (2022 年 8 月 12 日, オンライン) (招待講演)
[5] 永富寛弥, 徳山湧人, 虫明侑一郎, 川井恵介, 河本敏郎,「YIG における光励起キャリアの拡散ダイナミクス」, 第 33 回光物性研究会（2022 年 12 月 9〜10 日, 大阪大学）
[6] 岡本淳, 阿部修也, 川畑将馬, 河本敏郎,「反強磁性体 Cr_2O_3 における電場誘起磁化と副格子スイッチのダイナミクス」, 第 33 回光物性研究会（2022 年 12 月 9〜10 日, 大阪大学）
[7] 永富寛弥, 徳山湧人, 河本敏郎,「YIG における光励起キャリアの拡散ダイナミクス」, 若手フロンティア研究会（2022 年 12 月 20 日, 神戸大学）
[8] 岡本淳, 阿部修也, 河本敏郎,「反強磁性体 Cr_2O_3 における電場誘起磁化と副格子スイッチのダイナミクス」, 若手フロンティア研究会（2022 年 12 月 20 日, 神戸大学）
[9] 河本敏郎,「レーザー光で探る磁性体のスピンダイナミクス」, 令和４年度神戸大学分子フォトサイエンス研究センター共同研究成果報告会 (2023 年 3 月 7 日, 神戸大学) (招待講演)

Copyright © 2023, Graduate School of Science, Kobe University, All rights reserved