

II 物理学プログラム

- ・ 物理科学専攻
- ・ 物理学科

1 物理学プログラム・物理科学専攻

1-1 プログラム・専攻の理念と目標

物理科学専攻・物理学プログラムでは、物質と時空・宇宙に関する物理現象とそれを支配している基礎法則の研究を行う。純粋科学の研究活動を基盤とした高度専門教育を通じて、優れた人材を産業・教育の分野に送り出す。そのために、学内の共同利用施設である放射光科学研究センターや宇宙科学センターとの連携も強化する。

1-2 プログラム・専攻の組織と運営

2020年度より、物理学プログラムとして新体制が始まったが、過渡期なので旧の物理科学専攻と合同運営を行っている。その物理科学専攻・物理学プログラムは、宇宙・素粒子科学講座、物性科学講座および、放射光科学研究センター所属の放射光科学講座からなる。それぞれの講座には数人で構成された、より専門化された研究グループがある。日常的な研究や教育などは主として研究グループ単位で行われている。人事や入試などの大きな問題には講座や専攻単位で運営が行われている。物理科学専攻・物理学プログラムの教育資格は、基本的に教授と准教授は教育資格1（博士課程前期後期学生の主・副指導教員になることができる）、助教は教育資格2（博士課程後期学生の副指導教員、博士課程前期学生の主・副指導教員になることができる）あるいは教育資格3（博士課程前期後期学生の副指導教員になることができる）、あるいは教育資格4（授業のみ担当）である。助教の教育資格の変更は、物理科学専攻・物理学プログラム内規に定めた基準を満たした場合に可能となる。

1-2-1 教職員（2021年4月時点での講座の教職員を以下に示す。）

宇宙・素粒子科学講座

素粒子論（理論）

両角卓也（准教授）	清水勇介（助教）
石川健一（准教授）	山本 恵（助教）

宇宙物理学（理論）

小寫康史（教授）	岡部信広（准教授）	木坂将大（助教）
----------	-----------	----------

クォーク物理学

志垣賢太（教授）	山口頼人（准教授）	三好隆博（助教）
	本間謙輔（准教授）	<理学研究科LAN担当>
		八野 哲（助教）

高エネルギー宇宙

深澤泰司（教授）	高橋弘充（准教授）	須田祐介（助教）
		内田悠介（特任助教）

可視赤外線天文学

川端弘治* (教授)

観山正見* (特任教授)

植村 誠* (准教授)

水野恒史* (准教授)

稲見華恵* (助教)

Singh Avinash* (助教)

Gangopadhyay anjasha* (助教)

笹田真人* (特任助教)

* : 宇宙科学センター協力教員

物性科学講座

構造物性

黒岩芳弘 (教授)

森吉千佳子 (教授)

Kim Sangwook (助教)

電子物性

中島伸夫 (准教授)

石松直樹 (助教)

光物性

木村昭夫 (教授)

Munisai Nuermairaiti (助教)

分子光科学

関谷徹司 (准教授)

和田真一 (准教授)

吉田啓晃 (助教)

仁王頭明伸 (助教)

放射光科学講座 (放射光科学研究センター所属)

放射光物性

生天目博文 (教授)

島田賢也 (教授)

奥田太一 (教授)

佐藤 仁 (准教授)

澤田正博 (准教授)

松尾光一 (准教授)

宮本幸治 (准教授)

出田真一郎 (准教授)

Shiv Kumar (助教)

放射光物理

加藤政博 (教授)

プログラム事務

前田 緑

宮本曜子

秦 真貴子

1-2-1 教員の異動

ここ数年、定年退職や転出が毎年ある。比較的若手層の採用があったが、将来的な人事構想が不透明で、教育及び研究活動への影響が心配される。さらなる人事計画を進めたい。

2021年 4月 1日	採用	山本 恵 (素粒子論 助教)
	採用	須田祐介 (高エネルギー宇宙 助教)
	採用	仁王頭明伸 (分子光科学 助教)
	採用	Singh Avinash (可視赤外線天文学 助教)
	採用	Gangopadhyay Anjasha (可視赤外線天文学 助教)
	採用	出田真一郎 (放射光物性 准教授)
2021年 5月 1日	採用	Mao Junjie (高エネルギー宇宙 助教)
	採用	Mohamed Ibrahim (放射光物性 助教)
2021年 9月 1日	採用	黒田健太 (光物性 准教授)
2021年10月 1日	採用	野中千穂 (素粒子論 教授)
2022年 3月31日	転出	山本 恵 (素粒子論 助教)
	転出	内田悠介 (高エネルギー宇宙 特任助教)
	転出	観山正見 (可視赤外線天文学 特任教授)
	転出	笹田真人 (可視赤外線天文学 特任助教)

1-3 プログラム・専攻の大学院教育

理学研究科のアドミッション・ポリシー、カリキュラム・ポリシー、ディプロマ・ポリシーに則り専攻・プログラムのポリシーを以下のように設定し、教育を行っている。

1-3-1 大学院教育の目標とアドミッション・ポリシー

[1] アドミッション・ポリシー

博士の学位を取り、物理関連分野の教育職，研究職，高度技術職を目指す人，及び現代物理の基礎を修め修士の学位を取り，その物理的知見を基に産業・教育の分野で活躍したい人を求めています。また社会人や留学生も積極的に受け入れます。

[2] カリキュラム・ポリシー

- (1) 理学の基盤学問としての物理学の専門的知識を習得し，高度職業人及び研究者を養成する。
- (2) 真理を探究する手法を習得すること及び国際的に協力し，又は競争できる能力を実践的学習を通じて習得させることを目的とする。

[3] ディプロマ・ポリシー

博士課程前期

自然界に働く普遍的な法則や基本原理の解明を目指した専門的教育研究活動を通して，課題探求能力及び問題解決能力を高め，真理探究への感性及び総合的判断力を培い，以下の能力のいずれかを身につけること。

- (1) 基礎科学のフロンティアを切り開く力を持った研究者としての能力。
- (2) 専門的知識，技能及び応用力を身につけた技術者としての能力。
- (3) 専門的知識及び識見を有しリーダーシップを発揮できる力量のある教育者としての能力。

博士課程後期

自然界に働く普遍的な法則や基本原理の解明を目指した専門的教育研究活動を通して，課題探求能力及び問題解決能力を高め，真理探究への感性及び総合的判断力を培い，以下の能力のいずれかを身につけること。

- (1) 基礎科学のフロンティアを切り開いて国際的に活躍できる研究者としての能力。
- (2) 高度の専門的知識，技能及び幅広い応用力を持ち国際的に通用する先進的な科学技術を創造できる技術者としての能力。
- (3) 高度の専門的知識及び識見を有しリーダーシップを発揮できる力量のある教育者としての能力。

大学院授業担当

2021年度【前期】物理学プログラム 授業時間割表				
曜日	時限	科目	教員	教室
月	1.2	量子場の理論	両角	E201
	3.4			
	5.6			
	7.8			
火	9.10			
	1.2	宇宙物理学	小畠	オンライン
	3.4	相対論的宇宙論	岡部	オンライン
	5.6			
	7.8			
水	9.10			
	1.2			
	3.4			
	5.6			
	7.8			
木	9.10			
	1.2			
	3.4	X線ガンマ線宇宙観測	深澤	オンライン
		光赤外線宇宙観測	川端	オンライン
	5.6			
	7.8	X線ガンマ線宇宙観測	深澤	オンライン
放射光科学特論 A・B		生天目 他7名	オンライン	
9.10	光赤外線宇宙観測	川端	オンライン	
金	1.2			
	3.4	クォーク物理学	志垣	オンライン
		高エネルギー物理学	高橋 (徹)	オンライン
	5.6	高エネルギー物理学	高橋 (徹)	オンライン
	7.8	クォーク物理学	志垣	オンライン
9.10				
備考		物理学特別講義 A (リサーチエンス理論入門) (客員教員, 集中), 物理学特別講義 B (無機材料の新展開~強誘導体, 圧電体, マルチフェロイクス, イオン伝導体など~) (客員教員, 集中), 物理学エクスターンシップ (木村, 集中), 物理学演習 I (各教員, 集中), 物理学特別演習 A (各教員, 集中) 物理学特別研究 (各教員, 集中)		

2021年度【後期】物理学プログラム 授業時間割表

曜日	時限	科目	教員	教室
月	1.2			
	3.4			
	5.6 7.8	構造物性物理学	黒岩	B301
	9.10	Introductory course to advanced physics	島田	B301
火	1.2 3.4	素粒子物理学	稲垣	B301
	5.6			
	7.8			
	9.10			
水	1.2 3.4	格子量子色力学	石川	E208
	5.6	電子物性学	中島	E209
	7.8	光物性論	木村	A017
	9.10			
木	1.2			
	3.4			
	5.6 7.8	表面物理学	奥田	E208
	9.10			
金	1.2			
	3.4			
	5.6			
	7.8			
	9.10	Introductory course to advanced physics	島田	B301
備考		放射光院生実験（黒岩，集中），物理学特別講義C（輻射流体力学の基礎とコンパクト天体への降着流の物理）（客員教員，集中），物理学特別講義D（放射光源の基礎と新展開）（客員教員，集中），物理学エクスターンシップ（木村，集中），物理学演習II（各教員，集中），物理学特別演習B（各教員，集中），物理学特別研究（各教員，集中）		

1-3-2 大学院教育の成果とその検証

博士課程前期では、研究する上で必要な内容を講義およびセミナー等で修得できており、特別な場合を除き、2年間で修士の学位を取得し、就職または進学している。博士課程後期では、研究室単位でより密着して指導が行われている。

博士課程前期の入学定員30名に対し、26名(内部生22名、他大学から4名)が入学している。博士課程後期の入学定員15名に対しては、12名(内部生5名、他大学から7名)が進学している。

1-3-3 大学院生の国内学会発表実績

○ 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数	18 件
○ 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数	10 件
○ 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数	6 件
コロナ禍前に比し大幅減少	

1-3-4 大学院生の国際学会発表実績

○ 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数	57 件
○ 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数	32 件
○ 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数	25 件
コロナ禍前に比し大幅減少	

外国人留学生の受入状況

○ 博士課程前期在籍者	1 名
○ 博士課程後期在籍者	15 名

1-3-5 修士論文発表実績

2021年度(22名)

	氏名	論文題目	指導教員	主査	副査	副査
1	木村浩輝	高頻度可視光近赤外線観測による高速膨張 Ic 型超新星 SN 2018ebt の研究	川端	川端	石川	
2	川夏康助	高効率熱電変換材料の電子構造の実験的解明	木村	木村	森吉	
3	兼島 輝	希土類ジグザグ鎖をもつ $RCuS_2$ ($R = Dy - Lu$) の構造とゆらぎ	森吉	森吉	佐藤	鬼丸
4	杉山貴哉	顕微光電子分光を用いた銅酸化物高温超伝導体の電子状態の研究	木村	木村	生天目	岩澤
5	石本賢太郎	永久磁石 $SmCo_5$ の高圧下水素化による磁気構造及び結晶構造の変化	石松	石松	宮本	松村
6	矢多部優介	放射光 X 線を用いた非鉛圧電体単結晶の構造研究	黒岩	黒岩	出田	水田
7	河野早紀	軽いステライルニュートリノを含む模型のマヨラナタイプ位相と CP の破れ	両角	両角	本間	岡本

8	山内礼士	チタン酸バリウム多面体微粒子のマルチスケール構造と強誘電相転移	黒岩	黒岩	関谷	水田
9	間 夏子	IceCube ニュートリノイベントの Fermi-LAT およびかなた望遠鏡データの解析パイプライン開発	深澤	深澤	木坂	藪田
10	秋野大知	高分解能 SZ 効果観測に適した銀河団ガス分布のモデル化	岡部	岡部	高橋 (弘)	高橋 (徹)
11	森 文樹	かなた望遠鏡の偏光観測によるブレーザーの可視光放射領域の磁場推定	川端	川端	小畷	栗木
12	白石海人	放射光角度分解光電子分光を用いた希土類元素を含む反強磁性体の電子状態の研究	木村	木村	石松	松村
13	田伏真隆	直線偏光軟 X 線で調べる基板支持リン脂質分子膜の配向積層	和田	和田	澤田	早川
14	馬場公範	ガルバニック置換を用いた金回収におけるシクロデキストリン添加効果	和田	和田	松尾	早川
15	宮井雄大	高分解能角度分解光電子分光を用いた Bi 系銅酸化物超伝導体の電子状態の研究	島田	島田	中島	鬼丸
16	徳本涼香	ALICE 実験 陽子-陽子及び陽子-鉛原子核衝突におけるマルチストレンジダイバリオン探索 Search for multi-strange dibaryons in pp and p-Pb collisions at ALICE	志垣	山口	両角	遠藤
17	濱田大晴	赤外超過を示した II ⁿ 型超新星 SN 2017hcc の長期多バンド観測に基づくダスト生成シナリオの研究	川端	川端	岡部	藪田
18	今浦稜太	真空紫外円二色性と直線二色性による α シヌクレインの生体膜相互作用研究	松尾	松尾	和田	根平
19	廣森慧太	顕微光電子分光測定による二酸化チタン結晶表面におけるヘテロ界面の光触媒活性の研究	中島	中島	生天目	長谷川
20	武井玄徳	ADHM 構成法を用いた任意のインスタントン数を持つ Yang-Mills 方程式の解の構成	石川	石川	山口	黒木
21	今澤 遼	次世代ガンマ線天文台 CTA 初号基と MAGIC 望遠鏡の同時解析ツールの開発およびブレーザー BL Lac の解析への応用	深澤	深澤	志垣	岡本
22	木村健斗	ALICE 実験 μ 粒子対測定を用いた Pb-Pb 非中心衝突で生成する高強度磁場の検出可能性 Detection feasibility of ultra-intense magnetic field generated in non-central Pb-Pb collisions with dimuon measurement at ALICE	志垣	志垣	加藤	梅田

1-3-6 博士学位

2021年度（課程博士11名）

- [1] 南 岳 2021年7月16日授与（甲）
Dark Energy with Large-scale Inhomogeneities
（大規模非一様性を持つダークエネルギー）
主査：小寫康史
副査：深澤泰司，志垣賢太，山本一博，岡部信広
- [2] 内田和海 2021年9月3日授与（乙）
X-ray Study of Stellar-Wind Accretion on a Highly-Magnetized Neutron Star in a Binary System
（X線観測による連星中の強磁場中性子星への星風降着に関する研究）
主査：高橋弘充
副査：深澤泰司，小寫康史，川端弘治，志垣賢太
- [3] Lin Wu 2021年9月17日授与（甲）
Film growth by aerosol deposition method and powder synthesis by mechanochemical solid-state reaction for ferroelectric lead-containing perovskites evaluated using Synchrotron-radiation X-ray diffraction
（放射光X線回折により評価した鉛を含むペロブスカイト型強誘電体のエアロゾルデポジション法による膜成長とメカノケミカル固相反応による粉末合成）
主査：黒岩芳弘
副査：木村昭夫，生天目博文
- [4] ZHANG KE 2021年9月17日授与（甲）
Spin- and angle-resolved photoemission spectroscopy study of spin-momentum-layer locking in centrosymmetric BiOI
（スピン角度分解光電子分光による中心対称BiOIにおけるスピン・運動量・レイヤーで固定化された電子状態の研究）
主査：島田賢也
副査：奥田太一，森吉千佳子
- [5] Ar Rohim 2021年12月20日授与（甲）
Relativistic Effects in Gravitational Quantum States
（重力場中の量子状態における相対論的効果）
主査：小寫康史
副査：稲垣知宏，志垣賢太，山本一博
- [6] 山川皓生 2022年3月4日授与（甲）
Physics Impacts of DAQ and Triggers at Large-Scale Hadron Collider Experiments and a New Detector Control and Monitoring Scheme to Achieve the Impact at ALICE
（大規模ハドロン衝突型加速器実験におけるトリガー・データ収集系の物理への影響とALICE実験における新規検出器制御監視系）
主査：志垣賢太
副査：深澤泰司，野中千穂，山口頼人

- [7] 松尾大和 2022年3月23日授与 (甲)
Behavior of Chameleon Mechanism on $F(R)$ Gravity
($F(R)$ 修正重力理論におけるカメレオン機構の振る舞い)
主査：稲垣知宏
副査：小畠康史, 野中千穂
- [8] 石坂仁志 2022年3月23日授与 (甲)
Experimental determination of electronic structures of superconductors $ZrP_{2-x}Se_x$ and Nb_3Y ($Y = Al, Sn$)
(超伝導体 $ZrP_{2-x}Se_x$ および Nb_3Y ($Y = Al, Sn$)の電子構造の実験的決定)
主査：木村昭夫
副査：生天目博文, 森吉千佳子, 鈴木孝至, 井野明洋
- [9] 今里郁弥 2022年3月23日授与 (甲)
Near-infrared observational studies of black hole low mass X-ray binary GRS 1915+105 in the X-ray low luminous state
(X線で暗い状態のブラックホール低質量X線連星GRS 1915+105の近赤外線観測的研究)
主査：深澤泰司
副査：小畠康史, 志垣賢太, 川端弘治
- [10] 熊代宗弘 2022年3月23日授与 (甲)
Interaction mechanism between proteins and lipid membranes characterized by vacuum-ultraviolet circular dichroism spectroscopy
(真空紫外円二色性によるタンパク質と生体膜の相互作用機構の解析)
主査：松尾光一
副査：島田賢也, 生天目博文, 加藤政博, 神山 匡
- [11] 河村優太 2022年3月23日授与 (甲)
Study of the effective field theory for the model with light and heavy scalars
(軽いスカラーと重いスカラーを含む模型の有効理論の研究)
主査：両角卓也
副査：稲垣知宏, 小畠康史, 野中千穂

1-3-7 TAの実績

2021年度は、博士課程前期の学生を21名、博士課程後期の学生を3名（通年：1名、前期：12名、後期：11名）採用した。主たる業務は学部の実験及び演習を補助することであるが、大学院生が科目内容の再確認と教授法の技能の修得に役立った。

1-3-8 大学院教育の国際化

博士課程後期の定員充足は喫緊の課題である。2013年度中から検討してきた外国人留学生特別選抜を活用して、中国トップレベルの大学（中国科学院や復旦大学等）との連携の下で優秀な学生を見出す独自の取組みを継続している。しかし、本来、博士課程後期の定員充足は日本人学生の受入れで達成されるべきである。そのためには経済的支援の充実と海外派遣等を含む国際的な研究交流の活性化が不可欠と考えられる。2017年度から外国人教員による授業や研究指導を開始した。さらに、外国人を招待した研究室セミナーや共同研究（実験）などに院生を積極的に参加させている。例えば、物性科学講座の研究室では学内の放射科学研究センター（HiSOR）や高輝度光科学研究センター（SPring-8）などで国際共同実験に参画させている。大学院生には自身の研究の位置づけを確認させるとともに、外国人を含む本学以外の研究者や学生と交流させ、様々な研究方法や共同研究のあり方を実践的に習得させている。

物理学プログラム（博士課程前期）

科目 区分	授業科目の名称	配当 年次 (注)	単位数		要修得単 位数	
			必修	選択 必修		
大学院共通科目	持続可能な発展科目	Hiroshimaから世界平和を考える	1・2		1	1単位以上
		Japanese Experience of Social Development-Economy,Infrastructure,and peace	1・2		1	
		Japanese Experience of Human Development-Culture,Education,and Health	1・2		1	
		SDGsへの学問的アプローチA	1・2		1	
		SDGsへの学問的アプローチB	1・2		1	
		SDGsへの実践的アプローチ	1・2		2	
		ダイバーシティの理解	1・2		1	
	キャリア開発・データリテラシー科目	データリテラシー	1・2		1	1単位以上
		医療情報リテラシー	1・2		1	
		人文社会系キャリアマネジメント	1・2		2	
		理工系キャリアマネジメント	1・2		2	
		ストレスマネジメント	1・2		2	
		情報セキュリティ	1・2		2	
		MOT入門	1・2		1	
アントレプレナーシップ概論	1・2		1			
研究科共通科目	国際性	アカデミック・ライティングI	1		1	1単位以上
		海外学術活動演習A	1・2		1	
		海外学術活動演習B	1・2		2	
	社会性	MOTとベンチャービジネス論	1・2		1	2単位以上
		技術戦略論	1・2		1	
		知的財産及び財務・会計論	1・2		1	
		技術移転論	1・2		1	
		技術移転論演習	1・2		1	
		未来創生思考（基礎）	1・2		1	
		ルール形成のための国際標準化	1・2		1	
		理工系のための経営組織論	2		1	
		起業案作成演習	1・2		1	
		事業創造演習	1・2		1	
		フィールドワークの技法	1・2		1	
		インターンシップ	1・2		1	
		データビジュアライゼーションA	1・2		1	
		データビジュアライゼーションB	1・2		1	
		環境原論A	1・2		1	
環境原論B	1・2		1			

プログラム専門科目	Introductory course to advanced physics	1	2		10単位	25単位以上	
	物理学特別演習A	1	2				
	物理学特別演習B	1	2				
	物理学特別研究	1~2	4				
	量子場の理論	1		2	8単位以上		
	素粒子物理学	1		2			
	格子量子色力学	1		2			
	宇宙物理学	1		2			
	相対論的宇宙論	1		2			
	クォーク物理学	1		2			
	高エネルギー物理学	1		2			
	X線ガンマ線宇宙観測	1		2			
	光赤外線宇宙観測	1		2			
	放射光科学特論A	1		1			
	放射光科学特論B	1		1			
	構造物性物理学	1		2			
	電子物性物理学	1		2			
	光物性論	1		2			
	表面物理学	1		2			
	放射光科学院生実験	1		1			
	物理学特別講義A	1・2		1			
	物理学特別講義B	1・2		1			
	物理学特別講義C	1・2		1			
	物理学特別講義D	1・2		1			
	物理学エクスターンシップ	1・2		2			
	物理学演習I	1		2			
	物理学演習II	1		2			
	他プログラム専門科目						2単位以上

【履修方法及び修了要件】

修了に必要な単位数を30単位以上とし、以下のとおり単位を修得し、かつ必要な研究指導を受けた上で、修士論文の審査及び最終試験又は博士論文研究基礎力審査に合格すること。

修了要件単位数：30単位以上

- (1) 大学院共通科目：2単位以上
 - ・持続可能な発展科目：1単位以上
 - ・キャリア開発・データリテラシー科目：1単位以上
- (2) 研究科共通科目：3単位以上
 - ・国際性科目：1単位以上
 - ・社会性科目：2単位以上

(3) プログラム専門科目：25 単位以上

・物理学プログラム専門科目：18 単位以上（必修科目 10 単位及び選択必修科目 8 単位以上）

なお、物理学特別講義 A，物理学特別講義 B，物理学特別講義 C 及び物理学特別講義 D は、同じ科目の単位を修得しても、修了要件単位数に含めることを可とする。

・他プログラム専門科目：2 単位以上

なお、指導教員の許可を得て他専攻・他研究科等の専門科目の単位を修得した場合には、「他プログラム専門科目」に含むことができる。

(注) 配当年次

1：1 年次に履修，2：2 年次に履修，1～2：1 年次から 2 年次で履修，1・2：履修年次を問わない

物理学プログラム（博士課程後期）

科目 区分	授業科目の名称	配当年次 (注)	単位数		要修得 単位数	
			必修	選択 必修		
大学院 共通科目	持続可能な発展科目	スペシャリスト型SDGsアイディアマ イニング学生セミナー	1・2・3		1	1 単位 以上
		SDGsの観点から見た地域開発セミナー	1・2・3		1	
		普遍的平和を目指して	1・2・3		1	
	キャリア開発・デー タリテラシー科目	データサイエンス	1・2・3		2	1 単位 以上
		パターン認識と機械学習	1・2・3		2	
		データサイエンティスト養成	1・2・3		1	
		医療情報リテラシー活用	1・2・3		1	
		リーダーシップ手法	1・2・3		1	
		高度イノベーション人財のためのキ ャリアマネジメント	1・2・3		1	
		事業創造概論	1・2・3		1	
		イノベーション演習	1・2・3		2	
		長期インターンシップ	1・2・3		2	
	研究科 共通科目	国際性	アカデミック・ライティングⅡ	1・2・3		1
海外学術研究			1・2・3		2	
社会性		経営とアントレプレナーシップ	1・2・3		1	1 単位 以上
		Technology Strategy and R&D Management	1・2・3		1	
		技術応用マネジメント概論	1・2・3		1	
		未来創造思考（応用）	1・2・3		1	
		自然科学系長期インターンシップ	1・2・3		2	
プログラム 専門科目	物理学特別研究	1～3	12		12単位	

【履修方法及び修了要件】

修了に必要な単位数を16単位以上とし、以下のとおり単位を修得し、かつ必要な研究指導を受けた上で、博士論文の審査及び最終試験に合格すること。

修了要件単位数：16単位以上

- (1) 大学院共通科目：2単位以上
 - ・持続可能な発展科目：1単位以上
 - ・キャリア開発・データリテラシー科目：1単位以上
- (2) 研究科共通科目：2単位以上
 - ・国際性科目：1単位以上
 - ・社会性科目：1単位以上
- (3) プログラム専門科目：12単位

(注) 配当年次

1～3：1年次から3年次で履修，1・2・3：履修年次を問わない

就職情報

博士課程前期

進学：博士課程後期進学 8名

企業：四国電力(株) 1名，アイシン精機(株) 1名，(株)ディスコ 1名，
ソニーセミコンダクタソリューションズ(株) 1名，京セラ(株) 1名，
日本電気航空宇宙システム(株) 1名，日本アムスコ(株) 1名，
NECソリューションイノベータ(株) 1名，東京エレクトロン(株) 1名，
古河電気工業(株) 1名，マイクロンメモリジャパン(合) 1名，
(株)ベンカン機工 1名，サンアスタリスク 1名

その他：2名

学生の表彰

広島大学 エクセレント・スチューデント・スカラシップ 成績優秀学生表彰者：1名

広島大学 大学院理学研究科長表彰者：1名

広島大学 大学院先進理工系科学研究科学生表彰者：1名

1-4 プログラム・専攻の研究活動

1-4-1 物理科学専攻・物理学プログラムの教員が主導する研究拠点の活動

物理科学専攻・物理学プログラムの教員が主導する研究拠点として、広島大学自立型研究拠点 極限宇宙研究拠点 (Core-U : Core Research for Energetic Universe) があるが、詳しい活動内容は拠点の報告書を参照されたい。

1-4-2 研究グループの研究活動

物理科学専攻・物理学プログラムの研究活動を研究グループごとに以下の項目でまとめる。

- 研究活動概要 (発表論文, 講演等を含む)
- 学生の国際・国内学会等での活動状況
- 学会ならびに社会での活動
- 研究助成金の受入状況, 学術団体等からの受賞実績
- その他

宇宙・素粒子科学講座

○素粒子論グループ

研究活動の概要

(I) ハドロン物理学 (野中)

(i) 量子色力学における相転移現象と超高温QCD物質の研究

素粒子, 原子核物理において, クォーク・グルーオンプラズマ (QGP) 相とハドロン相の相転移, QCD 相転移現象・量子色力学 (QCD) 相図の解明は重要な課題である。2000年に稼働したRelativistic Heavy Ion Collider (RHIC)におけるQGP生成の成功という大きな到達点を経て, QGP研究は, 今や, 「QGPの性質の解明」へとシフトしている。ここではQGP物性とは何か, そして, QGP 物性の根底にある普遍的な物理とは何かの2つの問いから本研究を遂行している。現在, 実験の高統計, 高精度化, 実験理解のための現象論的モデルの成熟, そして計算機の向上の条件の全てが整った状態にある。そのため, これまでは困難であると考えられていた高エネルギー重イオン衝突実験の定量的な解析という王道というべき手段で, 今まさに QCD 相図, 相転移現象の解明, 熱力学性質を明らかにすることが可能になってきたと言える。それと同時に, これまでの高エネルギー原子核衝突実験の研究の中で新たに提示されてきた謎の理解を目指すことで, 周辺物理との共通性を探り背景にある普遍的な物理を明らかにすることも目標にしている。特に, 衝突後短時間での流体化・熱平衡化のプロセス, 流体揺らぎに関連して非平衡物理, 磁場やカラー磁場に関連してプラズマ物理・宇宙物理学との連携を探っている。

1) 光子を用いた高温クォーク物質の研究

高エネルギー原子核衝突実験において光子は重要な電磁プローブとして注目されている。光子は色荷を持たないため強い相互作用をしないため QGP の詳細な情報を直接調べることができる。ところが, 現在「光子パズル」という問題が存在する。それは, 実験で観測された直接光子の生成量と集団運動の強さを表す楕円フローを同時に説明できる理論計算が存在

しないという問題である。本研究では、光子パズルの解明として放射ハドロン化模型を提案する。まず、熱的光子を相対論的粘性流体と分子動力学計算を組み合わせた模型を用いて求める。さらに新しい光子の生成機構として、放射ハドロン化模型による光子を加える。放射ハドロン化模型は QGP がハドロン化する際、そのエネルギー差として光子を放射するという模型である。この光子生成機構を加えることで生成量、楕円フローともに値が大きくなり、2 つの実験結果を同時に再現することに成功した。放射ハドロン化模型は光子パズルの解明になり得ることを示した。

2) 相対論的抵抗性磁場流体を用いた高エネルギー原子核衝突実験の解析

衝突後に存在すると考えられている磁場の効果を取り入れた相対論的抵抗性電磁流体の模型の構築を行った。抵抗性まで取り入れた解析は世界で初めての研究であり、高エネルギー原子核衝突実験結果の磁場の影響を詳細に明らかにできる可能性が出てきた。現在コード開発は終了し、実際の実験を視野に入れた解析を行った。粒子の生成量、集団運動と行った実験結果との比較と検討を行うことで、磁場の存在を明らかにできる手がかりを得た。特に Cu+Au といった非対称の衝突系の直接フローに影響が現れることを明らかにした。この研究はさらにカラー磁場への拡張など大きな発展が期待できる。これらの成果はプラズマ物理・宇宙物理学の研究者との連携で可能になった。

(国内学会一般講演[28])

3) パートンカスケード模型の開発

高エネルギー原子核衝突実験で現在注目されている話題の一つに衝突直後の短時間での熱平衡化と流体化の過程のプロセスの解明がある。これらを明らかにするべくパートンカスケード模型をハドロンベースに構築された SMASH の模型の枠組みを使用して開発を行っている。これにより現在では現象論的に与えている流体模型の初期条件の物理的背景を明らかにすることができる。現在のところ基礎的な枠組みの構築を終え、現象論的解析の応用に向けた準備を開始している。

(ii) 格子ゲージ理論を用いた量子色力学相図の研究

1) 低温高密度領域の相構造については、有効模型を用いた解析により様々な相の可能性が挙げられている。その一つとして非一様なカイラル凝縮相がある。非一様なカイラル凝縮とは、カイラル対称性の秩序変数が空間依存していることを意味する。カイラル凝縮の関数形を決定する一般的な手法はまだ確立されておらず、振動解や空間依存しない一様な解を仮定することが多い。一方で、低温高密度領域では符号問題により第一原理計算である格子 QCD 計算はモンテカルロ積分が正しく実行できない。しかし、QCD に似た性質を持つ 1+1 次元 GN 模型は符号問題がなく、格子計算が可能である。ここでは 1+1 次元 GN 模型の相図の解析を格子計算で行う。格子計算を用いる利点は二つある。一つ目は特定のカイラル凝縮の関数形を仮定することなく計算することができる点、二つ目は有限のフレーバー数においても非一様相が存在するか調べることができる点である。真空の格子 QCD の計算プログラムをもとに有限温度有限密度 GN 模型の格子計算プログラムを開発した。それにより解を仮定することなく振動する非一様なカイラル凝縮相を見出すことに成功した。

(II) 素粒子と重力の理論 (稲垣)

(i) 極限状態にあるフェルミオン系

右巻きのフェルミオンと左巻きのフェルミオンに対して独立に定義された変換をカイラル変換と呼ぶ。質量を持たないフェルミオンに対する強い相互作用の理論はカイラル変換の下で不変であり、カイラル対称性を持つ。フェルミオンとその反粒子の間からなる複合演算子が期待値を持つことで、カイラル対称性は自発的に破れていることが知られており、例えば、核子の質量の大部分はクォークと反クォークが凝縮することで生成されている。複合演算子の期待値は、系のサイズ、温度、密度、磁場、曲率といった環境に左右され、環境を変えることで核子の質量も変化する。

2021年度は、強い相互作用をするフェルミオンの理論である4体フェルミ相互作用モデルを用い、有限温度、化学ポテンシャルを考慮した場合に、系のサイズと境界条件、磁場の効果がどのような変更を受けるかについて探究した。有限サイズ効果に対しては、カイラル対称性を破るフェルミオンとその反粒子の間からなる複合演算子の期待値が一様な場合に限定し、理論の詳細な相構造の解明、安定な系のサイズと温度、化学ポテンシャル、境界条件の関係を明らかにした。また、磁場の効果については複数の正則化処方で解析を行い、化学ポテンシャルが大きい場合の無視できない正則化依存性を指摘した。(原著論文[3], 国内学会一般講演[11,13])

また、カイラル対称性を破る質量項の効果としては、相転移の次数が変わる、もしくはクロスオーバーで連続的に状態が変わっていくようになることが知られている。我々は、2次元、3次元の4体フェルミ相互作用モデルについて、くりこみ処方を再検討することから研究を進め、臨界点の質量依存性、詳細な相構造を解析することで、新しい物理状態の可能性を指摘した。

(国際会議一般講演[12], 国内学会一般講演[12,14])

(ii) 修正重力理論

地平線問題、平坦性問題、モノポール問題と呼ばれる宇宙論の諸問題は、熱的ビッグバン以前に空間が急激に加速膨張するインフレーション期を経たと考えることにより解決できる。また、現在の宇宙膨張速度も加速していることが観測されている。一般相対性理論と素粒子の標準モデルでは、宇宙初期と現在の宇宙の加速膨張を説明できない。宇宙定数、インフラトンと呼ばれる場のポテンシャルエネルギーを導入することで加速膨張を引き起こすエネルギー源とすることもできるが、宇宙スケールでの重力理論が、一般相対性理論を修正しなくてはならない可能性もある。

2021年度の研究では、アインシュタイン・カルタン幾何学に基づくF(R)修正重力理論を対象に、理論の基礎的な性質を研究した。アインシュタイン・カルタン幾何学下のF(R)修正重力理論においては、フェルミオン場とその反粒子の間の重力が4体フェルミ相互作用で記述されることが知られており、フェルミオンと反フェルミオンが凝縮する可能性がある。このとき、フェルミオンと反フェルミオンからなる複合演算子の期待値が宇宙の加速膨張速度のエネルギー源とみなせるパラメータ領域を確認し、初期宇宙のインフレーションとも矛盾のないモデルの構築が可能であることを示した。

また、従来の研究では、アインシュタイン・カルタン幾何学下のF(R)修正重力理論は、共形変換により運動項を持たないプランク・ディッケ理論と同等であることが知られていたが、カルタン方程式の書き換えを工夫することで、共形変換なしでより単純なスカラー・テンソル理論と同等になることを見つけた。(国際会議招待公演[1,2], 国内学会一般講演[10])

(III) 格子量子色力学 (格子QCD) を用いた強い相互作用の研究 (石川)

(i) ラージN極限におけるツイストされた時空縮約モデルの研究

SU(N) 格子ゲージ (ヤン・ミルズ) 理論は, Nを無限に持っていった極限で時空の自由度を内部空間に吸収できてしまう可能性がある。通常格子ゲージ理論は4次元格子上で定義されるが, 江口・川合は格子点が1点しかない理論 (江口・川合模型) を考えた。江口・川合模型には $Z(N)$ 対称性があり, 江口・川合はこの対称性が破れていない時, Nを無限に持っていった極限で通常のゲージ理論と江口・川合模型が同じSchwinger-Dyson方程式を満たし同等であることを示した。強結合相ではこの対称性は破れていないが, 物理的に重要な弱結合相および中間結合相では $Z(N)$ 対称性は破れてしまい, 2つの理論は同等ではない。この困難を回避するために, 大川とゴンザレス・アロヨは理論にtwisted境界条件を課するtwisted江口・川合模型を提案した。

$\mathcal{N} = 1$ 超対称性を持つヤン・ミルズ模型はQCDを含む通常のヤン・ミルズ模型と同様に, 漸近自由性やカイラル対称性の破れ, 閉じ込め現象を呈する模型である。超対称性により理論的性質がよいためQCDの非摂動現象の理論的解明のために研究が進められている。特にゲージ群SU(N)のNが無無限大の極限はこれらの非摂動現象の理論的解明につながると期待されている。twisted江口・川合模型に随伴表現のマヨラナフェルミオンを一つ含む模型はこの $\mathcal{N} = 1$ 超対称性を持つヤン・ミルズ模型のNが無無限大の極限を効率よく探求できる格子上の模型である。

令和3年度は前年度から開始しているtwisted江口・川合模型に随伴表現のマヨラナフェルミオンを一つ含む模型 (マヨラナフェルミオンを一つ含む行列模型) の計算を更に進めた。3つのゲージ群の大きさ, 複数の結合定数, 及び, 複数のマヨラナフェルミオン質量にてモンテカルロ計算を行い, マヨラナフェルミオン質量がゼロとなる場所での格子間隔の結合定数とゲージ群の大きさ依存性を調べた。この格子間隔の決定には, 基本表現フェルミオンから構成される中間子質量スケールと勾配流処方による長さスケールを用いた。これらの格子間隔の結合定数依存性は, $\mathcal{N} = 1$ 超対称性ヤン・ミルズ理論のラージN極限のふるまいと矛盾していないことを確認した (国際学会一般講演[7,8], 国内学会一般講演[2])。

また前年度に引き続きラージN極限におけるツイストされた時空縮約モデルの数値摂動論に基づくリサーチェンス構造の探索のための計算プログラムの開発を行っている (国際学会一般講演[9], 国内学会一般講演[6,7,8,9])。

(ii) 格子QCDに関する計算

1) 大体積, 格子QCDによる物理点でのハドロン行列要素の研究

格子QCDを用いた第一原理計算による核子や軽い原子核, ストレンジネスを持つハドロンの性質の導出が世界的に進められてきている。これらの性質を理論的に精密に決定することは素粒子標準模型のクォークセクターに関わる構造の精密実験との比較のために必要不可欠である。物理的クォーク質量における計算ではクォーク質量が軽いため核子の持つ仮想パイ中間子の放出吸収に伴う核子や原子核の有効体積の広がりによる有限体積効果への系統誤差の増加を抑えるために, 非常に大きな物理体積での計算が必要になってきている。平成29年度から筑波大学, 東北大学, 理研の共同研究者とともに, 物理クォーク質量での核子1つが有限体積効果を受けないような大きな体積としておよそ $(10\text{fm})^4$ の大きさの体積の物理点格子QCDモンテカルロ計算を行っている。

令和3年度にはK中間子のK13崩壊の形状因子や核子の形状因子、構造関数についての計算を続けている。K中間子のK13崩壊とは $K \rightarrow \pi l \nu$ の3体崩壊であり、この崩壊の形状因子はカビボ-小林-益川行列の成分の一つである $|V_{us}|$ を実験値から引き出すために必要な理論部品である。令和3年度は前年度よりも格子間隔の小さな格子で同様の計算を行い格子間隔ゼロへの外挿ができるようになった（国際学会一般講演[6]，国内学会一般講演[4]）。核子構造に関しては重要な問題の一つに、核子の荷電半径の互いに矛盾する独立な実験結果の問題が残っている。格子QCD核子の荷電半径の理論値を決めることは、自然界に標準模型からのズレが有ることを示す強力な証拠となるため、世界的に研究が進められている。令和3年度は引き続き核子構造（形状因子、構造関数、核力電荷）の研究を行っている（原著論文[1]，国際学会一般講演[1,2]，国内学会一般講演[1,3,5]）。

2) スーパーコンピュータ富岳用格子 QCD シミュレーションプログラムの開発

ポスト京計算機の計画が2014年より始まっており、スーパーコンピュータ「富岳」として2021年度（令和3年度）から供用が始まっている。富岳開発にあたり、アプリケーションソフトウェアとハードウェアのコーデザイン開発が行われ、その中で、格子QCDシミュレーションプログラムも富岳開発とともに開発された。令和3年度は富岳開発で行われたコーデザインの成果や知見について研究会等で発表を行った（原著論文[2]，国際学会一般講演[3,4,5]）。

(IV) 素粒子の現象論（両角）

(i) 場の理論に基づくニュートリノ振動の研究（両角）

ニュートリノ振動を場の量子論を用いて研究した。前年までの研究でマヨラナニュートリノの場合にレプトン数の時間変化を対応するHeisenberg 演算子を構成することで調べた。

この研究をシュレディンガー描像で研究した。場の理論に基づいた研究では粒子数が決まったニュートリノを作る演算子と質量の決まったニュートリノを作る演算子は異なる。これらの2つのセットの演算子はボゴリューボフ変換で関係している。我々はレプトン数1を持つような一粒子状態を質量の決まったニュートリノに関する真空や演算子で表すことに成功した。この結果を一世代の場合のニュートリノに適用しシュレディンガー描像で一粒子状態の時間発展をもとめた。さらにレプトン数の期待値の時間発展を計算し、ハイゼンベルク描像を使った結果を再現した。

以上の研究結果を国際会議で報告した。（国際会議招待講演[3]，国内学会一般講演[25]）

(ii) Higgs 粒子に対応するスカラー粒子が2種類あるような模型の低エネルギー有効理論を研究した。2種類のうち重いスカラー粒子を積分し、軽いスカラー粒子の自由度のみを残した低エネルギー有効作用を経路積分法を使って導出した。（原著論文[4]）

(V) 素粒子の現象論（清水）

素粒子標準模型は電磁気力・弱い力・強い力の3つの力をゲージ対称性を用いて説明する模型である。ヒッグス粒子の発見により、標準模型は成功を収めた。標準模型の物質粒子に関して、ニュートリノ振動実験より、ニュートリノには小さいが質量があり、レプトンセクターには大きな世代混合があることが分かった。しかし、標準模型では物質粒子の世代ごとの質量の大きさの違いやクォークセクターとレプトンセクターの世代混合の大きさの違いを自然に説明することが出来ない。この問題を解決する手段の一つとして物質粒子の世代に対してフレーバー対称性を用いる方法がある。特に、フレーバー対称性として非可換離散対称

性を用いることにより、レプトンの大きな世代混合を自然に導くことができる。先行研究では、世代構造を説明するモデルとして非可換離散対称性を用いたものは数多くあり、モデルを構築する上で必要になってくるスカラー場（フラボン）の数も多くなり、フラボンの真空構造も含めモデルが複雑化しているという問題点がある。この問題を解決する方法として、超弦理論由来のモジュラー対称性を用いた研究が盛んに行われている。論文業績であげた論文[6]ではフラボンを用いず、モジュラー対称性の部分群である非可換離散群を自然に用いることができ、フラボンを用いたフレーバーモデルより少ないパラメータで物質粒子の質量や世代混合を説明・予言することができた。また、CP対称性の破れの大きさを予言し、レプトン数の非対称性に関連したレプトジェネシスと呼ばれる機構を用いて宇宙の粒子・反粒子非対称性の大きさを解析した。論文[7]ではフレーバー対称性として用いる非可換離散群を系統的にまとめたものを Springer のレクチャーノートとして第二版を出版した。国内学会一般公演[26]では日本物理学会総会の一般公演でフレーバーモデルのフラボンの真空構造を解析しレプトンのモデルを構築したものを報告した。（原著論文[6,7], 国内学会一般講演[26]）

(VI) 素粒子の現象論（山本）

LHCにおける新粒子の直接探査実験で未だ新粒子の兆候は見えておらず、有効理論を用いた研究が重要性を帯びてきている。有効理論は膨大なフリーパラメータを含み現象論解析が困難なため、解析の道筋を立てるのにパラメータを系統的にコントロールする指標が必要となる。本研究ではその指標として、湯川の構造の背後にある理論として成功をおさめ、新物理の抑制機構としても有力な候補であるフレーバー対称性に注目し、フレーバー対称性を課した有効理論を構築し現象論解析の道筋をたてることを目指した。

フレーバー対称性として、モジュラー対称性と離散対称性に注目し、これらを有する有効理論の構築と、その現象論解析に取り組んだ。まず、ニュートリノセクターで試されている離散対称性 A_4 に注目し、モジュラー対称性の元で SMEFT オペレーター同士でどのような関係がつかかを調べ、有効な素粒子標準模型有効場の理論（SMEFT）のオペレーターを明らかにした。そのもとで、現象論的にどのような特徴的な予言が与えられるかについて、特にレプトンセクターについて議論した。レプトンフレーバーを破る崩壊過程と、電気双極子モーメントに注目し、モデルによって予言の違いがどの程度現れるかを明らかにした。

（原著論文[8,9], 国際会議招待講演[4], 国内学会一般講演[27]）

原著論文

- [1] Ken-Ichi Ishikawa, Yoshinobu Kuramashi, Shoichi Sasaki, Eigo Shintani, and Takeshi Yamazaki (PACS Collaboration), “Calculation of the derivative of nucleon form factors in $N_f=2+1$ lattice QCD at $M\pi=138$ MeV on a $(5.5 \text{ fm})^3$ volume”, Phys. Rev. D 104, 074514, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.104.074514>
- [2] Issaku Kanamori, Ken-Ichi Ishikawa, Hideo Matsufuru, “Object-Oriented Implementation of Algebraic Multi-grid Solver for Lattice QCD on SIMD Architectures and GPU Clusters”, Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021: 21st International Conference, Cagliari, Italy, 2021.9.13-16, Proceedings, Part V, Sep 2021, Pages 218–233, https://doi.org/10.1007/978-3-030-86976-2_15

- [3] Tomohiro Inagaki, Yamato Matsuo, Hiromu Shimoji, “Precise phase structure in a four-fermion interaction model on a torus”, PTEP 2022 (2022) 1, 013B09, <https://doi.org/10.1093/ptep/ptab160>
- [4] Apriadi Salim Adam, Yuta Kawamura, Takuya Morozumi, “A model with light and heavy scala in view the effective field theory”, PTEP2022(2022)1, 013B01, <https://doi.org/10/1093/ptep/ptab129>
- [5] ©Takuya Morozumi, Apriadi Salim Adam, Nicholas J. Benoit, Yuta Kawamura, Yamato Matsuo, Yusuke Shimizu, Andromeda Proceedings, “Lepton Family Numbers and Non-Relativistic Majorana Neutrinos”, DOI:10.31526.ACP.BSM-2021.29
- [6] H. Okada, Y. Shimizu, M. Tanimoto and T. Yoshida, “Modulus τ linking leptonic CP violation to baryon asymmetry in A4 modular invariant flavor model”, JHEP 07 (2021), 184.
- [7] T. Kobayashi, H. Ohki, H. Okada, Y. Shimizu and M. Tanimoto, “An Introduction to Non-Abelian Discrete Symmetries for Particle Physicists”, 2022, Springer, ISBN 978-3-662-64678-6, 978-3-662-64679-3 (second edition).
- [8] Morimitsu Tanimoto, Kei Yamamoto, “Electron EDM arising from modulus τ in the supersymmetric modular invariant flavor models”, JHEP 10 (2021) 183.
- [9] Tatsuo Kobayashi, Hajime Otsuka, Morimitsu Tanimoto, Kei Yamamoto, “Modular symmetry in the SMEFT”, Phys. Rev. D105 (2022) no.5, 055022.

国際会議

(招待講演)

- [1] T. Inagaki, “Cartan Formalism for Modified Theories of Gravity”, Recent Advances in Theoretical Cosmology and Astrophysics, 2021.12.16-19, online, [2021年12月19日発表]
- [2] T. Inagaki, “Modified Theories of Gravity and their Phenomenological Consequences”, 2nd IIT Bombay-Hiroshima workshop for Frontiers of Astro-Particle Physics, 2021.10.25-27, online, [2021年10月25日発表]
- [3] Takuya Morozumi, Nicholas James Benoit, Yuta Kawamura “Time evolution of Majorana neutrinos in the Schrodinger picture versus Heisenberg picture”, 2021.8.30-9.8, online, CORFU SUMMER INSTITUTE, 21st Hellenic School of elementary particle physics, [2021年9月4日発表]
- [4] Kei Yamamoto, “Modular symmetry and the SMEFT”, Recent development of flavor symmetry, online, [2021年11月16日発表]

(一般講演)

- [1] Ryutaro Tsuji, Yasumichi Aoki, Ken-Ichi Ishikawa, Yoshinobu Kuramashi, Shoichi Sasaki, Eigo Shintani, Takeshi Yamazaki, “Nucleon isovector tensor charge from lattice QCD with physical light quarks”, the 24th International Spin Symposium, 2021.10.18-22, Matsue, Japan, [2021年10月19日発表]
- [2] Ryutaro Tsuji, Yasumichi Aoki, Ken-Ichi Ishikawa, Yoshinobu Kuramashi, Shoichi Sasaki, Eigo Shintani, Takeshi Yamazaki (for PACS Collaboration), “The lower moments of nucleon structure functions in lattice QCD with physical quark masses”, the 38th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2021), 2021.7.26-30, Zoom/Gather@Massachusetts Institute of Technology, [2021年7月26日発表]
- [3] Ken-Ichi Ishikawa, Issaku Kanamori, Hideo Matsufuru, “Multigrid Solver on Fugaku”, the 38th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2021), 2021.7.26-30,

- Zoom/Gather@Massachusetts Institute of Technology, [2021年7月28日発表]
- [4] Issaku Kanamori, Ken-Ichi Ishikawa, Hideo Matsufuru, “Object-oriented implementation of algebraic multi-grid solver for lattice QCD on SIMD architectures and GPU clusters”, The 21st International Conference on Computational Science and Its Applications, ICCSA 2021, 2021.9.13-16, [2021年9月15日発表]
- [5] Issaku Kanamori, Ken-Ichi Ishikawa and Hideo Matsufuru, “Multgrid solver for Lattice QCD on Fugaku”, The 4th R-CCS International symposium, 2022.2.7-8, [2022年2月8日ポスター発表]
- [6] Takeshi Yamazaki, Ken-ichi Ishikawa, Naruhito Ishizuka, Yoshinobu Kuramashi, Yoshifumi Nakamura, Yusuke Namekawa, Yusuke Taniguchi, Naoya Ukita, Tomoteru Yoshié for PACS Collaboration, “Calculation of kaon semileptonic form factor with the PACS10 configuration”, the 38th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2021), 2021.7.26-30, Zoom/Gather@Massachusetts Institute of Technology, [2021年7月26日発表]
- [7] Pietro Butti, Margarita García Pérez, Antonio González-Arroyo, Ken-Ichi Ishikawa, Masanori Okawa, “Large N simulation of the twisted reduced matrix model with an adjoint Majorana fermion”, the 38th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2021), 2021.7.26-30, Zoom/Gather@Massachusetts Institute of Technology, [2021年7月26日発表]
- [8] Pietro Butti, Margarita García Pérez, Antonio González-Arroyo, Ken-Ichi Ishikawa, Masanori Okawa, “Scale setting for $\mathcal{N} = 1$ SUSY Yang-Mills at large- N through volume-reduced twisted matrix model”, the 38th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2021), 2021.7.26-30, Zoom/Gather@Massachusetts Institute of Technology, [2021年7月27日発表]
- [9] Yingbo Ji, K.-I. Ishikawa, “Numerical stochastic perturbation theory for twisted reduced principal chiral model”, Frontiers in Astroparticle Physics Workshop, IIT Bombay + Hiroshima University, 2021.10.25-27, online, [2021年10月26日発表]
- [10] Hiromu Shimoji, “Finite Size effect on phase structures in massive Gross Neveu Model”, 2nd IIT Bombay-Hiroshima workshop for Frontiers of Astro-Particle Physics, 2021.10.25-27, online, [2021年10月25日発表]
- [11] ©Takuya Morozumi, Apriadi Salim Adam, Nicholas J. Benoit, Yuta Kawamura, Yamato Matsuo, Yusuke Shimizu, Yuya Tokunaga, N. Toyota, “Time evolution of lepton number from relativistic regime to non-relativistic regime”, EuCAPT Astroneutrino Theory Workshop Prague, Czech Republic, 2021.9.21-10.1, online [2021年9月23日発表]
- [12] ©Nicholas J. Benoit, T. Morozumi, Y. Shimizu, K. Takagi, A. Yuu “Renormalization Group Effects on a Textured Mass Matrix in a Type-I Seesaw Model”, Frontiers in Astroparticle Physics Workshop, IIT Bombay + Hiroshima University (online) 2021.10.25-27, (online) [2021年10月27日発表]
- [13] Albertus Hariwangsa Panuluh and Mirza Satriawan “Supersymmetric Modified Mirror Model” Frontiers in Astroparticle Physics Workshop, IIT Bombay + Hiroshima University (online) 2021.10.25-27, (on-line)[2021年10月25日発表]

国内学会

(招待講演)

該当無し

(一般講演)

- [1] 辻竜太郎, 青木保道, 石川健一, 藏増嘉伸, 佐々木勝一, 新谷栄吾, 山崎 剛, 「核子軸性電荷及びテンソル, スカラー荷の物理点格子 QCD 計算」, 日本物理学会第 2021 年秋季大会, 2021 年 9 月 14 日-17 日, オンライン[2021 年 9 月 14 日発表]
- [2] Antonio González-Arroyo, 石川健一, 大川正典, Margarita García Pérez, Pietro Butti, 「随伴表現マヨラナフェルミオンを含むツイスト境界条件時空縮約 SU(N)行列模型のシミュレーション」, 日本物理学会第 2021 年秋季大会, 2021 年 9 月 14 日-17 日, オンライン [2021 年 9 月 14 日発表]
- [3] 山崎 剛, 石川健一, 藏増嘉伸, 佐々木勝一, 新谷栄悟 for PACS Collaboration, 「物理点近傍での 2+1 フレーバーQCD による核子形状因子の直接微分計算」, 日本物理学会第 2021 年秋季大会, 2021 年 9 月 14 日-17 日, オンライン[2021 年 9 月 15 日発表]
- [4] 山崎 剛, 石川健一, 石塚成人, 藏増嘉伸, 中村宜文, 滑川裕介, 谷口裕介, 浮田尚哉, 吉江友照 for PACS Collaboration, 「PACS10 配位を用いた K 中間子セミレプトニック崩壊形状因子計算」, 日本物理学会第 77 回年次大会 (2022 年), 2022 年 3 月 15 日-19 日, オンライン[2022 年 3 月 16 日発表]
- [5] 辻竜太郎, 青木保道, 石川健一, 藏増嘉伸, 佐々木勝一, 新谷栄吾, 山崎 剛, 「物理点格子 QCD による核子構造の計算」, 日本物理学会第 77 回年次大会 (2022 年), 2022 年 3 月 15 日-19 日, オンライン[2022 年 3 月 16 日発表]
- [6] 石川健一, Antonio Gonzalez-Arroyo, 大川正典, 姫 英博, 「数値確率過程摂動理論のための行列指数関数の摂動展開の開発」, 日本物理学会第 77 回年次大会 (2022 年), 2022 年 3 月 15 日-19 日, オンライン[2022 年 3 月 16 日発表]
- [7] 姫 英博, 石川健一, 大川正典, Antonio Gonzalez-Arroyo, 「ツイストされた時空縮約カイラルモデルに対する数値確率過程摂動理論の応用」, 日本物理学会第 77 回年次大会 (2022 年), 2022 年 3 月 15 日-19 日, オンライン[2022 年 3 月 16 日発表]
- [8] 石川健一, 「数値確率過程摂動論のための行列指数関数の摂動展開の開発」, 瀬戸内サマーインスティテュート(SSI2021), 2021 年 9 月 27 日-28 日, オンライン [2021 年 9 月 28 日発表]
- [9] Ji Yingbo, “Numerical stochastic perturbation theory applied to twisted reduced principal chiral model”, 瀬戸内サマーインスティテュート(SSI2021), 2021 年 9 月 27 日-28 日, オンライン [2021 年 9 月 27 日発表]
- [10] 谷口真彦, 稲垣知宏, “Cartan 形式の F(R)修正重力理論での重力波”, 日本物理学会第 77 回年次大会 (2022 年), 2022 年 3 月 15 日-19 日, オンライン[2022 年 3 月 15 日発表]
- [11] 木村大自, 松尾大和, 下地寛武, 稲垣知宏, “高密度領域における NJL 模型の正則化依存性”, 日本物理学会第 77 回年次大会 (2022 年), 2022 年 3 月 15 日-19 日, オンライン [2022 年 3 月 17 日発表]
- [12] 下地寛武, 稲垣知宏, 松尾大和, “Massive Gross-Neveu 模型のくりこみと有限サイズの効果”, 日本物理学会第 2021 年秋季大会, 2021 年 9 月 14 日-17 日, オンライン[2021 年 9 月 15 日発表]
- [13] 木村大自, 松尾大和, 下地寛武, 稲垣知宏, “固有時間法を用いた NJL 模型の磁場中の低温・高密度相構造”, 日本物理学会第 2021 年秋季大会, 2021 年 9 月 14 日-17 日, オンライン[2021 年 9 月 14 日発表]
- [14] 下地寛武, “Massive Gross-Neveu 模型における有限サイズ効果”, KEK 理論センター研

究会「熱場の量子論とその応用」, 2021年8月30日-9月1日, オンライン[2021年8月31日発表]

- [15] ◎両角卓也, 河村優太, 清水勇介, 山本 恵, “有効理論を用いたベクターライククオークモデルのCPの破れ” 日本物理学会 第77回年次大会, 2022年3月15日-19日, オンライン[2022年3月16日発表]
- [16] ◎河野早紀, ニコラスベンワ, 河村優太, 両角卓也, 清水勇介, 山本 恵, “レプトン数の時間発展から探るマヨラナ位相” 日本物理学会 第77回年次大会, 2022年3月15日-19日, オンライン[2022年3月16日発表]
- [17] 河村優太, 両角卓也, アプリアディサリムアダム, “標準模型有効ポテンシャルへの重いスカラー粒子のループ効果”, 日本物理学会 第77回年次大会, 2022年3月15日-19日, オンライン[2022年3月17日発表]
- [18] 河村優太, 両角卓也, アプリアディサリムアダム, “Two Higgs 模型の低エネルギーにおける有効理論の研究” 日本物理学会秋季大会, 2021年9月14日-17日, オンライン[2021年9月14日発表]
- [19] Benoit Nicholas J., 河村優太, 両角卓也, “Time evolution of Lepton Number carried by Majorana neutrinos: The Schrödinger picture” 日本物理学会秋季大会, 2021年9月14日-17日, オンライン[2021年9月15日発表]
- [20] ◎河野早紀, ニコラスベンワ, 河村優太, 両角卓也, 清水勇介, 山本 恵, “レプトン数の時間発展とマヨラナ位相依存性, ユニタリー三角形” 素粒子現象論研究会 2021, 2021年11月6日-8日, オンライン[2021年11月7日発表]
- [21] ◎Nicholas J. Benoit, T. Morozumi, Y. Shimizu, K. Takagi, A. Yuu, “Renormalization Group Effects on a Textured Mass Matrix in a Type-I Seesaw Model” Setouchi Summer Institute 2021 (SSI2021) (online) 2021年9月27日-28日, [2021年9月28日発表]
- [22] ◎Nicholas J. Benoit, A. S. Adam, Y. Kawamura, Y. Matsuo, T. Morozumi, Y. Shimizu, N. Toyota, “Evolution of Lepton Number Neutrinos” KEK-PH+KEK-COSMO Joint mini-Workshop, KEK (online) 2022年3月9日-10日, (online)[2022年3月10日発表]
- [23] 河野早紀, “軽いステライルニュートリノを含む模型のマヨラナタイプ位相とCPの破れ” 瀬戸内サマーインスティテュート (SSI 2021) 2021年9月27日-28日, (on-line)[2021年9月28日発表]
- [24] 河村優太, “有効理論を用いた2つのスカラーを含む模型の研究” 瀬戸内サマーインスティテュート (SSI 2021) 2021年9月27日-28日, (on-line)[2021年9月28日発表]
- [25] 両角卓也, ニコラスベンワ, 河村優太, “Time evolution of lepton number for Majorana neutrino in the Schrödinger picture” 瀬戸内サマーインスティテュート (SSI 2021) 2021年9月27日-28日, (on-line)[2021年9月27日発表]
- [26] 河村優太, 松尾大和, 清水勇介, “真空構造から探るレプトンフレーバー模型” 日本物理学会総会 2022年3月15日-19日, (on-line) [2022年3月16日発表]
- [27] 山本 恵, 小林達夫, 大塚 啓, 谷本盛光, 「モジュラー対称性と素粒子標準模型有効場の理論」, 日本物理学会第77回年次大会 (2022年), 2022年3月15日-18日, オンライン[2022年3月17日発表]
- [28] ◎中村幸輝, 高橋博之, 三好隆博, 野中千穂, 「相対論的抵抗性電磁流体を用いた高エネルギー原子核衝突実験の解析」, 日本物理学会第77回年次大会 (2022年), 2022年3月15日-18日, オンライン[2022年3月15日発表]

学生の学会発表実績

(国際会議)

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 0 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 4 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 0 件

(国内会議)

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 5 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 17 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 2 件

各種研究員と外国人留学生の受入状況

外国人留学生 (博士後期課程 2020年10月入学)	1名	Ji Yingbo (姫 英博)
外国人留学生 (博士後期課程 2019年10月入学)	1名	Nicholas James Benoit
外国人留学生 (博士後期課程 2021年10月入学)	2名	Abdi Cendikia Albertus Hariwangsa Panuluh

- SSH セミナー 高等学校による大学訪問
該当無し

- セミナー・講演会開催実績

- [1] 野中千穂 : 第 34 回「Heavy Ion Pub」研究会, 2021 年 11 月 12 日 (木) 16:30-19:00, オンライン
- [2] 石川健一 : 「高性能計算物理勉強会 (HPC-Phys)」アドバイザー
第11回勉強会, 2021年6月10日(木) 10:00-18:00, 6月11日(金) 13:00-17:00, オンライン
第12回勉強会, 2021年8月26日(木) 15:00-17:30, オンライン
第13回勉強会, 2021年11月25日(木) 15:00-18:00, オンライン
第14回勉強会, 2022年2月4日(金) 15:00-18:00, オンライン
- [3] 両角卓也 : CORE-U セミナー世話人
 - ・ 第65回(2021年度第3回)広島大学極限宇宙研究拠点 (CORE-U) セミナー
日時 : 2021年7月30日 (金) 16:30-18:00
講師 : 野中 千穂 氏 (名古屋大学KMI)
題目 : 高エネルギー原子核衝突実験で探るクォーク物質2020年度第5回 極限宇宙研究拠点
 - ・ 第68回(2021年度第6回)広島大学極限宇宙研究拠点 (CORE-U) セミナー
日時 : 2021年11月26日 (金) 14:00-15:30
講師 : 村瀬 功一 氏 (京都大学基礎物理学研究所) (YITP, Kyoto University)
題目 : Relativistic hydrodynamics in dynamical modeling of high-energy nuclear collisions

○ 国際共同研究・国際会議開催実績

- [1] 国際共同研究 野中千穂
Phenomenological analysis on high-energy heavy-ion collisions: Duke University
共同研究者 Steffen A. Bass
- [2] 国際共同研究 野中千穂
Construction of parton cascade model Base on SMASH: Frankfurt Univeristy
共同研究者 Hannah Elfner
- [3] 国際共同研究 稲垣知宏
Theory of Modified Gravity: ICREA, Barcelona
共同研究者 Sergei D. Odintsov
- [4] 国際共同研究 石川健一
Twisted Reduced Marix model: Universidad Autónoma de Madrid
共同研究者 Antonio Gonzalez-Arroyo
- [5] 国際共同研究 両角卓也
(1)Time Variation of Particle Number: Tomsk State Pedagogical University (Russia)
共同研究者 Takata Hiroyuki
(2) Time Variation of Lepton Number: BRIN (国立研究革新庁, インドネシア)
共同研究者 Apriadi Salim Adam
- [6] 国際会議 両角卓也
The 2nd IIT Bombay-Hiroshima workshop for Frontiers of Neutrino Physics,
(JSTさくらサイエンスプログラム)
2nd IIT Bombay-Hiroshima workshop on Frontiers of astro-particle Physics
(ILDp) 2021年10月25日-27日 (オンライン)

社会活動・学外委員

○ 学協会委員

- [1] 野中千穂, 稲垣知宏, 石川健一, 両角拓也, 清水勇介, 山本 恵: 素粒子論グループ事務局担当
- [2] 野中千穂: 日本物理学会男女共同参画推進委員会委員
- [3] 野中千穂: 日本物理学会研究費配分に関する教育研究環境検討委員会オブザーバー
- [4] 野中千穂: 日物応物男女共同参画連絡会メンバー
- [5] 野中千穂: 名古屋大学非常勤講師
- [6] 野中千穂: 名古屋大学素粒子宇宙起源研究所客員研究員
- [7] 野中千穂: QCD Matter Open Forum (QCdMOF) 世話人, 代表幹事
- [8] 野中千穂: 令和4年度A期HPCIシステム利用研究課題選定におけるレビューアー
- [9] 野中千穂: 第18回日本物理学会 Jr.セッション (2022) 第1次審査委員
- [10] 野中千穂: 第18回日本物理学会 Jr.セッション (2022) 当日審査委員
- [11] 稲垣知宏: 情報処理学会情報処理教育委員会委員長
- [12] 稲垣知宏: 情報処理学会一般情報教育委員会委員
- [13] 稲垣知宏: 情報処理学会ア krediyteyeshon 委員会委員
- [14] 稲垣知宏: 日本パグウォッシュ会議運営委員会委員長
- [15] 石川健一: 筑波大学計算科学研究センター共同研究委員会委員

[16] 石川健一：今後の HPCI を使った計算科学発展のための検討会委員

○ 講習会・セミナー講師

[1] Takuya Morozumi, “Time variation of lepton number of neutrinos at low energies”

CFTP (Centro de Fisica Teoria de Particulas, IST Lisbon, Portugal) Seminar Series, 2021, June 17th, 6:30pm-7:30pm, on-line

[2] Takuya Morozumi, “Time evolution of lepton numbers carried by neutrinos”

KOLOKIUM FISIKA (LIPI, Indonesia), 2021, Sep.16th, on-line

研究助成金の受入状況

[1] 野中千穂：科学研究費補助金基盤研究（A），高エネルギー原子核衝突実験の理解に基づく超高温 QCD 物質・QCD 相転移現象の解明（2020 年度～2024 年度，研究代表者，2021 年度 4,000 千円）

[2] 野中千穂：科学研究費補助金基盤研究（A），物理学・情報科学に共通する大規模行列関数の総合的数値計算法の創成（2020 年度～2024 年度，研究分担者，2021 年度 400 千円）

[3] 野中千穂：科学研究費補助金基盤研究（C），基礎論・現象論・高エネルギー原子核衝突実験理解から探る超高温 QCD 物質の研究（2017 年度～2021 年度，研究代表者，2021 年度 700 千円）

[4] 野中千穂：科学研究費補助金基盤研究（C），学際領域を切り拓く相対論的磁気流体力学に対する高解像度数値解法の開発（2020 年度～2022 年度，研究分担者，2021 年度 100 千円）

[5] 稲垣知宏：科学研究費補助金基盤研究（C），一般情報教育知識空間の構築と探索（2019 年度～2021 年度，研究代表者，2021 年度 700 千円）

[6] 石川健一：高性能汎用計算機高度利用事業・「富岳」成果創出加速プログラム「シミュレーションで探る基礎科学：素粒子の基本法則から元素の生成まで」（2021 年度・受託機関：高エネルギー加速器研究機構，分担機関：広島大学，2021 年度分担：550 千円）

[7] 石川健一：科学研究費補助金基盤研究（C），行列模型を用いたラージ N 質量スペクトルの研究，（2021 年度～2024 年度，研究分担者，2021 年度 100 千円）

[8] 両角卓也：科学研究費補助金基盤研究（C），背景ニュートリノのレプトン数と宇宙の粒子数生成機構（2017 年度～2021 年度，研究代表者，2021 年度 650 千円）

○宇宙物理学グループ

研究活動の概要（小畷康史）

(I) 中性子星の磁場

マグネターを含む強磁場をもつ中性子星を，この数年間の研究対象としている。強い磁場を持つ星の力学平衡の構造は依然，謎の部分が多い。磁場は重力やそれを支える圧力より遙かに小さいものの，これまで理論的にモデル構築できた磁場の条件は大幅に制限されている。中性子星のクラスト（殻）部分の弾性力を考慮に入れ，磁気中性子星の構造を考察した。弾性力は弱いものの，静水圧平衡となる磁場の条件が大幅に緩和されていることを指摘した。

表面磁場が弱いCCOと呼ばれる中性子星の族があり、その内部には強磁場をもつ中性子星であるマグネター級の磁場があると示唆されている。そのモデルに適応可能な、強い内部磁場が弾性力を考慮することで保持できることが分かった。

(II) 重力波

日本の重力波望遠鏡（KAGRA）はLIGOやVIRGOと国際共同観測体制に入った。また、将来計画の観測衛星DECIGOなどの重力波関連の研究を検討している。

研究活動の概要（岡部信広）

銀河団の弱い重力レンズ解析を中心とする多波長観測の研究を行った。銀河団は宇宙で最大の天体であり、その質量の約85%が暗黒物質で占められ、目で見ることができる通常の物質（バリオン）のうち高温ガスが約10%、銀河が約5%占められる。高温ガスはX線衛星やスニヤエフ・ゼルドビッチ(SZ)効果を観測する電波望遠鏡で、銀河は光学望遠鏡を通して観測される。これらの観測から銀河団の質量分布を測定するためには様々な仮定が必要となる。一方、背景銀河に対する弱い重力レンズ効果は銀河団の力学状態によらず、銀河団の質量分布を測定する唯一の観測手法である。また、各構成要素を直接観測する複数の手法を組み合わせる研究を多波長研究と呼ぶ。

HSC-SSPとXXLコラボレーションを通して、銀河団のバリオンフラクションの研究を行い、本研究室学生秋野大知氏の筆頭論文として発表した。そのために銀河団ガス質量、銀河質量、弱い重力レンズ質量の相関関係を、セレクション効果、エラー相関などを踏まえた多変量解析コードを開発し、共同研究者へ共有した。136個もの銀河団のバリオンフラクションを調べたところ、ガス質量フラクションは銀河団質量が大きくなるほど多くなり、銀河質量フラクションは銀河団質量が大きくなるほど低くなった。ガス質量と銀河質量を合わせたバリオン質量フラクションは、 10^{15} 太陽質量の高い質量では宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の観測と一致するが、 10^{13-14} 太陽質量の低い銀河団ではCMBの観測を下回ることが分かった。これは銀河団という系がオープンボックスであることを示唆している。

銀河団の銀河や多波長研究や重力レンズに関する論文を7本共著で発表した。コラボレーションミーティングでの依頼講演を複数行った。

研究活動の概要（木坂将大）

ブラックホールから放出される相対論的ジェット生成機構の解明、特に相対論的ジェットの内部にどのように物質が供給されるかは宇宙物理学における重要な課題の一つである。有力な供給機構の一つは、ブラックホールが周囲に形成する電磁場の強い領域、磁気圏で加速されたプラズマから放射される高エネルギー光子を起点とした、電磁カスケードによる供給である。

これまで、プラズマ粒子シミュレーション研究を用いてブラックホール近傍の電磁カスケード現象の研究を行ってきた。電磁カスケードに伴うガンマ線の一部は、電波銀河のTeVフレアとして検出が期待でき、数値シミュレーションで得られた電磁カスケードの結果を観測的に検証できる。そこで、観測データから電磁カスケード現象の情報を引き出すことを目的として、粒子シミュレーションを用いて観測されるガンマ線の光度曲線の計算を行った。その結果、ガンマ線光度が明るいほどプラズマの加速領域が広がることを反映し、増光や減光のタイムスケールが長くなる関係を発見した。加速領域の大きさはブラックホール周囲の

降着円盤の明るさと関係していることから、ガンマ線と降着円盤からの放射の同時観測データがブラックホール磁気圏近傍で起こる電磁カスケード領域特定に直接つながることを示した。

この他、非常に強い磁場を持つ中性子星であるマグネターからの多周波電波観測データから得られたエネルギースペクトルに対する新たな知見の発見や、新しく見つかったマグネターに電波放射が検出できなかったことに対する理論的解釈を与えるなどの研究を行った。

原著論文

- [1] ©[Y. Kojima](#), [S. Kisaka](#) and K. Fujisawa, “Evolution of magnetic deformation in neutron star crust”, MNRAS (2021), 502, p.2097.
- [2] ©[Y. Kojima](#), [S. Kisaka](#) and K. Fujisawa, “Magneto-elastic equilibrium of a neutron star crust”, MNRAS (2021), 506, p.3936.
- [3] ©[Y. Kojima](#), [S. Kisaka](#) and K. Fujisawa, “Magnetic field sustained by the elastic force in neutron star crusts”, MNRAS (2022), 511, p.480.
- [4] T. Akutu et al. (Kagra Collaboration ([Y. Kojima](#))), “Radiative Cooling of the Thermally Isolated System in KAGRA Gravitational Wave Telescope”, Journal of Physics Conference Series (2021), 1857, id. 012002.
- [5] T. Akutu et al. (Kagra Collaboration ([Y. Kojima](#))), “Overview of KAGRA: Detector design and construction history”, Prog. of Theor. and Exp. Phys. (2021), 5, id. 05A101.
- [6] T. Akutu et al. (Kagra Collaboration ([Y. Kojima](#))), “Overview of KAGRA: Calibration, detector characterization, physical environmental monitors, and the geophysics interferometer”, Prog. of Theor. and Exp. Phys. (2021), 5, id. 05A102.
- [7] T. Akutu et al. (Kagra Collaboration ([Y. Kojima](#))), “Overview of KAGRA: KAGRA science”, Prog. of Theor. and Exp. Phys. (2021), 5, id. 05A103.
- [8] S. Kawamura et al. (DECIGO Collaboration ([Y. Kojima](#))), “Current status of space gravitational wave antenna DECIGO and B-DECIGO”, Prog. of Theor. and Exp. Phys. (2021), 5, id. 05A105.
- [9] B. P. Abbott et al. (The LIGO-Virgo-KAGRA Collaboration ([Y. Kojima](#))), “Diving below the Spin-down Limit: Constraints on Gravitational Waves from the Energetic Young Pulsar PSR J0537-6910”, Astrophys. J. Lett. (2021), Volume 913, 2, L27.
- [10] B. P. Abbott et al. (The LIGO-Virgo-KAGRA Collaboration ([Y. Kojima](#))), “Constraints on Cosmic Strings Using Data from the Third Advanced LIGO-Virgo Observing Run”, Phys. Rev. Lett., (2021), Volume 126, 24, article id.24110.
- [11] B. P. Abbott et al. (The LIGO-Virgo-KAGRA Collaboration ([Y. Kojima](#))), “Observation of Gravitational Waves from Two Neutron Star-Black Hole Coalescences”, Astrophys. J. Lett. (2021), Volume 915, 1, L5.
- [12] B. P. Abbott et al. (The LIGO-Virgo-KAGRA Collaboration ([Y. Kojima](#))), “Upper limits on the isotropic gravitational-wave background from Advanced LIGO and Advanced Virgo's third observing run”, Phys. Rev. D., (2021), Volume 104, 2, article id. 022004.
- [13] B. P. Abbott et al. (The LIGO-Virgo-KAGRA Collaboration ([Y. Kojima](#))), “Search for anisotropic gravitational-wave backgrounds using data from Advanced LIGO and Advanced Virgo's first three observing runs”, Phys. Rev. D., (2021), Volume 104, 2, article id. 022005.
- [14] B. P. Abbott et al. (The LIGO-Virgo-KAGRA Collaboration ([Y. Kojima](#))), “All-sky search for

continuous gravitational waves from isolated neutron stars in the early O3 LIGO data”, Phys. Rev. D., (2021), Volume 104, 8, article id. 082004.

- [15] B. P. Abbott et al. (The LIGO-Virgo-KAGRA Collaboration ([Y. Kojima](#))), “Searches for Continuous Gravitational Waves from Young Supernova Remnants in the Early Third Observing Run of Advanced LIGO and Virgo”, *Astrophys. J.* (2021), Volume 921, 1, 80.
- [16] B. P. Abbott et al. (The LIGO-Virgo-KAGRA Collaboration ([Y. Kojima](#))), “Constraints from LIGO O3 Data on Gravitational-wave Emission Due to R-modes in the Glitching Pulsar PSR J0537-6910”, *Astrophys. J.* (2021), Volume 922, 1, 71.
- [17] B. P. Abbott et al. (The LIGO-Virgo-KAGRA Collaboration ([Y. Kojima](#))), “All-sky search for long-duration gravitational-wave bursts in the third Advanced LIGO and Advanced Virgo run”, *Phys. Rev. D.*, (2021), Volume 104, 10, article id. 102001.
- [18] B. P. Abbott et al. (The LIGO-Virgo-KAGRA Collaboration ([Y. Kojima](#))), “All-sky search for short gravitational-wave bursts in the third Advanced LIGO and Advanced Virgo run”, *Phys. Rev. D.*, (2021), Volume 104, 12, article id. 122004.
- [19] B. P. Abbott et al. (The LIGO-Virgo-KAGRA Collaboration ([Y. Kojima](#))), “Search for intermediate-mass black hole binaries in the third observing run of Advanced LIGO and Advanced Virgo”, *Astronomy & Astrophysics* (2022), Volume 659, Issue 1, A84.
- [20] B. P. Abbott et al. (The LIGO-Virgo-KAGRA Collaboration ([Y. Kojima](#))), “Constraints on dark photon dark matter using data from LIGO's and Virgo's third observing run”, *Phys. Rev. D.*, (2022), Volume 105, 6, article id. 063030.
- [21] CHEX-MATE Collaboration, [N. Okabe](#) (51th of 69 others) et al. “The Cluster HERitage project with XMM-Newton: Mass Assembly and Thermodynamics at the Endpoint of structure formation. I. Programme overview”, *A&A*, 650, A104 (2021)
- [22] J. P. Willis, [N. Okabe](#) (25th of 34 others) et al. “Understanding X-ray and optical selection of galaxy clusters: a comparison of the XXL and CAMIRA cluster catalogues obtained in the common XXL-HSC SSP area”, *MNRAS*, 503, 5624 (2021)
- [23] K. Tanaka, R. Fujimoto, [N. Okabe](#) et al. “Signatures of large-scale cold fronts in the optically-selected merging cluster HSC J085024+001536”, *PASJ*, 73, 584 (2021)
- [24] M. Oguri, [N. Okabe](#) (9th of 12 others) et al. “Hundreds of weak lensing shear-selected clusters from the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program S19A data”, *PASJ*, 73, 817(2021)
- [25] M. Shirasaki, E. Egami, [N. Okabe](#), S. Miyazaki “Stacked phase-space density of galaxies around massive clusters: comparison of dynamical and lensing masses”, *MNRAS*, 506, 3385 (2021)
- [26] J. S. Gannon, [N. Okabe](#) (9th of 9 others) et al. “Ultra-diffuse galaxies in the perseus cluster: comparing galaxy properties with globular cluster system richness”, *MNRAS*, 510, 946 (2022)
- [27] D. Akino, D. Eckert, [N. Okabe](#) et al. “HSC-XXL: Baryon budget of the 136 XXL groups and clusters”, 2022, *PASJ*.74, 175 (2022)
- [28] S. Shibata, [S. Kisaka](#) “On the Angular Momentum Extraction from the Rotation Powered Pulsars”, *MNRAS* (2021), 507, 1055
- [29] S. Eie et al. ([S. Kisaka](#) 12番目/14人) “Multi-frequency radio observations of the radio-loud magnetar XTE J1810-197”, *PASJ* (2021), 73, 1563

- [30] T. Enoto et al. (S. Kisaka 9番目/26人) “A month of monitoring the new magnetar Swift J1555.2-5402 during an X-ray outburst”, *ApJL* (2021), 920, id L4
- [31] S. Kisaka, A. Levinson, K. Toma, I. Niv “The response of black hole spark gaps to external changes: A production mechanism of rapid TeV flares?”, *ApJ* (2022), 924, id 28
- [32] R. Yamazaki et al. (S. Kisaka 22番目/52人) “High-power laser experiment forming a supercritical collisionless shock in a magnetized uniform plasma at rest”, *Physical Review E*, 105, 025203, (2022)

著書, 総説

木坂将大, 榎戸輝揚, 「かにパルサーの秘密の煌めき」, 小さな天文学者の会会報, No. 89, p 8-14, 2021 年

著作

該当無し

国際会議

(招待講演)

- [1] S. Kisaka “The electromagnetic cascade in neutron star and black hole magnetospheres”, The International Conference on High Energy Density Science (HEDS2021), 2021年4月19日-21日, オンライン, 参加者約80名

(依頼講演)

- [1] N. Okabe “HSC overview” Joint XXL-HSC meeting, 2021 年 7 月 12 日-13 日, Online, (国際コラボレーションミーティング, 参加者約 30 名)
- [2] N. Okabe “HSC cluster overview” Joint XXL-HSC meeting, 2021 年 7 月 12 日-13 日, Online, (国際コラボレーションミーティング, 参加者約 30 名)
- [3] N. Okabe “Baryon Budgets in the XXL clusters” Joint XXL-HSC meeting, 2021 年 7 月 12 日-13 日, Online, (国際コラボレーションミーティング, 参加者約 30 名)
- [4] N. Okabe “Cluster Working Group”, HSC-SSP collaboration meeting, 2022 年 2 月 24 日-3 月 2 日, Online, (国際コラボレーションミーティング, 参加者約 100 名)

(一般講演)

- [1] S. Kisaka “The response of black hole spark gaps to external changes: A production mechanism of rapid TeV flares?”, Black Hole Astrophysics with VLBI 2022, 2022年2月7日-9日, オンライン, 参加者約90名

国内学会

(一般講演)

- [1] 小島康史: 「磁気中性子星におけるクラストの弾性力は有効か」 日本天文学会 2021 年秋季年会 (2021 年 9 月 13 日-15 日, オンライン)
- [2] 小島康史: 「中性子星の表層クラストの弾性力で支えられた磁場」 日本天文学会 2022 年春季年 (2022 年 3 月 3 日-5 日, オンライン)

- [3] 小島康史：「中性子星のクラストの弾性力で支えられた磁場構造と強度」日本物理学会 第 77 回年次大会（2022 年 3 月 15 日-19 日，オンライン）
- [4] 木坂将大：「電波銀河の TeV フレア機構」，第 34 回 理論懇シンポジウム（2021 年 12 月 22 日-24 日，オンライン）参加者約 250 名
- [5] 木坂将大：「低光度 AGN の TeV フレアの起源」，高エネルギー宇宙物理学研究会 2021（2021 年 11 月 24 日-26 日，オンライン）参加者約 90 名
- [6] 木坂将大，Amir Levinson，當真賢二：「低光度 AGN の TeV ガンマ線光度とその時間変動」，日本天文学会 2021 年秋季年会（2021 年 9 月 13 日-15 日，オンライン）参加者約 1350 名
- [7] 木坂将大：「電波-X 線モードチェンジングモデル」，研究会「中性子星・超新星残骸及び関連天体」（2021 年 8 月 20 日，オンライン）参加者約 15 名
- [8] 木坂将大：「Transition of polar cap activity」，～中性子星の観測と理論～ 研究活性化ワークショップ 2021（2021 年 8 月 10 日-12 日，オンライン）参加者約 210 名

学生の学会発表実績

（国際会議）

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 0 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 0 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 0 件

（国内学会）

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 1 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 0 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 0 件

社会活動・学外委員

○学協会委員

- [1] 小島康史：物理雑誌 Prog. Theo. Exp. Phys. 編集委員
- [2] N. Okabe：HSC collaboration, cluster working group chair
- [3] N. Okabe：HSC-XXL collaboration, negotiator
- [4] N. Okabe：HSC-eROSITA collaboration, cluster working group coordinator

○講習会・セミナー講師

- [1] 小島康史：グローバルサイエンスキャンパス広島 2021 年 10 月 17 日 広島大学東広島キャンパス 講演授業
- [2] 木坂将大：PSR Bi-Monthly Meeting, 「Magnetospheric gap in black hole magnetosphere」, 2021 年 12 月 11 日 オンライン

○SSHセミナー，講演会開催実績，講習会

- [1] 木坂将大：「謎の突発現象，高速電波バースト」，SSH 事業「総合科学」特別講義，広島大学附属中学校・高等学校，2021 年 11 月 1 日，参加者約 200 名

国際共同研究・国際会議開催実績

該当無し

国内研究会開催

- [1] 木坂将大, 他:「～中性子星の観測と理論～ 研究活性化ワークショップ 2021」, 2021年8月10日-12日, 参加者約210名, 主催(オンライン)
- [2] 木坂将大, 小嶋康史:「相対論的プラズマ物理学と高エネルギー天体現象 2022」, 2022年3月27日-28日, 参加者約10名, 主催(東広島キャンパス)

○各種研究員と外国人留学生の受入状況

- [1] 小嶋康史: 南岳(大学院D3) (山本一博転出による受け入れ変更)
- [2] 小嶋康史: Ar Rohim(大学院D3) (山本一博転出による受け入れ変更)

○研究助成金の受入状況

- [1] 小嶋康史: 科学研究費補助金, 基盤研究(C)「磁気圏変動現象を通じて探る中性子星やブラックホール物理」(2019年度～2022年度, 代表, 2021年度960千円)
- [2] 小嶋康史: 科学研究費補助金, 新学術領域研究 重力波物理学・天文学: 創世記(2017～2021年度, 分担, 2021年度1,300千円)
- [3] 岡部信広: 国際共同研究加速基金(国際共同研究強化(B))「HSC-SSP 光学サーベイとeROSTIA X線サーベイによる精密宇宙論」(2019年度～2024年度, 代表, 2021年度1,200千円)
- [4] 岡部信広: 基盤研究(C)「高角度分解能SZ効果とX線ジョイント解析による銀河団ガス物理の解明」(2020年度～2022年度, 代表, 2021年度800千円)
- [5] 木坂将大: 科学研究費補助金, 基盤研究(B)「中性子星種族の多様性とそれを作り出す中性子星磁気圏の多様性・変動性の起源の解明」(2018-2021年度, 分担, 2021年度450千円)
- [6] 木坂将大: 科学研究費補助金, 若手研究「ブラックホール磁気圏での電磁カスケード現象の解明」(2019-2021年度, 代表, 2021年度1,100千円)
- [7] 木坂将大: 科学研究費補助金, 基盤研究(B)「強磁場高密度天体で探るアクシオン暗黒物質」(2021-2024年度, 分担, 2021年度800千円)
- [8] 木坂将大: 大阪大学レーザー科学研究所共同利用研究「高速電波バースト解明のためのコヒーレント放射条件と誘導放射条件の実験的検証に向けた理論検討」(2021年度, 代表, 80千円)

○その他特記すべき事項

該当無し

○クォーク物理学グループ

研究活動の概要

宇宙創成のシナリオ完成を目指し、欧州CERN研究所LHC加速器における国際共同実験研究ALICEにおいて高エネルギー原子核衝突により生成する超高温クォーク物質の究明を進めている。2021年はLHC加速器の第2期長期停止期間最終年にあたり、2022年からの第3期運転に向けて検出器の大幅な高度化を遂に完了した。特にALICE実験の主要な検出器高度化計画である前方ミュオン粒子飛跡検出器MFTの開発建設導入を、フランスなどの研究機関およびCERN研究所と連携して進めた。前方領域におけるミュオン粒子を用いた新測定や高精度測定を実現する要となる検出器である。併せて2015年から2018年の第2期運転で収集済の衝突実験データの物理解析にも注力し、ALICE国際共同実験共著として査読学術論文36編を公表した。同実験における検出器制御系の設計開発と大規模加速器実験のデータ収集スキームの考察により、山川皓生が2022年3月に広島大学から博士（理学）の学位を取得した。ALICE実験以前から継続してきた米国BNL研究所RHIC加速器における国際共同実験研究PHENIXは2016年にデータ収集完了済であるが、継続的な物理解析に基づき国際共同実験共著として査読学術論文5編を公表した。また、ビッグバン直後の宇宙膨張と冷却に伴い強い相互作用が支配する物質相転移と並行して生成した可能性のある暗黒成分を含めた真空構造の理解にも、光子散乱を探针として挑んでいる。併せて、クォーク・グルーオン・プラズマと高強度磁場との相互作用による巨視的な運動の理論的解明に向け、先進的な高精度磁気流体数値解法の開発を進めると共に、電磁プラズマ物理との学際領域の創生を目指している。

2021年度の受賞などを纏める。志垣賢太教授が本学「特に優れた研究を行う教授職」に認定された。大学院博士課程後期学生2名（大矢元海、桐田勇利）が本学大学院リサーチフェローシップ（量子分野）に、同前期学生1名（徳本涼香）が本学女性科学技術フェローシップ制度「理工系女性M2奨学生」に、各々採用された。大学院博士課程後期学生2名（大矢元海、桐田勇利）と同前期学生1名（徳本涼香）が先進理工系科学研究科学術奨励賞を、学部卒業研究生2名（西田慧、羽佐田拓海）が理学部物理学科卒業論文発表優秀賞を、各々受賞した。大学院博士課程前期学生1名（徳本涼香）が本学マイクロン科学技術奨学金を、同1名（江島廉）が理学部博士課程後期進学奨励金を、各々授与された。

志垣賢太教授は、上述のMFT検出器の制御系統括責任を山口准教授に委譲し、2022年から開始するALICE実験第3期運転の物理データ解析準備に従来以上に重点を置いた。新検出器を用いた物理解析を可能とする飛跡再構成アルゴリズムの開発、新規解析フレームワークへの移行推進と併せ、同検出器を用いるカイラル対称性回復現象の探索や原子核偏心衝突で生成する宇宙最高強度磁場の直接検出に向けた定量的物理検討を進めた。科研費新学術領域研究計画研究および科研費基盤研究（A）の代表者、日仏素粒子物理学研究所実施事業の日本側代表者として、研究を展開している。日本国内では、J-PARC（茨城県）において、理化学研究所、高エネルギー加速器研究機構、京都大学などと、量子色力学相図の有限密度領域で物質質量起源に迫る点でALICEおよびPHENIX実験と相補的な共同実験研究を進めた。日本物理学会実験核物理領域副代表、同領域プログラム委員、核物理委員、高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所研究計画委員などを務めた。教育面では、大学院博士課程後期学生3名、同前期学生4名、学部卒業研究生1名を指導し、上述の博士（理学）1名、修士（理学）2名、学士（理学）1名を輩出した。2021年10月より大学院博士課程前期に外国人留学生1名を受入れ

た。

山口頼人准教授は、上述のMFT検出器の制御運用統括者として、2022年稼働に向けた制御系開発と試験運転を牽引している。制御系は同検出器の通常運転の円滑運用の要であり、検出器状態を常時監視することで異常検出による安全装置起動を行う。日々の運用試験を通して、より効率的かつ穴のないシステム構築を進めた。2020年度に引き続きCovid-19により現地訪問は困難であったが、現地研究者の協力を得て、遠隔操作による実機を用いた試験運転を実施した。また、ALICE実験第2期運転データを用いたsクォークを複数含む複ストレンジダイバリオン探索を推進した。2バリオン束縛系は重陽子以外に見つかっておらず、複ストレンジダイバリオンは2バリオン間結合エネルギーという他測定では得られない知見をもたらし、フレーバーSU(3)空間におけるバリオン間相互作用の理解を大きく促す。2021年度は陽子・陽子、陽子・鉛原子核衝突データでの2バリオン質量分布中における信号有意度を統計的仮説検定により初めて評価した。今回の探索は限られた信号幅領域での探索であり、系統誤差評価などより詳細な解析が必要である。最終的な信号有意度評価に向けて引き続き研究を進める。さらに、次世代実験における主要技術である大容量データ高速処理及びデータ伝送技術開発を睨み、汎用CPU内蔵型FPGAチップ搭載回路を用いて基礎開発を行っている。同技術は物理実験だけでなく産業・工業利用への応用が可能のため、同技術開発をサイエナジー社、長崎総合科学大学の浜垣特命教授、大山教授と産学連携共同研究により進めた。上記の研究は大学院博士課程後期学生1名、同前期学生1名、学部卒業研究生1名と共に行った。

本間謙輔准教授は、宇宙の暗黒成分の源となり得る光と弱く結合するsub-eV質量領域にある未知素粒子の、誘導共鳴光子散乱（真空内四光波混合）過程を介した探索を目指し、欧州連合の超高強度レーザーを用いるExtreme Light Infrastructureプロジェクト(ELI)の原子核部門(ELI-NP)および京都大学化学研究所において中規模のレーザーを用いた探索実験を推進した。これら一連の研究計画について、科研費基盤研究(A)に採択された。国際共同探索実験SAPPHIRESとしての初探索結果についてELIの研究者らと共に公表し、この論文について広島大学から報道発表した。その後、日本経済新聞やマイナビに記事が掲載され、国際共同研究を国内に周知するに至った。さらに、探索をeV質量領域の未知粒子へ拡張するための光学系の設計・試作の上で、予備的探索を実施した。加えて、質量がsub- μeV にあり得る暗黒エネルギー源の探索を目指し、GHz帯域のマイクロ波源として、クライストロンを用いた真空内四光波混合探索実験のための将来計画についてSpring8-SACLAの研究者らと議論を開始した。これらの関連し合う成果は複数の国際/国内会議にて報告した。以上の研究課題を通じ、大学院博士課程後期学生1名、同前期学生1名および学部卒業研究生1名の研究を指導した。

三好隆博助教は、宇宙プラズマ物理学に関する理論・シミュレーション研究及びプラズマ流体模型に対する先進的数値解法の研究開発を広く推進するとともに、プラズマ物理学と高エネルギー原子核物理学の新たな学際領域の開拓を目指す。太陽大気磁場構造の推定のため、米国ニュージャージー工科大井上助教、名大ISEE草野教授、JAXA/ISAS鳥海トップヤングフェローと共同で、太陽光球面ベクトル磁場から太陽大気中の磁気静水圧平衡磁場を外挿する磁気流体力学緩和法の開発を進めている。特に2021年度は、磁場に関するガウスの法則を厳密に満足する磁気流体力学緩和法の開発に着手した。併せて、磁気流体力学方程式に対する先進的数値解法の研究開発をJAMSTEC 震島研究員と進めている。2021年度は、全マッハ数領域において高精度かつ頑強な新たな近似リーマン解法を開発し、学術論文として公表した。

また、プラズマ物理学の基礎的研究として、プラズマ爆発現象の最重要物理過程である磁気リコネクションについても、神戸大銭谷特命准教授と共同研究を行っている。さらには、高エネルギー原子核物理学、宇宙・天体プラズマ物理学にまたがる学際領域の創生を目指し、本学の野中教授、駒澤大高橋講師、名大中村大学院生らと議論を深めている。2021年度は、非相対論的カイラル磁気流体力学の線形解析を進めるとともに、新たにMilne座標系における相対論的抵抗性磁気流体模型の構築を開始した。これら共同研究に関連し、大学院博士課程前期学生1名、学部卒業研究生1名を指導した。

八野哲助教は、上述のALICE実験において物質の質量獲得機構や物質の階層構造の解明に向けた研究を進めた。上述のMFT検出器の導入により、ミュー粒子対質量分解能が向上し、物質質量の起源の解明に繋がる「カイラル対称性の回復によるハドロン質量の変化」の測定が可能になる。特に同検出器のソフトウェア開発を牽引し、同検出器のデータベースソフトウェアの構築、データ再構成手法の開発、データ解析の準備を進めた。具体的には、データ取得時の検出器状態パラメータをリアルタイムで測定し、各パラメータをデータベースへ保存するソフトウェアの開発、機械学習を応用した新しい飛跡再構成アルゴリズムの開発を行った。2022年11月に計画している鉛+鉛衝突実験に向けた準備は万全である。

原著論文

- [1] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Prompt D^0, D^+ , and D^{*+} production in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, 10.1007/JHEP01(2022)174, JHEP 01, 174, 2022.
- [2] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Measurement of inclusive charged-particle b-jet production in pp and p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, 10.1007/JHEP01(2022)178, JHEP 01, 178, 2022.
- [3] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Production of light (anti)nuclei in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV”, 10.1007/JHEP01(2022)106, JHEP 01, 106, 2022.
- [4] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Inclusive J/ψ production at midrapidity in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV”, 10.1140/epjc/s10052-021-09873-4, Eur. Phys. J. C, 81, 12, 1121, 2021.
- [5] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Measurement of the groomed jet radius and momentum splitting fraction in pp and Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, 10.1103/PhysRevLett.128.102001, Phys. Rev. Lett., 128, 10, 102001, 2022.
- [6] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “ K_S^0 - and (anti-) Λ -hadron correlations in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV”, 10.1140/epjc/s10052-021-09678-5, Eur. Phys. J. C 81, 10, 945, 2021.
- [7] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Anisotropic flow of identified hadrons in Xe-Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.44$ TeV”, 10.1007/JHEP10(2021)152, JHEP 10, 152, 2021.
- [8] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Measurement of Prompt D^0, Λ_c^+ , and $\Sigma_c^{0,++}$ (2455) Production in Proton–Proton Collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV”, 10.1103/PhysRevLett.128.012001, Phys. Rev. Lett., 128, 1, 012001, 2022.
- [9] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Charm-quark fragmentation fractions and production cross section at midrapidity in pp collisions at the LHC”, 10.1103/PhysRevD.105.L011103, Phys. Rev. D 105, 1, L011103, 2022.
- [10] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Charged-particle multiplicity fluctuations

- in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, 10.1140/epjc/s10052-021-09784-4, Eur. Phys. J. C 81, 11, 1012, 2021.
- [11] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Experimental Evidence for an Attractive p - ϕ Interaction”, 10.1103/PhysRevLett.127.172301, Phys. Rev. Lett., 127, 17, 172301, 2021.
- [12] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Measurement of the production cross section of prompt Ξ_c^0 baryons at midrapidity in pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ TeV”, 10.1007/JHEP10(2021)159, JHEP 10, 159, 2021.
- [13] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Kaon–proton strong interaction at low relative momentum via femtoscopy in Pb–Pb collisions at the LHC”, 10.1016/j.physletb.2021.136708, Phys. Lett. B, 822, 136708, 2021.
- [14] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “First measurements of N-subjettiness in central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, 10.1007/JHEP10(2021)003, JHEP 10, 003, 2021.
- [15] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Production of Λ and K_S^0 in jets in p–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV and pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV”, 10.1016/j.physletb.2022.136984, Phys. Lett. B, 827, 136984, 2022.
- [16] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Energy dependence of ϕ meson production at forward rapidity in pp collisions at the LHC”, 10.1140/epjc/s10052-021-09545-3, Eur. Phys. J. C, 81, 8, 772, 2021.
- [17] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Nuclear modification factor of light neutral-meson spectra up to high transverse momentum in p–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=8.16$ TeV”, 10.1016/j.physletb.2022.136943, Phys. Lett. B, 827, 136943, 2022.
- [18] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Measurement of beauty and charm production in pp collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV via non-prompt and prompt D mesons”, 10.1007/JHEP05(2021)220, JHEP 05, 220, 2021.
- [19] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Measurements of mixed harmonic cumulants in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, 10.1016/j.physletb.2021.136354, Phys. Lett. B, 818, 136354, 2021.
- [20] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “First measurement of the $|t|$ -dependence of coherent J/ψ photonuclear production”, 10.1016/j.physletb.2021.136280, Phys. Lett. B, 817, 136280, 2021.
- [21] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Coherent J/ψ and ψ' photoproduction at midrapidity in ultra-peripheral Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, 10.1140/epjc/s10052-021-09437-6, Eur. Phys. J. C, 81, 8, 712, 2021.
- [22] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Long- and short-range correlations and their event-scale dependence in high-multiplicity pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV”, 10.1007/JHEP05(2021)290, JHEP 05, 290, 2021.
- [23] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Production of pions, kaons, (anti-)protons and ϕ mesons in Xe–Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.44$ TeV”, 10.1140/epjc/s10052-021-09304-4, Eur. Phys. J. C, 81, 7, 584, 2021.
- [24] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Multiharmonic Correlations of Different Flow Amplitudes in Pb-Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, 10.1103/PhysRevLett.127.092302, Phys. Rev. Lett., 127, 9, 092302, 2021.

- [25] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “First measurement of coherent ρ^0 photoproduction in ultra-peripheral Xe–Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.44$ TeV”, 10.1016/j.physletb.2021.136481, Phys. Lett. B, 820, 136481, 2021.
- [26] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Inclusive heavy-flavour production at central and forward rapidity in Xe-Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.44$ TeV”, 10.1016/j.physletb.2021.136437, Phys. Lett. B, 819, 136437, 2021.
- [27] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “ Υ production and nuclear modification at forward rapidity in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, 10.1016/j.physletb.2021.136579, Phys. Lett. B, 822, 136579, 2021.
- [28] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “ Λ_c^+ production in pp and in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, 10.1103/PhysRevC.104.054905, Phys. Rev. C, 104, 5, 054905, 2021.
- [29] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Jet-associated deuteron production in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV”, 10.1016/j.physletb.2021.136440, Phys. Lett. B, 819, 136440, 2021.
- [30] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Jet fragmentation transverse momentum distributions in pp and p-Pb collisions at \sqrt{s} , $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, 10.1007/JHEP09(2021)211, JHEP 09, 211, 2021.
- [31] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Production of muons from heavy-flavour hadron decays at high transverse momentum in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ and 2.76 TeV”, 10.1016/j.physletb.2021.136558, Phys. Lett. B, 820, 136558, 2021.
- [32] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “ Λ_c^+ Production and Baryon-to-Meson Ratios in pp and p-Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV at the LHC”, 10.1103/PhysRevLett.127.202301, Phys. Rev. Lett., 127, 20, 202301, 2021.
- [33] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Pseudorapidity distributions of charged particles as a function of mid- and forward rapidity multiplicities in pp collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02, 7$ and 13 TeV”, 10.1140/epjc/s10052-021-09349-5, Eur. Phys. J. C, 81, 7, 630, 2021.
- [34] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Soft-Dielectron Excess in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV”, 10.1103/PhysRevLett.127.042302, Phys. Rev. Lett., 127, 4, 042302, 2021.
- [35] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Elliptic Flow of Electrons from Beauty-Hadron Decays in Pb-Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, 10.1103/PhysRevLett.126.162001, Phys. Rev. Lett., 126, 16, 162001, 2021.
- [36] © S. Acharya, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “ ΛK femtoscopy in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV”, 10.1103/PhysRevC.103.055201, Phys. Rev. C, 103, 5, 055201, 2021.
- [37] © U. A. Acharya, K. Homma, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, *et al.*, “Transverse-single-spin asymmetries of charged pions at midrapidity in transversely polarized p+p collisions at $\sqrt{s}=200$ GeV”, 10.1103/PhysRevD.105.032003, Phys. Rev. D **105**, 032003, 2022.
- [38] © U. A. Acharya, K. Homma, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, *et al.*, “Systematic study of nuclear effects in p + Al, p + Au, d + Au, and $^3\text{He} + \text{Au}$ collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV using π^0 production”, 10.1103/PhysRevC.105.064902, Phys. Rev. C **105**, 064902, 2022.
- [39] © U. A. Acharya, K. Homma, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, *et al.*, “Transverse single spin asymmetries of forward neutrons in p + p, p + Al, and p + Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV as

a function of transverse and longitudinal momenta”, 10.1103/PhysRevD.105.032004, *Phys. Rev. D* **105**, 032004, 2022.

- [40] © U. A. Acharya, K. Homma, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, *et al.*, “Kinematic dependence of azimuthal anisotropies in p + Au, d + Au, and 3He + Au at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV”, 10.1103/PhysRevC.105.024901, *Phys. Rev. C* **105**, 024901, 2022.
- [41] © U. A. Acharya, K. Homma, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, *et al.*, “Probing Gluon Spin-Momentum Correlations in Transversely Polarized Protons through Midrapidity Isolated Direct Photons in $p^\uparrow + p$ Collisions at $\sqrt{s} = 200$ GeV”, 10.1103/PhysRevLett.127.162001, *Phys. Rev. Lett.* **127**, 162001, 2021.
- [42] K. Homma, Y. Kirita, F. Ishibashi, *et al.*, “Search for sub-eV axion-like resonance states via stimulated quasi-parallel laser collisions with the parameterization including fully asymmetric collisional geometry”, 10.1007/JHEP12(2021)108, *Journal of High Energy Physics* **12**, 108, 2021.
- [43] K. Homma, Y. Kirita, F. Ishibashi, “Perspective of Direct Search for Dark Components in the Universe with Multi-Wavelengths Stimulated Resonant Photon-Photon Colliders”, 10.3390/universe7120479, *Universe* **7** (2021) 12, 479.
- [44] T. Minoshima, T. Miyoshi, “A low-dissipation HLLD approximate Riemann solver for a very wide range of Mach numbers”, 10.1016/j.jcp.2021.110639, *J. Comput. Phys.* **446**, 110639, 2021.

国際会議

(招待講演)

- [1] K. Homma, “Perspective of direct search for dark components in the Universe with multi-wavelengths photons”, Nuclear Photonics 2020 (2021.6.9, online)
- [2] K. Homma, *et al.*, “Search for Sub-eV Axion-Like Resonance States via Stimulated Quasi-Parallel Laser Collisions with the Parameterization Including Fully Asymmetric Collisional Geometry”, 29th ANNUAL INTERNATIONAL LASER PHYSICS WORKSHOP (2021.7.22, online)
- [3] K. Homma, “Probing dark components in the Universe with high-intensity lasers”, ELI Summer School 2021 (2021.8.26, online)
- [4] K. Homma, “Probing weakly coupling pseudo Nambu-Goldstone bosons with stimulated resonant photon-photon colliders”, 2nd IIT Bombay-Hiroshima workshop for Frontiers of Astro-Particle Physics (2021.10.27, online)

(依頼講演)

該当無し

(一般講演)

- [1] K. Homma, “Stimulated radar collider for probing gravitationally weak coupling pseudo Nambu-Goldstone bosons”, 16th Patras Workshop on Axions, WIMPs and WISPs (2021.6.14, online)
- [2] S. Zenitani, T. Miyoshi, “Plasmoid-dominated turbulent reconnection in a low- β plasma”, AOGS2021 (2021.8.1-6, online)
- [3] K. Kimura, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Detection feasibility evaluation of ultra-intense magnetic field with dimuons at ALICE in Runs 2 and 3”, The 8th Asian Triangle Heavy-Ion Conference (2021.11.6, online)
- [4] R. Tokumoto, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, S. Yano, *et al.*, “Dibaryon searches and future prospects

in the ALICE experiment”, The 8th Asian Triangle Heavy-Ion Conference (2021.11.9, online)

国内学会

(招待講演)

- [1] 志垣賢太：『高エネルギー重イオン衝突』の物理と探針の潮流，第7回 J-PARC-HI の物理を語る夕べ (2021.10.22, オンライン)

(依頼講演)

- [1] 八野 哲：Heavy quark and quarkonia (重イオン衝突におけるダイナミクス・時空発展の統合的理解に向けた理論・実験共同研究会, 2021.9.24, オンライン)
- [2] 八野 哲：Low mass dimuon in heavy ion collisions (第7回「量子クラスターで読み解く物質の階層構造」ワークショップ, 2021.12.27-28, 東北大学)

(一般講演)

- [1] 本間謙輔, 石橋迪也, 桐田勇利: Liviu Neagu, Ovidiu Tesileanu, 他 SAPPHIRES collaboration, 対称入射衝突系 3 レーザービーム誘導共鳴散乱によるアクシオン探索の可能性, 日本物理学会 2021 年秋季大会 (2021.9.17, オンライン)
- [2] 本間謙輔, 石橋迪也, 桐田勇利: 3 つのパルスレーザービーム誘導共鳴散乱による軽い暗黒物質探索の可能性, レーザー学会 学術講演会 第 42 回年次大会 (2022.1.14, オンライン)
- [3] 三好隆博, 井上 諭, 鳥海 森, 草野完也: MHD 緩和法に対する無発散スキーム, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会 (2021.5.30-6.6, オンライン)
- [4] 三好隆博, 井上 諭, 鳥海 森, 草野完也: Constrained-Transport 法を用いた磁気流体力学緩和法の開発, 日本天文学会 2021 年秋季年会 (2021.9.13-15, オンライン)
- [5] 三好隆博, 井上 諭, 草野完也: 磁気流体力学緩和法による太陽大気磁場の再構成: 無発散スキームの開発, プラズマシミュレータシンポジウム 2021 (2021.9.16-17, オンライン)
- [6] 三好隆博: カイラルプラズマ不安定性に対する背景磁場効果, 日本物理学会 2021 年秋季大会 (2021.9.20-23, オンライン)
- [7] 徳本涼香: ALICE 実験におけるダイバリオン探索に向けた基礎解析, 第 32 回 Heavy Ion Pub 研究会 (2021.5.28, オンライン)
- [8] 木村健斗: ALICE 実験における高強度磁場探索に向けた直接仮想光子の統計量評価, 第 33 回 Heavy Ion Pub 研究会 (2021.6.4, オンライン)
- [9] ◎木村健斗, 志垣賢太, 八野 哲, 山口頼人, 他: ALICE 実験 μ 粒子対測定を用いた生成強磁場検出に向けた統計的有意性評価, 日本物理学会 2021 年秋季大会 (2021.9.16, オンライン)
- [10] ◎江島 廉, 志垣賢太, 八野 哲, 山口頼人, 他: ALICE 実験 Run 3 における前方 μ 粒子飛跡再構成の特徴量エンジニアリング, 日本物理学会 2021 年秋季大会 (2021.9.16, オンライン)
- [11] ◎大矢元海, 志垣賢太, 八野 哲, 山口頼人, 他: LHC パイロットビームにおける ALICE 実験前方ミュオン粒子飛跡検出器を用いた試験的測定, 日本物理学会第 77 回年次大会 (2022.3.15, オンライン)
- [12] ◎伊藤 友, 志垣賢太, 八野 哲, 山口頼人: ALICE 実験 Run 3 データ解析に向けた μ

- 粒子検出効率の評価手法, 日本物理学会 第 77 回年次大会 (2022.3.18, オンライン)
- [13] 桐田勇利, 本間謙輔, 石橋迪也, 井上峻介, 橋田昌樹, 阪部周二, Y. Nakamiya, L. Neagu, O. Tesileanu 他 SAPPHIRES collaboration: レーザーによる sub-eV 領域 ALP の超高感度探索に向けた高背景光量下での解析, 日本物理学会 2021 年秋季大会 (2021.9.17, オンライン)
- [14] 桐田勇利, 信廣晃秀, 平原祐輔, 本間謙輔, 尾崎堯弥, 石橋迪也, 井上峻介, 橋田昌樹, 阪部周二, Y. Nakamiya, L. Neagu, O. Tesileanu 他 SAPPHIRES collaboration: 真非対称衝突を含めた準平行系光子光子散乱の定式化に基づいた sub-eV 質量領域アクシオンの粒子の探索, レーザー学会 学術講演会 第 42 回年次大会 (2022.1.14, オンライン)
- [15] 桐田勇利, 羽佐田拓海, 橋田昌樹, 本間謙輔, 井上峻介, 石橋迪也, Y. Nakamiya, L. Neagu, M. Rosu, 阪部周二, O. Tesileanu 他 SAPPHIRES collaboration: 高強度誘導光子散乱による ALP 探索に向けた真空下レーザー集光転送系の設計と試作, 日本物理学会 第 77 回年次大会 (2022.3.17, オンライン)
- [16] 石橋迪也, 本間謙輔, 桐田勇利: 真空内四光波混合実験における高背景光量決定のための PMT 較正法, 日本物理学会 2021 年秋季大会 (2021.9.17, オンライン)
- [17] 石橋迪也, 本間謙輔, 桐田勇利: 3 つのパルスレーザービーム誘導共鳴散乱による eV 質量域アクシオン探索に向けた衝突系の構築, レーザー学会 学術講演会 第 42 回年次大会 (2022.1.14, オンライン)
- [18] 石橋迪也, 羽佐田拓海, 本間謙輔, 桐田勇利, 橋田昌樹, 升野振一郎: 3 つのパルスレーザー誘導共鳴散乱による ALP 探索に向けた超短パルスの時空間同期手法の検証, 日本物理学会 第 77 回年次大会 (2022.3.15, オンライン)
- [19] 羽佐田拓海, 石橋迪也, 桐田勇利, 本間謙輔: 3 つのパルスレーザー誘導共鳴散乱による ALP 探索へむけた衝突エネルギー連続的走査可能な衝突系の設計と試作, 日本物理学会 第 77 回年次大会 (2022.3.15, オンライン)
- [20] 銭谷誠司, 三好隆博: プラズモイド型乱流リコネクションの磁気流体シミュレーション, STE シミュレーション研究会 (2021.9.6-8, オンライン)
- [21] ◎中村 幸, 高橋博之, 三好隆博, 野中千穂: 相対論的抵抗性電磁流体を用いた高エネルギー原子核衝突実験の解析, 日本物理学会第 77 回年次大会 (2022.3.15-19, オンライン)

学生の学会発表実績

(国際会議)

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 2 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 0 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 0 件

(国内学会)

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 4 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 1 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 6 件

セミナー・講演会開催実績

- [1] 志垣賢太：第32回 Heavy Ion Pub 研究会（オンライン，2021年5月12日）世話人
- [2] 志垣賢太：第33回 Heavy Ion Pub 研究会（オンライン，2021年6月4日）世話人
- [3] 志垣賢太：第34回 Heavy Ion Pub 研究会（オンライン，2021年11月12日）世話人

社会活動・学外委員

（学協会委員）

- [1] 志垣賢太：日本物理学会実験核物理領域副代表
- [2] 志垣賢太：日本物理学会実験核物理領域プログラム委員
- [3] 志垣賢太：核物理委員会委員
- [4] 志垣賢太：高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所研究計画委員
- [5] 志垣賢太：高温高密度QCD物質オープンフォーラム 世話人
- [6] 志垣賢太：日本の核物理の将来ワーキンググループ 第4分野委員
- [7] 志垣賢太：日本学術振興会 特別研究員等審査会専門委員
- [8] 志垣賢太：日本学術振興会 国際事業委員会書面審査員・書面評価員
- [9] 本間謙輔：レーザー学会超高強度レーザーの学術応用調査専門委員会委員
- [10] 三好隆博：地球電磁気・地球惑星圏学会（SGEPSS）太陽地球惑星系科学シミュレーション分科会 代表幹事

（講習会・セミナー講師）

- [1] 志垣賢太：宇宙の始まり 物質の謎 重さの起源 ～ クォーク・グルーオン・プラズマの物理 ～（新学術領域研究科学講演会，2022.1.8，オンライン）
- [2] 本間謙輔：暗黒エネルギー源探索へ向けた GHz 帯誘導共鳴光子衝突実験の構想 -未知素粒子群発見の突破口を開けるか？-(SACLA セミナー，2021.9.27, 兵庫県佐用郡 SACLA)

国際共同研究・国際会議開催実績

（国際共同研究）

- [1] 志垣賢太，山口頼人，本間謙輔：国際共同研究PHENIX実験実施（米国BNL研究所）
- [2] 志垣賢太，山口頼人，八野 哲：国際共同研究ALICE実験実施（欧州CERN研究所）
- [3] 本間謙輔：国際共同研究Extreme Light Infrastructure Nuclear Physics（ELI-NP）プロジェクト実施（ルーマニアIFIN-HH研究所）
- [4] 三好隆博：観測データ駆動シミュレーションによる太陽フレア発現機構の調査（米国ニュージャージー工科大学）

（国際会議開催）

- [1] 志垣賢太：Asian Triangle Heavy Ion Conference 2021国際諮問委員（2021.11.5-9，韓国・仁荷大学 + オンライン）

高大連携事業への参加状況

- [1] 本間謙輔：暗黒成分の正体は？（広島県立広高等学校出前授業，2021.10.20，オンライン）

研究助成金の受入状況（科学研究費補助金は直接経費金額）

- [1] 志垣賢太：科学研究費補助金，新学術領域研究（研究領域提案型）計画研究（2021年度，17,600千円）「クォーク階層とハドロン階層を繋ぐ動的機構」代表
- [2] 志垣賢太：科学研究費補助金，基盤研究（A）（2021年度，7,300千円）「至高エネルギー原子核衝突におけるミュー粒子測定：運動学領域と測定技術の新たな邂逅」代表
- [3] 志垣賢太：日仏素粒子物理学研究所，2018年度実施課題（2021年度，250千円）「ALICE Forward Upgrade for High Precision High Statistics Single- and Di-Muon Measurements at the LHC」日本側代表
- [4] 山口頼人：国際共同研究加速基金，国際共同研究強化（B）（2021年度，700千円）「次世代高輝度重イオン衝突実験がもたらすストレンジネス核物理の新展開」分担
- [5] 本間謙輔：科学研究費補助金，基盤研究（A）（2021年度，8,400千円）「レーザー誘導共鳴散乱によるXENON1T超過事象のアクシオンの解釈の検証」代表
- [6] 本間謙輔：京都大学化学研究所課題提案型共同研究（2021年度，1,400千円）「真空内四光波混合の探索」代表
- [7] 三好隆博：科学研究費補助金，基盤研究（C）（2021年度，700千円）「学際領域を切り拓く相対論的磁気流体力学に対する高解像度数値解法の開発」代表
- [8] 三好隆博：科学研究費補助金，基盤研究（S）（2021年度，150千円）「高エネルギー原子核衝突実験の理解に基づく超高温QCD物質・QCD相転移現象の解明」分担
- [9] 三好隆博：科学研究費補助金，基盤研究（B）（2021年度，150千円）「LHC鉛原子核衝突：フォトンで探る極初期状態（initial stage）」分担
- [10] 八野 哲：科学研究費補助金，若手研究（2021年度，1,600千円）「LHC加速器の陽子＋陽子衝突におけるカイラル対称性の回復現象の探索」代表
- [11] 八野 哲：科学研究費補助金，基盤研究（A）（2021年度，500千円）「至高エネルギー原子核衝突におけるミュー粒子測定：運動学領域と測定技術の新たな邂逅」分担

○高エネルギー宇宙・可視赤外線天文学グループ

研究活動の概要

令和3年度は，フェルミガンマ線衛星とかなた望遠鏡他を用いた観測を軸に，次期X線ガンマ線観測衛星計画，かなた望遠鏡次期検出器の開発，重力波対応天体探査用チベット望遠鏡HinOTORIの開発，赤外線衛星による観測などを柱として活動を行った。加えて，新しく助教として迎えた須田氏を中心にTeVガンマ線望遠鏡に関する活動を本格化させた。かなた望遠鏡関係の研究は，宇宙科学センターと強い協力関係の下で進めている。学位論文としては，博士論文2編（内田，今里），修士論文4編（今澤，濱田，間，森），卒業論文7編（阪本，佐崎，中西，丹羽，橋爪，堀，森下）を発表した。また，広島大学自立型研究拠点として極限宇宙研究拠点（Core-U）に関する活動も進めた。

[フェルミ衛星，CTA/MAGIC望遠鏡によるガンマ線観測を基軸とした研究]

フェルミ衛星は，打ち上げから14年目を迎えたが，特に故障もなく全天ガンマ線サーベイを続けている。本グループも，かなた望遠鏡との多波長観測を進めた。また，重力波・ニュートリノ・潮汐力突発現象対応ガンマ線天体の探査にさらに関わった。重力波対応天体の探

査においては、対応するガンマ線バーストに関するフェルミチームのモニター体制に参加している。その他、データプロセス管理とデータプロセスのモニタ当番に、ポスドクと学生が参加するとともに、2度のフェルミ衛星全体会議に参加して、研究の情報交換を行った。

ジェット天体である電波銀河について、61個の電波銀河についてガンマ線光度関数、背景ガンマ線放射への寄与、多波長の特徴を系統的に調べ、なぜガンマ線で明るいのか、ジェットを正面から見ているブレイザー天体との関係はどうかなどをまとめ、論文発表した(深沢)。また、これらの電波銀河について、X線の観測データを集めて系統的な解析を行い、X線とガンマ線のスペクトルの比較、時間変動について調査を進めた(眞武)。さらに、ガンマ線で明るい電波銀河と暗い電波銀河について、X線のスペクトルに違いが無いのか調べ、ガンマ線で暗いものは吸収が多くみられるのに対し、ガンマ線で明るいものは、ほとんど吸収を示さないことがわかり、論文投稿した(榎木)。また、電波銀河の中でガンマ線で明るいM87のX線短時間変動を見つけ、HST-1という中心核から離れた場所でもTeV電子が加速されている示唆を得て、論文発表した(今澤)。ブレイザー天体BL Lacがガンマ線で歴史的に明るくなったため、かなた望遠鏡で詳細観測を継続し、長期間、短時間の変動で興味深い結果を得た。同時に、MAGIC望遠鏡とフェルミのTeV/GeVのガンマ線との相関を調べている(今澤, 間)。

昨今重要性が増しつつある宇宙高エネルギーニュートリノ天体の解明に向けて、フェルミ衛星データによるフォローアップ解析システムの整備を進めるとともに、かなた望遠鏡によるフォローアップ観測の即時データ解析システムの整備を進め、間修論としてまとめられた。また、ニュートリノ天体候補のブレイザーについて、フェルミで検出されていないX線ブレイザー天体に関するスタック解析を行い、GeVガンマ線での平均的な明るさを制限し、森下卒論としてまとめた。

フェルミ衛星はその広い視野を生かし、銀河系内の宇宙線と星間物質をプローブすることができる。令和3年度はHI 21cm線のラインプロファイルを用いて宇宙線・星間ガス分布を精度よく測定する研究に取り組んだ。MBM53-55分子雲・Pegasus loop領域に適用し、直接観測と組み合わせた宇宙線スペクトルの制限やdark gasの形態(原子ガス・分子ガス)毎の分布の導出を行い、TeVPA国際会議で報告すると共に、原著論文にまとめ投稿した(2022年7月受理)。関連して、Tibet AS-gamma実験の超高エネルギーイベントと高銀緯雲との相関を用い、宇宙線ハローの探査を行う研究に取り掛かった(水野)。

ガンマ線バーストについて、近年発見されたTeVガンマ線放射の研究を進めるため、MAGIC望遠鏡で検出に成功したGRB 201216C (TeVガンマ線望遠鏡で検出した最遠方の天体。z=1.1)と放射の強い兆候を得たGRB 201015Aの解析を行い、論文執筆を進めた(須田)。

北半球で最も感度の高いTeVガンマ線観測の実現を目指し、CTAの大口径望遠鏡の初号基LST1とMAGIC望遠鏡の同時観測データの解析パイプラインの国際開発チームに参加しており、TeVガンマ線の標準光源であるかに星雲のデータを用いて開発を進めた(須田, 今澤修論)。

[Swift衛星, XMM-Newton衛星などのX線データ解析]

すばる超広視野カメラHSCサーベイで検出された銀河団について、重力レンズとともにX線による質量測定を行い、銀河団の進化や宇宙論パラメータに制限を与えるプロジェクトを宇宙物理学研究室の岡部氏の協力のもと進めている。本年度引き続きXMM-Newton衛星の銀河団系統的データ解析の手法を改良して約20個の銀河団に系統的な解析を行い、各種物理量をまとめ論文文化を進めた。また、その中であつた衝突銀河団についての詳細X線データ解析

を進め、温度・密度・圧力・エントロピーマップを2種類の方法で作成し、衝突の様子を考察し、論文執筆を進めた（Poon, 楊）。

恒星質量ブラックホールや中性子星に降着する物質の状態、またこれらコンパクト天体の物理量を明らかにするため、すざく、XMM-Newton、Swift衛星などで観測されたIGR J00362+6122のデータ解析を進めた。詳細解析の結果、過去に報告されていたパルス周期を更新して、より有意なパルス検出結果を得て、軌道周期と光度の相関を出した結果、中性子星の自転周期や光度から、磁場がマグネター並みに強い可能性があることが示唆され、論文発表するとともに、内田D論としてまとめた（内田）。

ブラックホール連星として有名なGRS1915+105は、2018年から歴史的にX線で暗い状態に突入したままとなっている。そのため、その状態変化の理由やジェット放射の有無を調べるため、かなた望遠鏡により近赤外線モニター観測したデータと同時観測した電波データを用いて、短時間変動に着目して過去のフレアとの比較も行った。赤外線がジェット由来か降着物質由来かは区別できなかったが、今までにない新しい状態であることがわかった。これは今里D論の一部としてまとめられた（今里）。

XMM-Newtonによる活動銀河核の解析を進め、ブラックホール周辺から駆動されるアウトフローの詳細解析を進め、論文発表した。また、特異な合体銀河Arp229について、合体で誘発された星生成活動に伴う高温ガスの重元素組成で、初めて炭素について制限を与えた。これまでの可視光観測では重い星の超新星が見つかっていなかったが、今回の結果は重い星の超新星から寄与があることを示し、論文発表するとともに、プレスリリースを行った（Mao）。

[将来X線ガンマ線観測に向けた活動]

2022年度に打ち上げを目指している次期X線天文衛星XRISMにプロジェクトメンバーとして参加している。広島大学からは深沢がサイエンス検討、水野と高橋が準備チームのサブグループリーダーを務めており、科学運用計画の策定やソフトウェアの検証を取りまとめた。内田はX線精密分光器のチームメンバーとして、各種機器試験にリモート監視当番として参加し、機器性能評価に貢献した。初年度の観測天体リストも策定され、深沢・水野・高橋がいくつかのターゲットのリーダー・サブリーダーとして観測計画の検討を始めた。

初のX線偏光観測衛星IXPEが2021年12月に無事打ち上げられ、1ヶ月のコミッショニング（性能検証）を経て22年1月から観測を開始した。広島大学からは水野がScience Collaboratorとして参加し、代表的なエネルギー天体である「かに星雲・カニパルサー」および超新星残骸 CasAの解析を進めた。また、ブラックホールX線連星の解析に向けた準備も進めた（Zhang）。

日米瑞の国際協力で行っている硬X線集光偏光計X(L)-Calibur気球実験では、高橋が日本側代表として参画している。2018年の南極フライトに続く今回の2022年の北極圏でのフライトでは、より大型な日本製のFFAST望遠鏡を搭載する。FFAST望遠鏡の支持構造の位置調整および較正実験を、SPring-8の硬X線ビームを利用して7月と12月に実施し、高橋、内田、学生が参加した。2022年フライトの予想感度は投稿論文にまとめた。また、CZT検出器の性能評価に関して阪本卒論としてまとめられた。また、数 μm 角のシンチレータのアレイを用いた硬X線偏光検出のため、CMOSセンサーを用いた実験を開始した（榎木）。

重力波源の探査を目的として、ガンマ線バーストの到来方向を超小型衛星群を用い（到来時間差を測定する）、精度よく決めるプロジェクトCAMELOTをチェコ・ハンガリーとの国

際協力で推進している（深沢，高橋，水野）。2021年度末に打ち上げた初号機の運用を，アマチュア無線家にも協力してもらっている。2021年8月にはガンマ線バーストの信号初検出にも成功した（Hiroshima University Update掲載）。2021年10月の太陽フレアが原因でアンテナの1系統が動作不良となり，ガンマ線バーストのデータを正しく地上に転送できない状態にあるが，衛星・装置の動作は確認できており，モニタと復旧作業を続けている。また2022年1月には2号機VZLUSAT-2を打ち上げ，3号機（GRB beta）の製作も進めた。将来のより高感度な観測に向け，MPPC光検出器のタイプの違いによる放射線耐性の違いを，若狭湾エネルギー研究センターの陽子線を用いて比較した。また，関連して，搭載したSiPMの放射線劣化について調べた結果を2つの論文として発表するとともに，今後搭載する可能性のあるGAGGシンチレータについての結果も論文として発表した。さらに，シンチレータの光反射材として金属蒸着を試み性能評価して，丹羽卒論にまとめられた。

ひとみ衛星で我々が開発した軟ガンマ線観測装置の復活を目指した磁気再結合観測衛星計画PhoENiXでは，太陽フレアに伴う軟ガンマ線偏光観測の検討を進めるとともに，搭載検出器の重量削減のためにBGOの代わりにプラスチックシンチレータの検討をシミュレーションにより進めた（深沢，内田）。フェルミ衛星に続いて全天ガンマ線モニターを行うものとし，アメリカを中心に構想されているMeVガンマ線観測衛星計画AMEGO-Xを中型ミッションカテゴリ（MIDEX）にも提案した。我々も検出器シミュレーションやサイエンス検討に加わり議論に関わった（深沢，須田）。また，1MeV以下のデータ解析（コンプトン再構成）について，我々がひとみ衛星SGDで蓄積したノウハウを用いて再構成アルゴリズムの開発を去年に引き続き進めた。AMEGO-Xでも使用が検討されている新しいタイプのHV-CMOSセンサであるAstroPixの国際開発チームに参加を開始した（深沢，須田）。本年度は，週1回のonline 打ち合わせを続け，新たに試作するセンサについての設計を進めた。同様に，SOI技術を用いたイベント駆動型ピクセル検出器 XRPIXを利用できるか検討するため，京都大学や宮崎大学を中心とする開発チームに参加した（須田，深沢）。宮崎大学において測定技術を学び，広島大学でも設備を整え試験を開始した。センサとしての特性，X線線源に対する応答などを調べ，橋爪卒論としてまとめられた。

[かなた望遠鏡等を用いた可視赤外線観測]

年間200晩程度にわたり，東広島天文台の口径1.5mかなた望遠鏡を用いた活動銀河核や超新星，ガンマ線バースト，X線連星，前主系列星，重力波対応天体等の観測を実施し，そのデータに基づいた研究を行っている。常設されている観測装置は当グループが主導して開発したものであり，その運用も担当している。観測を実施するのは，主に大学院生とポスドクである。2017年8月以降，ほぼすべての観測を主として東広島キャンパス内からリモートで実施しており，東広島天文台に車で通っていた頃と比べると格段に安全性・利便性が高まっている。これは，2018年7月の豪雨災害による東広島天文台へのアクセス道の被害や，2020年春からの新型コロナウイルス禍に対しても有効に働き，ほぼ途切れない観測が実施できている。観測データの使用率や論文生産率は，この10年にわたり，国内の他の同クラス望遠鏡と比較して同等以上を維持できている。これには，可視光と近赤外線の同時観測が可能な汎用型の可視赤外線同時カメラHONIRと，一回の露出で直線偏光パラメータの取得が可能な一露出型可視広視野偏光撮像器HOWPolといった，同規模の望遠鏡では世界的にもユニークな機能を持つ観測装置が常時装着され，機動性の高い望遠鏡と共に日常的にメンテナンスがなされる体制を維持できていることも貢献している。2021年度は望遠鏡や観測装置には年間を通じて大き

なトラブルはなかったが、2021年9月に1か月ほど観測を休みとして望遠鏡の駆動系と望遠鏡・ドームの制御系を一新させ、今後10-15年間にわたる安定運用の礎を整備した。11月には、望遠鏡の主鏡面のアルミ膜再蒸着作業を、国立天文台ハワイ観測所岡山分室にて、国立天文台や188cm鏡ユーザーグループの協力の下、広島大学の学生と教員との共同作業で遂行した。

かなた望遠鏡で行われた観測のうち1割程は、国内外の共同研究により、他機関の研究者がPIとなって実施した観測である。これは、天文学コミュニティの中でかなた望遠鏡が一つの観測研究拠点となっている表れでもある。2021年度にかなた望遠鏡で実施された主な研究テーマとして、活動銀河核やX線連星、超新星、高エネルギーニュートリノ源天体、太陽系始原天体が挙げられる。

活動銀河核やX線連星に関しては、BL Lacをはじめとする複数のブレーザー天体の可視近赤外偏光モニターを実施し、ガンマ線やX線のフレアに同期した可視近赤外線光の特徴からブラックホールから噴き出るジェットとその磁場の幾何構造やその活動機構を見出す研究を引き続き行った（笹田，今澤，森修論，間）。

超新星に関しては、近年観測を本格化させた京都大学3.8mせいめい望遠鏡などとの共同観測により、近傍の銀河に現れた明るい超新星を、なるべくその初期段階から後期まで多バンドで密に観測することで、その爆発機構を探ることを目的とした観測が多数実施されている（川端，中岡）。2021年度は、星周物質との衝突起源と考えられる明るい放射を示すII型超新星 SN 2017hccの後期に見いだされた赤外超過成分を、放出物質中で新たに生成されたダスト（固体微粒子）の熱放射で説明する研究が進展したほか（濱田修論）、GRBの起源天体の一つと目される広い吸収線を持つタイプのIc型超新星(broad-lined Type Ic SN) SN 2018ebt の可視近赤外光度曲線とスペクトルの解析から、当該タイプのプロトタイプであるSN 1998bwに匹敵するほどの爆発エネルギーとNi56生成量を持つものの、光度曲線の立ち上がりだけが極端に速く、別の発光起源の存在が示唆されることが見出された（木村修論）。また、かなた望遠鏡とせいめい望遠鏡の観測で見いだされた、外層をはぎとられた重力崩壊型超新星候補 SN 2020aatb, 2020acat, 2020adowの初期の可視測光・分光の結果を元に親星の素性を探った（堀卒論）。

かなた望遠鏡ではこれ以外にも、重力波アラートやIceCubeニュートリノアラートに応じた対応天体探索観測のほか、ガンマ線バースト、各種変光星、ブラックホール連星等の多波長・多モード観測、天の川銀河内の星間偏光サーベイによる銀河磁場構造の観測が行われている（川端，笹田）。また、そのためのデータ解析パイプラインの開発や観測環境の整備、観測装置の開発・保守が行われている。2020年度は、HONIRにおける撮像データに加え、偏光撮像データの自動リダクションパイプラインの整備が進んだ（森修論，中村）。また、突発天体が現れた際に自動的に観測をリスケジュールし観測するためのSmart-Kanataシステムの検討をベース統計の情報理論をもとに進めた（植村，古賀，佐崎卒論）。IceCubeアラートに応じてフェルミ衛星のガンマ線データを自動解析し、関連する情報をウェブページで関係者へ報告するシステムの開発も進められた（間修論）。光・赤外線天文学大学間連携（以下、OISTER。2011年度～）の参加大学として、OISTERの枠組みを通じて共同観測を実施している（川端，植村，中岡）。昨年度は計4件38夜の観測を実施した。この観測の中には、矮新星や太陽系内天体、太陽系外惑星など、広島大学のメンバーではカバーしきれていない観測も行われており、研究テーマの多様性を生んでいる。また、本連携事業では大学院生の連携教育にも力を入れており、天文画像データ解析ツールIRAFの合同オンライン講習会を企画し実施するなどしている。2021年度は宇宙科学センターの研究員がその講師を務めた。かなた望遠鏡の現主

力装置である可視赤外線同時カメラHONIRにおいて、現在空いている近赤外チャンネルの1スロットに安価で手配のし易い国内メーカー製の検出器の導入を目指して、国立天文台、鹿児島大、浜松ホトニクスなどとInGaAs検出器の共同開発を進めており、最新ロットの1.3k×1.3kピクセルモデルの性能評価を進めた（川端、中村）。

[その他の可視光赤外線グループの活動]

世界的な天文観測の好サイトとして期待されている中国・チベット地区に、口径50cmのパイロット望遠鏡を設置するHinOTORIプロジェクトが、2012年以来、中国科学院国家天文台、紫金山天文台と共同で進められている（川端）。2020年度はコロナ禍で現地でのハードウェアの修理・整備は叶わなかったほか、現地の電力供給状況が不安定で観測そのものも殆ど行われなかったが、2019年11月に得た試験観測データを用いて装置やサイトの評価およびリモート操作による追観測を実施し、査読論文として公表した。

イベント・ホライズン・テレスコープ(EHT)は世界各地にあるサブミリ波望遠鏡を連携させて観測することで視力300万を達成し、ブラックホールの事象の地平面に迫ることを目的としたプロジェクトである（笹田）。2021年3月にはメシエ87(M87)銀河中心にある超巨大ブラックホールのシャドウ（影）の偏波パターンを解析し、磁場構造を見出したとする研究成果が公表した以降も、天の川銀河中心のSgr A*のデータの解析を進めた。

また、遠方のガンマ線バーストを探索する将来衛星HiZ-GUNDAMの開発メンバーとして参加し（川端）、同衛星の赤外線望遠鏡による観測シミュレーションや仕様検討を行った（中西卒論）。

アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計(ALMA)に関し、Co-PIとして参画している宇宙初期の銀河輝線を探るALMA大型プロジェクトREBELSの観測がほぼ完了した（稲見）。本プロジェクトに従事するポスドク研究員も採用し、2021年11月より着任した。ダスト連続波観測データの解析が完了し、筆頭著者論文として2022年中に出版される。また、関連した研究会、ALMAワークショップ「Synergies between ALMA and wide-field high-cadence multi-wavelength surveys」と「南極天文コンソーシアム研究会」を世話人として開催した。

ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡(JWST)の初期科学観測プログラム観測のシミュレーションを行い、実際の観測に備えている。本プロジェクトに従事するポスドク研究員も採用し、2022年4月に着任した。関連して、稲見が実行委員co-chairとして国際研究会 IR2022: An Infrared Bright Future for Ground-based IR Observatories in the Era of JWST をオンライン(一部VR)にて開催した。研究会には288名の参加者があり盛会となった。また、一般向け講演会も開催し、当日の講演はYouTubeにも投稿されている（稲見）。

原著論文

- [1] “The ALMA REBELS survey: the dust content of $z\sim 7$ Lyman break galaxies”, Dayal P., Inami H. (19th) and 23 colleagues, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, (2022)
- [2] “The ALMA REBELS Survey. Epoch of Reionization giants: Properties of dusty galaxies at $z\sim 7$ ”, Ferrara A., Inami H. (7th), and 29 colleagues, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, (2022)
- [3] “The REBELS ALMA Survey: cosmic dust temperature evolution out to $z\sim 7$ ”, Sommovigo L., Inami H. (11th), and 29 colleagues, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, (2022)
- [4] “Kottamia Faint Imaging Spectro-Polarimeter (KFISP): opto-mechanical design, software control

- and performance analysis”, Azzam Y. A., Kawabata K. S. (10th) and 14 colleagues, *Experimental Astronomy*, 53, 45 (2022)
- [5] “B-fields in Star-forming Region Observations (BISTRO): Magnetic Fields in the Filamentary Structures of Serpens Main”, Kwon W., Kawabata K. S. (68th) and 150 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 926, 163 (2022)
- [6] “GOODS-ALMA 2.0: Source catalog, number counts, and prevailing compact sizes in 1.1 mm galaxies”, Gomez-Guijarro C., Inami H. (10th) and 36 colleagues, *Astronomy and Astrophysics*, 658, A43 (2022)
- [7] “Highly Sensitive, Non-cryogenic NIR High-resolution Spectrograph, WINERED”, Ikeda Y., Nakaoka T. (13th) and 25 colleagues, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 134, 015004 (2022)
- [8] “The Variability of the Black Hole Image in M87 at the Dynamical Timescale”, Satpathy K., Sasada M. (200th) and 236 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 925, 13 (2022)
- [9] “Discovery of the Fastest Early Optical Emission from Overluminous SN Ia 2020hvf: A Thermonuclear Explosion within a Dense Circumstellar Environment”, Jiang J.-Jan., Nakaoka T. (16th), Kawabata K. S. (17th) and 28 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 923, L8 (2021)
- [10] “Massive Star Cluster Formation and Destruction in Luminous Infrared Galaxies in GOALS. II. An ACS/WFC3 Survey of Nearby LIRGs”, Linden S. T., Inami H. (13th) and 15 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 923, 278 (2021)
- [11] “Intermediate luminosity type Iax supernova 2019muj with narrow absorption lines: Long-lasting radiation associated with a possible bound remnant predicted by the weak deflagration model”, Kawabata M., Nakaoka T. (4th), Kawabata K. S. (5th) and 23 colleagues, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 73, 1295 (2021)
- [12] “ASASSN-18aan: An eclipsing SU UMa-type cataclysmic variable with a 3.6-hr orbital period and a late G-type secondary star”, Wakamatsu Y., Sasada M. (24th) and 42 colleagues, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 73, 1209 (2021)
- [13] “A hard X-ray view of luminous and ultra-luminous infrared galaxies in GOALS - I. AGN obscuration along the merger sequence”, Ricci C., Inami H. (18th) and 26 colleagues, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 506, 5935 (2021)
- [14] “Normal, dust-obscured galaxies in the epoch of reionization”, Fudamoto Y., Inami H. (10th) and 27 colleagues, *Nature*, 597, 489 (2021)
- [15] “The JCMT BISTRO Survey: An 850/450 μm Polarization Study of NGC 2071IR in Orion B”, Lyo A.-R., Kawabata K. S. (88th) and 148 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 918, 85 (2021)
- [16] “ASASSN-14ms: The Most Energetic Known Explosion of a Type Ib Supernova and Its Physical Origin”, Wang X., Kawabata K. S. (13th) and 15 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 917, 97 (2021)
- [17] ©“Origins of the Long-term Variability of the Near-infrared Emission of the Black Hole X-Ray Binary GRS 1915+105 in the X-Ray Low Luminous State”, Imazato F., Sasada M., Uemura M., and 97 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 916, 114 (2021)
- [18] “A Comparison between Nuclear Ring Star Formation in LIRGs and in Normal Galaxies with the Very Large Array”, Song Y., Inami H. (13th) and 17 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 916, 73 (2021)

- [19] “Event Horizon Telescope observations of the jet launching and collimation in Centaurus A”, Janssen M., Sasada M. (233th) and 266 colleagues, *Nature Astronomy*, 5, 1017 (2021)
- [20] “Measuring the Average Molecular Gas Content of Star-forming Galaxies at $z = 3-4$ ”, Boogaard L. A., Inami H. (10th) and 16 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 916, 12 (2021)
- [21] “Extracting common signal components from the X-ray and optical light curves of GX 339-4: New view for anti-correlation”, Omama T., Uemura M. and 2 colleagues, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 73, 716 (2021)
- [22] “Constraints on black-hole charges with the 2017 EHT observations of M87*”, Kocherlakota P., Sasada M. (200th) and 235 colleagues, *Physical Review D*, 103, 104047 (2021)
- [23] “J-GEM optical and near-infrared follow-up of gravitational wave events during LIGO's and Virgo's third observing run”, Sasada M., and 70 colleagues, *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, 2021, 05A104 (2021)
- [24] “The JCMT BISTRO Survey: Revealing the Diverse Magnetic Field Morphologies in Taurus Dense Cores with Sensitive Submillimeter Polarimetry”, Eswaraiah C., Kawabata K. S. (94th) and 143 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 912, L27 (2021)
- [25] “The ALMA Spectroscopic Survey in the HUDF: A Search for [C II] Emitters at $6 < z < 8$ ”, Uzgil B. D., Inami H. (10th) and 20 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 912, 67 (2021)
- [26] “The Polarized Image of a Synchrotron-emitting Ring of Gas Orbiting a Black Hole”, Narayan R., Sasada M. (201th) and 238 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 912, 35 (2021)
- [27] “Calcium-rich Transient SN 2019ehk in a Star-forming Environment: Yet Another Candidate for a Precursor of a Double Neutron-star Binary”, Nakaoka T., and 22 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 912, 30 (2021)
- [28] “Optical follow-up observation for GW event S190510g using Subaru/Hyper Suprime-Cam”, Ohgami T., Sasada M. (12th) and 14 colleagues, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 73, 350 (2021)
- [29] “Light-curve properties of SN 2017fgc and HV SNe Ia”, Burgaz U., Kawabata K. S. (6th), Nakaoka T. (8th) and 5 colleagues, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 502, 4112 (2021)
- [30] “Implications of High Polarization Degree for the Surface State of Ryugu”, Kuroda D., Kawabata K. S. (14th) and 20 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 911, L24 (2021)
- [31] “Broadband Multi-wavelength Properties of M87 during the 2017 Event Horizon Telescope Campaign”, EHT MWL Science Working Group, J. C. Algaba, Sasada M. (31th) and 744 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 911, L11 (2021)
- [32] ©“Simulations of expected signal and background of gamma-ray sources by large field-of-view detectors aboard cubesats”, G. Galgoczi, T. Mizuno (8th), Y. Fukazawa (12th), H. Takahashi (13th), *J. of Astronomical Telescopes, instruments, and Systems*. 7(2), 028004 (2021)
- [33] ©“Detailed design of the science operation for the XRISM mission”, Y. Terada, H. Takahashi (5th), T. Mizuno (7th), Y. Fukazawa (15th), Y. Uchida (36th), *J. of Astronomical Telescopes, instruments, and Systems*. 7(3), 037001 (2021)
- [34] “Polarization measurement of L-shell radiative recombination x rays from highly charged bismuth ions”, N. Numadate, Y. Uchida (8th), *Phys. Rev. A* 105, 023109 (2022)
- [35] “Double-Photon Emission Imaging with High-Resolution Si/CdTe Compton Cameras”, T. Orita,

- Y. Uchida (8th), IEEE Transactions on Nuclear Science, 68(8), 2279, (2021),
- [36] “Transient obscuration event captured in NGC 3227. I. Continuum model for the broadband spectral energy distribution”, Mehdipour M., Mao J. (4th) and 21 people, 2021, Astronomy & Astrophysics, 652, id.A150, 11 pp.
- [37] ©“Elemental Abundances of the Hot Atmosphere of Luminous Infrared Galaxy Arp 299”, Mao Junjie, Fukazawa Y. (5th) and 9 people, 2021, The Astrophysical Journal Letters, 918, id.L17, 7 pp.
- [38] “Transient obscuration event captured in NGC 3227. II. Warm absorbers and obscuration events in archival XMM-Newton and NuSTAR observations”, Wang Yijun, Mao Junjie (4th) and 20 people, 2022, Astronomy & Astrophysics, 657, id.A77, 12 pp.
- [39] “Changing-look Event in NGC 3516: Continuum or Obscuration Variability?”, Mehdipour Missagh search by orcid, Kriss Gerard A. search by orcid, Brenneman Laura W., Mao Junjie (10th) and 8 people, 2022, The Astrophysical Journal, 925, id.84, 11 pp.
- [40] “Probing the circumnuclear environment of NGC 1275 with high-resolution X-ray spectroscopy”, Reynolds Christopher S., Fukazawa Y. (4th), and 7 people, 2021, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 507, pp.5613-5624
- [41] ©“A study of the accretion mechanisms of the high-mass X-ray binary IGR J00370+6122”, Uchida Nagomi, Takahashi H., Fukazawa Y., Makishima K., 2021, Publications of the Astronomical Society of Japan, 73, pp.1389-1404
- [42] ©“The Study of X-Ray Flux Variability of M87”, Imazawa Ryo, Fukazawa Y., Takahashi H., 2021, The Astrophysical Journal, 919, id.110, 8 pp.
- [43] ©“Origins of the Long-term Variability of the Near-infrared Emission of the Black Hole X-Ray Binary GRS 1915+105 in the X-Ray Low Luminous State”, Imazato Fumiya, Sasada M., Uemura M., Fukazawa Y., Takahashi H., Nakaoka T., Akitaya H., Kawabata K. S., Akimoto M., Fujisawa K. 2021, The Astrophysical Journal, 916, id.114, 9 pp.
- [44] “H.E.S.S. and MAGIC observations of a sudden cessation of a very-high-energy γ -ray flare in PKS 1510-089 in May 2016”, Abdalla H., Suda Y. (403th) and 431 coauthors, Astronomy&Astrophysics, 648, A23 (2021)
- [45] ©“Broadband Multi-wavelength Properties of M87 during the 2017 Event Horizon Telescope Campaign”, Algaba J.C., Sasada M. (31st), Suda Y. (654th) and 737 coauthors, The Astrophysical Journal Letters, 911, 1 (2021)
- [46] “First detection of VHE gamma-ray emission from TXS 1515-273, study of its X-ray variability and spectral energy distribution”, Acciari V.A., Suda Y. (170th) and 196 coauthors, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 507, 1 (2021)
- [47] “Investigation of the correlation patterns and the Compton dominance variability of Mrk 421 in 2017”, Acciari V.A., Suda Y. (163th) and 280 coauthors, Astronomy&Astrophysics, 655, A89 (2021)
- [48] “Multiwavelength study of the gravitationally lensed blazar QSO B0218+357 between 2016 and 2020”, Acciari V.A., Suda Y. (171th) and 208 coauthors, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 510, 2 (2021)
- [49] “Search for Very High-energy Emission from the Millisecond Pulsar PSR J0218+4232”, Acciari V.A., Suda Y. (171th), and 199 coauthors, The Astrophysical Journal, 922, 2 (2021)

- [50] ©“Observation of the Gamma-Ray Binary HESS J0632+057 with the H.E.S.S., MAGIC, and VERITAS Telescopes”, Adams C.B., Fukazawa Y. (127th), Suda Y. (237th) and 411 coauthors, The Astrophysical Journal, 923, 2 (2021)
- [51] “Combined searches for dark matter in dwarf spheroidal galaxies observed with the MAGIC telescopes, including new data from Coma Berenices and Draco”, Acciari V.A., Suda Y. (171th) and 193 coauthors, Physics of the Dark Universe, 35, 100912 (2022)
- [52] ©“Investigating the Blazar TXS 0506+056 through Sharp Multiwavelength Eyes During 2017-2019”, Acciari V.A., Fukazawa Y. (63th), Suda, Y. (175th), and 209 coauthors, The Astrophysical Journal, 927, 2 (2022)
- [53] “Simulation-based spectral analysis of X-ray CCD data affected by photon pile-up”, Tamba S., Mizuno T. (8th), et al., PASJ 0, 00 (2022)
- [54] ©“Detailed design of the science operations for the XRISM mission”, Terada Y., Takahashi H. (5th), Mizuno T. (7th), Fukazawa Y. (15th), Uchida Y. (36th), et al., JATIS 7(3), 037001 (2021)
- [55] ©“Gamma Rays from Fast Black-hole Winds”, Ajello M., Fukazawa Y. (35th), Mizuno T. (69th), et al., ApJ 921, 144 (2021)
- [56] “Broadband High-energy Emission of the Gamma-Ray Binary System LS 5039: Spectral and Temporal Features Using NuSTAR and Fermi Observations”, Yoneda H., Mizuno T. (6th), et al., ApJ 917, 90 (2021)
- [57] ©“Catalog of Long-term Transient Sources in the First 10 yr of Fermi-LAT Data”, Baldini L., Fukazawa Y.(36th), Mizuno T.(73th), Poon H.(88th), et al., ApJS 256, 13 (2021)
- [58] ©“Fermi Large Area Telescope Performance after 10 Years of Operation”, Ajello M., Fukazawa Y. (40th), Mizuno T. (79th), Poon H.(95th), et al., ApJS 256, 12 (2021)
- [59] ©“High-energy emission from a magnetar giant flare in the Sculptor galaxy”, Ajello M., Fukazawa Y. (36th), Mizuno T. (67th), Poon, H.(88th), et al., Nature Astronomy 11 (2021)
- [60] “ASASSN-18aan: An eclipsing SU UMa-type cataclysmic variable with a 3.6-hr orbital period and a late G-type secondary star”, Wakamatsu Y., Akitaya H. (88th), Sasada M. (24th), Nakaoka T. (29th) and 40 colleagues, Publications of the Astronomical Society of Japan, (2021)
- [61] “The ALMA REBELS Survey: cosmic dust temperature evolution out to $z \sim 7$ ”, Sommovigo L. *, Inami H. (11th) and 28 colleagues, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 513, 3122 (2022)
- [62] “Reionization Era Bright Emission Line Survey: Selection and Characterization of Luminous Interstellar Medium Reservoirs in the $z \sim 6.5$ Universe”, Bouwens R. J. *, Inami H. (8th) and 29 colleagues, The Astrophysical Journal, 931, 160 (2022)

総説

該当無し

国際会議

(招待講演)

- [1] Makoto Uemura, “Follow-up observations of galactic transients with astroinformatics”, IAU-IAA Astrostatistics & Astroinformatics seminar, Online, 2022.1.11
- [2] H. Inami, “ALMA as a high-redshift survey instrument”, European Astronomical Society Meeting

2021, Online, 2021.6.28-7.2

- [3] H. Inami, “Obscured Star Formation at $z \sim 7$ Observed with the REBELS ALMA Large Program”, European Space Agency, Seminar, Online, 2021.6.16
- [4] H. Inami, “First results from an on-going ALMA Large Program REBELS: Reionization Era Bright Emission Line Search”, Korea Astronomy and Space Science Institute, Korea, Colloquium, Online, 2021.12.9

(一般講演)

- [1] Fukazawa Y., “Cosmological Evolution of Flat-Spectrum Radio Quasars Based on Swift/BAT 105 month catalog and their contribution to the cosmic MeV gamma-ray background radiation”, 9th Fermi Symposium, 2021.4.12-17, オンライン, 約200名
- [2] Mizuno T., “Study of the CRs and ISM in Local HI Clouds using Fermi-LAT Gamma-ray Observations”, 9th Fermi Symposium, 2021.4.13, online, 100 participants
- [3] Mizuno T., “HI-line profile based analysis update”, Fermi-LAT collaboration meeting, 2021.8.30-9.3, online, 120名
- [4] Suda Y., “First Detection of Very High Energy Emission from a Gamma-Ray Burst”, Ninth International Fermi Symposium, 2021.4.12-17, online, 540
- [5] Suda Y., “Observation of a relatively low luminosity long duration GRB 201015A by the MAGIC telescopes”, 37th International Cosmic Ray Conference, 2021.7.12 - 23, online, 1000
- [6] Suda Y., “MAGIC Observations of Gamma-Ray Bursts”, TeV Particle Astrophysics 2021, 2021.10.25 - 29, online, 300
- [7] Mizuno T., “Cosmic-Ray and Gas Properties in the MBM 53-55 Clouds and the Pegasus Loop as Revealed by HI Line Profiles, Dust, and Gamma-Ray Data,” TeVPA 2021, 2021.10.26-29, Chengdu, China & online, 100 participants
- [8] Mizuno T., “Study of the CRs and ISM in Local HI Clouds using Fermi-LAT Gamma-ray Observations,” 9th Fermi Symposium, 2021.4.13, online, 100 participants
- [9] Matake H., “Systematic X-ray study of GeV emitting radio galaxy”, 37th International Cosmic Ray Conference, 2021.7.12 - 23, online, 1000
- [10] Imazawa R., “Fast X-ray variability of of radion galaxy M87”, 37th International Cosmic Ray Conference, 2021.7.12 - 23, online, 1000
- [11] Kayanoki T., “Relationship between gamma-ray loudness and X-ray spectra of radio galaxies”, TeVPA 2021, 2021.10.26-29, Chengdu, China & online, 100 participants
- [12] Imazawa R., “Fast X-ray variability of of radion galaxy M87”, TeVPA 2021, 2021.10.26-29, Chengdu, China & online, 100 participants
- [13] Nakaoka, T.: “Opt-NIR observation of Type Ib SN 2019tua” SN workshop 2020, 2021.11.18-19, online, 30 participants

国内会議

(招待講演, 依頼講演)

- [1] 稲見華恵, “Exploring the Unseen Distant Universe with Large Aperture Submillimeter/Terahertz Observations”, 日本天文学会 2021年秋季年会, 2021年9月13日-15日, オンライン
- [2] 稲見華恵, “Galaxy Observations”, Galaxy-IGM Workshop 2021, 2021年8月16日-20日, オン

ライン

- [3] ◎深澤泰司, 水野恒史, “Recent results with Fermi-LAT gamma-ray space telescope”, ISAS Space Science Colloquium & Space Science Seminar, 2021年10月11日, オンライン, 50名
- [4] 深澤泰司, 「MeVガンマ線観測計画」, 高宇連研究会, 2022年3月9日-11日, 70名, オンライン
- [5] 水野恒史, 「X線偏光観測衛星IXPE」, OISTER workshop, 2021年11月11日, 50名
- [6] 笹田真人, 「かなた望遠鏡による活動銀河ジェットの可視近赤外観測」, 口頭発表, 超巨大ブラックホール研究会, 2021年12月27日-28日, オンライン, 50人
- [7] 笹田真人, 「スパースモデリングによるVLBAの超解像画像におけるブレーザー3C 454.3ジェットの螺旋運動の発見」, 口頭発表, 日本天文学会 2022年春季年会, 2022年3月2日-5日, オンライン, 50人
- [8] 中岡竜也, 「広島大学かなた望遠鏡における突発天体の研究」, 大学運用型望遠鏡による天文学の成果と今後, 2021年10月27日-28日, 北海道大学, 20名
- [9] 中岡竜也, 「広島大学かなた望遠鏡による新天体追跡観測」, 第三回新天体探索者会議, 2021年11月13日-14日, オンライン, 80名

(一般講演)

- [1] 水野恒史, 「HI 21cm線プロファイル・ダスト放射・ガンマ線を用いた, MBM 53-55分子雲・Pegasus Loop領域における星間ガスと宇宙線の研究」, 春の物理学会, 2022年3月15日-19日, オンライン開催
- [2] 高橋弘充, 「硬X線偏光観測XL-Calibur気球実験の2022年フライトへ向けた準備状況」, 春の物理学会, 2022年3月15日-19日, オンライン開催
- [3] 高橋弘充, 「X線分光撮像衛星XRISMの観測データ処理とその準備状況」, 春の天文学会, 2022年3月2日-5日, オンライン開催
- [4] 笹田真人, 「スパースモデリングによるVLBAの超解像画像におけるブレーザー3C 454.3ジェットの螺旋運動の発見」, 春の天文学会, 2022年3月2日-5日, オンライン開催
- [5] 今澤 遼, 「BL Lacertae 2020--2021年フレア時の可視光・近赤外線同時連続偏光観測によるジェット中磁場構造および放射領域の研究」, 春の天文学会, 2022年3月2日-5日, オンライン開催
- [6] 榎木大修, 「CMOS イメージセンサ IU233N5-Z^{^^}の X 線性能評価と偏光検出の可能性」, 春の天文学会, 2022年3月2日-5日, オンライン開催
- [7] 高橋弘充, 「硬X線偏光観測XL-Calibur気球実験の2022年フライトへ向けた準備状況」, 秋の物理学会, 2021年9月12日-15日, オンライン開催
- [8] 須田祐介, 「MAGIC報告80: GRB 201015AとGRB 201216Cの観測」, 秋の物理学会, 2021年9月12日-15日, オンライン開催
- [9] 深澤泰司, 「GeV-loud電波銀河の高エネルギー放射の系統的性質と種族研究」, 秋の天文学会, 2021年9月13日-15日, オンライン開催
- [10] 川端弘治, 「可視偏光サーベイ計画SGMAP: 北天銀河面の可視近赤外サーベイと南天観測の海外協力」, 秋の天文学会, 2021年9月13日-15日, オンライン開催
- [11] 稲見華恵, 「Exploring the Unseen Distant Universe with Large Aperture Submillimeter-Terahertz Observations 1」, 秋の天文学会, 2021年9月13日-15日, オンライン開催
- [12] 今里郁弥, 「低質量X線連星GRS 1915+105のX線で異常に暗い期間での近赤外線の放射起

- 源について」, 秋の天文学会, 2021年9月13日-15日, オンライン開催
- [13] 今澤 遼, 「電波銀河M87のX線短時間変動」, 秋の天文学会, 2021年9月13日-15日, オンライン開催
- [14] 間 夏子, 「かなた望遠鏡によるブレーザーBL Lacertaeの増光期における可視・近赤外線同時連続偏光撮像観測」, 秋の天文学会, 2021年9月13日-15日, オンライン開催
- [15] 森 文樹, 「かなた望遠鏡/HONIRで得られる偏光撮像データの自動解析システムの構築及び性能評価」, 秋の天文学会, 2021年9月13日-15日, オンライン開催
- [16] 濱田大晴, 「爆発から約1年後に赤外超過を示したII型超新星SN 2017hccのSED解析」, 秋の天文学会, 2021年9月13日-15日, オンライン開催
- [17] 古賀柚希, 「かなた望遠鏡による情報理論・機械学習を用いた自動意思決定システムの実用性の検証」, 秋の天文学会, 2021年9月13日-15日, オンライン開催
- [18] 星岡駿志, 「JWST撮像観測シミュレーションによるLIRGs観測における点源の抽出限界」, 秋の天文学会, 2021年9月13日-15日, オンライン開催
- [19] 末岡耕平, 「MeVガンマ線観測衛星AMEGO計画におけるコンプトン再構成プログラムのスタディー」, 秋の天文学会, 2021年9月13日-15日, オンライン開催
- [20] 榎木大修, 「電波銀河のガンマ線 loudnessとX線スペクトルの関係」, 秋の天文学会, 2021年9月13日-15日, オンライン開催
- [21] 高橋弘充, 「日米欧の国際協力で推進する硬X線集光偏光計XL-Calibur計画」, 大気球シンポジウム, 2021年11月2日, オンライン開催
- [22] 高橋弘充, 「日米欧の国際協力で推進する硬X線集光偏光計XL-Calibur計画」, 第22回宇宙科学シンポジウム, 2022年1月6日-7日, オンライン開催
- [23] 高橋弘充, 「硬X線偏光観測XL-Calibur気球実験の2022年フライト準備状況」, 第21回高宇連研究会, 2022年3月10日, オンライン開催
- [24] 植村 誠, 「突発現象の追跡観測にまつわるデータサイエンス」, データサイエンス的手法により探求する天文学, 2022年3月24日-25日, オンライン開催
- [25] 川端弘治, 「可視偏光サーベイ計画SGMAP: 北天銀河面の可視近赤外サーベイと南天観測の海外協力」, 日本天文学会 2021年秋季年会, 2021年9月13日-15日, オンライン
- [26] 川端弘治, 「東広島天文台の軌跡とこれから」, 第3回新天体探索者会議, 2021年11月13日-14日, オンライン
- [27] 榎木大修, 「電波銀河のガンマ線loudnessとX線スペクトルの関係」, 第51回天文・天体物理若手の夏の学校, 2021年8月23日-26日, オンライン, 250名
- [28] 今澤 遼, 「ブレーザー BL Lacertae 極大フレア期 (2020-2021年) の可視近赤外線偏光撮像モニター観測」, 第51回天文・天体物理若手の夏の学校, 2021年8月23日-26日, オンライン, 250名
- [29] 末岡耕平, 「AMEGO衛星に向けたコンプトン再構成の研究」, 第51回天文・天体物理若手の夏の学校, 2021年8月23日-26日, オンライン, 250名
- [30] 榎木大修, 「電波銀河のガンマ線loudnessとX線スペクトルの関係」, 第5回 FORCE研究会 「埋もれたAGNの宇宙論的進化」, 2021年12月2日-3日, 京都大学, 80名
- [31] 中岡竜也, 「せいめい・かなた望遠鏡による近傍で発見されたIIb型超新星SN2019tuaの測光分光観測」, 2021年度せいめいユーザーズミーティング, 2021年8月11日-12日, オンライン, 50人
- [32] 今里郁弥, 「低質量X線連星 GRS 1915+105 の近赤外線の短時間変動について」,

- 2021年度せいめいユーザーズミーティング, 2021年8月11日-12日, オンライン, 50人
- [33] 今澤 遼, 「かなた望遠鏡によるブレーザーBL Lacertaeフレア期の短期変動の研究」, 2021年度せいめいユーザーズミーティング, 2021年8月11日-12日, オンライン, 50人
- [34] 間 夏子, 「かなた望遠鏡によるブレーザーBL Lacertaeの増光期における長期偏光撮像観測」, 2021年度せいめいユーザーズミーティング, 2021年8月11日-12日, オンライン, 50人
- [35] 濱田大晴, 「II型超新星SN2017hccのSEDを用いた星周ダストの物理量推定」, 2021年度せいめいユーザーズミーティング, 2021年8月11日-12日, オンライン, 50人
- [36] 中岡竜也, 「広島大学の活動報告」, 第12回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ, 2021年11月24日-26日, オンライン, 70人
- [37] 濱田大晴, 「II型超新星SN2017hccのSEDを用いた星周ダストの物理量推定」, 第12回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ, 2021年11月24日-26日, オンライン, 70人
- [37] 古賀柚希, 「かなた望遠鏡による情報理論・機械学習を用いた突発天体現象観測の自動意思決定システム構築」, 第12回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ, 2021年11月24日-26日, オンライン, 70人
- [37] 中村謙吾, 「可視近赤外線偏光観測による銀河磁場探査」, 第12回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ, 2021年11月24日-26日, オンライン, 70人
- [38] 今澤 遼, 「可 BL Lacertaeフレア期の短時間変動および偏光ベクトルの波長依存性」, 第12回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ, 2021年11月24日-26日, オンライン, 70人
- [39] 星岡駿志, 安藤梨花ほか, 「IGM Observation μ ExCAD」, 口頭, 銀河・銀河間ガス研究会2021, 2021年8月16日-20日, オンライン

学生の学会発表実績

(国際会議)

- | | |
|----------------------------|----|
| ○博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 | 3件 |
| ○博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 | 1件 |
| ○博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 | 0件 |

(国内会議)

- | | |
|----------------------------|-----|
| ○博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 | 20件 |
| ○博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 | 2件 |
| ○博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 | 2件 |

セミナー・講演会開催実績

- [1] 川端弘治, 笹田真人, 「偏光で探るブラックホールのかたち」, 2021年5月23日, オンライン, 主催・講演
- [2] 稲見華恵, IR2022: An Infrared Bright Future for Ground-based IR Observatories in the Era of JWST 一般向け講演会「目に見えない光で宇宙を見る: 赤外線で輝く銀河」, 2022年2月25日, オンライン, 主催・講演
- [3] 川端弘治, 植村 誠, 2022年度日本天文学会春季年会公開講演会「広島で育まれた天文学」, 2022年3月6日, オンライン, 共催, 聴講約100名

高大連携事業への参加状況

- [1] 稲見華恵, 広島大学「グローバルサイエンスキャンパス広島」のセミナーへ部分出演, 2021年10月17日
- [2] 高大連携公開授業・公開講座 高校生講座 「超新星の最新観測」(2021年7月30日, 広島大学理学部, 50名) 深澤泰司主催, 講師: 深澤泰司, 川端弘治, 稲見華恵, 笹田真人, 中岡竜也
- [3] 川端弘治, グローバルサイエンスキャンパス(GSC)ステップステージ講義 (2021年10月24日) およびステップステージ研究計画ポスター発表会 (2021年11月3日)
- [4] 須田祐介, 広島大学「グローバルサイエンスキャンパス広島」の講義へ部分出演, 2021年10月17日

国内研究会開催

- [1] 川端弘治, 中岡竜也, 植村 誠, 第3回新天体捜索者会議 (オンライン), 広島大学, 2021年11月13日-14日, 世話人代表, 参加者約100名
- [2] 稲見華恵, ALMAワークショップ「Synergies between ALMA and wide-field high-cadence multi-wavelength surveys」2022年3月28日-30日, 世話人
- [3] 稲見華恵, 南極天文コンソーシアム研究会, 極地研, 2022年3月14日, 世話人
- [4] 中岡竜也, 「第12回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ」, 2021年11月24日-26日, 70名, 主催 (オンライン)

国際会議, 国際研究会開催

- [1] 稲見華恵, IR2022: An Infrared Bright Future for Ground-based IR Observatories in the Era of JWST, 2022年2月14日-18日, オンライン, 主催

講演会・セミナー講師

- [1] 稲見華恵, IR2022: An Infrared Bright Future for Ground-based IR Observatories in the Era of JWST 一般向け講演会「目に見えない光で宇宙を見る: 赤外線で輝く銀河」, 2022年2月25日, オンライン, 主催・講演
- [2] 水野恒史, 「人工衛星で探るブラックホール」, 2022年3月6日, 日本天文学会春季 公開講演会, オンライン, 80名参加
- [3] 笹田真人, 「巨大ブラックホールの影～イベント・ホライズン・望遠鏡による極限宇宙の観測～」, 第63回呉市医師会 特別公演, 2021年10月23日, 呉市, 50名
- [4] 笹田真人, 「ブラックホール天文学」, 2021年10月29日, 岐阜県立大垣東高等学校 (オンライン連携講座), 高校1年生, 40名
- [5] 川端弘治, 「西条で親しむ秋の夜空と星のうんちく」, 2021年9月16日, 西条ロータリークラブ例会, 30名
- [6] 川端弘治, 「ベテルギウスに迫る～最期に近づいた恒星～」, 2021年12月12日, 広島市子ども文化科学館「大人の談話室」, 広島市子ども文化科学館, 26名
- [7] 川端弘治, 「恒星の進化と超新星爆発」, 2022年1月21日, マツダ財団科学わくわくプロジェクト「ジュニア科学講座」, オンライン, 20名

社会活動，学会委員

- [1] 深澤泰司：高エネルギー宇宙連絡会将来検討委員，委員長
- [2] 深澤泰司：ガンマ線観測衛星フェルミ衛星国際チーム予算委員メンバー
- [3] 深澤泰司：ガンマ線観測衛星フェルミ衛星国際チームシニアサイエンスアドバイザー委員メンバー
- [4] 深澤泰司：宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 MeVガンマ線観測衛星検討リサーチグループ代表者
- [5] 深澤泰司：宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 小規模計画「フェルミガンマ線宇宙望遠鏡による高エネルギー宇宙観測の推進」：研究代表者
- [6] 深澤泰司：XRISM衛星Participating Scientist
- [7] 深澤泰司：日本物理学会代議員
- [8] 深澤泰司：日本天文学会年会開催地理事
- [9] 川端弘治：日本天文学会 欧文研究報告編集委員会 委員
- [10] 川端弘治：日本天文学会 天体発見賞選考委員会 委員長
- [11] 川端弘治：国立天文台 TMT科学諮問委員会 委員
- [12] 川端弘治：国立天文台 光・赤外線天文学研究教育大学間連携協議会委員
- [13] 川端弘治：兵庫県立大学天文科学センター運営委員会 外部委員
- [14] 川端弘治：マツダ財団科学わくわくプロジェクト実行委員会 委員
- [15] 植村 誠：TMT International Science Development Teams 委員
- [16] 植村 誠：日本学術会議総合工学委員会科学的知見の創出に資する可視化分科会可視化の新パラダイム策定小委員会 委員
- [17] 植村 誠：国立天文台すばる共同利用時間割り当て委員会 委員
- [18] 稲見華恵：JAXA/ISAS SPICAサイエンス検討会「近傍銀河・銀河系」班 委員
- [19] 稲見華恵：ESA SPICA Science Study Team (SST) / Science Working Group “Galaxy Evolution Working Group” 委員
- [20] 稲見華恵：TMT International Science Development Teams 委員
- [21] 稲見華恵：光学赤外線天文連絡会運営委員会 委員
- [22] 高橋弘充：日本物理学会代議員
- [23] 高橋弘充：宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 大気球委員会 委員
- [24] 高橋弘充：宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 小規模計画「XL-Calibur気球実験」：研究代表者
- [25] 水野恒史：日本物理学会 宇宙線宇宙物理領域 代表
- [26] 稲見華恵：すばる望遠鏡観測プロポーザル審査員
- [27] 稲見華恵：次世代大型望遠鏡アクセスWG 委員
- [28] 稲見華恵：すばる科学諮問委員会 委員

外部評価委員

- [1] 深澤泰司：金沢大学先進宇宙理工学研究センター外部評価委員
- [2] 川端弘治：国立天文台 プロジェクト評価委員会 委員

各種研究員と外国人留学生の受入状況

研究員4名（科研費3件，大学間連携1件）

留学生（D：2名，M：1名，研究生：0名）

国際共同研究

- [1] 深澤泰司，水野恒史，高橋弘充，Helen Poon，Fermi LAT collaboration（主にアメリカ，イタリア，フランスの450名），約10の国内研究機関，宇宙ガンマ線観測衛星フェルミによる高エネルギー宇宙観測の研究
- [2] 深澤泰司，水野恒史，高橋弘充，内田悠介，XRISM（主にアメリカ，オランダ，イギリスの100名），ISAS/JAXA，約20の国内研究機関，X線観測衛星XRISMによる高エネルギー宇宙観測の研究
- [3] 深澤泰司，須田祐介，MeVガンマ線衛星計画AMEGO-X，主にアメリカ，次期MeVガンマ線衛星計画AMEGO-Xに関する共同研究
- [4] 深澤泰司，高橋弘充，内田悠介，須田祐介，MeVガンマ線観測計画GRAMS，主にコロンビア大学，東京大学，早稲田大学，大阪大学，理研，MeVガンマ線気球観測計画GRAMSに関する共同研究
- [5] 高橋弘充，水野恒史，深澤泰司，Prof. Mark Peacock（スウェーデン，スウェーデン王立工科大学），名大など，“超小型衛星CUBESat，GRBガンマ線偏光小型衛星SPHiNX計画”
- [6] 水野恒史，深澤泰司，高橋弘充，IXPE衛星（主にイタリア，アメリカ），理研，名大，阪大，山形大，X線偏光観測衛星IXPE
- [7] 深澤泰司，水野恒史，高橋弘充，須田祐介，CTA collaboration（主にヨーロッパ，アメリカの約200名），東大宇宙線研など各20の国内研究機関，次世代TeVガンマ線望遠鏡の開発
- [8] 深澤泰司，須田祐介，MAGIC collaboration（主にヨーロッパの約150名），TeVガンマ線天体の研究
- [9] 深澤泰司，水野恒史，高橋弘充，Masaryk大学，Conkoly天文台，Eotvos大学，名大，京大，立教大，重力波対応SGRB観測超小型衛星群Camelot計画
- [10] 高橋弘充，水野恒史，深澤泰司，内田悠介，Prof. Henric Krawczynski（アメリカ，ワシントン大学），阪大，名大など，硬X線偏光気球実験X-Calibur
- [11] 深澤泰司，水野恒史，IceCube collaboration（主にアメリカ，他にヨーロッパなど），高エネルギーニュートリノ対応天体の研究
- [12] 高橋弘充，Dr.濱口健二，Dr. Michael Corcoran，アメリカ・NASA/GSFC，大質量連星Eta Carinaeの国際共同研究
- [13] 高橋弘充，Dr.岡島 崇（アメリカ，NASA），京大，理研など，X線CubeSat開発
- [14] 水野恒史，Jessica Metzger (Chicago Univ. USA)，Andrew Strong (MPE, German)，Elena Orlando (Stanford Univ., USA)，星間空間宇宙線スペクトルの研究
- [15] 川端弘治，植村 誠，笹田真人，LIGO-Virgo Collaboration (California Institute of Technology, European Gravitational Wave Observatory 他)，内海洋輔・米国・Stanford University，重力波の電磁波対応現象の探索
- [16] 川端弘治，中岡竜也，Anjasha Gangopadhyay，Avinash Singh，“D. Sahu, G. C. Anupama (India, Indian Institute of Astrophysics), Shashi B. Pandey (India, Aryabhata Research Institute of Observational-Sciences)”，近傍超新星の多バンドモニター観測研究

- [17] 川端弘治, 植村 誠, 笹田真人, Yao Yongqiang (Chinese Academy of Science, National Astronomical Observatory of China), 西チベット阿里観測所における HinOTIRI プロジェクトの推進
- [18] 川端弘治, 笹田真人, 中岡竜也, 秋田谷 洋, “IceCube collaboration (University of Alberta, Stanford University, 他多数), 内海洋輔・米国・Stanford University”, IceCube 高エネルギーニュートリノ対応天体の研究
- [19] 川端弘治, Antonio Mario Magalhaes, Universidade de São Paulo, ブラジル, 可視偏光サーベイによる銀河磁場・星間物質・突発天体の研究
- [20] 稲見華恵, “Lee Armus (California Institute of Technology, USA), Vassilis Charmandaris (University of Crete, Greece) 他”, 近傍宇宙の高光度赤外線銀河の研究
- [21] 稲見華恵, Fabian Walter 他, (Max Planck Institute for Astronomy), ミリ波サブミリ波を用いた深宇宙探査
- [22] 稲見華恵, Mark Dickinson 他, “(National Optical Astronomy Observatory, USA)”, 遠方宇宙の高光度赤外線銀河の研究
- [23] 稲見華恵, MUSE Consortium, “(France, Netherlands, Germany, Switzerland, Portugal)”, 超広視野可視光線面分光装置 MUSE を用いた深宇宙探査
- [24] 笹田真人, Event Horizon Telescope Collaboration, “(Harvard University, MIT, NAOJ 他)”, 巨大ブラックホールの影の観測
- [25] 稲見華恵, Rychard Bouwens 他 (Leiden University オランダ, 英国, 米国, スイス他), ALMA大型プロジェクトREBELS
- [26] 稲見華恵, Desika Narayanan (フロリダ大学), ダスト吸収曲線の研究

研究助成金の受け入れ状況

- [1] 深澤泰司: 科学研究費助成事業 国際共同研究加速基金 (国際共同研究強化(B)), 令和元-6年度「日本・ハンガリー・チェコ共同によるガンマ線バースト観測超小型衛星団の開発」令和3年度直接経費 2,300千円
- [2] 深澤泰司: 科学研究費補助金新学術領域研究 (研究領域提案型) (計画研究), 平成29-令和3年度「高エネルギー観測で探る重力波天体」研究分担者, 令和3年度直接経費 5,700千円
- [3] 深澤泰司: 科学研究費助成事業 基盤研究(B), 令和3-5年度, 「電波・可視光偏光モニターとVLBI撮像を組み合わせたジェットの磁場構造解明」令和3年度直接経費 700千円, 研究分担者
- [4] 深澤泰司: JAXA宇宙科学研究所搭載機器基礎開発研究費「MeVガンマ線観測用HV-CMOSシリコンピクセルセンサーの基礎特性試験」, 令和3年度直接経費 1,100千円
- [5] 水野恒史: 科学研究費補助金基盤研究(A) 平成31-令和5年度「X線偏光観測による回転するブラックホールの時空構造の解明」研究分担者, 令和3年度直接経費 100千円
- [6] 高橋弘充: 東北大学金属材料研究所共同研究, 令和3年度「新規開発シンチレータの詳細測定と応用」研究代表者, 令和3年度直接経費 300千円
- [7] 高橋弘充: 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 小規模計画, 平成31-令和4年度, 「XL-Calibur気球実験」研究代表者, 令和3年度直接経費 1,700千円
- [8] 高橋弘充: 科学研究費補助金基盤研究(B) 平成31-令和3年度「世界最高感度の硬X線の偏光観測で実現する超巨大ブラックホールの相対論的効果の測定」研究代表者,

令和3年度直接経費 2,100千円

- [9] 高橋弘充：科学研究費補助金基盤研究(S) 平成31-令和5年度「X線・ガンマ線偏光観測で開拓する中性子星超強磁場の物理」研究分担者，令和3年度直接経費 10,000千円
- [10] 川端弘治：科学研究費補助金新学術領域研究（研究領域提案型）（計画研究）平成29-令和3年度「重力波源の光赤外線対応天体観測で迫る中性子星合体の元素合成」研究分担者，令和3年度直接経費 6,000千円
- [11] 川端弘治：国立天文台 光・赤外線天文学研究教育大学間連携事業 平成29-令和3年度 令和3年度配分額 5,500千円
- [12] 稲見華恵：伊藤科学振興会，令和1-5年度「ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡で観測する赤外線銀河の性質」，研究代表者，令和3年度直接経費100万円
- [13] 笹田真人：科学研究費助成事業 国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)），令和元-6年度「事象の地平線スケールの動画解析で探る巨大ブラックホールの動的描像」研究分担者，令和3年度直接経費 300千円
- [14] 笹田真人：科学研究費助成事業 基盤研究(B)，令和3-5年度，「電波・可視光偏光モニターとVLBI撮像を組み合わせたジェットの磁場構造解明」，研究分担者，令和3年度直接経費 700千円
- [15] 稲見華恵：ALMA 共同科学研究事業 FY2021，自然科学研究機構 国立天文台，“A Systematic Study of the Dust Build-up in the Epoch of Reionization”，研究代表者，ポスドク1名雇用 + 研究費 1,000千円
- [16] 植村 誠：科学研究費補助金基盤研究(A) 令和3-7年度「ELITE：出自管理と深層学習に基づく専門知識獲得基盤の開発とその視覚計算応用」研究分担者，令和3年度直接経費 800千円
- [17] 植村 誠：科学研究費補助金基盤研究(B) 令和3-5年度「電波・可視光偏光モニターとVLBI撮像を組み合わせたジェットの磁場構造解明」研究分担者，令和3年度直接経費 700千円
- [18] 植村 誠：科学研究費補助金基盤研究(C) 令和3-5年度「突発現象の追跡観測を自動で意思決定するスマート観測システムの研究」研究代表者，令和3年度直接経費 800千円
- [19] 稲見華恵：科学研究費助成事業 基盤研究(B)，令和3-6年度，“次世代宇宙望遠鏡で探る近傍赤外線銀河のエネルギー発生とその性質”，研究代表者，令和3年度直接経費 1,000千円
- [20] 須田祐介：科学研究費助成事業 研究活動スタート支援 令和3-4年度「大気チェレンコフ望遠鏡で拓くガンマ線バーストの物理」研究代表者，令和3年度直接経費 1,200千円

その他，報道，特記事項

- [1] 稲見華恵：プレスネット東広島 インタビュー記事掲載（2021年12月2日号）
- [2] 稲見華恵：FM広島 「ヒロシマ ウィメンズ ハーモニー」出演（2022年2月18日）
- [3] 稲見華恵：YouTubeチャンネル ScienceTalks TV 出演（前編2022年2月11日，後編2022年2月18日）
- [4] 稲見華恵：「【研究成果】観測史上最古の「隠れ銀河」を131億年前の宇宙で発見」広島大学 プレスリリース（2021年9月23日）
- [5] 稲見華恵：「観測史上最古の「隠れ銀河」を131億年前の宇宙で発見」国立天文台プレスリリース（2021年9月23日）

- [6] 深澤泰司, 水野恒史, 他 : 「Nanosatellite co-developed by HU researchers detects gamma-ray burst」 Hiroshima University Update 2021/08号掲載
- [7] 水野恒史 : 「ブラックホールを観測する新しい手段の開拓～X線偏光観測衛星IXPEの打ち上げ～」 2021年12月8日 広島大学 web press release

物性科学講座

○構造物性グループ

研究活動の概要

構造物性グループは、黒岩芳弘教授、森吉千佳子教授、Kim Sangwook助教の3人の教員で構成されている。

我々の研究グループでは、SPring-8 BL02B2において、放射光粉末X線回折の手法を用いて精密な電子密度分布を求め、誘電分極や電気伝導などの物質機能、また電荷移動や熱振動などの相転移の起源に関わる構造情報を結晶構造上に可視化することで、固体の構造物性について議論してきた。これらの電子密度研究に係わる研究テーマに対して、先導的な高い研究成果が期待できる研究者が携わる研究分野としてSPring-8において利用者指定型の重点研究課題（パワーユーザー課題）が創始され、黒岩教授が「粉末結晶による精密構造物性の研究」の研究代表者（BL02B2粉末構造解析ビームライン、パワーユーザー代表）として平成15年度から平成17年度にかけて3年間、研究を牽引した。この指名は依頼されたものであり、構造物性グループの従来研究成果およびSPring-8で果たしてきた役割が高く評価されたものと考えている。平成17年度に評価委員会から最高の評価を得ることができ、その結果、平成18年度から、再び3年間継続された。平成21年度から、新たな重点研究課題「構造物性研究の基盤としての粉末回折法の開発」を立ち上げ、SPring-8の利用研究を5年間推進した。黒岩教授が牽引してきたBL02B2でのパワーユーザー課題は平成25年度で一度終了して、平成27年度からは名称を変え、森吉教授を代表者とする新たな利用者指定型の重点研究課題（パートナーユーザー課題）「粉末・多粒子X線回折による高速構造計測基盤の構築」（平成27年度－平成30年度）、「外場変化物質科学研究を実現する高エネルギーX線多目的一次元回折」（平成31年度（令和元年度）－令和3年度前期）を立ち上げ、現在に至っている。この課題の実施により森吉教授がBL02B2の令和3年度前期のビームタイムの内、約16%のビームタイムを獲得した。

SPring-8 BL02B2の重点研究課題では、国内外の大学・研究所・企業との共同研究を通して、今までに確立してきた我々の実験・解析手法によりハイスループットが実現されてきた。一方、平成20年にSPring-8 BL02B1単結晶構造解析ビームラインに新しい回折装置が導入された。我々のグループは設計段階から参加し、平成21年度から森吉教授がこの単結晶ビームラインのパワーユーザーメンバーに選任され、重点研究課題「単結晶高分解能電子密度分布解析による精密構造物性研究」を5年間推進した。BL02B2粉末構造解析ビームラインの重点研究課題と合わせて、2つの重点研究課題において我々構造物性グループのメンバーがそれぞれ利用者指定されたことにより、粉末実験と単結晶実験を両輪とした構造物性研究が強力に推進できる環境が整った。BL02B1でもパワーユーザー課題は一度終了し、平成26年度より5年間、新たに、パートナーユーザー課題「Application of synchrotron radiation in materials crystallography」

が、日本、デンマーク、フランス、イギリスのグループによる国際共同研究として開始された。日本からは黒岩教授が参加し、強誘電体の電場印加下での静的および動的構造変化と誘電特性との関係について研究を開始した。平成31年度（令和元年度）からは、黒岩教授がパートナーユーザー課題から発展した長期利用課題「2次元検出器を用いた電子密度・時分割・高圧・3次元PDFによる高エネルギーX線物質構造科学研究」（平成31年度（令和元年度）－令和3年度前期）に参加し、現在に至っている。

利用者指定型の重点研究課題や長期利用課題などの募集は、令和3年度前期で終了したが、その後もSPring-8を中心に、様々な研究グループと構造物性に関する共同研究を行っている。

黒岩教授は、SPring-8の多種多様なビームラインでの計測技術の高度化に協力すると同時に、主として酸化物強誘電体の構造物性について共同利用研究を行っている。

平成30年度より開始された広島大学（学長）と量子科学技術研究開発機構（量子ビーム科学部門長）との間の共同研究契約「コヒーレントX線を利用した強誘電体一粒子計測」において、黒岩教授が全体統括として共同研究を推進している。従来のX線回折実験ではマイクロな原子位置を問題にして構造解析を行ってきたが、今後はこれに加えてBragg Coherent Diffraction Imaging (BCDI)法により、微結晶一粒子のマクロスケールな外形やメソスケールのドメイン構造など、X線回折の技術だけでマルチスケールで構造計測する手法の開発を行っている。研究は、SPring-8のBL22XU専用ビームラインで行われ、令和3年度では、40 nmから500 nm程度の強誘電体微結晶について形状や内部のひずみ構造を非破壊で3次的に可視化することに成功した。実験試料には、チタン酸バリウムのナノ結晶を用いた。山梨大学との共同研究により、水熱合成法で、立方体、八面体、接頭八面体などの形状をもつサイズのそろった微結晶を作り分けることに成功しており、これらのバラエティー豊かな形状とサイズをもつ微結晶を試料として用いた。

産業技術総合研究所との共同研究である「エアロゾル・デポジション法を用いたセラミックコーティングの構造評価」に関して、日本溶射学会から解説記事執筆の依頼を受け、成膜された酸化物強誘電体薄膜の選択配向と原材料の化学結合との関係について従来からの研究成果をまとめて報告した。また、関連するトピックとして、メカノケミカル法を用いて圧電材料であるPZTを合成できることを示した成果により、指導していた学生が学位を取得した。

山梨大学等とは、鉛を使わない圧電材料を開発するという元素戦略プロジェクトの一つとして、 BaTiO_3 と BiFeO_3 の固溶体をベースとしたセラミック材料について共同研究を行っている。セラミックス協会誌への解説記事など、いくつか成果を公表した。

SPring-8のBL02B1単結晶構造解析ビームラインでは、強誘電体についてAC電場印加下での時間分解構造解析を行っている。時分割実験では、50ピコ秒の時間分解能で一瞬の動きを構造解析する手法を開発したことで、研究は格段に進展した。BL02B2粉末構造解析ビームラインで得られた成果を相補的に利用することで非鉛圧電材料について研究をすすめている。

今年度から、中国科学院上海セラミクス研究所（中国）と釜山大学物理（韓国）との共同研究により、ダブルペロブスカイト型反強誘電体の特性とエネルギー貯蔵特性について共同研究を開始した。また、ダブルペロブスカイト型反強誘電体の相転移については、東京大学物性研附属の国際超強磁場科学研究施設のSACLAでの実験に関して共同研究を同時に開始しており、成果が出つつある。

黒岩教授は、日本の誘電体研究者のプラットホームになることを目指して令和元年12月2日に設立された社団法人日本誘電体学会の理事副会長をつとめている。また、アジア強誘電体

学会の執行委員会委員として日本を代表してタイでのアジア強誘電体会議の開催に協力した。

森吉教授は、SPRING-8のBL02B2粉末構造解析ビームラインの重点研究課題（パートナーユーザー）代表としての活動の一環で、新しくビームラインに導入された高エネルギー放射光対応の二次元検出器と計測システムの整備を実施した。利便性を重視したシステム開発により、BL02B2を利用する一般ユーザーだけでなく、SPRING-8の他のビームラインユーザーからも好評を博している。さらに、このシステムを利用した物質合成や化学反応中の物質構造変化をリアルタイムで検出するシステムの開発と利用研究を進めた。特に、北海道大学との共同研究である原子レベルの固相反応機構の理解や、信州大学、島根大学、JASRI、VISTECH大学（タイ）との共同研究である水溶液中化学反応のリアルタイム結晶構造計測について注目され、プレスリリースをそれぞれ行った。

Kim助教は、酸化物強誘電体・圧電体の材料開発および構造物性について共同研究を行っている。

山梨大学とは、鉛を使わない圧電材料開発と物性の起源究明について共同研究を行っている。電場印加下での結晶構造のその場観察により、Biを含む圧電材料が、非180°ドメインの反転による非本質的な格子ひずみにより外形がマクロに変化するのではなく、結晶格子自体が電場印加方向に本質的に大きくひずむことにより外形が大きく変化することを明らかにした。BiFeO₃-BaTiO₃セラミックの圧電特性は、BiFeO₃とBaTiO₃の比率によって異なる。これらのセラミックスでは、Bi³⁺イオンのオフセンターリング距離に比例して圧電特性が向上することを見出した。この成果は圧電材料開発分野で注目され、Kim助教がElectronic Materials and Applications国際会議で招待講演を行った。

一方、BiFeO₃をベースとしたセラミック材料において、急冷などの熱処理の有無によってリーク電流メカニズムが変わることを明らかにした。この成果はJ. Appl. Phys.に報告し、山梨エレクトロセラミックスセミナーで招待講演を行った。Biを含む圧電材料の圧電特性を向上させるために急冷熱処理は必須である。しかし、急冷のメカニズムはまだ不明である。構造解析を通じて急冷の影響を解明するための研究を行っており、成果が出つつある。今年から、昌原大学物理（韓国）との国際共同研究により、圧電材料において急冷熱処理と圧電特性との相関関係を調べるプロジェクトを開始した。また、リバプール大学化学（イギリス）と、BiFeO₃をベースとしたセラミックの材料開発における問題点を共有し、構造エンジニアリングにより新しい高性能圧電セラミック材料を開発する共同研究プロジェクトも開始した。これらのアクティビティーにより、Kim助教は、国際誌の編集委員に就任した。

構造物性研究グループでは、教育や社会貢献に係わる事業も積極的に行ってきた。平成23年度に立ち上げた広島県立祇園北高校とのJSTのサイエンス・パートナーシップ・プログラム（SPP）は平成27年度からはポストSPPプログラムとして継続され、機能物質の結晶育成を競うコンテスト（クリスタルコンペ）に関連して、模擬授業や結晶育成の指導を行った。しかし、例年、広島大学で主催してきたクリスタルコンペについては、コロナ禍で開催することができなかった。また、広島大学と釜山大学（韓国）との間の学術・教育交流に関する大学間協定書に基づく国際交流事業として、平成21年から、釜山大学のSchool of Nanoscience and Technologyと先進理工系科学研究科物理学プログラムの放射光物性グループとの間でナノテクノロジーと放射光科学をテーマに学生ワークショップを開催してきた。開催場所を交互にしながら継続して毎年開催しており、令和3年度は広島大学開催のために準備を進めてきたが、コロナ禍で中止せざるを得ない状況となってしまった。

原著論文

- [1] © D. Urushihara, T. Asaka, K. Fukuda, M. Nakayama, Y. Nakahira, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, O. K. Forslund, N. Matsubara, M. Mansson, K. Papadopoulos, Y. Sassa, K. Ohishi, J. Sugiyama, Y. Matsushita, and H. Sakurai, “Structural Transition with a Sharp Change in the Electrical Resistivity and Spin-Orbit Mott Insulating State in a Rhenium Oxide, $\text{Sr}_3\text{Re}_2\text{O}_9$,” *Inorg. Chem.* **60** (2021) 507-514.
- [2] © Y. Goto, S. Nakanishi, Y. Nakai, T. Mito, A. Miura, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, H. Usui, T. D. Matsuda, Y. Aoki, Y. Nakacho, Y. Yamada, K. Kanamura, and Y. Mizuguchi, “The Crystal Structure and Electrical/Thermal Transport Properties of $\text{Li}_{1-x}\text{Sn}_{2+x}\text{P}_2$ and Its Performance as a Li-ion Battery Anode Material”, *J. Mater. Chem. A* **9** (2021) 7034-7041.
- [3] G. P. Khanal, I. Fujii, S. Kim, S. Ueno, and S. Wada, “Fabrication of $(\text{Bi}_{0.5}\text{K}_{0.5})\text{TiO}_3$ Modified BaTiO_3 - $\text{Bi}(\text{Mg}_{0.5}\text{Ti}_{0.5})\text{O}_3$ - BiFeO_3 Piezoelectric Ceramics”, *J. Eur. Ceram. Soc.* **41** (2021) 4108-4115.
- [4] S. Kim, H. Nam, P. Sapkota, G. P. Khanal, I. Fujii, S. Ueno, and S. Wada, “Variation of Leakage Current Conduction Mechanism by Heat Treatment in Bi-based Lead-free Piezoelectric Ceramics”, *J. Appl. Phys.* **129** (2021) 094102/1-8.
- [5] © Q. Liu, Z.-Y. Feng, H. Li, Q. Zhao, N. Shirahata, Y. Kuroiwa, C. Moriyoshi, C.-K. Duan, and H.-T. Sun, “Non-Rare-Earth UVC Persistent Phosphors Enabled by Bismuth Doping”, *Adv. Optical Mater.* **9** (2021) 2002065/1-8.
- [6] © Y. Nakahira, G. Kawamura, T. Wakamatsu, I. Terasaki, H. Taniguchi, Y. Kuroiwa and C. Moriyoshi, “Size Effect of the Guest Cation on the AlO_4 Framework in Aluminate Sodalite-type Oxides $M_8[\text{Al}_{12}\text{O}_{24}](\text{SO}_4)_2$ ($M = \text{Sr}^{2+}$ and Ca^{2+}) in the $I\bar{4}3m$ Phase”, *Acta Cryst. B* **77** (2021) 186-192.
- [7] © H. Ito, A. Miura, Y. Goto, Y. Mizuguchi, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, N. C. Rosero-Navarro, and K. Tadanaga, “Phase Transition, Magnetic, and Electronic Properties of CeOInS_2 ”, *J. Ceram. Soc. Jpn.* **129** (2021) 249-253.
- [8] © A. Miura, C. J. Bartel, Y. Goto, Y. Mizuguchi, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, Y. Wang, T. Yaguchi, M. Shirai, M. Nagao, N. C. Rosero-Navarro, K. Tadanaga, G. Ceder, and W. Sun, “Observing and Modeling the Sequential Pairwise Reactions that Drive Solid-State Ceramic Synthesis”, *Adv. Mater.* **33** (2021) 2100312/1-9. 【プレスリリース】
- [9] © M. Calpa, H. Nakajima, S. Mori, Y. Goto, Y. Mizuguchi, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, N. C. Rosero-Navarro, A. Miura, and K. Tadanaga, “Formation Mechanism of b- Li_3PS_4 through Decomposition of Complexes”, *Inorg. Chem.* **60** (2021) 6964-6970. 【Featured Article】
- [10] © K. Shinozaki, Y. Goto, K. Hoshi, R. Kiyama, N. Nakamura, A. Miura, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, H. Usui, and Y. Mizuguchi, “Thermoelectric Properties of the As/P-Based Zintl Compounds $\text{EuIn}_2\text{As}_{2-x}\text{P}_x$ ($x = 0-2$) and SrSn_2As_2 ”, *ACS Appl. Energy Mater.* **4** (2021) 5155–5164.
- [11] © A. Yamashita, Y. Goto, A. Miura, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, and Y. Mizuguchi, “n-Type Thermoelectric Metal Chalcogenide (Ag,Pb,Bi)(S,Se,Te) Designed by Multi-site-type High-Entropy Alloying”, *Mater. Res. Lett.* **9** (2021) 366-372.
- [12] H. Ito, K. Shitara, Y. Wang, K. Fujii, M. Yashima, Y. Goto, C. Moriyoshi, N. C. Rosero-Navarro, A. Miura, and K. Tadanaga, “Kinetically Stabilized Cation Arrangement in Li_3YCl_6 Superionic Conductor during Solid-State Reaction”, *Adv. Sci.* **8** (2021) 101413/1-8.

- [13] T. Okada, K. Izumi, S. Kawaguchi, C. Moriyoshi, T. Fujimura, R. Sasai, and M. Ogawa, “Important Roles of Water Clusters Confined in a Nanospace as Revealed by a Synchrotron X-ray diffraction Study”, *Langmuir* **37** (2021) 10469-10480. 【プレスリリース】
- [14] © S. Kim, H. Nam, I. Fujii, S. Ueno, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, and S. Wada, “Material Softening by Cation Off-centering in Bi-based Lead-free Piezoelectric Ceramics”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **60** (2021) SFFD01/1-6.
- [15] © L. Wu, S. Kim, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, M. Suzuki, K. Shinoda, R. Aoyagi, and J. Akedo, “Synthesis of Pb(Zr,Ti)O₃ Fine Ceramic Powder at Room Temperature by Dry Mechanochemical Solid-state Reaction Evaluated using Synchrotron Radiation X-ray Diffraction”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **60** (2021) SFFA02/1-8.
- [16] N. Oshime, K. Ohwada, K. Sugawara, T. Abe, R. Yamauchi, T. Ueno, A. Machida, T. Watanuki, S. Ueno, I. Fujii, S. Wada, R. Sato, T. Teranishi, M. Yamauchi, K. Ishii, H. Toyokawa, K. Momma, and Y. Kuroiwa, “Bragg Coherent Diffraction Imaging Allowing Simultaneous Retrieval of Three-dimensional Shape and Strain Distribution for 40-500 nm Particles”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **60** (2021) SFFA07/1-6.
- [17] N. Oshime, K. Ohwada, K. Sugawara, T. Ueno, A. Machida, T. Watanuki, K. Ishii, H. Toyokawa, and Y. Kuroiwa, “Development and Improvement of Bragg Coherent Diffraction Imaging for Expanding Observable Particle-size Range”, *Acta Crystallogr. Sect. A* **77** (2021) C922.
- [18] © S. Kim, H. Nam, I. Fujii, S. Ueno, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, and S. Wada, “A-site Cation Off-centering Contribution on Ferroelectricity and Piezoelectricity in Pseudo-cubic Perovskite Structure of Bi-based Lead-free Piezoelectrics”, *Scr. Mater.* **205** (2021) 114176/1-5.
- [19] © P. Sapkota, I. Fujii, S. Kim, S. Ueno, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, and S. Wada, “Mn-Nb Co-doping in Barium Titanate Ceramics by Different Solid-state Reaction Routes for Temperature Stable and DC-bias Free Dielectrics”, *Ceramics International* **48** (2021) 2154-2160.

著書など

(編集雑誌)

- [1] K. Kakimoto and Y. Kuroiwa [Guest Editor-in-Chief and Guest Editor-in-Charge], Y. Cho, N. Fujimura, H. Fujisawa, T. Hoshina, M. Iwata, I. Kanno, K. Kato, T. Kobayashi, H. Nagata and H. Takeda; Ferroelectric Materials and Their Applications, *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 60, No. SF (2021) Special Issue: (総論文数 33編) , The Japan Society of Applied Physics, IOP Publishing (2021年11月発行) .

総説

- [1] 安部友啓, 黒岩芳弘, “放射光 X 線回折を利用したセラミックコーティングの構造評価”, *溶射* **58** (2021) 24-30.
- [2] ©藤井一郎, 和田智志, Kim Sangwook, 黒岩芳弘, “擬立方晶強誘電体 セラミックスにおける 圧電応答機構”, *セラミックス* **56** (2021) 475-478.
- [3] 久保田佳基, 森吉千佳子, 西堀英治, 河口彰吾, “SPring-8 粉末回折のこの 10 年”, *日本結晶学会誌* **64** (2022) 17-25.

研究報告

- [1] 大和田謙二, 黒岩芳弘, “積層セラミックコンデンサ内部に埋もれた 100 nm 級ナノ結晶一粒子のドメイン等内部構造の 3 次元可視化へ向けた要素技術の開発”, 村田学術振興財団 ANNUAL REPORT 2021.12 No.35.

国際会議

(招待講演)

- [1] Y. Kuroiwa, “Study of Materials Structure Physics of Perovskite-type Ferroelectric by Synchrotron Radiation X-ray Diffraction”, Joint Conference of the Asian Meeting on Ferroelectricity (AMF) and the Asian Meeting on Electroceramics (AMEC) (Materials Thailand: AMF-AMEC 2021), (2021.7.7-9, Chulalongkorn University, Thailand, Hybrid (Online)).
- [2] Y. Kuroiwa, “Electron Charge Density Study of Lead-containing Perovskite-type Oxides”, The 13th China and Japan Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications (CJFMA13), (2021.9.3-6, Renaissance Shenyang West Hotel, Shenyang, China, Hybrid (Online)).
- [3] S. Kim, “Role of *A*-site Cation Off-centering in Perovskite Pseudo-cubic Structure of Bi-based Piezoelectrics”, Electronic Materials and Applications 2022 (EMA-2022), (2022.1.19-21, Online).

(一般講演)

- [1] I. Fujii, S. Ueno, Y. Sato, Y. Kuroiwa, and S. Wada, “Fabrication of Pseudo-Cubic BaTiO₃-Bi(Mg_{1/2}Ti_{1/2})O₃-BiFeO₃ Ceramics and Origin of Ferroelectric and Piezoelectric Response”, 2021 Joint ISAF-ISIF-PFM Virtual Conference, IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectric (ISAF), International Symposium on Integrated Functionalities (ISIF), and Piezoelectric Force Microscopy Workshop (PFM), (2021.5.16-21, Online).
- [2] ©S. Kim, Y. Nakahira, Y. Yatabe, C. Moriyoshi, I. Fujii, S. Ueno, S. Wada, Y. Sato, and Y. Kuroiwa, “Origin of Piezoelectricity by Partial Ordering of Off-centered Cation in Perovskite-type Pseudo-cubic Structure”, Joint Conference of the Asian Meeting on Ferroelectricity (AMF) and the Asian Meeting on Electroceramics (AMEC) (Materials Thailand: AMF-AMEC 2021), (2021.7.7-9, Chulalongkorn University, Thailand, Hybrid (Online)).
- [3] H. S. Mallik, I. Fujii, Y. Matsui, G. P. Khanal, S. Kim, S. Ueno, T. S. Suzuki, and S. Wada, “Preparation of <111>-oriented BaTiO₃ Ceramics by HM-EPD Method for Piezoelectric Enhancement”, ANPA CONFERENCE 2021, (2021.7.16-18, Online).
- [4] N. Oshime, K. Ohwada, K. Sugawara, T. Ueno, A. Machida, T. Watanuki, K. Ishii, H. Toyokawa and Y. Kuroiwa, “Development and Improvement of Bragg Coherent Diffraction Imaging for Expanding Observable Particle-size Range”, Twenty-Fifth Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography (IUCr 2021), (2021.8.14-22, Prague Congress Centre, Prague, Czech Republic, Hybrid (Online)).
- [5] R. Sasai, T. Fujimura, C. Moriyoshi, S. Ishihara, and Y. Fujii, “Effect of Chemical Composition on Carbonate Selectivity of Layered Double Hydroxide”, 14th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology (PACRIM14), (2021.12.13-16, Hyatt Regency Vancouver, Vancouver, Canada, Hybrid (Online)).

国内学会

(招待講演)

- [1] 黒岩芳弘, 「シンポジウム「エキゾチック強誘電体の展開」クロージング」, 日本物理学会 2021年秋季大会, (2021年9月20日-23日, オンライン).
- [2] 黒岩芳弘, 「シンポジウム「多様化する圧電材料研究 ～センサー, アクチュエーターから 5G, IoT まで～」ペロブスカイト型酸化物の構造乱れと強誘電性・圧電性」, 第82回応用物理学会秋季学術講演会, (2021年9月10日-13日, オンライン).
- [3] Sangwook Kim, 「Role of A-site Cation Off-centering in Bi-based Lead-free Piezoelectric Ceramics」, 第28回山梨エレクトロセラミックスセミナー, (2021年12月22日, オンライン).

(依頼講演)

- [1] E. Nishibori, B. B. Iversen, J. Overgaard and Y. Kuroiwa, “Advanced Structural Materials Science using High Energy X-ray with Two Dimensional Detector”, SPring-8 シンポジウム 2021, (2021年9月17日-18日, オンライン).
- [2] 森吉千佳子, 久保田佳基, 西堀英治, “外場変化物質科学研究を実現する高エネルギーX線多目的一次元回折”, SPring-8 シンポジウム 2021, (2021年9月17日-18日, オンライン).

(一般講演)

- [1] ◎中平夕貴, 若松 徹, 谷口博基, 寺崎一郎, 黒岩芳弘, 森吉千佳子, 「アルミネートソーダライト型強誘電体 $\text{Ca}_8[\text{AlO}_2]_{12}(\text{SO}_4)$ の立方晶相構造の特徴」, 第 38 回強誘電体会議 (FMA-38), (2021年6月1日-4日, オンライン).
- [2] ◎矢多部優介, 中平夕貴, 服部真央, Kim Sangwook, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 廣瀬美那子, 藤井一郎, 上野慎太郎, 和田智志, 佐藤幸生, 「擬立方晶ペロブスカイト型非鉛圧電材料の構造物性」, 第 38 回強誘電体会議 (FMA-38), (2021年6月1日-4日, オンライン).
- [3] 押目典宏, 大和田謙二, 菅原健人, 安部友啓, 山内礼士, 上野哲朗, 町田晃彦, 綿貫 徹, 上野慎太郎, 藤井一郎, 和田智志, 黒岩芳弘, 「コヒーレント X 線回折を利用したナノ結晶の 3 次元イメージング」, 第 38 回強誘電体会議 (FMA-38), (2021年6月1日-4日, オンライン).
- [4] ◎山内礼士, Kim Sangwook, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 藤井一郎, 上野慎太郎, 和田智志, 「チタン酸バリウム多面体微粒子の構造相転移」, 第 38 回強誘電体会議 (FMA-38), (2021年6月1日-4日, オンライン).
- [5] ◎L. Wu, S. Kim, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, M. Suzuki, K. Shinoda, R. Aoyagi, and J. Akedo, 「Structural Characterization of $\text{Pb}(\text{Zr}_{1-x}\text{Ti}_x)\text{O}_3$ Fine Ceramic Powder Synthesized by Dry Mechanochemical Solid-state Reaction Using Synchrotron Radiation X-ray Diffraction」, 第 38 回強誘電体会議 (FMA-38), (2021年6月1日-4日, オンライン).
- [6] ◎S. Kim, H. Nam, I. Fujii, S. Ueno, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, and S. Wada, 「Material Softening by Cation Off-centering in Bi-based Lead-free Piezoelectric Ceramics」, 第 38 回強誘電体会議 (FMA-38), (2021年6月1日-4日, オンライン).
- [7] H. Nam, I. Fujii, S. Kim, S. Ueno, T. Ishii, and S. Wada, 「Impact of Alternating Current Poling Conditions on Lead-Free BiFeO_3 - BaTiO_3 Based Piezoelectric Ceramics」, 第 38 回強誘電体会

- 議(FMA-38), (2021年6月1日-4日, オンライン).
- [8] 町田晃彦, 押目典宏, 大和田謙二, 菅原健人, 石井賢司, 綿貫 徹, 佐藤良太, 寺西利治, 山内美穂, 豊川秀訓, 黒岩芳弘, 「ブラッグコヒーレント X 線回折イメージングの開発と Pd ナノ結晶水素化過程の三次元可視化への適用」, 第4回ハイドロジェノミクス研究会, (2021年8月19日-20日, オンライン).
- [9] N. Oshime, K. Ohwada, K. Sugawara, T. Ueno, A. Machida, T. Watanuki, K. Ishii, H. Toyokawa and Y. Kuroiwa, 「Development and Improvement of Bragg Coherent Diffraction Imaging for Expanding Observable Particle-size Range」, 2018~2022 年度 文部科学省 科学研究費助成事業 新学術領域研究 (研究領域提案型) ハイドロジェノミクス: 高次水素機能による革新的材料・デバイス・反応プロセスの創成 第8回若手育成スクール, (2021年8月31日, オンライン).
- [10] 井藤浩明, 設楽一希, Wang Yongming, 藤井孝太郎, 八島正知, 後藤陽介, 森吉千佳子, Rosero-Navarro Nataly Carolina, 三浦 章, 忠永清治, 「新規準安定 Li_3YCl_6 相における速度論的なカチオン秩序の安定化」, セラミクス協会第34回秋季シンポジウム, (2021年9月1日-3日, オンライン).
- [11] ©山内礼士, Kim Sangwook, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 藤井一郎, 上野慎太郎, 和田智志, 「 BaTiO_3 多面体微粒子の相転移と結晶構造」, 第82回応用物理学会秋季学術講演会, (2021年9月10日-13日, オンライン).
- [12] ©山下愛智, 臼井秀知, 川島千弦, 石田康平, Rajveer Jha, 星 和久, 後藤陽介, 三浦章, 黒木和彦, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 高橋博樹, 水口佳一, 「 BiS_2 系超伝導体の高圧相における同位体効果の検証」, 日本物理学会 2021年秋季大会, (2021年9月20日-23日, オンライン).
- [13] 押目典宏, 大和田謙二, 菅原健人, 安部友啓, 山内礼士, 上野哲朗, 町田晃彦, 綿貫 徹, 石井賢司, 上野慎太郎, 藤井一郎, 和田智志, 佐藤良太, 寺西利治, 山内美穂, 豊川秀訓, 黒岩芳弘, 「Bragg コヒーレント X 線回折を用いたナノ結晶の外形, 歪分布のイメージング」, 日本物理学会 2021年秋季大会, (2021年9月20日-23日, オンライン).
- [14] ©P. Sapkota, I. Fujii, S. Kim, S. Ueno, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, and S. Wada, 「Preparation of Superparaelectric Barium Titanate Ceramics by Mn-Nb Co-doping for DC-bias Free Dielectrics」, 第41回電子材料研究討論会, (2021年11月4日-5日, オンライン).
- [15] 町田晃彦, 押目典宏, 大和田謙二, 菅原健人, 石井賢司, 綿貫 徹, 佐藤良太, 寺西利治, 山内美穂, 豊川秀訓, 黒岩芳弘, 「Pd ナノ結晶水素化過程の三次元可視化へ向けたブラッグコヒーレント X 線回折イメージングの開発」, 第7回水素化物に関わる次世代学術・応用展開研究会, (2021年11月8日-9日, オンライン).
- [16] H. Nam, I. Fujii, S. Kim, S. Ueno, T. Ishii, and S. Wada, 「Composition Dependence of BiFeO_3 -Based Ceramics and Their Piezoelectric Properties by AC Poling Treatment」, 第60回セラミクス基礎科学討論会, (2022年1月8日-9日, 熊本大学, 熊本, ハイブリッド (オンライン)).
- [17] 米田安宏, Sangwook Kim, 和田智志, 「 BiFeO_3 - BaTiO_3 混晶系の局所構造解析」, 日本物理学会第77回年次大会, (2022年3月15日-19日, オンライン).
- [18] ©山下愛智, 水戸部 翼, 後藤陽介, 三浦 章, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 水口佳一, 「高エントロピー合金型金属カルコゲナイド系化合物の熱電特性」, 日本物理学会第77回年次大会, (2022年3月15日-19日, オンライン).

- [19] 押目典宏, 大和田謙二, 菅原健人, 島田 歩, 安部友啓, 山内礼士, 上野哲朗, 町田晃彦, 綿貫 徹, 上野慎太郎, 藤井一郎, 和田智志, 佐藤良太, 寺西利治, 山内美穂, 門馬綱一, 石井賢司, 豊川秀訓, 黒岩芳弘, 「Bragg コヒーレント X 線回折を用いた Pd 水素化物ナノ結晶の 3 次元イメージング」, 日本物理学会第 77 回年次大会, (2022 年 3 月 15 日-19 日, オンライン).
- [20] ©福島風世, 山内礼士, Kim Sangwook, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 藤井一郎, 上野慎太郎, 和田智志, 「マイクロオーダーの粒サイズをもつ BaTiO₃ 多面体粒子の構造相転移」, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会, (2022 年 3 月 22 日-26 日, 青山学院大学, 相模原キャンパス).

実績

(国際会議)

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 0 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 0 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 1 件

(国内学会)

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 3 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 2 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 4 件

セミナー・講演会開催実績

○ 学会等

- [1] 第38回強誘電体会議 (FMA-38, 日本誘電体学会年会), (2021年6月1日-4日, オンライン), 黒岩芳弘 (日本誘電体学会理事副会長, 運営委員, 論文委員), 森吉千佳子 (運営委員)

○ セミナー・講習会等

該当無し

社会活動・学外委員

○ 学協会委員

- [1] 黒岩芳弘: (一社)日本誘電体学会 (DESJ) 理事 副会長
- [2] 黒岩芳弘: (一社)日本物理学会 (JPS) 代議員
- [3] 黒岩芳弘: (公社)日本セラミックス協会 (CerSJ) セラミックコーティング研究体世話人
- [4] 黒岩芳弘, 森吉千佳子: 強誘電体会議 (FMA) 運営委員会 委員
- [5] 黒岩芳弘: 強誘電体会議 (FMA) 論文委員会 委員
- [6] 黒岩芳弘, 森吉千佳子: 強誘電体会議 (FMA) 優秀発表賞選考委員会 委員
- [7] 黒岩芳弘: Japanese Journal of Applied Physics (JJAP) Vol. 60, No. SF (2021) Special Issue: Ferroelectric Materials and Their Applications, Guest Editor-in-Chief and Guest Editor-in-Charge (編集委員会ゲスト編集委員およびゲスト編集委員長)
- [8] 黒岩芳弘: Asian Ferroelectric Association (AFA), Executive Board (執行役員会委員),

日本代表)

- [9] 黒岩芳弘 : Journal of Advanced Dielectrics (JAD), Editorial Board (編集委員会委員)
- [10] 黒岩芳弘 : The Dielectrics and Electrical Insulation Society of IEEE (IEEE-DEIS), Technical Committee of Functional Dielectrics (機能性誘電体部会 委員)
- [11] 森吉千佳子 : 日本学術会議 連携会員 (IUCr 分科会幹事・結晶学分科会委員)
- [12] 森吉千佳子 : 日本結晶学会 評議員
- [13] 森吉千佳子 : 日本結晶学会 男女共同参画推進幹事
- [14] 森吉千佳子 : 日本セラミックス協会 男女共同参画推進委員
- [15] 森吉千佳子 : 広島県物理教育研究推進会事務局, 会計幹事
- [16] Sangwook Kim : Materials, Section Editor for Advanced and Functional Ceramics and Glasses
- [17] Sangwook Kim : Materials, Editorial Board member

○ 外部評価委員等

- [1] 黒岩芳弘 : 量子科学技術研究開発機構 委員会 (2 件)
- [2] 黒岩芳弘 : 日本原子力研究開発機構 委員会
- [3] 森吉千佳子 : 東北大学金属材料研究所研究部共同利用委員会

○ 学内委員等

- [1] 黒岩芳弘 : 理学部 学部長
- [2] 黒岩芳弘 : 大学院理学研究科 研究科長
- [3] 黒岩芳弘 : 大学院先進理工系科学研究科 副研究科長, 他
- [4] 森吉千佳子 : 広島大学放射光科学研究センター運営委員

○ 客員教授, 研究員等

- [1] 黒岩芳弘, 森吉千佳子 : (公財)高輝度光科学研究センター (JASRI) 外来研究員
- [2] 森吉千佳子 : SPring-8 BL02B2 粉末構造解析ビームライン, パートナーユーザー, 代表

○ 講習会・セミナー講師

(集中講義)

該当無し

(セミナー講師)

該当無し

国際共同研究・国際会議開催実績

○ 国際共同研究

- [1] 黒岩芳弘 : SPring-8 BL02B1 単結晶構造解析ビームライン, 長期利用課題 (2019-2021 年度), 参加国 : 日本, デンマーク
- [2] 黒岩芳弘 : SPring-8 BL02B2 粉末構造解析ビームライン, ダブルペロブスカイト型反強誘電体の構造物性 (2021 年), 参加国 : 日本, 中国, 韓国
- [3] 黒岩芳弘 : SPring-8 BL02B2 粉末構造解析ビームライン, 電池正極材量の構造物性 (2021 年), 参加国 : 日本, 中国

- [4] 黒岩芳弘, 森吉千佳子 : Pring-8 BL02B2 粉末構造解析ビームライン, 光ルミネッセンス材料の構造物性 (2021 年), 参加国 : 日本, 中国
- [5] 森吉千佳子 : SPring-8 BL02B2 粉末結晶構造解析ビームライン, パートナーユーザー課題 (2019-2021 年度), 参加国 : 日本, デンマーク

○ 国際会議開催実績

- [1] 黒岩芳弘 : Joint Conference of the Asian Meeting on Ferroelectricity (AMF) and the Asian Meeting on Electroceramics (AMEC) (Materials Thailand: AMF-AMEC 2021), (2021.7.7-9, Chulalongkorn University, Thailand, Hybrid), International Honorary and Executive Board Members of Asian Ferroelectrics Association (AFA)

高大連携事業への参加状況

○ 模擬授業

- [1] 黒岩芳弘 : 祇園北高等学校 模擬授業「物理学講座 一夢の光, 放射光で見る物質の構造と機能発現のメカニズムー」, 祇園北高校理数科生徒2年生 (39名) 対象, 2021年4月27日
- [2] 黒岩芳弘 : 祇園北高等学校, 結晶育成指導, 祇園北高校理数科生徒2年生 (39名) 対象, 2021年7月13日

各種研究員と外国人留学生の受入状況

○ 外国人留学生

- [1] 黒岩芳弘 : 大学院理学研究科博士課程後期, 2018 年 10 月入学生, 1 名 (中国)
- [2] 黒岩芳弘 : 大学院先進理工系科学研究科博士課程後期, 2020 年 4 月入学生, 1 名 (中国)

○ 各種研究員

該当無し

研究助成金の受入状況

- [1] 黒岩芳弘 (代表) : 科学研究費補助金基盤研究 (B) (一般)「擬立方晶フラクチャード強誘電体の巨大圧電応答機構解明のための構造計測手法の構築」(2021年度, 4,940千円)
- [2] 黒岩芳弘 (分担) : 科学研究費補助金基盤研究 (B) (一般)「ナノ結晶一粒子に対するマルチスケールX線構造解析システムの開発」(2021年度, 400千円)
- [3] 黒岩芳弘 (全体統括) : 量子科学技術研究開発機構・広島大学共同研究「コヒーレントX線を利用した強誘電体一粒子計測に関する研究」(2021年度, 0千円)
- [4] 黒岩芳弘, 森吉千佳子 : 共同研究費「放射光X線回折による精密計測技術の開発」(2021年度, 3,000千円)
- [5] 森吉千佳子 (代表) : 栢森情報科学振興財団2020年度助成金 (2020-21年度, 800千円)
「放射光エックス線回折実験で得られる多量データと失敗データの機械学習による活用」
- [6] 森吉千佳子 (代表) : SPring-8 パートナーユーザー課題 (2019-21 年度, BL02B2)
「外場変化物質科学研究を実現する高エネルギーX線多目的一次元回折」
(BL02B2 粉末構造解析ビームラインでの年間 16%のビームタイムとビームタイム使用に係わる消耗品費, 学生・教員を含むグループ全員の出張旅費, SPring-8 で使用する消耗

品費) (2021年度, 約 1,000 千円)

- [7] Sangwook Kim (代表) : 公益財団法人村田学術振興財団研究助成「結晶構造エンジニアリングを用いたエネルギーハーベスティング用高性能圧電材料の創成」(2020-2022年度, 2,000 千円)

その他特記すべき事項

- 学術団体等からの受賞実績
該当無し
- 学内表彰・受賞
該当無し

○電子物性グループ

研究活動の概要

放射光X線を用いた分光学的手法と計算機を用いたモデルシミュレーションによる物性研究の展開を図っている。特に、放射光の元素感受性や軌道選択性を活かした実験手法を通して、誘電体・合金・磁性体における物性発現の決め手となる電子状態の探究を推進している。さらに、放射光X線のもつ偏光特性やパルス特性も活かしながら、空間及び時間に関する反転対称性に注目することで、構造相転移や磁気相転移に伴う電子状態の変化を捉えた研究を行っている。

本研究グループでは、高輝度光科学研究センター (SPring-8) や高エネルギー加速器研究機構放射光実験施設 (KEK-PF) において、さまざまな外場 (圧力・電場・磁場・温度・紫外線) を試料に印加した状態でX線回折 (XRD), X線吸収分光 (XAS), X線発光分光 (XES) および光電子分光 (PES) による結晶構造と電子状態のその場測定 (*in situ*測定) を実施している。高圧力印加による磁性体の構造及び磁気相転移に関する従来の研究から、さらに空間・時間反転対称性の破れに伴う局所構造と電子状態の変化に注目した研究を行っている。また、パルス電場印加下のXAS及びXESの時間分解測定による誘電体中の電気分極の外場応答に関する研究を実施しており、外場印加による電子励起状態に関するX線分光学的研究の新展開を目指している。

ここ数年は、実験データの理論的な解釈にも力を入れている。XASのシミュレーションソフトは汎用的なものがいくつか提供されているが、それぞれに一長一短があるため、必要に応じてシミュレーション結果の再検討を重ねる必要がある。さらに、物質中の複雑な乱れも考慮するために、逆モンテカルロ法に基づくモデル計算や一電子近似の枠組みを超えて電子相関を取り込んだバンド計算とそれに基づくスペクトル計算なども始めている。

(1) X線発光分光による誘電体の研究

XESは局所歪みに由来する固体内の低エネルギー励起 (電荷移動励起・バンド内励起, マグノン励起) の検出に適している。また、電子検出法ではないことから、電場や圧力をはじめとする様々な外場を動的に加えることができる。これはXESを誘電体研究に用いる大きな利点である。この利点を活用して、チタン酸化物の構造変化を反映する電荷移動励起 (~10

eV) に着目し、単位格子内における誘電分極のゆらぎを電子状態の立場から研究している点が、本研究グループの取り組みの独創的な点である。励起光のエネルギーを連続的に変化させながら各エネルギーで得られる発光スペクトルを連続的に測定する自動測定プログラムを導入し、X線吸収分光法の新たな手法である高エネルギー分解蛍光X線検出分光法 (HERFD-XAFS) を実現した。現在、国内の4グループの研究チームがこのプログラムや手法を活用しており、研究成果を生み出している。これまでも進めてきたOperando-XES測定 (電子デバイスなどの作動条件下でのXES測定) と、この自動測定技術の組み合わせによって、新物質や低次元系の示す新奇誘電性を見つけ出し、いくことが究極の目標である。

チタン酸ストロンチウムの新規強誘電性の探求

チタン酸ストロンチウム (SrTiO_3) は、量子ゆらぎによって強誘電相の発現が抑制されて常誘電相に留まる量子常誘電体である。このゆらぎに打ち勝つ外場 (電場・元素置換・応力) を加えることで、環境負荷の小さい SrTiO_3 を強誘電体に転用する試みが進められている。特に、応力は物質に簡単に加えることができるため、近年NatureやScienceなどの速報性の高い雑誌でもたびたび議論されている。しかし、誘電性の直接証拠であるヒステリシス測定は報告されておらず、応力による SrTiO_3 の強誘電性出現については未だ結論が出ていない。これまでに、一軸応力下および曲げ応力下で SrTiO_3 単結晶を用いたX線分光測定および誘電率測定を進めてきたが、単結晶中に生じるひび割れが要因となってどちらの応力条件下においても期待された強誘電性の出現は観測されなかった。

そこで、共同研究者に10 nm厚の極薄膜をレーザー蒸発法により作製を依頼した。蒸着基板を圧縮応力と引張応力の異なる歪みが生み出されるものを選び、放射光の偏光特性と元素選択性を活かしたX線分光測定を行った。その結果、応力の違いによって SrTiO_3 薄膜に誘起される双極子モーメントの向きが面直 (圧縮) あるいは面内 (引張) へと変化することが分かった。現在、電子相関を考慮した電子状態の計算や後述の時間分解分光測定を活用した研究を進めており、測定結果と理論的な解釈との整合性を検証している。分極を配向制御することで、実用的な大きさの分極をもつ強誘電体に転化する方法を探求している。

チタン酸バリウム薄膜のパルス電場印加下の時分割分光測定

チタン酸バリウム (BaTiO_3) に電場を印加して誘電分極が生じると、逆圧電効果により結晶に歪みが生じる。電場に対する格子の伸びを調べたX線回折による研究報告は幾つかあるが、特にパルス電場に対するリアルタイムな応答では大きな格子歪みが現れている。また、交流電場を印加している状態で瞬間的に表れる「0 V」の状態と、全く電場を印加していない状態とでは、同じ「0 V」でも何かが異なると指摘されてきた。そこで、XAS測定により電子状態の変化を動的に捉えることが本研究の目的である。 BaTiO_3 単結晶の分極制御に必要な電場は極めて大きく高速応答測定には向いていない。これを解決するために、東工大のグループに厚さ100 nm程度のエピタキシャル薄膜を作製していただいた。1s→3d遷移に対応する前吸収構造ピーク (プリエッジピーク) に、分極反転に同期した強度変化が観測された。さらに、理論的な解釈のついていないスペクトルの肩構造に、印加電場の大きさに比例した強度変化を見出した。多重散乱理論に基づいたシミュレーション計算を併用しながら、実験で得られたスペクトル変化と電子状態の対応を明らかにした。その成果を材料学で権威のある雑誌 (Acta Materialia) に掲載し、同時に大学広報グループを通じて、関係機関とともに報道発表 (プレスリリース) している。

これまで専らチタン (Ti) 原子に着目した測定を行ってきたが、バリウム (Ba) 原子に着

目した研究にも着手している。Tiに比べ、X線のエネルギーが高いこととXASの信号強度変化が小さいことがこれまでほとんど研究されてこなかった理由である。本グループでは、薄膜試料を使って電場応答を大きく引き出す工夫をしたことに加え、逆モンテカルロ法によるモデルシミュレーションによる確度の高い考察を行っている。

(2) 光電子分光法を活用した電子状態測定の新展開

共鳴硬X線光電子分光法

SPRING-8・名古屋大学・大阪府立大学の共同開発により、これまで汎用的ではなかった硬X線共鳴光電子分光法が一般ユーザーにも共用されるようになった。本研究グループは、令和2年度の供用開始前に試験運用する機会を得た。これまで光電子分光法でいわゆるチャージアップ(帯電)により測定が困難とされてきた誘電体物質での光電子分光測定に挑戦し、ある程度の成功を収めた。入射X線エネルギーを固定した通常の光電子分光測定に加え、XAS測定のように入射エネルギーを各元素の吸収端に共鳴させながら測定する共鳴光電子分光を、Ti KおよびBa L3吸収端で行った。構成元素の各内殻準位から光電子に加え、オーグメント電子といわれる特定内殻準位を共鳴的に励起した光電子の検出をすることで、多体効果を取り込んだ部分電子状態密度の実験的測定が可能になった。現在、本格的な測定を進めるために、すでに測定されたデータの詳細な解析を進めている。この測定手法が確立されれば、これまで実現不可能と思われてきた誘電体の価電子帯と伝導帯の正確な電子状態測定が可能になり、物性の理解と物質機能の改善に大きく貢献するものと期待している。

オペランド光電子分光法

本研究グループでは、二酸化チタン(TiO₂)ナノ粒子を用いた触媒活性評価と表面バンド折れ曲がりの研究を行ってきた。未だ十分に解決に至っていないTiO₂の触媒活性のメカニズムとして、活性の場が物質表面だけであるのか、なぜ幾つかある構造異性体の中でアナターゼ構造の活性が高いのか、結晶サイズと活性の違いはなぜ起こるのかなど、枚挙に暇がない。共同研究者と協力のもと、単結晶試料の異なる面方位の触媒活性を丁寧に調べることが重要であるとの理解に至った。そこで、光電子分光測定装置に放射光X線と紫外線レーザーの焦点を合わせて入射し、有機分子を吸着させたTiO₂表面における脱離速度の違いを測定した。面方位による違いなど、これまで十分に議論されてこなかった情報について現在解析を進めている。

(3) 高圧下での物性研究

元素選択的な弾性特性からみるインバー効果の起源

インバー効果として知られるFe₆₅Ni₃₅合金の小さな熱膨張率は、大きな磁気体積効果が熱膨張を相殺する現象である。しかし、原子間結合のポテンシャルがどのように磁気構造の影響を受けるか?というミクロな視点でみると、インバー効果の起源は未だ分かっていない。現在最も有力な理論とされるNon-collinear spin structureモデルによると、Feの持つ磁気モーメントの格子の収縮に対する揺らぎがNi原子のそれよりも大きいことで生じる弾性異常が、Fe₆₅Ni₃₅のインバー効果の起源とされる。本研究ではこの理論の実験的な検証として、吸収元素周りの局所構造を取り出すことができる広域X線吸収微細構造(EXAFS)を高圧下で測定することで、元素選択的な体積弾性率の異常を探索している。Fe₆₅Ni₃₅インバー合金において逆

モンテカルロ法による構造解析手法を導入し、Fe-Fe, Fe-Ni, Ni-Ni原子対を分離した合金構造の可視化を試みた。その結果、強磁性相においてFe-Fe原子対の長さが他の原子対と比べて長いことを見出した。このことが磁気体積効果およびインバー効果の原子レベルの起源であることを示した。最近ではこの試みを様々なFe合金について適用している。

合金および金属間化合物における水素化効果の研究

水素を圧力媒体としてフェリ磁性体のラーベス相化合物GdFe₂を加圧すると、水素との直接反応によって常磁性転移を起し、さらに加圧すると常圧とは異なる強磁性相が生じることが放射光メスバウアー分光法とX線磁気円二色性測定(XMCD)で観測されている。さらにGdFe₂よりもフェリ磁性への転移温度が低いGdCo₂に着目して、水素による磁気状態の変化を高圧下で調べたところ、GdCo₂の場合も2段階の磁気転移が見出だされた。詳細にみると、XMCDの圧力変化にはGdFe₂とはいくつか異なる相違が見出されている。以上のこれまでの実験は重希土類フェリ磁性化合物が実験対象だったが、強的な磁気カップリングを示す軽希土類の磁性化合物は水素の効果の理解のために重要である。このため永久磁石材料の一つであるSmCo₅に着目し、高圧下で水素化した場合のXMCDを測定している。さらにXMCDではこれまで観測できなかった希土類元素の磁化の反転を見出すために、遷移金属の組成が多いGd₂TM₁₇ (TM=Fe, Co) 化合物における水素誘起の圧力変化にも測定も進めた。水素誘起の磁気構造の探索と水素量および結晶構造と磁性との相関を理論計算も活用して詳細に調べている。

共同研究

学外の教育研究機関との共同研究として、以下の研究を推進している。

- ESRF での新規実験テーマ提案に向けた共同研究
- 愛媛大学 GRC との共同研究、ナノ多結晶ダイヤモンドアンビルの提供と高圧発生技術の共同研究
- 産総研, 広大先端研からの純良試料の提供
- 東京理科大学, XAFS 解析技術の共同研究
- ラトビア大学との新規スペクトル解析に基づくチタン酸ストロンチウムおよびチタン酸バリウムの局所分極
- 東京工業大学理学研究科と天然チタン酸化物単結晶を用いた光触媒研究
- 東京工業大学フロンティア材料研究所から酸化物薄膜の試料提供 (酸化ハフニウム薄膜, チタン酸バリウム薄膜, アルミフェライト薄膜)
- 静岡大学工学部から良質の元素置換型ペロブスカイトチタン酸化物の資料提供
- 弘前大学理工学研究科と放射光X線発光分光 (硬X線および軟X線) の共同研究
- SPring-8, 大阪公立大学と共鳴硬X線光電子分光の共同研究

原著論文

- [1] Yasuhisa Tezuka, Shunsuke Nozawa, Nobuo Nakajima, and Toshiaki Iwazumi, Temperature dependence of electronic structure on the ferroelectric phase transition of BaTiO₃, Phys. Rev. B 104, 235148 (2021) [7 Pages] DOI: 10.1103/PhysRevB.104.235148
- [2] Resta A. Susilo, Wen Deng, Jiajia Feng, Aifeng Wang, Naomi Kawamura, Naoki Ishimatsu, Saori Kawaguchi, Mingzhi Yuan, He Li, Weijun Ren, Takeshi Nakagawa, Cedomir Petrovic, and Bin

Chen, Impacts of pressure to the structural, electronic, and magnetic properties of Dirac semimetal EuMnBi₂, Phys. Rev. Research 3, 043028 (2021) [10 Pages]

DOI:10.1103/PhysRevResearch.3.043028

- [3] ©N. Ishimatsu, S. Iwasaki, M. Kousa, S. Kato, N. Nakajima, N. Kitamura, N. Kawamura, M. Mizumaki, S. Kakizawa, R. Nomura, T. Irifune, and H. Sumiya, Elongation of Fe-Fe atomic pairs in the Invar alloy Fe₆₅Ni₃₅, Phys. Rev. B 103, L220102 (2021) [5 Pages]

DOI:10.1103/PhysRevB.103.L220102

著書

該当無し

国際会議

(招待講演)

- [1] Naoki Ishimatsu, 「Element-selective elastic properties of Fe₆₅Ni₃₅ Invar alloy studied by Extended X-ray Absorption Fine Structure」, The 10th Asian Conference on High Pressure Research (ACHPR-10) (2021.11.21-25, オンライン開催)

(一般講演)

- [1] Seiya Kato, Nobuo Nakajima, Shintaro Yasui, Sou Yasuhara, Desheng Fu, Jun-ichi Adachi, Hiroaki Nitani, Yasuo Takeichi, and Andris Anspoks, 「Dielectric response of BaTiO₃ electronic states under AC fields via microsecond time-resolved X-ray absorption spectroscopy」, The 18th International Conference on X-Ray Absorption and Fine Structure (XAFS2021) (2021.7.12-13, online hosted by Australia)
- [2] K. Hiromori, Y. Aiura, K. Mase, N. Nakajima, and K. Ozawa, 「Photocatalytic Activity and the Valence Band Structure of Edge and Terrace Sites of Natural Anatase TiO₂ Crystal」, The 9th International Symposium on Surface Science (ISSS-9) (2021.11.28-12.1, online)

国内学会

(依頼講演)

該当無し

(一般講演)

- [1] 下山絢女, 廣森慧太, 中島伸夫, 間瀬一彦, 長谷川 巧, 小澤健一, 「TiO₂単結晶を用いたアナターゼ/ルチル境界層の作製と評価」, 日本物理学会 2022年年次大会 (2022.3.15-19, オンライン開催)
- [2] 廣森慧太, 下山絢女, 中島伸夫, 間瀬一彦, 長谷川 巧, 小澤健一, 「顕微光電子分光によるTiO₂結晶表面のアナターゼ/ルチル相境界における光触媒活性の研究」, 日本物理学会 2022年年次大会 (2022.3.15-19, オンライン開催)
- [3] 中島伸夫, 坂野碩保, 柿原瑛樹, 符 徳勝, 手塚泰久, 「共鳴X線発光分光による圧電体 Ba(Ti_{1-x}Sn_x)O₃のSn 置換効果」, 日本物理学会 2022年年次大会 (2022.3.15-19, オンライン開催)
- [4] 猫本勇輝, 加藤盛也, 中島伸夫, 安井伸太郎, 足立純一, 丹羽尉博, 仁谷浩明, 武市泰

- 男, 「SrTiO₃薄膜の歪み誘起分極の電場応答」, 日本物理学会 2022年年次大会 (2022.3.15-19, オンライン開催)
- [5] 手塚泰久, 浅利真人, 加藤梨紗, 任皓 駿, 渡辺孝男, 野澤俊介, 中島伸夫, 岩住俊明, 「Aサイト秩序型ペロブスカイトCaCu₃Ti₄O₁₂の電子構造の角度依存性」, 日本物理学会 2022年年次大会 (2022.3.15-19, オンライン開催)
- [6] 坂野碩保, 中島伸夫, 柿原瑛樹, 符 徳勝, 「X線吸収分光法による圧電体Ba(Ti_{1-x}Sn_x)O₃のSn 置換効果」, 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (2022.1.7-9, オンライン開催)
- [7] 廣森慧太, 相浦義弘, 間瀬一彦, 中島伸夫, 小澤健一, 「顕微分光測定によるアナターゼTiO₂結晶表面のエッジ近傍での電子構造と光触媒活性の研究」, 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (2022.1.7-9, オンライン開催)
- [8] 加藤盛也, 中島伸夫, 大沢仁志, 加藤和男, 伊奈稔哲, Anspoks Andris, 「X線吸収分光法と逆モンテカルロ法による強誘電体 BaTiO₃の局所構造解析」, 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (2022.1.7-9, オンライン開催)
- [9] 手塚泰久, 浅利真人, 加藤梨紗, 野澤俊介, 中島伸夫, 岩住俊明, 「共鳴 X 線ラマン散乱による遷移金属酸化物の 非占有電子構造の研究」, 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (2022.1.7-9, オンライン開催)
- [10] 猫本勇輝, 中島伸夫, 加藤盛也, 安井伸太郎, 足立純一, 丹羽尉博, 仁谷浩明, 武市泰男, 「軽希土類-遷移金属化合物SmCo₅の高圧下水素化による磁気構造及び結晶構造の変化」, 応用物理学会 強的秩序とその操作に関わる研究会 第14回研究会 (2022.1.4, オンライン開催) **【ポスター最優秀賞】**
- [11] 石本賢太郎, 石松直樹, 金森 奨, 河村直己, 河口沙織, 榊 浩司, 中村優美子, 中野智志, 「顕微光電子分光測定による TiO₂結晶表面の物性評価」, 「水素化物に関わる次世代学術・応用展開研究会」第7回研究会 (2021.11.8-11.9, オンライン開催) **【優秀若手表彰受賞】**
- [12] 石松直樹, 金森 奨, 石本賢太郎, 河村直己, 河口沙織, 榊 浩司, 中村優美子, 中野智志, 「希土類-遷移金属化合物Gd₂Fe₁₇の水素誘起磁気構造の圧力変化: X線磁気円二色性による観測」, 日本物理学会 2021年秋季大会 (2021.9.14-17, オンライン開催)
- [13] ○久保優介, 石松直樹, 北村尚斗, 河村直己, 水牧仁一朗, 野村龍一, 柿澤 翔, 角谷均, 入船徹男, 「圧力誘起インバー合金Fe₅₅Ni₄₅の圧力下EXAFSとXRDを用いたRMC法による合金構造解析」, 日本物理学会 2021年秋季大会 (2021.9.14-17, オンライン開催)
- [14] 廣森慧太, 小澤健一, 相浦義弘, 間瀬一彦, 中島伸夫, 「顕微X線光電子分光による天然アナターゼTiO₂結晶表面のエッジとテラスの光触媒活性と価電子バンド構造の相関」, 日本物理学会 2021年秋季大会 (2021.9.14-17, オンライン開催)
- [15] 廣森慧太, 中島伸夫, 小澤健一, 「アナターゼ型二酸化チタン単結晶表面の価電子バンド構造と光触媒活性の相関: テラス領域とエッジ領域の比較」, 日本物理学会 2021年秋季大会 (2021.9.14-17, オンライン開催)
- [16] 加藤盛也, 中島伸夫, 大沢仁志, 加藤和男, 伊奈稔哲, Andris Anspoks, 「X線吸収分光法と逆モンテカルロ計算によるBaTiO₃の局所構造解析」, 日本物理学会 2021年秋季大会 (2021.9.14-17, オンライン開催)
- [17] 坂野碩保, 中島伸夫, 柿原瑛樹, 符 徳勝, 「X線吸収分光法による圧電体Ba(Ti_{1-x}Sn_x)O₃のSn 置換効果」, 日本物理学会 2021年秋季大会 (2021.9.14-17, オンライン開催)

- [18] 手塚泰久, 浅利真人, 加藤梨紗, 野澤俊介, 中島伸夫, 岩住俊明, 「共鳴X線ラマン散乱による遷移金属酸化物の非占有電子構造の研究II」, 日本物理学会 2021年秋季大会 (2021.9.14-17, オンライン開催)
- [19] 遠藤優理, 加藤盛也, 中島伸夫, Badari Narayana Rao, 安井伸太郎, 大沢仁志, 河村直己, 「高分解能X線吸収分光法による抵抗スイッチング材料Pt/AlFeO₃/Nb:SrTiO₃ヘテロ膜の電子状態測定」, 第82回応用物理学会秋季学術講演会 (2021.9.10-13, 9.21-23, 名城大学& オンライン オンライン開催)

学生の学会発表実績

(国際会議)

- | | |
|----------------------------|-----|
| ○博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 | 1 件 |
| ○博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 | 1 件 |
| ○博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 | 0 件 |

(国内学会)

- | | |
|----------------------------|------|
| ○博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 | 12 件 |
| ○博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 | 4 件 |
| ○博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 | 0 件 |

社会活動・学外委員

○学協会委員

- [1] 中島伸夫 : 第 15 回 RCBJSF (日本・ロシア・バルト 3 国・国家共同体誘電体会議) プログラム委員長
- [2] 中島伸夫 : 日本学術振興会 特別研究員等審査委員
- [3] 石松直樹 : SPring-8 ユーザー共同体 高圧物質科学研究会 代表

○外部評価委員等

- [1] 石松直樹 : (財)高輝度光科学研究センター, 外来研究員
- [2] 中島伸夫 : SPring-8 利用研究課題審査委員会・審査員

高大連携事業への参加状況

該当無し

国際交流

- [1] 中島伸夫 : ラトビア大学物性物理学研究所の研究員と週1~2回の頻度でのオンラインミーティングを研究室学生も参加して継続的に実施している。
- [2] 石松直樹 : 欧州放射光施設 (ESRF) の A. Rosa 博士をクロスアポイントメント特任助教として招聘。招聘は令和4年度の予定。

各種研究員と外国人留学生の受入状況

○外国人留学生

- [1] 大学院先進理工系科学研究科博士課程後期, 2021年4月入学生, 1名 (中国)

研究助成金の受入状況

- [1] 石松直樹：科学研究費補助金 基盤研究(B) (令和3年度-5年度) (代表, 7,800千円)
課題名：「中距離スケールの原子位置の可視化によるFe合金の大きな磁気体積効果の起源解明」
- [2] 石松直樹：科学研究費補助金 学術変革領域研究 (A) (公募研究) 超秩序構造科学 (令和3年度-4年度) (代表, 3,000千円)
課題名：「Fe-Fe原子相関を超秩序構造とした不規則鉄合金の構造可視化」
- [3] 石松直樹：「貴金属に関わる研究助成金」田中貴金属財団 奨励賞 (令和3年度-4年度) (分担, 300千円)
課題名：「Fe-Pt合金の「負の熱膨張」発現のメカニズムとPtの役割の解明」
- [4] 石松直樹：科学研究費補助金 基盤研究(B) (令和2年度-5年度) (分担, 300千円)
課題名：「圧力磁場誘起らせん秩序の観測によるキラリティ自発形成機構の研究」

その他特記すべき事項

- 学術団体等からの受賞実績
該当無し
- 学内表彰・受賞
 - [1] 加藤盛也 (D2)：先進理工系科学研究科「学術奨励賞」を受賞, 2021年10月5日
 - [2] 加藤盛也 (D2)：「広島大学エクセレント・スチューデント・スカラーシップ」成績優秀学生 表彰, 2021年12月13日
 - [3] 猫本勇輝 (B4)：「広島大学理学部後援会奨励賞」を受賞, 2021年12月
 - [4] 下山絢女 (D2)：理学部「卒業論文発表優秀賞」を受賞, 2022年3月23日

○光物性グループ

研究活動の概要

機能性材料のもつ電氣的, 磁氣的, 熱的な性質はそのバンド構造に支配されていると言っても過言ではない。そのため, 材料固有のバンド構造を理解することは, 基礎的, 応用的な観点からとても重要である。角度分解光電子分光 (Angle-resolved photoelectron spectroscopy = ARPES) は, 固体の占有バンド構造を直接観測する有用な実験手法と捉えられる。例えば, エネルギーギャップの存在は, 金属か半導体 (絶縁体) であるかどうかを決め, バンド分散の傾きや曲率が電子の速度や有効質量を決める。また高温超伝導体については電子クーパー対における「のり」の役割を担う相互作用の起源に迫るべく, これまでARPESは重要な役割を果たしてきた。光物性研究室では, 放射光やレーザーを用いて, 磁性体, 超伝導体, トポロジカル絶縁体・半金属, 熱電変換材料などの機能性物質の詳細な電子構造や結晶構造を実験的に観測し電氣的, 磁氣的, 熱的な性質の起源を解明することを目的として研究を行っている。

- (1) 最速の線ノード型ディラック電子を超伝導体の中に発見 - 省電力デバイス開発へ道 -
見かけ上の質量がゼロになるディラック電子は, 不純物があってもぶつかることなく進み

続けるという目覚ましい特徴をもっており、炭素原子が蜂の巣格子を組むグラフェンで最初に発見された。高速で移動度の高い電気伝導を実現するため、グラフェンを用いた電子デバイスの開発が進められている。ディラック電子が示す特殊な量子ホール効果は、2010年のノーベル物理学賞の対象にもなった。このディラック電子は、ノードと呼ばれるエネルギーの原点が「点状」のもの「線状」のもの2種類に分けられる。グラフェンを含め、これまで発見された物質中のディラック電子は、ほとんどが点ノード型で、線ノード型は希少であった。線ノード型は、ディラック電子のエネルギー分散関係が運動量空間で連続的につながっているため、電子が散乱されにくいという性質が強調されることに期待が高まっている。さらなる次世代のデバイス開発のためには、「線状」でかつ「高速」なディラック電子を持ち、さらに「超伝導」を示すことが要求される。しかし、3拍子そろった物質は未だ発見されていなかった。最近、半金属 ZrSiS に線ノード型のディラック電子がいることが報告されたが、その速さはグラフェンの65%で、超伝導は示さない。また超伝導体 PbTaSe_2 に線ノード型ディラック電子が発見されているが、その速さはグラフェンの40%だった。

このような中、超伝導体 $\text{ZrP}_{2-x}\text{Se}_x$ が本研究の共同研究者である国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下、産総研）の鬼頭らにより2014年に発見された。この物質は、線ノード半金属 ZrSiS を形作るシリコン Si の単原子層を、リン P の単原子層に置き換えたものになっていることから、同様の線ノードが現れるものと第一原理計算で予測されていた。そこで、本研究では、超伝導体 $\text{ZrP}_{2-x}\text{Se}_x$ の電子構造を直接観測し、線ノード型ディラック電子の有無とその形成起源を調べるために、放射光を用いた角度分解光電子分光を行った。

その結果、超伝導体 $\text{ZrP}_{2-x}\text{Se}_x$ にはダイヤモンド型をした環状の線ノードが存在することを明らかにした。また、観測されたディラック分散関係の傾きから、線ノード型ディラック電子の群速度が 1200 km/s に達することがわかった。この速度は、グラフェン中の点ノード型ディラック電子の速度に匹敵し、これまでに知られている線ノード型ディラック電子の速度を大幅に上回る最速記録である。また、リン P 原子の正方格子でできた単原子層を仮定してモデル計算を行ったところ、実験結果を見事に再現する結果が得られた。このことから、超伝導体の中に観測された特徴的な環状の線ノードと最速のディラック電子が、リン P 原子の正方格子によって実現することがわかった。

今回の発見のポイントは「線状」でかつ「最速」のディラック電子を「超伝導」物質の中に見出したことである。この発見により次世代の高速デバイス開発への明確な指針が見出された。また、最近、トポロジーという概念が物質に存在し、さまざまな新奇物性現象が予言されており、線ノードを有する物質も同じくトポロジーで分類できることがわかってきた。その観点から、今回の発見は新しいトポロジカル超伝導体の発見にもつながり、エラー耐性に優れた量子コンピュータの開発のために必要な幻の粒子・マヨラナ粒子の発見にもつながると期待される。

本研究の成果は、米国の科学雑誌 *Physical Review B* のレターセクションに掲載された。また、同学術雑誌のハイライト論文に選ばれた。また、広島大学よりプレス発表 (<https://www.hiroshima-u.ac.jp/news/69582>) を行った。本研究は、日本学術振興会 (JSPS) 科学研究費補助金基盤研究A「非共型な結晶対称性を持つ強相関物質の電子状態観測とトポロジーの解明 (課題番号: 18H03683, 研究代表者: 木村昭夫)」, 同基盤研究S「トポロジカル相でのバルク・エッジ対応の多様性と普遍性: 固体物理を越えて分野横断へ (課題番号: 17H06138, 研究代表者: 初貝安弘)」などの支援を受けて行われた。

(2) 複合アニオン超伝導体 $\text{HfP}_{2-x}\text{Se}_x$ における線ノード型ディラック電子の直接観測

上記のように、ノンシンモルフィック構造をとる MSiCh ($M=\text{Zr, Hf}$, $\text{Ch}=\text{S, Se}$)が、フェルミ準位近傍に交差を持つディラック線ノードをバンド構造にもつ半金属として大きな注目を浴びている。最近、グライド面の Si を P に置き換えると、ディラック線ノードを保ちつつ、超伝導を発現することがわかった。このようなディラック線ノードが、正方格子を構成する元素や格子定数、更にはスピン軌道相互作用によってどのように変調を受けるのかを調べることにより、超伝導発現などの物性の違いを詳細に知ることができるはずである。そこで本研究は、 $\text{HfP}_{2-x}\text{Se}_x$ の高品質単結晶試料について、放射光角度分解光電子分光実験 (ARPES) を行ったところ、2枚の大きなフェルミ面、および、 Γ 点と X 点のそれぞれに小さな電子ポケットが観測された。大きなフェルミ面を構成するバンドは、 -0.9eV においてギャップレスなディラック交差をもち、ダイヤモンド型をした環状のディラック線ノードを形成する。 HfSiS では、 70meV 程度のギャップが開いたディラック線ノードが報告されているため、 $\text{HfP}_{2-x}\text{Se}_x$ におけるディラック線ノードはスピン軌道相互作用の影響を受けにくいことが示唆される。また、 $\text{HfP}_{1.45}\text{Se}_{0.37}$ のディラック速度は $v_D = 1.3 \times 10^6 \text{ m/s}$ に達し、 $\text{ZrP}_{1.24}\text{Se}_{0.57}$ に比べて 1.1 倍、 HfSiS と比べると 1.3 倍程度になっていることが判明した。 Si に比べると、 P 正方格子は格子定数が大きくなるため、他の要因がディラック電子の高速化に寄与していると考えられる。本研究は、 P 正方格子をもつ $\text{MP}_{2-x}\text{Se}_x$ が、高速の線ノード型ディラック電子をもつ超伝導体であり、スピン軌道相互作用の影響を受けにくいことを示し、新奇物性研究への展開が期待される。

(3) 巨大異常ネルンスト効果を示すホイスラー合金 Co_2MnGa の電子構造の解明

近年、磁性体に熱流を印加した際に生じる異常ネルンスト効果が環境発電の観点から大きな注目を集めている。異常ネルンスト効果は、磁性体に熱流を流す際に、温度勾配と磁化に直交する方向に電圧を生じる現象である。類似した熱電効果としてゼーベック効果がよく知られているが、大面積かつ柔軟性を持つモジュールの作成などの観点で異常ネルンスト効果は高い優位性を示す。また、構成材料に有毒元素を含まない点も特筆すべき点である。しかしながら、異常ネルンスト効果による熱電能は一般に $1.0 \mu\text{V/K}$ 以下と極めて低いため、 $10\text{-}20 \mu\text{V/K}$ クラスの熱電能が要求される実用環境発電や高感度熱流センサーに応用するためには熱電能の大幅な向上が求められている。近年発見されたワイル磁性体は鉄などの典型的な磁性体よりも一桁程度大きな熱電能を実現できることがわかってきた。このような熱電能の増強には、フェルミ準位近傍の電子構造が生み出す「仮想磁場」の存在が重要な役割を果たすと考えられている。しかし、実験手法が限られることとその困難さから、電子構造に関する実験的研究はこれまでほとんど行われてこなかった。

本研究では、巨大異常ネルンスト効果 ($\sim 6 \mu\text{V/K}$) が報告されているホイスラー合金 Co_2MnGa に着目し、大型放射光施設 SPring-8 の軟 X 線シンクロトロン放射光を利用した角度分解光電子分光実験を行い、熱電能と電子構造の対応関係を明らかにした。一般に、角度分解光電子分光実験には超高真空中で平坦かつ清浄表面をもつ試料が必要となる。しかし、ホイスラー合金のバルク単結晶はその 3 次元的な結晶構造から、真空中で平坦な表面を得ることが困難であり、これまでほとんど角度分解光電子分光実験が行われてこなかった。そこで本研究では、物質・材料研究機構 (NIMS) の桜庭裕弥グループリーダーと協力し、高品質ホイスラー合金薄膜を作成した。薄膜試料の表面汚染を防ぐため、 Al キャップを施した。その結果、 Co_2MnGa 薄膜中にワイル粒子が存在することを明らかにした。この実験結果は第一原

理計算によって再現され、ワイル粒子から構成されるバンド分散が巨大仮想磁場の源となり、熱電能を増強していることを突き止めた。

本研究の成果は、米国の科学雑誌 *Physical Review B* に掲載された。本研究は、日本学術振興会 (JSPS) 科学研究費補助金基盤研究 A「非共型な結晶対称性を持つ強相関物質の電子状態観測とトポロジーの解明 (課題番号: 18H03683, 研究代表者: 木村昭夫)」, 同基盤研究 S「実用デバイスに向けたハーフメタルホイスラー合金のスピンの依存伝導機構の解明 (課題番号: 17H06152, 研究代表者: 宝野和博)」, 同基盤研究 S「トポロジカル相でのバルク・エッジ対応の多様性と普遍性: 固体物理を越えて分野横断へ (課題番号: 17H06138, 研究代表者: 初貝安弘)」などの支援を受けて行われた。

(4) Fe₃Ga 薄膜のスピンの分極バンド構造の観測

熱電物質は、排熱エネルギーから直接電気エネルギーへ変換が可能であることから、環境問題を解決する緒の一つである。なかでも磁性体で発現する異常ネルンスト効果 (ANE) は、熱勾配に対し垂直に起電力を発生するため、柔軟なデバイス応用が可能であるとして大きな注目を浴びている。最近、Fe_{0.68}Ga_{0.32} 薄膜において起電力が純 Fe に比べ 2 桁大きな 2.4 $\mu\text{V/K}$ に達することが報告された。この大きな起電力は、主に横ペルチェ係数の増大によりもたらされていることが理論から予測された。更に規則化した D0₃ 相 Fe₃Ga では起電力が 4 $\mu\text{V/K}$ に達し、これはバンドのトポロジーに起因する内因性効果により発現することが示唆されている。しかし、これらの先行研究では大きなネルンスト効果を生じ得る電子バンドの理論予測に基づき、実際の試料におけるフェルミ準位シフトが推測されるに留まっており、直接的なバンド観測に基づく解析は行われていない。このような解析には、スピンを分解した上で、エネルギー分散関係を可視化できるスピン角度分解光電子分光 (Spin-ARPES) が必要である。しかし、Fe-Ga 合金は劈開性に乏しく清浄表面を得ることが困難であるため、これまで ARPES を用いた実験的報告はされていない。そこで我々は、D0₃ 相 Fe₃Ga 薄膜をマグネトロン・スパッタリング法により成膜し、超高真空スーツケースを用い広島大学に輸送、Spin-ARPES 実験を HiSOR BL-9B の VLEED 型スピン検出器を用いて行った。その結果、フェルミ準位 (E_F) を横切る少数スピンのバンド、および $E - E_F = -1.2 \text{ eV}$ 近傍では少数スピンのバンド分散を分離する形で観測した。計算したベリー曲率から横ペルチェ係数を見積もったところ、ちょうど実験結果から得られた E_F で大きなネルンスト効果が現れることがわかった。

(5) 反強磁性トポロジカル絶縁体の発見 - 室温での無散逸伝導実現に向けて -

当研究グループは、ロシア・サンクトペテルブルグ大学やスペイン・ドノスティア国際物理センターなどと共同で反強磁性トポロジカル絶縁体を世界で初めて発見した。トポロジカル絶縁体とは、物質内部 (バルク) が絶縁体で表面が金属になる物質である。ただし、絶縁体の上に金属をコーティングしたものとは異なり、その表面で有効質量がゼロでスピン分極した線形分散が交差するディラック電子バンドを形成するのが特徴である。トポロジカル絶縁体か普通の絶縁体かの違いは、そのバンド構造の違いにより決定され、スピン軌道相互作用によって引き起こされる「バンド反転」がトポロジカル絶縁体になるための必要条件となる。例えばよく知られる化合物半導体の GaAs は価電子帯頂上と伝導帯の底がそれぞれ p 軌道と s 軌道から構成されるが、スピン軌道相互作用がより大きくなると、それらが反転しトポロジカル絶縁体となりうる (例えば HgTe など)。トポロジカル絶縁体に今度は磁性を持たせると、その表面状態にエネルギーギャップが開き、量子異常ホール効果 (QAHE) が起こる。QAHE とは、よく知られる量子ホール効果 (QHE) と同じくホール伝導度が量子化する現象である

が、これが外部磁場をかけなくとも起こるといふ現象を指す。2013年に $(\text{Bi,Sb})_2\text{Te}_3$ にCrやVをドーピングした希薄磁性トポロジカル絶縁体が量子異常ホール効果を示すことが見出され、大きな注目を浴びた。QHEやQAHEはともに系のバンド構造に起因したトポロジカルな現象であり、特徴的なこととしてその側面に一方向に走るエッジ電流（カイラルエッジ電流）が流れる。このカイラルエッジ電流は不純物等により散乱を受けず進み続ける無散逸なものであるため。これをデバイス化すれば消費電力を大幅に下げることが可能になると期待される。特にQAHEは外部磁場が不要な点で実用化には有利である。ただし、現状ではQAHEが起こる温度は最高でも2Kという極低温に留まっているため、室温で実現するためにはなんらかのブレークスルーが必要であり、少なくとも磁性元素が希薄でまばらに分布している物質ではなかなか実現が難しいと思われる。そもそも、希薄磁性トポロジカル絶縁体では、磁性原子の間の距離が長いため、安定した強磁性状態を保つのが難しく、強磁性転移温度が低くなってしまふ。磁性ドーピング型ではなく、化学量論組成の磁性トポロジカル絶縁体の実現できればQAHEが現れる温度も上昇すると期待される。

このような中、本研究ではまず、層状の反強磁性体 MnBi_2Te_4 が磁性トポロジカル絶縁体になりうることを第一原理計算より示した。また表面ディラック電子バンドはバルクバンドに開いたエネルギーギャップ中に存在しているが、通常トポロジカル絶縁体と異なり、表面バンドに88 meVのエネルギーギャップが開いていることも示された。またこのようなエネルギーギャップが実験的にも観測され、反強磁性体 MnBi_2Te_4 が磁性トポロジカル絶縁体であることを世界で初めて示した[M. M. Otrokov, *Nature* **576**, 416 (2019)]。本研究では、エネルギーギャップの資料依存性を詳細に調べるために、様々な試料についてレーザーを励起光源とした角度分解光電子分光（ARPES）を行った。その結果、15 eV-65 meVの範囲でエネルギーギャップの大きさに試料依存性があり、その原因について理論解析を含め検証した結果、試料の欠陥の度合いによって表面における電荷分布に違いが現れ、エネルギーギャップの大きさに影響していると解釈した。

本研究の成果は、米国の科学雑誌Physical Review Bに掲載された。

(6) 放射光角度分解光電子分光を用いた希土類元素を含む反強磁性体の電子状態の研究

反強磁性体を舞台とするスピントロニクスが現在大きな注目を集めている。反強磁性体ではマクロな磁化が消失しているため、外場による物性制御が困難であると一般的には考えられているが、その背後に潜む磁気多極子の自由度によって電気・磁氣的応答が複合した交差相関物性現象などが誘起される。近年では、このような磁気多極子の自由度を持つ反強磁性秩序を利用したスピントロニクス技術も提案され大きな注目を集めている。本研究で注目する RMnSi ($\text{R}=\text{La,Ce}$) は、その結晶構造が非共型の空間群 P4/nmm に属し、ネール温度 $T_N \sim 294$ K の反強磁性体である。また、結晶構造中に図1(b)で示すようなバックリング層を有する。この場合、常磁性状態では結晶構造全体として空間反転対称性を保つ一方で、各原子サイトに視点を移すと局所的に反転対称性を欠いている。そのため空間反転対称操作でつながった副格子を有する。ここに反強磁性秩序が現れると、副格子が非等価になり、大域的な空間反転対称性が自発的に破れる。これは丁度、磁気多極子の出現の必要条件になっており、バンド構造にラシュバ型のスピン分裂や波数方向にシフトした非対称バンドが生じ、特異な外場応答を引き起こす可能性がある。実際に、結晶構造に同様のバックリング層を含む反強磁性体 BaMn_2As_2 や EuMnBi_2 で磁気圧電効果が観測されており、これらが磁気多極子に由来すると考えられている。しかしながらこれまで外場応答に関する情報のみが調べられ、その応答テン

ソルの起源となる電子構造に関する報告例はない。RMnSi では、 T_N で電気抵抗に異常が報告されており、反強磁性転移に伴う電子構造の変化が推察される。特筆すべきは、RMnSi は反強磁性磁気構造単位格子の大きさを変えずに、磁気モーメントが $q=0$ の配列をとり、通常の反強磁性体とは一線を画すことである。そのため、磁気秩序が電子構造に与える影響を調べる上で格好の舞台となる。しかしながら、LaMnSiおよびCeMnSiの電子構造に関する実験的報告はなく、さらに磁気構造による対称性を反映した電子構造をしているのかについては未解明である。

そこで本研究では、RMnSi ($R = \text{La, Ce}$)における反強磁性秩序の対称性が電子状態に与える影響を明らかにするため、SPring-8 BL25SU およびHiSOR BL-1, BL-9Aにて、それぞれ軟X線(SX)および真空紫外線(VUV)領域の放射光を用いた角度分解光電子分光(ARPES)を行った。まずはSX-ARPESを用いて、励起光エネルギー可変である放射光の利点を活かし、 k_z 方向のバンド分散関係まで含めて3次元的な電子構造を観測した。また、ブリルアンゾーンの高対称 $\Gamma-X$ 波数線を横切る k_x-k_y 面におけるフェルミ面を T_N 以下の $T=50\text{ K}$ で観測した。次に $\Gamma-X$ 波数線に沿ったエネルギー分散関係では、ブリルアンゾーン境界X点においては下に凸の放物線バンドがARPESから明瞭に観測され、 Γ 点においては下に凸と上に凸なバンドが交差する様子が観測された。同様のバンドは p 偏光VUV放射光を用いたARPES測定でも観測された。またCeMnSiについても $50\text{ K} (< T_N)$ で測定を行い、同様の分散を観測した。これらの実験結果は、ともにLaMnSiの反強磁性秩序を考慮した第一原理計算の方が、常磁性相を考慮したものと比較してより良く再現することがわかった。また、これらのバンドは主にMn 3d軌道成分が優勢であることから、反強磁性を担うMn 3d電子状態が遍歴的な特徴を有していることを意味している。このように、本研究でRMnSi ($R=\text{La,Ce}$)の $q=0$ の反強磁性秩序に対応した電子状態を初めて実験的に明らかにした。

(7) ホイスラー合金 $\text{Co}_2\text{Cr}(\text{Ga,Si})$ におけるリエントラント・マルテンサイト変態機構の研究

Co基ホイスラー合金はハーフメタル材料の有力候補として知られているが、近年 Co_2CrGa と Co_2CrSi の混晶系において形状記憶効果が現れることが報告された[X. Xu et al., Appl. Phys. Lett. **103**, 164104 (2013)]。形状記憶効果はマルテンサイト変態と密接に関連しており、高温における母相が冷却によってマルテンサイト相へと相転移することに起因している。しかし、 $\text{Co}_2\text{Cr}(\text{Ga,Si})$ 合金では、マルテンサイト相をさらに冷却することによって再び母相が現れる、リエントラント挙動を示すことが明らかになっている。このような冷却誘起マルテンサイト逆変態を示す物質は非常に稀であり、金属では純鉄以外に類を見ない。

本研究では、光物性研究室、東北大学電気通信研究所、東北大学大学院工学研究科、物質・材料研究機構、日本原子力研究開発機構の共同研究として、 $\text{Co}_2\text{Cr}(\text{Ga,Si})$ 合金に発現するリエントラント・マルテンサイト変態機構を電子状態の観点から明らかにすることを目的に、硬X線光電子分光、軟X線磁気円二色性分光および第一原理計算を行った。実験はSPring-8 BL15XU, BL23SUにおいて行い $300\text{-}20\text{ K}$ の範囲で温度依存性を測定した。

硬X線光電子分光により得られた価電子帯光電子分光スペクトルには、冷却を行うことで、フェルミ準位近傍の電子状態に顕著な変化が現れ、リエントラント・マルテンサイト変態を反映した電子状態が観測された。また、 20 K では 300 K に比べてスピン磁気モーメントが大幅に増加することが軟X線磁気円二色性分光より明らかになった。これらの電子状態の変化は第一原理計算からも再現された。更に、母相のフェルミ準位近傍ではCo 3dおよびCr 3d軌道が高い状態密度を有していることが第一原理計算より明らかになり、これらが構造不安定性を

誘起しマルテンサイト相を安定化させていると考えられる。

(8) 顕微光電子分光を用いた銅酸化物高温超伝導体の電子状態の研究

強相関電子系物質は、高温超伝導や巨大磁気抵抗効果といった応用上も興味深い現象を示し、近年大きな注目を集めている。これらの物性は、強い電子相関に起因して、電子とボゾン（フォノン、マグノンなど）間の相互作用をはじめとした複数の相互作用（多体相互作用）が競合・共存する結果、発現していると考えられている。さらに、このような複雑電子系では、相互作用に特有の空間スケール・サイズで電子系が秩序化する「電子の自己組織化」が、物性の背景にあることが近年わかってきた。一方、電子相関をはじめとした多体相互作用は理論的取り扱いが非常に困難であるため、実験的に電子状態や電子に働く多体相互作用を調べることが必要である。このような要求を満たしうる強力な実験手法が光電子分光である。従来、光電子分光装置の空間分解能はミリメートル程度と低かったが、近年では空間分解能に優れた顕微光電子分光装置の開発が世界的に進められている。実際に、強相関電子系物質であるCr-V₂O₃では、金属・絶縁体の電子相が数10ミクロンスケールで不均一に分布する様子が顕微光電子分光により観測されている[S. Lupi, et al., Nat. Commun. 1, 105 (2010)]。このような電子相分離は、従来の金属や絶縁体・半導体物質にはない強相関電子系の本質ともいえる現象であることから、強相関電子系の物性を本質的に理解するためには、高い空間分解能で電子状態を観測することが必要不可欠である。そこで本研究では、マイクロスケールで電子状態を高いエネルギー・波数分解能で観測できる顕微・角度分解光電子分光

(ARPES)装置を広島大学放射光科学研究センターにて開発し、銅酸化物高温超伝導体Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+δ} (Bi2212)の電子状態の実空間での振る舞いを調べた。また、価電子帯の情報に加えて、化学状態の分析を目的として、顕微XPS (X線光電子分光)計測を行った。さらに、顕微計測では、ビッグデータの解析手法・時間が問題となるため、機械学習を用いたクラスタリング手法によるデータ解析を行った。

本研究では、測定位置を微小変化させながら、顕微ARPESにより測定したBi2212のバンド分散を各位置で計測することで、ARPESスペクトルの位置依存性を評価した。次に、バンド分散の波数依存性の測定を、試料位置が僅か(0.2 mm)に異なる2点(A・B)で行い、超伝導ギャップのサイズが異なる様子を観測した。この結果は、位置によってドーパ量が異なることを示唆しており、実際に観測したフェルミ面の大きさには微小ではあるが有限の差異が認められた。そこで、さらに多角的にドーパ量に関して検証するために、顕微XPS測定を行った。本研究では、顕微XPSにより、酸素1sスペクトルの二次元空間マッピングを行った。マッピング範囲は試料水平・鉛直方向に各1 mm、計測ステップは各5 μmに設定し、計4万点において酸素1sスペクトルを計測した。試料表面劣化に伴うスペクトルの経時変化を抑制するために総計測時間を抑える必要があるため、各計測点における実験データは統計精度が不十分であり、ピーク解析が困難であった。また、酸素1sスペクトルの積分強度の二次元空間分布だけでは、電子状態の特徴を理解することは難しい。そこで、二次元空間マッピングデータの機械学習を用いたクラスタリング解析を行った。その結果、積分強度の空間分布とは異なり、各クラスターが不均一に分布していることがわかった。また、同じクラスターに分類されたデータを積算することで、ピーク解析可能な統計精度のスペクトルを作成し、電子状態の特徴量の抽出が可能になった。各積分スペクトルに対してピーク解析したところ、ピーク位置がクラスター間で0.1 eV以上シフトすることがわかった。この結果は、化学ポテンシャルが位置に依存して変化する、すなわち、ドーパ量の不均一性が存在しているこ

とを明示している。本研究により、銅酸化物高温超伝導体Bi2212はマイクロスケールの電子状態の不均一性を示すことが一貫して明らかとなった。本研究成果は、高温超伝導の相転移現象を理解する上で重要な指針を与える。

原著論文

- [1] ©S. Ishizaka, A. Ino, T. Kono, Y. Miyai, S. Kumar, K. Shimada, H. Kitô, I. Hase, S. Ishida, K. Oka, H. Fujihisa, Y. Gotoh, Y. Yoshida, A. Iyo, H. Ogino, H. Eisaki, K. Kawashima, Y. Yanagi, and A. Kimura, “Evidence for Dirac nodal-line fermions in a phosphorous square-net superconductor”, *Phys. Rev. B.* **105** (12), L121103/ 1-6 (2022). Editor’s suggestion
プレスリリース (広島大学) : <https://www.hiroshima-u.ac.jp/news/69582>
プレスリリース (久留米工業大学) : https://www.kurume-it.ac.jp/news/post_20200231.html
- [2] Takashi Kono, Masaaki Kakoki, Tomoki Yoshikawa, Xiaoxiao Wang, Kazuki Sumida, Takayuki Muro, Kazuki Goto, Yuya Sakuraba, Rie Y. Umetsu, and Akio Kimura, “Three-dimensional bulk Fermi surfaces and Weyl crossings of Co₂MnGa thin films underneath a protection layer”, *Phys. Rev. B.* **104** (19), 195112/ 1-8 (2021).
- [3] ©Munisa Nurmamat, Sergey V. Eremeev, Xiaoxiao Wang, Tomoki Yoshikawa, Takashi Kono, Masaaki Kakoki, Takayuki Muro, Qi Jiang, Zhipeng Sun, Mao Ye, and Akio Kimura, “Bulk Dirac cone and highly anisotropic electronic structure of NiTe₂”, *Phys. Rev. B.* **104** (15), 155133/ 1-7 (2021).
- [4] Kazuki Sumida, Yukiaki Ishida, Jens Gdde, Ulrich Hfer, Shik Shin, and Akio Kimura, “Ultrafast surface Dirac fermion dynamics of Sb₂Te₃-based topological insulators”, *Prog. Sur. Sci.* **96**, 100628/ 1-15 (2021).
- [5] Takahide Kubota, Daichi Takano, Yohei Kota, Shaktiranjana Mohanty, Keita Ito, Mitsuhiro Matsuki, Masahiro Hayashida, Mingling Sun, Yukiharu Takeda, Yuji Saitoh, Subhankar Bedanta, Akio Kimura, and Koki Takanashi, “Magnetoelastic anisotropy in Heusler-type Mn_{2-δ}CoGa_{1+δ} films”, *Phys. Rev. Mater.* **6** (4), 044405/ 1-12 (2022).
- [6] ©A. M. Shikin, A. A. Rybkina, D. A. Estyunin, I. I. Klimovskikh, A. G. Rybkin, S. O. Filnov, A. V. Koroleva, E. V. Shevchenko, M. V. Likholetova, V. Yu. Voroshnin, A. E. Petukhov, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, L. Petaccia, G. Di Santo, S. Kumar, A. Kimura, P. N. Skirdkov, K. A. Zvezdin, and A. K. Zvezdin, “Non-monotonic variation of the Kramers point band gap with increasing magnetic doping in BiTeI”, *Sci. Rep.* **11**, 23332/ 1-12 (2021).
- [7] ©A.M. Shikin, D.A. Estyunin, N.L. Zaitsev, D. Glaskova, I.I. Klimovskikh, S. Filnov, A.G. Rybkin, E. F. Schwier, S. Kumar, A. Kimura, N. Mamedov, Z. Aliev, M.B. Babanly, K. Kokh, O.E. Tereshchenko, M.M. Otrokov, E. V. Chulkov, K.A. Zvezdin, and A.K. Zvezdin, “Sample-dependent Dirac point gap in MnBi₂Te₄ and its response to the applied surface charge: A combined photoemission and ab initio study”, *Phys. Rev. B.* **104** (11), 115168/ 1-11 (2021).
- [8] Takahide Kubota, Yusuke Shimada, Tomoki Tsuchiya, Tomoki Yoshikawa, Keita Ito, Yukiharu Takeda, Yuji Saitoh, Toyohiko J. Konno, Akio Kimura, and Koki Takanashi, “Microstructures and Interface Magnetic Moments in Mn₂VAl/Fe Layered Films Showing Exchange Bias”, *Nanomaterials* **11**, 1723/ 1-11 (2021).

国際会議

(招待講演)

- [1] A. Kimura, “Bulk-edge correspondence in topological materials from ARPES perspectives”, Bulk-Edge/Boundary-Correspondence 2022 (BE/BC-2022) (2022.2.11-13, Online).
- [2] A. Kimura, “Spectroscopic view of martensitic phase transition in Co and Mn based Heusler alloys” 7th International Conference on Superconductivity and Magnetism (ICSM2020) (2021.10.22-28, La Blanche Island Bodrum, Milas-Bodrum, Turkey, Hybrid).

(一般講演)

- [1] ©Y. Nishioka, S. Ishizaka, K. Kuroda, A. Ino, S. Kumar, K. Shimada, H. Kito, I. Hase, S. Ishida, K. Oka, H. Fujihisa, Y. Gotoh, Y. Yoshida, A. Iyo, H. Ogino, H. Eisaki, K. Kawashima, Y. Yanagi, and A. Kimura, “Observation of Fast Dirac Nodal-Line Fermions in a Nonsymmorphic Superconductor, $\text{HfP}_{1.55}\text{Se}_{0.45}$ ”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Poster, 2022.3.10-11, Higashi-hiroshima, Japan). Hybrid
- [2] ©S. Ishizaka, A. Ino, T. Kono, Y. Miyai, S. Kumar, K. Shimada, H. Kito, I. Hase, S. Ishida, K. Oka, H. Fujihisa, Y. Gotoh, Y. Yoshida, A. Iyo, H. Ogino, H. Eisaki, K. Kawashima, Y. Yanagi, and A. Kimura, “Direct observation of Dirac nodal-line fermions in P-square net superconductor, $\text{ZrP}_{1.24}\text{Se}_{0.57}$ ”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Poster, 2022.3.10-11, Higashi-hiroshima, Japan). Hybrid
- [3] ©K. Nakanishi, K. Ohwada, K. Kuroda, K. Sumida, K. Miyamoto, T. Okuda, S. Isogami, K. Masuda, Y. Sakuraba, and A. Kimura, “Minority-spin Dominated Band Structure Near the Fermi Energy of Fe_4N Film Revealed by Spin- And Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Poster, 2022.3.10-11, Higashi-hiroshima, Japan). Hybrid, **Best Student Poster Award**
- [4] ©T. Sugiyama, H. Iwasawa, S. Ozawa, H. Oda, R. Takahashi, T. Kono, T. Okuda, K. Miyamoto, H. Wadati, S. Ishida, Y. Yoshida, H. Eisaki, and A. Kimura, “Spatial inhomogeneity in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ investigated by micro photoemission spectroscopy”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Poster, 2022.3.10-11, Higashi-hiroshima, Japan). Hybrid
- [5] ©K. Shiraishi, T. Iwata, K. Kuroda, M. Nurmamat, K. Nakanishi, S. Kumar, K. Shimada, M. Arita, Y. Kotani, K. Mitsumoto, H. Tanida, and A. Kimura, “Direct Observation of the Three-dimensional Electronic Structure of RMnSi (R=La, Ce) with Noncentrosymmetric Antiferromagnetic Order”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Poster, 2022.3.10-11, Higashi-hiroshima, Japan). Hybrid
- [6] ©T. Sugiyama, H. Iwasawa, S. Ozawa, H. Oda, T. Kono, T. Okuda, K. Miyamoto, S. Ishida, Y. Yoshida, H. Eisaki and A. Kimura, “Gap inhomogeneity in high- T_C cuprate superconductor studied by high resolution micro-ARPES”, The 9th International Symposium on Surface Science (Poster, 2021.11.28-12.1, Online).
- [7] ©K. Kawaguchi, K. Kuroda, Y. Fukushima, H. Tanaka, A. Harasawa, T. Iimori, Z. Zhao, S. Tani, K. A. Kokh, O. E. Tereshenko, A. Kimura, K. Yaji, S. Shin, F. Komori, Y. Kobayashi, T. Kondo, “Time-, spin- and angle-resolved photoemission spectroscopy of spin-polarized surface states with the 10.7-eV extreme-ultraviolet at 1-MHz repetition rate”, Advanced spectroscopy of organic

materials for electronic applications (ASOMEA-X) (Poster, 2021.10.25-28, Kashiwa, Japan).

国内学会

(セミナー)

- [1] 木村昭夫, 広島大学国際リネージ型学位プログラム (ILD-START Plus) ・講師,
Progress and Frontiers of Solid State Physics Using Synchrotron Radiation, インド工科大学ムンバイ校・ビルラ技術科学大学ピラニ校および広島大学から計 15 名, 2021 年 12 月 16 日 (全 60 分)
- [2] 木村昭夫, 産業技術総合研究所「トポロジカル勉強会」, 産業技術総合研究所・所員約 20 名, 2021 年 8 月 23 日, 9 月 6 日 (全 180 分)

(一般講演)

- [1] ◎白石海人, 岩田拓万, 黒田健太, Munisa Nurmamat, 中西楓恋, Shiv Kumar, 島田賢也, 有田将司, 小谷佳範, 三本啓輔, 谷田博司, 木村昭夫「RMnSi(R=La, Ce)の放射光角度分解光電子分光」日本物理学会第 77 回年次大会 (口頭発表, 2022 年 3 月 15 日-19 日, オンライン開催)
- [2] 西岡幸美, 石坂仁志, 井野明洋, 河野 嵩, 鬼頭 聖, 長谷 泉, 石田茂之, 岡 邦彦, 藤久裕司, 後藤義人, 吉田良行, 伊豫 彰, 荻野 拓, 永崎 洋, 川島健司, 柳陽介, 木村昭夫「P の正方格子を有するディラック線ノード超伝導体 ZrP_{2-x}Sex の放射光角度分解光電子分光」日本物理学会第 77 回年次大会 (口頭発表, 2022 年 3 月 15 日-19 日, オンライン開催)
- [3] ◎石坂仁志, 井野明洋, 河野 嵩, 宮井雄大, Shiv Kumar, 島田賢也, 鬼頭 聖, 長谷泉, 石田茂之, 岡 邦彦, 藤久裕司, 後藤義人, 吉田良行, 伊豫 彰, 荻野 拓, 永崎洋, 川島健司, 柳 陽介, 木村昭夫「放射光 ARPES による P 正方格子を有する超伝導体における線ノード型ディラック粒子の観測」日本物理学会第 77 回年次大会 (口頭発表, 2022 年 3 月 15 日-19 日, オンライン開催) **学生優秀発表賞**
- [4] ◎石坂仁志, 井野明洋, 河野 嵩, 宮井雄大, Shiv Kumar, 島田賢也, 鬼頭 聖, 長谷泉, 石田茂之, 岡 邦彦, 藤久裕司, 後藤義人, 吉田良行, 伊豫 彰, 荻野 拓, 永崎洋, 川島健司, 柳 陽介, 木村昭夫「放射光角度分解光電子分光による超伝導体中の P 正方格子に由来する線ノードディラック粒子の観測」第 35 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (口頭発表, 2022 年 1 月 7 日-9 日, オンライン開催)
- [5] ◎杉山貴哉, 岩澤英明, 小澤秀介, 尾田拓之慎, 高橋龍之介, 河野 嵩, 奥田太一, 宮本幸治, 和達大樹, 石田茂之, 吉田良行, 永崎 洋, 木村昭夫「顕微光電子分光による Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+δ} の電子状態の実空間不均一性の検証」第 35 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (口頭発表, 2022 年 1 月 7 日-9 日, オンライン開催)
- [6] ◎角田一樹, 鹿子木将明, 桜庭裕弥, 河野 嵩, 後藤一希, 宮本幸治, 宝野和博, 奥田太一, 木村昭夫「四元系ホイスラー合金 Co₂Mn(Al,Si)薄膜におけるスピン偏極ワイル分散とハーフメタル性の観測」第 35 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (口頭発表, 2022 年 1 月 7 日-9 日, オンライン開催)
- [7] ◎川口海周, 黒田健太, 福島優斗, 田中宏明, 原沢あゆみ, 飯盛拓嗣, 趙 智剛, 谷峻太郎, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, 木村昭夫, 矢治光一郎, 辛 埴, 小森文夫, 小林洋平, 近藤 猛「時間・スピン・角度分解光電子分光装置の開発とスピン偏極表面状

態の光励起ダイナミクス観測」第35回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム（口頭発表，2022年1月7日-9日，オンライン開催）

- [8] 西岡幸美，石坂仁志，井野明洋，河野 嵩，鬼頭 聖，長谷 泉，石田茂之，岡 邦彦，藤久裕司，後藤義人，吉田良行，伊豫 彰，荻野 拓，永崎 洋，川島健司，柳陽介，木村昭夫「Pの正方格子を有するディラック線ノード超伝導体 $ZrP_{2-x}Se_x$ の放射光角度分解光電子分光」第35回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム（ポスター発表，2022年1月7日-9日，オンライン開催）
- [9] ◎川口海周，黒田健太，福島優斗，趙 智剛，谷峻太郎，田中宏明，原沢あゆみ，飯盛拓嗣，野口 亮，K. A. Kokh，O. E. Tereshchenko，木村昭夫，矢治光一郎，辛 埴，小森文夫，小林洋平，近藤 猛「高繰り返し 10.7 eV レーザーによる時間・スピン・角度分解光電子分光装置の開発と非占有スピン偏極電子状態の観測」表面・界面スペクトロスコーピー2021（口頭発表，2021年12月10日-11日，オンライン開催）
- [10] ◎川口海周，福島優斗，黒田健太，田中宏明，原沢あゆみ，飯盛拓嗣，趙 智剛，谷峻太郎，K. A. Kokh，O. E. Tereshchenko，木村昭夫，矢治光一郎，辛 埴，小森文夫，小林洋平，近藤 猛「時間・スピン・角度分解光電子分光によるスピン偏極電子状態の光励起ダイナミクスの観測」日本物理学会 2021年秋季大会（口頭発表，2021年9月20日-23日，オンライン開催）
- [11] ◎角田一樹，鹿子木将明，桜庭裕弥，増田啓介，河野 嵩，後藤一希，宮本幸治，三浦良雄，宝野和博，奥田太一，木村昭夫「ホイスラー合金 Co_2MnSi 薄膜におけるスピン偏極電子構造の温度依存性の観測」日本物理学会 2021年秋季大会（2021年9月20日-23日，オンライン開催）

学生の学会発表実績

（国際会議）

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 5 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 2 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 1 件

（国内学会）

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 8 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 4 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 4 件

セミナー・講演会開催実績

○ 学会開催

- [1] 木村昭夫：SPring-8 シンポジウム 2021（ハイブリッド開催）（2021年9月17日-18日，480名，SPring-8 普及棟，組織委員長）
- [2] 木村昭夫：第4回 BLs アップグレード検討ワークショップ（ハイブリッド開催）（2022年3月14日，344名，SPring-8 普及棟，組織委員長）
- [3] 木村昭夫：第5回 SPing-8 秋の学校（現地開催）（2021年12月19日-22日，59名，SPring-8，校長）

社会活動・学外委員

○ 学協会委員

- [1] 木村昭夫：SPring-8 ユーザー共同体・会長（任期 2020 年 4 月-2022 年 3 月）
- [2] 木村昭夫：日本物理学会・代議委員
- [3] 木村昭夫：Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena（Elsevier 社），Editorial Board Member
- [4] 木村昭夫：日本放射光学会評議委員会・委員（2021 年 10 月-2023 年 9 月）
- [5] 木村昭夫：日本表面科学会・国際事業委員会・委員

○ 外部評価委員等

- [1] 木村昭夫：東京大学物性研究所 軌道放射物性研究施設運営委員会・委員
- [2] 木村昭夫：SPring-8 選定委員会・委員
- [3] 木村昭夫：SPring-8 利用研究課題審査委員会・審査員
- [4] 木村昭夫：次世代放射光施設利用研究検討委員会・委員
- [5] 木村昭夫：SPRUC Young Scientist Award 2021 審査委員会・委員
- [6] 木村昭夫：第 14 回日本放射光学会若手研究会審査委員会・委員
- [7] 木村昭夫：日本物理学会 領域 5・審査委員会・委員

○ 国際共同研究・国際会議開催実績

- [1] 木村昭夫：国際共同研究実施件数 10 件

○ 研究助成金の受入状況

- [1] 木村昭夫：科学研究費補助金 基盤研究（A）（2018-2022 年度）（代表）「非共型な結晶対称性を持つ強相関物質の電子状態観測とトポロジーの解明」，3,800 千円（2021 年度直接経費）
- [2] 木村昭夫：科学研究費補助金 基盤研究（S）（2017-2021 年度）（分担）「トポロジカル相でのバルク・エッジ対応の多様性と普遍性：固体物理を越えて分野横断へ」，6,700 千円（2021 年度直接経費）
- [3] 木村昭夫：科学研究費補助金 基盤研究（S）（2017-2021 年度）（分担）「実用デバイスに向けたハーフメタルホイスラー合金のスピンの依存伝導機構の解明」，1,500 千円（2021 年度直接経費）
- [4] 木村昭夫：科学研究費補助金 基盤研究（B）（2018-2022 年度）（代表）「トポロジカル結晶絶縁体におけるトポロジカル状態の外場による変調とデバイス応用」，200 千円（2021 年度直接経費）

○分子光科学グループ

研究活動の概要

本研究グループでは光と物質との相互作用を取り扱う物理学を基軸とした化学や生物学との融合科学の構築を目指しており、放射光や自由電子レーザー、超短パルスレーザーなど様々な先端光源を用いることで、ナノマテリアルやバイオ関連分子の機能や物性、反応機構の原子レベルでの解明とその応用に取り組んでいる。特に近年は、自己組織化有機単分子膜や機能性有機ナノ結晶、金属ナノ粒子、包接化合物などの分子系に着目した研究を進めている。

☆自己組織化有機単分子膜を利用した分子物性研究（和田・仁王頭）

分子間相互作用によって金属表面上に分子が規則正しく配向して吸着する自己組織化有機単分子膜（SAM）は、末端官能基の特性を生かした機能性表面としての利用や、分子鎖の特性を生かした分子デバイスとしての利用など、工学、生物学、医学など様々な分野への応用が期待される有機超薄膜である。2021年度は、鎖種が異なる芳香鎖SAMの単分子電荷移動ダイナミクス研究やナノ活性材料のためのSAM被覆金ナノ粒子の合成・評価を実施した。

分子-基板界面の電荷移動過程の理解は有機エレクトロニクスにおいて不可欠である。基板上分子の電荷移動度の非接触な評価法として、内殻共鳴励起によるコアホール・クロック（CHC）法がある。内殻電子を共鳴励起すると共鳴オーグジュ電子が観測されるが、励起電子が内殻正孔の失活より速く金属基板に失活するとノーマルオーグジュ電子が観測される。CHC法では、この共鳴オーグジュとノーマルオーグジュの比率から、分子から基板への電荷移動速度を数フェムト秒の内殻寿命を基準として評価することができる。一方、内殻励起によるイオン脱離反応では最表面に配向したSAMの末端官能基で選択的な脱離が観測されるが、この反応も表面官能基から基板への電荷移動が深く関与している。我々は、このような内殻励起による反応ダイナミクスを解析することで、有機分子の導電性を評価し得ることを見出した。

そこで本年度は、共役電子系が異なる芳香環を分子鎖にもつSAMについて、末端メチルエステル基からの分子内電荷移動速度に着目した。分子鎖導電性に応じた選択的イオン脱離反応の断片化ダイナミクスと電荷移動速度との相関性を評価することができた。軟X線放射光を用いた非接触かつ広いダイナミックレンジでの分子導電性評価法の確立に向けて更に研究を展開している。

金ナノ粒子はもともと古くから研究されているナノ粒子であるが、ナノ粒子の大きさや形状・表面の化学的特性や凝集状態を変化させることで粒子の光学的・電子的特性を調整することができるとともに、触媒活性も発現することから基礎研究・材料開発の両面で注目される粒子である。特にその表面を官能基をもつSAMで修飾もしくは接合することによって、新たな機能を付加したナノ粒子やナノ構造体を構成することが期待できる。我々は液中パルスレーザーアブレーション法を採用することで、従来の化学的な合成法では不可能な直径10nmの被膜のない金ナノ粒子の合成に成功した。有機修飾したナノ粒子やその巨大球状凝集体、ナノ粒子接合ワイヤーのコントロール合成を進めている。また分子導電性評価のプラットフォームとしても活用し、金属ナノ粒子系での分子伝導物性評価を進めている。本年度は、芳香分子鎖が異なる2種類のチオール分子で修飾した金ナノ粒子でイオン脱離およびCHCの計測を実施した。両計測手法でナノ粒子修飾分子では電荷移動速度が遅くなることが分かり、基板に集積したナノ粒子薄膜でもその修飾分子の電荷移動ダイナミクスを評価し得ることを見出した。

☆自己組織化有機単分子膜とナノカーボンの物性研究（関谷）

機能的なナノ構造を作成するためのアプローチとして、固体表面と分子との間の相互作用と分子同士の相互作用のバランスによって自発的に形成されるSAMは非常に重要な2次元の分子ナノ構造体の一つである。一方、多環芳香族炭化水素からなるナノ構造体としてフラーレンやカーボンナノチューブ、グラフェンなどが注目されている。カーボンナノチューブは電気伝導性、熱伝導性、機械的強靱性、化学的安定性、物質吸着性など、様々な性質を示し多様な機能を有しており、構造やカイラリティの違いによっても性質は異なり、半導体や金属などの幅広い特性を示す。フラーレンも、カゴ状分子としての内包性や電子受容体としての特性をはじめとして、多くの物性的特徴から幅広い用途に利用されている。これらのナノカーボンの応用の観点から、よく規定されたナノカーボンを表面上に規則配列するために各分子間の相互作用についての理解が不可欠であり、系統的にSAMとナノカーボンの相互作用について明らかにするための研究を進めている。2021年度は末端基としてアミノ基を有するSAMとフラーレンとの相互作用に着目してフラーレンの単分子膜表面吸着についての研究を実施している。

☆自由電子レーザーや光学レーザーを利用した超高速反応ダイナミクス研究（仁王頭・和田）

X線自由電子レーザー（XFEL）はこれまでのX線を遙かに凌駕する全く新しいパルスX線発生源である。高輝度・高コヒーレント・超短パルスという特性を持つこの新しいX線を用いることで、有機ナノ結晶や非結晶化タンパク質のような、従来の手法では計測できなかった微小試料単体での三次元構造解析や構造変化の高速時分割測定が可能となってきた。我々は、日本のXFEL施設SACLAの性能を生かして、光励起反応中の機能性ナノ結晶の原子の動きを捉えるダイナミックイメージングを目指した研究を展開している。また、このような高強度X線集光パルスと物質との相互作用は未知の領域でもあり、引き起こされる反応素過程・反応ダイナミクスの解明もまたSACLAを用いて初めて可能となる新しい研究分野である。

2021年度は、SACLA利用の単粒子X線回折測定により、ガスジェット中で結晶化した直後の単一Xeクラスターの構造を解明することに成功した。単一Xeクラスターにおいて、Xeバルクの安定相であるfcc構造と、積層欠陥を多く含むランダム六方最密充填構造が共存していることが明らかとなった。このことからXeクラスターの結晶化が、準安定構造であるランダム六方最密充填構造を経由して進行することが示唆された。実験結果に基づき、XFELの単粒子X線回折が構造変化を伴う原子スケールの非平衡ダイナミクス研究に強力な手法となる事を実証し、その成果を公表した。

またSACLAより供給されるフェムト秒軟X線パルスと光学フェムト秒レーザーを用いて、ハロゲン含有有機分子の光反応ダイナミクスの観測を行った。この実験では紫外線照射により誘起された分子の光解離過程を、FELを用いたクーロン爆発イメージングによりプローブする事で、フェムト秒の実時間で解離ダイナミクスの観測に成功した。本研究は日本国内およびアメリカ、カナダ、イギリス、フィンランドなどの欧米各国との国際共同研究で実施している。

上記研究に加えて、構造と機能の相関解明を目指す研究として光応答機能性有機ナノ結晶の超高速分光研究を実験室でも進めている。ジアセチレン分子ナノ結晶の紫外光照射による固相重合・相転移プロセスの解明を、光学フェムト秒パルスレーザーを用いた超高速過渡吸収分光計測により継続実施している。

☆軟X線分光による基板担持リン脂質膜の分子秩序の解明（和田）

脂質膜を表面に固定化することによる擬似生体膜の形成は、バイオセンサーや分子エレクトロニクスデバイスなどナノテクノロジー応用への基礎過程として近年注目されている。我々は、親水性基板上に脂質溶液を滴下する簡便な方法で作製した基板固定化リン脂質膜が、多層膜を形成していても高い配向性を維持することを見いだした。この配向情報や脂質秩序を調べるために、DPPCとDOPCの2種類のリン脂質膜の軟X線吸収を測定した。これら2種類の脂質は、特に炭素鎖の二重結合の有無により相転移温度が異なっており、室温ではそれぞれゲル相／液晶相と呼ばれる流動性が低い／高い二分子膜を形成すると理解されている。原子選択性を特徴とする軟X線吸収スペクトルの偏光依存性を解析することにより、秩序良く配向した炭素鎖とランダムに配向した炭素鎖の2つの成分を定量的に評価することに成功した。本研究で開発した解析手法は、膜の配向角決定に留まらず秩序状態まで評価し得る新たな手法として今後の活用が期待される。

☆ガルバニック置換を用いた金回収におけるシクロデキストリン添加効果（吉田）

金は有限な資源であり、装飾や電子機器内部で多く使用されている。近年、産業廃棄物（産廃）に含まれる金を回収し、再利用することが喫緊の課題となっている。産廃からの金回収はシアン化合物を用いる青化法が代表的な方法であるが、シアン有害性や環境への漏洩リスクにより危険度の高いものである。本研究では金を析出させる方法として、「ガルバニック置換反応」に着目した。これは溶液中での異種金属間の接触時に、標準酸化還元電位の差により「局所電池」を形成し、自発的に起こる反応である。

臭化金酸カリウム水溶液にニッケル板(or ワイヤ)を浸漬すると、ガルバニック置換反応により金が析出される。その際に赤褐色の溶液が透明に変化した。そこで、可視紫外吸収スペクトルの時間変化を調べ、析出速度を求めた。一方、シクロデキストリン(CD)により4臭化金イオンを包接するという報告例(Z. Liu et al., Nat. Commun. 4, 1855(2013))があり、この溶液にCDを添加することにより反応速度制御の可能性を検討した。CDはグルコースを基本構成単位とする環状オリゴ糖である。構成するグルコースの個数(6,7,8)によりそれぞれ α -、 β -、 γ -CDと呼ばれている。他の分子を内部に取り込む性質(包接)と、包接された分子を放出する性質(徐放)を持つのが特徴である。

CDなしの場合と比べて β -、 γ -CDを添加することにより、金析出速度は1/3から1/4に遅く変化した。包接を起こさない分子であるグルコースを添加した場合は析出速度がほぼ変化しないことから、析出速度の変化はCDによる包接に起因するものと結論した。また β -CDの外縁部の水酸基にメチル基が修飾されているトリメチル β -CDを添加すると、析出速度が非常に遅くなることが分かった。したがって、添加するCDの種類を変えることにより、ガルバニック置換による金回収の速度を制御できることを明らかにした。

☆共同研究

上記研究に加えて、以下に記す共同研究も推進している。

- SACLA 超短パルス利用研究：京都大学，東京農工大学，東北大学，兵庫県立大学，高輝度光科学研究センター，理化学研究所
- KEK PF パルス放射光利用研究：物質構造科学研究所
- UVSOR 円偏光光電子分光研究：富山大学，九州シンクロトロン光研究センター，分子科学研究所，広島大学
- UVSOR コヒーレント光利用研究：分子科学研究所，名古屋大学，広島大学

・HiSOR 生体分子の放射線損傷研究：量子科学技術研究開発機構，日本原子力研究開発機構，茨城大学

原著論文

- [1] Q. Wang, F. Huang, Y.-T. Cui, H. Yoshida, L. Wen, Y. Jin, “Influences of formation potential on oxide film of TC4 in 0.5 M sulfuric acid” *Appl. Surf. Sci.* **544**, 148888(1-9) (2021).
- [2] A. Niozu, Y. Kumagai, T. N. Hiraki, H. Fukuzawa, K. Motomura, M. Bucher, K. Asa, Y. Sato, Y. Ito, D. You, T. Ono, Y. Li, E. Kukuk, C. Miron, L. Neagu, C. Callegari, M. Di Fraia, G. Rossi, D. E. Galli, T. Pincelli, A. Colombo, S. Owada, K. Tono, T. Kameshima, Y. Joti, T. Katayama, T. Togashi, M. Yabashi, K. Matsuda, C. Bostedt, K. Ueda, and K. Nagaya, “Crystallization kinetics of atomic crystals revealed by a single-shot and single-particle X-ray diffraction experiment” *Proc. Natl. Acad. Sci.* **118**, e2111747118(1-8) (2021).
- [3] A. Niozu, Y. Kumagai, H. Fukuzawa, N. Yokono, D. You, S. Saito, Y. Luo, E. Kukuk, C. Cirelli, J. Rist, I. Vela-Pérez, T. Kameshima, Y. Joti, K. Motomura, T. Togashi, S. Owada, T. Katayama, K. Tono, M. Yabashi, L. Young, K. Matsuda, C. Bostedt, K. Ueda, and K. Nagaya, “Relation between inner structural dynamics and ion dynamics of laser-heated nanoparticles” *Phys. Rev. X* **11**, 031046(1-12) (2021).

著書

該当無し

総説

- [1] ◎和田真一，加藤政博，築山光一，“特集号「赤外自由電子レーザーの現状，利用研究と展望」企画説明” *放射光* **34**，123-124 (2021年)。

国際会議

(招待講演)

- [1] A. Niozu, “Characterizing crystalline defects in nanoparticles from angular correlations of single-shot diffracted X-rays”, Fluctuation x-ray scattering, (2021.6.2-3, Schenefeld (online), Germany).

(一般講演)

- [1] ◎M. Tabuse, A. Niozu, and S. Wada, “Soft X-ray polarization measurements of phospholipid multilayers supported on hydrophilic Si surfaces”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (2022.3.10-11, Higashi-Hiroshima (online), Japan).
- [2] ◎A. Niozu, H. Sunohara, S. Tendo, M. Tabuse, and S. Wada, “Characterization of self-assembled monolayers of methyl-ester terminated naphthalenethiol”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (2022.3.10-11, Higashi-Hiroshima (online), Japan).
- [3] ◎K. Kono, S. Wada, and T. Sekitani, “NEXAFS study of fullerene adsorbed on aminothiophenol self-assembled monolayer”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (2022.3.10-11, Higashi-Hiroshima (online), Japan).
- [4] S. Hayakawa, J. Oshita, K. Oshima, S. Tendo, T. Tsuru, and S. Wada, “C K-edge XAFS measurements for detection of unsaturated bonds in organically bridged silica materials”, The

26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (2022.3.10-11, Higashi-Hiroshima (online), Japan).

- [5] K. Baba and H. Yoshida, “Soft X-ray absorption spectroscopy of cyclodextrin compounds including a noble metal atom”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (2022.3.10-11, Higashi-Hiroshima (online), Japan).
- [6] ©K. Baba, H. Sato, and H. Yoshida, “Soft X-ray photoelectron spectroscopy of the metal complex included in cyclodextrin”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (2022.3.10-11, Higashi-Hiroshima (online), Japan).
- [7] K. Baba, S. Hayakawa, and H. Yoshida, “Hard X-ray absorption spectroscopy of a gold complex included by cyclodextrin”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (2022.3.10-11, Higashi-Hiroshima (online), Japan).

国内学会

(招待講演)

- [1] 和田真一, 「アンジュレータ放射“光渦”におけるヤングのダブルスリット回折カウンティング実験」, 大阪府立大学物性理論セミナー, (2021年8月6日, オンライン).

(一般講演)

- [1] M. Hirato, A. Yokoya, Y. Baba, Y. Kurokawa, H. Nakatsuji, S. Mori, S. Wada, Y. Haga, K. Fujii, 「Photoelectron spectroscopy and quantum-chemistry calculation study of bromine-incorporated DNA and its radio-sensitization mechanism」, 放射線影響学会第64回大会, (2021年9月22日-24日, オンライン).
- [2] 天道尚吾, 田中宏和, 足立純一, 和田真一, 「内殻分光による金ナノ粒子上の芳香族チオール分子における電荷移動ダイナミクスの解明」, 第15回分子科学討論会, (2021年9月18日-21日, オンライン).
- [3] ©和田真一, 太田寛之, 真野篤志, 藤本将輝, 加藤政博, 「アンジュレータ放射光渦によるYoungのダブルスリット干渉カウンティング実験」, UVSORシンポジウム, (2021年11月5日, オンライン).
- [4] ©金安達夫, 彦坂泰正, 和田真一, 藤本将輝, 岩山洋士, 加藤政博, 「タンデムアンジュレータによる光電子波束干渉」, UVSORシンポジウム, (2021年11月5日, オンライン).
- [5] ©高口博志, 金安達夫, 彦坂泰正, 和田真一, 加藤政博, 藤本将輝, 太田紘志, 鈴木喜一, 「光電子円二色性を示すキラル分子の探索」, UVSORシンポジウム, (2021年11月5日, オンライン).
- [6] ©和田真一, 太田寛之, 真野篤志, 藤本将輝, 加藤政博, 「アンジュレータ放射光渦のダブルスリット回折カウンティング実験」, 第35回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (2022年1月7日-9日, オンライン).
- [7] 和田真一, 古賀亮介, 小川 舞, 天道尚吾, 「内殻励起ダイナミクス計測から探る有機界面の非接触導電性評価」, 第35回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (2022年1月7日-9日, オンライン).
- [8] ©天道尚吾, 仁王頭明伸, 田伏真隆, 田中宏和, 足立純一, 和田真一, 「金ナノ粒子上の有機導電性分子における電荷移動ダイナミクス」, 第35回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (2022年1月7日-9日, オンライン).

- [9] 田伏真隆, 和田真一, 「直線偏光軟X線を利用した脂質膜評価」, 第35回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (2022年1月7日-9日, オンライン).
- [10] 平戸未彩紀, 横谷明德, 馬場祐治, 和田真一, 芳賀芳範, 藤井健太郎, 「軟X線XPSによるBr-スクレオチド分子の価電子状態計測とDNA分子内電荷移動機構」, 第35回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (2022年1月7日-9日, オンライン).
- [11] 仁王頭明伸, 熊谷嘉晃, 平木俊幸, 福澤宏宣, 本村幸治, Bucher Maximilian, 浅 和貴, 佐藤由比呂, 伊藤雄太, You Daehyun, 小野太詩, Li Yiwen, Kukk Edwin, Miron Catalin, Neagu Liviu, Callegari Carlo, Di Fraia Michele, Rossi Giorgio, Galli Davide, Pincelli Tommaso, Colombo Alessandro, 大和田成起, 登野健介, 亀島 敬, 城地保昌, 片山哲夫, 富樫 格, 矢橋牧名, 松田和博, Bostedt Christoph, 上田 潔, 永谷清信, 「単粒子X線回折で探る希ガスナノ粒子の結晶化ダイナミクス」, 第35回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (2022年1月7日-9日, オンライン).

学生の学会発表実績

(国際会議)

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 4 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 1 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 1 件

(国内学会)

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 1 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 1 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 2 件

セミナー・講演会開催実績

該当無し

社会活動・学外委員

- 学協会委員
- [1] 和田真一: 日本放射光学会 編集委員
- [2] 和田真一: 第35回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム 学生発表賞審査委員

高大連携事業への参加状況

該当無し

国際共同研究・国際会議開催実績

- 国際共同研究
- [1] 和田真一, 仁王頭明伸, SACLA 利用国際共同研究, 参加国 アメリカ, カナダ, イギリス, フィンランド
- 国際会議開催実績
- 該当無し

各種研究員と外国人留学生の受入状況

○ 各種研究員

該当無し

○ 外国人留学生

[1] 和田真一：大学院先進理工系科学研究科博士課程後期，2021年4月入学生，1名（中国）

研究助成金の受入状況

[1] 和田真一：科学研究費補助金 基盤研究（C）（代表）1,690千円

[2] 吉田啓晃：科学研究費補助金 基盤研究（C）（代表）910千円

[3] 仁王頭明伸：科学研究費補助金 研究活動スタート支援（代表）1,560千円

○放射光物性・放射光物理グループ

研究活動の概要

（1）重点研究の推進

放射光科学研究センター（本センター）は、共同利用・共同研究拠点に認定されており、センター教員は下記の重点研究の中核を担っている。

- ・ 放射光を用いた高分解能角度分解光電子分光による固体の微細電子構造の研究
- ・ 放射光を用いたスピン角度分解光電子分光による量子スピン物性の研究
- ・ 軟 X 線磁気円二色性分光によるナノ構造体の磁性に関する研究
- ・ 真空紫外円二色性分光による生体物質の立体構造に関する研究
- ・ 高輝度放射光源の研究開発

（2）2021年度の特徴ある研究成果

- ・ 本センターで開発した空間分解能を高めた角度分解光電子分光装置を用いて、反強磁性トポロジカル絶縁体 MnBi_4Te_7 および $\text{MnBi}_6\text{Te}_{10}$ の終端面に依存した電子状態を初めて明らかにした。本研究は *Physical Review Letters* 誌の *Editors' Suggestion* に選ばれ、Top 5% 論文である。本物質はトポロジカル電気磁気効果や量子スピンホール効果を利用した高機能スピントロニクス材料への応用の観点から社会的にも意義がある。
- ・ BiOI は空間反転対称性をもちつつ、局所的には反転対称性が破れているため隠れスピン分裂バンドを形成している物質として理論的に予言された。実験的に BiOI のスピン構造の解明を行うため、ブリルアンゾーン境界の対称点であり異なる対称性をもつ X 点と M 点付近を詳細に調べ、それぞれの対称点まわりに、実空間・k 空間の両方の対称性が影響しあった Rashba 型スピン構造と Dresselhauss 型スピン構造という異なるスピン構造が存在することを明らかにした。
- ・ 銅酸化物高温超伝導体は、 CuO_2 面の数が3枚になると最も高い超伝導転移温度 (T_c) を示すことが経験則的に知られているが、その微視的な電子状態については理解されていない。三層系銅酸化物高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ という Bi 系銅酸化物高温超伝導体の中で最も高い T_c を示す物質において、低エネルギー励起光を用いた角度分解光電子分光を行い、その電子状態を調べることに成功した。その結果、3枚の CuO_2 面間の電子状態

が混成するスペクトルを得ることに成功し、これはクーパー対の面間ホッピングを世界で初めて観測した可能性を示唆する。また共著者の理論研究より、三層系銅酸化物高温超伝導体の T_c が最も高くなる起源について格子揺らぎ及び磁気揺らぎの組み合わせによる研究成果も示している。

- バルク物質の $Mn_4Bi_2Te_7$ はネール温度300 Kの反強磁性体であると同時にスピン偏極したトポロジカル表面状態およびその状態にギャップが存在することが知られている。本研究は、 $Mn_4Bi_2Te_7/Bi_2Te_3$ ヘテロ構造を作成し、スピン角度分解光電子分光により、その電子スピン構造を明らかにし、トポロジカル表面状態の有無およびギャップの温度依存性について詳細に調べ、ヘテロ構造中の $Mn_4Bi_2Te_7$ が $T < 20K$ で強磁性体秩序をもつことを明らかにした。
- ミエリン塩基性タンパク質(MBP)は、神経ネットワークの構築に必要な生体膜の多層構造体であるミエリン鞘を安定化させている。放射光を利用した真空紫外円二色性分光法と分子動力学法を組み合わせ、MBPの膜結合部位とその分子構造や膜結合機構を明らかにした。解明された分子構造は、ミエリン鞘の形成メカニズムの理解に寄与すると期待される。
- シリコンナノリボンを銀単結晶表面上に人工的に作製して放射光を用いた角度分解光電子分光を行なった結果、1次元電子系でディラック電子が実現していることを初めて明らかにした。低次元ディラック電子系は高い移動度を持ち、量子スピンホール効果を示すことから、消費電力が少なく高速で動作する電子デバイスへの応用の観点から社会的にも意義がある。

(3) 2021年度の共同研究の状況

- 共同研究の国際公募を行い、118課題を採択した。
- 受入人数123人(実人数)のうち、学内者67人(54%)、学外者56人(46%)である。共同研究機関は20機関で、内訳では、国立大学が10機関、公私立大学が3機関、公的研究機関が5機関、企業が1機関、海外機関が1機関であった。
- コロナ禍により、一部の課題(海外6件、国内3件)について代行測定を実施した。

(4) 共同研究契約にもとづく学外研究機関との連携

- 産業技術総合研究所
共同研究契約を締結し、高分解能角度分解光電子分光に用いられる極低温ゴニオメータやマニピュレータの開発などを行っている。本年度はBL-1において微小集光した放射光ビームを用いた空間マッピングを行うため、超高精度XYZトランスレータを導入した。
- 高エネルギー加速器研究機構(KEK)
KEKとは、クロスポイントメントの活用によりKEKの加速器専門家を特任准教授として雇用し、将来計画のための高性能小型放射光源の設計・検討を進めた。また、KEKの加速器科学総合育成事業に本学と呉工業高専、広島商船高専が共同で提案した「大学・高専連携による加速器分野での人材育成・技術開発・分野融合の加速」が継続して採択され、機械学習や仮想現実などの最新デジタル技術をKEKの教員などがわかりやすく解説するセミナーを開催したほか、本学学生や高専生らがKEKの加速器運転データを用いて機械学習の応用に関する研究を進めるなど、本学及び近隣高専における加速器科学教育及び人材

育成に貢献した。

(5) 研究設備高度化への取組

- 直線偏光アンジュレータビームライン (BL-1) 微小集光光学系を導入し、最適化を進めた。その結果、ビームスポットは従来の1/10以下に微小化でき、強度も60 eV以下で約35%向上した。高分解能角度分解光電子分光ビームライン (BL-9A) の微小集光光学素子とその調整機構の導入を進めた。スポットサイズを約1/4まで小さくできたことを確認し、更なる微小化を行うため、光学素子の最適化を進めている。BL-1及びBL-9Aで測定の高速度化、高効率化を実現するために、新規アナライザー導入に向けた取り組みを進めた。
- 高分解能スピン角度分解光電子分光ビームライン (BL-9B) では、複数のドメインを持つ試料のドメインを選択した測定や、微小な試料の測定を可能とすることを目的に、微小集光光学系を導入し、ビームサイズが約1/10に改善した。スピン検出効率を1000倍以上高めるマルチチャンネルスピン検出器の開発を推進した。
- 角度分解光電子分光ビームライン (BL-7) では、偏光電磁石からの放射光を用いた角度分解光電子分光の測定の自由度を向上させるため、手動の面内回転機構を導入した。
- 真空紫外線円二色性実験ビームライン (BL-12) では、マイクロビームを光源とした縦型の円二色性顕微分光の整備を進め、生体試料の吸収測定を可能にした。また、マイクロ流路技術を使用した光学セルを用いて生体試料の構造変化をミリ秒スケールで追跡できるシステムを稼働させた。
- 軟X線磁気円二色性ビームライン (BL-14) 低エネルギー域の回折格子を利用できるように整備した。低真空環境下における軟X線反射スペクトル計測システムの環境整備を進めた。

(6) 第26回広島放射光国際シンポジウム

「真空紫外・軟X線放射光による物質科学：HiSOR-II計画に向けて」と題して、26回目となる国際シンポジウムを開催した。昨年度予定していた第25回はコロナ禍により全面オンライン開催であったが、今回はハイブリッド形式で行った。今回も例年通り日本放射光学会からの協賛を受け、HiSORが重点的に推進している微細電子構造の研究、量子スピン物性の研究、ナノサイエンスの研究、生体物質立体構造の研究、高輝度放射光源のR&Dの5つの研究分野に関連して第一線で活躍する研究者を、海外から2名（中国、インド）国内から9名招聘し、最新の研究成果の発表やHiSOR-II計画に向けた期待などについて講演が行われ、活発な研究討論が行われた。ポスターセッションでは、2021年度の共同利用・共同研究の成果を中心に32件（うち学生発表20件）の発表があった。ポスターセッションではFlash Poster Sessionとして、ポスター発表をする学生が1分程度の英語による口頭発表も実施した。広島大学、岡山大学、大阪大学、茨城大学の学生20人が参加し、英語による口頭発表に意欲的に取り組み、続くポスターセッションでは活発な研究討論が行われた。学生による口頭・ポスター発表を招聘研究者を含む参加者全員（学生以外）が評価し、優れた発表4件（広島大学3名、大阪大学1名）に学生ポスター賞を授与した。本シンポジウムの参加者総数は74名（学内53名、学外21名（うち海外10名））であった。

(7) 第26回HiSOR研究会

HiSOR研究会「～生体分子の構造機能研究におけるキラル分光の新しい可能性～」を2022年3月8日に、広島大学学士会館・レセプションホール（広島県東広島市）で開催した。コロナ禍のため、感染対策を施したハイブリッド開催であり、招待講演者には現地参加を、聴講者にはオンライン参加をお願いした。特別招待講演（1名）では、米国ニューヨーク大学のBart Kahr教授により固体キラルに関する研究が紹介され、また招待講演（12名）では、最新のキラル分光技術や、またこれら技術を利用した応用研究が紹介された。米国および国内から多くの方が参加し（参加者合計 73名、内オンライン 52名）、活発なディスカッションが行われた。また、2022年の米国New Yorkで開催される第18回キラル国際会議と2023年の広島で開催される第19回キラル国際会議の案内があり、今後のキラル分光学の発展に大きく寄与することができた。

(8) 放射光科学院生実験の実施：大学院教育への貢献

岡山大学大学院自然科学研究科との部局間協定のもとで両大学の教員が協力し、放射光ビームラインを活用した「放射光科学院生実験」（本学理学研究科のカリキュラム）を実施した（受講生：広島大学6名、岡山大学2名）。

原著論文

- [1] ©Z. Wang, Z. Hao, Y. Yu, Y. Wang, S. Kumar, X. Xie, M. Tong, Ke Deng, Y.-J. Hao, X.-M. Ma, Ke Zhang, C. Liu, M. Ma, J. Mei, G. Wang, E. F. Schwier, K. Shimada, F. Xu, C. Liu, W. Huang, J. Wang, T. Jiang, C. Chen, “Fermi velocity reduction of Dirac fermions around the Brillouin zone center in In_2Se_3 -bilayer graphene heterostructures”, *Adv. Mater.* **33**, 2007503 (8p) (2021) .
- [2] ©M. Singh, S. Kumar, M. Alam, V. K. Gangwar, L. Ghosh, D. Pal, R. Singh, P. Shahi, P. Chaudhary, K. Shimada, S. Chatterjee, “Evidence of surface and bulk magnetic ordering in Fe and Mn doped $\text{Bi}_2(\text{SeS})_3$ topological insulator”, *Appl. Phys. Lett.* **118**, 132409 (7p) (2021) .
- [3] K. Ali, H. S. Zen, H. Ohgaki, T. Kii, T. Hayakawa, T. Shizuma, H. Toyokawa, M. Fujimoto, Y. Taira, M. Katoh, “Three-dimensional nondestructive isotope-selective tomographic imaging of Pb-208 distribution via nuclear resonance fluorescence”, *Appl. Sciences-Basel* **11**, 3415 (14p) (2021) .
- [4] T. Yilmaz, X. Tong, Z. Dai, J. T. Sadowski, E. F. Schwier, K. Shimada, S. Hwang, K. Kisslinger, K. Kaznatcheev, E. Vescovo, B. Sinkovic, “Emergent flat band electronic structure in a $\text{VSe}_2/\text{Bi}_2\text{Se}_3$ heterostructure”, *Commun. Mater.* **2**, 11 (8p) (2021) .
- [5] S. Cho, W. Jung, J. Hong, B. Kim, G. Han, M. Leandersson, T. Balasubramanian, M. Arita, K. Shimada, J. H. Shim, C. Kim, S. R. Park, “Observation of Dresselhaus type spin splitting of zinc blende structure semiconductors by circular dichroic photoemission study”, *Current Appl. Phys.* **30**, 96-101 (2021) .
- [6] A. Kumar, M. Kumar, P. C. Sati, M. K. Srivastava, S. Ghosh, S. Kumar, “Structural, magnetic and optical properties of diluted magnetic semiconductor (DMS) phase of Ni modified CuO nanoparticles”, *Current Appl. Phys.* **32**, 24-35 (2021) .
- [7] T. Matsuo, K. Nakatani, T. Setoguchi, K. Matsuo, T. Tamada, Y. Suenaga, “Secondary structure of human de novo evolved gene product NCYM analyzed by vacuum-ultraviolet circular dichroism”, *Frontiers in Oncology* **11** (2021) .
- [8] ©M. Ye, K. Kuroda, M. M. Otrokov, A. G. Ryabishchenkova, Q. Jiang, A. Ernst, E. V. Chulkov, M.

- Nakatake, M. Arita, T. Okuda, T. Matsushita, L. Tóth, H. Daimon, K. Shimada, Y. Ueda, A. Kimura, “Persistence of the topological surface states in Bi₂Se₃ against Ag intercalation at room temperature”, *J. Phys. Chem. C* **125**, 1784–1792 (2021) .
- [9] ©K. Anand, A. Pal, M. Alam, S. Dan, S. Kumar, S. Ghosh, S. Kumari, A. Das, M. Sawada, A. Mohan, S. Chatterjee, “Emergence of metamagnetic transition, re-entrant cluster glass and spin phonon coupling in Tb₂CoMnO₆”, *J. Phys.: Condens. Matter* **33**, 275802 (10p) (2021) .
- [10] ©P. J. Grenz, D. Thonig, M. Holtmann, K. Miyamoto, S. Kumar, E. F. Schwier, T. Okuda, J. Henk, M. Donath, “Adlayer influence on Dirac-type surface state at W(110)”, *J. Phys.: Condens. Matter* **33**, 285504 (6p) (2021) .
- [11] ©V. K. Gangwar, S. Kumar, M. Singh, P. Singh, L. Ghosh, D. Pal, P. Shahi, Y. Uwatoko, E. F. Schwier, K. Shimada, D. K. Sharma, S. Kumar, S. Chatterjee, “Observation of antiferromagnetic ordering from muon spin resonance study and the Kondo effect in a Dy-doped Bi₂Se₃ topological insulator”, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **64**, 455302 (10p) (2021) .
- [12] S. Michimura, M. Kosaka, A. Machida, R. Numakura, R. Iizuka, S. Katano, Y. Imai, N. Shirakawa, Y. Yamasaki, H. Nakao, H. Sato, S. Ueda, K. Mimura, “Charge-ordered state and low-dimensional magnetic fluctuations in Yb₅Ge₄ single crystal”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **90**, 044703 (12p) (2021) .
- [13] Y. Matsuzawa, T. Morita, M. Arita, A. Giampietri, V. Kandyba, A. Barinov, A. Takahashi, Y. Nagakubo, T. Adachi, Y. Koike, A. Fujimori, N. L. Saini, T. Mizokawa, “Fermi surface geometry and inhomogeneous electronic states in Pr_{1.3-x}La_{0.7}Ce_xCuO₄ (x=0.05) with small superconducting volume fraction”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **90**, 054704 (5p) (2021) .
- [14] D. Ootsuki, H. Okamura, S. Mitsumoto, Y. Ikemoto, T. Moriwaki, M. Arita, T. Yoshida, K. Kudo, H. Ishii, M. Nohara, T. Mizokawa, “Pressure induced spectral redistribution due to Te-2 dimer breaking in AuTe₂”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **90**, 114705 (5p) (2021) .
- [15] ©A. Dhingra, T. Komesu, S. Kumar, K. Shimada, L. Zhang, X. Hong, P. A. Dowben, “Electronic band structure of iridates”, *Mater. Horizons* **8**, 2151-2168 (2021) .
- [16] T. Umezawa, N. Mizutani, K. Matsuo, Y. Tokunaga, F. Matsuda, T. Nehira, “Assignment of absolute configuration of bromoallenes by vacuum-ultraviolet circular dichroism (VUVCD)”, *Molecules* **26**, 1296 (12p) (2021) .
- [17] ©B. V. Senkovskiy, A. V. Nenashev, S. K. Alavi, Y. Falke, M. Hell, P. Bampoulis, D. V. Rybkovskiy, D. Yu. Usachov, A. V. Fedorov, A. I. Chernov, F. Gebhard, K. Meerholz, D. Hertel, M. Arita, T. Okuda, K. Miyamoto, K. Shimada, F. R. Fischer, T. Michely, S. D. Baranovskii, K. Lindfors, T. Szkopek, A. Grüneis, “Tunneling current modulation in atomically precise graphene nanoribbon heterojunctions”, *Nature Commun.* **12**, 2542 (11p) (2021) .
- [18] Y. Hikosaka, T. Kaneyasu, M. Fujimoto, H. Iwayama, M. Katoh, “Reply to 'Comment on "Coherent control in the extreme ultraviolet and attosecond regime by synchrotron radiation"'”, *Nature Commun.* **12**, 3782 (3p) (2021) .
- [19] ©Y. Wang, Y. Jin, L. Wang, Z. Hao, C. Liu, Y.-J. Hao, X.-M. Ma, S. Kumar, E. F. Schwier, K. Shimada, C. Liu, J. Mei, H. Xu, C. Chen, “Evidence of Weyl fermions in α -RuCl₃”, *Phys. Rev. B* **103**, 035150 (9p) (2021) .
- [20] ©T. Morita, Y. Matsuzawa, S. Kumar, E. F. Schwier, K. Shimada, R. Higashinaka, T. D. Matsuda, Y. Aoki, N. L. Saini, T. Mizokawa, “Evolution of the Fermi surface in superconductor PrO_{1-x}F_xBiS₂ (x=0.0, 0.3, and 0.5) revealed by angle-resolved photoemission spectroscopy”, *Phys. Rev. B* **103**,

094510 (6p) (2021) .

- [21] S. Xiao, Y. Li, Y. Li, X. Yang, S. Zhang, W. Liu, X. Wu, B. Li, M. Arita, K. Shimada, Y. Shi, S. He, “Direct evidence of electron-hole compensation for extreme magnetoresistance in topologically trivial YBi”, *Phys. Rev. B* **103**, 115119 (9p) (2021) .
- [22] ©X.-M. Ma, Y. Zhao, Ke Zhang, S. Kumar, R. Lu, J. Li, Q. Yao, J. Shao, F. Hou, X. Wu, M. Zeng, Y.-J. Hao, Z. Hao, Y. Wang, X.-R. Liu, H. Shen, H. Sun, J. Mei, K. Miyamoto, T. Okuda, M. Arita, E. F. Schwier, K. Shimada, Ke Deng, C. Liu, J. Lin, Y. Zhao, C. Chen, Q. Liu, C. Liu, “Realization of a tunable surface Dirac gap in Sb-doped MnBi₂Te₄”, *Phys. Rev. B* **103**, L121112 (8p) (2021) .
- [23] ©Y. Wang, Y. Qian, M. Yang, H. Chen, C. Li, Z. Tan, Y. Cai, W. Zhao, S. Gao, Ya Feng, S. Kumar, E. F. Schwier, L. Zhao, H. Weng, Y. Shi, G. Wang, Y. Song, Y. Huang, K. Shimada, Z. Xu, X. J. Zhou, G. Liu, “Spectroscopic evidence for the realization of a genuine topological nodal-line semimetal in LaSbTe”, *Phys. Rev. B* **103**, 125131 (10p) (2021) .
- [24] ©H. Bentmann, H. Maass, J. Braun, C. Seibel, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, S. Schreyeck, K. Brunner, L. W. Molenkamp, K. Miyamoto, M. Arita, K. Shimada, T. Okuda, J. Kirschner, C. Tusche, H. Ebert, J. Minár, F. Reinert, “Profiling spin and orbital texture of a topological insulator in full momentum space”, *Phys. Rev. B* **103**, L161107 (6p) (2021) .
- [25] ©O. Kubo, S. Kinoshita, H. Sato, K. Miyamoto, R. Sugahara, S. Endo, H. Tabata, T. Okuda, M. Katayama, “Kagome-like structure of germanene on Al(111)”, *Phys. Rev. B* **104**, 85404 (6p) (2021) .
- [26] ©A. M. Shikin, D. A. Estyunin, N. L. Zaitsev, D. Glazkova, I. I. Klimovskikh, S. O. Filnov, A. G. Rybkin, E. F. Schwier, S. Kumar, A. Kimura, N. Mamedov, Z. Aliev, M. B. Babanly, K. Kokh, O. E. Tereshchenko, M. M. Otrokov, E. V. Chulkov, K. A. Zvezdin, A. K. Zvezdin, “Sample-dependent Dirac-point gap in MnBi₂Te₄ and its response to applied surface charge: A combined photoemission and ab initio study”, *Phys. Rev. B* **104**, 115168 (11p) (2021) .
- [27] ©K. T. Ritter, K. Miyamoto, T. Okuda, M. Donath, “Rashba-type splitting of the Au(110) surface state: a combined inverse and direct photoemission study”, *Phys. Rev. B* **104**, L161101 (6p) (2021) .
- [28] ©X. Wang, D. Geng, D. Yan, W. Hu, H. Zhang, S. Yue, Z. Sun, S. Kumar, E. F. Schwier, K. Shimada, P. Cheng, L. Chen, S. Nie, Z. Wang, Y. Shi, Y.-Q. Zhang, K. Wu, B. Feng, “Observation of topological edge states in the quantum spin Hall insulator Ta₂Pd₃Te₅”, *Phys. Rev. B* **104**, L241408 (5p) (2021) .
- [29] ©R. Lu, H. Sun, S. Kumar, Y. Wang, M. Gu, M. Zeng, Y.-J. Hao, J. Li, J. Shao, X.-M. Ma, Z. Hao, Ke Zhang, W. Mansuer, J. Mei, Y. Zhao, C. Liu, Ke Deng, W. Huang, B. Shen, K. Shimada, E. F. Schwier, C. Liu, Q. Liu, C. Chen, “Half-magnetic topological insulator with magnetization-induced Dirac gap at a selected surface”, *Phys. Rev. X* **11**, 011039 (9p) (2021) .
- [30] T. Kaneyasu, Y. Hikosaka, M. Fujimoto, H. Iwayama, M. Katoh, “Electron wave packet interference in atomic inner-shell excitation”, *Phys. Rev. Lett.* **126**, 113202 (6p) (2021) .
- [31] R. C. Vidal, H. Bentmann, J. I. Facio, T. Heider, P. Kagerer, C. I. Fornari, T. R. F. Peixoto, T. Figgemeier, S. Jung, C. Cacho, B. Büchner, J. van den Brink, C. M. Schneider, L. Plucinski, E. F. Schwier, K. Shimada, M. Richter, A. Isaeva, F. Reinert, “Orbital complexity in intrinsic magnetic topological insulators MnBi₄Te₇ and MnBi₆Te₁₀”, *Phys. Rev. Lett.* **126**, 176403 (7p) (2021) .
- [32] ©J. Dai, E. Frantzeskakis, N. Aryal, K. W. Chen, F. Fortuna, J. E. Rault, P. Le Fevre, L. Balicas, K. Miyamoto, T. Okuda, E. Manousakis, R. E. Baumbach, A. F. Santander-Syro, “Experimental

observation and spin texture of Dirac node arcs in tetradymite topological metals”, *Phys. Rev. Lett.* **126**, 196407 (6p) (2021) .

- [33] ©K. Zhang, S. Zhao, Z. Hao, S. Kumar, E. F. Schwier, Y. Zhang, H. Sun, Y. Wang, Y. Hao, X. Ma, C. Liu, L. Wang, X. Wang, K. Miyamoto, T. Okuda, C. Liu, J. Mei, K. Shimada, C. Chen, Q. Liu, “Observation of spin-momentum-layer locking in a centrosymmetric crystal”, *Phys. Rev. Lett.* **127**, 126402 (7p) (2021) .
- [34] ©S. Ideta, S. Johnston, T. Yoshida, K. Tanaka, M. Mori, H. Anzai, A. Ino, M. Arita, H. Namatame, M. Taniguchi, S. Ishida, K. Takashima, K. M. Kojima, T. P. Devereaux, S. Uchida, A. Fujimori, “Hybridization of bogoliubov quasiparticles between adjacent CuO₂ layers in the triple-layer cuprate Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O_{10+δ} studied by angle-resolved photoemission spectroscopy”, *Phys. Rev. Lett.* **127**, 217004 (6p) (2021) .
- [35] ©V. K. Gangwar, S. Kumar, M. Singh, L. Ghosh, Y. Zhang, P. Shahi, M. Muntwiler, S. Patil, K. Shimada, Y. Uwatoko, J. Sau, M. Kumar, S. Chatterjee, “Pressure induced superconducting state in ideal topological insulator BiSbTe₃”, *Phys. Scr.* **96**, 055802 (8p) (2021) .
- [36] M. Kumashiro, Y. Izumi, K. Matsuo, “Conformation of myelin basic protein bound to phosphatidylinositol membrane characterized by vacuum-ultraviolet circular-dichroism spectroscopy and molecular-dynamics simulations”, *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics* **89**, 1251-1261 (2021) .
- [37] D. Pal, S. Kumar, P. Shahi, S. Dan, A. Verma, V. K. Gangwar, M. Singh, S. Chakravarty, Y. Uwatoko, S. Saha, S. Patil, S. Chatterjee, “Defect induced ferromagnetic ordering and room temperature negative magnetoresistance in MoTeP”, *Sci. Rep.* **11**, 9104 (9p) (2021) .
- [38] T. Miyashita, H. Iwasawa, T. Yoshikawa, S. Ozawa, H. Oda, T. Muro, H. Ogura, T. Sakami, F. Nakamura, A. Ino, “Emergence of low-energy electronic states in oxygen-controlled Mott insulator Ca₂RuO_{4+δ}”, *Solid State Commun.* **326**, 114180 (7p) (2021) .

国際会議

(招待講演)

- [1] M. Katoh, “Structured high energy photons radiated from relativistic electrons”, 3rd International Conference on Nuclear Photonics (NP2020) (online, 2021.6.7-11)
- [2] T. Okuda, “Development of micro-focus spin-resolved photoemission spectrometer in VUV-SX region”, Pacificchem 2021 (online, 2021.12.16-21)

(一般講演)

- [1] H. Shishido, T. Ueno, K. Saito, M. Sawada, M. Matsumoto, “Intrinsic coercivity induced by valence fluctuations in Ce(Co_{1-x}Cu_x)₅ permanent magnet”, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES 2020/21) (online, 2021.9.27-10.1)
- [2] M. Katoh, “Spatiotemporal structures of undulator radiation and their potential applications”, Pacificchem 2021 (online, 2021.12.16-21)
- [3] M. Katoh, “Recent results from design study on HiSOR-2”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, 2022.3.10-11)
- [4] ©Y. Tsubota, S. Kumar, Y. Miyai, K. Tanaka, S. Ishida, H. Eisaki, S. Nakagawa, T. Kashiwagi, M. Arita, H. Namatame, K. Shimada, S. Ideta, “Re-examination of the phase diagram of

- Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+δ} studied by ARPES”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, online, 2022.3.10-11)
- [5] ©V. K. Gangwar, S. Kumar, M. Singh, Z. Yufeng, C. Chen, E. F. Schwier, K. Shimada, P. Shahi, Y. Uwatoko, S. Patila, A. K. Ghosh, S. Chatterje, “Roles of surface and bulk states in magneto-transport properties in antiferromagnetically ordered Bi_{1.9}Dy_{0.1}Te₃ topological insulator”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, online, 2022.3.10-11)
- [6] ©S. Ideta, S. Johnston, T. Yoshida, K. Tanaka, M. Mori, H. Anzai, A. Ino, M. Arita, H. Namatame, M. Taniguchi, S. Ishida, K. Takashima, K. M. Kojima, T. P. Devereaux, S. Uchida, A. Fujimori, “Hybridization of the electronic structure in triple-layer high-Tc cuprate Bi2223 observed by ARPES”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, online, 2022.3.10-11)
- [7] K. Baba, H. Sato, H. Yoshida, “Soft x-ray photoelectron spectroscopy of the metal complex included in cyclodextrin”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, online, 2022.3.10-11)
- [8] R. Itaya, Y. Toichi, R. Nakanishi, Y. Nakata, K. Kasai, K. Kuroda, M. Arita, I. Yamamoto, K. Fukutani, K. Sakamoto, “Investigation of the origin of photo-induced doping on TlBiSe₂”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, online, 2022.3.10-11)
- [9] S. Sawada, M. Kumashiro, K. Matsuo, “Desiccation-induced conformational change of group 3 LEA protein in the presence of membrane characterized by vacuum-ultraviolet circular dichroism spectroscopy”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, online, 2022.3.10-11)
- [10] M. Kumashiro, R. Tsuji, S. Suenaga, K. Matsuo, “Orientation analysis of antimicrobial peptide magainin 2 bound to phospholipid membrane by synchrotron-radiation linear dichroism spectroscopy”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, online, 2022.3.10-11)
- [11] K. Nishikubo, M. Hasegawa, Y. Izumi, K. Fujii, K. Matsuo, Y. Matsumoto, A. Yokoya, “Analysis of structural change of XRCC4 by pseudo-phosphorylation using VUV-CD and SAXS”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, online, 2022.3.10-11)
- [12] W. Nishizawa, M. Sawada, “Interface structure of Co ultrathin films evaporated on h-BN/Ni(111) studied by LEED intensity analysis”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, online, 2022.3.10-11)
- [13] ©R. Kamimori, Y. Tanimoto, H. Sato, M. Arita, S. Kumar, K. Shimada, K. T. Matsumoto, K. Hiraoka, “Evolution of c-f hybridization in valence transition compound YbInCu₄ observed by ARPES”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, online, 2022.3.10-11)
- [14] ©Y. Miyai, S. Kumar, T. Kurosawa, M. Oda, S. Ideta, K. Shimada, “Evaluation of self-energy in overdoped Bi2201 by angle-resolved photoemission spectroscopy”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, online, 2022.3.10-11)

- [15] ©K. Shiraishi, T. Iwata, K. Kuroda, M. Nurmamat, K. Nakanishi, S. Kumar, K. Shimada, M. Arita, Y. Kotani, K. Mitsumoto, H. Tanida, A. Kimura, “Direct observation of the three-dimensional electronic structure of RMnSi (R=La, Ce) with noncentrosymmetric antiferromagnetic order”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, online, 2022.3.10-11)
- [16] R. Tsuji, M. Kumashiro, K. Matsuo, “Membrane-bound conformations of magainin 2 depending on the inherent characteristics of membrane revealed by synchrotron-radiation circular-dichroism spectroscopy”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, online, 2022.3.10-11)
- [17] ©T. Sugiyama, H. Iwasawa, S. Ozawa, H. Oda, R. Takahashi, T. Kono, T. Okuda, K. Miyamoto, H. Wadati, S. Ishida, Y. Yoshida, H. Eisaki, A. Kimura, “Spatial inhomogeneity in Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+δ} investigated by micro photoemission spectroscopy”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, online, 2022.3.10-11)
- [18] ©K. Nakanishi, K. Ohwada, K. Kuroda, K. Sumida, K. Miyamoto, T. Okuda, S. Isogami, K. Masuda, Y. Sakuraba, A. Kimura, “Minority-spin dominated band structure near the Fermi energy of Fe₄N film revealed by spin- and angle-resolved photoemission spectroscopy”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, online, 2022.3.10-11)
- [19] ©A. Kumar, S. Kumar, K. Shimada, “Many-body interactions on the surface of the topological insulators”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, online, 2022.3.10-11)
- [20] K. Fujii, N. Maita, K. Matsuo, M. Kato, “Observation of liquid-liquid phase separation of FUS-LC using VUV-CD spectroscopy”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, online, 2022.3.10-11)
- [21] S. Hashimoto, K. Matsuo, “Development of time-resolved vacuum-ultraviolet circular dichroism spectroscopy and its application to the interaction analysis between β-lactoglobulin and lipid membrane”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, online, 2022.3.10-11)
- [22] ©S. Ishizaka, A. Ino, T. Kono, Y. Miyai, S. Kumar, K. Shimada, H. Kito, I. Hase, S. Ishida, K. Oka, H. Fujihisa, Y. Gotoh, Y. Yoshida, A. Iyo, H. Ogino, H. Eisaki, K. Kawashima, Y. Yanagi, A. Kimura, “Direct observation of Dirac nodal-line fermions in P-square net superconductor, ZrP_{1.24}Se_{0.57}”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, online, 2022.3.10-11)
- [23] ©Y. Nishioka, S. Ishizaka, K. Kuroda, A. Ino, S. Kumar, K. Shimada, H. Kito, I. Hase, S. Ishida, K. Oka, H. Fujihisa, Y. Gotoh, Y. Yoshida, A. Iyo, H. Ogino, H. Eisaki, K. Kawashima, Y. Yanagi, A. Kimura, “Observation of fast Dirac nodal-line fermions in a nonsymmorphic superconductor, HfP_{1.55}Se_{0.45}”, The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Higashi-Hiroshima, Japan, online, 2022.3.10-11)

国内学会

(招待講演)

- [1] 松尾光一:「放射光円二色性分光法と生体分子の構造研究」サン1, リー生命科学財団オンラインセミナー (オンライン開催, 2021年5月14日)

(一般講演)

- [1] 今浦稜太, 熊代宗弘, 河田康志, 松尾光一, 「真空紫外円二色性と直線二色性による α シヌクレインの生体膜相互作用研究」第21回蛋白質科学会 (オンライン開催, 2021年6月16日-18日)
- [2] ◎前田和大, 松本拓真, 田中 佑, 佐藤 仁, 有田将司, 島田賢也, 松本圭介, 平岡耕一, 「価数相転移物質 YbInCu_4 の角度分解光電子分光」日本物理学会 2021 年秋季大会 (オンライン開催, 2021 年 9 月 20 日-23 日)
- [3] ◎宇陀慎太郎, 大槻太毅, 山脇一真, 有田将司, 生天目博文, 出田真一郎, 田中清尚, 笹川崇男, 藤森 淳, 組頭広志, 小野寛太, 吉田鉄平, 「最適ドーブ $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ の正常・異常自己エネルギー解析」日本物理学会 2021 年秋季大会 (オンライン開催, 2021 年 9 月 20 日-23 日)
- [4] ◎角田一樹, 鹿子木将明, 桜庭裕弥, 増田啓介, 河野 嵩, 後藤一希, 宮本幸治, 三浦良雄, 宝野和博, 奥田太一, 木村昭夫, 「ホイスラー合金 Co_2MnSi 薄膜におけるスピン偏極電子構造の温度依存性の観測」日本物理学会 2021 年秋季大会 (オンライン開催, 2021 年 9 月 20 日-23 日)
- [5] 佐藤 仁, 田中 佑, 松本拓真, 前田和大, 辻井直人, 河村直己, 「X 線発光分光による $\text{YbCu}_{5-x}\text{Al}_x$ の電子状態の研究」日本物理学会 2021 年秋季大会 (オンライン開催, 2021 年 9 月 20 日-23 日)
- [6] 後藤田将史, 河村直己, 井角 元, 佐藤 仁, 上田茂典, 水牧仁一朗, 雀部矩正, 大山耕平, 光田暁弘, 和田裕文, 魚住孝幸, 三村功次郎, 「硬 X 線光電子分光および高分解能蛍光検出 X 線吸収分光による $\text{Eu}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{15}$ の電子状態の研究」日本物理学会 2021 年秋季大会 (オンライン開催, 2021 年 9 月 20 日-23 日)
- [7] 井上賢太, 田村浩太郎, 井角 元, 柴垣善則, 浜原健太, 保井 晃, 雀部矩正, 水牧仁一朗, 河村直己, 池永英司, 筒井智嗣, 佐藤 仁, 光田暁弘, 和田裕文, 魚住孝幸, 三村功次郎, 「共鳴硬 X 線光電子分光でみる $\text{EuNi}_2(\text{P}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$ の価数揺動」日本物理学会 2021 年秋季大会 (オンライン開催, 2021 年 9 月 20 日-23 日)
- [8] 山本 凌, 仲武昌史, 高倉将一, 出田真一郎, 田中清尚, 藤原靖幸, 森分博紀, 入山恭寿, 伊藤孝寛, 「固体電解質 $\text{Li}_x\text{La}_{(1-x)}\text{NbO}_3$ バルク単結晶の角度分解光電子分光」日本物理学会 2021 年秋季大会 (オンライン開催, 2021 年 9 月 20 日-23 日)
- [9] ◎宇陀慎太郎, 大槻太毅, 山脇一真, 有田将司, 生天目博文, 出田真一郎, 田中清尚, 笹川崇男, 藤森 淳, 組頭広志, 小野寛太, 吉田鉄平, 「最適ドーブ $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ の正常・異常自己エネルギー解析」日本物理学会 2021 年秋季大会 (オンライン開催, 2021 年 9 月 20 日-23 日)
- [10] 辻 怜河, 熊代宗弘, 松尾光一, 「脂質分子の特性に依存するマガイニン 2 の膜結合構造」第 59 回日本生物物理学会 (オンライン開催, 2021 年 11 月 25 日-27 日)

- [11] 熊代宗弘, 末永翔磨, 松尾光一, 「放射光円二色性・線二色性・蛍光異方性により明確化された生体膜に誘起されたマガニン 2 β 凝集体の特徴」第 59 回日本生物物理学会 (オンライン開催, 2021 年 11 月 25 日-27 日)
- [12] 熊代宗弘, 末永翔磨, 松尾光一, 「放射光円二色性・線二色性・蛍光異方性による抗菌ペプチドマガニン 2 の膜結合により誘起された β -sheet凝集体の研究」Molecular Chirality 2021 (東広島, 2021 年 11 月 29 日-30 日)
- [13] ◎角田一樹, 鹿子木将明, 桜庭裕弥, 河野 嵩, 後藤一希, 宮本幸治, 宝野和博, 奥田太一, 木村昭夫, 「四元系ホイスラー合金 $\text{Co}_2\text{Mn}(\text{Al},\text{Si})$ 薄膜におけるスピン偏極ワイル分散とハーフメタル性の観測」第 35 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2022 年 1 月 7 日-9 日)
- [14] ◎宮井雄大, Shiv Kumar, 黒澤 徹, 小田 研, 出田真一郎, 島田賢也, 「高分解能角分解光電子分光を用いた過剰ドーブ $\text{Bi}2201$ における自己エネルギーの評価」第 35 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2022 年 1 月 7 日-9 日)
- [15] ◎杉山貴哉, 岩澤英明, 小澤秀介, 尾田拓之慎, 高橋龍之介, 河野 嵩, 奥田太一, 宮本幸治, 和達大樹, 石田茂之, 吉田良行, 永崎 洋, 木村昭夫, 「顕微光電子分光による $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ の電子状態の実空間不均一性の検証」第 35 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2022 年 1 月 7 日-9 日)
- [16] 井角 元, 水牧仁一郎, 雀部矩正, 保井 晃, 明渡 悠, 河端 拓, 下笠諒平, 柴垣善則, 河村直己, 池永英司, 筒井智嗣, 佐藤 仁, 広瀬雄介, 摂待力生, 魚住孝幸, 三村功次郎, 「価数揺動物質 CeRh_3 中の $\text{Ce} 4f-5d$ クーロン斥力: 共鳴硬 X 線光電子分光による研究」第 35 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2022 年 1 月 7 日-9 日)
- [17] ◎石坂仁志, 井野明洋, 河野 嵩, 宮井雄大, Shiv Kumar, 島田賢也, 鬼頭 聖, 長谷泉, 石田茂之, 岡 邦彦, 藤久裕司, 後藤義人, 吉田良行, 伊豫 彰, 荻野 拓, 永崎洋, 川島健司, 柳 陽介, 木村昭夫, 「放射光角度分解光電子分光による超伝導体中の P 正方格子に由来する線ノードディラック粒子の観測」第 35 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2022 年 1 月 7 日-9 日)
- [18] 熊代宗弘, 末永翔磨, 松尾光一, 「放射光円二色性・直線二色性・蛍光異方性によるマガニン 2 の膜誘起 β 凝集体形成の解析」第 35 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2022 年 1 月 7 日-9 日)
- [19] ◎加藤政博, 島田美帆, 宮内洋司, 「HiSOR 次期計画に向けた光源加速器の検討 2022」第 35 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2022 年 1 月 7 日-9 日)
- [20] 井上賢太, 田村浩太郎, 井角 元, 柴垣善則, 浜原健太, 保井 晃, 雀部矩正, 水牧仁一郎, 河村直己, 池永英司, 筒井智嗣, 佐藤 仁, 光田暁弘, 和田裕文, 魚住孝幸, 三村功次郎, 「共鳴硬 X 線光電子分光による $\text{EuNi}_2(\text{P}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$ の電子状態の研究」第 35 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2022 年 1 月 7 日-9 日)
- [21] 後藤田将史, 河村直己, 井角 元, 佐藤 仁, 上田茂典, 水牧仁一郎, 雀部矩正, 大山耕平, 光田暁弘, 和田裕文, 魚住孝幸, 三村功次郎, 「硬 X 線光電子分光および高分解能蛍光検出 X 線吸収分光による $\text{Eu}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{15}$ の電子状態の研究」第 35 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2022 年 1 月 7 日-9 日)

- [22] 佐藤 仁, 神尾 彬, 神森龍一, 松本拓真, 三村功次郎, 上田茂典, 有田将司, 辻井直人, 「光電子分光による $\text{YbCu}_{5-x}\text{Al}_x$ の電子状態の研究」第 35 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2022 年 1 月 7 日-9 日)
- [23] ◎加藤慧悟, 島田美帆, 宮内洋司, 藤本将輝, 真野篤志, 保坂将人, 高嶋圭史, 加藤政博, 「放射光の時間干渉性を利用した断層撮像の試み」第 35 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2022 年 1 月 7 日-9 日)
- [24] ◎四之宮 諒, 島田美帆, 宮内洋司, 藤本将輝, 加藤政博, 「放射光源電子蓄積リングにおける単一電子蓄積の試み」第 35 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2022 年 1 月 7 日-9 日)
- [25] 藤井健太郎, 真板宣夫, 加藤昌人, 松尾光一, 「VUV-CD による FUS-LC の相分離転移に伴う二次構造変化の観測」第 35 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2022 年 1 月 7 日-9 日)
- [26] 金安達夫, 彦坂泰正, 藤本将輝, 岩山洋士, 加藤政博, 「Xe 4d 内殻電子の軟 X 線波束干渉制御」日本物理学会第 77 回年次大会 (オンライン開催, 2022 年 3 月 15 日-19 日)
- [27] ◎石坂仁志, 井野明洋, 河野 嵩, 宮井雄大, Shiv Kumar, 島田賢也, 鬼頭 聖, 長谷泉, 石田茂之, 岡 邦彦, 藤久裕司, 後藤義人, 吉田良行, 伊豫 彰, 荻野 拓, 永崎洋, 川島健司, 柳 陽介, 木村昭夫, 「放射光 ARPES による P 正方格子を有する超伝導体における線ノード型ディラック粒子の観測」日本物理学会第 77 回年次大会 (オンライン開催, 2022 年 3 月 15 日-19 日)
- [28] ◎白石海人, 岩田拓万, 黒田健太, Munisa Nurmamat, 中西楓恋, Shiv Kumar, 島田賢也, 有田将司, 小谷佳範, 三本啓輔, 谷田博司, 木村昭夫, 「 $\text{RMnSi}(\text{R}=\text{La}, \text{Ce})$ の放射光角度分解光電子分光」日本物理学会第 77 回年次大会 (オンライン開催, 2022 年 3 月 15 日-19 日)
- [29] 雀部矩正, 河端 拓, 明渡 悠, 阿部晃大, 松本孝之, 下笠諒平, 保井 晃, 河村直己, 池永英司, 筒井智嗣, 佐藤 仁, 松田達磨, 渡辺真仁, 魚住孝幸, 水牧仁一朗, 三村功次郎, 「量子臨界物質 YbRh_2Si_2 の硬 X 線分光理論」日本物理学会第 77 回年次大会 (オンライン開催, 2022 年 3 月 15 日-19 日)
- [30] 松永和也, 林 直輝, 仲武昌史, 出田真一郎, 田中清尚, 田中慎一郎, 乗松 航, 保田諭, 朝岡秀人, 寺澤知潮, 伊藤孝寛, 「Hex-Au(001)基板上グラフェンのスピン分解角度分解光電子分光」日本物理学会第 77 回年次大会 (オンライン開催, 2022 年 3 月 15 日-19 日)
- [31] 杉本卓史, 古田貫志, Damir Pinek, 仲武昌史, 出田真一郎, 田中清尚, Thierry Ouisse, 伊藤孝寛, 「反強磁性 i-MAX 相化合物 $(\text{Mo}_{2/3}\text{Dy}_{1/3})_2\text{AIC}$ の 3 次元角度分解光電子分光」日本物理学会第 77 回年次大会 (オンライン開催, 2022 年 3 月 15 日-19 日)
- [32] 保科拓海, 仲武昌史, 高倉将一, 出田真一郎, 田中清尚, 松田真生, 花咲徳亮, 伊藤孝寛, 「 $\text{TPP}[\text{FePc}(\text{CN})_2]_2$ の角度分解光電子分光」日本物理学会第 77 回年次大会 (オンライン開催, 2022 年 3 月 15 日-19 日)
- [33] 一ノ倉 聖, 徳田 啓, 福嶋隆司朗, 堀井健太郎, 遠山晴子, 秋山了太, 出田真一郎, 田中清尚, 清水亮太, 一杉太郎, 長谷川修司, 平原 徹, 「Ca がインターカレートしたグラフェンにおける 2 重ディラックバンドと層間電子状態」日本物理学会第 77 回年次大会 (オンライン開催, 2022 年 3 月 15 日-19 日)

学生の学会発表実績

(国際会議)

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 3 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 2 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 3 件

(国内学会)

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 3 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 1 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 5 件

シンポジウム・研究会開催実績

- [1] The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (2022年3月10日-11日
参加者総数74名)
- [2] 第26回 HiSOR 研究会～生体分子の構造機能研究におけるキララ分光の新しい可能性～
(2022年3月8日 参加者総数73名)

各種研究員と外国人留学生の受入状況

- 外国人客員研究員受入 0 件
- 外国人留学生受入 (研究指導) 4 件

社会活動・学外委員

(高大連携 見学・研修受入)

- [1] 鳥取県立鳥取東高等学校 (リモート施設見学), 27名 (2021年7月19日)
- [2] 福島県立福島高等学校 (リモート施設見学), 27名 (2021年8月20日)
- [3] 島根県邑南町立羽須美中学校 (リモート施設見学), 10名 (2021年10月5日)
- [4] 島根県立矢上高等学校 (リモート施設見学), 10名 (2021年10月21日)
- [5] 広島大学附属福山中学校, 31名 (2021年10月22日)
- [6] 広島大学附属高等学校 (リモート施設見学), 42名 (2021年10月29日)
- [7] ひらめきときめきサイエンス, 15名 (2021年10月30日, 11月13日)
- [8] 埼玉県立松山高等学校 (リモート施設見学), 42名 (2022年2月7日)

(一般の見学・研修受入)

- [1] 令和3年度理学部・大学院理学研究科公開(ホームカミングデー), 75名 (2021年11月6日)
- [2] 広島市立大学, 2名 (2021年11月25日)

(学内の見学・研修受入)

- [1] 未来創生科学人材育成センター, 28名 (2021年4月22日)
- [2] 先進理工系科学研究科, 27名 (2021年5月20日)
- [3] 先進理工系科学研究科, 20名 (2021年6月1日)
- [4] 先進理工系科学研究科, 12名 (2021年6月25日)
- [5] 未来創生科学人材育成センター, 25名 (2021年7月1日)
- [6] 先進理工系科学研究科, 11名 (2021年7月13日)

- [7] 先進理工系科学研究科, 18名 (2021年7月20日)
- [8] 先進理工系科学研究科, 12名 (2021年7月20日)
- [9] 先進理工系科学研究科, 4名 (2021年10月6日)
- [10] 学術・社会連携室, 2名 (2021年11月4日)
- [11] 未来創生科学人材育成センター, 25名 (2021年11月18日)
- [12] 先進理工系科学研究科, 19名 (2021年11月19日)
- [13] 先進理工系科学研究科 (リモート施設見学), 36名 (2021年12月9日)
- [14] 未来創生科学人材育成センター, 5名 (2021年12月15日)
- [15] 先進理工系科学研究科, 21名 (2022年1月21日)
- [16] 未来創生科学人材育成センター, 11名 (2022年1月27日)

(学協会委員)

- [1] 島田賢也 : 日本放射光学会評議員
- [2] 島田賢也 : Member of international advisory board in “International workshop on strong correlations and angle-resolved photoemission spectroscopy (CORPES)”
- [3] 奥田太一 : 日本表面科学会関西支部幹事
- [4] 奥田太一 : 日本放射光学会評議委員
- [5] 加藤政博 : 日本加速器学会評議員
- [6] 加藤政博 : 日本放射光学会評議員
- [7] 宮本幸治 : 日本放射光学会編集委員
- [8] 出田真一郎 : 日本放射光学会編集委員
- [9] 出田真一郎 : 日本物理学会運営委員
- [10] 松尾光一 : Member of editorial board in “Biomedical Spectroscopy and Imaging - IOS Press”
- [11] 松尾光一 : Member of international advisory board in “International Conference on Chiroptical Spectroscopy”
- [12] 佐藤 仁 : 日本物理学会 Jr.セッション委員
- [13] 佐藤 仁 : 広島県物理教育研究推進会事務局庶務幹事
- [14] 佐藤 仁 : リフレッシュ理科教室実行委員会委員

(外部評価委員等)

- [1] 島田賢也 : SPring-8専用施設審査委員会委員
- [2] 島田賢也 : 高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所放射光共同利用実験審査委員会委員
- [3] 島田賢也 : 高エネルギー加速器研究機構フォトンファクトリー計画推進委員会
- [4] 奥田太一 : SPring-8 / SACLA 成果審査委員会査読者
- [5] 奥田太一 : 高エネルギー加速器研究機構物質構造研究所放射光利用実験審査委員・分科会委員長
- [6] 奥田太一 : 日本学術振興会 科学研究費委員会専門委員
- [7] 奥田太一 : 分子科学研究所・UVSOR 運営委員会委員
- [8] 奥田太一 : VSX 利用者懇談会幹事
- [9] 加藤政博 : 高エネルギー加速器研究機構加速器・共通基盤研究施設運営会議委員
- [10] 加藤政博 : 高エネルギー加速器研究機構 教育研究評議会委員
- [11] 加藤政博 : あいちシンクロトロン光センター運営委員会委員

- [12] 加藤政博：京都大学エネルギー理工学研究所ゼロミッションエネルギー研究拠点共同利用・共同研究計画委員
- [13] 佐藤 仁：原子力機構(JAEA)施設利用協議会光科学専門部会/量研(QST)施設共用課題審委員会 専門委員

(産学官連携実績)

- [1] 島田賢也：(独) 産業技術総合研究所 共同研究
- [2] 奥田太一：(株) 日立製作所 共同研究
- [3] 奥田太一：VG シエンタ (株) 共同研究
- [4] 松尾光一：(株) ミルボン 共同研究

国際共同研究・国際会議開催実績

(学術国際交流協定)

- [1] 中国・中国科学院物理研究所超伝導国家重点実験室
- [2] ドイツ・ミュンスター大学物理学部
- [3] ロシア・ロシア科学アカデミーヨッフエ物理技術研究所
- [4] ロシア・サンクトペテルブルク大学
- [5] ドイツ・ユリウス・マクシミリアン大学ヴェルツブルク物理学・天文学部
- [6] 中国・南方科技大学
- [7] フランス・パリ・サクレ大学オルセー分子科学研究所

(国際共同研究)

- [1] 「Topological band structure of a breathing Kagome lattice」 Baojie Feng (中国・中国科学院)
- [2] 「The electronic structure investigation of Pd overlayers on Cr₂O₃ single crystals」 Takashi Komesu (米国・ネブラスカ大学)
- [3] 「Contact of antiferromagnetic topological insulator MnBi₂Te₄ with Pb and Nb thin films」 Dmitry Estyunin (ロシア・サンクトペテルブルク大学)
- [4] 「Modulation of Dirac gap in MnBi₂Te₄ and MnBi₄Te₇ as competition between the contributions of magnetic exchange interaction and magnetoelectric response」 Alexander Shikin (ロシア・サンクトペテルブルク大学)
- [5] 「Comparative ARPES study of transition metal doped topological compounds M_{0.05}Bi_{1.95}Se₃ (M = Au, Pt, and Pd)」 C. S. Yadav (インド・インド工科大学)
- [6] 「Investigation of electronic structure of topological semimetal SrAl₂Si₂ and EuAl₂Si₂」 Jayita Nayak (インド・インド工科大学)
- [7] 「ARPES study of topological electronic structures in niobium tellurium chloride」 Baojie Feng (中国・中国科学院)
- [8] 「CD spectroscopy-based of astaxanthin-metal ions complexes as efforts to improve the rheology of glycated albumin」 Sutiman Bambang Sumitro (インドネシア・ブラウイジャヤ大学)
- [9] 「Electronic structure and spin polarization of magnetic topological semimetal EuSb₂」 Zhenyu Wang (中国・南方科技大学)
- [10] 「Valley-dependent spin polarization in bulk BaMnSb₂ with broken inversion symmetry」 Chaoyu Chen (中国・南方科技大学)
- [11] 「High resolution ARPES study on CsV₃Sb₅ with Cr doping」 Chaoyu Chen (中国・南方科技大学)

学)

- [12] 「Study of the Dirac point shift and the Dirac point band gap in the intrinsic magnetic topological insulators $\text{Mn}(\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x)_2\text{Te}_4$ 」 Dmitry Estyunin (ロシア・サンクトペテルブルク大学)
- [13] 「Correlation between modulation of the gap at the Dirac point and changes in stoichiometry in series MnBi_2Te_4 , MnBi_2Se_4 and $\text{MnBi}_2\text{Te}_{4-x}\text{Se}_x$ with the out-of-plane to in-plane transformation of the magnetic anisotropy」 Alexander Shikin (ロシア・サンクトペテルブルク大学)
- [14] 「High-resolution ARPES study of chromium chalcogenide spinels」 Prashant Shahi (インド・インド・ディーン・ダール・ウパディヤ・ゴラクプール大学)
- [15] 「Exploration of the topological surface state gap in $\text{Mn}(\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x)_4\text{Te}_7$ 」 Chang Liu (中国・南方科技大学)
- [16] 「Probing a new type of spin-splitting effect predicted by the spin group theory」 Chang Liu (中国・南方科技大学)
- [17] 「Co-modulation of Dirac point and gap size in magnetic topological insulators $\text{Sn}_x\text{Mn}_{1-x}(\text{Sb}_y\text{Bi}_{1-y})_2\text{Te}_4$ 」 Chang Liu (中国・南方科技大学)

研究助成金等の受入状況

- [1] 奥田太一：基盤研究 (A) (研究代表者)「オペランド (外場印加) スピン角度分解光電子分光によるトポロジカル相転移の研究」総額45,890千円 2021年度 13,260千円
- [2] 加藤政博：基盤研究 (A) (研究代表者)「放射光の位相構造制御法の開発」総額42,640千円 2021年度 14,950千円
- [3] 松尾光一：基盤研究 (C) (研究代表者)「真空紫外円二色性と直線二色性法による膜結合蛋白質の精密構造解析」総額4,420千円 2021年度 1,300千円
- [4] 佐藤 仁：基盤研究 (C) (研究代表者)「カイラル金属磁性とフェルミ面のスピン分裂」総額3,640千円 2021年度 1,040千円
- [5] 奥田太一：VG (株)「VLEED 型スピン検出器の性能向上のための研究」研究費3,245千円
- [6] 奥田太一：(株) 日立製作所「磁区観察用超低速電子線回折型スピン検出器の開発」研究費474千円
- [7] 松尾光一：(株) ミルボン「毛髪個体切片の円二色性スペクトル測定技術の確立」研究費500千円

2 物理学科

2017年度より、学科名称を「物理科学科」から「物理学科」へ変更した。

2-1 学科の理念と目標

宇宙と物質に関する基本的な疑問を解明するための基礎的な知識と手法，論理的な思考など物理学に関する教育を行う。物理学科では，教育の理念を次のように定めている。

- 基本原理と普遍的法則の解明に向けた教育研究の推進
- 物理科学の新たな知の創造とその発展・継承
- 人類社会の進歩に貢献する人材の育成

学科の目標は，学士課程で修得すべき事項と学部修了時までには修得すべき事項とに分けて設定されている。

(1) 学士課程

学生の学習到達度や理解度に則した段階的な教育目標。

基礎知識から専門知識の習得を経て，応用・実践能力を培う。

(2) 学部修了時

学生の進路に応じて修得すべき目標。

物理学的素養や問題解決能力を養い，物理学的素養を応用する能力と研究活動を行うのに必要な物理科学の基礎知識と手法開発能力を培う。

2-2 学科の組織

物理学科の学部教育を担当する教員は，先進理工系科学研究科物理学プログラムの全教員（26名），先進理工系科学研究科量子物質科学プログラムの理学系教員（20名），および放射光科学研究センター（10名），宇宙科学センター（7名），自然科学研究開発支援センター（1名）の教授，准教授，助教から構成される。学部教育を担当する教員数は現状で十分と考えられる。このように2プログラムと3センターが学部教育を担当しており，それぞれの中期計画・中期目標に沿った教員人事選考が行われているが，教員の公募・採用と配置では学部教育に関する共通の基盤にたった配慮がなされる様に「教員の理学部（物理学科）併任に関する申合せ」を作成し，人事選考の過程で物理学科教授懇談会の場で候補者の紹介が行われることが慣例となっている。

◎物理学科教員リスト（令和3年4月時点）

・物理学プログラム

教授

小寫康史，志垣賢太，深澤泰司，黒岩芳弘，森吉千佳子，木村昭夫

准教授

両角卓也，石川健一，岡部信広，山口頼人，本間謙輔，高橋弘充，中島伸夫，
関谷徹司，和田真一

助教

清水勇介，山本 恵，木坂将大，三好隆博，八野 哲，須田祐介，Kim Sangwook，
石松直樹，Munisai Nuermaimaiti，吉田啓晃，仁王頭明伸

・放射光科学研究センター（併任）

教授

生天目博文，島田賢也，奥田太一，加藤政博

准教授

佐藤 仁，澤田正博，松尾光一，宮本幸治，出田真一郎

助教

Shiv Kumar

・宇宙科学センター（併任）

教授

川端弘治

准教授

植村 誠，水野恒史

助教

稲見華恵，Singh Avinash，Gangopadhyay Anjasha

・量子物質科学プログラム

教授

嶋原 浩，松村 武，鬼丸孝博，鈴木孝至，野原 実，岡本宏己，栗木雅夫

准教授

田中 新，樋口克彦，多田靖啓，八木隆多，石井 勲，高橋 徹，檜垣浩之

助教

比嘉野乃花，志村恭通，Sitaram Ramakrishnan，飯沼昌隆，伊藤清一，

Liptak Zachary John

・自然科学研究開発支援センター

准教授

梅尾和則

2-3 学科の学士課程教育

物理教育では，数学による解析的能力を養い，それを物理法則や基礎方程式に応用することが求められる。さらに広く物理学の概念を学び，基本的法則を通して物理現象を検証し理解する必要がある。したがって，学生には講義と演習と実験，結果の報告と発表を通じて，かなりの量の体系的かつ論理的な思考の展開が要求される。このような課程をスムーズに通過させ，入学時の期待と学習に対する熱意を持続させうる学士課程教育が必要となる。また，70%以上の学生が大学院博士課程前期（修士）に進学する現状をみると，学部での基礎教育から大学院での専門教育への接続，教育職免許などの資格取得意欲の持続など，到達目標型教育プログラムの推進と併せて教員の取り組みに検討すべき点が多い。

物理学科では物理学の修得に必須となる科目をコア科目と位置づけ，学科としてその科目の内容（モデルシラバス）を定めることにより，年度や担当教員の違いによるばらつきを少なくする実施体制をとっている。また，演習科目や実験科目を中心にティーチングアシスタント（TA）

を配置することにより、きめ細かな指導の下で習熟度を高める効果が上がっている。選択必修の専門科目については、授業アンケートの結果や大学院での専門教育への接続を考慮したカリキュラムの軽微な変更を含む見直しを行っている。

学士教育の担当教員数は現状で十分と考えられるが、負担が集中する傾向も見られる。准教授がチューターを担当するケースが増えており、教授と准教授の役割分担は必ずしも明確ではない。また、非常勤の削減を補うTAの雇用が増加している。TAによる授業補助や学生へのケアなど教育効果は確かに上がっているが、TA学生自身の教育と評価などは未検討の課題である。

なお、ミッションの再定義とRU/SGU支援事業の採択を受けて、主専攻プログラム（物理学）のカリキュラムの改訂を行った。

理学部のアドミッション・ポリシー、カリキュラム・ポリシー、ディプロマ・ポリシーに則り、物理学科・物理学プログラムのポリシーを以下のような設定し教育を行っている。

1. アドミッションポリシー

本学科が編成している物理学プログラムのディプロマ・ポリシー及びカリキュラム・ポリシーを踏まえ、入学前に以下のような多様な能力を身につけてきた学生を求めています。

- (1) 知識・技能については、物理学の基礎を学ぶために必要な、高等学校段階の物理学、数学についての高い学力を持つ人
- (2) 思考力・判断力・表現力等の能力については、実験や計算などの課題に取り組むのに必要な、自らの知識・能力・技能を駆使して、論理的に考える能力を持つ人
- (3) 主体性をもって多様な人々と協働して学ぶ態度については、幅広い分野で活躍するために必要な、コミュニケーション能力、特に英語について高い能力を持つ人

なお、第1年次の入学前に学習しておくことが期待される内容は、以下のとおりです。

- ① 物理学の基礎を学ぶために必要な、高等学校段階の物理学について、理解を深めること
- ② 物理学の基礎を学ぶために必要な、高等学校段階の数学について、理解を深めること
- ③ 物理学を学ぶために必要な、外国語を習得しておくこと
- ④ 物理学を学ぶために必要な、日本語の必要な読解力・表現力・コミュニケーション能力を身につけておくこと

また、入学後には、階層化された科目群による物理学の知識・能力・技能の修得、理学一般に通用する基礎学力の習得に意欲的に取り組み、大学院におけるより専門的な教育・研究に必要な能力を身につけることのできる学生、またそれらの知識や経験を活かして、将来、国公立研究機関の研究者や企業の技術職として社会で活躍することを目指す学生を求めています。

2. カリキュラム・ポリシー

本プログラムでは、積み上げの学問である物理学の知識・能力・技能を習得するため、教養コア科目、基盤科目、専門基礎科目、専門科目に階層化されています。また、専門基礎科目までは物理学に閉じることなく理学一般に通用する基礎学力を習得できる編成となっています。専門基礎科目では講義科目に対応する演習科目を設け、物理学の理解と活用力を育成しています。

3. ディプロマ・ポリシー

本プログラムでは、以下の4項目に示す物理における基礎的、専門的な知識・能力・技能を有し、大学院におけるより専門的な教育・研究に必要な能力を身につけ、大学や国公立研究機関の研究者、あるいは企業の技術職や専門職等で活躍することのできる人材の育成のため、教育課程の定める基準となる単位数を修得した学生に「学士（理学）」の学位を授与します。

- ・ 物理学における基礎的、専門的な知識・能力・技能。
- ・ 実験や観測などの客観的事実やモデル計算の結果に対して、物理学の知識・能力・技能を駆使して自ら論理的に考えることができる能力。
- ・ 物理学に限らず、広い視野と倫理観を持って、科学研究、教育、実業の幅広い分野で活躍することができる素養。
- ・ 国際的な感覚を持ち、科学的な内容に関する報告や議論、プレゼンテーションなどを英語で行うことができる能力。

学科授業担当

2021年度前期授業担当		
1年次		
火	物理数学A	中島
	教養ゼミ	深澤, 生天目, 木村, 岡本, 鈴木, 志垣
水	物理数学A	中島
木	力学A	八木
金	物理学演習	水野, 本間, 栗木
	教養ゼミ	深澤, 生天目, 木村, 岡本, 鈴木, 志垣
	力学A	八木
2年次		
火	物理数学C	石川
	電磁気学I	栗木
水	熱力学	松村
	物理学英語	稲見, Liptak, Gangopadhyay, Singh
木	解析力学	野原
	電磁気学演習	関谷, 加藤, 高橋 (弘)
3年次		
火	物理学特別講義 (物理数学E (群論))	両角, 田中, 清水
	物理学実験I	和田 他
水	統計力学I	嶋原
	応用電磁力学	岡本
	量子力学演習	佐藤, 松村, 宮本
木	統計力学I	嶋原
	固体の構造と物性	森吉
	物理学特別講義 (粒子実験物理学)	山口
金	量子力学II	樋口
	相対性理論	小淵
	物理学実験I	和田 他
4年次		
木	固体物理学II	鬼丸
金	相対論的量子力学	両角

2021年度後期授業担当		
1年次		
木	物理学序論	檜垣
	力学B	檜垣
金	力学演習	奥田, 山口, 木坂
	物理数学B	多田
2年次		
月	先端物理学	森吉 他
火	物理学数値計算法	三好
	物理学特別講義 (エレクトロニクス)	飯沼
	先端物理学	森吉 他
	物理数学D	岡部
水	電磁気学II	鬼丸
	電磁・量力演習	島田, 松尾, 生天目
木	量子力学I	石川
金	物理学特別講義 (エレクトロニクス)	飯沼
	物理学実験法	梅尾
3年次		
火	分子物理学	関谷
	物理学実験II	和田 他
水	統計力学II	嶋原
	原子核素粒子物理学	志垣
	宇宙天体物理学	深澤
木	統計力学演習	澤田, 田中, 八木
	固体物理学I	木村
	連続体力学	鈴木
金	量子力学III	田中
	物理学実験II	和田 他

学士課程教育の理念を達成するためには、教育および教育環境に関する支援が重要と考えられる。教育に関する支援では、履修指導が最も重要である。新入生および在学生に対するガイダンスや学生アンケート、成績交付時の個別面談などは恒例となっている。各年度に4名の教員がチューターとして16～17名の学生を担当するので、きめ細かい支援が実行されている。教育環境に関する支援では、施設・設備の充実とホームページの整備による履修と成績に関する情報開示が挙げられる。

学生の授業アンケート調査の結果、教育内容と量に関する評価は概ね良好であった。学生は、授業内容に関する理解と達成感が得られたとして、授業に満足していることが分かる。特に演習やゼミナール形式の少人数授業の評価が高いが、予習・復習に対する取り組みの自己評価が低い。これらの評価の間に整合性を欠くことが憂慮される。これは成績分布に見られる二極化が、更に無極化する傾向と関連して深刻な問題である。一方、3年次の物理学実験に対する良好な評価が得られているようで、卒業研究着手のための配属研究室の選択にも、その実験の経験が大いに影響している。担当教員の取り組みが重要であることを強く示唆している。

学生に基本的な学習習慣を身につけさせるために、成績評価を厳格にする傾向が見受けられる。これは教員の見識ある取り組みと言えるが、授業に対する教員の熱意と工夫が不可欠であり、成績不振者に対するケアも重要となる。成績分布の二極化が憂慮される中で、これも高校での教育や多様な入試制度などと無縁ではない。学生の意識を変えるための教員側の工夫が求められるが、学生の資質と強く関係して、その方法の模索が続いている。

履修指導を最も必要とする学生は成績不振者である。チューターの役割が重要であるが、多様な学生に対応しながら、深刻な状態にある学生をケアするチューターの負担が増加している。このような現状から、現行のチューター制度は限界にきていると考えられ、特に心身に不調を抱える学生には保健管理センターとの連携による支援が不可欠と考えられる。一方、成績不振の基準を定めて、成績不振学生に退学勧告を出す厳格な指導も必要と考えられる。

教育環境に関する学生の要望を汲み上げる仕組みとして「物理学科ミニ懇談会」を開催している。近年、学生の出席者数が減少傾向にあったので、平成26年より学年別に開催して出席者の増加を図っている。支援体制に対する学生の評価は概ね良好と判断される。

2-3-3 学士課程教育の成果とその検証

学士課程教育の成果は卒業研究に集約され、その内容は卒業論文と卒業論文発表会で検証される。卒業研究は、3年間での早期卒業を目指す学生を除き、4年次に行うことを原則としており、100単位以上の卒業要件単位と物理学実験I、IIの修得を卒業研究着手の要件としている。

学士課程教育の総仕上げともいえるべき卒業研究のための研究室配属は、学生への履修支援の観点から極めて重要である。物理科学科では、3年次後期の配属ガイダンスから卒業研究着手に至る過程に「研究室配属に関するルール」が定められている。各研究グループに配属する学生数は当該グループの教員数に応じて均等に成るように配慮されている。

学生は物理学科目を担当する研究グループに配属され、当該グループの教授あるいは准教授が指導教員となって前期・後期の通年で卒業研究を行う。卒業研究テーマは、いくつかのテーマからの選択あるいは学生の希望によって決定されるのが一般的である。卒業研究と同時に、各研究グループで前期に開講される物理学セミナーを受講し、卒業研究に関連した専門知識の修得も行う。

2021年度入学生

	定員	志願者	入学者
AOI型	10	12	10
前期日程	36	63	36
後期日程	20	117	17
計	66	192	63

チューター

入学年度	チューター			
2021	栗木	石井	和田	森吉
2020	檜垣	深澤	鈴木	黒岩
2019	志垣	石川	中島	岡本
2018	鬼丸	八木	田中	両角
2017	嶋原	関谷	高橋	木村
2016	小嶋	栗木	樋口	松村

2-3-4 卒業論文発表実績

卒業研究の成果は、卒業論文としてまとめられると共に、卒業研究発表会において口頭での概要発表（2分間）とポスター発表（1時間30分）を併用して報告される。教育交流委員が世話人となって、要旨集の作成、プログラム編成、座長の指名、会場設営などを取り仕切る。2021年度の発表会では卒業生を3グループに分割し、3セッションで実施した。この卒業論文と発表に対する主査1名と副査1名による評価に基づき、学科教員会において卒業研究の単位を認定する。また卒業論文発表に関する優秀賞（4～7名）を全教員の投票によって選考している。受賞者は学科別卒業証書授与式で表彰され、受賞者の氏名は学科ホームページと次年度以降の卒業論文要旨集に記録される。過去5年間の卒業論文発表実績を下表に示す。

年度	発表者数	優秀賞受賞	卒業学生数	大学院進学
2021	62	5	62	54
2020	74	5	71	47
2019	57	5	58	43
2018	64	5	65	46
2017	63	7	64	48
2016	74	6	73	53

2021年度の卒業論文発表会は、2022年2月16日（水）に3つのグループで時間帯を分け、ショートオーラル、ポスター発表ともにオンラインにて開催した。

以下に、卒業論文発表題目を掲載する。

2021年度 理学部・物理学科 卒業論文発表会
 2022年2月16日（水） 場所：オンライン ショートオーラル
 オンライン ポスター発表

	氏名	論文題目	指導教員	主査	副査
1	高橋 智	ブラックホールX線連星のスペクトル解析	深澤	深澤	小嶋
2	梶原健聖	NdCo ₂ Zn ₂₀ における磁場に鈍感な弾性ソフト化の研究	石井	石井	梅尾
3	佐崎凌佑	かなた望遠鏡を用いた自動観測による激変星の増光初期の研究	深澤	植村	野中
4	三木碩人	偏光の測定からの光路の推定	高橋 (徹)	飯沼	本間
5	田地野浩希	ILC国際リニアコライダー電子ドライブ陽電子源のキャプチャーライナックにおける等価回路モデルによるビームローディング補償の研究	栗木	栗木	志垣
6	春原滉輝	ナフタレン環を分子鎖に持つ自己組織化単分子膜における内殻励起イオン脱離反応	和田	和田	八木
7	藤田大智	γ シクロデキストリンによる α リポ酸の包接比について	和田	吉田	中島
8	羽佐田拓海	電子ボルト質量域の暗黒物質探索へ向けた角度可変三光子衝突系の設計	本間	本間	高橋 (徹)
9	吉岡直樹	量子重力への非摂動的アプローチ～ループ量子重力理論～	野中	野中	山口
10	副田幸暉	高密度検出素子とハドロン吸収体の多層構造による μ 粒子識別の可能性評価	志垣	八野	檜垣
11	浦賀 匠	Rashba超伝導体におけるトポロジカル相の解析	多田	多田	木村
12	岡田理玖	ステンレス合金SUS304の逆モンテカルロ法による構造解析	中島	石松	黒岩
13	谷元優希美	価数相転移物質YbInCu ₄ の角度分解光電子分光	佐藤	佐藤	石松
14	堀 友哉	外層が剥がされた親星における超新星の初期観測に基づく爆発特性の研究	深澤	川端	岡部
15	川上裕大	層状化合物YbPt ₅ Al ₂ の反強磁性転移に伴うスーパーゾーンギャップ形成と磁気揺らぎ	鬼丸	鬼丸	比嘉
16	中西楓恋	逆ペロブスカイト型遷移金属窒化物薄膜の電子状態の解明	木村	木村	鬼丸
17	丹羽怜太	反射材に均一な金属蒸着を用いたCsIシンチレータ検出器の位置依存性の評価	深澤	高橋 (弘)	伊藤
18	川田恵梨乃	短バンチビーム実験用線形ポールトラップの製作とイオン捕捉実験	岡本	伊藤	深澤
19	西岡幸美	ディラック線ノード超伝導体MP _{2-x} Sex (M=Zr, Hf)の放射光角度分解光電子分光	木村	木村	野原
20	河野 快	アミノ基を持つ自己組織化単分子膜へのフラーレンの吸着	関谷	関谷	黒田

21	中村文哉	テンソルネットワーク法によるIsingモデルの解析	多田	多田	石川
22	阪本菜月	X線偏光観測気球実験XL-Calibur搭載CZT半導体検出器の性能評価および解析手法の改善	深澤	高橋(弘)	Liptak
23	築道拓実	LabVIEWによる利便性を求めたHiSOR BL13計測システムの構築	和田	和田	松尾
24	岩田拓万	角度分解光電子分光を用いた空間反転対称性が破れた反強磁性体PdCrO ₂ の電子状態の研究と非線形レーザー分光装置の開発	黒田	黒田	関谷
25	古田 楓	コア・シェル構造をもつペロブスカイト型強誘電体複合ナノ粒子の結晶構造解析	黒岩	黒岩	石井
26	岸 美里	Cs,K,Sb及びO ₂ を用いたヘテロ接合によるGaAsカソード活性化実験	栗木	栗木	高橋(弘)
27	黒田幹斗	円形加速器中の荷電粒子ビームの共鳴不安定性に関する数値解析的研究	岡本	岡本	水野
28	四之宮 諒	放射光源電子蓄積リングにおける単一電子蓄積の研究	加藤	加藤	岡本
29	倉内憲伸	比熱測定によるCeTeの1次磁気相転移の観測と異常な磁気相図	松村	松村	嶋原
30	添田 拓	シリコン検出器のGbps読出に向けたデータ伝送システム開発	山口	山口	栗木
31	金光航平	テンソル線り込み群を通した臨界指数の探究	石川	石川	多田
32	福島凧世	チタン酸バリウムナノキューブの強誘電相転移	黒岩	黒岩	生天目
33	小野木拓麻	強トポロジカル絶縁体TlBiSe ₂ のヘキ開面とは異なる表面電子状態の研究	宮本	宮本	樋口
34	坪田悠希	角度分解光電子分光による銅酸化物高温超伝導体の電子相図の研究	出田	出田	黒田
35	日高隆宏	単層グラフェンにおける電子・電子散乱と電子流の粘性	八木	八木	樋口
36	田河太一	交流比熱測定を用いたCeCoSiの圧力下量子臨界点の探索	松村	松村	出田
37	森下皓暁	高エネルギー宇宙ニュートリノ候補天体ブレーザーのガンマ線観測の検討	深澤	深澤	岡部
38	新美 蓮	3次元トポロジカル絶縁体におけるZ ₂ 不変量	田中	田中	島田
39	村上靖洋	Review:Constraints on the cosmic expansion history from GWTC-3	岡部	岡部	稲見
40	中西優梨香	将来GRB探査衛星HZGの赤外線望遠鏡におけるディザリング観測の必要性の評価	深澤	川端	小嶋
41	畑中俊人	ワイル半金属の異常ホール効果	田中	田中	志村
42	廣畑秀秋	相対論的宇宙論の基礎	岡部	岡部	川端
43	渡邊一生	レーザーコンプトン散乱を用いた高輝度X線光源の実現に向けた光子生成シミュレーションの研究	高橋(徹)	高橋(徹)	八野

44	下里侑也	立方晶PrIr ₂ Zn ₂₀ の反強四極子秩序と超伝導の相関解明のための極低温一軸圧下電気抵抗測定システムの開発	梅尾	梅尾	松村
45	松本将弥	Ybジグザク鎖をもつYbCuS ₂ とYbAgSe ₂ の結晶構造解析	森吉	森吉	和田
46	白野龍二	フェルミ液体の基礎理論	嶋原	嶋原	奥田
47	橋爪大樹	MeVガンマ線Compton cameraへの利用に向けたpixel検出器SOPIXの基礎特性試験	深澤	深澤	清水
48	伊達圭祐	STFビームラインでの位相空間回転による高ルミノシティビーム生成 x-zエミッタンス交換の特性評価	栗木	栗木	山口
49	猫本勇輝	SrTiO ₃ 薄膜の歪み誘起分極の電場応答	中島	中島	Kim
50	澤田 駿	G3LEAタンパク質による生体膜保護機能の分子メカニズム解明に向けた真空紫外円二色性研究	松尾	松尾	吉田
51	松下真大	ディラック半金属 NiTe ₂ における超伝導の探索	野原	野原	澤田
52	伊藤 友	ALICE実験次期データ解析系によるμ粒子検出効率の基礎的見積	志垣	志垣	野中
53	杉岡颯季	実光子弾性散乱観測のための光子・電子弁別性に関する研究	高橋 (徹)	高橋 (徹)	三好
54	柴田湧輝	かにパルサーの巨大電波パルス解析	岡部	木坂	川端
55	竹下昌之介	SU(5)模型を用いた力の大統一理論	両角	清水	本間
56	笠垣飛人	大強度短バンチハドロンビームに対するチューンダイアグラムの構築	岡本	岡本	加藤
57	岡島聡志	ハニカム格子磁性体DyCu ₃ Te ₃ における容易面型の磁気異方性と磁気秩序	鬼丸	鬼丸	佐藤
58	黒岩太平	測定器を含めたニュートリノ振動モデル	両角	両角	岡部
59	西田 慧	背景磁場を考慮したカイラルプラズマ不安定性の線形理論解析	志垣	三好	石川
60	下山絢女	TiO ₂ 単結晶を用いたアナターゼ/ルチル相境界の作製と評価	中島	中島	宮本
61	山川達也	電荷密度波の抑制による超伝導探索 - CuTe および関連物質の結晶育成 -	野原	野原	田中
62	平佐田莉子	層状化合物 (CH ₃ NH ₃) ₂ CuCl ₄ の構造相転移と強弾性	鈴木	鈴木	森吉

物理学科就職情報

進 学：広島大学大学院博士課程前期 45名，東京大学 3名，名古屋大学 3名，
大阪大学 1名，京都大学 1名，九州大学 1名

企 業：(株) システナ 1名，(株) 福井銀行 1名，京セラ (株) 1名，
セキスイハイム近畿 (株) 1名，(株) たけびし 1名，
三和ハイドロテック (株) 1名

学生の表彰

広島大学 理学部長表彰者：2名