2022 年度

教育と研究に関する年次報告書

神戸大学
大学院理学研究科化学専攻
理学部化学科

2023 年 7 月

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

目 次

はじめに 3
1. 化学領域の構成と活動 4
（１）人員構成 4
①教育研究分野単位のスタッフ 4
②教育研究分野単位の院生学生 5
（２）人事異動 5
（３）領域（学科）の運営分担 6
（４）領域（学科）の行事 7
（５）社会活動（学会活動） 8
（６）海外渡航 9
（７）外国人訪問者 10
（８）科学研究費 11
（９）その他の研究助成 13
（１０）校費の使用状況，研究環境の整備 14
2. 教育活動 16
（１）カリキュラム(学部, 大学院) 16
（２）開講科目担当(学部, 大学院, 全学共通) 16
（３）学位授与（博士，修士，学士） 21
（４）進路状況（博士，修士，学士） 24
（５）他大学等への出講 25
（６）RA，TA・SA・STA の任用 25
（７）ディプロマ・ポリシー達成度アンケート 25
（８）学生による授業評価 28
3. 研究活動 29
（１）国内共同研究の記録 29
（２）国際共同研究の記録 33
（３）学術集会の開催 35
（４）雑誌編集委員 36
（５）研究支援体制 36
（６）個別研究活動の記録 36
（７）社会的な講演 36
（８）学会賞等 37
（９）著書数・査読論文数・講演数（国際・国内）・受賞数の記録 38

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

別紙　個別研究活動の記録（2022年度）
　　教育実績報告書（2022年度）

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

はじめに

この年次報告書は、神戸大学大学院理学研究科・理学部化学科、分子フォトサイエンス研究センターおよび数理・データサイエンスセンターにまたがる、理学系化学関連分野の教育と研究に関する2022年度の活動をまとめたものです。皆さまにご高覧頂き、忌憚のないご意見，ご批判を仰ぐべく毎年公開しております。

我々は、基礎研究や関連する応用研究を通して、人材育成ならびに社会貢献をするという、理学の理念は忘れることなく、日々、教育・研究に取り組んでおります。しかし、世界情勢の目まぐるしい変化の中、教育・研究を取り巻く環境も年々変化しております。我々の活動が、その理念にふさわしいものとなっているか、ご判断いただければ幸いに存じます。

お寄せ頂いたご提言は、より質が高く、かつ、充実した教育と研究を実現していくために活用させていただきます。

2023年 7月 31日

2023年度 化学専攻 専攻長　内野 隆司

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

1. 化学領域の構成と活動

(1) 人員構成

①教育研究分野単位のスタッフ

表 1－(1)a. スタッフ配置（*分子フォトサイエンス研究センター、+数理・データサイエンスセンター）

教育研究分野	教　授	准 教 授	講　師	助　教	研 究 員 (PD)等
分子動力学	和田昭英	*笠原俊二			
物性物理化学	大西 洋 +木村建次郎	枝 和男			付哲斌(学術研究員) 森口志穂(理学研究科研究協力員) 大堺利行(理学研究科研究員)
反応物理化学	*小堀康博 *立川貴士			*婦木正明 (特命助手) *岡本 翔 (助手)	
固体化学	持田智行 内野隆司	高橋一志			
状態解析化学	*富永圭介	秋本誠志			植野嘉文 （～R4.9 理学研究科研究員）
有機反応化学	林 昌彦	松原亮介			
生命分子化学		田村厚夫 茶谷絵理 木村哲就			朝田晃一 (理学研究科研究協力員) 飯田禎弘(～R4.5 理学研究科研究協力員,R4.6～学術研究員) 大橋祐美子 （学振特別研究員）
有機分子機能		津田明彦			
共通					古家圭人(技術職員)
構造解析化学 (連携講座)	小金澤智之 上杉健太朗 (客員教授)	関澤央輝 (客員准教授)			
理論生物化学 (連携講座)	中嶋隆人 (客員教授)				

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

②教育研究分野単位の院生学生

表1－(1)b. 院生学生分属(*学術振興会特別研究員)

教育研究分野	D3	D2	D1	M2	M1	B4	研究生 (院・学部)
分子動力学			1	2	3	6	
物性物理化学	3	1	1	4	2	7	1
反応物理化学				3	5	4	
固体化学	1			5	5	6	
状態解析化学	1	1	2	3	2	4	2
有機反応化学		3	1	3	7	4	5
有機分子機能			1	2	3	2	2
生命分子化学		3		7	6	6	1

(2)人事異動

氏 名	異動年月日	内 容
小金澤智之	2022. 4. 1	着任(客員教授)
上杉健太朗	2022. 4. 1	着任(客員教授)
隈部佳孝	2022.7.1	着任(分子フォト 特命助手)
立川貴士	2022. 4. 1	昇任(准教授→ 教授)

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

(3)領域(学科)の運営分担

表1－(3). 領域運営役割分担の記録(専攻内委員)

役　割	氏　名
専攻長	内野隆司
副専攻長	和田昭英
教務委員	田村厚夫
副教務委員	木村建次郎
予算委員	枝 和男
広報委員	秋本誠志
就職委員	林 昌彦
自己評価委員	大西 洋
入学試験委員	茶谷絵理
副入学試験委員	木村哲就
ﾈｯﾄﾜｰｸ運営委員	木村哲就

表1－(3). 領域運営役割分担の記録(研究科・全学委員等)

役　割	氏　名
学舎整備委員会	大西 洋
外部資金ｱﾄﾞﾊﾞｲｻﾞﾘｰﾎﾞｰﾄﾞ	木村建次郎
安全衛生会議	松原亮介
「安全の手引」編集委員会	木村建次郎
金工室主任	笠原俊二
化学教育部会長	内野隆司
六甲台地区放射線障害防止委員会	持田智行
ｴｯｸｽ線装置安全管理委員会	持田智行
化学物質安全管理委員会	松原亮介
化学物質安全管理委員会専門委員	津田明彦
化学物質取扱主任者	高橋一志

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

環境保全ｾﾝﾀｰ運営委員	松原亮介
環境保全推進員	松原亮介
排水管理責任者	松原亮介
中和・曝気槽管理運営ﾜｰｷﾝｸﾞｸﾞﾙｰﾌﾟ(A 棟)	古家圭人
環境管理ｾﾝﾀｰ技術指導員	古家圭人
衛星管理者	古家圭人
留学生委員会	秋本誠志
学生委員協議会（正）	枝 和男
入学試験機械化委員会	枝 和男
情報ｾｷｭﾘﾃｨｰ委員会	内野隆司
大学教育推進機構 神戸ｸﾞﾛｰﾊﾞﾙﾁｬﾚﾝｼﾞﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ委員会	富永圭介
内海域環境教育研究ｾﾝﾀｰ運営委員会	林 昌彦
知的財産紛争処理委員会	和田昭英
中和曝気槽委員 （総合研究棟 1,2 号館）	田村厚夫

(4) 領域（学科）の行事

表1－(4)．領域行事の記録

日　時	行　事
4月 7日	新入生ガイダンス（学部）
4月 8日	新入生ガイダンス（大学院）
4月 6日	新入生ガイダンス（学部編入学）
4月11日	前期授業開始
5月 7日	オープンラボ
7月 2日，3日	3年次編入試験
8月10日	Web オープンキャンパス
8月23日，24日	大学院博士前期（修士）課程 入学試験
8月25日	大学院博士後期（博士）課程 入学試験
10月 1日	後期授業開始

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

10月29日	ホームカミングデイ
2月13日，14日	修士論文発表会
2月21日	大学院研究経過発表会
3月 8日	4年生特別研究発表会
3月23日	博士学位授与式
3月24日	学部・修士学位授与式

(5)社会活動(学会活動)

表1－(5)．社会活動(学会活動)の記録

氏名	活動内容	期間
秋本誠志	日本光合成学会幹事	11. 4. 1- 継続中
	光合成ｾﾐﾅｰ運営委員会委員	11. 7. 10- 継続中
	International conference “Photosynthesis and hydrogen energy research for sustainability”, organizer member	19.2.1-継続中
内野隆司	日本学術振興会 ｱﾓﾙﾌｧｽ・ﾅﾉ材料第 147 委員会委員	11. 4. 1- 継続中
	京都大学化学研究所 国際共同利用 共同研究拠点 委員会委員	18.11.13- 継続中
	日本ｾﾗﾐｯｸｽ協会 代議員	17-4.1- 継続中
枝 和男	日本ﾎﾟｰﾗﾛｸﾞﾗﾌ学会評議員	19.1.1- 継続中
大西 洋	日本学術振興会ﾅﾉﾌﾟﾛｰﾌﾞﾃｸﾉﾛｼﾞｰ第 167 委員会委員	18.4.1 - 23.3.31
	応用物理学会薄膜表面分科会幹事	18.4.1 - 継続中
	金属酸化物表面科学国際ﾜｰｸｼｮｯﾌﾟ international steering committee member	18.4.1 - 継続中
	日本表面真空学会 理事	22.5.21 - 継続中
	日本表面真空学会 産業連携・会員増強委員	18.4.1 - 継続中
	22nd International Vacuum Dongress (IVC-22), program vice chair	20.4 - 23.3
	触媒科学計測共同研究拠点 共同利用・共同研究拠点課題等審査専門委員会委員長	22.4 - 継続中
笠原俊二	分子分光研究会運営委員	15.4.1 - 継続中
	日本分光学会関西支部幹事	17.8.1 - 継続中
	日本分光学会代議員	18.5.22 - 継続中
木村建次郎	AMED 評価委員	22.8.5-24.3.31
木村哲就	蛋白質科学会アーカイブ編集委員	18.10.1- 継続中

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

	日本化学会近畿支部幹事, 基盤講習会 WG, WG 長	21.4.1- 23.3.31
	第 10 回アジア生物無機化学国際会議（AsBIC−10）運営委員	21.2.1- 22.12.31
小堀康博	国際ｽﾋﾟﾝ化学会議委員	13.4.1 - 継続中
	電子ｽﾋﾟﾝｻｲｴﾝｽ学会総務担当理事	22.2.1 – 24.3.1
	International EPR (ESR) Society, Vice President – Asia/Oceania	20.1-1 – 23.12.31
	光化学協会理事	22.1.1 - 継続中
	分子科学会第 9 期運営委員	22.8.1- 継続中
立川貴士	Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, Associate editor	22.8.1 - 継続中
田村厚夫	大阪大学蛋白質研究所共同研究員	21.4.1 - 継続中
	日本生物物理学会分野別専門委員(タンパク質設計・ドラッグデザイン)	22.1.1 - 継続中
高橋一志	錯体化学会　討論会・国際会議運営委員	20.12.1 - 継続中
茶谷絵理	日本蛋白質科学会執行役員、代議員	20.6.25 – 継続中
	日本生化学会評議員	22.9.1 – 継続中
津田明彦	UV 光源応用実証研究会　評議会委員	19.4.1 - 継続中
	キャノン財団リユニオン企画委員	22. 3.1- 継続中
富永圭介	ﾃﾗﾍﾙﾂﾃｸﾉﾛｼﾞｰﾌｫｰﾗﾑ研究交流委員ｾﾝｼﾝｸﾞ(化学)部門長	10.6.18 - 継続中
	日本学術振興会ﾃﾗﾍﾙﾂ波科学技術と産業開拓第 182 委員会委員	08.10.1 - 継続中
林 昌彦	近畿化学協会代議員	18.4.1- 継続中
	近畿化学協会有機金属部会幹事	17.4.1- 継続中
松原亮介	有機合成化学協会関西支部幹事	14.4.1 - 継続中
	近畿化学協会専門部会合同企画 WG 会議委員	22.4.1-継続中
和田昭英	Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics Committee member	10.4.1 – 継続中
	応用化学研究会 理事	12.4.1 – 継続中

(6)海外渡航

表1－(6). 海外渡航記録

氏　名	渡 航 期 間	渡 航 先	渡 航 目 的
小堀康博	5.27-31	カナダ	ECS Meeting にて招待講演
	8.28-9.01	米国	Spin Chemistry Meeting にて招待講演
茶谷絵理	11.19-11.26	ｵｰｽﾄﾗﾘｱ	Proteostasis & Disease Symposium および JSPS Core-

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

			to-Core Program and University of Wollongong Joint meeting: Protein aggregation, proteostasis and crocodiles での研究成果発表・情報収集
	12.10-12.15	台湾	共同研究打合せおよび実験の実施
	2.15-2.20	ﾄﾞｲﾂ	JSPS Core to Core Program and Technical University of Munich Joint Meeting: Amyloid Symposium Munich 2023 での研究成果発表・情報収集および共同研究に関する打合せ
	3.11-3.18	ﾌｨﾘﾋﾟﾝ	CGP 理学 UPLB コースへの帯同
	3.22-3.31	台湾	共同研究打合せおよび実験の実施
富永圭介	1.2~1.7	シンガポール	第 12 回アジア超高速現象国際会議に参加、発表するため
	2.27~3.3	フィリピン	グローバルチャレンジプログラムに引率として参加するため
	3.9~3.16	インド	日本学術振興会二国間交流事業日印共同研究実施のため
	3.22~3.24	台湾	共同研究実施のため

(7)外国人訪問者

表1－(7). 外国人訪問者の記録

訪問者氏名	滞在期間	国　籍	所属機関	目　　的	受入先	費用の支出
Sandhya Babel（教授）ほか 9 名	2023. 1.22-1.28	タイほか	タンマサート大学シリントン国際工学部	さくらサイエンスプログラムによる招へい	化学専攻 大西研究室ほか	JST
Jiani Hong（大学院生）	2023. 3.20-3.25	中国	北京大学	原子間力顕微鏡を用いた計測実験	化学専攻 大西研究室	先方負担
Cheng May Fung（大学院生）	2022. 12.16 -1.14	マレーシア	モナシュ大学マレーシア校	光触媒の計測実験	化学専攻 大西研究室	先方負担
MOHAMMED MAHMOUD MOHAMMED AHMED EL BEHERY	2022. 5.12-. 11.8	エジプト	Port Said University	共同研究の実施	化学専攻 茶谷研究室	エジプト政府による fellowship
Martin Lemaire（准教授）	2022. 7.12-8.7	カナダ	Brock University	Introduction to Chemistry の非常勤講師	化学専攻 高橋研究室	先方負担
GEGENTANA 格根塔娜（准教授）	2022. 7.26-. 2.21	中国	内蒙古医科大学薬学院	アルミナを触媒として用いる有機ハロゲン化合物のアルコールへの変換反応の開発	化学専攻 津田研究室	先方負担（国家留学基金）
Nilimesh Das（大学院生）	2023. 2.1-2.12	インド	Indian Institute of Technology, Kanpur	日本学術振興会二国間交流事業日印共同研究実施のため	化学専攻 富永研究室	日本学術振興会二国間交流事業
Pratik Sen（教授）	2023. 2.22-. 2.26	インド	Indian Institute of Technology,	日本学術振興会二国間交流事業日印共同研究実施のた	化学専攻 富永研究室	日本学術振興会二国間交流

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

			Kanpur	め		事業
Kuo-Wei Huang（教授）	2022. 12.8	中国	King Abdullah University of Science and Technology	学術講演会	化学専攻 松原研究室	一般財源
Javier Garcia Ben (大学院生)	2022. 9.16- 11.3	スペイン	University of A Coruña	共同研究の実施	化学専攻 持田研究室	先方負担および科研費

(8)科学研究費

表1－(8)a. 科研費一覧(研究代表者)
※他機関研究者への配分がある場合は、「直接経費配分額」欄に配分後の金額を記載することとする。

種　目	研究課題名（課題番号）	研究代表者	直接経費総額（千円）	直接経費配分額（千円）	間接経費配分額（千円）
学術変革領域研究A(計画・補助金)	散乱理論・散乱ｲﾒｰｼﾞﾝｸﾞ理論の構築(20H05889)	木村建次郎	19,029	19,029	6,840
学術変革領域研究A(計画・補助金)	電子ｽﾋﾟﾝ分極の空間映像化による光誘起動的ｴｷｼﾄﾝ相互作用の解析(20H05835)	小堀康博	8,013	8,013	2,070
挑戦的萌芽研究（基金）	固体に挟まれた潤滑油分子の並進運動計測:単一蛍光分子追跡（21K18935）	大西　洋	2,000	400	600
挑戦的萌芽研究（基金）	分子振動で短波長変換を実現する超高効率光アップコンバーター分子(22K19008)	小堀康博	2,300	2,300	690
挑戦的萌芽研究（基金）	病態診断を指向したアミロイド構造多形の簡便かつ迅速な評価法の構築(20K21396)	茶谷絵理	1,599	1,599	480
挑戦開拓	液液相分離中アミロイド生成の定量的解析法の確立(22K18316)	大橋祐美子	500	500	150
挑戦開拓	液液相分離中アミロイド生成の定量的解析法の確立(22K18316)	茶谷絵理	500	500	150
挑戦的萌芽研究（基金）	有機金属錯体でプラスチック結晶を創る:柔らかい錯体結晶相の開拓(22K19049)	持田智行	3,600	3,400	1,080
基盤研究(A)	人工光合成をめざす半導体光触媒:オペランド計測によるミリ秒反応化学の解明(22H00344)	大西　洋	18,500	16,800	5,550
基盤研究(A)	電子ｽﾋﾟﾝ分極の三次元映像化で解く多重励起子・電荷分離立体構造の分子運動効果(19H00888)	小堀康博	7,500	2,610	2,250
基盤研究(B)	常緑針葉樹の光合成調節機構の複合体プロテオミクスおよび分光学的手法よる統合的解析(FTH03017)	秋本　誠志	800	240	240
基盤研究(B)	フラクタル構造を有する超伝導/強磁性複合体の合成とその磁気構造の解明(21H01622)	内野　隆司	1,600	1,600	480

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

基盤研究(B)	時間分解測定法による ABC トランスポーター膜輸送機構の化学的解明(22H02198)	木村　哲就	8,400	8,400	2,520
基盤研究(B)	病原菌ヘムトランスポーターの構造変化の追跡と基質輸送機構の解明(H02421)	木村　哲就	400	400	120
基盤研究(B)	高効率かつ高選択的な光触媒水分解のための基礎学理構築(21H02049)	立川　貴士	4,100	4,100	1,230
基盤研究(B)	レドックス型イオン結晶格子を利用した金属クラスターの創成と機能開拓(H02750)	立川　貴士	300	300	90
基盤研究(B)	ｱﾐﾛｲﾄﾞ核生成を誘起するﾀﾝﾊﾟｸ質集合動態の解明(20H03224)	茶谷絵理	2,000	2,000	600
基盤研究(B)	金属錯体で創る機能性液体：物性・反応・空間機能の開拓(20H02756)	持田智行	900	700	570
基盤研究(C・基金)	高度な触媒能を持つ骨格拡張型閉殻ポリオキソメタレートの開発原理の研究（21K05229）	枝　和男	500	450	150
基盤研究(C・基金)	三連続したアミノ基とヒドロキシ基をもつキラルビルディングブロックの効率的合成（21K05055）	林　昌彦	1,000	1,000	300
基盤研究(C・基金)	フロキサン環の新規修飾法開発に基づく普遍的官能基の多様的変換（21K05054）	松原　亮介	900	900	270
政府受託事業	国際青少年サイエンス交流事業（さくらサイエンスプログラム）さくら招へいプログラム	大西　洋	2,500	2,500	37
若手研究（基金）	三重項－三重項消滅により生じた多重励起子におけるスピン変換機構の解明(22K14648)	岡本　翔	1,100	1,100	330
特別研究員奨励費（補助金）	多様なアミロイド構造形成を誘起するクロスシーディングの伝播機構の解明	柚　佳祐	900	900	0

表1－(8)b. 科研費一覧（研究分担者）

種　目	研究課題名（課題番号）	研究代表者（所属機関）	研究分担者	直接経費配分額（千円）	間接経費配分額（千円）
基盤研究（A）	電子スピン分極の三次元映像化で解く多重励起子・電荷分離立体構造の分子運動効果(19H00888)	小堀康博（神戸大学）	大西　洋	1,500	
学術変革領域研究A（総括）	動的ｴｷｼﾄﾝの学理構築と機能開拓(21H05831)	今堀　博（京都大学）	小堀康博	80	24
新学術領域研究（補助金）	時間分解構造解析を補完する精密顕微分光計測(19H05784)	久保　稔（兵庫県立大学）	木村哲就	4,900	1,470
国際B	一重項分裂を駆動力とする革新的光反応の開発(20KK0120)	羽曾部　卓（慶應義塾大学）	小堀康博 婦木正明	400 400	120 120

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

基盤研究(B)	病原菌ヘムトランスポーターの構造変化の追跡と基質輸送機構の解明(21H02421)	杉本 宏（理化学研究所）	木村 哲就	400	119

(9)その他の研究助成

表1－(9). 研究助成(科研費以外・研究代表者)

プロジェクト制度名又は共同研究相手先	研 究 課 題 名	研究代表者(所属機関)	直接経費総額(千円)	直接経費配分額(千円)	間接経費配分額(千円)
くさの会理学部実習支援費	化学専攻「構造解析学」および「構造解析学特論」の講義における Spring-8 への見学に要する経費の一部援助	化学専攻	50	50	0
池谷科学技術振興財団2022 年度研究助成金	フラクタル的階層構造を有する超伝導ナノ複合材料の創成と新物性開拓	内野隆司	1,000	1,000	0
甲南化工株式会社	新規材料開発に関する研究助成	枝 和男	196	196	4
ｲﾋﾞﾃﾞﾝｹﾐｶﾙ株式会社	材料技術開発に関する基礎研究の助成	枝 和男	588	588	12
触媒科学計測共同研究拠点共同研究(第一期)	酸化ガリウム光触媒の液中赤外分光計測	大西 洋	100	100	0
触媒科学計測共同研究拠点共同研究(第二期)	半導体光触媒の電子励起状態:軟エックス線 XAFS の変化を解釈するための共同研究	大西 洋	100	100	0
一般社団法人先端膜工学研究推進機構	先端膜工学研究ｾﾝﾀｰ水処理膜研究部門の研究支援	大西 洋	245	245	5
公益財団法人湯川記念財団	国際会議渡航費助成	岡本 翔	380	380	0
株式会社 Integral Geometry Science	乳がんを有する成人女性及び健康成人女性を対象とした乳房用マイクロ波画像診断装置 IGS-0001 の有効性及び安全性を検討する単施設評価者盲検試験	木村建次郎	26,130	26,130	7,840
旭化成株式会社	電解槽電極の電流分布計測技術の開発	木村建次郎	1,538	1,538	462
株式会社 Integral Geometry Science	応用数学と計測に関する基礎研究	木村建次郎	8,937	8,937	182
株式会社 Integral Geometry Science	次世代蓄電池実用化に資するｲﾝﾗｲﾝ電流密度分布検査ｼｽﾃﾑの大規模実証研究開発	木村建次郎	5,258	5,258	788
国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構	月深部の立体構造を断層映像化する技術?MOON 散乱場断層イメージング技術-	木村建次郎	799	799	0

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

増屋記念基礎研究振興財団助成金	原子価異性に基づく革新的分子性強誘電材料の創製」への研究助成	高橋一志	600	600	0
	研究・教育活動に対する研究助成	高橋一志	294	294	6
科学技術振興機構 研究成果展開事業 A-STEP 産学共同(育成型)゛	太陽光水素と有用化成品の同時製造を目指した新規ﾒｿ結晶光触媒の開発	立川貴士	11,500	11,500	3,450
株式会社カネカ	高効率太陽光水素におよび有用化成品の製造に向けたメソ結晶光触媒	立川貴士	2,743	2,743	756
NEDO 官民による若手研究者発掘支援事業	誘電体ｾﾗﾐｯｸｽﾒｿ結晶の開発と次世代電子ﾃﾞﾊﾞｲｽへの応用	立川貴士	7,790	7,790	1,168
太陽誘電株式会社	メソ結晶のキャパシタ応用可能性検証(光触媒に関する応用は除く)	立川貴士	7,692	7,692	2,307
国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構	パッシブ型水素生成材料の開発	立川貴士	454	454	45
株式会社村田製作所	新デザインペプチドを用いたデバイス研究	田村厚夫	4,900	4,900	1,470
浜松ホトニクス株式会社	蛍光寿命測定によるアミロイド構造の識別	茶谷絵理	769	769	231
AGC 株式会社	含ﾌｯ素ｶｰﾎﾞﾈｰﾄを鍵中間体とする安全な製造ﾌﾟﾛｾｽによる高機能・高付加価値ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ材料の開発	津田明彦	1,538	1,538	461
三菱ｶﾞｽ化学株式会社	ｸﾛﾛﾎﾙﾑを原料とした非ﾌｯ素ｶｰﾎﾞﾈｰﾄ化合物の合成	津田明彦	2,200	2,200	660
独立行政法人日本学術振興会	超高速レーザー分光による深共晶溶媒の動的挙動と微視的構造に関する研究	富永圭介	746	746	0
	有機合成化学研究に対する研究助成	林 昌彦	980	980	20
株式会社ナティアス	【Go-Tech】核酸連続生産装置の開発	松原亮介	3,600	3,600	1,080
鉄鋼カーボンニュートラル研究助成	二酸化炭素を酸化剤として用いる非遷移金属酸化触媒システムの開発	松原亮介	2,000	2,000	0
一般社団法人先端膜工学研究推進機構	先端膜工学に関する研究	持田智行	245	245	5
反応ネットワーク研究奨学寄附金	反応ネットワークに関する研究のため	和田昭英	4,900	4,900	100

(10)校費の使用状況，研究環境の整備

表1－(10)．新規設備(300万円以上)

設備	購入日	金額(千円)
ﾃﾞｽｸﾄｯﾌﾟ X 線回析装置	2022.6.15	4,998

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

嫌気性チャンバー 米国シェルドン製 BACTRON EZ	2022.10.3	4,252
ﾌｰﾘｴ変換赤外分光光度計	2023.1.23	6,937

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

2. 教育活動

(1)カリキュラム(学部, 大学院)

2022年度は学部・大学院ともにCOVID-19対応のための制限をできる限り緩和して教育効果を向上させることに注力した。受講生と教職員それぞれの尽力にまず感謝したい。相当数の授業科目、とくに実験科目(いわゆる学生実験)を対面実施できた。オンライン実施せざるをえなかったために伝えきれなかった内容については、2023年度の授業において習得の機会を提供していく。学部4年生と大学院生を対象とする卒業研究と学位研究では、ほぼ平常どおりの履修機会を提供することができた。

(2)開講科目担当(学部, 大学院, 全学共通)

表2－(2)a. 開講科目(理学部)

開講科目	単位数	主担当教官	開講区分	履修者数	合格者数
初年次セミナー(化学科)	1	各教員	1 年 1Q	32	32
物理化学基礎	1	大西 洋	1 年 1Q	34	28
無機化学基礎1	1	高橋一志	1 年 1Q	33	30
無機化学基礎2	1	持田智行	1 年 2Q	33	30
有機化学基礎1	1	林 昌彦	1 年 1Q	38	37
有機化学基礎2	1	林 昌彦	1 年 2Q	38	32
無機化学 I-1	1	持田智行	1 年 3Q	34	28
無機化学 I-2	1	持田智行	1 年 4Q	34	32
有機化学 I-1	1	松原亮介	1 年 3Q	34	29
有機化学 I-2	1	松原亮介	1 年 4Q	35	29
化学熱力学 I-1	1	枝 和男	1 年 3Q	35	33
化学熱力学 I-2	1	枝 和男	1 年 4Q	35	31
生物学科化学概論	2	立川貴士	1 年 4Q	10	9
物理学科化学概論	2	立川貴士	1 年 4Q	16	13
惑星学科化学概論	2	立川貴士	1 年 4Q	8	7
無機化学 II-1	1	秋本誠志	2 年 1Q	32	29
無機化学 II-2	1	秋本誠志	2 年 2Q	35	30
化学熱力学 II-1	1	小堀康博	2 年 1Q	34	34
化学熱力学 II-2	1	小堀康博	2 年 2Q	34	33
有機化学 II-1	1	林 昌彦	2 年 1Q	32	32
有機化学 II-2	1	林 昌彦	2 年 2Q	32	30
量子化学 I-1	1	和田昭英	2 年 1Q	43	34
量子化学 I-2	1	和田昭英	2 年 2Q	41	28

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

Introduction to Chemistry	1	高橋一志	2 年 2Q	39	36
量子化学演習	1	笠原俊二	2 年 3･4Q	42	31
化学熱力学演習	1	立川貴士	2 年 3･4Q	36	29
無機化学 III-1	1	高橋一志	2 年 3Q	47	31
無機化学 III-2	1	高橋一志	2 年 4Q	41	28
分析化学 I-1	1	木村哲就	2 年 3Q	35	29
分析化学 I-2	1	木村哲就	2 年 4Q	35	27
有機化学 III-1	1	津田明彦	2 年 3Q	39	31
有機化学 III-2	1	津田明彦	2 年 4Q	41	31
生物化学 I-1	1	茶谷絵理	2 年 3Q	37	33
生物化学 I-2	1	木村哲就	2 年 4Q	44	35
量子化学 II-1	1	和田昭英	2 年 3Q	45	31
量子化学 II-2	1	和田昭英	2 年 4Q	42	30
有機化学演習	1	松原亮介	3 年 1･2Q	36	33
化学実験 I	8	内野隆司	3 年 1･2Q	37	35
固体化学 1	1	内野隆司	3 年 1Q	4	3
固体化学 2	1	内野隆司	3 年 2Q	4	3
有機構造化学 1	1	津田明彦	3 年 1Q	26	24
有機構造化学 2	1	津田明彦	3 年 2Q	27	23
化学反応論 1	1	小堀康博	3 年 1Q	43	35
化学反応論 2	1	立川貴士	3 年 2Q	36	34
分析化学 II-1	1	高橋一志	3 年 3Q	22	16
分析化学 II-2	1	高橋一志	3 年 2Q	21	16
生物化学 II	2	田村厚夫	3 年 1Q	32	29
化学熱力学 III-1	1	小堀康博	3 年 1Q	38	35
化学熱力学 III-2	1	大西 洋	3 年 2Q	39	34
量子化学 III-1	1	笠原俊二	3 年 1Q	35	28
量子化学 III-2	1	笠原俊二	3 年 2Q	33	27
高度教養セミナー理学部化学入門	1	田村厚夫	3 年 3Q	39	36
表面と触媒の科学	1	大西 洋	3 年 3Q	0	0
化学実験 II	6	笠原俊二	3 年 3･4Q	37	35
計算機化学実験	1	木村建次郎	3 年 3･4Q	35	34

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

分子分光学 1	1	笠原俊二	3 年 3Q	31	26
分子分光学 2	1	和田昭英	3 年 4Q	31	28
表面化学1	1	大西 洋	3 年 3Q	35	33
表面化学2	1	木村建次郎	3 年 4Q	23	18
有機合成化学 1	1	林 昌彦	3 年 3Q	3	1
有機合成化学 2	1	林 昌彦	3 年 4Q	3	1
無機機能化学 1	1	高橋一志	3 年 3Q	26	26
無機機能化学 2	1	秋本誠志	3 年 4Q	22	20
生物化学 III	2	木村哲就	3 年 4Q	19	19
生物化学 III-1	1	木村哲就	3 年 3Q	2	2
生物化学 III-2	1	茶谷絵理	3 年 4Q	1	0
溶液化学 1	1	富永圭介	3 年 3Q	14	6
溶液化学 2	1	富永圭介	3 年 4Q	12	5
固体化学	2	内野隆司	前期	32	30
有機合成化学	2	林 昌彦	後期	17	15
特別講義 Frontiers of Chemistry	1	富永圭介	後期	2	1
高度教養セミナー理学部化学	2	田村厚夫	4 年前期	35	35
特別研究	14	各教員	4 年通年	35	35
特別研究（半期）	14	各教員	4 年半期	2	1
中学校教育実地研究A	2	小堀康博	4 年半期	20	20
中学校教育実地研究B	2	小堀康博	4 年半期	8	8
高等学校教育実地研究	2	小堀康博	4 年半期	30	30
中等教育事前・事後指導	1	小堀康博	4 年半期	36	36

表2－(2)b. 開講科目（大学院理学研究科 博士前期課程）

開講科目	単位数	主担当教官	開講区分	履修者数	合格者数
無機化学 I	2	持田智行	前期	26	26
理論生物化学	2	中嶋隆人	前期	25	25
特別講義 有機化学特論 A	1	松原亮介	前期	10	10
特別講義 無機化学特論 A	1	高橋一志	前期	10	10
先端融合科学特論 A（化学）	1	和田昭英	前期	29	29
先端融合科学特論 B（理学）	1	木村建次郎	前期	29	26
研究指導	0	各教員	前期	3	3

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

物性物理化学特論	5	大西 洋	前期	14	14
無機・分析化学特論	2	内野隆司	後期	1	0
無機・分析化学特論 1	1	内野隆司	後期	2	1
科学英語	2	神前陽子	後期	1	0
科学英語 1	1	神前陽子	後期	10	10
科学英語 2	1	神前陽子	後期	10	10
構造解析学	2	上杉健太朗	前期	27	27
無機化学 II	2	富永圭介	後期	3	1
有機化学 I	2	林 昌彦	前期	10	9
有機化学 II	2	木村哲就	後期	9	9
物理化学 I	2	笠原俊二	前期	23	23
物理化学Ⅱ	2	大西 洋	後期	4	2
有機化学特論	2	林 昌彦	後期	9	7
特別講義 量子化学特論 A	1	富永圭介	前期	9	5
特別講義 物理化学特論 A		和田昭英	後期	8	7
特別講義 Frontiers of Chemistry	1	富永圭介	後期	2	2
研究指導	0	各教員	後期	24	24
論文講究 I	4	各教員	通年	27	26
論文講究 II	4	各教員	通年	25	25
特定研究 I	4	各教員	通年	27	26
特定研究 II	4	各教員	通年	25	25

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

表2－(2)c. 開講科目(大学院理学研究科 博士後期課程)

開講科目	単位数	主担当教官	開講区分	履修者数	合格者数
有機化学特論Ⅰ	2	津田明彦	前期	1	1
物理化学特論Ⅰ	2	小堀康博	前期	3	3
有機化学特論Ⅱ	2	田村厚夫	後期	1	0
無機化学特論Ⅱ	2	富永圭介	後期	2	2
理論生物化学特論	2	中嶋隆人	前期	1	1
構造解析学特論	2	上杉健太朗	前期	2	2
特別講義 有機化学特論B	1	松原亮介	前期	4	4
特別講義 量子化学特論B	1	富永圭介	前期	2	2
特別講義 物理化学特論B	1	和田昭英	後期	3	3

表2－(2)d. 開講科目(全学共通授業科目)

開講科目	単位数	主担当教官	開講区分	履修者数	合格者数
基礎有機化学1	1	松原亮介	1年1Q	56	55
基礎有機化学2	1	松原亮介	1年2Q	55	55
基礎無機化学1(水・3限)	1	内野隆司	1年1Q	132	124
基礎無機化学2(水・3限)	1	内野隆司	1年2Q	132	102
化学実験1	1	高橋一志	2年3Q	58	57
化学実験1	1	持田智行 (副担当分)	2年3Q	58	57
化学実験2	1	高橋一志	2年4Q	58	56
基礎物理化学1	1	大西 洋	1年3Q	50	40
基礎物理化学2	1	木村建次郎	1年4Q	44	17
化学C	1	和田昭英	1年3Q	47	42
化学D	1	富永圭介	1年4Q	54	43
グローバルチャレンジ実習	1	茶谷絵理	後期	3	3
グローバルチャレンジ実習	1	茶谷絵理 (副担当分)	後期	17	17

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

(3)学位授与(博士, 修士, 学士)

学科・専攻全体としては卒業研究発表会、修士論文発表会が年次研究報告会を兼ねており、学科・専攻全体での議論が交わされている。また2006年度における理学研究科への改組を契機として、博士前期課程の学生に対しても後期課程の学生と同様に研究経過発表会での研究発表を義務づけている。

表2－(3)a. 博士論文（令和4年9月修了 2名）

氏　名	主　査	論 文 題 目
XIE WEIBIN	松原亮介	有機ヒドリドの光再生を利用する非遷移金属触媒系 CO2 光還元反応の開発
DONG CHENLU	松原亮介	ラジカル機構による炭素置換フロキサンの合成と含窒素化合物への変換反応

表2－(3)b. 修士論文(令和4年9月修了3名)

氏　名	指導教員	論 文 題 目
松坂 紘斗	秋本誠志	種々の光化学系複合体に見られる低エネルギークロロフィルの機能解明
顔 筠庭	林 昌彦	Study of asymmetric synthesis of catechins
許 佳生	松原亮介	Photocatalytic oxidation of triarylphosphines enabled by CO_2-BI^+（I^-）system

表2－(3)c. 博士論文（令和5年3月修了 1名）

氏　名	主　査	論 文 題 目
角谷 凌	持田智行	有機金属イオン液体からなる機能性ソフトマターの開発

表2－(3)d. 修士論文(令和5年3月修了24名)

氏　名	指導教員	論 文 題 目
前川 翔	持田智行	外部応答性を示すルテニウム錯体含有イオン液体の合成
池田美玖	田村厚夫	抗がん剤シスプラチンを模した白金結合能を有するペプチドの人工設計
石上 快	枝 和男	第一原理計算を用いた Keggin 型ポリオキソタングステートのトップダウン型合成法の研究
大西 翔	小堀康博	時間分解 EPR 法によるビフェニル連結テトラセンダイマーの分子内励起子分裂機構の解明
岡田稜海	津田明彦	ハロカーボンを原料とするフロー光オン・デマンド合成法の開発
小倉実夏	田村厚夫	選択的レアメタル結合能をもつ 8 または 10 残基から成る環状ペプチドの設計
勝平譲治	小堀康博	時間分解 EPR 法による熱活性化遅延蛍光分子の励起状態の解析

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

木村仁美	田村厚夫	ヘリックス型人工設計ペプチドの加水分解能と構造物性
國尾祐貴	茶谷絵理	分子シャペロンαB-クリスタリンによるインスリン B 鎖のアミロイド線維化阻害機構の解明
瀬古勇次	和田昭英	新規昇温反応法（TPAK 法）の開発とアミノアゾベンゼンの熱異性化機構に及ぼす水の添加効果の観測・解析への応用
反橋勇貴	秋本誠志	2 種類の *Euglena gracilis* の光合成初期過程における光質応答
田代愛佳	内野隆司	縮退 ZnO 薄膜の光学過程における多体効果の観察と発現機構の解明
仲 絢香	木村哲就	部位特異的スピンラベルを用いた ABC トランスポーターBhuUV-T の構造変化の解析
永尾彰浩	津田明彦	フッ素化カーボネートを用いる非イソシアネート法による機能性ポリウレタン合成
橋本碧維	内野隆司	超伝導体-半導体ナノ複合体の合成とその電気，磁気特性
平井綾華	木村建次郎	マイクロ波散乱場-生体断層映像化法における最表面吸着物質の影響に関する研究
福田 開	和田昭英	光定常状態における不安定分子種の多段階励起経路の観測と解析
細川大地	大西 洋	タンタル酸ナトリウム光触媒が生成する酸素のマイクロ電極による検出
益井歩未	茶谷絵理	酸化還元状態に依存したタウの凝集反応経路の選択性
松本一樹	高橋一志	π拡張系配位子を持つ鉄錯体が示す 2 段階転移のメカニズム解明
村上 環	大西 洋	強度変調励起光を用いた光触媒の反応速度測定
森田瑛人	立川貴士	有機輝尽発光の機構解明に向けた電子ドナー・アクセプター型ブレンド膜の発光観測
山口 葵	木村哲就	CYB561D2 の不飽和脂肪酸ナノディスクへの再構成と機能解析
匡 陽金	林 昌彦	Pd／C－エチレン系を用いた置換インドールの新規合成法

表2－(3)e. 特別研究発表（令和 5 年 3 月 36 名）

氏　名	指導教員	論 文 題 目
前田楓太	内野隆司	乱層窒化ホウ素の合成とその発光特性
白木秀岳	内野隆司	酸・塩基反応を活用したグラファイトナノシートの作製とその発光特性
水村景太	秋本誠志	蛍光異方性測定によるクロロフィルの遷移双極子モーメントに関する考察
酒井 希	秋本誠志	灰色藻 *Cyanophora paradoxa* の光合成初期過程における鉄環境に対する応答
井上亮汰	持田智行	ハーフサンドイッチ型錯体からなる柔粘性イオン結晶の開発
中園陽介	持田智行	ビニル基を有する四級アンモニウム塩からなる柔粘性イオン結晶の開発

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

山神見友	富永圭介	広帯域誘電分光測定によるポリアクリル酸水溶液中の水分子のダイナミクス
笠崎泰世	高橋一志	電子供与性基を導入したアゾビスフェノレート配位子とニッケル錯体の合成と特性評価
広田 舞	高橋一志	アニオン性スピンクロスオーバー錯体のハロゲン置換基導入効果
細見一輝	笠原俊二	ジベンゾチオフェンの $S_1 \leftarrow S_0$ 遷移の高分解能レーザー分光
ミニツク留久マイケル	笠原俊二	フルオレンの電子遷移の高分解能レーザー分光
大岩本昇太	笠原俊二	カルバゾールの S_1-S_0 遷移の高分解能レーザー分光
坂田秋津	大西 洋	原子間力顕微鏡をもちいた潤滑油－固体界面の計測・評価
柳澤 瞭	大西 洋	原子間力顕微鏡を用いた氷と有機溶媒界面の計測評価
田中直純	立川貴士	水中におけるスズ系有機無機ペロブスカイトの発光観測
村尾智央	立川貴士	プラスチック分解物の高効率・高選択的酸化に向けた光触媒電極の開発
井上凜香	和田昭英	定常状態におけるアミノアゾベンゼンの光反応解析法の開発
吉田優希	和田昭英	DMSO 溶媒下 p-アミノアゾベンゼンの熱異性化における寿命変化の解析
東 晃輔	小堀康博	三重項-三重項消滅を用いた光アップコンバージョンに対する分子内三重項励起子拡散の効果
辻村颯太	小堀康博	非フラーレン型アクセプターを用いた有機薄膜太陽電池光活性層の初期電荷分離構造:時間分解 EPR 法による解析
山譯千慧	田村厚夫	ナノファイバー化するαヘリックス型ペプチドの設計と金属結合能の検討
迫 綾香	田村厚夫	ペプチド構造と CD スペクトルの関係及びジペプチド自己集合体について
芝山美月	茶谷絵理	アルツハイマー病に関わるタウタンパク質変異体 P301S, P301L の凝集性
道上佑希	茶谷絵理	酸化還元状態に依存したタウ液滴の経時変化
西野琢磨	木村哲就	金属の光還元を目指したヘム膜タンパク質 CYB561D2 の改変
炭田悠貴	木村哲就	アンフィポール再構成型 BhuUV-T の分光学的解析
田坂慎之介	枝 和男	第一原理計算によるカーボネートのエステル交換反応の経路解析
齋藤真輝	枝 和男	α－Keggin 型$[H_4W_{12}O_{40}]^{4-}$錯体の研究
岩本椎菜	木村建次郎	2 次元比誘電率分布計測システムの構築と誘電体層下の計測
藤原佳史	木村建次郎	高周波信号発生器を用いた共振トラッキング方式プラズマリアクターに関する研究
宮本陸人	松原亮介	アニオン性置換基を有するカルバゾール光増感剤の合成、物性評価、光反応への適用
新家裕貴	松原亮介	カルバゾールからフェナントリジンへの光変換反応の開発

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

三木啓吾	林 昌彦	Pd/C-エチレン系を用いた 2-アリールピリジンの合成
脇谷美帆	林 昌彦	二つの構造異性体を与える不斉非対称化
白井雪菜	津田明彦	ハロカーボンを原料とする環状カーボネートの光オン・デマンド合成
竹之下実結	津田明彦	イソソルビドを原料とする非イソシアネートポリウレタン合成

(4)進路状況(博士, 修士, 学士)

大学院修了生進路状況

博士課程後期課程(9 月修了 2 名・3 月修了 1 名)

DIC	1
その他	2

博士課程前期課程(9 月修了 3 名・3 月修了 24 名)

JFE テクノリサーチ	1
NOK	1
WDB エウレカ社	1
クレハ	1
コニカミノルタ	1
シャープ	2
ダイキン工業	1
トード研究所	1
ヌヴォトンテクノロジージャパン	1
ポリプラスチックス	1
みずほリサーチ&テクノロジーズ	1
王子ホールディングス	2
四日市合成	1
大阪ガス	1
大阪ソーダ	1
第一三共ヘルスケア	1
東レ	1
日産自動車	1
日本ポリマー工業	1
日本分光	1
富士フイルムビジネスイノベーションジャパン	1
兵庫労働局	1
神戸大学大学院理学研究科	2
その他	1

学部卒業生進路状況 (3 月卒業 37 名)

ルネサスセミコンダクタマニュファクチュアリング	1
ローム	1
香川県庁	1
阪和興業	1

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

日本スピンドル製造	1
神戸大学大学院理学研究科	28
神戸大学大学院科学技術イノベーション研究科	2
奈良先端科学技術大学院大学	1
その他	1

(5)他大学等への出講

表2－(5). 出講の記録

氏　名	身　分	出 講 先
高橋一志	非常勤講師	大阪公立大学
	研究指導者(旧非常勤講師)	九州大学
茶谷絵理	非常勤講師	広島大学大学院統合生命科学研究所
	非常勤講師	奈良先端科学技術大学院大学
和田昭英	非常勤講師	吉備国際大学

(6)RA, TA・SA・STA の任用

2022年度は 12名の RA を任用した。RA は全員が博士後期過程学生である。

2016年度より、TA(ティーチングアシスタント)に加え、SA(スチューデント・アシスタント)と STA(シニア・ティーチング・アシスタント)の任用が可能になった。SA とは、神戸大学学部に在学する優秀な学生に対し、教育的配慮の下に教育に係る補助業務を行わせ、学生に対する教育的効果を高めるための学修サポートを図るとともに、これに対する手当支給により、学生への経済的支援を目的として始まった制度である。STA とは、博士課程後期課程に在学する特に優秀な学生に対し、教育的配慮の下に専門性の高い教育補助業務を行わせ、大学教育におけるきめ細かな指導の実現や大学院学生が将来教員・研究者になるためのトレーニングの機会の提供を図るとともに、これに対する手当支給により、学生への経済的支援を目的として始まった制度である。なお STA となるためには、高い専門性を有すること、本学での TA の経験を有すること、STA のための研修を受講することなどの要件を満たす必要がある。

化学専攻では、2022年度には、50名の TA、19名の SA、2名の STA を任用した。TA は45名が博士前期過程の学生で、5名が博士後期過程の学生である。SA は全員が学部4回生である。

(7)ディプロマ・ポリシー達成度アンケート

学部卒業生および大学院博士課程前期課程修了生、後期課程修了生に対して行ったディプロマ・ポリシー(DP)達成度アンケートの内容と結果を報告する。(スペースの都合上、大学院博士課程前期課程を“修士”、博士課程後期課程を“博士”と表現する箇所有り。)

博士 設問1) **※博士後期課程修了生のみに対する設問**

あなたが理学研究科において取得した学位についてお尋ねします。

選択肢

1. 博士(理学) / 2. 博士(学術)

学部・修士 設問1) および 博士 設問2)

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

あなたは、理学部【理学研究科】の DP を知っていますか。
Do you know the DP of the Department of Chemistry in the Graduate School of Science?
選択肢

1.よく知っていた（To a great extent） / 2.ある程度知っていた（To some extent） / 3.どちらともいえない（Not so much） / 4.あまり知らなかった（Very little） / 5.全く知らなかった（Not sure）

学部・修士 設問2） および 博士 設問3）
あなたは、化学科【博士課程前期課程/博士課程後期課程】において、次のA)からL)の能力等がどの程度身についたと思いますか。
To what extent did you acquire the following abilities and skills specified in the DP during the Master`s course?
選択肢

1.大いに身についた（To a great extent） / 2. どちらかといえば身についた（To some extent） / 3. どちらともいえない（Not so much） / 4. どちらかといえば身についていない（Very little） / 5. 全く身につかなかった（Not sure）

共通：
A) 様々な場面において、状況を適切に把握し主体的に判断する力
The ability to properly understand and proactively judge the situation in various cases.
B) 専門性や価値観を異にする人々と協働して課題解決にあたるチームワーク力
Teamwork skills to solve a problem in collaboration with people who have different specialties and values.
C) 他の学問分野の基本的なものの考え方を学び、自らの専門分野との違いを理解する力
The ability to learn basic ideas from other academic fields and understand how they differ from your field.
D) 能動的に学び、新たな発想を生み出す力
The ability to learn actively and come up with new ideas.
E) 複数の言語で異なる文化の人々と意思を通じ合うことができる力
The ability to communicate with and understand people from different cultures in multiple languages.
F) 文化、思想、価値観の多様性を受容し、地球的課題を理解する力
The ability to understand global issues while accepting diversity in culture, ideology, and values.

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

大学院博士課程前期課程：
G) 研究成果発信のための英語能力
English skills at a level sufficient for communication of research results.
H) 学際的視野に基づいた創造的な研究能力
Creative research skills based on an interdisciplinary perspective.
I) 物質の構造及び機能を根本原理から理解する能力
The ability to understand the structure and function of chemical substances based on fundamental principles.
J) 化学の各研究分野に関連した基礎能力、及びそれを研究に応用する能力
Basic skills related to chemistry research fields and the ability to apply them to research.
K) 現代化学の広範な研究分野を俯瞰する能力

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

The ability to command an overview of a wide range of research fields in contemporary chemistry.

L) 化学を深く探究するための基礎となる能力
Basic skills to deeply exploring chemistry.

大学院博士課程後期課程:

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

修士 設問3) **※博士課程前期課程修了生(日本語アンケート回答者)のみに対する設問**

下記授業科目があなたの知識の習得に関してどの程度役に立ったと思いますか。

選択肢

1.大いに役に立った / 2. 役に立った / 3. ある程度役に立った / 4. 役に立たなかった / 5. わからない / 6. 未履修

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

化学科 R4度 学部卒業生 アンケート結果(回答者数:3月卒業30名)

	1)	2A)	2B)	2C)	2D)	2E)	2F)	2G)	2H)	2I)	2J)	2K)	2L)
1.	2	5	8	7	7	2	3	2	7	8	4	7	5
2.	5	16	10	13	12	6	10	13	12	15	12	14	17
3.	3	6	5	6	8	8	8	12	8	4	11	6	6
4.	7	1	5	2	2	8	6	1	0	1	1	2	1
5.	13	1	1	1	0	4	2	1	2	1	1	0	0

※2 A)～L)は1名未回答。

化学専攻 R4年度 大学院博士前期課程(修士課程)修了生 アンケート結果
(回答者数:9月修了3名、3月修了24名)

	1)	2A)	2B)	2C)	2D)	2E)	2F)	2G)	2H)	2I)	2J)	2K)	2L)
1.	1	5	6	8	7	2	3	2	5	9	9	4	10
2.	7	19	11	14	14	10	11	14	12	14	16	10	15
3.	3	3	8	4	6	7	8	4	9	3	2	11	2
4.	11	0	2	1	0	7	4	6	1	1	0	2	0
5.	5	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0

	3 ア)	3 イ)	3 ウ)	3 エ)	3 オ)
1.	2	5	15	4	3
2.	7	11	8	11	7

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

3.	4	5	2	4	10
4.	2	0	0	1	0
5.	4	5	2	6	1
6.	8	1	0	1	6

化学専攻 R4年度 大学院博士後期課程修了生 アンケート結果
(回答者数:9月修了 2名、3月修了1名)

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

(8)学生による授業評価

(学部)アンケートの自由記述欄に対面授業への感想(教員による板書・発声・小テスト・試験に対する意見など)が記されており、対面中心の授業形態が戻ってきたことを示している。予習復習の時間が0分～30分という回答は全体の21%で2021年度(13%)と2020年度(11%)から増加した。2019年度の値(38%)に戻りつつあるのかもしれない。そうであるとすれば、2019-2020年度にこの数値が一時低下した理由は、COVID-19対応のため遠隔受講した受講時間を「予習復習の時間」とみなして回答した学生があったためかもしれない。「授業内容の理解」と「専門分野への興味増」に対する肯定的評価(5段階評価の上位2段階)は、それぞれ76%(前年度75%, 前々年度76%)と84%(前年度75%, 前々年度85%)であった。ともに大きな変化はみられなかった。

(大学院)予習復習の時間が0分～30分という回答は10%で前年度12%(前々年度13%)から変化しなかった。「授業内容の理解」に対する肯定的評価は54%で前年度88%(前々年度83%)に比べて低下した。「専門分野への興味増」に対する肯定的評価は54%で前年度76%(前々年度91%)に比べてやはり低下した。この二項目で肯定的評価が低下した理由は不明である。ただし、アンケート回答数は前期・後期をあわせて78にとどまっており、受講生全体の意見を集計できたかどうかわからない。アンケート回答率をあげるための工夫が必要である。

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

3. 研究活動

(1)国内共同研究の記録

表3－(1). 国内共同研究の記録

教育研究分野	相 手 機 関	研 究 内 容	研究資金の出所
分子動力学	京都大学	硝酸ﾗｼﾞｶﾙおよび二酸化窒素の高分解能分光	
	福岡大学･京都大学	光ｺﾑを用いた多環芳香族炭化水素の高分解能ﾚｰｻﾞｰ分光	
物性物理化学	名城大学	原子間力顕微鏡探針近傍の液体構造の統計力学解析	科研費
	産業技術総合研究所	ﾀﾝﾀﾙ酸塩光触媒の TEM 観察	科研費
	島津製作所･分子科学研究所	潤滑油界面の AFM による力学計測	科研費･分子科学研究所共同利用経費
	金沢大学･信州大学	光触媒反応生成物の時間分解検出	科研費
	学内(反応物理化学)	人工合成光触媒の EPR 解析	科研費
	名古屋工業大学･広島工業大学	ﾀﾝﾀﾙ酸塩光触媒の蛍光ｴｯｸｽ線ﾎﾛｸﾞﾗﾑ解析	科研費
	千葉大学･分子科学研究所･大阪公立大学･北海道大学	人工合成光触媒のｴｯｸｽ線吸収分光	科研費･触媒科学計測共同研究拠点共同研究費･分子科学研究所共同利用経費
	大阪公立大学	酸化ガリウム光触媒の ATR 分光計測	科研費･触媒科学計測共同研究拠点共同研究費
	北海道大学	半導体光触媒の電子励起状態:軟エックス線 XAFS の変化を解釈するための共同研究	科研費･触媒科学計測共同研究拠点共同研究費
	東北大学	ﾀﾝﾀﾙ酸ﾅﾄﾘｳﾑ光触媒単結晶膜ﾓﾃﾞﾙの構築	科研費
	豊橋技術科学大学･同志社大学･京都大学･神戸大学工学研究科	潤滑油界面の単一分子蛍光追跡	科研費
	京都大学	有機薄膜の構造解析	
	理研 R-CCS	ﾎﾟﾘｵｷｿﾒﾀﾚｰﾄの研究	科研費
	株式会社 Integral Geometry Science	超高ｴﾈﾙｷﾞｰ密度蓄電池の健全性診断技術と社会ｲﾝﾌﾗへの展開	
	旭化成株式会社	電解槽電極の電流分布計測技術の開発	新規
	京都大学	有機薄膜の構造解析	
反応物理化学	株式会社ｶﾈｶ	高効率太陽光水素および有用化成品の製造に向けたﾒｿ結晶触媒電極の開発	株式会社ｶﾈｶ
	学内(生命分子化学)	EPR によるｲﾝｽﾘﾝの線維化過程の構造解析の解明	
	学内(生命分子化学)	ﾀﾝﾊﾟｸ質ｺﾝﾌｫﾒｰｼｮﾝ変化を追跡する時間分解 ESR 測定の開発	
	名古屋大学大学院理学研究科	EPR 法による光合成光化学系 II の初期電荷分離機構の解明	
	京都大学大学院工学研究科分子工学専攻	C_{70} 誘導体異性体による有機半導体薄膜の光電荷分離機構の解明	
	広島大学大学院工学研究科応用科学専攻	低ﾊﾞﾝﾄﾞｷﾞｬｯﾌﾟﾎﾟﾘﾏｰ薄膜に精製する光電荷分離状態の立体構造解析	
	九州大学分子ｼｽﾃﾑ科学ｾﾝﾀｰ	室温ﾘﾝ光性を有する有機分子結晶の励起三重項状態の解析	

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

	東邦大学薬学部 名古屋工業大学	ﾌﾗﾋﾞﾝ酵素の段階的光電荷分離機構の解明	
	京都大学化学研究所	有機発光材料の熱活性化遅延蛍光に対する分子振動効果	科研費
	静岡大学学術院工学領域	植物由来色素ﾍﾞﾙﾍﾞﾘﾝの光治療薬としての基礎物性評価	分子ﾌｫﾄｻｲｴﾝｽ研究ｾﾝﾀｰ共同利用
	大阪府立大学大学院工学研究科 物質・化学系専攻	分子間一重項分裂機構の解明	
	慶應義塾大学 理工学部	分子内一重項分裂機構の解明	分子ﾌｫﾄｻｲｴﾝｽ研究ｾﾝﾀｰ共同利用
	大阪大学大学院理学研究科 化学専攻	室温有機ﾘﾝ光材料の発光機構の解明	科研費
	奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科	有機薄膜太陽電池の電荷ｷｬﾘｱﾀﾞｲﾅﾐｸｽ	科研費
	九州大学大学院工学研究院	色素集積体における偏極スピン生成評価	
	昭和薬科大学・薬学部	ﾋﾟﾘﾀﾞｼﾞﾙﾍﾘｾﾝの光反応中間体の評価	分子ﾌｫﾄｻｲｴﾝｽ研究ｾﾝﾀｰ共同利用
	学内 （有機反応化学）	ｶﾙﾊﾞｿﾞｰﾙ－連結分子の分子内電荷移動状態のﾀﾞｲﾅﾐｸｽ	
	学内 （物性物理化学）	金属ﾄﾞｰﾋﾟﾝｸﾞした $NaTaO_3$ 光触媒の構造機能解析	
	学内 （生命分子化学）	ABC ﾄﾗﾝｽﾎﾟｰﾀｰの分子機構解析	
	静岡大学学術院工学領域	ﾎﾟﾙﾌｨﾘﾝおよび色素化合物の生体分子光損傷機構	分子ﾌｫﾄｻｲｴﾝｽ研究ｾﾝﾀｰ共同利用
	立命館大学応用化学科	半導体ﾅﾉ粒子による光ﾌｫﾄｸﾛﾐｯｸ反応機構	
	北海道大学 電子科学研究所	ｸﾏﾘﾝ誘導体の一重項酸素発生と捕捉	
	分子科学研究所	有機薄膜による光アップコンバージョン機構の解明	科研費
	昭和薬科大	ヘリセン T 型開環反応機構の解明	分子ﾌｫﾄｻｲｴﾝｽ研究ｾﾝﾀｰ共同利用
	大阪大学産業科学研究所	非フラーレン太陽電池による電荷生成機構の解明	科研費
	東京大学薬学研究科	光触媒型水素原子移動反応の開拓	科研費
	東京大学大学院総合文化研究科	ﾚﾄﾞｯｸｽ型ｲｵﾝ結晶を鋳型とした合金ｸﾗｽﾀｰの発光特性と生成機構の解析	分子ﾌｫﾄｻｲｴﾝｽ研究ｾﾝﾀｰ共同利用
	横浜国立大学大学院工学研究院	ﾒｶﾉｸﾛﾐｯｸ発光性有機ｿﾌﾄｸﾘｽﾀﾙの単一粒子蛍光観測	分子ﾌｫﾄｻｲｴﾝｽ研究ｾﾝﾀｰ共同利用
	沖縄科学技術大学院大学	有機蓄光ｼｽﾃﾑの磁場効果ｲﾒｰｼﾞﾝｸﾞ	科研費
	千葉大学大学院工学研究院	超高速電気化学発光を示す DNA ｿﾌﾄｸﾘｽﾀﾙの光物性解析	分子ﾌｫﾄｻｲｴﾝｽ研究ｾﾝﾀｰ共同利用
	学内 （科学技術ｲﾉﾍﾞｰｼｮﾝ研究科）	ﾅﾉｼｰﾄ積層型光触媒膜の異種ﾅﾉｼｰﾄ界面における蛍光挙動の解析	分子ﾌｫﾄｻｲｴﾝｽ研究ｾﾝﾀｰ共同利用
	学内 （生命分子化学・工学研究科・先端ﾊﾞｲｵ工	異分野共創による資源循環イノベーション	

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

	学研究ｾﾝﾀｰ・人間発達環境学研究科）		
状態解析化学	福井大学遠赤外領域開発研究ｾﾝﾀｰ	サブテラヘルツ帯における分子性結晶の格子振動	福井大学遠赤外領域開発研究ｾﾝﾀｰ
	静岡大学電子工学研究所	分子性結晶の不完全性とテラヘルツスペクトルとの相関	静岡大学電子工学研究所
	奈良先端科学技術大学院大学	低分子系バルクヘテロ接合型有機薄膜の構造と電荷分離状態 の動力学との相関	分子ﾌｫﾄｻｲｴﾝｽ研究ｾﾝﾀｰ共同利用
	千葉大学・大学院理学研究院化学研究部	シンプルな液体・溶液のテラヘルツ領域の分極と双極子応答 の比較	分子ﾌｫﾄｻｲｴﾝｽ研究ｾﾝﾀｰ共同利用
	徳島大学・ポスト LED フォトニクス研究所	金ナノ構造修飾半導体薄膜のテラヘルツ帯超高速応答と光誘 起電子移動機構	分子ﾌｫﾄｻｲｴﾝｽ研究ｾﾝﾀｰ共同利用
	京都大学・大学院理学研究科	微小共振器中の有機半導体の超高速テラヘルツ応答に関する 研究	分子ﾌｫﾄｻｲｴﾝｽ研究ｾﾝﾀｰ共同利用
	新居浜高専	水溶液中における温度応答性高分子の広帯域誘電分光	分子ﾌｫﾄｻｲｴﾝｽ研究ｾﾝﾀｰ共同利用
	大阪大学大学院工学研究科	共有結合性有機構造体のキャリア輸送特性評価	分子ﾌｫﾄｻｲｴﾝｽ研究ｾﾝﾀｰ共同利用
	学内（内海域環境教育研究ｾﾝﾀｰ）	藻類における光ｴﾈﾙｷﾞｰ捕集機能の光環境応答	
	自然科学研究機構・基礎生物学研究所	光合成における消光過程の超高速時間分解分光	科研費
	北海道大学低温科学研究所	緑色植物における光ｴﾈﾙｷﾞｰ捕集機能の光環境応答	科研費
	京都大学、東京理科大学	赤外光を用いる酸素発生型光合成の機構解明	
	東京大学	赤外光が光合成に及ぼす影響	科研費
	東京農業大学、神戸薬科大学	ｶﾛﾃﾉｲﾄﾞの励起緩和ﾀﾞｲﾅﾐｸｽ	
	岡山大学	珪藻における光ｴﾈﾙｷﾞｰ捕集機能の環境応答	科研費
	大阪大学	光合成電子伝達の解析	科研費
生命分子化学	大阪大学産業科学研究所	人工設計ﾀﾝﾊﾟｸ質を用いたﾅﾉﾊﾞｲｵ材料の開発	
	信州大学大学院医学研究科	ﾐﾆﾁｭｱ酵素のｱﾐﾛｲﾄﾞ線維に対する効果の検証	
	学内（工学研究科）	膜破壊能を持つ人工設計ﾍﾟﾌﾟﾁﾄﾞのｶﾞﾝ細胞への効果検証	
	大阪大学蛋白質研究所	人工設計ﾍﾟﾌﾟﾁﾄﾞﾅﾉﾌｧｲﾊﾞｰのｸﾗｲｵ電顕による観測	
	産業技術総合研究所	細胞系を用いたﾐﾆﾁｭｱ酵素の活性検証	
	京都大学複合原子力科学研究所	ｱﾐﾛｲﾄﾞ線維および形成過程の小角 X 線散乱解析	京都大学複合原子力科学研究所共同利用研究
	浜松ﾎﾄﾆｸｽ中央研究所	ｱﾐﾛｲﾄﾞ構造識別ﾌﾟﾛｰﾌﾞの蛍光寿命解析	浜松ホトニクス株式会社
	長浜バイオ大学	ｱﾐﾛｲﾄﾞ凝集初期の DLS 解析	
	大阪大学	ﾄﾗﾝｽｻｲﾚﾁﾝｱﾐﾛｲﾄﾞ線維化の誘起因子の探索とﾀｳｱﾐﾛｲﾄﾞ線維化の解析	
	理化学研究所、 兵庫県立大学、京都大学、東北大学、和歌山県	時間分解 X 線結晶構造解析法およびそれを補完する時間分解顕微分光法の開発と、それらを用いた膜ﾀﾝﾊﾟｸ質の立体構	科研費

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

	立医科大学	造変化機構の解明	
	岡山大学	光光合成系 II における、光応答構造変化の SFX 解析	科研費
	理化学研究所	ESR および X 線結晶構造解析による ABC ﾄﾗﾝｽﾎﾟｰﾀｰの分子機構解析	科研費
	学内（工学研究科）	他分子によるアミロイド線維形成の阻害効果の検証	
	学内（分野内）	α シヌクレインアミロイド線維化の解析	
	自治医科大学	タンパク質凝集物の電子顕微鏡解析	
	東北大学多元物質科学研究所	タンパク質液滴からのアミロイド形成の追跡	科研費
	東北大学多元物質科学研究所	時分割シリアルフェムト秒結晶構造解析による酵素反応解析法の開発	物質・デバイス領域共同研究拠点（基盤共同研究）
	東北大学金属材料研究所	複合ナノ酸化物の磁気構造の SQUID 顕微鏡観察	
固体化学	高ｴﾈﾙｷﾞｰ加速器研究機構	μSR による複合ナノ酸化物の磁気構造の観察	科研費
	分子科学研究所	超伝導/半導体複合化合物の磁気構造の解明	科研費
	国立研究開発法人物質・材料研究機構	酸化亜鉛薄膜の誘導放出機構の解明	科研費
	国立研究開発法人物質・材料研究機構	超伝導/強磁性体複合化合物の磁気構造の解明	科研費
	電気通信大学	金属錯体の構造および物性の評価	科研費
	明治薬科大学	イオン液体のゲル化剤の開発	科研費
	東京工業大学	複合機能性金属錯体の光応答の評価	
	岡山理科大学	機能性金属錯体のｽﾍﾟｸﾄﾛｽｺﾋﾟｰ	
	九州大学先導物質化学研究所	機能性金属錯体の分子軌道計算	
	慶應義塾大学	機能性金属錯体のﾒｽﾊﾞｳｱｰｽﾍﾟｸﾄﾙの評価	
	大阪大学	機能性金属錯体の薄膜評価	
	大阪産業大学	ﾒﾀﾛｾﾝ系物質の合成と構造評価	科研費
	学内（分子ﾌｫﾄ）	スイッチング特性を有する金属錯体のテラヘルツ ESR による磁気特性評価	科研費
溶液化学	福井県立大学	ﾌﾙｵﾗｽ溶媒/水界面でのｲｵﾝ移動ｷﾞﾌﾞｽﾞｴﾈﾙｷﾞｰの非ﾎﾞﾙﾝ型溶媒和ﾓﾃﾞﾙによる解析	科研費
	学内（物性物理化学分野）	非ﾎﾞﾙﾝ型溶媒和ﾓﾃﾞﾙを用いる油水界面での吸着反応の理論ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ	科研費
	学内（海事科学研究科）	ｻｲｸﾘｯｸﾎﾞﾙﾀﾝﾒﾄﾘｰによる抗酸化物質の反応解析	
有機反応化学	松谷化学工業株式会社	希少糖の合成と生物活性研究	松谷化学工業株式会社
	味の素ｾﾞﾈﾗﾙﾌｰﾂﾞ株式会社	ｺｰﾋｰの未解明成分の合成と生物活性研究	味の素ｾﾞﾈﾗﾙﾌｰﾂﾞ株式会社
	学内（反応物理化学分野）	ｶﾙﾊﾞｿﾞｰﾙを母体とする光触媒の光物性評価	
	学内（反応物理化学分野）	ｶﾙﾊﾞｿﾞｰﾙ－連結分子の分子内電荷移動状態のﾀﾞｲﾅﾐｸｽ	
	株式会社ナティアス	核酸連続生産装置の開発	Go-Tech 事業
有機分子機能	AGC 株式会社	含ﾌｯ素ｶｰﾎﾞﾈｰﾄを鍵中間体とする安全な製造ﾌﾟﾛｾｽによる高機能・高付加価値ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ材料の開発	AGC 株式会社

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

	三菱瓦斯化学株式会社	ｸﾛﾛﾎﾙﾑを原料とした非ﾌｯ素ｶｰﾎﾞﾈｰﾄ化合物の合成および、CO2 からのﾎｽｹﾞﾝ合成研究	三菱瓦斯化学株式会社
	東京化成工業株式会社	ﾊﾛﾒﾀﾝとﾊﾛｶｰﾎﾞﾝを原料とする光ｵﾝ・ﾃﾞﾏﾝﾄﾞ合成	東京化成工業株式会社
	名古屋工業大学	高機能・高付加価値ﾎﾟﾘﾏｰの開発	
	滋賀医科大学	医療材料の開発	
	大阪市立大学	機能性金属錯体の開発	
	神戸高専	高機能・高付加価値ﾎﾟﾘﾏｰの開発	
	学内（物性物理化学）	新規化合物の分子構造解析および有機化合物の構造と反応解析	

(2) 国際共同研究の記録

表3－(2). 国際共同研究の記録

教育研究分野	国 名	所 属 機 関	研 究 内 容	研究資金の出所
物性物理化学	ﾄﾞｲﾂ	Karlsruhe Institute of Technology	金属ﾄﾞｰﾋﾟﾝｸﾞした $NaTaO_3$ 光触媒の赤外分光計測	科研費
	ｵｰｽﾄﾘｱ	ｳｨｰﾝ大学	人工光合成光触媒の和周波分光	科研費
	中国	北京大学	氷界面の走査ﾌﾟﾛｰﾌﾞ顕微鏡計測	科研費
反応物理化学	ｱﾒﾘｶ	ｼｶｺﾞ大学化学科	EPR 法による光合成反応中心の初期電荷分離機構の解明	
	ﾄﾞｲﾂ	ﾌﾗｲﾌﾞﾙｸ大学物理化学科	ｸﾘﾌﾟﾄｸﾛﾑにおける段階的電荷分離機構の解明	
	ﾌｨﾝﾗﾝﾄﾞ	ﾀﾝﾍﾟﾚ大理工	分子内一重項分裂機構の解明	
	台湾	国立台湾科技大学化学工学部	ﾏｲｸﾛﾌﾟﾗｽﾞﾏ法を用いたﾅﾉ材料合成	
状態解析化学	台湾	国立台湾大学・凝態科学研究ｾﾝﾀｰ	分子性結晶・結晶性高分子のﾃﾗﾍﾙﾂ分光と量子化学計算	
	ｲﾝﾄﾞ	ｲﾝﾄﾞ工科大学ｶﾝﾌﾟｰﾙ校	超高速ﾚｰｻﾞｰ分光による深共晶溶媒の動的挙動と微視的構造に関する研究	学術振興会二国間交流事業
	中国	中国科学院新疆物理化学研究所	ﾃﾗﾍﾙﾂ波分光と密度汎関数理論による分子性結晶の低振動ﾓｰﾄﾞの研究	
	ﾎﾟﾙﾄｶﾞﾙ	Universidade Nova de Lisboa	乾燥環境下における植物の光防御ﾒｶﾆｽﾞﾑ	
	ﾛｼｱ連邦	ﾛｼｱ科学ｱｶﾃﾞﾐｰ	赤外光を用いる酸素発生型光合成の機構解明	
	ｵｰｽﾄﾗﾘｱ	ｼﾄﾞﾆｰ大学	赤外光を用いる酸素発生型光合成の機構解明	
固体化学	ｶﾅﾀﾞ	ﾌﾞﾛｯｸ大学	酸化還元配位子からなる金属錯体の物性に関する研究	科研費他
	フランス	サヴォア・モンブラン大学	縮退半導体の光励起ダイナミクスに関する研究	
	ﾄﾞｲﾂ	European XFEL	スピンクロスオーバー錯体の光励起構造の時間分解解析	
	ﾄﾞｲﾂ	Max Planck Institute for the Structure and Dynamics of Matter	スピンクロスオーバー錯体の光励起構造の時間分解解析	

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

	ｶﾅﾀﾞ	ﾄﾛﾝﾄ大学	スピンクロスオーバー錯体の光励起構造の時間分解解析	
	ｽﾍﾟｲﾝ	ｱ･ｺﾙｰﾆｬ大学	イオン性プラスチック結晶の研究	
生命分子化学	ﾌｨﾘﾋﾟﾝ	ﾌｨﾘﾋﾟﾝ国立大学ﾛｽﾊﾞﾆｮｽ校 Institute of Chemistry	ﾋﾄ癌抑制 101F6 ﾀﾝﾊﾟｸ質と金･銀ﾅﾉ粒子との相互作用とﾋﾄ癌細胞への効果	ﾌｨﾘﾋﾟﾝ
	台湾	国立陽明交通大学	タンパク質水溶液のﾚｰｻﾞｰ照射効果の解析	
	ｱﾒﾘｶ	ｶﾘﾌｫﾙﾆｱ工科大学ﾍﾞｯｸﾏﾝ研究所	ﾀﾝﾊﾟｸ質ﾌｫｰﾙﾃﾞｨﾝｸﾞの速度論的解析	
	ｱﾒﾘｶ	サンノゼ州立大学	ヘムタンパク質の光誘起電子移動反応による鉄還元活性解析	
	オーストラリア	オーストラリア国立大学	低分子分子シャペロンの抗凝集効果の解析	
	エジプト	ポートサイド大学	インスリンおよびヒトアミリンのアミロイド線維形成機構の解析	
有機分子機能	中国	内蒙古医科大学 ﾓﾝｺﾞﾙ医薬学院	ﾓﾝｺﾞﾙ薬の研究開発と社会利用	
	中国	内蒙古医科大学 付属病院	機能性色素分子の開発と医薬および環境化学への応用	
	中国	内蒙古医科大学 薬学院	(1)機能性色素分子の開発 (2)内蒙古の鉱物を用いる有機合成法の開発	
	中国	内蒙古師範大学	内蒙古の鉱物を用いる有機合成法の開発	
	中国	内蒙古工業大学	ﾚｱｱｰｽを用いる機能性材料の開発	
	中国	内蒙古大学	機能性分子の構造解析	
	中国	内蒙古科学技術大学	機能性色素分子およびﾏﾃﾘｱﾙの開発及びﾚｱｱｰｽを用いる C1 化学反応の開発	
	中国	内蒙古農業大学	ﾌｯ素材料による環境汚染の化学的検出と除去技術の開発	
	ｴｽﾄﾆｱ	Tallinn University	機能性ｷﾗﾙ超分子ﾏﾃﾘｱﾙの開発	
	中国	四川大学	機能性超分子の開発	
	中国	梯希愛（上海）化成工業発展有限公司	機能性材料の開発	梯希愛（上海）化成工業発展有限公司

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

(3)学術集会の開催

表3－(3). 学術研究集会開催の記録

学術集会名 （種類）	主催者/ 共同主催者 （所属機関）	場所	時期	参加人数 （外国人参加者数）	主な発表者、招待講演者名（所属）
光合成ｾﾐﾅｰ2022：反応中心と色素系の多様性 （ｾﾐﾅｰ）	秋本誠志、大岡宏造（阪大）、大友征宇（茨城大）ほか	オンライン	2022. 6. 25	80	
周波数変調原子間力顕微鏡による液中大気中の界面水のその場計測 （界面科学コロキウム）	大西洋	理学研究科 Z302 講義室	2022. 11. 1	15	荒木優希（金沢大学）
光物質変換をささえる分光計測 （界面科学コロキウム）	大西洋	理学研究科 Y202 講義室	2022. 12. 14	20	立川貴士（神戸大学）、山方啓（岡山大学）
第 13 回 関西 6 研究室合同研究会 （研究発表会・セミナー）	津田明彦/ 前田大光（立命館大）、羽村 季之（関西学院大）、福原学（東京工業大）、沼田宗典（京都府立大）、甲元 一也（甲南大）	WEB 開催	2022.9.26-27	72	津田明彦、参加学生全員
産学共同研究 成果報告会 （研究報告会議）	津田明彦他	WEB 開催（計 4 回）	2022.5.2 2022.6.14 2022.8.29 2022.10.19	5	津田明彦
クロロホルムを原料とする光オン・デマンドホスゲン化反応 （実用化会議）	津田明彦 他	東京研究所	2022.12.1-2	10	津田明彦
日中国際共同研究月例報告会「機能性材料の開発」	津田明彦/額爾敦(内蒙古医大)	WEB 開催		10	津田明彦、額爾敦、杜艳青、梁凤英(内蒙古医科大)他
含フッ素カーボネートを鍵中間体とする安全な製造プロセスによる高機能・高付加価値ポリウレタン材料の開発 （JST A-STEP 月例報告会）	津田明彦/ 岡添隆（AGC）	WEB 開催（計 4 回）	2022.4.4 2022.4.11 2022.6.30 2022.10.31	2	津田明彦
池田泉州銀行 第 23 回ニュービジネス助成金 「オープンイノベーション賞」 （実用化会議）	池田泉州銀行	池田泉州銀行 本店	2022.3.16	4	津田明彦、島田かおり（神戸大）、デロイトトーマツ ベンチャーサポート

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

(4)雑誌編集委員

表3－(4). 学術雑誌編集員

氏名	雑誌名	期間
内野隆司	Journal of Materials Science: Materials in Electronics	14. 3.1 - 継続中
大西 洋	e-Journal od Surface Science and Nanotechnology 編集委員	17.4.1 - 継続中
	Surface Science Report, Commisionning Editor	19.1 - 継続中
小堀康博	Scientific Reports/Nature Publishing Group	17.9.1 - 継続中
高橋一志	近畿化学工業界「きんか」誌	14. 3. 1 - 継続中
	Inorganics	17.9.1 - 継続中
茶谷絵理	Biochimica Biophysica Acta Proteins and Proteomics	13.1.29- 継続中
	Journal of Biochemistry	22.1.1- 継続中

(5)研究支援体制

2022年度は、(1)スタッフの表にあるように、学術研究員として2名、理学研究科研究員として2名、理学研究科研究協力員として2名を受け入れた。

(6)個別研究活動の記録

“個別研究活動の記録”として別紙を作成。

(7)社会的な講演

表3－(7). 社会的な講演の記録

氏　名	講 演 題 目	集 会 名	日　時	場　所
秋本誠志	学校設定科目「創造応用Ｉ」	兵庫県立兵庫高校	22.6.15～23.2.22	兵庫県立兵庫高校
大西 洋	半導体光触媒をもちいた人工光合成反応のオペランド計測	日本オプトメカトロニクス協会	22.10.11	オンライン
	実用表面分析セミナー2022 特別講演	実用表面分析セミナー2022	22.11.17	
立川貴士	研究成果に関しての講演	Huazhong University of Science and Technology	22.11.29	オンライン
	Hematite-based mesocrystals for photoelectrochemical solar fuel production	Institute of Engineering & Management	22.12.17	オンライン
松原亮介	「薬ってどうやって開発するの？」「脱炭素社会を正しく知ろう」	「宮水学園」サイエンス講座	22.6.10～22.7.1	宮水学園

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

(8)学会賞等

表3－(8)．学会賞等受賞の記録

氏　名 (指導教員名)	受 賞 研 究 題 目 等	賞　名	授 賞 団 体 名
松下結依 大西洋(共同研究者)	蛍光一分子観察法の固体-有機溶媒界面における分子挙動観察への応用	第 53 回(2022 年秋季)応用物理学会講演奨励賞	応用物理学会
木村建次郎	財務上の貢献	令和 4 年度神戸大学学長表彰	神戸大学
小堀康博	財務上の貢献	令和 4 年度神戸大学学長表彰	神戸大学
立川 貴士	財務上の貢献	令和 4 年度神戸大学学長表彰	神戸大学
	異種金属添加光触媒ヘマタイトメソ結晶の STEM 分析	令和 4 年度 秀でた利用成果 優秀賞	文部科学省マテリアル先端リサーチインフラ
津田明彦	ハロカーボンを原料とする光オンデマンドポリマー合成法の開発	高分子学会三菱ケミカル賞	高分子学会
	社会貢献	令和 4 年度神戸大学学長表彰	神戸大学
	サポート企業 有限責任監査法人トーマツ／デロイト トーマツ ベンチャーサポート株式会社	第 23 回ニュービジネス助成金 オープンイノベーション賞	池田泉州銀行
松原亮介	優れた授業・教育方法を評価	令和 4 年度前期全学共通教育ベストティーチャー賞	神戸大学
井上亮汰 (持田智行)	ハーフサンドイッチ型錯体からなる柔粘性イオン結晶の合成と熱物性	ポスター賞	先端膜工学研究推進機構
王 哲 (秋本誠志)	クロロフィル d 型シアノバクテリアの光質応答とその多様性	第 11 回サイエンスフロンティア研究発表会優秀発表賞	神戸大学
岸川優菜 (田村厚夫)	レアメタルと相互作用する環状ペプチドの人工設計	第 95 回日本生化学会大会若手優秀発表賞	日本生化学会
高本和也 (富永圭介)	Solvent Effects on Intramolecular Charge Transfer Dynamics of 9-Aryl Carbazole Studied by Ultrafast Transient Absorption Spectroscopy	37th international Conference on Solution Chemistry ベストポスター賞	INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY
田代愛佳 (内野隆司)	縮退半導体薄膜中におけるフェルミエッジ異常吸収の観察	日本セラミックス協会関西支部学術講演会 優秀学生講演賞	日本セラミックス協会
中明育 (内野隆司)	Mg/MgO/MgB2 複合化合物の超伝導特性に及ぼす構造および組成の効果	日本セラミックス協会 秋季シンポジウム 優秀講演賞	日本セラミックス協会
仲絢香 (木村哲就)	二重スピンラベル ESR 分光法を用いた ABC トランスポーター BhuUV-T の ATP 結合状態の解析	第 22 回日本蛋白質科学会年会学生口頭発表賞	日本蛋白質科学会
平井綾華 (木村建次郎)	マイクロ波散乱場-生体断層映像化法における最表面吸着物質の影響に関する研究	学術変革領域「散乱・揺らぎ場の包括的理解と透視の科学」 第 4 回領域会議ポスター発表優秀賞	神戸大学

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

Lou Serafin Lozada (富永圭介)	Low-frequency spectra of dried and hydrated montmorillonite studied by THz-TDS: structural formation of confined water	FTT 2022 Student Best Presentation Award	FTT 2022

(9) 著書数・査読論文数・講演数（国際・国内）の記録

表3-（9）. 著書数・査読論文数・講演数（国際・国内）の記録（2022.4－2023.3）
（*分子フォトサイエンス研究センター、+数理・データサイエンスセンター）

	著　書　数	査読付論文数	MISC 件数	国内学会発表数	国際学会発表数
秋本誠志				7(1)	
内野隆司				26(2)	2(2)
枝　和男		3		1	1
大西　洋		1	1	14 (4)	6(3)
*笠原俊二				7	4
+木村建次郎	1	1		17(13)	3(1)
木村哲就	1			16(3)	1(1)
*小堀康博		10	2	11	6(4)
*立川貴士		6	2	10(3)	2(2)
高橋一志		1		8	1
田村厚夫				6	
茶谷絵理		4		22(8)	8(3)
津田明彦		5		1(1)	
*富永圭介		1			
林　昌彦				3	
松原亮介		6		6(2)	1
持田智行	1	6	1	11(1)	2(1)
和田昭英				2	

（招待講演の内数を括弧内に記載）

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

個別研究活動の記録（2022年度）

目次

1. 物理化学講座 2

1－1. 分子動力学 2

［１］ 和田 昭英 2

［２］ 笠原 俊二 5

1－2. 物性物理化学 7

［３］ 大西 洋 7

［４］ 木村 建次郎 11

［５］ 枝 和男 13

1－3. 反応物理化学 15

［６］ 小堀 康博 15

［７］ 立川 貴士 20

2. 無機化学講座 23

2－1. 固体化学 23

［８］ 持田 智行 23

［９］ 内野 隆司 26

［10］ 高橋 一志 30

2－2. 状態解析化学 32

［11］ 富永 圭介 32

［12］ 秋本 誠志 34

3. 有機化学講座 36

3－1. 有機反応化学 36

［13］ 林 昌彦 36

［14］ 松原 亮介 38

3－2. 生命分子化学 40

［15］ 田村 厚夫 40

［16］ 茶谷 絵理 42

［17］ 木村 哲就 46

3－3. 有機分子機能化学 49

［18］ 津田 明彦 49

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

1. 物理化学講座

1－1. 分子動力学

［１］ 和田 昭英

課題１：反応解析・制御のための新規分光技術の開発 －光反応経路ネットワークの俯瞰的観測－

現代社会の抱える環境問題やエネルギー問題を解決するための一つの柱として、太陽光の利用が挙げられる。その中でも太陽光を用いた光化学反応は、太陽電池や光触媒・人工光合成など現在の人類の抱える問題を解決する技術の根幹を為すものである。これら太陽光を利用する技術において、その光化学過程の反応メカニズムに関する知見はエネルギー生産の高効率化や可視光領域の利用といったエネルギー生産性の向上につながる重要な役割を果たす。これら光化学システムの理解で有効な研究手法の一つとして、超高速分光法による反応追跡が挙げられる。この手法では、フェムト秒～ピコ秒の超短パルス励起で生じた光化学的イベントを同程度の時間幅のプローブパルスを使って観測することで、光化学反応経路上の励起状態や反応中間体などを実時間で観測していくことが可能である。しかし、この手法は単色光励起によって生じた光化学的イベントの観測に特化した手法である。一方、太陽光利用技術では太陽光という白色光をエネルギー源としており、そこでは波長の異なる光による光励起が様々な経路で多段階で進行していることが予想される。

本課題では、単色多段階の励起過程や多色励起で並列に同時進行する様々な多段階励起反応をターゲットとしており、そのようなネットワーク状の光化学反応経路網の全体像を俯瞰して観測し，理解することを目的としている。具体的には、単色レーザー光を用いた単色の多段階反応や，複数のレーザー光やフラッシュランプなどから得られる紫外可視白色光を用いた多色励起によって進行する多色多段階の光化学的イベントを、１光子過程に限らず２光子過程や３光子過程を励起光波長選択的に観測する様々な手法の開発を行っている。

１．フーリエ変換型多段階反応観測システムの作製

これまでの測定システムでは、ファブリー・ペロー干渉計を用いた２色レーザー励起による交差項（２色の光が関与した光反応励起経路）の選択的な観測や，タンデム型ファブリー・ペロー干渉計で白色光励起における多色多段階励起の選択的観測を行ってきた。しかし，実験・検証を進めるに従い，これらのシステムにはいくつかの改善すべき問題点が浮き彫りになった。その一つとして，①ファブリー・ペロー干渉計の持つ特性により，変調波形に正確な正弦波からのズレが生じる点がある。そのため，交差項の選択的検出は実現できても高次項（単色光が複数回関与した多段階光反応励起経路）の選択的な観測は困難であった。もう一つの問題点として，②ファブリー・ペロー干渉計の位相制御の問題がある。ファブリー・ペロー干渉計では，干渉計に用いている鏡の位置をピエゾ素子を使ってナノメートルオーダーで制御する必要があるが，周囲の温度変動やピエゾ素子のドリフトの影響で十分な鏡の位置再現性が得られず，正確な位相を決めることが困難であった。さらに，③ピエゾ素子の位置分解能安定性が不十分なため，励起光の波長によっては３段以上の高次項を観測するのは困難である。

本研究では，以上で述べた三つの問題点について，以下の改善を行った。ファブリー・ペロー干渉計の代わりに変調波形が正弦波となるマイケルソン干渉計や、回転ステージに回転型のNDフィルターを組み合わせた変調システムを組み込むことで、光定常状態における異性体分子種の吸光度変化を測定するシステムを構築した。本研究で得られた高次項は、反応経路のモデルに依存せずに、変調励起の応答に含まれる高調波成分から一意に決定される。そのため、今後未知の反応経路を持つサンプルに対してもモデルに依存せずに測定が可能であると考えている。そしてp-アミノアゾベンゼンの強度変調励起によ

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

る応答をフーリエ変換して応答に含まれる高調波成分を抽出することでサンプル由来の高次項の観測に成功した。また、得られた高調波成分の解析方法はモデル計算を行うことで、その解析理論の妥当性を確認した。

ファブリー・ペロー干渉計の代わりに作製した変調器を図1(a)と(b)に示してある。(a)は３段以上の高次の項も観測可能にするために，マイケルソン干渉計を斜入射型にして，鏡の移動方向と光路を直角からずらすことで光路差分解能を上げた。(b)は回転ステージにより回転型NDフィルターの角度を制御して，透過光強度を所定の強度に設定して変調を行った。図2に変調器で得られる励起光の変調スペクトルを示してある。(a)は従来使用していたファブリー・ペロー干渉計で得られる励起光強度の変調スペクトルで，基本波（741THz，405nm）に加えて1480THzと2220THz付近にそれぞれ2倍波と3倍波のピークが観測されてしまっている。４倍波以上はピエゾ素子の位置分解能と安定性が不十分なために観測できていない。一方，(b)に示したスペクトルは斜入射型マイケルソン干渉計で得られる変調スペクトルで基本波以外の高次のピークは観測されていない。これはマイケルソン干渉計による変調が正弦波になることによる。(c)は回転型NDフィルターを用いて正弦波的変調を行った場合に得られる変調スペクトルである。基本は意外に２倍波と３倍波の場所に非常に弱いピークが認められる。これは変調を行う際に用いる回転角に対する透過光強度の検量線が，実際の透過光強度の間にわずかながらズレがあることが原因である。なお，(c)だけピークの線幅が広いのは，(a)や(b)に示したスペクトルに対応する変調に比べて変調回数が少ないことによるもので，本質的な問題ではない。

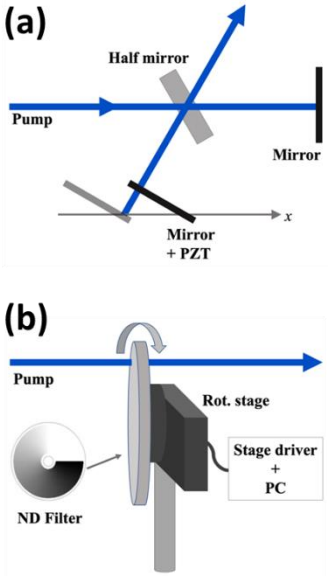


図 1.1. (a)斜入射型マイケルソン干渉計，(b)回転型 ND フィルター式変調器

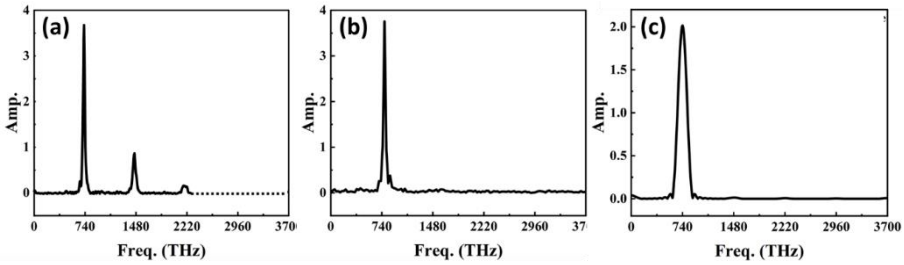


図 1.2. 各変調器で得られる励起光の変調スペクトル。(a)ファブリー・ペロー干渉計，(b)斜入射型マイケルソン干渉計，(c)回転型 ND フィルター式変調器

２．p-アミノアゾベンゼン(AAB)の光異性化反応の解析

作製した変調器のうちで回転型NDフィルター式変調器を使って単色多段階光反応の解析を行った。試料は405nm光照射でtrans-cis間で両方向の光異性化を起こすp-アミノアゾベンゼン(AAB)のメタノール溶液を用いた。その光異性化反応の解析を行った結果を図1.3に示す。この図では405nm励起光の強度を変えた場合の応答スペクトルの変化が示されている。図より，基本波(740THz)に加えて5次項(3700THz)までピークが観測されている。図2では，励起光由来の高次項は無視できることから，観測された高次項は全てAABの光反応に起因する信号である。励起強度によっては5次項まで観測されているということは，すなわち，光が関与する過程が5回存在することを意味している。この結果は，熱力学的に不安定なcis体がメタノール溶液中では約1秒の寿命を持っていることから，光の強度によってはその約1秒間で光異性化により5回以上trans体

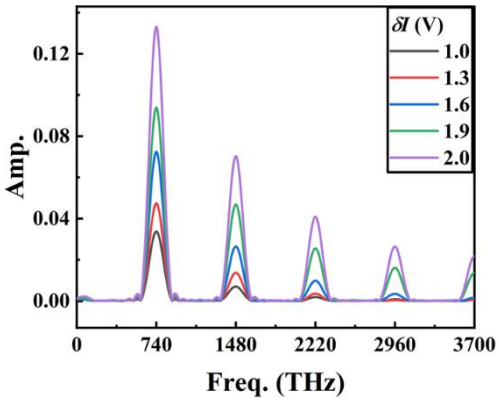


図 1.3. 405nm 光照射における AAB の応答スペクトルの励起光強度依存性

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

とcis体の間を行き来していることを意味している。

課題2：Temperature Programmed Analysis of Kinetics (TPAK)法を用いた異性化反応の観測

反応を特徴づける量の一つとして活性化エネルギーが挙げられる。この特徴量を求める手段の一つとして、アレニウスプロットが用いられる。しかし、アレニウスプロットを得るには複数の温度で寿命（反応速度）を測定する必要があるため、時定数が数分から数時間またはそれ以上の長い反応系では時間がかかるうえに、測定中の温度変動による誤差が生じ得る。本研究ではアゾベンゼン誘導体の一種であるアミノアゾベンゼン（AAB）の熱異性化反応について、TPAKという手法で1度の測定でアレニウスパラメーターを測定することを試みた。

一般に、1次反応の反応速度式と、そこに含まれる速度定数はアレニウス式を使ってそれぞれ（1）式と（2）式のように書ける。

（1） $\frac{\mathrm{d}n(t)}{\mathrm{d}t} = -k(t)n($

（2） $k(t) = A\exp\left[-\frac{E_a}{RT}\right]$

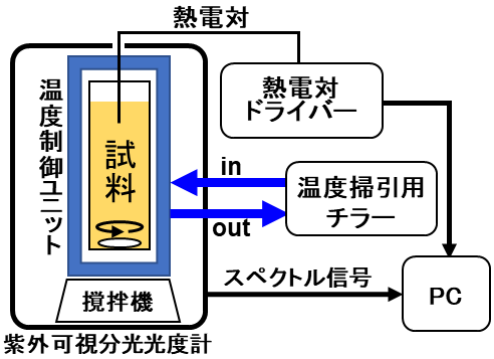


図 2.1. TPAK 測定システム

反応に要する時間が長い場合は、右図の様に温度を変えながら反応の進み具合と同時に温度もモニターすることが可能になる。その場合、反応物（または生成物）の時間変化 $n(t)$ を時間の関数と同時に温度の関数としても観測することが可能になる。その結果、次式で表されるように、一回の測定でアレニウスプロットを得ることができる。

$$\log\left[-\frac{1}{n(t)}\frac{\mathrm{d}n(t)}{\mathrm{d}t}\right] = \log k(t) = \log A - \frac{E_a}{R}\frac{1}{T(t)} \quad \rightarrow \quad (3)\ \log k(T) = \log A - \frac{E_a}{R}\frac{1}{T}$$

また、（3）式よりプロットの点が温度をモニターした数だけ打つことが可能になるので、数10点から数100点のプロットを打てるようになる。このことはプロットの点数が疎らだった従来の方法では見出すことが難しかった頻度因子や活性化エネルギーの温度依存性も見いだせる可能性がある。今回の測定では試料としてp-アミノアゾベンゼン（AAB）のジメチルスロホキシド（DMSO）溶液に関して，水を微量添加がAAB異性化反応の変化に及ぼす影響について検討した。AAB/DMSO系は熱異性化反応の時定数が約2時間になる系である。この系のアレニウスプロットをTPAKを用いて2時間で観測した結果を図2.2に示す。この図では青点で示したプロット数は480点あり，ほぼ連続的に見えている。赤線が線形フィットである。このように点の数が多量のアレニウスプロットが得られることから，直線フィットにおける誤差を小さくすることが可能であり，水の微量添加によるわずかの変化をTPAKでは検出することができることが期待される。

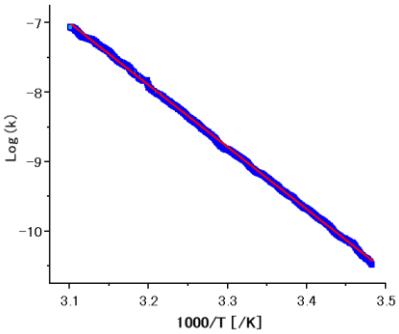


図 2.2 TPAK で得られた AAB の

図2.3に，AAB/DMSO系に水を添加（3mol%～）した場合のアレニウスパラメーターの変化を示してある。図より，活性化エネルギー、頻度因子ともに同じように5mol%まではほとんど一定で7.5mol%を境にどちらも減少傾向を示した。しかし，活性化エネルギーは反応を早める方に、頻度因子は反応を遅くする方に変化していいる。そこで，これらのパラメーター値から予測される寿命を求めたところ，5mol%まではほとんど一定で7.5mol%を境に減少傾向を示した。寿命が減少しているという事は

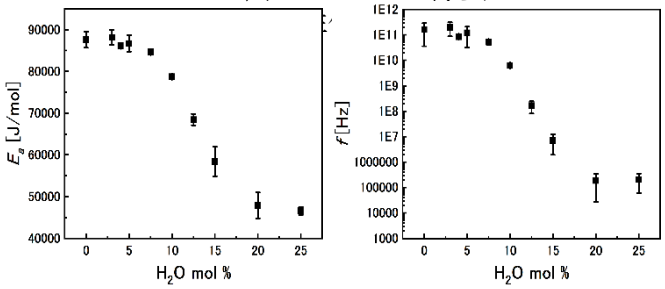


図 2.3 AAB の熱異性化反応が示す水の添加効果。（左図）活性化エネルギー，（右図）頻度因子

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

活性化エネルギーの変化の影響の方がより大きいことを示している。

【学会発表】※下記の順で記載

発表タイトル 講演者 会議名 発表年月 発表言語 発表形態 開催地 国内・国際区分

1. 昇温反応法による時間オーダーの寿命を持つ熱異性化反応のアレニウスパラメータの測定
瀬古勇次，和田昭英 光化学討論会 2022年9月 日本語 ポスター発表 京都大学 国内
2. サイン波強度変調励起によるp-アミノアゾベンゼンの多段階励起反応過程の観測と解析
福田開，和田昭英 光化学討論会 2022年9月 日本語 ポスター発表 京都大学 国内

［２］ 笠原 俊二

課題：高分解能レーザー分光による励起分子の構造とダイナミックスの解明

単色性の良いレーザー光を用いた超高分解能レーザー分光では、従来の分光器やパルスレーザーによる分光法では得られない高分解能な分光研究が可能であり、分子の励起状態について詳細な情報を得ることが期待できる。本研究では高エネルギー分解能性を活用して励起状態を電子・振動・回転準位まで分離して観測する点と、観測したスペクトル線の絶対波数を0.0001 cm^{-1}（有効数字9桁）の高い精度で計測することが大きな特徴である。高分解能ゆえに、個々のスペクトル線の微小な線型・線幅・強度などの変化を観測することが可能となり、これらの変化を通して状態間相互作用を理解することにより、励起状態の寿命・分子内エネルギー移動、分子の光解離反応等の動的挙動・ダイナミックスを発見・解明することが期待できる。

(1) 可視光領域における NO_2 ラジカルの高分解能レーザー分光

NO_2 ラジカルは大気化学において重要な反応中間体として知られ、大気におけるオゾンバランスや酸性雨の原因物質として環境科学や大気化学の分野で興味深い分子である。また、NO_2 は水と同様な折れ曲がった構造をもち、レナー・テラー効果といった振電相互作用が生じるために、状態間相互作用を解明する上で学術的にも興味深い系である。これまでに数多くの研究がなされているが、本研究では高分解能であることを生かして超微細相互作用による微小な回転線の変化から状態間相互作用を捉えようとするものである。可視領域に存在する A-X 電子遷移について数多くの振電バンドの観測を行うとともに、超微細分裂に特徴のある 16200 cm^{-1} 付近のバンドついて分子定数や相互作用の定数を決定し、スペクトル線の分裂の異常などから回転準位に局所的な相互作用を見出した。さらに、窒素同位体 $^{15}NO_2$ についての分光も行い、超微細分裂の観測から励起電子状態である A 状態の超微細構造定数を初めて決定した。

(2) アセトアルデヒドの高分解能レーザー分光： 分子内大振幅振動に関する研究

メチル基の内部回転をもつ基本的な分子として、アセトアルデヒドの高分解能レーザー分光を行った。遷移強度が小さいため、これまでの報告例では強度を重視して分解能がやや低いスペクトルが観測されていたが、スペクトル線の微細な分裂を観測するには分解能が不十分であった。本研究では分子線を利用したサブドップラー分光法でのスペクトルの検出感度の向上と紫外レーザーの高出力化により、高分解能スペクトルの検出に成功した。観測されたスペクトルはこれまでの報告例より分解能が一桁向上していることを確認できた。回転構造の解析において、回転定数が異常な値になった振電バンドについて、メチル内部回転と水素原子の面外振動におけるトンネル効果によるエネルギー分裂の考察から物理的な意味のある回転定数を得ることに成功した。
また、高分解能ゆえに、これまでに発見されていない回転準位の局所的なエネルギーの乱れとスペクトル線の

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

分裂を新たに見出すことに成功した。現在、その原因となる相互作用について考察を進めている。

(3) *trans*-スチルベンの高分解能レーザー分光：分子の異性化と構造に関する研究

励起状態で *cis-trans* 転移が起こることが見出されているスチルベン分子について $S_1 \leftarrow S_0$ 遷移の高分解能蛍光励起スペクトルの観測を行った。S_1 状態の蛍光寿命が短いため回転線は完全に分離していないがシミュレーションとの比較により励起状態および基底状態のそれぞれの分子定数を見積もることに成功した。その結果、基底状態で平面構造と考えられていた *trans*-スチルベン分子が 2 つのベンゼン環がお互いにややツイストしている構造である可能性が示唆された。このことは、理論計算からも支持されている。0-0 バンド以外にも 2 つの振動励起状態の振電バンドの観測も行い、シミュレーションによる回転構造の解析を行いつつあり、分子構造に関してさらなる確証を得ようとしている。

(4) ジベンゾチオフェンの高分解能レーザー分光：重原子効果によるスピン軌道相互作用の検証

ジベンゾチオフェンはダイオキシン類の基本骨格の一つであるジベンゾフランの酸素原子を硫黄原子に置換したものであり、分子構造や励起状態ダイナミックスの解明は重要である。特に、S 原子の重原子効果によるスピン-軌道相互作用の寄与から三重項状態との相互作用（項間交差）の影響が期待されるため、高分解能スペクトルによる磁場効果の観測が期待されていた。そこで、本研究では、ジベンゾチオフェンの $S_1 \leftarrow S_0$ 遷移の 0-0 バンドの高分解能スペクトルの観測を行った。回転構造は観測されたものの、S_1 状態の蛍光寿命が短いためにスペクトル線の線幅が大きく、数本の回転線が重なり合ったスペクトルが観測された。シミュレーションとの比較から分子定数を見積もることに成功した。さらに、外部磁場によるスペクトルの変化の観測も行ったが、1 T の高磁場下でもスペクトルに変化は見られなかった。このことから S_1 状態において項間交差はあまり大きくないことが明らかとなった。

【学会発表】※下記の順で記載

発表タイトル 講演者 会議名 発表年月 発表言語 発表形態 開催地 国内・国際区分

1. High-Resolution Laser Spectroscopy of S1←S0 transition of Acetaldehyde

K. Nakajima,S. Kasahara,A. Shimizu,R. Taniguchi,M. Baba

37th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics 2022 年 6 月 英語 口頭発表（一般） 東北大学 国際

2. High-Resolution Laser Spectroscopy of S1←S0 transition of trans-stilbene

A. Shimizu,K. Nakajima,S. Kasahara,M. Baba,N. Nakayama

37th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics 2022 年 6 月 英語 ポスター発表 東北大学 国際

3. High-resolution laser Spectroscopy of the S1←S0 transition of acetaldehyde

K. Nakajima,S. Kasahara,A. Shimizu,R. Taniguchi,M. Baba

2022 International Symposium on Molecular Spectroscopy 2022 年 6 月 英語 口頭発表（一般） オンライン 国際

4. High-resolution laser spectroscopy of S1←S0 transition of trans-stilbene: nonplanar structure in the ground state A. Shimizu,K. Nakajima,S. Kasahara,M. Misono,M. Baba

2022 International Symposium on Molecular Spectroscopy 2022 年 6 月 英語 口頭発表（一般） オンライン 国際

5. 単一モード紫外レーザーによるアセトアルデヒドの高分解能分光

谷口凜，中島康輔，清水陽，笠原俊二 ,馬場正昭

第 16 回分子科学討論会 2022 年 9 月 日本語 ポスター発表 慶応義塾大学 国内

6. NO2 ラジカル A-X 遷移 16200 cm-1 領域の高分解能レーザー分光

笠原俊二，乗井一帆，南出歩果，多田康平

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

第 16 回分子科学討論会 2022 年 9 月 日本語 口頭発表（一般） 慶応義塾大学 国内
7. 単一モード紫外レーザーによるジベンゾチオフェンの高分解能レーザー分光
細見一輝, 笠原俊二, 馬場正昭
第 16 回分子科学討論会 2022 年 9 月 日本語 ポスター発表 慶応義塾大学 国内
8. 高分解能レーザー分光による trans-スチルベンの S1←S0 遷移の研究
清水陽, 笠原俊二, 馬場正昭, 中山尚史
第 16 回分子科学討論会 2022 年 9 月 日本語 口頭発表（一般） 慶応義塾大学 国内
9. アセトアルデヒドの S1←S0 遷移の高分解能レーザー分光：S1 状態における大振幅振動
谷口凜, 中島康輔, 清水陽, 笠原俊二, 馬場正昭
第 22 回分子分光研究会 2022 年 11 月 日本語 口頭発表（一般） 東京理科大学 国内
10. trans-スチルベンの S1←S0 遷移の高分解能レーザー分光
清水陽, 笠原俊二, 馬場正昭, 中山尚史
第 22 回分子分光研究会 2022 年 11 月 日本語 口頭発表（一般） 東京理科大学 国内
11. NO2 ラジカルの A-X 遷移の高分解能レーザー分光
笠原俊二, 乗井一帆, 南出歩果, 多田康平
第 22 回分子分光研究会 2022 年 11 月 日本語 口頭発表（一般） 東京理科大学 国内

１－２. 物性物理化学

［３］ 大西 洋

大西はクロスアポイントメント制度を利用して自然科学研究機構分子科学研究所の教授を2021年11月から5年間兼任して「有限の厚さをもつ固液界面のオペランド分子科学研究」を推進している。兼任比率は本学75：分子科学研究所25である。ここでは神戸大学と分子科学研究所でおこなった研究を一括して報告する。

研究課題：人工光合成光触媒のダイナミクス研究

光触媒は結晶内部で吸収した光のエネルギーを励起キャリア（電子と正孔）に変えて、表面に存在する反応中心へ伝達し、物質変換（酸化還元反応）に利用する人工的なデバイスである。光触媒の開発研究において現在日本は世界をリードする立場にある。これからも世界をリードし続けるために、新しい光触媒の開発を支える知的基盤を構築する責務が基礎科学研究者に課されている。本研究室では光触媒にドーピングした金属カチオンの効果に注目した研究を進めている。太陽光による水素燃料生成をめざして光触媒となる無機材料の探索がすすめられ、物質変換効率は20年前には考えられなかったほど高い水準に達した。たとえば$NaTaO_3$（バンドギャップ4 eVの半導体）をアルカリ土類金属元素などで適切にドーピングし助触媒を添加すると50%を超える量子収率で純水を分解し水素と酸素を発生する。よりバンドギャップが狭い（すなわち光励起した電子の反応性が低いはずの）$SrTiO_3$をアルミニウムでドーピングすると100%近い高収率で水を分解できることも報告された。しかし、依然としてドーパントが電子-正孔再結合反応や励起電子輸送におよぼす役割を演繹的に説明することができず、ゆえにドーパント添加の効果を予見できない。

本専攻反応物理化学分野の小堀康博教授・分子科学研究所の長坂将成助教・早稲田大学の浦上浩輝助教を研究分担者に加えた科学研究費基盤研究（A）「人工光合成をめざす半導体光触媒:オペランド計測によるミリ秒反応化学の解明」を本年度スタートさせた。光触媒が放出する溶存酸素（O_2）をマイクロ電極を使って従来

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

比1000倍の速度で検出する独自の計測法を使って$SrTiO_3$光触媒と$NaTaO_3$光触媒の酸素生成反応を比較する研究を目下進めている。分子科学研究所の放射光施設（UVSOR）において、光触媒の電子励起状態を軟エックス線吸収分光によって計測評価する研究をはじめた。神戸大学内に整備した赤外-近赤外-可視光の吸収を測定するATR分光装置とあわせて、赤外光（波長10 μm）から軟エックス線（波長2 nm）までの吸収スペクトルを計測する体制を整えつつある。

ウィーン大学（オーストリア）のEllen Backus教授らとのあいだで、日本人研究者の派遣をともなう国際共同研究を推進するために、一國伸之教授（千葉大学）・丸山伸吾准教授（東北大学）・橘田晃宜主任研究員（産業技術総合研究所）・長嶋宏樹助教（埼玉大学）を分担者とする研究プロジェクトを国際共同研究強化（B）の支援のもと本年度まで実施した。東北大学において酸化マグネシウム結晶ウェハにチタン酸ストロンチウム($SrTiO_3$)薄膜をパルスレーザー蒸着した。作製した薄膜を大西と丸山がウィーン工科大学へ持参して液体水との界面に生じる化学種の振動スペクトルを和周波分光(SFG)で観測する計画をたてたが、COVID-19による渡航制限のため、薄膜をウィーンへ送ってBackus教授らに測定を依頼せざるをえなかった。 測定結果をまとめた原著論文の草稿を作成中である。

タンタル酸カリウム($KTaO_3$)結晶にストロンチウムカチオン（Sr^{2+}）またはランタンカチオン（La^{3+}）をドーピングして人工合成光触媒のモデルを構築した。ドーピングしたカチオン周辺の原子構造を蛍光エックス線ホログラフィーを用いて決定し、ペロブスカイト構造をとる$KTaO_3$結晶格子のなかでSr^{2+}とLa^{3+}が占有するサイトを解析した成果を原著論文として発表した。

日本学術振興会外国人特別研究員として2020年3月まで受け入れていたHanggara Sudrajat博士は母国インドネシアを代表する国立研究機関（National Research and Innovation Agency）に招聘されsenior researcherに就任した。Sudrajat博士とのあいだの共同研究は帰国後も順調に進展しており国際共著論文1報を今年度発表した。

研究課題：潤滑油界面の分子論的理解

カンチレバーの共鳴振動数変化を検出する方式の原子間力顕微鏡（FM-AFM）を用いて、顕微鏡探針にはたらく力をピコニュートンの精度で計測すると、固体表面の凹凸像ばかりでなく、固体に接する液体の微視的構造を明らかにできる。潤滑油の機能を分子スケールで理解するために、固液界面の力学応答を計測するFM-AFMの特徴を活かす可能性を探索した。この研究はFM-AFMの産業応用を拓くという視点から（株）島津製作所と共同で進めている。

さらに広い視野から潤滑界面を研究するために、単一分子蛍光追跡を潤滑油中で実施するためのフィージビリティスタディを手老龍吾准教授（豊橋技術科学大学）・平山朋子教授（京都大学）・天野健一准教授（名城大学）・松本拓也講師（本学工学研究科）と共に科学研究費挑戦的研究（萌芽）の支援を得て実施している。生体膜の計測評価手法としてこれまでもっぱら水溶液中でおこなわれてきた単一分子蛍光追跡を潤滑油研究のツールとして活用することが目的である。

2022年度には、前年度までに計測した顕微鏡動画から蛍光単一分子による点発光を識別し、その数変化を定量的に再現するための数理モデルを複数構築した。潤滑油(有機溶媒)に溶解する蛍光マーカー化合物としてこれまで使用してきたBODIPY系化合物は焼尽(励起光照射によって蛍光マーカー化合物が壊れてしまうこと)がおこりやすい欠点があった。焼尽しにくいスピロビフルオレン系化合物をチーム内で有機化学合成して、蛍光顕微鏡による計測を進めた。

第53回（2022年秋季）応用物理学会においてチーム研究の成果「蛍光一分子観察法の固体−有機溶媒界面における分子挙動観察への応用」を筆頭著者として登壇口頭発表した松下結依（豊橋技術科学大学大学院

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

生）が講演奨励賞を受賞した。受賞者本人の精進に加えて、水中生体膜の計測評価に使われてきた蛍光一分子観察を潤滑油研究に転用しようとする本研究の挑戦性が肯定的に評価されたものと喜んでいる。

【発表論文】※下記の順で記載

論文タイトル　著者名　誌名　巻（号）頁　出版年月　記述言語　査読有無　種別

1. $KTaO_3$ Wafers Doped with Sr or La Cations for Modeling Water-Splitting Photocatalysts: 3D Atom Imaging around Doping Cations

Akira Sasahara, Koji Kimura, Hanggara Sudrajat, Naohisa Happo, Kouichi Hayashi, Hiroshi Onishi

最終・責任著者 The Journal of Physical Chemistry C 126 (46) 19745-19755 Nov-22 英語 有 学術論文

2. Infrared and Near-Infrared Spectrometry of Anatase and Rutile Particles Bandgap Excited in Liquid

Zhebin Fu, Hiroshi Onishi

最終・責任著者 The Journal of Physical Chemistry B 127 (1) 321-327 Jan-23 英語 学術論文

【MISC】※下記の順で記載

タイトル　著者名　誌名　巻（号）頁　出版年月　記述言語　査読有無　種別

1. 自己紹介および今後分子研で展開したい研究について

大西洋 筆頭・最終・責任著書 分子研レターズ　19-20 2022年9月 日本語 無 記事

【学会発表】※下記の順で記載

発表タイトル 講演者 会議名 発表年月 発表言語 発表形態 開催地 国内・国際区分

1. Semiconductor Photocatalysts for Artificial Photosynthesis: Operando Characterization under Water

Hiroshi Onishi　Seminar at RIKEN 2022年4月 英語 シンポジウム・ワークショップ パネル（指名） 国際

2. 水中拡散する酸素のマイクロ電極による時間分解検出

大西洋　神戸大学先端膜工学研究センター第4回成果発表会 2022年7月 日本語 シンポジウム・ワークショップ パネル（指名） 神戸大学 国内

3. Infrared absorption of semiconductor photocatalysts excited under water: operando study with an ATR prism

Zhebin Fu, Hiroshi Onishi　12th International Conference on Environmental Catalysis (ICEC2022) 2022年7月 英語 口頭発表（招待） シカゴ 国際

4. AFM imaging;of highly efficient semiconductor photocatalysts for artificial photosynthesis;SrTiO;wafers doped with aluminum cations

Kyohei Matsui, Hiroshi Onishi　The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22) 2022年9月 英語 ポスター発表 札幌 国際

5. Scanning Electrochemical Microscopy for Time-Resolved Detection of O2 Released on Semiconductor Photocatalysts under Water

Takumu Kosaka, Daichi Hosokawa, Meguru Murakami, Hiroshi Onishi　The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22) 2022年9月 英語 ポスター発表 札幌 国際

6. Fluorescence Single Molecule Observation Applied to the Interface between Organic Solvent and Solid Substrate

Yui Matsushita, Satoki Kubota, Takuya Matsumoto, Ken-ichi Amano, Tomoko Hirayama, Hiroshi Onishi, Ryugo Tero

The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22) 2022年9月 英語 ポスター発表 札幌 国際

7. 電子スピン共鳴法を用いたチタン酸ストロンチウム光触媒におけるキャリアの励起電子構造の解明

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

付哲斌，平井琢也，婦木正明，小堀康博，大西洋　第16回分子科学討論会 2022年9月 日本語 ポスター発表 横浜 国内

8. 蛍光一分子観察法の固体-有機溶媒界面における分子挙動観察への応用

松下結依，窪田智樹，松本拓也，大西洋，天野健一，平山朋子，手老龍吾　第83回応用物理学会秋春季学術講演会 2022年9月 日本語 口頭発表（一般） 東北大 国内l

9. 潤滑油中におけるガラス基板近傍の蛍光一分子観察：反応速度論による考察

梶田龍希，天野健一，松本拓也，手老龍吾，平山朋子，大西洋

第73回コロイドおよび界面化学討論会 2022年9月 日本語 ポスター発表 広島大学 国内

10. 水中で定常光励起した酸化チタン光触媒の光吸収：ATRプリズムを用いた赤外－近赤外分光

付哲斌，大西洋　第130回触媒討論会 2022年9月 日本語 口頭発表（一般） 富山大学 国内

11. アルミニウムドーピングによるチタン酸ストロンチウムの表面構造変化

松井恭平，大西洋　第130回触媒討論会 2022年9月 日本語 ポスター発表 富山大学 国内

12. タンタル酸ナトリウム光触媒から生成する溶存酸素のマイクロ電極による検出

細川大地，村上環，大西洋　第130回触媒討論会 2022年9月 日本語 口頭発表（一般） 富山大学 国内

13. 半導体光触媒をもちいた人工光合成反応のオペランド計測：溶存酸素の高速検出とダイアモンドプリズムを用いた光学分光

大西洋　日本オプトメカトロニクス協会第2回フォトンテクノロジー技術部会 2022年10月 日本語 シンポジウム・ワークショップ パネル（指名） 東京都 国内

14. Application of FM-AFM

Masato Hirade, Shiho Moriguchi, Akinori Kogure, Hideo Nakajima, Hiroshi Onishi　ALC’22 2022年10月 英語 口頭発表（招待） 沖縄県 国際

15. 半導体光触媒のオペランド界面計測：ダイアモンドプリズムを用いた光学分光と溶存酸素の高速検出

大西洋　実用表面分析セミナー2022 2022年11月 日本語 シンポジウム・ワークショップ パネル（指名） 神戸大学 国内

16. 水中で定常光励起した半導体光触媒の赤外－近赤外分光：ダイアモンドATRプリズムを用いたオペランド計測

付哲斌，大西洋　表面界面スペクトロスコピー2022 2022年12月 日本語 口頭発表（一般） 愛知県 国内

17. 水中ですすむ触媒反応のオペランド計測：光触媒の事例

大西洋　第445回触媒科学研究所コロキウム 2023年2月 日本語 公開講演 北大 国内

18. 蛍光一分子観察法による金属-有機溶媒界面における分子挙動観察松下結依

手老龍吾，山下直輝，平山朋子，天野健一，松本拓也，大西洋　第70回応用物理学会春季学術講演会 2023年3月 日本語 口頭発表（一般） 上智大学 国内

19. 酸化チタンに吸着したピバル酸の液中全反射赤外分光計測

付哲斌 大西洋　第131回触媒討論会 2023年3月 日本語 ポスター発表 神奈川大学 国内

20. アルミニウムをドープしたSrTi;単結晶面のAFM計測

松井恭平,大西洋　日本化学会第103春季年会 2023年3月 日本語 口頭発表（一般） 東京理科大学 国内

【受賞】※下記の順で記載

賞名称 受賞者 受賞対象 授与機関名 受賞区分 受賞年月 国内国外区分

1. 第 53 回（2022 年秋季）応用物理学会講演奨励賞

松下結依 蛍光一分子観察法の固体-有機溶媒界面における分子挙動観察への応用 応用物理学会 2022 年

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

［４］ 木村 建次郎

研究項目：散乱理論・散乱イメージング理論の構築

我々が導いた散乱場理論は、単に理論上の美しさや新しさというだけではなく実用上もコンピュータソフトウエアの基礎として優れた数学的アルゴリズムを生み出すために役立った。観測結果から瞬時に正確な3次元再構成画像を計算できるので画像計測分野への応用が計り知れない。2022年度は、散乱場理論に多重散乱問題を組み込む研究を実施した。2 次以上の多重反射を、先に述べた散乱場の偏微分方程式の4種類の基本解を組合わせて表現する。4つの基本解を合成して多重散乱を表現することから、多重散乱を考慮した逆解析を行うためには領域の境界全体での散乱波の観測結果が必要になることは明らかである。散乱場の基本解は 4 種類あるが、複素共役の関係にある解も含まれるので、独立に考えるべきは 3 種類である。これらの値を観測結果から決定するためには2つの後方散乱と前方散乱による計測が必須である。3次元領域での多重反射を考慮した逆散乱解析は、これまで数学的に困難とされる問題となっており、散乱場理論を用いて逆散乱問題の解を与える本研究が当該分野で最初のことである。今後の研究としては、これまでの成果を踏まえて、工学的見地において重要な映像化理論の確立を進めていく。具体的には、有限の広さをもつ波動送信領域、受信領域が設定され、これを観測器とした場合、観測器が観測対象空間内の、選択した領域に波動を照射し、その領域内での散乱逆問題を解く理論の構築を進める。さらに、波動の伝搬において減衰著しく、透視が困難な観測対象において、静的もしくは準静的な場を用いた映像化理論の研究を行い、工学的限界を組み込んだ普遍的な理論体系の確立を行う。

【発表論文】※下記の順で記載

論文タイトル　著者名　誌名　巻（号）頁　出版年月　記述言語　査読有無　種別

1. Development of multistatic scattering field theory and actualization of microwave mammography
Kenjiro Kimura, Ayaka Hirai, Akari Inagaki, Yoshiharu Nakashima, Takayoshi Yumii, Noriaki Kimura　筆頭著者 JSMI Report 15 (2) 17-24 Apr-22 日本語 有 研究論文（学術雑誌）

2. 乳癌のマイクロ波診断
木村建次郎，平井綾華，稲垣明里，中島義晴，弓井孝佳，木村憲明　筆頭著者 乳癌診断 state of arts、化学に基づく最新診療　252-256 Sep-22 日本語 無

3. マイクロ波マンモグラフィ
木村建次郎　筆頭・最終・責任著者 臨床放射線、金原出版 67 (12)　Nov-22 日本語 無

4. 蓄電池発火の画像診断～安全な次世代蓄電池の普及に向けて～
木村建次郎　筆頭・最終・責任著者 OplusE 44 (6) 558 Dec-22 日本語 無

5. Inverse Scattering Problem and Microwave Mammography
Kenjiro Kimura, Ayaka Hirai, Kai Yabumoto, Akari Inagaki, Yoshiharu Nakashima, Takayoshi Yumii, Noriaki Kimura, Yutaka Konishi, Koji Okamoto, Tomonari Kunihisa, Seung Jin Kim, Kazuhiko Yamagami, Shintaro Takao, Hirokazu Tanino　筆頭著者 Screening and Risk Reduction Strategies for Breast Cancer　163-175 Feb-23 英語 論文集(書籍)内論文

6. 蓄電池内部電流密度分布映像化技術の開発
松田聖樹，鈴木章吾，美馬勇輝，木村憲明，木村建次郎　責任著者 バッテリーマネジメント　137-143 Feb-23 日本語 無

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

7. Scattering Field Theory in Medium with Dielectric Dispersion

Kenjiro Kimura, Noriaki Kimura　筆頭著者 X線EUV結像光学ニューズレター 55　Mar-23 英語

【学会発表】※下記の順で記載

発表タイトル 講演者 会議名 発表年月 発表言語 発表形態 開催地 国内･国際区分

1. 散乱イメージング理論とマイクロ波マンモグラフィの原理

木村建次郎　第 123 回日本医学物理学会学術大会 教育講演 2022 年 4 月 日本語 口頭発表（招待）パシフィコ横浜 国内

2. Multi-static scattering field theory and next-generation breast cancer diagnostic imaging technology

Kenjiro Kimura　International Symposium on Comprehensive Understanding of Scattering and Fluctuated Fields and Science of Clairvoyance 2022 年 4 月 英語 口頭発表（招待）Pacifico Yokohama（hybrid）国際

3. 多重経路逆散乱理論の探求と次世代非破壊画像診断技術の開発

木村建次郎　凌霜会「神戸凌霜午餐会」講演 2022 年 5 月 日本語 口頭発表（招待）湊川神社楠会館 国内

4. Development of subsurface magnetic field imaging system for visualizing electric current distribution inside electronic components and storage batteries.

Kenjiro Kimura, Yutaro Nishimura, Hideaki Okada, Kai Yabumoto, Takamasa Sato, Takao Mizutani, Seiju Matsuda, Akari Inagaki, Shogo Suzuki, Yuki Mima, Noriaki Kimura　the 241st ECS Meeting, Symposium: A02: Lithium Ion Batteries 2022 年 5 月 英語 口頭発表（一般）Vancouver, BC, Canada 国際

5. 波動散乱の逆問題とマイクロ波マンモグラフィ

木村建次郎, 平井綾華, 稲垣明里, 中島義晴, 弓井孝佳, 木村憲明　第 121 回日本皮膚科学会総会 2022 年 6 月 日本語 口頭発表（招待）国立京都国際会館 国内

6. 38 億人を救う数式

木村建次郎　特別講義 2022 年 6 月 日本語 公開講演 兵庫県立長田高等学校 国内

7. 乳房脂肪組織の誘電特性評価とマイクロ波マンモグラフィにおける乳房標準試料の開発

稲垣明里, 平井綾華, 木村建次郎, 谷野裕一, 尾信太郎, 山神和彦, 岡本交二, 國久智成, 美馬勇輝, 中島義晴, 弓井孝佳, 木村憲明　第 30 回日本乳癌学会学術総会 2022 年 7 月 日本語 口頭発表（招待）パシフィコ横浜ノース 国内

8. 蓄電池内部電流密度分布映像化技術の開発

木村建次郎, 松田聖樹　第 62 回電気化学セミナー 2022 年 7 月 日本語 口頭発表（招待）神戸大学 国内

9. Inverse problem of wave scattering and microwave mammography

Kenjiro Kimura　市民フォーラム, New fusion of Mechanical Engineering and Informatics 2022 年 8 月 英語 口頭発表（招待）名古屋大学 国内

10. 波動散乱逆問題の解析解とマイクロ波マンモグラフィの実現

木村建次郎　情報通信国際交流会 2022 年 9 月 日本語 口頭発表（招待）東京, 学士会館 国内

11. 散乱場理論と透視技術

木村建次郎, 松田聖樹, 鈴木章吾, 美馬勇輝, 稲垣明里, 弓井孝佳, 木村憲明　日本分析化学会第 71 年会, 溶液反応化学研究会懇談会 2022 年 9 月 日本語 口頭発表（招待）岡山大学 国内

12. 成長機会としての日本の社会課題 ～ヘルスケア領域で期待されるベンチャー・イノベーション～

木村建次郎　京都大学オンラインセミナー 2022 年 10 月 日本語 口頭発表（招待）京都大学 国内

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

13. Next-generation pre-shipping quality control system using electric current distribution visualizing technology Kenjiro Kimura, Hideaki Okada, Yutaro Nishimura, Takao Mizutani, Kohei Yoshinari, Seiju Matsuda, Shogo Suzuki, oriaki Kimura　battery safety summit 2022 年 10 月　英語　口頭発表（一般）オンライン　国際
14. 磁性体材料を含む蓄電池における非破壊電流密度分布計測
木村建次郎，岡田英明，松田聖樹，西村祐太郎，水谷天勇，鈴木彰吾，美馬勇輝，木村憲明
第 63 回電池討論会　2022 年 11 月　日本語　口頭発表（一般）オンライン　国内
15. みえない世界をみる理論
木村建次郎　リコー講演会　2022 年 11 月　日本語　口頭発表（招待）RICOH BIL Tokyo　国内
16. 波動散乱逆問題の解析解とマイクロ波マンモグラフィの実現
木村建次郎　第 44 回 R＆D エグゼクティブ交流会　2022 年 12 月　日本語　口頭発表（招待）経団連会館　国内
17.「みる」ことの普遍的な数理　ー100 年ぶりの発見ー
木村建次郎　神大技術職員研修（web）2023 年 3 月　日本語　口頭発表（招待）オンライン　国内
18. マイクロ波マンモグラフィによる健常女性乳房内の誘電率勾配分布計測
稲垣明里，平井綾華，木村建次郎，高尾信太郎，佐久間淑子，田根香織，廣利浩一，金昇晋，結縁幸子，松本元田代敬，山神和彦，岡本交二，犬伏祥子，國久智成，谷野裕一，弓井孝佳，中島義晴，木村憲明
第 70 回応用物理学会春季学術講演会　2023 年 3 月　日本語　口頭発表（一般）上智大学　国内
19. 磁場逆解析に基づく非破壊鉄筋腐食検査技術の開発
岡田　英朗，松田,聖樹，鈴木,章吾，弓井,孝佳，木村,憲明，木村　建次郎
第 70 回応用物理学会春季学術講演会　2023 年 3 月　日本語　口頭発表（一般）上智大学　国内
20. 弾性波散乱場断層映像化技術の開発
薮本　海，弓井　孝佳，木村憲明，木村　建次郎，上野　宗孝
第 70 回応用物理学会春季学術講演会　2023 年 3 月　日本語　口頭発表（一般）上智大学　国内

【書籍等】※下記の順で記載

タイトル　担当区分　著者名　出版社・発行元　出版年月　記述言語　査読有無　種別

1. 波動散乱逆問題の解析解とマイクロ波マンモグラフィの実現　単著　木村建次郎　學士會会報　Jul-22　日本語

【受賞】※下記の順で記載

賞名称　受賞者　受賞対象　授与機関名　受賞区分　受賞年月　国内国外区分

1.　令和 4 年度学長表彰　木村建次郎　神戸大学　2022 年 10 月

［５］ 枝 和男

課題：物質創製と新機能性物質合成法の開発

研究活動まとめ

1)　新規ヘテロポリオキソメタレートの開発

本研究は，持続可能なエネルギー社会の実現などに資する高機能な触媒技術の開発を目指し，多電子移動が可能な骨格拡張型閉殻ヘテロポリオキソタングステートを開発するため，イオン半径が大きく電荷の小さなヘテ

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

ロカチオンが閉じ込められた骨格拡張型閉殻ヘテロポリオキソタングステート構造を構築する原理を確立することを目的としている。そのため本年度の研究では，①イオン半径が大きく電荷の小さなヘテロカチオンが閉じ込められた新規の骨格拡張型閉殻ヘテロポリオキソタングステート W18 の安定性とそれらの閉殻ヘテロポリオキソタングステートの骨格拡張反応に適したビルディング・ブロック構造の探索および②①の結果に基づいてイオン半径が大きく電荷の小さなヘテロカチオンが閉じ込められた閉殻ヘテロポリオキソタングステートにおける骨格拡張反応の経路探索についての第一原理計算を進めた。その結果、①についての安定なビルディング・ブロック構造の特定や，そのビルディング・ブロックの生成反応に及ぼす誘電率の効果などについて明らかにするとともに，②についても一部の系で真空条件での骨格拡張型閉殻ヘテロポリオキソタングステート W18 の形成反応の最小エネルギー経路を見出すことに成功した。

2) 新規イソポリオキソメタレートの開発

最近プロトンを閉じ込めた Keggin 型イソポリオキソタングステートが非常に良い水素酸化触媒になることが示されている。このため、我々は新たな Keggin 型イソポリオキソタングステートやその骨格拡張型の新規イソポリオキソタングステートの開発を目指して、③プロトンが閉じ込められた骨格拡張型閉殻イソポリオキソタングステート W18 の安定性とそれらの骨格形成反応に適したビルディング・ブロック構造の探索および④③の結果に基づいてプロトンが閉じ込められた閉殻イソポリオキソタングステートにおける骨格拡張反応の経路探索についての第一原理計算を進めると共に⑤昨年度の第一原理計算を用いた研究でその存在の可能性が明らかになった新規の Keggin 型イソポリオキソタングステートを実実験で合成する方法の検討を行った。その結果、③については昨年度の第一原理計算を用いた研究でその存在の可能性が明らかになった新規の Keggin 型イソポリオキソタングステートがプロトンの閉じ込められた新規の骨格拡張型閉殻イソポリオキソタングステート W18 の形成に有用であることが明らかになるとともに、④についても一部の系で真空条件での骨格拡張型閉殻イソポリオキソタングステート W18 の形成反応の最小エネルギー経路を見出すことに成功した．また，⑤では昨年度の第一原理計算の研究で存在の可能性が示された新規の Keggin 型イソポリオキソタングステートを実際に実実験で合成できる可能性を示す結果を得ることもできた．

3）共同研究

学内外を問わず様々な研究者と共同研究を進め，X 線回折を用いて薄膜試料、単結晶試料、粉末結晶試料のの構造情報の提供を行った。それにより学会での発表や論文としての成果に繋げることができた。

【発表論文】※下記の順で記載

論文タイトル　著者名　誌名　巻（号）頁　出版年月　記述言語　査読有無　種別

1. Keggin 型ポリオキソタングステートの合成経路に関する研究

Kai ISHIGAMI, Toshiyuki OSAKAI, Takahito NAKAJIMA, Kazuo EDA　最終・責任著者

Journal of Computer Chemistry, Japan 21 (4) 85-86 Dec-23 日本語 有 研究論文（学術雑誌）

2. Stereoisomer-dependent conversion of dinaphthothienothiophene precursor films

Nobutaka Shioya, Masamichi Fujii, Takafumi Shimoaka, Kazuo Eda, Takeshi Hasegawa

Scientific Reports 12 (1)　Dec-23 英語 有 研究論文（学術雑誌）

3. Reactivity and Product Selectivity of Fluoroalkyl Carbonates in Substitution Reactions with Primary Alcohols and Amines　Shuto Hatsumura,Yuka Hashimoto,Sasuga Hosokawa,Akihiro Nagao,Kazuo Eda,Hirofumi Harada,Kei Ishitsuka,Takashi Okazoe,Akihiko Tsuda　J. Org. Chem.　Aug-23 英語 有 研究論文（学術雑誌）

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

【学会発表】※下記の順で記載

発表タイトル 講演者 会議名 発表年月 発表言語 発表形態 開催地 国内・国際区分

1. Keggin 型ポリオキソタングステートの合成経路に関する研究

石上 快, 大堺 利行, 中嶋 隆人, 枝 和男 日本コンピュータ化学会 2022 年秋季年会 2022 年 11 月 日本語 口頭発表（一般） 信州大学 国内

2. Low-frequency spectra of dried and hydrated montmorillonite studied by THz-TDS: structural formation of confined water Lou Serafin, M. Lozada, Feng Zhang, Alvin Karlo,G. Tapia, Michitoshi Hayashi, Kazuo Eda, Keisuke Tominaga FTT2022 The Third International Symposium on Frontiers in THz Technology 2022 年 11 月 英語 口頭発表（一般） 福井 国際

１－３. 反応物理化学

［６］ 小堀 康博

課題 1: 光合成光化学系 II 反応中心の初期電荷分離構造と低振動揺らぎ運動の解析

植物由来の PSII 試料について当研究室で開発した電子スピン分極イメージング法を用いて、X バンドおよび Q バンド時間分解電子スピン共鳴法で得られた三重項スピン分極信号を空間方向に投影する画像解析を行い、初期電荷分離状態の電荷再結合速度定数と立体構造に対する温度効果を調べた。さらに交換相互作用の揺らぎによって生じるスピン緩和速度に対するマイクロ波周波数の依存性を詳細に解析した。タンパク質内部の低振動揺らぎによる位相緩和について、異方的効果も考慮した Redfield 理論による解析を行った結果、1)スピン格子緩和より、0. 1 ナノメータ程度の電荷の変位がピコ秒領域の時間間隔で起きていること、2）タンパク質内部における分子運動による 10 mT 程度の交換相互作用のゆらぎ効果が実証された。この揺らぎ効果について検証するため、電子スピン-核スピン交差緩和による核スピン分極生成効果の検討を行った。

課題 2: ベンゾポルフィリン誘導体–フラーレン混合薄膜の光電荷解離機構の解明

電子受容性と移動性に優れた有機半導体 PCBM と、高い位置規則性を有するベンゾポルフィリン BP 誘導体などの共役系低分子材料との複合薄膜について光励起により生成する電荷分離状態の立体構造、電子的相互作用とその電荷ダイナミクスを時間分解電子スピン共鳴法により明らかにした。BP 誘導体による混合薄膜では、高結晶性を示すポリマー材料である P3HT:PC70BM 系に比べ、低分子型太陽電池材料でも熱活性化で光電荷移動状態におけるクーロンポテンシャルの束縛を乗り越えることが可能で、長距離電荷解離が起こることが分かった。この立体構造の詳細を電子スピン分極イメージング法によって明らかにした。BP 誘導体の芳香環が積層する方向のフォノン効果が有効となって、長距離電荷分離が起こることが明らかになった。振動に起因するフォノン効果は亜鉛配位の BP 誘導体の方が有利であり、一次元的解離に対するエントロピー増大を引き出す重要な役割を果たす。一方で BP 誘導体では、一次元的な長距離電荷分離が起こるものの、この状態からの電荷再結合過程が優勢である。これらの効果によって、クーロンポテンシャルの障壁や電荷再結合効果による光電流および電圧の低下を引き起こす潜在的な性質を持つと結論した。さらに、一次元的な解離過程は、BP 結晶性構造体での正孔によるホッピング伝導によること、その伝導に対する電子的相互作用は、分子ゆらぎで増強されていることが特徴づけられた。

課題 3: フラビン酵素クリプトクロムの段階的電荷分離過程の観測

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

シグナル伝達に関与すると考えられているアフリカツメガエル由来クリプトクロムの光照射により生成する光電荷分離状態の時間分解電子スピン共鳴スペクトルに対する温度効果の精密解析を行った。低温領域で得られたスペクトルは、双極子間相互作用(*D*)やスピン交換相互作用(*J*)が高温の系よりも増大したスピン相関ラジカル対として解釈することができるため、$FAD^{-\bullet}$ W400 W377 $W324^{+\bullet}$の前駆体である近距離電荷分離状態 $FAD^{-\bullet}$ W400 $W377^{+\bullet}$ W324 の信号と解釈した。そこで各電荷分離状態について励起光偏光方向の効果を観測すると共に、確率 Liouville 方程式を用い S-T_0 mixing の異方性と *D* および *J* の揺らぎ運動によるスピン緩和および、不均一幅を考慮したスピン分極モデルによるスペクトル解析を行い、電荷分離状態の立体配置と電子的相互作用を決定した。測定温度 120 K で得られた信号のシミュレーション結果より、($FAD^{-\bullet}$ W400 $W377^{+\bullet}$ W324)の電荷分離において、交換相互作用(*J*)の値が時間変化とともに減少する様子が観測され、これは、W377 と W324 に挟まれた形で近傍に位置する束縛水分子の溶媒再配向による配向緩和によることが判明した。さらに、高温領域のスペクトル解析で得られた長距離電荷分離状態($FAD^{-\bullet}$ W400 W377 $W324^{+\bullet}$)電子的相互作用の値を定量した。この結果、この束縛水分子の高速揺らぎ運動に起因する電子的相互作用の増強効果により、長距離電荷分離が起こることが明らかになった。この束縛水分子の高速揺らぎ運動効果について検証するため、電子スピン-核スピン交差緩和による核スピン分極生成効果の検討を行った。

課題 4:　分子間一重項分裂による量子コヒーレンス効果の解析

ペンタセン誘導体スピンコート薄膜の光励起によって起こる一重項分裂で生成する励起五重項状態および解離励起子を時間分解電子スピン共鳴法で観測し、効率的に三重項-三重項解離が起きる機構の解明を行った。外部磁場存在下で反応中間体の磁気的性質をマイクロ波により検出する時間分解電子スピン共鳴法を用い、三重項励起子対を高温条件にて観測した。ペンタセン誘導体（TIPS-Pc）による結晶性、および非晶性をもつ固体薄膜基板をスピンコート法によって作成し、この試料に対しパルスレーザー光を照射した。これにより生成した強相関励起子対と解離三重項励起子によるマイクロ波の吸収（A）および放出（E）の信号を 100 ナノ秒の精度で検出した。このマイクロ波遷移の信号を量子論に基づき解析するための手法として、弱く相関した三重項対に対する「電子スピン分極移動モデル」を用いた。各解離三重項励起子のスピン間相互作用により弱い相関をしめす励起子対に対し、量子重ね合わせによるスピン波動関数を表した。強相関励起子対の一重項および五重項量子もつれの転送による 9 つの量子重ね合わせ状態への状態分布と量子エネルギー準位から、量子状態間に起こる 16 本のマイクロ波遷移を表し電子スピン共鳴スペクトルを解析した。この結果、得られたマイクロ波の吸収(A)と放出(E)による信号パターンが説明され、量子テレポーテーション効果が実証された。この系に対する温度効果の観測により、励起子解離に対する活性化パラメータの決定を行ったところ、熱活性化状態からの励起子解離に対する電子的相互作用が、熱活性化に対する電子的相互作用よりも大きいことがわかった。さらに、一重項励起子分裂による多重励起子生成で得られる四電子スピン量子ビット系を利用する、量子演算系の構築を目指し、導入したパルス EPR 法で照射するパルスマイクロ波を用いた制御を試みた。ペンタセンダイマーなど、種々の連結化合物で励起五重項状態や、解離 T+T 状態においてパルスマイクロ波による量子コヒーレンスの制御に成功した。金属有機構造体(MOF)においては、室温で、励起五重項に対する量子コヒーレンスが観測され、構造体特有の制限を受けたフォノン効果による構造ゆらぎが関与していることが明らかになった。

課題 5：分子内一重項分裂と分子内三重項消滅に対する分子内振動効果の解明

フェニレンユニットで連結させたペンタセンダイマーなど、種々の連結化合物の一重項分裂で生成する励起五重項状態の観測を時間分解電子スピン共鳴法により行っている。置換位置に依存する一重項分裂速度の相違に関わる電子的相互作用を特徴づけると共に、運動効果を露わに考慮した量子論モデルを新たに構築し、五

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

重項立体配置を明らかにし五重項生成機構と五重項励起子解離による三重項対生成機構を明らかにした。さらに、過渡吸収法と時間分解 EPR 法の両者で温度効果の詳細な解析を行った結果、低温領域での解離に対する熱活性化には、固体材料の分子間相互作用によるフォノン効果が役割を果たすことが実証された。また、励起子ペアの三重項性が三重項消滅を起こし、単一三重項励起子を生成させることも明らかになった。

課題 6:非フラーレン型太陽電池材料の界面電荷分離構造解析

チオフェン系 π 共役オリゴマーに電子受容性を付与したアクセプター分子の立体構造とエネルギー変換効率の関係性を明らかにするために、かさ高いスピロフルオレン構造を有する置換基を導入した TT-FehT-DCI と、スピロフルオレン構造を持たない TT-Tod-DCI に注目した。ベンゾジチオフェン構造を有するポリマー(PBDB-T)をドナーとする混合膜の時間分解電子スピン(TREPR)共鳴を観測し、電荷分離状態の構造解析を行った。スピン相関ラジカル対モデルによる解析により電荷分離構造解析を行い、2.1 nm の電荷分離距離を持つことが明らかとなった。また、TREPR スペクトルが、基板の面外方向と外部磁場とのなす角によって変化することから、この長距離電荷分離状態は、電子輸送層に対する配向性を持つことがわかった。室温での蛍光寿命測定を併用することにより、この電荷分離過程は、一重項励起子と電荷移動状態間の前駆平衡と、励起子拡散による効果で有ることが新たに分かった。

課題 7:半導体ナノ粒子による光フォトクロミック反応の機構の解明

電子スピン共鳴法により、半導体ナノ粒子の光照射で観測される電子および正孔による信号を解析した。各不対電子の電子状態と。Cu(I)を ZnS にドーピングした材料についても同様の測定を行った所、ナノ粒子表面に生成した電子および、正孔の電荷は、ナノ秒領域にて粒子間のホッピング伝導を起こしていることが明らかになった。このような粒子間の電荷移動による拡散過程が電子ー正孔間の再結合による失活を大幅に抑制しており、光フォトクロミック反応に寄与することが示された。トラップ性がさらに大きな材料についても計測を行い、光フォトクロミック反応との関連を論文にした。

課題 8:有機発光素子による熱活性化遅延蛍光に対する動的機構の解明

有機発光素子として開発されている芳香族連結分子系に対して、時間分解電子スピン共鳴分光法による励起三重項状態の観測を行った。一重項ー三重項励起子項間交差過程と逆項間交差(RISC)過程の異方性を特徴づけることにより、生成された励起三重項状態の電子密度分布と分子内面外非対称振動による逆項間交差過程の高速化が示唆された。9,9-dimethyl-9,10-dihydroacridine - adamantyl substituted 2-phenyl-1,3,5-triazine 連結分子(MA-TA)に対し、時間分解 EPR 法による計測を行った。三重項励起子や励起子ペアなどスピン多重度が高いスピン量子系は、複数スピン間の相互作用としてゼロ磁場分裂相互作用を持つ。このゼロ磁場分裂テンソルは、外部磁場に対する分子配向の影響(異方性)を有するばかりでなく、分子の配向運動による動的効果に起因し異方性に対する平均化の影響も受ける。我々はこの効果を利用した時間分解 EPR スペクトルの線形解析を行った。その結果、1) 励起子立体配置の低周波変調によるスピン軌道相互作用の増強と、2)熱活性化遅延蛍光に至る T_1-S_1 エネルギー交差のスピン副準位ダイナミクスを明らかにした。

課題 9:三重項ー三重項消滅による光アップコンバージョン機構の解明

三重項ー三重項消滅による光アップコンバージョンの超高効率化をねらいとする多重励起子の分子運動性によるスピン操作を進めている。ペンタセンダイマーでは、すでに励起子分裂後の T+T 解離状態からの戻り反応による三重項ー三重項消滅過程で生成する電子スピン分極を報告している。非フラーレン太陽電池材料とルブレ

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

ンとの混合膜で生成する電荷分離状態の電荷再結合による三重項励起子によるアップコンバージョン過程においても多重励起子の生成に起因する電子スピン分極が観測された。スペクトル線形解析を行い、励起子ホッピングによる分子配向と交換相互作用の変調によって効率的な一重項変換を経由した遅延蛍光生成機構が明らかになった。アントラセン三量体分子と単量体分子を用いた計測を比較し分子内励起子ホッピングによる光アップコンバージョンの高効率化を示す遅延蛍光が得られた。

【発表論文】※下記の順で記載

論文タイトル　著者名　誌名　巻（号）頁　出版年月　記述言語　査読有無　種別

1. Effects of the rigid and sterically bulky structure of non-fused nonfullerene acceptors on transient photon-to-current dynamics　Seihou Jinnai, Kasumi Murayama, Keisuke Nagai, Megumi Mineshita, Kosaku Kato, Azusa Muraoka, Akira Yamakata, Akinori Saeki, Yasuhiro Kobori, Yutaka Ie　責任著者 Journal of Materials Chemistry A 10 (37) 20035-20047 20047 Jun-22 英語 有 研究論文（学術雑誌）

2. Microscopic Structures, Dynamics, and Spin Configuration of the Charge Carriers in Organic Photovoltaic Solar Cells Studied by Advanced Time-Resolved Spectroscopic Methods
Kaoru Ohta, Keisuke Tominaga, Tadaaki Ikoma, Yasuhiro Kobori, Hiroko Yamada　責任著者 Langmuir 38 1781-1791 1791 Jun-22 英語 有 研究論文（学術雑誌）

3. Photochromism of colloidal ZnO nanocrystal powders under ambient conditions
Hiroki Ito, Daisuke Yoshioka, Morihiko Hamada, Tsubasa Okamoto, Yasuhiro Kobori, Yoichi Kobayashi Photochemical and Photobiological Sciences 21　1781-1791 1791 Jul-22 英語 有 研究論文（学術雑誌）

4. Diphenyldihydropentalenediones: Wide Singlet‐Triplet Energy Gap Compounds Possessing the Planarly Fixed Diene Subunit　Tomoki Nagaoka, Yasunori Matsui, Masaaki Fuki, Takuya Ogaki, Eisuke Ohta, Yasuhiro Kobori, Hiroshi Ikeda　ACS Omega 7 (44) 40364-40373 40373 Nov-22 英語　研究論文（学術雑誌）

5. Caging and photo-triggered uncaging of singlet oxygen by excited state engineering of electron donor‐acceptor-linked molecular sensors　Devika Sasikumar, Yuta Takano, Hanjun Zhao, Reiko Kohara, Morihiko Hamada, Yasuhiro Kobori, Vasudevanpillai Biju Scientific Reports 12 1 11371　Dec-22 英語 有 研究論文（学術雑誌）

6. Thermodynamic Control of Intramolecular Singlet Fission and Exciton Transport in Linear Tetracene Oligomers
Shunta Nakamura, Hayato Sakai, Masaaki Fuki, Rikuto Ooie, Fumitaka Ishiwari, Akinori Saeki, Nikolai V. Tkachenko, Yasuhiro Kobori, Taku Hasobe　責任著者 Angewandte Chemie International Edition 62 (8) e202217704　Jan-23 英語 有 研究論文（学術雑誌）

7. Dynamics and mechanism of radical formation in a highly sensitive oxime photoinitiator as revealed by time-resolved absorption and EPR measurements　Kaori Sameshima, Tomomi Kawakami, Hikaru Sotome, Masaaki Fuki, Yasuhiro Kobori, Hiroshi Miyasaka　Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 437 114479-114479 114479 Mar-23 英語 有 研究論文（学術雑誌）

8. Singlet fission as a polarized spin generator for dynamic nuclear polarization
Yusuke Kawashima, Tomoyuki Hamachi, Akio Yamauchi, Koki Nishimura, Yuma Nakashima, Saiya Fujiwara, Nobuo Kimizuka, Tomohiro Ryu, Tetsu Tamura, Masaki Saigo, Ken Onda, Shunsuke Sato, Yasuhiro Kobori, Kenichiro Tateishi, Tomohiro Uesaka, Go Watanabe, Kiyoshi Miyata, Nobuhiro Yanai　Nature Communications 14 (1) 1056　Mar-23 英語 有 研究論文（学術雑誌）

9. Nonpolymer Organic Solar Cells: Microscopic Phonon Control to Suppress Nonradiative Voltage Loss via Charge-Separated State.　Takaaki Nagatomo, Ajendra K Vats, Kyohei Matsuo, Shinya Oyama, Naoya Okamoto,

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

Mitsuharu Suzuki, Tomoyuki Koganezawa, Masaaki Fuki, Sadahiro Masuo, Kaoru Ohta, Hiroko Yamada, Yasuhiro Kobori　最終・責任著者 ACS physical chemistry Au 3 (2) 207-221 221 Mar-23 英語 有 研究論文（学術雑誌）

10. Metal-free reduction of CO2 to formate using a photochemical organohydride-catalyst recycling strategy. Weibin Xie, Jiasheng Xu, Ubaidah Md Idros, Jouji Katsuhira, Masaaki Fuki, Masahiko Hayashi, Masahiro Yamanaka, Yasuhiro Kobori, Ryosuke Matsubara　責任著者 Nature chemistry　Mar-23 英語 有 研究論文（学術雑誌）

【MISC】※下記の順で記載

タイトル　著者名　誌名　巻（号）頁　出版年月　記述言語　査読有無　種別

1. 光受容クリプトクロムによる磁気コンパス機構：タンパク質結合水のゆらぎの役割　小堀康博　細胞 Mar-23 55 (3)　45-47 日本語 無 速報，短報，研究ノート等（学術雑誌）

2. 光受容クリプトクロムによる磁気コンパス機構：タンパク質結合水のゆらぎの役割　小堀康博　アグリバイオ Mar-23　7 (4)　77-80　無

【学会発表】※下記の順で記載

発表タイトル 講演者 会議名 発表年月 発表言語 発表形態 開催地 国内・国際区分

1. Electron Spin Polarization Transfers in Charge-Separation and in Singlet Fission　Yasuhiro Kobori 5th Kanto Area Spin Chemistry Meeting (4th KASC) 2019 年 12 月 英語 口頭発表（招待） 埼玉大学 国際

2. Conformations of Exciton Pairs Associated with Spin-Entanglement Transports during Singlet Fissions　Yasuhiro Kobori　ECS Meeting 2022 年 5 月 英語 口頭発表（招待） Vancouver, CA 国際

3. Exciton Dynamics on Triplet-Triplet Annihilation Upconversion in Organic Semiconductors Revealed by Time-Resolved EPR　Tsubasa Okamoto, Seiichiro Izawa, Masahiro Hiramoto, Yasuhiro Kobori　61st Rocky Mountain Conference on Magnetic Resonance 2022 年 7 月 英語 口頭発表（一般） Denver, Colorado 国際

4. 金属有機構造体の励起子分裂による多重励起子のスピン量子操作
小堀 康博，婦木 正明，田中 健太郎，山内 朗生，君塚 信夫，笠 僚宏，恩田 健，宮田 潔志，楊井 伸浩 光化学討論会 2022 2022 年 9 月 日本語 口頭発表（一般） 京都大学 国内

5. 非フラーレンアクセプターを用いる有機薄膜太陽電池：光電荷分離構造に対するスピロフルオレン置換基導入の効果　村山加純，陣内青萌，家裕隆，小堀康博　光化学討論会 2022 2022 年 9 月 日本語 ポスター発表 京都大学 国内

6. 分子内一重項励起子分裂で生成する多重励起子の低温領域での構造変化:時間分解 EPR 法による解析
楠本 遼太，中村 俊太，婦木 正明，羽曾部 卓，小堀 康博　光化学討論会 2022 2022 年 9 月 日本語 ポスター発表 京都大学 国内

7. 9,10-ジフェニルアントラセンを用いた光アップコンバージョン材料における三重項－三重項消滅過程のスピンダイナミクス　岡本翔，小堀康博　光化学討論会 2022 2022 年 9 月 日本語 国内

8. テトラセン分子ワイヤーにおける一重項分裂で生成した三重項状態
婦木 正明，中村 俊太，酒井 隼人，羽曾部 卓，小堀 康博　2022 年光化学討論会 2022 年 9 月 日本語 ポスター発表 京都大学 国内

9. Conformation Change of Exciton Pairs: Spin-Entanglement Transport during Singlet Fissions Studied by Time-Resolved EPR　Yasuhiro Kobori　Spin Chemistry Meeting 2022 年 9 月 英語 口頭発表（一般） Northwestern Univ.

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

Evanston, IL 国際

10. Spin-Entanglement Transport during Singlet Fissions　Yasuhiro Kobori　Asia Pacific EPR/ESR Symposium 2022 年 11 月 英語 口頭発表（招待）オンライン 国際

11. ESR による非フラーレン型有機薄膜太陽電池における電荷輸送機構の解析　村山加純，小堀康博　第 61 回電子スピンサイエンス学会年会 2022 年 12 月 日本語 口頭発表（一般）熊本市民会館 国内

12. 分子内一重項励起子分裂で生成する多重励起子の低温での構造変化とその機構:時間分解 ESR 法を用いた解析　楠本 遼太，中村 俊太，婦木 正明，羽曾部 卓，小堀 康博　第 61 回電子スピンサイエンス学会年会 2022 年 12 月 日本語 口頭発表（一般）熊本市民会館 国内

13. 9,10-ジフェニルアントラセンにおける三重項―三重項消滅過程の電子スピン分極　岡本翔，小堀康博 第 61 回電子スピンサイエンス学会年会 2022 年 12 月 日本語 ポスター発表 熊本市民会館 国内

14. テトラセン分子ワイヤーにおける一重項分裂で生成した多重励起子と解離状態　婦木 正明，中村 俊太，酒井 隼人，羽曾部 卓，小堀 康博　第 61 回電子スピンサイエンス学会年会 2022 年 12 月 日本語 口頭発表（一般）熊本市民会館 国内

15. 分子ゆらぎが起こす低分子有機太陽電池の電圧損失:時間分解 EPR 法による長距離電荷再結合機構
小堀康博，長友敬晃，Ajendra Kumar Va，松尾恭平，尾山真也，岡本直也，鈴木充朗，小金澤智之，婦木正明，増尾貞弘，太田薫，山田容子　第 61 回電子スピンサイエンス学会 2022 年 12 月 日本語 口頭発表（一般）熊本市民会館 国内

16. Water Dynamics Control of Charge Separation for Magnetoreception by Cryptochrome　Yasuhiro Kobori Gordon Research Conference, Quantum Biology 2023 年 3 月 英語 口頭発表（招待）Galveston, TX 国際

17. 電子スピン共鳴法を用いた液体光アップコンバータに生成する三重項励起子のダイナミクス解析
岡本翔，小堀康博　日本化学会第 103 春季年会(2023) 2023 年 3 月 日本語 ポスター発表 東京理科大学 国内

【受賞】※下記の順で記載

賞名称 受賞者 受賞対象 授与機関名 受賞区分 受賞年月 国内国外区分

1. 学長表彰(財務貢献者) 小堀康博 学長表彰(財務貢献者) 神戸大学 2022 年 11 月

［ 7 ］ 立川 貴士

課題 1: ナノ粒子の高次構造制御による高効率光エネルギー変換系の創製

脱炭素社会の実現に向け、太陽光エネルギーを利用した CO_2 フリー水素の製造が注目されている。光触媒作用による太陽光水分解によって、水素とともに、健康や食料生産に資する有用な化成品を同時に製造できれば、より高付加価値な太陽光水素利活用システムの開発につながるはずである。

これまで、過酸化水素の生成には適していなかったヘマタイトの表面を Sn と Ti を含む複合酸化物で被覆することで、水素と過酸化水素が極めて高い効率と選択性で生成されることを見出してきた。本研究では、ドープ率を変化させた複数のヘマタイトメソ結晶を合成し、自作の顕微ラマンシステムを用いた分光測定などによってヘマタイト内部および表面酸化物層の局所構造変化についての解析を行った。ラマン測定の結果、観測されたピークの多くはヘマタイトに帰属された。一方、Sn および Ti の添加によって 660 cm^{-1} のピーク強度が増大しており、ドーパントによる構造の歪みが生じていることがわかった。700 °C で焼成することで、このピーク強度が減少したことから、ドーパントがヘマタイト表面に偏析したものと考えられる。一方、表面

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

酸化物層に帰属される明確なラマン信号は観測されなかった。この結果は、膜厚が数ナノメートル以下と薄いこと、また無秩序な構造であることが要因だと推測される。

ヘマタイトメソ結晶はソルボサーマル法によって容易に合成できるが、ドーパントの候補となる金属カチオンの選択肢（種類や組み合わせ）は無数にある。機械学習の活用により、ある原料の組み合わせにより得られる未知物質（超高活性触媒）の発見、望みの階層構造（メソ結晶の一次・二次粒径および形状、内部・表面の結晶構造）を得るための合成条件の決定が可能になり、研究者の経験と勘に頼りがちな絨毯爆撃的合成手法からの脱却が期待できる。一方、光触媒分野では機械学習を用いた材料探索がほとんど進んでいない。本年度は新たな取り組みとして、機械学習を活用した高効率光触媒の開発の一歩として、人為的ミスをできるだけ排除しうる電極作製工程を検討し、ガウス過程を用いたベイズ最適化による組成探索を行った。

課題 2　光機能性材料の合成と単一粒子発光観測

$CH_3NH_3PbI_3$ に代表される有機無機ペロブスカイトは次世代の太陽電池や発光デバイスへの応用が期待されている。これらのペロブスカイトには、水と接触することによって容易に分解してしまうという課題があったが、近年、水溶液系においてペロブスカイトが分解せず、安定に存在することが示された。この条件下ではペロブスカイトは水素生成光触媒としてはたらくが、その基礎的理解は進んでいない。そこで本研究では、単一粒子蛍光顕微鏡を用いた発光観測から、水溶液中における $CH_3NH_3PbI_3$ ナノ粒子の電荷キャリアダイナミクスの解明に取り組んだ。$CH_3NH_3PbI_3$ ナノ粒子は、前駆体が溶解した良溶媒に、貧溶媒を滴下することによって合成した。$CH_3NH_3PbI_3$ の飽和水溶液は、HI 水溶液と H_3PO_2 水溶液の混合溶液に $CH_3NH_3PbI_3$ を溶解させることで調製した。ナノ粒子をスピンコートしたガラス基板に飽和水溶液を滴下し、発光イメージングを行った。水溶液中の蛍光寿命測定から、大気中と比較して一桁から二桁程度低下することが観測された。これは、$CH_3NH_3PbI_3$ ナノ粒子に生成した電荷が、水溶液中の化学種によって捕捉されていることを示している。また、水溶液中では断続的な発光の明滅現象、いわゆるブリンキングが観測された。ブリンキングのメカニズムを明らかにするため、種々の溶液中での蛍光寿命分布を解析した結果、I_3^-と H_3PO_2 が競争的に表面吸着し、正孔を捕捉していることが示唆された。これらは、より高効率な有機無機ペロブスカイト光触媒系を構築する上で大変有益な知見である。

特定の刺激に応答し、構造・物性・反応性を瞬時に変化させる光機能性材料が近年注目されている。一方、これらの多様かつ複雑な振る舞いを支配しているメカニズムに関しては理解が十分に進んでいない。刺激を受けることによって分子・結晶構造の変化が時々刻々と起こり、同時に、発光波長や寿命などの発光特性や反応性の変化が誘起される。構造と発光特性の相関性を実験的に捉えることため、本研究では、単一粒子レベルの発光観測から、機械的刺激や酸への曝露によって引き起こされる蛍光特性変化のメカニズムを明らかにした。

【発表論文】※下記の順で記載

論文タイトル　著者名　誌名　巻（号）頁　出版年月　記述言語　査読有無　種別

1. Extension of the mechanoresponsive luminescence shift via formation of a doped organic crystal

Ryohei Yoshida, Takashi Tachikawa, Suguru Ito　責任著者 Chemical Communications 58 (48) 6781-6784 Jun-22 英語 有 研究論文（学術雑誌）

2. Tunable mechanochromic luminescence via surface protonation of pyridyl-substituted imidazole crystals

Rikuto Kubota, Yanqiu Yuan, Ryohei Yoshida, Takashi Tachikawa, Suguru Ito　責任著者 Materials Advances 3 (14) 5826-5835 Jul-22 英語 有 研究論文（学術雑誌）

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

3. HNb3O8/g-C3N4 nanosheet composite membranes with two-dimensional heterostructured nanochannels achieve enhanced water permeance and photocatalytic activity　Seiji Imoto, Keizo Nakagawa, Chechia Hu, Tomohisa Yoshioka, Takuji Shintani, Atsushi Matsuoka, Eiji Kamio, Takashi Tachikawa, Shik Chi Edman Tsang,Hideto Matsuyama　Chemical Engineering Journal 442　136254 Aug-22 英語 有 研究論文（学術雑誌）
4. Size‐Controlled Synthesis of Luminescent Few‐Atom Silver Clusters via Electron Transfer in Isostructural Redox‐Active Porous Ionic Crystals　Naoya Haraguchi, Naoki Ogiwara, Yoshitaka Kumabe, Soichi Kikkawa, Seiji Yamazoe, Takashi Tachikawa, Sayaka Uchida　責任著者 Small　Feb-23 英語 有 研究論文（学術雑誌）
5. Intricate Reaction Pathways on CH3NH3PbI3 Photocatalysts in Aqueous Solution Unraveled by Single-Particle Spectroscopy　Aito Takeuchi, Yoshitaka Kumabe, Takashi Tachikawa　最終・責任著者 The Journal of Physical Chemistry Letters 14 (10) 2565-2572 Mar-23 英語 有 研究論文（学術雑誌）
6. Solvates of a dianisyl-substituted donor-acceptor-type benzothiadiazole: mechanochromic, vapochromic, and acid-responsive multicolor luminescence　Takumi Yagi, Takashi Tachikawa, Suguru Ito　CrystEngComm 25 (16) 2379-2389 Mar-23 英語 有 研究論文（学術雑誌）

【MISC】※下記の順で記載

タイトル　著者名　誌名　巻（号）頁　出版年月　記述言語　査読有無　種別

1. 高効率ヘマタイトメソ結晶光電極の開発 ： 太陽光水素製造に向けてーDevelopment of Efficient Hematite Mesocrystal Photoelectrodes toward Solar Hydrogen Productionー特集 環境調和型セラミックスの新展開　立川 貴士 Ceramics Japan = セラミックス : bulletin of the Ceramic Society of Japan 57 (4) 230-233 Apr-22 日本語 無
2. 有機無機ペロブスカイトの単一粒子反応解析ーSingle-Particle Reaction Analysis of Organic-Inorganic Perovskites 立川 貴士　光化学 = Photochemistry : 光化学協会会誌 53 (1) 18-24 Apr-22 日本語 無

【学会発表】※下記の順で記載

発表タイトル 講演者 会議名 発表年月 発表言語 発表形態 開催地 国内・国際区分

1. 高効率・高選択的太陽光 H2O2 生成に向けたヘマタイトメソ結晶の局所構造解析　立川 貴士
第 78 回日本顕微鏡学会学術講演会 2022 年 5 月 日本語 口頭発表（招待） ビッグパレットふくしま 国内
2. 単一粒子分光法による水溶液系 CH3NH3PbI3 ナノ粒子の発光観測　立川 貴士
プラチナ構想ネットワーク地域グリーン水素分科会 2022 年 6 月 日本語 公開講演 株式会社カネカ 国内
3. Hematite-based mesocrystals for photoelectrochemical solar fuel production
竹内 愛斗, 隈部 佳孝, 立川 貴士　2022 年光化学討論会 2022 年 9 月 日本語 ポスター発表 京都大学 国内
4. 単一粒子顕微分光で観る光エネルギー・物質変換　森田 瑛人,櫻井 学,嘉部 量太,立川 貴士
2022 年光化学討論会 2022 年 9 月 日本語 ポスター発表 京都大学 国内
5. Single-Particle Approaches for Uncovering the Hidden Dynamics in Photofunctional Materials
隈部 佳孝, 立川 貴士　2022 年光化学討論会 2022 年 9 月 日本語 ポスター発表 京都大学 国内
6. 高効率・高選択的な H2O2 生成をもたらすヘマタイトメソ結晶光触媒の構造探索
西村 拓真, 隈部 佳孝, 立川 貴士　2022 年光化学討論会 2022 年 9 月 日本語 ポスター発表 京都大学 国内
7. ヘマタイトメソ結晶光電極を用いた高効率・高選択的過酸化水素生成
張 主軍, 土持 崇嗣, 伊奈 稔哲, 隈部 佳孝, 武藤 俊介, 尾原 幸治, 山田 大貴, 天能 精一郎, 立川 貴士
2022 年光化学討論会 2022 年 9 月 日本語 口頭発表（一般） 京都大学 国内
8. 水溶液系における有機無機ペロブスカイトの単一粒子発光　Takashi Tachikawa　Invited Lecture in Huazhong

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

University of Science & Technology 2022 年 11 月 英語 公開講演 オンライン 国際

9. 有機輝尽発光の反応経路探索　立川 貴士　界面科学コロキウム「光物質変換をささえる分光計測」2022 年 12 月 日本語 口頭発表（招待） 神戸大学 国内

10. 太陽光水分解を目的としたヘマタイトメソ結晶光電極の最適化　Takashi Tachikawa　International Conference on Chemical and Environmental Sciences (ICCAES) 2022 2022 年 12 月 英語 口頭発表（招待） オンライン 国際

11. 光触媒法水素発生法について　西村 拓真, 隈部 佳孝, 立川 貴士　日本化学会第 103 春季年会(2023) 2023 年 3 月 日本語 口頭発表（一般） 日本大学理工学部 国内

12. 光機能性材料の単一粒子発光-電子顕微鏡複合解析　竹内 愛斗, 隈部 佳孝, 立川 貴士　日本化学会第 103 春季年会(2023) 2023 年 3 月 日本語 口頭発表（一般） 日本大学理工学部 国内

【受賞】※下記の順で記載

賞名称 受賞者 受賞対象 授与機関名 受賞区分 受賞年月 国内国外区分

1. 令和4年度学長表彰（財務貢献）　立川 貴士　国立大学法人神戸大学 2022 年 10 月

2. 令和4年度 秀でた利用成果 優秀賞　立川 貴士, 戸澤 友和, 丸山 秀夫, 武藤 俊介
異種金属添加光触媒ヘマタイトメソ結晶の STEM 分析 文部科学省マテリアル先端リサーチインフラ 2023 年 2 月

２． 無機化学講座

２－１. 固体化学

［８］ 持田 智行

課題1：金属錯体系イオン液体の開発と物性評価

(1) フェロセン系2核錯体からなる混合原子価イオン液体の合成と性質

当研究室ではこれまで種々の単核有機金属錯体をイオン液体化してきたが、2核有機金属錯体のイオン液体化の例はない。そこで本研究では、オクタノイル基またはオクチル基を導入したビフェロセニレンをカチオンとするイオン液体を合成した。これらは混合原子価2核錯体を含むイオン液体である。これらの融点は 25～39℃であり、オクタノイル誘導体はより高融点だった。いずれも溶融後は室温で液体状態を保ち、-66～-45℃でガラス転移を示した。オクタノイル誘導体では、温度低下とともに溶媒極性（E_T^N）が著しく増加し、これは混合原子価状態がおそらく関係している。このイオン液体の電荷移動吸収帯は温度低下とともにレッドシフトを示し、これは自己ソルバトクロミズムとみなせる。

(2) Ru 含有イオン液体の光反応性

液体のイオン伝導性の外場制御は、デバイス応用の上で重要である。当研究室ではこれまでに、UV 照射および加熱によってイオン伝導度の可逆変化を示す Ru 含有イオン液体を開発してきた。本研究では、置換基による反応制御を目的として、末端にシアノ基またはジメチルアミノ基を有する Ru 含有イオン液体を合成した。後者は単独では光反応性に乏しく、これらを混合することで、反応性を制御できた。

課題2：金属錯体系イオン結晶の開発と物性評価

(1) カチオン性 Rh-cod 錯体の固体構造と物性・反応性

1,5-シクロオクタジエン（cod）配位子を持つカチオン性ロジウム錯体は、触媒として重要な有機金属化合物だが、その固体構造や熱物性に関する研究はほとんどない。ここでは$[Rh(cod)L]^+$（L = cod, C_6H_6, PhMe）をカチオンとする塩を合成し、それらの結晶構造、相転移、および反応性を調べた。SbF_6 塩ではカチオンの対称性低下

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

とともに結晶中のディスオーダーが激しくなり、なかでも PhMe 錯体はローテーター相を示した。一方、FSA 塩はより低い結晶対称性を持ち、ディスオーダーも小さかった。アレーン配位子を持つ塩は興味ある化学反応性を示した。FSA 塩は溶融に伴ってアニオン配位錯体に転換した。SbF_6 塩は単結晶—単結晶反応を通じて配位子交換を起こした。

(2) イオン液体含有配位高分子の合成・融解挙動の検討

近年、溶融する配位高分子が多数報告されているが、その溶融機構やガラス化条件については十分に解明されていない。本研究では、イオン液体成分を含む配位高分子 $[A][K\{C(CN)_3\}_2]$ (A = オニウムカチオン) を合成し、その結晶構造および溶融挙動を解明した。これらの配位高分子は、2 次元または 3 次元のアニオン性 $[K\{C(CN)_3\}_2]_n$ 骨格にオニウムカチオンが内包されたものである。これらの結晶は 73～192℃の温度で不一致融解（分解融解）を起こしてイオン液体（$[A][C(CN)_3]$）と $K[C(CN)_3]$ 微結晶からなる不均一混合物を生成し、さらに 240℃付近まで加熱すると均一な液体を形成した。これらの融点は、イオン液体成分の融点と直線的な相関があった。溶融状態からの急冷によってガラスが形成されたが、ガラス化に必要な冷却速度は物質によって大きく異なり、カチオンの柔軟性と相関があった。

【発表論文】※下記の順で記載

論文タイトル　著者名　誌名　巻（号）頁　出版年月　記述言語　査読有無　種別

1. On-demand gelation of ionic liquids using photoresponsive organometallic gelators †
Ryo Sumitani, Masamichi Yamanaka, Tomoyuki Mochida　最終・責任著者 Soft Matter 2022 (18) 3479-3486 Apr-22 英語 有 研究論文（学術雑誌）
2. Ionic liquid-containing coordination polymer: solvent-free synthesis, incongruent melting, and glass formation Tomoyuki Mochida, Yi Qiu, Yusuke Funasako, Makoto Inokuchi, Mariko Noguchi, Hiroki Fujimori, Yoshitomo Furushima　筆頭・責任著者 Chemical Communications 58 (47) 6725-6728 May-22 英語 有 研究論文（学術雑誌）
3. Thermal Properties and Solvent Polarities of Mixed-Valence Ionic Liquids Containing Cationic Biferrocenylene Derivatives　Shota Hamada, Tomoyuki Mochida 最終・責任著者 Inorganic Chemistry 61 (21) 8160-8167 May-22 英語 有 研究論文（学術雑誌）
4. Incongruent Melting and Vitrification Behaviors of Anionic Coordination Polymers Incorporating Ionic Liquid Cations Tomoyuki Mochida, Yi Qiu, Ryo Sumitani, Hironori Kimata, Yoshitomo Furushima 筆頭・責任著者 Inorganic Chemistry 61 (36) 14368-14376 Sep-22 英語 有 研究論文（学術雑誌）
5. Synthesis and Electrochemical Properties of Mixed‐Metal Triangular Complexes Based on Ferrocene‐Based Ligands and Dinuclear Arene Ruthenium Building Blocks　Ryo Horikoshi, Ryo Sumitani, Natsuko Shimooka, Tomoyuki Mochida 最終・責任著者 European Journal of Inorganic Chemistry 2022 (33) e202200453 Nov-22 英語 有 研究論文（学術雑誌）
6. Structures, Thermal Properties, and Reactivities of Cationic Rh‐cod Complexes in Solid State (cod = 1,5-Cyclooctadiene)　Ryo Sumitani, Daisuke Kuwahara, Tomoyuki Mochida 最終・責任著者 Inorganic Chemistry 62 (5) 2169-2180 Feb-23 英語 有 研究論文（学術雑誌）

【MISC】※下記の順で記載

タイトル　著者名　誌名　巻（号）頁　出版年月　記述言語　査読有無　種別

1. 有機金属錯体からなる柔粘性イオン結晶 持田智行 The Chemical Times 2023 (267) 3-8 2023 年 1 月 日本語 無

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

記事・解説

【学会発表】※下記の順で記載

発表タイトル 講演者 会議名 発表年月 発表言語 発表形態 開催地 国内・国際区分

1. Construction of Amorphous Coordination Polymers From Liquid Metal Complexes T. Mochida, R. Sumitani 8th Asian Conference on Coordination Chemistry (Hybrid Conference) 2022 年 8 月 英語 口頭発表（招待） Taipei (Hybrid Conference) 国際
2. Photo-Controlled Gelation of Ionic Liquids Using Gelator-Coordinated Ruthenium Complexes
R. Sumitani, T. Mochida, M. Yamanaka 8th Asian Conference on Coordination Chemistry (Hybrid Conference) 2022 年 8 月 英語 ポスター発表 Taipei (Hybrid Conference) 国際
3. 光でゲル化剤を放出するルテニウム錯体の開発:イオン液体ゲルの可逆形成 角谷凌，持田智行，山中正道 第 33 回配位化合物の光化学討論会 2022 年 8 月 日本語 口頭発表（一般） オンライン 国内
4. Phase Behaviors and Reactivities of Ionic Crystals Containing Cationic Rh-cod Complexes
角谷凌，持田智行，桑原大介 第 12 回イオン液体討論会 2022 年 11 月 英語 口頭発表（一般） 宮地楽器ホール 国内
5. ハーフサンドイッチ型 Ru 錯体をカチオンとする柔粘性イオン結晶の開発 井上亮汰，角谷凌，持田智行
第 12 回イオン液体討論会 2022 年 11 月 日本語 ポスター発表 宮地楽器ホール 国内
6. ビニル基を有する四級アンモニウム塩を用いた柔粘性イオン結晶の開発 中園陽介，角谷凌，持田智行
第 12 回イオン液体討論会 2022 年 11 月 日本語 ポスター発表 宮地楽器ホール 国内
7. 有機金属で創るイオン液体・柔粘性イオン結晶 持田智行 第 5 回イオン液体研究会若手の会 2022 年 11 月 日本語 口頭発表（招待） 東京農工大学 国内
8. フォトクロミズムを示す Ru 含有イオン液体の開発 島田壮人，角谷凌，持田智行
神戸大学研究基盤センター「若手フロンティア研究会 2022」2022 年 12 月 日本語 ポスター発表 神戸大学 国内
9. ビニル基を有する四級塩からなる柔粘性イオン結晶の合成と反応性 中園陽介 2022 年度先端膜工学研究推進機構春季講演会 2023 年 3 月 日本語 ポスター発表 神戸大学 国内
10. ハーフサンドイッチ型錯体からなる柔粘性イオン結晶の合成と熱物性 井上亮汰 2022 年度先端膜工学研究推進機構春季講演会 2023 年 3 月 日本語 ポスター発表 神戸大学 国内
11. Rhodium-Containing Ionic Liquid for the Solvent-Free Formation of Coordination Polymers
角谷凌，持田智行 日本化学会第 103 春季年会 2023 年 3 月 英語 口頭発表（一般） 東京理科大学 国内
12. ハーフサンドイッチ型錯体からなる柔粘性イオン結晶の結晶構造および相挙動
井上亮汰，角谷凌，持田智行 日本化学会第 103 春季年会 2023 年 3 月 日本語 口頭発表（一般）
東京理科大学 国内
13. ビニル基を有する四級塩からなる柔粘性イオン結晶の熱的性質と化学反応性 中園陽介，角谷凌，持田智行 日本化学会第 103 春季年会 2023 年 3 月 日本語 口頭発表（一般） 東京理科大学 国内

【書籍等】※下記の順で記載

タイトル 担当区分 著者名 出版社・発行元 出版年月 記述言語 査読有無 種別

1. イオン液体の実用展開へ向けた最新動向 第 2 編第 16 章第 1 節，ベイポクロミズムを示す金属錯体系イオン液体 分担執筆 持田智行 シーエムシー出版 Aug-22 日本語

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

【受賞】※下記の順で記載

賞名称 受賞者 受賞対象 授与機関名 受賞区分 受賞年月 国内国外区分

1. ポスター賞 井上亮汰，持田智行 ハーフサンドイッチ型錯体からなる柔粘性イオン結晶の合成と熱物性 2022 年度先端膜工学研究推進機構春季講演会 2023 年 3 月

［９］ 内野 隆司

課題1：縮退 ZnO 薄膜の光学過程における多体効果の観察と発現機構の解明

酸化亜鉛（ZnO）は，室温（300 K）で約 3.37 eV のバンドギャップエネルギーE_g を有する，直接遷移型Ⅱ-Ⅵ族ワイドバンドギャップ半導体である。ZnO は可視光透明性や圧電性などのセンシング特性，及び n 型導電性をを有することから，各種センサや圧電素子，太陽電池材料となる透明電極など，光・電子デバイス材料として多岐に渡る応用が期待されている。さらに，ZnO は発光デバイスの製造に広く使用されているワイドギャップ半導体である GaN と比較して，いくつかの点で優れている。それは高品位 ZnO バルク単結晶が入手可能である点，化学ドーピングによりキャリア（電子）注入が容易に行える点，励起子の結合エネルギーが 60 meV と GaN に比べて 40 meV 程度大きい点である。化学ドーピングによる ZnO へのキャリアの注入はバンドギャップ繰り込みや Burstein-Moss シフトなどを通して，ZnO のバンド構造に変化をもたらす。その結果，ZnO の励起子に由来する光学特性は，キャリア濃度に依存性して変化し，様々な電子間多体効果を示すようになる。

そこで，本研究では，Ga ドープ ZnO 薄膜を試料に用いて，n 型縮退 ZnO 薄膜における FES 及び光励起誘導放出の実験的観測を試みた。化学ドープされた試料では，ホール測定により試料中のキャリア濃度を正確に見積もることが可能である。また，Ga ドープは Al ドープに比べて結晶性の高い薄膜を得ることができる。一般に化学ドーピングは，光吸収や発光に影響を与える結晶格子の乱れや欠陥生成を伴う可能性がある。まず本研究では，Ga ドープ ZnO 薄膜をパルスレーザー蒸着法（PLD 法）により製膜することで，結晶性の高い薄膜試料の作製条件を探索した。さらに，得られた試料に対し，室温～低温（10 K 以下）で光吸収測定及び発光測定を行い，多体効果に由来する ZnO の光学過程の詳細を明らかにする目的で一連の研究を行っている。現在まで得られている結果の一部を以下に紹介する。

（1）a 面サファイア基板上に PLD 法でエピタキシャル製膜を行うことで，結晶構造，電気特性ともに優れた高品位縮退 ZnO:Ga 薄膜を作製できた。さらに，製膜の際 KrF エキシマレーザーを使用することで Ga の置換固溶率が向上し，より高品質な試料を得られることが分かった。

（2）$0.8-1.2\times10^{20}$ cm^{-3} のキャリア濃度を有する縮退 ZnO:Ga 薄膜で，吸収端付近の吸収増大が観測された。吸収増大の温度依存性及びキャリア濃度依存性から，これは多体効果現象の一つであるフェルミエッジ異常吸収（FES）であると推定した

（3）特に高品位な ZnO:Ga 薄膜では，Donar-Acceptor-Pair(DAP)再結合による自然放出発光が観測された。さらに励起フルエンスを増大させると，DAP 発光の高エネルギー側から Electron-Hole-Plasma(EHP)誘導放出発光が出現した。Mott 密度以上のキャリア濃度を有する ZnO:Ga 薄膜では，クーロン遮蔽により励起子が解離するため，EHP の誘導放出のみが観測されたと考えられる。さらに，この誘導放出閾値は，非ドープ薄膜に対する報告値より 2 桁以上のオーダーで小さかった。誘導放出の閾値低下は，縮退により弱励起で光学利得を得ることが可能になったことに起因すると考えられる。

今後は，多体効果を加味した理論計算なども行い，縮退半導体の利得スペクトルの計算を行うことで，今回得られた実験結果の理論的検証を行う予定である。

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

課題2： 超伝導体-半導体ナノ複合体の合成とその電気，磁気特性

超伝導体はその特異な量子状態のためにこれまで半世紀以上に亘って膨大な研究が行われ，エレクトロニクス分野，医療分野，エネルギー分野，輸送分野など，数多くの分野で応用されてきた。一方，超伝導体と同様に固体物理における研究の中核を担ってきた半導体は，1947 年のトランジスタの発明に始まり，IC 時代の幕開けによって応用の幅を急速に広げた。デジタルトランスフォーメーションが謳われる今日において半導体は不可欠の材料であると言える。

上記の通り，超伝導体及び半導体の成熟した技術は様々な分野で応用されているが，超伝導体と半導体を組み合わせた超伝導体−半導体複合体もまた，次世代のスピントロニクス，フォトエレクトロニクスデバイスの基幹材料として有望視されているだけでなく，新しいスピン秩序発現の場としても注目を集めている。これは，2 種類以上の物質を組み合わせることにより作製される複合体は，単独の物質では持ち得ない性質の発現が期待されるからである。複合体の中でも，一般に粒径 100 nm 以下の微結晶として定義されるナノ結晶を複数組み合わせたナノ複合体では，高い比表面積及び体積比によって構成粒子のサイズと粒子間距離を小さくすることが可能である。また複合体の組成及び合成経路の最適化により，機械的特性及び光学特性のさらなる向上も見込まれる。しかし，超伝導体ナノ複合体及び超伝導体−半導体ナノ複合体に関してはこれまであまり報告例がなく，未踏の研究領域と言える。

そこで本研究では，Mg/MgO/MgB_2 ナノ複合体を超伝導ナノ複合体として用い，出発原料に Si 元素を加えて，近年高いゼーベック係数を有する半導体として研究が進んでいる Mg_2Si を導入することで超伝導体−半導体ナノ複合体の合成を試みた。そして，Mg/MgO/MgB_2/Mg_2Si ナノ複合体の構造及び超伝導特性を調べることを目的として一連の研究を行っている。現在まで得られている結果の一部を以下に紹介する。

（1）Mg/MgO/MgB_2 ナノ複合体の出発原料に Si 源として Si，SiO，SiO_2 を添加して超伝導体−半導体ナノ複合体を作製した。いずれの Si 源を用いても半導体である Mg_2Si が導入されることがわかった。

（2）Mg/MgO/MgB_2/Mg_2Si ナノ複合体粉末試料の超伝導近接効果及び磁束ピンニング力は，SiO を添加して作製した試料で飛躍的に向上することがわかった。SPS 焼結により緻密化させたバルク体においても，SiO 添加による超伝導特性，特に磁束ピンニング力の増加が観測された。この磁束ピンニング力の増大の起源を調べるために SiO 添加，非添加 SPS 試料に対して磁束ピンニング力解析を行った。その結果，SiO 添加，非添加試料で磁束ピンニング機構はいずれも二次元的な表面ピニング機構によって支配されていることが明らかとなった。すなわち，Mg_2Si はそれ自体が磁束ピンニング中心として作用しているのではなく，常伝導相の超伝導近接効果を強化するような働きをしていると考えられる。

（3）熱電試料として作製した MgO/Mg_2Si ナノ複合体の熱電特性を評価したところ，フラクタル構造に由来する熱伝導率の低下は予想に反して小さかった。ただし，ゼーベック係数は Mg_2Si 単体と同程度であった。この結果より MgO/Mg_2Si 複合体であっても，熱起電力自体は Mg_2Si 単体に匹敵する大きさを持っていることが示された。MgO/Mg_2Si ナノ複合体の測定結果から，ゼーベック係数がマイナスであることと電気抵抗率が比較的小さく，金属的な温度依存性を示すことがわかった。すなわち，Mg_2Si は縮退状態あると推測される。

これらの結果より，Mg と SiO の反応過程で生じた Mg_2Si が MgO と格子整合することで常伝導領域における電気的接合が促進（常伝導領域コヒーレンス長の増大）されると共に，縮退 Mg_2Si と MgB_2 界面でアンドレーエフ反射が通常反射を上回ることにより超伝導近接効果が促進され，それが結果的に磁束ピンニング力の増強をもたらした，と結論付けられる。

今後は，Si 源として用いる SiO の粒径をさらに小さくし，より均一に Mg_2Si がマトリックス中に分散した試料を合成することで，さらなる超伝導特性の向上を図る予定である。

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

【学会発表】※下記の順で記載

発表タイトル 講演者 会議名 発表年月 発表言語 発表形態 開催地 国内・国際区分

1. Enhanced proximity effect in superconducting nanograins with fractal distributions Takashi Uchino International Meet on Condesed Metter Physics 2022 2022年5月 英語 口頭発表（招待） オンライン 国際

2. 六方晶窒化ホウ素（h-BN）の単層剥離手法の開発 三嶋里奈，内野隆司 第16回日本セラミックス協会関西支部学術講演会 2022年7月 日本語 口頭発表（一般） オンライン 国内

3. Mg/MgO/MgB2複合化合物の超伝導特性に及ぼす構造および組成の効果 中明育，櫻井 敬博，太田 仁，瀬戸 雄介，内野隆司 第16回日本セラミックス協会関西支部学術講演会 2022年7月 日本語 口頭発表（一般） オンライン 国内

4. Mg/MgO/MgB2ナノ複合体の超伝導特性に及ぼすSiの添加効果 橋本碧維，瀬戸雄介，櫻井敬博，太田仁，内野隆司 第16回日本セラミックス協会関西支部学術講演会 2022年7月 日本語 口頭発表（一般） オンライン 国内

5. 縮退半導体薄膜中におけるフェルミエッジ異常吸収の観察 田代愛佳，安達裕，内野隆司 第16回日本セラミックス協会関西支部学術講演会 2022年7月 日本語 口頭発表（一般） オンライン 国内

6. 六方晶窒化ホウ素（h-BN）の単層剥離手法の開発 三嶋里奈，内野隆司 日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム 2022年9月 日本語 口頭発表（一般） オンライン 国内

7. Mg/MgO/MgB2複合化合物の超伝導特性に及ぼす構造および組成の効果 中明 育，櫻井 敬博，太田 仁，瀬戸 雄介，大井 修一，立木 実，有沢 俊一，内野 隆司 日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム 2022年9月 日本語 口頭発表（一般） オンライン 国内

8. Mg/MgO/MgB2ナノ複合体の超伝導特性に及ぼ すSiの添加効果 橋本碧維，瀬戸雄介，櫻井敬博，太田仁，内野隆司 日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム 2022年9月 日本語 口頭発表（一般） オンライン 国内

9. 縮退ZnO:Ga薄膜中のフェルミエッジ異常吸収と励起子生成 田代愛佳，安達裕，内野隆司 日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム 2022年9月 日本語 口頭発表（一般） オンライン 国内

10. フラクタル分布を有する超伝導ナノ複合体の超伝導特性 内野隆司 日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム 2022年9月 日本語 口頭発表（招待） オンライン 国内

11. 六方晶窒化ホウ素（h-BN）の単層剥離手法の開発 三嶋里奈，内野隆司 第83回応用物理学会秋季学術講演会 2022年9月 日本語 口頭発表（一般） オンライン 国内

12. 超伝導ナノ複合化合物の超伝導特性に及ぼす構造および組成の効果 中明 育，櫻井 敬博，太田 仁，瀬戸 雄介，大井 修一，立木 実，有沢 俊一，内野 隆司 第83回応用物理学会秋季学術講演会 2022年9月 日本語 口頭発表（一般） オンライン 国内

13. Mg/MgO/MgB2ナノ複合体の超伝導特性に及ぼすSiの添加効果 橋本碧維，瀬戸雄介，櫻井敬博，太田仁，内野隆司 第83回応用物理学会秋季学術講演会 2022年9月 日本語 口頭発表（一般） オンライン 国内

14. 縮退GaドープZnOナノ薄膜のフェルミエッジ異常の観察 田代愛佳，安達裕，内野隆司 第83回応用物理学会秋季学術講演会 2022年9月 日本語 口頭発表（一般） オンライン 国内

15. Global phase coherence in superconducting nanocomposites with fractal distributions Takashi Uchino International Conference on Materials Science, Engineering & Technology 2022年9月 英語 口頭発表（招待） オンライン 国際

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

16. 酸塩基反応を用いた六方晶窒化ホウ素 (h-BN)の剥離膜の作製と光学特性　三嶋 里奈，内野 隆司
第61回セラミックス基礎科学討論会　2023年1月　日本語　口頭発表(一般)　岡山大学 国内
17. 超伝導体-半導体ナノ複合体の合成と超伝導特性　橋本碧維，櫻井敬博，太田仁，瀬戸 雄介，内野隆司
第61回セラミックス基礎科学討論会　2023年1月　日本語　口頭発表(一般)　岡山大学 国内
18. GaドープZnO薄膜の光学特性に及ぼすバンドギャップ変調効果　田代愛佳，安達裕，内野隆司
第61回セラミックス基礎科学討論会　2023年1月　日本語　口頭発表(一般)　岡山大学 国内
19. SPS焼結により作製したMg/MgO/MgB2ナノ複合体の超伝導近接効果
中明 育，櫻井 敬博，太田 仁，瀬戸 雄介，大井 修一，立木 実，有沢 俊一，内野 隆司
第61回セラミックス基礎科学討論会　2023年1月　日本語　口頭発表(一般)　岡山大学 国内
20. フラクタル構造を有する超伝導複合化合物の位相コヒーレンス形成　内野隆司　日本板硝子材料工学助成会 第40回研究成果発表会　2023年1月　日本語　口頭発表(招待)　東京 国内
21. 酸塩基反応を用いた六方晶窒化ホウ素(h-BN)の剥離膜の作製と発光特性
三嶋 里奈，安達 裕，瀬川 浩代，内野 隆司　2023年 日本セラミックス協会年会　2023年3月　日本語　口頭発表(一般)　オンライン 国内
22. SPS焼結により作製したMg/MgO/MgB2ナノ複合体の超伝導近接効果
中明 育，櫻井 敬博，太田 仁，瀬戸 雄介，大井 修一，立木 実，有沢 俊一，内野 隆司　2023年 日本セラミックス協会年会　2023年3月　日本語　口頭発表(一般)　オンライン 国内
23. フラクタル構造を有するMg/MgO/MgB2/Mg2Siナノ複合体の合成とその超伝導特性
橋本碧維，櫻井敬博，太田仁，瀬戸 雄介，内野隆司　2023年 日本セラミックス協会年会　2023年3月　日本語　口頭発表(一般)　オンライン 国内
24. 縮退ZnO:Ga薄膜の電子-正孔プラズマによる低閾値室温誘導放出　田代愛佳，安達裕，内野隆司
2023年 日本セラミックス協会年会　2023年3月　日本語　口頭発表(一般)　オンライン 国内
25. 酸塩基反応を用いた六方晶窒化ホウ素(h-BN)の剥離膜の作製と発光特性
三嶋 里奈，安達 裕，瀬川 浩代，内野 隆司　第70回応用物理学会春季学術講演会　2023年3月　日本語　口頭発表(一般)　オンライン 国内
26. フラクタル構造を有する超伝導ナノ複合体の巨視的位相コヒーレンス形成と磁束構造
中明 育，櫻井 敬博，太田 仁，瀬戸 雄介，大井 修一，立木 実，有沢 俊一，内野 隆司
第70回応用物理学会春季学術講演会　2023年3月　日本語　口頭発表(一般)　オンライン 国内
27. フラクタル構造を有するMg/MgO/MgB2/Mg2Siナノ複合体の合成とその超伝導特性
橋本碧維，櫻井敬博，太田仁，瀬戸 雄介，内野隆司　第70回応用物理学会春季学術講演会　2023年3月　日本語　口頭発表(一般)　オンライン 国内
28. 縮退ZnO:Ga薄膜の光吸収過程における多体効果と誘導放出発光　田代愛佳，安達裕，内野隆司
第70回応用物理学会春季学術講演会　2023年3月　日本語　口頭発表(一般)　オンライン 国内

【受賞】※下記の順で記載

賞名称 受賞者 受賞対象 授与機関名 受賞区分 受賞年月 国内国外区分

1. 日本セラミックス協会関西支部学術講演会 優秀学生講演賞　田代愛佳
縮退半導体薄膜中におけるフェルミエッジ異常吸収の観察　日本セラミックス協会関西支部　2023年7月
2. 日本セラミックス協会 秋季シンポジウム 優秀講演賞　中明育
Mg/MgO/MgB2複合化合物の超伝導特性に及ぼす構造および組成の効果　日本セラミックス協会　2023年9月

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

[10] 高橋 一志

課題：金属錯体を基盤とした新しい機能性を持つ分子性錯体の開発と評価

テーマ1．外場応答型分子性金属錯体の開発と転移メカニズムの解明

スイッチング特性を持つ分子性物質のスイッチング温度やスイッチング挙動を自在に制御することは、分子性物質のスイッチングのメカニズムの解明という基礎的な観点からも機能性物質としての応用の観点から重要な課題である。我々は温度、光、圧力などの外部刺激により金属錯体の中心金属イオンのスピン状態が低スピンと高スピンの間でスイッチするスピンクロスオーバー（SCO）に着目し研究を進めている。また、アゾビスフェノレート配位子からなる金属錯体の示すスイッチング現象として金属−配位子間電子移動現象である原子価互変異性の可能性を検討した。

（1）イオン性鉄(II)スピンクロスオーバー錯体のスピンクロスオーバー転移のメカニズム

結晶構造中の二分子間の相互作用エネルギー変化が SCO の転移メカニズムを明らかにする有力な手段であることを明らかにしてきた。昨年度はイオン性鉄(III)錯体の二段階結晶構造転移に対して結晶構造と相互作用エネルギーの温度変化から SCO のメカニズムを明らかにした。今年度はなだらかな二段階 SCO 転移を示す鉄(II)錯体の水和体と低温側で温度ヒステリシスを伴う二段階 SCO 転移を示す鉄(II)錯体の脱水和体という溶媒多形の転移挙動の違いについて、磁性、結晶構造と分子間相互作用エネルギーの温度変化から比較を行った。結晶構造の温度変化から、脱水和体では低温相で独立低スピン1分子から中間相で独立低スピン分子と高スピン分子それぞれ1分子へと晶形の変化を伴う結晶構造転移であった。一方、水和体は低温相と中間相は共に独立2分子で一方のスピン状態のみ変化し、晶系は維持された。相互作用エネルギーの温度変化を見ると、鉄錯カチオン間の相互作用エネルギーの温度変化は水和体も脱水和体も非常によく似た温度変化を示した。一方、カチオン−アニオン間相互作用エネルギーは、特に脱水和体の低温相において近距離に存在するアニオン間の相互作用エネルギーが大きく低下していることが明らかになった。脱水和体において安定化に大きく寄与したアニオンは対応する水和体では水分子と水素結合していることから、水分子の有無がヒステリシスを伴う構造転移の起源であることが明らかとなった。

（2）アゾビスフェノレート配位子からなる金属錯体のスイッチング特性の開拓

アゾビスフェノレート配位子は酸化還元活性配位子と考えられ、金属－配位子間電子移動現象である原子価互変異性を示す可能性がある。これまでアニオン性ホモレプティック Ni^{III} 錯体が原子価互変異性もしくはスピンクロスオーバーのいずれかを示唆する磁性の非可逆転移を示すことを報告した。今年度は、

①アゾビスフェノレート配位子は酸化還元活性配位子であることを明らかにするため、azp 配位子の置換体と関連配位子からなる Al^{III} 錯体を合成し、その構造と酸化還元挙動について検討した。azp 配位子の置換基効果と酸化反応への安定性に対する立体効果を明らかにした。

②非可逆転移の原因として、配位子に生じたラジカルの再結合の阻害を考え、立体障害となる tert-ブチル基を導入した azp 配位子からなる Ni 錯体について検討した。Ni^{II} 錯体と Ni^{III} 錯体を合成し、それぞれの結晶構造と磁気的性質を明らかにした。Ni^{III} 錯体を種々の酸化剤を用いて一電子酸化を試みた。Fe^{III} 錯体を酸化剤として用いたところ、通常の有機溶媒に可溶な一部配位子を含む中性錯体粉末が得られた。この粉末について NMR を測定してみたところ、不純物の配位子由来のスペクトルのみ観測され、この中性錯体は常磁性であることが示唆された。この結果は Ni^{III} 錯体の一電子酸化により Ni^{IV} 錯体ではなく、配位子のラジカルアニオンが生成していること、つまり錯体は混合原子価状態であることを示唆している。

③azp 配位子の酸化を受けやすくすることを考え、電子供与性のメトキシ基を導入した azp 配位子からなる Ni 錯体について検討した。Ni^{II} 錯体は単結晶として得られ、結晶構造と磁性から六配位八面体錯体であることが確認

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

された。CV より酸化還元波の可逆性の向上も見られた。一方、他の Ni^{III} 錯体の合成と同様のヨウ素を用い Ni^{II} 錯体の酸化を試みたところ、EDX と元素分析より対カチオンが存在せず酸化がさらに進んだ中性錯体であることが予想された。種々の酸化剤を用いて Ni^{II} 錯体の酸化を検討しているが、配位子の置換反応などおこり Ni 錯体の単離に至っていない。
②と③については、今後 Ni 錯体の単離精製を行い、構造物性に関して検討していく予定である。

テーマ2. 酸化還元活性配位子からなる分子性錯体の構造と物性

含窒素芳香環を有する酸化還元活性配位子は、金属イオンとの配位能に加え、塩基性によるプロトン受容能も持つ。このような多機能な配位子からなる分子性錯体では、金属イオン上の d スピン、配位子上の π スピン、さらにプロトンがカップルする可能性があり、新奇な固体の機能性を創出することが期待される。今年度はピリジル基を芳香環のパラ位に導入した直線架橋型酸化還元活性配位子の合成を検討した。新規ドナー配位子は前駆体の臭素置換体とピリジルボロン酸の鈴木ー宮浦カップリングにより合成した。一方、ドナー配位子を酸化することでベンゾキノン骨格を有するアクセプター配位子への直接酸化を検討したが、酸化剤との錯形成のため合成できなかった。一方、脱保護も難しいことがわかり、保護基を THP へと変更したところ、ヒドロキノン体の合成に成功した。今後、ベンゾキノン体の合成、酸化還元挙動、金属との錯形成を検討していく予定である。

【発表論文】※下記の順で記載

論文タイトル　著者名　誌名　巻（号）頁　出版年月　記述言語　査読有無　種別

1. Molecular Structures and Redox Properties of Homoleptic Aluminum(III) Complexes with Azobisphenolate (azp) Ligands　Kazuyuki Takahashi,Takumi Noguchi,Keiji Ueda,Atsuhiro Miyawaki,Suguru Murata　筆頭・責任著者　Inorganics　10　(6)　84-98　Jun-22　英語　有　研究論文（学術雑誌）

【学会発表】※下記の順で記載

発表タイトル　講演者　会議名　発表年月　発表言語　発表形態　開催地　国内・国際区分

1. The structure of the photoinduced and X-ray induced state in spin-crossover hybrid system
T. Ishikawa, S. Nakano, R. Takahashi ,K. Takubo, Y. Okimoto, S. Koshihara, A. Miyawaki, K. Matsumoto, K. Takahashi, T. Yokoyama, K. Ichiyanagi, R. Fukaya, S. Nozawa, A. Sato-Tomita　From optical to THz control of materials, Faraday Discussion　2022 年 5 月　英語　ポスター発表　オンライン　国際
2. スピンクロスオーバー錯体複合結晶における 超高速光誘起構造変化ダイナミクス
高橋良弥, 中野真之介, Samiran Banu, 石川忠彦, 田久保耕, 沖本洋一, 腰原伸也, 宮脇敦大, 高橋一志, 羽田真毅, Yifeng Jiang,Stuart Hayes, Lai Chung Liu, R. J,Dwayne Mi　日本物理学会 2022 年秋季大会　2022 年 9 月　日本語　口頭発表（一般）　東京工業大学大岡山キャンパス　国内
3. 分子間相互作用エネルギーの温度変化に基づく鉄(III)錯体の協同的スピン転移のメカニズム解明
松本 一樹, 東 亮介, 高橋 一志, 櫻井 敬博, 太田 仁　第 30 回有機結晶シンポジウム　2022 年 11 月　日本語　口頭発表（一般）　名古屋大学野依記念学術交流館　国内
4. 三種の同形イオン性鉄(III)スピンクロスオーバー錯体の相互作用エネルギー解析
高橋 一志, 東 亮介, 櫻井 敬博, 太田 仁　第 30 回有機結晶シンポジウム　2022 年 11 月　日本語　ポスター発表　名古屋大学野依記念学術交流館　国内
5. 立体障害を導入したアゾ配位子からなる Ni(III)錯体の構造と性質
野口 拓海, 高橋 一志, 宮脇 敦大, 櫻井 敬博, 大久保 晋, 太田 仁　若手フロンティア研究会 2022　2022 年 12

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

月　日本語　ポスター発表　神戸大学百年記念館　国内

6.　パラフェニレン伸長新規電子受容性架橋配位子と鉄(II)配位高分子の合成と物性

石野 圭一郎, 高橋 一志, 櫻井 敬博, 太田 仁　若手フロンティア研究会 2022　2022 年 12 月　日本語　ポスター発表　神戸大学百年記念館　国内

7.　鉄(III)錯体の協同的スピン転移のメカニズム解明　松本 一樹, 高橋 一志, 櫻井 敬博, 太田 仁

若手フロンティア研究会 2022　2022 年 12 月　日本語　ポスター発表　神戸大学百年記念館　国内

8.　立体障害による安定化をはかったアゾ配位子からなるニッケル錯体の合成と性質

野口 拓海, 櫻井 敬博, 大久保 晋, 太田 仁, 高橋 一志　日本化学会第 103 春季年会　2023 年 3 月　日本語　口頭発表（一般）　東京理科大学野田キャンパス　国内

9.　鉄(II)錯体の示す二段階スピン転移に対する結晶水の効果　松本 一樹, 櫻井 敬博, 太田 仁, 高橋 一志

日本化学会第 103 春季年会　2023 年 3 月　日本語　口頭発表（一般）　東京理科大学野田キャンパス　国内

２－２. 状態解析化学

［ 11 ］ 富永 圭介

課題：主に超短パルスレーザー分光を用いた液体中における化学反応と緩和過程の研究

メンバー：富永圭介、太田薫（分子フォトサイエンス研究センター、学術研究員）、張峰（分子フォトサイエンス研究センター、研究協力員）

研究テーマ　1. 非線形赤外分光による水溶液中における溶質分子の振動ダイナミクス

溶液中において、溶質分子の振動状態は周囲の溶媒との相互作用により絶えず変化する。サブピコ秒で変化する溶質の振動状態やその周囲の溶媒ダイナミクスを理解するためにフェムト秒パルスを用いた非線形赤外分光測定が行われ、水溶液中では水素結合の生成・開裂が振動エネルギー緩和や異方性減衰に影響を及ぼすことが知られている。特に、二次元赤外（2D-IR）分光法からは溶質分子の遷移振動数の揺らぎの時間相関関数（Frequency-frequency time correlation function; FFTCF）が得られ、FFTCF は指数関数や定数項の和として表現される。我々のグループでは、水溶液中における溶質分子の振動モードの遷移振動数の揺らぎに関して、実験的には、二次元赤外分光法による測定を行い、分子動力学（MD）シミュレーションも行い、二次元分光法の測定結果の分子論的な解釈を議論してきた。これまで様々な水溶液中におけるイオン分子の FFTCF が調べられ、指数関数の減衰の時定数は溶質周囲の水素結合ネットワーク構造の揺らぎを反映し、約 1 ps になることが知られている。

令和 4 年度では、水溶液中のイオン分子について観測される FFTCF における、1 ps より遅い減衰過程に注目した。$[RuCl_5(NO)]^{2-}/D_2O$ 溶液中の NO 伸縮振動をプローブとして用い、2D-IR 分光法を用いて遅い時間領域の FFTCF を解析した。$[RuCl_5(NO)]^{2-}$の NO 伸縮振動は孤立した振動モードであるため、他の分子内振動モードを介した振動緩和が起こりにくい。さらに、分子動力学（MD）シミュレーションも行うことで、微視的な溶質-溶媒間相互作用の観点からも議論した。指数関数の減衰の時定数として 1.4 ps と 12.5 ps が得られ、これまで定数項としてみなされていた部分をより遅い減衰として捉えることができた。得られた二つの時定数は溶質周囲の水分子の運動を反映するため、以上の結果は異なる時間スケールで運動する水分子が存在することを示唆する。MD 計算によって FFTCF の解析を行ったが、NO 基に対して二分割した領域にある水分子との相互作用を考え、空間分解 FFTCF を計算した。$[RuCl_5(NO)]^{2-}$の各原子の静電荷は異なり、NO 基よりも Cl 原子の方が強

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

く負に帯電している。そのため溶質−水分子間相互作用の強度が異なり、領域によって揺らぎの時間スケールが異なることが明らかにされた。相互作用が比較的弱い NO 基周りの水素結合ダイナミクスはバルク領域のものとほぼ同じであり、1 ps の時定数に相当する。一方、Cl 原子周りの水分子は強く引き付けられるために水分子の回転運動が遅くなり、より遅い減衰として FFTCF に表れたと考えられた。

研究テーマ 2. テラヘルツ波分光による分子集合体の低振動ダイナミクス

低振動スペクトルには、凝縮相、液体や溶液、高分子、特に生体高分子の分子間の相互作用や遅いダイナミクスに関する情報が存在することから、遠赤外領域に周波数を持つテラヘルツ電磁波を用いた分光実験を行っている。海外及び国内のテラヘルツ波を用いた研究が産業応用へ向かう中、我々は基礎的な分光実験に特化している。分子性結晶において観測されるテラヘルツ帯の振動バンドの詳細を、極低温における測定と固体状態密度汎関数法による計算から検討している。また、テラヘルツ帯の振動モードを解析し、分子間振動と分子内振動がどのように結合しているのか、明らかにする手法を開拓した。X線構造解析では困難な結晶構造の対称性の崩れを縮退している振動モードの分裂から調べる等、テラヘルツ振動分光の優位性を示してきた。

本年度は、以下の研究を主に行った。

深共晶溶媒(deep eutectic solvent, DES)とは室温で固体である、2 種類、またはそれ以上の物質を混合することで、共晶を形成し、融点降下により室温付近で液体となる混合物を指す。DES 中では、微視的な構造が形成されていることが提唱されており、いくつかの超短パルスレーザーを用いた分光法により、静的、および動的な不均質性について議論されている。その中でも、分子の運動に影響を与える不均質性に注目し、広帯域誘電分光法により、温度可変で複素誘電スペクトルを測定することで DES の持つ不均質性の測定を行った。本研究では、サンプルとして非イオン性の物質である(−)−メントールとラウリン酸を使用した。この DES の複素誘電率スペクトルを、サブテラヘルツ時間領域分光装置を用いて 30 GHz から 300 GHz、ベクトルネットワークアナライザー(VNA)を用いて 100 MHz から 20 GHz の帯域で測定し、さらにその温度変化を 20℃から 60℃の範囲で調べた。その結果、この DES は数百 MHz~数 GHz に複素誘電スペクトルの虚部がピークを持ち、これは温度上昇に伴って高周波側にシフトすることがわかった。スペクトル全体を複素誘電率に対する Cole−Cole 関数を用いて解析を行った。緩和時間に分布が現れ、空間的に微視的な不均質性が存在することがわかった。

ポリ(N−イソプロピルアクリルアミド) (PNiPA)やポリ(N,N−ジエチルアクリルアミド) (PdEA)などの高分子は、水溶液中において親水性のランダムコイル状態で溶解するが、温度上昇によりコイル−グロビュール転移を示し、疎水性のグロビュール状態へと収縮する。本研究では、溶媒である水、特に溶質周辺に存在する水和水の構造や動的挙動に関する情報を得るためマイクロ波から中赤外に渡る分光測定を行った。誘電分光法において本研究で注目した測定領域では、得られた複素誘電率に寄与しているのは溶媒である水分子のみであると考え、試料中の水分子に由来する数種類の成分を仮定し、これらの和で複素誘電率スペクトルの実部及び虚部について解析を行った。主とする成分は2つのDebye型関数であり、一方はその緩和時間が純水に見られる集団的な回転緩和の緩和時間に近い値を持つことから、水溶液中のバルク水による集団的な回転緩和であると考え、もう一方はバルク水よりも遅い緩和時間を持つことから溶質に影響を受けた水和水に由来する緩和であると考えた。FT−IRによる測定では、溶媒である水のOH伸縮振動や溶質のアミドバンド、CHバンドにおいて振動数の非線形的な温度変化が見られ、転移温度前後での水和状態の変化が示唆された。

水溶液中の高分子は一般に、疎水性部分である主鎖と親水性部分である側鎖からなり、溶媒である水分子は疎水性基周辺と親水性基周辺とでは異なる相互作用を持つため、高分子の水溶液中における動的挙動は、濃度や温度に対して複雑な依存性を示す。いくつかの水溶性高分子の誘電緩和測定が行われており、濃度を50wt%まで変化させた場合、緩和時間が、バルク水の緩和時間の100倍程度変化するものもあれば、5倍程度に

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

しか変化しないものもあることが報告されている。本研究では、比較的、濃度変化に対する緩和時間の変化が小さいポリアクリル酸(PAA)の水溶液を試料として、誘電緩和スペクトルを広帯域で測定し、緩和時間の濃度変化及び温度変化を測定した。また、一般に、誘電緩和時間は、連続体モデルにより、$\tau = 4\pi\eta a^3/kT$ （η：粘度、a：流体力学半径)と表すことができることから、粘度測定や密度測定も行うことで、水溶性高分子周辺の水分子の動的挙動について調べた。得られた複素誘電率スペクトルをデバイ関数やCole−Cole関数の和で解析することで、最も大きな緩和強度を持つ成分の緩和時間の濃度変化を求めた。293Kでの純水の緩和時間は9.6 psである。一方、緩和時間が連続体モデルに従っていないことがわかった。また、緩和強度の変化と密度測定の結果から、水分子の数を求め、濃度変化に対し水和水が大きく変化しないことがわかった。
時間分解THz分光も行っている。これはフェムト秒の光ポンプ－テラヘルツプローブ分光であり、有機薄膜太陽電池の材料分子、ベンゾポルフィリン誘導体等を対象として研究を行っており、試料は共同研究者より提供していただいている。アメリカ化学会のLangmuir誌からInvited Feature Articleの執筆依頼を受け、マイクロ秒―ナノ秒の時間分解能を行っているグループと共著で総説を発表した。

【発表論文】※下記の順で記載

論文タイトル　著者名　誌名　巻（号）頁　出版年月　記述言語　査読有無　種別

1. Terahertz Spectroscopic Measurements and Solid-State Density Functional Calculations on $CH_3NH_3PbBr_3$ Perovskites: Short-Range Order of Methylammonium　Feng Zhang, Izuru Karimata ,Houng-Wei Wang, Takashi Tachikawa, Keisuke Tominaga, Michitoshi Hayashi, Tetsuo Sasaki　責任著者　The Journal of Physical Chemistry C　126　(1) 339-348　Jan-22　英語　有　研究論文（学術雑誌）

2. Microscopic Structures, Dynamics, and Spin Configuration of the Charge Carriers in Organic Photovoltaic Solar Cells Studied by Advanced Time-Resolved Spectroscopic Methods　Kaoru Ohta, Keisuke Tominaga, Tadaaki Ikoma, Yasuhiro Kobori, Hiroko Yamada　Langmuir　Jun-22　英語　研究論文（学術雑誌）

［ 12 ］ 秋本 誠志

課題：光合成系における励起エネルギー緩和の観測と機能解明
研究テーマ：光合成色素タンパク質複合体における電子移動・エネルギー移動と環境応答

主にピコ秒時間分解蛍光分光法を用い、光合成初期過程の光環境応答について光合成生物の進化の観点から研究を進めている。本年度は、シアノバクテリア*Acaryochloris marina*、灰色藻*Cyanophora paradoxa*、ユーグレナ藻*Euglena gracilis* の培養光質応答について、特に様々な光環境下で光化学系Iと光化学系IIの間でどのようにエネルギーを配分するかについて精査した。

クライオ電子顕微鏡とピコ秒時間分解蛍光分光法を組み合わせることにより、種々の光化学系超複合体の機能について調べている。本年度は、珪藻の光化学系II–集光性色素タンパク質超複合体、始原的シアノバクテリア*Gloeobactor violaceus*光化学系I複合体、鉄欠乏条件で発現するシアノバクテリア*Anabaena* sp. PCC 7120の光化学系I–IsiA超複合体について報告した。詳細については以下に掲載されている。

https://www.kobe-u.ac.jp/research_at_kobe/NEWS/news/2022_04_04_01.html
https://www.kobe-u.ac.jp/research_at_kobe/NEWS/news/2022_04_14_02.html
https://www.kobe-u.ac.jp/research_at_kobe/NEWS/news/2023_02_21_02.html

陸上植物*Jatropha curcas*が長期乾燥後に速やかに光合成を再開させる過程を蛍光分光法により検討した。

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

紅藻*Cyanidium caldarium*の光化学系I–集光性色素タンパク質超複合体について、生化学的手法と分光学的手法を用いて調べた。珪藻が持つキサントフィルサイクルを形成する二種のカロテノイド、ジアジノキサンチンとジアトキサンチン（下図）の励起緩和過程をフェムト秒・ピコ秒時間分解蛍光分光法により明らかにした。

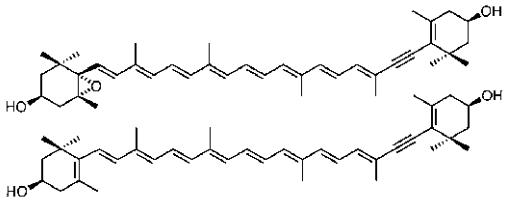


図. ジアジノキサンチン（上）とジアトキサンチン（下）の分子構造

【発表論文】※下記の順で記載

論文タイトル　著者名　誌名　巻（号）頁　出版年月　記述言語　査読有無　種別

1. Structural basis for different types of hetero-tetrameric light-harvesting complexes in a diatom PSII-FCPII supercomplex　Ryo Nagao, Koji Kato, Minoru Kumazawa, Kentaro Ifuku, Makio Yokono, Takehiro Suzuki, Naoshi Dohmae, Fusamichi Akita, Seiji Akimoto, Naoyuki Miyazaki,J ian-Ren Shen　責任著者　Nature Communications　13　(1)　1764　Apr-22　研究論文（学術雑誌）
2. Structural basis for the absence of low-energy chlorophylls in a photosystem I trimer from Gloeobacter violaceus Koji Kato, Tasuku Hamaguchi, Ryo Nagao, Keisuke Kawakami, Yoshifumi Ueno, Takehiro Suzuki, Hiroko Uchida, Akio Murakami, Yoshiki Nakajima, Makio Yokono, Seiji Akimoto, Naoshi Dohmae, Koji Yonekura, Jian-Ren Shen　eLife　11　Apr-22　研究論文（学術雑誌）
3. Phosphorylation of light-harvesting complex II controls excitation energy spillover between photosystems Ryutaro Tokutsu, Eunchul Kim, Seiji Akimoto, Makio Yokono, Konomi Fujimura-Kamada, Norikazu Ohnishi, Yoshifumi Ueno, Jun Minagawa　Jul-22
4. Excitation relaxation dynamics of carotenoids constituting the diadinoxanthin cycle

Kohei Kagatani, Ryo Nagao, Jian-Ren Shen, Yumiko Yamano, Shinichi Takaichi, Seiji Akimoto　責任著者

Photosynthesis Research　Aug-22　研究論文（学術雑誌）

5. Reversible down-regulation of photosystems I and II leads to fast photosynthesis recovery after long-term drought in Jatropha curcas. Helena Sapeta, Makio Yokono, Atsushi Takabayashi, Yoshifumi Ueno,A ndré M Cordeiro, Toshihiko Hara, Ayumi Tanaka, Seiji Akimoto, M Margarida Oliveira, Ryouichi Tanaka　Journal of experimental botany　74　(1)　336-351　Jan-23　英語　研究論文（学術雑誌）
6. Biochemical and spectroscopic characterization of PSI-LHCI from the red alga Cyanidium caldarium.

Ryo Nagao, Yoshifumi Ueno, Miyu Furutani, Koji Kato, Jian-Ren Shen, Seiji Akimoto　最終・責任著者　Photosynthesis research　Feb-23　英語　研究論文（学術雑誌）

7. Structure of a monomeric photosystem I core associated with iron-stress-induced-A proteins from Anabaena sp. PCC 7120. Ryo Nagao, Koji Kato, Tasuku Hamaguchi, Yoshifumi Ueno, Naoki Tsuboshita, Shota Shimizu, Miyu Furutani, Shigeki Ehira, Yoshiki Nakajima, Keisuke Kawakami, Takehiro Suzuki, Naoshi Dohmae, Seiji Akimoto, Koji Yonekura, Jian-Ren Shen　責任著者　Nature communications　14　(1)　920-920　Feb-23　英語　研究論文（学術雑誌）

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

【学会発表】※下記の順で記載

発表タイトル 講演者 会議名 発表年月 発表言語 発表形態 開催地 国内・国際区分

1. 遠赤色光条件下における 2 種類の Euglena grasilis の応答の違い
王 哲，植野 嘉文，沈 建仁，長尾 遼，豊福 玲於奈，鞆 達也，秋本 誠志 光合成セミナー2022：反応中心と色素系の多様性 2022 年 6 月 日本語 その他 名古屋工業大学 国内
2. Regulation of antenna and energy transfer in photosystems of Acaryochloris marina in response to different light qualities 反橋勇貴，植野嘉文，沈建仁，長尾遼，秋本誠志 光合成セミナー2022：反応中心と色素系の多様性 2022 年 6 月 日本語 その他 名古屋工業大学 国内
3. クロロフィル d 型シアノバクテリアの光質応答とその多様性 植野 嘉文，秋本 誠志 光合成セミナー2022：反応中心と色素系の多様性 2022 年 6 月 日本語 その他 名古屋工業大学 国内
4. Solvent Effects on Intramolecular Charge Transfer Dynamics of 9-Aryl Carbazole Studied by Ultrafast Transient Absorption Spectroscopy Takamoto K，Ueno Y, Ohta K , Hayashi M, Akimoto S, Matsubara R, Tominaga K, 37th International Conference on Solution Chemistry 2022 年 7 月 英語 ポスター発表 オンライン 国際
5. 種々のケトカロテノイドにおける励起緩和ダイナミクス 秋本誠志 第 34 回カロテノイド研究談話会 2022 年 9 月 日本語 口頭発表（招待） 関西学院大学 国内
6. フィコビリタンパク質を持たないアカリオクロリスの光質応答 王 哲，植野 嘉文，沈 建仁，長尾 遼，豊福 玲於奈，鞆 達也，秋本 誠志 第 11 回サイエンスフロンティア研究発表会 2022 年 10 月 日本語 ポスター発表 神戸大学 国内
7. 2 種類の Euglena gracilis における光質応答の違い Yuki Sorihashi，Yoshifumi Ueno，Jian-Ren Shen，Ryo Nagao，Seiji Akimoto 第 64 回日本植物生理学会年会 2023 年 3 月 日本語 その他 東北大学 国内
8. 灰色藻 Cyanophora pradoxa におけるステート遷移の分子機構
王 哲，植野 嘉文，沈 建仁，長尾 遼，豊福 玲於奈，鞆 達也，秋本 誠志 第 64 回日本植物生理学会年会 2023 年 3 月 日本語 その他 東北大学 国内

【受賞】※下記の順で記載

賞名称 受賞者 受賞対象 授与機関名 受賞区分 受賞年月 国内国外区分

1. 第 11 回サイエンスフロンティア研究発表会優秀発表賞
王 哲，植野嘉文，長尾遼，豊福玲於奈，鞆達也，秋本誠志 クロロフィル d 型シアノバクテリアの光質応答とその多様性 2022 年 10 月

３． 有機化学講座

３－１. 有機反応化学

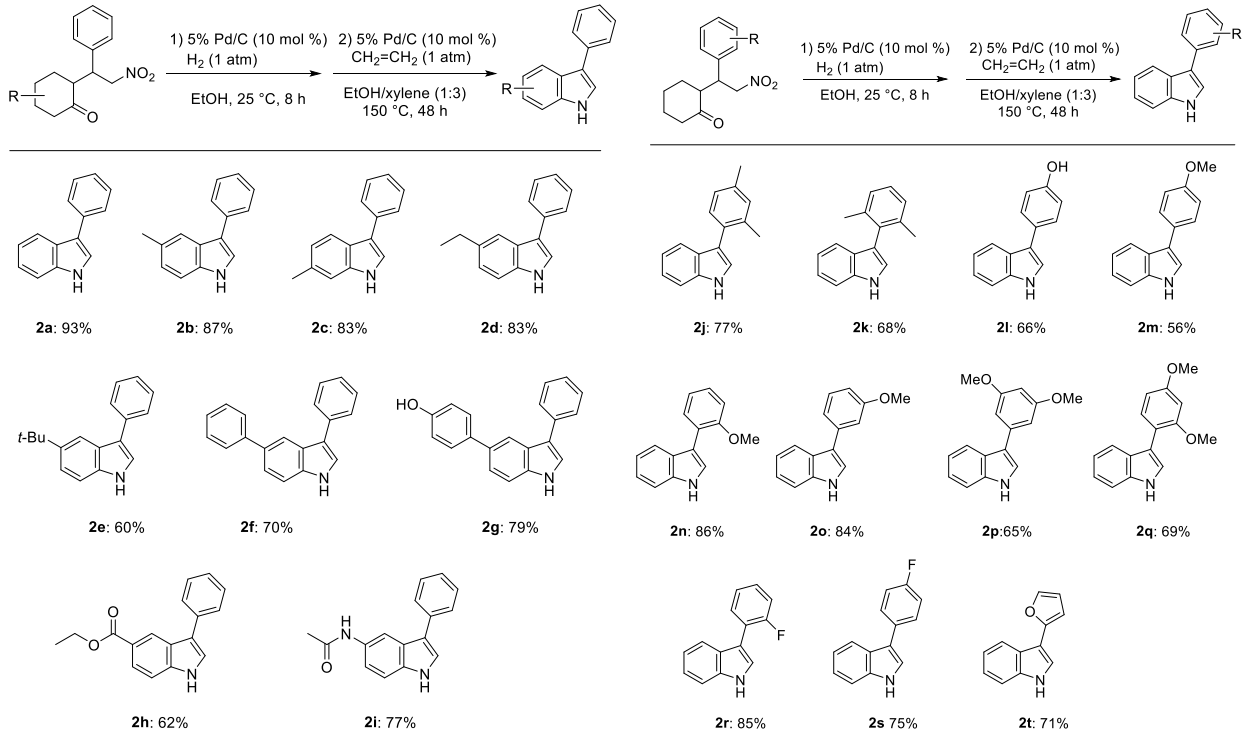
［ 13 ］ 林 昌彦

One-Pot Synthesis of 3-Substiuted Indoles from 2-(2-Nitro-1-phenylethyl)cyclohexanone Derivatives

We developed a new and practical method for the one-pot synthesis of 3-substituted indoles from 2-(2-nitro-1-phenylethyl)cyclohexanone derivatives catalyzed by Pd/C. The starting materials can be easily prepared by

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

the reaction of substituted ketones with nitroalkenes. Exposure to hydrogen atmosphere (1st step) with an ethylene atmosphere (2nd step) produces a variety of 3-substituted indoles in high yields. The starting materials can be easily prepared by the reaction of substituted ketones and nitroalkenes. The facile experimental procedure comprises the treatment of 2-(2-nitro-1-phenylethyl)cyclohexanone derivatives with H_2 as a hydrogen donor in the presence of 10 mol% Pd/C. Subsequently, the exchange of H_2 with CH_2=CH_2 as a hydrogen acceptor affords a variety of 3-substituted indoles in high yields. The formation of intermediate nitrones is essential for a smooth reaction.



【発表論文】※下記の順で記載

論文タイトル　著者名　誌名　巻（号）頁　出版年月　記述言語　査読有無　種別

1. Direct Arylation of Furoxan Using Potassium Aryltrifluoroborates

Ryosuke Matsubara, Chenlu Dong, Masahiko Hayashi　HETEROCYCLES　104 (10)　1770　Jul-05　研究論文（学術雑誌）

2. Diboration of Alkynes Accelerated by Synergistic Effects of Ruthenium Complexes and Phenoxides

Suguru Murakami, Ryosuke Matsubara, Masahiko Hayashi　European Journal of Organic Chemistry 2022 (44)　Nov-22　研究論文（学術雑誌）

3. Metal-free reduction of CO2 to formate using a photochemical organohydride-catalyst recycling strategy.

Weibin Xie, Jiasheng Xu, Ubaidah Md Idros, Jouji Katsuhira, Masaaki Fuki, Masahiko Hayashi, Masahiro Yamanaka, Yasuhiro Kobori, Ryosuke Matsubara　Nature chemistry　Mar-23 英語 研究論文（学術雑誌）

【学会発表】※下記の順で記載

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

発表タイトル 講演者 会議名 発表年月 発表言語 発表形態 開催地 国内・国際区分

1. アニオン性置換基を有するカルバゾール光増感剤の合成、物性評価、光反応への応用
宮本 陸人，薮田 達志，林昌彦，松原 亮介 日本化学会第103春季年会 2023年3月 日本語 東京理科大学 国内

2. 炭酸セシウムにより活性化されたカルバゾール光増感剤を用いたアルキルアリールエーテルのC-O結合の光還元的切断反応 薮田 達志，林昌彦，松原 亮介 日本化学会第103春季年会 2023年3月 日本語 口頭発表（一般）東京理科大学 国内

3. Pd/C-エチレン系を用いた置換インドールの新規合成法 匡 陽金，前田 勝海，松原 亮介，林 昌彦
2022年9月

[14] 松原 亮介

課題1：フロキサン環上へのアリール置換基導入法の開発

フロキサンは古くから研究されているヘテロ芳香環であるが、フロキサン環上の置換基を変換する手法は報告例が非常に少ない。生理条件下一酸化窒素を放出することが知られているフロキサンの誘導体を簡便に効率的に合成するためには、フロキサン環上の置換基の変換、すなわちフロキサン環構築後のポスト修飾が必須であると考えた。これまでにハロゲン元素とアルキル基を導入できることを見いだしている。

そこで、アリール基の導入を検討した。アルキル基を導入する際に用いたカルボン酸を原料とする方法を試したところ、反応は全く進行しなかった。アリールカルボン酸由来のラジカルからの脱 CO_2 反応がアルキルカルボン酸からのそれと比較して遅いためであると考えた。そこで、アリールラジカルの発生源となる基質を種々検討したところ、トリフルオロアリールボレート塩が適していることが分かった。最適な条件において、中程度の収率でアリールフロキサンの合成を行うことができた。

上記の内容も含め、フロキサン環への置換基導入法に関する研究を、これまで当研究室で開発した反応を中心に統括した総説を執筆した。

課題2. 二酸化炭素の光還元反応の開発

当研究室では高い還元力を有する光増感剤の開発に注力している。これまでに、3,6 位にアミノ基を有するカルバゾールが可視光吸収を有し、かつ非常に高い還元力を有することを明らかにしていた。光励起状態の還元電位は-2.7 V vs SCE 程度であり、CO_2 の還元電位-2.2 V vs SCE を優に下回るため、CO_2 の還元も可能ではないかと考察した。

そこで、アスコルビン酸を犠牲還元剤として用い、共触媒としてベンズイミダゾリウムカチオンを用いて CO_2 の光還元反応を検討した。その結果、1 気圧 CO_2 雰囲気、室温下において、ギ酸が収率よく生成することを見出した。反応機構の解析を行ったところ、本反応はカルバゾールが光増感剤として、ベンズイミダゾリウムカチオンが CO_2 還元の触媒と機能していること明らかにした。当初の思惑と異なり、ベンズイミダゾリン（BIH）を有機ヒドリドとしたヒドリド移動の機構では CO_2 還元は進行しておらず、CO_2 への一電子移動による CO_2 ラジカルアニオンの生成、続く BIH からの水素原子移動機構で進行していることを明らかにした。

課題3. 蟻のフェロモンの合成とそれを用いた生理学実験

蟻が敵味方を見分ける手段として、体表面に存在する 18 種類のフェロモン分子の構成割合を触覚で感知す

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

る機構が明らかとなっていた。そのフェロモン分子の構成割合がいかにして感知されるのかを明らかにすることが望まれていたが、体表面から得られるフェロモン分子の量が少なくそれ以上の研究実験を妨げていた。

そこで、18 種類のフェロモン分子の内、市販で手に入らない分子を全て化学合成により合成した。

Z-アルケンは、対応するアルキンから Lindlar 触媒を用いた部分水素還元により合成した。不斉点を一つまたは二つ有する分岐型アルカンは、シトロネロールを不斉源としたキラルプール法により合成することができた。

不斉点を三つ有する分岐型アルカンは、一つの不斉点はエバンス不斉アルキル化により構築し、残り二つの 1,3-ジメチル構造の不斉点については、酵素を用いたメソジオールの速度論的非対称化不斉反応により構築し、二つのユニットを Julia-Kocienski オレフィン化によりカップリングを行った。

いずれの化合物も純度高く合成出来、生理学実験に供することができた。これにより、アルゼンチンアリやヒアリなどの外来性アリに対して強烈な忌避行動をとらせる成分を在来アリであるクロオオアリから発見し、さらにその機構を明らかにすることができた。

【発表論文】※下記の順で記載

論文タイトル　著者名　誌名　巻（号）頁　出版年月　記述言語　査読有無　種別

1. Direct Arylation of Furoxan Using Potassium Aryltrifluoroborates
Chenlu Dong, Masahiko Hayashi, Ryosuke Matsubara　最終・責任著者 HETEROCYCLES 104 (10) 1770 Aug-22 英語 有 研究論文（学術雑誌）
2. Chemical identification of an active component and putative neural mechanism for repellent effect of a native ant's odor on invasive species　Tatsuya Uebi, Tomoya Sakita, Ryo Ikeda, Keita Sakanishi, Tomoaki Tsutsumi, Zijian Zhang, Huiying Ma, Ryosuke Matsubara, Shigeru Matsuyama, Satoko Nakajima, Rong-Nan Huang, Shunya Habe, Abraham Hefetz, Mamiko Ozaki　Frontiers in Physiology 13　Aug-22 英語 有 研究論文（学術雑誌）
3. Diboration of Alkynes Accelerated by Synergistic Effects of Ruthenium Complexes and Phenoxides
Suguru Murakami, Ryosuke Matsubara, Masahiko Hayashi　European Journal of Organic Chemistry 2022 (44) Nov-22 英語 有 研究論文（学術雑誌）
4. Recent progress in synthesis and application of furoxan　Muhammad Abu Yousef, Ryosuke Matsubara
最終・責任著者 RSC Advances 13 (8)　5228-5248 Feb-23　英語 有 研究論文（学術雑誌）
5. Cuticular hydrocarbon reception by sensory neurons in basiconic sensilla of the Japanese carpenter ant
Hidehiro Watanabe, Shoji Ogata, Nonoka Nodomi, Kosuke Tateishi, Hiroshi Nishino, Ryosuke Matsubara, Mamiko Ozaki, Fumio Yokohari　Frontiers in Cellular Neuroscience 17　Feb-23 英語 有 研究論文（学術雑誌）
6. Metal-free reduction of CO2 to formate using a photochemical organohydride-catalyst recycling strategy.
Weibin Xie, Jiasheng Xu, Ubaidah Md Idros, Jouji Katsuhira, Masaaki Fuki, Masahiko Hayashi, Masahiro Yamanaka, Yasuhiro Kobori, Ryosuke Matsubara　最終・責任著者 Nature chemistry　Mar-23 英語 有 研究論文（学術雑誌）

【学会発表】※下記の順で記載

発表タイトル 講演者 会議名 発表年月 発表言語 発表形態 開催地 国内・国際区分

1. 在来アリ化学交信物質による「仮想敵バリア」の侵害性アリ阻止効果：化学・神経・行動学的メカニズムの解明と応用展開の可能性　尾﨑まみこ，上尾達也，松原亮介，中嶋智子，波部俊也，松山茂　第 67 回日本応用動

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

物昆虫学会大会 1905 年 7 月 日本語 ポスター発表 大阪 国内

2. 非遷移金属触媒系を用いる CO2 光還元反応の開発　松原亮介　　若手研究者のためのセミナー 2022 年 7 月 日本語 口頭発表（招待）オンライン 国内
3. Solvent Effects on Intramolecular Charge Transfer Dynamics of 9-Aryl Carbazole Studied by Ultrafast Transient Absorption Spectroscopy　Takamoto K, Ueno¥, Y,Ohta¥, K,Hayashi¥, M,Akimoto¥, S,Matsubara¥, R,Tominaga¥, K　37th International Conference on Solution Chemistry 2022 年 7 月 英語 ポスター発表 オンライン 国際
4. Non-metal photochemical reduction of CO2 to formate with organohydride-recycling strategy　Ryosuke Matsubara Tateshina conference on organic chemistry 2022 年 11 月 英語 ポスター発表（招待）長野 国内
5. カルバゾール光増感剤を用いた触媒的還元反応　松原亮介　　2022 年度有機光化学研究会 2023 年 2 月 日本語 口頭発表（一般）仙台 国内
6. アニオン性置換基を有するカルバゾール光増感剤の合成、物性評価、光反応への適用　宮本 陸人,薮田 達志,林 昌彦,松原 亮介　　日本化学会第103春季年会 2023 年 3 月 日本語 口頭発表（一般）東京理科大学 国内
7. 炭酸セシウムにより活性化されたカルバゾール光増感剤を用いたアルキルアリールエーテルの C-O 結合の光還元的切断反応　薮田 達志,林 昌彦,松原 亮介　　日本化学会第103春季年会 2023 年 3 月 日本語 口頭発表（一般）東京理科大学 国内

【受賞】※下記の順で記載

賞名称 受賞者 受賞対象 授与機関名 受賞区分 受賞年月 国内国外区分

1. 令和 4 年度前期全学共通教育ベストティーチャー賞　松原亮介　神戸大学　2022 年 10 月

3－2. 生命分子化学

[15] 田村 厚夫

課題：ペプチド分子およびその集合体の人工デザイン

「人工設計したペプチド」を用いて、自在に「ナノ構造や機能をデザイン」する機能性ペプチドデザイン研究を進めている。これによって設計したペプチド分子およびそのナノ集合体を用いて、基礎科学の発展への寄与に加え、現代社会が抱える高齢化社会での医療や環境破壊などの諸問題の解決にもつながる新機能を創製することを目指している。本年度行った研究を以下の（1）～（3）に分類して説明する。

（1）レアメタル結合能を持つ環状ペプチドの創製

N 末端と C 末端をペプチド結合つないだ環状ペプチドで、レアメタルに選択的結合能を持つものの創製を目指した。この際、分子集合によりナノチューブ構造体を形成するものも含んでいる。目指す機能として、新たにオスミウムとルテニウムという白金族レアメタルも対象とした。この結果、イリジウム、パラジウム、オスミウム、ルテニウムと選択的に結合するペプチドを得ることとなった。核磁気共鳴法によって、環状ペプチドの立体構造を解析した所、2 分子が積層した構造であることが示唆された。結合困難と思われたレアメタルに対し、選択性を持って結合したこと、これを通常の鎖状ではなく環状ペプチドで実現した独自性の高い研究となり、この成果は、第 95 回日本生化学会大会にて「レアメタルと相互作用する環状ペプチドの人工設計」で若手優秀発表賞を受賞するこ

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

ととなった。なお、以上の結果がレアメタルの結合回収につながれば、資源の少ない我国でも、都市鉱山からレアメタルをリサイクルすることで、経済問題や環境問題の解決につながると考えられる。

この他、鎖状のヘアピン構造で白金と結合して抗癌作用を示し得る超小型ペプチド、亜鉛と結合して安定構造を形成するペプチドなど、金属結合と構造機能が相関する新規ペプチドの設計を行った。特に、共同利用施設である ESI 質量分析機で、ペプチド-金属結合について非常に詳細な構造情報が得られることが明らかになった。

（2）PET 分解能を持つペプチドの設計

小型ペプチドに酵素の活性部位を導入し、天然の酵素と比べて十分の一程度の大きさで機能を持つミニチュア酵素の創製を目指した。ターゲットとする機能として、エステル結合を分解することでポリエチレンテレfタラート（PET）を分解するものの設計と解析を行った。これは、環境中に捨てられたペットボトル等の製品を分解することで、環境問題の解決に寄与することを目指すものである。この結果、PET 類似体を用いた実験で分解能を示すものがいくつか得られ、その分子構造と機能との相関を探った所、ヘリックス構造形成との相関が認められた。

（3） 超耐熱性および液晶転移を示すペプチドナノファイバーの創製

アミノ酸数 20 程度からなるペプチド分子を設計し、これを自己集合させることで、転移温度が 120℃を超える超熱耐性のペプチドナノファイバーの構築に成功した。また、温度を変化させて分光測定および熱測定を行った所、他にも、極めて狭い温度範囲で協同的に熱の吸収を伴って「液晶的」に転移をおこすことを発見した。電子顕微鏡、クライオ電子顕微鏡、および原子間力顕微鏡により、線維状である温度域を超えると、球状凝集体が形成していることがわかり、構造転移と分子の集合形態の相関が明らかになった。

【発表論文】※下記の順で記載

論文タイトル　著者名　誌名　巻（号）頁　出版年月　記述言語　査読有無　種別

1. Pathway Dependence of the Formation and Development of Prefibrillar Aggregates in Insulin B Chain
Yuki Yoshikawa, Keisuke Yuzu, Naoki Yamamoto, Ken Morishima, Rintaro Inoue, Masaaki Sugiyama, Tetsushi Iwasaki, Masatomo So, Yuji Goto, Atsuo Tamura, Eri Chatani　Jun-22 Molecules 27 (13) 3964 英語　研究論文（学術雑誌）

2. Inhibition of Melittin Activity Using a Small Molecule with an Indole Ring
Sayuki Kanemitsu, Kenta Morita, Yudai Tominaga, Kanon Nishimura, Tomoko Yashiro, Haruka Sakurai, Yumemi Yamamoto, Ikuo Kurisaki, Shigenori Tanaka, Masaki Matsui, Tooru Ooya, Atsuo Tamura, Tatsuo Maruyama　Aug-22　The Journal of Physical Chemistry B　126 (31) 5793-5802 英語　研究論文（学術雑誌）

3. In Situ Synthesis of an Anticancer Peptide Amphiphile Using Tyrosine Kinase Overexpressed in Cancer Cells
Kenta Morita, Kanon Nishimura, Shota Yamamoto, Natsumi Shimizu, Tomoko Yashiro, Ryoko Kawabata, Takashi Aoi, Atsuo Tamura, Tatsuo Maruyama　Sep-22　JACS Au 2 (9) 2023-2028 英語　研究論文（学術雑誌）

【学会発表】※下記の順で記載

発表タイトル 講演者 会議名 発表年月 発表言語 発表形態 開催地 国内・国際区分

1. レアメタルと相互作用する環状ペプチドの人工設計　岸川優菜，田村厚夫
第 95 回日本生化学会大会 2022 年 11 月 日本語 ポスター発表 名古屋 国内

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

2. レアメタルと相互作用する環状ペプチドの人工設計　岸川優菜，田村厚夫
第 95 回日本生化学会大会 2022 年 11 月 日本語 口頭発表（一般） 名古屋 国内
3. 抗がん剤シスプラチンを模した白金結合ペプチドの設計　池田美玖，田村厚夫
若手フロンティア研究会 2022 2022 年 12 月 日本語 ポスター発表 神戸 国内
4. 新型コロナウイルスのスパイクタンパク質内のヘリックス構造と相互作用するペプチドの設計
菅谷美紗希，田村厚夫　若手フロンティア研究会 2022 2022 年 12 月 日本語 ポスター発表 神戸 国内
5. 人工設計ペプチドの亜鉛イオンへの結合様式　本多紘，田村厚夫　若手フロンティア研究 2022
2022 年 12 月 日本語 ポスター発表 神戸 国内
6. 白金族レアメタルとの結合能を持つ環状ペプチドの設計　岸川優菜，田村厚夫　若手フロンティア研究 2022
2022 年 12 月 日本語 ポスター発表 神戸 国内

【受賞】※下記の順で記載
賞名称 受賞者 受賞対象 授与機関名 受賞区分 受賞年月 国内国外区分
1. 若手優秀発表賞 (第 95 回日本生化学会大会)　岸川優菜，田村厚夫
レアメタルと相互作用する環状ペプチドの人工設計 日本生化学会 2022 年 11 月

［ 16 ］ 茶谷 絵理

課題：タンパク質の凝集機構の解明
タンパク質は、折りたたみを誤るとアミロイド線維という凝集体を形成し、生体内で沈着する。その結果、アルツハイマー病やプリオン病、ハンチントン病、透析アミロイドーシスのような疾病の原因となるため、アミロイド線維の形成機構を解明することは重要な課題である。本研究では、アミロイド病を根治し生命活動を健全に維持する仕組みを理解することを目指し、アミロイド線維形成機構の解明を進めている。これに加えて、非アミロイド性凝集や液滴状の集合体の研究にも取り組んでいる。以下に本年度のおもな研究活動内容を示す。

1. アミロイド核形成機構の解明
アミロイド核が生成する途中段階の追跡と構造解析を行っている。最も単純な理論に基づくと、アミロイド核生成は一段階で進行し、途中に核形成中間体は存在しないと考えられている。しかし実際には、多数のタンパク質で初期凝集体が生成することが報告されているため、これらの核形成に対する関与を明確化することを目指している。
今年度は、光散乱によって追跡したウシインスリンの核形成中間体の形成プロセスの数理モデリングを引き続き行った（長浜バイオ大との共同研究）。さらに、タウ、αシヌクレイン、酵母プリオンでも核前駆体の観察を進め、タウについては、酸化環境にさらされてジスルフィド結合形成が進行すると凝集経路が変わることを確認し、超遠心分析、小角X線散乱解析、透過型電子顕微鏡による解析を進めた（京都大、自治医科大、大阪大、鳥取大との共同研究）。αシヌクレインについては、解析対象にできそうなプロトフィブリル様の核前駆体を確認した（分野内での共同研究）。さらに酵母プリオンについては、液滴状集合体からアミロイド線維が形成することを観察し解析を進めた。また、低分子熱ショックタンパク質の一種であるαBクリスタリンがインスリン由来ペプチドの核前駆体に結合しサイズ発達を顕著に抑制する現象について、詳細な解析を進めた（京都大、自治医科大、オーストラリア国立大との共同研究）。また、タウの家族性変異体のなかで、核形成に関わることが示唆されるものが見

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

られたので、今後機構解明を目指す予定である（大阪大、鳥取大との共同研究）。

2.　アミロイド線維の伝播機構の解明

核形成を経て生成したアミロイド線維にはシーディングによる構造伝播がしばしば見られる。このとき、線維末端は鋳型として機能し、自己の構造を増殖させる。この性質にも興味を持ち機構解明を目指している。

今年度は、トランスサイレチンを中心に本機構に取り組んだ。トランスサイレチンは生体内で線維化することによりトランスサイレチンアミロイドーシスを引き起こすが、試験管内ではアミロイド線維形成の再現が難しい。しかし、ポリペプチド鎖の一部が欠如するとトランスサイレチンのアミロイド線維化が格段に深奥しやすくなることを見出すことができたので、変異を導入しながら本断片の諸性質を解析した。その結果、作製した変異体の中に野生型と異なる線維構造を形成するものを見つけ、シーディングでその構造が複製される様子を確認した。さらに野生型とかけ合わせた形でシーディングするとその構造が野生型に伝播することも分かったので、解析を進める予定である。また、線維構造を鋭敏に識別する手法開発として、チオフラビンTを用いた構造変化を追跡する試みを昨年に続いて行い、高い精度および再現性を確認した（浜松ホトニクス株式会社との共同研究）。

3.　タンパク質水溶液の液-液相分離状態に関する研究

近年、タンパク質が細胞内で濃厚な液滴状の集合体を形成、機能していることが明らかになり、注目を集めている。今年度は、酵母プリオンタンパク質の解析を共同研究者の大橋博士と進め、さまざまな酵母種由来の配列や変異の導入が及ぼす影響の観察を通して、液-液相分離のしやすさやその温度応答性、さらにアミロイド線維形成のしやすさに対するアミノ酸組成もしくはアミノ酸配列の影響を解析した。また、液滴からのアミロイド線維核発生頻度の計測法の構築を共同研究の形で行った（東北大との共同研究）。αシヌクレインとタウの液滴についても解析を本格化し、文献を参照しながら形成させた液滴についての性質を確認すると同時に、レーザーを用いた形成にも挑戦した（台湾国立陽明交通大との共同研究）。

【発表論文】※下記の順で記載

論文タイトル　著者名　誌名　巻（号）頁　出版年月　記述言語　査読有無　種別

1.　Multistep growth of amyloid intermediates and its inhibition toward exploring therapeutic way: A case study using insulin B chain and fibrinogen　Naoki Yamamoto，Eri Chatani　最終著者 Biophysics and Physicobiology 19 e190017 May-22　有　研究論文（学術雑誌）

2. Pathway dependence of the formation and development of prefibrillar aggregates in insulin B chain Yuki Yoshikawa，Keisuke Yuzu，Naoki Yamamoto，Ken Morishima，Rintaro Inoue，Masaaki Sugiyama，Tetsushi Iwasaki，Masatomo So，Yuji Goto，Atsuo Tamura，Eri Chatani　最終・責任著者 Molecules 27 (13) 3964 Jun-22 英語 有　研究論文（学術雑誌）

3. Tracking the Structural Development of Amyloid Precursors in the Insulin B Chain and the Inhibition Effect by Fibrinogen　Naoki Yamamoto，Rintaro Inoue，Yoshiteru Makino，Hiroshi Sekiguchi，Naoya Shibayama，Akira Naito，Masaaki Sugiyama，Eri Chatani　最終・責任著者 The Journal of Physical Chemistry B 126 (51) 10797-10812　Dec-22 英語 有　研究論文（学術雑誌）

4. Two-stage optical trapping and assembling of protein at air/solution interface　Po-Wei Yi，Wei-Hsiang Chiu，Shuichi Toyouchi，Roger Bresoli-Obach，Johan Hofkens，Eri Chatani，Yoichiroh Hosokawa，Teruki Sugiyama，Hiroshi Masuhara　Appl. Phys. Express 16　25501 Feb-23 英語 有　研究論文（学術雑誌）

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

【学会発表】※下記の順で記載

発表タイトル 講演者 会議名 発表年月 発表言語 発表形態 開催地 国内・国際区分

1. アミロイド線維形成の初期に伴うタンパク質の集合・動態 茶谷絵理 松ヶ崎サイエンスフォーラム 2022 年 4 月 日本語 公開講演 オンライン 国内

2. Investigating protein assembly in the nucleation of amyloid fibrils Eri Chatani Molecular Basis of Proteinopathies 2022 年 5 月 英語 口頭発表（招待） 国際

3. マイクロサイズプリオンタンパク質集合液滴中からのアミロイド核生成速度解析
福山 真央，西奈美 卓，冨田 峻介，大橋 祐美子，粕谷 素洋，茶谷 絵理，白木 賢太郎，火原 彰秀
第 82 回分析化学討論会 2022 年 5 月 日本語 口頭発表（一般） 茨城大学 国内

4. 液液相分離相からのアミロイド形成速度のサイズ依存 福山 真央，西奈美 卓，冨田 峻介，大橋 祐美子，粕谷 素洋，茶谷 絵理，丸山洋子，白木 賢太郎，火原 彰秀 化学とマイクロ・ナノシステム学会 第 45 回研究会 2022 年 5 月 日本語 口頭発表（一般） 中央大学 国内

5. トランスサイレチン 49-127 断片のアミロイド線維化反応における塩の影響 中尾 星哉，柚 佳祐，松村 美里，大橋 祐美子，茶谷 絵理 第 22 回日本蛋白質科学会年会 2022 年 6 月 日本語 口頭発表（一般） 名古屋 国内

6. アミロイド線維形成における α シヌクレインの初期凝集機構の解明 北野さくら，柚佳祐，笹田航，木村哲就，茶谷絵理 第 22 回日本蛋白質科学会年会 2022 年 6 月 日本語 口頭発表（一般） 名古屋 国内

7. タウのアミロイド線維形成に対する酸化還元状態の影響 益井歩未，柚佳祐，山口圭一，後藤祐児，河田康志，茶谷絵理 第 22 回日本蛋白質科学会年会 2022 年 6 月 日本語 口頭発表（一般） 名古屋 国内

8. 低分子熱ショックタンパク質である αB-クリスタリンは，インスリン B 鎖のアミロイド前駆体と複合体を形成し，成長を阻害する 國尾祐貴，柚佳祐，山本直樹，Junna Hayashi，John,A. Carver，守島健，井上倫太郎，杉山正明，茶谷絵理 第 22 回日本蛋白質科学会年会 2022 年 6 月 日本語 口頭発表（一般） 名古屋 国内

9. 断片化したトランスサイレチンのアミロイド線維形成 柚佳祐，松村美里，山本直樹，宗正智，山口圭一，茶谷絵理 第 22 回日本蛋白質科学会年会 2022 年 6 月 日本語 口頭発表（一般） 名古屋 国内

10. Sup35 天然変性領域の局所構造が液-液相分離の環境応答性を決定する 大橋祐美子，西奈美卓，白木賢太郎，茶谷絵理 第 22 回日本蛋白質科学会年会 2022 年 6 月 日本語 口頭発表（一般） 名古屋 国内

11. アミロイド線維の形成－核生成と伝播－の機構解明 茶谷 絵理 広島大学 第 25 回 RcMcD 融合研究セミナー 2022 年 7 月 日本語 口頭発表（招待） 広島大学 国内

12. Fluorescence Imaging and Raman Spectral analyses of Optically Evolved Assembling of Lysozyme at Air/Solution Interface Po-Wei Yi，Shuichi Toyouchi，Wei-Hsiang Chiu，Roger Bresolí-Obach，Johan Hofkens，Eri Chatani，Ryohei Yasukuni，Yoichiroh Hosokawa，Teruki Sugiyama，Hiroshi Masuhara 2022 年光化学討論会 2022 年 9 月 英語 口頭発表（招待） 京都大学 国内

13. 近赤外分光法を用いた，タンパク質の2次構造変化に伴う水分子の水素結合ネットワークの変化についての分析 石垣美歌，加藤慎基，茶谷絵理 日本分析化学会第 69 年会 2022 年 9 月 日本語 口頭発表（一般） 名古屋工大 国内

14. Study on solvent conditions of prion protein droplet formation for amyloid nucleation analysis Taiki Ozawa，Suguru Nishinami，Shunsuke Tomita，Yumiko Ohhashi，Motohiro Kasuya，Eri Chatani，Yoko Maruyama，Kentaro Shiraki，Akihide Hibara，Mao Fukuyama 令和 4 年度化学系学協会東北大会 2022 年 9 月 日本語 ポスター発表 岩手大 国内

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

15. Cooperative Optical Trapping Dynamics of Two Proteins at Solution Surface　Wei-Hsiang Chiu，Po-Wei Yi，Shuichi Toyouchi，Yoichiroh Hosokawa，Roger Bresolí-Obach，Johan Hofkens，Eri Chatani，Hiroshi Masuhara 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会 2022 年 9 月 英語 口頭発表（一般）オンライン 国内

16. Liquid-liquid phase separation and amyloid formation of Sup35 from four different yeast species 大橋 祐美子，西奈美 卓，白木 賢太郎，茶谷 絵理　第 60 回日本生物物理学会年会 2022 年 9 月 英語 ポスター発表 函館 国内

17. Amyloid fibril formation of transthyretin fragments　柚佳祐，松村美里，山本直樹，宗正智，山口圭一，後藤祐児，茶谷絵理　第 60 回日本生物物理学会年会 2022 年 9 月 英語 ポスター発表 函館 国内

18. Mechanisms of oligomer and protofibril formation suggested through studies of insulin and its B chain　Eri Chatani　"JSPS Core-to-Core Program and University of Wollongong Joint meeting: Protein aggregation, proteostasis and crocodiles" 2022 年 11 月 英語 口頭発表（招待）ｵｰｽﾄﾗﾘｱ 国際

19. Local conformation of intrinsically disordered regions of Sup35 produces temperature sensitivity of liquid-liquid phase separation　Yumiko Ohhashi，Suguru Nishinami，Kentaro Shiraki，Eri Chatani　Proteostasis & Disease Symposium 2022 2022 年 11 月 英語 ポスター発表 ｵｰｽﾄﾗﾘｱ 国際

20. Amyloid fibril formation of transthyretin induced by fragmentation　Keisuke Yuzu，Misato Matsumura，Naoki Yamamoto，Masatomo So，Keiichi Yamaguchi，Yuji Goto，Eri Chatani　Proteostasis & Disease Symposium 2022 2022 年 11 月 英語 ポスター発表 ｵｰｽﾄﾗﾘｱ 国際

21. Formation of two types of tau oligomers depending on redox conditions　Ayumi Masui，Keisuke Yuzu，Keiichi Yamaguchi，Yuji Goto，Yasushi Kawata，Eri Chatani　Proteostasis & Disease Symposium 2022 2022 年 11 月 英語 ポスター発表 ｵｰｽﾄﾗﾘｱ 国際

22. Conformational transitions of amyloid fibrils during cross-seeding　Eri Chatani，Keisuke Yuzu，Naoki Yamamoto，Masahiro Noji，Masatomo So，Yuji Goto，Tetsushi Iwasaki，Motonari Tsubaki　Proteostasis & Disease Symposium 2022 2022 年 11 月 英語 ポスター発表 ｵｰｽﾄﾗﾘｱ 国際

23. The chaperone function of αB-crystallin through the formation of a complex with the amyloid precursor of the insulin B-chain　Yuki Kokuo，Keisuke Yuzu，Naoki Yamamoto，Ken Morishima，Rintaro Inoue，Masaaki Sugiyama，Junna Hayashi，John A. Carver，Eri Chatani　Proteostasis & Disease Symposium 2022 2022 年 11 月 英語 ポスター発表 ｵｰｽﾄﾗﾘｱ 国際

24. アミロイド線維の発生と伝播の分子機構　茶谷絵理　奈良先端科学技術大学院大学 CDG 共催光ナノセミナー 2022 年 11 月 日本語 口頭発表（招待）奈良先科技大 国内

25. トランスサイレチン 49-127 断片のアミロイド線維化反応の特徴と変異効果　中尾星哉，柚佳祐，松村美里，大橋祐美子，茶谷絵理　若手フロンティア研究会 2022 2022 年 12 月 日本語 ポスター発表 神戸大学 国内

26. ドデシル硫酸ナトリウムによる α-Synuclein の初期凝集体の捕捉と観察　北野さくら，柚佳祐，笹田航，木村哲就，茶谷絵理　若手フロンティア研究会 2022 2022 年 12 月 日本語 ポスター発表 神戸大学 国内

27. Study of oligomer and protofibril mediated amyloid nucleation: Mechanistic insights from insulin and its B chain Eri Chatani　JSPS Core to Core Program and Technical University of Munich Joint Meeting: Amyloid Symposium Munich 2023 2023 年 2 月 英語 口頭発表（招待）ﾐｭﾝﾍﾝ 国際

28. Two-stage optical trapping mechanism of protein at its air/solution interface　Po-Wei Yi，Wei-Hsiang Chiu，Shuichi Toyouchi，Roger Bresolí-Obach,Johan Hofkens，Eri Chatani，Yoichiroh Hosokawa，Teruki Sugiyama，Hiroshi Masuhara　第 70 回応用物理学会春季学術講演会 2023 年 3 月 英語 口頭発表（招待）上智大学 国内

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

29. "アミロイド前凝集体を標的とした 分子シャペロン αB-クリスタリンの線維形成阻害様式"　茶谷絵理，國尾祐貴，柚佳祐，山本直樹，守島健，奥田綾，井上倫太郎，杉山正明，Junna Hayashi，John,A. Carver　第 14 回 タンパク質の異常凝集と その防御・修復機構に関する研究会 2023 年 3 月 日本語 口頭発表（招待） 京都大学 国内
30. アミロイド核形成段階におけるオリゴマーおよびプロトフィブリルの形成機構　柚佳祐，今村比呂志，野崎拓郎，藤井悠生，守島健，奥田綾，井上倫太郎，杉山正明，茶谷絵理　第 14 回 タンパク質の異常凝集と その防御・修復機構に関する研究会 2023 年 3 月 日本語 口頭発表（招待） 京都大学 国内
31. アミロイド線維の核形成メカニズムの解明　茶谷絵理　第 14 回ナノ・マイクロ計測化学セミナー 2023 年 3 月 日本語 口頭発表（招待） 東北大学 国内

[17]　木村 哲就

タンパク質の機能発現機構・構造形成機構の化学的理解

代謝や成長、学習といった高次の生命現象について階層分けして、紐解いていくと、低次に位置する生体分子が起こす化学反応が連動・協奏・相互作用することによって起きている。そのため、高次の生体反応の究極的な理解は生体分子の反応機構の解明なくしては不可能である。当グループは化学状態変化や構造変化といった生体分子のダイナミクスを『実時間で』観察し、反応中間体や遷移状態の化学情報および構造情報を明らかにする研究を展開している。

(1) ABC トランスポーターの輸送機構の解明
タンパク質分子、あるいはドメインと呼ばれる分子部分が発現する固有の機能や情報が「連動」・「協奏」・「相互作用」することで、『生体分子システム』が構築されている。ABC (ATP-binding cassette; ATP 結合ドメインを持った) トランスポーターは ATP の結合・加水分解を利用することで、小分子の輸送を行う膜タンパク質であり、種々の化学反応の共役と、構造変化の連動によって輸送が実現される、生体分子システムの代表例である。X 線結晶構造解析から、ABC トランスポーターは小分子の輸送経路を形成する疎水的な 2 つの膜貫通ドメイン(TMD)と、ATP の結合・加水分解を行い、細胞に露出した 2 つのヌクレオチド結合ドメイン（NBD；ATP 分解ドメインとも呼ばれる）から構成されていることがわかっている。さらに、ペリプラズムタンパク質（PP）と呼ばれる水溶性タンパク質が TMD のペリプラズム側と結合し、輸送基質を ABC トランスポーターへと運びこむと考えられている。これらの結晶構造は、細胞の外側に開いた状態と細胞質側に開いた 2 つの異なる状態をとっていることから、PP との結合および ATP の結合・加水分解反応と共役する形で、小分子の輸送が起こるだろうという仮説が提案されてきた。しかし、X 線結晶構造解析で得られる構造はスナップショットであり、『ABC トランスポート』という高次機能の発現機構を明らかにするためには、反応の時間軸に沿ったダイナミクスを直接観察することが必要であると考えられる。特に、

(i)　輸送基質の取り込み・輸送、ABC トランスポーターのコンフォメーション変化、ATP の結合・加水分解反応、PP と ABC トランスポーターの離合・集散が同期しているか？
(ii)　NBD の ATP 結合/加水分解に伴う構造変化と TMD の構造変化がどのように連動しているか？

といった疑問に答えるには、それぞれのダイナミクスを直接観察し、どのタイミングで、どの分子部分で、どの化学反応が起こっているかを反応軸にそって解析する必要がある。そこで、種々の分光装置（可視吸収、蛍光、蛍光寿命、赤外）を構築・利用し、マイクロ流路デバイスを組み込むことで、ABC トランスポーターを含む膜タンパク

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

質に適用可能な時間分解計測系を開発した。

具体的には、ヘムを輸送基質とするABCトランスポーターBhuUVおよびBhuUVにヘムを受け渡すペリプラズムタンパク質BhuTの発現・精製系を確立した。それらの試料を用いて、ATPの加水分解によって生成するADPがBhuUVに結合し、BhuTとBhuUVの複合体形成が促進されることを見出した。さらに、ヘム輸送ダイナミクスの動的分光計測を可能にする新規マイクロ流路ミキサーを組み合わせた紫外/可視吸収顕微分光計測系の構築を行い、吸収スペクトル変化が50 msの時定数で起こることを明らかにした。この変化がBhuUVに結合していたヘムが溶媒中へと放出されたことに由来することを明らかにした。さらに、ATPのABCトランスポーターへの結合・加水分解反応を追跡するための時間分解赤外分光計測系の構築を目指して、SPring-8/BL43IRを利用し、BL43IR 専用のマイクロ流路ミキサーの開発および評価を行った。その結果、ミリ秒の時間領域に起こる変化を差スペクトルの形式で測定することを可能にした。その装置を用いて、BhuUV の ATP 加水分解反応を追跡し、ATP の γリン酸由来のバンド(1250 cm^{-1})が反応の進行とともに、44 ms の時定数で消失することを確認できたことから、ATPの加水分解と同期する形でBhuUVからヘムが溶媒中へと放出されることが明らかになった。

また、輸送を行うためにはBhuUVのコンフォメーション変化が必要であるというのが一般的なABCトランスポーターの反応機構から推測されるが、どのABCトランスポーターの反応過程に関しても推測の域を出ていない。そこで、小堀教授(分子フォトサイエンスセンター)との共同研究により、スピンラベル ESR 測定を用いることで、反応過程における構造を決定する試みを開始した。スピンラベル化タンパク質を高純度・高効率で調製する方法の構築を進め、スピン共鳴が起こることを確認した。また、膜貫通ドメインに 4 つの異なる位置にシステイン変異を導入し、それぞれ調製しスピンラベルを施した上で、ATP, AMP-PNP, ホロ型 BhuT 等の共存下での CW-ESR を行い、段階的な反応過程における構造変化についての知見を得た。本結果に関しては日本蛋白質科学会年会において学生講演賞(仲絢香)を受賞し、また木村が招待講演を行なった。

⑵ 汎用性の高い時間分解X線結晶構造解析法の構築と相補的時間分解分光測定法の開発

原子レベルでのタンパク質の動的構造変化を可視化するために、SACLA における時間分解 X 線結晶構造解析実験(科学技術振興機構 X 線自由電子レーザー施設重点戦略課題推進事業「創薬ターゲットタンパク質の迅速構造解析法の開発」および「無損傷・動的結晶構造解析による生体エネルギー変換過程の可視化」)に参画し、光励起系の構築を推進してきた。この光励起系を利用して、2021 年度には光合成系 II の中間体 S1 から S2 への変化を明らかにした。また、一酸化窒素還元酵素について

また、2017 年度より、mix-and-jet 方式によって、イソクエン酸脱水素酵素の基質(イソクエン酸および$NADP^+$)の結晶中への分子拡散を利用した酵素反応の追跡を行っており、二液混合系(10-500 ms)および T 型ミキサー(500 ms-300 s)を用いた時間分解測定を行った。その結果、時間の経過とともに基質が活性サイトへと段階的に結合して行く様子を測定することに成功した。(理研・京大・阪大との共同研究) 同様の過程の化学的理解を深めるためには、酵素反応がどの段階で起こっているかを分光学的に明らかにし、時間分解構造解析と対比させ、新たな紫外・可視吸収分光測定系が時間分解 X 線結晶構造解析に資するものであることを証明する。そのための装置開発を行い、試料位置において φ15μm での分光測定を可能にし、微結晶試料に対する分光測定を可能にした。この装置を用いて、微結晶試料に対して測定を行い、$NADP^+$が NADPH へと変換される ICDH の酵素反応が 30 ms 程度のターンオーバーで起こっていることを明らかにした。また、2019 年度より、参画する新学術領域研究課題「高速分子動画法によるタンパク質非平衡状態構造解析と分子制御への応用」の計画研究(分担)として、京大との共同研究を開始し、カルシウム結合発光タンパク質イクオリンの発光・消光過程を溶液および微結晶での蛍光強度変化を分光学的に追跡し、SACLA での時分割実験に必要な反応速度定数の解析を行ったことに引き続き、2022 年度はストップトフローによる発光過程の追跡と速度論的解析を行い、ITC を用

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

いたカルシウム結合に伴う発生熱を測定し、熱力学的解析との分子機構を相補的に検討した。

(3) 鉄誘引性細胞死に関わる CYB561D2 の鉄還元反応機構の解析

癌抑制遺伝子として同定された 101F6 は Cytochrome b_{561} ファミリーに属する膜タンパク質 CYB561D2 を発現し、内分泌小胞膜に存在する。CYB561D2 は 2 つの *b*-type ヘムをもち、細胞質側のヘム b_h がアスコルビン酸から電子を受け取り、小胞内側のヘム b_l へと電子伝達し、鉄結合サイトで鉄還元を行うことが明らかとされている。一方で、ＣＹＢ561D2を発現させた細胞では、鉄過剰かつ酸素存在下において、“フェロトーシス (Ferroptosis)”と呼ばれる脂質過酸化による細胞死が起きている可能性が示唆されている。そこで、CYB561D2 を不飽和脂肪酸で構成されるナノディスクに再構成し、還元型 CYB561D2 からの電子移動によって、ナノディスクを構成する脂質が過酸化されるかどうかを検討することを試みている。

2022 年度には CYB561D2 と膜骨格タンパク質(MSP)を飽和脂肪酸を含む DMPC あるいは不飽和脂肪酸を含む POPC や SAPC 存在下で混合し、ナノディスクに再構成された CYB561D2 (CYB561D2-nd) のみを単離した。嫌気チャンバー内で、種々の CYB561D2-nd を還元し、鉄イオンと混合したところ、鉄イオンが還元され、その速度が脂質の不飽和度と関連することが示唆された。今後はより詳細な速度論的実験を行い、鉄イオンや、酸素の存在・非存在下での過酸化を検討し、CYB561D2 による Ferroptosis 誘引の分子機構を明らかにする。

【発表論文】※下記の順で記載

論文タイトル　著者名　誌名　巻（号）頁　出版年月　記述言語　査読有無　種別

1. Trapping of a Mononitrosyl Nonheme Intermediate of Nitric Oxide Reductase by Cryo-Photolysis of Caged Nitric Oxide. Hanae Takeda, Kanji Shimba, Masaki Horitani, Tetsunari Kimura, Takashi Nomura, Minoru Kubo, Yoshitsugu Shiro, Takehiko Tosha　Feb-23　The journal of physical chemistry. B　127 (4)　846-854 Feb-23　英語　研究論文(学術雑誌)

【学会発表】※下記の順で記載

発表タイトル　講演者　会議名　発表年月　発表言語　発表形態　開催地　国内・国際区分

1. Microspectroscopic systemsfor time-resolved measurementsof protein microcrystals　木村哲就
新学術領域研究「高速分子動画」領域会議　2022年5月　日本語　口頭発表(招待)　理研・横浜　国内

2. Thermodynamic analysis of interaction between Aequorin and Ca2+ by ITC　Urara Kuroki, Toshiya Funahashi, Yusuke Onishi, Toru Nakatsu, Tetsunari Kimura　第22回日本蛋白質科学会年会　2022年6月　英語　口頭発表(一般)　つくば国際会議場　国内

3. Spectroscopic analysis of electron transfer reaction in iron-reducing membrane protein 101F6- nanodiscs
Aoi Yamaguchi, Motonari Tsubaki, Tetsunari Kimura　第22回蛋白質科学会年会　2022年6月　英語　口頭発表(一般)　つくば国際会議場　国内

4. ATP binding state of heme ABC transporter, BhuUV-T, investigated by double spin-labeling ESR spectroscopy　Ayaka Naka, Yasuhiro Kobori, Motonari Tsubaki, Yositsugu Shiro, Hiroshi Sugimoto, Tetsunari Kimura
第22回日本蛋白質科学会　2022年6月　英語　口頭発表(一般)　つくば国際会議場　国内

5. Time-resolved spectroscopic measurements on the mechanism of heme transport by the ABC transporter BhuUV-T　Akiho Hara, Yoshitsugu Shiro, Hiroshi Sugimoto, Tetsunari Kimura　第22回日本蛋白質科学会年会　2022年6月　英語　口頭発表(一般)　つくば国際会議場　国内

6. ヘムABCトランスポーター; BhuUV-T の膜輸送に関するキネティクス解析　Tetsunari KIMURA　第22回日本蛋

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

白質科学会年会 2022年6月 英語 口頭発表（招待） つくば国際会議場 国内

7. ITCを用いたイクオリンCa2+間相互作用の熱力学的解析　黒木麗，船橋俊也，大西裕介，中津亨，木村哲就　第48回生体分子科学討論会 2022年6月 日本語 ポスター発表 とりぎん文化会館小ホール 国内
8. 101F6ナノディスクによる電子移動反応の実験的解析　山口葵，鍔木 基成，木村 哲就　第48回生体分子科学討論会 2022年6月 日本語 ポスター発表 とりぎん文化会館小ホール 国内
9. 二重スピンラベル-ESR分光法を用いた ABCトランスポーターBhuUV-Tの構造解析　仲絢香，小堀 康博，鍔木 基成，城 宜嗣，杉本 宏，木村哲就　第48回生体分子討論会 2022年6月 日本語 ポスター発表 とりぎん文化会館小ホール 国内
10. ABCトランスポーターBhuUV-Tにおけるヘム輸送機構の分光学的解析　原明穂，城宜嗣，杉本宏，木村哲就　第48回生体分子科学討論会 2022年6月 日本語 ポスター発表 とりぎん文化会館小ホール 国内
11. Analysis of lipid peroxidation induced by iron-reducing membrane heme protein; CYB561D2 in nanodiscs　Aoi Yamaguchi，Motonari Tsubaki，Tetsunari Kimura　第60回日本生物物理学会年会 2022年9月 英語 ポスター発表 函館アリーナ・函館市民会館 国内
12. Thermodynamic analysis of the calcium binding with photoluminescence protein; aequorin　Kuroki Urara, Funahashi Toshiya，Onishi Yusuke，Nakatsu Toru，Kimura Tetsunari　第60回日本生物物理学会年会 2022年9月 英語 ポスター発表 函館アリーナ・函館市民会館 国内
13. Conformational changes in transmembrane domain of ABC transporter revealed by double spin label-ESR spectroscopy.　Naka Ayaka、Kobori Yasuhiro、Tsubaki Motonari、Shiro Yoshitsugu、Sugimoto Hiroshi、Kimura Tetsunari　第60回日本生物物理学会年会 2022年9月 英語 ポスター発表 函館アリーナ・函館市民会館 国内
14. Tire-resolved spectroscopic analysis of allocrite transport mechanism in heme ABC transporter; BhuUV-T　Akiho Hara，Yoshitsugu Shiro，Hiroshi Sugimoto，Tetsunari Kimura　第60回日本生物物理学会年会 2022年9月 英語 ポスター発表 函館アリーナ・函館市民会館 国内
15. Development and application of complementary spectroscopic methods for dynamic structural biology　Tetsunari KIMURA　IPR seminar 2022年10月 英語 口頭発表（招待） 阪大蛋白質研究所 国際
16. 物理化学的解析による発光タンパク質イクオリンの反応機構　木村哲就，大崎優香，黒木麗，船橋俊也，中津亨　新学術領域研究「高速分子動画」領域会議 2022年11月 日本語 ポスター発表 淡路夢舞台 国内
17. 時間分解分光測定によるタンパク質の機能・構造解析　木村哲就　東北大学多元研セミナー 2023年2月 日本語 口頭発表（招待） 東北大多元研 国内

【書籍等】※下記の順で記載

タイトル　担当区分　著者名 出版社・発行元　出版年月　記述言語　査読有無　種別

1.　ヘムタンパク質の科学 ： 生理機能の理解とその展開に向けて　第1編 第5章 第5節 反応速度論　分担執筆 城 宜嗣，青野 重利，齋藤 正男　エヌ・ティー・エス　May-22　日本語

3－3. 有機分子機能化学

［ 18 ］ 津田 明彦

[課題 1] **光オン・デマンド合成による高機能・高付加価値材料の創製（神戸大）**

ホスゲンは有機合成における重要な C1 ビルディングブロックである一方で、高い毒性を持つことから、その製

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

造および使用は、法的に厳しく監視・管理されている。工業的有用性が高く、世界で年間 8〜9 百万トンが生産され、消費されている。大部分のホスゲンは、それを必要とする場所で、必要な時に、必要な量だけオン・デマンド製造されている。当研究グループは、従来法とは全く異なった新たな方法として、クロロホルム($CHCl_3$)と酸素から、ホスゲンの光オン・デマンド合成法の開発に成功した（特許第 5900920 号）。本反応は、従来のホスゲンを用いるほとんどの反応に適用することが可能であり、極めて工業的利用価値が高い。当グループは、当該反応を基礎として、新たな化学反応と、高機能・高付加価値材料の開発に取り組んでいる。当グループから生み出される化学と技術は、学術的にも工業的にも極めて価値が高く、有機合成に革新的イノベーションを生み出すことが期待されている。

上で開発した「光オン・デマンド合成法」は、アルコールやアミン、塩基触媒、水などが共存していても反応が進行し、反応基質を含んだハロメタン溶液に光を照射するだけで、in situ で目的物を得ることができる。我々は複数の国内化学系企業と協力し、クロロホルムやテトラクロロエチレンなどのハロメタンやハロカーボンを原料として、ポリウレタン、ポリカーボネート、ウレア、イソシアネート、アルデヒド、カルボン酸塩化物、アミノ酸-N-カルボン酸無水物、N-置換トリハロアセトアミドなど、有用な機能性ポリマーや化学薬品類を安全・安価・簡単・低環境負荷・任意スケールで得る反応（技術）開発に成功し、3 件の新規特許出願と 2 件の国際特許出願（＋優先権主張出願）を行った。国内および国外のそれぞれの審査プロセスを経て計 11 件の特許を取得した。また関連する 4 件の論文発表を行った。従来法よりも格段に安全性が高く、簡単であり、高価な設備が不要、原料は溶媒のハロメタンであることから低コストであり、実験室レベルでも工業レベルでも大きなメリットがある。これらの研究成果は社会から注目されており、国内外の多くのメディアで報じられた（化学工業日報×2, 日刊工業新聞×3, 日経産業新聞, 日経電子版×3, 日経クロステック×3, 日経テックフォーサイト×3, ニュースイッチ, ケムステ, ChemistryViews および国内・国外ソーシャルメディア多数）。今後、日本の化学産業の発展に大きく貢献することが期待されている。

上記の成果は学外および学内で高く評価され、高分子学会三菱ケミカル賞、神戸大学学長表彰（社会貢献）を受賞した。さらに、将来の事業化プランが評価され、池田泉州銀行 第 23 回ニュービジネス助成金 「オープンイノベーション賞（サポート企業　有限責任監査法人トーマツ／デロイト トーマツ ベンチャーサポート株式会社 ）」を受賞した。

上記の研究において創出された新物質の反応解析および分子構造解析を、本学同専攻の枝和男 准教授との共同研究として実施した。加えて、兼務する滋賀医科大学において、それらとは異なる課題（医療材料および医薬品開発）において共同研究を実施し、産学医官連携による共同研究開発に取り組んだ。

[課題 2] **中国内蒙古自治区の資源を活用するサスティナブル有機合成法の開発**

研究室主催者は 2017 年から内蒙古医科大学薬学院との国際共同研究を開始し、2018 年から同学の客員教授を兼務して、現地メンバーの研究活動を指揮してきた。内蒙古自治区原産の鉱物や植物などの天然資源を使って、医薬品やポリマー、そして機能性材料などの共同開発に取り組んできた。2021 年 11 月に、神戸大学大学院理学研究科と内蒙古医科大学薬学院が学術交流協定を締結して、対組織間でのより活発な研究活動を行っている。当該年度も、新型コロナウイルスの影響のため、定期的なビデオ会議を開催することによって、学生やスタッフの研究指導を直接行った。

研究室主催者と、本学で博士号を取得した内蒙古医科大学薬学院の額爾敦教授と梁凤英講師の国際共同研究チームは、中国原産のアルミナを使って、香料や医薬品の原料となるジフェニルメタノール誘導体を、簡単・低コスト・低環境負荷で合成することに成功した。アルミナを水洗いして乾燥させると何度でも再生利用でき

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

ることを見出し、原材料および廃棄物を削減して、合成コストおよび環境負荷を小さくすることができた。世界における環境意識の高まりの中、カーボンニュートラルおよび SDGs に貢献する新たな化学品合成法となることが期待されている。本研究成果は 2021 年 4 月に中国で特許出願し、同年 9 月の優先権主張出願を経て、2022 年 5 月 18 日に、関連する学術論文を発表した。その研究成果は、化学工業日報および日経電子版で報じられた。

【特許出願】

1. 発明名称： ポリウレタンの製造方法（優先権主張出願・PCT）

出願番号: 特願PCT/JP2022/40131

出願日: 2022/10/27

2. 発明名称： 含フッ素ポリウレタンの製造方法（優先権主張出願・PCT）

出願番号: 特願PCT/JP2022/40118

出願日: 2022/10/27

3. 発明名称: ハロゲン化カルボニルの製造方法

出願番号: 特願2022-203823

出願日: 2022/12/21

4. 発明名称: 網目状ポリウレタンの製造方法

出願番号: 特願2023-18713

出願日: 2023/2/9

5. 発明名称： イソソルビドポリウレタンおよびその製造方法

出願番号: 特願2023-033753

出願日: 2023/3/6

【発表論文】※下記の順で記載

論文タイトル 著者名 誌名 巻（号）頁 出版年月 記述言語 査読有無 種別

1. Direct Syntheses of Diphenylmethanol Derivatives from Substituted Benzenes and CHCl3 through Friedel-Crafts Alkylation and Post Hydrolysis or Alcoholysis Catalyzed by Alumina

Guga Suri, Fengying Liang, Mixia Hu, Meiling Wang, Ren Bu, Xiaoying Zhang, Hui Wang, Wenyan Dong Chaolu Eerdun, Akihiko Tsuda 最終・責任著者 Apr-22 ChemistryOpen 11 e202200042 Apr-22 英語 有 研究論文（学術雑誌）

2. Reactivity and Product Selectivity of Fluoroalkyl Carbonates in Substitution Reactions with Primary Alcohols and Amines 初村秀仁, 橋本優香, 細川流石, 永尾彰浩, 枝和男, 原田啓史, 石塚圭, 岡添隆, 津田明彦 最終・責任著者 Aug-22 J. Org. Chem. 87 11572-11582 11582 Aug-22 英語 有 研究論文（学術雑誌）

3. Photo-on-Demand Synthesis of α-Amino Acid N-Carboxyanhydrides with Chloroform

杉本敏幸, 桑原那弥, 梁凤英, 王惠荣, 津田明彦 最終・責任著者 Oct-22 ACS Omega 7 39250-39257 Oct-22 英語 有 研究論文（学術雑誌）

4. Flow Photo-On-Demand Phosgenation Reactions with Chloroform

劉悦, 岡田稜海, 津田明彦 最終・責任著者 Nov-22 Organic Process Research and Development 26 3336-3344 Nov-22 英語 有 研究論文（学術雑誌）

5. Photo-on-Demand in situ Synthesis of N-Substituted Trichloroacetamides with Tetrachloroethylene and their

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

Conversions to Ureas, Carbamates, and Polyurethane
赤松寿樹，舍乐木格，松根絢子，樫木克至，梁凤英，岡添隆，津田明彦
最終・責任著者 Jan-23 ACS Omega　 Jan-23 英語 有　研究論文（学術雑誌）

【学会発表】※下記の順で記載

発表タイトル 発表者名 会議名 開催場所 発表年 月 国内・国際区分 発表形態 発表言語

1. ハロカーボンを原料とする光オンデマンドポリマー合成法の開発　津田 明彦　高分子討論会　Sep-22　日本語　口頭発表（招待）　北大 国内

【受賞】※下記の順で記載

賞名称 受賞者 受賞対象 授与機関名 受賞区分 受賞年月 国内国外区分

1. 高分子学会三菱ケミカル賞　津田 明彦　ハロカーボンを原料とする光オンデマンドポリマー合成法の開発　公益社団法人 高分子学会　2022年7月
2. 神戸大学学長表彰　津田明彦　社会貢献　神戸大学　2022年10月
3. 第23回ニュービジネス助成金 オープンイノベーション賞（サポート企業 有限責任監査法人トーマツ／デロイト トーマツ ベンチャーサポート株式会社 ）」 津田明彦　 池田泉州銀行　2023年2月

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

２０２２年度 教育実績報告書

化学専攻

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

目次

１．物理化学講座

１－１．分子動力学（和田昭英，笠原俊二）　－－－－－－－　１

１－２．物性物理化学（大西 洋，木村建次郎，枝 和男）　－－－－－－－　４

１－３．反応物理化学（小堀康博，立川貴士）　－－－－－－－　８

２．無機化学講座

２－１．固体化学（持田智行，内野隆司，高橋一志）　－－－－－－－１０

２－２．状態解析化学（富永圭介，秋本誠志）　－－－－－－－　１３

３．有機化学講座

３－１．有機反応化学（林昌彦，松原亮介）　－－－－－－－１５

３－２．生命分子化学（田村厚夫，茶谷絵理，木村哲就）　－－－－－－－１９

３－３．有機分子機能（津田明彦）　－－－－－－－２４

４．連携講座

４－１．構造解析学（小金澤智之，上杉健太朗，関澤央輝）　－－－－－－－２５

４－２．理論生物化学（中嶋隆人，松岡貴英）　－－－－－－－２８

５．非常勤講師

５－１．科学英語（神前陽子）　－－－－－－－３０

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・教授　和田昭英

担当授業科目等			
（全学共通）	化学Ｃ（分担）	第３Q	１コマ ×　４回
（学部）	(1)量子化学 I-1・I-2	第１Q・第２Q	１コマ × １６回
	(2)量子化学 II-1・II-1	第３Q・第４Q	１コマ × １６回
	(3)分子分光学２	第４Q	１コマ ×　８回
	(4)化学実験Ⅱ（分担）	第 3Q・第４Q	２コマ × １８回
	(5)特別研究		
	(※)化学実験入門	第４Q	１コマ ×　８回
（博士前期）	(6)先端融合科学特論(分担)	前期	１コマ ×　３回
	(7)物性物理化学特論(分担)	前期	１コマ ×　３回
	(8)物理化学 II(分担)	後期	１コマ ×　３回
	(9)論文講究 I、II		
（博士後期）	無し		

授業内容と自己評価

・ 化学C

この講義は文系の１年生を対象とした授業なので，興味を持ってもらうように，絵やアニメーションを多く取り入れて化学や科学の全体像が掴めるように心がけた。レポートの結果をみる限りはある程度の目標は達成できたと思われる。また，アンケートでは「レポートないしは研究全般に対する全体的な心構えというか、態度を学び、自分自身の今後の学習活動に生かしていこうと思いました。」という教員冥利に尽きるコメントを学生からもらえた。

・ 量子化学I，II

量子化学I・IIでは、例年の通りの教科書（アトキンスの物理化学の構造の部分［量子力学の導入～等核二原子分子まで］）に加えて、参考書としてマッカーリー・サイモンの物理化学を頻繁に参照して進めた。演習問題を前年の約1.2倍に増やして学生に予習・復習を促した。略解は翌週に示して質問をメールで受け付ける形式を採った。講義では学生の理解を深め、数式の内容をイメージできるようにすることを目的として黒板にグラフや図を示すように心がけた。また、中間試験と期末試験では、学生が効率よく復習できることを狙いとして、各自が作成した覚書（A4レポート用紙、１～２枚）の持込を可とした。学生からは「一つ一つの内容を深く説明してくださり、質問の時間も設けてくださったので、理解につながりました。」や「スライドが丁寧」といったポジティブなコメントをもらった一方で「もう少し要点をまとめて短く話して欲しい。講義中ずっと先生が喋っていて少しでも聞き逃したら何をやっているのかわからなくなる。」といった今後の課題となる意見もあった。

・ 化学実験II（分担）

ラマン散乱を利用した振動スペクトル測定の原理、そして基準振動や分光システムの構築の考え方、さらに誤差の考え方と取り扱いについて学習させた。１テーマ当たり５，６人程度で行う実習であるが、それをさらに２班に分けることで全員が実験に参加して、ただ見ているだけの学生がいない様に心掛けた。実習としては、前半に連成振子の振動周期を実際に測定させることで基準振動の意義とデータ処理、特に誤差の取り扱いについて学ばせた。後半には実際にラマンスペクトルを測定する光学系を組ませてからスペクトルの測定を行わせることで、一歩踏み込んだ分光測定を学ばせた。さらに，実習中に学生同士で発言・議論を促すよ

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

うに心がけた。

・ 分子分光学２
分光学の基礎となる光と分子の相互作用に関しては、時間依存の摂動論に基づいて高次の相互作用まで説明した。分光学は量子論を基礎とした話になるので,「学生にいかにしてイメージを持たせて理解させるか」が学生が興味を持つかどうかの分かれ目になると思われる。そのため学生にイメージと興味持たせることを目的として、図やグラフを多用した説明に加えて、レーザーポインタを使った簡単な実験や定規やCDを回折格子として使った実験などを行った。

・ 物理化学 II（分担）
統計熱力学の基礎について講義をした。特に熱力学と統計熱力学の関係，ボルツマンの原理，アンサンブルの考え方の３点に重点を置いて講義を行った。熱力学と統計力学の視点の違いや、ボルツマンの原理に基づいて統計力学を使った熱力学の再構築、そしてボルツマン分布の理解について詳しく説明した。また、マックスウェル・ボルツマンの分布則については、分布側を理解する際に見落としがちな縮退の考え方や量子効果の影響を交えて説明した。

・ 先端融合科学特論（分担）
分光学で観測される非日常的な現象（多光子過程・コヒーレント相互作用）について説明した。レポート課題として。多光子過程かコヒーレント相互作用を使った研究成果の論文を読ませて，概要と意見を課題とした。レポート結果をみる限りはある程度の目標は達成できたと思われる。

・ 物性物理化学特論(分担)
場の理論に基づいた振動緩和過程とその温度依存性について講義した。レポート課題として。振動緩和過程に関する研究成果の論文を読ませて，概要と意見を課題とした。レポート結果をみる限りはもう少し丁寧な説明が必要と思われた。

・ 化学実験入門
この科目は 2021 年度から導入された科目で、学部１年生になるべく早く化学実験に触れてもらうこと、そして研究室で実際に大学院生に混じって実験やデータ解析を行うことで実際の実験研究を経験してもらうことを目的としている。単位はつかない。今年は光化学反応とその計測システムについて、その原理からシステム構築、測定、解析までを経験させた。履修した学生からは以下の様な感想をもらったことから、当初の目的は果たせたと考えている。
・大学の実験には膨大な時間が必要になることを知ることができた。
・実験の授業の無い１年の時に実験ができたのでモチベーションが上がった。
・研究室の雰囲気を体験出来て良かった。
・実験ノートの取り方や実験器具の適切な使い方や後処理の仕方など、実験者としての常識を実際に体験して覚えられたのもためになった。

その他の特記事項

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・准教授　笠原俊二

担当授業科目等						
（学部）	(1)	量子化学Ⅲ-1, Ⅲ-2	1･2Q	１コマ	×	１６回
	(2)	分子分光学-1	3Q	１コマ	×	８回
	(3)	量子化学演習（分担）	後期	１コマ	×	８回
	(4)	化学実験Ⅱ（分担）	後期	２コマ	×	１８回
	(5)	特別研究				
（博士前期）	(6)	物理化学Ⅰ（分担）	後期	１コマ	×	５回
	(7)	論文講究Ⅰ				
	(8)	特定研究Ⅰ				
（博士後期）	(9)	物理化学特論Ⅰ(分担)	前期	１コマ	×	３回
	(10)	特定研究				

授業内容と自己評価

講義は対面であったが、数名(1-4 名)の体調不良者がオンラインで参加することが多いため、スライドを用いての講義が多かった。

(1)量子化学 I, II で学修した原子および分子のエネルギー準位構造を、観測される現象である光学遷移による状態変化という観点も加えて講義した。分子の電子状態と振動構造についてエネルギー準位構造・対称性・遷移選択則から解説した。演習も加えてより深く理解させるよう工夫した。学生授業評価総合判断の平均は 4.59 で満足度は高いと思われる。

(2)(1)に引き続き、分子の回転遷移について解説し、振動回転スペクトルから分子構造を決定する方法を解説した。これは、(4)の実験での解析方法の解説にもなっている。さらに、分子のイオン化についても解説した。

(3)後半部分を担当した。量子化学 I, II の内容について問題演習を通じて復習してさらに理解を深めることを目的として講義・演習を行った。毎回課題を小テストまたはレポートとして課し、課題は添削して返却・解説することで理解が深まったと思う。初回に「これまでの講義で何が分からないか、この講義で何を知りたいか」というアンケートを行い、その結果を講義内容に反映させ、双方向の授業を目指した。学生授業評価総合判断の平均は 4.73 と大変良かった。

(4)実験は密にならないように半分に分けて別の場所で行うなどの工夫をした。分子のスペクトルの測定原理を理解することを目的に基礎的な分光実験を行った。(2)(3)の講義で示したスペクトルを実際に観測・解析することで、スペクトルから分子構造を決定できることを理解してもらえたと思う。

(6)博士前期課程の学生に対して、前期に開講した。学部での量子化学の復習から始まり、摂動論をエネルギー準位間の相互作用として具体例を挙げつつ講義した。角運動量の合成、磁場や電場による相互作用を中心に解説した。

(9)博士後期課程の学生に対して、高分解能分光に関する講義を行うとともに、学生の研究テーマについて議論を行い、双方向の授業を行った。

(5)(7)(8)(10) 学部 B4 の学生 3 名、博士前期課程 M1 の学生 1 名、博士後期方英 D1 の学生 1 名の教育・研究指導を行った。毎週の英語テキストまたは論文の輪読により実験・解析手法の工夫と実験結果の理解を深めた。

その他の特記事項

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・教授　大西洋

担当授業科目等			
（全学共通）	(1) グローバルチャレンジ実習	前期	
	(2) 基礎物理化学１	3Q	１コマ　×　８回
（学部）	(3) 物理化学基礎	1Q	１コマ　×　８回
	(4) 表面化学１	3Q	１コマ　×　８回
	(5) 高度教養科目「表面と界面の化学」	3Q	１コマ　×　８回
	(6) 化学熱力学 III-2	2Q	１コマ　×　８回
	(7) 化学実験Ⅱ（分担）	3-4Q	２コマ　×２４回
	(8) 特別研究		
（博士前期）	(9) 物理化学Ⅱ（分担）	後期	１コマ　×　４回
	(10) 物性物理化学特論（分担）	前期	１コマ　×　４回
	(11) 論文講究Ⅰ、Ⅱ		
	(12) 特定研究Ⅰ、Ⅱ		
（博士後期）	(13) 特定研究		

授業内容と自己評価

●全学共通（1）タンマサート大学（タイ）へ本学 2 年生を 3 週間派遣して「英語で化学を学ばせる」科目を 2019 年度から開講している。本年度は COVID-19 のため派遣できなかった。(2) 物理学科・生物学科・惑星学科の 1 年生に熱力学の基礎を教える講義を数年ぶりに担当した。授業振返りアンケートによると、宿題と小テストを頻繁におこなう形式は好評であった。

●学部 (2) 高校理数系科目と大学の化学をつなぐための科目である。対面とオンラインを併用して実施した。(3) と (4) 固体表面を化学することのおもしろさと難しさを伝えることが目的の選択科目である。この授業は実社会と化学の関わりについて時間を割いて説明している。本年から「英語で講義し日本語の配布物を配る」形式にあらためた。高度教養科目（4）としての受講生は昨年まで定員一杯（15 名）あったが本年は 0 となった。昨年までの当科目履修生は、残念ながら、何かを学びたいのではなく高度教養科目の 1 単位を求めて履修したのかもしれない。一方、同一内容の（3）を履修した化学科 3 年生は例年どおり 35 名が履修した。受講生の成績および授業振返りアンケートの結果を見たところでは、日本語使用を禁止しない範囲で英語を優先使用した授業形態は受講生に受け入れられたと判断した。2023 年度も同様の形態で出講する。学部 (5) 本年度から新たに担当する授業である。化学熱力学（マクロ）と量子化学（ミクロ）を接合しようとする統計力学の基礎をできるだけ具体的に理解させるために宿題と小テストを頻発する形式の授業とした。学部（6）昨年までと同様に熱測定と誘電率測定を担当した。完全に対面で実施できた。

●博士前期（9）熱力学の問題演習をおこなって受講生ひとりずつに日本語と英語でプレゼンテーションさせた。(10) 力学共振と反応速度論について講義した。

●研究指導（8）（11）（12）（13）博士後期 1 名・博士前期 3 名・学部 2 名を主任指導した。どのくらい失敗させることが学生本人の能力向上にとって適切であるかの判断が例年むずかしい。

その他の特記事項

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・教授　木村　建次郎

担当授業科目等					
（全学共通）	(1)	基礎物理化学２	第 4Q	１コマ ×	８回
（学部）	(2)	量子化学演習	後期	１コマ ×	８回
	(3)	計算機化学実験	後期	２コマ ×	８回
	(4)	表面化学２	第 4Q	１コマ ×	８回
（博士前期）	(5)	先端融合科学特論 B(分担)	前期	１コマ ×	４回
	(6)	物性物理化学特論（分担）	前期	１コマ ×	４回
	(7)	物理化学Ⅱ（分担）	後期	１コマ ×	４回

授業内容と自己評価

⑴　量子化学演習では、古典力学の復習を兼ねて解析力学を詳説し、可能な限りなめらかに前期量子論を導入、最終的に量子力学の基礎方程式、シュレーディンガー方程式の導出を実施した。

⑵　解析力学の基礎を直感的なイメージを交えながら詳説した。物理学の初学者向けに、変分法の基礎なども丁寧に解説しながら、古典力学の基礎方程式、保存量から前期量子論の説明に重点を置き、最終的に量子力学の基礎方程式、化学問題と量子力学の関係について、その概要を説明した。

⑶　計算機化学実験では、MAPLE を用いて“物理化学の基礎となる力学“の理解を促進しながら、数式処理ソフトの実践的訓練を行った。最終課題では、最新の物理化学分野のトピックを取り入れながら、受講生がそれぞれ得意な分野を選択し問題を解く方式で講義を進め、教育効果を得ることができたと考える。

⑷　ロンドン・ファンデルワールス理論について詳説した。調和振動子のシュレーディンガー方程式の解法について、例年に比べ、丁寧に解説した。２つの調和振動子の遠隔作用によって、固有振動数が変化をうけることによる力の発生について、直感的なイメージを織り交ぜながら、座標変換の数学的操作を説明した。

⑸　統計力学の基礎において、力学と化学問題の接続の要となる分配関数の重要性について詳説し、Wigner によるディラック定数冪展開による量子統計と古典統計の関係について整理して説明した。

⑹　物質科学、生命科学における先端計測が担う役割を、各分野のトップ研究者を招いて詳説した。先端計測では、新しい数理物理学的原理、工学の結集であることを説明し、“科学の母”である計測科学の重要性を説いた。

⑺　学士，修士，博士の指導において、
「高周波信号発生器を用いた共振トラッキング方式プラズマリアクターに関する研究」、「2 次元比誘電率分布計測システムの構築と誘電体層下の計測」、「マイクロ波散乱場-生体断層映像化法における最表面吸着物質の影響に関する研究」、「High-

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

speed subsurface tomographic imaging based on scattering field theory 」、「Development of Self-Discharge Point Visualization Technique inside Lithium-Ion Battery」、「乳房脂肪組織の誘電特性評価とマイクロ波マンモグラフィにおける乳房標準試料の開発」、「マイクロ波散乱場-生体断層映像化法における最表面吸着物質の影響に関する研究」、「誘電分散を取り入れた散乱場理論に基づく生体三次元イメージング」、「マイクロ波マンモグラフィによる健常女性乳房内の誘電率勾配分布計測」、「弾性波散乱場断層映像化技術の開発」、「磁場逆解析に基づく非破壊鉄筋腐食検査技術の開発」を研究課題として取り組んだ。

(8) 博士後期学生においては、密度汎関数の有限温度問題、観測の科学において、検出限界を支配するダイナミックレンジに関する問題などについて、その将来展望について討論した。

その他の特記事項

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・准教授　枝　和男

担当授業科目等						
（学部）	(1)	高度教養セミナー理学部第１クオーター		１コマ	×	８回
	(2)	化学熱力学 I-1 第３クオーター		１コマ	×	８回
	(3)	化学熱力学 I-1 第４クオーター		１コマ	×	８回
	(4)	化学熱力学演習（分担）	後期	１コマ	×	８回
	(5)	化学実験 II（分担）	後期	２コマ	×	24 回
	(6)	特別研究				
（博士前期）	(7)	物理化学 II（分担）	後期	１コマ	×	４回
	(8)	物性物理化学特論　（分担）	後期	１コマ	×	４回
	(9)	論文講究 I，II				
	(10)	特定研究 I，II				

授業内容と自己評価

(1) 将来役に立つテーマを選び，学習を進めた。
(2)，(3)大学の化学に接して間もない学生を対象に，化学現象の理解の基礎となる物理化学の基本概念である内部エネルギーやエンタルピーについて講義した。板書講義から映像を用いた講義に変更し，理解が深まるよう工夫した。学生授業評価総合判断の平均それぞれ 4.45 と 4.30 であった。
(4)自由エネルギー、化学平衡などの解説を行い、小テストに向けた自習学習を促した。成績は小テストとまとめテストを併用して評価した。
(5) 効率的に学習が進むよう，実験で扱うテーマを見直し，粉末 X 線回折を題材に回折パターンの指数付けソフトや構造解析ソフトを利用し，消滅則からブラベ格子や空間群の選び方や粉末 X 線回折パターンから結晶構造を調べる方法を体験させるとともに，固溶に伴う単位胞のサイズの変化などについての議論を例に教育を行った。
(6) B4 生 2 人の教育・研究指導を行った。特別研究をまとめさせ，うち１人は博士前期課程へ進学させることができた。残りの１名は就職希望であったため，研究テーマも本人の将来に繋がるものに変更して指導した。
(7) 熱量測定の原理と測定で得られるデータについて講義を行い，熱力学で習う法則などを実地で理解できるように教育を行った。また，実際のデータを用いた課題を課し，学生が自分で取り組むことによって授業内容への理解度が向上するとともにそれらを利用した実際の研究への応用も可能であるよう工夫した。
(8) X 線の散乱現象に関わる基礎を直感的な理解も進むように講義するとともに，構造解析に必要な知識とその利用法を授業および課題を通して教育を行った。
(9) 工学専攻の研究室と共同で行い，広い視点で興味を持ち，積極的に発言できるよう指導を行った。取扱う内容に関しても，学生の興味の対象が広がり，自主性が向上するよう指導した。
(10) M1 生と M2 生各１名の教育・研究指導を行った。ポリオキソメタレート生成反応について実実験と計算機実験を併用し物理化学的に解析することに取り組んでもらった。その成果を秋の学会で発表をさせることもできた。

その他の特記事項

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・教授　小堀康博

担当授業科目等					
（全学共通）	(1) 化学実験 2(分担)	第４Ｑ	２コマ	×	４回
（学部）	(2) 化学反応論Ｉ	第１Ｑ	１コマ	×	８回
	(3) 化学熱力学 II-1	第１Ｑ	１コマ	×	８回
	(4) 化学熱力学 III-1	第１Ｑ	１コマ	×	８回
	(5) 化学熱力学 II-2	第２Ｑ	１コマ	×	８回
	(6) 化学実験 II（分担）	後期	２コマ	×	６回
	(7) 特別研究				
（博士前期）	(8) 物理化学Ｉ（分担）Ｉ	後期	１コマ	×	５回
	(9) 論文講究Ｉ、II	後期	１コマ	×	５回
	(10) 特定研究Ｉ、II				
（博士後期）	(11) 物理化学特論Ｉ	１コマ	×	３回	

授業内容と自己評価

(1) 他学科と化学科を対象にバーチャル実験として赤外分光による物質の振動解析に関する内容について解説と演習を行った。分子軌道計算を使った講義･実習を通して学生の習熟度の向上がみられた。

(2) 化学反応の速度論的な取り扱いについて授業を行った。レポート提出を 4 回程度課した。中間試験にて理解度をみて総合成績を評価した。授業に対する満足度と学習内容の理解度が高い。試験の結果もおおむね良好であった。

(3) 2 年次を対象にエントロピーの復習を丹念に行い、ギブズ自由エネルギーや、平衡についての熱力学的事項の講義を行った。エントロピー効果が、相転移や、混合平衡、化学平衡に重要な役割を果たすことを丁寧に説明した。さらにこの概念を量子論に基づく分子論的描像に結びつけ、分配関数を用いる統計論的描像への橋渡しを行った。小テストの集計と期末考査の点数で成績評価した。

(4) 統計力学の導入により、様々なマクロ量である熱力学性質とミクロな量子力学的エネルギー準位をつなげるための基礎的な事項について、丁寧に説明した。分配関数を用いる統計論的描像を導入し、内部エネルギーとエントロピーの概念を理解させた。小テストの集計と期末考査の点数で成績評価した。

(5) 2 年次を対象に相図、混合物と活量、化学平衡について講義を行った。小テストの集計と期末考査の点数で成績評価した。

(6) 蛍光寿命測定による振動子強度の決定を学生実験室にて行った。光の吸収と放出の量子論的性質について、および遷移双極子モーメントと電子軌道との関連について、レポートにまとめさせた。理解度はおおむね良好であった。

(7, 9, 10) 学部生 2 名、博士前期課程 4 名を主任指導した。研究相談会･雑誌会を毎週行い、随時測定や解析など研究活動について指導に当たった。

(8) 大学院生向けに、磁気共鳴分光法の原理を修得させスペクトルの持つ情報を理解することを目指し、量子化学に基づく講義と演習を行った。

(11) 博士大学院生を対象に反応速度論や量子論を用いた授業を行い、電子移動反応理論（マーカス理論）の解説および、電子移動機構に関連する高度な内容について解析した。レポートおよび演習問題を課し成績評価した。

その他の特記事項　講義は対面・オンラインハイブリッド型で行い、その動画を Beef にアップした。

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・准教授　立川貴士

担当授業科目等				
（全学共通）	(1) 化学実験１	第３Ｑ	２コマ ×	５回
（学部）	(2) 物理学科化学概論	後期	１コマ ×	５回
	(3) 高度教養セミナー理学部	第１Ｑ	１コマ ×	７回
	(4) 化学反応論２	第２Ｑ	１コマ ×	８回
	(5) 化学実験 II（分担）	後期	２コマ ×	２４回
	(6) 化学熱力学演習	後期	１コマ ×	８回
	(7) 特別研究			
（博士前期）	(8) 物理化学Ｉ（分担）	前期	１コマ ×	５回
	(9) 論文講究 I，II			
	(10) 特定研究 I，II			
（博士後期）	(11) 物理化学特論Ｉ（分担）	前期	１コマ ×	３回

授業内容と自己評価

(1) 金属イオンの定性分析を担当した。対面実験で行い、いずれの学生も熱心に取り組んでいた。

(2) 化学熱力学の講義を対面で行った。授業中に演習問題を行うことで理解度を確認した。授業への意欲に個人差が多い印象を受けた。

(3) 単一分子蛍光法に関する外国語総説論文を教材とし、関連する光物理・光化学に関する基礎的理解を深めるための解説と討論を行った。

(4) 拡散律速・活性化律速反応、酵素反応、光化学反応、遷移状態理論に関する基礎的事項について対面もしくはハイブリッドで講義した。光エネルギー利用に関するトピックスを紹介するなど、授業内容に関心を持てるよう心掛けた。出席状況、小テストにて理解度をみて総合成績を評価した。学生の受講態度は良好であった。

(5) 電気化学的手法を用いた電子移動反応の観測および解析を行った。測定原理と電子移動反応理論についての解説を行ったあと、対面での実験を行った。学生の意欲、理解度はともに良好であった。

(6) 化学熱力学の理解を深めるために演習問題を解かせるとともに、発展的内容に関する補足的説明を対面もしくはハイブリッドで行った。毎回小テストを行い、理解度を確認した。扱った内容は気体の分子運動論、エンタルピー、エントロピーなどである。解答とその解説を行い、次回の小テストに向けた自習学習を促した。成績は小テストの集計を中心に評価した。アンケートの結果、授業の説明に対する満足度は良好であった。

(7, 9, 10) 学部学生 2 名、大学院学生 4 名を主任指導した。研究報告会と雑誌会を毎週行うと共に随時測定や解析など研究活動について指導にあたった。

(8) 分子の光吸収および蛍光、励起分子の反応と緩和、光化学反応などに関して理解を深めるための授業を対面もしくはハイブリッドで行った。試験にて理解度をみて総合成績を評価した。学生の受講態度、試験の結果はともに良好であった。

(11) 単一分子蛍光法に関する講義を対面で行った。また、学生が取り組んでいる研究テーマや得られた研究成果に関する議論を行った。

その他の特記事項

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・教授　持田智行

担当授業科目等				
（学部）	(1)	無機化学 I-1, I-2	第 3Q, 4Q	１コマ ×１５回
	(2)	分析化学 II-2（分担）	第 3Q, 4Q	１コマ × ３回
	(3)	無機機能化学 1（分担）	第 3Q	１コマ × ２回
	(4)	無機化学基礎 2（分担）	第 1Q	１コマ × 6.5 回
	(5)	化学実験Ｉ（分担）	第 1Q	２コマ ×２４回
	(6)	化学実験 1（分担）	第 3Q	２コマ × ３回
	(7)	特別研究		
（博士前期）	(8)	無機化学Ｉ（分担）	前期	１コマ × 7.5 回
	(9)	先端融合科学特論 A（分担）	前期	１コマ × ２回
	(10)	論文講究 I、II		
	(11)	特定研究 I、II		
（博士後期）	(12)	特定研究		

授業内容と自己評価

(1) 無機化学 I-1, I-2：指定教科書に沿って無機化学の基礎（原子、電子配置、結合、固体）について計画的に講義を行った。定着率、学習意欲はほぼ例年通りだった。

(2) 分析化学 II-2（分担）：無機物質の磁化率と熱測定について講義を行った。履修者が少数だったが、学習状況も良好であり、教育効果は高かったものと考える。

(3) 無機機能化学 1(分担)：金属錯体の構造・物性およびイオン液体等のソフトマターの性質に関して講義した。演示等を取り入れた。履修者の学習状況は、ほぼ例年通りであった。

(4) 無機化学基礎 2（分担）：分析化学に関する基礎的事項について解説した。提出された課題等からみて、学生の理解度も概ね高く、良好な講義ができたと考える。

(5) 化学実験Ｉ（分担）：合成実験に加え、測定実験として、磁化率およびソルバトクロミズムの実験を担当した。学生の取り組み状況には若干個人差があったが、教育効果は概ね良好だったと考える。ビデオ教材を整備することによって各自で事前学習できるようにしたことは効果的であった。

(6) 化学実験 1（分担）：定性分析等を、安全に十分配慮しつつ指導した。口頭試問で理解度を確認できた。

(8) 無機化学Ｉ：遷移金属各論および有機金属の基礎について、指定教科書を利用しながら講義した。広範な題材を扱ったが、レポート課題等の状況も概ね良好であり、教育効果もあったと考えられる。

(9) 先端融合科学特論 A（分担）:金属錯体およびイオン液体の分析および物性評価について実例をもとに解説した。レポート課題でさらに知見が深まったことが確認できた。

(10) 論文講究 I、II：文献紹介等を計画的に進行し、有意義な内容とすることができた。

(7,11,12) 特別研究・特定研究： B4(2 名)、M1(1 名)、 M2(1 名)、 D3（１名）の研究指導を行った。休学からの復学学生に対する研究指導は非常に気を配って行った。取り組みに個人差が大きい点が課題である。

その他の特記事項

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・教授　内野隆司

担当授業科目等				
（全学共通）	（１）	基礎無機化学 1，2	1Q，2Q	１コマ　×　１５回
（学部）	（２）	化学実験Ｉ（分担）	前期	２コマ　×　２４回
	（３）	固体化学 1，2	1Q，2Q	１コマ　×　１５回
	（４）	分析化学 II-1（分担）	後期	１コマ　×　　３回
	（５）	物理・生物・惑星学科化学概論	後期	１コマ　×　　５回
	（６）	特別研究		
（博士前期）	（７）	無機・分析化学特論 1	３Q	１コマ　×　　７回
	（８）	論文講究 I，II		
	（９）	特定研究 I，II		

授業内容と自己評価

（１）基礎無機化学１，２：無機化学の基礎について，理学部の化学科以外の学生向けに講義を行った。受講者が多様な学科に属していることを鑑み，化学の他分野の研究との関連についても意識しながら講義を行った。

（２）化学実験Ｉ（分担）： 本年度はコロナ禍であることを鑑み，できる限り実験室内が密にならないよう，分散して実験を行った。これまで合成実験は，各自が計画を立てて合成を行う方法を採用していたが，確実に期限内の終わらせるために，その日その日の合成手順を指定して合成を行わせるようにした。当初は，予定通りに実験が進むかどうか心配であったが，おおむね順調に合成実験が完了したと思われる。

（３）固体化学：固体中の電子状態の計算手法（自由電子近似と強束縛近似）の基礎を講義した。本講義の目的は，フェルミ粒子の統計力学についての基礎知識を得ることであるが，理解の手助けのため，古典的粒子の統計力学的考えについても講義した。さらに，フェルミ分布関数を導出する際には，その過程がよくわかるよう丁寧に講義するよう心がけた。。講義の後半では，半導体中の電子状態について詳しく講義した。

（４）分析化学 II-1（分担）：本講義では，Ｘ線の回折現象を逆格子空間の観点から説明した。演習であることを考慮して，学生自身に作図の課題を多く課した。

（５）物理・生物・惑星学科化学概論：他学科向けの教職科目であることを鑑み，無機化学の基礎的事項をできるだけ平易に講義することを心がけた。特に，固体の結晶構造とその記述法について詳しく講義した。

（６）特別研究：２名の研究指導を行った。2 名とも二次元性物質の合成および物性解析という新しいテーマであったが，卒業に値する成果は得られたように思う。

（７）無機・分析化学特論 1：光と物質の相互作用について講義した。英文の原著（Laudon, The Quantum Theory of Light）を購読する形で講義を進めた。テキスト購読だけでは理解しにくい点に関しては，詳しく説明するように心がけた。履修学生の意識は高く，十分な教育効果は得られたと思う。

（８）特定研究 I，II：M1（２名），M2（1 名）の研究指導を行った。研究成果に基づき，M1 および M2 の学生につき，５回程度の学会発表を行った。

（９）　論文講究 I，II： 最近の原著論文や英文の教科書を M1（２名），M2（1 名）ともに輪読形式で講究した。英文の教科書として，John Singleton 著の Band Theory and Electronic Properties of Solids を選び，特に固体の電子構造，結晶構造の章に焦点をあてて輪読を行った。原著論文購読は，一人当たり５報程度の論文紹介を課した。

その他特記事項　M1，および M2 の学生各 1 名が，学会発表で講演賞を受賞した。

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・准教授　高橋一志

担当授業科目等		
（全学共通）	（１）化学実験１・２（分担）	3Q，4Q ２コマ×１０回
（学部）	（２）無機化学基礎１	1Q １コマ× ７．５回
	（３）無機化学Ⅲ−１・２	3Q，4Q １コマ×１５回
	（４）分析化学 II（分担）	後期 １コマ× ３回
	（５）無機機能化学１（分担）	3Q １コマ× ６回
	（６）化学実験Ｉ（分担）	前期 ２コマ×１０回
	（７）特別研究	
（博士前期）	（８）無機化学Ｉ（分担）	前期 １コマ×７．５回
	（９）論文考究 I、II	
	（１０）特定研究 I、II	

授業内容と自己評価

（１）簡略化をしたものの、ほぼ例年通りの実験内容をすべて対面で実施した。実験手順をより丁寧に説明するように工夫した。優以上の成績の学生が 90%以上であり、化学実験１は学生からも高い評価を受けたとしてホームページにも掲載された。

（２）原子の構成から、原子軌道、分子軌道、錯体の性質について、電子の振る舞いとエネルギーの概念で説明されることを対面授業した。学生自身に作図や計算をしてもらう課題を毎回課し、次の講義で解説するようにした。学生の理解度を高めるよう内容の改善に努め、学生の理解は向上しているように感じている。

（３）III−１では結晶の対称性と X 線構造解析、III−２では固体の構造の記述と熱力学的取り扱い、バンド構造の基礎を講義した。BEEF 上で小テストを課し、授業内容を確認できるように工夫した。学生の理解は向上しているように感じている。

（４）走査型電子顕微鏡、Ｘ線の発生、Ｘ線蛍光スペクトル、Ｘ線吸収スペクトルの原理に関する講義と演習を行った。化学実験１との関連の内容ではないため、実際の装置を利用した動画などを準備するなど工夫する必要性を感じた。

（５）固体物質の示す機能性（伝導性、磁性、誘電性）の基礎とそれぞれの関連に関して対面講義を行った。具体的な研究例、応用例、またノーベル賞との関連などを数多く取り上げ、内容も更新した。基礎的な事項を小テストで確認するようにした。

（６）錯体の合成と ESR を担当した。実験手順それぞれで何が起こっているか自ら考え予想しながら操作することの重要性を指導した。ESR は他の分光測定との関連を中心に解説した。

（７）: B4（2 名）の単結晶 X 線構造解析と磁性に関する英語テキストの輪読、研究指導・論文講読を行った。

（８）固体物性について講義した。単結晶 X 線構造解析の原理、固体バンド構造とバンド構造から得られるパラメータの導出について講義した。論文の研究例を理解できるよう具体例を盛り込むよう工夫した。

（９）（１０）: M1（2 名）と M2（1 名）の研究指導・論文講読を行った。３件の学会発表につながった。もう少し幅広い研究に目を向けてもらえるよう工夫していきたい。

その他の特記事項：

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・教授　富永圭介

担当授業科目等			
（全学共通）	(1)	化学Ｄ	後期　１コマ　×　７．５回
（学部）	(2)	化学実験Ｉ（分担）	前期　２コマ　×　２４回
	(3)	溶液化学-1, -2	前期　１コマ　×　１５回
	(4)	無機・分析化学演習（分担）	後期　１コマ　×　　３回
	(5)	特別研究	
（博士前期）	(6)	無機化学Ⅱ（分担）	後期　１コマ　×　７．５回
	(7)	論文講究Ｉ、Ⅱ	
	(8)	特定研究Ｉ、Ⅱ	

授業内容と自己評価

(1)　化学Ｄ　内容はほぼ例年通り行った。1. 化学だけでなく広く 20 世紀の科学の発展と今後近未来の進展について講義した。2. 水の異常性について講義した。3. 光と分子の相互作用に関する話題を講義した。ほぼ、毎回、小レポートの課題を出して、各自で調べまとめるようにしている。マイクロプラスチック、メタンハイドレート、植物工場など、化学に関する時事問題をとりあげ、化学の視点から議論を行うという課題を出している。コロナウイルスと関係のある話題もできるだけ提供した。

(2)　化学実験Ｉ：担当している「dd 吸収」は、これまで期間中 5 班で行っていたが、本年度からそれを 3 班にした。そのため、1 班が 6〜7 名から、11〜12 名と増えた。これにより化学実験の時間中に測定したスペクトの解析（定規を用いて吸収極大波長とモル吸光係数を求める）を行うことができ、その結果を全員が共有した。そのため、レポートの作成にあたっては、考察により多くの時間を割くことができるようになった。一方、実際に吸光光度計を操作する機会が減ってしまったため、TA が配慮し、全員が装置の操作を実施できるようにした。

(3)　溶液化学-1, -2：講義内容は、例年通り行なった。演習、宿題は毎年、新しいものをたすようにしている。

(4)　無機・分析化学演習：対面で行った。ほぼ例年通り行なった。

(5)　特別研究：ほぼ例年通り行なった。

(6)　無機化学 II：対面で行った。ほぼ例年通り行なった。登録者が少なく、教室に学生 1 名のときもあった。

(7)　論文講究 I、II、(8)　特定研究 I、II：ほぼ例年通り行った。

その他の特記事項

上記講義の他に、学部生向けの Introduction to Chemistry、および学部生・大学院生向けのプレミアムプログラムレクチャーについても、外国人講師への依頼、シラバスの入力、日程調整、成績入力、その他、講師の世話などを行った。人間発達環境学研究科と行っているプログラム教育コース「環境・化学プログラム教育コース」について理学研究科側の世話人を担当している。人間発達環境学研究科のほうで、授業をハイブリッドで行ってくれたため、理学研究科側の学生が人間発達環境学研究科に出向く必要がなく学生側としては効率よく受講することができた。

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・准教授　秋本誠志

担当授業科目等						
（全学共通）	(1)	化学実験１（分担）	３Ｑ	２コマ	×	３回
（学部）	(2)	無機化学 II−1，II−2	前期	１コマ	×	１６回
	(3)	化学実験Ｉ（分担）	前期	２コマ	×	２４回
	(4)	無機機能化学 2	４Ｑ	１コマ	×	８回
	(5)	無機分析化学演習（分担）	後期	１コマ	×	３回
	(6)	特別研究				
（博士前期）	(7)	無機化学 II（分担）	後期	１コマ	×	７．５回
	(8)	論文講究 I、II				
	(9)	特定研究 I、II				
（博士後期）	(10)	無機化学特論 II（分担）	後期	１コマ	×	７．５回
	(11)	特定研究				

授業内容と自己評価

(1) 化学実験１：カリキュラムが許せば、１年次に開講するのが効果的であるように思われた。

(2) 無機化学 II-1, II-2： シュライバー＆アトキンス著・無機化学第 4 版の第 2，7，19 章（それぞれ，分子構造と結合，分子の対称性，d 金属錯体）についての講義を行った。講義後に毎回質問に来る学生があり、対面で行われる講義の利点が実感された。

(3) 化学実験 I： 特に、金属錯体の吸収スペクトル測定および解析を担当した。コンピューターが必携となっているので、解析には各自のコンピューターを用いた。まだ不慣れな学生も多かったが、SA と TA の協力により，学生の理解度を高めることができた。

(4) 無機機能化学 2： 生物無機化学の基礎について，光合成反応を題材にして講義を行った。学生各自のコンピューターを使い、色素タンパク質複合体の構造と金属の配置を確認させた。提出されたレポートを読むと、教科書のみの講義よりも理解が深まったように思われた。

(5) 無機分析化学演習：電子スペクトル、光電子スペクトルを担当した。無機化学 II-1，II-2（それぞれ、2 年次第 1Q、第 2Q）と化学実験 I（3 年次前期）の内容を補完し，理解を深めることができた。

(6) 特別研究：研究室配属された 4 回生に対し研究指導を行った。

(7) 無機化学 II： シュライバー・アトキンス・無機化学第 6 版第 26 章（生物無機化学）についての講義を行った。受講生が少なかったため各受講生に質問を与えながら講義を行ったところ、例年よりも学生の理解度が高かったように思われた。

(8) 論文講究 I、II：対面にて実施した。オンラインで行った昨年度と比較して、学生間の議論が活発に行われていた。

(9) 特定研究 I、II：例年通りに研究指導を行った。セミナーでは毎回必ず全員が質問をするようにした。理解度が高まったように思われる。

(10) 特にフェルスター型励起エネルギー移動について、理論、測定の両面から解説を行った。

(11) 留学生１名を指導した。

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・教授　林　昌彦

担当授業科目等			
（学部）	(1) 有機化学基礎　第１Ｑ　１コマ×7.5 回　第２Ｑ　１コマ×7.5 回		
	(2) 有機化学Ⅱ	前期　１コマ　×	15 回
	(3) 有機合成化学	後期　１コマ　×	15 回
	(4) 化学概論	後期　１コマ　×	5 回
	(5) 化学実験（分担）	前期　２コマ　×	6 回
	(6)　特別研究		
（博士前期）	(7)　有機化学特論	前期　１コマ　×	15 回
	(8)　論文講究Ⅰ、Ⅱ		
	(9)　特定研究Ⅰ、Ⅱ		

授業内容と自己評価

(1)　「有機化学基礎」は１年生対象の授業である。この授業では、有機化合物の命名法に始まり、分子軌道の考え、ニューマン投影図の書き方、立体化学の定義や今後の有機化学を学ぶのに必要な基礎事項を取り扱った。2022 年度は 2 年ぶりに対面授業で行った。オンライン ZOOM も工夫次第でかなり有効であると思ったが、やはり学生の顔が見えないのは致命的であった。顔の表情を見ることで授業内容をどれくらい理解しているかを知ることができることを改めて実感した。表情から理解度が低いと判断した場合には、別の言い方で説明するなどができ理解度は確実に増すと思った。

(2)　「有機化学 II」は二年生対象の科目である。有機化学Ⅰの内容を引き継ぎ、この講義では共役ジエンから始まりその延長として、芳香族性の話しからベンゼンにもっていった。ベンゼンの求電子置換反応の話へと連続性を意識した。2022 年度は 2 年ぶりに対面授業で行った。オンライン ZOOM も工夫次第でかなり有効であると思ったが、やはり学生の顔が見えないのは致命的であった。顔の表情を見ることで授業内容をどれくらい理解しているかを知ることができることを改めて実感した。表情から理解度が低いと判断した場合には、別の言い方で説明するなどができ理解度は確実に増すと思った。

(3)　有機合成化学の講義は３年生の後期ということもあり、受講者が有機系志望者に限られる傾向が感じられた。内容に関しては１年生から３年生前期までの総復習を兼ねて、逆合成経路解析の考え方からプロスタグランジンとタキソールの合成を例にとりあげて講義を行った。2022 年度は 2 年ぶりに対面授業で行った。

(4)他学科向けの教職用科目として設けられた科目で今回が 5 年目である。有機化学分野を 5 回担当した。毎回１トピックスに絞り、有機化学の基礎的な内容を扱った。話の中に日常の有機化合物にまつわるトピックスを毎回紹介しながら進め、毎回、その日の講義内容をまとめるという課題方式をとった。2022 年度は 2 年ぶりに対面授業で行った。

(5)　学生実験は新型コロナの影響で密を避けるため引き続き学生を半分にして行った。

(7)　遷移金属錯体を触媒に用いた有機合成反応を中心に講義を行った。留学生が複数受講したため、資料はすべて英語、使用言語も基本英語で行った。2022 年度は 2 年ぶりに対面授業で行った。

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

(6)(8)(9) 卒研生（2 名）、M1（4 名）、M2（1 名）の研究指導を行った。論文講究は新型コロナの影響ですべてリアルタイムでのオンライン ZOOM で行なった。成績評価基準もあらかじめ明示し、その基準に基づいて厳格な成績をつけた。教務学生係に成績を提出する前に、学生個々人に成績を開示し、不服申し立ての期間も設け、納得した上で成績を提出した。実際には不服申し立てはなかった。
その他の特記事項

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・准教授　松原亮介

担当授業科目等	
（全学共通）	(1) 基礎有機化学 1,2　第１Ｑ１コマ×８回、第２Ｑ　１コマ×８回
（学部）	(2) 化学実験Ｉ（分担）　前期　２コマ　×１２回
	(3) 有機化学演習　前期　１コマ　×１５回
	(4) 有機化学 I-1,I-2 第３Ｑ　１コマ×８回、第４Ｑ　１コマ×８回
	(5) 初年次セミナー　（分担）　第１Ｑ 0.3 コマ ×　１回
	(6) 高度教養セミナー理学部化学入門 第３Ｑ 0.3 コマ ×　１回
	(7) 高度教養セミナー理学部（化学）　前期　１コマ　×１５回
	(8) 特別研究
（博士前期）	(9) 論文講究 I、II
	(10) 特定研究 I、II
	(11) 有機化学特論　（分担）　後期　１コマ　×５回
（博士後期）	(12) 特定研究

授業内容と自己評価

(1) 有機化学を理解するに当たり、基本的となる知識を講義した。教科書を指定し、パワーポイントを用いた講義を行った。また、昨年度と同様、重要な部分をより詳しくし、教科書を読めば理解できる部分は講義中にその都度ページ番号を指定することで講義時間に無駄が生じないようにメリハリをつけた。学生から高い評価を受けベストティーチャー賞を授与されており、現状で授業方法に特段問題はないと考えている。

(2) 有機化学の実験操作の基礎となる、合成、単離、同定などを詳しく説明した。今年度も予習をするように指導を徹底し、予習レポートを提出させた後に実験を開始させるなど工夫を行ったため予習を習慣づけることができたと感じている。実験ノートの書き方も詳しく指導し学生に研究者としての基礎を学んでもらった。

(3) 今年度は昨年度と同様、前半に NMR 分光法の基礎と解析練習を行い、後半では簡単な分子の逆合成解析の方法を説明した。NMR 分光法に関しては例年通り多くの学生が理解を深め、簡便な NMR スペクトルであれば化合物を同定できるに至った。逆合成解析では、反応機構よりも方法論の理解に重点を置いて説明したため、有機合成の魅力を伝達できたと考えている。

(4) 昨年度と同様に、有機化学の基礎となる求核置換反応などが授業内容であった。内容が非常に多く、駆け足的に授業を進めざるを得ない講義であるが、大事な点を重点的に指導しシラバスの内容は網羅できたと考えている。授業評価アンケートの総合評価は 4.52 であり、現状で授業方法に特段問題はないと考えている。

(5)　教員持ち回りのオムニバス形式の講義であった。最先端の研究について講義した。

(6)　教員持ち回りのオムニバス形式で研究室の最先端研究について講義した。

(7)　研究室の学生二名に対して、英語で記述された論文を読みそれに対して議論または発表を行う講義を行った。

(8),(9),(10),(12)　卒研生　２名、M１　４名、D1　１名、D2　１名、D3　２名の研

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

究指導を行った。セミナーは、学生に研究に対して幅広い興味を与えることを目指した。研究活動に関して、目標はほぼ達成することができた。学生に英語の文献を積極的に読解させ、有機化学の最先端を学ばせるように努めた。 （11）有機化学において重要となる構造解析手法についてパワーポイントのスライドを用いて講義を行った。普段使用している装置を完全に理解しないで使用している学生が見られたためそのような内容の講義を行うこととした。結果的に深い理解を与えることができたと思われ、普段の研究の質の向上にもつながったと考えている。
その他の特記事項

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・准教授　田村厚夫

担当授業科目等		
（全学共通）	(1) 化学Ｃ（教養原論・分担）	3Q　1コマ　×　4 回
（学部）	(2) 生物化学Ⅱ	前期　1コマ　×　15 回
	(3) 化学実験Ⅱ（生物化学分野・分担）	後期　2コマ　×　15 回
	(4) 特別研究	
	(5) 初年次セミナー（分担）	1Q　1コマ　×　3 回
（博士前期）	(6) 有機化学Ⅱ（分担）	後期　1コマ　×　5 回
	(7) 論文講究Ⅰ、Ⅱ	
	(8) 特定研究Ⅰ、Ⅱ	
（博士後期）	(9) 有機化学特論（分担）	

授業内容と自己評価

(1) 全学共通・今年度は、昨年度のオンラインから対面に戻った。文科系学部の学生が履修し、内容は DNA からタンパク質に至るまでの生物化学分野の基本を講義したものである。毎回小レポートと質問を課し、次授業で丁寧に回答解説する工夫をした。元々興味を持つ学生が少ない中、アンケートの総合判断の平均は 4.0 となり、昨年度の 3.3 より向上した。

(2)セメスター制で、前半はタンパク質の構造、後半では機能および酵素反応についての講義を行った。教科書ヴォート「基礎生化学」の該当部分を中心に、構造および酵素については教科書よりも詳細でレベルの高い内容も取り入れた。アンケートの「総合評価」は、本年度は II では 4.67 であり、昨年度の 4.52 と同等かそれ以上で好評であった。アンケートの記述で「最近の生物に関する研究や、情報も交えて授業を行ってくださったので、非常に興味深かったです。」とあった。成績評価は、ほぼ毎回の課題、および対面での期末テストで行った。

(3)未知の生体分子試料を多数渡し、生化学的実験および物理化学的測定によって、どの分子であるか推測して当てるという「生体分子クイズ」形式で実験を行っている。今年も一部の測定実験を youtube 動画で配信し、実験データを渡して解析をしてもらうこととした。未知の発見という興味を引き立てるテーマであり、意欲的なレポートも散見された。

(4) 4 回生 2 名の研究指導を行った。

(5) 教務委員担当として、初年次セミナー3 回（オリエンテーション、文献検索、レポート課題の作成法）を担当した。

(6)核磁気共鳴（NMR）法の原理とタンパク質構造研究への応用について担当した。大学院の講義は興味のある学生が主体となるため、高いレベルの講義を行っているが、それでも理解できている学生が相当数いた。アンケート回答者はなかった。

(7) 英語による学術論文を選び、学生が紹介発表する際に、内容の論理的理解、英文の解釈法などを個々に懇切丁寧に指導した。

(8) M1（3 名）、M2（3 名）の研究指導を行い、修士 3 名が学位を得て卒業に至った。各人の興味を生かしてタンパク質デザインに関する研究テーマを設定し、詳細な測定解析と併せて研究を進展させた。

その他の特記事項：教務委員として、高度教養セミナー理学部化学入門、初年次セミナー、科学英語のアレンジととりまとめを担当した。

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・准教授　茶谷絵理

担当授業科目等				
（全学共通）	(1)	化学実験2（分担）	4Q	2コマ × 4回
（学部）	(2)	初年次セミナー（分担）	1Q	0.3 コマ × 1 回
	(3)	生物化学Ⅰ-1	3Q	1 コマ × 7.5 回
	(4)	生物化学Ⅲ-2	4Q	1 コマ × 7.5 回
	(5)	化学実験Ⅱ（分担）	後期	2 コマ × 15 回
	(6)	理学グローバルチャレンジプログラム UPLB コース）	4Q	1 コマ × 6 回 ＋8 日間帯同
	(7)	高度教養セミナー理学部化学入門（分担）	3Q	0.3 コマ × 1 回
	(8)	高度教養セミナー理学部（化学）	前期	1 コマ × 15 回
	(9)	特別研究		
（博士前期）	(10)	有機化学Ⅱ（分担）	前期	1 コマ × 5 回
	(11)	論文講究Ⅰ，Ⅱ		
	(12)	特定研究Ⅰ，Ⅱ		

授業内容と自己評価

(1) 錯塩の合成を分担し、pH滴定を担当した。冒頭に原理や基本操作の説明を簡潔に行った後に実際の実験に移行することで、限られた時間での効率的な原理の理解と技法習得を図った。
(2) 研究紹介を担当し、タンパク質の自己集合反応の概要を述べ、実際に注目している研究テーマについての紹介を行った。
(3) 「ヴォート基礎生化学第5版」を教科書に用いており、アミノ酸、タンパク質、脂質、小分子の膜輸送、糖を扱った。期末試験以外に講義の途中で演習を行い、数度の課題を通して理解促進を心掛けた。
(4) 「ヴォート基礎生化学第5版」を教科書に用いており、転写、翻訳、翻訳後修飾、遺伝子発現の調節を扱った。生物化学I-1と同様に、途中に数回の課題と質問の受け付けを行い、最終回に期末試験を行うことで理解度を測った。
(5) 生物化学実験では、生物化学分野で用いられる基礎操作を実習できる内容となっている。今年度はすべて対面型の形式に戻し、HRP活性測定、Mb実験、PCR実験を実施した。TA、SAの協力を得ることでスムーズに実施することができ、レポートからも真面目に実験や解析に取り組んだ様子がうかがえた。
(6) グローバルチャレンジ実習（理学UPLBコース）は、農学部と合同の形で実施している。新型コロナウイルス以来中止が続いていたが、今年度は再開し、フィリピン大学ロスバニョス校での現地実習が実現し、理学部からは定員5名のところ3名が参加し、農学部の参加者17名と共に実施した。事前学修5回で準備を整え、渡航後3週間の英語プログラムを実施し、その後に事後学修１回で振り返りを行った。履修者同士やUPLBのTAとの交流も含めて積極的にプログラムに参加し、英語でのプレゼンやコミュニケーション力の向上が明確に見られた。
(7) 今後の研究室配属希望を考えるための情報提供を行うため、研究テーマの紹介を行った。
(8) 英語論文の読み方と研究背景の解説を行う機会を設けるために、4回生2名とともに輪読会を開催し、総説を読んだ。
(9) 4回生2名の研究指導を行った。1年間にわたり実験指導を行い、最終成果を特別研究発表会で発表した。週に1回のグループ内ミーティングと1回の合同ゼミを行い、グループ内ミーティングでは、定期的にレジメを作成しプレゼンすることで、着実に研究進行するための手助けとした。合同ゼミは、木村准教授のグループと行い、自身の研究テーマのみならず、タンパク質研究に関する幅広いトピックスに触れられるようにした。
(10)生体内が様々な分子で混雑していることと、混雑環境でなされる生体内でのタンパク質フォールディングおよび抗凝集機構、さらに凝集が進行した場合の異常状

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

態を理解するために、生体内タンパク質の特性および品質管理機構について解説した。研究に関連した専門的かつ時事的なトピックスを共有することを心掛けた。

(11)木村准教授のグループとの合同ゼミ形式で定期的な文献紹介を行うことで、当該研究分野の動向に関する最新情報の共有や議論を行った。学生同士の質問も交わされタンパク質の研究の動向や解析技術などの理解を深められたと考えている。

(12)個別の実験指導と共に、グループ内ミーティングで毎週進捗状況の共有と議論を行いながら研究を進めた。学会にも参加し、国内学会で計6件、国際学会で計2件の発表を行った。M1の学生2名が研究経過発表会での発表を行い、M2の学生2名が最終成果を2月に修士論文としてまとめ発表した。

その他の特記事項

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・准教授　木村哲就

担当授業科目等		
（全学共通）	(1) 化学実験２（分担）	４Ｑ　２コマ　×　７回
	(2) 初年次セミナー（分担）	１Ｑ　0.3コマ ×　１回
（学部）	(3) 分析化学 I-1,I-2	３，４Ｑ　１コマ　×　８回
	(4) 生物化学Ｉ－２	４Ｑ　１コマ　×　８回
	(5) 生物化学Ⅲ－１	３Ｑ　１コマ　×　８回
	(6) 化学実験Ⅱ（分担）	後期　２コマ　×１５回
	(7) 高度教養セミナー理学部化学入門（分担）	３Ｑ　0.3コマ ×　１回
	(8) 高度教養セミナー理学部（化学）	前期　１コマ　×１５回
	(9) 特別研究	
（博士前期）	(10)有機化学Ⅱ（分担）	後期　２コマ　×１５回
	(11)先端融合科学特論A(化学)(分担)	後期　１コマ　×　５回
	(12)論文講究Ｉ，Ⅱ	
	(13)特定研究Ｉ，Ⅱ	

授業内容と自己評価

(1)　化学物質の合成および定量分析についての実験指導を理学部科学科学生に対して行った。概要説明等の事前準備等について、学生の理解度に合わせて個別指導を行えるように準備をし、確認テストによって理解度をはかった。取り扱われた化学反応や操作方法を良く理解できたと期待される。
(2)　対面形式で研究紹介を担当し、生体高分子のダイナミクス研究に関する重要性と実際の研究方法について述べ、現在遂行している研究についての紹介を行った。
(3)　2022年度から初めて分析化学I-1, I-2を担当した。ハイブリッドで行なった。3Qと4Qともに試験による成績評価を行なった。前年度までと同様の内容（化学平衡、沈殿生成、データの統計学的取り扱い等）について理解されたと期待される。
(4)　ハイブリッド形式で行なった。「ヴォート基礎生化学第５（もしくは４）版」を教科書に用いて、第14章/代謝-第19章/光合成を担当した。教科書の内容を理解すると同時に、酵素反応を熱力学に基づいて理解できるように心がけた。8割弱の学生が有益であったと判断しており、生命分子化学における物理化学の重要性について理解されたと考えられる。
(5)「ヴォート基礎生化学第５（もしくは４）４版」を教科書に用いて、第24章/DNAの構造と第25章/DNAの修復を担当した。教科書の内容を理解すると同時に、最先端の内容も盛り込むことで生物化学の進歩を理解できるように心がけた。また、スライドの図を英語で作成することで、英語と日本語両方を抵抗なく学習できるようにした。7割以上の学生が理解を深め、有益だったと判断しており、生命分子化学の先端研究に関する紹介も含めた発展的授業を進めていきたい。
(6)　3年生に生物化学分野の学生実験を行い、脱水素酵素による基質の酸化反応についての速度論的解析を行った。詳細な実験マニュアルを作成し、実験結果の生データを履修学生に配布した。この実験は生物化学的に重要なミカエリス・メンテン型の速度論的解析について習熟できるように実験課題を作成したものであり、紫外・可視吸収分光器およびマイクロプレートリーダーを用いて実験を行い、各測定結果を比較できるようにした。また理解を深めるために、理想的な測定データも同時に提供することで、演習形式の解析課題を設定し、実験レポートの一部として提出させた。また、イオン交換クロマトグラフィーを用いたタンパク質精製について実験を行った。表面電荷の異なる3種類以上のタンパク質の混合溶液を陽イオン交換カラムにアプライし、溶媒のイオン濃度を変化させることで段階的に溶出させ、紫外・可視吸収スペクトル、蛍光スペクトル測定によって同定させた。用いるタンパク質を補欠分子族あるいは蛍光発色団を持つものとすることで、目視でも分離を確認できるよう、学生が興味を持って実験できるように工夫を行った。

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

(7) 4年生進級時の配属希望研究室を選定する際の情報提供を行うため、現在グループで行われている研究の背景と実際の結果についての紹介を行った。 (8) 英語論文を参考文献として、現在研究グループで行われている研究の背景を解説するとともに、論文の読み方や参考文献の参照方法を説明するために4年生2名と他の研究室構成員（M1:2名，M2:2名）を含めた輪読会を開催した。 (9)，(12)，(13) B4:2名，M1:2名，M2:2名の研究指導を行った。グループメンバー全員参加の形式で、研究発表と論文紹介に加え実験の進捗状況報告をグループ内で毎週毎週1-1.5コマ相当行うことで実験結果と実験方針について議論する場を持ち、他の構成員の研究内容についても把握できるように努めた。加えて、週1回のラボセミナーは、茶谷准教授のグループと合同で行い、タンパク質研究あるいは種々の分光学的測定に関する幅広い分野に関する知識を習得する機会を提供した。学生間での議論、セミナー等での積極的な発言を促すように心がけた。 (10) 生体分子のみならず分子同士の結合における、平衡定数（解離定数）および実験的に観察される速度定数の算出方法についての講義（5回）を行った。式変形だけでなく、実際の実験におけるパラメーターの導出に至るまでの話をすることで、より実践的な講義になるように心がけた。試験を行うことで理解度について計った。 (11) 最先端の時間分解測定法と原子分解能解析法についての講義を行い、先端科学によって明らかにされる分子間相互作用について学生が理解できるように心がけた。レポートによって、各自の行う研究に対してこれらの測定法がどのような波及効果を持つかについて考察させることで、理解度をはかった。また、COVID-19に関するウイルスの増殖機構と、その原因ウイルスであるSARS-CoV2のスパイクタンパク質やヒト受容体であるACE2受容体についての最新研究を紹介し、ウイルスの感染機構についての生物化学的研究に興味を持てるように心がけた。
その他の特記事項

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・准教授　津田明彦

担当授業科目等			
（学部）	(1)	化学実験Ⅰ（分担）	前期　２コマ　×　６回
	(2)	有機化学Ⅲ-1, Ⅲ-2	３Ｑ　１コマ　×　８回，４Ｑ　１コマ　×　８回
	(3)	有機構造化学１，２	１Ｑ　１コマ　×　８回，２Ｑ　１コマ　×　８回
	(4)	特別研究	
（博士前期）	(5)	特定研究Ⅰ、Ⅱ	
	(6)	論文講究Ⅰ、Ⅱ	
	(7)	有機化学特論（分担）	後期　１コマ　×　５回
（博士後期）	(8)	特定研究	
	(9)	有機化学特論Ⅰ（分担）	

授業内容と自己評価

(1) 化学実験Ⅰ：有機化学における物質の合成、精製、同定に関する基本操作の習得を目指した。それぞれの実験で生じる現象を、化学反応から理解できるように説明を行った。実験の解説や操作に関するビデオを作成し、一部をオンデマンド形式での実験指導を行った。

(2) 有機化学 III：ボルハルトショアー（下）の 17, 18, 19, 20, 21, 23 章の解説を実例を交えて行った。PPT によるスライド形式での講義メリットを活かし、より多くの演習問題を取り入れて、習熟度の向上を図った。

(3) 有機構造化学：（１）有機工業化学を教科書として、有機化学の原料（石油、天然ガス、石炭）とアウトプット（有機化学産業）について講義を行った。（２）基礎高分子科学を教科書として、基礎的な高分子化学を解説した。最近の化学産業に関する新聞記事などを取り上げ、日本を代表する化学企業の主力製品について理学的な視点から解説を加えた資料を作成して、動画や写真などを多用して解説を行った。

(4)(5)(8) 特別研究：B４（2 名）、特定研究：M１（3 名）、M２（2 名）、D２（１名）の研究指導を行った。当グループと複数の化学系企業との産学共同研究に学生を参画させることによって、基礎研究に加えて、社会における実践的な基礎研究と応用研究、そして国際的および経済的な視点からの研究経験が身につくように教育を行った。当グループが推し進める産学医官共同研究および国際共同研究は、学生の研究能力と学習意欲を向上させ、視野を大きく広げることができ、また研究室に最先端の機器や安全装置などを導入できるメリットがある。また、経済的に研究・教育活動の支援を可能とするため、学生のアクティビティーを向上させる効果が観られている。次年度以降もこの方針で教育活動を行う。

(6) 論文講究 I、II：定期的な文献紹介を行い、当該研究分野の動向に関する情報共有や議論を行った。また、研究に関連する最近の論文紹介を適宜行い、研究動向の把握を促した。

(7) 有機化学特論：分子間力に関する講義とそれに関する実験テクニック、および機器分析の原理と解析について、詳しい説明を交えて講義した。

(8) 有機化学特論Ⅰ：受講者の研究課題について、本学の他の研究グループとの共同研究の可能性を検討するように促す課題を与えた。

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・教授　小金澤智之

担当授業科目等		
（全学共通）	無し	
（学部）	無し	
（博士前期）	構造解析学（分担）	前期　1 コマ　×　15 回
（博士後期）	構造解析学特論（分担）	前期　1 コマ　×　15 回

授業内容と自己評価

・結晶学、X 線回折法による原理、測定及び構造解析、放射光 X 線回折による精密構造解析手法について解説した。また、シンクロトロン放射光の高輝度、高エネルギーX 線を用いた精密構造解析により解明された新奇・機能性物質の実例についても解説した。本年度の座学の講義は全て Zoom による遠隔授業であったが、現地授業として SPring-8 の見学を実施することによって、授業で説明した研究に用いた装置を実際に身近に観ることができ、学生も満足していると思われる。

その他の特記事項

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・教授　上杉健太朗

担当授業科目等		
（全学共通）	無し	
（学部）	無し	
（博士前期）	構造解析学（分担）	前期　1 コマ　×　15 回
（博士後期）	構造解析学特論（分担）	前期　1 コマ　×　15 回

授業内容と自己評価

・結晶学、X 線回折法による原理、測定及び構造解析、放射光 X 線回折による精密構造解析手法について解説した。また、シンクロトロン放射光の高輝度、高エネルギーX 線を用いた精密構造解析により解明された新奇・機能性物質の実例についても解説した。本年度の座学の講義は全て Zoom による遠隔授業であったが、現地授業として SPring-8 の見学を実施することによって、授業で説明した研究に用いた装置を実際に身近に観ることができ、学生も満足していると思われる。

その他の特記事項

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・准教授　関澤央輝

担当授業科目等		
（全学共通）	無し	
（学部）	無し	
（博士前期）	構造解析学（分担）	前期　1 コマ　×　15 回
（博士後期）	構造解析学特論（分担）	前期　1 コマ　×　15 回

授業内容と自己評価

・X 線吸収分光法、蛍光 X 線分析、X 線顕微鏡について、原理、測定方法および構造解析手法について解説した。また、シンクロトロン放射光の高輝度、高エネルギー X 線を用いた X 線顕微分光法（X 線吸収分光と X 線顕微鏡の組み合わせ）の最新の研究成果についても解説した。本年度の座学の講義は全て Zoom による遠隔授業であったが、現地授業として大型放射光施設 SPring-8/SACLA の見学も行い、授業で説明した研究に用いた装置を実際に身近に観ることができて、学生も満足していると思われる。

その他の特記事項

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・教授　中嶋隆人

担当授業科目等		
（全学共通）	無し	
（学部）	無し	
（博士前期）	理論生物化学	前期　１コマ　×　９回
（博士後期）	理論生物化学特論	前期　１コマ　×　９回

授業内容と自己評価

・物質科学や生命科学の基礎をなす学問であり材料設計や創薬に重要な役割を果たす量子化学とそのシミュレーションについて講義した。特に、量子化学計算の中心的な役割を担っている分子軌道法を中心に添えて，基本から理解できるように説明した。また，最近の量子化学の計算方法や理論についても講義を行い、実験が主流の化学において量子化学の先端研究がどのように役立つかを学生に伝えることに重点を置いた。また、ここ数年間、コロナ禍で実施できなかったスーパーコンピュータ「富岳」の施設見学を行うことができた。

その他の特記事項

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・非常勤講師　松岡貴英

担当授業科目等		
（全学共通）	無し	
（学部）	無し	
（博士前期）	理論生物化学	前期　１コマ　×　６回
（博士後期）	理論生物化学特論	前期　１コマ　×　６回

授業内容と自己評価

・物質科学や生命科学の基礎をなす学問であり材料設計や創薬に重要な役割を果たす量子化学とそのシミュレーションについて対面で講義した。実際には、量子化学計算の中心的な役割を担っている分子軌道法を中心に添えて，基本から理解できるように説明した。また，最近の量子化学の計算方法や理論についての講義、マテリアル・インフォマティクスの演習を行い、実験が主流の化学において量子化学の先端研究がどのように役立つかを学生に伝えることに重点を置いた。

その他の特記事項

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

教育実績報告　　2022 年度　化学専攻・非常勤講師　神前陽子

担当授業科目等		
（全学共通）	無し	
（学部）	無し	
（博士前期）	科学英語1,2（化学専攻）	後期　１コマ　×　１５回
	科学英語1,2（生物学専攻）	後期　１コマ　×　１５回
（博士後期）	無し	

授業内容と自己評価

本講義で学生が以下①～⑥を身につけられるように、科学論文というジャンルの語学的側面から捉えるように講義を行った。さらに学生に気付きを促し、気付きから得たことが論文執筆、プレゼンテーションのような課題に実際に適用できるよう指導した。コースが終了するころには大部分の学生が目標を達成しており、学生のアンケート回答も好評であったことから、学生は満足しているようであった。

①英語で書かれた資料のサーチ・スキルを身につける。
②学術論文の定型構成要素を習得する。
③各自の用途に合った語学データベースが作ることができる。
④定型構成要素の知識を踏まえ、データベースを用いて論文の執筆、推敲ができる。
⑤英語で学術プレゼンテーションができる。
⑥他の学生の書いた英作文を建設的に批判し、また、他の学生からの批判を有効利用できるようになる。

その他の特記事項

授業は対面で実施した。

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