

フロンティア理工学研究所

# 研 究 報 告

The Bulletin of Research Insutitute of Frontier Science and Technology

第 5 号

口絵	1
今山武志・川端凌市： 電子マイクロアナライザによるモナズ石の希土類元素分析の予察的検討	3
Shinobu ISHIGAKI, Khishigjav TSOGTBAATAR, Buuvei MAINBAYAR, Akio TAKAHASHI, Batsaikhan BUYANTEGSH, Mototaka SANEYOSHI, Jargalsaikhan BAT SUKH, Kazumasa AOKI, Tomohiko SATO, Battulga BILGUUNBOLD, Tadahiro IKEDA, Hiroyuki YAMASHITA, Jun OSHITANI, Shoji HAYASHI, Ryuji TAKASAKI, Kentaro CHIBA： Report of Okayama University of Science – Institute of Paleontology, Mongolian Academy of Sciences Joint Expeditions in 2023	7
中島しの・石川玲菜・赤司治夫： (5,10,15,20-tetrakis(4-( $\beta$ -D-glucopyranosylthio)-2,3,5,6-tetrafluorophenyl)-2,3-(methano(N-methyl)iminomethano)chlorinato)iron (III) の合成と性質	13
小佐野 芳寿・福江 紘幸・鷹林 将・國次 真輔・今井 裕一・中谷 達行： DLC ラマンスペクトルの 5 ピーク分離解析における非線形最小二乗法の適用	17
矢城 陽一朗： 金属タンパク質と有機化合物の複合体に対するフラグメント分子軌道計算：II	21
猶原 順・チャオ 小葉： 中国, ミャンマーと日本の飲用水中元素濃度と毛髪中元素濃度の関係	27
牧 祥・藤原 昌夫・藤原 好恒： ソーマチン結晶の磁気浮上成長	31
岩井麻理菜・岩井良輔： 平面付着細胞からの増殖性細胞凝集小塊の連続形成誘導	35
畠山唯達・加藤千恵： MPMS を使用した岩石磁気学的測定	39
岡山理科大学フロンティア理工学研究所について 構成員・研究所規定	44
第 5 回 OUS フロンティアセミナー 『生体異物に抗い利用する知識と技術』	47
OUS フロンティアセミナー開催記録	49
The 3rd International OUS Frontier Symposium・The 2023 Annual SPACC Meeting 開催報告	52
学術論文・著者, 学会発表, 特許, 受賞および社会貢献活動	55

岡 山 理 科 大 学

2023 年 12 月

Okayama University of Science

Okayama, Japan

December, 2023

# The Bulletin of Research Insitute of Frontier Science and Technology

## No.5 CONTENTS

Pictrial	1
Takeshi IMAYAMA · Ryoichi KAWABATA Preliminary study of rare earth element analysis of monazite using electronic microanalyzer	3
Shinobu ISHIGAKI, Khishigjav TSOGTBAATAR, Buuvei MAINBAYAR, Akio TAKAHASHI, Batsaikhan BUYANTEGSH, Mototaka SANEYOSHI, Jargalsaikhan BATSUKH, Kazumasa AOKI, Tomohiko SATO, Battulga BILGUUNBOLD, Tadahiro IKEDA, Hiroyuki YAMASHITA, Jun OSHITANI, Shoji HAYASHI, Ryuji TAKASAKI, Kentaro CHIBA : Report of Okayama University of Science – Institute of Paleontology, Mongolian Academy of Sciences Joint Expeditions in 2023	7
Shino NAKASHIMA, Reina ISHIKAWA, Haruo AKASHI Synthesis and characterizations of (5,10,15,20-tetrakis(4-( $\beta$ -D-glucopyranosylthio)-2,3,5,6-tetrafluorophenyl)-2,3-(methano(N-methyl)iminomethano)chlorinato)iron (III)	13
Yoshihisa OSANO, Hiroyuki FUKUE, Susumu TAKABAYASHI, Shinsuke KUNITSUGU, Yuichi IMAI and Tatsuyuki NAKATANI Application of nonlinear least square method to five-peak separation analysis of DLC Raman spectra	17
Yoichiro YAGI FMO calculations on complexes of metalloprotein and organic compounds: II	21
Jun NAOHARA and Xiaoye ZHUO Relationship between element concentrations in drinking water and element concentrations in hair in China, Myanmar and Japan	27
Syo MAKI · Masao FUJIWARA · Yoshitsune FUJIWARA Growth of magnetic covers on thaumatin crystals	31
Marina Iwai and Ryosuke Iwai Induction of growing cell aggregates with continuous formation from cell monolayers adhered on two-dimensional environment	35
Tadahiro HATAKEYAMA, Chie KATO Rock magnetic measurements by MPMS	39
About IFST, OUS	44
The 5th OUS Frontier Seminar	47
Record of the OUS Frontier Seminar	49
Report on the OUS Frontier Symposium · The 2023 Annual SPACC Meeting	52
List of publications, Presentations, awards and social activity	55

Okayama University of Science

Okayama, Japan

December, 2023



北西インドヒマラヤの内陸湖（パンゴン湖）

（ラダック、インド）

パンゴン湖は、北西インドラダック地方の標高4,350mに位置するヒマラヤの内陸湖であり、世界で最も高い場所にある塩湖である。湖の手前側は、インド側は、カラコラム地塊のパンゴン変成岩体が分布する。湖の向こう側は、中華人民共和国のチベット自治区で、過去のテーチス海の海洋地殻であるオフィオライトなどが分布している。

（写真・文 今山武志）



# 電子マイクロアナライザによるモナズ石の 希土類元素分析の予察的検討

今山武志<sup>1)\*</sup>・川端凌市<sup>1)</sup>

1) 岡山理科大学フロンティア理工学研究所

\* 責任著者

2023年12月8日受理

モナズ石の希土類元素の分布は、共存する鉱物や温度-圧力条件によって変化するため、ウラン-鉛-トリウム年代測定などによって得られた年代値を解釈するのに役立つ。本研究では、岡山理科大学設置の電子マイクロアナライザとリン酸塩鉱物の標準試料を用いて、モナズ石の希土類元素が本装置で定量的に分析可能かどうか予察的に検討を試みた。島根県隠岐道後に分布する隠岐片麻岩類からのモナズ石は、軽希土類元素に富み、右下がりパターンのモナズ石の典型的な希土類元素パターンを示す。しかし、一部の重希土類元素は検出限界以下あるいは軽希土類元素との干渉により、定量的に精度よく測定できなかった。今後は、分析条件や干渉補正条件について検討することにより、モナサイトの重希土類元素を精度の高い分析を目指す。

## 1. はじめに

モナズ石  $[(Ce,Th)PO_4]$  は、花崗岩や変成岩など、地殻を構成する岩石に微量だが広く産出する。モナズ石は、希土類元素に富むリン酸塩鉱物であり、ウランやトリウムに富んでいるため、ウラン-鉛年代やトリウム-鉛年代測定に適用できる (Imayama and Suzuki, 2013; Imayama et al., 2022)。モナズ石の希土類元素の分布は、共存する鉱物や生成した温度-圧力条件によって変化する。例えば、ザクロ石と共存するモナズ石は、イットリウム成分や重希土類元素に乏しくなる傾向がある。このことは、ザクロ石がイットリウム成分や重希土類元素に比較的富むために起こる。変成作用においては、最高温度時にザクロ石は多く産出するため、ザクロ石と共存するモナサイトから得られた年代値は、変成ピークの年代値として解釈される (Imayama et al., 2022)。このようにモナズ石の希土類元素と年代測定値を結び付けることは、その解釈に有用な場合が多い。モナズ石の希土類元素は、レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析などを用いて分析される場合が多いが、これらの分析ではレーザーによりモナズ石が著しく損傷するため、モナサイト粒子内の同地点で年代測定を別途実施するのが難しくなる場合がある。一方、電子マイクロアナライザは、基本的に非破壊分析のため、モナズ石の希土類元素が精度よく測定できれば、同地点の年代測定も実施可能である。そこで、本研究では、岡山理科大学設置の電子マイクロアナライザとリン酸塩鉱物の標準試料を用いて、モナズ石の希土類元素が定量的に分析可能かどうか予察的に検討を試みた。

## 2. 試料概要

島根県の日本海沖に位置する隠岐・島後は、日本列島形成の基盤となる大陸地塊の断片であり、高温変成作用を被った隠岐帯の片麻岩類が広く分布している。これらの片麻岩類はペルム紀から三畳紀の変成作用を被っており、飛騨帯と一連の変成帯である可能性が推定されている (Suzuki and Adachi 1994)。これらの隠岐片麻岩類は多くのモナズ石やジルコンを含み、それら鉱物の年代測定からは、隠岐帯は三畳紀の高温変成作用に加えて、古原生代の高温変成作用を被っていることが示された (Kawabata et al., 2022)。すなわち、隠岐帯は日本列島で最も古い地質岩帯であり、日本列島形成史を解明するのに重要な地域である。

隠岐片麻岩類は、ミグマタイト質片麻岩、花崗岩質片麻岩類と泥質片麻岩類から主に構成される。試料 OK161003-3C はミグマタイト質片麻岩で、ザクロ石、黒雲母、白雲母、珪線石、斜長石、カリ長石、石英から主に構成される。二次的な緑泥石は、ザクロ石の割れ目や黒雲母を置換している。ザクロ石は斑状変晶(ポーフイロブラスト)で、石英、黒雲母、白雲母、斜長石、ルチルの包有物を含む。面構造は、黒雲母と白雲母の伸張方向によって定義される。再結晶した石英は、主要な面構造に斜行している。

## 3. 標準試料と分析条件

希土類元素分析のための標準試料は、スミソニアン博物館に登録されている以下の14個のリン酸塩鉱物を用いた:  $CePO_4$  (NMNH 168484),  $DyPO_4$  (NMNH 168485),  $ErPO_4$  (NMNH 168486),  $EuPO_4$  (NMNH

Table 1. 隠岐片麻岩 (試料 OK161003-3C) のモナズ石の希土類元素濃度

	Mnz18_19	Mnz18_20	Mnz18_21	Mnz18_22	Mnz18_23	Mnz22_24	Mnz22_25	Mnz22_26	Mnz22_27	Mnz17_28	Mnz17_29	Mnz17_30	Mnz17_31	Mnz17_32
	(wt.%)													
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.455	12.224	12.137	11.797	11.722	11.377	11.798	11.799	11.261	11.482	11.829	11.788	11.362	11.701
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.763	25.254	25.428	24.877	24.67	24.478	25.402	25.562	24.093	23.928	24.394	25.227	23.687	24.281
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.785	2.912	2.712	2.571	2.799	2.569	2.852	2.929	2.651	2.697	2.586	2.836	2.592	2.653
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.322	12.013	12.352	11.838	11.967	11.237	11.982	12.147	11.298	11.186	11.224	11.496	11.184	11.716
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.279	1.75	1.665	1.651	1.534	1.554	1.774	1.749	1.849	1.739	1.588	1.411	0.987	1.612
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.496	0.433	0.457	0.405	0.432	0.31	0.351	0.342	0.38	0.302	0.339	0.284	0.397	0.368
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.126	1.411	1.152	1.223	1.078	1.194	1.137	0.989	1.562	1.243	1.19	1.019	1.012	1.372
Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0.101	0.028	0.109	0.095	0.117	0.087	0.056	0.145	0.133	0.062	-	-	0.11
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.671	0.838	0.545	0.645	0.685	0.566	0.375	0.398	0.854	0.686	0.566	0.445	0.216	0.712
Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.074	0.107	0.055	-	0.131	0.118	0.086	-	0.04	0.048	0.072	0.038	0.033	0.169
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.188	0.125	0.176	0.114	0.178	0.147	0.026	-	0.156	0.151	0.159	0.044	0.035	0.163
Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.222	0.181	0.22	0.185	0.226	0.19	0.208	0.221	0.2	0.198	0.183	0.187	0.18	0.176
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.003
Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.005	0.048	0.024	0.138	0.077	0.018	0.058	-	0.058	0.032	0.015	-	0.065	0.074
	(ppm)													
La	106204	104235	103493	100594	99954	97012	100602	100611	96023	97908	100867	100517	96884	99775
Ce	219956	215610	217096	212391	210624	208985	216874	218240	205698	204289	208268	215379	202231	207303
Pr	23798	24883	23174	21969	23917	21952	24370	25028	22653	23046	22097	24233	22148	22670
Nd	105642	102993	105899	101493	102599	96340	102727	104142	96863	95903	96229	98561	95886	100447
Sm	11030	15091	14358	14237	13229	13401	15298	15083	15945	14996	13694	12168	8511	13901
Eu	4283	3739	3947	3498	3731	2677	3031	2953	3282	2608	2928	2453	3428	3178
Gd	9769	12242	9995	10611	9353	10359	9864	8580	13552	10784	10324	8841	8780	11903
Tb	-	878	243	947	825	1017	756	487	1260	1156	539	-	-	956
Dy	5847	7302	4749	5620	5968	4932	3267	3468	7441	5977	4932	3877	1882	6204
Ho	646	934	480	-	1144	1030	751	-	349	419	629	332	288	1475
Er	1644	1093	1539	997	1557	1286	227	-	1364	1321	1390	385	306	1425
Tm	1944	1585	1926	1620	1979	1664	1821	1935	1751	1734	1602	1637	1576	1541
Yb	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26
Lu	44	422	211	1214	677	158	510	-	510	281	132	-	572	651

168487), GdPO<sub>4</sub> (NMNH 168488), HoPO<sub>4</sub> (NMNH 168489), LaPO<sub>4</sub> (NMNH 168490), LuPO<sub>4</sub> (NMNH 168491), NdPO<sub>4</sub> (NMNH 168492), PrPO<sub>4</sub> (NMNH 168493), SmPO<sub>4</sub> (NMNH 168494), TbPO<sub>4</sub> (NMNH 168496), TmPO<sub>4</sub> (NMNH 168497), YbPO<sub>4</sub> (NMNH 168498). これらの標準試料は、樹脂によってマウントし、表面を1 $\mu$ mのダイヤモンドペーストまで研磨した。その後、真空蒸着装置を用いて、炭素蒸着をした。

モナズ石の希土類元素の分析は、岡山理科大学総合機器センター設置の電子プローブアナライザ (JEOL, JXA-8230) を用いて実施した。分析条件は、加速電圧15kV、照射電流20nA、スポット径は約3 $\mu$ mで行った。モナズ石は、二次電子像や化学組成マッピングにより、鉱物粒子の内部構造組織を観察した (Kawabata et al., 2022)。ピークとバックグラウンド分析時間は、それぞれ30秒と15秒にした。希土類元素の分析結果は、Table 1. に示す。

#### 4. 結果と考察

試料 OK161003-3C のモナズ石は、軽希土類元素に富み、中希土類元素にかけて右下がりパターンの希土類元素パターンを示す (Fig. 1)。

また、C1コンドライトで規格化した軽希土類元素の含有量は、105–106オーダーである。これらの特徴は、モナズ石の典型的な希土類元素パターンと類似しており、軽–中希土類元素は比較的精度よく分析できてい

ることが推測される。ただし、典型的な負のEu異常は見当たらなかった。このことは、Eu-L  $\alpha$ 線は、Pr-L  $\alpha$ 線と干渉補正する必要があるためかもしれない (Catlos and Miller, 2017)。また、Tm, Yb, Luなどの重希土類元素は、スムーズな右下がりのパターンから大きく外れている。これらの原因としては、含有量が少なすぎるため検出限界以下であったか、あるいは軽希土類元素との干渉により、定量的に精度よく測定できなかった可能性などが考えられる。

#### 5. 今後の展開

上記に述べたように、モナズ石の重希土類元素のパターンは、ザクロ石との共存関係、すなわち得られた年

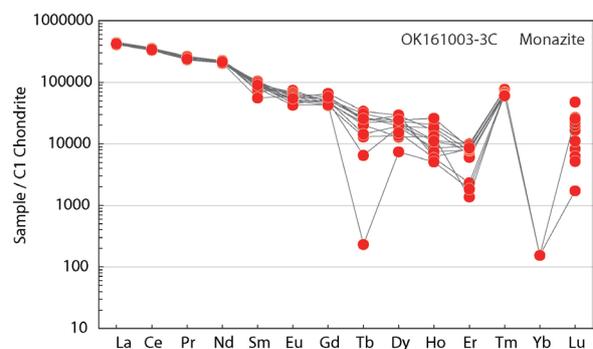


Fig. 1. C1-chondrite normalized rare earth elements patterns of monazite from the Oki gneiss.

代値の変成ステージを推定する上で、決定的に重要である。また、Eu 異常は、長石類との共存関係を考察するために役立つ。したがって、今後は、分析条件などを詳しく検討して、モナズ石の希土類元素の分析手法を確立する必要がある。例えば、試料やバックグラウンドの分析時間を長くするなどにより、カウント数を増やすなどして、分析精度を上げる。一方、分析時間を長くすれば、モナズ石の表面は損傷するなどのリスクがあるので、スポット径を大きくするなどの対応が必要かもしれない。また、軽希土類元素などとの干渉補正条件を丁寧に決めることが重要であろう。加えて、レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析計で測定した値と比較検討することが望ましい。

#### 謝辞

スミソニアン博物館には、標準試料のリン酸塩鉱物を無償で提供いただいた。ここに、深く感謝申し上げます。

#### 引用文献

Catlos, E. and Miller, N. R., 2017. Speculations Linking Monazite Compositions to Origin: Llallagua Tin Ore Deposit (Bolivia). *Resources*, 6, 36.

Imayama, T., Suzuki, K., 2013. Carboniferous inherited grain and age zoning of monazite and xenotime from leucogranites in far-eastern Nepal: Constraints from electron probe microanalysis. *American Mineralogist*, 98, 1393-1406.

Imayama, T., Hoshino, R., Yi, K., Kawabata, R., 2022. Eocene to Miocene metamorphic evolution and tectonic implication of the Ilam Nappe in Nepal Himalaya: Constraints from P-T conditions and monazite petrochronology. *Journal of Asian Earth Sciences*, 234.

Kawabata, R., Imayama, T., Kato, T., Oh, C. W., Horie, K., and Takehara, M., 2022. Multi-stage metamorphic history of the Oki gneisses in Japan: Implications for Paleoproterozoic metamorphism and tectonic correlations in northeastern Asia. *Journal of Metamorphic Geology*, 40, 257-286.

Suzuki, K., and Adachi, M., 1994. Middle Precambrian detrital monazite and zircon from the Hida gneiss on Oki-Dogo Island, Japan: their origin and implication for the correlation of basement gneiss of Southwest Japan and Korea. *Tectonophysics*, 235, 277-292.

## Preliminary study of rare earth element analysis of monazite using electronic microanalyzer

Takeshi IMAYAMA<sup>1)\*</sup> · Ryoichi KAWABATA<sup>1)</sup>

*1) Institute of Frontier Science and Technology, Okayama University of Science,  
1-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama, 700-0005, Japan*

The distribution of rare earth elements (REE) in monazite changes depending on the coexisting minerals and temperature-pressure conditions, so it is useful for interpreting age values obtained by methods such as U-Pb-Th dating. In this study, we preliminarily investigated quantitative analyze of the REE in monazite using an electronic microanalyzer installed at Okayama University of Science and the standards of phosphate minerals. Monazite from the Oki gneisses is rich in light REE and shows the typical REE pattern of monazite, which is a downward-sloping pattern. However, some heavy REE are below the detection limit. Also, due to interference with light REE elements, quantitative measurement could not be performed with high precision. In the future, we aim to be able to analyze REE in monazite with high accuracy by examining analysis conditions and interference correction conditions.

**Keywords:** monazite; Rare earth elements; EPMA



## Report of Okayama University of Science – Institute of Paleontology, Mongolian Academy of Sciences Joint Expeditions in 2023

Shinobu ISHIGAKI<sup>1)</sup>, Khishigjav TSOGTBAATAR<sup>2)</sup>, Buuvei MAINBAYAR<sup>2)</sup>,  
Akio TAKAHASHI<sup>3)</sup>, Batsaikhan BUYANTEGSH<sup>2)</sup>, Mototaka SANEYOSHI<sup>3)</sup>,  
Jargalsaikhan BATSUKH<sup>2)</sup>, Kazumasa AOKI<sup>4)</sup>, Tomohiko SATO<sup>4)</sup>, Battulga  
BILGUUNBOLD<sup>2)</sup>, Tadahiro IKEDA<sup>5),6)</sup>, Hiroyuki YAMASHITA<sup>7)</sup>, Jun  
OSHITANI<sup>8)</sup>, Shoji HAYASHI<sup>3)</sup>, Ryuji TAKASAKI<sup>9)</sup>, Kentaro CHIBA<sup>3)\*</sup>

*Museum of Dinosaur Research,*

*1) Institute of Frontier Science and Technology,*

*Okayama University of Science,*

*1-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama 700-0005, Japan,*

*2) Institute of Paleontology,*

*Mongolian Academy of Sciences,*

*P.O.B: 46/650, S. Danzan Street 3/1, 4th horoo, Chingeltei district, Ulaanbaatar – 15160, Mongolia,*

*3) Faculty of Biosphere-Geosphere Science,*

*4) Center for Fundamental Education,*

*Okayama University of Science,*

*1-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama 700-0005, Japan,*

*5) Institute of Natural and Environmental Sciences,*

*6) Division of Natural History,*

*Museum of Nature and Human Activities, Hyogo,*

*6 Yayoigaoka, Sanda, Hyogo 669-1546, Japan,*

*7) Faculty of Education,*

*8) Faculty of Engineering,*

*Okayama University of Science,*

*1-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama 700-0005, Japan,*

*9) Department of Ecology and Evolutionary Biology,*

*University of Toronto,*

*25 Willcocks Street, Toronto, Ontario, M5S 3B2, Canada.*

\* 責任著者

Accepted on December 28, 2023

Okayama University of Science and the Institute of Paleontology of the Mongolian Academy of Sciences conducted consecutive joint expeditions in 2023. The crew visited a new locality in the Bayan Undur area, Yagaan Khovil, Khongil, Abdrant Nuruu, Bayn Shire, Urlibe Khuduk, Javkhlant, Sergelen area, Shar Tsav, Bayshin Tsav and Amtgai in the Gobi Desert of Mongolia. We performed paleontological and geological surveys at the localities and collected samples that are critical to elucidating various topics: vertebrate fauna and their evolution through the Cretaceous in Mongolia, construction of the temporal framework of Mongolian Upper Cretaceous strata, and Devonian–Carboniferous tectonic history of the Ulaanbaatar belt.

**Keywords:** Mongolia; Cretaceous; Paleontology; Geology.

## 1. Introduction

The research group from the Okayama University of Science (OUS) has regularly conducted joint expeditions with the Institute of Paleontology, Mongolian Academy of Sciences (IP-MAS) from 2015 to 2022 with temporal cessation in 2020 and 2021 due to the COVID-19 pandemic<sup>(1-5)</sup>. Here we report the summary of four joint expeditions that we conducted this year.

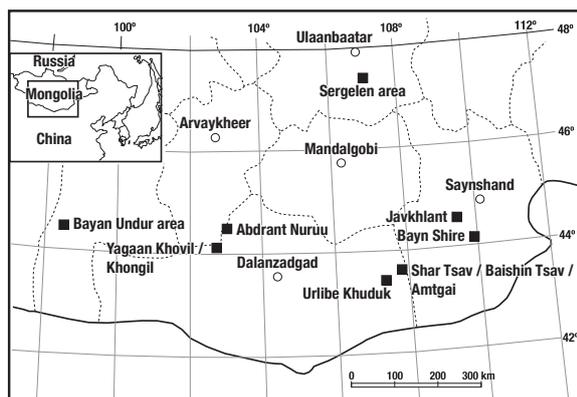


Fig. 1. Map of localities visited during the joint expeditions in 2023 (black squares). Open circles represent selected major cities and towns in Mongolia.

## 2. Localities visited

The localities that we visited during the four joint expeditions span from the eastern to the western Gobi Desert (Fig. 1). The first expedition was carried out at a new locality in Bayan Undur area (Lower Cretaceous?), Yagaan Khovil, Khongil, Abdrant Nuruu (Upper Cretaceous) from June 1<sup>st</sup>–15<sup>th</sup>, 2023. The second expedition was undertaken at Bayn Shire and Urliibe Khuduk (Baynshiree Formation, Upper Cretaceous) and Javkhlant (Javkhlant Formation, Upper Cretaceous) from August 5<sup>th</sup>–17<sup>th</sup>. The third expedition was conducted in the Sergelen area (Gorki, Sergelen, Orgioch, and Altanovoo formations, Devonian–Carboniferous<sup>(6)</sup>). The fourth expedition was performed at Shar Tsav, Bayshin Tsav, Amtgai (Baynshiree Formation) from August 21<sup>st</sup> to 29<sup>th</sup>. The detailed lists and the associated GPS coordinates of recovered fossil specimens and geological samples are not shown here to protect the locality from poaching and vandalism but are reposted in the IP-MAS and OUS databases.

## 3. Results

During the first expedition, we revealed a new fossil locality in the Bayan Undur area, where abundant dinosaur footprints and trackways were discovered. We

found hundreds of ornithopod, theropod, and sauropod isolated footprints as well as several sauropod and theropod trackways (Fig. 2A). We also relocated and collected detailed ichnological and sedimentological data of footprints and trackways that were previously reported<sup>(7,8)</sup>.

Following the previous years<sup>(4,5)</sup>, we collected sediment samples of the layers at Bayn Shire that produce microvertebrate remains, including mammal, fish, lizard, and frog fossils, as well as turtle, crocodylian, and dinosaur bone and teeth fragments. We also collected detailed sedimentological data at the site. During the second expedition, part of the team visited Urliibe Khuduk and Javkhlant to collect sedimentological data and samples. They also collected vertebrate fossils, including some articulated ornithischian skeletons at Javkhlant (Fig. 2B).

The third expedition focused on geological research to understand the tectonic evolution of the Ulaanbaatar belt rather than vertebrate paleontological studies (Fig. 2C). We collected detailed geological data and samples during the expedition.

The fourth expedition team prospected and excavated at Shar Tsav, Bayshin Tsav, and Amtgai. One notable finding during this expedition is a bonebed layer found at Bayshin Tsav, which is potentially composed of mixtures of theropods and ornithopods. We also discovered new dinosaur trackways at Shar Tsav, famous for yielding abundant dinosaur ichnological remains<sup>(8)</sup>.

## 4. Future Perspectives

The newly discovered ichnological remains in the Bayan Undur area deserve future detailed ichnological data collection. The Early Cretaceous dinosaur ichnological remains are relatively scarce compared to the Late Cretaceous ones in Mongolia. The new remains may fill the gap in the ichnological data and contribute to the understanding of dinosaur paleoecology and evolution throughout the Cretaceous. The future excavation of the potential multitaxic bonebed at Bayshin Tsav and multiple articulated dinosaur remains at Javkhlant will be fruitful in this regard. The microvertebrate remains at Bayn Shire are extremely rare, and therefore, our continuous work at the site will significantly expand the understanding of non-dinosaurian vertebrate fauna during the Baynshirenian. The detailed sedimentological data gathered at the site this year will be critical to understanding the taphonomic history of the layers with microvertebrate fossils and may lead to future discoveries

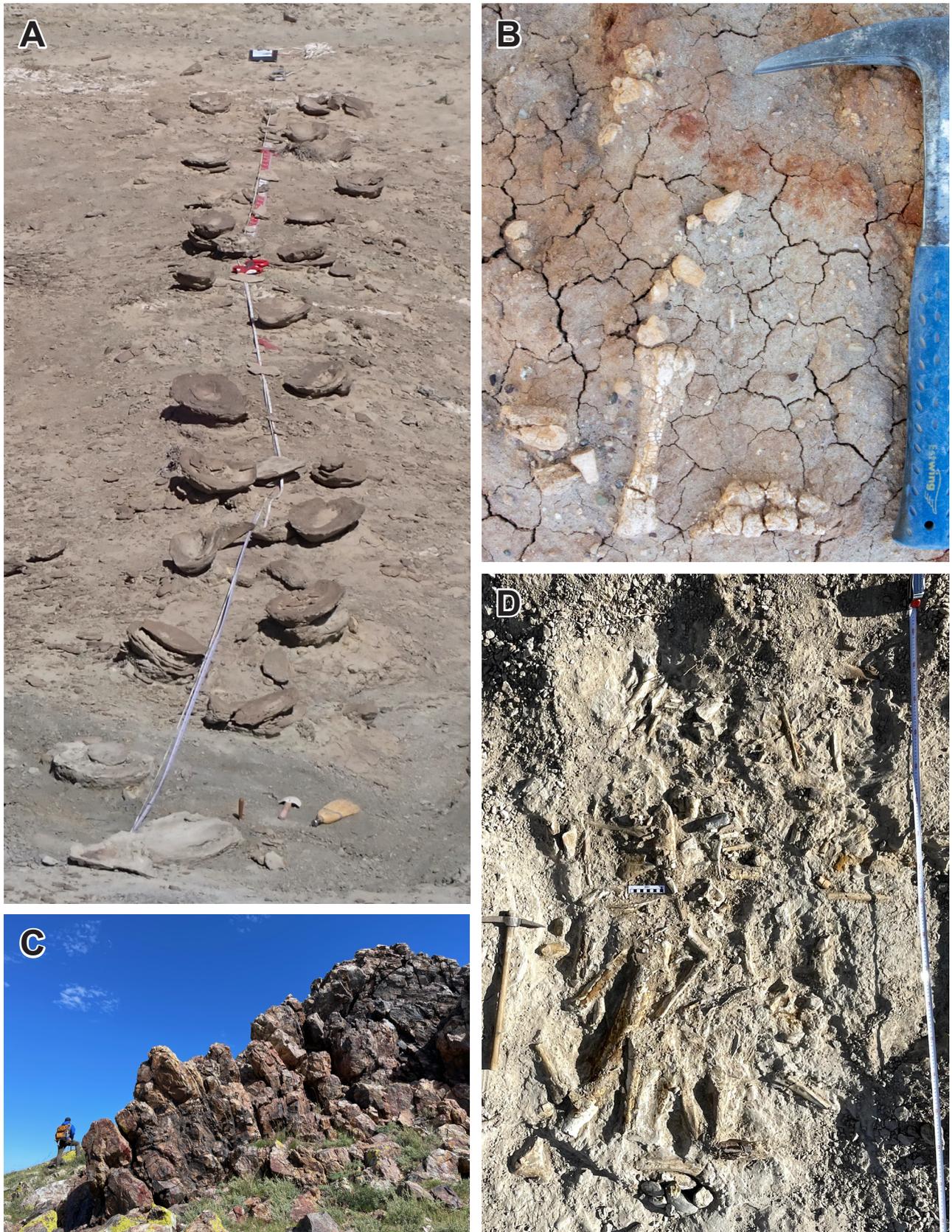


Fig. 2. Selected photographs of the joint expeditions in 2023. A: newly found sauropod trackway in Bayan Undur area; B: articulated partial ornithischian skeleton at Javkhlant; C: outcrop in the Sergelen area; D: a potential multitaxic bonebed at Bayshin Tsav.

of similar layers and more microfossils that are currently underrepresented in the formation. We are also planning to develop an effective system to sort microvertebrate fossils using the sedimentological and fossil samples that we collected at the site. The structural and geochemical analyses on the samples collected in the Sergelen area will be useful to clarify the accretion polarity of the Gorki Formation. Additionally, the comprehensive metamorphic petrology will be expected to reveal the progressive metamorphism recorded in the Sergelen Formation. Further geological surveys in the Orgioch and Altanovoo formations will also be critical to verify the detailed tectonic history of the Ulaanbaatar belt. Our team has previously recovered geochronologically meaningful U-Pb ages from calcrete and dinosaur dental samples recovered from the Upper Cretaceous Mongolian strata<sup>9,10</sup>. The sedimentological and fossil samples collected at Bayn Shire, Urlibe Khudul, and Javkhlant are planned to be used for U-Pb dating and are expected to reinforce the poorly-constructed temporal framework of the Upper Cretaceous strata in Mongolia.

#### Acknowledgments

We greatly appreciate all staff of IP-MAS and students at OUS (Hayato Inaba, Tsukasa Okoshi, Rei Nishimura, Taiki Miyake, Kei Kondo, Hikaru Nakamura, Sorai Tajima, and Yudai Fujii) for all their support. This expedition and the subsequent research projects are supported by the Grants for the Promotion of OUS Research Projects (2022–2023) and Educational Program Development (2022–2023).

#### References

- 1) Ishigaki, S., Tsogtbaatar, K., Saneyoshi, M., Mainbayar, B., Aoki, K., Ulziitseren, S., Imayama, T., Takahashi, A., Toyoda, S., Bayardorj, C., Buyantegsh, B., Batsukh, J., Purevsuren, B., Asai, H., Tsutanaga, S., & Fujii, K. (2016). Report of the Okayama University of Science-Mongolian Institute of Paleontology and Geology Joint Expedition in 2016. *Bulletin of Research Institute of Natural Sciences, Okayama University of Science*, 42, 33–46.
- 2) Ishigaki, S., Tsogtbaatar, K., Nishido, H., Toyoda, S., Mainbayar, B., Chinzorig, T., Noumi, Y., Takahashi, A., Ulziitseren, S., Zorig, E., Buyantegsh, B., Purevsuren, B., Enerel, G., Bayardorj, C., Ochirjantsan, E., Saneyoshi, M., Aoki, K., & Hayashi, S. (2017). Report of the Okayama University of Science-Mongolian Institute of Paleontology and Geology Joint Expedition in 2017. *Bulletin of Research Institute of Natural Sciences, Okayama University of Science*, 43, 25–39.
- 3) Ishigaki, S., Tsogtbaatar, K., Toyoda, S., Mainbayar, B., Noumi, Y., Takahashi, A., Buyantegsh, B., Byambaa, P., Zorig, E., Bayardorj, C., Ochirjantsan, E., Saneyoshi, M., Hayashi, S., & Chiba, K. (2018). Report of the Okayama University of Science – Mongolian Institute of Paleontology and Geology Joint Expedition in 2018. *Bulletin of Research Institute of Natural Sciences, Okayama University of Science*, 44, 19–32.
- 4) Ishigaki, S., Tsogtbaatar, K., Tsujigiwa, H., Mainbayar, B., Takahashi, A., Aoki, K., Aoki, S., Buyantegsh, B., Byambaa, P., Bayardorj, C., Otgonbat, B., Saneyoshi, M., Hayashi, S., & Chiba, K. (2019). Report of the Okayama University of Science – Mongolian Institute of Paleontology Joint Expedition in 2019. *Bulletin of Institute of Frontier Science and Technology, Okayama University of Science*, 1, 53–57.
- 5) Ishigaki, S., Tsogtbaatar, K., Mainbayar, B., Takahashi, A., Buyantegsh, B., Byambaa, P., Ganzorig, B., Bilguunbold, B., Ochirjantsan, E., Hatakeyama, T., Saneyoshi, M., Takasaki, R., & Chiba, K. (2022). Report of Okayama University of Science – Institute of Paleontology, Mongolian Academy of Sciences Joint Expeditions in 2022. *Bulletin of Institute of Frontier Science and Technology, Okayama University of Science*, 4, 29–32.
- 6) Savinskiy, I., Safonova, I., Perfilova, A., Kotler, P., Sato, T., & Maruyama, S. (2022). A story of Devonian ocean plate stratigraphy hosted by the Ulaanbaatar accretionary complex, northern Mongolia: implications from geological, structural and U–Pb detrital zircon data. *International Journal of Earth Sciences*, 111(8), 2469–2492. <https://doi.org/10.1007/s00531-021-02150-5>
- 7) Ishigaki, S. (2010). Theropod trampled bedding plane with laboring trackways from the Upper Cretaceous Abdrant Nuru fossil site, Mongolia. *Hayashibara Museum of Natural Sciences Research Bulletin*, 3, 133–141.
- 8) Ishigaki, S., Watabe, M., Tsogtbaatar, K., & Saneyoshi, M. (2009). Dinosaur footprints from the Upper Cretaceous of Mongolia. *Geological Quarterly*, 53(4), 449–460.

- 9) Kurumada, Y., Aoki, S., Aoki, K., Kato, D., Saneyoshi, M., Tsogtbaatar, K., Windley, B. F., & Ishigaki, S. (2020). Calcite U–Pb age of the Cretaceous vertebrate-bearing Bayn Shire Formation in the Eastern Gobi Desert of Mongolia: usefulness of caliche for age determination. *Terra Nova*, 32, 246–252. <https://doi.org/10.1111/ter.12456>
- 10) Tanabe, M., Aoki, K., Chiba, K., Saneyoshi, M., Kodaira, S., Nishido, H., Mainbayar, B., Tsogtbaatar, K., & Ishigaki, S. (2023). Apatite U–Pb dating of dinosaur teeth from the Upper Cretaceous Nemegt Formation in the Gobi Desert, Mongolia: Contribution to depositional age constraints. *Island Arc*, 32(1), e12488. <https://doi.org/10.1111/iar.12488>



# (5,10,15,20-tetrakis(4-( $\beta$ -D-glucopyranosylthio)-2,3,5,6-tetrafluorophenyl)-2,3-(methano(*N*-methyl)iminomethano)chlorinato)iron (III) の合成と性質

中島しの・石川玲菜・赤司治夫\*

岡山理科大学フロンティア理工学研究所

\* 責任著者

2024年1月9日受理

## Abstract

塩化鉄(II)と  $H_2TFPC-SA cGlc$  との反応より、 $FeCl(TFPC)-SA cGlc$  を高効率で合成することに成功した。 $FeCl(TFPC)-SA cGlc$  のグルコースのアセチル基をナトリウムメトキシドで脱保護することで、水溶性の  $FeCl(TFPC)-SGlc$  を高収率で合成することに成功した。

$FeCl(TFPC)-SA cGlc$  の紫外可視吸収スペクトルを測定した結果、 $FeCl(TFPC)-SA cGlc$  はソルバトクロミズムを示すことを明らかにした。 $FeCl(TFPC)-SGlc$  の特徴的な吸収極大は、配位子と同じ 406 nm と 652 nm であったが、それぞれの波長における  $FeCl(TFPC)-SGlc$  のモル吸光係数は配位子の  $H_2TFPC-SGlc$  のモル吸光係数の値の約半分と、小さくなっていることが明らかになった。

## 1. Introduction

我々は、フッ素化クロリン 5,10,15,20-tetrakis(pentafluorophenyl(*N*-methyl)iminomethano)chlorin ( $=H_2TFPC$ ) を配位子とする金属錯体を合成し、その性質について報告している。例えば、我々は、 $H_2TFPC$  を配位子とする Zn 錯体、 $[Zn(TFPC)]$  が、酸素雰囲気下で照射すると、ベンジルアミンを対応する *N*-ベンジリデンベンジルアミン誘導体に酸化する反応の優れた触媒になることを報告している。<sup>1)</sup>

また、我々は、 $H_2TFPC$  に糖を連結することにより、水溶性の糖連結フッ素化クロリンの合成にも成功し、これらの化合物が、腫瘍細胞に選択的に取り込まれること、酸素雰囲気下で強い光細胞毒性を発現することを明らかにしている。<sup>2)</sup>

今回、 $H_2TFPC$  にグルコースを連結した、グルコース連結フッ素化クロリンを配位子とする鉄(III)錯体を合成し、その性質について検討を行ったので報告する。

## 2. Experimental

### 合成

5,10,15,20-tetrakis(4-(2,3,4,6-tetra-*O*-acetyl- $\beta$ -D-glucopyranosylthio)-2,3,5,6-tetrafluorophenyl)-2,3-(methano(*N*-methyl)iminomethano)chlorin

( $H_2TFPC-SA cGlc$ ), および 5,10,15,20-tetrakis(4-( $\beta$ -D-glucopyranosylthio)-2,3,5,6-tetrafluorophenyl)-2,3-(methano(*N*-methyl)iminomethano)chlorin ( $H_2TFPC-SGlc$ ) は、文献を参考にして合成した。<sup>3)</sup>

5,10,15,20-tetrakis(4-(2,3,4,6-tetra-*O*-acetyl- $\beta$ -D-glucopyranosylthio)-2,3,5,6-tetrafluorophenyl)-2,3-(methano(*N*-methyl)iminomethano)chlorinato-iron(III) ( $FeCl(TFPC)-SA cGlc$ )

グルコースの水酸基をアセチル基で保護した、 $H_2TFPC-SA cGlc$  (603.0 mg, 0.25 mmol), 塩化鉄(II) 四水和物 (248.5 mg, 1.25 mmol), 酢酸ナトリウム (215mg) を、酢酸 (15 ml) に溶解し、攪拌しながら、1時間還流した。還流後、反応溶液を放冷し、クロロホルム (50ml) を加えて攪拌した。その後、純水で洗浄 (200ml  $\times$  3回) を行い、クロロホルム相を回収した。回収したクロロホルム相に硫酸ナトリウムを加えて脱水し、吸引ろ過で硫酸ナトリウムを取り除いた後、ろ液を減圧下で乾固した。得られた粉末をトルエンと酢酸の混合溶液に溶解させ、シリカゲルカラムクロマトグラフィーで展開した。緑色の層を回収し、減圧乾固することで、目的の化合物 (緑色粉末) を得た。Yield: 338.0 mg (53.0 %).

Anal. Calcd for  $FeCl(TFPC)-SA cGlc \cdot 2H_2O$  ( $C_{103}H_{95}F_{16}N_5O_{38}S_4FeCl$ ): C, 48.81; H, 3.78; N, 2.76 Found: C, 48.63; H, 3.90; N, 2.63.

MALDI-TOF MS (m/z, **DHB**, **NaTFA**) Calcd for  $C_{103}H_{90}F_{16}N_5NaO_{36}S_4Fe^+ [M+Na]^+$  2484.321, Found 2485.371.

5,10,15,20-tetrakis(4-( $\beta$ -D-glucopyranosylthio)-2,3,5,6-tetrafluorophenyl)-2,3-

(methano(N-methyl)iminomethano)chlorinato-iron(III) (**FeCl(TFPC)-SGlc**)

**FeCl(TFPC)-SAcGlc** (74.95mg, 0.03mmol),  $CH_3ONa$  (38.0mg, 0.70mmol) に、ジクロロメタン (15ml), メタノール (2ml) を加えて、1時間攪拌した。攪拌後、析出した沈殿を吸引濾過し、得られた固体を減圧下で乾燥した。その後、粉末を純水 (30ml) 中で攪拌し、洗浄した。これを吸引濾過し、回収した粉末を減圧下で乾燥することで、目的の化合物 (緑色粉末) を得た Yield: 47mg (75%) .

Anal. Calcd for **FeCl(TFPC)-SGlc**·2 $CH_2Cl_2$ ·2 $H_2O$  ( $C_{73}H_{67}F_{16}N_5O_{22}S_4FeCl_5$ ): C, 41.32; H, 3.66; N, 3.30 Found: C, 41.24; H, 3.43; N, 3.34.

MALDI-TOF MS (m/z, **DHB**, **NaTFA**) Calcd for  $C_{71}H_{58}F_{16}N_5NaO_{20}S_4Fe^+ [M+Na]^+$  1811.154, Found 1811.518.

## 測定

### MALDI-TOF 質量分析

マスマスペクトルは autoflex speed (Bruker) を用いて測定した。ターゲットプレートには、MTP 384 target plate ground steel BC を用いた。マトリックスにはゲン

チジン酸 (**DHB**) を用い、カチオン化剤にはトリフルオロ酢酸ナトリウムを用いた。キャリブレーションには各試料のキャリブレーションに適した平均分子量をもつポリエチレングリコールを用いた。

## 紫外可視吸収スペクトル

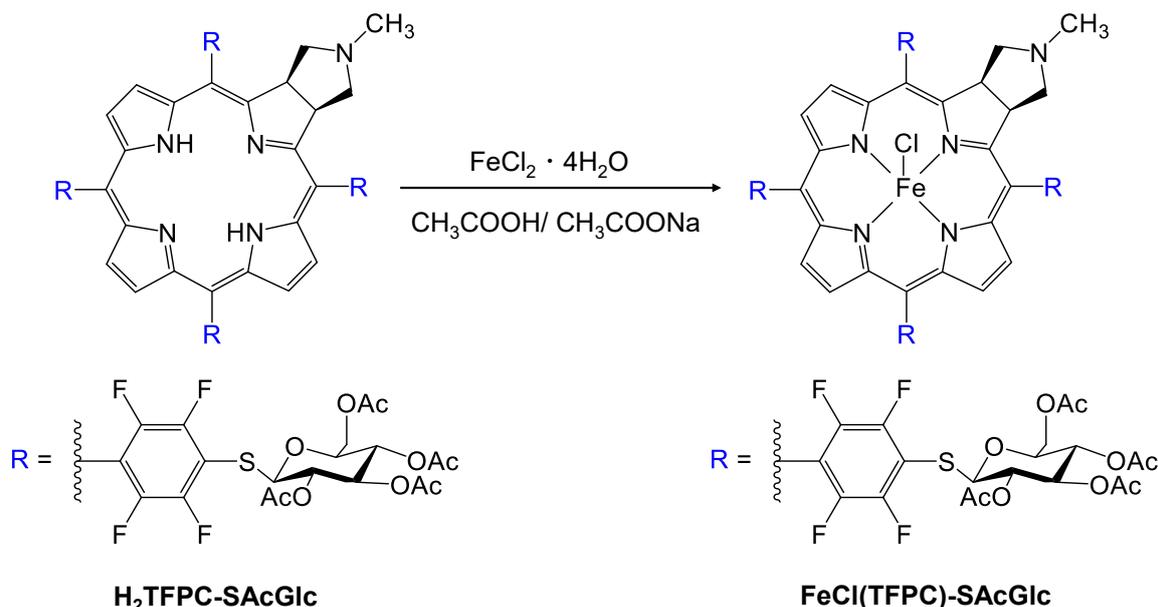
紫外可視吸収スペクトルは、U-2000 形ダブルビーム分光光度計 (HITACHI) を用いて測定した。

## 3. Results and discussion

**H<sub>2</sub>TFPC-SAcGlc**, 塩化鉄(II)・四水和物, および酢酸ナトリウムを、酢酸に溶解して還流した反応溶液から、目的物をクロロホルムで溶媒抽出した後、シリカゲルカラムクロマトグラフィーによって分離・精製を行って、緑色の層を回収することで、水酸基をアセチル基で保護したグルコースを連結したフッ素化クロリンを配位子とする鉄(III)錯体, **FeCl(TFPC)-SAcGlc** を合成した (Scheme 1)。鉄イオンは反応の過程で、2価から3価に酸化されている。錯体の生成は、MALDI-TOF 質量分析と CHN 元素分析の結果から確認した (収率, 53%)。本反応では、溶液を還流するとき、反応溶液の温度を沸点以上に保ち、一時間反応することで、**FeCl(TFPC)-SAcGlc** を効率よく合成できた。

**FeCl(TFPC)-SGlc** は、**FeCl(TFPC)-SAcGlc** のグルコースのアセチル基をナトリウムメトキシドで脱保護することで、合成した (Scheme 2)。錯体の生成は、

Scheme 1 Preparation of **FeCl(TFPC)-SAcGlc**



MALDI-TOF 質量分析と CHN 元素分析の結果から確認した (収率 75%)。FeCl(TFPC)-SGlc は水溶性を示す。

FeCl(TFPC)-SGlc のジメチルスルホキシド中の、紫外可視吸収スペクトルを Figure 1 に示した。

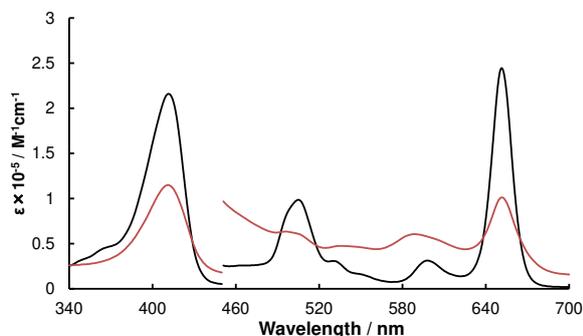


Figure 1 Electronic spectra of FeCl(TFPC)-SGlc (Red line) and H<sub>2</sub>(TFPC)-SGlc (Black line) in DMSO.

参考のため、配位子である H<sub>2</sub>TFPC-SGlc の吸収スペクトルも同時に示している。各スペクトルとも、450 nm よりも長波長側では、モル吸光係数の値を 5 倍に拡大して表示している。FeCl(TFPC)-SGlc の吸収スペクトルには、406 nm と 652 nm に特徴的な吸収極大があった。これらの吸収帯は、それぞれポルフィリンと類似の骨格をもった化合物に特徴的な、ソーレー帯と Q 帯に帰属される吸収である。配位子である H<sub>2</sub>TFPC-SGlc の吸収スペクトルには、406 nm, 505 nm, および 652 nm に特徴的な吸収極大がみられる。これらのスペクトルを比較す

ると、H<sub>2</sub>TFPC-SGlc に鉄イオンを挿入した場合、406 nm と 652 nm の吸収極大波長は変化しないが、それぞれの吸収のモル吸光係数はおよそ半分程度に小さくなっていることが明らかになった。H<sub>2</sub>TFPC-SGlc の吸収スペクトルで、505 nm に見られたピークは、FeCl(TFPC)-SGlc のスペクトルではブロードニングを起こしており、吸収極大は消滅している。

FeCl(TFPC)-SAcGlc の THF, DMSO および CHCl<sub>3</sub> 中における吸収スペクトルを Figure 2 に示した。

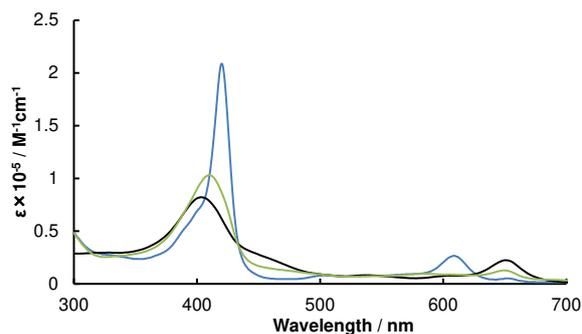
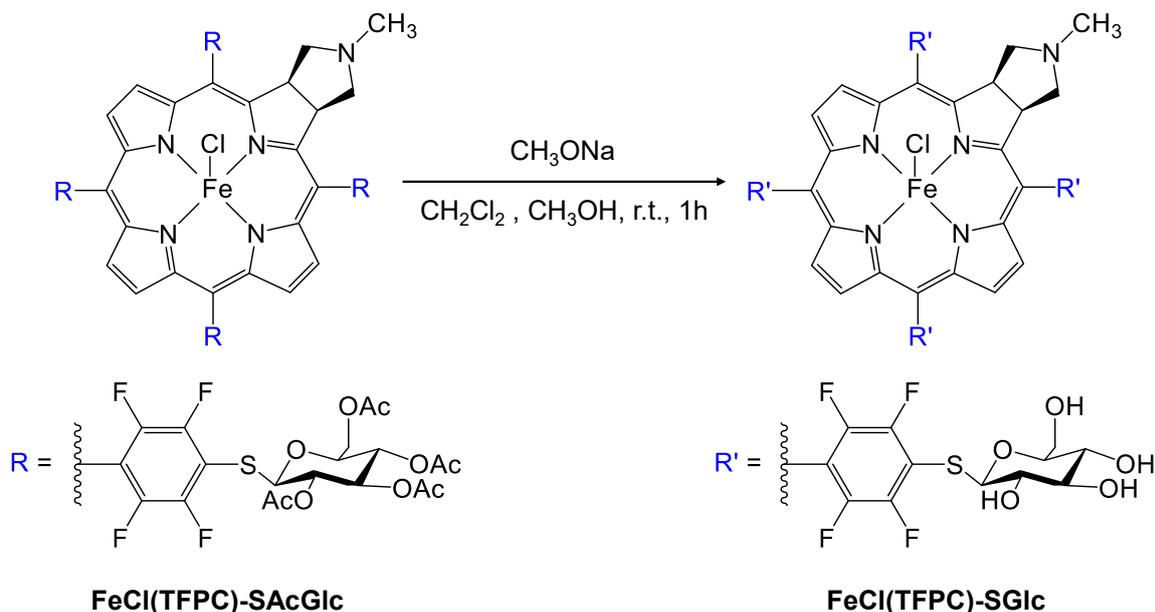


Figure 2 Electronic spectra of FeCl(TFPC)-SAcGlc in CHCl<sub>3</sub> (Green line), DMSO (Black line), and THF (Blue line).

FeCl(TFPC)-SAcGlc の溶媒依存性を示すことが明らかになった。DMSO 溶液と CHCl<sub>3</sub> 溶液は緑色溶液であるが、THF 溶液は鮮やかな青色を示す。例えば、FeCl(TFPC)-SAcGlc の THF 溶液の溶媒を減圧下で蒸発させて乾固すると、残った個体は緑色を呈した。その個体を CHCl<sub>3</sub> に溶解すると、溶液の色は緑色になる。この溶液の色の変化は可逆的であり、溶液の溶媒を THF に変えると溶液の色は緑色から

#### Scheme 2 Preparation of FeCl(TFPC)-SGlc



青色に変化する。**FeCl(TFPC)-SAcGlc** の溶液で、このようなソルバトクロミズムが観測された理由は、**FeCl(TFPC)-SAcGlc** の THF 溶液中では、溶媒の 4 THF 分子が鉄イオンに配位するためであると考えている。

#### 4. Conclusion

塩化鉄(II)と**H<sub>2</sub>TFPC-SAcGlc**との反応より、**FeCl(TFPC)-SAcGlc**を高効率で合成することに成功した。**FeCl(TFPC)-SAcGlc**のグルコースのアセチル基をナトリウムメトキシドで脱保護することで、**FeCl(TFPC)-SGlc**を高収率で合成することに成功した。**FeCl(TFPC)-SGlc**は、水溶性を示した。

**FeCl(TFPC)-SAcGlc**の紫外可視吸収スペクトルを測定した結果、**FeCl(TFPC)-SAcGlc**はソルバトクロミズムを示すことを明らかにした。**FeCl(TFPC)-SGlc**の特徴的な吸収極大は、配位子と同じ406 nmと652 nmであったが、それぞれの波長における**FeCl(TFPC)-SGlc**のモル吸光係数は配位子の**H<sub>2</sub>TFPC-SGlc**のモル吸光係数の値の約半分と、小さくなっていることが明らかになった。

#### 5. References

- 1) K. Marui, K. Moriwaki, H. Akashi, A. Nomoto, M. Ueshima, S. Yano and A. Ogawa, *Synthesis*, 2016, 48(1), 31 - 42.
- 2) (a) K. Moriwaki, T. Sawada, M. Akiyama, A. Ikeda, J. Kikuchi, T. Matsumura, S. Yano, H. Kataoka, M. Inoue, and H. Akashi, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 2018, 91, 230 - 236. (b) N. Hayashi, H. Kataoka, S. Yano, M. Tanaka, K. Moriwaki, H. Akashi, S. Suzuki, Y. Mori, E. Kubota, S. Tanida, *Molecular Cancer Therapeutics* 2015, 14(2), 452-460. (c) M. Tanaka, H. Kataoka, S. Yano, T. Sawada, H. Akashi, M. Inoue, S. Suzuki, Y. Inagaki, N. Hayashi, H. Nishie, *Oncotarget* 2016, 7(30), 47242-47251.
- 3) S. Hirohara, M. Obata, H. Alitomo, K. Sharyo, T. Ando, M. Tanihara and S. Yano, *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, 2009, 97 (1), 22 – 33. We successfully synthesized **FeCl(TFPC)-SAcGlc** with high efficiency through the reaction between iron(II) chloride and **H<sub>2</sub>TFPC-SAcGlc**. By deprotecting the acetyl group of glucose in **FeCl(TFPC)-SAcGlc** with sodium methoxide, we achieved the high-yield synthesis of water-soluble **FeCl(TFPC)-SGlc**.

The UV-visible absorption spectrum of **FeCl(TFPC)-SAcGlc** revealed its solvatochromism. While the Peak positions of the characteristic absorption peaks of **FeCl(TFPC)-SGlc** were the same as the ligand at 406 nm and 652 nm, the molar extinction coefficients of **FeCl(TFPC)-SGlc** at these wavelengths were approximately half of that of the ligand **H<sub>2</sub>TFPC-SGlc**, indicating a decrease in the magnitude of the values.

## Synthesis and characterizations of (5,10,15,20-tetrakis(4-(β-D-glucopyranosylthio)-2,3,5,6-tetrafluorophenyl)-2,3-(methano(N-methyl)iminomethano)chlorinato)iron(III)

Shino Nakashima, Reina Ishikawa, Haruo Akashi

Institute of Frontier Science and Technology, Okayama University of Science

We successfully synthesized **FeCl(TFPC)-SAcGlc** with high efficiency through the reaction between iron(II) chloride and **H<sub>2</sub>TFPC-SAcGlc**. By deprotecting the acetyl group of glucose in **FeCl(TFPC)-SAcGlc** with sodium methoxide, we achieved the high-yield synthesis of water-soluble **FeCl(TFPC)-SGlc**.

The UV-visible absorption spectrum of **FeCl(TFPC)-SAcGlc** revealed its solvatochromism. While the Peak positions of the characteristic absorption peaks of **FeCl(TFPC)-SGlc** were the same as the ligand at 406 nm and 652 nm, the molar extinction coefficients of **FeCl(TFPC)-SGlc** at these wavelengths were approximately half of that of the ligand **H<sub>2</sub>TFPC-SGlc**, indicating a decrease in the magnitude of the values.

## DLC ラマンスペクトルの5ピーク分離解析における 非線形最小二乗法の適用

小佐野 芳寿<sup>1,2</sup>・福江 紘幸<sup>3</sup>・鷹林 将<sup>4</sup>・國次 真輔<sup>5</sup>・今井 裕一<sup>6,3</sup>・中谷 達行<sup>7\*</sup>

1 岡山理科大学大学院 理工学研究科博士課程システム科学専攻

2 三菱鉛筆株式会社

3 岡山理科大学大学院 工学研究科博士課程システム科学専攻

4 有明工業高等専門学校 創造工学科

5 岡山県工業技術センター

6 ストロープ株式会社

7 岡山理科大学 フロンティア理工学研究所

\* 責任著者

2023年12月25日受理

### 1. 諸元

ダイヤモンドライクカーボン(diamond-like carbon; DLC)膜とは、ダイヤモンド構造の $sp^3$  C-C結合、グラファイト構造の $sp^2$  C=C結合を併せ持つアモルファスカーボン膜の総称である<sup>1)</sup>。DLC膜の特徴として、低摩擦係数や高硬度、生体親和性などが挙げられ、自動車部品や金型工具、医療機器・医療デバイス、ボールペンのペン先への表面処理として応用されている<sup>2-6)</sup>。

DLC膜の化学構造解析は、ラマン分光法が広く用いられている<sup>7-10)</sup>。一般的なDLC膜のラマンスペクトル解析は、DバンドとGバンドの2ピーク分離が用いられている。しかしながら、ディスオーダー(disorder)のDとグラファイト(graphite)のGであるため、 $sp^3$  C-C結合の情報が得られない。また、DLC膜のラマンスペクトルのフィッティングは解析者によって、フィッティング関数やピーク数、フィッティング方法が異なり、統一的解釈には課題がある。Tai *et al.* は<sup>10)</sup>、水素含有DLC膜のラマンスペクトル解析において、フィッティング関数やピーク数の検討を行い、一般的に用いられているガウス関数の2ピーク分離解析が他のフィッティング関数よりもGピーク位置のシフト比率と $ID/IG$ 比が高いことを報告した。しかしながら、この報告では2, 3, 4ピークしか検討されていない。

一方、本研究グループでは、これまでに構造対称性操作<sup>11-14)</sup>と微分スペクトル法<sup>14)</sup>によるラマン活性バンドの5ピーク( $N$ ,  $D$ ,  $G^-$ ,  $G^+$ ,  $D'$ )分離解析について報告し、微分スペクトル法によってピーク位置の固定化により、カーブフィッティングのパラメータを削減した。さらに、5ピーク分離解析と2ピーク分離解析の比較したところ、5ピーク分離解析の方がX線光電子分光法により推定された $sp^3$  C-C/( $sp^3$  C-C +  $sp^2$  C=C)比と相関係数が強いことが明らかとなり、5ピーク分離解析の有用性が検証された<sup>14)</sup>。しかしながら、現状の5ピーク分離解析においては、非線形最小二乗法の適

用については未検討である。そこで本研究では、高周波-大電力パルススパッタ(high frequency inclusion high-power im-pulse magnetron sputtering; HF-HiPIMS)法<sup>14, 15)</sup>と交流高電圧バーストプラズマ化学気相堆積(alternating current high voltage burst plasma chemical vapor deposition; AC-HV-CVD)法<sup>16, 17)</sup>を用いたDLC膜を例にラマンスペクトルの非線形最小二乗法の適用について検討したので報告する。

### 2. 実験方法

HF-HiPIMS法のDLC成膜条件は、直径3インチのグラファイトターゲットを用い、ターゲットと基板間距離を100 mm、基板を5 rpmで回転、到達真空度を $5 \times 10^{-4}$  Pa、動作圧力を0.5 Pa、成膜時間を2時間、スパッタガスとしてArを5 sccm用いた。図1にHF-HiPIMS法の印加電圧のパルス波形を示す。パルス条件として負印加電圧を-810 V、バイアス電圧をOFF、波形全体の周波数を200 Hz、T1を20  $\mu$ s(予備放電)、T2を5  $\mu$ s(休止区間)、T3を50  $\mu$ s(主放電)、T4を

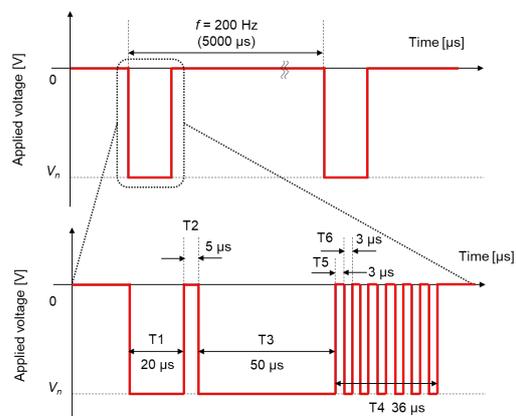


図1 HF-HiPIMS法の印加電圧のパルス波形

36  $\mu$  s (HF パルス), T5 を 3  $\mu$  s, T6 を 3  $\mu$  s とした.

AC-HV-CVD 法の DLC 成膜条件は, 交流電圧を 5 kV, オフセット電圧を 2 kV, 周波数を 10 kHz, CH<sub>4</sub> ガス流量を 96 sccm, パルス / 秒を 10 pps, 成膜時間を 1 時間, 動作圧力を 39 Pa とした.

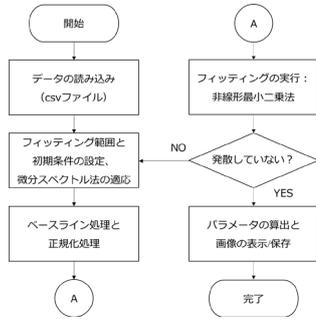


図2 ラマンスペクトル解析の非線形最小二乗法を適用時のフローチャート図  
2

DLC 膜の化学構造解析には, ラマン分光装置 (Raman-11, Nanophoton) を用いた. ラマンスペクトルの測定は, レーザー波長は 532 nm, 出力 0.5 mW, 露光時間 90 s (HF-HiPIMS 法の場合) または 30 s (AC-HV-CVD 法の場合) とし, スポット径 2.55  $\mu$  m で動作させた. ラマンスペクトル解析は, 自作の Python プログラムを用いた. 解析に使用したパソコンおよび Python 開発環境は, Windows 10 Pro, プロセッサ: Intel(R) Core(TM) i5-6200U, 実装 RAM: 16.0 GB, Python: 3.9.7, pandas: 1.3.4, NumPy: 1.20.3, Matplotlib: 3.4.3 である. 図 2 にラマンスペクトル解析の非線形最小二乗法の適用時のフローチャート図を示す. フィッティング関数は, 以下のフォークト関数:  $V_j$  および擬似フォークト関数:  $P_j$  を用いた.

$$V_j(x; A_j, \mu_j, \sigma_j, \alpha) = \sum_j L_j(\tilde{\nu}) * G(\tilde{\nu})$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} \sum_j [L_j(\tilde{\nu}'; L_{Lj}, \Gamma_{Lj}, \tilde{\nu}_{Lj0}) G(\tilde{\nu} - \tilde{\nu}'; \Gamma_G)] d\tilde{\nu}' \quad (1)$$

$$P_j(\tilde{\nu}; l_j, v_j, \Gamma_j, \alpha) = \sum_j [(1 - \alpha)G_j(\tilde{\nu}) + \alpha L_j(\tilde{\nu})] \quad (2)$$

また, (2) 式のガウス関数:  $G_j$  およびローレンツ関数:  $L_j$  は以下のように表される.

$$G_j(\tilde{\nu}; l_j, v_j, \Gamma_j) = \frac{l_j}{\Gamma_j \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\tilde{\nu} - \tilde{\nu}_j)^2}{2\Gamma_j^2}\right] \quad (3)$$

$$L_j(\tilde{\nu}; l_j, v_j, \Gamma_j) = \frac{l_j}{\pi} \left[ \frac{\Gamma_j}{(\tilde{\nu} - \tilde{\nu}_j)^2 + \Gamma_j^2} \right] \quad (4)$$

ここで,  $l_j$ : 強度,  $v_j$ : ピーク位置,  $\Gamma_j$ : 半値幅,  $\alpha$ : 擬似フォークト関数比である. 非線形最小二乗法は, Levenberg-Marquardt アルゴリズムを用いた<sup>18, 19)</sup>.

### 3. 実験結果と考察

従来の 5 ピーク分離解析のフィッティング関数には, (1) 式のフォークト関数を用いられてきた. フィッティングの自動化を検討する場合, フォークト関数は畳み込み積分を含むため, プログラミングの難易度が高い. そこで本研究ではガウス関数とローレンツ関数の割合の和である, (2) 式の擬似フォークト関数でのフィッティングを検討する. 図 3 にフォークト関数と擬似フォークト関数を示す. 図 3 の決定係数:  $R^2=0.9997$  であることからフォークト関数は擬似フォークトで代用できることが示唆される. また図 3 の実行時間(5 回平均)は, フォークト関数: 0.575 s, 擬似フォークト: 0.110 s であり, 擬似フォークト関数の実行時間はフォークト関数の 20% 以下であった. なお, これらの時間はパラメータがあらかじめ決められているものを計算し図を描いたものである. よって, 実際のフィッティングおよび非線形最小二乗法の適用時には, 差が明瞭になることが予測される.

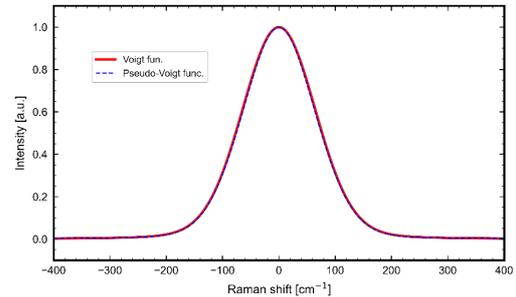


図3 フォークト関数と擬似フォークト関数

従来のフォークト関数を用いてフィッティングを行ったラマンスペクトルを図 4 (HF-HiPIMS 法), 図 5 (AC-HV-CVD 法) に示す. 青色の線は生データ (直線法によるバックグラウンド処理後, 正規化したデータ), 黒色の線はフィッティングデータ, 赤色の点は青色の線と黒色の線の差, 破線はローレンツ関数成分を示している. これらのフィッティングは, パラメータを繰り返し解析者が変化させる方法であり<sup>20)</sup>, 手動解析と言える. 図 4 および図 5 の D バンドのローレンツ関数の半値幅 ( $\Gamma_{LD}$ ) の変化は水素終端 C-H の影響と考えられており<sup>11, 12)</sup>, 図 4 の DLC 膜は成膜プロセスにおいて炭化水素系ガスを用いていないため,  $\Gamma_{LD}$  に差を示さなかった. 一方, 図 5 の DLC 膜は成膜プロセスに炭化水素系ガスの CH<sub>4</sub> を用いたこと, つまり水素終端 C-H があるため  $\Gamma_{LD}$  に差が現れたと推察される.

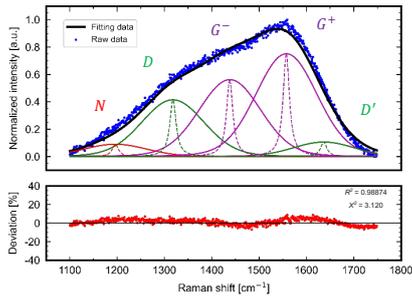


図4 従来の5ピーク分離のラマンスペクトル (HF-HiPIMS法)

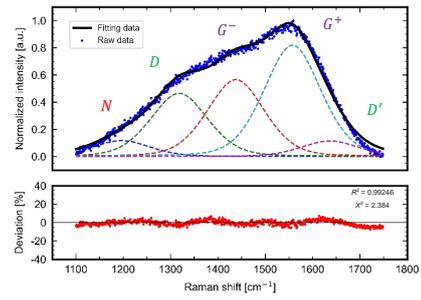


図6 非線形最小二乗法を適用時のラマンスペクトル (HF-HiPIMS法)

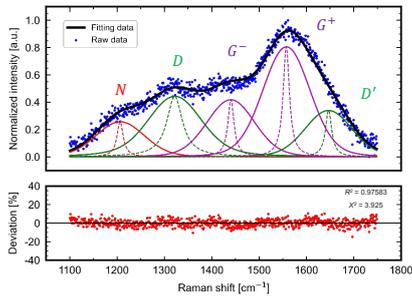


図5 従来の5ピーク分離のラマンスペクトル (AC-HV-CVD法)

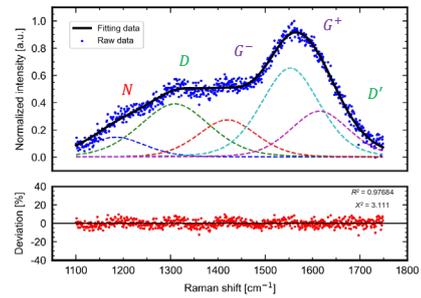


図7 非線形最小二乗法を適用時のラマンスペクトル (AC-HV-CVD法)

本研究の目的である、非線形最小二乗法を適用させたラマンスペクトルを図6(HF-HiPIMS法)、図7(AC-HV-CVD法)に示す。これらのフィッティングには擬似フォークト関数を用いた。また、これらのフィッティングは、フィッティング範囲と初期条件の設定、微分スペクトル法の適用後、非線形最小二乗法によるPythonプログラムを実行する方法であり、自動解析と言える。図4と図6、図5と図7はそれぞれ生データが同じであることから、自動解析と手動解析のフィッティング精度を比較することができる。表1にフィッティング精度(決定係数とカイ2乗)を示す。いずれのDLC膜も自動解析のフィッティング精度が高いことがわかる。以上より、DLCラマンスペクトルの5ピーク分離解析における非線形最小二乗法の適用させることができた。さらにその結果、従来のフォークト関数を用いた手動解析よりもフィッティング精度を高くすることができた。

表1 フィッティング精度

		成膜方法	
		HF-HiPIMS法	AC-HV-CVD法
手動解析	決定係数; R <sup>2</sup>	0.98874	0.97583
	カイ2乗; χ <sup>2</sup>	3.120	3.925
自動解析	決定係数; R <sup>2</sup>	0.99246	0.97684
	カイ2乗; χ <sup>2</sup>	2.834	3.111

#### 4. 結言

本研究では、DLCラマンスペクトルの5ピーク分離解析における非線形最小二乗法の適用として、HF-HiPIMS法とAC-HV-CVD法のDLC膜を例に挙げた。DLCラマンスペクトル解析において、フォークト関数は擬似フォークト関数で代用できることが示唆された。また、DLC膜の成膜プロセスにおける炭化水素系ガスの有無によって、Dバンドのローレンツ関数成分に差が出ることを示した。さらに、非線形最小二乗法の適用によってDLCラマンスペクトルの自動解析が可能であることを示し、従来のフォークト関数を用いた手動解析よりもフィッティング精度を高くすることができた。

#### 参考文献

- 1) A. C. Ferrari, et al., Physical Review B, 61, (2000), pp. 14095-14107.
- 2) Y. Mabuchi et al., SAE Technical Paper, 2007-01-1752, (2007).
- 3) 馬淵 豊 他, トライボロジスト, 58, (2013), pp. 557-565.
- 4) 三宅 浩二, Journal of the Vacuum Society of Japan, 60, (2017), pp. 428-436.
- 5) 中谷 達行, 表面技術, 67, (2016), pp. 279-283.
- 6) 小山 隆雄 他, ボールペンチップ及びボールペン, 特願 2003-134852.

- 7) J. Robertson, *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 37, (2002), pp. 129-281.
- 8) A. C. Ferrari, *Diamond and Related Materials*, 11, (2002), pp. 1053-1061.
- 9) C. Casiraghi et al., *Diamond and Related Materials*, 14, (2005), pp. 1098-1102.
- 10) F. C. Tai et al., *Journal of Raman Spectroscopy*, 40, (2009), pp. 1055-1059.
- 11) S. Takabayashi et al., *Surface and Coatings Technology*, 330, (2017), pp. 26-33.
- 12) S. Takabayashi et al., *Diamond and Related Materials*, 81, (2018), pp. 16-26.
- 13) S. Takabayashi et al., *Surface and Interface Analysis*, 50, (2018), pp. 441-447.
- 14) H. Fukue et al., Available at SSRN 4518335 (2023).
- 15) H. Fukue et al., *Diamond and Related Materials*, 135, (2023), 109868.
- 16) T. Nakatani et al., *Journal of Photopolymer Science and Technology*, 31, (2018), pp. 373-377.
- 17) Y. Imai et al., *Journal of Photopolymer Science and Technology*, 35, (2022), pp. 289-297.
- 18) K. Levenberg, *Quarterly of Applied Mathematics*, 2, (1944) pp. 164-168.
- 19) D. W. Marquardt, *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 11, (1963) pp. 431-441.
- 20) 鷹林 将 他, 炭素材料の評価方法, 2020年10月9日, 特許第6776145号.

## Application of nonlinear least square method to five-peak separation analysis of DLC Raman spectra

Yoshihisa OSANO<sup>1,2</sup>, Hiroyuki FUKUE<sup>3</sup>, Susumu TAKABAYASHI<sup>4</sup>,  
Shinsuke KUNITSUGU<sup>5</sup>, Yuichi IMAI<sup>6,3</sup> and Tatsuyuki NAKATANI<sup>7</sup>

*1Graduate School of Science and Engineering - Systems Science Doctoral Program, Okayama University of Science,*

*1-1, Ridai-cho, Kita-ku, Okayama-shi, Okayama 700-0005, Japan*

*2Mitsubishi Pencil Co., Ltd.,*

*5-23-37, Higashi-ohi, Shinagawa-ku, Tokyo, 140-8537, Japan*

*3Graduate School of Engineering - Systems Science Doctoral Program, Okayama University of Science,*

*1-1, Ridai-cho, Kita-ku, Okayama-shi, Okayama 700-0005, Japan*

*4Department of Creative Engineering, National Institute of Technology, Ariake College*

*150, Higashihagio-machi, Omuta-shi, Fukuoka 836-8585, Japan*

*5 Industrial Technology Center of Okayama Prefecture,*

*5301, Haga, Kita-ku, Okayama, 701-1296, Japan*

*6 STRAWB Inc.,*

*1542-1, Nakabara-cho, Takahashi-shi, Okayama, 716-0045, Japan*

*7 Institute of Frontier Science and Technology, Okayama University of Science,*

*1-1, Ridai-cho, Kita-ku, Okayama-shi, Okayama 700-0005, Japan*

This study delves into the Raman spectral analysis of diamond-like carbon (DLC) films, exploring the application of the nonlinear least square (NLS) method to the five-peak separation analysis of DLC Raman spectra. The DLC films in this study were deposited using the high frequency inclusion high-power impulse magnetron sputtering (HF-HiPIMS) and alternating current high voltage burst plasma chemical vapor deposition (AC-HV-CVD) methods. First, we compare the Voigt and pseudo-Voigt functions in DLC Raman spectral analysis. Next, the Raman spectral analysis of the conventional analysis and the analysis using the method of NLS is presented. As a result, this study shows that the application of the NLS method enables automated analysis of the DLC Raman spectrum. Furthermore, the fitting accuracy was higher than that of manual analysis using conventional Voigt function.

**Keywords:** diamond-like carbon; Raman spectroscopy; nonlinear least square method; multi-peak fitting

# 金属タンパク質と有機化合物の複合体に対する フラグメント分子軌道計算：II

矢城 陽一郎\*

岡山理科大学大学院理工学研究科システム科学専攻

\* 責任著者

2023 年 12 月 25 日受理

## 1. 諸元

メラニン紫外線から皮膚を守る重要な役割を担っている一方、しみやそばかすなどの原因ともなっている。このメラニンの生成は、チロシナーゼによる血液中のチロシンの酸化反応からスタートする。近年、我々の研究グループは、メラニン生成過程におけるチロシナーゼの酵素反応機構の解明を目指してコンピュータシミュレーションによる研究を進めてきた。チロシナーゼは 290 個のアミノ酸残基から構成されており、その活性部位に 2 個の金属イオン（銅イオン： $\text{Cu}^{2+}$  や亜鉛イオン： $\text{Zn}^{2+}$ ）が存在している。そこで、金属イオンを含んだ系に対してもフラグメント分子軌道（Fragment Molecular Orbital: FMO）法<sup>1-3</sup>が有効であるかを調べるために、チロシナーゼとチロシンの複合体に対する FMO2-MP2/6-31G レベルでの FMO 計算を実行し、チロシナーゼの各アミノ酸残基、亜鉛イオン、チロシン、結晶水間の相互作用エネルギー（Interfragment Interaction Energy: IFIE）解析を行ってきた<sup>4</sup>。一連の計算においては、亜鉛イオンを含んだチロシナーゼとチロシン複合体（PDB ID: 4p6r）を採用した。チロシナー

ゼの活性部位の構造については、X 線回折実験の構造解析から、2 つの亜鉛イオンの間には 1 つの水分子（結晶水）が確認されている<sup>5</sup>。亜鉛イオンの配位数は 4 であることから、2 つの亜鉛イオンにはそれぞれ 3 つのヒスチジンが配位していると考えられ、1 つの水分子を 2 つの亜鉛イオンで共有していると思われる（図 1： $\text{Zn}^{2+}(1)$  には His42, His60, His69,  $\text{Zn}^{2+}(2)$  には His204, His208, His231, そして  $\text{Zn}^{2+}(1)$  と  $\text{Zn}^{2+}(2)$  の間の water）。

これまでの研究において、FMO 計算は収束し、金属を含んだ系でも（少なくともチロシナーゼ複合体では）FMO 計算がある程度有効であることが示された<sup>4</sup>。本稿では、計算レベルを FMO2-MP2/6-31G\* に上げた FMO 計算を実行し、その結果に対する詳細な IFIE 解析に関して報告する。

## 2. FMO 計算

Protein Data Bank よりダウンロードしたチロシナーゼとチロシンの複合体構造に対して、水素原子を付加し、AMBER14<sup>6</sup>を用いた分子力学計算により亜鉛イオン、炭素原子、窒素原子、酸素原子など

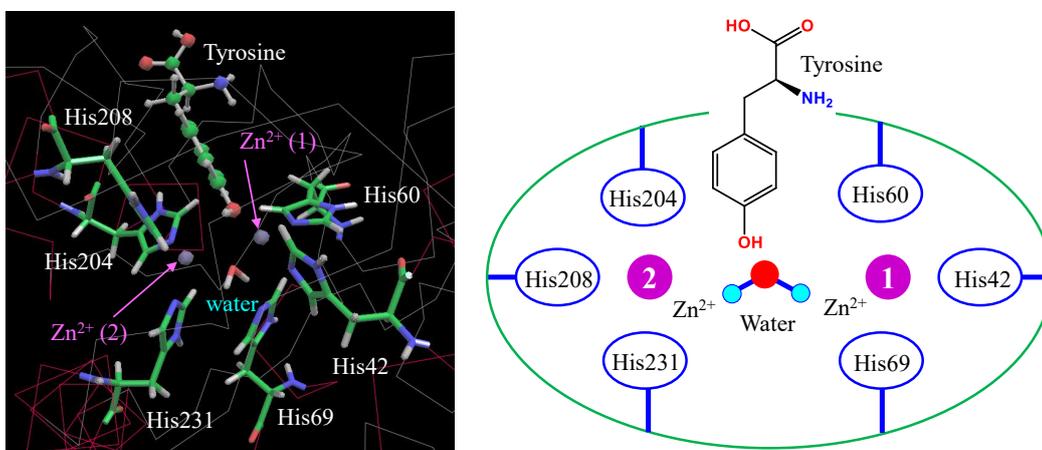


図1 チロシナーゼとチロシンの複合体の活性部位構造（左）と活性部位の模式図（右）

重原子を固定した、水素原子のみの構造最適化を実行した。チロシナーゼのN末端とC末端はそれぞれ $\text{NH}_3^+$ と $\text{COO}^-$ で終端処理した。また、チロシンの電荷は、Gaussian03<sup>7)</sup>によるHF/6-31G(d)レベルでの全電子量子化学計算を行い、その結果からresp電荷を割り当てた。結晶水に関しては、2つの亜鉛イオンの間にある1つの水分子のみ残り、他の水分子は削除した。また、亜鉛イオンに配位すると思われるヒスチジンのプロトン化状態については、亜鉛イオンとヒスチジンの配位構造から、全てN $\delta$  ( $\delta$ 位置の窒素)がプロトン化しているとした。

準備した複合体構造に対して、スーパーコンピュータ「富岳」を使用して、ABINIT-MP Open<sup>3,8)</sup>によるFMO2-MP2/6-31G\*レベルでのFMO計算を実行した。チロシナーゼについてはアミノ酸残基ごとにフラグメント分割し、2つの亜鉛イオン、チロシン、水分子はそれぞれ1つのフラグメントとして扱った。このFMO計算が収束するか検証した後、チロシナーゼの各アミノ酸残基、亜鉛イオン、チロシン、水分子それぞれの間の相互作用エネルギー(IFIE)を求めた。また、IFIEの和(IFIE sum)を結合エネルギーとして算出した。これら得られた相互作用エネルギーおよび結合エネルギーに関して詳細なIFIE解析を行った。

### 3. 結果と討論

計算レベルをFMO2-MP2/6-31G\*に上げた今回の計算でも、FMO計算が収束することが確認できた。図2に、得られた代表的な相互作用エネルギーと結合エネルギー(IFIE sum)の模式図を示す。以前に行ったFMO2-MP2-6/31Gレベルでの結果と比較すると、数値、正負の傾向ともに同様な結果が得られた。

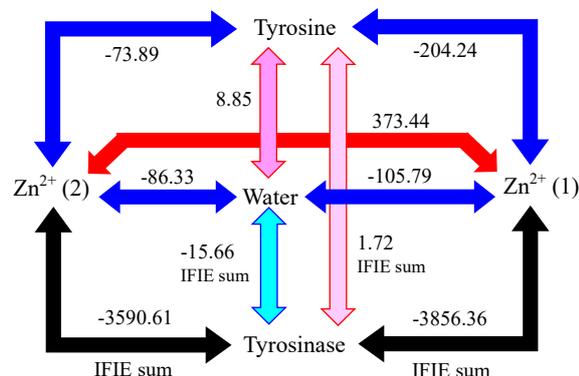


図2 チロシナーゼとチロシンの複合体における代表的な相互作用エネルギーと結合エネルギーの模式図【単位：[kcal/mol]】  
赤の矢印は斥力のエネルギーで、青の矢印は引力のエネルギーを表している。  
色の濃さはエネルギーの強さを表している。

FMO計算の結果から詳細なIFIE解析を行ったところ、チロシンとチロシナーゼの各アミノ酸残基の相互作用エネルギーから、チロシンはチロシナーゼとはほとんど相互作用しておらず、結合エネルギーは1.72 kcal/molと非常に弱いことが判明した。一方、チロシンと2つの亜鉛イオンの間には、それぞれ $\text{Zn}^{2+}$ (1): -204.24 kcal/mol,  $\text{Zn}^{2+}$ (2): -73.89 kcal/molと非常に大きな引力の相互作用エネルギーが認められた。また、水分子と2つの亜鉛イオンとの相互作用エネルギーは、それぞれ $\text{Zn}^{2+}$ (1): -105.79 kcal/mol,  $\text{Zn}^{2+}$ (2): -86.33 kcal/molであった。水分子に関しては、チロシンとは8.85 kcal/molと比較的弱い斥力の相互作用であったのに対し、チロシナーゼとは-15.66 kcal/molの引力の相互作用が認められた。加えて、2つの亜鉛イオンとチロシナーゼの結合エネルギーはそれぞれ $\text{Zn}^{2+}$ (1): -3856.36 kcal/mol,  $\text{Zn}^{2+}$ (2): -3590.61 kcal/molとなり、2つの亜鉛イオンともにチロシナーゼと非常に強く結合し、一体の構造になっていることが判明した。

これらの結果から、チロシンはチロシナーゼと反応しているのではないことがわかる。チロシナーゼと一体になっている2つの亜鉛イオンがチロシンおよび水分子をチロシナーゼの活性部位に留めており、チロシンの酸化反応には、2つの亜鉛イオンの間の水分子が関与していると考えられる。すなわち、これら2つの亜鉛イオンが反応過程において不可欠な役割を果たしていることが確認された。

ここで、2つの亜鉛イオンは、1つの水分子を共有しそれぞれ3つのヒスチジンと配位していると考えてきたが、実際にはどのアミノ酸残基ならびに水分子、チロシンとどのような相互作用をしているかは確認されていない。そこで、2つの亜鉛イオンに着目してIFIE解析を行った。図3(a)に、2つの亜鉛イオンとチロシナーゼの各アミノ酸残基、水分子、チロシンの相互作用エネルギーを示す。図3(b)は、図3(a)から相互作用が強いもの、および亜鉛イオンの近傍にあるものを抜粋したグラフである。2つの亜鉛イオンと非常に強く相互作用しているものは、 $\text{Zn}^{2+}$ (1)については、His60(-377.85 kcal/mol), His42(-307.54 kcal/mol), Glu195(-216.96 kcal/mol), Asn57(-212.87 kcal/mol)、チロシン(-204.24 kcal/mol)の5つであり、 $\text{Zn}^{2+}$ (2)については、His204(-363.64 kcal/mol), His231(-336.20 kcal/mol), His208(-305.24 kcal/mol), Glu195(-200.55 kcal/mol)の4つであった。His69については、上記のアミノ酸残基やチロシンほど強くないが、2つの亜鉛イオンともに同程度の相互作用を示した( $\text{Zn}^{2+}$ (1): -126.09 kcal/mol,  $\text{Zn}^{2+}$ (2): -109.35 kcal/mol)。水分子についてはHis69よりも相互作用は弱く、値は前述のとおりである(図2)。

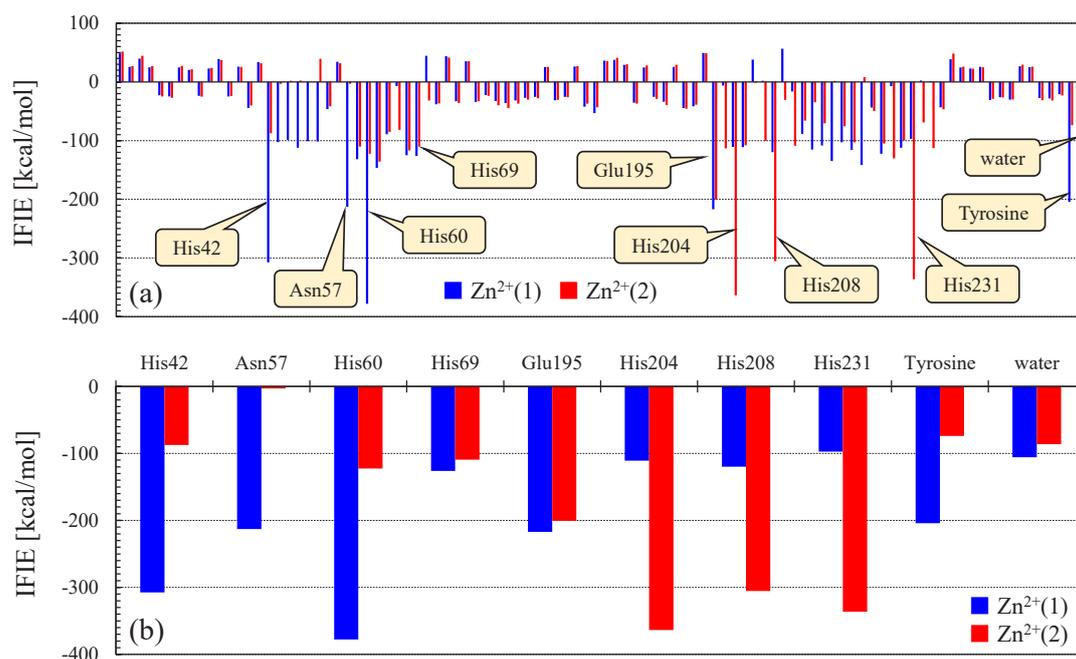


図3 (a) 2つの亜鉛イオンとチロシナーゼの各アミノ酸残基, チロシン, 水分子との相互作用エネルギー  
 (b) (a)から相互作用が強いもの, および亜鉛イオンの近傍にあるものを抜粋したグラフ  
 青が  $Zn^{2+}(1)$  との相互作用エネルギーで, 赤が  $Zn^{2+}(2)$  との相互作用エネルギーを表している

相互作用エネルギーだけからみると,  $Zn^{2+}(1)$  に配位しているアミノ酸残基は, それぞれ His42, Asn57, His60, Glu195 であり,  $Zn^{2+}(2)$  に配位しているアミノ酸残基は, His204, His208, His231, Glu195 となり, Glu195 を 2つの亜鉛イオンで共有していることになる。

表1 2つの亜鉛イオンとチロシナーゼのアミノ酸残基, チロシン, 水分子との距離

	Distance from	
	$Zn^{2+}(1)$	$Zn^{2+}(2)$
His42	2.09Å	-
Asn57	7.10Å	-
His60	2.05Å	-
His69	3.72Å	-
Glu195	7.38Å	6.23Å
His204	-	1.99Å
His208	-	2.09Å
His231	-	1.99Å
Tyrosine	1.95Å	3.50Å
water	1.97Å	2.08Å

これらのアミノ酸残基ならびに水分子, チロシンについて, それぞれの位置関係(2つの亜鉛イオンからの距離)を調べたところ, Glu195と2つの亜鉛イオンの距離はそれぞれ  $Zn^{2+}(1)$ : 7.38Å,  $Zn^{2+}(2)$ : 6.23Å, また Asn57と  $Zn^{2+}(1)$  の距離は 7.10Åと, 各々大きく離れていることがわかった(表1)。加えて,  $Zn^{2+}(1)$  と His69 の距離および  $Zn^{2+}(2)$  とチロシンの距離はそれぞれ 3.72Å, 3.50Åと少し離れていることも判明した。一方,  $Zn^{2+}(1)$  と His42, His60, チロシン, 水分子の距離, ならびに  $Zn^{2+}(2)$  と His204, His208, His231, 水分子の距離は約 2Åと, それぞれ亜鉛イオンの近傍に配置していることも明らかとなった。

これら亜鉛イオンとの相互作用エネルギーと位置関係(亜鉛イオンとの距離)の2点から,  $Zn^{2+}(1)$  には His42, His60, チロシン, 水分子の4つが配位,  $Zn^{2+}(2)$  には His204, His208, His231, 水分子の4つが配位しており, 1つの水分子を2つの亜鉛イオンで共有していることが強く予測される。 $Zn^{2+}(2)$  に関しては, 始めの予測と同じであったが,  $Zn^{2+}(1)$  については, 3つのヒスチジンが配位しているのではなく, 2つのヒスチジンとリガンドであるチロシンが配位していることがわかった。

では,  $Zn^{2+}(1)$  と Asn57 および Glu195 や,  $Zn^{2+}(2)$  と Glu195 の強い相互作用エネルギーの原因は何であろうか。一つには, 亜鉛イオンの配位数は4であるにもかかわらず, 2つの亜鉛イオンをそれぞれ1つのフラグメ

ントとして扱ったことにあるのかもしれない。現在、この問題を探るために、今回の結果を基にして、2つの亜鉛イオン、その間の水分子、チロシン、His42, His60, His204, His208, His231の9つのイオン、分子、アミノ酸残基を1つのフラグメントに纏めたFMO計算を進めている(図4)。更に、反応が一段階進んだ、チロシナーゼとドーパ(チロシナーゼによるチロシンの酸化反応で生成された化合物)の複合体に対するFMO計算も計画中である。

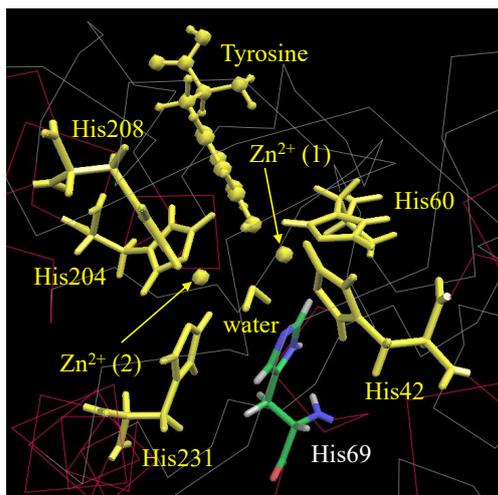


図4 2つの亜鉛イオン、その間の水分子、チロシン、His42, His60, His204, His208, His231の9つのイオン、分子、アミノ酸残基を1つのフラグメントに纏めたもの(黄色で示した部分)

## 謝辞

本研究は、FMO創薬コンソーシアム(FMO Drug Design Consortium: FMOODD)の活動の一環として実施され、スーパーコンピュータ「富岳」を利用した結果である(HPCIシステム利用研究課題「HPCIを活用したFMO創薬プラットフォームの構築」課題番号: hp220143)。

最後に、本研究の実施にあたり、甲南化工株式会社から多大なご協力・ご支援をいただいたことに深く感謝します。

## 参考文献

- 1) K. Kitaura, E. Ikeo, T. Asada, T. Nakano, M. Uebayasi, *Chem. Phys. Lett.*, 313, 701-706, (1999). DOI: 10.1016/S0009-2614(99)00874-X
- 2) D.G. Fedorov, K. Kitaura, "The Fragment Molecular Orbital Method: PRACTICAL APPLICATION TO LARGE MOLECULAR SYSTEM", CRC Press, (2009).
- 3) S. Tanaka, Y. Mochizuki, Y. Komeiji, Y. Okiyama, K. Fukuzawa, *Phys. Chem. Chem.*

*Phys.*, 16, 10310-10344 (2014). DOI: 10.1039/c4cp00316k

- 4) Y. Yagi, *Bull. Inst. Front. Sci. Tech., Okayama Univ. of Sci.*, 4, 17-19 (2022).
- 5) M. Goldfeder, M. Kanteev, S. Isaschar-Ovdat, N. Adir, A. Fishman, *Nat. Commun.*, 5, Article number: 4505 (2014). DOI: 10.1038/ncomms5505
- 6) D.A. Case, V. Babin, J.T. Berryman, R.M. Betz, Q. Cai, D.S. Cerutti, T.E. Cheatham, III, T.A. Darden, R.E. Duke, H. Gohlke, A.W. Goetz, S. Gusarov, N. Homeyer, P. Janowski, J. Kaus, I. Kolossváry, A. Kovalenko, T.S. Lee, S. LeGrand, T. Luchko, R. Luo, B. Madej, K.M. Merz, F. Paesani, D.R. Roe, A. Roitberg, C. Sagui, R. Salomon-Ferrer, G. Seabra, C.L. Simmerling, W. Smith, J. Swails, R.C. Walker, J. Wang, R.M. Wolf, X. Wuand P.A. Kollman, *AMBER 14*, University of California, San Francisco (2014).
- 7) M.J. Frisch, G.W. Trucks, H.B. Schlegel, G.E. Scuseria, M.A. Robb, J.R. Cheeseman, J.A. Montgomery, Jr., T. Vreven, K.N. Kudin, J.C. Burant, J.M. Millam, S.S. Iyengar, J. Tomasi, V. Barone, B. Mennucci, M. Cossi, G. Scalmani, N. Rega, G.A. Petersson, H. Nakatsuji, M. Hada, M. Ehara, K. Toyota, R. Fukuda, J. Hasegawa, M. Ishida, T. Nakajima, Y. Honda, O. Kitao, H. Nakai, M. Klene, X. Li, J.E. Knox, H.P. Hratchian, J.B. Cross, V. Bakken, C. Adamo, J. Jaramillo, R. Gomperts, R.E. Stratmann, O. Yazyev, A.J. Austin, R. Cammi, C. Pomelli, J.W. Ochterski, P.Y. Ayala, K. Morokuma, G.A. Voth, P. Salvador, J.J. Dannenberg, V.G. Zakrzewski, S. Dapprich, A.D. Daniels, M.C. Strain, O. Farkas, D.K. Malick, A.D. Rabuck, K. Raghavachari, J.B. Foresman, J.V. Ortiz, Q. Cui, A.G. Baboul, S. Clifford, J. Cioslowski, B.B. Stefanov, G. Liu, A. Liashenko, P. Piskorz, I. Komaromi, R.L. Martin, D.J. Fox, T. Keith, M.A. Al-Laham, C.Y. Peng, A. Nanayakkara, M. Challacombe, P.M.W. Gill, B. Johnson, W. Chen, M.W. Wong, C. Gonzalez, J.A. Pople, *Gaussian 03, Revision C.02*, Gaussian, Inc., Wallingford CT (2004).
- 8) 望月, 秋永, 坂倉, 渡邊, 加藤, 渡辺, 奥脇, 中野, 福澤, *J. Comput. Chem. Jpn.*, 18, 129-131 (2019). DOI: 10.2477/jccj.2019-0016

## FMO calculations on complexes of metalloprotein and organic compounds: II

Yoichiro YAGI

*Graduate School of Science and Engineering, Okayama University of Science,  
1-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama-shi, Okayama 700-0005, Japan*

*2Mitsubishi Pencil Co., Ltd.,  
5-23-37, Higashi-ohi, Shinagawa-ku, Tokyo, 140-8537, Japan*

It is known that tyrosinase is an enzyme responsible for melanin production and has two zinc ions (or copper ions) in its active site. In recent years, we have performed an FMO calculation with FMO2-MP2/6-31G level for tyrosinase-tyrosine complex to obtain detailed knowledge on the enzymatic reaction mechanism of tyrosinase. We found that the FMO calculation converged and is somewhat valid even for metal-containing systems (at least for the tyrosinase complex). In this paper, we carried out an FMO calculation raising the computational level to FMO2-MP2/6-31G\* and computed the inter-fragment interaction energies (IFIEs) among tyrosine, zinc ions, water molecule, and the amino acid residues in tyrosinase. The FMO computations show that two zinc ions that bind strongly to tyrosinase hold tyrosine and a water molecule in the active site of tyrosinase. It is considered that a water molecule between two zinc ions involves the oxidation reaction of tyrosine. We found that the two zinc ions and a water molecule play an essential role in reaction process.

**Keywords:** Metalloprotein; organic compounds; FMO calculation; interaction energy



# 中国, ミャンマーと日本の飲用水中元素濃度と毛髪中元素濃度の関係

猶原 順\*・ヂャオ 小葉

岡山理科大学大学院工学研究科生体医工学専攻

2023年12月25日受理

\*責任著者

## 1. はじめに

人の疾病,あるいは不健康状態の発現に,個人の生活様式や生活環境の影響が大きく関与していることは周知の事実である<sup>1)</sup>.近年,各種疾患とミネラル類,特に微量元素との因果関係が注目されるようになってきた<sup>2)</sup>.生体は元素を経口,経気道または経皮的に取り込むが,通常,飲食物として摂取することが多い<sup>3)</sup>.世界保健機構(WHO)は2004年に,ヒトの病気の80%,死亡の33%とがんの80%は,水が原因であり,ヒトの必須ミネラル,微量元素は,5%~20%が水由来であると報告している<sup>4)</sup>.

ヒトにおける微量元素の過不足を知るために使用可能な試料として,血液,尿,毛髪,爪などがあるが,一般には血清や尿が用いられる.毛髪や爪は外部からの汚染を考慮する必要があるが,有害元素への暴露などの過去の状況を知るのに有用な場合がある<sup>3)</sup>.毛髪は,環境中のこれら有害元素の摂取量を知る試料としてきわめて好適である.すなわち毛髪および爪などの硬組織は生体にとって一種の排泄器官として働き,有害元素はこれら硬組織に濃縮される傾向にあり,さらにこれらは採集(生体を傷つけることのない「非侵襲」),運搬および保存(血液や尿に比べ変質しにくい)が容易である<sup>5)</sup>.また,毛髪中の微量元素は環境汚染との関連,あるいは裁判化学における異同職別の可能性など,いろいろな分野において検討されてきた<sup>6)</sup>.

本実験では,新興国,発展途上国,先進国の代表として中国,ミャンマー,日本で飲用されている飲用水中の元素濃度と,その地域に居住しているヒトの毛髪中元素濃度を,高周波誘導結合プラズマ質量分析計(ICP-MS)で測定し,各地域で生活しているヒトの毛髪中の有害元素濃度と飲用水中元素濃度との関係を明らかにすることを目的した.

## 2. 実験方法

### 2-1 試料の採取

中国の毛髪は,山東省済南市と四川省成都市で採取した.ミャンマーの毛髪はヤンゴン管区で採取した.日本の毛髪は岡山大で採取した.毛髪の採取地点

と健康状態については,前報<sup>7)</sup>に示した.

### 2-2 前処理及び元素測定

採取した毛髪を電子天びんを用いて約0.01gを正確に秤り取り,テフロン製分解容器に試料を入れ,マイクロピペットを用いて,有害金属測定用硝酸6mlを入れ,密閉した.各試料はマイクロウェーブ試料分解装置(Multiwave3000:Anton Paar製)にセットし,30分間分解した.ICP-MSによる元素測定については,前報<sup>7)</sup>に示した.

## 3. 実験結果及び考察

### 3-1 中国人と日本人の飲用水と毛髪の関係

表1に山東省と四川省の飲用水と毛髪中のAl, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Cd, Pb濃度の平均値を示した.四川省と山東省の飲用水を比較すると,Alでは僅かに四川省の飲用水で高い値を示したが,Mn, Fe, Cu, Zn, As, Cd, Pb濃度は山東省で高い値を示した.四川省と山東省の毛髪中元素濃度を比較すると,Asでは僅かに山東省の毛髪で高い値を示したが,Al, Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb濃度は四川省で高い値を示した.

四川省の飲用水中のMn, Cu, Zn濃度は山東省の飲用水中の濃度よりかなり低いにも関わらず,毛髪中濃度は同程度であった.毛髪/水の割合は四川省で山東省の10倍程度となった.このことは,毛髪中に取り込まれる元素は飲用水よりも食事からの寄与率が高いと考えられる.四川省成都市の食生活は山東省済南市よりも多く香辛料を含む四川料理を好むことが影響していると考えられる.今後は,食材中元素濃度の比較が必要である.

Asについて毛髪/水の割合はいずれの地域とも0.6~1.1と大きな差異は認められなかった. Feは同じ様な傾向を示したが,地域差が大きい元素はMn, Cu, Znなどであった.

中国の地域の差を山東省と四川省で比較した.図1は,山東省の飲用水と毛髪中の有害元素濃度の比較を示した.図2は,四川省の飲用水と毛髪中の有害元素の比較を示した.

山東省は,Al, Pb以外のMn, Fe, Cu, Zn, As,

表1 山東省と四川省と岡山の飲用水と毛髪中の有害元素濃度の比較

	Al	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Cd	Pb
山東省水(μg/l)	20.2	3.84	94.8	13.8	101	1.68	0.058	0.068
山東省毛髪(mg/kg)	687	6.56	275	20.5	232	1.09	0.206	4.64
毛髪/水	33.6	1.7	2.9	1.5	2.3	0.6	3.6	68.2
四川省水(μg/l)	66.3	0.417	75.0	1.70	15.0	0.633	0.014	0.021
四川省毛髪(mg/kg)	836	7.95	449	36.0	417	0.500	0.653	5.71
毛髪/水	12.6	19.1	6.0	21.2	27.8	0.8	46.6	272
岡山水(μg/l)	17.4	0.346	35.9	3.29	6.19	0.346	0.014	0.302
岡山毛髪(mg/kg)	58.0	2.56	139	48.4	195	0.37	0.31	5.26
毛髪/水	3.3	7.4	3.9	14.7	31.5	1.1	22.1	17.4

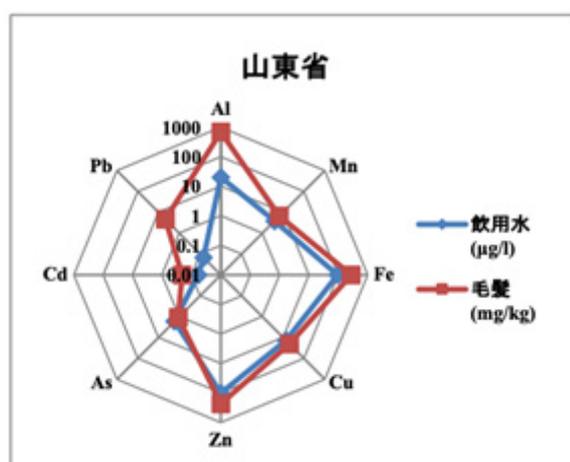


図1 山東省の飲用水と毛髪中の有害元素の比較

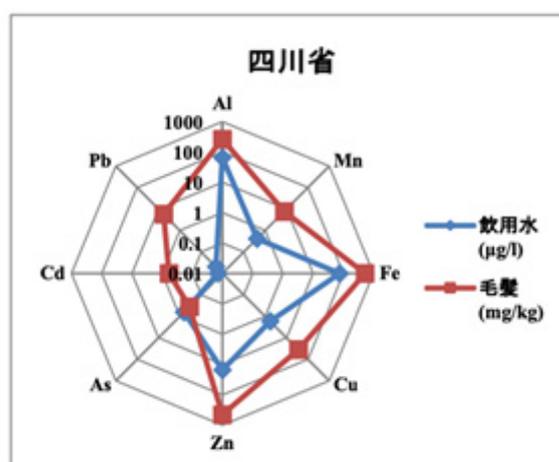


図2 四川省の飲用水と毛髪中の有害元素の比較

Cdで、図形的には同じ様なパターンを示し面積も大きな差は見られなかった。これは、飲用水中の元素がヒトに吸収され、身体に濃縮されたためと考えられ、山東省では毛髪中元素への飲用水中元素の寄与率が高いと考えられる。しかし、各元素の濃縮係数は異なり、特にAlとPbで大きな差が生じた。

山東省は海岸に近い東北部に位置し、四川省は内陸の西南部に位置する。山東省と四川省の生活習慣

と飲食文化は大きく違うので、ヒトに含まれる元素濃度に差が生じたと考えられる。四川省では、山東省と比べると飲用水と毛髪のパターンは大きく異なり、面積も大きな差が見られた。特に、CとPbではパターンに大きな差が見られた。このことは、大変興味深いことであり、中国の地域により食生活のみならず、地形的理由による環境汚染等も関係しているのかもしれない。いずれにしても、地域差の結論

表2 ミャンマーと日本の飲用水と毛髪と比較

	Al	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Cd	Pb
岡山水(μg/l)	17.4	0.346	35.9	3.29	6.19	0.346	0.014	0.302
ミャンマー水(μg/l)	246	103	1919	4.00	50.6	17.8	0.209	0.460
ミャンマー/岡山市	14.1	298	53.5	1.2	8.2	51.4	14.9	1.5
岡山毛髪(mg/kg)	58.0	2.56	139	48.4	195	0.37	0.31	5.26
ミャンマー毛髪(mg/kg)	330	48.5	450	39.4	264	1.40	0.89	11.7
ミャンマー/岡山市	5.7	18.9	3.2	0.8	1.4	3.8	2.9	2.2

を出すには中国各都市でされなる調査が必要であり、今後の研究が待たれる。

### 3-2 ミャンマー人と日本人の飲用水と毛髪の関係

表2にミャンマーと日本(岡山市)の飲用水と毛髪中のAl, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Cd, Pb濃度の平均値を示した。ミャンマーの飲用水中のAs濃度は17.8 mg/lと高い値を示し、毛髪中濃度も1.40 mg/kgと高い値を示した。高濃度のAsを含む飲用水を常時体内に取り込んでいる人の毛髪中濃度は、非常に高く、Asによる慢性中毒で皮膚病や皮膚がんなどの健康被害が発生している可能性が高い。

図3は、ミャンマーの飲用水と毛髪中の有害元素濃度の比較を示した。Al, Mn, Fe, Zn, Cdで、図形的には同じパターンを示し面積も大きな差は見られなかった。それは、飲用水中の元素はヒトに吸収され、身体に濃縮されたと考えられる。

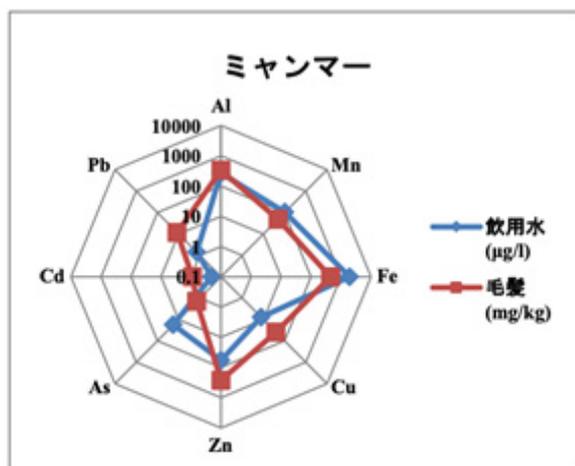


図3 ミャンマーの飲用水と毛髪中の有害元素の比較

安藤ら<sup>8)</sup>は、Asがヒトに対する毒性を報告した。Asは、ヒトに対する急性毒性、慢性毒性、発癌性がある。Asのヒトに対する発癌性は確定しており、皮膚癌、肺癌、肝臓癌、膀胱癌、腎臓癌、前立腺癌、悪性脳腫瘍等、体内のあらゆる臓器に及ぶと考えられている。ヒ素に汚染された水を飲料している地域の住民では、Asの曝露量とこれらの癌による死亡率とヒ素の暴露量あるいは暴露期間や年齢の増加との間に有意な相関関係があることが世界各地での報告から明らかにされている。

慢性As中毒患者の報告は、Guraiら<sup>9)</sup>がParganas郡の農村で16例を発見したのが最初である。Mazumderら<sup>10)</sup>は、カルカッタ49 km南の2つの農村で163人について疫学調査を行い、62人(38%)の慢性As中毒患者を見いだした。また、Chakrabortiら<sup>11)</sup>は、Parganas, Burdwan, Nadia郡の6農村にお

いて127家族のうち48家族に、また784人のうち197人(25%)に慢性As皮膚疾患を認めた。これらの地域の71井戸水の調査によると平均濃度0.64 mg/Lで、55井戸(77.5%)で許容濃度を超過していた8)。

この様にAsによる慢性中毒は、がんをも引き起こす有害な元素であり、ミャンマー人のほとんどが飲用している井戸水から高濃度のAsが検出され、毛髪中に高濃度で濃縮されていることが明らかとなった。できるだけ速やかに、上水道の整備や、井戸水の脱As処理を行う必要がある。

また、ミャンマーでは、Asのみならず他の有害元素についても今後監視していく必要がある。

### 4. まとめ

中国(山東省と四川省)、ミャンマー(ヤンゴン地域)及び日本(岡山市)に居住するヒトの毛髪とその現地の飲用水を採取し、ICP-MSで毛髪中と飲用水中の元素濃度を測定し、比較した。その結果、以下のことが明らかとなった。

1. 四川省の飲用水中のMn, Cu, Zn, 濃度は山東省の飲用水中の濃度よりかなり低いにも関わらず、毛髪中濃度は同程度であった。毛髪/水の割合は四川省で山東省の10倍程度となった。このことは、毛髪中に取り込まれる元素は飲用水よりも食事からの寄与率が高いと考えられる。
2. 山東省は、Al, Pb以外のMn, Fe, Cu, Zn, As, Cdで、図形的には同じ様なパターンを示した。四川省では、山東省と比べると飲用水と毛髪中の元素パターンは大きく異なり、面積も大きな差が見られた。中国の地域により食生活のみならず、地形的理由による環境汚染等も関係しているのかもしれない。
3. ミャンマーの飲用水中のAs濃度は17.8 mg/lと高い値を示し、毛髪中濃度も1.40 mg/kgと高い値を示した。高濃度のAsを含む飲用水を常時体内に取り込んでいる人の毛髪中濃度は、非常に高く、Asによる慢性中毒で皮膚病や皮膚がんなどの健康被害が発生している可能性が高い。

### 参考文献

- 1) 津金 昌一郎, 小児発育期における毛髪内微量元素プロファイルについて, 日衛誌 (Jpn. J. Hyg.), 第40巻, 第2号, 619-626 (1985).
- 2) 木村 美恵子, 微量元素と健康, 生活衛生 (Seikatsu Eisei) Vol.43, No.1, 7-14 (1999).
- 3) 篠原 厚子, 千葉 百子, 微量元素の健康への影響, 応用物理, 第70巻, 第7号, 823-826 (2001).

- 4) World Health Organization (WHO), <https://www.who.int>.
- 5) 大森 佐与子, 三浦武夫, 日下譲, 辻治雄, 佐川直史, 古谷史郎, 玉利裕三, 毛髪 of 多元素放射化分析, RADIOISOTOPES Vol.24, No.6, 20-26 (1975).
- 6) 丸茂 義輝, 毛髪中の微量元素に関する研究 (第2報) 金属元素の毛髪への吸着及び毛髪からの溶出, EISEI KAGAKU, 29 (4), 192-198 (1983).
- 7) 猶原 順, ギャオ 小葉, 中国人、ミャンマー人と日本人の毛髪中元素濃度測定, 岡山理科大学紀要令和5年度(59号) A分冊(自然科学) (2023).
- 8) 安藤 正典, インド・バングラディッシュにおける地下水ヒ素汚染と健康影響, J. Natl. Inst. Public Health, 49 (3), 266-274 (2000).
- 9) Garai, R., Chakraborty, A. K., Dey, S.B. et al.: Chronic arsenic poisoning from tube-well water, J. Indian Med. Assoc. 82 : 34-35 (1984).
- 10) Guha Mazumder, D. N., Chakraborty, A.K., Ghose, A. et al.: Chronic arsenic toxicity from drinking tubewell water in rural West Bengal, Bull. Wld. Health Org. 66: 449-506, (1988).
- 11) Chakraborty, A. K. and Saha, K. C.: Arsenical dermatosis from tube well water in West Bengal, Indian J. Med. Res. 85: 326-334 (1987).

## Relationship between element concentrations in drinking water and element concentrations in hair in China, Myanmar and Japan

Jun NAOHARA and Xiaoye ZHUO

*Department of Biomedical Engineering, Faculty of Engineering,  
Okayama University of Science,  
1-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama-shi, Okayama 700-0005, Japan  
5301, Haga, Kita-ku, Okayama, 701-1296, Japan*

Human hair samples were collected from people living in China (Shandong and Sichuan provinces), Myanmar (Yangon area), and Japan (Okayama City), and the element concentrations in the hair and drinking water were measured and compared using ICP-MS. As a result, the following findings were revealed.

1. The concentrations of Mn, Cu, and Zn in drinking water in Sichuan Province were much lower than those in drinking water in Shandong Province, but the concentrations in hair were similar. The hair/water ratio was about 10 times higher in Sichuan than in Shandong. This suggests that the contribution of dietary intake of elements in hair is higher than that in drinking water.

2. Shandong showed a similar pattern in Mn, Fe, Cu, Zn, As, and Cd, except for Al and Pb. In Sichuan, the elemental patterns of drinking water and hair were much different than those of Shandong. In particular, there were large differences in the patterns of Cd and Pb. This may be related not only to dietary habits but also to environmental pollution due to topographical reasons, depending on the region in China.

3. The concentration of As in drinking water in Myanmar was as high as 17.8 mg/l, and the concentration in hair was as high as 1.40 mg/kg. The concentration of As in the hair of people who constantly take in drinking water containing high concentrations of As is extremely high, and there is a high possibility that chronic poisoning by As causes health problems such as skin diseases and skin cancer.

**Keywords:** ICP-MS; element concentrations; drinking water; hair

## ソーマチン結晶の磁気浮上成長

牧 祥・藤原 昌夫\*・藤原 好恒\*

岡山理科大学 フロンティア理工学研究所

\* 広島大学大学院 統合生命科学研究科 数理生命科学プログラム

2024年2月1日受理

\* 責任著者

## 1. はじめに

ソーマチンは工業的に有用なタンパク質で、ショ糖の3,000倍の甘味を有する<sup>1,2)</sup>。純粋に抽出されたソーマチンは肉眼で確認できるほど大きな結晶に成長することから、さまざまな学術研究分野、特に構造生物学において重要なモデルタンパク質である<sup>3)</sup>。しかし卵白リゾチーム (HEWL) と比較すると<sup>4)</sup>、結晶化における磁場効果の研究は非常に少なく磁場配向など僅かしか知られていない<sup>5-9)</sup>。一方、磁気アルキメデス効果<sup>10)</sup>はHEWL以外では成功していないが、原理的にはソーマチンでも可能である。予備実験の結果、ソーマチンの磁気浮上には非常に強い磁気力が必要であることが解かったので、我々は広島大学にある16T級の強力な超電導マグネットを使って初めてソーマチンの磁気浮上実験を試みたので報告する。

## 2. 磁気アルキメデス効果

タンパク質結晶 (反磁性体) を磁気アルキメデス浮上させる原理について簡単に説明する。磁気力ベクトル  $F$  は円筒座標系で定義し  $F(f_r, f_\theta, f_z)$  と表す。

$f_r, f_\theta, f_z$  は半径方向、周方向方向、鉛直方向成分で、鉛直上向きを正とする。結晶の鉛直上方への駆動力は、常磁性化した溶液と反磁性である結晶との間に働く磁気力の反発によって増強される。本研究では沈殿剤として塩化ガドリニウム ( $GdCl_3$ ) を加え、バッチ法でソーマチンを結晶化させた。ガドリニウムイオン ( $Gd^{3+}$ ) は大きな常磁性磁化率を有しており弱い磁場条件下でも磁気浮上を行うのに適している<sup>11-13)</sup>。なお、厳密に言えば、磁気アルキメデス効果は磁気力の鉛直方向成分  $f_z$  だけでなく、半径方向成分  $f_r$  成分によって水平方向の駆動力も発生している。しかし本研究では  $f_r$  が  $f_z$  に比べて無視できるほど小さく、結晶を気液界面に浮上成長させるだけなら  $f_z$  の制御で十分である。この単純化で結晶の駆動力は次のように表される。

$$f_z = -(\rho_c - \rho_s)g + \frac{(\rho_c \chi_c - \rho_s \chi_s)}{\mu_0} b_z \frac{\partial b_z}{\partial z} \quad (1)$$

ここで、 $\rho_c, \rho_s, g, \chi_c, \chi_s, \mu_0$  は結晶密度 ( $kg/m^3$ )、溶液密度 ( $kg/m^3$ )、重力加速度 ( $m/s^2$ )、タンパク質結晶の質量磁化率 ( $m^3/kg$ )、タンパク質結晶の質量磁化率 ( $m^3/kg$ ) タンパク質溶液と真空の透磁率 ( $H/m$ ) である。 $b_z$  は磁束密度ベクトル  $B=(b_r, b_\theta, b_z)$  (T) で定義された鉛直方向成分である。式1の第1項は浮力項、第2項は磁気力項に対応している。式1は垂直上方向を正と定義する。

結晶の磁気アルキメデス浮上は次のように説明される。まず、溶液中には常磁性体の  $Gd^{3+}$  イオンが含まれているため、 $\chi_s$  は常磁性 (符号はプラス) に変化する。一方、 $\chi_c$  は反磁性 (符号が負) なので、 $\rho_c \chi_c - \rho_s \chi_s$  の符号は負になる。結晶成長位置がマグネット中心より高い位置  $b_z \frac{\partial b_z}{\partial z}$  の場合、の符号はマイナスとなる。したがって、式1の第2項は正となり、鉛直上向きの結晶浮上が増強される。なお式1の第1項で示した浮力項の影響は非常に大きく、磁気浮上を実現する上で好都合である。

## 3. 実験装置

図1(a)は実験で使用した超電導マグネット (JMTA-15T40, JASTEC Co., Ltd.) である。図1(b)はその模式図である。図1(c)は結晶化容器を固定するための支持台で、ボア中に挿入して使用する。結晶成長はCCDカメラ (CS9300, 東芝テリー株式会社) と鏡を使用してその場観察した。すべての結晶化画像はビデオレコーダー (GV-D1000, Sony Co. Ltd.) に記録した。

図1(d)、図1(e)にボア内に形成される磁場ベクトル  $B$  と磁気力ベクトル  $F$  の数値計算結果を示す。 $F$  の方向は反磁性体に作用する場合に対応している。図1(c)の赤四角で模式的に示した場所に結晶化容器を設置した。容器はマグネット中心  $O$  から90mm鉛直上方の位置である (図1(d), (e)の赤四角参照)。

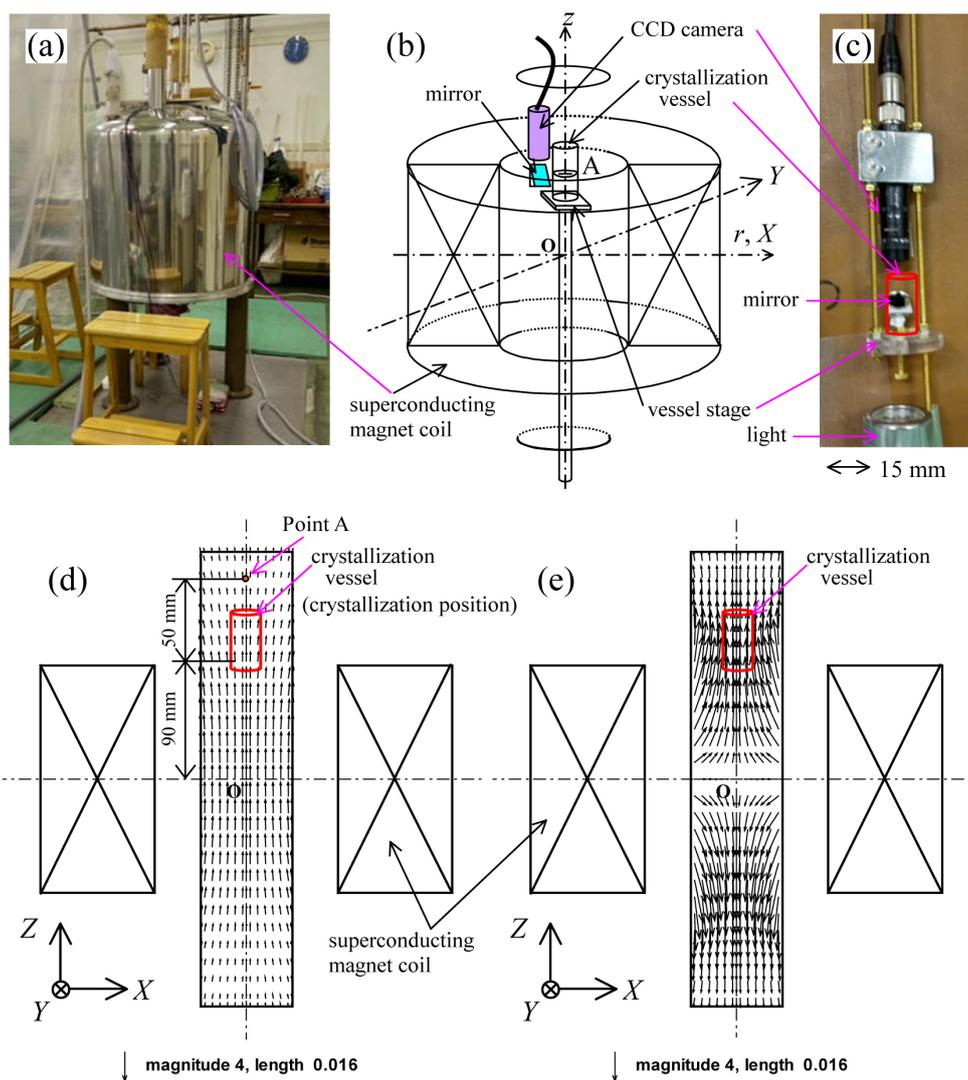


図1 実験装置とその模式図. (a) 使用した超電導マグネット, (b) 実験装置模式図, (c) マグネット中に挿入した観察装置と支持台, (d) 超電導マグネット内部の磁束分布, (e) 超電導マグネット内部の磁気力分布. 赤字の四角の場所に結晶化容器を設置する. 結晶成長は鏡を使って容器側面からその場観察する.

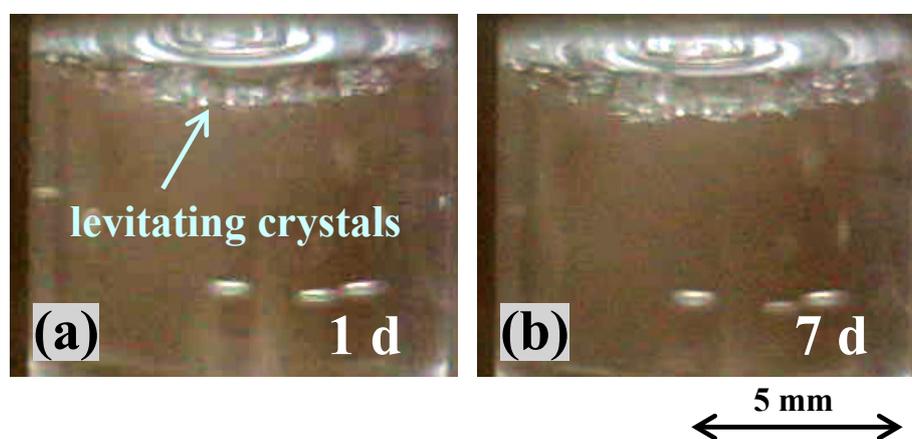


図2 容器側面から観察したソーマチン磁気浮上結晶成長

#### 4. 結晶化

ソーマチンの結晶化は次のような手順で実施した。まず濃度 25mg/mL (2.5%(w/v)) のソーマチン溶液 175.0 $\mu$ L を準備し、それに 0.2 M N-(2-アセトアミド)イミノ二酢酸-NaOH 緩衝液 (pH6.5) と 1.2M 酒石酸カリウムナトリウムと 0.04%NaN<sub>3</sub> が入った緩衝バッファ液 283.5 $\mu$ L を加え、さらに、沈殿剤として 0.4M GdCl<sub>3</sub> 水溶液 70.0 $\mu$ L を添加した。温度条件は 20 $^{\circ}$ C にした。

#### 5. 結果

図 2 に容器側面から観察したソーマチン結晶成長の時間変化を示す。マグネット中心の磁束密度は約 14.1T で、容器の位置の磁場勾配は 1100 T<sub>z</sub>/m であった。ボア内の温度は 20 $^{\circ}$ C で恒温に保った。図 2(a) は、1 日後のソーマチン結晶成長である。この画像から磁気アルキメデス効果によってソーマチン結晶が磁気浮上することが初めて示された。図 2(b) は 7 日後の画像である。結晶の厚みはさらに増加した。一方、容器側壁には結晶はほとんど付着していなかった。

#### 6. 考察

先行研究の HEWL 結晶の磁気浮上の場合と比較する。今回も我々は結晶の磁気浮上を実現するために、GdCl<sub>3</sub> の常磁性溶液を使用した。HEWL 結晶の浮上では Gd<sup>3+</sup> イオンの濃度は 0.388 mol/kg、溶液密度  $\rho_s$  は  $1.09 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup> であった<sup>32)</sup>。また  $b_z$  の磁束密度は 3.8 T (10 T, JASTEC, Co. Ltd) であった<sup>12)</sup>。従って Gd<sup>3+</sup> イオンの濃度は  $0.388 \times 1.09 = 0.423$ M と見積もられる。一方ソーマチンの場合は結晶化の過程で溶液同士を混和させるので、常磁性沈殿剤の初期濃度 0.4M が希釈され Gd<sup>3+</sup> イオンは  $70.0 / (70.0 + 283.5 + 175.0) = 0.132$  倍になる、最終的には  $0.4 \times 0.132 = 0.053$ M となると推定される。もしソーマチン結晶の他のパラメータが HEWL と同程度であればソーマチン結晶の磁気浮上には HEWL の場合の約  $0.423 / 0.053 = 7.98$  倍の磁気力が必要と推定される。そのためには  $2.82 \times 3.8 = 10.72$ T の磁束密度が必要である。つまり結晶を安定的に浮上成長させるには 13~14T あればよいと推定される。この推定値は本実験で印加した 14.1T と定量的に非常に近い数値であった。このことは、常磁性物質 (Gd<sup>3+</sup> イオン) の濃度と常磁性物質 (Gd<sup>3+</sup> イオン) の濃度との関係を近似的に計算することで、他のタンパク質でも磁気浮上が可能であることを示唆している。タンパク質結晶への磁気アルキメデス浮上の利用において、浮上に必要な磁気力の大きさの予測は、将来的な目標である完全無容器結晶成長<sup>32)</sup>への活用など

実用的な技術として大きな可能性を秘めている。

#### 7. 結論

磁気アルキメデス効果の技術を応用しソーマチン結晶の磁気浮上に初めて成功した。卵白リゾチーム以外のタンパク質でこの方法に成功したのはおそらく初めてである。我々は独自の観察装置を使って結晶成長をその場観察し、その成長過程路を時系列で記録した。そして卵白リゾチームとソーマチンのような異なるタンパク質結晶であっても磁性体濃度と磁気力の大きさを制御すれば磁気浮上の定量的予測が可能であることを実験的に示した。この結果は、無容器結晶成長の技術の発展に寄与し、汎用性の高い技術として普及する可能性を示唆している。本知見は磁気科学とタンパク質結晶成長技術の両分野の融合と発展を前進させる上で学術的にも価値があると考えられる。

#### 謝辞

本研究で使用した観察システムや装置の製造および維持費には文部科学省/JSPS、科研費、助成番号 JP15K04669 および助成番号 JP20K04335 の支援を受けた。さらに岡山理科大学フロンティア理工学研究所の研究資金も活用した。装置の製作は岡山理科大学工作センター (サイエンスドリームラボ) の協力を得た。磁気浮上は広島大学で実施し、同大学の基礎研究開発センターから貴重な液体ヘリウムを提供してもらった。深く謝意を表したい。

本研究はソーマチンの磁場配向や SPring-8 での構造解析も実施した。詳細は 2024 年度中に受理される見込みの学術論文を参照されたい。関係者全員に厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

1. Van Der Wel, H.; Loeve, K. "Isolation and characterization of thaumatin I and II, the sweet-tasting proteins from *Thaumatococcus daniellii* Benth.", *Eur. J. Biochem.* 31, pp. 221–225, (1972).
2. B.H. Most, R.J. Summerfield, and M. Boxall, "Tropical plants with sweetening properties physiological and agronomic problems of protected cropping 2. *Thaumatococcus daniellii*". *Econ. Bot.* 32, pp. 321–335 (1978).
3. Protein Data Bank of thaumatin, DOI:10.2210/pdb1RQW/pdb

4. D. C. Yin, N. I. Wakayama, K. Harata, M. Fujiwara, T. Kiyoshi, H. Wada, N. Niimura, S. Arai, W. D. Huang, Y. Tanimoto, "Formation of protein crystals (ortho-rhombic Lysozyme) in quasi-microgravity environment obtained by superconducting magnet", *J. Cryst. Grow.* 270, pp.184-191 (2004).
5. A. Moreno, B. Quiroz-García, F. Yokaichiya, V. Stojanoff, and P. Rudolph, "Protein crystal growth in gels and stationary magnetic fields", *Cryst. Res. Technol.* 42, No. 3, pp. 231-236 (2007). DOI: 10.1002/crat.200610805
6. S. Surade, T. Ochi, D. Nietlispach, D. Chirgadze, and A. Moren, "Investigations into protein crystallization in the presence of a strong magnetic field", *Crystal Growth & Design*, 10(2), pp. 691-699, 2010, DOI: 10.1021/cg901109e
7. Er-Kai Yan, Chen-Yan Zhang, Jin He and Da-Chuan Yin, "An Overview of hardware for protein crystallization in a magnetic field", *Int. J. Mol. Sci.* 17(11), 1906, (2016), DOI: 10.3390/ijms17111906
8. O. Velásquez-González, V. Stojanoff, "Crystal Growth in Gels from the Mechanisms of Crystal Growth to Control of Polymorphism: New Trends on Theoretical and Ex-perimental Aspects", *Crystals* 9, 443, (2019), DOI: 10.3390/cryst9090443
9. M. Tataru, T. Okabe, N. Hirota, and I. Yamamoto, "Magnetic field effects of thaumatin crystallized by LLIP method", 7th Int. Conf. Magneto-Science (ICMS2017), P29, Abs. pp. 99-100, Reims, France (2017).
10. Y. Ikezoe, N. Hirota, J. Nakagawa, and K. Kitazawa, "Making water levitate", *Nature*, 393, pp. 749-750 (1998). DOI: 10.1038/31619
11. S. Maki and M. Ataka, "Magnetic levitation with permanent magnet: application to three types of plant seed," *Jpn J. App. Phys.* vol. 46 (5A), pp. 2910-2911 (2007). DOI: 10.1143/JJAP.46.2910
12. S. Maki, Y. Oda, and M. Ataka, "High-quality crystallization of lysozyme by magneto-Archimedes levitation in a superconducting magnet", *J. Cryst. Grow.* 261, pp. 557-565, 2004. DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2003.09.033
13. S. Maki, and M. Ataka, Japan Patent, No. 3711386.
14. S. Maki, and M. Hagiwara, "Contactless crystallization method of protein by a magnetic force booster", *Sci. Rep.* vol. 12, 17287, 2022. DOI: 10.1038/s41598-022-21727-x

## 平面付着細胞からの増殖性細胞凝集小塊の連続形成誘導 —細胞自己凝集化技術を用いた可能性検討—

岩井麻理菜<sup>1)</sup>・岩井良輔<sup>2)</sup>\*

<sup>1)</sup>日本学術振興会

<sup>2)</sup>岡山理科大学フロンティア理工学研究所

\* 責任著者

2024年2月14日受理

### 1. 緒言

動物の発生においては、多分化能を有する幹細胞や組織前駆細胞などが最初に小さな凝集塊を形成し、これらが増殖・分化することで秩序立った組織構造と形状を有する臓器が形作られる。また、生体の固形腫瘍においては、遺伝子変異により発生した腫瘍細胞が凝集塊形成を伴いながら増殖して肥大化する。このような臓器や固形腫瘍の形成を培養下にて再現できれば、生命科学現象の解明のみならず、再生医療や医薬品開発にも応用できる可能性がある。そこで、培養下において細胞凝集塊を作る様々な技術が盛んに開発されてきた<sup>1)</sup>。例えば、培養下で作製したがん細胞の球状凝集塊は、その外表面にて増殖する活性細胞と、中心部の増殖が停止した静止細胞から成るがん組織様の不均質な細胞分布が再現される。すなわち、このようながん細胞の凝集塊は、生体内におけるがんの浸潤、転移に関するメカニズムや抗がん剤に対する反応性などを、その形態やサイズだけではなく、タンパク質や遺伝子発現レベルで詳細に解明することができる効果的な研究開発ツールとなり得る<sup>2)</sup>。

一方、臓器や固形腫瘍の形成の初期段階における凝集塊の形成は、細胞が基底膜のような細胞外基質や臓器内外の細胞と接着した状態で徐々に増殖することで生じることが多い。すなわち、従来の一般的な細胞凝集塊の作製法である、ハンギングドロップや細胞非接着性培養器を用いた、培養液中に浮遊した細胞同士の自然衝突による物理的な凝集化誘導法では<sup>1)</sup>、臓器や固形腫瘍の形成初期の基質接着細胞からの細胞凝集塊形成の過程までは再現できない。

我々が開発した接着細胞の自己凝集化誘導技術 (Cell self-Aggregation Technique: CAT) においては、CATを誘導する荷電性高分子 (CATポリマー) の水溶液をコートした培養皿表面にのみ細胞が接着して単層シートを形成した後、1日程度の培養の間にシートが自発的に培養表面から剥離して凝集化することで細胞凝集塊が形成する<sup>3)</sup>。ここで、一般に生体由来の正常細胞は接触阻害作用により単層シート形成後に細胞増殖が

停止するためシートは隙間のない単層状態で維持される。この時、細胞運動性が高い間葉系細胞を用いると細胞単層シートがCATポリマーとの接着面から剥離しシートが一体凝集化して凝集塊が形成される (図 1A)。我々はこれまでに、間葉系幹細胞、軟骨細胞、軟骨前駆細胞や筋芽細胞を用いて再生医療用途を指向した細胞凝集塊を作製してきた<sup>4-7)</sup>。ここで、CATポリマーをコートした培養表面に接触阻害作用の破綻した腫瘍細胞を播種して培養することで、細胞はCATポリマー表面全体に隙間のない細胞単層シートを形成する前に、部分的に細胞単層が形成された段階で単層上に積層するようにして増殖して、増殖性の凝集塊を複数個形成するのではないかと考えた (図 1B)。すなわち、腫瘍形成時のように、細胞が接着した状態から凝集塊を形成し増殖していく過程を再現し得ると考えた。

以上より本研究では、単層付着状態からの増殖性細胞凝集塊の形成誘導の可能性について、CATを用いた凝集塊作製法を用いて検討することとした。

### 2. 材料と方法

#### 2.1. 細胞培養

細胞低接着性の培養皿 (35 mm  $\Phi$ , PrimeSurface<sup>®</sup>, 住友ベークライト(株)) の表面にCATポリマー (Poly(2-(dimethylamino)ethyl methacrylate-co-methacrylic acid, 日産化学株式会社との共同試作品) を 0.5  $\mu$ L 滴下し室温 (20 ~ 25 $^{\circ}$ C) で乾燥させることで、直径約 1 mm のCAT誘導領域 (CAT-spot) を設けた。培養皿表面全体に、ヒト神経膠芽腫細胞株 (U87) を  $1.0 \times 10^3$  cells/cm<sup>2</sup> の密度で播種し、基礎培地 (DMEM-high glucose) に 10% のウシ胎児血清と 1% ペニシリン-ストレプトマイシンを加えた増殖培地を用いて、37 $^{\circ}$ C、5% CO<sub>2</sub> 雰囲気下にて 17 日間培養した。細胞は、位相差顕微鏡を用いて観察しデジタル写真を取得した。

#### 2.2. 蛍光免疫細胞化学染色

CAT-spot 上で培養した細胞と、市販の細胞接着性培養用の培養皿上で培養した細胞のFibronectinに

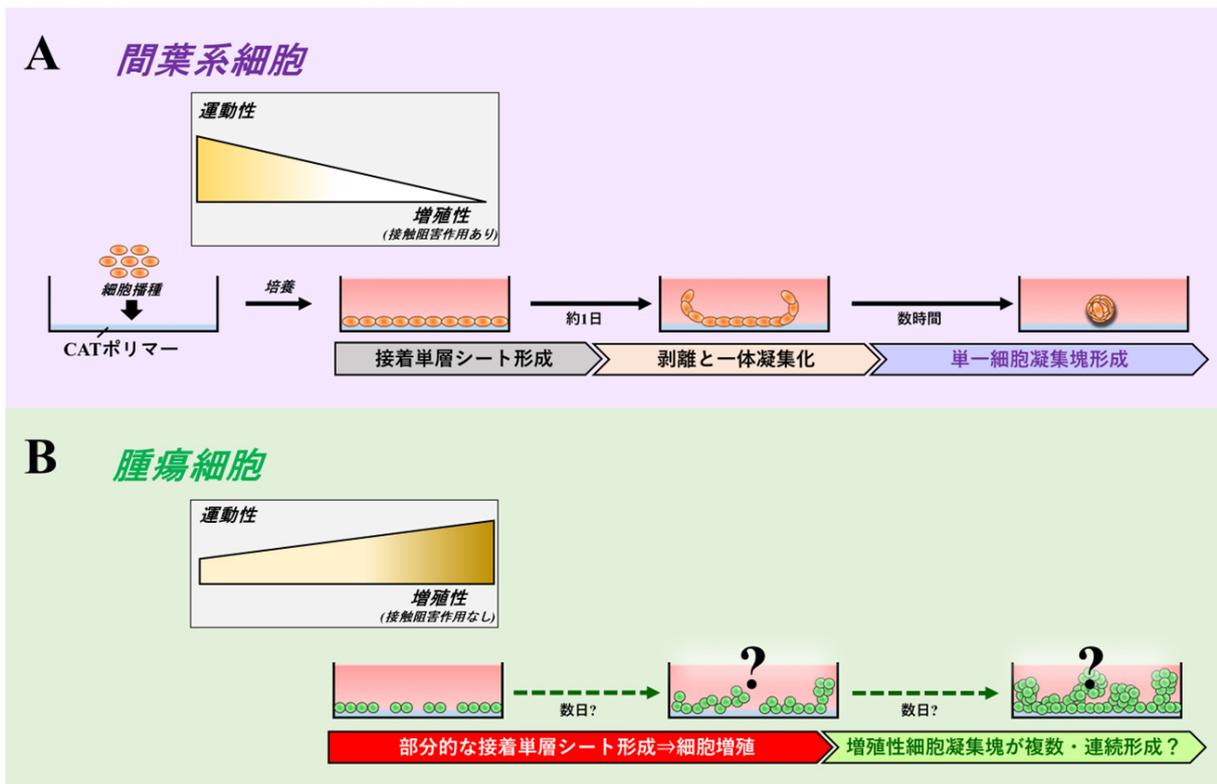


図 1A 及び 1B CAT ポリマー上に播種した間葉系細胞 (A) と腫瘍細胞 (B) の凝集塊形成機構

対する免疫染色を行った。すなわち、培養 3 日目に 1% のウシ血清アルブミンで 1 時間ブロッキングした後、1 次抗体としてマウス抗ヒトなし Fibronectin 抗体 (×1/100, ab6328, abcam) と 4℃ で 15 時間、二次抗体として Alexa488 蛍光で標識したヤギ抗マウス IgG 抗体 (×1/1000, ab150113, abcam) と室温で 2 時間反応させた。対比染色として、細胞核を DAPI で染色した後、蛍光顕微鏡を用いて細胞を観察しデジタル写真を取得した。

### 3. 結果と考察

培養皿に播種した U87 細胞は円形の CAT-spot 上のみ接着した。細胞は培養によって増殖し、播種から 1 週間までの間に spot 上を覆う単層シートを形成するとともに、単層シート上に直径 50 ~ 200 μm の大きさの球形の細胞凝集塊を spot 当たり 30 ~ 40 個程度形成した(図 2)。さらに培養を続けると、凝集塊は細胞増殖と隣接する凝集塊との融合により、サイズを増し播種 10 日目には最大で直径 0.5 mm 程度に達する凝集

## 培養日数

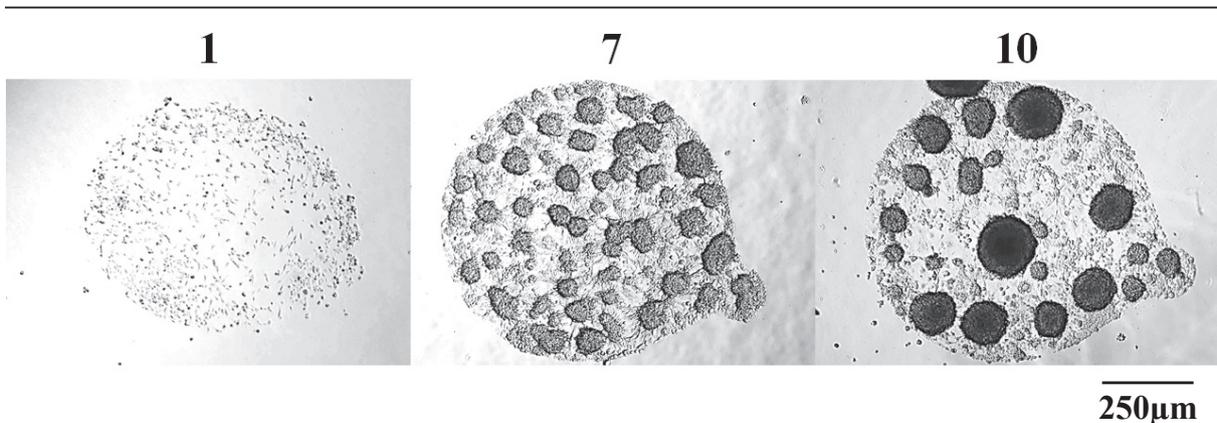
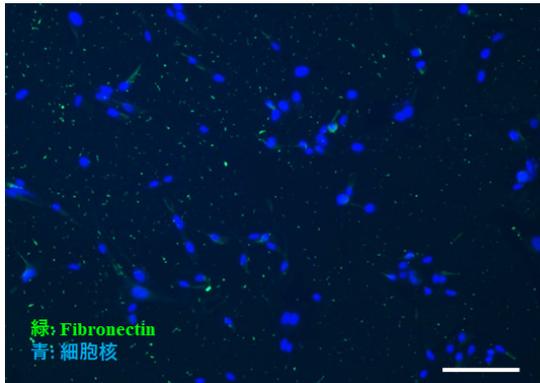


図 2 CAT-spot 上 (CAT ポリマーを円形にコートした表面) に播種した U87 細胞の位相差顕微鏡による経時観察写真

### 細胞接着性培養皿



### CAT-spot

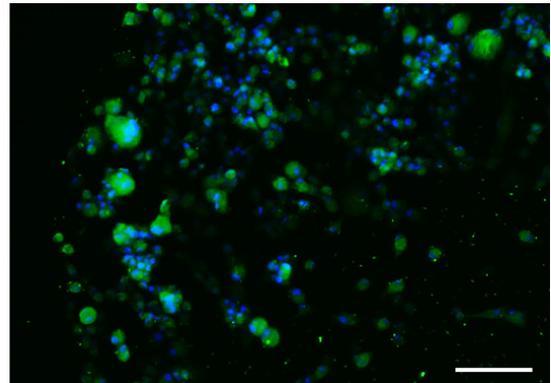


図3 細胞接着性培養皿と CAT-spot (CAT ポリマーを円形にコートした表面) 上に播種し 3 日間培養した U87 細胞の Fibronectin に対する蛍光免疫細胞化学染色後の蛍光顕微鏡写真  
スケールバー: 100  $\mu\text{m}$

塊も観察された。この時、細胞単層からは、新たに直径 100  $\mu\text{m}$  程度の細胞凝集塊の形成が観察された。すなわち、細胞単層からの細胞凝集塊の形成は単回ではなく、連続的に生じていると考えられる。ここで、興味深いことに、U87 細胞は通常の接着性培養皿上での平面接着状態よりも、CAT-spot 上で凝集塊形成した状態の方が顕著に Fibronectin を高産生していることが免疫細胞化学染色により分かった(図 3)。Fibronectin は腫瘍細胞の増殖、分化や転移の促進や、薬剤耐性の獲得に寄与することが知られているが<sup>8,9</sup>、腫瘍細胞自体の Fibronectin の発現が何によって、どのようなメカニズムで調節されているかは詳しく分かっていない。今後は、CAT-spot 上での U87 細胞をはじめとする腫瘍細胞の詳細な細胞挙動と生物学的特性評価を行う必要があると考えている。

#### 4. まとめ

本研究では、細胞単層形成を経た細胞の自己凝集化技術(CAT)を用いて平面接着状態の腫瘍細胞から凝集塊形成が誘導可能か検討した。その結果、CAT用の高分子溶液を塗布した培養皿に播種した細胞は増殖して単層を形成すると同時に、単層上に直径約 0.1 mm の球状の凝集塊を約 10 個/ $\text{mm}^2$  の密度で複数、連続的に形成することが分かった。このような細胞の接着状態からの凝集塊の連続的な形成過程は腫瘍発生の初期段階のモデルとして利用し得るのではないかと考えている。

## 参考文献

- 1)Advances in multicellular spheroids formation. Cui X, Hartanto Y, Zhang H. *J R Soc Interface*. 2017 Feb;14(127):20160877
- 2)3D tumor models and their use for the testing of immunotherapies. Boucherit N, Gorvel L, Olive D. *Front Immunol*. 2020 10(11):603640.
- 3)Induction of cell self-organization on weakly positively charged surfaces prepared by the deposition of polyion complex nanoparticles of thermoresponsive, zwitterionic copolymers. Iwai R, Haruki R, Nemoto Y, Nakayama Y. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2017 105(5):1009-1015.
- 4)Preparation and characterization of directed, one-day-self-assembled millimeter-size spheroids of adipose-derived mesenchymal stem cells. Iwai R, Nemoto Y, Nakayama Y. *J Biomed Mater Res A* 2016 104(1):305-312
- 5)Successful tracheal regeneration using biofabricated autologous analogues without artificial supports. Hiwatashi S, Iwai R, Nakayama Y, Moriwaki T, Okuyama H. *Sci Rep*. 2022 Nov 24;12(1):20279.
- 6)Fabrication of shape-designable cartilage from human induced pluripotent stem cell-derived chondroprogenitors using a cell self-aggregation technique. Ota T, Takao T, Iwai R, Moriwaki T, Kitaguchi Y, Fujisawa Y, Yamada D, Kimata Y, Takarada T. *Biomed Mater*. 2023 Oct 24;18(6).
- 7)Induction and expansion of human PRRX1+ limb-bud-like mesenchymal cells from pluripotent stem cells. Yamada D, Nakamura M, Takao T, Takihira S, Yoshida A, Kawai S, Miura A, Ming L, Yoshitomi H, Gozu M, Okamoto K, Hojo H, Kusaka N, Iwai R, Nakata E, Ozaki T, Toguchida J, Takarada T. *Nat Biomed Eng*. 2021 Aug;5(8):926-940.
- 8)Glioma and glioblastoma - how much do we (not) know?. Jovčevska I, Kočevnar N, Komel R. *Mol Clin Oncol*. 2013 1(6):935-941.
- 9)Fibronectin promotes the malignancy of glioma stem-like cells via modulation of cell adhesion, differentiation, proliferation and chemoresistance. Yu Q, Xue Y, Liu J, Xi Z, Li Z, Liu Y. *Front Mol Neurosci*. 2018 13(11):130.

## Induction of growing cell aggregates with continuous formation from cell monolayers adhered on two-dimensional environment

Marina Iwai<sup>1</sup> and Ryosuke Iwai<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Japan Society for the Promotion of Science (JSPS),  
1-1, Ridai-cho, Kita-ku, Okayama, 700-0005, Japan*

<sup>2</sup>*Institute of Frontier Science and Technology, Okayama University of Science,  
1-1, Ridai-cho, Kita-ku, Okayama, 700-0005, Japan*

In this study, we investigated the possibility of inducing proliferative cell aggregate formation such as reproducing the organ or tumor genesis via a monolayer of cultured surface-adherent cells using our developed cell self-aggregation technique (CAT)-based aggregation preparation. Cells seeded in culture dishes coated with CAT induction polymer grew and formed monolayer, forming multiple spherical aggregates of about 0.1 mm in diameter at a density of about 10 aggregates/mm<sup>2</sup> on these monolayers. Further detailed biological characterization of the aggregates would be necessary to explore their potential use as a model for tumorigenesis.

**Keywords:** Cell culture model; Cell self-aggregation; Tumor generation

# MPMS を使用した岩石磁気学的測定

\*<sup>1</sup> 畠山 唯達・<sup>2</sup> 加藤 千恵

<sup>1</sup> 岡山理科大学フロンティア理工学研究

<sup>2</sup> 九州大学大学院比較社会文化研究院

2024 年 2 月 19 日受理

\* 責任著者

## 1. はじめに

岩石や堆積物、土壌などの中には強磁性を示す鉱物(たとえば  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ : 磁鉄鉱)が多く存在する。これらの鉱物は顕微鏡観察や化学分析によって検出することが可能であるが、それぞれの鉱物が持つ特徴的な磁性を様々な条件・方法で調べることで、含有する磁性鉱物の種類・粒径・化学量論性・含有量などの情報を得ることもできる。岩石等に対してこのような磁性測定を行う分野を岩石磁気学と言う。岩石磁気学の主な目的は含まれる磁性鉱物を特定し岩石が持つ古地磁気情報の初生性(岩石形成時の磁化であること)を確認すること、2 次的な磁性鉱物による岩石生成後の変質の状況の確認、など多岐に渡る。最近では、地質試料のみならず、遺物・遺跡などの考古資料に対して岩石磁気測定を行うことで、遺物が受けた被熱履歴や遺跡の環境特定などの事も行われるようになってきた(考古岩石磁気学)。

岩石磁気で用いられる測定方法は数多く、使用する機械も多種になる。本稿では、その中でも極低温～常温の間で強磁場の印加と高精度での磁化(応答)測定が可能な磁気特性測定装置(MPMS, 米国カンタム・デザイン社製)を用いた測定法について、まとめて紹介する。

## 2. MPMS

MPMS (Magnetic Property Measurement System) はその名の通り、物質の磁性を汎用的に測定する装置である。基本的には温度と磁場を変えながら、その応答(磁化, 磁気モーメント)を測定することになる。超伝導マグネットによって安定な強磁場を作り試料に印加するだけでなく、超伝導量子干渉素子(SQUID)を用いることで  $10^7 \text{emu}$  ( $10^{10} \text{Am}^2$ ) ほどの極小の磁気モーメントの検知ができる。また、上記の超伝導状態を保つため液体ヘリウムを使用するので、その温度(4.2K)付近またはそれよりも低い極低温での測定が可能である。米国カンタムデザインが販売している MPMS は日本国内でも研究機関に相当数が設置され、物性、超伝導、材料、化学、環境な

ど多くの分野の研究に役立てられている。現在販売している最新版の MPMS3 では、試料測定温度範囲: 1.8 ~ 400K, 印加磁場  $\pm 7\text{T}$ , 測定感度  $10^8 \text{emu}$  程度(VSM モード)であるが、本稿では岡山理科大学総合機器センターに設置されている MPMS-XL5 (測定温度範囲 1.8 ~ 400K, 印加磁場  $\pm 5\text{T}$ , 測定感度  $10^7 \text{emu}$  (RSO モード))を用いて行った測定を例にする。本機器は 20 年前に導入されたものではあるが、測定感度、印加磁場、温度コントロール等に問題は抱えていない。

## 3. 岩石に対する MPMS を用いた磁性測定 (1) 磁化の温度依存性測定

磁場に対する磁性体の応答は温度に依存する。最も基本的な常磁性体の場合、磁化率  $\chi$  ( $= \partial M / \partial H$  H は印加磁場、M は応答した磁化。常磁性体の場合は磁場に対して一定値になる)は温度 T に反比例する ( $\chi = C/T$ , キュリーの法則)。強磁性の場合、温度依存性はもっと複雑で単に温度だけでなくさらさらされている磁場の履歴に依存する、さらに磁性が相転移を起こす場合、温度帯域ごとに示す磁性が異なる。岩石磁気では、磁化に関する磁気相転移を含む温度依存性の情報を抽出し、磁性粒子の種類や性質を探る。ここでは、MPMS を利用した温度依存測定をいくつか紹介する。

### 3.1. 残留磁化の極低温からの熱消磁(ZFC/FC)

残留磁化は、強磁性体に磁場を印加した後で磁場を切ったときに残る磁化(いわゆる永久磁石)である。岩石等天然の試料や粘土を熱した土器のようなものは、非常に多くの種類の鉱物を含むがほとんどがバルクで常磁性または反磁性を示すため、磁場を印加した状態で磁化を測定すると、すべての物質の誘導磁化と強磁性鉱物の残留磁化を同時に観測することになり、解釈が複雑になりがちである。そのため、適当な方法で残留磁化を着磁させ、磁場を取り去った状態で残留磁化のみを測定することが有効である。試料を極低温まで下げて測定できる MPMS の場合、良く行われる残留磁化測定は ZFC (Zero Field

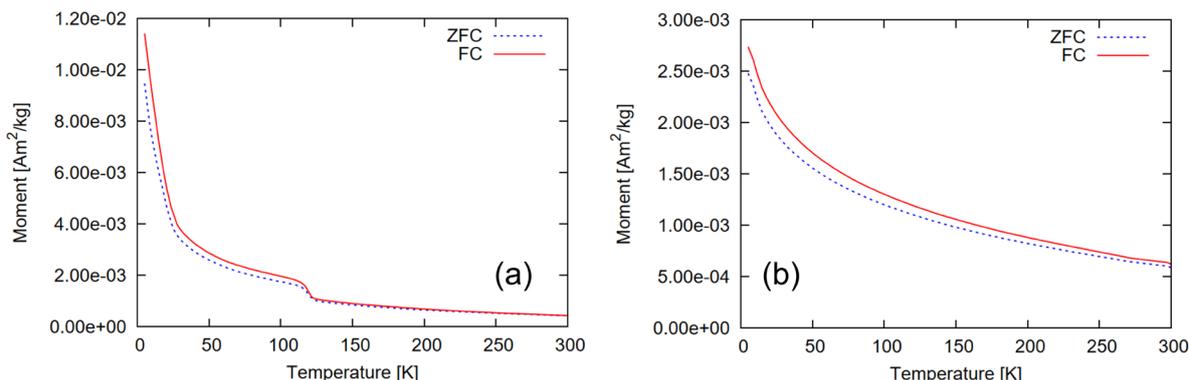


図1 ZFC/FCの例。いずれも磁鉄鉱が主な磁性鉱物の試料だが、120K 付近の Verwey 転移が (a) ははっきり観察できるものと、(b) ほとんど見えないものがある。

Cooling) と呼ばれる方法と FC (Field Cooling) と呼ばれる方法で着磁した残留磁化を極低温から常温に向かって温度を上げながら測定し、消える(熱消磁される)さまをリアルタイムに観測するものである。前者では、測定前に常温から極低温(たとえば10K)までは無磁場中で冷却し、極低温に達してからその温度で強磁場を一時的に引火した等温残留磁化を着磁することになる。一方、後者では、常温で強磁場を印加し、そのまま出発点である極低温まで冷却したのち、磁場を切って温度を上げ測定をする。このような方法でつけられた残留磁化は常温→極低温間の冷却時における熱残留磁化ということになる。

この測定で観察できる磁気的特徴は、(1) 連続的熱消磁によるブロッキング温度の分布と自発磁化の温度依存性、(2) 相転移に伴う残留磁化の変化、等である。たとえば、(1) の例として、極低温部分の急激な熱消磁と粒子サイズの関係が考えられる。極低温においては、温度上昇中に熱緩和に対する磁化の耐性が急激に低下するため、常温では超常磁性(super paramagnetism, SP) として取り扱われる極細粒の磁性粒子の判定をすることもできる。(2) に

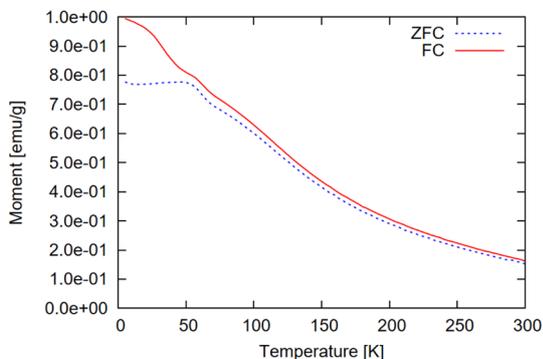


図2 60K 以下で複雑な転移をしている玄武岩溶岩の ZFC/FC 熱消磁曲線。50K 以下で Field Cooling(熱残留磁化) は着磁しているが Zero Field Cooling(極低温における等温残留磁化) が着磁していない。

ついて、強磁性を示す鉱物の多くは、常温以下の温度で磁氣的相転移を起こす。たとえば磁鉄鉱の場合、120K 付近に強磁性—強磁性相転移がある(Verwey 転移)。この転移点では低温側から高温側にかけて、ZFC, FC ともに大きく残留磁化が減ることが知られている。しかし、この急減は実際の岩石では観測されないことも多く(図 1a, b) ウルボスピネルとの連続固溶体を形成する磁鉄鉱ではチタンの含有量によって、転移温度(isotropic point) が複雑に変化する(Moskowitz et al., 1998)。Verwey 転移が顕著な試料は「化学量論的に良い(Stoichiometric)」ものと呼ばれ、結晶中の不純物や格子欠陥が少ないものであると考えられる(Dunlop and Ozdemir, 1997)。

もう一つの主要な鉄酸化鉱物であるチタノヘマタイト系列では、さらに複雑な転移をする。この連続固溶体系列では、常温でも組成によって自己反転磁化という複雑な磁化獲得機構が発生する。その影響は極低温でも強磁性から反強磁性、さらにスピングラスへの転移が確認され(Ishikawa et al., 1985)、さらに火山岩(溶岩)中ではチタノマグネタイトの高温酸化によってチタンが多いチタノヘマタイトとチタンが少ないチタノマグネタイトへ分離するため、複雑な重ね合わせが発生する(図2)。

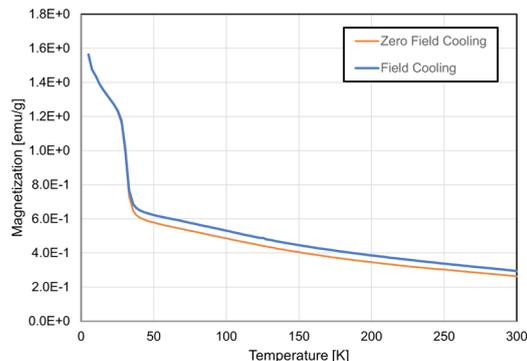


図3 磁硫鉄鉱の ZFC/FC 熱消磁曲線。

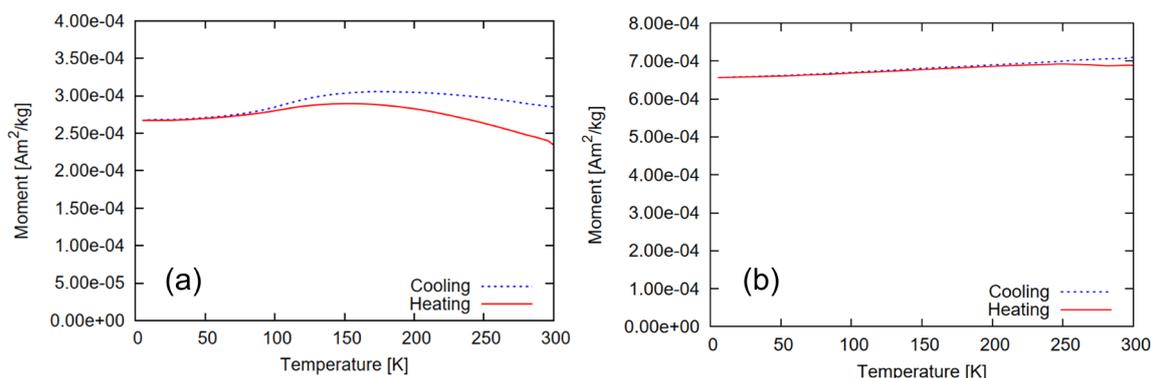


図4 常温での残留磁化着磁→極低温往復の例。いずれも磁鉄鉱が主な磁性鉱物の試料だが、冷却曲線と加熱曲線の違いが(a)ははっきり観察できるものと、(b)ほとんどないものがある。

ほかに岩石磁気学で扱われる鉱物として、鉄-銅-硫黄系の鉱物がある。こちらは、組成によって磁性の出方が酸化物以上に複雑である。たとえば、磁硫鉄鉱(ピロタイト)では単斜晶系の構造を示す成分( $\text{Fe}_7\text{S}_8$ )のものは、約35Kで強磁性転移をする(図3)。最近では、海底熱水鉱床系で安定に存在すると考えられる isocubanite が複雑な低温磁性を示すことがわかってきた(Kato et al., 2024)。

### 3.2. 常温での残留磁化の低温消磁

逆に、常温で等温残留磁化を着磁し、無磁場中で低温まで残留磁化の変化を測定することもできる。測定しているあいだに磁氣的相転移が無い場合は、この過程で磁化が変化するの、常温以下で断続的に起こる熱緩和を除けば、個々の粒子が持つ自発磁化の温度依存性によるものであり、常温～低温の往復において、磁化の値は可逆的(reversible)であろう。一方、温度変化の中に磁氣的相転移がある場合、転移に伴って残留磁化記録が保持されるかが問題となる。磁鉄鉱の場合、一般的な傾向として細粒な単磁区(SD)粒子は低温へ転移して戻ってきたときに磁化記録を覚えているのに対し、粗粒な多磁区(MD)粒子は忘れてしまうと考えられている。その結果、この過程を測定したときに、ある温度以下で可逆的であるが、それ以上の温度では昇温時に磁化が減る様子が観察される(図4)。このように低温までの温度変化と往復を利用して、主にMD粒子に起因する磁化を消すことを低温消磁と言ひ、MD粒子の影響を取り除きたい場合(たとえば絶対古地磁気強度測定)にも利用される。

### 3.3. 冷却+磁場中での昇温時の測定

3.1で紹介した極低温から常温へ昇温させるときの残留磁化の測定のほかに、これを磁場中で行うこともできる。この時も、無磁場中で冷却する Zero

Field Coolingと磁場を掛けながら冷却する Field Coolingがある。FC過程において、降温時も測定を行えば、磁場中での純粋な応答の温度変化を見ることがになる。これらの測定は、純度の高い物質を扱う分野や物性科学分野ではよく行われるが、様々な鉱物、とくに常磁性、反磁性、反強磁性物質も混在している岩石磁気分野では、誘導磁化成分の評価が難しいこと、および、強磁性物質は誘導磁化も大きく、機器の測定レンジに収まらないことが多くあることなどから敬遠されがちである。しかし、無磁場中の冷却と加熱では観察できない相変化もある。たとえば、 $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (ルオグフェンジャイト)の150K付近に見られる相転移は磁場中冷却でないと観測が難しい(Sakurai et al., 2005)。

## 4. 温度に依らない磁化の測定

前節で紹介したように、MPMSを使用して各種磁化の温度依存性を測定することは、強磁性鉱物の性質をしらべ、岩石中に含まれるものを決定するために非常に有効である。これとは別に、安定な強磁場と感度の高いSQUIDセンサーによる磁化測定をできるというMPMSのもう一つの特徴を活かした磁化測定もある。

### 4.1. 磁気履歴の測定

強磁性体の磁場(H)に対する応答(M)は、単純に印加した磁場の大きさに依存するのではなく、それまでに通ったH-M経路の履歴にも依存する。磁場を掛けながら応答(磁化)を測定できる機器の多くは、この磁気履歴を測定することを大きな対象としているが、MPMSの場合、動的に電流を流し磁場を作る機器と比べると、超伝導マグネットに安定な電流を流し、強い磁場を作ることができるという利点がある。一方で、単純に電流を変化させる機器と比べれば磁場の切り替えに時間がかかり、弱い磁場の精度は落

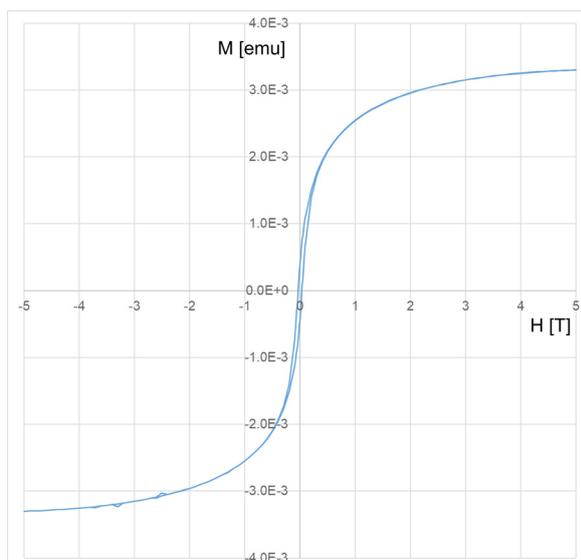


図5 磁気履歴曲線の例。1Tでは飽和しておらずまだ曲線の途中であるが、5T付近になってやっと飽和に近くなる。

ちるという欠点がある。振動磁力計などの数百 mT ~ 1T 前後の最大磁場を持つ機器では測定が難しい、保磁力が極めて高い磁性の鉱物を含む試料に対して MPMS による磁気履歴測定は有効である (図5)。磁気履歴曲線のうち、最も外側の曲線 (Major Loop) から、磁性鉱物が何種類あるか、その保磁力 ( $H_c$ ) はどれくらいかを見積もることができる。また、単成分にしか見えない磁気履歴曲線からも、飽和磁化 ( $M_s$ )、飽和残留磁化 ( $M_r$ )、保磁力、および残留保磁力 ( $H_{cr}$ ) を測定することができ、とくに磁鉄鉱の場合は磁性鉱物の主要なサイズや、混合がわかる (Day, 1977; Dunlop 2002)。

#### 4.2. 等温残留磁化着磁

岩石中に含まれる鉱物は様々な磁性を示すため、上記のような磁場下での測定では、強磁性以外の物質のことも考慮に入れる必要がある。逆に、磁場を印加したあと無磁場中で測定することで、強磁性鉱物のみを相手にすることができる。このような測定のひとつに、等温残留磁化 (IRM) の段階着磁測定 (Dunlop and Özdemir, 1997) がある。磁場を掛けてからゼロにし、残留磁化を測定することを、磁場の強さを段階的に大きくしながら行うことで、鉱物の残留保磁力をスペクトルに分解することが可能である (Heslop et al., 2002)。残留保磁力スペクトルは鉱物によって大きく異なるため、含まれている複数の強磁性鉱物を比較的簡単により分けることが可能である (図6)。

また、残留保磁力スペクトルは鉱物種の他に粒径分布にも依存する。それは、SD 粒子と MD 粒子では

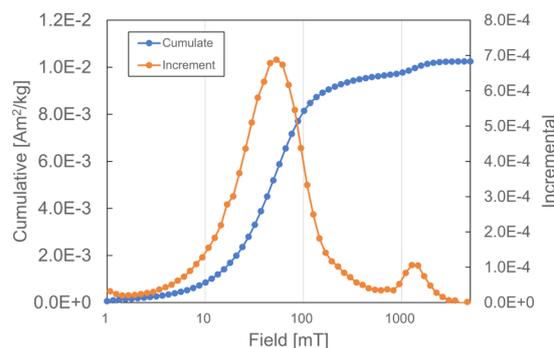


図6 等温残留磁化 (IRM) の段階獲得曲線。2本の線は累積線と増分のスペクトルを表す。残留保磁力のピークが50mT付近のもの1.3T付近のもの2種類の鉱物にはっきりと分離される。

根本的に磁場に対する応答や残留保磁力の概念が異なり、一般にはSD粒子の方が高い保磁力・残留保磁力を示し見分けることが可能である。磁鉄鉱の場合は10~100mTほどの間に残留保磁力が分布するが、SD粒子で粒径が大きなものほど高くなる傾向がある。

さらに、残留保磁力スペクトルは温度に依存することもある。ピロタイトは十分に濃集していない場合、3.1で挙げた35Kの相転移がZFC/FCでわかりづらいことがある。しかし、この鉱物の残留保磁力のピークは低温になると高磁場側へシフトすることが知られており (Sato et al., 2022)、それを利用して極細粒なピロタイトの存在を示すことができるようになってきた (Uchida et al., 2024)。

#### 5. まとめ

MPMSは磁性を測定する様々な装置の中で最も汎用性が高い機器である。測定分野や対象となる物質は多岐に渡るが、その中で地質試料は複雑で不安定であるという意味で他の分野で扱われるものと比べて特殊である。また、多種の鉱物や成分が含まれるため、主に単位体積当たりの応答が高い強磁性の鉱物のみが磁気測定の対象となる。そのため、岩石磁気学分野では無磁場中で残留磁化を測定するという手法が発達した。磁場と温度を自由に設定して測定するシーケンスを書けるという点で、本装置を使用した新たな磁性の測定法が今後出てくるであろうし、本装置は今後、より一層岩石磁気学・環境磁気学・考古岩石磁気学の主要な測定装置になるであろう。

#### 謝辞

本稿で図示したMPMSでの測定は岡山理科大学総合機器センター備付のMPMS-XL5で行った。また、本研究の一部は科研費(20H00028, 21K00994)の補助を受けて行った。

参考文献(ウェブページは2023年12月現在閲覧可能)

- 1) 鳥居雅之, 2008, MPMSによる低温磁気測定, J-DESC コアスクールテキスト, <https://peach.ifst.ous.ac.jp/cswiki/index.php?MPMS%E3%81%AB%E3%82%88%E3%82%8B%E4%BD%E6%B8%A9%E7%A3%81%E6%B0%97%E6%B8%AC%E5%AE%9A>
- 2) Dunlop, D.J., Ozdemir, O., 1997, Rock Magnetism, Cambridge University Press, 573pp.
- 3) Sakurai, S., Jin, J., Hashimoto, K., Ohkoshi, S., 2005, J. Phys. Soc. Jpn., 74 1946-1949, <https://doi.org/10.1143/JPSJ.74.1946>
- 4) Moskowitz, B.M., Jackson, M., Kissel, C., 1998, Earth Planet. Sci. Lett., 157, 141-149, [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(98\)00033-8](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(98)00033-8)
- 5) Day, R., Fuller, M., Schmidt, V.A., Phys. Earth Planet. Inter., 1977, 13, 260-267, [http://dx.doi.org/10.1016/0031-9201\(77\)90108-X](http://dx.doi.org/10.1016/0031-9201(77)90108-X)
- 6) Dunlop, D.J., 2002, J. Geophys. Res., 107, EPM 4-1-22, <https://doi.org/10.1029/2001JB000486>
- 7) Heslop, D., Dekkers, M.J., Kruiver, P.P., van Oorschot, I.H.M., 2002, Geophys. J. Int., 148, 58-64, <https://doi.org/10.1046/j.0956-540x.2001.01558.x>
- 8) Ishikawa, Y., Saito, N., Arai, M., Watanabe, Y., Takei, H., 1985, J. Phys. Soc. Jpn., 54, 312-325, <https://doi.org/10.1143/JPSJ.54.312>
- 9) Uchida, T., Hashimoto, Y., Yamamoto, Y., Hatakeyama, T., 2024, Tectonophysics, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.230177> (in press)
- 10) Kato, C., Ohno, M., Hatakeyama, T., Yamada, Y., Honda, F., Shimada, K., Nagase, T., Totsuka-Shiiki, S., Kuwahara, Y., Ishibashi, J., 2024, Phys. Chem. Min., (in press)
- 10) Sato, M., Kimura, Y., Tanaka, S., Hatakeyama, T., Sugita, S., Nakamura, T., Tachibana, S., Yurimoto, H., Noguchi, T., Okazaki, R., Yabuta, H., Naraoka, H., Sakamoto, K., Yada, T., Nishimura, M., Nakato, A., Miyazaki, A., Yogata, K., Abe, M., Okada, T., Usui, T., Yoshikawa, M., Saiki, T., Terui, F., Nakazawa, S., Watanabe, S., Tsuda, Y., 2022, J. Geophys. Res.: Planets, 127, e2022JE007405, <https://doi.org/10.1029/2022JE007405>

## Rock magnetic measurements by MPMS

<sup>\*1</sup>Tadahiro HATAKEYAMA, <sup>2</sup>Chie KATO

<sup>1</sup>*Institute of Frontier Science and Technology, Okayama University of Science, Ridai-cho 1-1, Kitaku, Okayama city 700-0005, Japan*

<sup>2</sup>*Faculty of Social and Cultural Studies, Kyushu University, Motoooka 744, Nishiku, Fukuoka city 819-0395, Japan*

Quantum Design Inc's MPMS (Magnetic Property Measurement System) can precisely measure the response of materials to magnetic fields in the temperature range from cryogenic to room temperature. This instrument has been used extensively in many areas of materials science where magnetism is measured. In this article, we introduce the use of this instrument in rock magnetism and discuss the benefits of precise measurements of magnetism for the future.

**Keywords:** MPMS (Magnetic Property Measurement System), Rock Magnetism, Low Temperature Magnetization, Strong Magnetic Field

## 岡山理科大学フロンティア理工学研究所について

本研究所は、岡山理科大学の附属施設であった自然科学研究所と技術科学研究所を統合し平成 31 年 4 月に設立されました。本研究所では、フロンティア精神に基づき科学の未開拓領域から発見した研究成果を社会へ還元し、さらに具体的な「モノづくり」へと繋げ社会に貢献することを目的として、学内のプロジェクトを始めとして、他大学、産業界、公的研究機関との間でも共同研究と教育活動を積極的に行っています。

旧自然科学研究所の母体は岡山県真庭郡川上村上福田の蒜山地区に蒜山研究所として 1969 年に創設されました。主に、生物、地学、人類考古学等、フィールドサイエンスを中心とした研究を実施することを目的として活動してきました。1994 年に理科大学内付属機関再編成の結果、自然科学研究所に改組、改名されました。それに伴って旧機器分析センターの教員が新たに参画し、研究拠点が岡山市理大町のキャンパスに移り、それまでの蒜山地区の施設は蒜山分室となりました。1996 年 4 月に岡山キャンパス内に加計学園自然植物園が創設され、その研究員は新たに自然科学研究所に加わりましたが、2001 年 4 月加計学園自然植物園は岡山理科大学自然植物園となり自然植物園専任となりました。それを機会に自然科学研究所、技術科学研究所、自然植物園の付属施設間で専任教員が再構成され、自然科学研究所は地球科学、物理学、化学の三つの部門で構成されました。各研究部門ではそれぞれの複合領域の研究課題でプロジェクトを推進し、学内外の研究者との共同研究を通じて専門分野の研究の発展を図ると同時に、それぞれの専門に応じて、一般に公開されるシンポジウムあるいは観察会を開催して広く社会に対する自然科学の啓蒙活動も行ってきました。また毎年夏に開催する親子自然観察教室では一般から参加者を募り小学生から父兄までを対象に自然の不思議や仕組みを学ぶ体験型のイベントを企画してきました。

旧技術科学研究所は、研究と教育に関して学術的分野で主に応用的研究を行い、科学技術の発展と地域社会に貢献することを目的として、中央研究センター（1986 年発足）と環境資源研究センター（1988 年発足）を統合して 1994 年 4 月に設立されました。研究所では、社会に開かれた研究所をめざし、学内のプロジェクト研究を始めとして、他大学、産業界、公的研究機関との間で共同研究を行ってきました。研究所は生物工学部門、生体工学部門、環境工学部門、メカトロニクス部門、環境エネルギー部門及び先端材料工学部門に分れて研究・教育を行ってきました。

以上のような研究・教育施設、体制および活動はフロンティア理工学研究所に引き継がれ、さらに積極的な施設利用と活動が展開されております。

## 令和5年度フロンティア理工学研究所構成員

専任研究員7名(所長を含む)、および13名の学部・機構教員が兼務研究員として所属しています。

所長	赤司 治夫	フロンティア理工学研究所	教授
専任研究員	中谷 達行	フロンティア理工学研究所	教授
専任研究員	島山 唯達	フロンティア理工学研究所	教授
専任研究員	今山 武志	フロンティア理工学研究所	准教授
専任研究員	牧 祥	フロンティア理工学研究所	准教授
専任研究員	岩井 良輔	フロンティア理工学研究所	講師
専任研究員	村本 哲也	フロンティア理工学研究所	講師
兼務研究員	石垣 忍	研究・社会連携機構	
		古生物学・年代学研究センター	特担教授
兼務研究員	江藤 真澄	獣医学部 獣医学科	教授
兼務研究員	折田 明浩	工学部 応用化学科	教授
兼務研究員	河野 敏行	情報理工学部 情報理工学科	教授
兼務研究員	猶原 順	生命科学部 生物科学科	教授
兼務研究員	東村 秀之	理学部 基礎理学科	教授
兼務研究員	矢城 陽一朗	教育推進機構 基盤教育センター	教授
兼務研究員	伊豆 弥生	獣医学部 獣医学科	准教授
兼務研究員	岩永 哲夫	理学部 化学科	准教授
兼務研究員	上嶋 明	工学部 情報工学科	准教授
兼務研究員	神吉 けい太	生命科学部 生物科学科	准教授
兼務研究員	廣田 雅春	情報理工学部 情報理工学科	准教授
兼務研究員	奥田 靖浩	工学部 応用化学科	講師

## 岡山理科大学フロンティア理工学研究所規程

平成31年4月1日

(趣 旨)

第1条 岡山理科大学フロンティア理工学研究所規程(以下、「本規程」という。)は、岡山理科大学研究・社会連携機構規程第5条に基づき、フロンティア理工学研究所(以下、「本研究所」という。)に関して必要な事項を定めるものとする。

(目 的)

第2条 本研究所は、本研究所の理念に沿い、理学・工学融合分野における学理とその応用に関する学術研究・教育の発展に寄与することを目的とする。

(構成員)

第3条 本研究所に、所長、専任教員を置く。

(所 長)

第4条 所長は、理事長が任命する。

2 所長の任期は、2年とする。ただし、再任は妨げない。

3 必要に応じ所長を補佐する目的で副所長の職位を置くことができる。

(研究員)

第5条 本研究所は、次の各号に定める研究員を受け入れることができる。

(1) 岡山理科大学教員の兼務研究員

(2) 岡山理科大学研究員規程に定める研究員

(3) 岡山理科大学客員研究員規程に定める客員研究員

2 兼務研究員の任期は1年とし、再任を妨げない。また、兼務研究員に関して必要な事項は別に定める。

3 兼務研究員は、年度当初の第1学部運営委員会にて承認を得なければならない。

(重要事項の審議)

第6条 本研究所の管理・運営に関する重要事項は、研究・社会連携機構運営委員会及び大学協議会の審議を経て、学長が決定する。

(所員会議)

第7条 本研究所の管理運営、研究の施策及び施行に関する事項を協議するために、所員会議を置く。

2 所員会議の運営については、別に定める。

(共同利用・研究)

第8条 本研究所の利用・共同研究については、別に定める。

(研究成果の公表)

第9条 本研究所は、研究成果を「岡山理科大学フロンティア理工学研究所年報」として毎年度発行する。

(事務局)

第10条 本研究所の事務は、研究・社会連携室及び学部運営事務室が担当する。

(改 廃)

第11条 本規程の改廃は、研究・社会連携機構運営委員会及び大学協議会の審議を経て学長が決定する。

附 則

1 この規程は、平成31年4月1日から施行する。

2 岡山理科大学自然科学研究所と岡山理科大学技術科学研究所を発展的に統合して本研究所を設置することに伴い、岡山理科大学自然科学研究所規程及び岡山理科大学技術科学研究所規程は、平成31年3月31日をもって廃止する。

## 第5回 OUS フロンティアセミナー

『生体異物に抗い利用する知識と技術  
—公衆衛生から医薬品・医療機器開発まで—』

## 【講演会】

- ・日時：令和6年2月22日(木) 13:00 - 17:00
- ・場所：岡山理科大学今治キャンパス 大講義棟 / オンラインハイブリッド開催
- ・テーマ：生体異物に抗い利用する知識と技術—公衆衛生から医薬品・医療機器開発まで—

本大学で培われる科学技術と最新の知見を広く社会に還元し貢献することを目的とし、地域社会と研究交流および科学技術の普及・啓発活動の一環として、大学研究者、企業関係者、一般市民、学生、官公庁の皆様を対象にした「第5回 OUS フロンティアセミナー」(一般講演会)を開催いたします。今年度は、「生体異物に抗い利用する知識と技術—公衆衛生から医薬品・医療機器開発まで—」をテーマとしまして、生体にとって脅威となる菌やウイルス、または異物である医用材料に如何にして抗い、また共存するか、公衆衛生や医療機器開発の観点から可能な限りわかりやすくご講演頂きます。教職員、学生、企業、官公庁および一般の方で、ご関心のお有りの方は是非ともご参加ください。

## 講演プログラム

- 13:00 - 13:05 開会挨拶  
岡山理科大学副学長 南 善子
- 13:10 - 13:50 様々な微生物、その生き様と利用について  
岡山理科大学 工学部応用化学科 古賀雄一氏
- 13:50 - 14:30 ワンヘルスに基づいた環境や野生動物における薬剤耐性菌の調査  
岡山理科大学 獣医学部獣医学科 畑 明寿氏
- 14:30 - 15:10 薬剤耐性菌交叉耐性率の月次変動から読み取れること  
岡山理科大学 フロンティア理工学研究所 牧 祥氏
- 15:10 - 15:30 休憩
- 15:30 - 16:10 循環器疾患治療で用いる医用材料に対する生体反応の理解  
愛媛大学大学院医学系研究科 心臓血管・呼吸器外科学 坂上倫久氏
- 16:10 - 16:50 医療機器表面の抗菌加工：ニーズと我々の取り組み  
岡山大学病院 医療安全管理部 / 心臓血管外科 大澤 晋氏
- 16:50 - 17:00 閉会挨拶  
岡山理科大学 フロンティア理工学研究所 所長 赤司治夫

オーガナイザー：岩井良輔、中谷達行（フロンティア理工学研究所）



## OUS フロンティアセミナー開催記録

\* No.1 - No. 5 は OUS シンポジウム (旧称)

\* No.6 - No.24 は OUS 技術セミナー (旧称)

No.	年度	テーマ	講師
1	1996 (H8) 年 4 月	21世紀への科学を考える	招待講演 NHK 小出五郎
2	1996 (H8) 年 11 月	21世紀への環境を考える —人間、環境、地球—	岡山理科大学
3	1997 (H9) 年 11 月	見ることの素晴らしさ	岡山理科大学
4	1998 (H10) 年 11 月	21世紀への環境を考える —無公害社会の実現を目指して—	岡山理科大学
5	1999 (H11) 年 11 月	よみがえれ ものづくり日本	岡山理科大学
6	2000 (H12) 年 11 月	21世紀の少子高齢社会を支える福祉工学 —住みよい社会作りを目指して—	岡山理科大学他
7	2001 (H13) 年 11 月	IT革命によって社会が変わる	岡山理科大学他
8	2002 (H14) 年 10 月	循環型社会を考える —新しいライフスタイルをめざして—	岡山理科大学他
9	2003 (H15) 年 10 月	21世紀の水環境を考える	岡山理科大学他
10	2004 (H16) 年 12 月	21世紀の環境とバイオの最前線	岡山理科大学他
11	2005 (H17) 年 12 月	21世紀を拓く科学技術と産業創出をめざして —ベンチャー、夢、人づくり—	岡山理科大学他
12	2006 (H18) 年 12 月	躍進する生体医工学の最前線	岡山理科大学他
13	2007 (H19) 年 11 月	地球温暖化とその対策	岡山理科大学他
14	2008 (H20) 年 11 月	大学で、夢づくり、ものづくり	岡山理科大学他
15	2010 (H22) 年 1 月	忍び寄る恐怖 —細菌、ウイルス、化学物質の過去・現在・未来—	岡山理科大学
16	2010 (H23) 年 3 月	いま、動物の世界がおもしろい —動物が教えてくれる性と生のテクノロジー—	岡山理科大学他
17	2011 (H23) 年 11 月	東日本大震災 —いま必要な地震防災対策—	岡山理科大学

18	2013 (H25) 年2月	生活水準 (QOL) 向上のための健康と科学	岡山理科大学他
19	2014 (H26) 年2月	生活の質 (QOL) 向上のため科学と技術	岡山理科大学他
20	2015 (H27) 年2月	先端材料工学が拓く次世代の医療と環境	岡山理科大学他
21	2016 (H28) 年2月	I C T活用による安心・安全サポート	岡山理科大学
22	2017 (H29) 年2月	「実用化を見据えた最先端医療のための技術」 ～先端医療機器・再生医療製品、その開発から 臨床研究まで～	岡山理科大学他
23	2018 (H30) 年2月	「実用化を見据えたライフサイエンスの最前線」 ～先端医療機器・再生医療製品・化粧品、 その臨床応用に向けた研究開発～	岡山理科大学他
24	2019 (H31) 年2月	「岡山の自然災害を考える」	岡山理科大学他
25	2020 (R 3) 年3月	「サステナブル社会のためのフロンティア科学・技術」 —岡山から環境、防災、医療を考え発信する—	岡山理科大学他
26	2021 (R 3) 年3月	「コロナに立ち向かう知識と技術：岡山から考え発信する」	岡山理科大学他
27	2022 (R 4) 年2月	「デジタルでお宝発掘!？」 —データマイニングが導く持続可能社会—	岡山理科大学他
28	2023 (R 5) 年2月	「“岡山発” 実用化を見据えた医用材料開発の最前線」	岡山理科大学他
29	2023 (R 6) 年2月	「生体異物に抗い利用する知識と技術」 ～公衆衛生から医薬品・医療機器開発まで～	岡山理科大学他



## The 3rd International OUS Frontier Symposium • The 2023 Annual SPACC Meeting

開催報告

岡山理科大学 フロンティア理工学研究所  
The 2023 Annual SPACC Meeting 組織委員長  
赤司治夫 (e-mail: akashi@ous.ac.jp)



The 2023 Annual SPACC Meeting (先端錯体工学研究会 2023 年年会) と、The 3rd International OUS Frontier Symposium (第3 岡山理科大学国際フロンティアシンポジウム) が、2023 年 9 月 1 日、岡山理科大学加計学園 50 周年記念館を会場として、共同開催されました。このシンポジウムの主題は「- Science of new functional materials and devices that contribute to achieving SDGs-」でした。持続可能な社会の実現と発展に重要な貢献をする可能性をもつ、新しい機



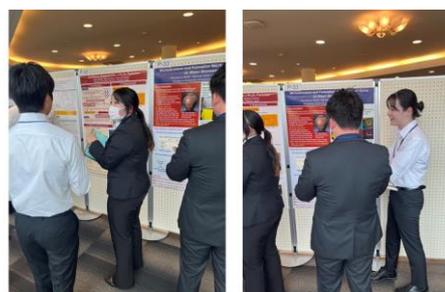
G. RAO 教授による基調講演

能性化合物やデバイスの開発から、健康で幸せな生活を送るため、微生物の不均衡が引き起こす高血圧症などの治療対象としての微生物叢に関する最新の研究成果の報告まで、非常に広範囲に及ぶ研究について講演を行っていただきました。多くの参加者の方々に積極的に参加していただき、学会を盛り上げていただきましたこと、心より感謝いたします。

今回の学会では、基調講演者として、工学院大学名誉教授、佐藤光史先生、アメリカ合衆国、メリーランド大学ボルティモアカウンティ校(UMBC)の Govind Rao 教授、岡山理科大学獣医学部の向田昌司講師のご参加をいただき、盛大な学会となりました。

学会は、佐藤光史先生の基調講演 (Title: An Approach to SDGs from Applied Coordination Chemistry -Formation of thin film materials utilizing conventional-type metal complexes-)から始まり、Govind Rao 先生の基調講演 (Title: Disruptive Innovations to Realize Sustainable Development Goals — A more Just, Equitable, Diverse and Inclusive World —)、さらに、向田昌

司先生の基調講演 (Title: Metabolic Syndrome and Gut Microbiota — A New Approach to Achieving “GOOD HEALTH AND WELLBEING” —) へと続きました。SPACC は、「錯体化学という共通の概念をもちつつも、異分野の研究者と積極的に交流することで刺激を受け、多様な分野の成果や考え方を自分の研究に生かしていくことで、新たな研究領域を開拓していくことを目指す研究会」です。今回の基調講演を拝聴しながら、まさに SPACC が目指している「異分野の専門家が集まる類稀な学会」としての存在価値を存分に発揮した集会になったと感じました。休憩をはさんで開催されたポスターセッションでは、33 件のポスター発表が行われました。今回は、様々な分野からの投稿がとてもたくさんあったことが特徴でしたが、予定した時間いっぱいまで、活発な議論が行われました。今回、以下の 3 件の発表にポスター賞が贈られました。受賞された皆様、本当におめでとうございます。



ポスター会場風景

石川玲菜 岡山理科大学大学院理学研究科化学専攻 修士課程 2 年

「Reactions of the Cobalt(II) complex of fluorochlorin with styrene and its derivatives」

大澤泰樹 東京工業大学 電気電子系 博士後期課程 1 年

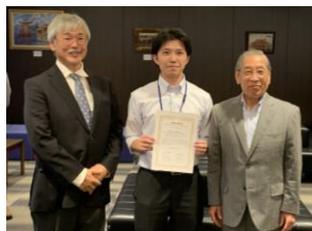
「Inactivation of Microorganisms Causing Eye Infections by Atmospheric Plasma Bubbled-up Water」

五十嵐リオ航太 工学院大学大学院 工学研究科 電気・電子工学専攻

「Electrothermal property of SWCNT/SiO<sub>2</sub> transparent conductive thin films formed by molecular precursor method」



石川玲菜さん



大澤泰樹さん



五十嵐リオ航太さん

その後、学会は学生招待講演のセッションへと進んで、博士課程に在籍している学生 3 名による講演が行われました。

IL1 Minami Ebe (Hokkaido University)

Title: Macro-Rotaxane Formation from Multicyclic Poly(dimethylsiloxane) in a Silicone Network

IL2 Hikaru Watanabe (Okayama University of Science)

Title: Synthesis of [n]Helicenes through Purple Light-Promoted Oxidative Photocyclization of Bis(sulfonylethenyl)arenes

IL3 N Yabune (Osaka City University)

Title: Enhancement of Reactivity of a Trinuclear Core Bearing Triply-Bridging Sulfides Using Structurally Flexible Bis-NHC Ligands

若い学生たちによって行われた講演は、どの講演もよく準備されていて、大変興味深く、講演の後には、暖かい空気のなかにも緊張感を感じる活発な議論が行われました。彼らに続く修士課程の学生たちにとっても、大変いい刺激になったようで、サイエンスを通じた若者の交流は懇親会の最後まで続きました。このように、SPACC が若手研究者を応援する場を長年にわたって提供し続けてきていることは大変素晴らしいことだと感じます。現在、SPACC では、研究や学会活動を通しての交流を深めることを目的として、海外の若手研究者や学生を学会に招聘する計画が進行していることも合わせて、今後の展開がとても楽しみに感じた1日でした。

最後に、12月20日～21日の日程で、オンライン開催が決まっている、The 28th International SPACC Symposium (SPACC28) (天尾 豊 (大阪市立大学) Kevin C.-W. Wu (National Taiwan University) ) の案内と参加の呼びかけがあり、学会を終了しました。

(SPACC ニュースレター 10月号より転載)

## 学術論文・著者, 学会発表, 特許, 受賞および社会貢献活動

## 学術論文及び著書

フロンティア理工学研究所研究員

- Handa, M., Urata, T., Nakashima, K., Sugimori, T., **Akashi, H.**, Mikuriya, M., (2023) “Syntheses and properties of amphiphilic zinc(II), nickel(II), and palladium(II) phthalocyanines with eight tri(oxyethylene) chains introduced at non-peripheral  $\alpha$  positions” *Journal of Porphyrins and Phthalocyanines*, 27(1/4), 314-320.
- Watanabe, H., Sato, T., Sumita, M., Shiroyama, M., Sugawara, D., Tokuyama, T., Okuda, Y., Wakamatsu, K., **Akashi, H.**, Orita, A., (2023) “Synthesis, optical properties and crystal structure of (E,E)-1,3-(3,4:9,10-dibenzododeca-1,11-diene-5,7-diyne-1,12-diyl)benzene” *Acta Crystallographica, Section E: Crystallographic Communications*, 79(8), 757-761.
- Yasuhiro Fujii, Takashi Goyama, **Tatsuyuki Nakatani**, Daiki Ousaka, Yuichi Imai, Noriaki Kuwada, Tatsunori Tsuji, Genya Muraoka, Haruhito Uchida, Masahiro Nishibori, Susumu Oozawa, Shingo Kasahara, Comprehensive results of protein adsorption, platelets adhesion, and blood clot formation on the DLC-coated surface of ePTFE vascular graft, *ASAIO Journal*, Vol.68, Issue Supplement 2, p 16, doi: 10.1097/01.mat.0000840788.32577.db, (2022).
- Shinjiro Ono, Sung Hwa Hwang, Takamasa Okumura, Kunihiro Kamataki, Naoto Yamashita, Naho Itagaki, Kazunori Koga1, Masaharu Shiratani, Jun-Seok Oh, Susumu Takabayashi, **Tatsuyuki Nakatani**, Raman spectral analysis of the as-deposited a-C:H films prepared by CH<sub>4</sub> + Ar plasma CVD, *MRS Advances*, <https://doi.org/10.1557/s43580-022-00310-6>, (2022).
- Yuichi Imai, Hiroyuki Fukue, **Tatsuyuki Nakatani**, Shinsuke Kunitsugu, Kazuhiro Kanda, Tsuneo Suzuki, Shogo Watari, Yasuhiro Fujii, Daiki Ousaka, Susumu Oozawa, Tomio Uchi, Biomimetic Diamond-like Carbon Coating on a Lumen of Small-diameter Long-sized Tube Modified Surface Uniformly with Carboxyl Group using Oxygen Plasma, *Journal of Photopolymer Science and Technology*, V 35 (4), pp. 289-297, (2022).
- Yasushi Sasai, Daiki Ousaka, Yasuhiro Fujii, Aoi Isono, Yukinori Yamauchi, Shin-ichi Kondo and **Tatsuyuki Nakatani**, Surface Functionalization of Diamond-like Carbon Film with Biocompatible Polymer Brushes, *Journal of Photopolymer Science and Technology*, 35 (4), pp. 303-308, (2022).
- H. Fukue, **T. Nakatani**, T. Okano, M. Kuroiwa, S. Kunitsugu, H. Oota, K. Yonezawa, Effect of tail time of discharge current on film properties in diamond-like carbon deposition by high-frequency inclusion high-power impulse magnetron sputtering, *Diamond and Related Materials*, 135, 109868, (2023).
- Y. Imai, H. Fukue, **T. Nakatani**, S. Kunitsugu, N. Kuwada, Y. Fujii, D. Ousaka, S. Oozawa, T. Uchi, Ultra-hydrophilic Diamond-like Carbon Coating on an Inner Surface of a Small-diameter Long Tube with an Amino Group by AC High-voltage Plasma Discharge, *Journal of Photopolymer Science and Technology*, 36 (5), pp. 379-384, (2023).
- N. Kuwada, Y. Fujii, **T. Nakatani**, D. Ousaka, T. Tsuji, Y. Imai, Y. Kobayashi, S. Oozawa, S. Kasahara, K. Tanemoto, Diamond-like carbon coating to inner surface of polyurethane tube reduces *Staphylococcus aureus* bacterial adhesion and biofilm formation, *Journal of Artificial Organs*, DOI: 10.1007/s10047-023-01403-1(9), (2023).
- T. Goyama, Y. Fujii, G. Muraoka, **T. Nakatani**, D. Ousaka, Y. Imai, N. Kuwada, T. Tsuji, T. Shuku, H. A. Uchida, M. Nishibori, S. Oozawa & S. Kasahara, Comprehensive hemocompatibility analysis on the application of diamond-like carbon to ePTFE artificial vascular prosthesis, *Scientific Reports*, 13 (1), DOI: 10.1038/s41598-023-35594-7, (2023).
- 福江紘幸, 岡野忠之, 黒岩雅英, 國次真輔, 太田裕己, 米澤健, 中谷達行, 高周波 - 大電力パルススパッタリング法を用いた DLC 成膜における波尾長と膜特性の関係, フロンティア理工学研究所研究報告第 4 号, pp.11-16, (2022 年)

- 佐藤岳彦, 岡崎和貴, 中島智樹, 藤村茂, 中谷達行, プラズマ産業革新技術第4章農業・医療・バイオ分野への応用5「大気圧低温プラズマ流によるコンタクトレンズ滅菌装置の開発」, シーエムシー出版, pp.284-293, (2023年)
- 中谷達行, 藤井泰宏, 栗田憲明, 和田里章悟, バイオフィルム革新的制御技術(監修者:野村暢彦, 尾花望, 豊福雅典, 久能樹)第2編バイオフィルム最新研究第6章表面処理によるバイオフィルム形成阻害第2節「医療用ダイヤモンド状炭素(DLC)成膜によるバイオフィルム形成抑制」, pp.305-317, (2023年)
- 中谷達行, 今井裕一, 國次真輔, 藤井泰宏, むれ性の制御と表面処理・改質技術, 第2章各種表面処理・改質技術の原理とその効果第17節「DLC薄膜の形成と表面処理・改質への応用」, 技術情報協会, pp.346-353, (2023年)
- 中谷達行, 研究室紹介 岡山理科大学フロンティア理工学研究所プラズマ薄膜材料研究室, 真空ジャーナル, 180号, pp.20-21 (2022)
- 藤井泰宏, 逢坂大樹, 中谷達行, Diamond-Like Carbonの最近の進歩と人工血管への応用, *Medical Science Digest*, Vol.49 (12), pp.36-39 (2023)
- Sato, M., Kimura, Y., Tanaka, S., **Hatakeyama, T.**, Sugita, S., Nakamura, T., Tachibana, S., Yurimoto, H., Noguchi, T., Okazaki, R., Yabuta, H., Naraoka, H., Sakamoto, K., Yada, T., Nishimura, M., Nakato, A., Miyazaki, A., Yogata, K., Abe, M., Okada, T., Usui, T., Yoshikawa, M., Saiki, T., Terui, F., Nakazawa, S., Watanabe, S., Tsuda, Y., Rock Magnetic Characterization of Returned Samples From Asteroid (162173) Ryugu: Implications for Paleomagnetic Interpretation and Paleointensity Estimation, *J. Geophys. Res.: Planets*, 127, e2022JE007405, <https://doi.org/10.1029/2022JE007405> (2022)
- Uchida, T., Hashimoto, Y., Yamamoto, Y., **Hatakeyama, T.**, Exothermic events in a fossil seismogenic fault acquiring thermoviscous remanent magnetization in an exhumed accretionary complex, *Tectonophysics*, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.230177> (in press)
- Kato, C., Ohno, M., **Hatakeyama, T.**, Yamada, Y., Honda, F., Shimada, K., Nagase, T., Totsuka-Shiiki, S., Kuwahara, Y., Ishibashi, J., Low-temperature magnetic behavior of isocubanite from seafloor hydrothermal deposits in the Okinawa Trough, *Phys. Chem. Min.*, (in press)
- Tema, E., **Hatakeyama, T.**, Ferrara, E., Davit, P., Polymeris, G.S., Mitsumoto, J., Matsumoto, N., Insights on the firing temperature of ancient ceramic coffins through a multi-analytical approach: The case of the Sada Nishizuka Kofun, *J. Cultural Heritage*, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.11.022> (in press)
- Tema, E., Santos, Y., Trindade, R., Hartmann, G.A., **Hatakeyama, T.**, Terra-Nova, F., Matsumoto, N., Mitsumoto, J., Gulmini, M., Archaeointensity record of weak field recurrence in Japan: New data from Late Yayoi and Kofun ceramic artifacts, *Geophys. J. Int.*, 233, 950-963, <https://doi.org/10.1093/gji/ggac498> (2023)
- 畠山唯達, 北原優, パリノ・サーヴェイ株式会社, 福岡県八女市田本1号窯跡における古地磁気・岩石磁気測定と古地磁気年代推定, 八女市田本1号窯跡発掘調査報告書, 八女市教育委員会 (in press)
- 川村紀子, 畠山唯達, 北原優, 磁気特性を用いた砂質海岸での鉄製品の埋設物の検出 — 岡山県瀬戸内市矢寄ヶ浜の例 —, *日本法科学技術学会誌*, <https://doi.org/10.3408/jafst.846> (in press)
- 畠山唯達, 近江坂本城跡出土瓦の残留磁化測定による被熱履歴分析, 坂本城跡出土瓦の再整理, 大津市埋蔵文化財調査報告書, 160, 27-34 (2023)
- 畠山唯達, 北原優, 中西遺跡縄文晩期焼土の古地磁気方位(予察的結果), 御所市中西遺跡第33-2次調査, 奈良県遺跡調査概報2021年度(第2分冊), 185-186, (2022).
- 畠山唯達, 北原優, たつの市竹原1号窯跡・9号窯跡 — 県単独緊急防災事業に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書 —, 兵庫県教育委員会, 520, 85-90 (2022).
- 畠山唯達, 古地磁気学・岩石磁気学と考古学, 講座:考古学と関連科学, 亀田修一, 白石純編, pp.115-131, (2022)

- 畠山唯達, 富岡直人, 那須浩郎, 年代学と考古学, 講座: 考古学と関連科学, 亀田修一, 白石純編, pp.99-114, (2022)
- 畠山唯達, 北原優, 史跡周防鑄銭司跡第7次発掘区画における表面初磁化率(帯磁率)と磁場の探査, 史跡 周防鑄銭司跡の研究 - 第7次発掘調査概要報告書 -, 51-52 (2023)
- Endo, T., and **Imayama, T.** (2022). Regional greenschist facies alteration recorded in the metabasites of the Oki belt, Japan. *Front. Sci. Tech., Okayama Univ. of Sci.*, v. 4, p. 25-27.
- Imayama, T.**, Hoshino, R., Yi, K., and Kawabata, R. (2022). Eocene to Miocene metamorphic evolution and tectonic implication of the Ilam Nappe in Nepal Himalaya: Constraints from P-T conditions and monazite petrochronology. *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 234, 105276.
- Kalita, P., Phukon, P., Goswami, T. K., **Imayama, T.**, and Srivastava, H. B. (2022). Chemical mass transport during deformation and metamorphism: Insights from the Main Central Thrust and its footwall of Western Arunachal Himalaya, NE India. *Lithos*, v. 416-417, 106641.
- Imayama, T.**, Dutta, D. and Yi, K. The origin of the ultrahigh-pressure Tso Moriri Complex, NW Himalaya: Implication for Early Paleozoic rifting. *Geological Magazine*, in press.
- Imayama, T.**, Bose, N., Yi, K., Jeong, Y.-J., Horie, K., Takehara, M. and Kawabata, R. (2023). Zircon U-Pb, Hf, and O isotopic constraints on the tectonic affinity of the basement of the Himalayan orogenic belt: Insights from metasedimentary rocks, orthogneisses, and leucogranites in Garhwal, NW India. *Precambrian Research* 397, 107183.
- Takeshita, T., **Imayama, T.**, Ando, M., Kimura, Y., and Python, M. (2023). Pressure-temperature paths of tectonic blocks in mélangé: Recording thermal evolution of a subduction channel at an initial stage of subduction. *Journal of Metamorphic Geology*, 41(6), 787-816.
- Watanabe, S., Hasegawa, T., Obata, N., Toyoda, S., and **Imayama, T.** (2023). Eruption history and magma plumbing system of Futamatayama Volcano, southern Fukushima, Japan. *The Journal of the Geological Society of Japan*, v. 129, 307-324.
- Bose, N., **Imayama, T.**, Kawabata, R., Gupta, S., and Yi, K. (2023). Intra-channel detachment in a collisional orogen: the Jhala Normal Fault in the Bhagirathi river section, Garhwal Higher Himalaya, India. *Journal of Earth System Science*, v. 132, no. 6.
- 「タンパク質の構造解析手法 In silico スクリーニングへの応用事例」(牧の執筆担当箇所) “3章第9節 磁気力ブースターを利用した完全無容器結晶成長”, pp. 214-222, (株) 技術情報協会, 東京 (2023). ISBN978-4-86104-971-2
- S. Maki**, M. Hagiwara, “Contactless crystallization method of protein by a magnetic force booster”, *Scientific Reports* 12, 17287, (10 pages) (October 2022). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21727-x>
- S. Maki**, S. Tanaka, K. Miyagi, T. Mori, Y. Isaka, M. Hagiwara, and Seiji Fujiwara, “Thermal conductivity and thermal diffusivity of lysozyme crystals, the c-axis of which is magnetically orientated along the direction of the probe wire”, *Experimental Heat Transfer* 36 (4), (17 pages) (April 2023). DOI: 10.1080/08916152.2023.2197903
- S. Maki**, Y. Hatsuda, T. Ishizaka, S. Omotani, N. Koizumi, Y. Yasui, T. Saito, M. Myotoku, T. Imaizumi, “Chronological monitoring of the cross-resistance rate of *Pseudomonas aeruginosa* classified by the radius-distance model”, *Behaviormetrics: Quantitative Approaches to Human Behavior, The 50th Anniversary of the Behaviormetric Society*, 4, pp. 245-264, (September 2023).
- Hiwatashi S, **Iwai R**, Nakayama Y, Moriwaki T, Okuyama H.: Successful tracheal regeneration using biofabricated autologous analogues without artificial supports., *Sci Rep.* 12(1):20279 (2022)
- Ota T, **Iwai R**, Kitaguchi Y, Takarada T, Kimata Y.: Fabrication of scaffold-free mesenchyme tissue bands by cell self-aggregation technique for potential use in tissue regeneration., *Biomed Mater.* 17(6) (2022)
- Nakayama Y, **Iwai R**, Terazawa T, Tajikawa T, Umeno T, Kawashima T, Nakashima Y, Shiraishi Y, Yamada A, Higashita R, Miyazaki M, Oie T, Kadota S, Yabuuchi N, Abe F, Funayama-Iwai M, Yambe T, Miyamoto S.: Pre-implantation evaluation of a small-diameter, long vascular graft (Biotube®) for below-knee bypass surgery in goats., *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 110(11):2387-2398 (2022)

- Mizuno T, **Iwai R**, Moriwaki T, Nakayama Y.: Application of Biosheets as Right Ventricular Outflow Tract Repair Materials in a Rat Model., *Front Vet Sci.* 8;9:837319 (2022)
- Higashita R, Nakayama Y, Shiraishi Y, **Iwai R** et. al.: Acute Phase Pilot Evaluation of Small Diameter Long iBTA Induced Vascular Graft “Biotube” in a Goat Model., *EJVES Vascular Forum.* 11;54:27-35 (2022)
- Horie M, Yamano-Adachi N, Kawabe Y, Kaneoka H, Fujita H, Nagamori E, **Iwai R**, Sato Y, Kanie K, Ohta S, Somiya M, Ino K.: Recent advances in animal cell technologies for industrial and medical applications., *J Biosci Bioeng.* 133(6):509-514 (2022)
- Ota T, Takao T, **Iwai R**, Moriwaki T, Kitaguchi Y, Fujisawa Y, Yamada D, Kimata Y, Takarada T., Fabrication of shape-designable cartilage from human induced pluripotent stem cell-derived chondroprogenitors using a cell self-aggregation technique., *Biomed Mater.* 18(6) (2023)
- 福島宗一郎, 岩井良輔, 小泉誠, 長谷川実奈美, 岡野ジェイムス洋尚, セルファイバーを用いた次世代低侵襲再生医療: 血管内幹細胞治療の開発, *人工臓器* 51(1) 23-24 2022 年
- 森和樹, 河島毅之, 梅野惟史, 和田朋之, 首藤敬史, 穴井博文, 中山泰秀, 岩井良輔, 宮本伸二, 生体内組織形成術 (IBTA) による末梢血管バイパスグラフトの開発, *日本血管外科学会雑誌* 32(Suppl.) SP1-2 2023 年

#### 兼務研究員

- Tanaka Y, Hino H, Takeya K, **Eto M**. Abemaciclib and Vacuolin-1 induce vacuole-like autolysosome formation - A new tool to study autophagosome-lysosome fusion. *Biochem Biophys Res Commun.* vol. 23, pp.614:191-197, (2022)
- Pasapera AM, Heissler SM, **Eto M**, Nishimura Y, Fischer RS, Thiam HR, Waterman CM. MARK2 regulates directed cell migration through modulation of myosin II contractility and focal adhesion organization. *Curr Biol.* vol. 32(12), pp.2704-2718, (2022)
- Tanaka Y, Kusumoto SY, Honma Y, Takeya K, **Eto M**. Overexpression of progranulin increases pathological protein accumulation by suppressing autophagic flux. *Biochem Biophys Res Commun.* 2022 Jun 30; vol. 611, pp.78-84, (2022)
- Eto M**, Katsuki S, Ohashi M, Miyagawa Y, Tanaka Y, Takeya K, Kitazawa T. Possible roles of N- and C-terminal unstructured tails of CPI-17 in regulating Ca<sup>2+</sup> sensitization force of smooth muscle. *J Smooth Muscle Res.*, vol. 58(0), pp22-33 (2022)
- Tanaka Y, Ito SI, Honma Y, Hasegawa M, Kametani F, Suzuki G, Kozuma L, Takeya K, **Eto M**. Dysregulation of the progranulin-driven autophagy-lysosomal pathway mediates secretion of the nuclear protein TDP-43. *J Biol Chem.*, vol. 299(11), pp105272. (2023)
- Youn EK, Cho HM, Jung JK, Yoon GE, **Eto M**, Kim JI. Pathologic HDAC1/c-Myc signaling axis is responsible for angiotensinogen transcription and hypertension induced by high-fat diet. *Biomed Pharmacother.*, Epub (2023)
- H. Watanabe, T. Sato, M. Sumita, M. Shiroyama, D. Sugawara, T. Tokuyama, Y. Okuda, K. Wakamatsu, **A. Orita**, Effective Synthesis of 1,4-Diarylbutadienes via Reductive Desulfonylation of 1,3-Butadienyl Sulfones by Proper Choice of Regioisomeric  $\pi$ -Expanded Pyrene Photocatalysts. *Bull. Chem. Soc. Jpn. Accepted* (2023).
- H. Watanabe, T. Sato, M. Sumita, M. Shiroyama, D. Sugawara, T. Tokuyama, Y. Okuda, K. Wakamatsu, H. Akashi, **A. Orita**, Synthesis, optical properties and crystal structure of (E,E)-1,3-(3,4:9,10-dibenzododeca-1,11-diene-5,7-diyne-1,12-diyl)benzene. *Acta Cryst.* 2023. *E79*, 757-761.
- H. Watanabe, K. Ekuni, Y. Okuda, R. Nakayama, K. Kawano, T. Iwanaga, A. Yamaguchi, T. Kiyomura, H. Miyake, M. Yamagami, T. Tajima, T. Kitai, T. Hayashi, N. Nishiyama, Y. Kusano, H. Kurata, Y. Takaguchi, **A. Orita**, Composite Formation of Anthrylene- and Ferrocenoyl-Substituted Phenyleneethynyls with Single-Wall Carbon Nanotubes (SWCNTs). *Bull. Chem. Soc. Jpn.* 2023, *96*, 57.
- L. Peng, Y. Zhao, Y. Okuda, L. Le, Z. Tang, S.-F. Yin, R. Qiu, **A. Orita**, Process-Divergent Syntheses of 4- and 5-Sulfur-Functionalized 1,2,3-Triazoles via Copper-Catalyzed Azide-Alkyne Cycloadditions of

- 1-Phosphinyl-2-sulfanylethynes. *J. Org. Chem.* 2023, 88, 3089.
- 奥田靖浩, 折田明浩, 大寺純蔵, スルホンを出発原料に用いた  $\pi$  拡張アルキンおよびアルケンの合成, 有機合成化学協会誌, 2022 年 2 月号, 126-138.
- Y. Okuda, M. Fujimoto, H. Akashi, **A. Orita**, Dephosphinylative [4 + 2] Benzannulation of Phosphinyl Ynamines: Application to the Modular Synthesis of Polycyclic Aromatic Amines. *J. Org. Chem.* 86, 17651 (2021)
- Makoto Matsubayashi, Isao Teramoto, Itsuo Urakami, **Jun Naohara**, Kazumi Sasai, Yasutoshi Kido, Akira Kaneko, Evaluation of *Cryptosporidium parvum* oocyst inactivation following exposure to ultraviolet light-emitting diodes by in vitro excystation and dye staining assays, *Parasitology International*, 102557- 102560 (2022).
- 猶原 順, 林 愿: 中国産農産物の栽培地域の土壌・環境水中元素分析, 岡山理科大学紀要 A, 自然科学 第 57 号, pp. 63-71, (2021) .
- 猶原 順, 林 愿: 土壌から農産物への元素移行係数の算出, フロンティア理工学研究所 研究報告, 第 3 号, pp. 49-53, (2021) .
- 猶原 順, 李 媛媛: 中国内モンゴル自治区の生体試料(毛髪・爪)中の元素濃度測定, 岡山理科大学紀要 A, 自然科学 第 58 号, pp. 53-60, (2022) .
- 猶原 順, 李 媛媛: 中国内モンゴル自治区の環境試料(湖沼水・土壌)中の元素濃度測定, フロンティア理工学研究所研究報告, 第 4 号, pp. 39-42, (2022) .
- Akiyuki Nakano, Yoichi Tanabe, **Hideyuki Higashimura**,\* A new poly(arylene oxide) with an extremely low dielectric constant as a fully aromatic hydrocarbon-type polymer, *Polymer*, vol. 237(10), 124345 (2021).
- Akiyuki Nakano, Yuto Kubota, Noboru Osaka, **Hideyuki Higashimura**,\* Enzyme Model-catalyzed Oxidative Copolymerization of Phenol while Continuously Adding an Endcap to Multi-branched Poly(phenylene oxide) Showing Low Dielectric Constant, *Chemistry Letters*, vol. 51(4), 420 (2022).
- Akiyuki Nakano, Vivek S. Raut, Naoki Asao, Akane Ando, Kiyoshi Fujisawa, **Hideyuki Higashimura**,\* Enzyme-inspired catalysts with high activity and selectivity for oxidative polymerization of 2-phenylphenol, *Catalysis Science and Technology*, vol. 13(17), 4968 (2023) (Inside Cover Picture).
- Yoichiro Yagi**, Takatomo Kimura, Makoto Kamezawa, “Biomolecular Chemical Simulations on Enantioselectivity and Reactivity of Lipase Enzymes to Azulene Derivatives”, *Nat. Prod. Commun.*, 17(6), pp.1-10, (2022). (査読有, IF(2022): 1.496, 5-Year Impact Factor: 1.352, 招待論文)
- Shuhei Kajikawa, Yoichi Ezura, **Yayoi Izu**, Kazuhisa Nakashima, Masaki Noda, Akira Nifuji, Profilin-1 negatively controls osteoclast migration by suppressing the protrusive structures based on branched actin filaments. **JBMM**. 2022 40:561-570 doi: 10.1007/s00774-022-01320-y
- Arai K, Saito F, Miyazaki M, Kushige H, **Izu Y**, Maeta N, Yamazoe K. Small Molecules Temporarily Induce Neuronal Features in Adult Canine Dermal Fibroblasts. *Int. J. Mol. Sci.* 2023, 24:15804; <https://doi.org/10.3390/ijms242115804>
- Zhu M, Metzen F, Hopkinson M, Betz J, Heilig J, Sodhi J, Imhof T, Niehoff A, Birk DE, **Izu Y**, Krüger M, Pitsillides AA, Altmüller J, van Osch GJVM, Straub V, Schreiber G, Paulsson M, Koch M, Brachvogel B. Ablation of collagen XII disturbs joint extracellular matrix organization and causes patellar subluxation. **iScience**. 2023 26:107225
- Furuhata-Yoshimura M, Yamaguchi T, **Izu Y**, Kosho T. Homozygous splice site variant affecting the first von Willebrand factor A domain of COL12A1 in a patient with myopathic Ehlers-Danlos syndrome. *Am. J. Med. Genet. A*. in press
- Izu Y\***, Birk DE. Collagen XII mediated cellular and extracellular mechanisms in development, regeneration, and disease. **Front. Cell Dev. Biol.** 2023 11:1129000. doi.org/10.3389/fcell.2023.1129000
- Tetsuo Iwanaga**, Tmohiro Oki, Yoshihiro Morioka, Shoichiro Inoue, Hiroyasu Sato, Synthesis of  $\pi$ -Extended Carbazole Dimers via Oxidative Cyclization Using DDQ and Sulfonic Acid and Elucidation of the Reaction Mechanism, *The Journal of Organic Chemistry*, 2022, 87(21), 14861-14869.

- Tetsuo Iwanaga**, Keisuke Tanaka, Kento Kawano, Natsuki Yamashita, Tenta Ishikawa, Shinji Toyota, Synthesis and Photophysical Properties of Anthracene Bisimide-Butadiynylene Linear Dimer and Trimer, *Chemistry Letters*, **2023**, 52(4), 233-236.
- Hiroyuki Takemura, Maho Wakamatsu, Hiroko Murakami, Tetsuo Iwanaga, Katsuya Sako, Synthesis of diaza[1.1.1] and [1.1.1.1] paracyclophanes by Smiles rearrangement, *Tetrahedron Letters*, 2023, 130, 154762.
- 高野恵輔, 小田哲也, 尾崎亮, 上嶋明, 小畑正貴, PC-FPGA 複合システムにおける分散処理の実現と評価, *電気学会論文誌 C*, 142 巻, 第 11 号, pp.1199-1207, (2022).
- 山口一裕, 浅野純一, 荒木圭典, 猪口雅彦, 上嶋明, 大熊一正, 河合史菜, 河野敏行, 小林忠資, 坂口武典, 重松利信, 杉山正二, 辻 維周, 野間川内一樹, 教育の質保証のためのカリキュラムアセスメント実践に関する報告-教育ディベロッパーへのアンケート調査結果から見たメリットと改善点-, *岡山理科大学教育実践研究*, 第 5 号, pp.199-206, (2022).
- 畠山唯達, 牧祥, 桑木賢也, 上嶋明, 河野敏行, 大熊一正, 廣田雅晴, フロンティア理工学研究所新 CPU-GPGPU マシン導入について, *岡山理科大学フロンティア理工学研究所研究報告*, 第 4 号, pp.43-45, (2022).
- Tomonari Horikawa, Munenori Takahashi, Masaki Endo, Shigeyoshi Ohno, **Masaharu Hirota**, Hiroshi Ishikawa, Estimating the Best Time to View Cherry Blossoms Using Time-Series Forecasting Method, *MACHINE LEARNING AND KNOWLEDGE EXTRACTION* 4(2) 418-431 2022 年 6 月
- Munenori Takahashi, Masaki Endo, Shigeyoshi Ohno, **Masaharu Hirota**, Hiroshi Ishikawa, Spot extraction and analysis using an automatic detection method of tourist spots using SNS, *International Journal of Intelligent Information and Database Systems* 15(1) 6-27 2022 年
- H. Watanabe, T. Sato, M. Sumita, M. Shiroyama, D. Sugawara, T. Tokuyama, **Y. Okuda**, K. Wakamatsu, A. Orita, Effective Synthesis of 1,4-Diarylbutadienes via Reductive Desulfonylation of 1,3-Butadienyl Sulfones by Proper Choice of Regioisomeric  $\pi$ -Expanded Pyrene Photocatalysts. *Bull. Chem. Soc. Jpn.* Accepted (2023).
- H. Watanabe, T. Sato, M. Sumita, M. Shiroyama, D. Sugawara, T. Tokuyama, **Y. Okuda**, K. Wakamatsu, H. Akashi, A. Orita, Synthesis, optical properties and crystal structure of (E,E)-1,3-(3,4:9,10-dibenzododeca-1,11-diene-5,7-diyne-1,12-diyl)benzene. *Acta Cryst.* **2023**, E79, 757-761.
- H. Watanabe, K. Ekuni, **Y. Okuda**, R. Nakayama, K. Kawano, T. Iwanaga, A. Yamaguchi, T. Kiyomura, H. Miyake, M. Yamagami, T. Tajima, T. Kitai, T. Hayashi, N. Nishiyama, Y. Kusano, H. Kurata, Y. Takaguchi, A. Orita, Composite Formation of Anthrylene- and Ferrocenoyl-Substituted Phenylene-ethynylenes with Single-Wall Carbon Nanotubes (SWCNTs). *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2023**, 96, 57.
- L. Peng, Y. Zhao, **Y. Okuda**, L. Le, Z. Tang, S.-F. Yin, R. Qiu, A. Orita, Process-Divergent Syntheses of 4- and 5-Sulfur-Functionalized 1,2,3-Triazoles via Copper-Catalyzed Azide-Alkyne Cycloadditions of 1-Phosphinyl-2-sulfanylethynes. *J. Org. Chem.* **2023**, 88, 3089.
- 奥田靖浩, アクリジニウムを光触媒に用いた有機合成反応, *有機合成化学協会誌 Review de Debut*, 2022 年 3 月号, 246-247.
- 奥田靖浩, 折田明浩, 大寺純蔵, スルホンを出発原料に用いた  $\pi$  拡張アルキンおよびアルケンの合成, *有機合成化学協会誌*, 2022 年 2 月号, 126-138.
- Y. Okuda**, M. Fujimoto, H. Akashi, A. Orita, Dephosphinylative [4 + 2] Benzannulation of Phosphinyl Ynamines: Application to the Modular Synthesis of Polycyclic Aromatic Amines. *J. Org. Chem.* 86, 17651 (2021).

## 学会発表論文

フロンティア理工学研究所研究員

**Haruo Akashi**, Reina Ishikawa, and Shino Nakashima: Metal Complexes of Fluorochlorin Derivatives (invited lecture), The 4th International Symposium of Ionic Coordination Compounds, Osaka University, 2022年12月10日～12日.

**Haruo Akashi**, Reina Ishikawa: Reactions of the Iron(III) complex of fluorochlorin with Olefines, The 27th International SPACC symposium (ONLINE), 2022年12月10日～11日.

Kai Nakashima, Shino Nakashima, **Haruo Akashi**, Masahiro Mikuriya, and Makoto Handa: Synthesis and Properties of a  $\mu$ -Tri-chlorido-bridged Acetylacetonato Diruthenium(III) Complex, The 2023 Annual SPACC Meeting/The 3rd International OUS Frontier Symposium (P-14), Okayama University of Science, 2023年9月1日, poster.

Reina Ishikawa, and **Haruo Akashi**: Reactions of the Cobalt(II) complex of fluorochlorin with styrene and its Derivatives, The 2023 Annual SPACC Meeting/The 3rd International OUS Frontier Symposium (P-15), Okayama University of Science, 2023年9月1日, poster.

Shino Nakashima, and **Haruo Akashi**: X-ray structure of Gold (III) complex of 5,10,15,20-tetrakis (pentafluorophenyl)-2,3-(methano(N-methyl)iminomethano) chlorin, The 2023 Annual SPACC Meeting/The 3rd International OUS Frontier Symposium (P-16), Okayama University of Science, 2023年9月1日, poster.

中島海・中島しの・赤司治夫・御厨正博・半田真: クロリド架橋ルテニウム(III)二核錯体  $\text{Ph}_4\text{P}[\{\text{RuIII}(\text{acac})\text{Cl}\}_2(\mu\text{-Cl})_3]$  (acac = アセチルアセトナートイオン) の構造と性質, 錯体化学会第72回討論会 (2PA-26) 九州大学伊都キャンパス, 2022年9月26日～28日.

石川玲菜・澤田拓也・折田明浩・赤司治夫: 鉄フッ素化クロリン錯体を触媒に用いたスチレン誘導体の酸素化. 錯体化学会第72回討論会 (2PF-34) 九州大学伊都キャンパス, 2022年9月26日～28日.

宮下侑也・松村紘希・中島しの・赤司治夫・崎山博史・御厨正博・半田真: 飽和窒素八個を含むマクロ環配位子を用いたフェノキシド架橋ニッケル(II)錯体の合成と性質. 2022年日本化学会中国四国支部大会 広島大会 (1PA-04)、広島大学 東広島キャンパス 2022年11月12日～13日.

中島しの、赤司治夫: 糖連結フッ素化クロリンを配位子とする鉄(III)錯体の合成と性質. 日本化学会第103春季年会 (K503-1vn-07)、東京理科大学 野田キャンパス 2023年3月22日～3月25日, 口頭.

半田真、浦田友寛、中島海、杉森保、赤司治夫、御厨正博: 環周辺の $\alpha$ 位に8個のトリ(オキシエチレン)鎖を導入した両親媒性フタロシアニン錯体の合成と性質 (P1-1am-28) 日本化学会第103春季年会 (K503-1vn-07)、東京理科大学 野田キャンパス 2023年3月22日～3月25日, ポスター.

佐藤勇介、中島海、中島しの、赤司治夫、御厨正博、半田真: ホルムアミジナート架橋二核錯体の磁気的性質に及ぼす軸配位子の影響. 日本化学会中国四国支部大会 山口大会 (2PA-32)、山口大学 常盤キャンパス 2023年11月11日～12日, ポスター.

中島しの、石川玲奈、赤司治夫: 水溶性フッ素化クロリン鉄(III)錯体の触媒活性. 日本化学会第104春季年会 日本大学船橋キャンパス 2024年3月18日～21日, ポスター.

Ken Yonezawa, Hiroki Ohta, Susumu Yonezawa, **Tatsuyuki Nakatani**, Masaharu Shiratani, Kazunori Koga and Jun-Seok Oh, Development of Ultra-Highly Oriented Aluminum Nitride Thin Films by Pressure Gradient Sputtering, Method 14th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials / 15th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (ISPlasma2022/IC-PLANTS2022), 08P-04, March 6-10, Online, Nagoya, Japan, (2022).

Hiroyuki Fukue, **Tatsuyuki Nakatani**, Tadayuki Okano, Masahide Kuroiwa, Shinsuke Kunitsugu, Hiroki Oota and Ken Yonezawa, Relationship between Discharge Characteristics and Film Density in DLC Film Deposition Using HF-HiPIMS Method, 14th International Symposium on Advanced

- Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials / 15th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (ISPlasma2022/IC-PLANTS2022), 07P-34, March 6-10, Online, Nagoya, Japan, (2022).
- Kazunori Koga, Sung-Hwa Hwang, Shinjiro Ono, Daichi Yoshikawa, Takamasa Okumura, Naoto Yamashita, Kunihiro Kamataki, Naho Itagaki, Masaharu Shiratani, Jun-Seok Oh, Susumu Takabayashi and **Tatsuyuki Nakatani**, Stress Relaxation of Hydrogenated Amorphous Carbon Films by Incorporating Carbon Nanoparticles Using Plasma Chemical Vapor Deposition, 2022 MRS Spring Meeting & Exhibit-A Hybrid Event, MF01.04.01, May 8-13, (2022).
- Hiroyuki Fukue, **Tatsuyuki Nakatani**, Tadayuki Okano, Masahide Kuroiwa, Shinsuke Kunitsugu, Hiroki Oota and Ken Yonezawa, Development of High Frequency-High Power Impulse Magnetron Sputtering Power Supply and Its Diamond-Like Carbon Film Properties, 2022 MRS Spring Meeting & Exhibit-A Hybrid Event, MF01.11.02, May 8-13, (2022).
- Yuichi Imai, **Tatsuyuki Nakatani**, Shinsuke Kunitsugu, Kazuhiro Kanda, Yasuhiro Fujii, Daiki Ousaka, Susumu Oozawa and Tomio Uchi, Functionalization of an Inner-Wall of Diamond-Like Carbon Coated Small-Diameter Long-Sized Tube by Oxygen Plasma Treatment, 2022 MRS Spring Meeting & Exhibit-A Hybrid Event, MF01.11.06, May 8-13, (2022).
- Shinjiro Ono, Sung-Hwa Hwang, Daichi Yoshikawa, Takamasa Okumura, Kunihiro Kamataki, Naoto Yamashita, Naho Itagaki, Kazunori Koga, Masaharu Shiratani, Jun-Seok Oh, Susumu Takabayashi and **Tatsuyuki Nakatani**, Structural Control of Hydrogenated Amorphous Carbon Films by Substrate Position and Gas Pressure in Plasma Chemical Vapor Deposition, 2022 MRS Spring Meeting & Exhibit-A Hybrid Event, MF01.05.04, May 8-13, (2022).
- Yasuhiro Fujii, Takashi Goyama, **Tatsuyuki Nakatani**, Daiki Ousaka, Yuichi Imai, Noriaki Kuwada, Tatsunori Tsuji, Genya Muraoka, Haruhito Uchida, Masahiro Nishibori, Susumu Oozawa, Shingo Kasahara, Comprehensive results of protein adsorption, platelets adhesion, and blood clot formation on the DLC-coated surface of ePTFE vascular graft, American Society of Artificial Internal Organs (ASAIO) 67th Annual Conference, ASAIO Journal: June 2022 - Volume 68 - Issue Supplement 2 - p 16, June 8-11, (2022).
- Yuichi Imai, Hiroyuki Fukue, **Tatsuyuki Nakatani**, Shinsuke Kunitsugu, Kazuhiro Kanda, Tsuneo Suzuki, Shogo Watari, Yasuhiro Fujii, Daiki Ousaka, Susumu Oozawa, Tomio Uchi, Biomimetic Diamond-like Carbon Coating on a Lumen of Small-diameter Long-sized Tube Modified Surface Uniformly with Carboxyl Group using Oxygen Plasma, The 39th International Conference of Photopolymer Science and Technology Materials & Processes for Advanced Lithography, Nanotechnology and Phototechnology, 3B202, On-line Meeting, June 27 - 30, (2022).
- Yasushi Sasai, Daiki Ousaka, Yasuhiro Fujii, Aoi Isono, Yukinori Yamauchi, Shin-ichi Kondo and **Tatsuyuki Nakatani**, Surface Functionalization of Diamond-like Carbon Film with Biocompatible Polymer Brushes, The 39th International Conference of Photopolymer Science and Technology Materials & Processes for Advanced Lithography, Nanotechnology and Phototechnology, 3B205, On-line Meeting, June 27 - 30, (2022).
- Hiroyuki Fukue, **Tatsuyuki Nakatani**, Tadayuki Okano, Masahide Kuroiwa, Shinsuke Kunitsugu, Hiroki Oota, Ken Yonezawa, Evaluation of carbon bonding of DLC films using HF-HiPIMS method by Raman spectroscopy, 11th International Conference on Reactive Plasmas / 2022 Gaseous Electronics Conference / 40th Symposium on Plasma Processing (SPP-40) / 35th Symposium on Plasma Science for Materials (SPSM35), GR5.00006, Sendai International Center, Sendai, Japan, October 3-7, (2022).
- S. Ono, T. Okumura, K. Kamataki, N. Yamashita, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani, J. S. Oh, S. Takabayashi, **T. Nakatani**, Formation of Graphene Nanoribbon-like Structure in Carbon Nanoparticles Fabricated by Ar+CH<sub>4</sub> Plasma Chemical Vapor Deposition, The 32nd Annual Meeting of MRS-J, E-P5-012, Industry & Trade Center Bldg., December 5 (Mon.) - 7 (Wed.), (2022)

- Hiroyuki Fukue, **Tatsuyuki Nakatani**, Tadayuki Okano, Masahide Kuroiwa, Shinsuke Kunitsugu, Susumu Takabayashi, Hiroki Oota, Ken Yonezawa, Evaluation parameter in HiPIMS method: proposal of tail time, 25th International Symposium on Plasma Chemistry: ISPC25, POS-8-206, Miyako Messe Kyoto, (2023)
- Y. Imai, H. Fukue, **T. Nakatani**, S. Kunitsugu, N. Kuwada, Y. Fujii, D. Ousaka, S. Oozawa, T. Uchi, Ultra-hydrophilic Diamond-like Carbon Coating on an Inner Surface of a Small-diameter Long Tube with an Amino Group by AC High-voltage Plasma Discharge, The 39th International Conference of Photopolymer Science and Technology Materials & Processes for Advanced Lithography, Nanotechnology and Phototechnology, B2-1-3, June 27 - 30, (2023).
- R. Ichiki, R. Kometani, R. Yamaguchi, **T. Nakatani**, M. Sonoda, T. Furuki, and S. Kanazawa, Surface Oxidization of Mg Alloy with Pulse d Arc Plasma Jet to Reduce Dissolvability, The 33rd Annual Meeting of MRS-J, I-O16-009, Industry & Trade Center Bldg., November 14 (Tue.) - 7 (Thu.), (2023)
- Yuichi Imai, Hiroyuki Fukue, Kazuma Tanaka, **Tatsuyuki Nakatani**, Shinsuke Kunitsugu, Susumu Takabayashi, Investigation of the number of fitting bands for Raman spectroscopy in DLC films - using AC HV methane plasma CVD method as an example, MRM2023/IUMRS-ICA2023 Grand Meeting, G1-P501-10, DECEMBER 11-16 KYOTO, (2023)
- Hiroyuki Fukue, **Tatsuyuki Nakatani**, Tadayuki Okano, Masahide Kuroiwa, Shinsuke Kunitsugu, Susumu Takabayashi, Hiroki Oota, Ken Yonezawa, Raman mapping of DLC films using the HF-HiPIMS method to investigate the sp<sup>2</sup> cluster model,” MRM2023/IUMRS-ICA2023 Grand Meeting, MRM2023/IUMRS-ICA2023 Grand Meeting, G1-P501-03, DECEMBER 11-16 KYOTO, (2023)
- 〔国内学協会等発表〕
- 中谷達行, 今井裕一, 藤井泰宏, 逢坂大樹, 大澤晋, DLC の医療応用の現状と将来展望, 第 39 回プラズマプロセス研究会 / 第 34 回プラズマ材料科学シンポジウム (SPP-39/SPSM34), IT25-A-01, 2022 年 1 月 24 日 (月) ~ 26 日 (水) 【招待講演】
- 中谷達行, DLC コーティングの医療応用について, ニューセラミック懇話会 バイオ関連セラミックス分科会第 64 回研究会「セラミックコーティング技術の医療応用」, オンライン, 2022 年 2 月 2 日 (水) 【招待講演】
- 福江紘幸, 中谷達行, 岡野忠之, 黒岩雅英, 國次真輔, 太田裕己, 米澤健, インプラント用 DLC 膜のための HF-HiPIMS 法による薄膜物性制御技術の開発, 日本金属学会・日本鉄鋼協会中国四国支部第 50 回若手フォーラム, 講演番号 2nd.Session No.2, オンライン, 2022 年 2 月 19 日 (土)
- 田中啓太, 中谷達行, 清水一郎, 和田晃, Si-DLC コーティングにおける CH<sub>4</sub>/Si(CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub> 流量比が AZ31Mg 合金の溶出速度に与える影響, 日本金属学会・日本鉄鋼協会中国四国支部第 44 回若手フォーラム, 講演番号 1st. Session No.4, オンライン, 2022 年 2 月 19 日 (土)
- 福江紘幸, 中谷達行, 岡野忠之, 黒岩雅英, 國次真輔, 太田裕己, 米澤健, 医療用 DLC 膜のためのアーク抑制型 HiPIMS 法による膜特性制御技術の開発, 第 3 回 OUS フロンティアセミナー『デジタルでお宝発掘: データマイニングが導く持続可能社会』, 講演要旨集 p.13, 岡山理科大学, オンライン, 2022 年 2 月 25 日 (金)
- 田中啓太, 中谷達行, 清水一郎, 和田晃, Si-DLC コーティングによる生体吸収性ステントの溶出速度制御, 第 3 回 OUS フロンティアセミナー『デジタルでお宝発掘: データマイニングが導く持続可能社会』, 講演要旨集 p.14, 岡山理科大学, オンライン, 2022 年 2 月 25 日 (金)
- 福江紘幸, 中谷達行, 岡野忠之, 黒岩雅英, 國次真輔, 太田裕己, 米澤健, HF-HiPIMS プロセスにおける放電電流特性の最適化による DLC 膜密度制御, 表面技術協会第 146 回講演大会, 日本工業大学, 145th, p.43, オンライン, 2022 年 3 月 8 日 (火) ~ 9 日 (水)
- 小野晋次郎, 吉川大智, HWANG Sung Hwa, 奥村賢直, 鎌滝晋礼, 山下尚人, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治, OH Jun Seok, 鷹林将, 中谷達行, プラズマ CVD 法を用いた a-C:H 薄膜製膜特性に対するガス圧力・基板位置の効果, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会, 24p-D114-10, 青山学院大学, 2022 年 3 月 22 日 (火) ~ 26 日 (土)

- 吉川大智, 小野晋次郎, HWANG Sung Hwa, 奥村賢直, 鎌滝晋礼, 山下尚人, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治, 鷹林将, OH Jun Seok, 中谷達行, CNP 層を挿入した a-C:H 膜の応力低減に対する CNP 被覆率の効果, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会, 24a-D316-5, 青山学院大学, 2022 年 3 月 22 日 (火) ~ 26 日 (土)
- 中谷達行, 真空中でのプラズマ成膜で先端医療に貢献する, 日本真空学会九州支部 2022 年度市民講座「講演を聞いて, 実際に真空をつくって放電を起こす実験をやってみよう.」, 福岡大学, 2022 年 8 月 9 日 (火) 【招待講演】
- 福江紘幸, 中谷達行, 岡野忠之, 黒岩雅英, 國次真輔, 太田裕己, 米澤健, HF-HiPIMS プロセスを用いた DLC 膜のラマン分光法による炭素結合評価, 表面技術協会第 146 回講演大会, 埼玉工業大学, 講演番号 06B-23, 2022 年 9 月 6 日 (火) ~ 7 日 (水)
- 中谷達行, DLC の医療応用の現状と将来展望, プラズマ・核融合学会第 39 回年会 シンポジウム 5 プラズマによる生体荷電制御科学, S5-2, 富山国際会議場, 2022 年 11 月 22 日 (火) ~ 25 日 (金) 【依頼講演】
- 福江紘幸, 中谷達行, 岡野忠之, 黒岩雅英, 國次真輔, 太田裕己, 米澤健, 高周波 HiPIMS プラズマ電源の開発によるダイヤモンドライクカーボン膜の高機能化, OUS フォーラム 2022 アブストラクト集, p.1, 岡山プラザホテル, 2022 年 11 月 28 日 (月)
- 中谷達行, 医療用材料の生体親和性を高める DLC コーティング技術, 表面技術協会ヘテロ界面制御部会第 12 回研究会, (オンライン), 2022 年 12 月 21 日 (水) 【招待講演】
- 中谷達行, DLC の医療応用の現状と将来展望, 関東学院大学材料・表面工学研究所第 31 回技術フォーラム, 【オンライン】, 2023 年 2 月 21 日 (火) 【招待講演】
- 福江紘幸, 中谷達行, 岡野忠之, 黒岩雅英, 國次真輔, 太田裕己, 米澤健, 医療用 DLC 膜のための HiPIMS 放電のプラズマ診断, 第 4 回 OUS フロンティアセミナー, p.22, 2023 年 2 月 24 日 (金)
- 石原誠也, 福江紘幸, 中谷達行, 岡野忠之, 黒岩雅英, 國次真輔, 太田裕己, 米澤健, 医療用 DLC 膜のためのアーク抑制型 HiPIMS 法による炭素結合評価, 第 4 回 OUS フロンティアセミナー, p.23, 2023 年 2 月 24 日 (金)
- 三宅孝昌, 福江紘幸, 清水一郎, 中谷達行, 國次真輔, 本川正規, 松岡秀雄, 交流高電圧プラズマ CVD 法によるクロマトグラフィー用の DLC 成膜技術の開発, 第 4 回 OUS フロンティアセミナー, p.25, 2023 年 2 月 24 日 (金)
- 三宅孝昌, 福江紘幸, 清水一郎, 中谷達行, 國次真輔, 本川正規, 松岡秀雄, 交流高電圧プラズマ CVD 法を用いたステンレス細管内腔への DLC 成膜における周波数が化学結合に及ぼす影響, 表面技術協会第 147 回講演大会, p.65, 千葉工業大学, 2023 年 3 月 7 日 (火) ~ 8 日 (水)
- 福江紘幸, 中谷達行, 岡野忠之, 黒岩雅英, 國次真輔, 太田裕己, 米澤健, HF-HiPIMS 法を用いた DLC 成膜における発光分光法によるプラズマ診断, 表面技術協会第 147 回講演大会, p.4, 千葉工業大学, 2023 年 3 月 7 日 (火) ~ 8 日 (水)
- 石原誠也, 福江紘幸, 中谷達行, 岡野忠之, 黒岩雅英, 國次真輔, 太田裕己, 米澤健, HF-HiPIMS 法を用いた DLC 成膜におけるパルス幅が炭素結合に及ぼす影響, 表面技術協会第 147 回講演大会, p.5, 千葉工業大学, 2023 年 3 月 7 日 (火) ~ 8 日 (水)
- 福江紘幸, 中谷達行, 岡野忠之, 黒岩雅英, 國次真輔, 鷹林将, 太田裕己, 米澤健, HiPIMS および高周波 HiPIMS 法を用いた DLC 膜の化学結合評価, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 15p-A408-2, 上智大学四谷キャンパス, 2023 年 3 月 15 日 (水) ~ 18 日 (土)
- 福江紘幸, 中谷達行, 岡野忠之, 黒岩雅英, 國次真輔, 太田裕己, 米澤健, 鷹林将, 高周波 HiPIMS 法を用いた DLC 膜の膜密度と炭素結合の関係, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 15p-A408-3, 上智大学四谷キャンパス, 2023 年 3 月 15 日 (水) ~ 18 日 (土)
- 米谷理玖, 竹下大貴, 市來龍大, 中谷達行, 園田正樹, 林信哉, 古木貴志, 金澤誠司, 大気圧プラズマジェットによる医療用 Mg 合金に適した酸化被膜形成の調査, 令和 5 年電気学会全国大会, 講演番号 1-093, 名古屋大学東山キャンパス, 2023 年 3 月 15 日 (水) ~ 17 日 (金)
- 福江紘幸, 中谷達行, 岡野忠之, 黒岩雅英, 國次真輔, 鷹林将, 太田裕己, 米澤健, HF-HiPIMS 法を用いた DLC 膜のラマンマッピングによる sp<sup>2</sup> クラスタモデルの検討, 表面技術協

- 会第 148 回講演大会, p.125, 山形大学米沢キャンパス, 2023 年 9 月 4 日 (月) ~ 5 日 (火)
- 福江紘幸, 中谷達行, 岡野忠之, 黒岩雅英, 國次真輔, 鷹林将, 太田裕己, 米澤健, HF-HiPIMS 法を用いた DLC 膜のラマンスペクトルにおけるフィッティングバンド数の検討, 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 20p-C402-4, 熊本市国際交流会会館, 2023 年 9 月 19 日 (火) ~ 23 日 (土)
- 中谷達行, 第 8 回医療用材料の生体親和性を高めるダイヤモンド状炭素膜コーティング技術, 東京電機大学公開講座第 47 回 ME 講座先端技術がひらく医療と福祉の未来【オンライン講座】, 2023 年 11 月 21 日 (火)【依頼講演】
- 福江紘幸, 米澤健, 中谷達行, 岡野忠之, 黒岩雅英, 國次真輔, 太田裕己, DLC 膜のラマンマッピングによる炭素結合のモデル化の提案, OUS フォーラム 2023 アブストラクト集, p.8, 岡山プラザホテル, 2023 年 11 月 27 日 (月)
- 有田誠一, 玄馬宗治, 福江紘幸, 米澤健, 中谷達行, 岡野忠之, 黒岩雅英, 國次真輔, 太田裕己, 高周波 HiPIMS 法による DLC 膜物性の最適化, OUS フォーラム 2023 アブストラクト集, p.9, 岡山プラザホテル, 2023 年 11 月 27 日 (月)
- 高畑直矢, 今井裕一, 福江紘幸, 中谷達行, 國次真輔, 今井裕一, 交流高電圧プラズマを用いた医療用チューブの超親水性とゼータ電位の制御, OUS フォーラム 2023 アブストラクト集, p.45, 岡山プラザホテル, 2023 年 11 月 27 日 (月)
- Tema, E., Ferrara, E., **Hatakeyama, T.**, Matsumoto, N., Mitsumoto, J., The contribution of Geosciences on the determination of the equivalent heating temperatures of ancient baked clays through magnetic measurements: The case of the Sada Nishizuka Kofun, Japan, The Italian Geological Society (SGI) and the Italian Society of Mineralogy and Petrology (SIMP) Joint Congress “Geosciences for a Sustainable Future”, S3-32, Torino (Italy), Sep. 19-21, (2022)
- Sato, M., Kimura, Y., Tanaka, S., **Hatakeyama, T.**, Sugita, S., Nakamuna, T., Tachibana, S., Okumizu, S., Watanabe, S., Yurimoto, H., Noguchi, T., Okazaki, R., Yabuta, H., Naraoka, H., Sakamoto, K., Yada, T., Nishimura, M., Nakato, A., Miyazaki, A., Yogata, K., Abe, M., Okada, T., Usui, T., Yoshikawa, M., Saiki, T., Terui, F., Nakazawa, S., Tsuda, Y., Rock-magnetic and paleointensity studies of returned samples from asteroid (162173) Ryugu, American Geophysical Union 2022 Fall Meeting, GP36A-06, Dec. 12-16, 2022, Chicago (USA) & Online, (2022, invited)
- Tema, E., **Hatakeyama, T.**, Ferrara, E., Davit, P., Polymeris, G.S., Mitsumoto, J., Matsumoto, N., Rock magnetism for investigating the firing temperature of ancient ceramic artifacts: The case of the Sada Nishizuka coffin, Japan, European Geoscience Union General Assembly 2023, EGU23-15328, ウィーン & オンライン, 2023 年 4 月 23 ~ 27 日, (2023)
- Kawamura, N., **Hatakeyama, T.**, Kitahara, Y., Kaneko, S., Recent Studies of Magnetic Survey of Forensic Geology in Japan, New Horizons in Forensic Geoscience: The Bedrock of International Security, ロンドン, 2023 年 12 月 4 ~ 5 日, (2023)
- Sato, M., Kimura, Y., Tanaka, S., **Hatakeyama, T.**, Sugita, S., Nakamuna, T., Tachibana, S., Okumizu, S., Watanabe, S., Yurimoto, H., Noguchi, T., Okazaki, R., Yabuta, H., Naraoka, H., Sakamoto, K., Yada, T., Nishimura, M., Nakato, A., Miyazaki, A., Yogata, K., Abe, M., Okada, T., Usui, T., Yoshikawa, M., Saiki, T., Terui, F., Nakazawa, S., Tsuda, Y., Rock Magnetic Characterization of Returned Samples From Asteroid (162173) Ryugu, American Geophysical Union 2023 Fall Meeting, GP23A-06, サンフランシスコ & オンライン, 2023 年 12 月 11 ~ 15 日, (2023, invited)
- Uchida, T., Hashimoto, Y., Yamamoto, Y., **Hatakeyama, T.**, The secondary magnetization indicating exothermic event in the fossil seismic fault, American Geophysical Union 2023 Fall Meeting, T23C-0266, サンフランシスコ & オンライン, 2023 年 12 月 11 ~ 15 日, (2023)
- 吉村由多加, 安鉉善, 山本裕二, 穴井千里, 田尻義了, 畠山唯達, 大野正夫, 弥生土器の考古地磁気強度から推定された約 2000 年前の地磁気強度の急激な変化, 日本地球惑星科学連合 2022 年大会, SEM15-P07, 2022 年 5 月 22 日 ~ 6 月 3 日, 幕張メッセ(千葉市)& オンライン, (2022)
- 穴井千里, 森木良介, 山本裕二, 吉村由多加, 畠山唯達, 大野正夫, 九州北部から出土した弥生土器

- の考古地磁気研究, 日本地球惑星科学連合 2022 年大会, SEM15-P08, 2022 年 5 月 22 日～6 月 3 日, 幕張メッセ (千葉市) & オンライン, (2022)
- 畠山唯達, 粘土などから湧き出てくる磁鉄鉱粒子と土器窯の中の状況, 地磁気・古地磁気・岩石磁気夏の学校 2022, O04, 富山大学, 2022 年 8 月 30 日～9 月 2 日, (2022)
- 畠山唯達, 古地磁気・岩石磁気用プロットサイトの紹介, 地磁気・古地磁気・岩石磁気夏の学校 2022, P01, 富山大学, 2022 年 8 月 30 日～9 月 2 日, (2022)
- 畠山唯達, 倉吉市中尾遺跡弥生時代中期後半焼土の考古地磁気～弥生時代の地磁気方位について～, 第 4 回半田山地理考古学研究会, 米子市民会館, 2022 年 10 月 1 日, (2022)
- 畠山唯達, 森本蓮, 白石純, 窯跡から出土する土器片に対する岩石磁気学的測定, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 152 回講演会, R004-P07, 相模原市産業会館 & オンライン, 2022 年 11 月 3～7 日, (2022)
- 北原優, 畠山唯達, 山形真理子, ベトナム中部の考古遺物を用いた考古地磁気学・岩石磁気学 – 予察的分析 –, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 152 回講演会, R004-01, 相模原市産業会館 & オンライン, 2022 年 11 月 3～7 日, (2022)
- 佐藤雅彦, 木村勇氣, 田中智, 畠山唯達, 杉田精司, 中村智樹, 橘省吾, 奥住聡, 渡邊誠一郎, ほか 19 名, Rock-magnetic and paleomagnetic studies of returned samples from asteroid (162173) Ryugu, 日本地球惑星科学連合 2023 年大会, SEM15-02, 2023 年 5 月 21～26 日, 幕張メッセ (千葉市) & オンライン, (2023)
- 畠山唯達, 横田大峻, 北原優, 中村直子, 弥生時代の古地磁気強度変化について, 日本地球惑星科学連合 2023 年大会, SEM15-03, 2023 年 5 月 21～26 日, 幕張メッセ (千葉市) & オンライン, (2023)
- 吉村由多加, 安鉉善, 山本裕二, 穴井千里, 田尻義了, 畠山唯達, 大野正夫, 石勺遺跡の弥生土器を用いた約 1800 年前の考古地磁気強度推定: 速報, 日本地球惑星科学連合 2023 年大会, SEM15-P15, 2023 年 5 月 21～26 日, 幕張メッセ (千葉市) & オンライン, (2023)
- 加藤千恵, 畠山唯達, 足立達朗, 土器焼成時の磁性鉱物の生成について, 地磁気・古地磁気・岩石磁気夏の学校 2023, 愛知教育大学, 2023 年 8 月 28～30 日, (2023)
- 畠山唯達, 考古地磁気において熱消磁曲線が折れ曲がる件, 地磁気・古地磁気・岩石磁気夏の学校 2023, 愛知教育大学, 2023 年 8 月 28～30 日, (2023)
- 加藤千恵, 畠山唯達, 足立達朗, 被熱による粘土～土器中の磁性鉱物の生成と変化について (1) – 復元窯焼成実験と段階熱磁気分析による逐次観察から –, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2023 年秋季大会, R004-P09, 東北大学 & オンライン, 2023 年 9 月 23～27 日, (2023)
- 畠山唯達, 加藤千恵, 足立達朗, 熱による粘土～土器中の磁性鉱物の生成と変化について (2) – 最高到達温度と生成磁性鉱物の関係性 –, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2023 年秋季大会, R004-P10, 東北大学 & オンライン, 2023 年 9 月 23～27 日, (2023)
- 畠山唯達, 加藤千恵, 足立達朗, 熱による粘土～土器中の磁性鉱物の生成と変化について (2) – 最高到達温度と生成磁性鉱物の関係性 –, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2023 年秋季大会, R004-P10, 東北大学 & オンライン, 2023 年 9 月 23～27 日, (2023)
- 山本裕二, 中久保辰夫, 足立達朗, 北原優, 畠山唯達, 奈良県の布留遺跡から出土した土器の予察的な胎土・磁気分析, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2023 年秋季大会, R004-P11, 東北大学 & オンライン, 2023 年 9 月 23～27 日, (2023)
- 北原優, 畠山唯達, 山形真理子, グエン ヴィエト, 考古岩石磁気学的手法によるベトナム・ランヴァイン岩陰遺跡土壌の被熱判定, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2023 年秋季大会, R004-P12, 東北大学 & オンライン, 2023 年 9 月 23～27 日, (2023)
- 畠山唯達, 平川忠, 赤井夕希子, 加藤千恵, 足立達朗, 備前焼中世古窯復元窯における内部温度の時間変化, 日本文化財科学会第 40 回大会, 奈良文化財研究所 & 奈良県立なら歴史芸術文化村, 2023 年 10 月 20～22 日, (2023)
- 畠山唯達, 平川忠, 赤井夕希子, 加藤千恵, 足立達朗, 備前焼中世古窯復元窯における内部温度の時間変化, 第 28 回岡山リサーチパーク研究・展示発表会, テクノサポート岡山, 2023 年 12 月 12 日, (2023)

- Bose, N., **Imayama, T.**, Kawabata, R., Gupta, S., and Yi, K.: Channel-flow induced 'normal faulting' in the Himalaya: a case study from the Jhala Normal Fault, Garhwal Higher Himalaya, NW India. 2022 EGU General Assembly, March, 2022, online.
- Imayama, T.**, Hoshino, R., Yi, K., and Kawabata, R.: Eocene to Miocene metamorphic evolution and tectonic implication of the Ilam Nappe in Nepal Himalaya: Constraints from P-T conditions and monazite petrochronology. 2022 Japan Geoscience Union Meeting, 2022 年 5 月, オンライン.
- Imayama, T.**, Hoshino, R., Yi, K., and Kawabata, R.: Eocene to Miocene metamorphic evolution and tectonic implication of the Ilam Nappe in Nepal Himalaya: Constraints from P-T conditions and monazite petrochronology. 2022 Goldschmidt Conference, 2022 年 6 月, online.
- Imayama, T.**, Hoshino, R., Yi, K., and Kawabata, R.: Eocene to Miocene metamorphic evolution and tectonic implication of the Ilam Nappe in Nepal Himalaya: Constraints from P-T conditions and monazite petrochronology. 2022 Italian Geological Society conference (invited talk), 2022 年 9 月, Torino, oral.
- Imayama, T.**, Dripta, D., and Yi, K.: Early Paleozoic rift-related magmatism recorded in the ultrahigh-pressure Tso Morari Complex (NW Indian Himalaya). 2022 Korean Geological Society conference (invited talk), October, 2022, Changwon, oral.
- Dripta, D., **Imayama, T.**, and Yi, K.: Early Paleozoic rift-related magmatic origin of the Tso Morari Complex (NW Indian Himalayas) and the protolithic diversity of the Himalayan high and ultrahigh-pressure rocks. 2022 AGU meeting, December, 2022, online.
- Imayama, T.**, Sato, A., Dutta, D., Kaneda, Y., Watanabe, S., Hasegawa, Minami, M., Wakasugi, Y., Wakaki, S., and Yi, K.: Magmatic response to the subduction initiation of Early Cretaceous Nidar Ophiolite Complex, eastern Ladakh, NW Himalaya. 2023 EGU General Assembly, April, oral.
- Imayama, T.**, Dripta, D., and Yi, K.: The origin of the ultrahigh-pressure Tso Morari Complex, NW Himalaya: Implication for Early Paleozoic rifting. 2023 Japan Geoscience Union Meeting, 2023 年 5 月, 口頭.
- Imayama, T.**, Bose, N., Yi, K., Jeong, Y.-J., Horie, K., Takehara, M. and Kawabata, R.: Zircon U-Pb, Hf and O isotopic constraints on the pre-Himalayan crustal evolution: Insights from metasediment, orthogneiss and leucogranite in Garhwal, NW India. 2023 Goldschmidt Conference, 2023 年 7 月, poster.
- 佐藤成修, 今山武志, Dutta Dripta, 金田泰明, 渡部将太, 長谷川健, 南雅代, 若杉勇輝, 若木重行: 沈み込み初期における北西インド Nidar オフィオライト層火成岩類の成因. 2021 名古屋大学 ISEE 年代測定研究シンポジウム, 2022 年 1 月, オンライン.
- 石垣忍, 西戸博嗣, 能美洋介, 今山武志, 豊田新. 「ぶら理大」: 大学構内で地球史オリエンテーリング. 2022 OUS フォーラム, 2022 年 11 月, 岡山, ポスター.
- S. Maki**, “Techniques for using a magnetic force booster as a stirrer”, The 2023 Annual SPACC Meeting and the 3rd International OUS Frontier Symposium, Science of new functional materials and devices that contribute to achieving SDGs, September 1, 2023, Okayama, Japan, (September 2023).
- S. Maki**, M. Fujiwara, M. Hagiwara, Y. Fujiwara, “Protein crystallization using the method of magnetic levitation”, The 9th International Workshop on Materials Analysis and Processing in Magnetic Fields, MAP9, Miyazaki, Kyushu, Japan, p.7, (11-14, December 2023).
- 牧 祥 (講演主催者), 初田泰敏, 今泉忠, 岡太彬訓, “抗生剤耐性菌の発生率には類似性があるかもしれない”, 第 3 回 OUS フロンティアセミナー「デジタルでお宝発掘?」データマイニングが導く持続可能社会, 岡山理科大学, 講演要旨集 pp. 6-9, オンライン口頭発表 (2022, 2, 25).
- 牧 祥 (講演主催者), “パソコン作業が多い人に見られる自覚症状と特徴”, 第 3 回 OUS フロンティアセミナー「デジタルでお宝発掘?」データマイニングが導く持続可能社会, 岡山理科大学, 講演要旨集 pp. 18-21, ポスター発表 (2022, 2, 25).
- 牧 祥 (講演主催者), 廣田憲之, 萩原政幸, “タンパク質結晶を液中に浮上させたまま成長させる方法”, 第 3 回 OUS フロンティアセミナー「デジタルでお宝発掘?」データマイニングが導く持続可能社会, 岡山理科大学, 講演要旨集 pp. 22-24, ポスター発表 (2022, 2, 25).

- 牧 祥, “磁気力による擬似無重力環境の積極利用と生体材料の熱物性値計測への応用”, 岡山 - 今治研究連携を志向したシンポジウム (理学・生命科学系), 岡山理科大学今治キャンパス, 口頭発表 (2022, 8, 22-23).
- 牧 祥, 田中誠一, 宮城光汰, 森拓磨, 井阪優希, 藤原誠之, 萩原政幸, “卵白リゾチーム結晶の熱物性値の異方的な効果に関する研究の続報”, 第 16 回日本磁気科学学会年会, 日本大学 生産工学部 津田沼キャンパス, 講演予稿集 pp.96-97, 口頭発表 3O-06 (2022, 11, 7-9). (学会事務局, 研究賞, 学生奨励賞審査員長).
- 牧 祥, 初田泰敏, 面谷幸子, 名徳倫明, 石坂敏彦, 齊藤孝子, 小泉尚則, 安井友佳子, 今泉忠, 岡太彬訓, “堺市の拠点病院で発生した薬剤耐性緑膿菌の交叉耐性率の NAMS 解析と時系列変化”, OUS フォーラム 2022 基礎から応用・未来技術への出会いと対話, 岡山プラザホテル, アブストラクト集 p 45, ポスター対面発表 & Web 開催 (2022, 11, 28).
- 牧 祥, 初田泰敏, 面谷幸子, 名徳倫明, 石坂敏彦, 齊藤孝子, 小泉尚則, 安井友佳子, 今泉忠, 岡太彬訓, “Radius-Distance Model を適用した緑膿菌の交叉耐性率のデータ解析と可視化”, 第 35 回バイオメディカル・ファジィ・システム学会年次大会, アクリエ姫路, 口頭発表 (2022, 12, 17-18). (学生奨励賞審査員メンバー).
- 高橋栄次, 田中誠一, 牧 祥, 藤原誠之, 宮城光汰, 岡崎友平, “V 字型加振容器を用いたタンパク質結晶の熱物性値測定”, 第 44 回日本熱物性シンポジウム, 日本大学生産工学部 津田沼キャンパス, A112 (2023, 11, 7-9).
- 牧 祥, “磁気力ブラスターによる対流制御”, OUS フォーラム 2023 基礎から応用・未来技術への出会いと対話, 岡山プラザホテル, アブストラクト集 p 15, ポスター発表 (2023, 11, 27).
- Lupeng Teng, Soichiro Fukushima, J. Hirotaka Okano, **Ryosuke Iwai**, Preparation of contrast agent-loaded cell aggregates by using cell self-aggregation technology, 第 74 回日本生物工学会大会, Web 開催, 2022 年 10 月 17 日.
- Shingo Hashimoto, Akihiko Sugiyama, Yoshihiro Kimata, **Ryosuke Iwai**, Preparation of vascular endothelialized fiber-shaped tissues for potential application in vascular toxicity testing by using cell self-aggregation technique, 第 50 回日本毒性学会学術年会, パシフィコ横浜 (横浜), 2023 年 6 月 21 日.
- Jia Teng, **Ryosuke Iwai**, Marina Iwai, Induction of cell aggregates generation from cells adhered on two dimensional environment~Proposal for the creation of tumorigenesis and growth models~, 第 50 回日本毒性学会学術年会, パシフィコ横浜 (横浜), 2023 年 6 月 21 日.
- 太田智之, 高尾知佳, **岩井良輔**, 山田大祐, 北口陽平, 木股敬裕, 宝田剛志, 形成外科領域への応用を目指したスキャフォールドフリー三次元培養軟骨の開発, 第 34 回日本軟骨代謝学会, Web 開催, 2022 年 2 月 18 日.
- 福島宗一郎, 岡野ジェイムス洋尚, **岩井良輔**, 小泉誠, 長谷川実奈美, 藤魯鵬, 大木隆生, 大動脈瘤に対する次世代血管内治療: 間葉系幹細胞 Fiber を用いた瘤壁での組織再生の試み, 第 21 回日本再生医療学会総会, Web 開催, 2022 年 3 月 17 日.
- 奥山宏臣, 樋渡勝平, **岩井良輔**, 中山泰秀, Scaffold-free 軟骨リングで強化されたコラーゲンチューブによる気管再生技術~ラットモデルにおける全周性気管置換~, 第 122 回日本外科学会定期学術集会, 熊本城ホール (熊本), 2022 年 4 月 14 日.
- 福島宗一郎, **岩井良輔**, 小泉誠, 長谷川実奈美, 藤魯鵬, 岡野ジェイムス洋尚, 大木隆生, 大動脈瘤に対する新たな血管内治療 strategy: 幹細胞 Fiber を用いた瘤壁での組織再生は可能か, 第 50 回日本血管外科学会学術総会, リーガロイヤルホテル小倉 (小倉), 2022 年 5 月 25 日.
- 藤魯鵬, 福島宗一郎, 小泉誠, 岡野ジェイムス洋尚, **岩井良輔**, 動脈瘤治療用途を指向した長尺ファイバー状幹細胞凝集塊の作製と評価, 日本組織培養学会 第 94 回大会, 千里ライフサイエンスセンター ライフホール・サイエンスホール (豊中), 2022 年 7 月 7 日.
- 太田智之, 太田智之, 高尾知佳, **岩井良輔**, 山田大祐, 北口陽平, 北口陽平, 森脇健司, 中村正裕, 大曾根達則, 木股敬裕, 宝田剛志, 自己凝集化技術を応用した形状型スキャフォールドフリー三次元培養軟骨の開発, 第 31 回日本形成外科学会基礎学術集会, 岡山コンベンションセンター (岡山), 2022 年 10 月 13 日.

- 北口陽平, 太田智之, 太田智之, 高尾知佳, **岩井良輔**, 山田大祐, 藤澤祐樹, 大曾根達則, 森脇健司, 中村正裕, 木股敬裕, 宝田剛志, 形成外科領域における細胞自己凝集化技術を用いたスキャフォールドフリー三次元軟骨培養法の開発, 第31回日本形成外科学会基礎学術集会, 岡山コンベンションセンター(岡山), 2022年10月13日.
- 福島宗一郎, **岩井良輔**, 小泉誠, 長谷川実奈美, 藤魯鵬, 岡野ジェイムス洋尚, 大木隆生, 大動脈瘤に対する幹細胞ファイバーを用いた新規血管内治療戦略: 瘤壁での組織再生を目指す低侵襲治療確立を目指して, 第123回日本外科学会定期学術集会, グランドプリンスホテル新高輪(東京), 2023年4月29日.
- 小栗大侑, 吉鶴歩実, 橋本真悟, **岩井良輔**, 森脇健司, スキャフォールドフリー三次元骨格筋様組織体の形成とその収縮力計測, 日本機械学会 第35回バイオエンジニアリング講演会, 日立システムズホール仙台(仙台), 2023年6月4日(日).
- 藤魯鵬, 福島宗一郎, 小泉誠, 長谷川実奈美, 岡野ジェイムス洋尚, 大木隆生, **岩井良輔**, 経カテーテル細胞移植を指向したファイバー状細胞凝集塊の作製, 日本機械学会 第35回バイオエンジニアリング講演会, 日立システムズホール仙台(仙台), 2023年6月4日(日).
- 吉鶴歩実, 藤原溪, 米田大珠, 伊豆弥生, 橋本真悟, 森脇健司, **岩井良輔**, 生体骨格模倣筋-腱連結組織体作製のための培養・組織工学的検討, 日本機械学会 第35回バイオエンジニアリング講演会, 日立システムズホール仙台(仙台), 2023年6月4日(日).
- 岩井良輔**, 細胞自己凝集化技術の開発と生体模倣組織体の作製~再生医療、創薬試験や研究ツールへの応用を目指して~, 第65回日本平滑筋学会総会, 東京大学(東京), 2023年8月4日. 招待講演
- 岩井良輔**, 細胞の自己凝集化技術を用いた組織形成: 再生医療や培養モデルとしての応用を目指して, 日本組織培養学会 第95回大会, 岡山大学(岡山), 2023年8月31日. 招待講演
- 藤魯鵬, 福島宗一郎, 小泉誠, 長谷川実奈美, 岡野ジェイムス洋尚, 大木隆生, **岩井良輔**, X線造影粒子を担持したファイバー状細胞凝集塊の作製と組織学的評価: 経カテーテルによる低侵襲動脈再生治療を目指して, 日本組織培養学会 第95回大会, 岡山大学(岡山), 2023年9月1日.
- 岩井麻理菜, 藤佳, **岩井良輔**, 細胞の自己凝集化技術を用いた細胞単層からの多細胞凝集塊の連続形成誘導: 腫瘍形成モデルの創製を目指して, 日本組織培養学会 第95回大会, 岡山大学(岡山), 2023年9月1日.
- 橋本真悟, 杉山晶彦, 木股敬裕, **岩井良輔**, 細胞自己凝集化技術を用いたファイバー状毛細血管モデルの作製, 第75回日本生物工学会大会, 名古屋大学(名古屋), 2023年9月3日.
- 藤魯鵬, 福島宗一郎, 小泉誠, 長谷川実奈美, 岡野ジェイムス洋尚, 大木隆生, **岩井良輔**, 細胞自己凝集化技術を用いた造影剤担持型-細胞凝集ファイバーの開発, 第75回日本生物工学会大会, 名古屋大学(名古屋), 2023年9月3日.
- 小栗大侑, 吉鶴歩実, 橋本真悟, **岩井良輔**, 森脇健司, 磁性ピラーを用いた骨格筋様細胞組織体への力学刺激系の作製, 日本機械学会 第34回バイオフロンティア講演会, 山口大学(宇部), 2023年12月16日.
- 吉鶴歩実, 藤原溪, 米田大珠, 伊豆弥生, 森脇健司, **岩井良輔**, 細胞自己凝集化技術を用いた腱固定化骨格筋ファイバーの作製検討, 日本機械学会 第34回バイオフロンティア講演会, 山口大学(宇部), 2023年12月16日.
- 張雲洋, 藤魯鵬, 福島宗一郎, 岡野ジェイムス洋尚, 大木隆生, **岩井良輔**, X線造影可能なチタン粒子担持型-移植用細胞凝集塊の作製, 日本機械学会 第34回バイオフロンティア講演会, 山口大学(宇部), 2023年12月16日.
- 橋本真悟, 杉山晶彦, 森脇健司, 木股敬裕, **岩井良輔**, 血管様構造を有するファイバー状細胞組織体へのせん断応力負荷のための灌流培養系の設計, 日本機械学会 第34回バイオフロンティア講演会, 山口大学(宇部), 2023年12月16日.
- 藤魯鵬, 唐振宇, **岩井良輔**, 細胞自己凝集化技術を用いた皿状立体軟骨組織体の作製, 日本機械学会 第34回バイオフロンティア講演会, 山口大学(宇部), 2023年12月16日.

日笠理公, 藤佳, 岩井良輔, 森脇健司, 岩井麻理菜, 細胞の自己凝集化技術を用いた乳腺細胞凝集塊の作製, 立体形状制御と組織構造化検討日本機械学会, 第34回バイオフィロンティア講演会, 山口大学(宇部), 2023年12月17日.

#### 兼務研究員

江藤真澄, Dysmotility of gastrointestinal smooth muscles through  $\text{Ca}^{2+}$  sensitization/desensitization pathways, 第99回日本生理学会大会, シンポジウム Up-to-date of physiology and pathophysiology of smooth muscle, 東北大学川内キャンパス, 宮城県, 2022年3月16~18日

江藤真澄, Jason Kirkbride, Garbo Young, Raf-1 Proteostasis を調節する新規 PP1 シグナル, 第95回日本生化学会大会, 名古屋国際会議場, 愛知県, 2022年11月9~11日

Masumi Eto, Yohei Mochizuki, Toshiyasu Matsui, Minami Ohashi, Yuki Shimojima, Masakatsu Nohara, Ikki Mitsui, Kosuke Takeya, Yoshinori Tanaka and Risuke Mizuno, High salt diet induces ROCK signaling augmentation and dysmotility in mouse stomach, The 10th Federation of the Asian and Oceanian Physiological Societies Congress (FAOPS2023), Nov. 1-4, 2023, EXCO, Daegu Korea

H. Watanabe, T. Sato, D. Sugawara, Y. Okuda, A. Orita, Pyrene Photocatalyst/Visible Light Promoted Reductive Desulfonation of Diethenyl Sulfones, 2022年光化学討論会, 2P90, 京都大学桂キャンパス, 2022年9月13~15日.

Y. Okuda, M. Mori, N. Matsunaga, Y. Imada, A. Orita Regiodivergent Synthesis of Polycyclic Aromatic Amines via Palladium-Catalyzed Benzannulation of Ynamine and the Subsequent Dephosphinylative Functionalization, The 15th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (IKCOC-15), PB(C)-75, November 20th - 23rd, 2023, Rihga Royal Hotel Kyoto, Japan.

A. Orita, Y. Akagi, H. Watanabe, S. Furumatsu, Y. Okuda, H. Akashi, K. Wakamatsu, Synthesis of (Z)-Eneidyne from Three Molecules of Arylethyne via Iodosulfonation, Sonogashira-Hagihara Coupling, and Nucleophilic Substitution, The 15th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (IKCOC-15), PB(C)-53, November 20th - 23rd, 2023, Rihga Royal Hotel Kyoto, Japan.

A. Orita, H. Watanabe, Y. Okuda, Photocatalyst-assisted Reductive Desulfonation of Ethenyl Sulfones, The 16th International Conference on Cutting-Edge Organic Chemistry in Asia (ICCEOCA-16), IL-25, December 1st - 4th, 2023, National University of Singapore (NUS), Singapore.

A. Orita, H. Watanabe, T. Sakami, Y. Nakashima, S. Inohara, Y. Okuda, Synthesis of [n]helicenes via oxidative photocyclization of bis(sulfonyl ethenyl)arenes, International Joint Symposium 2023 on Synthetic Organic Chemistry, 2P-09, December 5th - 8th, 2023, Awaji Yumebutai International Conference Center, Hyogo, Japan

渡部光, 佐藤拓磨, 菅原大地, 奥田靖浩, 折田明浩, 緑色 LED/ピレン光触媒を用いたエテニルスルホンの還元的脱スルホン化による E-オレフィン合成, 日本化学会第102春期年会, P1-2pm-14, オンライン開催, 2022年3月23~26日.

佐藤拓磨, 渡部光, 城山芽生, 奥田靖浩, 折田明浩, 活性制御型ピレン光触媒を用いた $\pi$ 拡張エテニルスルホンの還元的脱スルホン化, P1-2pm-24, 日本化学会第102春季年会, オンライン開催, 2022年3月23~26日.

奥田靖浩, 藤本真世, 清原和也, 桑山愛菜, 折田明浩, イナミンの芳香環形成反応による多環芳香族アミンの合成: 光学特性のチューニングを指向したパイ拡張戦略, 日本化学会第102春季年会, K4-2pm-04, オンライン開催, 2022年3月23~26日.

渡部光, 江國堅登, 奥田靖浩, 田嶋智之, 高口豊, 折田明浩, カーボンナノチューブと複合体を形成する D- $\pi$ -A 型アリーレンエチニレン色素の合成, 第19回ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム, 1P70, 岡山大学津島キャンパス創立五十周年記念館, 2022年6月4~5日.

赤木宥太, 渡部光, 奥田靖浩, 折田明浩, スルホンルエンインを電子アクセプターとして利用したドナー- $\pi$ -アクセプター (D- $\pi$ -A) 型色素の合成と光学特性, 第19回ホスト-ゲスト・

- 超分子化学シンポジウム, 2P52, 岡山大学 津島キャンパス 創立五十周年記念館, 2022年6月4~5日.
- 佐藤拓磨, 渡部 光, 城山芽生, 奥田靖浩, 折田明浩, 活性制御型ピレン光触媒を用いた緑色光照射下での $\pi$ 拡張エテニルスルホンの還元的脱スルホニル化, 第11回 JACI/GSC シンポジウム, A-7, オンライン開催, 2022年6月15~16日.
- 渡部 光, 佐藤拓磨, 菅原大地, 奥田靖浩, 折田明浩, ピレン光触媒によるエテニルスルホンの還元的脱スルホニル化を利用した(E,E)-環状ジエンジエンの合成, 第11回 JACI/GSC シンポジウム, A-22, オンライン開催, 2022年6月15~16日.
- 赤木宥太, 渡部 光, 奥田靖浩, 折田明浩, 電子アクセプターとしてスルホニルエンインを利用したドナー- $\pi$ -アクセプター型色素の合成と光学特性, 第11回 JACI/GSC シンポジウム, A-31, オンライン開催, 2022年6月15~16日.
- 奥田靖浩, 佐藤拓磨, 武部 蒼, 井上友熙, 折田明浩, イナミンを用いた多環芳香族アミン合成: Pd触媒反応から一電子酸化型環化プロセスへの展開, 第11回 JACI/GSC シンポジウム, A-51, オンライン開催, 2022年6月15~16日.
- 渡部 光, 佐藤拓磨, 菅原大地, 奥田靖浩, 折田明浩, ジテニルスルホンの還元的脱スルホニル化による環状ジエンジエンのE選択的合成と光学特性, 第46回有機電子移動化学討論会・第16回有機電子移動化学若手の会, P024, オンライン開催, 2022年6月17~18日.
- 佐藤拓磨, 渡部 光, 城山芽生, 奥田靖浩, 折田明浩, 活性制御型ピレン光触媒を用いたジエン骨格を有するエテニルスルホンの還元的脱スルホニル化, 第46回有機電子移動化学討論会・第16回有機電子移動化学若手の会, P025, オンライン開催, 2022年6月17~18日.
- 奥田靖浩, 佐藤拓磨, 武部 蒼, 井上友熙, 折田明浩, 一電子酸化触媒を用いたイナミンとフトラジンの脱窒素型環化反応, 第46回有機電子移動化学討論会・第16回有機電子移動化学若手の会, P027, オンライン開催, 2022年6月17~18日.
- 赤木宥太, 渡部 光, 奥田靖浩, 折田明浩, スルホニルエンイン構造を有するドナー- $\pi$ -アクセプター(D- $\pi$ -A)色素の合成と光学特性, 第46回有機電子移動化学討論会・第16回有機電子移動化学若手の会, P033, オンライン開催, 2022年6月17~18日.
- 赤木宥太, 渡部 光, 奥田靖浩, 折田明浩, アクセプターにスルホニル基を用いたドナーアクセプター型エンインの合成と光学特性調査, 第36回若手化学者のための化学道場, P-10, 岡山大学津島キャンパス, 2022年9月12~13日.
- 渡部 光, 岸上尚且, 西中萌乃, 森本大貴, 奥田靖浩, 折田明浩, エンインの合成:2-メトキシフェニルスルホニル基を用いた還元的脱スルホニル化の反応制御, 第36回若手化学者のための化学道場, P-21, 岡山大学津島キャンパス, 2022年9月12~13日.
- 奥田靖浩, 佐藤拓磨, 武部 蒼, 井上友熙, 折田明浩, 一電子酸化触媒を用いたイナミンと1,2-ジアジンの脱窒素型芳香環形成反応, 第51回複素環化学討論会, 1P-42, 大阪大学コンベンションセンター, 2022年9月15~17日.
- 佐藤拓磨, 武部 蒼, 井上友熙, 奥田靖浩, 折田明浩, イナミンと1,2-ジアジンをを用いた一電子酸化型脱窒素環化による多環芳香族アミンの合成, 第32回基礎有機化学討論会, 2P087, 京都パルスプラザ, 2022年9月20~22日.
- 渡部 光, 岸上尚且, 西中萌乃, 森本大貴, 奥田靖浩, 折田明浩, 共役エンインの合成:2-メトキシフェニルスルホニル基を用いた還元的脱スルホニル化の反応制御, 2022年日本化学会中国四国支部大会, 1J-06, 広島大学東広島キャンパス, 2022年11月12~13日.
- 奥田靖浩, 佐藤拓磨, 武部 蒼, 井上友熙, 折田明浩, 合成プロセスにより位置選択性を自在転換するホスフィニルイナミンのバイ拡張化学, 1J-07, 広島大学東広島キャンパス, 2022年11月12~13日.
- 赤木宥太, 渡部 光, 奥田靖浩, 折田明浩, スルホニル基をアクセプターに用いたドナーアクセプター型エンインの合成と光学特性調査, 2022年日本化学会中国四国支部大会, 1PB-01, 広島大学東広島キャンパス, 2022年11月12~13日.
- 佐藤拓磨, 武部 蒼, 井上友熙, 奥田靖浩, 折田明浩, 一電子酸化触媒を用いたイナミンとフトラジンの脱窒素型渡環反応, 2022年日本化学会中国四国支部大会, 1PB-15, 広島大学東広

島キャンパス, 2022年11月12~13日.

- 折田明浩, 渡部光, 赤木宥太, 岸上尚且, 西中萌乃, 奥田靖浩, エテニルスルホンをビルディングブロックに用いたパイ拡張化合物の精密合成, OUS フォーラム 2022, A5, 岡山プラザホテル, 11月28日(対面)・11月21日~12月11日(Web公開).
- 奥田靖浩, 佐藤拓磨, 武部蒼, 井上友熙, 松浦信康, 折田明浩, 岡山大学異分野基礎科学研究所, 芳香族アミンおよびスルフィドのプロセス制御型自在合成法の開発, OUS フォーラム 2022, A6, 岡山プラザホテル, 11月28日(対面)・11月21日~12月11日(Web公開).
- 渡部光, 岸上尚且, 西中萌乃, 森本大貴, 奥田靖浩, 折田明浩, 紫色LEDを用いた1,4-ビス(エテニルスルホニル)ベンゼンのMallory環化によるヘリセンの合成, P1-1vn-30, 日本化学会第103春季年会, 東京理科大学野田キャンパス, 2023年3月22~25日.
- 奥田靖浩, 佐藤拓磨, 武部蒼, 井上友熙, 折田明浩, 一電子酸化触媒を用いたイナミンとフタラジンの脱窒素型環化によるパイ拡張アミンの合成, K703-2am-07, 日本化学会第103春季年会, 東京理科大学野田キャンパス, 2023年3月22~25日.
- 奥田靖浩, 森まつり, 松永夏旺, 今田裕二, 折田明浩, ホスフィニル基の還元的分子内環化を鍵戦略とするパイ拡張カルバゾールの合成, O-14, 第47回有機電子移動化学討論会, 慶応義塾大学日吉キャンパス, 2023年6月16~17日.
- 奥田靖浩, 森まつり, 今田裕二, 松永夏旺, 折田明浩, 熱および光化学反応により化学選択性を転換する還元的脱ホスフィニル化を経由した芳香族アミンおよびカルバゾールの合成, 2C-04, 2023年光化学討論会, 広島国際会議場, 2023年9月5~7日.
- 赤木宥太, 渡部光, 奥田靖浩, 折田明浩, エンイン骨格を有するスルホンとアセチリドの付加脱離による(Z)-エンジインの立体選択的合成とその光学特性, 2P93, 2023年光化学討論会, 広島国際会議場, 2023年9月5~7日.
- 奥田靖浩, 森まつり, 松永夏旺, 今田裕二, 折田明浩, 脱ホスフィニル化を鍵過程とする多環芳香族アミンおよびカルバゾールの化学選択的合成, 3B-02, 第33回基礎有機化学討論会, 岡山コンベンションセンター, 2023年9月12~14日.
- 今田裕二, 松永夏旺, 森まつり, 奥田靖浩, 折田明浩, シリル保護チオアルキンをを用いた位置および立体選択的な脱シリル型ヒドロチオ化・ヒドロホスフィン化, 1P111, 第33回基礎有機化学討論会, 岡山コンベンションセンター, 2023年9月12~14日.
- 赤木宥太, 渡部光, 山田隼輔, 奥田靖浩, 折田明浩, スルホニルエンインとアセチリドの付加脱離による(Z)-エンジインの立体選択的合成とその光学特性, 1P114, 第33回基礎有機化学討論会, 岡山コンベンションセンター, 2023年9月12~14日.
- 渡部光, 酒見俊輝, 中島悠雅, 猪原冴子, 奥田靖浩, 折田明浩, ビス(スルホニルエテニル)アレーンのMallory環化による[n]ヘリセンの合成, 1P116, 第33回基礎有機化学討論会, 岡山コンベンションセンター, 2023年9月12~14日.
- 酒見俊輝, 渡部光, 奥田靖浩, 折田明浩, メトキシフェニルスルホニル基が置換したエテニルスルホンの合成と反応性の評価, 2P092, 第33回基礎有機化学討論会, 岡山コンベンションセンター, 2023年9月12~14日.
- 森まつり, 松永夏旺, 今田裕二, 奥田靖浩, 折田明浩, 一電子酸化触媒を用いたイナミンとフタラジンの脱窒素型Diels-Alder反応, 2P098, 第33回基礎有機化学討論会, 岡山コンベンションセンター, 2023年9月12~14日.
- 奥田靖浩, 森まつり, 松永夏旺, 今田裕二, 折田明浩, イナミンおよびホスフィンオキシドの官能基特性を活用した多環芳香族アミンの自在合成, 2023年日本化学会中国四国支部大会, 1A-04, 山口大学常盤キャンパス, 2023年11月11~12日.
- 奥田靖浩, 森まつり, 松永夏旺, 今田裕二, 折田明浩, 岡山大学異分野基礎科学研究所, イナミンを用いた多環芳香族アミンの自在合成と光学特性の調査, A2, OUS フォーラム 2023, 岡山プラザホテル, 2023年11月27日.
- 奥田靖浩, 今田裕二, 松永夏旺, 森まつり, 折田明浩, 松浦信康, 中国 湖南科技大学, チオアルキンの位置および立体選択的な付加反応と生理活性物質の合成, A3, OUS フォーラム 2023, 岡山プラザホテル, 2023年11月27日.

- 渡部光, 酒見俊輝, 猪原冴子, 中島悠雅, 奥田靖浩, 折田明浩, ヘテロ原子置換エテニルスルホンの合成と脱離反応性の評価, A4, OUS フォーラム 2023, 岡山プラザホテル, 2023 年 11 月 27 日.
- 赤木宥太, 山田隼輔, 奥田靖浩, 折田明浩, エテニルスルホンの脱スルホニル型アルキニル化による (Z)- エンジンの立体選択的合成, A5, OUS フォーラム 2023, 岡山プラザホテル, 2023 年 11 月 27 日.
- 宍 罌, 猶原 順, 王 軼重, 米山 侑利, 千代田工販 (株), UV-LED による各種微生物の不活化 — UV-LED 照射微生物不活化装置の開発 —, OUS フォーラム 2022, 2022 年 11 月 28 日
- 猶原 順, UV-LED 照射微生物不活化装置の開発, 第 27 回岡山リサーチパーク研究・展示発表会, 2023 年 1 月 20 日
- 宍 罌, 猶原 順, 井上大知, 大原諒真, 張 揚, 向井彩純, 張 瀚中, 千代田工販 (株), UV-LED による各種微生物の不活化 — 流水型 UV-LED 照射微生物不活化装置の開発 —, OUS フォーラム 2023, 2023 年 11 月 27 日
- 大島貴宏, 世良一真, 中野晟志, 若松寛, 藤澤清史, 田邊洋一, 東村秀之, ヘキサアザトリナフチレンの新規結晶構造の合成と物性, 第 102 回日本化学会春季年会 2022 年 3 月 23 日
- 中野晟志, 浅尾直樹, 藤澤清史, 東村秀之, 2-フェニルフェノールの酸化重合における銅-トリアザシクロナン錯体触媒の置換基効果, 第 102 回日本化学会春季年会 2022 年 3 月 25 日
- 中野晟志, 浅尾直樹, 藤澤清史, 東村秀之, 素モデル触媒による 2-フェニルフェノール 酸化重合の反応機構, 2022 年日本化学会中国四国支部大会 2022 年 11 月 12 日
- 大島貴宏, 若松寛, 満身稔, 藤澤清史, 東村秀之, 新規ヘキサアザトリナフチレン誘導体の構造決定, 新規ヘキサアザトリナフチレン誘導体の構造決定, 2022 年日本化学会中国四国支部大会 2022 年 11 月 12 日
- 武智士門, 谷口奨馬, 中野晟志, 東村秀之, 酵素モデル触媒を用いた 2,5-ジ置換フェノール 酸化重合体の合成, 2022 年日本化学会中国四国支部大会 2022 年 11 月 12 日
- 大島貴宏, 若松寛, 藤澤清史, 東村秀之, ヘキサアザトリナフチレン還元体の同定と性質, 日本化学会 第 103 春季年会 (2023) 2023 年 3 月 23 日
- 中野晟志, 浅尾直樹, 藤澤清史, 東村秀之, 2-フェニルフェノールの酸化重合における酵素モデル触媒の置換基効果と反応機構, 日本化学会 第 103 春季年会 (2023) 2023 年 3 月 23 日
- 武智士門, 中野晟志, 東村秀之, 2-メトキシ-5-シアノフェノール酸化重合体の合成と構造, 日本化学会 第 103 春季年会 (2023) 2023 年 3 月 23 日
- 宮田健伸, 植田悠太, 杉本秀樹, 中野晟志, 東村秀之, 伊東忍, 過酸化水素を酸化剤, 四酸化オスミウムを触媒として用いたベンゼンからフェノール重合体の一段階合成, 日本化学会 第 103 春季年会 (2023) 2023 年 3 月 23 日
- 中野晟志, 中岡由実, 福井李菜, 青木翼, 東村秀之, 酵素モデル触媒を用いた 2-(2-アダマンチル)フェノールの酸化重合による超低誘電性芳香族ポリエーテルの合成, 第 72 回高分子討論会 2023 年 9 月 26 日
- 宮田健伸, 杉本秀樹, 植田悠太, 中野晟志, 東村秀之, 伊東忍, 過酸化水素を酸化剤, 四酸化オスミウムを触媒として用いたベンゼンからフェノール重合体の一段階合成, 第 72 回高分子討論会 2023 年 9 月 26 日
- 伊豆弥生, 在宅ワークの敵は運動不足? — 運動器科学からできる対策とは —, 第 2 回 OUS フロントティアセミナー, 2022, 3 月, オンライン開催
- 藤原溪, 米田大珠, 梶川修平, 伊豆弥生, XII 型コラーゲンによる細胞間の物理的結合が腱再生・修復に必須である, 第 54 回日本結合組織学会, 2022 枚方市総合文化芸術センター, 大阪, 6 月 25~26 日
- 米田大珠, 藤原溪, 梶川修平, 伊豆弥生, 腱・靭帯の異所性骨化における 12 型コラーゲン機能の解明, 第 54 回日本結合組織学会, 2022 枚方市総合文化芸術センター, 大阪, 6 月 25~26 日
- 山城遼翔, 櫛笥悠人, 齋藤文代, 水野理介, 伊豆弥生, XII 型コラーゲンは筋線維間の接着を制御することで筋障害を発症する, 第 54 回日本結合組織学会, 2022 枚方市総合文化芸術センター, 大阪, 6 月 25~26 日

- 櫛笥悠人、齋藤文代、水野理介、伊豆弥生、mEDS の筋障害は、XII 型コラーゲンによる脂肪 - 筋ネットワーク制御の破綻に起因する、第 54 回日本結合組織学会、2022 枚方市総合文化芸術センター、大阪、6 月 25~26 日
- 藤原溪、米田大珠、梶川修平、伊豆弥生、腱の再生・修復には、XII 型コラーゲンによる細胞間の物理的コミュニケーション制御が必須である、第 40 回日本骨代謝学会、2022 長良川国際会議場、岐阜、7 月 22~23 日
- 米田大珠、藤原溪、杉殿晶、梶川修平、齋藤文代、伊豆弥生、12 型コラーゲン欠損は腱・靭帯の骨化を誘導する、第 40 回日本骨代謝学会、2022 長良川国際会議場、岐阜、7 月 22~23 日
- 伊豆弥生、「寝たきりを防ぐ」—ロコモティブシンドロームって何？—、第 22 回市民公開講座、2022 岡山理科大学、愛媛、10 月 22 日
- 伊豆弥生、櫛笥悠人、山城遼翔、Manuel Koch、齋藤文代、水野理介、ミオパチー型 EDS の筋病態メカニズムの解明、第 3 回日本エーラスダンロス症候群研究会、11 月 26 日、オンライン開催
- 伊豆弥生、藤原溪、米田大珠、櫛笥悠人、岩井良輔、齋藤文代、臓器ネットワーク制御による筋脆弱症発症メカニズムの解明、OUS フォーラム 2022、岡山プラザホテル、岡山、11 月 28 日
- 櫛笥悠人、山城遼翔、齋藤文代、水野理介、新井清隆、伊豆弥生、mEDS の筋病態は筋 - 脂肪ネットワーク制御の破綻に起因する、OUS フォーラム 2022、岡山プラザホテル、岡山、11 月 28 日
- 永戸ゆり子、邊見弘明、梶川修平、伊豆弥生、骨特異的 XII 型コラーゲンによる筋制御の可能性、OUS フォーラム 2022、岡山プラザホテル、岡山、11 月 28 日
- 伊豆弥生、ミオパチー型 EDS の筋病態メカニズムの解明、2023 年度 J E F A 年次会合、ウインクあいち、愛知、5 月
- 伊豆弥生、ミオパチー型 EDS の筋病態メカニズムの解明、2023 年度 J E F A 年次会合、ウインクあいち、愛知、5 月
- 藤原溪、米田大珠、梶川修平、伊豆弥生、XII 型コラーゲンは細胞遊走を制御することで腱再生・修復に寄与している、第 55 回日本結合組織学会学術大会、岡山大学、岡山、6 月
- 永戸ゆり子、邊見弘明、梶川修平、今井祐記、伊豆弥生、骨特異的 XII 型コラーゲン欠損は骨格筋量を増加させる、第 55 回日本結合組織学会学術大会、岡山大学、岡山、6 月
- 櫛笥悠人、齋藤文代、百田龍輔、水野理介、伊豆弥生、XII 型コラーゲン欠損は全身の脂質代謝を破綻させることで mEDS の筋脆弱症を引き起こす、第 55 回日本結合組織学会学術大会、岡山大学、岡山、6 月
- 藤原溪、米田大珠、梶川修平、伊豆弥生、XII 型コラーゲンは腱再生・修復における細胞遊走を制御する、第 41 回骨代謝学会学術集会、都市センターホテル、東京、7 月
- 米田大珠、藤原溪、光永翔、梶川修平、伊豆弥生、XII 型コラーゲン欠損は靭帯に異所性骨化を誘導する、第 41 回骨代謝学会学術集会、都市センターホテル、東京、7 月
- 櫛笥悠人、齋藤文代、百田龍輔、水野理介、Manuel Koch、伊豆弥生、mEDS の筋病態は XII 型コラーゲン欠損による脂質代謝制御の破綻に起因する、第 41 回骨代謝学会学術集会、都市センターホテル、東京、7 月
- 永戸ゆり子、邊見弘明、梶川修平、今井祐記、伊豆弥生、骨特異的 XII 型コラーゲンによる筋・結合組織重複疾患の病態解明、第 41 回骨代謝学会学術集会、都市センターホテル、東京、7 月
- 光永翔、宮下亮汰、池戸葵、今井祐記、伊豆弥生、梶川修平、骨芽細胞の発現する 12 型コラーゲンが骨のメカノセンサーとして機能する可能性、第 41 回骨代謝学会学術集会、都市センターホテル、東京、7 月
- 伊豆弥生、藤原溪、米田大珠、藤田望、外菌耀基、李天鎬、アキレス腱修復メカニズムの解明、OUS フォーラム 2023、岡山プラザホテル、岡山、11 月
- 櫛笥悠人、齋藤文代、百田龍輔、水野理介、Manuel Koch、伊豆弥生、脂質代謝異常に起因するミオパチー型 EDS の筋病態は、高脂肪食負荷で改善する、第 4 回日本エーラスダンロス症候群研究会、12 月、オンライン開催

- A. Shimizu, **T. Iwanaga**, Synthesis and structures of Twisted N-containing  $\pi$ -extended anthracene derivatives via oxidative aromatic coupling, 25th IUPAC International Conference on Physical Organic Chemistry (ICPOC-25), Hiroshima, 2022.7.
- A. Shimizu, **T. Iwanaga**, Synthesis and Structures of N-Containing Annulated Anthracene Derivatives via Oxidative Coupling, 3rd OUS Frontier Symposium and The 2023 Annual SPACC Meeting, Okayama, Japan, 2023. 7.
- K. Kawano, **T. Iwanaga**, Synthesis and electronic properties of anthracene bisimide-based donor-acceptor molecules with paraphenylene spacer, 15th International Kyoto Conference on New Aspects Organic Chemistry (IKCOC-15), Kyoto, Japan, 2023. 11.
- A. Shimizu, **T. Iwanaga**, Synthesis and Properties of N-Containing  $\pi$ -Extended 2-Anthrylene Dimer via Oxidative Coupling, 15th International Kyoto Conference on New Aspects Organic Chemistry (IKCOC-15), Kyoto, Japan, 2023. 11.
- 清水厚希, 岩永哲夫, 酸化的カップリングを用いた環状ピアントリル二量体の合成と構造, 第19回ホスト・ゲスト・超分子化学シンポジウム 1P54, 岡山大学, 2022年6月
- 清水厚希, 岩永哲夫, 酸化的カップリングを利用したピアントリル環状化合物の合成と反応機構, 第38回有機合成化学セミナー, 福岡, 2022年9月
- 岩永哲夫, 立山博得, 久井浩行, 9,10-Bis(N,N'-diphenylamino)anthracene bisimide 誘導体の合成と発光特性, 第32回基礎有機化学討論会, 京都, 2022年9月.
- 清水厚希, 岩永哲夫, 酸化的環化反応を用いた縮環型含窒素アントラセン二量体の合成と物性, 2022年度日本化学会中国四国支部大会, 広島大学, 2022年10月
- 國政健, 岩永哲夫, 2,3-置換アントラキノンを組み込んだドナー/アクセプター型分子の合成と分光学的性質, 2022年日本化学会中国四国支部大会, 広島大学, 2022年11月
- 岩永哲夫, 板状パイ共役系ユニットを組み込んだ含窒素大環状分子の合成と物性, 第15回有機 $\pi$ 電子系シンポジウム, 横浜市, 2022年12月 (依頼講演)
- 井上翔一朗, 岩永哲夫, 臭素置換した含窒素ヘリセン誘導体の合成と環状化の検討, 第15回有機 $\pi$ 電子系シンポジウム, 横浜市, 2022年12月
- 尾崎愛美, 岩永哲夫, 3,6-カルバゾールと m-フェニレンジアミンを連結した大環状分子の合成, 第15回有機 $\pi$ 電子系シンポジウム, 横浜市, 2022年12月
- 河野健人, 岩永哲夫, パラフェニレンで連結したアントラセンビスイミド二量体の合成と分光学的性質, 第15回有機 $\pi$ 電子系シンポジウム, 横浜市, 2022年12月
- 岩永哲夫, 田中啓介, アントラセンビスイミド-ブタジニレン鎖状オリゴマーの合成と分光学的性質, 第49回有機典型元素化学討論会, 富山大学, 2022年12月
- 岩永哲夫, 田中啓介, アントラセンビスイミド-ブタジニレンを組み込んだドナー/アクセプター型分子配列の構築と電子特性, 第33回基礎有機化学討論会 3B04, 岡山コンベンションセンター (岡山市), 2023年9月 (口頭)
- 槇原輝, 岩永哲夫, 2,3-二置換アントラキノンを組み込んだ大環状分子の合成と構造, 第33回基礎有機化学討論会 1P51, 岡山コンベンションセンター (岡山市), 2023年9月
- 岩村恭征, 岩永哲夫, 非対称なジエチルアントラセンビスイミド誘導体の合成, 第33回基礎有機化学討論会 2P45, 岡山コンベンションセンター (岡山市), 2023年9月
- 河野健人, 岩永哲夫, パラフェニレンで連結したアントラセンビスイミド基盤ドナー/アクセプター型分子の合成と分光学的性質, 第33回基礎有機化学討論会 2P85, 岡山コンベンションセンター (岡山市), 2023年9月
- 河野健人, 岩永哲夫, 置換位置の異なるフェニルアントラセンを組み込んだアントラセンビスイミド誘導体の合成と分光学的性質, 2023年日本化学会中国四国支部大会, 2PA-37, 山口大学, 2023年11月
- 河野健人, 岩永哲夫, N-フェニルカルバゾールを組み込んだアントラセンビスイミド誘導体の合成と分光学的性質, 第16回有機 $\pi$ 電子系シンポジウム, P11, 兵庫県たつの市, 2023年12月
- 上田貴之, 岩永哲夫, 溶解性置換基を導入した $\pi$ 拡張型 9,10-Bis(phenylethynyl)anthracene 誘導体の合成, 第16回有機 $\pi$ 電子系シンポジウム, P21, 兵庫県たつの市, 2023年12月

- 田中由貴, 岩永哲夫, 9,10-ジ[(E)-スチリル]アントラセンビスイミド誘導体の合成と分光学的性質, 第16回有機 $\pi$ 電子系シンポジウム, P20, 兵庫県たつの市, 2023年12月
- 古長楓, 山内智和, 岩永哲夫, 3,6-置換カルバゾールと $o$ -フェニレンジアミンを連結した大環状分子の合成と分光学的性質, 第16回有機 $\pi$ 電子系シンポジウム, P22, 兵庫県たつの市, 2023年12月
- Kazuho Kanahara, Tetsuya Oda, Elis Kulla, **Akira Uejima** and Kengo Katayama, An Efficient Local Search for the Maximum Clique Problem on Massive Graphs, The 10-th International Conference on Emerging Internet, Data & Web Technologies (EIDWT-2022), Online meeting, March 2-4, 2022.
- 小西秀策, 上嶋明, NVIDIA A100 GPUにおける電位・電界シミュレーションの性能評価, 情報処理学会第85回全国大会, 電気通信大学(調布市), 2023年3月2日~4日
- 高野恵輔, 尾崎亮, 上嶋明, 小畑正貴, PC-FPGA共有ネットワークにおけるプロセスマイグレーションの実装, 2022年電子情報通信学会総合大会, オンライン開催, 2022年3月15日~18日
- 神吉けい太, 肝癌細胞における酵素部位欠損型HDAC9バリエーションの発現と細胞内局在, 第81回日本癌学会学術総会, パシフィコ横浜(横浜市), 2022年9月29日~10月1日
- 神吉けい太, 佐々木千暢, 間葉系幹細胞の神経分化誘導効率化に向けた基質弾性率の検討, OUSフォーラム2022アブストラクト集, p.31, 岡山プラザホテル(岡山市), 2022年11月28日
- 張 睿, 神吉けい太, レスベラトロールによる低グルコース誘導軟骨細胞死の抑制および分化促進効果, 日本農芸化学会中四国支部第65回講演会要旨集, p42, 宇部フロンティア大学(宇部市), 2023年6月3日
- 張 睿, 神吉けい太, 解糖系抑制作用をもつレスベラトロールによる低グルコース誘導軟骨細胞死の抑制と軟骨分化促進効果, 日本組織培養学会第95回大会要旨集, p52, 岡山大学(岡山市), 2023年8月31日~9月1日
- A Transportation Routing Method Based on A\* Algorithm and Hill Climbing for Swarm Robots in WLAN Environment.
- Masahiro Niihara, Nobuki Saito, Chihiro Yukawa, Kyohei Toyoshima, Tetsuya Oda, **Masaharu Hirota**, Leonard Barolli, BWCCA 361-368 2022年
- Shota Iiyama, Tetsuya Oda, **Masaharu Hirota**, SESA: Fast Trajectory Compression Method Using Sub-trajectories Segmented by Stay Areas. ADMA (1) 187-198 2022年
- 奥島 海, 廣田雅春, 地域メッシュ間の人々の移動に基づいた分散表現を用いた地域の分析, 第32回地理情報システム学会研究発表大会, 2023年10月
- Y. Okuda**, M. Mori, N. Matsunaga, Y. Imada, A. Orita Regiodivergent Synthesis of Polycyclic Aromatic Amines via Palladium-Catalyzed Benzannulation of Ynamine and the Subsequent Dephosphinylative Functionalization, The 15th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (IKCOC-15), PB(C)-75, November 20th - 23rd, 2023, Rihga Royal Hotel Kyoto, Japan.
- A. Orita, Y. Akagi, H. Watanabe, S. Furumatsu, **Y. Okuda**, H. Akashi, K. Wakamatsu, Synthesis of (Z)-Eneidyne from Three Molecules of Arylethyne via Iodosulfonylation, Sonogashira-Hagihara Coupling, and Nucleophilic Substitution, The 15th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (IKCOC-15), PB(C)-53, November 20th - 23rd, 2023, Rihga Royal Hotel Kyoto, Japan.
- A. Orita, H. Watanabe, **Y. Okuda**, Photocatalyst-assisted Reductive Desulfonylation of Ethenyl Sulfones, The 16th International Conference on Cutting-Edge Organic Chemistry in Asia (ICCEOCA-16), IL-25, December 1st - 4th, 2023, National University of Singapore (NUS), Singapore.
- A. Orita, H. Watanabe, T. Sakami, Y. Nakashima, S. Inohara, **Y. Okuda**, Synthesis of [n]helicenes via oxidative photocyclization of bis(sulfonylethenyl)arenes, International Joint Symposium 2023 on Synthetic Organic Chemistry, 2P-09, December 5th - 8th, 2023, Awaji Yumebutai International Conference Center, Hyogo, Japan
- H. Watanabe, T. Sato, D. Sugawara, **Y. Okuda**, A. Orita, Pyrene Photocatalyst/Visible Light Promoted Reductive Desulfonylation of Diethenyl Sulfones, 2022年光化学討論会, 2P90, 京都大学桂キャ

- ンパス, 2022年9月13~15日.
- 渡部 光, 佐藤拓磨, 菅原大地, 奥田靖浩, 折田明浩, 緑色LED/ピレン光触媒を用いたエテニルスルホンの還元的脱スルホニル化によるE-オレフィン合成, 日本化学会 第102春期年会, P1-2pm-14, オンライン開催, 2022年3月23~26日.
- 佐藤拓磨, 渡部 光, 城山芽生, 奥田靖浩, 折田明浩, 活性制御型ピレン光触媒を用いた $\pi$ 拡張エテニルスルホンの還元的脱スルホニル化, P1-2pm-24, 日本化学会 第102春季年会, オンライン開催, 2022年3月23~26日.
- 奥田靖浩, 藤本真世, 清原和也, 桑山愛菜, 折田明浩, イナミンの芳香環形成反応による多環芳香族アミンの合成: 光学特性のチューニングを指向したパイ拡張戦略, 日本化学会 第102春季年会, K4-2pm-04, オンライン開催, 2022年3月23~26日.
- 渡部 光, 江國堅登, 奥田靖浩, 田嶋智之, 高口 豊, 折田明浩, カーボンナノチューブと複合体を形成するD- $\pi$ -A型アアリーレンエチニレン色素の合成, 第19回 ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム, 1P70, 岡山大学津島キャンパス 創立五十周年記念館, 2022年6月4~5日.
- 赤木宥太, 渡部 光, 奥田靖浩, 折田明浩, スルホニルエンインを電子アクセプターとして利用したドナー- $\pi$ -アクセプター(D- $\pi$ -A)型色素の合成と光学特性, 第19回 ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム, 2P52, 岡山大学津島キャンパス 創立五十周年記念館, 2022年6月4~5日.
- 佐藤拓磨, 渡部 光, 城山芽生, 奥田靖浩, 折田明浩, 活性制御型ピレン光触媒を用いた緑色光照射下での $\pi$ 拡張エテニルスルホンの還元的脱スルホニル化, 第11回 JACI/GSC シンポジウム, A-7, オンライン開催, 2022年6月15~16日.
- 渡部 光, 佐藤拓磨, 菅原大地, 奥田靖浩, 折田明浩, ピレン光触媒によるエテニルスルホンの還元的脱スルホニル化を利用した(E,E)-環状ジエンジエンの合成, 第11回 JACI/GSC シンポジウム, A-22, オンライン開催, 2022年6月15~16日.
- 赤木宥太, 渡部 光, 奥田靖浩, 折田明浩, 電子アクセプターとしてスルホニルエンインを利用したドナー- $\pi$ -アクセプター型色素の合成と光学特性, 第11回 JACI/GSC シンポジウム, A-31, オンライン開催, 2022年6月15~16日.
- 奥田靖浩, 佐藤拓磨, 武部 蒼, 井上友熙, 折田明浩, イナミンを用いた多環芳香族アミン合成: Pd触媒反応から一電子酸化型環化プロセスへの展開, 第11回 JACI/GSC シンポジウム, A-51, オンライン開催, 2022年6月15~16日.
- 渡部 光, 佐藤拓磨, 菅原大地, 奥田靖浩, 折田明浩, ジテニルスルホンの還元的脱スルホニル化による環状ジエンジエンのE選択的合成と光学特性, 第46回有機電子移動化学討論会・第16回有機電子移動化学若手の会, P024, オンライン開催, 2022年6月17~18日.
- 佐藤拓磨, 渡部 光, 城山芽生, 奥田靖浩, 折田明浩, 活性制御型ピレン光触媒を用いたジエン骨格を有するエテニルスルホンの還元的脱スルホニル化, 第46回有機電子移動化学討論会・第16回有機電子移動化学若手の会, P025, オンライン開催, 2022年6月17~18日.
- 奥田靖浩, 佐藤拓磨, 武部 蒼, 井上友熙, 折田明浩, 一電子酸化触媒を用いたイナミンとフタラジンの脱窒素型環化反応, 第46回有機電子移動化学討論会・第16回有機電子移動化学若手の会, P027, オンライン開催, 2022年6月17~18日.
- 赤木宥太, 渡部 光, 奥田靖浩, 折田明浩, スルホニルエンイン構造を有するドナー- $\pi$ -アクセプター(D- $\pi$ -A)色素の合成と光学特性, 第46回有機電子移動化学討論会・第16回有機電子移動化学若手の会, P033, オンライン開催, 2022年6月17~18日.
- 赤木宥太, 渡部 光, 奥田靖浩, 折田明浩, アクセプターにスルホニル基を用いたドナーアクセプター型エンインの合成と光学特性調査, 第36回若手化学者のための化学道場, P-10, 岡山大学津島キャンパス, 2022年9月12~13日.
- 渡部 光, 岸上尚且, 西中萌乃, 森本大貴, 奥田靖浩, 折田明浩, エンインの合成: 2-メトキシフェニルスルホニル基を用いた還元的脱スルホニル化の反応制御, 第36回若手化学者のための化学道場, P-21, 岡山大学津島キャンパス, 2022年9月12~13日.
- 奥田靖浩, 佐藤拓磨, 武部 蒼, 井上友熙, 折田明浩, 一電子酸化触媒を用いたイナミンと1,2-ジアジンの脱窒素型芳香環形成反応, 第51回複素環化学討論会, 1P-42, 大阪大学コンベンションセンター, 2022年9月15~17日.

- 佐藤拓磨, 武部 蒼, 井上友熙, 奥田靖浩, 折田明浩, イナミンと 1,2-ジアジンをを用いた一電子酸化型脱窒素環化による多環芳香族アミンの合成, 第 32 回基礎有機化学討論会, 2P087, 京都パルスプラザ, 2022 年 9 月 20 ~ 22 日.
- 渡部 光, 岸上尚且, 西中萌乃, 森本大貴, 奥田靖浩, 折田明浩, 共役エンインの合成:2-メトキシフェニルスルホニル基を用いた還元的脱スルホニル化の反応制御, 2022 年日本化学会中国四国支部大会, 1J-06, 広島大学 東広島キャンパス, 2022 年 11 月 12 ~ 13 日.
- 奥田靖浩, 佐藤拓磨, 武部 蒼, 井上友熙, 折田明浩, 合成プロセスにより位置選択性を自在転換するホスフィニルイナミンのパイ拡張化学, 1J-07, 広島大学 東広島キャンパス, 2022 年 11 月 12 ~ 13 日.
- 赤木宥太, 渡部 光, 奥田靖浩, 折田明浩, スルホニル基をアクセプターに用いたドナーアクセプター型エンインの合成と光学特性調査, 2022 年日本化学会中国四国支部大会, 1PB-01, 広島大学 東広島キャンパス, 2022 年 11 月 12 ~ 13 日.
- 佐藤拓磨, 武部 蒼, 井上友熙, 奥田靖浩, 折田明浩, 一電子酸化触媒を用いたイナミンとフタラジンの脱窒素型渡環反応, 2022 年日本化学会中国四国支部大会, 1PB-15, 広島大学 東広島キャンパス, 2022 年 11 月 12 ~ 13 日.
- 折田明浩, 渡部 光, 赤木宥太, 岸上尚且, 西中萌乃, 奥田靖浩, エテニルスルホンをビルディングブロックに用いたパイ拡張化合物の精密合成, OUS フォーラム 2022, A5, 岡山プラザホテル, 11 月 28 日 (対面)・11 月 21 日~12 月 11 日 (Web 公開).
- 奥田靖浩, 佐藤拓磨, 武部 蒼, 井上友熙, 松浦信康, 折田明浩, 岡山大学異分野基礎科学研究所, 芳香族アミンおよびスルフィドのプロセス制御型自在合成法の開発, OUS フォーラム 2022, A6, 岡山プラザホテル, 11 月 28 日 (対面)・11 月 21 日~12 月 11 日 (Web 公開).
- 渡部光, 岸上尚且, 西中萌乃, 森本大貴, 奥田靖浩, 折田明浩, 紫色 LED を用いた 1,4-ビス(エテニルスルホニル)ベンゼンの Mallory 環化によるヘリセンの合成, P1-1vn-30, 日本化学会 第 103 春季年会, 東京理科大学 野田キャンパス, 2023 年 3 月 22 ~ 25 日.
- 奥田靖浩, 佐藤拓磨, 武部蒼, 井上友熙, 折田明浩, 一電子酸化触媒を用いたイナミンとフタラジンの脱窒素型環化によるパイ拡張アミンの合成, K703-2am-07, 日本化学会 第 103 春季年会, 東京理科大学 野田キャンパス, 2023 年 3 月 22 ~ 25 日.
- 奥田靖浩, 森まつり, 松永夏旺, 今田裕二, 折田明浩, ホスフィニル基の還元的分子内環化を鍵戦略とするパイ拡張カルバゾールの合成, O-14, 第 47 回有機電子移動化学討論会, 慶応義塾大学 日吉キャンパス, 2023 年 6 月 16 ~ 17 日.
- 奥田靖浩, 森まつり, 今田裕二, 松永夏旺, 折田明浩, 熱および光化学反応により化学選択性を転換する還元的脱ホスフィニル化を経由した芳香族アミンおよびカルバゾールの合成, 2C-04, 2023 年光化学討論会, 広島国際会議場, 2023 年 9 月 5 ~ 7 日.
- 赤木宥太, 渡部光, 奥田靖浩, 折田明浩, エンイン骨格を有するスルホンとアセチリドの付加脱離による (Z)-エンジンの立体選択的合成とその光学特性, 2P93, 2023 年光化学討論会, 広島国際会議場, 2023 年 9 月 5 ~ 7 日.
- 奥田靖浩, 森まつり, 松永夏旺, 今田裕二, 折田明浩, 脱ホスフィニル化を鍵過程とする多環芳香族アミンおよびカルバゾールの化学選択的合成, 3B-02, 第 33 回基礎有機化学討論会, 岡山コンベンションセンター, 2023 年 9 月 12 ~ 14 日.
- 今田裕二, 松永夏旺, 森まつり, 奥田靖浩, 折田明浩, シリル保護チオアルキンをを用いた位置および立体選択的な脱シリル型ヒドロチオ化・ヒドロホスフィン化, 1P111, 第 33 回基礎有機化学討論会, 岡山コンベンションセンター, 2023 年 9 月 12 ~ 14 日.
- 赤木宥太, 渡部光, 山田隼輔, 奥田靖浩, 折田明浩, スルホニルエンインとアセチリドの付加脱離による (Z)-エンジンの立体選択的合成とその光学特性, 1P114, 第 33 回基礎有機化学討論会, 岡山コンベンションセンター, 2023 年 9 月 12 ~ 14 日.
- 渡部光, 酒見俊輝, 中島悠雅, 猪原冴子, 奥田靖浩, 折田明浩, ビス(スルホニルエテニル)アレーンの Mallory 環化による [n]ヘリセンの合成, 1P116, 第 33 回基礎有機化学討論会, 岡山コンベンションセンター, 2023 年 9 月 12 ~ 14 日.

- 酒見俊輝, 渡部光, 奥田靖浩, 折田明浩, メトキシフェニルスルホニル基が置換したエテニルスルホンの合成と反応性の評価, 2P092, 第33回基礎有機化学討論会, 岡山コンベンションセンター, 2023年9月12~14日.
- 森まつり, 松永夏旺, 今田裕二, 奥田靖浩, 折田明浩, 一電子酸化触媒を用いたイナミンとフタラジンの脱窒素型 Diels-Alder 反応, 2P098, 第33回基礎有機化学討論会, 岡山コンベンションセンター, 2023年9月12~14日.
- 奥田靖浩, 森まつり, 松永夏旺, 今田裕二, 折田明浩, イナミンおよびホスフィンオキシドの官能基特性を活用した多環芳香族アミンの自在合成, 2023年日本化学会中国四国支部大会, 1A-04, 山口大学常盤キャンパス, 2023年11月11~12日.
- 奥田靖浩, 森まつり, 松永夏旺, 今田裕二, 折田明浩, 岡山大学異分野基礎科学研究所, イナミンを用いた多環芳香族アミンの自在合成と光学特性の調査, A2, OUS フォーラム 2023, 岡山プラザホテル, 2023年11月27日.
- 奥田靖浩, 今田裕二, 松永夏旺, 森まつり, 折田明浩, 松浦信康, 中国 湖南科技大学, チオアルキンの位置および立体選択的な付加反応と生理活性物質の合成, A3, OUS フォーラム 2023, 岡山プラザホテル, 2023年11月27日.
- 渡部光, 酒見俊輝, 猪原芽子, 中島悠雅, 奥田靖浩, 折田明浩, ヘテロ原子置換エテニルスルホンの合成と脱離反応性の評価, A4, OUS フォーラム 2023, 岡山プラザホテル, 2023年11月27日.
- 赤木宥太, 山田隼輔, 奥田靖浩, 折田明浩, エテニルスルホンの脱スルホニル型アルキニル化による (Z)-エンジインの立体選択的合成, A5, OUS フォーラム 2023, 岡山プラザホテル, 2023年11月27日.

## 特許

### フロンティア理工学研究所研究員

- Yuichi Imai, Tatsuyuki Nakatani, Susumu Ozawa, Yasuhiro Fujii, Haruhito Uchida, Film formation method, US. Patent number: 11401604, Aug 2, 2022
- 米澤健, 高橋希世美, 太田裕己, 呉準席, 伊藤昌文, 古閑一憲, 白谷正浩, 中谷達行, スパッタ装置用カソードユニット, 特許第 7020646 号, 2022年2月7日
- 中谷達行, 金貞玉, 佐々木誠, 生体吸収性医療器具の表面処理方法, 特許第 7041902 号, 2022年3月16日
- 辻龍典, 栗田憲明, 中谷達行, 逢坂大樹, 藤井泰宏, 今井裕一, マルチルーメンカテーテルの製造方法, 特願 2022-102549, 2022年6月27日
- 市來龍大, 金沢誠司, 中谷達行, 永島正嗣, 崔源煥, 窒化处理装置, 特許第 7174943 号, 2022年11月10日
- 市來龍大, 中谷達行, 園田正樹, 医療用材料及びその製造方法, 特願 2-23-000902, 2023年1月6日
- 栗田憲明, 種本和雄, 藤井泰宏, 辻龍典, 逢坂大樹, 中谷達行, 今井裕一, 血管留置カテーテル及び黄色ブドウ球菌コロニー形成抑制方法, 特願 2023-038414, 2023年3月13日
- 中谷達行, 藤井泰宏, 逢坂大樹, 大澤晋, 國次真輔, 栗田憲明, 今井裕一, 生体機能性材料, 特願 2023-103922, 2023年6月26日
- 古閑一憲, 白谷正治, 黄成和, 米澤健, 太田裕己, 高橋希望世美, 中谷達行, 呉準席, 伊藤昌文, カーボンナノ粒子の製造方法, 特許第 7350235 号, 令和 5 年 9 月 15 日
- 今井裕一, 中谷達行, 大澤晋, 藤井泰宏, 内田治仁, 成膜方法, 成膜装置及び医療用材料, 中華民國發明第 I817940 号, 2023年10月11日
- 特願特願 2023-142254: 造影剤を含有する細胞凝集塊の製造方法及びそれにより得られる細胞凝集塊, 2023年9月1日, 鈴木康平, 岩崎美耶, 岩井良輔, 藤魯鵬, 福島宗一郎, 岡野ジェイムス洋尚, 長谷川 実奈美, 小泉誠

## 兼務研究員

**HIGASHIMURA Hideyuki**, Sheikh Md Chanmiya, ISOMURA Takenori, UWAMORI Masahiro, ANION EXCHANGE RESIN, ANION EXCHANGE MEMBRANE, ANION-EXCHANGE-GROUP-CONTAINING MONOMER, AND QUATERNARY-IMIDAZOLE-GROUP-CONTAINING MONOMER, WO-A1-2023/190590, 20231005

## 受 賞

フロンティア理工学研究所研究員

OUS フォーラム 2021 奨励賞 (2021 年 12 月 21 日) .

(対象講演)「磁気浮上によるタンパク質結晶化技術」

【筆頭受賞】 牧 祥, 廣田憲之, 萩原政幸

## 兼務研究員

【OUS フォーラム奨励賞】 宮川ゆい, 朱夏希, 江藤真澄, 赤木徹也, 加速度センサーを使った低侵襲な動物の呼吸モニタリング, OUS フォーラム, 2022, 2022 年 11 月 18 日

【OUS フォーラム 2023 奨励賞】 宍 壘, 猶原 順, 井上大知, 大原諒真, 張 揚, 向井彩純, 張 瀚中, 千代田工販(株), UV-LED による各種微生物の不活化 一流水型 UV-LED 照射微生物不活化装置の開発, OUS フォーラム 2023, 2023 年 11 月 27 日

【OUS フォーラム奨励賞】 Beyond 5G を目指した高速通信デバイス材料の開発, 東村秀之, 中野晟志, 浅尾直樹, 藤澤清史, 2022 年 11 月 28 日

【第 54 日本結合組織学会 Young Investigator Award】 藤原溪, 米田大珠, 梶川修平, 伊豆弥生, XII 型コラーゲンによる細胞間の物理的結合が腱再生・修復に必須である, 第 54 回日本結合組織学会, 2022 枚方市総合文化芸術センター, 大阪, 6 月 25~26 日

【第 40 日本骨代謝学会 Student Resident Poster 最優秀賞】 藤原溪, 米田大珠, 梶川修平, 伊豆弥生, 腱の再生・修復には, XII 型コラーゲンによる細胞間の物理的コミュニケーション制御が必須である, 第 40 回日本骨代謝学会, 2022 長良川国際会議場, 岐阜, 7 月 22~23 日

【第 40 日本骨代謝学会 Student Resident Poster 優秀賞】 米田大珠, 藤原溪, 杉殿晶, 梶川修平, 齋藤文代, 伊豆弥生, 12 型コラーゲン欠損は腱・靭帯の骨化を誘導する, 第 40 回日本骨代謝学会, 2022 長良川国際会議場, 岐阜, 7 月 22~23 日

【第 2 回 JFEA 賞 (基礎部門・最優秀賞)】 伊豆弥生, 榊悠人, 山城遼翔, Manuel Koch, 齋藤文代, 水野理介, ミオパチー型 EDS の筋病態メカニズムの解明, 2022 第 3 回日本エーラスダンロス症候群研究会, 11 月 26 日

【内藤記念科学振興財団科学奨励賞】 伊豆弥生, 脂肪エネルギー代謝が制御する筋力増加メカニズムの解明, 2023 年 3 月 16 日

【岡山理科大学プロジェクト研究学長特別賞受賞】 伊豆弥生, 臓器ネットワーク制御による筋脆弱症発症メカニズムの解明, 2023 年 3 月

【第 55 日本結合組織学会 Young Investigator Award】 榊悠人, 齋藤文代, 百田龍輔, 水野理介, 伊豆弥生, XII 型コラーゲン欠損は全身の脂質代謝を破綻させることで mEDS の筋脆弱症を引き起こす, 第 55 回日本結合組織学会, 2023 岡山大学鹿田キャンパス, 岡山, 6 月 24~25 日

【第 41 日本骨代謝学会 Student Resident Poster 優秀賞】 永戸ゆり子, 逸見弘明, 梶川修平, 今井祐記, 伊豆弥生, 骨特異的 XII 型コラーゲンによる筋・結合組織重複疾患の病態解明, 第 41 回日本骨代謝学会, 2023 都市センターホテル, 東京, 7 月 27~28 日

【第 41 日本骨代謝学会 Student Resident Poster 入賞】 光永翔, 宮下亮汰, 池戸葵, 今井祐記, 伊豆弥生, 梶川修平, 骨芽細胞の発現する 12 型コラーゲンが骨のメカノセンサーとして機能する可能性, 第 41 回日本骨代謝学会, 2023 都市センターホテル, 東京, 7 月 27~28 日

【教育功労賞】 上嶋明, 一般社団法人電子情報通信学会, 2022 年 3 月 17 日

【岡山理科大学学長表彰】 上嶋明, 岡山理科大学, 2023 年 5 月 31 日

【令和4年度 岡山県産業振興財団科学技術賞】奥田靖浩, 分子生物学における合成基盤化を指向したイナミンの生体適合型パイ拡張, 公益財団法人 岡山工学振興会, 2022年7月12日.

その他

フロンティア理工学研究所研究員

牧 祥, “磁気力ブースターを利用したタンパク質の無容器結晶成長法”, 大阪大学大学院理学研究科附属 先端強磁場科学研究センター年次報告書 No. 9 (令和4年度), pp.17-19 (2023).

専門研究会・委員会報告

フロンティア理工学研究所研究員

矢城陽一郎, 研究進捗報告 (岡山理大班), FMO 創薬コンソーシアム第18回全体会議, オンライン, 2023年11月14日

矢城陽一郎, 研究進捗報告 (岡山理大班), FMO 創薬コンソーシアム第17回リーダー会議, オンライン, 2023年10月18日

矢城陽一郎, 酵素 WG プロテアーゼ班研究進捗報告, FMO 創薬コンソーシアム第16回リーダー会議, オンライン, 2023年3月15日

矢城陽一郎, 酵素 WG プロテアーゼ班研究進捗報告, FMO 創薬コンソーシアム第16回全体会議, オンライン, 2022年10月17日

矢城陽一郎, 酵素 WG プロテアーゼ班研究進捗報告, FMO 創薬コンソーシアム第15回リーダー会議, オンライン, 2022年10月4日

矢城陽一郎, 酵素 WG プロテアーゼ班研究進捗報告, FMO 創薬コンソーシアム第15回全体会議, オンライン, 2022年3月8日

岡山理科大学  
フロンティア工学研究所研究報告 第5号

2023年12月31日 発行

編集兼  
発行所 岡山理科大学フロンティア工学研究所  
〒700-0005 岡山市北区理大町1-1  
TEL 086(252)3161  
FAX 086(256)8480

発行者 赤 司 治 夫

編 集 フットプリントかわの  
〒595-0005 大阪府泉大津市森町2-23-2  
TEL 0725(34)0165