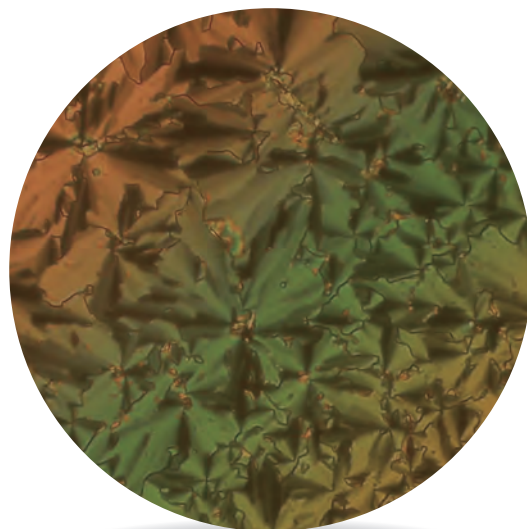
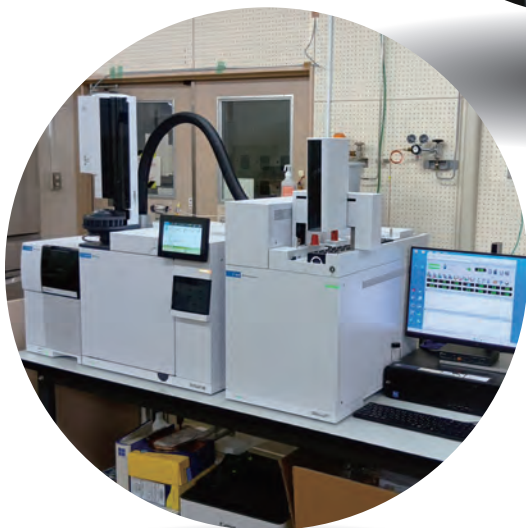
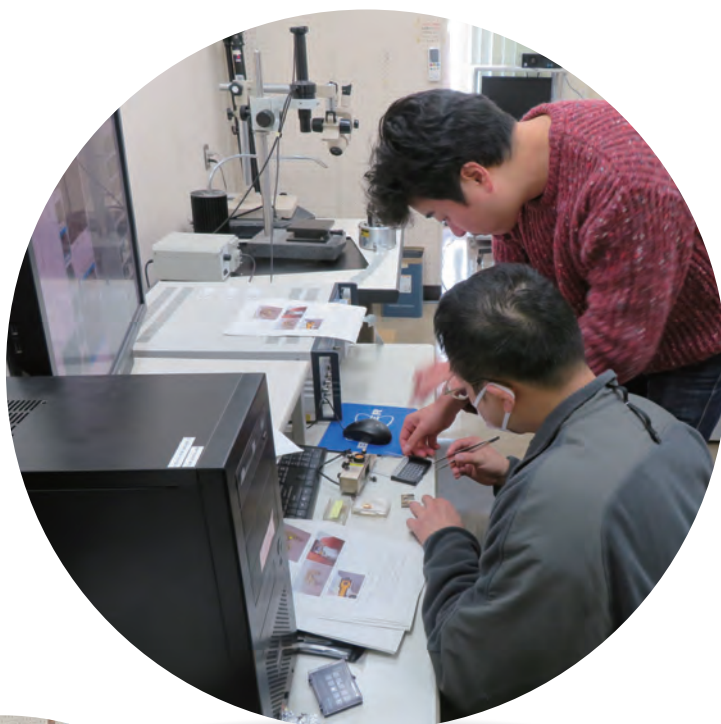


# CACS FORUM

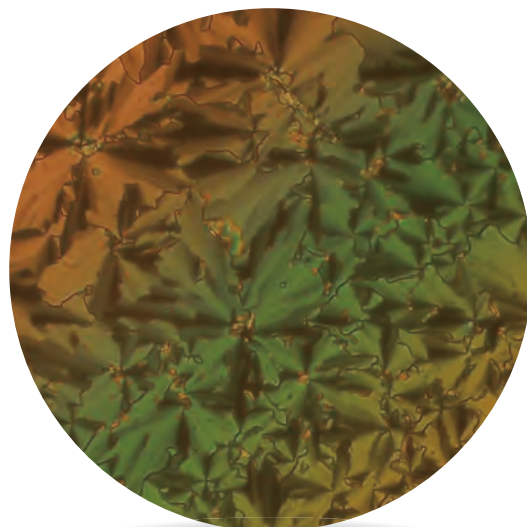
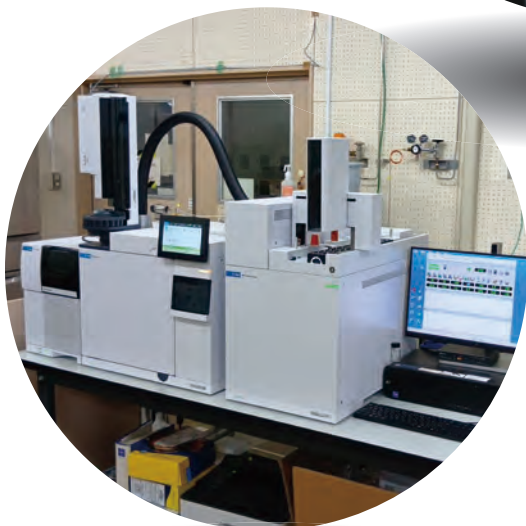
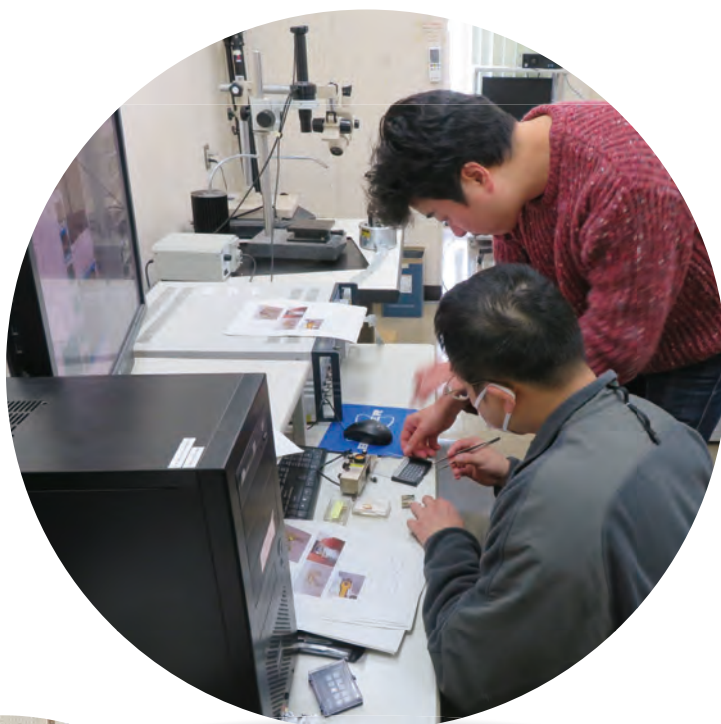
Comprehensive Analysis Center for Science, Saitama University



No. 16 2025  
CODEN: CFAOBY

# CACS FORUM

Comprehensive Analysis Center for Science, Saitama University



No. 16 2025  
CODEN: CFAOBY

# 目次

## 《巻頭言》

CACS FORUM No.16 の発行に寄せて ..... 研究機構長 石井 昭彦 ..... 1

## 《運営組織》

科学分析支援センター運営組織・科学分析支援センター会議委員名簿 ..... 2

科学分析支援センター保有機器一覧 ..... 3

## 《マイルビュー》

人・材料・データとの出会いが導いた物性研究の軌跡 ..... 理工学研究科数理電子情報部門 酒井 政道 ..... 5

## 《若手研究者の紹介》

キラル化合物の特異な磁性・電子状態 ..... 理工学研究科物質科学部門 佐藤 芳樹 ..... 25

## 《forum in FORUM》

ガスクロマトグラフ質量分析装置 ..... 総合技術支援センター 新美 智久 ..... 29

Agilent 5977C GC/MSD の紹介

## 《センターより》

実験系廃液回収・環境分析の活動報告 ..... 科学分析支援センター 新美 智久 ..... 32

2024 年度科学分析支援センター活動日誌 ..... 41

2024 年度科学分析支援センター活動報告書 ..... 52

2024 年度機器等利用実績まとめ ..... 65

2024 年度科学分析支援センター機器等を使用した受賞 ..... 77

2024 年科学分析支援センター機器使用研究業績 ..... 78

編集後記

表紙の写真の説明

中央 装置講習 走査型プローブ顕微鏡 MultiMode8

右下 試料 液晶化合物のブロークンファン組織

科学分析支援センター 講師 安武幹雄氏 提供

左下 測定機器 四重極 GC 質量分析装置 5977C GC/MSD

## 《巻頭言》

# CACS FORUM No.16 の発行に寄せて

研究機構長 石井 昭彦

科学分析支援センター機関誌，CACS FORUM No.16 の発行にあたり，センター教職員及び関係された皆様にお喜び申し上げます。

さて，去る9月4～5日，本学において2025年度埼玉大学機器・分析技術研究会が開催されました。総合技術支援センターの主催で，徳永誠総括技師が実行委員長を務められました。このような機器分析技術に関する全国規模の大会が本学で開かれるのは初めてのことであり，科学分析支援センターの長年に渡る管理運営業務の実績が全国的にも高く評価されていることの証と思います。

折しも台風15号が通過し交通機関に乱れがありましたが，この研究会には，北海道から九州，沖縄まで多くの参加者がありました。プログラムによると，研究ともいえるような発表から維持・管理に関する報告まで幅広い分野での発表があり，技術系職員の守備範囲がとても広いことがよく分かります。開会式では，坂井学長の挨拶の後，筆者も挨拶させていただきました。以下，その挨拶と重複する話ですがご容赦ください。

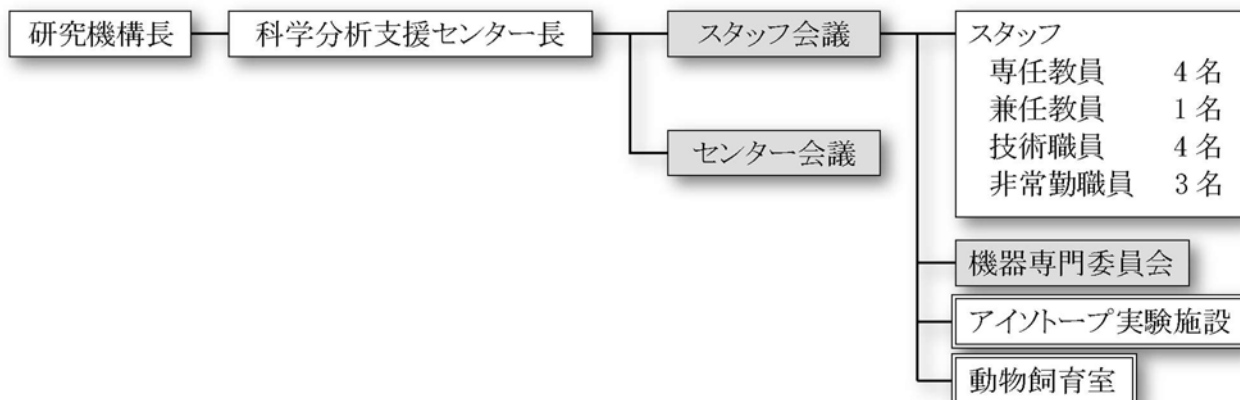
実験系の研究の進歩が実験環境や分析機器の進歩と切り離せないことは論を俟たないことでしょう。それまで出来なかった実験が出来るようになる，見ることが出来なかった現象が見えるようになるといったことが起こります。ちょうど東京世界陸上の開幕が一週間後であったこともあり，例えとして取り上げたのが，陸上競技とシューズの話です。いわゆる厚底シューズの開発によりマラソンの記録が飛躍的に短縮されたのはよく知られていることですが，それは短距離走の世界でも同様で，高反発カーボンプレートとフォーム材を組み合わせたシューズが開発され，加えて，いわゆる高速タータンと呼ばれるポリウレタン製全天候型トラックの効果もあり，日本人選手にも好記録が続々と生まれています。もちろん，選手には，よい記録を出すために，そのようなシューズやトラックを使いこなすための並々ならぬトレーニングが求められます。

この選手とシューズの関係は研究者と実験器具・分析機器との関係とよく似ていると思います。研究者のアイデアとそれを実証・実現するための新しい技術が両輪となり，新規な知見が得られるのです。その意味で，本学の研究力アップのためには，科学分析支援センターの質・量両方の充実が必要です。その上で，新しい分析技術が開発され新規な研究成果に繋がれば素晴らしいことだと思います。今後そのように発展することを期待します。

最後になりますが，文科省は分析機器・研究設備の共用化や大学間連携に加えて分析機器メーカーとの産学連携による技術開発と人材育成を推進する方針をもっています。その際，研究機器に関わる教職員は大きな力になるはずで，今後もセンター教職員と利用者の協働により，科学分析支援センターが存在感を高め，ますます発展することをお祈りいたします。

《運営組織》

科学分析支援センター運営組織



埼玉大学研究機構科学分析支援センター会議委員

2025年4月1日現在

氏名	所属	任期
日原 由香子	科学分析支援センター(分子生物学科) 教授	2026年3月31日
藤原 隆司	科学分析支援センター(基礎化学科) 准教授	
松岡 聡	科学分析支援センター(分子生物学科) 准教授	
安武 幹雄	科学分析支援センター(応用化学科) 講師	
小林 拓矢	科学分析支援センター(物理学科) 助教	
川村 哲規	理工学研究科(生体制御) 准教授(兼任)	
富岡 寛顕	教育学部 教授	2026年3月31日
道村 真司	理工学研究科(物理学科) 准教授	2026年3月31日
斎藤 雅一	理工学研究科(基礎化学科) 教授	2026年3月31日
是枝 晋	理工学研究科(分子生物学科) 講師	2026年3月31日
畠山 晋	理工学研究科(生体制御学科) 准教授	2026年3月31日
柳瀬 郁夫	理工学研究科(応用化学科) 准教授	2026年3月31日
田所 千治	理工学研究科(機械工学・システムデザイン学科) 准教授	2026年3月31日
藤野 毅	理工学研究科(環境社会デザイン学科) 教授	2026年3月31日
間邊 哲也	情報メディア基盤センター 准教授	2026年3月31日

《運営組織》

科学分析支援センター保有機器一覧

機器名	運用 担当者	学部生	博士 前期 課程	博士 後期 課程	教職員	依頼 分析
核磁気共鳴装置(AV300)	藤原 隆司	○	○	○	○	○
核磁気共鳴装置(AV500)	藤原 隆司	○	○	○	○	○
核磁気共鳴装置(AV500T)	藤原 隆司	×	△*1	○	○	○
高感度核磁気共鳴装置(AV400)	藤原 隆司	×	△*1	○	○	○
電子スピン共鳴装置	藤原 隆司	○	○	○	○	○
Pulse 電子スピン共鳴装置	藤原 隆司	×	○	○	○	○
四重極 GC 質量分析装置	新美 智久	×	×	×	×	○
飛行時間型質量分析装置	新美 智久	×	○	○	○	○
高分解能磁場型質量分析装置	新美 智久	×	○	○	○	○
ナノフロー-LC 質量分析装置	新美 智久	×	○	○	○	○
示差走査熱量計	黒土 優太	○	○	○	○	○
示差熱重量測定装置	黒土 優太	○	○	○	○	○
示差熱重量発生ガス分析装置	黒土 優太	×	×	×	×	○
X線光電子分析装置	齋藤 由明	×	○	○*4	○	○
走査型プローブ顕微鏡	高宮 健吾	○	○	○	○	○
表面形状解析レーザー顕微鏡	結川 達也	△*2	○	○	○	○
接触角測定装置	石川 良	○	○	○	○	○
汎用走査型分析電子顕微鏡	徳永 誠	△*2	○	○	○	○
低温低真空走査型電子顕微鏡	徳永 誠	△*2	○	○	○	○
高分解能走査型分析電子顕微鏡	徳永 誠	△*2	○	○	○	○
超高分解能走査型分析電子顕微鏡	徳永 誠	×	×	×	○	○
透過型電子顕微鏡 (200 kV)	徳永 誠	×	×	×	○	○
透過型電子顕微鏡 (120 kV)	辻 季美江	×	○	○	○	○
共焦点レーザー顕微鏡	結川 達也	△*3	○	○	○	○
誘導結合プラズマ発光分析装置	藤原 隆司	○	○	○	○	○
小型蛍光寿命測定装置	藤原 隆司	○	○	○	○	○

ZETA 電位・粒径・分子量測定装置	黒土 優太	△*2	○	○	○	○
蛍光 X 線分析装置	徳永 誠	×	○	○	○	○
卓上型粉末 X 線回折装置 (水平型)	徳永 誠	○	○	○	○	○
粉末 X 線回折装置(水平型)	徳永 誠	○	○	○	○	○
高輝度二次元X線回折装置	徳永 誠	×	×	△*2	○	○
多機能粉末X線回折装置	安武 幹雄	×	○	○	○	○
高速粉末 X 線回折装置 (水平型)	徳永 誠	×	○	○	○	○
単結晶構造解析装置	藤原 隆司	×	×	×	○	○
高輝度 CCD 型単結晶構造解析装置	藤原 隆司	×	×	×	×	×
顕微レーザーラマン分光光度計	藤原 隆司	△*3	○	○	○	○
汎用フーリエ変換赤外分光光度計	藤原 隆司	○	○	○	○	○
顕微フーリエ変換赤外分光光度計	藤原 隆司	×	△*2	△*2	○	○
紫外可視近赤外分光光度計	藤原 隆司	○	○	○	○	○
有機微量元素分析装置	加藤 美佐	×	×	×	×	○
カーボンコーター	徳永 誠	○	○	○	○	○
オスミウムコーター	徳永 誠	×	○	○	○	○
高圧凍結装置	辻 季美江	×	×	×	○	○
急速凍結装置	辻 季美江	×	×	×	○	○
凍結ウルトラマイクローム	辻 季美江	×	×	×	○	○
ウルトラマイクローム	辻 季美江	×	○	○	○	○
プラズマクリーマー	徳永 誠	×	×	×	○	○

ポスドク, 研究生についてはお問い合わせください.

\*1 教員一人あたり二名まで.

\*2 使用には条件があります. 詳細はお問い合わせください.

\*3 10 月以降かつ埼玉大学博士前期課程に進学が決まっていること.

\*4 研究員は除く.

## 人・材料・データとの出会いが導いた物性研究の軌跡

A personal journey in condensed matter physics guided by encounters with people, materials, and experimental data

理工学研究科数理電子情報部門 酒井 政道

Graduate School of Science and Engineering, Division of Mathematics, Electronics, and Informatics

Masamichi Sakai

### Abstract

After earning my degree, I spent nearly two decades working on a variety of research topics that were not directly related to one another. Whether it was due to curiosity or a tendency to lose interest quickly, I often found myself setting reachable goals based on the circumstances at the time and pursuing them with focus. Rather than choosing topics strategically, I was drawn to new directions when something resonated with me—be it a conference presentation, a passage in a textbook, or a journal article. These moments of emotional engagement became the starting points for new research. In the first half of this article (§1 and §2), I introduce those earlier topics and aim to convey to readers outside the field what aspects I found particularly compelling. The latter half (§3 and §4) focuses on the period since around 2010, when I committed myself to a single theme with persistence, avoiding distractions from other topics. I began this endeavor far too late, and I reached retirement with the feeling of having left the work unfinished—much like submitting an exam paper with time running out and answers only half written.

### § 1. 駆け出しの研究者として

#### 1. 1 量子 Hall 効果と高温超伝導

前者および後者の発見を知ったのは、それぞれ学部生および大学院生の時だった。物性物理学の工学寄りの教育を受け、研究らしきことに従事しはじめた筆者には、印象深い出来事であった。特に「量子 Hall 効果」では、試料に電流を流して電圧を計るだけで、Planck 定数と素電荷の 2 乗との比 ( $\hbar/e^2$ ) が直接測定できる点に衝撃を受けた<sup>[1]</sup>。新しい Hall 効果に関する解説書を読んでは理解したような気分になったが、これが凝縮系物理学の質的転換を意味することに気づくには至らなかった。まさか、 $\hbar/e^2$  が電気抵抗 ( $\Omega$ ) と同じ次元 (単位) を持つことに驚くと云う有様だったので仕方がない (注 1)。物性物理学で起きている新しい潮流を理解する時間的・精神的余裕などなく、ひたすら学位取得研究—擬一次元白金錯体  $[\text{Pt}(\text{en})_2][\text{Pt}(\text{en})_2\text{Cl}_2](\text{ClO}_4)_4$  のソリトンの分光学的研究 (注 2)—に注力した<sup>[2]</sup>。間違いなく、この研究で経験したことが、その後の筆者の研究姿勢に大きな影響を与えた (注 3)。凝縮系におけるソリトン (非線形孤立波) も大いに魅力的だったので、学位取得後、助手に採用されてからも、ソリトン絡みで分子性結晶アセトアニリド ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{NHCOCH}_3$ ) の静水高圧ラマン散乱

研究に従事していた頃<sup>[3]</sup>、1992年に渡米の機会に恵まれた。渡米先では、フォトリフレクタンス(PR)の測定装置立上げミッションが待っていた。

### 1. 2. 半導体量子構造とPRスペクトル

メーランド大・物理教室 J. R. Anderson 教授の下では、最初の数ヶ月は C 言語と格闘した。折角アメリカに来たのに C 言語かと思ったが、PR 測定を自動化するためのプログラム作成が当面の目標だから仕方がない。C 言語を扱うのは全くはじめてだったので、それなりに時間を要し、プログラムが完成した時点で、メーランドに来てから約半年が経過していた。筆者を雇用する資金があと1年で切れるという頃だった。そこからようやく測定であるが、渡された試料は GaAs/AlGaAs 量子井戸構造でさまざまな量子井戸長が準備されていた。プログラム作成に比べると測定の方は容易であった。渡米前に経験した各種分光実験が役に立ったからだ。問題は測定結果—量子井戸長の大小に依存して変化するスペクトル—がどう云う意味を持つかだ。それを考察するには、電場変調分光の大御所 D. E. Aspnes の論文を頼りに、静電界下のバンド間光学遷移—Franz-Keldysh 効果—を理解するところから始める必要があった。読んだ Aspnes 論文は 1960~70 年代に発表されたのが多かった。ある日、Anderson 教授室に行ったら、こちらが Aspnes 教授だと紹介されて仰天した。この人いったい何歳から論文を発表しているのか、老教授とは真逆の風貌であった。そして、論文解説に悪戦苦闘していた頃、隣の研究室に長谷川繁彦博士が在外研究員として着任した。物理教室には、日本人研究者が筆者以外にはいないと思い込んでいたため（注 4）、うれしくて頻繁に会話する間柄になった。約 20 年後に共同研究（本記事 § 3 と § 4）を組むなんて想像できるはずもなかった。

### 1. 3. van der Pauw の論文

筆者が PR 測定する一方、Anderson 教授は時折 Hall 効果の実験をしていた。実験に立ち会った際に、一風変わった論文のコピーを手渡された。任意形状の薄膜試料の比抵抗と Hall 抵抗の測定原理—van der Pauw 法—を発見した論文だ<sup>[4]</sup>。複素解析学に出てくる等角写像を輸送係数測定に応用して、どのような形状であっても、穴が開いてない限り、比抵抗と Hall 抵抗を従来方法の Hall-bar 法と同じ精度で測定できることを数学的に証明した内容だ。任意形状でよいので、整形が難しい薄膜試料に対しては打ってつけの方法であるため、この方法は広く普及していた。どうしてそんな芸当が可能なのか気になったが、渡米中は PR 測定と Aspnes 論文で精一杯だったし、帰国直後もしばらく PR 測定を継続したので、その論文はしまったまま、その存在を忘れてしまっていた。

### 1. 4. 微視的非局所光学応答理論

帰国後、張 紀久夫氏（当時大阪大学教授）の出来立ての理論を聞く機会があった。絶縁体や半導体に生じた光学遷移による電気分極( $\mathbf{P}$ )は、電気感受率をつうじて、光の電場( $\mathbf{E}$ )に比例する。その場合、 $\mathbf{P}$ と $\mathbf{E}$ は、同一の座標、もしくは、同一の空間領域に対する平均値として考えるのが通例であるし、実際、教科書にもそう書かれている。これに対して、張氏は、量子論に忠実に沿えば、ある場所( $\mathbf{r}$ )における $\mathbf{P}(\mathbf{r})$ は、それ以外の場所( $\mathbf{r}'$ )の $\mathbf{E}(\mathbf{r}')$ からの影響も受けると主張した（注 5）。筆者にはこのとき講演は相当難しかったものの魅力的だった。この考え方を渡米先で学んだ Franz-Keldysh 効果に適用したらどうなるかと夢想していたころ、研究室を率いていた仁科雄一郎教授の後任として、広島大学からII-VI族化合物半導体結晶成長の研究者・八百隆文氏が若手の助手と共に着任した。居場所がなくなりかけた筆者であるが、幸いにも本学の助教授に採用してもらった。渡米前のソリトン研究には戻らず、移動先では PR 測定装置を立ち上げると決めた。問題は測定試料であったが、八百教授から、化合物半導体の結晶成長研究を行っていた NTT 研究所・篠原正典博士を紹介してもらって、高品質な GaAs エピタキシャル膜の提供を受けることが出来た。

## § 2. 本学に着任して一研究テーマの模索一

### 2. 1. 半導体表面における Franz-Keldysh 効果

1.2.では説明を省略したが、PR 測定では半導体表面空乏層における内部静電場( $\mathcal{E}$ )をバンドギャップより大きな光子エネルギーをもつ電磁波によって変化させながら反射スペクトルを測定する。所謂、電場変調反射分光である。電磁波が照射されている間だけ内部静電場は減少するが( $\mathcal{E} - \Delta\mathcal{E}$ )、照射を止めると元の値 $\mathcal{E}$ に戻る。測定では、内部静電場の変化によって生じた反射率( $R$ )の変化分 $\Delta R$ に注目する。筆者がこの現象に惹かれた理由は、静電場下に特有な電子波動関数—これは紛れもない空間座標の関数である—の姿が、光子エネルギー軸に投影されるからである。直接的に波動関数を観測出来る訳ないが、それに対応した現象を観測できることは、静電場下における電子波動関数(図 1(a))と電場変調反射スペクトル(図 1(b))の類似性を見れば明らかだ [5]。測定スペクトルの振動構造がエネルギーの増加と共に減衰するのは、光励起した電子と正孔のコヒーレンスが、格子振動や不純物などによる格子欠陥によって乱されるからである。筆者らはこのことを利用して、GaAs 表面空乏層におけるキャリア散乱機構をスペクトルから抽出した [6]。この実験では試料を冷却するために液体ヘリウムを使用する。約1Lの液体ヘリウムをクライオスタットに移送しては測定を繰り返すので、移送した液体ヘリウムが蒸発するまで、昼夜問わず実験を継続する必要があった(注 6)。

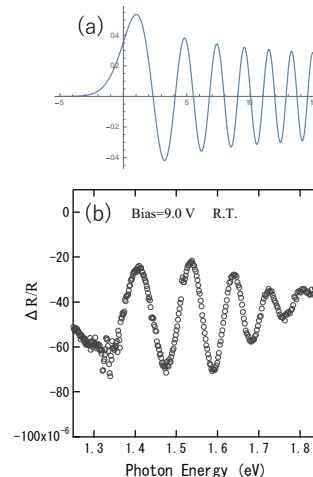


図1 (a) 空間的に一様な電場下における1電子波動関数, (b) P型InPにおける室温電界変調反射スペクトル [5]

その頃、学生と共に、毎年関西地方で開催される「光物性研究会」に参加するのが恒例であった。研究会では、前出の張紀久夫氏がしばしば講演されて、1.4.で触れた「微視的非局所光学応答理論」を詳しく学ぶことが出来た。この理論は、電子系は量子力学的に扱うのに対して、電磁場の方は量子化せずに古典的に扱うと云う半古典論である。しかし、従来の半古典論と決定的に異なる点は1.4.で述べたように電子系応答の非局所性にある [7]。この点を厳密に考慮しているため、この半古典論は、電磁波も量子化する Quantum Electrodynamics (QED)と同じ結果を与えると云う点に一段と惹きつけられた。この理論を Franz-Keldysh 効果に応用したい気持ちが再発し、我が身も顧みずに理論計算に着手した。まずは1次元電子系—量子細線—を想定した [8]。その後3次元電子系に拡張したが、価電子—伝導帯間遷移を避けて、それより計算しやすい、価電子帯—不純物準位間遷移に応用した [9]。スペクトル形状が試料表面と単一不純物原子位置の距離に依存して変化すると云う計算結果が得られたので、嬉々として、これらの予測を実証するという計画の科研費を申請したが、結局は採択に至らなかった。一方、同時期に採択されたのは、そのころ細々と開始したばかりの希土類水素化物の電気伝導研究である。

### 2. 2. 希土類水素化物との出会い

PR 測定装置の運転が軌道に乗った頃、本学理学部物理学科の上床美也助教授(現東京大学物性研・教授)から、廃棄予定の NMR 装置に付属していた電磁石を譲渡してもらった(注 7)。NMR 仕様のため、磁場の高い空間均一性が特徴であり、しかも、約 1 T の磁場が発生可能だった。これくらいの磁場ならば Hall 効果測定に十分である。少しずつ増えてきた学生のテーマ探しに困っていたら、再び、上床氏に助けられた。筆者をカシオ計算機の中村修博士(のち岡山理科大学教授)に紹介してくれたおかげで、結果的に興味深い試料に出会えたからである。それは、イットリウム(Y)の二水素化物( $\text{YH}_2$ )であった。中村氏は、 $\text{YH}_2$  が通常の金属に比べて陰極降下電圧が頗る低いことを見出し [10]、液晶ディスプレイの冷陰極ランプ応用直前まで漕ぎ着けたが、白色 LED の出現でその分

野からの撤退を余儀なくされた。しかしながら、 $\text{YH}_2$ は物性的に分らないことが多いので調べてほしいと云うのである。 $\text{YH}_2$ には通常の金属光沢がないのにも拘わらず、比抵抗は  $10^{-7} \Omega\text{m}$  台で金属並みであるから、確かに変わった材料である。こうしてカシオ計算機との共同研究がはじまった。公式な企業-大学間契約期間は3年間であったが、契約期間が過ぎても中村修氏との研究付き合いは続いた。

$\text{YH}_2$ に通常の金属光沢が見られない理由は、既に中村氏が突きとめていた。反射スペクトルは金属に特徴的な Drude 型だが、プラズマ端が近赤外領域まで下がってきているためであった<sup>[10]</sup>。筆者の担当は、 $\text{YH}_2$ のキャリア密度の評価である。それは Hall 効果測定によって調べるのが常套手段だ。Hall 効果測定を開始するにあたっては、渡米先で知った van der Pauw の論文が役立った。任意形状でよいのだから、渡された試料がそのまま使える。ここで、譲渡してもらった電磁石をベースにして立上げた Hall 効果測定装置の出番だが(注8)、データ採取は難航した。理由は  $\text{YH}_2$ の Hall 電圧が極端に小さいためだった。磁場の往復掃引を複数回行って平均化することで、ようやく正常 Hall 効果特有な磁場に比例する電圧が見えてきた。こうして決定した Hall 係数は  $5 \times 10^{-12} \text{ m}^3/\text{C}$  程度である<sup>[11]</sup>。確かに通常の金属に比べて20分の1ぐらいしかない。明らかに電子の他に正孔も伝導に寄与しているようだ。恥ずかしながら、筆者らは  $\text{YH}_2$ が電子的 Fermi 面と正孔的 Fermi 面を持つと云うバンド計算結果を知らずに実験していた<sup>[13]</sup>。実際に、横磁気抵抗を測定したところ、磁場の2乗に比例すると云う補償金属に特徴的な振舞いが観測された<sup>[12]</sup>。それにしても小さい Hall 係数である。筆者らは、 $\text{YH}_2$ では電子密度と正孔密度が等しいうえに、電子移動度と正孔移動度もほぼ等しいと云う仮説を立てた<sup>[12]</sup>。移動度も電子と正孔で近い値であるとしたら珍しい補償金属だ。

実験しているうちに奇妙な事実が見えてきた。 $\text{YH}_2$ における水素(H)濃度は、しばしば化学両論比からずれることが知られていたが、実際、測定した試料は  $\text{YH}_x$  ( $1.73 < x < 2.04$ ) であった(注9)。つまり、Hに欠損や過剰が生じているのである。欠損したHは空格子かあるいはH以外の原子と置換し、また過剰なHは格子間に入り込んでいるかもしれない。実験から見出された事は、比抵抗( $\rho$ )と正常 Hall 係数( $R_H$ )がH濃度に依存して系統的に、それも化学両論比からのずれに対して似たような変化を示すことだ(図2(a)(b))<sup>[11, 12]</sup>。つまり $\rho$ と $R_H$ との間に明確な相関関係が存在するのである(図2(c))<sup>[14]</sup>。強磁性金属ではスピン軌道相互作用によって異常 Hall 効果が発生する。その異常 Hall 係数が $\rho$ のべき乗に従う性質が有名だ(注10)。一方、正常 Hall 効果ではべき乗則に従うような先行研究は報告されておらず、とにかく不思議な現象と云うことだけ分かって、原因特定には至らなかった。 $R_H$ - $\rho$ 相関については、その後、図らずも別の研究過程で明らかになるのだが、それについては§4で述べる。

### 2.3. 電流が磁場から受ける力と正常 Hall 効果

一見したところ無関係に思われる二つの事象が実は関係し合うことを知るのは有意義である。太田浩一著「電磁気学」の表記に関する記述には驚いた<sup>[15]</sup>。静止した導線—例えば直線状の金属棒—に電流を流しておいて、そこに静磁場を印加すると、導線は電流と磁場の両方に垂直な向きに力を受けて加速度運動を開始する。これは紛れもない実験事実であり、静磁場下で電流が受ける力—

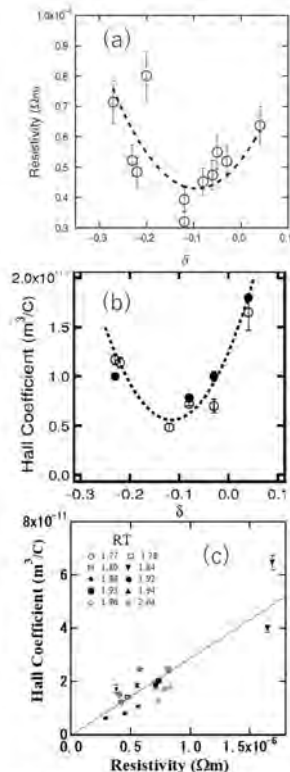


図2  $\text{YH}_x$  ( $-0.27 < \delta < 0.04$ ) [ $\text{YH}_x$  ( $1.73 < x < 2.04$ )] における (a)  $\rho$ <sup>[11]</sup>, (b)  $R_H$ <sup>[12]</sup>, および (c)  $R_H$ - $\rho$ 相関<sup>[14]</sup>.

Ampere 力として説明されるのが通例である。しかし考えてみるに、Ampere 力の原因である Lorentz 力は電流を構成する自由電子に作用しているのであって導体全体でない。導体を構成するのは、自由電子と自由電子を供出した正イオンの 2 種類の粒子である。しかも導体の質量の殆どは正イオンによる。一方、静磁場下では Hall 効果によって自由電子に作用する正味の力は消失する。なぜならば、定常状態では、Lorentz 力と Hall 電場からの電気力が釣り合うからである。Hall 効果まで考慮すると、一見、導体には力が作用しないように見える事態に対して、太田テキストでは、Hall 効果によって発生した Hall 電場が正イオン格子に作用するものとして説明する<sup>[15]</sup>。筆者はこの記述に驚くと同時に随分と悩んだ。この記述が正しいとしたら、Hall 電場が発生しない状況では、導体を動かす力も発生しないことになる。言い換えれば、Hall 係数がゼロならば力がないと云うことだ。それならば、2.2.で説明した Hall 係数が極めて小さい YH<sub>2</sub> では、力が小さくなると云うのか？

実験するかどうか迷っている頃、偶々、写真(図 3)のような湯呑茶碗に出会った。この茶碗が筆者の背中を押してくれて、研究室の学生は迷惑だったろうが、卒業研究として取組んでもらうことにした。太田テキストの記述が正しいかどうか検証するのが目的である。実験方法は、導体に作用する力をメラー製の機械式天秤で計測するという古典的方法である。機械式ではあるがデジタル信号出力端子があったので、デ



図 3 筆者を激励する湯飲み茶碗

ータ取扱は自動化できた。もし力が小さくなっていたら、ちょっとした発見になるので、息を呑む実験になった。結果は YH<sub>2</sub> を導体に利用しても、通常の金属と誤差の範囲で同じ力の大きさだった<sup>[16]</sup>。太田テキストの記述は正しくないということになるが、YH<sub>2</sub> のような補償金属には当てはまらないという考え方も可能である。補償金属における Ampere 力発生メカニズムを理論的に検討することにした。結果的には、太田テキストの記述は単一バンドキャリアの場合には正しいが、補償金属のような多バンドキャリア系に対しては適切でないことが判明した。後者では、正負イオン格子に作用する Hall 電気力の他に、キャリアが格子振動(フォノン)によって散乱される際にイオン格子の受ける力が重要であることが判明した<sup>[16]</sup>。特に Hall 係数がゼロの場合は、キャリアフォノン衝突だけが力変換の原因である。そうならば、Hall 係数がゼロの補償金属を超伝導状態にすれば、フォノンによるキャリア散乱が消失するから、導体に作用する力はゼロになるはずだ。しかし、超伝導状態の Meissner 効果(完全反磁性)が磁場の侵入を妨げるので明確な検証は原理的に難しいと思い、これ以上の深追いは止めた。

#### 2. 4. パチンコ玉が磁気浮上？

2003 年に親戚の知人から教えてもらった河北新報に掲載にされた記事がきっかけである。同じ記事が朝日新聞全国版にも掲載されたことは後で知った。記事の内容は、静磁場中でパチンコ玉が空中浮上すると云うもので、佐々木修一教諭(岩手高校)と村上雅人博士(当時芝浦工大教授)らの報告だ。記事によると、磁性体は 3 次元浮上できないとする Earnshaw の定理を覆し(注 11)、彼らの論文が米物理学協会のジャーナル誌(J. Appl. Phys.)に掲載予定と云う<sup>[17]</sup>。超伝導体が磁石上で浮上するのは良く知られた事実であるが、それは超伝導体が反磁性特性を有するからだ。主成分が鉄(Fe)であるパチンコ玉が反磁性特性を持たない限り、3 次元浮上は無理である。

これも学生に迷惑をかけたが、佐々木らの報告に対する検証実験を卒業研究として取組んでもらった。PET 製プラスチック板を使って長方形の箱を作って、その中に複数のパチンコ玉を入れれば装置は完成だ。パチンコ玉の数を 5-6 個にする点がポイントである。あとは比較的強い永久磁石が必要だが、平塚信之教授(本学名誉教授)の口利きで TDK に NdFeB リング磁石を特別に製作してもらった。リング磁石からパチンコ玉までの距離が主な実験パラメータであるが、浮上条件は経験的に見出

すことにしたので、約3ヶ月間は要したと思う。そして、我々が見出した磁気浮上は、新聞記事の正面写真と同じものだった(図4)。正面写真では確かに空中浮上しているように見える。問題は、2次元浮上でなく3次元浮上かどうかだ。真横から観察して、パチンコ玉がPET板に接していなければ間違いなく3次元浮上である。PET板厚さや箱サイズなど条件を変えてみたが、結局パチンコ玉がPET壁から離れることはなかった。この点に関する検証計算を行った。リング磁石の作る静磁場中のパチンコ玉の磁気エネルギーを、観測された2次元浮上位置情報や磁場の大きさを再現するように3次元空間座標 $(x,y,z)$ の関数として計算した。 $xy$ 面内ではエネルギー極小点が形成されるが、その $xy$ 座標を固定した $z$ 軸上では、エネルギーの極大点が形成されていた。Earnshawの定理どおりである。パチンコ玉を使った実験においてもEarnshaw定理は成立っていると主張する論文を、佐々木らと同じ雑誌に投稿した<sup>[18]</sup>。



図4  $xy$ 面内で磁気浮上するパチンコ玉<sup>[18]</sup>

### § 3. アンビポーラススピントロニクス—実験編—

#### 3. 1. 希土類水素物の展開研究

筆者のスピントロニクスとの関りは、2008年の応用物理学会誌「基礎から学ぶスピンを操る科学・技術」と云う特集号の企画がきっかけである。文字どおり、当該分野に興味はあるが専門外のために理解不能に陥っている会員を想定した。それは正に筆者自身であった。記事の執筆は基本的に依頼ベースで行うが、この分野で活躍する国内研究者が急増してきた時期なので(注12)、執筆内容および依頼先を決めること自体が、筆者にとって大変貴重な経験になったし、自然と勉強にも身が入った。こうして完成させた特集号の巻頭言に対する新庄輝也氏(京都大学名誉教授)の寄稿文は、筆者の心に響いた(注13)。

この企画に携わった時期は、2.2.で述べた希土類水素化物研究に従事しながら、工学的観点から $YH_2$ の持つ擬ゼロHall係数特性を生かす方法はないかと思案していた時期と重なる。スピントロニクスでは、電子に先天的に備わっているスピン角運動量を電子デバイスに活用する。その代表格がスピン流だ。当時知られていたスピン流は、アップスピン(角運動量 $+\hbar/2$ )をもつ自由電子とダウンスピン(角運動量 $-\hbar/2$ )をもつ自由電子をそれぞれ逆向きに走行させるやり方が主流であった(注14)。一方、補償金属や半金属では電子と正孔が同時に電気伝導に寄与する。もしもスピン角運動量の向きが一致する正孔と電子を、同じ向きに同じ速さで走行させたら、正味の電流は消えるだろう、しかし、スピン角運動量の流速は有限値に留まるはずだ。筆者は、 $YH_2$ では電子移動度と正孔移動度がほぼ同じであるから、近似的にこの状況が実現可能かもしれないと思った。外部磁場を $z$ 軸方向に印加しながら、 $x$ 軸方向にバイアス電流を流せば、 $y$ 軸方向では、電子と正孔が同じ向きに同じ速さで移動する。これが $YH_2$ で観測された擬ゼロHall係数現象(擬ゼロHall伝導)である。このとき、もし、電子スピンと正孔スピンが同じ向きならば、 $y$ 軸方向にスピン流が発生するはずだ。これが当時の発想である<sup>[19]</sup>。

電子だけでもスピン流発生は可能なので、敢えて正孔を使わなくてもよいのではないかと。その当時、正孔を使うメリットを先験的に見つけることは出来ず、兎に角、やってみよう云うことで実験を計画した。先述の考えにもとづいてスピン流を発生するには、正常Hall効果に使うバイアス電流を予めスピン偏極させておく必要がある。それにはソースあるいはドレイン電極を強磁性金属にすればよい。強磁性金属(F)と非磁性金属(N)とのヘテロ構造では、そのF/N界面を電流が横断している間は、N領域にスピン角運動量が拡散することが1990年代に理論的に予測され<sup>[20]</sup>、その後実証された

[21]. ただし, F/N 界面を使って発生するスピン流はドリフト流でなく拡散流なので, 1.3.で触れた van der Pauw 法に使う電極を強磁性金属にすれば済むと云う問題ではない. 理由は, スピン拡散長は室温では通常数 100 nm であるから, YH<sub>2</sub> チャネル長を数 100 nm 程度にする必要があるからだ.

希土類水素化物の展開研究は, 長谷川繁彦博士(当時大阪大学産業科学研究所(産研)准教授)らとの共同研究として実現した. 1.2.で述べたように, 長谷川氏とは渡米中に知合いになったが, 帰国後も学会等での情報交換が続いた. 筆者の研究状況や考えていることを説明していると, 外部者も利用可能な阪大産研の共用設備・阪大複合機能ナノファウンダリ(注 15)の利用を勧められた. そして, 産研側との共同研究タイプとして 2009 年に利用申請に漕ぎつけた. 申請目的は, 前述の希土類水素化物のスピンロニクス応用である. この共用施設には約 100 nm サイズでの素子製作が可能な電子ビーム(EB)リソグラフィー装置が揃っていたが, 筆者は全くのリソグラフィー初心者なので, 紫外線を使うフォトリソグラフィーから始めることにした. フォトリソグラフィーでは数  $\mu\text{m}$  サイズ素子までならば作製可能だ. こうして, 長谷川氏の他, 同じく産研の北島彰氏と樋口宏二氏の協力を得て, スピンロニクス応用という旗印下, 希土類水素化物の展開研究がはじまった.

### 3. 2. van der Pauw 型素子の微小化

素子構造は 2.2.に同様, van der Pauw 型であったが, 4 つの電極を強磁性遷移金属(TM)にし, YH<sub>2</sub> チャネルサイズを小さくして約 35  $\mu\text{m}$   $\times$  35  $\mu\text{m}$  にした(図 5). YH<sub>2</sub> のスピン拡散長( $\ell_s$ )が通常の金属と同程度(数 100 nm)の場合, このサイズではスピン注入に特有な逆スピン Hall 効果(ISHE)の観測は事実上不可能に近いことは承知の上だ(注 16). 試しに TM として Ni と Co を, 比較用として Au を電極にした素子を作製した. 測定量は Hall 抵抗( $\rho_{yx}$ )と磁気抵抗( $\rho_{xx}$ )である点は 2.2.と変わらない. Co 電極サンプルの  $\rho_{yx}$  と  $\rho_{xx}$  が, Au 電極サンプルに比べてそれぞれ約 3 倍, 約 6 倍大きくなったのは予想外であった [22]. この増強効果は明らかに電極を Co にしたことが原因であるが, スピン注入に特有な ISHE ではない. なぜならば, 観測された Co 電極サンプルの  $\rho_{yx}$  は, 外部磁場に正比例しており本質的に正常 Hall 効果だからだ. この実験結果の意味することは, (1) TM から YH<sub>2</sub> にスピン注入ができるとすれば, YH<sub>2</sub> の  $\ell_s$  は通常の金属と同じ数 100 nm であるか, (2) そもそも TM からのスピン注入ができない, のどちらかだ.

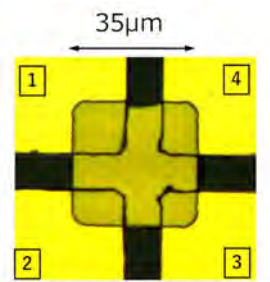


図5 YH<sub>2</sub> チャネルと4つのCo電極から構成するvan der Pauw 型素子の光学顕微鏡写真 [22]

原因がどちらであるかを判定するには, 素子サイズを数 100 nm $\times$ 100 nm まで小さくすればよいことは明らかであるが, それには EB リソグラフィー工程に変更する必要がある. フォトリソグラフィー工程に限っても, 学生に同伴する出張実験は 3 泊 4 日行程を 2 ヶ月に 1 回程度が予算的に限界であった. 熟練が必要な EB リソグラフィー工程となれば, さらに行程回数を増えるのは確実だ(注 17). この時点で実際調べたのは Ni と Co の 2 種類だけであるから, その他の材料を検討しても必ずしも無駄ではあるまいと思ひ, 素子構造・サイズは同じままにして材料を TM 以外に求めると云うやや後ろ向な方針を採用した. Ni, Co の次ならば Fe と云うことだが, 筆者らが試したのは TM と希土類元素(RE)から構成される RE-TM 合金だ. 多くの RE-TM では, RE と TM の磁気モーメントが互いに逆向きであり, その大きさが異なるため正味の磁気モーメントが有限である. このような磁性体をフェリ磁性体と云う.

van der Pauw 型 Hall 素子に使用する RE-TM 電極の成膜は, 栗野博之博士(豊田工業大学教授)の協力によって実現した(注 18). RE を Tb とした TbFeCo(Tb:Fe:Co=26:66:8)を電極に使ったところ, 前述の Co 電極サンプルとは異なる信号が  $\rho_{yx}$  と  $\rho_{xx}$  に観測された. それらは, 磁場の掃引に対してヒステリシスを伴う信号だった(図 6).  $\rho_{yx}$  はもはや磁場に比例しておらず, 高磁場側では飽和す

る。Co 電極の場合とは全く異なる現象が起きていることは確かだった [23]。一見するところ、 $\rho_{yx}$  は TbFeCo が示す磁化曲線に似てはいるが、一致しない点もある。スピン注入による ISHE として解釈するには懸念点が残った。van der Pauw 型素子のメリットは試料形状に依らず正確な測定が出来ることだが、その代償として、TbFeCo はスピン注入の役目のみならず電圧検出の役目も負っていた。その影響が信号に反映されたかもしれないのだ。ISHE の適切な測定には、検出電極は非磁性金属の方がよいと云うのが衆目の一致するところである。そのためには、矩形形状の Hall-bar 型素子にして  $x$  軸方向に電流を供給し、それに垂直な  $y$  軸方向の電位差を、非磁性電極を使って測定するのが良い。そうすれば、TbFeCo にはスピン注入だけに専念させることが出来る。

### 3. 3. Hall-bar 型素子作製

2016 年に阪大産研の施設利用料金が改訂されたのを契機に、筆者らは県内の川越市に立地する東洋大学バイオナノテクノロジーセンタ(BNC)の設備を使って、Hall-bar 型素子の作製に着手した。専門が半導体デバイス物理の花尻達郎博士(東洋大学教授)との共同研究である(注 19)。BNC のクリーンルーム棟は、半導体電子工学の大御所である東洋大学第 36-37 代学長・菅野卓雄氏の肝いりで建てられもので、半導体企業での研究開発経験をもつ専属の技術スタッフ・藤井康彦氏と徳田正秀氏が常駐していた。両氏に教えてもらいながら作製した Hall-bar 型素子は、長さ約 90  $\mu\text{m}$  の  $\text{YH}_2$  チャネルに対して、RE-TM 合金のソース・ドレイン電極が縦方向に接続し、チャネル方向に対して垂直方向に Hall 電圧計測用の Au 電極が 3 組設置されている(図 7)。RE-TM の成膜は、引続き、前出の栗野氏に協力を仰いだ。図 7 中 7 番と 8 番電極の現像・リフトオフが終わった基板付き試料を豊田工大に送って、RE-TM をスパッタ法によって成膜した後、送り返してもらって、続きの工程を東洋大で再開して素子を完成させると云う手間のかかる作業だった。RE-TM には、TbFe(Tb:Fe=33:67)や GdFeCo(Gd:Fe:Co=25:66:9) を用いた。

フォトリソグラフィ・成膜工程の次は Y の水素化だ。この工程は筆者の研究室で行った。それには、基板ごと Ar97%-H<sub>2</sub>3%の混合ガスに 10 分程度晒しておけばよい。それも室温で十分である。作製した素子では Y 上に極薄 Pt が成膜してあるので、H<sub>2</sub> が Pt の触媒作用によって H に分解されるためである(注 20)。3.2.の van der Pauw 型構造のときは触媒膜として Pd を使っていたが、Hall-bar 型構造では、それより触媒作用の強い Pt を使用した。触媒膜として Pd を使用したときの反応は  $\text{YH}_2$  止まりだったが、Pt を使うと二水素化物  $\text{YH}_2$  をとおりに越して三水素化物  $\text{YH}_3$  との混合相になったのは驚きだった [24]。筆者らの目的に必要なのは  $\text{YH}_2$  であるから  $\text{YH}_3$  は要らない(注 21)。幸いにも  $\text{YH}_3$  は不安定なのか H が抜けやすく、1 ヶ月程放置すると  $\text{YH}_2$  単相になった。一方  $\text{YH}_2$  は至極安定であり、H は抜けないことは確認済みだ。H が入込んでいるお陰で酸化もし難い。

まずは RE-TM として TbFe(Tb:Fe=33:67)を用いた。図 8 は TbFe 膜の磁化曲線である。これは組成、膜厚共に Hall-bar 型素子の TbFe 電極に同一である。約 0.2 T 以上の高磁場下では磁化値が飽和している典型的な磁化曲線だ。印加磁場は膜面に対して垂直である。この TbFe をスピン注入電極に使った  $\text{YH}_2$  の Hall 測定結果を図 9 に示す。Hall 効果測定でも磁場の向きは膜面に垂直である。図 9 の縦軸は測定された Hall 電圧をプローブ電流値で除算した値である。TbFe の磁化曲線に

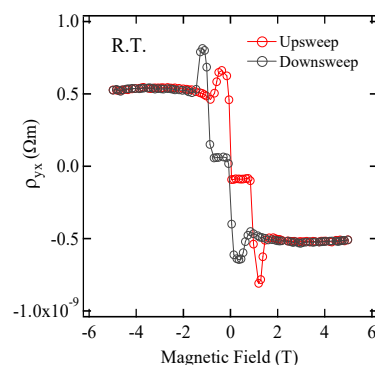


図 6  $\text{YH}_2$ チャネルと4つのTbFeCo電極から構成したvan der Pauw型素子における室温Hall抵抗率 [23]。

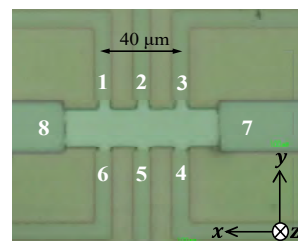


図 7  $\text{YH}_2$ チャネル、RE-TMスピン注入電極、Au電圧検出電極から構成するHall-bar型素子の光学顕微鏡写真 [25]

ほぼ相似な Hall 信号が観測された [25]. Y の表面には水素化のための Pt 膜が残っていたので, それをドライエッチングして除去してから再度測定したが, ヒステリシス形状は残ったままである. したがって, この Hall 信号は YH<sub>2</sub> 領域で発生する現象を捉えているはずだ. Hall-bar 型素子では 3.2. で述べた van der Pauw 型素子と違って, 電圧検出電極は非磁性体であるので, この結果は, 明らかに電流注入源の TbFe の仕業であることは間違いない. このヒステリシスを伴った Hall 信号が YH<sub>2</sub> に固有な現象かどうかを判定するために, ソース・ドレイン電極は TbFe のまま, チャンネル材料として YH<sub>2</sub> の代わりに Au を使って調べた. それは Au 固有の正常 Hall 効果を示すだけであった(図 10). これでチャンネル材料を YH<sub>2</sub> にしたときに限って, TbFe の磁化曲線に相似な Hall 電圧が発生することが明確になった(注 22). Hall 電圧測定に使った Au 電極 1-6 は TbFe 電極(図 7 の 8 番)から 20 μm 離れているので, この結果は YH<sub>2</sub> の室温スピン拡散長が数 10 μm であることを示唆する [25].

### 3. 4. 仮説の検証

#### 3. 4. 1. 磁気補償効果を利用する

RE-TM から YH<sub>2</sub> に注入された拡散スピン流が ISHE によって電圧に変換されるので, ヒステリシス構造をもつ Hall 信号が観測されると云うのが筆者らの仮説である. 次はその検証実験だ. 一般に強磁性(F)/非磁性(N)界面では, F 領域のキャリア(走者)から N 領域のキャリア(走者)へスピン角運動量と云う名のバトンが渡される. F 領域に RE-TM を使った場合の F 領域のバトン走者は誰か? RE の不完全殻は 4f 電子, TM のそれは 3d 電子である. このうち 4f 電子は空間的局在性が強いので, RE-TM におけるバトン走者は主に TM3d 電子である. したがって, F/N 界面では TM3d 電子から YH<sub>2</sub> のキャリア(電子と正孔)にバトン(スピン角運動量)が手渡される. 例えば, 3d 電子のスピン角運動量が  $+\hbar/2$  のときは, YH<sub>2</sub> の電子には  $+\hbar/2$  のスピン角運動量が渡され, 3d 電子のスピン角運動量が  $-\hbar/2$  ならば, YH<sub>2</sub> の電子には  $-\hbar/2$  のスピン角運動量が渡される. YH<sub>2</sub> 領域で発生する ISHE 電圧の極性は, 原理上 F/N 界面で渡されるスピン角運動量の向きによって決まる. 筆者らの検証実験は, F/N 界面で渡されるスピンの向きが温度によって反転する現象を利用する方法だ.

その原理は RE-TM の磁気構造に由来する. RE-TM は, RE 副格子の磁化値  $\mathbf{M}_{RE}$  と TM 副格子のそれ  $\mathbf{M}_{TM}$  とが逆向きに対峙すると云う典型的なフェリ磁性体である.  $\mathbf{M}_{RE}$  は主に RE4f 電子が担い,  $\mathbf{M}_{TM}$  は主に TM3d 電子が担っている.  $\mathbf{M}_{RE}$  と  $\mathbf{M}_{TM}$  はそれぞれ固有な温度依存性をもつため, 低温では  $M_{TM} < M_{RE}$  なのに, 高温では  $M_{TM} > M_{RE}$  と云う様に絶対値の大小関係が逆転する. このとき,  $\mathbf{M}_{RE} + \mathbf{M}_{TM} = 0$  となる温度を磁気補償温度 ( $T_m$ ) と呼ぶ. 外部磁場によって誘起される全体の磁化  $\mathbf{M}_{Total}(= \mathbf{M}_{RE} + \mathbf{M}_{TM})$  は外部磁場と同じ向きであるので,  $\mathbf{M}_{TM}$  の向きは  $T_m$  以下の温度では外部磁場に逆向きであるが,  $T_m$  以上の温度では外部磁場と同じ向きである. このことは, 外部磁場の向きを固定したまま, 温度を変化させると, TM3d 電子のスピン角運動量, したがって, YH<sub>2</sub> 側に渡

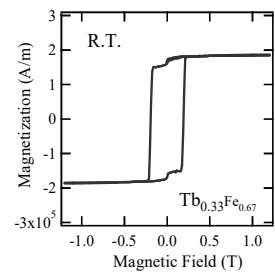


図 8 TbFe(Tb:Fe=33:67)膜の室温磁化特性 [25]

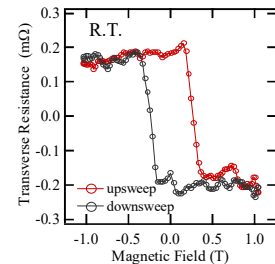


図 9 TbFe(Tb:Fe=33:67)をスピン注入源としたYH<sub>2</sub>チャンネルの室温Hall抵抗 [25]

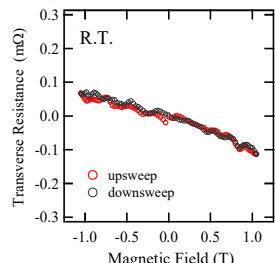


図 10 TbFe(Tb:Fe=33:67)をスピン注入源としたAuチャンネルの室温Hall抵抗 [25]

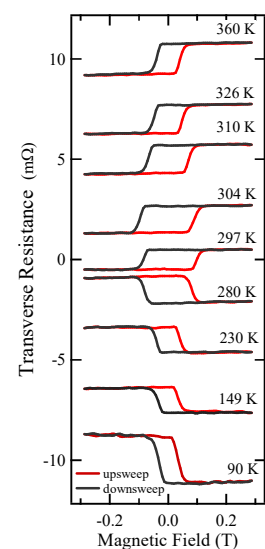


図 11 GdFeCo(Gd:Fe:Co=25:66:9)をスピン注入源としたYH<sub>2</sub>チャンネルの室温Hall抵抗の温度依存性 [26]

るその向きは、 $T_m$ を境にして反転することを意味する。 $T_m$ は RE-TM の構成元素やその組成に依存して変化するので、この検証実験では  $T_m = 285$  Kである GdFeCo (Gd:Fe:Co=25:66:9)を用いた。図 11 に示すように、さまざまな試料温度における測定結果は仮説に矛盾せず、Hall 電圧の極性は $T_m$ を境に反転した [26]。これで、RE-TM の $\mathbf{M}_{\text{Total}}$ が YH<sub>2</sub> 領域にもたらず漏れ磁場の可能性は排除された (注 23)。そもそも $T_m$ 近傍では $\mathbf{M}_{\text{Total}} \approx 0$  であるから、 $\mathbf{M}_{\text{Total}}$ のつくる磁場の影響は少ないはずだ。

### 3. 4. 2. Hall-bar 型素子の非対称化

RE-TM 電極からスピン角運動量が YH<sub>2</sub> に注入され、それが拡散して RE-TM 電極から数 10  $\mu\text{m}$  離れた電圧検出電極に届いているとすると、スピン拡散長は通常の金属に比べて相当長い。その値を評価するのが次の実験である。ここまでの測定に使用してきた Hall-bar 型素子では、3 組の Hall 電圧検出電極が対称に配置しているため (図 7)、Hall 電圧はソース電極とドレイン電極の両方から影響を受け易い。そこで、片方の RE-TM 電極から検出電極までの距離を極端に長くして、その影響を出来るだけ排除した非対称配置の素子を新規に作製し (図 12) [27]、距離が近い方の RE-TM と電圧検出間距離の関数として Hall 電圧を測定した。関数と云っても 3 点であるが、片対数プロットしてみると 3 点とも近似的にひとつの直線上に乗ることが分かった (図 13)。片対数プロットにして直線になると云うことは、RE-TM 電極から YH<sub>2</sub> 領域をスピン角運動量が拡散していることを意味しており、スピン流と云う解釈に矛盾しない。こうして室温スピン拡散長として約 23  $\mu\text{m}$  が得られた [28]。この値は通常の金属の値の約 100 倍である。

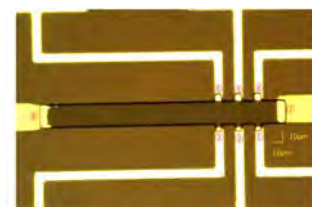


図12 Hall電圧検出電極を非対称に配置したHall-bar型素子：YH<sub>2</sub>チャンネル部（チャンネル長：234  $\mu\text{m}$ ）の現像が終わった直後の顕微鏡写真 [27]。

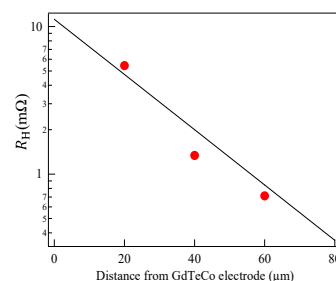


図13 非対称Hall-bar型素子においてRE-TM電極からの距離が異なる3箇所で測定したHall抵抗 [28]。

### 3. 4. 3. スピンバルブ構造を使う

YH<sub>2</sub> が散逸の少ない長距離スピン輸送特性を示すと云う仮説は、ISHE という観測方法およびその観測用に作製した Hall-bar 型構造と云う限られた条件下で得られたものである。科学的蓋然性を高めるには、これらに異なる観測方法かつ異なる素子構造にもとづいた検証実験が必要だ。スピンバルブ型構造におけるスピン蓄積抵抗測定を計画した。その頃、新型コロナウイルスによるパンデミックの影響を受けて、東洋大学 BNC への外部者入構が制限され、素子作製は中断せざるを得なかった。その後、コロナ架の間に、筆者の研究室にマスクレス顕微露光装置と電子ビーム蒸着装置が設置されたのを契機に、遅ればせながらも、自前の装置を使って素子作製を再開した。(注 24)

新規に作製したスピンバルブ構造中心部の顕微鏡写真を図 14 に示す。電極配置は文献[21]にほぼ同様である。3.3.で説明した Hall-bar 型構造に比べて、強磁性金属に GdFeCo を、非磁性金属に YH<sub>2</sub> を使った点は同じであるが、電極形状および配置は全く異なる。2 つの GdFeCo 電極間の YH<sub>2</sub> チャンネル長は約 45  $\mu\text{m}$  である。スピン蓄積信号測定では、図 14 右側の Cu-GdFeCo 間に電流を供給し、左側 Cu-GdFeCo 間に発生する電圧を検出する。筆者らは、このスピンバルブ構造に ISHE 測定用電極を追加した。ISHE 測定では、図中左右の Cu 電極から注入された電流の一部は、GdFeCo 領域を横切って YH<sub>2</sub> 領域に入り、図中上下の Cu 電極によって Hall 電圧が検出される。

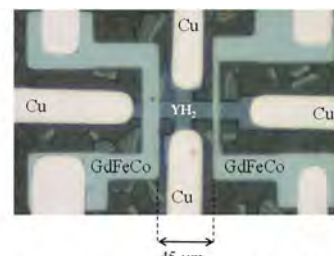


図14 基板（合成石英ガラス）裏側から撮影したスピンバルブ構造 [29]

ISHE 測定結果を図 15 に示す。印加磁場は素子面に対して垂直に印加しているので、GdFeCo 領域の磁気モーメントも素子面に対して垂直である。Hall 抵抗全体を(a)に、正常 Hall 効果成分除去

後を(b)に示す. 図 9 に比べて正常 Hall 成分が大きいのは,  $\text{YH}_2$  領域の比抵抗が大きいことと  $R_H - \rho$  相関のためである.  $\text{GdFeCo}$  領域の磁化過程に連動したヒステリシス信号は,  $\text{GdFeCo}$  領域を横断して  $\text{YH}_2$  領域に注入されたスピン流が ISHE によって,  $\text{Cu}$  電極に電荷蓄積をもたらしたと解釈できる [29].  $\text{YH}_2$  へのスピン注入が確認できたので, 次に同一素子に対するスピン蓄積信号測定を行った. 磁場は素子面に対して垂直である. 磁場に無関係なバックグランド抵抗値は約  $7 \Omega$  もあったが, 磁場上昇時には  $70 \text{ mT}$  近傍に, 磁場降下時には  $-70 \text{ mT}$  近傍にピーク構造が観測された (図 16). これらは, ソースおよびドレイン  $\text{GdFeCo}$  電極における面直方向に対する僅かな保磁力の違いが,  $\pm 70 \text{ mT}$  近傍に反平行磁化配置をもたらしたと解釈できる. スピン抵抗における平行磁化および反平行磁化配置の差 (スピン蓄積抵抗) は約  $10 \text{ m}\Omega$  と見積もられた [29]. 筆者らは, 補償金属におけるスピン蓄積抵抗表式を  $F/N$  界面からの距離  $x$  の関数として導出してあったので [30], それを使って実験結果を解析した. スピン蓄積抵抗が観測値  $10 \text{ m}\Omega$  に一致するように, キャリヤパラメータを決めて平行磁化および反平行磁化配置におけるスピン抵抗を計算すると, それぞれ,  $10.425 \Omega$ ,  $10.437 \Omega$  であった. これらは観測されたバックグランド抵抗値 ( $7 \Omega$ ) と同じオーダーであるので驚いた. 観測当初,  $7 \Omega$  と云う高い抵抗値はスピン注入に無関係な成分とってたからである. バックグランド抵抗にもスピン注入の影響が表れていると考えられる. スピンバルブ構造を使った検証研究によって,  $\text{YH}_2$  の長距離スピン輸送特性は, 3.3.において作製された Hall-bar 構造特有な現象でなく,  $\text{GdFeCo}$  と  $\text{YH}_2$  との組合せに本質的な現象であると云えそうだ.

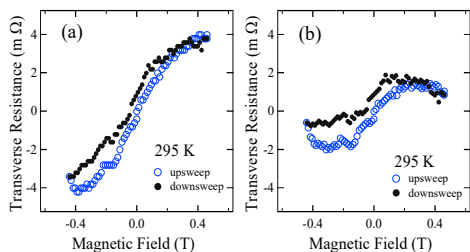


図15 スピンバルブ素子におけるスピン注入下逆スピンHall効果測定:(a) 観測信号全体, (b) 観測信号から正常Hall効果成分を除去したもの [29].

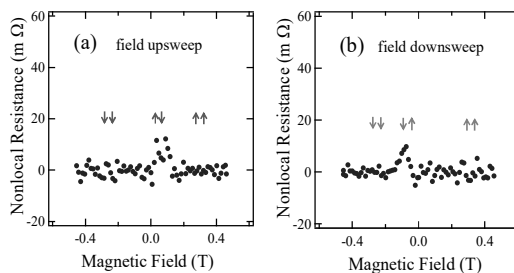


図16 面直磁化に対する室温スピン蓄積電圧測定:(a)磁場 upswipe (b)磁場 downswipe. バックグランド抵抗は除いてある [29].

## § 4. アンビポーラススピントロニクス—理論編—

### 4. 1. 補償金属の電気伝導—Baber 散乱—

ある観測結果が科学的真実として受入れてもらうには, その合理的な発現理由が必要だ. メカニズムが不明な現象は信頼性が必要な工学にとっても相応しくない.  $\text{YH}_2$  の示す長距離スピン輸送特性の理由を見つける理論研究に着手した. 注目するのはスピン輸送であるが, それを担うのは補償金属中の電子と正孔である. したがって, スピン輸送と同時に電気伝導 (電荷輸送) にも注意を払う必要がある.  $\text{YH}_2$  に  $R_H - \rho$  相関が観測されることは 2.2. で述べたとおりだ. どうして相関があるのか. その理由は不明のまま, 15 年が経過していた. 個々の事象を説明する理論に比べて, 一見無関係に見える 2 つ以上の事象を同時に説明できる理論の方が優れていることは経験的に知られている. 筆者らの問題に置換えるならば, (i)  $\text{YH}_2$  では室温スピン拡散長が通常金属の約 100 倍である, (ii) 室温で  $R_H - \rho$  相関を有する, この 2 点を同時に説明する理論の方がより好ましい. 理論研究の前半では, (i) の説明に重点を置いたモデルを提案したが [31, 32, 33], それらは(ii)を否定はしないものの, それを説明できる理論ではなかった. 定年退職間際になって, (i)と(ii)を同時に説明できるモデルに辿り着いた. 次にやや詳しく述べる.

金属の特徴は $\rho$ の温度( $T$ )依存性に現れる. Al や Cu などの通常の金属では, Gruneisen 則と云って, デバイ温度( $T_D$ )に比べて充分低い低温では,  $\rho$ は  $T$  の 5 乗に比例し,  $T_D$ より高い高温では  $T$  に正比例する (注 25). これは自由電子(キャリア)が格子振動(音響フォノン)によって散乱されるからである. キャリアは不純物原子や格子欠陥によっても散乱されるが, 金属の場合はこの効果は温度によらず一定で, 残留抵抗をもたらす. 補償金属や半金属でも, 音響フォノンや不純物はキャリア(電子と正孔)を散乱し, それぞれ Gruneisen 則と残留抵抗をもたらす点は通常の金属と同様であるが, 実際に $\rho$ の温度依存性を調べると, 多くの補償金属では 10 K 以下の極低温では  $T$  の 2 乗に比例する成分が観測される. これは古くから知られた現象であり, 1940 年ごろまでには既にその理由が明らかになっていた. 電子-電子衝突は, 運動量保存則のお蔭で電子が運ぶ電流密度に影響しないので電気抵抗を生まない. 正孔-正孔衝突もしかし. ところが, 電子-正孔衝突では, 衝突時に運動量が保存しても全体の電流密度は変化するため, その影響が電気抵抗となって現れる. その際, 電子-正孔衝突頻度が  $T$  の 2 乗に比例して増加すると云うしくみだ<sup>[34]</sup>. この点をはじめて指摘した学者名を使って,  $\rho$ の  $T^2$  則をもたらす電子-正孔衝突を Baber 散乱と呼ぶ.

補償金属における $\rho$ の  $T^2$  則が, 多くの場合, 10 K 以下の極低温で観測される中,  $\text{YH}_2$  は異例でそれが 100~300 K の温度範囲で観測されることは筆者らの研究(2.2.)で見出されていた<sup>[14]</sup>.  $\text{YH}_2$  ではどうやら, フォノン散乱に比べて Baber 散乱の影響の方が相対的に大きいらしい (注 26). それならば Baber 散乱がスピン輸送に及ぼす影響を調べてもみようと呼ぶことでこの研究がはじまった. 計算は, Boltzmann 方程式(以下 BE 方程式)と云う古典的様式に, キャリアの性質には量子力学の結果を取込むと云う半古典論にもとづく(注 27). 前述した Gruneisen 則も, BE を使うことによって導出できるが<sup>[35]</sup>, 相手が Baber 散乱の場合には, BE が電子と正孔に関する連立微積分方程式を構成すると云うややこしい問題があった. 電気抵抗や熱伝導については Baber の研究をはじめとするいくつかの先行研究がその問題を処理することに成功していた<sup>[36, 37]</sup>. しかし, それらの方法をスピン輸送の問題に適用しようとする, さらに方程式が複雑になるのだ. 定年までの残り時間が少なくなっていたので, 計算量が少なく済みそうな別の方法を採用した.

#### 4. 2. 自明な解も役に立つ?

電子と正孔がどのような機構によって散乱されるか, すなわち, 格子振動によるのか, 不純物や格子欠陥によるのか, はたまた, Baber 散乱によるのか, それらの情報は全て, BE 方程式中の衝突項に集約される. 釈迦に説法になるが, BE 方程式は, キャリアの座標および運動量空間内で指定されるキャリア分布数 $f$ (Fermi-Dirac 分布関数)のバランス方程式である. その電子あるいは正孔の BE 方程式を電子あるいは正孔の運動量( $\hbar\mathbf{k}$ )について和を実行すれば, 電子数あるいは正孔数に関する連続の方程式が得られる. このうち  $\mathbf{k}$  に関する和を Baber 散乱による衝突項 $(\partial f_i / \partial t)_c$  ( $i = 1, 2$ )に限って実行すると, これが正確にゼロになることが分かる:  $\sum_{\mathbf{k}} (\partial f_i / \partial t)_c = 0$  ( $i = 1, 2$ ). このことは, Baber 散乱自体は電子数および正孔数のどちらにも影響を与えないことを意味する(粒子数の保存). この点が半導体における電子-正孔衝突との決定的な違いである. 半導体では, 電子-正孔衝突はフォトン(光子)やフォノン(音子)を生成して対消滅し, その分, 電子数と正孔数は減少するからだ (注 28). 一方, Baber 散乱による衝突項を $\mathbf{k}$  について和をとる際に  $n_i = (1/V) \sum_{\mathbf{k}} f_i$  ( $i = 1, 2$ ) に注意すると (注 29),  $\sum_{\mathbf{k}} (\partial f_1 / \partial t)_c = C_1 n_2 - C_2 n_1$ ,  $\sum_{\mathbf{k}} (\partial f_2 / \partial t)_c = C_2 n_1 - C_1 n_2$  と云う関係式が得られる. ここで筆者らは  $(\partial f^{(i)} / \partial t)_c$  ( $i = 1, 2$ )の自明解として $(\partial f^{(1)} / \partial t)_c = C_1(f_2 - f_{20}) - C_2(f_1 - f_{10})$ ,  $(\partial f^{(2)} / \partial t)_c = C_2(f_1 - f_{10}) - C_1(f_2 - f_{20})$  を採用した<sup>[38]</sup>.

ただし,  $f_{i0}(i = 1, 2)$ は熱平衡値である. 自明解ではなく非自明な解にもとづいて未知の現象を予測するのが物性理論の真骨頂であるが, ここでは自明な解を使うことにした. この選択が妥当かどうかはこの先の計算結果次第だ. 図 17 に計算の流れを示す.

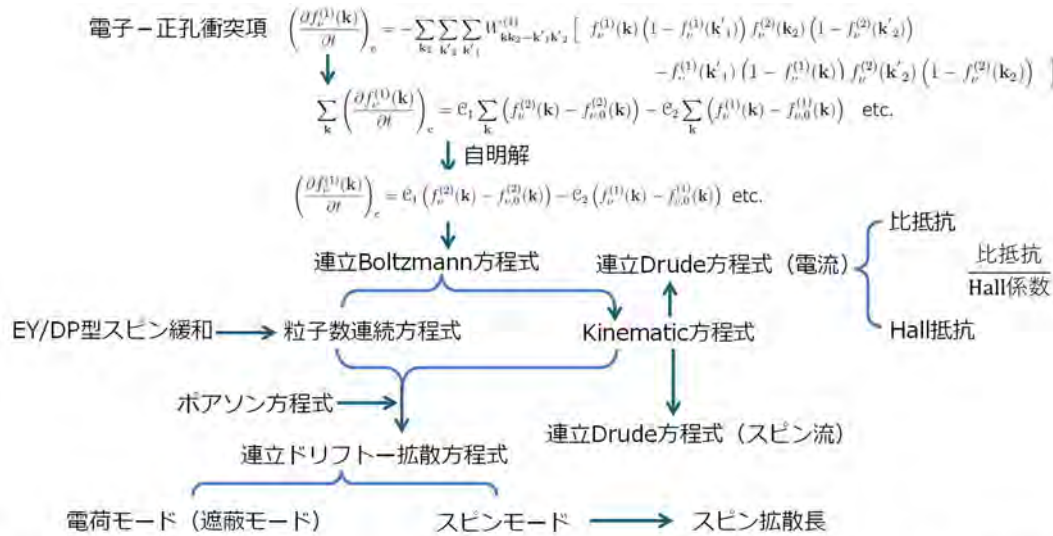


図17 Boltzmann方程式にもとづくスピン依存型ドリフト-拡散方程式およびDrude方程式の導出フロー

こうして得られた衝突項は, 格子振動や不純物によるキャリア散乱で普通に使われる緩和時間近似式 (RTA) を拡張した形であり, 電子に関する衝突項が電子の RTA と正孔の RTA から構成される. 正孔に関する衝突項についても同じである. 散乱頻度に対応するのは前出の  $C_i$  ( $i=1, 2$ ) であるが, これらは  $T$  の 2 乗に比例するので,  $\rho$  の温度依存性に一致する. 元来複雑な形をしている Baber 散乱の衝突項 (図 17 第 1 行) が簡単な RTA 形式に書換えられたので, 当初の複雑な連立微積分方程式が扱い易くなって, そこから, 解析的に連立ドリフト-拡散方程式および連立 Drude 方程式が得られた. 前者を使えばスピン輸送が, 後者を使えば  $\rho$  と  $R_H$  が調べることができる. 実際の計算では Baber 散乱以外に格子振動や不純物によるキャリア散乱 (運動量緩和) および Elliott-Yafet(EY)型や D'yakonov-Perel'(DP)型などスピン軌道相互作用由来のスピン緩和も考慮した. EY/DP 型スピン緩和は特定方向に揃ったスピンの向きを不揃いにし, スピン拡散長 ( $\ell_s$ ) を短くする作用をもつ. このスピン緩和のせいで, 通常の金属では  $\ell_s$  が数 100 nm 止まりなのだ.

#### 4. 3. スピン輸送の固有モードと熱力学

連立ドリフト-拡散方程式は解析的に解けて, その解は  $e^{-\kappa x}$  に比例し, 固有値  $\kappa^2$  は電子と正孔の 2 種類の自由度に対応して 2 種類得られた. Baber 散乱を介して相互作用し合う電子 (有効質量  $m_1$ ) と正孔 (有効質量  $m_2$ ) に関する連立方程式を解いたのだから, 当然それらの固有値には電子のキャラクタと正孔のキャラクタが混合する. したがって, 2 種類の  $\kappa^2$  値に対応して, ブレンドの仕方が異なる 2 種類の固有モードがあるのだが, それらは電子スピン流 ( $\mathbf{J}_1$ ) と正孔スピン流 ( $\mathbf{J}_2$ ) に関する対称モード ( $\mathbf{J}_1 + \mathbf{J}_2$ ) および反対称モード ( $\mathbf{J}_1 - \mathbf{J}_2$ ) である [38]. Baber 散乱は運動量緩和をもたらすけれども, スピン緩和には寄与しないこと一非平衡量  $\Delta n_i$  で書けば  $m_2 \Delta n_1 - m_1 \Delta n_2 = 0$  を考慮して計算すると, 対称モードの  $\kappa^2$  と反対称モードの  $\kappa^2$  との間には明確な違いが見出された. 対称モードは常に正值 ( $\kappa^2 > 0$ ) なので減衰解 (スピン散逸解) を与えるのに対して, 反対称モードは電子や正孔のキャリアパラメータ (有効質量, キャリヤ密度, EY/DP スピン緩和時間など) の組合せ次第では, 正にも負にもなり得るのだ [38]. ある条件下では  $\kappa^2 = 0$  も可能だ.  $\kappa$  の逆数が  $\ell_s$  そのものなので, 条件次第では  $\ell_s$  が長大化する. 例えば,  $m_1 = m_2 = m_0 (\equiv 9.109 \times 10^{-31} \text{kg})$ ,  $n_1 = 1.2n_2 = 2.4 \times 10^{27} \text{m}^{-3}$ ,  $\tau_{\text{Baber}} =$

$3 \times 10^{-13}$  s,  $\tau_1 = 0.5\tau_2 = 0.5 \times 10^{-1}$  s,  $\tau_1^{(\text{EY/DP})} = 1.2\tau_2^{(\text{EY/DP})} = 1.2 \times 10^{-11}$  s と云う現実的条件では  $\ell_s \approx 10$   $\mu\text{m}$  であり, 3.4.で述べた測定結果 (23  $\mu\text{m}$ ) に近い. さらに,  $\kappa^2 < 0$  の場合 (スピン無散逸解) は, スピン密度が空間的に振動し,  $\kappa$  の逆数が波長を与える. これはスピン密度波に対応する. このように, 反対称モードのスピン流には, スピン緩和をもたらす ED/DP 機構の影響を完全回避するポテンシャルが与えられている.

電子スピン流と正孔スピン流から構成される対称モードおよび反対称モードの考えは, 実はこれが初めてではなかった. 理論に Baber 散乱を導入する以前に, 混合系の熱力学で出てくる Gibbs-Duhem (GD) 関係式を使ってスピン輸送に伴うエントロピー生成を理論的に調べたことがある<sup>[31]</sup>. その解析結果は, 反対称モードがエントロピーを排出しない, つまりスピン緩和しにくいことを示していた. GD 関係式にもとづくと, スピン輸送に寄与する非平衡電子濃度と正孔濃度は独立でなく互いに関係し合う. 電子濃度と正孔濃度が完全に一致するとき (完全補償), その関係式は前述した Baber 散乱がスピン緩和に寄与しない関係式と同等だ. Baber 散乱が格子振動などと共に専ら運動量緩和だけに寄与し, EY/DP 機構のみがスピン緩和を引き起すとき, 対称モードはスピン緩和を一手に引受けてくれて, 反対称モードをスピン緩和から守ってくれる. そのような状況が, 熱力学的に好ましいようだ (注 30). Baber 散乱は熱力学的必然だったのだろうか. Baber 散乱のお陰で散逸のない長距離スピン輸送が実現するのであれば, “電子だけでもスピン流発生は可能なので, 敢えて正孔を使わなくてもよいのではないか” と云う 3.1. で提起された質問に対して, ひとつの解答が得られたと思う.

#### 4. 4. $R_H - \rho$ 相関の理由

BE 方程式に予め外部磁場の項を加えておけば正常 Hall 効果が議論できる. 衝突項として 4.3. で示した RTA 表式を使えば, 連立 Drude 方程式が得られることは少し前に述べた. したがって, 連立 Drude 方程式を解けば, 補償金属の  $\rho$  と  $R_H$  が導出できて, 特に, 完全補償 ( $n_e = n_h \equiv n$ ) では, それらの表式として,  $\rho = (1/en)[1/(|\mu_1| + \mu_2) + \mathcal{M}/e\tau_{\text{Baber}}]$ ,  $R_H = (1/en)(\mu_2 - |\mu_1|)/(\mu_2 + |\mu_1|)$  が得られる<sup>[38]</sup>. ここで,  $\mathcal{M}$  は電子と正孔に関する換算質量  $1/\mathcal{M} = 1/m_1 + 1/m_2$ ,  $\tau_{\text{Baber}}$  は Baber 散乱による緩和時間で電子と正孔に共通の値である.  $\mu_1$  と  $\mu_2$  はフォノンや不純物散乱によって決まる電子および正孔移動度であり, 対応する緩和時間 ( $\tau_1, \tau_2$ ) とキャリア質量 ( $m_1, m_2$ ) を使って,  $\mu_1 = -e\tau_1/m_1$ ,  $\mu_2 = e\tau_2/m_2$  によって表される.  $\tau_1$  と  $\tau_2$  は共にフォノン散乱および不純物散乱の両方に影響されるので,  $1/\tau_1 = (\Pi_{\text{phonon}} + \Pi_{\text{impurity}})m_1$ ,  $1/\tau_2 = (\Pi_{\text{phonon}} + \Pi_{\text{impurity}})m_2$  と書ける. これらを上の  $\rho$  と  $R_H$  の表式に代入すれば  $\rho = (\mathfrak{M}^2/e^2n)[\Pi_{\text{phonon}} + \Pi_{\text{impurity}} + \mathcal{M}/(\tau_{\text{Baber}}\mathfrak{M}^2)]$ ,  $R_H = (\mathfrak{M}^2/en)[1/(m_2)^2 - 1/(m_1)^2]$ ,  $\rho/R_H = (1/e)(\Pi_{\text{phonon}} + \Pi_{\text{impurity}} + \mathcal{M}/\tau_{\text{Baber}}\mathfrak{M}^2)/[1/(m_2)^2 - 1/(m_1)^2]$  が導出される

<sup>[39]</sup>. ただし,  $1/\mathfrak{M}^2 = 1/m_1^2 + 1/m_2^2$  である. これで説明の準備が整った.  $\rho$  と  $R_H$  の表式に共通する点は, キャリヤ濃度  $n$  に反比例する事である. YH<sub>x</sub> (1.73 < x < 2.04) では  $\rho$  と  $R_H$  が水素濃度に依存して変化することは 2.2. で触れたが, その主な原因は  $n$  の水素濃度依存性によると考えられる. 一方, 上記  $\rho/R_H$  表式の分子には,  $\Pi_{\text{phonon}}$ ,  $\Pi_{\text{impurity}}$ ,  $\mathcal{M}/\tau_{\text{Baber}}\mathfrak{M}^2$  の 3 つの項がある. このうち, 試料によらずほぼ同じ値を示すのは,  $\Pi_{\text{phonon}}$  と  $\mathcal{M}/\tau_{\text{Baber}}\mathfrak{M}^2$  であり,  $\Pi_{\text{impurity}}$  は試料の結晶品質や不純物濃度に依存する. 実験事実として, YH<sub>2</sub> ではフォノン散乱に比べて Baber 散乱の影響の方が相対的に大きいことは, 4.1. で述べた. この点を考慮すれば,  $\rho/R_H$  表式は近似的に  $\rho/R_H = (1/e)(\Pi_{\text{impurity}} + \mathcal{M}/\tau_{\text{Baber}}\mathfrak{M}^2)/[1/(m_2)^2 - 1/(m_1)^2]$  によって与えられる<sup>[39]</sup>. 不純物散乱がない場合, この比は YH<sub>2</sub> に固有な量となり, 結晶品質など外来的要素に無関係だ. したがって,  $R_H$  と  $\rho$  の間に比例関係が成立して, これが  $R_H - \rho$  相関をもたらすと考えられる. 不純物散乱があってもそれが Baber 散乱に比べて弱いときは, 近似的に  $R_H - \rho$  相関が成立する. 不純物散乱の影響は,  $R_H - \rho$

相関を弱くする方向にはたらく (図 2(c)). このように筆者らの理論は, YH<sub>2</sub> に観測される散逸の少ない長距離スピン輸送のみならず  $R_H - \rho$  相関も説明できる点で, 今のところ, 最も好ましい理論と云えそうだ.

#### 4. 5. 未解決なこと

YH<sub>2</sub> へのスピン注入電極として Ni と Co を使用した場合には, ISHE が観測されなかったことは 3.2. で述べた. 最近, スピン注入電極に Fe を使った Hall-bar 型素子(構造・サイズ共に図 7 に同じ)を作製・測定したところ, 磁場に対して偶関数的振舞いで, ヒステリシスを伴った Hall 電圧が観測された<sup>[40]</sup>. Hall 電圧は原則磁場の奇関数であるから, これは明らかに異常である. しかしながら, 通常の ISHE が観測されない点では, Ni と Co に同様である. このように, YH<sub>2</sub> の ISHE にもとづく長距離スピン輸送は, スピン注入電極が RE-TM の場合に限って観測される. なぜ TM を使うと観測されないのか, その理由は依然として不明のまま. 特別な事情がはたらいて, F 領域キャリアと N 領域キャリア(電子と正孔)間でのスピン角運動量の受渡しを禁止されるのだろうか? この点が解決しないうちは YH<sub>2</sub> と RE-TM の組合せにおける事の本質を理解したとは云えない.

#### § 5. おわりに

執筆しているこの記事にしても, 研究論文, 研究そのものにしても, 完成に近づいたあたりからが長く, ゴールになかなか辿り着けない. まったく, 物事の完成曲線は緩和関数に似ている. その点を見越して, 早めに着手することがいかに重要かを, 筆者は結果的に身をもって示すことになった.

研究は自分が面白いと思ったことを中心に取り組んできたが, 科学コミュニティの研究者, 論文査読者, 審査員に共感してもらえただろうか. それよりも, 研究室の学生は共感できただろうか. 一人悦に入っていただけかもしれない. 本記事も, そのような状況に陥っているのではないかと, 少なからず恐れている.

#### 謝辞

本記事の執筆の機会を与えてくださった CACS forum 編集部の方々, そして装置利用にあたってご支援いただいた科学分析支援センター運営スタッフの皆様に御礼申し上げます.

本学の技術職員の皆様には, 約 30 年にわたり多大なご支援をいただきました. 特に, 後閑伸彦氏には機械設計・製作, はんだ付け, および測定プログラム作成において, 齋藤由明氏には XPS 依頼測定および装置講習において, 徳永誠氏には走査型電子顕微鏡および XRD 装置講習において, 小山哲夫氏には実験装置の PC 不具合解決・修理に関して, それぞれご支援いただきました. ここに御礼申し上げます.

本学に着任する前から, 埼玉大学には立派な分析共用設備があると聞いておりましたが, まさにそのとおりでした.

#### 注釈

(注 1)  $\frac{[h]}{[e^2]} = \frac{[J][s]}{[C^2]} = \frac{[AVs][s]}{[A^2s^2]} = \frac{[V]}{[A]} = [\Omega]$

(注 2)  $[\text{Pt}(\text{en})_2][\text{Pt}(\text{en})_2\text{Cl}_2](\text{ClO}_4)_4$  (en=ethylenediamine) では 2 価の Pt<sup>2+</sup> と 4 価の Pt<sup>4+</sup> が Cl を挟んで一次元的に配列した電荷密度波状態 (Charge Density Wave) を持つ.

(注 3) 十倉好紀博士(当時東京大学講師)の講演会では, トランス型ポリアセチレン中のソリトン(キンク型格子不整)がもたらす光吸収スペクトルが紹介されていた. それが, その数週間前に筆者がハロゲン架橋型白金錯体に観測していた吸収スペクトルに酷似していた. ポリアセチレンと擬一元白金

錯体は、前者が **Bond Order Wave** 状態に対して、後者が **Charge Density Wave** 状態であり、歪んだ 2 量体と云う点で類似しているのですが、前者でソリトン形成が起きるのであれば、後者でも同じようなことが起きてもおかしくない。講演会から戻って、そのことを筆者の指導教員・黒田規敬氏（東北大学助教のち熊本大学教授）に報告したら、これで博士研究テーマは決定だ、と言われた。

(注 4) メリーランド大の駐車場で、偶々、高校の同窓生・小池祐司君（現 新潟大学教授）に再会したのは驚きだった。同じ物理教室の素粒子理論グループに在籍していた。

(注 5)  $\mathbf{P}(\mathbf{r}) = \epsilon_0 \int \chi(\mathbf{r}, \mathbf{r}') \mathbf{E}(\mathbf{r}, \mathbf{r}') d\mathbf{r}'$  ( $\epsilon_0$  は真空誘電率)。

(注 6) 真夜中に実験していたら、同時多発テロのニュースが飛び込んできた。

(注 7) 上床氏とは、このときがはじめてではなく、筆者が大学院生のころ、日本高圧力学会で顔見知りだった。

(注 8) Hall 効果測定装置立上げの際には、大学の同級生であった柴田肇博士（当時 電子技術総合研究所）に助けてもらった。

(注 9) Y および H 濃度はそれぞれ、Rutherford 後方散乱と水素前方散乱によって決定した。

(注 10) 異常 Hall 係数は、スキュー散乱の場合では  $\rho$  の 2 乗に比例し、サイドジャンプ機構では、 $\rho$  に正比例する。

(注 11) 元々は、静電場下で、荷電粒子を安定な釣合いの位置に保つことはできないと云う定理である。静磁場下における常磁性体および強磁性体にも適用できる。反磁性体（磁気感受率が負の場合）には適用できない。

(注 12) 2007 年には、応用物理学会に新規に、スピントロニクス・マグネティックスのセッションが開設された。

(注 13) 新庄輝也氏の巻頭言タイトルは「啐啄一機（そったくいき）」。教育の極意を表す禅の言葉で、師家が弟子に悟りを伝授しようとする場合、逃しては二度とない絶妙な瞬間をつかまなければならない、と云うことを意味する。

(注 14) アップスピン（角運動量  $+\hbar/2$ ）をもつ自由電子とダウンスピン（角運動量  $-\hbar/2$ ）をもつ自由電子をそれぞれ逆方向に走行させると、正味の電荷移動量は消失してジュール熱発生の伴わない角運動量の流速が残る。スピン流に伴って輸送された角運動量は、Fe などの強磁性金属（永久磁石）に出会うと、トルクが作用して局在磁気モーメントの向きを変化させるので（スピントランスファー）、スピン情報の磁氣的書込みが可能であり、一方、スピン流に残る局在モーメント変化の痕跡は磁氣的読出しに使える。この原理を使えば、コンデンサーを使った DRAM とは異なり、電源を切っても記録情報が消えない不揮発性 DRAM が構成できる。最近 MRAM (Magnetic Random Access Memory) が不揮発性 DRAM としてスマートウォッチなどに実装されはじめた。

(注 15) 文部科学省先端研究施設共用イノベーション創出事業【ナノテクノロジーネットワーク】下で運用された。

(注 16) 導体中の電流が温度勾配をつくり、逆に導体中に温度勾配があると、電流が発生するのと同じように、スピン Hall 効果 (SHE) と逆スピン Hall 効果 (ISHE) は相反関係にある。SHE では  $x$  軸方向の電流の一部がスピン軌道相互作用 (SOI) と云う内的要因によって  $y$  軸方向のスピン流に変換される。ISHE では  $y$  軸方向のスピン流の一部が SOI によって  $x$  軸方向の電流に変換される。したがって、電圧として直接検出できるのは ISHE である。

(注 17) 阪大産研の共用施設には 2009 年から 2015 年までお世話になった。

(注 18) 栗野博之氏は、日立金属で RE-TM を使って世界に先駆けてブルーレイ光ディスクを開発した中心人物である。栗野氏との初対面は 2012 年頃の応用物理学会ポスター会場であった。

(注 19) 筆者らの少し前から本学の白井肇教授(現本学名誉教授)が BNC を利用して東洋大学の花尻達郎教授らと共同研究を進めていた。筆者らが BNC で実験できるようになったのは、白井教授が筆者を花尻氏に引合わせてくれたお陰である。BNC には、本学から約 90 分で行けるので、設備使用のマシントイムさえ取れば、かなり頻繁に出張実験が出来た。実験に従事する学生数は阪大のときと同様、4 名前後であったので、往復旅費約 1000 円は大変助かった。

(注 20) 触媒膜がない状態でも Y は水素化出来る。ただし、350 °C前後の Ar97%-H<sub>2</sub>3%混合ガス雰囲気が必要である。本文 2.2. で使用した YH<sub>2</sub>はこの方法で水素化したものである。

(注 21) YH<sub>3</sub> は、YH<sub>2</sub> と異なり半導体である(バンドギャップは約 2.7 eV)。

(注 22) YH<sub>2</sub> の代わりに ScH<sub>2</sub> と GdH<sub>2</sub> を使った同様の研究を定年間際になって実施しているが、YH<sub>2</sub> と同様の現象が観測されている。

(注 23) RE-TM の  $\mathbf{M}_{\text{Total}}$  は温度に拘わらず常に外部磁場と同じ向きなので  $\mathbf{M}_{\text{Total}}$  が YH<sub>2</sub> 領域にもたらず磁場の向きは  $T_m$  を境にして反転しない。

(注 24) 露光・現像後のアッシング工程では、本学・科学分析支援センター設置のプラズマクリーナーのお世話になった。装置使用が教員限定なため、アッシング工程は筆者の担当だった。

(注 25) デバイ温度( $T_D$ )は、音響フォノンの最大角周波数( $\omega_D$ )を温度に換算した量  $k_B T_D = \hbar \omega_D$ 。

(注 26) 擬 2 次元構造を有する TiS<sub>2</sub> でも 100~400 K において  $\rho$  の  $T^2$  則が観測される。

(注 27) 正孔と云う概念そのものが、量子力学によるものである。バイポーラトランジスタを発明した W. Shockley の教科書タイトルは、「Electrons and holes in semiconductors」である。正孔の実態を、固体結晶を舞台にして量子力学にもとづいて詳細に説明している、正孔の実態は負の電荷を有する電子であるが、その有効質量は負値であることが、結晶の空間的周期性と Schrodinger 方程式から導かれる。

(注 28) LED は、この原理を利用して電子電流と正孔電流から光を取り出している。PNP 型および NPN 型トランジスタのベース領域で起きている電子-正孔再結合は、トランジスタの増幅作用の要だ。

(注 29)  $n_2 = (1/V) \sum_{\mathbf{k}} f_2$  は負の電荷、負の有効質量をもつ電子密度を表す。正孔(正の電荷、正の有効質量)の密度は、 $n_h = (1/V) \sum_{\mathbf{k}} (1 - f_2)$  によって与えられる。

(注 30) 多電子のスピン状態に関する規則である Hund の第 1 則(軌道配置が同じならばスピン多重度が最大の状態が最低エネルギーを持つ)に対する伝統的解釈が 1980 年以降見直されつつある。新解釈では、熱力学のビリアル定理に矛盾しないことが前提であり、結果的に、3 重項状態が 1 重項状態よりエネルギーが低くなるのは、前者の方が原子核と電子間のクーロン引力エネルギーの影響が大きいからだと考えられている。

## 参考文献

- [1] K. v. Klitzing, G. Dorda, M. Pepper, New method for high-accuracy determination of the fine-structure constant based on quantized Hall resistance, Phys. Rev. Lett. **45**, 494~497 (1980).
- [2] M. Sakai, N. Kuroda, Y. Nishina, Optical studies of the quasi-one-dimensional charge-density-wave state in [Pt(en)<sub>2</sub>][Pt(en)<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>](ClO<sub>4</sub>)<sub>4</sub> (en=ethylenediamine) under hydrostatic pressure, Phys. Rev. B **40**, 3066~3076 (1989).
- [3] M. Sakai, N. Kuroda, Y. Nishina, High-pressure Raman study of vibrational spectra in crystalline acetanilide, Phys. Rev. B **47**, 150~157 (1993).

- [4] L. J. van der Pauw, A method of measuring specific resistivity and Hall effect of discs of arbitrary shape, *Philips Res. Repts* **13**, 1~9 (1958).
- [5] 倉山徹男, 修士論文 “InP(Au)/p(n)形 InP ショットキー接合の電気光学特性” (埼玉大学, 2001年3月).
- [6] M. Sakai, M. Shinohara, Influence of carrier scattering on Franz-Keldysh effect in near-surface region of n-type GaAs, *J. Phys. Soc. Jpn.* **66**, 738~748 (1997).
- [7] K. Cho, *Optical response of nanostructure: microscopic nonlocal theory*, (Springer, 2003).
- [8] M. Sakai, M. Yamaguchi, A nonlocal theory of the Franz-Keldysh effect in semiconductor quantum wires, *Physica E* **21**, 367~371 (2004).
- [9] M. Sakai, M. Takeuchi, A design for electrooptical detection of defect positions in semiconductors, *Physica B* **376/377**, 897~900 (2006).
- [10] O. Nakamura, M. Kanbara, S. Suzuki, Y. Mori, Development of yttrium dihydride film for use in cold cathode lamps, *Jpn. J. Appl. Phys.* **39**, 4933~4938 (2000).
- [11] M. Sakai, T. Kontani, O. Nakamura, K. Takeyama, Y. Uwatoko, Y. Obi, K. Takanashi, Electrical transport and optical properties of hydrogen deficient YH<sub>2</sub> films, *Jpn. J. Appl. Phys.* **43**, 681~687 (2004).
- [12] M. Sakai, T. Nanbo, O. Nakamura, Y. Uwatoko, H. Tajima, Magneto-transport properties in near-stoichiometric hydride films of YH<sub>2+δ</sub> under weak fields, *J. Appl. Phys.* **101**, 103713-1~8 (2007).
- [13] C. Koitzsch, J. Hayoz, M. Bovet, F. Clerc, L. Despont, C. Ambrosch-Draxl, P. Aebi, Fermi-surface topology of rare-earth dihydrides, *Phys. Rev. B* **70**, 165114-1~10 (2004).
- [14] M. Sakai, D. Kodama, S. Ito, M. Ito, O. Nakamura, S. Hasegawa, A. Kitajima, A. Oshima, Appearance of a correlation between the Hall coefficient and electrical resistivity upon dihydrogenation of yttrium, *J. Appl. Phys.* **108**, 083719-1~7 (2010).
- [15] 太田 浩一, 丸善物理学コース「電磁気学 I, II」(丸善, 2000年).
- [16] M. Sakai, N. Honda, F. Fujimoto, O. Nakamura, H. Shibata, A complementary study of the role of the Hall electric field for generation of the force on current-carrying wire in a magnetic field, *Am. J. Phys.* **78**, 160~169 (2010).
- [17] S. Sasaki, I. Yagi, M. Murakami, Levitation of an iron ball in midair without active control, *J. Appl. Phys.* **95**, 2090~2093 (2004).
- [18] M. Sakai, Y. Takabayashi, K. Sugawara, T. Shibayama, Y. Shimomura, T. Orikasa, K. Kamishima, N. Hiratsuka, Levitation mechanism of a single steel ball under moderate magnetic fields provided by a Nd-Fe-B ring magnet, *J. Appl. Phys.* **97**, 083908-1~5 (2005).
- [19] M. Sakai, T. Sakuraba, Z. Honda, S. Hasegawa, A. Kitajima, K. Higuchi, A. Oshima, O. Nakamura, Generation of Spin Current in Bipolar Conductors, *Jpn. J. Appl. Phys.* **50**, 103002-1~9 (2011).
- [20] A. Fert, S. H. Lee, Theory of the bipolar spin switch, *Phys. Rev. B* **53**, 6554~6565 (1996).
- [21] S. O. Valenzuela, M. Tinkham, Direct electronic measurement of the spin Hall effect, *Nature* **442**, 176~179 (2006).
- [22] M. Sakai, H. Takao, T. Matsunaga, Y. Tanaka, T. Arai, S. Haruyama, T. Otomo, H. Hiram, T. Sakuraba, Z. Honda, K. Higuchi, A. Kitajima, A. Oshima, S. Hasegawa, H. Awano,

- Hall resistivity and transverse magnetoresistivity generated in simultaneous presence of spin-polarized current and external magnetic field in a nonmagnetic bipolar conductor  $\text{YH}_2$ , *Jpn. J. Appl. Phys.* **54**, 013001-1~11 (2014).
- [23] M. Sakai, H. Takao, T. Matsunaga, M. Nishimagi, K. Iizasa, T. Sakuraba, K. Higuchi, A. Kitajima, S. Hasegawa, O. Nakamura, Y. Kurokawa, H. Awano, Resonant Hall effect under generation of a self-sustaining mode of spin current in nonmagnetic bipolar conductors with identical characters between holes and electrons, *Jpn. J. Appl. Phys.* **57**, 033001-1~13 (2018).
- [24] T. Sakai, M. Sakai, T. Kobayashi, M. Yasutake, S. Akisato, R. Mikami, N. Suganuma, Y. Takahashi, Y. Nakajima, M. Tokuda, Y. Fujii, T. Hanajiri, O. Nakamura, Low-temperature synthesis of hydride semiconductor  $\text{YH}_{3-\delta}$  using Pt capped Y films and its chemical thermodynamics analysis, *Thin Solid Films* **669**, 288~293 (2019).
- [25] K. Sato, Y. Takahashi, S. Akisato, R. Mikami, N. Suganuma, Y. Ashizawa, H. Kawaguchi, Y. Nakajima, T. Ukai, Y. Fuji, T. Hanajiri, J. Kaneko, O. Nakamura, P.V. Thach, H. Awano, S. Hasegawa, M. Sakai, Spin-charge-coupled transverse resistance in an ambipolar conductor  $\text{YH}_2$ -based Hall-bar structure with perpendicularly magnetized current-injection electrodes, *Phys. Scr.* **98**, 045912-1~15 (2023).
- [26] I. Yamazaki, Y. Koinuma, T. Hanajiri, P. V. Thach, S. Ranjbar, S. Sumi, H. Awano, O. Nakamura, S. Hasegawa, M. Sakai, Spin injection from a magnetically near-compensated state in  $\text{GdFeCo}$  and inverse spin Hall effect in electron-hole compensated metal  $\text{YH}_2$ , *J. Phys.: Condens. Matter* **37**, 065804-1~14 (2025).
- [27] 伊東 輝大, 卒業論文 “スピン注入を目的とした様々なチャンネル長をもつホールバー素子の作製” (埼玉大学, 2022年3月).
- [28] 伊東 輝大, 佐藤 圭, 吉住 年弘, 酒井 政道, 花尻 達郎, 清水 正章, 中村 修, 鷺見 聡, 栗野 博之, 長谷川 繁彦, 非対称 Hall-bar 素子を用いた電子正孔補償金属  $\text{YH}_2$  におけるスピン拡散長評価, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集 (2022年).
- [29] 増井 拓郎, 戸沢 遥哉, 秋山 大伍, 曳町 光紀, 松田 希望, 酒井 政道, 花尻 達郎, 鷺見 聡, 栗野 博之,  $\text{GdFeCo}$  と  $\text{YH}_2$  から構成したスピバルブ構造におけるスピン蓄積抵抗, 第 86 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集 (2025年).
- [30] Y. Koinuma, S. Hasegawa, M. Sakai, Long-distance spin communication via ambipolar conductor with electron-hole spin exchange interaction, *J. Phys.: Condens. Matter* **36**, 135806-1~12 (2024).
- [31] M. S. Aktar, M. Sakai, S. Hasegawa, O. Nakamura, H. Awano, Entropy production by thermodynamic currents in ambipolar conductors with identical spin dynamics characteristics between holes and electrons, *Appl. Phys. Express* **12**, 053004-1~5 (2019).
- [32] M. S. Aktar, M. Sakai, T. Yoshizumi, S. Hasegawa, Spin and charge transports with thermodynamic electron-hole correlation in nearly compensated metals, *AIP Advances* **10**, 075210-1~10 (2020).
- [33] M. Sakai, M. S. Aktar, T. Yoshizumi, S. Hasegawa, Spatiotemporal characteristics of spin transport in compensated metals with electron-hole exchange interaction, *J. Phys.: Condens. Matter* **34**, 055801-1~12 (2021).

- [34] W. G. Baber, The contribution to the electrical resistance of metals from collision between electrons, Proc. R. Soc. A **158**, 383 (1937).
- [35] 阿部 龍蔵「電気伝導（新物理学シリーズ 8）」（培風館, 1969 年）.
- [36] S. Li, D. L. Maslov, Lorentz ratio of a compensated metal, Phys. Rev. B **98**, 245134-1~13 (2018).
- [37] K. Takahashi, H. Matsuura, H. Maebashi, M. Ogata, Thermoelectric properties in semimetals with inelastic electron-hole scattering, Phys. Rev. B **107**, 115158-1~7 (2023).
- [38] M. Sakai, Y. Koinuma, S. Hasegawa, Spin transport of compensated metals in combination with Baber-type momentum relaxation, J. Phys.: Condens. Matter **37**, 375802-1~21 (2025).
- [39] 酒井 政道, アンビポーラ金属  $\text{YH}_x$  ( $1.73 < x < 2.04$ )における Hall 係数-比抵抗相関, 第 86 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集 (2025 年).
- [40] 増井 拓郎, 卒業論文 "Fe を電流注入源とする Y および  $\text{YH}_2$  のホール効果" (埼玉大学, 2023 年 3 月).

## キラル化合物の特異な磁性・電子状態

### Unique magnetic properties and electronic states in chiral materials

理工学研究科 物質科学部門 佐藤 芳樹  
Graduate School of Science and Engineering  
Yoshiki J. Sato

#### Abstract

The crystal structure of compounds is closely linked to their electrical and magnetic properties. Among the most intriguing classes of materials for exploring such structure-related phenomena are chiral compounds. Chirality, also known as handedness, refers to a property in which a three-dimensional structure cannot be superimposed on its mirror image, like right and left hands. While chirality has long been a central concept in life sciences and pharmaceuticals, its significance in condensed matter physics is increasingly recognized. Recent studies have revealed diverse electronic and magnetic phenomena directly arising from structural chirality. In this article, we focus on the chiral-lattice rare-earth compounds  $R\text{Pt}_2\text{B}$  (R: rare-earth element) and provide an overview of their intriguing magnetic properties, magnetotransport, and thermoelectric transport properties.

#### 1. はじめに

化合物の結晶構造は、物質の電氣的・磁氣的性質と密接に関係している。例えば、物質の電子状態は、しばしば電子の取りうるエネルギーと運動量の関係を示すエネルギーバンド構造に基づいて記述される。この固体の電子バンド理論は結晶構造の周期性に基づくことから、物質の電子状態と結晶構造は密接な関係にあることが理解できる。同様に、磁性を有する化合物の磁氣的な相互作用の一部は結晶の対称性を反映することから、様々な物質群において、結晶構造の特異性を反映した特徴的な磁気状態が発現することが知られている。

結晶構造の対称性と結びついたユニークな電氣的・磁氣的性質を探索する上で最も魅力的な物質群の一つが、キラリティという性質を有するキラル化合物である。キラリティは、対掌性とも呼ばれ、右手と左手のように、三次元の構造が、その鏡像と重ね合わせることができない性質である<sup>1</sup>。生命科学や薬学分野では、キラリティは非常に重要な概念であり、古くから多くの研究が積み重ねられている。筆者の専門分野である物性物理学においても、キラリティの重要性が広く認識されつつあり、結晶構造のキラリティに起因する多彩な物理現象が報告されている。本稿では、結晶構造のキラリティに起因する興味深い磁性・電子状態について、筆者らの研究も含めて簡潔に紹介する。

#### 2. キラル化合物における特異な磁性

キラルな結晶構造を有する磁性体においては、キラル結晶の低対称性を反映した反対称交換相互作用、いわゆる Dzyaloshinskii-Moriya (DM) 相互作用<sup>2,3</sup>が重要な役割を果たすことが知られている。特に、近年では渦状の磁気構造である磁気スキルミオン<sup>4,5</sup> やらせん磁気構造にひねり(ソリトン)

が周期的に並んだキラリソリトン格子<sup>6,7</sup>といった非自明な磁気秩序状態が報告されており、創発的な物理現象や次世代の電子デバイスへの応用可能性などの観点から注目を集めている<sup>8-10</sup>。

筆者らの研究グループでは、結晶構造のキラリティを反映した特異な磁気状態を探索する上で興味深い物質系として、図1に示す希土類キラリ化合物  $R\text{Pt}_2\text{B}$  ( $R$ : 希土類元素)<sup>11,12</sup>に着目した。これまで多結晶の合成のみが報告されていたが、筆者らは、チョクラルスキー法を用いて  $\text{NdPt}_2\text{B}$  や  $\text{LaPt}_2\text{B}$  の純良単結晶の育成に成功した<sup>13,14</sup>。 $\text{NdPt}_2\text{B}$  は、多結晶試料においては、高温で反強磁性転移を示したのちに、低温で強磁性転移を示すことが報告されていたが<sup>12</sup>、単結晶試料を用いた測定によって、 $\text{NdPt}_2\text{B}$  は温度低下とともに三段の逐次相転移を示し、基底状態は単純な強磁性相ではないことが明らかになった<sup>13</sup>。磁気構造と結晶構造のキラリティとの関連性を探るために、中性子回折実験による  $\text{NdPt}_2\text{B}$  の磁気構造解析を進めており、今後の研究の進展が期待される。

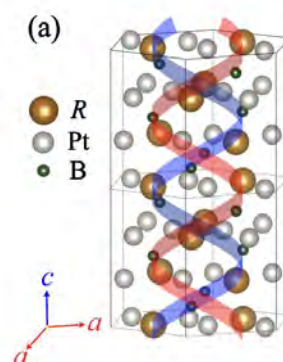


図1 希土類キラリ化合物  $R\text{Pt}_2\text{B}$  ( $R$ : 希土類元素)の結晶構造

既知の  $R\text{Pt}_2\text{B}$  化合物の単結晶育成に加えて、新物質の探索も行ってきた。筆者らは、 $R\text{Pt}_2\text{B}$  化合物の新物質として、 $\text{GdPt}_2\text{B}$  を発見し、単結晶試料の育成にも成功した<sup>15</sup>。三価の  $\text{Gd}$  イオンは、 $4f^7$  の電子配置を持ち、スピン角運動量  $S = 7/2$  で軌道角運動量  $L = 0$  となることから、結晶中における結晶場効果の影響が小さくなることが期待される。すなわち、 $\text{GdPt}_2\text{B}$  はキラリ結晶の対称性を反映した DM 相互作用の効果を調べるのに適していると考えられる。興味深いことに、 $\text{GdPt}_2\text{B}$  単結晶は既知の一軸キララセン磁性体と類似した磁化率の温度依存性と温度磁場相図を示し、その磁気秩序状態において DM 相互作用が重要な役割を果たしていることが期待される<sup>15</sup>。現在、共鳴 X 線回折実験や中性子回折実験により、 $\text{GdPt}_2\text{B}$  の磁気構造解析を進めており、キラリな結晶構造と磁気構造の関連について興味を持たれる。

$\text{GdPt}_2\text{B}$  単結晶は、興味深い磁気秩序に伴い、異常な電子輸送現象を示す。一例として、 $\text{GdPt}_2\text{B}$  の磁気秩序相において、トポロジカルホール効果と呼ばれる異常なホール効果が観測されている<sup>16</sup>。一般に、磁性体のホール効果は磁場中の伝導キャリアに働くローレンツ力に起因する正常ホール効果と、磁化に比例する異常ホール効果の二つの寄与で説明されるが、 $\text{GdPt}_2\text{B}$  では、磁気秩序相において追加の寄与が観測された。この現象は、磁気スキルミオンをはじめとした創発的なスピン秩序状態で観測されるトポロジカルホール効果と類似している。トポロジカルホール効果が観測される磁性体は、複数の磁気伝搬ベクトルを有する 경우가ほとんどであるが、 $\text{GdPt}_2\text{B}$  は結晶構造の対称性から、一軸性のらせん磁性を示すことが期待されるため、 $\text{GdPt}_2\text{B}$  におけるトポロジカルホール効果の起源は非常に興味深い。

### 3. キラル化合物における特異な電子状態・輸送現象

キラリ結晶では、これまで議論してきた特異な磁性に加え、興味深い電子状態やそれに起因する特徴的な輸送現象が現れる。例えば、非磁性のキラリ結晶においては、空間反転対称性が破れることから、エネルギーバンドの電子スピンの縮退が解けるが、Time-Reversal Invariant Momenta と呼ばれる高対称点においては縮退が残る<sup>17</sup>。この縮退点は、トポロジカル的な性質を有し、時間反転対称性を破らない限り縮退が解けないことから、Kramers-Weyl 点と分類されており、キラリ結晶の電子状態の特異性の一例である。

筆者らは、非磁性のキラリ金属である  $\text{YPt}_2\text{B}$  や  $\text{LaPt}_2\text{B}$ 、キラリ構造を有する超伝導体である  $\text{NbGe}_2$  について、量子振動実験および角度分解光電子分光 (ARPES) 実験を通じた電子状態の解

明を行ってきた。量子振動効果においては、キラル結晶の空間反転対称性の破れに起因するフェルミ面のスピン分裂が明瞭に観測されており<sup>18</sup>、また、スピン分裂したフェルミ面の一部に縮退が残ることから特異な磁気破壊効果が観測されることも明らかになりつつある。ARPES 実験においては、 $\text{YPt}_2\text{B}$  単結晶の電子状態の直接観測に成功しており、スピン分裂したエネルギーバンド構造や Kramers-Weyl 点の構造について研究を進めている。また、スピン分解 ARPES 実験を通して、電子状態のスピン構造を検証することも可能であり、実験を進めている。

加えて、キラル金属では特異な電子状態に起因して、興味深い電子輸送現象が現れることがある。一例として、 $\text{LaPt}_2\text{B}$  単結晶における横型熱電効果について議論したい。横型熱電効果は、熱流に対して直交方向に電圧が生じる現象で、熱流と電圧が同じ方向で相互変換される従来型の熱電材料の欠点を克服するメカニズムとして着目されている。 $\text{LaPt}_2\text{B}$  は、面間方向に沿った一次元的ならせん構造と、 $\text{La-Pt}$  層と  $\text{B}$  層が交互に積層した二次元的な構造が共存する特徴的な結晶構造を有する。筆者らは、 $\text{LaPt}_2\text{B}$  が、特徴的な結晶構造に起因して、擬一次元的なホールフェルミ面と擬二次元的な電子フェルミ面を持つことを第一原理計算および量子振動実験から明らかにした。熱と電気の相互変換効果である熱電効果は、伝導キャリアの種類を反映する物理量であるから、 $\text{LaPt}_2\text{B}$  においては、次元性の異なるホール面・電子面の共存により、面内方向と面間方向でゼーベック係数の符号が異なる軸依存性伝導極性が観測される<sup>14</sup>。この時、熱流を面内方向と面間方向の間に印加すると、熱電能テンソルの非対角項が有限になるため、横型熱電効果が現れる。一般に、横型熱電効果は、系の時間反転対称性を破る時にネルンスト効果として現れることが知られているが、軸依存性伝導極性を有する物質における横型熱電効果は時間反転対称性を保った状態で観測される現象である。 $\text{LaPt}_2\text{B}$  はネルンスト効果を示す物質群と比較しても高い横型熱電性能を示す<sup>14</sup> ことから、軸依存性伝導極性を利用した横型熱電材料は高性能な熱電素子の有望な候補物質である。

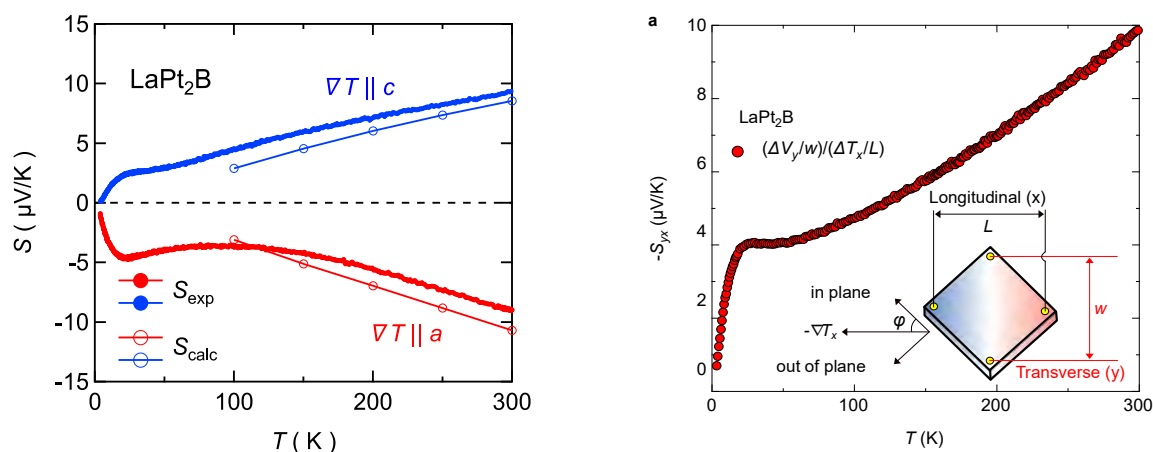


図2 (左図)  $\text{LaPt}_2\text{B}$  単結晶のゼーベック係数の温度依存性。面内方向と面間方向の間で軸依存性伝導極性を示す。(右図) 熱電能の軸依存性伝導極性に起因する横型熱電効果<sup>14</sup>

#### 4. おわりに

本稿では、キラル結晶における特異な磁性・電子状態に関して、筆者らの研究を含めて雑多に紹介した。キラル結晶の物理的性質に関する研究は、様々な観点から研究が積み重ねられており、それに伴って新しい研究の方向性が数多く提案されている。今後は、筆者が得意とする単結晶育成技

術と精密な物性測定技術を組み合わせて、キラル結晶の物理的性質，特に特異な電子状態と電子輸送現象の開拓に取り組んでいきたい。

本稿で紹介した成果は，東北大学金属材料研究所の青木教授の研究グループ，東京理科大学創域理工学部の岡崎准教授の研究グループ，神戸大学理学研究科の播磨教授，Rutherford Appleton 研究所の Adroja 博士の研究グループ，ミラノ工科大学の Crepaldi 教授の研究グループをはじめとした数多くの共同研究者との共同研究によるものであり，ここに謝意を表す。また，科研費若手研究 (JP24K17015) および研究活動スタート支援 (JP22K20360) のサポートを受けて研究を行った。

## 5. 参考文献

1. L. D. Barron, *Chirality* **24**, 879 (2012).
2. I. Dzyaloshinsky, *J. Phys. Chem. Solids* **4**, 241 (1958).
3. T. Moriya, *Phys. Rev.* **120**, 91 (1960).
4. S. Mühlbauer *et al.*, *Science* **323**, 915 (2009).
5. X. Z. Yu *et al.*, *Nature* **465**, 901 (2010).
6. Y. Togawa *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 112001 (2016).
7. T. Matsumura *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **86**, 124702 (2017).
8. N. Nagaosa *et al.*, *Nature Nanotech.* **8**, 899 (2013).
9. Y. Tokura *et al.*, *Nat. Commun.* **9**, 3740 (2018).
10. Y. Tokura *et al.*, *Chem. Rev.* **121**, 2857 (2021).
11. O. L. Sologub *et al.*, *J. Alloys. Compd.* **307**, 40 (2000).
12. O. L. Sologub *et al.*, *Solid State Commun.* **127**, 379 (2003).
13. Y. J. Sato *et al.*, *Phys. Rev. Mater.* **5**, 034411 (2021).
14. H. Manako and Y. J. Sato *et al.*, *Nat. Commun.* **15**, 3907 (2024).
15. Y. J. Sato *et al.*, *Phys. Rev. Mater.* **6**, 104412 (2022).
16. Y. J. Sato *et al.*, *Phys. Rev. B* **107**, 214420 (2023).
17. G. Chang *et al.*, *Nat. Mater.* **17**, 978 (2018).
18. Y. J. Sato *et al.*, *Phys. Rev. B* **108**, 235115 (2023).

## ガスクロマトグラフ質量分析装置 Agilent 5977C GC/MSD の紹介

科学分析支援センター 新美 智久, 藤原 隆司

埼玉大学で行われる教育・研究および様々な活動により, 日常的に排水が発生する. 排水は建物内の配管を通して学内の下水道に流れ, 大学の最終放流口からさいたま市管理の下水道へ放流される. 下水道法により, 排除基準値を超えた有害物質を放流することは認められていない. このため, 科学分析支援センターでは実験棟の枡および最終放流口で排水を採取し, 分析を行っている. そして, 分析結果と排水量を月 1 回さいたま市に報告している. 分析項目は pH, 水温, 重金属類, 揮発性有機化合物の 4 項目であり, このうち揮発性有機化合物はガスクロマトグラフ質量分析装置を用いて分析している.

ガスクロマトグラフ質量分析装置は, 排水のように多種多様な物質が混合された試料を分析するのに大変強力な装置である. 本装置は成分分離部のガスクロマトグラフと分離された各成分の分子量を測定する四重極型質量分析装置から構成される. ガスクロマトグラフでは, 高温下で気化した試料を分離カラムによって成分の性質の違いを利用して分離し, それを質量分析部に送る. 質量分析部では, 分離された成分を電子衝撃法によりイオン化し, 四重極電場によって分離されたイオンが検出器に到達する.

科学分析支援センターでは, 基盤的教育研究設備等整備計画により 2023 年 3 月にガスクロマトグラフ質量分析装置を Agilent 社製 5977C GC/MSD に更新した. Agilent 5977C GC/MSD はこれまでのガスクロマトグラフ質量分析装置にはない様々な機能が追加されていて, 今後, 教育・研究の多方面に活躍を期待される装置である. ここではその機能のいくつかを紹介する.



### ロッキングカラーとセルフタイトカラムナット

従来のガスクロマトグラフではカラムを接続する際にはカラムが抜け落ちるのを手で抑えながら, ナットをスパナで締める必要があった. Agilent 5977C GC/MSD にはロッキングカラーというカラム位置を固定するための治具が付属している. ロッキングカラーをセルフタイトカラムナットという最新型のナットに装着するだけでカラムとナットの位置が固定されて, ずれることがなくなる. また, セルフタイトカラムナットにはカラムナット内部にスプリングが内蔵されているため, フェラルが常に接続部に密着する. そのため, セルフタイトカラムナットを固定するのに, スパナのような工具を必要とせず手で締めるだけでよい. その結果, 従来のようにセプタム等でカラムの位置を固定する必要がなく, 簡単にカラムを取り付けることができるようになった.

### 試料注入方法

一般的なガスクロマトグラフ質量分析装置の場合, 試料注入方法を一つしか選べず, 排水分析用のガ

スクロマトグラフ質量分析装置の場合の注入法はヘッドスペース法一択であった。これに対して、Agilent 5977C GC/MSD では、排水分析用カラムではヘッドスペース法を、依頼分析用カラムではオートサンプラーによる液打ちを使用することができる。ヘッドスペース法は、密閉容器中の試料を加熱し、蒸発して容器上部にたまった気体を採取、分析する方法で排水分析によく用いられる。液打ちは、試料注入口に液体試料を直接注入する方法である。液打ちについてはさらに、オートサンプラーにより複数の試料を順番に自動的に注入することが可能である。また、オートサンプラーを取り外して、自分で試料を注入することも可能である。

## デュアルカラム

デュアルカラムはクロマトグラフ内に 2 つのカラムを装着することができるシステムである。一般的なクロマトグラフでは測定用カラムを 1 つしか装着できない。しかし、Agilent 5977C GC/MSD は性質の異なる 2 つのカラムを装着して、用途に応じて使い分けることができる。さらに、Agilent 5977C GC/MSD にはニューマティクス切り替えデバイス (PSD) という流路を切り替えるデバイスが備わっている。PSD を用いることで利用者はメソッドを変更するだけで、排水分析用カラムから依頼分析用カラムに流路を切り替えることができる。そのため、装置を排水分析に使用していないときは、依頼分析用カラムで依頼分析に対応することができ、教育・研究にも有効活用できる。

依頼分析用カラムを使用するときは、図 1 のような流れで試料が導入される。まず、オートサンプラーによって依頼分析用カラムに注入された試料は、PSD を通って質量分析部に導入される。カラムの保護のため、排水分析用カラムにも少量のヘリウムが流れているが、これも質量分析部に導入される。ただし、排水分析用カラムについてはヘッドスペースサンプラーで試料を導入するため、液打ちのように試料でカラムが汚染されることがほとんどなく、依頼分析用カラムの測定結果に影響を与えることはない。

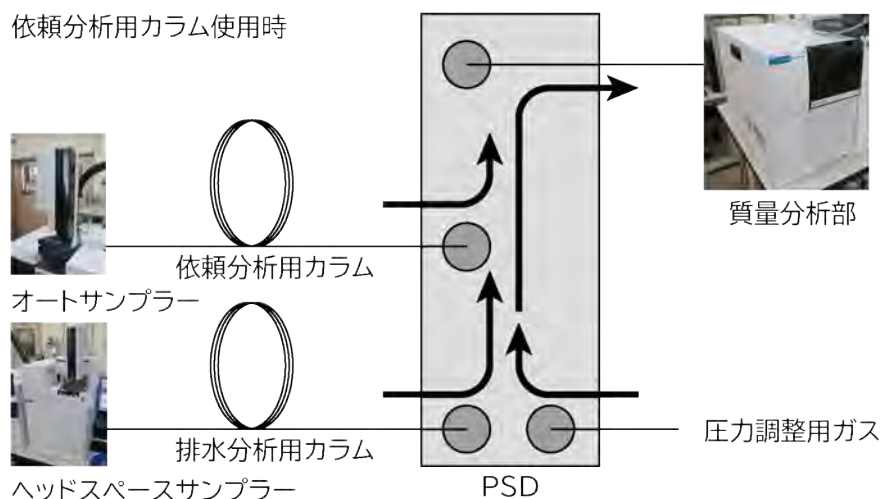


図 1 依頼分析用カラムを使用しているときのヘリウムの流路

排水分析用カラムを使用するときの流れを図 2 に示す。ヘッドスペースサンプラーによって排水分析用カラムに注入された試料は、PSD を通って質量分析部に導入される。排水分析用カラムを流れるヘリウムの一部は PSD によって依頼分析用カラムを逆流するように流れる。この逆流により依頼分析用カラムが汚染していても、汚染物が質量分析部に届くことがなく、排水分析用カラムの結果に影響を与えることはない。

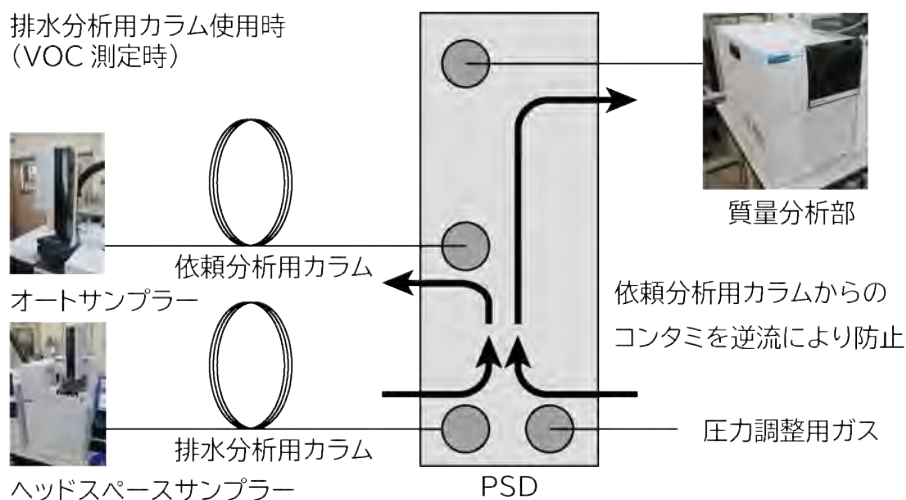


図 2 依頼分析用カラムを使用しているときのヘリウムの流路

## NIST ライブラリー

測定・解析用 PC には解析用データベースとして「NIST ライブラリー」がインストールされており、これを使ったデータ解析が可能である。測定データ中に未知のピークが検出されても「NIST ライブラリー」で検索を行うことで、未知のピークについて可能性が高い順に化合物をリストアップすることができる。これまでのガスクロマトグラフ質量分析装置では標準物質以外のピークが検出されても、それがどのような化合物か推測することができなかった。しかし、「NIST ライブラリー」により今まで判別不能だった成分の分析が可能となり、これまでより厳密な排水分析が可能となる。

## ヘリウム不足対策

一般的にガスクロマトグラフ質量分析装置は待機時でもヘリウムを流していなければならない。しかし、2012 年に発生した世界的なヘリウム供給不足は未だに解消されておらず、ヘリウムを使用する機器はその維持が困難になってきている。Agilent 5977C GC/MSD はヘリウム供給不足に対応するため、待機時はヘリウムの代わりに窒素を流すことでヘリウムの消費を抑える機構を備えている。

測定が終了すると自動的にヘリウムから窒素に切り替わるので、測定している間以外はヘリウムを消費することがない。加えて、窒素からヘリウムに戻す際は短時間で戻すことができるため、急に装置を使用する必要にせまられた場合もすぐに対応が可能である。

## 容易なメンテナンス

ガスクロマトグラフ質量分析装置は、測定するたびにイオン源が試料によって汚染されていく。そのため装置の性能が徐々に低下していく。装置の性能を維持していくためには定期的にイオン源を分解、洗浄する必要がある。Agilent 5977C GC/MSD はイオン源を構成する部品が少なく、分解、洗浄にかかる労力が大変少なく済む。またイオン源の洗浄にくわえて、カラム交換や真空ポンプ等数多くのメンテナンス作業のやり方を解説する動画が付属しているため、文字や写真ではわかりにくいメンテナンス作業を容易に理解することができる。

その結果、今までガスクロマトグラフ質量分析装置の維持管理に費やす労力を他の分析装置の保守管理に振り向けることができる。

## 実験系廃液回収・環境分析の活動報告

科学分析支援センター 新美 智久

科学分析支援センターでは、実験系廃棄物の回収・外部処理依頼および構内排水の水質検査を実施しています。2024 年度の実験系廃液回収・環境分析関連の活動状況や廃液の回収量、構内排水の分析結果について報告します。

2024 年度の活動状況としては、実験廃棄物を毎月回収しています。また、最終放流口の排水分析を pH については毎日、揮発性有機化合物と無機化合物については毎週測定しています。さらに環境分析ニュースレターを毎月発行し、実験廃棄物の回収量や構内排水の分析結果及び廃液回収での注意などを周知しています。薬品管理システムの使用法や実験廃棄物の出し方を説明する「実験廃液搬出方法および薬品管理システム使用方法説明会」はオンライン形式で行いました。埼玉大学が加入している大学等環境安全協議会の総会や研修会・セミナー等へはオンラインで参加しました。主な活動内容は表 1 を参照ください。

表 1 2024 年度の実験系廃液回収・環境分析関連の活動内容

項目	実施日	
工学部応用化学科 ガイダンス『応用化学実験Ⅰ および 応用化学実験Ⅲ』	4/13	
実験廃液搬出方法および薬品管理システム使用方法説明会	187 名 オンデマンド	
下水道最終放流口の水質分析 ※	pH, 水温	毎日
	有害金属類	月 4 回
	揮発性有機化合物	月 4 回
さいたま市建設局下水道部下水道維持管理課への報告	毎月	
実験廃液・廃棄物等の回収	毎月	
環境分析ニュースレター発行 実験廃液・廃棄物等の回収状況 及び 学内排水の水質分析結果を報告	毎月	

※本センターが政令に基づいて実施している

実験系廃棄物(無機系・有機系廃液及び固形廃棄物)の処理については、毎月約 1,400 ～ 2,600L の実験廃棄物を回収し、業者に処理を委託しました(表 2 参照)。新型コロナウイルスまん延により年間回収量は大きく低下しましたが、2022 年度以降はほぼ一定の排出量に落ち着きました。

廃液を搬出する際は以下の点にご注意願います。

- 廃液を運搬する際は白衣、防護メガネ、手袋、靴を着用してください。
- 貯留量を確認してください。有機廃液は 20L、無機廃液は 16L が貯留量の上限です。
- 必ず内蓋を取り付け、ポリタンクの状態を確認してください。
- 運搬の際は、落下防止のため廃液タンクをロープ等で台車に固定するか、ガード付き台車で運搬してください。

また、回収した無機廃液については排出者に pH を測定していただいておりますが、ダブルチェックのため当センターでも pH を確認しています。これは廃液処理における安全確保において pH が大変重要な項目であるためです。

表 2 2024 年度 実験廃液・廃棄物外部委託処理量

区分	4月	5月	6月	7月	8月	9月	
有機系廃液 /L	2,013	2,061	1,810	1,838	1,530	1,713	
無機系廃液 /L	394	628	379	907	220	229	
固形物 /kg	90	132	213	169	105	138	
区分	10月	11月	12月	1月	2月	3月	合計
有機系廃液 /L	1,402	1,767	2,046	1,310	1,185	1,129	19,804
無機系廃液 /L	201	442	590	400	259	276	4,925
固形物 /kg	94	165	200	170	183	181	1,840

構内排水の分析では、さいたま市の政令に基づき、最終放流口の pH および水温を毎日、揮発性有機化合物 (VOC) と無機金属を月 4 回測定して、その結果をさいたま市へ毎月報告しています (表 3 参照)。2024 年度の自主分析において、下水道基準値以下ではありますが亜鉛が 1 年を通して頻繁に検出されています (42 回測定中 14 回検出)。また、揮発性有機化合物のジクロロメタンが、基準値以下ではあるものの頻繁に検出されています (42 回測定中 25 回検出)。

pH については、2020 年度から最終放流口に pH・水温自動測定装置を設置しました。埼玉大学の実験排水は建物を出てすぐに生活排水と合流しています。そのため、最終放流口では様々なものが流れていて水質が悪く、pH 電極がすぐに汚れてしまい安定的に運用するのが困難でした。これを解決するため、pH 電極を自動で洗浄する装置を追加しました。さらに洗浄回数を調整することにより、かなり安定的な測定をすることができるようになり、最終放流口の pH・水温を 24 時間リアルタイムにモニタすることができるようになってきました。

しかし、2024 年度は前年度に発生したケーブルの故障に加えて、検出器の破損、アダプタの故障といったトラブルが連続して発生しました。このため、2022 年 11 月中旬から 2023 年 6 月末までの 8 ヶ月間 pH を自動で測定することができませんでした。なお、pH 水温自動測定装置が故障している期間は、総合技術支援センターの技術職員に協力していただき最終放流口の排水を手動で採水して pH を測定し、さいたま市へ報告しました。

なお、冬季は pH が上昇する傾向があります。pH の上昇については以下の影響が大きいのではないかと考えられます。

1. 冬期の排水温度低下による pH 値の自然上昇
2. 流し台やトイレ等におけるアルカリ洗剤等の使用
3. 節水による希釈効果の低下

1 や 3 については対応が困難ですが 2 につきましては学内で使用しているアルカリ洗剤をできるだけ中性の洗剤へ変更することで改善できると思われまますのでご協力をお願いいたします。

本学が行う自主分析以外に、さいたま市による埼玉大学の最終放流口の水質検査も行われています。さいたま市の立入検査におきましては、鉛、カドミウムといった有害物質の項目だけではなく、BOD、浮遊物質などの生活項目を含めた多くの項目(約40項目)で検査が行われています。2024年度のさいたま市による検査結果につきましては表4を参照ください。自主分析結果やさいたま市による検査の結果につきましては毎月発行している環境分析ニュースレターの紙面上で報告しています。

水質汚濁防止法では、学内に埋設されている下水道管からの漏水が無いことを定期的に点検する必要があります。しかし、学内に張り巡らされた下水道管について漏水の有無を点検することは困難です。そのため、埼玉大学では「管理要領」を作成しました。そして、「管理要領」に基づいた洗浄操作をしたときのモニターマスの排水水質分析結果と管理要領をさいたま市へ提出し、流しから有害物質を流さないことを条件に構内下水道管の点検義務を免除してもらっています。そのため最終放流口の水質検査において頻繁に有害物質等が検出されることは好ましくありません。埼玉大学では下水道管に実験廃液が流れ込まないようにするため、「実験廃液の適正な取扱い及び洗浄施設(実験用流し台等)の点検の徹底について」の「管理要領」を2019年3月22日に改訂しました。改訂後の予備洗浄の目安は以下のとおりとなります。つきましては管理要領を厳守し、流しから有害物質を流さないようご協力よろしくお願いたします。

- 有機物が付着している場合
  - 有機溶媒で洗浄 3回以上
  - さらに水で洗浄 2回以上
- その他の化学薬品が付着している場合
  - 水で洗浄 2回以上

表3 2024年度 最終放流口分析結果(4/5~7/5)

単位:mg/L

測定項目	排除基準	4/5	4/10	4/16	4/22	5/1	5/9	5/17	6/6	6/12	6/18	6/24	7/5
カミウム及びその化合物	≦0.03	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
鉛及びその化合物	≦0.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
砒素及びその化合物	≦0.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
セレン及びその化合物	≦0.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
銅及びその化合物	≦3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
亜鉛及びその化合物	≦2	*	*	*	*	0.1	0.1	*	*	*	*	*	0.1
鉄及びその化合物	≦10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
マンガン及びその化合物	≦10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
クロム及びその化合物	≦2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
ホウ素及びその化合物	≦10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
ジクロロメタン	≦0.2	**	-	-	-	**	-	-	**	0.004	**	**	**
四塩化炭素	≦0.02	-	-	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ベンゼン	≦0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,2-ジクロロエタン	≦0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
トリクロロエチレン	≦0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,4-ジオキサン	≦0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
テトラクロロエチレン	≦0.1	**	-	-	-	-	-	-	**	-	-	-	-

\*:排除基準の 1/10 以下    \*\*:排除基準の 1/100 以下    -:不検出

表3 2024年度 最終放流口分析結果(7/11~10/9)

単位:mg/L

測定項目	排除基準	7/11	7/16	7/22	8/2	8/8	8/26	9/6	9/12	9/18	9/24	10/3	10/9
カドミウム及びその化合物	≦0.03	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
鉛及びその化合物	≦0.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
砒素及びその化合物	≦0.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
セレン及びその化合物	≦0.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
銅及びその化合物	≦3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
亜鉛及びその化合物	≦2	*	0.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
鉄及びその化合物	≦10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
マンガン及びその化合物	≦10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
クロム及びその化合物	≦2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
ホウ素及びその化合物	≦10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
ジクロロメタン	≦0.2	**	**	-	**	0.006	-	**	-	-	**	0.002	0.040
四塩化炭素	≦0.02	-	0.0004	-	-	-	-	-	-	-	-	**	-
ベンゼン	≦0.1	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,2-ジクロロエタン	≦0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
トリクロロエチレン	≦0.1	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,4-ジオキサン	≦0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**	-	-
テトラクロロエチレン	≦0.1	**	-	-	-	-	-	**	-	-	-	-	-

\*:排除基準の 1/10 以下    \*\*:排除基準の 1/100 以下    -:不検出

表 3 2024 年度 最終放流口分析結果(10/15~1/24)

単位:mg/L

測定項目	排除基準	10/15	10/21	11/1	11/6	11/12	11/18	12/2	12/10	12/18	1/7	1/16	1/24
カドミウム及びその化合物	≦0.03	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
鉛及びその化合物	≦0.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
砒素及びその化合物	≦0.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
セレン及びその化合物	≦0.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
銅及びその化合物	≦3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
亜鉛及びその化合物	≦2	0.1	*	*	*	0.1	0.1	*	0.1	*	0.1	0.1	*
鉄及びその化合物	≦10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
マンガン及びその化合物	≦10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
クロム及びその化合物	≦2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
ホウ素及びその化合物	≦10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
ジクロロメタン	≦0.2	**	**	0.007	0.004	0.005	**	-	**	0.005	-	0.002	-
四塩化炭素	≦0.02	0.0003	-	-	-	-	-	-	**	-	0.0002	-	-
ベンゼン	≦0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,2-ジクロロエタン	≦0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
トリクロロエチレン	≦0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,4-ジオキサン	≦0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
テトラクロロエチレン	≦0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\*:排除基準の 1/10 以下    \*\*:排除基準の 1/100 以下    -:不検出

表 3 2024 年度 最終放流口分析結果(2/3~3/21)

単位:mg/L

測定項目	排除基準	2/3	2/12	2/20	3/3	3/11	3/19 3/21
カドミウム及びその化合物	≦0.03	*	*	*	*	*	*
鉛及びその化合物	≦0.1	*	*	*	*	*	*
砒素及びその化合物	≦0.1	*	*	*	*	*	*
セレン及びその化合物	≦0.1	*	*	*	*	*	*
銅及びその化合物	≦3	*	*	*	*	*	*
亜鉛及びその化合物	≦2	0.1	*	*	0.1	0.1	0.2
鉄及びその化合物	≦10	*	*	*	*	*	*
マンガン及びその化合物	≦10	*	*	*	*	*	*
クロム及びその化合物	≦2	*	*	*	*	*	*
ホウ素及びその化合物	≦10	*	*	*	*	*	*
ジクロロメタン	≦0.2	-	-	-	-	**	-
四塩化炭素	≦0.02	-	-	-	-	-	-
ベンゼン	≦0.1	-	-	-	-	-	-
1,2-ジクロロエタン	≦0.04	-	-	-	-	-	-
トリクロロエチレン	≦0.1	-	-	-	-	-	-
1,4-ジオキサン	≦0.5	-	-	-	-	-	-
テトラクロロエチレン	≦0.1	-	-	-	-	-	-

\*:排除基準の 1/10 以下    \*\*:排除基準の 1/100 以下    -:不検出

表 4 2024 年度 さいたま市による排除下水の水質検査結果

◎ 採水場所：埼玉大学下水道最終放流口

単位:pHを除いて mg/L

検査項目	排除基準	採水日時	
		9/26	1/9
		10:55	10:10
アンモニア性窒素等	< 380		
水素イオン濃度(pH)	5 超 9 未満	7.4	8.4
生物化学的酸素要求量(BOD)	< 600		140
浮遊物質(SS)	< 600		160
ノルマルヘキサン抽出物	≦ 30		
窒素含有量	≦ 240		
燐含有量	< 32		
カドミウム及びその化合物	≦ 0.03		*
シアン化合物	≦ 1		
鉛及びその化合物	≦ 0.1	*	*
六価クロム化合物	≦ 0.5		
砒素及びその化合物	≦ 0.1	*	
水銀及びアルキル水銀 その他の水銀化合物	≦ 0.005	*	
トリクロロエチレン	≦ 0.1	*	*
テトラクロロエチレン	≦ 0.1	*	*
ジクロロメタン	≦ 0.2	*	*
四塩化炭素	≦ 0.02		
1,3-ジクロロプロペン	≦ 0.02		
ヨウ素	≦ 220		
ベンゼン	≦ 0.1	*	*
セレン及びその化合物	≦ 0.1	*	
ほう素及びその化合物	≦ 10	*	
ふっ素及びその化合物	≦ 8	*	
フェノール類	≦ 5		
銅及びその化合物	≦ 3	*	*
亜鉛及びその化合物	≦ 2	*	*
溶解性鉄及びその化合物	≦ 10		
溶解性マンガン及びその化合物	≦ 10		
クロム及びその化合物	≦ 2	*	*

\*:排除基準の 1/10 以下

## 2024 年度 実験動物慰霊式

科学分析支援センター 川村 哲規

2024年11月7日(木)、全学講義棟1号館301教室において、令和6年度(2024年度)埼玉大学実験動物慰霊式を挙行了しました。主催は埼玉大学、式次第の運営は科学分析支援センターが担当しました。学生実習や卒業研究、研究目的で実験動物を使用する学生・教職員に加え、動物の御霊に感謝し安らかな眠りを祈る有志の方々まで、計119名が参列しました。

式は、古舘 宏之 助教(科学分析支援センター・埼玉大学動物実験委員会委員)の司会により進行了しました。冒頭、塚原 伸治 教授(埼玉大学動物実験委員会委員長)から開式のことばがあり、科学の発展における動物実験の意義と、動物実験を取り巻く内外の状況に言及するとともに、実験動物の尊厳を守るため**3Rの原則(Replacement, Reduction, Refinement)**の遵守を改めて呼びかけました。

続いて、動物飼育室の利用者代表として弥益 恭 教授(理学部 生体制御学科)より慰霊のことばが捧げられました。実験動物の尊い犠牲のうえに生命科学の教育・研究が成り立っている事実を胸に刻み、慈しみと感謝の念をもって3Rの原則を徹底する必要性、そしてそこで得られた貴重な知見を社会へ還元していくことが誓われました。

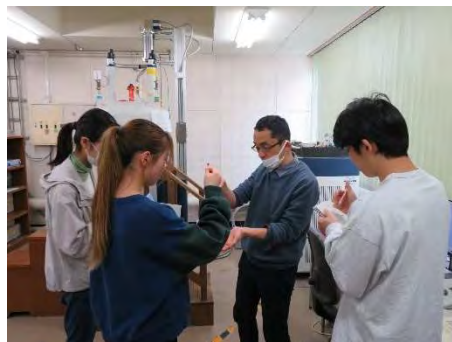
その後、参列者全員で献花と黙祷を行い、実験動物の御霊に深い感謝を捧げ、安らかな眠りを祈りました。最後に、日原 由香子 教授(科学分析支援センター長)のことばをもって閉式となりました。本慰霊式を通じて、教職員・学生・研究者が動物愛護の理念を新たにし、3Rの原則を遵守した適正な動物実験の実施に一層努めていく契機となることを願います。また、動物実験に関する制度・情勢は常に変化しています。科学分析支援センターは埼玉大学動物実験委員会と連携し、最新情報の収集と発信を継続し、適切な動物実験および動物の飼養が行われるよう取り組んでまいります。



## 2024 年度科学分析支援センター活動日誌

4 月

1 日	装置講習 核磁気共鳴装置 (AV500T)	1 名
4 日	装置講習 粉末 X 線回折装置 (水平型)	3 名
5 日	装置講習 高速粉末 X 線回折装置 (水平型) 卓上型粉末 X 線回折装置 (水平型) 粉末 X 線回折装置 (水平型)	2 名 2 名 1 名
6 日	液体窒素充填立会	
8 日	装置講習 核磁気共鳴装置 (AV500) 核磁気共鳴装置 (AV500T)	3 名 3 名
9 日	装置講習 核磁気共鳴装置 (AV300) 核磁気共鳴装置 (AV500) 核磁気共鳴装置 (AV500T) 高速粉末 X 線回折装置 (水平型) 小型蛍光寿命測定装置 汎用走査型分析電子顕微鏡 スタッフ会議	12 名 10 名 2 名 2 名 1 名 1 名
10 日	装置講習 汎用走査型分析電子顕微鏡 飛行時間型質量分析装置 粉末 X 線回折装置 (水平型)	1 名 2 名 2 名
11 日	装置講習 X 線光電子分光装置 高速粉末 X 線回折装置 (水平型) 高分解能磁場型質量分析装置 示差熱重量測定装置 飛行時間型質量分析装置 粉末 X 線回折装置 (水平型)	2 名 3 名 1 名 1 名 2 名 3 名
12 日	装置講習 X 線光電子分光装置 核磁気共鳴装置 (AV300) 核磁気共鳴装置 (AV500) 顕微レーザーラマン分光光度計	2 名 4 名 4 名 3 名
15 日	装置講習 核磁気共鳴装置 (AV300) 核磁気共鳴装置 (AV500)	10 名 10 名

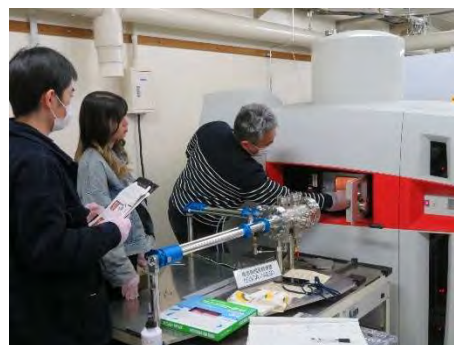


装置講習  
核磁気共鳴装置 (AV500T)



装置講習  
飛行時間型質量分析装置

16日	装置講習		
	核磁気共鳴装置 (AV300)	2名	
	核磁気共鳴装置 (AV500)	2名	
17日	実験廃棄物回収		
	装置講習		
	X線光電子分光装置	2名	
	核磁気共鳴装置 (AV300)	3名	
	核磁気共鳴装置 (AV500)	3名	
	卓上型粉末X線回折装置 (水平型)	2名	
18日	装置講習		
	X線光電子分光装置	2名	
	卓上型粉末X線回折装置 (水平型)	3名	
	飛行時間型質量分析装置	2名	
19日	装置講習		
	核磁気共鳴装置 (AV300)	2名	
	核磁気共鳴装置 (AV500)	2名	
	卓上型粉末X線回折装置 (水平型)	2名	
	汎用走査型分析電子顕微鏡	2名	
22日	装置講習		
	小型蛍光寿命測定装置	1名	
	汎用走査型分析電子顕微鏡	2名	
	動物実験委員会		
23日	装置講習		
	汎用フーリエ変換赤外分光光度計	6名	
	汎用走査型分析電子顕微鏡	2名	
	飛行時間型質量分析装置	2名	
	スタッフ会議		
24日	装置講習		
	核磁気共鳴装置 (AV300)	7名	
	核磁気共鳴装置 (AV500)	7名	
	卓上型粉末X線回折装置 (水平型)	2名	
	汎用走査型分析電子顕微鏡	1名	
	アイソトープ実験施設表面汚染検査		
25日	装置講習		
	X線光電子分光装置	2名	
26日	装置講習		
	X線光電子分光装置	2名	
	高分解能磁場型質量分析装置	2名	
	汎用走査型分析電子顕微鏡	2名	
29日	装置講習		
	核磁気共鳴装置 (AV300)	1名	
	核磁気共鳴装置 (AV500)	1名	
	核磁気共鳴装置 (AV500T)	3名	
	卓上型粉末X線回折装置 (水平型)	2名	



装置講習  
X線光電子分光装置



装置講習  
核磁気共鳴装置 (AV300)

30日	液体窒素充填立会	
	装置講習	
	X線光電子分光装置	2名
	核磁気共鳴装置 (AV300)	2名
	核磁気共鳴装置 (AV500)	2名
	高速粉末 X線回折装置 (水平型)	3名
	示差熱重量測定装置	1名
	卓上型粉末 X線回折装置 (水平型)	2名

5月

1日	装置講習	
	X線光電子分光装置	2名
	汎用走査型分析電子顕微鏡	2名
2日	装置講習	
	共焦点レーザー顕微鏡	1名
	汎用走査型分析電子顕微鏡	2名
8日	装置講習	
	汎用走査型分析電子顕微鏡	2名
	飛行時間型質量分析装置	2名
9日	装置講習	
	汎用走査型分析電子顕微鏡	2名
10日	装置講習	
	卓上型粉末 X線回折装置 (水平型)	2名
	汎用走査型分析電子顕微鏡	1名
	飛行時間型質量分析装置	2名
13日	液体窒素充填立会	
	装置講習	
	汎用走査型分析電子顕微鏡	1名
14日	装置講習	
	汎用走査型分析電子顕微鏡	1名
	動物実験委員会	
	スタッフ会議	
15日	装置講習	
	高速粉末 X線回折装置 (水平型)	2名
	粉末 X線回折装置 (水平型)	3名
17日	装置講習	
	X線光電子分光装置	2名
	ZETA 電位・粒径・分子量測定装置	1名
	高分解能磁場型質量分析装置	1名
20日	装置講習	
	X線光電子分光装置	2名
21日	液体窒素充填立会	
	装置講習	
	共焦点レーザー顕微鏡	3名
	汎用走査型分析電子顕微鏡	1名
	動物実験委員会	



装置講習  
高速粉末 X線回折装置 (水平型)



メンテナンス  
核磁気共鳴装置 (AV500T)

22日	実験廃棄物回収 装置講習	
	共焦点レーザー顕微鏡	2名
	表面形状解析レーザー顕微鏡	2名
23日	装置講習	
	示差熱重量測定装置	1名
24日	装置講習	
	顕微レーザーラマン分光光度計	1名
27日	原子力規制庁立入検査 装置講習	8名
	卓上型粉末X線回折装置(水平型)	3名
28日	装置講習	
	電子スピン共鳴装置	2名
	汎用走査型分析電子顕微鏡	1名
	スタッフ会議	
29日	装置講習	
	汎用フーリエ変換赤外分光光度計	1名
30日	液体窒素充填立会 装置講習	
	X線光電子分光装置	1名
	高分解能磁場型質量分析装置	1名
	アイソトープ実験施設表面汚染検査	
31日	国際規制物資の使用等に関する 規則等の改正案に関する説明会 装置講習	
	X線光電子分光装置	1名
	卓上型粉末X線回折装置(水平型)	2名

6月

3日	装置講習	
	顕微レーザーラマン分光光度計	1名
4日	装置講習	
	粉末X線回折装置(水平型)	1名
	動物実験委員会	
5日	装置講習	
	汎用走査型分析電子顕微鏡	1名
6日	装置講習	
	汎用走査型分析電子顕微鏡	1名
7日	装置講習	
	X線光電子分光装置	1名
	汎用走査型分析電子顕微鏡	3名
10日	装置講習	
	X線光電子分光装置	1名
	飛行時間型質量分析装置	1名
11日	スタッフ会議	

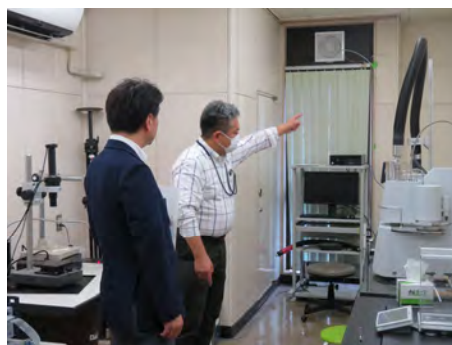


装置講習  
飛行時間型質量分析装置

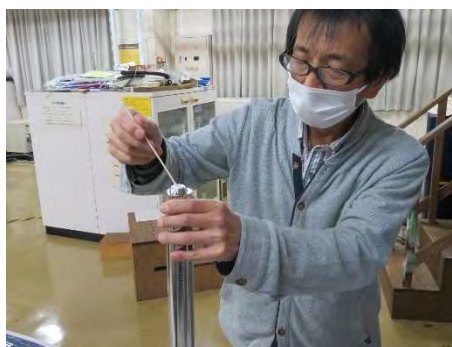


ヘリウム充填  
核磁気共鳴装置(AV500)

12日	液体窒素充填立会 装置講習	
	高分解能走査型分析電子顕微鏡	1名
	接触角測定装置	2名
	粉末X線回折装置(水平型)	3名
13日	装置講習	
	顕微レーザーラマン分光光度計	1名
14日	装置講習	
	汎用走査型分析電子顕微鏡	3名
18日	センター見学	
	産経新聞	1名
19日	実験廃棄物回収 装置講習	
	高速粉末X線回折装置(水平型)	3名
	高分解能走査型分析電子顕微鏡	1名
	汎用走査型分析電子顕微鏡	2名
	粉末X線回折装置(水平型)	2名
20日	装置講習	
	蛍光X線分析装置	1名
	粉末X線回折装置(水平型)	2名
21日	質量分析講習会	
	マスペクトル解析演習 装置講習	
	汎用走査型分析電子顕微鏡	2名
24日	装置講習	
	汎用走査型分析電子顕微鏡	2名
25日	液体窒素充填立会 スタッフ会議	
26日	装置講習	
	飛行時間型質量分析装置	1名
	アイソープ実験施設表面汚染検査	
27日	装置講習	
	汎用走査型分析電子顕微鏡	1名
	表面形状解析レーザー顕微鏡	3名
28日	装置講習	
	X線光電子分光装置	2名
	飛行時間型質量分析装置	3名



センター見学  
産経新聞



プローブ洗浄  
核磁気共鳴装置(AV500T)

7月

1日	装置講習	
	X線光電子分光装置	2名
	汎用走査型分析電子顕微鏡	2名
2日	ここから始める ICP-OES、ICP-MS の 分析 Day 1 解析編(Agilent)	
3日	装置講習	
	X線光電子分光装置	2名

	卓上型粉末 X 線回折装置 (水平型)	2 名
4 日	装置講習	
	X 線光電子分光装置	2 名
	汎用走査型分析電子顕微鏡	1 名
	誘導結合プラズマ発光分析装置	1 名
5 日	液体窒素充填立会	
8 日	装置講習	
	X 線光電子分光装置	1 名
9 日	ここから始める ICP-OES、ICP-MS の 分析 Day 2 測定編(Agilent)	
	装置講習	
	X 線光電子分光装置	1 名
	スタッフ会議	
10 日	放射線障害防止委員会	
11 日	装置講習	
	汎用走査型分析電子顕微鏡	1 名
	飛行時間型質量分析装置	1 名
12 日	国立大学法人動物実験施設協議会 総会	
16 日	装置講習	
	卓上型粉末 X 線回折装置 (水平型)	1 名
	汎用走査型分析電子顕微鏡	1 名
	誘導結合プラズマ発光分析装置	2 名
17 日	実験廃棄物回収	
18 日	液体窒素充填立会	
19 日	装置講習	
	示差熱重量測定装置	1 名
	走査型プローブ顕微鏡	3 名
22 日	装置講習	
	汎用走査型分析電子顕微鏡	1 名
23 日	装置講習	
	核磁気共鳴装置 (AV300)	1 名
	核磁気共鳴装置 (AV500)	2 名
	高分解能磁場型質量分析装置	1 名
	汎用フーリエ変換赤外分光光度計	2 名
	スタッフ会議	
24 日	装置講習	
	汎用フーリエ変換赤外分光光度計	3 名
	アイソトープ実験施設表面汚染検査	
26 日	液体窒素充填立会	
	装置講習	
	卓上型粉末 X 線回折装置 (水平型)	3 名
31 日	装置講習	
	汎用フーリエ変換赤外分光光度計	5 名
	汎用走査型分析電子顕微鏡	1 名



メンテナンス  
超純水製造装置



ヘリウム充填  
核磁気共鳴装置 (AV400)

8 月

2 日	装置講習 汎用走査型分析電子顕微鏡	1 名
6 日	スタッフ会議	
7 日	液体窒素充填立会	
8 日	センター見学 オープンキャンパス	60 名
20 日	装置講習 紫外可視近赤外分光光度計 動物実験委員会	1 名
21 日	装置講習 汎用走査型分析電子顕微鏡	1 名
22 日	装置講習 汎用走査型分析電子顕微鏡	1 名
26 日	液体窒素充填立会 ICP 発光分光分析セミナー (大学連携研究設備ネットワーク) 装置講習 核磁気共鳴装置 (AV300) 核磁気共鳴装置 (AV500) アイソトープ実験施設表面汚染検査	3 名 3 名
27 日	スタッフ会議	
28 日	実験廃棄物回収 装置講習 汎用フーリエ変換赤外分光光度計	3 名
29 日	大学間技術系職員交流研修会	



サンプル落下対応  
核磁気共鳴装置 (AV500)

9 月

2 日	装置講習 ZETA 電位・粒径・分子量測定装置	1 名
3 日	液体窒素充填立会	
4 日	装置講習 核磁気共鳴装置 (AV300) 核磁気共鳴装置 (AV500)	1 名 2 名
4-7 日	機器・分析技術研究会 2024 広島大学	
10 日	スタッフ会議	
11 日	装置講習 共焦点レーザー顕微鏡 紫外可視近赤外分光光度計	1 名 2 名
17 日	液体窒素充填立会	
18 日	装置講習 共焦点レーザー顕微鏡	1 名
24 日	安全管理ワークショップ	
25 日	実験廃棄物回収	
26 日	アイソトープ実験施設表面汚染検査	
30 日	液体窒素充填立会	



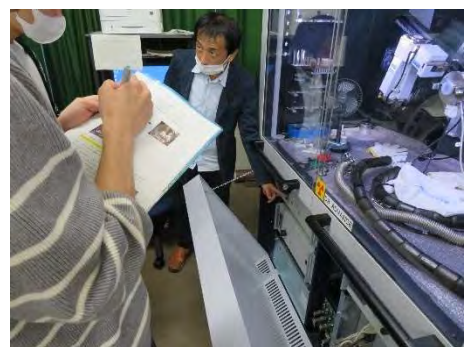
装置講習  
汎用走査型分析電子顕微鏡

10月

1日	スタッフ会議	
2日	装置講習	
	X線光電子分光装置	1名
3日	装置講習	
	X線光電子分光装置	1名
	高分解能走査型分析電子顕微鏡	1名
	汎用フーリエ変換赤外分光光度計	1名
4日	装置講習	
	高分解能走査型分析電子顕微鏡	1名
8日	装置講習	
	汎用走査型分析電子顕微鏡	1名
9日	液体窒素充填立会	
	装置講習	
	核磁気共鳴装置 (AV300)	1名
	核磁気共鳴装置 (AV500)	1名
11日	機器・分析センター協議会	
	総会・技術職員会議・シンポジウム	
15日	スタッフ会議	
16日	装置講習	
	小型蛍光寿命測定装置	2名
	粉末X線回折装置 (水平型)	1名
17-18日	日本アイソープ協会 年次大会	
	液体窒素充填立会	
18日	装置講習	
	小型蛍光寿命測定装置	1名
21日	装置講習	
	高輝度二次元X線回折装置	1名
	小型蛍光寿命測定装置	1名
	多機能粉末X線回折装置	2名
23日	実験廃棄物回収	
24日	装置講習	
	顕微レーザーラマン分光光度計	1名
26日	センター見学	
	科学者の芽育成プログラム	16名
28日	液体窒素充填立会	
	CEおよび高圧ガス取扱いセミナー受講	
	アイソープ実験施設表面汚染検査	
29日	装置講習	
	顕微レーザーラマン分光光度計	1名
	スタッフ会議	



装置講習  
高輝度二次元X線回折装置



装置講習  
多機能粉末X線回折装置

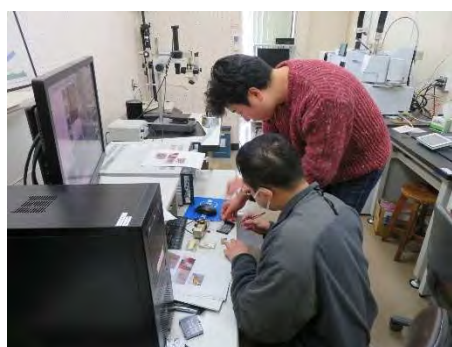
11月

6日	液体窒素充填立会	
8日	装置講習	
	電子スピン共鳴装置	1名

11日	装置講習		
	核磁気共鳴装置 (AV500T)	1名	
	高速粉末 X線回折装置 (水平型)	1名	
	D8 QUEST ECO	2名	
	動物実験委員会		
12日	装置講習		
	D8 QUEST ECO	1名	
	スタッフ会議		
13日	実験廃棄物回収		
	装置講習		
	核磁気共鳴装置 (AV300)	1名	
	核磁気共鳴装置 (AV500)	1名	
	X線光電子分光装置	1名	
	高速粉末 X線回折装置 (水平型)	3名	
14日	装置講習		
	核磁気共鳴装置 (AV300)	1名	
	核磁気共鳴装置 (AV500)	1名	
	X線光電子分光装置	1名	
	誘導結合プラズマ発光分析装置	1名	
15日	液体窒素充填立会		
19日	装置講習		
	示差熱重量測定装置	2名	
22日	装置講習		
	共焦点レーザー顕微鏡	3名	
	高速粉末 X線回折装置 (水平型)	1名	
25日	装置講習		
	D8 QUEST ECO	1名	
	アイソトープ実験施設表面汚染検査		
26日	スタッフ会議		
27日	センター見学		
	インターンシップ	3名	
	装置講習		
	示差走査熱量計	2名	
28日	装置講習		
	誘導結合プラズマ発光分析装置	3名	
29日	液体窒素充填立会		
	装置講習		
	走査型プローブ顕微鏡	1名	
~~~~~ 12月 ~~~~~			
2日	装置講習		
	卓上型粉末 X線回折装置 (水平型)	1名	
	汎用フーリエ変換赤外分光光度計	2名	
3日	装置講習		
	D8 QUEST ECO	1名	
	示差熱重量測定装置	1名	



センター見学  
科学者の芽育成プログラム



装置講習  
走査型プローブ顕微鏡

5日	装置講習 顕微レーザーラマン分光光度計	1名
6日	四大学ミーティング (業務打合せ・施設見学)	
9日	液体窒素充填立会 装置講習 D8 QUEST ECO	2名
	顕微レーザーラマン分光光度計	1名
10日	スタッフ会議	
11日	実験廃棄物回収	
13日	装置講習 示差走査熱量計	2名
17日	装置講習 走査型プローブ顕微鏡	2名
18日	アイソープ実験施設表面汚染検査	
19日	装置講習 顕微レーザーラマン分光光度計	1名
20日	装置講習 顕微レーザーラマン分光光度計	1名
21日	装置講習 顕微レーザーラマン分光光度計	1名
23日	液体窒素充填立会	
24日	スタッフ会議	



ヘリウム充填  
核磁気共鳴装置 (AV400)

1月

7日	放射線障害防止委員会	
8日	装置講習 核磁気共鳴装置 (AV500T)	1名
	X線光電子分光装置	2名
9日	液体窒素充填立会 装置講習 X線光電子分光装置	1名
14日	スタッフ会議	
15日	実験廃棄物回収 装置講習 核磁気共鳴装置 (AV300)	2名
	核磁気共鳴装置 (AV500)	2名
	電子スピン共鳴装置	2名
22日	装置講習 卓上型粉末 X線回折装置 (水平型)	1名
23日	液体窒素充填立会	
24日	装置講習 示差熱重量測定装置	2名
27日	装置講習 電子スピン共鳴装置	1名



プローブ洗浄  
核磁気共鳴装置 (AV500)

- 29日 装置講習  
 卓上型粉末 X 線回折装置 (水平型) 1名  
 電子スピン共鳴装置 1名  
 アイソトープ実験施設表面汚染検査

═══════════════════════ 2月 ════════════════════════

- 4日 装置講習  
 高輝度二次元 X 線回折装置 2名  
 小型蛍光寿命測定装置 1名
- 5日 液体窒素充填立会
- 7日 出張ガラス細工講習
- 10日 装置講習  
 示差走査熱量計 2名
- 17日 東洋大学施設見学
- 18日 装置講習  
 汎用走査型分析電子顕微鏡 1名
- 19日 液体窒素充填立会  
 実験廃棄物回収
- 20日 装置講習  
 汎用走査型分析電子顕微鏡 1名
- 25日 装置講習  
 核磁気共鳴装置 (AV300) 1名  
 核磁気共鳴装置 (AV500) 1名  
 核磁気共鳴装置 (AV500T) 1名
- 28日 放射線障害防止委員会  
 アイソトープ実験施設表面汚染検査



センター見学  
 茨城大学

═══════════════════════ 3月 ════════════════════════

- 5-7日 総合技術研究会 2025 筑波大学  
 液体窒素充填立会
- 11日 動物実験委員会
- 13日 センター見学  
 茨城大学 1名
- 14日 動物実験委員会
- 18日 装置講習  
 汎用フーリエ変換赤外分光光度計 2名
- 19日 実験廃棄物回収
- 21日 液体窒素充填立会
- 24日 装置講習  
 D8 QUEST ECO 2名
- 26日 アイソトープ実験施設表面汚染検査
- 27日 センター見学  
 民間企業 3名



センター見学  
 民間企業

## 2024 年度科学分析支援センター活動報告書

### ◆ セミナー等実施実績

セミナー名	日時	参加者数	
		小計	総計
利用ガイダンス	オンライン(前期)	271	306
	オンライン(後期)	35	
実験廃液搬出方法および 薬品管理システム使用方法の説明会	オンライン	167	167
液体窒素 利用ガイダンス	オンライン	175	175
高圧ガス容器登録方法の説明会	オンライン	103	103
動物実験教育訓練	オンライン	114	114
放射線教育訓練	DVD 貸し出し	90	90
実験動物慰霊式	11/7	119	119

### ◆ 内部会議等実施実績

センター会議		
第 1 回 9 月 24 日	報告事項	機器修理等(メンテナンス費配分)
		機器修理等(50 万円以上)
		予算関連
		奨学寄附金の受入れについて
		設備整備計画
		科学分析支援センター事務室の移転
	協議事項	機器修理等(100 万円以上)
		単結晶 X 線構造解析装置の導入費用の一部負担のお願いについて
		装置の再講習の有料化について

動物実験委員会	
第1回 4月22日	委員長の選出について
第2回 5月14日 5月21日	動物実験計画書承認申請書(新規)について
第3回 6月4日	動物実験報告書について
	飼育状況(匹数調査)の調査項目について
	自己点検・評価報告書について
第4回 8月20日	文部科学省「研究機関等における動物実験等の実施に関する基本方針」等の遵守状況に関する調査について
第5回 11月11日	飼養保管状況報告書について
第6回 3月11日	令和7年度動物実験計画の審査
	飼養保管施設および実験室の管理者等変更について
	魚類・両生類施設飼養保管施設利用マニュアルについて
第7回 3月14日	動物実験計画書承認申請書(新規)について

放射線障害防止委員会		
第1回 7月10日	協議事項	令和6年上期 核燃料物質管理報告書(案)について
第2回 1月7日	協議事項	令和6年下期 核燃料物質管理報告書(案)について
		令和7年度放射線教育訓練実施(案)について
	報告事項	表示付認証機器の自主点検結果について
		令和6年度放射線教育訓練実施報告について
第3回 2月28日	協議事項	令和6年度特別健康診断実施報告 国立大学法人埼玉大学放射線障害予防規則の一部改正について

◆ 全国会議等出席実績

会議名	日時	場所	参加者
国際規制物資の使用等に関する規則等の改正案に関する説明会	5/31	オンライン	新美 智久
令和6年度質量分析講習会 マスペクトル解析演習	6/21	オンライン	新美 智久
ここから始める ICP-OES ICP-MS の分析 Day 1 解析編(Agilent)	7/2	オンライン	新美 智久
ここから始める ICP-OES ICP-MS の分析 Day 2 測定編(Agilent)	7/9	オンライン	新美 智久
国立大学法人動物実験施設協議会 総会	7/12	東京ガーデンパレス	古舘 宏之
ICP 発光分光分析セミナー (大学連携研究設備ネットワーク)	8/26	オンライン	新美 智久
第23回大学間技術系職員 交流研修会	8/29	神奈川大学 みなとみらいキャンパス	徳永 誠
日本遺伝子学会・第96回大会 (高知大会)	9/4-6	高知工科大学 永国寺キャンパス	松岡 聡
第30回 機器・分析技術研究会 2024 広島大学	9/4-7	広島大学 東広島キャンパス	徳永 誠 中島 綾子
国立大学法人機器・分析 センター協議会関連会議	9/5-6	広島大学 東広島キャンパス	徳永 誠 中島 綾子
安全管理ワークショップ	9/24	オンライン	徳永 誠 中島 綾子
国立大学法人 機器・分析センター協議会 総会・シンポジウム・技術職員会議	10/11	新潟大学旭町キャンパス 医療人育成センター	日原 由香子 徳永 誠 中島 綾子
日本アイソトープ協会 年次大会 CE および高圧ガス取扱いセミナー	10/17-18 10/28	あがたの森文化会館 オンライン	新美 智久 中島 綾子
四大学連携ミーティング (業務打合せ・施設見学)	12/6	茨城大学研究設備共用 センター	日原 由香子 松岡 聡 徳永 誠
出張ガラス細工講習	2/7	狭山清陵高等学校	徳永 誠
東洋大学施設見学	2/17	東洋大学川越キャンパス 朝霞共通機器 利用センター	教員 5名 技術職員 4名
総合技術研究会 2025 筑波大学	3/5-7	筑波大学	徳永 誠

◆ 見学者来訪実績

見学者	日時	人数
原子力規制庁（立入検査）	5/27	8
産経新聞	6/18	1
オープンキャンパス	8/8	60
科学者の芽育成プログラム	10/26	16
インターンシップ	11/27	3
茨城大学	3/13	1
民間企業	3/27	3

◆ 装置講習会

機械名	所属	指導者	受講区分		総数
			学生	教職員	
核磁気共鳴装置 (AV300)	各研究室教職員		28		28
	技セ	笠原 美久	14		14
	センター	藤原 隆司	8	1	9
		安武 幹雄	3		3
核磁気共鳴装置 (AV500)	各研究室教職員		28		28
	技セ	笠原 美久	14		14
		小山 哲夫	3		3
	センター	藤原 隆司	8	1	9
安武 幹雄		3		3	
核磁気共鳴装置 (AV500T)	各研究室教職員		6		6
	技セ	小山 哲夫	5		5
	センター	藤原 隆司		2	2
高分解能磁場型質量分析装置	センター	新美 智久	6		6
飛行時間型質量分析装置	技セ	小山 哲夫	4		4
	センター	藤原 隆司	4		4
		安武 幹雄	4		4
		新美 智久	5	1	6
顕微レーザーラマン分光光度計	電気電子	石川 良	11	1	12
	センター	中島 綾子	1		1
汎用フーリエ変換赤外分光光度計	センター	藤原 隆司	3		3
		中島 綾子	20	2	22
紫外可視近赤外分光光度計	センター	中島 綾子	3		3
誘導結合プラズマ発光分析装置	センター	新美 智久	5	2	7
小型蛍光寿命測定装置	センター	藤原 隆司	3		3
		中島 綾子	3	1	4
ZETA 電位・粒径・分子量測定装置	センター	中島 綾子	2		2
電子スピン共鳴装置	基礎化	長嶋 宏樹	2		2
	センター	藤原 隆司	4	1	5
蛍光 X 線分析装置	センター	徳永 誠		1	1
粉末 X 線回折装置 (水平型)	応化	藤森 厚裕	3		3
	電気電子	柿崎 浩一	4		4
		神島 謙二	4		4
		安武 幹雄	1		1
	センター	徳永 誠		2	2
		中島 綾子	6	1	7

卓上型粉末 X 線回折装置 (水平型)	応化	黒川 秀樹	3		3	
		半田 友衣子	2		2	
	電気電子	石川 良	11		11	
		センター	藤原 隆司	2	1	3
			徳永 誠		2	2
高速粉末 X 線回折装置 (水平型)	電気電子	柿崎 浩一	5		5	
		石川 良	5		5	
	センター	藤原 隆司		1	1	
		徳永 誠		5	5	
		中島 綾子	4		4	
多機能粉末 X 線回折装置	センター	安武 幹雄	2		2	
高輝度二次元 X 線回折装置	センター	徳永 誠		3	3	
単結晶構造解析装置	電気電子	石川 良	1	1	2	
	センター	藤原 隆司		7	7	
汎用走査型分析電子顕微鏡	電気電子	柿崎 浩一	10		10	
	技セ	結川 達也		2	2	
	センター	辻 季美江	40		40	
高分解能走査型分析電子顕微鏡	センター	徳永 誠	4		4	
走査型プローブ顕微鏡	技セ	高宮 健吾	6		6	
表面形状解析レーザー顕微鏡	センター	中島 綾子	5		5	
接触角測定装置	センター	中島 綾子	2		2	
X 線光電子分光装置	技セ	齋藤 由明	34	2	36	
	センター	徳永 誠		4	4	
共焦点レーザー顕微鏡	生体	弥益 恭	1		1	
		畠山 晋	1		1	
		津田 佐知子	6		6	
	技セ	結川 達也	3		3	
	センター	古舘 宏之	1		1	
示差熱重量測定装置	センター	藤原 隆司	2		2	
		中島 綾子	5	2	7	
示差走査熱量計	センター	中島 綾子	4	2	6	
総計			387	48	435	

2025. 3 月末日現在

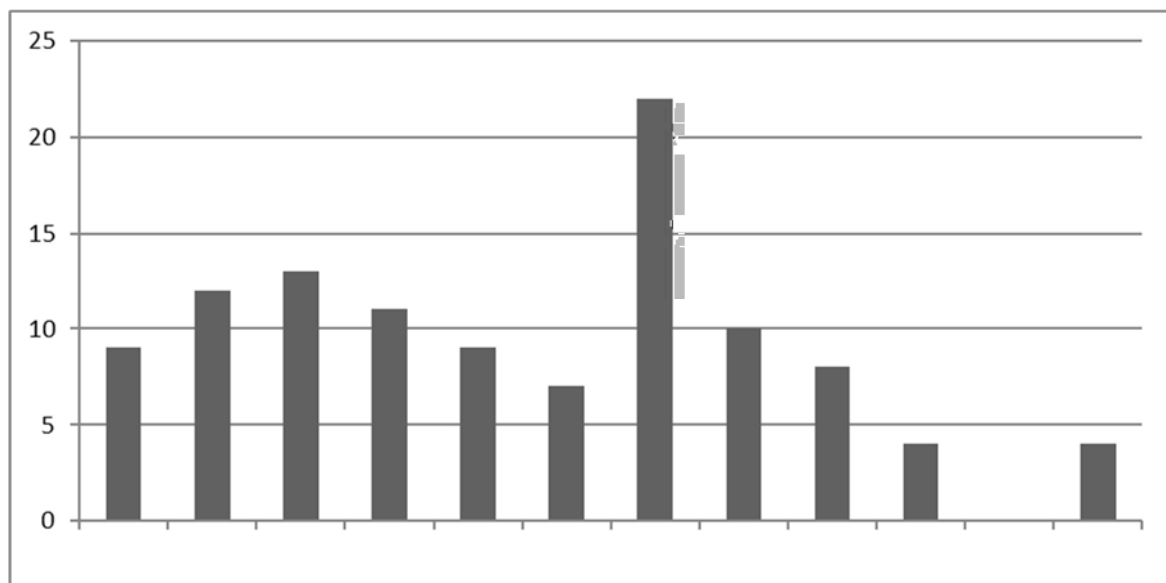
◆ 保守活動

項目		日時	活動内容
核磁気共鳴装置	AVANCE300	12/23	プローブ清掃、スペクトル確認
		2/5	液体ヘリウム充填
		3/17	コンプレッサー、N <sub>2</sub> 再凝縮
	AVANCE500	5/9	シムファイル更新
		7/2	シムファイル更新
		12/19	液体ヘリウム充填
		12/23	プローブ清掃、スペクトル確認
		3/17	コンプレッサー
	AVANCE500T	12/5	プローブ洗浄
		3/17	コンプレッサー
	AVANCE400+Cyro	7/13	液体ヘリウム充填
		9/25	分解能確認
		12/14	液体ヘリウム充填
3/2		液体ヘリウム充填	
熱分析装置	DSC214 polyna	4/1	校正ファイル更新作業
		2/5	校正
	STA2500 JMS-Q1500GC	4/1	校正ファイル更新作業
		5/14	空焼き
		5/15	空焼き
		7/12	フィルタ交換
		10/8	空焼き
		12/16	立ち上げ
		2/18	校正(ln, Sn, Al_N2)
		2/19	校正(Au_N2, Air)
		2/20	校正(ln, Sn_Air)
		3/17	空焼き
		3/25	Slip-on プレート取り付け
質量分析装置	JMS700AM	5/24	測定感度(EI)低下対応
		7/29	イオン源交換
		9/26	イオン源状態確認
		9/27	イオン源交換
		11/18	ヒーター異常対応
		11/19	イオン源交換
		12/20	イオン源交換
		12/23	イオン源交換
		1/10	RP オイル交換 防振ゴム交換
		2/25	イオン源交換

		2/26	イオン源交換
		2/28	オイル交換 真空ポンプオイル交換
		3/12	イオン源焼き出し
	AutoflexIII	10/7	RP オイル交換
		12/2	スポット点検
	Nanofrontier-eLD	2/3	メンテナンス
		8/23	N <sub>2</sub> 配管漏れチェック
		8/26	N <sub>2</sub> 配管漏れチェック
	5977C GC/MSD	11/22	ソフトウェアアップデート
		12/2	ソフトウェア修理
		12/19	イオン源洗浄 セプタム交換(フロント)
X線光電子分析装置	AXIS-NOVA	11/22	エアーコンプレッサー交換
		5/22	フィラメント交換
		6/20	標準試料新調
走査型電子顕微鏡	SU1510	7/26	フィラメント交換
		9/27	フィラメント交換
		11/7	フィラメント交換
共焦点顕微鏡	FD1000-D	12/17	通信不良
		6/3	チラー水補充、洗浄水補充
		7/4	排気ダクト落下修理
		7/9	ダクト 結露水除去
		8/20	排気ダクト 水抜き
誘導結合プラズマ発光 分析装置	5800 VDV	1/27	洗浄(トーチ)
		1/30	洗浄(ネブライザ、スプレーチャンバー、コーン、スナウト)冷却水交換
		1/31	波長校正、チューブ交換(送液、廃液、オートサンプラー)
		2/7	エアフィルタ交換
ZETA 電位、粒径、 分子量測定装置	ELSZ-2000ZS	7/5	定期メンテナンス
	D8 ECO	7/10	内部冷却水補充
X線回折装置	D8 QUEST ECO	3/24	ふきつけ低温装置
		4/24	定期メンテナンス
		4/26	定期メンテナンス
顕微レーザーラマン分 光光度計	inVia	5/29	定期メンテナンス
		7/2	定期メンテナンス
		8/27	定期メンテナンス
有機微量元素分析装置	FlashSmart	4/18	カラム詰替

		6/20	加湿器掃除
		9/4	カラム詰替
		11/5	カラム詰替
		11/6	カラム詰替
		1/15	カラム詰替
科学分析支援センター	全装置	7/24	停電対応
	pH水温測定装置	1/28	電池交換
	エアコン	6/4	フィルタ洗浄
		7/5	X線室奥の排水管洗浄
	エアコンダクト	10/30	質量分析室 エアコン排管清掃
	屋上	8/29	排水口洗浄
		11/1	雨水排管清掃
給水管	11/12	給水管水漏れ修理	
アイントープ実験施設	エアコン	10/7	異常 状況確認
		11/19	化学実験室エアコン修理
	屋上	8/29	排水口洗浄
	排水モニタ	12/5	排水モニタ点検

#### ◆ 装置等トラブル対応件数



4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
9	12	13	11	9	7	22	10	8	4	0	4	109

## 2024 年度測定依頼分析実績（学内）

依頼者所属	設備名	件数
教育学部 理科分野(化学)	透過型電子顕微鏡 (120kV) H-7500	1
教育学部 家庭分野	核磁気共鳴装置 400MHz+Cryo AVANCE400	6
	示差熱重量測定装置 STA2500	3
基礎化学科	高分解能磁場型質量分析装置 JMS-700 (FAB) (低分解能)	8
	高分解能磁場型質量分析装置 JMS-700 (FAB) (高分解能)	6
	高速粉末 X 線回折装置(水平型) D8 ADVANCE ECO	3
分子生物学科	透過型電子顕微鏡 (120kV) H-7500	57
	TEM 前処理(超薄切片作製)	57
	光学顕微鏡試料作製	1
生体制御学科	飛行時間型質量分析装置 AutoflexIII	3
機械工学・システム デザイン学科	汎用走査型分析電子顕微鏡 SU1510+EDX	7
電気電子物理工学科	X 線光電子分光装置 AXIS-NOVA	15
	蛍光 X 線分析装置 AXIOS	6
	汎用フーリエ変換赤外分光光度計 TENSORII	10
	顕微レーザーラマン分光光度計 inVia	13
	紫外可視近赤外分光光度計 V-770	1
応用化学科	核磁気共鳴装置 500MHz AVANCE500T	5
	電子スピン共鳴装置 Magnetech ESR5000	10
	高分解能磁場型質量分析装置 JMS-700 (EI)	3
	高分解能磁場型質量分析装置 JMS-700 (FAB or EI)	139
	高分解能磁場型質量分析装置 JMS-700 (FAB) (高分解能)	21
	示差走査熱量計 DSC214 polyna	5
	示差熱重量測定装置 STA2500 JMS-Q1500GC	10
	X 線光電子分光装置 AXIS-NOVA	26
	汎用走査型分析電子顕微鏡 SU1510	1
	高分解能走査型分析電子顕微鏡 S-4800	6

	透過型電子顕微鏡(120kV) H-7500	6
	誘導結合プラズマ発光分析装置 Agilent 5800 VDV	25
	粉末 X 線回折装置(水平型) Ultimall	20
	高速粉末 X 線回折装置(水平型) D8 ADVANCE ECO	4
連携教員(理研)	走査型プローブ顕微鏡(AFM) MultiMode8	6
	X 線光電子分光装置 AXIS-NOVA	7
科学分析支援センター	核磁気共鳴装置 500MHz AVANCE500T	2
	ナノフローLC 質量分析装置 NanoFrontier eLD	1
	示差走査熱量計 DSC214polyma	12
	超高分解能走査型分析電子顕微鏡 Regulus-8220	17
	汎用フーリエ変換赤外分光光度計 TENSORII	3
総計		526

## 2024 年度測定依頼分析実績（学外）

設備名	産学官連携協議会		合計
	非会員	会員	
核磁気共鳴装置 AVANCE500T	7	1	8
飛行時間型質量分析装置 AutoflexIII		4	4
ナノフローLC 質量分析装置 NanoFrontier eLD		2	2
示差走査熱量計 DSC214polyma		1	1
示差熱重量測定装置 STA2500		1	1
X線光電子分光装置 AXIS-NOVA		6	6
表面形状解析レーザー顕微鏡 3D-LSM		14	14
低温低真空走査型電子顕微鏡 S-3400N	4		4
低温低真空走査型電子顕微鏡 S-3400N+Cryo		15	15
低温低真空走査型電子顕微鏡 S-3400N+EDX+Cryo		7	7
超高分解能走査型分析電子顕微鏡 Regulus-8220	1	5	6
透過型電子顕微鏡(120kV) H-7500		2	2
透過型電子顕微鏡(200kV) Tecnai G2 20	1		1
誘導結合プラズマ発光分析装置 5800VDV	3	2	5
小型蛍光寿命測定装置 Quantaurus-Tau(低温測定)		2	2
ZETA 電位・粒径・分子量測定装置 ELSZ-2000ZS 粒径測定	13		13
高速粉末 X線回折装置(水平型) D8 ADVANCE ECO	3	4	7
汎用フーリエ変換赤外分光光度計 TENSOL II		3	3
顕微フーリエ変換赤外分光光度計 HYPERION 3000	4		4
顕微レーザーラマン分光光度計 inVia	17	2	19
有機微量元素分析装置 FlashSmart CHNS		58	58
高圧凍結装置 EM HPM 100		16	16
総計	53	145	198

## 2024 年度元素依頼分析実績

依頼者所属	性状	件数	
教育学部	CHNO のみ含有	1	1
	CHNO 以外の元素含有(F なし)	0	
	CHNO 以外の元素含有(F あり)	0	
	CHNS 測定	0	
物理学科	CHNO のみ含有	0	2
	CHNO 以外の元素含有(F なし)	0	
	CHNO 以外の元素含有(F あり)	0	
	CHNS 測定	2	
基礎化学科	CHNO のみ含有	0	124
	CHNO 以外の元素含有(F なし)	47	
	CHNO 以外の元素含有(F あり)	24	
	CHNS 測定	53	
分子生物科	CHNO のみ含有	0	2
	CHNO 以外の元素含有(F なし)	0	
	CHNO 以外の元素含有(F あり)	0	
	CHNS 測定	2	
応用化学科	CHNO のみ含有	4	26
	CHNO 以外の元素含有(F なし)	14	
	CHNO 以外の元素含有(F あり)	0	
	CHNS 測定	8	
科学分析支援センター	CHNO のみ含有	0	10
	CHNO 以外の元素含有(F なし)	6	
	CHNO 以外の元素含有(F あり)	4	
	CHNS 測定	0	
総計	CHNO のみ含有	5	165
	CHNO 以外の元素含有(F なし)	67	
	CHNO 以外の元素含有(F あり)	28	
	CHNS 測定	65	

## 2024 年度機器等利用実績まとめ

装置名	使用 件数	使用 時間	稼働 日数
核磁気共鳴装置 AVANCE300	4923	1556:30	242
核磁気共鳴装置 AVANCE500	5336	2408:20	257
核磁気共鳴装置 AVANCE500T	1991	1590:00	199
高感度核磁気共鳴装置 AVANCE400+Cryo	2125	1103:50	181
電子スピン共鳴装置	372	713:10	141
Pulse 電子スピン共鳴装置(Laser)	2	9:00	2
四重極 GC 質量分析装置	40	204:00	40
飛行時間型質量分析装置	429	264:15	176
高分解能磁場型質量分析装置	422	453:25	182
ナノフロー-LC 質量分析装置	9	21:05	9
示差走査熱量計	85	456:40	74
示差熱重量測定装置	109	514:40	92
示差熱重量発生ガス分析装置	1	8:00	1
X線光電子分光装置	111	2816:30	104
走査型プローブ顕微鏡	134	237:45	64
表面形状解析レーザー顕微鏡	59	79:00	48
接触角測定装置	27	24:30	24
汎用走査型分析電子顕微鏡	253	688:45	165
低温低真空走査型分析電子顕微鏡	49	1288:00	46
高分解能走査型分析電子顕微鏡	41	119:10	39
超高分解能走査型分析電子顕微鏡	33	98:30	33
透過型電子顕微鏡 (200kV)	5	30:15	5
透過型電子顕微鏡 (120kV)	31	190:20	31

共焦点レーザー顕微鏡	202	341:05	111
誘導結合プラズマ発光分析装置	64	126:55	50
小型蛍光寿命測定装置	110	207:35	78
ZETA 電位・粒径・分子量測定装置	91	176:35	64
蛍光 X 線分析装置	33	127:15	28
卓上型粉末 X 線回折装置（水平型）	473	698:30	189
粉末 X 線回折装置（水平型）	312	510:25	154
高輝度二次元 X 線回折装置	34	103:15	30
多機能粉末 X 線回折装置	48	276:20	42
高速粉末 X 線回折装置（水平型）	320	455:55	177
高輝度 CCD 型単結晶構造解析装置	116	2162:05	90
顕微レーザーラマン分光光度計	475	642:50	193
汎用フーリエ変換赤外分光光度計	211	269:35	120
顕微フーリエ変換赤外分光光度計	9	57:00	9
紫外可視近赤外分光光度計	91	221:55	59
モアレ干渉計	1	0:10	1
オスミウムコーター	8	7:00	7
高圧凍結装置	1	9:00	1
ウルトラマイクローム	46	258:05	46
プラズマクリーナー	60	68:40	54

# 2024 年度機器等利用実績詳細

## 核磁気共鳴装置 AVANCE300 使用実績

(稼働日数 242 日・使用時間 1556 時間)

3F 核磁気共鳴室			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
理学部	基礎化学	使用回数	212	257	208	219	101	258	377	253	269	262	222	86	2724
		使用時間	69:15	83:15	68:00	68:10	30:25	78:05	122:45	76:55	74:00	71:40	59:00	25:15	826:45
工学部	応用化学	使用回数	82	205	188	143	84	185	290	234	199	277	174	91	2152
		使用時間	32:40	67:35	61:30	55:40	27:05	59:55	77:40	68:35	57:45	84:30	60:15	29:55	683:05
共同研究員		使用回数		5	1	1		2	7	7	3	1			27
		使用時間		1:50	0:20	0:10		0:45	2:35	1:50	0:45	0:15			
科学分析支援センター		使用回数	9	3	5						1	1	1		20
		使用時間	16:30	6:30	11:20							1:30	0:50	1:30	
合計	使用回数		303	470	402	363	185	445	674	495	472	541	396	177	4923
	使用時間		118:25	159:10	141:10	124:00	57:30	138:45	203:00	148:50	133:20	157:55	119:15	55:10	1556:30
稼働日数			22	21	21	23	15	21	23	21	18	19	19	19	242
使用人数			66	74	65	63	49	75	85	84	77	72	64	45	119

## 核磁気共鳴装置 AVANCE500 使用実績

(稼働日数 257 日・使用時間 2408 時間)

3F 核磁気共鳴室			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
理学部	基礎化学	使用回数	128	192	238	267	84	179	294	224	152	147	139	71	2115
		使用時間	47:00	85:55	88:10	111:25	27:35	76:20	156:10	113:15	66:50	71:10	91:20	35:05	970:15
工学部	応用化学	使用回数	196	191	186	129	119	198	287	224	212	283	207	159	2391
		使用時間	87:00	83:20	65:40	47:20	50:50	79:20	99:10	79:50	73:20	143:25	94:30	59:20	963:05
共同研究員		使用回数	49	67	44	76	63	87	72	78	66	69	61	71	803
		使用時間	20:35	28:10	15:25	26:00	23:00	34:30	26:30	26:00	24:25	19:50	21:10	23:40	289:15
科学分析支援センター		使用回数	6	2	4	1	1	2	4	2	1	1	2	1	27
		使用時間	9:00	14:30	40:30	2:00	1:00	14:30	37:00	14:00	12:15	13:00	26:00	2:00	185:45
合計	使用回数		379	452	472	473	267	466	657	528	431	500	409	302	5336
	使用時間		163:35	211:55	209:45	186:45	102:25	204:40	318:50	233:05	176:50	247:25	233:00	120:05	2408:20
稼働日数			22	20	21	23	16	23	26	25	19	20	21	21	257
使用人数			81	80	77	74	61	78	83	84	76	73	70	60	130

## 核磁気共鳴装置 AVANCE500T 使用実績

(稼働日数 199 日・使用時間 1590 時間)

3F 核磁気共鳴室			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
理学部	基礎化学	使用回数	99	78	134	149	60	84	1	103	112	109	79	58	1066
		使用時間	72:20	49:25	85:50	96:20	40:35	56:10	0:05	87:10	93:25	95:15	81:40	43:55	802:10
工学部	応用化学	使用回数	43	51	86	92	50	30		58	80	100	65	36	691
		使用時間	16:45	16:00	26:50	32:35	18:15	10:25		19:15	31:10	69:55	101:40	19:15	362:05
共同研究員		使用回数	10	10	26	25	17	8		11	18	19	25	25	194
		使用時間	3:45	2:35	6:45	7:10	3:40	2:05		3:45	4:00	6:20	10:05	6:25	56:35
科学分析支援センター		使用回数	5		4	6		1		3	2	10	6	3	40
		使用時間	17:50		8:00	56:50		13:00		37:00	4:30	76:30	151:00	4:30	369:10
合計	使用回数		157	139	250	272	127	123	1	175	212	238	175	122	1991
	使用時間		110:40	68:00	127:25	192:55	62:30	81:40	0:05	147:10	133:05	248:00	344:25	74:05	1590:00
稼働日数			21	14	20	24	16	12	1	15	18	20	22	16	199
使用人数			26	23	25	26	22	20	1	29	29	28	26	18	40

## 核磁気共鳴装置 AVANCE400+Cryo 使用実績

(稼働日数 181 日・使用時間 1103 時間)

3F 核磁気共鳴室			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
理学部	基礎化学	使用回数	100	132	157	126	71	167	252	178	4			17	1204
		使用時間	39:40	69:15	74:05	74:50	37:35	70:55	146:45	99:30	1:25				21:35
工学部	応用化学	使用回数	63	111	115	112	60	114	147	150	4			23	899
		使用時間	23:30	48:30	71:50	45:40	26:00	42:10	47:45	62:20	1:50				17:30
科学分析支援センター		使用回数	5	4	3			2	3	4				1	22
		使用時間	4:10	4:00	7:30			2:25	2:50	56:15					4:00
合計	使用回数		168	247	275	238	131	283	402	332	8			41	2125
	使用時間		67:20	121:45	153:25	120:30	63:35	115:30	197:20	218:05	3:15				43:05
稼働日数			20	20	21	21	15	21	23	23	1			16	181
使用人数			24	28	32	28	23	32	30	35	6			14	43

## 電子スピン共鳴装置 Magnettech ESR5000 使用実績

(稼働日数 141 日・使用時間 713 時間)

4F X線実験室			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
理学部	物理	使用回数		2	4	11		7	16		14	30	5	4	93
		使用時間		3:00	8:00	17:35		11:10	25:15		23:10	50:45	7:20	7:40	153:55
	基礎化学	使用回数	4	10	19	20	7	11	19	7	17	28	71	1	214
		使用時間	2:00	12:40	27:30	24:00	5:05	6:10	23:25	22:45	28:10	49:05	128:35	0:10	329:35
工学部	電気電子	使用回数											5	1	6
		使用時間											4:25	1:00	5:25
科学分析支援センター	使用回数		4	1	2	1	1	8	15	7	10		7	3	59
	使用時間		24:00	2:30	9:05	12:30	5:00	29:40	60:30	20:30	25:00	19:00	16:30	224:15	
合計	使用回数		4	16	24	33	8	19	43	22	38	68	88	9	372
	使用時間		2:00	39:40	38:00	50:40	17:35	22:20	78:20	83:15	71:50	124:50	159:20	25:20	713:10
	稼働日数		3	9	11	15	6	8	18	15	14	19	17	6	141
	使用人数		2	7	6	8	4	5	7	5	7	8	12	5	17

## Pulse 電子常磁性共鳴装置(Laser) ELEXSYS580 使用実績

(稼働日数 2 日・使用時間 9 時間)

4F X線実験室			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
理学部	基礎化学	使用回数				1			1						2
		使用時間				2:00			7:00						
合計	使用回数				1		1								2
	使用時間				2:00		7:00								9:00
	稼働日数				1		1								2
	使用人数				1		1								1

## 四重極 GC 質量分析装置 SCION SQ 使用実績

(稼働日数 40 日・使用時間 204 時間)

3F 質量分析室(1)			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
科学分析支援センター	使用回数	4	2	4	5	3	4	4	4	4	1	3	3	3	40
	使用時間	18:00	8:00	16:00	18:00	12:00	24:00	24:00	24:00	24:00	6:00	18:00	18:00	18:00	204:00
合計	使用回数	4	2	4	5	3	4	4	4	4	1	3	3	3	40
	使用時間	18:00	8:00	16:00	18:00	12:00	24:00	24:00	24:00	24:00	6:00	18:00	18:00	18:00	204:00
	稼働日数	4	2	4	5	3	4	4	4	4	1	3	3	3	40
	使用人数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

## 飛行時間型質量分析装置 AutoflexIII 使用実績

(稼働日数 176 日・使用時間 264 時間)

3F 質量分析室(1)			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
理学部	基礎化学	使用回数	4	13	15	7	1	6	9	8	3	3		1	70
		使用時間	2:50	10:25	11:00	4:00	0:30	4:10	8:50	7:25	3:05	2:25		1:00	55:40
工学部	応用化学	使用回数	26	36	38	31	7	30	37	36	24	37	32	8	342
		使用時間	16:35	22:10	18:40	15:55	3:15	12:45	16:30	16:45	11:35	20:25	20:05	5:40	180:20
共同研究員	使用回数				4										4
	使用時間				3:20										3:20
科学分析支援センター	使用回数	3	3	3								2		2	13
	使用時間	8:00	6:05	6:30								2:10		2:10	24:55
合計	使用回数	33	52	56	42	8	36	46	44	27	42	32	11	429	
	使用時間	27:25	38:40	36:10	23:15	3:45	16:55	25:20	24:10	14:40	25:00	20:05	8:50	264:15	
	稼働日数	20	19	17	18	6	15	16	19	10	15	14	7	176	
	使用人数	19	21	20	20	5	15	17	15	13	11	13	8	44	

## 高分解能磁場型質量分析装置 JMS700AM 使用実績

(稼働日数 182 日・使用時間 453 時間)

3F 質量分析室(1)			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
理学部	基礎化学	使用回数	9	20	25	15	8	45	47	50	35	33	15	7	309
		使用時間	8:15	17:05	22:55	11:55	8:15	43:30	43:55	46:20	27:30	28:25	9:00	6:15	273:20
工学部	応用化学	使用回数	2	5	6	4	2	3	6	9	7	15	5		64
		使用時間	2:00	8:10	4:55	6:35	5:00	2:50	3:50	11:35	6:45	19:10	5:15		76:05
科学分析支援センター	使用回数	5	5	7	4	2	4	1	7	1	3	5		49	
	使用時間	13:50	10:00	14:15	9:55	7:00	9:40	0:45	9:55	1:00	6:00	11:50	9:50	104:00	
合計	使用回数	16	30	38	23	12	52	54	66	66	43	51	25	12	422
	使用時間	24:05	35:15	42:05	28:25	20:15	56:00	48:30	67:50	67:50	35:15	53:35	26:05	16:05	453:25
	稼働日数	11	16	17	16	9	18	22	18	17	17	11	10	182	
	使用人数	8	18	15	11	7	18	13	20	13	15	10	8	29	

ナノフローLC 質量分析装置 Nanofrontier-eLD 使用実績

(稼働日数 9 日・使用時間 21 時間)

3F 質量分析室(1)		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
科学分析支援センター	使用回数	1	4						1		2	1		9
	使用時間	2:10	9:00						1:00		5:35	3:20		21:05
合計	使用回数	1	4						1		2	1		9
	使用時間	2:10	9:00						1:00		5:35	3:20		21:05
稼働日数		1	4						1		2	1		9
使用人数		1	1						1		1	1		1

示差走査熱量計 DSC214 polyma 使用実績

(稼働日数 74 日・使用時間 456 時間)

4F 材料解析室(1)			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
理学部	物理	使用回数									3				3
		使用時間									12:05				12:05
	基礎化学	使用回数									4		1		5
		使用時間									17:35		1:30		19:05
工学部	応用化学	使用回数	2	8	8	6	7	7	5	2	6	4			55
		使用時間	9:15	29:50	44:40	23:35	30:00	31:20	22:10	12:00	27:10	21:35			251:35
科学分析支援センター		使用回数	2			6	5	1	2	2	2		2		22
		使用時間	6:30			38:00	52:30	17:00	36:00	11:25	7:30		5:00		173:55
合計		使用回数	4	8	8	12	12	8	7	4	15	4	3		85
		使用時間	15:45	29:50	44:40	61:35	82:30	48:20	58:10	23:25	64:20	21:35	6:30		456:40
稼働日数		4	6	8	12	8	7	6	4	12	4	3		74	
使用人数		2	3	2	3	2	2	3	2	8	2	2		10	

示差熱重量測定装置 STA2500 使用実績

(稼働日数 92 日・使用時間 514 時間)

4F 材料解析室(1)			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
理学部	基礎化学	使用回数		1		2			1	5	7	5	5		26
		使用時間		2:15		5:15			4:10	16:30	30:45	22:55	16:10		
工学部	応用化学	使用回数		5	6	14	7	8	3	4	5			2	54
		使用時間		22:00	28:50	65:50	35:25	41:15	12:40	16:55	19:50			4:00	246:45
共同研究員		使用回数		1	1										2
		使用時間		7:30	5:35										13:05
科学分析支援センター		使用回数	6	6	1	1				1	3	1	2	6	27
		使用時間	41:15	22:35	6:00	6:00				6:00	15:30	7:00	11:30	41:00	156:50
合計		使用回数	6	13	8	17	7	8	4	10	15	6	7	8	109
		使用時間	41:15	54:20	40:25	77:05	35:25	41:15	16:50	39:25	66:05	29:55	27:40	45:00	514:40
稼働日数		5	11	7	14	6	7	4	9	11	6	6	6	92	
使用人数		3	6	5	5	2	2	2	3	6	4	4	5	17	

示差熱重量発生ガス分析装置 STA2500+JMS-Q1500GC 使用実績

(稼働日数 1 日・使用時間 8 時間)

4F 材料解析室(1)			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
科学分析支援センター		使用回数									1				1
		使用時間										8:00			
合計		使用回数									1				1
		使用時間										8:00			
稼働日数											1				1
使用人数											1				1

走査型プローブ顕微鏡 Multimode8 使用実績

(稼働日数 64 日 使用時間 237 時間)

4F 材料解析室(1)			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
理学部	基礎化学	使用回数			2										2
		使用時間			4:00										
工学部	電気電子	使用回数				4		6	12	2	1	2		1	28
		使用時間				3:40		11:55	18:30	2:55	2:00	3:00		2:00	44:00
	応用化学	使用回数	10	2	8	2			8	11	23	5	8	7	84
		使用時間	16:35	2:35	11:50	4:00			15:00	13:30	35:50	6:20	13:15	11:20	130:15
科学分析支援センター		使用回数			5	3	2	4	4	1	1				20
		使用時間			12:30	9:00	7:00	10:00	9:00	6:00	6:00				59:30
合計		使用回数	10	2	15	9	2	10	24	14	25	7	8	8	134
		使用時間	16:35	2:35	28:20	16:40	7:00	21:55	42:30	22:25	43:50	9:20	13:15	13:20	237:45
稼働日数		5	1	8	7	2	6	9	6	11	3	3	3	64	
使用人数		2	1	6	5	1	3	6	5	7	4	3	3	16	

表面形状解析レーザー顕微鏡 VK-X 3050 使用実績

(稼働日数 48 日 使用時間 79 時間)

3F 分析電子顕微鏡室(1)			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
工学部	電気電子	使用回数	5	2	3	9	2			5	4	14	1		45
		使用時間	5:25	3:00	2:05	9:20	3:00			2:50	6:35	19:50	0:50		52:55
科学分析支援センター		使用回数	1	1	1					5	1	1	2	2	14
		使用時間	0:25	2:00	2:00					9:10	2:30	3:30	3:30	3:00	26:05
合計		使用回数	6	3	4	9	2			10	5	15	3	2	59
		使用時間	5:50	5:00	4:05	9:20	3:00			12:00	9:05	23:20	4:20	3:00	79:00
		稼働日数	5	3	4	6	2			8	4	11	3	2	48
		使用人数	3	3	3	5	2			3	4	4	2	1	11

汎用走査型電子顕微鏡 SU1510 使用実績

(稼働日数 165 日・使用時間 688 時間)

3F 分析電子顕微鏡室(1)			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
理学部	基礎化学	使用回数	2			1					1				4
		使用時間	5:00			2:00					2:30				9:30
工学部	機械	使用回数		3	4	3	1		1						12
		使用時間		8:00	10:35	5:30	1:30		5:00						30:35
	電気電子	使用回数	6	10	9	12	5	4	7	7	10	9	1	3	83
		使用時間	9:30	22:40	24:30	26:40	17:25	12:00	13:40	16:55	34:30	26:55	1:05	7:00	212:50
	応用化学	使用回数	3	15	6	8	6	9	11	16	13	2	1	2	92
		使用時間	8:05	27:05	12:35	19:45	9:40	23:55	30:35	38:40	30:05	5:45	3:00	5:00	214:10
環境社会	使用回数		1	2						3	1		1	8	
	使用時間		3:00	3:30						7:35	3:00		3:00	20:05	
共同研究員		使用回数						1	1	1				1	4
		使用時間						6:00	4:15	5:50				6:00	22:05
科学分析支援センター		使用回数	8	11	10	7	4		2	1	2		5		50
		使用時間	27:00	37:50	38:30	24:30	14:00		7:00	4:00	8:15		18:25		179:30
合計		使用回数	19	40	31	31	16	14	22	28	27	11	8	6	253
		使用時間	49:35	98:35	89:40	78:25	42:35	41:55	60:30	73:00	78:20	32:40	25:30	18:00	688:45
		稼働日数	14	20	17	19	11	12	16	19	16	10	7	4	165
		使用人数	7	18	15	22	11	10	17	14	17	6	5	6	49

低真空走査型電子顕微鏡 S-3400N 使用実績

(稼働日数 46 日・使用時間 1288 時間)

3F 分析電子顕微鏡室(2)			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
理学部	物理	使用回数	2		2	1			1	6	1	3			16
		使用時間	4:00		2:20	3:00			4:00	14:00	3:00	6:30			36:50
工学部	電気電子	使用回数	1	2	2	1	1		2	5	3	4		4	25
		使用時間	4:00	2:55	3:30	2:00	3:10		3:50	10:45	7:00	6:30		6:30	50:10
共同研究員		使用回数		1											1
		使用時間		5:00											5:00
科学分析支援センター		使用回数	1	2	1	1	1				1				7
		使用時間	33:00	251:00	432:00	224:00	248:00				8:00				1196:00
合計		使用回数	4	5	5	3	2		3	11	5	7		4	49
		使用時間	41:00	258:55	437:50	229:00	251:10		7:50	24:45	18:00	13:00		6:30	1288:00
		稼働日数	4	5	5	3	2		3	9	5	6		4	46
		使用人数	3	4	3	3	2		2	2	3	2		1	6

高分解能走査型電子顕微鏡 S-4800 使用実績

(稼働日数 39 日・使用時間 119 時間)

1F 高分解能電子顕微鏡室			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
工学部	電気電子	使用回数	5	1	2	4	2		2	1		1	1		19
		使用時間	18:05	1:30	5:10	9:10	6:15		4:05	2:30		1:40	1:00		49:25
	応用化学	使用回数				1				2	1	2			6
		使用時間				3:30				8:00	3:00	3:35			18:05
共同研究員		使用回数	1	1	1	3		1	2					1	10
		使用時間	2:55	3:40	3:00	8:20		4:00	5:45					3:00	30:40
科学分析支援センター		使用回数			2				2	2					6
		使用時間			7:00				7:00	7:00					21:00
合計		使用回数	6	2	5	8	2	1	6	5	1	3	1	1	41
		使用時間	21:00	5:10	15:10	21:00	6:15	4:00	16:50	17:30	3:00	5:15	1:00	3:00	119:10
		稼働日数	6	2	5	7	2	1	6	5	1	2	1	1	39
		使用人数	3	2	4	3	2	1	4	4	1	2	1	1	9

## 超高分解能走査型電子顕微鏡 Regulus-8220 使用実績

(稼働日数 33 日・使用時間 98 時間)

1F 高分解能電子顕微鏡室			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
工学部	電気電子	使用回数	1		3	3	3	2	4	1	4	2			23
		使用時間	1:30		6:40	7:10	8:20	5:40	9:45	2:35	9:20	4:00			
科学分析支援センター		使用回数		2	1		2	1			1			3	10
		使用時間		5:00	5:00		9:30	5:30			4:30				14:00
合計		使用回数	1	2	4	3	5	3	4	1	5	2		3	33
		使用時間	1:30	5:00	11:40	7:10	17:50	11:10	9:45	2:35	13:50	4:00			14:00
		稼働日数	1	2	4	3	5	3	4	1	5	2		3	33
		使用人数	1	2	3	1	4	3	2	1	3	1		1	5

## 透過型電子顕微鏡 (200kV) Tecnai G2 20 使用実績

(稼働日数 5 日・使用時間 30 時間)

1F 高分解能電子顕微鏡室			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
理学部	基礎化学	使用回数				1					1				2
		使用時間				8:00					0:15				
科学分析支援センター		使用回数		1			2								3
		使用時間		11:00			11:00								
合計		使用回数		1		1	2				1				5
		使用時間		11:00		8:00	11:00				0:15				
		稼働日数		1		1	2				1				5
		使用人数		1		1	2				1				3

## 透過型電子顕微鏡 (120kV) H-7500 使用実績

(稼働日数 31 日・使用時間 190 時間)

理学部2号館2F 電子顕微鏡室			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
教育学部		使用回数							1		1				2
		使用時間							2:00		1:00				
科学分析支援センター		使用回数		3	2	4	1	3	3	4	3	3	2	1	29
		使用時間		17:25	13:00	24:00	7:30	20:50	16:15	27:00	21:30	21:20	12:30	6:00	187:20
合計		使用回数		3	2	4	1	3	4	4	4	3	2	1	31
		使用時間		17:25	13:00	24:00	7:30	20:50	18:15	27:00	22:30	21:20	12:30	6:00	190:20
		稼働日数		3	2	4	1	3	4	4	3	2	1	31	
		使用人数		1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	2

## 共焦点レーザー顕微鏡 FV1000-D 使用実績

(稼働日数 111 日 使用時間 341 時間)

4F 共焦点レーザー顕微鏡室			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
理学部	分子生物	使用回数			5	4		1							10
		使用時間			5:00	5:05		1:55							
	生体制御	使用回数	2	3	6	1	1	1	3	4	2	4	9	10	46
		使用時間	5:00	6:00	14:00	2:00	2:00	2:00	4:40	7:00	4:00	8:00	18:00	19:30	92:10
工学部	応用化学	使用回数	11	22	23	23	11	22	15	5		2	5	1	140
		使用時間	20:00	32:30	39:20	28:05	16:50	34:30	25:40	7:30		3:30	8:00	2:00	217:55
科学分析支援センター		使用回数		2				2		1		1			6
		使用時間		6:00				4:00		2:00		7:00			19:00
合計		使用回数	13	27	34	28	12	26	18	10	2	7	14	11	202
		使用時間	25:00	44:30	58:20	35:10	18:50	42:25	30:20	16:30	4:00	18:30	26:00	21:30	341:05
		稼働日数	9	15	15	14	6	16	8	7	2	5	9	5	111
		使用人数	7	8	11	6	4	7	6	5	2	5	2	2	23

## 誘導結合プラズマ発光分析装置 5800 VDV 使用実績

(稼働日数 50 日・使用時間 126 時間)

4F 分光室			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
教育学部		使用回数	1												1
		使用時間	4:15												
理学部	物理	使用回数		2											2
		使用時間		7:35											
	分子生物	使用回数													2
		使用時間													4:20
工学部	機械	使用回数									1				1
		使用時間									1:30				1:30
	応用化学	使用回数	1	2			1	4		1	4	2	1		16
		使用時間	1:25	2:10			3:00	8:30		2:00	9:25	2:00	4:00		32:30
環境社会	使用回数		3	1	3	2	1	1	3	2		1		17	
	使用時間		7:30	1:00	6:30	3:00	2:00	1:30	6:30	3:30		2:00		33:30	
科学分析支援センター		使用回数	4		1	4	4		3	5		1	3		25
		使用時間	4:55		0:30	5:35	4:35		6:00	9:30		6:00	6:10		43:15
合計		使用回数	6	7	2	7	7	5	4	9	7	3	5	2	64
		使用時間	10:35	17:15	1:30	12:05	10:35	10:30	7:30	18:00	14:25	8:00	12:10	4:20	126:55
		稼働日数	4	6	2	5	4	4	4	6	5	3	5	2	50
		使用人数	3	4	2	3	4	2	3	6	4	2	4	1	16

ZETA 電位・粒子径・分子量測定装置 ELSZ-2000ZS 使用実績

(稼働日数 64 日・使用時間 176 時間)

4F 材料解析室(2)			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
教育学部		使用回数										1	2	1	4
		使用時間											3:00	6:30	1:30
理学部	基礎化学	使用回数		2	9		3	4	2	2	7	2	3		34
		使用時間		2:50	11:30		4:05	26:35	2:10	1:30	5:35	2:35	6:45		
工学部	応用化学	使用回数	1	2		6						1	3	1	14
		使用時間	1:00	2:00		15:35						1:30	4:30	1:00	
	環境社会	使用回数	1	3	1	1								1	9
		使用時間	1:30	11:00	1:00	2:30								1:00	15:35
共同研究員		使用回数		2	2	1	7		1	1		4		1	19
		使用時間		3:00	3:10	2:00	12:10		2:00	2:00		3:00		2:00	
科学分析支援センター		使用回数		1	1			1							4
		使用時間		3:00	7:00			1:30							3:00
合計		使用回数	2	10	13	8	10	5	3	3	8	10	7	12	91
		使用時間	2:30	21:50	22:40	20:05	16:15	28:05	4:10	3:30	7:05	13:05	15:15	22:05	176:35
稼働日数			2	6	8	6	7	4	3	2	6	6	6	8	64
使用人数			2	7	5	4	4	3	2	2	2	6	4	4	12

X 線光電子分析装置 AXIS-NOVA 使用実績

(稼働日数 104 日・使用時間 2816 時間)

4F X線実験室			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
理学部	基礎化学	使用回数	2	6	4	4		3	1	3	2	1	2		28
		使用時間	48:00	101:40	92:35	70:30		63:10	27:00	71:50	48:00	24:00	44:45		
工学部	機械	使用回数			1				1						2
		使用時間			24:00				23:55						
	電気電子	使用回数		1	3		1	3	3	5	6	3	2	1	28
		使用時間		23:00	71:00		24:00	57:50	66:00	80:25	88:05	44:25	47:10	24:00	
工学部	応用化学	使用回数		3	3	5	3		2	4	1	2	2	1	26
		使用時間		70:20	68:40	95:50	72:00		48:00	71:55	24:00	48:00	48:00	24:00	
科学分析支援センター		使用回数	4	3	2	3			3	2	1	5	3	1	27
		使用時間	128:00	136:00	153:00	117:55			81:30	56:00	50:00	192:00	142:00	24:00	
合計		使用回数	6	13	13	12	4	6	10	14	10	11	9	3	111
		使用時間	176:00	331:00	409:15	284:15	96:00	121:00	246:25	280:10	210:05	308:25	281:55	72:00	
稼働日数			6	11	13	11	4	6	10	11	9	11	9	3	104
使用人数			3	9	10	9	3	5	8	10	7	6	8	3	27

蛍光 X 線分析装置 AXIOS 使用実績

(稼働日数 28 日・使用時間 127 時間)

4F X線実験室			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
工学部	応用化学	使用回数	1	3	3	7	1	3	2	1	1	3	2		27
		使用時間	4:00	12:30	15:20	18:55	5:00	18:00	8:00	6:00	6:00	14:00	7:00		
	環境社会	使用回数			1										1
		使用時間			1:30										
科学分析支援センター		使用回数			2								3		5
		使用時間			4:00								7:00		
合計		使用回数	1	3	6	7	1	3	2	1	1	3	5		33
		使用時間	4:00	12:30	20:50	18:55	5:00	18:00	8:00	6:00	6:00	14:00	14:00		
稼働日数			1	3	4	5	1	3	2	1	1	3	4		28
使用人数			1	2	5	3	1	1	2	1	1	1	4		6

高速粉末 X 線回折装置 (水平型) D8 ADVANCE ECO 使用実績

(稼働日数 177 日・使用時間 455 時間)

4F X線実験室			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計	
理学部	物理	使用回数										4		2	6	
		使用時間										25:00			7:00	32:00
	基礎化学	使用回数	1	1			2	1	1						1	7
		使用時間	2:00	1:10			4:00	1:30	1:30						2:00	12:10
工学部	電気電子	使用回数	27	24	26	29	19	20	29	26	22	16	13	4	255	
		使用時間	29:40	26:30	30:50	34:50	22:30	17:15	37:35	32:10	22:30	18:05	13:45	5:30		291:10
	応用化学	使用回数				4	4	5	6	1	2	4	2	1	29	
		使用時間				7:45	6:55	9:30	11:15	2:00	2:30	5:05	3:30	0:05		48:35
共同研究員		使用回数								1					1	
		使用時間								1:00						1:00
科学分析支援センター		使用回数	5	3	6	3	1			1		2		1	22	
		使用時間	8:30	7:15	9:15	9:00	3:00			2:00		30:00		2:00		71:00
合計		使用回数	33	28	32	36	26	26	36	29	24	26	15	9	320	
		使用時間	40:10	34:55	40:05	51:35	36:25	28:15	50:20	37:10	25:00	78:10	17:15	16:35		455:55
稼働日数			19	17	17	18	12	16	17	16	12	15	9	9	177	
使用人数			11	17	14	18	13	9	16	16	13	13	10	7	29	

## 卓上型粉末 X 線回折装置 (水平型) D2 PHASER 使用実績

(稼働日数 189 日・使用時間 698 時間)

4F X線実験室		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計	
理学部	基礎化学	使用回数		7	4	1	2	8	3	4	1	1	9	40	
		使用時間		14:00	4:30	1:30	1:50	8:45	3:00	5:20	1:25	2:00	17:05		59:25
工学部	電気電子	使用回数	1	14	13	20	4	14	37	16	24	40	10	10	203
		使用時間	0:20	13:30	17:55	23:40	3:20	14:50	48:25	18:35	33:40	54:40	11:55	12:55	253:45
	応用化学	使用回数	20	19	13	15	15	16	18	27	18	18	9	1	189
		使用時間	31:15	23:40	18:10	25:10	22:45	24:15	20:00	41:15	31:30	34:10	10:55	1:40	284:45
科学分析支援センター	使用回数	8	5		4			8	6	5	5			41	
	使用時間	15:00	8:10		7:00			22:05	19:00	14:50	14:30			100:35	
合計	使用回数	29	45	30	40	21	38	66	53	48	64	28	11	473	
	使用時間	46:35	59:20	40:35	57:20	27:55	47:50	93:30	84:10	81:25	105:20	39:55	14:35	698:30	
稼働日数		16	16	13	17	10	18	22	18	18	19	13	9	189	
使用人数		12	22	11	18	14	13	21	20	19	21	13	5	49	

## 粉末 X 線回折装置(水平型)UltimaIII 使用実績

(稼働日数 154 日・使用時間 510 時間)

4F X線実験室		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計	
工学部	電気電子	使用回数	30	13	20	26	3	2	30	33	28	33	5	6	229
		使用時間	31:40	20:25	39:10	42:00	7:05	7:00	58:40	42:15	50:45	46:10	5:15	10:30	360:55
	応用化学	使用回数		7	3	4			12	12	8	5	2	8	61
		使用時間		8:40	4:30	6:15			19:35	27:10	12:20	7:50	4:00	19:10	109:30
環境社会	使用回数	1		1	3					1				6	
	使用時間	1:00		1:30	3:00					1:00				6:30	
科学分析支援センター	使用回数	4		5	2		1	1		2	1			16	
	使用時間	8:30		10:00	2:00		3:00	1:30		6:00	2:30			33:30	
合計	使用回数	35	20	29	35	3	3	43	45	39	39	7	14	312	
	使用時間	41:10	29:05	55:10	53:15	7:05	10:00	79:45	69:25	70:05	56:30	9:15	29:40	510:25	
稼働日数		18	12	15	16	2	3	19	18	17	17	6	11	154	
使用人数		11	11	12	16	3	3	14	14	15	14	5	5	33	

## 高輝度二次元X線回折装置 D8 DISCOVER 使用実績

(稼働日数 30 日・使用時間 103 時間)

4F X線実験室		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計	
工学部	機械	使用回数								2				2	
		使用時間								4:00					4:00
	電気電子	使用回数	1	2	1		1	2		1				1	9
		使用時間	2:00	5:35	1:10		4:50	10:00		4:00				1:35	29:10
応用化学	使用回数							2	4	2	1	6	3	18	
	使用時間							4:55	9:25	3:15	2:00	11:50	11:40	43:05	
科学分析支援センター	使用回数						1	1		1	1	1		5	
	使用時間						2:00	9:00		6:30	5:30	4:00		27:00	
合計	使用回数	1	2	1		1	3	3	7	3	2	7	4	34	
	使用時間	2:00	5:35	1:10		4:50	12:00	13:55	17:25	9:45	7:30	15:50	13:15	103:15	
稼働日数		1	2	1		1	2	3	6	3	2	5	4	30	
使用人数		1	1	1		1	3	2	3	2	2	2	2	7	

## 多機能粉末X線回折装置 D8 ADVANCE 使用実績

(稼働日数 42 日・使用時間 276 時間)

4F X線実験室		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
工学部	応用化学	使用回数	1	2	1	3	2		6	7	4	6	8	40
		使用時間	6:00	10:10	1:00	13:05	13:30		28:15	46:30	17:20	15:45	86:15	
科学分析支援センター	使用回数						1	6	1					8
	使用時間						3:00	28:00	7:30					38:30
合計	使用回数	1	2	1	3	2	1	12	8	4	6	8		48
	使用時間	6:00	10:10	1:00	13:05	13:30	3:00	56:15	54:00	17:20	15:45	86:15		276:20
稼働日数		1	2	1	3	2	1	11	7	4	3	7		42
使用人数		1	1	1	3	1	1	7	4	3	2	3		9

## 高輝度 CCD 型単結晶構造解析装置 SMART APEX II 使用実績

(稼働日数 90 日・使用時間 2162 時間)

4F 単結晶構造解析室		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計	
理学部	物理	使用回数								4	6	5	5	20	
		使用時間								74:00	180:30	119:00	88:25	461:55	
	基礎化学	使用回数								16	6	9	16	7	54
		使用時間								159:05	104:50	173:00	236:00	134:10	807:05
工学部	応用化学	使用回数								2	1	1	2	6	
		使用時間								44:35	24:00	21:00	30:30	120:05	
科学分析支援センター	使用回数								7	6	8	5	10	36	
	使用時間								103:25	83:55	184:00	199:30	202:10	773:00	
合計	使用回数								23	18	24	27	24	116	
	使用時間								262:30	307:20	561:30	575:30	455:15	2162:05	
稼働日数									14	14	19	21	22	90	
使用人数									4	9	8	7	6	10	

顕微レーザーラマン分光光度計 inVia 使用実績

(稼働日数 193 日・使用時間 642 時間)

4F 分光室			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
理学部	基礎化学	使用回数	12	28	37	47	21	39	37	52	53	27	10	13	376
		使用時間	13:40	38:00	46:10	52:50	22:55	42:40	35:45	65:00	67:35	32:35	11:50	11:20	440:20
工学部	電気電子	使用回数	1	4	4	6	4	3	9	7	14	11	5	5	73
		使用時間	0:55	6:00	4:50	8:45	6:00	5:15	10:30	12:45	22:35	16:50	5:30	5:05	105:00
	応用化学	使用回数		2	2				1						5
		使用時間		2:30	3:30				1:40						
科学分析支援センター		使用回数	4	1	2	2			5		3	2	1	1	21
		使用時間	7:50	3:00	5:00	12:30			28:00		8:10	12:20	10:00	3:00	89:50
合計		使用回数	17	35	45	55	25	42	52	59	70	40	16	19	475
		使用時間	22:25	49:30	59:30	74:05	28:55	47:55	75:55	77:45	98:20	61:45	27:20	19:25	642:50
		稼働日数	11	16	17	22	9	18	20	20	18	17	12	13	193
		使用人数	9	14	17	14	7	13	15	13	20	17	7	10	31

汎用フーリエ変換赤外分光光度計 TENSOR II 使用実績

(稼働日数 120 日・使用時間 269 時間)

3F 核磁気共鳴室			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
理学部	基礎化学	使用回数	2	1	5	3		5	9	9	3	7	2	1	47
		使用時間	0:50	1:00	3:05	1:55		3:05	6:35	6:15	1:55	6:05	2:00	1:45	34:30
工学部	電気電子	使用回数				1	5	4	13	8	6	2	5	1	45
		使用時間				2:00	9:30	5:00	19:50	9:05	9:50	4:00	6:00	2:00	67:15
	応用化学	使用回数		13	1		6	6	1	19	12	16	5	2	81
		使用時間		10:15	2:00		4:10	2:30	2:00	22:50	18:55	19:45	5:00	0:45	88:10
科学分析支援センター		使用回数	1	6	6	3	2	8	3	1	1	1	4	2	38
		使用時間	3:30	13:30	12:55	5:30	3:30	12:45	4:00	1:30	2:00	2:30	8:00	10:00	79:40
合計		使用回数	3	20	12	7	13	23	26	37	22	26	16	6	211
		使用時間	4:20	24:45	18:00	9:25	17:10	23:20	32:25	39:40	32:40	32:20	21:00	14:30	269:35
		稼働日数	2	8	10	6	7	13	17	14	13	12	13	5	120
		使用人数	2	12	6	4	9	12	11	16	12	13	10	4	37

顕微フーリエ変換赤外分光光度計 HYPERION 3000 使用実績

(稼働日数 9 日・使用時間 57 時間)

4F 分光室			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
科学分析支援センター		使用回数		1		3								1	4
		使用時間		7:00		15:00									5:00
合計		使用回数		1		3								1	4
		使用時間		7:00		15:00									5:00
		稼働日数		1		3								1	4
		使用人数		1		1								1	2

紫外可視近赤外分光光度計 V-770 使用実績

(稼働日数 59 日・使用時間 221 時間)

3F 質量分析室(1)			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
工学部	電気電子	使用回数						3	3	8	7		6	1	28
		使用時間						5:00	5:00	12:45	12:20		9:30	2:00	46:35
	応用化学	使用回数					2	3	7	10	11	15		3	51
		使用時間					3:30	5:30	9:10	15:15	16:50	19:20		5:00	74:35
HiSEP		使用回数				24:00			3						4
		使用時間				1:15			3:50						5:05
科学分析支援センター		使用回数	3				1	1						3	8
		使用時間	23:40				1:30	1:30						69:00	95:40
合計		使用回数	3			1	3	7	13	18	18	15	6	7	91
		使用時間	23:40			1:15	5:00	12:00	18:00	28:00	29:10	19:20	9:30	76:00	221:55
		稼働日数	3			1	3	5	11	9	7	10	5	5	59
		使用人数	2			1	2	4	4	4	4	1	2	4	8

小型蛍光寿命測定装置 Quantaurus-Tau 使用実績

(稼働日数 78 日・使用時間 207 時間)

4F 分光室			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
理学部	基礎化学	使用回数		3	3		3		3	4	5	6	3		30
		使用時間		6:20	1:15		0:55		1:40	2:15	4:30	8:15	2:30		
	分子生物	使用回数				2	1	4	4	5	3			1	20
		使用時間				2:00	2:00	8:25	8:15	11:30	6:05			3:30	41:45
工学部	電気電子	使用回数				1									1
		使用時間				1:20									1:20
	応用化学	使用回数	3	3	4	2		1	1	2	3	15	8	5	47
		使用時間	5:05	4:00	16:05	1:35		2:00	3:30	5:20	5:00	32:55	14:50	12:40	103:00
科学分析支援センター		使用回数	3			1		1	2		1	1	3		12
		使用時間	6:00			4:30		7:00	4:30		0:50	2:00	9:00		33:50
合計		使用回数	6	6	7	6	4	6	10	11	12	22	14	6	110
		使用時間	11:05	10:20	17:20	9:25	2:55	17:25	17:55	19:05	16:25	43:10	26:20	16:10	207:35
		稼働日数	6	6	5	5	2	5	7	8	10	13	7	4	78
		使用人数	4	3	4	4	2	3	6	7	7	7	7	2	23

モアレ干渉計 PEMI-II 使用実績

(稼働日数 1 日・使用時間 0.2 時間)

4F 材料解析室(2)		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
科学分析支援センター	使用回数												1	1
	使用時間												0:10	0:10
合計	使用回数												1	1
	使用時間												0:10	0:10
稼働日数													1	1
使用人数													1	1

接触角測定装置 DMS-401 使用実績

(稼働日数 24 日 使用時間 24 時間)

4F 生物系実験室		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
工学部 電気電子	使用回数		1	3	4	3	1	5	3	4	2			26
	使用時間		0:45	2:45	4:45	3:15	1:00	4:00	1:30	2:55	1:35			22:30
科学分析支援センター	使用回数			1										1
	使用時間			2:00										2:00
合計	使用回数		1	4	4	3	1	5	3	4	2			27
	使用時間		0:45	4:45	4:45	3:15	1:00	4:00	1:30	2:55	1:35			24:30
稼働日数			1	3	3	3	1	4	3	4	2			24
使用人数			1	3	2	2	1	1	1	2	1			5

オスミウムコーター Neco-STB 使用実績

(稼働日数 7 日・使用時間 7 時間)

3F 分析電子顕微鏡室(1)		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
工学部 電気電子	使用回数			1	2	1	1	1						6
	使用時間			0:30	2:00	1:00	1:00	1:00						5:30
科学分析支援センター	使用回数									2				2
	使用時間									1:30				1:30
合計	使用回数			1	2	1	1	1		2				8
	使用時間			0:30	2:00	1:00	1:00	1:00	1:30					7:00
稼働日数				1	2	1	1	1	1					7
使用人数				1	1	1	1	1	1					2

高圧凍結装置 EM HPM 100 使用実績

(稼働日数 1 日・使用時間 9 時間)

3F 分析電子顕微鏡室(2)		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
科学分析支援センター	使用回数									1				1
	使用時間									9:00				9:00
合計	使用回数									1				1
	使用時間									9:00				9:00
稼働日数										1				1
使用人数										1				1

ウルトラマイクローム ULTRACUT N 使用実績

(稼働日数 46 日・使用時間 258 時間)

4F 生物系実験室		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
科学分析支援センター	使用回数	3	2	4	4		11	4	4	3	3	3	5	46
	使用時間	18:35	8:30	14:15	23:15		70:15	26:45	22:30	19:45	13:20	12:00	28:55	258:05
合計	使用回数	3	2	4	4		11	4	4	3	3	3	5	46
	使用時間	18:35	8:30	14:15	23:15		70:15	26:45	22:30	19:45	13:20	12:00	28:55	258:05
稼働日数		3	2	4	4		11	4	4	3	3	3	5	46
使用人数		1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1

プラズマクリーナー Model 1020 使用実績

(稼働日数 54 日・使用時間 68 時間)

1F 高分解能電子顕微鏡室		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	総計
工学部 電気電子	使用回数	4	8	5	4	1	2	9	5	6	11	5		60
	使用時間	4:00	7:30	5:30	5:30	1:00	4:00	11:00	6:05	6:30	12:00	5:35		68:40
合計	使用回数	4	8	5	4	1	2	9	5	6	11	5		60
	使用時間	4:00	7:30	5:30	5:30	1:00	4:00	11:00	6:05	6:30	12:00	5:35		68:40
稼働日数		4	7	5	4	1	2	7	5	5	9	5		54
使用人数		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1

## 2024 年度アイソトープ実験施設利用実績

### 利用状況

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	合計
入室回数	47	165	218	208	64	50	65	48	91	134	53	46	1189
時間	4	25	23	50	5	3	6	4	15	34	6	4	179

### 核種別使用量（単位: MBq）

	<sup>3</sup> H	<sup>14</sup> C	<sup>32</sup> P	<sup>33</sup> P	<sup>35</sup> S	<sup>125</sup> I
年度当初保管数量	79.0	59.3	14.1	0.0	74.0	0.0
受入等数量	0.0	71.0	0.0	0.0	74.0	0.0
使用数量	32.7	7.5	14.1	0.0	116.7	0.0
年度末保管数量	46.3	122.8	0.0	0.0	31.3	0.0

## 2024 年度動物飼育室利用実績

### 利用実績（入室回数）

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	合計
一般飼育室	540	511	616	777	528	504	540	644	553	468	480	695	6856
SPF 室	20	13	13	14	13	8	15	17	20	9	28	17	187

### 使用数

		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	合計
マウス	GADD34	3	8	2	0	3	1	13	0	9	0	0	1	40
	C57BL/6	26	57	46	94	13	51	59	40	34	36	23	85	564
	C57/B6	11	91	84	113	61	108	37	56	31	18	31	36	677
	ddy	43	0	0	0	0	0	45	25	0	0	0	0	113
	ICR	58	61	238	209	143	183	334	164	44	74	89	138	1735
	小計	141	217	370	416	220	343	488	285	118	128	143	260	3129
スunks	kat	20	65	27	19	75	120	112	27	119	27	17	51	679
	小計	20	65	27	19	75	120	112	27	119	27	17	51	679

## 2024 年度科学分析支援センター機器等を使用した受賞

### 理学部 基礎化学科

受賞者 和田 一樹  
指導教員 斎藤雅一 教授  
大会名 第 20 回ケイ素化学に関する国際シンポジウム,  
第 9 回アジアケイ素国際シンポジウム組織委員会  
受賞内容 ポスター賞  
利用機器 核磁気共鳴装置  
利用内容 スタンナシクロペンタジエニリデンを用いた小分子活性

### 理学部 生体制御学科

受賞者 林 彩音  
指導教員 津田佐知子 准教授  
大会名 第 47 回日本神経科学大会  
(第 67 回日本神経化学大会, 第 46 回日本生物学的精神医学回年会共催)  
受賞内容 ジュニア研究者ポスター賞  
利用機器 共焦点レーザー顕微鏡  
利用内容 ゼブラフィッシュにおけるニューロン集団の膜電位イメージング

### 工学部 応用化学科

受賞者 真田 一平  
指導教員 齋藤伸吾 教授  
大会名 日本分析化学会第 73 年会  
受賞内容 若手ポスター賞  
利用機器 飛行時間型質量分析装置  
利用内容 フミン酸分子量の決定に関する研究

受賞者 藤井 一輝  
指導教員 藤森 厚裕 准教授  
大会名 第 75 回コロイドおよび界面化学討論会  
受賞内容 ポスター賞  
利用機器 粉末 X 線回折装置(水平型), 走査型プローブ顕微鏡  
利用内容 二次元相分離薄膜を活用した DNA のフォトバターンニング

## 2024 年科学分析支援センター機器使用研究業績

### 教育学部 理科分野

Kuroiwa F, Suda H, Yabuki M, et al. Cell-free translation system with artificial lipid-monolayer particles as a unique tool for characterizing lipid-monolayer binding proteins. *Biosci Biotechnol Biochem.* 2024;88(5):555-560. doi:10.1093/bbb/zbae026

Liu Z, Senavirathna MDHJ, Fujino T, Kaneko Y. Translocation mechanism and the role of aerenchyma in nanoplastic translocation in *Myriophyllum* sp. “Roraima” and physiological responses. *Environ Sci Pollut Res.* 2024;31(57):65356-65370. doi:10.1007/s11356-024-35606-7 CO - ESPLEC

Matsuoka K, Sekiguchi R, Yoshimura T. Micelle formation of sodium tauroolithocholate. *Chem Phys Lipids.* 2024;259:105378. doi:10.1016/j.chemphyslip.2024.105378 CO - CPLIA4

Matsuoka K, Sekiguchi R, Yoshimura T, Nakahara H, Koga K. Solubilization of polycyclic aromatic compounds into supralong-chain surfactants with double quaternary ammonium micelles. *J Mol Liq.* 2024;405:125109. doi:10.1016/j.molliq.2024.125109 CO - JMLIDT

### 理学部 基礎化学科

Ueda N, Maeda K, Ishii A, Nakata N. Isospecific polymerization of sterically bulky  $\alpha$ -olefins catalyzed by zirconium(IV) complex possessing an [OSSO]-type bis(phenolate) ligand. *J Polym Sci.* 2024;62(1):125-131. doi:https://doi.org/10.1002/pol.20230617

Takahashi S, Kamiyama S, Ishii A, Nakata N. Syntheses of Iminophosphonamido Chlorogermynes and Their Complexation with a Rhodium(I) Complex. *Chem - An Asian J.* 2024;19(4):e202300968. doi:10.1002/asia.202300968 CO - CAAJBI

Hosoda N, Ishii A, Nakata N. (N,N'-Di-tert-butyl-S-phenylsulfonimidamido- $\kappa$ N, $\kappa$ N')-chlorogermanium- $\kappa$ Ge-chloro( $\eta^2,\eta^2$ -cycloocta-1,5-diene)rhodium. *Molbank.* 2024;2024(1):M1781. doi:10.3390/m1781 CO - MOLBAI

Takada Y, Furukawa S, Saito M. Synthesis of a highly iodinated biphenyl with extension of  $\sigma$ -delocalization. *Chem Lett.* 2024;53(3):upae032. doi:10.1093/chemle/upae032

Takada Y, Minoura M, Furukawa S, Saito M. Synthesis of O- and N-substituted pentaiodobenzenes bearing  $\sigma$ -symmetric delocalized orbitals using site-selective nucleophilic aromatic substitution reactions. *Chem Lett.* 2024;53(2):upad040. doi:10.1093/chemle/upad040

Fujii S, Seko S, Tanaka T, et al. Charge Transport through Single-Molecule Junctions with  $\sigma$ -Delocalized Systems. *J Am Chem Soc.* 2024;146(28):19566-19571. doi:10.1021/jacs.4c06732 CO - JACSAT

Saito M, Tokitoh N, Okazaki R. Main Group Analogs of Dichalcogeniranes. *Eur J Inorg Chem.* 2024;27(10):e202400111. doi:10.1002/ejic.202400111 CO - EJICFO

Nakayama K, Toida S, Endo T, et al. Spatial and reconfigurable control of photoluminescence from single-layer MoS<sub>2</sub> using a strained VO<sub>2</sub>-based Fabry-Pérot cavity. *Appl Phys Lett.* 2024;125(22):223106. doi:10.1063/5.0236517

Ohno K, Inagaki Y, Yamashita M, Nagasawa A, Fujihara T. Deprotonation-induced changes in  $\pi$ -electron systems of iridium(III) and rhodium(III) complexes with azophenine. *Polyhedron.* 2024;261:117112. doi:10.1016/j.poly.2024.117112 CO - PLYHDE

Honda Z, Fujihara T, Kida T, Hagiwara M. Low-dimensional magnetic properties of the ladder-like polynuclear complex Cu<sub>2</sub>(naphac)<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub> (naphac = 3-(1-naphthyl)acrylate). *Phys B Condens Matter (Amsterdam, Netherlands).* 2024;690:416254. doi:10.1016/j.physb.2024.416254 CO - PHYBE3

#### 理学部 分子生物学科

Napaumpaiporn P, Ogawa T, Sonoike K, Nishiyama Y. Improved capacity for the repair of photosystem II via reinforcement of the translational and antioxidation systems in *Synechocystis* sp. PCC 6803. *Plant J.* 2024;117(4):1165-1178. doi:https://doi.org/10.1111/tpj.16551

Yuasa K, Ichikawa T, Ishikawa Y, et al. Production of extracellular superoxide contributes to photosynthesis via elimination of reducing power and regeneration of NADP<sup>+</sup> in the red-tide-forming raphidophyte *Chattonella marina* complex. *Harmful Algae.* 2024;139:102712. doi:https://doi.org/10.1016/j.hal.2024.102712

Suka A, Shikata T, Yuasa K, et al. The toxigenic red-tide-forming dinoflagellates *Alexandrium leei* and *Alexandrium catenella* differ in terms of the sensitivity to strong light and low temperature of their photosynthetic machinery. *Algal Res.* 2024;79:103495. doi:https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103495

Terahata T, Shimada Y, Maki C, et al. Cysteine-Persulfide Sulfane Sulfur-Ligated Zn Complex of Sulfur-Carrying SufU in the SufCDSUB System for Fe-S Cluster Biosynthesis. *Inorg Chem.* 2024;63(42):19607-19618. doi:10.1021/acs.inorgchem.4c02654 CO - INOCAJ

Takahashi D, Soga K, Kikuchi T, et al. Structural changes in cell wall pectic polymers contribute to freezing tolerance induced by cold acclimation in plants. *Curr Biol.* 2024;34(5):958-968.e5. doi:10.1016/j.cub.2024.01.045 CO - CUBLE2

#### 理学部 生体制御学科

Otsuka M, Huang J, Tanaka T, Sakata I. Identification of glucagon like peptide-1 (GLP-1) in mice stomach. *Biochem Biophys Res Commun.* 2024;704:149708. doi:10.1016/j.bbrc.2024.149708 CO - BBBCA9

Suzuki M, Watanabe A, Huang J, Kobayashi Y, Sakata I. Involvement of the autonomic nervous system in colonic contractions in conscious *Suncus murinus*. *Neurogastroenterol Motil.* 2024;36(2):e14716. doi:10.1111/nmo.14716 CO - NMOTEK

Huang J, Suzuki M, Endo A, Watanabe A, Sakata I. The role of free fatty acid receptor-1 in gastric contractions in *Suncus murinus*. *Food Funct.* 2024;15(4):2221-2233. doi:10.1039/d3fo03565d CO - FFOUAI

Chowdhury G, Umeda K, Ohyanagi T, Nasu K, Yamasu K. Involvement of nr2f genes in brain regionalization and eye development during early zebrafish development. *Dev Growth Differ.* 2024;66(2):145-160. doi:10.1111/dgd.12912 CO - DGDFAS

Yuikawa T, Sato T, Ikeda M, et al. Elongation of the developing spinal cord is driven by Oct4-type transcription factor-mediated regulation of retinoic acid signaling in zebrafish embryos. *Dev Dyn.* 2024;253(4):404-422. doi:10.1002/dvdy.666 CO - DEDYEI

Yoshihara R, Shimakura Y, Kitamura S, et al. A mutation in DNA polymerase  $\gamma$  harbors a shortened lifespan and high sensitivity to mutagens in the filamentous fungus *Neurospora crassa*. *Genetics.* 2025;229(2):iyae201. doi:10.1093/genetics/iyae201

#### 工学部 機械工学・システムデザイン学科

Mafune Y, Katagiri N, Hanai T, Kubota M, Abe T, Kaneko J. Material property control of CuSn alloy using wire and arc additive manufacturing (Translated). *Mech Eng J.* 2024;11(2):23-00568. doi:10.1299/mej.23-00568 CO - MEJEBG

Quadra Vieira dos Santos G, Kaneko J, Abe T. Analysis of Heat Treatment and Its Effects on the Machinability of Inconel 718 Products Manufactured with Wire and Arc Additive Manufacturing Technique. *J Mater Eng Perform.* Published online 2024. doi:10.1007/s11665-024-09706-x

#### 工学部 電気電子物理工学科

Yamazaki I, Koinuma Y, Hanajiri T, et al. Spin injection from a magnetically near-compensated state in GdFeCo and inverse spin Hall effect in electron-hole compensated metal YH<sub>2</sub>. *J Phys Condens Matter.* 2025;37(6):65804. doi:10.1088/1361-648X/ad9371

Honda Z, Fujihara T, Kida T, Hagiwara M. Low-dimensional magnetic properties of the ladder-like polynuclear complex Cu<sub>2</sub>(naphac)<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub> (naphac = 3-(1-naphthyl)acrylate). *Phys B Condens Matter (Amsterdam, Netherlands).* 2024;690:416254. doi:10.1016/j.physb.2024.416254 CO - PHYBE3

Hishikawa K, Yamano Y. Basic research on vacuum breakdown and field emission characteristics on sus304 electrode with micro-sized pits. *e-Journal Surf Sci Nanotechnol.* 2024;22(3):279-282. doi:10.1380/ejsnt.2024-015 CO - SSNUA9

Nakahara S, Kakizaki K, Kamishima K. Synthesis of Fe<sup>2+</sup>-based 18H-type ferrite, Ba<sub>5</sub>Fe<sub>2+2-x</sub>Fe<sub>3+12+2x</sub>Ti<sub>3-x</sub>O<sub>31</sub>. *J Magn Magn Mater.* 2024;602:172175. doi:10.1016/j.jmmm.2024.172175 CO - JMMDC

Kamishima K, Takayama M, Yasui T, Watanabe K, Kakizaki K. Stable Formation and Enhanced Magnetism: Modified Compositions in 18H-type Hexaferrite Crystals. *J Phys Soc Japan.* 2024;93(8):84802. doi:10.7566/JPSJ.93.084802

Harasawa H, Mitamura H, Tokunaga M, Kakizaki K, Kamishima K. Synthesis and High-Field Magnetic Measurement of Ba<sub>2</sub>Sn<sub>2+x</sub>Me<sub>1+x</sub>Fe<sub>10-2x</sub>O<sub>22</sub>. *J Magn Soc Japan.* 2024;48(5):88-93. doi:10.3379/msjmag.2409R002

Kodama K, Hasegawa Y. Comprehensive assessment of thermoelectric properties in modules: Time-domain impedance spectroscopy considering heat leakage via attached lead wires. *J Appl Phys (Melville, NY, United States).* 2024;135(17):175102. doi:10.1063/5.0196012 CO - JAPIAU

Takada T, Hasegawa Y. Demonstration of Thermal Property Determination for a Suspended Wire Using 3 $\omega$  Method Acquired by a High buffered Multimeter Applying a Discrete Fourier Transformation and a Window Function. *Int J Thermophys.* 2024;45(9):125. doi:10.1007/s10765-024-03397-1 CO - IJTHDY

Ishikawa R. Polyelectrolyte-assisted uniform electron transporting layer on texture substrate for perovskite solar cells. *Chem Lett.* 2024;53(8):upae158. doi:10.1093/chemle/upae158

Kogo A, Ishikawa R, Murakami TN. Inverted-Structured Perovskite Solar Cells with a TiO<sub>2</sub> Electron-Collector Layer Formed at Room Temperature from Titanium Halide Solutions. *ACS Appl Energy Mater.* 2024;7(18):7769-7774. doi:10.1021/acsaem.4c01226

Fukuda T, Makino K, Saito Y, et al. Coherent optical response driven by non-equilibrium electron-phonon dynamics in a layered transition-metal dichalcogenide. *APL Mater.* 2024;12(2):21102. doi:10.1063/5.0188537

#### 工学部 応用化学科

Ishizaki T, Usui M, Kuchiki S, et al. 1,3-Butadiene Production by Simple Dehydrogenation of 1-Butene in the Presence of Steam Over Pt Supported on SnO<sub>2</sub>-Coated Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Catal Letters.* 2024;154(1):217-223. doi:10.1007/s10562-023-04281-7

Jung H, Watashima T, Kurokawa H, Ogihara H. Methane dehydroaromatization (MDA) on VO<sub>x</sub>/HZSM-5 catalysts. *Appl Catal A Gen.* 2024;676:119662. doi:10.1016/j.apcata.2024.119662 CO - ACAGE4

Osawa Kotaro; Hamasaki, Fumine; Kinoshita, Hidenori; Miura, Katsukiyo RO. Synthesis of Dihydrobenzosiloles and Silacyclopentanes by Double Hydroalumination of Terminal Alkynes. *Synlett*. 2024;36(03):284-288. doi:10.1055/a-2330-0874

Kurokawa R, Kinoshita H, Miura K. Synthetic Route to Benzostannoles via Al-Li-dimetal Intermediate and Their Application to Dibenzofulvene Synthesis. *Adv Synth Catal*. 2024;366(7):1523-1530. doi:10.1002/adsc.202301373 CO - ASCAF7

Kikuchi-Igarashi K, Tahara Y, Hirano H, Ambe C, Kinoshita H, Miura K. Platinum-Catalyzed Hydrative Dimerization of Alkynylsilanes to  $\alpha,\beta$ -Unsaturated Ketones. *Org Lett*. 2024;26(27):5689-5694. doi:10.1021/acs.orglett.4c01735 CO - ORLEF7

Nakada J, Matsushita T, Koyama T, Hatano K, Matsuoka K. Synthetic assembly of  $\alpha$ -O-linked-type GlcNAc using polymer chemistry affords sugar clusters, which effectively bind to lectins. *Bioorg Med Chem Lett*. 2024;99:129616. doi:10.1016/j.bmcl.2024.129616 CO - BMCLE8

Omiya S, Yamochi H, Koyama T, Hatano K, Matsuoka K, Matsushita T. pH-Dependent proteolytic activity of histidine-pendant polyacrylamides. *Eur Polym J*. 2024;209:112898. doi:10.1016/j.eurpolymj.2024.112898 CO - EUPJAG

Miyairi K, Arai H, Matsushita T, Koyama T, Hatano K, Matsuoka K. Interpenetrating Polymer Network Capturing FRET-Sensitive Polymers Available for an Enzyme Assay. *Biomacromolecules*. 2024;25(8):5222-5232. doi:10.1021/acs.biomac.4c00622 CO - BOMAF6

Zhang J, Koyama T, Matsushita T, Hatano K, Matsuoka K. Use of an oxazolidinone derivative of a sialyl thioglycoside as a useful glycosyl donor for  $\alpha$ -favorable glycosidation with simple alcohols. *Tetrahedron Lett*. 2024;146:155189. doi:10.1016/j.tetlet.2024.155189 CO - TELEAY

Matsuoka K, Nakada J, Nakazato M, Matsushita T, Koyama T, Hatano K. Preparation of a water-soluble polymer having pheophorbide a side chains using glycopolymer assembly. *Tetrahedron Lett*. 2024;138:154963. doi:10.1016/j.tetlet.2024.154963 CO - TELEAY

Miyairi K, Matsushita T, Koyama T, Hatano K, Matsuoka K. Preparation of fluorogenic glycopolymers having mannose moieties that can be used for determining the affinity of lectins by means of intermolecular FRET. *J Mol Struct*. 2024;1306:137896. doi:10.1016/j.molstruc.2024.137896 CO - JMOSB4

Tasaki-Handa Y, Shibuya K, Saito S. Cooperativity between coordinative unsaturated Fe(III) and aryl- $\pi$  electrons in MIL-100(Fe) for adsorption of small molecules. *New J Chem*. 2024;48(24):11107-11113. doi:10.1039/d4nj01385a CO - NJCHE5

Wang Y, Wang W, Liu F, Wang Q, Wu S. A Special Hydrated Iron Oxyhydroxide for Catalyzing Persulfate to Control Chemical Wastewater Containing Fluoranthene, Phenanthrene, and Pyrene. *Water (Basel, Switzerland)*. 2024;16(23):3536. doi:10.3390/w16233536 CO - WATEGH

Islam RM, Wang Q, Sharmin S, Wang W. Exploring the efficacy of eggshell and its pyrolyzed products for ciprofloxacin removal with machine learning insights. *Chem Pap*. 2024;78(15):8433-8447. doi:10.1007/s11696-024-03687-w CO - CHPAEG

Sharmin S, Wang Q, Islam RM, Wang W, Enyoh CE. Microplastic Contamination of Non-Mulched Agricultural Soils in Bangladesh: Detection, Characterization, Source Apportionment and Probabilistic Health Risk Assessment. *J Xenobiotics*. 2024;14(2):812-826. doi:10.3390/jox14020046 CO - JXOEA4

Islam MR, Wang Q, Sharmin S, Wang W, Enyoh CE. Mathematical modeling of cations from non-edible food waste for the reclamation of sodic and saline soils. *Eurasian J Soil Sci*. 2025;14(1):38-45. doi:10.18393/ejss.1565860

Wang Q, Yamada Y, Enyoh CE, Wang W, Sankoda K. Characterization of Microplastics and Adsorbed/Dissolved Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Biggest River System in Saitama and Tokyo, Japan. *Nanomaterials*. 2024;14(12):1030. doi:10.3390/nano14121030 CO - NANOKO

Islam RM, Wang Q, Sharmin S, Enyoh CE. Adsorption of Ibuprofen from Water Using Banana Peel Biochar: Experimental Investigation and Machine Learning Algorithms. *Water (Basel, Switzerland)*. 2024;16(23):3469. doi:10.3390/w16233469 CO - WATEGH

Enyoh CE, Wang Q. Automated Classification of Undegraded and Aged Polyethylene Terephthalate Microplastics from ATR-FTIR Spectroscopy using Machine Learning Algorithms. *J Polym Environ*. 2024;32(9):4143-4158. doi:10.1007/s10924-024-03199-4 CO - JPENFW

Wang Y, Wang Q, Wang W, Liu F, Wu S. Migration of fluoranthene, phenanthrene, and pyrene in soil environment during the growth of *Brassica rapa* subsp. *chinensis*. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2024;110:104535. doi:10.1016/j.etap.2024.104535 CO - ETOPFR

Wu S, Wang Q, Wang W, Wang Y, Lu D. Characterization of Waste Biomass Fuel Prepared from Coffee and Tea Production: Its Properties, Combustion, and Emissions. *Sustainability*. 2024;16(17):7246. doi:10.3390/su16177246 CO - SUSTDE

Wu S, Wang Q, Wang W, Wang Y. Processes of Metal Oxides Catalyst on Conversion of Spent Coffee Grounds into Rich-Synthesis Gas by Gasification. *Processes*. 2024;12(10):2232. doi:10.3390/pr12102232 CO - PROCCO

Masuda G, Enyoh CE, Wang W, Suzuki M, Honda Y, Wang Q. Synthesis and Characterization of Bio-Based Polyurea Derived from Liquefied Wood of Wooden Musical Instrument Offcuts. *Macromol.* 2024;4(4):739-752. doi:10.3390/macromol4040044 CO - MACRFU

Sharmin S, Wang Q, Islam RM, Wang W, Enyoh CE. Exploring Microplastic Distribution in Agricultural Soils and Health Risk Evaluation. *Water, Air, Soil Pollut.* 2024;235(8):511. doi:10.1007/s11270-024-07304-0 CO - WAPLAC

Rana SM, Wang Q, Wang W, et al. Sources, Distribution, and Health Implications of Heavy Metals in Street Dust across Industrial, Capital City, and Peri-Urban Areas of Bangladesh. *Atmosphere (Basel).* 2024;15(9):1088. doi:10.3390/atmos15091088 CO - ATMOCZ

Enyoh CE, Maduka TO, Rana SM, Osigwe SC, Ihenetu SC, Wang Q. Chemicals from Brominated Flame Retardants: Analytical Methods, Occurrence, Transport and Risks. *Appl Sci.* 2024;14(17):7892. doi:10.3390/app14177892 CO - ASPCC7

Enyoh CE, Ovuoraye PE, Rabin MH, Qingyue W, Tahir MA. Thermal degradation evaluation of polyethylene terephthalate microplastics: Insights from kinetics and machine learning algorithms using non-isoconversional TGA data. *J Environ Chem Eng.* 2024;12(2):111909. doi:10.1016/j.jece.2024.111909 CO - JECEBG

Enyoh CE, Qingyue W. Modeling of multicomponent adsorption equilibria of phenol and ciprofloxacin on pristine, acid-modified and thermo-oxidatively-aged polyethylene terephthalate microplastics. *Cambridge Prism Plast.* 2024;2:e21. doi:DOI: 10.1017/plc.2024.23

Enyoh CE, Wang Q. Adsorption of ciprofloxacin from aqueous solution by plastic-based adsorbents: a review. *Int J Environ Anal Chem.* 2024;104(16):4557-4577. doi:10.1080/03067319.2022.2106432 CO - IJEA3

Enyoh CE, Wang Q, Wang W, et al. Sorption of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) using Polyethylene (PE) microplastics as adsorbent: Grand Canonical Monte Carlo and Molecular Dynamics (GCMC-MD) studies. *Int J Environ Anal Chem.* 2024;104(12):2719-2735. doi:10.1080/03067319.2022.2070016 CO - IJEA3

Masuda G, Akuta S, Wang W, Suzuki M, Honda Y, Wang Q. Study on Fast Liquefaction and Characterization of Produced Polyurethane Foam Materials from Moso Bamboo. *Materials (Basel).* 2024;17(15):3751. doi:10.3390/ma17153751 CO - MATEG9

Sharmin S, Wang Q, Islam MR, et al. Assessment of Health Risks from Agricultural Soils Contaminated with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Across Different Land-Use Categories of Bangladesh. *Appl Sci.* 2025;15(1). doi:10.3390/app15010056

Maduka TO, Qingyue W, Enyoh CE, Wang W. Phytochemistry, traditional applications, and pharmacology of *Thujaopsis dolabrata* wood: A comprehensive review with emphasis on extraction techniques. *Ind Crops Prod.* 2024;217:118822. doi:10.1016/j.indcrop.2024.118822 CO - ICRDEW

Enyoh CE, Wang Q. Combined experimental and molecular dynamics removal processes of contaminant phenol from simulated wastewater by polyethylene terephthalate microplastics. *Environ Technol.* 2024;45(6):1183-1202. doi:10.1080/09593330.2022.2139636 CO - ENVTEV

Enyoh CE, Maduka TO, Suzuki M, Lu S, Wang Q. Thermoanalytical and Kinetic Studies for the Thermal Stability of Emerging Pharmaceutical Pollutants Under Different Heating Rates. *J Xenobiotics.* 2024;14(4):1784-1806. doi:10.3390/jox14040095 CO - JXOEA4

Takayama T, Otsu T, Yamaguchi S. Theoretical and experimental OD-stretch vibrational spectroscopy of heavy water. *J Chem Phys.* 2024;160(10):104504. doi:10.1063/5.0200623 CO - JCPSA6

Kodama K, Obata M, Hirose T. Enantioseparation via Chiral Supramolecular Gels Comprising Ambidextrous Gelators Based on  $\beta$ -Peptide-type Primary Amines. *Chempluschem.* 2024;89(8):e202400021. doi:10.1002/cplu.202400021 CO - CHEMM5

Kodama K, Kondo Y, Katayama K, Yanagisawa M, Hirose T. Enantiomer separation of 2-halomandelic acids via diastereomeric salt formation with chiral N-substituted 2-amino-2-phenylethanol. *Chirality.* 2024;36(2):e23630. doi:10.1002/chir.23630 CO - CHRLEP

Maeda M, Shioda Y, Fujimori A. Creation of Quasi-DNA Origami at the Air/Water Interface Using the Collapsed Mechanism of Langmuir Monolayer. *ChemistrySelect.* 2024;9(14):e202400063. doi:10.1002/slct.202400063 CO - CHEMUD

Yamagishi Y, Sakamoto S, Hasunuma Y, Fujimori A. Characterization of Langmuir Monolayers for Nanodiamonds Surface-Modified with 12-Hydroxystearyl Chains and the Occurrence of Structural Colors. *ChemistrySelect.* 2024;9(36):e202403262. doi:10.1002/slct.202403262 CO - CHEMUD

Sugita S, Nakada R, Rumon RH, Fujimori A. Formation of two-dimensional mixed monolayers of integrated-cellulose nanofibers and starch nanoparticles using cellulose acetate and soluble starch. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp.* 2024;696:134268. doi:https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.134268

Otsuki Y, Terui R, Shibasaki Y, Fujimori A. Formation of interfacial molecular film and metal-trapping function of azacalixarene-containing copolymers having spherulite-forming ability. *Polym Eng Sci.* 2024;64(6):2917-2927. doi:10.1002/pen.26735 CO - PYESAZ

Yamada Y, Hasunuma Y, Yamagishi Y, Kai X, Fujimori A. Adsorption of lysozyme onto the single-particle layer of the organo-modified nanodiamond and its functional maintenance at high temperatures. *Colloids Surfaces, A Physicochem Eng Asp.* 2024;692:133950. doi:10.1016/j.colsurfa.2024.133950 CO - CPEAEH

Terui R, Otsuki Y, Shibasaki Y, Fujimori A. Metal-desorption and selective metal-trapping properties of an organized molecular film of azacalixarene-containing copolymer with spherulite-forming ability. *Bull Chem Soc Jpn.* 2024;97(5):uoae050. doi:10.1093/bulcsj/uoae050

Xu K, Chu P, Rumon RH, Fujimori A. Tensile and bending properties of sandwich films of carbon fiber reinforced thermoplastics-polypropylene sheet processed by a simple hot-press method. *SPE Polym.* 2024;5(4):680-692. doi:10.1002/pls2.10153 CO - SPPOCG

Nakada R, Sugita S, Rumon RH, Fujimori A. Creation of Organic/Inorganic Hybrids in Two-Dimensional Organized Films Using Natural Materials and Control of Their Morphology. *ChemistrySelect.* 2024;9(17):e202400376. doi:10.1002/slct.202400376 CO - CHEMUD

Shioda Y, Fujii I, Fujimori A. Morphological control of bicontinuous phase-separated patterns by preparing mixed monolayers using non-amphiphilic s-triazine derivatives with three fluorinated chains. *J Fluor Chem.* 2024;279:110351. doi:https://doi.org/10.1016/j.jfluchem.2024.110351

Chu P, Harada K, Xu K, Fujimori A. Preparation and mechanical properties of fluoropolymer composite containing polyrotaxane and nanocellulose as organic fillers. *Polym Eng Sci.* 2024;64(1):142-153. doi:10.1002/pen.26535 CO - PYESAZ

## 編集後記

2024 年度も、多くの利用者の皆様ならびに関係各位の温かなご支援のおかげで、大きなトラブルなく無事に年度を終えることができました。装置講習や依頼分析に尽力いただいた総合技術支援センター関係者の皆様、機器の維持・管理にご協力いただいた大学関係者や企業の皆様に、深く感謝申し上げます。また、学内外の利用者の皆様には、日頃より分析機器を丁寧に取り扱いいただき、円滑な運営に多大なご協力を賜りましたこと、心より御礼申し上げます。

2024 年は、国内外で社会や技術の在り方を考えさせられる出来事が多くありました。特に、生成 AI をはじめとする人工知能技術の急速な進化は、研究・教育のみならず、社会全体に大きな変革をもたらしました。その一方で、AI の利用に関する倫理や安全性、知的財産権をめぐる議論が国内外で活発化し、技術の発展と社会的責任の両立が強く意識される年ともなりました。

また、日本では 20 年ぶりとなる新紙幣の発行が行われ、高度な偽造防止技術や精緻な印刷技術が注目を集めました。微細加工技術や光学技術など、科学技術の粋が結集した新紙幣は、私たちの日常生活の中に最先端技術が息づいていることを改めて実感させる出来事でした。

さらに科学技術分野に目を向けると、AI の研究応用の拡大に加え、宇宙探査や生命科学、量子技術など多様な分野で着実な進展が見られました。こうした成果は、研究環境を支える分析機器の重要性を再認識させるとともに、私たちの教育・研究活動においても、新たな挑戦への原動力となっています。

末筆ではございますが、本機関誌の発刊にあたり、ご多忙の中ご寄稿いただいた皆様、ならびに編集・レイアウトや印刷業者との調整など、多岐にわたる業務を担ってくださった新美智久主任技師に、心より感謝申し上げます。2025 年度も、教育および研究のさらなる発展を支える基盤として、より良い運営を目指して邁進してまいります。今後とも変わらぬご支援とご協力を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

(文責 機関誌編集委員長)

### CACS FORUM

埼玉大学研究機構 科学分析支援センター機関誌

No. 16 2025. 12

発行者 埼玉大学研究機構 科学分析支援センター  
さいたま市桜区下大久保 255  
URL <http://www.mlsrc.saitama-u.ac.jp/>  
TEL 048(858)3670 (ダイヤルイン)  
FAX 048(858)3707



科学分析支援センター

明を行ってきた。量子振動効果においては、キラル結晶の空間反転対称性の破れに起因するフェルミ面のスピン分裂が明瞭に観測されており<sup>18</sup>、また、スピン分裂したフェルミ面の一部に縮退が残ることから特異な磁気破壊効果が観測されることも明らかになりつつある。ARPES 実験においては、 $\text{YPt}_2\text{B}$  単結晶の電子状態の直接観測に成功しており、スピン分裂したエネルギーバンド構造や Kramers-Weyl 点の構造について研究を進めている。また、スピン分解 ARPES 実験を通して、電子状態のスピン構造を検証することも可能であり、実験を進めている。

加えて、キラル金属では特異な電子状態に起因して、興味深い電子輸送現象が現れることがある。一例として、 $\text{LaPt}_2\text{B}$  単結晶における横型熱電効果について議論したい。横型熱電効果は、熱流に対して直交方向に電圧が生じる現象で、熱流と電圧が同じ方向で相互変換される従来型の熱電材料の欠点を克服するメカニズムとして着目されている。 $\text{LaPt}_2\text{B}$  は、面間方向に沿った一次元的ならせん構造と、La-Pt 層と B 層が交互に積層した二次元的な構造が共存する特徴的な結晶構造を有する。筆者らは、 $\text{LaPt}_2\text{B}$  が、特徴的な結晶構造に起因して、擬一次元的なホールフェルミ面と擬二次元的な電子フェルミ面を持つことを第一原理計算および量子振動実験から明らかにした。熱と電気の相互変換効果である熱電効果は、伝導キャリアの種類を反映する物理量であるから、 $\text{LaPt}_2\text{B}$  においては、次元性の異なるホール面・電子面の共存により、面内方向と面間方向でゼーベック係数の符号が異なる軸依存性伝導極性が観測される<sup>14</sup>。この時、熱流を面内方向と面間方向の間に印加すると、熱電能テンソルの非対角項が有限になるため、横型熱電効果が現れる。一般に、横型熱電効果は、系の時間反転対称性を破る時にネルンスト効果として現れることが知られているが、軸依存性伝導極性を有する物質における横型熱電効果は時間反転対称性を保った状態で観測される現象である。 $\text{LaPt}_2\text{B}$  はネルンスト効果を示す物質群と比較しても高い横型熱電性能を示す<sup>14</sup> ことから、軸依存性伝導極性を利用した横型熱電材料は高性能な熱電素子の有望な候補物質である。

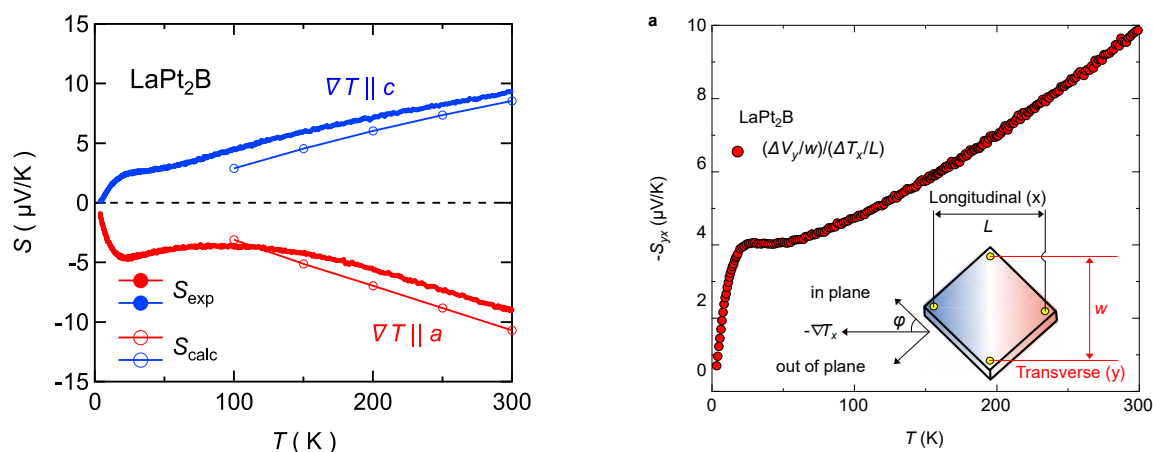


図2 (左図)  $\text{LaPt}_2\text{B}$  単結晶のゼーベック係数の温度依存性。面内方向と面間方向の間で軸依存性伝導極性を示す。(右図) 熱電能の軸依存性伝導極性に起因する横型熱電効果<sup>14</sup>

#### 4. おわりに

本稿では、キラル結晶における特異な磁性・電子状態に関して、筆者らの研究を含めて雑多に紹介した。キラル結晶の物理的性質に関する研究は、様々な観点から研究が積み重ねられており、それに伴って新しい研究の方向性が数多く提案されている。今後は、筆者が得意とする単結晶育成技

スクロマトグラフ質量分析装置の場合の注入法はヘッドスペース法一択であった。これに対して、Agilent 5977C GC/MSD では、排水分析用カラムではヘッドスペース法を、依頼分析用カラムではオートサンプラーによる液打ちを使用することができる。ヘッドスペース法は、密閉容器中の試料を加熱し、蒸発して容器上部にたまった気体を採取、分析する方法で排水分析によく用いられる。液打ちは、試料注入口に液体試料を直接注入する方法である。液打ちについてはさらに、オートサンプラーにより複数の試料を順番に自動的に注入することが可能である。また、オートサンプラーを取り外して、自分で試料を注入することも可能である。

## デュアルカラム

デュアルカラムはクロマトグラフ内に 2 つのカラムを装着することができるシステムである。一般的なクロマトグラフでは測定用カラムを 1 つしか装着できない。しかし、Agilent 5977C GC/MSD は性質の異なる 2 つのカラムを装着して、用途に応じて使い分けることができる。さらに、Agilent 5977C GC/MSD にはニューマティクス切り替えデバイス (PSD) という流路を切り替えるデバイスが備わっている。PSD を用いることで利用者はメソッドを変更するだけで、排水分析用カラムから依頼分析用カラムに流路を切り替えることができる。そのため、装置を排水分析に使用していないときは、依頼分析用カラムで依頼分析に対応することができ、教育・研究にも有効活用できる。

依頼分析用カラムを使用するときは、図 1 のような流れで試料が導入される。まず、オートサンプラーによって依頼分析用カラムに注入された試料は、PSD を通って質量分析部に導入される。カラムの保護のため、排水分析用カラムにも少量のヘリウムが流れているが、これも質量分析部に導入される。ただし、排水分析用カラムについてはヘッドスペースサンプラーで試料を導入するため、液打ちのように試料でカラムが汚染されることがほとんどなく、依頼分析用カラムの測定結果に影響を与えることはない。

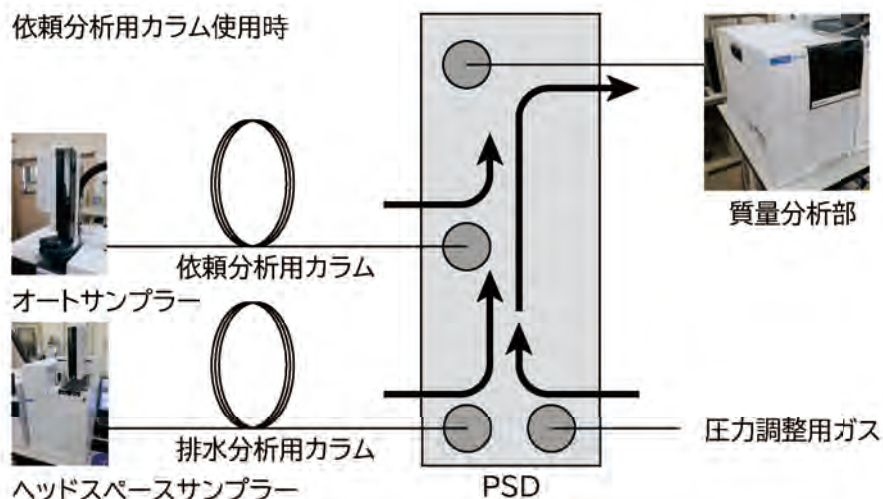


図 1 依頼分析用カラムを使用しているときのヘリウムの流路

排水分析用カラムを使用するときの流れを図 2 に示す。ヘッドスペースサンプラーによって排水分析用カラムに注入された試料は、PSD を通って質量分析部に導入される。排水分析用カラムを流れるヘリウムの一部は PSD によって依頼分析用カラムを逆流するように流れる。この逆流により依頼分析用カラムが汚染していても、汚染物が質量分析部に届くことがなく、排水分析用カラムの結果に影響を与えることはない。

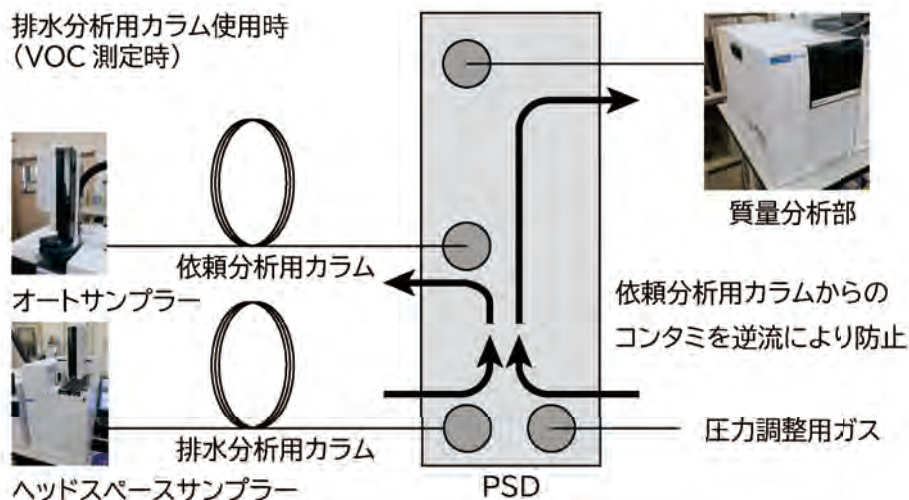


図 2 依頼分析用カラムを使用しているときのヘリウムの流路

### NIST ライブラリー

測定・解析用 PC には解析用データベースとして「NIST ライブラリー」がインストールされており、これを使ったデータ解析が可能である。測定データ中に未知のピークが検出されても「NIST ライブラリー」で検索を行うことで、未知のピークについて可能性が高い順に化合物をリストアップすることができる。これまでのガスクロマトグラフ質量分析装置では標準物質以外のピークが検出されても、それがどのような化合物か推測することができなかつた。しかし、「NIST ライブラリー」により今まで判別不能だった成分の分析が可能となり、これまでより厳密な排水分析が可能となる。

### ヘリウム不足対策

一般的にガスクロマトグラフ質量分析装置は待機時でもヘリウムを流していなければならない。しかし、2012 年に発生した世界的なヘリウム供給不足は未だに解消されておらず、ヘリウムを使用する機器はその維持が困難になってきている。Agilent 5977C GC/MSD はヘリウム供給不足に対応するため、待機時はヘリウムの代わりに窒素を流すことでヘリウムの消費を抑える機構を備えている。

測定が終了すると自動的にヘリウムから窒素に切り替わるので、測定している間以外はヘリウムを消費することがない。加えて、窒素からヘリウムに戻す際は短時間で戻すことができるため、急に装置を使用する必要にせまられた場合もすぐに対応が可能である。

### 容易なメンテナンス

ガスクロマトグラフ質量分析装置は、測定するたびにイオン源が試料によって汚染されていく。そのため装置の性能が徐々に低下していく。装置の性能を維持していくためには定期的にイオン源を分解、洗浄する必要がある。Agilent 5977C GC/MSD はイオン源を構成する部品が少なく、分解、洗浄にかかる労力が大変少なくて済む。またイオン源の洗浄にくわえて、カラム交換や真空ポンプ等数多くのメンテナンス作業のやり方を解説する動画が付属しているため、文字や写真ではわかりにくいメンテナンス作業を容易に理解することができる。

その結果、今までガスクロマトグラフ質量分析装置の維持管理に費やす労力を他の分析装置の保守管理に振り向けることができる。