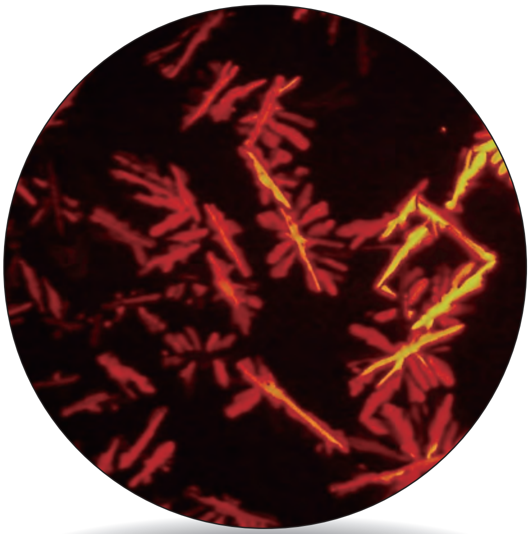
CACS FORUM

Comprehensive Analysis Center for Science, Saitama University



No. 10 2019
CODEN: CFAOBY

目　次

《巻 頭 言》
CACS FORUM No.10 発行に寄せて …… 研究機構長 伊藤 修 ……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

《マイレビュー》
分子シャペロンに魅せられて …… 理工学研究科生命科学部門 仲本 準 ……6

《若手研究者の紹介》
リン酸配位子が形成する配位高分子における
非通常系列のランタノイドイオン交換特性 …… 理工学研究科物質科学部門 半田 友衣子 …30

《forum in FORUM》
電子顕微鏡観察のための凍結技法 …… 科学分析支援センター 辻 季美江 ……34
小型蛍光寿命測定装置 Quantaurus-Tau の紹介 …… 科学分析支援センター 藤原 隆司 ……38

《セミナー》
Tea in Thailand: Opportunity and Challenge
日本茶葉の現状と今後の方向および海外茶産地のお茶事情…… 科学分析支援センター 藤原 隆司 ……39

《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 ……40
2018 年度動物慰霊式 …… 科学分析支援センター 古館 宏之 ……48
2018 年度科学分析支援センター活動日誌 ……49
2018 年度科学分析支援センター活動報告書 ……61
2018 年度機器等利用実績まとめ ……75
2018 年度科学分析支援センター機器等を使用した受賞 ……87
2018 年度科学分析支援センター機器使用研究業績 ……89
編集後記

表紙の写真の説明
中央　測定機器　小型蛍光寿命装置 Quantaurus-Tau
右下　試　　料　雪印組織を示すカラムナー液晶材料
　　　　　　　　科学分析支援センター　講師　安武幹雄氏　提供
左下　講　　習　核磁気共鳴装置 AVANCE500

《巻頭言》

CACS FORUM No.10 発行に寄せて

研究機構長　伊藤　修

科学分析センター機関誌『CACS FORUM』の，節目となる No.10 発行を祝いたいと思います．

本センターの前身「分析センター」が昭和 55（1980）年に設置されて以来，今年で 39 年を数え，機関誌も本誌の前身時代から毎年度，研究に関する記事の掲載が積み重ねられてきました．その全体像はホームページ（http://www.mlsrc.saitama-u.ac.jp/）で見ることができます．

ホームページでは，本センターの「概要」として，次のように述べられています．

「学内共同利用施設として，各種の物性測定を通して教育・研究のために利用されるほか，分析技術の研究，開発を行うという（中略）役割を担うため，センターには各種高性能の分析装置が設置され，運営委員会の統括のもとに専門委員と指導者によって管理運営されています．」

高度の装置とスタッフによって，薬品の管理，実験廃棄物の回収のほか，学内・学外からの依頼分析を受け付けるとともに，分析技術の研究・開発が積み重ねられているわけです．これらの活動の具体的中身は，本誌に詳しく報告されています．センター・スタッフのご尽力がさらに重ねられ，学内外の研究者等による活用とその成果がますます向上することを，念願いたします．

＊　　　　＊　　　　＊

さて以下では，昨年度と同様，この場をお借りして，大学での研究の現状と今後の方向について，個人的な考えを簡単に述べさせていただきたいと思います．

教育・研究は「百年の計」だと思います．とりわけ現在は，AI の開発と応用が急激に進みつつあり，これまで考えもしなかった社会の変化がどんどん現実になりそうな勢いです．自動車は電気自動車や自動運転に向かって，これまた従来の常識とは違った姿に変わってしまいそうですし，エネルギーも再生可能エネルギーの比重を画期的に上げなければならない課題が待ったなしです．もちろん，特定の理工系の技術だけでなく，それらを社会的に誤りなく，人類の厚生向上につながる内容で構想し運用する人文社会的な知恵もますます重要になるでしょう．日本は，人口の急速な減少，経済成長の深刻な停滞という困難な条件に陥っているのですから，上記のようなイノベーションの実現，そして社会的悪循環構造の克服は，他の国々にも増して重要，死活問題であるはずです．

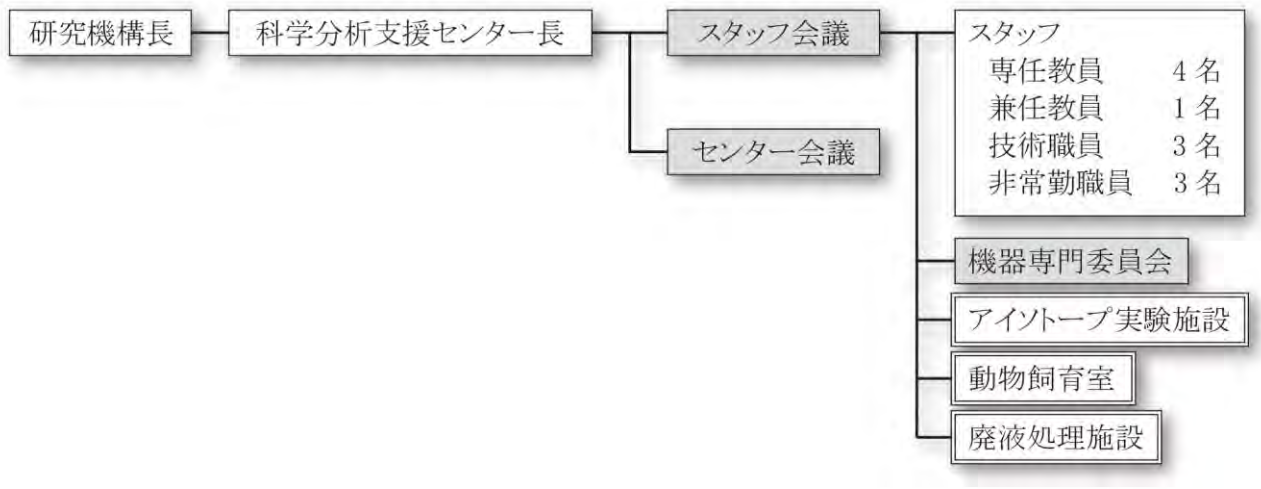
このように重要となっている教育・研究が，「もっと効率的に・安上がりに」「競争の圧力をかけて絞り上げ，尻を叩け」という一部の考え方のもとで，危機に瀕しています．これこそ真の危機です．われわれは，しかしこの悪環境に屈せず，流されず，真理追求の歩を進めたい．それが使命だと考えます．

研究は大学というものの根本の根本であり，大学の力を上げるとは，「埼玉大学といえば○○の分野では△△先生がいるところ」という評価で満たすこと．あらためて，本学の全研究者一人一人が努力を傾注しようではありませんか．その環境のサポートについても，昨年来の「時間回復プロジェクト」による研究時間のひねり出し，URA や研究プロジェクト資金支援の体制強化，AI 自動翻訳システムの導入など，きわめて限られた資源を可能な限り動員して全力で措置しようとしています．十二分の活用を願いたいと思います．科学分析センターの一層の活躍，そして有効に活用されることも，その一翼を担うものです．

以上，呼びかけの機会とさせていただくことも兼ねて，巻頭の挨拶といたします．

《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

2019 年 4 月 1 日現在

氏 名	所 属	任 期
三浦 勝清	科学分析支援センター(応用化学科) 教授	2020 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	
安武 幹雄	科学分析支援センター(応用化学科) 講師	
道村 真司	科学分析支援センター(物理学科) 助教	
古舘 宏之	科学分析支援センター(生体制御学科) 助教	
松岡 聡	科学分析支援センター(分子生物学科) 講師(兼任)	
富岡 寛顕	教育学部 教授	2020 年 3 月 31 日
小坂 昌史	理工学研究科(物理学科) 准教授	2020 年 3 月 31 日
佐藤 大	理工学研究科(基礎化学科) 講師	2020 年 3 月 31 日
是枝 晋	理工学研究科(分子生物学科) 講師	2020 年 3 月 31 日
津田 佐知子	理工学研究科(生体制御学科) 助教	2020 年 3 月 31 日
荒木 稚子	理工学研究科(機械工学科) 准教授	2020 年 3 月 31 日
田井野 徹	理工学研究科(電気電子物理工学科) 准教授	2020 年 3 月 31 日
石丸 雄大	理工学研究科(応用化学科) 准教授	2020 年 3 月 31 日
小林 裕一	オープンイノベーションセンター 教授	2020 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	○	○	○
電子常磁性共鳴装置	前田　公憲	○	○	○	○	○
Pulse 電子常磁性共鳴装置(Laser)	前田　公憲	×	○	○	○	×
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	×	○	○	○	○
X 線光電子分析装置	齋藤　由明	×	○	○*4	○	○
示差走査熱量分析装置	安武　幹雄	○	○	○	○	○
示差熱重量／熱機械分析装置	安武　幹雄	○	○	○	○	○
走査型プローブ顕微鏡	田井野　徹	○	○	○	○	○
高分解能走査電子顕微鏡	徳永　誠	△*2	○	○	○	○
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	×	○	○	○	○
超高分解能走査型電子顕微鏡	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）	金子　康子	×	○	○	○	○
共焦点レーザー顕微鏡	古舘　宏之	△*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	○	○	○	○	○
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	○	○	○	○	○
蛍光 X 線分析装置	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	×	○	○	○	○
CCD 型単結晶構造解析装置	藤原　隆司	×	×	△*2	○	○
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	石川　良	△*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	○	○
超音波顕微鏡	荒居　善雄	○	○	○	○	×
微小材料試験機	荒居　善雄	○	○	○	○	×
モアレ干渉計	荒居　善雄	○	○	○	○	×

オスミウムコーター	徳永　誠	×	○	○	○	×
高圧凍結装置	徳永　誠	×	×	×	○	○
急速凍結装置	徳永　誠	×	×	×	○	○
凍結ウルトラミクロトーム	徳永　誠	×	×	×	○	○
ウルトラミクロトーム	徳永　誠	×	○	○	○	○
プラズマクリーマー	徳永　誠	×	×	×	○	×
有機微量元素分析装置	加藤　美佐	×	×	×	×	○

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．

《マイレビュー》

分子シャペロンに魅せられて

Fascinated by molecular chaperones

理工学研究科生命科学部門　仲本　準
Graduate School of Science and Engineering
Hitoshi Nakamoto

1．はじめに

平成元年に埼玉大学に赴任した．その平成が終わり令和になり，退職までいよいよ残すところ 1 年余りになって，このような執筆の機会が与えられて，CACS forum 編集部の方々に感謝している．今までに二回（2002 年と 2010 年），CACS forum に執筆させてもらったが，今回は，埼玉大学における研究・教育活動の中で，特に分子シャペロンに関するものを総括しながら書き進めたい．

2．光合成から分子シャペロンへ

2．1．光合成暗反応から明反応へ

筆者は，平成元年（1989 年）に埼玉大学の専任講師に採用され，理学部生化学科檜山哲夫教授が主宰されていた代謝学研究室で光化学系 I 色素タンパク質複合体（PSI）の研究に携わることになった．当時生化学科には，檜山先生と金井龍二先生が所属され，光合成「明」反応と「暗」反応の研究において，影響力のあるはたらきをされていた．赴任当時，檜山先生は，その構造がまだ十分に解明されていなかったPSIをホウレンソウから単離して，その構成タンパク質の分離・同定を行っておられた．理化学研究所の井上頼直博士とも共同研究をされていて，月 1 回程度井上先生の研究グループと合同でゼミをもっていた．井上先生も光合成（特にPSII）研究の第一人者で，大変恵まれた環境で研究を始めることができた．赴任後，檜山研の卒論や修士論文を片端から読んで，ホウレンソウを材料にして実験し，結果をまとめて学術雑誌に投稿したが不採択の通知をもらった．それまで不採択通知をもらったことがあまり無かったので大変落ち込んだ．

2．2．生化学から分子遺伝学的研究へ―ロシュ分子生物学研究所 Nelson 研で修業―

この論文は PSI 構成タンパク質に関する生化学的解析結果をまとめたものであったが，PSI のような膜タンパク質複合体を精製し，各タンパク質の機能を生化学的に明らかにするのは難しいので，PSI を構成する各タンパク質をコードする遺伝子を破壊した変異株を作製して，その変異 PSI の解析をした方が良いのではないかと考えた．遺伝子ターゲティングによって標的遺伝子を破壊するわけであるが，そのためには全く経験のなかった遺伝子組換え実験法を習得する必要があった．そのために，東京大学の宮地重遠先生の研究室で助手をされていた福澤秀哉博士（現京都大学教授）のところに頻繁に通っていたが，金井先生から研究室を留守にして駄目じゃないか，と厳しく叱責された．しかし，その金井先生が日米科学協力事業に申請したらどうかと勧めてくださった．当時，シアノバクテリアの PSI 構成タンパク質の遺伝子破壊を行っていた数少ない研究者の一人である米国ロシュ分子生物学研究所（Roche Institute of Molecular Biology）の Nathan Nelson 博士（現テルアビブ大学教授）に打診したところ，分子遺伝学の門外漢で，わずか 5 か月間という滞在期間にもかかわらず，受け入れてもらえることになった．上記の科学

協力事業の研究者派遣に申請したところ，幸い採択され，1991 年夏から 5 か月間の出張を許された．Nelson 博士は，故 Efraim Racker 教授とも大変親しく（自宅で Racker 教授の絵を拝見させてもらったことがある），ATPase，神経伝達物質輸送体などの膜タンパク質研究の世界的権威である．もう15年前のことになるが，教授の論文の総引用数は，15,000 回を超えていた．今年 5 月の国際会議でお会いしたが，まだ自分で結晶構造解析の実験をしていると聞いた．

しかし，研究室での毎日は（詳細は省くが）困難の連続であった．例えば，（おそらく筆者の実験技術を疑ったのだろうと思うが）研究室では，技官からピペットマンの使用法まで指導されるような状況で，「バカにしやがってクソッタレ」を心の中で繰り返しながら，死に物狂いで5か月間実験して，遺伝子ライブラリー（シアノバクテリアのゲノム DNA の断片が，網羅性高くプラスミドやファージに組み込まれたもの）からの目的遺伝子のスクリーニング（目的遺伝子を含むクローンを選び出すこと）と，サンガー法による DNA 塩基配列決定法を学んだ．当時（1990 年代初期）は，遺伝子をクローニングしたというだけで，その論文が学術雑誌に採択された時代であったが，PSI の構成タンパク質である PsaL をコードする遺伝子やフェレドキシンの遺伝子などをクローニングした．このようなストレスが高じるような状況下で，時折話し相手になってくださったのが，研究室は異なるが，高田慎治博士（現基礎生物学研究所教授）であった．実験の合間に，（今は高校生物の教科書に記載される）PCR の原理を懇切丁寧に教えてもらったことを憶えている．

帰国後の 1 年間は学生指導を免除してもらって，経済的な制限はあったが，可能な限り Nelson 研で用いた器具や装置等をそろえ，実験ノートを見ながら，出張中に学んだ方法を復習した．実験条件はもちろんのこと，方法（の詳細，例えば，凍結試料の溶解法，遠心機や遠心管等の種類など些細に思えることを含む）が少しでも異なると，その実験結果は前の結果と（大きく）異なったものになりうる．自分自身が経験したこのようなことを，研究室の学生に繰り返し言ってきたが，傾聴・理解する学生が少なくなってきた（そのために再現性の良い結果を得られず成果もでない）ように感じる．学んだことを復習しながら，PSI 遺伝子の一つ（*psaI*）を破壊し，変異株の表現型を解析して論文を書いたところ，この単著の論文は Plant and Cell Physiology にすぐに採択された（1995 年）．その後，PSI 関係の遺伝子クローニング，遺伝子破壊株作製と表現型解析は，鈴木豊子さんと長谷川みきさん（1994 年度卒業論文，1996 年度修士論文）とともに続けた．二人は修了後，それぞれミカン箱「一杯」分の，実験ノートを研究室に残して行った．それらを見ながら，彼女らがひたむきに実験を行っていた日々を思いだす．

２．３．光合成から分子シャペロン研究へ―偶然の産物による研究の方向転換―

上記の出張から帰国後，檜山先生の指導を受けていた古木正人君が，PSI 構成タンパク質の遺伝子をクローニングするつもりが，「*groEL* 様」遺伝子[正確には，オープンリーディングフレーム（ORF）あるいはタンパク質に翻訳されうる配列]を単離したことを知った．これが彼の修士論文（1992 年度）になった．この ORF は，代表的な分子シャペロンである大腸菌 GroEL タンパク質と類似のタンパク質をコードしていたのである．おそらく，遺伝子ライブラリーのスクリーニング（上記）に用いたプローブ（目的遺伝子と相補的な配列をもつ DNA 断片）の塩基配列が適切にデザインされていなかったために，意図しない遺伝子をクローニングしたものと想像される．檜山先生から，これを論文にできないかと勧められて，分子シャペロンの研究を始めることになった．この偶然の産物によって私の研究の方向が全く変わってしまった．この続きは，以下の**4章**で詳しく述べる．その前に，**3章**で，分子シャペロンの説明をしておこう．なお，ここでは紙面の関係で十分説明できないが，分子シャペロンに興味をもたれた方は，拙著**「分子シャペロン」（コロナ社**，2019 年）を読んでいただければ幸いである．

３．分子シャペロンとは

英米の辞書によると，分子シャペロンの「シャペロン（chaperone）」という単語は，「他の人あるいは自分

よりも若い人に付き添って(正しいふるまいを保証するために)世話をする人」のことを意味する. シャペロンは, 正しいふるまいをしてふさわしい相手と結ばれるように世話をしていたのだろう.

「分子」シャペロンは,「(未成熟の)タンパク質が正しく折りたたみ, 相応しいタンパク質と相互作用して機能的な 4 次構造や複合体を形成する(成熟する)まで付き添い世話をする」分子(通常, タンパク質分子)のことを意味する.「分子シャペロン」という用語を,(生物学分野の)学術論文で最初に使用したのは Ronald A. Laskey(1978 年)と言われているが, 上記のような分子シャペロンの概念と重要性を提唱し, (molecular) chaperone というキーワードで検索すると～80,000 もの論文が現れる, 分子シャペロン研究の発展の礎を築いたのはイギリスの R. John Ellis である(1987 年). Ellis は最近, 分子シャペロンの解釈の幅を広げて,「他のタンパク質あるいは RNA の, 共有結合を介さない折りたたみ[フォールディング(folding)]とアンフォールディング, オリゴマーや複合体形成(アセンブリー)とそのディスアセンブリーを助けるが, これらが正常な生物学的機能を果たす時には, 機能的構造の永続的構成成分にはならないタンパク質である」(2013 年)と再定義している. 分子シャペロンは触媒的にはたらくと考えられていて, 通常, 基質タンパク質と一過的に相互作用する.

3.1. 試験管内(*in vitro*)と細胞内(*in vivo*)のタンパク質の折りたたみ

米国のアンフィンセン (Christian B. Anfinsen) は, リボヌクレアーゼ (RNase) という, アミノ酸 124 個からなる比較的小さく安定な酵素を精製し, これを変性剤によって失活させた後, その変性剤を (反応液から透析などで) 除くと, 変性前の酵素と物理化学的性質において区別のつかない, 活性を有する RNase を再生できることを示した. この結果は, 特定の立体構造をとらないタンパク質が, 自発的に折りたたみ, そのアミノ酸配列 (一次構造) に決定づけられた特有の立体構造と機能をもつようになることを示すものであった. なお, 尿素やグアニジン塩酸などの変性剤は, タンパク質の一次構造には影響せずに, その高次構造のみを破壊する.

このように, RNase などのタンパク質は「他の助けを借りずに自発的に」折りたたみ, 立体構造を形成する. この試験管の中 (*in vitro*) で起こる現象が, 細胞の中 (*in vivo*) でも同様に起こるものと長らく考えられていた. ところが, アンフィンセンの実験から 20 年以上もたった 1980 年代後半になって, 細胞の中の多くのタンパク質は分子シャペロンに介助されて折りたたむことがわかってきた. 大腸菌の細胞内のタンパク質と RNA の総濃度は～340 mg/mL と報告されているが, このように濃度が高いと, タンパク質間に「正しくない」相互作用が起こり, タンパク質は凝集しやすくなる. 即ち, 細胞の中では, タンパク質がそれ自身で正しく折りたたむことは困難で, 分子シャペロンの助けを必要とするのである.

3.2. 分子シャペロンの種類

さまざまな分子シャペロンが知られているが, 我々を含めて多くの研究者の注目を集めてきたのが, 進化的に保存された数種類の「代表的」分子シャペロンである. 代表的分子シャペロンは一群の相同なタンパク質からなるファミリーを形成する (**表 1**). これらは, ほとんどの生物に存在する, 非常に起源の古いタンパク質である. 細胞の中でも, サイトゾルに加えて, 核, ミトコンドリア, 葉緑体, 小胞体, ペルオキシソームなどの細胞小器官に検出され, 細胞の外にさえ存在する.

表 1. 進化的に保存された分子シャペロンファミリー，メンバーの名称，特徴

分子シャペロンファミリー	原核生物のメンバーの名称	高次構造	ATPase 活性	凝集阻止活性
Hsp60（シャペロニン）	GroEL	7 量体あるいは 8 量体のリング 2 個	○	○
Hsp70	DnaK	単量体	○	○
Hsp90	HtpG	2 量体	○	○
Hsp100	ClpB	6 量体	○	×
低分子量 Hsp	HspA, IbpA, IbpB	2～32（≧）量体	×	○

3.3. タンパク質に「生涯寄り添い介助する」分子シャペロン

リボソームで合成されたタンパク質は，正しく折りたたみ（機能的な立体構造を形成し），細胞内の適切な場所に移動し，他の化合物あるいはタンパク質などと相互作用し，役割を果たし，分解される．このような「タンパク質の一生」のどの段階においても，分子シャペロンが他のタンパク質に「寄り添い，その一生を全う」できるように助けている．

分子シャペロンは，細胞が高温に曝されると，熱ショックタンパク質（Hsp）として大量に合成される．高温以外にも，例えばヒ素やカドミウム，アミノ酸アナログ（類似物質），エタノール，低酸素などのストレスを引き起こす作用因子によっても，分子シャペロンは誘導される．これらの因子によって引き起こされる，タンパク質の変性や（変性タンパク質が集合して形成される）凝集を防ぎ，それが機能をもつ元の構造に戻るのを助けるのが分子シャペロンである．再生が不可能な場合には，その分解にも介在する．このように，分子シャペロンは細胞のタンパク質の恒常性の維持に深く関与する．

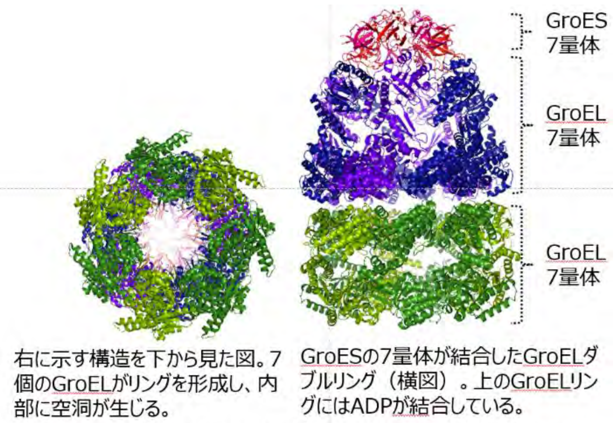


図1. GroEL-GroES-ADP複合体の構造。PDBID: 1pcq

3.4. 分子シャペロンの作用機作

分子シャペロンはどのようなしくみで，上に述べたようなはたらきをするのだろうか．ここでは，他のタンパク質の折りたたみを助けるしくみについて考えてみよう．

既に述べたように，細胞の中のタンパク質濃度が非常に高いために，他のタンパク質と「相応しくない」相互作用をして凝集すると，「ゆで卵（熱変性タンパク質凝集塊）が生卵にもどることはないように」正しく折りたたむのが困難になる．そこで，タンパク質の凝集を抑えれば，その折りたたみを助けることができる．

細胞とは異なり，通常の生化学実験で使用されるタンパク質溶液の濃度は非常に低く，他のタンパク質との相互作用が起こりにくく，自発的に折りたたむことがより容易である．そうであるならば，非天然構造（変性）タンパク質を 1 個ずつ隔離して相互作用しないようにすればよいではないかと考える読者がおられるかもしれない．実際，細胞ではそのようなことが起こっている．分子シャペロンの一つである GroEL（Hsp60/シャペロニン）は，7 個のサブユニットから成る筒状の構造（2 個の筒で機能する）を形成する（**図 1**）．この中に，変性（非天然構造）タンパク質が 1 個入り，同じく 7 個のサブユニットから成る GroES が，この筒の蓋をする．隔離されたタンパク質は，他のタンパク質と相互作用せずに，（凝集のおそれなく）折りたたむことができる．

隔離以外の方法としては，非天然構造タンパク質が他のタンパク質と相互作用して凝集する前に，分子シャペロン自身がそのタンパク質と相互作用して，凝集を防ぐという方法がある．後述するように，変性タンパク質と分子シャペロンの複合体は可溶性である．ほとんどの分子シャペロンがこのような凝集を阻止する活性をもっている（**表 1**）．

凝集に加えて，タンパク質が折りたたみを間違う（ミスフォールディング）こともある．この間違った折りたたみ状態がかなり安定なために，折りたたみの速度や収率が落ちたり，凝集が生じる．このような場合には，DnaK/Hsp70 などの分子シャペロンが，アンフォールド（フォールドの反対のはたらき）し，そのタンパク質がもう一度正しく折りたたむチャンスを与える．さらに，凝集しても，凝集塊を溶かす ClpB/Hsp100 のような分子シャペロンも存在する．

4．GroEL に導かれて分子シャペロン研究へ―シアノバクテリアの進化と非典型的 GroEL（Hsp60）―

2．3節で述べたように，古木君が好熱性シアノバクテリア *Synechococcus vulcanus* の *groEL* 様遺伝子を，偶然クローニングした（遺伝子バンク DDBJ に登録．Accession 番号は D17354）．後に *groEL2* と命名することになるので，ここでは最初から *groEL2* と呼ぶことにする．なお，（少なくとも我々の研究分野では）遺伝子名は最初を小文字にしてイタリックで表すのに対して，その遺伝子にコードされるタンパク質の名称は，遺伝子名を通常の書体にし，頭文字を大文字にして記す．また，研究材料に用いた *S. vulcanus* や後にでてくる *Thermosynechococcus elongatus* は，日本の温泉で単離されたシアノバクテリアである．

groEL2 の上流には，「お手本（モデル生物）」である大腸菌の *groEL* 遺伝子のように，*groES* は見つからなかった（**図 2**）．「典型的な」*groEL* は *groES* とオペロン（operon）を形成するのである．なお，オペロンとは，関連する機能を有する複数の遺伝子のかたまりで，一つのプロモーター（転写開始に関与する配列）によって転写が一緒に調節されるものをいう．*groEL2* の塩基配列から推定されるアミノ酸配列（GroEL2 の全長）を，大腸菌 GroEL のそれと比較するとかなり類似していた（57%同一）ので，大腸菌 GroEL と同様の機能をもつのではないかと考えられた．

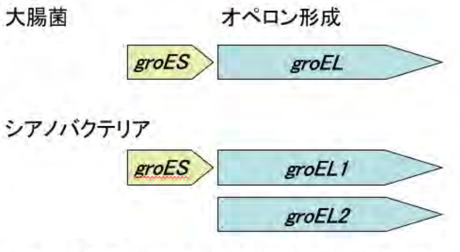


図2. 大腸菌とシアノバクテリアの*groEL*遺伝子

我々が単離した *groEL2* 遺伝子が大腸菌のそれと同じ機能をもつかどうかを調べるために，京都大学の伊藤維昭教授から譲り受けた大腸菌 *groEL* 変異株に，*groEL2* 遺伝子を導入して表現型（遺伝子のはたらきの結果つくられる生物の形質）を調べることにした．大腸菌 *groEL* は必須遺伝子であり，この遺伝子を欠損すると大腸菌は死ぬが，突然変異により，あるアミノ酸が変異した GroEL タンパク質を発現する変異株の中には，（変異型 GroEL が高温で機能不全になるために）ある温度以上では増殖できなくなる「高温感受性」を示すものが存在する．我々に分与された *groEL* 変異株は，37^{o}C では増殖するが 42^{o}C では不可能であった．1993 年度に他大学から進学してきた田中直樹君が，*groEL2* を組み込んだプラスミド（遺伝子の運び屋で，大腸菌の中で増殖する）を変異株に導入し大量発現させたが，変異株は依然として高温感受性であった．これは，この遺伝子が大腸菌 GroEL の代わりにはたらくことができないことを示唆するものであった．進化の過程で機能を失ってしまった偽遺伝子ではないかと心配したが，*S. vulcanus* を通常の培養温度である 55^{o}C から 63^{o}C の恒温槽に移す（熱ショック処理をする）と，*groEL2* の発現は誘導された（その mRNA 量が著しく増加した）．即ち，GroEL2 は熱ショックタンパク質（Hsp）の一つであることがわかった．

遺伝子塩基配列から推定された GroEL2 の分子質量は 57,103 Da（Da は質量の単位）であった．檜山先生は，当時概算要求で本学科に導入されたアミノ酸シーケンサーを用いて，SDS ポリアクリルアミドゲル電気泳動で分離された細胞破砕液タンパク質の中で，分子質量約 60kDa の Hsp の N 末端アミノ酸配

列がGroEL2のアミノ酸配列と一致することを明らかにされた．ただし，シーケンサーで得られたその配列は GroEL2 だけのものではなくて，もう一つ別のタンパク質のアミノ酸配列を含み，その配列も大腸菌GroELのそれに類似していた．即ち，*S. vulcanus*には二種類のGroELが存在することが示唆されたのである．*groEL2* の転写産物に加えて，その翻訳産物も検出できたので，*groEL2* に関する論文を書いてBiochimica et Biophysica Actaという雑誌に投稿したところ，すぐに採択された（1996年）．その時のeditorがGeorge H. Lorimer教授であった．教授は光合成のルビスコと呼ばれる酵素の研究における第一人者であったが，分子シャペロン（GroEL/Hsp60/シャペロニン）の研究でも歴史に残る仕事をしていた．自分の研究の方向を変える契機となる論文をLorimer教授に審査してもらえたのは嬉しかった．

４．１．シアノバクテリアの二種類のGroEL

論文の採択に勇気づけられて，分子シャペロンの研究を継続した．上に述べたように，GroEL2 とは異なる，もう一つの GroEL の存在が示唆された．田中直樹君は，修士論文（1994 年度）の一部として，この *groEL* 遺伝子をクローニングし *groEL1* と命名した（accession 番号は D78139）．この遺伝子上流には *groES*遺伝子が存在し，二つの遺伝子はオペロンを形成していた（**図 2**）．熱ショックにより，その転写量と翻訳産物は顕著に増えた．重要なことは，この遺伝子を（上に述べた）大腸菌 *groEL* 変異株に導入し発現させると，この変異株が42ºCで増殖するようになったことである．これらの結果から，シアノバクテリアには，大腸菌と同様のはたらきをする*groES/groEL1*オペロンに加えて，異なるはたらきをする*groEL2*遺伝子が存在することが示された．これらの結果を再びBiochimica et Biophysica Actaに報告した（1997年）．

なお，シアノバクテリアに複数の *groEL* 遺伝子が存在することを最初に報告した（1993 年）のは，ハンガリーの László Vígh 教授らで，我々は 2 番目であった．Vígh 教授らも常温性シアノバクテリア *Synechocystis* sp. PCC6803（以下PCC6803と略す）の*groEL1*は大腸菌*groEL*のはたらきを代替するが，*groEL2*はしないという，我々と同様の結果を報告している（2001 年）．

これら二つの*groEL*遺伝子は遺伝子重複の結果生じたものと考えられる．重複した遺伝子は，（まれに）新規機能を獲得する，あるいは二つの遺伝子が元の遺伝子の機能を分かち合うことにより，進化の過程で「生き」残ることがあるという．現在では，100 以上のシアノバクテリアのゲノム塩基配列が明らかにされているが，ほとんどすべてが複数（多くは二種類）の*groEL*遺伝子をもつ．このうちの一つは*groES*とオペロンを形成する*groEL1*遺伝子で，もう一つはオペロンを形成しない*groEL2*である．シアノバクテリアのゲノムに*groEL2*遺伝子は進化の過程で保存されてきたのである．

４．２．*groEL*の発現調節―CIRCE/HrcA系を介した負の調節―

シアノバクテリアの *groEL* 遺伝子の発現調節や機能に関する研究は皆無に近かった．そこで，遺伝子発現調節に関する研究をまず始めた．PCC6803株の二つの*groEL*遺伝子のプロモーター領域には共にCIRCEオペレーター配列（後述）があった．*S. vulcanus* の *groEL2* には無かったが，*groEL1* にはCIRCEが見つかった．これは，CIRCEを介して*groEL1*の転写調節が行われることを示唆するものであった．

ここで CIRCE の説明をしておこう．プロモーター周辺に存在するこの塩基配列（TTAGCACTC-N9-GAGTGCTAA）は，オペレーターとしてはたらき，これにリプレッサーである HrcA タンパク質が結合することで，RNAポリメラーゼが転写できないようにする．従って，CIRCE/HrcA系は，Hsp遺伝子の転写を負に調節する．熱ショックにより，HrcAは不活性化してCIRCEから解離するので，転写が起こるようになる．この負の調節は，ドイツバイロイト（Bayreuth）大学の Wolfgang Schumann 教授らによって，枯草菌で明らかにされた（1994 年，1996 年）．それまでは大腸菌で明らかにされたシグマ 32 因子（ストレス特異的シグマ因子）を介した正の転写調節が，さまざまなバクテリアの熱ショック応答の主たるメカニズムと思われていた．熱ショックにより，シグマ 32 因子の細胞内濃度と活性が一過的に増えるために，（これが特異的に認識する）熱ショックプロモーターをもつHsp遺伝子の転写が起こる．大腸菌の多くのHsp遺伝子の熱ショックによる転写誘導は，シグマ 32 因子によって一括して調節されている．Schumann 教授らの論文を，

片っ端から詳細に読んだことを記憶しているが，教授が国際会議出席のために来日された際（1998年7月）に，埼玉大学に招待し講演をしてもらった．同じ年に，Schumann 教授を訪問し学科セミナーを行った．それから今に至るまで，非常に親しく交流している．教授の紹介で，Andreas Horn 君が来日し我々のところで実験・研究を行った（2015 年バイロイト大学修士論文）が，欧米の大学の学生指導をしたのは，これが初めてであった．.

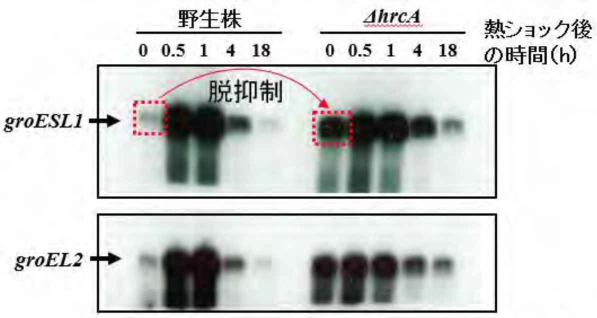


図3. 熱ショック後の2種類の*groEL*のmRNA蓄積

S. vulcanus のゲノム全塩基配列はまだ解析されず，CIRCE に結合する HrcA の遺伝子もクローニングされていなかったが，PCC6803 株のゲノムの全塩基配列は，当時既に決定されていて，枯草菌 HrcA と類似の配列をコードする ORF（２．３節）も見つかった．CIRCE/HrcA 系により，シアノバクテリアの *groEL* の転写が負に調節されることを明らかにするために，PCC6803 株の *hrcA* 遺伝子を破壊して，負の調節が解除（脱抑制）されるかどうかを調べることにした．これは，鈴木倫累君の修士論文（2001 年度）のテーマであった．彼は，たった一つではあるが，*hrcA* 変異株のクローンを取得し，その遺伝子が正しく破壊されていることも明らかにした．ただし，頑張り始めたのが就職先決定後なので，変異株の解析は同じ学年で博士課程に進学した小島幸治君が引き継いで行うことになった．

この *hrcA* 遺伝子破壊株（Δ*hrcA* 株）における *groEL* の mRNA 量をノーザンブロット法で解析すると，予想通り，平常時でも，それは顕著に増加していた（図 3）．しかしながら，この脱抑制は最大限に起こったわけではなく，「明所下で」熱ショック処理をすると，その発現量は，さらに上昇した．最初は若干量の上昇であるように見えたので，「無視」するという選択肢もあったが，再現性を確認し，プライマー伸長法による転写活性の定量等を行っても，確かに熱ショックでさらに増加することがわかった（実験技術が高く，実験を繰り返すことを厭わない学生さんに恵まれて幸いだった）．我々の結果は，CIRCE/HrcA 系以外の転写調節機構があることを示唆するものであった．

４．３．*groEL* の光・光合成電子伝達を介した新規な正の発現調節―K-box を介した調節―

CIRCE/HrcA 系以外の転写調節機構を解明するために，*hrcA* 変異株の熱ショック応答（*groEL1* の転写調節）を解析することにした．この研究は小島君の博士論文の一部となった．*hrcA* 変異株の熱ショック応答は，熱ショック前に *groEL1* の mRNA が相当量蓄積しているために，熱ショックによる増加量はそれほどでもない（図 3）．そのために，*groEL1* の mRNA 量の増減を感度良く解析できない．熱ショック前の *groEL1* 量を減少させることができるのではないかと期待して，変異株を（通常温度で）暗処理した．Asadulghani 君（2004 年度博士論文）や鈴木由起子さん（2000 年度卒業論文）が，*groEL1* などの Hsp 遺伝子の転写が暗所よりも明所で促進されること，光は光合成電子伝達を介して転写を活性化することなどを明らかにしていた（Biochemical and Biophysical Research Communications, 2003 年）ので，暗処理をすると *groEL1* の mRNA 量が減少すると考えたわけである．暗処理して（図 3 に示す，野生株の熱ショック前のレベルまで）減少した *groEL1* の mRNA 量は，野生株と同様に，熱ショックで増加した．*groEL1* の発現量は，光強度に依存して大きくなり，光合成電子伝達を阻害する DCMU の存在下では，その mRNA はほとんど増加しなかった．*groEL1* の発現は，高温に限らず常温でも光強度に依存して調節された．即ち，温度と光のそれぞれが，この新規な転写調節に関与するのである．

一般的に，転写調節に関与する領域（塩基配列）は，遺伝子の転写開始点（あるいは翻訳開始点）上流にあるので，*groEL1* の上流に特徴的な配列が無いかを調べたところ，異なるシアノバクテリア種由来の *groEL1* 間でよく保存された配列が見つかった．この配列（5′-GTTCGG-NNAN-CCNNAC-3′）を K-box と命名した（K はおそらく小島の K）．この配列を含む DNA 断片に結合するタンパク質を，ゲルシ

フト法（Electrophoresis Mobility Shift Assay あるいは略してEMSAとも呼ばれる）により検出しようとしたところ，K-box ではなく，さらにその上流にある GATCTA 配列に未知のタンパク質が特異的に結合することを発見し，それをN-boxと命名した．なお，ゲルシフト法とは，ポリアクリルアミドゲル電気泳動を利用して，DNA 結合タンパク質とその結合配列をもつ DNA 断片の相互作用を解析する方法で，タンパク質と結合した DNA 断片の（ゲル上の）移動度が小さくなる（シフトする）ので，このように呼ばれる．

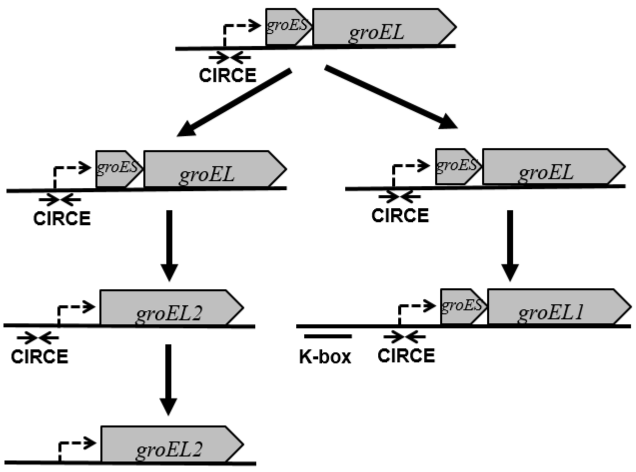


図4．シアノバクテリア*groEL*遺伝子の進化

４．４．*groEL* 遺伝子の進化仮説

CIRCEとK-boxの保存性を調べたところ，これらはさまざまなシアノバクテリアの *groEL1* において高度に保存されていたが，*groEL2* における保存性は低かった．多くの研究者が研究材料として用いる PCC6803 株においては，（例外的に）両方の *groEL* に保存されていた．興味深いことに，*Gloeobacter violaceus* は，二種類の *groEL* 遺伝子をもつが，どちらにも CIRCE が存在するにもかかわらず，K-box は存在しなかった．系統樹によれば，最も古く分岐したのは *G.violaceus* といわれている．このシアノバクテリアは光化学系のタンパク質をすべて細胞膜上にもち，細胞内にチラコイド膜は存在しない．さらにその光合成活性は低く，弱光でのみ生育するという．このようなことに基づき，以下の仮説を立てた．シアノバクテリアの祖先は，CIRCE オペレーター配列をもつ 1 種類の *groEL* 遺伝子をもっていたが，遺伝子重複によって二種類の *groEL* をもつものが出現し，（*G.violaceus* のように）それらの発現は CIRCE/HrcA 系によって調節されていた．CIRCE/HrcA 制御系は，さまざまなバクテリアに普遍的に存在することから，古くから存在したものと思われる．進化の過程でシアノバクテリアがチラコイド膜を獲得すると，光・光合成電子伝達を介した制御系が必要になり，K-box が現れたのではないかという仮説である（**図 4**）．増殖速度が速い方が，生存競争を勝ち抜く上で有利であるが，そのためにはより高い光合成活性が必要になる．光合成活性が高くなると，（集光と光合成電子伝達に伴う）活性酸素の産生量も大きくなり，ストレス耐性を付与する分子シャペロンがより多く必要になる．このようにして，光量に応じた新しい制御機構が必要になったのではないかと考える．

４．５．新規なシャペロニン GroEL2 のはたらき―*in vivo* の解析―

大腸菌 GroEL のはたらきを代替できないシアノバクテリア GroEL2 のはたらきは何であろうか．二つの GroEL が全く同じ機能をもつならば，二種類も遺伝子をもつ必要はないと考えられる．実際，さまざまなバクテリアのゲノム解析から，大腸菌や枯草菌を含む多くのバクテリアはただ 1 種類の GroEL を有する．

GoEL2 のはたらきを明らかにするために，*groEL2* 遺伝子破壊株を作製しようとした．大腸菌 *groEL* と同様に *groEL2* が必須遺伝子ならば，この遺伝子破壊株を作製することは不可能であるが，（愚かな教員の指導に従って）*groEL2* の遺伝子破壊に挑戦してくれたのが佐藤慎一郎君である（2006 年度修士論文）．その実験にもちいたのが，（*S. vulcanus* と類似しているが）形質転換が可能であると報告されていた *T. elongatus* である．このシアノバクテリアは，PCC6803 株のように外来 DNA が自然に取り込まれるわけではなく，エレクトロポレーション法（高電圧を短時間かけることにより細胞膜に微小な穴をあけ，細胞内に DNA を直接導入する方法）で導入するが，細胞の形質転換（外来遺伝子あるいは DNA により菌の性質が変わること）の効率が非常に悪い．なぜ形質転換がはるかに容易な PCC6803 株を用いなかったのか，よく覚えていない．これも教員の愚かさによるものかもしれない．形質転換は，東京大学の池内昌彦教授の研究室で実験法を学んできた小島君がやってもうまくいかなかったが，慎一郎君は，何度もトライをし

て，ついに1個のコロニー（形質転換株）を取得することができた．

シアノバクテリアには複数のゲノムコピーが存在するが，そのすべての *groEL2* は（抗生物質耐性遺伝子で）破壊されていた．つまり，大腸菌などの *groEL* とは異なり，必須遺伝子ではなかった．しかし，*groEL2* 変異株は高温感受性を示し，通常の培養温度 50ºC では野生株と変わらないが，62ºC では全く増殖しなかった．一方，この変異株は低温（40ºC）感受性も示した．野生株は，50ºC と比べると著しく遅い速度ではあるが，40ºC で増殖したが，変異株は増殖できなかった．*groEL2* は，*groEL1* とは異なり，低温ショック遺伝子でもあり，その発現が低温で誘導された．このような高温や低温感受性が，GroEL2 の欠損により，GroEL1 蓄積量が低下したために起こったことも考えられるので，GroEL1 タンパク質の発現量を調べた．*T. elongatus* の GroEL1 と GroEL2（これらのアミノ酸配列は，*S. vulcanus* のそれらと同一）のサイズは，わずかアミノ酸2個分の違いであり，これらを SDS-PAGE で分離するのは難しいが，慎一郎君は，この二つを分離できた．その結果，*groEL2* 遺伝子破壊株において，GroEL1 は（50ºC でも 40ºC でも）若干高発現（細胞における蓄積量が増加）していることがわかった．それにもかかわらず，温度感受性を示すのである．これは，GroEL1 が GroEL2 の機能を代替できないことを示唆するものであった（FEBS Letters, 2008 年）．

バングラデシュからの留学生である Saaimatul Huq さん（2010 年度博士論文）が常温性シアノバクテリア *Synechococcus elongatus* PCC7942（以下，*S. elongatus*）株の *groEL*2 遺伝子を破壊したが，この変異株も高温感受性を示した．さらに，強光や高塩感受性も示すことが明らかになった．このようなことから，*groEL2* は，ストレス下で，*groEL1* では代替できない重要なはたらきをするようになり，進化の過程で保存されてきたのではないかと考えている．なお，この *S. elongatus* の変異株では，低温感受性を観察することができなかった．なぜわざわざ形質転換が困難な *T. elongatus* を用いたのか理由が思い出せないと書いたが，このシアノバクテリアを用いなければ，GroEL2 が低温耐性に重要なはたらきをすることは発見できなかった．

４．６．分子シャペロンの分子遺伝学的解析から，再び，生化学的解析へ―在外研究―

GroEL1 と GroEL2 のアミノ酸配列は，～60％同一であるが，細胞がストレス下に置かれると，GroEL2 は GroEL1 では代替できない重要なはたらきをすることが示唆された．GroEL1 と GroEL2 の異なる細胞機能は，それらの構造とシャペロン機能が異なることに起因するものと考えられる．この仮説を証明するには，これらを生化学に解析する必要がある．幸い，在外研究制度を利用して，分子シャペロン研究で世界を先導している二つの研究室に行き，必要なことを学ぶことができた（2003 年～2004 年の 9 か月間）．最初の約 10 日間は，スイスのローザンヌ大学の Pierre Goloubinoff 教授の研究室に行って，シャペロン機能（*in vitro* のタンパク質折りたたみ反応）の解析法を学んだ．彼は，Lorimer 教授の研究室で，変性したルビスコが分子シャペロン（GroEL と GroES）と ATP に完全に依存して天然の機能的構造に再び戻ることを世界で初めて明らかにした（1989 年）．ちなみに，（熱）変性したタンパク質がもとに戻りうることや分子シャペロンが高校の生物教科書に記載され始めたのは，ここ数年のことである．Goloubinoff 教授の研究室でまず驚いたのは，この *in vitro* のタンパク質折りたたみ反応を解析するには，10μM 以上の高純度のタンパク質が必要とされることであった．午後 5 時過ぎには建物と各フロアの入り口のドアがロックされ，たった一つあるキャンパスの食堂も 5 時頃には閉まるので，夜遅くまで一人で実験するのは苦労した．

次に，ミシガン大学の James C. A. Bardwell 教授の研究室で，ポリヒスチジン（～6個のヒスチジンから成るペプチド）のタグ（His タグ）が融合されたタンパク質の精製法を学んだ．この方法を学ぶことは，高純度かつ高濃度のタンパク質を（学部学生でも）容易に調製できるようにするために重要であった．Bardwell 教授は，細胞（大腸菌）の中では，タンパク質のシステイン側鎖間のジスルフィド結合（disulfide bond）が，自然に（酸化反応で）生じるのではなく，分子シャペロンのようなはたらきをする Dsb タンパク質の仲介によってつくられることを明らかにし（1991 年），この分野の研究を先導してきた．この長期出張の

主目的は，（埼玉大学では実験をする時間を見つけることに苦労していたので）ベンチワークに集中することであった．ところが，Bardwell 教授は電話帳何冊分かの文献ファイルをもってきて，まず総説を書いてDsb の勉強をしたらどうかと言ってきた．ジスルフィド結合形成に関しては門外漢であったが，何とか仕上げた総説は，2004 年の Biochimica et Biophysica Acta（Molecular Cell Research）に掲載されて，よく引用されている．彼は共著者ではあるが，彼の「執筆」は私の書いた総説中の単語を，ただ一つ変えただけであった．総説執筆後は，His タグ融合タンパク質（さまざまな Dsb タンパク質とそれらの変異体）を大腸菌で大量発現させ，ニッケルをキレートしたビーズ（樹脂）を用いたアフィニティークロマトグラフィーで精製した．Bardwell 研では，Jean-Francois Collet 博士（現 Université Catholique de Louvain 教授）に公私共にお世話になった．

帰国後，出張中に学んだことを鳴海尚一君に教えたが，よく理解して精力的に実験してくれた（2005 年度修士論文）．鳴海君は，*S. elongatus* の *groEL1*, *groEL2*, *groES*, *dnaK2*, *dnaK3*, *dnaJ2*, *grpE* の各遺伝子を大量発現する大腸菌株を構築し，His タグを融合したこれらの分子シャペロン（コシャペロン）の精製法も確立してくれた．アフィニティークロマトグラフィーに用いる樹脂としてさまざまな会社のものを試したが，Bio-Rad 社の Profinity IMAC を用いて行った DnaK2 の精製結果は，この会社の宣伝パンフレットに掲載された．彼の構築したシャペロン大量発現株を，学生が今も用いている．鳴海君が研究室にいなかったら，研究の発展は著しく遅れていたかもしれない．なお，筆者の在学研究による長期出張については，大学（文科省）への申請の段階から（少なくとも）研究室の檜山先生に承認してもらっていたが，採択後，学科会議で反対された．一度採択されると辞退するのは（事務的に）難しいと聞いたので，引っ込みがつかない状況であった．このような中で出張したわけであるが，この出張が無ければ，以下に述べるような生化学的研究を発展させることは不可能だったと思う．

４．７．GroEL2 の構造とシャペロン機能―*in vitro* の比較生化学的解析―

大腸菌 GroEL は 7 量体の筒状構造が二つ，その底と底でくっついた 14 量体構造を形成する．筒の一つに非天然構造のタンパク質（基質）が 1 分子入ると，GroES（7 量体）が結合して蓋をし，ATP 依存的に折りたたみを助ける（３．４節）．ATP 依存的というのは，ATP が結合すると GroES（蓋）が筒に結合し，ATP が分解されて ADP になると蓋が開くのである．高度に精製した分子シャペロンを大量に用意することができるようになったので，Huq さん（４．４節）が，大腸菌の GroEL を対照として，*S. elongatus* の GroEL1 と GroEL2 の比較生化学的解析を行った．まずオリゴマー構造を，ゲル沪過クロマトグラフィーや分析型超遠心分離法などで調べた．大腸菌 GroEL は，予想通り安定な 14 量体を形成した．ところが，同じ条件で，GroEL1 は 14 量体を形成したが，GroEL2 はしない（7 量体と 2 量体）ことがわかった．GroEL1 と GroEL2 には，変性タンパク質の凝集を阻止する活性は観察されたが，大腸菌 GroEL のような，GroES と ATP に依存した折りたたみ活性はほとんど検出されなかった（Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2010 年）．

最近，インドの Shree K. Apte 教授らが我々と同様の結果を報告した（2016 年）．Apte 教授は，Bhabha Atomic Research Centre に所属する，インドでは著名な研究者である（筆者は一度訪問してセミナーをしたことがある）．彼らは，窒素固定シアノバクテリア（アナベナ）の二種類の GroEL について生化学的解析を行い，GroEL1 は 14 量体を形成するが，GroEL2 は単量体であると結論付けた（2016 年）．さらに，GroEL1 は大腸菌 GroEL とは異なり，GroES と ATP に非依存的に折りたたみを助けると断定した．GroEL2 も同様の挙動を示した．さらに，ドイツの Tal Dagan 博士らは，ヘテロシストをつくる *Chlorogloeopsis fritschii* PCC 6912 の「二種類の」GroEL1 及び GroEL2 間の相互作用をバクテリアツーハイブリッド法で解析した（2017 年）．その結果，GroEL2 は，他の GroEL2 や GroEL1 及び GroES のいずれとも相互作用しないことが分かった．これらの結果は，シアノバクテリア GroEL2 が大腸菌 GroEL のような 14 量体構造（**図 1**）を形成しないことを支持するものである．14 量体構造を形成できないことから，大

腸菌 GroEL とは異なる（シャペロン）機能を有するのではないかと考えているが，その解明はまだ道半ばである．

５．分子シャペロン Hsp90

５．１．Hsp90（HtpG）の研究の開始―再び偶然の産物に導かれて―

シアノバクテリアの Hsp90（バクテリアのホモログを HtpG と呼ぶ）の遺伝子も偶然の産物である．ただし，遺伝子ライブラリーのスクリーニングで「間違った」クローンを拾ったわけではなく，今度は「普通ではない」PCR によってこの遺伝子が増幅されてきた．その次第は次のとおりである．田中君は，*S. elongatus* の低分子量 Hsp（後述）をクローニングしようとして，*S.vulcanus* と従属栄養バクテリアの低分子量 Hsp のアミノ酸配列に基づいて，プライマー（degenerate primers）を設計し，ゲノム DNA を鋳型にして PCR を行った．PCR の増幅回数は通常～30 回であるが，30 回やっても DNA 断片が得られないので，実に 90 回繰り返したところ，サイズの異なる DNA 断片が複数（4 種類の DNA 断片）増幅された．もちろん，PCR を 90 回繰り返すというのは普通ではない（産物が毎回 2 倍に増えるとすると，2^{90} 即ち 10^{30} 倍を超えることになる！）．このような「普通ではない」PCR で得られた DNA 断片が目的のものであるはずがないのに，それぞれの PCR 産物をプラスミドにクローニングして，塩基配列を決定したところ，その一つが Hsp90 と類似するアミノ酸配列をコードしていることがわかった．他のものは枯草菌などに存在する機能未知のものやデータベースに類似の配列が見いだされないものであった．田中君はすぐに，放射性同位元素 P^{32} でこれらの DNA 断片を標識し（プローブを調製し），熱ショック前後のシアノバクテリアから調製した（全）mRNA をアガロースゲル電気泳動で分離した後，プローブと反応させた（ノーザンブロット解析）．その結果，上記の DNA 断片から作製した二種類のプローブが，熱ショックで誘導される mRNA とハイブリダイゼーションすることがわかった．そこで，これらのプローブを用いて，遺伝子ライブラリーをスクリーニングしたところ ORF が見つかり，一つは予想通り HtpG（遺伝子バンクに登録した塩基配列の accession 番号は AB010001）を，他方は全く新規な Hsp（AB002694）をコードしていた．なお，紙面が足りず詳細を省略するが，田中君や石川南都子さん（2000 年度修士論文）が，アミノ酸 63 個からなるポリペプチドをコードするこの新規な ORF を破壊すると，*S. elongatus* は顕著な高温感受性を示すようになり，小さいながらも熱耐性に重要なはたらきをする遺伝子（*orf7.5* と命名）であることが示された．これを，Journal of Biological Chemistry に発表した（2001 年）．

５．２．原核生物 Hsp90 のはたらきの発見

当時，シアノバクテリアの HtpG に関する報告は全くなかったが，大腸菌の *htpG* 遺伝子は約 10 年前に既にクローニングされていた（Bardwell ら，1987 年）．遺伝子も破壊されたが，熱ショックで発現するにもかかわらず，注目すべき高温感受性を示さなかった．枯草菌の *htpG* 遺伝子破壊株も高温感受性を全く示さない（Versteeg ら，1999 年）．一方，真核生物では，ステロイドホルモン受容体やシグナル伝達系に関与するプロテインキナーゼの安定性・機能維持等に必須で，がんにも関与することがあきらかになっていた．バクテリアでは Hsp90 は重要なはたらきをしないと断言するシャペロン研究の第一人者もいた．

このようなことには無頓着に，田中君は *htpG* 遺伝子破壊株を構築した（1999 年）．驚くべきことに，*S.elongatus* の変異株は顕著な高温感受性を示した．HtpG は細胞の高温耐性にとって必須であるというタイトルの論文を FEBS Letters に発表した（1999 年）．この結果を，第一回の Hsp90 国際会議（スイス，2002 年）でも発表したが，真核生物の分子シャペロン研究を先導するドイツの Johannes Buchner 教授や Christine Queitsch 博士（当時 Susan Lindquist 教授の研究室の研究員）らがやってきて，Hsp90 が高温耐性に必須のはたらきをすることを初めて報告したものだと評価してくれた．なお，PCC6803 株では，高温で誘導される数種類の遺伝子の破壊株の中で，*htpG* 遺伝子破壊株が最も顕著な高温感受性を示し，高温（38^{o}C）で全く生育しないことが観察されている（Rowland ら，2010 年）．

なお，最近になって，従属栄養細菌の *Shewanella oneidensis* においても，その高温耐性にとって Hsp90 が必須のはたらきをすることが明らかにされた（Honoré ら, 2017 年）．なお，Md. Motarab Hossain 君（2001 年度博士論文）は，高温のみならず，低温や酸化ストレス耐性においても，*S.elongatus* の HtpG が重要なはたらきをすることを明らかにし，Current Microbiology に報告した（2002 及び 2003 年）．その後，好冷性従属栄養バクテリアの生育（García-Descalzo ら，2011 年）や病原菌 *Vibrio vulnificus* の低温ショックからの回復（Choi ら，2012 年）において，HtpG が重要なはたらきをすることが明らかにされた．病原菌 *Edwardsiella tarda* の *htpG* 変異株も，*S.elongatus* の変異株と同様に活性酸素に対する高感受性を示した（Dang ら，2011 年）．最近になって，病原菌の感染性に HtpG が関与することがあきらかにされてきた．例えば，*E. tarda* による魚の致死性は，この病原性バクテリアの *htpG* に変異を導入することで顕著に減少する（Dang ら，2011 年）．

５．３．原核生物 Hsp90 の基質の探索

ストレス下で HtpG が重要なはたらきをすることが明らかになったが，どのようにしてストレス耐性に寄与するのかを理解するうえで，HtpG が相互作用するタンパク質（基質）を明らかにすることは重要である．

東京農業大学の吉川博文教授らは，酵母ツーハイブリッドシステムを用いてタンパク質間相互作用解析をするための *S.elongatus* 株のゲノムライブラリーの構築をされた．HtpG と相互作用するタンパク質を（全遺伝子の翻訳産物を対象にして）網羅的に探索できるというのは大変魅力的なので，すぐに共同研究をお願いした．吉川先生のもとで博士論文の研究指導を受けていた渡辺智さん（現東京農業大学准教授）らに斎藤勝和君（2008 年度博士論文）が加わり，HtpG がウロポルフィリノーゲン脱炭酸酵素（uroporphyrinogen decarboxylase）と相互作用することを明らかにし，Biochemical and Biophysical Research Communications に発表した（2007 年）．これはテトラピロール合成経路の酵素で，バクテリアのみならず真核生物にも存在する．HtpG/Hsp90 がクロロフィルやヘム合成に関係するわけで，光合成のみならず，もっと普遍的な細胞機能に関与することが示唆された．これは，最初に報告されたバクテリア Hsp90 の基質である．

変異株の観察からもう一つの基質を見つけることができた．*htpG* 変異株（の培養液）の色は，通常の藍色ではなく，若干緑色が強かったので，細胞の吸収スペクトルを測定したところ，フィコシアニン量が減少していることが明らかになった．これは，フィコビリソーム（その構成タンパク質）が HtpG の基質であることを示すものではないかと考えた．

ここで，フィコビリソームの説明を簡単にしておこう．フィコビリソームは，シアノバクテリアなどのチラコイド膜上に規則的に配列しているタンパク質複合体（会合体）で，（代表的なものは）扇を広げたような形をしていて，その中心部分がチラコイド膜に結合している．その扇の直径は 50 nm にも及び，分子量は 5,000 kDa を越える．青色～紅（ピンク）色をしていて，光を吸収し，そのエネルギーを光合成の光化学反応中心へ効率よく伝達する．このような巨大な構造物が，吸収された光エネルギーをほとんど無駄なく伝達できるように構築されているのである．我々は *S. elongatus* を主たる実験材料にしているが，PCC6803 株に比べて，フィコビリソームを構成するタンパク質の種類は驚くほど少なく（約 10 種類），その構成成分である青色のフィコシアニンは，細胞全タンパク質の実に～50％（重量当たり）を占める．*S. elongatus* のフィコビリソームの精製法は，Alexander N. Glazer らによって既に確立されていた．巨大なフィコビリソームは，サイズの違いで分離する方法（ショ糖密度勾配超遠心分離法）を用いれば容易に精製できる．有色のフィコビリソームは卒研や修論の学生でも扱いやすい材料であると思った．本間大奨君（2004 年度修士論文）が，初めてフィコビリソームを精製したが，その青色は宝石のようだと感じた．

佐藤壮志君が，フィコビリソームと HtpG の生化学的相互作用解析を始めた（2006 年度修士論文）．HtpG に限らず，分子シャペロンとフィコビリソームの相互作用に関する報告は皆無であった．まず，フィコビリソームを精製した．ショ糖密度勾配超遠心分離法で分離された変異株のフィコビリソームは，野生株

のものに比べて，若干サイズが小さく，さらに構成ポリペプチドを比較すると，30kDa リンカーポリペプチドが減少していることがわかった．真核細胞Hsp90の機能を阻害すると，その基質は不安定になり，(例えばプロテアソームで分解されて)減少することが明らかにされている．従って，このタンパク質が基質ではないかと考えた．30kDa リンカーポリペプチドに加えて，数種類のリンカーポリペプチドがフィコビリソームの骨格をなすと考えられている．GroEL/GroES はファージ(巨大な複合体)の構築に関与し，GroEL がないとその尾部が構築されないという報告がある．HtpG もフィコビリソームの構築に関係するために，変異株のフィコビリソームは，より小さな(不完全な)ものになったのではないかと考えた．

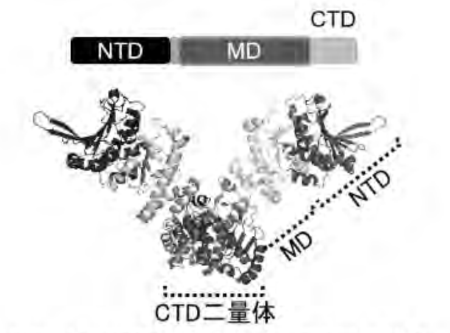


図5. Hsp90の一次構造とその2量体構造（アポ型）。PDBID: 2ior、2ioq

５．４．原核生物 Hsp90 のシャペロン作用の解析―基質との相互作用と凝集阻止活性の検出―

既に述べたように(3章)，分子シャペロンは，オリゴマーや複合体形成(アセンブリー)とそのディスアセンブリーを助けるが，これらが正常な生物学的機能を果たす時には，その構造の構成成分にはならないタンパク質である．HtpG がフィコビリソームにシャペロン作用するならば，「壊れた」フィコビリソームと相互作用するものと予想される．フィコビリソーム複合体はかなり穏やかな処理で「壊す」ことができる．緩衝液に用いるリン酸の濃度を下げる(750mM から 20mM)だけで解離するのである．解離したフィコビリソームと精製した(His タグを融合した)Hsp90 を混合して，このタグに結合するニッケルをキレートしたビーズを加えてHtpGを沈殿(プルダウン)させると上記の30kDaリンカーポリペプチドと27kDaリンカーポリペプチドが共沈殿することがわかった．これは，HtpGが30kDa及び27kDaリンカーポリペプチドと物理的に相互作用することを示すものであった．解離していない(機能的な)フィコビリソームと HtpG を混合しても，このような相互作用はみられない．相互作用によって，HtpG がフィコビリソーム構成タンパク質の変性・凝集を防ぐのかどうかを調べた．そこで，フィコビリソーム複合体を解離させたのちに，45°C で処理をした．約10種類のフィコビリソーム構成タンパク質のうちリンカーポリペプチド(3種類)のみが凝集し沈殿した．リンカーポリペプチドの 1 分子当たり 1 分子の HtpG(二量体)を加えることで，このリンカーポリペプチドの凝集は完全に阻害された．驚くべきことに，大腸菌 HtpG がこの凝集を阻止することはなかった．これは，リンカーポリペプチドが，集光機能を有するフィコシアニンなどと比べて，はるかに不安定であること，それゆえに，分子シャペロン HtpG の保護を必要とすることを示すものであった．

５．５．原核生物 Hsp90 の基質相互作用部位の解析

Hsp90/HtpG は二量体を形成するが，そのサブユニットは，三つのドメインから構成される（図 5）．即ち，N末端ドメイン(NTD)，中間ドメイン(MD)，C 末端ドメイン(CTD)である．当時，真核，原核生物を問わず，Hsp90 の基質結合ドメインについてはよくわかっていなかった．そこで，HtpG のどのドメインがリンカーポリペプチドと相互作用するのかを，各ドメインを単離・調製して調べたところ，MD が主たる相互作用領域を含み，NTDも相互作用することがわかった．また，二量体構造をとらないと基質との相互作用が弱まるためか，(二量体化に必須である)CTD を欠損した NTD-MD の凝集阻止活性は顕著に低下していた．

さらに，フィコビリソームではなく，30kDa リンカーポリペプチドを大腸菌に大量発現し，高度に精製したものを基質にして凝集阻止実験を行うことにした．このリンカーポリペプチドは，SOSUI (http://harrier.nagahama-i-bio.ac.jp/sosui/)を用いて予測すると可溶性であるが，大腸菌で発現させると不溶化する不安定なタンパク質であった．そこで，不溶化した(精製)リンカーポリペプチドを尿素で可溶化しておき，凝集阻止活性(6．2節で測定法を詳述)を調べるときには，尿素濃度を下げて実験を行った．HtpG はこのリンカーポリペプチドと相互作用して(プルダウン法で確認)，その凝集を阻止した．これらの

結果に基づき，リンカーポリペプチドが，フィコシアニンと相互作用して複合体の一部となるまでは，変性･凝集しないように，HtpG が守っているのではないかと考えた．佐藤君には，良い学術雑誌に報告するからがんばってくれと言って励ましたが，Molecular Microbiology に採択された．この雑誌は，微生物学分野における最も影響力のある雑誌の一つであるが，そのコメンタリー（MicroCommentary）にとりあげられて，Buchner 教授により詳しく解説・紹介された．

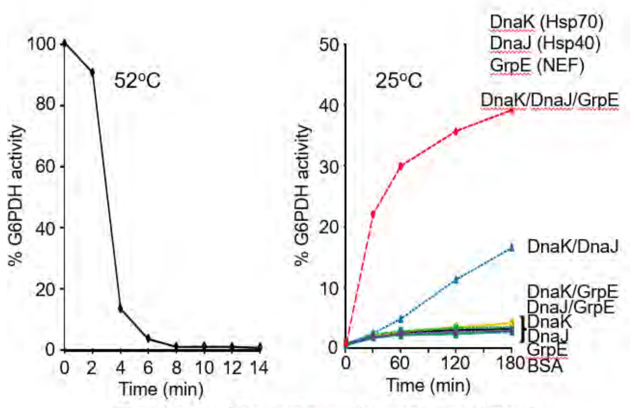


図6. シアノバクテリアDnaK（Hsp70）シャペロン系

5．6．原核生物 Hsp90 のシャペロン作用の解析―折りたたみ活性―

5．6．1．原核生物 Hsp90 と Hsp70 の相互作用

シアノバクテリアの HtpG は，特定の基質と相互作用し，その凝集を阻止する活性を有することがわかった．凝集を免れた基質は，分子シャペロンから解離して，もとの機能的構造に折りたたむ，あるいは機能的複合体の一部にならねばならない．分子シャペロンは，折りたたみを助けるタンパク質（3章）なので，このステップにも関与するはずである．真核細胞では，Hsp90 と Hsp70/Hsp40 系（5.6.2項）が協調的に作用して折りたたみを助けることが明らかにされていたが，この協調作用にはコシャペロンである Hop（酵母では Sti1 と呼ばれる）が必要である．シアノバクテリアを含む多くのバクテリアのゲノム配列が調べられているが，Hop などのコシャペロンは無いと考えられている．従って，バクテリアにおける，HtpG（Hsp90）と DnaK（Hsp70）の協調的なシャペロン作用は研究されてこなかった．

吉川教授らが，上記（5．3節）の酵母ツーハイブリッドシステムを用いたタンパク質間相互作用解析によって，*S. elongatus* の HtpG が DnaK（DnaK2）と相互作用すること見つけて学会で発表された（2004 年）．この結果はバクテリアにおける Hsp90 と Hsp70 の（新規な）協調的シャペロン作用を示唆するものだと考え，吉川教授らとの共同研究を開始した．我々はまず，これらのタンパク質を高度に精製し，プルダウン法や免疫沈降法等で，HtpG と DnaK がコシャペロンを介さずに直接相互作用することを確認した．その後，特定領域研究で知り合いになった産業技術総合研究所（つくば）の Penmetcha K. R. Kumar 博士に，Biacore（表面プラズモン共鳴を検出原理とする解析装置）を用いて相互作用を定量的に解析してもらった．HtpG-DnaK，HtpG-DnaJ（DnaJ2）複合体の K_D 値は，2.58 μM と 102 nM であった．

次に，相互作用によってどのような機能変化が生じるかを明らかにしようとした．DnaK も HtpG も非常に弱い ATPase 活性（k_{cat} は 0.1～1.0/分）を示す．高校の教科書にも出てくるカタラーゼの k_{cat}（～10^8/分）と比べると，実に約 1 億分の1程度の活性である．もちろん ATPase 活性がこの程度低くないと適切な分子シャペロン作用は生じないものと思われる．両者混在下で ATPase 活性を測定すると，HtpG は DnaK の ATPase 活性を 2 倍に増大させることが分かった．

5．6．2．シアノバクテリア Hsp70 シャペロン系の確立

HtpG と DnaK が直接相互作用し，HtpG が DnaK の ATPase 活性を「活性化」することがわかった．HtpG は DnaK の ATPase 活性を高めて，非天然構造タンパク質の折りたたみ反応における協調作用をオンにするのではないかと考えた．これを証明するには DnaK/DnaJ/GrpE シャペロン系を確立する必要があった．というのは，DnaK 単独では，折りたたみ反応を促進することができず，補助因子（コシャペロン）である DnaJ と GrpE が無いとその活性が検出されない．即ち，これらは DnaK シャペロン系として機能するのである．当時，大腸菌の DnaK シャペロン系は既に確立されていた．そこで，（既述の在学研究として）ロー

ザンヌ大学のGoloubinoff教授のもとで大腸菌のDnaKシャペロン系を学んできて，帰国後，鳴海尚一君に教えた．彼は，DnaK，DnaJ，GrpEなどの大量発現系やそれらの精製法を確立し（4.6節），熱変性したリンゴ酸脱水素酵素（MDH）にこれらを加えると（加えないものに比べて）数%余分に活性が回復することを観察した（2005 年度修士論文）．渡邉達郎君がこの実験を引継いだ．MDH の熱変性条件等を検討した結果，変性 MDH の活性は，変性前の活性の 30～40%程度まで戻るようになった．しかしながら，シャペロン作用とは無関係な「自発的」折りたたみがその半分近くを占め，コシャペロン（GrpE）やATPへの依存性がはっきりと見られなかった（2007 年度修士論文）．藤田健作君は，異なる（シャペロン）基質や変性条件等を検討し，例えば，52ºC で 8 分間処理をして，活性が検出不可能なレベルまで減少したグルコース-6-リン酸脱水素酵素（G6PDH）に，25ºC でDnaKとDnaJを加えるとはじめて再活性化し（折りたたみ），GrpEを加えることでさらに折りたたみの速度や収率が増加することを明らかにした（**図 6**）．これらの折りたたみ反応は ATP 非存在下では全く起こらなかった．また，DnaK，DnaJ，GrpE 単独，あるいはDnaK/GrpEやDnaJ/GrpEの組み合わせにATPを加えても再活性化は全く検出されなかった（2009 年度修士論文）．

変性剤（5M 尿素）により失活した乳酸脱水素酵素の再活性化反応（反応液の尿素濃度を希釈することで再活性化を促す）においても同様の結果が得られた．即ち，分子シャペロン（DnaK）とコシャペロン（DnaJ，GrpE）とATP に依存して，失活した酵素が再活性化したのである．このようにして，シアノバクテリアの DnaK シャペロン系を確立するまで～5 年かかった．その間，卒論や修士論文の発表会で，（学生が異なっても）毎回同じような研究内容を繰り返し発表するのは如何なものかという，研究意欲を失わせるようなコメントをもらった．また，彼の論文（発表）は，そのプレゼンにも問題があったのかもしれないが，相応の評価を得られなかったように感じた．しかし，自ら文献を漁り（彼の机の上には論文コピーが山積みになっていた），文字通り毎日実験に励んだ藤田君を誇りに思う．

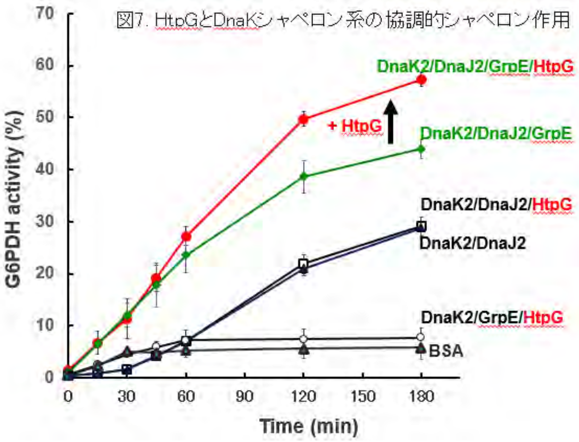


図7. HtpGとDnaKシャペロン系の協調的シャペロン作用

５．６．３．バクテリア Hsp90 と Hsp70（DnaK）の協調的シャペロン作用―HtpG の折りたたみ活性の検出―

さて，シアノバクテリアのDnaKシャペロン系を確立することができたので，これを用いてHtpGに結合した変性基質がもとに戻るかどうかを調べた．変性基質と（モル比で）等量のHtpG（二量体）を加えて，45ºCで処理をすると，HtpG が変性 MDH と複合体をつくり凝集はしない．25ºC に戻すと同時に DnaK シャペロン系とATP を加えると，MDH は活性を回復した（折りたたんだ）．一方，DnaK シャペロン系を加えない，あるいはHtpGを加えずに熱処理したMDH にDnaKシャペロン系とATPを加えても，活性は全く回復しなかった．真核細胞の Hsp90 のはたらきは ATP の結合，およびその加水分解に依存するということが細胞レベルで明らかにされていたので，ATPを結合できない，あるいは結合するが加水分解できない HtpG の変異体を作製し，これらを用いて同様の実験をしたが，野生型となんら変わりなく活性は回復した．さらに Hsp90 特異的阻害剤（radicicol）の影響も見られなかった．このように，ATP に依存しないで HtpG がDnaKと協調的にはたらくことを発見した．

真核細胞におけるHsp90とHsp70の協調的シャペロン作用は次のようなものであると報告されていた．タンパク質基質は，Hsp70 に捕捉され（あるいは，Hsp40 にまず捉えられた後に，Hsp70 に受け渡され），ある程度折りたたんだのちに，（Hsp70 と Hsp90 の両者に結合する）コシャペロン（Hop）を介して，Hsp90に移動し，機能的天然構造へ折りたたむ．このときに，Hsp90 は，ATP の結合と加水分解に依存して折り

たたみを助ける．そこで，バクテリアの HtpG も ATP 依存的にシャペロン作用するのかどうかを調べた．この実験は，大瀧挙君が行った（2014 年度修士論文）．本人から，居酒屋のアルバイトで，注文後決められた時間内（例えば 5 分以内）に「必ず」調理を完了できる凄腕の持ち主であると聞いたが，同様に，私の注文に応えて難しい実験をやってくれた．彼は，変性基質に DnaK シャペロン系を加えて折りたたみ反応を起こさせる際に，HtpG を共存させると，折りたたみ反応がさらに促進される（実はここまでは藤田君が行っていた）ことを明らかにした（**図 7**）．この促進（折りたたみ増加分）は HtpG の折りたたみ活性を示すもので，阻害剤（radicicol）を加えると完全に阻害され，Hsp90 の変異体（上記）でも観察されなかった．即ち，この折りたたみは ATP の結合と加水分解に依存していたのである．これらの結果が出てから論文にしようと思っていたが，その途中経過の発表を Hsp90 国際会議で発表したところ，Sue Wickner 博士（米国 NIH）の研究室のポスドックである Olivier Genest 博士（現フランス国立科学研究センターCNRS 研究員）があまりにしつこく質問するので，彼らのポスター発表を聞きに行くと，その発表は，なんと大腸菌の HtpG と DnaK の協調的シャペロン作用の解析に関するもので，内容は我々のものと酷似していた．彼に，論文投稿を少し待ってくれないかと頼んだが，次の年の Proceedings of the National Academy of Sciences（PNAS）で発表されてしまった（2011 年）．なお，Wickner 博士は米国科学アカデミーのメンバーである．我々は，この PNAS の内容にさらに新規な結果を盛り込んで論文を作成し，Journal of Biological Chemistry に発表した（2014 年）．Hsp90 の国際会議では，バクテリアや植物の Hsp90 に関する発表はほとんど無く，競争相手がいないと思って油断して，未発表のデータを発表していた．時間をかけて良いものをつくろうとしてきたが，Wickner 博士らがこの分野に乗り込んできたので，もうそんな考えは吹っ飛んだ．

５．７．Hsp90 の機能を制御する化合物の探索―最初のバクテリア Hsp90（HtpG）阻害剤の発見―

病気に関係するという報告が少ないためか，バクテリアの分子シャペロンの阻害剤は，あまり研究されてこなかった．特に HtpG の阻害剤の報告は皆無であった．筆者の阻害剤研究の始まりは，「蛋白質核酸酵素」に掲載された理研の長田裕之博士（埼玉大学大学院連携教授兼任）らによる化合物マイクロアレイに関する論文（叶ら，2005 年）を，学科図書室で偶然閲覧したことにある．光親和型固定化法という新規な方法でさまざまな小分子化合物を固定化したマイクロアレイを長田先生らが作製したというものであった．先生らは，化合物バンクをもち，ハイスループットスクリーニング法を開発・確立されていた．そこで，HtpG と相互作用する化合物の探索に関する共同研究を願ったところ引き受けてくださった．共同研究では，近藤恭光博士がスクリーニングをしてくださり，皆川俊君がヒットした化合物の解析を行った（2008 年度修士論文）．「長田研は超一流のラボだけれど，君が共同研究に加わってくれるかな」と聞いたところ，皆川君は自分の右腕を軽くたたきながら「大丈夫です」と言ってくれた．～7000 の化合物をスクリーニングして，～30 個の化合物が HtpG に結合した．そのうちの数個は，コリスチン（colistin）やポリミキシン B（polymyxin B）などの環状リポペプチド（抗生物質）であった．

我々は，環状リポペプチドに焦点を合わせて研究を進めた．これらの化合物はどれも，HtpG の N 末ドメインに「特異的」に結合した．コリスチンは，N 末ドメインの相互作用・凝集を誘導し，基質との相互作用を阻害した．ちなみに，N 末ドメインには ATP 結合部位があるが，ATPase 活性には何ら影響しなかった．それまでに報告されていた阻害剤は，ATP 結合部位に結合し ATPase 活性を阻害（拮抗阻害）するものだったので，新規な阻害剤であった．これらの結果を Biochemical Journal（2011 年）に発表した．最近，他の研究グループが，真核生物 Hsp90 に及ぼすコリスチンの影響を調べたが，彼らの結果は我々のものと同様であった（Togashi ら，2017 年）．

なお，長田先生とは，Current Pharmaceutical Design という薬学系学術雑誌の特集号（Hot topic ‘Molecular chperones as drug targets’）の企画・編集を行った．この雑誌のことはよく知らなかったが，当時インパクトファクターが4を超えていたので，executive guest editor を引き受けた．この分野の国内外の第

一人者に執筆を依頼し，さらに一流の研究者に論文審査を依頼して，12の論文を揃えることができた．どの論文も引用回数が非常に多く，出版社は驚いたようで，特集号の editor を再び依頼されたが断った．編集部の協力はあまり得られず，執筆及び審査依頼，編集にいたるまで，本当に消耗した．この特集号に自らも執筆した．京都大学の宮田愛彦先生と米国 National Cancer Institute の Leonard M. Neckers 博士（Hsp90 の最初の阻害剤ゲルダナマイシンを発見した世界的研究者）に共同執筆をお願いして，書いた分量で著者順を決めた．私の論文の中では，よく引用されている論文の一つである．

５．８．Hsp90 の機能を制御する化合物の探索―偶然の出会いと天然小分子化合物に導かれて―

コリスチンの論文を書いた後，インドで国際会議をするので来ないかという招待メールがきた．送信者と面識があったわけではないので，いわゆる「ハゲタカ」国際会議かもしれないと思ったが，行くことにした．その理由の一つは，筆者が指導した Kollimalai Sakthivel 君（2009 年度博士論文）が博士号をとった Annamalai University で開催されたからであった．真夜中にチェンナイ（マドラス）に着き，カオスな空港駐車場でなんとか車を見つけ，南下してアナマライに到着したのは早朝であった．実はそれほど期待していなかったが，会議には東南アジア有数の大学の研究者・教員が参加し，同じゲストハウスに泊まり，エクスカーションにも行って，親交を深めた．その一人が，マレーシア国民大学（Universiti Kebangsaan Malaysia）の Ibrahim Jantan 教授であった．後ほど知ったが，彼はマレーシア国内ではもちろんのこと東南アジアでも著名な研究者であった．この会議の後しばらくして，教授を訪問した際に，数種類の抗がん活性を有する化合物を譲り受けた．

５．９．Hsp90 の ATPase 活性を活性化するがシャペロン機能を阻害する化合物の発見

Jantan 教授から分与された化合物を解析してくれたのが，横山雄平君（2013 年度修士論文）である．彼は，実験に用いた酵母（タグを付けない）Hsp90 の精製方法を東京農工大学養王田正文教授の研究室で学び（数日程度），約半年間かけて，筆者の研究室でも精製ができるようにしてくれた．年に一度の研究室合宿で，彼が自慢げに，酵母 Hsp90 の精製ができるようになったと言うのを聞いて，指導者として冥利に尽きると感じた．研究成果を出す学生の特徴は，教員の話を聞いて理解し，自分でよく考え工夫しながら（すぐに，忍耐強く）実験することができるということではないかと思う．彼はまさにそのような学生の一人であった．彼は，譲り受けた天然小分子化合物の一つである，ゴニオタラミン（図 8）が，シアノバクテリアの HtpG や酵母の Hsp90 の ATPase 活性を活性化することをみつけた．ゴニオタラミンは，抗がん活性を有するために HtpG/Hsp90 の ATPase 活性を阻害すると予想したので驚いた．なぜならば，ゲルダナマイシンの発見（1994 年）から現在にいたるまで，抗がん活性を有する化合物のほとんどは，Hsp90 の ATPase 活性を ATP と競合して阻害するからである．これらの化合物，例えばゲルダナマイシンで Hsp90 を阻害すると，多くのがんの原因となるタンパク質（Hsp90 の基質）が分解されて消失し，培養がん細胞の増殖抑制や動物の腫瘍縮小効果が観察される．Hsp90 はがん細胞の生存にとって必須のはたらきをしているのである．さらに，ゴニオタラミンは *in vitro* の折りたたみ活性（**５．６．３項**）を阻害した．ATPase 活性が活性化すると，シャペロン活性も増大すると予測していたので，意外な結果であった．ところが，過去の文献を調べることで，酵母の変異株（Hsp90 を構成するアミノ酸の一つが変異したもの）の中で，通常よりも高い ATPase 活性をもつ Hsp90 を発現する変異株は低活性の株と同様に，高温感受性を示すということが分かった．高温では変性タンパク質が増えるために，Hsp90 のより大きなシャペロン活性が必要とされるが，細胞が高温感受性を示すということは，活性「過多」の ATPase によりシャペロン機能が減じていることを示唆するものである．これらのことから，Hsp90 の ATPase 活性が最適値からずれると，Hsp90 のシャペロン機能が低下するのではないかと考えている．これらの結果を，Journal

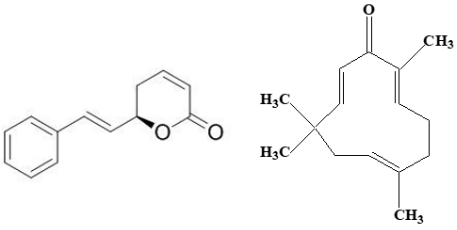


図8. ゴニオタラミン（左）とゼルンボン（右）

of Biochemistry に報告した(2015 年).

マレーシア国民大学の客員教授として招待されて，Jantan 教授を再び訪問した．このときは，薬学部教員向けの分子シャペロンに関する講義を複数回行った．講義のあと，一人の教員がゼルンボン(**図 8**)という化合物を調べたらどうかと言って，その化合物まで与えてくれた．ゼルンボンは熱帯から亜熱帯地方で広く見られるハナショウガ由来の天然小分子化合物である．天谷洋介君(2014 年度修士論文)と小松太和君(2015 年度卒業論文)が，ゼルンボンの Hsp90/HtpG に及ぼす影響を調べたところ，この化合物も ATPase を活性化することがわかった．ゼルンボンは，システイン残基に共有結合する．ゴニオタラミンにおいては，化合物が結合するドメインは明らかにできたが，相互作用するアミノ酸は分からずじまいであった(北里大学薬学部の梅山秀明先生らに結合シミュレーションをしてもらったことはあるが)．質量分析(理研の堂前直博士らとの共同研究)や，すべてのシステイン残基の各々をアラニンに変異させた HtpG 変異体の解析をして，活性化に関与するシステインを特定することができた．ゼルンボンは，シアノバクテリア HtpG のみならず，酵母やヒトの Hsp90 を活性化したが，システインをもたない大腸菌 HtpG の活性には影響しなかった．この化合物でシアノバクテリアを処理すると，シアノバクテリアは *htpG* 変異株のように高温感受性になった．また，HtpG の基質であるリンカーポリペプチドが減少した．宮田博士との共同研究で，動物細胞に対する影響も調べた．ゼルンボンで処理されたがん細胞由来の培養細胞では，Hsp90 とその基質(タンパク質キナーゼ)との相互作用が阻害され，基質の消失が観察された．これらの結果を Biochemical Journal(2018 年)に発表した.

6．低分子量 Hsp

6．1．熱ショックで大量発現する HspA の遺伝子クローニングと精製

最後になったが，GroEL の研究(**4章**)を始めてすぐに，低分子量 Hsp にも興味をもった．その理由は，この 16kDa タンパク質が，60kDa(GroEL)及び 10kDa(GroES)タンパク質とともに，*S. vulcanus* を熱ショック処理することにより顕著に蓄積する Hsp であったからである．既に述べた GroEL や HtpG の研究時期とは前後するところもあるが，低分子量 Hsp の研究の歩みについて以下に記す.

留学生のロイ(Sanjit Kumer Roy)さんとともに，16kDa の Hsp の研究を始めた(1998 年度博士論文)．ロイさんは，理工学研究科博士後期課程設置(1989 年)後，分子生物学コースに受け入れられた(最も)初期の国費留学生だった．檜山先生が決定された 16kDa Hsp の N 末端アミノ酸配列と内部配列に基づきプライマー(degenerate primers)を設計し PCR を行ったところ，幸い単一の DNA 断片が増幅されてきたので，これをプローブにして遺伝子ライブラリーをスクリーニングし，クローニングした遺伝子を *hspA* と命名した(accession 番号は AB002666)．塩基配列から推定されたアミノ酸配列の類似性(ホモロジー)検索によって，HspA が低分子量 Hsp の一つであることが明らかになった．シアノバクテリアにおける低分子量 Hsp 遺伝子を初めてクローニングしたもので，論文を Journal of Bacteriology に発表した(1998 年)．

次に HspA の生化学的解析を行うために，まずその精製を行った．今では，目的のタンパク質にタグを融合したものを大腸菌で大量発現させて容易に精製できるが，当時，タンパク質はその生物から直接，単離精製するのが一般的であった．ロイさんは，硫安分画，イオン交換カラムクロマトグラフィー，ヒドロキシアパタイトカラムクロマトグラフィーの各精製段階を経て，HspA を単一標品にまで精製したが，その精製方法は独特であった．増殖速度の遅いシアノバクテリアの細胞を大量に集めるのは(大腸菌に比べると)かなり困難である．～10L の培養液が必要であった．そのために，精製の各段階で，少しでも多くのタンパク質を回収しながら，精製を進めていくわけであるが，ロイさんは，カラムからの溶出画分のうち，HspA を最も多く含む(ピークの)画分のみを回収して，他の画分は惜しげもなく捨てた．必要ならば，もう一度最初から始めて，ピーク画分がある程度溜まると，次の精製ステップに進むのである．タンパク質の精製では，純度，回収率，比活性が問われるが，ロイさんは回収率には目もくれなかった.

6．2．HspA のシャペロン活性—タンパク質凝集阻止活性の測定法の確立—

マウスやヒト，高等植物などの低分子量Hspは，変性タンパク質の凝集を阻止する活性（シャペロン活性）を示すという報告が既にあった．シアノバクテリアの低分子量 Hsp は全く解析されていなかったので，HspA を用いてこの活性を検出しようとした．低分子量 Hsp 研究の第一人者である Elizabeth Vierling 教授（1999 年に筆者の研究室を訪問，セミナーをしてもらった）らは，タンパク質基質を高温処理して，見かけの吸光度の増大を一定の時間間隔で経時的に調べていた．吸光度の増大は，タンパク質の凝集塊生成に伴う光の散乱強度（濁度）の増大を示す．そこで，高温に設定した水槽に，基質を含む溶液をインキュベートし，一定時間ごとにサンプリングして吸光度を測定した．分子シャペロンの添加の有無で濁度に違いがみられることを期待したが，吸光度変化（0.02～0.04）が小さすぎるためか，あるいは，セルの出し入れに伴って生じる機械的な測定誤差が原因なのか，我々が具有していた分光光度計では再現性良く測定することはできなかった．

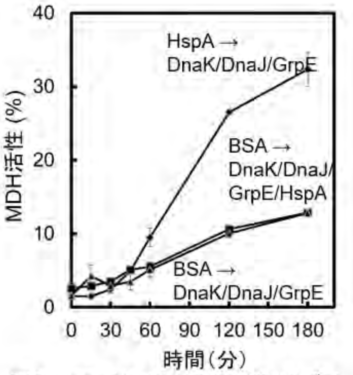


図9．HspAあるいはウシ血清アルブミン（BSA、対照タンパク質）存在下で熱変性・失活したMDHの、DnaKシャペロン系によるMDHの再活性化。図の→は、45ºCから25ºCへの温度シフトを示す。

幸いなことに，試料の温度を一定に保つセル（キュベット）ホルダー（ペルチェ素子を用いた電子冷熱式のもの）を装備した，我々の研究室のものよりも高感度な分光光度計が，金井龍二先生の研究室にあったので，それを借りて解析を行うことにした．セルホルダーの温度を高温（例えば 45ºC）にしておき，反応液を入れたセルをホルダーにセットし，数分間放置後，基質（例えば MDH）を加え，吸光度変化を経時的に連続解析した．微小な濁度上昇を再現性良く解析できるようになった．HspA を反応液に加えておくと，この濁度の上昇が完全に抑えられた．このようにして，HspA のシャペロン活性を初めて検出することができた．比較のために用いた，低分子量 Hsp の一つであることが分かっていた水晶体の α クリスタリンを加えると，HspA の半分以下の濃度で凝集を完全に阻止できたので驚いた．眼の水晶体のタンパク質はクリスタリンと呼ばれ，α, β, γ の 3 種類のファミリーに分けられるが，α クリスタリンは低分子量 Hsp の一種で，目の透過性の維持に寄与していると考えられている．

6．3．HspA は変性タンパク質と可溶性の複合体を形成する

上記のように，基質（変性 MDH）の凝集が HspA によって完全に阻止されたので，酵素は失活していないだろうと考えて，高温処理をした基質とHspAを含む反応液から，一部をサンプリングし活性測定したところ，活性は全く検出されなかった．さらに，反応液の温度を（45 ºC から）25ºC にして，反応液を数時間放置しても，活性は全く回復しなかった．Buchner 教授らは，マウスやヒトの低分子量 Hsp は変性タンパク質の凝集を阻止し，さらに，基質（酵素）の不活性化も抑制すると報告していた（1993 年）ので，この結果に大変驚いた．筆者は自分の実験結果から，①変性タンパク質が HspA に結合して可溶性の複合体を形成している，②25ºC に温度シフトしても基質は HspA に結合したままで解離しないと考えた．今では，低分子量 Hsp のシャペロン作用をこのように理解するのが一般的になっている．

6．4．HspA に結合した変性タンパク質は元の構造に折りたたむ

HspA に結合した変性状態の基質は，HspA から解離して元に戻らねばならない．この再折りたたみ反応をどのようにして調べることができるのか．上記の HspA の生化学的解析結果を European Journal of Biochemistry に報告した（1999 年）ころ，Vierling 教授や Buchner 教授らは，高等植物や酵母由来の低分子量 Hsp に結合した変性基質が，Hsp70（DnaK）シャペロン系を共存させることで元に戻ることを報告した．このような実験をすべきだと思ったが，当時はまだ，DnaK シャペロン系を確立していなかった．もちろん，共同研究すればよかったが，分子シャペロン研究開始から 10 年間程度は，安易な共同研究を避けて，可能な限り自分たちの手ですべて行いたかった．「埼玉産」にプライドをもって，研究したいのだと

学生たちに語っていたことを思い出す．DnaK シャペロン系を確立（5.6.2参照）した今では実験可能で，HspA と基質を 45ºC で処理した後に，25ºC にして DnaK シャペロン系を加えると MDH は再活性化することを小林優介君（通称アラブ）が示してくれた（2016 年度修士論文，**図 9**）．ストレス条件下では，変性したタンパク質はそれ以上の損傷（凝集）を受けないように HspA の庇護を受け，非ストレス条件にもどると，DnaK シャペロン系などに助けられながら元の機能的構造を回復すると説明できる．

６．５．HspA 遺伝子の発現調節

６．５．１．HspA 遺伝子の転写調節

HspA の転写調節機構を調べるために，まず転写開始点を決めた．当時，シアノバクテリアにおける Hsp 遺伝子の発現は大腸菌と同様に，シグマ 32 因子によって調節されていると考えられていたが，転写開始点の上流約 10 塩基と 35 塩基の位置にあるプロモーター配列を見る限り，通常の主要シグマ因子で認識されるものであった．これは，抑制因子（リプレッサー）によって通常条件における転写が抑えられていることを示唆するものである．リプレッサーは転写開始点周辺に結合する．そこで，*hspA* の転写開始点周辺に結合するタンパク質があるかどうかを，EMSA（４．３節）で解析することにした．埼玉大学ではこの方法を用いている研究者はいなかったので，基礎生物学研究所（岡崎）のトレーニングコース（数日間）に参加して方法を学んだ．講習会には，生体制御学科の弥益恭先生も参加されていた．

ロイさんが 1998 年度に博士後期課程を修了し，1999 年度に小島幸治君が卒研を始めたが，その内容は，低分子量 Hsp をコードする遺伝子の発現制御に関するタンパク質の同定であった．そこで，EMSA を用いて，DNA 結合タンパク質の検出を試みた．上記の講習会では，EMSA に用いる DNA プローブを放射性同位元素で標識したが，ジゴキシゲニン (digoxigenin)で標識した（非放射性標識の）DNA プローブでもアッセイできるようにした．実験には，好熱性 *T.elongatus*（種は異なるが，*hspA* の塩基配列は *S.vulcanus* のものと同一）を用いた．通常培養温度 50ºC で生育した細胞の抽出液中に，*hspA* 遺伝子の 5'非翻訳領域（mRNA の 5'側にある翻訳されない領域）に結合するタンパク質が見つかった．この DNA 断片には，A と T が多く含まれる逆方向反復配列（ACAAgcAAA-TTTagTTGT）が存在し，この配列に変異を導入するとタンパク質の結合は見られなくなった．タンパク質がこの配列に特異的に結合して RNA ポリメラーゼによる転写反応を阻害すると仮定すれば，*hspA* の発現が誘導されるために，熱ショックによってこのタンパク質が解離して，転写阻害が解除されねばならない．このような仮説に基づき，この DNA 結合タンパク質は高温不安定ではないかと考えた．実際，50ºC で培養した細胞の抽出液を 63ºC で処理したところ，5'非翻訳領域へのタンパク質の結合は見られなくなった．これは *in vitro* における解析結果であるが，細胞を 50ºC から 63ºC にシフトし，経時的にサンプリングして，それらの細胞破砕液を用いて EMSA で解析すると，シフト後 45 分間まで処理した細胞抽出液には DNA 結合活性は検出されなかったが，驚きべきことに 45 分後には見られるようになったのである．なお，*in vitro* では，細胞抽出液を 1 時間熱処理しても，結合活性は回復しなかった．もし，細胞の熱処理を 30 分間しか行わなかったとすれば得られなかった，この予期せぬ実験結果は何を意味するのか．このなぞときのヒントを得ようと，タンパク質合成阻害剤であるクロラムフェニコール添加後に熱処理を行い，45 分後に細胞を破砕して EMSA で解析した．その結果，DNA 結合活性は見られなくなった．これらの結果に基づき，この DNA 結合タンパク質を再活性化するタンパク質が熱ショックで合成される，あるいは高温安定な DNA 結合タンパク質が熱ショックで合成されて転写のシャットオフに関与するなどといった仮説を立てた．結合する DNA の塩基配列を明らかにしたので，このタンパク質の単離は容易にできそうであるが，小島君修了後，残念ながら全く進展していない．

６．５．２．HspA 遺伝子の転写後調節

1998 年に Schumann 教授を訪問し学科セミナーをした際（４．２節）に，研究室の学生さんの一人が，プログラム（おそらく mfold）を用いて，我々がクローニングした *hspA* 遺伝子の mRNA の二次構造予測を

してくれた．*hspA* の mRNA は顕著な二次構造をとり，それが温度で変化することを教えてくれた．帰国後，小島君がこのプログラムを用いて，二次構造予測を再現してくれた．これは，*hspA* の mRNA の 5'非翻訳領域に，通常温度（50ºC）と熱ショック温度（63ºC）で変化する二次構造が形成されることを示し，熱ショックにより翻訳阻害が解除されることを示唆するものであった．即ち，mRNA 構造を介した温度検知システム（RNA thermometer）の存在が強く示唆された．分子生物学科の松崎博先生から転写融合と翻訳融合プラスミドを分与してもらい，転写及び転写後レベルにおける解析結果をまとめて，Biochemical and Biophysical Research Communications に報告した（2005 年）．

６．６．HspA の高発現による細胞及びフィコビリソームの熱耐性の増大

６．６．１．HspA の高発現による細胞の熱耐性の増大

HspA の細胞機能を明らかにするために，大量発現株を作製しようとした．その方法に関する文献検索によって，大腸菌とシアノバクテリアのいずれでも複製可能なプラスミド（シャトルベクター）が存在すること，そのプラスミドをトロント大学の Neil A. Straus 教授が構築したことを知った．そこで，教授から使用許可を得，教授の研究室にいたことがある鈴木英治博士（現秋田県立大学教授）からこのベクターを譲り受けた．このプラスミドに高発現用（強力に転写を促す）*tac* プロモーターとその下流に *hspA* をクローニングしようとしたが，なぜか非常に困難で，最初は田中直樹君がトライしたが，うまくいかなかったので，ロイさんが引き継いだ．田中君は実験することを一切厭わない学生であったが，ロイさんも同じで，何度も，本当に何度もトライして大量発現プラスミドの構築に成功した．分子シャペロン研究を始めたときにこのような学生さんたちに恵まれて，本当に幸運であった．ロイさんは，このプラスミドを（*S.vulcanus* が形質転換できなかったので）常温性シアノバクテリア *S. elongatus* に導入して形質転換に成功した後，海外にポスドクに行ってしまった．大量発現株の表現型解析は，神奈川大学から進学した鈴木伸章君が行った（2001 年度修士論文）．高発現により細胞の熱耐性が増すと期待したので，細胞を致死的高温にさらし，高発現株と対照株（*hspA* をクローニングしていないプラスミドで形質転換したもの）の生存率を比較した．その測定法であるが，培養液を連続的に希釈して，寒天培地（固形培地）に一定量滴下して，1～2 週間培養すると，（培養液が適度に希釈されている場合には）培養液中の1個の細胞が増殖して生じたコロニーが観察されるようになる．彼と一緒に，その個数を計測し，生存率を求めた．実験誤差が大きいので，何度も実験を行うことになり，寒天培地のプレート（シャーレ）がうず高く積まれていったことを憶えている．高発現株は，対照株に比べて，致死温度（50ºC で 15 分間）における生存率が約 10 倍増えた．HspA の大量発現だけで顕著な生存率の増加が観察されたのである．

この生存率が 10 倍増えたというのは，致死温度処理を光（30 µE/m^2/s，弱光である）照射下で行った場合の結果である．明所で致死温度処理を行うと，（対照株の）生存率が 2.3%，同様の処理を暗所で行うと 32%になり，明所では生存率が格段に低下するために，HspA の高発現の効果が顕著になる．一方，暗所では，この効果が顕著にみられない（1.3 倍程度の生存率の増加）．*hspA*，*groEL* や *htpG* などの分子シャペロン遺伝子の発現は，光照射により著しく増えるが，明所高温下では，タンパク質の変性・損傷が激しいために，より多くの分子シャペロンが必要とされるのではないかと考えている．

６．６．２．HspA の高発現によるフィコビリソームの熱耐性の増大

光合成が熱に弱いということは昔から知られていたので，光合成活性を測定したところ，HspA の高発現により光合成（電子伝達系）が熱耐性を獲得することが明らかになった．従って，高温下で光合成が守られたために生存率が高くなったという議論もできたかもしれないが，対照株の光合成活性は，明暗にかかわらず，検出不可能なレベルまで低下していた．しかし，上に述べたように，暗所で対照株を高温処理すると，光照射下に比べて 10 倍以上生存率が上昇したのである．

筆者は，光合成活性の熱失活と生存率とは関係しないと思っている．むしろ，集光機能を司るフィコビリソームの熱失活と生存率の方が相関していた．細胞の吸収スペクトルをとると，非破壊的にフィコビリソーム（吸光度）の定量ができる．フィコビリソームを構成する主要タンパク質であるフィコシアニンは，～620nm に吸収極大を示す．対照株を光照射下で熱処理すると，フィコビリソームの吸光度が顕著に減少したが，暗所では著しい減少は観察されなかった．さらに，HspA を高発現することにより，光照射下で熱処理をしても，フィコビリソームの減少は抑制された（**図 10**）．これらの結果から，ストレス下でフィコビリソームを守ること（あるいはフィコビリソームが変性しない細胞環境を維持すること）が生存上重要で，そのために分子シャペロンが重要なはたらきをしているのではないかと考えた．フィコビリソームは細胞全タンパク質の 50％を占める．従って，細胞のタンパク質の品質管理上，フィコビリソームを守ることは非常に重要である．

６．７．HspA とフィコビリソームの相互作用

６．７．１．フィコビリソームのブリーチング

HspA がフィコビリソームと直接相互作用するのではないかと考えて，試験管レベルでそれを証明しようとした．上述のように，細胞（対照株）を光照射下で高温処理すると，フィコビリソームの色が顕著に消失（ブリーチング）した（**図 10**）．本間君（**５．３節**）は，単離したフィコビリソームがブリーチングする条件を見つけようとした．単に，高温（50ºC）にしてもそれは起こらなかったが，過酸化水素を 0.03%～0.3%加えて高温処理すると起こった．細胞レベルでも，暗所では50ºC処理してもブリーチングしないが，光照射するとそれが起こった．このような観察に基づき，高温下で，タンパク質が変性して細胞のエネルギー消費が減少するにもかかわらず，過剰の光エネルギーが吸収され光合成電子伝達系に供給された場合には，電子伝達系は過還元状態となるために活性酸素が生じ，ブリーチングが起こるのではないかと考えている．

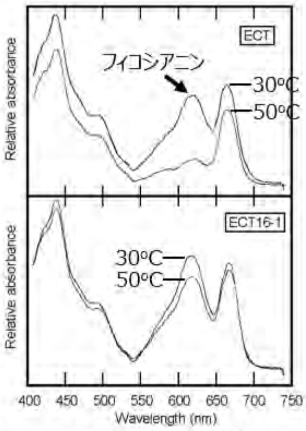


図10. HspA高発現株（ECT16-1）と対照株（ECT）の細胞の吸収スペクトル

６．７．２．HspA によるフィコビリソームのブリーチングの抑制・阻害

フィコビリソームのブリーチングに伴い，どのような構造変化が起こるのか．超遠心分離を行って高温・過酸化水素処理後の単離フィコビリソームのサイズ変化を調べたところ，それが解離することが明らかになった．この解離は，高温（50ºC）処理だけでは観察されず，過酸化水素を 0.15～0.3%加えて，高温処理（3 分間）すると起こった．解離のみならず，フィコビリソームの青い凝集物も検出された．また，光照射下で 50ºC 処理をした細胞を破砕し，超遠心分離をしてフィコビリソームを解析すると，その解離が観察された．これらの結果に基づき，フィコビリソームが解離し凝集する過程で，ブリーチングが起こるのではないかと考えた．高温・過酸化水素処理をする前に，HspA を加えると，単離フィコビリソームのブリーチングが抑えられ，その解離は阻止できないが，凝集は阻害されることが分かった．

フィコビリソームの主要構成タンパク質であるフィコシアニンと HspA の直接的な相互作用を解析するために，精製したフィコビリソームを解離させ，イオン交換クロマトグラフィーとヒドロキシアパタイトカラムクロマトグラフィーでフィコシアニン（α とβ のヘテロ 2 量体）を高度に精製した．これを，0.3%過酸化水素存在下 50ºC で 15 分間処理をすると，フィコビリソームを処理した時と同様にブリーチングしたが，HspA によってそれが阻止された．これらの結果は，HspA がフィコシアニンと直接相互作用して，そのブリーチングを抑制・阻害することを示すものである（FEBS Letters, 2006 年）．

６．８．HspA とチラコイド膜の相互作用

HspA はフィコシアニンのような可溶性タンパク質のみならず，チラコイド膜の安定化にも関与することが，金子康子先生（現教育学部）との共同研究（電子顕微鏡による微細構造の解析）で示された．金子先

生が指導された新田浩二君と，筆者が指導した鈴木伸章君（５．６節）がこの研究を進めてくれた．

高温（光照射下）で処理後のHspA高発現株とその対照株の微細構造を比較すると，株間の違いは顕著で，対照株のチラコイド膜は激しく損傷（断片化や膨潤など）していた．それに対して，HspA 高発現株のチラコイド膜は，処理前と同様の同心円状に何層か重なった構造を維持していた．強光下における構造的損傷も HspA によって緩和された．次に，HspA との直接的な相互作用によりチラコイド膜が安定化するのではないかと考えて，HspA の局在性を調べた．当時，高等植物の低分子量 Hsp が，それ自身は可溶性であるにもかかわらず，遠心分離すると（少なくとも一部が）チラコイド膜とともに沈殿画分に検出されることが報告されていた．我々も同様の結果を得ていたが，HspA がチラコイド膜に結合すると断定するためには遠心分離するだけでは不十分で，免疫電子顕微鏡法等で直接検出すべきだと考えた．この方法では，細胞の凍結超薄切片を作製し，その切片上で（HspA の抗体を用いて）免疫反応を行うが，かなり難しい実験で，金子先生の指導の下，鈴木君と新田君が協力して成し遂げた．金コロイド免疫電顕法により，HspA は，30ºC と 45ºC（非致死的高温）のどちらでも，サイトゾルとチラコイド膜の両方に存在するが，金粒子（即ち，HspA）の数を数えると，30ºC ではチラコイド膜の方に約 2 倍多く局在していたが，45ºC の熱ショックでサイトゾルに「移動し」，ほぼ等しく分布するようになり，熱ショック後 60 分が経過すると，熱ショック前の状態に分布することが明らかになった．HspA はサイトゾルの可溶性タンパク質とチラコイド膜の双方と相互作用して，それらの安定化に寄与すると考えている．

６．９．HspA の高温以外のストレス耐性への関与

世界の全陸地面積の～7%（の土壌表層）に塩が蓄積し（1994 年），さらに年々増加しつつあるという．高塩は，植物の生育を阻害し，枯死させることもあるので，食糧生産上大きな問題を引き起こしている．植物に塩耐性を付与できれば，このような問題の解決につながるだろう．転写産物の網羅的解析によると，PCC6803 の全遺伝子の中で，*hspA* は高塩濃度下で二番目に顕著に（転写）誘導される遺伝子である．Asadulghani 君（４．３節）の博士論文のテーマの一つは，HspA が（細胞の）耐塩性に寄与するかどうかを解明することであった．

野生株を高塩（2.0M）で 12 時間処理すると生存率は 20％以下に減少したが，事前に（生存率には影響しない穏やかな）塩処理（0.5M で 2 時間）をしておくと，致死的高塩下の生存率が 60％程度まで向上した（塩耐性を獲得した）．高塩処理によって，クロロフィルやフィコシアニン等が減少するが，事前に穏やかな塩処理をすると，それらの減少も抑制された．一方，HspA の遺伝子が欠損した株では，穏やかな塩処理をしても塩耐性獲得現象は観察されなかった．即ち，HspA は塩耐性獲得に重要なはたらきをするのである（Archives of Microbiology，2004 年）．なお，高等植物の低分子量 Hsp も耐塩性に関与する．イネの低分子量 Hsp（OsHSP40）の変異株は塩ストレス感受性であることが報告されている（Wang ら，2019 年）．また，低分子量 Hsp（RcHSP17.8）を構成的に発現するシロイヌナズナが塩耐性を獲得したという報告もある（Jiang ら，2009 年）．

渡邉達郎君（2007 年度修士論文）とインドからの留学生である Kollimalai Sakthivel 君（2009 年度博士論文）は，HspA が，酸化ストレス耐性にも関係するかどうかを調べた．1mM の過酸化水素存在下で，HspA 大量発現株は増殖するが，対照株は全くしなかった．種が異なるが，PCC6803 株の HspA 遺伝子破壊株は，活性酸素の発生を促進するメチルビオローゲン（パラコート）に顕著な感受性を示した．過酸化水素やメチルビオローゲン存在下では，対照株あるいは野生株のクロロフィルやフィコシアニンの減少がみられたが，HspA の高発現によりその減少が抑制され，HspA 遺伝子破壊株では，野生株が（順化して）すぐに減少を止めるのに対して，減少が継続して起こった．低分子量 Hsp が酸化ストレス耐性において重要なはたらきをすることを示すこれらの結果を Archives of Microbiology に発表した（2009 年）．

シアノバクテリアに関する低分子量 Hsp の研究が目に留まったのか，Cellular and Molecular Life Sciences から依頼されて低分子量 Hsp に関する総説を書いた（2007 年）．真核生物の低分子量 Hsp を

含む一般的な総説を書かねばならないと思い，Biological Research Centre の László Vígh 教授（ハンガリー科学アカデミーのメンバー）に共同執筆をお願いした．この総説は，自分の論文の中で最も引用回数の多いものである．この共同執筆を契機に，Vígh 教授との交流が発展した．日本学術振興会の二国間交流事業共同研究に二回採択され Vígh 教授の研究室を訪問するとともに，教授の研究員を筆者らの研究室に何度も受け入れ，さらに二つの総説を共同執筆し，今も公私ともども親しくさせてもらっている．

7．謝辞

筆者は，卒業論文と修士論文の指導を杉山達夫先生（静岡大学助教授，後に名古屋大学教授，理研植物科学研究センター長などを歴任，1999 年に紫綬褒章受章）に，博士論文を Gerald E. Edwards 先生（米国ウィスコンシン大学教授，ワシントン州立大学教授を歴任，Regents Professor）に指導していただいた．研究は，C_4 光合成の生化学・生理学に関するもので，杉山先生からは，ユニークで重要な発想をし，仮説立案後は，全身全霊で証明すべきであると学んだ．Edwards 先生からは実験結果をそのまま受容し，博識に基づき，さまざまな立場から考察することを学んだ．その後，英国の David Walker 教授（シェフィールド大学教授，光合成研究所所長）のもとでポスドク（博士研究員）を経験したが，教授の完璧なまでの放任指導には驚いた．大学院生はほとんど指導を受けていなかったので自ら研究を進めていたと思うが，英国はこのような指導でノーベル賞を輩出してきたのではないかと想像した．この場を借りて，これらの Mentor の方々に感謝を述べたい．

また，好奇心をかきたてる偶然の発見を共に経験し，研究の旅をともに歩んでくれた学生の皆さんに，もう一度謝意を表する．このマイレビューでは，論文業績を主観的に評価しながら書いたかもしれないが，H-index に基づく評価法（Publons）では，27 の値（http://www.jbsoc.or.jp/letter-archive-nakanishi/2014-01.html）になる．論文等に関係する方々の話が中心になったが，名前を挙げなかった代謝学研究室の一人ひとりにも心からお礼を申し述べたい．代謝学研究室を選んでくれた彼ら・彼女らが無事卒業あるいは修了できるようにと教育指導・世話する中で，孤独な，闇の中を歩く力をもらったこともある．杉山先生のように厳しく指導すれば，もう少し質の高い研究ができて学生の皆さんにとっても良かったかもしれないと思うことがあるが，私はせいぜい小言をいうのが精いっぱいであった．また，最後の 15 年間は，講義関係や委員会関係の仕事，書類・論文作成等に追われて，実験室で自分自身がピペットマンを握ることがほとんどなく，（もちろん個別のディスカッション，ゼミ・研究室合宿等での指導はしたが）学生さんに十分な技術指導ができなかったことを残念に思う．しかし，このような心配とは裏腹に，学生さんたちは教員の目を気にせず，自由で楽しい研究室生活を謳歌していたのかもしれない．

本研究は，埼玉大学のさまざまな研究費・国際交流支援費（Lab-to-Lab 含む），在外研究費，科学研究費補助金（基盤研究(C) 18K05407 を含むこれまでの基盤研究，特定領域研究），二国間交流事業（日本学術振興会）やヤマハ発動機などからの研究費の助成を受けて行われたものである．

《若手研究者の紹介》

リン酸配位子が形成する配位高分子における非通常系列のランタノイドイオン交換特性

Unusual lanthanide ion exchange series of coordination polymers based on phosphorous ligand

理工学研究科物質科学部門 半田　友衣子
Graduate School of Science and Engineering
Yuiko Handa

Abstract

Recognition and separation of individual lanthanide(III) ions (Ln^{3+}) are rather difficult and remain a challenging task because of their similar properties. In this report, Ln^{3+} exchange in coordination polymers (CPs) and exceptional ion-exchange selectivity offered by restricted coordination sites in the CPs are discussed. Di(2-ethylhexyl) phosphoric acid (Hdehp), which is effective for Ln^{3+} mutual separation, was employed as a linkage (L) and [LnL_3] was synthesized. Partial exchange of central Ln^{3+} by the other kind of Ln^{3+} and an unique affinity having a maximum in the Ln series is shown: Ln^{3+} selectivity, in general, monotonously varies in the series. The affinity sequence depends on an ionic radius of central Ln^{3+}, indicating that not only coordination ability between Ln^{3+} and the linkage but also difference in ionic size between an original and an incoming Ln^{3+} are significant to ion-exchange selectivity.

1. 緒言 [1,2]

希土類元素はランタノイドとスカンジウムおよびイットリウムの 17 元素のことであり，そのうち 16 種類がごく限られた鉱物中に混在する．化学的性質が類似するため，希土類元素の相互分離は容易ではない．第二次世界大戦直後までは，分別結晶や分別沈殿が主な分離法であり，原子番号が隣合う 2 元素の分離には少なくとも数千回の操作が必要であった．その後，イオン交換法の確立により，希土類元素の研究と実用化が飛躍的に進んだ．1 つのカラムで多段分離が達成できる利点がある一方で，溶液濃度が低くなければならないために分離に時間がかかるという欠点があり，これらの欠点を克服する溶媒抽出法が後に主流となった．溶媒抽出でランタノイドイオン（Ln^{3+}）の相互分離に用いられる抽出剤は，リン酸エステル系化合物である．これらは，H^+とイオン交換する形で Ln^{3+}を抽出する．中でも，ジ-2-エチルヘキシルリン酸($PO(OH)(OCH_2CHC_2H_5C_4H_9)_2$,HDEHP)は最も有力な Ln^{3+}抽出試薬である．分離性能以外にも有機溶媒と水への溶解性など溶媒抽出試薬として優れた点が多く，1960 年代から現在に至るまで工業的に利用され続けている．溶媒抽出法は，大量の有機溶媒を利用するという欠点があり，この問題を克服するために，含浸樹脂の利用などが検討されてきた．しかし，抽出剤は物理的に吸着しているだけなので，使用を繰り返すと溶出することが問題である．

著者は，HDEHP が形成する配位高分子を固体材料として利用することを着想した．配位高分子は，有機配位子が金属イオンを架橋して形成する高分子型超分子錯体である．その中でも，ナノメートルサイズの空隙が連なり，表面積が大きい物質は Metal-Organic Framework(MOF)と総称される．HDEHP は Ln^{3+}に対して配位子が大過剰に存在する通常の溶媒抽出では，$Ln(dehp)_3(H_2dehp)_3$ の化学種が有機相に抽出される一方で，配位子濃度と Ln^{3+}濃度が同程度になるか酸濃度が低くなると， P=O と $P\text{-}O^-$で 2 座配位子となり，Ln^{3+}を架橋して高分子錯体を形成する．この現象は 1950 年代から知られており，Ln: $dehp^-$ = 1:3 の錯体であることがわかっていた．[3]結晶性が低く単結晶が得られないため，結晶構造は未解明であったが，2015 年になって，Nd^{3+}と HDEHP の配位高分子の結晶が 1 次元の鎖構造が積み重なった構造であると提唱された．[4]

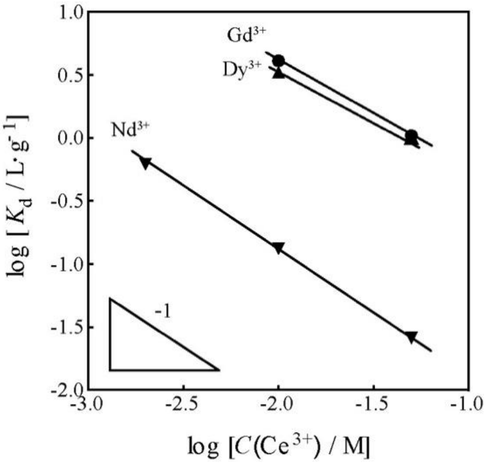


Fig.1 Log K_d as a function of log $c(Ce^{3+})$. $[Ce(dehp)_3]$, 50 mg; $Ln(NO_3)_3$ solution (Ln = Nd, Gd, Dy, or Lu), 0.20 mmol L^{-1}, 5 mL: time, 28 d.

著者は，配位子が自己組織化して固体化したリン酸エステル配位高分子は，配位子が物理的に固定化しているだけの含浸樹脂等よりも優れた吸着剤になるのではないかと着想して研究を開始し，HDEHP が形成する配位高分子においてランタノイドイオン同士のイオン交換が起こること，その選択性が溶媒抽出系とは異なることを見出したので，それらの結果について概説する．

2. リン酸エステル配位高分子の合成とキャラクタリゼーション

80:20vol%エタノール/水混合溶媒中で HDEHP と $LnCl_3$ をモル比 3:1 で混合して$[Ln(dehp)_3]$を合成した．酸分解処理の後 ICP-OES，元素分析，X 線吸収微細構造（XAFS）の結果から，組成が$[Ln(dehp)_3]$であることを確認した．PXRD はこれまで報告されてきたものと同様のパターンであることから，鎖構造がスタックした構造にもつ高分子であることを確認できた．

3. ランタノイド選択的なイオン交換 [5-6]

まず，固体中 Ln^{3+}と溶液中 Ln^{3+}が 1:1 で交換する以下の反応が起こると考えた．

$$\overline{Ln_{or}^{3+}} + Ln_{in}^{3+} \rightleftarrows \overline{Ln_{in}^{3+}} + Ln_{or}^{3+} \quad (1)$$

Ln_{or}^{3+}はもともと骨格を形成していた Ln^{3+}，Ln_{in}^{3+}は初期溶液中のに存在していた Ln^{3+}である．濃度平衡定数は，以下のように表せる．

$$K_c = \frac{\overline{Q(Ln_{in}^{3+})} \cdot c\left(Ln_{or}^{3+}\right)}{\overline{Q(Ln_{or}^{3+})} \cdot c\left(Ln_{in}^{3+}\right)} = K_d \cdot \frac{c\left(Ln_{or}^{3+}\right)}{\overline{Q\left(Ln_{or}^{3+}\right)}} \quad (2)$$

$\overline{Q(Ln^{3+})}$は配位高分子中 Ln^{3+}濃度，$c(Ln^{3+})$は溶液中 Ln^{3+}濃度，K_c は選択係数，$K_d = \overline{Q\left(Ln_{in}^{3+}\right)}/c\left(Ln_{in}^{3+}\right)$は分配係数である．$c(Ln_{in}^{3+})$ が十分に小さいとき，$\overline{Q(Ln_{or}^{3+})} \approx$ const. とみなせるので，

$$\log K_{\mathrm{d}} = -\log c\left(\mathrm{Ln_{or}^{3+}}\right) + \mathrm{const.} \qquad (3)$$

となる．上式に基づき，Fig.1 には，$(\mathrm{Ce^{3+}}+\mathrm{Ln_{in}^{3+}})$水溶液中での$\mathrm{Ln_{in}^{3+}}$の K_{d} の $\mathrm{Ce^{3+}}$濃度依存性を示す．log K_{d}—log $c(\mathrm{Ce^{3+}})$プロットの傾きが-1 であることは，(1)式で表した 1:1 交換反応が起こることを示す．配位高分子または MOF におけるイオン交換に関する研究で，反応の化学量論を実験的に明らかにした例はほとんどなく，少なくとも 3 価のイオンに対しては，著者らの研究が最初の例であった．

Fig.2 は$[\mathrm{Ce(dehp)_3}]$における$\mathrm{Ln^{3+}/Ce^{3+}}$イオン交換等温線である．Xは溶液中，Yは固相中での$\mathrm{Ln_{in}^{3+}}$モル分率である．X によらずにイオン強度が一定となるように $\mathrm{Ce^{3+}}$を添加した$\mathrm{Nd_{in}^{3+}/Ce_{or}^{3+}}$，$\mathrm{Gd_{in}^{3+}/Ce_{or}^{3+}}$，$\mathrm{Dy_{in}^{3+}/Ce_{or}^{3+}}$ に見られる等温線の型は，剛直な構造を持つ無機イオン交換体において，イオンサイズの差が大きい 2 種のイオン交換でしばしば観測される．たとえば，結晶中の小さいイオンが大きいサイズのイオンと交換する際には立体的効果が働き，X=1 でも Y<1 であったり，X が比較的大きい範囲で Y が増加しない傾向が認められることがある．このような系では，以下の式における Kielland 係数(k)の絶対値($|k|$)が立体的影響の大きさの指標となる．

$$\log K_{\mathrm{c}} = \log (K_{\mathrm{c}})_{Y\to 0} + 4.606k\cdot Y \qquad (4)$$

Fig.3 に，Yに対する log K_{c}をプロットする．イオン半径が小さい$\mathrm{Ln_{in}^{3+}}$との交換ほど直線の傾きが大きく$|k|$が大きい．前述の例とは逆に，もともと固体の構造を形成している$\mathrm{Ce^{3+}}$の方がサイズが大きいので，イオン半径差が大きいほどイオン交換の立体的影響が大きいことを示唆している．初期状態の空間サイズが大きいにもかかわらず立体的な効果が働くのは，配位高分子骨格がある程度剛直であり，入ってくるイオンの小さいサイズに骨格を合わせられないためであると予測される．

立体的影響が支配的に働くのであれば，イオン交換選択性は，$|k|$の大きさと逆の順$(\mathrm{Lu_{in}^{3+}/Ce_{or}^{3+}} < \mathrm{Dy_{in}^{3+}/Ce_{or}^{3+}} < \mathrm{Gd_{in}^{3+}/Ce_{or}^{3+}} < \mathrm{Nd_{in}^{3+}/Ce_{or}^{3+}})$になると予測されるが，実際にはそうではない．著者らは，立体的影響と静電相互作用が拮抗した結果，このような興味深い選択性を発現すると考えている．仮に前者の寄与で決定する選択性を K_{c}'，後者の寄与で決定する選択性を K_{c}''と分割して考えられるとすると，$\mathrm{Ce^{3+}}$とのイオンサイズの差が大きいほど K_{c}'は小さくなり，K_{c}''は大きくなるはずである．逆の傾向を示す K_{c}'と K_{c}''両者の寄与があると考えると，上記の選択性系列を説明できる．

$$X=\frac{c\left(\mathrm{Ln_{in}^{3+}}\right)}{c\left(\mathrm{Ln_{in}^{3+}}\right)+c\left(\mathrm{Ce_{or}^{3+}}\right)} \qquad Y=\frac{\overline{Q\left(\mathrm{Ln_{in}^{3+}}\right)}}{\overline{Q\left(\mathrm{Ln_{in}^{3+}}\right)}+\overline{Q\left(\mathrm{Ce_{or}^{3+}}\right)}} \qquad (5)$$

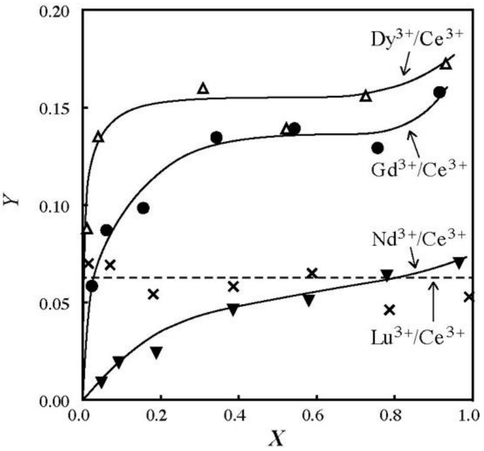


Fig.2 Ion exchange isotherms of $\mathrm{Nd^{3+}}$, $\mathrm{Gd^{3+}}$, $\mathrm{Dy^{3+}}$, or $\mathrm{Lu^{3+}/Ce^{3+}}$ exchanges. $[\mathrm{Ce(dehp)_3}]$, 50 mg; mixed solution of Ln-and-$\mathrm{Ce(NO_3)_3}$, 10 mmol $\mathrm{L^{-1}}$, 10 mL; initial $\mathrm{Ln^{3+}/Ce^{3+}}$ ratios, 0.050, 0.10, 0.20, 0.40, 0.60, 0.80, and 1.0; time, 28 d. $c(\mathrm{Ln_{in}^{3+}})$ and $c(\mathrm{Ce^{3+}})$ were measured by ICP-OES.

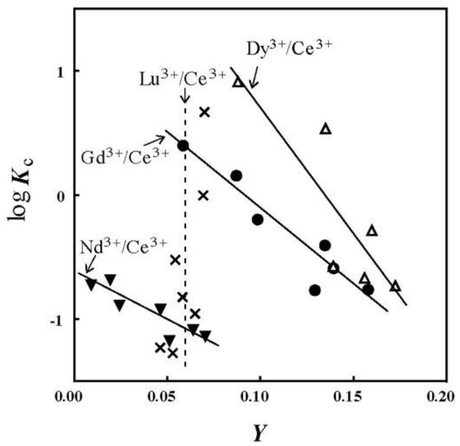


Fig.3 Kielland plot for $\mathrm{Nd^{3+}/Ce^{3+}}$, $\mathrm{Gd^{3+}/Ce^{3+}}$, $\mathrm{Dy^{3+}/Ce^{3+}}$, and $\mathrm{Lu^{3+}/Ce^{3+}}$ exchanges.

Yは最大でもおよそ0.17であり，どの条件においても固体中でCe^{3+}とLn^{3+}_{in}が共存することを示している．YのXに対する変化は，Lu^{3+}/Ce^{3+}とその他 3 つ傾向が異なり，Lu^{3+}/Ce^{3+}以外では，Xが 0 から 0.1 の範囲で Y は増加し，Xが 0.1 から 1.0 の範囲では Y はほとんど変化しない．Lu^{3+}/Ce^{3+}は他の Ln^{3+}とは違い，Yの値が Xによらずにほぼ一定値を示す．上記の立体的影響がイオンサイズ適合性で説明できるのであれば，Ln^{3+}_{or}とLn^{3+}_{in}の相対的イオンサイズの差が重要ということになり，イオン交換選択性は，Ln^{3+}_{or}に依存して変化するはずである．Fig.4 に，$Ln^{3+}_{or}=Ce^{3+}$, Sm^{3+}, Nd^{3+}としたとき，すなわち[Ce(dehp)$_3$]，[Nd(dehp)$_3$]，[Sm(dehp)$_3$]におけるいくつかのLn^{3+}_{in}の K_c を示す．予測通り，Ln^{3+}_{or}のサイズを反映してK_cが変化する．Ln^{3+}_{or}よりも 7%だけイオンサイズが小さいLn^{3+}_{in}で K_c が最大となり，7%のサイズの違いまでは，許容できる構造の柔軟さがあることを示唆している．Xが 0 に近い場合の K_d は HDEHP を用いる溶媒抽出での代表的な結果とおおよそ同じ傾向があり，配位子と Ln^{3+}との単純な静電相互作用で説明できる．一般的なイオン交換樹脂では，Ln^{3+}系列において K_d はほぼ一定値を与える．これに対して，配位高分子を用いることにより，溶媒として水しか用いないで，溶媒抽出と同程度の Ln^{3+}選択性を実現できることを示している．

以上のように，[Ln(dehp)$_3$]におけるイオン交換をより詳細に調べた結果，配位高分子中のLn^{3+}_{in}モル分率 X に依存して変化するユニークな選択性を見出した．

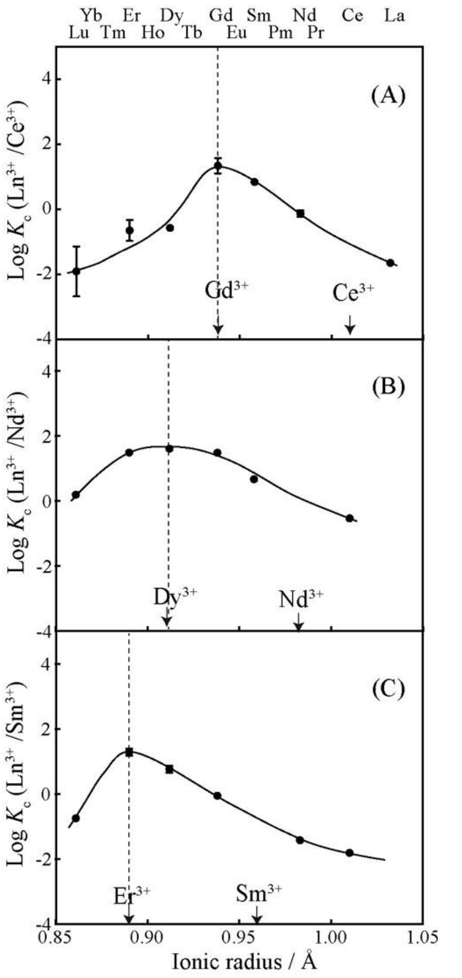


Fig.4 Logarithms of K_c with [Ce(dehp)$_3$] (A), [Nd(dehp)$_3$] (B), and [Sm(dehp)$_3$] (C) as a function of ionic radius of Ln^{3+}. [Ln(dehp)$_3$], 25 mg: Ln^{3+}_{in} solution, 1 mM , 5 mL: time, 90 h. Lines are eyeguide.

4. さいごに

溶媒抽出においてランタノイド相互分離に有効な HDEHP を用いて配位高分子[Ln(dehp)$_3$]を合成し，イオン交換体となり得ることを見出した．Ln^{3+}同士のイオン交換特性を調べた結果，イオン交換率によってイオン交換選択性が変化することを明らかにした．特にイオン交換率が大きい場合，溶媒抽出では高選択的な重希土類に対する選択性は低く，中希土類に高い選択性を示す．

現在，いくつかのリン酸配位子を用いる配位高分子で，通常とは異なるイオン交換系列を示す系を見出している．配位高分子は有機イオン交換体とも無機イオン交換体とも異なる特性を持つ材料になり得ることを示唆しており，今後様々な系で興味深い現象が見出される可能性がある．

5. 参考文献

1) 鈴木康雄:“希土類の話”, p.24(1998),(裳華房)
2) J. H. Forsberg, et al.: “Gmelin Handbook of Inorganic Chemistry”, P.86 (1983), Sprinder-Verlag.
3) D. F. Peppard, G. W. Mason, W. J. Driscoll, R. J. Sironen: *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **7**, 276 (1958).
4) R. J. Ellis, T. Demars, G. Liu, J. Niklas, O. G. Poluektov, I. A. Shkrob: *J. Phys. Chem. B*, **119**, 11910 (2015).
5) Y. Handa-Tasaki, Y. Abe, K. Ooi, M. Tanaka, A. Wakisaka: *J. Colloid Interf. Sci.*, **413**, 65 (2014).
6) Y. Handa-Tasaki, Y. Abe, K. Ooi, M. Tanaka, A. Wakisaka: *Dalton Trans.*, **43**, 1791 (2014).

電子顕微鏡観察のための凍結技法

科学分析支援センター 辻　季美江

電子顕微鏡（電顕）観察における凍結技法は近年，関連する装置の開発・改良とともに発展し普及してきています．凍結法を用いるメリットとして，生物試料は化学固定などの前処理を施さず生きている状態に近い細胞内構造を観察できること，流体・液体状試料は凍結により固化できるため，乾燥や結晶化させずに観察できること，などが挙げられます．試料の構成要素を失うことがないので X 線分析など成分分析も可能になります．

試料の凍結に際しては氷晶の形成・成長を防いで非晶質の凍結状態を得ることが重要です．氷晶は細胞の微細構造を破壊し，また結晶構造が目的の構造を観察する障害になり得ます．氷晶形成を防ぐ凍結方法として代表的なものが急速凍結法と高圧凍結法であり，各装置が科学分析支援センター（分析センター）に導入されています．本稿では各装置と凍結法の特徴，操作の注意点等，凍結技法の実際をご紹介します．

急速凍結装置（Leica 社　EM CPC）　図 1

原理：液体窒素で冷却した極低温の冷媒に試料を投入し急速に試料温度を下げることで氷晶形成を防ぎ凍結させます．冷媒には沸点と融点の差が大きなエタンやプロパンが適します．分析センターではエタンを使用しています．

良好な凍結深度：試料表面から数 μm

適した試料：単離・精製タンパク質，細胞骨格，細胞小器官など生体サンプルやウイルス，リポソーム，ミセル溶液など．体積が大きなものは不適です．

試料作製方法の例：ピンセットで挟み装置に取り付けた TEM 用グリッドに，数 μl の試料懸濁液をマイクロピペットでアプライした後，余分な液を濾紙で吸い取りグリッド上に試料液の薄層を作ります．リリースボタンを押すとピンセットがバネで押し出されてグリッドが冷媒中へ急速に落下し試料が凍結されます．この方法は氷包埋と呼ばれています．

ポイント：濾紙で試料液を吸い取る加減が難しく，吸いすぎると乾燥して氷包埋にならず，足りないと試料が厚くなり観察できません．電顕観察しないと成否が判断できないため，観察可能な試料ができるまで何度も繰り返すこともあります．試料は観察に適した濃度に調整しておく必要があります．

図1　急速凍結装置 Leica EM CPC

装置の特徴：付属のデュワーから自動で液体窒素が供給され，冷媒やチャンバ内部は任意の設定温度に自動調節されます．クライオチャンバ内で低温作業をすることもできます．

高圧凍結装置（Leica 社　EM HPM100）

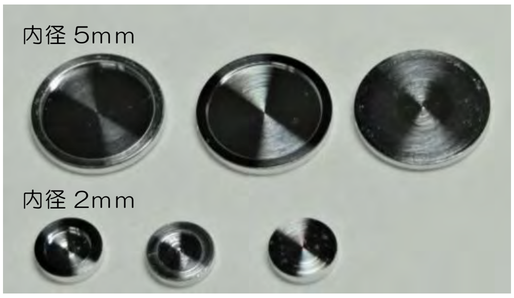


図 2 高圧凍結装置用試料キャリアの例

原理：高圧下では水の過冷却温度が下がり粘性が高くなるため，大気圧下より氷晶形成を抑えて凍結させることができます．試料に高圧（2100 bar）の液体窒素を吹き付けることにより加圧と冷却（凍結）を行います．

良好な凍結深度：200 μm 程度

適した試料：大きな試料や，細胞壁があるため一般的に凍結が困難とされる植物等にも適用可能です．動植物組織，細胞懸濁液，高分子溶液（エマルジョン）など．

試料作製方法の例：専用のキャリアと呼ばれる小容器があり（図 2），この中へ試料を詰め，蓋をするようにもう一枚のキャリアを重ねます．キャリアは内径が 2 mm と 5 mm の 2 種類，深さは数種類あり組み合わせによって 0.2 mm～0.6 mm の深さになります．試料を挟み込んだキャリアはシリンダーという部品でさらに挟み，凍結装置にセットします．ピンを押し入れると自動でシリンダーが装置内部へ導入され高圧凍結が行われて回収容器へ出てきます．

ポイント：キャリア内部に空気が残っていると凍結結果に影響するため，試料に適したサイズのキャリアを選ぶこと，空隙ができないよう充填することが重要です．キャリアより大きな組織はキャリアにフィットするよう試料を切り出し，小さな試料は密に詰め込みます．残った隙間はヘキサデセンやショ糖溶液などを用いて埋めます．試料全体が均一な凍結状態にならない場合も多いので，電顕観察の際に凍結状態の良い場所を探して観察することが必要です．

装置の特徴など：試料をキャリアに詰め込む段は細かい作業ですが，あとはピンを押すのみの操作で，ピンを押してから回収容器へ出てくるまでの工程は 5 秒程度で終了します．高圧がかかる際には瞬間的に大きな音と振動があります．使用準備として装置内のタンクに 40L の液体窒素を充填する必要があります．

スラッシュ窒素を用いる方法

上記2つの他に半固体状のスラッシュ窒素を用いる凍結方法があります．液体窒素は沸点が低いため試料を浸すと周辺の窒素が気化（沸騰）して凍結効率が悪くなりますが，液体窒素を脱気したスラッシュ窒素を用いると，試料を浸漬した際の沸騰が防げます．液体窒素脱気用のスラッシュチャンバは走査型電子顕微鏡（日立 H-3400N）の付属装置であるクライオシステム（Gatan 社 Alto1000）の一部として導入されています．このシステムではスラッシュ窒素の固まり具合をコントロールするのが難しく，試料の用意（切り出し等）をして凍結させる段階で手間取ることがありますが，数リットルの液体窒素があれば使用できる簡便な方法です．

凍結試料の観察法

凍結試料の観察には低温（クライオ）観察可能な透過型・走査型の電子顕微鏡（SEM，TEM）が必要です．分析センター保有機器では TEM は FEI 社 Tecnai G2, SEM は日立社　H-3400N が低温観察に対応しています．TEM の場合は液体窒素タンクが付属している試料ホルダー（クライオトランスファーホルダー：CT ホルダー）で試料を冷却しながら観察します（図 3 上）．SEM では試料ステージをクライオ用

に付け替え，冷却された窒素ガスを流し込み試料ステージを冷却することで低温観察に対応します．両者とも X 線分析装置が備わっているため凍結試料の元素分析が可能です．

急速凍結装置でグリッドに凍結試料を作製した場合は，そのまま SEM および TEM で観察可能です．高圧凍結の試料はキャリアのまま SEM 観察は可能ですが，TEM には厚すぎるため観察不可能です．生物試料の場合，TEM 観察のために一般的に用いられるのは凍結置換法です．凍結置換とは凍結試料をオスミウム/アセトンなど低温の置換液中に置き，試料中の水分を脱水すると同時に構造を固定した後に温度を上げる方法で，通常試料のように樹脂包埋・超薄切片作製をして常温で電顕観察できます．置換液の温度を氷晶成長温度以下の-85 ℃程度に保ち 1 日から数日おき，それから室温まで徐々に上げます．凍結置換では凍結試料をそのまま観察する場合と違い失われてしまう細胞成分もありますが，化学固定とは異なる生きた状態に近い細胞内構造は保持されます．また免疫電顕法を行う際に化学固定よりも反応性が保たれている場合があります．

他の TEM 観察のための方法として，高圧凍結試料を凍ったままクライオウルトラミクロトームにて超薄切片にして低温観察する CEMOVIS（Cryo-Electron Microscopy Vitreous Sections）と呼ばれる方法もあります．凍結以外の処理を加えず TEM 観察できる利点がありますが，技術的に熟練が必要で，電顕観察自体も難しい方法です．

クライオトランスファー

凍結試料を電顕本体へ挿入するといった，装置間の試料の移送はクライオトランスファーと呼ばれます．試料温度が 0℃以上になれば試料が融解するのは当然のこと，およそ-80℃で氷の再結晶化が始まるとされ，また大気に接することで試料に霜がつくと観察の障害にもなり，試料の移動は軽視できない過程です．凍結試料は基本的に液体窒素中に保っておくことが望ましいですが，電顕試料室へ導入する際には大気に触れずに試料装着・導入ができる特別なシステムが必要となります．

TEM の場合は液体窒素で冷却したクライオワークステーション内でグリッドを CT ホルダーへ装着します（図 3）．CT ホルダーの先端にグリッド装着部分を覆うシャッターがあり，閉じると内部空間は外気から遮断されます．その状態で TEM 本体へ試料を挿入し，シャッターを開けて観察します．

図 3　TEM のクライオトランスファーシステム
上）クライオトランスファー（CT）ホルダー
中）クライオワークステーションに装着した CT ホルダー
下）CT ホルダーへのグリッドの装着操作

SEMの場合は前述のスラッシュチャンバとトランスファーチューブと呼ばれる道具を用います（図4上）．冷却したスラッシュチャンバ内で試料台に試料を載せ，真空を引いて試料台をトランスファーチューブに引き入れ蓋を閉じると，チューブ内は大気フリーになります．試料の挿入はクライオ SEMの場合，試料室の前室となるクライオチャンバから行います（図 4 下）．液体窒素で冷却したクライオチャンバの試料交換窓部にチューブを装着し，試料交換棒を押し込んで試料台をチャンバ内へ挿入します．チャンバの真空度が上がれば試料室とチャンバの間にあるシャッターを開け，棒をさらに押し込んで試料台を試料室へ挿入します．

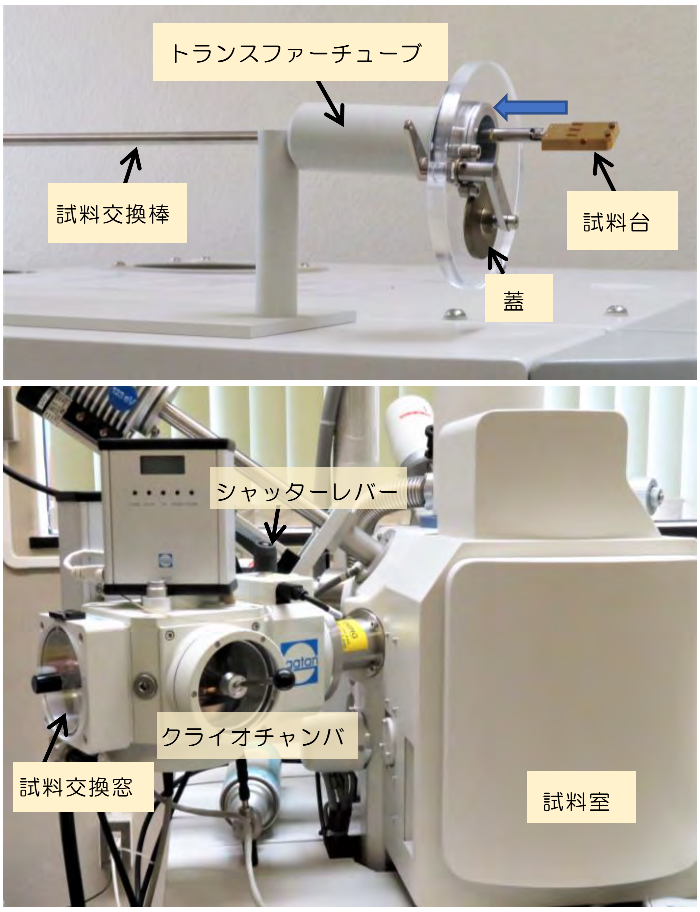


図 4　SEM のクライオトランスファーシステム
上）トランスファーチューブ：試料交換棒を引くと試料台が矢印方向へ引き込まれチューブに格納される
下）SEM　H-3400N に取り付けられた Alto1000 システム（クライオチャンバ）

終わりに

クライオ電顕観察法では，通常法に必要となる数時間から数日に及ぶ前処理は省略できるため，試料があればその場で凍結して観察することも可能です．しかし凍結結果は百発百中とはいかない点，トランスファーの段階で手間がかかる点，一度観察した試料の保存は手間がかかるため，基本的にはその場限りである点など，実際は通常観察とは違った苦労があります．それでもインタクトに近い状態を観察できるというメリットは大きく，凍結法でなければ観察できないものがあります．凍結観察が成功するか否かは試料によるところも大きいですが，工夫次第で解決できる場合もあります．通常電顕観察に加えて凍結試料の観察も選択肢に加えていただき，多くのユーザーに活用していただきたいと思います．

《forum in FORUM》

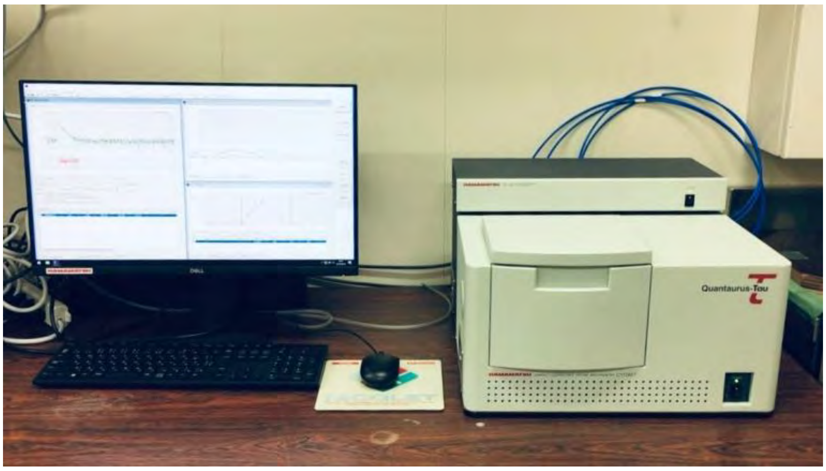
小型蛍光寿命測定装置 Quantaurus-Tau の紹介

科学分析支援センター 藤原 隆司

近年，青色 LED 研究（2014 年）やオワンクラゲから緑色蛍光タンパク質を発見した研究（2008 年）について日本人研究者がノーベル賞を授与されたことからもわかるように，新規機能性材料の分野として発光に関わる分野が大きく着目されており，日本人研究者の寄与も大きい．物質の発光に関する研究には「光の波長（どんな色か）・発光のエネルギー効率（効率よく光るか），発光寿命（どれだけ長時間光るか）」等を詳細に検討する必要がある．蛍光寿命測定装置は，物質がエネルギーの高い励起状態から光を放つことで基底状態（エネルギーの低い状態）に戻る際に，発光している時間（寿命）を測定する装置である．この寿命を調べることで，物質の励起状態における電子の振る舞いを理解することに不可欠な装置である．青色 LED や有機 EL 素材などといった工業的素材から，発光タンパク質など発光するあらゆる材料（有機物，無機物，複合材料，生体関連物質など）の新規機能性材料や新素材などの創製，開発及び評価などに極めて有効である．

科学分析支援センターではピコ秒蛍光寿命測定装置（1994 年度導入）を保有していたが，導入後十数年が経過して装置の老朽化が著しく故障に伴って廃棄せざるを得ない状況になり 2007 年度に廃棄された．しかし上記の研究分野の進展や研究者の増加などから，蛍光寿命測定装置は本学の学生実験や卒業研究・大学院での教育研究に不可欠なものとなってきた．そこで，2018 年度に学内自助努力分として予算措置を受け，小型蛍光寿命測定装置を導入することができた．今回導入された小型蛍光寿命測定装置 Quantaurus-Tau は，浜松ホトニクス製のコンパクトな蛍光寿命測定装置である．

Quantaurus-Tau は，サブナノ秒〜ミリ秒の蛍光寿命を測定する装置である．試料をサンプル室にセットし，計測ソフトウエアに数項目の指示を入れるだけの簡単な操作で，発光寿命と簡易的ではあるが発光スペクトルを短時間で測定することができる．量子収率が高い試料を用いた基本的な測定ならば，短時間で解析結果までを導き出すことが可能である．測定にはフォトカウンティング法と呼ばれる光電子増倍管により光子の数を計数して光の量を測定する方法が用いられている．本装置の励起光源には LED が装着されており，280, 340, 365, 405, 442, 470, 589, 632 nm を使用する事ができるので使用者は必要な波長を選択して使用することになる．発光波長の測定範囲は 300 - 800nm である．試料の形状は測定室を取り替えることで溶液・粉末・固体・薄膜といった多様なサンプルの状態に対応可能である．また，極低温計測用の試料室を取り付けることで，液体窒素温度での測定も可能となる．



小型蛍光寿命測定装置 Quantaurus-Tau
（左が制御 PC のディスプレイ，右が装置本体）

《セミナー》

Tea in Thailand: Opportunity and Challenge
日本茶業の現状と今後の方向および海外茶産地のお茶事情

科学分析支援センター　藤原　隆司

開催日時:　2019 年 1 月 15 日（火） 10:00〜11:30
出席者:　26 名

科学分析支援センター主催の学術セミナーを 2019 年 1 月 15 日（火）にシアター教室にて実施した.

今回はタイ国メーファールアン大学 茶業研究所の Piyaporn Chueamchaitrakun 博士と公益社団法人静岡県茶業会議所 月刊「茶」編集長の中小路和義氏をお迎えして, それぞれお二人に表題の演題でご講演をいただき, 約 30 名の参加者があった.

Chueamchaitrakun 博士は現在メーファールアン大学 茶業研究所（Tea Institute, Mae Fah Luang University）の所長を務められており, タイ国の茶業を国際的に広めるため積極的に海外活動を行っている. Chueamchaitrakun 博士は本学理学部基礎化学科の長谷川登志夫准教授と, タイ緑茶の香気特性などで共同研究もされ何度か来日されており, 著者も今回お会いするのは二度目であった. 本セミナーでは, タイ国における茶葉の生産やその活用方法, 将来における展開について, Chueamchaitrakun 博士のご研究, 活動成果をもとに講演をしていただたいた.

中小路和義氏は公益社団法人静岡県茶業会議所が発行する『月刊「茶」』の編集長を務められている. 『月刊「茶」』は静岡県茶業会議所が発行する茶の専門誌であり, 刊行 70 年を越える雑誌で, 生産者や茶商, 消費者などの読者から長年にわたって愛読されている雑誌である. 中小路氏には日本の茶業の現状, 消費の動向だけでなく, 海外の様々な茶産地を訪れた際の様子や, 海外における茶業の情報をグローバルな視点から講演していただいた. 両氏のお茶に向けられた情熱を感じながら, 貴重な時間を過ごすことができた.

Chueamchaitrakun 博士

中小路和義氏

《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

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．2018 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．2018 年度の活動状況としては，毎月の廃液回収や 4 月の説明会の開催，環境分析ニュースレターを毎月発行し，実験廃液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掲載しています．また，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・セミナー等へ積極的に参加し，他大学の担当者と意見交換をすることで，廃棄物特に特別管理産業廃棄物の管理の在り方，構内排水の問題点や水質改善等の情報交換を行っています．主な活動内容は表 1 を参照ください．

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 1,500 ～ 3,500L の実験廃液を回収し業者に処理を委託しました（毎月の外部委託処理量につきましては表 2 を参照ください）．無機廃液におきましては回収した無機廃液タンク全ての廃液容量，pH の確認を実施しています．これはタンクの貯留量及び廃液の pH が処理作業上での安全確保に大変重要な項目であるためです．

廃液を搬出する際は以下の点にご注意願います．

- 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．
- 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．
- 輸送の際は，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．
- サンダル等の履物だと足にかかったり，転倒事故を起こしたりします．廃液を運搬する際は靴を履いて作業するようお願いします．

最近 5 年間の年間回収量は，有機廃液が約 22,000L，無機廃液が約 5,500L，固形廃棄物が約 1,800kg で安定した排出量となっています．

構内排水の分析では，さいたま市の政令に基づき本年も最終放流口において月 4 回の水質検査（揮発性有機化合物（VOC）と有害金属類）と，pH および水温を毎日測定し，その結果をさいたま市へ毎月報告しています．自主分析結果の詳細につきましては表 3 を参照ください．

また，本学が行う自主分析以外にも，さいたま市の実施する水質検査が 2018 年度は 3 回実施されています．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，浮遊物質量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．（さいたま市の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．

2018 年度の最終放流口における水質検査結果におきましては，下水道基準値以下ではありますが高濃度

の鉄，ベンゼン，1,4-ジオキサンが検出されました．さらに 11 月には下水道基準値を超えるジクロロメタンが検出されました．この結果についてはただちにさいたま市に報告するとともに，各建物モニターマスの測定を行い原因究明に努めました．また，安全衛生委員会では再発防止のため, 2019 年 3 月 22 日に「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.

- 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

2015 年 6 月より改正水質汚濁防止法が施行されました．改正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しなければなりません．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大変好ましくありません．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いたします.

最終放流口の pH 値につきましては, 今年も冬場に高い値が発生していました. 特に 2 月には 19 日の測定日において 8.9 以上が 12 日あり, このうち 9.0 を越える日が 2 日ありました.

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思われます.

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すのでご協力をお願いいたします.

表 1　2018 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 2 年次生『応用化学実験 I 実験ガイダンス』（受講者　61 名）		4/12
廃液処理説明会	190 名	4/19
	95 名	4/24
大学等環境安全協議会　総会・研修発表会参加		7/18-20
大学等環境安全協議会　実務者連絡会参加		8/30-31
大学等環境安全協議会　技術分科会参加		11/19-21
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

表 2　2018 年度　実験廃液・廃棄物外部委託処理量

	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
有機系廃液 /L	1909	1364	2532	1908	760	2325
無機系廃液 /L	1209	505	989	795	55	674
固形物 /kg	160	127	224	133	428	322
	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
有機系廃液 /L	1805	3575	1975	1746	1227	1284
無機系廃液 /L	432	675	475	766	335	282
固形物 /kg	143	339	125	93	133	78

本センターが政令に基づいて実施している，自主分析結果につきましては表 3 に記載します．また，表 4 に，さいたま市が行った大学の最終放流口での水質検査結果を記載します．

表３ 2018 年度 最終放流口分析結果（4 月～6 月）

単位：mg/L

測定項目	排除基準	4 月 4 日	4 月 10 日	4 月 17 日	4 月 23 日	5 月 8 日	5 月 15 日	5 月 22 日	5 月 28 日	6 月 5 日	6 月 13 日	6 月 19 日
砒素及びその化合物	≦0.1	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	N.D.	＜0.01	＜0.01	N.D.
セレン及びその化合物	≦0.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
カドミウム及びその化合物	≦0.03	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
鉛及びその化合物	≦0.1	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01
ホウ素及びその化合物	≦10	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0
銅及びその化合物	≦3	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30
亜鉛及びその化合物	≦2	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20
鉄及びその化合物	≦10	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0
マンガン及びその化合物	≦10	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0
クロム及びその化合物	≦2	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05
ジクロロメタン	≦0.2	N.D.	N.D.	N.D.	＜0.02	N.D.	N.D.	＜0.02	N.D.	＜0.02	N.D.	＜0.02
トリクロロエチレン	≦0.1	N.D.	＜0.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	＜0.01	＜0.01
1,4-ジオキサン	≦0.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
テトラクロロエチレン	≦0.1	N.D.	N.D.	＜0.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	＜0.01	＜0.01
四塩化炭素	≦0.02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
ベンゼン	≦0.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	＜0.01	＜0.01	＜0.01	0.027	N.D.	N.D.	N.D.
1,2-ジクロロエタン	≦0.04	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	＜0.004	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

N.D.：不検出

表４ 2018 年度 最終放流口分析結果（6 月～9 月）

単位：mg/L

測定項目	排除基準	6 月 25 日	7 月 3 日	7 月 11 日	7 月 19 日	7 月 25 日	8 月 3 日	8 月 8 日	8 月 22 日	8 月 28 日	9 月 6 日	9 月 12 日
砒素及びその化合物	≦0.1	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01
セレン及びその化合物	≦0.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
カドミウム及びその化合物	≦0.03	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
鉛及びその化合物	≦0.1	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01
ホウ素及びその化合物	≦10	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0
銅及びその化合物	≦3	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30
亜鉛及びその化合物	≦2	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20
鉄及びその化合物	≦10	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	1.02	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0
マンガン及びその化合物	≦10	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0
クロム及びその化合物	≦2	＜0.05	N.D.	＜0.05	＜0.05	＜0.05	N.D.	N.D.	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05
ジクロロメタン	≦0.2	N.D.	N.D.	＜0.02	＜0.02	N.D.	N.D.	N.D.	＜0.02	N.D.	N.D.	N.D.
トリクロロエチレン	≦0.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,4-ジオキサン	≦0.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.14	N.D.	N.D.
テトラクロロエチレン	≦0.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
四塩化炭素	≦0.02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
ベンゼン	≦0.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,2-ジクロロエタン	≦0.04	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

N.D.：不検出

表４ 2018 年度 最終放流口分析結果（9 月～12 月）

単位：mg/L

測定項目	排除基準	9 月 18 日	9 月 26 日	10 月 4 日	10 月 10 日	10 月 18 日	10 月 24 日	11 月 5 日	11 月 13 日	11 月 21 日	11 月 27 日	12 月 5 日
砒素及びその化合物	≦0.1	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01
セレン及びその化合物	≦0.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	＜0.01	＜0.01	N.D.	N.D.	N.D.
カドミウム及びその化合物	≦0.03	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
鉛及びその化合物	≦0.1	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01
ホウ素及びその化合物	≦10	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0
銅及びその化合物	≦3	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30
亜鉛及びその化合物	≦2	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20
鉄及びその化合物	≦10	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0
マンガン及びその化合物	≦10	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0
クロム及びその化合物	≦2	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05
ジクロロメタン	≦0.2	＜0.02	＜0.02	＜0.02	＜0.02	0.28	＜0.02	N.D.	＜0.02	＜0.02	＜0.02	＜0.02
トリクロロエチレン	≦0.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	＜0.01
1,4-ジオキサン	≦0.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
テトラクロロエチレン	≦0.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
四塩化炭素	≦0.02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
ベンゼン	≦0.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,2-ジクロロエタン	≦0.04	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

N.D.：不検出

表4 2018年度 最終放流口分析結果(12月～3月)

単位:mg/L

測定項目	排除基準	12月 18日	1月 8日	1月 16日	1月 23日	1月 30日	2月 7日	2月 13日	2月 19日	2月 27日	3月 7日	3月 13日
砒素及びその化合物	≦0.1	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01
セレン及びその化合物	≦0.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
カドミウム及びその化合物	≦0.03	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
鉛及びその化合物	≦0.1	N.D.	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	N.D.	＜0.01	＜0.01	＜0.01	N.D.
ホウ素及びその化合物	≦10	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0
銅及びその化合物	≦3	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30	＜0.30
亜鉛及びその化合物	≦2	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20	＜0.20
鉄及びその化合物	≦10	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	1.172	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0
マンガン及びその化合物	≦10	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0	＜1.0
クロム及びその化合物	≦2	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05	＜0.05
ジクロロメタン	≦0.2	N.D.	＜0.02	＜0.02	N.D.	＜0.02	＜0.02	N.D.	N.D.	N.D.	＜0.001	N.D.
トリクロロエチレン	≦0.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,4-ジオキサン	≦0.5	N.D.	N.D.	＜0.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
テトラクロロエチレン	≦0.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
四塩化炭素	≦0.02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
ベンゼン	≦0.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,2-ジクロロエタン	≦0.04	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

N.D.:不検出

表 4　2018 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		
		5/24	11/12	1/18
		10:00	14:00	10:50
アンモニア性窒素等	＜ 380	37.0	58.0	35.0
水素イオン濃度(pH)	5 超 9 未満	8.2	8.0	8.2
生物化学的酸素要求量(BOD)	＜ 600	230.0	160.0	130.0
浮遊物質量(SS)	＜ 600	230.0	130.0	140.0
ノルマルヘキサン(動植物)※1	≦ 30	. 21.0	18.0	8.2
カドミウム及びその化合物	≦ 0.03	＜ 0.003	＜ 0.003	＜ 0.003
シアン化合物	≦ 1	＜ 0.10	＜ 0.10	＜ 0.10
鉛及びその化合物	≦ 0.1	＜ 0.010	＜ 0.010	＜ 0.010
六価クロム化合物	≦ 0.5	＜ 0.05	＜ 0.05	＜ 0.05
砒素及びその化合物	≦ 0.1	＜ 0.010	＜ 0.010	＜ 0.010
水銀及びアルキル水銀 その他の水銀化合物	≦ 0.005	＜ 0.0005	＜ 0.0005	＜ 0.0005
トリクロロエチレン	≦ 0.1		＜ 0.0100	＜ 0.0100
テトラクロロエチレン	≦ 0.1		＜ 0.0100	＜ 0.0100
ジクロロメタン	≦ 0.2		＜ 0.0200	＜ 0.0200
四塩化炭素	≦ 0.02		＜ 0.0200	＜ 0.0020
1,3-ジクロロプロペン	≦ 0.02		＜ 0.0020	＜ 0.0020
チウラム	≦ 0.06		＜ 0.0060	＜ 0.0060
シマジン	≦ 0.03		＜ 0.0030	＜ 0.0030
チオベンカルブ	≦ 0.2		＜ 0.020	＜ 0.020
ベンゼン	≦ 0.1		＜ 0.0100	＜ 0.0100
セレン及びその化合物	≦ 0.1	＜ 0.010		
ほう素及びその化合物	≦ 10	＜ 1.00	＜ 0.10	＜ 0.10
ふっ素及びその化合物	≦ 8	＜ 0.80	＜ 0.20	＜ 0.20
フェノール類	≦ 5	＜ 0.50	＜ 0.02	＜ 0.02
銅及びその化合物	≦ 3	＜ 0.30	＜ 0.03	＜ 0.03
亜鉛及びその化合物	≦ 2	＜ 0.20	0.07	0.09
溶解性鉄及びその化合物	≦ 10	＜ 1.0	0.1	0.2
溶解性マンガン及びその化合物	≦ 10	＜ 1.0	＜ 0.1	＜ 0.1
クロム及びその化合物	≦ 2	＜ 0.10	＜ 0.05	＜ 0.05
1,4-ジオキサン	≦ 0.5	＜ 0.050	＜ 0.0500	＜ 0.0500

《センターより》

2018 年度動物慰霊式

科学分析支援センター　古舘　宏之

2018 年度埼玉大学実験動物慰霊式が 10 月 24 日（水）14 時 40 分から理学部 2 号館第一会議室において開催されました．主催は埼玉大学，そして科学分析支援センターが動物慰霊式の次第を取り仕切りました．学生実習や卒業研究，そして研究目的で実験動物を使用している方々，研究機構に所属する教職員，そして動物の御霊に感謝し安らかな眠りを祈りたいという方々の計 133 名が参加しました．

式は，足立明人准教授（科学分析支援センター，埼玉大学動物実験委員会委員）の司会により進められました．塚原伸治准教授（埼玉大学動物実験委員会委員長）による開式のことばに続いて，坂井貴文教授（理工学研究科）の挨拶がありました．挨拶では，科学の発展における動物実験の重要性とともに，動物実験がおかれている内外の状況について説明されました．実験動物の尊厳を守るために，あらためて 3R の原則を遵守することの意義についてお話しがありました．続いて動物飼育室の利用者を代表して津田佐知子助教（研究機構）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上で，生命科学の教育と研究が成り立っていることを自覚し，犠牲となった動物への慈しみや感謝の気持ちを持って，3R の原則を遵守することの必要性を述べました．さらに，動物犠牲のうえで得られた貴重な情報を，生命科学の発展や優秀な人材の育成として社会に還元することを誓いました．次に参加者全員によって花が捧げられ，黙祷することによって，実験動物の御霊に対する深い感謝と安らかな眠りを祈りました．最後に三浦勝清・科学分析支援センター長のことばによって式が閉じられました．

動物慰霊式の開催を通じて，教職員・学生，研究者の方々が改めて動物愛護について考えていただき，3R の原則を遵守し，適正な動物実験の実施に努めて頂く様に願います．また，動物実験についての動向は常に変化しております．科学分析支援センターは埼玉大学動物実験委員会と協力して，最新の情報収集をするとともに，適切な動物実験と動物の飼養が行われるように今後も情報発信を継続致します．

2018 年度科学分析支援センター活動日誌

4 月

9 日	利用ガイダンス		170 名
	利用ガイダンス		140 名
	装置講習		
		高速粉末 X 線回折装置（水平型）	5 名
		オスミウムコーター	1 名
10 日	装置講習		
		高速粉末 X 線回折装置（水平型）	2 名
	スタッフ会議		
	液体窒素充填立会		
11 日	利用ガイダンス		131 名
	装置講習		3 名
12 日		示差熱重量／熱機械分析装置	
	装置講習		
		核磁気共鳴装置（AV300）	5 名
		核磁気共鳴装置（AV500）	5 名
		飛行時間型質量分析装置	1 名
		高速粉末 X 線回折装置（水平型）	3 名
13 日	装置講習		
		核磁気共鳴装置（AV300）	5 名
		核磁気共鳴装置（AV500）	5 名
		卓上型粉末 X 線回折装置（水平型）	3 名
16 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
		飛行時間型質量分析装置	1 名
		卓上型粉末 X 線回折装置（水平型）	3 名
		汎用走査型分析電子顕微鏡	2 名
		X 線光電子分光装置	3 名
17 日	装置講習		
		高感度核磁気共鳴装置（AV400）	1 名
		飛行時間型質量分析装置	5 名
		誘導結合プラズマ発光分析装置	1 名
		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	2 名
		共焦点レーザー顕微鏡	2 名

科学分析支援センター利用ガイダンス

動物実験教育訓練

18 日　動物実験教育訓練　9 名
装置講習
核磁気共鳴装置（AV300）　2 名
核磁気共鳴装置（AV500）　2 名
飛行時間型質量分析装置　2 名
X 線光電子分光装置　3 名

19 日　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　190 名
装置講習
核磁気共鳴装置（AV300）　8 名
核磁気共鳴装置（AV500）　8 名
高速粉末 X 線回折装置（水平型）　4 名

20 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
汎用フーリエ変換赤外分光光度計　1 名

科学分析支援センター利用ガイダンス

23 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
飛行時間型質量分析装置　2 名
卓上型粉末 X 線回折装置（水平型）　1 名
示差走査熱量分析装置　1 名
アイソトープ実験施設表面汚染検査

24 日　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　95 名
装置講習
核磁気共鳴装置（AV300）　7 名
核磁気共鳴装置（AV500）　7 名
汎用走査型分析電子顕微鏡　7 名
スタッフ会議

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

25 日　装置講習
核磁気共鳴装置（AV300）　3 名
核磁気共鳴装置（AV500）　3 名
ナノフローLC 質量分析装置　3 名
液体窒素充填立会

26 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
Pulse 電子常磁性共鳴装置(Laser)　2 名
卓上型粉末 X 線回折装置（水平型）　3 名
汎用走査型分析電子顕微鏡　7 名

27 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
　飛行時間型質量分析装置　3 名
　多機能粉末 X 線回折装置　1 名
　共焦点レーザー顕微鏡　1 名

5 月

7 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
　高速粉末 X 線回折装置（水平型）　3 名
　X 線光電子分光装置　3 名
8 日　装置講習
　飛行時間型質量分析装置　1 名
　汎用走査型分析電子顕微鏡　6 名

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

9 日　放射線教育訓練(講演)　63 名
　装置講習
　飛行時間型質量分析装置　1 名
　高速粉末 X 線回折装置（水平型）　1 名
10 日　装置講習
　多機能粉末 X 線回折装置　1 名
　高分解能走査型電子顕微鏡　1 名
11 日　装置講習
　飛行時間型質量分析装置　2 名
　汎用走査型分析電子顕微鏡　2 名
　高分解能走査型電子顕微鏡　1 名
　走査型プローブ顕微鏡　1 名
　X 線光電子分光装置　3 名
　液体窒素充填立会

放射線教育訓練(講演)

14 日　装置講習
　卓上型粉末X線回折装置（水平型）　3 名
　多機能粉末 X 線回折装置　2 名
　CCD 型単結晶構造解析装置　1 名
15 日　動物実験委員会
　装置講習
　汎用走査型分析電子顕微鏡　2 名
　共焦点レーザー顕微鏡　1 名
　スタッフ会議
16 日　放射線教育訓練(講話)　39 名

	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
	誘導結合プラズマ発光分析装置	2 名
	汎用走査型分析電子顕微鏡	2 名
17 日	装置講習	
	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	3 名
	X 線光電子分光装置	2 名
18 日	放射線教育訓練(講演)	60 名
	装置講習	
	核磁気共鳴装置（AV300）	3 名
	核磁気共鳴装置（AV500）	4 名
	飛行時間型質量分析装置	3 名
	粉末 X 線回折装置（水平型）	3 名
	汎用走査型分析電子顕微鏡	3 名
	X 線光電子分光装置	2 名
21 日	装置講習	
	汎用フーリエ変換赤外分光光度計	2 名
	誘導結合プラズマ発光分析装置	2 名
	多機能粉末 X 線回折装置	1 名
	汎用走査型分析電子顕微鏡	2 名
22 日	装置講習	
	汎用走査型分析電子顕微鏡	2 名
	液体窒素充填立会	
23 日	装置講習	
	顕微レーザーラマン分光光度計	3 名
	汎用走査型分析電子顕微鏡	2 名
	透過型電子顕微鏡（120kV）	2 名
	X 線光電子分光装置	1 名
24 日	利用ガイダンス	43 名
	装置講習	
	X 線光電子分光装置	1 名
	オスミウムコーター	1 名
25 日	放射線教育訓練(講話)	21 名
	装置講習	
	卓上型粉末 X 線回折装置（水平型）	3 名
	汎用走査型分析電子顕微鏡	2 名
	透過型電子顕微鏡（120kV）	2 名
28 日	装置講習	
	汎用フーリエ変換赤外分光光度計	1 名

利用ガイダンス

Cold Evaporator 定期メンテナンス

汎用走査型分析電子顕微鏡　2名
アイソトープ実験施設表面汚染検査
29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　2名
スタッフ会議
30日　装置講習
顕微レーザーラマン分光光度計　4名
粉末X線回折装置（水平型）　1名
共焦点レーザー顕微鏡　2名
示差熱重量／熱機械分析装置　2名

放射線教育訓練(講話)

6月

1日　センター見学
市川学園高等学校　17名
装置講習
汎用走査型分析電子顕微鏡　4名
4日　装置講習
粉末X線回折装置（水平型）　8名
汎用走査型分析電子顕微鏡　1名
X線光電子分光装置　2名
5日　センター会議
装置講習
共焦点レーザー顕微鏡　1名
X線光電子分光装置　1名
液体窒素充填立会
7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
汎用走査型分析電子顕微鏡　2名
X線光電子分光装置　1名
第44回国立大学法人
動物実験施設協議会総会出席

センター見学　市川学園高等学校

8日　装置講習
粉末X線回折装置（水平型）　8名
汎用走査型分析電子顕微鏡　2名
X線光電子分光装置　1名
11日　装置講習
X線光電子分光装置　2名
12日　装置講習
高速粉末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

X 線光電子分光装置　2 名
スタッフ会議
13 日　装置講習
核磁気共鳴装置（AV500）　1 名
核磁気共鳴装置（AV500T）　1 名
粉末 X 線回折装置（水平型）　4 名
高速粉末 X 線回折装置（水平型）　5 名
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　2 名
有機微量分析研究懇談会
第 35 回合同シンポジウム出席
15 日　装置講習
汎用走査型分析電子顕微鏡　2 名
共焦点レーザー顕微鏡　2 名
18 日　装置講習
核磁気共鳴装置（AV300）　6 名
核磁気共鳴装置（AV500）　6 名
液体窒素充填立会
21 日　装置講習
多機能粉末 X 線回折装置　2 名
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
25 日　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　液体窒素充填立会
28 日　装置講習
低温低真空走査型電子顕微鏡　1 名

7 月

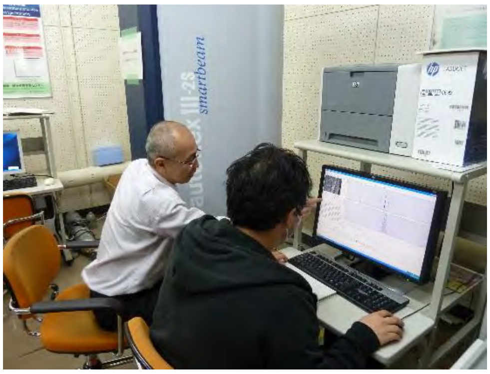
4 日　装置講習
低温低真空走査型電子顕微鏡　2 名
6 日　装置講習
顕微レーザーラマン分光光度計　1 名
粉末 X 線回折装置（水平型）　1 名
低温低真空走査型電子顕微鏡　2 名
7 日　センター見学
民間企業　1 名
9 日　装置講習
共焦点レーザー顕微鏡　1 名
10 日　センター会議

センター見学
伊奈学園総合高校

センター見学
理学部オープンキャンパス

スタッフ会議
液体窒素充填立会
12 日　放射線障害防止委員会
装置講習
　共焦点レーザー顕微鏡　1 名
13 日　装置講習
　低温低真空走査型電子顕微鏡　2 名
17 日　装置講習
　CCD 型単結晶構造解析装置　2 名
18 日　装置講習
　汎用走査型分析電子顕微鏡　1 名
　低温低真空走査型電子顕微鏡　1 名
第 36 回大学等環境安全協議会総会・研修発表会出席
19 日　装置講習
　核磁気共鳴装置（AV500T）　1 名
　低温低真空走査型電子顕微鏡　2 名
　走査型プローブ顕微鏡　2 名
20 日　液体窒素充填立会
23 日　装置講習
　電子常磁性共鳴装置　2 名
　高分解能走査型電子顕微鏡　2 名
24 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
　電子常磁性共鳴装置　1 名
アイソトープ実験施設表面汚染検査
25 日　装置講習
　高分解能走査型電子顕微鏡　2 名
27th International Liquid Crystal conference(第 27 回液晶国際会議)出席
26 日　装置講習
　顕微レーザーラマン分光光度計　1 名
　汎用走査型分析電子顕微鏡　2 名
30 日　装置講習
　高速粉末 X 線回折装置（水平型）　2 名
31 日　装置講習
　顕微レーザーラマン分光光度計　2 名
スタッフ会議

センター見学
科学者の芽育成プログラム



装置講習
飛行時間型質量分析装置

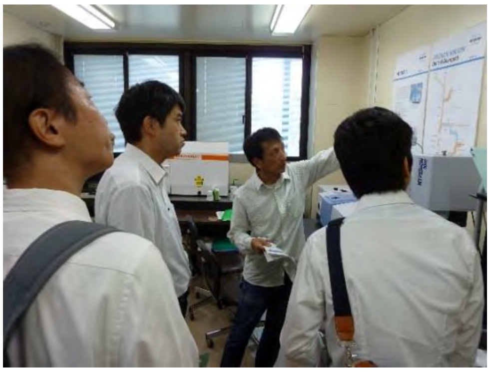
8月

1日　液体窒素充填立会
6日　センター見学
　伊奈学園総合高校　30名
7日　センター見学
　理学部オープンキャンパス　50名
10日　液体窒素充填立会
24日　センター見学
　科学者の芽育成プログラム　23名
25日　センター見学
　ひらめき☆ときめきサイエンス　43名
28日　スタッフ会議
液体窒素充填立会
アイソトープ実験施設表面汚染検査
30日　第11回大学等環境安全協議会
実務者連絡会出席

センター見学
ひらめき☆ときめきサイエンス

9月

4日　2018年日本液晶学会討論会・
液晶交流会出席
5日　5大機器分析"相互"活用セミナー
及び平成30年度 秋田大学
機器・分析技術研究会出席
8日　日本物理学会
2018年秋季大会(物性)出席
10日　液体窒素充填立会
14日　センター見学
　埼玉県産業技術総合センター　3名
18日　センター見学
　琉球大学　1名
スタッフ会議
20日　液体窒素充填立会
25日　アイソトープ実験施設表面汚染検査
26日　装置講習
　粉末X線回折装置（水平型）　2名

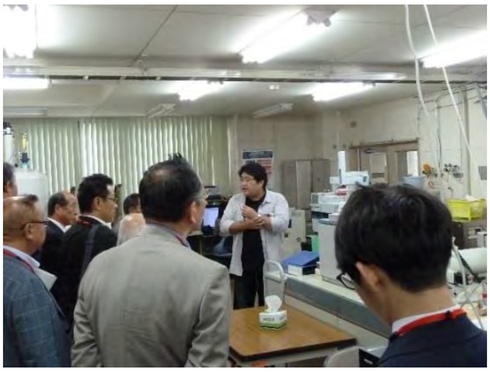


センター見学
埼玉県産業技術総合センター

10月

3日	スタッフ会議	
	液体窒素充填立会	
4日	センター見学	
	民間企業	4名
5日	装置講習	
	示差走査熱量分析装置	1名
8日	利用ガイダンス	23名
12日	装置講習	
	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	3名
	高分解能走査型電子顕微鏡	1名
	液体窒素充填立会	
15日	装置講習	
	顕微レーザーラマン分光光度計	3名
	汎用走査型分析電子顕微鏡	3名
16日	装置講習	
	高分解能走査型電子顕微鏡	1名
17日	装置講習	
	誘導結合プラズマ発光分析装置	1名
	高分解能走査型電子顕微鏡	1名
	スタッフ会議	
18日	装置講習	
	顕微レーザーラマン分光光度計	2名
19日	動物実験委員会	
	装置講習	
	高分解能走査型電子顕微鏡	1名
	共焦点レーザー顕微鏡	3名
22日	装置講習	
	共焦点レーザー顕微鏡	2名
	アイソトープ実験施設表面汚染検査	
23日	平成30年度放射線安全取扱部会 年次大会及び施設見学出席	
24日	液体窒素充填立会	
26日	センター見学	
	先端産業国際ラボラトリー ワークショップ	15名
	装置講習	
	核磁気共鳴装置（AV300）	3名
	走査型プローブ顕微鏡	3名
	平成30年度 国立大学法人 機器・分析センター協議会出席	

利用ガイダンス



センター見学
先端産業国際ラボラトリーワークショップ

29 日　装置講習
　誘導結合プラズマ発光分析装置　1 名
30 日　埼玉大学実験動物慰霊式　133 名
装置講習
　核磁気共鳴装置（AV300）　1 名
　核磁気共鳴装置（AV500）　1 名
　高分解能磁場型質量分析装置　1 名
　共焦点レーザー顕微鏡　3 名
31 日　装置講習
　示差熱重量／熱機械分析装置　2 名
スタッフ会議

11 月

1 日　装置講習
　核磁気共鳴装置（AV500）　1 名
　粉末 X 線回折装置（水平型）　1 名
5 日　液体窒素充填立会
7 日　装置講習
　卓上型粉末 X 線回折装置(水平型)　3 名
大学等遺伝子協議会出席
13 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
14 日　スタッフ会議
液体窒素充填立会
15 日　装置講習
　示差熱重量／熱機械分析装置　2 名
16 日　第 33 回元素分析技術研究会出席
19 日　第 34 回大学等環境安全協議会
技術分科会出席
20 日　装置講習
　高分解能走査型電子顕微鏡　2 名
アイソトープ実験施設表面汚染検査
21 日　装置講習
　共焦点レーザー顕微鏡　3 名
　示差熱重量／熱機械分析装置　1 名
22 日　装置講習
　共焦点レーザー顕微鏡　3 名
27 日　装置講習
　高分解能走査型電子顕微鏡　2 名
液体窒素充填立会
28 日　スタッフ会議

センター見学
民間企業

実験動物慰霊式

30 日　動物実験教育訓練　2 名
装置講習
汎用フーリエ変換赤外分光光度計　3 名

12 月

3 日　装置講習
汎用走査型分析電子顕微鏡　1 名
4 日　装置講習
汎用走査型分析電子顕微鏡　1 名
5 日　大学連携研究設備ネットワーク
機器分析 共用利用促進セミナー出席
7 日　装置講習
汎用フーリエ変換赤外分光光度計　3 名
10 日　動物実験委員会
装置講習
核磁気共鳴装置（AV500T）　2 名
液体窒素充填立会
12 日　スタッフ会議
17 日　アイソトープ実験施設表面汚染検査
18 日　装置講習
飛行時間型質量分析装置　1 名
液体窒素充填立会
19 日　装置講習
飛行時間型質量分析装置　1 名
21 日　センター見学
台北市立松山高級中学　11 名
24 日　センター会議
26 日　スタッフ会議

センター見学
台北市立松山高級中学

1 月

8 日　液体窒素充填立会
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
汎用走査型分析電子顕微鏡　2 名
15 日　放射線障害防止委員会
Tea in Thailand : Opportunity and Challenge
日本茶業の現状と今後の方向および海外茶産地のお茶事情　26 名
17 日　装置講習
多機能粉末 X 線回折装置　1 名

Tea in Thailand : Opportunity and Challenge
日本茶業の現状と今後の方向
および海外茶産地のお茶事情

21 日　装置講習
　高輝度二次元 X 線回折装置　1 名
液体窒素充填立会
23 日　装置講習
　粉末 X 線回折装置（水平型）　1 名
スタッフ会議
25 日　特別管理産業廃棄物
管理責任者講習会出席
28 日　設備サポートセンター
整備事業シンポジウム出席
30 日　ガラス細工講習会出張授業
アイソトープ実験施設表面汚染検査

動物実験教育訓練

2 月

4 日　液体窒素充填立会
6 日　スタッフ会議
18 日　動物実験教育訓練　64 名
20 日　スタッフ会議
22 日　液体窒素充填立会
25 日　アイソトープ実験施設表面汚染検査
26 日　装置講習
　粉末 X 線回折装置（水平型）　1 名

3 月

5 日　装置講習
　走査型プローブ顕微鏡　1 名
6 日　スタッフ会議
8 日　動物実験委員会
11 日　装置講習
　蛍光 X 線分析装置　2 名
　粉末 X 線回折装置（水平型）　1 名
13 日　液体窒素充填立会
15 日　X 線回折分析技術研修会　13 名
19 日　放射線障害防止委員会
装置講習
　蛍光 X 線分析装置　2 名
　粉末 X 線回折装置（水平型）　1 名
20 日　スタッフ会議
26 日　アイソトープ実験施設表面汚染検査
28 日　液体窒素充填立会

X 線回折分析技術研修会

2018 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		4/9	310	507
		4/11	131	
		5/24	43	
		10/8	23	
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		4/19	190	285
		4/24	95	
動物実験教育訓練		11/30	2	66
		2/18	64	
放射線教育訓練	講演	5/9	63	123
		5/18	60	
	講話	5/16	39	60
		5/25	21	
Tea in Thailand : Opportunity and Challenge 日本茶業の現状と今後の方向および海外茶産地のお茶事情		1/15		26
X線回折分析技術研修会		3/15		13
実験動物慰霊式		10/24		133

◆ 全国会議等出席実績

会議名	日時	場所	参加者
第 44 回国立大学法人動物実験施設協議会総会	6/7-8	ホテル日航ノースランド帯広	足立　明人
有機微量分析研究懇談会 第 35 回合同シンポジウム	6/14	首都大学東京	加藤　美佐 佐藤　亜矢子
第 36 回大学等環境安全協議会 総会･研修発表会	7/18-20	愛媛大学	新美　智久
第 11 回大学等環境安全協議会 実務者連絡会	8/30-31	野村興産株式会社 イトムカ鉱業所	三田　和義 新美　智久
5 大機器分析"相互"活用セミナー及び平成 30 年度　秋田大学　機器･分析技術研究会	9/5-7	秋田県教育会館	徳永　誠
平成 30 年度放射線安全取扱部会 年次大会及び施設見学	10/23-26	仙台銀行ホール イズミティ 21	新美　智久
平成 30 年度　国立大学法人 機器･分析センター協議会	10/26-27	いわて県民 情報交流センター	三浦　勝清 安武　幹雄 徳永　誠
大学等遺伝子協議会	11/7-9	ルークプラザホテル THE PLAZA	足立　明人
第 33 回元素分析技術研究会	11/16	東京大学	加藤　美佐 佐藤　亜矢子
第 34 回大学等環境安全協議会 技術分科会	11/19-21	沖縄科学技術大学院大学	徳永　誠
大学連携研究設備ネットワーク 機器分析　共用利用促進セミナー	12/5	航空会館	徳永　誠
特別管理産業廃棄物管理責任者講習会	1/25		徳永　誠
設備サポートセンター整備事業 シンポジウム	1/28-29	岡山大学	徳永　誠
ガラス細工講習会出張授業	1/30	狭山清陵高校	徳永　誠

◆ 内部会議等実施実績

センター会議		
第 1 回 6 月 5 日	報告事項	機器修理
		奨学寄附金等受入の承認
		ガイダンス等
		センター見学等
		依頼分析受諾
		全国会議等出張
		国立大学法人埼玉大学研究機構科学分析支援センター規程の改正について
	協議事項	機器修理
		予算関連
		科学分析支援センター教育研究設備整備年次計画(概算要求分)について
		科学分析支援センター教育研究設備整備年次計画(自助努力分)について
第 2 回 7 月 10 日	報告事項	放射線モニタリングシステム中央監視装置の更新について
	協議事項	科学分析支援センター教育研究設備整備年次計画(概算要求分)について
		科学分析支援センター教育研究設備整備年次計画(自助努力分)について
第 3 回 12 月 24 日	報告事項	センター棟トイレ改修の件
	協議事項	NMRコンプレッサ定期メンテナンスについて
		飛行時間型質量分析装置(AutoflexIII)レーザーユニット交換修理について
第 4 回 4 月 15 日	報告事項	H30 年度収支報告(3/20 時点)について
	協議事項	教員の兼業(非常勤講師)の承認

動物実験委員会	
第 1 回 5 月 15 日	2017 年度動物実験に係る各種報告書等について
	動物実験計画書について
	文部科学省への調査回答について
	動物実験教育訓練について
	国立大学法人埼玉大学動物実験規則の改正について
	理学部 3 号館 SPF 動物飼育室について
第 2 回 10 月 19 日	動物実験計画書について
	実験室設置承認申請書について
	国立大学法人埼玉大学動物実験規則の一部改正について
	動物実験に関する自己点検･評価報告書について
	飼養保管状況報告書について
	国立大学法人動物実験施設協議会の総会について
	理学部 3 号館 8 階への防犯カメラ設置について
第 3 回 12 月 10 日	動物実験計画書承認申請書(新規)について
	動物実験計画書承認申請書(変更)について
第 4 回 3 月 8 日	動物実験計画書について
	動物実験教育訓練について
	科学分析支援センター　入退室管理システム申請書について
	外部委員の来季継続について

放射線障害防止委員会		
第 1 回 7 月 12 日	協議事項	2018 年度上期　核燃料物質管理報告書(案)について
第 2 回 1 月 15 日	協議事項	2018 年度下期　核燃料物質管理報告書(案)について
		2019 年度放射線教育訓練実施(案)について
第 3 回 3 月 19 日	報告事項	表示付認証機器の自主点検結果について 2018 年度放射線教育訓練実施報告について 2018 年度特別健康診断実施報告について
	協議事項	放射線取扱主任者の交代について

◆ 見学者来訪実績

見学者	日時	人数
市川学園高等学校	6/1	17
民間企業	7/7	1
伊奈学園総合高校	8/6	30
理学部オープンキャンパス	8/7	50
科学者の芽育成プログラム	8/24	23
ひらめき☆ときめきサイエンス	8/25	43
埼玉県産業技術総合センター	9/14	3
琉球大学	9/18	1
民間企業	10/4	4
先端産業国際ラボラトリーワークショップ	10/26	15
台北市立松山高級中学	12/21	11

◆ 装置講習会

機器名	所属	指導者	受講区分		総計
			学生	教職員	
核磁気共鳴装置(AV300)	各研究室教職員		41		57
	センター	藤原　隆司	4		
		安武　幹雄	12		
核磁気共鳴装置(AV500)	各研究室教職員		44		57
	センター	藤原　隆司	1		
		安武　幹雄	12		
核磁気共鳴装置(AV500T)	各研究室教職員		4		5
	安武　幹雄			1	
高感度核磁気共鳴装置(AV400)	センター	藤原　隆司	1		1
高分解能磁場型質量分析装置	センター	新美　智久		1	1
飛行時間型質量分析装置	技セ	小山　哲夫	5		23
	センター	藤原　隆司	2		
		安武　幹雄	2		
		新美　智久	14		
ナノフローLC 質量分析装置	センター	新美　智久	2	1	3
顕微レーザーラマン分光光度計	機能	石川　良	15		16
	センター	徳永　誠	1		
汎用フーリエ変換赤外分光光度計	センター	藤原　隆司	10		10
誘導結合プラズマ発光分析装置	センター	三田　和義	6	1	7
Pulse 電子常磁性共鳴装置(Laser)	基礎化	前田　公憲	2		2
電子常磁性共鳴装置	基礎化	前田　公憲	2		3
	センター	藤原　隆司	1		
蛍光 X 線分析装置	センター	徳永　誠	1	1	2
粉末 X 線回折装置(水平型)	応化	黒川　秀樹	1		34
	機能	柿崎　浩一	8		
		神島　謙二	5		
		藤森　厚裕	8		
	センター	徳永　誠	12		
卓上型粉末 X 線回折装置(水平型)	応化	黒川　秀樹	6		21
	機能	石川　良	7		
	センター	安武　幹雄	3		
		徳永　誠	5		
高速粉末 X 線回折装置(水平型)	分生	田中　協子	1		25
	機能	柿崎　浩一	13	1	
		石川　良	3		
	センター	徳永　誠	7		

多機能粉末 X 線回折装置	センター	安武 幹雄	7	1	8
高輝度二次元 X 線回折装置	センター	徳永 誠		1	1
CCD 型単結晶構造解析装置	センター	藤原 隆司	1	2	3
汎用走査型分析電子顕微鏡	分生	田中 協子	10		41
	機能	柿崎 浩一	18		
	センター	徳永 誠	12	1	
低温低真空走査型電子顕微鏡	機能	柿崎 浩一	4		6
	センター	徳永 誠	2		
高分解能走査型電子顕微鏡	分生	田中 協子	5		7
	機能	柿崎 浩一	2		
透過型電子顕微鏡(120kV)	センター	辻 季美江	2		2
走査型プローブ顕微鏡	機能	後閑 伸彦	3		7
	電電	高宮 健吾	4		
共焦点レーザー顕微鏡	基礎化	吉川 洋史	1		25
	分生	西田 生郎	4		
	生体	津田 佐知子	4		
		畠山 晋	2		
	センター	足立 明人	14		
X 線光電子分光装置	機能	齋藤 由明	12	1	13
示差熱重量/熱機械分析装置	機能	藤森 厚裕	3		10
	センター	藤原 隆司	3		
		徳永 誠	4		
示差走査熱量分析装置	基礎化	齋藤 英樹	1		2
	センター	安武 幹雄	1		
オスミウムコーター	センター	徳永 誠	1	1	2
総計			381	13	394

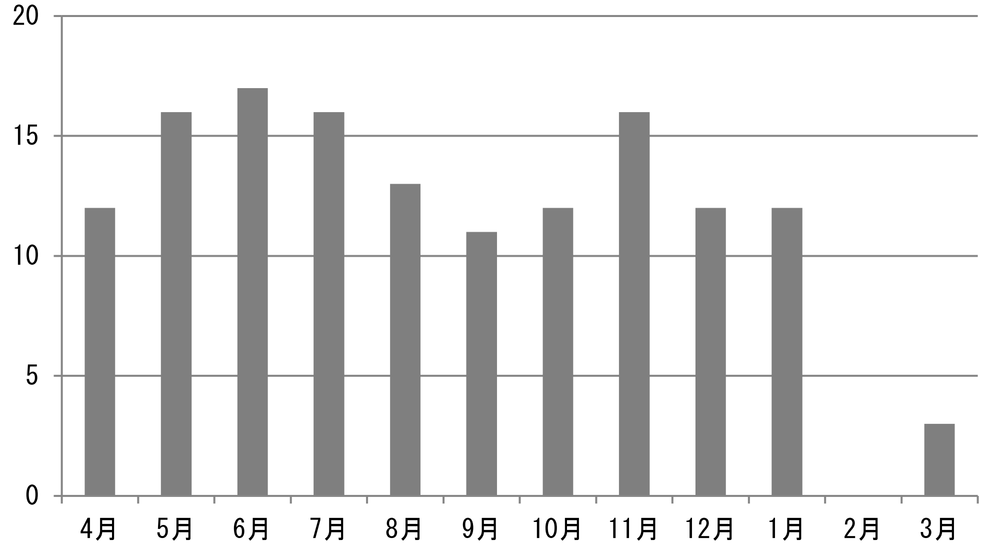
2019. 3 月末日現在

◆ 保守活動

項目		日時	活動内容
核磁気共鳴装置	AVANCE300	4/12	He レベルセンサー修理
		5/11	He レベルセンサー修理
		8/17	データバックアップ，プローブ洗浄
		3/6	エアーコンプレッサー定期メンテナンス
	AVANCE500	6/22	分光機内 HUB 故障交換
		8/17	データバックアップ，プローブ洗浄
		3/6	エアーコンプレッサー定期メンテナンス
	AVANCE500T	8/17	データバックアップ,プローブ洗浄
		3/6	エアーコンプレッサー定期メンテナンス， 温度コントローラ修理
	AVANCE400 +Cyro	7/25	液体 He 充填
		8/17	データバックアップ，プローブ洗浄
		3/6	エアーコンプレッサー定期メンテナンス
		3/28	CryoProbe 20,000 時間メンテナンス
高分解能磁場型質量分析装置		6/21	イオン源交換，洗浄
		9/14	ゲートユニット交換他修理
		1/8	イオン源洗浄，交換
		3/15	RP オイル交換
飛行時間型質量分析装置		4/6	イオン源洗浄
		4/27	イオン源洗浄
		5/25	イオン源洗浄
		6/29	イオン源洗浄
		7/27	イオン源洗浄
		10/16	スポット点検
		10/16	定期メンテナンス，TMP 更新
		11/8	レーザー検査交換
		11/8	レーザーユニット交換
		11/30	イオン源洗浄
		2/5	レーザー強度確認
		2/8	イオン源洗浄
		3/8	イオン源洗浄
		3/18	レーザー交換
ナノフローLC 質量分析装置		8/3	イオン源洗浄
		1/29	イオン源洗浄
		2/18	RP 更新，TMP メンテナンス
四重極 GC 質量分析装置		7/5	リア，RP オイル，フィラメント交換，イオン源洗浄
		1/18	リア交換，イオン源，HS シリンジ洗浄

顕微レーザーラマン分光光度計		8/31	励起用レーザー修理
		2/5	スリットユニット交換
誘導結合プラズマ発生分析装置		7/24	ダクトにたまった結露水の水漏れ対応
蛍光 X 線分析装置		5/17	外部循環冷却水送水装置修理
		9/11	更新
高速粉末 X 線回折装置(水平型)		9/13	中低温→高温アタッチメント交換
高輝度 CCD 型単結晶構造解析装置		3/7	水シール・カーボンブラシ交換
汎用走査型分析電子顕微鏡		7/25	フィラメント交換
		2/28	総合メンテナンス，TMP 交換
低温低真空走査型電子顕微鏡		12/26	総合整備、TMP 整備
超高分解能走査型電子顕微鏡		2/2	スクロールポンプオーバーホール
		3/29	総合整備
透過型電子顕微鏡(120kV)		8/24	総合メンテナンス
透過型電子顕微鏡(200kV)		3/4	総合メンテナンス
共焦点レーザー顕微鏡		4/12	Hg ランプ交換
X 線光電子分光装置		6/26	VCU バッテリー交換
		11/8	総合整備
		11/8	総合メンテナンス，アナライザー交換
液体シンチレーションカウンター		9/5	UPS バッテリー交換
有機微量元素分析装置		1/28	PC 電池交換，コンデンサー膨張
		2/6	電子精密天秤定期点検
科学分析支援センター	空調機	5/11	綿毛除去(室外機)
		5/17	フィルター清掃
		9/20	故障修理
	液体窒素設備	5/10	バルブ交換，定期点検
	ガス配管	12/12	He ガス漏洩修理
		12/13	O2 ガス漏洩修理
	その他設備	4/9	瞬間停電対応
		10/26	停電対応
		11/27	給湯器更新
アイソトープ実験施設		5/23	エアコン　フィルター清掃
		11/21	ガスクロ用 ECD 廃棄
		11/27	ガンマカウンタ　ソフトウェア異常停止対応

◆ 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
12	16	17	16	13	11	12	16	12	12	0	3	140

2018 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 理科化学	透過型電子顕微鏡(200kV) Tecnai G2	1
	凍結試料作製	1
教育学部 理科生物	連続切片作製	5
	超薄切片作製	10
	透過型電子顕微鏡(120kV) H-7500	11
	3D 構築	1
教育学部 学校保健学	超薄切片作製	4
	透過型電子顕微鏡(120kV) H-7500	4
基礎化学科	高輝度 CCD 型単結晶構造解析装置 SMART APEX II Ultra	3
	示差熱重量/熱機械分析装置 TGDTA6200	1
分子生物学科	飛行時間型質量分析装置 AutoflexIII	9
生体制御学科	超薄切片作製	9
	透過型電子顕微鏡(120kV) H-7500	6
機械工学科	汎用走査型分析電子顕微鏡 SU1510	2
応用化学科	核磁気共鳴装置 AVANCE500T	3
	高感度核磁気共鳴装置 AV400+Cryo	4
	飛行時間型質量分析装置 AutoflaxIII	1
	ナノフローLC 質量分析装置 Nano eLD	2
	四重極 GC 質量分析装置 SCION SQ	10
	誘導結合プラズマ発光分析装置 OPTIMA 5300DV	3
	電子常磁性共鳴装置 EMX1/6	3
	高輝度 CCD 型単結晶構造解析装置 SMART APEX II Ultra	3
	低温低真空走査型電子顕微鏡 S-3400N	7
	超高分解能走査型電子顕微鏡 S-4800	4
	透過型電子顕微鏡(200kV) Tecnai G2	6
	X 線光電子分光装置 AXIS-NOVA	11

機能材料工学科	高分解能磁場型質量分析装置 JMS-700(FAB)	12
	飛行時間型質量分析装置 Autoflax	55
	ナノフローLC 質量分析装置 Nano eLD	2
	四重極 GC 質量分析装置 SCION SQ	2
	顕微レーザーラマン分光光度計 inVia	3
	粉末 X 線回折装置(水平型) UltimaIII	13
	高速粉末 X 線回折装置(水平型) D8 ADVANCE ECO	1
	低温低真空走査型電子顕微鏡 S-3400N	9
	高分解能走査型電子顕微鏡 S-4100	55
	透過型電子顕微鏡(200kV) Tecnai G2	14
	走査型プローブ顕微鏡 Multimode 8	2
	X 線光電子分光装置 AXIS-NOVA	6
	示差熱重量/熱機械分析装置 TGDTA6200	5
建設工学科	汎用走査型分析電子顕微鏡 SU1510	2
環境共生学科	超高分解能走査型電子顕微鏡 S-4800	2
	透過型電子顕微鏡(200kV) Tecnai G2	1
電気電子システム工学科	X 線光電子分光装置 AXIS-NOVA	9
戦略的研究部門	超薄切片作製	1
	透過型電子顕微鏡(120kV) H-7500	1
科学分析支援センター	高輝度二次元 X 線回折装置 D8 DISCOVER	1
	走査型プローブ顕微鏡 Multimode 8	1
総計		319

2018 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 AV500	2		2
核磁気共鳴装置 AV500T	45	2	47
高感度核磁気共鳴装置 AV400+Cryo		2	2
高分解能磁場型質量分析装置 JMS-700AM	8	3	11
飛行時間型質量分析装置 Autoflex		8	8
顕微レーザーラマン分光光度計 inVia	4	7	11
顕微フーリエ変換赤外分光光度計 HYPERION 3000	18	4	22
汎用フーリエ変換赤外分光光度計 TENSOR II		6	6
卓上型粉末 X 線回折装置(水平型) D2 PHASER	2		2
高速粉末 X 線回折装置(水平型) D8 ADVANCE ECO	1		1
多機能粉末 X 線回折装置 D8 ADVANCE	4		4
高輝度二次元 X 線回折装置 D8 DISCOVER		4	4
高輝度 CCD 型単結晶構造解析装置 Smart APEX II	1		1
低温低真空走査型電子顕微鏡 S-3400N	21	36	57
透過型電子顕微鏡(120kV) H-7500	1		1
透過型電子顕微鏡(200kV) Tecnai		3	3
X 線光電子分光装置 AXIS-NOVA	3	12	15
示差熱重量/熱機械分析装置 TG/DTA-FEIR, TMA		2	2
示差走査熱量分析装置 DSC 6200		2	2
高圧凍結装置 Leica EM HPM100	9	2	11
試料調製(超薄切片作製)	1		1
有機微量元素分析装置	14		14
総計	134	93	227

2018 年度元素依頼分析実績

依頼者所属	性状	件数	合計
基礎化学科	CHNO のみ含有	7	75
	CHNO 以外の元素含有(F なし)	66	
	CHNO 以外の元素含有(F あり)	2	
応用化学科	CHNO のみ含有	2	69
	CHNO 以外の元素含有(F なし)	62	
	CHNO 以外の元素含有(F あり)	5	
機能材料工学科	CHNO のみ含有	8	8
	CHNO 以外の元素含有(F なし)	0	
	CHNO 以外の元素含有(F あり)	0	
科学分析支援センター	CHNO のみ含有	1	20
	CHNO 以外の元素含有(F なし)	19	
	CHNO 以外の元素含有(F あり)	0	
総計	CHNO のみ含有	18	172
	CHNO 以外の元素含有(F なし)	147	
	CHNO 以外の元素含有(F あり)	7	

2018 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	5267	1600:55	243
核磁気共鳴装置 AVANCE500	4217	1806:10	240
核磁気共鳴装置 AVANCE500T	2609	1190:40	238
高感度核磁気共鳴装置 AVANCE400+Cryo	2577	1261:05	244
高分解能磁場型質量分析装置 JMS700AM	125	174:45	100
飛行時間型質量分析装置 Autoflex	725	477:40	209
ナノフローLC 質量分析装置 Nano eLD	15	38:45	12
四重極 GC 質量分析装置 SCION SQ	161	545:10	114
顕微レーザーラマン分光光度計 inVia	377	810:45	190
顕微フーリエ変換赤外分光光度計 Hyperion	8	28:30	8
汎用フーリエ変換赤外分光光度計 TENSOR Ⅱ	267	244:05	147
誘導結合プラズマ発光分析装置 OPTIMA 5300DV	97	244:15	69
Pulse 電子常磁性共鳴装置(Laser) ELEXSYS580	28	178:20	27
電子常磁性共鳴装置 EMX6/1	51	73:30	44
蛍光 X 線分析装置 PW2400	41	97:50	35
粉末 X 線回折装置（水平型）Ultima Ⅲ	676	878:15	186
卓上型粉末 X 線回折装置（水平型）D2 PHASER	623	744:50	197
高速粉末 X 線回折装置（水平型）D8 ADVANCE ECO	1264	1401:05	220
多機能粉末 X 線回折装置 D8 ADVANCE	132	845:40	113
高輝度二次元 X 線回折装置 D8 DISCOVER	24	101:50	23
CCD 型単結晶構造解析装置 SMART APEX	12	232:10	12
高輝度 CCD 型単結晶構造解析装置 SMART APEX Ⅱ	218	3527:15	178
汎用走査型分析電子顕微鏡 SU1510	521	1368:50	208
低温低真空走査型電子顕微鏡 S-3400N	102	1148:05	79
高分解能走査型電子顕微鏡 S-4100	292	727:30	177
超高分解能走査型電子顕微鏡 S-4800	84	192:25	71
透過型電子顕微鏡（120kV）H-7500	84	380:50	74
透過型電子顕微鏡（200kV）Tecnai G2	41	223:20	40
走査型プローブ顕微鏡 Multimode 8	110	174:00	85
共焦点レーザー顕微鏡 FV1000-D	379	661:20	185
X 線光電子分光装置 AXIS-NOVA	110	3008:05	104
示差熱重量／熱機械分析装置 TG/DTA-FTIR, TMA	116	328:40	90
示差走査熱量分析装置 DSC 6200	45	277:20	41
微小材料試験機 Tytron250	69	212:15	38
オスミウムコーター Neoc-STB	1	2:00	1
高圧凍結装置 Leica EM HPM100	2	153:00	2
急速凍結装置 Leica EM CPC	1	2:00	1
凍結ウルトラミクロトーム Leica EM UC7/FC7	4	87:30	4
ウルトラミクロトーム ULTRACUT N	38	189:00	38

2018 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 243 日・使用時間 1600 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
教育学部	教育理科	使用回数								3		1	1		5
		使用時間								1:30		0:30	0:20		2:20
理学部	基礎化学	使用回数	73	60	100	31	69	106	125	139	94	120	97	43	1057
		使用時間	21:50	21:45	35:40	7:30	18:10	40:20	42:55	63:40	33:35	51:50	33:25	13:05	383:45
工学部	応用化学	使用回数	129	300	420	462	270	414	474	447	297	344	180	113	3850
		使用時間	34:15	91:30	111:55	112:25	68:05	102:25	119:15	105:30	67:05	82:05	45:55	28:05	968:30
	機能材料	使用回数	9	21	16	18	7	19	2	4	10	15	10	1	132
		使用時間	3:05	7:20	5:35	5:05	1:40	7:50	0:40	1:15	2:45	4:55	3:25	0:15	43:50
科学分析支援センター		使用回数	9	8	3		1	1	3		2				27
		使用時間	16:00	41:40	2:50		0:30	0:10	8:00		63:00				132:10
共同研究員		使用回数	5	9	19	4	12	11	29	25	32	18	24	8	196
		使用時間	1:30	3:00	7:15	0:55	4:35	4:45	10:05	8:30	11:00	7:00	8:30	3:15	70:20
合計	使用回数		225	398	558	515	359	551	633	618	435	498	312	165	5267
	使用時間		76:40	165:15	163:15	125:55	93:00	155:30	180:55	180:25	177:25	146:20	91:35	44:40	1600:55
稼働日数			20	19	23	22	18	19	23	24	18	19	19	19	243
使用人数			58	75	93	79	72	92	91	89	78	76	59	42	139

核磁気共鳴装置 AVANCE500 使用実績 **（稼働日数 240 日・使用時間 1806 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	153	186	190	174	103	220	250	222	159	152	162	68	2039
		使用時間	52:00	72:30	68:25	57:50	41:45	97:20	99:40	88:35	61:55	54:05	51:50	30:05	776:00
工学部	応用化学	使用回数	15	49	55	48	26	46	87	92	72	78	48	8	624
		使用時間	4:20	13:50	14:20	14:15	7:40	12:00	23:45	27:45	26:30	26:00	18:30	2:30	191:25
	機能材料	使用回数	58	60	85	75	47	87	120	126	78	56	40	20	852
		使用時間	28:00	28:05	38:40	28:10	18:40	30:25	48:00	50:25	29:30	22:55	18:10	11:10	352:10
科学分析支援センター		使用回数	5	1	5	2	1	1		3	5	2	3	1	29
		使用時間	9:10	1:00	3:05	2:00	3:00	13:00		15:00	65:00	26:00	45:00	17:30	199:45
共同研究員		使用回数	50	65	61	38	63	41	55	30	35	93	76	66	673
		使用時間	18:20	25:45	29:30	18:50	29:10	21:05	18:55	11:35	16:30	39:30	30:50	26:50	286:50
合計	使用回数		281	361	396	337	240	395	512	473	349	381	329	163	4217
	使用時間		111:50	141:10	154:00	121:05	100:15	173:50	190:20	193:20	199:25	168:30	164:20	88:05	1806:10
稼働日数			19	21	20	22	18	18	23	21	20	18	20	20	240
使用人数			66	78	81	86	66	86	90	88	78	73	68	44	148

核磁気共鳴装置 AVANCE500T 使用実績 **（稼働日数 238 日・使用時間 1190 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	107	144	181	143	125	173	159	193	108	72	77	24	1506
		使用時間	48:10	66:55	85:15	83:20	45:05	60:55	53:30	57:25	36:35	33:15	24:55	5:55	601:15
工学部	応用化学	使用回数	3	12	54	73	47	66	83	103	48	68	43	17	617
		使用時間	0:40	3:35	14:55	17:25	12:55	16:00	20:25	28:45	11:25	17:25	11:30	3:25	158:25
	機能材料	使用回数				15	7	20	14	22	20	19	7		124
		使用時間				10:00	3:10	15:40	8:45	17:15	13:50	14:20	5:55		88:55
総合技術支援センター		使用回数	1	1	1	2									5
		使用時間	0:45	1:00	0:50	0:40									3:15
科学分析支援センター		使用回数	8	4	6	7	7	2	6	6	5	4	2	1	58
		使用時間	6:10	5:00	29:55	27:45	39:10	1:10	9:05	3:55	7:50	10:40	47:30	66:00	254:10
共同研究員		使用回数	16	20	32	20	33	27	23	25	23	24	27	29	299
		使用時間	4:00	6:20	11:10	5:30	9:25	7:40	5:45	6:20	5:20	8:50	7:20	7:00	84:40
合計	使用回数		135	181	274	260	219	288	285	349	204	187	156	71	2609
	使用時間		59:45	82:50	142:05	144:40	109:45	101:25	97:30	113:40	75:00	84:30	97:10	82:20	1190:40
稼働日数			20	19	21	22	18	18	24	21	18	19	19	19	238
使用人数			19	22	26	28	28	27	25	24	26	29	24	14	41

核磁気共鳴装置 AVANCE400+Cryo 使用実績 （稼働日数 244 日・使用時間 1261 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	170	204	188	174	188	179	258	144	117	103	56	1880
		使用時間	39:10	59:35	87:25	75:00	65:15	77:05	63:55	103:10	57:10	55:45	57:45	42:55	784:10
工学部	応用化学	使用回数	13	18	30	30	34	23	24	57	48	53	25	12	367
		使用時間	4:05	5:25	7:25	8:15	26:20	8:45	6:40	15:10	14:40	17:40	8:55	5:40	129:00
	機能材料	使用回数	12	30	29	25	19	34	25	45	35	20	21	2	297
		使用時間	3:25	9:00	8:30	6:45	18:55	10:35	9:25	30:00	29:35	21:35	22:10	3:20	173:15
総合技術支援センター		使用回数				1						1			2
		使用時間				0:45						4:30			5:15
科学分析支援センター		使用回数	4	2	4	5	3	3	1	3	4	2			31
		使用時間	4:40	0:20	1:25	40:50	1:20	6:10	4:00	38:30	34:00	38:10			169:25
合計	使用回数		128	220	267	249	230	248	229	363	231	193	149	70	2577
	使用時間		51:20	74:20	104:45	131:35	111:50	102:35	84:00	186:50	135:25	137:40	88:50	51:55	1261:05
稼働日数			18	20	23	22	18	19	20	22	20	20	23	19	244
使用人数			21	20	24	27	27	25	21	25	25	27	24	18	36

高分解能磁場型質量分析装置 JMS-700AM 使用実績 （稼働日数 100 日・使用時間 174 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			1		1		1				1		4
		使用時間			3:00		1:20		1:35				2:00		7:55
工学部	応用化学	使用回数	1	5	3	4	4	1	2	5	3	2	2	1	33
		使用時間	1:20	8:20	7:50	8:30	5:25	3:40	8:00	10:25	6:45	4:45	4:55	1:00	70:55
	機能材料	使用回数	2	5		4	2	1	3	4	7	4	2		34
		使用時間	0:40	2:05		1:20	0:40	0:20	0:50	1:30	2:25	1:00	0:50		11:40
総合技術支援センター		使用回数		1			1	1		3			1		7
		使用時間		1:35			1:05	1:00		1:55			1:30		7:05
科学分析支援センター		使用回数		1	2	3	2		7	2	3	5	7		32
		使用時間		0:15	5:30	5:25	4:00		11:45	1:30	4:05	12:10	17:30		62:10
共同研究員		使用回数		1	3	1	3			1			1	5	15
		使用時間		0:55	3:30	0:45	2:50			1:40			1:00	4:20	15:00
合計	使用回数		3	13	9	12	13	3	13	15	13	11	14	6	125
	使用時間		2:00	13:10	19:50	16:00	15:20	5:00	22:10	17:00	13:15	17:55	27:45	5:20	174:45
稼働日数			3	11	7	10	10	3	9	9	12	8	12	6	100
使用人数			2	6	6	6	7	3	4	7	5	4	7	2	11

飛行時間型質量分析装置 AutoflexIII 使用実績 （稼働日数 209 日・使用時間 477 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	21	33	50	36	26	33	19	26	39	28	19		330
		使用時間	11:55	16:45	25:20	17:30	12:55	19:40	10:30	15:50	21:25	15:10	9:30		176:30
	分子生物	使用回数					1			1			1		3
		使用時間					3:00			1:00			1:00		5:00
工学部	応用化学	使用回数		1	3	1	3	2	2	1	2	3	2	1	21
		使用時間		0:10	2:15	0:30	1:40	2:50	1:00	1:30	2:00	2:35	1:30	0:30	16:30
	機能材料	使用回数	14	31	40	27	22	16	25	40	31	34	27	2	309
		使用時間	9:15	21:55	24:30	16:40	11:10	11:40	16:30	24:30	14:00	14:35	13:40	1:30	179:55
総合技術支援センター		使用回数		1	1	1	1	2	1	2	2			1	12
		使用時間		0:15	0:35	1:30	2:00	3:30	0:20	1:45	3:30			1:30	14:55
科学分析支援センター		使用回数	6	3		5	5			2	7	6	1	4	39
		使用時間	23:20	7:30		6:30	8:30			1:00	19:30	6:30	2:00	4:10	79:00
共同研究員		使用回数	1	1	1	2	1	1		3		1			11
		使用時間	0:30	0:10	0:25	1:00	0:15	0:15		2:00		1:15			5:50
合計	使用回数		42	70	95	72	59	54	47	75	81	72	50	8	725
	使用時間		45:00	46:45	53:05	43:40	39:30	37:55	28:20	47:35	60:25	40:05	27:40	7:40	477:40
稼働日数			15	21	21	21	17	19	17	19	17	18	18	6	209
使用人数			20	25	33	25	25	23	22	23	21	22	18	7	48

ナノフローLC 質量分析装置 Nanofrontier-eLD 使用実績 （稼働日数 12 日・使用時間 38 時間）

4F 質量分析室(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
工学部	電気電子	使用回数		6	2										8
		使用時間		11:00	4:00										15:00
科学分析支援センター		使用回数	3			2			1			1			7
		使用時間	6:30			12:15			3:00			2:00			23:45
合計	使用回数		3	6	2	2			1			1			15
	使用時間		6:30	11:00	4:00	12:15			3:00			2:00			38:45
稼働日数			2	4	2	2			1			1			12
使用人数			2	3	1	2			1			1			6

四重極 GC 質量分析装置 SCION SQ 使用実績　　（稼働日数 114 日・使用時間 545 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	15	24	15	11	14	9	16	29	7	10	9	2	161
		使用時間	46:40	83:15	36:30	39:15	42:30	26:30	54:20	77:20	21:35	77:45	27:30	12:00	545:10
合計	使用回数		15	24	15	11	14	9	16	29	7	10	9	2	161
	使用時間		46:40	83:15	36:30	39:15	42:30	26:30	54:20	77:20	21:35	77:45	27:30	12:00	545:10
稼働日数			13	15	11	10	11	8	10	13	5	8	8	2	114
使用人数			3	2	2	3	3	2	3	2	2	3	2	1	3

顕微レーザーラマン分光光度計 inVia 使用実績　　（稼働日数 190 日・使用時間 810 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	23	25	18	11	5	24	31	32	34	16	3	234
		使用時間	18:40	62:20	73:10	55:00	18:50	7:00	33:40	61:10	63:25	54:40	26:50	6:30	481:15
工学部	機械	使用回数			4	3	1		2	1	3	1	1		16
		使用時間			9:00	9:00	4:00		5:00	2:00	5:00	2:00	2:00		38:00
	応用化学	使用回数			4	1		3		1	4	4			17
		使用時間			3:30	2:00		11:00		5:00	12:00	7:30			41:00
	機能材料	使用回数	4	3	6	14	6	13	7	10	8	8	5	2	86
		使用時間	5:40	3:45	8:00	33:05	13:40	21:00	10:20	21:10	19:20	19:00	6:30	4:30	166:00
科学分析支援センター		使用回数		4		2	2	3	3				8	2	24
		使用時間		10:30		7:00	4:00	9:30	8:30				36:00	9:00	84:30
合計	使用回数		16	30	39	38	20	24	36	43	47	47	30	7	377
	使用時間		24:20	76:35	93:40	106:05	40:30	48:30	57:30	89:20	99:45	83:10	71:20	20:00	810:45
稼働日数			11	17	21	19	12	13	19	20	17	18	18	5	190
使用人数			7	8	13	12	13	10	14	11	17	15	13	4	30

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 8 日・使用時間 28 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		2	2	1	1					1	1		8
		使用時間		5:00	1:30	9:00	5:00					1:00	7:00		28:30
合計	使用回数			2	2	1	1					1	1		8
	使用時間			5:00	1:30	9:00	5:00					1:00	7:00		28:30
稼働日数				2	2	1	1					1	1		8
使用人数				1	1	1	1					1	1		2

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 147 日・使用時間 244 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	3	12	3	3	4	3	4		2	3	4	3	44
		使用時間	2:35	6:55	1:10	1:50	2:55	1:10	2:00		0:45	2:20	1:35	1:15	24:30
工学部	電気電子	使用回数							5	2	1				8
		使用時間							2:25	1:15	1:10				4:50
	応用化学	使用回数		72:00	144:00	288:00	144:00	120:00	120:00	288:00	168:00	216:00	48:00		1608:00
		使用時間		2:50	5:15	9:40	3:40	3:30	4:55	7:55	5:15	10:40	1:20		55:00
	機能材料	使用回数	24:00	168:00	240:00	432:00	480:00	72:00	264:00	24:00	360:00	192:00	72:00	72:00	2400:00
		使用時間	0:15	9:15	10:20	12:25	12:00	3:30	7:35	1:20	8:40	4:40	1:15	1:30	72:45
	建設	使用回数			1	1			1	1					4
		使用時間			2:00	2:00			2:00	1:00					7:00
総合技術支援センター		使用回数		1								1	1		3
		使用時間		1:30								2:00	8:00		11:30
科学分析支援センター		使用回数	4	12	1			5	1	1	1	3		2	30
		使用時間	8:00	26:00	2:30			9:30	9:00	1:00	1:30	4:30		1:30	63:30
共同研究員		使用回数			1		2		3	2		1	2		11
		使用時間			1:05		0:45		0:55	1:10		0:30	0:35		5:00
合計	使用回数		8	35	22	34	32	16	30	19	26	25	12	8	267
	使用時間		10:50	46:30	22:20	25:55	19:20	17:40	28:50	13:40	17:20	24:40	12:45	4:15	244:05
稼働日数			7	16	15	18	13	8	16	13	13	12	10	6	147
使用人数			6	9	13	10	9	10	15	7	13	14	7	4	38

誘導結合プラズマ発光分析装置 OPTIMA 5300DV 使用実績 （稼働日数 69 日・使用時間 244 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	教育理科	使用回数		3	2				8	8	1	5	1		28
		使用時間		2:30	3:00				12:20	16:30	3:00	13:20	2:55		53:35
理学部	基礎化学	使用回数			1										1
		使用時間			4:00										4:00
	分子生物	使用回数					4	1				2			7
		使用時間					10:10	3:00				7:00			20:10
工学部	応用化学	使用回数	3	2		1	1	1							8
		使用時間	9:15	6:00		3:00	4:00	3:00							25:15
	環境共生	使用回数		2	5					2		4			13
		使用時間		2:05	11:30					6:20		10:30			30:25
総合技術支援センター		使用回数							1	1					2
		使用時間							1:00	1:00					2:00
科学分析支援センター		使用回数	3	5	2	6	2	3	6	1	2	2	2	2	36
		使用時間	9:45	17:30	7:10	13:05	3:45	12:00	15:15	3:00	6:00	4:15	5:35	6:00	103:20
共同研究員		使用回数				1		1							2
		使用時間				3:00		2:30							5:30
合計	使用回数		6	12	10	8	7	6	15	12	3	13	3	2	97
	使用時間		19:00	28:05	25:40	19:05	17:55	20:30	28:35	26:50	9:00	35:05	8:30	6:00	244:15
稼働日数			5	8	7	6	6	6	8	8	3	8	2	2	69
使用人数			2	7	6	4	3	5	5	5	2	6	2	1	15

Pulse 電子常磁性共鳴装置（Laser） ELEXSYS580 使用実績 （稼働日数 27 日・使用時間 178 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	10	5	2		2	3					23
		使用時間		6:00	69:00	32:00	9:00		11:00	30:00					157:00
科学分析支援センター		使用回数	1					1	1					2	5
		使用時間	1:20					8:00	2:00					10:00	21:20
合計	使用回数		1	1	10	5	2	1	3	3				2	28
	使用時間		1:20	6:00	69:00	32:00	9:00	8:00	13:00	30:00				10:00	178:20
稼働日数			1	1	10	5	2	1	2	3				2	27
使用人数			1	1	3	2	1	1	2	1				1	7

電子常磁性共鳴装置 EMX6/1 使用実績 （稼働日数 44 日・使用時間 73 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		4	4		8	8	6	2		1	1	35
		使用時間	0:20		2:00	3:00		6:20	14:15	7:10	1:00		0:25	0:30	35:00
工学部	応用化学	使用回数					1								1
		使用時間					1:30								1:30
	機能材料	使用回数								2					2
		使用時間								4:00					4:00
科学分析支援センター		使用回数		1		2	1	1	3	4	1				13
		使用時間		2:00		5:00	2:00	8:00	6:00	8:00	2:00				33:00
合計	使用回数		1	1	4	6	2	9	11	12	3		1	1	51
	使用時間		0:20	2:00	2:00	8:00	3:30	14:20	20:15	19:10	3:00		0:25	0:30	73:30
稼働日数			1	1	3	5	2	7	9	11	3		1	1	44
使用人数			1	1	3	3	2	6	5	5	3		1	1	10

蛍光 X 線分析装置 PW2400 使用実績 （稼働日数 35 日・使用時間 97 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	7		13	12	5								37
		使用時間	14:35		35:50	30:45	7:40								88:50
	環境共生	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					1						1	1	3
		使用時間					3:00						3:00	2:00	8:00
合計	使用回数		7		13	12	6				1		1	1	41
	使用時間		14:35		35:50	30:45	10:40				1:00		3:00	2:00	97:50
稼働日数			7		11	10	4				1		1	1	35
使用人数			4		5	3	5				1		1	1	8

粉末 X 線回折装置（水平型）UltimaIII 使用実績　　（稼働日数 186 日･使用時間 878 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				1				1	2				4
		使用時間				3:00				1:00	2:00				6:00
	電気電子	使用回数		1	15	9	11	7	8	9	19	23	8	1	111
		使用時間		2:30	22:45	14:00	15:45	10:30	11:15	8:10	18:15	22:05	7:45	3:00	136:00
	応用化学	使用回数				8	5	4	4	4	3	4	1		33
		使用時間				9:50	4:30	6:15	6:00	4:15	3:00	5:00	1:00		39:50
	機能材料	使用回数		15	29	22	21	19	46	53	87	78	22	1	393
		使用時間		17:30	47:15	35:40	33:40	32:05	77:30	51:40	83:50	74:45	20:50	1:00	475:45
	建設	使用回数			3	39	17	7	12	12	10	8			108
		使用時間			6:00	59:25	32:00	14:00	19:00	18:30	8:50	8:40			166:25
	環境共生	使用回数		1	1								1	2	5
		使用時間		0:30	0:15								1:00	3:00	4:45
総合技術支援センター		使用回数						2	1						3
		使用時間						4:30	1:30						6:00
科学分析支援センター		使用回数		5	1	4	4	2	1	1			1		19
		使用時間		5:30	2:30	7:30	9:00	11:00	3:00	3:00			2:00		43:30
合計	使用回数			22	49	83	58	41	72	80	121	113	33	4	676
	使用時間			26:00	78:45	129:25	94:55	78:20	118:15	86:35	115:55	110:30	32:35	7:00	878:15
稼働日数				10	21	22	18	17	23	21	18	18	14	4	186
使用人数				9	22	25	18	17	23	23	19	22	17	3	48

卓上型粉末 X 線回折装置（水平型）D2 PHASER 使用実績　　（稼働日数 197 日･使用時間 744 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	3	11	7	5	2	11	8	17	10	11	13	2	100
		使用時間	5:00	16:15	11:00	6:20	3:00	11:45	12:15	26:15	13:35	13:15	15:20	2:30	136:30
工学部	応用化学	使用回数	7	18	33	40	9	26	55	48	20	35	13	1	305
		使用時間	12:40	25:30	39:40	46:25	11:00	25:35	54:00	53:50	22:25	35:15	11:05	0:20	337:45
	機能材料	使用回数	21	26	23	22	15	26	23	13	8	4	2		183
		使用時間	17:30	27:55	23:05	21:10	14:35	24:20	27:40	14:40	7:30	4:30	2:30		185:25
科学分析支援センター		使用回数	6	1			5	2	2	8	3				27
		使用時間	15:30	2:00			9:30	10:00	5:20	20:10	8:40				71:10
共同研究員		使用回数	1			1	2	1	2	1					8
		使用時間	2:00			2:00	2:30	2:00	4:00	1:30					14:00
合計	使用回数		38	56	63	68	33	66	90	87	41	50	28	3	623
	使用時間		52:40	71:40	73:45	75:55	40:35	73:40	103:15	116:25	52:10	53:00	28:55	2:50	744:50
稼働日数			14	17	20	22	16	17	22	21	15	17	13	3	197
使用人数			19	22	22	21	14	18	27	29	18	19	15	3	53

高速粉末 X 線回折装置（水平型）D8 ADVANCE ECO 使用実績　　（稼働日数 220 日･使用時間 1401 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		2	5	3			11	1	6	2		31
		使用時間	2:00		3:30	9:35	5:30			19:50	2:00	10:00	2:00		54:25
工学部	応用化学	使用回数	4	13	14	8	3	12	14	11	11	11	5	3	109
		使用時間	4:00	18:25	17:30	9:50	2:40	16:25	18:05	17:25	11:25	9:35	4:20	6:00	135:40
	機能材料	使用回数	79	103	125	144	81	86	130	121	111	82	26	5	1093
		使用時間	96:25	109:55	124:45	149:15	85:20	90:20	146:00	124:00	114:40	82:00	29:25	5:50	1157:55
	建設	使用回数	1			3									4
		使用時間	1:00			2:00									3:00
科学分析支援センター		使用回数	4	3	1	7	8	2						2	27
		使用時間	10:10	5:30	3:00	6:55	15:30	6:00						3:00	50:05
合計	使用回数		89	119	142	167	95	100	144	143	123	99	33	10	1264
	使用時間		113:35	133:50	148:45	177:35	109:00	112:45	164:05	161:15	128:05	101:35	35:45	14:50	1401:05
稼働日数			20	19	21	22	19	18	23	21	18	18	14	7	220
使用人数			31	30	28	35	26	25	29	27	30	29	16	5	46

多機能粉末 X 線回折装置 D8 ADVANCE 使用実績　　（稼働日数 113 日･使用時間 845 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	2	1		1						5
		使用時間			1:30	7:30	0:30		5:30						15:00
工学部	応用化学	使用回数	2	4	6	11	4	12	10	3	2	2	1		57
		使用時間	3:30	39:00	31:30	49:30	27:05	36:50	30:55	8:40	3:30	8:30	9:00		248:00
	機能材料	使用回数	2	2	6	1	4		2	2	8		1		28
		使用時間	3:00	4:00	18:00	3:00	18:30		1:30	4:00	18:00		2:00		72:00
科学分析支援センター		使用回数	1	7	2	2	3	2	3	2	1	7	8	3	41
		使用時間	9:00	53:50	14:20	26:00	32:45	18:00	53:00	35:30	19:00	83:45	112:40	34:50	492:40
共同研究員		使用回数									1				1
		使用時間									18:00				18:00
合計	使用回数		5	13	15	16	12	14	16	7	12	9	10	3	132
	使用時間		15:30	96:50	65:20	86:00	78:50	54:50	90:55	48:10	58:30	92:15	123:40	34:50	845:40
稼働日数			5	11	13	12	10	12	13	6	10	9	9	3	113
使用人数			4	6	9	8	7	4	8	4	6	2	3	1	17

高輝度二次元 X 線回折装置 D8 DISCOVER 使用実績　　（稼働日数 23 日･使用時間 101 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			3:00					2:00					5:00
工学部	機能材料	使用回数			1		2		1			3	2	6	15
		使用時間			4:30		6:25		2:40			11:50	5:40	25:50	56:55
科学分析支援センター		使用回数					1	2	1	2		1			7
		使用時間					2:55	17:00	1:00	15:00		4:00			39:55
合計	使用回数				2		3	2	2	3		4	2	6	24
	使用時間				7:30		9:20	17:00	3:40	17:00		15:50	5:40	25:50	101:50
稼働日数					2		3	2	2	3		4	2	5	23
使用人数					2		3	2	2	2		3	2	4	8

CCD 型単結晶構造解析装置 SMART APEX 使用実績　　（稼働日数 12 日･使用時間 232 時間）

4F 単結晶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	5	1	8
		使用時間									25:30	25:30	110:20	28:10	189:30
科学分析支援センター		使用回数		3	1										4
		使用時間		40:10	2:30										42:40
合計	使用回数			3	1						1	1	5	1	12
	使用時間			40:10	2:30						25:30	25:30	110:20	28:10	232:10
稼働日数				3	1						1	1	5	1	12
使用人数				2	1						1	1	1	1	3

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 178 日･使用時間 3527 時間）

4F 単結晶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				1			2	1	1	1			6
		使用時間				24:00			54:00	2:00	3:00	6:00			89:00
	基礎化学	使用回数	2	3	9	10	6	8	13	9	6	9	13	10	98
		使用時間	8:35	27:25	102:30	149:25	73:45	102:00	120:30	187:30	193:50	188:35	283:10	57:00	1494:15
工学部	応用化学	使用回数	3	3	5	6	3	2	4	6	2	5	2	1	42
		使用時間	23:00	53:00	96:00	74:30	31:30	21:00	47:00	77:45	47:00	75:00	50:00	12:00	607:45
	環境共生	使用回数		7	1				1	2	2				13
		使用時間		37:30	8:00				6:00	13:00	44:00				108:30
科学分析支援センター		使用回数	1	4	4	6	5	9	8	8	5	5	4		59
		使用時間	12:00	54:00	92:00	176:00	77:55	127:05	151:00	227:00	152:30	96:15	62:00		1227:45
合計	使用回数		6	17	19	23	14	19	28	26	16	20	19	11	218
	使用時間		43:35	171:55	298:30	423:55	183:10	250:05	378:30	507:15	440:20	365:50	395:10	69:00	3527:15
稼働日数			6	15	16	18	13	16	22	20	15	14	16	7	178
使用人数			4	5	6	8	6	6	9	9	8	9	6	4	10

汎用走査型電子顕微鏡 SU1510 使用実績　　（稼働日数 208 日･使用時間 1368 時間）

3F 分析電子顕微鏡室			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	物理	使用回数	1							1	1				3
		使用時間	4:00							1:00	2:30				7:30
	基礎化学	使用回数		1	1		1	1							4
		使用時間		2:30	4:00		2:00	2:15							10:45
工学部	機械	使用回数			3	5	5		1	4	3		2		23
		使用時間			6:00	8:10	9:00		3:00	11:00	6:00		4:30		47:40
	電気電子	使用回数		3	18	27	12	9	16	15	15	7	8	1	131
		使用時間		5:00	61:40	73:45	29:10	36:15	49:50	40:25	47:00	20:30	22:35	5:00	391:10
	応用化学	使用回数	9	8	10	13	7	8	8	10	4	4	5		86
		使用時間	25:05	21:30	22:05	30:10	15:30	18:45	20:00	25:30	5:35	8:50	21:00		214:00
	機能材料	使用回数	18	36	20	30	15	14	33	13	25	19	6		229
		使用時間	35:00	54:30	48:35	83:15	38:40	30:20	84:25	31:00	59:15	39:15	15:30		519:45
	建設	使用回数												1	1
		使用時間												1:00	1:00
	環境共生	使用回数									2	3			5
		使用時間									6:00	11:00			17:00
科学分析支援センター		使用回数	3	10	9	2	3	1	2	1	3	3	2		39
		使用時間	9:00	47:30	45:00	4:00	10:00	2:00	10:00	3:00	10:30	13:00	6:00		160:00
合計	使用回数		31	58	61	77	43	33	60	44	53	36	23	2	521
	使用時間		73:05	131:00	187:20	199:20	104:20	89:35	167:15	111:55	136:50	92:35	69:35	6:00	1368:50
稼働日数			15	19	21	22	18	17	22	21	18	18	15	2	208
使用人数			13	20	29	29	22	15	23	19	22	18	15	2	57

低温低真空走査型電子顕微鏡 S-3400N 使用実績 （稼働日数 79 日・使用時間 1148 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
教育	教育理科	使用回数					1								1
		使用時間					103:00								103:00
工学部	電気電子	使用回数				5	1	6		7	9	5	3		36
		使用時間				15:30	4:00	31:30		33:40	36:50	26:15	13:00		160:45
	機能材料	使用回数	2			15	8	1	5	2	1				34
		使用時間	6:00			23:00	17:40	2:00	11:00	8:00	5:00				72:40
科学分析支援センター		使用回数	2	1	1	8	1	3	2		3	6	1	1	29
		使用時間	6:00	336:00	7:00	36:00	4:00	86:00	88:00		183:30	32:00	10:00	9:00	797:30
共同研究員		使用回数								2					2
		使用時間								14:10					14:10
合計	使用回数		4	1	1	28	11	10	7	11	13	11	4	1	102
	使用時間		12:00	336:00	7:00	74:30	128:40	119:30	99:00	55:50	225:20	58:15	23:00	9:00	1148:05
稼働日数			4	1	1	17	8	8	6	11	10	8	4	1	79
使用人数			2	1	1	6	5	4	3	4	5	3	2	1	9

高分解能走査型電子顕微鏡 S-4100 使用実績 （稼働日数 177 日・使用時間 727 時間）

3F 分析電子顕微鏡室			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			3		2	5	2	3	1	11	1		28
		使用時間			9:00		6:00	8:10	6:30	10:00	2:00	34:00	4:00		79:40
工学部	機械	使用回数	1	6	5	1					1				14
		使用時間	2:30	14:30	8:30	2:00					2:00				29:30
	電気電子	使用回数	3	2	4	2	6	2	4	4	6	8	2		43
		使用時間	7:15	4:25	7:10	5:00	11:15	2:40	4:30	5:55	8:35	10:00	3:15		70:00
	応用化学	使用回数	1	1	9	9	7	11	11	8	9	9	1		76
		使用時間	2:00	3:00	18:30	16:30	19:40	37:00	30:00	26:00	26:30	17:05	2:00		198:15
	機能材料	使用回数	6	13	10	18	6	2	7	10	17	17	6	3	115
		使用時間	11:30	32:00	23:00	46:30	15:30	3:00	21:05	28:00	44:55	49:30	15:00	8:30	298:30
総合技術支援センター		使用回数			1				2						3
		使用時間			2:30				5:05						7:35
科学分析支援センター		使用回数				2	2		2	2	1		4		13
		使用時間				8:00	8:00		8:00	8:00	2:00		10:00		44:00
合計	使用回数		11	22	32	32	23	20	28	27	35	45	14	3	292
	使用時間		23:15	53:55	68:40	78:00	60:25	50:50	75:10	77:55	86:00	110:35	34:15	8:30	727:30
稼働日数			11	15	18	19	14	15	18	16	18	19	11	3	177
使用人数			5	7	10	10	13	11	15	11	14	13	9	3	26

超高分解能走査型電子顕微鏡 S-4800 使用実績 （稼働日数 71 日・使用時間 192 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				1			1			2		5
		使用時間	1:00				2:00			2:00			3:05		8:05
	応用化学	使用回数	3	5	6	3	2	1		1	1	2	1		25
		使用時間	9:00	14:00	17:00	8:00	4:00	2:00		4:00	2:00	4:00	2:00		66:00
	機能材料	使用回数	2	2	3	3	2	2	5	2	1	1	4		27
		使用時間	3:50	3:55	6:50	6:40	3:35	4:55	10:35	4:50	2:45	3:20	10:50		62:05
	環境共生	使用回数	4						2	5	3	1	1	2	18
		使用時間	8:00						3:15	9:30	5:30	1:15	2:00	2:15	31:45
科学分析支援センター		使用回数					4		1	3	1				9
		使用時間					6:00		1:30	13:00	4:00				24:30
合計	使用回数		10	7	9	6	9	3	8	12	6	4	8	2	84
	使用時間		21:50	17:55	23:50	14:40	15:35	6:55	15:20	33:20	14:15	8:35	17:55	2:15	192:25
稼働日数			9	6	7	6	8	3	7	10	5	4	5	1	71
使用人数			5	2	3	3	4	2	3	6	4	4	4	2	9

透過型分析電子顕微鏡（120kV） H-7500 使用実績 （稼働日数 74 日・使用時間 380 時間）

理学部2号館 生体電子顕微鏡室			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	教育理科	使用回数		2	2			3	1	1		1			10
		使用時間		3:00	3:00			5:00	2:00	2:00		2:00			17:00
理学部	生体制御	使用回数			6		2			2					10
		使用時間			25:00		6:00			11:00					42:00
科学分析支援センター		使用回数	5	2	10	8	2	7	2	6	7	4	7	4	64
		使用時間	26:00	12:00	51:20	43:30	9:30	31:30	12:00	19:00	33:00	28:30	32:30	23:00	321:50
合計	使用回数		5	4	18	8	4	10	3	9	7	5	7	4	84
	使用時間		26:00	15:00	79:20	43:30	15:30	36:30	14:00	32:00	33:00	30:30	32:30	23:00	380:50
稼働日数			5	4	13	8	3	8	2	8	7	5	7	4	74
使用人数			1	2	4	1	3	2	2	4	2	2	1	1	6

透過型電子顕微鏡(200kV) Technai G2 使用実績 （稼働日数 40 日・使用時間 223 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							2				3
		使用時間		8:00							16:00				24:00
工学部	応用化学	使用回数		1		3	1	2							7
		使用時間		2:00		11:00	2:00	8:00							23:00
科学分析支援センター		使用回数	2		3	1	5	2	4	1	1	4	5	3	31
		使用時間	11:30		19:00	7:00	12:00	12:00	26:30	9:00	4:00	26:20	30:30	18:30	176:20
合計	使用回数		2	2	3	4	6	4	4	1	3	4	5	3	41
	使用時間		11:30	10:00	19:00	18:00	14:00	20:00	26:30	9:00	20:00	26:20	30:30	18:30	223:20
稼働日数			2	2	3	4	5	4	4	1	3	4	5	3	40
使用人数			2	2	1	2	3	2	2	1	2	1	1	1	5

走査型プローブ顕微鏡 MultiMode 8 使用実績 （稼働日数 85 日・使用時間 174 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											1
		使用時間		4:00											4:00
工学部	電気電子	使用回数	3	2	11	10	8	7	5	14	19	15	3	2	99
		使用時間	4:55	5:40	14:20	16:50	11:10	7:25	6:05	17:25	22:30	17:10	5:00	2:30	131:00
	応用化学	使用回数	3												3
		使用時間	6:30												6:30
総合技術支援センター		使用回数					1								1
		使用時間					3:00								3:00
科学分析支援センター		使用回数		1		1			2	1				1	6
		使用時間		6:00		6:00			7:30	4:00				6:00	29:30
合計	使用回数		6	4	11	11	9	7	7	15	19	15	3	3	110
	使用時間		11:25	15:40	14:20	22:50	14:10	7:25	13:35	21:25	22:30	17:10	5:00	8:30	174:00
稼働日数			6	4	8	11	8	6	6	11	12	8	3	2	85
使用人数			3	3	4	5	4	4	5	8	5	4	3	3	13

共焦点レーザー顕微鏡 FV1000-D 使用実績 （稼働日数 185 日・使用時間 661 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
教育	教育理科	使用回数		1	1	7	10	3	1	1		2	3	1	30
		使用時間		2:00	2:00	14:00	18:40	6:00	2:00	2:00		3:30	4:50	1:00	56:00
理学部	基礎化学	使用回数				1				7	1			1	10
		使用時間				1:00				8:45	1:00			6:00	16:45
	生体制御	使用回数	17	15	25	9	13	10	14	26	26	25	11	5	196
		使用時間	29:30	29:40	42:20	22:45	25:10	20:20	29:30	47:30	55:35	43:10	21:05	10:20	376:55
	分子生物	使用回数	2	6	4	3		3	7	9	6	3			43
		使用時間	4:00	12:10	6:00	3:00		5:40	10:55	16:00	13:00	6:10			76:55
工学部	応用化学	使用回数	3		1	2			6	3	4	3	4		26
		使用時間	4:00		1:00	2:00			9:30	5:00	7:00	8:00	5:30		42:00
	機能材料	使用回数				2						1			3
		使用時間				4:00						3:00			7:00
	環境共生	使用回数	1	1					1						3
		使用時間	2:00	2:00					2:00						6:00
戦略的研究部門		使用回数				1		2							3
		使用時間				2:00		4:00							6:00
科学分析支援センター		使用回数	4	6	6	8	4	4	16	10	6			1	65
		使用時間	2:30	5:45	5:00	13:30	2:30	2:00	21:00	11:30	8:00			2:00	73:45
合計	使用回数		27	29	37	33	27	22	45	56	43	34	18	8	379
	使用時間		42:00	51:35	56:20	62:15	46:20	38:00	74:55	90:45	84:35	63:50	31:25	19:20	661:20
稼働日数			15	15	15	19	16	14	22	19	17	16	10	7	185
使用人数			11	13	13	16	11	9	12	22	20	15	10	7	52

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 3008 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		5	1	7	2	1	3	4	6	6	3	1	39
		使用時間		123:00	24:00	132:00	45:00	24:00	62:30	96:00	124:00	143:00	56:00	5:15	834:45
工学部	機械	使用回数			2	1	1								4
		使用時間			47:00	24:00	24:00								95:00
	応用化学	使用回数	2	1		2	1		1	1	1	2	1		12
		使用時間	47:00	24:00		48:00	24:00		24:00	24:00	25:00	47:00	24:00		287:00
	機能材料	使用回数				6	2	1		1	1	3	2	1	17
		使用時間				114:00	48:00	24:00		24:00	24:00	55:00	48:00	7:00	344:00
	建設	使用回数			1										1
		使用時間			24:00										24:00
総合技術支援センター		使用回数						1				1	1		3
		使用時間						21:15				1:00	0:10		22:25
科学分析支援センター		使用回数	2	5	4	5	1	3	1	1	3	3	5	1	34
		使用時間	88:00	137:30	98:35	117:00	32:00	279:00	8:00	32:00	125:00	264:00	210:50	9:00	1400:55
合計	使用回数		4	11	8	21	7	6	5	7	11	15	12	3	110
	使用時間		135:00	284:30	193:35	435:00	173:00	348:15	94:30	176:00	298:00	510:00	339:00	21:15	3008:05
稼働日数			4	11	8	18	7	6	5	7	11	14	10	3	104
使用人数			3	8	5	11	7	5	4	7	7	8	9	3	23

示差熱重量／熱機械分析装置 TG/DTA-FTIR, TMA 使用実績

（稼働日数 90 日・使用時間 328 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	1	3			1			4	5		1	16
		使用時間	4:00	3:00	3:10			2:30			8:15	6:15		2:20	29:30
工学部	応用化学	使用回数			1		1			2	1	2		1	8
		使用時間			1:00		2:00			3:00	2:00	4:30		4:00	16:30
	機能材料	使用回数	6	13	12	5	6	3	4	12	6	7	6		80
		使用時間	17:35	24:35	36:35	18:35	15:10	14:50	8:15	24:20	21:30	25:40	22:40		229:45
科学分析支援センター		使用回数		1	2	4			1	3				1	12
		使用時間		3:00	10:55	18:00			5:00	12:00				4:00	52:55
合計	使用回数		7	15	18	9	7	4	5	17	11	14	6	3	116
	使用時間		21:35	30:35	51:40	36:35	17:10	17:20	13:15	39:20	31:45	36:25	22:40	10:20	328:40
稼働日数			5	9	14	6	4	4	4	16	10	9	6	3	90
使用人数			5	7	9	3	3	3	2	6	7	5	2	3	22

示差走査熱量分析装置 DSC 6200 使用実績

（稼働日数 41 日・使用時間 277 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			1	1					3
		使用時間				7:00			9:30	5:30					22:00
工学部	応用化学	使用回数	1	2	3				1						7
		使用時間	7:00	10:30	14:30				4:00						36:00
	機能材料	使用回数	2		1	1	6	1		1		1			13
		使用時間	6:30		4:30	7:30	17:10	5:00		1:30		5:00			47:10
科学分析支援センター		使用回数	2			3	3		4	3	4	2	1		22
		使用時間	10:00			25:00	40:30		20:30	21:30	34:40	14:00	6:00		172:10
合計	使用回数		5	2	4	5	9	1	6	5	4	3	1		45
	使用時間		23:30	10:30	19:00	39:30	57:40	5:00	34:00	28:30	34:40	19:00	6:00		277:20
稼働日数			4	2	4	5	6	1	6	5	4	3	1		41
使用人数			4	1	2	3	5	1	3	3	1	2	1		13

微小材料試験器 Tytron250 使用実績

（稼働日 38 日・使用時間 212 時間）

3F 分析電子顕微鏡室			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	機械	使用回数	1												1
		使用時間	2:00												2:00
合計	使用回数		1												1
	使用時間		2:00												2:00
稼働日数			1												1
使用人数			1												1

オスミウムコーター Neoc-STB 使用実績 （稼働日 20 日・使用時間 13 時間）

3F 分析電子顕微鏡室			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	機械	使用回数			3	1									4
		使用時間			3:30	1:00									4:30
	環境共生	使用回数	4						2	5	3	1			15
		使用時間	2:00						1:00	2:30	1:30	0:30			7:30
総合技術支援センター		使用回数		1											1
		使用時間		1:30											1:30
合計	使用回数		4	1	3	1			2	5	3	1			20
	使用時間		2:00	1:30	3:30	1:00			1:00	2:30	1:30	0:30			13:30
稼働日数			4	1	3	1			2	5	3	1			20
使用人数			1	1	1	1			1	1	1	1			3

高圧凍結装置 Leica EM HPM100 使用実績 （稼働日 2 日・使用時間 153 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						2
		使用時間						81:00	72:00						153:00
合計	使用回数							1	1						2
	使用時間							81:00	72:00						153:00
稼働日数								1	1						2
使用人数								1	1						1

急速凍結装置 Leica EM CPC 使用実績 （稼働日 1 日・使用時間 2 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												2:00	2:00
合計	使用回数													1	1
	使用時間													2:00	2:00
稼働日数														1	1
使用人数														1	1

凍結ウルトラミクロトーム UC7/FC7 使用実績 （稼働日数 4 日・使用時間 87 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	1	2					1						4
		使用時間	4:00	11:30					72:00						87:30
合計	使用回数		1	2					1						4
	使用時間		4:00	11:30					72:00						87:30
稼働日数			1	2					1						4
使用人数			1	1					1						2

ウルトラミクロトーム Ultracut N 使用実績 （稼働日数 38 日・使用時間 189 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
総合技術支援センター		使用回数						1							1
		使用時間						2:00							2:00
科学分析支援センター		使用回数	6	1	6	2	6	3	3	4	3	2	1		37
		使用時間	35:00	2:00	39:30	7:30	27:30	17:00	19:30	13:00	14:00	8:00	4:00		187:00
合計	使用回数		6	1	6	2	6	4	3	4	3	2	1		38
	使用時間		35:00	2:00	39:30	7:30	27:30	19:00	19:30	13:00	14:00	8:00	4:00		189:00
稼働日数			6	1	6	2	6	4	3	4	3	2	1		38
使用人数			1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1		2

2018 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	総計
入室回数	40	15	39	97	73	82	62	140	197	120	145	144	1154
時間	20:13	11:07	18:05	27:24	19:15	30:03	24:09	50:15	70:44	43:43	31:43	39:18	385:59

核種別使用量 （単位: MBq）

	^{3}H	^{14}C	^{32}P	^{33}P	^{35}S	^{125}I
年度当初保管数量	348.7	349.5	0.0	0.0	47.8	0.0
受入等数量	37.0	2.2	27.8	0.0	148.0	0.0
使用数量	153.6	3.2	27.8	0.0	149.7	0.0
年度末保管数量	232.1	348.5	0.0	0.0	46.1	0.0

2018 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	588	655	691	618	539	449	681	721	501	386	345	419	6593
SPF室	50	82	53	71	43	38	50	60	50	46	71	92	706

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	C57BL/6J	14	27	43	78	22	38	50	50	91	55	101	48	617
	C57BL/6N	3	36	16	23	0	0	0	5	0	136	127	32	378
	ddY	0	0	0	44	4	1	0	0	31	0	0	0	80
	ICR	10	4	48	13	8	13	2	38	69	64	185	84	538
	SCID Beige	0	4	13	8	0	0	0	0	0	0	0	0	25
	小計	27	71	120	166	34	52	52	93	191	255	413	164	1638
ラット	Wister	34	24	36	40	48	26	13	4	24	5	22	7	283
	F344	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	long-evans	1	0	2	4	5	4	0	0	0	0	0	0	16
	小計	35	24	38	44	53	30	13	4	24	5	22	8	300
スンクス	Suncus murine (KAT)	35	34	21	32	36	20	33	43	19	22	12	20	327
	小計	35	34	21	32	36	20	33	43	19	22	12	20	327
アフリカツメガエル	成体	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10
	小計	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10

2018 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　　岩渕 陽花
指導教員　　斎藤雅一 教授
大 会 名　　第 22 回ケイ素化学協会シンポジウム
受賞内容　　優秀ポスター賞
利用機器　　核磁気共鳴装置, 飛行時間型質量分析装置
利用内容　　合成した化合物の同定、および物性の探索

受 賞 者　　甲山 雅也
指導教員　　斎藤雅一 教授
大 会 名　　第 8 回 CSJ 化学フェスタ 2018
受賞内容　　優秀ポスター発表賞
利用機器　　核磁気共鳴装置, 飛行時間型質量分析装置, 示差走査熱量分析装置
利用内容　　合成した化合物の同定、および物性の探索

受 賞 者　　髙田 侑希
指導教員　　斎藤雅一 教授
大 会 名　　第 45 回有機典型元素化学討論会
受賞内容　　優秀ポスター賞
利用機器　　核磁気共鳴装置, 飛行時間型質量分析装置, 示差熱重量／熱機械分析装置
利用内容　　合成した化合物の同定、および物性の探索

受 賞 者　　渡辺 愛理
指導教員　　斎藤雅一 教授
大 会 名　　第 45 回有機典型元素化学討論会
受賞内容　　優秀ポスター賞 および Chemistry Letters 賞
利用機器　　核磁気共鳴装置, 飛行時間型質量分析装置, 電子常磁性共鳴装置
利用内容　　合成した化合物の同定、および物性の探索

受 賞 者　　儘田 涼介
指導教員　　長谷川登志夫 准教授
大 会 名　　第 62 回香料･テルペンおよび精油化学に関する討論会
受賞内容　　ベストプレゼンテーション賞
利用機器　　核磁気共鳴装置
利用内容　　成分の分析, 合成品の構造確認, 構造決定

受 賞 者　松尾　太亮
指導教員　前田公憲　准教授
大 会 名　The 3rd International Conference
“SPIN PHYSICS, SPIN CHEMISTRY AND SPIN TECHNOLOGY”
受賞内容　ポスター賞
利用機器　Pulse 電子常磁性共鳴装置, 電子常磁性共鳴装置
利用内容　光化学反応中間体の観測

受 賞 者　岩田　菜々
指導教員　前田公憲　准教授
大 会 名　第 57 回電子スピンサイエンス学会
受賞内容　優秀ポスター賞
利用機器　Pulse 電子常磁性共鳴装置
利用内容　光化学反応中間体の観測

工学部　応用化学科

受 賞 者　臼井　啓皓
指導教員　荻原仁志　准教授
大 会 名　第 23 回 JPIJS 若手研究者のためのポスターセッション
受賞内容　ベストプレゼンテーション賞
利用機器　粉末 X 線回折装置, 汎用走査型分析電子顕微鏡, X 線光電子分光装置
利用内容　触媒およびナノ材料の構造解析, 形態観察, 表面化学状態の決定

工学部　環境共生学科

受 賞 者　大塚　美緒子
指導教員　長谷川靖洋　准教授
大 会 名　第 65 回応用物理学会春季講演会
受賞内容　講演奨励賞
利用機器　超高分解能走査型電子顕微鏡、オスミウムコーター
利用内容　作製したナノワイヤーサンプルの表面観察

受 賞 者　大塚　美緒子
指導教員　長谷川靖洋　准教授
大 会 名　第 15 回日本熱電学会学術講演会
受賞内容　優秀講演賞
利用機器　超高分解能走査型電子顕微鏡、オスミウムコーター
利用内容　作製したナノワイヤーサンプルの表面観察

《センターより》

2018 年度科学分析支援センター機器使用研究業績

教育学部

Kodama Y, Kawahara A, Miyagi A, Ishikawa T, Kawai-Yamada M, Kaneko Y, et al. Effects of inactivation of the cyAbrB2 transcription factor together with glycogen synthesis on cellular metabolism and free fatty acid production in the cyanobacterium Synechocystis sp. PCC 6803. Biotechnol Bioeng. 2018;115(12):2974–85.

Matsuoka K, Miura H, Karima S, Taketaka C, Ouno S, Moroi Y. Removal of alkali metal ions from aqueous solution by foam separation method. J Mol Liq. 2018;263:89–95.

Matsuoka K, Omori R, Yada S, Yoshimura T, Iwase H. Solubilization ability of N,N-dimethyl-N-alkyladamantylammonium bromide. J Mol Liq. 2018;260:131–7.

Sarkar A, Asaeda T, Wang Q, Kaneko Y, Rashid MH. Arbuscular mycorrhiza confers lead tolerance and uptake in Miscanthus sacchariflorus. Chem Ecol. 2018;34(5):454–69.

Sakamoto S, Somssich M, Nakata M, Unda F, Atsuzawa K, Kaneko Y, et al. Complete substitution of a secondary cell wall with a primary cell wall in Arabidopsis. Nature Plants 2018; 10: 777-783.

Kaneko Y, Tokunaga M, Tanaka K, Atsuzawa K, Nishimura M., Backscattered electron imaging and elemental analysis of rapidly frozen plant cells using variable accelerating voltage. Microscopy 2018; 67: 125-128.

Matsuoka K, Miura H, Karima S, Taketaka C, Ouno S, Moroi Y. Removal of alkali metal ions from aqueous solution by foam separation method. J Mol Liq. 2018;263:89–95.

理学部　基礎化学科

Ishii A, Shibata M, Ebina R, Nakata N. Synthesis and Photophysical Properties of Dibenzobarrelene-Incorporated 1,4-Diphenyl-1,3-pentadienes and a 5-Sila Derivative Having High Fluorescence Efficiency. European J Org Chem. 2018;2018(8):1011–8.

Nakata N, Hosoda N, Takahashi S, Ishii A. Chlorogermylenes and -stannylenes stabilized by diimidosulfinate ligands: synthesis, structures, and reactivity. Dalt Trans. 2018;47(2):481–90.

Nakata N, Nakamura K, Ishii A. Highly Efficient and 1,2-Regioselective Method for the Oligomerization of 1-Hexene Promoted by Zirconium Precatalysts with [OSSO]-Type Bis(phenolate) Ligands. Organometallics. 2018;37(15):2640–4.

Furukawa S, Fujita M, Kanatomi Y, Minoura M, Hatanaka M, Morokuma K, et al. Double aromaticity arising from σ- and π-rings. Commun Chem. 2018;1(1):1–7.

Furukawa S, Hayashi K, Yamagishi K, Saito M. Synthesis and properties of spiro-type heterasumanenes containing group 14 elements as bridging atoms. Mater Chem Front. 2018;2(5):929–34.

Saito M. Transition-Metal Complexes Featuring Dianionic Heavy Group 14 Element Aromatic Ligands. Acc Chem Res. 2018;51(1):160–9.

Saito M. Creation of exotic π-electron systems by introduction of heavy elements and expansion of the concept of aromaticity. Bull Chem Soc Jpn. 2018;91(7):1009–19.

Saito M, Matsunaga N, Hamada J, Furukawa S, Minoura M, Wegner S, et al. Heterobimetallic triple-decker complexes derived from a dianionic aromatic stannole ligand. Dalton Trans. 2018;47(27):8892–6.

Saito M, Shinokubo H, Sakurai H. Figuration of bowl-shaped π-conjugated molecules: properties and functions. Mater Chem Front. 2018;2(4):635–61.

Loukanov AR, Basnakian AG, Kawamura R, Udono H, Filipov CK, Savenka A V, et al. Light-Powered Nanoconverters Cytotoxic to Breast Cancer Cells. J Phys Chem C. 2018;122(14):7916–24.

Kobayashi N, Maruyama M, Mori Y, Fukukita S, Adachi H, Takano K, et al. Atomic-Scale Imaging of Surface and Hydration Structures of Stable and Metastable Acetaminophen Crystals by Frequency Modulation Atomic Force Microscopy. J Phys Chem C. 2018;122(38):21983–90.

Sato O, Sakai R. Synthesis and electrochemical properties of 2,2’-biguaiazulene-based 1,2-dithiin and thiophene. Heterocycles. 2018;96(7):1259–65.

Ishikawa K, Yago T, Wakasa M. Exploring the Structure of an Exchange-Coupled Triplet Pair Generated by Singlet Fission in Crystalline Diphenylhexatriene: Anisotropic Magnetic Field Effects on Fluorescence in High Fields. J Phys Chem C. 2018;122(39):22264–72.

石井昭彦, 中田憲男, ジベンゾバレレン骨格に組み込まれた 1-カルコゲノ-1,3-ブタジエン誘導体およびその関連化合物の合成と光物性 有機合成化学協会誌, 2018 年, 76(10), 1042-1054.

理学部 分子生物学科

Kujirai J, Nanba S, Kadowaki T, Oka Y, Nishiyama Y, Hayashi Y, et al. Interaction of the GntR-family transcription factor Sll1961 with thioredoxin in the cyanobacterium Synechocystis sp. PCC 6803. Sci Rep. 2018;8(1):1–11.

Kodama Y., Kawahara A., Miyagi A., Ishikawa T., Kawai-Yamada M., Kaneko Y., Takimura Y. and Hihara Y. (2018) Effects of inactivation of the cyAbrB2 transcription factor together with glycogen synthesis on cellular metabolism and free fatty acid production in the cyanobacterium Synechocystis sp. PCC 6803. Biotechnology and Bioengineering 115: 2974-2985

Toyota M, Spencer D, Sawai-Toyota S, Jiaqi W, Zhang T, Koo AJ, et al. Glutamate triggers long-distance, calcium-based plant defense signaling. Sci (Washington, DC, United States). 2018;361(6407):1112–5.

Jimbo H, Yutthanasirikul R, Nagano T, Hisabori T, Hihara Y, Nishiyama Y. Oxidation of translation factor EF-Tu inhibits the repair of photosystem II. Plant Physiol. 2018;176(4):2691–9.

Kujirai J, Nanba S, Kadowaki T, Oka Y, Nishiyama Y, Hayashi Y, et al. Interaction of the GntR-family transcription factor Sll1961 with thioredoxin in the cyanobacterium Synechocystis sp. PCC 6803. Sci Rep. 2018;8(1):1–11.

理学部　生体制御学科

Ikenoya C, Takemi S, Kaminoda A, Aizawa S, Ojima S, Gong Z, et al. β-Oxidation in ghrelin-producing cells is important for ghrelin acyl-modification. Sci Rep. 2018;8(1):1–9.

Kinoshita H, Ohgane N, Fujino Y, Yabe T, Ovara H, Yokota D, et al. Functional roles of the Ripply-mediated suppression of segmentation gene expression at the anterior presomitic mesoderm in zebrafish. Mech Dev. 2018;152:21–31.

Miyazawa H, Okumura K, Hiyoshi K, Maruyama K, Kakinuma H, Amo R, et al. Optical interrogation of neuronal circuitry in zebrafish using genetically encoded voltage indicators. Sci Rep. 2018;8(1):1–10.

Wang Z, Nakayama Y, Tsuda S, Yamasu K. The role of gastrulation brain homeobox 2 (gbx2) in the development of the ventral telencephalon in zebrafish embryos. Differ (Oxford, United Kingdom). 2018;99:28–40.

Yamaguchi S, Abe Y, Maejima S, Tsukahara S. Sexual experience reduces neuronal activity in the central part of the medial preoptic nucleus in male rats during sexual behavior. Neurosci Lett. 2018;685:155–9.

Kanaya M, Morishita M, Tsukahara S: Temporal expression patterns of genes related to sex steroid action in sexually dimorphic nuclei during puberty. Frontiers in Endocrinology, 9, 213, doi: 10.3389/fendo.2018.00213, 2018.

Maejima S, Abe Y, Yamaguchi S, Musatov S, Ogawa S, Kondo Y, Tsukahara S: VGF in the medial preoptic nucleus increases sexual activity following sexual arousal induction in male rats. Endocrinology, 159, 12, 3993-4005, 2018.

Ikenoya C, Takemi S, Kaminoda A, Aizawa S, Ojima S, Gong Z, et al. β-Oxidation in ghrelin-producing cells is important for ghrelin acyl-modification. Sci Rep. 2018;8(1):1–9.

Mikami T, Ito K, Diaz-Tartera HO, Hellstroem PM, Mochiki E, Takemi S, et al. Study of termination of postprandial gastric contractions in humans, dogs and Suncus murinus: role of motilin- and ghrelin-induced strong contraction. Acta Physiol. 2018;222(2):n/a.

Horita T, Koyama K, Takemi S, Tanaka T, Sakai T, Sakata I. GABAergic and glutamatergic neurons in the brain regulate phase II of migrating motor contractions in the Suncus murinus. J Smooth Muscle Res. 2018;54(0):91-99. doi: 10.1540/jsmr.54.91.

工学部　応用化学科

Kurokawa H, Namoto H, Horinouchi A, Sato M, Usui M, Ogihara H, et al. Dehydrogenation of n-butane to butenes and 1,3-butadiene over PtAg/Al2O3 catalysts in the presence of H2. J Mater Sci Chem Eng. 2018;6(7):16–24.

Kudo S, Hirahara M, Ogihara H, Kurokawa H. Polyethylene blend prepared by ethylene or ethylene/1-hexene polymerization using Ni(II) and Fe(III) complexes immobilized into fluorotetrasilicic mica interlayer as catalyst. Kobunshi Ronbunshu. 2018;75(6):557–63.

I. Yanase, H. Chida, H. Kobayashi, Fabrication and negative thermal expansion properties of P-substituted ZrV2O7 sintered bodies, Journal of the European Ceramic Society, 38, 221-226 (2018).

I. Yanase, K. Sato, H. Kobayashi, T. Doe, T. Naka, CO2 absorption property of Li4SiO4 in the presence of water vapor at room temperature, Chemical Engineering Journal, 356, 81-90 (2018).

T. Harada, K. Ouchi, Y. Sato, H. Hoshino, R. Tanaka, T. Fujihara, H. Kurokawa, M. Shibukawa, K. Ishimori, Y. Kameo, S. Saito, Safe and rapid development of capillary electrophoresis for ultratrace uranyl ions in radioactive samples by way of fluorescent probe selection for actinide ions from a chemical library, Analytica Chimica Acta, 1032, 188-196 (2018) .

Kodama K, Kanai H, Shimomura Y, Hirose T. Enantioseparation of Sulfoxides and Nitriles by Inclusion Crystallization with Chiral Organic Salts Based on L-Phenylalanine. European J Org Chem. 2018;2018(14):1726–9.

Hirose T, Qu S, Kodama K, Wang X. Organocatalyst system for disubstituted carbonates from cycloaddition between CO2 and internal epoxides. J CO2 Util. 2018;24:261–5.

Shimoda T, Morishima T, Kodama K, Hirose T, Polyansky D. E, Manbeck G. F, Mackerman J. T, Fujita E. Photocatalytic CO2 Reduction by Trigonal Bipyramidal Polypyridyl Cobalt(II) Complexes: Nature of Co(I) and Co(0) Complexes upon their Reactions with CO2, CO or Proton. Inorg Chem. 2018; 57: 5486-5498.

Zhao Y, Wang X, Kodama K, Hirose T. Copper-Catalyzed Coupling Reactions of Aryl Halides and Phenols by 4,4'-Dimethoxy-2,2'-bipyridine and 4,7-Dimethoxy-1,10-phenanthroline, ChemistrySelect 2018; 3: 12620-12624.

Kinoshita H, Fukumoto H, Ueda A, Miura K. Syntheses of substituted benzosiloles and siloles by diisobutylaluminium hydride-promoted cyclization of 1-silyl-2-(2-silylethynyl)benzenes and 1,4-disilylalk-3-en-1-ynes. Tetrahedron. 2018;74(14):1632–45.

工学部　機能材料工学科

Honda Z, Nomoto N, Fujihara T, Hagiwara M, Kida T, Sawada Y, et al. One-dimensional ferromagnetic array compound [Co3(SBA)2(OH)2(H2O)2]n, (SBA = 4-sulfobenzoate). Solid State Sci. 2018;80:155–60.

Sakai M, Takao H, Matsunaga T, Nishimagi M, Iizasa K, Sakuraba T, et al. 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. 2018;57(3):033001/1–033001/13.

Ishikawa R, Ueno K, Shirai H. Fabrication of [CH(NH2)2]0.8Cs0.2PbI3 perovskite thin films for n-i-p planar-structure solar cells by a one-step method using 1-cyclohexyl-2-pyrrolidone as an additive. Chem Lett. 2018;47(7):905–8.

Kasahara K, Hossain J, Harada D, Ichikawa K, Ishikawa R, Shirai H. Crystalline-Si heterojunction with organic thin-layer (HOT) solar cell module using poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrene sulfonate)(PEDOT:PSS). Sol Energy Mater Sol Cells. 2018;181:60–70.

H. Shirai, Q. Liu, T. Ohki, R. Ishikawa and K. Ueno. Optical anisotropy and compositional ratio of sonductive polymer PEDOT:PSS and their effect on photovoltaic performnce of crystalline silicon・organic heterojunction solar cells, Advances in Silicon Solar Cells、Springer　137-159　2018

Youhei Numata, Yoshitaka Sanehira, Ryo Ishikawa, Hajime Shirai, Tsutomu Miyasaka, Thiocyanate Containing Two-Dimensional Cesium Lead Iodide Perovskite, Cs2PbI2(SCN)2: Characterization, Photovoltaic Application, and Degradation Mechanism　ACS Appl. Mater. Interfaces 2018104942363-42371　DOI 10.1021/acsami.8b15578

Youhei Numata, Ryo Ishikawa, Yoshitaka Sanehira, Atsushi Kogo, Hajime Shirai and Tsutomu Miyasaka., Nb-doped amorphous titanium oxide compact layer for formamidinium-based high efficiency perovskite solar cells by low-temperature fabrication J. Mater. Chem. A, 2018,6, 9583-9591 DOI:10.1039/C8TA02540A

Hayama R, Koyama T, Matsushita T, Hatano K, Matsuoka K. Preparation of functional monomers as precursors of bioprobes from a common styrene derivative and polymer synthesis. Molecules [Internet]. 2018;23(11):2875/1–2875/13. Available from: http://www.mdpi.com/journal/molecules

Matsuoka K, Matsushita T, Hatano T, Nemoto N, Arai H, Nomura H. Anti-midkine monoclonal anbody and cancer diagnosis immunoassay kit using it. Jpn. Kokai Tokkyo Koho. Saitama University, Japan; Inomu Prove K. K. .; 2018. p. 14pp.

Matsuoka K, Nishikawa K, Goshu Y, Koyama T, Hatano K, Matsushita T, et al. Synthetic construction of sugar-amino acid hybrid polymers involving globotriaose or lactose and evaluation of their biological activities against Shiga toxins produced by Escherichia coli O157:H7. Bioorg Med Chem. 2018;26(22):5792–803.

Matsushita T, Matsuoka K, Hatano K, Nemoto N, Arai H. Preparation of water-soluble immunoglobulin-polysaccharide conjugates containing cushion protein for highly sensitive immunoassays. PCT Int. Appl. Saitama University, Japan .; 2018. p. 52pp.

Matsushita T, Tsuchibuchi K, Koyama T, Hatano K, Matsuoka K. A constraint scaffold enhances affinity of a bivalent N-acetylglucosamine ligand against wheat germ agglutinin. Bioorg Med Chem Lett. 2018;28(10):1704–7.

Guo Y, Fukushi K, Hirayama S, Machida H, Meng Q, Akasaka S, et al. Thermal stability of ordered multi-particle layers of long-chain phosphonate-modified nanodiamond with superior heat-resistance. Colloids Surfaces, A Physicochem Eng Asp. 2018;556:227–38.

Iizuka M, Nakagawa Y, Moriya Y, Satou E, Fujimori A. Comparison of structure/function correlational property of three kinds of gemini-type thixotropic surfactants capable of forming crystalline nanofiber based on hydrogen bonding-solid-state structure, two-dimensional molecular film forming, and epitaxial g. Bull Chem Soc Jpn. 2018;91(5):813–23.

Kasahara Y, Guo Y, Tasaki T, Meng Q, Iizuka M, Akasaka S, et al. Nanodispersion in transparent polymer matrix with high melting temperature contributing to the hybridization of heat-resistant organo-modified nanodiamond. Polym Bull (Heidelberg, Ger. 2018;75(9):4145–63.

Nakagawa Y, Watahiki K, Satou E, Shibasaki Y, Fujimori A. Elucidation of origin of thixotropic-inducing properties of additive amphiphiles and creation of high-performance triamide amphiphile. Langmuir. 2018;34(40):11913–24.

Shidara Y, Yunoki T, Miura S, Shibasaki Y, Fujimori A. Effect of the isothermal crystallization method on amorphous block copolymers of aromatic polyamides and their packing behavior in two-dimensional films for screening of potential crystallization ability. Polym Eng Sci. 2018;58(11):2019–30.

Zhang X, Shidara Y, Yunoki T, Kasahara Y, Ohmura K, Iizuka M, et al. Nano-dispersion of organo-modified nanofiller in partially fluorinated matrix as the polymer/magnetic nanoparticle composites. Polym Compos. 2018;39(12):4496–512.

T. Nyuui, G. Matsuba, S. Sato, K. Nagai, A. Fujimori, "Correlation between gas transport properties and the morphology/dynamics of crystalline fluorinated copolymer membranes.", J. Appl. Polym. Sci., 2018, 135(2), 45665.

M. Iizuka, A. Fujimori, "Fluorinated Polymer/Organo-modified Magnetic Nanoparticle Composite." SPE Plastics Res. Online, 2018, (3), 1-4. (DOI: 10.2417/spepro.006995)

Y. Shibasaki, T. Kotaki, T. Bito, R. Sasahara, N. Idutsu, A. Fujimori, S. Miura, Y. Shidara, N. Nishimura, Y. Oishi, "Synthesis of semicrystalline poly(guanamine)s based on 2-substituted-4,6-dichloro-1,3,5-triazine with alpha, omega-alkylene diamines, and the formation of cyclic tetramers.", Polymer, 2018, 146, 12-20.

Y. Shibasaki, T. Mori, A. Fujimori, M. Jikei, H. Sawada, Y. Oishi, "Poly(amide–ether) Thermoplastic Elastomers Based on Monodisperse Aromatic Amide Hard Segments as Shape-Memory and Moisture-Responsive Materials.", Macromolecules, 2018, 51(23), 9430-9441.

Y. Shidara, T. Yunoki, A. Fujimori, "Preparation and Its Functionality of Fluorinated Polymer/Magnetic Nanoparticle Composites with Well-Dispersion of Organo-Modified Nanofiller", in Chapter 4 of "Advances in Nanotechnology" volume 21, Nova Science Publishers, 2018, pp. 175–213.

Y. Nakagawa, A. Fujimori, "Proposals for Densely Packed Rearrangement and Screening Techniques of the Potential Crystallization Ability for Organic Polymers That Possess Bulky Aromatic Rings", in Chapter 2 of "Organic Polymers: Advances in Research and Applications", Nova Science Publishers, 2018, pp.97-140.

T. Yunoki, S. Hirayama, A. Fujimori, "Topological "Interfacial" Polymer Chemistry", in Chapter 2 of "Polymer Research: Communicating Current Advances, Contributions, Applications and Educational Aspects", A. Méndez-Vilas Ed., Formatex, 2018, pp.76–87.

小堀稔文、福田 武司、鎌田 憲彦、フレキシブル基板上有機薄膜太陽電池における電子輸送層の検討、電気学会論文誌 A（基礎・材料・共通部門誌）、IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials Vol. 138, No. 8, pp. 428-434, 2018. DOI: 10.1541/ieejfms.138.428

中川由人, 藤森厚裕, "高修飾率有機化アルミノシリケートによる耐熱型結晶性透明ナノハイブリッド材料の作製",『高耐熱樹脂の開発事例集 –パワーデバイス、ディスプレイ、電動車両への応用に向けて–』, 第 4 章 第 5 節, 技術情報協会, 2018, 175-191.

工学部 環境共生学科

Qingyue Wang and Jayanto kumar Sarkar, Investigations of the pyrolysis behaviors of coconut shell and husk waste biomasses, International Journal of Energy Production and Management, Vol.3 (1), 34-43 (2018).

Hong Qiang , Zhou Shumin, Zhao Hui, Peng Jiaxian, Li Yang, Shang Yu, Wu Minghong, Zhang Wei, Lu Senlin, Li Shuijun, Yu Shen, Wang Weiqian, Qingyue Wang, Allergenicity of recombinant Humulus japonicus pollen allergen 1 after combined exposure to ozone and nitrogen dioxide, Environmental Pollution, Vol. 234, 707-715 (2018).

Arisaka T, Otsuka M, Hasegawa Y. Investigation of carrier scattering process in polycrystalline bulk bismuth at 300 K. J Appl Phys (Melville, NY, United States). 2018;123(23):235107/1–235107/10.

Hasegawa Y, Otsuka M. Temperature dependence of dimensionless figure of merit of a thermoelectric module estimated by impedance spectroscopy. AIP Adv. 2018;8(7):075222/1–075222/11.

Vandaele, M Otsuka, Y Hasegawa and J P Heremans Confinement effects, surface effects, and transport in Bi and Bi1-xSbx semiconducting and semimetallic nanowires, Journal of Physics: Condensed Matter 30, 403001 (2018)

Achchillage E, Dilrukshi A, Fujino T, Motegi S. Behavior of bentonite in an aqueous electrolytic solution - evaluation of electrolytic aggregation for adsorption capacity of Cd2+ ions onto bentonite. Water Sci Technol. 2018;77(12):2841–50.

戦略的研究部門　グリーン・環境領域

Tozawa Y, Takei S, Oshima M, Hirose S, Kawata M, Sekino K, et al. Method for producing HSL protein having improved catalytic activity for 2-oxoglutaric acid-dependently oxidizing 4-HPPD inhibitor comprising basic amino acid as histidine, lysine or arginine. PCT Int. Appl. National Agriculture and Food Research Organization, Japan; Saitama University; SDS Biotech K.K. .; 2018. p. 69pp.

戦略的研究部門　ライフ・ナノバイオ領域

Rawangkan A, Wongsirisin P, Namiki K, Iida K, Kobayashi Y, Shimizu Y, et al. Green tea catechin is an alternative immune checkpoint inhibitor that inhibits PD-L1 expression and lung tumor growth. Molecules [Internet]. 2018;23(8):2071/1–2071/12. Available from: http://www.mdpi.com/journal/molecules

科学分析支援センター

Honda Z, Nomoto N, Fujihara T, Hagiwara M, Kida T, Sawada Y, et al. One-dimensional ferromagnetic array compound [Co3(SBA)2(OH)2(H2O)2]n, (SBA = 4-sulfobenzoate). Solid State Sci. 2018;80:155–60.

Ohno K, Kusano Y, Kaizaki S, Nagasawa A, Fujihara T. Chromism of Tartrate-Bridged Clamshell-like Platinum(II) Complex: Intramolecular Pt-Pt Interaction-Induced Luminescence Vapochromism and Intermolecular Interactions-Triggered Thermochromism. Inorg Chem. 2018;57(22):14159–69.

Ohno K, Yoshida T, Nagasawa A, Fujihara T. Syn and anti conformers of diammonium aquabis(malonato)oxidovanadate(IV) in an anhydrate crystal. Acta Crystallogr Sect E Crystallogr Commun. 2018;74(5):664–7.

Sugaya T, Fujihara T, Naka T, Furubayashi T, Matsushita A, Isago H, et al. Observation of the First Spin Crossover in an Iron(II) Complex with an S6 Coordination Environment: Tris[bis(N,N-diethylamino)carbeniumdithiocarboxylato]iron(II) Hexafluorophosphate. Chem - A Eur J. 2018;24(68):17853.

Sugaya T, Fujihara T, Naka T, Furubayashi T, Matsushita A, Isago H, et al. Observation of the First Spin Crossover in an Iron(II) Complex with an S6 Coordination Environment: Tris[bis(N,N-diethylamino)carbeniumdithiocarboxylato]iron(II) Hexafluorophosphate. Chem - A Eur J. 2018;24(68):17955–63.

Takahashi Y, Fujihara T, Kobayashi N, Nakabayashi S, Miskolczy Z, Biczok L. Electron transfer kinetics of methylviologen included in 4-sulfonatocalix[n]arenes at glassy carbon electrode; adiabaticity and activation energy. Chem Phys Lett. 2018;708:222–7.

Iizuka R, Numakura R, Michimura S, Katano S, Kosaka M. Magnetic properties of rare-earth sulfide YbAgS2. Phys B Condens Matter (Amsterdam, Netherlands). 2018;536:314–6.

Michimura S, Nishikawa U, Shimizu A, Kosaka M, Numakura R, Iizuka R, et al. Influence of Pt substitution on magnetic properties of multipolar ordering compounds Ce(Pd,Pt)3S4. Phys B Condens Matter (Amsterdam, Netherlands). 2018;536:1–5.

Numakura R, Iizuka R, Michimura S, Katano S, Kosaka M. Single crystal growth and physical properties of the new ternary compound Eu2Mg4Si3. Phys B Condens Matter (Amsterdam, Netherlands). 2018;536:262–6.

編 集 後 記

2019 年度も利用者並びに関係各位のご尽力により，当センターでは，今年度は経年劣化等による既存機器の大規模な修理など財政的に厳しい年でしたが，なんとか無事に年度を終えることができました．国の財政圧縮の折，今年度は大学自助努力により新規機器の導入が叶い，利用者の皆様の研究がより進むことを期待して止みません．今後も既存機器の更新と総合メンテナンスを計画的に実行し，利用者の皆さまの教育・研究活動を引き続きサポートしていく所存です．

2019 年を振り返りますと，5 月に新元号「令和」となり、希望を感じさせるスタートとなりました．センターも新しいメンバーを迎え，心新たに支援業務の充実に心がけます．本年 9 月には日本列島に台風が甚大な被害をもたらしました．本学は幸い大きな被害はありませんでしたが、被害を受けた方々の一日も早い日常生活の復旧を心より祈るばかりです．当センターにおいても，いつおこるともわからない天災に対して，「備えよ常に」の心構えで日頃から対応したいと思います．

末筆となり大変恐縮ですが，本号でも多くの方々に，快く依頼に応じご寄稿いただきました．深くお礼申し上げるとともに，ますますのご健康とご発展をお祈りします．また，本機関誌発刊に当たり，レイアウト・編集作業，さらに印刷業者との連絡などは，新美智久技師および横堀英久技術補佐員に引き受けていただきました．深く感謝いたします．

（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. 10　2019. 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

Saitama University
埼玉大学

科学分析支援センター