

京都大学  
エネルギー理工学研究所  
創立二十五周年記念誌

## はじめに

京都大学エネルギー理工学研究所は1996（平成8）年に原子エネルギー研究所の改組によって誕生して以来、昨年2021（令和3）年に25周年を迎えました。

西川禎一先生を始め、多くの方々のご尽力で研究所が設立されたと聞いていますが、研究所教職員の中には、当時の状況をご存じない方も増えてきたことでしょう。本誌には改組の背景と経緯についても掲載しておりますので、ぜひご覧ください。

研究所設立直後の1997（平成9）年には、国連気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3）において、地球温暖化防止を目的とする京都議定書が採択され、人為的要因による温室効果ガス排出の削減について数値目標が定められました。時を経て、その目標は2050年までのカーボンニュートラル達成という、より具体的かつ長期戦略を要する課題へと変化しています。こうした四半世紀の間のエネルギー・環境問題の多様化、グローバル化という激動の歴史の流れのなかで、エネルギー理工学研究所は「エネルギーの生成、変換及び利用の高度化に関する研究」を行う京都大学の附置研究所として、研究・教育・共同利用の3つの主要な役割を果たしてきました。

研究所の設立以来、社会的受容性の高い「質」と社会的需要に充分な「量」を備えたエネルギーの実現を目指した研究を「プラズマ」、「バイオ」、「光」の三重点領域研究に設定して先導することによって、これらの学術基盤を構築するとともに、異なる研究領域を有機的に連携させ、常に挑戦的かつ独創的な「エネルギー理工学」を切り拓いてきました。教育においても大学院エネルギー科学研究科における大学院教育、および全学共通教育活動に携わり、多くの優秀な人材を輩出してきました。若手研究者、および学生が国内外の共同研究を通じて最先端研究に参加できることも研究所の大きな特徴です。

京都大学が2004（平成16）年に国立大学法人となり、大学を取り巻く環境、大学に対する社会の期待も大きく変化しました。法人化後の第1期中期目標・中期計画期間においては、関連部局とともに21世紀COEプログラム「環境調和型エネルギーの研究教育拠点形成」、さらにグローバルCOEプログラム（GCOE）「地球温暖化時代のエネルギー科学拠点—CO<sub>2</sub>ゼロエミッションをめざして」を推進しました。2010（平成22）年度からの第2期中期期間では、2011（平成23）年度に文部科学大臣認定の共同利用・共同研究拠点事業「ゼロエミッションエネルギー研究拠点」を開始しました。2016（平成28）年度からの第3期中期期間においては、重点複合研究領域を「プラズマ・量子エネルギー」、ならびに「ソフトエネルギー」に再編するとともに、ゼロエミッションエネルギー研究のさらなる深化を展開し、新たなコミュニティ形成に向けた努力を継続してきました。

2022（令和4）年度より、中期目標・中期計画期間が第4期となり、各大学法人ならびにその所属部局に大学の将来的な発展に向けた機能強化とそれを加速するための組織の見直しが求められます。大学の研究力強化を牽引し、日本全体の研究力を引き上げるためには、附置研究所の特色を生かして的確に時代の流れの先を見据え、それに応じた組織を構築し、それを支える人を集めることが必要です。振り返ってみれば、1971（昭和46）年に発足した原子エネルギー研究所は25年間の活動を経て、1996（平成8）年にエネルギー理工学研究所へと改組されました。そして、エネルギー理工学研究所の設立から25年が経過し、新たなJubileeへと向かう本年には、研究所の第2センターとしてカーボンネガティブ・エネルギー研究センターが設置されました。カーボンネガティブ・エネルギー研究センターでは、研究所の設立以来、時代を先駆けて続けてきた高品位エネルギー、そしてゼロエミッションエネルギー研究が生み出したエネルギー理工学の新しい概念のもと、学内他部局との異分野連携研究の推進により、二酸化炭素を高付加価値材料・有用資源として活用する原理、そして技術を創出します。2050年のカーボンニュートラルへと社会を牽引する新たなエネルギー学理・エネルギー技術を発信し、そしてカーボンニュートラル社会を牽

引する人材を育成することが、京都大学エネルギー理工学研究所の責務であると考えます。

設立以来、四半世紀にわたって本研究所発展にご尽力いただいた方々、その活動を支えていただいた方々、全国のゼロエミッションエネルギーコミュニティの皆様、また、京都大学からのご支援に感謝いたします。今後ますますのご指導とご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

最後に、京都大学創立 125 周年にあわせて Jubilee を記念した本誌の編集と出版にご尽力いただいた編集委員、事務職員、諸先輩の方々に深く謝意を表します。

京都大学エネルギー理工学研究所  
所長 森井 孝

# 目 次

はじめに

第1章 概要 .....	1
研究所の概要 .....	1
研究所の沿革 .....	2
原子エネルギー研究所からエネルギー理工学研究所への改組の背景と経緯 .....	3
エネルギー理工学研究所の研究部門と附属研究施設 .....	4
第2章 エネルギー理工学研究所の研究活動 .....	7
エネルギー生成研究部門 .....	7
エネルギー機能変換研究部門 .....	15
エネルギー利用過程研究部門 .....	27
附属エネルギー複合機構研究センター .....	40
第3章 各種資料 .....	49
エネルギー理工学研究所年表 .....	49
歴代所長・センター長 .....	59
エネルギー理工学研究所 歴代教員 .....	60
エネルギー理工学研究所 歴代職員 .....	64
叙勲・受賞 .....	66
各種データ .....	68
編纂後記 .....	75

## 第1章 概要

### 研究所の概要

エネルギー理工学研究所は、1996（平成8）年「エネルギーの生成、変換および利用の高度化に関する研究」を行うことを目的に京都大学の附置研究所として設置された。以来、エネルギー需要の増大と化石資源の枯渇、および地球環境問題の深刻化に伴って生じる諸問題の解決、ひいては人類文明の持続的発展につながるエネルギー理工学研究を展開させてきた。その間、社会的受容性の高い「質」と社会的需要に十分な「量」を備えたエネルギーの実現を目指した研究を先導することによって、これらの学術基盤を構築するとともに、異なる研究領域を有機的に連携させる環境の創出により、「エネルギー理工学」を常に挑戦的かつ独創的に切り拓いてきた。教育面においても、大学院エネルギー科学研究科における大学院教育および全学共通教育活動に携わり、多くの優秀な人材を輩出してきた。さらに、若手研究者および学生が、ゼロエミッションエネルギー研究拠点での国内外の共同研究、また、核融合科学研究所との双方向型共同研究や産官学連携研究などを通じて最先端研究に参加できることは、研究所の大きな特徴でもある。現在も、海外の37研究機関との国際研究交流協定をもとにして、活発な国際共同研究を進めている。

エネルギーは国民生活および経済活動の要であるが、資源の偏在性および有限性に起因するさまざまな問題を内包し、世界的規模の環境問題を引き起こす原因にもなっている。1997（平成9）年国連気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3）において、地球温暖化防止を目的とする京都議定書が採択され、先進国に対し、人為的要因による温室効果ガス排出の削減について法的拘束力をもつ数値目標が定められた。その目標はやがて、今世紀中葉までのカーボンニュートラル達成という、より具体的かつ長期戦略を要する課題へと変化してきた。その結果、単にエネルギー消費の抑制だけではなく、エネルギーの生成・変換・利用の各過程における抜本的な対策が求められるようになった。

こうした四半世紀の間のエネルギー・環境問題の多様化、グローバル化の激動の歴史の流れのなか、エネルギー理工学研究所は設立され、常に多様で先駆的・先端的な研究を展開してきた。2004（平成16）年度からの第1期中期では、研究所発足以来展開してきた社会受容性の高い高品位エネルギーの生成・変換・利用の研究を基盤とする連携研究体制として三重点領域（「プラズマ」、「バイオ」、「光」）研究を設定し、関連部局とともに21世紀COEプログラム「環境調和型エネルギーの研究教育拠点形成」、さらにグローバルCOEプログラム（GCOE）「地球温暖化時代のエネルギー科学拠点－CO2ゼロエミッションをめざして」を推進した。続く2010（平成22）年度からの第2期中期では、その三重点領域研究を「先進プラズマ・量子エネルギー」、「光・エネルギーナノサイエンス」を推進する二重点複合研究領域へと発展・集約させるとともに、文部科学大臣認定の共同利用・共同研究拠点事業「ゼロエミッションエネルギー研究拠点」を開始した。2016（平成28）年から現在までの第3期中期においては、重点複合研究領域を「プラズマ・量子エネルギー」ならびに「ソフトエネルギー」に再編して、ゼロエミッションエネルギー研究のさらなる深化と展開を図ると同時に、ゼロエミッションエネルギー研究の新たなコミュニティ形成に向けた努力も継続している。また、本学附置研究所・センター群の連携を促進する「京都大学研究連携基盤」における未踏科学研究ユニット活動、先端研究設備を有効活用する「宇治地区設備サポート拠点」、学内のカーボンニュートラル推進フォーラム、カーボンニュートラル・コアリション活動などにも参画し、学内他部局との連携事業を積極的に推進している。

設立以来、四半世紀のこうした研究活動体制の変遷は、エネルギー・環境に関して時代とともに変容する社会的な要求に柔軟に対応してきた結果であり、カーボンニュートラル達成のためのエネルギー理工学研究の深化やそのための学術ネットワークの充実、ならびにエネルギーの俯瞰的な視点をもつ若手人材の育成は、今後のエネルギー理工学研究所の使命となる。

## 研究所の沿革

京都大学エネルギー理工学研究所は1996（平成8）年5月11日、原子エネルギー研究所がヘリオトロン核融合研究センターの一部と合体し、エネルギー理工学研究所に改組され、2021（令和3）年5月に25周年を迎えた。

その前身は1897（明治30）年京都帝国大学が勅令により設置され、1914（大正3）年、理工科大学に材料試験部（土木、機械）、水力実験部（土木、機械）、動力試験部（機械、電気、採鉱冶金）、高圧および高温実験部（工業化学、採鉱冶金、電気）（計4部門）からなる中央実験所が設置された時点でさかのぼることができる。当時の計測設備等は諸外国製が優れており、また高価であったため、多くの研究分野で使用できる汎用的な装置を購入せざるを得ず、その設備の運用、保守を一括して行う組織として発足した。さらに、現在世界的な京都の会社のいくつかも当時それらの装置類の利用を望んだため、早くから産学連携による研究が行われることになった。1935（昭和10）年に中央実験所本館が竣工（鉄筋2階、2,900m<sup>2</sup>）し、5部門（物理工学、化学工学、構造工学、溶接、航空および防空）に編成替えされた。

1941（昭和16）年11月28日、勅令第1022号「工学ニ関スル学理及其ノ応用ノ綜合研究ヲ掌ル」により、物理工学、化学工学、構造工学、溶接、航空および防空（計5部門）よりなる工学研究所が発足した。その後1942（昭和17）年、終戦と同時に航空および防空部門が削除され、物理工学、化学工学、構造工学、溶接の4部門に改組された。

1947（昭和22）年に木材研究所が大蔵省から東京第2陸軍造兵廠宇治製造所跡地（現所在地）に12万4,465m<sup>2</sup>の無償貸与を受けて移転、さらに1949（昭和24）年8月25日、木材研究所の敷地として新たに7万8,305m<sup>2</sup>の無償貸与を受けた。これが京都大学宇治キャンパスの出発である。

1947（昭和22）年9月30日に京都大学と改称され、新制大学の発足にともない宇治分校に敷地の一部が提供され、1950（昭和25）年5月1日に宇治分校が開校された（1961（昭和36）年5月1日廃止）。

以上の経緯から、工学研究所は、個々の学域を専門的に扱う工学部とは異なり、総合工学的な分野を対象とする研究所として認知されるようになった。

その後、世界的に原子力の平和利用として発電用原子炉の研究が行われるようになり、その流れに乗り、京都大学でも1955（昭和30）年に工学研究所より文部省へ原子炉（1MW水泳プール型研究用原子炉）設置案を提出、翌年、原子炉および原子核工学分野の基礎研究を指向する研究所として脱皮を開始した。1956（昭和31）年、化学工学および軸受研究部門がそれぞれ原子核化学工学部門および原子炉構造部門に改められ、さらに、1957（昭和32）年には原子燃料部門が新設、さらに1959（昭和34）年に原子炉計測工学部門を新設、材料工学部門を原子炉材料部門に改め、その結果、物理工学、構造工学、電気工学、原子核化学工学、原子炉材料、原子炉構造、原子燃料、原子炉計測工学の計8部門となった。

1961（昭和36）年には核融合実験装置設置と原子力プラトンシミュレータへの拡充第1期が増設され、また同年宇治分校が廃止、工業教員養成所（1969（昭和44）年6月9日廃止）が設置された。

1962（昭和37）年、研究用原子炉は、最初本研究所を母胎として生まれつつあったが、その後、関係委員会において慎重審議の結果、全国利用の実をあげるには本研究所とは別個の独立した機関として運営することが望ましいとの結論に達し、1963（昭和38）年4月に原子炉実験所が京都大学に附置されることになった。また、工学研究所の中に研究用原子炉建設本部が設置されたが、研究所とは別のものとして運営されることになった。

1966（昭和41）年4月、ヘリオトロン核融合研究センターの前身である工学部附属超高温プラズマ研究施設が発足、同年6月に宇治新館の竣工式を兼ねて工学研究所創立25周年記念式典を開催、同時に宇治地区への移転を完了した。

1970（昭和45）年、工学部附属超高温プラズマ研究施設が宇治地区にヘリオトロンD（ヘリカルヘリオトロン磁場）を建設した。

1971（昭和46）年4月1日、工学研究所が「原子エネルギーの開発と利用に関する学理とその応用の研究」を設置目的とした原子エネルギー研究所と改称。

1976（昭和51）年、工学部附属超高温プラズマ研究施設をヘリオトロン核融合研究センターに改組。その後、原子エネルギー研究所、ヘリオトロン核融合研究センターにおいて、多数の新設備が充当され研究が進められた。

1996（平成8）年5月11日、原子エネルギー研究所がヘリオトロン核融合研究センターの一部と合体し、エネルギー理工学研究所に改組。同時に附属エネルギー複合機構研究センター（時限10年）も設置。

以上が、エネルギー理工学研究所発足までの年表に基づく簡潔な記載である。

（出典：京都帝国大学史、京都大学七十年史、京都大学百年史（総説編、部局編、写真集）、ヘリオトロン核融合研究センター「現状と課題」（平成6年度）、研究所データベース、研究所広報誌（概要、NL）、量子光・加速粒子総合工学研究棟パンフレット、高度エネルギー機能変換実験装置年報（2003）等）

## 原子エネルギー研究所からエネルギー理工学研究所への改組の背景と経緯

原子エネルギー研究所発足当時は原子力の黎明期で、総合工学としての原子力研究には多くの基礎的学術課題があり、その基盤確立が喫緊の課題で大学附置研究所においても多くの貢献がなされた。しかし、原子力発電の重要性が強く認識されるにつれ、急速に研究対象も社会実装を目的に、日本原子力研究所（1956（昭和31）年6月設置）や動力炉・核燃料開発事業団の研究所（1967（昭和42）年7月設置）が東海村に設立され、多数の研究者と大規模な設備による研究が実施されるようになり、大学における原子力研究の必要性が退潮していった。

このような状況下で原子エネルギー研究所も社会的要請に適切に対応できなくなり始め、設置目的から乖離し始めた。

1987（昭和62）年「赤旗」（1987.5.10）に、全国の22国立大学の71附置研究所について、学術審議会が行った「附置研究所の現状分析」結果が掲載され、そのうち25研究所はA1＝現状のままでは研究所としての存在意義が乏しく、組織の大幅な改変を要するもの、として衝撃的なスクラップ化計画が発表された。

原子力関係では、全国的な3つの関連附置研究所（東京工業大学原子炉工学研究所、京都大学原子エネルギー研究所、原子炉実験所）がすべてA1と評価され、早急な改組の検討が要請されるに至った。その後、原子エネルギー研究所においてさまざまな検討が行われたが具体的な改組の姿が見えず、そのため教員人事が凍結された。

1995（平成7）年、前工学研究科長の西川禎一教授が所長に就任、顕在化しつつあるエネルギー問題解決のため、工学部と原子エネルギー研究所が中心となり、農学部や経済研究所の一部を包含した学部を有しない新たな大学院独立研究科構想がリードされた。しかしながら、附置研究所を所管する文科省研究機関課の助言により、原子エネルギー研究所は構想案をヘリオトロン核融合研究センターの一部と合体して京都大学エネルギー理工学研究所に改組し、また、独立大学院研究科であるエネルギー科学研究科は原子エネルギー研究所の一部とヘリオトロン核融合研究センターの一部が異動する案に修正し、文科省との精力的な折衝の末1996（平成8）年5月11日、京都大学エネルギー理工学研究所、大学院エネルギー科学研究科が車の両輪として発足した。さらに、京都大学エネルギー理工学研究所の部門教員は、エネルギー科学研究科の客員部門を担当することになり、大学院生の教育研究にも貢献することになった。

その後、以下の3研究部門（14研究分野）+1附属センター1研究分野）に多くの新任教員を迎え、エネルギー理工学研究所が始動した。

- 1) エネルギー生成研究部門：量子放射エネルギー、原子エネルギー、粒子エネルギー、プラズマエネルギー、先進エネルギー評価（外国人客員）

- 2) エネルギー機能変換研究部門：複合機能変換過程、エネルギー輸送、エネルギー貯蔵、複合系プラズマ、クリーンエネルギー変換（国内客員）
- 3) エネルギー利用過程研究部門：複合化学過程、分子集合体設計、機能性先進材料、生体エネルギー
- 4) 附属エネルギー複合機構研究センター：センター附属研究分野

## エネルギー理工学研究所の研究部門と附属研究施設

### エネルギー生成研究部門

1996（平成8）年の研究所改組以来、エネルギー生成研究部門は「社会性受容性の高い高品位エネルギーの生成についての研究」を担う部門である。発足から2018（平成30）年度までは、量子放射エネルギー研究分野、原子エネルギー研究分野、粒子エネルギー研究分野、プラズマエネルギー研究分野の4研究分野からなり、2019（令和元）年1月より、量子放射エネルギー研究分野、原子エネルギー研究分野、プラズマエネルギー研究分野、複合系プラズマ研究分野の4研究分野となった。また、外国人客員分野として、先進エネルギー評価研究分野を擁している。

本研究部門は物理・電磁気に軸足のある先進的なエネルギー研究を行う点に特徴がある。本部門では、テラヘルツ領域から赤外線領域までのコヒーレント光を発生する自由電子レーザーや逆コンプトン散乱γ線までを扱うほか、未来エネルギー源として期待される核融合のためのヘリオトロンプラズマの閉じ込め、制御、基礎的な物理の研究、マイクロ波や中性粒子による加熱、診断などのプラズマ物理のほか、核融合エネルギーの利用のためのブランケット、ダイバータ、エネルギー利用系に関する研究を行っている。さらには、エネルギーシステムの設計と社会環境影響の研究やバイオマスの有効利用に関する研究、アジア地区での再生可能エネルギー実装に関する研究も展開している。本研究部門は、量子、粒子、プラズマなどの物理と工学を軸とし、社会科学的な面にも触れるような学際融合領域にも視野を広げ、他の2研究部門との密接な連携はもとより、他分野・他部局、ならびに学外・海外研究機関との共同研究を進めている。

外国人客員研究分野には、世界的にも優秀な研究者を3か月ずつ招へいし、様々な分野の研究を行うとともに、これによる国際的な協力関係の構築を行っている。

### エネルギー機能変換研究部門

1996年（平成8）の研究所改組により、エネルギー機能変換研究部門は、「エネルギーの機能的利用にとって重要な、エネルギー機能変換の効率化、高度化について研究する。そのために、エネルギーと物質との相互作用の原理・機構の解明、新しいエネルギー変換原理の解析、エネルギー機能材料の創製とその応用などの研究を行う。」として5つの研究分野；複合機能変換過程研究分野、エネルギー輸送研究分野、エネルギー貯蔵研究分野、複合系プラズマ研究分野、クリーンエネルギー変換研究分野（客員分野）から発足した。その中で、複合機能変換過程から機能物性工学、エネルギー輸送からレーザー科学、エネルギー貯蔵からエネルギー基盤材料、複合系プラズマからナノ光科学へと改称され、現在に至っている。

本研究部門では、エネルギーの高効率機能変換と新機能創出を目的として、各種エネルギーと物質との相互作用機構の解明と利用、エネルギー機能変換過程の高効率化・高性能化、エネルギー機能材料の創製と応用等の研究を推進している。特に、新しい太陽光・熱エネルギー高効率活用技術の創成を目指した材料機能とそのエネルギー応用、レーザー利用によるナノ材料の創成や光応答の研究、加速イオンなどの高エネルギー粒子線と物質の相互作用の研究、およびナノサイエンスに基づく新たな材料創生と物性・応用研究など、材料科学や光学、電磁気学の基礎から応用にわたる広範囲な領域での展開が期待され、その成果に基づいて革新的なエネルギー材料の開発研究が進展している。

国内客員研究分野では、研究所教員の合議によって選抜された研究者を招へいし、環境負荷の少ないク



リーンエネルギーシステムを目指し、再生型自然エネルギーやバイオエネルギー領域も含め、エネルギー生成・変換の高効率化、ならびにその有効利用システムの研究等の研究を所内研究分野との密接な連携の下で実施している。

### エネルギー利用過程研究部門

1996年（平成8）の研究所改組により、エネルギー利用過程研究部門は「エネルギーの高度利用を実現するための研究を行う。そのために物質生産システムにおける複合過程の解明、精密、高性能なエネルギーの利用に関わる物質化学的な研究、ならびに高効率化学生産システムの構築に関する研究などを行う。」との研究内容を担う部門として発足し、複合化学過程研究分野、分子ナノ工学研究分野（2010（平成22）年度までは、分子集合体設計研究分野）、生物機能化学研究分野（2010（平成22）年度までは、生物機能科学研究分野）、エネルギー構造生命科学研究分野（2010（平成22）年度までは、生体エネルギー研究分野）の4つの研究分野から構成されている。

本研究部門では、ソフトエネルギーを利用し、ロス無く高効率なエネルギー・分子変換を達成することで、研究所の目標でもあるゼロエミッションエネルギーを実現することを目的としている。主要な研究テーマとしては、シリコン太陽電池の超大量生産を目指した電解技術、分子建築技術を用いる高効率クリーンエネルギー物質材料の開発、生体高分子による高効率物質変換とエネルギー利用、バイオマスやタンパク質の構造機能研究等があり、ナノ・バイオ機能材料およびプロセスの研究を推進している。

### 附属エネルギー複合機構研究センター

附属エネルギー複合機構研究センター（以後、センターと略称）は、1996（平成8）年度の研究所改組により附属研究施設として設置された。研究所固有の研究分野とは一線を画した、プロジェクト的性格のより強い共同研究を機動的かつ横断的に遂行することを設置目的としている。センターでは、研究所が設定した「重点研究課題」の研究や単一の研究分野では実施困難な研究、多数の研究分野や所内外の協力に基づく研究を大型設備を用いて推進するとともに、装置設備を充実・発展させてきた。改組発足以来10年間を経て、2016（平成18）年度にはセンター研究を「プラズマエネルギーに関する学理・技術の新領域開拓」、および「エネルギー指向型先進的ナノバイオ機能材料創出」をミッションとする2つの複合研究領域に集中・特化させ、新たに設置した「研究推進部」で研究を統括することにより効率的に共同研究を実施する体制となった。現在は、「プラズマ・量子エネルギー研究推進部」、および「ソフトエネルギー研究推進部」が上述の複合研究領域の活動母体となって、2つの重点目標に対して分野を越えたプロジェクト的な共同研究を推進している。さらに、研究の推進だけでなく、国際連携や産官学連携を進めることも重要であるとの認識から、「国際・産官学連携研究支援推進部」を設置し、国際的な活動を中軸とする流動・開発連携を推進している。

所内の分野横断的な共同研究を推進するために、「センター共同研究」を毎年募集・採択・実施してきている。2021（令和3）年度からは所内の研究活動をより一層活性化するため、分野横断的な共同研究を実施する「共同研究」のカテゴリーに加えて、若手教員（主に助教）が自由な発想の基に単独で実施する「萌芽研究」のカテゴリーを設けて募集を行った。採択された翌年度の4月初旬には採択課題の成果報告会も開催し、積極的な質疑応答が行われてきた。これにより、センターの本務である研究分野・研究部門の枠を越えた先端的・先導的共同研究を推進し、先進エネルギー領域における中核的、指導的役割を担える人材を育成している。また、核融合科学研究所との双方向型共同研究によるプラズマエネルギー研究の推進をはじめとした国内外の教育・研究機関との連携を深め、地球規模のエネルギー・環境問題に対応できるエネルギー理工学研究ネットワークの拠点形成を推進している。

センターの研究分野は、研究所全体のアクティビティをその時々で最大化するべく機動的に設定されている。現在センターには、「自己組織化科学研究分野」、「高温プラズマ機器学研究分野」、「広帯域エネルギー理工学開拓研究分野」、および「バイオマスプロダクトツリー産学共同研究部門」という4つの研究分野

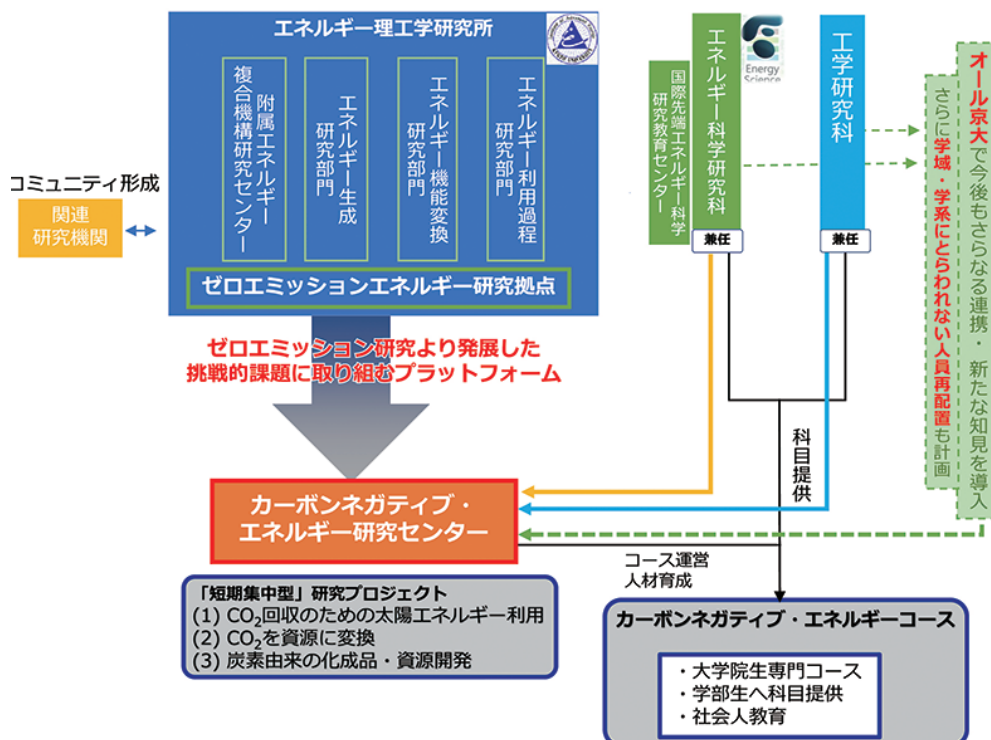
がおかれ、専任の講師と助教各1名と兼任の教授4名が配属されている。また、2018（平成30）年度からは、寄附研究部門による「環境微生物学研究分野」が設置され、特定教授と特定准教授各1名が外部資金による研究活動を行っている。さらに、センターには大型装置設備のための技術室が設置されており、所属する技術専門員、技術系職員はこれら装置群の管理運営にあたっている。センターは機動的な研究を遂行する場であるとともに、次のプロジェクトの萌芽を発掘する場でもあり、不定期に開かれるセンター談話会や内外の講師によるセミナーやセンター萌芽研究・共同研究などによって情報交換を進めながら新しい研究テーマを探索している。

### 附属カーボンネガティブ・エネルギー研究センター

本研究所では2011（平成23）年度より全国共同利用・共同研究拠点として、世界にさきがけて「ゼロエミッションエネルギー研究」を推進し、新しい学理と新技術を確認してきた。人材育成に関しても国連機関プログラムをはじめ、「カーボンニュートラル達成に貢献する大学等コアリション」や「自然エネルギー大学リーグ」に参画し実践的な活動を行っている。これら既存の研究・人材育成活動を基盤として、「2050年カーボンニュートラル」に向けて、新たなパラダイムとなる「カーボンネガティブ・エネルギー研究」を推進するセンターを2022（令和4）年8月1日に発足させた。本センターでは京都大学の知を結集し、脱炭素社会を牽引し支える次世代の人材を育成するために、エネルギー科学研究科、および工学研究科の教員が、本センターの運営に携わる。

一方、本センターには専任部門を置き、「カーボンネガティブ・エネルギー研究」を推進するとともに、関連研究プロジェクトを統括・管理、センター研究の成果を融合し、教育プログラムとして「カーボンネガティブ・エネルギーコース」を連携部局と協力して開講し、コース管理および運営を行う。

関連研究プロジェクトに従事する若手教員はセンター連携教員を兼任し、所属大学院学生等の関連研究プロジェクト遂行と「カーボンネガティブ・エネルギー研究」の学理形成に貢献する。関連研究プロジェクトは、発足当初は「CO<sub>2</sub>回収の太陽エネルギー利用」、「CO<sub>2</sub>を資源に変換」、「炭素由来の化成品・半導体開発」の3プロジェクトから開始し、学内公募や共同研究によって入替えや拡張を行い、2050（令和32）年を見据えたプロジェクト研究を継続的に展開する予定である。



## 第2章 エネルギー理工学研究所の研究活動

### 1. エネルギー生成研究部門 量子放射エネルギー研究分野

#### 研究分野の成り立ち、人員

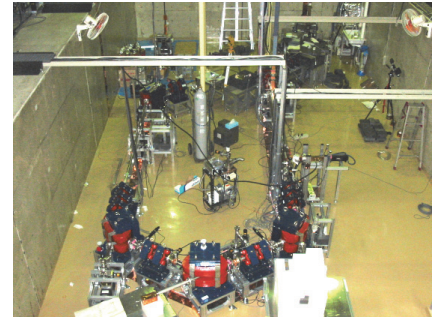
本研究分野では、meV から MeV までの超広エネルギー範囲の量子ビームの発生と利用の開発研究を行い、エネルギー機能材料や原子力エネルギー、さらにはバイオエネルギー開発への貢献を、共同研究を通じて進めてきた。また、研究分野に関しても、社会科学を含む広い領域でのエネルギー研究を進めてきている。

改組後、本研究分野を担当してきた教授 山崎鉄夫が2007（平成19）年に定年退職した後、同年に大垣英明が教授に昇任して本研究分野を担当した。その間、1996（平成8）年に千葉明朗（1999（平成11）年まで）、同年山本正雄（1998（平成10）年まで）が助手に、また2008（平成20）年に紀井俊輝が准教授、2011（平成23）年に全 炳俊が助教に任用されて今日に至っている。一方、京都大学の未踏科学研究ユニット活動に関連し、2015（平成27）年から3年間 Hooman Farzaneh が特定講師として、2018（平成30）年12月から4か月間 Poolsawat Kittikun が特定助教として、さらには2019（平成31）年から Jordi Cravioto が特定助教として、また、2022（令和4）年1月から、国際共同研究活動に関連して金城良太が特定准教授として本研究分野にて研究を行っている。

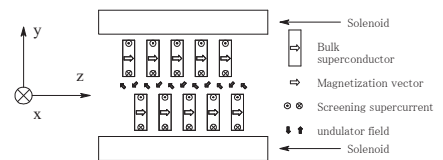
#### 研究内容、研究成果、導入装置

低エネルギー側では、光陰極高周波電子銃を用いたアンジュレータ放射による THz 放射源の開発を2008（平成20）年より開始し、2019（令和元）年に0.33THz（1.4meV）で最大ピークパワー 38kW を有する放射の発生に成功した。現在、ps レーザーを用いた同期励起型 THz パラメトリック発振器による更なる高出力 THz 放射源の開発を行っている。一方、中赤外領域では、KU-FEL 装置と呼ばれる、熱陰極／光陰極高周波電子銃を用いて、最大40MeVまで電子を加速可能な電子リニアックを開発し、これを用いた共振器型自由電子レーザー（FEL）の発生と、これをユーザー利用可能な高性能化を行ってきており、2021（令和元）年の時点で波長3.4～26 $\mu\text{m}$ （360～48meV）において連続的に波長可変となっている。また、2020（平成30）年にこの型では世界最高のレーザー引き出し効率を達成した。特に本装置で用いられている熱陰極型高周波電子銃に関する一連の研究は、粒子エネルギー研究分野の吉川 潔 教授、および増田 開 准教授と共同で取り組んだ成果である。中赤外 FEL（KU-FEL）の利用に関しては、ワイドバンドギャップ半導体の格子振動に関して、選択的励起を世界で初めて実証するとともに、非線形光学現象等に関して研究を進めている。特に KU-FEL の利用研究は、外部との供用運用を基本に進めてきており、外部利用者へのレーザー光の供給を本分野で中心的に行うとともに、利用者との先進的利用と、それによる優れた研究成果をあげてきている。

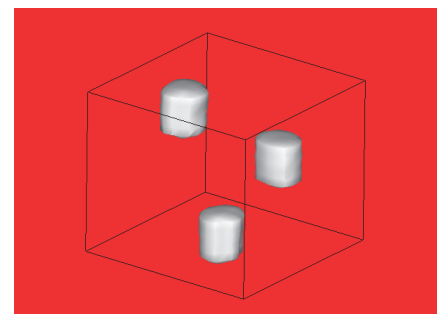
一方 X 線領域では、バルク高温超伝導体と超電導ソレノイドを用いたスタガードアレイ型超短周期アンジュレータの開発を行っている。本研究は、原理の考案から理論計算を粒子エネルギー研究分野と共同



中赤外自由電子レーザー（KU-FEL）



スタガードアレイ型超短周期アンジュレータの概念図



LCS ガンマ線による鉛同位体の3D-CT画像

で行い、プロトタイプでの原理実証に成功した。現在、周期 1cm、ギャップ 5mm の装置にて世界最高値 2T 以上のアンジュレータ磁場の発生に成功した。この成果より、理化学研究所およびスイス PSI 研究所との国際共同研究が 2022 (令和 4) 年 1 月から開始されている。

MeV 領域では数百 MeV の電子ビームとレーザーとの衝突によるレーザーコンプトンガンマ線 (LCS ガンマ線) の開発を産業技術総合研究所にて行い、わが国における本手法の先鞭をつけた。これは New SUBARU での専用ビームライン (BL01) や分子科学研究所の BL1U ビームライン等の新設に発展した。また、LCS ガンマ線の利用研究に関しても核共鳴散乱 (NRF) を用いた核物質検知を提唱し、2010 (平成 22) 年度から 5 年間「ガンマ線による核物質非破壊検知システム」を科学技術振興調整費にて実施した。さらに同位体 CT イメージング法の開発を世界にさきがけて開発してきている。

エネルギーの社会科学的側面からの研究に関しては、2015 (平成 27) 年度からの未踏科学研究ユニット活動をきっかけに特定教員を中心に進めてきている。特に、アジアの途上国でのクリーンエネルギー政策が、都市部での健康状態の向上をもたらすダイナミクスの研究や、ASEAN 地域での非電化地区への電化が住民の QoL に与える影響に関する研究を国際共同研究にて進めている。

## 2. エネルギー生成研究部門 原子エネルギー分野

### 研究分野の成り立ち、人員

原子エネルギー研究分野は、設立時に東京大学より異動した井上信幸 教授、神保光一 助手によりスタートし、1997 (平成 9) 年に山本 靖 助教授、1999 (平成 11) 年に竹内右人 助手が加わった。井上教授は当時すでにわが国核融合プラズマ研究の指導的立場にあったが、研究室では小型の円筒放電型核融合中性子源 (図 1) や山本助教授によるビームエネルギー変換など、プラズマや荷電粒子、核融合装置の応用に取り組んだ。井上教授はまた、本研究所の 2 代目の所長を務めた。

小西哲之 教授が 2003 (平成 15) 年に同分野に着任し、以来原子エネルギー研究分野は核融合装置の応用に加え、核融合エネルギーの取り出しや利用にかかる炉工学、原子力・核融合材料、炉設計、エネルギーシステム、環境影響や社会適合性など広範な分野に研究を展開した。2011 (平成 23) 年から 2017 (平成 29) 年に在籍した笠田竜太 准教授は、主に核融合・原子力先進材料、2017 年着任の向井啓祐 助教、2018 (平成 30) 年着任の八木重郎 講師は主に核融合炉工学、特にブランケット工学に重心があるが、当分野は一貫して先進エネルギーと持続可能性問題に取り組んでいる。2022 (令和 4) 年に小西教授が定年退職し、八木講師が准教授に昇任、長崎百伸 教授が兼任で分野を統括している。

### 研究内容、研究成果、導入装置

円筒放電型核融合中性子源 (図 1) は井上教授以来の研究テーマであるが、その後ビーム中性子源の開発、ブランケット体系中の中性子輸送計算のベンチマーク、イメージングプレートを用いた中性子エネルギー情報を含む 3 次元計測、医療応用などの様々な成果に展開した。中性子源自体も、核融合反応が主に電極表面の吸着水素に因ることを見出し、金属水素化物電極を利用して高性能化し、さらに水素吸蔵合金による閉システム化に成功した。これらの成果により、世界で初めて核融合ブランケット体系内の中性子挙動を実測することが可能になった。

2005 (平成 17) 年～2009 (平成 21) 年には、文科省

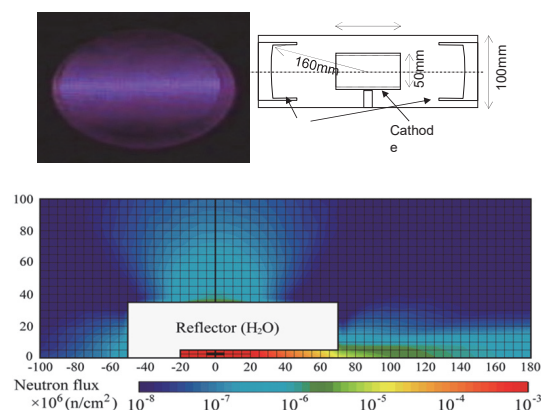


図 1 円筒放電中性子源の構造とプラズマ、発生する中性子ビームのシミュレーション

の「原子力システム研究開発事業に「先進複合材コンパクト中間熱交換器の技術開発」が採択され、約7億6000万円のJST外部資金による大型プロジェクトを実施し、SiC複合材による900℃で利用可能な熱交換器の開発に成功した(図2)。これは世界で初めて液体金属(リチウム鉛合金)からヘリウムガスへの900℃以上での熱移送に成功した事例であり、高温ガス炉におけるブレイトンサイクルによる間接発電サイクルや水素製造、また核融合ブランケットの液体金属ブランケットなど、様々な先進原子力システムに応用可能な技術の基礎となる画期的な成果であり、現在に至るまでこれを超越する技術は世界的に開発されていない。

この成果は直接には熱交換器の研究であるが、また一方では核融合ブランケットの研究としても世界最高温度のエネルギー取り出しを可能とするものであり、これをもとに本研究分野では、小型で高性能の核融合炉およびエネルギーシステムの設計や概念の研究が展開された。特筆すべき成果の一つとして、バイオマス-核融合ハイブリッドシステムの開発がある。これは、セルロースなどのバイオマス化合物に核融合から得られるエネルギーを加え、高温にして吸熱反応に利用させることでエネルギー増倍率を高め、以って核融合の実用化を早める概念である。プラズマ物理でなく工学と総合的エネルギー科学の視点で核融合の可能性を広げる当研究所に特徴的な成果と言える。当研究分野の核融合炉工学研究は現在、固体・液体ブランケット材料の基礎的な挙動や電気化学的な制御プロセスなどに発展している。また、初代の井上教授が国の原子力委員会核融合会議の座長として指導的な役割を果たしたことにはじまり、小西教授も国際協力事業ITERのテストブランケット事業委員会の議長を2期、さらに国の代表委員を16年務めるなど、当研究所は設立以来一貫してわが国核融合研究の戦略と方針に重要な役割を果たしてきたことも特記される。

一方、原子エネルギー研究分野は核融合のみならず、エネルギー科学の立場から地球環境問題や人類の持続性問題「サステナビリティ」にも取り組んできた。当初宇治4研究所に東南アジア研究所を加えて開始した「生存基盤科学研究ユニット」は現在8部局の共同組織であり、当研究分野はユニット長としてその活動に貢献するとともに、前記バイオマスハイブリッドシステムを嚆矢として木炭化による炭素隔離によるネガティブエミッションの概念を提示した。これは単に低炭素エネルギー技術によるゼロエミッションを超えて気候変動問題に抜本的な解決を与えるものであり、また東南研や経済研、地球環境学堂等との部局共同研究を推進することで、当研究所のみならず従来より文理融合の学際的なアプローチを実践する本学の方法論の典型的な成果となった。さらにこのサステナビリティ研究は、トリチウムや放射性核種の環境挙動と影響評価、社会的受容性やエネルギーの外部性評価といった、エネルギーと環境、社会の関係を論じる研究へと展開し、学会等に独創的な分析を報告する一方、行政や市民、報道機関などへの社会的な発信を続けている。

当研究分野の核融合工学研究の画期的な成果は世界的な注目を浴び、京大発企業を2019(令和元)年10月に創立すると、企業としての急成長以上に大学の社会貢献や研究成果の産業化、社会的な発信に大きな成果となり、国のエネルギー、および学術研究政策にも影響を与えることとなった。大学と産業界の双方の利点を生かしたイノベーションのスタイルを構築する一方でエネルギー科学分野への学生の進学希望者、特に新興企業への意欲を持つ人材の増加や育成にもつながっており、新たな大学研究機関の一つのモデルを示すものといえよう。



図2 LiPb-He 高温二重ループ(上)と、それにより実証された超高温複合材熱交換器(下)

### 3. エネルギー生成研究部門 粒子エネルギー研究分野 (1996 (平成 8) ~ 2018 (平成 30) 年度)

1996 (平成 8) 年 5 月 11 日にエネルギー理工学研究所は「エネルギーの生成、変換および利用の高度化に関する研究」を設置目的に、エネルギー生成・機能変換・利用過程の 3 部門を擁する新たな研究所として発足した。エネルギー生成研究部門は「社会的受容性の高い高品位エネルギーの生成についての研究」を行う 4 研究分野を擁する部門として発足し、その中で、粒子エネルギー研究分野(吉川 潔 教授(1996 (平成 8) 年 4 月 1 日~2007 (平成 19) 年 3 月 31 日定年)、大西正視 助教授 (1996 (平成 8) 年 4 月 1 日~1999 (平成 11) 年 3 月 31 日、その後、関西大学工学部 教授に転出)、長崎百伸 助教授 (2001 (平成 13) 年 1 月 1 日~2004 (平成 16) 3 月 31 日、2004 (平成 16) 年 4 月 1 日プラズマエネルギー研究分野教授に配置換え、2007 (平成 19) 年 12 月 1 日 粒子エネルギー研究分野 教授に昇任)、山本 靖 助手 (1996 (平成 8) 年 4 月 1 日~1997 (平成 9) 年 3 月 31 日、1997 (平成 9) 年 4 月 1 日、原子エネルギー研究分野 助教授に配置換え)、増田 開 助手 (1998 (平成 10) 年 4 月 1 日~2007 (平成 19) 年 5 月 31 日、2007 (平成 19) 年 6 月 1 日に助教授に昇任、2019 (平成 31) 年 4 月 1 日に量子科学研究機構に転出)、督 寿之 助手 (1996 (平成 8) 年 4 月 1 日~2006 (平成 18) 年 3 月 31 日に定年)、大島慎介 助教 (2012 (平成 24) 年 4 月 1 日~2018 (平成 30) 年 12 月 31 日、2019 (平成 31) 年 1 月 1 日に複合系プラズマ研究分野 助教に配置換え)) では、「荷電粒子と電磁界の相互作用を高度・高精緻に制御する研究」として、自由電子レーザー (FEL) 研究、慣性静電閉じ込め核融合装置の高性能化と DD 核融合中性子を利用した人道的地雷探知や核物質探知技術への応用研究、高輝度電子線源の研究を行った。さらに、電子サイクロトロン共鳴によるプラズマ生成、加熱、電流駆動、周辺乱流揺動計測の研究をトカマク、ヘリカル系磁場といった閉じ込めプラズマを対象に進めてきた。

具体的には、相対論的電子ビームをクーロン斥力に抗して高周波電界により局所的にバンチングできれば、そこから放射される光強度は通常の分散した電子状態に比べて、バンチ内の極めて多数の電子数に比例する強力なレーザー (FEL) となりうる。そのため、当初は敵ミサイルに照射して撃墜する軍用に開発されたが、その単色性とレーザー波長の調整可能性と装置が小型であるという特徴から、様々な研究分野での潜在的応用可能性が試みられ、量子放射エネルギー研究分野 (山崎鉄夫 教授) と共同して、特に化学分野で有用な近赤外線領域の FEL 開発研究を行ってきた。

一方、ソ連や米国イリノイ大学、ウイスコンシン大学などで研究されてきた静電慣性核融合 (IECF; Inertial Electrostatic Confinement Fusion) についても研究はすでに 1996 (平成 8) 年より開始しており、さらに高性能化の研究に着手した。装置構成は、直径 30cm 程度の重水素 ( $D_2$ ) を満たした球形真空容器内中心部に空芯の陰極を設置し、陰極に  $-100kV$  程度の負電位を印加すると、まずグロー放電が生じ  $D^+$  イオンが発生、それらが負電界により中心部に収束加速され、反対側からくる重水素イオン、あるいは空間内重水素分子、電極表面の吸着重水素などと衝突して核融合が生起する、という極めて簡単な装置で、安定的に 2.45MeV の DD 中性子を毎秒  $10^8$  個程度等方的に発生できる。その応用例として 2002~2006 (平成 14~18) 年の間、JST によるアフガニスタンの国土回復支援を目的とした「人道的地雷探知技術の開発」に参画した。まず取り扱い上制約の少ない D-D IECF 中性子源の高性能化を図り、金属片を含まない新型地雷探知のため真空容器外側に水ジャケットを設けて冷却することにより安定的な動作を実現し、合わせて地面を向いている球面下部部分のみ水ジャケットのない構造に変更し、地雷内爆薬の特に窒素原子との反応効率を飛躍的に上げ、模擬地雷を用いた JST の試験でも高い探知能力を実証できた<sup>1)</sup>。

さらに、IECF における空間電位分布の計測を He 原子を用いてシュタルク効果を利用した ILF (Laser



Induced Fluorescence) 計測法により電界分布の計測に初めて成功した。すなわち、IECF では重水素イオンが球状真空容器の中心部に収束するためイオンの空間電荷密度が大きくなり、その結果正電位ピークが予想される。さらに空芯陰極からイオン衝突により放出される二次電子が電位ピークに捕捉され、その結果中心部に電位の二重井戸 (double well) が生じると理論的に明らかにされ、さまざまな実験方法でその電位分布の測定研究が行われたが決定的な証明は得られなかった。シュタルク効果と LIF による局所的空間電界分布計測により初めて IECF における二重井戸の存在を実験で明らかにした<sup>2,3)</sup>。

プラズマ着火・立ち上げは核融合プラズマ燃焼の出発点となるため、核融合発電の実現には重要である。着火の物理過程については完全に理解されているわけではなく、信頼性ある着火のために、今後、研究が必要となる。超伝導トカマク JT-60SA 装置における電子サイクロトロン共鳴加熱 (ECRH) 補助によるプラズマ着火特性を分析するため、粒子密度バランス方程式、エネルギーバランス方程式、電気回路方程式から成る 0 次元モデルを構築した<sup>4)</sup>。数値計算の結果、ECRH パワーに閾値があることを明らかにするとともに、既存データとして JT-60U 実験結果を用いて、プラズマ電流の時間発展をファクター 2 の範囲で再現することに成功した。また、0 次元モデルを拡張し径方向熱・粒子拡散を考慮に入れた 1 次元輸送モデルを構築した<sup>5)</sup>。第 2 次高調波 ECRH の吸収効率を組み込むとともに、プラズマの径方向分布の時間発展を追うことを可能にした。時間フェーズによって支配的な物理過程が異なること、また、ECRH によって電子密度が上昇後、ECRH パワー吸収係数と電子温度の間に正のフィードバックが働く場合にプラズマ着火が成功することを明らかにした。

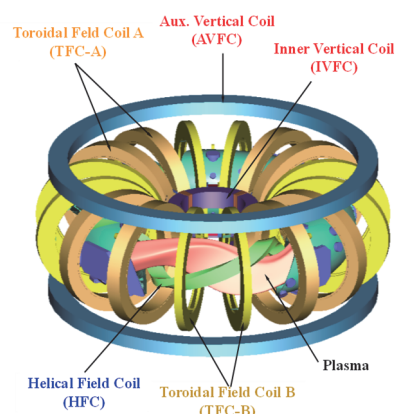
また、ヘリオトロン J 装置における NBI プラズマ着火の物理過程を調べるため、高速水素イオンおよびイオン・中性粒子の粒子バランス方程式、電子・イオンのエネルギーバランス方程式から構成される 0 次元モデルを構築した。数値計算の結果、高速水素イオンの生成と電子の加熱、高速水素イオンにより加熱された電子によるガス分子の解離過程がプラズマ着火成功における支配的な物理過程であることを明らかとなった。NBI プラズマ着火実験に適用し、ガスパフタイミング依存性、NBI パワー依存性に関する実験の結果を説明することに成功している<sup>6)</sup>。

- 1) K. Yoshikawa, K. Masuda, T. Takamatsu, Y. Yamamoto, H. Toku, T. Fujimoto, E. Hotta, K. Yamauchi, M. Ohnishi, H. Osawa, S. Shiroya, T. Misawa, Y. Takahashi, Y. Kubo, T. Doi, "Research and development of the humanitarian landmine detection system by a compact fusion neutron source", IEEE Transactions on Nuclear Science, 56 (2009) 1193-1202.
- 2) K. Yoshikawa, K. Takiyama, Y. Yamamoto, K. Masuda, H. Toku, T. Koyama, K. Taruya, H. Hashimoto, M. Ohnishi, H. Horiike, N. Inoue, "Real Time Measurements of Strongly Localized Potential Profile through Stark Effects in the Central Core Region of an Inertial-Electrostatic Fusion Device", 18th Symposium on Fusion Engineering, Albuquerque, NM, Oct. 25-29, 27-30, 1999
- 3) K. Yoshikawa, K. Takiyama, T. Koyama, K. Taruya, K. Masuda, Y. Yamamoto, T. Toku, T. Kii, H. Hashimoto, N. Inoue, M. Ohnishi, H. Horiike, "Measurements of strongly localized potential well profiles in an inertial electrostatic fusion neutron source", Nucl. Fusion 41 (2001) 717-720.
- 4) K. Hada, K. Nagasaki, K. Masuda, R. Kinjo, S. Ide and A. Isayama, "Analysis of ECRH Pre-Ionization for Plasma Start-Up in JT-60SA", Plasma Fusion Res. 7, 2403104 (2012)
- 5) K. Hada, K. Nagasaki, K. Masuda, S. Kobayashi, S. Ide, A. Isayama, K. Kajiwara, "One-Dimensional Analysis of ECRH-Assisted Plasma Start-Up in JT-60SA", Fus. Sci. Technol 67 (2015) 693-704
- 6) S. Kobayashi, K. Nagasaki, K. Hada, T. Stange, H. Okada, T. Minami, S. Kado, S. Ohshima, K. Tokuhara, Y. Nakamura, "Role of pre-ionization in NBI plasma start-up of Heliotron J using non-resonant microwave heating", Nucl. Fusion 61 (2021) 116009

## 4-1. エネルギー生成研究部門 プラズマエネルギー研究分野

### 研究分野の成り立ち、人員

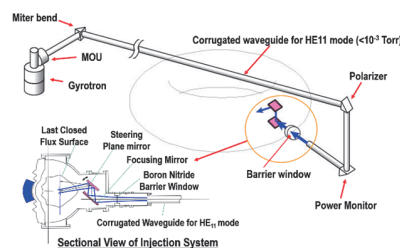
改組前のヘリオトロン核融合研究センターではヘリオトロン E を代表とする環状無電流プラズマの閉じ込め研究において大きな成果を挙げたが、さらに新しい視点による高温プラズマの非線形・非平衡問題を取り扱い、トーラス型磁場閉じ込めプラズマの学理探究を目的として、本研究分野が設立された。改組前よりヘリオトロン研究を主導してきた大引得弘 教授により 1996 (平成 8) 年から本研究分野の研究が開始された。その後、2003 (平成 15) 年から水内 亨が、同 2019 (平成 31) 年から長崎百伸がそれぞれ教授として本分野は運営されている。運営当初は、水内が助教授、長崎が助手、2001 (平成 13) 年に長崎が准教授、2002 (平成 14) 年に小林進二が助教、2009 (平成 21) 年に南 貴司が准教授、2019 (平成 31) 年に小林が准教授として着任している。



1 ヘリオトロン J 装置概要図

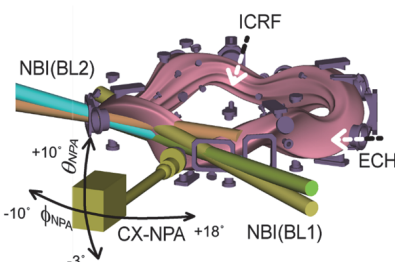
### 研究内容、研究成果、導入装置

エネルギー媒質である高温プラズマを扱うためには、プラズマの物性を物理的・工学的に解明して行くことが不可欠との認識の下、当研究分野は、未知の領域が広いヘリカル系磁場配位の閉じ込め特性の基礎的解明を進めつつ、プラズマエネルギーの制御に関する知識・技術の開拓とそれらの体系化を目指している。中でも、「ヘリカル軸ヘリオトロン磁場による核融合エネルギーの実用化」に向けた研究を進めており、多くの課題は、研究所重点複合領域での分野間、ならびに部門間共同研究として進めた。同時に、核融合科学研究所との双方向型共同研究や同研究所国際共同研究拠点ネットワーク活動に密接に関わった。本研究分野を含む本研究所核融合プラズマ研究グループおよび関係各位の協力のもと、加熱・計測装置の整備・更新、ならびに新規局所計測システムの開発・導入を推進し、一層精緻な実験、ならびに解析を可能とした。同時にこれら機器整備・開発の進展に伴って、新たなプラズマ生成・制御手法の開発、内在する物理の理解においても大きな進捗が見られた。



2 ヘリオトロン J 用電子サイクロトロン波共鳴加熱装置概要図

前出の通り、ヘリオトロン E では環状無電流プラズマの閉じ込め研究において大きな成果を挙げたが、いくつかの課題も指摘された。その解決として  $L = 1$  立体磁気軸の概念を取り入れたヘリオトロン J がエネルギー科学研究科、および当研究所の高温プラズマ物性研究分野との共同で創案され、準等磁場配位概念の検証を目指した装置が設計・建設された。具体的には、高い配位制御性を生かした磁場スペクトラムと閉じ込め・輸送との関連性の解明、MHD 安定性とよりよい粒子閉じ込めの両立、高ベータ化に伴う粒子閉じ込めの改善を実験的に検証することを目的としている。



3 ヘリオトロン J 用中性粒子ビーム入射加熱装置概要図

ヘリオトロン J は 1999 (平成 11) 年に 53.2GHz 電子サイクロトロン波共鳴加熱 (ECH) 装置を用いた 0.95T 運転によるファーストプラズマ生成実験が、2001 (平成 13) 年より 70GHz ECH を用いた 1.25T 運転が開始され、当研究分野が主導して ECH を利用した高温プラズマの生成・制御および閉じ込め・輸送の解明が進められてきた<sup>1)</sup>。2002 (平成 14) 年より当研究分野が主導して中性粒子ビーム入射装置 (NBI) が導入され、2003 (平成 15) 年より本格的な実験が開始した。この結果、1MW を超える高 NBI パワーを



利用した高エネルギー粒子閉じ込めと磁場配位との関連性が明らかになった。超音速分子生ビーム入射 (SMBI) や高強度ガスパフ法 (HIGP) の新たな粒子補給法を開発することで、ヘリオトロン J において  $1 \times 10^{20} \text{m}^{-3}$  を超える高密度プラズマ生成、SOL プラズマ制御方法の新しい知見が得られた。

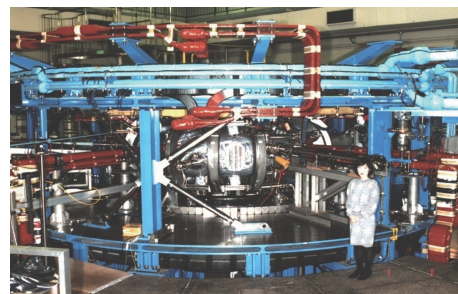
2004 (平成 16) 年より開始された双方向型共同研究では、核融合科学研究所をはじめとする国内のプラズマ研究施設・研究者と密接に連携することで、新しい共同研究体制を構築した。これまで、国際ステラレータスケーリング則の 1.5 ~ 2 倍を超える良好なエネルギー閉じ込めの達成、高密度 H-mode プラズマの観測、磁場配位制御を活用した良好な高エネルギー粒子閉じ込めの観測、高エネルギー粒子励起 MHD 不安定性の動的制御など、ヘリオトロン J 配位の持つ無電流プラズマ閉じ込め装置として性能が実証されている。また、ブートストラップ電流、電子サイクロトロン (EC) 電流、トロイダル回転、高エネルギー粒子の閉じ込めなどの物理量の磁場配位依存性が新古典理論の予測と一致することを明らかにした。2019 (令和元) 年より開始された日本学術振興会拠点形成事業 (PLADyS) では、超高温プラズマで出現する様々な構造形成の発現メカニズムの解明を目標として、世界各国と連携した国際研究者交流を通じて国際研究拠点の形成を目指した活動が進められている。

- 1) 長崎百伸, 水内亨, 岡田浩之, 南貴司, 門信一郎, 小林進二, 大島慎介, 岸本泰明, 中村祐司, 石澤明宏, 四竈泰一, 木島滋, 的池遼太, 横山雅之, 本島巖, 小林達哉, 西野信博, 山本聡, WEIR Gavin M., ZANG Linge, プロジェクトレビュー「Heliotron J 実験」, J. Plasma Fusion Res. Vol. 96, No.9 (2020) 475-518

#### 4-2. エネルギー生成研究部門 複合系プラズマ研究分野 (2018 (平成 30) 年度~)

##### 研究分野の成り立ち、人員

当研究分野はエネルギー機能変換研究部門の同名の研究分野であり、2019 (令和元) 年 1 月にエネルギー生成研究部門に配置換えとなった。研究目標は「閉じ込め改善を実現する優れた磁場構造の探究と Heliotron J 実験を基礎とするヘリオトロン核融合の炉心プラズマ研究」である。教員は令和元 (2019) 年より門信一郎、南貴司が准教授として、大島慎介が助教として配属されている。また、2022 (令和 4) 年に稲垣 滋が教授として着任した。



Heliotron J 実験装置

##### 研究内容、研究成果、導入装置

高繰り返し Nd:YAG トムソン散乱計測装置は、プラズマの基本特性を決定する電子温度と電子密度の分布の時間発展を計測する装置である。Heliotron J 装置のようなヘリカル型磁場閉じ込め装置はトカマク型装置に比べてプラズマ周辺に複雑なコイル系が存在するため計測装置の配置に大きな制約を受け、高い性能達成することは困難であると言われてきた。南は、これまでに JIPPT-II トカマク装置でトムソン散乱計測装置の研究を開始し、CHS 装置や LHD 装置において計測機の性能の制約となる様々な問題を解決することで高性能 Nd:YAG トムソン散乱計測装置を開発してきた。その成果を基に Heliotron J 装置において高性能 Nd:YAG トムソン散乱計測装置を研究開発した。本計測器の性能、最も重要な空間分解能は、Nd:YAG トムソン散乱計測装置としては、MAST (イギリスのトカマク型装置) の Nd:YAG トムソン散乱計測装置と同等で世界最高性能を達成した。

Heliotron J 装置において電子内部輸送障壁を実現するために実験を行い、電子内部輸送障壁が形成されたプラズマを生成することに成功した。Heliotron J 装置においては従来のヘリカル装置において低い閾値で内部輸送障壁を形成することが可能なことを明らかにした。また Heliotron J 装置では僅かな電流に

より有理面の位置を制御できることを利用し有理面（磁気島）と内部輸送障壁の関係をあきらかにし、有理面の位置を外側に移動させることにより閉じ込め改善領域を拡大させることに成功した。このことは電子内部輸送障壁の制御に関して新たな知見を与えた。

プラズマからの発光は、不純物発光種の同定だけでなく、適切な励起・発光のモデリングや粒子輸送方程式を適用することによって、電子密度や電子温度等の励起源や、高温プラズマ中の輸送過程の情報を得ることができる。固体ペレット入射や高強度ガスパフ運転による電子温度への影響は、1～5 価の酸素イオン（O II～O VI）、2～3 価の炭素イオン（C III～C IV）など低電離状態のイオン種の輝線挙動の解析が有用である。この領域は極端紫外領域（EUV）に輝線を多く有するため、この領域の分光診断が有用である。特に O V の異なる系列からの強度比が電子温度に依存性が強いことを利用し、電子温度計測が可能であることを示した。

近赤外領域では、固体水素ペレット溶発雲の発する水素原子パッシェン系列を用いることで、溶発雲の密度が低いためシュタルク広がりが小さくなる中型装置においても、ペレットの粒子供給特性を分光学的に解明する手がかりを得た。可視分光においては、空間 2 次元を高速に分光診断する回折格子分光器を自作し、溶発の軌跡を空間的に追跡しつつ、溶発雲密度を測定することに初めて成功した。

低磁気シアのヘリカル軸ヘリオトロンである Heliotron J における高エネルギー粒子（EP）駆動の磁気流体力学（MHD）不安定性と EP との相互作用を、運動論的 EP と MHD のハイブリッドシミュレーションコードである MEGA を Heliotron J の磁場配位に適用することで数値的に調べ、実験で観測される MHD 現象と比較することにより、EP の損失や、不安定性へのエネルギー伝達過程について調べた。さらに、この MEGA コードを自由境界条件に拡張することに成功した。Heliotron J で観測されている高エネルギー粒子モード（EPM）の再現に成功し、低シアのヘリカル配位において、境界条件の重要性を明らかにした。

基礎的な輸送理論では、物理素過程を問わない普遍的な原理として、想定する系の空間スケールの増大は輸送の増大を予測する。しかしながら、同位体である重水素プラズマではこの原理が逆転し、水素プラズマと比較して閉じ込めが改善する傾向がみられる。これを水素同位体効果と呼ぶ。乱流・帯状流からなる系がどのような同位体依存性を示すか、その詳細な物理過程の実験的解明に取り組んだ。計測データの解析を通じて、同位対比に応じた乱流の自己組織化の結果としての帯状流強度の増大、乱流特性の違い（揺動強度、波数の減少）、乱流・帯状流と非線形結合の増大（自己組織化現象の活発化）、密度揺動・ポテンシャル揺動間の相関の低下、そして乱流が駆動する輸送（粒子束）低減を示した。これらの結果は、同位体効果の物理機構を総合的に詳らかにした初めての実験結果である。

また、上述したように揺動が輸送を駆動すると同時に様々な機能を発現し、閉じ込め性能を決定づける。では、どのような磁場構造のもとで、揺動が効率的に“構造形成”や“機能発現”し、より良い閉じ込めが実現するのだろうか。言い換えれば、磁場制御を通じて非線形系を成果できるのであろうか。この疑問に取り組むため、Heliotron J 装置の特徴である配位制御性を活用し、磁場配位に対する閉じ込め性能の依存性の検証を進めた。ここでは、磁場構造の“ねじれ度 = 回転変換”の制御実験に触れる。

回転変換に対する閉じ込め性能の依存性を評価すると、回転変換増大に伴い蓄積エネルギー  $W_p$  が減少する、という従来のスケーリング則からの逆転を観測した。例えば、新古典輸送の低減、つまり実効ヘリカルリップル  $\epsilon_{\text{eff}}$  の低減が乱流による自発的流れ場を誘起し乱流輸送を低減し、結果として閉じ込めが改善することが指摘されている。Heliotron J 装置では、 $W_p$  と実効ヘリカルリップル ( $\epsilon_{\text{eff}}$ ) との比較を行うとその相関は不明瞭であった。つまり、Heliotron J の回転変換制御は、新古典輸送ではなく乱流輸送により強く影響し、閉じ込めを制御していることが示唆される。現在、測地線曲率の変化に対応した帯状流への影響等を念頭に、乱流の数値解析シミュレーションとの比較準備を進めている。

## 5-1. エネルギー機能変換研究部門 複合機能変換過程研究分野 (1996 (平成 8) ~ 2007 (平成 19) 年度)

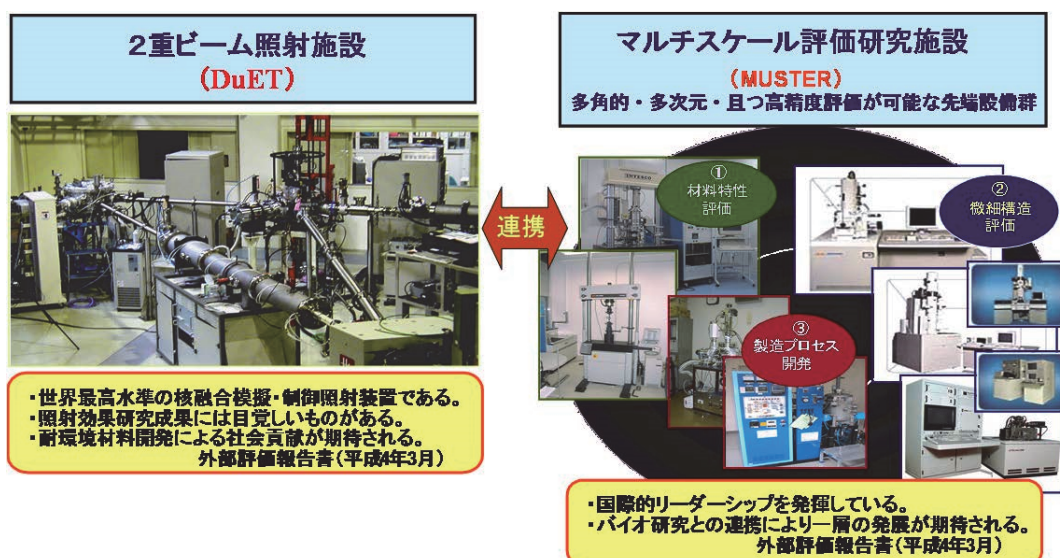
### 研究分野の成り立ち、人員

1995 (平成 7) 年、原子エネルギー研究所の原子炉構造研究部門 (教授 香山 晃、助教授 塩津正博、助手 畑 幸一、竹内右人) に香山が採用され、一連の活動が始まった。この部門は軽水冷却熱中性子炉および液体ナトリウム冷却高速増殖炉の重大事故解析のデータベースとなる、高温高圧水および高温液体 Na における定常・非定常熱流体力学諸問題に関する世界を先導する研究成果を挙げており、改組に伴い新しい部門へと発展し移行した。

### 研究内容、研究成果、導入装置

原子炉・核融合炉材料の研究を推進してきた香山グループの参入に加えてヘリカル型核融合炉開発の先陣を切っていたヘリオトロン核融合研究センターと旧原子エネルギー研究所の炉工学関連部門とが一体化することにより、原子炉・核融合炉研究をはじめとする新しいエネルギーシステム研究の広い領域をカバーする最先端の研究所が発足したことになり、先進エネルギーに関する幅広い理工学研究の基盤が確保された。

複合機能変換過程研究分野 (教授 香山 晃、助教授 加藤雄大、助手 竹内右人) は先進エネルギーシステムに特有なエネルギー変換、ならびにその他の機能・構造を司る材料と高エネルギー粒子・量子線との相互作用の解明と、それに基づく先進エネルギー材料開発およびエネルギー生産システムの高度化を進めることで、高品位な基盤エネルギーシステムの実現を目指した。具体的には固体物理学の一つである結晶格子欠陥論・転位論を基礎とする学問分野を出発点としてエネルギー変換システム (エネルギー生産システムとも呼ばれることが多いが正しくは変換) での実用化を目指す材料システムの研究を進めた。新しい研究所の重点的課題であり基幹実験装置でもある、エネルギー粒子・量子-固体材料相互作用と材料評価・開発に関わる研究に特化した複合ビーム・材料実験設備 (DuET) の整備と実証研究に最初に着手した。特に照射損傷の蓄積に伴う材料構造および各種物性値の変化についての要素課程の理解に基づくモデリングの高度化では実用材料および複合材料等の先進エネルギー材料への応用も積極的に進め、これらの延長上として、極限環境での耐性に優れた先進材料の設計/プロセス設計/材料創製/特性評価を統括した材料システムの研究において先導的な成果を挙げた。



新しい研究分野での活動の基本はこれまでは基礎から応用にかけて多くの独立・分断されたままであった研究分野の連続性を確立するための努力であった。この概念をマルチスケール研究と呼び、いち早く研究設備（MUSTER 施設）の整備を進めた。前頁の図にその概要を示した。

時間軸や空間軸での広大な領域での現象をそれぞれに適したスケールで解析し、それらの知識の統合をマルチスケールで図る活動である。この活動は在任中を通じ、基礎となり多くの成果を生み出し、現在ではマルチスケール手法は一般化された概念である。

この間に、環境調和型のエネルギーシステム材料の開発という課題で文部科学省の CREST 課題に採択され、この活動から NITE 法と呼ぶセラミックス複合材料の画期的な製法が考案され国際特許となった。ここで開発された SiC/SiC 複合材料はその後、核融合炉用のブランケット構造材料、事故耐性に優れた軽水炉用燃料被覆管、超臨界地熱発電システム用配管材料、熱衝撃や熱疲労に優れたロケットエンジン用材料などとして文部科学省・経済産業省の大型研究に取り上げられ、研究所の設備の増強や人材育成にも大きく貢献した。

国際協力はもう一つの重点課題であり、改組の検討の中で当時正式な二国間の研究協力制度のなかった韓国と協議し、日韓拠点大学方式交流計画を発足させることに成功し、最初の協定校として京都大学とソウル大学との交流を始めることができた。この活動では年間で 100 名を超える国内の研究者の参加があり、多くの課題での研究交流が進んだ。また、この活動を通して多数の国費留学生を韓国から招くことになり、その後の日中拠点大学方式交流を経て日中韓の三国間協定へと発展していった。これらはいずれもこれまでの原子力や核融合炉工学関係での個人的な研究者間の交流を基礎として生み出したもので、当該分野の研究や人材育成に大きく貢献できた。

日米科学技術交流の中の核融合炉材料研究では FFTF-MOTA 計画（1987-95）、JUPITER 計画（1995-2000）、JUPITER-II 計画（2000-2006）において計画調整を行い、当該分野以外にも研究所他部門の参画も得て中核的な活動を行い、多くの成果と研究者の育成を行った。この間、助教授の加藤雄大が米国オークリッジ国立研究所にスカウトされ、移籍したことは研究所にとっては大きな損失だったが、米国に大きな研究拠点を作ることになり、研究所出身の研究者が現在も多数活躍している。米国の核融合炉材料研究が当研究所出身者によって多数を占められていることも誇らしい事実である。また、加藤助教授の後任として、講師 檜木達也が 2003（平成 15）年に着任した。

大学院教育はエネルギー科学研究科においてエネルギー材料物理分野を担当し、先進エネルギー特論の講義などを行った。研究室には常時 5 名から 10 名の博士後期課程の学生が在籍し、修士課程の学生や留学生と混合チームで研究を進める体制をとり活発な自主的な雰囲気教育を行えたことも優れた研究者を輩出できた要因であったと感謝している。

教育や研究は香山教授が研究所長になったことで一時失速気味となったが短期間で元の状態に戻り、研究・教育により一層集中して励んだこともあり、定年退職寸前の 2008（平成 20）年 3 月まで教育・研究のすべてが順調に進み核融合・原子力用材料の研究では突出した成果を挙げた。

## 5-2. エネルギー機能変換研究部門 ナノ光科学研究分野（2010（平成 22）年度～） （2019（平成 31）年 1 月に「複合機能変換過程研究分野」から名称変更）

### 研究分野の成り立ち、人員

エネルギー生成や変換において、その根幹に物質とエネルギー変換プロセスがあり、その革新が新しい科学を拓く。本研究分野では、ナノサイエンス・物性物理学・物質科学・デバイス工学の複数の学術研究領域に跨り「ナノサイエンスに立脚した新しい光科学の開拓とエネルギー応用」を目標に掲げ、光量子・エネルギー科学に資する研究を進めてきた。2010（平成 22）年に化学研究所より教授に昇任した松田一成が本研究分野を担当し、その間、檜木達也 准教授、ならびに神保光一 助教が在籍した。また、2014（平

成 26) 年から 2021 (令和 3) 年まで宮内雄平 准教授が在籍し、2020 (令和 2) 年に着任した篠北啓介 助教とともに研究分野体制を敷いており、現在に至っている。

### 研究内容、研究成果、導入装置

#### (1) ナノカーボン物質における光科学の開拓

カーボンナノチューブやグラフェンに代表されるナノカーボン物質は、ナノサイエンスを基盤とした新しい物質科学やエネルギー応用を展開する研究舞台として非常に興味深い。その電子状態の理解は、量子性に起因する光学的性質 (光物性) の発現に繋がるとともに、光機能やエネルギー生成・省エネルギーデバイス実現に向けた課題でもある。カーボンナノチューブでは、光で生成された電子とホールがクーロン力で束縛した状態である「励起子」(固体中の水素原子様な状態) が、その光学的性質に大きな影響を及ぼす。我々は、キャリアをドーピングした系において、ドーパされたホールと光生成された電子とホールの三つの粒子が束縛した「正に帯電した荷電励起子 (正のトリオン)」と呼ばれる状態 (固体中の水素分子イオン様な状態) が安定に存在しうることを見いだした。これは、室温という非常に高い温度領域で安定に存在する荷電励起子 (トリオン) の世界で初めての観測例であり、カーボン系材料でスピン自由度を持ち、量子状態制御が可能な素励起を発見したことを意味する。さらに、電気化学ドーピングを利用し、二つの電子と一つのホールが束縛した負のトリオンも安定に存在することも実験的に示した。

カーボンナノチューブは、次世代の量子情報通信などの省エネルギー単一光源等への応用が期待されているが、その発光効率は低く (約 1% 程度)、実現に向け効率を上げることが強く求められている。これに対して、炭素原子から構成されるナノチューブに酸素ドーピングを施し、発光特性や効率を詳細に調べた。その結果、室温で酸素サイトの部分では、ナノチューブ固有の部分 (約 1% 程度) と比べ約 20 倍以上の高い効率で発光 (約 18% 程度) していることを明らかにした。さらに、高効率なアップコンバージョン発光の観測などの成果が得られた。これらの研究成果は、ナノ物質の構造を制御することで、物質固有の性質を超える新たな光機能が発現しうること示したという学術的な意味をもつ。それと同時に、量子情報通信で必要とされる室温動作の省電力量子デバイスに向けた第一歩であると考えられる。

#### (2) ナノカーボン・原子層物質を利用したエネルギーデバイス応用

次世代の高効率なエネルギー生成に向け、カーボンナノチューブや遷移金属ダイカルコゲナイドなどの新しい原子層ナノ物質をベースにした高機能・高付加価値な光電変換デバイス (太陽電池) の研究を進めた。これら新しい原子層ナノ物質は、エネルギー変換において既存の物質では困難な量子効果を活用できる可能性とともに、高い透明性・導電性を両立するなど、高性能・高機能な光電変換デバイスに利用しうる側面を兼ね備えている。まず、ナノチューブを積極的に利用したヘテロ構造 (ナノチューブ / Si) 太陽電池をモデルケースとして研究を進めた。ナノ物質を用いたヘテロ構造太陽電池の光電変換メカニズムを詳細に理解することで、光電変換性能 (効率) を向上するための新たな指針を得た。その結果、ナノチューブを利用したヘテロ構造太陽電池としては、論文発表時点で世界最高となる 17% を超える光電変換効率を達成した。

#### (3) バレースピン・フォトリソの創生と応用

遷移金属ダイカルコゲナイドなど原子一層 (数層) の物質系が出現し、物質科学・光科学の分野で大きなパラダイムシフトを迎えつつある。単層遷移金属ダイカルコゲナイドに代表される原子層物質では、極

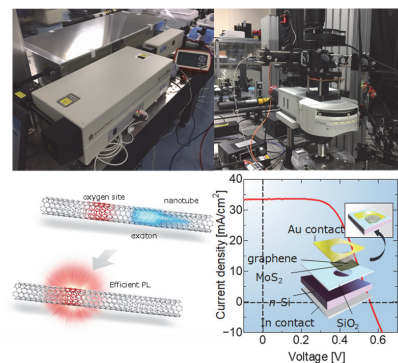


図 1 実験装置とナノカーボンの構造制御と光機能・デバイス応用の例

限的な量子閉じ込め効果の発現や波数空間での谷(バレー)とスピン自由度の結合など特徴的な物性が発現する。このようなバレーとスピンの自由度が結合したバレースピンによって、従来の電子の電荷自由度のみを利用した電子(エレクトロニクス)・光(フォトンクス)応用とは大きく異なる、新たな研究分野・工学応用へと発展しつつある。バレースピンを利活用した新しいフォトンクスの実現に向け、原子層物質の光学的性質を詳細に調べた。単層遷移金属ダイカルコゲナイドにおいて、原子三層からなる非常に薄い系であるにも関わらず、約10%におよぶ強い光吸収を示すことを明らかにした。また、原子層物質において電子受容性の高い分子を用い、化学ドーピングによるキャリア濃度制御と発光強度の増大を実現した。さらに、バレースピン・フォトンクスに向け鍵となるバレースピン緩和の物理メカニズムを明らかにし、バレースピン制御に向けた重要な指針を得た。これらの成果は、我々が提案しているバレースピン・フォトンクスの実現に向け、その礎となるバレースピンの発生・検出・制御に向けた大きなマイルストーンであると言える。

ナノスケール物質が、エネルギーの高効率生成や利用において潜在的に高いポテンシャルを有していることに着目し、物性物理・工学に関する新しい着眼点から先進エネルギーや量子技術の基盤となる研究を展開した。特に、そこで発現する特異な光との相互作用に起因し発現する、様々な光学的特性や機能を明らかにし、新しい光科学の学理構築やエネルギー応用に向けた研究を推し進めている。

### 5-3. エネルギー機能変換研究部門 機能物性工学研究分野 (2021 (令和3) 年度～)

#### 研究分野の成り立ち、人員

人類文明発展の歴史において、新しい物質・材料系の登場は、既存の工学の限界を超える抜本的技術進化のきっかけとなってきた。特に、20世紀後半以降のナノスケール・量子物質科学のめざましい発展は、今後、材料として人類が利用することができる物質系の種類や機能物性の幅を大きく拡張する原動力になると期待され、技術革新による地球温暖化の阻止といった喫緊の時代の要請とも相まって、それら新物質・材料を基盤とする新たなエネルギー理工学の学理開拓および整備が求められている。そうした機運のもと、2021 (令和3) 年に、エネルギー機能変換研究部門の准教授であった宮内雄平が教授に昇任し、ナノスケール・量子物質の機能物性を基盤とするエネルギー理工学を開拓するための新分野として機能物性工学研究分野を立ち上げた。同年10月には、西原大志が助教に任用され、今日に至っている。

#### 研究内容、研究成果、導入装置

持続可能な社会実現に資する新しい太陽光・熱エネルギー高効率活用技術の創成を目指して、カーボンナノチューブ(CNT)をはじめとするナノスケール・量子物質の物性・機

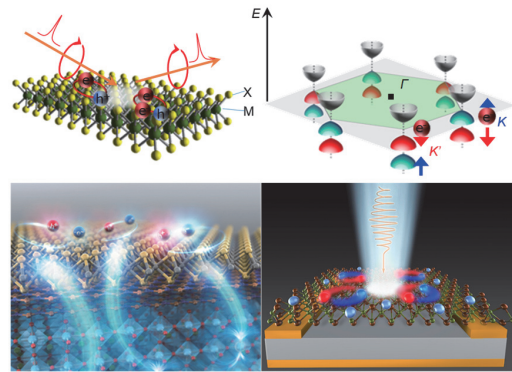


図2 バレースピンフォトンクスの応用

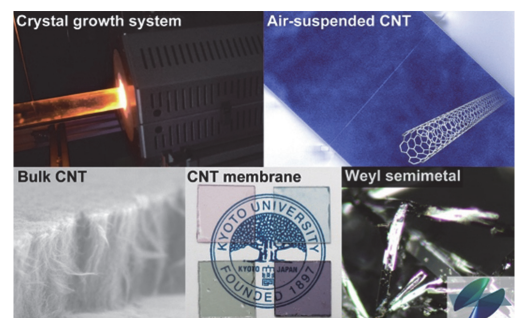


図1 ナノスケール・量子物質の合成と集積材料の創成

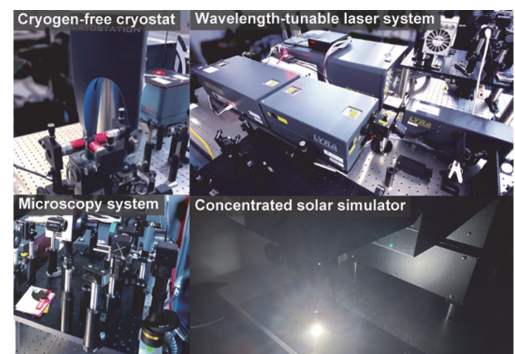


図2 エネルギー機能物性計測設備群

能とそのエネルギー応用に焦点を当てた研究を行っている。多くの工学分野において、実装可能な機能の工学的限界は、利用可能な物質（材料）の特性（物性）によって制限される。したがって、従来にない特異な物性を持つ新しい物質系の出現は、エネルギー分野を含む広範な科学・技術体系にイノベーションをもたらす可能性がある。そうしたイノベーションの種を見出すために新奇物性を追究する基礎研究を積み重ね、その成果を今後のエネルギー利活用技術の発展につなげていくことは、物質科学に軸足を置くエネルギー理工学研究所の重要な使命の1つである。そのような研究展開の一環として、宮内、西原は、1000℃以上の高温のCNTにおける狭帯域熱励起放射の発生を世界で初めて観測・実証することに成功している。現在、この成果を熱ふく射制御の工学に応用することで、革新的な太陽光量子スペクトル変換装置（広帯域→狭帯域スペクトル変換器）を実現し、それを高効率な太陽熱発電、太陽熱蒸気発生、太陽熱物質合成などの未来の太陽エネルギー利活用技術へと展開することを目指した研究を進めている。

また、CNTのようなナノスケール物質（ナノ物質）をマクロスケールの工学で利用するために集積すると、物質間の相互作用に由来する大きな物性の変化が生じたため、ナノ物質単体の物性のみならず、ナノ物質を集積したマクロな物質システムにおいて初めて創発する物性と機能を徹底的に明らかにし、ナノ物質をビルディングブロックとしたマクロな人工物質・材料システムの設計・物性制御学理を確立することが重要である。当分野では、優れた光・熱・電子・機械特性等を有する単一構造CNT集積膜やナノチューブ複合材料などの、高機能・高付加価値ナノ物質集積材料の創製に向けた研究に取り組んでいる。これらの研究は、高効率太陽エネルギー利活用技術への応用をはじめ、高性能サーマルマネジメント材料や、自動車や航空機などの輸送機械の極限的な低燃費化をもたらす超高比強度材料の実現等をターゲットとしている。また、未だ高価な高機能ナノカーボン物質を地球規模でユビキタスに利用可能な低コスト材料へと展開していくために、合成に必要な原料・エネルギーの持続可能な確保に向けた技術開発までを含めた包括的な研究を進めている。

さらに、最先端の物性科学の成果を、従来の物理的限界を超える高効率なエネルギー変換技術の実現につなげるため、新たな量子物質の作製方法や新奇な物性物理・物質機能を追究している。そのような研究展開の一環として、熱源（工業排熱、地熱、家庭排熱等）からの中赤外熱ふく射の高効率な直接光電変換技術につなげることを目指して、トポロジカル量子物質における非従来型機構に基づく赤外光電変換の研究を開始している。

上記のような、理学から工学にわたる学際的エネルギー研究を遂行するための研究インフラとして、各種量子物質の合成装置（図1）、高性能集光型ソーラシミュレータ、微小な試料に対して紫外から赤外まで広帯域で様々な分光計測（温度可変、時間領域、周波数領域、空間分解、偏光分解）や微小電流計測を行うことができるエネルギー機能物性計測設備群（図2）の構築・整備を進めている。

## 6-1. エネルギー機能変換研究部門 レーザー科学研究分野

(1997（平成9）～2012（平成24）年度)

(2006（平成18）年4月「エネルギー輸送研究分野」から名称変更)

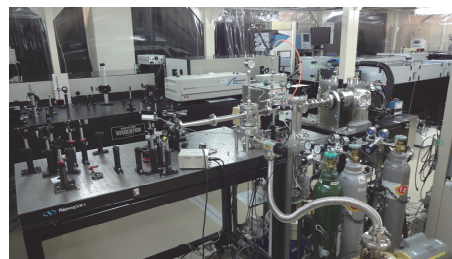
### 研究分野の成り立ち、人員

1997（平成9）年3月に宮崎健創（電子技術総合研究所）が分野教授に着任し、高機能・高品質な光エネルギーの発生・制御および利用による新しい科学技術基盤の創出を目的として、先端レーザーの開発とそれを利用した物質制御に関する研究を開始した。2004（平成16）年4月に宮地悟代が助手（後に助教）に任用され、宮崎と協力して研究を進めた。宮崎は2013（平成25）年3月に定年退職（2014（平成26）年3月まで特任教授）し、宮地は2014（平成26）年2月に転出（東京農工大学・准教授）した。2019（令和元）年4月から松田一成 教授、2022（令和4）年4月から宮内雄平 教授が分野教授を兼任している。1998（平成10）年4月に任用された中嶋 隆 助教授（後に准教授）、および1996（平成8）年5月から在

職の畑 幸一 助手（後に助教、2015（平成 27）年 3 月定年退職）は独自の課題について研究を行った。

### 研究内容、研究成果、導入装置

1997（平成 9）年度に基幹装置としてフェムト秒（fs）レーザーチャープパルス増幅（CPA）装置を導入（電総研から移設）し、その高性能化に着手した。1999（平成 11）年度末までに、パルス幅  $\tau \sim 40$  fs、波長 800 nm、繰返し周波数 10 Hz で動作する Ti:sapphire レーザー CPA システムを構築し、尖頭出力 1 TW（集光強度  $10^{16}$  W/cm<sup>2</sup>）、波長変換による可視（400 nm）尖頭出力 0.2 TW、および紫外（267 nm）尖頭出力 20 GW の性能を持つ高強度 fs レーザー装置を完成した。同時に、このレーザーでアクセスできる極限時間・超高電磁場域において特徴的に発現する物理現象の研究を行うため、飛行時間型質量分析装置、高次高調波発生（HHG）装置、極端紫外（EUV）分光計測装置を試作・開発した。また、高出力ピコ秒（ps）レーザーと BBO 結晶を用いた光パラメトリック発振・増幅装置の開発を行い、2002（平成 14）年度末までに、青から近赤外域（410 ～ 2600 nm）において連続的に出力波長を変化できる波長可変 ps レーザーを完成した。



高強度 fs レーザーと HHG 装置

開発した高強度 fs レーザーを用いて、原子・分子・固体表面での非摂動論的非線形光学現象の研究を開始した。N<sub>2</sub> のクーロン爆発の研究では、fs レーザーパルス照射によるトンネル電離で生成する多価分子イオンが配向後に解離し、非等方的に原子イオンとなって放出されることを見出した<sup>1)</sup>。同知見を基に、2003（平成 15）年度に、fs レーザーパルスで非断熱的に分子配向を誘起し、その高速時間発展を HHG によって実時間で追跡できるポンプ・プローブ法を考案・実証し、分子の回転波束形成のダイナミクスを明らかにした<sup>2)</sup>。配向分子からの HHG 過程の詳細を解析するため、理論研究者と共同研究を行い、分子配向と HHG を統一的に記述する新たな理論を構築した<sup>3)</sup>。

開発した高強度 fs レーザーを用いて、原子・分子・固体表面での非摂動論的非線形光学現象の研究を開始した。N<sub>2</sub> のクーロン爆発の研究では、fs レーザーパルス照射によるトンネル電離で生成する多価分子イオンが配向後に解離し、非等方的に原子イオンとなって放出されることを見出した<sup>1)</sup>。同知見を基に、2003（平成 15）年度に、fs レーザーパルスで非断熱的に分子配向を誘起し、その高速時間発展を HHG によって実時間で追跡できるポンプ・プローブ法を考案・実証し、分子の回転波束形成のダイナミクスを明らかにした<sup>2)</sup>。配向分子からの HHG 過程の詳細を解析するため、理論研究者と共同研究を行い、分子配向と HHG を統一的に記述する新たな理論を構築した<sup>3)</sup>。

構築理論の検証と開発手法の新しい可能性を目指して N<sub>2</sub> と O<sub>2</sub> 分子に関する実験・理論研究を行い、HHG が分子の最高被占分子軌道（HOMO）の電荷分布に強く依存すること、および開発手法を用いて単一分子からの HHG 空間分布を可視化できることを示した。さらに、分子の HOMO 構造を仮定することなく、観測信号から単一分子応答による HHG の角度分布を自己無撞着に再構成できる方法を考案し、対称性の異なる分子に適用してその有効性を実証した。また、配向分子からの HHG を応用し、超音速ビーム中の分子の回転温度を測定する新手法を開発した<sup>4)</sup>。高強度 fs レーザーで配向分子を実時間検出する本手法は、分子軌道イメージングやアト秒域での HHG 制御の研究などで利用されている。

極限時間域におけるレーザー科学研究の一環として、2009（平成 21）年度の設定整備費補助金を基に、数サイクル（ $\tau \sim 5$  fs）のレーザーパルスを 1 kHz で出力（0.1 TW）する搬送波包絡線位相（CEP）安定化 Ti:sapphire レーザー CPA 装置、および新たに設計・開発した HHG・EUV 分光計測装置を導入した。同装置を用いて CEP による HHG スペクトルの制御、およびパルス幅  $\tau \sim 130$  as の単一アト秒 EUV パルス発生を実現した。

一方、2001（平成 13）年度に、開発した高強度 fs レーザーを用いて硬質薄膜の表面改質に関する共同研究（福井高専、アイテック（株））を開始した。間もなく、低フルーエンスの複数パルスを DLC や TiN の表面に照射すると、レーザー波長の 1/10 ～ 1/5 に達するナノメートル（nm）サイズの周期構造を形成できることを発見し、構造生成条件の詳細を明らかにした<sup>5)</sup>。表面で発現する秩序構造サイズが光の回折限界以下であること、および従来未踏域であったレーザーによるナノ加工の可能性から、この発見は世界的に多くの注目を集めた。

構造形成を担う物理過程の解明が緊要な課題であった。そのため、2004（平成 16）年度に周期ナノ構造形成過程の研究を主目的として、高品質ビームと高安定パルス出力の特性を備えた Ti:sapphire レーザー CPA 装置（ $\tau \sim 100$  fs, 0.1 TW）を新たに開発・設置した。同レーザーを用いて照射実験を行い、各種の



高分解能顕微鏡 (SEM, STEM, SPM) で標的表面の形態変化を観測するとともに、ポンプ・プローブ法を用いて表面の光学特性変化を超高時間分解能で追跡した。その結果、DLCやTiNなどの誘電体表面では、結合構造転移によって微細な凹凸形状が出現し、同部で誘起される近接場によってアブレーションが始まること、表面構造が成長すると表面自由電子と入射レーザー電場とのコヒーレント結合が生じ、表面プラズモン・ポラリトン (SPP) が励起されて周期ナノ構造が進展すること、このSPPは定在波として成長するため構造周期はSPP周期の1/2になること、などを突き止めた<sup>6)</sup>。

Si, GaAs, GaN, InPなどの半導体についても、表面形態変化の詳細観察と表面反射率変化の実時間追跡によって、SPPが周期ナノ構造形成を担う主過程であることを検証した。金属では、大気中で酸化膜ができる物質で周期ナノ構造が観測されることに着目し、SUSとTiについて実験研究を行った。その結果、金属表面についてもSPP励起モデルで周期ナノ構造形成を理解でき、構造周期もモデル計算とよく一致することを示した<sup>7)</sup>。これらの結果を基に、GaNを標的にした研究により、ほぼ完全なナノ格子を作製できること、SPPの空間モードを制御すれば構造周期を変化できること、および短波長fsレーザーで格子周期を50nm以下にまで微細化できることを実証するとともに、Si格子を用いた実験研究によってSPP励起モデルの直接的検証に成功した<sup>8)</sup>。

fsレーザーによる周期ナノ構造形成は、レーザーナノ加工の新分野として発展しつつあり、光学的機能表面創出のためのナノ加工などへの応用研究も進められている。その中で、SPP励起はナノ構造形成を担う中心過程として構造解析に広く適用されている。

- 1) K. Miyazaki et al., J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 37, 753-761(2004).
- 2) M. Kaku, K. Miyazaki et al., Jpn. J. Appl. Phys. 43, 4B, L591-L593(2004); K. Miyazaki et al., Phys. Rev. Lett. 95, 243903(2005).
- 3) F. H. M. Faisal, K. Miyazaki et al., Phys. Rev. Lett. 98, 143001(2007).
- 4) K. Yoshii, G. Miyaji, and K. Miyazaki, Phys. Rev. Lett. 101, 183902(2008), *ibid.* 106, 013904(2011), Opt. Lett. 34, 1651-1653(2009).
- 5) N. Yasumaru, K. Miyazaki et al., Appl. Phys. A 76, 983-985(2003), *ibid.* 79, 425-427(2004), *ibid.* 81, 933-937(2005); K. Miyazaki et al., Appl. Phys. A, 80, 17-21(2005).
- 6) G. Miyaji and K. Miyazaki, Appl. Phys. Lett. 89, 191902(2006), *ibid.* 91, 123102(2007), Opt. Exp. 16, 16265(2008).
- 7) G. Miyaji, K. Miyazaki et al., Opt. Exp. 20, 14848(2012), Appl. Phys. Lett. 103, 071910(2013); K. Miyazaki, G. Miyaji et al. J. Appl. Phys. 114, 153108(2013); K. Miyazaki and G. Miyaji, Appl. Phys. A 114, 177-185(2014).
- 8) K. Miyazaki, G. Miyaji et al. Appl. Phys. Lett. 107, 071103(2015); G. Miyaji and K. Miyazaki, Opt. Exp. 24, 4648-4653(2016); G. Miyaji, K. Miyazaki et al. Phys. Rev. B 96, 045122(2017).

## 6-2. エネルギー機能変換研究部門 レーザー科学研究分野

### 研究分野の成り立ち、人員

本研究分野は、レーザー科学のエネルギー関連分野への応用を目指して設置され、准教授 中嶋 隆が1998(平成10)年に着任した。2019(令和元)年からはナノ光科学研究分野教授 松田一成が、2022(令和4年)年からは機能物性工学研究分野教授 宮内雄平が本研究分野の教授を兼任し、現在に至っている。2021(令和3)年には特定助教 安東航太が着任した。

### 研究内容、研究成果、導入装置

我々は主に、レーザーを用いたナノ構造体創成法の開発やレーザーを用いた各種エネルギー関連現象の先端分析に取り組んできた。また、部局内の基幹装置である中赤外自由電子レーザー（KU-FEL）のグループとともに、KU-FELを用いた研究にも取り組んだ。これらについて、以下に紹介する。

### (1) レーザー照射によるナノ構造化膜の高速その場創成法の開発

極薄膜（厚さ 10 nm 以下）はエネルギー的に不安定な状態であるため、原子易動度を高める等のきっかけを与えれば、膜内各所でナノ粒子化してエネルギー的に安定になろうとする。これは「脱濡れ」と言われる現象である。高エネルギーのパルスレーザーを照射すると、金属膜が光エネルギーを吸収して完全に溶解および熱損傷してしまうため、均質にナノ構造化された金属膜を作成することは難しい。そこで我々は、ほぼ連続発振に近い CO<sub>2</sub> パルスレーザー照射によってマイルドな加熱状況を実現し、極薄金属膜を熱損傷なく数秒でナノ構造化する方法を開発した。レーザー出力や照射時間の調整によってナノ構造のサイズや局在表面プラズモン共鳴の中心波長を制御できることもわかった。

一方、金属ナノ粒子前駆体（金属イオン）を含んだポリマー膜にレーザー照射すると、光または熱還元によってポリマー膜内に金属ナノ粒子がその場で生成・成長し、ポリマー／金属ナノコンポジット膜となる。化学還元をベースとした従来法に比べ、このレーザー創成法の長所は、ナノ粒子の密度を数桁以上も高くすることができる、という点にある。すなわち、我々が開発した手法では、プラズモニク応用が可能なくらい光学濃度が十分に高いポリマー／金属ナノコンポジット膜をレーザーで高速かつ簡便に創成することができる。

### (2) レーザー散乱を応用した個別ナノ粒子の時間・空間分解リモート計測法の開発

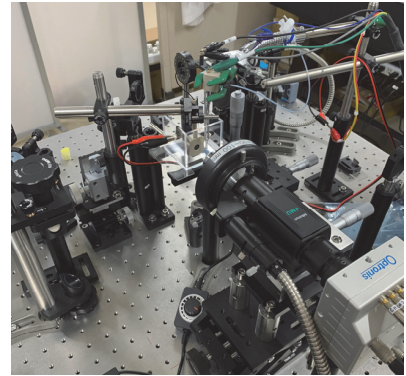
既に様々な分野で応用が進んでいるナノ粒子であるが、やっと最近になって単一ナノ粒子やナノロッドを個別にその場で光学観察できるようになってきた。これは素過程の理解を深めるにあたって大きく役立つ。しかし、それらの観察法はいずれも、基板上に固定されたナノ物体を至近距離から顕微光学系で観察するというものであり、バルク液体内を自由に動くナノ物体を観察したというものではない。ここでは、バルク液体中のナノ粒子の位置および個々のサイズを単一レーザーパルス照射によって瞬時にリモート検出する新たな計測法を開発した。この方法では、レーザー散乱信号を斜め前方検出し、個々のナノ粒子からの散乱信号強度を粒径に換算する。この方法を使うと、粒径が 100nm 程度のナノ粒子までは問題なく個別にサイズ評価ができる。この方法の利点は、ナノ物体を基板に固定するという制約から解放され、必要に応じて複雑な配置で個々のナノ構造体のダイナミクスを時間分解観察できることである。

上述の計測法は、液中のナノ物体を計測するのに邪魔となる気体層が存在しない場合には有効であるが、例えば液中レーザーアブレーションによってアブレーションバブル内で生成・成長するナノ粒子の生成過程を計測するには不適である。特にミクロンサイズの微小バブル内で生成するナノ粒子を光散乱で観察しようとしても、外部からの入射光が微小バブルの曲率のために反射されてしまってバブル内に届かない。そこで、レーザーパルスによってガラス板上に蒸着したターゲットに～400 $\mu$ m 径の微小な孔をあけ、その平坦な窓からレーザー入射する方法を開発し、レーザー散乱信号の時間・空間的強度変化からバブル内でナノ粒子が生成するさまをクリーンに観察することができた。

### (3) 電気分解水素製造過程に対するレーザー科学的アプローチ

水素ガスはクリーンなエネルギー源として既に活用が開始されているが、余剰な電力（電気エネルギー）を水の電気分解を介して水素ガス（化学エネルギー）へと変換・貯蔵し、必要に応じて利用するというプロセスが国の施策として既に決定されている。高効率な水素製造を実現するには、電極表面構造の最適化、電極近傍からの水素ガス輸送の効率化、電極用触媒の開発など、解決すべき問題点は多い。電気化学過程を計測するには、一般的に電気化学計測が用いられるが、微視的に電極近傍の電気化学計測を行おうとすると生成する水素ガスが計測の邪魔をする。そこで、電極近傍の水素バブルをミリ秒および数ミクロンの

時間・空間分解能で光学計測するシステムおよび解析プログラムを開発した。その結果、電極上のランダムな箇所では水素バブルが発生するわけではなく、特定のサイトでのみ水素バブルが発生することが分かった。個々のバブルの成長速度から、その位置での局所的な溶存水素濃度を正しく評価できることも確認した。さらに、水素バブルが生成しない電極上のサイトでも、レーザー照射によってレーザー支援バブルを発生させ、その成長速度から水素バブルが発生しないサイトにおける溶存水素濃度を評価することができた。この一連の研究から、水素バブルが生成するサイトか否かは電極表面構造に依存する、ということが分かってきたので、現在は、レーザーやイオンビームを用いて電極表面構造を加工し、水素製造効率を最適化することを試みている。



電気分解水素製造過程の時間・空間分解光学計測装置

#### (4) 中赤外自由電子レーザー (KU-FEL) の光源特性計測法の開発と分光利用

本研究所基幹装置の1つである KU-FEL について、KU-FEL グループと共同研究を実施した。KU-FEL は共振器型自由電子レーザーであり、マイクロ秒のマクロパルス内にサブピコ秒のマイクロパルスが数千個存在するという二重構造を持っているため、個別のマイクロパルスの時間幅、スペクトル揺らぎ、スペクトル形状を測定すること自体が困難である。そこで、本来はパルス時間幅を測定する方法の一種であるフリッジ分解自己相関法をパルス時間幅と発振波長揺らぎの同時測定に応用する方法や、非線形波長変換によって単一パルスのスペクトルを計測する方法を開発した。また、加熱溶融に伴う結晶性高分子薄膜の構造変化をマイクロ秒の時間分解能で計測する手法を開発した。また、プラズマミラーの導入により、熱損傷なくターゲットに照射できる KU-FEL の最大光強度を非線形光学過程が発現する数  $10 \text{ GW/cm}^2$  にまで引き上げることに成功した。

## 7. エネルギー機能変換研究部門 エネルギー基盤材料研究分野 (2012 (平成 24) 年 4 月「エネルギー貯蔵研究分野」から名称変更)

### 研究分野の成り立ち、人員

研究所が発足した当時、当該研究分野はエネルギー貯蔵研究分野として、内藤静雄 助教授と山本雅博 助手を中心に、主に金属固体中の水素の挙動に関する研究を進めていたが、発足一年後に木村晃彦 教授が着任し、核融合炉や先進原子炉の開発基盤となる革新的原子力材料の開発研究へとシフトしたため、大学法人化の後に研究分野名が現在の名称に変更されている。その間、1999 (平成 11) 年には森下和功 助教授 (現在准教授) が着任し、2001 (平成 13) 年には笠田竜太 助手 (現在東北大学・教授) が着任した。笠田助手が当研究所の他分野の准教授に昇進した後、2014 (平成 26) 年に藪内聖皓 助教が着任している。

### 研究内容、研究成果、導入装置

原子力発電は、我が国の基幹エネルギーの一つに位置付けられている。当研究分野では原子力の安全利用を支える革新的原子力材料の開発と長期の保全に向け、材料が受ける高エネルギー粒子線による損傷発現までの物理・化学的な要素過程を明らかにするため、イオン加速器を用いた照射損傷実証実験と計算機によるマルチスケール・シミュレーション実験を車の両輪として実施してきた (図 1)。

研究活動は、その内容から、第 1 期 (1997 ~ 2004 (平成 9 ~ 16))、第 2 期 (2005 ~ 2010 (平成 17 ~ 22))、第 3 期 (2011 ~ 2015 (平成 23 ~ 27))、第 4 期 (2016 (平成 28) ~) に分けられる。第 1 期においては、文科省・日米科学技術協力事業 (核融合分野) の一環として、核融合炉ブランケット構造材料とし

での「低放射化フェライト鋼」の開発研究を進め、特に材料挙動に及ぼす核変換ヘリウムの影響に関しては、イオン照射（木村、笠田）と計算機シミュレーション（森下）による相補的・系統的な実験を通じて、当該研究分野において国際的な牽引の役割を果たした。また、経産省・革新的実用原子力技術開発提案公募事業を実施した。第2期においては、文科省・原子力システム研究開発提案公募研究事業において酸化物分散強化（ODS）鋼の開発研究が採用され、従来鋼に比べ、高温高強度、耐食性および耐照射性に優れた「スーパー ODS 鋼」を開発した。当該鋼では、ナノスケールの酸化物粒子を分散させることで高性能高機能が付与され、その発現機構解明のための格子欠陥基礎研究は国際的にも高い評価を受け、米国や欧州で開催の国際会議において数多くの招待講演を行った。第3期は、イオン加速器を用いた核融合炉や原子炉の高効率安全利用に関する実証実験（木村、藪内）および計算機による高経年構造材料の機能劣化発現シミュレーション実験（森下）を中心に活動し、文科省・事故耐性燃料被覆管 Accident Tolerant Fuel (ATF) cladding の開発研究や経産省・原子力の基盤技術分野強化プログラム「原子炉圧力容器容器鋼の照射脆化予測モデリング研究」へと展開した。

当該分野では、大型の省庁公募事業で獲得した最新鋭の実験設備（Multi-Scale Testing and Evaluation Research Facility : MUSTER (図2)) を活用し、文科省公募事業・先端施設共用促進事業に取り組み、民間企業を含む他の研究機関との先端施設の共用事業を推し進めた。実施期間中、延べ 250 件以上の共同研究を遂行した。また、研究所が実施したゼロエミッション・エネルギー共同利用・共同研究に積極的に参画し、国内の大学機関をはじめ米国、独国、英国、中国、韓国の原子力に係る国研や大学との共同研究を推進し、毎年 30 件以上の基盤材料関連の研究課題が採択された。これらの活動に関連し、外国人博士研究員（14 名）の雇用、外国人博士課程留学生（13 名）の受け入れを行った。また、外部競争的資金を用いて特定助教 1 名（張 哲先）および特任助教 6 名（岩田憲幸、LIU Tong, LEE Sanggyu, DOU Peng, HAN Wentuo, GAO Jin）を採用した。

## ○マルチスケール材料・システム統合研究の推進と核融合炉・原子炉システムへの適用 (構造材料の保全と革新的材料の開発を目指した格子欠陥物理・化学の探求と材料寿命評価研究)

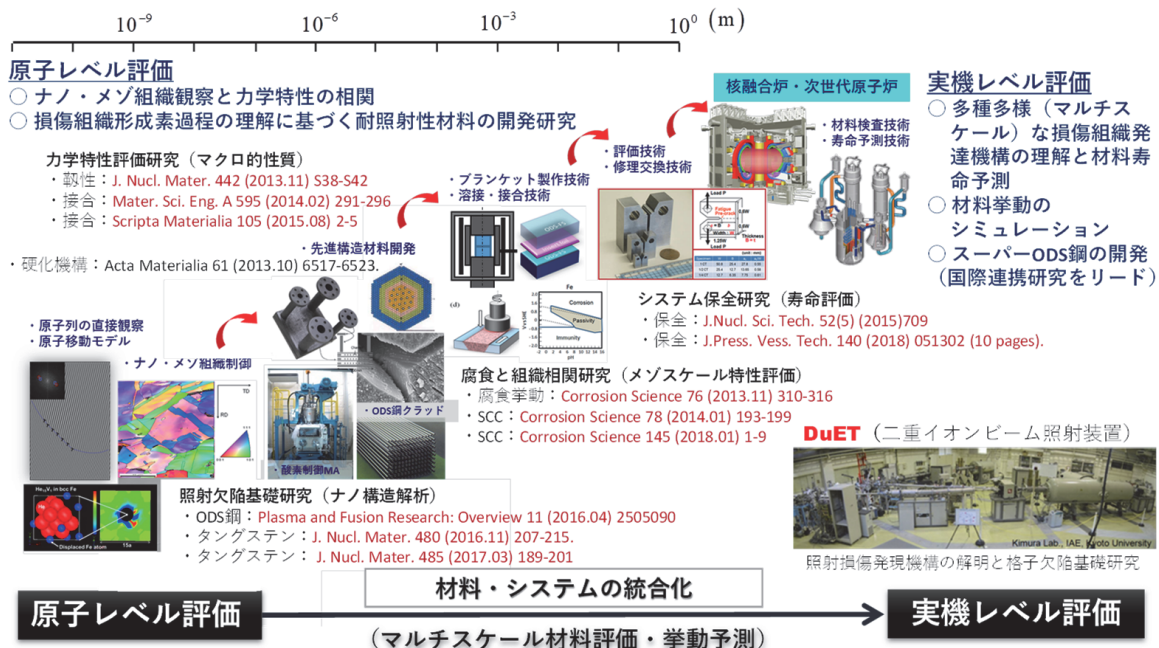


図1 原子炉材料の保全と革新的原子炉構造材料の開発に向けたエネルギー基盤材料の照射損傷形成機構解明のための材料挙動マルチスケール・マルチフィジクス解析手法

第4期となる近年は、木村教授が定年退職し、森下准教授を中心に原子力システムとそれを構成する基

盤材料の老朽化現象を物理的・化学的・力学的に解明し、それらを予測、防止するための研究を行っている。具体的には、材料組織を原子や原子クラスターのナノレベルからシステムのメートルレベルで評価し、それらの変化をピコ秒から年単位で議論する、「マルチスケール・マルチフィジクス計算機シミュレーション法」の開発研究を行っている。また、藪内助教は、先進材料として期待されている「高エントロピー合金 (High-entropy alloy)」の基礎研究へと展開し、イオン加速器を用いて耐照射性材料における照射損傷形成の律速過程の抽出と損傷機構解明のための実証実験および理論計算を実施している。

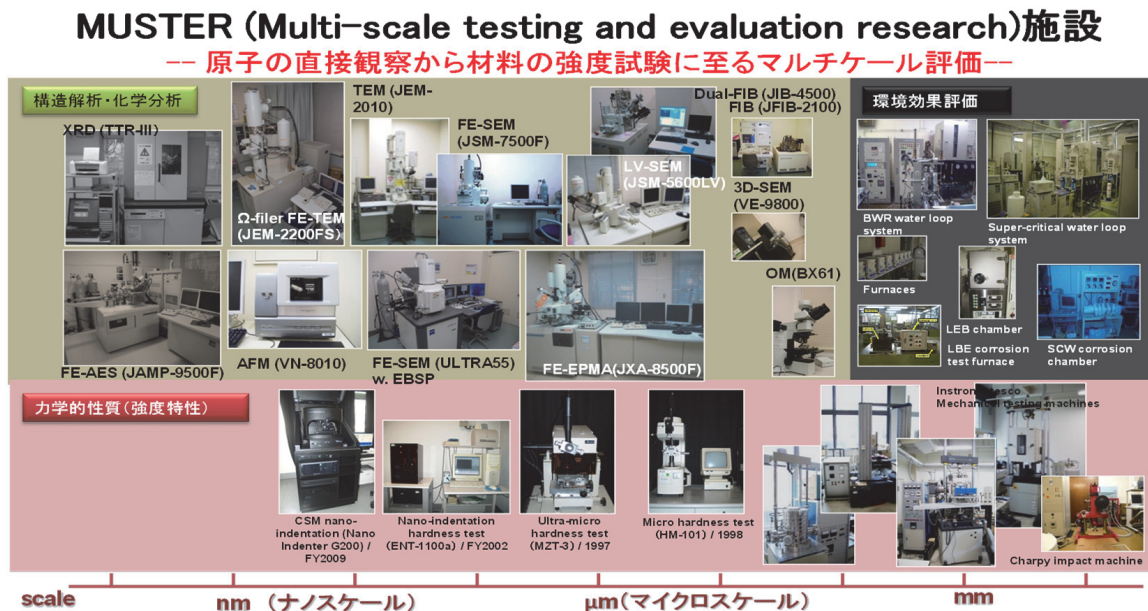
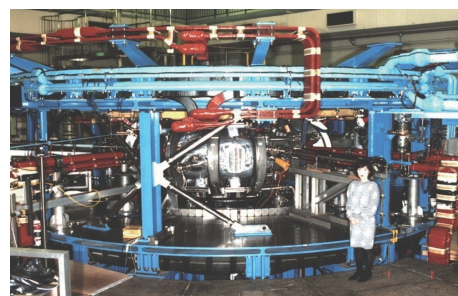


図2 共同利用・共同研究 (ゼロエミッションエネルギー) および民間との共同研究 (先端研究施設共用促進事業) に供しているマルチスケール試験・評価研究施設 (MUSTER 施設)

## 8. エネルギー機能変換研究部門 複合系プラズマ研究分野 (1996 (平成 8) 年度～) (2019 (平成 31) 年 1 月にエネルギー生成研究部門に配置換え)

### 研究分野の成り立ち、人員

当分野は、研究所の発足 (1996 (平成 8) 年) と同時に開始された附属エネルギー複合機構研究センターのセンター基幹装置 (Heliotron J) のプロジェクトの計画立案、物理・工学設計、装置建設、プラズマ実験開始に至る全工程 (約 4 年間) を成功裡に完成させるための中核的役割を担った。実験開始後の研究目標は「閉じ込め改善を実現する優れた磁場構造の探究と Heliotron J 実験を基礎とするヘリオトロン核融合の炉心プラズマ研究」であった。前身のヘリオトロン核融合研究センターの研究分野を担当した教授 佐野史道、准教授 花谷 清、助教 岡田浩之が引き続き当研究分野を担当した。2005 (平成 17) 年、岡田浩之が昇任し、センター附属研究分野准教授として転出した。2008 (平成 29) 年、山本 聡が助教に任用され、2012 (平成 24) 年、花谷 清 准教授が定年退職した後、2013 (平成 25) 年に門 信一郎が准教授に任用され、2015 (平成 27) 年、佐野史道 教授が定年退職した。当研究分野は、2019 (平成 31) 年にエネルギー生成研究部門に配置換えとなった。



Heliotron J 実験装置

## 研究内容、研究成果、導入装置

京都大学において独自に創案されたヘリオトロン磁場（1958（昭和33）年）の1つの配位として、「ヘリカル軸ヘリオトロン」のプラズマ実験装置 Heliotron J を新規に建設し、コンパクト化・高ベータ化に向けたヘリカル系閉じ込め磁場の最適化・高性能化の実験的、理論的研究を推進した。分野研究だけでなく、附属エネルギー複合機構研究センターの基幹装置研究として、また研究所のゼロエミッションエネルギー研究拠点活動や核融合科学研究所の大型ヘリカル実験装置（LHD）との双方型共同研究として、さらに国際共同研究拠点ネットワーク活動の1つとして展開し、トラスプラズマ閉じ込めの総合的理解に寄与した。主たる成果は以下のとおりである。まず、Heliotron J 実験によって、ヘリカル軸ヘリオトロンには、無電流制御（ブートストラップ電流・プラズマ電流極小化）、乱流輸送制御（Stellarator H-mode の発現）および MHD 安定制御（周辺磁気井戸安定化）について、従来の平面磁気軸ヘリカル・ヘリオトロン（Heliotron E など）が持たない、これを越える可能性がある閉じ込め性能が備わっていることを、概念開発段階の実験ではあるが、実験的に検証できた。これは世界で唯一の取り組みの成果である。特にバンピー磁場による新古典輸送（ブートストラップ電流や高エネルギー粒子閉じ込めなど）の制御の実証は重要である。実験により得られた高温・高密度プラズマのパラメータは、電子サイクロトロン共鳴加熱（ECH）実験、中性粒子ビーム入射（NBI）加熱実験、イオンサイクロトロン共鳴加熱（ICH）実験等において、最適磁場制御の向上により、電子温度  $T_e(0) < 4.0$  keV, イオン温度  $T_i(0) < 0.5$  keV, 電子密度  $n_e(0) < 1.3 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$ , 体積平均ベータ値  $\langle \beta \rangle < 1\%$  等の優れた成果を得て、当初目標を凌駕し、つぎの原理検証実験に進み得る段階に到達した。実験研究支援のため、NBI 加熱効率向上のためのモンテカルロ・シミュレーション研究、また  $\delta f$  モンテカルロ法を用いた無衝突領域における非軸対称系のプラズマ輸送係数の高精度導出法の開発も行われた。乱流輸送解析では、L モードプラズマに対する国際ステラレータ比例則（ISS04）導出の基盤データとして国際共同研究に大きな貢献を果たした。さらに MHD 研究では、周辺磁気井戸による良好な巨視的 MHD 安定性が実験的に確認され、高速イオン励起 MHD 不安定性について、損失高速イオンプローブの開発によって、その詳細な挙動を実験的に解明した。以下、分光計測と MHD 計測で見出された新たな成果を詳述する。

当研究分野では、分光を用いたプラズマ計測の研究も進めてきた。近赤外分光は、水素やヘリウムの重要な輝線が存在し、かつ不純物による輝線の混濁が少ないこと、紫外域では減衰が大きい光ファイバーの利用が可能であるといったことが挙げられる。さらにこの領域は、制動放射の強度が小さく、かつ 1400 K から 3200 K に対する黒体放射のピーク値を含むため、真空容器などからの黒体放射のスペクトルへの感度が高い。Heliotron J において近赤外の簡易分光器を導入して近赤外領域のスペクトルを測定し、輝線強度は可視に比べ弱いものの、固体ペレット入射では細い（25 $\mu\text{m}$ ）スリットを用いた場合でも水素原子のパッシュン系列を三本同定した。ヘリウム放電では、輝線強度比の測定に使える輝線数を増やせることを明らかにした。さらに、電子サイクロトロン加熱による比較的低密度のプラズマにおいては、真空容器壁に高エネルギー電子の局所的な衝突によるものと推定されるホットスポットの発する連続スペクトルを初めて観測し、2000 K 以上の温度に上昇していることを明らかにした。

プラズマ閉じ込め領域から損失する高速イオンの速度ベクトルや損失量を直接計測し、損失の原因である高速イオン励起 MHD 不安定性との相関を調べることで、高速イオンと MHD 不安定性間の共鳴的相互作用を実験的に調べた。Heliotron J では NBI 実験時に高速イオン励起 MHD 不安定性が観測されており、それらによる高速イオン損失が予測されている。ファラデーカップ型高速損失イオンプローブ（FLIP）により、高速イオン励起 MHD 不安定性の発生・消滅と同期する高速イオン損失を観測した。損失高速イオンは、そのエネルギーが NBI 入射エネルギーと同程度であり、数値解析との比較から同方向に周回するイオンであることがわかった。また、損失した高速イオン量は高速イオン励起 MHD 不安定性の揺動強度と関係していることがわかった。さらに、詳細を調べる目的で新たにシンチレータ型損失イオンプローブ（SLIP）SLIP を導入した。SLIP はシンチレーション光を計測することで高速イオンの測定を行うもので、CCD カメラにより高速度ベクトル分解能で計測可能であるとともに、光電子増倍管も用いることで、

高速イオンを高時間分解能で計測することが可能である。SLIPを用いた実験の結果、FLIPでは困難であったより詳細な損失高速イオンの速度ベクトルやMHD不安定性の周波数(～100kHz)と高い相関を持つ損失高速イオン揺動を観測した。SLIPで捉えた粒子は遷移また捕捉イオンであったが、閉じ込め磁場とMHD不安定性の電場揺動によるExBドリフトによりそれらが損失したことが推定された。

### 9-1. エネルギー利用過程研究部門 複合化学過程研究分野 (1996(平成8)～2012(平成24)年度)

#### 研究分野の成り立ち、人員

1996年5月11日の改組において発足したエネルギー利用過程研究部門の4研究分野のうちの一つとして複合化学過程研究分野は発足した。当該分野には、尾形幸生 教授(1996(平成8)年5月11日～2013(平成25)年3月31日定年退職)、作花哲夫 助手(1996(平成8)年5月11日～1998(平成10)年3月31日、1998(平成10)年4月1日に助教授に昇任、2012(平成24)年9月1日に工学研究科物質エネルギー化学専攻教授に昇任)、Didier Hamm 助手(2000(平成12)年9月1日～2004(平成16)年8月31日、2004(平成16)年9月1日産自動車(株)に勤務)、深見一弘 助教(2006(平成18)年12月1日～2013(平成25)年9月30日、2013(平成25)年10月1日に工学研究科材料工学専攻准教授に昇任)、堀田幸吉 助手(原子エネルギー研究所1994(平成6)年11月1日～1996(平成8)年3月31日に定年退職)が在籍し、半導体電気化学にもとづく多孔質シリコンの研究、水中レーザーアブレーションとレーザー誘起ブレードダウン分光法の研究を行った。

#### 研究内容、研究成果、導入装置

##### (1) 多孔質シリコンに関する研究

シリコンは従来発光しないとされてきたが、多孔質化によりナノ構造を形成させることでフォトルミネセンスやエレクトロルミネセンスを示す発光素子となる。また、生成する構造が多様であることや、作製における制御性の良さのため、さまざまな応用が期待される材料である。多孔質シリコンは、フッ酸水溶液中で電気分解することによって得られる。尾形とHammは多孔質シリコンの生成メカニズムを詳細に調べ、フッ酸濃度が均一溶解と多孔質化の進展に大きく影響すること、均一溶解のときは表面に酸素やフッ素が多く存在するのに対して多孔質化では表面が水素終端されることを示し、表面の水素終端がナノ多孔質構造形成に重要な役割を果たしていることを明らかにした<sup>1)</sup>。

多孔質シリコンに金属を析出させると、ナノ構造界面を持つ複合材料を作ることができる。尾形と深見は多孔質シリコンへの金属析出について詳細に研究した。金属の置換析出のメカニズムを、銅などいくつかの金属元素について詳細に調べ、シリコンの酸化と同時に金属が析出する局部電池モデルで説明できることを明らかにした<sup>2)</sup>。また、マクロ多孔質シリコンを鋳型として電析することにより、金属のマクロ構造を作製することにも成功した(図1)<sup>3)</sup>。さらに、電析によるメソ孔充填メカニズムのモデル化も行った<sup>4)</sup>。

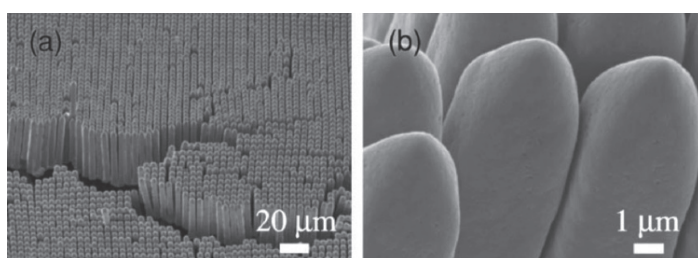


図1 マクロ多孔質シリコンを鋳型とした電析で形成された銅構造。(文献(3)より)。

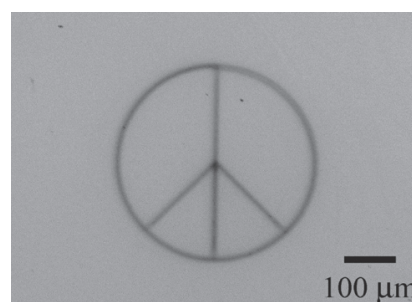


図2 レーザーアシスト電析による多孔質シリコン上への銅細線による描画(文献(5)より)。

暗時に置換析出が起こらない条件のもと、光を照射したところだけ銅を電析させることができることを見出し、集光したレーザー光を使うことで金属の細線を p 型多孔質シリコン表面に描けることを示した(図 2)<sup>5)</sup>。なお、このような現象が起こるメカニズムとして、p 型半導体と溶液の界面におけるショットキー障壁による整流効果を提唱した<sup>5)</sup>。

## (2) 水中レーザー誘起ブレイクダウン分光法に関する研究

レーザー誘起ブレイクダウン分光法は、パルスレーザー照射によって生成するプラズマの発光スペクトルから、ターゲットの元素を定性・定量分析する方法である。輝線スペクトルが得られるようなプラズマを水中に生成させることができれば、水中その場多元素分析が可能となることから、海底資源探査や水圏環境モニタリングなどへの応用が期待されている。作花は液中に静置した固体ターゲットをパルスレーザーで照射することにより生成するプラズマには、ターゲット由来の元素だけでなく、液由来の元素が存在し、それらで構成される二原子分子からの強い発光が観察されることを見出した<sup>6)</sup>。また、水中の銅をターゲットとし、パルス幅を変えて水中 LIBS を行なうとパルス幅が長くなるにしたがって銅原子の発光スペクトル線の幅が狭くなり、100 ns 程度の長いパルスの照射ではプラズマ分光分析として十分先鋭な線スペクトルが得られることを見出した<sup>7)</sup>。このようなロングパルス照射では、パルス照射途中で気泡に内包されたプラズマが生成し、レーザーによってプラズマがさらに直接加熱されることがスペクトルの先鋭化の原因であることをつきとめた<sup>8)</sup>。ロングパルス照射では、スペクトル測定のタイミングでの気泡の大きさが水圧に依存せず、高静水圧環境下でも発光スペクトルの線幅が大きく広がらないことが示され、深海底の熱水鉱床岩石の現場その場分析の実証試験に応用された<sup>9)</sup>。

- 1) D. Hamm, J. Sasano, T. Sakka, Y. H. Ogata, J. Electrochem. Soc., **149**, C331-C337 (2002).
- 2) F. A. Harraz, T. Tsuboi, J. Sasano, T. Sakka, Y. H. Ogata, J. Electrochem. Soc. **149**, C456-C463 (2002).
- 3) K. Kobayashi, F. A. Harraz, S. Izuo, T. Sakka, Y. H. Ogata, J. Electrochem. Soc. **153**, C218-C222 (2006).
- 4) K. Fukami, M. L. Chourou, T. Sakka, Y. H. Ogata, Phys. Status Solidi A **208**, 1407-1411 (2011).
- 5) J. Sasano, P. Schmuki, T. Sakka, Y. H. Ogata, Electrochem. Sol. St. Lett. **7**, G98-G101 (2004).
- 6) T. Sakka, S. Iwanaga, Y. H. Ogata, A. Matsunawa, T. Takemoto, J. Chem. Phys. **112**, 8645-8653 (2000).
- 7) T. Sakka, H. Oguchi, S. Masai, K. Hirata, Y. H. Ogata, M. Saeki, H. Ohba, Appl. Phys. Lett. **88**, 061120 (2006).
- 8) T. Sakka, A. Tamura, A. Matsumoto, K. Fukami, N. Nishi, B. Thornton, Spectrochim. Acta B **97**, 94-98 (2014).
- 9) B. Thornton, T. Takahashi, T. Sato, T. Sakka, A. Tamura, A. Matsumoto, T. Nozaki, T. Ohki, K. Ohki, Deep-Sea Research I **95**, 20-36 (2015).

## 9-2. エネルギー利用過程研究部門 複合化学過程研究分野 (2015 (平成 27) 年度～)

### 研究分野の成り立ち、人員

2015 (平成 27) 年 1 月 1 日に野平俊之 教授が複合化学過程研究分野に着任した。当該分野には、小瀧 努 准教授 (2013 (平成 25) 年 4 月 1 日～2022 (令和 4) 年 3 月 31 日定年退職)、楊 肖 特定助教 (2015 (平成 27) 年 1 月 1 日～2016 (平成 28) 年 5 月 31 日、2016 (平成 28) 年 6 月 1 日東京大学大学院新領域創成科学研究科助教に転任)、山本貴之 助教 (2017 (平成 29) 年 4 月 1 日～)、川口健次 特定准教授 (2020 (令和 2) 年 10 月 1 日～)、法川勇太郎 助教 (2022 (令和 4) 年 4 月 1 日～) が在籍し、今日に至っている。



研究内容、研究成果、導入装置

(1) 溶融塩電解を用いた新規太陽電池用シリコン製造法の開発

結晶系シリコン太陽電池は、高効率、高耐久性、無害、豊富な資源量といった特長を有することから、現在に至るまで最も普及している太陽電池であり、今後もさらなる大量普及が期待されている。当該分野では、「溶融塩電解を用いて高純度シリカ (SiO<sub>2</sub>) から高純度シリコンを製造する方法」、および「溶融塩電解を用いて安価な基板上に高純度シリコン膜をめっきする方法」を研究した。

溶融 CaCl<sub>2</sub> 中において固体 SiO<sub>2</sub> を効率的に電解還元する方法を検討し、SiO<sub>2</sub> 粉末に予め Si 粉末を添加することで、電解還元が効率的に進行することを見出した。また、図1に示すように、電解還元で得られた Si 粉末を浮遊帯溶融法により Si インゴットとし、さらに切断することで Si ウェハとした<sup>1)</sup>。この Si ウェハについては、純度分析、およびキャリアライフタイム測定を行い、半導体特性を評価した。さらに、従来の固体カソードではなく、液体 Zn カソードを用いる新たな電解法を提案した<sup>2)</sup>。実際に電解還元可能であることを実験的に実証するとともに、平衡分配計算により、Si-Zn 合金から Si が析出する際に高い不純物除去効果が得られることを示した。溶融 KF-KCl 中において、Si 源として SiCl<sub>4</sub> を用いる新しい Si 膜めっき法を提案・実証した<sup>3)</sup>。

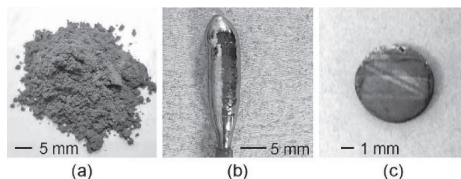


図1 (a) 溶融 CaCl<sub>2</sub> 中で SiO<sub>2</sub> を電解還元して得られた Si 粉末。(b) 浮遊帯溶融法により Si 粉末から作製された Si インゴット。(c) Si インゴットを切断して得られた Si ウェハ。

(2) 溶融塩電解を用いたチタンめっき法の開発

チタンやチタン合金は高い耐腐食性や耐熱性、比強度といった優れた特性を有し、航空機や化学プラントなどに使われている。しかし、生産コストが高く、製錬や加工が難しいことが広範な利用の妨げとなっている。当該分野では複雑な形状の基板にでも均一にチタンを成膜できる方法として、溶融 LiF-LiCl や溶融 KF-KCl 中での電解めっき法を開発した<sup>4)</sup>。

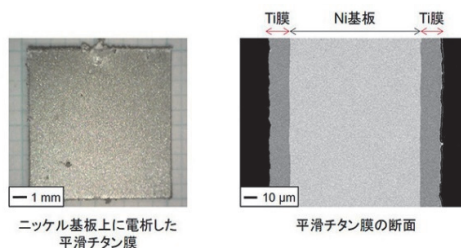


図2 溶融 LiF-LiCl 中で電析させた平滑チタン膜の写真 (左) と断面 SEM 像 (右)。

(3) イオン液体を用いた安全性の高いナトリウム二次電池およびカリウム二次電池の開発

太陽光発電や風力発電は間欠性のエネルギーであるため、大量導入するためには電力貯蔵設備の併設が必要となる。その候補として期待されてきたリチウムイオン電池は、電解液に可燃性の有機溶媒が用いられているため安全性に課題があり、また、リチウム資源の偏在性の問題もある。当該分野では、難揮発性・難燃性であるイオン液体を用いることで安全性が高く、元素戦略的に有利な Na および K を用いた二次電池を研究した。

Na 二次電池用イオン液体として、Na [FSA] - [C<sub>3</sub>C<sub>1</sub>pyrr] [FSA] (FSA = bis (fluorosulfonyl) amide; C<sub>3</sub>C<sub>1</sub>pyrr = *N*-methyl-*N*-propylpyrrolidinium) を開発し、多くの負極活物質、および正極活物質の充放電特性を評価した。また、ナトリウムよりも高起電力の電池が構築可能なカリウム二次電池用の新たなイオン液体 K [FSA] - [C<sub>3</sub>C<sub>1</sub>pyrr] [FSA] を開発し、状態図を作成するとともに、基本物性を明らかにした (図3)<sup>6)</sup>。さらに、このイオン液体中におけるカ

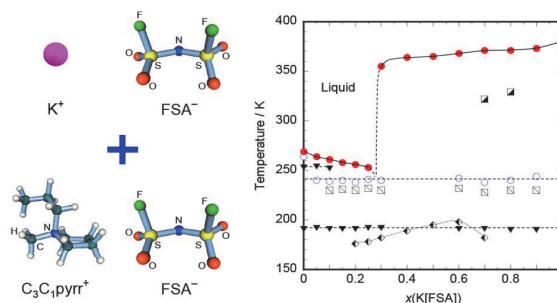


図3 イオン液体を構成するカチオンとアニオン (左図)、K [FSA] - [C<sub>3</sub>C<sub>1</sub>pyrr] [FSA] 二元系状態図 (右図)。

リウム二次電池用グラファイト負極の充放電挙動も明らかにした<sup>7)</sup>。

#### (4) イオン液体を利用したバイオマスからのバイオエタノール高効率生産システムの開発

セルロース系バイオマスから糖類を生成させる場合、イオン液体前処理により収率が向上することが知られているが、イオン液体は酵母を含む微生物の生育に悪影響を及ぼすことも知られている。当該分野では、イオン液体に対する耐性を向上させた酵母変異株の作製とそれを用いた高効率バイオエタノール生産システムの開発に取り組んだ。適応的実験室進化および紫外線照射によって、イオン液体耐性酵母の開発に成功し、イオン液体存在下でのエタノール発酵効率を向上させることに成功した<sup>8)</sup>。

- 1) M. Zhong, K. Yasuda, T. Homma, T. Nohira, *Electrochemistry*, **86**, 77 (2018).
- 2) K. Yasuda, T. Shimao, R. Hagiwara, T. Homma, T. Nohira, *J. Electrochem. Soc.*, **164**, H5049 (2017).
- 3) K. Yasuda, K. Maeda, R. Hagiwara, T. Homma, T. Nohira, *J. Electrochem. Soc.*, **164**, D67 (2017).
- 4) Y. Norikawa, K. Yasuda, T. Nohira, *J. Electrochem. Soc.*, **166**, D755 (2019).
- 5) Y. Norikawa, K. Yasuda, T. Nohira, *J. Electrochem. Soc.*, **167**, 082502 (2020).
- 6) T. Yamamoto, K. Matsumoto, R. Hagiwara, T. Nohira, *J. Phys. Chem. C*, **121**, 18450 (2017).
- 7) T. Yamamoto, A. Yadav, T. Nohira, *J. Electrochem. Soc.*, **169**, 050507 (2022).
- 8) T. Kodaki, T. Kishiro, Y. Sugie, T. Nohira, *J. Jpn. Inst. Energy* **101**, 83 (2022).

### 10-1. エネルギー利用過程研究部門 分子集合体設計研究分野 (1996 (平成 8) ~ 2008 (平成 20) 年度)

#### 研究分野の成り立ち、人員

有機薄膜太陽電池 (OPV) の我が国における最大級の研究拠点として、NEDO-OPV プロジェクト (2 期 8 年)、CREST 研究 (5 年) を主導した。また、2002 (平成 14) 年に始まった 21COE 拠点「環境調和型エネルギーシステムの構築と教育拠点形成」事業では太陽エネルギーの総合的利用分野の主担当として、タイ始め東南アジアを中心に多数の留学生を受け入れ、13 名を超えるエネルギー科学博士を輩出した。また、2008 (平成 20) 年には文科省の ASEAN COST+3 (NEFSE) を京大で主催するとともに、10 年に亘り、SEE Forum を ASEAN・印日各国で開催した。

有機薄膜太陽電池開発のキーとなる、電子輸送層、ホール輸送層、ドナー分子、アクセプター分子、透明基板等の新材料を新たに開発し、世界最大級のフラウンシュテットの化合物ライブラリーを調製評価した。素子製造に関してはマイクロ波アニーリング法、ミスト法、エレクトロスピンニング法、など画期的なナノレベル薄膜形成技術を開発し特許化した。また素子評価手法として Photo-CELIV など in-situ PV 特性評価システムを世界に先駆けて開発し、長期的な素子特性の解析を可能とした。これらの技術により、OPV で 2004 (平成 16) 年 4%、2010 (平成 22) 年には 10% を超える変換効率を初め世界に先駆けて実現した。研究成果は 100 報を超える原著論文および書籍として出版されている。

設立当初の本研究分野は、化学工学的な観点から有機無機の集合体の物質分離等に関する基礎研究を主体としてきたが、1999 (平成 11) 年に原田 誠 教授が定年退職した後、2000 (平成 12) 年に吉川 暹 教授が着任し、2002 (平成 14) 年には鈴木和義 助教を、2006 (平成 18) 年には佐川 尚 准教授を迎えた。また、客員教授として 2002 (平成 14) 年には上原 赫氏、2008 (平成 20) 年には小夫家芳朗氏を迎え、OPV、超分子研究分野を強化した。2009 (平成 21) 年、吉川 暹 教授の定年退職に伴い次世代太陽電池拠点施設がエネ研内に創生されたことから、2009 (平成 21) 年以降は吉川 暹 特任教授を中心として NEDO、CREST 等の OPV 研究プロジェクトの推進に当たった。

研究内容、研究成果、導入装置

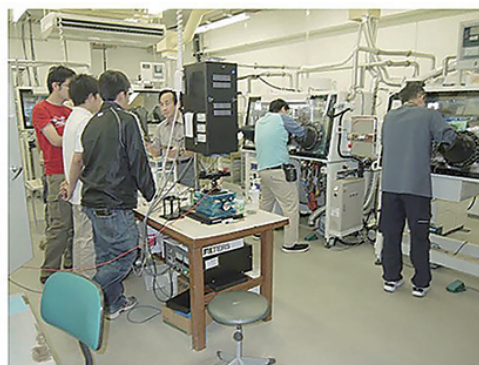
2000（平成12）年、我が国における次世代太陽電池研究の拠点形成を目指して、有機太陽電池研究をスタートさせ研究装置を1から整備するとともに、研究人材を広く海外に求め最大30余名の研究グループを形成し各種 OPV 関連国プロジェクトを実施した。

当時の太陽電池は、結晶シリコン、アモルファスシリコンの高効率化、製造技術が研究の中心であったが、これらに替わる次世代素子の開発を目標とした。有機太陽電池としては1991（平成3）年以來、色素増感太陽電池が広く研究開発が進められたが、この型のセルは湿式であり、広範な利用には問題もあることから、無機半導体に替わる有機半導体を直接光電変換材料として用いた有機薄膜太陽電池研究に焦点を絞り研究資源を集中した。2009年以降は新たな有機系太陽電池として、OPV コンソメンバーである宮坂力氏によりペロブスカイト型太陽電池（PVK）が新たに開発されたことから、当グループでもこの研究をスタートし、11.7%という当時としてはトップレベルの成果を上げるとともに、研究室の優位技術である Ti 等の金属を基板とする PVK を新たに開発した。

開始当初、OPV の変換効率は1%未満で世界的にも殆ど注目されていなかったが、SQ-L 則から有機半導体系においても30%を超える光電変換効率は可能であり、超階層ナノ構造素子によるバリスティックキャリア輸送に関するいくつかの仮説を立て研究を進めた。まず活性層からのキャリア抽出を効率よく行うために電子輸送層、ホール輸送層の設計が重要との確信を得て、それまでホールブロック層として用いられていた Li 塩に替わる新たな材料を探索した。これは絶縁体で5ナノ以下の薄膜を均一に塗布する必要があり、デバイス作成は大変困難であった。そこで、DSC において電子輸送層として用いられる、



図1 Photo-CELIV 実験装置：光電子キャリアの経時的測定を実現



- 左上 有機半導体合成研究室：我が国最大級のフラーレン誘導体化合物ライブラリーを調製評価
- 右上 OPV 評価装置類：3連グローブボックスで希ガス中での薄膜・素子作成、特性評価を実現
- 左下 本研究室からの出版物例：100報を越える原著論文・著書を発表した
- 右下 きはだホールで有機太陽電池シンポジウムを毎年開催（OPV コンソ主催）

TiO<sub>2</sub>をホールブロック層として用いることにより、OPVでは世界初となる4.1%の効率を2003（平成15）年に実現した。

光電変換特性の評価は、どうしても外気に触れることから新たな手法の開発が必要であった。そこで、photo-CELIV装置を我が国で初めて開発し、in situでの経時的なキャリア生成・移動度測定を可能とし、有機薄膜太陽電池に応用し、バルクヘテロ層のモルフォロジー依存性を明らかにした。

また、高分子セルの作成方法として、従来のスピコート法では大面積化やセルの3D構造化への対応が取れないことや、材料効率に課題があるなどの問題があり、これを解決するために超音波噴霧ミストデポジション法を新たに開発し、これにより素子の面積化を可能とした。

光電子機能材料はOPVのみならず光触媒としても重要であり、ナノロッド、エレクトロスピンニング法などの新たな1D材料作成法を開発し、活性向上を実現した。

## 10-2. エネルギー利用過程研究部門 分子ナノ工学研究分野（2010（平成22）年度～） （2012（平成24）年4月「分子集合体設計研究分野」から名称変更）

### 研究分野の成り立ち、人員

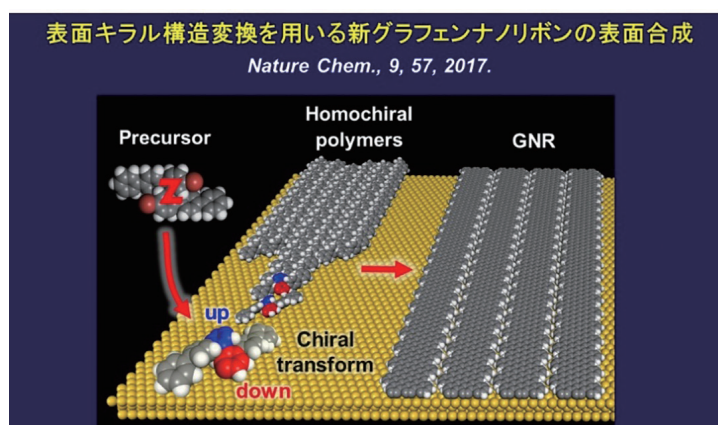
2010（平成22）年4月1日に坂口浩司教授が着任し、分子ナノ工学研究分野が発足した。当該分野には、小島崇寛 助教（2013（平成25）年4月1日～）、中江隆博 助教（2014（平成26）年4月1日～2018（平成28）年3月31日）、2016（平成28）年4月1日（株）KRIに勤務）、信末俊平 助教（2018（平成30）年6月1日～）が在籍し、今日に至っている。

### 研究内容、研究成果、導入装置

当該分野では、自然のエネルギー変換システムの原理である自己組織化、分子認識、反応拡散などに学び、表面科学、合成化学、材料科学を融合した新しい高効率エネルギー変換材料の合成や新しい合成手法を開発することを目的とした研究を行ってきた。研究所の重点複合領域研究「ソフトエネルギー」、文科省特別経費プロジェクト「革新的高効率太陽光利用」と「スマートマテリアル」が掲げるロスのない高効率エネルギー材料開発の目標に沿った研究である。以下に主要な研究内容および成果を記す。

#### (1) 表面キラル構造変換を用いる新グラフェンナノリボンの表面合成

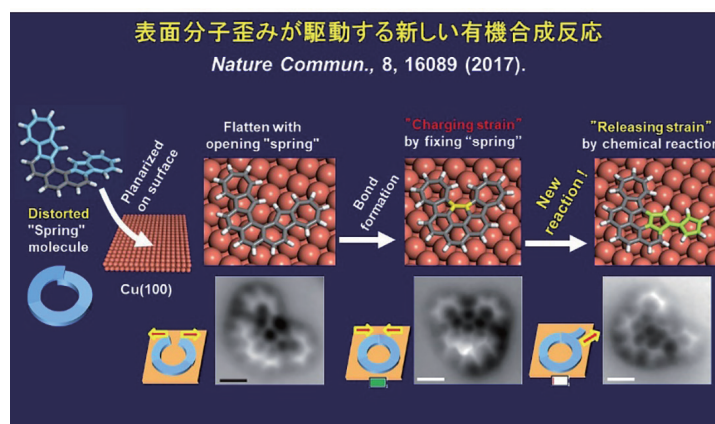
従来、固体表面触媒作用とは、分子と金属表面との強い電子的相互作用を利用して原料の分解と化学反応を行う“ハード”機構が定説であった。当該分野では、従来の定説を覆す「生物模倣触媒」という生物触媒（酵素）に類似した“ソフト”な機構に基づく従来にはない新しい表面触媒作用を発見し、これを用いたグラフェンナノリボン合成法を確立した。具体的には、柔軟性と剛直性を持つ様に分子設計・有機合成



したZ型前駆体を、開発した2ゾーン化学気相成長法を用いて合成すると、Z型前駆体がAu(111)表面上で非対称(表面キラル)構造に変形し、表面上で頭尾的に自己組織化しホモキラル重合により脱水素反応に最適の形である「平面型ホモキラル高分子構造」を形成し、著しく高い効率で新種アセン型グラフェンナノリボン(ジグザグ型と同じ成長軸を持つ)に変換することに成功した。当該分野が発見した新しい表面触媒作用は、キラル、分子変形、自己組織化、高効率化学反応、選択的成長等の生物触媒に見られる概念を人工的に実現した初めての例である。この手法により合成したアセン型グラフェンナノリボンは成長した金属基板から単離可能であり、優れた半導体的性質を示すことを明らかにした<sup>1,2)</sup>。

## (2) 表面分子歪みが駆動する新しい有機合成反応

有機ELディスプレイ等の薄くて曲がるデバイスを構成する半導体材料である機能性有機分子は、従来、フラスコ中での有機合成反応を用いて作られてきた。しかし、超伝導などの優れた特性を示すある種の機能性有機分子は、有機合成に大きな活性化エネルギーを必要とし数百度の高温でも合成が困難であり、新しい原理に基づく合成法が望まれていた。当該分野では、ねじれた“ばね”型有機分子を設計し、“ばね”型有機分子をCu(100)金属表面で歪ませることで高エネルギー状態を作り出すことにより高い活性化エネルギーを乗り越え、従来法では合成困難であった機能性材料フルバレン骨格物質を著しく高い原子効率で合成する新しい炭素骨格組み換え反応の開発に成功した<sup>3)</sup>。



1) H. Sakaguchi, T. Nakae, *et al.*, *Adv. Mater.*, 26, 4134 2014.

2) H. Sakaguchi, T. Nakae, T. Kojima, *et al.*, *Nat. Chem.*, 9, 57 2017.

3) A. Shiotari, T. Nakae, H. Sakaguchi, *et al.*, *Nat. Commun.*, 8, 16089 2017.

## 11. エネルギー利用過程研究部門 生物機能化学研究分野 (2006(平成18)年4月「機能性先進材料研究分野」から名称変更)

### 研究分野の成り立ち、人員

1996(平成8)年5月の研究所改組により、旧原子エネルギー研究所放射線応用工学研究部門から機能性先進材料研究分野が発足した。発足後、1996(平成8)年に大久保捷敏が熊本大学から教授として着任した。平成17年に大久保教授が定年退職するまでの間、1997(平成9)年から2002(平成14)年まで小瀧 努が助教授(生体エネルギー研究分野へ配置換)、2002(平成14)年から森井 孝が講師、発足から2000(平成12)年まで水谷保男が助手、2000(平成12)年から佐川 尚が助手を務めた。2005(平成17)年に森井 孝 講師が教授に昇任し、分野名が生物機能科学研究分野に改名された。改名後は、佐川 尚が2006(平成18)年に分子集合体設計研究分野へ配置換となり、2006(平成18)年から2007(平成19)年

に杉本健二が助教、2007（平成 19）年から 2010（平成 22）年に田井中一貴が助教を務めた。また、2010（平成 22）年から研究分野名が生物機能化学研究分野に変更され、同年から中田栄司が講師（2017（平成 29）年に准教授に昇任し現在に至る）、2012（平成 24）年から 2021（令和 3）年 5 月まで仲野 瞬が助教、2019（令和元）年から 2021（令和 3）年 3 月まで Huyen Dinh が特定助教、2022（令和 4）年 4 月から Lin Peng が助教を務めた。

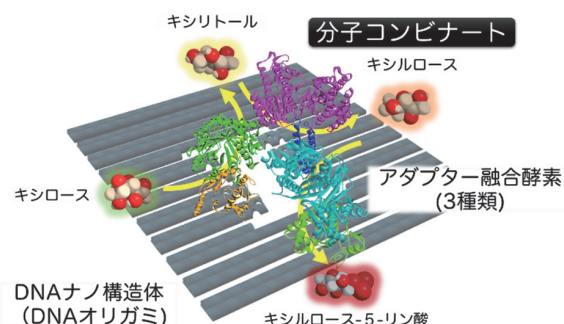
## 研究内容、研究成果、導入装置

機能性先進材料研究分野においては、人工光合成システムによる二酸化炭素のメタノールなどへのクリーン燃料化の研究を進めてきた。二酸化炭素からメタノールを生産する光触媒や進化酵素の研究をおこない、ナノサイズの超微粒子半導体  $\text{TiO}_2$  多重積層膜による高効率光電変換系の構築・酵素による  $\text{CO}_2$  還元リアクターの構築、電子運搬剤を組み合わせた  $\text{CO}_2$ —メタノール変換を達成した。

生物機能化学研究分野においては、環境適合性とエネルギー利用効率に優れた生物のエネルギー利用・物質変換系を細胞外で実現するための学理を探究し、人工代謝系「分子コンビナート」を構築している。

人工代謝系を構成する要素のひとつとして、RNA—タンパク質複合体に注目し、RNA—ペプチド複合体（RNP）を用いた触媒と蛍光センサーを構築した。生体内では、タンパク質と RNA と核酸の複合体が、高度な分子認識と高効率な物質変換を担っている。しかしながら、タンパク質や核酸の複合体を用いて合目的な機能を発揮させる分子設計は未開拓であった。そこで、RNP 複合体を基本骨格として用いて、それぞれ単体よりも高い機能を有する人工酵素やセンサーの構築に取り組んだ。実際に RNP の RNA サブユニットをランダム化したライブラリーから分子選択をおこなうことで RNP 受容体を作製し、さらにそのペプチドサブユニットを合目的に機能化して、受容体の高い基質特異性を活かした RNP 蛍光センサーを作製する方法論を確立した。さらに、RNP 受容体を段階的に機能化することで、テーラーメイドな機能を有する人工酵素の創製を目指している。

また、高効率なエネルギー利用・変換を可能にするタンパク質・酵素ナノ組織体による分子コンビナートの開発にも取り組んでいる（図：研究例）。酵素は単体でも温和な条件で高い触媒機能を発揮するが、生体内は多種類の酵素を組み合わせた代謝経路によって、高効率なエネルギーを達成している。生物の代謝経路の作動原理を理解し、細胞外で人工代謝系を設計・構築することにより、化学エネルギーを活用するクリー



**研究例** 3種類の酵素を配置した分子コンビナート DNA ナノ構造体上にアダプター法を利用して3種類の酵素を配置し、その酵素間距離と逐次反応効率の相関関係について評価した。



**装置紹介 1** 高速原子間力顕微鏡  
カンチレバーを走査して、サンプルの高さや輪郭などの形状情報を得ることができる装置。



**装置紹介 2** 全反射照明蛍光顕微鏡  
観察試料の表面近傍のみを局所的に励起することができる蛍光顕微鏡。

ンで高効率なエネルギー利用システムである「分子コンビナート」の実現を目指して研究を進めている。細胞内で高効率なエネルギー利用を担う代謝経路は、多段階の酵素反応で形成されており、個々の反応を触媒する酵素がナノ空間内に精微に配置されていることが知られている。このような環境を試験管内で創出するためには、ナノメートルの精度で分子の配置が可能となる足場に、定量的に酵素を配置する技術が必要となる。そこで、DNA ナノ構造体を足場として利用し、タンパク質や酵素をナノメートルの精度で1分子ずつ配置するアダプター法を開発した。この手法を活用して、酵素間距離と逐次反応効率の相関関係や、酵素の集積状態の違いが酵素活性に及ぼす影響など、細胞内環境で代謝反応が高効率で進行する鍵となる重要な知見を得ている。

このように、合目的な生体高分子組織体の構築と、生体高分子組織体が細胞内環境で高度な機能を発揮する原理の探究により、基礎研究力に根差した新しい学術分野を創成するとともに、カーボンネガティブを実現するエネルギー利用システムの開発を目指している。



装置紹介3 等温滴定型カロリメトリー測定装置  
分子の結合や解離によって発生する熱量の変化を測定して分子間相互作用を評価することができる装置。

## 12-1. エネルギー利用過程研究部門 生体エネルギー研究分野 (1997 (平成9) ~ 2008 (平成20) 年度)

### 研究分野の成り立ち、人員

エネルギー消費と環境との関係を生命科学的に研究する分野として1994 (平成6) 年に発足した研究分野であり、2009 (平成21) 年まで継続した。設立時には足立基齊 准教授 (2000 (平成12) 年まで在席) と原田敏夫 助教 (1999 (平成11) 年まで在席) が在席し、1995 (平成7) 年に牧野圭祐が教授として着任した。その後、小瀧 努 准教授 (2002 (平成14) 年~2009 (平成21) 年) および、森井 孝 助手 (1998 (平成10) 年~2002 (平成14) 年) が在席した。短期間存在した分野であり、出入りが多かったため、以下、牧野、小瀧、森井の活動を中心に紹介する。

### 研究内容、研究成果、導入装置

研究内容は大きく3テーマに分けられる。(1) 今なお科学的裏付けの少ない分野である生体内活性酸素のストレスとの関係について研究を行った。本分野では高い消去能を有する色素化合物を発見した。1998 (平成10) 年には関連分野である第19回磁気共鳴医学会を開催した。また、一酸化窒素 (1998年、「シグナル伝達物質としての一酸化窒素」にノーベル医学生理学賞授与) の遺伝子損傷に関する研究を行い、一酸化窒素が遺伝子のグアニン塩基と反応してデオキシオキザノシンに変換することを明らかにし、その損傷の反応性および修復過程等に関する詳細な研究を行った。結果は高いインパクトファクターの国際雑誌で多数報告した。(2) 化学合成によって調製した特異的塩基配列を持った核酸オリゴマーと特異的アミノ酸配列を持ったペプチドを用い、ペプチドが塩基配列を認識してバインドする作用機序等を解明した。結果は高いインパクトファクターの国際雑誌に多数報告した。また、2002 (平成14) 年第29回核酸化学シンポジウム、2008 (平成20) 年第38回国際核酸化学シンポジウムおよび第18回ヌクレオシド、ヌクレオチドおよび核酸に関する国際ラウンドテーブル会議合同国際シンポジウムを主催した。(3) 木質のエタノール変換最大の難問解決を行った。木質を構成するリグニン以外の成分セルロース、ヘミセルロースは

糖鎖オリゴマーであり、酸等で糖へ分解して酵母によるエタノールへ変換する研究は多い。未解決の難問はヘミセルロースの主要成分の一つ 5 単糖がエタノール変換できないことである。本研究分野では、エタノール変換に重要な役割を持つ補酵素の結合部位について酵母類縁体の遺伝子を詳細に調査し、補酵素結合部位の組み換え体を作成し、さらには 5 単糖を酵母が取り込むには必須であるトランスポーターの発現に成功して、キシリトールなどの 5 単糖をエタノール変換することのできる組み換え酵母の作成に成功した。成果は琵琶湖に多量発生する藻の有効利用対策として報道された。現在、ベンチャー企業によって木質のエタノール変換の実用化への取り組みがなされている。研究結果は高いインパクトファクターの国際雑誌で多数報告した。

学会活動としては、日本生化学会評議員および関西支部理事、電子スピンスイエンズ学会理事、日本 NO 学会評議員などの役職を歴任した。就任中の国際学術雑誌への発表論文数は 200 編を数え、高いインパクトファクターの論文が多い。

本研究分野は、国家プロジェクトでも重要な役割を果たした。1998～2008(平成 10～20)年の 10 年間、日韓文化交流最初の国際プロジェクト研究「高品位先進エネルギーの開発と応用」に参画した。本プロジェクトは本学(統括:本研究所 香山 晃 教授)とソウル国立大学の間で行われ、5 研究グループのうちの一つ生物化学的研究グループのリーダーを務めた。ソウル国立大学側は Chemical Engineering and Bioengineering が担当した。本プロジェクト以降、我が国主導型のアジア諸国主要大学との双方向国際研究プロジェクトが活発化した。本プロジェクトの成功が引き金になった。

本研究分野の特筆すべき他の成果は、本学産官学連携に関する糸口を開いたことである。アメリカ合衆国は 70 年代未曾有の経済危機に見舞われた。当時の民主党 J. カーター大統領政権は大学の研究者自由な研究から生み出される細分化された分野での高度で精密な成果に注目し、1980(昭和 55)年 12 月 12 日、政府資金(税金)で行われる大学の研究結果の民間への技術移転を可能にする、Bayh-Dole Act を制定した。この実行のために、技術移転専門家の育成(Association of University Technology Managers(AUTM))と技術移転システムネットワークの構築が行われた。この政策は共和党 D. レーガン大統領政権に引き継がれ、最重要国策となった。結果、Start-Ups が創生し、米国経済の奇跡的 V 字回復が成功した。この政策のポイントは、大学などの非営利団体や小企業は政府資金によって行われた研究結果をイノベーションに供することができる、大学は政府資金によって生じた発明を産業界と共同して利用することをすすめる(日本でいう大学の隷属的「共同研究」ではない)、大学は自己の発明の特許としてファイルし優先して小企業に発明をライセンスすることであり、政府は、国際的に特許の非独占的ライセンス権を維持し、何か生じた場合の立ち入り権を維持する、等々である。1999(平成 11)年、我が国においても類似の制度を制定した。これが我が国の技術移転の始まりであるが、残念なことは、特許法との整合性の欠落(共同出願特許による致命的弊害)や様々な大企業優先の共同研究推進による弊害、大学側の実行能力の欠如からくる非効率的な実態が現状である。

本研究分野は、2001(平成 13)年 4 月京都大学国際融合創造センター教授併任、2008(平成 20)年 11 月産官学連携本部本部長として就任して 2012(平成 24)年まで京都大学産官学連携初期活動のために尽力した。このような活動は松本 紘 総長の下で産官学連携本部長として広く国内外での連携構築にもおよび、残念なことに牧野の退職と同時に消滅したが、英国オックスフォード大学の J. フッド学長ならびに A. ハミルトン学長の二代にわたり固い連携を構築し、世界 10 大 TLO のの一つに成長したオックスフォード大学 TLO と固い連携を構築した。また、英国ブリストル大学等、独国ハイデルベルグ大学やエアランゲン大学等、仏国第 7 大学等、さらには米国ハーバード大学、コーネル大学を含むマンハッタン 7 医科大学等との間に共同事業構築のための組織を構築した。活動の中で特筆すべきは、2013(平成 25)年 3 月 20 日(水)～22 日(金)、国立京都国際会館において、文部科学省をはじめ多くの産官学機関の支援のもとで、技術移転の国際会議 AUTM Asia 2013 Kyoto を主催したことであり、海外からの 300 名を含め 600 名の出席者があった。成果は Nature 誌で紹介された。

上記の活動の実績が高い評価を受け、関西 TLO 役員を経て 2013(平成 25)年 4 月京都高度技術研究



所 (ASTEM) 副理事長・副所長、経産省の予算獲得で設立した ASTEM 所属京都市成長産業創造センターのセンター長、2018 (平成 30) 年 4 月本学高等研究院物質-細胞統合システム拠点 (iCeMS) 拠点長顧問を経て、2020 (令和 2) 年 4 月特定非営利活動法人京都コモンズを設立し理事長に就任した。

他にも、文科省 (大臣)、内閣府、特許庁等政府機関への提言を行った。また、本学とキヤノン (株) との大型プロジェクト (CK プロジェクト、高次生体イメージング先端テクノハブ、2006 ~ 2010 (平成 18 年 4 月 ~ 22 年 3 月)) にコーディネーターとして参画した。また、博士課程教育リーディングプログラム「充実した健康長寿社会を築く総合医療開発リーダー育成プログラム (LIMS)」においては学外評価委員を務めた (2016、2017 (平成 28、29) 年)。さらにはサムコ財団等の数々の経済団体の顧問を務めた。



AUTM Asia 2013 Kyoto

## 12-2. エネルギー利用過程研究部門 エネルギー構造生命科学研究分野 (2012 (平成 24) 年 4 月「生体エネルギー研究分野」から名称変更)

### 研究分野の成り立ち、人員

本研究分野では、バイオに立脚したエネルギー研究を推進している。但し、生物学という狭い学問範囲に捉われるのではなく、生物物理学、構造生物学、生物化学、生命科学および木質科学等の生物学と他の学問分野との境界領域・融合領域の学問を駆使したエネルギー研究を行っている。

エネルギー利用過程研究部門 生体エネルギー研究分野の牧野圭祐 教授が 2009 (平成 21) 年に定年退職した後、2010 (平成 22) 年に片平正人が同分野の教授として採用され、同分野の小瀧 努 准教授とともに研究を開始した。その後 2012 (平成 24) 年に研究分野名をエネルギー構造生命科学に改称した。2011 (平成 23) 年に永田 崇が助教に採用され、2013 (平成 25) 年に准教授に昇任した。2013 (平成 25) 年に小瀧 努 准教授は複合化学過程研究分野に配置換えとなった。2014 (平成 26) 年に真嶋 司が助教に採用され、2019 (令和元) 年に転出した。2020 (令和 2) 年に山置佑大が助教に採用された。

### 研究内容、研究成果、導入装置

木質バイオマスからエネルギーと有用物質を獲得する方法論の開発は、化石資源への依存度の減却と CO<sub>2</sub> の排出量の削減に繋がり、研究所が標榜するゼロエミッションエネルギーとも合致する。酵素等の生体分子の機能発現機構の理解に基づいて、木質バイオマスを解析・活用する方法論の開発を推進してきた。

#### (1) 木質バイオマスを解析する方法論の開発と木質分解酵素を用いた利活用法の開発

木質バイオマスの構造解析と定量を NMR 法によって行う方法論を開発した。これを実木質バイオマスに適用し、ヘミセルロースとリグニンの間の共有結合の分子構造を世界で初めて実験的に解明した。また、木材腐朽菌由来の各種の木質分解酵に関し、大腸菌や酵母等の異種宿主を用いて大量に調製し、キャラクター化を行った。これらの酵素

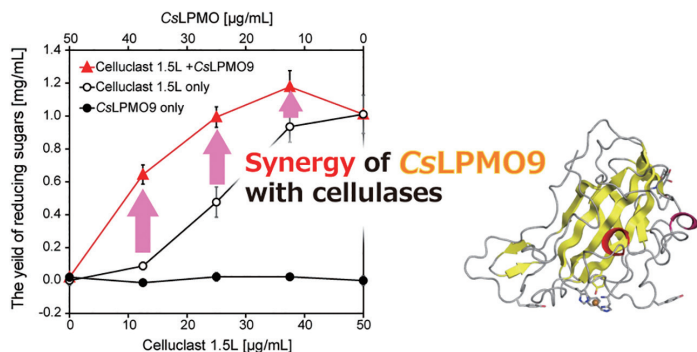


図 1 市販のセルラーゼに木材腐朽菌由来の酵素 LPMO を添加する事で、セルロースの糖化効率が飛躍的に向上 (ACS Sustain. Chem. Eng., 9, 16651, 2022 より)。

を作用させることによって、セルロースおよびリグニンを効果的に分解・利活用できることを示した(図1)。

## (2) 酵素が標的を見出して酵素反応を行う動作原理の解明

木質バイオマスを利活用する際のツールとしての酵素の活用を視野に入れ、酵素の動作機構を分子・原子レベルの分解能で解析・理解することを試みた。ヒト APOBEC3 は遺伝子に変異を起こすシトシン脱アミノ化酵素である。そのうち、A3G と A3F は HIV の遺伝情報を破壊するのに対し、A3B はヒト細胞のがん化に関わっている。我々が開発した NMR 実時間計測法を用いてこれらの酵素による基質の変換をリアルタイムで追跡した結果、A3G、A3F、A3B について、DNA 鎖の上をスライディングすることとカップルした酵素反応を行う機構を解明した。

## (3) ヒト生細胞中における核酸分子の挙動を NMR 法で直接観測する方法の開発

ヒト生細胞中に存在する DNA および RNA に由来する NMR シグナル (インセル NMR シグナル) の観測に世界に先駆けて成功した (図2)。インセル NMR シグナルの解析から、細胞内の分子混雑状態における生体高分子の構造、ダイナミクスおよび相互作用は、試験管内の希薄溶液条件下とは異なることが分かりつつある。

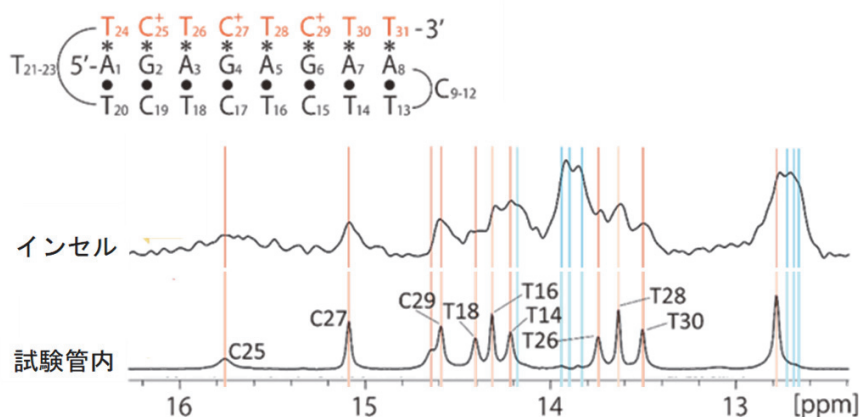


図2 上: 試験管内において3重鎖構造を形成する事が分かっている1本鎖核酸の配列と3重鎖構造の形成スキーム。  
下: インセル (上段) および試験管内 (下段) における NMR スペクトル。塩基対様式を敏感に反映するイミノプロトン領域のスペクトルを示してある。3重鎖構造に特徴的なピークに、残基番号と赤色の縦線を施してある (Chem. Commun., 57, 6364, 2021 より改変)。

## 導入装置

当研究分野では超高感度検出器クライオプローブを装着した核磁気共鳴 (NMR) 装置を主たる武器としたエネルギー研究を行っているという特徴がある。2010 (平成 22) 年に 600 MHz NMR 装置を、片平の前任地 横浜市立大学より移設した。また、同年理化学研究所と研究協力覚書を締結し、無償貸与された 600 MHz NMR 装置を移設した。これら 2 台の 600 MHz NMR 装置は、南 2 号棟を改修して整備した NMR 室に設置されている (図3左)。2020 (令和 2) 年度の全学経費 (設備整備経費) の支援によって、液体クロマトグラフィーおよび



図3 NMR 装置群。(左) 2 台の 600 MHz, (右) 800 MHz.

質量分析計と連結された 800 MHz NMR 装置（図 3 右）を、包括協定を締結した国立研究開発法人医薬基盤研究所から移設することとなった。移設に必要な海外からの技術者の入国が新型コロナウイルス（COVID-19）の蔓延によって叶わず移設が延期されてきたが、2022（令和 4）年度に移設が完了する予定である。800 MHz NMR 装置は、南 1 号棟を改修して整備した NMR 室に設置されることになっている。

### 13. エネルギー利用過程研究部門 ナノ工学研究分野 (2003（平成 15）～2004（平成 16）年度）

#### 研究分野の成り立ち、人員

ナノ工学研究分野は、ナノサイズのセラミックスなどの材料を合成し、エネルギー変換に利用するとともに、その物理・化学的特性を研究する研究分野として新設された。分子集合体設計研究分野の教授 足立基齊が新設研究分野に移籍し、定年退職まで教授として担当した。（2003（平成 15）年～2005（平成 17）年）

#### 研究内容、研究成果、導入装置

本部門の以下の研究成果は、足立教授の指導下の大学院生、外国からの留学生の協力で得られた。

界面活性剤が自発形成する分子集合体は、種々の形・大きさのナノサイズの組織を形成する。このナノサイズの組織を鋳型として、種々の形・大きさのセラミックス材料（シリカナノチューブ、チタニアのナノワイヤー、ナノロッド、ナノチューブなど）の合成に世界に先駆けて成功している。

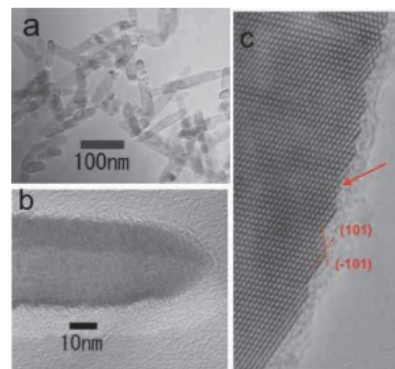
ナノ材料の作製は、界面活性剤と金属アルコキシドの反応物が形成する分子集合組織の形成に依拠する。従って、その反応速度、形成形態に影響を与える試薬の添加および反応温度、反応時間の制御により、生成物の形・大きさを調整した。また、生成物の結晶性や形状は X 線回折、電子線回折、走査型電子顕微鏡（SEM）および透過型電子顕微鏡（TEM）による測定により行った。結晶の格子面の配列状態は高分解能 TEM で測定した。

チタニアナノ材料は、色素増感太陽電池の電極材料として有用である。特に、チタニアナノワイヤーは、ナノ粒子がその結晶格子面の向きを揃えて連結するオリエンティッドアタッチメントという手法を用いて形成され、従来のチタニアナノ粒子の積層に代わり、高い電気伝導性を示し、高効率の色素増感太陽電池の作製・開発に大きな役割を果たし得ることを、世界で初めて示した<sup>1)</sup>。また、色素増感太陽電池のインピーダンス測定に基づいて、電池内の複雑な電子移動過程を解析する手法を開発し、従来困難であった電池内の電子の複雑な移動過程を明らかとし、電池の高効率化をもたらす方法を見いだしている<sup>2)</sup>。

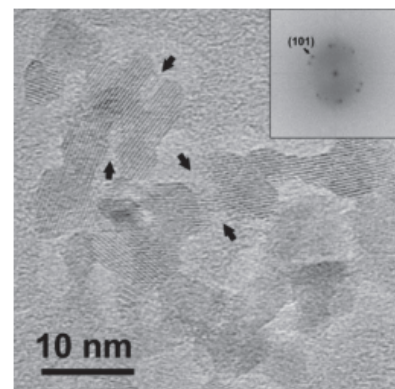
以上、二つの研究成果を発表した二つの論文の被引用数は、いずれも卓越した論文でしか得られない 1,000 を超える被引用数を得、世界中の多くの研究者から大きな反響を得ている。

その他のチタニアの 1 次元ナノ材料（ナノロッド、ナノチューブ）を用いて作製した色素増感太陽電池も、高効率な太陽電池の作製に成功している。

バルク溶液中での反応のみならず、有機・無機の二液の液液界面を



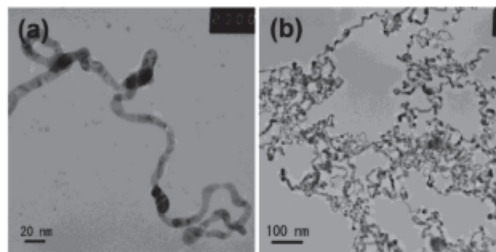
チタニアナノロッドの TEM 像。その高分解能像では、チタニア原子が結晶面にきれいに整理している。また、その表面に色素分子が吸着しているのわかる。



チタニアナノワイヤー。チタニアナノ粒子が、オリエンティッドアタッチメントで、結晶面を揃えて結合し、ネットワーク構造を形成している。

利用して、液液界面に界面活性剤が配列して形成するラメラ構造と金属アルコキシドを用いて、チタニアナノシート、酸化ゲルマニウムナノシート、さらには、シリカのナノチューブやそれらが集積したヘキサゴナルアレイの形成にも世界で初めて成功している。

セラミックスナノ材料以外にも、塩化金酸を低濃度のクエン酸で還元し、金ナノワイヤーのネットワーク構造の形成にも成功した。金ナノワイヤーは、有機太陽電池、センサープローブ、光熱癌治療、導電材料、触媒など多くの応用分野で有用な材料である<sup>3)</sup>。



金ナノワイヤーのネットワーク。非常に長い金ナノワイヤーが、ネットワーク構造を形成している。

- 1) Motonari Adachi, Yusuke Murata, Jun Takao, Jinting Jiu, Masaru Sakamoto, and Fumin Wang J. Am. Chem. Soc. 2004, 126, 45, 14943-14949
- 2) Motonari Adachi, Masaru Sakamoto, Jinting Jiu, Yukio Ogata, and Seiji Isoda J. Phys. Chem. B 2006, 110, 28, 13872-13880
- 3) Lihua Pei, Koichi Mori, and Motonari Adachi Langmuir 2004, 20, 18, 7837-7843

## 14-1. 附属エネルギー複合機構研究センター センター附属研究分野 (1996 (平成 8) ~ 2017 (平成 29) 年度)

### 研究分野の成り立ち、人員

エネルギー複合機構研究センター センター附属研究分野では、物質複合系・強結合系の非線形挙動を研究することにより、それらの系における高機能発現機構の解明を目指してきた。本研究分野では、助教授として大槻 徹が着任し、1996 (平成 8) 年より研究を進めた (2005 (平成 17 年 3 月定年退職)。その後、准教授として岡田浩之が着任し、2005 (平成 17) 年より研究を進めた (2018 (平成 30) 年に高温プラズマ機器学研究分野に配置替え、2020 (令和 2) 年 7 月任期満了)。また、木下正弘が 2007 (平成 19) 年 7 月より教授として着任した (2018 (平成 30) 年に自己組織化科学研究分野に配置換え、2020 (令和 2) 年 3 月に定年退職)。

### 研究内容、研究成果、導入装置

固体からの非平衡材料の作製は通常、2 種類以上の材料をボールミルなどによる強加工と混合によって達成されている。2 種類以上の材料の積層と繰り返し圧延によって、ナノオーダーの層状構造体を得ることに成功した。得られた材料は通常気相から作製される人工格子と同様の構造を持ち、始めてバルク状の人工格子を作製することができた。これらは巨大磁気抵抗効果や高い強度を示し新しい用途が期待される。構造材料は、単結晶を除いて、界面・粒界が存在し、上記の巨大磁気抵抗効果や強度も界面・粒界の存在によっており、その構造の制御が大切である。しかしながら、まだその構造など物性は十分に明らかになっていない。そこで、基本的な構造と熱力学的な性質の関係を明らかにすることを目指した。非平衡状態を利用した機能性材料の創製については、通常の蒸着法では作製困難なバルク材が得られており、これを利用した高機能性材料への利用が期待される。しかしながら、通常の蒸着法に無い物性やそれを置換たりする新しい特色有る物性は見出されていない。上で述べた課題を打破するためには、繰り返し圧延による方法での限界として層構造の熱的安定性ならびに、層の厚さをさらにナノ化するためのプロセスの開発を進め、新しい機能を持つエネルギー材料の創製を目指した。材料界面の機能制御とその応用については、界面構造とエネルギーの関係を明らかにすることに注力し、これまでの転位論に基づく界面エネルギーの理論の

限界を明らかにした。重要な点は、転位論に基づく界面エネルギーの理論の限界を明らかにすることであり、続いて、界面エネルギーを説明するために必要なパラメータを実験的に明確にすることによって、界面エネルギーを説明するための新しいモデルの導出に結び付くことが期待される。

#### 14-2-1. 附属エネルギー複合機構研究センター 自己組織化科学研究分野 (2018 (平成 30) ~ 2019 (令和元) 年度)

##### 研究分野の成り立ち、人員

2007 (平成 19) 年に教授 木下正弘が国際融合創造センター創造部門から本研究センター教授に配置換えとなった。2009 (平成 21) 年から3年間、吉留 崇が特定助教に任用された。生体系における種々の自己組織化過程の統一的解明を目指した研究を進めたが、2018 (平成 30) 年には自己組織化科学研究分野が本研究センター内に発足し、教授 木下正弘がこの分野を担当した。本研究センターの設置目的に沿い、分野間の垣根を越えた融合研究をも推進した。

##### 研究内容、研究成果、導入装置

生体系における蛋白質の折り畳み、蛋白質の高次構造形成、2種類の生体分子の結合などの種々の自己組織化過程を統一的に説明できる理論体系を構築した。すなわち、水の並進配置エントロピーの効果、なかでも生体分子-水分子間の多体相関からの寄与 (生体分子の自己組織化に伴う水分子間のエントロピックな相関の変化) を新機軸として、生命現象発現における水の役割を具体的に明らかにした。生体分子構造を原子レベルで考慮し、水に対して分子モデルを採用し、それでいて統計力学・熱力学・数学的および数値解析学的手法を適用可能にしてきた点に特徴がある。研究の過程で、「任意のトータル電荷を持つ蛋白質の水和自由エネルギーとその種々のエネルギーおよびエントロピー成分を正確かつ高速で計算できる」という他法には見られない利点を有する新しい水和統計力学理論を確立し、「自己組織化で形成された構造は、高圧をかけると崩れ低温にするとその安定性が低下する」という実験事実の説明に成功した。

創薬のターゲットとして特に重要な膜蛋白質である G 蛋白質共役型受容体 (GPCR) の耐熱化に繋がるアミノ酸置換の理論的予測法の確立において顕著な業績をあげた。膜を構成する炭水素基集団が熱運動することに起因するエントロピー効果の重要性を初めて指摘し、膜蛋白質の立体構造形成の新しい統計熱力学理論を構築した。BW 数が 3.39 の残基をリジンまたはアルギニンに置換すると、クラス A の数多くの異なる不活性型 GPCR を耐熱化できることを示し、そのうちの幾つかに対して実際に耐熱化および立体構造の新たな決定に成功した。以上の成果に対しては合計 4 件の新聞報道があった。

ATP 駆動蛋白質の機能発現機構に関する斬新な考え方を構築した。「アクチンフィラメントに沿ったミオシンの一方向移動や  $F_1$ -ATPase における  $\gamma$ -サブユニットの一方向回転を行うためには、水の粘性抵抗に逆らって仕事をしなければならないが、ATP に蓄えられている化学エネルギーあるいは ATP の加水分解自由エネルギーがそれらに使われている」という化学-力学エネルギー変換の概念が主流である。独自に開発した水和統計力学理論に基づく解析研究により、「上記の一方向移動や回転を行わせるための力発生は水によってなされている」という真逆の概念を提案した。

異分野の研究者と共同で分野間の垣根を越えた融合研究を行い、新学術領域の創製において多大な貢献をした。固体物理学者と「金属 (量子系) - 電解質水溶液 (古典系) 界面の構造と性質を記述できる自己無傾着理論の構築」、1 分子計測の実験研究者と「アクチンフィラメント上のミオシンの 1 方向移動と  $F_1$ -ATPase 中の  $\gamma$ -サブユニットの 1 方向回転を例として扱った ATP 駆動蛋白質の機能発現機構の解明」、電気化学者と「表面誘起相転移を利用したナノ空間内化学反応の劇的加速」、構造生物学者と「RNA-水溶性蛋白質の認識機構の解明」、生物機能化学者と「酵素を空間的に規制して配置することによる活性の向上」、分子細胞生物学者と「標的蛋白質と非常に強く結合できるペプチドの設計」、バイオ医薬品化学者

と「熱変性温度が例外的に高い好熱性ロドプシンのさらなる耐熱化」なる課題と取り組んだ。溶液の統計力学の立場からそれぞれの分野に新しい概念や解析手法を導入し、独創的な成果をあげた。

### 14-2-1. 附属エネルギー複合機構研究センター 自己組織化科学研究分野 (2021 (令和3) 年度～)

#### 研究分野の成り立ち、人員

2021 (令和3) 年4月に、講師 Arivazhagan Rajendran がエネルギー利用過程研究部門から本研究センター自己組織化科学研究分野に配置換えとなるとともに、教授 森井 孝がこの分野を兼任で担当、現在に至っている。自己組織化を利用した新しいナノ材料の開発と、それらの物質変換システム、高効率エネルギー利用システムへの応用を目指した研究を進めている。本研究センターの設置目的に沿い、分野間の垣根を越えた融合研究を推進している。

#### 研究内容、研究成果、導入装置

DNA の自己組織化を利用して設計・作製した2次元、3次元のさまざまな形状の DNA ナノ材料には、光学的、化学的、動的な機能を付与できる。例えば、複数の酵素を DNA ナノ材料上に組織化することで、カスケード酵素反応の速度や効率を高めることができる。しかし、DNA ナノ材料は、様々な条件下での安定性に乏しい。バイオマス-エネルギー変換に関連する酵素反応に応用するうえでも、様々な化学的、機械的、環境的条件に対する安定性を向上させることが必要である。そこで、DNA ナノ材料を安定化させるための酵素的・化学的手法を開発している。

DNA ナノ材料の安定化法を開発することで、酵素を異なる pH、塩環境、細胞培養液などの様々な条件下で取り扱うことが可能となり、また機械的な処理も可能となる。これにより、バイオマス関連の酵素反応を効率的に解析することが可能となる。

特に、酵素と DNA ナノ構造体をもとにした自己組織化複合体の安定化を重視した研究をすすめており、バイオマス関連カスケード酵素反応の効率的な組織化法の開発に取り組んでいる。当研究所の研究者と共同研究を進めており、すでに、DNA 折り紙を安定化させるための酵素的・化学的手法の開発、DNA-タンパク質相互作用評価のためのトポロジカルインターロック DNA 構造体の構築など、国際共同研究を含む数本の研究論文を発表した。

### 14-2-2. 附属エネルギー複合機構研究センター 高温プラズマ機器学研究分野 (2018 (平成30) 年度～)

#### 研究分野の成り立ち、人員

将来の基幹エネルギーの一つとして開発されている核融合炉を目指した高温プラズマ閉じ込め高度化を研究の目標としている。トラスプラズマ中の高速粒子閉じ込めの磁場構造に対する依存性とその結果として生ずるバルクプラズマ加熱の研究、高速イオンとプラズマ対向材との相互作用を研究テーマとした。2004 (平成16) 年度にイオンサイクロトロン周波数帯加熱実験を開始し、電磁波を用いて高速イオンを生成し、荷電交換中性分子検出器でプラズマ中の高速粒子の計測を行い、高速粒子の生成・閉じ込めについての評価を開始した。2005 (平成17) 年度に磁場配位依存性についての研究を開始し、その一つのパラメータであるバンピネスについての依存性を明らかにした。このような粒子解析を行う上でプラズマの電子温度・電子密度分布が基礎パラメータである。これらを十分な空間分解能で測定するためのトムソン散乱計測装置の開発・整備も研究テーマの一つである。この目的のために高出力レーザー、高感度イメー

ジンテンシファイアおよび CCD カメラを備えた計測システムの構築を行った。また、双方向型共同研究を推進した。当研究分野はセンター研究分野として、2005（平成 17）年より岡田浩之 准教授（2020（令和 2）年任期満了）が配置された。

**研究内容、研究成果、導入装置**

研究目標は、大きく 3 つを設定しており、1) ヘリカル軸ヘリオトロンプラズマの高速イオンの生成・閉じ込め、2) NBI および ICRF 重畳加熱による高速イオン生成、3) TV トムソン散乱計測装置による電子温度・密度分布の研究である。

(1) Heliotron J における高速イオン生成・閉じ込めの実験研究

核融合プラズマにおける  $\alpha$  粒子を実験的に模擬し、その閉じ込めなどを調べるため Heliotron J ではイオンサイクロトロン周波数帯 (ICRF) 加熱のうち少数イオン加熱によって高速イオンを生成し、その閉じ込めを研究してきた。 $\alpha$  粒子は核融合プラズマの加熱に重要であり、高速イオンは核融合反応率の増加に効果的である。中性粒子ビーム入射 (NBI) 加熱を併用しエネルギー領域の拡大と磁場配位に対する依存性研究を目的とした。

NBI、および ICRF 加熱を利用し、高速イオン閉じ込めに対する閉じ込め磁場フーリエモードのうち、バンピネス、トロイディシティの有効性を確認した。Heliotron J において 35keV まで確認された高速イオンのエネルギー範囲を拡張するため、ICRF と入射エネルギー 25keV の NBI との重畳加熱を中密度域 ( $1 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ ) で行った。磁場配位としてはトーラス方向成分のリップルを大きくした高バンピネス配位と、さらにトーラス内側・外側の磁場強度比を実効的に小さくした低トロイダルリップル ( $\epsilon_t$ ) 配位を選択した。低  $\epsilon_t$  配位はこれまでの実験にてエネルギー閉じ込めが良いことが分かっており、新古典理論からも閉じ込めの効率化が予想されていた。ヘリシティで規格化したトロイディシティ、バンピネスは低  $\epsilon_t$  配位、高バンピネス配位に対してそれぞれ (0.77, -1.04)、(0.86, -1.16) である。ICRF パルスが印加されると低  $\epsilon_t$  配位では 60keV までの粒子束が観測された。高バンピネスではエネルギースペクトルは低  $\epsilon_t$  配位とは異なり、エネルギー範囲も 35keV までしか得られず、高速イオン閉じ込めに関しても低  $\epsilon_t$  配位の優位性が示された。

(2) Heliotron J における TV トムソン散乱計測装置による電子温度・密度分布の研究

Heliotron J では、磁場配位最適化のため磁場のフーリエ成分に対する閉じ込め性能の変化について調べている。グローバルな閉じ込めについては、回転変換、トロイダル方向の磁場リップル (バンピネス) についての依存性について実験結果が得られた。また、様々な配位で閉じ込め改善を伴う遷移現象も観察されている。これらのさらなる解析のためにはプラズマパラメータの分布測定が重要である。そのひとつとして電子温度、密度計測のために TV トムソン散乱計測装置が設置されている。この装置は受光系光軸を鉛直に、入射系光軸を水平方向に移動することが可能で 2 次元計測システムとなっている。散乱光伝送に用いる光ファイババンドルが低透過度となっていたが、これを更新し、散乱光を取得できるようになった。中性粒子ビーム入射によるプラズマに対し、粒子補給法に超音速分子ビーム入射などを利用したプラ

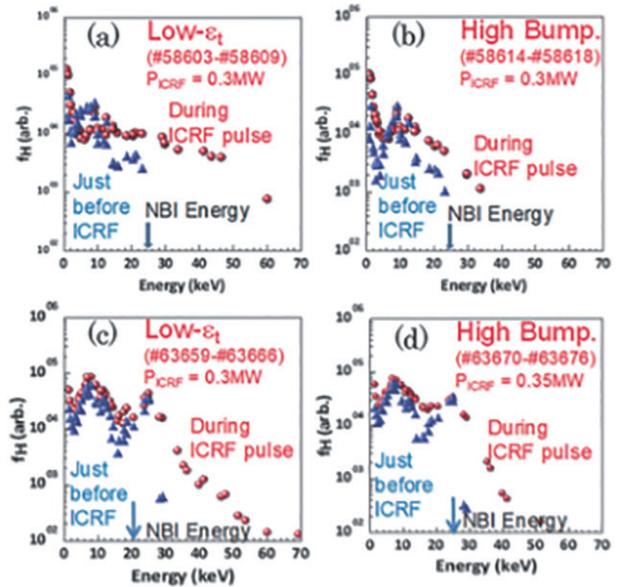


図 1 ICRF と NBI 重畳加熱時の軽水素エネルギースペクトル。上段は counter 入射、下段は co 入射。ICRF 印加前は△、入射後は○で示した。左列は低  $\epsilon_t$ 、右列は高バンピネス配位。

ズマを計測した結果、プラズマ中心で電子密度  $1.0 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$  を超えるようなプラズマが生成されていることが初めて分かった。電子密度についてはレーラー散乱より校正データを求めているが、マイクロ波干渉計から得られた線積分値と一致することも確認した。また、計測系のうちビームダンプの劣化も明らかになり、これを改善することにより迷光減少が期待でき、低密度プラズマに計測対象を広げられる見込みも得られた。

- 1) H. Okada, Y. Torii, S. Kobayashi, M. Kaneko, H. Kitagawa, T. Tomokiyo, H. Takahashi, T. Mutoh, T. Mizuuchi, K. Nagasaki, Y. Nakamura, S. Yamamoto, H. Arimoto, K. Hanatani, K. Kondo and F. Sano "Dependence of the confinement of fast ions generated by ICRF heating on the field configuration in Heliotron J", Nucl. Fusion 47 (2007) 1346-1352
- 2) H. Okada, et al., "Fast Ion Generation by Combination Heating of ICRF and NBI in Heliotron J", 26th IAEA Fusion Energy Conference, Kyoto Japan, 7-22 October 2016, EX/P8-18.
- 3) H. Okada et al., "Studies of Magnetic Field Configuration in Heliotron J", 1st AAPPS-DPP, Chengdu, China, 18-23 September, 2017, MF-OV14.

### 14-2-3. 附属エネルギー複合機構研究センター 広帯域エネルギー理工学開拓研究分野 (2019 (平成 31) 年度～)

#### 研究分野の成り立ち、人員

広帯域に渡るエネルギーにおける融合的な理工学研究を開拓・推進するため、2019 (令和元) 年に設立された。設立当初から教授 松田一成が兼任で担当し、2021 (令和 3) 年 10 月まで本研究部門を担当した後、教授 野平俊之が 2022 (令和 4) 年 3 月まで兼任で担当した。その間、2019～2020 (令和元～令和 2) 年に篠北啓介が、2021～2022 (令和 3～4) 年には法川勇太郎が助教に任用された。

#### 研究内容、研究成果、導入装置

##### (1) 原子層二次元半導体におけるバレー緩和現象の解明と制御

2019 (令和元) 年 4 月から、光電子デバイスに資する極限二次元半導体の光科学に関する研究を進めた。わずかに原子数層からなる極めて薄い二次元半導体中に励起された電子とその抜け穴である正孔は、互いに

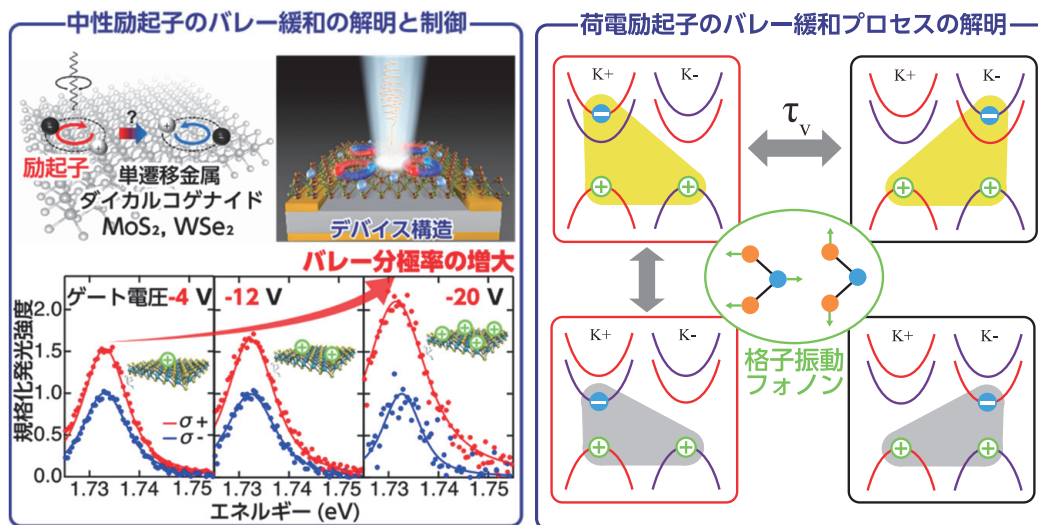


図 X 極限半導体におけるバレー自由度の制御と緩和メカニズム



強く束縛した励起子という状態を形成するとともに、波数空間上で「バレー」という新しい量子自由度を有している。電子や励起子が持つバレーの量子自由度を自在に操作できれば、バレー情報をデジタル情報処理の0と1に対応させて利用することができ、従来の電荷を使ったエレクトロニクスに代わる高速かつ省エネルギーな光電子デバイスが期待できる。我々は、先端的な分光手法やデバイス作製技術を用いて、励起子のバレー状態を使った新しい光科学の研究を進めた。

励起子のバレー現象の研究において、最も基礎となるのはバレーの緩和現象と呼ばれる物理プロセスである。バレー情報はピコ ( $10^{-12}$ ) 秒という非常に短時間で失われてしまい、これまで、そのメカニズムの理解が十分でないため、基礎研究や応用展開を妨げていた。我々は、典型的な二次元半導体である単層二セレン化タングステン ( $\text{WSe}_2$ ) において、実験・理論の両方のアプローチから中性励起子のバレー緩和のメカニズムを明らかにした。さらにこのメカニズムに基づいて、電界効果トランジスタ構造を試料に施し、バレー緩和を制御できることを明らかにした。これらの結果は、バレー緩和現象のメカニズムの解明という基礎科学的な意義に加えて、応用展開へのデバイス構造のデザインへ新しい指針を与えるものである。さらに我々は、上記と並行して、荷電励起子のバレー緩和現象の解明にも取り組んだ。荷電励起子は、中性励起子にもう一つの電子（あるいは正孔）が束縛された状態で電荷を持つため電場での制御性がよく、また長い寿命・高いバレー分極度を示すなど、バレー物理を研究する上で有望な準粒子と考えられている。我々は、単層  $\text{WSe}_2$  の荷電励起子の超高速な応答を調べ、荷電励起子のバレー緩和プロセスは格子振動（フォノン）との散乱過程によって引き起こされることを明らかにした。これら一連の研究で得られたバレー物理の知見を今後さらに発展させることで、将来の高速・省エネルギーな光電子デバイスの実現につながると期待される。

## (2) 熔融塩電析を用いた Si 太陽電池の直接製造法に関する研究

2021（令和3）年10月からは、熔融塩中での電析を用いた Si 太陽電池の直接製造法に関する研究を行った。Si 太陽電池を直接製造するためには、n 型および p 型の Si 膜を基板上に直接電析する必要がある。野平と法川は、750℃の  $\text{KF-KCl-K}_2\text{SiF}_6$  熔融塩中において、カーボン基板上に電析した Si 膜が n 型半導体の特性を示すことを発見した。これは、Si 膜中に不純物として含まれるリンなどのドナーが要因として考えられた。一方、750℃の  $\text{KF-KCl-K}_2\text{SiF}_6$  に、 $\text{KBF}_4$  を少量添加した熔融塩中において、カーボン基板上に電析した Si 膜が p 型半導体の特性を示すことを見出した。これは添加したホウ素イオンが還元されて Si 膜中に取り込まれ、アクセプターとして働いたためだと考えられた。以上の結果を踏まえ、カーボン基板上に、まず 750℃の  $\text{KF-KCl-K}_2\text{SiF}_6$  熔融塩中で n 型の Si 膜を電析し、その後、 $\text{KBF}_4$  を添加した熔融塩中で n 型 Si 膜上に p 型 Si 膜を電析させることで、pn 接合を作製した。J-V 測定により、得られた pn 接合 Si 膜が太陽電池特性を持つことが確認された。

以上の研究により、熔融塩中での電析を用いて Si 太陽電池の直接製造が可能であることが示された。しかし、電析で作製した pn 接合 Si 膜は太陽電池としての性能が十分ではなかった。その要因の一つとして、得られた Si 膜中の Si の結晶が  $20\mu\text{m}$  以下と小さく、結晶粒界が多いため、光生成少数キャリアの再結合が多く発生していることが考えられた。このキャリア再結合を減らすため、結晶を大きくし粒界を減らすこと検討した。液体金属が結晶成長を促進させることに着目し、液体金属電極を用いた Si 電析に着手した。液体金属としては、融点が比較的 low、分配作用により Si 中の不純物濃度を下げる効果も期待できる Zn を選定した。初期検討の結果、液体 Zn 電極を用いると、熔融塩中の Si イオンが還元されて一度 Si-Zn 合金となり、十分に合金化が進行した後に内部で Si が析出することが確認された。また、650℃と比較的低温にもかかわらず、粒径が 1mm 以上の Si が得られ、液体電極により電析 Si の結晶成長が促進されていることが見出された。

## 14-2-4. 附属エネルギー複合機構研究センター 環境微生物学研究分野（寄附部門） （2018（平成30）年度～）

### 研究分野の成り立ち、人員

本部門は開所以来初の寄附研究部門であり、2018（平成30）年に新設された。寄贈者は東洋ガラス株式会社ならびに株式会社竹中工務店である。

生態系のエネルギーは植物による光合成で化学エネルギーに変換されて有機物へと蓄えられるが、微生物は呼吸によって有機物からエネルギーを取り出し、アデノシン三リン酸へ蓄えることで自らの生命活動を営みつつ、独自の生態的地位を通じて生態系のエネルギー循環の調和も図るという重要な役割を演じている。

本部門は、このような自然のエネルギー循環の調和に寄与する環境微生物から、特に持続的社會づくりへ役立つ細菌や真菌を探索し、その生態機能の解明を目指して研究を進展させつつある。

本部門は、開設当初以来、寄贈者から推薦を受け任用された特定教授 原 富次郎と特定准教授 高塚由美子が運営する。

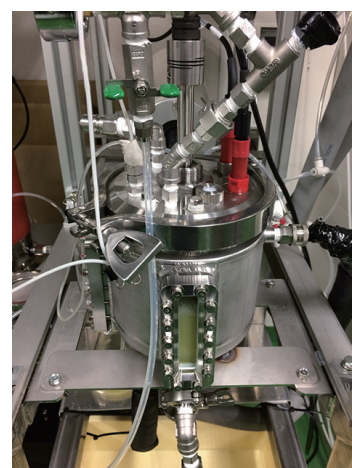
### 研究内容、研究成果、導入装置

#### (1) 先進的な環境修復に向けた微生物機能の利用開発

ポリ塩化ビフェニル類（以下、「PCB」とする。）は、1900年代に、世界中で絶縁油など工業的用途に利用された有機塩素化合物の一つである。その化学的性質は難分解性であるため環境残留性が高く、内分泌を攪乱する生体毒性も示すことから著名な環境汚染物質として知られる。現在も PCB の廃絶は国際的喫緊の課題として扱われる。

原と高塚は、東北地方を起点に、国内から東アジア地域に渡りこれまで特定の汚染環境から分離されてきた PCB 分解細菌種の多くが、非汚染地である自然環境からも比較的容易に分離できることを検証し、さらに同細菌種の分布には地域性が無いこと、PCB 分解初発に関与する重要な酸化酵素の特徴が一定の基質特異性を持って支配的であることを明らかにした。また、自然環境から分離した PCB 分解細菌株群の中から、特に分解性が高い細菌株の全ゲノム情報を解析して報告するとともに、国際的な遺伝子データバンクへ登録（公開）した。

一方、日本において工業的に最も多く生産されたことから環境中への拡散量が多いとされるカネクロール KC-300、または KC-400（三塩素化、または四塩素化ビフェニルが 50% 含有する PCB）による汚染水を、24 時間以内という実用的かつ短時間に、生物修復する方法も考案した。PCB は結合する塩素の数や置換位置から多くの類縁体が存在し、国内から東アジア地域にかけて生息が認められている PCB 分解細菌種の酸化酵素の特性では全ての類縁体を分解できない。そこで、北米域で発見された異なる分解特性を持つ酸化酵素を発現する遺伝子組換え型細菌株を作製し、これを汚染水へ追加投入することで、広い類縁体に対する分解特性を獲得した。さらには、微細化酸素気泡を分解反応へ過給することで、急速な分解性をも獲得した。本研究のため、PCB を分解する独自の生物修復実証装置を、国の研究委託事業により産学共同で試作した。



試作した生物修復実証装置  
（JST 産学共同実用化開発事業）

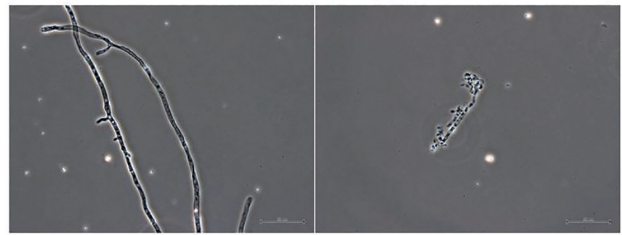
#### (2) 環境調和型の食糧生産に向けた微生物機能の利用開発

近代農法から生まれた化学農薬が特許切れを迎えるとともに化学業界の再編が起きると、古典的有機農法を見直す機運が生まれた。その結果、今や有機農産品は先進国での新たな食品群を形成しつつある。し

かしながら、有機農法における化学農薬の使用はほぼ禁忌であることから、その生産量の15%が糸状菌(カビ)の伝染病害に晒される結果となり、収穫性を著しく低下させてしまった。そのため、再編後の化学業界では、今や、遺伝子組換え作物や生物農薬に代表されるような化学農薬に代わるユニークな防除法が生み出される新たな研究開発土壌が醸成された。

キチナーゼやグルカナーゼに代表される糖鎖のグリコシド結合を加水分解反応で切断するグリコシダーゼ類が、カビの形態形成に関与することは以前からよく知られる。原と高塚は、リゾクトニア・ソラニという植物病害を示すカビが作る複合系グリコシダーゼの防除性(抗菌性)について調査した。リゾクトニア・ソラニは麩(ふすま)成分を栄養に、加水分解酵素類を分泌することが判っており、その分泌物はキチナーゼ以外のグルカナーゼやヘミセルラーゼ、ペクチナーゼ、アミラーゼなどのグリコシダーゼ活性を示す。このような酵素群は、代表的な水稻伝染性のカビ6株のうち4株に対して防除作用を示し、対象的にキチナーゼのみでは2株に対して防除作用を示した。この結果から、複合系グリコシダーゼ類は単独のグリコシダーゼに較べて高い防除活性を持つことを明らかにした。このような水稻伝染性カビに対して広い抗菌スペクトルをもった物質はユニークであり、引き続き、さらに一歩進んだ研究を展開する。

### 健全なカビ(菌糸) 酵素処理したカビ(菌糸)



*Trichoderma viride*, 30°C, 6hインキュベート  
400×, scale bars; 50 μm

リゾクトニア・ソラニ分泌酵素群のカビに対する抗菌作用  
(JST 大学発新産業創出プログラム)

## 14-2-5. 附属エネルギー複合機構研究センター

### バイオマスプロダクトツリー産学共同研究部門 (2021(令和3)年度～)

#### 研究分野の成り立ち、人員

京都大学と株式会社ダイセルは、自然と共生する循環型の低炭素社会の実現と新しい産業の創出に貢献することを目指した包括連携協定を2021(令和3)年10月1日に締結した。協定の期間は8年半で、2030(令和12)年まで続く。本プログラム推進のための拠点として、エネルギー理工学研究所、生存圏研究所、化学研究所、およびダイセル社の合同の「バイオマスプロダクトツリー産学共同研究部門」が宇治キャンパス内に同日に設置された。エネルギー理工学研究所からは片平正人教授のグループが、「バイオマスの微細構造のNMR法による決定と酵素を用いた利活用法の開発」という研究テーマで参画している。スタート時のメンバーは、教授(兼任)、助教(兼任)、特定教員、特任教員、研究員等で計16名である。

#### 研究内容、研究成果、導入装置

本研究部門は、木質バイオマスの可溶化技術と高度な利活用法を開発することで、持続可能な社会・カーボンニュートラルの実現に貢献することを目指している。研究目標は下記の通りである。

- 1) 木材を可溶化する技術の開発
- 2) 可溶化技術の開発に資する木質バイオマスの微細構造の決定
- 3) 木質バイオマスの酵素を用いた利活用法の開発

設立後、未だ日が浅いが、セルラーゼによるセルロースの分解を飛躍的に高める酵素の同定およびこの酵素の活性のさらなる改良に成功した(図1)。木質バイオマスからバイオエタノール等のバイオエネルギーを高効率かつ環境負荷低く取得するのに役立つ成果だと考えられる。

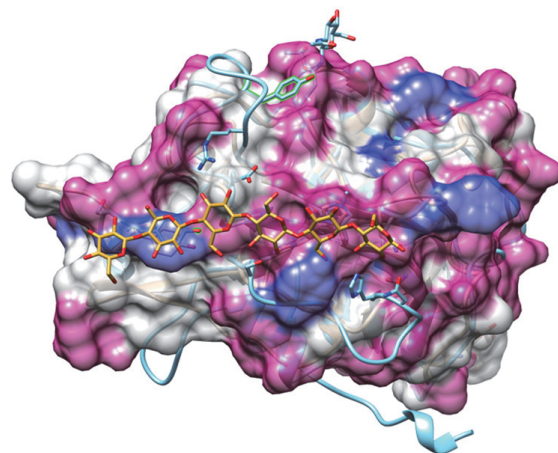
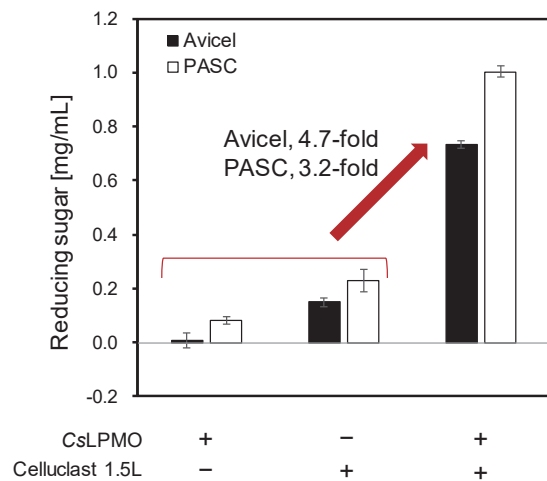


図1 (左) セルロース (Avicel ないしは PASC) に市販のセルラーゼカクテル (Celluclast 1.5L) を単独で作用させた時と比べ、今回同定した酵素 (CsLPMO) を同時に作用させると、セルロースの分解効率が格段に上昇する。

(右) CsLPMO とセルロースの複合体の構造。この構造に基づいて変異体を作成したところ、分解効率のさらなる向上が達成された (ACS Sustain. Chem. Eng., 9, 16651, 2022 より引用/改変)。

### 第3章 各種資料

#### エネルギー理工学研究所年表

区 分	西 暦	和 暦	出 来 事	研究部門	世界と日本の動き
京都大学	1869年 5月 1日	明治 2年 5月 1日	舎密局、開校式を挙る		6.15 版籍奉還
京都大学	1870年 10月 24日	明治 3年 10月 24日	舎密局が大坂化学所(1月)、理学校(5月)、開成所と改称		
京都大学	1872年 8月 3日	明治 5年 8月 3日	開成所を第四大学区第一番中学と改め発足		8.3 「学制」を公布 12.3 太陽暦を採用、この日を1873.1.1とする。
京都大学	1873年 4月 23日	明治 6年 4月 23日	第三大学区第一番中学(4.10)、開明学校と改称		
京都大学	1874年 12月 27日	明治 7年 12月 27日	大阪外国語学校(4.18)、大阪英語学校と改称		
京都大学	1879年 4月 4日	明治 12年 4月 4日	大阪専門学校と改称		9.29 教育令交付
京都大学	1880年 12月 16日	明治 13年 12月 16日	大阪中学校と改称		
京都大学	1885年 7月 13日	明治 18年 7月 13日	大学分校と改称		12.22 内閣制度発足、初代文部大臣に森有礼が就任
京都大学	1886年 4月 30日	明治 19年 4月 30日	第三高等中学校と改称		3.2 帝国大学令公布。東京大学を帝国大学と改組
京都大学	1889年 9月 11日	明治 22年 9月 11日	第三高等中学校が大坂から京都に移転し、京都で開講式を挙る		2.11 大日本帝国憲法発布
京都大学	1894年 9月 11日	明治 27年 9月 11日	第三高等学校開校		8.1 清国に宣戦布告(日清戦争)
京都大学	1897年 6月 18日	明治 30年 6月 18日	京都帝国大学設置の勅令制定		6.22 京都帝国大学創立にともない、従来の帝国大学を東京帝国大学と改称
京都大学	1897年 9月 14日	明治 30年 9月 14日	理工科大学授業開始		
中央実験所	1914年 4月 1日	大正 3年 4月	理工科大学に中央実験所を附置	材料試験部(土木、機械)、水力実験部(土木、機械)、動力試験部(機械、電気、採鋳冶金)、高圧および高温実験部(工業化学、採鋳冶金、電気)(計4部門)	7.28 第1次世界大戦勃発 8.23 ドイツに宣戦布告
京都大学	1914年 7月 6日	大正 3年 7月 6日	理工科大学が工科大学・理科大学に分離		
京都大学	1919年 2月 7日	大正 8年 2月 7日	文・法・理・医・工の各分科大学、学部と改称		6.28 ヴェルサイユ講和条約調印
中央実験所(設備)	1919年頃から	大正 8年頃から	設置した主要な設備:各種材料試験機、水力実験設備、高圧試験変圧器、30HP圧縮機、30HP遠心ポンプ、20HPタービン、ガス炉、製氷設備、恒温恒湿乾燥実験装置		
中央実験所	1930年 11月 1日	昭和 5年 11月	中央実験所委託研究規定制定		4.22 ロンドン海軍軍縮条約に調印
中央実験所	1930年	昭和 5年	「工学研究」を中央実験所において編集することとなり、以後定期刊行物として発刊された。		
中央実験所	1933年 12月 1日	昭和 8年 12月	災禍に遭って施設の大部分を灰燼に帰した。		3.27 国際連盟脱退を発表
中央実験所	1935年	昭和 10年	中央実験所本館が竣工(鉄筋2階、建延2,900m <sup>2</sup> )	物理学、化学工学、構造工学、溶接、航空および防空(計5部門)に編成替え。	
工学研究所	1941年 11月 29日	昭和 16年 11月 29日	京都大学工学研究所が発足	物理学、化学工学、構造工学、溶接、航空および防空(計5部門)	12.7 真珠湾攻撃 12.8 米英に宣戦布告(太平洋戦争開戦)
工学研究所(設備)	1943年 -	昭和 18年以降	1,000kV 衝撃電圧発生装置、900kV 交流高圧発生装置		

区 分	西 暦	和 暦	出 来 事	研究部門	世界と日本の動き
工学研究所	1945年	昭和20年		終戦と同時に航空および防空部門が削除された。 物理学、化学工学、構造工学、溶接（計4部門）	6.25 国際連合発足 8.15 第2次世界大戦終結 11.24 GHQが理研、京大、阪大のサイクロトロンを破壊、廃棄
工学研究所	1946年	昭和21年		材料工学部門が新設。 物理学、化学工学、構造工学、溶接、材料工学（計5部門）	11.3 日本国憲法公布
京都大学	1947年 9月30日	昭和22年 9月30日	京都大学と改称		
宇治キャンパス	1947年 4月 1日	昭和22年 4月 1日	木材研究所が大蔵省から東京第二陸軍兵廠宇治製造所跡地（現所在地）に12万4,465m <sup>2</sup> の無償貸与を受けて移転。		
工学研究所（設備）	1949年	昭和24年	実用段階に入った電子顕微鏡を、無機化学の研究、すなわち沈殿凝集体および銅電解面などの粉末結晶および電析結晶の研究に導入（鈎講師）。		
宇治キャンパス	1949年 8月25日	昭和24年 8月25日	木材研究所の敷地として新たに7万8,305m <sup>2</sup> の無償貸与を受けた。これが京都大学宇治キャンパスの出発である。 宇治分校設置（8.25）。		4.12 大学基準協会、大学院基準を決定 5.31 国立学校設置法公布（新制大学制度発足） 10.1 中華人民共和国成立
工学研究所	1950年 4月 1日	昭和25年 4月	本研究所が新たに修学院分室を設置。同年に増設された軸受研究部門は、修学院にあった元財団法人軸受研究所（鳥養元所長が理事長兼所長）の賠償指定解除により、その寄付を受け入れた。	溶接部門が電気工学部門と改められ、軸受研究部門が増設された。 物理学、構造工学、電気工学、化学工学、材料工学、軸受研究（計6部門）	
宇治キャンパス	1950年 5月 1日	昭和25年 5月 1日	宇治分校開校（1961.5.1廃止）。新制大学の発足にともない、宇治分校に敷地の一部を提供。		6.25 朝鮮戦争勃発
工学研究所	1951年 3月 1日	昭和26年 3月	本研究所独自の学術出版物「欧文による研究報告"Technical Reports of the Engineering Research Institute, Kyoto University"（不定期発行）」が刊行		9.8 対日平和条約、日米安全保障条約調印
工学研究所	1951年 11月 1日	昭和26年 11月	工学研究所10周年記念式典		
工学研究所	1952年 1月 1日	昭和27年 1月	「工学研究」は昭和27年1月の第15輯を最後として、以後工学部に委ねられた。		
工学研究所	1952年 3月 1日	昭和27年 3月	本研究所独自の学術出版物「国内向けの彙報『工学研究所彙報』（年2回発行）」が刊行		
工学研究所（設備）	1953年	昭和28年	溶接研究室の増築		
工学研究所（設備）	1953年～	昭和28年～	高性能精留装置（亀井、岡田、西、高松）		
工学研究所	1954年 5月 1日	昭和29年 5月	工研会（研究所全職員の親睦団体）発足		
工学研究所	1955年 9月 1日	昭和30年 9月	工学研究所より文部省へ原子炉（1MW水泳プール型研究用原子炉）設置案提出		
工学研究所	1956年 4月 1日	昭和31年 4月	原子炉および原子核工学分野の基礎研究を指向する研究所として脱皮を開始		10.22 文部省、大学設置基準を公布、施行 12.18 国際連合に加盟
工学研究所	1956年	昭和31年		化学工学および軸受研究部門がそれぞれ原子核化学工学部門および原子炉構造部門に改められた。 物理学、構造工学、電気工学、原子核科学工学、材料工学、原子炉構造（計6部門）	
工学研究所	1957年	昭和32年		原子燃料部門を新設。 物理学、構造工学、電気工学、原子核科学工学、材料工学、原子炉構造、原子燃料（計7部門）	

区 分	西 暦	和 暦	出 来 事	研究部門	世界と日本の動き
工学研究所	1958年	昭和33年		原子炉計測工学部門を新設。材料工学部門を原子炉材料部門に改めた。 物理学、構造工学、電気工学、原子核科学工学、原子炉材料、原子炉構造、原子燃料、原子炉計測工学（計8部門）	
工学研究所（設備）	1958年	昭和33年	原子炉シミュレータ（林、若林）		
核融合研究グループ（ヘリコン計画グループ）	1958年	昭和33年	理学部、工学部、工学研究所、教養部にまたがる研究者によって核融合研究グループが結成された。（湯川秀樹教授の提唱による）		
工学研究所	1959年	昭和34年		物理学部門および構造工学部門をそれぞれ放射線応用工学部門および原子炉保安工学部門に改めた。 放射線応用工学、原子炉保安工学、電気工学、原子核化学工学、原子炉材料、原子炉構造、原子燃料、原子炉計測工学（計8部門）	
核融合研究グループ（ヘリコン計画グループ）（設備）	1959年	昭和34年	ヘリオトロンA（ポロイダルヘリオトロン磁場）		
核融合研究グループ（ヘリコン計画グループ）（設備）	1960年	昭和35年	ヘリオトロンB（ポロイダルヘリオトロン磁場）		
工学研究所	1961年	昭和36年		電気工学研究部門が粒子線工学部門に転換。 原子炉構造、粒子線工学、原子炉計測工学、原子燃料、原子炉材料、原子核化学工学、放射線応用工学、原子炉保安工学（計8部門）	
工学研究所（設備）	1961年	昭和36年	核融合実験装置（林重憲）、原子カプラントシミュレータへの拡充第1期増設（林、若林）		
宇治キャンパス	1961年	昭和36年	宇治分校廃止（1961.5.9）、工業教員養成所（1969.6.9廃止）設置（1961.5.19）。		5.19 9 国立大学に国立臨時工業教員養成所設置。
工学研究所	1962年	昭和37年	工学研究所の中に研究用原子炉建設本部が設置されたが、研究所とは別のものとして運営。		
工学研究所（設備）	1964年	昭和39年	原子カプラントシミュレータへの拡充第2期増設（林、若林）		
工学研究所	1965～1967年	昭和40～42年	宇治地区に新館が新築された。		
核融合研究グループ（ヘリコン計画グループ）（設備）	1965年	昭和40年	ヘリオトロンC（ポロイダルヘリオトロン磁場）		
工学研究所	1966～1969年	昭和41～44年	宇治地区へ移転		
工学研究所（設備）	1966年～	昭和41年～	電子ビーム浮遊帯域精製装置、サイクロトロン共鳴実験装置（森本）		
工学部附属超高温プラズマ研究施設	1966年4月5日	昭和41年4月5日	設置。後にヘリオトロン核融合研究センターに改組		5.16 中国で文化大革命はじまる
工学研究所	1966年6月1日	昭和41年6月	宇治新館の竣工式を兼ねて本研究所創立25周年記念式典を開催、同時に宇治地区への移転を完了。		
宇治キャンパス	1967年11月5日	昭和42年11月5日	宇治総合運動場開場式挙行		
工学研究所（設備）	1968年	昭和43年	デジタル計算機 FACOM 270-20 導入（樫木）		
工学研究所（設備）	1969年	昭和44年	原子炉安全解析実験装置室の新営（465m <sup>2</sup> ）【南1号棟】		
工学部附属超高温プラズマ研究施設（設備）	1970年	昭和45年	ヘリオトロンD（ヘリカルヘリオトロン磁場）		3.15～9.13 大阪万博開催

区 分	西 暦	和 暦	出 来 事	研究部門	世界と日本の動き
工学研究所 (設備)	1971 年以降	昭和 46 年以降	大型実験設備の設置にともなう施設の新営、事務室、研究棟などの増築。		
原子エネルギー研究所	1971 年 3 月 31 日	昭和 46 年 3 月 31 日	工学研究所が原子エネルギー研究所と改称	原子炉構造、粒子線工学、原子炉計測工学、原子燃料、原子炉材料、原子核化学工学、放射線応用工学、原子炉保安工学 (計 8 研究部門)	6.17 沖縄返還協定に調印
原子エネルギー研究所 (設備)	1971 年	昭和 46 年	マグネトプラズマ実験装置室の新営 (609m <sup>2</sup> ) 【北 1 号棟】 15 テスラ超電導電磁石、6 テスラ超電導電磁石、3.5 トンサイクロトロン型電磁石 2 台、パルス磁場発生装置、パルスマイクロ波実験装置、可視および赤外分光装置、パルス核磁気共鳴装置、超音波吸収実験装置		
原子エネルギー研究所	1972 年	昭和 47 年		原子炉事故解析研究部門新設。 原子炉構造、粒子線工学、原子炉計測工学、原子燃料、原子炉材料、原子核化学工学、放射線応用工学、原子炉保安工学、原子炉事故解析 (計 9 研究部門)	
原子エネルギー研究所 (設備)	1974 ~ 1975 年	昭和 49 ~ 50 年	蒸発実験装置、表面電離実験装置 (浅野、原田、水谷)		
工学部附属超高温プラズマ研究施設 (設備)	1975 年	昭和 50 年	ヘリオトロン DM (ヘリカルヘリオトロン磁場)		
ヘリオトロン核融合研究センター	1976 年 5 月 10 日	昭和 51 年 5 月 10 日	工学部附属超高温プラズマ研究施設を改組し設置。	学内共同教育研究施設。 超高温プラズマ制御、超高温プラズマ測定、超高温プラズマ加熱 (3 部門)	
ヘリオトロン核融合研究センター (設備)	1976 年	昭和 51 年	ヘリオトロン E 建設開始		
ヘリオトロン核融合研究センター	1977 年	昭和 52 年		核融合炉工学研究部門新設。 超高温プラズマ制御、超高温プラズマ測定、超高温プラズマ加熱、核融合炉工学 (4 部門)	
原子エネルギー研究所	1977 年	昭和 52 年		原子エネルギー変換研究部門 (客員部門) 新設。 原子炉構造、粒子線工学、原子炉計測工学、原子燃料、原子炉材料、原子核化学工学、放射線応用工学、原子炉保安工学、原子炉事故解析、原子エネルギー変換 (計 9 固定研究部門 +1 客員研究部門)	
原子エネルギー研究所 (設備)	1979 年	昭和 54 年	研究棟本館の増築 (当研究所使用の本館面積 6,589m <sup>2</sup> )		3.28 スリーマイル島原子力発電所事故
ヘリオトロン核融合研究センター	1979 年	昭和 54 年		核融合機器制御研究部門新設 (時限 10 年)。 超高温プラズマ制御、超高温プラズマ測定、超高温プラズマ加熱、核融合炉工学、核融合機器制御 (5 部門)	
ヘリオトロン核融合研究センター	1980 年	昭和 55 年		核融合炉技術開発研究部門新設。 超高温プラズマ制御、超高温プラズマ測定、超高温プラズマ加熱、核融合炉工学、核融合機器制御、核融合炉技術開発 (6 部門)	
ヘリオトロン核融合研究センター (設備)	1980 年	昭和 55 年	ヘリオトロン E 完成、実験開始		9.22 イラン・イラク戦争勃発
原子エネルギー研究所 (設備)	1981 年	昭和 56 年	高温液体電熱流動実験室の新営 (481m <sup>2</sup> ) 【南 2 号棟】		



区 分	西 暦	和 暦	出 来 事	研究部門	世界と日本の動き
ヘリオトロン核融合研究センター（設備）	1981年	昭和56年	ヘリオトロンDR		
ヘリオトロン核融合研究センター	1982年	昭和57年		実験・計測研究部門新設（客員部門、時限10年）。 超高温プラズマ制御、超高温プラズマ測定、超高温プラズマ加熱、核融合炉工学、核融合機器制御、核融合炉技術開発、実験・計測（7部門）	
原子エネルギー研究所（設備）	1982年	昭和57年	プラズマエネルギー直接変換実験棟の建設（679m <sup>2</sup> ） 【南3号棟】		
ヘリオトロン核融合研究センター	1985年	昭和60年		高温プラズマ物理解析研究部門新設（時限10年）。 超高温プラズマ制御、超高温プラズマ測定、超高温プラズマ加熱、核融合炉工学、核融合機器制御、核融合炉技術開発、実験・計測、高温プラズマ物理解析（8部門）	
宇治キャンパス	1987年 1月16日	昭和62年 1月16日	宇治構内に国際交流会館宇治分館開館		
ヘリオトロン核融合研究センター	1988年	昭和63年		超伝導開発研究部門新設（時限10年）。 超高温プラズマ制御、超高温プラズマ測定、超高温プラズマ加熱、核融合炉工学、核融合炉技術開発、実験・計測、高温プラズマ物理解析、超伝導開発（8部門）	
ヘリオトロン核融合研究センター（設備）	1988年	昭和63年	超伝導コイル実験装置を整備		
ヘリオトロン核融合研究センター	1989年	平成元年		文部省核融合科学研究所が名古屋大学プラズマ研究所・広島大学核融合理論研究センター・京都大学ヘリオトロン核融合研究センターの一部を統合し発足。核融合炉技術開発研究部門、超伝導開発研究部門が振り替えられる。 超高温プラズマ制御、超高温プラズマ測定、超高温プラズマ加熱、核融合炉工学、実験・計測、高温プラズマ物理解析（6部門）	
ヘリオトロン核融合研究センター	1990年	平成2年		高温プラズマ物理解析研究部門が文部省核融合科学研究所に振り替えられる。 超高温プラズマ制御、超高温プラズマ測定、超高温プラズマ加熱、核融合炉工学、実験・計測（5部門）	日本のバブル経済崩壊
原子エネルギー研究所	1991年	平成3年	工学研究所創立から50周年を記念する小宴を開催		
ヘリオトロン核融合研究センター	1992年	平成4年		実験・計測研究部門（客員）が廃止され、ヘリカル系周辺プラズマ研究部門（客員・時限10年）を新設。 超高温プラズマ制御、超高温プラズマ測定、超高温プラズマ加熱、核融合炉工学、ヘリカル系周辺プラズマ（5部門）	3.14 東海道新幹線「のぞみ」が運転を開始

区 分	西 暦	和 暦	出 来 事	研究部門	世界と日本の動き
エネルギー理工学研究所	1996年 5月 11日	平成 8年 5月 11日	原子エネルギー研究所がヘリオトロン核融合研究センターの一部と合体し、エネルギー理工学研究所に改組。附属エネルギー複合機構研究センター（時限10年）設置。	エネルギー生成研究部門、エネルギー機能変換研究部門、エネルギー利用過程研究部門、附属エネルギー複合機構研究センター（計3研究部門（14分野）+1附属センター1研究分野） エネルギー生成研究部門：量子放射エネルギー、原子エネルギー、粒子エネルギー、プラズマエネルギー、先進エネルギー評価（外国人客員） エネルギー機能変換研究部門：複合機能変換過程、エネルギー輸送、エネルギー貯蔵、複合系プラズマ、クリーンエネルギー変換（国内客員） エネルギー利用過程研究部門：複合化学過程、分子集合体設計、機能性先進材料、生体エネルギー 附属エネルギー複合機構研究センター：センター附属研究分野	
エネルギー理工学研究所	1996年 5月	平成 8年 5月	理工会発足（工研会（研究所全職員の親睦団体）の後身）		
エネルギー理工学研究所	1996年 11月 28日	平成 8年 11月 28日	エネルギー理工学研究所公開講演会（初回）		
エネルギー理工学研究所（設備）	1996年	平成 8年	超小型静電慣性核融合装置（吉川潔）		
エネルギー理工学研究所	1997年 2月 19日	平成 9年 2月 19日	第1回エネルギー理工学研究所先進エネルギー国際シンポジウム開催		
宇治キャンパス	1997年 11月 22日	平成 9年 11月 22日	宇治キャンパス展を開催		
エネルギー理工学研究所（設備）	1997～2002年	平成 9～14年	極短パルス高強度レーザー装置（宮崎）		
エネルギー理工学研究所	1998年 -	平成 10年 -	日韓拠点大学方式学術交流事業		2.7～22 冬季長野オリンピック開催
エネルギー理工学研究所（設備）	1999年 11月	平成 11年 11月	ヘリオトロンJ【北4号棟】（2000.3.8完成報告会）、触媒材料創製・解析システム		
宇治キャンパス	2000年 4月 1日	平成 12年 4月 1日	宇治地区研究所・センター事務部の統合（宇治地区事務部）		
エネルギー理工学研究所	2000年 12月 20日	平成 12年 12月 20日	通商産業省工業技術院大阪工業技術研究所との研究協力協定締結		
エネルギー理工学研究所（設備）	2000年～2003年	平成 12～15年	マルチスケール材料評価研究基盤群 MUSTER		
エネルギー理工学研究所	2002年	平成 14年	「環境調和型エネルギーの研究教育拠点形成」が文部科学省21世紀COEプログラム（トップ30）に採択された。		5.31～6.30 FIFA ワールドカップ日本と韓国共同開催

区 分	西 暦	和 暦	出 来 事	研究部門	世界と日本の動き
エネルギー理工学研究所	2003年	平成15年		エネルギー利用過程研究部門にナノ工学研究分野が新設。(3研究部門15研究分野、1附属センター1研究分野) エネルギー生成研究部門：量子放射エネルギー、原子エネルギー、粒子エネルギー、プラズマエネルギー、先進エネルギー評価(外国人客員) エネルギー機能変換研究部門：複合機能変換過程、エネルギー輸送、エネルギー貯蔵、複合系プラズマ、クリーンエネルギー変換(国内客員) エネルギー利用過程研究部門：複合化学過程、分子集合体設計、生物機能科学、生体エネルギー、ナノ工学 附属エネルギー複合機構研究センター：センター附属研究分野	
エネルギー理工学研究所	2003年11月21日	平成15年11月21日	バンコクに初の21COE海外拠点を設置、京都大学21COE ラジャマンガラ工科大学研究室の開設		
京都大学	2004年	平成16年	国立大学法人京都大学設立		
エネルギー理工学研究所	2004年～	平成16年～	双方向型共同研究(Heliotron J)		
エネルギー理工学研究所	2004年	平成16年	エネルギー理工学研究所院生会発足		
エネルギー理工学研究所(設備)	2004年12月9日	平成16年12月9日	旧ヘリオトロン核融合研究センター(D棟)を大規模改装し、量子光・加速粒子総合工学研究棟を設置【北2号棟】。 自由電子レーザー施設 KU-FEL(山崎)、高度エネルギー機能変換実験装置/材料実験装置 DuET、マルチスケール材料評価基盤設備 MUSTER(香山) エネルギーナノサイエンス研究棟(森井)【北1号棟】		
エネルギー理工学研究所	2005年3月31日	平成17年4月1日		エネルギー利用過程研究部門のナノ工学研究分野が廃止。(3研究部門14研究分野、1附属センター1研究分野) エネルギー生成研究部門：量子放射エネルギー、原子エネルギー、粒子エネルギー、プラズマエネルギー、先進エネルギー評価(外国人客員) エネルギー機能変換研究部門：複合機能変換過程、エネルギー輸送、エネルギー貯蔵、複合系プラズマ、クリーンエネルギー変換(国内客員) エネルギー利用過程研究部門：複合化学過程、分子集合体設計、生物機能科学、生体エネルギー 附属エネルギー複合機構研究センター：センター附属研究分野	3.25～9.25 大規模国際博覧会「愛・地球博」が愛知県で開催
エネルギー理工学研究所	2006年5月13日	平成18年5月13日	エネルギー理工学研究所改組並びにエネルギー科学研究科創立10周年記念講演会・式典・祝賀会を挙行		
エネルギー理工学研究所	2006年	平成18年	附属エネルギー複合機構研究センター改組		

区 分	西 暦	和 暦	出 来 事	研究部門	世界と日本の動き
エネルギー理工学研究所	2006年	平成18年		エネルギー輸送がレーザー科学に、機能的先進材料が生物機能科学に改称（3研究部門14研究分野、1附属センター1研究分野） エネルギー生成研究部門：量子放射エネルギー、原子エネルギー、粒子エネルギー、プラズマエネルギー、先進エネルギー評価（外国人客員） エネルギー機能変換研究部門：複合機能変換過程、レーザー科学、エネルギー貯蔵、複合系プラズマ、クリーンエネルギー変換（国内客員） エネルギー利用過程研究部門：複合化学過程、分子集合体設計、生物機能科学、生体エネルギー 附属エネルギー複合機構研究センター：センター附属研究分野	
エネルギー理工学研究所	2007年～2015年	平成19年～27年	文部科学省先端研究施設教養イノベーション創出事業【産業戦略利用】エネルギー機器材料の創製と保全研究のための産業利用支援（ADMIRE）開始		
宇治キャンパス	2007年～2011年	平成19年～23年	宇治キャンパス耐震改修工事		
エネルギー理工学研究所	2008年～2012年	平成20年～24年	グローバルCOEプログラム採択「地球温暖化時代のエネルギー科学拠点- CO2ゼロエミッションをめざして-」		
宇治キャンパス	2009年11月1日	平成21年11月	京都大学宇治キャンパス宇治おうばくプラザ竣工		
エネルギー理工学研究所（設備）	2010年	平成22年	NMR装置群（片平）【南2号棟】		
エネルギー理工学研究所	2011年	平成23年	文部科学省認定共同利用・共同研究拠点「ゼロエミッションエネルギー研究拠点」活動開始（2011-2015）		3.11 東日本大震災
エネルギー理工学研究所	2012年	平成24年		エネルギー貯蔵がエネルギー基盤材料に、分子集合体設計が分子ナノ工学に、生物機能科学が生物機能化学に、生体エネルギーがエネルギー構造生命科学に改称（3研究部門14研究分野、1附属センター1研究分野） エネルギー生成研究部門：量子放射エネルギー、原子エネルギー、粒子エネルギー、プラズマエネルギー、先進エネルギー評価（外国人客員） エネルギー機能変換研究部門：複合機能変換過程、レーザー科学、エネルギー基盤材料、複合系プラズマ、クリーンエネルギー変換（国内客員） エネルギー利用過程研究部門：複合化学過程、分子ナノ工学、生物機能化学、エネルギー構造生命科学 附属エネルギー複合機構研究センター：センター附属研究分野	5.22 東京スカイツリー開業
エネルギー理工学研究所	2016年5月11日	平成28年5月11日	エネルギー理工学研究所改組・発足二十周年記念講演会・式典・祝賀会		
エネルギー理工学研究所	2016年	平成28年	文部科学省認定共同利用・共同研究拠点「ゼロエミッションエネルギー研究拠点」活動開始（2016-2021）		3.26 北海道新幹線開業

区 分	西 暦	和 暦	出 来 事	研究部門	世界と日本の動き
エネルギー理工学研究所	2018年 4月 1日	平成30年 4月 1日		<p>附属エネルギー複合機構研究センターセンター附属研究分野を自己組織化化学、高温プラズマ機器学、環境微生物学（寄付部門）に編成替え（3研究部門 14研究分野、1附属センター 3研究分野）</p> <p>エネルギー生成研究部門：量子放射エネルギー、原子エネルギー、粒子エネルギー、プラズマエネルギー、先進エネルギー評価（外国人客員）</p> <p>エネルギー機能変換研究部門：複合機能変換過程、レーザー科学、エネルギー基盤材料、複合系プラズマ、クリーンエネルギー変換（国内客員）</p> <p>エネルギー利用過程研究部門：複合化学過程、分子ナノ工学、生物機能化学、エネルギー構造生命科学</p> <p>附属エネルギー複合機構研究センター：自己組織化科学、高温プラズマ機器学、環境微生物学（寄付部門）</p>	
エネルギー理工学研究所	2019年 1月 1日	平成31年 1月 1日		<p>粒子エネルギーを廃止、複合系プラズマをエネルギー生成研究部門に編成替え、エネルギー機能変換研究部門にナノ光科学を新設。（3研究部門 14研究分野、1附属センター 3研究分野）</p> <p>エネルギー生成研究部門：量子放射エネルギー、原子エネルギー、プラズマエネルギー、複合系プラズマ、先進エネルギー評価（外国人客員）</p> <p>エネルギー機能変換研究部門：複合機能変換過程、レーザー科学、エネルギー基盤材料、ナノ光科学、クリーンエネルギー変換（国内客員）</p> <p>エネルギー利用過程研究部門：複合化学過程、分子ナノ工学、生物機能化学、エネルギー構造生命科学</p> <p>附属エネルギー複合機構研究センター：自己組織化科学、高温プラズマ機器学、環境微生物学（寄付部門）</p>	
エネルギー理工学研究所 (設備)	2019年	令和元年	KU-FELが常伝導加速器を用いた共振器型FELとして世界最高の引き出し効率を達成（MIR-FEL）		

区 分	西 暦	和 暦	出 来 事	研究部門	世界と日本の動き
エネルギー理工学研究所	2020年 2月 1日	令和 2年 2月 1日		<p>附属エネルギー複合機構研究センターに広帯域エネルギー理工学開拓を新設。(3研究部門14研究分野、1附属センター4研究分野)</p> <p>エネルギー生成研究部門：量子放射エネルギー、原子エネルギー、プラズマエネルギー、複合系プラズマ、先進エネルギー評価(外国人客員)</p> <p>エネルギー機能変換研究部門：複合機能変換過程、レーザー科学、エネルギー基盤材料、ナノ光科学、クリーンエネルギー変換(国内客員)</p> <p>エネルギー利用過程研究部門：複合化学過程、分子ナノ工学、生物機能化学、エネルギー構造生命科学</p> <p>附属エネルギー複合機構研究センター：自己組織化科学、高温プラズマ機器学、広帯域エネルギー理工学開拓、環境微生物学(寄付部門)</p>	世界的に新型コロナウイルスが蔓延する
エネルギー理工学研究所(設備)	2020年	令和 2年	KU-FELが共振器型FELとして世界最高の引き出し効率を達成(MIR-FEL)		
エネルギー理工学研究所	2021年	令和 3年	北4号棟にエネルギー理工学研究所年表、歴代所長パネル設置	<p>複合機能変換過程を機能物性工学に改称(2021.4.1)、附属エネルギー複合機構研究センターにバイオマスプロダクトツリー産学共同研究部門を設置(2021.10.1)。(3研究部門14研究分野、1附属センター5研究分野)</p> <p>エネルギー生成研究部門：量子放射エネルギー、原子エネルギー、プラズマエネルギー、複合系プラズマ、先進エネルギー評価(外国人客員)</p> <p>エネルギー機能変換研究部門：機能物性工学、レーザー科学、エネルギー基盤材料、ナノ光科学、クリーンエネルギー変換(国内客員)</p> <p>エネルギー利用過程研究部門：複合化学過程、分子ナノ工学、生物機能化学、エネルギー構造生命科学</p> <p>附属エネルギー複合機構研究センター：自己組織化科学、高温プラズマ機器学、広帯域エネルギー理工学開拓、環境微生物学(寄付部門)</p>	7.23～8.8 東京オリンピック開催
エネルギー理工学研究所	2022年	令和 4年	文部科学省認定共同利用・共同研究拠点「ゼロエミッションエネルギー研究拠点」活動開始(2022-2027)		2.4～20 北京オリンピック開催 2.24 ロシアによるウクライナ侵攻
エネルギー理工学研究所	2022年 8月 1日	令和 4年 8月 1日	附属カーボンネガティブ・エネルギー研究センター設置		

出典：京都帝国大学史、京都大学七十年史、京都大学百年史(総説編、部局編、写真集)、ヘリオトロン核融合研究センター「現状と課題」(平成6年度)、研究所データベース、研究所広報誌(概要、NL)、量子光・加速粒子総合工学研究棟パンフレット、高度エネルギー機能変換実験装置年報(2003)、舎密局跡立札等

## 歴代所長・センター長

区 分	氏 名	着 任		離 任	
		西 暦	和 暦	西 暦	和 暦
中央実験所	中 澤 良 夫	1914年 4月 1日	大正 3年 4月 1日	1941年 11月 29日	昭和 16年 11月 29日
工学研究所	中 澤 良 夫	1941年 11月 29日	昭和 16年 11月 29日	1943年 10月 9日	昭和 18年 10月 9日
工学研究所	鳥 養 利 三 郎	1943年 10月 9日	昭和 18年 10月 9日	1945年 10月 31日	昭和 20年 10月 31日
工学研究所	西 村 秀 雄	1945年 11月 1日	昭和 20年 11月 1日	1947年 3月 31日	昭和 22年 3月 31日
工学研究所	西 原 利 夫	1947年 3月 31日	昭和 22年 3月 31日	1950年 3月 31日	昭和 25年 3月 31日
工学研究所	松 田 長 三 郎	1950年 3月 31日	昭和 25年 3月 31日	1952年 4月 1日	昭和 27年 4月 1日
工学研究所	岡 田 辰 三	1952年 4月 1日	昭和 27年 4月 1日	1953年 5月 1日	昭和 28年 5月 1日
工学研究所	藤 本 武 助	1953年 5月 1日	昭和 28年 5月 1日	1956年 9月 1日	昭和 31年 9月 1日
工学研究所	林 重 憲	1956年 9月 1日	昭和 31年 9月 1日	1958年 8月 31日	昭和 33年 8月 31日
工学研究所	長 尾 不 二 夫	1958年 9月 1日	昭和 33年 9月 1日	1960年 8月 31日	昭和 35年 8月 31日
工学研究所	堀 尾 正 雄	1960年 9月 1日	昭和 35年 9月 1日	1966年 4月 1日	昭和 41年 4月 1日
工学研究所	榎 木 義 一	1966年 4月 1日	昭和 41年 4月 1日	1971年 3月 31日	昭和 46年 3月 31日
原子エネルギー研究所	榎 木 義 一	1971年 4月 1日	昭和 46年 4月 1日	1972年 3月 31日	昭和 47年 3月 31日
原子エネルギー研究所	水 科 篤 郎	1972年 4月 1日	昭和 47年 4月 1日	1976年 3月 31日	昭和 51年 3月 31日
原子エネルギー研究所	西 朋 太	1976年 4月 1日	昭和 51年 4月 1日	1977年 11月 1日	昭和 52年 11月 1日
原子エネルギー研究所	鈎 三 郎	1977年 11月 1日	昭和 52年 11月 1日	1979年 10月 31日	昭和 54年 10月 31日
原子エネルギー研究所	服 部 嘉 雄	1979年 11月 1日	昭和 54年 11月 1日	1983年 10月 31日	昭和 58年 10月 31日
原子エネルギー研究所	櫻 井 彰	1983年 11月 1日	昭和 58年 11月 1日	1987年 10月 31日	昭和 62年 10月 31日
原子エネルギー研究所	端 野 朝 康	1987年 11月 1日	昭和 62年 11月 1日	1989年 10月 31日	平成 元年 10月 31日
原子エネルギー研究所	若 林 二 郎	1989年 11月 1日	平成 元年 11月 1日	1991年 10月 31日	平成 3年 10月 31日
原子エネルギー研究所	高 橋 幹 二	1991年 11月 1日	平成 3年 11月 1日	1995年 3月 31日	平成 7年 3月 31日
原子エネルギー研究所	西 川 禎 一	1995年 4月 1日	平成 7年 4月 1日	1996年 3月 31日	平成 8年 3月 31日
原子エネルギー研究所	東 邦 夫	1996年 4月 1日	平成 8年 4月 1日	1996年 5月 10日	平成 8年 5月 10日
工学部附属超高温プラズマ研究施設	櫻 田 一 郎	1966年 4月 1日	昭和 41年 4月 1日	1967年 3月 31日	昭和 42年 3月 31日
工学部附属超高温プラズマ研究施設	前 田 敏 男	1967年 4月 1日	昭和 42年 4月 1日	1969年 3月 31日	昭和 44年 3月 31日
工学部附属超高温プラズマ研究施設	高 村 仁 一	1969年 4月 1日	昭和 44年 4月 1日	1971年 3月 31日	昭和 46年 3月 31日
工学部附属超高温プラズマ研究施設	福 井 謙 一	1971年 4月 1日	昭和 46年 4月 1日	1973年 3月 31日	昭和 48年 3月 31日
工学部附属超高温プラズマ研究施設	近 藤 文 治	1973年 4月 1日	昭和 48年 4月 1日	1975年 3月 31日	昭和 50年 3月 31日
工学部附属超高温プラズマ研究施設	桐 榮 良 三	1975年 4月 1日	昭和 50年 4月 1日	1976年 5月 9日	昭和 51年 5月 9日
ヘリオトロン核融合研究センター	桐 榮 良 三*	1976年 5月 10日	昭和 51年 5月 10日	1976年 7月 1日	昭和 51年 7月 1日
ヘリオトロン核融合研究センター	宇 尾 光 治	1976年 7月 1日	昭和 51年 7月 1日	1988年 3月 31日	昭和 63年 3月 31日
ヘリオトロン核融合研究センター	飯 吉 厚 夫	1988年 4月 1日	昭和 63年 4月 1日	1989年 5月 28日	平成 元年 5月 28日
ヘリオトロン核融合研究センター	大 引 得 弘	1989年 5月 29日	平成 元年 5月 29日	1996年 5月 10日	平成 8年 5月 10日
エネルギー理工学研究所	東 邦 夫	1996年 5月 11日	平成 8年 5月 11日	1998年 3月 31日	平成 10年 3月 31日
エネルギー理工学研究所	井 上 信 幸	1998年 4月 1日	平成 10年 4月 1日	2000年 3月 31日	平成 12年 3月 31日
エネルギー理工学研究所	吉 川 潔	2000年 4月 1日	平成 12年 4月 1日	2007年 3月 31日	平成 19年 3月 31日
エネルギー理工学研究所	香 山 晃	2007年 4月 1日	平成 19年 4月 1日	2007年 10月 31日	平成 19年 10月 31日
エネルギー理工学研究所	尾 形 幸 生*	2007年 11月 1日	平成 19年 11月 1日	2007年 12月 31日	平成 19年 12月 31日
エネルギー理工学研究所	尾 形 幸 生	2008年 1月 1日	平成 20年 1月 1日	2013年 3月 31日	平成 25年 3月 31日
エネルギー理工学研究所	岸 本 泰 明	2013年 4月 1日	平成 25年 4月 1日	2015年 3月 31日	平成 27年 3月 31日
エネルギー理工学研究所	水 内 亨	2015年 4月 1日	平成 27年 4月 1日	2017年 3月 31日	平成 29年 3月 31日
エネルギー理工学研究所	岸 本 泰 明	2017年 4月 1日	平成 29年 4月 1日	2021年 3月 31日	令和 3年 3月 31日
エネルギー理工学研究所	森 井 孝	2021年 4月 1日	令和 3年 4月 1日		

\* 事務取扱

エネルギー理工学研究所 歴代教員

\*2022年9月1日現在

部 門	研究分野	職 名	名 前	着 任 日	退職・異動日
生成	量子放射エネルギー	教授	山 寄 鉄 男	1998年4月1日	2007年3月31日
		教授	大 垣 英 明	2007年12月1日	現職
		助教授	千 葉 明 朗	1996年5月11日	2000年4月1日
		准教授	大 垣 英 明	2001年5月1日	2007年11月30日
		准教授	紀 井 俊 輝	2008年11月1日	現職
		特定准教授	金 城 良 太	2022年1月1日	現職
		助手	山 本 正 雄	1996年5月11日	1998年6月30日
		助教	紀 井 俊 輝	1999年4月1日	2008年10月31日
		助教	全 炳 俊	2011年7月1日	現職
		特定講師	H. Farzaneh	2015年9月1日	2018年3月31日
		特定助教	K. Poolsawat	2018年12月1日	2019年3月31日
		特定助教	J. Cravioto	2019年6月7日	現職
生成	原子エネルギー	教授	井 上 信 幸	1996年10月1日	2001年3月31日
		教授	小 西 哲 之	2003年7月1日	2022年3月31日
		教授(兼)	長 崎 百 伸	2022年4月1日	現職
		准教授	山 本 靖	1997年6月16日	2011年3月31日
		准教授	笠 田 竜 太	2011年12月1日	2017年9月30日
		准教授	八 木 重 郎	2022年4月1日	現職
		講師	八 木 重 郎	2018年6月1日	2022年3月31日
		助教	神 保 光 一	1996年5月11日	1999年3月31日
		助教	竹 内 右 人	1999年4月1日	2016年9月30日
		助教	向 井 啓 祐	2017年5月1日	現職
		特定助教	M. A. Bakr	2019年9月1日	2020年1月31日
生成	粒子エネルギー	教授	吉 川 潔	1996年5月11日	2007年3月31日
		教授	長 崎 百 伸	2007年12月1日	2018年12月31日
		助教授	大 西 正 視	1996年5月11日	1999年3月31日
		助教授	長 崎 百 伸	2001年1月1日	2002年3月31日
		准教授	増 田 開	2004年6月1日	2018年12月31日
		助手	山 本 靖	1996年5月11日	1997年6月15日
		助手	増 田 開	1998年4月1日	2004年5月31日
		助教	大 島 慎 介	2012年4月1日	2018年12月31日
生成	プラズマエネルギー	教授	大 引 得 弘	1996年5月11日	2003年3月31日
		教授	水 内 亨	2003年10月16日	2018年3月31日
		教授	長 崎 百 伸	2019年1月1日	現職
		助教授	水 内 亨	1996年5月11日	2003年10月15日
		准教授	長 崎 百 伸	2003年4月1日	2007年11月30日
		准教授	南 貴 司	2009年1月1日	2018年12月31日
		准教授	増 田 開	2019年1月1日	2019年5月31日
		准教授	小 林 進 二	2019年12月1日	現職
		助手	長 崎 百 伸	1996年5月11日	2000年12月31日
		助教	小 林 進 二	2002年4月1日	2019年11月30日
		助教	山 本 聡	2019年1月1日	2019年3月31日
特定助教	M. A. Bakr	2018年12月1日	2019年3月31日		



部 門	研究分野	職 名	名 前	着 任 日	退職・異動日
生成	複合系プラズマ	教授(兼)	長 崎 百 伸	2019年1月1日	2022年3月31日
		教授	稲 垣 滋	2022年4月1日	現職
		准教授	南 貴 司	2019年1月1日	現職
		准教授	門 信 一 郎	2019年1月1日	現職
		助教	大 島 慎 介	2019年1月1日	現職
変換	複合機能変換過程	教授	香 山 晃	1996年5月11日	2009年3月15日
		教授	松 田 一 成	2010年11月1日	2018年12月31日
		教授(兼)	木 村 晃 彦	2019年1月1日	2019年3月31日
		教授(兼)	松 田 一 成	2019年4月1日	2021年3月31日
		助教授	加 藤 雄 大	1996年11月1日	2003年8月15日
		准教授	檜 木 達 也	2006年4月1日	2021年3月31日
		講師	檜 木 達 也	2003年11月1日	2006年3月31日
		准教授	宮 内 雄 平	2014年10月1日	2018年12月31日
		助手	竹 内 右 人	1996年5月11日	1999年3月31日
		助教	神 保 光 一	1999年4月1日	2020年3月31日
		特定准教授	近 藤 創 介	2017年4月1日	2018年3月31日
		特定助教	篠 北 啓 介	2017年4月1日	2018年12月31日
	機能物性工学	教授	宮 内 雄 平	2021年4月1日	現職
		助教	西 原 大 志	2021年10月1日	現職
		特定助教	西 原 大 志	2021年4月1日	2021年9月30日
変換	レーザー科学	教授	宮 崎 健 創	1997年3月16日	2013年3月31日
		教授(兼)	松 田 一 成	2019年1月1日	2022年3月31日
		教授(兼)	宮 内 雄 平	2022年4月1日	現職
		准教授	中 嶋 隆	1998年4月1日	現職
		助教	畑 幸 一	1996年5月11日	2015年3月31日
		助教	宮 地 悟 代	2004年4月1日	2014年2月15日
		特定助教	安 東 航 太	2021年5月1日	現職
変換	エネルギー貯蔵	助教授	内 藤 静 雄	1996年5月11日	1998年3月1日
		助手	山 本 雅 博	1996年5月11日	1999年2月1日
	エネルギー基盤材料	教授	木 村 晃 彦	1997年5月1日	2019年3月31日
		教授(兼)	松 田 一 成	2019年4月1日	2022年3月31日
		教授(兼)	宮 内 雄 平	2022年4月1日	現職
		准教授	森 下 和 功	1999年3月1日	現職
		助教	笠 田 竜 太	2001年4月1日	2011年11月30日
		助教	藪 内 聖 皓	2014年12月1日	現職
		特定助教	張 哲 先	2017年4月1日	2018年2月16日
変換	複合系プラズマ	教授	佐 野 史 道	1996年5月11日	2015年3月31日
		准教授	花 谷 清	1996年5月11日	2012年3月31日
		准教授	門 信 一 郎	2013年2月1日	2018年12月31日
		助教	岡 田 浩 之	1996年5月11日	2005年7月31日
		助教	山 本 聡	2008年4月1日	2018年12月31日
	ナノ光科学	教授	松 田 一 成	2019年1月1日	現職
		准教授	宮 内 雄 平	2019年1月1日	2021年3月31日
		助教	篠 北 啓 介	2020年10月1日	現職
		特定助教	篠 北 啓 介	2019年1月1日	2020年1月31日
特定助教	西 原 大 志	2019年4月1日	2021年3月31日		

部 門	研究分野	職 名	名 前	着 任 日	退職・異動日
利用	複合化学過程	教授	尾 形 幸 生	1996年 5月 11日	2013年 3月 31日
		教授	野 平 俊 之	2015年 1月 1日	2022年 7月 31日
		教授(兼)	野 平 敏 之	2022年 8月 1日	現職
		准教授	作 花 哲 夫	1998年 4月 1日	2012年 8月 31日
		准教授	小 瀧 努	2013年 4月 1日	2022年 3月 31日
		特定准教授	川 口 健 次	2020年 10月 1日	現職
		助手	作 花 哲 夫	1996年 5月 11日	1998年 3月 31日
		助手	D . H a m m	2000年 9月 1日	2004年 8月 31日
		助教	深 見 一 弘	2006年 12月 1日	2013年 9月 30日
		助教	山 本 貴 之	2017年 4月 1日	現職
		助教	法 川 勇 太 郎	2022年 4月 1日	現職
		特定助教	楊 肖	2015年 1月 1日	2016年 5月 31日
利用	分子集合体設計	教授	原 田 誠	1996年 5月 11日	1999年 3月 31日
		教授	吉 川 暹	2000年 4月 1日	2009年 3月 31日
		教授	足 立 基 齊	2002年 4月 1日	2003年 3月 31日
		教授	木 下 正 弘	2006年 3月 1日	2007年 6月 30日
		助教授	木 下 正 弘	1996年 5月 11日	2006年 2月 28日
		助手	塩 井 章 久	1996年 5月 11日	1999年 4月 1日
		助手	坂 本 清 志	2001年 4月 1日	2002年 10月 1日
	分子ナノ工学	助教	鈴 木 義 和	2003年 5月 1日	2011年 3月 15日
		教授	坂 口 浩 司	2010年 4月 1日	現職
		准教授	佐 川 尚	2006年 11月 1日	2012年 11月 30日
		助教	小 島 崇 寛	2013年 4月 1日	現職
		助教	中 江 隆 博	2014年 4月 1日	2018年 3月 31日
		助教	信 末 俊 平	2018年 6月 1日	現職
		機能性先進材料	機能性先進材料	教授	大 久 保 捷 敏
講師	森 井 孝			2002年 12月 1日	2005年 7月 31日
助教授	小 瀧 努			1997年 4月 1日	2001年 3月 31日
助手	水 谷 保 男			1996年 5月 11日	2000年 3月 31日
生物機能化学	教授		森 井 孝	2005年 8月 1日	現職
	准教授		中 田 栄 司	2017年 5月 1日	現職
	講師		中 田 栄 司	2010年 10月 16日	2017年 4月 30日
	助教		佐 川 尚	2000年 4月 1日	2006年 10月 31日
	助教		杉 本 健 二	2006年 4月 1日	2007年 6月 30日
	助教		田 井 中 一 貴	2008年 2月 1日	2010年 9月 30日
生体エネルギー	助教	仲 野 瞬	2013年 8月 1日	2021年 5月 31日	
	助教	L I N P e n g	2022年 4月 1日	現職	
	特定助教	仲 野 瞬	2012年 12月 1日	2013年 7月 31日	
	特定助教	H . D i n h	2019年 12月 16日	2021年 3月 31日	
	教授	牧 野 圭 祐	1997年 4月 1日	2009年 3月 31日	
	講師	足 立 基 齊	1996年 5月 11日	現職	
助手	原 田 敏 夫	1996年 5月 11日	2000年 3月 31日		

部 門	研究分野	職 名	名 前	着 任 日	退職・異動日
利用	生体エネルギー	助手	森 井 孝	1998年10月16日	2002年11月30日
	エネルギー構造生命科学	教授	片 平 正 人	2010年2月1日	現職
		准教授	小 瀧 努	2002年4月1日	2013年3月31日
		准教授	永 田 崇	2013年5月16日	現職
		助教	永 田 崇	2011年9月1日	2013年5月15日
		助教	真 嶋 司	2015年4月1日	2019年10月23日
		特定助教	真 嶋 司	2014年4月1日	2015年3月31日
助教	山 置 佑 大	2020年4月1日	現職		
利用	ナノ工学	教授	足 立 基 齊	2003年4月1日	2005年3月31日
	エネルギー利用過程研究部門	講師	A. Rajendran	2015年4月1日	2021年3月31日
		特定講師	A. Rajendran	2015年2月1日	2015年3月31日
附属エネルギー複合機構研究センター	センター附属	教授	木 下 正 弘	2007年7月1日	2018年3月31日
		助教授	大 槻 徵	1996年4月1日	2005年3月31日
		准教授	岡 田 浩 之	2005年8月1日	2018年3月31日
		助手	督 壽 之	1996年4月1日	2006年3月31日
		助手	上 田 静 正	1996年5月11日	2004年3月31日
		特定助教	吉 留 崇	2009年6月1日	2012年5月31日
	センター附属 (ADMIRE)	特定准教授	近 藤 創 介	2014年7月1日	2017年3月31日
		助教	岸 本 弘 立	2006年4月1日	2008年7月31日
		特定助教	近 藤 創 介	2009年4月1日	2014年6月30日
		特定助教	岩 田 憲 幸	2011年9月16日	2013年3月31日
	自己組織化科学	特定助教	韓 文 妥	2015年4月1日	2016年2月29日
		教授	木 下 正 弘	2018年4月1日	2020年3月31日
		教授(兼)	森 井 孝	2021年4月1日	現職
	高温プラズマ機器学	講師	A. Rajendran	2021年4月1日	現職
		教授(兼)	長 崎 百 伸	2019年1月1日	現職
	広帯域エネルギー理工学 開拓	准教授	岡 田 浩 之	2018年4月1日	2020年7月31日
		教授(兼)	松 田 一 成	2020年2月1日	2021年9月30日
		教授(兼)	野 平 俊 之	2021年10月1日	現職
	環境微生物学	助教	篠 北 啓 介	2020年2月1日	2020年9月30日
		助教	法 川 勇 太 郎	2021年10月1日	2022年3月31日
		特定教授	原 富 次 郎	2018年4月1日	現職
	バイオマスプロダクトツ リ-産学共同研究部門	特定准教授	高 塚 由 美 子	2018年4月1日	現職
		教授(兼)	片 平 正 人	2021年10月1日	現職
附属カーボ ンネガティ ブ・エネル ギー研究セ ンター		教授	野 平 俊 之	2022年8月1日	現職

## エネルギー理工学研究所 歴代職員

2000年4月1日より「宇治地区事務部」として統合された。この年以降は、エネ研担当のみ以下に記載する。

所 属	職 名	名 前	着 任 年	退 任 年
事務部	事務長	小 野 祐 治	1996	1997
事務部	庶務掛長	坂 田 節 子	1996	1997
事務部	庶務掛主任	石 田 茂 光	1996	1998
事務部	庶務掛員	野 口 雅 代	1996	1999
事務部	庶務掛員	吉 田 小 枝 子	1996	2000
事務部	研究協力掛長	目 鳥 繁 行	1996	1997
事務部	研究協力掛主任	西 田 千 恵 子	1996	1999
事務部	研究協力掛主任	一 井 信 吾	1996	1999
事務部	会計掛長	木 村 治 美	1996	1999
事務部	会計掛主任	竹 田 哲 人	1996	1996
事務部	会計掛員	松 原 努	1996	1999
事務部	会計掛員	南 麻 紀	1996	1997
事務部	文部技官	西 之 園 善 之	1996	2000
技術系	文部技官	井 尻 芳 行	1996	2010
技術系	文部技官	橋 富 興 宣	1996	2019
技術系	文部技官	千 住 徹	1996	2019
技術系	文部技官	矢 口 啓 二	1996	2019
技術系	文部技官	土 山 辰 夫	1996	1998
技術系	文部技官	小 林 策 治	1996	1997
技術系	文部技官	芝 野 匡 志	1996	2020
技術系	文部技官	濱 勝 彦	1996	2005
技術系	文部技官	高 塚 真 理	1996	現職
技術系	文部技官	東 使 潔	1996	現職
技術系	文部技官	坂 本 欣 三	1996	現職
事務部	事務長	倉 本 信 義	1997	1999
事務部	庶務掛長	奥 沢 融	1997	2000
事務部	研究協力掛長	高 橋 健	1997	2000
事務部	会計掛員	大 柿 晴 美	1997	2000
事務部	会計掛員	島 田 智 子	1997	1998
事務部	庶務掛主任	竹 若 一 浩	1998	2000
事務部	会計掛員	廣 中 理 絵	1998	2000
事務部	庶務掛員	荒 谷 裕 美	1999	2000

所 属	職 名	名 前	着 任 年	退 任 年
技術系	文部技官	塚 常 正 博	1998	2005
事務部	事務長	東 道 博	1999	2000
事務部	会計掛員	熊 谷 純 介	1999	2000
事務部	研究協力掛員	木 村 健 次	1999	2000
事務部	研究協力掛員	白 井 直 子	1999	2000
事務部	会計掛主任	及 川 厚	1999	2000
担当事務室	専門員	児 玉 宣 敬	2000	2004
工作室	文部技官	西 之 園 善 之	2000	2005
担当事務室	専門員	久 保 上 修	2004	2005
技術系	技術職員	大 村 高 正	2004	現職
担当事務室	専門員	堀 川 賢 治	2005	2008
技術系	技術専門職員	才 村 正 幸	2006	現職
担当事務室	専門員	渡 辺 茂	2008	2011
担当事務室	専門員	大 前 勉	2011	2014
担当事務室	事務長	森 田 勇 二	2014	2017
担当事務室	主任	大 平 直 子	2014	2018
担当事務室	事務長	岡 田 修 一	2017	2018
資料室	特定職員	滝 本 佳 子	2017	現職
担当事務室	事務長	山 本 和 人	2018	2020
担当事務室	主任	延 原 由 紀	2018	2020
技術系	技術職員（再雇用）	橋 富 興 宣	2019	2021
技術系	技術職員（再雇用）	千 住 徹	2019	現職
技術系	技術職員（再雇用）	矢 口 啓 二	2019	現職
担当事務室	事務長	平 田 美 穂	2020	2022
担当事務室	主任	下 田 理 恵	2020	現職
技術系	技術職員（再雇用）	芝 野 匡 志	2021	現職
担当事務室	事務長	結 城 美 和	2022	現職

## 叙勲・受賞

25周年記念誌編集委員会で把握できる範囲の顕著な叙勲・受賞について記載した。

受賞年月	氏名	賞の名称	賞の詳細
2007年9月	宮崎 健創	米国光学会 (Optical Society of America) フェロー	「非線形光学と高強度場科学、特に高次高調波発生、分子配向、及び表面ナノ構造形成研究への先駆的貢献」により、2008年のOSA フェローに選定された。
2007年12月	吉川 潔	タンヤブリのラジャマンガラ工科専門学校 (その後工科大学に発展) 名誉学士号	ラジャマンガラ工科大学に功績のあった外国人に女王から授与
2007年12月	吉川 暹	タンヤブリのラジャマンガラ工科専門学校 (その後工科大学に発展) 名誉学士号	ラジャマンガラ工科大学に功績のあった外国人に女王から授与
2008年9月	宮崎 健創	(社) 応用物理学会フェロー表彰	「高強度レーザーの研究開発と波長変換など非線形光学への応用への貢献」により、2008年度応用物理学会のフェロー表彰を受けた。
2009年4月	東 邦夫	瑞宝中綬章	国及び地方公共団体の公務又は公共的な業務に長年にわたり従事して功労を積み重ね、成績を挙げた者に授与される。
2010年4月	吉川 暹	Executive Visiting Professor, UBD	University of Brunei Darussalam の名誉教授
2010年6月	檜木 達也	日本セラミックス協会国際交流奨励賞 21世紀記念個人冠賞井関孝善賞	セラミックスの科学・技術に関し、学術上又は工業技術上優秀な業績を示した者に授与される。
2012年3月	宮内 雄平	飯島奨励賞 (フラーレン・ナノチューブ・グラフェン学会)	カーボンナノチューブや関連物質の研究で顕著な功績を残した若手研究者に贈られる。
2012年3月	宮内 雄平	応用物理学会講演奨励賞 (応用物理学会)	応用物理学会で優秀な発表をした若手研究者に贈られる。
2012年12月	木村 晃彦	Editorial Contribution, TMS-AIME	TMS-AIME が発行する月刊誌の編集に貢献したことが認められた。
2013年3月	宮内 雄平	日本物理学会若手奨励賞 (領域7) (日本物理学会)	分子性固体物性分野で顕著な功績を残した若手研究者に贈られる。
2014年2月	宮内 雄平	研究表彰 (光科学技術研究振興財団)	光科学分野で顕著な功績を残した研究者に贈られる。
2014年5月	宮地 悟代 宮崎 健創	第38回レーザー学会業績賞 (2014年度論文賞・オリジナル部門)	レーザー研究 41 巻 10 号 816-820 (2013) に発表した論文「宮地悟代, 宮崎健創, フェムト秒レーザー誘起表面ナノ周期構造生成の超高速ダイナミクス」により、第38回レーザー学会業績賞 (2014年度論文賞・オリジナル部門) を受賞した。
2015年3月	木村 晃彦	日本金属学会「第54回 谷川・ハリス賞」	優れた材料の発明・開発に対して授与される賞で、高温材料「スーパー ODS 鋼」の開発が評価された。

受賞年月	氏名	賞の名称	賞の詳細
2015年3月	木村 晃彦	日本原子力学会「学会フェロー」	学会の委員会活動（委員長、理事）に貢献した者に対し授与される称号。
2015年5月	宮崎 健創	(社) レーザー学会フェロー称号授与	「レーザーと関連分野への貢献」により(社) レーザー学会からフェローの称号を授与された。
2016年9月	木村 晃彦	日本金属学会「第14回 功労賞」	金属材料科学や長期にわたる学会活動において貢献度が顕著に高い者に対して授与される賞。
2016年4月	宮内 雄平	文部科学大臣表彰 若手科学者賞（文部科学省）	科学技術分野で顕著な成果を収めた若手研究者に贈られる。
2017年3月	森井 孝	日本化学会第34回学術賞	化学の基礎または応用のそれぞれの分野において先導的・開拓的な研究業績をあげた者に授与される。
2018年11月	吉川 暹	瑞宝小綬章	教育・研究の分野で顕著な功績を残した人物に贈られる。
2019年11月	大引 得弘	瑞宝中綬章	国及び地方公共団体の公務又は公共的な業務に長年にわたり従事して功労を積み重ね、成績を挙げた者に授与される。
2020年3月	野平 俊之	電気化学会学術賞	電気化学および工業物理化学の分野において先駆的な研究業績をあげ、その業績を本会会誌ならびに関連学協会誌に発表した人物に授与される。
2021年6月	木下 正弘	日本生物物理学会第10回 PBBP 論文賞	日本生物物理学会欧文誌に掲載された論文のうち、特に優れていて生物物理学分野に大きなインパクトを与えた論文の主著者に贈られる。
2021年2月	野平 俊之	電気化学会フェロー	特に顕著な学術的または実用的成果を挙げた人物、本会の運営において特に顕著な貢献があった人物に授与される。

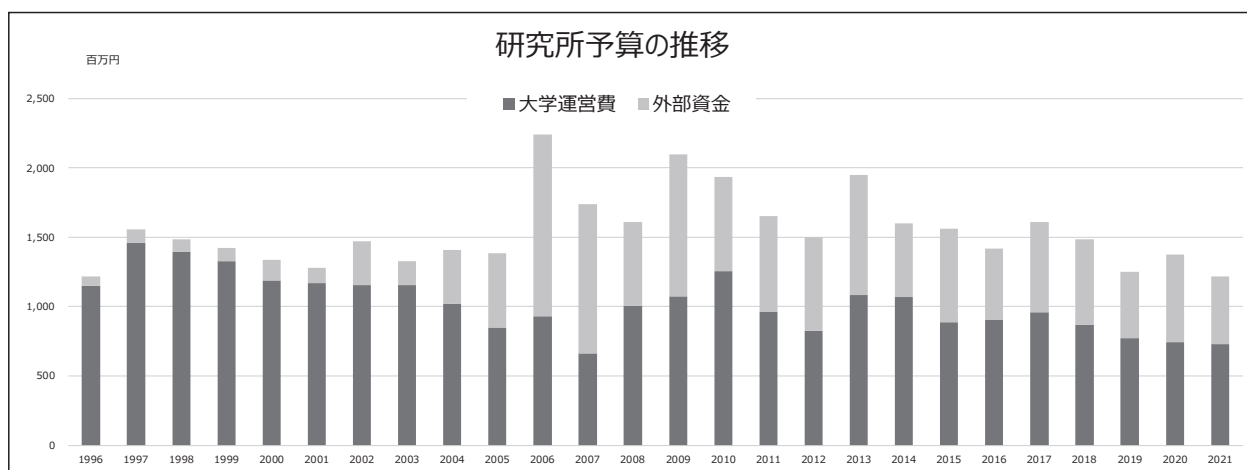
## 各種データ

### 研究所予算の推移

区分 \ 年度	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
大学運営費	1,151,821,000	1,458,186,000	1,393,712,000	1,324,542,225	1,186,240,362	1,170,206,544	1,153,773,338	1,154,082,382	1,022,070,790
(内訳) 人件費	459,581,000	527,150,000	553,920,000	531,759,572	452,548,619	455,363,678	457,318,644	445,303,790	576,582,790
(内訳) 物件費	692,240,000	931,036,000	839,792,000	792,782,653	733,691,743	714,842,866	696,454,694	708,778,592	445,488,000
外部資金	62,371,000	95,883,000	88,836,000	98,847,212	151,919,438	109,792,271	316,196,777	170,888,000	384,490,700
(内訳) 科学研究費補助金	25,422,000	21,700,000	27,452,000	19,802,597	62,913,463	21,100,000	27,500,000	51,900,000	65,200,000
(内訳) 21COE、GCOE							115,597,000	86,370,000	92,190,000
(内訳) 受託研究費	27,193,000	49,052,000	49,689,000						
(内訳) 産学連携等研究費				70,667,657	66,605,975	49,059,271	121,504,777	22,876,000	217,202,700
(内訳) 科学振興調整費						28,983,000	31,835,000	0	0
(内訳) 奨学寄附金	9,756,000	25,131,000	11,695,000	8,376,958	22,400,000	10,650,000	19,760,000	9,742,000	9,898,000
(内訳) 機関経理補助金									
計	1,214,192,000	1,554,069,000	1,482,548,000	1,423,389,437	1,338,159,800	1,279,998,815	1,469,970,115	1,324,970,382	1,406,561,490

区分 \ 年度	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
大学運営費	846,000,000	931,000,000	659,806,385	1,006,612,859	1,072,439,576	1,255,000,000	965,000,000	825,000,000	1,081,000,000
(内訳) 人件費	435,000,000	512,000,000	339,041,209	486,612,859	389,439,576	460,000,000	474,000,000	487,000,000	398,000,000
(内訳) 物件費	411,000,000	419,000,000	320,765,176	520,000,000	683,000,000	795,000,000	491,000,000	338,000,000	683,000,000
外部資金	537,000,000	1,310,000,000	1,076,223,000	601,000,000	1,022,770,000	677,000,000	687,000,000	676,000,000	868,000,000
(内訳) 科学研究費補助金	60,000,000	127,000,000	118,560,000	62,000,000	88,770,000	107,000,000	136,000,000	95,000,000	122,000,000
(内訳) 21COE、GCOE	99,000,000	83,000,000		20,000,000	36,000,000	37,000,000	30,000,000	32,000,000	
(内訳) 受託研究費									
(内訳) 産学連携等研究費	372,000,000	1,094,000,000	930,945,000	513,000,000	714,000,000	373,000,000	359,000,000	375,000,000	371,000,000
(内訳) 科学振興調整費									
(内訳) 奨学寄附金	6,000,000	6,000,000	26,718,000	6,000,000	9,000,000	14,000,000	14,000,000	22,000,000	25,000,000
(内訳) 機関経理補助金					175,000,000	146,000,000	148,000,000	152,000,000	350,000,000
計	1,383,000,000	2,241,000,000	1,736,029,385	1,607,612,859	2,095,209,576	1,932,000,000	1,652,000,000	1,501,000,000	1,949,000,000

区分 \ 年度	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
大学運営費	1,068,000,000	885,000,000	904,000,000	958,000,000	868,000,000	771,000,000	744,000,000	729,000,000
(内訳) 人件費	482,000,000	444,000,000	472,000,000	475,000,000	457,000,000	418,000,000	389,000,000	377,000,000
(内訳) 物件費	586,000,000	441,000,000	432,000,000	483,000,000	411,000,000	353,000,000	355,000,000	352,000,000
外部資金	530,000,000	676,000,000	513,000,000	649,000,000	618,000,000	479,000,000	630,000,000	488,000,000
(内訳) 科学研究費補助金	127,000,000	152,000,000	175,000,000	174,000,000	181,000,000	138,000,000	171,000,000	169,000,000
(内訳) 21COE、GCOE		0	0	0	0	0	0	0
(内訳) 受託研究費		0	0	0	0	0	0	0
(内訳) 産学連携等研究費	306,000,000	475,000,000	319,000,000	407,000,000	410,000,000	335,000,000	403,000,000	310,000,000
(内訳) 科学振興調整費		0	0	0	0	0	0	0
(内訳) 奨学寄附金	8,000,000	11,000,000	15,000,000	53,000,000	12,000,000	3,000,000	55,000,000	9,000,000
(内訳) 機関経理補助金	89,000,000	38,000,000	4,000,000	15,000,000	15,000,000	3,000,000	1,000,000	0
計	1,598,000,000	1,561,000,000	1,417,000,000	1,607,000,000	1,486,000,000	1,250,000,000	1,374,000,000	1,217,000,000



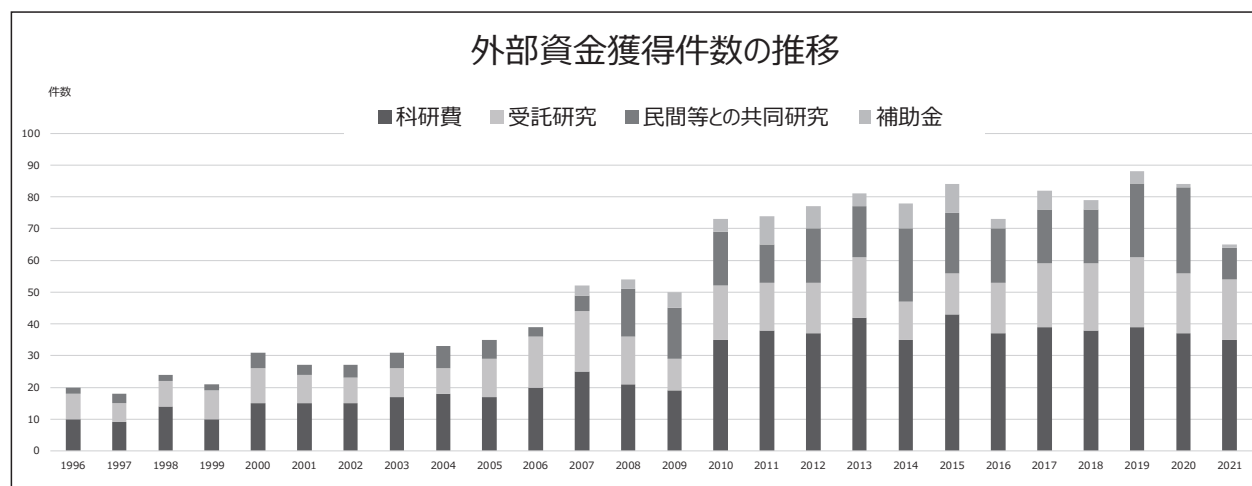


## 外部資金獲得件数の推移

区分 \ 年度	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
科研費	10	9	14	10	15	15	15	17	18
受託研究	8	6	8	9	11	9	8	9	8
民間等との共同研究	2	3	2	2	5	3	4	5	7
補助金	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計件数	20	18	24	21	31	27	27	31	33

区分 \ 年度	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
科研費	17	20	25	21	19	35	38	37	42
受託研究	12	16	19	15	10	17	15	16	19
民間等との共同研究	6	3	5	15	16	17	12	17	16
補助金	0	0	3	3	5	4	9	7	4
合計件数	35	39	52	54	50	73	74	77	81

区分 \ 年度	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
科研費	35	43	37	39	38	39	37	35
受託研究	12	13	16	20	21	22	19	19
民間等との共同研究	23	19	17	17	17	23	27	10
補助金	8	9	3	6	3	4	1	1
合計件数	78	84	73	82	79	88	84	65



### 博士学位授与者数の推移

区分 \ 年度	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
博士学位授与者数	0	2	5	3	6	5	5	6	8	10	16	7	7
内：留学生数	0	0	0	0	1	1	2	0	5	6	7	3	3
内：女性数	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1

区分 \ 年度	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
博士学位授与者数	12	2	10	7	8	9	6	4	9	9	5	4	9
内：留学生数	5	2	4	1	5	5	3	0	5	9	4	4	5
内：女性数	1	0	0	0	1	1	0	0	2	2	2	1	2

### 修士課程修了者数の推移

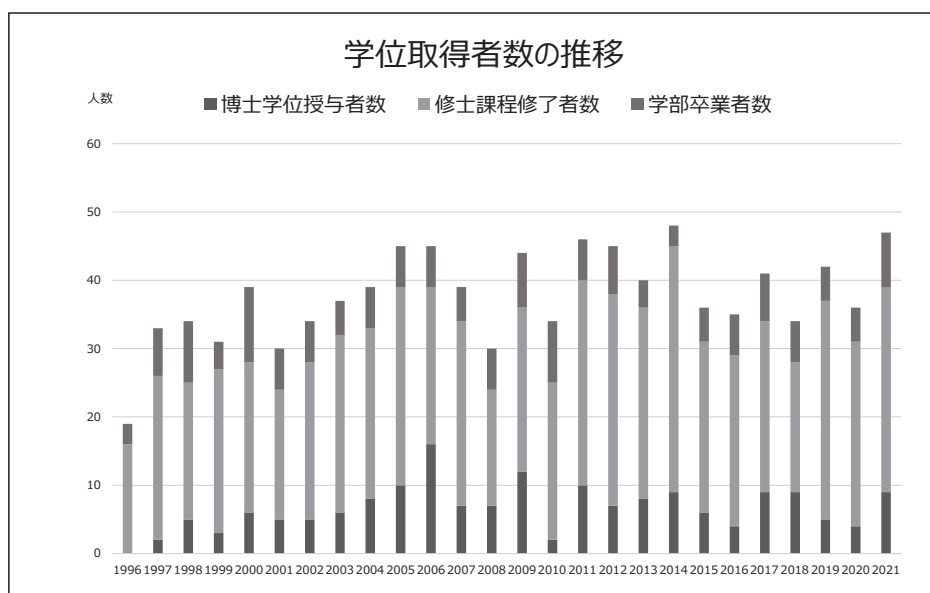
区分 \ 年度	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
修士課程修了者数	16	24	20	24	22	19	23	26	25	29	23	27	17
内：留学生数	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
内：女性数	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	0	1

区分 \ 年度	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
修士課程修了者数	24	23	30	31	28	36	25	25	25	19	32	27	30
内：留学生数	2	3	0	0	1	3	0	1	3	1	4	4	8
内：女性数	1	2	3	3	2	3	2	2	4	2	6	3	5

### 学部卒業者数の推移

区分 \ 年度	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
学部卒業者数	3	7	9	4	11	6	6	5	6	6	6	5	6
内：留学生数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
内：女性数	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

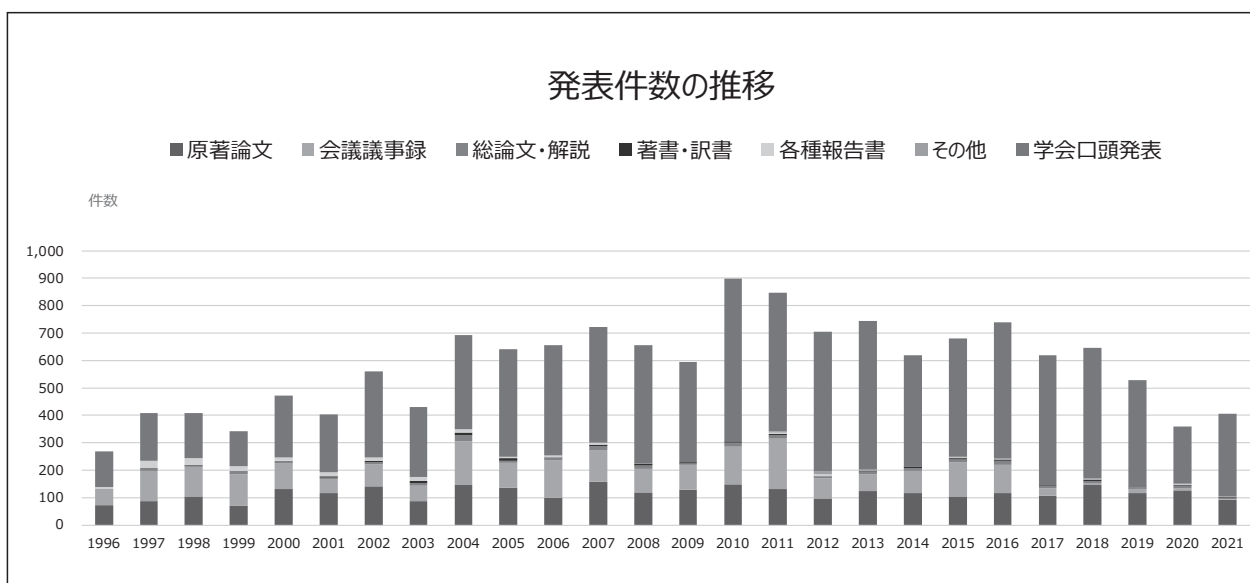
区分 \ 年度	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
学部卒業者数	8	9	6	7	4	3	5	6	7	6	5	5	8
内：留学生数	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
内：女性数	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0



発表件数の推移

区分 \ 年度	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
原著論文	72	87	105	69	130	116	140	86	146	137	100	157	118
会議議事録	57	109	108	117	95	51	81	56	159	89	136	116	86
総論文・解説	2	8	3	11	10	6	9	12	23	8	10	15	12
著書・訳書	0	4	2	0	0	4	5	7	9	9	1	5	8
各種報告書	8	27	25	17	12	16	11	13	13	6	7	8	1
その他							—	—	—	—	—	—	—
学会口頭発表	129	173	166	129	225	210	314	256	342	393	402	420	431
計	268	408	409	343	472	403	560	430	692	642	656	721	656

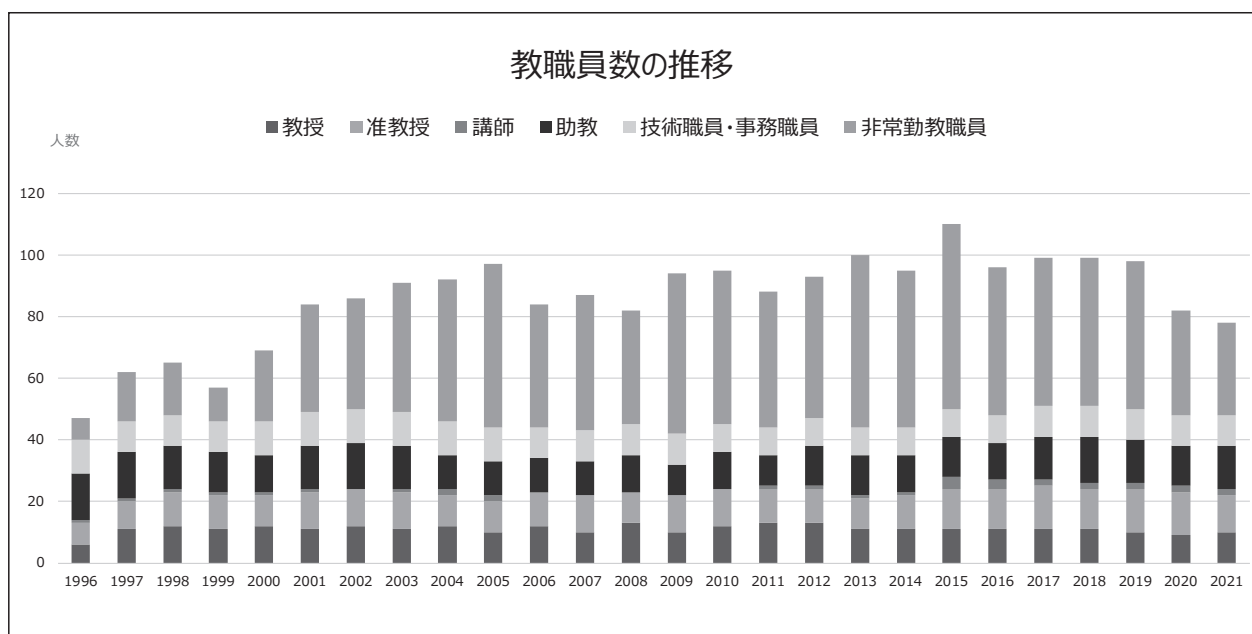
区分 \ 年度	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
原著論文	128	149	130	96	124	117	103	115	106	146	115	126	91
会議議事録	90	137	185	75	62	81	125	105	28	7	15	8	3
総論文・解説	7	15	11	6	9	10	12	13	9	7	3	9	6
著書・訳書	4	4	6	1	2	4	3	5	2	5	1	3	2
各種報告書	0	0	5	6	0	0	3	2	0	1	0	3	0
その他	—	—	4	10	5	1	2	3	0	5	1	2	2
学会口頭発表	365	594	506	511	543	406	432	496	473	474	393	208	301
計	594	899	847	705	745	619	680	739	618	645	528	359	405



## 教職員数の推移

区分 \ 年度	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
教授	6	11	12	11	12	11	12	11	12	10	12	10	13
准教授	7	9	11	11	10	12	12	12	10	10	11	12	10
講師	1	1	1	1	1	1	0	1	2	2	0	0	0
助教	15	15	14	13	12	14	15	14	11	11	11	11	12
技術職員・事務職員	11	10	10	10	11	11	11	11	11	11	10	10	10
非常勤教職員	7	16	17	11	23	35	36	42	46	53	40	44	37
計	47	62	65	57	69	84	86	91	92	97	84	87	82

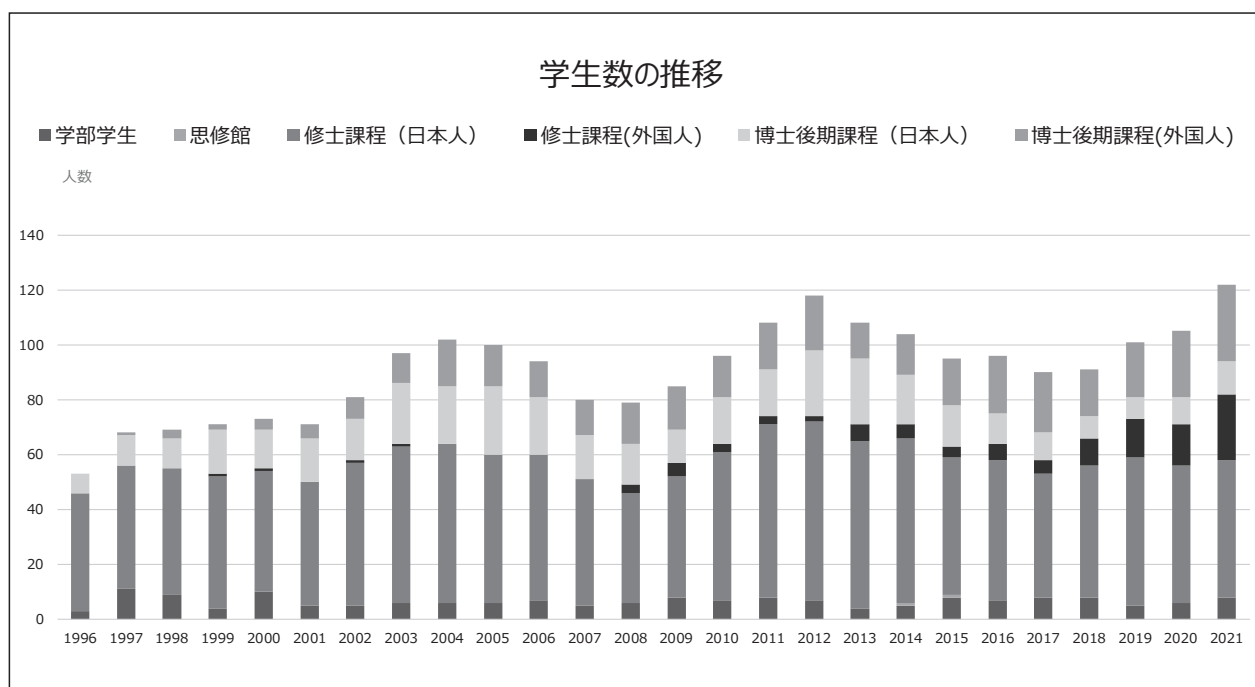
区分 \ 年度	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
教授	10	12	13	13	11	11	11	11	11	11	10	9	10
准教授	12	12	11	11	10	11	13	13	14	13	14	14	12
講師	0	0	1	1	1	1	4	3	2	2	2	2	2
助教	10	12	10	13	13	12	13	12	14	15	14	13	14
技術職員・事務職員	10	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10
非常勤教職員	52	50	44	46	56	51	60	48	48	48	48	34	30
計	94	95	88	93	100	95	110	96	99	99	98	82	78



学生数の推移

区分 \ 年度	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
学部学生	3	11	9	4	10	5	5	6	6	6	7	5	6
思修館							—	—	—	—	—	—	—
修士課程 (日本人)	43	45	46	48	44	45	52	57	58	54	53	46	40
修士課程 (外国人)	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	3
博士後期課程 (日本人)	7	11	11	16	14	16	15	22	21	25	21	16	15
博士後期課程 (外国人)	0	1	3	2	4	5	8	11	17	15	13	13	15
計	53	68	69	71	73	71	81	97	102	100	94	80	79

区分 \ 年度	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
学部学生	8	7	8	7	4	5	8	7	8	8	5	6	8
思修館	—	—	—	—	—	1	1	0	0	0	0	0	0
修士課程 (日本人)	44	54	63	65	61	60	50	51	45	48	54	50	50
修士課程 (外国人)	5	3	3	2	6	5	4	6	5	10	14	15	24
博士後期課程 (日本人)	12	17	17	24	24	18	15	11	10	8	8	10	12
博士後期課程 (外国人)	16	15	17	20	13	15	17	21	22	17	20	24	28
計	85	96	108	118	108	104	95	96	90	91	101	105	122



## 共同研究採択数の推移

### センター共同研究

区分 \ 年度	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
センター共同研究	52	52	52	56	54	56	49	50	52	52	46	50	53

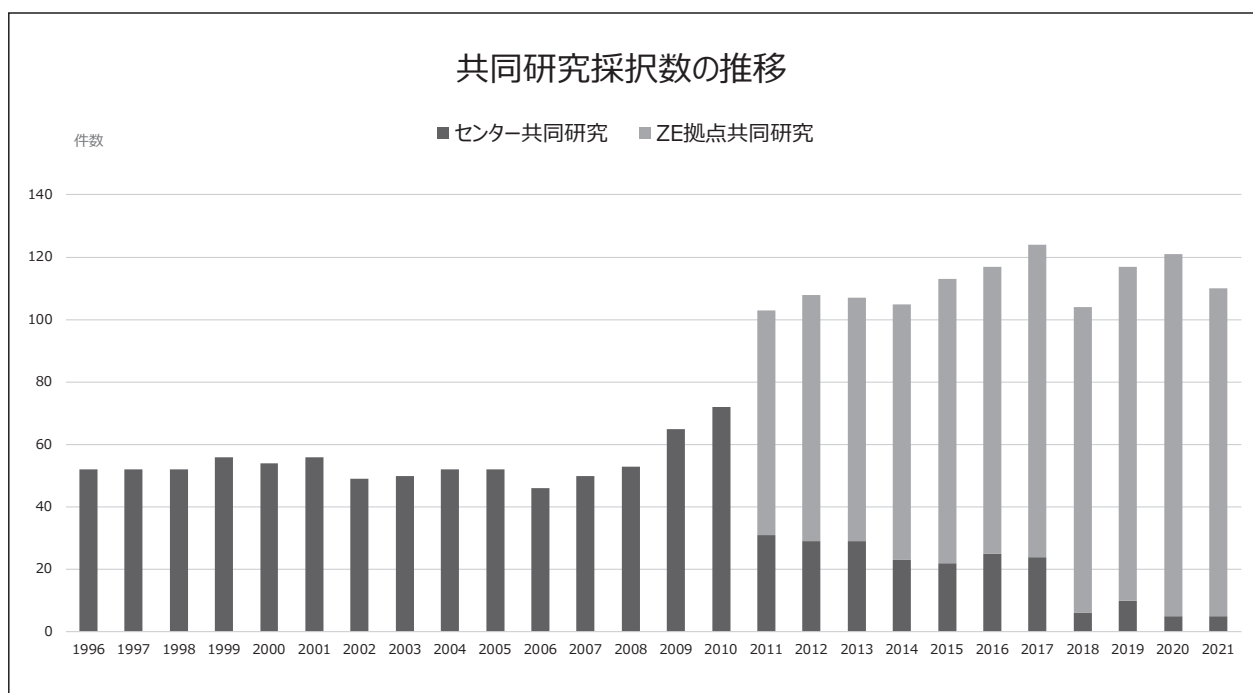
区分 \ 年度	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
センター共同研究	65	72	31	29	29	23	22	25	24	6	10	5	5

\*2011年よりゼロエミッションエネルギー研究拠点の全国共同利用・共同研究拠点の活動が開始されたため、それ以後の所外との共同利用・共同研究は上記拠点活動として展開することとした。

### ゼロエミッションエネルギー研究拠点共同研究採択数の推移

区分 \ 年度	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
ZE拠点共同研究							—	—	—	—	—	—	—

区分 \ 年度	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ZE拠点共同研究	—	—	72	79	78	82	91	92	100	98	107	116	105



## 編纂後記

エネルギー理工学研究所は「エネルギーの生成、変換及び利用の高度化に関する研究」を行なうことを目的に1996（平成8）年5月に創立され、以来これまで四半世紀の歴史を重ねてきました。まだ研究所としての歴史は浅いものの、設立25周年を記念して、今回の記念誌の出版が企画されました。

エネルギー理工学研究所では、創立10周年、20周年にこれまでの「歩み」を纏めた冊子を発行していますが、研究所の軌跡、特に研究分野の軌跡を記録したものとしては初めてとなります。そのため、人員の変遷だけでなく、研究部門、センター、研究分野でどのような学術的研究が行われてきたかを、創立の前身である原子エネルギー研究所、ヘリオトロン核融合研究センターの歴史も含めつつ、記録に留めることとなりました。名誉教授や既に退職・異動された方も含め、これまで研究所に関わってこられた方々に原稿の執筆をお願いし、できるだけ記録に留めるよう記念誌を構成しています。

エネルギーは国民生活、経済活動の要ではありますが、資源の偏在性、有限性に起因する様々な問題を内包しており、地球温暖化などの世界的規模の環境問題を引き起こす原因ともなっています。エネルギー理工学研究所は、こうした問題に立ち向かうため、多くの方々のご支援のもと、2011（平成23）年度に国内の共同利用・共同研究拠点としての活動を開始し、また、新たなセンターの活動を2022（令和4）年度に始めています。研究を絶えず進化させるとともに、社会情勢の絶え間ない変化を見据えつつ、エネルギーに関連する学術研究の環境を国内・国外の多くの研究者の方々に提供できる場所であり続けるよう、所員一同、一丸となって今後も努力する所存です。

最後になりましたが、本誌の出版にあたり、多くの方々にご協力いただきました。この場を借りて感謝申し上げます。とりわけ、原稿執筆や資料提供などご協力いただいた方々、編集の取り纏めをいただいた資料室の皆様に深く感謝申し上げます。

京都大学エネルギー理工学研究所  
二十五周年記念誌編纂委員会

## ■『京都大学エネルギー理工学研究所創立二十五周年記念誌』

執筆者・執筆協力者一覧（頁順。当研究所の現役教員を含まない。）

### 第一章

吉川 潔（名誉教授）

### 第二章・第三章

小西 哲之（名誉教授）

吉川 潔（名誉教授）

水内 亨（名誉教授）

香山 晃（名誉教授）

宮崎 健創（名誉教授）

木村 晃彦（名誉教授）

佐野 史道（名誉教授）

作花 哲夫（京都大学工学研究科 教授）

吉川 暹（名誉教授）

牧野 圭祐（名誉教授）

足立 基齊（元教授）

木下 正弘（名誉教授）

### ■編纂委員会

長崎 百伸（委員長）

森井 孝

大垣 英明

片平 正人

宮内 雄平

野平 俊之

滝本 佳子

\*このほか、現役の教員および多くの職員の皆さんにも多大なご協力をいただいた。



## 京都大学エネルギー理工学研究所創立二十五周年記念誌

発行日 2022年10月1日

編集 京都大学エネルギー理工学研究所二十五周年記念誌編纂委員会

発行 京都大学エネルギー理工学研究所  
京都府宇治市五ヶ庄

印刷 株式会社北斗プリント社