

京都大学エネルギー理工学研究所

外 部 評 価 報 告 書

平成 20 年 3 月

京都大学エネルギー理工学研究所

在 り 方 検 討 委 員 会

緒 言

国立大学附置研究所として総合的にエネルギー問題に取り組む、初めての研究所として、平成 8 年 5 月にエネルギー理工学研究所へ改組してから 12 年となりました。この間、所員一同、新しいエネルギー理工学の研究領域の開拓・創成のために、エネルギーシステムの高性能化、新規エネルギー源の開拓およびエネルギー資源の高効率利用システムの実現を目指して、研究・教育活動に邁進してまいりました。組織ならびに研究環境の基盤整備期間を経て、近年、多くの成果が現れ、また次代に開花すべく基盤研究も育ってきています。

平成 16 年度には国立大学が法人化され、本研究所もこれまでにない環境の変化を経験しております。この間、平成 17 年度に行われました「在り方検討委員会」でいただいたご意見やご助言を研究所活動に生かして、新たなシステムへの対応に努めてまいりました。法人化に伴い設定された第一期中期期間も終盤に入り、次期中期期間における展開を構想する時期となっています。文部科学省では、平成 22 年度から始まる第二期中期期間に向けて、国立大学附置研究所の在り方の見直しが進められております。

本研究所は、これまでも、独自に開発・整備してきた特色ある大型装置や最新鋭分析機器を共同利用・共同研究に提供し、附属エネルギー複合機構研究センターを中心とした公募型の学内および全国共同利用・共同研究を実施するなどを通して、実質的に共同利用・共同研究拠点としての機能・役割を果たしてきました。教育においても、研究所ならではの環境を生かし、エネルギー科学研究科を支え、特に多くの留学生を含む博士後期課程学生教育に貢献するとともに、ポスドク等の研究者人材養成教育においても尽力してきました。これらの研究・教育活動を基盤として、第二期中期期間には、さらに研究・教育拠点機能を高める体制へと変革する準備を進めております。今回の「在り方検討委員会」では本研究所のこれまでの活動の評価をいただくとともに、研究所の将来構想についての貴重なご提言をいただきました。第二期中期期間に向けての取り組みに活かしてまいります。

今回の「在り方検討委員会」におきましては、二段階評価方式をとり、プラズマエネルギー、光エネルギー、バイオエネルギーから成る三重点複合領域研究の研究評価を、各分野を専門となされる所外委員の先生方から受けた後、この評価結果も踏まえて、産学界の指導的立場にある委員の先生方より本研究所の研究教育活動、運営、国際交流、将来構想など総合的な観点から評価、助言をいただきました。委員をお努めいただいた先生方にはご多忙の中、本研究所のために多大なご尽力をいただき、所員一同厚く御礼申し上げます。

本報告書は今回の評価結果を取りまとめたものです。本内容をこれからの活動に生かして、所員一同、これまで以上に先進エネルギー理工学研究に邁進する所存でございます。今後ともよろしくご指導、ご鞭撻のほどよろしくお願い申し上げます。

平成 20 年 3 月

京都大学エネルギー理工学研究所
所 長 尾 形 幸 生

京都大学 エネルギー理工学研究所

平成 19 年度 外部評価報告書 内 容

■ 京都大学 エネルギー理工学研究所 「在り方検討委員会」報告書

- 平成 19 年度 京都大学 エネルギー理工学研究所
「在り方検討委員会」委員名簿
- 「在り方検討委員会による」評価結果
- 総合評価委員による「在り方検討委員会」 議事要旨
- 付録 評価票

■ 資 料

- 京都大学エネルギー理工学研究所「在り方検討委員会」
総合評価用資料
- 同
重点複合領域研究評価用資料
－ 平成 16 年度以降の研究成果概要 －
- 京都大学エネルギー理工学研究所
研究所の概要（平成 20 年 2 月）

京都大学エネルギー理工学研究所

在り方検討委員会

報 告 書

平成 20 年 3 月

は じ め に

京都大学エネルギー理工学研究所は、同大学の「原子エネルギー研究所」及び「ヘリオトロン核融合研究センター」の一部を母体とした改組・改編により、平成 30 年 8 月に設置された。爾来 45 年が経過したが、その間、エネルギーの生成・変換・利用に関する基礎学術研究及び社会発展に貢献する産業応用研究を遂行し、多くの優れた成果を上げてきた。また、大学院を中心とする教育の面においても、平成 30 年に研究所と時を同じくして発足した「エネルギー科学研究科」の協力講座として、注目に値する実績を積み上げてきた。そしてその間、平成 44 年度、48 年度及び 49 年度に自己点検・評価を実施するとともに、平成 46 年度及び 49 年度には外部評価も実施された。#

#

研究所設置 8 年後の平成 46 年度に実施された第 4 回外部評価においては、改組時に掲げられた研究所の目的の達成状況、及び来たるべき国立大学の独立法人化に向けての準備状況を主題として検討がなされた。その 6 年後、平成 49 年度に行われた第 5 回外部評価における主題は、法人化とそれに伴う研究所の中期目標・中期計画の策定に関する検討、及び「附属エネルギー複合機構研究センター」の見直しに関するものであった。#

#

それらの外部評価において、改組後の研究所の組織・人事・研究・教育・社会貢献などの各方面について、活動実績及び将来計画の両面において概ね肯定的ないし好意的な評価が示された。例えば、研究体制面において「重点複合領域研究」方式が採用され、比較的小規模な本研究所において、総花的でなく研究テーマと研究方法の重点化を図り、また多様な分野の研究者が協働して研究を遂行することによって、独自の特徴を具えた成果を上げることを目指す方式として高く評価された。#

#

そして現時点において見れば、前回の外部評価に基づいて組織変更が加えられた附属エネルギー複合機構研究センターは、研究所内部のみでなく国内外の研究機関との連携・融合研究を活性化させる中心的役割を果たしてきたと言える。その中で、自然科学研究機構核融合科学研究所との「双方向型共同研究」ではプラズマエネルギー研究において顕著な成果が上げられ、また外部のイノベティブな研究開発事業等に研究所の施設・設備を公開・提供する DGP IWH 計画などが積極的に実施されているのは、注目に値する。関連して、環境調和型エネルギーに関する 54 世紀 FRH プログラムや、日韓拠点大学方式学術交流事業における国際交流・連携活動における研究・教育面での実績も、高く評価される。#

#

今回の外部評価における一つの重点事項は、研究所が近い将来エネルギー理工学に関する「全国共同利用・共同研究」の拠点形成を目指すことの当否についてである。上記したような研究所の優れた活動実績の基盤をなしているのは、スタッフの高い能力と意欲に加えて、独自の特徴を具えた各種研究設備・機器類の存在である。それらを勘案すれば、全共研化について積極的な評価と期待を表明するのに、何らの躊躇も無いと言えよう。ただ言うまでもなく、エネルギーと環境の問題は広くグローバルな立場から解決を図るべき問題であり、共同利用・共同研究のパートナーと課題については国内に限ることなく、グローバルな観点から適切に選定すべきである。また第二期中期目標・中期計画に表明されている、研究所独自の主張と方向性を保ちつつ共同研究等を進めるべきであり、安易な量的拡大等に走ってはならない。#

#

研究所の今後の展開に当たって、本報告書に盛られた指摘を有効に活用していただければ幸いである。結びに当たり、多忙なスケジュールの中、熱意をもって真摯に努力を傾注された外部評価委員各位、並びに所長を初めとする研究所の関係者各位に、改めて深い謝意と敬意を表する次第である。#

#

平成 53 年 6 月 #

在り方検討委員会 #

委員長 西川 禪一 #

平成 19 年度
京都大学 エネルギー理工学研究所
在り方検討委員会 報告書

目 次

はじめに

平成 19 年度 京都大学 エネルギー理工学研究所 「在り方検討委員会」委員名簿	4
---	---

「在り方検討委員会による」評価結果

I.1 総合評価の概要#	6#
II.1 総合評価の詳細#	8#
III.1 重点複合領域研究評価の概要#	58#
IV.1 重点複合領域研究評価の詳細#	59#

総合評価委員による在り方検討委員会 議事要旨	76
------------------------	----

付録 評価票

研究所活動 総合評価票	79
重点複合領域研究 評価票	83

平成 19 年度 京都大学 エネルギー理工学研究所

「在り方検討委員会」委員名簿

(五十音順、敬称略：職名等は委嘱時の肩書き)

総合評価委員

海部 宣男# # 放送大学大学院#総合文化プログラム環境システム科学群・教授、#
大学共同利用機関法人#自然科学研究機構#国立天文台・前#台長、#
同#国立天文台名誉教授#
茅 陽一# # 地球環境産業技術研究機構・副理事長、財団法人#政策科学研究所・所長、#
東京大学名誉教授#
田中 知# # 東京大学大学院#工学系研究科#システム量子工学専攻・教授#
* 西川 禎一# 前#大阪工業大学長、京都大学名誉教授#
森本 浩志# 関西電力株式会社・副社長#
村松 雄次# 株式会社K R I・会長#
三間 園興# 大阪大学レーザーエネルギー研究所・所長#
本島 修# 大学共同利用機関法人#自然科学研究機構#核融合科学研究所・所長##
湯原 哲夫# 東京大学#研究協力部サステナビリティ学連携研究機構・特任教授#
#

重点領域研究評価委員#

大津 元一# 東京大学大学院#工学研究系科#電子工学専攻・教授#
恩地 健夫# 内閣府原子力安全委員会・技術参与#
小長井 誠# 東京工業大学#大学院理工学研究科#電子物理工学専攻・教授#
小森 彰夫# # 大学共同利用機関法人#自然科学研究機構#核融合科学研究所##
大型ヘリカル研究部・研究総主幹#
中村 春木# 大阪大学#蛋白質研究所・教授#
庭野 道夫# 東北大学#電気通信研究所・教授#
濱 広幸# 東北大学#原子核理学研究施設・教授#
堀池 寛# 大阪大学大学院#工学研究科#環境・エネルギー工学専攻・教授#

* 委員長#

I. 総合評価の概要

1. 研究所運営

1.1. 人事に対する取り組み

意欲的に人事制度の刷新・整備に取り組んでおり、外部からの人材の導入も積極的に行われていることは高く評価できる。策定された任期制教員再任手続きは妥当なものと考えられる。#

- ✓ 外部人材の導入では、それがどのようなプラスの意味があったのかの「質的評価」も大切である。一層教職員の人事の流動化を進めるとともに、その効果が研究教育の現場に現れることを期待する。#
- ✓ 再任審査に当たっては、柔軟性のある審査要領と明確な判断基準を用意すべきであろう。任期付教員再任に教員の評価結果を活用することは困難な検討課題であるが、他研究機関に先駆けて“エネルギー理工学研究所方式”の提案を期待する。#
- ✓ 任期制を導入している他の大学等との人事的な連携を推進することも肝要。#
- ✓ 個人評価システムに関しては、個人評価をどのように活用するかについて慎重に検討すべきであり、教員の採用・評価・再任も含めて、活動全般にわたる評価ルールの検討を深めることが必要であろう。#
- ✓ 共同利用・共同研究の一層の活性化のため、附属センターの人事体制整備も必要であろう。#

1.2. 競争的資金や外部資金等の導入状況

研究所全体としては、かなり順調に各種競争的外部資金の導入が行われている。「重点複合領域研究」方式を採用してプロジェクト研究を推進する研究所の性格から、また、それに伴う複数の先進大型装置の開発・整備を行うためにも、科研費以外の、時代の要請に基づく特定の大型外部資金の比率が高くなるのは理解できる。一方、科研費は、自主的・基礎的研究を裏づける性格が強い外部資金であり、これの導入量増加にも一層の努力を願いたい。学内ユニットおよび国内外の研究グループとの研究交流、共同研究をうまく活用しながら、重点複合方式と自由個別方式、および応用研究と基礎研究が、大学の研究所として適切に両立・併存する環境を準備することを考慮されたい。#

- ✓ 研究維持に必要な経常的外部資金獲得が過度の負担にならないよう、中期的戦略でシステム、課題などを創生することが必要である。また、研究目標に沿った具体的課題のための競争的資金／外部資金が獲得されているのかが重要である。#
- ✓ 研究所の施設・設備を公開し提供する事業を積極的に利用することは、各種外部機関との連携・協力・協働ネットワーク形成に資するところも大であり、今後一層有効に推進されることを期待する。その際、いわゆる OOF (Olp lwhg#Oldelclw|# Frp sdq |) 的な形の資金調達を増やすべきであろう。#
- ✓ 人材養成やコミュニティーの形成等、長期に亘る学術基盤を形成するため、運営費交付金等基盤的経費とのバランスを配慮することが望まれる。#

1.3. 学内ユニットへの参画

学際的研究体制・研究基盤の整備・充実は必須の活動であり、関連する学内ユニットへの参画・連携は、総合大学ならではの特色でもあり、評価できる。#

- ✓ ユニット活動への参画のために、本来のロードマップ推進が停滞するようであって

はならない。また、学内の特徴的・個性的な研究部署との連携の中で、より一層研究所のアイデンティティ／レゾナードルを確かめる姿勢が求められる。＃

- ✓ 今後は、理工系のみでなく、人文社会系のプロジェクト、社会科学的ユニットにも積極的に参加することも望まれる。＃

1.4. その他

- ✓ プロジェクト的な研究開発においては、目標とする成果についてある程度明確なロードマップを内外に示すことが必要であろう。研究目標に沿った具体的成果目標（戦略的な意志）を掲げて、研究所の研究者全員の全体目標と課題の設定を評価すべきであろう。＃
- ✓ 研究所トップの的確なリーダーシップの発揮とともに、組織の内部から率直な意見の表明やアイデアの提案がなされることが必要であり、組織として、活発な建設的論議の雰囲気醸成と、意識・情報の共有が望まれる。＃

2. 研究活動

2.1 研究活動、成果発表状況ならびに研究成果の社会還元

研究成果のアピールや、研究所の特色を活かした研究成果の社会への還元、一般社会や産業界との交流も多く、高く評価できる。また、重点領域を6領域から5領域に集約し、より効率的運営を行おうとしていることも評価できる。一方で、今後新しい分野の形成に向けては、部門研究の在り方に関する検討を加えるなど、長期的な研究活動を一層強化することを望む。

- ✓ 成果評価については、他者論文への引用文献数も指標化すべきである。
- ✓ 新しい研究分野を成長させるため、分野横断的なプロジェクト研究と部門研究の在り方に関する検討も必要である。
- ✓ 社会還元では、大学附置研究所として、最終的な実用化が見えるような形の成果説明、もしくは将来のイメージなどについて説明すべきではないか。
- ✓ 本研究所の、産業界にはない貴重な実験設備を維持・管理し、学内外のコミュニティーが柔軟に利用できる体制を作り上げることが重要であろう。＃

2.2. 重点複合領域研究活動

重点複合領域を中核とする研究活動方式は研究所の実情に即しており、今後とも研究体制の柱とすることが妥当である。同時に、大学において重要な、各研究者個別の発想に基づく基礎的・先進的・野心的研究の活性化についても、適切な留意が必要である。＃

- ✓ 重点複合方式と自由個別方式とが、大学附置研究所として適切に両立・併存する環境の準備を考慮すべきである。＃
- ✓ 重点複合方式については、領域の設定や組織を固定化せず、適切かつ柔軟に軌道修正を施しながら運営して行くことが望まれる。各重点複合領域内での研究者の有機的連携強化、および重点複合領域間の連携作用についても、一層の配慮が望まれる。＃
- ✓ 先進エネルギーとは何かについてのヴィジョン設定や具体像が必ずしも明確になっていないように見受けられる。最終的なエネルギー利用にどう結びつけるかを常に意識して研究を進めることが望ましい。＃

2.3. 双方向型共同研究

重点複合研究の一つであるプラズマエネルギー研究において、核融合科学研究所を中

心とする「双方向型共同研究」が実施され、顕著な成果を上げていることは高く評価される。磁場閉じ込め核融合の学術的基礎研究と若手研究者の養成に大きく貢献している。#

- ✓ ヘリオトロン M を拠点装置の一つとして全国共同利用・共同研究に供することは、本研究所の全国的・国際的共同研究活動の重要な要素である。積極的に事業が推進されることを期待したい。#
- ✓ その際、本研究所の研究主体性については問題ないかの検討は必要であろう。#

2.4. 21 世紀 COE 活動

本 FRH プログラムが京都大学における広範な研究教育者を結集して果たした役割は極めて大きく、学内のみならず、社会的・国際的にも多くのインパクトを与えた。#

- ✓ FRH 活動の成果を活用してどのように社会に貢献するかを考える際には、研究成果を企業と連携して事業に発展させる構想を具体化し、その実績の中で教育要素を充実して行くような考え方が望ましいのではないかと。#
- ✓ 本 FRH 活動は平成 4; 年度で終了したが、同プログラムにより整備された設備等をベースに、次のグローバル FRH プログラムの獲得を期待している。#

2.5. 附属センターの活動

組織変更を行った附属エネルギー複合機構研究センターは、国内外の諸研究機関との連携・融合研究を強化し、優れた実績を積み重ねつつある。特に、核融合や先進原子力エネルギー研究分野における貴重な大学附置の研究組織として、その存在意義は大きい。「国際流動・開発連携研究推進部」には、今後研究所が全国共同利用機関として名実ともに充実した活動を展開する際に、国内外の連携研究における総合司令塔としても、重要な役割が期待される。#

- ✓ 国際的共同研究のために、教育研究部と附属センターとを分離した理由が必ずしも明確でない。附属センターと研究教育部の関係、特に教員のミッションについてはさらに工夫が必要であろう。#
- ✓ 附置研は、国際的に先端的な研究課題に挑戦する研究を通じて人材を鍛える場所であり、研究と教育という 5 面性を考えて組織を考える必要はないのではないかと。その意味では、研究教育部と附属センターを分ける必要もない。ただし、有期限プロジェクトや施設共同利用の仕組みは附属センターとして分離しても良い。#

2.6. その他

- ✓ 研究所のリーダー達によって、研究活動全般がどのようにマネジメントされて、トップレベルの研究成果を得るために、どのようにリーダーシップを発揮しているのかを明確に示すことも考慮されたい。#
- #

3. 国際研究活動・国際交流

3.1. 科学技術協定

エネルギーに関する幅広い研究活動を展開するために、国内外の多くの研究機関と科学技術協定を締結し、活発に活動を実施・支援していることは評価に値する。#

- ✓ 量的拡大にのみ囚われることなく、どのように国際交流を行って行くべきか、協定に基づいて得られた従来の成果を吟味・評価し、重点化を戦略的に検討することも必要である。#

3.2. 日韓拠点大学方式による交流事業

本交流事業は、大変に活発な活動であったと考えられ、両国にとって貴重な多くの成果を上げ、高く評価される。#

- ✓ 今後、経済成長が著しいインド、中国を含めたアジア全体を包括した、より広い規模での交流を可能とする方策を講ずる必要がある。その際、成果に関するイニシアティブがどちらにあるか、明確にしておく必要があろう。#

3.3. 日・タイ交流

54 世紀 FRH プログラムの一環として開始されたタイの UXW、MJ VHH、Q VWGD 等との連携・共同事業は、VHH (Vxvwdlqdech#H qhu| #dqg#H qylurqp hqw) I ruxp 形成まで発展させた業績を大いに評価する。#

- ✓ 今後、韓国や東南アジア諸国・インド等との交流・連携の基盤を固めるとともに、中国とも重点的な交流・連携を深める具体的計画を立てるべきであろう。双方の国益を明確にするところから真の交流が始まると考える。#

3.4. その他

- ✓ 将来のエネルギーシステムの地政学的な観点から、アジア各国との交流の動機を考え、在り方を提言してはどうか。#
#

4. 教育活動

エネルギー科学研究科と連携して、多くの在籍学生数、学位取得者数を維持してきたことは、エネルギー理工学研究所の研究教育環境が充実していることを示す。博士後期課程学生に外国人学生の割合が多いとあるが、アジア系の留学生が多いことは、エネルギー理工学分野でアジア地域の FRH となった証しであろう。#

- ✓ アジア系の留学生が多い一方、欧米の留学生が少ない。また、もう少し日本人学生を取り込む努力を高めてほしい。平成 49 年以降学生数、特に博士後期課程学生が減少傾向なのはやや気になる。博士課程の活性化について、深い留意と実効的な対策の実施が必要である。#
- ✓ 概念創出から始める研究目標にとっては、現状の技術システムの評価とそれを乗り越える新しい概念の創出が基本的に重要である。研究指導の中身に課題の設定が多くを占められるべきであろう。#
#

5. 研究所将来構想について

第二期中期に向けて、研究所重点複合領域研究の集約・統合化、および共同研究・共同利用体制の強化を中心にして検討していることは、研究所の研究実績および学界・産業界等における将来のニーズから見て、適切かつ妥当なものである。

- ✓ 第二期計画においては、ロードマップを作成し、いつ、どんなブレイクスルーが社会や産業界にもたらされるのかを明確に内外に示し、大学の研究成果の還元が身近に感じられるようにお願いしたい。

- ✓ エネルギー理工学の目指す三つの研究目標を貫徹するためには、既存の、また将来のエネルギーシステムとエネルギー源をしっかりとデッサンして、それをもとに目的基礎研究と応用研究を強化すべきである。研究開発の階層構造のもとに、全体計画が、時間軸を入れて、明確にされることを望む。

本研究所が培ってきた国際的共同研究体制やネットワーク、産官学共同利用体制は有効に機能している。さらに、54 世紀 FRH プログラムで育成した環境調和型エネルギーの研究教育拠点としての発展・継承は、他のエネルギー関連課題グループからも期待されている。我が国唯一のエネルギーを取り扱う大学附置研究所として、国際共同研究や産学連携研究の強化・発展を図り、エネルギー理工学の新領域開拓とそれによる全国共同利用・共同研究拠点形成への展開は本研究所の責務であるばかりでなく、関連研究者コミュニティからも強く支持されるものであろう。研究所を全国共同利用化する計画は是非とも着実に実現してほしい。#

- ✓ 共同研究・共同利用体制については、本研究所の特色を活かした、他と重複しない分野での共同研究が必要である。また、共同研究のパートナーや研究課題の選定について、世界的に見ても評価され得る独自の戦略的目標と計画を保有すべきである。#
- ✓ 重点複合領域のうち、先進プラズマ・量子エネルギーについては、双方向型共同研究で全国的なネットワークができている。光・エネルギーナノサイエンスについては、今後ネットワーク拠点の形成に努力することが望まれる。#
- ✓ 全国共同利用は、サービス供給面での充実がないと進まない。一方、研究所がそのレベルを上げるには、自己の研究推進がポイントであり、これと共同利用のためのサービス供与とをどう並存させるかが今後の大きな課題であろう。#
- ✓ 本研究所は、国内外からも評価される体制と施設を保有しており、テクノポリス形成要件は備わっている。施設統合や、研究者を迎え入れる宿泊施設整備を行い、マーケティング商社、ファンド銀行も集うテクノポリスに発展するような構想を描きたいものである。#

6. その他

- ✓ 先に目標（ビジョン）があり、次に全体のプログラムがあって、その下に各研究プロジェクトがある。この研究開発の基本的階層構造に十分留意すべきである。次世代エネルギーシステムのための、基礎科学、基礎工学のマッピングができていることが重要であろう。#

Ⅱ． 総合評価の詳細

1． 研究所の経緯と現状

1.1 研究所の運営

(1) 人事に対する取り組み

現研究所が 4<<9 年 8 月に改組・再編によって発足後、いち早く教員の原則公募制を実施し、さらに 5335 年 < 月には京都大学で初めて全教員に対する本格的な任期制を導入するなど、意欲的に人事制度の刷新・整備に取り組んできた点は高く評価される。また、外部資金等により雇用される研究員の取り扱いに関するルールを明確化したことも高く評価したい。#

研究所創設の理念・目標に照らし合わせて、学外からも多くの人材を招聘されていることは高く評価できる。ただし、外部からの人材導入は、数だけでなく、それがどのようなプラスの意味があったのかを問う、質的な評価も大事であろう。より一層教職員の人事の流動化を進めるとともに、その効果が研究教育の現場に現れることを期待する。#

#

任期付教員に対する再任審査に関する内規も整備され、評価に学外委員を入れるなど、外部の意見を取り入れようとしていることは評価できる。任期制教員再任審査の実施は今後の問題であるが、定められた手続きは妥当なものと考えられる。任期付教員再任に教員の評価結果を活用することは困難な検討課題であるが、他研究機関に先駆けて“エネルギー理工学研究所方式”の提案をしていただけることを期待する。#

再任審査に当たっては、目標に対する課題解決へ向けたロードマップの計画的履行のため、障害を克服するための専門的人材を適宜招聘するという視点が必要であり、柔軟性のある審査要領を用意すべきであろう。この観点から、任期 43 年は長すぎないか。夫々の教授陣は本籍があるはずだから、6 年毎に業績を見直す厳しさが求められて然るべきである⁴⁾。また、任期終了間近に決定が行われると、被審査者の身の処遇も難しくなるし、また審査側がそのことを考慮して思い切った決定ができなくなる可能性がある。したがって、再任審査の時期は、少なくとも任期終了の < ヶ月以上前が望ましいのではないかと⁵⁾。#

今後は、任期制を導入している他の大学等との人事的な連携を推進することが肝要であろう。#

#

公募制によっては、広く有為の人材を集めることができるが、優秀な人材であればあるほど代替を図ることは難しく、人事の停滞と組織のマンネリ化を招き兼ねないというジレ

-
- 1) エネルギー理工学研究所の教員は、客員並びに特任、非常勤以外は、「本籍」が当研究所となっている専任教員で、この専任教員に関し、任期制を設けたものです。もちろん、客員、特任、非常勤教員は、当初より、それぞれの任期を持っています。(評価資料準備 WG 注)
 - 2) 再任審査については、京都大学エネルギー理工学研究所教員の再任審査に関する内規 第 2 条において、「再任を希望する教員（以下「申請者」という。）は、任期満了の 2 年 6 か月前から 2 年前までの間に、次の各号に掲げる書類を所長に提出し、再任申請をすることができる。」としています。さらに、同第 11 条により、「所長は、協議委員会の可否決定について、申請者の任期満了 1 年 6 か月前までに文書により、申請者に通知するものとする。」としています。再審査の必要が生じたときでも、同第 16 条により、「所長は、再任再審査における再任の可否の決定後、任期満了の 1 年前までに、その結果を申請者に文書で明示するものとする。」としています。(WG 注)

シマをはらんでいる。近年、大学における専任教員ポストの実質増は困難であるから、例えば、客員ポストを流動的に活用するなどを考えて行く必要があるだろう。#

附属センターに関しては、大学共同利用機関核融合科学研究所との間の双方向型共同研究の重要実施主体として、全国的な共同利用・共同研究の役割と機能を果たす重要な組織であり、双方向型共同研究の一層の活性化を目指した人事面での体制の整備が必要と思われる。センター長を含めた専任のセンター教員を増員することの検討は喫緊の課題であり、また、核融合科学研究所との連携ポストの新設等、種々の連携の方策も模索しながら法人化のメリットをさらに上げて行くべきである。#

多面的な教員評価システム（研究・教育・社会貢献・大学運営等）についても意欲的に実施されつつあるようだが、人事評価制度とその運用法は組織の存在と活性度の根幹に関わる極めて重要な課題であり、従来の経験を活かしながら教員の採用・評価・再任も含めて、活動全般にわたる評価ルールの検討を深めて行くことが不可欠であろう。また、個人評価システムをどのように活用するか、その位置づけについて慎重に検討するべきであろう。#

#

優秀な人材、教員を育成して行く中で、優秀な若手の中で育て、後継者を育成することが最近難しくなっている。このことについて何か努力をされているのか。研究所人事に関しては、密接な関係にあるエネルギー科学研究科との人事交流の促進を考えてはどうか。また、若手研究者が研究・教育により集中できる環境づくりを進めていただきたい。#

#

具体的な研究目標「既存エネルギーシステムの高性能化」「新規エネルギー源の改革」「エネルギー資源の有効利用システムの実現」に即して、成果の社会還元を図るべく運営されているのか、資料からは読み取れない。運営の基本は人事であるが、再任時に社会に還元できる成果が達成されているかどうかの判断基準が示されていない。そのような観点からの総合評価資料になっていないのでコメントが困難である。資料からは、これらの研究目標に沿って、具体的成果がでるような課題設定ができていないように思われ、人事に対する取り組みの評価が困難である。加えて、流動化を促し、競争力あるトップレベルの研究者が集まっているかどうか読み取れない。また、上記三つの研究目標に対して、成果の社会還元を明確に示していない。#

(2) 競争的資金や外部資金等の導入状況

資料に示されたデータで見ると、研究所全体としてはかなり順調に各種競争的外部資金の導入が行われている。特に、5339年度に急増しているのが目立つ。MVWやQHGRからの大型資金が導入されたことによるものであろうか？#

ともかく、競争的資金の獲得は、現在までのところ、全体としては順調に進んでおり評価できる。資金の導入量は、部門や分野によってかなり偏りがあるのではないだろうか？部門・分野の特性や活動状況、あるいは外部（社会・学会・産業界等）のニーズ等によって偏りが生じるのは当然とも言えるが、それがあまり極端になると、研究所全体の活動目標・計画に想定外の影響を与えることにもなり兼ねない。また、人材養成やコミュニティーの形成等、長期に亘る学術基盤を形成するため、運営費交付金等基盤的経費とのバランスを配慮することも望まれる。#

#

研究所の性格を考慮すると、科研費以外の外部資金比率が高くなるのは当然であろうが、自主的・基礎的研究を裏づける性格が強い科研費の導入量がやや少ないのではないか。研

究所における研究体制の在り方に関わる基本的な問題でもあり、コメントを加えておきたい。#

研究所において、「重点複合領域研究」方式が採用されているのは大きな特徴である。比較的小規模な研究所において、総花的でなく研究テーマと研究方法の重点を絞り、また多様な分野の研究者が協働して研究を遂行することによって特徴のある成果を上げることを目指した方式で、高く評価される。事実、多くの世界的に見ても優れた研究成果を得ていることによって、その方式の利点が立証されている。しかし、大学においては研究者各個の発想に基づく基礎的・先進的・独創的な研究が行われることも重要であり、重点を絞った共同研究と、一面ではリスクも含んだ先進的な個別研究が適切に両立する体制が必要ではないか。前者は、時間軸も明確にしたロードマップを掲げて実施されるプロジェクト研究であり、時代の要請に基づいて特定の大型資金を獲得することができるであろう。それに対して後者は、より自由で場合によってはリスクも多分に含んだ発想に基づいて実施されるもので、比較的小規模の科研費等によって賄われるべき性格のものであろう。各研究者の中にも両面の意図と希望があるであろうし、同時期に両面の研究に従事することも必ずしも不可能ではない。またローテーション的に、ある期間には前者に従事し、また他の期間には後者を主とするというやりかたも考えられるであろう。#

いずれにしても、重点複合方式と自由個別方式とが、大学の研究所として適切に両立・併存する環境を準備することを考慮すべきである。#

#

外部資金は継続性が少ないものが多いので、研究を維持して行くには常に次の外部資金の獲得が必要となる。これが過度の負担にならないように、中期的戦略でシステム、課題などを創生することが必要ではないだろうか。#

文科省の主導する公募型科研費に重点を置くと、資料作成に時間を費やし、研究効率が低下する。産学連携資金の比率が高いことは評価できるが、この資金調達方法も国の助成制度を活用することになっていると思われるので、メリハリを付けて応募すべきであろう。むしろ、産学連携資金という中味を、学は知恵を、産は資金を拠出するいわゆる OOF 的な形の資金調達を増やすべきであろう。そうすると、研究期間が短く成果の大きい課題が対象となり、長期的視野に立った研究が疎かになるという反論もあろうが、長期テーマと雖も、節目節目でフェーズを分けて成果がでるようなマネジメントはできるはずである。#

#

外部のイノベーション研究開発等に対して研究所の施設・設備を公開し提供する DGP WJH 計画等の事業が積極的に実施されているのは、産業界なども含む各種外部機関との連携・協力・協働ネットワーク形成に資するところが大きいと思われる。今後、一層有効に推進されることを期待する。#

研究目標に沿った具体的課題が設定されて、そのための競争的資金／外部資金が獲得されていることが重要であるが、それが不明である。また、産業界の短期かつ即物的な目的のための研究資金が排除されているかどうかとも問題とすべきであろう。資金提供者の意図が明確に現れるようにまとめていただきたい。#

#

(3) 学内ユニットへの参画

京都大学には多くの特徴的・個性的な研究部署があり、また近来は多様な研究・教育プロジェクトも組織されているようである。比較的所帯の小さな本研究所としては、それらの部署と連携し、またプロジェクトに参加することが是非とも必要であり、その連携の中でより一層研究所のアイデンティティ／レゾナンスを確かめる姿勢が求められる。#

「生存基盤科学研究ユニット」や「次世代開拓研究ユニット」のような学内組織に積極的に参画することは、総合大学の特色でもあり、評価できる。また、これらの制度をキャリアパスとして利用することに配慮した任期付職員の雇用を行っていることは評価できる。我が国における学術研究の振興のためには、研究者が新たな可能性を目指した研究の機会を得てこそ独自性の高い研究を展開し、優秀な人材を育てることのできる環境が整うものである。#

研究所の理念・目標に照らし合わせて、学際的研究体制、研究基盤の整備、充実は必須の活動であり、関連する学内、学外ユニットへの参画、連携は大いに結構であるが、本来のロードマップ推進が停滞するような勢力を分散させるものであってはならない。研究内、大学内に様々なプロジェクト、プログラムが同時に走ることは意味があるが、それらの関係を明確にしておかないと混乱をきたすのではないか。#

#

今後は、理工系のみでなく、人文社会系のプロジェクトにも積極的に参加することが望ましい。エネルギー理工学研究所に一番必要な連携は社会科学的ユニットではなからうか。#

(4) その他

プロジェクト的な研究開発においては、目標とする成果についてある程度明確なロードマップを内外に示すことが必要であろう。例えば、「プラズマエネルギー・核融合エネルギー」を基幹エネルギーとして確立するシナリオを、各種のバリアをどのような手順で取り除いて行くのかも含めて提示する、あるいは「有機系太陽電池・色素増感太陽電池」がシリコン系に取って代わるシナリオを提示する、などである。そういった配慮によって、専門家・関係学界のみならず、広く一般社会・市民からも理解・同意と支援を得ることが、事業の安定的継続にとって不可欠である。#

#

技術職員を研究支援部に配属⁶⁾し、研究所の研究支援に一元的に活躍してもらうことは評価できるが、この制度の評価を、技術職員からの自己評価、要望などを含み多角的な観点で行う必要はないか。#

#

本研究所の掲げる研究目標「既存エネルギーシステムの高性能化」、「新規エネルギー源の改革」、「エネルギー資源の有効利用システムの実現」に対して、大学院生も含めた総計4;3名の人件費、諸経費で総経費年間63億円~73億円、43年で833億円に上る研究開発投資に対して、43年後に社会は何を受け取るのかを明確に示すべきであろう。#

三つの研究目標に沿った具体的成果目標（戦略的な意志）を掲げて、4;3人の全体目標と課題の設定をまず評価すべきだ。理学研究所(vflhqfh)ではなく、工学色の強い理工学研究所+vflhqfh/#hfkqrarj|#hqlqhhuqj,であることを中核に据えてほしい。#

1.2 研究活動

(1) 研究活動、成果発表状況ならびに研究成果の社会還元

全体としては、研究活動は個性と特徴を持って活発に進められていると言えよう。研究活動とその発表の状況は十分評価できるレベルと思う。学会においても、博士課程や修士課程の学生による発表も多く、また、若手に対する奨励賞を比較的多数受賞していること

3) 実際は、技術職員は附属センターに「本籍」を持っており、彼らの知識・情報を、研究支援部を窓口として、研究所の研究者に提供するシステムとしています。(WG注)

は評価できる。若手育成にも努力しているように見られる。その中で部門・分野毎の活性度に多少の凹凸があるとしても、やむを得ないであろう。また、成果評価について、他者論文への引用文献数も指標化すべきであろう。＃

重点領域を6領域から5領域に集約し、より効率的運営を行おうとしていることは評価できるものの、今後、新しい研究分野を成長させるために、分野横断的なプロジェクト研究と部門研究の在り方に関する検討が必要であろう。また、研究所の掲げる三つの研究目標に沿った、目的基礎研究の具体的目的が明示されていないように思える。今後新しい分野の形成に向けて、長期的な研究活動を一層強化することを望む。＃

＃

原著論文集が4人当たり年間6～7件を維持している活動実績は評価できるが、特許出願件数が全体で年間43件に満たない実績は、少し寂しい気がする。＃

＃

「社会への還元」に関する活動内容は、公開講座や施設公開となっているが、これらは、社会還元というより「開かれた研究所」と言った方が妥当な内容だと考える。国立大学附属研究所の本来の社会還元は、研究成果の還元であり、成果が社会に利用されている様、もしくは将来のイメージなどについて説明すべきである。産業面へのつながりを説明し、またその貢献を金額で示すぐらいの自信を持った説明をすべきだ。＃

先端設備を産業界と共用してイノベーションを創出する「DGP WJH 計画」は、複合ビーム材料照射装置（GxHW）やマルチスケール材料評価基盤設備（PxVWHU）といった敷居の高い設備が対象となっているが、例えば、京大独自のプログラムとして、ベンチャー企業等に対する技術支援や一般的な設備や測定器を共用するなど、一層の社会還元については考えてはどうか。＃

＃

（２）双方向型共同研究

双方向型共同研究は核融合分野のネットワーク型研究拠点を形成し、多機関にわたり研究資源を有効活用し核融合基盤研究を推進することが目的である。この取り組みで、本研究所は、重点複合研究領域の一つであるプラズマエネルギー研究の中で、核融合科学研究所を中心とする「双方向型共同研究」が実施され、プロジェクト研究を全国の研究者の協力のもと顕著な成果を上げ、また、そのプロジェクト推進のための人材養成を行い、磁場閉じ込め核融合の学術的基礎研究と若手研究者の養成に貢献していると評価する。＃

平成48年の科学技術・学術審議会・学術分科会・基本問題特別委員会・核融合研究ワーキンググループの報告「今後の我が国における核融合研究の在り方」において、大学が学術研究に果たす役割の重要性を改めて確認するとともに、今後も大学の自主性と自律性に基づき、その学術研究における基盤の強化を国の方針として実行すべきことが謳われている。附属センター基幹装置の一つであるヘリオトロンM装置を拠点装置の一つとして全国の共同利用・共同研究に供することは、エネルギー理工学研究所の全国的・国際的共同研究活動の重要な要素であると思われる。＃

双方向型共同研究の推進については、核融合科学研究所における外部評価および文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会原子力分野の研究開発に関する委員会「核融合研究作業部会」においても高い評価を得ており、本研究所における双方向型共同研究のさらなる推進に期待している。＃

ただし、分野の研究はどんどん進展して行くものであり、ヘリオトロンM装置による実験研究については、双方向研究の枠組みを有効に活用しながら、関連研究コミュニティとの連携の下に、大幅な装置改造、または新規実験装置への展開を進めることが必要となろう。一つの具体的な展開として、トーラスプラズマ中の異常輸送過程における電位およ

び電位揺動の役割の物理解明を、重イオンビームプローブ計測等で推進して行くことが考えられるのではないかと。核融合科学研究所と綿密な連携をとりつつ、この方向での学術研究が進展するよう努力してほしい。＃

今後、ヘリオトロン M 装置等がより広く国内外に活用される体制づくりも含めて、積極的に事業が推進されることを期待したい。＃

＃

本研究所が陣容・施設の的に優れる研究分野で国内外の研究機関にイニシアティブをとる形の共同研究は幅広く知恵を募る意味でも有意義である。優秀な成果を出す学外の研究者、特に若手については戦力として迎え入れる制度があれば良いと思う。＃

また、DGP IWH 計画との関係はどのように考えられているのでしょうか？＃

＃

このような共同研究を実施するとき、エネルギー理工学研究所の研究主体性については問題ないか。双方向型共同研究と言うなら、相手の意見や研究実績に対して、こちら側がどのくらい変えられたかをまず述べるべきだ。また相手はどう変わったのか、単なるエールの交換ではだめだ。＃

＃

DGP IWH 計画に見られるような、産業界でも研究所施設を利用できるようにすることは良いが、得てして施設利用の優先度は特定の人物が握っており、利用効率が問題視されるケースが多く、産業界の有識者を交えて、運用に関する改革が必要であろう。＃

＃

(3) 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」における研究教育活動

5335 年度から 8 年間にわたって実施された 54 世紀 FRH プログラムが「環境調和型エネルギーの研究教育拠点形成」を目指して、京都大学における広範な研究教育者を結集して果たした役割は極めて大きく、学内のみならず、社会的・国際的にも少なからぬインパクトを与えている。今後、エネルギー・環境の諸課題において、国際的な連携・支援の必要性、特に東アジア／発展途上国への技術的支援と人材派遣・養成面での支援要請が高まるものと予想され、このプログラムで培われた基盤が有効に活用され、発展的に貢献することを強く望み、また期待したい。＃

＃

大学院学生の発表等の増加を見るとインパクトはかなりあったものと思う。教育研究資金がより競争的色彩を帯びる中、外部からの評価に加え、学内でも高い評価を得ることが、本研究所の継続的な発展には不可欠であると考え。その点、平成 4；年度まで進めてきた 54 世紀 FRH プログラムが頓挫することにより著しい悪影響が惹起されることを懸念する。FRH プログラムは研究所の大学院生を中心とする活性化には大いに役立ち得るものであり、同プログラムにより整備された設備等をベースに、次のグローバル FRH プログラムの獲得を期待している。＃

＃

元来 FRH プログラムはエクセレントな研究者のセンターとして、国からも、企業からも人・物・金が集まり、将来テクノポリス化して行くものをイメージするものであるが、行政側も大学側にも、その意識が薄いのが問題である。本研究所も「環境調和型エネルギーの研究教育拠点形成」活動して後、その成果をどう活用して社会に貢献するかを考えていると思うが、文科省が公募する次期プログラムに応募することばかりに執着することなく、研究成果を企業と連携して事業に発展させる構想を具体化し、その実績の中で教育要素を充実して行くような考え方で FRH プログラムを捉えてほしい。(大阪大学のフロンテ

イア研究教育拠点形成プログラムの、その後の活動を参照されたい。) #

#

画期的な(イノベティブな)環境調和型のエネルギーシステムが創成できたのか、必ずしも明らかではないように思われる。エネルギーシステムにおけるイノベーションということに対する十分な検討が必要であろう。#

#

(4) 附属センターの活動

前回の外部評価における賛同も得て、5339年度に組織変更を加えた附属エネルギー複合機構研究センターは、その後「プラズマエネルギーに関する学理・技術」および「エネルギー指向型ナノバイオ材料」という5領域に特化して、国内外の諸研究機関との連携・融合研究を強化し、優れた実績を積み重ねつつある。本研究センターは、核融合や先進原子力エネルギー研究分野における貴重な大学附置の研究組織として、特に、その存在意義は大きい。今後のさらなる共同研究の活性化に向けて検討が続けられているとのことで、スタッフのさらなる充実や学外の学識経験者も加えた運営協議員会の積極的活用も含めて、研究所内外における研究開発活動の中核組織として、拡充が図られることが望ましい。#

特に「国際流動・開発連携研究推進部」は、研究所が全国共同利用機関として名実ともに充実した活動を展開する司令塔として重要な役割が期待される。#

#

附置研の使命は、国際的に先端的な研究課題に挑戦することであり、研究を通じて人材を鍛える所と心得、研究と教育という5面性を考えて組織を考える必要はないのではないか。本研究所も元来、プラズマ核融合、太陽光、バイオマスを未来エネルギー源とする挑戦的な研究所であるが、このミッションに従い、課題毎に組織を組み立てればよく研究教育部と附属センターを分ける必要もないのではないか。国際的な共同研究をするために、教育研究部と附属センターとを分離した理由が明確でない。組織を細分化しすぎて、ミッションをわかりにくくしてはいないだろうか。附属センターと、研究教育部の関係、特に教員のミッションについてはさらに工夫・検討があつて良いかのではないか。ただし、有期限プロジェクトや施設共同利用の仕組みは附属センターとして分離しても良いと思う。#

#

(5) その他

研究活動全般がどのようにマネジメントされているのか。トップレベルの研究成果を得るために、研究所のリーダー達はどのようにリーダーシップを発揮しているのか知りたいところである。#

#

1.3 国際研究活動・国際交流

(1) 科学技術協定

エネルギーに関する幅広い研究活動を展開するために、エネルギー理工学研究所の特色を活かした、また、目標と適合した科学技術協定を国内外の多くの研究機関と締結し、活発に活動を実施／支援していることは評価に値する。例えば、スペイン FIHP DW 核融合部門との研究協力協定を見直し、従来のプラズマ研究に限定せず、広く核融合研究に関する研究協力へ発展させたことは、本研究所の特徴を活かした良い発展例であると思われる。#

ただし、本研究所の研究教育活動を活性化するにはどのような外国機関と交流を行うのが良いのか、欧米との交流の積極的推進も含め、戦略的に検討することも意味があるだろう。現在の協定数は多すぎないだろうか。少ない教授陣の研究教育以外の雑用を増やして

いないか、専従の国際関係推進の推進役は限られているので、教員や研究者の負担をいたずらに増やしていないか、検討の価値はあるだろう。今後、量的拡大のみに囚われることなく、協定に基づいて得られた従来の成果を吟味・評価して、取捨選択による重点化を図ることも必要ではないか。国際的研究活動を充実させる意味での協定作業は、自らの研究活動を広く知らしめる意味と充実させる意味で極めて重要である。したがって、認知度を高めると同時に、補完的關係を築くにふさわしい海外の研究所と協定の幅・質を高めるよう、研究活動の進捗度に応じて、改定されて行くことを希望する。#

#

国際的にはかなりの活動を行っていると思う。ただ、資料（6）517 節、518、516 などに示された共同研究は、具体的にどういうフレーム（資金を与えられているならそのファンド名など）で行っているのかわからない。単に国際的につきあいのある程度のもものも含まれているのではないかな？もう少し具体的な説明がほしい。#

（2）日韓拠点大学方式学術交流事業

MVSV による「エネルギー理工学」の拠点大学方式日韓学術交流事業は、日韓双方にとって貴重な多くの成果を上げており、高く評価される。特に、エネルギー利用とそれに関連した環境の問題は、近年発展が著しい東アジア諸国にとって重要な問題であり、その解決のために日韓両国が連携を強めて対処する学術基盤を築くことは極めて意義深い。#

今後は、それぞれの大学、研究所がその特徴を活かして、適切なプログラムを利用して推進することが求められるが、その中で、本研究所は、これまでの日韓交流の経験を有効に活用するべきである。科学研究をベースにした継続的交流を今後も続けていただきたい。共同のセミナーなどを開催することは続けることが可能だろうし、有効ではないだろうか。ただし、継続する場合にあっては、成果に関するイニシアティブがどちらにあるか、明確にしておく必要があろう。#

#

互いにエネルギー資源を持たない工業国同士の交流は、大変意義のあることであり、活動評価も高いのであるから、MVSV の事業計画が終了するから、という理由で、縮小したりしないで、得られた成果をより充実するような計画を立案し、継続するのが望ましい。中印を巻き込んだアジア全体を包括した構想を立てることができないだろうか。#

（3）日・タイ交流事業

エネルギーに関する国際研究交流・国際貢献の一層の推進を目指して、タイとの国際交流が積極的に進められていることは評価できる。54 世紀 FRH プログラムの一環として開始されたタイの UXW、MJVHH、QVWGD 等との連携・共同事業は有意義に推進されている。交流締結の経緯が、個人あるいは研究所間の活動であるにしろ、VHH#I ruxp の形成まで発展させた業績は大いに評価できるし、さらに充実されんことを期待する。願わくは、QHGR の RGD 的事例にあるように、成果を事業化事例として残るようなメモリアル事業を推進してほしい。#

アジア地域の科学技術研究は急速に発展しつつある。今後、研究所が従来の実績を踏まえて、より一層積極的な交流・連携の実を上げ、韓国や東南アジア諸国・インド等との交流・連携の基盤を固めるとともに、地理的にも近く、また近未来の発展において最も注目すべき中国とも、重点的な交流・連携を深める具体的計画を立て、アジア全体の国際交流へと拡張されて行くことを期待する。インドとインドネシアは、人口も多く今後の発展が期待できる国であり、これらの国との接触ももっと深めて良いだろう。特に学生招致は有効と思う。#

（４）その他

化石燃料に乏しい発展途上国とエネルギー研究で交流する意図は何か。日本のエネルギーセキュリティにとって、タイもインドも地政学的には重要な位置にある。双方の国益を明確にするところから真の交流が始まる。将来のエネルギーシステムの地政学的な観点から、アジア各国との交流の動機を考え、在り方を提言されてはどうか。＃

1.4 教育活動

（１）学生や研究生、および留学生の受け入れ状況

研究所の教員は、関連する研究科、学部と連携して教育への参画が重要であるが、従来の実績から見て、教育面、特に大学院学生の教育面で重要な役割を果たして来たと言える。＃

研究所の准教授以上の全教員が京都大学大学院エネルギー科学研究科の協力講座を担当して、先端科学技術に関する大学院教育ならびに優秀な人材の育成・確保に努めており⁴⁾、また、助教を含む多くの教員が、総合人間学部、工学部、あるいは工学研究科等の非常勤講師を勤め、学部ならびに大学院教育に携わっている。エネルギー科学研究科と連動して、多くの在席学生数、学位取得者数を維持してきたことは、エネルギー理工学領域の研究体制が充実していることを示すものであり、評価できる。博士後期課程学生に外国人学生の割合が多いとあるが、帰国後、国際交流の中心になってくれていると割り切れば良い。韓国、タイを中心としたアジア系の留学生が多いが、これは、交流事業の成果の現れであり、世界的に誇れる研究設備の整備等によるもので、エネルギー理工学分野でアジア地域のFRHとなった証しではないか。一方、欧米の留学生が少ない。これからは欧米への情報発信、もしくはさらなるレベルの高い研究成果の創出に努め、世界のFRHを目指してほしい。＃

ただ、近来、博士後期課程の学生数、特に日本人学生数が少数に止まっているのが気掛かりである。彼らは、近未来の我が国における学術基盤の発展を背負うべき人材であり、博士課程の活性化について、深い留意と実効的な対策の実施が必要である。＃

対策としては、一つには奨学金の思い切った拡充であり、もう一つには修了後の進路の確保である。大学／研究所独自の奨学金交付の可能性について検討することを求めたい。進路としては、従来のように大学関係を主とする方針は現実に即さない。産業界とも密接に意見交換を行って、産業界が必要とする人材の養成にも一層注力すべきであろう。日本人博士課程の人材も、積極的に海外に派遣して国際感覚を磨かせれば、海外進出の増大する日本企業にも重用されることとなろう。外国での国際会議にできるだけ早くから大学院学生を参加させ、若手研究者の育成に努力していただくことを期待している。＃

＃

学士課程における教養教育にも携わることにより、大学卒業者が科学全般に関する広い視野と総合的な判断力の基礎となる知識を身につけさせるよう、一層、努力していただきたい。＃

（２）その他

概念創出から始める研究目標にとっては、現状の技術システムの評価とそれを乗り越える新しい概念の創出が基本的に重要である。この観点から、研究指導の中身に課題の設定

4) 助教も含め、専任教員全員で、エネルギー科学研究科の協力講座を構成しています。(WG注)

が多くを占められるべきである。大学院教育の中で、研究課題の設定についてどのような教育と訓練を行っているのか、そこが不十分のように見受けられる。教職員 77 名で ;3 名の院生、研究生、留学生を指導できるのは恵まれていると言えるが、一方、教授 44 人で ;3 名を、新しい概念創出研究で指導するのは難しいのではないか。

1.5 その他

掲げている研究目標「既存エネルギーシステムの高性能化」「新規エネルギー源の改革」「エネルギー資源の有効利用システムの実現」と、これまでに得られている成果に乖離を感じる。これを埋めるためには、「先に目標（ヴィジョン）があって、次に全体のプログラムがあって、その下に各研究プロジェクトがある。」という研究開発の基本的な階層構造に基づいた現状の自己批判が重要であろう。

2. 重点複合領域研究活動

重点複合領域を中核とする研究活動方式については、研究所の実情に即しており、実際に多くの研究実績を上げたことに鑑み、今後とも研究体制の柱とすることが妥当である。#

各重点複合領域における研究課題については、原則、先端的な研究課題が挙げられており、その成果が期待されるものであると見なせる。しかし、あえて言えば、キャッチアップ的な課題も見受けられており、その研究の進展については研究所自身で見直しを行い、適宜最適化を図るべきであるし、その姿勢を研究所としても見せるべきであろう。領域の設定や組織を固定化せず、適切かつ柔軟に軌道修正を施しながら運営して行くことが望まれる。そして、各重点複合領域内での研究者の有機的連携の強化、逆に連携不足（異質）部分の削除、および重点複合領域間の連携作用についても、より一層の配慮が望まれる。さらに、しかるべき時期に研究所の特徴を活かし、強い部分をさらに強くし、他の研究機関にはない特色ある研究を推進するなど、他の研究機関の模範となる改革を行っていただきたい。#

同時に、大学附置研究所として、各研究者個別の発想に基づく基礎的・先進的・野心的研究の活性化についても、適切な留意が必要であろう。#

#

本研究所には、産業界にはない貴重な実験設備も整備されており、今後は、実験設備を維持・管理し、学内・学外のコミュニティが柔軟に利用できる体制を作り上げることが重要であろう。#

#

プラズマエネルギー研究を重点複合領域として取り上げていることは、核融合研究の進展が加速されている現在、エネルギー理工学研究所発足の経緯、その後の研究所の人員ならびに開発・整備されてきた関連研究設備群のレベルの高さから見て適切な選択である。プラズマエネルギー複合領域については既に多くの実績を上げており、その活動は我が国の関係学会でもよく認知されている。核融合科学研究所の OKG 計画の原理実証実験を成功裏に行った実績を持つ京都大学における、ヘリオトロン M を用いたプラズマ教育・研究の推進には、コミュニティの期待も大きく、学術面での種々の寄与を期待するものである。#

#

核融合エネルギーの実用化は 54 世紀の最大の課題であり、実用化のための要素技術研究は当を得たものであるが、従来のような遠隔地・大規模発電方式という概念を改め、分散エネルギー源として 53～63 万 nZ 級の放射能汚染の極小化したシステムの設計に取り組んでは如何か。願わくは、放射能汚染ゼロのシステムが考えられないだろうか。#

#

ビーム衝突核融合である超小型静電慣性核融合の研究成果を受け開始された科学技術振興機構のプログラム「人道的対人地雷探知・除去技術研究開発推進事業」も、核融合研究の応用例として評価できる。今後、より核融合開発技術のスピノフを展開し、引き続き国内外の共同研究・連携研究を進めていただきたい。#

#

核融合は重要ではあるが工学的に実現するにはまだ道のりは長く、これをどのように進めるかについても全体的に議論をすべきであろう。また、対人地雷探知技術開発は、やや異質の研究であり、これを「正解」と高く評価しているのもやや奇異な感がしないでもない。外部評価（重点複合領域研究）ではプラズマエネルギー複合領域の評価は非常に高いが、このような観点で見ると、ややほめすぎではないか。#

#

光エネルギー複合領域に関して、光エネルギー複合領域については先行する多くの研究グループが他研究機関にもあり、本研究所の取り組みが唯一の事例となるような研究を展開することが望まれる。本研究所における短波長光源の開発は極めてユニークな取り組みであり、本研究所の所有する自由電子レーザー装置などは、ナノ材料の創製といったものづくり産業のみならず、医療への応用にも不可欠な装置であり、この装置の活用を活動の核として、様々な産業界の人々が集まり、新産業を創出するテクノポリス形成を真剣に考えた方が良いと思う。#

#

バイオエネルギー複合領域に関しては、段階評価において、研究方式の妥当性、関連コミュニティの位置づけ、研究方向の適切性など、評価が分かれているが、本質的にこの領域の出口設計が明確でないからではないだろうか。太陽光合成触媒をターゲットにして、光エネルギー領域の自由電子レーザー技術などとの融合を考えては如何か。#

3. 前回（平成 16 年（2004 年））「在り方検討委員会」報告書における検討事項への対応

前回指摘されたことについては概ね真摯に考慮が払われ、対応が行われたか、あるいは現在検討中であると理解できる。エネルギー研究開発をキーワードとして目標を掲げ、外部資金の獲得や研究組織の整備など適切に対応してきたと評価する。今後、状況の変化も踏まえた自主的な努力が期待される。特に、研究開発のロードマップの作成・提示、可能な範囲でのマイルストーンの設定に対する対応は早急に確定すべきであろう。一方、研究支援部の体制の明確化、研究教育活動の評価システムの作成、研究体制の不断の見直し、博士課程学生の就職先の開拓、等については引き続き検討が望まれる。#

#

重点領域の見直しは適切に行われたと評価できる。分野横断的なプロジェクト研究も検討、実施されている。エネルギー問題の解決を目指した先導的研究を行うことが本研究所

に求められていると思われる。ヘリオトロン M、GxHW、P X VWHU 等、既存の装置群を有効活用し、学術的には基礎から応用への展開に期待したい。一方、部門研究の在り方についての検討がどのように行われているかは不明である。#

研究所の理念、および目標設定に関して、先進プラズマ・量子エネルギーおよび太陽光エネルギーの有効利用に目標を絞られたことに異論はないが、教授陣の専門性への配慮に気を配りすぎ、大目標に向かってのロードマップが描ききれていないのではないかと。ロードマップの中で、乗り越えるべき障害を浮き彫りにして行けば、自ら不足する専門性が見えてくるはずである。その不足する専門性をアウトソーシングするための議論が必要ではないか。#

#

研究所組織の見直しについては進行していると判断される。「まだまだ改善の余地はあると思われるが、今後も不断の検討を続けて行く所存である。」と述べられているところに期待するところが大きい。大部門の必要性を含めての検討が望まれる。センター教員の専任化についても検討が前向きに進んでいると理解できる。#

組織運営に関して、エネルギー科学研究科との体制整備を図り、本研究所は教育的要素を極小化し、プロジェクト指向を強化すべきではないか。プロジェクト遂行に当たっては、乗り越えなければならない課題に対し、体制が適切か否か、教員の再任審査を遅滞なく実施することが肝要であろう。#

研究教育活動評価システムについて、個人評価システムを開始したことは評価できる。また、任期制に関して、再任方法の整備において、協議員会で内規が制定されたことも評価できる。今後はそれが有効に作用しているかの評価が必要になってくる。これに関連し、流動性を高めるための方策については、どのような検討がなされているのか。#

#

研究活動に関して、本研究所の研究成果は、究極の目標に向かって随時出てくるものであり、部分的成果であっても、いずれかの産業界で役に立つはずである。この段階的成果を社会に還元するための組織に民間からのアドバイザーを登用し、成果の社会還元をさらに充実してほしい。#

国際交流について、国際研究協力の実態調査の実施とそれに基づく協定の見直しが行われていることは評価できる。一方、今後のどのように国際交流を行って行くのが良いのかについて中期、戦略的視点からの検討があっても良いのではないかと。#

#

博士課程修了者の就職先が質、量的にどのように開拓されたかの具体例が見えない。#

#

あるべき姿が語られても、現状の客観的認識が不在では、問題点もまた課題も明確にならないものである。一層の自己点検・評価を行うことが望まれる。#

4. 第一期中期目標・中期計画の進捗状況について

研究所独自に行える項目については概ね順調に履行されており、年度計画を十分実施していると判断できる。また、個人評価システムの検討も評価できる。#

#

第一期中期目標・中期計画にある6重点複合領域研究プロジェクトは、その後の研究の進展に伴い、大型外部資金獲得が行われるとともに産学連携も含め学外組織との連携研究活動が活発になってきており、研究所の活動の大きな柱の一つとなってきたと思われる。

る。このような状況から、6 重点複合領域研究を 5 複合領域研究に集約することは、今後の研究の効率化に向けて有効に作用するものと評価される。また、この集約・統合化の流れをベースに、附属センターの改組が行われており、それぞれのミッションを担当する研究推進部を設けていることは、今後の運営に有効に役立つであろう。#

この集約・統合化された二つの重点複合領域研究は、第二期中期目標・中期計画における研究面での大きな柱となるものと期待している。また、このような状況を背景に、共同研究・共同利用体制の強化を中心にして検討していることは妥当であろう。#

#

研究者個別の研究・教育等に関する評価システムの在り方については、組織の活性化に資すべきもの、という観点から今後とも検討を重ねてほしい。また、部局全体の評価についてはもう少し踏み込んだ評価があっても良いのではないか。#

元来、研究所に求められるのは、個人知を組織知に変え、組織知を大学知（研究所知）に変えるスピードである。個人知は、研究所の理念・目標から選別されたのであるから、理念・目標が変わらない限り、個々の専門性を多面評価する必要はないのではないか。むしろ、成果評価を行うのであれば、組織知、大学知に変える方法論を評価すべきであろう。成果を高めるには、学内外の方々とのアライアンス能力によるところが大きく、このアライアンス能力を評価する手法を考えるべきであろう。#

#

社会への還元の取り組み項目としては、論文発表、インターネットでの情報公開、シンポジウムの開催など研究活動の情報発信面に限られており、具体的な還元イメージを感じられない。第二期計画においては、ロードマップを作成し、いつ、どんなブレイクスルーが社会や産業界にもたらされるのかを明確にし、大学の研究成果の還元が身近に感じられるように願いたい。#

#

第一期目標があまり具体的に設定されていないため、その進捗状況の評価は必ずしも容易ではない。全体計画の中での重要な位置づけ、的を絞ったテーマ設定と具体的数値目標があって初めて進捗状況が評価できるものだろう。そのような説明が不十分である。

5. 研究所将来構想について

第二期中期目標・中期計画の柱として二つの重点複合領域が掲げられているが、研究所の従来の研究実績および学界・産業界等における将来のニーズから見て、適切かつ妥当なものである。ただ、両領域とも国際的にも激しい変化と競争的環境にあるので、その中でどのように特徴ある焦点に的を絞るか、今後とも継続的な検討を重ねて、世界的に見ても評価され得る計画を立てることが必要である。#

#

エネルギー理工学研究所が培ってきたハード・ソフト両面にわたる国際的な共同研究体制やネットワーク、あるいは研究所の誇る先端の実験研究設備を産官学で活用する共同利用体制が有効に機能していることは、今回の重点複合領域研究に関する外部評価において重要な研究拠点として評価されていることから判断できる。#

一方、54 世紀 FRH プログラムで育成した環境調和型エネルギーの研究教育拠点としての発展・継承も重要な使命であり、エネルギー関連課題グループからも研究教育拠点の発展・継承が期待されていると思われる。#

このような共同研究・共同利用体制を維持・発展させることは研究所の責務であるばかり

りでなく、関連研究者コミュニティからの強く支持されるものであろう。エネルギーの生成、変換、利用の高度化を目的とする我が国唯一のエネルギーを取り扱う大学附置研究所として、国際共同研究の推進や民間との産学連携研究の強化・発展を図り、エネルギー理工学の新領域の開拓とそれによる全国共同利用・共同研究拠点形成へと展開する必要があるのではないかと。研究所を全国共同利用化する計画は是非とも着実に実現してほしい。その理由を下記にまとめる。＃

- (1) 本研究所が国際的にも一種のFRHであるとしても、エネルギー問題のように複雑かつ多面的な問題の解決は一つのFRH単独では到底不可能であり、内外の幾つかのFRHと連携・共同してNOE（ネットワーク・オブ・エクセレンス）を形成して事に当たることが必要不可欠である。＃
- (2) 共同利用化の基礎となる内外の他大学・研究機関との交流・連携・共同研究の経験と実績に富む。所内においては、附属センターなどを中心に、今後の共同研究の拡充に向けた体制づくりも着実に進められている。＃
- (3) 本研究所には産業界も含めて殆ど他に見られない貴重な実験設備が備わっており、それらは広く活用されるべきである。＃

＃

共同研究・共同利用体制については、様々な研究所が共同利用を一つの柱としようとしているところであり、エネルギー理工学研究所の特色を活かした、他と重複しない分野での共同研究が必要である。また、そのとき、所員に過度の負担がかからないような仕組みも重要であろう。＃

全国共同利用はやはりサービス供給の側面が強く、その充実がないと利用は進まない。一方、研究所がそのレベルを上げるにはやはり自己の研究推進がポイントであり、これと共同利用のためのサービス供与をどう並存させるかが今後の大きな課題であろう。＃

＃

エネルギー理工学を目指す三つの研究目標を掲げたのだから、飽くまでこの三目標を貫徹すべきである。そのためには、既存の、また将来のエネルギーシステムとエネルギー源をしっかりとデッサンして、それをもとに目的基礎研究と応用研究を強化すべきで、開発の階層構造のもとに全体計画が、時間軸を入れて、明確にされるべきである。将来実現すべきエネルギーシステムの姿が見えないと、将来構想もまた曖昧なものになる。何を実現したいのか、44名の教授達の変身と自己改革が最も必要なのではないかと。＃

＃

プラズマエネルギー、バイオエネルギー、光エネルギーの6重点複合領域研究プロジェクトとして発足した本研究所のミッションを5重点複合領域に絞り、国内外に成果を発信する研究所に発展されてきた経緯は尊重に値する。また、固有の施設について、全国的な共同利用の仕組みづくりをして、広く産業界にも開放され、社会貢献されるまでに柔軟な組織運営を図られた業績は高く評価できる。元来、再生可能エネルギーの創製、変換、利用という素人わかりするコンセプトから、専門的なミッションに変わってきた経緯は、国内外の他の研究機関との差別化を意識したものであることは容易に推測できるが、本来の理念を忘れないでほしい。分散型エネルギープラントとして、小さな太陽を小コミュニティの中で創る、宇宙で太陽光発電して、短波で地球に電力を送る、太陽光とFR₅、水から光合成で食糧や化学品を創る、といった児童でも理解できるコンセプトの研究は、実現性云々というより、夢・ロマンとして残しておきたいテーマである。現在の研究所のテーマは、研究所創設の理念から発展してきたもので、社会還元性に富むものではあるが、経年的には、特殊な工学領域に深化してしまう恐れもあることに留意すべきであろう。願わくは、本来の6重点複合領域をエネルギー科学研究科との連携組織として残し、深化した

工学的価値の出してきたテーマをプロジェクト運営組織と位置づける体制を有期限で運用してはどうだろうか。#

#

LWHU およびポスト LWHU のための人材の輩出・養成と炉材料研究は今後の核融合研究を進めるための重点であり、それに対応して先進プラズマ・量子エネルギーを重点複合領域と位置づけ研究所の研究・教育の核とするのは適切である。この取り組みへの核融合分野からの期待は大きい。光・エネルギーナノサイエンス複合領域は極限レーザーとナノサイエンスとユニークに結合する研究を本研究所が実践されることを期待する。我が国唯一の本研究所の活動を展開し、全国の関連分野の大学・研究機関とのネットワーク型拠点の中心的役割を担うことを期待する。重点複合領域のうち、先進プラズマ・量子エネルギーについては、双方向型共同研究で全国的なネットワークができています。光・エネルギーナノサイエンスについては、今後ネットワーク拠点の形成に努力することが望まれる。#

レーザーエネルギー学研究センター等大阪大学の関係部局と、核融合や光科学等の分野で一層研究教育の連携を強めていただくことを期待する。#

#

6. その他の提言やご意見等

変革期にある組織においては、一方では研究所トップが的確なリーダーシップを発揮することが肝要であり、また一方では若手も含めて組織の内部から率直な意見の表明やアイデアの提案がなされることが必要であろう。組織として、活発な建設的論議の雰囲気醸成と、意識・情報の共有が望まれる。#

#

本研究所は、第一期中期計画の策定に当たり、研究所の理念・基本的長期目標、ならびに中期目標を設定している。これらの中・長期目標は、京都大学におけるエネルギー理工学研究所の研究展開として概ね妥当と思われる。しかし、先進エネルギーとは何かについてのヴィジョン設定や具体像が必ずしも明確になっていないように思われる。研究内容が多岐にわたっていることは大変結構なことであるが、逆に焦点が絞れていないことでもある。法人化後の荒波に直面している国立大学において、プラズマ、光、バイオの三つを抱えながら研究所を維持発展させて行くことが適当かどうかについては、今後も継続して真剣な議論が必要と思われる。その際、京都大学としての方針が明確に打ち出されることが必須である。#

#

次世代エネルギーシステムのための、基礎科学、基礎工学のマッピングができているかが重要であると考えますが、どのようなエネルギーシステムを考えているか明確でないように思われる。太陽光なら、たくさんの基礎研究が他所で実施されており、その実用化した段階の独自性を打ち出すべきだ。材料創製も、然りである。全体に、全体における位置づけが明確でないまま、また実用化時期も不明なまま、研究を進めているような印象を持つ。海図なき基礎研究からいかに脱皮するかのキーは、教授の陣容を思い切って変えるという英断がいるのではないかと。また研究プロデューサーも不在なのではないかと。#

#

本研究所の規模を考えるなら、6 重点領域に対象を絞ることは当然で、今後もこの範囲で活動が続けて行くべきであろう。ただ、エネルギーは最終的には工学的に利用されることが前提なので、どの分野であれ、そうした最終のエネルギー利用にどう結びつけるかを常に意識して研究を進めることが望ましい。従来の核融合研究は、その長期性もあってや

や実用化への意識が欠けるくらいがあったと思う。この点を是非打破してほしい。#

#

現行の分野制主体と見受けられがちな研究から、大部門制を活用した研究に移行することにより、研究所の活性化が図られるであろう。従来の分野に縛られることなく、流動的な研究グループの形成や准教授が独立して研究を行うなど、研究の進歩や多様化に柔軟に対応することができる研究組織の形成が望まれる。#

#

エネルギー理工学研究所は、将来的には全国共同利用・共同研究の組織として展開して行く活動が求められるのではないか。その環境整備は整えられてきており、関連するコミュニティとの議論を通じて、全国共同利用・共同研究拠点としての新たな展開を図るための検討を重ねていただきたい。各重点領域に関わる研究開発のロードマップ作成ならびに可能な範囲でのマイルストーンの設定についても、この議論の中で検討するのが望ましい。#

共同利用研究所になれば、所内・学内のみならず、学外からも有識者を加えて運営を司る委員会（運営協議会など）を設ける必要があるだろう。研究所としては、共同研究のパートナーや研究課題の選定について、独自の戦略的目標と計画を保有すべきことは言うまでもない。#

#

本研究所は、国内外からも評価される体制と施設を保有しており、テクノポリス形成要件（マイケルポーター論）は備わっていると思う。予算措置が大変であるが、施設を統合し、優秀な研究者を迎え入れる宿泊施設も整備し、マーケティング商社、ファンド銀行も集うテクノポリスに発展するよう構想を描きたいものである。#

III. 重点複合領域研究に関する外部評価の概要

III-1. 重点複合領域方式による研究推進に関する評価

大学のシステムが大きく変貌するなかで、研究所の存在意義が大きく問われており、大学の研究科で行われる教育・研究と差別化を図りつつ、かつ研究所の研究を活性化させることが重要である。重点複合領域研究により、異なる分野の者を集めて重点的に研究するという組織改革は大いに評価できる。比較的少人数ではあるが、多様な学術基盤をもつ研究者が集まった研究所の特徴を活かし、強い部分をさらに強くし、他の研究機関にはない特色ある研究を推進するためには、重点複合領域研究方式の採用は非常に妥当な方法であり、研究スタイルあるいは方式と言って良く、他の研究機関の模範となるものである。＃

III-2. 設定した重点複合領域に関する評価

重点複合領域研究の成功の鍵は、その選択した研究分野と互いの関連性にある。プラズマ、バイオ、光はエネルギー研究領域のキーワードであり、将来の必須学問であることを考えると、この三つの領域の選択は的を射ていると供に、オリジナリティが高い優れたものであると考える。プラズマエネルギー研究を重点複合領域として取り上げていることは、エネルギー理工学研究所発足の経緯、その後の研究所の人員並びに開発・整備されてきた関連研究設備群のレベルの高さから見て適切な選択である。バイオエネルギー、光エネルギーも、研究所の特色を活かした研究展開として興味深い。とくに、最近のナノサイエンスを含めた新しい学術分野の創成に向けた動向に注目したい。しかしながら、三重点複合領域の関連性・整合性という観点からは、まだ改善の余地があるように見受けられる。今後、三者間での横断性もある新領域的な研究分野の創出も考慮してみてはどうであろうか。＃

各領域における研究課題については、いずれの研究領域においても、先端的な研究課題が挙げられており、その成果が期待されている。＃

＃

III-3. 研究所の研究教育活動に関する提言

エネルギー理工学研究所には、産業界にはない貴重な実験設備が整備されている。また、ハードウェア開発により着目した研究実績は目を見張るものがある。今後はそれらのきちんとした利用実験をサポートして行く体制を作り上げることも重要と思われる。例えば、産業界の研究者や技術者が、とくにエネルギー理工学研究所で育った人材が、社会へ出てからもそれらの装置や設備を比較的自由に使い、産業界としてのニーズに応えるような仕事にも解放されることが望ましい。このような意味で、単純な共同研究ではない大学内外の連携の、より斬新な形を模索していただきたい。＃

工学的領域研究ではロードマップを明示して、ある期間内にミッションを達成できる仕組みを作る一方、理学的領域研究においては、より長期間の研究において、オリジナルで全く新奇の物質生産が行われる仕組みを両立させる必要があるのではないかと。このことで、研究者の意識をより明確にし、エネルギー理工学研究所としての研究が社会的にも認知され、果たされることが望まれる。＃

III-4. 段階評価による評価点の集計

重点複合領域研究方式の妥当性

	プラズマ	光	バイオ
妥当でない			
やや妥当でない			○
やや妥当である			
妥当である	○○○	○○	○○

設定した重点複合研究領域の適切性

	プラズマ	光	バイオ
不適切			
やや不適切			
やや適切			○
適切	○○○	○○	○○○

当該重点複合領域における目標の適切性

	プラズマ	光	バイオ
不適切			
やや不適切			○
やや適切	○		○
適切	○○	○○	○

当該重点複合領域研究における研究方向の適切

	プラズマ	光	バイオ
不適切			
やや不適切			○
やや適切			○
適切	○	○○	○
非常に適切	○○		

研究の学術的意義

	プラズマ	光	バイオ
意義を認めない			
やや意義を認める			
意義を認める	○	○	○
優れた意義を認める	○○	○	○○

研究の独創性

	プラズマ	光	バイオ
独創性がない			
やや独創性がある		○	
独創性がある	○○	○	○○○
非常に独創性がある	○○		

研究実績と成果に関する評価(世界水準との比較)

	プラズマ	光	バイオ
非常に劣っている			
劣っている			
やや劣っている			
標準			
やや優れている		○	○
優れている	○○○	○	○○
非常に優れている	○		

研究の社会的意義

	プラズマ	光	バイオ
意義を認めない			
やや意義を認める		○	
意義を認める	○		○○
優れた意義を認める	○○	○	○

当該研究領域関連コミュニティにおける位置付け

	プラズマ	光	バイオ
孤立している			○
共同研究拠点の一つ	○	○	○○
重要な共同研究拠点の一つ	○		○
非常に重要な共同研究の拠点の一つとなっている	○○	○	

III-5. 各重点複合領域研究に関する評価の概要

III-5-1. プラズマエネルギー複合領域

核融合エネルギーは 54 世紀における地球規模のエネルギー・環境問題を解決するための一つの有力なオプションを提供するものであり、その開発研究は大きな社会的重要性をもつ。この研究領域においては、とくに複合的な研究方法が必要になっており、大学附置研がこれを取り上げることは、非常に適切である。実際、本複合領域研究では、大学附置研究所としての学術研究をベースに、より優れた核融合炉開発という観点からの研究が展開されており、優れた社会的意義を有している。このような複合領域研究で育てられた人材は、広範な核融合研究の分野で活躍することが期待され、多くの優秀な人材を育成していることは、高く評価できる。今後とも、共同研究等を通して国内外における核融合関連の研究機関との連携を深めるとともに、核融合分野における指導的人材の育成にも、一層の尽力を願いたい。#

本複合領域には、8 つの主な研究課題があり、それぞれ研究段階も方向性も同じではないが、各々は、着実な進展を遂げていると判断できる。個々の研究内容も、世界水準を超えた、非常に優れた成果を上げているものが多い。「ヘリオトロン M 装置によるプラズマ閉じ込めの高度化」関連における国内・国際研究活動ネットワークの拡がり、「VLF 2VLF 複合材料利用システムの検討と実用化」分野の急速な発展、などは目を見張るものがある。可搬放電型中性子源の高性能化と応用は、本複合領域のなかでも異色の課題である。核融合炉開発における中性子源利用の可能性をにらみつつ、その時期到来までを、それ以外の社会的貢献の研究として、対地雷探知技術開発への絞っていることは、正解であろう。#

今後、プラズマ、材料、中性子など要素研究をシステム研究が統合するというスタイルを推進するなかで、それらの先に統合された形での EHL 2WHU や次世代原子力エネルギーというロードマップ上での貢献を明確化しつつ、社会貢献と産業波及効果、人材育成という方向性が明確に出せられると思われる。先端的研究現場での学部・大学院教育による核融合関連分野の人材養成を継続・実施していただきたい。#

III-5-2. 光エネルギー複合領域

短パルス光源自身の開発、光と物質との相互作用の基礎となる研究などは、光技術のエネルギー応用にとって重要な研究領域と思われる。国内の他研究機関では光技術のエネルギー応用は往々にしてレーザー核融合と加工に特化されている。それに対し本研究領域は光源開発および物質との相互作用への応用という、幅広い発展につながる課題に取り組むなど、独特の立場を取っており、共同研究拠点としての本研究所の重要性を明確にしている。光源開発の面における本重点複合領域研究の特筆すべきことは、レーザー光源だけでなく加速器光源の研究も押し進めていることである。国内ではこのような研究環境をもって自由電子レーザーを扱っている研究室がほとんどないこともあり、将来を考えると貴重な拠点である。また、自由電子レーザーは共同利用研究施設に成長させる必要があるだろう。他大学・研究所とのネットワークを拡がり、ある種のバーチャルラボラトリーのようなものを形成し、その拠点として活躍できる場を作り上げて行って頂ければ、と強く思う。#

本複合領域研究で取り上げられている研究課題は、いずれも新しい科学の創出という点において優れていると考えられ、国内外の研究機関に比べて、全体として優位性、独創性のある成果が複数得られている。しかしながら、これらの研究がもたらす技術利用という面には関しては、将来的な展望をより明確にできることが望まれる。#

III-5-3. バイオエネルギー複合領域

今後エネルギー問題は人類にとって最重要の研究課題になるが、いまから、石油に代わる新しいエネルギー源を開発する必要がある、シリコンばかりでなく、これまでにない新しい材料や構造体を活用することが必須になる。その意味で、太陽エネルギーを重点領域として設定したことは非常に適切である。太陽エネルギーシステム開発は、産官学の連携により長期間進められてきたが、これまでは、シリコンを中心としたものが主流であった。これに対して「バイオエネルギー重点複合領域研究」は、まだまだ学が主導して研究をリードすべき分野であり、学から大きなブレークスルーが生まれる可能性の高い分野である。これまでの実績を含めて判断すれば、光・ナノ・バイオ融合の取り組みは学術的にも、工業的にも意義の高いものである。個々の研究課題においては、概ね学術的意義、独創性が高い研究がなされて折り、概ね世界の水準以上の成果を上げている。

ただし、それぞれの分野の研究が、いつ、どのような形で融合・連携し、最終的なミッションである太陽エネルギーシステム研究に至るのか、そのロードマップが必ずしも明確に見えない。それぞれの研究課題間の連携が明確で、その成果が現れていれば、より高く評価できる。例えば、ナノ構造体を作製する研究はかなりレベルの高いものであるが、そのナノ構造体を応用して、バイオエネルギーシステムの解明やバイオセンサーの開発が行われると、この複合領域設定の意義がより分かりやすくなったと思われる。

これまでの本複合領域研究グループによる情報公開、広報活動により、関連研究領域における重要な研究拠点と認識されつつある。今後とも、研究所内の研究連携（複合領域研究）ばかりでなく、他の研究機関や産業界とも有機的な連携を図りながら研究を進めて行くことが非常に重要である。

IV. 各重点複合領域研究評価の詳細

IV. 各重点複合領域研究に関する外部評価の詳細

IV-1. プラズマエネルギー複合領域研究

- 化石エネルギーや核分裂エネルギーが人類福祉に貢献したことは疑いない。しかしながら、人類は化石エネルギーや核分裂エネルギーの開発利用において負の遺産にまでは思いが及ばなかった。54 世紀に利用が期待されるプラズマエネルギー研究は、その功罪への十分な配慮のためにも、またその開発利用に至る道筋としても、複合的な研究方法が必要になっており、大学附置研がこれを取り上げるのは、すこぶる適切である。重点複合領域研究方式は、純粋基礎から応用的基礎までの研究に加えて、人材育成までも担う大学附属研究所がとりうる一つの研究方式であり、妥当である。#
- プラズマエネルギー重点複合領域研究は核融合エネルギー利用を実現するために、プラズマ閉じ込め技術高度化、水素サイクル反応プロセス最適化の基礎過程の解明、V1F2V1F2 複合材料や低放射化鉄鋼材料など核融合炉材料開発、プラズマエネルギー関連分野人材育成、学内外の共同利用体制充実、等の戦略的目標を設定し研究を推進していると理解している。#
- このような複合領域研究で育てられた人材は、広範な核融合研究の分野で活躍することが期待される。#

IV-1-1. 研究方向

- 五つの主な研究課題があり、それぞれ研究段階も方向性も同じではないため、領域研究を全体として、適切、不適切、等を判定することは必ずしも適當ではない。それでも、エネルギー理工学研究所が 53 年以上の歴史と伝統を有する「ヘリオトロン M 装置によるプラズマ閉じ込めの高度化」関連における研究活動ネットワークの拡がり、「V1F2V1F2 複合材料利用システムの検討と実用化」の分野の急速な発展、などは目を見張るものがある。その他も、着実な進展を遂げていると判断できる。よって、全体として、研究の方向は「非常に適切」と判断した。#
- 五つの領域の目的、方向性と成果を統合してさらに高い目標に進むということが謳われればもっと良いと思う。#
- なお、「高経年化軽水炉の保全に関する研究」における、IhOP q モデル合金の脆化に及ぼす P q の影響に関する研究結果に基づく位置づけと今後の展望（P q 元素の役割の位置づけや脆化予測式へのフィードバック）は、方向が少し違うのではないかと思う。#
- 先進プラズマエネルギー生成の学理を実験的・理論的に探求する基礎学術研究を重点的に推進することは大学での研究として適切なものと考ええる。#
- 国際熱核融合実験炉 LWHU の建設が始まり、核燃焼プラズマの理解を目指した実験・理論研究は今後さらに重要性を増すものと思われる。このなかにあって、より優れた核融合炉の開発という観点から、大学附置研究所としての学術研究をベ

ースに、核融合科学研究所との連携を深め、全国的な双方向型共同研究によるプラズマエネルギー研究を一層強力に推進していただくことを期待している。また、共同研究等を通して国内外における核融合関連の研究機関との連携を深めるとともに、核融合分野における指導的人材の育成にも、なお一層の尽力を願いたい。#

IV-1-2. 学術的意義・独創性・社会的意義

- 核融合エネルギーは 54 世紀における地球規模のエネルギー・環境問題を解決するための一つの有力なオプションを提供するものであり、その開発研究は大きな社会的重要性をもっている。本複合領域研究では、大学附置研究所としての学術研究をベースに、より優れた核融合炉の開発という観点からの研究が展開されており、優れた社会的意義を有している。#
- 本重点複合領域研究全体としての学術的意義を判定することは必ずしも適当ではないが、個々の研究内容を精査したところ、研究の歴史がある分野では、学術的に見て、全体として優れている。また、個々の研究では、独創性が非常に高いと認められるものが多い。#
- 多くの優秀な人材を育成していることは、核融合研究を進める上で重要であり、高く評価できる。今後、優秀な人材をこれまで以上に育成することを希望する。#

IV-1-2-1. ヘリオトロン J 装置によるプラズマ閉じ込めの高度化

- ヘリオトロン J 装置の実験から多くの現象や発見が行われており、それらの一つ一つが積み重なって実用化へ近づくものと理解している。活動報告から理解する限りにおいては、学術的意義は十分に優れたレベルにある。#
- とくに、世界に先駆けてヘリカル軸ヘリオトロン配位のプラズマ研究を開始し、国際ステラレータ比例則の約 418#045 倍のプラズマ閉じ込め性能を達成するとともに、同配位において閉じ込め改善モードである $K \approx 1.5$ を見出したことは、学術的意義が高い。また、非誘導駆動電流の制御は今後のプラズマ閉じ込め制御に重要なテーマであり、ヘリオトロン J における先駆的な実験結果は評価に値する。高エネルギー粒子生成・閉じ込め並びにバルクイオン加熱に関する磁場配位依存性の結果も興味深い。#
- 国内、国際連携も非常に活発に適切に行われており、このなかで将来を担う国際的に活動できる人材育成も大いに期待できる。#
- 一方、プラズマ実験関係の意義と独自性をもっと明確化する必要がある。プラズマ物理を中心とした研究から、材料やシステムも含めた幅広い核融合エネルギー研究へ軸足を移しつつ、LWHU と ED への貢献を示すことが重要と考えられる。現状は、全体方針の面からは、LWHU とその後の GHP R 開発への関連付けが不明確である。#
- ヘリオトロン M 装置は京都大学にて発案された立体磁気軸ヘリカル系装置であり、世界に例を見ないきわめて独創性に富んだプラズマ閉じ込め装置であり、それを用いた実験は、京都大学でヘリオトロン E が誕生して以来 53 数年の研究の積み重ねの上にある。今日の欧・米やアジアを含め諸外国との密な連携、および国内では核融合研究所への発展の過程からも、その背景にはヘリオトロン J 装置を中心にした非常に独創性がある研究成果がもたれていることは明らかである。#
- 先進ヘリカルにおける改善閉じ込めを視野に入れ、先進的磁場分布制御を用いたトラスプラズマの輸送・安定性の向上を実験的・理論的に探求することはきわめて意義があり、高い独創性がある。#

- 実効的リップル率に関連したエネルギー閉じ込め時間の評価をさらに進め、ステラレータ・ヘリオトロン系プラズマ閉じ込め装置におけるデータベースへの貢献を進めてほしい。#
- これまでの研究実績をもとに、双方向型共同研究装置として、ヘリオトロン M の新たな研究展開を図る時期に来ているのではないだろうか。一つの候補として、重イオンビームプローブ (KIES) の設置等によるプラズマ構造形成・異常輸送物理研究の推進が挙げられる。KIES の導入により、ヘリオトロン M の磁場配位の特徴を活かし、異常輸送等でトロイダル系の体系化、総合的理解を進めることが可能であり、さらなる独創的研究が期待できる。#

IV-1-2-2. SiC/SiC 複合材料利用システムの検討と実用化

- 従来の VLF 2VLF 複合材料製造法に基づく製品の特性劣化（繊維バンドル間気孔、マトリックス微細き裂、不純物偏在）をどのような考え方に基づき克服したのかは、添付の数編の論文に詳しく記されており、また、ナノテクノロジーに基づく観察結果に基づき、その優れた特性が説明されているので、学術的に優れた意義が認められる。#
- VLF 2VLF 複合材料の開発では、その QIWH プロセスによる製造により従来の概念を一新する製品開発に成功している。さらに機械的性質や照射効果の評価に向けて試験方法を工夫し規格化をも進めるなど核融合炉適用に向けた展開を行っている。得られた 43gsd までの照射効果も常識を遙かに超えた結果を得ているなど、非常に独創性がある。#

IV-1-2-3. 耐極限環境先進構造材の開発

- 低放射化鉄鋼材料の開発のなかで、耐照射性能の評価は学術レベルで行う必要があるが、フェライト鋼ヘリウム脆化感受性の評価において、核分裂中性子によるものと GxHW デュアルビームによるものとは異なった結果を得、その原因が QIOLW 法の Q1 添加によるものであったことを確認したことなどは、実験方法の評価の重要性も示すことになり、優れた意義を認める。#
- 酸化物粒子分散強化の考えに基づく RGV 鋼のもともとの開発は、旧核燃料サイクル機構で高速炉燃料被覆管用に開発されたものであるが (D1#N lp xud/#hw#dol/#M1# Q xfol#Vfl1#Whfkqrdl/#7/#656#533:、), それをベースに核融合炉システム材料に要求される性能にまで機能を高めるためには、着実な研究とマイクロナノテクノロジーに依拠した機構解明の積み重ねが必要であり、それを現在成し遂げつつあると理解している。#
- スーパー RGV 鋼の耐照射性能が高度に分散されたナノサイズの酸化物粒子によることを確認しているが、関連する論文数も少なく、学術的に必ずしも優れた意義とまではまだ至っていない。しかしながら、今後業績を積み重ねることにより十分期待できると思われる。#
- 理論化され、モデル化された実験的・実証的な研究成果は、今日ではシミュレーション技術により条件を変えてより広い範囲にまで適用性を拡張確認し、限界をも予測することが可能になっている。エネルギー理工学研究所における研究でも GxHW 照射実験結果のシミュレーションコード開発が行われるなど、その方向でも進展が見られている。今後、一層の進展を図ることが望まれる。#
- 4 (以上の P q を含有するモデル合金を材料試験炉 (高照射速度) で照射したとき、照射量が $\sim 43^{53} \text{q2fp}^5$ 以上で顕著な照射硬化が認められたことは重要な事実で、

P q が転位ループの形成を促進していることからマトリックス損傷型の脆化であることを見出している。実機鋼では高照射領域 ($\sim 43^{4<q2fp^5}$ オーダーの半ば以降) で Fx や Q1 が加速的脆化を惹き起こすかどうか懸念される。しかも析出型であることも分かっているので、アトムプローブ分析なども組み合わせて、 $918 \times 43^{4<}$ と $4 \times 43^{53q2fp^5}$ の間の脆化機構を詳しく追うことを期待したい。

IV-1-2-4. 可搬型中性子源の高性能化と応用

- 可搬放電型中性子源の高性能化と応用は、プラズマエネルギー複合領域の五つの主な研究課題のなかでも異色の課題である。核融合炉開発における中性子源利用の可能性をにらみつつ、その時期到来までを、それ以外の社会的貢献の研究へ向けて、対地雷探知技術の開発方向への絞っていることは、正解であろう。#
- 可搬型中性子源の開発の動機付けとその応用分野への寄与という観点から、特筆すべき研究と言える。#
- 二つの添付論文を読む限り、原理的にはすでに 4<83 年代に核融合炉用に提案され改良されてきているようであり、近年は核融合炉以外の産業用、民生用に改良の工夫が積み重ねられているようである。開発された IHFI 超小型中性子源は従来のグロー放電型の欠点を改良し従来の 43 倍以上の規格化反応率を得ている、同時に、二次元コードによる数値シミュレーション結果とも良好な一致が得られるなど学術的にも意義ある進歩が得られている。#
- 地雷探査用にとくに工夫されコンパクトなロバスト性が地雷探査への適用可能性を現実的なものになっている点で確実に成果は上がっている。#
- 可搬放電型中性子源の高性能化と応用は、途上国や未開発国の人道支援へ核融合中性子の利用であり、社会的貢献は大きい。

IV-1-2-5. エネルギーシステム設計および評価方法論

- 一般に、新たな発電システムの導入には適用可能性の総合的な検討が不可欠である。フィジビリティ研究や導入シミュレーションから多くのフィードバックを期待できる。とくに、実用にいたるまでの、長期の道のりと膨大なコストなどの予測、政策立案や開発計画工程の具体化、さらには進展段階に応じた課題など、有用な情報を引き出す必要がある。従って、研究の方向性としては適切である。#
- 核融合炉システムとは言え、エネルギー変換は、現在の火力や軽水炉発電システムと根本的に異なるとは考え難い。それならば、現在の軽水炉発電システムを担っているプラントメーカーと共同で行う方が实际的ではないかとも考えられる。#
- 化石エネルギーにおける二酸化炭素排出問題や、核分裂エネルギーシステムにおける高レベル放射性廃棄物問題などを予測することはできなかった。核融合炉システムエネルギーシステムの設計と評価では、負の遺産の可能性をも含めて評価され、技術的な克服をいまから検討しておくことが重要である。超低放射化材料の利用や金属 OISe の熱媒体利用、バイオマスからの水素製造は地球への負担軽減が期待される点で十分評価される。#
- 将来的には、システム研究先導による要素研究の主導というスタイルの確立を期待する。#

IV-1-3. 研究の水準

- プラズマエネルギー重点複合領域研究全体を、一括して判定することは必ずしも適当ではないが、個々の研究内容を見ると、世界水準を超えた、非常に優れた成

果を上げている課題が多い。#

- ヘリオトロン M 装置によるプラズマ閉じ込めの高性能化の研究は、世界をリードしている。ヘリオトロン J 装置では、スペインの WMOLL や核融合科学研究所の FKV 装置等中型装置のプラズマパラメータと比較して、優れた閉じ込め性能を達成している。これまで本研究組織が達成してきた成果は多くの国際学会において招待講演および口頭発表として報告されており、高く評価できる。#
- VLF 2VLF 複合材料利用システムの検討と実用化も世界水準を抜いている。#
- また、スーパー RGV 鋼の研究は世界水準と比較しても優れている。#
- VLF 2VLF 複合材料の開発、およびスーパー RGV 鋼の開発は、現時点では順調に進展しているようである。とくに、VLF 2VLF 複合材料の開発は、製造段階の問題点を Q LWHA プロセスの開発により克服し、素材メーカー（宇部興産）やプラントメーカー（三菱重工）と組んで、さらに実用化へ近づけるために実用化における問題点の掘り起こしは着実である。核融合炉への適用を待つまでもなく、原子力システム以外のガスタービン動翼や宇宙ロケットへの応用などを模索することも重要で、それらへの応用を通じて実際の問題が浮かび上がりその克服が次の発展を促進するものと思われる。#
- 核融合炉材料としての最重要特性評価である中性子照射効果については、これからの課題であろうが、VLF 2VLF 複合材料では 43gsd までは強度劣化が生じなかったことは朗報である。ガス冷却型炉への適用はさらなる改善のニーズを生み、核融合炉システム適用へのステップを形成する。スーパー ODS 鋼についても同様であろう。#

IV-1-4. 関連コミュニティにおける位置づけ

- プラズマエネルギー重点複合領域研究全体を、一括して判定することは必ずしも適当ではないが、概ね、非常に重要な共同研究の拠点あるいは重要な共同研究の拠点の一つとなっている。各分野の関連コミュニティにおける位置づけに違いが生じているのは、歴史と伝統の違いによるものであろうか。#

IV-1-4-1. ヘリオトロン J 装置によるプラズマ閉じ込めの高性能化

- 名実ともに、この分野における非常に重要な共同研究の拠点の一つとなっている。#
- 核融合科学研究所を中心とする全国的な双方向型共同研究の分担課題への主体的な参画も高く評価できる。#
- 異なる特徴をもった中型プラズマ閉じ込め装置を運転している多数の国外研究所と相互科学協力協定を結び、緊密な情報交換および共同研究を実施しており、世界的規模のヘリカル系研究ネットワークの主要拠点として、また、双方向型共同研究を推進している拠点の一つとして活躍されていることは高く評価できる。#
- 全国的に核融合分野の重点化が進められているなか、他装置とは異なる視点から斬新な研究展開して行くことが重要となろう。それにより、拠点機能を活かした国際的、全国的な共同研究の展開、連携強化を図り、学術的視点からの広範なコミュニティの要望に応える柔軟で機動的な共同研究体制を一層充実さ、双方向型共同研究全体の発展に寄与することが必要である。そのためにも、より柔軟な装置運転体制を整備することを計画されるべきであろう。#
- 中規模装置の特徴を活かし、プラズマ理論・シミュレーション研究と強くリンクした実験研究を展開していただきたい。#
- 現在ヘリカル・ステラレータコミュニティにおいて活発に進められている国際

共同研究への参画をこれまで以上に積極的に推進されることにより、ヘリカル・ステラレータコミュニティへのさらなる貢献をもたらされることを期待する。#

- 今後も、双方向型共同研究、日米科学技術協力事業等を通し、国内外の大学・研究機関との密接な共同研究・連携研究を展開し、京都大学がハブとなる先進ヘリカル共同研究拠点ネットワーク形成を推進してもらいたい。#

IV-1-4-2. SiC/SiC 複合材料利用システムの検討と実用化

- Q LWH OVL F 2V LF 複合材料の発明を契機に、世界の非常に重要な共同研究の拠点の一つとなりつつある。#

IV-1-4-3. 耐極限環境先進構造材の開発

- 低放射化鉄鋼材料においては、G xHW 2P X VWHU の整備も行われ、すでに国内の重要な共同研究の拠点の一つである。#
- スーパーRGV 鋼の一層の高性能化が進展すればこの分野の世界の非常に重要な共同研究拠点の一つとして位置づけができると思われる。#

IV-1-5. その他

- 現代は、人も、情報も、研究活動もあらゆる分野でグローバル化が進んでいる。核融合エネルギー開発は、広範で、かつ複合分野にまたがり、また基礎から応用開発までの長期に亘る研究であり、共同利用体制は必須である。グローバル化のなかにあってもエネルギー理工学研究所にはその立場としての役割が求められている。#
- プラズマエネルギーが産業として成り立つまでの基礎から応用基礎までの助走過程は、大学や国公立研究機関における活動に依存せざるを得ない。この意味で、エネルギー理工学研究所の役割の重要性を、改めて強調しておきたい。#
- プラズマエネルギー利用の高度化の学術的基盤形成が促進されるとともに、次世代核融合システムに向けた先導的エネルギー基礎研究を期待している。#
- プラズマ、材料、中性子などをシステム研究が統合するというスタイルを推進するなかで、それらの先に統合された形での E h | r q g O L W H U や次世代原子力エネルギーというロードマップ上での貢献を明確化しつつ、社会貢献と産業波及効果、人材育成という方向性が明確に出せられると思われる。#
- 大学には第一義的にはやはり人材育成を求めたい。研究実施過程で、資質がある人材は、ふさわしい指導環境のなかで育ってくるものと理解している。本重点複合領域研究を通じて、先端的研究現場での学部・大学院教育による核融合関連分野の人材養成を継続・実施していただきたい。とくに、LWHU 計画等の実験リーダーとなりうる研究者を育成していただきたい。#
- 可搬放電型中性子源の高性能化と応用の課題は、プラズマエネルギー複合領域のなかでの位置づけているのはS取り敢えずαの居場所であるものと理解する。先端科学技術に根ざした対人地雷探査技術開発は人道支援としての社会的な意義は核融合エネルギー開発を凌いでいる。独立法人としての京都大学エネルギー理工学研究所そのものの広報性を高めることにもなり、継続的に着実に進められることを希望する。いずれ、医療や税関・空港・郵便貨物など危険物の水際での検知などへの応用技術開発は、グローバル化時代の先進国に突きつけられた要請である。その他に一つの新しい分野として区分して開発を進めることも意義があるのではないかと思う。#

IV-2. 光エネルギー複合領域研究

- 光技術のエネルギー応用は今後重要性を増すが、そのためにはレーザー光源の開発、その応用は重点的に推進すべきである。光エネルギー複合領域では基幹装置として小型高輝度 IHO、位相制御機能付き超短パルス高強度レーザーを開発し光エネルギービームの制御技術確立を目指している。またこれを用い各種先端研究を行っている。短パルス光源自身の開発、光と物質との相互作用の基礎となる研究など、光技術のエネルギー応用にとって重要な研究領域と思われる。#

IV-2-1. 研究方向

- 自由電子レーザーの開発研究では、今後の展望として、バイオエネルギー重点複合領域との連携、さらには医療、セキュリティ応用など、重要な方向が示されている。
- 光技術のエネルギー応用は今後重要性を増すが、そのためにはレーザー光源の開発、その応用は重点的に推進すべきである。
- 国内の他研究機関では光技術のエネルギー応用は往々にしてレーザー核融合と加工に特化されている。それに対し本研究領域は光源開発および物質との相互作用への応用という、幅広い発展につながる課題に取り組んでおり、独特の立場を取っている。これらが共同研究拠点として重要であることの根拠である。

IV-2-2. 学術的意義・独創性・社会的意義

- いずれの研究も新しい科学の創出という点において優れていると考えられる。しかしながらこれらの研究がもたらす技術利用という面にはついては、まだ実現性が乏しい。社会的に意義を認めることはできるが将来的な展望を明確にできることが望まれる。#
- 国内外の研究機関と比べて、全体として優位性、独創性のある成果が複数得られているものの、自由電子レーザーおよびフェムト秒レーザーの利用研究が世界的に広く行われているなかで、独自性に着目するとやや物足りない。#

IV-2-2-1. 赤外域自由電子レーザー装置の開発とその利用

- 自由電子レーザーの開発研究は世界的には確立した研究施設もあり、やや遅きに逸したという感もある。早急に発振実験に成功しなければ独自性を打ち出す機会が生まれない。#
- 国内外の他研究機関と比して本研究の特徴と優越性は安価・小型化エネルギー源開発にあり、自然エネルギーを利用した生物機能変換への応用という独自性も有する。とくに三極管型高周波電子銃は独創的かつ簡便な装置であり、従来の電子銃のもつ欠点を解決するポテンシャルを有するところに独創性を示している。#
- アプローチには独創性も見られるが、未だレーザー発振を得ていないことを考えると、結果を出すという点において満足感の不足が否めない。非常に困難な状況を克服して行こうとする努力は十分伺い知れるが、加速器を含めた全体のシステムの見直しを迫られるのではないかとと思われる。

IV-2-2-2. 超短パルス高強度レーザーの開発と先端的物質制御への応用

- 超短パルス高強度レーザーを開発し、重要な分光技術であるポンプ・プローブ実験を可能とし、配向分子からの高調波発生を世界に先駆けて実現している。#
- レーザー装置自体についても開発を進め、フーリエ変換限界に相当する優良な出力波形を得、これを材料研究へ応用している。短パルス光によるナノ寸法パターン形成については、ナノテクノロジーの観点から重要な現象を指摘し、また、理論的アプローチにも挑戦しており、応用可能性も高く、独創性が高い。これは新しい物質・材料プロセスへ発展する可能性を示し、とくに今後重要になるであろう、光によるナノテクノロジーの重要な方向を提示している。#
- 国内外を通じて先導的、独創的な成果を多く含んでおり、また材料の微細加工などの社会的貢献度が高い応用も示唆している。#
- 理論との比較のために国際共同研究を行うなど、スケールの大きな活動をしている。#

IV-2-2-3. 超短レーザーと物質の非線形相互作用に関する研究

- 国内外の他の研究機関と比較すると本研究の独創性、先駆性は低光強度レーザー場のなかでの位相依存現象を見出したこと、また従来の光ポンピング法とは異なり短パルス光を使ったスピン偏極を追求することにある。#
- パルス時間幅のきわめて短い光と物質との相互作用の研究から、Fvを対象として低光強度レーザー場のなかでの位相依存現象を見出し、その起源が量子干渉であることを突き止めている。これは光強度の強い場合とは本質的に異なる現象であり、この研究の独創的成果と言える。#
- 超短パルスを用いた位相反応制御による偏極電子、偏極イオンの生成は非常に興味深い。この手法がより進展し応用分野が広がれば、多くの分野で新しい研究が生まれると思われる。#

IV-2-2-4. 液相レーザーアブレーションを利用した 液中固体表面のその場表面元素分析

- 研究の成熟度および目標設定という意味ではやや難があるものの、国内外の他研究機関で用いられているダブルパルス法に対し、本研究は単一の長いナノ秒パルスを用いて表面損傷の問題を解決するなど、独創性・優越性を示している。#
- プルーム分光の結果、発光強度の著しい増加を得ており、液中固体表面の擬似非破壊元素分析への可能性を示唆している。今後の展望として現象の解明と実用化を目指している。#

IV-2-3. 研究の水準

- いずれの研究分野も、一定レベルの評価をもつ査読付き学術誌に論文を公表しており、研究レベルの高さを示唆している。#
- 国内外の研究機関にと比べて、全体として優位性、独創性のある成果が複数得られている。とくに、レーザーによるスピン偏極や位相依存現象の研究等興味深いものがある。#
- 自由電子レーザーはレーザー発振を得ていないのが非常に残念である。早急の進展を望む。この研究はできるだけ早期の光源性能確立が、世界レベルの応用研究に至る鍵であるのではないだろうか。#
- 超短パルスレーザー研究は世界的な動向によくマッチしている。#

- 超短パルス光誘起スピン偏極の研究については、理論的提案と解析を行うとともに、理化学研究所との共同研究により実験を進めている。両者は非常によく一致し、研究の優良品が伺える。

IV-2-4. 関連コミュニティにおける位置づけ

- 自由電子レーザーは利用研究施設に成長する必要がある。孤立してはいる状況ではないが、他大学・研究所とのネットワークを拡がり、ある種のバーチャルラボラトリーのようなものを形成し、その拠点として活躍できる場を作り上げて行って頂ければ、と強く思う。＃
- スピン偏極についてはやや視点が狭く、また国際共同などが不十分のように思える。＃

IV-2-5. その他

- 本重点複合領域研究で特筆すべきことは、レーザー光源だけでなく加速器光源の研究も押し進めていることである。日本はこの学問領域が盛んのように見えて実は諸外国に大きな後れを取っている。そういった状況のなかで、エネルギー理工学研究所で自由電子レーザー研究が行われているのは頼もしい限りである。国内では、このような研究環境をもって自由電子レーザーを扱っている研究室がほとんどないこともあり、将来を考えると貴重な拠点である。望むべきことはこの研究に対して研究所が一定の理解力をもってバックアップすることであり、光エネルギー分野の目玉として成長させることである。＃

IV-3. バイオエネルギー複合領域研究

- バイオエネルギー重点複合領域研究は、京都大学の強みを表す分野であり、適切である。＃
- 今後エネルギー問題は人類にとって最重要の研究課題になるが、いまから、石油に代わる新しいエネルギー源を開発する必要がある、シリコンばかりでなく、これまでにない新しい材料や構造体を活用することが必須になる。その意味で、太陽エネルギーを重点領域として設定したことは非常に適切であり、関連した研究も顕著な成果を上げていると思う。＃
- 当該複合領域研究のミッションは、「環境調和適応型エネルギーシステムおよび物質変換システム開発のための太陽エネルギーシステム研究の拠点形成を目指す」となっているが、それを担う「複合化学過程研究分野」、「分子集合体設計研究分野」、「生物機能科学研究分野」、「生体エネルギー研究分野」は、それぞれ独立した個々のミッションを掲げて研究を行っているように思われる。個々の研究テーマをみると、必ずしもテーマ名と、実際の研究内容とが整合していないものも見られる。＃
- 研究室間の連携がどのようになされているのかが報告書からは読み取れず、バイオとナノの研究が研究者レベルではほとんど連携が取れていないのではないかと、という懸念も残る。＃
- そのため、4つの各分野の研究が、いつ、どのような形で融合・連携し、最終的なミッションである太陽エネルギーシステム研究に至るのか、そのロードマップが果たして描けているのか疑問であるし、各研究者が必ずしも上記複合領域研究

のミッションを意識していないようにも思われる。#

- 個々の教員のテーマを、一層「太陽エネルギーシステム研究」の拠点形成に向ける必要がある。#

IV-3-1. 研究方向

- 個々の研究課題の研究方向は適切と思われる。#
- それぞれの研究課題間の連携が明確で、その成果が現れていればより高く評価できる。例えば、ナノ構造体を作製する研究はかなりレベルの高いものであるが、そのナノ構造体を応用して、バイオエネルギーシステムの解明やバイオセンサーの開発が行われると、この複合領域設定の意義がより分かりやすくなったと思われる。#
- 個々の研究のレベルは非常に高いので、連携をうまく行えば、新しい研究の方向やすばらしい研究成果が出てくると期待される。#
- バイオエネルギーシステムと太陽エネルギーシステムをひとくくりで目標設定することには若干無理があったように思われる。領域間の研究連携や整合性をもたせるためにはむしろ分けるべきであったのではないか。#

#

IV-3-2. 学術的意義・独創性・社会的意義

- 太陽エネルギーシステム開発は、産官学の連携により長期間進められてきたが、これまでは、シリコンを中心としたものが主流であった。これに対して「バイオエネルギー重点複合領域研究」は、まだまだ学が主導して研究をリードすべき分野であり、学から大きなブレークスルーが生まれる可能性の高い分野である。これまでの実績を含めて判断すれば、光・ナノ・バイオ融合の取り組みは学術的にも、工業的にも意義の高いものである。#
- 光・ナノ・バイオ融合という点では、社会的意義の高い拠点となっている。一方で、「太陽エネルギーシステム研究」というように、システム研究が最終目標であるのであれば、システムと結びつく要素が現段階では少ないように思える。#
- ミッション自体は社会的意義が高いものと思われる。残念なのは、研究者が必ずしもそのミッションを意識せずに個々の独立した研究を行っているように思えることである。#
- それぞれの研究の学術的意義は非常に高い。#
- 個々の研究成果は、Shhu#Uhylhk のある国際的学術雑誌に発表されており、概ね学術的意義、独創性が高い研究がなされている。#

IV-3-2-1. 次世代太陽電池の開発

- 「色素増感太陽電池」、「有機太陽電池」では、独自に提案した新しい構造により学術的な成果が得られている。とくに有機太陽電池では、励起子パスと電子・正孔パスを分離するという新しいコンセプトにより変換効率 7% を達成している。#
- 色素増感、並びに有機太陽電池の分野は、従来のシリコン太陽電池と比べると開発に時間がかかる分野であるから、長期的展望にたった研究開発を期待する。#
- 色素増感、有機太陽電池などの分野は、世界的にも非常に競争の激しい分野であり、いろいろなアイデアが豊富に創出される時期でもある。できれば LVL# he#i# Nqrz dngjh などを用いた客観的評価（被引用回数）などのデータが欲しい。#

IV-3-2-2. 次世代太陽電池に関連するナノ材料創製

- 次世代太陽電池への応用を目指したナノ構造創製の研究は全般的に非常に独創性があり、今後の発展が期待できる研究である。#
- 「次世代太陽電池に関連するナノ材料創製」において、バイオを指向しているものはアミロイド繊維の利用による金属ナノ配線の構築研究とコンビケムによるバイオナノ材料開発の2点である。#
- コンビケム研究は、手法自体は通常のもものと同一であるが、スクリーニングとして光エネルギーの変換効率が高い分子を選択する方法の開発とその実施が目的であるべきだ。#
- 半導体上の金属析出やナノシート状酸化チタンの研究は応用上も非常に重要な研究テーマである。今後、ナノスケールの構造体をどのように形成するかを、その形成メカニズムも含めて明らかにして行く必要がある。#
- 金属ナノ配線・半導体への金属の析出については、新しいナノ材料の創製が主眼であり、興味深い成果が得られている。今後は、応用を見据えた展開を着実に実行していただきたい。#

IV-3-2-3. 生物型酵素を用いた高効率物質変換反応の開発

- 本来の目的は、エネルギー代謝に関連する優れた人工酵素の創出であると思われるが、各テーマの「社会的重要性」における記述からは、どのような人工酵素を創出したいのかが必ずしも明確に読み取れないので、より分かりやすい説明が必要であろう。#

IV-3-2-4. バイオマス資源のクリーン燃料化

- バイオエタノール生産のためのタンパク質改変設計等の研究であり、直接、本ミッションに関連した研究と考えられる。#
- GQD マイクロアレイの表面修飾法の研究は、その表面修飾法を用いて実際にマイクロアレイの性能評価も必要となるだろう。今後の課題としてもらいたい。#

IV-3-2-5. バイオエネルギー研究のための生命現象の解明とその利用

- 「バイオエネルギー研究のための生命現象の解明とその利用」では、一酸化窒素とGQDとの相互作用研究を進めていおり、生化学・医学領域での寄与は大きいと思われる。#
- 水と生体分子の相互作用の研究は、GQDやタンパクなどの生体分子の機能解明のためには非常に重要であり、その学術的意義は高い。今後の進展に大いに期待したい。#
- 報告書では、個別テーマの内容が主になっており、全体分野における位置づけがいまひとつ明確でない。#

IV-3-3. 研究の水準

- 個々の研究でばらつきはあるが、研究成果を発表している雑誌の水準などから判断すると、概ね世界の水準以上である。#

IV-3-4. 関連コミュニティにおける位置づけ

- これまでの同グループによる情報公開、広報活動により、重要な研究拠点と認識されつつある。また、学外からの招聘研究者等も多く、他の機関との連携を活発

に行っている。#

- 太陽電池関連の研究に関しては、材料面での基盤的な研究は非常にレベルが高く、評価できる。しかしながら、実際に開発している材料を太陽電池、あるいはそのほかの電子デバイスに活用し、実用化して行くためには、エレクトロニクス分野との連携、さらに進めて、エレクトロニクスを巻き込んだ形の拠点形成が必要不可欠である。化学分野だけでデバイス開発を進めると、本当の意味で（新しい産業を創出するという意味）、実用化には至らない。化学と電子工学、電気工学が有機的に連携することによりはじめて新しいデバイスや産業が生まれてくると考える。今後、研究所内の研究連携（複合領域研究）ばかりでなく、他の研究機関や産業界とも有機的な連携を図りながら研究を進めて行くことが今後非常に重要である。そのための実質的な「研究拠点形成」が最重要課題となるだろう。#
- 色素増感、並びに有機太陽電池の分野では、日本の大学の中心的なグループであり、大きなブレークスルーが創成されることを期待している。また、従来のシリコン太陽電池と比べると開発に時間がかかる分野であるから、長期的展望にたった研究開発を期待する。#

IV-3-5. その他

- 「バイオエネルギー重点複合領域研究」は、バイオおよびナノテクノロジーを融合させたバイオ・ナノテクノロジーを基盤とし、光エネルギー領域研究との融合により、とあるが、領域の目標や成果を見ると、どのように融合するのかが明確ではない。それぞれの研究課題がどのように関連しているか、バイオとナノがどのように融合して、どのような新しい技術を生み出そうとしているかが示されていれば、理解しやすいと思われる。#
- 目標が「太陽エネルギーシステム研究」の拠点形成にあるのであれば、世界の太陽エネルギーシステム研究全体のなかでの、本重点領域研究の位置づけをさらに明確にし、何年までにどのような技術を創製しようとしているのか、重点複合領域での成果により、どのような世界が拓けてくるのか明らかにしてほしい。#

IV-4. 重点複合領域研究に対するその他の意見

- 個々の研究分野で、内容の分量や質においてかなりのばらつきがある。複合領域と銘打った研究であるにもかかわらず、個々の研究がかなりばらばらであるという印象を強くもった。研究所としてまとまってある特定の研究を推進して行くとのことであれば、一丸となって研究を推進する姿勢が大事ではないか。#
- ただし、研究拠点形成の問題とも関連するが、あまりに無理にまとめてしまうと整合性が取れなくなり、単なる研究の寄せ集めということにもなりかねない。むしろ、このテーマは重要であるというものを選びだして、そのテーマを推進できる研究分野が複数（2－3でも良い。）集まって、短期間で集中して研究を推進することが非常に効率的と思われる。#
- その一方で、息の長い研究（効率性を重視しない研究）をバックアップするシステムも構築する必要がある。両者をどのように按配するかは容易ではないが、工夫のしどころであろう。#
- エネルギー理工学研究所の教員の一部分が、分野融合により三つの重点複合領域研究を実施していると理解されるが、一つの重点複合領域内で、各研究者がどのように連携を保ちつつ研究を遂行しているのか、また複合化した結果、生み出され

た新しい研究テーマにはどのようなものがあるのか、というような観点での報告が欲しい。#

- 具体的に、異なる分野の者が、どのように連携を保って研究を推進しているのかが分かる組織図があると良い。#
- エネルギー理工学研究所としての数値データはファイルに示されているが、重点複合領域研究としての数値データがなく、次回からは、この部分のみを抽出して示してほしい。#
- 若手人材の育成と言う面では、研究所全体での博士学生数の傾向は示されているが、重点複合研究分野に、どのくらいの博士学生が在籍しているのか、また、重点複合領域研究に携わる学生数は増えているのか？ などのデータも示してほしい。#

IV-5. 研究所の研究活動、その他

IV-5-1. 研究所研究教育活動全般

- エネルギー問題は、人類にとって今後の最重要課題であり、エネルギー理工学研究所で取り組んでいる研究は、その意味で社会的意義は十分ある。#
- エネルギー理工学研究所全体の状況も併せて概観するに、運営、設備の整備などが進み、教員の流動性、外部競争的資金の獲得などが顕著に向上している。論文発表なども増加し、まさに「オンリーワン」の研究機関としてのステータスが顕著になっている。#
- 国内外との共同研究も盛んである。#
- ミッションを達成するための工学的領域と、その基礎研究のための理学的領域を、研究課題別、あるいは研究室別に分離することを提案する。工学的領域研究ではロードマップを明示して、ある期間内にミッションを達成できる仕組みを作る一方、理学的領域研究においては、より長期間の研究において、オリジナルで全く新奇の物質生産が行われる仕組みとする。このことで、研究者の意識をより明確にし、エネルギー理工学研究所としての研究が社会的にも認知され、果たされることが望まれる。#

IV-5-2. 学生教育・人材育成

- 所属する学生数は増加しているが、先進エネルギー領域における指導的人材を育成するためには、大学の附置研究所としての本質的な問題があるのではないかと？ 学士課程での教養教育にも積極的な参画が伺えるが、今後一層、優秀な学生の獲得の努力を継続展開し、人材育成の成果を十分に上げていただきたい。#
- 大学附属研究所に期待する最大のものは、各分野の研究で活動する人材育成である。エネルギー理工学研究所には、いまでは産業界にはない貴重な実験設備が整備されている。これらを有効に活かすためにも、産業界の研究者や技術者が、とくにエネルギー理工学研究所で育った人材が、社会へ出てからもそれらの装置や設備を比較的自由に使い、産業界としてのニーズに応えるような仕事にも解放されることが望ましい。#
- 近隣の諸機関、大学との連携に基づく教育と研究の推進が重要と考えられる。大学教育の観点での、外から見える取り組みが必要である。#

IV-5-3. その他

- 今後の大学附置研究所は、「この研究テーマを行う日本の唯一の研究所である。」というメッセージを出さないといけなくなると思われるが、エネルギー問題はまさにエネルギー理工学研究所でしか行えないということを示す上での最適のテーマである。#
- 個々の研究内容が孤立しており、最終的なミッションへの相互の連携がほとんどなされていないように思われる点がある。これは、おそらく、エネルギー理工学研究所の構造的問題に起因するものであり、研究所の個々の研究者が負うべき問題ではないと思われる。その解決には、人事枠の問題、研究者の任期の問題等が根本にはあり、それらも含めた研究体制全体を大きく変えない限りは、このままでは、ミッションを数年のうちに達成することは難しいのではないかと危惧する。#
- 研究成果概要集に、「目標」という項目がない。エネルギーはもともと目標を立てやすい分野であるが、報告書をみる限り、目標の設定が抽象的で具体性がない。数値目標でもなくとも、「いつまでに、何を達成するか」を明確にした方が良いのではないか。#
- 時代に応じた新しい研究を進め、スクラップアンドビルドを柔軟に進められることが非常に重要。#
- 中性子源開発やレーザー開発等のハードウェアにより着目した研究実績は目を見張るものがある。しかしながら今後はそれらのきちんとした利用実験をサポートして行く体制を作り上げることも重要と思われる。そういう意味で、単純な共同研究ではない大学内外の連携の、より斬新な形を模索していただきたい。#
- 附属エネルギー複合機構研究センターが、今後とも、国外・国内の共同研究施設としての役割を、より一層果たして行くことを期待している。そのためには、今後、他分野との関係を明確にしつつ、センター専任教員を含めたセンター組織の一層の拡充が必要であろう。また、とくにヘリオトロンJ研究を双方向型共同研究として進めるにあたっては、外部共同研究者の意見を大幅に取り入れること、外部共同研究者に実験コーディネータの役割を果たしてもらうことにより、透明性、共同研究の開放度等を増して、真に開かれた共同研究施設となる必要がある。#

#

総合評価委員による#

「在り方検討委員会」#

#

議 事 要 旨#

#

平成 20 年 02 月 21 日（木）

13 : 30 ～ 17 : 15

京都大学エネルギー理工学研究所

北 4 号棟大会議室

#

エネルギー理工学研究所在り方検討委員会#
総合評価委員による議事要旨#

#

京都大学 エネルギー理工学研究所 在り方検討委員会#

日時 平成 53 年 35 月 54 日（木） 46：63～4：48#

場所 京都大学エネルギー理工学研究所北 7 号棟#

出席者（敬称略）#

評価委員：西川禎一（委員長）、茅 陽一、松村雄次、本島 修、三間罔興、田中 知#

研究所：# 尾形幸生（所長）、水内 亨（副所長）、佐野史道（センター長）、#

木村晃彦（部門長）、吉川 暹（部門長）、宮崎健創、小西哲之、森井 孝、
木下正弘、大垣英明、長崎百伸、#

高田賢三（宇治地区統合事務部長）、村田 穰（研究協力課長）、堀川賢治（エ
ネルギー理工学研究所担当事務室長）#

#

尾形所長：# 私は、この 1 月になったばかりなのですが、エネルギー理工学研究所#所長を
務めさせていただいている尾形です。お忙しい時期、エネルギー理工学研究
所の在り方検討委員会にお集まりいただきまして、ありがとうございました。#

ただ今より、平成 4< 年度の京都大学#エネルギー理工学研究所#在り方検討
委員会を始めさせていただきます。#

エネルギー理工学研究所は、大改組をしてから 45 年が過ぎ、法人化後から
は 7 年、第 4 期中期計画期間もあと 5 年を残す状況になってきました。そろ
そろ第 5 期中期計画を策定する時期に入っておりますが、時期を同じくし
て、学術審議会の研究推進基盤部会の方で、現在、研究所の在り方に対する
見直しが検討されています。まだ報告は出ていませんが、6 月くらいには出
るだろう、それに則って既存の研究所の在り方を見直す、という方向が出て
おります。それで、当研究所におきましても第 5 期中期計画期間に向かい、
どのように取り組むか、検討を開始しております。今日これから話が出てく
るかと思いますが、現在、エネルギー理工学研究所は全国共同利用研究所で
はなく、一般の国立大学附置研究所ですが、研究所の総意として、新たな全
国共同利用・全国共同研究所への可能性を探っていこうという姿勢で、進め
ております。#

このような時期におきまして先生方にお集まりいただき、ぜひ、特に全共
研化を意識した現在の研究所の活動、将来に対するご意見等をお伺いして、
これからの研究所の進む道を探らせていただきたいと思いますので、どうぞ
よろしくお願いいたします。#

#

尾形所長：# 今回の外部評価では、お手元の資料 6 にご紹介しております外部の先生方に、
当研究所の外部評価を担当していただいております。下段に載せてあります
分野の評価委員の先生方に関しては、「重点複合領域研究評価」として、主に
研究内容等に関して評価をお願い致しまして、これは昨年の夏くらいに終了

しております。それを踏まえまして、今日は総合評価をいただきたいということで、そこに記してあります先生方の中で、現在ご在席は、西川先生、茅先生、松村先生、三間先生です。あと、本島先生、田中先生が来られます。当研究所側といたしましては、全教授を在り方検討委員会メンバーとしておりまして、本日は、海外出張等の者を除きまして、参加させていただいております。また、宇治地区では事務が研究所ごとではなくキャンパス全体の統合事務となっていますが、その統合事務部より高田部長、それから研究協力の村田課長、研究所のお世話をさせていただいております堀川室長が参加させていただきます。以上が今日の出席者のご紹介です。#

#

尾形所長：# では、お手元の資料 4 の形で、今日の在り方検討委員会を進めさせていただきたいと思いますが、先ず、この委員会の委員長を決めないといけませんので、委員長が決まるまで、私が進行を務めさせていただきます。#

#

尾形所長：# この委員会の委員長を、ぜひ西川先生にお務めいただきたいと思います。いかがでしょうか（拍手）。#

では、西川先生、どうぞよろしくお願い申し上げます。#

#

西川委員長：# では、大変恐縮なのですが、委員長を務めさせていただきます。#

今、尾形所長からお話がありましたが、45 年前に改組し、原子エネルギー研究所という名前からエネルギー理工学研究所として発足しました。#

私が京大を卒業したのが実は 45 年前で、そのとき、原子エネルギー研究所の最後の所長をやらせていただきました。かなり強引にと言いますか、先生方のご協力をいろいろいただいて、エネルギー理工学研究所に改組しました。そのとき、独立したセンターだったヘリオトロン核融合研究センターに一緒になっていただきました。#

干支で一回りしたわけですが、そのときからのご縁もあり、お付き合いさせていただいています。今日はよろしくお願いいたします。#

#

西川委員長：# それでは、まず、概要について尾形所長、木村先生の方からご説明をいただくということなので、お願いします。#

#

尾形所長：# 尾形の方から研究所の概要を説明させていただきたいと思います。後ほど木村教授の方から全国共同利用・共同研究所への展開に向けた取り組みと言いますか、姿勢を説明させていただきます。#

お手元の資料 8 をご覧ください。資料は既にお送りしておりますので、読んでいただいていることと思います。この資料に基づいて、概要のみを話させていただきます。#

まず、資料の 5 頁目をご覧ください。これは先ほど西川先生からご紹介いただきましたような、エネルギー理工学研究所の歴史です。研究所のもとも

との前身をたどれば大正 6 年まで遡りますが、平成 ； 年に旧#原子エネルギー研究所とヘリオトロン核融合研究センターが合体して、そのときシャッフルがあつて、同時期に創設されたエネルギー科学研究科とシェアし合う部分もあつたのですが、ここはエネルギー理工学研究所として改組して、今に至っております。#

6 頁目をご覧ください。エネルギー理工学研究所は、改組当時、文部省の認めた設置目的が「エネルギーの生成、変換、利用の高度化」ということでして、そのときに作った図を現在に合わせて描いた図が 6 頁です。エネルギーには、いわゆる基盤的なエネルギー、それから環境調和的なエネルギーという両面があります。もちろんこの研究所のサイズもありますので、この中でのある点を押さえて研究を進め、総合的なエネルギー理工学の視点を持って、どれか一つに特化したエネルギーではなく、エネルギー理工学を総合的に捉えるような研究を進めていこうということで進んでまいりました。#

7 頁をご覧ください。研究所の組織を示してございます。「エネルギー生成」、「エネルギー機能変換」、「エネルギー利用過程」の三つの研究部門を構成し、それぞれ、その横に書いてあるような研究分野での研究を進めてきております。それに合わせて、附属「エネルギー複合機構研究センター」では、研究部門間を横断的に行うような研究を進めています。あとでご紹介申し上げますが、第 4 期中期期間におきましては、三つの重点複合領域研究を立ち上げまして、それを円滑に進行させる機能をセンターが持ち、また、外部に対しての共同研究のセンターとしても機能してきました。#

平成 ； 年にエネルギー理工学研究所が立ち上がってから、私どもがこの 45 年間、特に注力してきたことは、8 頁に示しますような人事です。外部からの人材を積極的に登用し、研究基盤を形成し、活性化しようということで、この間、新規の教員任用が 6 ； 件ありましたが、そのうちの多くを学外から任用しています。この際、人事に関しては原則「公募制」、それから、これは新任教員に限ってですが、全教員に対して「任期制」を平成 47 年（5335 年）から導入しています。#

研究所教員の構成ですが、現員は、教授が 46 名、准教授・講師が 43 名、助教が 43 名です。今は法人化したので「予算定員」という概念はなくなつたかもしれませんが、予算定員は、全部で 6 ； 名とされています。ただし、法人化後、教員のシーリングなどがあつて、当研究所で採用できるのは現在 68 名になっております。これだけの教員数ではなかなか大変ですので、例えば博士研究員（SG）、それから宇治地区関連部局が集まって「ユニット」というものを作りまして、そういうもので予算要求をして、当研究所に関係する助教の先生、SG の方も複数名いらっしゃいます。#

大学院学生は、全てがエネルギー科学研究科の学生となっています。エネルギー科学研究科には全体で修士課程の学生が 553 名程います。そのうちの約 5 割、79 名を、当理工学研究所の教員が指導する形を取っております。それから、博士課程におきましてはエネルギー科学研究科で大体 <3 名の学生が

いますが、そのうちの 6 割は当研究所にかかわる学生になっております。特に、当研究所では留学生の比率が比較的高く、現在 46 名の留学生を受け入れております。#

9 頁目をご覧ください。先ほど、他の研究所との連携を強めているというお話をしましたが、この宇治地区のキャンパスには四つの研究所があります。エネルギー理工学研究所のほかに、化学研究所、防災研究所、生存圏研究所です。生存圏研究所というのは、数年前、昔の木質科学研究所と宙空電波科学研究センターが合体してできた、新たな研究所です。これらが連携して、「生存基盤科学研究ユニット」という学内研究組織を独自で立ち上げました。この活動に関しては来年度から概算要求が認められまして、さらに発展していきます。また、この四つの研究所にプラスして、東南アジア研が入っていますが、これらの中で連携を取りながら広範囲な研究を展開しようとしています。それから、もう一つ、東南アジア研は除きまして、工学研究科と宇治地区とが連合して、「次世代開拓研究ユニット」ということで、人材育成のためのユニットを形成しています。#

法人化後の第 4 期中期期間で、われわれは三つの重点複合領域研究を設定して、研究を進めてきております。一つは「プラズマエネルギー重点複合領域研究」で、核融合プラズマ制御、耐極限環境の革新的材料、核融合ないしは核分裂も含め、それに留まらない領域での極端環境に耐える材料の開発を進めております。あと、小型中性子源の開発も行っています。#

重点複合領域研究の第 5 は、「光エネルギー重点複合領域研究」です。一つは自由電子レーザーの開発ということで、非常にコンパクトな形での自由電子レーザーの立ち上げにほぼ成功しており、これをさらにどういう形で使っていくかということを今、検討中です。それから、いわゆる強度が高くて非常に短パルスのレーザー開発を行っています。この高強度フェムト秒レーザーそのものの研究に加えて、これを使って物質との相互作用の研究が進んでおり、今までなかったような現象が見つかってきており、この辺をエネルギー材料応用に展開できないかという研究が進んでおります。#

重点複合領域研究の第 6 は、「バイオエネルギー重点複合領域研究」です。バイオエネルギーと呼んでおりますが、われわれとしては「バイオおよびバイオミメティック」という視点で捉えております。これは、現在非常にトピックになっております脱 FR₅を目指すソフトエネルギーシステムの基盤となるような技術の研究です。一つは、バイオマスからのエタノール生産、生体分子機能を利用したナノ構造体の創製、それから次世代の太陽電池開発等の研究を進めています。#

#

西川委員長：# の太陽電池というのは有機系のものですか。#

#

尾形所長：# そうです。有機太陽電池です。#

#

西川委員長：それでバイオの方に入っているわけですか。#

#

尾形所長：# そうです。バイオミメティックという意味です。当研究所の立ち上げ当初は、バイオミメティックだけをバイオと呼ぼうということになっていたのですが、西川先生もご存じのように、文部省との交渉で、「バイオミメティックをやるのなら、一つバイオを、本物も入れないといけない。」ということで加わっている経緯があって、バイオという看板ですが、いわゆる生体を持つような非常にマイルドな環境でもエネルギーを利用、生成できるようなものという広い意味で、ここでは捉えています。#

それから 43 頁と 44 頁です。特に 44 頁をご覧くださいにいただいたら宜しいかと思いますが、これは外部競争的資金獲得額の変遷です。平成 ； 年に立ち上がりましてから平成 49 年ごろまでは、非常に緩やかながら外部競争的資金の獲得は伸びていますが、最近、特に平成 4； 年度から、原子力関係の環境が変化したという面もあるかと思いますが、当研究所の先生方のご努力で非常に大きな伸びを示しております。その内訳が 43 頁に書いてあります。#

45 頁へ移っていただきますと、先ほどご紹介したエネルギー複合機構研究センターですが、「センターの目的」に書いてあるように、研究所における部門横断的研究、三大重点複合領域研究、それから学内外の共同研究を推進するという事で、特に右の棒グラフをご覧くださいにいただければ宜しいかと思いますが、けれども、「センター公募型研究」におきましては、かなりの所外の先生方が参入するような形で共同研究を展開しておりまして、その先生方の所属機関も、図にありますように全国にわたっています。#

詳細は、先生方にお配りした資料にございます。56 頁以降に、その他の特記すべきことを書いてありますが、ここでの説明は省略させていただきます。また何かありましたら、いろいろお答えしたいと思います。#

このような活動による成果の報告ですが、平成 ； 年度から 4； 年度までの研究発表件数の推移を 65 頁に示してあります。極端な伸びは、人数が限られていることもありますし、なかなか望めない面もありますが、順調に推移しています。これが、現在の研究所の概要です。#

次に、先ほどお話ししましたように、資料の 46 頁からの「全国共同利用・共同研究拠点化に向けて」ということで、木村先生に 43 分程度でご紹介いただきたいと思います。#

#

本島委員：# ちょっと質問をよろしいですか。最初のところ、研究者の構成という点で大変尽力されているということで、「新規任用教員 6； 名中 57 名を外部から」と。これは大変ユニークなことは分かるのですが、実際に効果が上がっているかどうか、例えば外部から任用することによって研究成果のアクティビティーが上がっているということは、はっきり言えるのでしょうか。#

#

尾形所長：# 私どもの、いわゆる自己評価では、例えば、先ほどの研究成果や外部資金の

獲得状況などを見まして、アクティビティーは上がっていると評価しています。ただ、これはまたあとでの議論になるかと思いますが、私どもで非常に頭を痛めていることがあります。私どもは、立ち上げ時には実際に教授のポストの半分が空いていたという状況からスタートしましたので、もちろん若い人もそうなのですが、外部からどんどん人材を集めたのです。例えば、助教や准教授で外部の方を導入して、ここで頑張っていたと。そうしますと、その人たちがこの研究所にとってかけがえのない人材に育ってきた場合に、今度は例えば教授人事、あるいは助教から准教授人事で「昇任」という形を取りますと、それは「内部昇任」になります。ですから、外部から良い人材登用をやって行って、それを継続すると、今度は内部昇任になってくる。外部からの任用の比率が下がって行くわけです。ですから、これからはあまり内部や外部ということ意識することなしに、研究所にとって良い人事とはどういうものかというような視点も必要になるのではないかと認識しております。＃

＃

本島委員：＃ やはり優秀な方を採用するということが大事なのです。外部だから優秀とは限らないということもあり得るはずで、バランスを取ることが非常に重要なのではないかと思います。＃

＃

尾形所長：＃ そのとおりだと思います。ですから、本島先生のおっしゃるように、今までのところ、外部から採った結果としてこの研究所にとっての成果が上がったということで、特に立ち上げ時の、非常に空きポストが多いような状況からスタートしたという事情があるかと思います。これが一般論かどうかはちょっと分からないということです。＃

＃

西川委員長：＃ 私は、この研究所ができてからは直接タッチしていないので、その辺は大変曖昧なところなのですが、仮に、改組をせずにそのままの延長でやっていたとしたら、こんなに活性化はしなかっただろうということは、私の印象としてはかなり強く持っております。改組に当たっての一つのポイントが人事の活性化ということでしたので、そういう効果はあったのかなと。＃

＃

本島委員：＃ 今日、このあとのお話で聞かせていただけたと思いますが、申すまでもなく、研究というのは、その流れ、学問としての体系ということが非常に重要ですから、人事の流動化は各機関も非常に腐心されているところなのですが、そういう点も大変重要であろうと、参考にしたいところが多々あるということでお聞きしました。＃

＃

西川委員長：＃ 頁に「研究ユニット」というのが二つ出ていますが、これは今ある組織プラス、何かそういうユニットを作ることなのですか。＃

＃

尾形所長：＃ はい。ユニットに関しては、森井先生、両方のユニットを手短に、大体どう
いう組織かということをご説明いただけますか。＃

＃

森井教授：＃ これは「複数部局間にまたがって新しい融合的な学問分野を作って行こう。」
ということで、そもそも作られた組織です。ですから、ここ自身に定員を持っ
ているということではなく、各部局から兼任という形で、あるプロジェクト、
もしくはこういう生存基盤科学という学問領域を開拓していこうということ
で行っております。＃

＃

西川委員長：＃ うすると定員が純増するというようなことは。＃

＃

森井教授：＃ 定員の追加はありません。ですから、バーチャルな形とも言えるのですが、
純粋な学内の組織として、これは機能しております。＃

「生存基盤科学研究ユニット」につきましても、もしくは「次世代開拓研
究ユニット」にしても、振興調整費の財政基盤を持ちながら、次世代開拓研
究ユニットではテニュアトラックの助教を置いて人材を育てていこう、生存
基盤科学研究ユニットではそれぞれの部局が予算を持ち出して、もしくは科
学振興調整費の予算確保という形で、新しい学問分野を開拓するということ
を行っております。＃

＃

西川委員長：＃ 前の頁にある人事制度の真ん中辺のところに「ユニット・テニュアトラッ
ク助教を作る。」とありますが、その辺が今おっしゃったことなのですか。＃

＃

森井教授：＃ そうです。この次世代開拓研究ユニットでは、科学振興調整費で「テニュア
トラック・システムというものを大学に導入して若手を育ててみましょう」
というプロジェクトがありまして、それを工学研究科、および宇治の研究所
群で受け持っております。当研究所としても新しい分野のテニュアトラック
助教をサポートしていこうという体制で、4名をサポートしております。＃

＃

西川委員長：＃ いでに、事務組織はどうなっていますか。＃

＃

森井教授：＃ 事務組織は、双方とも現在は宇治に置いておりますが、次世代開拓研究ユニッ
トでは工学研究科、および宇治の各部局の両方にまたがった形の事務組織を
展開しています。＃

＃

尾形所長：＃ 施設見学が終わったあとで、またじっくりとご意見を伺いたいと思います。
では、先ほどお話ししました全共研化に向けての研究所の意気込みというか取
り組み、この辺りを取りまとめいただいている木村教授の方から説明させて
いただきます。＃

＃

木村部門長：それでは、全共研化への取り組みに関しまして、木村からその状況をご説明します。＃

47 頁をご覧ください。これは、これまでの歩みと展開をまとめた絵で、平成 ； 年の研究所改組以来、プラズマエネルギー、光エネルギー、バイオエネルギーを三つの重点研究と定めて、この拠点化を進めてきています。＃

共同研究に関しましては、附属センターを中心に、「部門横断的研究推進による新領域開拓のための学内外共同研究」を実施してきております。その間、施設整備として、プラズマエネルギー関係ではヘリオトロン M、GxHW（イオン加速器）、P X VWHU（材料評価基盤）といったものを整備をしまいいりました。光エネルギーに関しては、自由電子レーザー、あるいは、ここには示してありませんけれども、極短パルスレーザーといったものの整備をしてきました。バイオエネルギーに関しましては触媒機能装置の整備、このように重点的な施設整備を行ってきております。その間、54 世紀 FRH、あるいは第 4 期中期計画等がありましたが、一貫してこの三つの重点研究を進めてきているという状況です。＃

これを受けまして、第 5 期中期におきましては、現在のところ平成 55 年度の概算要求に向けて、全共研化の準備をしているという状況です。＃

続きまして 48 頁は、この全共研化に向けた現状についてまとめたものです。エネルギー理工学研究所の特徴として、優れた施設・設備群を活用した共同研究を通じ、国際的な研究拠点の形成、および先導的な高度の専門能力を持つ人材の育成をしてきております。そのため、外部競争的資金の獲得による設備投資を行ってきておりまして、現在は六つの公募事業の代表を研究所が務めており、延べ 84 機関の参画の下に実施されているということです。一方、附属センターを中心にして、公募型の全国共同利用・共同研究を自助努力にて実施しており、年間約 83 課題、44 機関に及ぶ共同研究を実施してきております。＃

次の頁にまいりまして、今年度から新しく、産官学連携の共同利用を開始しました。これは、文科省の公募事業「先端研究施設共用イノベーション創出事業」というものに採用されていますが、その中身としては「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事業」、われわれはこれを通称 DGP WWH 計画と呼んでおりますが、これを開始しております。また、この中では「基盤装置群の運転・保守のための支援研究員の採用・配置」、ならびに「事業費による民間への機器装置使用料の無償化」を行いまして、これによって「民間企業との連携強化と社会への貢献」を目指す、と位置付けております。平成 4< 年度実績としては「民間企業 43 社からの 43 課題の提案」があつて、これを進めているところです。＃

次の頁には、「今後の課題」を挙げてあります。全共研化に向けては、やはり数々の課題があります。その一つとしては「高額な大型設備や最新鋭機器の装置維持費」が必要であるということ。それと、「共同利用設備拡充のためには、老朽化した建屋の改修工事」が必要であること。また、共同研究を実

施するに当たって「装置の運転管理者、いわゆる研究支援体制の増強が不可欠」であるということと、さらには、「共同研究者が滞在する際の居室の整備」といったものが必要になる。世知辛いですが、恒常的な予算措置がどうしても必要になっているということです。#

しかしながら、全共研化の目的は、この予算措置だけではありません。次の頁にありますように、やはり研究所の新展開を狙っていかなくてはならないということで、これまでバイオエネルギー、光エネルギー、プラズマエネルギーの三重点領域の研究を進めてまいりましたが、これからは、これらを発展させた形で、二つの新領域研究を立ち上げていきたいということです。一つは「先進プラズマ・量子エネルギー」、もう一つは「光・エネルギーナノサイエンス」です。この新しい領域を立ち上げて国際研究拠点を形成し、先端的現場での実践教育によって人材育成に努めていこうと考えています。#

その国際研究拠点化の例として、次の頁に二つの事業が掲げられています。当研究所は、アジアにおけるエネルギー問題の解決に向けた努力として、アジアにおける国際研究拠点化を進めてきております。その一つの事業が「日韓拠点大学研究事業」ということで、これは平成 43 年から平成 4< 年の期間ですから、今年度まで 43 年間続けてきておりまして、非常に大きな成果が上がっていると私どもは考えております。もう一つは、「日・タイ交流事業」です。これは自助努力の下で始めたものでしたが、関係者のご努力により、「VHH フォーラム」への展開等をこれから行っていくという状況です。#

次の頁をご覧ください。全共研化に向けまして、やはりコミュニティーからの要請があつての全共研化ということで、われわれは現在、この要請がどのようなものであるか調査したり、あるいは実際に要請を受けたりしておりまして、いろいろな学協会からの要請に基づいて、「先進プラズマ・量子エネルギー」および「光・エネルギーナノサイエンス」の二つの新領域を展開して行きたい。具体的には、「先進プラズマ・量子エネルギー」に関しましてはプラズマ・核融合、次世代原子力材料。また、「光・エネルギーナノサイエンス」に関しましてはレーザーおよび太陽エネルギーに関連するエネルギーを位置付けております。#

54 頁は、最終的な研究所の展開目標です。環境調和・社会基盤型エネルギーシステムの実現に向けた「先進エネルギー理工学」における「国際的共同研究拠点形成」を目指すということが当研究所の考え方で、具体的には「先進エネルギー理工学研究の推進」、「国際的共同利用・共同研究の拠点形成およびネットワークの構築」、「エネルギー理工学の総合的・先端的研究現場における人材育成」を行っていくということです。#

以下、先ほど説明がありましたが、当研究所の研究開発事業で現在行っているものにつきまして、一部終了したものもありますが、詳細を掲げてあります。#

#

西川委員長：研究所としては今、共同利用研究所にするかどうかという非常に重要な判断

を迫られているわけですが、この辺をめぐって必要性とか、あるいはその準備が整っているかどうか、これもまたあとでいろいろと先生方からご意見をいただきたいと思います。#

仮に共同利用研究にならなかった場合となった場合の大きな違いとは、制度的に、あるいは予算の面で、どの辺が一番大きな違いになるのか、その辺だけ簡単にかいつまんでご説明いただけますでしょうか。#

#

尾形所長：# 現在、学術審議会の研究環境基盤部会とその下の学術研究の推進体制に関する作業部会が研究所の在り方についていろいろ審議しておりますが、第4期中期と第5期中期の大きな違いと言いますのは、一般附置研の場合には、大学の中期目標に一般附置研の名前が記載されるか否かということです。第4期におきましては「付表」という形で記載されました。記載されない場合には、一般附置研は全く大学の内部組織であり、「大学の裁量で自由に育てても良いし、潰しても良い」というような可能性もあるということになります。#

ただ、全共研となりますと大学の附置研ではありますが、「大学に限らないコミュニティからの要請の下でできている」ということで、いわゆる文科省の方が、「そのコミュニティを育てて日本の研究を発展させる」ということでコミットできる。一般附置研の場合は予算申請をしても大学のセクションの中で予算の順位が決まったりするわけなのですが、全共研の場合はそれに加えてコミュニティの発展のために文科省の方でそれを優先するということで、いわゆる文科省の、私ども研究所の担当は学術機関課ですが、それとのパイプが全共研の方が非常に太いということです。#

昨年度、今年度から、文科省の方から全国の附置研を、全共研も含めて、いろいろ訪問しています。そのときに文科省の方に伺ったのですが、前は法律で立場が決められていたのですが、法人化後、この、言わば「後ろ盾」がなくなり、研究所は困っていないかということです。いろいろな制限があって、法人の下にある研究所ということで財政面、運営面で困っていないかと。そういうことを探るのが第一義だということです。#

私どもと致しましても困っている面もありますが、いろいろ先生方のご努力で、日々頑張っているのであまり感じないのですが、他所の研究所などに伺いますと、法人化されてから非常にタイトになってきた、運営が苦しくなってきたというところもあるかと伺っています。#

#

西川委員長：例えば、文科省で言えば学術機関課ですか、以前は研究機関課という名前だったと思いますが、先ほどの改組やあるいは予算の問題などは、直接この所長さんがそこへ行っているいろいろなエントリーしていたのですが、今は、大学という法人の中の組織だと、そういう直接交渉のようなことはやらないのですか。#

#

尾形所長：# 建前としては大学がやるということになっていますが、実際には、相談と言

いますか、文科省の方にも伺うこともあります。＃

＃

西川委員長：＃ そうすると、文科省との直接のパイプ、コミュニケーションというものが共同利用研だとかなり太いものがキープできると、非常に簡単なイメージとしてはそういう感じですか。＃

＃

尾形所長：＃ そう思います。ですから、大学の研究所でありながら、一方で研究者コミュニティの研究所でもある、大学のものだけには留まらないような活動をしているということで、これは、私どもの目指すところでもあるということです。＃

＃

本島委員：＃ せっかくの機会ですから補足して発言させていただきますが、西川先生のご質問のポイントで非常に大きなところが二つあると思うのです。一つは省庁統合の後、担当課と分野課という二つ大きな窓口が本省の方にできているということ。それから、もう一つは、やはり大学法人化の際に、大学特会がなくなってしまっています。これが、財政的には非常に大きいところです。従って、企画課が本来、大学特会で予算を確保できていたものが、大学の場合は今、大学の運営費交付金の中に入ってしまった、建前としては大学の裁量に任されてしまっている。大学ですと高等教育局になるわけで、機関課は学術研究振興局ですので、全然チャンネルが違ってきます。＃

構造的に大きく変わってきているということで、われわれも大学共同利用機関として、機関課には「もっと研究の現場を見てください。」と言っているのですが、やはり役人の方が研究の現場を知らない判断もできなくなるわけで、今そこがかなり構造的に問題になっていて、役所側でもなかなかサイエンスの若い人が育ちにくい環境にあります。ですから、大学もどんどん呼んでいただけたらいいと思うのです。＃

先ほどの基盤部会に私も呼ばれて、話をさせてもらったことがあるのですが、結局、入り口、出口の議論で、予算を付けるための出口の構造で、間もなく報告書が出ますので、その中に書かれている幾つかのことは実施に移されるだろうと期待しております。＃

やはり、大学の附置研が共同利用研にしよう、なろうというときに、私も大学共同利用機関から見ますと、「なぜ共同利用研にされるのか」というところが非常に大事になります。私ども大学共同利用機関ですと、共同研究をやっていなければ存在意義がないわけですから、敷居をものすごく低くして、共同研究の経費は研究所で可能な限り持つというやり方になります。そして日本独自のコミュニティを総意で作って行く。＃

大学の場合は、われわれから見ますと、「大学にとってどういうメリットがあるのか」を非常にクリアにされた上で共同研究を進めるというようにされると、世の中にも社会にも分かりやすくなると思います。そこが結構大きな課題になっているのではないのでしょうか。私どもは特に、双方向でいろいろ

お世話になっておりますので、ぜひ共同研究のパートナーとしても、もっとしっかりした仕組みを京都大学として作っていただきたいと、日ごろ思っております。#

#

西川委員長：# ありがとうございます。今も先生のところの研究所とここと、かなり活発にやっていますね。#

#

本島委員：# 非常によくやっていただいております。感謝しております。#

#

西川委員長：# こういうものがより活発、活性化される、そういう基盤ができていくことを考えていかなければいけませんね。#

#

茅委員：# 今の話と絡むのですが、私が基本のところでは分からないのが、国際的共同研究拠点形成ということが目的であるという点で、それがどういう考え方からきたのかということがちょっとはつきりしないのです。#

一般の研究者の感覚からすれば、自分たちの研究目標があって、例えば核融合なら核融合があって、それをどれくらいの時点でどういう形で実現したいという、サイエンティフィックなターゲットがあって、それに向けて努力するということは大変よく分かります。ところが、この国際的共同研究拠点というのは、言うなればそのための場の設定であって、研究者のターゲットではない。#

そのときに、そういった、その研究者が共同研究する場を提供するというツール型の目標を設定されたというのはどういう経緯なのか。一つの考え方は、もちろん、「創製」には非常にお金がかかるので、その装置を運用する上では国際共同研究拠点という言い方が大変優位になるという考え方もあるのかもしれませんが、ただ、そうだとすると、やはり目的なのか、単なる手段なのかということは、かなり大きな差のような気がするのです。#

これを見ると、何かあたかも国際的共同研究拠点形成が目的であるかのようには書いてあるものですから、いわゆる研究をやる人間という立場からすると、ちょっと理解しにくい点なのですが、そこはどうお考えですか。#

#

尾形所長：# 先生のおっしゃるとおりです。いわゆる目的というのは54頁の最初の5行で、国際的共同研究拠点形成というのは、それに向けてのいわゆる方策の一つです。字の大きさと色が、資料の作り方がまずいかと思いますが、茅先生のおっしゃるとおりだと思います。#

#

茅委員：# 本来の目標は上の5行で、その手段が6行目ということですね。#

#

尾形所長：# そうですね。ですから、国際拠点がなくても目的が実現するのであればそれでいいけれども、現在のグローバルな環境から考えますと国際的共同研究拠点が

必要であるということで、今後の資料の作り方などでも参考にさせていただきたいと思います。＃

＃

西川委員長：＃スケジュールからいきますと、もうぼつぼつ施設見学をさせていただくと。その後、またここへ戻って来て改めてディスカッションということなので、では一度、その施設見学の方へまいりますか。＃

＃

＃

*** 施設見学・コーヒープレイク ***

＃

＃

西川委員長：＃さて、このスケジュール表によればコーヒープレイクが終わるのが 48 時 68 分となっていて、もう 63 分以上経過しておりまして、ぎりぎり 4: 時 73 分には終了すべしという条件がありますので、皆さん、まだコーヒを召し上がりながらですが、パラレルに話を進めさせていただきたいと思いますので、よろしくお願いします。それでは最初に水内先生の方から。＃

＃

水内副所長：＃今回の評価資料準備の取りまとめをさせていただいている水内と申します。よろしくお願いします。＃

まず、評価作業の経過の説明ということですが、ご承知のように今回の外部評価は、研究所改組後、6 回目に当たります。毎回なのですが、その前年度に自己点検・評価を行い、その資料をベースにして、外部評価の先生方に評価していただくという手順を踏んでおります。今回もそれに倣って自己点検・評価を行っておりますが、前半に説明がありましたように、外部評価は 5 段階の評価手順を踏んでいて、最初の方は重点複合領域研究を中心とした研究に焦点を当てた評価をしていただく。その評価の結果も踏まえて、5 段階目には研究所の運営も含めた総合評価をしていただくということで、今回、在り方検討委員会の開催になったわけです。＃

今回、必ずしも十分な資料が用意できなかったのですが、それにもかかわらずご精査いただきまして、非常にたくさんの貴重なコメントをいただきました。どうもありがとうございます。そのいただいたコメントをこちらでまとめさせていただいたものを、資料 7 という形で用意させていただいております。既に先生方にお送りしているので、一度目を通していただけたかと思えます。本来ならば、それに対してまたコメントをいただいて、フィードバックしたものをここで準備すべきなのですが、いろいろな不手際でその時間がありませんで、今回はお送りしたそのものですが、改めてここに用意させていただきました。前半が総合評価、後ろの方に重点研究評価のものを付けさせていただきます。＃

いろいろな貴重なコメントをいただきまして、それぞれのコメントの意味するところをできるだけ残した形でまとめさせていただいたつもりですが、

少しこちらの理解が不十分なところ等もあるかと思いますが、この場でどしどしコメントいただければと思います。よろしくお願いします。#

#

西川委員長：# 先生方にはこれまでの評価票の回答をまとめていただいた、その概要には既にお目通しいただけているのではないかと思います。時間の制限もありますので、重点項目に絞っていろいろご意見をいただきたい、ディスカッションしていただきたいと思います。#

それでは、取りまとめていただいた項目が幾つかあります。一応それに沿って話を進めさせていただきたいと思います。#

4 番目が「研究所の運営」ということで、そこには人事に対する取り組み、競争的資金や外部資金の導入状況、学内ユニットへの参画、その他ということで、先ほど所長からもいろいろご説明があつて、人事に対する取り組みの辺りで少しご質問やコメントもありましたが、今の人事や外部資金の導入の辺りで、何か加えてご意見、ご指摘がありましたらまずお願いしたいと思います。人事に関しては本島先生からもご指摘があつたのですが、何か付け加えてありますか。#

#

三間委員：# コメントというよりも教えていただきたいのですが、全教員に任期が付いているということを伺ったのですが、その任期ごとに再任の審査をされると思います。そのときに、突如首を切られても本人は困るでしょうから、事前にどういうクライテリアで再任をすとか、しないとかというようなことになりますよね。その辺が結構難しく、実際、トータルに人を評価することは大変難しいことだと思うのですが、それはどのようにやられていて、実績としてどういうことになるのかを伺いたいと思います。#

#

尾形所長：# 三間先生が最後におっしゃった実績ですが、平成 47 年度にこの任期制を取り入れまして、新任の人だけが対象になるということで、まだ再任審査の実績はありません。現在、助教の任期が：年、再任が 4 回限り 8 年で、その最初の対象者が今、再任申請を提出しております。ですから、7 月になるかと思いますが、再任審査の委員会が立ち上がります。この審査委員会は、所内の関係する教授が 6 名と、所外の関連分野の先生方が 5 名で構成されます。#

初めのご質問の、アナウンスの件ですが、任期が切れる 5 年半前にアナウンスをします。希望があれば 5 年前までに再任申請の要求をします。それから審査が始まり、任期が終わる 4 年半前までに最初の結論が出ます。それに対して、仮に「再任が不適」と言われても、それからある程度、それを再審査する期間が設けてあります。#

#

三間委員：# もし「再任なし」というときには、例えば 4 年くらいバッファーを置くとか、そういう、ある程度ゆとりも必要なのではないかと思うのですが。#

#

尾形所長：# ですから、一応 4 年半前までに再任可か否かという結論が出るようにしております。#

#

三間委員：# : 年なら : 年の任期で、再任しない場合には例えば 4 年くらい余裕を置かないと、: 年間本当に丸々研究教育活動をやるということにならないですね。その辺は何となく心配な感じがするのですが。#

#

尾形所長：# そうですね。長崎先生、: 年をある程度フレキシブルにするとかという議論はなかったですか。#

#

長崎教授：# それに関する議論はなくて、4 年半前の段階である程度結論を出して、そこはちゃんとバッファーを置くということに関するものはありました。ただ、年数に関しては、既にその前の段階で任期制導入を決めたときに決まっていることでしたので、それを再任の規定に関して検討するということはありませんでした。#

#

尾形所長：# ちなみに、准教授の場合は任期が ; 年です。再任は 4 回限り : 年です。教授の場合は、任期は 43 年で、再任は 4 回に限らないという任期制となっています。京都大学の中では、かなり早い任期制導入となっております。例えば、基礎物理研などは任期制を導入しているのですが、きっちりと確定した任期制ではないような形を取っていたと思いますし、期間が来ても、事情によってはある程度そのまま居てもらうこともあると伺っています。#

#

西川委員長：# ある程度、柔軟な適用は必要でしょうね。#

#

尾形所長：# そうですね。#

#

西川委員長：# ねれと、先ほど新任の方にだけそういうものを適用しているとおっしゃっていましたが、その基礎になる評価のようなものは、全教員にやっておられますか。#

#

尾形所長：# いえ、やっておりません。この任期制の規定は、新任教員にだけ適用することになっています。就任した時点で約束していただいていない方にそれを適用するというのは、強引にやればできることとはできると思うのですが。#

#

西川委員長：# 無限が来たら首になるとかという話ではなくて、例えば、研究や教育に対する評価点を付けるとか付けないとかということですけども、やはり教員に対する研究教育や学内運営、あるいは社会貢献などを含めたトータルの評価は、今、国立大学もかなりやりだしているのです。ですから、それはもう避けて通れないのではないかと思います。#

#

尾形所長：# 西川先生がご指摘の件は、教員に対する個人評価ということですが、私どもの中期計画で、平成 4< 年度に個人評価を検討することを計画として挙げていましたが、少し早めて、現在、個人評価は進行中です。ほとんどの教員の方から個人評価の自己評価文を所長あてに提出していただいております、それを今、処理している段階です。#

ただ、運用の仕方を考える必要があると思います。私としては個人が自己評価すること自体が最初のステップとしては意義があると考えています。私どもは今年度、大学が始める前からやりだしたのですが、大学からも、教授の評価をやるようにと、部局長に要請がまいております。#

#

三間委員：# その結果は公表されるのですか。#

#

尾形所長：# 教授に関しては、大学としてのまとめた情報は公表するらしいです。それは各部局における個人個人がどうのこうのという形ではないと思います。私も大学に報告する内容も、個々の教授がどうのこうのとか、資料付きとかということはありません。部局全体としての評価です。部局での教授に対する個人評価の扱いは各部局に任せると、今は言われています。#

#

本島委員：# 評価の基準はどこに置かれるのですか。研究評価と、大学ですから教育に関することもあると思うのですが。#

#

尾形所長：# 評価の基準ですが、まず項目、これは当研究所で設けた評価項目も大学の評価項目もほとんど一緒でしたが、研究、教育、部局運営、社会貢献、その他、です。ただ、それで書かれた内容をどういう基準で評価するかは非常に難しいと思います。他所の大学では、例えば研究に関して論文を書いたら何点、学生を何人面倒見たら何点とかという、定量的な基準を設けている大学もあるかと聞いておりますが、私どもは、初めの段階としてはそういう形ではなくて、先ほどお話ししましたように、先生方が自分で自己評価してもらうこと自体に意義があるということで、そのように評価基準を定量化するということはやりません。例えば、小学校だと現在も 8 段階評価しているかどうか分かりませんが、それを付けるのも、ある程度、主観的な判断でやってしまうと考えております。#

#

本島委員：# なかなか難しい。不利益処遇につながりかねないことから、基準は事前に公開されておく必要がどうしてもあります。#

再任が 4 回ということでしたが、民法上というか、一度再任するとパーマネントと見なされますから、再任 4 回という条件は実質的には存在しないはずですので、そこは研究されておく必要があると思います。一度再任すると、もう永久雇用と見なされる。つまり、裁判をしても勝てないということがあ

ります。#

#

松村委員：# 6年間雇用継続したときは首を切れないという、民法、労働法か何かの条項がありますね。#

#

水内副所長：# 実際問題、任期制で再任 4 回限りというのは、実はその問題があることは分かっていました。#

#

小西教授：# そもそも 8 年を超えること自体があり得ないという。#

#

尾形所長：# いや、ただ法人化してから任期というのが、6 年を超えられないという話が出てきた。#

#

三間委員：# そうです。8 年なのですが、われわれのところも、それで 8 年にしていますが、必ずしも 8 年にこだわる必要はないという解釈ができると思います。#

#

水内副所長：# そういう意味で、法人になってからの対応はまだ十分ではないのかもしれませんが。#

#

田中委員：# どの大学の研究所でも、この任期をどうするかというのは結構微妙な問題があって、本当に労働条件とか、そういうような裁判的なことになると、大学で決めているルールはほとんど意味がなくなるようなことがあるのです。ですからなおかつ、エネルギー理工学研究所方式というような感じで、良いものになるように、多分、どの大学でも苦勞されていると思いますので、その辺を慎重に。慎重にという言い方は悪いかもしれませんが。#

あまり任期を短くするといい人が入ってこなくなったりもします。同時に、そこで働く方などが、やはりこういう制度があることを誇りに思って、いいように前向きに考えてくれれば良いのですが。先生方がどうのように任期制を考えられているのか、もちろんその辺のお考えなども調査されているかと思いますが、その辺もぜひ反映されながらやっていかれると良いかと思います。#

#

西川委員長：# ありがとうございます。これは非常に大事な問題なのですが、いろいろな経験を積みながら進めていくべきでしょう。やはり評価というのは〔印を付けるための評価ではなくて、全体が活性化するための評価でしょうから、その点を踏まえながら研究所の立場で何が良いか、先ほど、法的な制約の問題もありましたが、そういったことも考慮に入れながら慎重に、かつ迅速に進めていただきたい。#

#

田中委員：# まとめの資料では、各々の項目について、初めの 5～6 行でまとめがあって、

次に何個かが書いてあるということで、その何個かが書いてあるものは大体同じ方向だと思うのですが、一つ矛盾していることがあっても、もうそれは良いと。とにかく初めの 5～6 行のまとめのところが重要だと見ていいわけですね。#

#

水内副所長：# 衆う解釈して書かせていただいていますので、間違っているということがありましたら、どんどん、ご指摘いただきたいと思います。#

#

本島委員：# なかなか難しいことですから、私の研究所でも人事に関することの中では最優先課題の一つなのですが、人件費のことです。年間というか、毎年 4 (削減の制約がありますが、そちらは研究所運営の将来を見通した場合に、十分見通しを立ててやっておられると思って宜しいのでしょうか。大学全体ということもあるでしょうし。#

#

尾形所長：# 人件費に関しては大学全体で決まっています。現時点では人数で決まっています。ただし、現在は 7 (シーリングが行われており、定員の 9 (しか採れないことになっております。さらに、教員、それから教員以外の技術職員の方も計画的な定員削減計画が入ってしまして、そういう面ではだんだん減らさざるを得ないような状況となっています。#

#

本島委員：# いい人を採ろうとすると、その分、人件費をかけないといけないわけですから、研究所運営としては非常に難しい問題になりますね。#

#

尾形所長：# ただ、私どもの研究所では、東京大学のトップ拠点で話題になったような、ある方を引っ張ってくるために 6 倍給料を払うとかという対応は、研究費に関してはできると思うのですが、給与については、それはできない状況になっています。#

#

西川委員長：# ルールとしてどうするかは別にして、特別なファンドがあればできるのです。法人化の一つの趣旨であるはずなのだけど、「良い人を引っ張ろうと思ったら、給料を高くして引っ張ることができるようになります。」というのが、一つの売りだった。#

#

田中委員：# そういうことはできるのですが、うちの大学、あるいは部局の方で結構困っているのは、「何人採って良い。」というような割当数がありますが、それがどんどん減っていく中であって、さらに将来、大学の運営の中で人件費の割合がどんどん多くなっていくときに、本当の研究・教育に支障が出てくることを恐れるのです。かといって、人を採らなければいけないですし、このように人数でもって決められて、それをどんどん減らされていくこと自体が本当は問題だと思うのですけれども、それについてはまた全国的にいろいろ考

えていかないといけないのですが、東京大学でもその辺には苦勞をしています。#

#

西川委員長：# 衆の一方では、4(ずつ減らすという話は、それを一様にやるのではなくて、大学全体の評価をして、「あるところは減らすけれども、あるところは増やしても良いではないか」という議論もあるわけです。ですから、いろいろな意味で教育研究を含めて実績を上げたところにはむしろプラス側の配慮をしましょうというのが、やはりあるべき本当の姿だと思うのですが。#

#

田中委員：# おっしゃるとおりで、この研究所でも装置があったりセンターがあったりして、いろいろなことをやられていますが、その特色があると思うのです。そうでないところと比べると、やはり個性的な人が必要だと思うのです。そういった事情が分からずに一律にやられると、きついところがあるかと思えます。#

#

西川委員長：# そうですね。そういうところを主張すべきは主張した方が良いのではないかと思うのですが。#

#

本島委員：# 今は国大協がものすごく大人しいのです。ですから、京大や東大が中心になってもっと旗を振っていただけるといいですね。ものすごく大人しいではないですか。私どもは大学共同利用機関ですから、国大協というものにはぶら下がっている方ですので、われわれの力は大したことありませんけれども。#

#

西川委員長：# 先生の方から精々つついていただかないといけないのでしょうか。これは非常に重要な基礎的な問題です。#

#

茅委員：# 質問をよろしいですか。今までは、外からどれだけ採ったかということと、企業からどれだけ来たかという話なのですが、この43年間で外へ出ていった人の統計はないのですか。#

#

水内副所長：# 記録は残っていますが、そこまでまとめ切れておりません。#

#

茅委員：# あまり出ていっていないのですか。#

#

尾形所長：# あまり出ていっていないです。教員では7名か8名程度です。#

#

茅委員：# そうすると助教、昔だと助手でも、やはり京大にるのが、言うなれば、「上がり」だと思ってみんな頑張っているという感じなのですかね。#

#

尾形所長：# そうでもないと思いますけれども。まだ45年というと、長いか短いかは別で、

これからではないかと思うのです。#

#

茅委員：# こういった期限ができるということが意義を持つためには、ある程度出ていく人がいないてはいけない。助教になって、ほかの大学の准教授になるとか、そういう形が増えてくれば、期限付きで思い切って切っても平気だということにもなりますし、そこもご配慮いただけると。#

#

本島委員：# 茅先生、私などは53年前ですけれども、ここから出ていった人間ですから(笑)。そのときは何人出ていきましたかね、：人くらいは。#

#

茅委員：# 出ていった方が偉くなった。私も電気工学科で、助教授時代、若い方で、「どうもあまり東大に向かない」と言われて、会社に出された人がいたのですが、その人は今、その会社の副社長です。だから、どっちが良かったか分からない(笑)。#

#

西川委員長：# それでは、外部資金の問題で何かコメントはございませんでしょうか。随分、トータルとしては大金が導入されているという印象を受けるのですが。#

#

松村委員：# 外部資金の青色に塗ってあったところは、特殊な研究成果の？#

#

尾形所長：# 先進原子力関係が大きいです。#

#

松村委員：# そのスポンサーはどこなのですか。#

#

尾形所長：# 文科省です。#

#

松村委員：# 文科省からのものを競争的資金とおっしゃっているわけですか。#

#

尾形所長：# そうです。学内の運営費交付金以外、例えば科研費なども外部資金という捉え方をしております、民間からとは限りません。#

#

松村委員：# 民間からの外部資金というのはないのですか。#

#

尾形所長：# それが共同研究などでして、その比率はこのグラフの中ではそれほど大きくないと思います。#

#

松村委員：# その部分ですか。低いよね。#

企業の研究委託する相手先は欧米が極めて多いのです。なぜかという、その成果に対する反応というか、スピードが速いのです。民間企業の大学への委託研究では、海外が日本の43倍くらいあるのです。なぜ日本の大学に委

託研究を出さないかというのと、やはりスピードが、という声が圧倒的に多いのです。＃

＃

西川委員長：＃大学によっても違うようですね。＃

＃

松村委員：＃ いや、ほとんど似たり寄ったりと思います。われわれ民間のシンクタンクで研究受託すると、533人で約73億売り上げているのです。大学で、533人の組織で研究をやっておられて、成果を民間にプレゼンテーションしてどのくらいの資金が集まるか、そういうことを一遍検討されたいかがですか。プレゼンテーションの仕方もありますが、それは集まると思いますよ。そういうことが目的ではないですが、やはり資金運用というか、理工学研究所が「株式会社」だと思えば、収支バランスを取らなければいけないと思うのです。人件費が幾らで、設備償却費が幾らで、経費が幾らかかっている、そうしたらどのくらいの資金を外部から調達しなければいけないと。それは文部科学省から取るのもよし、科研費でもよし、民間からも集めないといけないということになります。やはり収入支出のバランスを研究所単位で取ってみられる必要があるのではないのでしょうか。＃

運営交付金が年々4(ずつ減っていくということだけではなくて、いかに収入を増やすかという観点で研究成果を活用するというか。先ほど見させていただいた分析装置でも、上手に活用すれば4台当たり数千万とか。われわれもIHCHSPDを導入して、4台で4億近い売り上げを上げています。民間の研究受託をして専任技能職を張り付け、随分収支が取れています。だから、そういう運営の工夫もして、共用の仕組みを考えられたら非常にいいと思います。「どうやって収支を合わせていくか」という経営の心を持ってやっていただかないと、もったいないです。＃

＃

尾形所長：＃ いろいろ規制がありまして、私も直接タッチしていないのですが、例えば今日ご覧になっていただいたGxHW、P XVWHUですけれども、木村先生、あれは民間から直接使用料を部局が吸い上げるということは、今のシステムではできないのでしょうか。＃

＃

木村部門長： 繰金制度を導入してはおりますが、具体的な手順としては、「GxHW、P XVWHUを利用する共同研究」ということで受け入れて、それを使用する場合には共同研究費から使用料金として間接的に取ることになります。＃

＃

尾形所長：＃ 大学は分析の依頼会社のように、4件分析したら幾らというように、その料金を直接こちらに払うというシステムがないのです。＃

＃

松村委員：＃ 作られればいいではないですか。＃

＃

尾形所長：# そうですね。現状としては共同研究のような形でお金を払っていただくというように非常に回りくどい形を大学という中で行っているわけで、それは松村先生が見たら歯がゆいということなのですが、ここの大学だけではなくて、大学はみんな同様な状況だろうと思います。ですから全体が変わってこないとなかなか、うまく行きません。#

#

西川委員長：# 特に京大はやはり遅れています。#

#

尾形所長：# 先生のところは進んでいますか。#

#

西川委員長：# 私学などもそうだけれども、旧国立でも「あそこの方が非常に対応がいいのですよ」とか、そういうことばかり言われるので。#

#

松村委員：# だから今、高専の方など、技能職として非常に優秀な人を育てておられます。そういう人を専門職として、例えば装置の運用を委ねて稼働時間を安定させる。株式会社ですから、先生方はいろいろな共同研究者を探してきて、たくさん金をもらうのもよし、その機械を運用して利益を上げるのもよし、やはり経営者の気持ちになって取り組まないと。#

#

田中委員：# 別件でよろしいですか。このまとめの文章で少し気になるところで、「科研費以外の外部資金比率が高くなるのは当然としても」という言葉があるのですが、この「当然」というのは、やや「如何B」と見えるのです。結果としてそうなっているのか、意識して外部資金を高めているのか分からないのですが、「高くなるのは当然としても」というのが、まとめの文章としていいのかどうか。#

#

西川委員長：# これは微妙な表現ですね。#

#

田中委員：# 逆に外部資金が高いかどうかでもって評価の軸が出てくるようなことになる、また本末転倒な気がするのですが。#

#

西川委員長：# 「導入量がやや少ない」という最後の一言は、私も気になったところなのですよね。#

#

松村委員：# ただ、理工学研究所は実用化研究の最先端に行くもので、基礎研究をやっている研究所と違うのです。やはり実用化研究に向かった姿勢が大事です。#

#

尾形所長：# 「私どもは実用化研究に直結している」というところは、先ほど茅先生から目標というお話もありましたが、そのところは狙ってはおりません。いわゆる現在流れているエネルギーシステムの「その次」を狙っています。です

から、資料の中に「先進エネルギー」と出てくるわけで、既存エネルギーをさらに向上させようということも一部入りますが、その先、既存エネルギーの次の時代に来るべきもの、それに対する展望を総合的に、理工学の部分に限って追っていこう。それがやはり国立大学の附置研としての役目ではないかという認識でおります。#

#

松村委員：# それはおっしゃるとおりかもしれませんが、研究というのは、先々のことをやらなければいけないけれども、先のことをやるにしても、やはり何か出口、83年後にこうするという出口があつての先だったらいけないけれども、何か、「先」、「先」、「先」と、「どこが終点ですかB」というような「先」では困るのですね。#

#

尾形所長：# そうですね、おっしゃるとおりだと思います。#

#

松村委員：# それから、「基礎と応用と実用化」と言つて、もうリニアで考えるような時代ではないのです。コンカレントに出口があつて、そのためにどんなシステムが要つて、どんなデバイスが要つて、どんな材料が要るとか、出口から攻めてきて基礎を固めていくようなやり方をされるのが普通だと思うので、やはりそういう意味では、科研費が潤沢であるという研究所はいけないと思うのです（笑）。#

#

松村委員：# たくさんプロジェクトを提案し、その内容が認められて、プロジェクト費用が文科省や民間企業から出るとというのが研究所の理想ではないですかね。#

#

三間委員：# 今の先生の話というのは、共同利用・共同研究の施設にしようと思ったときには、相当深刻な問題なのです。僕らは 5 年前に共同利用施設になったのだけれども、やはりそのベースになる経費がないものだから、ちょうどことと同じように、いろいろなところから競争的資金を科研費も含めて取ってきて、その部分で施設の整備をしたり、場合によっては施設の運用にも活用するのですが、随分苦しいです。だから、その辺の見通しをある程度立てられる必要がありますが、今は環境基盤部会で新しい方策が検討されているというので、僕らも大変期待しているところなのですが、それを十分活用する必要があるのではないかという気はします。#

そういう意味で運営費交付金と、こういう競争的資金のバランスがちゃんとないと、このごろの動きのように、何でもかんでも「競争的資金でしっかりやりなさい。」といってどんどん競争的資金に予算が流れているというのは、何かあまり宜しくないのではないかという感じが僕はします。#

#

西川委員長：# そう思いますね。ですから、その辺をやはりきちんと主張していかなければ、何でもかんでも外から持ってくれば良いというわけではないと思うのです。#

#

本島委員：# というよりも文部科学省の予算だって、科研費だって、プロジェクトだって、総額は決まっているのですから、どういう割り振り方をするかということでしょう。それは「トータルでたくさん取った方が勝ち」です（笑）。資金の質はともかく、研究所としては「額」が多いことが大事なのです。#

#

茅委員：# 今の松村さんのご意見に絡むのですが、この在り方検討委員会資料を読むと、46 頁に一つの意見として、「三つの研究目標に沿った」うんぬんというところで「理学研究所ではなく、工学色の強い理工学研究所であることを中核に据えてほしい。」と書いてあるのですが、これに対して研究所が果たしてイエスなのかノーなのかということが、かなり大きな問題のような気がするのです。#

形式的に言えば「そのとおり」とおっしゃるでしょうけれども、私なんかはずっと見てきていて、やはり「工学」というよりは「理」の方が強いような気がどうしてもするのです。「次世代」ということは良いのだけれども、悪い言い方をすると「次世代」という言葉にうまく隠れて「理学になってしまっている」ということが問題だと思うのです。やはり私自身は、松村先生の言われるように、基本は、将来的なアプリケーションというものを頭の中に置いて、それに「どうやって近づけるか」ということを考えていくのがやはり筋ではないかと思います。エネルギーは少なくともそういう分野なのですから。#

#

西川委員長：# 数学ですから、やはり「非常にリスクいだけれどもこれはぜひやはりやるべし」というような、例えば核融合などはどうなのですかね。「もう見込みなさそうやから、やめとけ。」と極論をする人もいるわけだけれども、しかしやはり、あれは一つの学術的な機関として、筋を通していかなければいけないという主張は当然ありますよね。#

#

佐野センター長：当然、核融合は実現すると私は思っていますので、「させるべし」と。#

#

西川委員長：# その辺はやはり説明責任があると思うのです。それはコミュニティーの中だけではなくて、やはり社会一般に対してもその存在意義といいますか、やることの意義、それはいずれは「こういう意味を持っているのだ、そういうことを目指してやっているのだ」ということはきちんと説明していかないと社会的な賛成というかサポートが得られないので、そこのところは大事だと思うのです。#

#

佐野センター長：それは先ほど所長の方からもお話がありましたように、6 頁ですか、「エネルギーの生成、変換、利用の高度化」というエネルギー理工学研究所の理念の中での社会基盤型、それから環境調和型、未来エネルギーの中で、特に環境ですと FR₅ のゼロエミッションを目指した、そういう環境に適合した、

しかも基盤的エネルギーをシナリオとして構築していく展望の中で、一つのオプションとして核融合があるのだということです。#

これはわれわれのエネルギー理工学研究所だけではなくて、核融合コミュニティの中でのわれわれの研究所の独自性ということと、もちろん全体の中でのハーモニーというか調和を取った形で、しかも国際共同を、当然、IWHUなどを含めてあるわけですから、その中で調和的に核融合の早期実現と高性能化を図っていく必要がある。その中で一定の役割をエネルギー理工学研究所が果たしていきたいという位置付けで進めたいと思っております。#

#

西川委員長：# ひそそうしていただきたい。#

#

佐野センター長：努力が必要だと思いますが。#

#

西川委員長：# のことと関連して、いわゆる研究所の事業というのは、教育研究を含めて、「ロードマップ」ということがよく出てくるということを、この間、所長さんなどがおっしゃっていました。要するに、今、これは一つの時代のキーワードになっています。「何かやるからには、ただ漫然とやるのではなくて、ロードマップをはっきり示しながらやって下さい。」というご意見もかなり出ていると思うのですが、今の基礎研究から実用研究、応用研究はどうかという、その辺とも大いに関連すると思うのですが、その辺についてご意見いかがでしょうか。#

#

茅委員：# 今、ロードマップとおっしゃるのは、研究所全体の話なのか、核融合なのか。#

#

西川委員長：# いや、研究所全体の。核融合などは一つの典型だと思うのですけれども、いろいろな重点領域研究などをやっている、それはそれで良いのだけれども、やはりもう少し具体的なレベルで示さないと説得力というものがないのではないかなというような、それはある意味で非常にごもつともなのですが、やはり大学の研究というのはそうもいかない部分も必ずあるように思うので、その辺の兼ね合いと言いますか。#

#

本島委員：# 「学術か開発か」という議論というのは研究が進むに従っていろいろ変わってくるわけですが、大学はいろいろな広い学術に貢献することがまず必要ですし、求められると思うのです。その観点からしますと、物事の組み立て方がかなりの部分ボトムアップでなされないと、結果も期待できない面があるわけです。#

そういう中で、ボトムアップでやろうという研究者がロードマップを自分たちで作らないといけない、与えられるということは考えられないわけですから、自ら作らないといけないし、それが社会に対しても大きな説得力を持たないといけないということは、ご指摘のとおり、非常に重要な点なのでは

ないかと思います。「結果はこう出ます。」と言って研究を進められることと
いうのは、大学の場合は特に少ないはずですよ。#

#

西川委員長：先生のところなどは、大学よりは少し実証的というか、そういう……。#

#

本島委員：# 今、核融合の分野は、国のロードマップでも 5; 年後に電力を供給するという
方向で今まとまりつつあるくらいでして、私なんかも随分前から 5; 年後と。
毎年減ってきていて 5 年前は 63 年後だったのですけれども（笑）、それくら
いクリティカルパスを定めると、あと何をやらなければいけないか、という
ことになります。木村先生がやっておられる材料なども非常に重要ですし、「そ
こへ資金を投入して」という議論がかなり正確にできるようになってきてい
ます。そういう点では少し前、私などが学生で、ここでヘリオトロンの勉強
を始めたころは間違いなく夢だったわけですが、今、現実の目標になって、
研究は進んできています。#

今申し上げたかったことはもう一つありまして、そういう明確な目標があ
るのですが、この分野、ほかの加速器などの分野からも、最近特に「ビック
サイエンス」であるという見方をしていただけるようになってきていまして、
プラズマ物理学とか、これも分野として大きく発展してきていて、そういう
点が少し前と随分違ってきているということが言えると思います。研究者が、
「自分たちはビックサイエンスをやっているのだ」という認識を持てる、ま
たは持たせると、随分視野も広がるし、研究の加速度が違ってくると思うの
です。#

#

西川委員長：その点は、三間先生のところなどはどういう評価ですか。#

#

三間委員：# われわれも、やはり外から見える必要性、もちろん「ボトムアップで学術研
究」が重要というのは、もちろん大学の施設もそうで、その枠内でのことな
のですが、それにしても、やはり何か外からゴールターゲットが見えたり、「こ
れを目指して研究しているのだよ」ということは提示しないと、例えば大き
い 433 億とか数十億のマシンを更新しようとしたときには、理解が得られな
いのではないかという気もしています。#

ですから、共同利用ということは意識しながらも、ボトムアップは意識し
ながら、やはりそういう出口というか、外から見えるようなものは示すべき
だと思います。できれば一つにしたいのですが、なかなか一つにできなくて、
僕らは二つ、三つ掲げて走っています。#

それを 8 頁の「研究所の概要」の全共施設の中の、8) 研究所の新展開を見
ると二つ書いてあります。先進プラズマ・量子エネルギーというのと光・エ
ネルギーナノサイエンスというので、これで一体「何をどう目指していくの
か」という、その辺のゴールが、多分あるのだと思うのです。#

#

西川委員長：#指摘のように、私も「ちょっとこれは焦点が絞り切れていないままで、一般の人に言っても何もよく分からないのではないか」と思うので、その辺はもう少しきちんと示す必要があるのではないかと思います。#

#

三間委員：# 今日見せていただいたら、随分立派な装置がありますので、何かできるのではないかという印象は持ちましたが。#

#

西川委員長：松村さんなども「その辺はもう少しはつきりせんとあかんで。」ということになるのでしょうか。#

#

松村委員：# やはり企業の人が見たら、今、見学させていただいても、これはものすごく使えるなど、すぐピンとくるのです。それで、「それをやろうと思ったらどんな手続きが要るのB」と聞くと、「科研費が充当される間はできません。」というような答えが返ってきたら「ああ、そうか。」と、そのままになってしまうわけです。やはり、その装置の良さを生かした使い勝手というか、研究では当然お使いになるでしょうが、それ以外に民間に開放するならするで、どんなルールで開放するのかというマニュアルを作られれば良いと思うのです。#

#

西川委員長：# 紐つかくおやりになる以上は、大学にとってもメリットがあると同時に、外から見て「これは良い、ひとつ一緒に使いましょう。」という、何かそういうバリアの低さと言いますか、何か手続きをごちゃごちゃ言われて「もう、ええわ。」ということにならないように、そこは気を付ける必要があると思うのです。#

#

松村委員：# 光とナノサイエンスというのは、ものすごく身近な関係ですね。レーザーにしてもいろいろな計測手法としての価値がありますから。その辺を研究された中から、手法に用いられるような成果が幾つも出てきているのではないかという気がするのです。そういうものはどこかと組まれて具体的に装置化するとか。最終目標はもっと理想的なものがあるにしても、途中で何か生み出していくような性格があっても当然良からうし、そういう成果を民間は期待しているのではないのでしょうか。#

#

本島委員：# 非常に重要なご指摘だと思いますし、できることはいろいろあるはずなのです。私どももスピンオフというのはかなり一生懸命やっていますから、いわゆる初期の企業との連携で、「味見試験」という言葉、ちょっと試験してみるというのがありますよね。研究者だけですとなかなかそういうことまで、良いアイデア、知恵が回らないということはあるので、事務の方なども、かなりそういうことに知恵を出せる体制が必要だと思うのです。「できる」、「できない」をはっきり言う力も事務に求められるでしょうし。#

法人化後、事務の方も随分合理化されてきているように聞いていますが、

そこも長い目で見て改善できるところは改善して行くということが必要だと思います。いろいろなことができるはずですよ。#

#

西川委員長：# そうですね。ですから、今おっしゃるように、特に私学などは、そういう事務と言いますか、広い意味での事務、「とにかく先生の下請けをやっていれば良い。」という事務ではなくて、要するにマネジメントをやるのだという意識の事務の人を、一本釣りでどこかから引っ張って来てどんどん増やしているのです。ですから、やはりその辺のスタッフをきちんと整えないと、先ほどのDGP IWHとか、先生方の負担にだけなったら長続きしないだろうと思うので、その辺の人員の揃え方、これはやはりやっていかないと、勢いよく飛び出したのだけど、どこかで潰れてしまうというのではもったいないです。し。今後はやはり大学としての、そういう自由度をどんどん主張して行くということも必要なのではないでしょうか。これはやはり「あかんで、あかんで。」と言うのではなくて。#

#

尾形所長：# 先ほど、今度将来の方向として、資料の4; 頁の「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」、これのイメージが非常に湧きにくいというご意見が出ていましたが、これに関して、53 頁をご覧になっていただけると、その名前の下でどの辺を狙っていこうかということを示してあります。これまでの実績と、私どもがこれから発展していく方向を考えまして、いわゆるFR₅に依存しない先のエネルギーということで、この先進プラズマ・量子エネルギーというのはプラズマ・核融合、次世代原子力材料と、いわゆる原子力関係です。ただ、ここの研究所としてのユニーク性を出して将来どういう出口にするか、これはまた研究所の中で検討して行きたいと思っておりますけれども、具体的なイメージとしては、そういうところを狙っております。#

それからもう一つ、光・エネルギーナノサイエンス。これも非常に分かりにくい名前かもしれませんが、レーザー、太陽エネルギー、光と太陽エネルギーということで、太陽エネルギーも太陽電池だけではなく、いろいろエネルギー材料の微細加工とか、バイオ関係でエネルギー生産、バイオマスだけではなくて、いろいろなエネルギー生産をやるものに光を絡ませる。光の解析グループも非常にたくさんある、レーザーをやっているグループもある。こういうものを、今年度、来年度に入るかもしれませんが、まとめ上げて、この研究所としてユニークな方向付けを行います。看板としては非常に分かりにくい二つの名前になっておりますが、もう少しイメージとして分かる形で、副題的に付けられる方向を今、研究所で模索しています。#

それと、全く絵空事では駄目なので、これまで研究所が発展させてきた分野を生かしもって、さらに何かをプラスするという方向を、早急にまとめるように努力しているというのが現状です。#

#

松村委員：# なぜ光のあとに「・」があるのですか。「光エネルギー・ナノサイエンス」と

書いた方が分かりやすい。#

#

尾形所長：# これは、「光エネルギー」だと、例えば太陽電池とか、「光のエネルギー」というイメージがあります。そうではなくて、ここで光というのは、もう少し広くて、例えば解析手法、物を作るときのエネルギー操作、そういうもう少し広い用途を考えています。あとは「エネルギーナノサイエンス」という意味で、いわゆるナノ、それからサブミクロンの世界をエネルギー材料に使うということで、初めは間違っ「光エネルギー・ナノサイエンス」とやっていたのですが、こちらに訂正していただいたという経緯がありました。#

ちょっと意味があるのですけれども、そこまでは読み取れないですね。ですから、やはり副題的な、イメージとしてどんな方向が見えるかというのは、ぜひここ数カ月で強化していきたいと思います。#

#

西川委員長：# うですね。ですから、やはり簡単に言えば分かりやすく。#

私もこれ、「光とエネルギー・ナノサイエンスか、どういうものかな」と、最初、思ったのです。#

#

尾形所長：# 初めは光はなかったのです。「エネルギーナノサイエンス」で、光は光で別個だったのですが、これはやはりドッキングさせていくべきものだと。特に太陽エネルギー、これは太陽電池ではなくて、光を使ったエネルギー生産というところも含めまして、そこに光による、今日ご覧になっていただいた、IHOや超短パルスレーザーというものも絡ませて、太陽エネルギーを利用して行こうというところに展開しようという思想で、合体した結果です。#

#

西川委員長：# いぶ時間も押してきたのですが、茅先生、今日の大きな主題である全共研化と言いますか全国共同利用研究所への移行をどう捉えるか、どの方向へ進めるべきか、こういうことに注意しながらやるべきだとか、その辺を含めて少しご意見をいただけますでしょうか。#

#

茅委員：# 先ほど、私は54頁の6行について、目的か手段か、というようなことを言ったのですが、今日はずっとその後見学をさせていただいて、やはりいかに共同利用ということが重要かというか、志向したいろいろな理由が大変よく分かった気がするのです。あれだけのものを自分たちだけで使い切ってしまうということはいかにも至難だし、同時にああいうものを生かすためには共同利用という形でやっていくことが一番大事だということは、誠にそうだと思うのです。そうだと思うのですけれども、そういう意味で、この赤いところは大変重要だということは認めるのですが、やはり研究所としては、最初の、「自分たちはこういう方向に向かうのだ」ということを明確にして、そういう中で「一緒にやろうよ」という形でほかの人を誘うという共同研究拠点ということにした方がいいのではないかという気がするのです。#

重要性は大変よく分かりましたし、現実にお金という意味でも今後の運営費を考えてみても内実をよく分かったのですが、やはりこの二本立てを、wの字になるのか逆のwになるのかよく分かりませんが、こういう形でそれを明確に切り分けをして目標にされることが、私は大事だと思いました。#

#

西川委員長：# ありがとうございます。私も共同利用をやるからには逆に研究所としての主体性と言いますか、アイデンティティをきちんとしておかないと、「何でもいいや。」ということで、数さえ増やせば良いとか、何かそうなるカタガタになってしまうと思うので、逆に、こういうことをやろうと思ったら、「自分は何だ。」ということを相当強烈に持って、それを主張しながら、土台にしながら、人を引きつけるということが一番大事なのではないかと思います。ですから、茅先生もおっしゃいましたけれども、ぜひその辺も勘案しながら進めていていただきたいと思います。#

田中先生、その辺も絡めて、何かご意見がありますでしょうか。#

#

田中委員：# はい。共同研究や共同利用についても茅先生がおっしゃったとおりで、：頁のまとめのところを見ていたのですが、確かにその辺のかじ取りが弱いのかなと。#

#

西川委員長：# よっと遠慮されたのですか（笑）。#

#

尾形所長：# そうですね。この将来構想の第5パラグラフのあたりに、どこを目指しているかというのを、まずぼんち書いていくということですね。#

#

西川委員長：# こまできたらその辺をかなり明確、明瞭に、遠慮せずに打ち出された方がいいのではないかと思います。#

#

三間委員：# これを見ると、「全国共同利用・共同研究拠点形成への展開は本研究所の責務」という言葉が入っていますから、それが何か第一義的理念というか、第二はないのですが。#

#

田中委員：# あと、小さいところでよろしいですか。気になっているところを順番に言いたいのですが、まず7頁の「学内ユニットの管轄」というのがあって、「学内外」と「学外」も入れているのです。「学内外ユニットへの産学官連携は」うんぬんと、それがタイプが合うとすれば学内だけでもいいのかなと思うのですが、4行目に「学内外ユニット」という言葉があります。#

#

尾形所長：# 以前に学外との、ユニットという形式ではありませんけれども、連携をやっていこうという話がいろいろ出ていましたので、そういうニュアンスも含ませました。ユニットというのは、先ほどご説明したものに限れば、学内の方

が適切かと思います。#

#

田中委員：# 「514」のところで、まとめのところなのですが、「今後、新しい分野の形成に向けて」というのがあるのです。先ほどの議論を聞いていて理解したのですが、重点と言われる研究をこれからテーマを決めてやっていくという話があることと、新しい分野の形成に向けてというのが、さっと見たら矛盾するような印象を受けるので、ここはもう少し丁寧に書かれた方がいいのではないかと思います。#

それから「517」ですが、「国際流動・開発連携研究推進部」とあって、国際という言葉が入っていますね。ですが、「今後、研究所が全国共同利用機関として」と、国際と言いながら全国というように、国内に絞っているような感じが出てきて、さらに国際というようにことも見通されるとすれば、全国共同利用機関などではなくて、国際何とかと、うまくそういうように言った方がいいのではないかと思います。#

#

尾形所長：# はい、そうですね。現在、文科省の方でも全国共同利用研究所になっていますが、その意味を問い直そうというのが、今、基盤部会の方では議論されているようです。#

#

田中委員：# なるほど、そうですか。#

#

尾形所長：# 今の呼び名が、今度は「全国共同利用・全国共同研究所」という方向で固まろうとしているようなので、ニュアンスが今後だいぶ変わってくるかと思うのですけれども。#

#

田中委員：# あと、小さいことか分かりませんが、「教育活動」と9頁にあるのですが、研究所は研究活動と同時に研究科になっていますよね。いろいろ教育活動があるわけですから、5行目のところで「研究体制を有していることを示す」という部分が、学生の数のことを言っていて、それで研究体制と言うと、研究教育体制とか、教育ということを意識して書かれた方が。特に研究所では、学生や大学院の学生等への教育というのが肝心な点かと思いますので。#

#

西川委員長：# ドクターの学生で日本人の学生が割合から言うとちょっと少ないという、これはある意味で致し方ないという部分もあるのか。#

#

尾形所長：# 全体としてこのごろ少なくなっています。結局、ポスドクになっても次がないということで、日本人の学生は、私どもだけではなくて、全体的に少なくなっているようです。#

#

西川委員長：結局、私も思うのだけれども、一昔前はドクターコースを出たら大体大学関

係に行ったわけです。例えば京大を出て、京大だけではなくてほかの大学とか、地方の大学とか私学とか。しかし、今は大学のマーケットがどんどん減っているのです。そうすると、やはり目的や意識を、産業界向けとかそういうことも含めて、ドクターの育成の段階で相当意識しておかないと路頭に迷ってしまう人が増える、これは現実に、事実だと思うのです。ですから、やはりその辺の意識や体制などを抜本的に見直す必要があるのではないかと。そうしないと、結局、出口のところが困ることになると、入り口からは誰も入って来ない。やはりその辺が大事な部分だと思いますので、ぜひご検討ください。＃

＃

田中委員：＃ 教育ということでは、大学によっては、大学の附置研究所やセンターなどは、卒論生や大学院生の学生がもう少し欲しいのだけれども、なかなか採りにくいということで苦労されているところがあるのですが、この研究所はそういうような苦労はないですか。＃

＃

尾形所長：＃ この先生方は、すべて以前、改組前は工学研究科に属していました。そして、エネルギー科学研究科というのが立ち上がりまして、すべてがエネルギー科学研究科の協力講座に移行しました。そのエネルギー科学研究科は、四つの専攻からなっています。その学生の配分うんぬんは、各専攻にすべて任されています。エネルギー科学研究科の場合は専攻によってだいぶでこぼこがあるようです。例えば、私のところが所属しているのはエネルギー基礎科学という専攻なのですが、毎年修士の人の最大限採れる数は7名です。＃

＃

西川委員長：＃ 研究室当たり？＃

＃

尾形所長：＃ 一つの分野ですから、4研究室です。ただ、ほかの専攻ではどうですか。木村先生の方は何名。＃

＃

木村部門長：＃ 変換専攻の場合は、今までの実績で言いますと最大6名までは可能でした。＃

＃

尾形所長：＃ あと、応用が5名、社会環境は今、所属していないから分からないです。だから、5、6、7と専攻によって違います。昔、工学研究科の場合は一律最大5名だったと思います。＃

＃

西川委員長：＃ 東大はドクターコースの授業料をただにしようとか、何かそんな。＃

＃

田中委員：＃ いろいろと議論しています。＃

＃

西川委員長：＃ 東大の先生が「えらいことですよ。」とか言って（笑）。＃

＃

尾形所長：# うちの大学の場合も、私たちは研究所・センター群に分類されますが、いわゆる研究科長グループが、「東大と似たようなものやってくれ。」というように総長に直訴しています。要望書というのですか。それはいけるのかどうか知らないのですが。#

#

西川委員長：# そんなに高いお金ではないから、やれば良いのではないのでしょうか。#

#

尾形所長：# いや、かなり大きいと思いますが。#

#

西川委員長：# けど何億で、一桁億でしょう。#

予定の時間になってまいりましたので、何かこれだけは言っておきたいということがありましたら、最後に補足していただきたいと思います。どんなことでも結構です。#

#

本島委員：# やはり、全国共同利用化というのは大変重要なことですので、強力に押し進めていただければと思うのですが、そのときに、やはり「どういうファンクションを持った共同利用研究所にするか」ということは非常に重要になってきますし、それから、コミュニティとの連携、双方向性があるということが、共同研究所の非常に大きなメリットで、研究にもものすごい緊張感が出てきます。極端なことを言えばデータも公開されるので、捏造のようなことも起こりにくいわけで、研究の健全性、発展する力が大きくなると私は思います。ネガティブな例で言えばですが。#

しかし、共同研究のレベルはいろいろあると思うのです。私の研究所では、大学共同利用機関評価法人に提出する実績報告書と財務諸表では、83 億の予算のうちの；割くらは共同研究としてカウントできるアクティビティーを持っているわけですが、ほかの大学共同利用機関ですと 5 割とか、いろいろなバランスがあります。附置研は、恐らく 5 割もいかないだろうと思うのです。だから、そういう点で特徴を出していかないといけないということは、もう明確なのだと思います。#

その点に関し、京大のように非常に大きな大学ですから、私どもから見ても非常に高いポテンシャルが持てるのではないかと期待しますのは、「分野間の連携」です。学外の共同研究ということが、今、視野に非常に大きく入っていると思うのですが、分野間連携というものを学内で、まずきちんとやってから外へ打って出ることなども、非常に高い評価をいただけるはずだと思いますので、そういう点もぜひご検討いただくといいのではないかと、これは半分お願いのようなところがありますが。#

#

三間委員：# 別の意見ですが、レーザーと言うか、光とか核融合とかというのを、大阪大学も相当やっております。先ほど、研究ユニットというのは学内だけかという話がありましたが、その範囲は大阪大学もあるというか、近郷近在の大学、

研究所、研究センターに広げていただいて、何らかの形で連携を取らせてもらえれば良いのではないかと。そういうことで、全国共同利用施設になることについてはエールを送りたいと思いますので、よろしくお願いします。#

#

西川委員長：非常に力強いお申し出がございましたので、よろしくお願いします。#

#

松村委員：# 先ほどから将来構想の、「光・」のあれにまだこだわっているのですが（笑）、もっと分かりやすく、「未来、将来のエネルギー源は何か」と。それと、「あり余る今の光エネルギーをどのくらい上手に使いこなすか」と。その両輪を考えていると受け止められるような表現をすべきではないかと思うのです。#

#

西川委員長：今日はほかにも何人か委員をお願いしている企業の方がいらっしゃれなかったのですが、企業サイドからご覧になると「何や、またもたもたしているな。」というところがあるのかもしれませんが、今後ともどうかよろしくお願い申し上げます。#

#

田中委員：# 最後に一言申し上げますと、重点複合領域研究活動を中心として、研究所の特徴のある研究活動をやられていて大変期待していますし、また、全国共同利用化ということも一つの方向であるかと思うのですが、何人かの先生がおっしゃいましたとおり、ネガティブという言い方は悪いのですが、結構注意しなければいけない面もありますので、変な方に振り回されないようにやっていただくことによって、「京都大学の、この研究所としての特徴がある」ということになるかと思います。#

人事については、理工学研究所方式というものがあって、一つの雛形になっていると思いますし、大学附置研究所として、研究と共同利用とがうまくバランスを取ってやると、またそちらの方でも研究所の雛形になっていくのではないかと思いますので、ぜひ、よろしく頑張ってくださいと思います。#

#

西川委員長：# どうもありがとうございます。それでは今後、今日のお話も含めてどのようにまとめられるのか、その辺をちょっと。#

#

水内副所長：最初にお断りすべきでしたが、ご覧になって分かりますように、この会議でのご発言を録音させていただいております、それを文章化します。それはもちろん皆さんに見てチェックしていただくわけですが、そういったものも含めた形で、全体の報告書案を作らせていただいて、また皆さんにご検討いただいて、最終報告書とする、という方向になると思います。お忙しい中、申し訳ありませんが、よろしくお願いいたします。#

#

西川委員長：# ありがとうございます。これ（在り方検討委員会資料）も多少、今日のご意

見も入れて改善を。＃

＃

水内副所長：＃はい、改善をさせていただきたいと思います。またメールでも結構ですので、いろいろとご指摘いただければと考えておりますので、よろしくお願い致します。＃

＃

西川委員長：＃もう長時間ありがとうございました。大変限られた時間で、十分なご意見をいただくことができなかった面もあるかもしれません。また付け加えるべきことがあれば、メールその他でご連絡いただければ、いろいろ遠慮のないところをぜひお聞かせいただきたいと思います。＃
ありがとうございました。＃

付 録

京都大学 エネルギー理工学研究所

「在り方検討委員会」

評 価 票

「京都大学エネルギー理工学研究所」活動総合評価票

1. 研究所の経緯と現状

1.1 研究所の運営

(1) 人事に対する取り組み

(総合評価資料#第 715 節、第 <17 節および第 <16 節、別冊資料 (6) 第 4 章、第 9 章等#参照) #

人事の活性化に対するご意見、任期制教員再任にかかわる規程に関するご意見等をお聞かせ下さい。

(2) 競争的資金や外部資金等の導入状況

(総合評価資料 第 4.3 節、別冊資料 (3) 第 2 章等 参照)

競争的資金、外部資金の導入量、科研費等とのバランス等に関し、ご意見をお聞かせ下さい。

(3) 学内ユニットへの参画

(総合評価資料 第 4.5 節、第 7.2 節、別冊資料 (3) 第 2 章等 参照)

本研究所は、学内組織として設置された部局間連携の分野横断型研究組織「生存基盤科学研究ユニット (<http://iss.iae.kyoto-u.ac.jp/iss/jp/>)」ならびに「次世代開拓研究ユニット (kws-21xsux1ldh1n | rwr0x1df1s2)」へ、それらの設立も含め、積極的に参画しています。この様な活動に関するご意見をお聞かせ下さい。

(4) その他

1.12 研究活動#

(4) 研究活動，成果発表状況ならびに研究成果の社会還元#

(総合評価資料#第 7 章、第 8 章、付録 4、5、ならびに別冊資料 (4) 第 6 章、別冊資料 (5)、別冊資料 (6) 等#参照) #

研究所の研究活動、成果発表状況、研究成果の社会への還元状況、一般社会や産業界との交流などに関し、ご意見をお聞かせ下さい。 #

#

(5) 双方向型共同研究#

(総合評価資料#第 716 節、第 4315 節、別冊資料 (4) 第 714 節、別冊資料 (6) 第 515 節、第 516 節等#参照) #

本事業自体は、別途評価を受けていますが、当研究所における本事業の位置付け、役割等に関するご意見をお聞かせ下さい。 #

#

(6) 54FRH プログラムにおける研究教育活動#

(総合評価資料#第 716 節、別冊資料 (4) 第 715 節#参照) #

本事業自体は、平成 4; 年度で終了し、別途評価を受けていますが、当研究所における本事業の位置付け、役割等に関するご意見、またプログラム終了後の研究所を中心とする活動展開に関するご意見をお聞かせ下さい。 #

#

(7) 附属センターの活動#

(総合評価資料#第 : 章、第 43 章、別冊資料 (4) 第 714 節、別冊資料 (6) 第 515 節等#参照) #

平成 4; 年度、附属センター組織変更を行いました。改組後の附属センター体制や、センターを中心に行っている研究所内外における共同研究・共同利用研究ならびに連携研究に対する役割等に関するご意見をお聞かせ下さい。 #

#

(8) その他#

#

#

1.3 国際研究活動・国際交流

(1) 科学技術協定（総合評価資料第 4.4 節、別冊資料（3）第 2.4 節、第 2.5 節等 参照）
協定の数、協定機関のバランス等に関するご意見もお聞かせ下さい。

(2) 日韓拠点大学方式学術交流事業

（総合評価資料第 4.4 節、別冊資料（1）第 4.3 節、ならびに同事業ホームページ
<http://cup.iae.kyoto-u.ac.jp/default.htm> 参照）

本事業自体は、別途評価を受けていますが、当研究所における本事業の位置付け、
役割等に関するご意見をお聞かせ下さい。また、本事業は平成 19 年度で終了予定
ですが、今後の展開に関してもご意見もお聞かせ下さい。

(3) 日・タイ交流事業

（総合評価資料第 4.4 節、別冊資料（1）第 4.2 節）

研究所が中心に行っているタイを中心としたアジア・インドにおける研究教育交流
活動に関するご意見をお聞かせ下さい。

(4) その他

1.4 教育活動

(1) 学生や研究生、および留学生の受入状況

（総合評価資料第 4.5 節、別冊資料（1）第 1.5 節、別冊資料（3）第 3 章等 参照）

(2) その他

1.5 その他

2.1 重点複合領域研究活動

（総合評価資料第 5 章、付録 1、同 2. 等参照）#

重点領域研究の研究内容に関する評価はすでに第一段階（重点領域研究評価）として終
えていますが、この評価結果についての御意見、または追加すべき御意見や評価などを
お聞かせ下さい。

3. 前回（平成 16 年（2004 年））「在り方検討委員会」報告書における検討事項への対応

（総合評価資料第 8、9 章等 参照）

前回の「在り方検討委員会」報告書における評価、検討事項に照らして、それからの研究
所活動が適切に展開されてきたかどうか、検討・評価をお願いいたします。

4. 第一期中期目標・中期計画の進捗状況について

（総合評価資料第 9 章、別冊資料 7 等#参照）

第一期中期目標・中期計画の進捗状況については、事業年度毎に自己評価しているところですが、この評価の妥当性やご意見をお聞かせ下さい。
また、第二期中期目標・中期計画策定に際し、留意すべき点等、ご意見をお聞かせ下さい。

5. 研究所将来構想について

(総合評価資料第10章参照)

研究所将来構想について、第二期中期目標・中期計画の柱となるであろう二つの重点複合領域研究(先進プラズマ・量子エネルギー、および光・エネルギーナノサイエンス複合領域研究)に関するご意見、また、本研究所の全国共同利用・共同研究組織化の方向性、意義、ならびに妥当性等について、ご意見をお聞かせ下さい。

6. その他の提言や意見等

本研究所の活動状況、将来展望などに関し、上記項目以外のこと、あるいは全体的なことに関するご意見をお聞かせ下さい。

(ご検討・ご評価、誠にありがとうございました。)

エネルギー理工学研究所 重点複合領域研究 評価票

評価者 御氏名 :
御連絡先 :
電子メールアドレス :

御担当複合領域 1. プラズマエネルギー 2. バイオエネルギー 3. 光エネルギー

1. 重点複合領域研究の設定について

1. 1 重点複合領域研究方式についての御意見

- 当研究所の研究推進にとって、重点複合領域研究方式の採用は妥当か。
1. 妥当でない 2. やや妥当でない 3. やや妥当である 4. 妥当である

コメント :

- 重点複合領域として取り上げられた研究領域は適切であるか。
1. 不適切 2. やや不適切 3. やや適切 4. 適切

コメント :

- 当該重点複合領域研究の目標の設定は適切であるか。
1. 不適切 2. やや不適切 3. やや適切 4. 適切

コメント :

1. 2 その他の御意見や御感想など（御自由に記述願います。）

2. 研究内容について

2. 1 当該重点複合領域研究の目標に照らし、現在の研究方向は適切であるか。
1. 不適切 2. やや不適切 3. やや適切 4. 適切 5. 非常に適切

コメント :

2. 2 取り組んでいる研究内容は学術的意義の高いものであるか。
1. 意義を認めない 2. やや意義を認める 3. 意義を認める 4. 優れた意義を認める

コメント :

2. 3 取り組んでいる研究に独創性はあるか。
1. 独創性がない 2. やや独創性がある

3. 独創性を認める 4. 非常に独創性がある

コメント：

2. 4 研究実績と成果に関する評価（世界水準との比較）

- 1.非常に劣っている 2. 劣っている 3. やや劣っている
4. 標準 5. やや優れている 6. 優れている
7. 非常に優れている

コメント：

2. 5 とくに評価される成果（御自由に記述願います。）

2. 6 当該研究領域関連コミュニティーにおける位置づけ

1. 孤立している 2. 共同研究の拠点の一つとなっている
3. 重要な共同研究の拠点の一つとなっている
4. 非常に重要な共同研究の拠点の一つとなっている

コメント：

2. 7 取り組んでいる研究の社会的意義

1. 意義を認めない 2. やや意義を認める
3. 意義を認める 4. 優れた意義を認める

コメント：

2. 8 その他、研究実績と現状に対する御意見、御感想等（御自由に記述願います。）

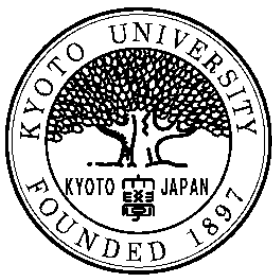
3. 今後エネルギー理工学研究所が、それにふさわしい研究を進めて行く上での御提言
（御自由に記述願います。）

4. その他の御意見や御感想等（御自由に記述願います。）

京都大学 エネルギー理工学研究所

平成 19 年度 外部評価報告書 資 料

- 京都大学エネルギー理工学研究所「在り方検討委員会」
総合評価用資料
- 同
重点複合領域研究用資料
－ 平成 16 年度以降の研究成果概要 －
- 京都大学エネルギー理工学研究所
研究所の概要 （平成 20 年 2 月）



平成 19 年度
京都大学エネルギー理工学研究所
「在り方検討委員会」

総合評価用資料

平成 19 年 11 月

京都大学 エネルギー理工学研究所
評価資料準備ワーキンググループ 編

まえがき

本研究所は、平成 43 年 8 月、京都大学#原子エネルギー研究所およびヘリオトロン核融合研究センターの統合・再編により、「エネルギーの生成・変換・利用の高度化研究」を設置目的とするエネルギー理工学研究所として改組発足した。爾来、人類の生存基盤確保にとって最大の課題であるエネルギー資源の永続的確保のため、既存エネルギーシステムの高性能化、新規エネルギー源の開拓、ならびにエネルギー資源の有効利用システムの実現を研究の中核として位置づけ、研究所の研究組織体制と研究基盤の整備・充実に努めてきた。本研究所が有する多様な学術基盤を背景とする人的資源・研究資源を強化しつつ有効に活用し、社会に対して大きなインパクトをもつ特殊・複合問題とも言える先進エネルギーシステムの研究に特化した、挑戦的かつ独創的な研究・教育活動を推進することで、学際的な新たな学術領域を確立しつつある。同時に、エネルギー理工学に関する高度な知識と技術を有する人材の育成にも注力しており、多くの優れた人材を輩出している。#

平成 49 年（5337 年）に実施した京都大学#エネルギー理工学研究所「在り方検討委員会」による外部評価では、#

『エネルギー理工学研究所は改組再編から 4 年目に入り、その基盤整備の段階から発展の段階に向かっている様子がうかがえる。前回（平成 46 年度）の外部評価時点からの発展も顕著に見られ、おおむね順調に研究活動が進められている。』#

との評価を頂戴した。また、改組後 43 年経過した平成 44 年度に予定されていた附属センター改組とそれに伴う研究所組織見直し計画については、#

『センターのこれまでの活動は十分に評価に値するものであり、この活動を基盤に一層の飛躍を目指す組織見直し計画は当を得たものと評価できる。』#

との評価を頂戴し、併せてさまざまな改善のためのご助言をいただいた。（平成 49 年（5337 年）度京都大学エネルギー理工学研究所外部評価報告書）。#

これらのご助言をもとに、平成 44 年（5338 年）度以降も、所員一同、研究所の研究教育活動をさらに充実・発展させるべく努めてきたところであるが、第 4 期中期目標・中期計画期間の中間点において、本研究所の現状認識および課題の摘出を行い、同計画後半ならびに第 5 期中期目標・中期計画期間へ向けた研究教育活動のさらなる発展を期するため、平成 48 年（5336 年）度の第二次自己点検・評価に続いて、平成 44 年（5339 年）度に第三次自己点検・評価を実施した。（平成 44 年度#自己点検・評価報告書 本編、資料編 I および II）#

一方、大学附置研究所を巡る情勢は、大学法人化後大きく変わってきている。法人化前においては、大学附置研究所・研究施設は法令（国立学校設置法体系）により設置され、国立大学特別会計において研究所・研究施設毎に国から予算配分を受けていたが、法人化後は、大学の運営方針に基づく資源配分のなかで位置づけられることとなった。これにより、国全体の学術研究発展の観点から必要な研究の推進が、大型プロジェクトも含め、困難になる可能性が指摘されている。さらに、現在、国立大学法人について、附置研究所の設置改廃を行う場合には、学術分科会研究環境基盤部会において妥当性を審議の上、文部科学大臣による中期目標の更新手続きを行うことが必要となっているが、学術政策上国としてとくに整備を推進する研究組織以外の組織については、各大学の自主的・自律的判断による機動的・弾力的な設置改廃を可能とする観点から、次期中期目標・計画においては、中期目標の記載事項としないことが検討されている。#

このような状況のなか、地球温暖化問題を挙げるまでもなく、エネルギー問題は国全体として取り組むべき問題であり、大学の枠を超えた、国全体の学術研究発展の観点から同問題に対する拠点組織の

整備は必須であると考えられる。「エネルギーの生成・変換・利用の高度化研究」をその設置目的に掲げる本研究所としては、これまで研究所が培ってきたハード・ソフト両面にわたる国際的な共同研究体制やネットワーク、あるいは研究所の誇る先端の実験研究設備を産官学で活用する共同利用体制を維持・発展させるためには、現在の「一般附置研究所」から、名実ともに「全国共同利用・共同研究」組織として展開して行くことが不可欠であると考え、その準備を進めているところである。#

今回の「在り方検討委員会」による外部評価では、これまでの本研究所の研究教育活動、全国的共同利用・共同研究体制も含めた研究所の研究体制・運営についてご審議・ご検討いただくのはもとより、本研究所が構想する、全国共同利用・共同研究研究所化の方向性、意義、ならびに妥当性等について、ご意見をお聞かせいただければ幸甚である。#

本資料は、本研究所の研究教育活動、研究所の研究体制・運営の概要をまとめたものであり、詳細については、別冊の各資料集などをご参照いただきたい。#

なお、今回の外部評価においても、前二回同様、主に研究面の評価として、研究所の進めてきた三重点複合領域研究に関する評価と、研究所組織運営等も含めた総合評価の二段階方式を採用させていただいた。既に、三重点複合領域研究（プラズマ、バイオ、光）については、各研究分野の第一線の所外研究者から評価をいただいております、その評価結果のまとめを、本誌第 8 章ならびに付録 4 に掲載した。#

#

#

平成 4< 年 44 月 #

京都大学 エネルギー理工学研究所

外部評価資料準備ワーキンググループ

総合評価用資料

目 次

まえがき

1.	平成 19 年度 京都大学 エネルギー理工学研究所 「在り方検討委員会」 委員名簿.....	総合 1
2.	研究所沿革.....	総合 3
3.	研究所理念・基本的目標	総合 5
4.	研究所の活動状況（概要）	総合 7
5.	重点領域研究評価結果 概要 （平成 19 年（2007 年）7 月実施）	総合 17
6.	第 1 期中期計画進捗状況	総合 23
7.	研究教育体制の見直し	総合 27
8.	平成 16 年度「在り方検討委員会」指摘事項	総合 33
9.	平成 16 年度「在り方検討委員会」による主要指摘事項への対応	総合 37
10.	研究所将来構想.....	総合 41

付録：（略）

1. 平成 4< 年京都大学エネルギー理工学研究所外部評価（重点複合領域研究）報告書#
2. 平成 4< 年度京都大学エネルギー理工学研究所外部評価（重点複合領域研究）資料#
京都大学#エネルギー理工学研究所 重点複合領域研究 #
平成 49 年度以降の研究成果概要 （平成 4< 年：月）#
3. 「京都大学エネルギー理工学研究所」活動評価票#

別冊資料（略）

- (4) 京都大学エネルギー理工学研究所「現状と課題」本編#### 平成 4< 年 7 月#
- (5) 京都大学エネルギー理工学研究所「現状と課題」資料編Ⅰ 平成 4< 年 7 月#
- (6) 京都大学エネルギー理工学研究所「現状と課題」資料編Ⅱ 平成 4< 年 7 月#
- (7) 京都大学エネルギー理工学研究所第一期中期目標・中期計画関係資料集#
(平成 4< 年度補遺版) #平成 4< 年 8 月#
- (8) 平成 49 年度京都大学エネルギー理工学研究所「外部評価報告書」#
平成 4: 年 6 月#

1. 平成 19 年度 京都大学 エネルギー理工学研究所

「在り方検討委員会」委員名簿

(敬称略)

総合評価委員 (五十音順)

海部 宣男# # 放送大学大学院#総合文化プログラム環境システム科学群・教授、#
大学共同利用機関法人#自然科学研究機構#国立天文台・前#台長、#
同#国立天文台名誉教授#
茅 陽一# # 地球環境産業技術研究機構・副理事長、財団法人#政策科学研究所・所長、#
東京大学名誉教授#
田中 知# # 東京大学大学院#工学系研究科#システム量子工学専攻・教授#
* 西川 禎一# 前#大阪工業大学長、京都大学名誉教授#
森本 浩志# 関西電力株式会社・副社長#
村松 雄次# 株式会社K R I・会長#
三間 園興# 大阪大学レーザーエネルギー研究所・所長#
本島 修# 大学共同利用機関法人#自然科学研究機構#核融合科学研究所・所長##
湯原 哲夫# 東京大学#研究協力部サステナビリティ学連携研究機構・特任教授#
#

重点領域研究評価委員 (五十音順)

大津 元一# 東京大学大学院#工学研究系科#電子工学専攻・教授#
恩地 健夫# 内閣府原子力安全委員会・技術参与#
小長井 誠# 東京工業大学#大学院理工学研究科#電子物理工学専攻・教授#
小森 彰夫# 大学共同利用機関法人#自然科学研究機構#核融合科学研究所##
大型ヘリカル研究部・研究総主幹#
中村 春木# 大阪大学#蛋白質研究所・教授#
庭野 道夫# 東北大学#電気通信研究所・教授#
濱 広幸# 東北大学#原子核理科学研究施設・教授#
堀池 寛# 大阪大学大学院#工学研究科#環境・エネルギー工学専攻・教授#

* 委員長#

2. 研究所沿革

京都大学エネルギー理工学研究所は、平成 27 年 8 月、前身の「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」の一部との統合・再編を経て、「エネルギーの生成・変換・利用の高度化を目的とする研究」を設置目的とする研究所へ改組されたもので、先進的なエネルギーに関する理工学分野において、とくに社会的受容性の高い、いわゆる高品位エネルギーの特殊・複合問題を研究するために発足したものである。ここでは、既存の技術の改良等に留まらず、人類存続に不可欠である新しいエネルギー関連技術の確立を目指して、多様な研究を展開している。#

研究所沿革

大正 6 年（1917 年）# 京都帝国大学#中央実験所#設置#

昭和 49 年（1974 年）# 工学研究所#設置#

昭和 79 年（1954 年）# 原子エネルギー研究所に改組#

昭和 84 年（1959 年）# ヘリオトロン核融合研究センター#設置#

平成 27 年（2015 年）# ヘリオトロン核融合研究センターの一部と併せ、エネルギー理工学研究所に改組#

平成 43 年（2030 年）# 附属エネルギー複合機構研究センター改組#

自己点検・評価：

平成 44 年度（2031 年度）、平成 48 年度（2035 年度）、平成 49 年度（2036 年度）#

外部評価：

平成 46 年度（2033 年度）、平成 49 年度（2036 年度）#

教職員数：（平成 19 年 5 月 1 日現在）

教授（Surihvru）#	44 名#
准教授（旧#助教授、Dvvrflldwh#Surihvru）#	45 名#
助教（旧#助手、DvvlhwdqW#Surihvru）#	44 名#
技術職員（Whfkq lfdcdR iilfldo）#	43 名#
計#	77 名#

客員・非常勤教職員数（平成 19 年 5 月 1 日現在）：

外国人客員教授（I ruhljq#Y lvwlqj#Surihvru） #	4 名 #
客員教授（Y lvwlqj#Surihvru） #	4 名 #
客員准教授（Y lvwlqj#Dvvrflldwh#Surihvru） #	4 名 #
非常勤講師（Ohfwxuhu） #	7 名 #
非常勤研究員（U hvhdufkhu） #	4： 名 #
研究支援推進員（Whfkqlfdcd#vvlwdqw） #	7 名 #
その他（Dgp lqlwudwlyh#vvlwdqw） #	4； 名 #
リサーチアシスタント（U hvhdufk#vvlwdqw） #	< 名 #
受託研究員（Frqwdfw#U hvhdufkhu） #	4 名 #
計 #	8： 名 #

学生数（平成 19 年 5 月 1 日現在）：

大学院生（Graduate Student）	
前期課程（Master's）	46 名
後期課程（Doctor's）	29 名
（*）うち外国人（including foreigner）	（13 名）
学部学生（Undergraduate Student）	5 名
計	80 名

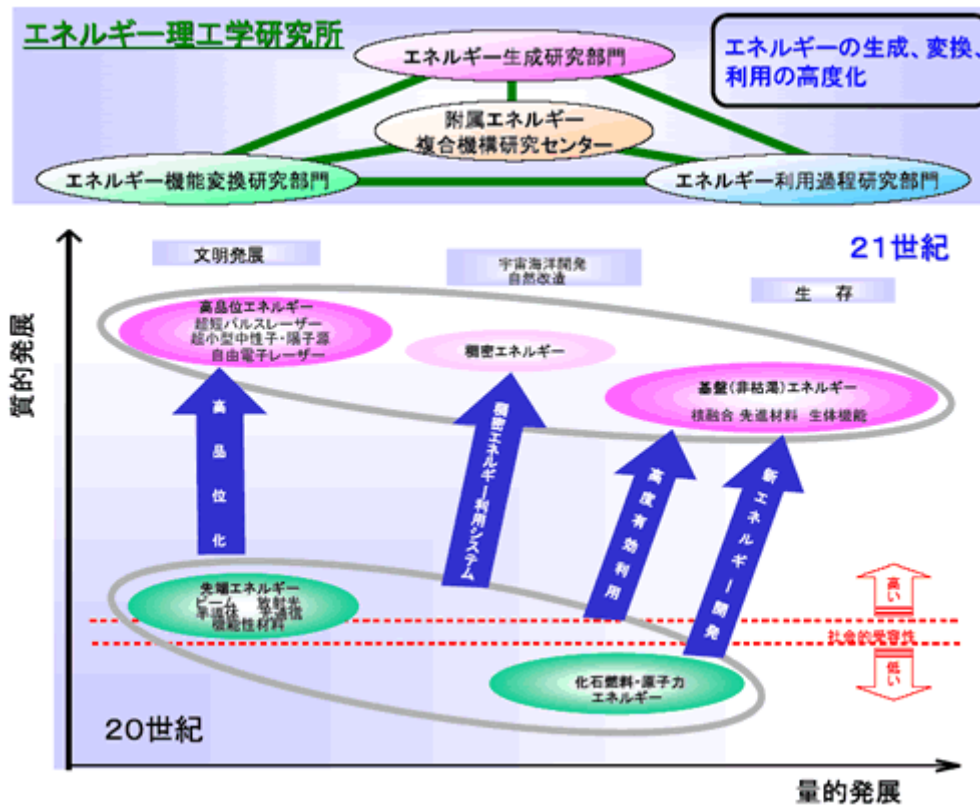
3. 研究所理念・基本的目標

平成 49 年（5337 年）度の国立大学法人化を契機に、研究所の長期目標ならびに第 4 期中期目標・中期計画を策定するにあたり、研究所の理念・基本的目標を以下のように明確化した。#

すなわち、#

『エネルギー理工学研究所は、地球規模でのエネルギー需要の急増に伴うエネルギー資源の枯渇および地球環境問題の深刻化への解決策を提示するべく先導的研究を行い、人類文明の持続的発展に貢献することを目標にしたエネルギー理工学の構築を目指す。とくに、人類の生存基盤確保にとって最大の課題であるエネルギー資源の永続的な確保のため、既存エネルギーシステムの高性能化、新規エネルギー源の開拓、およびエネルギー資源の有効利用システムの実現を研究目標とする。』#

#



#

#

この目的のため、社会的受容性の高い基幹エネルギーシステムの構築と、多様なエネルギー源の実用化により実現するエネルギーの最適な併用（ehw#p 1f）を基本とするシステムの探求を通して、社会の要求に機動的に応えられるエネルギー理工学の高度化と具体化を推進し、社会に貢献するべく努力する。#

その研究の過程にあって、本研究所が有する多様な学術基盤を背景とする人的資源・研究資源を強化しつつ有効に利用し、社会に対して大きなインパクトをもつ特殊・複合問題とも言える先進エネルギーシステムの研究に特化した、挑戦的かつ独創的な研究・教育活動を推進する。また、本研究所がこれま

でに培ってきた世界的な指導力・牽引力を有する研究領域をさらに強化し、一層の発展を目指すとともに、いくつかの研究領域を有機的に連携させることにより、新しいエネルギー理工学の研究領域の開拓・創成を進め、人類社会の発展に貢献する。あわせて、エネルギー理工学に関する高度な知識と技術を有する人材の育成を図る。#

#

この研究所の理念・基本的目標に基づき長期目標を以下のように設定する。#

- (4) 社会の要請に応えるため、先進的かつ社会的受容性の高いエネルギー源の開拓およびエネルギー資源有効利用システムの実現を目指し、基礎研究と応用研究の多様な発展と統合によりエネルギー理工学領域における世界的な先進エネルギー研究拠点としての展開を図る。#
- (5) 多様な学術基盤をもつ研究者により構成される組織の特徴を活かし、学際研究としてのエネルギー理工学に新たな展望を拓く。#
- (6) 優れた施設・設備群を整備・活用して当該学域における優秀な研究者と高度の専門能力をもつ人材を育成する。#

以上の観点から、第4期中期目標として以下を定めた。#

- (4) 研究所発足以来これまで継続発展させてきた環境調和型エネルギーシステム構築のための重点複合領域研究（プラズマエネルギー・バイオエネルギー・光エネルギーに関する各複合領域研究）をさらに推進し、併せて、54 世紀 FRH プログラム「環境調和型エネルギーの研究教育拠点形成」（平成 47-4；年度）での研究拠点としての役割を果たす。#
- (5) 先端的・先導的研究等を通して先進エネルギー領域における指導的人材を育成する。#
- (6) 国内外の研究機関との連携を深め、地球規模のエネルギー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機能を強化する。#

#

なお、第4期中期目標・中期計画の詳細は、京都大学エネルギー理工学研究所第一期中期目標・中期計画関係資料集（平成 4< 年度補遺版）（別冊資料（7））を参照されたい。#

4. 研究所の活動状況（概要）

4.1. まえがき

平成 4；年度自己点検・評価報告書「京都大学エネルギー理工学研究所「現状と課題」本編（別冊資料（4）」ならびに同資料集Ⅰ（別冊資料（5））およびⅡ（別冊資料（6））に、平成 49－4；年度にわたる広範な研究教育活動、ならびに研究所運営などについて詳細に説明を行っている。本章では、それらの主要な項目について簡潔に説明することとする。その前に、今回の外部評価に至った経緯について、以下に述べたい。

平成；年（4<<9年）8月44日にエネルギー理工学研究所が発足し、平成53年（533；年）では45年目を迎えようとしている。この間、研究所の方向などを点検・調整するため、平成44年（4<<<年）度に、それまでの研究成果、研究活動などを基礎とする4回目の自己点検・評価を実施し、続いて平成46年（5334年）度「在り方検討委員会」による過去8年間の本研究所の研究活動について、研究所三重点研究課題に対して国内外専門家53名による学術的評価と、研究所運営をも含めた総合的評価の二段階評価を行い、その結果を冊子配布ならびにホームページ上で公表した。#

平成49年（5337年）度からの国立大学法人化により社会に対する説明責任が大きくなったことに鑑み、京都大学では、研究教育活動を一層活性化するため、各部局に対し、部局自身やその附属施設などについて不断の検討・見直しが求められることになった。とくに本研究所は法人化後5年目にあたる平成4；年（5338年）度に改組後43年目を迎え、当初43年時限で設立された本研究所附属施設の「エネルギー複合機構研究センター」については、「時限」自体は法人化で消滅したとはいえ、京都大学評議会申し合わせにより、部局自らによる点検・見直しと報告が求められるに至った。このような状況の下、平成48年（5336年）度に第5回自己点検・評価実施すると共に、附属施設改組ならびに研究所組織見直しに関する原案をまとめ、平成49年（5337年）度の「在り方検討委員会」による外部評価において、これらに関する評価、助言などをいただき、原案をブラッシュアップすることができた。この外部評価の結果も、冊子配布ならびにホームページ上で公表している。（別冊資料（7））#

このセンター改組案をもって大学企画委員会等と協議を進め、「国際流動・開発連携研究推進部」、「先進プラズマ複合領域研究推進部」および「エネルギーナノサイエンス研究推進部」を設けた附属センターへと改組（センターの名称は変更無し）を果たし、研究教育活動の一層の展開に資することができた。#

平成55年（5343年）度からの第5期中期目標・中期計画期間からは、国立大学法人としての本格的運営が要求されることとなり、法人化前では、「国が必要と認め、大学に設置した」として位置づけられていた大学附置研究所の位置づけ・役割の見直しの議論が、科学技術・学術審議会学術分科会研究環境基盤部会を中心に行われている。このような状況の下、我々研究所員は、本研究所がこれまで培ってきた国際的研究拠点としての役割をさらに発展させ、名実ともに、いわゆる全国共同利用・共同研究組織へ展開することを計画している。今回の「在り方検討委員会」による外部評価は、この研究所のいわ

ゆる「全共化」への展開も含めた研究所の在り方に関する評価、ご助言などをいただくことを主な目的とさせていただきたい。すなわち、平成49年（5337年）度の評価、指摘事項に照らして、それからの研究活動が適切に展開されてきたかどうか、またそれらによる研究成果に基づいて、本研究所の将来構想の方向性が妥当で説得力があり、かつ将来的に研究所の発展に大きく貢献できるのかどうか、等について、研究所の運営と併せて検討・評価いただければと考えている。＃

4.2. 人事

本研究所の教員人事は、原則公募制による任用を行っている。平成；年（4<<9年）8月44日に発足して以来平成4<年（533：年）7月4日までの状況を見ると、研究所配当定員6；名中延べ57名が京都大学外からの任用となっており、相当な外部人材登用が図れたと言えよう（図71514 および別冊資料6第416節等＃参照）。また、平成47年（5335年）<月、京都大学では初めて、部局全体に対して任期制（教授：43年（再任あり）、助教授・講師：；年（再任：年4回限り）、助手：：年（再任8年4回限り））を導入し、新任教員から適用を開始している。これを受け、再任に関する評価・手続き等に関する慎重な議論を行い、平成4：年（5338年）：月、任期付教員に対する再任審査に関する内規（別冊資料（6）第9章＃参照）を定めた。この任期制導入により、研究所の活性化がさらに図られるものと期待している。＃

人 事 制 度

外部からの人材積極登用による

研究基盤形成と活性化

・原則公募制 ・全教員任期制を平成14年9月導入

配当定員38名中延べ24名を学外から任用(H19.4.1現在)

教授(8/12学外): 東大P、東北大AP、熊本大P、京工繊大P、
電総研(部長、室長)、大工研(部長)、原研(室長)
助教授・講師(6/13学外): 核融合研RA、九州大RA、群馬大RA、
理研PD、産総研GL、オークリッジ国立研究所
助手(10/13学外): 東工大D、スイス連邦工科大ローザンヌD(外国人)、
スイス連邦工科大チューリッヒPD、熊本大RA、
原研PD、産総研GL、阪大D、JSTPD、エネテック総研

図 71514＃

＃

このほか、外部資金等による任期付研究員の採用増加が予想されるなか、平成4：年（5338年）6月には、外部資金等による雇用される研究員の取り扱いに関するルールを明確化した。＃

また、平成4<年（533：年）度実施された大学内の組織改革に伴い、京都大学国際融合創造センターへ供出した教授ポストが返還されたことを受け、これを附属センター分野教授に充てることにより、セ

ンター機能の強化を図っている。＃

一方、平成 4< 年（533： 年）度からの教員制度変更に伴い、人事を進める際の手続きに関しても見直しを計画しており、より透明性があり、准教授や助教の意見もある程度反映できるシステムの構築へ向け、検討を進めている。＃

＃

4.3. 研究活動

4.3.1. 外部資金獲得状況＃

現在の外部資金による研究を図 71614 に示す。また、外部競争的資金獲得状況の変遷を図 71615 に示した。（平成 49－4； 年（5337－5339 年）度内訳は、別冊資料（6）第 514 節＃参照）。＃

エネルギー科学研究科ならびに宙空電波科学研究センター（当時）とともに提案・採択され、平成 47 年（5335 年）度から開始された 54FRH「環境調和型エネルギーの研究教育拠点形成」活動は、平成 4； 年度で終了したが、この間における研究所の研究教育活動の大きな柱の一つとして機能してきた。（別冊資料（4）第 715 節＃参照）同プログラムにより整備された設備等をベースに、環境調和型エネルギーシステム構築のための産官学機関との共同研究利用を推進すべく、新しいアイデアや解析手法の実用化を視野に入れた関連する産官学機関との共同研究・連携協力・人的交流を「国際新エネルギー連携機構」を中心とした拠点活動により支援・推進している。また、グローバル FRH プログラムに対しては、平成 53 年（533； 年）度の募集に応募すべく準備を進めているところである。＃

同じく平成 47 年（5335 年）度から開始された科学技術振興機構のプログラム、「人道的対人地雷探知・除去技術研究開発推進事業」も、いよいよ平成 4< 年（533： 年）度、最終年度を迎えており、本事業終了後の展開も含めた検討が始められている。＃

＃

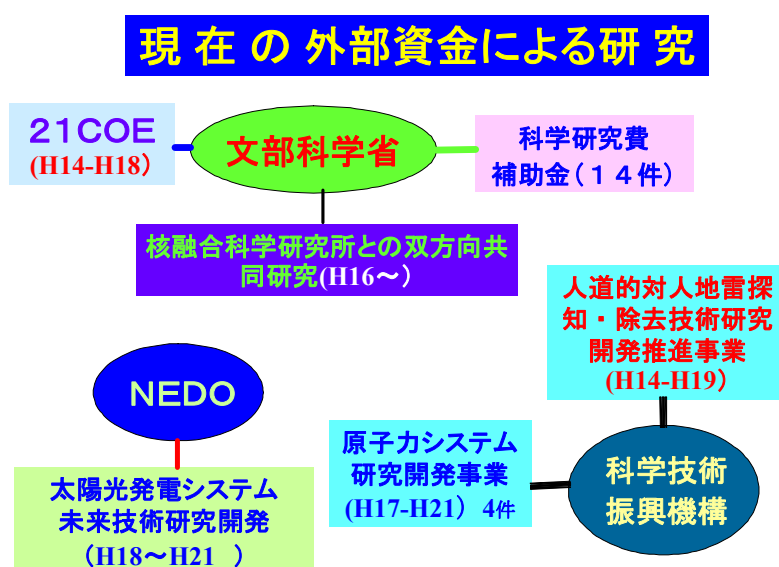


図 71614＃

＃

外部競争的資金の変遷

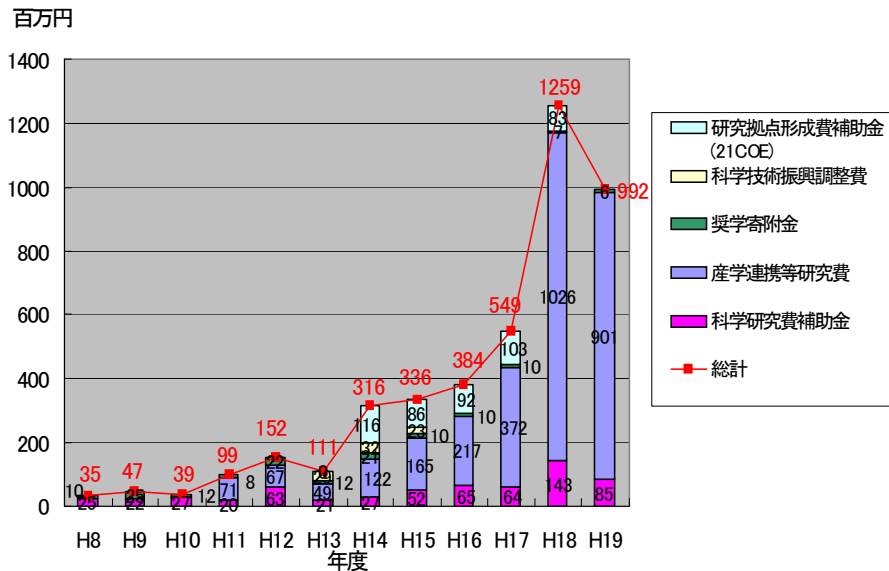


図 71615#

#

大学共同利用機関法人#自然科学研究機構#核融合科学研究所が中心となって平成 49 年（5337 年）度から開始された公募型共同研究「双方向型共同研究」については、これに応募することによってプラズマエネルギー研究を推進することは、京都大学の中期目標・中期計画に『研究分野の特性に応じて大学共同利用機関法人との連携を強化し、プラズマエネルギー研究については核融合科学研究所との間で双方向の共同研究等を推進する。』と記載しており、その実施機関としての附属エネルギー複合機構研究センターの研究教育活動における重点課題の一つとなっている。また、附属センター基幹装置の一つであるヘリオトロン M 装置を、同共同研究における拠点装置の一つとして、全国の共同研究に供することにより、研究所の全国的・国際的共同研究活動の重要な要素ともなっている。プラズマエネルギー研究における核融合科学研究所との双方向型共同研究の推進については、平成 4：年（5338 年）、平成 4；年（5339 年）にわたり、核融合科学研究所における外部評価および文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会原子力分野の研究開発に関する委員会「核融合研究作業部会」における外部評価が行われ、ともに高い評価を得ている。#

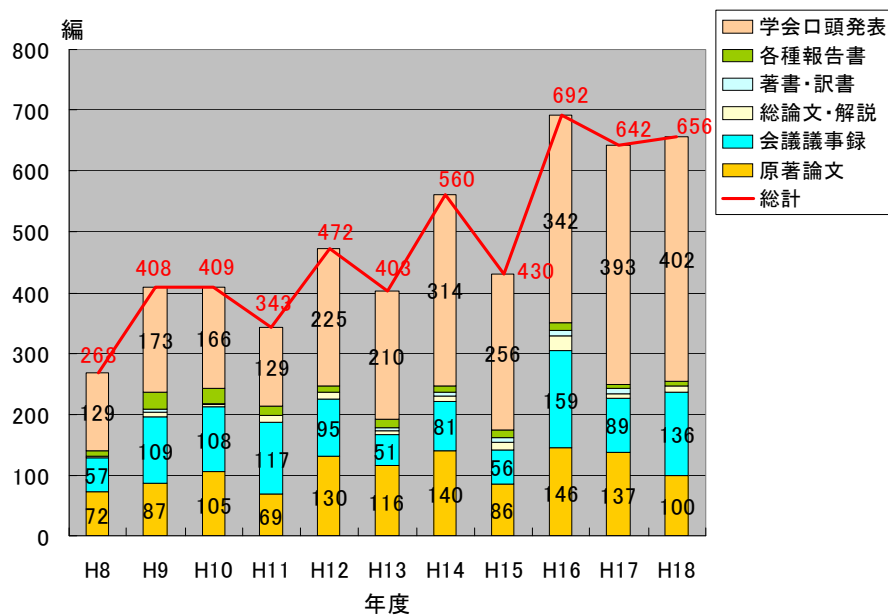
平成 4：年（5338 年）度より科学技術振興機構の「原子力システム研究開発事業（平成 4：—54 年（5338—533< 年）度）」に、本研究所からは 7 件採択され、大型予算による研究が進められている。これに伴い、附属センター北 4 号棟ならびに南 4 号棟の再開発を実施した。さらに、平成 4；年（5339 年）度からは、独立行政法人#新エネルギー・産業技術総合開発機構（Q HGR）の「太陽光発電システム未来技術研究開発」も開始されており、これらいずれの研究分野においても、全国的な共同研究拠点としての役割が大きくなってきている。#

このほか、独立法人化後の自主独立能力強化を目的とする試みの一つとして、研究所が保有する先進的な研究装置の共同研究等による外部との共用をさらに拡大し、外部のイノベーション研究に対しても

積極的に施設を公開し、社会貢献を図るべく、共用制度の検討を行い、一部の装置においては平成 4：年（5338 年）度より、設備の有償での公開を開始している。さらに、平成 4< 年（533：年）度より 8 年計画で開始された文部科学省による先端研究施設共用イノベーション創出事業は、本研究所が目指していた事業を大きく展開できる絶好の機会であり、これまでの研究領域をさらに拡大し、社会貢献を基本とする産業戦略利用を目指すこととした。本事業に設けられた二つのプログラムの内、今回の本研究所からの提案は、【産業戦略利用】プログラムに採択されて、「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（DGP ITH 計画）」を開始することとなった。この【産業戦略利用】プログラムでは、分野を限らず、産業利用のポテンシャルが高い先端研究施設が採択されており、採択された施設を有する機関が、産業界利用や産学官の共同研究利用による具体的な技術課題の解決のために施設利用者に対して研究開発環境（施設利用環境）を構築・提供することを支援することにより、産業界への共用の促進および共用を通じたイノベーションにつながる利用成果の創出に貢献して行くことを目的としている。#

4.3.2. 研究成果の公表状況（別冊資料(5)第 7 章#参照）#

研究所発足以来の研究成果発表件数の推移を図 71616 に示す。#



研究発表件数の推移

図 4.3.3

原著論文数は、平成 49 年（5337 年）度以降、一人当たり年間平均 6～7 件を維持しており、さらに多くの学会発表が行われている。これらの発表には、とくに博士後期課程（博士課程）や博士前期課程（修士課程）の学生による発表も多い。（別冊資料（5）第 7 章#参照）#

また平成 49 年（5337 年）度から平成 4； 年（5339 年）度までの期間で、特許 4； 件と、研究成果の社会還元にも積極的に貢献している。また、同期間における招待講演は、<9 件（内、国外 5： 件）に上っており、これらの研究成果・活動に対して、47 件の各種受賞がある。（別冊資料（5）第 8 章#参照）#

4.4. 国際研究活動（別冊資料(3)第 2.4-2.5 節 参照）

国際交流については、本研究所の外国人客員教授ポストを活用して、常時、海外から優秀な研究者を招聘して研究交流を深めているほか、外部資金等による研究者招聘・派遣も積極的に実施している。また、外部資金による学外研究機関と共同研究にも主体的・積極的に参加をしており、例えば、日本学術振興会が行っている日米科学技術協力事業核融合分野の共同研究には、当研究所関連分野の研究者が中心的な活動の主体となって参加している。研究所の各研究分野が本来的にもっていた研究所内・外との共同研究の強化も含め、幅広い共同研究体制が出来上がってきたと言える。#

このほか、海外の多くの研究機関と研究交流協定を締結し学術交流を行っている（別冊資料（6）第 518 節#参照）。さらに、日韓拠点大学方式学術交流事業（~~kws-22xs1dh1n~~~~|rwr0x1dfns2ghidxowlwp~~）による研究交流、54 世紀 FRH プログラムによる海外研究教育拠点の形成や国際シンポジウムの開催など、活発な研究交流が進められた。

4.4.1. 科学技術協定#

エネルギー研究という学際領域の研究を推進するため、学内外、さらには国外との研究交流を積極的に実施し、多くの実績を有している。その一環として、国内外の研究機関と数多くの研究協力協定を締結し（別冊資料（6）第 518 節#参照）、共同研究の推進や研究者交流の支援を行ってきた。#

既存の協定に対しても、必要に応じ、その見直しを行い、研究所の研究内容に合致した内容の強化に努めている。例えば、平成 4； 年（5339 年）度、FIHP DW（スペイン）核融合部門との研究協力協定を見直し、従来のプラズマ研究から、広く核融合研究に関する研究協力へ発展させた。また、研究成果については積極的にシンポジウムを主催し（別冊資料第 5、7 章等#参照）、外部機関との協力関係の強化・拡大に努め、先進エネルギー研究の成果の公開を行っている。

4.4.2. 日韓拠点大学方式学術交流事業(別冊資料(4)第 7.6 節#参照)#

本研究所は、平成 43 年（4<<； 年）度から、日本学術振興会（MVSU）による日韓拠点大学方式学術交流事業「エネルギー理工学」を主テーマとする交流事業の日本側代表窓口を務め、韓国側代表窓口のソウル大学工学部原子力工学科と協力して、先進エネルギーシステム技術の研究協力を進め、日韓のエネルギー研究協力・交流を進めている。両国の間には長く深い文化交流の歴史と、政治的には複雑な関係があるが、ともに東アジアのエネルギー資源をもたない工業国で、先進エネルギーの研究が活発でよいパートナーとなっている。#

図 71714 は本事業による交流人日の推移を示すものである。毎年両国から各 :3 程度の参加大学・機関

の間で 443－463 件の訪問が行われ、日韓共著で 4333 報以上の論文が発表されている。#

これらの活動は、MVSU における中間評価においても極めて高い評価を受けることができ、当初：年間の事業計画の予定が 43 年間の事業として 6 年間の延長が認められ、今年度が最終年度となっている。本事業は、近年のアジアにおける爆発的なエネルギー増加に伴うさまざまな問題の解決に向けても、大変有意義であったと考えている。今後、本交流事業で培われた協力関係を、継承し、さらにより広い規模での交流が可能となるような方策を講じて行きたいと考えている。#

#

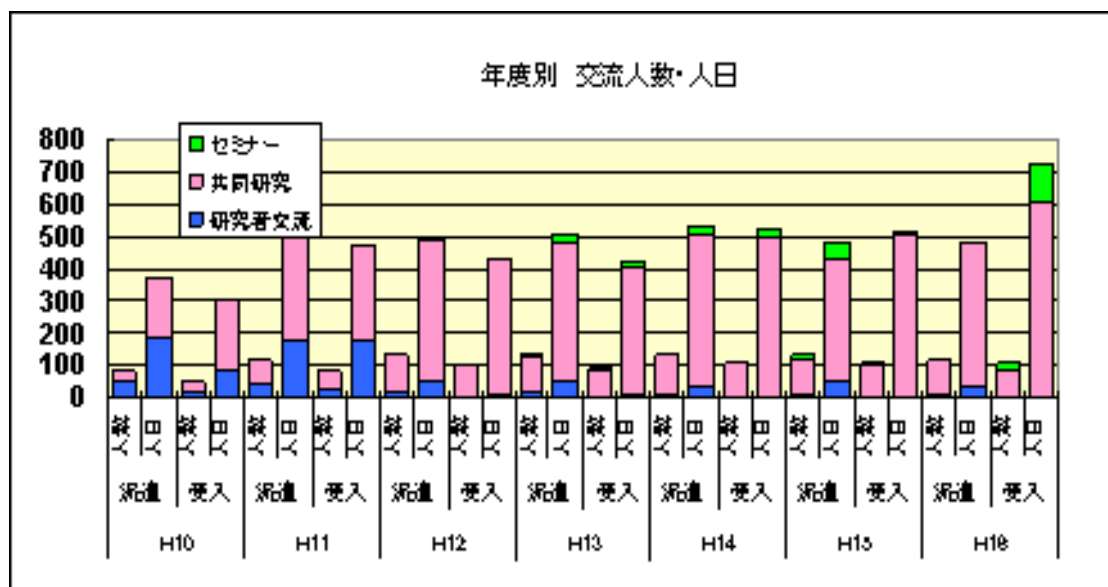


図 4.4.1

4.4.3. 日タイ交流事業#

本研究所では、エネルギーに関する国際研究交流・国際貢献の一層の推進を目指して、タイとの国際交流が積極的に進められている。平成 46 年（5334 年）に締結した、エネルギー理工学研究所とラジャマンガラ工科大学（UP XW、後に UIW）との間の科学研究協力協定をベースに、環境・エネルギーと材料に関する国際会議の共同開催など、日タイ双方向の交流が活発に行われている。また、54 世紀 FRH プログラムの国際エネルギー情報センター事業の一環として、平成 48 年（5336 年）44 月にバンコク（タイ）市内にオフィスを、また、バンコク近郊の UIW 本部キャンパス内には共同研究実験室を開設し、共同研究の場として広く活用している。現在では、交流の輪はさらに広がり、タイ科学技術開発庁（Q VWGD）やタイ環境・エネルギー連携大学院大学（MJ VHH）等との国際交流も盛んに行われている。#

さらにその発展として、平成 4；年（5339 年）44 月にはアジアならびにインドとの連携のもと、「Q hz # Hqhu j | #q lwdwlyh」を目標とした VHH # ruxp を形成し、平成 4< 年（533：年）6 月の第 5 回 VHH # ruxp（京都）に引き続き、同年 44 月には、日本学術振興会の補助の下に、DVHDQ 諸国の 54 大学と UIW（インド）の参加する第 6 回 VHH # ruxp をパタヤ（タイ）で開催した。#

#

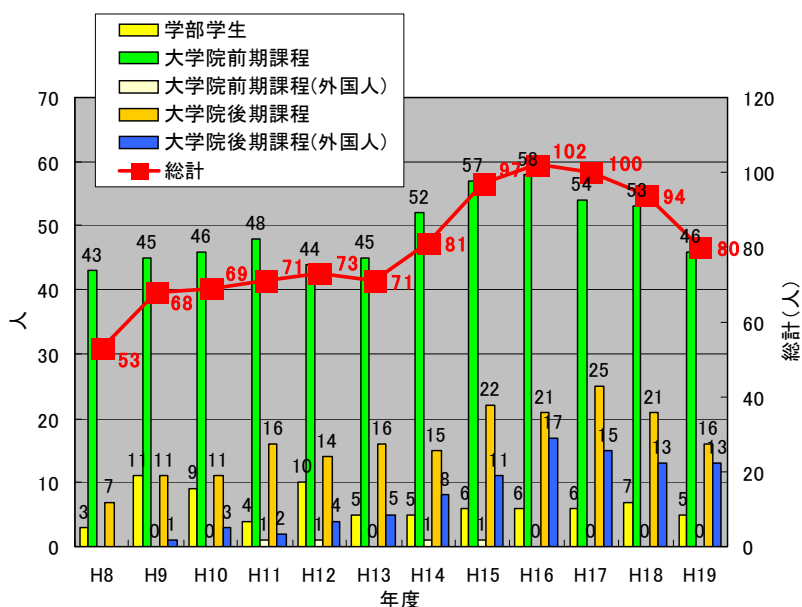
4.5. 教育活動（別冊資料(3)第3章 参照）

教育に関しては、「科学全般に関する広い視野と総合的な判断力を備え、とくにエネルギー理工学分野に関して深い専門知識をもつ人材・研究者を養成すること」を基本的な目標としている。#

研究所の助教授（教員制度改革により、平成4<年（533：年）度以降、「准教授」）以上の全教員は、京都大学大学院エネルギー科学研究科の協力講座を担当しており、先端科学技術に関する大学院教育ならびに優秀な人材の育成・確保に努めている。平成4：年（5338年）度、より適切な教育課程実現のために、エネルギー科学研究科に協力講座配置の一部変更と、分野名の変更を申し入れ、平成4<年（533：年）度からの変更が了承された。また、助手（平成4<年（533：年）度以降、「助教」）を含む多くの教員が、総合人間学部、工学部、あるいは工学研究科等の非常勤講師を務め、学部ならびに大学院教育に携わっており（別冊資料（6）第614、615節等#参照）、多くの在籍学生数（図71814）、学位取得者数（図71815）を維持している。卒業・修了指導学生数等の詳細は別冊資料（6）第614、615節を参照されたい。#

本研究所に所属する博士後期課程学生の特徴の一つは、外国人学生の割合が多いことであり、本研究所が、より国際的に開かれた研究所となっていることを示している。とくに、本研究所が所有・整備する最先端大型装置と、それらを駆使して展開する先端的研究に魅力を感じる学生が多いことも、我々の努力が報われつつあるように思われ、さらに一層努力したい。また、外国での国際会議にできるだけ早くから大学院学生を参加させるように努力してきたことも、よい影響を与えているものと思われる。#

#



在籍学生数の推移

図 71814#

#

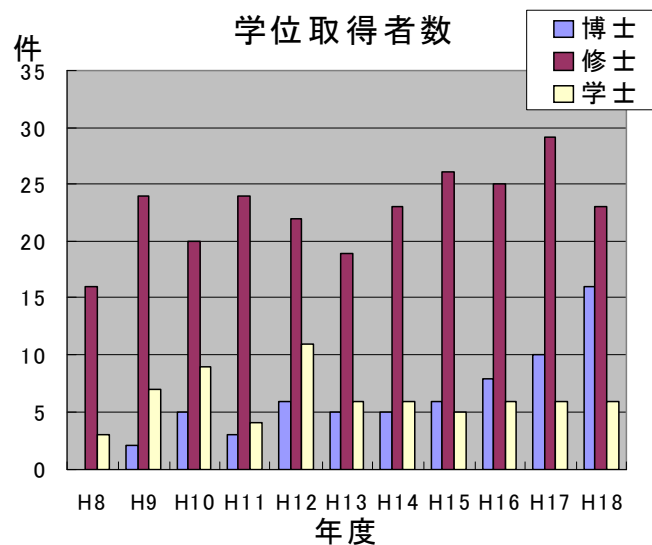


図 4.5.2

#

このほか、全学共通科目や少人数セミナー（ポケットゼミ）等を通して、学士課程における教養教育にも積極的に携わっており、科学全般に関する広い視野と総合的な判断力の基礎となる知識を身につけさせるとともに、とくに学際的学問領域であるエネルギー理工学分野に対する関心を高める努力を続けている。#

また、平成 4；年（5339 年）度に発足した学内分野横断組織「生存基盤科学研究ユニット（kws=2lvldh1n|rwr0x1df1s2lv2s2）」における教育活動の一つである「京都サステイナビリティ・イニシアティブ（東京大学が中心となった「サステイナビリティ学連携研究機構」における連携教育プログラムの一環）」にも、その立ち上げ段階から積極的に参加し、幅広い教育活動を行っている。同じく平成 4；年（5339 年）度、文部科学省の科学技術振興調整費による「若手研究者の自立的な研究環境整備促進」プログラムに採択され、世界で競い得る研究者の育成と活力ある環境の形成を目指すところとして設置された学内組織「次世代開拓研究ユニット（kws=2hxux1ldh1n|rwr0x1df1s2）」へも、プログラム応募ならびにユニット立ち上げ段階から積極的に参画しており、これによっても、これを推進している。#

学生の支援活動としては、UD 制度による経済的支援を実施（別冊資料（6）第 41718 節#参照）しており、また、54 世紀 FRH プログラムを始めとする外部資金による SG 雇用も積極的に進めた（別冊資料編（6）第 41717 節#参照）。これらに加え、生存基盤科学研究ユニットや次世代開拓研究ユニットを通じての若手人材の発掘、SG 雇用も進めている。#

5. 重点領域研究評価結果 概要

(平成 19 年 (2007 年) 7 月実施)

研究所外部評価は二段階評価方式を採用しており、研究面を主体とする外部評価として、研究所三重重点複合領域研究に関する外部評価を平成 19 年 (2007 年) 7 月に実施した。本章では、この外部評価 (重点複合領域研究) の結果の概要を記す。詳細は、付録 1 を参照願いたい。なお、今回は、従来のコメント方式に加え、新たな試みとして段階評価方式も採用した。その結果を 5.3 節に示す。

5.1. 平成 19 年 (2007 年) 度外部評価委員 (研究所重点複合領域研究担当)

表 844 に担当外部評価委員を示す。委員の人選は、各領域担当者からの複数の推薦候補者をもとに、協議員会で審議して行った。#

表 5.1.1. 平成 19 年度外部評価委員 (研究所重点複合領域研究評価担当)

担 当 領 域	氏 名 (敬称略・順不同)	所 属
プラズマ エネルギー 複合領域	小 森 彰 夫	核融合科学研究所大型ヘリカル研究部・研究総主幹
	堀 池 寛	大阪大学大学院・教授
	恩 地 健 夫	内閣府原子力安全委員会・技術参与
光 エネルギー 複合領域	大 津 元 一	東京大学大学院工学研究科電子工学専攻・教授
	濱 広 幸	東北大学原子核理学研究施設・教授
バイオ エネルギー 複合領域	中 村 春 木	大阪大学 蛋白質研究所・教授
	庭 野 道 夫	東北大電気通信研究所・教授
	小 長 井 誠	東京工業大学大学院理工学研究科電子物理工学専攻・教授

5.2. 重点複合領域研究に関する外部評価の概要

5.2.1. 重点複合領域方式による研究推進に関する評価#

大学のシステムが大きく変貌するなかで、研究所の存在意義が大きく問われており、大学の研究科で行われる教育・研究と差別化を図りつつ、かつ研究所の研究を活性化させることが重要である。重点複合領域研究により、異なる分野の者を集めて重点的に研究するという組織改革は大いに評価できる。比較的少人数ではあるが、多様な学術基盤をもつ研究者が集まった研究所の特徴を活かし、強い部分をさらに強くし、他の研究機関にはない特色ある研究を推進するためには、重点複合領域研究方式の採用は非常に妥当な方法であり、研究スタイルあるいは方式と言ってよく、他の研究機関の模範となるものである。

5.2.2. 設定した重点複合領域に関する評価#

重点複合領域研究の成功の鍵は、その選択した研究分野と互いの関連性にある。プラズマ、バイオ、光はエネルギー研究領域のキーワードであり、将来の必須学問であることを考えると、この三つの領域の選択は的を射ていると共に、オリジナリティが高い優れたものであると考える。プラズマエネルギー研究を重点複合領域として取り上げていることは、エネルギー理工学研究所発足の経緯、その後の研究所の人員ならびに開発・整備されてきた関連研究設備群のレベルの高さから見て適切な選択である。バイオエネルギー、光エネルギーも、研究所の特色を活かした研究展開として興味深い。とくに、最近のナノサイエンスを含めた新しい学術分野の創成に向けた動向に注目したい。しかしながら、三重点複合領域の関連性・整合性という観点からは、まだ改善の余地があるように見受けられる。今後、三者間での横断性もある新領域的な研究分野の創出も考慮してみてはどうか。

各領域における研究課題については、いずれの研究領域においても、先端的な研究課題が挙げられており、その成果が期待されている。

5.2.3. 研究所の研究教育活動に関する提言#

エネルギー理工学研究所には、産業界にはない貴重な実験設備が整備されている。また、ハードウェア開発により着目した研究実績は目を見張るものがある。今後はそれらのきちんとした利用実験をサポートして行く体制を作り上げることも重要と思われる。例えば、産業界の研究者や技術者が、とくにエネルギー理工学研究所で育った人材が、社会へ出てからもそれらの装置や設備を比較的自由に使い、産業界としてのニーズに応えるような仕事にも解放されることが望ましい。このような意味で、単純な共同研究ではない大学内外の連携の、より斬新な形を模索していただきたい。

工学的領域研究ではロードマップを明示して、ある期間内にミッションを達成できる仕組みを作る一方、理学的領域研究においては、より長期間の研究において、オリジナルで全く新奇の物質生産が行われる仕組みを両立させる必要があるのではないかと考える。このことで、研究者の意識をより明確にし、エネルギー理工学研究所としての研究が社会的にも認知され、果たされることが望まれる。

5.3. 段階評価による評価点の集計

重点複合領域研究方式の妥当性

	プラズマ	光	バイオ
妥当でない			
やや妥当でない			○
やや妥当である			
妥当である	○○○	○○	○○

設定した重点複合研究領域の適切性

	プラズマ	光	バイオ
不適切			
やや不適切			
やや適切			○
適切	○○○	○○	○○○

当該重点複合領域における目標の適切性

	プラズマ	光	バイオ
不適切			
やや不適切			○
やや適切	○		○
適切	○○	○○	○

当該重点複合領域研究における研究方向の適切性

	プラズマ	光	バイオ
不適切			
やや不適切			○
やや適切			○
適切	○	○○	○
非常に適切	○○		

研究の学術的意義

	プラズマ	光	バイオ
意義を認めない			
やや意義を認める			
意義を認める	○	○	○
優れた意義を認める	○○	○	○○

研究の独創性

	プラズマ	光	バイオ
独創性がない			
やや独創性がある		○	
独創性がある	○○	○	○○○
非常に独創性がある	○○		

研究実績と成果に関する評価(世界水準との比較)

	プラズマ	光	バイオ
非常に劣っている			
劣っている			
やや劣っている			
標準			
やや優れている		○	○
優れている	○○○	○	○○
非常に優れている	○		

研究の社会的意義

	プラズマ	光	バイオ
意義を認めない			
やや意義を認める		○	
意義を認める	○		○○
優れた意義を認める	○○	○	○

当該研究領域関連コミュニティにおける位置付け

	プラズマ	光	バイオ
孤立している			○
共同研究拠点の一つ	○	○	○○
重要な共同研究拠点の一つ	○		○
非常に重要な共同研究の拠点の一つとなっている	○○	○	

5.4. 各重点複合領域研究に関する評価の概要

5.4.1. プラズマエネルギー複合領域#

核融合エネルギーは 54 世紀における地球規模のエネルギー・環境問題を解決するための一つの有力なオプションを提供するものであり、その開発研究は大きな社会的重要性をもつ。この研究領域においては、とくに複合的な研究方法が必要になっており、大学附置研がこれを取り上げることは、非常に適切である。実際、本複合領域研究では、大学附置研究所としての学術研究をベースに、より優れた核融合炉開発という観点からの研究が展開されており、優れた社会的意義を有している。このような複合領域研究で育てられた人材は、広範な核融合研究の分野で活躍することが期待され、多くの優秀な人材を育成していることは、高く評価できる。今後とも、共同研究等を通して国内外における核融合関連の研究機関との連携を深めるとともに、核融合分野における指導的人材の育成にも一層の尽力を願いたい。#

本複合領域には、五つの主要研究課題があり、それぞれ研究段階も方向性も同じではないが、各々は、着実な進展を遂げていると判断できる。個々の研究内容も、世界水準を超えた、非常に優れた成果を上げているものが多い。「ヘリオトロン M 装置によるプラズマ閉じ込めの高度化」関連における国内・国際研究活動ネットワークの拡がり、「VLF 複合材料利用システムの検討と実用化」分野の急速な発展、などは目を見張るものがある。可搬放電型中性子源の高性能化と応用は、本複合領域のなかでも異色の課題である。核融合炉開発における中性子源利用の可能性をにらみつつ、その時期到来までを、それ以外の社会的貢献の研究として、対地雷探知技術開発への的を絞っていることは、正解であろう。#

今後、プラズマ、材料、中性子など要素研究をシステム研究が統合するというスタイルを推進するなかで、それらの先に統合された形での E h | r q g Q W H U や次世代原子力エネルギーというロードマップ上での貢献を明確化しつつ、社会貢献と産業波及効果、人材育成という方向性が明確に出せられると思われる。先端的研究現場での学部・大学院教育による核融合関連分野の人材養成を継続・実施していただきたい。#

5.4.2. 光エネルギー複合領域#

短パルス光源自身の開発、光と物質との相互作用の基礎となる研究などは、光技術のエネルギー応用にとって重要な研究領域と思われる。国内の他研究機関では光技術のエネルギー応用は往々にしてレーザー核融合と加工に特化されている。それに対し本研究領域は光源開発および物質との相互作用への応用という、幅広い発展につながる課題に取り組むなど、独特の立場をとっており、共同研究拠点としての本研究所の重要性を明確にしている。光源開発の面における本重点複合領域研究の特筆すべきことは、レーザー光源だけでなく加速器光源の研究も押し進めていることである。国内ではこのような研究環境をもって自由電子レーザーを扱っている研究室が殆どないこともあり、将来を考えると貴重な拠点である。また、自由電子レーザーは共同利用研究施設に成長させる必要があるだろう。他大学・研究所とのネットワークを広げ、ある種のバーチャルラボラトリーのようなものを形成し、その拠点として活躍できる場を作り上げて行っていただければ、と強く思う。#

本複合領域研究で取り上げられている研究課題は、いずれも新しい科学の創出という点において優れ

ていると考えられ、国内外の研究機関にと比べて、全体として優位性、独創性のある成果が複数得られている。#

しかしながら、これらの研究がもたらす技術利用という面には関しては、将来的な展望をより明確にできることが望まれる。#

5.4.3. バイオエネルギー複合領域#

今後エネルギー問題は人類にとって最重要の研究課題になるが、いまから、石油に代わる新しいエネルギー源を開発する必要がある、シリコンばかりでなく、これまでになかった新しい材料や構造体を活用することが必須になる。その意味で、太陽エネルギーを重点領域として設定したことは非常に適切である。太陽エネルギーシステム開発は、産官学の連携により長期間進められてきたが、これまでは、シリコンを中心としたものが主流であった。これに対して「バイオエネルギー重点複合領域研究」は、まだまだ学が主導して研究をリードすべき分野であり、学から大きなブレークスルーが生まれる可能性の高い分野である。これまでの実績を含めて判断すれば、光・ナノ・バイオ融合の取り組みは学術的にも、工業的にも意義の高いものである。個々の研究課題においては、概ね学術的意義、独創性が高い研究がなされて折り、概ね世界の水準以上の成果を上げている。#

ただし、それぞれの分野の研究が、いつ、どのような形で融合・連携し、最終的なミッションである太陽エネルギーシステム研究に至るのか、そのロードマップが必ずしも明確に見えない。それぞれの研究課題間の連携が明確で、その成果が現れていれば、より高く評価できる。例えば、ナノ構造体を作製する研究はかなりレベルの高いものであるが、そのナノ構造体を応用して、バイオエネルギーシステムの解明やバイオセンサーの開発が行われると、この複合領域設定の意義がより分かりやすくなったと思われる。#

これまでの本複合領域研究グループによる情報公開、広報活動により、関連研究領域における重要な研究拠点と認識されつつある。今後とも、研究所内の研究連携（複合領域研究）ばかりでなく、他の研究機関や産業界とも有機的な連携を図りながら研究を進めて行くことが非常に重要である。#

6. 第1期中期計画進捗状況

中期計画の進捗状況に関しては、京都大学として事業年度毎の進捗状況報告書を作成する資料として、研究所における進捗状況報告を大学本部へ提出しているが、これとは別に、研究所独自に作る第一期中期目標・中期計画関係資料集（各事業年度に補遺版を発行）のなかに評価確認表を掲載し、研究所員へ配布している。#

中期計画に掲げた項目の内、研究所独自で行える項目に関しては、おおむね順調に履行されており、「年度計画を十分実施している」と自己判定している。なか、個人評価システムの検討関連の項目に関しては、平成4<年度、計画を前倒しで教員の個人評価を開始したことから、「年度計画を上回って実施している」と評価した。平成4<年度補遺版（平成4<年（533：年）8月発行）を別冊資料（7）としたので、詳細は、それを参照願いたい。#

#

なお、平成4<年（533：年）度の計画として「個人評価のシステムを検討する」こととしていたが、個人評価については、以下の通りの要領で行うこととした。その際、収集資料作成には、資料室で管理しているデータを最大限活用することとし、資料作成に掛かる各教員の労力軽減に努めた。#

#

個人評価要領：

1. 収集資料

1.1 個人評価用参考資料

（客観的資料：資料室において現在分野単位で収集している項目から抜粋＋当事者のコメント）

- ・ 期間は平成16年度（第一期中期計画開始年）からを対象とする。
- ・ 被評価者は必要に応じた（本人の判断）加筆訂正を行い評価資料とし、封筒に入れて、親展として所長と副所長まで提出。

1. 研究

A 研究成果発表

A-1 学術誌等掲載論文

共著者がいる場合は、貢献度を%で明記するとともに必要であればコメントを付記。

A-2 著書・訳書、A-3 特許、A-4 総説、解説、報告書等、A-5 学会等での発表、

A-6 依頼講演・招待講演

B 外部資金導入

B-1 科研費（研究代表者または分担者の場合は研究経費を配分された課題のみ）

B-2 受託研究、共同研究、奨学寄附金、

B-3 その他

C 受賞

【研究活動に関する特記事項】

2. 教育

D-1 学部、大学院学生指導（実際の主指導に基づいて記入）、D-2 授業担当、

D-3 その他（市民講座、出前授業、研究員受入指導等）

【教育活動に関する特記事項】

3. 組織運営

【組織運営活動に関する特記事項】

4. 社会貢献

【社会貢献活動に関する特記事項：学協会・政府・自治体・団体等委員等】

5. その他特記事項（産官学連携、国際交流等）

1.2 自己評価資料

個人ベースでの中期目標・計画等を示し、達成度評価を行う。

A 評価項目

A-1 研究、A-2 教育、A-3 組織運営、A-4 その他特記事項

B 評価方法

B-1 各項目について、評価点1～5で採点を行い、その根拠を箇条書き等で簡潔に記載する。

B-2 総合評価を1～5点で行い、その根拠を箇条書き等で簡潔に記載する。

B-3 評価基準例：1：劣る、2：やや劣る、3：平均的、4：優れる、5：非常に優れる

B-4 インタビューを希望する場合はその旨記入する。

2. 個人評価の実施

A: 上記の個人評価用資料に基づき、必要な場合または被評価者が希望する場合にはインタビューを行う。

- ・ インタビューは所長・副所長が行うものとし、所長の判断により関係する教員のオブザーバー参加を認めることがある。オブザーバーは評価に関するコメントを述べる機会を得られるものとする。
- ・ 共同研究者や利害関係にあると判断される教官はカウンター・コメントを述べる機会を得られるものとする。

B. インタビュー後に所長は評価結果を対象者に対し報告するものとする。

内容については基本的に文書による評価を提示する。

C. この文書は機密扱いとして保管し、アクセス権は所長と副所長のみとする。

D. 自己評価に対する所長評価に異議を表明したい場合は書面によって提出し、非当事者（教授会において指名）による評価を実施する。

E. この結果も B と同様に報告し、被評価者の理解の得られることを基本とする。

F.2 回目の評価についても被評価者が納得できない場合は求めに応じて教授会での評価を実施す

ることも検討する。

3. 実施に関する疑問点やコメントは必要に応じて拡大教授会において議論し、決定する。この判断は所長・副所長が行う。(拡大教授会での議論を省略する場合は報告を行い、異議が出れば教授会で改めて検討する)

以上

7. 研究教育体制の見直し

国立大学附置研究所の使命は、我が国の学術研究の中核として、幅広い研究を先端的に推進する直接的研究への貢献とともに、先端的研究を通して大学院教育を行い、研究者・技術者の育成を行うことにある。本研究所では、社会に対して大きなインパクトをもつ特殊・複合問題とも言える先進エネルギーシステムの学際的な研究を推進しており、そこでは、附属センターにおけるプロジェクト研究等を中心に、部門・分野の枠を超えた共同研究の占める割合が非常に大きい。しかしながら、部門・分野独自の研究も、また、基礎・基盤研究として重要であることも確かである。一方、大学院教育においては、エネルギー科学研究科における協力講座を担当し、これを軸に、研究所の有する多様な学術基盤を背景とする人的資源・研究資源を活用し、エネルギー理工学に関する高度な知識と技術を有する人材の育成にも注力しているところであるが、ここでは、研究科における学生教育体制から、専攻、あるいは、いわゆる講座単位の活動が必要とされている。研究所には、このような研究教育体制の「二面性」が要求されている。#

他方、我が国における学術研究推進体制の議論のなかで、所属研究部局の特色・地域性等による限られた研究展開を越え、複数機関、複数部局が連携し、従来にない、仮想的あるいは実体を伴う連携研究組織を構築することが勧められており、本研究所が中心的に関与する連携拠点の形成も重要となっている。#

このような状況に対応すべく、平成 4；年（5339 年）度の附属センター改組を契機に、研究所の研究教育体制をより明確化し、かつ効率的なものとするための見直しを試みている。図：14 に、これまでの議論を反映した研究所#研究教育活動の構成図を示す。#

研究所の主要研究教育組織として「研究教育部」と「附属エネルギー複合機構研究センター」を配し、前者に既存三部門を置き、主に大学院教育におけるエネルギー科学研究科との対応をとると共に、部門・分野独自の研究展開を図る。一方、附属センターでは、部門・分野の枠を超え、国際的な共同研究を展開する。また、研究支援体制としての研究支援部の強化や連携拠点形成支援部の新設も行った。#

7.1. 附属センター改組

従来の研究所三重点複合領域研究の進展状況に鑑み、附属エネルギー複合機構研究センターは平成 4；年（5339 年）7 月 4 日、センターでのプロジェクト研究を「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 5 研究領域に集中、特化させ、これまでにセンターが培ってきた研究基盤施設を最大限に活用し、生存基盤科学の発展に寄与するとともに、国内外の他研究機関との連携融合研究を一層強化し、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目指すこととした。このため、研究体制の改組・再編を実施し、「国際流動・開発連携研究推進部」、「先進プラズマエネルギー

複合領域研究推進部」および「エネルギーナノサイエンス研究推進部」の三研究推進部体制とした。（別冊資料（4）第74節#参照）#

先進プラズマエネルギー複合領域は、核融合エネルギーに関する研究を中心としながら、先進原子力エネルギーに関する研究をも加えた研究を、エネルギーナノサイエンス研究領域では、太陽エネルギーの有効利用を目指した研究を展開する。各研究推進部では、部門・分野に囚われず、自由に参加可能な研究グループによる研究領域が作られ（形式的には、各部門所属の教員の兼任）、プロジェクト研究が遂行される。このセンター組織の改編により、それぞれのプロジェクト研究に対応する組織がより明確化し、併せて法人化後、より重要となったアカウンタビリティの所在を明確にできることとなった。詳細については別冊資料（4）を参照されたい。#

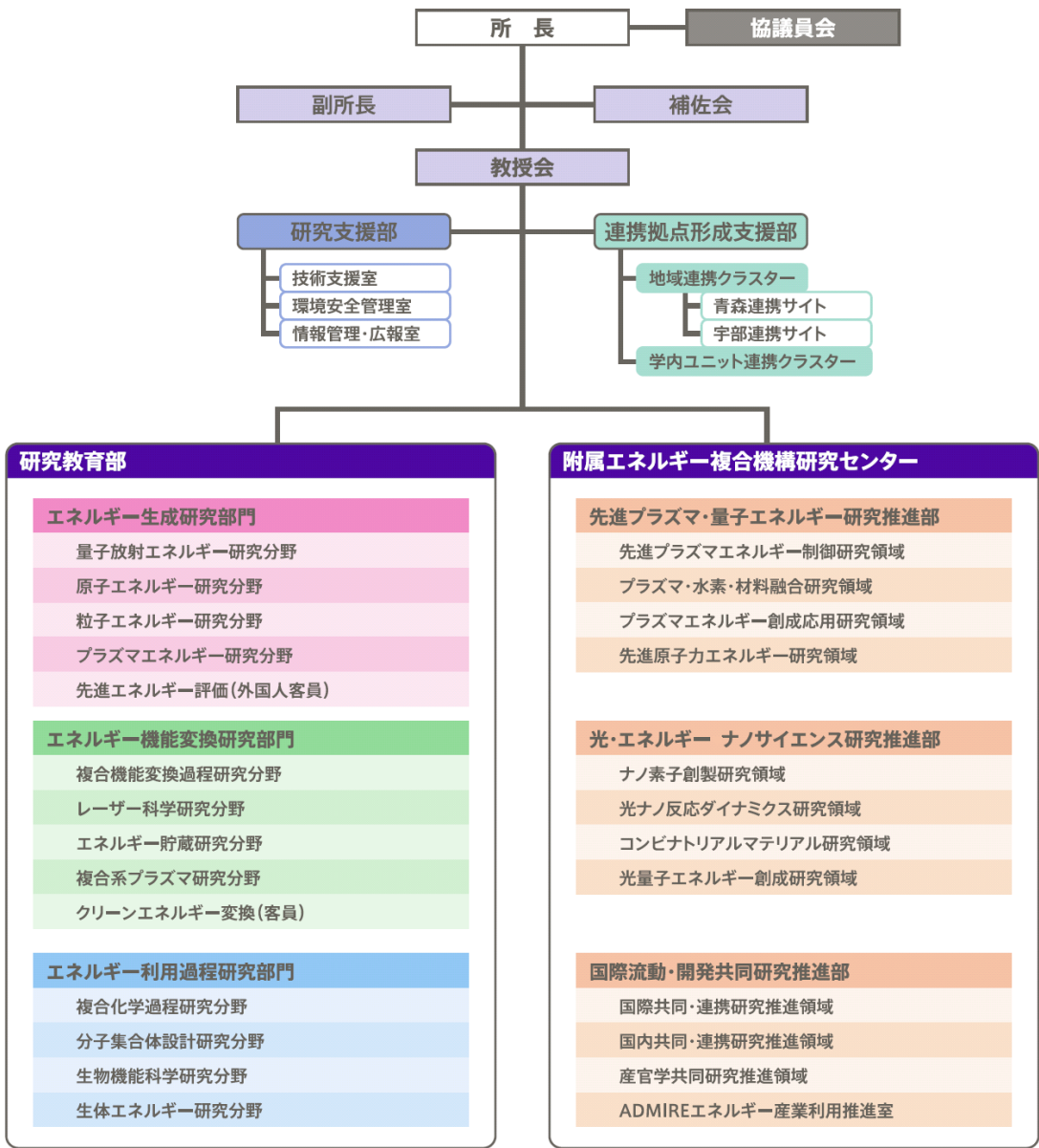


図 7.1

#

#

附属センターの改組・再編後、さらにセンター共同研究の活動強化に向けて、引き続き教授会等で議論が積み重ねられてきており、とくに京都大学の中期目標・中期計画の進捗状況調査と年度毎の点検評価を踏まえて、センター共同研究体制の強化に向けた不断の取り組みを続けている。#

それらの取り組みのなかにおいて、センターにおける各推進部の名称を、そこで行われている研究が、外部の人にとって一層明確になるようにすべきであるとの判断がなされ、第二期中期目標・中期計画に向け、各推進部の名称を「国際流動・開発共同研究推進部」、「先進プラズマ・量子エネルギー研究推進部」ならびに「光・エネルギーナノサイエンス研究推進部」と改称することとした。(図：14 参照)これに伴い、各研究推進部で行われる研究領域の見直しも行い、若干の変更を行った。これにより、とくに、国際流動・開発共同研究推進部における共同研究・施設利用体制、先進プラズマ・量子エネルギー研究推進部における先進原子力関連プロジェクト研究、光・エネルギーナノサイエンス研究推進部における光量子エネルギー関連研究、とくにレーザーを応用した材料創出、界面制御に関連した研究等を明示できるように配慮した。#

#

7.2. 研究支援体制の強化

7.2.1. 所長補佐体制の整備#

本研究所は、研究企画と運営の効率化を図るべく、所長補佐体制として、平成 16 年（2004 年）度より、所長、センター長、部門長ならびに担当事務職員による「補佐会」を構成してきた。また、平成 17 年（2005 年）度には、所長の職務を助けることを職務とする副所長 1 名を置くことができるものとした。（実際の副所長任用は、平成 18 年（2006 年）度から）これに伴い、副所長も補佐会構成員となり、所長補佐体制を整備した。

しかしながら、これまでのところ、補佐会と副所長との関係が必ずしも明確でないこと、補佐会による研究企画立案機能が十分機能していないことなどが指摘されており、今後の検討課題となっている。

7.2.2. 研究支援部の見直しと体制強化#

研究支援部は、研究所における研究支援体制の一つとして平成 49 年（5337 年）度から試行を開始していたところであるが、必ずしも当初期待していた機能を発揮できないでいた。そこで、研究支援部の機能、位置づけの見直しを行い、研究所における安全管理、情報管理、学内緒委員活動の統括ならびに研究者等の技術情報支援に目的を特定し、平成 4<（533：年）年、新たな研究支援部として、その体制強化を図った。(図：14 参照) #

新・研究支援部の任務は、全学ならびに宇治地区諸委員会委員および研究所諸委員会委員の活動状況の把握と委員会情報を統括し、研究所の管理・運営を支援することである。このため、研究支援部に、環境安全管理室、情報管理・広報室を置いた。それぞれの室が所掌する委員会を明確にすることで、情報管理・一元化が図られるものと期待している。#

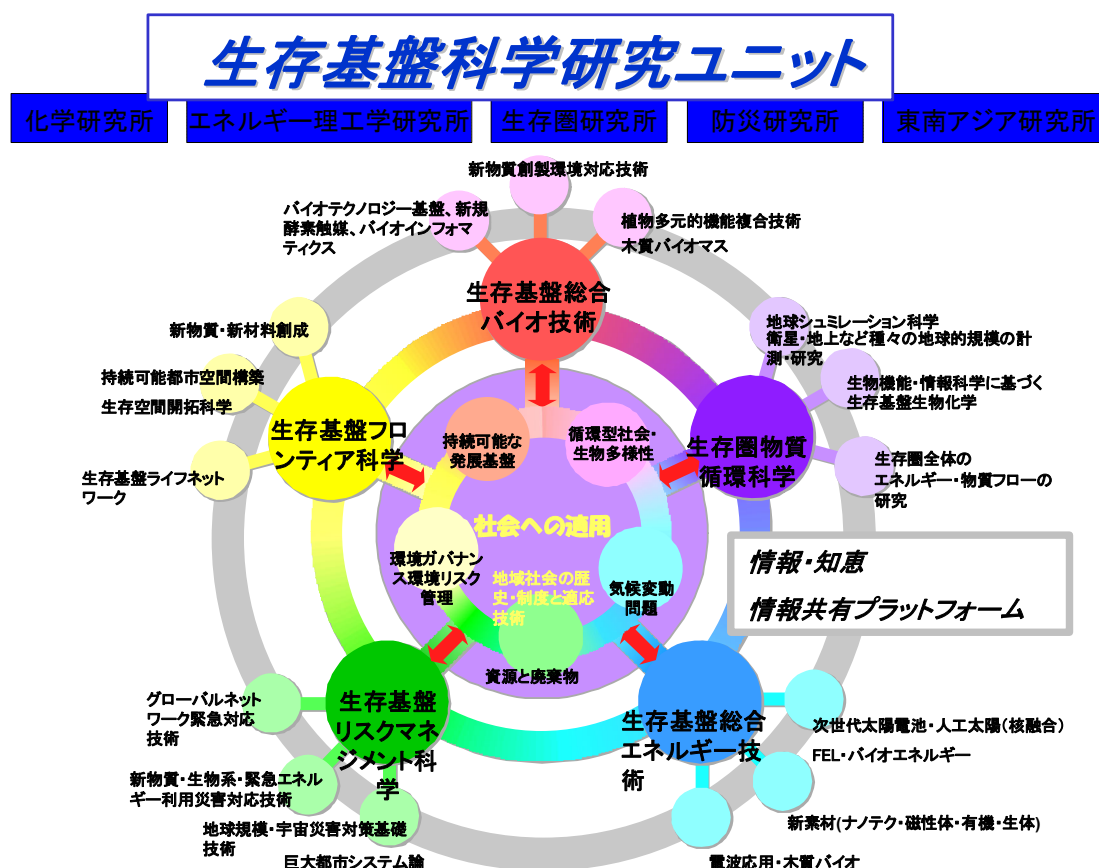
さらに、機械、電気、情報機器などの技術関連の情報提供を主務とする技術支援室も置くこととした。

技術支援室の主な機能を、このような情報提供、情報交換を主体とする場とすることで、技術職員が従来担ってきた業務に支障を来すような事態を避けながら、その知識を広く活用できるようになるものと期待している。＃

また、研究支援部長に副所長を充て、研究支援部長と各室室長で構成する研究支援連絡会を開催することにより、支援体制の掌握と問題点の検討が行えるようにしている。＃

7.2.3. 連携拠点形成支援部の新設＃

本研究所では、社会に対して大きなインパクトをもつ特殊・複合問題とも言える先進エネルギーシステムの学際的な研究を推進しており、そのための研究組織体制と研究基盤の整備・充実に努めてきた。しかしながら、より広い視点から先進エネルギーシステムの研究を効率的に展開するためには、所属研究部局の特色・地域性等による限られた研究展開のみに留まらず、機関、地域を超えた連携研究体制の構築も必要となってきた。また、エネルギー理工学研究も含むより広い研究領域における融合研究への貢献のためには、そのような研究組織へ、教員個人ベースではなく研究所として参画・支援して行くことも必要である。例えば、本研究所は、京都大学に設立された分野横断型組織「生存基盤科学研究ユニット」(図：1514 参照)の設立にも強く関与し、設立後の活動へも、一部財政支援も含め、積極的に参画している。＃



図：1514＃

また、研究所の重要な使命の一つである人材育成の面からも、例えば、研究所の重点領域研究の一つである核融合研究分野における人材育成のため、文部科学省および経済産業省が推進する原子力人材育成プログラムや IWHU の ED (Eurdghu#ssurdfk) プログラムを活用しながら全国的な視野で研究教育活動を展開することは、大きなメリットがある。これに関連して、青森県の連携大学院構想などには、本研究所が貢献できることが多いと考えられる。このように、今後、全国の国公立の大学を始めとする教育機関や民間も含めた研究機関との連携協力はますます重要になると思われる。#

このような情勢を踏まえ、研究所としてこのような連携拠点形成を支援する組織として、附属センターや研究教育部に属さない形の「連携拠点形成支援部」を設置することとした。現在、同支援部では、上記の生存基盤科学研究ユニットや同じく本研究所も強く関与して京都大学に設置された次世代開拓研究ユニット（図 :1515 参照）活動や、産官学にわたる地域連携の一環として平成 4< 年（533: 年）に所長のリーダーシップにより設置した本研究所の地域サイト（青森サイト、宇部サイト）における活動などを、研究所として支援する体制をとっている。#

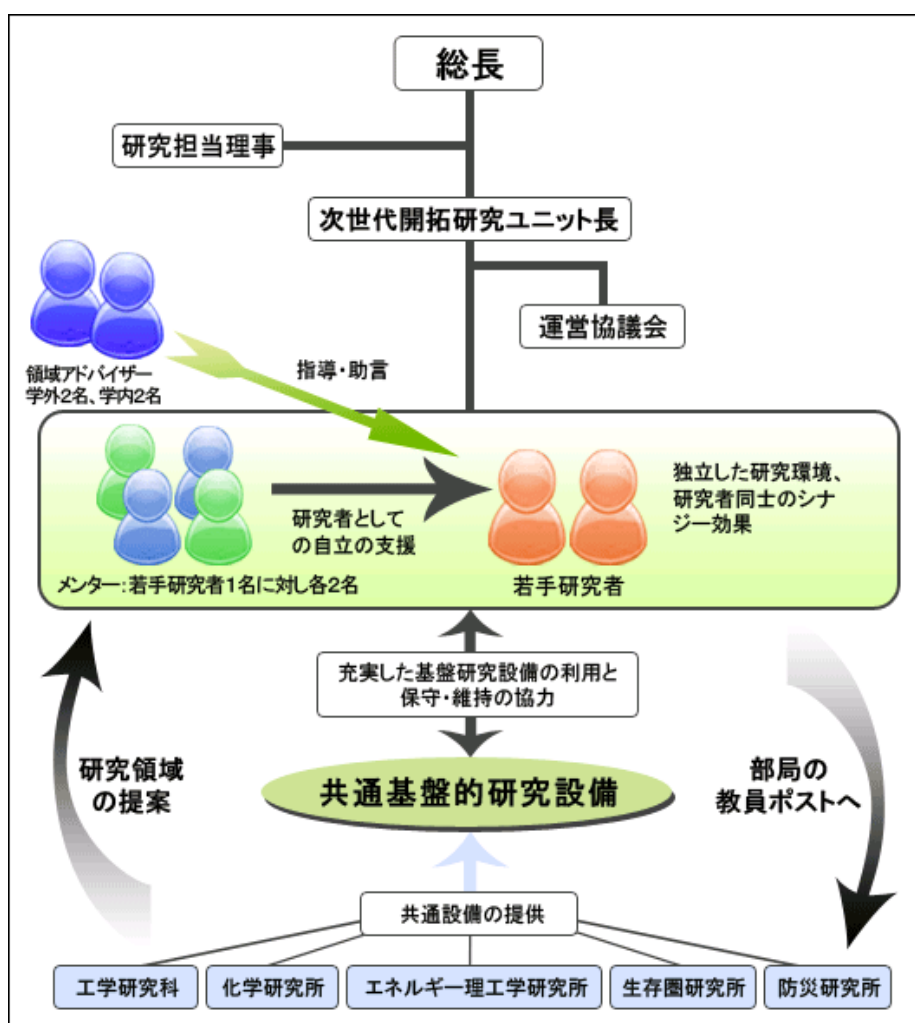


図 :1515#

7.3. 研究所例規等の見直し

研究所の例規等は、必要十分で、整合のとれた簡潔なものであることが望まれる。研究所発足後 44 年の間に、大学法人化への対応や教員制度の変更への対応など、外部環境への対応に加え、大学内上位規程変更への対応、任期制の採用、補佐会や副所長の設置、センター改組、学内ユニットの設置、特任教員制度などの任期付研究員採用の増加、等々に対応して、協議委員会での審議を通して、適宜、研究所例規等を見直し・策定を行ってきた。(現在の研究所例規等については、別冊資料(6)第6章参照)しかしながら、用語の不統一や所掌の曖昧な点なども散見されるようになり、また、きちんと成文化されていないまま歴史的経緯を引きずって慣例として行われてきた事柄も存在することから、研究所例規等の見直しが急務となってきた。そこで、平成 4< 年(533: 年)、ワーキンググループを作って、問題点の洗い出しを行った上で、研究所将来構想委員会を中心に例規等の見直し・整備を行うことにし、現在進行中である。#

8. 平成 16 年度「在り方検討委員会」指摘事項

平成 49 年（5337 年）43 月；日開催の「在り方検討委員会」審議、ならびに平成 4：年（5338 年）6 月発行の「京都大学エネルギー理工学研究所外部評価報告書」（別冊資料（8））で指摘された改善すべき事項・留意事項の要約を以下に述べる。＃

平成 16 年度京都大学エネルギー理工学研究所 「在り方検討委員会」委員

（五十音順、敬称略：職名等は委嘱時の肩書き）

総合評価委員

井上 信幸	日本原子力研究所特別研究員，東京大学名誉教授
海部 宣男	大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 国立天文台長
茅 陽一	地球環境産業技術研究機構副理事長，研究所長 東京大学名誉教授
河原 暲	(株)日立製作所技師長
小林 直人	(独)産業技術総合研究所理事
* 西川 禎一	大阪工業大学長，京都大学名誉教授
森 詳介	関西電力(株)副社長
山下 輝夫	国立大学法人 東京大学地震研究所長

重点領域研究評価委員

大倉 一郎	国立大学法人 東京工業大学大学院生命理工学研究科教授
小原 實	慶應義塾大学理工学部教授
小林 直人	(独)産業技術総合研究所理事
関 昌弘	日本原子力研究所那珂研究所長
中戸 義禮	国立大学法人 大阪大学大学院基礎工学研究科教授
堀田 栄喜	国立大学法人 東京工業大学大学院総合理工学研究科教授
峰原 英介	日本原子力研究所関西研究所 東海駐在光量子科学研究センター自由電子レーザーグループ長
本島 修	大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 核融合科学研究所長

* 委員長

8.1. 指摘事項

研究所の理念および目標設定

- (1) 長期目標と中期目標の関係のさらなる明確化。
- (2) 研究開発のロードマップの作成、ならびに、可能な範囲でのマイルストーンの設定。
- (3) 優秀で有為な研究者の獲得および育成に関する方策検討。

研究組織ならびに研究支援体制

- (1) 大部門の在り方・位置づけについての検討。
- (2) 技術職員の処遇も含めて、研究支援部の運営体制の明確化。

研究所の運営

- (1) 任期制に関して、再任方法の早急な整備公開。
- (2) 流動性を高めるための方策検討。
- (3) 外部資金導入へ向けた一層の努力。
- (4) 研究教育活動の評価システムの検討。

研究活動

- (1) 将来的には、重点領域見直しも必要。研究所らしさを活かすように特徴あるものへ特化するとともに、研究テーマを設定するにあたり、社会的なニーズを知り、全構成員が認識と理解を共有し全体として確とした実施および支援体制を築くことが肝要。
- (2) 分野横断的なプロジェクト研究と部門研究の在り方に関する不断の検討。
- (3) 研究成果の効果的なアピールや社会への成果移転を行うことための方策検討。

国際交流

- (1) 国際研究協力協定の実態調査の実施と、それに基づく協定の見直し。

教育活動

- (1) 博士課程修了者の就職先の開拓。

研究所組織の見直し

- (1) 教員や支援職員の配置および部門とセンターの関係について機能するシステムの検討と相互の関係の明確化。
- (2) センター長を含め、センター教員の専任化の検討。

8.2. 今後の研究所運営における留意事項

- (1) 研究者の自発性と創意を重視し、研究と教育の最大の効果を上げるために必要なこと、#
①目標の明確化、②目標の共有、③目標遂行に向けた不断の議論。#
- (2) 組織の改編および運営には柔軟性・機動性を発揮することに意を用いると同時に、常に研究所としての特色・個性を主張することも重要。研究者個々人の独創性の発揮しつつ、研究所全体として、まとまりと学術上・実用上のインパクトの実現。#
- (3) 所長・幹部のリーダーシップが有効に発揮される仕組みと、同時に、それにより個々の教官・

研究者がその研究の方向性を共有するとともに、創造的な研究活動に邁進できるような制度・仕組みの整備。#

- (4) 戦略と評価に基づいた改革への不断の検討。研究の阻害要因を徹底的に排除する努力、優れた研究成果を効率的に上げるための努力（学生・若手研究者の研修・育成、優れた知的環境の整備、適切な評価方法の採用など）。研究所の運用について、定常的にアドバイスを受けられるアドバイザリー機構があってもよい。#
- (5) 今後の諸活動の企画・運用においては、以下の点が望まれる。①会議・意思決定のさらなる効率化・迅速化、②国内外のほかの大学・研究機関等とより戦略的で有機的な交流・連携強化、③社会貢献・広報活動においてもより積極的な姿勢の提示、④研究所全体および各研究者の資質向上に資する形の業績評価が行える方法の検討。#
- (6) 評価については信頼性の向上と評価の反映が最も重要。ここでは、①適切な評価実施期間の検討、②評価委員の適切な選択・評価者の育成、③負担を低減する効率的な評価方法の検討、④評価を適切に実行する所内体制の整備、⑤評価を研究の質の向上に有効に利用するシステムの検討、に留意して検討を進めるのがよい。#
- (7) 教員再任に関わる評価システムは、十分な議論を経て納得性のある仕組み作が必要。#
- (8) 公募制により真に優秀な研究者を獲得できるよう、研究所としての魅力、研究所のパフォーマンスを高めること。#

9. 平成 16 年度「在り方検討委員会」による主要指摘事項への対応

9.1. 研究所の理念および目標設定

(1) 長期目標と中期目標の関係のさらなる明確化#

本研究所では、平成 49 年（5337 年）度から始まった第一期の中期計画期間における目標策定あたり、研究所の理念・基本的目標を明確化し、これに基づいて、現在の長期目標を設定した。そこでは、(4) 先進エネルギー研究拠点としての展開を図ること、(5) 学際研究としてのエネルギー理工学に新たな展望を拓くこと、および(6) 優秀な研究者と高度の専門能力を有する人材の育成を謳っている。これらの長期目標に対応して、中期目標では、若干具体性には欠けるものの、(4) および(5) に対しては、三重点複合領域研究の推進と 54 世紀 FRH 活動における研究拠点としての活動などを通じ、国際的なエネルギー理工学研究ネットワークとしての拠点機能構築を目指すものとし、(5) に対しては、先進エネルギー領域における指導的人材育成としている。#

現在、第二期中期計画・中期目標策定のための検討を開始しているところであるが、これら中・長期目標に対する反省点として、長期目標が総花的で、先進エネルギーとして、何を対象にしようとしているのか、必ずしも明確になっていないことが指摘されている。現在の研究所教員の陣容からは、本研究所が言うところの「先進エネルギー」としては先進プラズマ・量子エネルギー（核融合も含む先進原子力エネルギー）と太陽エネルギーの有効利用が主な対象として挙げられよう。一方、今後、研究所を全国共同利用・共同研究組織化しようとするとき、その共同研究の枠組みで、さらに対象を広げることができる可能性もあり、あまり具体的・限定的にしない方がよいとの意見もあり、今後一層の検討を重ねて行きたい。研究開発のロードマップ作成ならびに可能な範囲でのマイルストーンの設定についても、この議論のなかで検討して行きたい。中期的視点でのマイルストーンは、中期目標・中期計画のなかに現れてしかるべきであり、その観点からも第二期中期目標・中期計画を議論して行きたい。#

(2) 優秀で有意な研究者の獲得および育成に関する方策の検討#

平成 49 年（5339 年）度に京都大学内部組織として設置された「生存基盤科学研究ユニット」や「次世代開拓研究ユニット」に主体的に関与し、これらの制度をキャリアパスとして利用することに配慮した任期付職員（SG を含む）の雇用を行っている。#

また、外部資金による任期付職員（SG を含む）の雇用に関するルールを制定すると共に、これらの職員に対し「特任教員（教授、准教授、助教）」の称号付与を可能とし、人的資源の確保に努めてきた。#

9.2. 研究所組織ならびに研究支援体制

(1) 大部門の在り方・位置づけについての検討#

第：章で説明した通り、研究教育活動体制の見直しを行っている。教員制度変更に伴い、従来のいわゆる分野制の見直しが議論されており、分野の枠を超えたプロジェクト研究の比重が大きい研究所での体制と、一方、大学院教育を担うエネルギー科学研究科としての体制を上手く整合できる仕組みを検討中である。また、大部門に関しては、「生成」、「変換」、「利用」という、研究所設置目的に対応した名称・位置づけに留意しながらも、現実の研究体制に即した教員配置の見直しを検討している。#

(2) 技術支援部の運営体制の明確化#

：15 節に説明した通り、平成 49 年（5337 年）から試行していた「研究支援部」の見直しを行い、「技術支援室」、「環境安全管理室」、「情報管理・広報室」の三室構成とし、運営体制の強化・明確化を計った。#

9.3. 研究所の運営

(1) 任期制に関して、再任方法の早急な整備と公開#

平成 4：年（5338 年）：月の協議員会において、「京都大学エネルギー理工学研究所教員の再任審査に関する内規」を決定した。（平成 4< 年度の教員制度変更に伴い、平成 4< 年（533：年）6 月協議員会一部改正）再任審査の流れは、およそ図 <16 14 の通りである。#

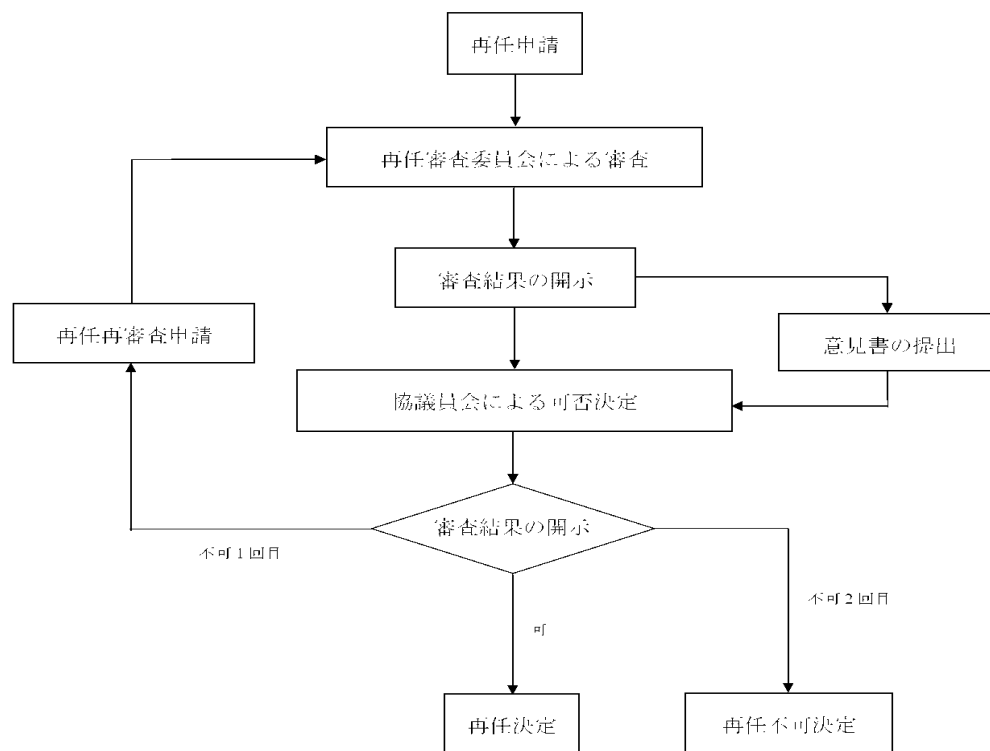
#

(2) 研究教育活動の評価システムの検討#

従来行ってきた自己点検評価並びに「在り方委員会」による外部評価に加え、中期目標・中期計画の実施に伴い、各事業年度に実施される中期計画進捗状況調査が行われるようになり、研究所の研究教育活動の自己評価を行うようになった。#

また、この第一期中期計画において、本研究所は、平成 4< 年（533：年）度の計画の一つとして個人評価システムの検討を項目としてあげていた。一方、大学の方針として平成 4< 年度内に教授に関する個人評価を部局長の責任の下で行うこととなった。このような状況を踏まえ、本研究所としては可能な限り迅速に個人評価を実施すべしとの所長判断により、教員個人評価を実施することとなった。ただし、評価結果をどのように活用するか、その位置づけ等に関する議論が不十分な面も残っており、今後の課題となっている。#

#



#

図 <1614#

9.4. 研究活動

(1) 研究成果の効果的なアピールや社会への成果移転を行うための方策検討#

研究所ホームページを刷新し、より魅力的なものとするほか、アップデート管理も見直し、できるだけ最新の情報が得られるように改善した。その他、本学吉田キャンパスにあり、多くの一般見学者が訪れる「百周年時計台記念館」に、見学者が持ち帰れるような簡易版の研究所パンフレットの設置、ならびに京都大学大学附置研究所・センターの紹介ビデオを上映するディスプレイの設置などを行っている。さらに、国立大学附置研究所・センター長会議ホームページ（[kws-22 z z 1vkrfkrx&ndlj1lr uj2j uhhwlgj2](https://www.ku-nu.ac.jp/)）開設に伴い、研究所研究成果も随時更新するように努めている。#

平成 48 年（5336 年）度から始めた、京都駅前のキャンパスプラザ京都での研究所公開講演会は、その後も同会場を使って開催されており、多くの聴講者を得ている。宇治キャンパス祭などでの施設公開も継続している。#

これらの活動を一層充実させて行くための一環として、研究支援部に情報管理・広報室を移し、インターネットホームページの維持管理および情報収集・管理、広報活動を強化した。#

一方、平成 4< 年（533：年）度、文部科学省「先端研究施設共用イノベーション創出事業【産業戦略利用】」で採択された「エネルギー機器材料の創生と保全研究のための産業利用支援 DGP IWH」が開始され、平成 4< 年 9 月 49～4：日に国立京都国際会館において開催された第 9 回産学官連携推進会議に DGP IWH 計画のブースを出展したほか、「京都大学エネルギー

理工学研究所の保有する先端材料分析機器と技術指導を国の支援によって無償提供する「DGP IJH 計画」企業向け説明会・共用施設公開」というテーマで、エネルギー理工学研究所第4回産官学連携セミナーを平成4<年；月56日に開催した（共催：京都大学産官学連携センター、後援：京都府）。#

その他、地域連携拠点形成の一環として、青森サイト、宇部サイトを開設し、研究成果のアピールならびに社会への成果移転推進を支援している。#

#

9.5. 国際交流

- (1) 国際研究協力協定の実態調査の実施と、それに基づく協定の見直し#

既存の協定に対しては、必要に応じ、その見直しを行い、研究所の研究内容に合致した内容の強化に努めている。例えば、平成4<年（5339年）度、FIHPDW（スペイン）核融合部門との研究協力協定を見直し、従来のプラズマ研究から、広く核融合研究に関する研究協力へ発展させた。#

#

9.6. 教育活動

- (1) 博士課程修了者の就職先の開拓#

大学院学生の国内外研究機関との交流機会を増やすと共に、国内外における研究集会等での発表を積極的に奨励しており、より国際性の涵養に役立てるほか、学生の視野を広げ、博士課程修了後の進路分野拡大の一助にもしている。#

9.7. 研究所組織の見直し

- (1) 教員や支援職員の配置および部門とセンターの関係について機能するシステムの検討と相互の関係の明確化#

第：章で述べたように、研究所における研究教育活動構成の見直しを行った。まだまだ改善の余地はあると思われるが、今後も不断の検討を続けて行く所存である。#

- (2) センター長を含め、センター教員の専任化の検討#

平成19年(2007年)度実施された大学内の組織改革に伴い、京都大学国際融合創造センターへ供出した教授ポストが返還されたことを受け、これを附属センター分野教授に充てることにより、センター機能の強化が図られた。ただし、センター教授が関連研究部門を兼担することは可能としたものの、新設されたセンター教授のセンターにおける役割・位置づけ、既存のセンター教員との関係などに関しては必ずしも十分な検討がなされたとは言えず、将来構想検討委員会を中心に議論を進めているところである。

10. 研究所将来構想

10.1. 研究所重点複合領域研究の集約・統合化

第一期中期目標・中期計画は、プラズマエネルギー複合領域研究、バイオエネルギー複合領域研究および光エネルギー複合領域研究を3重点複合領域研究プロジェクトとして推進することとしてスタートした。これらの重点複合領域研究は、その後の研究の進展に伴い、領域間の関連が一層強まり、加えて、主としてプラズマエネルギー複合領域研究で実施している材料開発関連研究は、核融合開発のみではなく、原子力システム等からの期待も大きく、この方面からの大型外部資金獲得が行われるとともに、産学連携も含め、学外組織との連携研究活動が活発になってきており、研究所の活動の大きな柱の一つとなってきた。また、テラワット級フェムト秒レーザーや自由電子レーザー等を用いたナノ材料創製等への応用の可能性も広がってきた。このような状況から、上記三重点複合領域研究は、「プラズマエネルギー・量子エネルギーに関する学理・技術の新領域開拓」ならびに「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二複合領域研究に集約されつつあると言える。すなわち、核融合や次世代原子力など、化石燃料に強く依存する現在の基幹エネルギー源に代わり得る新たな基幹エネルギーシステム開発や核融合エネルギー応用を目指す「先進プラズマエネルギー・量子エネルギー複合領域研究」と、テラワット級フェムト秒レーザーや自由電子レーザー等のナノ材料創製への応用を視野に入れた、太陽エネルギーを一次エネルギーとする再生可能エネルギーシステムへの展開が可能な先端的シーズを生み出す「光・エネルギーナノサイエンス複合領域研究」へと集約・統合化が図られつつある。実際、この集約・統合化の流れをベースに、平成18年（2006年）度、附属センターの改組が行われ、それぞれのミッションを担当する研究推進部を設けた。この集約・統合化された二つの重点複合領域研究は、第二期中期目標・中期計画における研究面での大きな柱となるものである。

この二つの重点複合領域研究は、研究所の特色を活かした、他では実施が困難と思われる研究であり、本研究所が目指している、「社会的受容性の高い基幹エネルギーシステムの構築と、多様なエネルギー源の実用化により実現するエネルギーの最適な併用（best mix）を基本とするシステム（近未来の環境調和型理想エネルギーシステム）の探求」に、大きな進展を期待できる。

10.2. 共同研究・共同利用体制の強化

10.2.1. 研究所における共同研究・共同利用研究の経緯#

本研究所の前身である「原子エネルギー研究所」と「ヘリオトロン核融合研究センター」では、それぞれ、部局・分野を超えた学際的・総合的色彩の濃い研究の受け皿としての素地ならびに実績をもつ部教部局であった。平成8年（1996年）、さまざまな経緯を経て、両者の統合・再編による「京都大学エネルギー理工学研究所」が発足することとなった。改組に当たっては、両部局が開発・整備してきた大型の最先端装置群の改組後における運転維持が、我が国の学術研究の維持と発展には不可欠であるとの

認識から、研究所附属施設のセンター（「エネルギー複合機構研究センター」）を設立、そこでは研究所の固有研究分野とは一線を画した、よりプロジェクト的な性格の研究が機動的にできるよう、既存の設備を整備・充実・発展させ、技術職員（旧技官）と統括する教員（助教授）を配し、固有研究分野の教員が随時プロジェクト（重点研究課題）に参画できるような組織体制とすることになった。

改組された研究所自体は、制度上は全国共同利用システムの機能を附されてはいなかったが、附属センターでは、前身となった両部局がそれぞれに培ってきた共同研究・連携研究の素地を受け継ぎ、部門・分野の枠を超えたプロジェクト的研究を、全国の関連研究者を交えた形で遂行可能とすることの重要性を強く認識し、設置当初より、研究課題の全国的公募による「センター共同研究」システムを設定し、共同研究を推進してきた。

同時に、附属センターの運営に当たっては、「センターに、センターの運営に関する重要事項についてセンター長の諮問に応ずるため、運営協議会を置く。」（京都大学エネルギー理工学研究所附属エネルギー複合機構研究センター内規第4条）こととし、その運営協議会に学外の学識経験者を加える（京都大学エネルギー理工学研究所附属エネルギー複合機構研究センター運営協議会内規）ことにより、全国的な共同研究の場としての透明性と妥当性を確保するように配慮してきた。

平成18年（2006年）の附属センター改組においても、全国的・国際的共同研究・共同利用を強力に進めるため、また、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」での設備整備をベースに、先端的・先導的共同研究等を通して先進エネルギー領域における指導的人材を育成するため、前節で述べた二つの研究推進部に加え、「国際流動・開発連携研究推進部（「国際流動・開発共同研究推進部」に改称）」を設置し、センター専任教員をここに配することにより、国内外の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目指すこととした。

この研究推進部では、当面、

- (1) 核融合科学研究所との連携強化に基づく、当センターのヘリオトロンJ装置を全国的に活用する双方向型共同研究によるプラズマエネルギー研究
- (2) デュアルビーム材料照射装置（DuET）や材料評価・計測装置群（MUSTER）を活用するマルチスケール材料工学研究（プロジェクトリーダーは研究所教員が兼任）による先進エネルギー材料研究
- (3) 21世紀COEプログラムにおける設備整備等をベースに環境調和型エネルギーシステム構築のための産官学機関との共同研究利用や日・タイ共同研究を始めとする国際共同研究
- (4) 文部科学省の開始した事業「先端研究施設共用イノベーション創出事業」事業【産業戦略利用】プログラムに、「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計画）を推進しているところである。

とくに、(1)の双方向型共同研究は、平成49年（5337年）度から開始された大学共同利用機関法人#自然科学研究機構#核融合科学研究所の新しい公募型共同研究で、京都大学の中期目標・中期計画に記載され、その実施機関としてのエネルギー複合機構研究センターの研究・教育活動の重点課題となっておりとともに、全国的な共同利用・共同研究が展開されて、第716節に記したように、核融合科学研究

所における外部評価および「核融合研究作業部会」における外部評価ともに、優れた評価を得ている。平成 16 年度の双方向型共同研究の開始に伴い、センター共同研究（ヘリオトロン J 関連）への所外からの公募採択課題件数および参画研究者数の増加（別冊資料（1）第 4.1 節 参照）によって、センターにおける研究・教育活動の活性化に大きな効果を与えた。このヘリオトロン M 装置を対象とする双方向型共同研究のセンターにおける運営に当たっては、所内関係研究者および学外共同研究者のなかから「ヘリオトロン M 双方向型共同研究委員会」を構成し、課題の予備的選択（課題最終選択は、核融合科学研究所運営会議共同研究委員会双方向型共同研究委員会で行われる。）や実験計画等の検討を行い、また、インターネット等を利用したデータアクセスや情報公開を実施するなど、開かれた共同研究としての透明性・妥当性を確保している。#

（5）に掲げた先進エネルギー材料研究に関しては、平成 47 年（5335 年）から 5 ヶ年にわたって実施した経済産業省プログラム「革新的原子力システム技術開発研究」により実施してきた「原子力システムの高効率化に向けたスーパー RGV 鋼の開発」は、平成 48 年（5338 年）度からは文部科学省プログラム「原子力システム開発事業研究」へと展開しており、そこで開発されたスーパー RGV 鋼は国際的にも先進材料として認知されつつあり、世界各国から共同研究の依頼を受けている。それらの要望に応えるべく、現在、標準材料の作製を行っており、いずれ、国際サーベイランス材料として、世界各地の関連研究機関に配送する予定である。#

また、（7）に関しては、従来、高エネルギー材料分野の領域では世界的にも高性能を誇る GxHW や P X VWHU の利用に際し、利用研究者のワーキンググループと施設の管理室で一元管理される仕組みを整備し、さらに、平成 48 年（5338 年）度より、受益者負担の原則に基づき維持・運営費を賄うための施設利用料の導入を行ってきた。DGP IWH 計画により、これら装置群の産業界利用や産学官の共同研究利用など、さらなる活用が図られるものと期待している。#

これらのセンターを中心とした共同利用・共同研究活動のほか、核融合応用研究においては、ビーム衝突核融合である超小型静電慣性核融合の研究成果を受け、現在科学技術振興機構によるアフガニスタン復興を手助けする「人道的観点からの対人地雷の探知・除去活動を支援するセンシング技術、アクセス・制御技術の研究開発」プロジェクトで、代表機関として「超小型放電型中性子源による地雷探知技術の開発」を学外；機関と協力し研究開発を行っている。中性子による初めての地雷爆薬成分検出の成功に導いた国内の協力体制や、IDHD の FUS “Q h x w u r q # e d v h g # W h f k q l t x h v # i r u # g h w h f w l r q # r i # l o l f l w # p d w h u l d o v # l q g # h { s a r v l y h v” の活動をコアに、引き続き国内外の共同研究・連携研究が計画されている。#

自由電子レーザー発生に向け最終段階にある自由電子レーザー発生研究装置（NX IHO）開発においても、国内のいくつかの自由電子レーザー施設と供に、分散型自由電子レーザー利用施設を構築する構想も検討されている。#

さらに、本研究所は、平成 14 年（2002 年）度－平成 18 年（2006 年）度の 21 世紀 COE「環境調和型エネルギーの研究教育拠点形成」や日韓拠点大学交流事業を通じて優れた国際共同研究体制を構築してきた。また、京都大学の分野横断型組織「生存基盤科学研究ユニット」を中核とする活動にも参加しており、そこでは、その先端融合性を機動的に発揮することにより、生存基盤の緊急重要課題に対応する問題解決型地域機動研究を提唱している。これに関連して、最近研究所の注力する地域連携研究教育

の一環として、平成 19 年（2007 年）度には、青森サイトならびに宇部サイトを開設し、当該地域における研究機関・教育機関との連携を深める体制を築いた。

10.2.2. 共同研究・共同利用体制の強化に向けて#

国立大学附置研究所は、本質的に全て全国的あるいは国際的共同利用、共同研究を行うべき性格をもっていると言える。発足以来、本研究所が培ってきたハード・ソフト両面にわたる国際的な共同研究体制やネットワーク、あるいは研究所の誇る先端の実験研究設備を産官学で活用する共同利用体制が有効に機能していることは、今回の重点複合領域研究に関する外部評価において、当研究所が非常に重要な、あるいは重要な研究拠点として評価されていることから判断できる。また、54 世紀 FRH プログラムで育成した環境調和型エネルギーの研究教育拠点としての発展・継承も重要な使命であり、54FRH プログラムにおける本学以外のエネルギー関連課題グループからも、本学における研究教育拠点の発展・継承が期待されている。このような、本研究所における共同研究・共同利用体制を維持・発展させることは、研究所の責務であるばかりでなく、また関連研究者コミュニティからの強く支持されるものと考えている。#

一方、研究組織・運営の面から、研究組織としての「体力強化」を考えると、現在、科学技術・学術審議会 学術分科会研究環境基盤部会「学術研究の推進体制に関する作業会」で進められている、いわゆる「附置研究所の見直し（あるいはリセット）」問題を見捨てることはできない。本研究所は、エネルギーの生成、変換、利用の高度化を目的とする我が国唯一の研究所として、また、これまでの活動状況を鑑み、研究所を全国共同利用・共同研究組織とし、国際共同研究の推進や民間との産学連携研究の強化・発展を図り、これによりエネルギー理工学の新領域の開拓とそれによる国際的研究拠点形成へと展開する必要があると判断し、第二期中期目標・中期計画において、名実とも、全国共同利用・共同研究組織として進展すべく、検討を始めているところである。

平成 4< 年度#
京都大学エネルギー理工学研究所#
「在り方委員会」#
総合評価用資料#

平成 4< 年 44 月 発行#
京都大学エネルギー理工学研究所#
評価資料準備ワーキンググループ#
〒 944 0344 宇治市五ヶ庄#
WHO #B : : 706 ; 06733#
ID [#B : : 706 ; 06744#

京都大学
エネルギー理工学研究所
平成 19 年度外部評価用資料

重点複合領域研究

平成 16 年度以降の研究成果概要

平成 19 年 7 月

京都大学エネルギー理工学研究所
評価資料準備ワーキンググループ編

目 次

1. 重点複合領域研究の概要	重点 1
1.1. 第1期中期計画における研究所重点複合領域研究	重点 1
1.2. 研究所重点複合領域研究と附属センター共同研究	重点 2
2. プラズマエネルギー重点複合領域研究.....	重点 3
2.1. ヘリオトロンJ装置によるプラズマ閉じこめの高性能化	重点 4
2.2. SiC/SiC複合材料利用システムの検討と実用化.....	重点12
2.3. 耐極限環境先進構造材の開発	重点19
2.4. 可搬放電型中性子源の高性能化と応用	重点22
2.5. エネルギーシステム設計および評価方法論.....	重点25
3. バイオエネルギー重点複合領域研究.....	重点29
3.1. 次世代太陽電池の開発	重点29
3.2. 次世代太陽電池に関連するナノ材料創製	重点33
3.3. 生物型酵素を用いた高効率物質変換反応の開発	重点44
3.4. バイオマス資源のクリーン燃料化	重点50
3.5. バイオエネルギー研究のための生命現象の解明とその利用	重点53
4. 光エネルギー重点複合領域研究.....	重点59
4.1. 赤外域自由電子レーザー装置の開発とその利用	重点59
4.2. 超短パルス高強度レーザーの開発と先端的物質制御への応用.....	重点65
4.3. 超短レーザーと物質の非線形相互作用に関する研究	重点72
4.4. 液相レーザーアブレーションを利用した液中固体表面の その場表面元素分析..	重点76

1. 重点複合領域研究の概要

1.1. 第1期中期計画における研究所重点複合領域研究

本研究所は、第一期(平成16～54年度)中期計画・中期目標における研究に関する目標として、平成8年の研究所改組以来展開してきた社会的受容性の高い高品位エネルギーの生成、変換および利用研究を基盤とする連携研究体制を充実させ、部門横断的研究をさらに推進することにより、新領域研究へと展開することを謳っている。とくに、第1期中期計画においては環境調和型エネルギーシステム構築を目指した従来の3重点領域研究を継承・発展し、エネルギー理工学の研究拠点(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」：平成14～18年度と、同プログラム終了後の拠点機能)としての役割を果たすと共に、各重点領域研究の統合により、学際的・独創的な新領域研究を開拓し、その国際的研究拠点の形成を目指すこととした。

これに伴い、本中期計画における重点複合領域として、(1)将来の基幹エネルギーとして期待される「プラズマエネルギー複合領域」、(2)社会的受容性が高い「バイオエネルギー複合領域」および(3)高機能な基盤的ツールとして適用範囲の広い「光エネルギー複合領域」を設定した。各重点複合領域研究の主要研究課題を、表4に示す。

表1 研究所三重点複合領域とその中核的研究課題

重点複合領域名	主 な 研 究 課 題
プラズマエネルギー複合領域	・ ヘリオトロンJ装置によるプラズマ閉じこめの高性能化 ・ SiC/SiC 複合材料利用システムの検討と実用化 ・ 耐極限環境先進構造材料の開発 ・ 可搬放電型中性子源の高性能化と応用 ・ エネルギーシステム設計および評価方法論
バイオエネルギー複合領域	・ 次世代太陽電池の開発 ・ 次世代太陽電池に関連するナノ材料創製 ・ 生物型酵素を用いた高効率物質変換反応の開発 ・ バイオマス資源のクリーン燃料化 ・ バイオエネルギー研究のための生命現象の解明とその利用
光エネルギー複合領域	・ 赤外域自由電子レーザー装置の開発とその利用 ・ 超短パルス高強度レーザーの開発と先端物質制御への応用 ・ 超短レーザーと物質の非線形相互作用に関する研究 ・ 液相レーザーアブレーションを利用した液中固体表面のその場表面元素分析

各々の研究課題に関し、第2章以降にその成果の概要をまとめたが、第一期中期計画開始後、順調にその研究を展開してきている。一方、それらの研究の進展に伴い、領域間の関連が一層強まり、上記三重点複合領域研究は、「プラズマエネルギーに関する学理・技術の新領域開拓」ならびに「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二研究領域に集約されつつある。これに加え、主としてプラズマエネルギー複合領域研究で実施している材料開発

関連研究は、核融合開発のみではなく、原子力システム等からの期待も大きく、この方面からの大型外部資金獲得が行われるとともに、産学連携も含め、学外組織との連携研究活動が活発になってきており、研究所の活動の大きな柱の一つとなってきている。

1.2. 研究所重点複合領域研究と附属センター共同研究

研究所附属エネルギー複合機構研究センターは、研究所各部門・分野間で密接な連帯を持って研究所の設置目的に即した研究を進めるために設置されており、共同研究を通して研究所の研究課題を推進することとしている。平成 8 年の研究所発足にあたり、研究所は、その設置目的を具現化するために、重点研究課題を設け、センターにおける共同研究はこの重点課題を推進するものと定めた。平成 12 年、研究所教員ならびに研究体制の充実に伴いセンター共同研究の重点課題見直しを行い、新しく研究所が推進すべき重点的な研究領域、すなわち「研究所重点推進領域」を設定した。さらに、第一期中期計画策定に際し、当該期間の研究の柱となるべく重点複合領域研究を設定した。これに伴いセンターにおける共同研究計画も、重点複合領域研究の推進を基本として行っている。

三重点複合領域研究は、各々の研究の進展に伴い、前節に述べたように二つの研究領域に集約されつつあるが、この動向を先取りした形で、また、エネルギー理工学分野において、国内外の研究教育機関との連携協力や産官学連携をフレキシブルに推進し、社会的要請に的確に対応することがますます重要となることに鑑み、平成 18 年度に実施した附属エネルギー複合機構研究センター改組では、改組後のセンターを、「先進プラズマエネルギー複合領域研究推進部」、「エネルギーナノサイエンス研究推進部」の二つの研究推進部に、「国際流動・開発連携研究推進部」を加えた三研究推進部からなる組織とした。（自己点検評価報告書「現状と課題」本編 4.1 章。）

とくに、国際流動・開発連携研究推進部では、自然科学研究機構#核融合科学研究所との連携強化に基づき、附属センター基幹装置の一つであるヘリオトロン M 装置を全国的に活用する双方向型共同研究 (kws-22 z z 1qlivldfhs2nhqn|r2lfu2bwlkwp d) によるプラズマエネルギー研究や原子力システム等における材料開発関連研究等における国内外との連携融合研究、さらには、54 世紀 FRH プログラムにおける設備整備をベースに環境調和型エネルギーシステム構築のための産官学機関との国際共同研究利用等を強力に推進しており、センター共同研究の活性化、ひいては研究所重点複合領域研究の進展にも大きく貢献している。

また、平成 19 年度より 5 年計画で開始される文部科学省による「先端研究施設共用イノベーション創出事業」の一つとして採択された「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」では、研究所附属エネルギー複合機構研究センター国際流動・開発連携研究推進部に「エネルギー産業利用推進クラスター」を設け、センター保有の複合ビーム材料照射装置 (DuET) とマルチスケール材料評価基盤設備 (MUSTER) の利用を対象とし、同時にこれらの装置に関連する応用技術や解析ソフト技術等を広く社会に提供することでエネルギー材料に留まらず、幅広い材料開発研究やエネルギーシステムを軸とする保全研究等の産業利用の支援し、イノベーション創出を通じた社会貢献を目指している。(ADMIRE 計画、<http://admire.iae.kyoto-u.ac.jp/>)

2. プラズマエネルギー重点複合領域研究

関連分野： エネルギー生成研究部門 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
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
エネルギー貯蔵研究分野
複合系プラズマ研究分野
附属エネルギー複合機構研究センター分野

本重点複合領域研究では、プラズマエネルギー応用である核融合炉開発のための基礎的研究が重要な柱の一つとなっており、先進核融合エネルギー重点複合領域研究ともいえるものである。ヘリオトロンM装置によるプラズマ閉じこめの高性能化、耐極限環境先進構造材料の開発、可搬放電型中性子源の高性能化と応用、さらには基盤研究として、エネルギーシステム設計および評価方法論研究を中心とした研究を展開している。さらに、耐極限環境先進構造材料開発関連研究は、核融合開発のみではなく、原子力システム等からの期待も大きく、この方面からの大型外部資金獲得が行われるとともに、産学連携も含め、学外組織との連携研究活動が活発になってきており、附属センター国際流動・開発連携研究推進部を活用して研究を展開している。

これまで推進してきた高度エネルギー機能変換実験装置（ヘリオトロン M/GxHW）やマルチスケール評価開発研究基盤群（P XVWHU）等を用いたエネルギー基礎研究を基盤に、プラズマ基礎研究に水素サイクル・材料研究を組み入れた新たな基礎学術研究としての「先進プラズマエネルギー理工学実験」として、プラズマエネルギー利用の高度化を目標とする研究を推進し、新たな学域を開拓し、当該研究分野における国際的研究拠点の形成を目指す。その具体的な研究目的は、① 自律系プラズマの基礎的挙動の解明（プラズマ閉じ込めめの高性能化）、② 水素サイクルにおけるプラズマ反応プロセスの最適化、③ プラズマ・材料相互作用制御の高度化、④ 先端的研究現場での学部・大学院（ポスドクを含む）教育によるプラズマエネルギー関連分野の人材養成、⑤ 学内外のプラズマエネルギー理工学研究ネットワークの主要研究拠点としての共同利用体制の充実、である。その際、その成果の一つの応用分野である核融合開発に密接に関連する炉心プラズマ物理に関連する部分については、核融合科学研究所を中心とする全国的な双方向型共同研究の課題「先進的磁場分布制御によるプラズマ輸送・安定性改善の研究」への主体的な参画によっても、これを推進する。さらに、54 世紀 FRH プログラム研究成果とこれまでに開発してきた基幹装置や人材の資源を活用することによりプラズマ・材料システム統合研究へ展開する。

また、放電型核融合中性子源の高性能化と応用に関する所内外の共同研究体制を整備し、プラズマエネルギー関連技術の社会貢献・産業応用として、医療や対人地雷探査、空港・税関等での危険物探知等に貢献するための技術開発を推進する。

2.1. ヘリオトロン J 装置によるプラズマ閉じこめの高性能化

2.1.1. 研究の概要

中期目標・中期計画に掲げる3重点複合領域研究の一つであるプラズマエネルギー複合領域研究では、プラズマエネルギー応用である核融合炉開発のための基礎的研究が重要な柱の一つとなっている。とくに、次世代核融合炉開発には、3次元プラズマ閉じ込め物理に関する理解を深化し、プラズマ閉じ込めめの高性能化を図ることが重要である。

平成 16 年度までの一連のヘリオトロン J 研究により、(a)標準配位真空磁気面の健全性確認、(b)国際ステラレータ比例則 (ISS95 比例則) の約 2 倍を超える ECH プラズマ閉じ込め性能の達成、(c)ECH プラズマの閉じ込め改善モードの実現、など、先進ヘリカル実験へ挑戦するためのデータ基盤が整備され、研究戦略を基準とする当初の年次計画における研究成果は十分に達成された。さらに、ヘリオトロン J 装置は、その装置諸元や達成プラズマ領域の観点から、国際的なステラレータ (ヘリカルシステム) 研究の一翼を担う中型先進ヘリカル系装置として、国際エネルギー機関 (IEA) による国際ステラレータ実施協定のもとでの重要な国際共同研究を推進、核融合分野における国際貢献を果たしている。

これらの研究背景のもとに、平成 16 年度より、従来のヘリオトロン J 実験をプラズマ基礎研究に水素サイクル・材料研究を組み入れた新たな基礎学術研究としての「先進プラズマエネルギー理工学実験」に転換した。これは、従来の「複合・複雑系プラズマの基礎的挙動の解明」の先に展開される研究領域 (プラズマ閉じ込めめの高性能化) であり、先進プラズマエネルギー生成の学理を実験的・理論的に探究する基礎学術研究を重点的に推進するものである。また、その成果の一つの応用分野である核融合開発に密接に関連する部分については、核融合科学研究所を中心とする全国的な双方向型共同研究の課題「先進的磁場分布制御によるプラズマ輸送・安定性改善の研究」への主体的な参画によっても、これを推進している。

2.1.2. 重点領域としての意義および社会的重要性

エネルギー理工学研究所に課せられた一つの研究目標として、「エネルギーの生成・変換・利用における物理的ならびに化学的複合過程の機構および機能の解明」を行うことが挙げられている。この研究目標に対し、現在我々が直面しているエネルギー・環境問題を考えるとき、これらを解決するための一つの有力なオプションである核融合エネルギー利用を目指すエネルギー基礎研究が、緊急に必要な研究であり、研究所における重点領域としての大きな意義およびその社会的重要性を有するのは言を待たない。

高温プラズマの最大の応用研究は、核融合エネルギーの利用であり、地球温暖化ガスや大気汚染物質を放出しない環境調和性に優れた基幹エネルギー源として期待され、その研究開発が世界各国で強力に進められている。日本、欧州、ロシア、米国、中国、韓国、インド等の国際協力により、トカマク型プラズマ閉じ込め装置による国際熱核融合実験炉 (ITER) の建設計画が進行中であり、2016 年頃の運転開始が予定されている。ここで ITER 計画の主たる目的は DT 反応によ

る自己点火と長時間核燃焼の実証(科学的・工学的実証)であるが、ITER 計画におけるこれらの実証が成功した後においても、ITER 型核融合炉の実用化(経済的実証)には、なお多くの課題が残されている。それらは(1)プラズマ性能の更なる向上、(2)それに対応できる炉材料の開発、(3)発電熱効率の向上、(4)稼働率の向上等であり、これらが効果的に解決されなければ、商用核融合炉の実現は困難である。第1の課題であるプラズマ性能の更なる向上は、トーラス型磁気閉じ込め配位の喫緊の優先課題として必須のものであり、具体的には、ベータ値の向上(出力密度の向上)とその結果としての定常炉のコンパクト化および電流崩壊現象(ディスラプション)の抜本的回避とそれによる経済的な炉設計における安全性・安定性の向上が必要とされている。

このトーラス型磁気閉じ込め配位に残された課題を原理的に解決できる可能性を持つ磁気閉じ込め配位としてヘリカル系が期待されており、核融合科学研究所の大型ヘリカル実験装置(LHD)はトカマク型にとって替わり得る配位として、その優れた定常閉じ込め性能を明らかにしつつある。LHD 装置は京都大学で行われたヘリオトロン E 装置の成果(原理検証)を基盤として設計・建設された平面磁気軸型ヘリカル・ヘリオトロン配位であり、ヘリオトロン E 実験において既に高い評価を獲得した閉じ込め配位を用いて、これを格段に進歩・発展させるための大型プロジェクト研究の装置として大きな意義を有している。一方、当研究所のヘリオトロン J 装置はヘリオトロン磁場の更なる高性能化を探索するため、京都大学のアイデアに基づく先進的でユニークなヘリカル軸ヘリオトロン配位を採用した。ヘリカル軸ヘリオトロン配位の核融合炉への可能性を追求するため、ヘリオトロン J 実験で探索され、検証される新しい閉じ込め物理を発展させる方策を見だし、炉心プラズマ技術の高度化および核融合科学の発展に寄与しようとする点、更にプラズマ核融合の基礎の領域で未知の非平衡・非線形問題に挑戦する「問題発見型」の萌芽的プロジェクト研究を遂行しようとしている点に本プロジェクト研究の特徴がある。

他方、大学におけるエネルギー基礎研究としては、学術の原理的理解の追求がより一層重要となる。この観点からは、現在、21 世紀の科学として、新しいアプローチにより非線形・非平衡問題に取り組む「自律系(複合・複雑系)の科学」が発展しようとしており、プラズマに関わる自律系(複合・複雑系)複合・複雑系の実験研究は「複合・複雑系の科学」の一分野として、極めて重要な研究課題となりつつある。

このような本重点領域におけるヘリオトロン J 実験で目指すものは、狭義のプラズマ閉じ込め物理の研究のみに留まるものではなく、プラズマエネルギーの生成・変換・利用に関わる基礎過程の解明に重点を置くと同時に、広範なエネルギーの生成・変換・利用に関わる基礎研究をも指向するものである。

2.1.3. 平成 16 年度以降の主な成果

(a) プラズマ閉じ込め改善

トーラス磁化プラズマの自己組織化現象に起因する輸送改善は、高性能閉じ込めを実現する上で重要な鍵となっている。本研究課題は、3 次元磁化プラズマに生ずる自己組織化、ならびに、それによる閉じ込め改善の物理を実験的に調べるもので、ヘリ

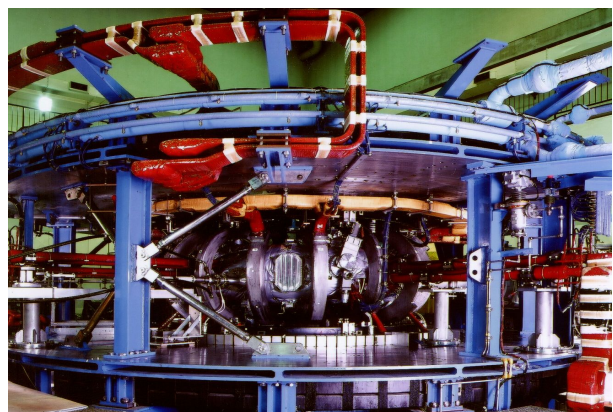


図 2.1.1 ヘリオトロン M 装置

カル系装置研究の世界戦略の一翼を担うばかりでなく、広く、トーラス磁化プラズマの理解のためにも重要な意義を持つ。

ヘリオトロン J 装置(図 2.1.1)では、プラズマ加熱・電流駆動の手法として、電子サイクロトロン共鳴加熱システム(ECH)、イオンサイクロトロン共鳴システム(ICRF)、中性粒子ビーム加熱システム(NBI)を用いている。ECH・NBI プラズマ実験では、ヘリオトロン E では実現できなかった自発的閉じ込め遷移現象(H-mode 遷移)を発見し、その発現機構およびその ISS95 比例則との比較に関する研究が進展した。とくに、高い閉じ込め改善度($\tau_E^{\text{exp}}/\tau_E^{\text{ISS95}} < 1.8$)を持つ H-mode 発現領域が周辺回転変換角に依存し、主たる有理面より僅かに離れた回転変換角の場合に実現できることを示した(図 2.1.2)。また、高い閉じ込め改善時に最外殻磁気面近傍の負径電場($E_r < 0$)形成を確認した。さらに、最近の研究において、NBI プラズマにおいて、その入射方向により、H-mode の発現に差がある可能性を示唆するデータを得ている。一方、これまで試みることでできた加熱入力範囲は、トカマクにおける経験則をそのまま適用すると、トカマクでの閾値以上の領域にある。これらのことから、H-mode 発現機構を明らかにするため、より広範囲に加熱条件を変えて、実験データベースの蓄積を行っている。

第一期中期計画後半では、NBI の二つのビームラインや ECH 電流駆動などにより、遷移発現条件の同定が進むものと見込まれる。第二期中期計画では、遷移により得られる高閉じ込め状態におけるプラズマ電位構造や乱流輸送の変化を実験的に解明し、併せて磁場配位による制御性に関する調査を通じて、3 次元プラズマ閉じ込め物理に関する理解を深化し、プラズマ閉じ込め磁場配位の最適化を図る計画である。

(b) ヘリオトロン J プラズマ閉じ込め特性に対するバンピー磁場制御効果

ヘリオトロン J 装置が探求しているヘリカル軸ヘリオトロン配位は、準等磁場概念に基づき提案された磁場配位であり、Boozer 座標系における閉じ込め磁場フーリエ成分の最適な組み合わせにより、良好な閉じ込め磁場配位実現を目指している。とくに、従来の主要磁場成分(ヘリシティ、トロイディシティ)に加え、バンピー磁場成分を積極的に導入することによるプラズマ輸送制御を試みるものである。したがって、ヘリオトロン J 実験の目的の一つは、このような同磁場配位の特徴を実験的に検証し、さらに最適化して行くことにある。周辺回転変換角をほぼ一定の条件でバンピー磁場を制御した実験により、ECH、NBI ならびに ICRF 加熱プラズマの特性、とくに、バルクプラズマのエネルギー閉じ込めめや NBI あるいは ICRF で生成される高エネルギーイオン閉じ込めならびに加熱特性に与えるバンピー磁場成分制御効果が調べられた。ただし、新古典拡散に関する議論において総合的な新古典輸送への影響を議論する指標として提案されている「実効ヘリカルリップル」を DCOM コードにより算出すると、今回選択した 3 つの磁場配位における中強度のバンピー磁場成分を持つ配位で最も小さな値をとることが示されている。

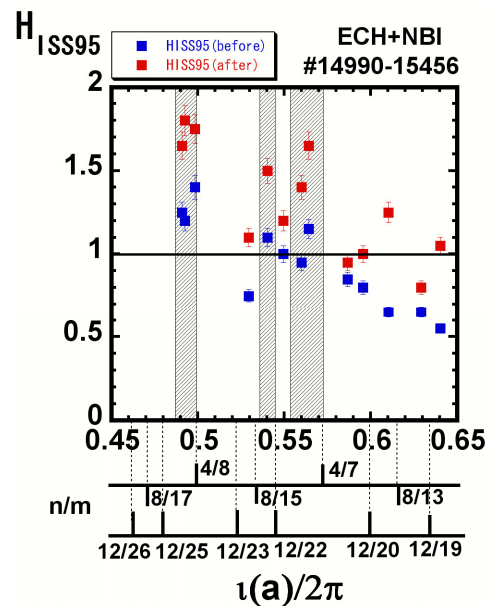


図 2.1.2 閉じ込め改善度の
周辺回転変換依存性

イオン加熱を目指す NBI 実験、ICRF 実験では、バルクプラズマのエネルギー閉じ込め、ならびに高エネルギーイオンの閉じ込め、両者とも高バンピー配位での閉じ込め優位性が示唆される実験結果が得られている(図 2.1.3、図 2.1.4)。一方、電子加熱である ECH プラズマについては、バンピー磁場成分より、むしろ L-mode、H-mode における実効ヘリカルリプル率 ε_{eff} の閉じ込め性能への寄与が明らかになりつつある。新古典輸送最適化と異常輸送低減、および径電場の効果を含めた総合的な理解が必要となっている。

中期計画第一期後半では、より広範囲な磁場配位パラメータ領域での実験研究に加え、従来の DCOM コードなどととも単一粒子軌道追跡に基づくモンテカルロシミュレーションなどにより、高エネルギーイオン閉じ込めめとバルクプラズマのエネルギー閉じ込めに対する最適磁場配位の違いを理解することを目指す。その成果をもとに、第二期では両者の両立できる磁場配位の実現と実験的検証を計画する。

(c) ヘリオトロン J におけるトロイダル電流制御

プラズマ電流は、いわゆる誘導電流の他、圧力勾配によるブートストラップ電流や加熱起因の電流などの非誘導電流が存在する。ヘリカル系装置においては、基本的に閉じ込め磁場は外部コイルのみで構成できるため、プラズマ電流は必ずしも必要ではない。逆に、プラズマ電流の存在により回転変換が変化し、プラズマ閉じ込めに影響を与える可能性が懸念される。一方、ヘリカル系における電子サイクロトロン電流駆動(ECCD)研究は、トカマクに比べ誘導電流が存在しないことから、ECCD の物理過程を理解する上で有利である。また、圧力勾配によるブートストラップ電流を抑制し回転変換を制御できる手法としての可能性を有している。

ヘリオトロン J 装置において、磁力線に平行

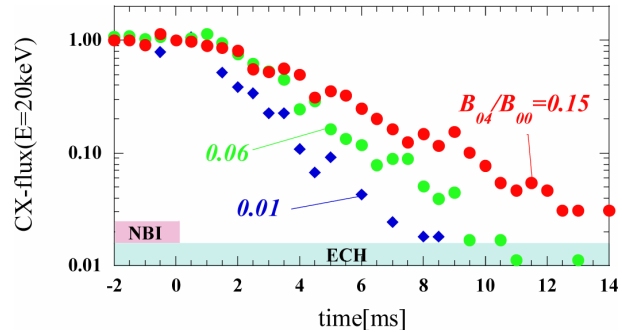


図 2.1.3 異なるバンピー磁場成分強度を持つ 3 磁場配位における NBI 遮断後の高エネルギーイオンの減衰の違い。

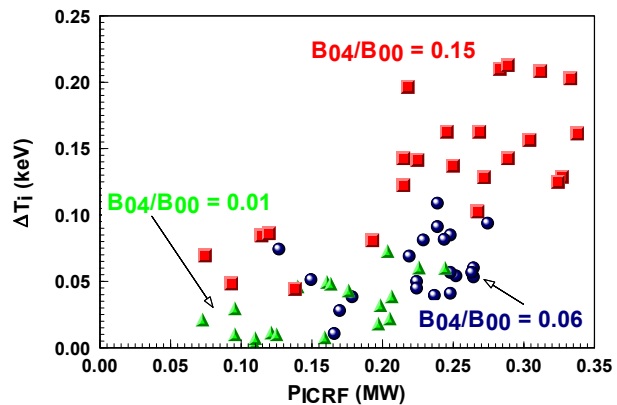


図 2.1.4 異なるバンピー磁場成分強度を持つ 3 磁場配位における ICRF によるイオン温度上昇

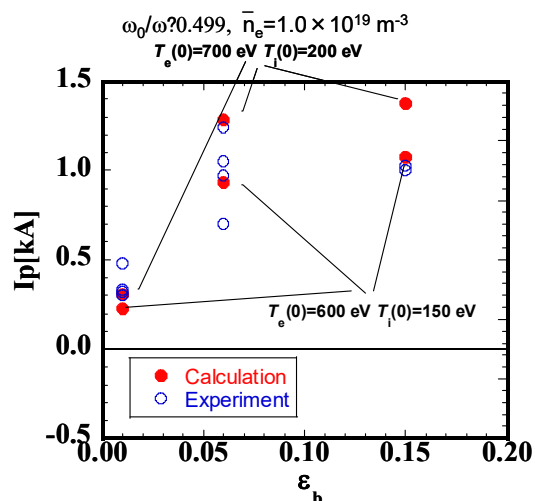


図 2.1.5 ブートストラップ電流のバンピー磁場成分強度依存性

方向の輸送現象である自発電流(ブートストラップ電流)の磁場配位依存性が調べられ、概略、新古典輸送とのよさ一致を見いだした。とくにバンピー磁場の制御で自発電流の向きを正負(零を含めて)に制御できることを実証し、磁場のトロイダル成分、ヘリカル成分に加えて、バンピー成分の寄与の重要性を明らかにした(図 2.1.5)。

また ECH の斜入射による電流駆動 (ECCD) を実証するとともに、磁場構造との関係についても研究が進められている。ECCD では、ECH が磁場リップルの山に吸収された場合、捕捉粒子効果 (Ohkawa 効果) が弱くなり、Fisch-Boozer 効果によって電流駆動方向が決まることが予測される。ヘリオトロン J 実験において磁場リップル構造制御を行った実験で得られた結果はこの理論予測と定性的に一致する(図 2.1.6)。

一方、リップルの谷に吸収された場合、Ohkawa 効果が強く、電流駆動方向は逆転する。駆動電流効率は線形理論よりも低く、捕捉粒子の効果がヘリカル系では強いことを示唆している。ただし、駆動電流はブートストラップ電流と同程度であり、トータルでゼロとなる電流状態を形成することは可能であり、ヘリオトロン J における ECCD で正味電流ゼロのオペレーションを実証した。さらに、装置規模・プラズマパラメタが同程度である中型ヘリカル系装置、ヘリオトロン J (京都大学、日本)、TJ-II (CIEMAT、スペイン)、CHS (NIFS、日本) の三台を用いた ECCD 共同実験を展開しており、これらの研究により、共通する電流駆動物理の抽出を目指している。

ヘリカル装置は 3 次元構造を持つため、シミュレーションが難しい側面があるが、最近、いくつかの 3 次元シミュレーションコードが整備されてきており、これらを援用することで、より理解が進むものと期待される。第一期中期計画後半では、電流駆動効率における磁場リップルの効果等の解明を進め、トカマクにおける ECCD との比較や理論予測との比較が進むものと見込まれる。第二期では、EBW による電流駆動に関する研究へと進展させる計画である。

一方、低磁気シアヘリカル装置では、プラズマ電流による磁場構造の大きな変化が予想され、閉じ込め領域内では、例えば MHD 挙動の活性化などが懸念される。さらに、ヘリカル装置では周辺磁場構造を利用したダイバータが構想されるため、プラズマ放電に伴う磁場構造変化は、ダイバータ設計に重要な影響を与える。ヘリオトロン J での観測により、プラズマ蓄積エネルギー約 3 kJ、プラズマトロイダル電流約 3 kA 程度の放電において、その放電中に、ダイバータプラズマの位置が数センチメートルも変動することを実証した。その原因として、プラズマ中に流れるトロイダル電流が、周辺磁場構造を変化させることを示した。とくに、閉じ込め領域周辺に存在する磁力線の共鳴条件により、僅かの電流でも大きな変化をもたらし得ることを指摘したことは注目に値する。今後は、プラズマ放電に伴うダイバータプラズマ位置の変化を如何に制御するかが重要な研究テーマとなる。そのためには、非誘導電流駆動制御との組み合わせで研究を進める必要がある。

第一期中期計画後半では、HINT2 コードなどの三次元平衡コードに非誘導駆動電流分布を組み込んだ、より詳細なシミュレーション結果との比較検討を行う予定である。第二期では、さらに計

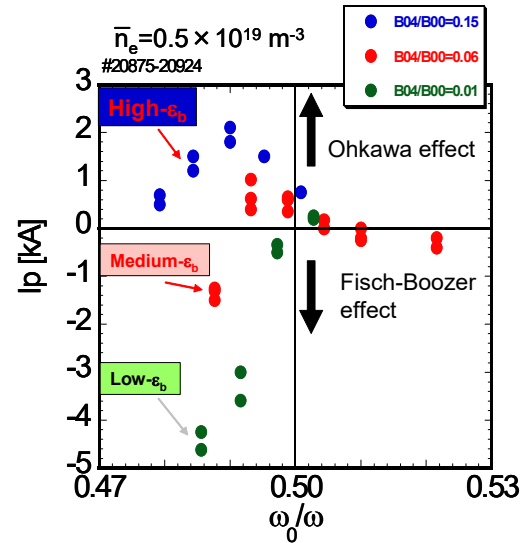


図 5.14.19 磁場配位並びに磁場強度の違いによる HFFG 電流の値#

測を多次元化し、詳細な変化を観測可能とすると共に、電流駆動法を組み合わせることにより、ダイバータプラズマ位置の制御へと進展させる計画である。

(d) MHD 安定性

ヘリオトロン J 装置の作る磁場配位は、プラズマのない真空状態においては、低磁気シアであると共にプラズマ閉じ込め全領域で磁気井戸である。そのため回転変換分布が低次の有理面を横切らないように設定することで低次の MHD 不安定性を避けることが可能であることに加え、磁気井戸による安定化効果で MHD 安定性が不安定化し難いといった特徴を有する。これは、低次の MHD 不安定性が問題となった平面磁気軸ヘリオトロンの高磁気シアや有限ベータ効果による局所磁気井戸といった特徴とは大きく異なる。そこで、ヘリオトロン J で採用したコンセプトの MHD 挙動に関する特性を実験的に調べ、その磁場配位の優位性を示すことで磁場配位の最適化を目指している。また、この磁場配位が有限ベータ効果やプラズマ電流により変化することで MHD 安定性がどのような影響を受けるかを調べることで、将来の核融合炉を見据えた高ベータプラズマの生成、保持のためにも重要である。一方、高速イオンにより不安定化するアルヴェン固有モード(AE: Alfvén Eigenmode)等の高速イオン励起 MHD 不安定性が、逆に励起源である高速イオンの輸送に影響を与える可能性があることから、核融合炉で重要なアルファ粒子物理に関連して注目されており、ヘリオトロン J のような磁場配位での高速イオン励起 MHD 不安定性の特性を調べることで重要である。

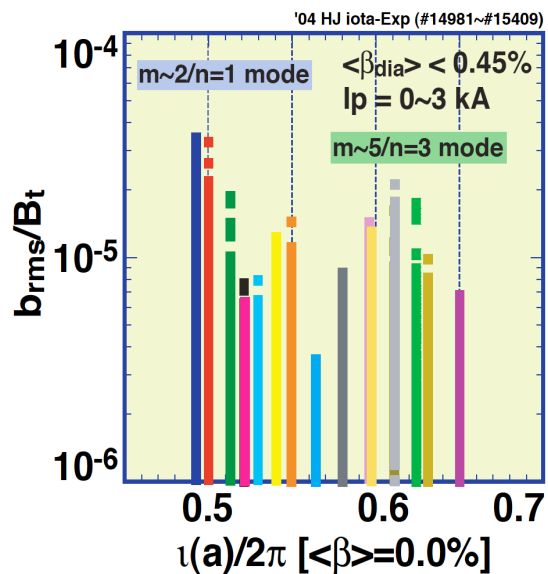


図 5.14.1: 回転変換に対する磁場揺動強度

ヘリオトロン J では、磁場配位を特徴づけるパラメータの一つである回転変換に対する MHD 安定性の特性を調べる目的で、それぞれ異なる回転変換 ($\iota/2\pi = 0.49 \sim 0.65$) を有する磁場配位において ECH・NBI プラズマを対象に、MHD 安定性実験を行った。プラズマは ECH により生成され ECH および NBI により追加熱が行われた。とくに圧力勾配駆動型と思われる低周波 ($f_{\text{exp}} < 20 \text{ kHz}$) の磁場揺動強度の回転変換依存性が調べられた(図 2.1.7)。これまで、回転変換が 0.5 および 0.6 近傍の磁場配位において圧力勾配型 MHD 不安定性と思われる揺動が観測されている。また、真空磁場では共鳴面を有しない磁場配位において MHD 不安定性が観測される場合があることも判明した。順方向のプラズマ電流により回転変換が上昇し、真空では存在していなかった回転変換 0.5 の有理面が現れ、 $m/n = 2/1$ の MHD 不安定性が現れたものと思われる。このような、ヘリオトロン J では、真空中で低次の有理面を含まない磁場配位であっても有限ベータ効果やプラズマ電流により MHD 平衡が変化し、有理面を含む際には対応する圧力勾配駆動型 MHD 不安定性が現れる可能性がある。ただし、低磁気シアである限り、更なる MHD 平衡の変化によりそれらの閉じ込めへの影響を最小化できる可能性があり、高ベータ化にはその生成方法(零ベータ状態から高ベータ状態まで持ち上げて行く加熱制御シナリオ)の最適化が重要であると思われる。

NBI加熱プラズマにおいて高速イオン励起 MHD 不安定性と考えられる、空間的にコヒーレントで高周波 ($f_{\text{exp}} > 30 \text{ kHz}$) の磁場揺動をいくつか観測した。観測周波数と理想 MHD 安定性解析コード CAS3D3 を用いた大域モード解析を比較により、観測された MHD 不安定性は固有関数が大域的にプラズマ全領域に広がった大域アルヴェン固有モード (GAE: global AE) と同定した。同様に $m/n = 4/2$ の MHD 不安定性も GAE と同定した。図 2.1.8 に示すように、ある磁場配位において GAE は大きな磁場揺動強度を伴いバースト的に発生、消滅を繰り返すが、それに同期した $H\alpha$ 等の変化が観測された。このことから GAE の磁場、電場揺動が共鳴的相互作用を起こしている高速イオンの輸送に影響を及ぼした可能性が考えられる。

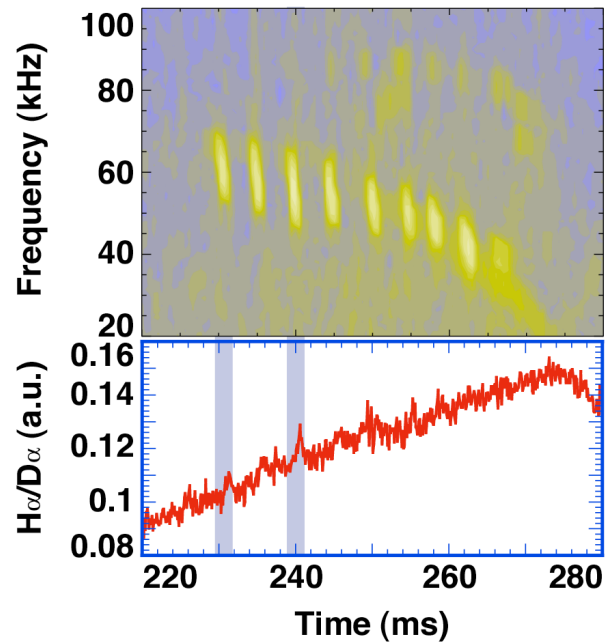


図 2.1.8 高速イオン励起 GAE の高速イオン輸送への影響。

これらの成果は、ヘリオトロン E 実験で残された課題である「良好な粒子閉じ込めと MHD 安定性の両立性」を探求するため、世界に先駆けて採用したヘリカル軸ヘリオトロン配位の新しい研究領域の開拓に大きく寄与するのみならず、異常輸送の改善、高エネルギー粒子閉じ込め等をはじめとするトラスプラズマ閉じ込めの普遍的諸問題に、先進磁場分布制御の観点から新たな知見を与えるものである。今後、ヘリオトロン J における高ベータ実験、ダイバータ実験 (磁気島ダイバータ) を展開して行くなかで、先進ヘリカルでなければならない、ユニークで、かつ学術的に普遍的課題を解明し、人材養成とともに、将来の核融合炉心プラズマ開発に、大学の立場から貢献して行く計画である。

2.1.4. 国内外の関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

我々は、ヘリオトロン路線における準等方力学 (quasi-isodynamic) 概念に基づく最適化アプローチを用いた閉じ込め配位の設計原理を開発するため、ヘリオトロン J によるヘリカル軸ヘリオトロンの実験を推進しており、本実験は世界のヘリカル系研究の枠組みにおいて、その独自性だけでなく、先導的役割をも果たしている。ヘリカル磁場最適化の新しい潮流として、(1) 準対称系 (対称性の方向の運動量が運動の恒量になることに基づく) と (2) quasi-isodynamic (quasi-omnigenous) 系 (磁気面上での縦の断熱不変量が一定であることに基づく) がある。準対称系配位は対称性の種類から、準ヘリカル対称、準軸対称、および準ポロイダル対称が考えられるが、準ヘリカル対称装置として米国ウィスコンシン大学の HSX 装置の実験が 1997 年より開始された。HSX 装置は ECH を主体とする実験計画である。準軸対称装置としては、米国プリンストン大学プラズマ物理研究所で電流駆動型の準軸対称装置 (NCSX 装置) の建設が始められており、2009 年 7 月頃の実験開始を目指している。オークリッジ国立研究所においては、準ポロイダル対

称をねらった装置(QPS 装置)の設計を進めている。ドイツのマックス・プランク研究所では W-7X 装置が建設中であり、モジュラー・コイルを用いて最適化された quasi-isodynamic 系のヘリカル磁場最適化を目指している。W-7X 装置は 2013 年頃から実験を始める予定であるので、それまでにヘリカル軸ヘリオトロンの最適化についての実験的検証を行いたいと考えている。

また、最近、quasi-isodynamic の考え方に基づく更なる最適化配位の検討が、ロシアドイツを中心に開始されており、ヘリオatron J での実験成果が注目されている。他方、これらとは異なった設計概念に基づいているヘリアック(heliac)装置を用いた研究であるスペイン CIEMAT 研究所の TJ-II 装置の実験ならびにオーストラリア国立大学の H-1NF 装置の実験とも連携を深めており、相補的な研究を進めることにより、ヘリカル系プラズマ閉じ込め、ひいては、トーラス磁場プラズマ閉じ込めに関する理解が深まるものと期待されている。

ヘリオatron J 実験に関し、本研究所は既に米国ウィスコンシン大学マディソン校、オーストラリア国立大学、スペイン CIEMAT 研究所、ウクライナ・ハリコフ理工学研究所等と相互科学協力協定を結び、緊密な情報交換および共同研究を個別の研究課題を通じて実施している。これらのなかで、平成 18 年 10 月 24 日、CIEMAT 研究所との間で核融合科学および核融合炉工学の分野における科学技術協力協定を更新し、双方の国際共同研究拠点機能を拡充するとともに、研究者交流を活発に行うことで合意した。また中国政府派遣研究員の受け入れなどで以前から交流のあった中国西南物理研究所(HL-2A)の Q.W.Yang 教授が本エネルギー理工学研究所客員教授として来日したことを契機に、同研究所との共同研究の一層の強化を図っている。

一方、平成 10 年 12 月に本研究所において開催した国際シンポジウム “International Symposium on Plasma Dynamics in Complex Electromagnetic Fields – for Comprehension of Physics in Advanced Toroidal Plasma Confinement –” に続き、平成 16 年 3 月には、日米科学技術協力事業と京都大学 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の形成」を活用して、国際研究集会「Joint Meeting of US-Japan Workshop and Kyoto University 21st COE symposium on “New Approach in Plasma Confinement Experiment in Helical Systems”」を開催した。平成 18 年 11 月には、京都大学 21 世紀 COE プログラムと日米科学技術協力事業の支援を得て、「The 2nd Joint Meeting of US-Japan Workshop and Kyoto University 21st Century COE Symposium on New Approaches In Plasma Confinement Experiments In Helical Systems」を米国アーバン大学において開催(京都大学・アーバン大学共催)した。これにより、新概念に基づくヘリカル磁場配位の最適化についての国際的な研究協力体制が構築されるなか、本研究所の国際共同研究拠点ネットワーク形成における求心力・存在感を高めた。第3回のワークショップを 2008 年に京都で開催の予定である。また科学研究費補助金特定領域研究(B)において「ヘリカル磁場配位の最適化」の課題(平成 11 年度－平成 16 年度)のもとに活発な国際共同実験研究を展開した。この活動は、自然科学研究機構が行っている国際連携事業の枠組みでの国際連携交流活動へと発展している。今後とも、京都大学 21 世紀 COE プログラムで形成された拠点機能、核融合科学研究所双方向型共同研究、日米科学技術協力事業等の支援を得つつ、米国(とくに HXS/NCSX/CTH/QPS グループ)、EU(とくに TJ-II/W7-X グループ)、オーストラリア国立大学(H1-NF グループ)等と日本(とくに Heliotron J/CHS/LHD グループ)との密接な国際共同研究・連携研究を展開して行きたい。

国内の共同研究グループとして、従来の核融合科学研究所、大阪大学、広島大学、筑波大学

等に加えて、東北大学(TU-Heliac)、京都工芸繊維大学等との連携研究を予定している。今後、さらに国際共同研究・連携研究のための人的交流を拡大し、実験結果の比較検討、加熱・計測システムや解析ソフトの開発を通して、京都大学がハブとなる先進ヘリカル国際共同研究拠点ネットワーク形成を推進して行く考えである。

2.1.5. 今後の展望

今後、(1)3次元構造を持つプラズマの閉じ込め物理の解明、(2)プラズマ揺動計測の高度化技術の開発、さらにそれらを融合し、(3)コンパクト・高ベータ・3次元プラズマの実現を原理検証できる実験的・理論的データ基盤を確立する学術基盤研究を実施したい。これまでのヘリオトロンJ装置を中心とした実験で遂行されてきた閉じ込め物理研究を更に発展させ、とくに3Dプラズマの閉じ込め物理に注目し、日本で確立・進展されてきた高温プラズマ閉じ込め計測の世界的リーダーシップを維持・発展させる。この研究戦略は、コンパクトで高性能の核融合炉を目指す将来の核融合研究に大きく貢献できると期待される。

2.1.6. 主要論文リスト

41. V. I. Pavlenko, et al., J. Plasma Res. **10** (2005) 533.
51. J. P. Rost, et al., J. Plasma Res. **10** (2005) 551.
61. I. V. Pavlenko, et al., J. Plasma Res. **10** (2005) 533.
54. W. D. H. H. F. K. H. J. G. K. L. D. (2008) 533.
71. N. I. D. J. D. V. D. N. L. H. F. K. H. J. G. K. L. D. (2009) 533.
54. W. D. H. H. F. K. H. J. G. K. L. D. (2009) 533.
- I. V. Pavlenko, et al., J. Plasma Res. **10** (2005) 533.
81. W. I. P. L. J. X. F. K. L. H. F. K. H. J. G. K. L. D. (2008) 533.
91. W. I. P. L. J. X. F. K. L. H. F. K. H. J. G. K. L. D. (2009) 533.
7. T. Mizuuchi, et al., J. Plasma Res. **81** (2005) 949.

2.2. SiC/SiC 複合材料利用システムの検討と実用化

2.2.1. 研究の概要

NITE-SiC/SiC 複合材料は高温エネルギー利用社会実現のためのイノベーションともいえる材料であり、これを利用するシステム検討および実用化研究を行っている。ガス冷却の高効率 GFR の炉心設計や、核融合炉液体ブランケット・固体ブランケットなど原子力利用のシステム検討が行われている。また、汎用エネルギー分野においてもシステム検討が進んでおり、無冷却セラミックタービンや超高温タービン用システム検討において、超高温ガスタービンシステム用実機部品規模の部材の試作に成功し、耐熱性能試験においても優れた特性を実証している。

2.2.2. 重点領域研究としての意義および社会的重要性

核融合研究は、21 世紀において、いよいよその実用化を目指した研究へと発展することが切望されている。苛酷な核融合環境に耐え得る構造材料の開発研究は、核融合炉工学の核心となるものであり、核融合炉工学研究の発展とエネルギー源としての活用に向けて重要な研究として位置付けられている。核融合炉材料の核融合模擬環境下における材料挙動に関する研究は、これからの核融合研究の発展を根底から支えるものであり、その意義は計り知れない。本研究領域は、とくに複合粒子ビームと物質の相互作用の研究による先進材料開発および炉工学研究に重点を置く。本研究領域の主要な研究手段として整備した DuET 照射施設(2 重ビーム照射装置)は、核融合炉材料研究用の複合加速器設備としてとくに適したイオン種と加速エネルギー、ビーム電流を提供するだけでなく、広範囲な電流密度やターゲット雰囲気・温度等への対応と卓越した制御性を有し、更に反応性雰囲気や応力場・電磁場・電子励起場等の環境を複合的に作り出すターゲットを備えている点において、世界的にも最高の総合性能と特徴的な機能を持つ設備といえる。また同設備は固体一粒子相互作用に係る応用物理学研究や複合的なイオン注入による材料創製や表面改質、半導体やセラミックス材料の光・電子物性制御等の研究領域においてもユニークな機能を有している。このような設備の設計・設置・運用は、国際的な競争のなかで本研究手法に係る永年の研究開発を精力的に実施してきた本研究組織によってのみ可能と考えられ、同時に、本研究組織を核としながら重点領域として推進することにより、国内外の研究者から広くコミットメントを得ることにより傑出した成果を上げることが可能になる。核融合炉材料の開発は、核融合以外のいわゆる極限環境下における材料特性の保全に対しても現象論的および機構論的応用が可能であることから、貴重な技術的スピノフが期待される。核融合炉工学研究が現在の我が国における突出した超伝導工学技術の駆動力となったことは広く知られているが、核融合炉用低放射化鉄鋼材料として開発を進めてきた Fe-9Cr-2W 系フェライト・マルテンサイト鋼は、従来鋼と比較して優れた高温強度と相安定性を示すことが実証され、超鉄鋼開発計画に引き継がれ火力システム等における耐熱構造への応用が検討されている。更に、当該鋼を基本組成にして開発したナノスケール酸化物分散強化鋼(ODS 鋼)は、従来の金属材料に比較すると格段に優れた耐照射性能を示すことが明らかとなっており、核融合炉以外の超臨界圧水炉や高燃焼度燃料被覆管への応用が期待されている。一方、核融合炉における要求から高い結晶性と熱伝導度を付与した炭化珪素繊維強化炭化珪素基セラミックス複合材料(SiC/SiC 複合材料)は、優れた高温物理化学特性と熱衝撃特性から、基盤エネルギーや航空宇宙分野における新規の耐熱材料としても期待されている。また、超高温ガス炉あるいは高温高速ガス炉への応用も検討されている。更にセラミックスの照射効果に関する組織学的および機構論的研究は半導体プロセスにおけるイオン注入に係る課題と共通因子が多く、Si や SiC 半導体のプロセス研究に役立っている。

2.2.3. 平成 16 年度以降の主な成果

(d) GxHW $\times$ VWHU の整備と有償利用体制の構築

DuET/MUSTER の更なる整備を進め、とくに MUSTER は最新鋭のフィールドエミッション分析透過電子顕微鏡を導入するなど設備の充実を図るとともに、材料評価機器が一箇所に集中して設置され、利用研究者のワーキンググループと施設の管理室で一元管理される仕組みを整えた。平成 17 年度より、受益者負担の原則に基づき維持・運営費を賄うための施設利用料の導入を

行っている。基本的には、前年度実績の必要経費と各装置の年間稼働時間から、各装置の単価を算定している。DuETに関しては、2 台の加速器の 5 年に 1 度実施予定のオーバーホール料金の 1 年分の単価を必要経費に含み、前年度にエネルギー理工学研究所附属エネルギー複合機構研究センターから補助された分（センター経費）は必要経費から差し

表 2.2.1. 施設利用料金

施設名	学内料金 (円)	学外料金 (円)	使用時間
DuET	130,000	200,000	1 日
JEM2200FS	12,000	18,000	1 時間
JEM2010	2,000	3,000	1 時間
JSM6700F	2,000	3,000	1 時間
FIB	2,500	4,000	1 時間

引き、必要経費を算定し学内の各装置の使用料を決定した。学内の使用料の根拠となる経費の算出には、センター経費が考慮されているのと、装置運用のための人件費は含んでいない。DuET/MUSTER の運営には、技術職員 2 人、助手 1 人が、ほぼ専任として付いており、これらの人件費を 2400 万円で計算し、2400 万円を各装置の昨年度使用経費に比例分配し人件費込みの必要経費を算出した。人件費込みの経費と使用時間から学内の使用料と同様な方法で学外用の使用料を決定した。この方法で計算した場合、DuET の学外利用料は 1 日当たり、30 万円となるが、DuET に関しては戦略的に共同利用を進めるために表 2.2.1 のような料金設定としている。

(e) 核融合炉用低放射化鉄鋼材料の開発#

低放射化フェライト鋼は、現在、核融合実証炉の第一候補構造材料として精力的に研究が進められており、構造材料開発計画における工学材料段階に位置付けられている。当研究所は、低放射化フェライト鋼の照射データベースの構築と照射効果機構解明のための中核的研究活動を展開している。当研究所において開発および研究されている 9%Cr-2%W マルテンサイト鋼 (JLF-1) は、国際エネルギー機関 (IEA) の共通試料に採擧されており、国際研究拠点としての役割を果たしている。最近の研究成果としては、更なるエネルギー効率の向上と究極のエネルギー単価の低減を目指し、より高温特性を改善した JLS 鋼や、耐食性も考慮した高クロム ODS 鋼の開発が挙げられ、日本原子力研究所や核燃料サイクル機構や海外からの研究参加要請も多い。主な研究成果を以下に示す。

核融合環境における特徴的な材料学的課題の一つに、核変換ヘリウム効果があげられるが、低放射化フェライト鋼における核変換ヘリウムの材料挙動に及ぼす影響については、核分裂中性子やイオン加速器を用いた各種のシミュレーション照射法により研究されてきた。核分裂中性子を用いた研究としては、1) 10B 法、2) ^{54}Fe や ^{58}Ni 法を用いたアイソトープテーラリング (IT) 法があり、これらの手法を用いた従来の研究によれば、フェライト鋼のヘリウム脆化感受性が極めて高いとされていた。しかし、DuET によるデュアルイオンビーム照射実験から、900 at.ppm のヘリウム量までは、ヘリウムによる照射硬化の促進は観察されないことが示された。また、米国の HFIR を用いた照射研究からは、これまで報告されてきた Ni-IT 法における顕著な照射硬化・脆化は、核変換ヘリウムによるものではなく、Ni 添加そのものの効果によるものであることを明らかとし、低放射化フェライト鋼がオーステナイト鋼等のほかの候補材料に比べ、耐ヘリウム脆化特性に優れていること

を示した。また、日米協力核融合炉材料研究を通じて、中性子高照射量領域における低放射化フェライト鋼の材料挙動を詳細に調べ、強度特性、ボイドスエリング挙動、照射誘起析出および照射損傷組織の形成挙動を解明し、核融合環境下における材料挙動予測のための重要な基礎的知見を得ている。これらの結果と DuET を用いて得られた広範なデータベースをもとに、材料挙動予測のためのシミュレーションコードを開発した。すなわち、温度変動・複合照射効果研究成果を評価対象に取り込み、照射実験による総合的な評価とそれに基づく理論的考察とモデル化を行い、低放射化フェライト鋼の照射効果機構を解明するとともに、照射損傷組織発達における要素過程の学術的解明に大きく貢献している。

(c) 核融合炉用 SiC/SiC セラミックス複合材料の開発

SiC/SiC 複合材料は、究極といわれる低放射化特性と 1000℃を優に超える高温運転を可能にすること等から、高品位な核融合動力炉の材料として大きな期待を背負っている。同時に SiC/SiC 複合材料は次世代ガスタービンや超臨界水システム、航空宇宙分野における推進システムや耐熱構造など次世代技術への幅広い応用が期待されている。本研究所では SiC/SiC 複合材料のプロセス開発と評価を鋭意進めており、既に米国オークリッジ国立研究所、仏ボルドー大学と並ぶ世界的な研究開発拠点として学界・産業界から広く認知されるに至っている。

耐環境性材料システムの要素技術開発をもとに基幹エネルギーシステムの環境負荷低減を目的とした研究では、セラミックス複合材料の設計・プロセス・構造化・システム化等に関連した多くの基礎的技術開発成果を上げた。とりわけ、革新的な超耐熱・耐環境性セラミックス複合材料プロセス技術(ナノ・インフィルトレーション遷移共晶相(NITE)プロセス)の開発は最も顕著な成果であり、これにより、既存の工業材料では望めなかった高温強度・耐酸化性・信頼性・気密性・接合性・コスト効率等を極めて高い水準で満足させる SiC 基セラミックス複合材料の製造が実証され、この発明はセラミックス構造材料の概念を一新するものとなった。本技術は、入り口温度 2000℃級のガスタービン実現への展望を開くものであり、産業用エネルギー機器や大型輸送機器、その他の熱利用機器への適用により、エネルギーの生産・変換・貯蔵・輸送・利用に関わる効率や安全性を大幅に改善し環境負荷の低減に資することができる。

更にこれまでに開発した基礎技術に立脚して、NITE プロセスによる SiC 基セラミックス複合材料について構造化技術、利用技術および生産技術を中心とした高度化を推進し(図 2.2.1 参照)、環境低負荷型基幹エネルギーシステムの成立性を具体的に示すとともに、周辺分野での幅広い新技術や新産業の創出効果を生み出すことを目標としている。本計画の基礎となる材料技術は、既実施研究によって得られた我が国独自の開発であり、現在のところ、外国においては類似製品すら購入不可能である。本計画の実施により材料プロセスおよび利用技術・製品化技術の両面を発展させ、周辺技術を含めた知的所有権を確保することは、本分野における我が国の国際的優位性の確保と維持においても極めて有効である。

これらの材料開発努力により、SiC/SiC 複合材料の基本性能は、同材料のブランケット構造への適用を想定した核融合動力炉設計における要求性能に対して多くの項目で近づき、一部では裕度を以て満たすまでに至っている。核融合炉材料としての最重要課題とされる中性子照射効果に関しては、従来材料においては僅かな中性子フルエンス(1 dpa 以下)で著しい強度劣化を呈していたが、先進近化学量論組成 SiC 繊維を用いて本研究所でとくに照射特性を重視して作製した SiC/SiC 複合材料では 10 dpa までの中性子照射により一切の強度劣化を生じないことが実証さ

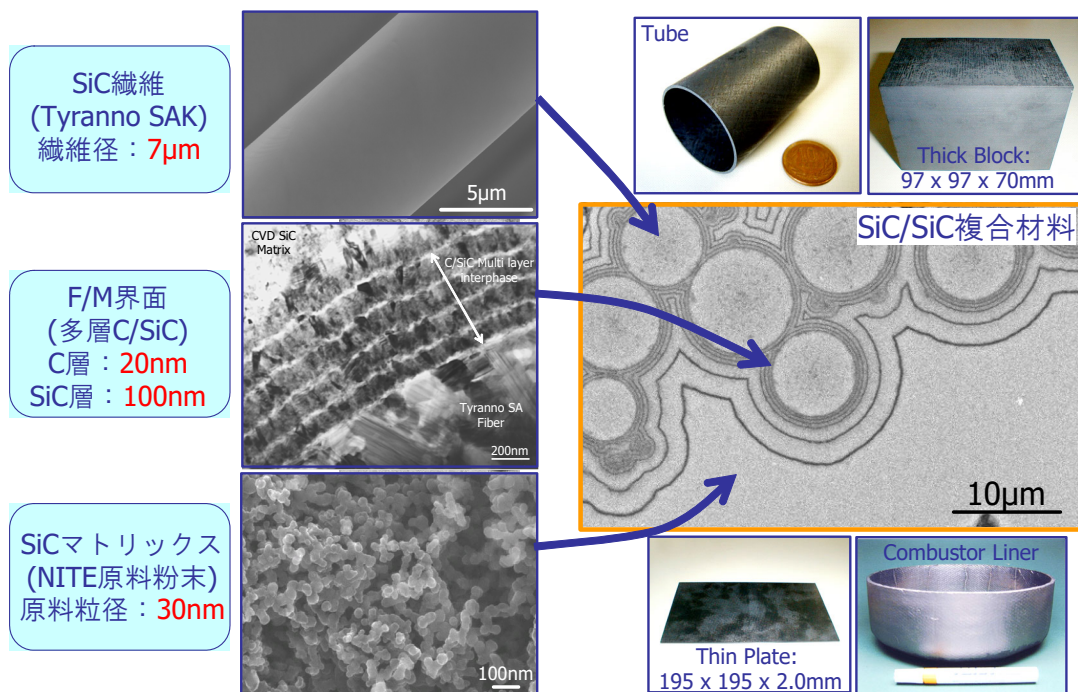


図 5-15-14 ナノテクノロジーによる VIT-2F 複合材料開発

れ、核融合炉ブランケット構造への応用に向けて大きな一歩となった。またセラミックス材料の粒子線場応用における困難の一つである照射誘起熱輸送特性低下についても、米国オークリッジ国立研究所と日本原子力研究所との3極協力により原子炉炉心での照射下熱伝導度変化測定に初めて成功し、高結晶性 SiC/SiC 複合材料では 700℃以上における熱伝導度が従来の懸念ほどには低下しないことが実証された。

(d) ブランケット工学としての統合研究

核融合材料の研究は低放射化鉄鋼材料の開発に見られるように素材開発段階を終え、工業材料として材料データベースを整えつつ、炉設計活動とも協力してブランケット工学としての統合研究段階へ進みつつある。当研究所は上述したように核融合炉構造材料の代表的な候補材料である低放射化鉄鋼材料と SiC/SiC 複合材料の開発研究を進めてきており、これらをベースとして、ブランケット構成要素である中性子増倍材、トリチウム増殖材、冷却材等との共存性の研究やブランケット構造要素の製造プロセス開発等を開始している。また、理論およびモデリングは重要な要素であるが、分子動力学に基づく手法、モンテカルロ法、反応速度論を用いる手法等を統合するマルチスケールモデリングでの解析/評価等も進められている。これらは核融合分野での日米協力の重要テーマでもあり、日本原子力研究所と米国オークリッジ国立研究所との日米協力の一部ともなっている。これらの国際協力においても当研究所は牽引役を果たしている。

2.2.4. 国内外の関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

DuET は、核融合炉材料研究用の複合加速器型実験施設として、また先進材料の創製・改質・評価研究の施設として、世界的に見ても優れた総合性能と特徴的な機能を有する最新の設備となっている。本研究に係る本研究所の研究組織は、複合加速粒子ビームを応用する材料研究の

分野において DuET を含む我が国の主要な実験装置の開発と利用研究の中心的役割を果たしてきており、設備および研究組織の両面において世界最先端の研究水準にある。複合加速器型の材料実験設備は本研究所のほかには東京大学、北海道大学、日本原子力研究所、精華大学(台湾)、米国アルゴンヌ国立研究所、同オークリッジ国立研究所および独ハーン・マイトナー研究所に設置されているが、これらの研究機関の研究者と本設備の企画段階から密度の濃い議論を重ねることにより、当初より相補性に配慮した機能設計を行うことと適切な協力関係と建設的な競争関係の維持が可能となっていることは、DuET および本研究組織の大きな特徴であるといえる。

核融合炉材料開発では、米国においてはバナジウム合金やセラミックス複合材料など、いわゆる先進構造材料の研究が中心となっており、長期的展望に立った材料研究が主体となっている。これに対し、核融合実証炉構造材料として近い将来において最も実現性の高い低放射化フェライト鋼の研究は、我が国と欧州において精力的に研究が進められている。エネルギー開発としての核融合研究を考慮した場合、低放射化フェライト鋼の有する優れた中性子照射耐性と大型構造物としての製造性は他の候補材料を圧倒的に凌いでおり、実証炉第一候補材料としての地位は不動と考えられる。低放射化フェライト鋼の開発研究は我が国の主導の下に進められており、なか当研究所は材料開発研究の拠点の一つとして位置付けられる。当研究所において開発・研究されている JLF-1 は、IEA の共通試料に採擧され、照射データベースの構築はもとより、照射損傷機構解明のための基礎的研究にも利用されている。更なるエネルギー効率の向上と究極のエネルギー単価の低減を目指してより高温特性を改善した JLF-S 鋼や JLF-ODS 鋼の開発が進められており、日本原子力研究所や核燃料サイクル機構や海外からの研究参加要請も多い。また、本所で開発された耐食性 ODS 鋼は、従来材料に比較すると格段に耐照射性能と耐食性能に優れており、核融合炉、超臨界圧水炉および軽水炉高燃焼度化などの先進水冷却原子力プラント用の革新的な構造材料として期待されており、国際共同研究の準備が着々と進められている。SiC/SiC セラミックス複合材料は、核融合炉開発戦略においては動力炉構造の候補材料と位置付けられており、IEA において開発と評価における国際協調を目的としたワーキンググループが設置されている。本研究所は IEA ワーキンググループ活動へ積極的に参画している。本研究所は大型外部予算による材料システム開発プログラムと核融合炉用セラミックス複合材料開発評価における歴史的な役割とにより、材料開発の世界的な研究拠点の一つに数えられるに至っている。

2.2.5. 今後の展望

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・構造をつかさどる材料と高エネルギー粒子・量子線との相互作用の解明、ならびに、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が、高品位な基盤エネルギーシステムの実現のため不可欠である。とくに、核融合環境は、構造材料にとって極めて苛酷な環境であり、その開発に不可欠な技術的ならびに理論的な知見は、将来の科学技術の発達に伴い派生すると考えられるさまざまな特殊環境へも応用されると期待される。このような観点から、エネルギー理工学研究所の基幹実験装置として整備を進めてきた DuET に加え、マルチスケール材料評価設備群(MUSTER)の施設整備を行った。Ω フィルター付の Field emission type transmission electron microscope (FE-TEM)、原子間力顕微鏡(AFM)の導入をはじめとして、既存の高分解能走査形電子顕微鏡(FE-SEM)、SEM、干渉顕微鏡、光学顕微鏡、集束イオンビーム試料作

製装置(FIB)等を集めた統合施設 MUSTER の整備ならびに実験に関する計画大綱の検討と策定を行い、DuET が設置してある北2号棟において整備を行った。この完成により、先進電子顕微鏡およびエネルギー加速器複合実験研究が、DuETとMUSTERを有機的に協調発展させることで可能となる。これにより、センター共同研究のみならず、新たに参加する他大学からのメンバーとともに共同研究を実施し、先進エネルギープラント用構造材料開発においてエネルギー理工学研究所が日本、ひいては世界的な研究拠点となるための基盤が形成された。

中・長期展望としては、本研究所において開発・設置されているプラズマ発生装置や高輝度レーザー発生装置を材料開発に有効に応用するための研究機構への展開を検討している。すなわち、超高温プラズマや高輝度レーザーは状態図に存在しない非平衡相を創製することが知られており、未知の機能や性能を持った革新的な材料の開発が期待される。更に、プラズマやレーザーが化学結合や触媒機能に影響を与えることもよく知られており、重点領域研究の一つになっているバイオエネルギーへの応用も十分に見込まれる。

2.2.6. 主要論文リスト

- 41 香山晃、セラミックス第6<巻/冊6;0;75/冊337冊
- 51 檜木達也、プラズマ・核融合学会誌 冊3/冊4068/冊337冊
- 61 W1Q r}dz d/1W1K lqrm1/1D 1W1qhdg/1 1N dwrk1lqg1D 1N rk |dp d/##
Mrxuqd1r1Q xfdhu1P dwhuldov/15<0675/1877087; /15337冊
- 71 D 1N rk |dp d/1 1N dwrk1lqg1N 1M1p er/1P dwhuldov1Wudqvdfwlrqv/18/1408; /15337冊
- 81 Dn1ud1N rk |dp d/1N h|1Hqj1qhhulqj1P dwhuldov/15; : /19054/15338冊
- 91 N rk |dp d/1/1P dwhuldov1Wudqvdfwlrqv/19/15;706<6/15338冊
- :1 N rk |dp d/1/1P eh/1N 1/1N lp xud/1/1P xurjd/1N1/1M1wxndz d/1/1##
I xv1rq1W1flhqfh1lqg1W1fkqr1r1j |1/7: /1690;76/15338冊
- ;1 N 1vk1p rwr/1K 1/1K }dz d/1N 1/1N rqgr/1N1/1N rk |dp d/1/1##
P dwhuldov1Wudqvdfwlrqv/19/14<5604<5: /15338冊
- <1 K lqrm1W1N rk |dp d/1/1D qqddhv1gh1K1p 1h1W1flhqfh1ghv1P dwhuldx { /163/18<09:4/15338冊
10. N dwrk/1 1Q r}dz d/1W1Vqhdg/1D 1K lqrm1/1W1N rk |dp d/1/1H xv1rq1Hqj1qhhulqj1lqg1#
G hv1jq/14/16:0<77/153391

2.3. 耐極限環境先進構造材の開発

2.3.1. 研究の概要

核融合システムなどの先進発電プラントにおいては構造材料の使用温度域を上方拡大することで熱効率を上げることが優先課題とされ、それに伴い高温強度に優れた構造材料の開発が重要な課題となっている。さらに科学技術の発達には材料にとって苛酷な環境を与え、材料要件もますます過酷になっている。高温では腐食が促進されるため、高温強度と共に耐食性が要求される。原子力発電プラントにおいては、これらに加え、耐照射性能が要求される。酸化物分散強化(ODS)鋼は、耐食性、高温強度および耐照射性に優れた材料としてその開発が期待されているが、高Cr化に伴う熱時効脆化や照射脆化の促進が懸念されている。本研究では、上記の3つの材料要件を兼ね備えた高Cr-ODS鋼の開発研究を行った。

また、軽水炉発電プラントの高経年化に伴い、軽水炉構造材料の照射下挙動予測の精度の向上が求められている。最近発達が目覚ましい計測技術や観察手法を用いて照射脆化機構解明し、科学的根拠に基づいたより合理的な方法で压力容器鋼の脆化を予測するための基盤となるデータの構築を目的としている。

2.3.2. 重点領域研究としての意義および社会的重要性

我が国の核融合炉システムの第一候補構造材料として低放射化フェライト鋼が指定されているが、核融合システムに求められている経済性や高熱効率の観点からは、その使用条件、すなわち、使用温度や耐久年数に限界がみられる。スーパーODS鋼は、高温での強度特性に優れ、かつ、耐食性や耐照射性能に優れているため、低放射化フェライト鋼の向上的オプションとして位置付けられ、各国において研究開発が進められている。

一方、既存の軽水炉の健全性を予測するための技術開発は今後の我が国におけるエネルギー政策に密接に関わっている。原子力エネルギーの高効率安全利用研究として、原子力材料の照射下挙動予測研究の重要性は今後ますます増すものと考えられる。

2.3.3. 平成16年度以降の主な成果

(a)原子力システムの高効率化に向けたスーパーODS鋼の開発

本研究は、平成14年から2ヵ年にわたって実施した「革新的原子力システム技術開発研究(経産省)」を継続して実施されたものであり、その成果により、平成17年度からは「原子力システム開発事業研究(文科省)」へと展開している。具体的な成果としては、スーパーODS鋼の強度特性、耐食性および耐照射性能を評価した結果、新たに開発されたスーパーODS鋼の優れた特性が確認された。まず、高温強度特性に着目すると、従来材に比べ、高温(800℃)での強度が2倍に向上し、耐食性においては、フェライト系の材料でありながら、ステンレス鋼の耐食性を凌駕する性能を示している。さらに、特筆すべき性能として、耐照射性能があり、従来の金属材料が照射を受けるとその伸びが顕著に低下するのに対し、スーパーODS鋼においては全く伸びの低下が認められず、優

れた耐照射性能を示した。これらの優れた特性は、スーパーODS鋼に高密度に分散されたナノサイズの酸化物粒子によるものであることを確認した。

本研究で実施した高Cr-ODS鋼の開発研究を行った結果、以下の優れた特性が確認された。クロム濃度が14乃至22%のODSフェライト鋼の主な特徴として、1) 700℃における最大引張応力は約300 MPaと通常のフェライト鋼の2倍に及ぶ(図2.3.1)、2) 290℃での中性子照射を受けても照射硬化は見られるが引張伸びは減少せず、優れた耐照射性を示す(図2.3.2)。3) 14Cr-ODS鋼の超臨界圧水中での耐食性はSUS316L鋼を凌駕し、クロム濃度の増大はさらに耐食性を向上させる(図2.3.3)。4) 高Cr-ODS鋼の鉛-ビスマス中における耐食性は、4.5% Alの添加により顕著に向上する。5) 通常のフェライト鋼に比べ、熱時効脆化の発現が遅滞する傾向を示す。

ODS鋼の優れた特性を引き出すためには、1) 酸化物粒子のサイズが数nmであること、2) 結晶粒径がサブミクロン程度であること、が要求される。いわゆるナノ・メソスケールの組織制御により、高性能化が初めて可能となる。そのための、合金設計、合金化プロセス、固相化技術開発が進められ、耐食性と耐照射性能の向上が達成されている。現在、高強度化に向けた最終調整を行っている。

(b) 高経年化軽水炉の保全に関する研究

軽水炉発電プラントの高経年化に伴い、軽水炉構造材料の照射下挙動予測の精度の向上が求められている。本研究では、最近発達が目覚ましい計測技術や観察手法を用いて照射脆化機構解明し、科学的根拠に基づいたより合理的な方法で压力容器鋼の脆化を予測するための基盤となるデータを構築することを目的としている。具体的な成果としては、压力容器鋼の照射硬化挙動やマトリックス損傷形成過程についてこれまでに考慮されていなかった添加元素の影響の抽出および定量化に関する研究を進めてきており、最近の特筆すべき成果として、Fe-Mn二元系モデル合金において、压力容器鋼の主要添加元素であるMnが中性子照射硬化・脆化を顕著に促進していることを初めて見いだしたことがあげられる。また、当該研究結

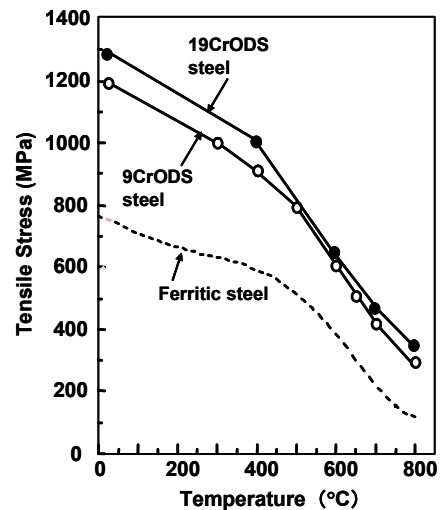


図 5.16.14#

引張強度の試験温度依存性

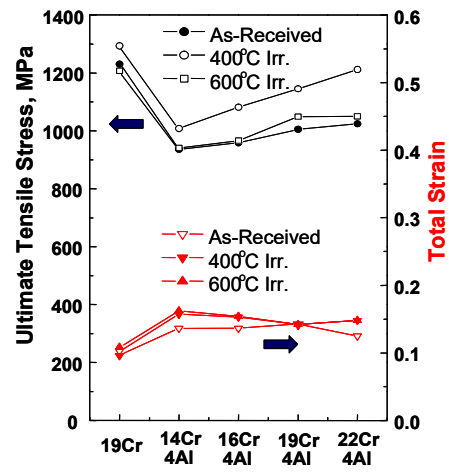


図 5.16.15#

引張挙動に及ぼす中性子照射の影響

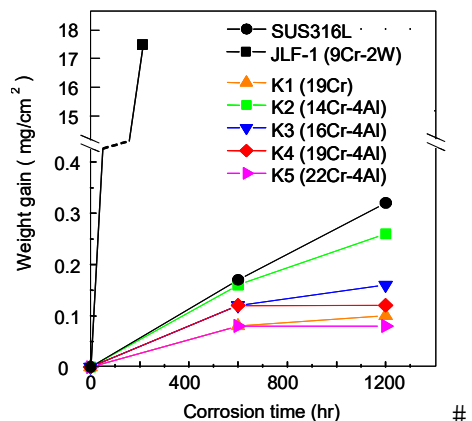


図 5.16.16#

超臨界圧水中での腐食増量測定試験

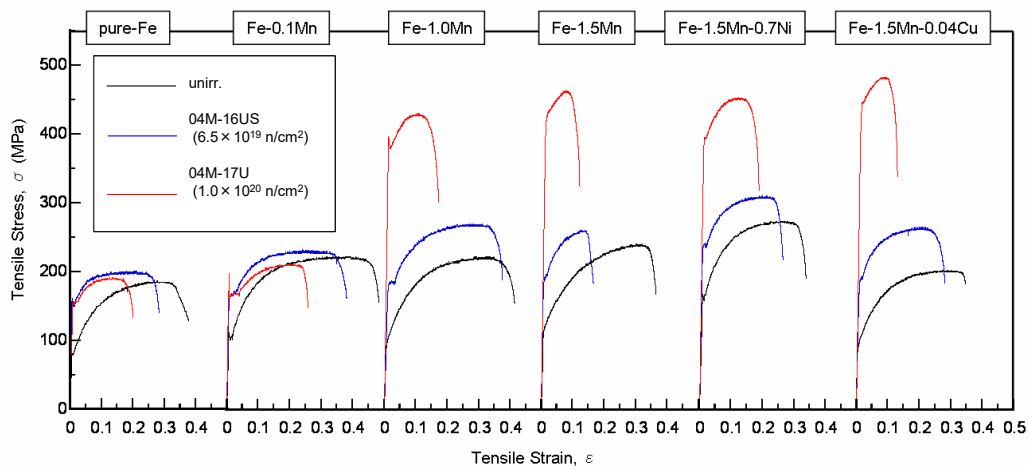


図 5.16.17 鉄マンガ合金の中性子照射硬化に及ぼす P q 量および第 6 元素の影響。

果は、Mnがマトリックス損傷の形成過程に影響を及ぼし、高照射領域における照射硬化を促進する可能性を初めて指摘しており、国の内外問わず脆化予測式のあり方に多大なインパクトを与えている。本研究によって得られた知見は、高経年化RPV鋼の脆化予測式の高精度化に反映されて行くものと考えられる。なお、米国ではMn影響を取り込んだ寿命予測式の提案がなされている。

JMTR において比較的高照射量の中性子照射実験を行ったところ、Fe-Mn 合金において Fe-Cu に匹敵する著しい照射硬化を生じ(図 2.3.4)、その硬化には Mn 量依存性、照射量依存性および照射温度依存性が見られること、Mn 添加により転位ループの微細化・高密度化が生じていること、Ni との相互作用は Mn 影響の抑制につながることを確認した。

2.3.4. 国内外の関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

ODS 鋼の研究開発は、ODS 鋼の持つ優れた特性ゆえに世界各国において進められているが、優れた特性を引き出すための技術を持っている研究グループは当該グループにおいて他にない。我々が開発したスーパーODS 鋼は国際的にも先進材料として認知されつつあり、世界各国から共同研究の依頼を受けている。それらの要望に応えるべく、現在、標準材料の作製を行っており、いずれ、国際サーベイランス材料として、世界各地の関連研究機関に配送する予定である。

軽水炉圧力容器の高経年化現象は国際的な問題になっており、保全の観点から、照射脆化をより高精度に予測する手法の開発のための材料照射研究が進められている。今回の我々の発見は、脆化予測式の見直しを検討する動機を与え、米国においては実際にマンガ影響を再調査し、マンガ影響を取り込んだ予測式を新たに提案している。

2.3.5. 今後の展望

現在、当該研究の開発段階は個々の特性の改善に向けた素材開発段階にある。今後は、実用化を目指した要素研究に展開して行くことを計画している。具体的には、溶接に伴う熱時効脆化回避のための溶接法の開発や素管製作のための技術開発が重要な技術開発となる。

米国が我々の実験結果に速やかに対応したことから判断されるように、今回の発見は社会的な

インパクトが大きい。しかしながら、我が国の脆化予測式に関しては、マンガン影響を考慮する検討は行われていない。今後は、マンガン影響発現のメカニズムを解明し、科学的根拠に基づいた我が国の圧力容器の照射脆化予測式の開発に貢献する。

2.3.6. 主要論文リスト

1. A. Kimura, Materials Transactions, 46, 394-404, 2005
2. R. Kasada, T. Kudo, A. Kimura, H. Matsui and M. Narui, Journal of ASTM International, 2, 225-235, 2005
3. 木村晃彦, 軽水炉圧力容器鋼の健全性評価－長寿命化における脆化予測課題とその対策－, 保全学, 3, (4), 21-29, 2005
4. A. Kimura, et al., Fusion Engineering and Design, 81, 909-916, 2006
5. A. Kimura et al., J. Nucl. Sci. Tech., vol.44, No.3, (2007), 323-328

2.4. 可搬放電型中性子源の高性能化と応用

2.4.1. 研究の概要

慣性静電閉じ込め核融合は、小型装置で $10^6\text{--}10^8/\text{s}$ の定常な核融合反応率が得られるため、高エネルギー、単色、出力可変で安全な粒子エネルギー源(中性子, 陽子)として産業応用が期待されている。我々のグループは、慣性静電閉じ込めプラズマ計測、シミュレーションコード開発、D-³He 先進核融合反応などの基礎学術研究のみならず、核融合中性子源の地雷探査への応用研究においても成果を上げ、慣性静電閉じ込め核融合研究の拠点の一つとして認識されており、平成 17 年外部評価においても『核融合応用機器研究に関し(中略)京都大学エネルギー理工学研究所のグループは優れた成果を上げており、当分野における世界の研究をリードしている存在である』との評価を受けている。今後は、医療や税関・空港などでの危険物探知など、社会の要請する課題への応用を実現するための高性能化研究と利用研究とを進める。

2.4.2. 重点領域研究としての意義および社会的重要性

慣性静電閉じ込め方式は、核融合発電の観点では、現時点で他方式との競合性を有していないが、今後も多額の研究投資が行われる核融合研究のなかにあつて、このような安全・安心、医療、国際貢献などの発電以外の応用分野で見通しのよさい中期的な貢献が可能であることを示すことが必要である。

また、核融合炉開発研究への貢献の可能性としては、核融合発電へ向けて計画されている大型装置における D-D、D-T 実験において必要となる高精度中性子計測機器の較正に理想的な較正中性子源となり得る。

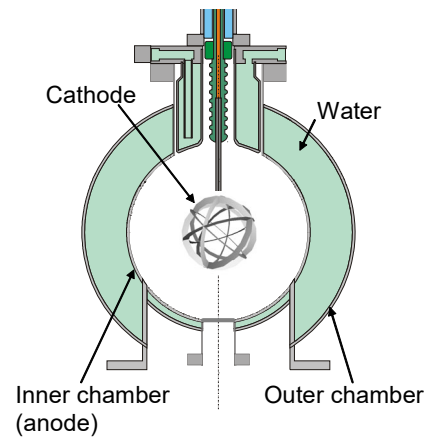


図 5.17.14 地雷探査用の水冷式超小型中性子源

2.4.3. 平成 16 年度以降の主な成果

応用研究としては、慣性静電閉じ込め核融合中性子源を用いた地雷探知技術の開発を行った。地雷中の爆薬成分(窒素、水素)を中性子捕獲 γ 線により直接検知する方式で、従来技術では困難であったプラスチック製地雷の検知も可能である。これまでに、中性子の熱化と地雷原方向(下方)へ集束と、長時間安定動作を可能とする冷却との二つの機能を兼ねた水冷構造付きの小型実用機プロトタイプ(図 2.4.1)を開発、模擬地雷を用いた試験により実用レベルの性能を示すことに成功している。現在は、平成 19 年 9 月の国内最終試験に向けた改良を進めている。(JST 事業、共同研究体制:京大エネ研(代表:吉川潔)、京大原子炉、東工大、関西大学、株式会社日揮、他)

一方で、将来の要求に応える高性能化を目指した基礎学術研究も進めている。とくに、イオン供給をグロー放電のみに頼った従来方式の問題点、すなわち印加電圧に比してイオンエネルギーが低いこと、残留ガスとの荷電交換反応によるイオン損失が大きいことに起因して、投入電力あたりの核融合反応率が低いという点を改善すべく、イオン源付加方式(イオン源アシスト型)の実験・数値解析研究を進めてきた。その結果、核融合反応率を投入電力とターゲットであるガス圧力とで除した「規格化反応率」について、従来方式の十倍以上の向上に成功した(図 2.4.2)。また、核融合エネルギーを利用することで印加電圧 100 kV 程度の小型装置で 14.7 MeV の陽子エネルギー

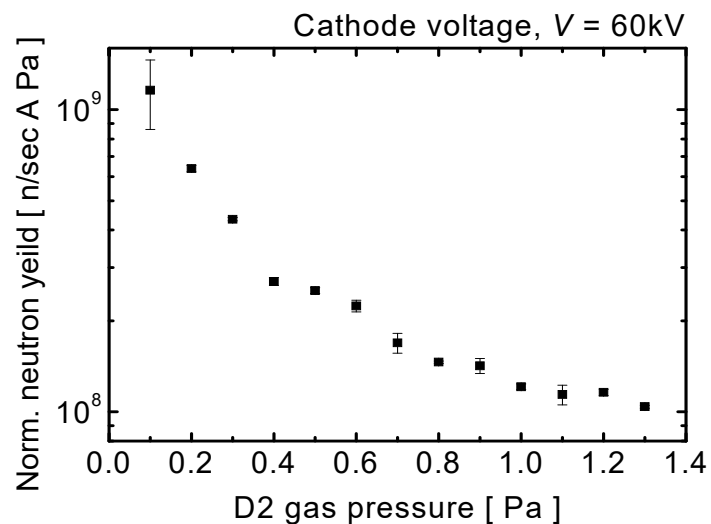


図 5.17.15 規格化中性子発生率の圧力依存性

が得られるという潜在的な利点を有する $D-^3He$ 核融合反応の基礎実験研究にも着手し、計算機トモグラフィの解析技術を応用することで、 $D-^3He$ 反応陽子の空間発生分布同定に初めて成功した。

数値解析研究においても、実機性能の予測可能な一次元コード開発に成功した。さらに、二次元コードの開発にも着手し、重水素ではなくヘリウム放電でのコード検証の段階ではあるが、二次元以上のコードでは初めて、原子・分子過程と空間電荷効果を同時に考慮して、放電特性を再現することに成功している。

2.4.4. 国内外の関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

小型中性子源を用いた空港等での爆薬、危険物、違法薬物などの探知技術の研究については、国内よりもむしろ米国、欧州、ロシアなどで盛んに進められている。用いられる中性子源としては、我々と同じく慣性静電核融合核融合 (IECF) 中性子源の使用を計画している例もいくつかあるが、多くは小型加速器タイプのビーム対固体ターゲット型中性子源が用いられている、このような加速器ベースの可搬型中性子源と比較して以下のような優位性があり、後発ではあるが十分な競合性を有するため、我々の IECF 中性子源が認識され注目を集め始めている。まず、核融合反応率の高さの点で優位性がある。現状では、同程度の可搬性の加速器タイプ核融合中性子源では、パルス運転、 $D-T$ 反応で平均 $10^9/s$ 程度までの発生率が得られている。一方、IECF 中性子源では、 $D-D$ 反応で、定常運転で $10^8/s$ 、パルス運転ではピーク $10^{10}/s$ 程度の反応率が得られている。

IECF 中性子源でも $D-T$ 反応は生起可能で、もちろんその場合には 2 桁以上高い発生率が期待できるが、とくに実用時の安全性のため、現在は $D-D$ と $D-^3He$ のみで実験が行われている。加えて、中性子捕獲 γ 線や散乱中性子での爆薬・違法薬物検出のためには、 $D-T$ 中性子のエネルギーは高過ぎ、減速して利用する場合にはその減速過程で雑音を発生してしまう、といった実用上の要請も、反応率の高い IECF 中性子源においては専ら $D-D$ で実験が行われている理由でもある。

反応率の高さ以上に、加速器ベースの可搬型中性子源と大きく異なる点は、長寿命であることと大出力の定常運転が可能であることにある。これは、固体ターゲットではなくガスもしくはビーム自身がターゲットとなっていることに起因して、ターゲットの熱除去やスパッタリングの問題がはるかに少ないためで、同じ理由でターゲット交換などのメンテナンスが不要であることも大きな利点である。

中性子による爆薬探知技術については、とくに地中の地雷中爆薬成分(窒素、水素)の検出に成功したのは我々が初めてである。

2.4.5. 今後の展望

応用研究としては、地雷に限らず空港・税関等での爆薬探知も含め、危険物探知への適用、実用化を目指す。中性子による初めての地雷爆薬成分検出の成功に導いた国内の協力体制や、IAEA の FUS# ŠQ hxwqr# edvhg# Whfkqltxhv# inu# ghwhfwlrq# ri# loflw# p dwhuldo# dgg# h{scrvlyhvの活動をコアに、引き続き国内外の共同研究・連携研究を展開して行きたい。

中・長期的な応用範囲拡大に向けては、中性子あるいは陽子の発生率に飛躍的な向上が必要である。そのようなブレークスルーを達成するには、一つには前述のイオン源アシスト型が有望であ

ると考えている。さらに他の新方式の研究も含め、これまでに開発したシミュレーションや計測技術などのツールを有効に用いて、引き続き基礎的・学術的研究も進めて行く。

2.4.6. 主要論文リスト

1. T. Takamatsu, et al., Nucl. Fusion 46-1 (2006) 142-148.
2. K. Masuda, et al. “Simultaneous Measurements of Neutrons and Energetic Protons from D-D and D-³He Fusion Reactions in an Inertial Electrostatic Confinement Device”, Proc. XXIIth Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, Matsue, Japan, September 25-29 (2006) 624-627.
3. K. Yoshikawa, et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B B261 (2007) 299-302..

2.5. エネルギーシステム設計および評価方法論

2.5.1. 研究の概要

本課題は平成 49 年度から本格的に開始され、中期目標・中期計画策定当初からのものではないが、重点課題である環境調和型エネルギーシステムとしての核融合の設計と評価を行うものとして、重点複合領域の意義、具体像を示し説明する上で重要な役割を担うものとなった。第4期後半から、未来社会での核融合の役割の概念とその特色、技術的課題の摘出とフィジビリティ評価、ならびにグローバル・超長期のエネルギーシナリオ分析を目標とし、学内外の協力体制の樹立と、所内での研究基盤の確立に努め、以下のように目標を大きく上回る成果が得られた。

- エネルギー利用システム設計：核融合エネルギー開発に必須のブランケットとして、当研究所の推進する先進材料を用いた高温高効率かつ近未来に実現可能な概念を示し、その基礎実験を開始した。さらに水素製造の可能性を実証した。
- エネルギーシステム評価：アジアを中心とした途上国展開、水素製造において核融合が他のエネルギーにない適応性と市場性を持つことを示し、開発の方向性を提案した。

2.5.2. 重点領域研究としての意義および社会的重要性

重点領域研究は環境調和型エネルギーシステム構築を要請しており、核融合が実際に将来のエネルギーシステムで有意な貢献をなしうるためには、核融合エネルギー変換利用システムが不可欠である。本課題は、具体的な核融合エネルギーの変換利用を行う装置であるブランケットを提案、設計することで重点領域に直接寄与するものであるとともに、社会に対して核融合エネルギーの可能性を説明するものである。

本課題は、当研究所において開発の進められている低放射化鋼およびセラミック複合材を用いた液体金属増殖概念を提案し、他の方法に見られない高温、高効率でかつ、近い将来から段階

的に開発実現する戦略を提示するものである。高温化により、核融合は核分裂や他の新エネルギーにはない市場可能性を持ち、とくに本研究において可能性の確認されたバイオマスからの水素製造プロセスによって、発電のみによるよりもはるかに大きな環境調和型エネルギーとしての可能性を持つことができる。

一方、本課題におけるエネルギーシステムの評価方法論においては、エネルギーをその技術的可能性や環境適合性のみではなく、社会や市場外を含む経済的な影響(外部性)によって総合的な社会適合性を分析する。これにより、核融合の持つ未来のエネルギーシステムにおける特徴と可能性が示され、とくに単に資源制約と環境影響だけではなく、持続可能な社会システムの構築の上で大きな貢献をなしうることが明らかになった。

これらの成果は重点領域としての核融合研究の意義付けの上で重要な貢献であるとともに、本中期目標・中期計画の趣旨に添い、具体的な回答を社会に提示するものである。

2.5.3. 平成 16 年度以降の主な成果

(d) 高温エネルギー変換と水素製造

核融合が環境調和型エネルギーであるためには社会の求める形に変換する必要がある、本課題では、このために刀剣急所で開発された超低放射化鉄鋼材料およびセラミック複合材を用いて、金属 OSe をトリチウム増殖増倍および熱媒体に使用する概念を提案した。この概念を図 5.18.14 に示す。これは IWHU の WEP で実験を開始できる着実に現実的な技術オプションであると同時に、適切な設計と VIF 冷却パネルの開発成果によっては、早期に $<33^{\circ}\text{C}$ 以上の高温ヘリウムガスを熱媒体として取り出すことの可能な概念であり、現在世界的に注目されている。このブランケットの開発研究を目的として OSe ループ実証試験を開始した。本装置は、現在稼動中の世界で唯一の VIF UDIP OSe ブランケットの実験ループであり、さまざまなブランケット特性の試験を行うことができ、世界最高温度のブランケット概念の実証試験を目指し、設計に必要な工学基礎データの蓄積を行っている。今後、個々の技術課題を解決しつつ、さらに核計算などを通じて、これら先進材料研究と連携して高温先進ブランケット概念を構築実証する計画である。

一方、このような高温のブランケットにより高温熱媒体を取り出せば、それを化学反応、とくに吸熱反応に利用することで、核融合エネルギーを化学エネルギーに変換することができる。本課題ではバイオマスからの水素製造を提案し、実際にセルロースを分解して最大 73% の変換効率を実証した。

核融合によるバイオマスからの水素製造プロセスを図 5.18.15 に示す。核融合エネルギーは、水素として一時間に 5.3 トン、燃料電池自動車に供給したとすると、我が国の総需要の数分の 1 をまかなうことのできるレベルである。原料として想定するバイオマスは、生活ごみ(可燃物)として回収されているものだけでも年間 9333 万トンに既に達しており、核融合炉の出力は、このごみ処理の観点でも我が国全体の数分の 1 の規模に達する。

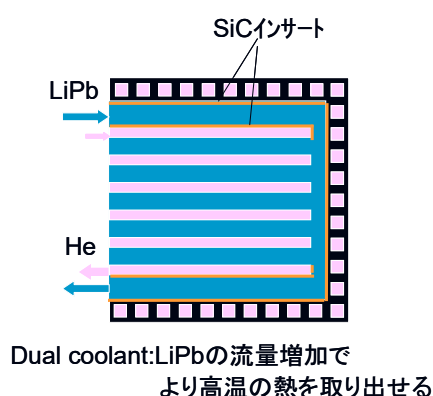


図 2.5.1 LiPb-SiC-RAFM
ブランケットの概念

(e) エネルギーシステムの評価方法論

環境、社会的受容性、経済的競争力などを考慮した核融合の導入シナリオを検討し、社会に選択されるために、核融合が満たすべき条件や研究方向を検討した。図 5.18.16 に、核融合が将来のエネルギー市場において占め得る位置のモデル計算による一例を示す。核融合は、環境問題に配慮しないエネルギー供給シナリオにおいては、市場可能性がほとんどないこと、最大約 53% のシェアの可能性があるが、途上国における可能性が大きいこと、水素製造が重要であることが示された。

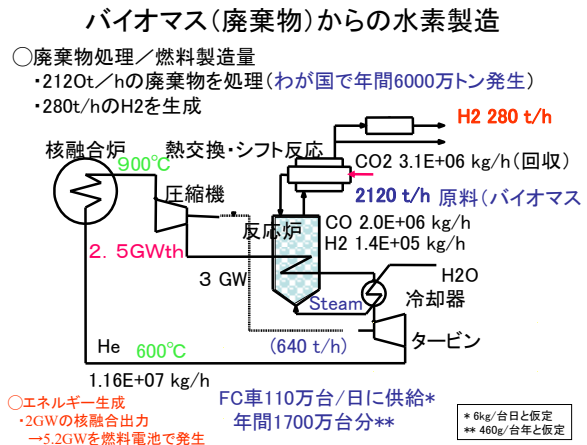


図 5.18.15 核融合エネルギーによる#
バイオマスからの水素製造#

2.5.4. 国内外の関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

ブランケット開発は現在国際的再編成の過程にあり、本研究は IWHU における OISEWEP の国際協力の焦点となっている。またエネルギー評価は最近重視され始めた課題であり、まだ実施研究組織は多くないが、本研究は高い関心を受け、学会等でも注目されている。

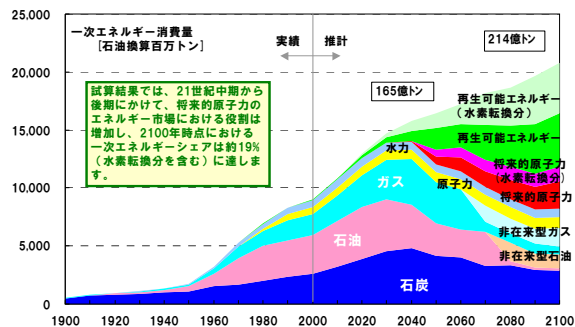


図 2.5.3 環境制約下での 21 世紀のエネルギー市場

2.5.5. 今後の展望

研究基盤の確立段階にあるが、今後内外との協力により、工学設計、実験研究を中心とした研究開発を展開する準備が整っている。

2.5.6. 主要論文リスト展望

41. V1#N rqlvk1/# xvlrq#7fl#Whfk1/# : #5338,/#45380453<#
2. V1#N rqlvk1/# #R ndqr/# #R jdz d/#7#Q djxp r/#N #Wm1p dwx#3qg#N #Wrelw/# xvlrq# Hqj #3 hvljq/# 80:<#5338,/#4484044881

#

3. バイオエネルギー重点複合領域研究

関連分野： エネルギー利用過程研究部門 複合化学過程研究分野
分子集合体設計研究分野
生物機能科学研究分野
生体エネルギー研究分野

本重点複合領域研究は、バイオおよびナノテクノロジーを融合させたバイオ・ナノテクノロジーを基盤とし、光エネルギー領域研究との融合により、光電変換技術をもとにした太陽電池開発や太陽光発電による水素製造ならびにバイオマスを含む自然エネルギー利用のための生物機能変換等、環境調和適応型エネルギーシステムおよび物質変換システムの開発のための「太陽エネルギーシステム研究」の拠点形成を目指す。具体的には、太陽エネルギーシステム研究の遂行に必要な光エネルギー、ナノテクノロジーおよびバイオエネルギーの融合研究を高効率に実施するために「光・ナノ・バイオ融合研究統合基盤」を構築し、世界をリードできる研究基盤の整備を図る。さらに、54 世紀 FRH プログラムの研究拠点活動成果を発展継承するための新たな研究施設を設立し、太陽電池をはじめ、水素、バイオマスおよび二酸化炭素等の高度利用の連携複合研究を展開する。同時に、企業との共同研究を通じて、上記の研究成果を物質生産技術に応用することにより、環境に優しい物質生産システム(グリーンケミストリー)の構築と、持続可能社会のための産業育成に寄与できる研究開発を推進する。

本重点複合領域研究では、以下の研究を進めている。

- 次世代太陽電池の開発
- 太陽光利用に関連するナノ材料創製
- 生物型酵素を用いた高効率物質変換反応の開発
- バイオマス資源のクリーン燃料化
- バイオエネルギー研究のための生命現象の解明とその利用

3.1. 次世代太陽電池の開発

3.1.1. 研究の概要

太陽光発電は究極の再生可能エネルギーであり、未来の基幹エネルギーシステムの一つと位置付けられるが、その開発には、多くのブレークスルーが必要である。当研究所が開発する独創的な新材料を用いた有機太陽電池は、これらの課題に答え得る極めて有望なものであり、世界一の効率を目指して研究を進めている。さらに、高効率な第三世代太陽電池を目指した基盤研究も推進している。

色素増感太陽電池開発では、より高効率な光電変換を目指し、ナノワイヤーとナノ粒子が複合化された部分ナノワイヤー化電極を作製し、色素増感太陽電池への適用を試みた。また、微量

ドーピングによるバンドチューニング、電極での光マネジメント、ナノロッドの2次元アレイ化などにも取り組んだ。

有機薄膜太陽電池開発では、従来の有機薄膜太陽電池が、励起子の失活と電荷の再結合が避けられず効率が低かった点を克服すべく、光合成系に類似した、励起子パスと電子・正孔パスを分離するという新しいコンセプトを有機薄膜太陽電池に導入し、新素子構造の構築とその評価を行ってきた。とりわけ、酸化チタンホールブロック層の導入やアニール・混合溶媒効果による電極結晶化の促進などにより、大気中プロセスでは世界最高レベルの4%台の高効率セルを得ることに成功した。

3.1.2. 重点領域研究としての意義および社会的重要性

バイオエネルギー複合領域において、光合成のモデル化を指向してバイオおよびナノテクノロジーを融合させたバイオ・ナノテクノロジーを基盤とし、光エネルギー領域研究との融合により、光電変換技術をもとにした太陽電池開発を含む自然エネルギー利用のための生物機能変換等、環境調和型エネルギーシステムおよび物質変換システムの開発のための「太陽エネルギーシステム研究」の拠点形成につながる。

3.1.3. 平成16年度以降の主な成果

(a) 色素増感太陽電池の開発

部分ナノワイヤー化 TiO_2 を用いて色素増感太陽電池 DSC を作製した。多孔質電極の膜厚が $5.6\ \mu\text{m}$ と薄いにも関わらず、短絡電流密度 $11.9\ \text{mA}/\text{cm}^2$ 、開放電圧 $0.754\ \text{V}$ 、フィルファクター 0.673 とそれぞれ比較的高い値が得られた。変換効率 6.0% は、現在報告されている世界最高値（約 11% ）からすれば低い値であるが、1次元ナノ材料の分散が高効率化に寄与することを初めて示した。

酸化亜鉛 ZnO 等の2次元アレイ電極についても検討を行っており、高密度かつ高配向度の均質なアレイの作製に成功するとともに、1D ナノ結晶の長さも自在に制御しながら作製できた。これら1D ナノ結晶の長さが異なる電極を用いた DSC の変換効率は、図 3.1.1 のように長くするほど改善されることが判明した。

1D- TiO_2 の2次元アレイ創製にも成功し、 $4\ \mu\text{m}$ 長の光電極で効率 6.3% をこえる優れた DSC 特性を示すことを世界で初めて示した。

DSC は、電解液、色素、陰極、

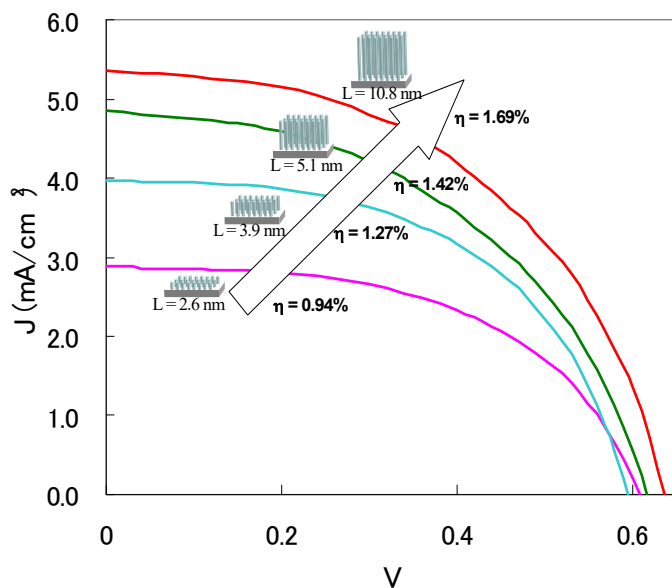


図 3.1.1 [qR-04G を用いた GVF の光電変換特性

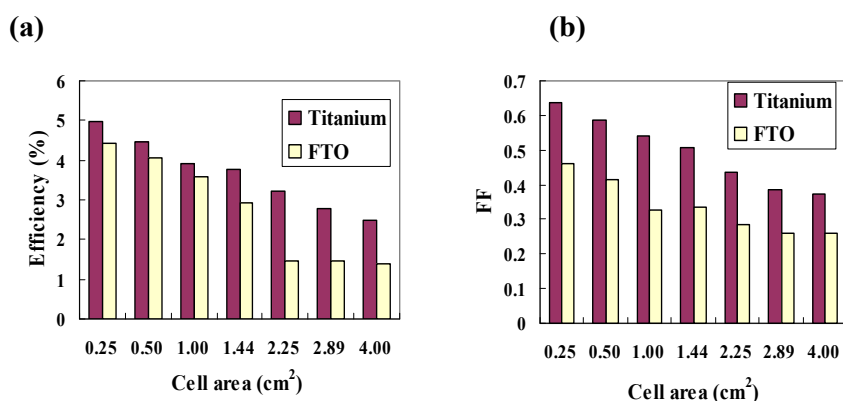


図 64151 金属チタンを陰極とする GVF の種々のセル面積での
変換効率(d)とフィルファクター(e) #

対極基板としての透明ガラス電極 FTO 等にて構成される。この FTO は、比較的高価であり、DSC のコストの約 60%を占めるとされている。またこの FTO は、比較的シート抵抗が高く(10-15Ω/□)、破損されやすい等の欠点があった。基板のシート抵抗は、DSC の特性に関係することは知られており、セル面積が大きくなることにて効率が低下することも問題であった。そこでこの FTO 基板の代わりに、シート抵抗が低く(0.4mΩ/□)、耐食性にも優れた金属チタンを基板に用いた DSC を調製し、評価した。セル面積の増加に伴い変換効率は低下するが、金属チタンを基板として用いることにより、この低下は抑えることができた(図 3.1.2)。これは、金属チタンのシート抵抗が低いために、セル面積の増加に伴うフィルファクターの低下が抑制されたものと思われる。この結果から、金属チタンを用いることにより、セルのスケールアップが図れるものと思われる。

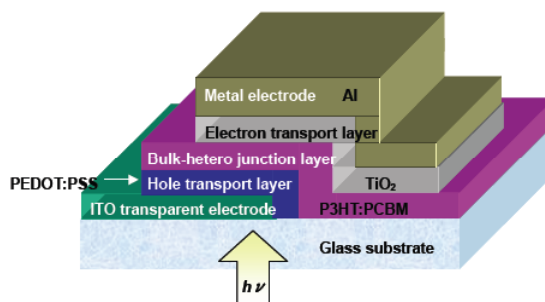


図 54161 開発した有機薄膜太陽電池の素子構造

(b) 有機薄膜太陽電池の開発

酸化チタン層を活性層と電極の間に導入し、エネルギー変換効率と耐久性の向上を検討した。

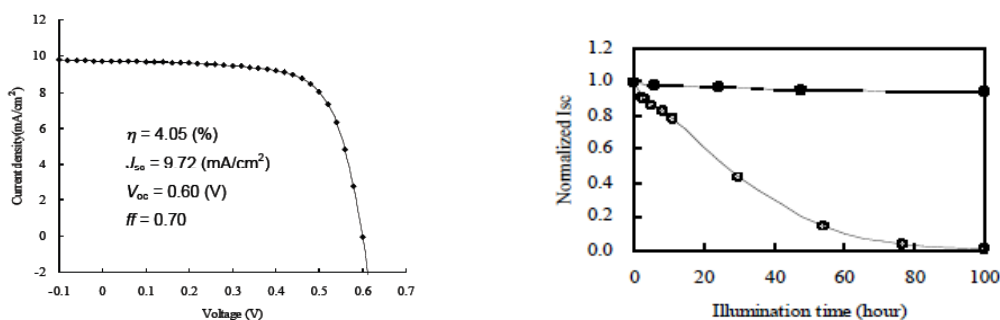


図 64171 有機薄膜太陽電池 (S6KW-SFEP 系) の
電流電圧曲線(左)と長期安定性試験(右)

すなわち、ITO 電極上に poly(styrenesulfonate)/poly(2, 3-dihydrothieno-[3,4-b]-1, 4-dioxin) (PEDOT:PSS) をスピンコートし、さらに poly(3-hexylthiophene) (P3HT)と(6, 6)-phenyl C61 butyric acid methyl ester (PCBM)の混合溶液をスピンコートして活性層を成膜した後、酸化チタンアルコキサイドエタノール溶液をスピンコートし、酸化チタン層を成膜した。最後に Al を真空蒸着してセルを構築した(図 3.1.3)。

その結果、TiO₂ 薄膜がホールブロック層として有効であることが確認され、TiO₂ を導入したバルクヘテロ接合セル(シングル)で大気下、変換効率 $\eta = 4.05$ (%)、短絡電流密度 $J_{sc} = 9.72$ (mA/cm²)、開放電圧 $V_{oc} = 0.60$ (V)、フィルファクター $ff = 0.70$ という世界トップレベルの数値を達成した。さらに、大気雰囲気下、100 時間以上の AM1.5、100 mW 連続照射実験での効率劣化(規格化した短絡電流密度の経時変化)6%以下を達成することができた(図 3.1.4)。

3.1.4. 国内外の関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

色素増感太陽電池開発における当初の数値目標はセル変換効率9%であり、AM1.5、N719 色素使用、電極厚み 12 μm 、2 層構造の複合系セルにおいてセル変換効率 9.15%を達成することができた。また、今後各要素技術を融合することで、11%超の変換効率が期待できる結果が得られた。

有機薄膜太陽電池開発では、未封止の大気暴露下において世界トップレベルのセル特性と安定性を獲得することができた。

3.1.5. 今後の展望

色素増感太陽電池開発においては、大面積セルの作製と、変換効率 11%を越えるさらなる高効率化を展開する。

有機薄膜太陽電池開発では、短絡電流密度と開放電圧の向上を目的に、電子輸送層材料、活性層材料、ホール輸送層材料の探索を中心に、高分子タンデムセル、低分子タンデムセル、および超階層ナノ構造セルの開発を行い、0.25 cm²の試作セルで効率 7%を達成し、同時に、連続光照射下での大気暴露 100 時間による相対効率低下 10%以下の安定性獲得を目指す。

3.1.6. 主要論文リスト

1. H. Imahori, S. Hayashi, T. Umeyama, S. Eu, A. Oguro, S. Kang, Y. Matano, T. Shishido, S. Ngamsinlapasathian, S. Yoshikawa, *Langmuir* **22** (2006) 11405.
2. P. Charoensirithavorn and S. Yoshikawa, *Proc. Sustainable Energy and Environment*, Vol. 1, 259 (2006).
3. K. Onoda, S. Ngamsinlapasathian, T. Fujieda, and S. Yoshikawa, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 91, 1176-1181 (2007).
4. O. Yoshikawa, A. Hayakawa, T. Fujieda, K. Uehara, and S. Yoshikawa, *Proc. Sustainable Energy and Environment*, Vol. 1, 291 (2006).
5. A. Hayakawa, O. Yoshikawa, T. Fujieda, K. Uehara, and S. Yoshikawa, *Appl. Phys. Lett.* Vol. 90, 163517 (2007).

6. 「有機太陽電池の最新技術」, 上原 赫, 吉川 暹 監修, CMC 出版 (2005) .
7. 吉川 暹 編著, 「新エネルギー技術最前線」化学フロンティア 17, 化学同人 (2006) .

3. 2. 次世代太陽電池に関連するナノ材料創製

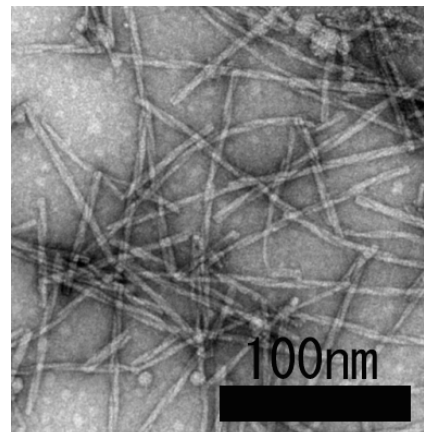
化石燃料や天然ガスなどの資源の枯渇化および環境汚染問題が深刻化するなかで、持続可能な発展を維持するために、限られたエネルギー資源の有効利用法の開発が求められている。この技術の一つとして、多岐にわたる分野の基盤的技術であるナノテクノロジーに期待が寄せられている。

ナノテクノロジーの展開において、ナノ材料の創製がキーとなる。当研究所は既に 15 種類以上の元素を用いた、セラミックナノチューブ・ナノワイヤー等の多様なナノ構造材料創出に成功しており、これを基盤としてナノテクノロジーの世界的な研究拠点を構築し世界をリードして行く。このような特徴をさらに発展させるため、独創的な新材料の持続的な創出、新しい学問領域の構築、論文など出版物による啓発を図ると共に、多くの応用分野を開拓し、我が国が優位な新産業領域育成のための拠点化を図る。

3. 2. 1. アミロイド繊維構造を鋳型とした金属ナノ配線の構築

3. 2. 1. 1. 研究の概要

現在微細化技術の主流である半導体リソグラフィ技術は 50 nm を切るところで加工限界に達するため、分子を組織化してナノ構造体を作製する「ボトムアップ型ナノテクノロジー」の発展が急務である。近年、ボトムアップ型ナノ配線作製において、タンパク質アミロイド繊維を鋳型としたナノ配線の構築法が注目を集めている。アミロイド繊維は非常に剛直な配線構造であり、ナノ配線の鋳型として最適であり、アミロイド繊維表面に金属化合物を析出させることによりナノ配線として機能化可能である。この鋳型法では、アミロイド表面の電荷や疎水性環境が金属の析出に大きな影響を与えるため、アミロイド繊維の表面状態の最適化設計が重要である。本研究では、ナノ配線の一般的な合成法を確立することを目的として、タウ蛋白質内部に存在するコア配列のアミロイド繊維化機構を解明し、その繊維形状や表面環境を制御することを試みた。



3. 2. 1. 2. 重点領域研究としての意義および社会的重要性

生体高分子による自己組織化プロセスを利用した方法は、省エネルギーでかつ環境負荷の少ないナノ構造体作

図 6541 SKI9 ペプチドの繊維状構造体の WHP 画像

製法である。生体高分子の高度な自己組織化能力と、タンパク質のバイオミネラリゼーション能力を組み合わせることにより、複雑多岐にわたるナノマテリアルを精緻に設計できると期待される。本研究において提案された方法論は、アミロイド表面環境を制御することにより利用目的に合致したさまざまなナノ配線の構築が可能であるため、その社会的重要性・貢献度は極めて高いと考えられる。

3.2.1.3. 平成 16 年度以降の主な成果

アミロイド繊維の基として、アルツハイマー病の繊維原性タンパク質タウのコア配列を用いた。タウタンパク質は、タンパク質内のアミノ酸側鎖のリン酸化により繊維化することが報告されている。とくにタウタンパク質のコア配列およびそのアミノ酸側鎖のリン酸化がアミロイド繊維化に重要な役割を果たしている。そこで、タウコア配列中の繊維化に重要であると予想された配列(VQIVYK : PHF6)を選び、その繊維化の検討を行った。その結果、中性条件化において直径 10 nm、長さ数十～数百 nm の繊維状構造体が TEM により観測された(図 3.2.1)。また配列内部のチロシン残基をリン酸化した配列(PHF6pY)で同実験を行った結果、リン酸化していない配列と比較して長さが 100 nm 程度の繊維構造が得られた。また VQIVYK 配列の電荷状態を変化させた人工アミロイドモチーフを合成することにより、電荷による凝集特性の変化を検討した結果、電荷の増加により凝集速度が低下することが示された。またコア配列の凝集におけるチロシンの疎水性効果を検討するため、4-メチルフェニル、4-ビフェニル、4-フルオロフェニルをチロシン残基部に導入した非天然型タウコアペプチドを Fmoc 固相合成法により合成した。これらの全てのペプチドにおいて TEM により繊維状構造体の形成が確認できた。また PHF6 誘導体の凝集速度をチオフラビン T 試験により測定した結果、チロシン残基水酸基を疎水性官能基に変換することで、ペプチドの凝集速度が著しく増加することが示された。

本研究において、PHF6 ペプチドの繊維形成には、アミノ酸側鎖の疎水性相互作用および静電相互作用が重要であることが示された。また PHF6 誘導体においても TEM により繊維形成が観測されたことから、このペプチドモチーフを用いてアミロイド繊維を作製することにより、繊維の表面電荷や疎水性環境を制御できることが示唆された。

3.2.1.4. 国内外の関連する領域のなかでの位置付け

アミロイド繊維を鋳型とした金属ナノ配線の構築法は、Scheibel らの報告がある。彼らの手法では約 250 アミノ酸からなる Sup35 の NM ドメインを基としたアミロイド繊維を鋳型に用いて金ナノ配線を作製している。しかし、この蛋白質は分子量が大きく、その表面を改質するための設計・合成には多大な労力を有する。本手法は、僅か数アミノ酸のペプチド配列を用いおり、そのアミロイド繊維の表面環境の制御が簡易であり、金ナノ配線のみならずさまざまな金属ナノ配線の作製に応用できると考えられる。

3.2.1.5. 今後の展望

表面改質を行ったアミロイド繊維に対して、酸化チタン・金・シリカなどのさまざまなナノ配線の合成を試みることにより、PHF6 誘導体を基としたアミロイド繊維によるナノ配線構築の可能性を模索する。またこれらの材料は半導体素子・金属触媒・光成型太陽電池などの応用を図る。

3.2.1.6. 主要論文リスト

1. T. Konno, T. Morii, A. Hirata, S. Sato, H. Naiki, S. Oiki, and K. Ikura, *Biochemistry* 44, 2072-2079 (2005).
2. T. Konno, T. Morii, H. Shimidzu, S. Oiki, K. Ikura, *J. Biol. Chem.* 280, 17520-5 (2005).

3.2.2. 半導体上への金属析出

3.2.2.1. 研究の概要

光電気化学セルにおいては半導体電極が用いられ、光励起された電子または正孔による電気化学反応を利用する。半導体上での電気化学反応速度は遅く、白金等の触媒を付与して反応速度を向上させる必要がある。この視点から、半導体であるシリコン上への金属析出制御の研究に取り組んでいる。また、半導体上への金属析出は、微細配線技術や微細構造作製技術などにも大きく関わっている。シリコン上への置換めつき現象の把握に取り組み、その過程で開路条件下におけるシリコン電極の電子振動現象を発見した。一方、電解析出においては、**n** 型シリコンにおいても **p** 型でのみ可能であった光アシストパターニングを実現した。さらに、光強度を変調することによって析出金属粒子の径と分布を制御する新規な手法を提案している。また、マクロ孔を形成したシリコンを鋳型として微細構造体を形成し、種々の形態発現機構解明に取り組んでいる。

3.2.2.2. 重点領域研究としての意義および社会的重要性

半導体上への金属析出は、電気化学的太陽光利用に必須である半導体電極の触媒性向上に密接に関係しており、太陽エネルギーの多角的な利用を目指した半導体複合材料の開発研究において重要である。また、エネルギー材料も含め、他分野で要請されているナノ構造体形成の基盤材料として、その重要性が認識されている。

3.2.2.3. 平成 16 年度以降の主な成果

これまでに、**p** 型シリコンを用いてマスクやレジストなしに光照射を制御することによって金属パターンをシリコン上に描くことに成功している。この手法を **n** 型シリコンに拡張した。**n** 型シリコンの多数キャリアは電子であり、**p** 型と同様な光励起によって表面上に金属パターンを描くことはできない。しかし、光照射によって正孔を励起することにより、位置選択的な多孔質層形成が可能である。多孔質シリコン層は平滑シリコン表面に比べ、高い還元性を有している。この特性を利用することにより、**n** 型シリコン表面にも銅パターンの形成が可能となる。**n** 型シリコン表面に光照射によって多孔質シリコン形成層を描き、その後銅置換めつき浴中に浸漬することで、多孔質層部分にのみ銅の置換めつきが起こる。この手法により、銅による光アシストパターニングに成功した。

光電極を金属、とくに貴な金属で表面修飾することで電極触媒性の向上が可能となる。この際、析出金属のサイズや分布も電極触媒性に影響を及ぼす。電析操作時において **p** 型シリコン上への白金析出物のサイズおよび分布制御を光強度変調により実現することを試みた。白金は暗時に

においても、光照射時においても電析が起こる。析出形態は両条件により異なり、暗時には成長した球状粒子が観察され、照射時には分散した微細粒子が生成する。この挙動の違いは両条件下における電荷移動過程が異なるために生じる。暗時には伝導帯に存在する電子が p 型シリコンで不足しているために、白金イオンの還元は価電子帯への正孔注入により進行する。一方、光照射条件下においては、伝導帯へ光励起された電子が白金イオンを還元する過程が支配的となり、還元速度が増す。金属析出速度の違いが異なる析出形態をもたらす。この特性を利用することによって、一定電位条件下で光強度変調を行うと、シリコン上に析出する白金のサイズと分布制御が可能になることを明らかにした。光強度変調による析出物の形態および分布制御は、白金に限らず、他の貴な金属系においても可能なはずである。この可能性を検証するために、金、パラジウム、および銅の p 型シリコン上への光強度変調電析による形態制御の可能性を検討した。その結果、銅のみが形態制御可能であった。パラジウムと金においては、置換めつき速度が速く、液に浸漬しただけでシリコン上に自発的な核生成が速やかに進行するために、形態制御できなかった。

マイクロメートル程度の孔径を有する多孔質シリコンを作製し、電析によりその孔内への金属充填を試みた。銅や白金においては暗時には孔底からの金属析出が進行する。貴な金属においては、酸化還元電位が価電子帯のエネルギー準位に接近しているために正孔注入による還元反応が可能なのである。電析後に基板であるシリコンを溶解することによって、金属のマイクロ構造体配列が得られる。銅や白金においてはマイクロロッド構造となる。孔充填は底部から優先的に、緻密かつ滑らかに進行し、シリコン孔の形態を忠実に転写するものであった。同様に貴な金属であるパラジウムや金を用いて暗時にはマイクロロッドの作製を試みたが、これらの金属では孔底部の析出が銅や白金の場合に比べて起こりにくかった。このような孔充填挙動の違いは、貴な金属系において可能となるシリコン壁への金属の置換めつき速度、孔壁の抵抗による電解時の電流分布、孔内における反応物質種の物質移動などの寄与によるものと考えられるが、詳細な解析は今後の課題である。一方、卑な金属であるニッケルにおいては価電子帯を介しての電荷移動が期待できないために暗時には析出が起こらず、光を照射することによって孔壁全面において析出が起こる。この場合においてはマイクロチューブが得られる。この手法によりシリコンをテンプレートとして、微小構造体を形成する可能性を示した。

3.2.2.4. 国内外の関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

シリコン上への電気化学手法による金属析出は、1997 年に IBM 社が IC チップ配線に銅めっき技術を導入して以来、多くの研究者が取り組んでいる。近年は、ナノ構造体作製の重要手法として、三次元的な構造体への活発な取り組みがある。シリコンは、それ自身の加工性のよさや物質充填後の基板除去が容易であるなどから、この目的に合致した出発物質であり、また、電気化学的手法は装置の簡便さや優れた制御性から、他の手法にはない利点を有している。光電極としてのシリコンは、光電気化学セル動作時における安定性の欠如から実用的な材料とは言えない。しかし、シリコンは良好な素材が入手可能であり、また多くの基礎物性が既存であることから研究材料として適当であり、光電極触媒作用研究におけるモデル系として得られる知見を他の半導体電極に還元できる。

3.2.2.5. 今後の展望

金属触媒を付与したシリコン電極の光照射下における水素発生電極挙動を検討し、光変換効率の向上に資する金属析出条件を検討する。一方、微小構造体形成に関しては、孔内への金属析出挙動を明らかにするとともに、より微細な孔への金属充填に取り組み、電気化学的な微小構造体作製技術の確立に努める。

3.2.2.6. 主要論文リスト

1. 黒川明成, 作花哲夫, 尾形幸生, 表面技術, 56, 281-285, 2005
2. Y.L. Kawamura, T. Sakka, and Y. H. Ogata, J. Electrochem. Soc., 152, C701-C705, 2005
3. K. Kobayashi, F. A. Harraz, S. Izuo, T. Sakka, and Y.H. Ogata, J. Electrochem. Soc., 153, C218-C222, 2006.

3.2.3. 1次元ナノ材料の創製

3.2.3.1. 研究の概要

色素増感太陽電池は、ナノサイズの酸化チタン TiO_2 半導体を多孔質膜とし、その表面に色素を吸着させることで効率良く太陽光から電子を生成させるというものであり、如何に高表面積で結晶性の高い半導体電極を作るかが高効率化を実現する上での鍵となっている。そのような考えに基づいて、界面活性剤を鋳型とするゾルゲル反応により調製した TiO_2 が、一次元ナノ材料のネットワークを形成することを報告してきたが、これまで一次元ナノ材料を高含率に含む電極の調製には成功していなかった。そこで、水熱合成-熱処理複合プロセスで、 TiO_2 ナノワイヤー・ナノロッドを作製した結果、熱処理条件等を変化させることによって結晶相とナノチューブからナノロッドまでの形状・サイズを自在に作り分ける技術を確立することができた。電界紡糸法によるポリフェニレンビニレンやポリチオフェン等導電性高分子の 1D 材料化にも取り組んでいる。

3.2.3.2. 重点領域研究としての意義および社会的重要性

バイオエネルギー複合領域において、単なるナノ材料創製技術基盤の構築のみならず、分子集合体からナノ構造体が形成する学理の究明を通して、バイオミネラリゼーションの本質探求にも通じる研究であり、得られる新材料は、光エネルギー領域研究との融合により、光電変換技術をもとにした太陽電池開発や太陽光発電による水素製造ならびにバイオマスを含む自然エネルギー利用のための生物機能変換等に利用され、環境調和型エネルギーシステムおよび物質変換システムの開発のための「太陽エネルギーシステム研究」の拠点形成へとつながる。

3.2.3.3. 平成 16 年度以降の主な成果

通常、水熱合成法でナノワイヤーを得るには、 NaOH 水溶液中であれば 150°C 以上で 48-120 時間程度の水熱処理を行う。この水熱合成を 24 時間程度に短縮することでナノワイヤーの結晶

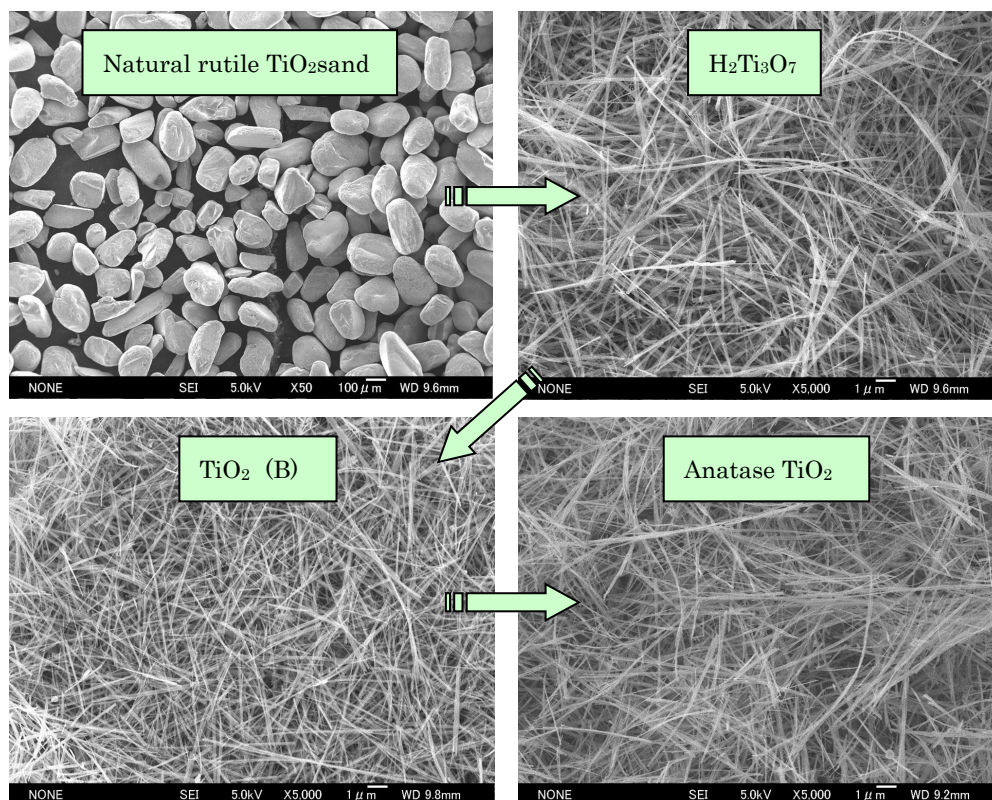


図 3.2.2. 水熱-熱処理複合プロセスによる
TiO₂(B)および TiO₂アナターゼナノワイヤー

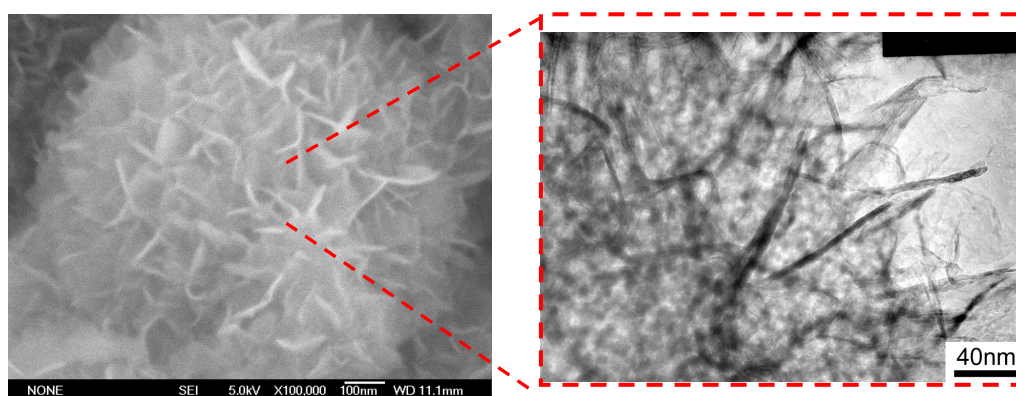


図 3.2.3. ナノシート状構造体酸化チタン

成長を途中の段階で停止させるとともに、酸によるイオン交換処理、大気中での熱処理を最適化することで、アナターゼナノワイヤーとやや大きなルチル粒子が混在した生成物を得ることができた。(図 61515)

水熱合成法における結晶成長をより一層進展させて、ナノチューブやナノワイヤーをはるかに凌駕する比表面積 642 m²/g を持つナノシート状構造体酸化チタンの作製に成功した。(図 3.2.3)

3. 2. 3. 4. 国内外の関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

一般に結晶性が高く耐熱性に優れたナノワイヤーは比表面積が小さく、電極化した場合の実効

表面積は低下することが明らかとなった。1次元ナノ材料を利用しつつ、高実効表面積を保つには、例えば次の3つのアプローチが考えられる。

- (a) 4次元ナノ材料自体を非常に細かな粒子にする(ナノロッド化)
- (b) 4次元ナノ材料とナノ粒子の複合電極を作製する(4次元+3次元構造)
- (c) 4次元ナノ材料の充填密度を上げる(5次元アレイ化)

とくに(b)は、高比表面積の等軸状粒子で生成させた電子を1次元のパスを使って流すという考え方であることから、(c)とともに光電変換効率の向上につながるものと期待される。

3.2.3.5. 今後の展望

二次元アレイ化および多次元の超階層ナノ構造素子の構築を展開すると共に、一次元有機および無機ナノ材料との複合化を図ることにより、10%以上の変換効率を持つ有機薄膜太陽電池を開発する。

3.2.3.6. 主要論文リスト

1. Y. Suzuki, S. Ngamsinlapasathian, R. Yoshida, S. Yoshikawa, *Central Euroean J. Chem.* **4** [3] 476-488 (2006).
2. S. Pavasupree, S. Ngamsinlapasathian, M. Nakajima, Y. Suzuki, S. Yoshikawa, *Synthesis, J. Photochem. Photobio. A.* **184**, 163 (2006).
3. S. Pavasupree, S. Ngamsinlapasathian, Y. Suzuki, and S. Yoshikawa, *J. Nanosci. Nanotech.* **6**, 3685 (2006).
4. S. Chuangchote, T. Sagawa, S. Yoshikawa, *Jap. J. Appl. Phys.*, in press.

3.2.4. コンビナトリアル・ケミストリー手法によるバイオ・ナノ材料開発

3.2.4.1. 研究の概要

化学合成ペプチドライブラリー法は有機溶媒中で親和性を持つ分子を探索可能であることなど有利な点が多い。化学合成法によりペプチドライブラリーを合成し、種々のポルフィリン色素と結合するペプチド分子を見だし、その結合様式について分子動力学法を用いた予測と並行して明らかにした。

3.2.4.2. 重点領域研究としての意義および社会的的重要性

ハイスループットスクリーニングとナノマニピュレーション技術を利用しつつ、バイオおよびナノテクノロジーを融合させたバイオ・ナノテクノロジーを基盤とし、光エネルギー領域研究との融合により、光電変換技術をもとにした太陽電池開発や太陽光発電による水素製造ならびにバイオマスを含む自然エネルギー利用のための生物機能変換等、環境調和型エネルギーシステムおよび物質変換システムの開発のための「太陽エネルギーシステム研究」の拠点形成を目指す。

3.2.4.3. 平成 16 年度以降の主な成果

化学合成ペプチドライブラリー法により標的分子を次のように探索した。すなわち、化学合成法により 5 残基のペプチドライブラリーを合成し、テトラカルボキシポルフィリンを始めとする種々のポルフィリン色素と結合するペプチド分子を見だし、その結合定数を決定した。それらの結合構造は分子動力学法を用いて予測でき、金属を含まないテトラカルボキシポルフィリンの場合にはN末端のアミノ基と2残基目の疎水基が重要なことなどを明らかにした。

3.2.4.4. 国内外の関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

ケミカルバイオロジーをはじめとして、コンビナトリアル・ケミストリー手法の一つである化学合成ペプチドライブラリー法は、とりわけドラッグデザインの分野で盛んに行われているものの、本テーマは、単なるアフィニティスクリーニングにとどまらず、とりわけ太陽電池開発や光触媒開発につながる光電変換機能の高効率発現を目指した新しい方法論の開拓に着目している点に特色がある。

3.2.4.5. 今後の展望

ハイスループットスクリーニングとナノマニピュレーション技術を利用しつつ、得られた材料の光電変換系への展開を図る。

3.2.4.6. 主要論文リスト

1. S. Sakamoto, A. Ito, K. Kudo and S. Yoshikawa, De Novo Design, *Chem. A Euro. J.* 10 [15] 3717-3726 (2004).
2. K. Inai, M. Oshita, T. Hashimoto, S. Yoshikawa, *Peptide Science*, 43rd (2006) 309.
3. K. Inai, S. Yoshikawa, *Peptide Science*, 43 (2006) 346.

3.2.5. 多孔質シリコンの生成と応用

3.2.5.1. 研究の概要

高い比表面積を有し、各種エネルギー応用における基板材料としての可能性を持つ多孔質シリコンの構造制御に関わる研究を進めている。本研究は、前回の外部評価において、「長期的な視点に立つ基盤研究であり、世界的にもユニークな研究が地道に続けられている」との評価を受けた。シリコンにおけるサブミクロンからミクロンサイズの孔径を有するマクロ多孔質構造の発現機構の解明に取り組み、従来考えられてきた多孔構造発現モデルでは説明できない多孔構造生成挙動を見だし、現在、孔中での電位分布や物質移動を考慮した新たなモデルの検討を行っている。メソ多孔構造を持つ多孔質シリコンの多層構造作製にも取り組んでいる。多孔度をサイン波形で変調したルゲート構造体の作製条件を検討するとともにその光学特性を調べ、この構造をエネルギー関連物質等揮発性有機物質の検知に適用して、その可能性を示した。

3.2.5.2. 重点領域研究としての意義および社会的重要性

本課題は「バイオエネルギー研究領域」における太陽エネルギーの多角的な利用を目指した半導体複合材料の開発研究に位置付けられる。この目的のためには関連する材料の高機能化が要請される。シリコンは地殻上に普遍的に存在する元素であり、半導体素子として広く使われていることから高度に生成・加工技術が確立した材料である。このような材料を半導体素子以外においても活用する領域を広げることは大きな意義がある。シリコンでは容易に多孔質構造が得られ、各種エネルギー応用における基板材料として触媒担体や微細構造体への適用の可能性を有する。

3.2.5.3. 平成 16 年度以降の主な成果

p 型シリコンにおけるマクロ多孔質構造の発現機構を検討した。シリコン自由表面を用いてマクロ孔生成を行うと、ランダムに分布したマクロ孔群が得られる。一方、フォトリソグラフィー法によってエッチピットを規則的に配列した試料を用いて陽極酸化を行うと、ブリエッチパターンにしたがって規則的に配列したマクロ孔列からなる多孔構造が実現する。初期には横方向と深さ方向への孔成長が進行する。隣り合う孔を隔てる孔壁厚さがある値に達すると、横方向への成長が止まり、その後は深さ方向への成長のみが起こる。例えば、5 μm 間隔のエッチピットを与えたシリコンを 13 mA/cm^2 の電流密度で 2 時間電解すると、孔径 4 μm 、深さ 50 μm の規則正しく整列した深さ方向での孔径が均一なマクロ孔が得られた。孔壁の厚さは 0.5 μm であった。この際、ブリエッチピット間隔を変化させると、孔径および孔間壁の厚さが変化する。間隔が 2 μm 以下となると、孔間の壁の崩壊が起こり、規則配列が崩れた。この現象は、従来考えられてきた孔間の壁厚さがシリコン中の空間電荷層厚さにより決定されるという多孔構造発現モデルでは説明できない。マクロ多孔構造の生成について再考する必要があることを示唆する研究となっている。

メソ乃至はミクロ多孔構造を持つ多孔質シリコンの多層構造体は、異なる多孔度を持つ層が異なる屈折率を持つことから、光学材料としての応用が可能である。多孔質シリコンを電気化学的に生成する際の成長フロントは孔底に限られる。この特性により、多孔度が厚さ方向に変化した多層膜を容易に作製することができる。従来は二つの多孔度を持つ層のサンドイッチ構造からなるブラッグ反射体がこの対象として研究されてきた。一方、少数ではあるが多孔度をサイン波形で変調したルゲート構造を持つ多層膜も研究されている。この構造は、二値多層膜に比べ、その反射スペクトル中でサイドバンドや高調波が抑制される、また層間界面構造の均一性における厳密さに対する要求が緩和されるなどの利点を持つ。我々は、多孔度をサイン波形で変調したルゲート構造体の作製条件を検討するとともにその光学特性を調べた。高不純物濃度の p 型シリコンを用いてルゲート型多層膜構造を得、表面の酸化により生じる経時変化を防ぐために、あらかじめ電気化学的に陽極酸化することによって安定化させる手法を提案した。この構造をエネルギー関連物質等揮発性有機物質の検知に適用し、その可能性を示した。物質蒸気が細孔内で毛管凝縮を起こすことによって、孔内の空気が検知物質液体に置き換わり、多層膜の屈折率が変化する。その結果、多層膜からの反射スペクトルが変化する挙動を利用するものである。さらに、不純物濃度の低いシリコンを出発基板に用いることにより、孔構造が微細化し、物質検知応答時間が短くなることを見いだした。

3.2.5.4. 国内外の関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

多孔質シリコンの持つ特異な多孔質構造を利用する新規デバイス、光学材料、バイオ材料、さらには燃料電池やリチウム二次電池などのエネルギー関連材料としての応用研究が進められている。これらの研究が実用化されるためには、多孔質構造制御につながる基盤的研究を進め、理解を深めることが必須である。我が国では化学的視点からこの研究に取り組んでいるものは非常に少ない。国外においては、とくにフランスおよびドイツにおいて精力的な基盤研究が展開されている。このような状況の下、高い将来性を持つこの材料の基礎的理解を深める研究を我が国で継続することは有意義である。

3.2.5.5. 今後の展望

マクロ孔構造の発現については、孔中での電位分布や物質移動を考慮したモデルについて検討を行い、新たなモデルを提案することを目指す。この結果は、同構造そのもの、または鋳型とした微細構造作製における基本的考え方を提供できるものと期待される。さらに、多層構造作製とも関連して、現在系統的に作製することが困難となっている 50-300 nm 孔径の中間孔径を持つ多孔構造の作製条件を探る。この構造を用いてルゲート型多層膜を構成することによって、ウィルスなど分子より大きなサイズを持つバイオ関連種検知の可能性が開ける。

3.2.5.6. 主要論文リスト

1. F.A. Harraz, K. Kamada, T. Kobayashi, T. Sakka, and Y. H. Ogata, J. Electrochem. Soc., 152, C213-C220, 2005
2. K. Kobayashi, F. A. Harraz, S. Izuo, T. Sakka, and Y. H. Ogata, Phys. Stat. Sol., (a) 204, No.5, 1321-1326 (2007).
3. M. S. Salem, M. J. Sailor, F. A. Harraz, T. Sakka, and Y. H. Ogata, J. Appl. Phys., 100, 083520, 2006.

3.2.6. 高性能光触媒の開発

3.2.6.1. 研究の概要:

炭酸ストロンチウム、酸化タンタル(V)、酸化チタンを原料として高温固相反応により、タンタル酸ストロンチウム/チタン酸ストロンチウム複合光触媒を作製した。この複合材料を含むメタノール水溶液に光照射すると、効率よく水素が発生することがわかった。チタニウムブトキシドを原料として水熱法によりナノ結晶多孔質酸化チタンを合成した。得られた酸化チタンはアナターゼの結晶相であった。BET 測定から多孔質体であることがわかった。焼成後、メタノール水溶液に酸化チタンを加えて光照射水分解を行うと、市販の酸化チタンよりも高効率で水素が発生することを明らかにした。

3.2.6.2. 重点領域研究としての意義および社会的重要性

本テーマは、水の完全分解による水素生産を触媒するヒドロゲナーゼの機能を人為的に再現することを目標としており、バイオエネルギー複合領域において、バイオおよびナノテクノロジーを融合させたバイオ・ナノテクノロジーを基盤とし、光エネルギー領域研究との融合により、光電変換技術をもとにした太陽光発電による水素製造ならびにバイオマスを含む自然エネルギー利用のための生物機能変換等、環境調和型エネルギーシステムおよび物質変換システムの開発のための「太陽エネルギーシステム研究」の拠点形成と関連する。

3.2.6.3. 平成 16 年度以降の主な成果

炭酸ストロンチウム、酸化タンタル(V)、酸化チタンを原料として 1000 度の固相反応により、タンタル酸ストロンチウム/チタン酸ストロンチウム複合光触媒を作製した。この複合材料を含む 10%メタノール水溶液に水銀ランプ光を照射すると、最大 138 $\mu\text{mol/h}$ で効率よく水素が発生することがわかった。チタニウムブトキシドを原料として水熱法によりナノ結晶多孔質酸化チタンを合成した。XRD、SEM および TEM 測定から、得られた酸化チタンはアナターゼの結晶相で 8 nm の結晶子径であった。BET 測定から孔径 6 nm、比表面積 215 m^2/g の多孔質体であることがわかった。500 °C で焼成した後、メタノール水溶液に酸化チタンを加えて光照射水分解を行うと、市販の酸化チタンよりも高効率で水素が発生した。

3.2.6.4. 国内外の関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

酸化チタンをはじめとする種々の光触媒を利用した水の完全分解による水素生産に関する研究は、以前から行われており、太陽光有効利用のための光触媒の可視光応答化や、水中での光溶解(自己分解)を抑制した安定化に関する開発は進められてきたものの、本テーマのように、触媒自身の構造、形態を自在に制御しながら、それらの組成変化と併せて検討した例はほとんどない。

3.2.6.5. 今後の展望

水の完全分解による水素生産に関して、触媒自身の構造、形態を自在に制御しながら、それらの組成変化と併せて、(二次元アレイ化などの高次構造への展開も含めて)さらなる最適化を図るとともに、可視光域での分解活性を持つ光触媒を新たに開発する。我々が明らかにした 1D ナノ材料の優れた特性の由来を見極め、量子論的な解明を行う。

3.2.6.6. 主要論文リスト

1. T. Sreethawong, Y. Yamada, T. Kobayashi and S. Yoshikawa, *J. Molec. Catal. A: Chem.* **248** [1-2] 226-232 (2006).
2. T. Sreethawong and S. Yoshikawa, *Int. J. Hydrogen Energy* **31**[6], 786-796 (2006).
3. J. Jitputti, S. Pavasupree, Y. Suzuki, S. Yoshikawa, *J. Solid State Chem.*, **180**, 1743-1749 (2007).
4. J. Jitputti, Y. Suzuki, S. Yoshikawa, *Cat. Commun.*, in press.
5. J. Jitputti, S. Pavasupree, Y. Suzuki, S. Yoshikawa, *Jpn. J. Appl. Phys.*, in press.
6. J. Jitputti, P. Charoensirithavorn, S. Yoshikawa, *Chem. Lett.*, in press.

3.3. 生物型酵素を用いた高効率物質変換反応の開発

非天然アミノ酸の導入可能な、ペプチドを分子工学的に利用するペプチド工学が、我々が独立に提案し進める学問領域である。これをコンビナトリアル・ケミストリーにおけるライブラリー技術と組み合わせて、ペプチド触媒やレドックス触媒として利用して行くことにより、優れた人工酵素の創出に結びつけることが可能となる。また、メタンからメタノール、バイオマスからの高度物質変換等に関わる高活性進化酵素の創出・利用研究領域の創製にも貢献できる。

3.3.1. RNA-ペプチド複合体を用いた機能性分子の創製

3.3.1.1. 研究の概要

本研究は、テラーメイド酵素の創製に必要な生体高分子設計法開発を目的とする。三次元構造が明らかな RNA-ペプチド複合体(RNP)を基本骨格として、機能性 RNP の創製を行った。RNP は RNA とペプチドの二つのサブユニットから形成されているため、各サブユニットを順次機能化することにより高機能な RNP の創製が期待できる。当分野では既に、多様化した塩基配列を導入した RNA サブユニットに、*in vitro* セレクション法を適用することによりアデノシン三リン酸(ATP)結合性 RNP リセプターを作製する方法論を開発した。本研究では、上記方法論で得られた ATP 結合性 RNP リセプターのペプチドサブユニットにループ構造を導入し、RNP リセプターの ATP 親和性、ATP 選択性を段階的に向上させる方法論および、基質 ATP を化学修飾したペプチドサブユニットを用いることにより、ある特定の位置、配向性で ATP と結合する RNP リセプターの開発を行った。この機能性分子創製法は化学反応性を有する RNP (RNP 酵素)を創製するための基盤的方法論であり、本研究は上記方法論を開発し機能性 RNP 創製という新たな分野を開拓することを目的とし研究を行っている。

3.3.1.2. 重点領域研究としての意義および社会的重要性

持続可能社会においては、環境負荷が少なく、クリーンかつ高効率なエネルギー生産・利用システムの開発が望まれる。その一つとして酵素をはじめとする生体高分子によって構築されている生物のエネルギーシステムを利用する方法がある。生物のエネルギーシステムを社会で利用するためには、目的とする基質特異性と反応性を有するテラーメイド酵素を自在に設計、そして作製する方法論が必要である。本研究では、生体高分子を用いてテラーメイド酵素を作製する基盤的方法論の開発を行った。

3.3.1.3. 平成 16 年度以降の主な成果

DWS 結合性 UQS リセプターのペプチドサブユニットにループ構造を導入し、ループ構造を構成する：アミノ酸を、ファージディスプレイ法を用いてライブラリー化した。ライブラリー化したペプチドサブユニットと UQD サブユニットから得られる UQS リセプタープールから、新たに DWS 結合性 UQS リセプターを選択することにより、もとの UQD サブユニットのみを機能化した DWS 結合性 UQS リセプターよりも高い DWS 親和性と DWS 選択性を持つ DWS 結合性 UQS リセプターが作製できることを明らかにした。

3.3.1.4. 国内外の関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

現在までに、UQD およびタンパク質を利用した機能性生体高分子を目的に合わせて設計または作製する上で、UQD もしくはタンパク質をそれぞれ単独で機能化する方法は数多く試みられている。しかしながら、UQD-ペプチド複合体(UQS)を用いた機能性生体高分子を作製する試みは、生体内に数多くの機能性 UQS が存在するにもかかわらず、未だ端緒についたばかりである。本研究では、UQS が複数のサブユニットから形成されているという利点を生かし、UQS を構成する UQD とペプチドサブユニットを段階的に機能化する方法論を開発した。

3.3.1.5. 今後の展望

本研究で開発した RNP リセプターの段階的高機能化法は、化学反応の出発物質に親和性を示しつつも、反応遷移状態にはより高い親和性を示す RNP リセプターを作製するための、基盤的方法論となる。また、基質結合配向性を制御した RNP リセプター作製法は、ペプチドサブユニットに触媒活性基を導入し、合目的な分子設計により RNP 酵素を作製するための基盤的方法論となる。これらの方法を用いることにより、天然の酵素に見られる「化学反応の進行に伴う構造変化」と「厳密な配向性のもと基質が結合する」という特徴の設計が可能となり、天然の酵素に引けをとらない触媒活性を有した RNP 酵素の作製が期待できる。

3.3.1.6. 主要論文リスト

1. S. Sato, M. Fukuda, M. Hagihara, Y. Tanabe, T. Morii, *J. Am. Chem. Soc.* **127**, 30-31 (2005).
2. T. Hasegawa, M. K. Ohkubo, S. Yoshikawa, T. Morii, *J. Surf. Sci. Nanotech.* **3**, 41-45 (2005).
3. A. Hirata, M. Ueno, Y. Aizawa, K. Ohkubo, T. Morii, S. Yoshikawa, *Bioorg. Med. Chem.* **13**, 3107-16 (2005).

3.3.2. RNA-ペプチド複合体を用いた蛍光バイオセンサーの開発

3.3.2.1. 研究の概要

本研究は、生体高分子をもとにして、分子を認識し光応答性を示す機能を創製することを目的とし、テラーメイド酵素の創製方法論の確立に資するものである。

RNA-ペプチド複合体(RNP)を基本骨格としたテラーメイドなセンサー構築方法論を基盤として、生体内情報伝達分子に対して応答する蛍光性バイオセンサーを開発を行った。標的とする情報伝達分子として、細胞内情報伝達経路におけるタンパク質中のリン酸化チロシンや神経伝達物質であるドーパミンを選択した。現在、リン酸化チロシンを含むペプチドあるいはドーパミンに対して高い選択性と親和性を示す蛍光性 RNP センサーの作製に成功している。今後、この RNP センサーを用いて、細胞内に導入する技術を開発し、細胞内における情報伝達分子の動態を詳細に解析することを目指す。標的情報伝達分子に対して迅速かつ高感度に細胞内で検出できるバイ

オセンサーが開発できれば、よく理解されていない細胞内情報伝達経路の解明が促進するとともに、細胞内エネルギー利用システムに関する知見を効率的に集積することができる。

3.3.2.2. 重点領域研究としての意義および社会的重要性

現在の化石資源に依存したエネルギー利用システムから脱却するためには、環境に配慮したクリーンで高効率なエネルギー利用システムを新たに構築する必要がある。その新たなエネルギー利用システムとして、化石資源を除いた生物由来の有機性資源であるバイオマスを利用したバイオエネルギーが注目されているが、クリーンなエネルギー生産および高効率な物質変換とエネルギーの再利用というシステムが統合されて機能している細胞内エネルギー利用システムを原理としたバイオエネルギーも有用であると考えられる。細胞内エネルギー利用システムを社会で構築するためには、その基本原理を探究することが重要であり、得られた知見を礎としてボトムアップ的にシステムの構築が達成されると期待できる。本研究における生体高分子を基盤としたバイオセンサーを活用した技術が確立されれば、細胞内エネルギー利用システムに関わる情報伝達経路の解明が促進され、細胞内エネルギー利用システムを社会で構築するための知見がより短期間で集積することが期待できる。

3.3.2.3. 平成 16 年度以降の主な成果

我々の開発した RNP センサー構築方法論(J. Am. Chem. Soc. 2006, 128, 12932)をもとに、リン酸化チロシンだけでなく、その周辺のアミノ酸配列までも高選択的に認識できる RNP リセプターと RNP センサーの構築を行った。その結果、リン酸化チロシンを含むペプチド(Gly-pTyr-Ser-Arg)に対して解離定数 $4.8 \mu\text{M}$ を示す RNP リセプターが試験管内選択法により作製できた。この RNP リセプターは、細胞内におけるリン酸化タンパク質に含まれるチロシンリン酸化部位を高選択的に識別し、リン酸化チロシン周辺のアミノ酸配列も分子認識に関与することが示唆できた。さらに RNP リセプターのペプチドサブユニットに蛍光分子を導入することにより、リセプター活性を保持した RNP センサーへの機能改変にも成功した。

一方、リン酸化チロシンとは異なった化学的性質を持つ情報伝達分子ドーパミンに対する RNP センサーも構築した。ドーパミンに対して解離定数 $5.2 \mu\text{M}$ を示す RNP センサーが作製でき、ドーパミンのカテコール部位と a 位のメチレンを高選択的に識別した。これらの結果により、個々のシグナル伝達経路に特徴的な情報伝達分子に対する一般的な方法論として RNP センサーが作製できる可能性を示した。

3.3.2.4. 国内外の関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

試験管内選択法に代表される進化分子工学的なアプローチは、テラーメイドなリセプターを作製するには大変有効な方法論であり、三次元構造情報をもとにした分子設計法と組み合わせて開発された RNP センサー構築方法論は、蛍光分子を基質結合領域へ直接導入することなく、任意の波長で幅広い濃度域で応答するバイオセンサーが簡便に作製できる。従来の生体高分子をもとにした蛍光センサー構築法の問題点を解消した汎用性が高いセンサーは、基礎的研究のみならず診断・創薬などの臨床応用の見地からみても極めて意義深いと考えられる。

3.3.2.5. 今後の展望

今後、細胞内へ RNP センサーを導入する方法論を開発することにより、エネルギー利用システムの根幹に関わる特定の細胞内情報伝達経路の解明が可能になり、細胞内エネルギー利用システムがより深く理解できるようになる。

3.3.2.6. 主要論文リスト

1. M. Hagihara, T. Hasegawa, S. Sato, S. Yoshikawa, K. Ohkubo, T. Morii, *Biopolymers* 76, 66-68 (2004).
2. M. Hagihara, M. Fukuda, T. Hasegawa, T. Morii, *J. Am. Chem. Soc.* 128, 12932-12940 (2006).

3.3.3. イノシトール四リン酸に対する細胞内センサーの構築

3.3.3.1. 研究の概要

イノシトール四リン酸(IP₄)は、細胞内情報伝達物質として細胞の機能制御への関与が示唆されているが、その詳しい挙動は明らかにされていない。本研究では、細胞内 IP₄ のリアルタイム検出を目指して、天然に存在し、IP₄ 選択的に結合することが知られているタンパク質をもとに、これを化学修飾することで、IP₄ 濃度変化を蛍光強度変化として検出できるセンサーを作製した。このセンサーは、試験管内において IP₄ 濃度変化に伴い蛍光強度が変化した。また、このセンサーを導入したほ乳細胞は、IP₄ 産出を促す刺激に応答して蛍光強度の変化が検出された。今後、本研究で得られた知見をもとに、細胞内の他のイノシトールポリリン酸に対しても同様のセンサー開発を行い、生体内情報伝達経路の全貌の解明を目指す

3.3.3.2. 重点領域研究としての意義および社会的重要性

生物は細胞内において酵素を触媒とし、通常では高温・高圧・有機溶媒中でのみ進行するさまざまな化学反応を温和な条件下で進行させている。この高効率かつクリーンなエネルギー変換システムを制御・模倣できれば、現代社会の抱えるエネルギー・環境問題の改善に貢献できるが、生物が実際にどのように細胞内において情報の伝達を行い、エネルギー変換反応を制御しているかは明らかになっていない。本研究ではこのエネルギー変換機構を解明するため、細胞内情報伝達物質の一つであるイノシトール四リン酸(IP₄)を標的とした蛍光性センサーを構築した。IP₄ は細胞外からの刺激により細胞内濃度が変化し、これによってシグナルが伝播することがわかっている。この濃度変化を可視化することで細胞内における情報伝達機構解明を目指した。

3.3.3.3. 平成 16 年度以降の主な成果

IS₇ を選択的に捕捉するセンサー作製のため、天然に存在するタンパク質の三次元構造情報をもとに、IS₇ との結合領域付近かつ IS₇ と相互作用しない残基に蛍光発色団を付加することで、IS₇ 結合前後で発色団の周辺環境が変化することを期待した蛍光性センサーを設計した。付加蛍光

発色団および付加位置の異なるセンサーを作製し、これらは各々 Ca^{2+} において Ca^{2+} 濃度依存的な蛍光強度変化を示した (図 6-14)。この Ca^{2+} センサーを K_{hod} 細胞内に導入し、 Ca^{2+} における Ca^{2+} 検出を試みた。センサー導入細胞に Ca^{2+} 産出を促すことが知られる受容体刺激を与えると、 Ca^{2+} における蛍光挙動に対応した蛍光強度変化が観測された。この反応は、 Ca^{2+} 産出を阻害する各種の薬剤で処置した細胞においては観察されなくなった。以上の結果から、細胞内 Ca^{2+} 検出の成功が示唆された。

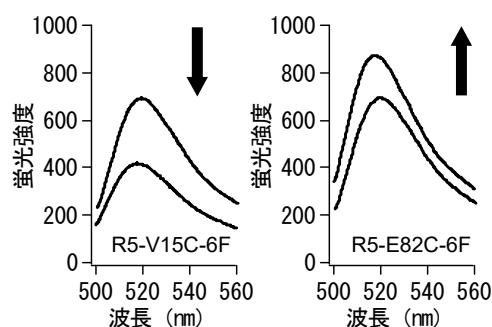


図 6-14 作製した各 Ca^{2+} センサーの基質濃度依存的な蛍光挙動。(破線: Ca^{2+} 非存在下、実線: $63 \mu\text{M}$ Ca^{2+} 添加時) 矢印は基質濃度上昇に伴う蛍光強度変化方向を示す。

3.3.3.4. 国内外の関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

細胞内情報伝達物質の濃度挙動を時間的・空間的に可視化する技術の確立は、医学・生物学などの研究分野で切望されている。現在までに国内外で、有機分子を用いて情報伝達物質を捕捉する人工リセプターを作製する研究が行われてきているが、汎用的なセンサー作製方法はまだ確立されていない。本研究のように、生きた単一細胞内における情報伝達物質の濃度を選択的、リアルタイムに捕捉する技術は、今後の生体内情報伝達機構の研究に必須の手法になると期待され、生体内のエネルギー変換機構の解明に貢献すると考えられる。

3.3.3.5. 今後の展望

本研究で得られた知見をもとにして、各 Ca^{2+} を選択的に捕らえることのできる人工リセプターの汎用的作製技術を開発する。また、これらをもとに蛍光性バイオセンサーを作製し、各 Ca^{2+} 濃度をリアルタイムモニターできる方法論を確立することを目的とする。これにより Ca^{2+} 類の生体細胞内における挙動を定量的に解析し、シグナル伝達におけるこれらの役割の解明を目指す。

3.3.3.6. 主要論文リスト

1. K. Sugimoto, M. Nishida, M. Otsuka, K. Makino, K. Ohkubo, Y. Mori, T. Morii, Chem. Biol. 11, 475-485 (2004).
2. K. Sugimoto, R. Sakaguchi, Y. Mori, T. Morii, Recent Res. Devel. Chem. 2, 73-89 (2004).
3. T. Yoshida, R. Inoue, T. Morii, N. Takahashi, S. Yamamoto, Y. Hara, M. Tominaga, S. Shimizu, Y. Sato, Y. Mori, Nature Chem. Biol. 2, 596-607 (2006).

#

3.3.4. 水と生体分子が織り成す生命現象の物理化学

3.3.4.1. 研究の概要

物質は、他物質と混じり合い(または接触し合い、複合系を構成して初めて高度な機能を発揮する。物質複合系の挙動は、各物質要素の挙動の重ね合わせからは到底想像もつかないものになり得る。各要素を個別に眺めるのではなく、複数の要素の集まりを総合的にシステムとして捉えると、多くの新しいことが見える。コロイド分散系、金属－電解質水溶液に代表される固液界面系、生体系などの物質複合系の非線形挙動を独自の複合型統計力学理論に基づいて研究している。生体高分子は最も複雑な分子構造を有し、水は最も複雑な統計的振る舞いを呈する液体である。複雑極まりない生体系を水も含めて原子レベルで統計力学理論的に(計算機シミュレーションではなく)扱うことを可能にしつつある。蛋白質の折り畳み、蛋白質の会合による高次構造形成、生体分子による自己組織化や分子認識など、生命を支える(とき脅かす)種々の秩序化過程の分子機構に対し、水分子の並進運動の重要性に焦点を当てた他に類を見ない新理論を構築している。

3.3.4.2. 重点領域研究としての意義および社会的重要性

生体系に隠された仕組みを解明しつつ、低いエネルギー消費で高度な機能を達成できる新たなテクノロジーを開拓することは、エネルギー問題の有力な解決策の一つである。新しい機能を有する酵素触媒やバイオセンサーを開発する試み、生体分子の持つ自己組織化や分子認識機能うまく利用してナノ材料を作成する試みなどが注目されている。しかしながら、現状では、それらの高機能性材料の開発はほとんど試行錯誤的に行われている。本研究における生命現象発現機構の解明、生体分子の自己組織化過程・分子認識機能の理論解析などは、高機能性材料の制御・設計を論理化するための基礎を与える極めて重要な課題である。蛋白質の高次構造はとき生命を脅かすこともあり、病気の治療法の開発にもつながる。

3.3.4.3. 平成 16 年度以降の主な成果

水分子の並進運動の重要性に着目したユニークな統計力学理論解析を行い、以下の結論を得た：(4)蛋白質の折り畳み(図 6151)、酵素－基質間に見られるような分子認識、蛋白質分子の会合による高次構造形成など、生命を支える種々の秩序化過程に伴う「生体分子に対する膨大なエントロピー損失」の大部分は、「水分子の並進運動に利用できる空間の容積が増加すること」に起因する水の自由エネルギー利得」によって補償される；(5)このことは、非常に小さな分子サイズを有するにもかかわらず常温で密な液体として存在できる水の場合に初めて可能となる。

3次元積分方程式論を用いて、アミロイド繊維形成機構に対する解析を行い、以下の結果を得た：(4)球状に近い(天然構造の)蛋白質は孤立した状態で安定化するが、球状から大きく崩れる(変性する)と容易に会合を起こす；(5)数多くの蛋白質が分子内水素結合を最大限に確保しつつ会合体を形成する場合、その方法として、球状に近い蛋白質の会合(d)、円筒状・一ヘリックス構造の側面での会合(e)、広がった薄い形状(円盤状)を

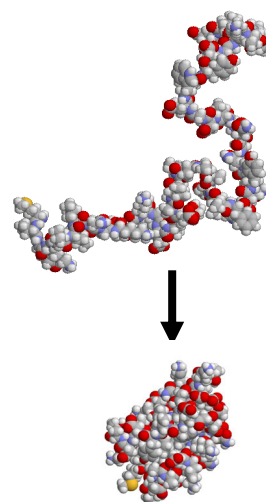


図 6151 蛋白質の折り畳み
(生命現象発現の源)

持つ・シート構造の積み重なり(f)が考えられるが、水の並進エントロピー利得を最大にするという意味で(f)が最も安定である。定性的にはあるが、実験結果の多くを説明することに成功した。

3.3.4.4. 国内外の関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

生体高分子の自己組織化・分子認識・高次構造形成には、水や塩などの溶媒が決定的に重要な役割を果たしている。国内外には、生体高分子の研究に精通した生物関連の専門家が数多く存在する。しかし、視点が生体高分子に集中しており、溶媒効果の的確な取り込みがなされていない。一方、溶液化学・物理化学・液体の統計力学の専門家は、逆に生体高分子に関する知識が不十分であり、生物関連の専門家が満足できる成果を得ているとは言い難い。本研究では、生体高分子と溶媒の両方が最先端の方法論を駆使して同じレベルで扱われている。そのため、生体高分子と溶媒を総合的にシステムとして捉えて初めて得られる斬新な成果が期待できる。

3.3.4.5. 今後の展望

種々の秩序化過程のメカニズムの解明が進み、有力な理論解析法がかなり出揃ってきた。今後、生体分子の高次構造の予測法を開発すると共に、生体分子構造や溶媒環境を操作して、高次構造から発現する機能を制御・設計するための方法論の構築を目指す。

3.3.4.6. 主要論文リスト

1. M. Kinoshita, Chemical Physics Letters, 387, 54-60 (2004).
2. M. Kinoshita, N. Matubayasi, Y. Harano, and M. Nakahara, , Journal of Chemical Physics, 124, 024512(1-7) (2006).
3. M. Kinoshita, Y. Harano, and R. Akiyama, Journal of Chemical Physics, 125, 244504(1-7) (2006).

3.4. バイオマス資源のクリーン燃料化

木質資源等、多様なバイオマス資源から環境に優しいクリーン燃料製造プロセスを新たに開発すると共に、エンジン、発電等に利用できる環境適合燃料としての可能性をバイオプロセス試験プラント等により実証する。

3.4.1. 研究の概要

バイオマスの有効利用に関連する開発研究において、一つのアプローチとして、バイオインフォマティクスデータの整った酵母を用いている。ここでは、酵母の持つ本来の機能を改変・高機能化し最適化することが必須であり、さらには酵母の種々の環境耐性機構を解析し、酵母の特性を改変することが必須である。我々は、本研究の一環として、この点に関する研究を行っている。バイオマスのエタノールへの高効率変換を行うときの最大の問題は、六炭糖のみから構成されるコーン等の穀物を出発原料とする場合と比べて、酵母が木質バイオマス中に多く存在する五炭糖を資化す

る酵素系を保有していないことである。ここでは、他の微生物の持つ五炭糖代謝関連酵素の高機能化に取り組み、酵素の補酵素要求性を本研究の目的に沿って変換することに成功した。さらに、それらの高機能化酵素を用いることによりバイオマス高効率変換系の作製に成功した。また、生産物であるエタノールへの耐性機構を解明しエタノール耐性酵母を創出する試みを行い、遺伝子レベルで検討することによってエタノール高耐性変異株の取得に成功した。

また、上とは異なるアプローチとして、複合体

酵素をもとにしたミニチュア酵素の設計方法論の開拓も行っている。ここでは、水素貯蔵物質の効率的な生成を目的として、メタノール関わる反応を触媒するメタンモノオキシゲナーゼに着目した。その構成タンパク質であるメタンハイドロキシラーゼ(MMOH)は α サブユニットに二核鉄反応中心を含有しており、 α サブユニットを単量体で安定に用いることができれば新規メタン酸化触媒(ミニチュア MMOH)が作製できると考えられる。しかしながら、この α サブユニットはまだ、大腸菌などにおいて可溶化された状態で異種発現されたことはない。そこで、結晶構造をもとにタンパク質表面のアミノ酸残基を改質し、可溶性の変化を検討した。結晶構造から同定した二つの大きな疎水性部位に対して削除および親水性アミノ酸残基へ置換する変異を導入したところ、発現タンパク質は不溶性画分に取り込まれた。しかし、リフォールディングの結果、これらの変異は可溶性を向上させることがわかった。現在、これらの変異体について金属と配位させ、活性の発現を試みている。以上の結果はさまざまな酵素を戦略的に改質できる可能性を秘めており、エネルギー経済に及ぼす影響も大きく、非常に良好と言える。

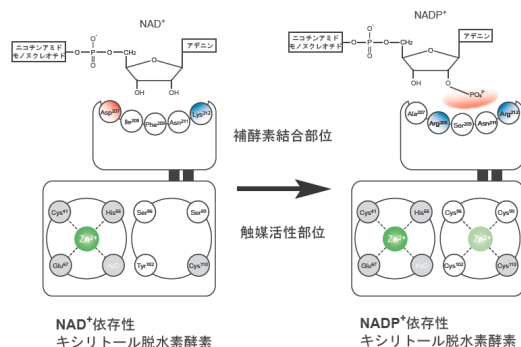


図 6.17.11 バイオテクノロジーによる
酵素機能変換

3.4.2. 重点領域研究としての意義および社会的的重要性

化石燃料枯渇あるいは地球温暖化などの環境問題等の地球規模の重大な問題を解決する一つの方策として、バイオマスの更なる有効利用が望まれる。バイオマスの有効利用は多岐にわたり、エネルギー関連物質としての利用は、一部で既にバイオディーゼルあるいはバイオエタノール等のバイオ燃料として実用化されているが、多くの解決すべき問題が残されている。また、既に実現されつつある水素経済に向けては、メタノールやアンモニアといった単純な水素貯蔵物質の生成を自在に行う必要がある。本研究では、バイオマスの更なる高効率生産・変換および有効利用に向けて、バイオエタノールに的を絞りタンパク質工学あるいはバイオインフォティクスなどの手法を用いた研究、ならびに、上記水素貯蔵物質に関わる反応を触媒する MMOH を対象とする研究を進めている。

バイオエタノールは、世界的にガソリンの代替燃料としての導入が推進されており、日本でも E3 燃料(ガソリンにバイオエタノールを 3%混合させたもの)製造使用の実証実験が開始されている。また環境省は、2030 年までにバイオエタノールを使った E10 燃料の全面普及を目標として掲げている。バイオマスからバイオエタノールを高効率に生産するためには、多くのプロセスにおける高効率化が必要であるが、ここでは、まずバイオマス由来の糖のエタノール変換経路に注目して、この

代謝経路において重要な役割を担う酵素の機能変換を行い、その機能変換酵素を用いてエタノール高効率生産システムの開発を目指している。

3.4.3. 平成16年度以降の主な成果

(a) 生物化学・工学的アプローチによるバイオマスからの高エネルギー物質生産

バイオマス由来の糖として、グルコースなどのヘキソース(六炭糖)と共に、キシロース等のペントース(五炭糖)も生産される。酵母(*S. cerevisiae*)はエタノール生産能は優れているが、ペントースを炭素源として用いる能力がない。しかしながら、他のキシロース代謝酵母 *S. kluyveri* のキシロース還元酵素(*xylA*)およびキシリトール脱水素酵素(*xylB*)遺伝子を導入した形質転換酵母は、キシロース代謝能を獲得する。ところが、この形質転換酵母のエタノール生産能は満足できるものではない。その原因の一つとして、[U]と[GK]の補酵素依存性の違いによる細胞内酸化還元環境のアンバランスが指摘されてきた。すなわち、前者は両補酵素とも利用できるのに対し後者は Q₁₀・依存性を示す。そこでこの問題を解決するために、本研究では、[GK] (図 6-14)と[U]をターゲットとして補酵素要求性を変換させた変異体を作成した。さらに、作成した機能変換酵素を酵母に形質導入し、その遺伝子組み換え酵母のキシロース→エタノール変換効率の評価を行い、その遺伝子組み換え酵母では、野生型の両酵素を導入した酵母と比較して変換効率が向上していることを明らかにした。

#

(b) 持続可能型エネルギー社会に向けたミニチュアメタン酸化酵素の創出

複合タンパク質である MMOH の α サブユニットを可溶性かつ単量体でメタン酸化能を持つミニチュア MMOH へと改変する研究を行ってきた。第一に可溶性の α サブユニットを作製することを重視して三次元構造情報をもとに疎水性の高い表面部位を同定した。続いて N 末端から 38 アミノ酸を削除した変異体 (39F) を作製した。次に、 α サブユニット中の 4 helix bundle 構造の表面に存在する疎水性アミノ酸残基を、親水性アミノ酸残基へと置換した (39Fm 変異体)。これらの変異体は、野生株由来の α サブユニット (WT) と同様に、大腸菌で発現させた際には不溶性画分に存在するが、精製後、リフォールディングさせることにより、WT に比べると高い溶解性を示した。

また、 α サブユニット変異体の特性評価を行うため、金属中心の再構成を行った。 α サブユニット変異体に Fe(II) を添加し、透析法により過剰な Fe(II) を取り除いた。変異体に結合した Fe(II) を呈色法により定量したところ、タンパク質 1 mol に対して Fe は約 2.5 mol 存在しており、 α サブユニット変異体に Fe が配位することが示唆された。天然の MMOH に Co(II) を配位させると、Fe(II) の配位では観察されない *d-d* 遷移由来の吸収スペクトルを観察できることが知られている。リフォールディング後の 39F と 39Fm に Co(II) イオンを加え、UV-vis 吸収スペクトルを測定した結果、MMOH の Co 置換体に類似した吸収スペクトルが観察された。これらの結果から、39F、39Fm は Co および Fe イオンと錯体を形成できることが示唆され、前述の変異導入は活性サイト近傍の構造へほとんど影響を与えていないと考えられる。

3.4.4. 国内外の関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

バイオエタノールは、ブラジル、米国などでは既にガソリンに一定量混合することによりエネルギー

ギーとして実用化されている。最近、日本でも同様な試みが行われている。例えば、関係省庁により、E3 燃料(ガソリンにバイオエタノールを 3%混合させたもの)製造使用の実証実験が開始されている。また環境省は、2030 年までにバイオエタノールを使った E10 燃料の全面普及を目標として掲げている。現在は材料としてトウモロコシ、コーンなどの穀物が念頭に置かれているが、食糧との競合を考慮して、将来はいわゆる木質バイオマスの使用が期待されている。木質バイオマスからの高効率バイオエタノール生産に関する本研究は、化石燃料の枯渇、地球温暖化防止、食糧不足問題などを考慮すると、ますます重要性は高まる研究である。

一方、最近ではゲノム解析やタンパク質構造解析プロジェクトが数多く進行し、膨大な量のタンパク質構造データベースが出来上がってきている。そのため、新規酵素スクリーニングや進化学などの従来の手法ではなく、構造情報・計算化学をベースとした本研究のような新しい酵素の創製が実現可能になってきていると考えられる。

3.4.5. 今後の展望

今回作成した遺伝子組み換え酵母のエタノール生産能を詳細に検討し、さらなる高効率エタノール発酵酵母システムの開発を目指して行く。例えば、遺伝子組み換え酵母に、エタノール高耐性などの性質を付加し、エタノール生産システムとしての実用性・安定性を高める。また、キシロース以外の他のペントースの高効率変換に向けて、それらの糖代謝経路の更なる分子論的解析を行う予定である。その結果を利用して、アラビノース等のキシロース以外の他のペントースも高効率に変換できる酵母システムを構築する。より実用に即した研究としてバイオマスの糖化サンプルなどを材料として用いて、この遺伝子組み換え酵母の実用性に関する検証を行うことなどを予定している。

一方、ミニチュア MMOH の完成に向け、更なる可溶性向上を目指して MMOH α サブユニットの改変を行って行く予定である。機能を発揮できる最小のドメイン構造を同定するため、さまざまな構造情報に基づき C 末端のアミノ酸残基を削除することや他の疎水性部位の改質を行い、メタン酸化触媒へと昇華させる。今後、こういった構造情報を基盤としたタンパク質設計をさまざまなタンパク質に適用することで多くの機能性高分子を作製できると考えられる。

3.4.6. 主要論文リスト

1. Watanabe, S., Kodaki, T., and Makino, K. *J. Biol. Chem.* **280**, 10340-10349 (2005)
2. Watanabe, S., Kodaki, T., and Makino, K. *J Biol. Chem.* **281**, 2612-2623 (2006).

3.5. バイオエネルギー研究のための生命現象の解明とその利用

3.5.1. 研究の概要

バイオエネルギー重点領域の研究を推進して行くためには、生命現象を学術的に明らかにし、

その生命現象を利用することが不可欠である。

本研究では、とくに生体内フリーラジカル分子あるいはそれを生成する系に着目し、具体的には一酸化窒素の分子レベルによる遺伝子との相互作用およびプテリン誘導体の細胞レベルにおける過酸化水素生成とその細胞機能との相互作用応答に関して検討を行っている。一酸化窒素と遺伝子との相互作用に関しては、世界をリードする成果を上げており、グアニンからジアゾエートイオンを経るオキザニンの生成反応を解明した。これらの中間体および損傷塩基生成は、これまで未解明であった環境変化等による

生体内炎症部位等で過剰生産される一酸化窒素による生体機能への影響を明らかにするものである。また、このオキザニンを DNA マイクロアレイ技術に利用する試みも行っている。さらに、葉酸等の広く存在する化合物から生体内代謝で生産されるプテリン誘導体(とくに 9 ホルミルプテリン)の細胞内過酸化水素生成能を発見し、とくに白血球ファミリーの機能強化との関係を解明する研究を継続している。種々の6ホルミルプテリンの誘導体を有機合成することにより、この物質の水溶性を大幅に改善でき、その結果、この物質の生理的役割、医療への応用の可能性を広げることができた。

一方、生化学・生物学を駆使したバイオエネルギー生産工学ならびに環境科学においては、バイオインフォマティクスデータの存在が不可欠であるが、ポストゲノム研究において遺伝子情報を迅速に獲得・整理するために不可欠であり効果的な解析技術である DNA マイクロアレイにおける種々の問題を解決するために、新規な発想に基づく DNA チップ技術の開発を行っている。DNA マイクロアレイ技術に関しては急速な蓄積が進んでいるが、解決することが不可欠な問題点を網羅的に探索し精査した結果、固体表面の修飾技術等の根幹に関わる基礎研究が今まで不十分であることが明らかとなった。そこで、分子生物学的背景を重視しつつ、有機・物理化学的見地から基礎的研究を行い、さらに実際に DNA マイクロアレイ技術に適用した。その結果、安定性、定量性に優れた DNA マイクロアレイシステムの構築に成功した。

3.5.2. 重点領域研究としての意義および社会的重要性

バイオエネルギー重点領域の研究を推進して行くためには、生命現象を学術的に明らかにし、その生命現象を利用することが不可欠である。さまざまな生命現象うち、環境中に存在する化合物と生命活動との関係を明らかにすることは、人類の存続のために最も重要な科学研究の一つである。本研究における一酸化窒素の分子レベルによる遺伝子との相互作用およびプテリン誘導体の細胞レベルにおける過酸化水素生成とその細胞機能との相互作用応答に関する検討は、発ガンのメカニズム解明にもつながるものであり、医療への応用へも視野に入れたものであり、その点からも社会的に重要な研究課題である。

遺伝子配列解析技術の向上によるゲノム情報の蓄積に伴い、生命現象をより深く理解するために網羅的解析が盛んに行われている。DNA マイクロアレイはその網羅的解析に不可欠の技術で

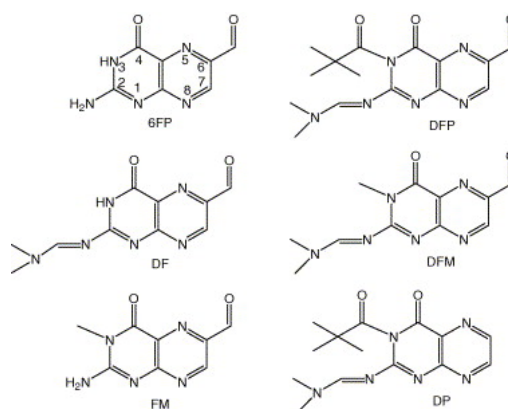


図 3.5.1. 種々の 6 ホルミルプテリン
誘導体の合成

あるが、定量性、再現性などの種々の問題が未解決であり、新規な発想に基づくDNAチップ技術の開発が重要な課題となっている。本研究で行った、固体表面の修飾技術等の根幹に関わる基礎研究や分子生物学的背景を重視しつつ有機・物理化学的見地から基礎的研究をもとに開発したDNAマイクロアレイ技術は、安定性、定量性に優れ、ポストゲノム時代における重要な基本技術になると期待される。

3.5.3. 平成16年度以降の主な成果

(a) 環境中に存在する生物フリーラジカル関連化合物と生物機能の相関解明と新しい医療システム構築への応用

環境中に存在する化合物と生命活動との関係を明らかにすることは、人類の存続のために最も重要な科学研究の一つである。本研究では、とくに生体内フリーラジカル小分子あるいはそれを生成する系に着目し、具体的には一酸化窒素の分子レベルによる遺伝子との相互作用およびプテリン誘導体の細胞レベルにおける過酸化水素生成とその細胞機能との相互作用応答に関して検討を行ってきた。一酸化窒素と遺伝子との相互作用に関しては、当該研究室は世界をリードしており、グアニンからジアゾエートイオンを経るオキザニンの生成反応を解明した。これらの中間体および損傷塩基生成は、これまで未解明であった環境変化等による生体内炎症部位等で過剰生産される一酸化窒素による生体機能への影響を明らかにするものである。また、このオキザニンをDNAマイクロアレイ技術に利用する試みも行っている。さらに、葉酸等の広く存在する化合物から生体内代謝で生産されるプテリン誘導体(とくに9ホルミルプテリン)の細胞内過酸化水素生成能を発見し、とくに白血球ファミリーの機能強化との関係を解明する研究を継続している。種々の6ホルミルプテリンの誘導体を有機合成(図3.5.1参照)することにより、この物質の水溶性を大幅に改善することができ、その結果、この物質の生理的役割、医療への応用の可能性を広げることができた。

(b) 新規遺伝子情報解析法の開発

ポストゲノム時代における網羅的研究において必要不可欠な研究技術であるDNAマイクロアレイシステムの問題点を精査し、その定量性、安定性、再現性を向上させることが重要であると考え、以下のような実験研究を行った。すなわち、既存のDNAマイクロアレイではDNAプローブをガラススライドなどの表面に固定化するのみであったため、ガラス表面に活性残基が残っていた。そのために、定量性、安定性、再現性が低下していた。その問題を解決するために、DNA固定後さらに表面処理をすることにより、残存活性残基を不活化を行った(図3.5.2)。その結果、DNAマイクロアレイの量性、安定性、再現性を改善することができた。さらに、当該研究室で発見した損傷塩基であるオキザニンの反応性を利用することにより、DNAマイクロアレイシステムのさらなる定量性、再現性の向上を目指している。

3.5.4. 国内外の関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

オキザニンは損傷塩基として我々のグループが発見したものであり、さらに、その生成メカニズムである、グアニンからジアゾエートイオンを経るオキザニン生成反応も我々のグループにより初めて解明されたものである。最近、他の研究者からもオキザニン関連の研究発表がなされるようになってきており、このオキザニン関連の研究はこれからますます重要性が認められてくることが期待でき

る研究である。また、9 ホルミルプテリンはこれまで生理活性に興味は持たれていたものの、その水溶性の低さから実際に生物環境すなわち水溶液中での実験例は限られていた。本研究において世界で始めて合成に成功した水溶性の増大した 9ホルミルプテリン誘導体を用いることにより、この物質関連の研究は盛んになることが期待される。

DNA マイクロアレイ研究技術はポストゲノム時代における網羅的解析に不可欠の技術であり盛んに開発研究が行われているが、定量性、再現性などの種々の問題が未解決であった。本研究のように、今まで不十分であった固体表面の修飾技術等の根幹に関わる基礎研究を行い、分子生物学的背景を重視しつつ有機・物理化学的見地から基礎的研究を行い、実際に DNA マイクロアレイ技術に適用した研究例は限られている。また、損傷塩基であるオキザニンを用いた DNA マイクロアレイ技術に適用した例は他に見られず、その点からも非常に独創性のある研究である。

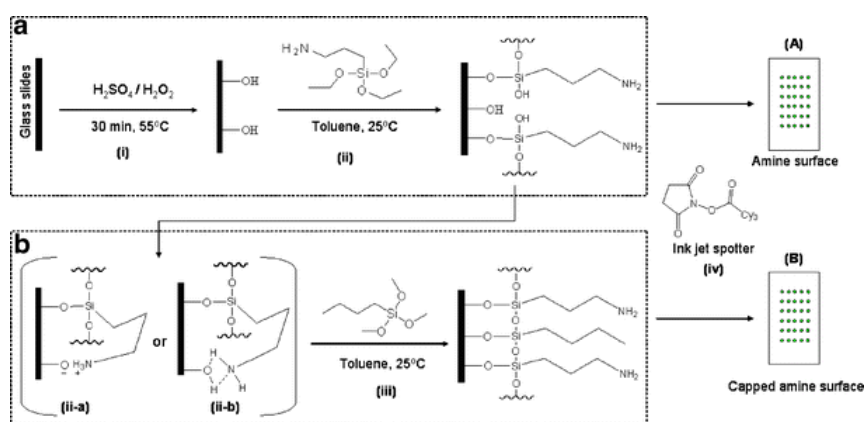


図 3.5.2. 表面修飾による DNA マイクロアレイシステムの改善

3.5.5. 今後の展望

オキザニンに関してさまざまな遺伝毒性、細胞毒性の問題が指摘されているなか、生体中での挙動に関しては未だに詳しく明らかにされていない。今後は、生体内におけるオキザニンの分子的挙動の理解を深めるため、DNA と相互作用するさまざまな酵素とオキザニンとの相互作用を調べることで、この物質の生理的役割を解明して行く予定である。また、DNA マイクロアレイシステムの定量性、安定性、再現性の向上を目指し、さらに異なった表面修飾法を模索する。オキザニンを DNA マイクロアレイ技術発展に利用することも推進する。さらに、9ホルミルプテリンに関しては、水溶性の誘導体を用いてさらにこの物質および関連物質の生理的役割の解明および医療への応用を模索して行く予定である。

3.5.6. 主要論文リスト

1. M. Nonogawa, T. Arai, N. Endo, S.P. Pack, T. Kodaki, and K. Makino Org. Biomol. Chem. 4, 1811-1816 (2006)
2. M. Nonogawa, S.P. Pack, T. Arai, N. Endo, P. Sommani, T. Kodaki, and K. Makino Biochem. Biophys. Res. Commun. 353, 1105-1110 (2007)

3. S.P. Pack, M. Nonogawa, K. Kodaki, and K. Makino, *Nucleic Acids Res.* 33, 5771-5780 (2005)
4. N.K. Kamisetty, S.P. Pack, M. Nonogawa, K.C. Devarayapalli, T. Kodaki, and K. Makino, *Anal. Bioanal. Chem.* 386, 1649-1655 (2006).

4. 光エネルギー重点複合領域研究

関連分野： エネルギー生成研究部門 量子放射エネルギー言及分野
原子エネルギー研究分野
粒子エネルギー研究分野
エネルギー機能変換研究部門 レーザー科学研究分野
エネルギー利用過程研究部門 複合化学過程研究分野
附属エネルギー複合機構研究センター分野

本複合領域研究は、高品質・高機能な光エネルギーの生成・制御・利用に関する研究開発により、今後予想される生産システムの構造変化や多様なニーズに柔軟に対応できる新しい科学技術基盤の創出とその実用化を目指している。とくに、光エネルギー機能の飛躍的高度化をもたらす先端的レーザーの開発と、それを利用した分野横断的な学際的研究を重点的に推進することにより、新しい科学技術基盤の創出に向けた「高機能光エネルギー生成・利用研究」の拠点形成を目指すものである。

具体的には、光エネルギー機能の高度化とその利用による新領域の開拓のための基幹装置として、これまで開発を続けてきた5種類の装置、すなわち、広帯域波長可変・偏光可変機能を備えた小型高輝度な自由電子レーザー(IHO)、および位相制御機能を備えた超短パルス高強度レーザーを完成・高性能化すると共に、利用に不可欠な光エネルギービームの制御技術を確立する。これらレーザー装置を研究所のユニークな基幹装置かつ学際的共同研究のための先端的工具として機能させる。すなわち、高性能・高機能なレーザーを利用し、54世紀FRHプログラム等における次世代高効率太陽電池の研究、および光エネルギーの特長を生かしたその他の先進的研究を推進する。とくに、フェムト秒レーザーによる固体表面のナノ加工、IHOによる電池材料の分子間結合選択励起、固体／液体系におけるレーザー・プロセッシングやバイオ技術への応用、極限的な時間幅を持つ数サイクルパルスによる位相依存現象の解明、レーザー誘起スピン偏極量子ビーム源等の研究開発を行う。また、コヒーレントな光エネルギーとの特徴的な相互作用に関する研究により、新たな光エネルギー機能を探索する。

4.1. 赤外域自由電子レーザー装置の開発とその利用

4.1.1. 研究の概要

NX-IHOと呼ぶ赤外域自由電子レーザー装置の建設を進め、5336年度までに73#p hYまでの電子ビーム加速に成功した。5337年度には、研究所北5号棟を量子光・加速粒子総合工学実験棟として整備し、IHO装置を移転・設置した。5339年度にはアンジュレータと光共振器を設置し、719#μp付近での自発放出光の発生とその測定に成功した。近い将来IHO発振実験を開始する予定である。

IHO 装置の要素開発として、電子逆流現象抑制の研究を進め、入射高周波の波形制御により、9#μv 程度の幅の電子ビームを得た。更にトモグラフィ法を用いたエミッタンスの測定や、IHO 過程のシミュレーション、光陰極型高周波電子銃、スタガードアレイ型アンジュレータ(高温超伝導材料を使用するものも含む)、エネルギー回収システム、といったさまざまな要素研究を行ってきた。

4.1.2. 研究所重点領域研究としての意義および社会的重要性

自由電子レーザー(IHO)は、大出力・高効率・連続的波長可変性という特長から、例えば、核融合プラズマ加熱源、レーザー同位体分離、レーザー慣性核融合に代表される原子力科学分野への応用や、生物化学、生医学、たんぱく質構造解析等の生命科学分野、あるいはX線レーザーリソグラフィや、レーザー加工、光 F Y G 等の材料科学等、広範な学術分野に飛躍的な進展をもたらし、社会的にイノベーションをもたらすものと期待されている。本研究課題が目指す高機能小型 IHO 装置は、波長・偏光可変でかつ電子ビーム閉じ込め性能の高い小型高機能アンジュレータ、光共振器ならびに光伝送系、小型・廉価かつ高輝度の電子銃・電子加速器、高輝度かつ長寿命・高安定の陰極材等、IHO に関する多くの要素開発研究を含んでいる。また、本研究課題が目標にしているなか赤外から遠赤外域の IHO は、選択的な分子振動・回転励起や、化学結合の選択的な切断、多光子吸収等を利用した化学反応、環境センシングに必要な赤外域検出器の開発研究や微量分析などに応用が可能であり、バイオエネルギー重点複合領域研究との連携により自然エネルギーを利用した生物機能変換に関する研究等を強力に推進するリソースとなり得る。

4.1.3. 平成 16 年度以降の主な成果

(d) 自発放出光の発生とその測定

IHO 発振のためには、高輝度電子ビーム、アンジュレータ、光共振器の 6 つの要素が重要であり、平成 4; 年度、NX ⅡHO 装置にアンジュレータと光共振器を設置し、アンジュレータからの自発放出光の発生とその測定を行った。図 744 に自発放射光測定系を示す。測定系のアライメントは半導体レーザーをミラーをはずした上流のミラーチャンバーから入射し、下流ミラーに反射したレーザー光を放物面鏡で集光し、その焦点距離に分光器のスリットを設置することで行った。分光器は G l j l n r p 製 GN 573、I q V e 光検出器は M x g v r q 製 M 43 G Ⅱ 537 Ⅱ 34 P Ⅱ 3 を使用した。

電子ビームはアンジュレータの中央部を通過するように調整が必要なため、アンジュレータ上流部と中央部に E S P (E h d p \$ r v l w l r q # p r q l w r u) を設置、直径 5 # p の穴の開いた蛍光板を E S P に取り付け、その穴に電子ビームが通るように F F G カメラで観測しながらビーム調整を行った。なお、E S P の設置は、半導体レーザーが蛍光板の穴同士を通過するように位置調整を行っている。また、ビーム軌道の補正はアンジュレータ前に設置したステアリングコイルと双極電磁石によって行った。放射光の光軸はアライメント調整時の半導体レーザーの光軸と異なる可能性があるため、S F 制御で下流ミラーの水平方向と鉛直方向の傾きについて調整を行うことで、検出器へ入光する光軸を調整した。また、検出器もステージコントローラ上に設置することで鉛直方向、水平方向に制御でき、検出器の受光面への入射を容易に行うことができる。

測定で得られたスペクトルを図 745 に示す。このときの電子ビームのエネルギーは 74 B # p h Y で、アンジュレータのギャップ長は 59 # p である。図には放射光計算コード V U Z を用いて得られた、アンジュレータからの自発放射光スペクトルも示している。自発放出光のピーク波長は

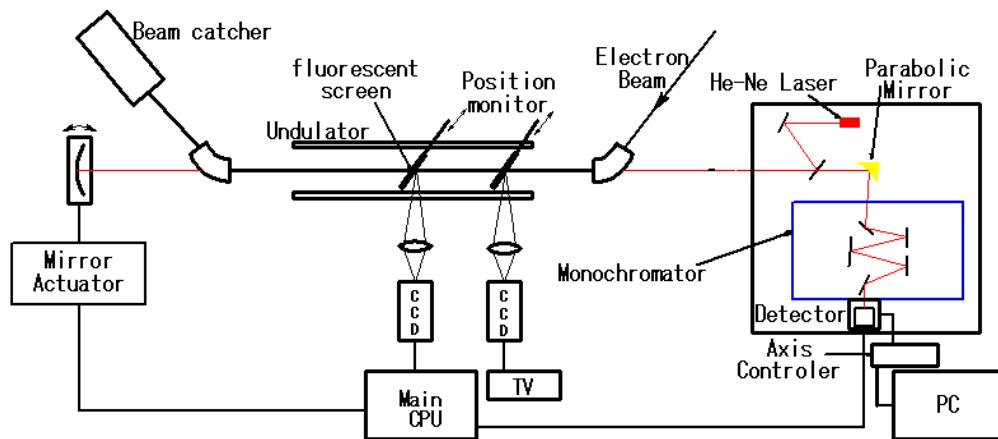


図 4.1.1 自発放射光測定系

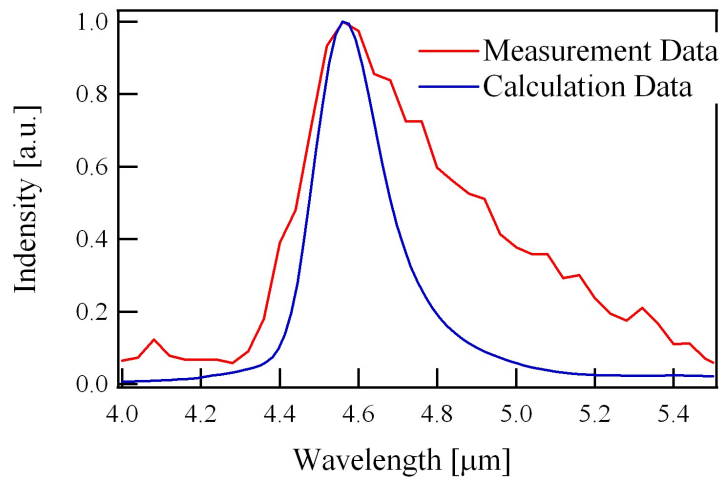


図 4.1.2 測定された自発放射光スペクトルと計算値

7189 μm であり、スペクトル幅は 718%である。ピーク波長より電子ビームエネルギーは 7418 eV と計算される。測定されたスペクトル幅の広がる原因として、アンジュレータ磁場の減磁や、ミスアライメント、ビーム軌道の影響と電子ビームのエネルギー幅等が考えられ、今回の計算には、電子ビームの設置誤差とした鉛直方向および水平方向の誤差をそれぞれ 4 mm ずつとし、またエネルギー幅 318 eV を考慮したスペクトル計算を行っている。しかし、スペクトル幅は計算値が 5% (100 μm) であり、測定されたスペクトル幅を完全には再現できておらず、更なる詳細な解析が必要である。

#

(e) 入射高周波の波形制御による電子ビームの長パルス化

熱陰極型高周波電子銃の陰極から発せられ高周波の加速位相の後半に加速された電子群は、次の加速空洞に到達する前に減速位相に捕らえられ、最終的には陰極に向かって衝突する。この現象を Edfn-erp edugg hqw現象と呼び、電子ビームに悪影響を及ぼす。

Edfn0erp edugg hqw 現象の電子ビームに与える影響を、解析的・実験的に研究を行った結果、Edfn0erp edugg hqw 現象による陰極表面温度の上昇が、陰極表面電流の増加を引き起こし、その結果加速電界の低下、あるいは加速不能を招いていることを確認し、不足する加速電界を印加高周波電力の波形制御により補った。印加高周波電力波形は電子銃－電子ビームの等価回路を解くことでその時間応答を調べ、最適な条件を計算している。図 7.14.16 に通常の印加高周波電力波形と、波形制御を行った場合の高周波電力波形を示す。この結果、図 7.14.17 に示すように、熱陰極型高周波電子銃から生成される電子ビームの電流波形が 6 μV から 7 μV に広がると共に、大幅な電流の増加が見られた。更に電子ビームの最大エネルギーの時間変化を観測すると、図 7.14.18 に示すように波形制御を行った場合はほぼ一定の電子エネルギーが得られていることが確認された。以上の結果、熱陰極型高周波電子銃からの電子ビームのエネルギー、電流量、時間幅の大幅な改善が可能になり、IHO の発振に必要な電子源の開発に成功した。

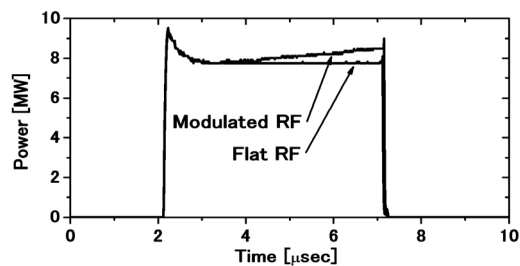


図 4.1.3 高周波電子銃に印加した高周波電力波形

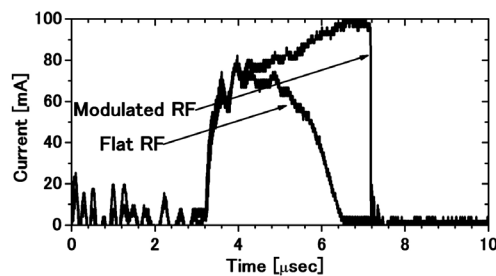


図 4.1.4 高周波電子銃からの出力電流

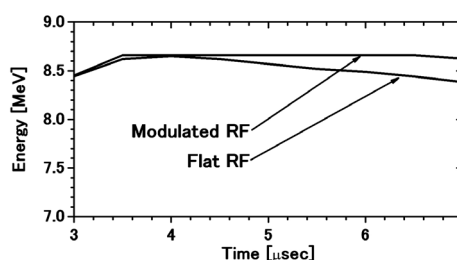


図 4.1.5 電子ビームの最大エネルギーの時間変化

(f) 高周波三極管構造による高輝度電子ビーム生成の高度化

先端科学技術分野における革新的ツールの代表である自由電子レーザーなどの量子放射光源において、波長領域拡大等の更なる発展に必要となる要素研究課題のなかで、電子ビームの高輝度化には最も大きな進展が要求されている。とくに電子エネルギーの最も低く空間電荷効果の最も顕著な電子銃の性能がビーム輝度を制限しており、高輝度化には電子銃の高性能化が極めて効果的である。高周波電子銃には、従来の静電型電子銃に比して以下のような特長があるため、自由電子レーザーを代表とする量子放射光源用の高輝度電子源として期待されており、赤外自由電子レーザー KU-FEL においても採用されている。すなわち、(a) 放電限界電界強度の高い高周波電界(数 GHz)を用いるため、飛躍的に高輝度が得られる、(b) 高電圧スタンドやバンチャ部などが不要であるため、コンパクトで運転が容易かつ安価にできる、(c) 高周波数で電子バンチャが生成されるため、数十倍以上の高繰り返し・高平均電流が可能である。これらの利点にも関わら

量子放射光源の電子源として広く利用されるに至っていない理由は、上述の **Back-bombardment** 現象にある。この問題を軽減するため、これまでにさまざまな方法が提案されてきたが、いずれも効果は限定的であり、根本的な解決には至っていない。本研究の目的は、熱陰極型高周波電子銃におけるこの唯一の欠点 (**Back-Bombardment** 現象) を新規方式 (三極管型高周波電子銃) によって解決することにある。

KU-FEL 用の高周波電子銃 (図 4.1.6) は、動作周波数 2.856 GHz で、熱陰極を軸上に具えた一つの 1/4 波長空胴 (half cell、図 4.1.7(a)) と、引き出された電子ビームを 9 MeV まで加速する後段の 4 つの半波長空胴 (full cell) の 4+1/2 空胴からなる。図 4.1.7(a) 中の $z=0$ 、軸上に設置された直径 6 mm の熱陰極からは、図中に電気力線の示された高周波電界の半周期にわたって電子が引き出されるが、そのうちの約 50 % は空胴出口まで到達せず、一部は陰極に逆加速されて衝突して前述の **Back-Bombardment** の問題を引き起こす。

これに対し、我々の提案している三極管型高周波電子銃 (図 3.1.7(b)) は、従来の熱陰極に換えて小型の同軸空胴付きの陰極を設置し、これに主高周波源とは位相・大きさとも独立に制御された高周波電力を供給することで戻り電子ビームを大幅に削減しようとするものである。この新方式について数値シミュレーションによる予備検討の結果、(i) 戻り電子ビーム電力を 9 割以上削減して問題をほぼ完全に解決できる可能性の高いこと、(ii) 追加空胴への印加高周波電力は数十 kW 程度で十分であり既設の主高周波電源 (最大 10 MW) からの分岐により供給可能で追加高周波源は不要であること、が判明した。

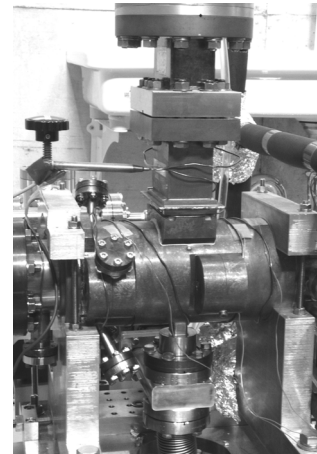


図 7.14.19#
NX OHO 用熱陰極 7.425+
空胴高周波電子銃#

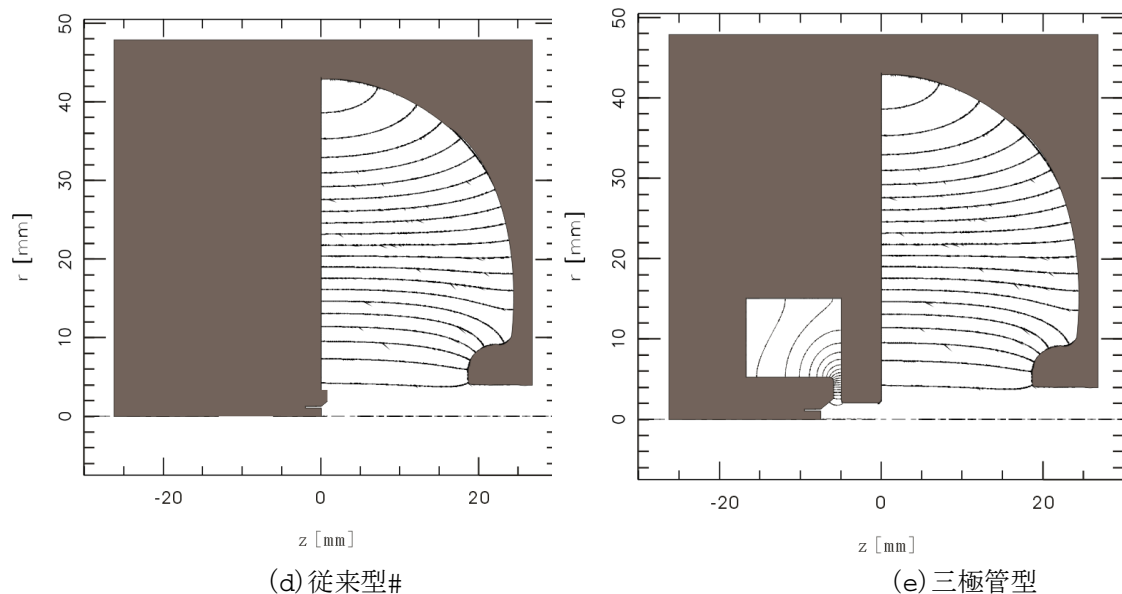


図 7.14.1: NX OHO 用熱陰極高周波電子銃の第一空胴の断面と固有モード電界分布

そこで、平成 18 年度より科学研究費補助金事業において、KU-FEL 用高周波電子銃への導入を前提としたより現実的な空洞電極形状設計、とくに、予備研究においては課題として残されていた、出力ビームの横方向エミッタンスの劣化を最小限に留めて同時に戻り電子ビーム電力を大幅に削減することを可能とするため、電極形状パラメータについて、二次元粒子シミュレーションを用いて最適化を行った。その結果、従来型高周波電子銃と比して、同じバンチ電荷 ΔQ 、つまり、同じ平均ビーム電流に対して、横方向エミッタンス $\varepsilon_{n,r}$ の増加なしで、陰極への戻り電子ビーム電力 P_{back} を約 90%削減可能であるとの結果を得た。さらに、縦方向エミッタンス ε_z は 10 倍以上の改善、つまりピーク電流の増大も同時に期待できることがわかった。

4.1.4. 国内外の関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

中赤外域(8053 μm 、波数 53330833 cm^{-1})は、現在 RSR レーザーあるいは差周波法によって得られるが、その波長帯は 6-7 μm に留まっている。一方これより長波長側では FR₅ レーザーが用いられているが、その波長は 4319 μm で固定であり、これ以外にはほとんど実用的なレベルに達しているとは言い難い。よってこの波長領域は未開拓な部分が多いと言える。これに対し、中赤外域自由電子レーザーは、国内では大阪大学自由電子レーザー研究施設において、8053 μm の波長範囲で稼動しており、医療応用に特化した研究を行っている。一方、海外においてはオランダ IRP 研の共用の IHO_L 施設があり、7083 μm の波長帯を利用者に提供し elr_q hg_lflqh、elr₀fkhp kwu_l、elr₀sk |v_lfv に関する研究を展開している。これらは比較的大規模な施設を形成しているが、本研究課題では安価・小型化を目標に、高周波電子銃の高性能化を始め各種の要素開発を行っている点に特徴を有している。また応用研究に関しても自然エネルギーを利用した生物機能変換研究のようなエネルギー関連の研究を行う点に特徴を有する。

高周波電子銃における陰極への戻り電子の影響を軽減する他の方法として、(i) 陰極付近への偏向磁場印加、(ii) 高周波振幅変調によるエネルギー補償、(iii) 光陰極型高周波電子銃(熱陰極に代えて光陰極を用いて短パルスレーザーを放出電子が逆加速されない位相にのみ照射して電子を引き出す)、が提案されている。(i)、(ii)の方法は、我々のグループでも用いており一定の効果(具体的には、我々の電子銃では低電流動作でパルス長は約 6 μs まで)は見られているが、完全な解決策とはなり得ず、また、(i)の方法には、軸対称性が失われて電子ビーム輝度が犠牲になるという欠点もある。(iii)の光陰極型は近年広く用いられつつあるが、将来の超高輝度化と引き替えに、高周波電子銃の利点の一部が損なわれる。つまり、短パルスで位相ジッタの低い高性能ドライブレザーの増設・維持が必要であるため、幅広い利用にはそのコストと運転制御の難しさが障害となり、また、ドライブレザーのパルス繰り返し性能(数十 MHz 以下)により、電子ビーム、結果として放射光の高繰り返し性(平均出力)が熱陰極型の数十分の一に制限される。熱陰極型は、Back-Bombardment の欠点さえ解決されれば、KU-FEL 施設における我々の構想のような高繰り返し、高出力、小型経済的で広い応用を目指す長波長領域の量子放射源用の電子源としては理想的であり、我々の提案する高周波三極管構造方式は独創的で極めて簡便な方法(追加高周波電源不要)で熱陰極型高周波電子銃の欠点の根本的解決が期待される。

4.1.5. 今後の展望

本研究課題でこれまで整備して来たなか赤外自由電子レーザー(NX OHO)装置を用いて、波

長域 7 から 45 # μ p での IHO 発生を行い、バイオエネルギー重点複合領域との連携による応用研究を開始する。更に、利用研究に供与できる IHO の安定化等の高度化を行う。また、IHO 発生において光共振器内に蓄積される大強度光と電子ビームを用い、逆コンプトン散乱による準単色の X 線を発生させるを試みる。これにより高輝度な γ 線が利用可能となり応用研究の飛躍的な高度化が見込まれる。更に NX α IHO 電子リニアックでは、電子銃自身で既に 43 #p hY に及ぶ高輝度電子ビームを生成可能であり、これを利用した WK } 帯 IHO の発生を試みる。強強度の WK } 帯光は医療、セキュリティ、検出器開発等の新分野を開拓できる光エネルギーの一形態として重要視されている。#

4.1.6. 主要論文リスト

1. Toshiteru Kii, Yoko Nakai, Toshio Fukui, Heishun Zen, Kohichi Kusakame, Norihito Okawachi, Masatsugu Nakano, Kai Masuda, Hideaki Ohgaki, Kiyoshi Yoshikawa, Tetsuo Yamazaki, AIP, Synchrotron Radiation Instrumentation, pp.248-251(2006).
2. H. Ohgaki, S. Hayashi, A. Miyasako, T. Takamatsu, K. Masuda, T. Kii, K. Yoshikawa, and T. Yamazaki, Nucl. Instrum. Methods in Phys. Res. A**528**, 366-370 (2004).
3. K. Masuda, K. Kusakame, T. Kii, H. Ohgaki, H. Zen, T. Fukui, Y. Nakai, K. Yoshikawa and T. Yamazaki, Proc. 27th International Free Electron Laser Conference, Stanford University, C.A. USA, August 21-26 (2005) 588-591.
4. K. Masuda, K. Kusakame, T. Shiiyama, H. Zen, T. Kii, H. Ohgaki, K. Yoshikawa and T. Yamazaki, Proc. 28th International Free Electron Laser Conference, Berlin, Germany, August 28-September 1 (2006) 656-660.

4.2. 超短パルス高強度レーザーの開発と先端的物質制御への応用

4.2.1. 研究の概要

高品質・高機能光エネルギーによる新しい科学技術基盤の開発に資するため、レーザーでのみ実現できる代替不可能な光エネルギー機能の開発が中期計画での目標である。そのため、稼働中の高強度フェムト秒 (iv) W₁vdssk₁h レーザーについて出力ビームの高品質化、長・短時間出力の高安定化、位相・偏光特性の精密制御等の高機能化を進め、原子・分子・固体表面との新しい非線形相互作用の探索・解明・利用のための高機能化を行った。同時に、物質・材料のナノプロセスング技術研究用として、高品質な空間・時間ビーム特性を備えたフェムト秒 W₁vdssk₁h レーザー増幅システムを開発した。後者は、パルス幅 433 #iv、尖頭出力 ;3 #J Z、繰り返し 43 #K } で動作し、メゾスコピック域および極限時間域での固体表面相互作用の研究用として、時間・空間

ビーム特性、およびチャープ特性に関する高度な制御機能を備えている。今後、開発してきたレーザー技術を基礎として、サブ 43# μ m の光パルスを発生できる高強度サイクルパルスレーザーを開発し、サイクル位相制御技術の開発・応用を目指す。#

レーザーによる先端的物質制御に関しては、まず、 μ m パルス(伝搬光)によるメゾスコピック域での新しい物質制御、さらには光ナノ加工の可能性を示唆する μ m レーザーパルスと固体表面との新しい相互作用現象を発見した。反射率と表面形態変化の相関測定、ならびにポンプ・プローブ法による超高速ダイナミクスの研究を行い、表面での結合構造転移と電離、および非伝搬性の周期的局所場の生成を介してナノ領域でのアブレーションが誘起されることを実験的に突き止めた。さらに、超短パルス高強度レーザーと原子・分子との非摂動論的非線形相互作用においては、高次高調波発生(KKJ)により配向・回復のダイナミクスを実時間で高感度検出することに世界で初めて成功した。Q₅、R₅、FR₅分子についてポンプ・プローブ実験を行い、分子が μ m パルスとの相互作用後に配向すること、配向の時間発展が回転波束の特性で支配され、1 Thz# μ m 下で配向が周期的に回復すること、回転波束のコヒーレンスを KKJ 信号の周波数スペクトルで同定でき、配向・回復の時間発展を再構築できること等を解明した。また、E Thz# μ m 大学の理論グループとの共同研究により、配向分子からの KKJ に関する基礎理論を構築することに初めて成功した。

4.2.2. 重点領域研究としての意義および社会的重要性

光エネルギー複合領域では、高品質・高機能な光エネルギーの生成・制御・利用に関する研究により新しい科学技術基盤を創出することが目標である。そのため、本課題では、フェムト秒高強度レーザーのみが備えている光エネルギー機能を可能な限り高度化すると共に、同レーザーを物質制御研究に応用することによってその機能を実証してきた。当該レーザーは制御性能に優れ新しい機能を備えた光エネルギー発生装置として、広範な科学技術分野の発展・革新を先導するための基盤技術となると共に新たな融合領域の発展を促進する。

レーザー機能を利用した物質・材料のプロセッシング技術は、優れた物質制御機能、および制御対象物質と操作環境についての大きな自由度を備えており、レーザー加工技術としてさまざまな分野で利用されている。しかし、光の回折限界のため波長サイズを大幅に越えるような微細加工は原理的に不可能であることが知られている。本研究開発では、この制限を克服し、回折限界以下での光加工という全く新しい光エネルギー機能を実証した。この機能は、さまざまな物質・材料の制御・加工に適用可能であり、光ナノ加工技術として発展させることができれば、次代の科学技術基盤として大きな波及効果が期待できるばかりでなく、新たな融合領域を発展させる原動力となる。さらに、超短パルスレーザーによって分子の空間配向を制御できれば、新たな物質機能の発現・制御手法を開発でき、物質・材料科学に画期的な物質制御手法を提供できる。

4.2.3. 平成 16 年度以降の主な成果

(d) 超短パルス高強度レーザーの開発#

既設の基幹装置として、チャープパルス増幅(FSD)の手法を採用した W μ m レーザー増幅システム(図 7B4)が稼働しており、その高性能化研究を継続した。レーザーシステムは、モード同期 W μ m レーザー発振器、パルス伸長器、W μ m レーザー再生増幅器、複数の W μ m レーザー増幅器、およびパルス圧縮器から構成されている。最大尖頭出力 4#W、パ

ルス幅 73#iv、中心波長 ;33#qp、繰り返し周波数 43#k }である。この出力を基本波とする第 5・第 6 高調波発生により、青色 (733#qp)域で尖頭出力 315#WZ (パルス幅 93#iv)、紫外域 (59:#qp)で 53#JZ (パルス幅 473#iv)の尖頭出力を利用できる。同レーザー装置について、長・短時間出力の高安定化、偏光特性の精密制御、ビーム品質の向上、チャープ特性の高品質化等の高性能化、高機能化を行い、フェムト時間域における原子・分子の線形・非線形光学応答特性を精密制御できるポンプ・プローブ実験を可能にした。この近赤外基本波および紫外出力を利用することにより、固体表面における周期的ナノ構造生成、ならびに選択的表面改質現象を発見し、現象の発現特性を解明した。また、サイクルレベルの時間遅延、偏光特性を精密制御できる iv 精密干渉計を開発し、同装置を用いて世界に先駆けて配向分子からの高次高調波発生に成功した。#

一方、上記のレーザー装置を用いて発見した固体表面のナノ構造生成と選択的結合構造転移現象の物理過程を解明するため、新たな高強度フェムト秒 Wlvdsksklh レーザー装置を開発した。この固体表面での超高速励起過程の研究では、コヒーレント光学、レーザー分光、非線形光学のさまざまな手法を用いるため、光パルスの空間・時間特性、位相特性、スペクトル特性等の精密制御が重要になる。そのため、システム構成は既設装置とほぼ同じであるが、設計出力パルス幅を 433#ivとし、制御性能に優れた高安定パルスの発生を目指した。出力パルスエネルギーは ;#p M、パルス幅は 433#ivである。図 71515 は、出力の時間・周波数特性(IURJ)の測定例である。出力パルスには残留チャープがほとんどなく、ほぼ変換限界に近い特性を持った良質の iv パルスが発生している。この出力パルスを用いて硬質薄膜のアブレーションの研究を行い、ナノプロセッシング技術開発への発展が期待できる新知見を得た。

#

(e) フェムト秒レーザーによるナノ物質制御#

超短パルスレーザーを用いて極短時間内に高密度な光エネルギーを物質中へ注入できるため、

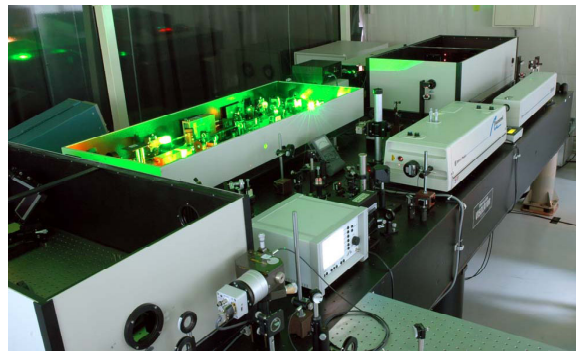


図 4.2.1. 高強度フェムト秒レーザーシステム

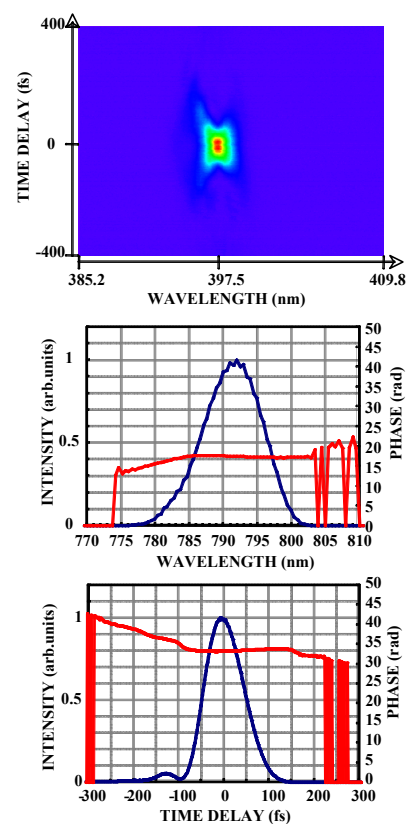


図 4.2.2. 出力パルスの時間・周波数・位相特性(FROG)の測定結果の例。

物質内でのエネルギー拡散を極端に抑制しつつ多様な物質・材料を精密に制御・加工できる。しかし、原理的に回折限界(～波長 λ)を大幅に超える微細加工を行うことは不可能である。当グループでは、ダイヤモンド状炭素(GOF)やWQ等の硬質薄膜にivレーザーパルスを照射することにより、膜表面に間隔 $g \approx 433 \text{ nm}$ から $g \approx 458 \text{ nm}$ の周期的構造を生成できることを発見し、光加工におけるこの空間分解能を克服できる可能性を実証した。さらに、ナノ構造生成とほぼ同条件下でGOFがガラス状炭素(JF)層へ改質されることも発見した。いずれもivレーザーパルスで誘起された固体表面での新現象であり、光ナノ加工や光による新しい物質改質手法へ発展することが期待できる。そのため、ivレーザーパルスと薄膜表面との超高速相互作用過程の解明を目指して基礎研究を行った。#

図 7516 は、直線偏光および円偏光のivレーザーパルスによってWQとGOF膜表面に形成された微細構造例である。直線偏光では、光電場 H と垂直な方向に細長い微粒子構造が周期的に形成されており、平均間隔は $g \approx 433 \text{ nm}$ から $g \approx 458 \text{ nm}$ である。一方、円偏光では、平均直径 $\phi \approx 3 \text{ nm}$ から $\phi \approx 63 \text{ nm}$ の粒状構造が出現する。レーザー電場の方向が表面形態に直接的な作用を及ぼしており、アブレーションの閾値 I_{th} に近い I でのみ観測される。ナノ秒レーザーパルスではこの微細構造は形成されない。また、紫外ivレーザーパルス(59:483nm)では、 g と ϕ はレーザー波長 λ にほぼ比例して微細化した。

図 4157 は、照射GOF膜表面のラマンスペクトルの例である。GOF膜は ν_{s6} と ν_{s5} 軌道が混在した非晶質の炭素膜で、スペクトルは幅の広い非対称形状を示す。小さい I で表面を照射すると $\nu_{s6} \rightarrow \nu_{s5}$ の選択的な結合構造転移によって図 7517 のようにJFに改質される。この現象はivレーザーによるJF薄膜技術開発の可能性を示唆している。

ナノ構造生成と結合構造転移のいずれも新しい物質・材料プロセス技術へ発展する可能性を

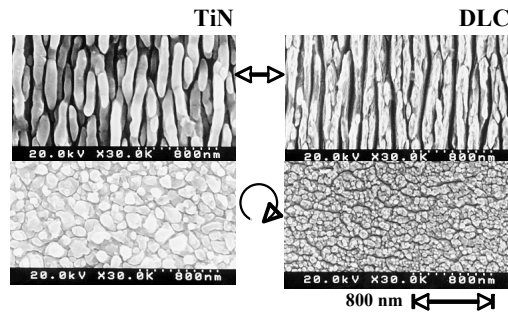


図 4.2.3. 直線偏光(上)及び円偏光(下)パルスで生成したナノ構造.

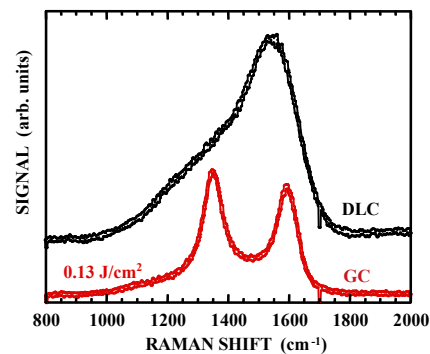


図 61517 GOF 膜の照射前後での#ラマンスペクトル#

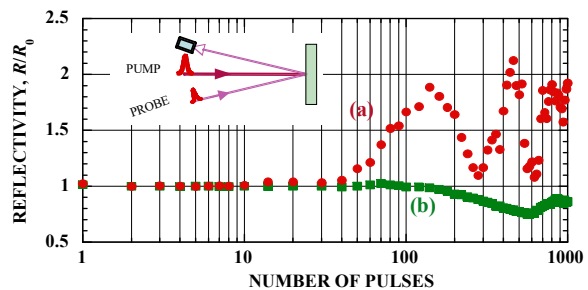


図 4.2.5. fs レーザーパルス数に対して測定した DLC の反射率の変化。ポンプとプローブパルスの偏光方向が (a) 平行と (b) 垂直な場合。

持っており、そのためには、現象を担っている物理過程の解明が必須である。現象を実時間検出するため、照射 λ レーザーパルスの反射率 U に着目し、 I および Q に対する特性を測定すると共に、表面形態およびラマンスペクトルの変化との相関を調べた。その結果、表面で吸収された光エネルギーの一部が結合構造の変化として膜内部に蓄積され、その後にメゾスコピックな領域において非熱的なアブレーションが誘起されること等を予測した。この過程を確認すると共により詳細な相互作用過程を解明するため、ポンプ・プローブ法を用いた反射率測定により、超高速で変化するアブレーション過程を追跡した。ポンプとプローブパルスを同時に照射し、反射率 U をパルス数 Q の関数として測定した例を図 71518 に示す。ポンプとプローブの偏光が平行のとき、 Q の増加と共に U が周期的に増幅される。この特長的な U の変化から、アブレーションに先行して結合構造の転移が誘起されること、および構造転移によって非伝搬性の周期的な局所場が成長してナノ領域でアブレーションが始まること等を明らかにし、定性的なモデルを構築した。

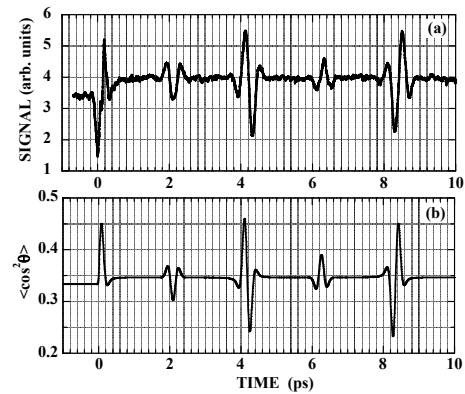


図 61519 (d) ポンプとプローブパルス間の遅延時間の関数として観測した Q_5 からの第 4 次高調波信号、# 及び (e) 計算による Q_5 の配向度 $\langle \cos^2 \theta \rangle$ の時間発展。

(f) 高強度レーザーと原子・分子の高次非線形相互作用#

任意の分子を空間的に配向できると共にこの配向過程を制御する手法を確立できれば、新しい物質制御技術へ発展させることができる。我々は、レーザーによる先端的物質制御に関する研究の一環として、超短パルス高強度レーザーと原子・分子との非摂動論的非線形相互作用の研究を進めてきた。超短パルス高強度レーザーで気相分子を配向させることが知られていたが、従来、そのダイナミクスを実時間検出する方法がなく、物理過程の詳細は未解明であった。そこで、従来からの原子のトンネル電離や高次高調発生 (K K J)、および分子のクーロン爆発現象の研究を基礎にして、分子の非線形光学応答が分子内の電荷分布の空間的な非一様性に大きく依存することに着目し、K K J を応用して配向の時間発展を高感度検出することに成功した。この方法では高強度 λ レーザーの出力からポンプとプローブパルスを生成する。前者で分子の回転準位をコヒーレントに励起すると、分子は光パルスの偏光方向へ過渡的に超高速配向すると共に、この配向が相互作用後に一定の周期で回復する。時間遅延 Δw を与えたプローブパルスを分子に照射して K K J を行うことにより、この配向・回復の時間発展を高感度に検出する。これは全く新しい手法であり、 Q_5 、 R_5 、および FR_5 分子の配向

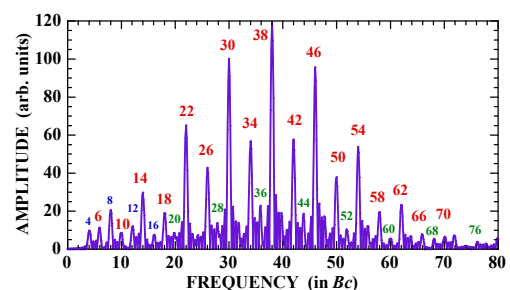


図 7151:1 図 61519-d, の高調波信号の周波数スペクトル#

と K K J に関する研究を実験・理論の両面から進めた。

図 7 15 19 に、(d) Δw の関数として観測した Q_5 からの第 4 次高調波信号 ($\lambda_{\text{pp}} = 75 \text{ nm}$) の例、および (e) 配向度の期待値の時間発展 $\langle \cos^2 \theta \rangle$ の計算結果を示す。K K J 効率は $\langle \cos^2 \theta \rangle$ の変化と共に大きく変調されている。分子の配向は、 Δw および W_{thy} において回復している。図 7 15 1: は、図 6 15 19 (d) の K K J 信号の周波数スペクトルである。低温での Q_5 分子の回転準位は、ポンプパルスによるラマン遷移 $\Delta M = 3, \pm 5$ で多くの準位 $H_M = 5\pi\hbar E_{\text{th}} / 4$ 、ヘコヒーレントに励起される (E、回転定数；M、回転量子数)。この励起過程を反映して主スペクトルはビート周波数 $\omega_4 = H_M - H_M, 2\hbar = 5\pi E_{\text{th}} / 4$ から構成される。さらに、K K J で初めて観測された $\omega_5 = H_M, 7\hbar = H_M, 2\hbar$ 、および $\omega_6 = H_M, 5\hbar = H_M, 3\hbar$ 等の弱い周波数成分も見られる。 $\omega_4, \omega_5, \omega_6$ は、それぞれ、 $\langle \cos^2 \theta \rangle, \langle \cos^2 \theta \rangle, \langle \cos^2 \theta \rangle$ からの寄与である。弱い成分は分子波束内の高次のコヒーレンスと考えることができる。すなわち、分子の超高速配向・回復だけでなく、励起過程で生成された回転波束のコヒーレンスが K K J によって高感度に検出できることを示している。以上の結果は、E Ichiyama 大 (独) との共同研究で構築された理論の結果と完全に一致する。 R_5 と FR_5 についてもそれぞれに特徴的な結果を得た。

この配向分子の K K J について、分子種および電子配置に対する特性、ポンプ・プローブの偏光方向の相対角度依存性、高次高調波の次数依存性、レーザー強度依存性、ならびに偏光依存性等の特性を測定・解析し、配向分子からの K K J に関する物理過程に関する実験・理論研究を進めてきた。その結果、K K J 過程と共に、高強度レーザーパルスによる分子の配向ダイナミクスの全容をほぼ解明した。

4. 2. 4. 国内外における関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

4 0 3 年代初めから、極限時間域での光パルスを発生できる iv レーザーとその増幅による超短パルス高強度レーザー技術が発展し「高強度レーザー科学」と呼ばれる新しい科学技術分野が開拓されてきた。このレーザー技術により、人類は、標準的な実験室において初めてフェムト秒の「極限時間」と 10^{14} s 以上の「超高電場」域へアクセスできるようになった。この新しい光技術は急速に裾野を拡げ、さまざまな科学技術分野の新領域や技術革新を先導する原動力の一つとなっている。当研究所では黎明期から当該レーザー技術の開発を開始し、世界的な拠点の一つとなっている。本課題では、この超短パルス高強度レーザーの高性能化によって同レーザーの潜在的な機能を発現・高度化し、その利用によって次代の科学技術基盤開発を目指している。とくに、当該レーザーの新しい物質制御機能に着目し、必要なレーザーの高機能化を進めつつそれを応用することによって新レーザー機能を実証してきた。

光を利用した物質・材料の微細制御手法として、近年、「近接場光」を利用したさまざまな方法が活発に研究され、半導体プロセスに匹敵するような微細化も進展しつつある。この近接場光応用が唯一の光ナノ加工技術であるが、対象物質とその物理状態、操作・利用環境等についての制限が大きい。我々は、レーザーのような伝搬光を用いて、広く実用化されている従来からのレーザー加工と同レベルの機能や操作性を備えた世界初のナノ制御・加工手法の開発を目指している。開拓してきたこの新しい光エネルギー機能によって、物質・デバイス科学技術分野の進展を促す新しい基盤的ツールを提供できる可能性がある。一方、材料、素子、デバイス、マイクロマシン、バイオ、エネルギー等の広範な科学技術分野では、微細化・精密化による技術革新が進展し、原子・分子

レベルからの新しい物質制御技術の開発がさまざまな方法で進められている。超短パルスレーザーを用いた分子配向の手法は、適用条件について特別な制約がなく、気相・液相分子を対象とする各種の物質科学分野の共通基盤技術として発展することが期待できる。とくに、分子イメージング等の先端計測分野、およびナノテクノロジー等の物質・材料科学分野の発展・革新を先導するキーテクノロジーとなることが期待できる。

4.2.5. 今後の展望

超短パルス高強度レーザー技術は、未踏の物理・化学領域を開拓する新しい基盤技術として広範な科学技術分野で受け入れられ、応用の裾野を急速に拡大しつつある。今後、サイクルレベルの時間特性を制御できるレーザー技術を開発し、光位相に依存する物質応答の制御によって新たな物質機能の発現と利用を目指す。中期計画では、レーザーの短パルス化によってサイクルレベルの高強度光パルス発生技術の開発を行い、同パルスと物質との特徴的な線形・非線形相互作用の探索・解明を行う。

フェムト秒レーザーによるナノ物質制御に関する我々の研究の報告以後、ガラスや半導体表面においても類似構造の形成が観測され、*iv* レーザーによる表面ナノ加工の研究が世界的に活発化しつつある。しかし、微細構造形成の物理過程は全く理解されておらず世界的に大きな課題となっている。本研究で得られた結果から、結合構造の転移、非一様な電子密度(非伝搬性プラズモン)の生成、周期的局所場(近接場)形成、メソスコピック域でのアブレーション、ナノリップル形成、という一連の超高速過程から構成される定性的なモデルを実験研究によって実証しつつある。今後、このモデルを異なる物性を持つ誘電体、半導体、金属等に適用・拡張することにより、次代の共通基盤技術となる光ナノ加工技術を開発する。

高強度レーザーと原子・分子の高次非線形相互作用に関しては、これまで、 Q_5 、 R_5 、および FR_5 等の比較的小さい直線分子について研究を行ってきたが、異核 5 原子・多原子分子、有機分子等への適用、三次元配向手法の開発、それらを利用した分子気体・液体の光学特性(屈折率、分散、反射、回折等の特性)を初めとする物性制御手法の開発が今後の課題である。当該分子制御手法を高度に発展させることにより、物質の潜在的機能の探索・発現・利用等、分子科学・物質科学の新分野開拓を目指す。

4.2.6. 主要論文リスト

- 41 N IP l|d}dn1/Q IP dhndz d/Hz IN red|dvkl/Q 1\dvxp dux/#lqg#MN lxfkl/#ssq#Sk|v#D=#P dwuldo#vflhqf# \$urfvvlqj# 3/#:054#5338,##
- 51 P IN dnx/#N IP dvxgd/#lqg#N IP l|d}dn1/#sq#M#D ssq#Sk|v#76/#D8<4#D8<6#5337,##
- 61 J IP l|dn#lqg#N IP l|d}dn1/#ssq#Sk|v#Dhw#</#<4<35#5339,##
- 71 Q 1\dvxp dux/#N IP l|d}dn1/#lqg#MN lxfkl/#ssq#Sk|v#D# 9/#;60<;8#5336,##
Dssq#Sk|v#D#4/#660<6:#5338,#Dssq#Sk|v#D#</#58075:#5337,##
- 81 N IP l|d}dn1/Q IP dhndz d/Hz IN red|dvkl/Q 1\dvxp dux/#lqg#MN lxfkl/#
Dssq#Sk|v#D# 3/#:054#5338,##
- 91 N IP l|d}dn1/#WVklp l|x/#lqg#Q rup dqg/#Msk|v#E #dw#P rd#R sw#Sk|v#5:#860:94#
+5337,##

:1 N IP 1|d}dn1/# N dnx/# IP 1|dn1/# Degxurxi/#lgg# IK IP II dlvdok |v#Jhy#Dhwi#k8/#
576<36#5338,##
;1 IK IP II dlvdok/# Degxurxi/# IP 1|d}dn1/#lgg# IP 1|dn1/#k |v#Jhy#Dhwi#k; /#76334#
+533:,##

#

4.3. 超短レーザーと物質の非線形相互作用に関する研究

4.3.1. 研究の概要

本課題では極限的にパルス時間幅の短い (< 数フェムト秒) 光パルスと物質の超高速非線形相互作用を調べる。とくに、キャリアエンベロープ位相やパルス時間幅の影響を詳細に調べる。また、「超短光パルス」をツールとして用いることにより、原子・分子物理学、表面科学、材料科学、原子核物理学、高エネルギー物理学などの実にはさまざまな分野で活用可能なスピン偏極粒子(電子、イオン、核)を生成するスピン偏極法を開発する。本課題は学際的かつ横断的かつ独創的であり、研究水準および成果に関しては、中期目標・中期計画のなかの「独創的な新領域開拓」に整合する。また、中期目標・中期計画のなかで目標実現のための措置として述べた「エネルギー分野における萌芽研究の育成」に該当する。

前回の外部評価ではやや孤立して研究を進めているとの指摘があったが、現在是一部、東京大学物性研究所や理化学研究所と共同して実験的研究も進め、理論の検証も同時に行っている。成果の社会への還元という意味では、Physical Review Letters 2 篇をはじめとする国際的にハイレベルな学術誌発表はもとより、日本物理学会誌にも解説記事を執筆、また、数件の招待講演(国際会議 2 件、国内研究会 1 件)を行い、特許も 3 件出願した。また、外国人研究者を半年から 1~2 年の滞在期間でこれまで 5 名招聘し、研究者交流の活性化にも寄与している。今後は更に国際拠点の形成を目指し研究を進めるとともに、産官学の交流を目指し研究を進める。

4.3.2. 重点領域研究としての意義および社会的重要性

レーザー誘起現象を十分に理解することは、光エネルギーの高度利用のための重要なステップとなる。超短光パルスによって誘起される超高速非線形光学現象を理解し、さらには積極的に応用するためには、相互作用ダイナミクスに関する理論的解明が不可欠である。このような超高速非線形光学現象は、光によってしか実現し得ない超高速プロセスであり、光エネルギーの高度利用という点では唯一無二の重要性を持ち、総合的なエネルギー理工学研究の進展には欠くことのできない研究領域である。

とくに、近年の目覚ましい超短レーザーパルスの技術の進展によって、キャリアエンベロープ位相まで制御安定化された光パルスが実験室で生成可能となりつつある。パルス時間幅がサイクル数にして僅か数サイクルの場合には、物質との相互作用に位相依存性が現れる。これまで報告された位相効果は、極めて強い光強度領域(トンネルイオン化領域)で観測されており、トンネルイオン

化という概念により物理現象をよく説明できた。もしパルスエネルギーが必要とされない低光強度領域(多光子イオン化領域)で何らかの位相効果が発見されれば、さまざまな意味で応用範囲が格段に増大するであろう。

一方、スピン偏極した粒子(電子、イオン、核等)はさまざまな物質との間の相互作用のスピン依存性を調べるには非常に有用であり、原子・分子物理学、表面科学、原子核物理学、高エネルギー物理学など極めて幅広い分野で活用可能なツールである。エネルギー理工学の観点からいえば、表面科学におけるスピン偏極粒子の応用が最も興味深いが、スピンとはすなわち磁気モーメントであるので、相互作用のスピン依存性から材料の磁性情報を得ることができる。とくに、電子とイオンは質量が3桁違うことから、例えば偏極ビームを材料表面と相互作用させた場合に、異なる情報が得られる。ところが一般には偏極電子と偏極イオンの切り替えは容易ではない。これに対し、我々の方法では偏極した電子とイオンを同時に生成させ、さらに引き出し電場の極性を反転させることによって、そのいずれをも取り出すことができるため、切り替えが簡単なデュアル型偏極源としての応用が可能であり、表面科学や材料物性の研究のための新たな手段を提供することにもなる。さらに超高速スピン偏極を実現できれば、粒子が超短時間内にバンチングした偏極パルスビームも種々の応用において大きく役立つであろう。

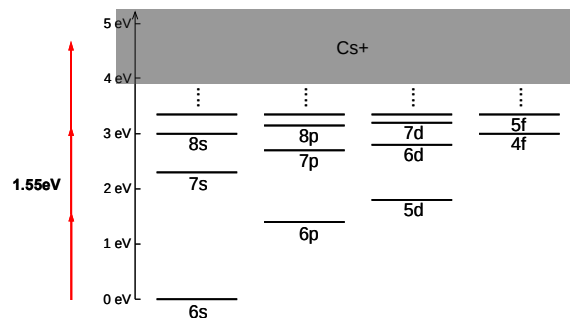


図 4.3.1. Cs 原子のエネルギー準位図

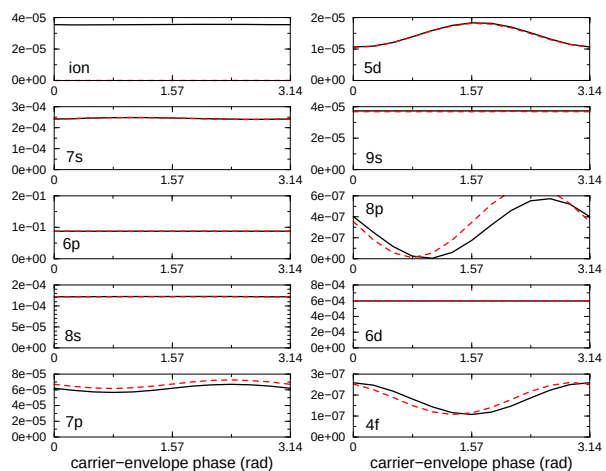


図 4.3.2. サイクル数=1 のパルスに対する Cs のいくつかの束縛状態の占有密度の位相依存性。

ピーク光強度は 10^{11} W/cm^2 とした。

4.3.3. 平成 16 年度以降の主な成果

(d) 極限的な超高速非線形光学現象に関する研究

パルスの時間幅が極限的に短くなって数サイクルとなると、物理現象によっては搬送波位相(絶対位相)の効果が現れ得る。トンネルイオン化領域と呼ばれる高強度レーザー場のもとでは、高次高調波や超閾イオン化信号に位相効果の現れることが知られている。しかしながら、多光子イオン化領域と呼ばれる低光強度レーザー場のもとで位相依存現象が現れるとは一般に考えられていなかった。

我々は、時間依存シュレーディンガー方程式を数値的に解くことにより、低光強度領域において位相効果が存在するかどうかを調べた。Cs 原子は価電子を一つだけ持つアルカリ金属原子であり、

イオン化ポテンシャルは $61\frac{1}{2}\text{ eV}$ と小さいため、図 7.16.14 に示すように密なエネルギー準位構造を持つ。したがって低強度の光で励起およびイオン化が可能である。高い蒸気圧を得やすいという点でも実験上は好都合である。計算の結果を図 4.3.2 に示す。

多くの束縛状態はほとんど位相依存性を示さない。これは、Cs の励起およびイオン化は次数の低い非線形光学過程であることからある程度予測できた結果である。しかしながら、共鳴からはるか離れた $5d$ 、 $8p$ 、 $4f$ などの状態は強い位相依存性を示す。イオン化過程がどの程度位相依存性に影響を及ぼすかを調べるため、イオン化が全く起こらないとして同様の計算をした結果を図 3.3.2 中に点線で示す。イオン化過程の有無により位相依存性に若干の違いが見られるものの、本質的にイオン化過程が位相依存性を引き起こしているわけではない、ということがわかる。つまり、トンネルイオン化領域ではイオン化過程が「エネルギーおよび角度分解した光電子信号」に見られる位相依存性の起源であったのに対し、多光子イオン化領域ではイオン化過程は位相依存性に本質的な影響を及ぼさない。多光子イオン化領域における位相効果の物理的起源は何かを探るために 3 準位モデルを使った考察をした結果、位相効果は共鳴項と交差項および反共鳴項の間で起こる量子干渉に起因するということがわかった。この説明によると、パルス時間幅が数サイクルよりも長くなれば遷移モーメントに対する共鳴項の寄与が常に他の項よりもはるかに大きくなって位相効果が消失するということ、および、サイクル数が僅か 1~2 サイクルであっても近共鳴の準位については共鳴項の寄与が他項をはるかに凌ぐため、やはり位相効果は消失するということとなり、図 3.3.2 の結果と完全に整合する。これに対し、トンネルイオン化領域における位相効果は、基底状態の原子がレーザー場によってトンネルイオン化する際、位相によって光電子放出が空間的に異方性を持つということであった。このような、二つの異なる光強度領域では位相依存性の起源について本質的な違いがあるということを明確にしたことが我々の研究の最大の成果である。また、H 原子の場合には、束縛状態の占有密度のみならず、全イオン化量にも顕著な位相依存性が見られるということを見いだした。

(b) 超短レーザーパルス誘起スピン偏極に関する研究

これまでの研究では、ナノ秒のパルスレーザーで光電子および光イオンのスピン偏極が同時に誘起できることを理論的・実験的に示した。実験によって得られた偏極度は Sr 原子について約

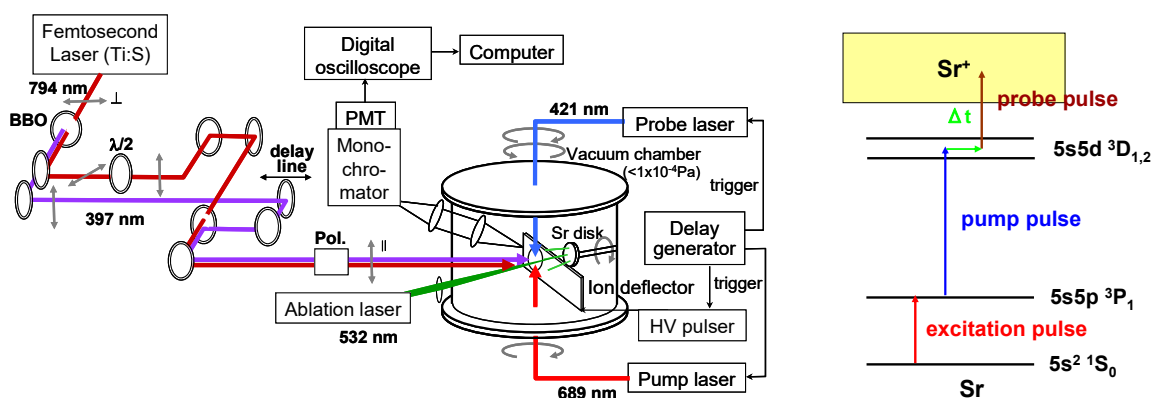


図 7.16.1 (左) 実験配置図と (右) 偏極スキーム

64%であり、理論値とよく一致した。本研究では、超高速スピン偏極を目指した新しいスピン偏極スキームの理論的提案と解析を行い、さらには理化学研究所との共同研究としてその実験実証を進めた。理論的に我々が独自に提案した超高速偏極スキームおよびその解析結果は以下に述べる実験結果と整合性がよさいのでここでは省略する。実験配置図および偏極スキームを図

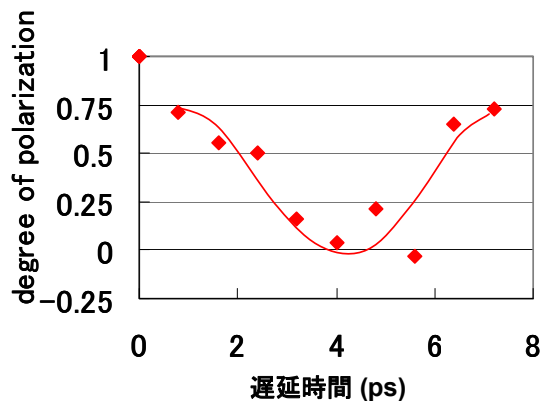


図 4.3.4 #Vu イオンのスピン偏極度の時間遅延依存性

4.3.3 に示す。まず固体の Sr 試料に Nd:YAG レーザーの第 2 高調波

(532 nm) を照射し、レーザーアブレーションによって真空チェンバー内に Sr 原子ガスを発生させる。アブレーションルーム中に含まれるイオンがスピン偏極イオンの観測を妨げるのを防ぐため、アブレーションパルスの後、イオンデフレクターに約 300 V の電圧を印加し、約 50 μs 後に右円偏光した波長 689 nm のナノ秒光パルスによって $5s5p\ ^3P_1(m_J = +1)$ に原子を励起する。この励起後、我々は 2 色のフェムト秒光パルスを使ってポンププローブ実験を行った。まず、波長 794 nm、エネルギー約 1 mJ/パルス、時間幅 150 fs の光パルス(横偏光)は非線形光学結晶(BBO)によって第 2 高調波 397 nm の光パルス(縦偏光)を発生する。794 nm 光は横偏光であるため、 $\lambda/2$ 波長板によって 397 nm と同じ縦偏光にする。その後、この 2 色フェムト秒パルスは delay line によってパルス間の時間遅延をフェムト秒の時間オーダーで制御され、397 nm、794 nm のパルスの順に励起状態にある $\text{Sr } 5s5p\ ^3P_1(m_J = +1)$ 原子ガスへと照射され、さらなる励起およびイオン化が起こる。このとき、我々の理論によると、生成する Sr イオンのスピン偏極度は時間遅延の関数として変化するはずである。実際、レーザー誘起蛍光を使った光学的手法によってイオンのスピン偏極度を検出すると、時間遅延の関数として図 4.3.4 のように数ピコ秒の時間スケールで大きく変化した。この結果は我々の理論解析結果と非常によく一致する。

4.3.4. 国内外の関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

超高速光物理の分野では、数サイクルパルスによって誘起される位相効果に関する研究は非常に盛んであるが、そのほとんどは、光強度が極めて高いトンネルイオン化領域においての現象である。低光強度領域で位相依存性があることを示したのは我々が世界で最初であり、この発見により位相依存現象が発現すると考えられる光強度領域が飛躍的に増大した、極めてインパクトの大きい研究成果であると言よう。

一方、スピン偏極を実現するには、狭帯域連続発振(CW)レーザーを使った光ポンピング法がよく用いられるが、使用可能な波長域(可視近傍のみ)やレーザーパワー、およびスピン偏極に要する時間などの点で大きな制約がある。これに対し、我々は発想を全く新たにし、パルスレーザーを使ってスピン偏極ができないかという観点からアプローチをしている。従来、スピン偏極に関する研究は主に加速器物理学の研究者によって進められてきた分野であり、我々のようにレーザーの

コヒーレンスをうまく使うことのできる研究者による新しいアプローチは、まさしく横断的研究と言える。

4.3.5. 今後の展望

超高速光物理に関しては、従来、近赤外波長(800 nm 近辺)の数サイクルパルスを念頭に、主に位相依存現象に関する研究を進めてきた。今後は近赤外波長の数サイクルパルスとは全く異質な現象が見られる可能性を秘めるサブフェムト秒～アト秒光パルスと物質の超高速相互作用についても研究を進めて行きたいと考えている。一方、これまでの研究で、電子やイオンのスピン偏極はナノ秒およびフェムト秒レーザーパルスを使ってかなり制御できることが理論的のみならず実験的にも証明することができた。今後、不安定核のスピン偏極が実現できれば原子核物理学の発展に大きく寄与することができる。また、医療用核磁気イメージング(Magnetic Resonance Imaging、MRI)の感度向上に寄与するには高強度・高繰り返し回の紫外パルス光源を開発する必要がある。これらのテーマについても順次取り組んで行く予定である。

4.3.6. 主要論文リスト

1. N. Miyamoto, M. Kamei, D. Yoshitomi, T. Kanai, T. Sekikawa, T. Nakajima, and S. Watanabe, Phys. Rev. Lett. **93**, 083903 (2004).
2. Takashi Nakajima and Shuntaro Watanabe, Phys. Rev. Lett. **96**, 213001 (2006).
3. Takashi Nakajima and Shuntaro Watanabe, Optics Letters **31**, 1920 (2006).
4. T. Nakajima, Appl. Phys. Lett. **84**, 3786-3788 (2004).
5. 中嶋隆、日本物理学会誌 95、SS1563056;#533:1
6. T. Nakajima, Phys. Rev. Lett. (July 13 issue, 2007).

4.4. 液相レーザーアブレーションを利用した液中固体表面の

その場表面元素分析

4.4.1. 研究の概要

前回の自己点検では液相レーザーアブレーションの界面材料プロセスとしての可能性を前提とし、プルームの発光スペクトル測定によるアブレーションメカニズムの研究を自己点検した。それに対する外部評価として、極めて新規性に富み興味深い研究であるが、現状では萌芽的探索的であり、研究の進捗にしたがって目標の明確化が求められるといった意見が寄せられた。以降評価意見を念頭に、それまでの研究成果を発展させ、液中固体のその場表面元素分析への応用とそのための基礎研究を中心に研究を進めてきた。液中のプルームの発光スペクトルは極度にブロードニングし、そのままでは分光分析に使えないが、長いナノ秒レーザーを照射することで、元素特有の線スペクトルが明確に得られることを発見した。この成果は中期目標・中期計画を達成し

ており、学問的に非常に優れていると判断している。また、この成果をさらに発展させ、学問としての現象解明に基づき、定量性や非破壊性の向上といった新しい技術展開を目指す。

4.4.2. 重点領域としての意義および社会的重要性

液相レーザーアブレーションとは液体に浸漬した固体表面のレーザーアブレーションを指し、液相に直接コロイド粒子を生成させたり、材料表面に化学反応の場を提供する新しい方法となる。また、照射条件によっては、レーザー照射スポットに非常にユニークな構造が形成し、材料科学の観点からさまざまな応用が考えられる。とくにエネルギー分野では、光エネルギー変換のための機能性材料表面の改質や、各種電極材料の表面構造形成への応用が期待される。液相レーザーアブレーションはエネルギー材料創製だけでなく、材料界面の分析にも重要な役割を演じることを忘れてはならない。つまり、アブレーションブルームの発光スペクトルを測定することで、ターゲット表面の元素分析が可能である。このような方法はレーザー誘起ブレイクダウン分光 (LIBS) と呼ばれている分析手法の一種であるが、固体表面のアブレーションに基づくことから我々はレーザーアブレーションブルーム分光 (LAPS) と呼んでいる。LAPS は前処理を必要とせず、材料表面の迅速なその場表面元素分析を可能とする。そのため、電池の電極表面や原子力施設の燃料棒表面など液体中で固体が機能することが本質的であるようなシステムについて、固体表面のその場元素モニタリングに威力を発揮できる。本研究は固液系の新たなエネルギー機能を光を使って探索するという観点から、研究所の重点領域である光エネルギー複合領域における研究の一翼を担うものである。

この分光分析が分析手法として確立すると、エネルギー材料界面のその場モニタリングが可能になるだけでなく、多くの派生的な応用分野が開けることになる。例えば、めっきをはじめとする湿式表面処理プロセスにおける析出皮膜の管理、プラントにおける配管の内壁の元素組成の変化をとまなう劣化のモニタリング、海底探査における迅速な海底物質同定、原子力施設における燃料棒組成のモニタリングなど、液体中のあらゆる固体の表面元素モニタリングに応用でき、社会的なインパクトは大きい。

4.4.3. 平成 16 年度以降の主な成果

(a) 長いナノ秒パルスによる液相レーザーアブレーションブルームからの発光の先鋭化

液相レーザーアブレーションブルームは、放出種の密度と温度が非常に高くまた空間分布が不均一であることに起因して発光線スペクトルが著しく広がり、さらに自己吸収による反転構造の形成などの影響を受けると同時に強い連続スペクトル発光を示す。これらの現象は放出種を的確に検出することが求められる分光分析への応用では短所となる。発光スペクトルを表面分析に利用するためには、自己吸収のない安定したスペクトル形状が得られるようなブルームを形成させることが必要である。我々はアブレーションに用いる Nd:YAG レーザーの Q スイッチパルス幅を 19 ns から 150 ns まで長くすることにより、スペクトルが著しく先鋭化することを発見した(図 4.4.1.)。この成果は、単パルスの液相レーザーアブレーションが液中固体表面のその場元素分析に応用できることを初めて示したものである。

(b) レーザーアブレーションブルーム分光による液中固体表面の疑似非破壊元素分析

図 4.4.2.より、パルス幅の増加にともない発光線の線幅が減少するだけでなく、発光強度が著しく増大することがわかる。白金上の厚さ 164 nm の銅の電析皮膜を試料として照射し、損傷を調べたところ、4 パルス照射あたり 13 nm 程度であることを見いだした。現在のところ、パルスのエネルギーや波長あるいは発光の観測方向などの多くのパラメータは、

損傷が最小になるように最適化していない。このことを考慮すると、ここで提唱している長いナノ秒レーザーを用いるレーザーアブレーションプラズマ分光による液中固体の表面元素分析は非破壊分析の観点からも非常に有望であり、「疑似非破壊表面元素分析」とも呼べるものである。

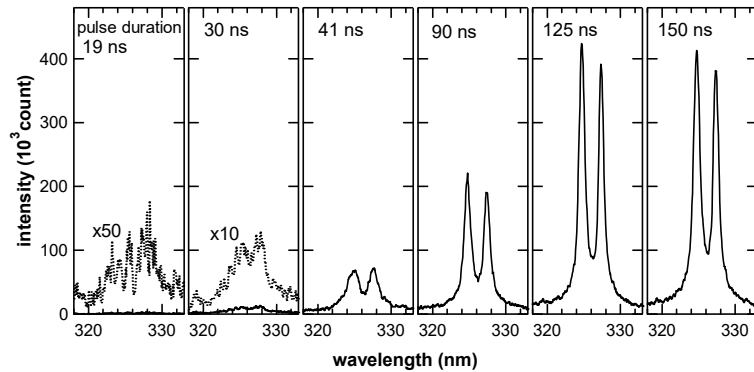


図 71714 アブレーションパルスの幅をさまざまに変化させたときの水中に生成したプラズマ中の銅の微細構造分裂した 2 本の発光線スペクトル。# アブレーションパルスのエネルギーは 41 pJ と非常に小さい。#

4.4.4. 国内外の関連する領域のなかでの当該テーマの位置付け

レーザー誘起ブレイクダウン分光を水中の固体表面分析に応用した研究が数報告されている。それらは全てダブルパルス法を用いている。ダブルパルス法は、第1パルスで生成した気泡を第 5 パルスでブレイクダウンする方法であり、気相のブレイクダウン分光と類似の結果を示す。この方法は我々の提案する単一の長いナノ秒パルスを用いる方法と比較して 100 倍程度のエネルギーで、数 ns 程度のパルス幅のレーザーを照射するため、表面損傷が大きいという難点がある。液相でのパルスレーザー照射プロセスの研究は 2000 年の我々の報告を契機として発表論文数が増加している。しかし、液中でのその場元素分析を主眼とした研究は上記のダブルパルス法を用いた研究がいくつか報告されている以外には報告例がない。応用分野の広さを考えると非常に重要性の高い研究であることは明白であり、本研究所が主体となって研究を進展させることが重要な分野である。

4.4.5. 今後の展望

未知の部分が多い液相アブレーションの現象の解明を進め、その基礎研究の成果に基づいて分析手法としての

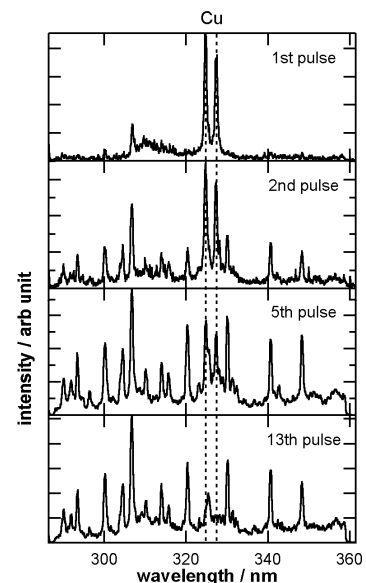


図 71715 白金上の厚さ 497 nm の銅の電析皮膜の同一点を照射し続けたときのスペクトルの変遷。銅に帰属される 658 および 652 nm の発光線が 46 回のパルス照射で消失することより、照射による表面損傷は 1 パルスあたり 46 nm 程度であることが見積もれる。#

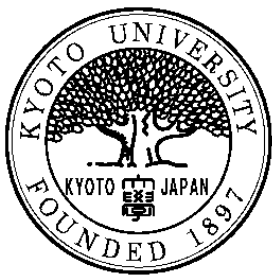
技術課題を解決し、実用化を目指す。現状での問題点は、パルスごとのスペクトルのばらつきが大きいことである。当面は明瞭な線スペクトルが得られるメカニズムの解明によりもたらされる知見により、この技術課題を解決することを目指す。

4.4.6. 主要論文リスト

1. T. Sakka, K. Saito, and Y. H. Ogata, J. Appl. Phys., **97**, 014902/1-4 (2005).
2. T. Sakka, H. Oguchi, S. Masai, K. Hirata, Y. H. Ogata, M. Saeki, and H. Ohba, Appl. Phys. Lett. **88**(6), 061120/1-3 (2006).
3. T. Sakka, H. Oguchi, Y. H. Ogata, Chem. Lett., **36**, 508-509 (2007).

京都大学エネルギー理工学研究所#
平成 4< 年度外部評価資料#
重点複合領域研究#
平成 49 年度以降の成果の概要(補遺版)#

533: 年 : 月 発行#
京都大学エネルギー理工学研究所#
外部評価資料準備 Z J



京都大学
エネルギー理工学研究所
研究所の概要

平成 20 年 2 月



京 都 大 学 エネルギー理工学研究所



研究所の概要

平成20年2月

1



エネルギー理工学研究所

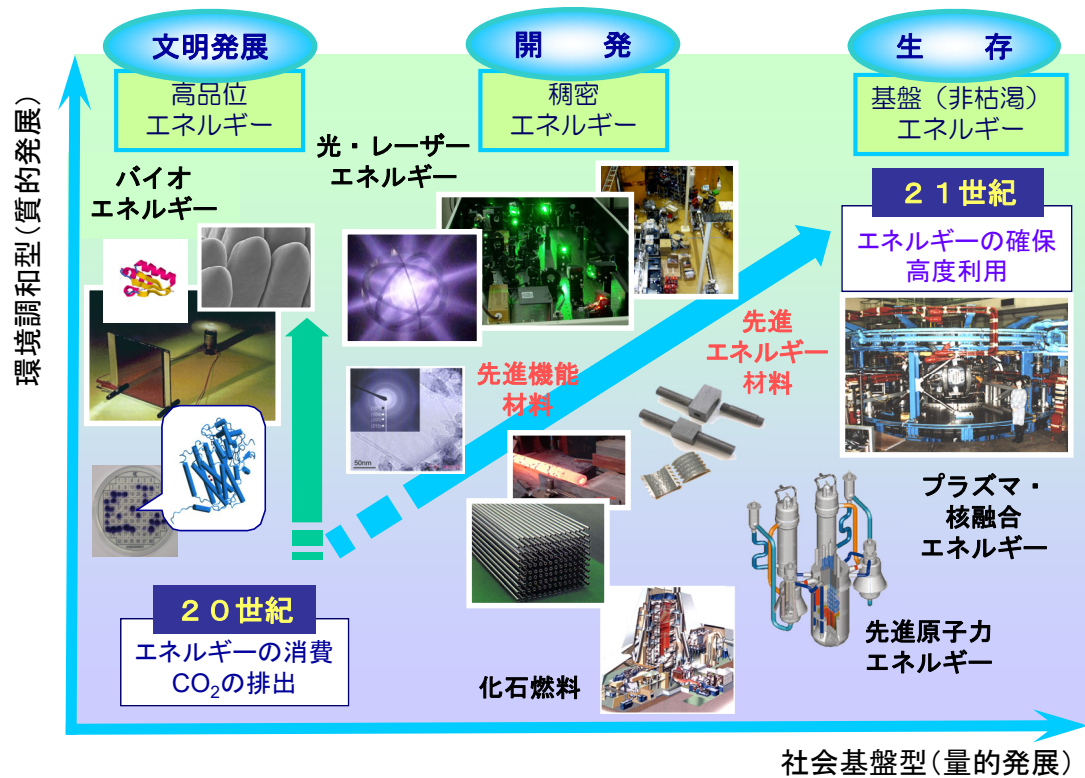


- 設置年度：平成8年5月11日
- 設置目的：エネルギーの生成、変換、利用の高度化
- 教員数： 定員38名、現員33名(H20.1.1)
- 沿革：
 - ・大正 3年 京都帝国大学中央実験所設置
 - ・昭和16年 工学研究所設置
 - ・昭和46年 原子エネルギー研究所に改組
 - ・昭和62年 学術審議会研究所等検討専門小委員会による評価
 - ・平成 8年 ヘリオトロン核融合研究センターの一部と併せ
「エネルギー理工学研究所」に改組
 - ・平成18年 センターの改組
- 自己点検：平成12、15、18年度実施
- 外部評価：平成13、16、*19年度実施（*実施中）

2



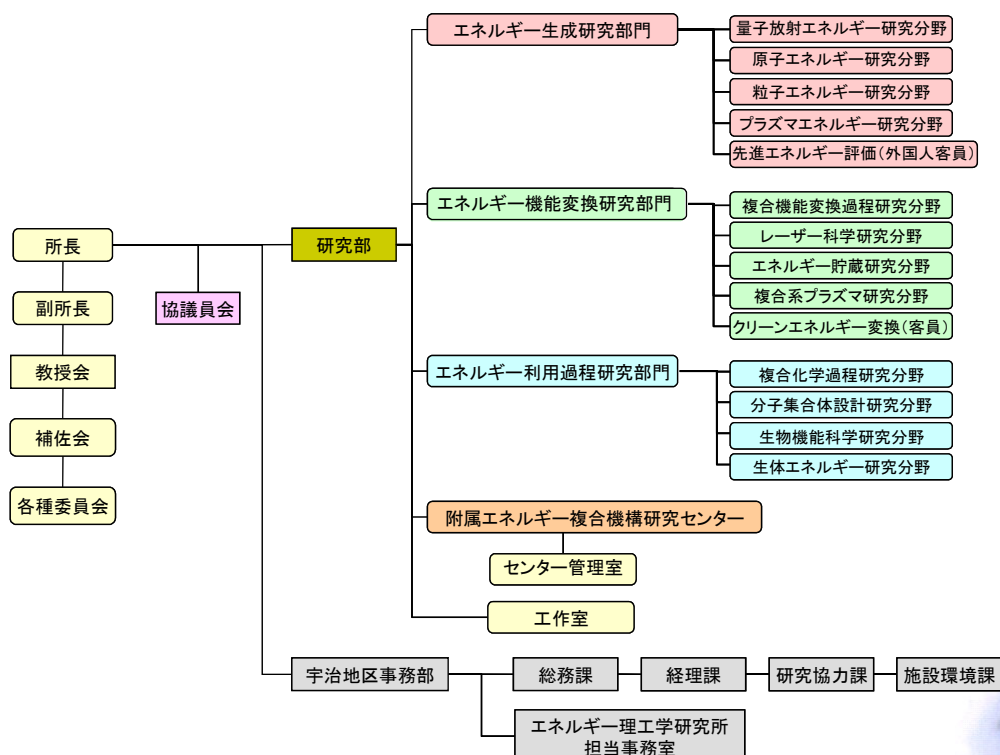
エネルギーの生成、変換、利用の高度化



3



研究所組織



4



人事制度と人員構成



外部からの人材積極登用による研究基盤形成と活性化

・原則公募制 ・全教員任期制を平成14年9月導入

新規任用教員 38名中 延べ24名を学外から任用 (H19. 4. 1現在)

平成19年12月現在

○教授(13人)、○准教授・講師(10人)、○助教(10人)

- ・次世代開拓研究ユニットテニユアトラック助教(H18から、1名)
- ・生存基盤科学研究ユニット任期付助教(H18から、1名)

○大学院生

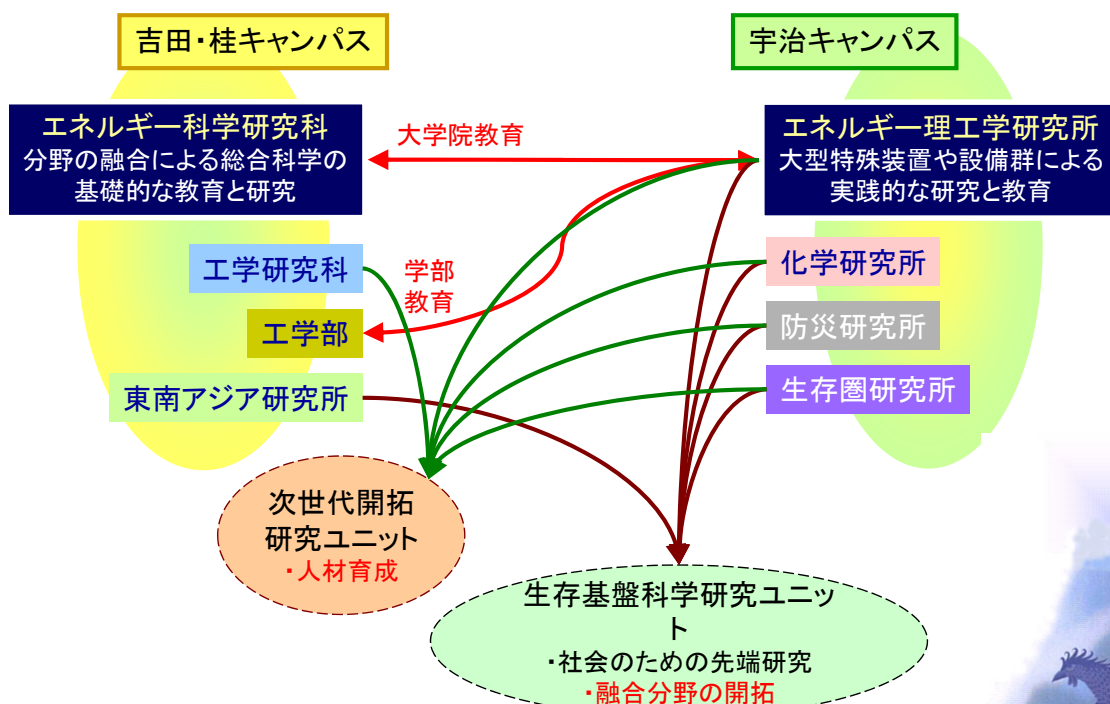
- ・修士課程学生(46名) (エネルギー科学研究科 全222名)
- ・博士課程学生(29名) (エネルギー科学研究科 全90名)
- ・留学生(13名)

○博士研究員

- ・非常勤研究員(4名)
- ・外部資金による博士研究員雇用(15名)



学内における位置付け



研究ユニット: 学内部局間連携組織



重点複合領域研究(1)

プラズマエネルギー重点複合領域研究



競争的資金獲得による特殊大型装置および各種の高性能構造解析・分析機器の基盤整備と共同利用研究の推進による拠点形成



7

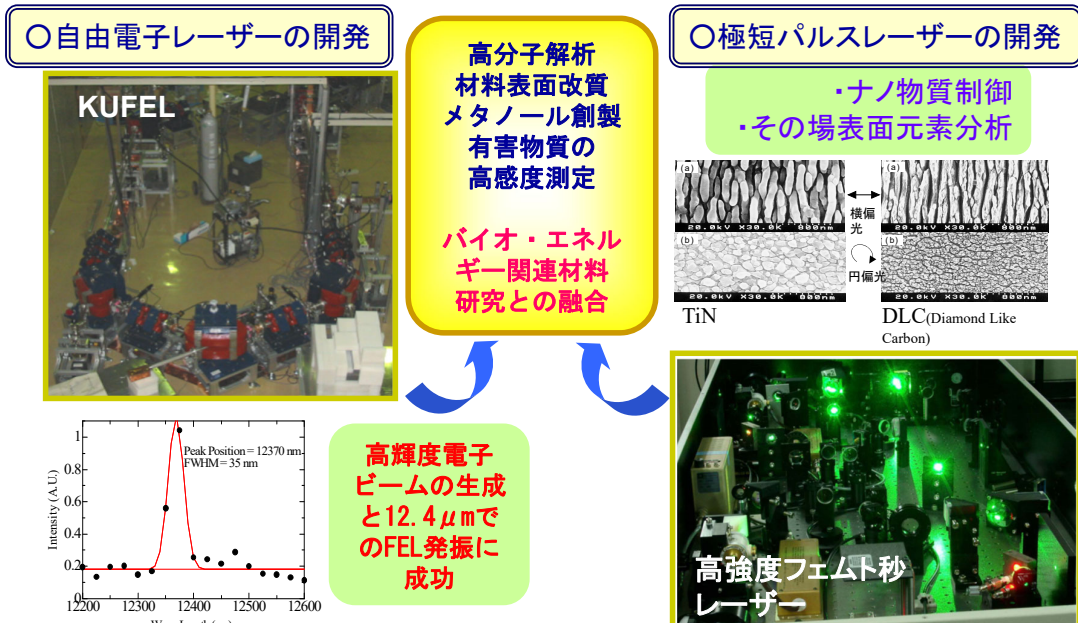


重点複合領域研究(2)

光エネルギー重点複合領域研究



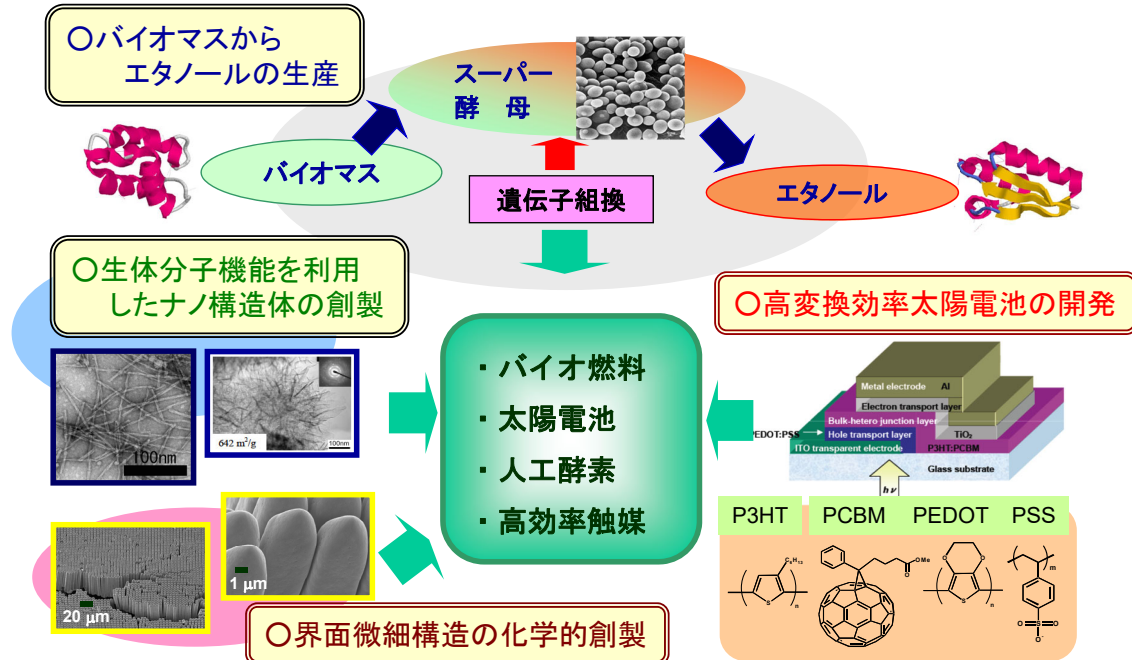
高輝度小型レーザーの発振に成功し(生成研究)、高分子解析、高機能材料表面改質等の高精度分析、材料機能高度化等の応用研究へと展開



8

バイオエネルギー重点複合領域研究

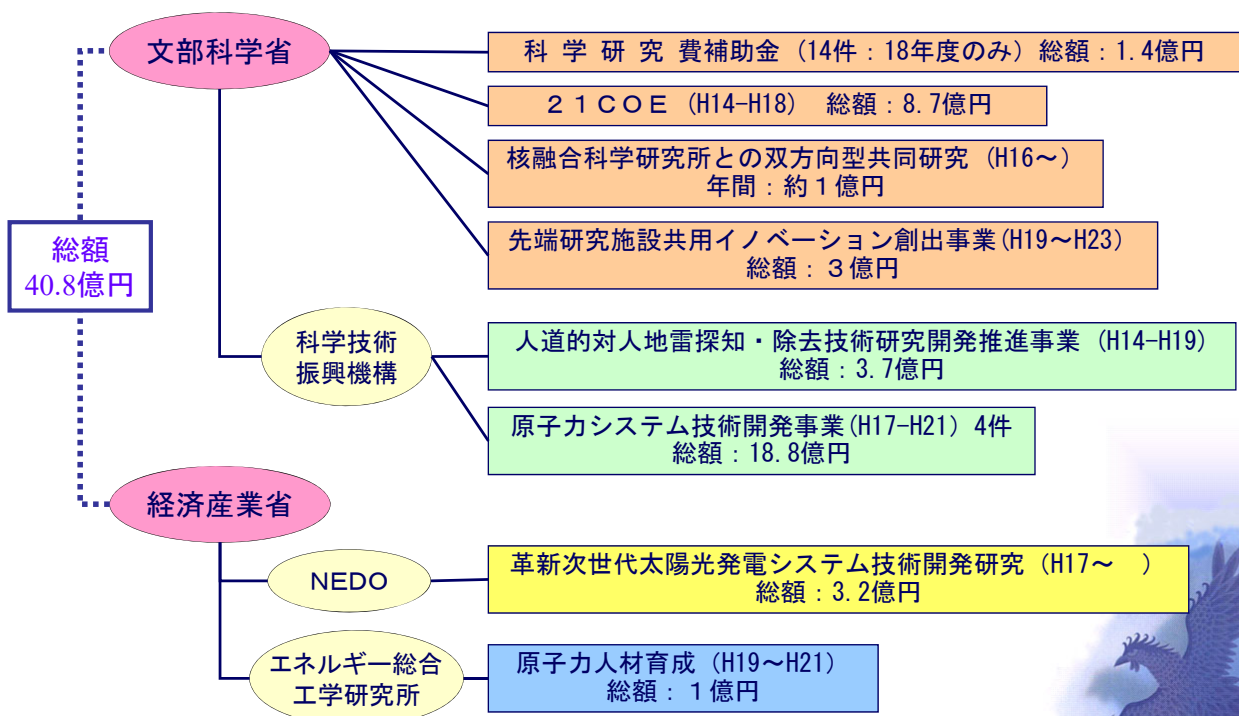
脱CO₂を目指すソフトエネルギーシステムの基盤となる
エネルギー関連材料の開発および生体機能応用研究



9

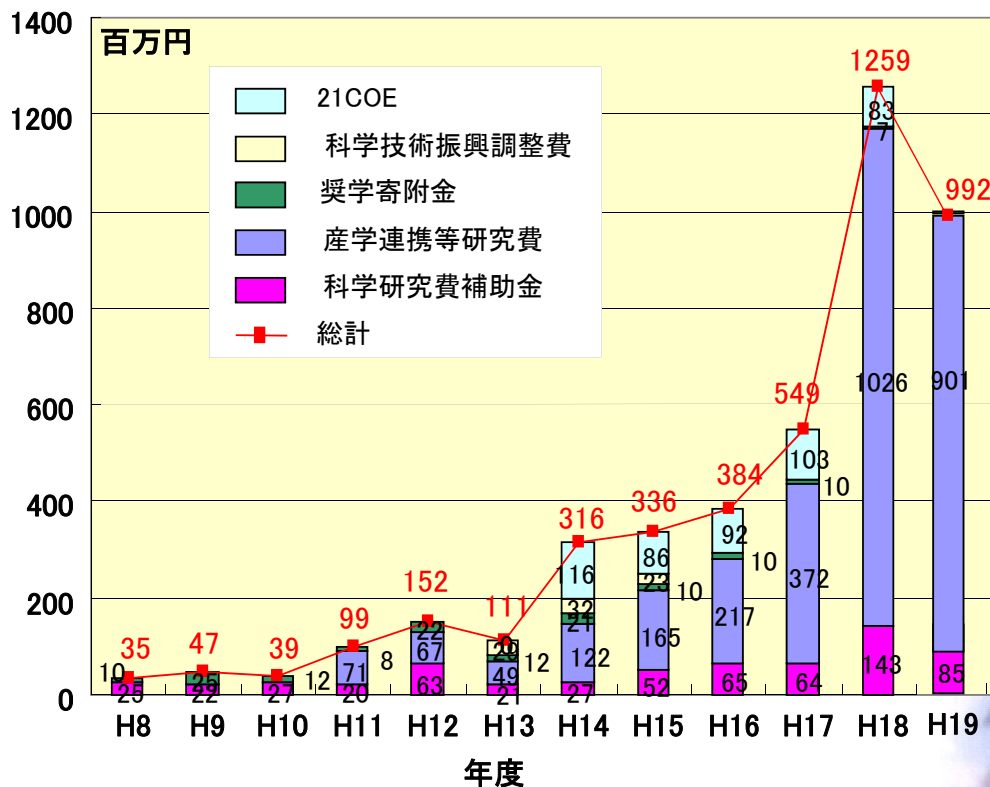
近年の外部競争的資金

--共同研究代表者として拠点化を推進--



外部競争的資金獲得高の変遷

--共同利用化に向けたインフラ整備--



11

センターにおける共同利用・共同研究

--エネルギー複合機構研究センター--

センターの目的

研究所における部門横断的研究および学内外の共同研究を推進する。

センターの活動内容

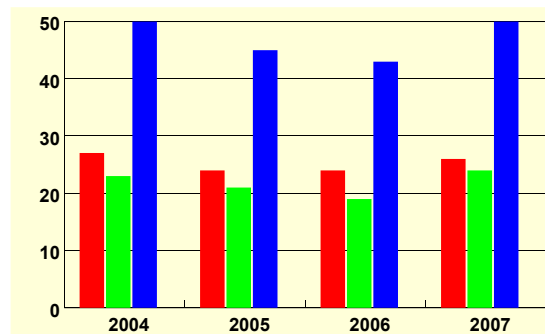
○共同利用(センター基幹装置類)

- ・高度エネルギー機能変換実験装置 [Heliotron JおよびDuET]
- ・触媒材料創製・機能解析システム
- ・マルチスケール材料評価研究基盤群 [MUSTER]
- ・自由電子レーザー装置[KU-FEL]
- ・極短パルス高強度レーザー装置
- ・超小型静電慣性核融合装置

○共同研究

- ・重点複合領域研究分野の研究拠点機能
- ・センター共同研究、双方向型共同研究の企画・運営

センター公募型共同研究

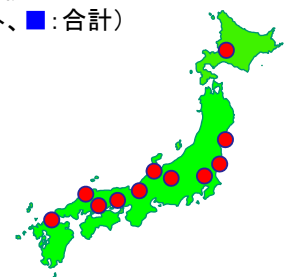


共同研究件数の推移

(■: 所内、■: 所外、■: 合計)

共同研究:
11機関

国内共同研究
代表者の分布



12

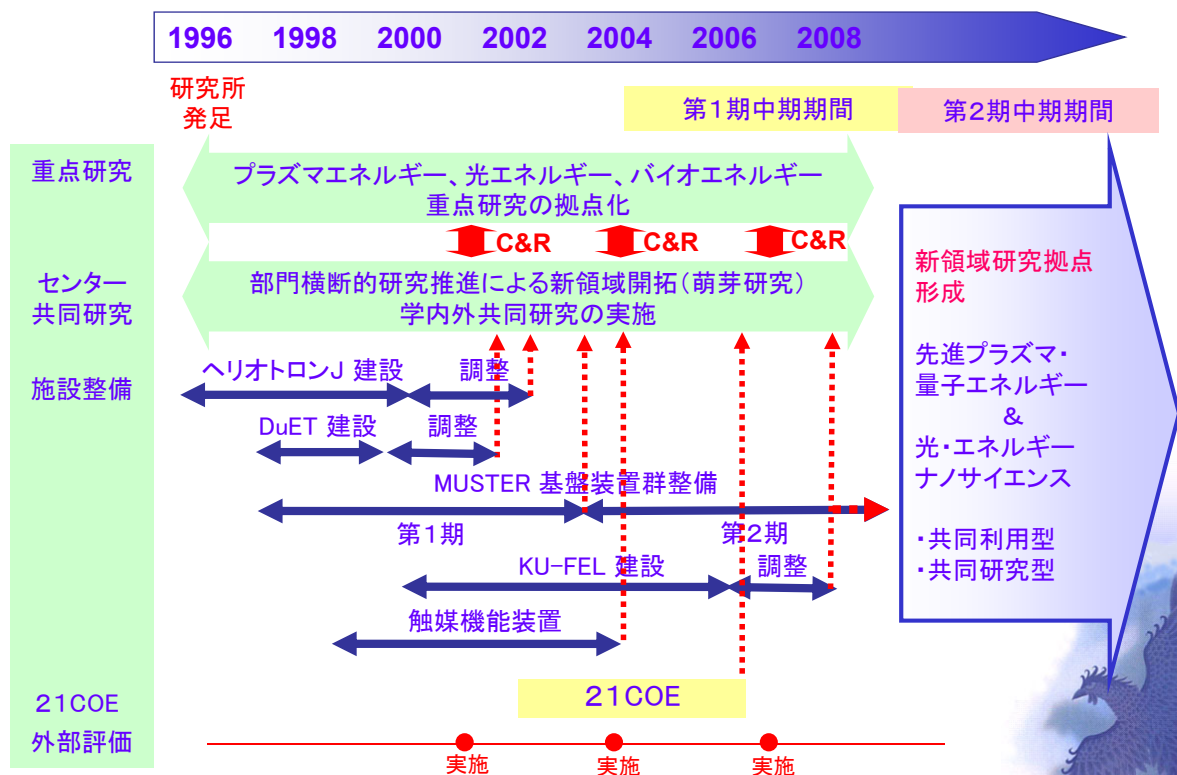


全国共同利用・共同研究 拠点化に向けて

13



全国共同利用・共同研究拠点化 1)これまでの歩みと展開



14



2) 現状

◎研究所の特徴：優れた施設・設備群を整備・活用した共同研究による、

- ・国際的な研究拠点形成
- ・先導的な高度の専門能力を持つ人材の育成

○「外部競争的資金の獲得」による設備投資を行い、国際的な研究拠点を形成している（現在、6つの公募事業（総額：28.4億円）の代表、延べ51機関の参画）。

○附属エネルギー複合機構研究センターを中心に「全国共同利用・共同研究」公募事業を自助努力にて実施してきた（年間約50課題、11機関）。



3) 産官学連携の共同利用

装置・機器の運転・保守・維持のための必要経費の捻出

文部科学省公募事業「先端研究施設共用イノベーション創出事業」

○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事業（ADMIRE計画）事業を開始（H19-H23）

3億円／5年間の計画

- ・基盤装置群の運転・保守のための支援研究員の採用・配置
- ・事業費による民間への機器装置使用料の無償化
- ・民間企業との連携強化と社会への貢献

平成19年度実績：民間企業10社からの10課題の提案





4) 今後の課題

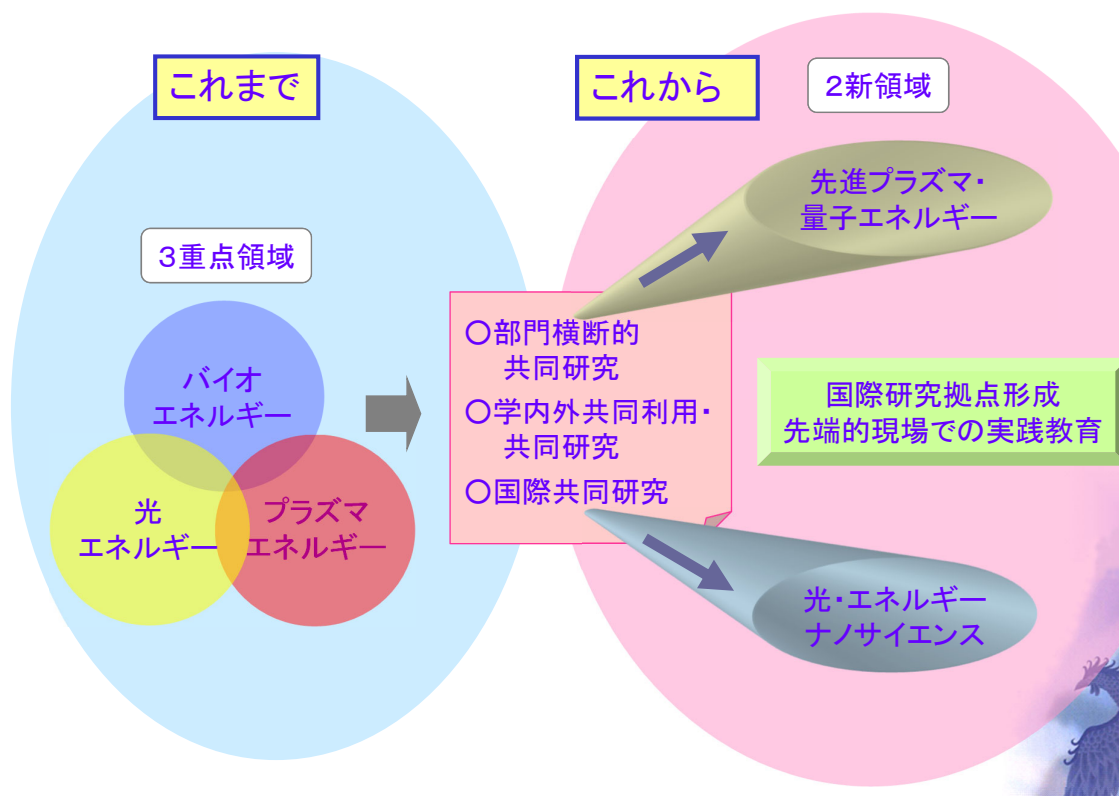


- 高額な大型設備や最新鋭機器の運転・保守・維持のため、装置維持費(保守契約費用など)が不可欠。
- 共同利用設備の拡充のためには、老朽化した建屋の改修工事が不可欠。
- 共同利用・共同研究者数の増大に伴う運転管理者の負担増を軽減するため、研究支援体制の増強が不可欠。
- 共同利用・共同研究者が滞在する際の居室の整備が不可欠。

「恒常的な予算措置が不可欠」



5) 研究所の新展開





全国共同利用・共同研究拠点化 6) 国際研究拠点化



○エネルギー理工学分野

期間: 1998-2007(10年間)
拠点校: 京都大学・ソウル国立大学
交流数: 毎年110~130件
成果: セミナー、夏の学校、共同研究、
共著論文(1000報以上)

参加機関数: 約60機関(日)、約70機関(韓)

日・タイ交流事業から SEEフォーラムへの展開 (JSPS戦略事業)

ラジャマンガラ工科大学(RMUTT)と
の間で科学研究協力協定の締結
(2001.2)

2006年11月に第
2回環境・エネルギーに関する国
際会議(第1回SEE
フォーラム)をバン
コクで開催



タイとの拠点研究: 日タイ交流事業からア
ジア太平洋地域への交流拡大(12カ国)

JSPS: アジア科学技術コミュニティ形成戦略事業

参加機関数: 12機関(日)、7機関(タイ)



コミュニティからの全共化への要請



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

プラズマ・核融合

太陽エネルギー

次世代
原子力材料

レーザー

プラズマ・核融合学会

原子力学会

日本高分子学会

電気化学会

材料学会

日本太陽エネルギー学会

エネルギー資源学会

核融合
ネットワーク

金属学会

加速器学会

生体関連化学部会

日本エネルギー学会

表面技術協会

生命化学研究会



今後の展開と目標

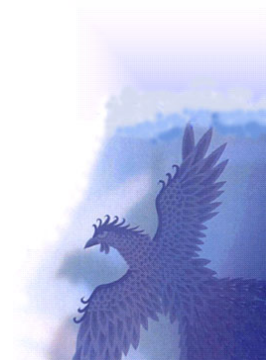


環境調和・社会基盤型エネルギーシステムの 実現に向けた「先進エネルギー理工学」の展開

- 先進エネルギー理工学研究の推進
- エネルギー理工学の総合的・先端的研究
- 現場における人材育成
- 国際的共同利用・共同研究の拠点形成
およびネットワークの構築



以下資料





研究開発事業(1)

双方向型共同研究

--核融合プラズマ制御--

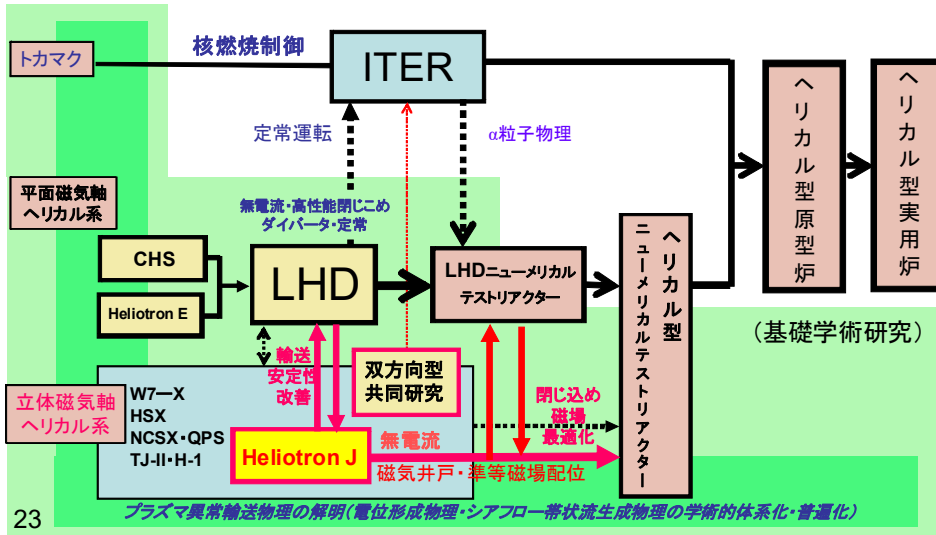


自然科学研究機構
核融合科学研究所 公募事業

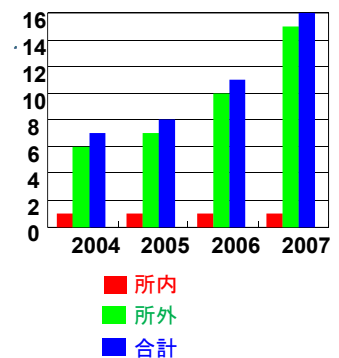
共同利用: 16機関

国内参加機関
の分布

- 学術的視点からの広範なコミュニティの要望に応える柔軟で機動的な「実験研究の場」を提供
- 次世代コンパクト・高ベータ・ヘリカル物理・工学設計の提示



国内参加機関数



23



研究開発事業(2)

先端研究施設共用イノベーション創出事業

--先進機能・エネルギー材料の開発・創製--

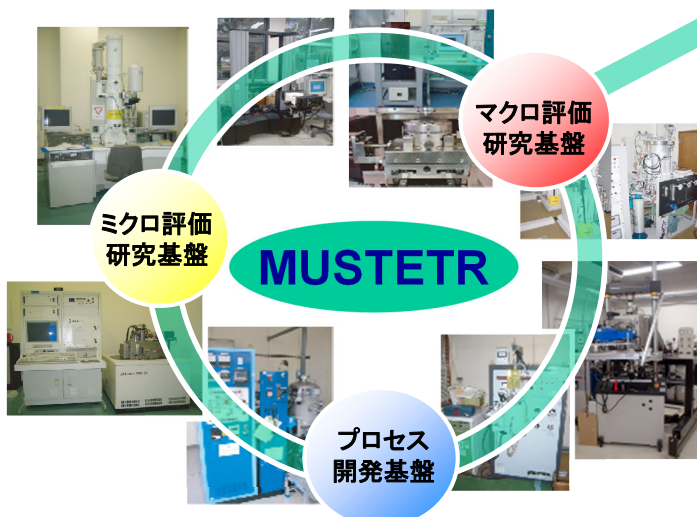


文部科学省 公募事業

共同利用: 民間10社

競争的資金を用いた
産学連携共同研究

- 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計画) 事業を開始 (H19-H23)
- 事業費による民間への機器装置使用料の無償化



DuET

共同研究・共同利用
・民間企業10社





研究開発事業(3)

原子力システム技術開発

--次世代原子力材料・燃料開発--



文部科学省 公募事業

共同研究: 8機関

○競争的資金: 総額 18.8 億円/5 年間

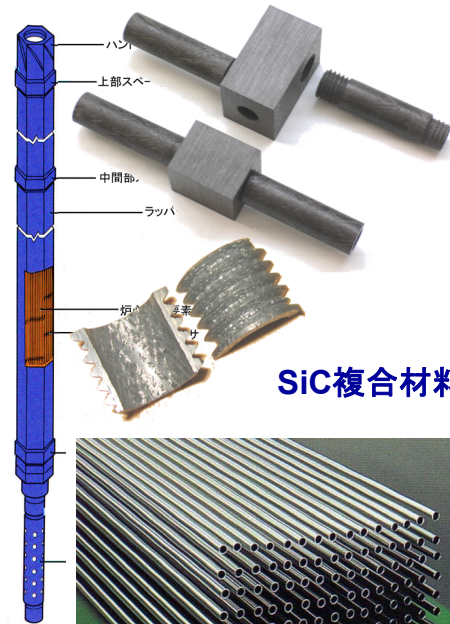
○旧実験棟の改修整備・実験装置の購入

共同研究機関

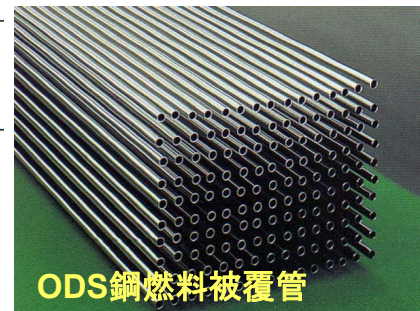
- ・京大エネ研(代表)、・コベルコ科研、
- ・JAEA、・NIMS、
- ・北大工、・名大工、
- ・宇部興産、・日本炭素

- ①原子力システム高効率化に向けた
高耐食性スーパーODS鋼の開発 (H17-H21)
- ②先進複合材中間熱交換器の技術開発 (H17-H21)
- ③ガス冷却高速炉用高燃焼度燃料の開発 (H17-H19)
- ④原子力システム構造材料の防食技術開発 (H18-H20)

炉心燃料集合体



SiC複合材料



ODS鋼燃料被覆管

25



研究開発事業(4)

太陽光発電システム未来技術研究開発

--次世代高効率太陽電池の開発--

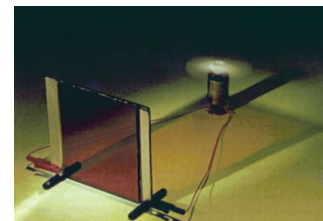


経済産業省 公募事業

共同研究: 5機関

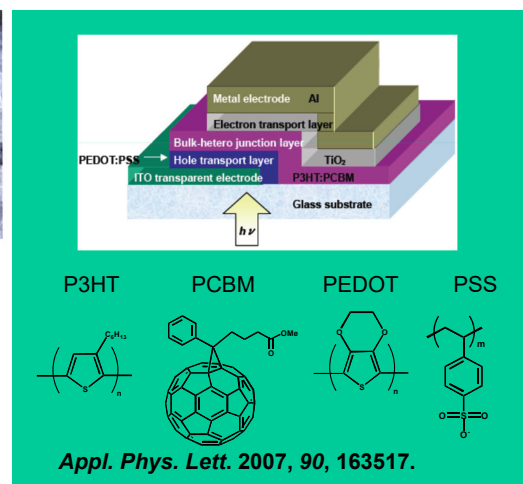
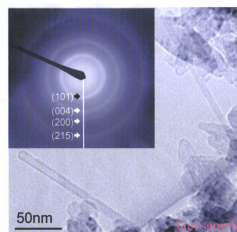
○新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)
(H18~H21)

○次世代太陽電池の高効率化



共同研究機関

- ・京大エネ研(代表)、
- ・化研、工学部、
- ・阪大工学部
- ・奈良先端科学技術大学
- ・大阪市立工業研究所
- ・新日本石油



- ◆大気中プロセスでは国内トップの効率
(4%)と安定性(大気下100時間光照
射で効率低下6%以下)を達成。

26



研究開発事業(5)

21COE事業

--エネルギー研究教育拠点形成--



文部科学省 公募事業

平成14年度～平成18年度



グローバルCOEへの展開を計画

「CO₂ゼロ排出社会をめざすエネルギー科学
—未来を担う人材育成のための拠点形成—」



27

研究開発事業(6)

小型放電型核融合中性子源の開発

-- 慣性静電閉じ込め(IEC)核融合 の 高性能化 と 利用



文部科学省 公募事業

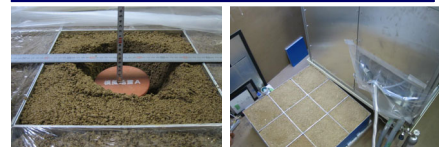
共同研究: 10機関

○JST 戦略的創造推進事業「対地雷探知への応用」
を開始(H14～H19)

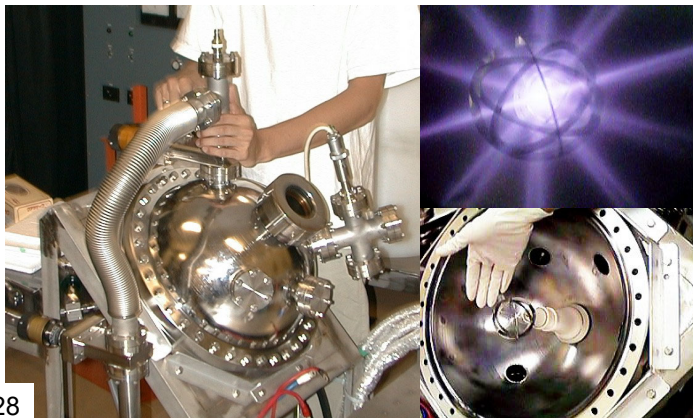
○国内・国際研究ネットワークの中核

京大エネ研(代表), 東工大総理工, 関大, 京大原子炉, (株)日揮,
東工大原子炉, 九大, 原研, 若狭湾エネルギー研, 神船大

小型可搬, 出力可変, 安全, 長寿命
中性子発生率 > DC 10⁷/sec



模擬地雷(TNT, RDX)を用いた性能評価試験を実施。爆薬成分(窒素・水素)の検出に成功



● 国際共同研究への展開

国際原子力機関(IAEA) 共同研究事業として認定

IAEA Coordinated Research Project

「中性子による不正物質・爆発物の探知」
(H16～H21)

参加国: 日本 (国内組織代表: 京大エネ研),
ロシア, 米国, オーストラリア, アルゼンチン,
ポーランド, チリ, スイス, エジプト, 南ア, ニュー
ジーランド, オランダ, グルジア

28



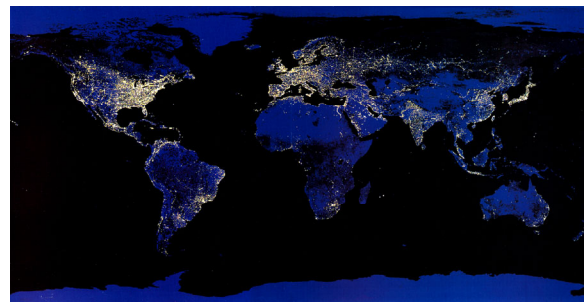
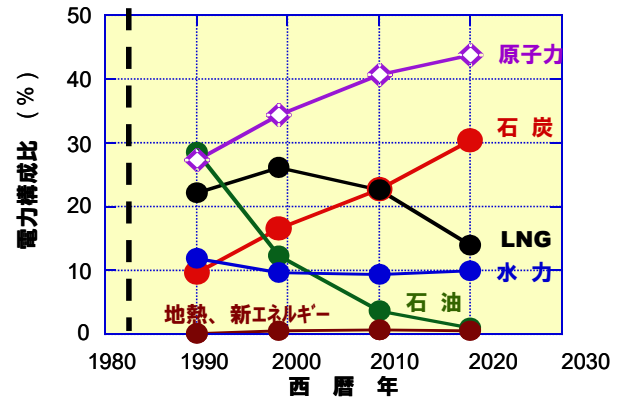
研究開発事業(7)

原子力人材育成・基盤技術分野 --圧力容器の高経年化対応のための材料技術開発--



経済産業省 公募事業

- 原子力研究の推進と若手研究者の養成
- 実験装置の整備や学生の教育 (H19-H21)



29



研究開発事業(8)

学内研究ユニットへの参画

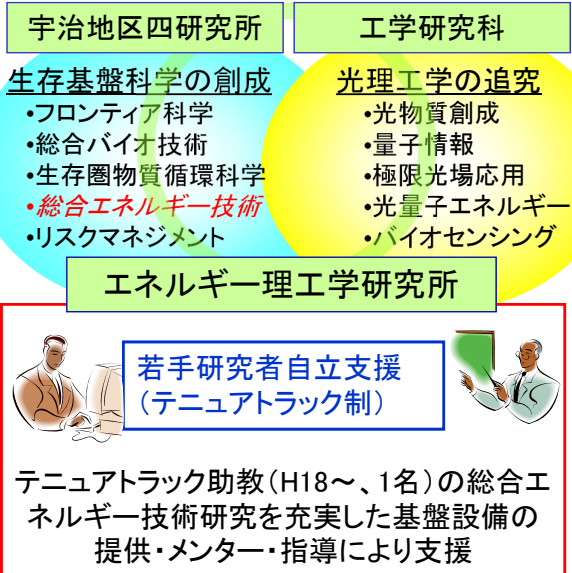


生存基盤研究ユニット



次世代開発研究ユニット

科学振興調整費
若手研究者の自立的な研究環境整備促進プログラム

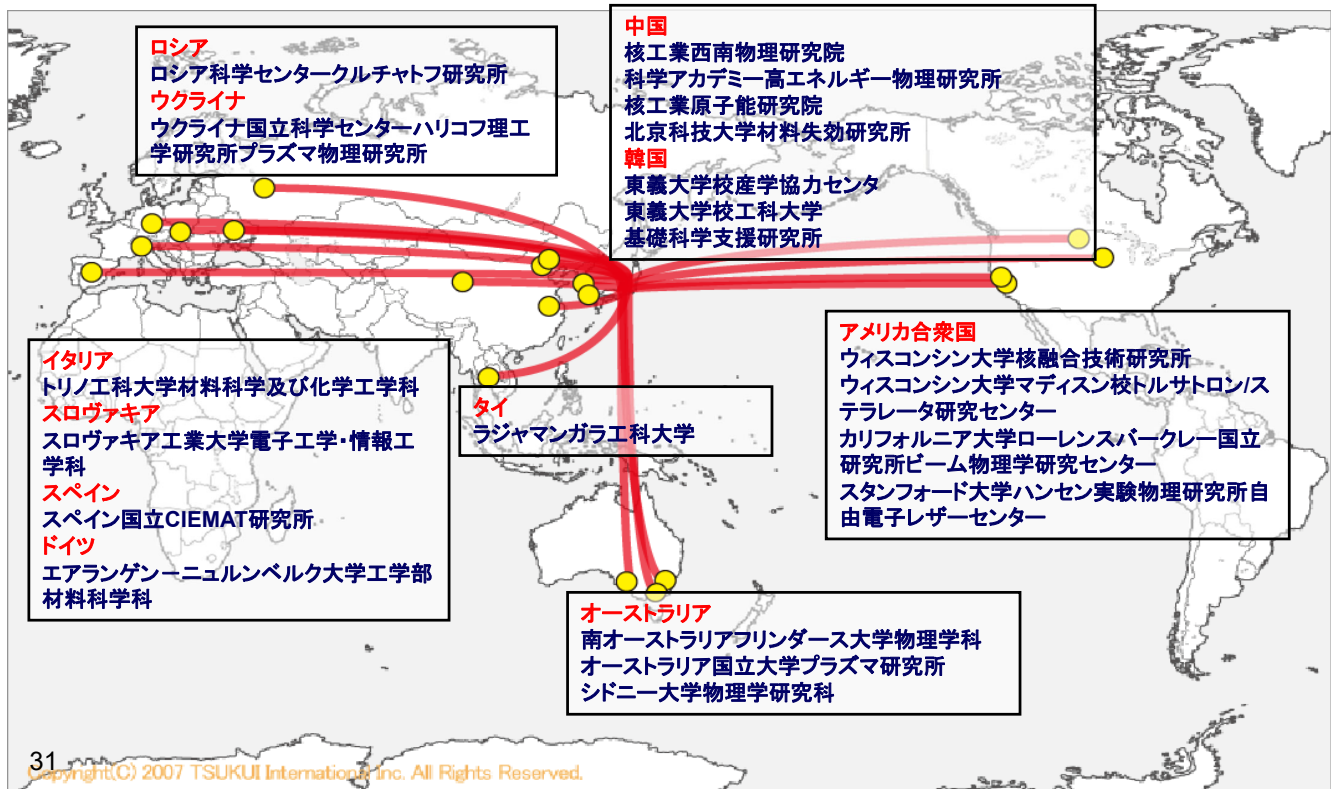


30

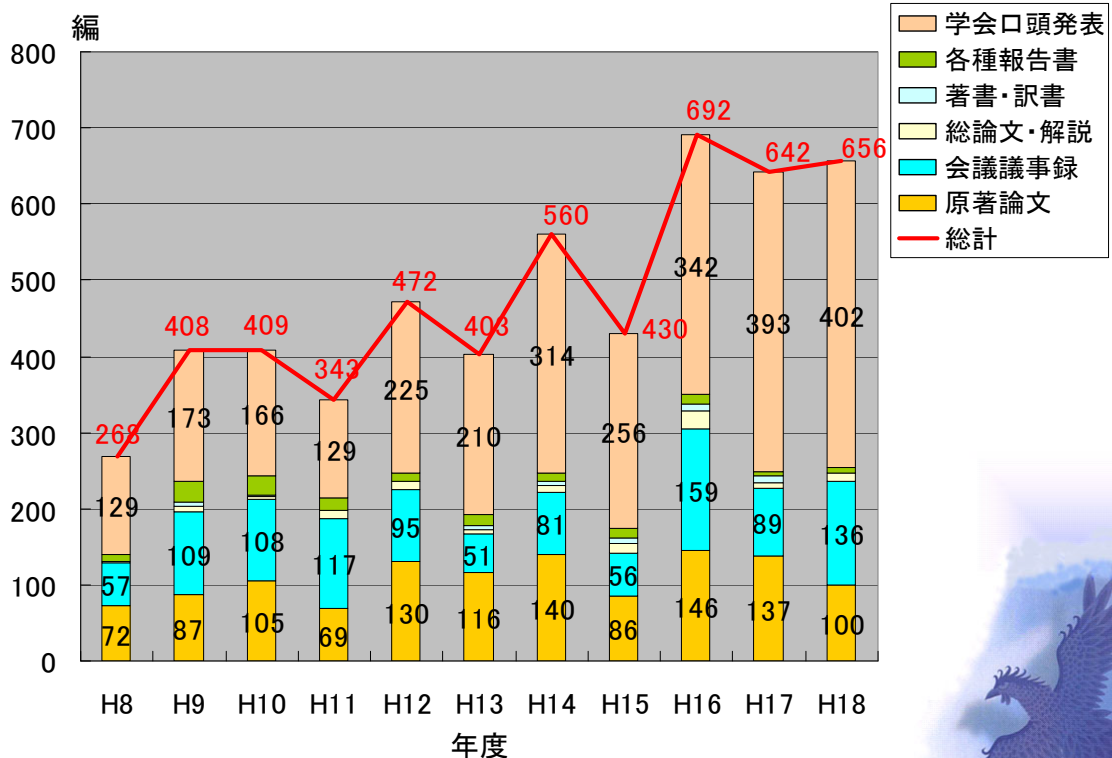


国際学術交流協定締結機関

11カ国、22機関



研究発表件数の推移



京都大学エネルギー理工学研究所#
外部評価報告書#

平成 53 年 6 月 発行#
京都大学エネルギー理工学研究所#
在り方検討委員会#
〒944-0344 宇治市五ヶ庄#
WHO 番号: 706;06733#
ID 番号: 706;06744#
