

11. エネルギー科学研究科

I	エネルギー科学研究科の研究目的と特徴	・ 11-2
II	分析項目ごとの水準の判断	・ 11-5
	分析項目 I 研究活動の状況	・ 11-5
	分析項目 II 研究成果の状況	・ 11-7
III	質の向上度の判断	・ 11-9

I エネルギー科学研究科の研究目的と特徴

エネルギー科学研究科は、人類の持続的な発展のための最重要課題であるエネルギー・環境問題を解決するため、多岐に渡る学問領域を結集して平成8年度に創設された。本研究科は、エネルギーを基盤とする持続型社会の形成を目指して、理工系に人文社会系の視点を取り込みつつ新たな複合領域「エネルギー科学」を創出し、地球社会の調和ある共存に寄与する、循環型かつ環境調和型エネルギーシステムの構築に貢献することを目標としている。

表1に示すように、現在エネルギー科学研究科は、①エネルギー社会・環境科学専攻、②エネルギー基礎科学専攻、③エネルギー変換科学専攻、および④エネルギー応用科学専攻、の4専攻より構成され、それぞれ、

- ① エネルギー・環境問題の技術的、社会的、政治的、経済的、環境的側面からの総合的分析・評価に基づく、理想的なエネルギーシステムの構築、
 - ② 物理化学、材料化学、電気化学などの「化学」と、量子力学、電磁気学、プラズマ物理学などの「物理学」を基盤にして、エネルギー・環境問題解決に貢献するエネルギー科学の基礎学理の構築、
 - ③ 各種エネルギーの変換、制御、利用などに関する学理とその総合化、ならびに、未来のエネルギー変換システムとその機能設計による高効率クリーンエネルギー利用システムの構築、
 - ④ エネルギーの応用と利用に関する熱科学を基礎として、資源エネルギー安定供給システムの創出、エネルギー有効利用新プロセスと機器の開発、および高品位エネルギーと先端エネルギー応用の新技術の開発、
- を目的として研究を進めている。

表 1 エネルギー科学研究科各専攻の研究目標と組織構成（平成19年3月現在）

「京都大学大学院エネルギー科学研究科外部評価報告書」（平成19年9月発行）より編集

専攻名	研究目標	分野名（計22分野）	学内協力部局 （教育・研究）
エネルギー社会・環境科学専攻	社会や環境と調和した望ましいエネルギーシステムの構築	5分野：エネルギー社会工学、エネルギー経済、エネルギーエコシステム学、エネルギー情報学、エネルギー環境学	エネルギー理工学研究所、原子炉実験所、人間・環境学研究所
エネルギー基礎科学専攻	エネルギー・環境問題解決に貢献するエネルギー科学の基礎学理の構築	6分野：エネルギー化学、量子エネルギープロセス、機能固体化学、プラズマ・核融合基礎学、電磁エネルギー学、プラズマ物性物理学	エネルギー理工学研究所、原子炉実験所
エネルギー変換科学専攻	高効率クリーンエネルギー変換・利用システムの構築	4分野：熱エネルギー変換、変換システム、エネルギー材料設計、機能システム設計	エネルギー理工学研究所

エネルギー応用科学専攻	エネルギー資源の開発とその応用、利用材料の開発、創製、プロセスング	7分野：エネルギー応用基礎学、応用熱科学、高温プロセス、材料プロセスング、資源エネルギーシステム学、資源エネルギープロセス学、宇宙資源エネルギー学	エネルギー理工学研究所
-------------	-----------------------------------	---	-------------

もとより、複合領域「エネルギー科学」は原子力、石油、石炭などの一次エネルギーから電力などの二次エネルギー、さらにはエネルギー貯蔵、輸送、変換、社会経済と政治、環境などの膨大な分野を含み、かつこれらが密接に関連する大変複雑な領域であるので、一研究科で全てをカバーし得ないことは言うまでもない。研究科の目標はこれらの中の幾つかの分野で卓越した研究成果をあげつつ、この複合領域の教育研究の核（COE）となり、他組織と協力して優れた人材を育成する体制を確立することにより、これに向かって一歩一歩着実に前進することが重要である。

この観点から、エネルギー理工学研究所および生存圏研究所と共同で 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」（H14-H18）を推進し、太陽エネルギー（太陽電池、核融合、宇宙太陽光発電）、水素エネルギー、バイオエネルギー、環境調和型トータルエネルギー評価、および教育の 5 タスクによる活動を軸に、持続可能社会のための新エネルギー研究教育拠点の構築を目指した。研究科の第一期中期目標・中期計画としては、このプログラムの遂行に加えて、教育を含めより広く、長期的な観点から以下の研究目標を掲げた。

- (1) 新しいエネルギー資源の発見や既存資源の調査と評価に基づきデータベースを構築するとともに、既存、ならびに後述の近未来、21 世紀中葉以後の各エネルギー源について、それらの高効率利用や実用化、高い安全性や信頼性を達成するため、材料、構造物、システムの解析、創製・加工・設計、評価技術の確立を目指す。さらに、環境調和型社会の構築を目指し、新エネルギーおよびその利用システムの社会受容性、経済性の評価手法の研究を推進する。
- (2) 地球温暖化の根源である化石エネルギーに代わる近未来の新エネルギーとして、太陽エネルギー、バイオエネルギー（バイオマスエネルギー）、水素エネルギー、燃料電池等のクリーンなエネルギーシステムの研究を推進する。
- (3) 21 世紀中葉以後におけるエネルギー源については、基幹エネルギー源として位置付けられる核融合の基礎研究を推進するとともに、半導体材料の加工等の材料プロセスや廃棄物処理等などへのプラズマの応用研究を進める。
- (4) 化石燃料や原子力などの既存エネルギーのより進んだ利用を図るため、二酸化炭素や汚染物質と地球温暖化や環境汚染との関連を明確にし、省エネルギーと環境負荷軽減の双方に寄与する高効率エネルギー変換・輸送・貯蔵システムの研究を推進する。

[想定する関係者とその期待]

官公庁、公的研究機関、民間企業などが行う研究開発・製品開発においては、エネルギー・環境問題への意識や解決の方法論・技術を身に付けた実務者ならびに研究者の育成、関連学術の発展を支える若手研究者の輩出が求められる。民間企業は、エネルギー関連新

技術・高効率化技術の原理開発と応用を期待し、本研究科は共同研究などの形でこれを実用技術に発展させることを目指す。また、環境調和型社会システム、新エネルギーの社会受容性などについての研究成果は、国や自治体、ならびに世界各国においてエネルギー政策に関係する組織・機関において施策に反映することが期待される。さらに、日常生活や従事する仕事において、一般市民がエネルギー・環境問題に対し積極的に行動する際の参考に、先端的研究成果に基づき最新技術の動向や問題解決の方法論などの情報を平易な形で公開することが求められる。

II 分析項目ごとの水準の判断

分析項目 I 研究活動の状況

(1) 観点ごとの分析

観点 研究活動の実施状況

(観点に係る状況) 表2の研究発表件数および表3の外部資金に示すごとく、活発な研究活動を展開している。具体的には以下のとおりである。

エネルギー社会・環境科学専攻：材料工学、経済学、農学（森林科学）、環境工学、電気工学、情報学、システム学などの研究分野を軸として、エネルギー科学への貢献を目的として研究活動を進めている。具体的には、エネルギーや資源の有効利用と評価システムの体系化に関する研究、エネルギーと環境に関わる問題のシステム学・経済学の側面からの研究、バイオマス資源の有効利用方策の研究、情報・通信技術を活用する新しいエネルギー・環境社会システムの構築、エネルギーに関わる大気環境問題の影響・現象解析と環境評価法の開発をテーマに研究を推進している。

エネルギー基礎科学専攻：化学と物理を基盤にして、エネルギー・環境問題解決のための基礎学理構築を目指し、燃料電池・水素エネルギーシステムによる電気化学的エネルギー変換、熔融塩・イオン液体の物性・化学とエネルギー変換プロセスへの応用、固体酸化物の電子構造と光学物性、高機能材料の合成とマイクロキャラクタリゼーション、新規機能性セラミックエネルギー材料の構造解析と設計、リチウム二次電池の材料解析と設計、環境調和生体適合材料の開発、核融合プラズマの乱流輸送・MHD現象と構造形成に関する研究、高強度レーザーと物質相互作用による高エネルギー密度科学に関する研究、分光学的手法によるプラズマ挙動の解明、プラズマの平衡・安定性の理論的研究、電子サイクロトロン加熱による球状トカマクプラズマの無誘導生成法とプラズマ波動物理の研究などを推進している。

エネルギー変換科学専攻：熱機関およびこれを中心とする動力システムの高効率化と有害物質の排出防止、種々の熱エネルギー変換システム構築の基礎となる熱流体媒体の物理・化学過程の解明とその制御を行っている。さらに、電磁力応用機器のエネルギー効率の向上や精密な設計、健全性評価のために電磁気材料のモデル化と電磁機能を利用した非破壊評価を行っている。より一般的なエネルギー変換機器に要求される機能・変形・強度などの特性分析とそれに基づく新機能創出型材料の設計ならびに機器設計への応用、機能材料特性の解明と高機能知的材料システムの設計・創製ならびに材料・構造システムの非破壊計測・評価、などに関する研究・開発を推進している。

エネルギー応用科学専攻：エネルギー資源の開発とその応用、利用材料の開発と創製、及び新プロセッシング技術を目指し、環境調和型プロセスの物理化学、製鋼プロセスの熱化学、高付加価値金属の省エネルギー製造方法、熱電変換材料探索と熱電発電方法、循環指向型超軽量材料、ガスハイドレート生成・分解機構の解明、自動車軽量化のための成形法およびシミュレーション、高温固体金属の冷却機構、太陽・水素エネルギーシステムとナノ構造デバイス、微小重力・強磁場環境下の非平衡電気プロセッシング、超LSIのデバイスプロセス、環境調和型半導体材料の光物性とフォトニクスへの応用、超電導応用エネルギー機器、超低温冷媒の熱流動特性、などの研究を推進している。

表2 研究発表件数等（平成13～18年度、エネルギー科学研究科基幹講座のみの件数）
「京都大学大学院エネルギー科学研究科外部評価報告書」（平成19年9月発行）より編集

年度	原著論文	国際会議論文	総説論文	著書	受賞	特許 (出願中)
H13	132	61	21	25	3	9
H14	116	71	21	16	2	8
H15	143	76	16	13	3	14
H16	155	104	21	24	7	16
H17	201	80	12	40	8	22
H18	161	131	16	21	10	29
H19						

表3 外部資金

「京都大学大学院エネルギー科学研究科外部評価報告書」（平成19年9月発行）より編集

年度 区分	平成 13年度	14年度	15年度	16年度	17年度	18年度	19年度 (11月末)
科学研究費 補助金	99,500	144,300	152,540	149,890	134,864	97,720	105,230
受託研究	119,698	28,544	59,636	32,628	71,452	63,529	129,900
共同研究	25,641	35,193	40,850	37,080	26,312	13,347	47,404
奨学寄付金	32,910	52,952	22,757	22,990	18,090	18,400	13,700
その他 補助金	34,616	30,940	39,533	34,424	14,586	3,770	7,280
科学技術振 興調整費	0	0	7,372	0	0	0	0
21COE 分担*) (総額)	-	187,548 (323,000)	168,387 (290,000)	145,161 (250,000)	145,208 (250,800)	134,806 (232,166)	-
計	328,763	479,478	490,715	422,173	410,512	340,167	303,814

*) 事業推進担当者数による比例配分額

観点 大学共同利用機関、大学の全国共同利用機能を有する附置研究所及び研究施設においては、共同利用・共同研究の実施状況

(観点に係る状況) 該当無し

(2) 分析項目の水準及びその判断理由

(水準) 期待される水準を上回る。

(判断理由) 「エネルギー科学」という新しい複合領域に向かって、先進的な教育研究体制の確立を目指している研究科・専攻であるから、もとよりその水準を単純に他と比較す

ることは適当ではないが、地球環境問題への世界的な関心の高まりを背景として、「エネルギー科学」に関連する諸分野において顕著な研究成果を着実に上げていることから、研究科・専攻の研究活動の水準は非常に高いと判断される。表2に示すように原著論文件数（4-5報/人・年）や特許出願件数などは高いレベルを維持するだけでなく、増加傾向にある。また、総説論文や著書などの執筆、公開講座等により、啓蒙活動にも貢献している。

分析項目 II 研究成果の状況

(1) 観点ごとの分析

観点 研究成果の状況(大学共同利用機関、大学の全国共同利用機能を有する附属研究所及び研究施設においては、共同利用・共同研究の成果の状況を含めること。)

(観点に係る状況)

エネルギー社会環境科学専攻：エネルギー科学における複合領域研究の確立に貢献する成果を上げている。具体的には、建物の省エネルギーを大幅に推進可能な化学真空ポンプの開発、エネルギー制度策定を目的としたロバスト制度設計手法の開発、再生可能エネルギーの利用と環境負荷削減を目的とした超臨界流体法の開発、人工現実感技術を用いたエネルギープラント保守技術の開発、エネルギー利用評価のための環境負荷の影響分析とデータベースの構築があり、これらはすべて、エネルギーに関わる技術開発と社会科学の双方の視点に基づいて研究されたものである。エネルギー科学分野研究の成果が着実に得られていることは、この新しい研究分野が確立されつつあることを示すものである。

エネルギー基礎科学専攻：水素エネルギーシステム構築の一翼を担う次世代燃料電池の分野において以下の成果を上げた。①独自に開発したイオン液体を電解質とした新規発電原理による中温無加湿運転が可能な燃料電池を提案し、その運転を実証し、一定の性能向上に成功した。②独自に開発した固体電解質を用い、セル構造が簡単で、燃料と空気の混合ガスで運転が可能、スタック化が容易などの長所をもつ、一室型燃料電池の開発に成功した。また磁場閉じ込め方式炉心プラズマ分野において以下の成果を上げた。③プラズマの臨界勾配近傍でのイオン温度勾配乱流に起因する間欠的輸送現象を見出し、核融合プラズマの乱流輸送の制御に向けて重要な指針を与えた。④中心ソレノイドを要しないコンパクトな先進トカマク炉の実現に向けた基礎実験を推進し、電子サイクロトロン加熱・電流駆動により無誘導的に球状トカマクを起動できることを原理実証した。

エネルギー変換科学専攻：専攻の特徴を活かした研究活動を推進することにより、十分な成果を上げている。特に、ディーゼルおよび天然ガスエンジンの燃焼制御の高度化と燃焼制御方針の立案、液体噴霧およびガス噴流の着火・燃焼メカニズムの実験的・理論的解明、直接噴射方式の採用による水素エンジンの高性能化、熱流体計測法の開発と乱流混合解析、新しい疲労き裂成長モデルの提案とそれによる疲労寿命評価手法の開発、材料微視組織の不均一性を考慮した応力・ひずみ場の解析手法の構築、電磁一力学相互作用、非線形性、ヒステリシス等を考慮に入れた電磁気材料の3次元構成式の確立、小型高感度磁気センサや圧電皮膜、磁気音弾性法、電磁超音波探触子を利用した高精度非破壊評価法の開発、などに関する研究において特段の成果が認められている。

エネルギー応用科学専攻：省資源・省エネルギーさらにリサイクルシステムを意識した地球環境調和型プロセスの展開と、それを支えるエネルギー応用科学の確立に関し、主として材料科学の方面で卓抜した成果を上げている。具体的な成果として、「バイオマス等廃棄物の利用により、水素、COを生産し、CO₂を排出しない新しい製鉄法の確立」、「ナノポー

ラス金属の創製と特性評価」、「形状制御された金属ナノ構造物の製造」、「太陽電池用化合物半導体薄膜の電析」、「シリサイド・エレクトロニクス、スピントロニクスおよびそれに関連した複合物質」、「超流動ヘリウムによる大型マグネット用超電導導体の冷却と安定性向上」、「加工プロセスにおける材料の成形限界予測シミュレーション」などの他、「資源・エネルギー、人材育成を中心とした我が国の技術レベル」に関する論説などもあり、いずれも高い評価を受けている。

(2) 分析項目の水準及びその判断理由

(水準) 期待される水準を上回る。

(判断理由) 上記および研究業績説明書(Ⅱ表)に記載のとおり、専攻それぞれの研究目標にかなった各分野において世界的成果を上げている。またこれらの研究活動は、エネルギー科学研究科の設立理念に沿う形でエネルギー理工学研究所と生存圏研究所の研究活動と相補的に協同し、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」が推進された。その成果をもとに、再生可能エネルギーとエネルギー貯蔵技術の開発によりCO2排出量を2004年比で50%削減を可能にする「2030年エネルギー需給シナリオ」を提言できた。(参考：冊子「21COE成果報告書」(平成19年3月発行)、冊子「2030年エネルギー需給シナリオ」(平成19年3月発行))

Ⅲ 質の向上度の判断

①事例1「プロジェクト」(分析項目Ⅰ研究活動の状況)

(質の向上があったと判断する取組) エネルギー科学研究科の理念と研究成果をもとに「エネルギー科学」に関する多くのプロジェクトが認められ推進された。

1. 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」
2. 文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「エアロゾルの大気環境影響」
3. NEDO「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発」
4. NEDOプロジェクト「固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発/次世代技術開発」
5. 文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「イオン液体の科学」
6. 高経年化対策強化基盤整備事業「溶接部のハイブリッド非破壊検査技術の評価法開発」
7. 原子力システム研究開発事業「不溶性陽極を用いた革新的酸化乾式再処理プロセス技術の開発」

②事例2「受賞」(分析項目Ⅱ研究成果の状況)

(質の向上があったと判断する取組) 表2に示すように受賞者数および特許出願数がともに増加した。