

大学におけるエネルギー教育 —京都大学エネルギー科学研究科における取り組み—

University Education on Energy Science - Education System at Graduate School of Energy Science, Kyoto University -

伊藤 靖彦*

Yasuhiko Ito

1. はじめに

私たち人類の暮らしにおいて、エネルギーはなくてはならない存在です。しかも、生活水準の向上と今後の発展途上国を中心とした人口の増加とによって、その需要はますます増大すると思われます。一方で、地球環境の保全は現代に生きる我々にとって、我々自身のテーマであると同時に子々孫々から課せられた深刻なテーマであります。

我々は、今、エネルギー消費を最小限に抑えることで環境の保全を図りつつ、なお生活水準の向上が達成できるような方策を探るとともに、環境と調和した新エネルギー・代替エネルギーの開発に取り組むことを要請されています。

このような時代の背景、社会の要請を受けて立つ形で、平成8年4月、わがエネルギー科学研究科が世界に先駆けて創設されました。

以来3年、エネルギー科学研究科は、21世紀のエネルギー問題・環境問題を展望しつつ、新しいエネルギー科学の学域の創生、エネルギー科学の専門的学識をもつ人材の養成、社会との連携の強化および社会人などの再教育、などを目標に掲げて教育・研究活動を展開し、着々と成果をあげてきております。

本稿では、これらの中から特に教育面に焦点を絞って説明します。

2. エネルギー科学研究科の構成

まず、簡単に本研究科の構成について説明しておきます(表1)。本研究科は、基幹講座22分野、協力講座16分野で構成され、そのうち、エネルギー社会・環境科学専攻に基幹講座5分野・協力講座2分野が、エネルギー基礎科学専攻に基幹講座6分野・協力講座8

分野が、エネルギー変換科学専攻に基幹講座4分野・協力講座3分野が、エネルギー応用科学専攻には基幹講座7分野・協力講座3分野が所属しています。また、それぞれの専攻には客員講座が一つずつ設けられ、社会・環境科学専攻には寄附講座も一つ設置されるなど、先進的・境界領域的な研究分野がカバーされています。さらに、エネルギー理工学研究所の1分野が、実質的なエネルギー社会・環境科学専攻の協力講座の1分野としての機能を果たしています。

教官の専門とする基盤の学問領域は、工学、理学、農学、経済学など、多岐にわたっています。

3. 入学試験

学生定員は、修士課程では1学年あたり、エネルギー社会・環境科学専攻29名、エネルギー基礎科学専攻37名、エネルギー変換科学専攻17名、エネルギー応用科学専攻26名の、合計109名となっています。また、博士後期課程では1学年あたり、エネルギー社会・環境科学専攻12名、エネルギー基礎科学専攻17名、エネルギー変換科学専攻8名、エネルギー応用科学専攻12名の、合計49名となっています。

入学試験は、

(1) 社会に役立つ人材として巣立ってくれる優秀な素質をもった人々を、国内、国外を問わず広く門戸を開いて迎え入れる。

(2) 研究レベルの向上につながる優秀な人々を学生として迎え入れる。

(3) 社会人としてすでに多種多様な知識、経験を有する人々をも学生として迎え、教育・研究に深さと幅をもたせる。

等の基本的な考え方を踏まえて、次の原則によって実施しています。

(1) 入試は専攻単位で実施する。

(2) 異なる専攻にまたがった分野志望が一定の枠内で可能なようにする。

* 京都大学大学院エネルギー科学研究科 研究科長・教授
〒606-8501 京都市左京区吉田本町

表1 エネルギー科学研究科の構成

(a) エネルギー社会・環境科学専攻

講座名	分野名	内 容
社会エネルギー科学	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 ソフトエネルギー科学(協力)	エネルギー生産、貯蔵、分配、利用、廃棄についての工学的・生態学的側面と経済性、安定性、環境調和性などの側面とを総合的に評価し、これを基に複雑な政治的、経済的特徴を持つ社会システムのあり方について教育・研究します。
エネルギー社会環境学	エネルギー情報学 エネルギー環境学	社会・環境との調和性の観点からエネルギーの生産、貯蔵、輸送、変換、利用、廃棄に至るエネルギーシステムの設計・評価法ならびにシステム安全のあり方について教育・研究します。
エネルギー社会論 (協力講座)	エネルギー政策学 エネルギー社会教育	エネルギー安全保障の国際的・技術的諸問題と核防護などに関する政策論およびエネルギー問題の社会教育法に関わる諸問題について教育・研究します。
国際エネルギー論 (客員講座)		エネルギーの高度な、また多量の利用が先進国に集中している現状から、発展途上国やその他の国々においてエネルギー利用が将来増大へと進む事態へ移行する際に惹起すべき諸問題の予測と対処法について教育・研究します。
エネルギー社会システム計画 (関西電力寄附講座)		「経済・エネルギー・環境」のトリレンマ問題克服のための地域共生型エネルギー社会システムの総合計画手法を明らかにし、さらにこれを社会に提言するための情報ネットワーク技術を用いたコミュニケーション手段の創出について教育・研究します。

(b) エネルギー基礎科学専攻

講座名	分野名	内 容
エネルギー反応学	エネルギー化学 量子エネルギープロセス エネルギー固体化学	量子、熱、化学、電気などの各種エネルギーの発生、制御、変換に関わる素過程、反応、プロセス、物質、および材料について、化学に重点を置いた教育、研究を行います。
エネルギー物理学	核融合基礎学 電磁エネルギー学 プラズマ物性物理	エネルギー基礎科学における物理的諸過程の総合的理解を深めるために、力学、電磁気学、統計力学、物性物理学等を基盤として、非線形物理学、電磁エネルギー学などのエネルギー物理の教育・研究を行います。あわせて、核融合エネルギーの利用を目指して、その原理と手法を追求します。
基礎プラズマ科学 (協力講座)	核融合エネルギー制御 高温プラズマ物性	高温プラズマの運動論的・磁気流体的な学理を追求し、その平衡・安定性・輸送および加熱などの挙動を解明していくための教育・研究を行います。さらに、多様な極限状態におけるプラズマ物質の挙動の解明や、核融合システムに固有なプラズマ制御の原理と手法を追求します。
エネルギー物質科学 (協力講座)	物質反応化学 分子化学工学 エネルギー複合材料化学 エネルギー物質循環	物質とエネルギーの相互作用における化学的諸過程について、量子素過程から物質集合体間の反応にいたるまで、ミクロとマクロの両視点を結ぶ幅広い学域の教育・研究を行います。あわせて、エネルギー資源の合理的利用技術の化学的原理と手法を追求します。
核エネルギー学 (協力講座)	中性子基礎科学 極限熱輸送	核変換エネルギーの安全かつ効率的な発生・利用システムの開発を目的として、核変換エネルギー発生システムの学理と設計手法、さらにはエネルギー輸送・貯蔵技術の新しい原理と手法を追求します。
先進エネルギー生成学 (客員講座)		第一線の研究者を指導教官に迎え、エネルギーの生成・変換に関わる新しい原理の発見、先進的学理の探求、さらには先導的技術基盤の構築などについて教育・研究を行います。

(c) エネルギー変換科学専攻

講座名	分野名	内 容
エネルギー変換システム学	熱エネルギー変換 変換システム	エネルギーの変換、輸送、機能設計、構成要素に関わる基礎学理を統合して、高効率、安全かつ環境に調和するエネルギー変換システムのあり方を探求するとともに、評価、設計、制御などの基礎とその方法論を構築するための教育・研究を行います。
エネルギー機能設計学	エネルギー材料設計 機能システム設計	エネルギーを高効率で変換、輸送、貯蔵するために、各種機器とそれらで構成されるシステム全体が具備すべき機能、その変換の多様化のための原理、またシステムのハードウェア構築に必要な材料、機器およびソフトウェアの設計、その信頼性と安全性の基礎と応用についての教育・研究を行います。
エネルギー機能変換 (協力講座)	高度エネルギー変換 高品位エネルギー変換 機能エネルギー変換	高効率、安全かつ環境に調和するエネルギーの変換プロセスの解明とシステムの構築のために、エネルギーの発生・変換・貯蔵・利用に関する学理の確立とその応用・評価、ならびに機能変換システムについて、光科学、熱化学、先進原子力など、多角的な視点から教育・研究します。

講座名	分野名	内 容
先進エネルギー変換 (客員講座)		エネルギーの発生・変換・制御や輸送・循環・利用のプロセスとシステムに関わる量子的過程, 反応素過程, 不均一系化学反応, 熱・物質・電荷の移動現象について, 基礎と応用の両面から探求していくための教育・研究を行います。

(d) エネルギー応用科学専攻

講座名	分野名	内 容
応用熱科学	エネルギー応用基礎学 プロセスエネルギー学	エネルギーの応用と利用に関する熱科学の基礎と応用に関して, 諸現象の解明と探求, ならびにこれらを支える基礎科学について教育・研究を行います。
エネルギー応用 プロセス学	高温プロセス 材料プロセス学	エネルギーを有効に利用するためのエネルギー材料の創製・開発・プロセス学, またその基礎原理に関する教育・研究を行います。
資源エネルギー学	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	資源エネルギー安定供給システムの創出, 高効率エネルギープロセスの開発, さらに宇宙環境など極端条件下のエネルギー材料プロセス学について研究・教育を行います。
高品位エネルギー応用 (協力講座)	機能変換材料 エネルギー材料物理 高品位基盤エネルギー	社会的受容性の高い基盤エネルギーの発生と応用, またエネルギー機能変換について, 新技術の開発を目指した教育, 研究を行います。
先端エネルギー応用学 (客員講座)		新しいエネルギーとして考えるエネルギーの開発と利用, 再生可能なエネルギーについて原理, 実現のための必要事項, 方法などについて教育・研究を行います。

表 2 入試科目の例 (修士課程)

専 攻	試 験 科 目
エネルギー社会・環境科学専攻	専門基礎: 数学 (5 問中 3 問選択) 専門科目: 材料学, 社会・環境学, 森林資源学, 電気・電子情報学, 環境学, 原子力学, 国際論, 化学・生化学から各 2 問計 16 問中 2 問選択 小論文 英語 口頭試問
エネルギー基礎科学専攻	基礎科目: 物理系, 化学系それぞれ 1 問から, いずれかを選択 専門科目: 数学 I, 数学 II, 量子力学, 電磁気学 I, 電磁気学 II, 熱・統計力学, 中性子物理学, 材料物性学, 物理化学, 分析化学, 無機化学, 化学工学, 有機化学の計 13 問から 3 問選択 (ただし数学は 1 問以下) 英語 口頭試問
エネルギー変換科学専攻	専門科目 I: 数学, 熱力学, 連続体力学, 物理化学, 電磁気学の計 5 科目から 2 科目を選択 専門科目 II: エネルギー変換科学に関する機械工学, 電気工学, 工業化学, 材料工学, エネルギー応用工学などの分野から 1 問を選択 エネルギー変換科学に関する小論文 英語 口頭試問
エネルギー応用科学専攻	専門科目 I: 工業力学, 流体力学, 物理化学基礎, エネルギー熱化学, 材料基礎学, 電磁気学の 6 科目から 2 科目を選択 専門科目 II: 伝熱工学, 分離工学, 資源エネルギー論, 統計熱力学, エントロピー工学・化学熱力学, 材料量子化学, 計測学, 電気回路の 8 科目から 2 科目を選択 英語 口頭試問

例えば修士課程では、各専攻での出題にあたって、受験生の今まで受けてきた教育基盤の学問領域が多岐にわたっている点に配慮して、全ての受験生に同一の試験問題を課して、その成績により一律に合否を判定するのではなく、基礎的な学力を評価しつつ、さらに複数の問題の中から出身学部・学科に応じて受験生が得意とする問題をいくつか選択して回答できるような工夫もなされています。具体的な例を表2に示します。

入学試験の時期については、修士課程の4月期入学の場合には、前年8月となっています。一方、博士後期課程については、4月期入学の場合には前年8月（または9月上旬）と直前の2月の2回行われます。また、8月（または9月上旬）の入学試験に合格して直ちに直後の10月に入学となる場合もあります。

4. カリキュラム

次に、カリキュラムについて説明します。エネルギー問題の解決に資する人材を養成することは、エネルギー科学研究科の重要な使命の一つであり、そのためには、大学院の課程中に自然科学と社会科学の双方にわたる幅広い学識、およびそれらを総合的に活用する能力を養うことが必要です。そこで本研究科では、

(1) 自然科学と社会科学の双方を視野に入れた多彩な授業科目

(2) 自分の所属する専攻の開設科目のほか、他の専攻の開設科目も6単位以上修得することの義務づけ

(3) 他の専攻が開設している特別セミナーの必修

(4) 学外研究プロジェクトへの参加

(5) 先端領域、境界領域に関わる客員及び非常勤教官の招聘

等々を特徴とする、従来にはない新しいカリキュラムを取り入れています。

修士課程に入学した学生は、表3の授業科目を図-1のように履修することが要求されています。

図-1に沿って各群から合計30単位以上を修得し、かつ必要な研究指導を受けた上、修士論文の審査および試験に合格して「京都大学修士（エネルギー科学）」の学位が授与されることとなります。

博士後期課程については、開講科目を4単位以上履修し、かつ必要な研究指導を受けた上、博士論文の審査および試験に合格して「京都大学博士（エネルギー科学）」の学位が授与されることとなります。

ここで、修士論文、博士論文のための研究テーマについて、筆者らの研究室を例にとって触れておきます。

筆者の属する「エネルギー化学分野」は、エネルギー基礎科学専攻の内の一分野に位置づけられます。エネルギー基礎科学専攻を構成する14分野がカバーする領域は多岐にわたりますが、電子、イオン、プラズマ、中性子、光子などの振る舞いを様々な角度から解明し、エネルギーの発生、変換、輸送、貯蔵、利用に関わるプロセスや材料の開発につなげていくという、エネルギー基礎科学専攻の目標の大きな枠組みの中で、それぞれの分野にそれぞれの役割が期待されているといえるでしょう。その中で、私どもの研究室では、太陽光、原子力、化学エネルギーの変換と利用に関わる「プロセス」や「物質」を視野に入れつつ、次のような研究テーマに取り組んでいます。

(1) 燃料電池、水素エネルギーシステムなどの電気化学的エネルギー変換

(2) 熔融塩の物性・化学とエネルギー変換プロセスへの応用

(3) マテリアル・テーラリングによる新規な機能材料の創製と応用

(4) プラズマ、イオンビームなどと電気化学の境界領域の開拓

(5) レーザーラマン分光、中性子回折などによる物質構造の解明

いずれの研究にも大学院生が極めて重要な役割を担っており、それぞれが各自のアイデアを活かしてマイペースで研究を進めていますが、その中で、エネルギーに関する素養や研究姿勢、実験技術などを着実に身につけていくこととなります。また、それぞれの分野では、現在の専門分野にとらわれず、他の分野の専門領域を積極的に取り込んで学問領域の融合を図り、新たな展望を切り拓く努力も続けられています。例えば、筆者らの「エネルギー化学」の分野では、「熔融塩の科学と応用」を柱の一つとしていますが、熔融塩を「凝縮プラズマ」という概念で捉え直すと、熔融塩の本性及物性、応用について、プラズマに関連した物理学の分野から様々な示唆を得られそうだとの予感があります。また、プラズマ物理学の知見を積極的に取り込んで、プラズマ化学プロセスによるエネルギー材料創製などにも新たな指針を見出す可能性があると考えています。

5. 進路

卒業後の進路のことにも触れておきたいと思います。すでに、平成10年3月および11年3月には、「京都大学修士（エネルギー科学）」が誕生し、社会に巣立っ

表3 修士課程、博士後期課程の授業科目（平成10年度）

	修士課程		博士後期課程
エネルギー・社会・環境科学専攻	エネルギー社会・環境科学通論 エネルギー社会学・幸福論 リサイクル論 エネルギー経済論 エネルギー産業論 エネルギーエコシステム学 地球生態循環論 ヒューマンインターフェース論 エネルギーシステム設計論 エネルギー環境論 環境調和論	エネルギー政策論 エネルギー社会教育論 国際エネルギー論 エネルギー資源論 生体エネルギー学 環境経済論 エネルギー政治学 学外研究プロジェクト エネルギー社会・環境科学特別セミナー エネルギー社会・環境科学特別実験及び演習第1 エネルギー社会・環境科学特別実験及び演習第2	エネルギー社会・環境科学特論 エネルギー社会学特論 エネルギー経済特論 エネルギーエコシステム学特論 エネルギー情報学特論 エネルギー環境学特論 国際エネルギー特論
エネルギー・基礎科学専攻	エネルギー反応論 エネルギー物理化学 機能流体化学 エネルギー量子プロセス論1 エネルギー量子プロセス論2 エネルギー材料評価学 エネルギー固体化学基礎論1 エネルギー固体化学基礎論2 非線形電磁流体物理 非平衡統計物理 エネルギー放射論 応用数値物理学 物理的運動論 非中性プラズマ物性 電磁エネルギー制御	磁化プラズマ物性 光利用化学 流体物性工学 エネルギー複合材料化学 触媒機能化学論 エネルギー物質循環論 中性子媒介システム エネルギー輸送工学 エネルギー基礎科学特論1 エネルギー基礎科学特論2 エネルギー統計力学 学外研究プロジェクト エネルギー基礎科学特別セミナー エネルギー基礎科学特別実験及び演習第1 エネルギー基礎科学特別実験及び演習第2	エネルギー反応学特論 エネルギー量子プロセス特論 エネルギー固体化学特論 核融合基礎科学特論 電磁エネルギー学特論 プラズマ動力学特論 先端エネルギー基礎科学特論
エネルギー・変換科学専攻	エネルギー変換基礎通論 動力システム 熱機関システム学 熱エネルギーシステム設計 燃焼理工学 熱流体科学 塑性力学特論 エネルギー材料設計論 機能システム設計論 弾性波動論 システム強度論	高度エネルギー変換論 粒子線エネルギー変換 機能エネルギー変換論 先進エネルギー論 エネルギー変換システム論 バイオエネルギー変換論 学外研究プロジェクト エネルギー変換科学特別セミナー エネルギー変換科学特別実験及び演習第1 エネルギー変換科学特別実験及び演習第2	エネルギー変換基礎特論 環境保全科学 連続体熱力学 高効率エネルギー変換学 エネルギー変換効率論
エネルギー・応用科学専攻	エネルギー応用科学通論 応用電離気体科学 フォノン・電子エネルギー論 エネルギー応用基礎学 電力高密度利用工学 ギガエネルギープロセス工学 エネルギー材料学 水素エネルギープロセス論 エネルギー熱化学 資源エネルギーシステム論 海洋資源エネルギー論 数値加工プロセス エネルギー計算物理	エネルギー材料プロセッシング 地球環境調和型材料プロセス論 エネルギー媒体物理学 エネルギー機能変換材料 高品位基盤エネルギー論 エネルギー有効利用論 先進エネルギー論 エネルギー貯蔵学 未利用エネルギー開発学 学外研究プロジェクト エネルギー応用科学特別セミナー エネルギー応用科学特別実験及び演習第1 エネルギー応用科学特別実験及び演習第2	エネルギー応用科学特論 応用熱科学特論 エネルギー応用プロセス学特論 資源エネルギーシステム学特論 高品位エネルギー学特論 自然エネルギー応用学特論

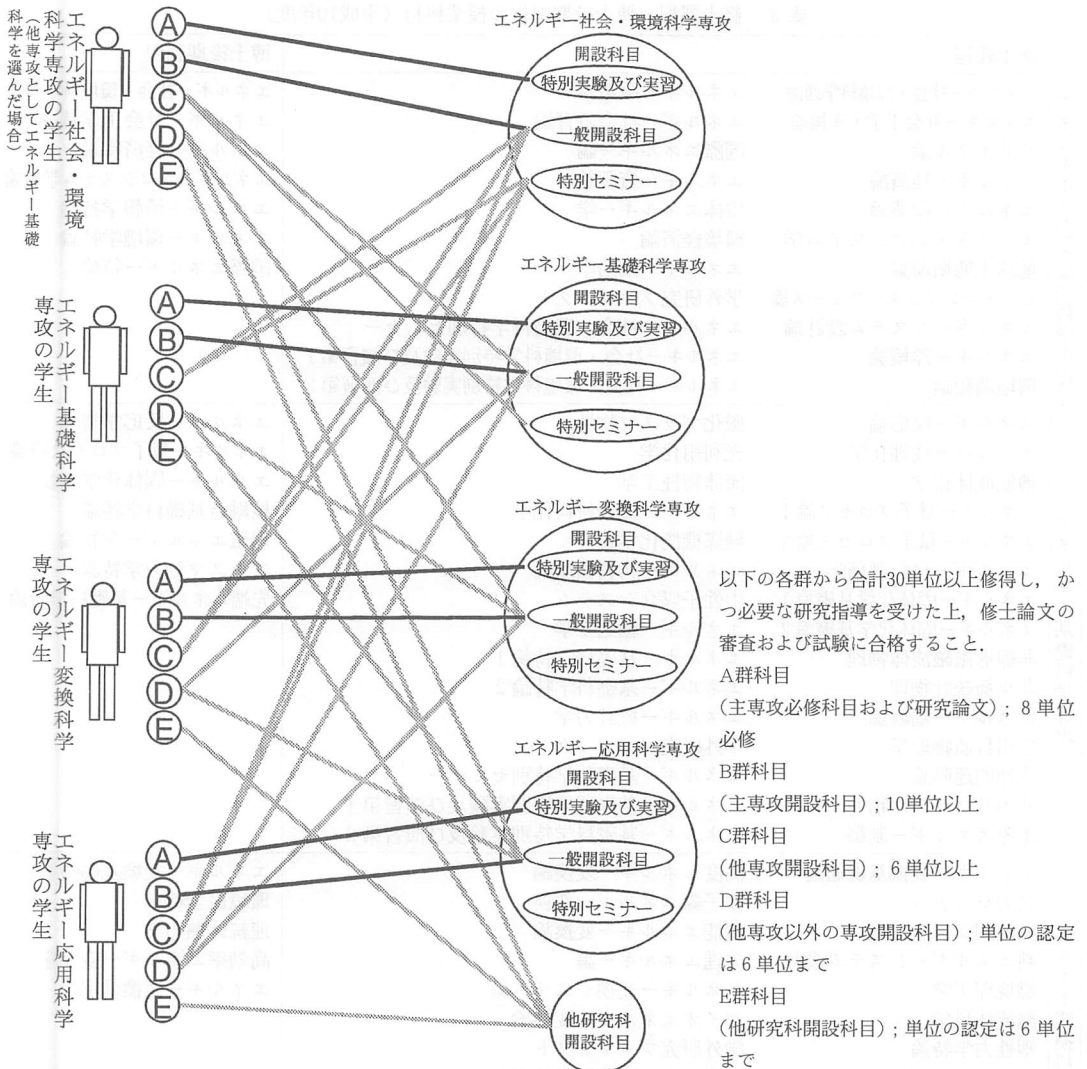


図-1 修士課程履修方法

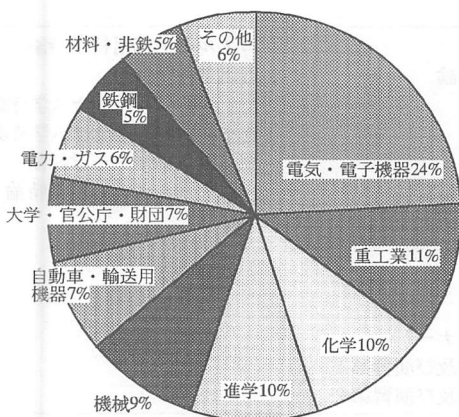


図-2 平成10年3月修士課程修了者の進路

ております。本研究科の第1期生たる平成8年度修士課程入学、平成9年度修了者の進路を図-2に示します。11名の博士後期課程進学者を除いて、大多数が平成10年4月に就職しています。就職先は、公務員、公社、電力、機械、化学、自動車、重工、鉄鋼、電機、非鉄、ガス、窯業、繊維、等々、多岐にわたっています。学生の希望通りの就職先をほぼ確保できたと自負していますが、さらに将来に向けての就職先の拡大を図るため、省庁や地方公共団体、各種の企業等へのプロパガンダを展開しています。

また、平成10年3月には、在学期間短縮による「京都大学博士(エネルギー科学)」が誕生し、以来、平成11年3月現在ですでに論文博士も含めて13名の「京

都大学博士（エネルギー科学）」の誕生をみております。

6. 学部教育

本研究科は、形式的には「独立研究科」のカテゴリーに属しています。しかし、これまでいくつかの大学に設置されている独立研究科においては、学部にいわゆる“足”を持たないものが多いため、全国から有能な人材を集めることができるという利点を持つ反面、同じ大学の優秀な学部学生の進学が、ともすればどこおる傾向にあります。そこで京都大学においては、エネルギー科学研究科の創設に際して、独立研究科ではあるが、学部との関わりでは学部の改組・再編によって生まれた他の研究科と同等かつ対等の立場に位置づけることになりました。例えば、工学部の教育には、工学研究科、エネルギー科学研究科、および平成10年4月に発足して同じ立場にある情報学研究科が対等の立場で携わることになっています。これは、学部の改組・再編によって生まれた他の研究科もすべて学部とは独立した組織になったという認識に基づくものです。従って、本研究科の基幹講座に属する教官は関連学部の学部教育を兼担し、学部における幅広い基礎教育に携わっています。すなわち、4回生の研究室配属では、エネルギー科学に関心をもつ学生を受け入れて卒業研究を指導することになります。4回生の研究室配属については、一部でまだ実施されていない部分もみられますが、できるだけ早い機会に同等・対等の原則が徹底するようにと願っています。

ともあれ、学部教育の兼担が制度的に明確化されていることで、学部学生に対して幅広い基礎教育とくに基礎工学の教育を行うとともに、エネルギー科学に関心をもたせ、エネルギー問題をグローバルに捉える資質を習得させることができます。また、このような学部兼担制度のあり方は、他の研究科に進学する学部学

生にとっても有益と思われる。さらに、本研究科と関連研究科の相互の連携の強化にも役立つものと思われます。

7. 公開講座

毎年、エネルギー科学研究科から4人の代表選手を講師に選んで、それぞれの得意とする分野の最先端の高度な内容を、専門でない人々にも分かり易く説明して、研究科の活動内容の一端を紹介するとともに、間近に迫った21世紀のエネルギー問題の解決策や人類の未来について一緒になって考えてみたいとの趣旨で、公開講座を開催しています。この講座への出席を契機にして、多くの人々にエネルギー問題についての理解を深めて頂くとともに、本研究科の使命と活動内容に共感して頂きければと念じております。平成10年度は、「エネルギーと社会・環境・科学」というテーマで、

- (1) 機械が人に歩み寄る…ヒューマンインターフェイス研究最前線…(講師 吉川栄和)
- (2) 21世紀における核融合エネルギーの役割(講師 井上信幸)
- (3) 物質の第4状態…プラズマ…(講師 前川 孝)
- (4) 人類の未来と宇宙開発(講師 石井隆次)

の4講演があり、講師と参加者の間で活発な質疑応答や意見交換が行われております。

8. おわりに

このように本研究科では、創設理念に基づいて着々と教育・研究活動を展開し、成果をあげてきておりますが、まだまだ生まれて3年目という若い研究科です。人類最大の課題・難問であるエネルギー問題に果敢に挑戦する人々が、この新しい研究科に集まって来て頂くように、そして、教官・学生・職員が一丸となって成果をあげ、世に問い、輝かしい歴史の一端を担って頂けるようにと希望しております。