

原子力教育と原子力リネッサンス

大阪大学 大学院工学研究科
教授 竹田 敏一

要旨

大阪大学で発足した工学研究科での横断型研究組織「原子力リネッサンス・イニシアティブ」の設立目的について述べた後、大阪大学の原子力教育を中心として、原子力教育・研究の連携について述べる。

1. 背景

エネルギー保障と安定供給に対する世界の関心や、環境問題と調和する基幹エネルギー源としてポテンシャルの高い原子力エネルギーへの期待が高まっている。欧米などの原子力エネルギー利用諸国では原子力復興の気運が高まっています。

米国では原子力 2010 プログラムで、2010 年までに 25 基以上のプラントが建設予定であり、さらに第 4 世代原子力システムの研究開発に関する国際フォーラム (G I F) を発展させるために G N E P (国際原子力エネルギーパートナーシップ) を提案した。

G I F への参加国は、米国・ロシア・フランス・英国・日本・韓国の他 12 カ国であり、あと E U が参加している。第 4 世代原子力システムは持続可能性 (燃料の効率的利用、廃棄物の最小化)、経済性 (ライフサイクルコストの優位性)、安全性/信頼性 (安全/信頼できる運転、敷地外緊急時対応の不要)、及び核拡散抵抗性と核物質防護の 4 つの目標を満足する原子力システムであり、この開発プログラムを国際的な枠組みで推進することを目的としている。G I F 発足後、6 つの候補概念 (S F R、V H T R、G F R、S C W R、L F R、M S R) が選定され、2002 年 12 月にロードマップを策定した。2005 年 2 月 28 日、ワシントン D C にて枠組協定 (2005 年 2 月 25 日に閣議決定の行政取極) が締結された。

G N E P のパートナーシップ国は中国・フランス・日本・ロシア・英国・米国の 6 カ国の予定であり、その目的は次の 4 項目である。

- ・ 米国の海外の化石燃料への依存度を下げ、経済成長を促進する。
- ・ 核拡散抵抗性を高める先進的技術を活用して核燃料リサイクルを行い、より多くのエネルギーを再生産するとともに廃棄物を低減する。

- ・ 世界の成長と繁栄、クリーンな開発を奨励する。
- ・ 世界の核拡散のリスクを減らすため、最新の技術を利用する。

GNEPを推進するため2007年4月に日本政府は日米原子力エネルギー共同行動計画を策定し、署名した。この計画に盛り込まれた研究開発協力をJAEAが進めていく。また、DOEは産業界を対象とした公募資金プログラムを発表した。(FOA:Funding Opportunity Announcement)。これに対し、2007年6月に三菱はAREVAと共同して応募し、先進リサイクル炉(ARR)は三菱が主導しARR用の燃料再処理のための統合核燃料取り扱いセンター(CFTC)はAREVAが主導する予定である。

また、フランスではシラク大統領が2020年に高速原型炉の運転を開始すると表明した。

日本では平成18年に資源エネルギー庁の総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会が新・国家エネルギー戦略を発表し、このエネルギー需要の中で日本においても高速実証炉を2030年までに建設し、商用化を2050年頃に実行する原子力立国方針を打出した。

2. 原子カルネッサンス・イニシアティブ

大阪大学では、次世代原子力技術開発を担う研究拠点を形成するため、「原子カルネッサンス・イニシアティブ」を平成18年4月に発足させた。「原子カルネッサンス・イニシアティブ」では、工学研究科の横断的組織として個々の研究者との協働を推進するとともに、関西地区の原子力研究・開発機関との連携を強化し、産官学の研究ポテンシャルの結集を図る。さまざまなポテンシャルを持った個の結集によりその力が増幅されることを期している。

「原子カルネッサンス・イニシアティブ」は、(1)“原子力エネルギー学”の研究、(2)次代を担う研究者や技術者の教育、(3)国のエネルギー政策や産業界の活動への協力や地域社会への分かり易い説明責任の一端を担うなどの社会貢献を3つの柱として活動する。

この3つの柱による活動を学内外にアピールするため、平成18年10月11日に第1回目の「原子カルネッサンス・イニシアティブ」シンポジウムを大阪大学中之島センターで開催し、第2回目を平成19年6月7日に開催した。学内はもとより、他大学、原子力メーカー、電力会社から第1回目は115名、第2回目は約100名の参加者があり、活発な議論、貴重なご意見をいただきました。豊田政男工学研究科長から大阪大学における研究イニシアティブの位置付けに

ついて説明があった後、大阪大学大学院工学研究科の環境・エネルギー工学専攻から「原子力リネッサンス・イニシアティブ」の説明を行い、さらに、この大阪大学の活動に対する期待について、原子力立地県、原子力研究開発機関、原子力産業界の方々から講演していただきました。さらには、参加者全員にアンケート形式で大阪大学に対して期待する意見を聞かせてもらいました。

(1) 教育

大阪大学 環境・エネルギー工学科及び環境・エネルギー工学専攻として、学部、大学院の教育を一貫して実施している。

学部教育としては、学部2年までには言語学、数学、力学、化学、生物学の基礎科目並びに環境・エネルギーの課題に対する視野を教育する講義・演習がある。学部3年からは炉物理、電磁プラズマ、炉工学、量子線生物学の基礎、原子炉システムについて教育し、原子力を学ぼうとする学生の基礎学力を養成します。4年生では各研究室に配属され教員や先輩の指導のもとで独自のアイデアと工夫により創造的な卒業研究に取り組みます。これが研究者、技術者としてのスタートになります。

また、学生実験では近畿大学の原子炉を用いて、学生に臨界近接、臨界を体験してもらう原子炉実習を実施している。

大学院教育ではまず、課題の発見と未来志向的な思考を促し、さらに、ダブル・メジャー的な習得目標に沿って、多種のプログラム（環境マネジメント、共生環境デザイン、循環型材料・資源システム、共生エネルギーシステム、保全・共生システム、量子エネルギー、環境リスク管理）のうちから2つを選択、履修する独自の教育システムを提供する。その結果、専門分野を深めると同時に、上記の学際性とマネジメント能力を身につけることを支援する。

原子力学を教える量子エネルギープログラムでは中性子工学、炉物理、炉制御エネルギー変換材料等の専門的な分野を教え、原子力の仕事をマネージできるポテンシャルを授ける。

修士課程での原子炉実習としては京都大学原子炉実験所臨界集合体KUCAを用いた大学院実験、「もんじゅ」シミュレータを用いた実習を現在実施しており、これに加え、「常陽」を用いた実習を予定している。大学院を修了した学生はより深く、原子炉を体験できるようにしている。

大学院実験に加え、大阪大学の原子力教育のユニークなものとして「実践力向上のメンター制とPBリーダー養成プログラム」制度がある。これは、文部科学省の「魅力ある大学院教育」イニシアティブ（2005－2006）に採択されたプログラムで、将来の原子力開発等を担う若手技術者の養成を目指している。

メンター制度では、大学院学生はメンターと呼ばれる国内・外で活躍する企業人、研究機関の研究者等から論文研究および将来のキャリアパス等に対する指導・助言を得ることができる。メンターとの接触、交流を通して、専門的な知識・スキルの向上に加えて、マネジメント力、コミュニケーション力を向上させ、さらには学生の社会ニーズ対応力や実践力の向上を図り、国際的にも通用する次世代リーダーを養成する。

また、PB (Project-based) リーダー養成制度では、マネジメント力や社会対応力などを身につけた次世代リーダーを目指す。学生は、メンターが参画する研究プロジェクト等に参加することができる。

これは、学生のキャリアパス形成にとってまたとないよい機会であり、学生の積極的な参画により、原子力分野の人材育成に多大なる成果があがるものと考えている。

(2) 研究

原子カルネサンス・イニシアティブのもうひとつの重要な狙いは、さまざまな専門領域の研究者を組織化することにより、将来のニーズにマッチする創造的で分野横断的な研究を行う体制を整えることにある。

原子カルネサンス・イニシアティブのプロジェクト (Nuclear Renaissance Project: NRP) を図1に示す。NRPを支える「基盤科学技術 (Primary Science and Technology: PST)」も重要な構成要素である。

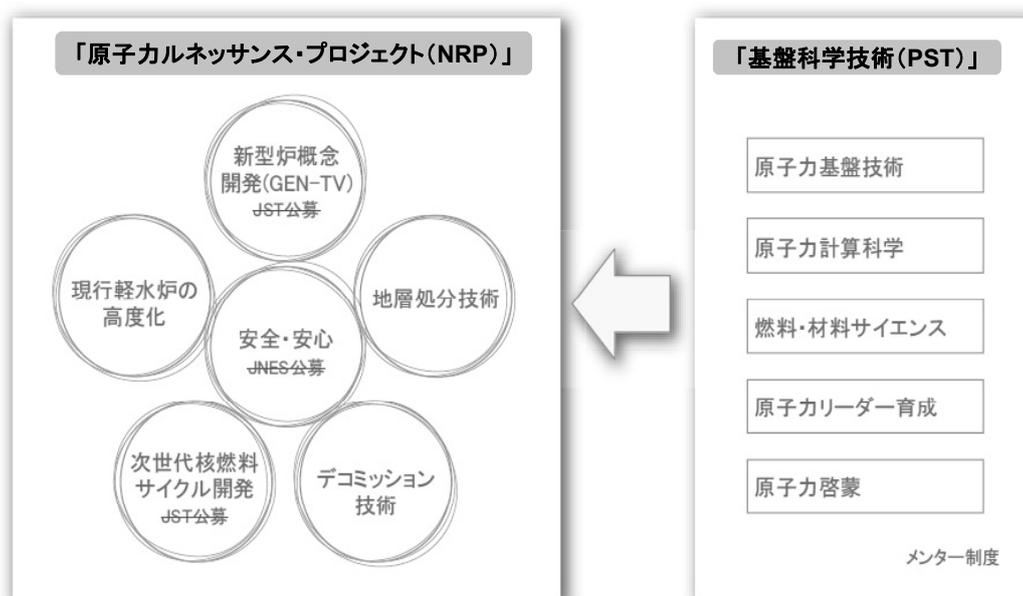


図1 原子カルネサンス・プロジェクトとそれを支える基盤技術

原子力エネルギー利用の核となる「原子カルネッサンス・プロジェクト」は以下を対象とする。

- (1) 安全で効率的にエネルギーを生み出す第3+世代、第4世代の原子炉開発
- (2) 資源のリサイクル、核変換による廃棄物低減を支える次世代核燃料サイクル開発
- (3) 原子力技術の安全・安心を確保し、社会受容性を高める研究
- (4) 原子力エネルギーの半恒久的な利用のためのデコミッション技術と地層処分技術

原子カルネッサンス・イニシアティブでは、その研究推進のため、他分野・異分野の研究者の参加を得て研究体制を整えている。原子力工学はもちろん、機械工学、環境学、材料学、電気・電子工学などの分野の研究者が協働し、それぞれの知、技、経験を融合して未来の原子力利用を拓く体制を構築する。イニシアティブの研究体制を図2に示す。

工学研究科の横断的な取り組み

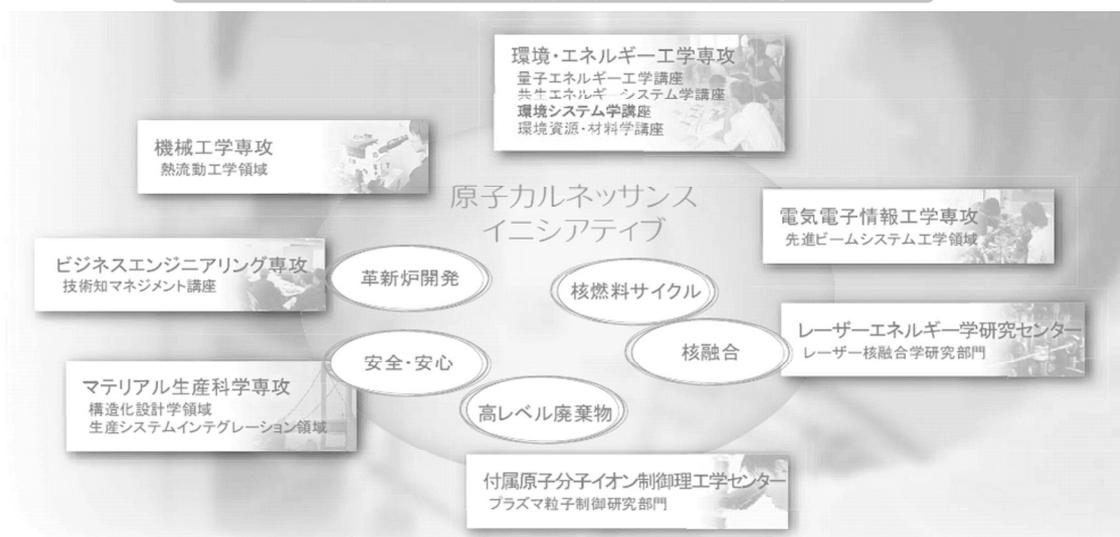


図2 大阪大学工学研究科の原子力研究への横断的な取り組み

こうして研究体制が整えられると、さまざまな研究活動を実現できる。総合技術である原子力分野では、多くの研究者が協力して目的を達成するプロジェクト型の公募研究が数多く実施されている。例えば、経済産業省の「革新的実用原子力技術開発補助事業」、文部科学省の「原子力システム研究開発事業」、原子力安全保安院と原子力安全基盤機構による「原子力安全基盤調査研究」などが挙げられる。イニシアティブの密接な連携を活用して、これらの公募研究に積極的にコミットする。

大阪大学で実施されている原子力研究の一例を、その研究対象と専門分野に従って図式化すると、図3のように分類される。これまで組織化されていなかった個々の研究に横糸を通し、体系化すれば、大阪大学の原子力研究開発体制が整うことが示される。

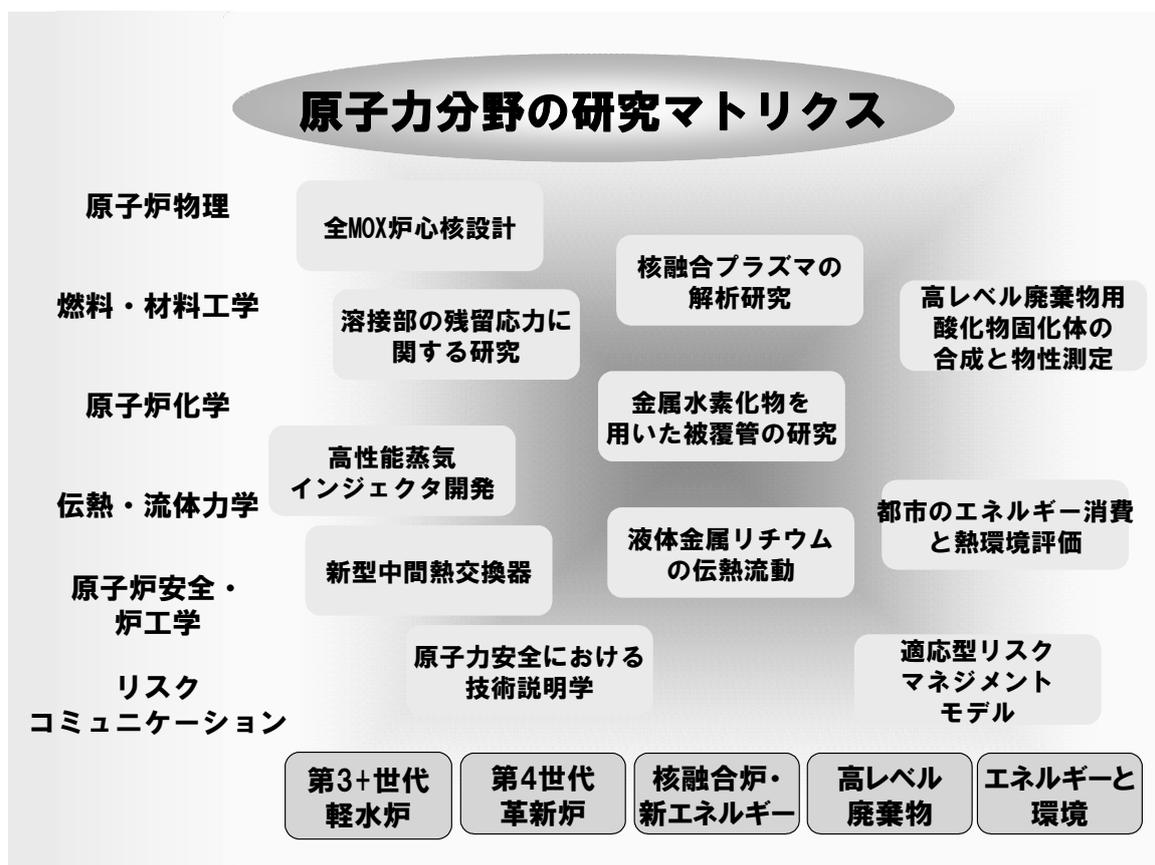


図3 大阪大学の原子力研究テーマの例（原子力基盤技術と原子力研究開発）

これからも、“原子力エネルギー学”の研究成果を積極的に発信し、イニシアティブの研究ネットワークを活用して原子力立国に貢献できる研究、技術開発を実施し、イニシアティブの枠組みで新たな研究の提案を進めていく。

(3) 原子カルネサンスイニシアティブシンポジウムのまとめ

産官学界からの多数の参加を得て開催されたシンポジウムの総括を簡単に述べる。参加者からは、講演内容の充実、適切な会場・運営の印象を述べられ、好評を博しました。原子カルネサンス・イニシアティブって何？といった疑問や曖昧な印象をもって来場された方々が、シンポジウムの終わりには、その趣旨、目指すところが良く分かり、イニシアティブに期待するという意見をいた

だいた。図4にシンポジウムの内容についてのアンケート結果を示す。3分の2の方に満足とご回答いただきました。

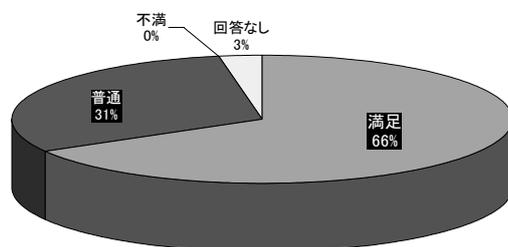


図4 大阪大学「原子カルネッサンス・イニシアティブ」シンポジウムについての感想
(アンケートの結果から)

講演の内容については、最新の動向や国際情勢をわかりやすく講演していただいたと、講師の先生方のヴィヴィッドなご講演が大好評でした。この場を借りて心よりお礼申し上げます。

大阪大学の取り組みについては、私どもの意気込みをご理解いただき、関西の産官学の連携の本格化に対する期待、先導的役割への期待の声が寄せられました。大先輩の名誉教授の先生方からは大阪大学に「原子力」という名前が復活したことを歓迎するとの感想をいただきました。イニシアティブの趣旨を各位にお伝えできたという意味ではシンポジウムは大成功であったと言えます。一方、各位の激励に対して応えるべく、従来にも増して一層の努力を、と決意を新たにす次第です。

図5は、イニシアティブに期待すること、という問いに対するアンケート調査結果です。イニシアティブでその目標として掲げている人材育成への期待が多く寄せられています。次世代の優秀な人材の育成・供給は重要な使命であると改めて認識します。研究開発についてのサポートや関西の活性化を期待するという声も多くありました。その他、官として規制側やメーカーの参加が必要といったご意見、原子力学会 YGN も協力したい、阪大の活動は高経年化などの検討に厚みを加えるもの、自分の仕事へのヒントがあった等の感想が寄せられました。

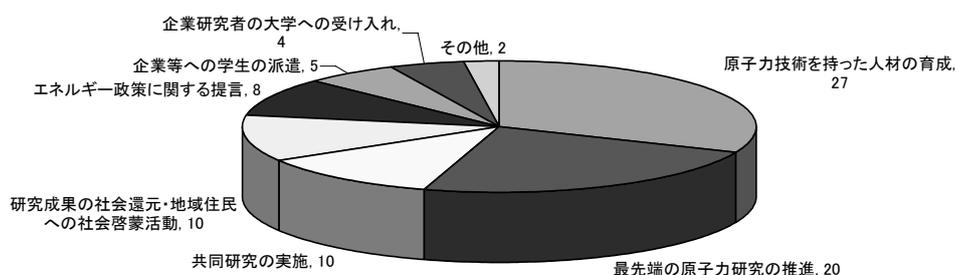


図5 大阪大学「原子カルネッサンス・イニシアティブ」に期待すること
(アンケートの結果から)

3. 連携教育・連携研究

大阪大学は原子力カルネッサンス・イニシアティブを母体として、文科省・経産省の原子力人材育成プログラムに公募し、19年度分として次の3件のプログラムが受理された。

- 1) 文科省 「原子力教授人材充実プログラム」
- 2) 経産省 「チャレンジ原子力体感プログラム」
- 3) 経産省 「原子力教育支援プログラム」

以下、各プログラムの概要について述べる。

1) 「原子力教授人材充実プログラム」

関西圏は全国で原子力産業をもっとも積極的に推進する地域のひとつである。特に、福井県は重要な原子力立地県であり、プラントの保全、管理、放射線管理、核不拡散などの経験と知識を備えた研究者・技術者を多数擁している。一方、これらは大学において専門家を養成しにくい分野であり、産学連携が有効に機能すると期待される。本提案では、大阪大学がこれら分野の教授養成講座を設置・開催し、関西地区の実務者から講師を招き、全国の原子力専攻の教員に受講してもらうことにより、核不拡散、原子炉水化学、放射線管理などの教授を養成することを目的とする。

本事業では、核不拡散、原子炉水化学、放射線管理（保健物理を含む）の分野に絞り、産学連携による講座を企画・開催し、関西地区の実務者から講師を招く。全国の原子力専攻の教員に受講してもらうことにより、当該分野での教授を養成することを目標とする。そのために、(1)教授養成分野のテキスト作成、(2)教授養成講座の開設を通じて、大学教員の質の維持・向上、教員の人員確保を目指す。

2) 「チャレンジ原子力体感プログラム」

本事業は、大きく4種類のプログラムに分けられる。当専攻は、文部科学省の「魅力ある大学院教育」イニシアティブ、「実践力向上のメンター制とPBリーダー養成」プログラム(平成17～18年度、<http://www.ou-mentor.com/index.html>)を実施し、一定の成果を挙げた実績を持つが、これらのプログラムはこれをさらに発展させたものである。

(1) 原子力関連施設見学と卒業生との座談会

学部 1 および 2 年生を対象として、卒業生が在籍する原子力関連施設を訪問し、施設見学を行うと共に、様々な分野の技術が集約された大規模システムである原子力技術の実態を現場において直接体験してもらう。

(2) 原子力メンター制度の高度化

まだ就職先が決定していない大学院修士課程 1 年生を対象として、原子力関連機関において実践的な訓練教育を受けさせることにより、原子力産業への興味を高めるとともに、原子力産業への就職を促進することを目的としている。具体的には、若干名（受け入れ先の事情により異なる）を、原子力研究機関や原子力関連企業に 1 週間ないし 1 ヶ月駐在させ、現場の技術者をメンター（指導者、助言者、後見人）とするマンツーマンでの指導を含む実践的教育プログラムを履修させる。実践的教育プログラムは、原子炉、または訓練シミュレータといったハードを用いるものと、炉心管理コードなどのソフトを使った実習の両方が含まれる。メンターと学生（メンティー）とは、学生が現場に滞在している期間だけでなく、その前後を含めて中長期的な人間関係を築くことになる。もって、学生は単に学習面での助言だけでなく、自身のキャリアデザインや社会人としての心構えなどを学ぶことができる。

(3) 原子力 PB リーダー養成（Project-based Leader Training）制度の創設

大学院修士課程 2 年生～博士課程の学生を対象として、原子力関連機関に数ヶ月程度駐在させ、メンターが参画するプロジェクトに参加させることによって、実践力やマネジメントの強化を図り、次世代の原子力産業を担うリーダーを育成する。

(4) 原子力国際インターンシップ

将来、研究職に就くことを希望している大学院修士課程 2 年生～博士課程の学生を対象として、海外の原子力研究機関に数ヶ月間駐在させ、研究に参画する。

3) 「原子力教育支援プログラム」

原子力教育においては産業界のニーズに応え、優秀な人材を輩出するためには実践的な教育を行うことが肝要である。ここで、実践的な教育とは、原子力基幹学の講義、原子力実践学の講義、原子炉シミュレータによる実習、原子炉実習、原子力施設の見学を体系的にかつ相互に関連させて構成したカリキュラムおよび関連する設備などで構成される。本事業では、原子力実践教育として何を行うべきかを体系化し、それに必要な要素を整備することにより、「原子力人材育成のための実践教育システムの構築」を実施する。

環境・エネルギー工学科・専攻の中に原子力実践コース（仮称）を作り、同

コースを選択した学生に対し、これらの実践教育を実施し、学生の進路をフォローすることによりその教育効果を分析・評価する。

本事業により、原子力実践教育を継続的に維持するための、カリキュラム体系の構築、教育研究炉などの施設を用いた実習プログラムと教材の作成、原子炉シミュレータの開発、ネットワーク利用環境の整備を実施する。事業の成果は大阪大学の環境・エネルギー工学科における原子力人材育成のための枠組みとして定着させる。また、このようなカリキュラム体系は他の大学の原子力教育でも利用可能である。特に実践教育で重要である教育用シミュレータは、教育用原子炉の利用が困難である遠方の大学での教育効果向上に寄与すると期待される。

具体的には以下の各項目を実施する。

- ① 原子力実践教育カリキュラムの構築
- ② 教育用シミュレータの開発と利用
- ③ インターネット原子炉シミュレーションシステムの整備

① 原子力実践教育システムの構築

原子力に特有な原子炉物理などの原子力基礎分野の専門知識を持ち、産業界でも活躍できる実践的な人材を育成するために必要な「原子力実践教育」の要素として、原子力専門科目の選定と講義、原子炉における実習、教育用シミュレータによる実習、原子力施設の見学・実習が必要である。これらを専門教育の中で適切な時期に実施し、相互に関連を持たせることにより、原子力の専門性と実践力、総合的な判断力を備えた人材を輩出する。また、本項目では、(1)原子力基幹教育（原子炉工学、原子炉物理、伝熱工学、核燃料工学、原子炉安全工学などの、原子炉の設計や運転・安全に関連する講義）、(2)原子実践教育（核不拡散学、原子力法規、原子炉水化学、原子力規制行政等の講義）、(3)原子炉シミュレータを用いた仮想実習、(4)教育用原子炉を用いた原子炉実習、(5)原子力施設（発電所、核燃料サイクル施設など）の見学を組み合わせた、原子力実践教育コースのカリキュラムを構築する。

② 教育用シミュレータの開発と利用

教育研究炉では実習できることが限定されるため、トライアンドエラー教育を行うためには教育用シミュレータが必要である。教育用シミュレータとして求められる要件は、原子炉動特性、臨界特性、熱流動特性、固有の安全性、事故時の安全性など、講義を通じて学んだ物理法則や数式が再現されており、それを「実地に試し、確かめ、理解する」が可能でなければならない。本項目では、教育に適した原子炉シミュレータで、遠隔教育にも利用できるシステム

を開発する。

③ インターネット原子炉シミュレーションシステムの整備

遠隔地の大学などで教育用原子炉シミュレータを利用するにあたり、ネットワーク環境の構築と整備、シミュレータのネットワーク環境への対応が不可欠である。大阪大学にはIT講義室が整備されており、受講学生全員が机上のパソコンを操作しながら講師とインタラクティブに授業を受けたり、ネットワークにアクセスしてデータや情報を取得しながら学習したりする環境がある。このシステムは学内のネットワークに接続されているので学外からのネットワーク利用も可能である。しかしながら、設備の一部（計算機）が老朽化し、本提案にとって性能が不足している。本項目ではIT講義室の計算機のリプレース並びにネットワーク環境の整備を行う。

4. おわりに

最後になるが、関西さらには日本における原子力教育・研究の連携を強化することにより、優秀な学生の育成さらには新しい原子力研究開発を推し進めていきたい。このためには、

- 1) 各大学の原子力人材育成プログラムの有機的リンク
- 2) 原子力施設、特に将来にわたり教育用原子炉を維持するための計画

JAEA、INSS等の大型施設を利用した共同研究を推進することが大切である。関西の大学、メーカー、電力で或いは全国ベース（例：学会ベース）で、これらをより具体的に進めることを希望する。