

原子力人材育成の在り方研究会 調査報告書

(平成18年度 大学・大学院等における
原子力人材育成の在り方調査)

平成19年3月

社団法人 日本原子力産業協会

目 次

I. 背景及び目的	3
1. 研究会設置の背景	3
2. 研究会の設置目的	8
II. 原子力人材育成の現状、課題及び提案	9
1. 大学・日本原子力学会からの提案	9
2. 高等専門学校における原子力関係人材育成	12
3. 電気事業者からの提案	14
4. 原子力関連メーカーからの提案	19
5. 原子力安全規制行政に係る人材面の課題	22
III. 原子力人材育成の在り方	28
1. 原子力人材育成プログラムの在り方	28
2. 国、大学・大学院等、原子力産業界の協力	35
3. 原子力人材育成プログラムの実施方針	37
4. 今後の検討課題	38
IV. 参考	
1. 「原子力人材育成の在り方研究会」名簿（敬称略）	40
2. 「原子力人材育成の在り方研究会」検討経過	41
別紙－1 基盤技術分野の研究に関する産業界ニーズを踏まえた研究テーマ ...	45
別紙－2 平成19年度「原子力人材育成プログラム」実施方針	47
別紙－3 原子力人材育成に関する協議会の設置について（案）	53
資料集－① 大学、学会からの提案	57
資料集－② 高専における原子力関係人材育成	64
資料集－③ 電気事業者からの提案	70
資料集－④ 原子力分野の人材育成について 原子力関連メーカからの提案 ...	77
資料集－⑤ 原子力安全規制行政に係る人材面の課題について	85

I. 背景及び目的

1. 研究会設置の背景

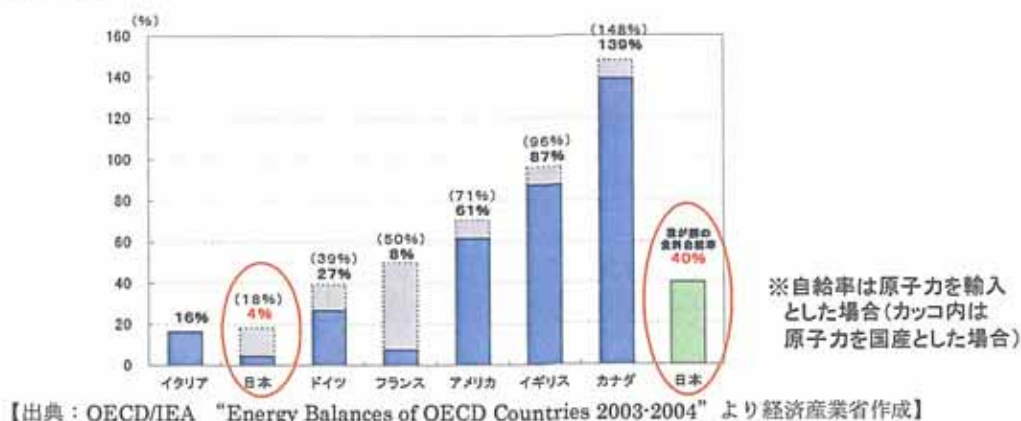
(1) 原子力を巡る状況

a. エネルギー安全保障の必要性

現在、発展途上国を中心にエネルギー需要が急増しており、今後世界全体のエネルギー総消費量は大幅に拡大すると見込まれている。2100年には、エネルギー総消費量は世界全体で現在の3倍以上、発展途上国では現在の6倍以上になるとの試算もある（IIASA-WEC試算）。特に中国では、1年間の電力需要の増加量（2,922億kWhの増加：2003～2004年）は東京電力全体の年間総発電量（2,697億kWh：2005年）を上回る規模であり、中国は化石燃料の輸入を急激に増やしている。このような中、世界は、限られた資源を各国が競って獲得する「資源獲得競争」の時代に突入している。

他方、図－1に示すように、我が国のエネルギー自給率（国内で必要なエネルギーのうち、自国内で確保できる比率）は4%にすぎず、先進諸国の中でも最も低い。また、我が国の食糧自給率（40%）と比べても著しく低い。

このように、自国内で確保できるエネルギーが極めて少ない我が国において、エネルギーを安定的に供給していくためには、エネルギー供給源の多角化を進めるとともに、準国産エネルギー¹として原子力発電を進めていくことが重要となっている。



図－1 主要国のエネルギー自給率（2004年）

¹ 原子力発電の燃料となるウランは、一度輸入すると数年間使うことができることから、原子力を準国産エネルギーと考えることができる。

b. 地球温暖化対策の重要性

地球温暖化は現在の人類の生活と将来の人類の生存に関わる深刻な問題である。1997年12月、京都において気候変動に関する国際連合枠組条約第3回締約国会議が開催され、京都議定書が採択された。京都議定書において、我が国は、2008年から2012年までの期間中に、温室効果ガスの排出量を1990年の水準より6%削減することを世界に約束したところである。我が国は、この削減目標を達成するために官民の叡智を結集しなければならない。

このような中、有効な地球温暖化対策の一つとして原子力発電の推進が期待されている。原子力発電は、発電中に全くCO₂を排出せず、発電所の建設や燃料輸送等を含めたライフサイクル全体で見ても、発電量当たりのCO₂排出量は石炭発電の約2%、天然ガス発電の4%弱にすぎない。このため、原子力発電の推進は地球温暖化対策として極めて有効であると考えられている。

太陽光発電や風力発電等の新エネルギーの導入は、地球温暖化対策として有効であるが、雨の日や風の吹かない日は発電しない等、供給安定性や経済性等の問題がある。また、原子力発電所1基（100万kW級）を太陽光発電で置き換えるとすると、山手線内と同じ面積にパネルを敷き詰める必要があり、風力発電で置き換えるとすると、山手線内の3.5倍の面積の土地が必要となる。

このため、新エネルギーの導入のみで地球温暖化問題を解決することは全く現実的ではなく、新エネルギーと同時に原子力発電も着実に実施していくことが不可欠となっている。

c. 世界的な原子力見直しの機運

旧ソ連のチェルノブイリ事故（1986年）以降、特に欧州においては、脱原子力発電や原子力発電所新規建設の凍結など原子力発電に対して慎重な立場を取る国が多かった。しかし、近年では、世界的に原子力見直しの機運が高まっている。

例えば、フィンランドでは5番目の原子力発電所の建設が進められており、イギリスでは原子力発電所の新規建設に向けた方針転換が行われた。

チェルノブイリ事故後、スウェーデンでは2010年までの脱原子力発電を決定したが、現在でも約半分は原子力発電で賄われており、脱原子力政策は凍結された。スイスでも、2005年に10年間の原子力モラトリアムが解除されており、欧州各国とも原子力を積極的に評価するようになっている。

米国では原子力発電所の順調な稼働により原子力発電が見直されており、新

規計画が目白押しで、政府としてもこれを積極的に推し進めるべく、財政的支援の枠組みを用意している。

近隣のアジア諸国においても、活発な原子力発電への取り組みが見られる。中国は旺盛な電力需要から積極的に原子力開発を進めており、世界で最も多くの原子力発電所建設計画が進んでいる。また、インドは、NPT（核兵器の不拡散に関する条約）未加盟であるため独自の開発路線を取ってきたが、最近になって、欧米諸国がインドの原子力開発に対する協力に乗り出している。

また、ガイア理論の提唱者のラブロック博士や、グリーンピースの共同創設者のパトリック・ムーア氏は、かつては原子力発電に反対していたものの、現在では、地球温暖化対策の観点から原子力発電の必要性を指摘している。

以上のように、原子力発電の導入・拡大を計画している国は急増しており、世界の原子力市場は急速に拡大する見込みである。

我が国においては、電力需要の伸びが鈍化したことから、かつての高度経済成長期のような原子力発電所の建設ラッシュは見込めないものの、少ないながらも国内での新規プラント建設は継続しており、また、安全確保を大前提に、我が国の基幹電源として原子力発電の利用を推進し、ウラン資源を最大限活用する核燃料サイクルを確立することが国の方針として位置付けられている。

更に、将来的には現在運転中の原子力発電所の更新が必要であり、そのための次世代軽水炉の開発、高速増殖炉（FBR）サイクル技術の確立などの重要な技術課題があることから、原子力分野のエンジニアの活躍の場は益々広がっていくものと考えられる。

（２）原子力関係の学部及び大学院の現状

原子力の開発利用を着実に進めるためには、原子力立国計画でも指摘されているとおり、若い優秀な人材が継続的に確保される必要がある。しかしながら我が国では、目に見えない放射線に対する不安、また、原子力施設の事故、故障等が続いていることに対する不安、不信は依然として解消されていない。また、更なる研究が必要な技術分野が残っているにもかかわらず、原子力が先端

的な研究分野としての魅力が薄れていると見られている。

こうしたことから、近年の学部及び大学院の改組・大括り化の動きの中で、従来の原子力学科・専攻は、他学科・専攻との統合や名称変更により、エネルギーや環境等より広い分野を扱う学科・専攻の一部へと改組されてきている。

この結果、原子力が教育課程に含まれる学生数は、昭和 50 年代前半よりほぼ横ばいであるものの、原子力の体系的な専門教育が行いにくくなってきた。

更に、工学的センスを磨き、原子力研究の実体や魅力を知るうえで極めて有効な実験、実習用の原子力施設の老朽化という課題もある。

(3) 原子力を支える基盤技術分野の大学・大学院の状況

原子力プラントの開発・設計・建設・運転・保守には、原子力工学のみならず、機械・電気・材料・化学等多くの基盤技術分野の研究者・技術者が不可欠である。

なかでも、原子力施設の安全性を長期に渡り担保していくため、原子力に特有の技術分野として、構造強度、材料強度、腐食・物性、水化学、放射線等幅広い基盤技術分野の大学研究者等の参画が必須である。

しかしながら、こうした原子力工学をはじめとする基盤分野は、原子力の安全確保や開発利用の推進にとって重要であるにもかかわらず、最近の大学・大学院等における業績主義・成果主義の高まりにより、成果の上がり易いいわゆる先端分野に研究資金が配分されるようになり、IT、ナノテク等の分野に人材と資金が集まりやすくなった。このため、基盤分野の研究者の厚みの低下、大学における知見蓄積の希薄化及びその結果としての体系的原子力教育の困難化が懸念されている状況である。(例：溶接工学の講座は既に消滅。(溶接の講座は残っているが、講座名からは溶接の名前は消滅している) また、材料分野でも腐食分野は衰退し、ナノテク関係にシフトする傾向がある。)

(4) 高等専門学校の現状

実践的知識及び技術・技能を有する高等専門学校の卒業生への期待は高い。高等専門学校では、主として、電気、機械、建築等の基礎・基盤的な教育が行

われ、原子力の名称を冠した学科や専攻は設けられていない。

なお、現在では、高等専門学校の準学士課程卒業生の 40%強の学生が、高専専攻科や大学に進学している。

2. 研究会の設置目的

本研究会は、原子力産業界や安全規制行政において活躍が期待される人材を大学・大学院等において効果的に育成することについて検討することを目的としており、原子力産業界や安全規制行政に携わる人材の企業等の組織内部での育成については、今回の検討の対象範囲外である。

(1) 原子力人材育成プログラムの構築

以上のような背景を踏まえ、大学・大学院等における原子力の人材育成の充実・強化を図るため、文部科学省と経済産業省が連携し、平成 19 年度の新規事業として「原子力人材育成プログラム」事業の予算要求を行った。

このプログラムは、今後とも原子力分野に優秀な人材を確保してゆくため、原子力を支える基盤技術分野まで含め、大学・大学院等が行う原子力人材育成の充実・強化に向けた取組みを支援し、我が国の原子力産業の将来を支える人材の質的向上に資することを目的としている。

なお、本プログラムは提案公募方式により事業を採択することとしている。

(2) 研究会の設置目的

原子力人材育成の在り方研究会（以下、「人材育成研究会」という。）は、上述の原子力人材育成プログラムをより実効性の高いものとすることを目的に、経済産業省の委託により（社）日本原子力産業協会内に設置したもので、主要な関係者である、教育・研究機関、原子力関連メーカー、電気事業者及び国をメンバーとして、大学・大学院等の原子力分野の教育現場や研究活動の実態を整理するとともに、人材育成の現状と課題について認識の共有を図り、対策のあり方について調査・検討を行い、その結果を報告書に取りまとめたものである。原子力人材育成プログラムの運営に反映される予定である。

II. 原子力人材育成の現状、課題及び提案

1. 大学・日本原子力学会からの提案

(1) 教育環境の現状と課題

教育環境の現状と課題としては、学生の原子力分野に対する将来を展望することが、徐々に困難になりつつあり、原子力学科・専攻への進学希望者が減少している。その為、総じて原子力分野へ進学を希望する学生の平均的学力が低下しているという現象が生じているとともに、各大学では学科・専攻の大括り化を進めることになり、大学の学科・専攻名から「原子力」の文字が消えてしまっている大学も出てきている。

また、大学の教育と研究は一体でなければならないが、一部の若手教員の中には原子力系に所属しているが、原子力と関係のない研究を行っている例もある。その結果として、原子力の体系的な専門教育が困難になってきている。

(2) 研究環境の現状と課題

研究環境の現状と課題としては、運営費・交付金が減少し、国の競争的資金の比率が増加する中で、原子力分野への予算配分が相対的に減少してきている。また、原子力黎明期に設置された実験・研究設備の老朽化が進んでおり、その維持・更新のための予算の確保が難しい状況にある。

その結果として、原子力の基礎的、基盤的研究（炉物理、放射線、燃料・材料他）分野、そして、これまで他専攻が担当していた蒸気原動機、溶接を含めた加工、冶金、腐食等といった研究分野の継続が困難になってきており、蒸気原動機工学については、講座そのものが消滅してしまったという現状である。

(3) 原子力人材育成プログラムに係る具体的提案

大学や日本原子力学会からの「原子力人材育成プログラム」に対する提案としては、最も重要なことは、原子力分野に優秀な学生が多数集まってくるための仕組み作りである。原子力の場合には他の専攻にも増して、実習を欠かすことができず、実習を行うために必要な学生や教員の旅費等の経費予算の確保が必要となっている。

なお、実習のための技術スタッフや、実習生を受け入れるための事務スタッフの強化についても検討すべきである。

また、学生からは原子力産業界の実態が見えにくい状況であることから、原子力を学生に良く知ってもらうためのインターンシップあるいは施設見学会等

も重要であり、これらに必要な経費についても支援が必要である。

そして、体系的な原子力専門教育を復活させるため、体系的カリキュラムの再構築が必要である。原子力の未来への展望を開くことができるようなコアカリキュラムの設定と、これに対応した教科書、教材が必要である。また、自大学にない講義を他大学で、または、遠隔地講義システムにより受講し、それを自大学で単位化するという「横断型原子力工学コース」を構築することも有用である。そして、原子力シニアを含む多彩な外部講師による支援等も有効であると考えている。

さらに、原子力の場合には、技術のみならず一般市民や小・中・高生徒等に向けた社会科学的な教育も重要であり、既にいくつかの大学で取り組まれている地域に根ざした教育プログラムの推進への支援も重要である。

次に研究を活性化するための方策としては、一つの研究課題（分野）について、複数の研究グループが異なるアプローチにより成果を競いながら取り組むことが重要である。

現状では研究者の引退により研究分野が継続されないこともあり、このような競争的環境にない研究分野が現れつつある。

今後とも重要な研究課題、あるいは研究分野については、少なくともまずは誰かが研究を継続しているという状況を維持すると共に、その後、競争的環境を創出するために、講座の新設あるいは復活などを検討すべきである。

そして、原子力の基礎的、基盤的研究が継続できる枠組みが必要である。先端的な学術分野であれば小講座制的な運営は障害となる場合もあるが、基礎的、基盤的研究分野についての研究の継続性を考えるならば小講座で運営することが一つの選択肢になると考えられる。

なお、基礎的、基盤的研究分野の研究は短期間で成果が出るものではないため、資金の継続性や、成果がなかなか出ない中での教員評価の在り方等を検討する必要がある。

また、原子力の場合には、教育研究炉等の設備を用いた教育研究が欠かすことができず、安全管理費用を含めた維持費及び設備をメンテナンスする技術スタッフの充実について支援を検討すべきである。

さらに、教育研究炉で使用された燃料、廃棄物処理の問題については、各大学単位での解決は困難であり、その引き取りなども検討すべきである。

今後は、各大学が独自に研究設備を維持することは一層難しくなってくるこ

とを考慮すれば、利用しやすい全国的な共同利用研究設備の機能強化が重要になると考えられる。

(4) 原子力人材育成プログラム以外の提案

人材育成に関する議論を今後も継続的に行う必要があるため、原子力人材育成に関する総合推進機能を日本原子力学会に常設ことが適切であるとする。

また、人やカリキュラムへの支援に関する予算配分審査やそれらの事務手続き等に関しては、原子力に関する全大学の関係者が参加している日本原子力学会が担当することを提案する。

日本原子力学会では小・中・高等学校のエネルギー教育支援事業を継続的に行っている。このような地道な事業への支援も検討すべきである。

2. 高等専門学校における原子力関係人材育成

(1) 高等専門学校における原子力教育の現状と展望

高等専門学校における原子力教育に関しては、原子力の名称を冠した学科や専攻は設けられていないが、機械工学や電気・電子に関する学科等では、過半数の学校において数時間ないし2～3単位程度の原子力に関する授業を実施しているのが現状である。

なお、専攻科では、炉材料の研究、核燃料の廃棄物処理の研究指導を受けている例も見られる。

(高等専門学校における原子力教育の例)

- | |
|---|
| 例1：学科共通科目「応用物理」で核分裂や原子力発電の原理について6時間程度講義 |
| 例2：物質工学科5年の科目で「資源工学」の中で原子力発電に関する内容を10時間取り扱う |
| 例3：電気電子工学科4年の科目で「原子力工学」2単位を履修させると共に発電所等を見学 |
| 例4：高温材料・複合材料における高耐放射線損傷について講義後、炉材料の研究指導（専攻科） |
| 例5：原子力発電について講義後、核燃料廃棄物処理の研究指導（専攻科） |
| 例6：原子力発電関連産業に進出希望の中小企業技術者対象に原子力・放射線関連の講座を開設（社会人コース） |

今後も原子力分野の学科を新設することは難しい状況にある。準学士課程に原子力工学科を設置した場合、1学年1学科で40名の学生を輩出することになるが、その場合、学生の希望する職業に就職することも難しく中学卒業後の5年間で原子力工学という幅広い分野を教えきれるかという問題もあるためである。

しかし、専攻科の専攻の場合は、1学年で10名程度の小さい規模であることから、数名程度の学生に対して集中して専門分野の教育を行うことができる。また、機械工学科、物質工学科等の学科（準学士課程）の教育に関しても、これからの原子力関係での業務の広がりや重要性が認識されており、今後放射線やその他の技術・知識に関する教育を充実させていくことについて、相当数の高等専門学校が意識を持っている。

(2) 原子力人材育成プログラムへの提案

高等専門学校からの人材育成プログラムへの提案としては、「専攻科における専攻やコースの設置を目指す」、「現有の学科内における原子力・放射線に関する授業を充実する」、「技術者を目指す全ての学生に対する原子力への理解を促進する」といういずれの場面においても、専門家の派遣、インターンシップ、原子力関連施設の利活用はそれぞれ有効である、ということである。

高等専門学校には、材料、シミュレーション及びシステム開発といった基盤的技術に関する専門家（教員）は居るが、原子力発電、プラント等に関する全体像や実態のわかる専門家が居ないことから、そういった実務のバックグラウンドを持った専門家が必要である。

原子力関係分野の研究や教育については、専門家の派遣と併せ教材開発も重要である。教材開発を含めたいろいろなコーディネートのできる原子力の実務家講師をフルタイムで高等専門学校に招聘できることが極めて有効であると考ええる。

なお、複数の高等専門学校が関連学科として原子力に関する授業を実施する場合は、実務家講師が複数の高等専門学校を巡回するという方法も考えられる。

また、インターンシップや原子力関連施設における訓練や研修受講等も非常に有効であると考ええる。

インターンシップには様々な形式があるが、施設活用に関連し日本原子力研究開発機構または電力会社で保有する研修センターや運転訓練センター等の活用を検討することにより、高等専門学校の学生にとってより有益な教育研修が受けられるものと考ええる。

3. 電気事業者からの提案

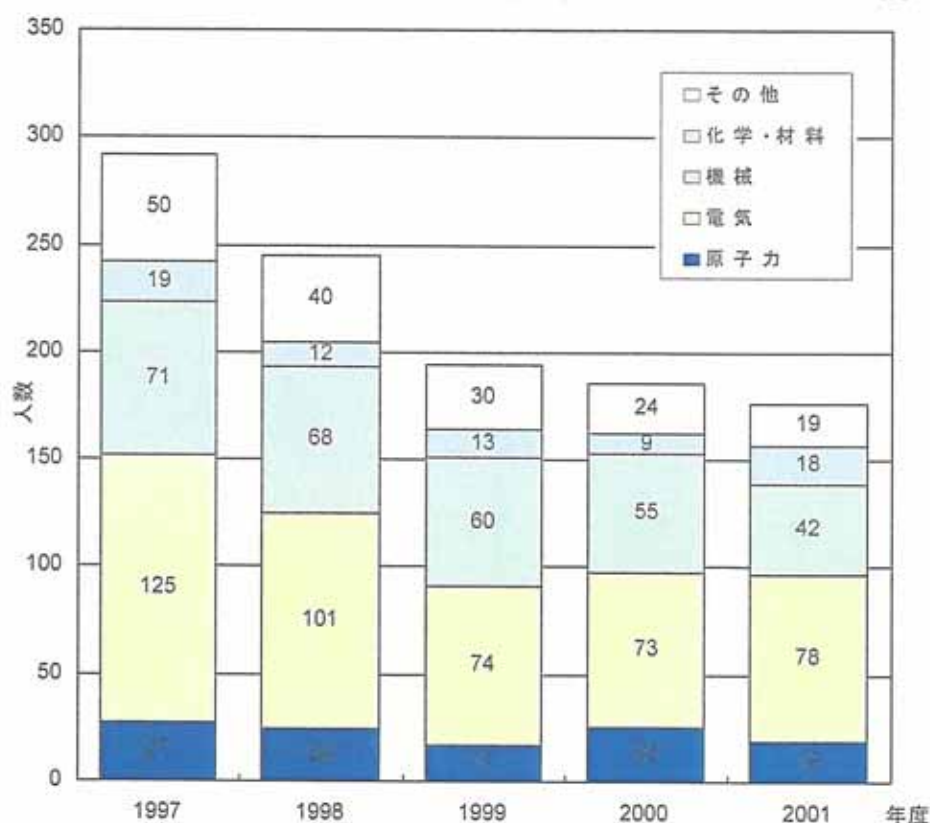
(1) 現状認識

電気事業者から見た大学・大学院等における教育の役割は、基礎的な原理、論理的な考え方、専門知識、自主的な研究の進め方及び論文のまとめ方を教育することにあると考えられる。

また、研究開発において大学・大学院等に期待することは、基礎的、基盤的段階あるいは革新的技術システムの実現可能性を探索する段階の研究であり、実用化の段階や実用化技術の改良・改善の段階では産業界が主体になるべきものであると考えられる。

一方、電気事業者における原子力関係技術者を出身学科別に整理すると、図－2のとおり原子力工学科だけでなく、電気、機械及び化学・材料等の幅広い専攻出身の技術者が電気事業者における原子力の技術分野を担っていることがわかる。

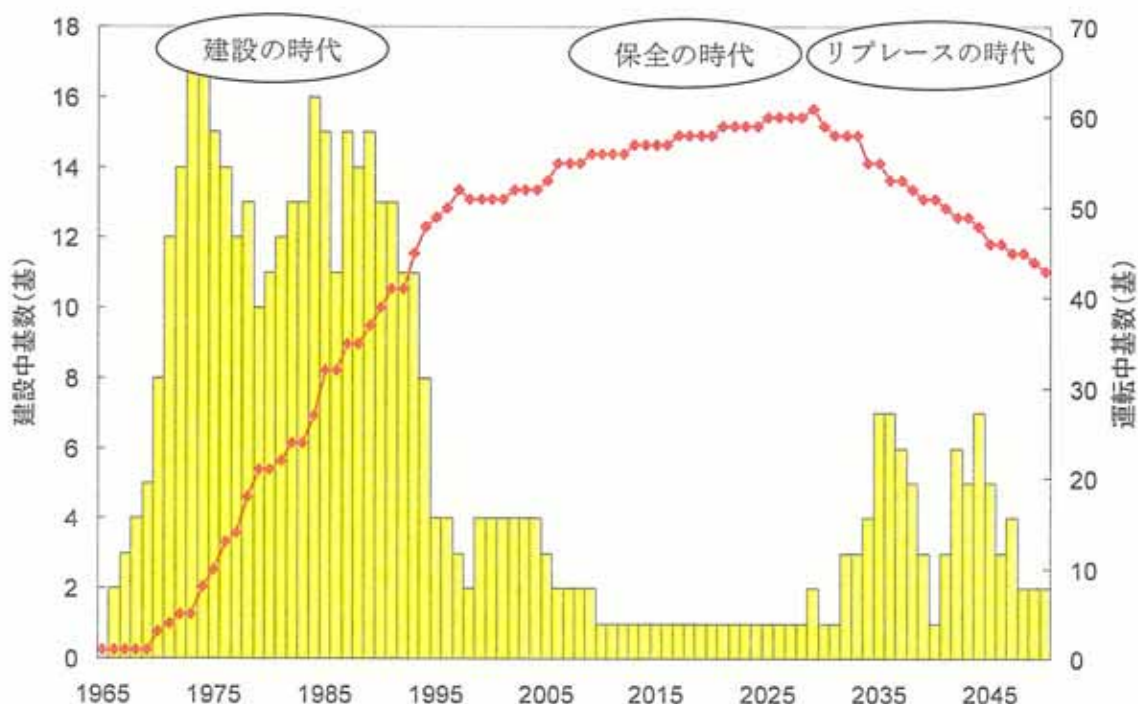
また、1997～2001年の期間では、原子力工学出身者の採用数はほぼ一定しており、電気専攻や機械専攻出身者の採用数は変動していることがわかる。



図－2 原子力部門への技術系採用者数（電力業界）

出典：基盤強化委員会 人材問題小委員会報告書（平成15年6月
（社）日本原子力産業会議）

原子力発電所は 1970 年代から営業運転が開始されてきた。図－3 に示されるように、初期は「建設の時代」で原子力発電所の建設が集中的に行われた。現在は運転中の原子力発電所を運用する「保全の時代」ということができる。2030 年頃からは「リプレースの時代」となり、大型炉によるリプレースがなされ、全体としての原子炉基数は減るが、原子力発電は基軸電源として維持し続けられると考えている。



図－3 建設中、運転中原子力プラント数の見通し（イメージ）

出典：「原子力立国計画 資源エネルギー庁 平成 18 年 10 月 23 ページ「建設中の国内原子力発電所の推移①」より作成

注) ① 原子炉の寿命は 60 年、建設期間は 2010 年以降 4 年

② 2030 年までの新增設は単機容量 130 万 kWe、2030 年以降のリプレースは単機容量 150 万 kWe クラスの原子炉を導入すると仮定

③ 2010 年から 2030 までは、2030 年に 58GWe となるよう、4 年毎に 1 基ずつ導入すると仮定

電気事業者における原子力関係要員については、基本的に運転中の基数によって必要とする要員数が決まってくることになり、それぞれの要員構成は図－2 に示す内容と大きく変わることはないと考えられる。

(2) 電気事業者が目指す人材像と人材育成

電気事業は基本的に原子力発電所を基軸電源として確保・運用する事業であることから、電気事業者は、幅広い基盤かつ特定専門分野の深い知識を有することである分野に対応可能な人材を必要としている。具体的には、①原子力を幅広く理解し、原子力発電等の開発・管理・運用について全体を俯瞰し企画・調整するジェネラリスト（いわゆるT型）、②専門知識を活かし、原子力発電等における個別の課題解決に対応できるスペシャリスト（いわゆるI型）、③原子力技術について地域との橋渡しや、国際的に活躍できる技術者（コミュニケーター、リエゾンエンジニア）、という大きく三つの視点で人材を育成している。

電気事業者の人材育成方策は、基本的には人事ローテーションを通じたOJTによる人材育成である。

ジェネラリスト的な人材については、現場～管理部門～現場・・・といったサイクルを経て、現場経験を踏まえながら社内の管理部門、海外機関や国等の社外機関への派遣も併せ、技術及び経験を積み上げていくシステムの中で育成される。

一方、課題解決型のスペシャリストについては、現場を基点として技術部門あるいは研究開発部門への人事ローテーションを経て専門分野の知識を高めることになる。派遣先としては、グループ内エンジニアリング会社や研究開発機関等がある。

なお、OJTだけではなく、オフ・ジョブトレーニング（OFF-JT）としての社内外の教育・訓練プログラムによる人材育成も行われている。

(3) 電気事業者から見た課題

将来にわたって維持すべき原子力特有の基盤技術分野としては、原子炉物理学、放射線安全学、原子炉安全工学等である。また、一般工学では研究対象としての魅力が薄れてきているが、原子力としては今後も研究が必要な技術としては、構造・材料力学、水化学、腐食・防食工学及び溶接工学等がある。

更に、プラントの高経年化対策等、当面の取り組みが必要な技術分野として、信頼性工学、保全工学及び計測工学等の原子力分野を支えていくために必要な開発分野がある。

なお、電気事業者の視点から取り組むべき技術的課題は、次世代炉の開発、設備の高経年化対策、高燃焼度燃料の開発や制震・免震技術の開発等があり、併せて廃炉に係る技術開発、放射性廃棄物の処理・処分を含む原子燃料サイクル、放射線安全の確保等が重要である。

2030年頃以降のリブレース時代に備えた技術継承や人材の確保が重要であり、特にプラントの計画・設計、建設の経験を踏まえた幅広い知識と対応能力が求められることとなる。プラントの建設基盤が少ない中でも、社内外の技術的要求水準は高まっており、従来とは違う人材の確保も重要と考えられる。

その他として、外から見て魅力がある産業であれば、人材が集まってくる。このため外部との積極的なコミュニケーションを取ることも必要である。

(4) 大学、大学院等への要望事項

先ずは学生が原子力産業界に魅力があると感じ、基礎をしっかりと身に付けてもらうために、基礎科目の確保が重要である。原子力特有の基盤分野、更に今後必要になってくる分野の基礎教育をしっかりと行うことである。一つの目安としては、技術士1次試験合格程度の実力を期待したい。

また、基礎学力に加え、原子力に興味を持つという観点からは、実習の強化が必要である。実習を通し原子力への興味・理解を深め、原子力を担う人材としての考える力（臨機応変な対応力、工学的なセンス）を養うことが肝要である。

そのためには、教育に必要な設備（研究炉、実験設備）を維持すると共に、研究機関等の原子力施設を有効利用する必要がある。更に、原子力専攻以外の学生に原子力を志向してもらうための教育の検討も必要である。

そして、将来にわたって学生を教育できる教員の維持・確保、原子力特有の基礎的分野の研究維持、原子力として今後も必要な分野の研究の維持・推進及び原子力の課題解決のための研究の推進が必要である。

(5) 国の支援プログラムへの具体的な提案

国の支援プログラムへの具体的な提案としては、下記の5点を提案する。

- ① 基礎・基盤技術の必要性として、最先端の研究だけでなく、基礎・基盤的な研究も正当に評価される制度が必要である。
- ② 基礎教育の重要性として、研究者の教育活動が評価される制度が必要である。
- ③ 実習・実験の強化として、施設維持への支援あるいは共同利用への支援が必要である。
- ④ 長期的な人材確保として、短期的ではなく持続性を持った支援が必要である。
- ⑤ 国際的な視野を持った人材の育成のための支援が必要である。

(6) 産・学の一体的な取り組み（電気事業者の貢献）

電気事業者としての取り組みとしては、

- a. インターンシップなど、実務の機会付与として、①電力系の研究機関で研修活

動に参加、②電力系のエンジニアリング部門での設計解析業務への参加、③原子炉運転シミュレータによる操作体験等による協力が可能である。

- b. 講師を派遣しての講義として、①原子力工学系学生に対する保全工学、建設工事、定期検査、燃料管理、産業界の新技术、国際協力、耐震設計、FBR、次世代軽水炉、再処理工場、原子燃料サイクル等の講義、②一般工学系学生に対しての、原子力に興味を持たせるための講演会の開催等への協力が可能である。

4. 原子力関連メーカーからの提案

(1) 原子力発電のビジネス環境

メーカーにおける人材育成については、将来のビジネス環境の変化を考慮しながら育成していくことが基本である。原子力発電のビジネス環境としては、原子力産業界全体で約 15,300 億円／年(原産協調査 原子力関連鉱工業、2000～2004 年平均)の売上高がある。

今後のビジネス規模としては、2020 年頃までに 13^{注1)}基の国内新設原子力発電所が建設される予定であり、2030 年以降は約 2 基／年程度の国内原子力発電所のリプレース(新設)が予定されている。また、メーカーとしては、海外の原子力発電所の建設にも参画していきたいと考えており、2010 年以降に国外原子力発電所の建設が本格化し、4～6^{注2)}基／年の新規建設があるものと推定される。その他に、国内リプレース・新設のためのキーとなる技術開発が 2020 年までに行われ、更には、核燃料サイクル、高速炉建設のための新技術開発が 2050 年頃まで長期的に続くことを念頭に置いて人材育成を行っていく。

注1：電力施設計画による(平成 18 年 4 月)

注2：DOE “International Energy Outlook 2006” による

(2) メーカーで必要な技術者

技術者への質的要求については、メーカーという立場から最も基本的な視点である「ものづくり」に興味を持つ人材が望まれる。採用分野としては原子力工学系、機械工学系、電気・電子工学系、物理系、金属・化学工学系及び材料・腐食・水化学系といった分野が必要である。加えて、原子力工学系出身者の配属先としては、主として炉心、安全、原子力システム等の設計や研究開発となる。それから、原子力事業のグローバル化が進むことから、専門分野の能力に加え語学力が必要となる。

技術者の量的現状については、今後国内で計画されている 13 発電所の建設や 2030 年頃からのリプレース、海外案件を考慮すれば原子力部門技術者の増員を検討する必要がある。

(3) メーカー 3 社原子力部門採用技術者の現状

「大学の原子力工学研究教育設備等検討特別専門委員会報告書(2003 年 3 月 日本原子力学会)」によると、原子力工学系卒業者は約 400 名／年(2000～05 年の平均)である。

メーカーの原子力部門での原子力工学系出身者は、全採用者の約 30%であり、残り約 70%は、機械系、電気系、材料系といった基礎・基盤分野の学科の出身

者である。原子力工学系出身者の約7%がメーカーの原子力部門で働いているのが実態である。

つまり、メーカー3社の原子力部門における採用者の70%は、機械系、電気系、材料系といった基礎・基盤分野の卒業生である。

また、約400名の卒業生のうちの約90%は官公庁、電力会社、研究機関、メーカー、燃料メーカー、メーカー以外の原子力関連企業等に就職するが、ソフトウェア、半導体及び銀行といった非原子力分野に就職する学生も少なくない。原子力工学系卒業者の進路については、今後システマティックな調査が必要である。

(4) 大学・大学院への期待

大学・大学院では、以下の3点の教育の充実を図ることが必要である。

a. 原子力工学系教育の充実

- ① 炉物理などの原子力工学系カリキュラムの充実
- ② 炉物理実験、原子燃料実験、放射線取扱実験などの原子力基礎実験
- ③ 実験、正解がない実験、失敗体験などをまとめる能力の育成

b. 基礎・基盤分野の強化

- ① 構造強度
- ② 材料強度
- ③ 腐食・物性
- ④ 溶 接
- ⑤ 熱・流体・振動
- ⑥ 水質・化学
- ⑦ 電気・電子

※①～⑤の分野は研究後継者が少なく、研究後継者・学生教育の強化が必要

(基礎・基盤分野での強化が必要な分野)

構造強度	破壊力学、疲労強度、非破壊検査、材料力学
材料強度	破壊力学、破壊制御、破壊事故解析、压力容器規格 材料強度、環境助長割れ、材料劣化計測、多体連成力学 金属材料照射損傷
腐食・物性	腐食損傷、電気化学、材料加工、表面処理、無機材料物性
溶接	溶接・接合、溶接力学、材料強度、非破壊評価
熱・流体・振動	流体力学、熱流動研究、流体励起振動

c. 総合的な能力の向上

下記のカリキュラムを設けるなどにより、総合的な能力向上策の充実を図ることを大学・大学院へ期待したい。

- ① 研究機関・産業界の原子力インフラ活用の実習（インターンシップ）
- ② 産業界からの講師派遣による専門（特別）講座や実務教育
- ③ 産学協同による技術課題の解決や研究・基礎データの取得・整備
- ④ 海外の大学、研究機関、国際機関への学生派遣プログラム
- ⑤ グローバルに通用する資格制度と技術士資格取得

（５）国への期待

国に対する期待として、原子力工学系は大学院での教育が主体になっていることを考えると、原子力工学系カリキュラム・教科書作成支援、教育・研究費の支援、原子力基礎実験実施のためのインフラ整備支援を期待している。

特に原子力基礎実験実施のためのインフラ整備については、教育あるいは研究炉の維持・確保が非常に重要であり、関西地区、関東地区それぞれに拠点を設けることも検討すべきである。

また、基礎・基盤分野における研究及び教育が評価されない、あるいは論文を出しにくいということが指摘されているため、原子力の基礎・基盤分野の維持に資するよう、教育研究費の支援や基礎・基盤分野の教育者評価システムの確立を期待したい。

（６）企業からの支援

以下の５点について、メーカーとして、大学・大学院等の原子力教育に協力をしたいと考えているので、これらの協力と関連した支援を検討すべき。

- ① 産業界メーカーから、OBを含めて講師、教授の派遣の協力
- ② 教科書作成への協力
- ③ カリキュラム作成への協力
- ④ 実習（インターンシップ）の受け入れ
- ⑤ 教育設備、システムの拡充への技術協力

5. 原子力安全規制行政に係る人材面の課題

原子力安全・保安院（以下「保安院」という。）及び原子力安全基盤機構（以下「安全基盤機構」という。）は自ら安全規制行政を担うとともに、その遂行にあたり必要に応じ、大学・大学院、研究機関等の専門家、有識者（以下「外部専門家等」という）から技術的専門的な意見・助言等を得ている。

（１）保安院及び安全基盤機構の人材について

保安院及び安全基盤機構の人材については、基本的には原子力安全規制行政について一定の経験を有し、規制制度・手法等に明るいプロパー職員と産業界からの中途採用者を中心とした原子力技術について高い専門性を有する職員により構成されている。

保安院及び安全基盤機構における職員数は表－１に示すとおりである。保安院では、本院の職員数が約 440 名、うち約 330 名が原子力安全分野の職員であり、その中の約 110 名が検査官として現場で管理監督を行っている。

また、原子力安全分野の職員のうちの約 80 名は中途採用者であり、その中で 56 歳以上の者が約 50 名を占めている。

安全基盤機構では、職員数が産業界からの出向者を含めて約 450 名、うち技術系職員が約 240 名であり、その中で約 110 名の技術系職員が 56 歳以上の方である。

今後 5 年間で保安院及び安全基盤機構では、中途採用者を中心に併せて約 160 名が定年退職を迎えることになり、安全規制行政の組織として原子力技術専門家、現場技術者等組織能力をどのように維持・確保していくかが課題となっている。

表－１ 保安院及び安全基盤機構の職員数等

平成 18 年 11 月 1 日現在

	職 員 数	中途採用者（うち 56 歳以上）
保 安 院	本 院 約 4 4 0 名 うち原子力安全分野担当は 約 3 3 0 名	約 8 0 名（約 5 0 名）
	職 員 数	技術系職員（うち 56 歳以上）
安全基盤機構	全 体 約 4 5 0 名 うち技術系職員約 2 4 0 名	約 2 4 0 名（約 1 1 0 名）

（注）技術系職員の大半は、安全基盤機構の母体となった法人における産業界出身者、安全基盤機構発足時及び発足後における産業界からの採用者。

基本的な構想としては、産業界からの中途採用による人材確保とともに、中長期的には中途採用に加え新規採用と研修制度の拡充による職員の育成強化を図っていく方針である。

新規採用の基本的な考え方は、保安院の採用でなく、経済産業省として採用するため、基礎・基盤分野（電気・電子、機械、材料等）についての一定の専門性と工学的要素を有していること、また、採用者全体として専門分野の偏りがないように配慮することであり、採用時点で規制制度に習熟している必要はない。

なお、技術系新卒者の保安院配属は、ここ数年で年平均数名程度であり、安全基盤機構は平成 17 年度から若干名の新規採用を開始している。

（２）外部専門家等の人材について

外部専門家の人材については、原子力安全・保安部会等で審議される原子力安全規制制度、事故故障等個別案件について技術的・専門的な観点から意見を頂いている、原子力の基礎・基盤技術分野、特定技術分野及び人文社会科学等の専門家の年齢構成を整理すると、表－２に示すとおりであり、原子力基礎・基盤技術分野では、機械工学、土木工学及び電気工学で高年齢化が進んでおり、原子力特定技術分野では耐震、原子力システム工学・原子力安全工学で高年齢化が進んでいる。

なお、行政ニーズの観点からは、原子力特定技術分野における核燃料サイクル工学及び廃棄物埋設の分野でそれぞれ約 10 名の研究者が居るが、原子炉施設関係の全体的な層の厚さからするとやや薄いのが現状である。

表－２ 原子力安全・保安部会及び関係委員会等の委員（大学・大学院、研究機関等所属）の専門分野別年齢構成

専門分野 \ 年齢	原子力基礎・基盤技術分野				合 計 ※重複を含む
	39 歳以下	40～49 歳	50～59 歳	60 歳以上	
原子核・放射線	0	3	3	4	10
電気工学	0	0	2	3	5
化学工学	0	0	3	3	6
機械工学	0	1	6	19	26
材料工学	0	6	11	8	25
熱流体工学	0	1	4	3	8
土木工学・建築工学	0	1	9	12	22

年齢 専門分野	原子力特定技術分野				
	39 歳以下	40～49 歳	50～59 歳	60 歳以上	計 ※重複を含む
原子力システム工 学・原子力安全工学	0	0	9	7	16
炉心・燃料	0	2	2	2	6
原子力保全工学	0	3	1	1	5
放射線応用・放射 線安全工学	0	2	6	6	14
核燃料サイクル 工学	0	2	6	3	11
廃棄物埋設	0	3	5	2	10
管理工学	1	8	10	8	27
耐震	0	3	11	8	22
原子力規制	0	0	1	4	5
その他	0	1	5	6	12
人文社会科学	0	3	2	1	6
メディア・消費者 等	0	2	5	5	12
計	1	41	101	104	247

（注1）原子力安全・保安部会、小委員会及びWGにおける委員（電気事業者、日本原燃を除く）を対象とした。

（注2）専門分野の詳細は表－3を参照。

外部専門家等の課題としては、全体として60歳以上の専門家が半数弱を占めている。行政ニーズの面から見ると炉心・燃料、原子炉保全工学、人文社会科

学系統及びサイクル分野の専門家の増加が期待される。

核燃料サイクル工学の分野は、日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」という）等の研究機関の研究者による支援が大きく、引き続き、原子力機構とともに大学・大学院の研究者による支援が期待される。

保安院としては、大学・大学院等での教育研究活動を通じた専門家人材の育成を期待するとともに、放射線下での硝酸による材料腐食、タービンの構造・振動等といった特定の技術分野で専門家の育成を期待している。

なお、高度な専門家は、基本的に研究開発を通じて育成されることが多いと考えられ、保安院では、大学・大学院、研究機関等のそれぞれの役割を踏まえ安全研究を通じた人材育成の強化を検討中である。

平成 18 年度の保安院における原子力安全研究の予算総額は約 172 億円あまりであり、材料劣化・高経年化対策技術、安全設計・評価技術等の分野に使われている。

そのうち、直接・間接を通じて、大学へ約 6 億円、原子力機構へ約 30 億円の予算が配分されている。大学・大学院等の研究開発を通じた人材育成という観点も踏まえて研究開発を進めていく必要がある。

また、原子力機構との関係では、原子力防災の分野でシビアアクシデントの研究等が行われている。当該分野は、人材の面、研究の面で予算が減少しているが、原子力の特定分野の人材育成を念頭において研究開発資金を配分していくことも重要である。（図－4 保安院における原子力安全研究の概要 参照）

表－３ 専門分野の区分及び内訳

専 門 分 野		専 門 分 野 (内 訳)
原子力基礎・基盤技術分野	原子核・放射線	原子核物理 放射線物理 放射線計測 核融合・プラズマ物理 炉物理 原子核工学
	電気工学	発電工学 送変電工学 電気設備
	化学工学	原子炉化学
	機械工学	破壊力学 溶接 機械設計 システムデザイン
	材料工学	物性 腐食 放射線照射（照射脆化） 金属材料 材料強度 コンクリート 材料評価 材料設計 材料力学
	熱流体工学	熱力学 熱水力 流体力学 伝熱流動
	土木工学・建築工学	岩盤工学 構造設計
原子力特定技術分野	原子力システム工学・ 原子力安全工学	原子炉制御 プロセス系統設計 プロセス計装 原子炉計装（原子炉計測、核計測） 原子炉システム 安全設計 原子炉安全学 臨界安全管理
	炉心・燃料	核燃料材料学 高速炉燃料 炉心設計 燃料健全性 原子炉計算コード
	原子力保全工学	信頼性物理 故障解析 異常診断
	放射線応用・放射線安全工学	放射線応用（放射線利用、放射線遮へい） 放射線安全工学（保健物理（放射線防護、線量当量）、放射線生物学）
	核燃料サイクル	再処理（閉じ込め、機械、臨界、材料）、輸送技術
	廃棄物埋設	廃棄物埋設（廃棄物処理、貯蔵）、廃止措置、クリアランス
	管理工学	リスク（PSA） ヒューマンマネジメント 原子力危機管理学 爆発安全工学 ヒューマンファクタ 品質保証
	耐 震	地質学 地震学
	原子力規制	原子力法規 放射線法規 核物質防護
	その他	社会環境システム工学 エネルギー政策 産業廃棄物
人文社会科学		法律 行政学 経済学 コミュニケーション 組織文化・安全文化 コンプライアンス
メディア・消費者等		ジャーナリスト 首長 消費者団体等

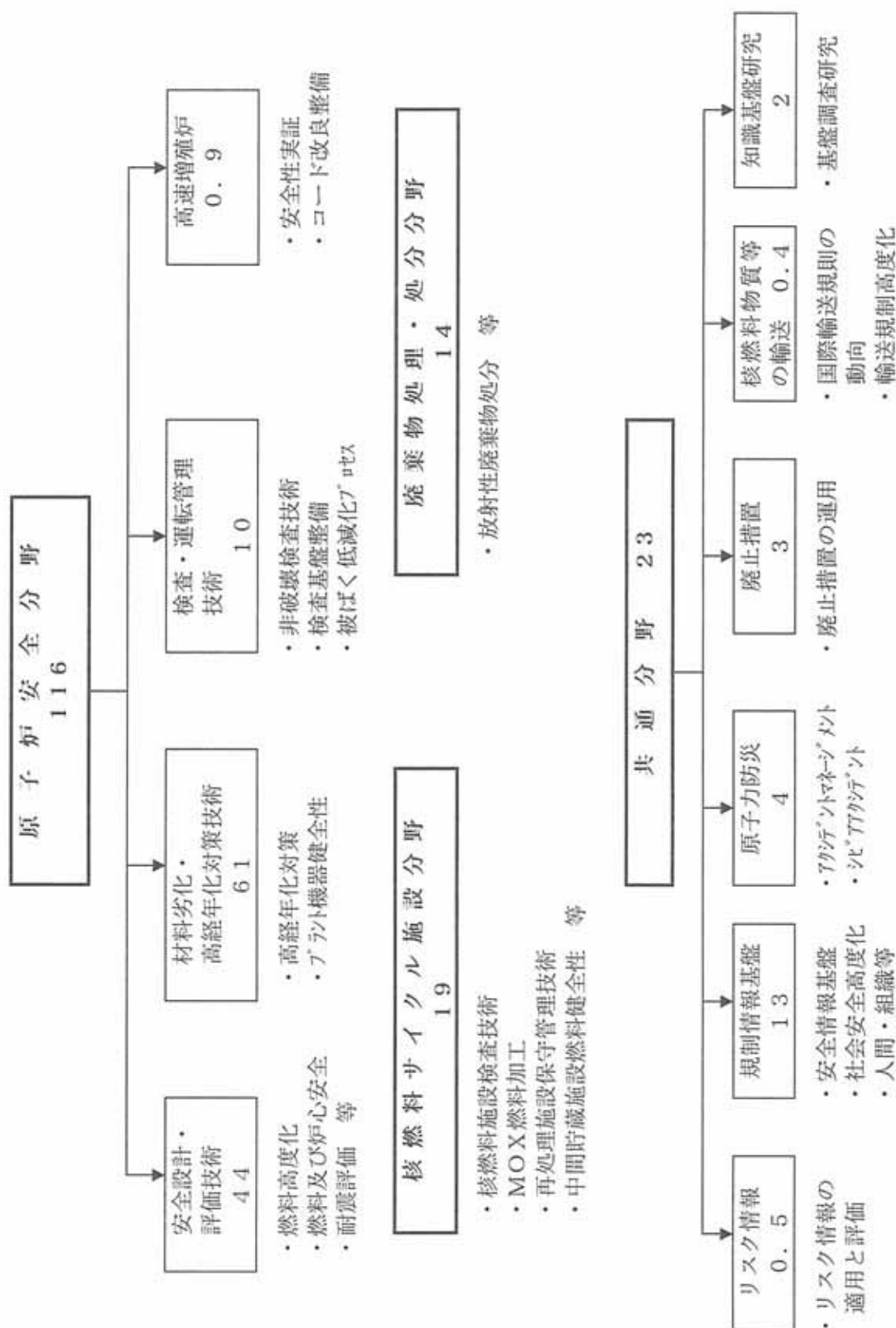


図-4 保安院における原子力安全研究の概要（平成18年度予算額[単位：億円]、総額約172億円）

Ⅲ. 原子力人材育成の在り方

1. 原子力人材育成プログラムの在り方

原子力分野の人材育成は、多くの施策が含まれる総合的な課題であるとともに、着実に成果を出していくためには、関係者が協力し、長期的・継続的に取り組むことが必要がある。原子力人材育成プログラムに含まれる事業は、可能な限り中長期的展望のあるポテンシャルの高い事業とすべきである。

また、原子力人材育成プログラムに含まれない中長期的課題についても継続的に検討していく必要があることから、来年度以降、「原子力人材育成関係者協議会（仮称）」を設置し、引き続き検討するものとする（Ⅲ. 4. 参照）

ここでは、平成 19 年度の原子力人材育成プログラムの実施の在り方について、人材育成研究会での議論を踏まえて整理した。原子力人材育成プログラムは、原子力を体系的に学んだ優秀な学生の育成を目標とした「教育活動支援」と、原子力を支える基盤技術分野の研究者の育成を目標とした「原子力を支える基盤技術分野の研究活動支援」に分けられる。それぞれの支援策の在り方について、原子力人材育成プログラムの内容に沿って整理した。

A. 教育活動支援（大学・大学院等の原子力教育推進のための教育活動支援）

（1）原子力基礎教育研究の充実

a. 学生の質の向上及び基礎教育の重視

原子力人材育成プログラムの実施に当たっては、原子力を学ぶ学生の数を増やすことを目標にするのではなく、学生の質を高めることを目標とする。学生の質を高めるためには、一定程度の学生数が必要であるものの、現在のところ、原子力を学んだ学生のうち、原子力産業界に就職する学生は一部にとどまっており、原子力関連産業の将来見通しを考えても、直ちに学生の数の不足が深刻な課題となっている状況にはない。このため、原子力人材育成プログラムでは、当面の目標として、十分な専門知識と高いモチベーションを持った優秀な学生を育成することを目指すべきである。

原子力関連産業の現場で活躍するためには、原子力についての基礎的知識に加え、立地地域の社会との橋渡しや国際的なビジネスに必要なコミュニケーション能力、特定の専門分野に軸足をもちつつ原子力プラント全体を俯瞰できる能力、原子力に関する法律や倫理についての知識も必要とな

っている。他方、このようなビジネスの現場で必要となる幅広い能力は、あくまで原子力分野の体系的な基礎教育がベースとなっている。また、コミュニケーション能力やシステムをインテグレートする能力はビジネスの現場や就職後の研修等で学んでいく場合も少なくない。このため、原子力人材育成プログラムにおいては、原子炉物理学、放射線安全学、核燃料サイクル工学等の原子力基礎教育を重視することとするのが適当である。

b. 実習・実験の重視

大学・大学院等の原子力分野の教育において実践的知識を習得するためには、実習・実験が必要不可欠である。実習・実験を通じて具体的な問題の解決に取り組むことにより、原子力の基礎的原理や論理的な考え方を効率的に学ぶことができることに加え、将来技術者としてマニュアルのない新しい技術領域に取り組むための応用力を育むことが可能となる。このため、原子力人材育成プログラムでは、実習・実験を通じた問題解決型の教育を重視することとする。

実習・実験を大学・大学院で行うに当たり、大学の教育研究炉等が必要となるが、大学の教育研究炉の維持には多額の費用が掛かり、大学の運営費交付金が減少する中で設備の維持・更新が難しくなっている。このため、原子力人材育成プログラムでは、大学の教育研究炉を活用した炉物理実験等の既存の施設を活用する実習・実験を支援するものとする。プログラムの実施に当たって、原子力関係施設の整備・運営、支援スタッフの増強を支援することも重要である。

大学の教育研究炉に加えて、研究機関や産業界の施設を活用した実習・実験や、地元企業及び他大学との連携による相乗効果が期待できる事業を積極的に支援することとする。

研究機関及び産業界には、大学・大学院等の学生が施設を利用する機会を可能な限り提供することが期待される。

c. 大学の特色を活かしたカリキュラム、教材及び講義内容の充実

原子力産業では技術革新が着実に進展しているにもかかわらず、最新の内容を含む教材が十分整備されていないとの指摘がある。また、大学の特色を活かした原子力分野のカリキュラムの整備が求められている。

このため、原子力人材育成プログラムでは、原子炉物理学、放射線安全学、核燃料サイクル工学等の原子力特有の基礎分野や保全工学などの実践

的な教育のカリキュラム及び教科書・教材の充実を図ることとする。カリキュラムの開発に当たっては、実習・実験を重視する。また、グローバルな感覚を持った人材の確保が重要であることから、国際的に活躍できる人材を育成する観点を考慮する。

講義内容の充実を図るためには、大学・大学院等の指導教官に加えて、産業界や研究機関の現場で活躍する原子力関係者が大学・大学院等で講義を行うことが有効である。原子力人材育成プログラムでは、大学・大学院等の授業において、原子力シニアを含む産業界や研究機関等からの外部講師を招聘し、産業界からのニーズを踏まえた実践的な教育を行うことを支援する。また、教育のための大学の体制を強化することも講義内容の充実に有効であることから、教員の資質の向上、人員の確保、ポストドクター等の技術スタッフ及び事務スタッフの増強を進めるものとする。

講義内容の充実の観点から、他大学から講師を招聘する取り組みも支援する。他大学との連携に関して、将来的には、「横断型原子力工学コース」や「遠隔地講義システム」など、我が国全体として効率的に原子力教育が実施できるための取り組みについて検討する。

研究機関及び産業界には、カリキュラム作成への協力及び大学の要請に応じた講師派遣への協力が期待される。

d. 学生の学会事業などへの参加支援

大学・大学院等の学生が各自の研究成果を発表する機会が与えられ、原子力関係者から評価やアドバイスを受けることができれば、学生は一層高い向上心を持って研究に取り組むと考えられる。しかし、学会への出席に必要な経費が足りないため、学生が研究成果を自ら発表する機会が十分与えられていない場合もある。

このため、原子力人材育成プログラムでは、学生の原子力分野に対するモチベーションを高める観点から、学生の学会事業などへの参加に必要な経費を支援するものとする。

(2) インターンシップの充実

a. 海外インターンシップへの支援

世界各国で原子力発電を推進する動きが高まる中で、原子力関連産業の市場は急速にグローバル化している。また、市場のグローバル化に伴って

原子力関連産業の国際化が進展し、原子力関連企業が海外において事業展開したり、海外の企業と連携して事業を進める例が増加している。このようなことから、大学・大学院等で原子力を学んだ学生には、グローバルな感覚を持ち、文化的背景や言語の異なるスタッフとチームを組んで仕事をしていく能力が求められている。このような国際的に活躍するための能力のある人材を育成するためには、大学・大学院等の学生が海外において研究や実務に取り組む経験を積むことが効果的である。しかしながら、学生が海外においてインターンシップ等に参加するためには、相当の経費が必要なため、原子力分野において海外のインターンシップへ参加する学生数は少ない。

このため、海外の大学、研究機関及び国際機関等への学生の派遣プログラムに参加する学生を積極的に支援することとする。

b. 国内インターンシップ支援（産業界のインフラ活用による実習支援）

大学・大学院等の学生が原子力産業の実態と魅力を知り、原子力を学ぶモチベーションを高めるとともに、原子力に係る最新の知見や実践的な知識を身につけるためには、多くの学生が産業界のインフラを活用した国内インターンシップを経験することが望まれる。

このため、原子力人材育成プログラムでは、産業界のインフラを活用した実習教育を行うインターンシップを支援することとする。インターンシップにおいて経験する業務の例としては、産業の現場を経験できる原子力分野の実習の他に、産業界が取り組んでいる研究テーマについて産業界の技術者と共同で研究作業やレポート作成を行うことなどが考えられる。

研究機関及び産業界には、学生のインターンシップの受け入れへの協力が期待される。

(3) 進路選択前及び原子力専攻以外の学生への支援

原子力を専攻する学生の質の向上を図るためには、原子力分野の専攻への進学を希望する学生が増え、優秀な学生が競って原子力専攻の門をたく状況となることが理想的であるが、現実には、学生の間での原子力専攻の人気は高くはない。学生は、原子力専攻及び原子力産業に必ずしも良いイメージを持っていないのが実情である。

しかし、現在、グローバルな観点及び長期的な観点から見れば、世界的な原子力利用拡大の時勢の中で原子力産業は明らかに更なる発展の可能性

のある産業である。実際、主要原子力関連メーカー及び電力業界による大規模な投資、大胆な国際展開、将来を見据えた積極的な技術開発が行われている。このような原子力産業に技術者として参加することは学生にとって魅力的であると思われる。学生が原子力分野に消極的なイメージを持っているのは、原子力産業の実態が学生に正確に伝わっていないことに大きな原因があると考えられる。

また、原子力産業は幅広い技術の集合体であり、原子力産業で活躍する人材の多くは原子力専攻以外の学科（機械、電気、化学・材料等）を卒業した人材である。原子力産業を支える人材の充実を図るためには、原子力専攻以外の優秀な学生に対しても教養としての原子力基礎的知識を提供するとともにその学生が原子力産業に関心を持ち、卒業後に原子力産業へ就職を希望することが望まれる。

このような課題に取り組むため、原子力人材育成プログラムでは、進路選択前及び原子力専攻以外の学生（特に原子力を支える周辺分野）のための講演会、産業界の専門家等の外部講師招聘による授業、原子力関連施設の見学会を支援し、原子力の魅力を伝える取り組みを推進する。

研究機関及び産業界には、大学・大学院等の要望に応じた講師派遣への協力が期待される。

（４）原子力のコアカリキュラムの整備（標準的なカリキュラム及び教材の調査・開発）

学部及び大学院の改組・大括り化が行われ、従来の原子力学科・専攻は、他学科・専攻との統合や名称変更により、エネルギーや環境等より広い分野を扱う学科・専攻の一部へと改組されていく中で、体系的な原子力専門教育の実施が困難となっている。このため、大学・大学院で原子力を専門的に学ぶ学生の具体的な教育スケジュール、講義や実習の内容について改めて検討することが必要となっている。

また、原子力の専門教育で活用される教科書や教材は古いものが多く、原子力の技術的な進歩や原子力産業の実態に合わないものもある中で、標準的な教材としてどのようなものがふさわしいか調査・開発するニーズがある。

このような課題に対応するため、大学の原子力関係学科で採用されるべき標準的なカリキュラム及び教材を調査・開発する。コアカリキュラムの開発に当たっては、実習を重視し、産業界からの長期的ニーズを踏まえたものとするとともに、原子力人材育成に関する他の事業の長期的な企画運

営に資するものとするのが重要である。

B. 研究活動支援（原子力を支える基盤技術分野の研究活動支援）

a. 基盤技術分野における懸念

原子力を支える基盤技術分野は、先端分野ではないものの、原子力産業の着実な発展に不可欠な分野である。近年、当該分野の研究者の高齢化が進展しており、若手技術者が急速に減少している。今後、産業界及び安全規制行政において貢献できる大学の研究者が一層減少することが懸念されている。大学の研究者が先端分野の研究を中心に取り組む中で、原子力産業界では、基礎技術分野（原子炉物理学、放射線安全学、核燃料サイクル工学等）に加えて、基盤技術分野の研究も安全を最優先に原子力利用を進めていくうえで必要となっていることから、引き続き大学においても研究が行われることが必要となっている。

原子力を支える基盤技術分野としては以下の技術分野が挙げられる。

- 構造強度（破壊力学、疲労強度、非破壊検査、材料力学）
- 材料強度（破壊力学、破壊制御、破壊事故解析、压力容器規格、材料強度、環境助長割れ、材料劣化計測、多体連成力学、金属材料照射損傷）
- 腐食・物性（腐食損傷、電気化学、水化学、材料加工、表面处理、無機材料物性）
- 溶接（溶接・接合、溶接力学、材料強度、非破壊評価）
- 熱・流体・振動（流体力学、熱流動研究、流体励起震度）
- 水質・化学
- 電気・電子
- 放射線安全（保健物理、核医学、放射線計測）

（注）下線は特に後継者が少なく、優先的に対策が必要な分野

b. 基盤技術分野の研究活動支援

基盤技術分野の研究活動支援に関する人材育成の目的は、大学において、当該分野の原子力関連産業や安全規制行政において貢献できる研究者を育成することであることから、支援対象とする研究テーマは、原子力産業に密接に関連

したものである必要がある。また、支援対象となる研究テーマに取り組む研究者は、原子力に関する技術全般についてもある程度の知見を有する人材であることが重要である。

このため、基盤技術分野の研究活動の支援に当たっては、上述の基盤技術分野を対象とするだけではなく、国が公募を行う前に、産業界が具体的研究テーマを提示することとし、公募事業の採択に当たっては産業界から提示された具体的研究テーマに近い提案を優先的に実施し、産業の現場のニーズに即した事業とすることが適切である。

このような考えの下、人材育成研究会では、別紙－１のとおり、基盤技術分野の研究に関する産業界のニーズを踏まえた研究テーマをとりまとめた。国が公募を実施する際には、別紙－１の研究テーマを参考にすることが期待される。

また、基盤技術分野の研究者が高齢化し、若手研究者が十分育成されていないことから、可能な限り若手研究者の育成に資する研究に対して支援することが求められる。

2. 国、大学・大学院等、原子力産業界の協力

原子力人材育成プログラムを具体的に推進していくためには、産官学の協力が重要である。産官学の協力の在り方について、大学・大学院等の問題認識、国の方針、産業界の要望及び貢献についての提案、研究機関の考え方を踏まえ、表-4のとおりにまとめる。

原子力分野の教育は、大学・大学院等における「学生に対する教育」と、就職した後に主に企業内部で受ける「社会人に対する教育」の二つに分けられる。

(1) 学生に対する教育

学生に対する教育では、大学・大学院等が主体となりカリキュラムや教材の作成が行われるとともに、基礎的な教育やその応用に関する教育（研究、論文作成など）さらには実習・実験が行われる。原子力人材育成プログラムの実施に当たっては、大学・大学院等からの主体的な事業の提案が必要となる。

産業界からは、カリキュラムや教材の作成、実習・実験に対して原子力産業界が有するインフラの活用も含め協力する旨の提案がなされた。また、インターンシップや講師派遣に関しても協力が提案された。

日本原子力研究開発機構等の研究機関については、人材育成研究会では具体的協力内容に踏み込んで検討することはできなかったが、人的資源や所有する設備などから、原子力産業界と同様の協力が期待される。

(2) 社会人に対する教育

社会人に対する教育では、各企業において採用後の社員に対して実施される研修（OFF-JT）や業務を通じた教育（OJT）、実務に特化した専門知識の習得などがある。これらは原子力産業界が主体となり、基本的には社内で実施されると考えられる。

また、それ以外の就職後の教育活動としては大学院等において実施される各種の社会人教育への参加などがある。

表－４ 国、大学・大学院等、研究機関及び原子力産業界の協力関係

	大学・ 大学院等	産業界	研究機関	国の支援
＜学生に対する教育＞				
○カリキュラム及び教材の作成	主体	協力	協力	有
○教育				
・基礎的原理、専門的知識の教育	主体 (大学等)		協力	
・研究の進め方、論文のまとめ方の習得	主体 (大学院)		協力	
・実習・実験	主体	協力	協力	有
・インターンシップ	派遣	受入	受入	有
・講師派遣	受入	派遣	派遣	有
＜社会人に対する教育＞				
○企業内部での人材育成				
・採用後に実施される研修		主体	主体	
・実地体験／業務を通じた教育		主体	主体	
・実務に特化した専門的知識の習得		主体	主体	
○その他				
・社会人教育	受入	派遣	派遣	

3. 原子力人材育成プログラムの実施方針

平成 19 年度の原子力人材育成プログラムの実施に当たっては、国が大学・大学院等に対して具体的事業の提案を公募し、産業界や学識経験者が参加した技術評価委員会等において適切な事業を採択することとなる。技術評価委員会等において事業を採択するに当たり、採択の基本的な指針が必要となる。

そこで、文部科学省及び経済産業省では、人材育成研究会での議論を踏まえ、具体的な事業内容、優先すべき事業、実施に当たっての留意点などをとりまとめ、平成 19 年度「原子力人材育成プログラム」実施方針（別紙－2）を策定した。

原子力人材育成プログラムを実効性のあるものとするためには、この実施方針を広く周知することが必要である。

4. 今後の検討課題

(1) 「原子力人材育成関係者協議会（仮称）」の設置

人材育成研究会の目的は、平成 19 年度の原子力人材育成プログラムをより実効性の高いものにすることであったが、本研究会においては、平成 19 年度の原子力人材育成プログラムの枠を超えた、中長期的課題についても幅広い検討が行われた。また、原子力学会、学識経験者、原子力関連メーカーより、原子力分野の人材育成に関する中長期的課題について産官学で検討する場を常設すべきとの意見も複数出された。原子力人材育成プログラムの枠を超えた中長期的課題については、更に詳細な実態の把握、他の施策や様々な制度との関係の調査などが必要であるとの指摘もあった。

これらを受けて、原子力分野の人材育成について関係者が継続的に議論する場として、「原子力人材育成関係者協議会（仮称）」を（社）日本原子力産業協会に設置する旨の提案が文部科学省及び経済産業省からなされた（別紙－3）。

人材育成研究会としては、文部科学省及び経済産業省の提案を了承し、「原子力人材育成関係者協議会（仮称）」を設置することとした。

(2) 「原子力人材育成関係者協議会（仮称）」での検討課題の例

「原子力人材育成関係者協議会（仮称）」では、以下の検討課題の例を含む中長期的課題について、必要に応じて議論していくこととする。

- 人材育成の中長期的ロードマップ
- 原子力分野の人材需給及び就職状況等に係る定量的分析
- 教育用実験炉等大学の施設維持、廃棄物処理に関する将来的課題
- 基盤技術分野の研究者の評価に関する課題
- 大学・大学院等の研究者の過大な事務負担に関する課題
- 小学生、中学生及び高校生に原子力への興味を持たせるための施策
- 奨学金に関する課題

(3) 原子力人材育成プログラムのフォローアップ

原子力分野の人材育成を効果的に実施していくためには、原子力人材育成プログラムを実施した結果を適切にフォローアップし、施策の効果を評価した上

で、原子力人材育成に係る今後の施策の企画立案に活かしていくことが重要である。

また、フォローアップに当たっては、原子力人材育成プログラムの予算が将来も継続的に手当されるとは限らないことを踏まえ、国・自治体、産業界、研究機関、大学・大学院等、日本原子力学会が協力して原子力分野の人材育成を継続できるよう、併せて検討を進める必要がある。

IV. 参考

1. 「原子力人材育成の在り方研究会」名簿（敬称略）

(1)座 長

服部 拓也 （社）日本原子力産業協会 副会長

(2)メンバー(50音順)

岡田 敬三 三菱重工業（株） 原子力事業本部

原子力技術センター 原子力技術部長

河原 暉 （株）日立製作所 電力グループ 技師長

河村 潤子 （独）国立高等専門学校機構 理事

工藤 和彦 九州大学大学院工学府 エネルギー量子工学専攻 教授

辻倉 米蔵 関西電力（株） 常務執行役員

中原 徹 文部科学省 研究開発局 原子力計画課長 （第1回～第3回）

中村幸一郎 経済産業省 原子力安全・保安院

原子力安全技術基盤課長

野田 耕一 経済産業省 資源エネルギー庁 原子力政策課 企画官

藤原万喜夫 東京電力（株） 執行役員 原子力・立地本部副本部長

兼 原子力・立地業務部長

前川 治 （株）東芝 電力システム社 原子力技師長

班目 春樹 東京大学大学院工学系研究科 原子力専攻 教授

飯井 俊行 （社）日本原子力学会 教育委員会委員長

（福井大学大学院工学研究科

原子力・エネルギー安全工学専攻 教授）

森山 裕丈 京都大学大学院工学研究科 原子核工学専攻 教授

柳瀬 唯夫 経済産業省 資源エネルギー庁 原子力政策課長

山野 智寛 文部科学省 研究開発局 原子力計画課長 （第4回）

(3)オブザーバー(50音順)

中川 純一 経済産業省 資源エネルギー庁 情報企画室長

長谷川 信 （独）日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所

環境技術管理部長

八束 浩 （社）日本原子力産業協会 常務理事

(4)事務局

（社）日本原子力産業協会 政策本部

担当役 三浦 研造

リーダー 山本 晋児、木下 雅仁

担当者 天野 宗歩、石井 明子、富野 克彦

2. 「原子力人材育成の在り方研究会」検討経過

(1) 「原子力人材育成の在り方研究会」第1回研究会

- ・ 日 時 : 2006年11月8日(水) 16:00~18:00
- ・ 場 所 : 富国生命ビル 28階 中会議室
- ・ 議 題 : 「大学・大学院等における原子力分野の人材育成についての論点整理及び大学・大学院等からの原子力人材育成プログラムへの提案」

- ① スケジュール、進め方(原産協会)
- ② 「原子力人材育成プログラム」(文部科学省及び経済産業省)
- ③ ヒアリング結果を踏まえた論点整理(経済産業省)
- ④ 大学、学会及び高専機構からの提案

- (i) 教育環境及び研究環境の現状と課題を踏まえた国の支援の在り方
- (ii) 「原子力人材育成プログラム」に係る具体的提案

<発表:敬称略>

飯井 俊行 (社) 日本原子力学会 教育委員会委員長
(福井大学大学院工学研究科
原子力・エネルギー安全工学専攻 教授)
河村 潤子 (独) 国立高等専門学校機構 理事

(2) 「原子力人材育成の在り方研究会」第2回研究会

- ・ 日 時 : 2006年12月1日(金) 10:00~12:00
- ・ 場 所 : 富国生命ビル 28階 第二会議室
- ・ 議 題 : 「電気事業者、原子力関連メーカー及び原子力安全・保安院からの原子力人材育成プログラムへの提案」

- ① 電気事業者からの提案
- (i) 大学・大学院等における原子力分野の教育及び研究へのニーズ
- (ii) 「原子力人材育成プログラム」に係る具体的提案

<発表:敬称略>

辻倉 米蔵 関西電力(株) 常務執行役員

- ② 原子力関連メーカーからの提案
- (i) 大学・大学院等における原子力分野の教育及び研究へのニーズ
- (ii) 「原子力人材育成プログラム」に係る具体的提案

<発表:敬称略>

河原 暲 (株) 日立製作所 電力グループ 技師長

- ③ 原子力安全・保安院からの提案
- (i) 大学・大学院等における原子力分野の教育及び研究へのニーズ
- (ii) 「原子力人材育成プログラム」に係る具体的提案

<発表:敬称略>

中村幸一郎 経済産業省 原子力安全・保安院
原子力安全技術基盤課長

- ④ 第1回研究会における議論を受けて(文部科学省及び経済産業省)

(3)「原子力人材育成の在り方研究会」第3回研究会

- ・ 日 時 : 2006年12月20日(水) 14:00～16:00
- ・ 場 所 : 富国生命ビル 28階 中会議室
- ・ 議 題 : 「報告書骨子(案)について」

① 「原子力人材育成プログラム」の実施方針(案)の提示

(文部科学省及び経済産業省)

② 報告書骨子(案)の提示 (原産協会)

(4)「原子力人材育成の在り方研究会」第4回研究会

- ・ 日 時 : 2007年 2月15日(木) 10:00～12:00
- ・ 場 所 : 富国生命ビル 28階 第一会議室
- ・ 議 題 : 「報告書(案)について」

① 基盤技術分野の研究に関する産業界のニーズ(研究テーマの提示)

(電気事業者及び原子力関連メーカー)

② 報告書(案)の提示 (原産協会)

別 紙

別紙－１ 基盤技術分野の研究に関する産業界ニーズを踏まえた研究テーマ

別紙－２ 平成１９年度「原子力人材育成プログラム」実施方針

別紙－３ 原子力人材育成に関する協議会の設置について（案）

基盤技術分野の研究に関する産業界ニーズを踏まえた研究テーマ

分野	技術的課題の例	具体的研究テーマの例	期待する成果
1 構造強度	<ul style="list-style-type: none"> ○配管等の漏洩、破損等 ○容器等の漏洩、破損等 ○検査におけるリスク (検査精度、結果の評価) 	<p>* 原子力システムなどにおける構造強度の維持に資する研究。</p> <p>局部減肉を有する構造体の構造強度評価技術の確立</p> <p>構造健全性評価およびリスクベース検査技術の確立</p> <p>複雑き裂に対する破壊挙動評価技術の確立</p>	<p>局部減肉を有する構造体(配管)の破壊試験結果と、構造強度評価技術。将来的には維持基準への反映を期待。</p> <p>状態監視保全の導入に向け、特に構造健全性評価における課題を明確化し、リスクベース検査技術による解決策を確立することを期待。</p> <p>溶接部の応力腐食割れのように、性状が複雑なき裂に対して適用する破壊力学的な評価技術。き裂先端での挙動が構造物の破壊に及ぼす影響を考慮に入れ、現実的な評価ができるようになることを期待。</p>
2 材料強度	<ul style="list-style-type: none"> ○炉材料 ○燃料 ○溶接熱影響部の部材 ○軽水炉運転環境における材料 	<p>* 放射線など原子力特有の環境における材料の評価に資する研究。</p> <p>蒸気中の水滴によるエロージョン発生メカニズムの解明と対策材選定方針の確立</p> <p>破壊力学的手法による構造物の健全性評価研究</p>	<p>各種蒸気条件に対応したエロージョン試験結果と、対策材料の選定方針の確立。適切にかつ過剰仕様を回避した材料選定を可能にすることを期待。</p> <p>破壊力学的手法による構造物の健全性評価方法を確立し、規格・基準化することと、今後の状態監視保全、長期サイクル運転に活用される成果を期待。</p>
3 腐食・物性	<ul style="list-style-type: none"> ○IGSCC ○インコネル600腐食問題 ○破ばく低減を目指した水化学 ○設備維持を目指した水化学 	<p>* SCC等原子力特有の腐食・物性に関する課題解決に資する研究。</p> <p>軽水炉環境下でのSCC発生・進展のメカニズムの解明と改良材の開発</p>	<p>SCC発生抑制・進展防止技術の更なる進展を目指した発生・進展メカニズム解明(例えば、応力腐食割れ特性に及ぼす積層欠陥エネルギの影響、腐食電位と金属表面保護膜厚さやSCCとの関係など)、酸素含有環境でも応力腐食割れが生じず、加工性と溶接性に優れた材料開発に係わる基礎研究を期待。</p>

4	溶接	<p>○軽水炉運転環境を考慮した溶接技術</p> <p>○難溶接材の評価・分析</p> <p>○溶接後の健全性評価</p>	<p>* 溶接に関する原子力特有の課題解決に資する研究。</p> <p>高品質溶接技術の確立</p>	<p>原子炉構造材を対象とした、高品質溶接方法(低入熱化、低温接合等)を確立し、材料特性変化、残留応力の小さい施工法の提案を期待。</p>
5	熱・流体・振動	<p>○二相流問題</p> <p>○過渡時のプラントシステムの挙動</p> <p>○細管の挙動評価</p>	<p>* 原子力特有の運転環境における課題解決に資する研究。</p> <p>流体中構造物の流動振動評価技術の確立</p> <p>解析的DNB(核沸騰限界)評価技術の開発</p>	<p>蒸気あるいは二相流体中の構造物流動振動試験結果と加振力評価技術の確立を期待。出力増加時の炉内機器への影響や流量計測法の高度化もニーズとしては高い。</p> <p>DNB(核沸騰限界)発生メカニズムと支配因子に関する知見を集積し、実験及び解析を有機的に融合させたDNB評価技術を構築する。これによりDNB関連の種々の課題に対して対応できるようになることを期待。実験データは過去の実験データの活用も考慮。</p>
6	放射線安全	<p>○発ガンへの影響</p> <p>○遺伝的影響</p> <p>○ホルミシス効果</p> <p>○放射線計測</p>	<p>* 環境影響、被ばく低減等人体への影響に資する研究。</p> <p>低線量放射線被ばく影響評価</p> <p>放射線測定精度向上</p>	<p>放射線生物研究の成果を定量的に評価することにより合理的な放射線防護体系の構築を期待。</p> <p>放射線測定の方え方、メカニズムの検討から、防護に必要とされる測定精度に対応できる測定方法を確立し、合理的な放射線防護に資することを期待。</p>

(留意点)

- 国内の大学・大学院の研究者の育成に資すること。
- 原子力の平和利用に関連のある研究であること。

平成19年度 「原子力人材育成プログラム」 実施方針

平成19年2月
文部科学省
経済産業省

1. 原子力人材育成プログラムの実施に向けた基本方針

プログラム実施に当たっての基本方針

I. 教育活動支援

1. 原子力基礎教育研究の充実

(1) 基本方針

- ・学生の質の向上を目指す
- ・原子力基礎教育を重視
- ・基礎的原理や論理的考え方を十分身につけた上で、実習・実験を通じた問題解決型の教育を重視
- ・既存の施設を活用するもの、地元企業との連携による相乗効果が期待できるもの等、ポテンシャルの高いプログラムを重視
- ・他大学等との連携による取組を評価
- ・国際的に活躍できる人材を育成する教育プログラムを評価
- ・原子力基礎分野の研究活動や、特色ある教育体制を評価

(2) 事業内容

- ・原子炉物理学、放射線安全学、核燃料サイクル工学等原子力基礎教育のためのカリキュラム・教科書などの教材開発、外部講師招聘、学科の運営
- ・上記のためのシニアを含む産業界や研究機関等からの外部講師招聘
- ・大学の教育研究炉を活用した炉物理実験などの現場実習
- ・安全を前提とする原子力関係施設の整備・運営
- ・教員の資質の向上・人員の確保、支援スタッフの増強

1. 原子力人材育成プログラムの実施に向けた基本方針

プログラム実施に当たっての基本方針

2. インターンシップの充実

(1) 基本方針

- ・原子力事業の海外展開に沿ったグローバルな感覚を持った人材育成を重視
- ・産業の現場での実践的教育を重視

(2) 事業内容

- ・海外機関等を活用したインターンシップへの支援
- ・国内インターンシップとしては、産業界のインフラ活用による実習支援

3. 進路選択前及び原子力専攻以外の学生への講演会、施設見学会、その他の教育機会の提供

(1) 基本方針

- ・教養としての原子力の基礎的知識の提供
- ・原子力への興味を持たせるための活動支援

(2) 事業内容

- ・進路選択前及び原子力専攻以外の学生(特に周辺分野)のための講演会、外部講師招聘への支援
- ・上記学生を対象とした施設見学会への支援

2

1. 原子力人材育成プログラムの実施に向けた基本方針

プログラム実施に当たっての基本方針

4. 原子力のコアカリキュラムの整備

(1) 基本方針

- ・長期的視点から、今後原子力産業において必要とされる人材の育成のためのカリキュラムを作成

(2) 事業内容

- ・大学の原子力関係学科で採用されるべき標準的なカリキュラム及び教材を調査・開発する

Ⅱ. 原子力を支える基盤技術分野の研究活動支援

(1) 基本方針

- ・研究後継者の人材育成という観点から、原子力を支える構造強度、材料強度、腐食・物性、溶接、熱・流体・振動、放射線安全の基盤技術分野を優先的に支援
- ・産業界からのニーズを踏まえた研究テーマに対して優先的に支援
- ・原子力産業には必要不可欠である基盤技術分野の研究も適切に評価

(2) 事業内容

- ・産業界から基盤技術分野における大学等に対する研究ニーズを提示
- ・当該ニーズに対応する大学等での研究への支援

3

2. 原子力教育支援プログラム(経済産業省)

平成19年度政府原案 : 7,500万円程度 (1,500万円程度×5事業)
事業期間 : 平成19～21年度 (3年間)
スキーム : 委託費
支援対象 : カリキュラム開発、教材開発、講師招聘

(1) 基本的考え方

炉物理などの原子力の基礎教育から保全工学などのより実践的な教育等をベースとした専攻や講義等の未来の展望を開くカリキュラムと教科書・教材の充実を図る。

(2) 優先すべき事業

- 原子炉物理学、放射線安全学、核燃料サイクル工学等原子力特有の基礎分野から保全工学などの実践的分野を重点的に支援。
- 炉物理実験、原子燃料実験、放射線取扱実験などの実験を通じた実践的な実習教育を支援。
- シニアを含む産業界や研究機関等からの外部講師招聘。

(3) 留意点

- 産業界からのニーズを踏まえた実践的な教育を評価。

(4) その他

- 原子力専攻以外の学生(特に周辺分野)への外部講師招聘。
・原子力の興味を持たせるための講演会など。

4

3. チャレンジ原子力体感プログラム(経済産業省)

平成19年度政府原案 : 7,500万円程度 (900万円程度×8事業)
事業期間 : 平成19～21年度 (3年間)
スキーム : 委託費
支援対象 : 教育研究炉等での実習教育、国内外でのインターンシップ

(1) 基本的考え方

原子力産業や研究現場の実態と魅力を知る機会の充実を図るため、大学などの教育研究炉を活用した実践的な実習教育や、研究機関、学会、海外機関のプログラム等を活用したインターンシップ等への旅費を含めた参加費への支援。

(2) 優先すべき事業

- 京大、東大、近畿大の原子炉施設を用いた実習教育(臨界実験、反応度測定試験、照射試験、放射線計測、非密封の放射性物質の取り扱いの実験)への支援。
- 研究機関の施設を利用した実習教育を支援。
- 学生の学会事業などへの参加費を支援。
- 海外インターンシップとしては、海外の大学、研究機関、国際機関への学生の派遣プログラムを支援。
- 国内インターンシップとしては、産業界のインフラ活用による実習教育を支援。

(3) 留意点

- 実践的な実習教育を評価。
- 原子力事業の海外展開に沿ったグローバルな感覚を持った人材育成教育を評価。

5

4. 原子力の基盤技術分野強化プログラム(経済産業省)

平成19年度政府原案：1億円(2,000万円×5事業)

事業期間：平成19年度～(3年間程度)

スキーム：補助金(100%補助)

支援対象：原子力を支える基盤技術分野(構造強度、材料強度、腐食・物性等)における研究活動

(1) 基本的考え方

原子力プラント開発や信頼性確保に欠かせなく、かつ研究後継者の人材育成という観点から必要とされている原子力を支える基盤技術分野(構造強度、材料強度、腐食・物性、溶接、熱・流体・振動、放射線安全)に対し、重点的に支援。

(2) 優先すべき事業

以下の原子力を支える6つの基盤技術分野に対して重点的に支援。

- 構造強度(破壊力学、疲労強度、非破壊検査など)
- 材料強度(破壊制御、破壊事故解析など)
- 腐食・物性(腐食損傷、電気化学、水化学など)
- 溶接(溶接・接合、溶接力学など)
- 熱・流体・振動(流体力学、熱流動研究など)
- 放射線安全(保健物理、核医学、放射線計測など)

(3) 留意点

- 産業界からの研究テーマの提示を受け、産業界のニーズを踏まえた研究に対して支援。
- 若手研究者の育成に資する研究に対して支援。

6

5. 原子力研究促進プログラム(文部科学省)

平成19年度政府原案：1,600万円程度

(大学 200万円程度×5事業、高専150万円程度×4事業)

事業期間：平成19年度(1年間)

スキーム：補助金(100%補助)

支援対象：大学・大学院等の原子力関係専攻・学科等における、研究・研修に関する事業

(1) 基本的考え方

将来原子力産業に携わる者の育成のため、原子炉物理学、放射線安全学、核燃料サイクル工学等原子力特有の基礎分野において、学生の主体的な実習・実験を通じた課題発見・解決型の教育や、原子力産業への学生の興味関心を促すような取組を重点的に支援。

(2) 優先すべき事業

以下の取り組みに対して重点的に支援。

- 原子炉物理学、放射線安全学、核燃料サイクル工学等原子力特有の基礎分野における取組
- 学生自らの計画に基づいた研究・研修活動
- 原子力産業について理解を深めるための研究・研修活動

(3) 留意点

- 研究・研修活動のプロセスや教授等による学生への指導・支援体制を適切に評価
- 産業界を始めとする外部と積極的に関わるような活動を評価

7

6. 原子力研究基盤整備プログラム(文部科学省)

平成19年度政府原案：1億円程度(大学 5,000万円程度×2事業)

事業期間：平成19年度～平成21年度(3年間)

スキーム：補助金(100%補助)

支援対象：原子力に関する研究・教育ポテンシャルの高い大学院の原子力関係専攻における研究基盤の整備に係る事業

(1) 基本的考え方

原子力専攻長の強いリーダーシップと理念の下、長期的視点に基づき、施設整備や研究活動の強化充実を含む、原子力特有の基礎分野の研究教育基盤の整備を図る。

(2) 優先すべき事業

以下の取り組みに対して重点的に支援。

- 原子炉物理学、放射線安全学、核燃料サイクル工学等原子力特有の基礎分野の充実のための基盤整備
- 既存の施設を活用する計画、地元企業との連携による相乗効果が期待できる計画等、ポテンシャルを活用したプログラムを重視
- 原子力基礎分野の研究活動や、特色ある教育体制を評価
- 国際的に活躍できる人材を育成する教育プログラムを評価

(3) 留意点

- 各校の特色やポテンシャルが十分発揮された計画を評価する。
- 学生の質の向上に向けた費用対効果の説明を重視する。
- 産業界の長期的ニーズを踏まえた計画を評価する。

8

7. 原子力教授人材充実プログラム(文部科学省)

平成19年度政府原案：1,000万円程度

(大学 200万円程度×4事業、高専100万円程度×2事業)

事業期間：平成19年度(1年間)

スキーム：補助金(100%補助)

支援対象：大学・大学院等の原子力関係専攻・学科等における教授人材の充実に係る事業

(1) 基本的考え方

将来にわたって原子力産業に人材を輩出するため、原子炉物理学、放射線安全学、核燃料サイクル工学等原子力特有の基礎分野における教員の質の維持・向上及び必要分野における教員の人員確保を図る。

(2) 優先すべき事業

以下の事業に対して重点的に支援。

- 原子炉物理学、放射線安全学、核燃料サイクル工学等原子力特有の基礎分野における取組
- 教授の研究活動の質を高めるような取組み
- 教授の教育・指導能力を高めるような取組み
- 教授体制充実のための講師招聘

(3) 留意点

- 産業界からの長期的ニーズを踏まえた計画を評価
- 原子力基礎分野の研究活動や、特色ある教育体制を評価

9

8. 原子力コアカリキュラム開発プログラム(文部科学省)

平成19年度政府原案 : 1,700万円程度

事業期間 : 平成19年度～21年度 (3年間)

スキーム : 委託事業

事業内容 : 大学の原子力関係学科で採用されるべき標準的なカリキュラム及び教材を調査・開発する

(1) 基本的考え方

長期的視点から、今後原子力産業において必要とされる質の高い人材の育成のためのカリキュラムを作成。

(2) 留意点

- 原子炉物理学、放射線安全学、核燃料サイクル工学等原子力特有の基礎分野を重点化したカリキュラム構成とする。
- 学生の実習を重視したカリキュラム構成とする。
- 国際的に活躍できる人材を育成する教育プログラムを評価する。
- 産業界からの長期的ニーズを踏まえたカリキュラム構成とする。
- 原子力人材育成に関する他の事業の長期的な企画運営に資するものとする。

10

【お問い合わせ先】

文部科学省 研究開発局 原子力計画課
福井、前澤

(直通)03-6734-4159

(FAX)03-6734-4162

経済産業省 資源エネルギー庁 原子力政策課
横田、今井

(直通)03-3501-1991

(FAX)03-3580-8447

原子力人材育成に関する協議会の設置について（案）

平成１８年１２月１日
文 部 科 学 省
経 済 産 業 省

１．第１回原子力人材育成の在り方研究会における議論

- 第１回原子力人材育成の在り方研究会において、原子力学会、学識経験者、原子力関連メーカーより、継続的に人材育成について関係者が議論する場が必要である旨の提案があった。
- また、人材育成の長期的ロードマップの作成、原子力分野の人材に係る定量的分析の必要性等、来年度からの原子力人材育成プログラムにおいて実施する事業の枠を超えた中長期的課題についても議論があった。

２．協議会の設置についての提案

- 以上の議論を受けて、「原子力人材育成関係者協議会（仮称）」を（社）日本原子力産業協会に設置し、原子力分野の人材育成に関する中長期的課題については、当該協議会の場で継続的に検討していくこととする。
- 当該協議会は、原子力分野の人材育成に係る中長期的な諸課題について関係者が認識を共有し、各関係者の取組の整合性を図ることを目的とし、平成１９年度より開催する。
- 協議会には、学識経験者（原子力学会及び高専関係者を含む。）、電気事業者、原子力関連メーカー、国（文部科学省及び経済産業省）、原子力産業協会から参加することとし、具体的参加者及び事務局の体制については、今後改めて調整を行う。

３．協議会における検討課題の例

- 協議会における当面の検討課題の例は以下のとおり。
 - 人材育成の中長期的ロードマップ
 - 原子力分野の人材需給に係る定量的分析
 - 教育用実験炉等大学の施設維持に関する将来的課題
 - 基盤的技術分野の研究者の評価に関する課題 等

資料集

- ① 大学，学会からの提案
- ② 高専における原子力関係人材育成
- ③ 電気事業者からの提案
- ④ 原子力分野の人材育成について原子力関連メーカーからの提案
- ⑤ 原子力安全規制行政に係る人材面の課題について

大学，学会からの提案

(社)日本原子力学会教育委員会

飯井俊行



AESJ 日本原子力学会
Atomic Energy Society of Japan

原子力人材育成の在り方検討会
2006.11.8

教育環境の現状と課題

- 原子力分野の将来展望困難
- 進学希望者の減少→平均的学力低下



- 学科・専攻の大括り化
- 教育・研究の分離傾向(若手教員)



- 原子力の体系的な専門教育が困難に



AESJ 日本原子力学会
Atomic Energy Society of Japan

原子力人材育成の在り方検討会
2006.11.8

研究環境の現状と課題

■ 原子力分野への予算配分減少

■ 実験, 研究設備の老朽化



■ 基礎的, 基盤的研究が困難に

– 原子力固有: 炉物理, 放射線, 燃料・材料

– 他専攻担当: 蒸気原動機, 加工, 冶金, 腐食



AESJ 日本原子力学会
Atomic Energy Society of Japan

原子力人材育成の在り方検討会
2006.11.8

「原子力人材育成プログラム」 に係わる具体的提案(1/4)

■ 人への支援

– 旅費

- 実習—京大炉, ほか
- 学会参加(国内, 海外)
- インターンシップ(国内, 海外)
- 見学会

– 奨学金

– 学費



AESJ 日本原子力学会
Atomic Energy Society of Japan

原子力人材育成の在り方検討会
2006.11.8

「原子力人材育成プログラム」 に係わる具体的提案(2/4)

■カリキュラムへの支援

- － 未来の展望を開くコアカリキュラムと教科書・教材
- － 「横断型原子力工学コース」の構築(学術会議提案)
- － 遠隔地講義システムの構築
- － 多彩な外部講師招聘
- － 実習ほか, 支援スタッフの増強
- － 地域に根ざした教育プログラムの推進



AESJ 日本原子力学会
Atomic Energy Society of Japan

原子力人材育成の在り方検討会
2006.11.8

「原子力人材育成プログラム」 に係わる具体的提案(3/4)

■研究への支援

- － 基幹研究分野を3大学以上で競争
(講座の新設, 復活)
- － 基礎的, 基盤的研究が継続できる枠組み
 - ・ 小講座的運営
 - ・ 資金の継続性
 - ・ 教員評価
- － 全国共同利用研究設備の機能強化
 - ・ 利用しやすい仕組み作り
 - ・ 支援スタッフの増強



AESJ 日本原子力学会
Atomic Energy Society of Japan

原子力人材育成の在り方検討会
2006.11.8

「原子力人材育成プログラム」 に係わる具体的提案(4/4)

■ 設備運営への支援

- － 研究炉, 実習炉の維持費(安全管理費含む)
- － 技術スタッフの充実
- － 燃料, 廃棄物処理の問題への国の関与
 - ・ 引き取り等, 方針の明確化



AESJ 日本原子力学会
Atomic Energy Society of Japan

原子力人材育成の在り方検討会
2006.11.8

学会からの提案

- 原子力人材育成に関する総合推進機能を学会に常設
- 奨学金, インターンシップ事業を学会が請負
- 多彩な外部講師(シニア含む)派遣事業を学会が請負
- 小・中・高校のエネルギー教育支援事業を学会が請負



AESJ 日本原子力学会
Atomic Energy Society of Japan

原子力人材育成の在り方検討会
2006.11.8

参 考 資 料

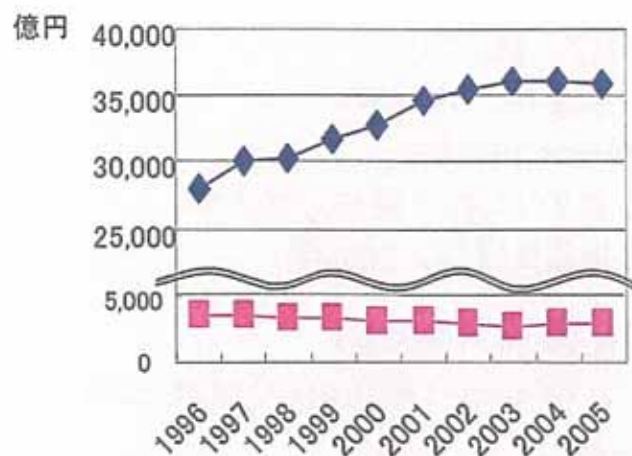


AESJ 日本原子力学会
Atomic Energy Society of Japan

原子力人材育成の在り方検討会
2006.11.8

研究環境の現状と課題

- 原子力分野への予算配分減少
- 実験, 研究設備の老朽化



AESJ 日本原子力学会
Atomic Energy Society of Japan

原子力人材育成の在り方検討会
2006.11.8

原子力学会における原子力教育の議論

■「大学における原子力教育の再構築」(H17年5月)

大学における原子力学教育の再構築を目指して、多方面の視点から展望し、原子力学再構築の方向性を検討した。

■「大学の原子力工学研究設備等の現状と課題」(H16年1月)

独立法人化後の大学における原子力工学教育研究の在り方を俯瞰する視点から広く関連施設の課題と対策を検討した。

■「国立大学原子力・原子核工学科の再編とその現状」 (H13年9月)

国立大学の原子力・原子核工学科の再編の中で、工学教育全般にわたる問題も含め、旧原子力関係学科の現状及び将来展望をまとめた。



AESJ 日本原子力学会
Atomic Energy Society of Japan

原子力人材育成の在り方検討会
2006.11.8

人材育成に関する要望調査

■ 学生直接の支援

- 実習・研修・成果発表のための旅費(13/15大学)
- 留学生の受入及び渡航費用(7/15大学)
- 奨学金及び授業料等(10/15大学)

■ 教育研修プログラムの充実支援

- 外部講師の招聘(7/15大学)
- インターンシップ制度(6/15大学)
- 教育教材の開発(6/15大学)
- 学内教育研修プログラムの支援(6/15大学)
- 教育システムの構築支援(3/15大学)

■ 施設・設備の支援(4/15大学)

(注)要望大学が少ないのは、本件のスコープ外であるという前提があったため。

■ 原子力啓蒙支援(5/15大学)



AESJ 日本原子力学会
Atomic Energy Society of Japan

原子力人材育成の在り方検討会
2006.11.8

論点整理

- 原子力一総合工学
- 原子力関連専攻しかできない教育・研究とは？
→ 炉物理，放射線，燃料・材料，等
- 育成すべき人材
→ 技術者，研究者，技能者のバランス必要
- 教育機関の連携による適切な役割分担
- 基礎・基盤的な教育研究を持続させるための
予算制度



AESJ 日本原子力学会
Atomic Energy Society of Japan

原子力人材育成の在り方検討会
2006.11.8

高専における原子力関係人材育成

平成18年11月

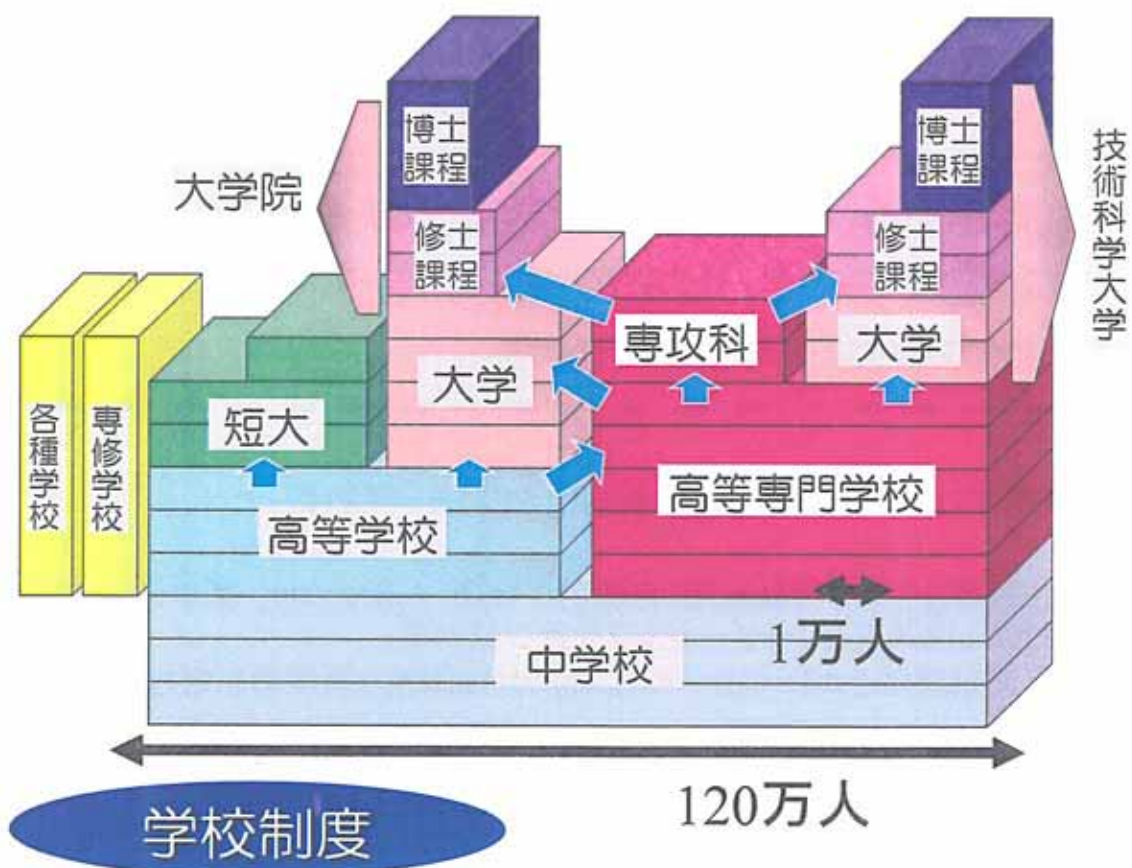
国立高専機構
河村 潤子

高専創設の経緯

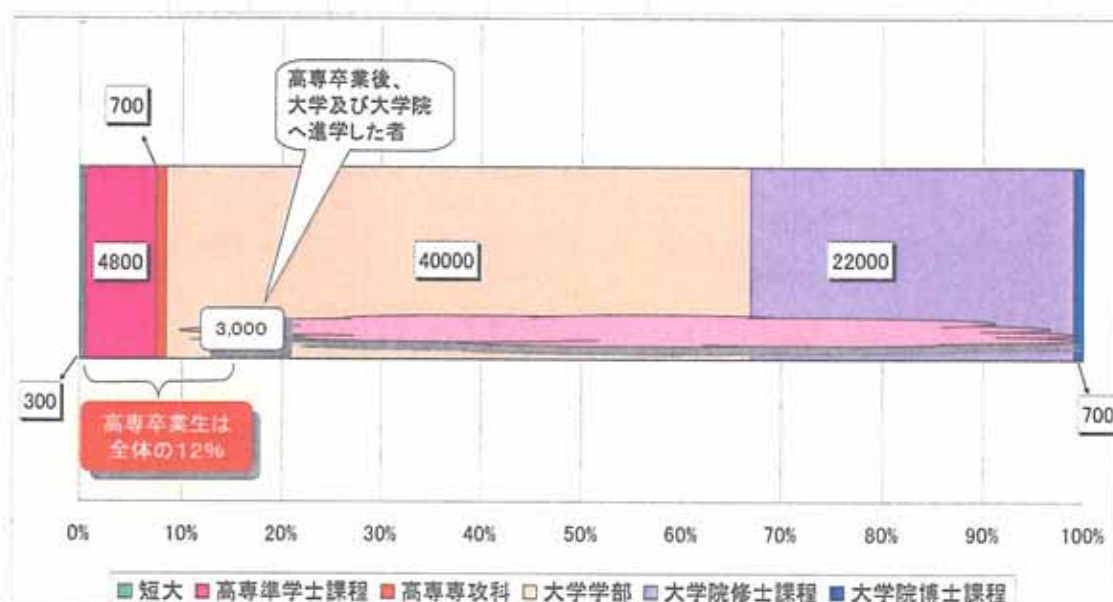
- 1960年代に、日本の高度経済成長(1960年の経済成長率は12%)を支える技術者を養成するため、産業界の強い要請を受けて全国的に設置。
- 中学校卒業後の早い段階から5年一貫の実践的な専門教育を行う高等教育機関として制度設計。
- 現在の学校数は、国立55校、公立6校、私立3校。
国立55校は、2004年に法人化。55校が一つの法人：独立行政法人国立高等専門学校機構を設置・運営主体とすることになった。
- これまで約30万人の卒業生を輩出。産業界を中心に、技術者、研究者、経営者等として活躍。

全国の高専

- 国立高专
- 公立高专
- 私立高专



2005年度工学系新卒技術者数 に対する高専卒業生の割合(推計)



※ 平成17年度学校基本調査。専攻科修了者は機構調べ

5

高専で養成する技術者像

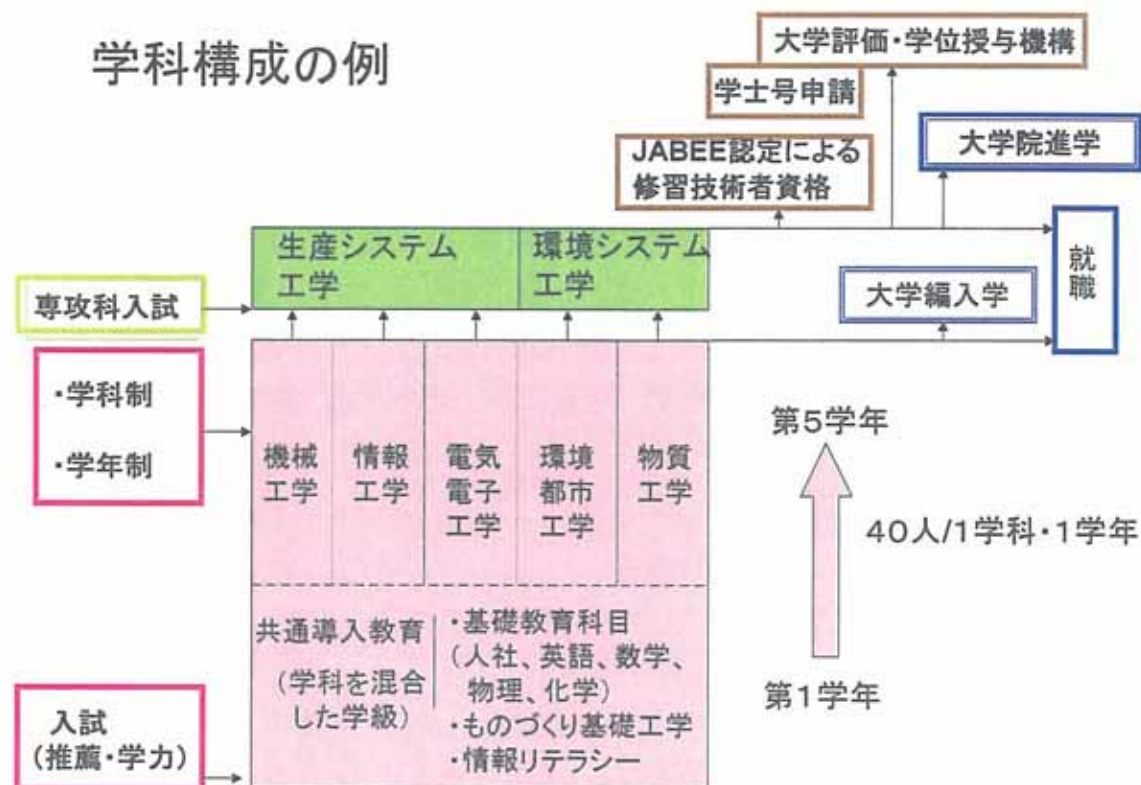
複合的技術領域から成る生産現場を担い、
創意工夫をもってその技術を進歩させる、
能力の高い実践的技術者

各高専では、更に具体的な目標を掲げている。例えば、

- 技術者としての行動規範(自律的な行動)を身につけ、グループ活動における協調性とリーダーシップを持つ技術者。
- 異文化理解とコミュニケーション能力(国際性と語学力を含む)を持つ技術者。
- 基礎学力と専門分野学力(もの作りの知恵、類推力、段取り力)を修得し、継続的な自己啓発の能力(学び続ける力)を持つ技術者。

6

学科構成の例



7

高専教育の特徴

- ✓ 15歳からの5年又は7年の技術者教育・・・学年ごとの綿密なカリキュラム， 数学・物理学等の基礎に立ち実験・実習を重視した創造性教育
- ✓ 地域の産業界と連携してインターンシップを実施
- ✓ 学生寮による集団生活
- ✓ 5年の準学士課程卒業生の
 - 5割強が就職（求人倍率：全国平均16倍（今春））
 - 4割強が進学（専攻科進学、大学編入学）

今後の方向 = 質の確保・向上

応用力、複合分野の修得 : 学士課程(＝専攻科)の充実
実践力の修得 : 共同教育の推進＝産学連携

8

国立高専における原子力教育 ①現状

原子力のみに特化した学科・専攻は設置されていない。過半数の高専(電気・電子系、機械系、物質工学系の学科・専攻)において、授業の中で数時間～数十時間原子力について教授。

例1 学科共通の科目「応用物理」で核分裂や原子力発電の原理について6時間程度講義

例2 物質工学科5年の科目「資源工学」の中で原子力発電に関する内容を10時間取り扱う

例3 電気電子工学科4年の科目として「原子力工学」2単位を履修させると共に発電所等を見学

例4(専攻科)

高温材料・複合材料における高耐放射線損傷について講義後、炉材料の研究指導

例5(専攻科)

原子力発電について講義後、核燃料廃棄物処理の研究指導

例6(社会人コース)

原子力発電関連産業に進出希望の中小企業技術者対象に原子力・放射線関連の講座を開設⁹

国立高専における原子力教育 ②展望

- 専攻科においては、産官との共同教育により、特定の高専に原子力工学に係る専攻又はコースを設けることが、検討対象になり得る。(学科(40人/年)の設置は、カリキュラム構成上も卒業後の進路確保の観点からも、構想しにくい。)
- 発電所、核燃料サイクル施設等でのオペレーション、自動化機械の開発等への従事機会の増大を予測すれば、関連学科、専攻科での教育内容の充実が必要。
- 更に技術者としての素養という観点からも、原子力に関心を持たせることは重要。

人材育成プログラムへの提案 その1

- 高専においては、「a 今後専攻やコースの設置を検討する」、「b 基本的に開設科目は変更しないが、将来の進路との関連で原子力に関する教育内容の充実を図る」、「c 原子力への理解と関心を深める」といういずれの場合においても、専門家の派遣、インターンシップ、原子力関連施設の利活用は有効。特に a の場合、複数年度にわたる実務家教員派遣、長期インターンシップ、b の場合、インターンシップの拡大。
- 教員の研究助成も有効。この場合、原子力関係分野の研究のみならず、同分野の教育に関する研究(例えば教育用ソフトの開発研究)の支援も重要。教員は地域のオピニオンリーダーになり得る立場でもあり、研修機会の拡大や教員が集まって行う研究会の支援は有意義。

11

人材育成プログラムへの提案 その2

- i. 実務家教員の派遣
【例】①発電所のオペレーション全般に通じている人<→特定高専に複数年・フルタイム>、②原発をめぐる最近の技術課題について講義できる人<→複数年高専を巡回して各高専の授業科目の一部を担当>、③特別講演の講師
- ii. インターンシップ
【例】①専攻科において夏期休暇+週2日×半年、②4学年で夏期休暇を中心とする数週間、③海外インターンシップ
- iii. 施設活用
【例】原子力研修センター、運転訓練センター、シミュレータ設備等の活用
- iv. 施設見学
【例】4学年全員が発電所を見学
- v. 教員研修
【例】①FDの一環として学内で行われる講演会への講師派遣、②企業における教員研修 ③内外のセミナーへの参加、研究会活動
- vi. 教員の研究支援
【例】材料等の共同研究
- vii. 教材開発
【例】原子力プラント異常事象に関するe-learningシステム

12

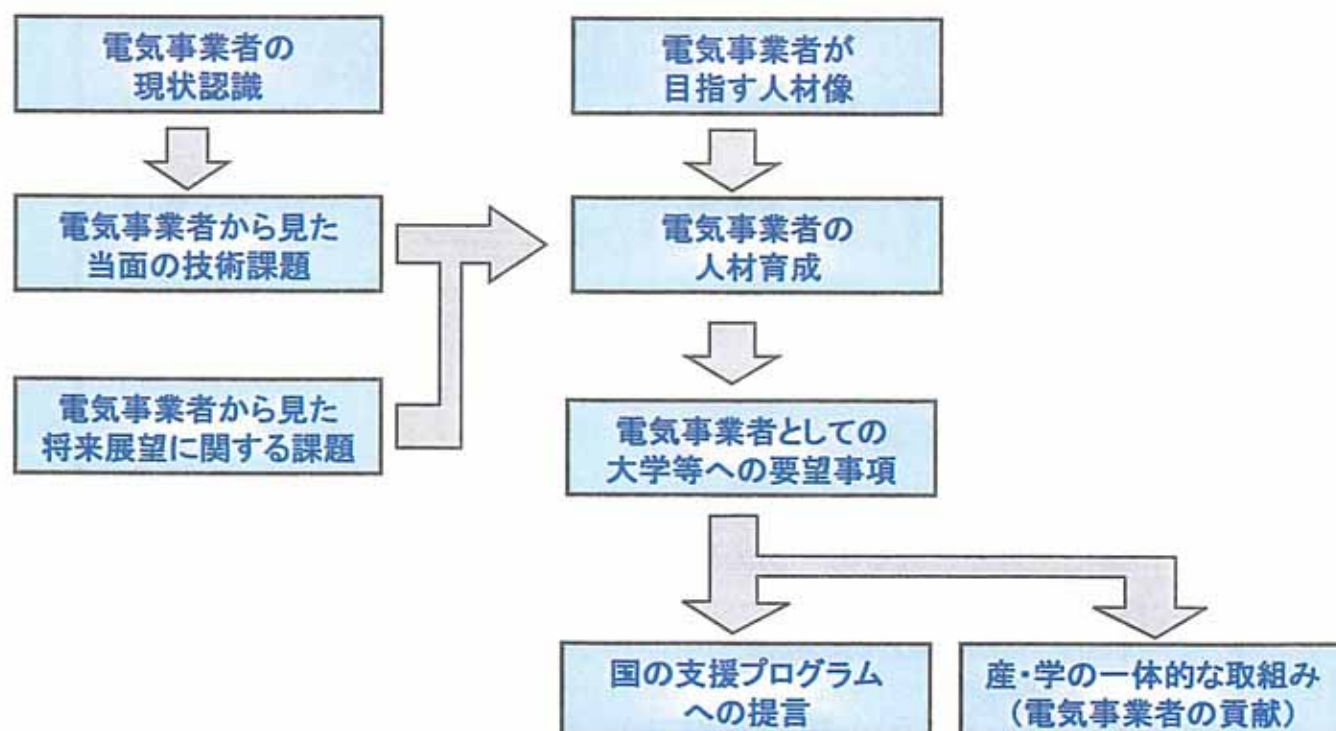
電気事業者からの提案

2006年12月1日

東京電力株式会社
関西電力株式会社

1

電気事業者からの提案(目次)



1. 現状認識

(1) 教育の役割分担

- ・ 基礎的原理、論理的考え方、専門的
大学等
- ・ 自主的な研究の進め方、論文のまとめ方
大学院
- ・ 実地体験／業務を通じた教育
研究機関、産業界
- ・ 実務に特化した専門的知識
研究機関、産業界等

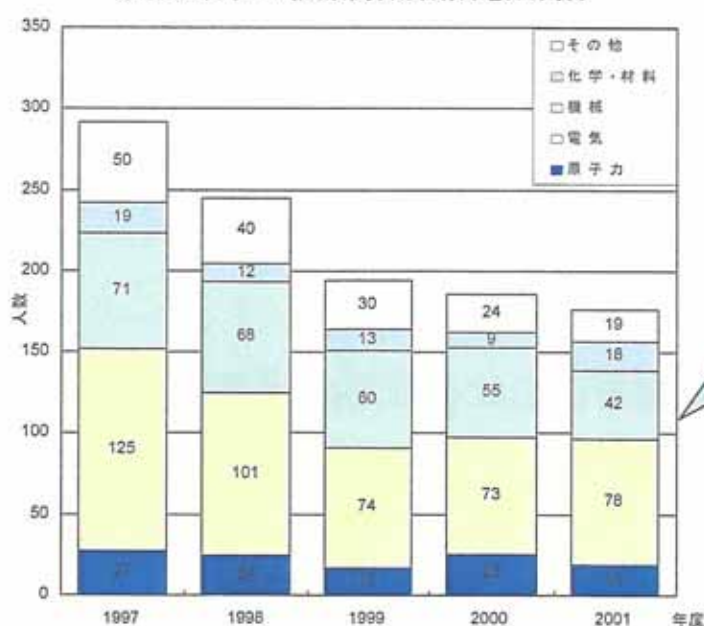
(2) 研究開発の役割分担(原子力政策大綱より)

- ・ 基礎的、基盤的段階
大学、研究開発機関
- ・ 革新的技術システムの実現可能性を探索する段階
研究開発機関が主体、大学は研究開発機関に協力
- ・ 革新的技術システムを実用化候補まで発展させる段階
研究開発機関が主体、大学、産業界は研究機関に協力
- ・ 実用化の段階
産業界が主体
- ・ 実用化技術を改良・改善する段階
産業界が主体

1. 現状認識

(3) 電気事業者の原子力関係技術者(大学・院卒)の採用

原子力部門への技術系採用者数(電力業界)



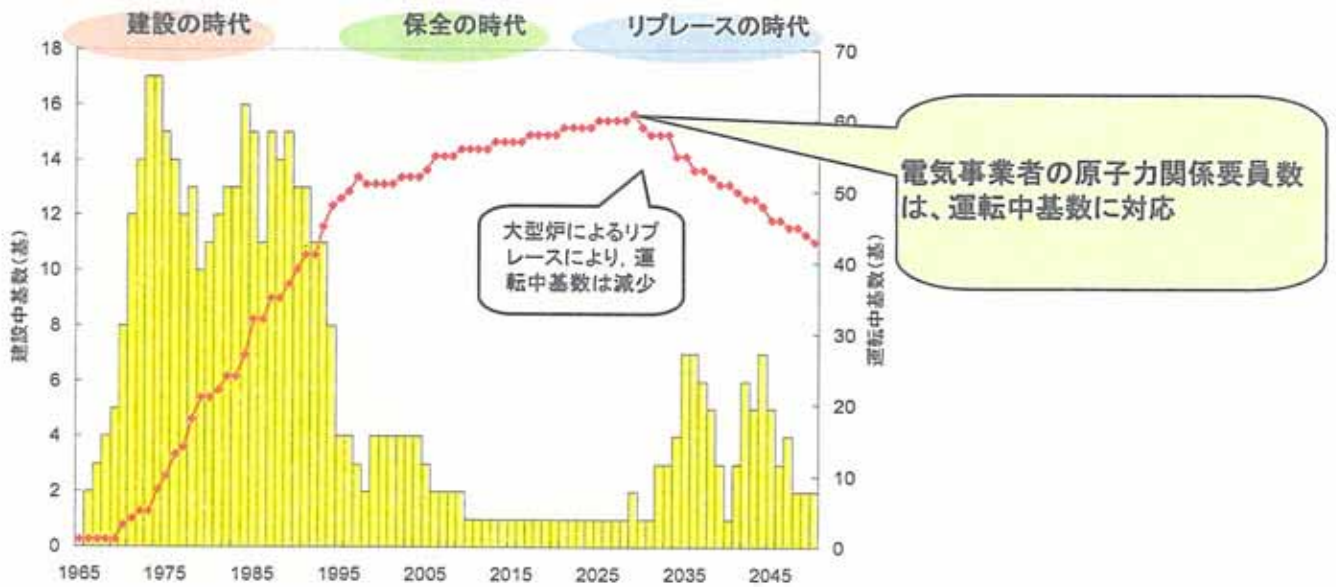
1997年～2001年では、

- ①原子力関係技術者は電気・機械・化学など幅広い専攻から採用している。
- ②原子力工学出身については採用数はほぼ一定。
- ③採用数の変動は電気や機械専攻が大きい。

1. 現状認識

(4) 原子力発電所の建設・運転基数(イメージ)

建設中、運転中原子力プラント数の見通し(イメージ)



出典:「原子力立国計画」:資源エネルギー庁 平成18年10月 23ページ「(建設中の国内原子力発電所の推移①)」より作成

注)①原子炉の寿命は60年、建設期間は2010年以降4年

②2030年までの新增設は単機容量130万kW、2030年以降のリプレースは単機容量150万kWクラスの原子炉を導入すると仮定

③2010年から2030年までは、2030年に58GWとなると、4年毎に1基ずつ導入すると仮定した

2. 電気事業者が目指す人材像

電気事業は、幅広い基盤かつ特定専門分野の深い知識を有することであらゆる分野に対応可能な人材を採用し、以下の人材に養成している

- ① 原子力を幅広く理解し、原子力発電等の開発・管理・運用について全体を俯瞰し企画・調整するジェネラリスト。
(いわゆる T型)
- ② 専門知識を活かし、原子力発電等における個別の課題解決に対応できるスペシャリスト。
(いわゆる I型)
- ③ 原子力技術について地域との橋渡しや、国際的に活躍できる技術者(コミュニケーター、リエゾンエンジニア)

3. 電気事業者の人材育成

採用では、基礎をしっかり修め、専門知識を保持しつつ、他分野にも広い視野を持ったバランスの良い人材確保を目指している

○人事ローテーション(OJT)による人材育成

配属先は、本人の特長と職場のニーズとを勘案。

(学歴や専攻については絶対条件ではない)

→ 具体的な配属先(過去の実績から)

①ジェネラリスト;(現場→管理部門→現場→...)

現場経験を踏まえつつ、社内管理部門、海外機関、国等の社外機関、団体への派遣

②スペシャリスト;(現場→技術部門or研究開発部門→現場)

現場、社内研究開発部門、電力系エンジニアリング会社、研究機関への派遣

○他にOff-JTでの社内外の教育訓練プログラムによる人材育成も

4. 電気事業者から見た課題

(1) 当面の技術課題(知識等を重視した観点で)

① 将来にわたって維持すべき原子力特有の基盤技術分野

→ (例) 原子炉物理学(中性子の挙動に関するもの)
放射線安全学(放射線影響、遮蔽設計)
原子炉安全工学(過渡解析、事故解析)

② 一般工学では研究対象としての魅力が薄れてきているが、原子力としては今後も研究が必要な技術分野

→ (例) 構造・材料力学
水化学
腐食・防食工学
溶接工学 等

③ プラントの高経年化対策等、当面取り組みが必要な技術分野

→ (例) 信頼性工学(材料の照射劣化等)
保全工学(保守・検査技術、劣化遅延技術等)
計測工学(モニタリング・UT等)

(2) 将来展望に関する課題

○ 電力としての課題(未解決の技術分野)

- ・ 設備の高度化に関する技術開発
 - (例) 高燃焼度燃料の開発
 - 制震・免震技術の開発
- ・ 廃炉に係る技術開発
- ・ 原子燃料サイクル(放射性廃棄物の処理・処分を含む) 他

○ 新・増設、リプレース時代に向けての課題

- ・ 2030年頃以降のリプレース時代に備えた技術継承、人材の確保
プラントの計画・設計、建設の経験により幅広い知識と対応能力が
そなわる(目標)
 - 建設が減少している中、そうした人材が減少傾向
 - 社内外の要求水準が高くなってきている

○ その他

- ・ 外から見て魅力ある産業であり、かつ、外部との良好なコミュニケーションが確保できること

5. 電力事業者としての大学、大学院等への要望事項

○ 学生が原子力に魅力があると感じ、基礎をしっかりと身に付けてもらう
ために

(1) 教育プログラム

a. 基礎科目の確保

- 原子力特有の基盤分野 + 今後も研究が必要な分野
- 技術士1次試験の合格程度の実力を期待

b. 実習の強化

- 原子力の興味・理解を深める
- 原子力を担う人材として考える力(臨機応変な対応力、工学的なセンス)を養う
- 教育に必要な設備(研究炉・実験設備)を維持する
- 研究機関の原子力施設を有効に利用する

c. 原子力専攻以外の学生に原子力を志向してもらう教育の推進

5. 電力事業者としての大学、大学院等への要望事項

(2) 教員

- a. 将来にわたって学生を教育できる教員の維持・確保
- b. 原子力特有の基礎的分野の研究の維持
- c. 原子力として今後も必要な分野の研究の維持・推進
- d. 原子力の課題解決のための研究の推進

6. 国の支援プログラムへの具体的な提案

(1) 基礎・基盤技術の必要性

- 最先端の研究のみでなく、基礎・基盤的な研究も正当に評価される制度

(2) 基礎教育の重要性

- 教育も評価される制度

(3) 実習・実験の強化

- 施設維持への支援、共同利用への支援

(4) 長期的な人材確保が必要

- 国の支援も長期的な観点でお願いしたい

(5) その他

- 国際的な視野を持った人材の育成のための支援

7. 産・学の一体的な取り組み(電気事業者の貢献)

(1) インターンシップなど、産業界での実務の機会付与

- 電力系の研究機関で研修活動に参加
- 電力系のエンジニアリング部門で、設計解析業務に参加
- 電力会社の原子炉の運転シミュレーターで操作体験 等

(2) 産業界から講師を派遣しての講義

- 原子力工学系の学生向け
 - 保全工学、建設工事、定検、燃料管理、産業界の新技术、国際協力、耐震設計、FBR、次世代軽水炉、再処理工場、原子燃料サイクル
 - 一般工学系の学生向け
 - 原子力の興味を持たせるための講演会
-

原子力分野の人材育成について 原子力関連メーカーからの提案

2006年12月1日

日立製作所
三菱重工業
東芝
(アルファベット順)

1

目 次

1. 原子力発電のビジネス環境
2. メーカーで必要な技術者
3. メーカー 3社原子力部門採用技術者の現状
4. メーカーでの原子力関連業務技術分野
5. メーカーでの必要な技術分野
6. 大学・大学院への期待
7. 国への期待
8. 企業からの支援
9. 企業での人材育成

2

1. 原子力発電のビジネス環境

(1) 現状

- ① 原子力産業界全体で1兆5,300億円/年の売上高
(原産協調査 原子力関連鉱工業、2000～2004年平均)

(2) 今後のビジネス規模

- ① 国内新設原子力発電所建設 (2020年頃迄に13基 *注1)
- ② 国内原子力発電所リプレイス
(2030年以降、約2基/年 運転開始と推定)
- ③ 国外原子力発電所建設 *注2 4～6基/年 と推定
(2010年以降本格化、日本メーカが重要な役割を果たすと予想)

(3) 国内リプレイス・新設のためのキー技術開発 (～2020)

(4) 核燃サイクル、高速炉建設のための技術開発 (～2050)

注1: 電力施設計画による

注2: DOE “International Energy Outlook, 2006”による

3

2. メーカで必要な技術者

(1) 技術者への質的要求

- ① メーカという立場からは、「ものづくり」に興味を持つ人材
- ② 採用分野: 原子力工学系、機械工学系、電気・電子工学系、物理系、
金属・化学工学系、材料・腐食・水化学系
- ③ 原子力工学系出身者の配属: 炉心、安全、原子炉システム等の設計や研究職
- ④ 原子力事業のグローバル化: 専門分野の能力プラス語学力を期待

(2) 技術者の量的要求

国内では計画されている13発電所建設、2030年頃からのリプレイス(新設)
や海外案件を考慮して増員も検討

4

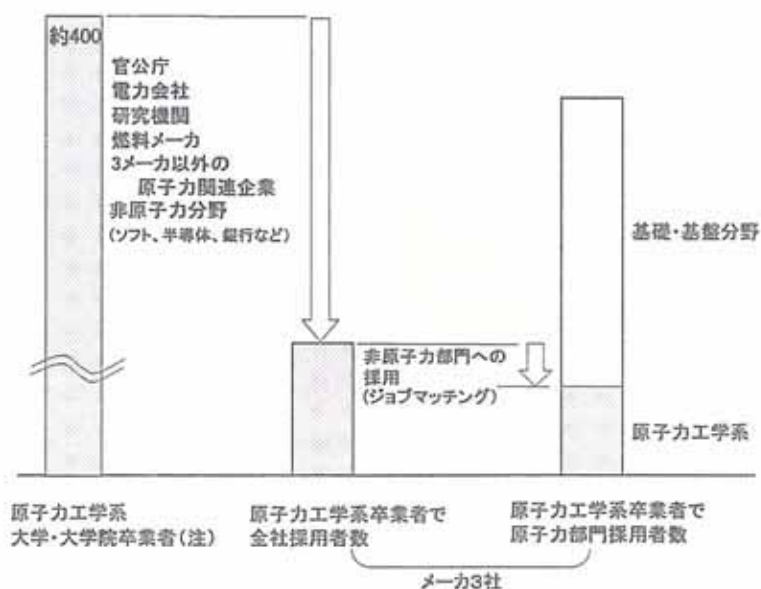
3. メーカー3社原子力部門採用技術者の現状

(2000～05年の平均)

(1) 原子力部門での原子力工学系は全採用者の約30%

(2) 原子力工学系卒業生の約7%が メーカー3社 原子力部門

システマテックな
調査が必要

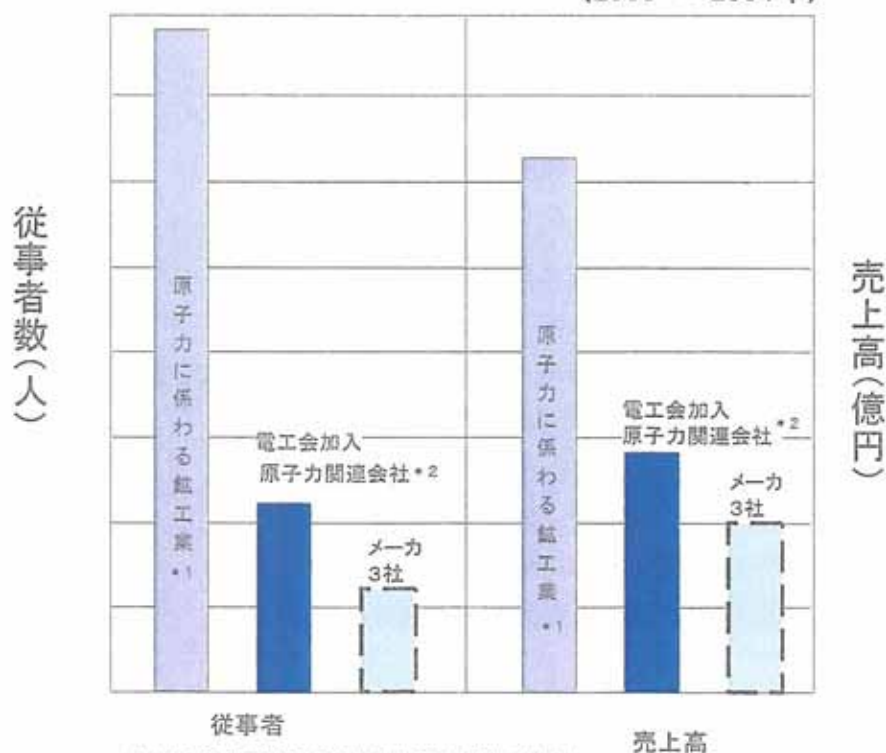


(注)：大学の原子力工学研究教育設備等検討特別専門委員会報告書(2003年3月 日本原子力学会)

5

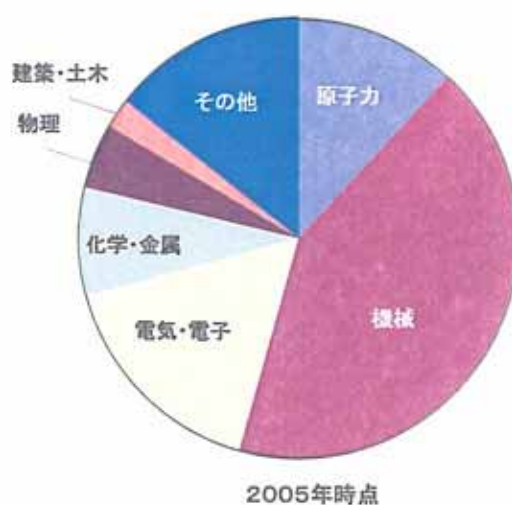
参考資料-1

売上高と従事者数(原子力部門) (2000～2004年)



6

原子力部門の専門分野別分布(例)



7

4. メーカーでの原子力関連業務

(1) 原子力関連技術分野

- ① 軽水炉 (BWR, PWR) 技術
- ② 高速炉技術
- ③ 核燃サイクル・廃棄物処理技術

(2) 原子力関連業務

- ① 研究開発 (原子力関連技術全般)
- ② プロジェクトマネジメント
- ③ 基本計画 (炉心や原子炉系の基本設計、安全設計)
- ④ 機器設計 (原子炉系詳細設計)
- ⑤ 原子炉設備製作・購入品の調達
- ⑥ 原子力発電所建設現場での建設、据付、工事
- ⑦ 建設現場での試験・検査・試運転
- ⑧ 建設後の発電所保全、信頼性確保

8

5. メーカでの必要な技術分野

(1) 原子力工学系卒業生として期待する分野

- | | |
|-----------------|-------------|
| ① 放射線安全と遮蔽 | ② 原子核と放射線計測 |
| ③ 原子炉物理学 | ④ 原子炉熱流動工学 |
| ⑤ 原子力構造工学 | ⑥ 原子力燃料材料学 |
| ⑦ 核燃料サイクル工学 | ⑧ 原子力プラント工学 |
| ⑨ 原子力安全工学 | ⑩ 原子力保全工学 |
| ⑪ 廃棄物管理工学 | ⑫ 原子炉設計 |
| ⑬ 原子力プラントの制御・運転 | |

(2) 基礎・基盤分野

- | | |
|-----------|---------|
| ① 構造強度 | ② 材料強度 |
| ③ 腐食・物性 | ④ 溶接 |
| ⑤ 熱・流体・振動 | ⑥ 水質・化学 |
| ⑦ 電気・電子 | |

9

6. 大学・大学院への期待

(1) 原子力工学系教育の充実

- ① 炉物理などの原子力工学系カリキュラムの充実
- ② 炉物理実験、原子燃料実験、放射線取扱実験などの原子力基礎実験を体得
- ③ 実験、正解がない実験、失敗体験などを纏める能力の育成

(2) 基礎・基盤分野の強化

- ① 構造強度
- ② 材料強度
- ③ 腐食・物性
- ④ 溶接
- ⑤ 熱・流体・振動
- ⑥ 水質・化学
- ⑦ 電気・電子

研究後継者が少ない分野
研究後継者・学生教育の強化が必要

10

基礎・基盤分野での強化が必要な分野

構造強度	破壊力学、疲労強度、非破壊検査、材料力学
材料強度	破壊力学、破壊制御、破壊事故解析、圧力容器規格 材料強度、環境助長割れ、材料劣化計測、多体連成力学 金属材料照射損傷
腐食・物性	腐食損傷、電気化学、材料加工、表面処理、無機材料物性
溶 接	溶接・接合、溶接力学、材料強度、非破壊評価
熱・流体・振動	流体力学、熱流動研究、流体励起振動

11

6. 大学・大学院への期待

(3) 総合的な能力向上策の充実

- ① 研究機関・産業界の原子力インフラ活用の実習（インターンシップ）
- ② 産業界からの講師派遣による専門（特別）講座や実務教育
- ③ 産学協同による技術課題の解決や研究・基礎データの取得・整備
- ④ 海外の大学、研究機関、国際機関への学生派遣プログラム
- ⑤ グローバルに通用する資格制度と技術士資格取得

12

7. 国への期待

(1) 原子力工学系

- ① 原子力工学系カリキュラム・教科書作成支援
- ② 教育・研究費の支援
- ③ 原子力基礎実験実施のためのインフラ整備支援(注)

(2) 基礎・基盤分野を維持するための支援

- ① 教育・研究費の支援
- ② 基礎・基盤分野の教育者評価システムの確立

(注):教育・研究炉の維持・確保

- 関東・関西地区拠点の検討
- 運営費の支援

13

8. 企業からの支援

- (1) 産業界メーカから、OBを含めて講師、教授の派遣の協力
- (2) 教科書作成への協力
- (3) カリキュラム作成への協力
- (4) 実習(インターンシップ)の受け入れ
- (5) 教育設備、システムの拡充への技術協力

14

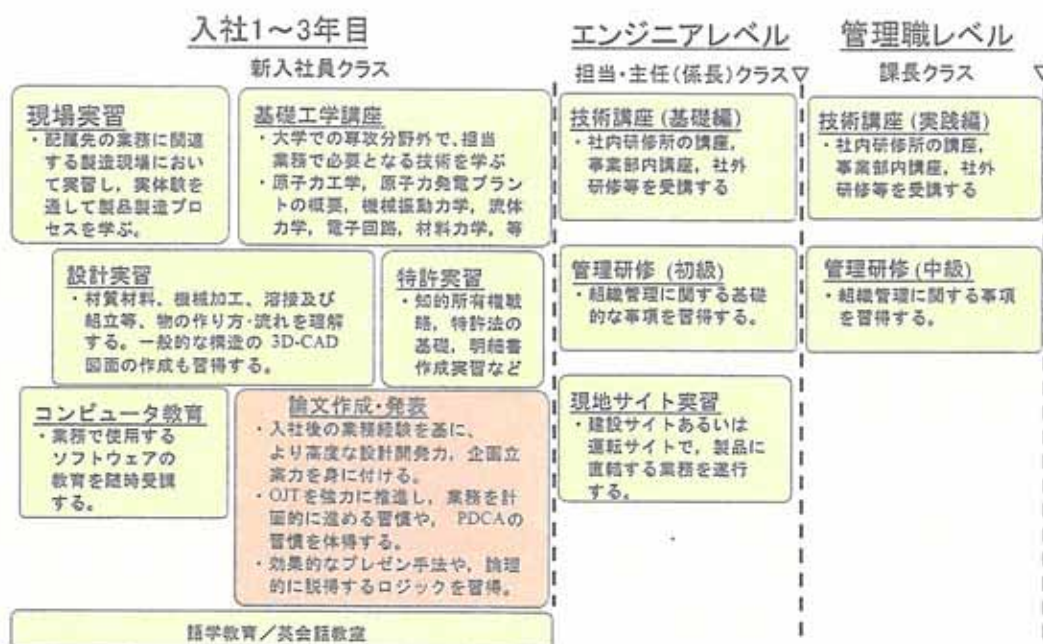
9. 企業での人材育成

- (1) メーカーでの標準的な社内教育
 - ① 大学で基礎を固め、企業内で更に育成
 - ② 入社後1～3年を目安とし、現場実習から社内技術教育システム(原子力分野、基礎工学分野)で育成
 - ③ 担当一主任(係長)一課長などの各層レベルでの技術講座
 - ④ 設計ノウハウ、データベース整備による技術継承と技術者の早期戦力化
- (2) 入社を希望する人材とメーカが求める人材で質・量ともにギャップ
 - ① 求める人材: 質・量とも企業戦略・ビジネス環境により変動
 - ② 人材育成: 基礎的技術分野人材から入社後のOJT、OFF-JT等により育成
 - ③ 今後の重点的分野: 基礎学力はもとより、原子力事業の海外展開に沿ったグローバルな感覚を持った人材を確保・育成

15

参考資料-4

設計者技術者の教育(例) 計画的な教育計画とキャリアパスを設定



16

原子力安全規制行政に係る人材面の課題について

平成18年12月
原子力安全・保安院
(独)原子力安全基盤機構

原子力安全・保安院（以下、「保安院」という）及び原子力安全基盤機構（以下、「安全基盤機構」という）は自ら安全規制行政を担うとともに、その遂行にあたり必要に応じ、大学・大学院、研究機関等の専門家、有識者等（以下、「外部専門家等」という）から技術的専門的な意見・助言等を得ている。

保安院及び安全基盤機構の人材について

○基本的には、原子力安全規制行政について一定の経験を有し規制制度・手法等に明るいプロパー職員と産業界からの中途採用者を中心とした原子力技術について高い専門性を有する職員により構成。

○保安院原子力安全分野担当約330名、安全基盤機構約450名の職員のうち、今後5年程度に産業界からの中途採用者等を中心に約160名が定年退職を迎える予定。原子力技術専門家、現場技術者等組織能力の維持確保が課題。

（参考1）保安院及び安全基盤機構の職員数等

平成18年11月1日現在

	職員数	中途採用者（うち56歳以上）
保安院	本 院 約440名 うち原子力安全分野担当 約330名	約80名（約50名）
	職員数	技術系職員（うち56歳以上）
安全基盤機構	全 体 約450名 うち技術系職員（注）約240名	約240名（約110名）

（注）技術系職員の大半は、安全基盤機構の母体となった法人における産業界出身者、安全基盤機構発足時及び発足後における産業界からの採用者。

○当面、産業界からの中途採用による人材確保等とともに、中長期的にはこれに加え新規採用と研修制度の拡充による職員の育成強化が対応の基本的な方向。

○新規採用の基本的な考え方は、基礎基盤分野についての一定の専門性と工学的素養を有していること、また、採用者全体として専門分野の偏りがないように配慮。なお、技術系新卒者（機械、電気、原子力、化学等の分野から）の保安院配属はここ数年で年平均数名程度。安全基盤機構は平成17年度から若干名の新規採用を開始。

外部専門家等の人材について

○原子力安全・保安部会等で審議される原子力安全規制制度、事故故障等個別案件について技術的・専門的な観点から意見を頂いている、原子力の基礎基盤技術分野や特定技術分野の専門家、人文社会科学の専門家、メディア・消費者等。

（参考2）原子力安全・保安部会および関係委員会等の委員（大学・大学院、研究機関等所属）の専門分野別年齢構成

○外部専門家等人材の現状と課題

- ・全体として60歳以上がほぼ半数弱。分野別では、機械工学、土木・建築工学、原子力システム・原子力安全工学、放射線応用・放射線安全工学、耐震の分野では年齢層が高い。
- ・今後の行政ニーズを踏まえると、炉心・燃料、原子力保全工学、人文社会科学等分野、或いはサイクル分野の専門家の増加が期待される。
- ・サイクル分野では日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構という）等研究機関の研究者による支援が大きい。引き続き、同機構の役割とともに大学・大学院の研究者による支援が期待される。

（参考3）最近における外部専門家等への支援要請（個別事例）

- ・六ヶ所再処理施設のトラブル対応に際して、大学、大学院等における再処理施設における材料（放射線下での硝酸による材料腐食等）の専門家
- ・浜岡5号機のタービントラブルに際して、タービンの構造や振動に関する専門家

○大学、大学院等での教育、研究活動を通じた専門家人材の育成を期待。高度専門家は研究開発を通じ育成されることから、大学・大学院、研究機関等の役割を踏まえつつ安全研究を通じた人材育成支援を強化することを検討中（原子力安全・保安部会原子力安全基盤小委員会）。

（参考４）保安院における原子力安全研究の概要

原子力安全・保安部会および関係委員会等の委員(大学・大学院、専門分野別年齢構成、研究機関等所属)

専門分野 年齢	原子力基礎・基礎技術分野					
	原子核・放射線	電気工学	化学工学	機械工学	材料工学	融滅体工学
39歳以下	0	0	0	0	0	0
40～49歳	3	0	0	1	6	1
50～59歳	3	2	3	6	11	4
60歳以上	4	3	3	19	8	3
合計 ※重値を含む	10	5	6	26	25	8
						12
						9
						22

専門分野		原子力特定技術分野										原子力科学	メディア・消費者等	合計
年齢	原子力システム工学・原子力安全工学	炉心・燃料	原子力保全工学	放射線応用・放射線安全工学	核燃料サイクル工学	産業物理	管理工学	計 測	原子力規制	その他				
39歳以下	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
40～49歳	0	2	3	2	2	3	8	3	0	1	3	2	41	
50～59歳	9	2	1	6	6	5	10	11	1	5	2	5	101	
60歳以上	7	2	1	6	3	2	8	8	4	6	1	5	104	
合計 ※重複を含む	16	6	5	14	11	10	27	22	5	12	6	12	247	

(注1) 原子力安全・保安部会、小委員会及びWGにおける委員(電気事業者、日本原燃を除く。)を対象とした。

(注2) 専門分野の詳細は別表を参照。

専門分野の区分及び内訳

専門分野		専門分野（内訳）	
原子力基礎・基盤技術分野	原子核・放射線	原子核物理 放射線物理 核融合・プラズマ物理	炉物理 放射線計測 原子核工学
	電気工学	発電工学 送変電工学 電気設備	
	化学工学	原子炉化学	
	機械工学	破壊力学 溶接	機械設計 システムデザイン
	材料工学	物性 腐食 放射線照射(照射脆化)	金属材料 材料強度 コンクリート 材料評価 材料設計 材料力学
	熱流体工学	熱力学 熱水力 流体力学	伝熱流動
	土木工学・建築工学	岩盤工学	構造設計
原子力特定技術分野	原子力システム工学・ 原子力安全工学	原子炉制御 原子炉計装(原子炉計測、核計測) プロセス計装 安全設計 臨界安全管理	プロセス系統設計 原子炉システム 原子炉安全学
	炉心・燃料	核燃料材料学 炉心設計 原子炉計算コード	高速炉燃料 燃料健全性
	原子力保全工学	信頼性物理 故障解析 異常診断	
	放射線応用・ 放射線安全工学	放射線応用(放射線利用、放射線遮へい) 放射線安全工学(保健物理(放射線防護、線量当量)、放射線生物学)	
	核燃料サイクル	再処理(閉じ込め、機械、臨界、材料) 輸送技術	
	廃棄物埋設	廃棄物埋設(廃棄物処理、貯蔵)、廃止措置、クリアランス	
	管理工学	リスク(PSA) ヒューマンマネジメント 原子力危機管理学	爆発安全工学 ヒューマンファクタ 品質保証
	耐震	地質学 地震学	
	原子力規制	原子力法規 放射線法規 核物質防護	
	その他	社会環境システム工学 エネルギー政策 産業廃棄物	
人文社会科学		法律 行政学 コミュニケーション コンプライアンス	経済学 組織文化・安全文化
メディア・消費者等		ジャーナリスト 首長	消費者団体等

保安院における原子力安全研究の概要(平成18年度予算額[単位:億円]、総額約172億円)

