

# 原子力分野における人材育成に関する議論のポイント

平成29年12月19日

## 1. はじめに

### 原子力分野における人材育成の重要性とこれまでの経緯

安全の確保を図りつつ原子力の研究、開発及び利用を進めていくためには、これらを支える優秀な人材を育成・確保していく必要がある。

人材育成の重要性は既に原子力関係者の認識として共有されており、2010年11月には多くの原子力関係組織が参加する原子力人材育成ネットワークが活動を開始している。また、原子力関係の行政機関においても人材育成の検討がなされてきている。

原子力人材育成ネットワークの設立記念会合で当時の近藤駿介原子力委員長が次のように期待を述べている。

- ・世界中で通用するようなユニバーサル人材の育成に資する活動とすること
- ・国内で閉じた活動とするのではなく国内外に開かれた活動とすること
- ・組織は全て学習と教育のための機関である。あらゆる層に訓練と啓発のメカニズムが組み込まれていること。
- ・人材育成は組織の外の課題ではない、組織が生き残るために必須の課題である。

これらは人材育成において今後も念頭に置くべき点である。

原子力人材育成ネットワークは運営委員会と企画ワーキンググループの下、多数の原子力関係学協会・企業・教育研究機関等が参加し、初等中等教育、高等教育、実務段階の人材育成、国内人材の国際化、海外人材育成の5つの分科会が活動している。当該ネットワークでは平成24年11月に原子力委員会が発出した「原子力人材の確保・育成に関する取り組みの推進について（見解）」を踏まえ、具体的な活動に向けた議論が行われた。平成26年8月には「原子力人材育成の今後の進め方」をとりまとめており、学生の実験・実習・研究等に係る環境の確保、次代を担う原子力人材の確保、原子力国際人材の育成の強化、初等中等教育段階の教育、一般社会人への教育等を挙げている。さらに平成27年4月には、10年後のあるべき姿を想定し、福島復興・再生、安全運転・安全確保、核燃料サイクル・放射性廃棄物処分、国際貢献・国際展開の達成を目指した原子力人材育成ロードマップを提案している。

関係省庁における取組としては、文部科学省では科学技術・学術審議会の下に原子力人材育成作業部会が設置されており、平成28年8月には同省の今後の施策の方向性を示した中間とりまとめがなされている。資源エネルギー庁においては総合資

源エネルギー調査会の下に設置された自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループにおいて、我が国の軽水炉の安全性向上の実現に向けた「軽水炉安全・人材ロードマップ」を日本原子力学会とも連携しつつ、平成27年6月に取りまとめており、平成29年3月に改定したところである。また、原子力規制委員会では、平成26年6月に「原子力規制委員会職員の人材育成の基本方針」が定められており、原子力規制委員会原子力安全人材育成センターにおいて、これを踏まえた職員研修などの取組みが実施されているほか、平成28年1月の国際原子力機関（IAEA）が行った総合規制評価サービス（IRRS）報告書の指摘を踏まえ、検査官等の育成に関する仕組み作りが進められている。

## 2. 原子力委員会の認識

前述の通り、原子力人材育成活動は、各原子力関係機関により精力的に行われていると認識している。その上で、今後の人材育成活動は、東京電力福島原発事故や現在の原子力を巡る状況やニーズ等を踏まえつつ、これまでの取組の経験と教訓を参考に、より効率的、効果的な活動とする必要があると考えられる。これまで人材育成はどちらかというと学生や若手を対象とした教育と考えられてきた面があるが、特に研究開発機関における仕事を通じた人材育成や、研究活動との連携も考慮する必要がある。また、欧米や企業の人材育成活動やグッドプラクティスを参考に、人材育成活動の深化と発展を図る必要がある。

具体的には原子力分野の魅力の発信による優秀な人材の獲得、様々な経験の提供による大学教育の改善、分野横断的な研究活動と連携した仕事を通じた人材育成と原子力発電技術の継承、研修資料作成とその実施など積み上げ型の活動による継続教育などを挙げるができる。

人材育成のための「イベント」よりも、育成される人材の質なども含むプロダクト（有用で効果的な成果物）を重視する積み上げ型の活動を目指すのが良いと考えられる。

## 3. 留意すべき事項

### 3-1 高等教育段階における人材育成に係る活動

#### ①優秀な人材の獲得：

優秀な人材の獲得は人材育成の第一歩である。大学など高等教育機関では原子力・放射線分野を学ぶ学生の勧誘を積極的に行ってきた。そのグッドプラクティスを収集し共有する必要がある。個別の教員の研究分野の魅力の紹介にとどまらず、放射線や原子力エネルギーの利用の魅力伝えるポスターを組織的に作成、共有して利用するなどの取組も考えられる。

高校や大学での勧誘においては、原子力科学技術及びその関連分野の魅力や、エネルギーの安定供給、地球温暖化問題などにおける原子力の果たす役割を伝えるとともに、将来のキャリアパスの提示が重要である。たとえば、エネルギー関連産業は需要が安定した必須の分野であり、原子力エネルギーは地球温暖化問題

への対応を含めて重要な役割を果たすこと、原子力・放射線・加速器利用は第1回ノーベル物理学賞受賞者のレントゲンをはじめ、多くのノーベル賞受賞者を生み出しており、それらの成果を基にする原子核科学利用の先端分野であり、その基礎・応用ともに、発展性のある分野であること【参考文献1】、安全や核不拡散など広く国民の関心に応えるためには、原子力は理工系の知識のみならず、人文社会系の知識も必要とされる広大な分野であることなどである。また、東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓を活かすことの重要性も伝える必要がある。さらに放射線・加速器技術とその応用は、科学技術探索の基盤であるとともに、工業や医療、農業等様々な分野に応用されており、米国ではエネルギー利用より経済規模も大きい【参考文献2】。

企業の採用活動に際しては、エネルギー産業としての原子力の意義・魅力を伝える必要がある。たとえば日本のエネルギー安定供給、経済発展や雇用、地球環境対策、国際的なエネルギー需要への貢献などを伝えることが考えられる。なお企業等から大学への寄付金による奨学金は、学生の勉学を助けるのみならず、原子力が将来性のある重要分野であるメッセージになり、優秀な学生の勧誘に有効と考えられる。

研究は日本人だけで行う時代ではない。研究を主体とする大学では外国の国費留学生など新興国の優秀人材の獲得が重要である。海外大学での博士号取得を国として支援する新興国もある。博士課程学生に限らず、優秀なポストクの獲得は研究開発機関のみならず大学にとっても重要である。これらのためには研究活動の国際的なプレゼンスを高める必要があり、国際的な協力枠組みの活用なども有効であると考えられる。

## ②大学教育における基礎を体得した人材の育成

基礎を体得した人材を育成することは大学教育の重要な役割である。日本の産業界は基礎学力（科学的思考力）を有する人材が必要であると述べている。原子力関連学科の大学教育については「原子炉物理の基礎基盤知識を習得し、研究炉等での実習を通じて高い安全性やセキュリティの感性を身に着けること」、原子力関連以外の学科における大学教育については「専門分野に対する基礎学力をしっかりと有し」、「原子力の基本的な情報を提供することにより理解を深める機会を持つこと」を期待すると述べている【参考文献3】。

大学教育はアウトプットとしての学生の質に重点をおいた教育を目指す必要がある。具体的には講義にとどまらず、演習や実験を重視し、知識の定着を図ることが重要である。そのために演習書を作成し共有を進めることなども考えられる。原子力教科書については大学院レベルのもの、専門職レベルのものはある程度作成されている。今後は抜けている分野を補うとともに、学部レベルの入門書とな

る、平易な原子力教科書シリーズの作成が必要と考えられる。他分野では日本機械学会のテキストシリーズの例がある。

実験の実施については大学の実験設備の劣化が進んでおり、抜本的な対策が必要である。原子力・放射線関係の設備は法令対応の保安管理が必要とされる一方、技術職員の定員削減などにより厳しい状況にある。対策としては、設備や人員の充実のほか、大学全体の放射線・アイソトープ教育組織との連携、競争的資金で導入した研究設備の研究期間終了後の教育利用などが考えられる。そのほか、研究開発機関の共用設備の利用、研究炉など全国大学が利用できる実習設備の整備と共用などの一層の推進も必要である。

学生は演習や実験、さらには卒業論文や修士論文、博士論文の作成によって学んだ知識を体得する。大学院では教育と研究は一体であり、研究設備の充実は教育の充実でもある。

また、研究炉のみが大学における人材育成のための設備ではないことに留意する必要がある。研究と一体化した人材育成も必要である。

### ③様々な経験を通じた人材育成

学生に対し、学ぶことに対する目的意識を高め、学習の効果を向上させるためには、在学中にインターンシップを経験させ、視野と経験を広めることが有効である。特に海外でのインターンシップは効果が大きい。また、海外インターンシップは指導教員個人によるもののみならず、日本の原子力関係組織の各種国際活動や在外公館、国際機関と連携したインターンシップなど、組織的支援も有効と考えられる。

博士課程修了後、海外でのポスドクの経験は、研究者としての能力の確認と拡大に必要であり、大学院生やポスドクの海外経験の制度的強化・支援が必要である。海外での2年以上のポスドク経験を新規教員採用の要件としている国もある。日本の大学や研究開発機関においても、新規採用における人事面での海外経験の奨励措置が必要と考えられる。

大学の若手教員の留学や教員のサバティカル制度の活用促進、教員の海外留学・海外研修制度の充実とその経費面での組織的支援も必要である。研究開発は前述のように日本人だけで行う時代ではなく、国際的に優秀な人材を集めて行う必要があり、教員の国際活動・国際ネットワーク形成の支援はその第一歩である。

### ④大学教育における教育の改善

教育にその改善メカニズムを内包する必要がある。米国大学では工学・技術教育認証委員会(ABET)のカリキュラム認定制度が取り入れられている。6年ごとに

各講義間でのシラバスの整合性や、カリキュラムの目的と各講義の整合性がレビューされ教育改善が促される。倫理や、生涯教育、環境などの社会的要素の取り込みも課される【参考文献4】。大学教育における単位認定、授業評価、教員人事レビューなどにおいて、このようなグローバルスタンダードの方法を理解、共有し、要点を外すことなく取り入れるとよいと思われる。大学における原子力教育改善のための第三者によるレビューを実施するのも効果的であると考えられる。なお、米国のABETはカリキュラムそのものの整合性を重視した過去のシステムから、アウトプットとしての学生の質に重点を置いた教育システムへの移行がなされている。

また、関係省庁では、競争的資金により人材育成の支援を行っている。これについては、イベント開催に片寄り過ぎず、成果物を重視した積み上げ型の活動とし、継続的に教育に役立つ成果を作り出すことが効果的と考えられる。

#### ⑤学部及び大学院修士課程を通じた体系的な原子力教育の実施

大学をめぐる過去の制度改革が原子力教育に影響していると考えられる。組織の制度枠組は中長期的に教育内容に影響するため、その変化に注意する必要がある。変化には、受け身ではなく積極的に対応する必要がある。

まず国立大学法人化などにより、運営交付金のみならず定員が削減された。特に前述のように技官の数が減少しており、法令対応の保安管理が必要とされる放射性物質やアイソトープを扱う実験の実施やそのために必要となる装置の維持が困難になっている。

次に大学院重点化（大学院部局化）により学部の原子力工学科が他学科と合併して大学科を構成したため、原子力教育が希薄化した。多くの大学の大学院修士課程において、学部科目との連携を取りつつ原子力の専門科目を習得させることが必要になっている。

これに関し、原子力委員会では、原子力教員協議会の協力を得て、平成29年9月に大学における原子力基盤教育の充実についてのアンケート調査【参考資料別添】を行った。本アンケート結果では、大学院重点化前まで原子力関連学科を設置していた大学の多くが、学科の名称を変えるなど改組・改称し、大学の状況に応じて大学科の下に原子力関連のコースを設置していることが裏付けられた。このような結果も踏まえると、学部と大学院修士課程における体系的な教育を行う必要がある。

そのためには、例えば、筆記試験主体の単位認定の厳格化、原子力の基盤的知識を涵養するための演習や実験の更なる充実、共同利用・共同研究の積極的な推進が必要である。また、原子力専攻教員による、卒論生の獲得も重要である。

原子力工学関係の学科は大学理工系の中では規模が小さく、大学をめぐる制度改革の影響を受けやすい。しかし原子力はエネルギー分野、放射線・加速器利用分野とも社会ニーズの高い必須の分野である。その利用のためには原子力の基礎基盤的

知見を習得した人材を供給することが必須である。

また、文部省と科学技術庁が統合して文部科学省となっているので、大学と原子力研究開発機関のそれぞれの役割を踏まえた原子力の人材育成協力や、研究開発における新たな連携を生み出すことにより人材育成にも役立つことを期待したい。

### 3-2 高等教育段階以降における人材育成に係る活動

#### ①仕事を通じた人材育成

少子化などにより、原子力・放射線関係の設備の運転・維持に係る原子力技術系人材の弱体化を招いていると考えられる。このため大学における教育のみならず、仕事を通じての経験・知識の継承も図る必要がある。技術能力の維持には装置の運転継続が必須である。能力あるシニア人材の経験・知識を引継ぎ、活かす工夫も必要である。グットプラクティスを組織的に共有・継承する必要がある。

就職後の人材育成の基本は仕事を通じた人材育成であり、組織の目的に応じて人材を育成する必要がある。仕事を通じた人材育成の前提として、あるべき人材像の設定がまず必要であり、あるべき人材像と現状とのギャップを埋めることが人材採用・人材育成である。人材像はニーズに応じて絶えず見直されるべきものである。このため、あるべき人材像を踏まえた上で、管理職が部下に対し、どのような仕事を割り当てるかが重要であり、部下の成長を見ながら常に見直しが必要となる。また、育成される側にも自己研鑽のマインドが不可欠であることは言うまでもない。新人教育の目標は「ある分野で他人に負けない力量を持つこと、課題解決能力とともに課題発見能力を身につけること、社会人として魅力があること」が挙げられている【参考文献5】。管理職（マネージャ）の育成を目指した場合は他部局とのローテーションを含む育成が不可欠であり。専門職（スペシャリスト）の育成を目指した場合は専門分野を深めつつ関連分野を含む俯瞰的能力を育成する必要がある。

次に研究開発人材（リサーチャ）の育成について述べる。目標とされる、あるべき人材像はまず、組織や個人として当該分野で一目置かれる成果を挙げることであろう。それを積み重ねると世界でダントツの組織や個人と認められるようになる。そのためには、先輩を含む組織の知的資源や研究開発設備などの良い環境が必要である。国際経験、特に日本と異なる文化をもつ上司や仲間と仕事をした経験を養わせ、人脈を形成する必要がある。俯瞰的能力の育成には国際経験のほか報告書や解説の作成なども有効である。ダントツ人材は視野を拡げつつ長期間継続して自分で仕事をするを通じて育つと考えられる。短期間での人材育成は不可能であり積み上げ型の活動が必要である。

大学や原子力研究開発機関の研究設備が老朽化・劣化している。研究開発ののみならず人材育成の観点でも、研究開発設備の充実が必要である。特に研究炉においては、教育研究設備の充実のみならず、その利用と設備運営のノウハウを知る人材の維持と継承は喫緊の課題である。

日本では人材育成は研究活動と切り離して議論されてきたが、欧米では研究活動に人材育成が組み込まれている。米国エネルギー省の原子力エネルギー大学プログラム【参考文献6】は大学の研究と人材育成を、国立研究所や産業界とも連携させながら進める仕組みとなっている。大学院生が研究費で雇用され研究を担っており、報告書の作成などを通じて専門的能力を養っている。また、学生向けの奨学金を支給するプログラムや研究炉支援プログラムも行われている。欧州では欧州委員会のNUGENIAなどの連携プログラムにおいて、知識と専門性の構築が目標に挙げられ、それぞれの研究テーマの活動に人材育成が組み込まれている【参考文献7】。例えば過酷事故の研究テーマでは研究発表会が若手の育成の機会としても利用されている。若手専門家育成のためのセミナーも一流の研究者を講師として毎年開催されている。日本においては研究開発も人材育成も、狭い専門分野に閉じこもった活動になりがちなため、NUGENIAのように組織横断的な共同作業を行いつつ、専門人材を育成する活動を奨励する必要がある。

放射線・加速器利用分野においては他分野の技術と融合した応用・産業化の展開、オープンイノベーションが重要である。組織の目的が異なると育成される人材も異なる。企業、研究開発機関、大学の目的や成果物はそれぞれ異なるので、仕事を通じて育成される人材も異なる点に留意する必要がある。

技術伝承のためには暗黙知を顕現化させるとともに、その継承や知識ベース化が必要である。原子力発電所は様々な多数の機器・部品から構成されている。日本の優れた原子力発電所製造技術の維持のためには仕事を通じた技術伝承が必須である。現状、すぐに対策をしないと日本がこれまでに培ってきた技術と経験を失う恐れが大きい。計装制御・計算機技術のように進歩の激しい技術分野もある。必要不可欠な技術を特定し、実際にその部品や機器を製造し試験することで、技術の伝承と維持を図る方策が考えられる。これは再稼働していく原子力発電所の安全・安定な利用にも資する。

## ②研修・訓練などの継続教育

研修・訓練などの継続教育は仕事を通じた人材育成を補うものと位置づけることができる。民間企業では、新人導入教育、課長・部長・所長などの階層別研修、技術研修、特許研修、語学研修、組織人としての研修、論文発表などの学会活動、資格取得、留学、社会貢献活動など、取締役まで10段階の継続教育プログラムがあるとされている。例えば、原子力産業界では、原子力事業者のリスクマネジメント能力向上のため、各社社長、発電所長から班長クラスまで様々な階層に応じて参加するリーダーシップ研修などが実施されている。

一方、日本では研究開発機関などにおいて、組織的な研修・訓練などの継続教育の取組みの充実が必要と考えられる。組織的な研修・訓練の一層の取組のみならず、

これらの取組を実施するための管理運営能力を持つ人材の育成・継続教育もあわせて行うことが必要である。

これらの原子力研究開発関係機関においては民間で行われている継続教育や仕事を通じた人材育成の方法を参照し、利用できるものは利用して、それぞれの組織に適した継続教育の計画と資料を作成し、組織を挙げて体系的に実施する必要がある。

日本においては特に、過酷事故の防止とその影響低減のための組織的研修を進めることで、安全の理解を深める必要がある。そのためには米国や欧州での過酷事故や安全の研修資料を収集、参考とし、自らのための研究資料を作成、共有しつつ、研修を体系的、継続的に行う必要がある。臨界安全についても同様である。これにより規制基準を満たすことのみを重視した「取り締まり型」から、様々な事象を想定し未然に防ぐことを重視した「予防型」の安全確保に移行することが重要である。

このほか、企業等を退職後、安全規制機関など別の組織で仕事をする人材が増えている。組織が異なると組織の目的も異なり仕事も異なる。転職者に対し、組織の目的に適合する研修を体系的に行う必要がある。

海外の学協会では、学協会規格・基準などを定めた際、学協会の年会などの機会を利用して、規格・基準の数値ではなく、根拠となっている考え方を研修により周知する取組みが行われている。日本の学協会においてもこのような取組みを積極的に進め、背景にある考え方を習得した人材を増やす必要がある。

国内外でのニーズを踏まえた資格認証の必要性と、資格認証を通じた人材育成のグッドプラクティスの収集とその共有や検討を行う必要がある。欧米の研究教育機関や企業における仕事を通じた人材育成や継続教育のグッドプラクティスを集め改善に活かすことも考えられる。

### 3-3 その他の人材育成に係る活動

#### ① 初等中等教育支援

原子力人材育成ネットワークの活動などで、初等中等教育向けの教育支援活動が行われており、例えば放射線教育について副読本が作成され、英訳もされるなど成果が上がっている。しかしながら、放射線に対する国民の不安は強く、今後も放射線に関するリテラシーの向上にさらに努力が必要と考えられる。

#### ② 新興国向けの人材育成支援

原子力発電導入を計画する新興国は多い。国際機関との連携などにより、様々な機関による人材育成支援活動が行われている。日本の原子力発電の国際展開を踏まえた活動では、研究開発機関による海外人材向けのセミナー、企業による原子力導入国向けの人材育成活動、原子力を教える教員の育成活動などが挙げられる。このほか、外国の国費留学生の獲得、若手教員候補者のポスドクとしての雇用を通じた人



材育成、海外の大学との連携の充実が重要と考えられる。

#### 4. 知識基盤の構築とこれに支えられたイノベーションの創出

今後も安全の確保を図りつつ原子力の研究、開発及び利用を進めていくためには、継続的なイノベーションの創出による新たな知見の獲得、技術水準の向上が求められている。イノベーションは外部から与えられるものではない。イノベーションを生み出すためには、それに必要な条件を整える必要がある。優れた人材と、体系化され継承され・発展していく知識の集合と改善されつつ維持発展する研究開発設備群による知識基盤を構築することが、イノベーションを生み出すために必要である。知識基盤とは人材と知識とそれらを生み出す設備や組織の集合体である。知識基盤を構築しつつ、異なる価値観と異なるニーズを持つ人材が意見交換し、それぞれ必死に考えることによって、イノベーションが生み出されると考えられる。

人材の育成とは、これを構成する要素の一部であり、知識を体系化した報告書や、知見を組み込んだ計算コードなどのプロダクトを積み上げ、世界が一目置く研究者、世界が一目置く研究グループ、研究機関を作ることが研究開発における人材育成の目標である。

これによって原子力利用とその安全の基盤を強固にすることが可能であり、実現に向けた原子力関係機関における人材育成に係る一層の取組みを期待する。

参考文献：

1. 岡田漱平「量子ビーム科学・放射線利用の過去・現在・未来」2017年1月31日  
原子力委員会定例会議資料
2. アラン・E・ウォルター、高木直行、千歳敬子共訳「放射線と現代生活」2006年、ERC出版
3. 日本電機工業会原子力部「原子力産業における教育界へのメーカー要望について」2017年10月20日 原子力委員会定例会議資料
4. 安俊弘「米国大学の教育研究の現状」  
[http://goneri.nuc.berkeley.edu/tokyo/2008\\_07\\_07.ppt](http://goneri.nuc.berkeley.edu/tokyo/2008_07_07.ppt)
5. 木口高志「人材育成について【私論】」2017年1月17日 原子力委員会定例会議資料
6. Nuclear Energy University Program, Department of Energy Office of Nuclear Energy, USA  
<https://www.energy.gov/ne/nuclear-reactor-technologies/nuclear-energy-university-program>
7. NUGENIA, Nuclear Generation II & III Association, Our Mission  
<http://www.nugenia.org/>