# 変革時代の原子力人材

## —将来の原子力基盤を支える大学の原子力教育—

原子力システム研究懇話会

# 刊行のことば

原子力システム研究懇話会（Nuclear Systems Association, NSA）は、原子力分野の大学名誉教授を中心とする学識経験者が会員となって、原子力諸問題について考察し、幅広い関係者との交流を深めつつ、社会の発展に寄与しようとする組織であり、平成2年（西暦1990年）に設立され、（一社）日本原子力産業協会の傘下で活動しています。その活動の一環として、平成5年からほぼ毎年「NSAコメンタリー」を刊行しています。NSAコメンタリーは、原子力に関する重要課題を取り上げ、その内容を検討し、外部の専門家のご協力も得ながら、分かりやすさを旨とした解説を作成し冊子の形にまとめたものです。

本年度、即ち令和7年度（2025年度）は、No.29として「変革時代の原子力人材－将来の原子力基盤を支える大学の原子力教育－」をお届けします。

原子力は幅広い内容を包含し、高度な学問的基礎と工学的応用を併せ持つ総合的理工学であり産業であることは論を待ちません。原子力の発展を支える基礎として、高度な人材の教育の重要性は言うまでもありません。本書では、先ず各界の識者からそれぞれのセクターが求める原子力人材について語っていただき、原子力教育の目指す方向性を明らかにしようとしています。次いで、大学の原子力教育の現状を日本と欧州に絞って通覧します。さらに、大型機器、装置の共同利用などによる教育訓練の状況を概説します。次いで各種連携ネットワークによる原子力教育活動について紹介します。また拡大する原子力人材需要に応えるべく独自な活動を続けている、少なからぬ大学の教育・人材育成プログラムを重点的に紹介します。

今回のコメンタリーには、若い学徒の原子力に対する関心と理解を高めたいという願いとともに、社会・国への提言を発したいとの願いも込められています。

コメンタリーの完成は、藤井靖彦先生をはじめとする編集委員の方々と執筆者の皆さまの並々ならぬ情熱とご尽力があって実現したものであり、ここに深甚なる謝意を表します。

なお、先行して出版されたコメンタリーの中には、関連する課題を扱ったものとして、平成21年（2009年）に出版された「原子力国際人材育成の必要性と戦略」（No.17）がありますので、合わせてご参考いただければ幸いです。

本コメンタリーが、日本の原子力界の今後の展開に対し、特に人材養成面で何らかの寄与を果たすことができると確信し、そう念願しています。

令和7年6月

（一社）日本原子力産業協会
原子力システム研究懇話会
運営委員長　山脇 道夫

# ◇ 目 次 ◇

◆刊行のことば（山脇道夫）…… i
◆執筆者・編集者一覧 …… viii

第1章 はじめに（藤井靖彦）…… 1
1.1 背景と目的 …… 1
1.2 本書の構成 …… 2

第2章 原子力人材の将来展望 …… 4
2.1 原子力委員会等技術利用政策の立案に携わる人材（尾本 彰）…… 4
2.1.1 原子力委員会と原子力政策担当室 …… 4
2.1.2 原子力委員会の役割の変遷 …… 4
2.1.3 原子力に係る政策立案に携わる人材 …… 6
2.2 期待される原子力人材（山田哲朗）…… 8
2.2.1 人気がないのに耐える …… 8
2.2.2 人格は語る …… 10
2.2.3 人徳で動かす …… 11
2.2.4 人智が試される …… 12
2.3 原子力規制行政に従事する人材の育成（荻野 徹）…… 13
2.3.1 はじめに …… 13
2.3.2 人材育成の基本方針 …… 13
2.3.3 公務員制度の中での専門性の向上について …… 15
2.3.4 おわりに …… 17
2.4 国際機関で活躍するのにふさわしい人材（赤阪清隆）…… 18
2.4.1 少ない国際機関の日本人職員数 …… 18
2.4.2 日本人職員数が少ない原因 …… 20
2.4.3 国際機関の職員にふさわしい人材 …… 21
2.4.4 国際機関職員の魅力とメリット …… 23
2.4.5 日本人職員を増やす方策 …… 24

2.5 原子力産業・研究機関が求める原子力人材 …… 25
2.5.1 原子力発電事業が求める原子力人材（大屋雅巳）…… 25
2.5.2 原子炉製造産業が求める原子力人材 …… 27
2.5.2.1 三菱重工が求める原子力人材（北川敬明）…… 27
2.5.2.2 日立 GE ベルノバニュークリアエナジー株式会社（日立 GE ヘルノバ）が求める人材（津下豊彦）…… 29
2.5.2.3 東芝エネルギーシステムズが求める原子力人材育成（小向夕紀）…… 31
2.5.3 研究開発機関が求める人材（大井川 宏之）…… 34

第3章 日本と欧州の原子力教育の状況 …… 40
3.1 日本の原子力関係学科、専攻等の状況（長谷川 秀一）…… 40
3.2 欧州原子力事情と大学教育（二ノ方 寿）…… 46
3.2.1 はじめに …… 46
3.2.2 欧州の原子力発電の現状 …… 46
3.2.3 2050 年カーボンニュートラル …… 48
3.2.4 EU タクソノミーと原子力 …… 48
3.2.5 イタリアにおける脱原子力と原子力復帰への動き …… 49
3.2.6 ミラノ工科大学における原子力教育 …… 51
3.2.7 修士課程教育の概要 …… 51
3.2.8 人材供給大学としてのまとめ …… 53

第4章 連携ネットワークによる原子力教育 …… 55
4.1 大学連携ネットワーク（大学と研究機関との教育連携ネットワーク）活動概要（加藤 浩）…… 55
4.1.1 活動の初期 …… 55
4.1.2 活動の理念 …… 55
4.1.3 大学連携ネットワーク活動の拡大 …… 56
4.1.4 連携教育カリキュラム概要 …… 57
4.1.5 大学連携ネットワーク活動の実績と今後の展開 …… 58

4.2 国際原子力人材育成大学連合ネットワークによる原子力基礎教育（小林能直、西村 章）…… 59
4.2.1 はじめに …… 59
4.2.2 本事業の活動概要 …… 61
4.2.3 国際原子力実践教育道場 …… 62
4.2.4 原子力国際人材育成 …… 64
4.2.5 おわりに …… 65
4.3 未来社会に向けた先進的原子力教育（ANEC）（山本章夫）…… 65
4.3.1 ANEC の基本的な考え方 …… 66
4.3.2 国際原子力人材育成イニシアティブ事業の経緯と概要 …… 67
4.3.3 ANEC の取り組み：個別事業 …… 68
4.3.4 ANEC の取り組み：横断的事項 …… 70
4.3.5 高校生を対象としたアウトリーチ活動 …… 72
4.3.6 今後の方向性と課題 …… 72
4.3.7 まとめ …… 74

第5章 研究炉・臨界集合体実験装置による研究・教育 …… 75
5.1 近畿大学原子炉 UTR-KINKI による研究・教育（若林 源一郎）…… 75
5.1.1 はじめに …… 75
5.1.2 近畿大学原子炉の沿革 …… 75
5.1.3 近畿大学原子炉の特性 …… 76
5.1.4 近畿大学原子炉の教育利用 …… 76
5.1.5 研究利用 …… 78
5.1.6 おわりに …… 79
5.2 京都大学複合原子力科学研究所における KUR と KUCA を利用した研究・教育（黒﨑 健）…… 80
5.2.1 京都大学複合原子力科学研究所の概要 …… 80
5.2.2 KUR を利用した研究・教育 …… 80
5.2.3 KUCA を利用した研究・教育 …… 82
5.2.4 KUR の運転終了と複合研の将来計画 …… 84
5.2.5 まとめ …… 85

5.3 もんじゅサイトの新試験研究炉（新研究炉の計画と今後の展望）（宇埜正美）…… 85
5.3.1 背景 …… 85
5.3.2 これまでの経緯 …… 86
5.3.3 新試験研究炉で何ができるか、立地地域はどう発展するか？ …… 89

第6章 シミュレータによる原子力教育 …… 93
6.1 研究炉・発電炉シミュレータを用いる教育実習（亀山高範）…… 93
6.2 高速炉シミュレータを用いる実習（前田茂貴）…… 98
6.2.1 はじめに …… 98
6.2.2 高速実験炉「常陽」…… 98
6.2.3「常陽」での学生実習 …… 101
6.2.4 おわりに …… 105
6.3 プラント実習（和佐尚浩、宇埜正美）…… 105

第7章 広がる連携原子力基盤教育 …… 110
7.1 産学連携放射化学実験（大矢恭久）…… 110
7.2 東北大学金属材料研究所連携研究教育（吉田健太）…… 112
7.2.1 はじめに …… 112
7.2.2 金研大洗センターの人材育成プログラム …… 113
7.2.3 金研大洗センターの共同利用と人材育成プログラムの相乗効果 …… 115
7.2.4 おわりに …… 116
7.3 東北大学工学研究科量子エネルギー工学専攻の六ヶ所村分室での教育（金 聖潤）…… 117
7.3.1 六ヶ所村分室の概要 …… 117
7.3.2 六ヶ所村分室の沿革 …… 117
7.3.3 六ヶ所村分室の研究室 …… 118
7.3.4 六ヶ所村における原子力教育 …… 119
7.4 原子力化学および廃炉化学に関する研究・教育（佐藤修彰、桐島 陽）…… 121
7.4.1 原子力安全・廃止措置研究センターにおける活動 …… 121
7.4.2 多元物質科学研究所における活動 …… 123

7.5 オープン教材の活用による原子力教育（小崎 完）…… 126
7.5.1 オープンコースウエアの制作・公開の現状 …… 127
7.5.2 MOOC（大規模公開オンライン講座）の制作・開講の現状 …… 129
7.5.3 オープン教材を活用した教育プログラムの現状 …… 131
7.5.4 オープン教材を活用した教育プログラムの課題と今後の展開 …… 132

第8章 原子力安全・規制、セキュリティ教育プログラム …… 134
8.1 東京大学原子力専攻の教育活動（専門職大学院）（長谷川 秀一）…… 134
8.2 原子力安全・核セキュリティ・保障措置教育（松本義久、相楽 洋）…… 137
8.2.1 緒言 …… 137
8.2.2 事業概要 …… 137
8.2.3 実施状況と今後の展開 …… 138
8.2.4 結言 …… 142
8.3 新潟大学における原子力規制人材育成教育（後藤 淳）…… 142
8.3.1 はじめに …… 142
8.3.2 大学院教育 …… 143
8.3.3 学部教育 …… 143
8.3.4 社会人教育 …… 143
8.3.5 見える放射線実習 …… 144
8.3.6 おわりに …… 144
8.4 高専－長岡技大連携原子力人材育成（鈴木達也）…… 145
8.4.1 はじめに ― 長岡技大と高専 ― …… 145
8.4.2 高専との連携と放射線施設利用 …… 146
8.4.3 おわりに …… 147

第9章　国際原子力教育プログラム …… 148
9.1　日本 -IAEA 原子力エネルギーマネジメントスクール
（ Japan-IAEA Nuclear Energy Management School ）（ 出町和之 ） …… 148
9.1.1　Japan-IAEA Nuclear Energy Management School の概要 …… 148
9.1.2　カリキュラム …… 149
9.1.3　グループプロジェクト …… 150
9.1.4　テクニカルツアー …… 151
9.1.5　特別企画 …… 151
9.1.6　おわりに …… 152
9.2　IAEA—東大　共同事業による原子力工学教科書作成（ 出町和之 ） …… 152
9.2.1「原子力教科書シリーズ」整備の狙い …… 152
9.2.2　日本語版「原子力教科書シリーズ」 …… 153
9.2.3　英翻訳版「原子力教科書シリーズ」 …… 154
9.3　世界原子力大学（ WNU：World Nuclear University ）（ 和田裕子 ） …… 156
9.3.1　世界原子力大学とは …… 156
9.3.2　開催実績 …… 156
9.3.3　初の日本開催 …… 157
9.3.4　向坊隆記念国際人育成事業 …… 158
9.3.5　おわりに …… 158

第10章　リーダー養成教育（ 齊藤正樹 ） …… 160
10.1　人間力を養成する「全寮制原子力道場教育」 …… 160
10.1.1　プログラムの概要 …… 160
10.2　産学官コンソーシアム「原子力イノベーション未来塾」の提案 …… 163
10.2.1　背景と目的 …… 163
10.2.2　基本的な養成方法 …… 165
10.2.3　推進体制 …… 166

第11章　おわりに（ 藤井靖彦 ） …… 168

# ◇ 執筆者・編集者一覧 ◇

（執筆順、 敬称略、 所属は執筆時）

## 執 筆

| | | |
|---|---|---|
| 第1章 | 藤井靖彦 | 原子力システム研究懇話会（東京工業大学 名誉教授） |
| 第2章2.1 | 尾本 彰 | 元原子力委員 |
| 第2章2.2 | 山田哲朗 | 読売新聞 論説委員 |
| 第2章2.3 | 荻野 徹 | 京都大学 客員教授（元原子力規制庁長官） |
| 第2章2.4 | 赤阪清隆 | 元国連事務次長 |
| 第2章2.5.1 | 大屋雅巳 | 電気事業連合会 |
| | | 原子力人材育成WG主査（東京電力ホールディングス（株）） |
| 第2章2.5.2.1 | 北川敬明 | 三菱重工業株式会社 |
| 第2章2.5.2.2 | 津下豊彦 | 日立GEベルノバニュークリアエナジー株式会社 |
| 第2章2.5.2.3 | 小向夕紀 | 東芝エネルギーシステムズ株式会社 |
| 第2章2.5.3 | 大井川宏之 | 日本原子力研究開発機構 上級執行役 最高研究開発責任者 |
| 第3章3.1 | 長谷川秀一 | 東京大学 原子力専攻／原子力国際専攻 教授 |
| 第3章3.2 | 二ノ方 寿 | 東京工業大学 名誉教授・ミラノ工科大学 客員教授 |
| 第4章4.1 | 加藤 浩 | 日本原子力研究開発機構 元原子力人材育成センター長 |
| 第4章4.2 | 小林能直 | 東京科学大学 ゼロカーボンエネルギー研究所 教授 |
| 第4章4.2 | 西村 章 | 東京科学大学 ゼロカーボンエネルギー研究所 特任教授 |
| 第4章4.3 | 山本章夫 | 名古屋大学 総合エネルギー工学専攻 教授 |
| 第5章5.1 | 若林源一郎 | 近畿大学 原子力研究所 教授 |
| 第5章5.2 | 黒﨑 健 | 京都大学 複合原子力科学研究所 所長・教授 |
| 第5章5.3 | 宇埜正美 | 福井大学 附属国際原子力工学研究所 所長・教授 |
| 第6章6.1 | 亀山高範 | 東海大学 国際原子力研究所 教授 |
| 第6章6.2 | 前田茂貴 | 日本原子力研究開発機構 |
| | | 大洗原子力工学研究所 高速実験炉部 次長 |
| 第6章6.3 | 和佐尚浩 | 日本原子力発電株式会社 敦賀総合研修センター 所長 |
| 第6章6.3 | 宇埜正美 | 福井大学 附属国際原子力工学研究所 所長、 教授 |

| | | |
|---|---|---|
| 第7章7.1 | 大矢恭久 | 静岡大学 学術院理学領域 准教授 |
| 第7章7.2 | 吉田健太 | 東北大学 金属材料研究所 准教授 |
| 第7章7.3 | 金　聖潤 | 東北大学 量子エネルギー工学専攻 教授 |
| 第7章7.4 | 佐藤修彰 | 東北大学 原子力安全・廃止措置研究センター 特任教授 |
| 第7章7.4 | 桐島　陽 | 東北大学 多元物質科学研究所 教授 |
| 第7章7.5 | 小崎　完 | 北海道大学 工学研究院工学系教育研究センター長 教授 |
| 第8章8.1 | 長谷川秀一 | 東京大学 原子力専攻／原子力国際専攻 教授 |
| 第8章8.2 | 松本義久 | 東京科学大学 ゼロカーボンエネルギー研究所 教授 |
| 第8章8.2 | 相楽　洋 | 東京科学大学 ゼロカーボンエネルギー研究所 教授 |
| 第8章8.3 | 後藤　淳 | 新潟大学 共用設備基盤センター 准教授 |
| 第8章8.4 | 鈴木達也 | 長岡技術科学大学 副学長、 技術研究院 量子原子力系 教授 |
| 第9章9.1/9.2 | 出町和之 | 東京大学 原子力専攻／原子力国際専攻 准教授 |
| 第9章9.3 | 和田裕子 | 日本原子力産業協会 人材育成部長 |
| 第10章 | 齊藤正樹 | 原子力システム研究懇話会（東京工業大学 名誉教授） |
| 第11章 | 藤井靖彦 | 原子力システム研究懇話会（東京工業大学 名誉教授） |

## 編 集

山脇道夫　原子力システム研究懇話会（東京大学 名誉教授）
藤井靖彦　原子力システム研究懇話会（東京工業大学 名誉教授）
齊藤正樹　原子力システム研究懇話会（東京工業大学 名誉教授）
柳澤　務　原子力システム研究懇話会（元日本原子力研究開発機構 理事）

# 第1章　はじめに（藤井靖彦）

## 1.1　背景と目的

地球環境の変動が激化し、カーボンニュートラル（CN）が世界の目標として掲げられ、産業革命以来近代文明を支えてきた石炭など化石燃料の利用が制限される大変革時代を迎えている。2023年のCOP28（国連気候変動枠組条約第28回締約国会議）では、初めて原子力に対して脱炭素安定電源として積極的な評価がなされるようになり、22ヵ国の賛同を得て、原子力発電設備を3倍に増大させる原子力3倍宣言が発表された。また、国際エネルギー機関（IEA）は、AI技術の進展により、データセンターの電力消費が2030年には約1兆kWhに達するものと予測している（原子力産業新聞 2025年4月16日）。今後増大する電力需要に対処する脱炭素電源として、再生可能エネルギーと共に、原子力に期待が集まっている。

原子力に期待は集まるが、原子力は高度な技術を持つ大勢の人間が作り出すエネルギーであり、原子力を利用するには先ず、原子力システムを開発し、原子力機器・燃料を製造し、運転・管理する人材を確保する必要がある。

人材問題の第1は、特に若人の原子力離れが伝えられることであろう。例えば日本原子力産業協会が毎年実施している原子力産業セミナーへの学生の参加者数は学生の産業分野への関心の強さを示しているが、原子力に「原子力ルネッサンス」の追い風が吹いた時代、2010年（平成22年）セミナー参加者は東京、大阪両会場合わせ1903名に達していた[1.1-1]。しかし翌年2011年3月福島第一原発事故があり、2011年セミナー参加者は496名とおよそ1/4に急減している。その後の参加者数は毎年300～400名で推移しており、重大な事故発生後としては止むを得ない面もあるが、職業としての原子力産業に関心を持つ学生は以前に比べ、かなり少なくなっている。同セミナーは例年非原子力系学生の参加も多いことから非原子力系学生の原子力離れが特に著しいものと考えられる。

またその第二の問題として、長期的な少子化による人口減少が挙げられる。2023年の日本の出生数が80万人を割り、72万7277人であった。厚生労働省の統計によれば、日本の合計特殊出生率は1.20まで下がっており[1.1-2]、このままで行くと、総人口は、2100年に4900万人（低位推計）程度となると推察される[1.1-3]。現在でも、人手不足は深刻化しているが、人口が減少する社会になれば産業間での人材の奪い合いも激しくなる。高度技術者を必要とする分野は産業を維持できなくなり、海外に移転する等の新たな産業問題も生じるのではないか。脱炭素社会を実現するためには原子力の大幅な拡大を図る必要があるが、将来原子力産業界が人材を確保できるかどうか危惧されるところであり、そのためには戦略的な人材育成策が必要である。原子力の基礎・基盤教育を行なう大学の役割は特に重要である。

なお平成7年（1995年）頃から約10年間、参考文献[1.1-4]に示されるように、日本の原子力

関係学部学科に原子力の名称変更があり、入学者が急減するが、大学院は原子力教育を維持し、比較的緩い減少傾向を示しながらも定常的な修士課程入学者を受け入れている。これは原子力の重要性に鑑み、各教育機関が大学院の基本的な原子力教育体制を維持してきた効果が大きいと考えられる。それでも平成 27 年 ( 2015 年 ) 度以降、原子力系修士課程入学者数は減少の傾向を強めており[1.1-4]、原子炉苛酷事故後の厳しい社会環境の中で、原子力教育の希薄化、原子力教育科目の減少、原子力若手教員の減少などが伝えられ、原子力教育の脆弱化が危惧されている。

更に原子力教育の特色として、高度で合理的な安全性追求や、社会的問題まであり、総合原子力工学の教育領域が拡大している。現在日本では主として約 20 校の大学によって原子力の基盤教育が実施されているが、総合的な原子力工学の教育体制を維持することが各大学・教育機関単独では難しくなりつつあり、研究・教育の質を維持・高める連携教育が必要とされている。各大学では種々厳しい環境の中で大学組織間の連携、更には産官学の連携を通して、高い専門性を維持した教育プログラムや、高度な実験や体験的学習など、個性豊かな教育プログラムを開発しており、本書はこれら教育プログラムの現状を紹介し、多くの学生諸君の参加を期待するものである。また非化石燃料の原子力を積極的に利用する社会となるために、原子力について市民の理解を深める活動が必要であり、原子力の教育活動が国民とのコミュニケーション活動にも広がることが望まれる。特に本書で紹介するオンライン授業プログラム、体験セミナーなどが、中高生や社会人への啓発活動に活用される事が期待される。

## 1.2 本書の構成

原子力学は総合理工学であり、核反応を制御する原子炉物理学を中心として、発生する熱を安全に取り出す熱・機械工学、ウラン等の燃料や放射性物質を閉じ込める材料に関する科学、更には安全管理や社会学を包含する広い学術領域から成り立っている。本書では各種学術領域の教育課題の中から、主として組織間の連携で進められている教育活動を紹介する。本書の目指すところは主として若い学生諸君の基盤教育・人材育成である。

第 2 章では先ず活躍された各界の識者に社会が求める人材について語って頂く。以下各章の論点を列挙する。

第 3 章では日本の大学の原子力教育の現状、特に授業科目について概述し、また欧州の原子力の現状と、最近原発推進に政策を転換したイタリアの原子力教育の現状を記述している。

第 4 章ではオンライン連携原子力教育の発展の経緯と、近年進められている「未来社会に向けた先進的原子力教育 ( ANEC )」の全般について概述する。

第 5 章では日本の原子力教育の中心を担ってきた研究炉を使う炉物理実験と、実験施設の維持・将来展望を述べる。

第 6 章ではシミュレータを使った原子炉安全に関する学習プログラムを紹介する。

第 7 章では化学、 材料分野にも広がる連携教育の例と、 広がるオンライン教育を取り上げる。

第 8 章では安全規制、 核セキュリティなど多様な専門教育システムや大学と高専の連携教育を紹介する。

第 9 章では国際的な教育プログラムの実施例を紹介する。

第 10 章では、 人間関係を重視した、 社会をリードする人材の育成を目指す個性豊かな教育プログラム“原子力道場”を紹介する。

原子力を安全に利用するには、 多数の、 高度な技術を持つ専門家が必要とされる。 各大学・産官学連携によって、 個性豊かな教育プログラムが準備され、 日本の原子力教育の基盤が強化され、更に発展することが期待される。 本書は、 日本の持つ教育的資源を効率的に活用し、 拡大する原子力人材需要に応えるべく活動している大学の教育・人材育成の諸プログラムを世に紹介し、 特に若い諸氏の原子力学に対する関心と理解を得たいとして企画されたものである。

なお、 本書は大学における原子力教育を中心にまとめており、 各地の国立高等専門学校等で取り組まれている同様の活動については、 紙面の都合上一部しか扱えなかったことを付記する。

参考文献

1.1-1) 原子力産業セミナー 2026 速報 https://www.jaif.or.jp/cms_admin/wp-content/uploads/2024/11/2026_report.pdf
1.1-2) 令和 5 年 ( 2023 ) 人口動態統計 ( 確定数 ) の概況 | 厚生労働省
1.1-3) 国土交通省「国土審議会」資料 : 001377610.pdf
1.1-4) 長谷川秀一 :「原子力年鑑 2025 」 Part V, 1. 「原子力教育」

# 第2章　原子力人材の将来展望

## 2.1　原子力委員会等技術利用政策の立案に携わる人材（尾本 彰）

原子力委員会が5年毎に策定してきた「原子力長期利用計画」は我が国における原子力利用の基本方針として尊重され各省庁における関連予算請求の根拠として扱われてきた。2.1.2にて述べるように、我が国の原子力委員会は1956年の設立から概ね70年を経てその間に大きな役割の変更があり、今日では諸外国同様、利用計画はエネルギー政策基本法（2002年）の下でのエネルギー基本計画など各分野を担う省庁毎に策定されるのが基本である（今日でも原子力委員会による原子力利用の「基本的考え方」は尊重する旨閣議決定されている）。従って、本項では原子力委員会とこれをサポートする原子力政策担当室に限らず各省庁にて原子力利用（主として発電用と放射線・アイソトープ利用）に係る政策立案に携わる人材に期待される能力・要件について記す。

### 2.1.1　原子力委員会と原子力政策担当室

原子力委員会は、国家行政組織法第8条に基づく審議会[2.1-1]等として現在では内閣府内に設置され、委員長と2名の原子力委員からなり、両議院の同意を得て、内閣総理大臣により任命される。原子力委員会をサポートするために10数名～20名の職員を擁する原子力政策担当室があり、委員会のための調査・庶務・関係行政機関（外務省、総務省、厚生労働省、農林水産省、国土交通省、環境省、文部科学省、経済産業省等）との事務の調整を行っている。2.1.3で示す原子力委員会の役割を果たすために、彼らは原子力の利用に関する幅広い知識・情報と識見を有すると共に、上記各府省間にまたがる政策の調整能力が期待される。

### 2.1.2　原子力委員会の役割の変遷

原子力委員会は我が国における原子力利用の黎明期（1956年）に原子力の研究開発と利用について企画・審議・策定する為設置された。当時の動きを概観すると

1953.12　米国にて原子力平和利用に向けたAtoms for Peace演説

1954. 3　1954年度予算に原子力経費2.35億円を計上

1955.12　原子力基本法制定

【脚注】

[2.1-1] 所謂基本的政策型の「八条委員会」として、学識経験を有する者で構成され国の行政機関の内部に設置されるが、独自に行政処分を下さず、諮問への答申等を主な業務とする合議制の機関である。これに対して原子力規制委員会は他の行政機関からの独立性を有し、独自の判断権限を有する三条委員会である。

1956. 1 原子力の研究開発と利用について企画・審議・策定するため原子力委員会を設置。
併せて科学技術庁、原子力研究所、原子燃料公社の設置

1956. 9 原子力委員会は第一回原子力利用長期計画策定

当時の原子力委員会設置法の定める委員会は、以下の事項について企画・審議し決定するという役割と権限を有していた。長期計画は内閣総理大臣に報告され、内閣総理大臣はこれを尊重しなければならないとされた。

1. 原子力利用に関する政策に関すること
2. 関係行政機関の原子力利用に関する事務の調整に関すること
3. 関係行政機関の原子力利用に関する経費の見積り及び配分計画に関すること
4. 核燃料物質及び原子炉に関する規制に関すること
5. 原子力利用に関する試験及び研究の助成に関すること
6. 原子力利用に関する研究者及び技術者の養成及び訓練に関すること
7. 原子力利用に関する資料の収集、統計の作成及び調査に関すること
8. 原子力利用に関する重要事項に関すること

この目的を遂行するために、原子力委員会は傘下に多数の専門部会・懇談会を有していた。恐らく原子力委員会は米国のそれを模倣して設立されたものであるが、軍事を含む米国委員会に比して所属する専門家数も予算も圧倒的に少なく、人材の不足を外部からの有識者による多数の専門委員会で少しでも補う方針だったと推測される。8 つの役割のうちとりわけ重要なのは、関係行政機関において遂行される原子力の研究、開発及び利用に係る施策の基本計画である長期計画の策定であった。

その後、欧米各国の例に倣って原子力の規制が分離され(1978 年)、2001 年には中央省庁再編の一環として審議会等の整理合理化が行われて経済産業省にはエネルギー行政に関する基本政策の審議を行う審議会として総合資源エネルギー調査会が、科学技術・学術行政を担う文部科学省にはこの行政に関する基本政策を審議する科学技術・学術審議会が設置され、原子力委員会が持つ長期利用計画の下での利用計画策定は基本的に分野毎に担当省庁が担うものとされ原子力利用長期計画も 2005 年に原子力政策大綱と改名された。更に福島第一事故後には委員会活動への批判から原子力委員会設置法が改定(2014 年)され、委員数の低減と共に所掌事項は上記 3、4、5、6 及び 7 の一部が削除され[(2.1-2)]、原子力利用長期計画ないし政策大綱の策定は陽には求められないことになった。

【脚注】

2.1-2) この組織変更は「平和利用のお目付役」になるためと一部識者とマスコミで形容された。しかし、平和利用以外での利用はサブナショナルなもの(テロリスト)とナショナルなもの(国として核武装を進める)があり、原子力委員会はテロリストの動向を調査する訳ではなく、また、政府の一部でありながらナショナルな動きへのお目付役を果たすとは三条委員会でもないのに奇異なことである故、斯様な形容は不適切である。原子力委員会が国外向けに平和利用を説明する役割が重要との意見もあるものの、これで平和利用が担保されていると諸外国が納得すると思うのはナイーブであろう。

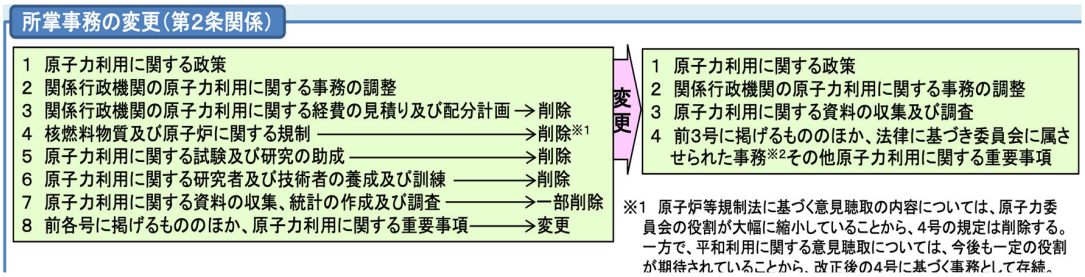



図2.1-1 原子力委員会所掌事項の変化（2014 年法改正）

ただ、「長期計画や大綱のような網羅的かつ詳細な計画は策定しないこととした一方で、関係組織からの中立性を確保しつつ府省庁を越えた原子力政策の方針を示す」（2023 年「原子力利用に関する基本的な考え方」より）理念的なものとして委員会は 5 年毎の改訂を目処に「基本的考え方」を策定しこれを尊重する旨閣議決定がされている。したがって、現在の原子力委員会は、「平和利用の確保」「基本方針の策定」「政策調整」「国内での対話と国際協力、情報収集」が活動の要目であると言える。

一方、世界に共通する動向として以下の進化が原子力政策立案機関を巡ってみられる。原子力利用のためには各種インフラ整備（法令整備、研究開発、人材育成、国際関係の構築、産業育成等）がまず必要で、これらは予算措置を含めた国の関与と関係機関との連携抜きでは構築できない。そこで原子力利用の初期には「原子力委員会」的な機関が設置されてインフラ整備や関係機関との調整にあたり、ある程度の実用化が進むと規制がそこから分離され、次いで利用の分野毎に該当行政機関にて原子力利用に関する政策立案とその実施がなされるように変遷している。例えば原子力発電はアイソトープ利用と並んで原子力利用の大きな柱であるものの、その進め方は国レベルでは原子力だけが単独で政策を持つのではなくエネルギー政策全体の一部として他のエネルギー源・発電源と併せて目標を定めそれに向けた政策を推し進める形で行われるべきなのは当然で冒頭のべた経産省によるエネルギー基本計画策定と遂行である。原子力利用の黎明期には利用政策を定め一方でインフラ整備を図る原子力委員会的な国の機関が必要である事は、IAEA の原子力利用に向けた所謂マイルストーン図書（NE Series NG-G-3.1）でも推奨している事であるが、既に利用の進んだ国では原子力委員会そのものが消滅している（欧米の多数の国）か、有っても規制委員会として機能（例えばハンガリー）している様に進化が見られる。

### 2.1.3 原子力に係る政策立案に携わる人材

原子力委員は基本的に学識経験者から選ばれ専門分野の知識が豊かであることを前提としている。委員会をサポートする原子力政策担当室更には利用の各分野を担う省庁で利用政策を立案する職員

は、幅広い領域にまたがる原子力利用についての知識・識見が必要とされる。この点で、原子力委員会では、2013 年の委員会設置法改訂で専門委員会の数が大幅に減じて、外部の有識者の意見を求める機会が少ないのは大きな障害であろうと推測される。

技術開発・利用のための長期的な政策立案に携わる人材の持つべき能力・資質とその育成において考慮すべき点の幾つかを以下に記す。

1. 政策決定の基本に則ること

チーム全体として、図 2.1-2 に示す政策決定の基本フローと意思決定におけるバイアスの排除・外部からの多様な意見の聴取等の基本事項を理解していることが求められる

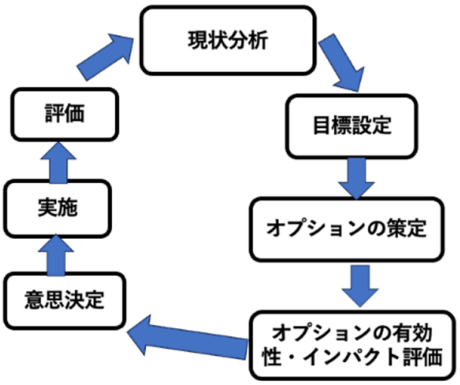


図2.1-2 政策決定の基本フロー

2. 希望的観測に捉われず将来起きる変化とそれへの柔軟な対応を考え政策立案できること

第一回原子力長期計画を見ると、「自主」への拘りと国内ウラン資源への過剰な期待から「原子燃料は極力国内自給体制を確立」「天然ウラン重水型原子炉を国内技術により建設」と謳い、米国の軽水炉が主流になる中でも経済性と国内ウラン調達の点で無理のある ATR（Advanced Thermal Reactor）路線への国の固執が見られた。将来起きる変化とこれへの備えを考えるという点で参考になる例は、米国産業界で早いうちから経済のソフト化に伴い重厚長大産業に支えられる原子力への忌避姿勢が公衆の間で高まることを論じていること（“Nuclear Power in American Thoughts”）、英国政府は既に暫く前から将来の「電化の進行」による大幅な電力需要増加を予測し今日ではこれに応える為原子力発電の増大（2050 年迄に 24GWe 追加）を政策的に唱導したこと。今日では、AI の利用拡大・ビットコインマイニング・データセンター普及に伴う電力需要の増加が相当する。この点で良い成果をだすには将来動向を考える習慣のほか社会一般や世界の動向をよく把握し、幅広い専門家から意見を聞く不断の活動が必要である。

3. 全体を俯瞰した利用促進・研究開発の政策立案に貢献できる人材の育成

例えば、原子力発電所の幹部に求められるのは、a)「逆 T 字型」の広い原子力基礎工学領域（放射線、炉物理・炉工学、原子炉制御、熱水力、材料と構造力学、原子炉安全工学、リスク解析、原子力法等が逆 T 字の底辺を構成）の知識とその内何らかの特定の専門領域での思考訓練・知見を有するべく教育機関での教育を受け（この点で原子力工学専攻における教育体系

が適している )、 b) 原子力プラントの設計と運転の知識を習得し、 c) 技術マネジメント能力[2.1-3] ( 発電所を運営する上で必要となる所内外とのコミュニケーション、 情報集取得、 意思決定、 経営の知識と能力 ) を有することである。 同様に原子力利用のための広い領域に亘る全体を俯瞰した利用計画・研究開発の政策立案には、 基礎知識と思考訓練の上に実務知識と技術マネジメント能力が求められる。

4. 専門家・専門組織・国際機関・国際的な委員会等との繋がりと情報収集

原子力の利用促進・研究開発の政策立案に係る職員は、 チームの能力・知識の限界を認識して、 外部の様々な専門家・専門組織・国際機関・国際的な委員会等との繋がりを持ち世界の動向に敏感であることが期待される。 例えば、 医療用アイソトープの供給を確保する中で国内生産をどのように位置付けて進めるかの判断は需給関係と国際的な動向の迅速な把握と経済性、 輸送能力等を熟慮した目標設定によりなされるべきであり、 過去にどのような意思決定によりどのような問題に逢着したかの知識も踏まえて意思決定される必要がある。

【 脚注 】

2.1-3) IAEA は組織の上級管理者になってから原子力工学以外の知識 ( 例えば、 原子力に関連する経済・法律・社会学や抱える課題 ( セキュリテイ、 輸送等 ) さらに組織におけるリーダーシップ・コミュニケーション・意思決定・管理システム・倫理など ) 等を学ぶのではなく、 それ以前に Nuclear Technology Management を履修できる修士課程のある事が望ましいと考えていて東大などいくつかの大学でこれに呼応した修士課程が設けられている ( IAEA NE Series NG-T-6.12 “International Nuclear Technology Management Academy Master’s Programmes in Nuclear Technology Management”, 2020 )

## 2.2 期待される原子力人材 ( 山田哲朗 )

例えば、「プラント建設メーカーに期待される人材は」とか、「通信業界の人材に必要な資質は」という議論は成り立つだろうか。 あまりピンと来ない。 ところが、「原子力産業に期待される人材は」というテーマだと成立してしまうところが、 原子力産業が置かれている困難な状況を表している。

### 2.2.1 人気がないのに耐える

では、もう少し似たところのありそうな、 原子力産業と宇宙産業の比較ならどうか。 それでも、 原子力と宇宙では、 だいぶ様子が違う気がする。

新聞記者の間では、 昔から「宇宙航空研究開発機構 ( JAXA ) の広報は役に立たない」と言われてきた。 もともと、 世の中には多くの宇宙ファンがおり、 JAXA のやることは逐一、 関心を持ってウォッチしている ( 一方、 原発の動向を常に気にかけているのは反原発グループぐらいか )。 どこの国でも、 宇宙飛行士は子供たちのヒーローで、 国民に向けても宇宙業界の「顔」としての役割を果たしている ( 一方、 原子力業界の「顔」は誰だろうか )。

要するに、宇宙分野では、メディアや市民は向こうから勝手に好意を寄せて近づいて来るし、宇宙飛行士という派手な「宣伝係」がいるため、広報官が無為無策でも、さして問題にならない。

以前ならロケット打ち上げが失敗すると、JAXA は厳しくたたかれ、文科省は国民に陳謝したものだが、これも、ロケット打ち上げが民営化され、米スペース X のように失敗をものともせず素早く開発を進めるベンチャー企業が出現すると、むしろ、失敗の責任を追及してばかりで新しい挑戦をつぶす保守的な文化の方が問題視されるようになった。今や、日本のベンチャー企業「スペースワン」ですら、ロケット初号機の打ち上げに失敗しても、社長(元・経産官僚ではあるが)が「我が社は失敗という言葉は使わない」と述べるなど強気だ。

2023 年 2 月 17 日、JAXA の H3 ロケット 1 号機の打ち上げが直前で中止となった件は、宇宙開発に対する社会の見方がよく分かる出来事だった。カウントダウンがほとんど 0 まで進んだのに、固体補助ロケットは点火せず、打ち上げ手順が打ち切られた。

この「寸止め」の中断で、この日の打ち上げは、いわば失敗(延期)したものの、ロケットは同じ機体で後日、改めて発射するだけの話なので、本当の失敗(機体の損傷・喪失)ではない。単に「失敗」の捉え方の問題とも言えるのだが、記者会見で「打ち上げ中止」と説明し、「失敗」とは認識していない JAXA に対して、ある記者が「それは一般に失敗と言います」と捨て台詞をはいた。この記者会見のやりとりはユーチューブで流れていたので、これを見た宇宙ファンからは、記者の不見識や傲慢さを非難する声が沸き上がった。

記者の仕事の本質は、ロケットの打ち上げを視聴者と一緒に楽しんだり、JAXA の英雄的な仕事ぶりを讃えたりすることではないので、こうした責任追及型の姿勢は取り立てて珍しくもないのだが、少なくとも宇宙ファンは、JAXA 側に「寄り添い」、失敗だと言い募る記者の方を批判したわけだ。(ちなみに 1 号機は後日、無事に発射されたものの、上空で第 2 段エンジンが点火せず、本当の失敗となった)

仮に、これが東京電力の記者会見だったらどうだっただろうか。当然、東電の味方をする人は皆無だろう。記者が「これは失敗ではない。次の挑戦につながる糧となる」とサポートしたら、記者はネットで吊し上げられるのではないか。

東電は 2024 年 8 月 22 日の朝から、福島第一原発 2 号機で、溶融燃料(デブリ)の取り出しに着手した。ところが、釣り竿のような取り出し装置を開口部から内部に入れていくはずが、パイプの接続順が間違っていることが判明し、作業は出だしからつまづいた。

東電は、「いったん立ち止まった」と述べ、「決定的な失敗につながることを回避できたので良かった」という認識を述べた。もちろん東電は「失敗」や「中断」という言葉を嫌うが、この接続順のミスは、素人目にも失敗と映るし、その後の作業が停滞することも避けられない。

本当は、「失敗か中止か」、「中断なのか、立ち止まったのか」という言い争いはあまり生産的ではない。重要なのは、技術開発の世界では、成功に至るために失敗を積み重ねることが当たり前だという認識を広く国民やマスメディアが共有することだろう。そうした共通認識があれば、「確かに今日はちょっと失敗したが、原因を探り、教訓を抽出し、すぐまた成功させよう」というストーリーがすんなり受け入れられて、議論は建設的に進むだろう。

JAXA の小惑星無人探査機「はやぶさ」は、あちこち故障しながらも綱渡りで地球にたどりついた。故障の責任については特段、問われないまま、「傷だらけの帰還」「お帰りはやぶさ」などと応援する動きが巻き起こってブームとなり、映画化されたり、宇宙予算の獲得に貢献したりと、結果的に大成功を収めた。月面無人探査機「SLIM」は、主力推進装置が壊れ、逆立ちの格好で着地したため、日本初の月面着陸にもかかわらず、直後の記者会見は暗い雰囲気に包まれていたが、テレビ局の記者からは「もう少し喜んでもいいのではないか」という問いかけがあった。いわば「それは一般に成功と言います」というエールが記者側から送られた格好だ。

事故の責任を背負っている東電であれ、もともと好感度の高い JAXA であれ、挑戦的な技術を開発するうえで失敗は避けられない。その失敗を乗り越え、前に進まなければならない点は同じはずだ。(ちなみに、原子炉に釣り竿式装置を入れる作業は、後日、正しいパイプの接続順に直して再開されたものの、今度は釣り竿の先端に取り付けたカメラが故障して本当の中断となった)

### 2.2.2 人格は語る

とはいえ、あれだけの重大な原発事故の後では、国民が原子力産業に対する恨みや不安など、様々な負の感情を抱くのは当然であり、当面、原子力は逆風の中を進まなければならない。しかも、この根深い不信や反感は時間の経過と共に消えるとは限らない。

米ネット配信大手ネットフリックスの番組に、「メルトダウン：今語られるスリーマイル島原発事故」(2022 年)という 4 話のドキュメンタリーがある。スリーマイル島原発事故による放射性物質によって引き起こされた(と本人が感じている)病気を患う女性や、原子力業界の安全軽視を告発したゆえに職場を追われた(と本人が感じている)男性が登場する。古い映像は資料として興味深いのだが、ドキュメンタリーなのかドラマなのか判然としない所もある妙な番組だ。一応、ファクトチェック役として、米原子力規制委員会(NRC)の元職員で、近年は東電にも助言しているレイク・バレット氏が登場する。バレット氏は「病気にはご同情申し上げるが、原発事故が原因ではない」「内部告発をしたという男性の認識は、事実と異なる」といった反論をして、きちんと実情を説明している。

ただ、涙を流す女性や、苦悩する男性と対比すると、バレット氏はよく言えば毅然としているが、悪く言えば傲慢な印象を与えて、この番組の中では、あたかも悪役のようにされている。インタビューは 3 時間以上にわたったのに、そのごく一部が放送されたそうなので、あるいはバレット氏は、度重

なる的外れの質問に、いらだっていたのかもしれない。

事故後、40年以上がたち、周辺環境に与えた影響は軽微だったという事実が確定していても、まだこうしたドキュメンタリーが制作され、広く配信される。ある程度の知識がある人から見れば、死んだ魚が大量に川に浮いているところなど首をかしげる場面も多々あるのだが、昔のことなど知らない一般人が見れば、スリーマイル島原発事故では健康被害が発生し(あるいはその可能性が疑われ)、安全を軽視して事故処理が強行された(あるいはその可能性が濃厚だった)と思うだろう。ましてや、日本の視聴者は、より重大な事故である福島第一原発の周辺では、健康被害が発生した(あるいは将来、発生する可能性が高い)と誤認する恐れがある。

スリーマイルで混乱する現場に乗り込み、動揺するメディアや国民を落ち着かせたのは、カーター大統領によってスポークスマンに指名された、ハロルド・デントンというNRC職員だったという。なぜデントン氏は後年、事故収拾のキーパーソンのような扱いを受けることになったのか。デントン氏は一見、地味な人物で、特殊な能力のあるヒーローではない。バレット氏が最近、読売新聞の特派員に語ったところでは、「彼(デントン氏)は南部人で、ゆっくり話す。庶民的な感じで、父親のように。中古車のセールスマンのように速くしゃべらない。もったいぶった言い方もしない。一方、電力会社の人たちは技術的すぎ、正確さにこだわりすぎ、報道や住民、州政府は『彼らは何か隠している』と感じてしまった」と振り返っている。デントン氏は、聞き手の不安や、知識のレベルを見定めたうえで、誰でも理解できる易しい言葉で、静かに、誠実に説明したのだろうと想像する。

### 2.2.3 人徳で動かす

大勢の関係者がかかわる廃炉作業を進めていくうえでは、高いプロジェクトマネジメント能力が必要だとされている。2024年9月に原子力損害賠償・廃炉等支援機構がまとめた「廃炉のための技術戦略プラン2024」も、「東京電力はプロジェクトマネジメントの高度化を進めるべきである」と指摘している。もともとメーカーでも建設業者でもなく、発電事業者に過ぎない東電は、必ずしも現場の複雑な事業管理が得意でないのだろう。

アメリカは、歴史的に移民が多く、人々の価値観も様々だ。労働者の熟練度もばらつきが大きい。契約内容は細部まで明確に決められ、誤解のないようストレートに伝達することを好む土壌がある。こうした社会で、多数の人がかかわる複雑な目標を達成するために生まれたのがプロジェクトマネジメントの手法だったのではないか。たとえ個々人の能力が低くても、考え方が様々でも、系統だって一元管理することで、最終的には複雑な計画を実現できる。

一方で、日本は、末端の労働者まである程度、規律が高く、トップは能力というより、どちらかというと人徳をもって統治することの方が効果的と考えられてきた気がする。

再稼働を目指す東京電力・柏崎刈羽原発(新潟県)で、稲垣武之・所長が毎朝、正門に立って

挨拶運動を行っていると聞いたときも、私は理屈っぽい性格なので、「高校の正門で挨拶に立つ校長先生じゃあるまいし、1人の人格者に頼る『徳治主義』の体制ではいけない。誰が所長だろうが、所内の仕事がすべて定められたとおりに動く、『法治主義』的な体制が必要なのではないのか」と疑問に感じていた。

2024年に、実際に柏崎刈羽原発を訪ねる機会があった。稲垣所長は、所員の日頃の仕事ぶりに感謝する意味で、「○○様 いつも非常に丁寧な視察対応、ありがとうございます」といった手書きのメッセージをクッキーに添えて所員に配っていた。私は「子供じゃあるまいし、あめ玉を配るようなことでいいのか。誰に注目されずとも淡々と自分のやるべきことをやるのがプロの態度ではないのか」と考えていた。しかし、こうした疑問を稲垣所長に婉曲に尋ねたところ、私は少し考えを改めざるを得なかった。

稲垣所長は、福島第一原発の保全部長として事故の日を迎えた。2011年3月14日の早朝、復旧班の要員らに、3号機の現場に向かうよう指示したものの、部下から「1号機の爆発に遭った人が怖がって行けない。直接、部長から説明してほしい」と求められ、稲垣所長は「1号機に比べ3号機は注水が途絶した時間が短い。爆発は当面ない」と説明して行ってもらった。果たして、その数時間後に3号機が爆発した。真っ青な顔をしている人、怪我で出血した人たちが次々と事務所に戻ってくる中、最終的に死者が出なかったことが確認できた時には、「椅子にへたり込んでしまった」という。

こうした経験から、稲垣所長の心の内には、普段から信頼関係を築いていない限り、危険な現場に行けと命じることもできなければ、指示に従ってくれる部下もいないという信念が芽生えた。「なぜ正門の検査が必要で、朝の出勤時に渋滞ができるかをみんなに理解してもらわなければ、協力してもらえない」という気持ちから、毎朝、正門で挨拶に立っているのだという。

原子力規制委員会の「健全な安全文化の育成と維持に係るガイド」(2019年)には、「自らの判断及び行動により、安全に関する方針を全ての職員に理解させるようにし、全ての職員がその方針に基づいた活動に参画できる環境を整えていること」などと書いてある。具体的にどうすればこの目標が達成できるのか私にはイメージできなかったが、稲垣所長の言葉や態度から、おぼろげながら手がかりが得られたように感じた。(ちなみに、稲垣所長は海外勤務経験も豊富な理知的な人物であり、情に訴えかける方法だけに頼っているわけではなく、システマティックな管理手法にも通じているということなので、念のため申し添えておく)

### 2.2.4 人智が試される

原発は、取り扱いを誤り重大事故を起こせば国家存亡の危機を招く。かといって電力の安定供給、エネルギー安全保障、脱炭素などの観点からは、活用することが欠かせない。「原子力産業に必要とされる人材とは何か」という問いは、「現代社会で必要とされる英知は何か」と問うようなものであり、

その答えは、人に聞けば簡単に分かるようなことではないだろう。関係する企業、団体、学会、行政機関などが、社会と対話しながら、自分の頭で考えていってもらいたい。

## 2.3 原子力規制行政に従事する人材の育成（荻野 徹）

### 2.3.1 はじめに

本稿では、原子力規制委員会（委員長及び4人の委員の合議体そのものではなく、事務局である原子力規制庁を含む行政組織としての原子力規制委員会という意味で用いる。以下「規制委員会」という。）において行われている人材育成の取組について紹介する。人材の育成は、規制委員会の設立当初から焦眉の急の課題であったが、その後の組織体制の整備（原子力安全人材育成センター[2.3-1]の設置など）や、新検査制度の創設及び運用の開始などを踏まえ、逐次、種々の取組が展開されてきた。人材育成は、その性格上、成果が上がるまでに一定の時間を要する。換言すれば、規制委員会の現在の取組は、原子力規制人材の将来像を設定し、それを実現しようとする過程の入り口にあり、そのスナップショットを示すことが、本稿の目的である。

### 2.3.2 人材育成の基本方針

規制委員会は、2014年に『原子力規制委員会職員の人材育成の基本方針』[2.3-2]を定め（平成26年6月25日原子力規制委員会決定。最終改定令和5年（2023）2月22日。以下「指針」という。）、人材育成の基本理念と人材育成に係る施策体系を明示した。

ここでは、この施策体系に沿って、その具体化の状況を概観する。

#### 2.3.2.1 人材育成のプロセスの体系化

施策体系の第一の柱は、「規制行政を担う職員として育成するプロセスの体系化」である。

まず、業務の性格に応じて職員に求められる能力・役割を明確にし、次に、職員の職種に応じたキャリアパスのイメージを設定し、さらに、高い専門性を要する業務については、職員がその成長の過程で到達すべき知識及び技能の水準を明確にした上で、その水準に達した職員に資格を付与する制度を創設・運用することとした。

##### 2.3.2.1.1 求められる能力・役割の明確化

指針では「原子力規制委員会が原子力規制を遂行するにあたって必要となる業務には、規制の実務、安全研究、国際機関での活動、法令・人事・会計等の事務といった様々な業務が存在する。これらの業務を遂行するために職員に求められる能力や役割の明確化に努める」とし、具体的には、次のような取組が、順次行われている。[2.3-3]

＜人材像の明確化＞

まず、原子力規制委員会の所掌事務を、職員の業務という視点で分類整理した。具体的には、国際原子力機関（IAEA）安全指針「原子力施設に対する規制機関の組織及び職員」[2.3-4]に定める規制機関の機能区分を参考に、その性格により12の区分（審査・評価業務担当、検査及び違反への措置業務担当、規制情報調査及び規制・基準策定業務担当、安全研究担当、緊急事態対処担当、放射線モニタリング業務担当、保障措置業務担当、国際協力業務担当、広聴・広報業務担当、法的支援・訴訟事務担当、業務管理（バックオフィス）担当、人材育成・研修業務担当）に分類し、各々について、担当部局、備えるべき知識・技能、職位ごとの職責及び人材イメージを明らかにした（2014年12月策定）。

＜力量の明確化＞

その上で、職員が担当業務を遂行するために必要な知識・技能を計画的に修得できるよう、それぞれのポストで必要となる知識・技能等を明示した（2015年3月設定）。IAEA安全報告書「規制機関の力量管理」[2.3-5]にある力量項目を参考にして、①法的、規制的及び組織的基礎に関する力量、②技術的領域に関する力量、③業務遂行に関する力量、④個人的及び行動的力量という4区分を設け、そのうち、①から③に関して、職種ごとに必要となる知識・技能を明確化した。④は、各省共通の「人事評価」における能力評価により行うこととされた。

＜力量管理の仕組みの整備＞

上記のように明確化された力量の確認、管理のために、力量管理シートを用いて、各力量に対応した、その力量の修得に必要な研修や経験、資格・実績などを明確にする作業が行われ、2015年度から研修履修履歴を管理するITシステムが導入された。

2.3.2.1.2 キャリアパスの設定

以上のようにして、組織において職員がどのような業務を行っているかを体系的に示し、そのそれぞれで必要とされる知識・経験等を明らかにしたうえで、個々の職員の視点で、各人がどのような仕事を経験し、どのように能力を高めていくかについてイメージを与えるのが、モデルとなるキャリアパスイメージの設定である。

指針では、「技術系及び事務系の行政職員（総合職 職員及び一般職職員）並びに研究職員毎にキャリアアップのモデルとなるキャリアパスを設定し、個々の職員に応じたキャリアパスの実現を目指す。」とされ、それぞれの職種ごとに、キャリアパスのイメージが示された。[2.3-6][2.3-7]

2.3.2.1.3 資格制度

指針ではさらに「特に、規制等の業務については、専門的知識に基づいた高度な原子力規制行政を実現するため、職員が計画的に必要な知識及び技能を修得し、その維持及び向上を図ることができるよう、職員が到達すべき知識及び技能の水準を明確にした上で、同水準に達した職員に資格を付与する制度を適切に運用する」こととしている。

具体的には、2016 年の IRRS ( 総合規制評価サービス ) で明らかになった課題 ( 検査官の研修の充実等 ) に的確に対応するため、高度な専門性が求められる 5 つの分野 ( 原子力検査、原子力安全審査、保障措置査察、危機管理対策、放射線規制 ) について、平成 29 年度 ( 2017 ) から資格制度を導入した。各資格について、専門性や役割のレベルに応じて基本資格、中級資格、上級資格に分類し、基本資格は所定の教育訓練課程修了と試験合格により、中級及び上級については試験合格により、付与することとした ( 教育訓練課程及び試験は、いずれも原子力安全人材育成センターが実施 )。(2.3-8)

2.3.2.2 研修体系の構築等

施策体系の第二の柱は、「キャリアパスや業務実態に対応した研修体系の構築」である。

指針では「職員が職務遂行に当たって、現に不足する知識及び技能を補い、また、将来の職務の遂行に当たって必要となる能力の向上に取り組めるよう、職種の役割等を踏まえて設定されたキャリアパスモデルや資格制度に対応した研修体系を構築する」としている。

これに基づき、基本資格取得のための教育訓練課程が創設され、対象職員が、原則 1 年間、実務を離れ、原子力安全人材育成センターの研修に専従するという形で行われている。(2.3-9)

このほか、指針では、「実践的な実務遂行能力の向上等につながる工夫を取り入れた OJT の実施」、「職員共通の知識の習得」、「職員の学習目標時間の設定」、「人材育成を円滑にする環境整備」について定めている。

2.3.3 公務員制度の中での専門性の向上について

次に、視点を変え、行政学の知見を借り、公務員制度において「専門性」をどのように獲得していくかと言う観点から、管見を記す。

2.3.3.1 規制機関の独立性との関係

行政学者である藤田由紀子は、原子力規制委員会発足後の人材育成の取組について、次のように評価している。

「原子力分野の専門性の向上のための取り組みは、一般に、プロフェッションの発達を意味する

「専門職化 ( professionalization )」の過程にみられるプロフェッショナル・アカウントとプロフェッショナル・ネットワークの構築に相当すると考えられる。 前者は特定の分野における認識と規範に関する能力の証明 ( 知識体系・資格制度、 倫理綱領など ) であり、 後者は、 所属組織を超えて専門性を媒介とするネットワーク形成 ( 専門職団体など ) を意味する ( 中略 )。 求められる力量の明確化や任用資格制度の創設は、 プロフェッショナル・アカウントの確立に相当すると考えられる。また、 プロフェッショナル・ネットワークに関しては、 NRC への派遣などにより、 国際的なネットワークの形成が進められていると見ることができる。 一方、 国内におけるネットワーク形成には一定の制約を伴うが、 JAEA などの研究機関や大学研究室等との連携による新たな知見の共有などが考えられる。 このように、 規制庁の人材育成の取り組みは、 一般的な専門職化の方向に適っているといえる。」(2.3-10)

ここで言及される「専門職」は、 理念的には、 弁護士、 医師などの専門性と独立性を有する職能集団を意味し、 これらと同様の独立性を持つ職能集団が公務部門にもありうるのではないかといった問題提起について英米等で盛んに議論されているようである(2.3-11)。 真のプロフェッションといえるかどうかといった学術的な議論とは別に、 実践的には、 原子力規制庁の、 特に技術系職員の専門性の向上が、 専門家としての自負心の涵養と社会的威信の獲得につながれば、 科学的技術的観点以外の観点からの影響を拒絶するという形で、 規制組織の独立性の確保につながるであろう。

2.3.3.2 公務員制度と専門知

よく知られているように、 各国の公務員制度は、 その採用・昇進の在り方と言う観点から、 キャリア・システム ( 日、 独、 仏 ) とポジション・システム ( 英、 米、 豪 ) に大別される。「キャリア・システムとは、 ある特定の公務員集団の最下層において任用され、 そのキャリア内において法令上の規定に従って昇進・昇級していくシステムであり、 異なるレベルの公務員集団が複数存在することと合わせて、 高度なヒエラルヒー構造を特徴とする。 採用には潜在能力が重視され、 一定の試用期間を過ぎると基本的には終身雇用となり、 キャリアの展開過程において、 ジェネラリストとしての素養と能力を培っていく。これに対し, ポジション・システムとは、 特定の公務員集団において任用されるのではなく、 職務の内容と責任の度合いによってランク付けされている特定のポストに対して任用される。 採用には、 職務を実際に遂行する実務的知識・技術と能力が要求される。 従って、 知識・技術や能力のレベルに応じたポストからスタートできるが、 その反面、 どのようなキャリア・パスを辿るかは、 法令上のキャリア形成システムのなかで行われるのではなく、 個人の能力と判断に委ねられる。 一般的には、 契約に基づく雇用であり、 必ずしも終身雇用ではない。」(2.3-12)

ところで、 日本の行政機関が何らかの専門知を獲得しようとする場合、 その手段を公務員制度の観点からみると、①アウトソーシングする ( 大学や国立研究開発法人等に委ね、 組織内に職員として

抱えない）、②専門家を中途採用する、③新卒採用職員に教育を施す、といったやり方がある（審議会や有識者会議の類は、①と②の中間的な手段といえよう）。

②は、本来的には、キャリア・システムになじまないようにみえるが、デジタル技術の急速な進展などに対応するため、わが国の公務部門でも、現行法制の下、種々の工夫をすることにより、中途採用を積極的に行うようになっている[2.3-13]。原子力規制庁発足当初から中途採用には熱心に取り組んでおり[2.3-14]、最近の中途採用比率は、令和3年度（2021）には36%、令和4年度（2022）には44%、令和5年度（2023）には56%となっている[2.3-15]。

### 2.3.4 おわりに

規制委員会は、新卒採用の学生向けサイトでは、「その組織名称から「原子力工学分野の知識がないと活躍できない」と思われがちだが、原子力施設はあらゆる分野の技術が集まって成り立っており、様々な分野の科学的・技術的な知識が不可欠。（中略）一口に「原子力規制」と言っても業務の幅は広い。このように幅広い分野の専門性を活かせる職場であり、かつ、研修制度も充実していて多岐にわたる分野を学べることから、多様なバックボーンの人材を歓迎している。理系の専門性を活かし、国家公務員として、「人と環境を守る」仕事に取り組んでみてはいかがだろうか。」と訴えている[2.3-16]。

キャリア・システムのもと、OJTによるジェネラリスト養成に傾きがちな現下の公務員制度の下で、求められる人物像を明示し、資格制度を中核に充実した研修制度（OJTでない、専従的なもの）を用意し、それを前提としたキャリアパスのイメージを示すという取組みは、規制組織としての専門性の向上だけでなく、自らのキャリアアップを考える就活中の若者にとっても魅力を増すことに繋がるのではないかと期待している。

ときに、世界で通用するグローバル人材によるドリームチームのような組織を構想し、そうはなっていない現状を嘆く向きもあるが、そのような引く手あまたの人材が、専ら原子力規制を志向し、かつ、採用後は規制機関に留まり続けること（ノーリターンルールや再就職規制のため）を受容するという想定は、現実的なものではないと思われる。

新卒採用であれ、中途採用であれ、競争的な労働市場において、原子力規制委員会は、一つの小さな求人者に過ぎないが、その中で、創意工夫を凝らして適材を得、育成していくほかはないと思われる。

参考文献

2.3-1) 2014 年 3 月 1 日、 独立行政法人原子力安全基盤機構 ( JNES ) との統合を契機に、 規制委員会職員の専門性の向上に向けた人材育成機能を抜本的に強化すべく、 規制委員会の施設等機関 ( 国家行政組織法第 8 条の 2。各省庁のいわゆる附属機関の一種。 試験研究機関や文教研修機関が含まれるカテゴリー ) として設置された。センター所長を原子力規制庁次長が兼務するほかは、 専門の職員が配置されている。 原子力規制庁の職員の研修や、 そのためのプラントシミュレーターの運用のほか、 核燃料取扱主任者及び原子炉主任技術者の試験を実施している。

2.3-2) https://www.nra.go.jp/activity/jinzai/jinzaiikusei.html

2.3-3) 第 6 回原子力規制委員会 ( 2015 年 4 月 28 日 ) 資料 2「原子力規制委員会職員の人材育成に関する取組状況について」参照
https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11235834/www.nsr.go.jp/data/000105341.pdf

2.3-4) IAEA Safety Standards Series, “Organization and Staffing of the Regulatory Body for Nuclear Facilities”, Safety Guides, No.GS-G-1.1, IAEA, 2002。 ( 邦訳 ) 独立行政法人原子力安全基盤機構、 2012 年

2.3-5) IAEA Safety Reports Series No. 79 Managing Regulatory Body Competence. IAEA 2014。
( 邦訳 ) 原子力安全人材育成センター、 2022 年

2.3-6) 行政職員については、 下記参照 ( 資料名には「総合職、 一般職事務系」とあるが、 一般職技術系のものも掲載されている。 )
https://www.da.nra.go.jp/view/NRA001001164?contents=NRA001001164-002-005#pdf=NRA001001164-002-005

2.3-7) 研究職については、 下記参照。
https://www.da.nra.go.jp/view/NRA001001095?contents=NRA001001095-002-006#pdf=NRA001001095-002-006

2.3-8) 2.3-9) これらの制度の具体的な内容については、 下記を参照されたい。
・検査官等の資格制度について
https://www.nra.go.jp/activity/jinzai/kensakan.html
・原子力安全人材育成センターの活動について
https://www.nra.go.jp/activity/jinzai/jinzai_katsudou.html

2.3-10) 藤田由紀子「行政における福島第一原発事故からの学習―長期的学習 ( 人材育成 ) を中心に―」
( 年報行政研究 56 巻 ( 2021 ))。

2.3-11) 藤田由紀子『公務員制度と専門性―技術系行政官の日英比較』( 2008、 専修大学出版局 )p17 以下

2.3-12) 前出 2.3-11) 藤田 ( 2008 ) p4

2.3-13) 各省庁は、 令和 3 年 6 月 23 日付け人事管理運営協議会幹事会申合せに基づき、 一般職の国家公務員について、 当該年度に採用等した職員の数に占める「中途採用」( 民間企業での実務経験等を有する方を採用することを目的とした経験者採用試験等や、 専門的な能力・経験を活かせる官職への選考による採用等 ) である職員数の割合を中途採用比率として公表することとされてる。

2.3-14) たとえば、「民間等からの実務経験者採用を対象として、 転職サイト、 新聞広告及び原子力発電所が立地している自治体広報誌の活用、 関連原子力事業者の拠点がある最寄駅におけるポスターの掲示を行ったほか、 募集の機会を令和 4 年度の年 1 回から 2 回に増やすなど、 人材の確保に務め」ている。 (「令和 5 年度原子力規制委員会年次報告」( 令和 6 年 6 月 7 日国会報告 )p18 )
https://www.nra.go.jp/data/000473159.pdf

2.3-15)「中途採用比率の公表」( 令和 6 年 7 月 29 日原子力規制庁 )
https://www.nra.go.jp/data/000360352.pdf

2.3-16)「理系学生のためのキャリア情報サイト 理系ナビ 2026」から。
https://rikeinavi.com/26/recruit/company/7c407f0bdd8e485f8b560d55e47eaff0/

## 2.4 国際機関で活躍するのにふさわしい人材 ( 赤阪清隆 )

### 2.4.1 少ない国際機関の日本人職員数

国連本部や他の国連関連機関における日本人の幹部や職員数は、 最近増えつつあるが、 それでも約 4 万人強の全体の職員の比率では依然としてたかだか 2 パーセント台でしかない。 日本の国連

予算分担率は、1990 年代には 20 パーセントを上回り、その後低下して、現在は約 7 パーセントになったが、邦人職員の比率はずっとこのように極めて少ない状況が続いてきている。

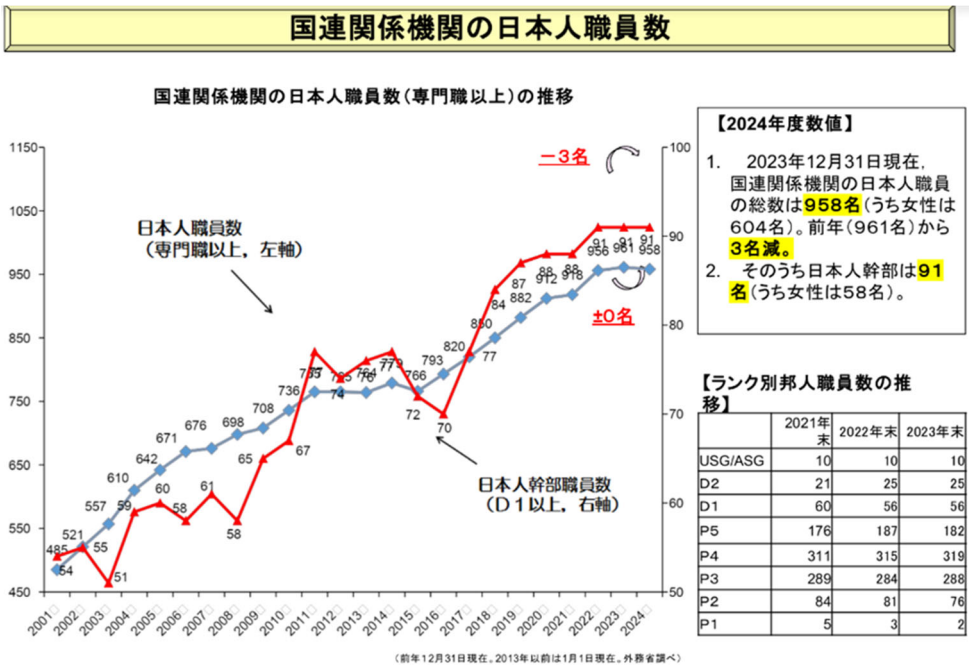
国連に 15 もある専門機関の長は、選挙で選ばれるポストである。過去には、WHO（世界保健機関）に中嶋宏氏、ITU（国際電気通信連合）に内海義雄氏、ユネスコに松浦晃一郎氏といった、大きな有力組織のトップを日本人が占めた時期があった。しかし、現在は、UPU（万国郵便連合）の目方政彦氏のみとなった。国連事務総長が任命ないしは指名する基金やプログラムの長としては、UNHCR（国連難民高等弁務官事務所）に緒方貞子氏がいたのが唯一のケースで、現在日本人は誰もいない。

国連関係機関では女性の比率が高く、日本人職員の場合は 63 パーセントにも達している（2024 年現在）。国連関係機関の邦人職員の半数近くが、外務省が行っている JPO（ジュニア・プロフェショナル・オフィサー）派遣制度の出身で、そのほか、空席の公募に直接応募して職員に採用された人が 4 割強、そして、省庁などからの出向者が約 1 割を占めている。

35 歳以下の日本人を対象とした JPO 制度の出身者が多いのは、2 年間の派遣期間中、職場に慣れるほか、上司らとの人的接触が多いために、派遣後の空席ポストへの応募の際に、面接で有利に働くということが指摘されている。JPO 試験の合格者は、毎年 50 名前後で、様々な国際機関に派遣されている。

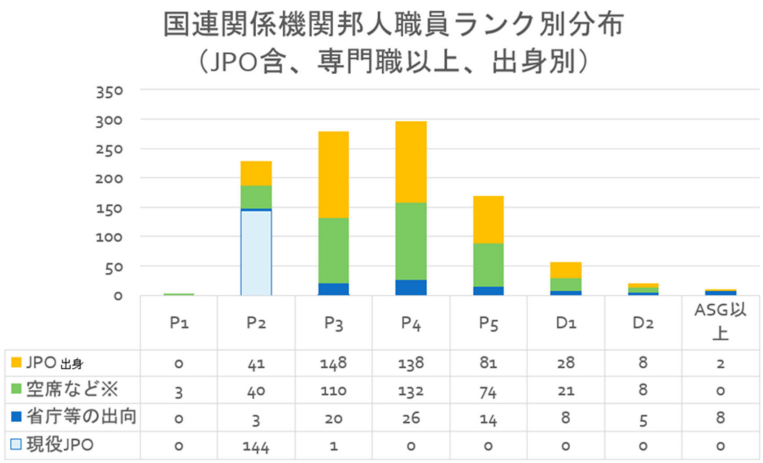
原子力関係の国際機関としては、まずウイーンに本部を置く国際原子力機関（IAEA）があるが、同機関には 2024 年当初の段階で、邦人職員数は約 50 名である。全職員数が約 2,500 名であるから、日本人の割合は、2 パーセントということになる。日本の原子力規制庁、経済産業省、文部科学省、外務省、諸大学、電力会社などの多様なところからの出向者が大半を占めている。

そのほか、国際熱核融合エネルギー機関（ITER、イーター）には、全職員約 1,000 名中、約 40 名の日本人職員が勤務している。ここには量子科学技術研究開発機構（QST）からの出向者もいるが、ほとんどの職員は電力関連などの民間会社の出身で、出向ではなく、出身母体には在籍していない。また、OECD（経済協力開発機構）の原子力機関（NEA）にも約 10 名の日本人職員が勤務しており、ここではほとんどが経済産業省、日本原子力研究開発機構（JAEA）、電力会社などからの出向者である。




| | 2021年末 | 2022年末 | 2023年末 |
|---|---|---|---|
| USG/ASG | 10 | 10 | 10 |
| D2 | 21 | 25 | 25 |
| D1 | 60 | 56 | 56 |
| P5 | 176 | 187 | 182 |
| P4 | 311 | 315 | 319 |
| P3 | 289 | 284 | 288 |
| P2 | 84 | 81 | 76 |
| P1 | 5 | 3 | 2 |

図2.4-1　国際関係機関の日本人職員数




| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | D1 | D2 | ASG以上 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| JPO出身 | 0 | 41 | 148 | 138 | 81 | 28 | 8 | 2 |
| 空席など※ | 3 | 40 | 110 | 132 | 74 | 21 | 8 | 0 |
| 省庁等の出向 | 0 | 3 | 20 | 26 | 14 | 8 | 5 | 8 |
| 現役JPO | 0 | 144 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

出典：外務省国際機関人事センター、2022 年

図2.4-2　国連関係機関邦人職員ランク別分布

### 2.4.2　日本人職員数が少ない原因

このように国際機関における日本人職員数が少ない原因として、 次の諸要素のために国際機関を目指す優秀な候補者が少ないということが指摘できよう。

第一に、日本の労働慣行の問題である。厚生労働省の調査では、若年期に入職してそのまま同一企業に勤め続ける、いわゆる生え抜き社員の割合は、2016 年時点で大卒正社員の 5 割程度、高卒正社員の 3 割程度を占めている。これらの割合は、長期的には低下傾向にあるが、特に大卒就業者の転職率は国際的にみて低い。転職の慣行が最近に至るまで少なかったのは、個人の意向もさることながら、日本社会の長年の終身雇用という労働慣行によるところが大きかった。

第二に、リスク回避の傾向がある。日本財団による 2022 年の 18 歳意識調査によれば、多少のリスクはあっても新しいことにたくさん挑戦してみようとする若者が、インド（84%）、中国（80%）、英国（78%）、米国（77%）などではおおよそ 8 割ぐらいいるのに対し、日本（49%）では 5 割にも満たない。

第三に、修士号を持つ人が、人口比で見た場合、米英仏独韓などに比べて断然少ない。これは、日本では企業への就職の際に大学新卒の学士が優先されてきたことにも原因があろう。しかし、国連関連機関の公募は、修士号を有しているか、それに相当する学歴を要求することが大半であり、修士号がないと公募要件を充たすことができない場合が多い。このため、前述の JPO 制度も、応募要件のひとつとして、修士号の保持を求めている。

第四に、コミュニケーション能力の低さだ。特に日本人一般の英語のスピーキング能力は極端に低く、英語能力測定試験 TOEFL でも、常に他の多くの国の後塵を拝している。また、日本の教育では、人前でのプレゼンテーションの仕方を学ばないために、口頭面接試験などで説得力のある、力強い受け答えを上手にできる人が少ない。

第五に、若者の海外志向の低さも挙げられる。日本財団の 2021 年の 18 歳意識調査では、海外留学に意欲・興味・関心がないと答えた若者が 59%にも上った。また、経済産業省の 2022 年の調査では、外国で働きたくないという新入社員が 6 割にも達している。その原因としては、異文化への適応能力や語学力に自信がないこと、安全面などの海外生活に不安なこと、経済的理由などが挙げられている。

### 2.4.3 国際機関の職員にふさわしい人材

国際機関の職員として採用されるための条件として、通常、修士号あるいは同相当の学歴を有するとともに、当該分野での実務経験が数年以上あることが求められる。国際機関の採用は、空席となったポストが公募にかけられ、それに応募して、書類審査、口頭面接試験を経て採用となるのが基本だ。国連の場合、最も低いランクのP1 およびP2 のうち、国連通常予算で人件費が支弁されるポストの場合は、ヤング・プロフェッショナルズ・プログラム（YPP）という、32 歳以下の若者を対象とした国連の競争試験によって採用される。前述の JPO も P2 での採用がほとんどだ。そのレベル以上、すなわち、P3、P4、P5、D1、D2 のポストは、すべて公募による採用だ。

公募されるポストは、予算がついて新たに設けられるポストのほか、退職や離職によって既存のポスト

に空席ができる見通しになった際に、空席ができる6ヶ月ぐらい前までに公募に出される。それに国連内外から応募する通常100人を超える候補者の中から、まず書類審査を行い、10人前後の有力な候補者を選び出す。そして、その選ばれた候補者を複数の面接官から構成される面接パネルが、直接対面ないしはオンラインや電話で面接し、最終候補者を選ぶ。

日本の政府機関や関連機関から、国際機関に出向する際も、同様の手続きを踏む。出向の場合は、3年ないしは4年ぐらいの限定的な期間国際機関で働き、その後は、国際機関に残る人もいるが、大方は出向母体に戻る。国際機関によっては、政府からの出向者を嫌うところ(例えば政府間の貿易交渉を行う世界貿易機構WTOなど)もあれば、むしろ新鮮な知見と経験を外部から導入するために一定期間の出向者を歓迎するところもある(OECDの国際エネルギー機関IEAや原子力機関NEA、国際原子力機関IAEAなど)。

グローバルに活躍するためには、必然的に外国語の能力が相当度高いことが求められる。国連では、公用語は6言語であるが、ワーキング言語は英仏のふたつであるので、そのどちらかができればよい。しかし、仏語を特に必要とするポストを除けば、どの国際機関でも、英語ができれば通用する。

国連憲章にある通り、職員には最高水準の能率と、能力、および誠実性が求められている。実力と経験がものをいう競争社会であり、年齢、性別などによる差別もなく、ポストにふさわしい条件が備わっていれば採用される。高い実務能力や語学力もさることながら、社交的、野心的で、チャレンジ精神に富み、どの国の人とも仲良くチームワークを組んでの仕事ができる人が国際機関職員にはふさわしい。数多くの国からやってきた人種、言語、文化や社会的背景の異なる人たちと一緒なので、常にオープンで、礼儀正しく、多様性を尊重するような人物が好まれる。

国際機関の職員になるハードルは高いように見えるが、ほとんどの人は、様々な訓練や経験を積むことで、国際機関職員にふさわしい資質をだんだんと備えるに至っている。たとえば、人前でスピーチを行うのも訓練を重ねることで上達するし、海外生活の経験は、内向きの人を外交的に変えることが多い。新しいことに挑戦する気概を持ち続ければ、色々な障害を乗り越えることができよう。

国際機関でキャリアを積んで、格上のポストに就くためには、本人自身の積極的な働きかけがカギとなる。国際機関の人事部が日本の役所や企業の人事部と大きく異なるのは、日本の人事部が個々の職員の人事異動をいちいち決めるのに対し、国際機関の人事部は、個別の人事を担当しないことである。個別の人事異動は、本人自身が求めるしかない。そして、公募したポストへの採用の可否は、人事部ではなく、すべて担当の部局が決める。

それ故に、昇格を目指す国際機関の職員は、常に空席情報に目をくばり、関心のあるポストが見つかり次第すぐに応募する。それは、同じ部局のこともあれば、まったく違う他の部局、あるいは他の国際機関の空いたポストであることもあろう。そうして、順次ランクを上げて昇進していくのが基本である。日本のように、長年真面目に仕事をこなしておれば、上司と人事部が相応の評価を行って、

適当な昇格ポストを見つけてくれ、人事異動の命令が下される世界とは全く異なる。新しいポストに応募しなければ、契約期間が切れるまで同じポストに居続けることになる。

国際機関のランクは、機関によっても呼び名が異なるが、国連の場合は、下からP1～P5で、その上がD1とD2の部長クラスとなる。Dクラスの上が事務次長補(ASG、局次長級)、事務次長(USG、局長級)、副事務総長(DSG)、そして事務総長(SG)である。事務次長補以上のポストは、政治的ポストといわれ、加盟国政府の推薦や政治的配慮、事務総長による特別の配慮などが行われるところである。Dランクへの採用は主に専門的な知見や経験が重要視されるが、政治的配慮がなされることもある。国連安保理の常任理事国たる米中露英仏の5カ国は、どの国際機関でもこのような政治的ポストのいくつかを占めているのが常である。

### 2.4.4 国際機関職員の魅力とメリット

国際機関での仕事の魅力は、何といっても、めざす理想と目標や使命がはっきりしていることである。このため、職員の士気は高く、それぞれの仕事から得られる充実感は極めて高い。外務省国際機関人事センターによるアンケートでも、約9割の国際機関邦人職員が、自分の仕事に対して満足しているとの回答を行っている。

世界中から優秀な人物が集まって作りだすグローバルな職場環境も魅力の一つである。概して職員の能力、教養レベル、士気は高く、あわせてはパワハラなどのハラスメントやジェンダー差別の少ない、働きがいのある職場といえる。さらに、ワーク・ライフ・バランスがほどよく保たれており、種々の休暇や待遇面でのメリットはかなり大きいと言える。特に、退職後の年金制度が充実していることがつとに知られている。

国際機関に日本人がいるのといないのでは、日本の国益にもかかわってくる。国際機関のトップの場合は明瞭である。トップの顔は、おのずとその人の出身国のイメージとダブって見える。例えば、緒方貞子氏が、日本政府からの強力なバックアップを受けてUNHCRで活躍されたことで、世界の難民問題への日本の貢献振りが各国から一段と評価されたし、松浦晃一郎氏が事務局長だったユネスコについても同様であった。

トップだけでなく、職員に日本人がいることによって、日本は様々なメリットが受けられる。まず、国際機関からの情報がよりスムーズに届くとのメリットがある。無論、国際公務員は中立でなくてはいけないし、どの国からも指示を得てはならず、仕事上の守秘義務もある。しかし、各国の外交官やジャーナリストとの情報交換までも禁じられているわけではない。組織の幹部に日本人がいれば、日本の外交官やジャーナリストにとっても、情報を入手しやすくなるのは当然であろう。

さらに、日本の考え方を国際機関の政策や文書に反映できるメリットもある。日本の事情を十分踏まえた日本人職員が作成する会議文書やプロジェクト案は、日本人でない場合に比べて大きな差が

出る。 日本の国際的なイニシアチブもより効果的に進めることができよう。 これまで日本政府がイニシアチブをとってきた、 たとえば TICAD ( アフリカ開発東京国際会議 ) や人間の安全保障に関する活動は、 国連事務局内の日本人職員に支えられてきたところが大きい。 日本の政府開発援助 ( ODA ) が東南アジアの経済発展に貢献したという事実は、 日本政府が手前味噌で自慢するのではなく、 OECD が高く評価したので、 ずっと客観性と説得力を持ちえた。

日本人職員の存在は、 長期的には国際機関のマネジメントや仕事の文化にも影響を与えることも出来るであろう。 これまではどこの国際機関もその職員の構成などから、 西欧文明の影響を大きく受けてきた。 それは時に、 チームワークや職員間の連帯よりも個人の自由を優先する文化を生んで、悪しき個人主義もはびこってきた。 日本人が増えれば、 組織全体の利益への貢献、 職員間の調和の取れた体制作りなどの重要性が理解されるであろうし、 また、 誠実性、 責任感、 自己規律、 整理整頓、 チームワークなど、 日本人の持つ文化的特徴の良い部分を国際機関の文化に反映させることもできるはずである。

### 2.4.5 日本人職員を増やす方策

日本政府は、 長年にわたり国際機関で働く日本人の数を増やす努力を続けており、その成果は徐々に上がっている。 選挙で選ばれる国際機関のトップには、 国際原子力機関の長を務めた故天野之弥事務局長の場合のように、 適当な候補者がいれば政府を挙げて選挙運動を行うことが大事である。

専門機関のほかに、 基金、 計画などの国際機関が数多くある。 たとえば、 ユニセフ、 国連難民高等弁務官 ( UNHCR )、 国連世界食糧計画 ( WFP ) などで、 そのランクはほとんどが事務次長クラスである。 これらの長の大方は、 国連事務総長の指名に基づき国連総会が任命するか、 あるいは国連事務総長が直接任命する。 このような機関のトップを獲得するためには、 有力候補をえらび、 政府が強力にその後押しをすることが必要である。

日本の各省、 さらには原子力規制庁などの関連機関から多数の出向者が国際機関職員として赴いている。 そのうちの大半は、 数年後に母体の組織へ戻るが、 幾人かはそのまま国際機関に残るか、 再度国際機関入りする道を選び、 そして同機関のトップないしは幹部に昇進するケースもある。 たとえば、国際エネルギー機関 ( IEA )、 国際海事機関 ( IMO )、 世界知的所有権機関 ( WIPO ) などにその例がある。 国際機関の幹部に日本人を増やすために、 このような出向者の数を増やすというのも一案である。

若手職員の数を増やすためには、 現在外務省の国際機関人事センターが行っているように、 きわめて厳しい競争の空席公募や YPP 試験に応募する日本人候補者を側面的に支援するとともに、 JPO 派遣制度を引き続き維持強化することがもっとも重要である。

日本の若者には、 日本の心地よい環境に満足して海外に出ないのではなく、 リスクを覚悟してでも

グローバルに活躍する道を選んでほしい。 原子力の分野では、 数多くの国際機関やグローバルに活躍できる道がある。 世界を舞台にした競争にもまれた人材は、 日本の内外を問わずどのような職場でも活躍できるであろうし、 国際的な日本のプレゼンスも高めてくれるであろう。 若い日本人の国際機関職員の数がもっと増加して、 その中から機関のトップや幹部を狙える人物が輩出してくることを期待してやまない。

## 2.5 原子力産業・研究機関が求める原子力人材

### 2.5.1 原子力発電事業が求める原子力人材（大屋雅巳）

資源の乏しい日本において、 特定のエネルギーに依存することなく「安全（Safety）」を大前提として「安定供給（Energy security）」、「経済性（Economic efficiency）」、「環境（Environment）」のS＋3Eの観点から考えることが大変重要です。

2025年2月に閣議決定された第7次エネルギー基本計画においては、 原子力発電を積極的に活用する方向へ転換されました。 私たち原子力事業者には、 福島第一原子力発電所の事故を教訓に、最初のS（安全）を不断なく高めていく活動に真摯に取り組み、 発電時に$CO_2$を排出せず、 発電コストが安価で、 原料の輸入も化石燃料と比べると安定している原子力の活用を3つのEの観点から更に進めて行くことが期待されています。

さて、 エネルギーの供給事業として大きな役割を担う原子力発電事業ですが、 その専門性は多岐に亘っており、 決して原子力技術の専門家だけによって運営されている訳ではありません。

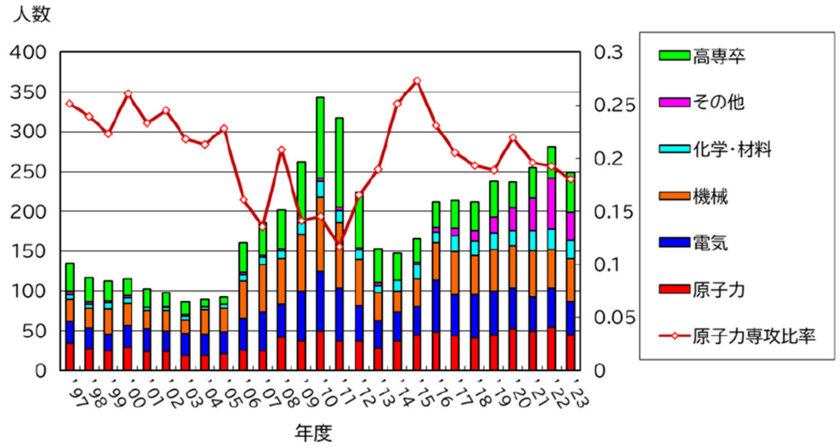
原子力発電事業における建設、 運転、 廃炉、 燃料サイクル、 放射性廃棄物処理などそれぞれの事業局面に求められる技術、 技能の領域は大変広く、 例えば、 運転だけに着目した場合でも、必要とされる専門性は、 原子力、 放射線は言うまでもなく、 機械、 電気、 化学、 建築、 土木などのあらゆる工学的な技術分野に亘ります。 さらに具体的に述べると、 炉心燃焼管理業務においては原子力の専門知識が極めて重要ですが、 プラント設備のメンテナンス業務となると、 多種多様な機械、電気機器を取り扱う為の幅広い知識が必要になりますし、 運転中のプラントでの水質管理では化学の専門知識、 放射線・放射性物質の管理では当然放射線の専門知識が大変重要です。

原子力発電所では、 原子炉主任技術者や放射線取扱主任者（RI）といった資格の他、 電気主任技術者、 技術士、 省エネルギー管理士、 公害防止管理者などの発電所運営に欠かせない国家資格も多く、 我々事業者は様々な専門分野の人材の育成に日々取り組んでいます。

図2.5-1（次頁参照）は、 発電事業者における原子力部門の新規採用者の技術系分野別の状況ですが、 原子力専攻者は、 専攻学生の多い機械、 電気の分野と同等の採用規模であり、 その比率は常に採用者数全体の20％前後を推移しています。

正にバランスよく、 様々な分野の技術者を採用させていただいていることがご理解いただけるかと思います。

このように、 原子力事業には様々な分野の方が活躍できる場が用意されていると言えます。




調査対象：北海道電力、東北電力、東京電力ホールディングス、中部電力、北陸電力、関西電力、中国電力、四国電力、九州電力、日本原子力発電、電源開発の電気事業者11社

**図2.5-1　原産協会：原子力関連企業・機関の採用状況（2023-12）**

最近では、 東京電力HDの廃炉事業において、 ロボット技術、 DX 技術などの最先端の専門知識を持った方が活躍されており、 イノベーションを通じて福島の復興を実現したいという希望をもって入社してくれる若い技術者も増えています。

もちろん、 組織の運営に欠かせない経理、 調達、 広報などの事務系の分野、 また海外の原子力事業者や IAEA（国際原子力機関）との協力などを通じた国際的な活躍の場もあり、 原子力事業者が求める人材ニーズは実に多様です。

原子力事業は技術的な意味での総合性のみでなく、 社会活動に対しても総合的な力が必要な事業なのです。

冒頭 S＋3E について触れました。

S（安全）について、 私たち原子力事業者は、 原子力の安全文化を醸成するため、 国内外の良好事例を積極的に取り込む活動を進め、 昨日よりも今日、 今日よりも明日の安全レベルを高め、 比類無き安全を創造し続ける原子力事業者になることを目指しています。 立地地域に根差した活動を進める中で、 地域のみなさんからご理解を頂戴し、 応援の声をいただく機会も増えてきました。

また、 3E に関しても、 原子力事業には国のエネルギー問題を根本的に解決し、 社会基盤の根幹を担う役割を求められています。

次世代を担うみなさんが、心に秘めている高い社会貢献への意識を熱意に変え、原子力事業に参加してくれることを期待しています。一緒に想いを形にして行きましょう。

### 2.5.2 原子炉製造産業が求める原子力人材

#### 2.5.2.1 三菱重工が求める原子力人材（北川敬明）

三菱重工はPWRプラント（加圧水型軽水炉）の開発から設計・製造・運転・保守まで一貫したサービスを提供できる国内唯一のPWRプラントメーカである。1970年に関西電力・美浜発電所1号機の運転開始以降、国内で24基のPWRプラントが建設され、基本計画・開発・設計・製造・建設の全てに携わり、運開以降も安全性・信頼性向上に向けた取り組みを進めてきた。

2011年の東日本大震災以降は、既設プラントの安全性向上を目指して総力を挙げて電力会社を支援し、これまで14基（PWR12基、BWR2基）の再稼働が実現されている。当社は、引き続き、既設プラントの再稼働に向けた支援、再稼働後の安全・安定運転の実現に向けた取組みとともに、燃料サイクルの確立に向けた取組みも進めている。

国内の電力安定供給を継続し、将来のカーボンニュートラルを同時に達成するためには、原子力発電所の新規建設が必要不可欠であり、当社は、世界最高水準の安全性を有する革新軽水炉（SRZ-1200）の開発を進めている。さらに、その先を見据え，将来の多様化する社会ニーズに応えるべく，その他の革新炉である小型軽水炉，高速炉，高温ガス炉、マイクロ炉等の様々な炉型開発にも取り組んでいる。

当社は、PWRプラントの開発・設計・製造・建設・保守・廃止措置とともに、燃料サイクル、革新炉開発に至るまであらゆる分野で事業を展開しており、各分野では高度な専門技術や高い品質管理等が必要となる。そのため、プラントメーカで働くエンジニアには、原子力特有の技術だけでなく、幅広い工学的な知識や技術が求められる。設計を例にとってみても、炉心・燃料設計、遮蔽設計、安全設計・安全解析などの原子力特有の技術・専門性が必要とされる分野がある一方、主要機器の構造設計、系統設計、配置設計、電気計装設計では、機械工学、材料化学工学、建築工学、電気電子工学等の専門性が必要となる。さらに、原子力安全と高品質を確保するためには、設計・製造・建設・保守まで途切れることのない厳格な品質維持・管理、原子力システム全体を俯瞰する総合エンジニアリングやプロジェクトマネジメントも必要である。これらの幅広い技術と知識を結集して、原子力製品の高い性能や品質が実現されている。原子力で求められる専門性は多岐に亘っており、原子力工学だけではなく、幅広い工学分野を専攻した学生が当社に入社し、様々な分野で活躍している。

三菱重工のミッションは、社会が抱える課題に対し、技術、リソース、ネットワークを駆使してソリューションを提供し、人々の豊かな暮らしを実現することである。その中で原子力セグメントの使命は「資源の少ない日本を原子力技術で豊かにする」ことである。国土が狭く化石燃料資源に乏しい日本では、電力の安定供給に原子力は欠かせない。原子力発電所の建設・保守経験で半世紀以上に亘って蓄積した技術を活用し、発展させることにより、国内産業の繁栄、ひいては日本の経済成長に貢献していきたいと考えている。

三菱重工が求める人材は、どのステージでも“自ら課題を探し出し、解決することに面白さを感じられる人材”である。先が見えず混沌とした状況でも自ら課題を設定し、周囲を巻き込んで、新たな道筋を見出し、解決に向けて前に進めることができ、その状況にワクワクし、面白さを感じられる人材である。当社が求める人材として「Active」「Balanced」「Creative」の 3 点を掲げている。

・Active　：責任感と情熱をもって最後までやり遂げる人材
・Balanced：互いの価値観を尊重しあい、バランス感覚に優れた人材
・Creative ：柔軟な発想で自ら考えて行動し、新しい価値を生み出す人材

原子力人材について言えば、第一に原子力に対して熱意を持っている人材が求められる。直面する課題に責任感を持って向き合い、困難な状況にあっても明るく前向きにアクティブに取組む意欲と姿勢が大切である。

次に、原子力プラントは巨大なシステムであり、様々なプロジェクトを実現していくためには多くの社員やステークホルダーとの協力関係が必要不可欠である。プロジェクトを推進するリーダーシップに加え、多様な関係者と互いの価値観を尊重し合う協調性のバランス感覚に優れた人材も求められる。

さらに、将来の社会課題や顧客のニーズを的確に捉え、原子力技術を用いて応えていくには、固定概念に縛られない柔軟な発想で自ら考える創造力と提案力が欠かせない。従来の価値に捉われずに原子力の新たな価値を生み出す意欲を持った人材が求められる。

このような資質を持った人材が一人でも多く当社の仲間となり、原子力産業界で持てる資質を開花してくれることを期待している。

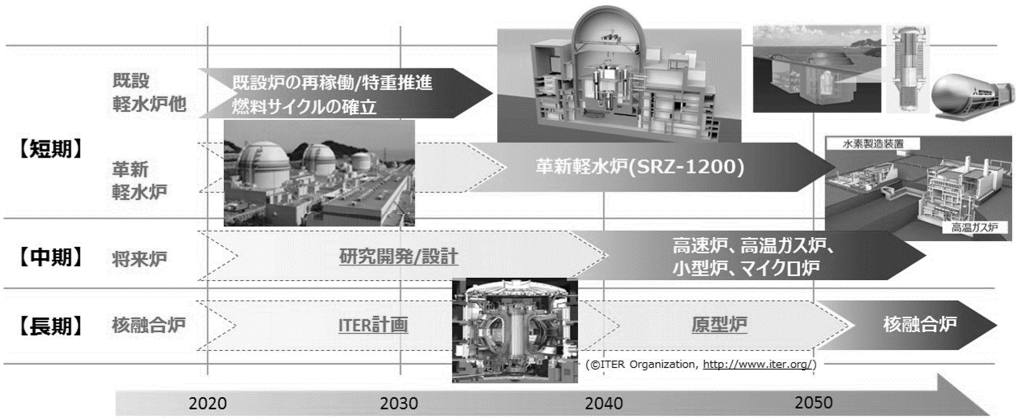



図2.5-2　三菱重工の革新炉開発ロードマップ

図2.5-3　三菱重工が求める 3 つの人材像

### 2.5.2.2　日立 GE ベルノバニュークリアエナジー（日立 GE ベルノバ）が求める人材（津下豊彦）

#### 2.5.2.2.1　日立 GE ベルノバの原子力技術

株式会社日立製作所（日立）は、1955 年（昭和 30 年）に初めて原子力の組織を設置し、技術開発に着手して以来 68 年、多くの原子力人材を育成し、原子力事業を推進してきました。

原子力事業は、日本原子力研究所に設置するウォーター・ボイラー型実験用原子炉（JRR-1）への関与から始まり、日本最初の発電用原子炉「動力試験炉」（JPDR）、1961 年（昭和 36 年）には日立教育訓練用原子炉（HTR）臨界を達成し、日本の原子力技術開発の一翼を担っています。

その後、商用原子炉では沸騰水型原子炉 10 基、改良型沸騰水型原子炉 4 基を製造し、多くの原子力発電設備の開発、設計および建設に携わってきました。

日立 GE ベルノバは、日立と米国 GE（現 GE ベルノバ）の原子力部門とが統合経営資源を融合して 2007 年に設立しました。日立 GE ベルノバは「原子力エネルギーを活用し、サステナブルで、カーボンニュートラルな世界を実現する」というミッションを果たしていくために、次世代を担う有能なエンジニア育成について、中長期的視点で計画的に取り組んでいます。

そして、私たち日立 GE ベルノバは、2018 年（平成 30 年）、英国原子力包括設計審査（GDA：Generic Design Assessment）を完了させ、設計認証確認書（DAC：Design Acceptance Confirmation）および設計容認声明書（SoDA：Statement of Design Acceptance）を英国の原子力規制当局から受領したことで、世界標準の原子力発電所設計を完了させることができました。

1957 年（昭和 32 年）に日本で初めて原子力の火がともった茨城の地で、私たちは原子力の技術を繋ぎ、育てています。

2.5.2.2.2　日立 GE ベルノバの原子力事業

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波の影響で発生した原子力発電所の事故以降、日本では原子力発電量が減少したままでしたが、世界では、カーボンニュートラルの実現に向け、化石燃料による発電量の削減が求められる中、AI の利用拡大に伴うデータセンター電力需要増加等により大幅な電力需要増大が見込まれており、原子力発電の必要性が再認識されています。

そして今まさに海外では、安定かつグリーンな電力に対して、データセンター運営会社や半導体製造会社など従来とは異なる需要家が増える中で、デジタル技術を活用し、先進的な運転・保守サービスを備えた原子力発電所を提供することが、私たちの提供価値となっています。

私たちは原子力プラントメーカーとして、原子力を活用する研究開発を推進すると共に、原子力関連設備のエンジニアリングを実施し、原子力発電所の建設、原子燃料中間貯蔵関連事業や原子燃料サイクル関連事業を推進しています。

日立の「優れた自主技術・製品の開発を通じて社会に貢献する」という理念を貫き、原子力をはじめとした、エネルギー産業の進化を支え続けています。

2.5.2.2.3　日立 GE ベルノバが求める“人財”

日立は、人的資本、すなわち人こそが価値の源泉であると考えており、そのため“人財”と表します。世界中の人財の力を結集することでお客さまと社会に価値を提供し、サステナブルな社会の実現に貢献することをめざしています。

日立の社会イノベーション事業、またその基盤となるエネルギー事業では、技術・技能を引き継ぎ、維持し、デジタル化・グローバル化など経営方針に沿った“人財”の確保・育成が最重要事項の 1 つと位置づけ、経営戦略に連動した人財戦略を策定・実行しています。

日立は、創業以来 100 年を超えてもなお、“和・誠・開拓者精神”という創業の精神を大切にしています。それぞれ“人”を中心に、「仲間と一致協力する」「従業員それぞれが当事者意識を持ち誠実である」「常に先駆者であり、革新を起こす意欲を持つ」といったことを大切な価値と考えています。

そのような人財を仲間に迎え、より機能的に組織を生かすために、日本国内でいち早く“ジョブ型マネジメント”の考え方を導入し、働きやすい環境とそのための制度の確立を進めています。

日立の原子力事業を推進する日立 GE ベルノバでは、原子力を活用し、脱炭素や再生可能な社会を実現し、クリーンな世界を築き上げるという志を持った仲間を求めています。

原子力産業は、発電プラントという成熟した技術をベースに、原子力を活用し、今後はデジタル技術や各種 AI を活用した革新的な発電システムの開発、そして、発電に利用した後の原子エネルギーの処置など、これからもイノベーティブな研究開発、設計を継続していかなければなりません。そのため、性別や国籍、経歴を問わず、多様性のある、イノベーションの起点となりうる人財を求めています。

原子力事業では一つのプロジェクトが非常に長く大きなものとなるため、政府のエネルギー政策、社会環境や世論の短期的変化に左右されることなく、高く強い志を持って一つのチームとして一体感を持って取り組む必要があり、この志と技術を先輩から後輩へつなげていく必要があります。日立および日立 GE では、このような大型プロジェクトの一員となり、まとめ上げることに価値を見出し、喜びを分かちあえる人財を必要としています。

また、金額規模や人員規模が非常に大きな原子力事業推進、原子力関連施設の建設には、様々な技術・技能が必要となります。具体的には、機械、電気、電子、情報、システム、応用化学、建築、土木、材料、冶金等の工学系、物理、化学、数理科学等の理学系、経営、マネジメント、社会科学、情報処理等の人文科学系と、文理問わず様々な知識を持つ人財を必要としています。

社会へ大きく貢献する原子力事業を推進する仲間となって頂ける方々との出会いを、楽しみにお待ちしています。

### 2.5.2.3 東芝エネルギーシステムズが求める原子力人材育成（小向夕紀）

#### 2.5.2.3.1 はじめに

現代社会において、エネルギーの安定供給と環境保護の両立は喫緊の課題となっています。気候変動による自然災害の増加や地政学的リスクの高まりが、エネルギー供給の安定性に対する新たな脅威をもたらしている状況下で、原子力は持続可能なエネルギー源として重要な役割を果たすことが期待されています。特に、原子力プラントメーカーは高度な技術と専門知識を持つ人材を必要としており、これらの人材は次世代の原子力技術の開発と実装において中心的な役割を果たすことが求められています。

今後ますます重要性の高まる原子力人材の育成に対する、東芝エネルギーシステムズの取り組みを紹介します。

2.5.2.3.2 東芝の原子力事業

当社の原子力事業の根幹となる東芝グループの経営理念「人と、 地球の、 明日のために。」は、「人を基本として、 そして豊かな価値を創造し、 世界の人々の暮らし、 文化に貢献する」、これが東芝グループの経営理念です。 東芝エネルギーシステムズは、 世界中の人々が、 それぞれの生活の質を高めるために必要なエネルギーがある暮らしを目指している中で、 これからの世界では何が必要とされるのか、 常に洞察する視点を持ち、「将来のエネルギーのあり方そのものをデザインする企業として、 新しい未来を始動させる」、 それが、 私たち東芝エネルギーシステムズのビジョンです。

当社の原子力事業は、 半世紀にわたる豊富な経験と技術力を活かし、 環境にやさしく、 安心・安全な社会に貢献することを目指しています。 燃料の製造、 プラントの建設、 メンテナンス、 再稼動対応から福島第一原子力発電所の廃炉対応、 廃止措置、 燃料サイクル、 さらには次世代炉や新型炉などの未来に向けたエネルギー開発まで、 幅広い事業領域に積極的に取り組んでいます。 また、 原子力で培った技術を用いて重粒子線治療装置や超電導モータの開発といった新規事業にも取り組んでいます。 東芝の原子力事業は、 安全で安心かつ経済性に優れた原子力プラントの提供を通じて、 顧客をはじめ全ての人を大切にし、 技術革新を進めることで豊かな価値を創造し、 地球環境の保護と社会の発展に貢献しています。

2.5.2.3.3 東芝が求める原子力人材育成の取り組み

当社は原子力プラントメーカーとして、 多様な専門知識だけでなく、 安全性の確保、 技術革新の推進、 国際的な協力と競争力の強化に向けた人材を育成するための体系的な教育プログラムを提供しています。 そして、 本プログラムは、 教育と訓練の重要性という多岐にわたる役割を担っています。 原子力安全文化醸成教育に始まり、 原子力技術の基礎教育、 さらに専門性を高めた教育、 プラントメーカーならではのモノづくり教育や実習、 そしてグローバルにプロジェクトを推進する力量をつけるための教育、 このような専門教育を体系的に構築し、「原子力安全文化」に根差した高い専門性を有するプロフェッショナルの育成に取り組んでいます。

2.5.2.3.4 教育と訓練の重要性

原子力に携わる者にとって、“安全が全てに優先される”ということは大原則であり、 そのことを「原子力安全文化」として浸透させていくことは私たちの大きな責務です。 技術者倫理や品質、 コンプライアンスに関する内容を講義や e-learning で習得。 また、 現場で実際に吊荷落下などを体感し、 危機感を鈍らせないようにする危険体感教育、 過去に実際に起きた事象を教訓にして学ぶ Lessons learned、 経営幹部からのメッセージ発信といった様々な方法で、 繰り返し意識づけすることを継続しています。

次に基礎教育です。これは入社後 3 年間かけて一人前の技術者に育てるプログラムで、OJT、講義、異分野実習、特許提案、成果発表会などを通し、技術者としてのスキルを身に着けます。講義だけでも約 50 ものプログラムを用意しており、発電所の概要や機器の仕様を基礎的なところから学ぶことができるため、学部専攻を問わず、誰でも原子力技術者としての基礎を習得することができます。

基礎を学んだ 4 年目以降は、さらに専門性を高め、プロフェッショナルを育てるための育成プログラムを用意しています。技術を学ぶだけでなく、実務での成果発表会などを通し、知識交流を深めたりもします。ジョブローテーションで、自身の業務に関連する他の工程部門を経験することで広い視野を獲得し、専門知識の深耕と幅広い視野を併せ持ったプロフェッショナルを目指します。次に、プラントメーカーならではのモノづくり教育では、エンジニアリングを行う技術者も、現場での実習を通して実際のモノづくりへの理解を深めます。自社のみならず他社のシミュレーターを用いた体験型の研修、現場に強い技術者を育成するために、原子力サイトに加え、火力や水力のサイトでも現地へ赴き学ぶことで視野を広げる取り組みを行っています。

最後に、グローバル教育です。国際感覚を磨き、グローバルに業界を牽引していく人材の育成にも力を入れています。社内の海外実務研修や留学制度、社外のグローバル教育、また、国際会議における論文発表の機会も積極的に活用し、世界中の原子力技術者との交流の中で、スキルアップを図っています。

2.5.2.3.5 技術者としての心得の醸成

前述の「教育と訓練」と合わせて大切にしているのは、東芝グループ経営理念とともに企業活動の拠り所としている「私たちの価値観」に基づく、技術者としての心得の醸成です。法規制や社内規定を遵守し、技術と安全、そして社会との信頼関係を築くための「誠実であり続ける」、顧客をはじめ全ての人と協力して課題に取り組み、最適な解決策を見つけるための「ともに生み出す」、常に進化する原子力分野において、新しい技術や知識を積極的に学び、実践する姿勢を持つための「変革への情熱を抱く」、「未来を思い描く」。この 4 つの「私たちの価値観」を、経営幹部からのメッセージ発信や部門内の技術継承活動の中で醸成しています。

2.5.2.3.6 結論

原子力人材の育成は、持続可能なエネルギー供給の実現に不可欠です。東芝エネルギーシステムズは、次世代の原子力技術の開発と実装において中心的な役割を果たす人材を育成するため、体系的な教育プログラムを確立し、安全で安心かつ経済性に優れた原子力プラントの提供を通じて、地球環境の保護と社会の発展に貢献していきます。

図2.5-4　東芝グループ経営理念

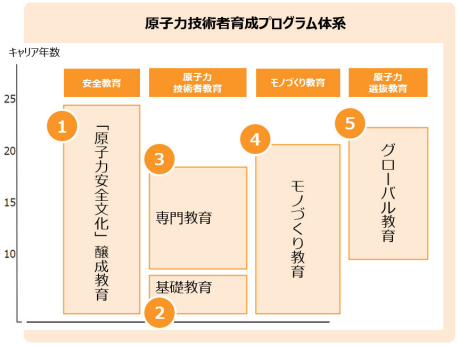



図2.5-5　東芝エネルギーシステムズの
原子力技術者育成プログラム体系

## 2.5.3　研究開発機関が求める人材（大井川宏之）

### 2.5.3.1　はじめに

原子力科学技術の研究開発は、原子核反応の本質を解き明かすような基礎的な研究から、原子力発電所等のエネルギー生産システムの開発・実証プロジェクトのように成果を社会実装につなげる取組まで、実に幅広いものとして捉える必要がある。また、国の研究開発機関が果たすべき役割は国によって異なり、さらに、同じ研究開発機関でも時代によって役割は変遷し得る。

我が国においては、日本原子力研究所が原子力のエネルギー利用と放射線利用に関する基礎基盤的な研究、軽水炉に関する安全研究、高温ガス炉や核融合技術の開発研究、研究炉や加速器施設の建設から施設供用等の幅広い分野の研究開発を担ってきた。一方、動力炉・核燃料開発事業団（後に核燃料サイクル開発機構）は新型転換炉や高速増殖炉の開発と濃縮・再処理といった核燃料サイクルの開発を国策プロジェクトとして担ってきた。両機関は 2005 年に日本原子力研究開発機構（以下、JAEA と記す。）に統合され、我が国の原子力に関する研究開発を基礎・応用からプロジェクト開発まで幅広くカバーすることになった。なお、その後 2016 年には、核融合技術や放射線利用技術の研究開発の多くは量子科学技術研究開発機構に移管されている。

本項の表題である「研究開発機関が求める人材」といっても、JAEA のように幅広い領域や開発段階をカバーしている機関では、基礎基盤的な研究、プロジェクト開発、施設の運転管理、事務部門・文系学部出身者といったカテゴリーで、その人材像は大きく異なってくる。

### 2.5.3.2　基礎基盤的な研究

このカテゴリーは、核物理研究のように理学に近い領域から、原子炉物理学、伝熱流動、材料工学、核燃料、分離工学、放射線工学、原子炉安全など、実プラントに直接関連する工学的な領域まで、様々な取組がある。例えば規制機関の支援を主な目的とした安全研究は、既に社会実装

されている発電炉や核燃料サイクル施設を対象にした実務的な研究である。 ここでは、 後述するプロジェクト開発に入らないような研究開発活動を一括して基礎基盤的な研究と呼ぶ。

基礎基盤的な研究を担う人材は、 自分の専門分野を深く探求し、 その成果をオリジナリティのある英語論文として発表することが求められる。 就職する時点で、 そのような専門分野や研究の方法論を身に着けていること、 すなわち博士号を持っていることが望ましいが、 必ずしもそれが条件ではない。 むしろ、 大学での専門テーマとは異なるテーマに携わる場合の方が多いのが実情である。 若いうちに軸となる専門分野は固めつつも、 その周辺の様々な分野の研究も経験して、 専門分野を柔軟に広げていくことに抵抗をなくすことが研究上の成功につながることも多い。

基礎基盤的な研究に携わる人材は、 自分の研究を掘り下げるが故に、 自分の世界に閉じ籠る傾向がある。 JAEA のような国の研究開発機関では、 大学の研究室とは一線を画し、 基礎基盤的な研究といえども、 そこでしかできない研究をチーム体制で実施することが求められる傾向が強い。 また、 基礎基盤的な研究が原子力の研究開発全体で果たすべき役割は、 革新的な技術を生み出したり全体の技術レベルを支えたりするだけでなく、 原子力以外の分野と交流し、 その最新知見を原子力技術の課題解決に反映することと、 原子力科学技術の研究開発で育まれた成果や方法論を他の分野に反映していくことも含まれる。 基礎基盤的な研究に携わる人材はそのような他分野との交流に積極的であることが望まれる。 例えば、 核反応の最先端研究は物理学の研究テーマではあるが、 それを工学的に応用して、 社会に役立つ技術の開発に結び付けていくことを常に意識し、 理学と工学の架け橋になることを JAEA の核物理研究者には期待したい。

基礎基盤的な研究に携わる人材は、 必ずしもずっとその基礎基盤的な研究に留まる必要はなく、 時代の要請に従ってプロジェクトの立ち上げに関わっていくことはよくあることである。 その際も、 若いうちに自分の専門分野でしっかりと方法論を身に着けるとともに、 周辺分野と幅広く交流できる能力を養っておけば、 プロジェクトの様々な局面で必ず役に立つ。

要するに、 このカテゴリーの人材には以下のような資質を求めたい。

- 専門分野を深く掘り下げる探求力を持つ人材
- 他の分野と垣根無く交流することのできる開放性を備えた人材
- 自分の能力を社会に役立てる意思を持つ人材

#### 2.5.3.3 プロジェクト開発

かつての動燃や原研では、 国のプロジェクトがトップダウン的に存在し、 それを着実に遂行できる人材が求められていた。 両機関が JAEA に統合された後も、 プロジェクト開発の性質は大きくは変わってこなかったが、 後述のように最近は少し役割が異なってきていると感じている。

国の研究開発機関が取り組むプロジェクトは、 民間では技術的・経済的リスクが大きくて手が出せ

ないものであることが前提であり、これに取り組む人材は、次から次に出てくる技術的課題に果敢にチャレンジしながら、与えられた資源でプロジェクトを期限内に全うする手腕を持つことが期待される。時によっては自分の専門外の課題にも取り組むことが必要であり、その際でも専門分野で培った方法論は役に立つ。また、プロジェクト開発は基本的にはチームでの作業であり、役割分担とチームワークが必要であることは言うまでもない。

最近は、国の研究開発機関が担うべき役割は、自ら主導的に開発・実証する役割から、民間の開発をサポートする役割に変遷しつつあり、この動きは米国をはじめとした諸外国が先行している。我が国でもトップダウン的に行う原子力のプロジェクト開発は核融合等の一部となり、例えば再処理は日本原燃に移っているし、高速炉開発も実証炉は民間主体で行うことになっており、JAEA はこれらをサポートするとともに、より革新的な技術の開発を担う立場になっている。一方、ふげん、もんじゅ、東海再処理施設等の大型施設の廃止措置が JAEA 内の長期にわたる大型プロジェクトとして認識されている。また、高速実験炉「常陽」の新規制基準対応や高温工学試験研究炉 HTTR の水素製造施設接続試験等も、プロジェクト的に進めるべき項目である。

世界に目を向けると、小型モジュール炉（SMR）の開発が盛んに進められている。それらの多くは民間ベンチャー企業が政府の補助金や民間の出資を得て開発を担っており、国立研究開発機関は、その実証施設のサイトを提供したり、必要な技術サポートを行ったりする役割にシフトしているように見える。

このように変わりつつあるプロジェクト開発を担う人材に期待したい資質は、トップダウンの命令を着実にこなすだけでなく、自ら考え、社会のニーズや世界の動向から次の一手を示すことのできる、構想力・機動力のある人材であると考える。

要するに、このカテゴリーの人材には以下のような資質を求めたい。

- プロジェクト推進に必要な着実性を備えた人材
- 困難な課題に果敢に挑戦できる人材
- 社会のニーズや世界の動向に敏感に反応できる構想力・機動力を持つ人材

#### 2.5.3.4 施設の運転管理

上述のように、かつての原研や動燃では、原子力研究開発施設の建設や運転そのものが研究開発の一環であったが、特に研究炉のようにユーザーが別に存在する施設については、定常運転に入れば、必ずしも開発要素が多いわけではなく、安定・着実な運転管理や定期事業者検査への対応とトラブルシューティングが業務の大半を占めることになる。もちろん、そのような場合でも、施設に新しい装置を導入するための開発や、施設そのものの高性能化といった開発の業務は大なり小なり存在する。

原子力施設、特に原子炉等規制法の適用を受ける施設については、かつてに比べて、許認可の

ための審査対応や定期事業者検査とともに日々の管理業務の量は膨大なものになっている。これらの業務は品質管理体制の下に厳格に行われるため、使命感を持って着実に業務をこなせる人材が望まれる。また、施設の維持管理の多くはチーム体制で行われるものであり、チームワークを重んじる人材であることは必須である。これらの管理業務に携わる人材のモチベーションを高めるには、研究開発機関全体として成果を挙げていく中で、自らが重要な役割を担っているとの意識が必要であり、現場のマネージャーは常にそのようなメッセージを発してもらいたい。

また、どのような現場であっても改善すべき項目はあり、日々のルーチンワークに埋没することなく、改善提案を積極的に行う人材が求められる。

要するに、このカテゴリーの人材には以下のような資質を求めたい。

- 日々の職務を確実にこなすことのできる着実性を備えた人材
- チームワークを重んじる人材
- 自ら課題を抽出して改善に結び付けることのできる積極性を備えた人材

#### 2.5.3.5 事務部門と文系学部出身者

研究開発機関における事務部門の存在は、これまでは研究開発のサポートとしての位置づけが大きかったが、国立研究開発機関の役割として国のプロジェクトの遂行だけでなく、持てる技術の素早い社会実装が求められる中で、マーケッティングのセンスや財務経理、知財戦略、法務、海外機関との契約交渉等の知識や経験が不可欠になってきている。また研究所等の立地地域の地元住民とのコミュニケーションや、国民に対する広報・広聴なども、原子力の研究開発機関では特に重要な項目である。さらに、原子力に関するパブリックアクセプタンスやリスクコミュニケーション、国際社会での核不拡散体制の維持発展等も含め、社会学や国際政治学と言った社会科学・人文科学の素養を持つ人材も、原子力の研究開発機関で活躍の機会がある。

上記のような多様な人材は、既に事務部門とのくくりではなくなっており、大学の文系学部出身者からも魅力的な職場として認識されるようになることが、JAEA としても重要な方向性だと考えている。

要するに、このカテゴリーの人材には以下のような資質を求めたい。

- 研究開発の社会実装に向けたサポートのスキルを身に着けることに貪欲な人材
- 自らが原子力の課題解決や国際関係の構築に積極的な人材

#### 2.5.3.6 柔軟性と流動性と多様性

ここまで 4 つのカテゴリーに分けて研究開発機関が求める人材像を述べてきたが、この区分は明確にあるべきものではなく、むしろオーバーラップし、互いにカバーし合いながら、機能に抜けがないことと、状況に応じた最適な人員配置によって最大の成果を得ることが重要である。職種毎に役割を限定する

ことは、変化が激しい現代社会において、課題に柔軟に対応する上では障害になりかねない。

一人一人の人材を見ても、このカテゴリーで整理しきれないことはよくある。基礎基盤的な研究に携わる者はプロジェクト遂行に適した素養を持っている者も多い。プロジェクトに携わりながら基礎的な研究の成果を並行して出せる者も多くいる。プロジェクト開発から施設の運転管理にキャリアを移行していくこともよくあることであるし、逆に施設管理の経験を活かして新規施設開発のプロジェクトにキャリアを移行していくこともよくある。すなわち、自らの役割を固定化させるのではなく、柔軟・果敢に様々な仕事にチャレンジする気概が重要である。

一方、逆説的ではあるが、自らの専門と呼べる分野やスキルが無く、あちこちに顔を出しては中途半端に次に移っていくようなことでは困る。上司が部下の特性をよく見抜いて、本人の軸となるスキルを早く身に着けさせ、それに基づく様々な経験を積ませていくことを意識してほしい。

また、特に基礎基盤的な研究では人材の流動性と多様性も重要である。大学や産業界との人的交流により、新しい知見・経験を取り入れていくことで組織が活性化される。原子力の研究開発では国籍に関する多様性には注意を要する点があるが、海外の研究者から見ても魅力のある研究機関として認知されることは重要である。

### 2.5.3.7 選ばれる研究開発機関であるために

本項のタイトルは「研究開発機関が求める人材」であるが、選択肢や価値観が多様化する中、就職においては若者が自分の成長にとって有益な組織を選ぶ時代に変わってきている。また、中途採用の場合においても、魅力的な組織でなければ選んでもらえず、人材が流出していくばかりとなる。これは JAEA だけでなく原子力科学技術の分野・業界全般が若者や異業種で働く人材に選ばれる魅力的な分野・業界であるかどうかにかかっている。

本稿では筆者の所属する JAEA について考えを述べてきたが、他の公的研究機関や民間の研究開発機関についても、それぞれ特色を出しつつ成果を社会に発信してほしい。そして、連携を深めてこれまでにない技術を生み出し、魅力ある原子力科学技術をけん引していかなければならない。

原子力科学技術の利用には、安全性の継続的向上や廃棄物の処分の問題や核不拡散等の課題がまだまだ山積しておりチャレンジングな分野であるが、それは地球環境の保全やエネルギー問題の解決やイノベーションの創出を通じて人類社会に貢献できるチャンスが多いことの裏返しでもある。研究開発機関としては、このような分野に果敢に挑戦する気概を持った人材を求めるとともに、その人材が成長するための良質なフィールドを提供し続けることで、選ばれる研究開発機関であることが重要であると考える。

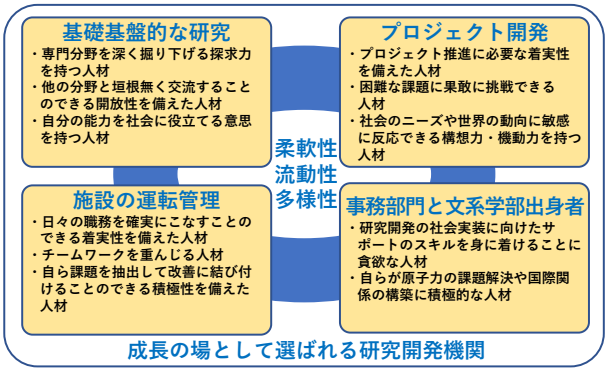



図2.5-6 研究開発機関の求める人材

# 第3章　日本と欧州の原子力教育の状況

## 3.1　日本の原子力関係学科、専攻等の状況（長谷川 秀一）

日本の大学における原子力関係学科等への入学者数の推移については、参考文献[3.1-1]図1の推移グラフを参照いただきたい。平成7（1995）年のあたりから、特に学部の人数が急速に落ち込んでおり、平成14（2002）年にはゼロになっている。これは、学科の名称が変わったことが大きいと思われる。またその結果として徐々に修士課程及び博士課程の人数も漸減している。これらの対応関係は参考文献[3.1-1]図2の各大学での学科名称変更の図を見ていただくとはっきりしてくる。昭和50（1975）年少し前に「原子力」を冠する大学は10校を数えたが平成元（1989）年に減少が始まり平成15（2003）年ころには1校まで減少している。このように学科・専攻という統計を取るための前提条件が大いに変化していることから、大学における原子力教育の趨勢はこのような形から探ることは適切ではないと考えた。また、多くの大学では、学科名がより広範な分野を示す名前になっていることから、原子力教育は、学部から大学院に移行している例も見て取れる。これらについては、参考文献[3.1-1]に掲載されている記事をご覧いただきたい。今回は、少し視点を変え、現在の原子力教育の内容を確認するために、大学院カリキュラムでの科目名を調査することで、その動向をあぶりだすことを考えた。そこで、文献[3.1-1]に記載されている専攻のホームページから、原子力関連と思われる科目が体系的に行われていると確認できるところの科目名一覧を抜き出したものを表3.1-1（後頁参照）に示す。ここで、東海大学は原子力工学科が廃止されたが、応用理化学専攻に原子力工学領域があることから、そのカリキュラムを引用した。同様に近畿大学についても、大学院総合理工学研究科エレクトロニクス系工学専攻にて、原子力教育が行われていることから、原子エネルギー領域と位置付けられている科目のみ掲載した。さらに福井工業大学においては、応用理工学専攻原子力技術応用工学コースにおいて原子力教育が行われていることから、そのカリキュラムを記載した。最後に神戸大学であるが、神戸商船大学の流れを汲んでいる海事科学研究科海洋安全システム科学コースを取り上げた。

また、立教大学、総合研究大学院大学は現在のカリキュラムは純粋に物理学あるいは原子核の教育カリキュラムとなっていることから、今回は対象から排除した。また東大システム創成については、組織再編によって原子力から派生した分野が一角をなしている形であるが、同様に対象からはずした。これらは原子力教育の一つの方向性とも見て取れる。多くの専攻はこれらを両方備えた形で総合的なカリキュラムを構成している。また、福井大学については、大学院カリキュラムは準備中となっていたため掲載することができなかった。

そこでリストの20専攻のうち4つを除いた16専攻の科目名から現状について以下のように整理してみた。

原子力工学は大きく分けて、発電と放射線利用の 2 つに分けて考えることができる。このうちまず発電について主要な分野（原子炉、発電、サイクル・廃棄物）を概観する。以下については、科目名のみから想定される内容を著者の判断で振り分けたものである。また、重複は許さないものとして分類したことをお断りしておく。

原子核からエネルギーを取り出す機構として原子炉があるが、それに関する科目が明にあるところを抜き出してみる。科目名は原子炉工学、原子炉物理学などとして、原子核科学などの科目名は除いた。北大、東北大、東大原子力国際専攻、東大原子力専攻、東京科学大、長岡技大、京大、阪大、九大、都市大・早稲田大、近大、東海大、福井工大の 14 専攻となった。

次に原子炉から熱を取り出すための熱流動やプラント工学について挙げてみる。先ほどと同様に流体基礎は除くこととする。北大、東北大、東大原子力国際専攻、東大原子力専攻、東京科学大、長岡技大、名大、京大、阪大、都市大・早稲田大、近大、東海大の 13 専攻となった。

また、核燃料サイクル（廃棄物処分を含む）については、以下のようになっている。北大、東北大、東大原子力国際専攻、東大原子力専攻、東京科学大、長岡技大、京大、阪大、九大、都市大・早稲田大の 11 専攻となった。

その他、重要な科目が多々あるかと思われるが、大学が入れ替わる場合もあるが 10 以上の専攻が原子力発電の基礎科目を体系的に展開していることがわかる。

一方で、放射線利用は、今注目されている量子技術まで包含している専攻も存在している。それらについて科目名から探ってみる。まず、放射線・量子ビームの名を冠した科目は以下の通りである。北大、東北大、東大原子力国際専攻、東大原子力専攻、長岡技大、名大、京大、阪大、九大、都市大・早稲田大、近大、東海大、福井工大、神戸大の 15 専攻となった。さらに原子力工学の要でもある放射線計測については、東北大、東大原子力国際専攻、東大原子力専攻、長岡技大、京大、阪大、九大、都市大・早稲田大、近大、東海大、福井工大の 12 専攻となった。

このようにオーソドックスな原子力工学（エネルギー・放射線）については、おおよそ 11 専攻が講義名からわかる形で維持している。一方で、原子核エネルギーの発展として核融合発電、放射線の発展として、量子技術、また医療への応用などが近年の流れとなっているが、そのあたりについて、各専攻の様子を確認してみる。

核融合については、東北大、東京科学大、長岡技大、名大、阪大、九大、近大、東海大の 8 専攻となった。

放射線利用の発展として、量子・レーザー・加速器などに関連すると思われる科目は、東北大、東大原子力国際専攻、東京科学大、長岡技大、京大、阪大、都市大・早稲田大、近大、福井工大、神戸大の 11 専攻となった。放射線などの生体・医療への応用については、東北大、東大原子力国際専攻、東京科学大、長岡技大、阪大、九大、都市大・早稲田大、近大、東海大の

10 専攻となった。

東京電力福島第一原子力発電所事故以降、原子炉安全関連や広くリスク工学を科目として掲げる専攻も多くなっている。北大、東北大、東大原子力国際専攻、東大原子力専攻、東京科学大、長岡技大、名大、京大、阪大、九大、都市大・早稲田大の 12 専攻となり、安全やリスクに関する比重が大きくなっていることがわかる。

以上のように、原子力教育が学部から大学院に大きく移動しているが、科目コマ数も少ないため、以前のようにすべてを網羅することはほぼ不可能な状況である。また、実際に原子力分野に就職する学生数も減っているということは、分野としても新たな方向性を模索する必要性に大学は迫られており、他分野の科目を増やしていこうとする専攻も見受けられる。そのような中で、科目名を並べただけでも各専攻の特色が見えてくることは非常に興味深い。原子力工学は総合工学であり、原子炉工学と放射線計測以外はすべて別分野とも共有することから、新たな工学分野を生み出すインキュベータとしての役割も求められている。

参考文献

3.1-1) 長谷川秀一、原子力教育、原子力年鑑 2025、日刊工業新聞 ( 2025 )

## 表3.1-1 原子力教育関連専攻のカリキュラム科目表

| 専攻名 | 北海道大学大学院工学院エネルギー環境システム専攻 | 東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻 | 東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻 | 東京大学大学院工学系研究科原子力専攻 | 東京科学大学（旧東京工業大学）大学院工学院原子核工学コース |
|---|---|---|---|---|---|
| カリキュラムURL | https://www.eng.hokudai.ac.jp/edu/div/eneenv/curriculum/index.html | https://www.qse.tohoku.ac.jp/academic/lecture/lecture_gr.html | http://www.n.t.u-tokyo.ac.jp/education/lecture/ | https://www.tokai.t.u-tokyo.ac.jp/Npro/curriculum/ | https://www.titech.ac.jp/guide/guide_2023/graduate/pdf/03-24.pdf |
| 科目名 | **専攻主専修科目** | **専門基盤科目** | **原子力コア科目** | **原子力基礎科目** | **講究科目** |
| | エンジンシステム工学特論 | 数値解析学 | 原子力物理E | 放射線安全学 | 原子核工学講究S1 |
| | 流体エネルギー工学特論 | 確率モデル論 | 原子炉工学E | 原子核と放射線計測 | 原子核工学講究F1 |
| | 流れの遷移と制御特論 | 固体力学 | エネルギーシステム概論E | 原子力法規 | 原子核工学講究S2 |
| | エネルギー技術・政策特論 | 材料化学 | 社会科学基礎E§ | 原子炉物理学 | 原子核工学講究F2 |
| | 原子炉物理特論 | 計算機科学 | 原子力化学E | 原子力熱流動工学 | |
| | 原子力システム安全工学特論 | 固体物理 | 放射線生物E | 原子力構造工学 | **研究関連科目** |
| | 原子炉工学特論 | 粒子ビーム科学 | 原子核基礎E | 原子力燃料材料学 | 原子核工学国内インターンシップ第一・第二 |
| | 原子力・エネルギー材料特論 | 量子・統計力学 | | 核燃料サイクル工学 | 原子炉廃止措置インターンシップ第一・第二 |
| | 放射性廃棄物処分工学特論 | 核エネルギーシステム安全工学 | **専門基礎科目** | | 原子核工学国際インターンシップ第一〜第四 |
| | エンジン燃焼工学特論 | 原子炉工学 | 原子力安全学E | **原子力実務基礎科目** | |
| | 沸騰・二相流特論 | | システム保全学E§ | 原子力プラント工学 | **専門科目** |
| | エネルギー環境システム工学特別ラボラトリセミナー | **専門科目** | 放射線安全学E | 原子力安全工学 | 核融合炉工学 |
| | 原子炉特別実験 | 核融合炉工学 | 原子炉燃料工学E | 原子力保全工学 | 加速器工学 |
| | | プラズマ物理・核融合学 | 核不拡散・核セキュリティE | 廃棄物管理工学 | 放射線生物学･医学 |
| | **専攻主専修科目** | 保健物理工学 | 原子力プラント学E | | 核燃料サイクル工学 |
| | 輸送現象特論 | 量子ビームシステム工学 | 放射線応用工学E | **原子力実務隣接科目** | 放射性廃棄物処分工学 |
| | システム最適設計特論I、II | エネルギーフロー環境工学 | 放射線廃棄物工学E | ヒューマンファクター | 原子力化学工学特論 |
| | 材料強度学特論 | 中性子デバイス工学 | | リスク認知とコミュニケーション | 核不拡散・廃止措置材料工学実験A・B |
| | 燃焼学特論 | 保全工学 | **特論科目** | 福島学 | 原子炉廃止措置工学 |
| | 固体力学特論 | 核エネルギーシステム材料学 | レーザー・光量子科学特論E | 原子力特別講義 | 核不拡散・核燃料デブリバックエンド化学実験A・B |
| | 流体工学特論 | 原子力材料ナノ分析学 | 放射線計測学特論E | | 熱流動･シビアアクシデント工学実験 |
| | 原子力・エネルギーシステム特論 | アクチノイド物性工学 | 量子ビーム発生工学特論E | **展開先端科目** | 原子力法規と倫理 |
| | 画像工学特論 | 原子力化学工学 | 放射線利用特論E | 原子炉設計 | 原子力基礎工学第一・二 |
| | 放射線物理学特論 | 実験原子力システム工学 | 廃止措置特論E | 放射線遮蔽 | 原子力の安全性と地域共生 |
| | 応用数学特論 | 先進原子力総合実習 | エネルギーシステム特論E§ | 放射線利用 | 原子核物理基礎 |
| | | 原子力基盤コンクリート工学 | 次世代核エネルギーシステム特論E | 原子力危機管理学 | 原子炉理論第一・第二 |
| | | 総合耐震工学 | シビアアクシデント特論E | | 原子力材料と構造工学 |
| | | 原子力安全の理論と規制 | シミュレーション科学特論E§ | **演習科目** | 原子力熱流体工学 |
| | | 原子炉廃止措置工学 | 核燃料リサイクル特論E | 放射線安全学/放射線計測演習 | 原子力システム安全工学 |
| | | 物理フラクチュオマティクス論 | 科学技術社会特論2＊§ | 原子力法規演習 | 原子炉物理･放射線計測・核セキュリティ実験 |
| | | 環境技術政策論 | 原子力リスク特論E | 原子炉物理演習 | 革新的原子力システム設計プロジェクト |
| | | 工学と生命の倫理 | | 炉心設計演習 | 核不拡散･核セキュリティ学概論 |
| | | 融合領域教育合同講 | **輪講・演習・実習科目** | 伝熱流動/原子力プラント工学演習 | マテリアルズシミュレーション |
| | | | 原子力工学修士輪講I〜IVE | 原子力保全工学演習 | マテリアルズインフォマティクス |
| | | | 原子力工学博士輪講I〜VIE | 材料力学/原子力構造力学演習 | エネルギー基礎学理第一・第二 |
| | | | 以下省略 | 原子力燃料材料/核燃料サイクル工学演習 | エネルギーシステム論 |
| | | | ＊公共政策大学院と共同§レジリエンス工学横断型教育プログラムと共同 | 以下省略 | 以下省略 |

## 表3.1-1 原子力教育関連専攻のカリキュラム科目表

| 長岡技術科学大学大学院工学研究科原子力システム安全工学専攻 | 名古屋大学工学研究科エネルギー理工学専攻・総合エネルギー工学専攻 | 京都大学大学院工学研究科原子核工学専攻 | 大阪大学工学研究科環境エネルギー工学専攻 | 九州大学大学院工学府量子物理工学専攻 |
|---|---|---|---|---|
| https://whs.nagaokaut.ac.jp/nsse/curriculum/index.html | https://www.energy.nagoya-u.ac.jp/lectures_02 | https://www.t.kyoto-u.ac.jp/ja/education/students/lecture/qjmez1/genshi2022 | https://www.osaka-u.ac.jp/ja/education/announcement/main/pdf/map_g_eng_sust_energy_env_eng_md/@@download/file | https://www.qpn.kyushu-u.ac.jp/education.html |
| **■選択必修科目** | **エネルギー理工学専攻** | **■講義科目** | **■高度教養教育科目** | **基礎科目・高等専門科目** |
| **安全技術科目** | エネルギー理工学基礎特論 | **コア科目** | **エネルギー系** | エネルギー量子工学基礎 |
| 原子力安全工学概論 | エネルギー理工学セミナー | 基礎量子科学 | Energybusiness | 量子物理工学実験Ⅰ・Ⅱ |
| 放射線安全・計測工学特論 | エネルギー機能材料工学 | 基礎量子エネルギー工学 | Energypolitics | 中性子工学基礎実験 |
| 核燃料サイクル工学 | エネルギーナノマテリアル科学 | | **放射線化学と原子炉水化学** | 応用科学基礎セミナー |
| 核燃料工学特論 | 環境機能材料工学 | **Major科目** | | 素粒子原子核概論 |
| 耐震安全システム工学特論 | 原子力材料・核燃料工学 | 原子核工学最前線 | **共通** | 放射線計測学Ⅰ・Ⅱ |
| 放射化学特論 | 量子ビーム理工学 | 核融合プラズマ工学 | イノベーションデザイン実践 | 核融合プラズマ燃焼学 |
| 原子炉熱流動工学特論 | 応用核物理学 | 放射線物理工学 | | 放射線数値シミュレーション |
| | 核融合プラズマ流体基礎論 | 量子科学 | **■高度国際性涵養教育科目** | 原子炉システム工学Ⅰ・Ⅱ |
| **安全マネジメント科目** | エネルギー熱流体工学 | 基礎電磁流体力学 | 工学英語Ⅰ | 気液二相流特論 |
| 原子力技術と倫理 | エネルギー理工学特別講義 | 場の量子論 | 工学英語Ⅱ | 応用結晶学Ⅰ・Ⅱ |
| 安全・危機管理特論 | | 核エネルギー変換工学 | | 個体電子論Ⅰ・Ⅱ |
| 技術コミュニケーション論 | **総合エネルギー工学専攻** | 混相流工学 | **■専門教育科目** | 量子物理学 |
| システムリスク分析特論 | 総合エネルギー工学基礎特論 | 量子制御工学 | エネルギー量子工学ゼミナールⅠ | 応用有機材料学Ⅰ・Ⅱ |
| リスク情報解析 | 総合エネルギー工学セミナー | 原子炉安全工学 | エネルギー量子工学ゼミナールⅡ | |
| 保全システム特論 | エネルギー科学 | 中性子科学 | 先端特別講義 | **先端科目・能力開発科目** |
| 原子力防災工学 | エネルギー資源プロセスシステム工学 | 応用中性子工学 | 研究開発計画法 | 修士論文研究 |
| | エネルギー環境安全工学 | 複合加速器工学 | 環境エネルギー工学研修 | 産業連携実習 |
| **先端エネルギー工学科目** | 核融合プラズマ波動・輸送基礎論 | 放射線医学物理学 | | 科学技術コミュニケーション |
| 放射線物理工学特論 | 核融合炉システム工学 | 核材料工学 | **エネルギー系** | 原子核反応論 |
| 原子炉臨界工学特論 | 中性子・原子核科学 | 核燃料サイクル工学１，２ | レーザーエネルギー工学 | 量子線医療物理学Ⅰ・Ⅱ |
| 原子力発電システム特論 | 原子力材料・核燃料工学 | | 福祉工学 | 量子線医療応用 |
| 原子力材料・構造工学特論 | 原子力安全工学 | **Minor科目** | 先端医療工学 | 原子炉数値シミュレーション |
| 核融合システム特論 | 総合エネルギー工学特別講義 | 医学放射線計測学 | エネルギー変換材料 | 原子炉物理学特論および実験 |
| 粒子ビーム物理工学特論 | | 先端マテリアルサイエンス通論 | 量子ビームバイオ工学 | 原子力安全工学 |
| | | 現代科学技術特論 | 量子応答材料物性 | 核燃料工学展望Ⅰ・Ⅱ |
| **■必修科目** | | 実践的科学英語演習II | ナノ工学 | 核燃料サイクル工学 |
| 原子力安全工学セミナー | | 安全衛生工学 | | 量子線材料物性学 |
| 原子力安全特別実験 | | 研究倫理・研究公正 | **原子力系** | 物性実験物理学 |
| 技術英語特別演習 | | 情報科学基礎論 | 原子炉・核融合炉工学 | 複雑系材料学 |
| 原子力安全工学実習 | | | システムデザイン学 | 有機物性工学 |
| 研究倫理 | | **■実験・演習科目** | 原子力実習 | |
| | | **コア科目** | 原子力工学セミナー | |
| | | 原子核工学特別実験及び演習 | 原子力安全特論 | |
| | | | エネルギー流体工学 | |
| | | **ORT科目** | | |
| | | 以下省略 | 以下省略 | |

## 表3.1-1 原子力教育関連専攻のカリキュラム科目表

| 早稲田大学・東京都市大学共同原子力専攻 | 近畿大学大学院総合理工学研究科　エレクトロニクス系工学専攻　博士前期課程（原子エネルギー）、博士後期課程 | 東海大学工学研究科応用理化学専攻 | 福井工業大学大学院工学研究科応用理工学専攻（原子力技術応用工学コース） | 神戸大学大学院海事科学研究科（海洋安全システム科学コース） |
|---|---|---|---|---|
| https://www.nuclear.sci.waseda.ac.jp/curriculum/ | https://www.kindai.ac.jp/science-engineering/files/education/graduate/curriculum/graduate_school_electronic_engineering_first_r6.pdf<br>https://www.kindai.ac.jp/science-engineering/files/education/graduate/curriculum/graduate_school_electronic_engineering_second_r6.pdf | https://www.u-tokai.ac.jp/gd-engineering/crs-applied-science/curriculum/ | https://www.fukui-ut.ac.jp/themes/fut2023/images/introduction/public/academic/document_r6_graduate/course5.pdf | https://www.maritime.kobe-u.ac.jp/maritime/pdf/g_pamphlet-09.pdf |
| **原子炉物理学研究における推奨科目** | **原子エネルギー（博士前期課程）** | **必修科目** | **2専攻共通科目** | 国際海事社会学 |
| 原子炉物理学特別研究 | 水素エネルギー工学特論 | 工学倫理知財特論 | 専門英語特別演習I | 海洋理工学演習 |
| 原子炉物理学演習I・II | 放射線防護学特論 | TECHNICAL ENGLISH FOR ENGINEERS | 専門英語特別演習II | 水環境科学1, 2 |
| 原子炉物理学特論 | 放射線安全工学特論 | 理化学基礎特論１～2 | 応用数学特論I | 水環境保全学1, 2 |
| 原子炉熱流動工学特論 | 原子核化学特論 | 応用理化学研究ゼミナール１～4 | 応用数学特論II | 応用海洋学1, 2 |
| 原子炉プラント・制御特論 | 放射線生物学特論 | | 職業と倫理 | 応用気象学1, 2 |
| 原子炉構造力学・保全工学特論 | 放射線工学特論 | **選択科目** | 科学技術政策特論 | 大気環境科学1, 2 |
| 原子力安全学特論 | 核反応エネルギー工学特論 | 量子物理学特論 | | 海洋安全工学A1, A2 |
| 原子核工学特論 | 固体内物質輸送特論 | プラズマエネルギー科学特論 | **全コース共通専門科目** | 放射線応用科学1, 2 |
| 原子炉設計学特論 | 放射線応用学特論 | エネルギー変換科学特論 | エネルギー変換特論 | 比較惑星科学1, 2 |
| 原子力材料・燃料学特論 | プラズマ工学特論 | コンピュータ化学演習 | 材料・デバイス特論 | 量子ビーム科学1, 2 |
| 核燃料サイクル工学特論 | 放射線計測学特論 | 環境工学特論 | | 気候変動災害論 1, 2 |
| 原子炉耐震工学特論 | 原子炉物理学特論 | 環境工学特論 | **コース間共通専門科目** | 機能性材料科学1, 2 |
| 加速器学特論 | 中性子工学特論 | 無機化学特論 | 電カシステム特論 | 応用数理科学A1, A2 |
| エネルギー政策学特論 | | 物理化学特論 | 機械材料特論 | 応用数理科学B1, B2 |
| ヒューマンファクターズマネージメント | **博士後期課程は研究内容ごとと思われる** | 化学工学特論 | 放射線応用工学特論 | 海洋地球化学1，2 |
| | | 生命化学特論 | 先端機器分析特論 | 地域環境科学論 |
| **原子炉熱流動工学研究における推奨科目** | | 資源・エネルギー特論 | | 海洋環境気候学 |
| 原子炉熱流動工学特別研究 | | 機器分析特論 | **コース専門科目** | 海洋探査技術 |
| 原子炉熱流動工学演習I・II | | 材料物性基礎特論 | 原子力技術応用工学セミナー | 海洋底物質科学 |
| 原子炉熱流動工学特論 | | 材料学基礎特論 | 原子力技術応用工学特別実験 | 海洋底物理学 |
| 原子炉物理学特論 | | 材料加工学基礎特論 | 環境原子力工学特論 | 海洋資源法学 |
| 原子炉プラント・制御特論 | | ENGLISH PRESENTATION FOR ENGINEERS | 原子力発電工学特論 | |
| 原子炉構造力学・保全工学特論 | | 原子力熱化学工学特論 | 原子カシステム工学特論 | |
| 原子力安全学特論 | | 環境解析科学特論 | 量子ビーム工学特論 | |
| 原子核工学特論 | | 放射線計測学特論 | 放射線測定工学特論 | |
| 原子炉設計学特論 | | 新エネルギー特論 | | |
| 原子力材料・燃料学特論 | | 応用放射線科学特論 | | |
| 核燃料サイクル工学特論 | | 原子力エネルギー特論 | | |
| 原子炉耐震工学特論 | | 原子力インターンシップ | | |
| 加速器学特論 | | 原子炉物理学特論 | | |
| エネルギー政策学特論 | | 核放射化学特論 | | |
| ヒューマンファクターズマネージメント | | 放射線生物科学特論 | | |
| | | エネルギー材料物理学特論 | | |
| **加速器応用理工学における推奨科目** | | 原子力工学専門講義 | | |
| 加速器応用理工学特別研究 | | 糖鎖工学特論 | | |
| 以下省略 | | 細胞工学特論 | | |
| 重複している科目 | | 以下省略 | | |

## 3.2 欧州原子力事情と大学教育（二ノ方 寿）

### 3.2.1 はじめに

2020 年初頭の新型コロナパンデミック、22 年 2 月 24 日に始まったロシアのウクライナ侵攻など、その深刻な影響は今でもさまざまな形で世界の国々にもおよんでいる。その一例が国際エネルギー市場の混乱である。2021 年新型コロナからの回復期にはエネルギー価格の大幅な上昇に見舞われ、直後のロシアのウクライナ侵攻に伴う欧州各国の天然ガス需給構造の変化は LNG 価格や原油価格の歴史的な高騰などエネルギー危機をもたらした。また、23 年 10 月のハマスによるイスラエルへの奇襲攻撃に端を発したパレスティナ危機は、長期化するロシアのウクライナ侵攻とともにエネルギー需給に対する深刻なリスクを秘めている。

こうした状況下ではエネルギー自給率向上と常に安定供給によるエネルギーセキュリティの確保に取り組む必要があるのは当然として、同時に経済効率性、環境適合性を充たさなければならない。EU（European Union: 欧州連合）が設定した 2050 年カーボンニュートラル（脱炭素）は、エネルギー政策における環境適合性を最上位に位置づけており、欧州各国のエネルギー戦略はこうした境界条件で策定されることになる。積極的な原子力エネルギー利用の根拠がここにあるのである。

本稿前半では欧州における原子力エネルギー利用の現概況、すなわちチョルノービリ原発事故を契機に脱原子力の方向に向かっていた欧州の国々が現実主義へどのように回帰していったのか年代を追って記述し、後半部では脱原子力国イタリアのミラノ工科大学の原子力工学教育の現場を紹介するものとする。

### 3.2.2 欧州の原子力発電の現状

2024 年末の欧州では、EU 加盟国にスイス、UK を加えた 29 ヶ国中 14 カ国が原子力発電を行い（図 3.2-1（後頁参照）、ただし図中のロシア、ウクライナ、ベラルーシは除く）、115 基（総発電容量 107.3 GWe）の原子炉で欧州発電電力量の約 1/4 を供給した。したがって原子力は、35%～40%を占める再エネと共に欧州の脱炭素電源の一角を担っていることになる。

エネルギーの安定供給に必要なのは自給率向上であることは言うまでもない。加えて脱炭素を達成するための基本的な選択肢は、再生エネルギーと原子力の利用である。後述するタクソノミー基準に当てはまらない火力は除かれる。これらをどう組み合わせるかで、以下の三派に分類できるだろう。

ⅰ）原子力を基調として再エネを併用する原子力主体派

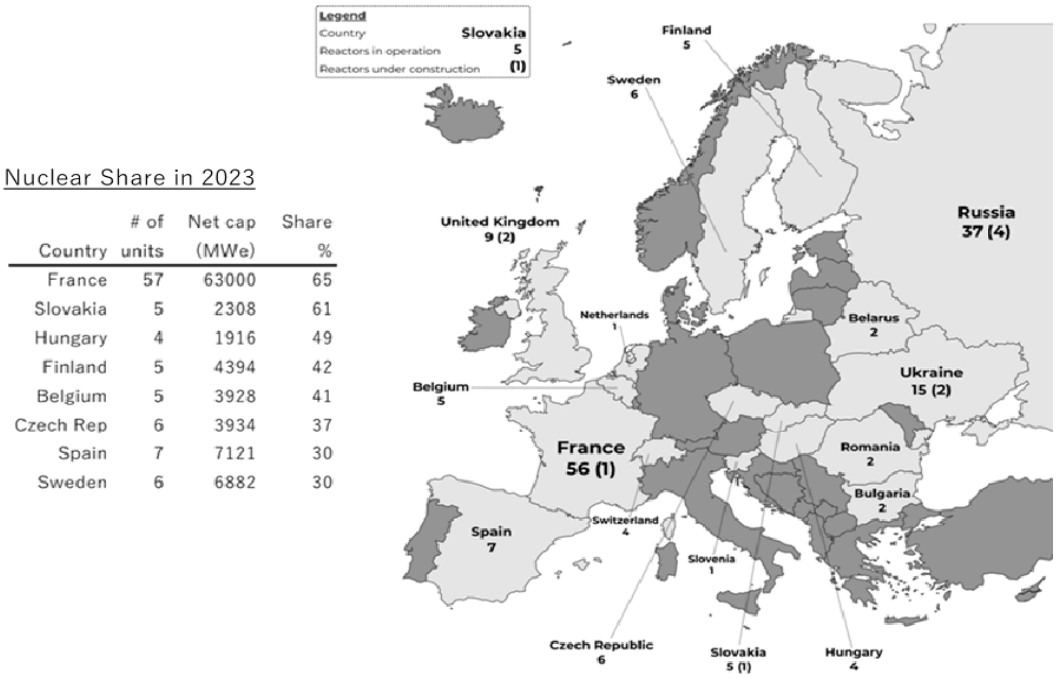
ⅱ）再エネ主体で原発を容認・稼働させる再エネ主体原子力派

ⅲ）再エネ主体脱原子力派とその他

図 3.2-1（次頁参照）においてフランス、スロヴァキア、ハンガリー、フィンランド、ベルギー、チェコあたりは現時点でも i) の原子力主体派に数えられるだろう。iii) の再エネ主体脱原子力派は、再エネの割合を可能な限り 100%に近付けたい国々だ。現時点で EU の 15 ヶ国（図中の濃いグレー）が原発ゼロで、その中でもイタリアとドイツは原子力先進国でありながら脱原子力派に含まれる。しかしながら太陽光や風力など多くの再エネは高コスト、立地環境問題などの問題点をかかえており、電源に占める割合を伸ばせない。その分、化石燃料に依存せざるをえず、紛争の有無、資源外交などにも関係する資源高の影響を強く受けるリスクが高い。

欧州の国民やその政府は環境意識が高く、廃棄物問題などで反原発の傾向があった。80 年代から反核運動が強い政治色を帯びてきたのは反核のグリーン（緑の党）が各国で勢力を伸ばしたためであろう。さらに 1986 年のチョルノービリ原発事故は欧州の多くの国民に原発反対の意識を根付かせてしまった。イタリアは 1988 年末までに脱原発を断行し、ドイツはそれまでの原発利用から脱原発へ向けて舵を切った。しかし 90 年代後半から 2000 年代初頭にかけて既に欧米を中心に原子力発電の復活を再評価する原子力ルネッサンスと呼ばれる時代である。イタリア、ドイツなどは国民の支持を集めて脱原子力政策の見直しへと動いた。しかしながら、2011 年 3 月福島第一原発事故の発生により原子力復帰への希望も水泡に帰してしまった。その後ドイツ政府は 2011 年に 17 基あった原子炉を段階的に閉鎖していったが、その分ロシアからの天然ガス輸入への依存が大きくなっていった。全ての原発が閉鎖されたのは、2022 年 2 月 24 日に発生したロシアのウクライナ侵攻のために予定より半年ほど遅れた 2023 年 4 月である。脱原子力を完成したが、国民の意見は今も割れている。

2011 年の福島原発事故以来、欧州全体のエネルギー構成は再エネのシェアが漸増していったが、再エネの増加には限界が見える。気候変動と戦いエネルギーセキュリティを確保する上で、2021 年 10 月フィンランドの緑の党が原子力を容認した時は日本でも話題になった。最近ではドイツ、イタリアを含む EU 各国の世論も、気候変動や GHG 排出抑制、エネルギー安定供給確保と電気料金高騰抑制のため、積極的な原子力利用を容認しつつあるようだ。




Nuclear Share in 2023

| Country | # of units | Net cap (MWe) | Share % |
|---|---|---|---|
| France | 57 | 63000 | 65 |
| Slovakia | 5 | 2308 | 61 |
| Hungary | 4 | 1916 | 49 |
| Finland | 5 | 4394 | 42 |
| Belgium | 5 | 3928 | 41 |
| Czech Rep | 6 | 3934 | 37 |
| Spain | 7 | 7121 | 30 |
| Sweden | 6 | 6882 | 30 |

**図3.2-1　欧州の原子力発電国（薄いグレー）と原発ゼロの国（濃いグレー）**
**国名下の数字は原子炉の基数を示す。**
Nuclear power plant in Europe – ENS, Jan 2025

### 3.2.3　2050 年カーボンニュートラル

2018 年 11 月末、欧州委員会（EC：European Commission）は原子力エネルギーが再生可能エネルギーとともに EU 諸国の脱炭素欧州電力システムの基幹となること、そして原子力は EU 2050 エネルギーミックスの重要な持続可能な構成要素であり続けることを確認した。2019 年 11 月、新委員長となったフォン・デ・アライエン氏率いる新たな EC は、2050 年までに EU 域内の温室効果ガス（GHG）排出をゼロにするという欧州グリーンディールを最優先政策目標として掲げ、2050 脱炭素は EU 諸国のエネルギー戦略と全ての政策分野における気候と環境に関する課題解決の最上位に位置づけるとともに、必要な法制整備、1 兆ユーロ規模の投資などを含め、具体的な行動計画を明示した。EU グリーンディールの中核となる EU 気候法が EC 議会で成立し EU 理事会で承認されたのは 21 年 6 月である。こうして欧州連合の全ての国が欧州気候法に拘束され、2050 年カーボンニュートラルを実現する義務が生じたのである。

### 3.2.4　EU タクソノミーと原子力

2019 年 12 月 18 日に欧州議会と EC との間で定められた、環境的に持続可能と分類された経済

活動を定めたリスト ( Green List ) のことを EU タクソノミーと呼ぶ。 エネルギーソースが以下の 6 基準の一つ以上に大きく寄与し、 他の基準を阻害しない場合、 そのソースは Green List に数えられる。

1. 気候変動の緩和
2. 気候変動への適応
3. 水・海洋資源の保護
4. 循環経済への移行
5. 公害防止
6. 生態系の保護

EC は 2050 年脱炭素を達成するためには、 EU 諸国のエネルギー源が何であろうと Green List に数えられればいいという考えだ。 なお原子力は、 既に世界各国においてクリーンで持続可能なエネギー源と看做されていたし、 EU エネルギーミックスの中で一定の割合を占めていた。 それでも、 EU 議会では一定勢力の反原子力グループが廃棄物問題を「未解決」の議題として扱い、 原子力と天然ガスをともに EU タクソノミーに含めることに拒否権を発動した。 2022 年 7 月、 この動議は欧州議会において否決され、 原子力と天然ガスがクリーンエネルギーとして正式に認定されたのであった。 EU タクソノミーと GHG 排出制限の強化によって EC は原子力の利用促進の方向性を明確に打ち出したのである。

見えてきた課題は、 将来 2050 年 EU カーボンニュートラルを実現するためには、 少なくとも 2021 年に 110GWe 程度あったのと同程度の 99GW 〜 121GW の設備容量、 すなわち域内発電電力量の 12%〜 15%が原子力で供給されることが求められることである。 しかしながら EU 域内の大部分で新規建設が難しく見通しが立たない。 必然的に一時しのぎの寿命延長方針を採用せざるをえない現状は、 EU をして原発の寿命延長のみでなく、 SMR などの新規建設を強力に推し進めなければならなくなるだろう。

### 3.2.5 イタリアにおける脱原子力と原子力復帰への動き ( 3.2-1 )

イタリアの原子力開発の歴史は古い。 民間による原子力研究が始まったのが第二次世界大戦直後、 50 年代半ばには原子力発電計画が国家プロジェクトとして立ち上がり、 60 年代前半に PWR、 BWR、 マグノックス炉の初期型炉が発電を開始しているのである。 その間、 電力安定供給の責任がある ENEL は表向き原子力利用促進を謳うが、 地方自治体や住民の消極的姿勢や反対によって原発立地計画が頓挫することが多くなり、 4 基目の 1978 年カオルソ BWR 原発の運開を最後に新しい建設計画も積極的に作成・実行しなかった。

1986 年のチョルノービリ事故に端を発した国民投票 ( レファレンダム ) は政治家の忖度による原子力の放棄に繋がってしまった。 だが、 投票の争点はあくまで既存の法律条文廃止の是非を問うたので

あって、少し分かり難いが原子力利用のような“国家戦略の是非の判断”を直接国民に求めたものではない。こうした投票結果の効力はイタリアの国民投票制度に定められているのである。

その結果、1988 年末をもって全ての原子力発電所は閉鎖され、脱原子力の先駆けとなった。しかしそれまで無縁であった電力不足が慢性化し、隣国の原発で作る電力を国際連系線容量のほぼ限度一杯まで使って輸入、大停電のリスクに怯えながらの綱渡りをイタリアに強いることになった(現在でもその状況は継続し、一国では世界最大の電力輸入国)。イタリアというと経済の停滞、高い失業率、南北格差などが代名詞となったのも、ひとえに原子力放棄のためと考えられる。金融不安、原油価格高騰、停電は頻繁に起きた。

90 年代から欧米で進行中の原子力ルネッサンスを横目で見ながら、原子力放棄の実像に接したイタリア国民は、電力の安定供給や電力価格の引き下げを望んで原子力復興を支持する方向に変わりつつあったといっていい。しかし 2011 年 3 月発生した福島第一原子力発電所事故によって、四半世紀かかった原子力への回帰への流れは堰き止められた。

2012 年以降しばらくの期間、イタリアの電源別発電量のシェアは再生可能エネルギーが 20%未満、残りが化石燃料であったが、2021 年を見ると全体の 40%近くが再エネで、残りの 60%近くが天然ガスを中心とした化石エネルギーに依存していることが分かる。結果として天然ガス価格の上昇傾向が電力価格に反映され、ドイツ、デンマークなどと並び国民は EU の中で最も高い電気料金を払わされてきた。

最近ではロシアのウクライナ侵攻に始まる近年のエネルギー価格急騰で、世界で一番高い電力料金を払わされているとして国民の不満は限界に達しつつある。世論は原子力への復帰支持に傾いている。例えば 2022 年 10 月、世論調査を原発の新規建設に限ると賛成が 50%を超えた。こうした世論の動向に反応して、23 年 5 月 9 日、議会下院はイタリアの 2050 脱炭素を加速させるため国のエネルギーミックスに原子力を含める検討を行うことを政府に要求する動議を決議した。つまり、EU タクソノミーに適合する持続可能な事業展開を追求し、原子力放棄から原子力復活へという国としての明確な方向転換を政府に求めたもので、メローニ現首相政権の原子力復帰政策をサポートするものであった。この日のニュースは日本の電気新聞のみでなく一般紙にも大きく取り上げられた。

今後、原子力発電再開計画を含む国家エネルギー政策をどのように策定・実現していくか、どのような新しい原発の建設に邁進していくであろうか、注目していきたい。また、原子力復活の担い手の育成は日本も含め世界各国が力を入れて充実させていかなければならない。では欧州の脱原子力の先鋒となったイタリアでは、どのような原子力工学教育が行われているのだろうか。

### 3.2.6 ミラノ工科大学における原子力教育

ミラノ工科大学はエンジニア・建築家・産業デザイナーの養成に注力する欧州屈指の工科大学で、7 つのキャンパスに通う学生総数は約 42,500、うち 6,000 名が留学生。 教授、 准教授、 助教授は合計約 1,300 名、 教育補助研究員は 1,400 名を数える ( 2018 年 )。

原発に頼らないイタリアで八大学に原子力工学専門課程が置かれている。 何故という疑問をよく聞くが、 イタリアは原子力発電国に接しており、 原子力工学科が存在しそこで学びたいという学生がいても不思議はない。 しかも、 その中の一つミラノ工大の原子力工学科 ( コース ) は欧州最大の規模を誇るのである。 脱原子力政策の下、 何故学科が存続できるのだろうか。 伝え聞いたところでは「原子力工学は学問である。 原子力工学を学びたい学生がいる間は予算を削減乃至カットしない」というイタリア文部科学省の姿勢も鍵であろう。 しかし、 筆者の見るところ、 やはり教員による教育への情熱、改善の努力の継続に負うところも大きいと考える。

イタリアの原子力教育は 1956 年、 ミラノ市内中心部に近いミラノ工大レオナルドキャンパスに設置した修士課程と直後の博士課程に始まる。 当時の原子力工学部門の総称は CeSNEF ( Centro Studi Nucleari Enrico Fermi ) と呼ばれ、 2008 年ボビザ地区に移ってからもグループの名称は引き継がれている。 1957 年に同キャンパスで建設された国内初の研究炉 ( 50kW ) は 1959 年から 79 年まで稼働した。 イタリアでは、 70 年代初頭までに他の大学や研究所で合計 14 基の研究炉が稼動を始め、大半は既に退役しているが、 未だいくつかが現役である。 その一つがミラノ近郊のパビア大学にあるトリガ炉 ( 250kW ) で、 そこでは CeSNEF の学生が原子炉実習に励んでいる。

2008 年にボビザキャンパスに誕生した新しいエネルギー工学科・部門は、 旧エネルギー工学科、電気工学、 原子力工学、 化学・材料・化学工学など学部や大学院のエネルギー関連部門が合流・合体してできたもので、 エネルギーの生産・管理・節約・高効率利用・原子力・ナノテク / 新材料から燃焼の触媒化学、 エネルギー貯蔵、 スマートシティなどの基礎 ( 学部で共通教育 ) から応用 ( 大学院で専門教育 ) に関する理学・工学の殆ど全分野に跨る横断的な組織である。 エネルギー工学部門で指導に携わる教員数は約 350、 学科・部門としては大所帯であると言えよう。

### 3.2.7 修士課程教育の概要

修士課程 1 年目に炉物理や動特性、 放射線計測や防護の共通科目を履修後、 2 年目に 3 つに分かれた専修コースへ希望に応じて配属される。 17-18 年入学者の場合、 原子力プラントコースへ 13 名 ( 中小型炉、 鉛炉、 溶融塩炉など )、 同材料コース 21 名 ( 物性、 放射線防護など )、 同システム物理コース 31 名 ( 核融合プラズマなど ) であった。 研究室への配属は修士論文研究に専念する 2 年目の後半が一般的である。 聞き取り調査によると、 学生の興味は高い順にプラズマ・核物理、核医学、 核融合炉、 核分裂炉とあり、 学生の興味がそのまま配属に反映されている。 軽水炉等、

稼働中の原子炉に直接関わる科目が少ないのは国情と時代の流れを反映したものであろう。

欧州諸国の高等教育機関の交流を盛んにして教育の質を上げることを目的にしたエラスムス計画、その一環として、1989 年に立ち上げたヨーロッパ単位互換制度 ECTS というものがある。欧州諸国のほとんどが本制度を法制化し、ECTS を高等教育段階の学修量の指標 ( 単位 ) としたり課程修了の要件などに用いたりしている。ミラノ工科大学でも、履修した単位を欧州域内の他の大学に転送する場合、標準的な学生が 25 時間の学修によって獲得すると見込まれる成果を以て 1ECTS に換算する。例えば 5ECTS の科目を履修することは、40 ～ 45 時間授業を受け、予習・復習・宿題・課題学習などに 80 ～ 85 時間を費やして、合計 125 時間の学修を行うことに対応する。

修士課程の平均的学生に課せられる学修時間は 1 学期 30ECTS ～ 750 時間、年間 60ECTS ～ 1500 時間、修士号を取得するまでの 2 年間では合計 3000 時間となる。なお、ミラノ工大原子力工学コースでは入学から 2 年で修士号を取得する学生は平均して入学者全体の約 80%、修了者の約半分が毎年博士課程へ進学する。

学生は在学期間中にインターンシップで研鑽を積むことが推奨されていて、欧州域内のエラスムス計画に参加する学生が 10 名、修士論文研究を海外 ( 含日本 ) のメーカーや研究所で実施する例が多く、20%以上の学生が国外での経験を積む。国内では、修士課程の半分をトリノ工科大学、残りの 1 年をミラノ工大で過ごす Poly2Nuc プログラムや、原子力工学科を有するピサ大学、トリノ工大との間で結ばれた共同研究コンソーシアム CIRTEN を利用する他、多くの機会が用意されている。

修士課程に在籍した学生数は 2010 年前後には凡そ 30 名程度を数え、当時既にミラノ工大の原子力工学コースは既に欧州最大であった。筆者が講義を持っていた 2012 年から 2019 年の間、原子力に興味を持つ学生が右肩上がりで増えてきたように思う。おそらくエネルギー工学の中に原子力工学が学問として存在していることが鍵で、学部時代に一般的な物理、化学、情報、生物や基礎工学を学んだ学生達は、核、放射線を冠した分野の姿を、学んだ知識の延長線上にしっかりと捉えることが定着してきたのではないだろうか。中でも、物理系学部との連携に注目したいのは、プラズマや核物理などに興味持って原子力コース修士課程に進学した学生の中には、進学後に中小型炉、GEN-IV、高速炉への興味を持つ学生が増えるシナジー効果がみられることである。

2016-17 年における入学者は 46 名、17-18 年は 65 名である。65 名の出身内訳はエネルギー工学科卒業生 13 名、物理学科 16 名、材料工学科 8 名、他学科から 13 名、他の国内大学の卒業生 5 名、外国大学から 10 名 ( 留学生 ) である。特に留学生が増えたのは、大学院の講義が英語に変ったことが大きい。2008 年から英語での講義に変えるといいながら、英語講義を頼まれて筆者が赴任した 2012 年以降の数年間も、英語が喋れるくせにイタリア語で講義する先生が複数みられた。このことは欧州域内交流プログラムからの希望学生すら少なかった理由の一つに挙げられていたのである。

原子力工学コースは入学試験で選抜する学生の定員を設けていないこともあり、 最近は入学者数が急増している。 20/21 年と 22/23 年は 100 人を超えた ( 図 3.2-2)。 これは就職状況が頗る良好であることもあるが、 教員と大学 ( 管理部門 ) が一体となって進めてきたエネルギー工学科・各関連専攻の再編統合と教育現場改革の成果であると考える。 加えて教員や大学関係者による宣伝や広報の努力も大きな貢献を果たしていると思う。

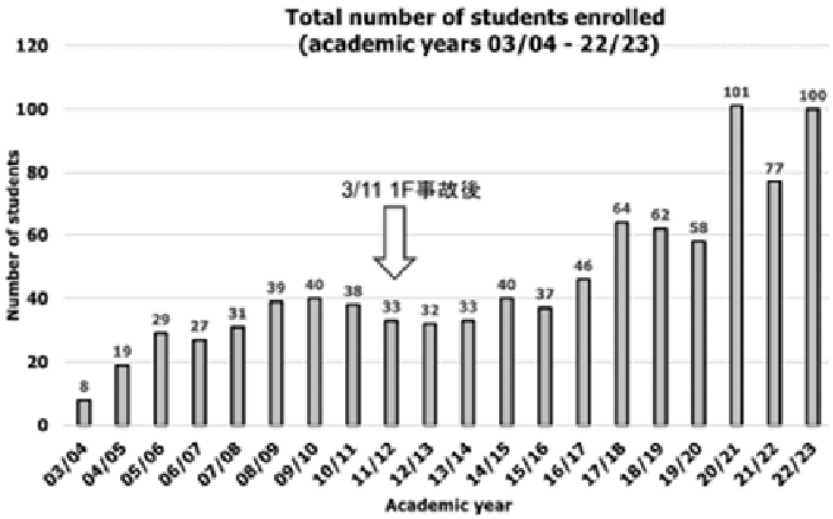



**図3.2-2 ミラノ工大大学院修士課程原子力工学コース入学者数の推移**
(Source: https://www.nuclearenergy.polimi.it/)

### 3.2.8 人材供給大学としてのまとめ

修士課程修了者の殆どが原子力の仕事を望むが、 求人数が少なかった。 なかなか希望が叶えられなかったのは仕方ない。 海外で就職する割合は 20%強。 しかし脱原子力時代のイタリア国内でも引く手あまたで就職情況は頗る良好であった。 今後、 原子力再開に当たり卒業生への需要が高まることが期待される。

原子力の仕事にこだわるのはとくに博士課程修了者に当てはまる。 その多くが EU 圏内、 米国のメーカー、 研究機関や大学の教職に就いている。 このことは原子力に限らず他の全ての理工系分野でも同じなのだ。 そして彼らの世界での活躍には目を見張るものがある。 イタリア国内の停滞に比べ、技術が海外では高い評価を得るのと同時に人材供給で他国の発展に寄与するねじれ現象の例といえよう。

ミラノ工大の修士課程修了者の評判が高く、 博士課程に進学したい学生がいたら是非採用したいので紹介してくれ、 と米国大学の友人に直接頼まれることもある。 こうした評判は嬉しいが、 ねじれの

ことを考えると単純に喜んでばかりもいられない。

教育第一、研究第二はイタリアの大学の伝統のようである。講義の中身には部門によるチェックが入る。講義の合間には聴講する学生と常日頃の面接や面談が推奨される。教育に追われ、研究に没頭できないとぼやく先生も多い。教育者が豊かな現場研究経験を持っていることは理想で望ましい。学生の信頼もそこに生まれる。このような関係が構築できれば申し分ないと思う。

しかしながら、ミラノ工科大学では教育に専念するのが前提だった。9年近く在職して、研究しながら教育という考え方に接することはなかった。そこでの主な研究担い手は博士課程学生、最近はポスドクも含まれ、教員は教育の一環として論文研究指導を行うところに日本での経験とは微妙な差を感じたものである。結果として、教員の教育への情熱と努力が学生の原子力への興味を引き起こし、優秀な人材の輩出に繋がっている事実には学ぶべきことが多かった。

このようなシステムに対し学生からの批判も無いわけではない。事実、修士や博士の論文研究指導においては教員の研究実績がモノを言う、そのことを指摘するのは教員より学生だった。極端に走らず、研究と教育を巧く折衷した原子力教育システムの在り方については、今後ともミラノ工大の仲間とも議論しながら注目していきたいと考えている。

参考文献

3.2-1) イタリアのエネルギー現状と原子力、二ノ方 寿、pp.38-41 エネルギーレビュー

# 第4章　連携ネットワークによる原子力教育

## 4.1　大学連携ネットワーク（大学と研究機関との教育連携ネットワーク）活動概要（加藤 浩）

### 4.1.1　活動の初期

日本で産学連携の機運が高まりつつあった 1990 年代頃から、研究機関の研究者を大学の教員として迎え、研究機関の研究施設を活用しながら教育研究指導を行う大学院教育、いわゆる、連携大学院方式の協力を大学と様々な研究機関が協定等を締結し連携協力を実施している。日本原子力研究開発機構も、研究機関として、原子力分野における連携大学院方式の協力を 2000 年代初頭（当時は、旧日本原子力研究所、旧核燃料サイクル研究開発機構が各々で実施）から大学と協定等を締結し、大学院教育を支援してきている。

大学連携ネットワークは、これら連携大学院方式の連携協力を実施している当時の大学のうち、東京工業大学（現　東京科学大学）、金沢大学及び福井大学の 3 大学と日本原子力研究開発機構の 4 機関にて、複数大学の教育ネットワーク化に向けた議論が開始され、新しい取組みとして、2005 年 7 月に東京工業大学、金沢大学及び福井大学の 3 大学と日本原子力研究開発機構の 4 者間にて「教育研究等に係る連携・協力推進協議会設置に関する覚書」を締結し、本格的な複数大学の教育ネットワークの検討を開始した。当時、日本原子力研究開発機構は、旧日本原子力研究所と旧核燃料サイクル研究開発機構の組織統合の初年であり、第 1 期の中期目標には「大学等への人的協力や保有施設の共用を通じて、機構と複数の大学等とが相互補完しながら人材育成を行う連携大学院ネットを構築すること」を掲げ、日本原子力研究開発機構内で体制整備を進め、複数大学の教育ネットワーク化に取り組むこととなった。

### 4.1.2　活動の理念

活動初期の頃、通常、大学での講義や実験・実習は、公開講座やインターンシップ等の一般的に開放されたもの以外に、学生が所属していない大学で学ぶ機会を得ることは殆どなく、また、大学と研究機関との教育関連の連携については、一対一の 2 組織間の協力が基本であり、研究（共同研究等）とは違い、複数大学と研究機関の 3 者以上の教育連携は初めての経験であり、チャレンジングなテーマであった。

広範且つ専門的な原子力技術の分野における教育や人材育成においては、多種多様な専門家や施設設備等のリソースが必要であり、複数大学間の教育ネットワーク化の取組みは、この課題に対する一つの選択肢として、「相互補完」という理念で検討が開始された。活動初期は、連携大学院制度に基づく活動であることから、「連携大学院ネットワーク」と称して活動していた。

連携大学院の教育ネットワーク化の検討においては、これら理念のもと、リソースの有効活用の視点から、東京工業大学、金沢大学、福井大学の 3 大学の連携講座をベースに、各々の大学の学生が共通的に受講出来る教育プログラムの検討を進めるとともに、3 大学での同時（リアルタイム）の講義受講に向けた機器及びネットワーク環境の整備を進め、3 大学間で新たに制作した教育カリキュラムとなる共通講座（前期 1 科目（4 月～ 7 月）、後期（10 月～ 3 月）1 科目）を開設し、2007 年 4 月に、遠隔教育システムを利用して、3 大学での共通講座を同時に開講した。

それまで、単位認定出来る共通的な講座を 3 大学間で同時に実施出来たのは、少なくとも原子力分野では初めての経験であり、また、このネットワーク活動では、上述の共通講座の他、共用的な実験・実習として、放射線計測技術や核燃料サイクル技術を中心とした核燃料サイクル実習プログラムを検討し、複数の大学の学生が学習出来るプログラムを準備した。

以上の活動を継続的に運営するため、3 大学と日本原子力研究開発機構の 4 者間で体制を整備して、共同的な運営（会議体等）を試行するとともに、学生に対し、講義、実験・実習という包括的な教育プログラムとして供与出来るように準備した。当初、連携大学院ネットワークと称していたが、将来的に活動の対象範囲を拡大することを念頭に、すなわち、大学院生だけでなく、学部生も対象範囲と出来るように、2007 年には、名称を「原子力教育大学連携ネットワーク（Japan Nuclear Education Network（JNEN））」と合意、変更し、活動してきている。

### 4.1.3 大学連携ネットワーク活動の拡大

3 大学で開始したネットワーク活動については、メディアにプレスリリースするとともに、国内の他大学に対し、ネットワーク活動の紹介を広く進めたこと等により、2008 年 3 月には、3 大学に加え、茨城大学及び岡山大学の 2 大学とも先の覚書と同様の内容で新たに結びなおし、5 大学と日本原子力研究開発機構の 6 者間で大学連携ネットワーク活動を展開した。更に、翌年 2009 年からは大阪大学が参画することとなり、これまでのネットワーク活動の実績及び成果を踏まえ、また、大阪大学が参画する機に併せて、覚書ではなく、新たに、「大学及び日本原子力研究開発機構が緊密な連携・協力により、学術及び科学技術の発展に寄与するための教育研究並びに人材育成の一層の充実を図ること」を目的として、7 者間で 2009 年 3 月に協定として締結し、その後の7年間は、この体制でネットワーク活動を継続した。

安定的な運用の後、2015 年 2 月には、名古屋大学が参画することに伴い、「原子力分野における大学連携ネットワークに関する協定」を金沢大学、東京工業大学、福井大学、茨城大学、岡山大学、大阪大学、名古屋大学、日本原子力研究開発機構の 8 機関で新たに締結した。これまで積み重ねてきた連携協力の成果、実績を踏まえて、ネットワーク活動の基礎基盤として有効に機能するように配慮された既存にはない新しいタイプの協定となっている。

大学連携ネットワークの協定の骨子は以下の通りである。

(1) 連携協力を推進するための協議に関すること

(2) 相互に合意した連携教育カリキュラムの実施に関すること

(3) 連携教育カリキュラム等の実施に伴う施設・設備の相互利用に関すること

(4) 他機関との連携協力に関すること

意思決定の会議体として連携協力推進協議会を設置するとともに、 協議会の下には、 連携教育カリキュラム内容の検討や調整、 連携協力推進協議会への提案などの企画調整機能を有する会として企画調整分科会を設置することを明記し、 7 大学と機構の 8 者間での共同運営が円滑に進むように配慮した内容になっている。

### 4.1.4 連携教育カリキュラム概要

連携教育カリキュラムは、 2007 年の開講以来、 関係者で議論や検討を反映していることから変遷があるものの、 現行は、 共通講座、 集中講座、 学生実習から構成されており、 対象とする学生は、基本、 修士課程一年としている ( 各大学の意向により学部生の受講可 )。

共通講座の内容について、 原子力技術の基礎知識を習得させることが必要との各大学での共通的な認識にたち、 企画調整分科会等で検討を踏まえ、 適宜、 再編しつつ、 各大学にて同時並行のライブ講義として開講し、 8 組織の専門家で講義を分担して進めている。 前期 ( 2 単位相当 ) は、原子力工学基礎 ( Ⅰ ) として、 放射線・原子核に係る科目を、 後期 ( 2 単位相当 ) は、 原子力工学基礎 ( Ⅱ ) として、 原子力工学及び原子力科学研究に係る科目を実施している。 科目内容を表 4.1.4-1 及び表 4.1.4-2 ( 次頁参照 : 2024 年度例示 ) に示す。

これら遠隔教育システムを活用した各大学での分散型受講方式に加えて、 集合型の方式で、 原子力の安全性と地域共生をテーマにした夏期集中講座 ( 2 単位相当 )、 核燃料サイクルをテーマにした学生実習である核燃料サイクル実習 ( 2 単位相当 ) を開講し、 多くの学生が受講してきている。

**表4.1.4-1 前期講座 原子力工学基礎 ( Ⅰ ) 放射線・原子核に係る科目**

| | |
|---|---|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

表4.1.4-2 後期講座 原子力工学基礎（Ⅱ）原子力工学及び原子力科学研究に係る科目

| | |
|---|---|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

4.1.5 大学連携ネットワーク活動の実績と今後の展開

2007 年 4 月に共通講座を 3 大学で開設以来、 2015 年までに 7 大学が参画し、 現在に至り、 この間、 原子力を取り巻く情勢は、 2000 年初頭の原子力ルネッサンス、 2011 年東日本大震災と福島第一原子力発電所の事故及びこれに伴う原子力利用の縮小、 そして、 脱炭素化に伴う世界的な原子力利用の復興という変遷を経て現在に至るが、 連携教育カリキュラムは、 中断することなく、 約 17 年間継続し、 延べ 4,000 人を越える学生が受講し、 その多くは単位を取得している。

日本原子力研究開発機構は、 教育、 人材育成に係る大学連携協力として、 文部科学省、 経済産業省の連携による大学等における原子力の人材育成の充実を図るために、 2007 年に開始した原子力人材育成プログラムなど、 原子力分野における高等教育への国の方策に応じて、 専門家派遣や施設供与など採択された大学等への支援を進めるとともに、 その後に開始された機関横断型の公募事業を実施する主幹大学等への支援に対しては、 大学連携ネットワーク活動で培った様々な経験を踏まえて支援や協力を継続している。 2010 年に立ち上がった産官学のオールジャパン体制で発足した原子力人材育成ネットワークにおける活動においては、 高等教育関連の課題に対する議論に際しては、 ネットワーク構築の先駆的役割として、 様々な知見を活かした支援を実施してきている。

今般、 原子力分野における大学連携については、 文部科学省主導のもと、 未来社会に向けた先進的原子力教育コンソーシアム（ANEC）が立ち上がり、 産官学連携のもと、 教育に係る連携活動、 ネットワーク化は活発化している。 大学連携ネットワーク活動の経験を踏まえ、 今後、 原子力人材育成ネットワーク、 ANEC の活動と連携、 連動しつつ、 教育支援活動が更に包括的に推進され、 日本における原子力利用の基礎基盤として、 大学教育を支援し、 原子力利用の基礎基盤となる人材確保や人材育成に貢献し続けることが重要と考えている。

参考文献

○ 原子力研修センター 50 年の歩み、 JAEA-Review 2009-033
○ 原子力人材育成センターの活動（令和 4 年度）、 JAEA-Review 2023-034、 他
○ 2. 原子力人材育成 Part Ⅴ 原子力・人材育成、 原子力年鑑 2023 日刊工業新聞社

## 4.2 国際原子力人材育成大学連合ネットワークによる原子力基礎教育（小林能直、西村 章）

### 4.2.1 はじめに

東京科学大学（2024 年 10 月より東京工業大学から改組）ゼロカーボンエネルギー研究所では、原子力教育・研究に携わる国内外の有志の大学と連携し、それぞれの人材育成資源を持ち寄り、国際原子力人材育成大学連合ネットワーク（以下大学連合）を 2010 年度に形成し、文部科学省の補助金を得て原子力基礎教育に注力してきた [4.2-1]。この大学連合では、国内外の原子力人材を横断的、効果的、効率的かつ戦略的に育成するため、非原子力分野の学生を含めた初等学生を主対象に、国内外向けオンライン講義配信や原子力関係機関への学生派遣を中心とした人材育成事業を展開してきた。発足当時の 2010 年度の体制を図 4.2-1 [4.2-1]（後頁参照）に示す。この図に示すように、大学連合は当初 14 大学からスタートし、図 4.2-2（後頁参照）に示すように、2024 年現在、国内外 21 の大学に拡大して活動を継続して来ている。現在、本事業に参加している大学、協力機関は以下のとおりである。

【国内大学】

茨城大学、大阪大学、大阪産業大学、岡山大学、金沢大学、近畿大学、九州大学、京都大学、東海大学、東京科学大学＊、早稲田大学、名古屋大学、八戸工業大学、福井大学、北海道大学、山梨大学、長岡技術科学大学、東京都市大学（18 大学）＊幹事校

【国外大学】

マレーシア国民大学（マレーシア）、チュラロンコン大学（タイ）、カセサート大学（タイ）（3 大学）

【協力機関】

日本原子力研究開発機構、日本原子力産業協会、若狭湾エネルギー研究センター、日本原燃、日立 GE ニュークリア・エナジー、東芝エネルギーシステムズ、原子力人材育成ネットワーク
（7 機関）

本稿ではこれまで大学連合として主に実施してきた国際原子力基礎教育オンラインセミナー、国際原子力実践教育道場 [4.2-2]、原子力国際人材育成等の事業についての活動概要を報告する。

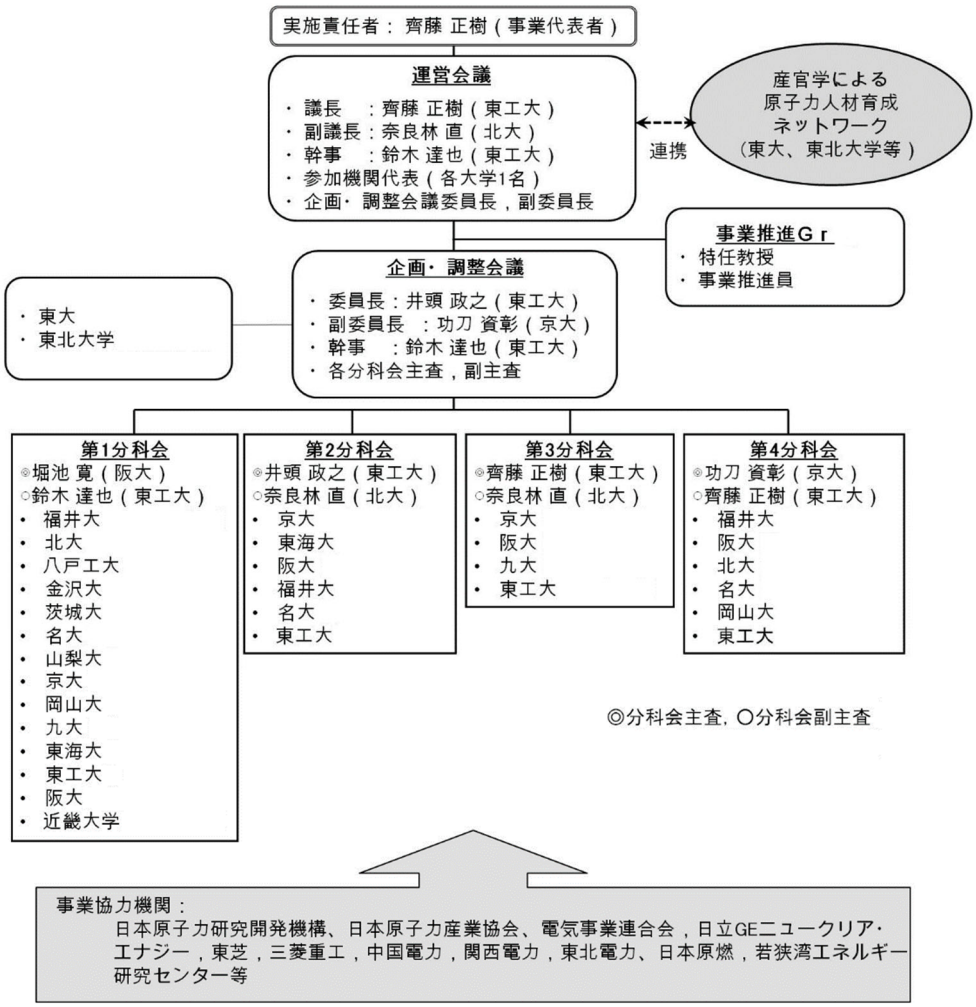



図4.2-1　2010 年度発足当初の大学連合の体制

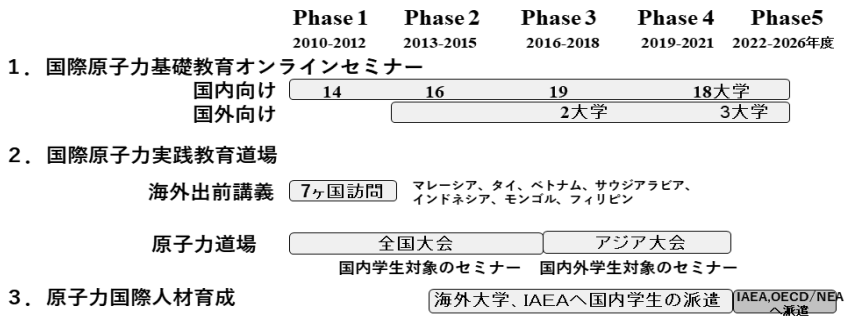



図4.2-2　大学連合の活動経緯

4.2.2 本事業の活動概要

(1) 国際原子力基礎教育オンラインセミナー

大学連合では、当初時点では最新技術であった国内外の拠点を繋いだビデオ多地点接続装置を 10 年近く運用して各大学へ講義を配信し各教室で一堂に会して聴講するセミナーを行ってきた。2020 年頃からは遠隔会議システム Zoom 利用が実用可能となり、国内外の学生が各自のパソコンで直接受講可能となった。講義は、本事業の目的である「非原子力系学生が十分理解できる原子力の基礎教育的な内容」であるが、21 大学 7 協力機関から人選された講師の豊富な知識と経験に裏打ちされた講義は専門家が聴講しても十分に聞き応えがある。ライブであるため双方向通信で全国どこにいても学生は直接講師と議論できる。

2011 年度から 2023 年度までの実績では、国内向け講義が 159 件、海外向け講義が 35 件実施され、聴講学生の延べ人数は国内向け 3,395 人、海外向け 915 人に達している。

一例として 2019 年度からの第 4 期の講義内容を紹介すると、国内向けに「原子力の基礎と先進技術」( 主催：東京工業大学 )、「原子力・放射線の基礎と応用」( 主催：京都大学 )、「原子力技術の耐用性、保全技術から核融合まで」( 主催：長岡科学技術大学 ) をテーマとして各回 4 講義で計 12 講義を、また、国外向けには「炉心設計概念」、「原子力セキュリティの基礎」など 8 講義を実施した。聴講学生数は 1 講義あたり国内向けで 80 ～ 100 名、海外向けで 20 ～ 30 名である。また聴講学生にはアンケートを実施しているが、その結果 (4.2-2)、国内向け講義では聴講学生の過半数が機械工学、物質工学、人間環境、人文学、経済など文系も含んだ非原子力系の学部・学科であり、本事業の所期の目的を達成している。また、リピータが多く、98%以上の学生が「講義が有益であった」と答えている。海外向けでも同様でほぼ全学生が講義を有益と答え、配信継続を求めている。このことは、非原子力系の学生を含め正確な原子力理解、国外における我が国の原子力に対する信頼を高め、将来の協調を推進する一助にもなっていると考えられる。

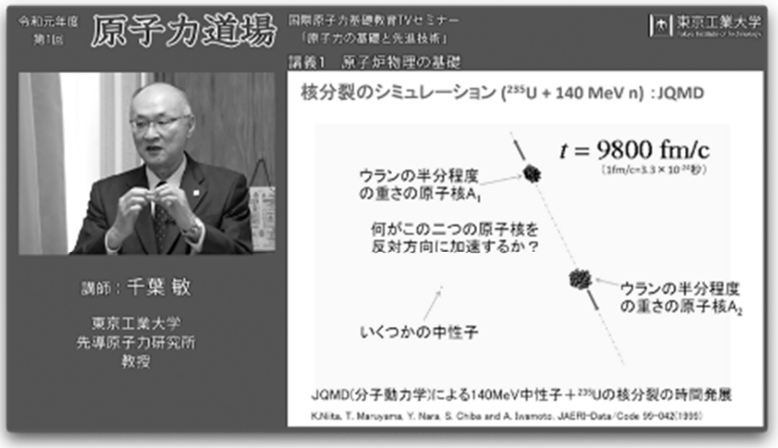
Phase3 ( 前頁参照 ) までは、ライブのみの配信であったが、Phase4の 2019 年度からは配信された講義をビデオ録画してアーカイブし、インターネットで聴講可能なオンライン教材化を進めている。表 4.2-1( 次頁参照 ) にはこれまでに作成された原子力教育ビデオアーカイブの構成を示す。アーカイブの内容は原子力システム概論、炉物理、原子炉設計、燃料サイクル、廃止措置、先進原子力技術など原子力工学をほぼ網羅する分野を含んでおり、現在までに初級編をほぼ完成した。

図 4.2-3( 次頁参照 ) にはビデオアーカイブの一例を示す。講師の表情や説明図を視聴学生の PC から直接視聴することができる。

表4.2-1 原子力教育ビデオアーカイブ全体構成

| 内 容 | 初級 | | | | | | 中級 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 原子力システム概論 | ○△ | | | | | | | |
| 原子炉物理 | ○△ | ○ | | | | | | |
| 原子力熱流動 | ○△ | ○ | ○ | | | | | |
| 原子力安全 | ○ | ○ | △ | △ | | | | |
| 原子炉動特性とプラント制御 | △ | △ | | | | | | |
| 原子炉設計 | △ | △ | | | | | | |
| 原子炉構造材料 | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | |
| 放射線とその影響 | ○△ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 原子燃料サイクル | ○△ | ○ | ○ | ○ | | | | |
| 原子力保全 | ○ | | | | | | | |
| 加速器、放射線応用 | ○△ | ○△ | | | | | | |
| 核融合 | ○△ | ○ | ○ | | | | | |
| 核セキュリティ | ○△ | ○ | | | | | | |
| 廃棄物処理、廃止措置 | ○△ | ○△ | ○△ | ○ | | | | |
| 原子力化学、再処理技術 | ○△ | | | | | | | |
| 先進的原子力技術 | ○△ | ○△ | ○△ | ○ | ○ | | | |

○: 日本語講義 ( 41 件 )　　△: 英語講義 ( 22 件 )




( 東工大 千葉先生の原子炉物理基礎 )

図4.2-3 原子力教育ビデオアーカイブの一例

4.2.3 国際原子力実践教育道場

(1) 海外出前講義

2010 年度から 2012 年度にかけては大学連合所属の大学の複数教員が海外の大学や原子力研究機関等へ赴き約 1 週間の講義を実施した。

東京電力福島原子力発電所事故の直後でもあり、 事故の状況を説明すると共に、 我が国の原子力の技術や経験について講義を行うことを目的に、 マレーシア、 タイ、 ベトナム、 サウジアラビア、 インドネシア、 モンゴル、 フィリピンの 7 ヶ国を訪問した。 各国からは、 福島の原子力事故に対する理解と、「我が国は、 原子力においても東に学ぼう ( Look east )」( マレーシア ) と言った日本の原子

力技術に対する期待が多く寄せられた。

しかしながら本講義は、 時間的にも費用的にも負担が大きく、 Phase 1 だけで終了し、 その後、国外への TV セミナーへと発展させた。

(2) 国際原子力実践教育道場

国際原子力実践教育道場は、 本事業の Phase3 ( 2016 年度 ) から開始されたもので、 国内外の原子力工学系の学生だけでなく非原子力系の学生も対象とし、 原子力の現場の見学、 専門家からの講義、 討論を含む 1 週間の合宿セミナーである。 学生の選抜にあたっては初期は国内からの募集に限り、 そのため「全国大会」と呼んだが、 Phase3の途中からは、 日本人学生と外国人学生 ( 主にアジアの学生 ) が半々になるようにした。 そのため「アジア大会」と呼んだ。

活動内容としては、 原子力施設の見学や専門家との対話を通じて現場の原子力を学ぶと同時に、講義、 見学、 討論を実施し最後に学生からの研修内容のプレゼンテーションを実施した。「アジア大会」になってからは、 これらはすべて英語で行うことで日本人学生の国際感覚やコミュニケーション能力の涵養にも努めるとともに、 外国人学生には、 わが国の先進的な原子力技術に直に接する機会を与えることができた。 アジアからは、 将来その国を背負うであろう優秀な学生が多く参加し、 アジア諸国のこれからの原子力推進の応援に少しでも支えになればと期待している。

表 4.2-2 には Phase3( 2016 年度 ) 以降の国際原子力実践教育道場アジア大会の実施状況を示す。これまでに東京工業大学、 福井大学、 名古屋大学、 岡山大学が幹事になり、 年 1 回の実施が計画されてきた。 見学施設は, 電力会社や協力機関の協力を得て、 福島第一・第二原子力発電所、美浜発電所、 日立 GE ニュークリアエナジー社、 若狭湾エネルギー研究センターなどで、 専門家との対話を通じて実践的な学習と国際的な感覚や対話力を養う教育を実施し、 大変貴重な機会を学生に与えて頂いた。 残念ながら、 2019 年度 ( 2020 年 3 月 ) はコロナウイルス感染拡大のために事業を中止せざるを得ず、 2020 年度の「アジア大会」 では見学会は出来なかったが、 主催の岡山大学とJAEA 人形峠環境技術センターのご尽力によりオンライン講義と施設のバーチャル見学会を実施した。

**表4.2-2 Phase3及び4のアジア大会の実施状況**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| 2017 10 | | 10 ( 8 / 4 ) | | GE ABWR |
| 2018 10 | | 10 ( 3 / 7 ) | | |
| 2020 3 | | | | |
| 2020 12 | 岡山 | 14 ( ) | | |

### 4.2.4 原子力国際人材育成

この事業の目的は、優れた国際感覚、高いコミュニケーション能力や情報発信能力を有し、国際社会で活躍できる原子力国際人材育成のため、IAEA、OECD/NEA 等の国際機関や海外大学に日本人学生を派遣することである。世界の原子力事情や政治・経済事情について学ぶとともに、豊かな国際性を養成する。本事業の Phase2( 2013 年度 ) から 2024 年度現在までに IAEA や OECD/NEA へインターンシップ研修生として 20 名の学生を、海外の大学に 14 名の学生を派遣した。

表 4.2-3 に IAEA、OECD/NEA 及び表 4.2-4( 次頁参照 ) には海外大学に学生派遣をした実績をまとめた。IAEA や OECD/NEA では国際公務員と同等の仕事が派遣学生に要求されることから原子力専攻の学生を選抜し、原子力エネルギー局や原子力科学応用局などにインターンシップ研修として約 3 ヶ月～ 6 ヶ月間派遣している。海外大学へは、原子力工学に関心を持つ優秀な学生を選抜し、これまでにマレーシア国民大学、タイのチュラロンコン大学、ベトナムのハノイ工科大学、インドネシアのバンドン工科大学および米国のテキサス A&M ( TAM ) 大学に学生を 1、2 週間の短期派遣をしている。現地の学生との研究紹介やテーマを決めての討論を実施し、交流を図っている。

学生が海外経験で得るものは大きく、国外から日本を見ることの大切さを知る重要な機会でもある。経験者の卒業後の進路では、IAEA を含め海外との関係のある業務を選択した者も出てきている。海外派遣は学生にとってその後の人生を変えるほどの価値あるイベントであり、今後も継続できることを期待している。

表4.2-3 IAEA、OECD/NEA への学生派遣実績 (4.2-3)

| 派遣期間 | No | 出身大学 | 研修内容例 | 研修機関 |
|---|---|---|---|---|
| **Phase2**<br>2014/9-12<br>2015/9-12 | 1 | 京都大学 | 世界各国の核融合分野の大学・研究機関の DB 更新 | IAEA |
| | 2 | 名古屋大学 | SMR に関する資料作成、Toolkit 作成 | IAEA |
| | 3 | 東京工業大学 | 先進的原子炉技術輸出の規制上の問題検討 | IAEA |
| | 4 | 福井大学 | Nuclear Communicator's Toolbox の改善 | IAEA |
| | 5 | 大阪大学 | ナトリウム冷却高速炉に関するレポートの作成 | IAEA |
| | 6 | 京都大学 | 世界各国の研究炉の運転状況の DB 整理 | IAEA |
| **Phase3**<br>2017/10-12<br>2018/10-12<br>2019/10-2020/1 | 7 | 九州大学 | 研究炉データベース(RRDB)のアップデート | IAEA |
| | 8 | 名古屋大学 | 原子力施設建設地域評価基準の改訂草案作成 | IAEA |
| | 9 | 早稲田大学 | 核データベースの核分裂生成物収率データ整備 | IAEA |
| | 10 | 東京工業大学 | 核燃料サイクル計算コード機能更新 | IAEA |
| **Phase4**<br>2021/11-2022/2 | 11 | 名古屋大学 | 核データライブラリーの開発、改良 | IAEA |
| | 12 | 北海道大学 | 放射線検索サイトの改良 | IAEA |
| **Phase5**<br>2022/12-2023/3 | 13 | 近畿大学 | 核データベース管理 | IAEA |
| | 14 | 北海道大学 | Pu-242 核データ評価 | IAEA |
| 2023/9-2024/3 | 15 | 東京工業大学 | 原子炉安全評価コード妥当性確認、Halden 炉の DB 管理 | OECD/NEA |
| | 16 | 京都大学 | 放射性物質輸送の緊急時対応、関連国際会議のまとめ | IAEA |
| 2024/9-12 | 17 | 東京工業大学 | 加速器のバイオイメージング利用プロジェクト支援 | IAEA |
| 2024/9-2025/2 | 18 | 京都大学 | 実験的核データベースの比較検討 | IAEA |
| 2024-11-2025/2 | 19 | 長岡技術科学大学 | 外部品質評価データに基づく長期不確かさ法の決定 | IAEA |
| | 20 | 名古屋大学 | 非合法取引検知のための安定アイソトープの最適化 | IAEA |

表4.2-4 海外大学への学生派遣実績 (4.2-3)

| 時期 | 所属大学 | | 訪問先 |
|---|---|---|---|
| 2014/2月, 4月 | 京都大学 | M2 | インドネシア　バンドン工科大学<br>マレーシア国民大学 |
| | 山梨大学 | M1 | |
| | 岡山大学 | M2 | |
| 2014/3月 | 長岡技術科学大 | M2 | ベトナム　ハノイ工科大学 |
| | 福井大学 | M2 | |
| | 金沢大学 | B4 | |
| 2016/12月 | 福井大学 | D2 | タイ　チュラロンコン大学<br>マレーシア国民大学 |
| | 東工大 | M1 | |
| | 名古屋大学 | M1 | |
| 2020/2月 | 京都大学 | B4 | テキサスA&M大学<br>アイダホ国立研究所<br>世界銀行<br>日本大使館 |
| | 早稲田大学 | M2 | |
| | 早稲田大学 | M2 | |
| | 近畿大学 | M2 | |
| | 名古屋大学 | M1 | |

### 4.2.5 おわりに

国際原子力人材育成大学連合ネットワークによる原子力教育基盤整備モデル事業は、非原子力分野を含めた初等学生に原子力技術に興味を持ってもらい、原子力工学に進む学生を増やすことを主な目的として 2010 年度より活動してきた。これまで、文科省のご支援と参加大学の先生方の絶大なご協力を頂き、15 年の長きにわたり活動を継続して進めてこられた。

ネットワークを使った教育は、それぞれの大学が持つ特色を発揮でき、大学が補完し合って充実した教育が期待できる。少子化が進む我が国において、今後も益々重要性が増すと思われ、この連携を財産として更に原子力基礎教育の発展に注力して行きたい。

参考文献

4.2-1) 齊藤正樹：国際原子力人材育成大学連合ネットの構築とモデル事業の成果　全体概要、日本原子力学会誌、55(7)、383-384(2013)

4.2-2) 西村　章：原子力人材育成大学連合ネットワークによる原子力教育、日本原子力学会誌、62(10)、600-602 (2020)

4.2-3) 竹下健二、西村　章：日本の原子力・放射線教育の国際展開への貢献 4. 国際原子力人材育成大学連合ネットワークによる原子力教育基盤整備モデル事業、日本原子力学会誌、63(11)、762-764 (2021)

## 4.3 未来社会に向けた先進的原子力教育（ANEC）（山本章夫）

本節は、文部科学省の国際原子力人材育成イニシアティブ事業で実施している「未来社会に向けた先進的原子力教育（Advanced Nuclear Education Consortium for Future Society, ANEC）」の取り組みについて説明する。

まず、国際原子力人材育成イニシアティブ事業の経緯と概要について説明する。本事業は令和元年に大幅に刷新され、原子力人材育成のためのコンソーシアム ANEC を立ち上げて現在に至っている。引き続く小節では、ANEC の基本的な考え方および主要な取り組みについて紹介する。最後に、現在の課題と今後の方向性について述べる。なお、本事業の方向性を議論するにあたっては、原子力人材育成の基盤に関する歴史的な経緯を述べる必要があるが、紙面の関係で他の章に譲ることにする。

本節では、国際原子力人材育成イニシアティブ事業と ANEC がキーワードになるが、これらの関係について述べておく。ANEC は国際原子力人材育成イニシアティブ事業において新たに立ち上げたコンソーシアムである。令和 3 年以降、本事業においては、①ANEC の一部として活動、②ANEC と連携しつつ独立して活動、の二つのカテゴリーで公募を行い、採択されたプログラムで取り組みを行っている。以下では本事業の活動の総体を ANEC の活動と称して説明する。

### 4.3.1 ANEC の基本的な考え方

原子力利用を取り巻く環境変化などの影響から原子力関係学科・専攻の減少をはじめ大学における人材育成機能が脆弱化していることは、種々のデータから明らかである[(4.3-1)]。一方、2050 年カーボンニュートラル達成やエネルギー安全保障の観点から、日本においては改めて原子力に対する大きな期待が高まっている。原子力を安全かつ効果的に利用するためには人材が不可欠であり、我が国全体として、原子力分野の人材育成機能の維持・充実が必要であると言える。

原子力は総合工学であり、その利用には幅広い分野における知識が不可欠である。しかしながら、原子力に必要となる全ての科目を、個別の教育機関が独自のリソースでもれなくカバーすることはもはや現実的ではない。また、原子力関係の実験や実習では原子炉や加速器といった大型施設、あるいは非密封の核燃料や放射性物質など維持管理に多大な労力が必要となるケースがある。各教育機関のリソースが限られる中、これらの施設を個別に保有することは困難であろうし、また効率的でもない。

先に、「我が国全体として･･･人材育成機能の維持・充実が必要」と記載したが、これは、個別の教育機関では十分にカバーしきれない人材育成機能を産官学が相互に共有・供用することで原子力人材育成の一層の充実を図ることを目指している。このような取り組みは、個別の教育機関におけるプログラムを補助するだけでは実施することが難しく、日本全体として原子力人材育成のコーディネーションを行う機能が必要である。ANEC は、このような考え方に基づいて立ち上げられた。ANEC の Vision、Mission、Value を図 4.3-1 ( 次頁参照 ) に示す。

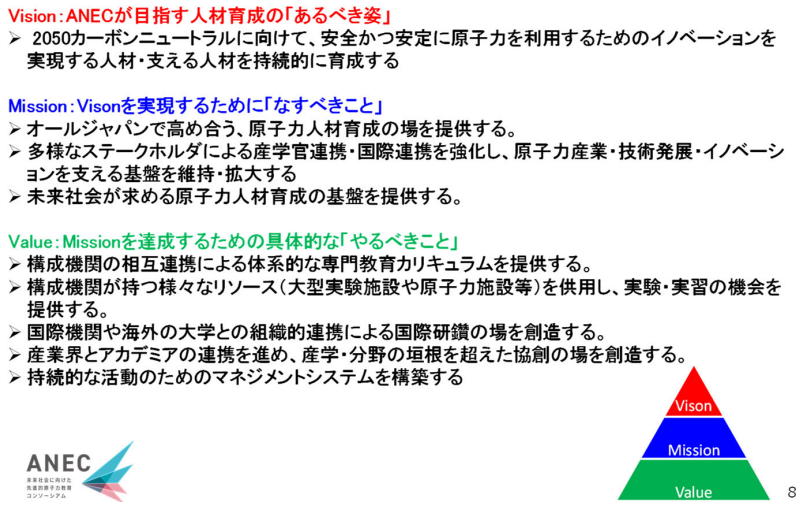



図4.3-1　ANEC の Vision、 Mission、 Value

### 4.3.2　国際原子力人材育成イニシアティブ事業の経緯と概要

ここで国際原子力人材育成イニシアティブ事業の経緯を振り返っておく。 文科省は平成 22 年（平成 23 年の福島第一原子力発電所事故前）より国際原子力人材育成イニシアティブ事業を実施している。平成 30 年までは公募で採択されたプログラムを個別に実施する形であったが、 令和 2 年に事業が大幅に刷新され、 プログラムディレクター（ PD ）、 プログラムオフィサー（ PO ）を新たに任命し、PD/PO が文科省、 プログラム参加者を含む関係者と ANEC を結成し、 原子力人材育成を推進する体制になった。

ANEC では、 立ち上げ時の基本的な考え方に基づき、 以下の取り組みを行っている。 また、 体制を図 4.3-2( 次頁参照 ) に示す。

① 構成機関の相互補完による体系的な専門教育カリキュラムの共用：オープン教材の作成、 社会人向けリカレント教育の実施など

② 大型実験施設や原子力施設等における実験・実習の実施：原子力施設や大型実験施設を用いた実験・実習の共用、 原子力施設における学生の見学・就業体験の機会付与など

③ 国際機関や海外の大学との組織的連携による国際研鑽：キャンプや留学による原子力イノベーションに関する国際リーダー育成、 国際セミナー・国際機関研修による国際性の涵養、 海外大学実験施設での実験の実施など

④ 産業界や他分野との連携・融合：人文・社会科学分野との連携による ELSI（ Ethical, Legal and Social Issues ）に関する教育実施、 産業界との連携による共同研究・博士後期課程人材の育成、 産業界との連携によるインターンシップやキャリアセミナーの実施、 他分野・高校生に対するアピールなど

⑤ 効果的なマネジメントシステムの構築

より詳細な情報や現時点までの成果については、国際原子力人材育成イニシアティブ事業ホームページ[4.3-1]、ANEC ホームページ[4.3-2]に示されている。なお、ANEC は閉じられたコンソーシアムでなく、原子力人材育成に関心がある組織に幅広く随時加入頂くことが可能である。年会費は無料で、加入に伴う義務もほぼないため、加入することによるメリットはある一方、デメリットはほぼ存在しないと考えている。興味のある方は、PD(名古屋大学・山本章夫)、PO(京都大学・黒崎健)、文科省(原子力課)に連絡頂きたい。

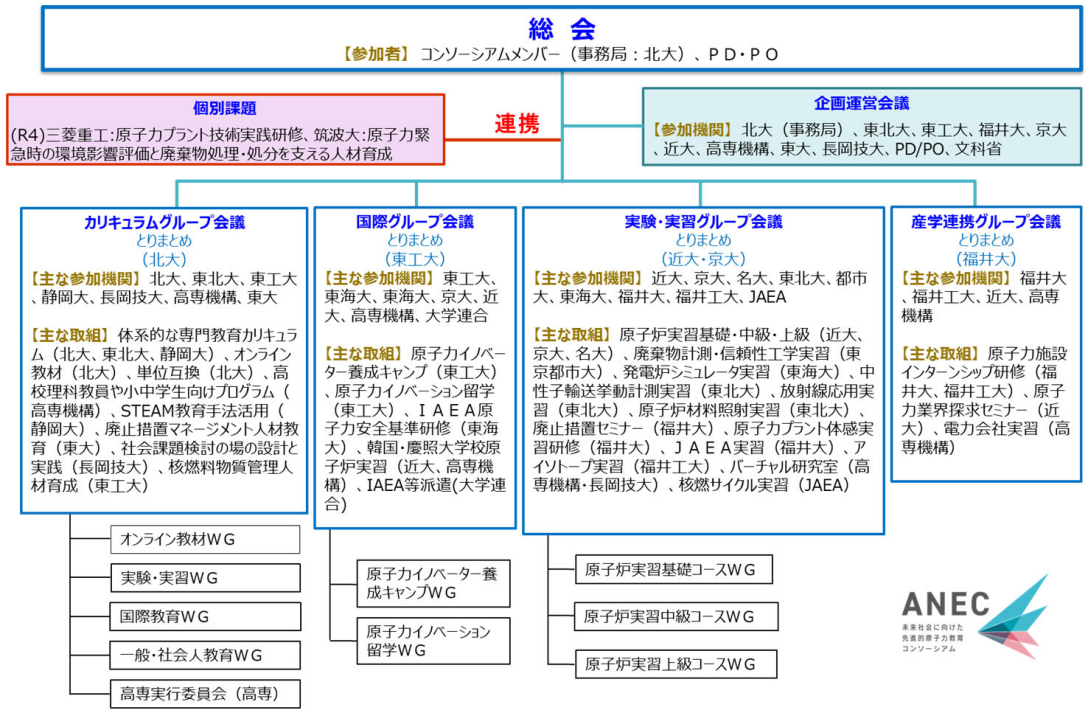



図4.3-2 ANEC の体制(令和 6 年 9 月)

## 4.3.3 ANEC の取り組み:個別事業

本節では、著者が PD に就任した令和2年以降の取り組みについて説明する。ANEC の取り組みは、日本全体としての取り組みを実現するためにスタートしたこと、また、補助期間が 7 年とこれまでの一般的な人材育成の補助期間(3-5 年)よりも長いことから、令和2年はフィージビリティスタディとしてプログラムの採択を行い、これらのプログラムを ANEC の目的に従って再編した上で令和 3 年度から本格的に活動を行っている。令和 2 年~令和 6 年度までの採択プログラムを表 4.3-1(後頁参照)に示す。以下では、採択された課題について、概要を説明する。

(1) 機関連携強化による未来社会に向けた新たな原子力教育拠点の構築

令和2年のフィージビリティスタディを経て令和3年に採択された課題であり、「座学系」として、大学や高専におけるカリキュラム構築、オープン教材の作成、ニュークリアイノベーションブートキャンプ（NIB）の実施、原子力イノベーション留学などを行っている。オープン教材は、ANECのホームページから無料でアクセス可能である。

(2) 原子炉及び大型実験施設等を活用した持続的な原子力人材育成拠点の構築

令和2年のフィージビリティスタディを経て令和3年に採択された課題であり、「実験系」として、主に大型施設などを用いた実験・演習、特に国内外の小型の原子炉を用いた実験、大型の加速器などを用いた核データ測定、放射線測定、材料照射に関する実験により、原子炉、放射線発生装置、RIを使用する機会を実現している。

(3) STEAM（Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics）教育手法を活用したエネルギー・環境問題を基盤とした理系教員養成原子力人材育成

原子力に関係する初等教育を行う教員を養成することを目的とした取り組みである。初等教育の理系教員を目指す教育学部系の学生とエネルギー、放射線、原子力などに関する指導案を作成し、発表会においてお互いの指導案を共有する取り組みを行っている。

(4) 大学連合ネットワークによる初等学生への国際原子力基礎教育

IAEA および OECD/NEA において長期のインターンシップ研修を行っており、国際性の涵養の観点から高い教育効果を上げている。

(5) 核燃料サイクル及び核燃料取扱いに関する実践的な原子力人材育成システムの構築

大学などの教育機関において、非密封の核燃料物質を学生のための実験で用いることは極めてハードルが高くなっていることから、設備の整っている JAEA において非密封の核燃料物質を取り扱う実験の機会を提供している。

(6) 原子力施設の廃止措置を統括するグローバル人材の育成

（R6 年度からはリサイクルの視点を持つ戦略的な廃止措置マネージメント人材育成）

戦略的な観点を持って廃止措置を推進していくスキルを持つ人材、つまり、廃止措置に係る技術的な側面に加え、社会的影響を理解し、廃棄物のリサイクルの観点も加味しつつ効果的かつ効率的な廃止措置推進を可能とする人材の育成を目指している。

(7) 技術的専門性を要する社会課題の解決に寄与する実践的人材の育成

（令和 6 年度からは実践的人材の育成を目指した新しい原子力分野における社会課題検討の場の設計と実践）

技術的専門性を要する原子力分野における社会課題について、技術的専門性をもたない一般の人々と協働し、自ら主体的に学び、考え、他者と話し合うことの意義を理解するとともに、それらを

通じてトランスサイエンスを有する課題を解決できる能力を育成している。

(8) 原子力緊急時の環境影響評価と廃棄物処理・処分を支える人材育成

原子力災害が発生した際、放射性物質の環境中における動態評価が重要となる。放射性物質に関連する環境評価と廃棄物処理・処分に関して、環境科学・地球科学・原子力工学という異分野を融合させた人材育成で原子力のすそ野拡大を目指している。

(9) メーカー／電力連携プログラム『原子力プラント技術実践研修』

原子力施設は一般的に巨大であり、その規模感や現場感を持っておくことは重要である。このような観点から、物作りの現場であるプラントメーカ、原子力発電所を運営している電力会社が連携して、それぞれの現場での実習を行うプログラムである。

(10) 核燃料物質管理人材育成プラットフォームの構築

少量の核燃料物質を扱う施設は全国に点在しており、その管理をしっかり行うことは安全上重要であることから、核燃料物質の管理に寄与できる人材育成を目的にしている。

表4.3-1 ANEC における令和 2 年度～令和 6 年度の採択プログラム

| NO | 事 業 名 | WG | 補助事業者 | 事業担当者 | 期間 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 機関連携強化による未来社会に向けた新たな原子力教育拠点の構築 | カリキュラムG | 北海道大学 | 瀬戸口 剛<br>(小崎 完) | R2～R8 |
| | | カリキュラムG | 東北大学 | 八木 秀文 | R2～R8 |
| | | カリキュラムG | 静岡大学 | 大矢 恭久 | R2～R8 |
| | | カリキュラムG | 国立高専機構<br>(福島高専) | 井上 光輝<br>(鈴木 茂和) | R2～R8 |
| | | カリキュラムG | 長岡技術科学大学 | 鎌土 重晴<br>竹澤 宏樹 | R2～R8 |
| | | 国際G | 東京工業大学 | 小原 徹 | R2～R8 |
| 2 | 原子炉及び大型実験施設等を活用した持続的な原子力人材育成拠点の構築 | 実験・実習G | 近畿大学 | 山西 弘城<br>(若林 源一郎) | R2～R8 |
| | | 実験・実習G | 京都大学 | 川端 祐司<br>(卜 哲浩) | R2～R8 |
| | | 実験・実習G | 東京都市大学 | 河原林 順 | R2～R8 |
| | | 実験・実習G | 東海大学 | 亀山 高範 | R2～R8 |
| | | 実験・実習G | 名古屋大学 | 遠藤 知弘 | R2～R8 |
| | | 実験・実習G | 東北大学 | 松山 成男<br>(阿部 博志) | R2～R8 |
| | | 産学連携G | 福井大学 | 宇埜 正美 | R2～R8 |
| | | 産学連携G | 福井工業大学 | 砂川 武義 | R2～R8 |
| 3 | STEAM教育手法を活用し、エネルギー・環境問題を基盤とした理系教員養成原子力人材育成 | カリキュラムG | 静岡大学 | 大矢 恭久 | R4～R8 |
| 4 | 大学連合ネットワークによる初等学生への国際原子力基礎教育 | カリキュラムG | 東京工業大学 | 小林 能直 | R4～R8 |
| 5 | 核燃料サイクル及び核燃料取扱いに関する実践的な原子力人材育成システムの構築 | 実験・実習G | JAEA | 影山 十三男 | R4～R8 |
| 6 | 原子力緊急時の環境影響評価と廃棄物処理・処分を支える人材育成 | 個別課題 | 筑波大学 | 恩田 裕一 | R4～R6 |
| 7 | メーカー／電力連携プログラム『原子力プラント技術実践研修』 | 個別課題 | 三菱重工業<br>株式会社 | 神﨑 寛<br>(白木 貴子) | R4～R6 |
| 8 | リサイクルの視点をもつ戦略的な廃止措置マネージメント人材育成 | カリキュラムG | 東京大学 | 岡本 孝司 | R6～R8 |
| 9 | 実践的人材の育成を目指した新しい原子力分野における社会課題検討の場の設計と実践 | カリキュラムG | 長岡技術科学大学 | 大場 恭子 | R6～R8 |
| 10 | 核燃料物質管理人材育成プラットフォームの構築 | カリキュラムG | 東京工業大学 | 塚原 剛彦 | R6～R8 |

### 4.3.4 ANEC の取り組み：横断的事項

ANEC のコンセプトは「日本全体で原子力人材育成に取り組む基盤を構築・維持する」ことである

ことから、 個別プログラム内に閉じない横断的な取り組みが必要になる。 そのため、 PD/PO/ 文科省、 あるいは企画運営会議を中核として横断的な事項について議論・調整を行っている。 以下では、いくつかの取り組み事例を示す。

(1) ANEC の取り組みと提供している教材・講義・演習・実験の可視化

ANEC で提供している様々なリソースを図 4.3-3 に示す形で可視化している。 これは、 第三者に ANEC の取り組みの全体像を把握して頂きやすくすることと、 ANEC での取り組みが手薄な領域を可視化し、 今後の改善につなげる目的がある。

(2) 日程調整

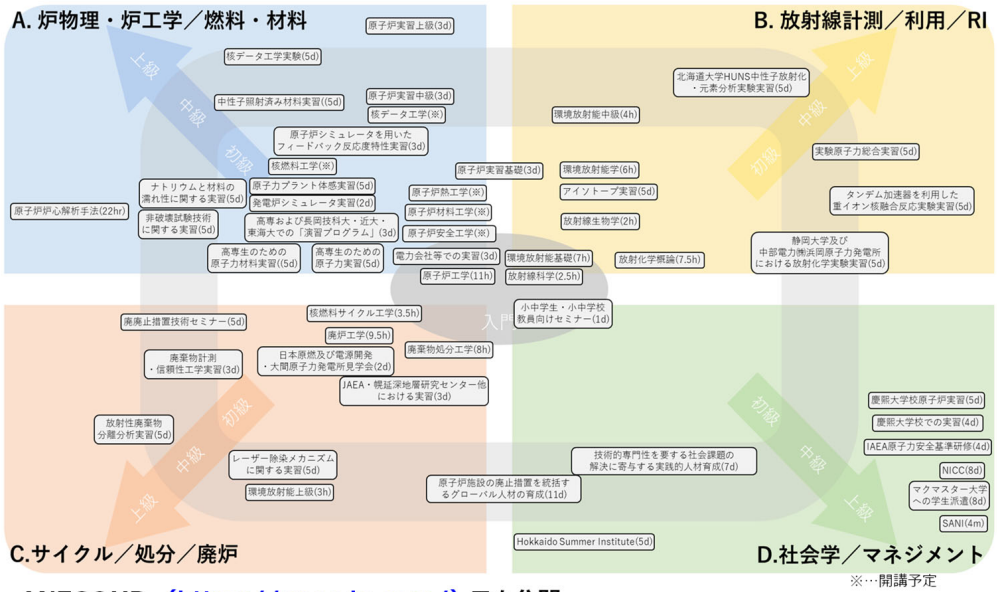
ANEC では、 多数の人材育成プログラムを並行して進めており、 特に集中講義、 演習、 実習、インターンシップなどは夏休み期間に集中する傾向がある。 ANEC ではお互いのプログラムで想定する日程を持ち寄り、 できるだけ日程が重ならないように調整を行っている。

(3) ANEC のポータルサイト

ANEC での取り組み、 講義・実験・実習・インターンなどの募集などを一括して受講生に提供するため、 ANEC のホームページを立ち上げ、 活用している。

(4) 受講認定

ANEC における受講を認定し、 履歴として残すことは、 受講生や受講生が就職するであろう企業にとって意味があると考えられる。 そこで、 一部のプログラムにおいてデジタルバッチの一つであるオープンバッジを導入し、 受講認定を行う取り組みを試行している。




**ANECのHP （https://anec-in.com/）でも公開**

図4.3-3 ANEC の講義・演習・実習のマッピング

### 4.3.5 高校生を対象としたアウトリーチ活動

ANEC は、大学生・高専生を主たる対象としているが、持続的に人材を確保・育成していくためには、高校生に原子力という分野に興味を持って頂く必要がある。そのためのアウトリーチ活動として、「原子力オープンキャンパス」を 2023 年度より実施している。

2023 年度は近畿大学で実施し、第一部を小型原子炉施設（UTR-KINKI）や放射線を用いた実験、第二部を、原子力を学べる大学や原子力産業界のポスターセッションによる紹介として、午後の約 4 時間のスケジュールとした。関西方面を中心として、約 30 名の高校生が参加し、熱心に実験及びポスターセッションに参加した。

2023 年度のオープンキャンパスが成功裏に実行出来たことから、2024 年度は規模を拡大し、約 200 名を対象として東工大の大岡山キャンパスにて実施した（図 4.3-4）。参加した高校生及びポスターセッションの大学・企業からは非常に高い評価を得ることが出来、成功であったと判断している。

**図4.3-4 高校生対象「原子力オープンキャンパス」**

2 回の「原子力オープンキャンパス」を通じて、原子力に興味を有する高校生が全国に一定数存在することが明らかになった。また、これらの高校生が原子力を希望した場合、どのような進路やキャリアパスがあり得るかを提示することが出来たと考えており、今後も継続して同様の取り組みを行いたいと考えている。

### 4.3.6 今後の方向性と課題

「日本全体として産官学がリソースを共有・共用して原子力人材育成の基盤を維持・発展させる」目的を達成するための ANEC での取り組みを紹介してきた。総体として、ANEC の取り組みは適切に進んでいると考えているが、一方で解決すべき課題は山積している。以下に主要な課題と方向性を示す。

(1) 教材の共有化のさらなる推進

ANEC において、オープン教材の整備は着実に進んでいるが、まだ整備されていない科目も多い。これまでオープン教材の作成を進めてきた経験からは、オープン教材の作成が進まない原因は、①著作権処理が難しい、②最先端の内容を教えるため講義資料を頻繁にアップデートする必要がある、③そもそも教材は学費を払っている学生向けに作成している、④講義における口頭での説明なしに教材のみを公開すると、意図しない誤解をされる可能性がある、などに大別出来そうである。

一方、教員が教材を作成する際、完全にオープンになっていなくても、他の教員から教材を入手し、それを部分的に活用することで相当な労力を削減できることは明らかであろう。このような観点から、教材のオープン化や共用が理想ではあるものの、そこまでに至らなくても、原子力関係で「どの教員がどのような教材を持っているか」を日本全体で可視化しておくことは意味があろう。

(2) 単位認定の共通化

ANEC 発足時には、単位認定の共通化を実施することを想定していたが、単位認定の共通化を実施するためには大学間の協定などが必要になり、一般的にハードルが高い。そのため、ANEC のプログラムで大学間の共通の講義を企画し、それを各大学がそれぞれの基準で単位認定する、という方法が現実的と考えられる。

(3) 社会人リスキリング

原子力は幅広い活動が必要であることから、原子力分野に就職する学生、あるいは原子力分野に転職する多くの社会人は、いわゆる原子力工学を系統立って勉強していないケースも多い。ANEC で作成しているオープン教材の多くは、このような原子力に関する初学者の教育に活用することが出来る。

また、国として社会人のリスキリング・リカレント教育を推進していることから、ANEC で実施している講義、演習、実習の一部を社会人に開放することが考えられる。著者は、原子力規制庁が実施している原子力規制人材育成事業において、講義や演習に社会人を受け入れていた経験があるが、参加している学生は社会人からさまざまな学びがあったこと、社会人は自分の経験を学生と共有することで自らのスキル向上に役だったこと、といった感想が寄せられていた。このような「垂直統合型学習モデル」はリスキリングに関連してさらに取り組みが広がっても良いと考えている。

(4)ANEC で教育対象とする人材の拡大

ANEC の発足時には、日本の原子力人材育成の基礎基盤の維持・強化ということで、もっとも人的なボリュームが大きい中間層、つまり標準的な学生を主たるターゲットとしていた。ANEC の取り組みが順調に進んでいることから、中核となる中間層の人材育成は確実に行いつつ、ANEC の活動をさらに広げても良いのではないかとの議論がなされている。

一つの方向性はすそ野の拡大である。原子力施設は大規模であり、多種多様なバックグラウンドを有する人材が必要となる。一方、日本においては少子高齢化で若手人材が減少傾向にあることから、他分野においても人材の不足感が増している。このような現状のもと、化学、機械、電気、土木、建築などの多様な分野の学生に原子力についての関心を持って頂き、原子力を活躍の選択肢に入れていただくことが重要である。このようなすそ野拡大のために、どのような取り組みが可能であるか、ANEC 内部で議論を行っている。

もう一つの方向性はプロジェクトのマネジメントなどに秀でた人材の育成である。必要とされる人材数は少ないかもしれないが、今後のリプレースなどを想定すると重要な取り組みになろう。

(5) 原子力系教員の確保

持続的に原子力人材を育成・輩出していくためには、原子力を志望する学生は言うまでもなく必要であるが、学生を教育する教員が不可欠である。原子力分野においても教員の高齢化・減少が進んでいることから、若手の教員の育成に意識して取り組む必要がある。

(6) 他の原子力人材育成活動との連携

日本においては、文科省の他に、経済産業省、原子力規制委員会が原子力人材育成に取り組んでおり、「原子力人材育成は省庁の縦割り」であるとのご意見を頂くことも多い。確かに、受講者の学生の立場からみると、似たように見える人材育成事業が並行して実施されている状況とも言えるであろう。

また、原子力人材育成を行う組織も ANEC 以外には、日本原子力産業協会（JAIF）、日本原子力研究開発機構（JAEA）、原子力国際協力センター（JICC）が事務局となっている原子力人材育成ネットワーク（Nuclear Human Resource Development Network, JN-HRD NET）、JAEA が事務局となっている大学連携ネットワーク（Japan Nuclear Education Network, JNEN）等が存在している。原子力人材育成ネットワークや JNEN は歴史ある活動であり、ANEC の活動と必ずしもオーバーラップはしていないが、第三者から見るとわかりにくい状況であることは否めない。

ANEC では、これら他の人材育成活動ともコミュニケーションをとり、連携の機会を模索しているが、このような取り組みをさらに進める必要がある。

(7) 持続的なマネジメント機能の整備

現在は、ANEC の企画運営は、PD/PO/ 文科省及び企画運営会議が担当しており、令和 2 年に採択された際の拠点の一つである北海道大学が事務局機能を担っている。ANEC は大きなコンソーシアムであることから、これを安定的に運営していくためには、恒常的な事務局機能を政策的に検討する必要があろう。

### 4.3.7 まとめ

4.3 節では国際原子力人材育成イニシアティブ事業として実施されている ANEC による原子力人材育成の取り組みについて説明を行った。文科省のサポートのもと、ANEC は成功裏に運営され、成果を出しているものと考えている。一方、解決すべき課題も多数あり、ANEC をより良いものにしていくため、継続的に運営の改善に取り組んでいく予定である。引き続き、ご支援、ご鞭撻を頂けると幸いである。

参考文献

4.3-1) 国際原子力人材育成イニシアティブ事業ホームページ：https://jinzai-initiative.jp/index.html
4.3-2) ANEC ホームページ：https://anec-in.com/

# 第5章　研究炉・臨界集合体実験装置による研究・教育

## 5.1　近畿大学原子炉 UTR-KINKI による研究・教育（若林 源一郎）

### 5.1.1　はじめに

近畿大学原子炉（UTR-KINKI）は、定格熱出力 1 W の教育訓練用原子炉であり、1961 年の初臨界から 60 年以上にわたりわが国の原子力教育・研究に利用されてきた。かつてわが国には 5 大学で 6 基の原子炉が運用されていたが、現在では近畿大学と京都大学が保有する 3 基の原子炉が残るのみとなっており、このうち京都大学原子炉（KUR）は 2026 年に運転を終了する予定である。わが国に残された貴重な大学原子炉として現在も教育・研究にフル活用されており、今後もできるだけ長く運転を継続したいと考えているが、規制要求の増大による負担増や施設の高経年化など課題も多い。本節では、近畿大学原子炉の沿革、特性、教育及び研究利用の現状について紹介する。

### 5.1.2　近畿大学原子炉の沿革

1959 年 5 月に開催された第 3 回東京国際見本市において、米国原子力委員会は教育訓練用原子炉 UTR（University Teaching and Research reactor）を出展し、18 日間の運転を行った。世界で原子力平和利用の機運が高まる中、かねてから原子力技術者の育成をわが国の急務と考えていた近畿大学初代総長の世耕弘一は、この時に UTR を視察し、購入を決断した。1960 年 4 月には UTR 設置に向けて近畿大学に原子力研究所が設立され、同年 8 月には原子炉の設置が許可された。当時盛り上がっていた原水爆禁止運動等の影響で学内外から反対運動が起こったが、「科学を実践に移すべし」を持論とする世耕が自ら反対派を説得して導入を進め、1961 年 11 月 11 日 20 時 53 分、原子炉は UTR-KINKI として初めて臨界に達し、日本初の民間原子炉・大学原子炉として運転を開始した。当時の定格熱出力は 0.1 W であったが、1974 年に 1 W に増強された。

運転開始後、原子炉は半世紀以上にわたって順調に教育・研究に活用されていたが、福島第一原子力発電所の事故を受けて 2013 年 12 月に試験研究用原子炉に対する新規制基準が施行されると、UTR-KINKI も 2014 年 2 月から運転を停止して新規制基準への適合性審査を受けることになった。UTR-KINKI はきわめて安全性の高い原子炉であり、審査においてはリスクの大きさに応じたグレーデッドアプローチの適用が期待されたが、残念ながら審査が長期化し、運転停止は約 3 年に及んだ。また、売電収入のある電力会社と異なり、私立大学の原子炉にとって新規制基準対応の経済的負担は極めて大きく、一時は運転再開が危ぶまれたが、学内外の支援を得て 2017 年 3 月にすべての審査・検査に合格し、新規制基準の下で運転を再開する最初の研究炉となった。

### 5.1.3 近畿大学原子炉の特性

UTR-KINKI は、軽水減速黒鉛反射非均質型熱中性子炉であり、米国アルゴンヌ国立研究所が開発したアルゴノート型原子炉を原型として、アメリカン・スタンダード社が大学における教育訓練用として製造した原子炉である[5.1-1]。図 5.1-1 に原子炉の外観を示す。定格熱出力が 1 W であることから、運転中も炉内は常温・常圧に保たれ、冷却機能を必要としないゼロ出力炉として運転される。そのため構造がシンプルで、原子炉として最小限の構成要素（燃料、制御棒、減速材、反射材、遮蔽材、核計装など）から成り、原子炉の原理を学ぶための基礎的な実験に適している。また、燃料消費がほぼ無視できる（1 日あたり約 1μg）ため、燃料交換の必要がなく、炉内に蓄積する核分裂生成物も微量である。運転中の漏洩放射線もわずかであり、運転中に原子炉周辺で作業をすることもできる。このように、UTR-KINKI はきわめて安全性が高く、大学での教育・研究用として優れた特長を持つ原子炉である。

**図5.1-1 近畿大学原子炉 UTR-KINKI**

### 5.1.4 近畿大学原子炉の教育利用

#### 5.1.4.1 学生実験

原子力技術者・研究者を育成する上で、実物の原子炉を用いた実習教育は不可欠であるが、残念ながら国内で教育利用できる原子炉は少なく、UTR-KINKI は貴重な学生実習の場となっている。

学内では、運転を開始した 1961 年に原子炉工学科が設置され、原子炉を活用した専門教育が行われた。2005 年に原子炉工学科が廃止された後は、電気電子工学科のカリキュラムの中で原子炉を利用した学生実験が続けられた[5.1-2]。現在では、2022 年に新たに設置されたエネルギー物質学科で学生実験が続けられており、年間約 100 名の学生が原子炉を利用した実習を経験している。また、原子炉を利用して研究を行う学部生・大学院生は、所定の教育訓練を受けて原子炉の運転補助者資格を取得し、運転業務に参加し実務を学びながら研究に取り組んでいる。

UTR-KINKI は学外の学生の実習にも広く活用されてきた。2021 年には、文部科学省の「国際原子力人材育成イニシアティブ事業」によって全国規模の原子力教育コンソーシアム ANEC（Advanced Nuclear Education Consortium for Future Society）が発足し、近畿大学は ANEC の実習の拠点の一つとして位置づけられた。これにより、それまで様々な形で行われていた学生実習が ANEC の下に集約され、参加学生の旅費も支給されるようになった。最近では、学外から毎年約 150 名の学部生・大学院生・高専生を受け入れている。

実習項目は、原子炉物理や放射線計測、放射線利用に関する基礎的な実験を中心としているが、ANEC 発足後は原子炉物理や放射線計測を専門とする大学院生を対象とした専門的な実習プログラムも整備している。また最近では、原子力工学系の学生だけでなく、医療系の学生が参加する実習も行われている。どの実習においても、原子炉の起動から出力上昇、臨界到達、出力変更、原子炉停止に至るまでの一連の運転操作を学生自身が行い、その過程で様々な実験を行うような内容となっている。座学で得た知識を総動員して実物の原子炉で実践する経験は学生にとって大きな刺激となり、きわめて教育効果が高い。また、原子力施設が原子力安全、放射線管理、核セキュリティ等の規制・法令によって総合的に運用されていることを現場で学ぶことも、シミュレータでは得られない重要な経験となっている。

5.1.4.2 中等教育へのアウトリーチ活動

UTR-KINKI はきわめて安全性が高いため、中等教育へのアウトリーチ活動にも積極的に活用されてきた[5.1-3]。理科教員を対象とした原子炉実験研修会は、原子炉の運転体験や簡単な放射線測定実験を通じて、原子力や放射線についての科学的な知識を習得し、教育現場で役立てていただくことを目的としている。近年は、日本原子力産業協会、電気事業連合会、関西原子力懇談会との共催で、毎年夏休み期間中に計 4 回(1 日コースを 2 回、2 日コースを 2 回)開催している。1 回の定員は 16 名で、定員に余裕があれば他教科の教員や教員志望の学生も受け入れている。2012 年度から約 30 年ぶりに中学理科に放射線の学習が復活したことを受けて放射線教育にも力を入れており、2 日コースの場合は原子炉実験と放射線教育に 1 日ずつをあてている(1 日コースは原子炉実験のみ)。理科教員の多くは自身が中高生の頃に放射線や原子力について学んだ経験がなく、研修前のアンケートでは多くの参加者が「放射線や原子力について教える自信がない」と答えているが、研修後には「自信がある」という回答のほうが多くなる。短い研修ではあるが、実際に原子炉を運転し、放射線を測定し、専門家に質問することで、生徒に教える自信を得ているようである。

さらに近年は、次世代層の原子力への興味や関心を喚起し、原子力分野への進路選択を促すことを目的として、中高生を対象とした活動にも力を入れている。2022 年からは、関西原子力懇談会と共催で、関西 2 府 4 県と福井県の中高生を対象とした新たな研修会を開始した。この研修会は、原子炉実験とエネルギー情勢についての講義から成る 1 日コースで、定員は 1 回あたり 16 名としている。これまでに 7 回開催したが、毎回定員をはるかに上回る応募があり、参加者のほぼ半数が女子生徒である。参加した中高生に話を聞くと、原子力に興味を持ったきっかけは様々(エネルギー問題、放射線医学、素粒子物理、核融合、映画やアニメなど)で、将来は原子力分野に進みたいと考えている生徒が多かったが、「原子力」の名を冠した大学の学科がほとんど無くなってしまった影響で、どの大学に進めば原子力の勉強ができるのか分からないという声を多く聞いた。そこで、

2023 年夏に文部科学省と共催で、 大学進学前の高校生・高専生を対象とした「原子力オープンキャンパス」という行事を前節で述べた ANEC の行事として近畿大学で開催した。 その内容は、 午前に UTR-KINKI を使った実験を体験し、 午後は ANEC に参画する大学・企業のブースを自由に回って説明を聞くというもので、 全国から 30 名の高校生・高専生が参加した。 原子力オープンキャンパスは ANEC の行事として継続されることになり、 2024 年には東京科学大学で開催された。

#### 5.1.4.3 国際協力等

UTR-KINKI は、 海外の学生や研究者・技術者を対象とした研修にも活用されている。 JAEA の講師育成事業「原子力技術セミナー」では、 毎年開催される「原子力プラント安全コース」の中の 1 日を UTR-KINKI を使った実習にあてている。 参加者はアジア諸国からの約 10 名で、 現在は原子炉の見学、 運転、 制御棒校正、 中性子ラジオグラフィの実習を行う内容となっている。

2019 年には、 若狭湾エネルギー研究センター、 京都大学複合原子力科学研究所と共催で、 国際原子力機関 ( IAEA ) の Regional Research Reactor School on Reactor Physics, Neutron Applications, and Operations for Asia and the Pacific Region を日本で初めて開催した。 このスクールは約 2 週間の日程で、 若狭湾エネルギー研究センターにおける講義と福井県内の原子力施設見学の後、 UTR-KINKI と京都大学臨界集合体実験装置 ( KUCA ) を使った実習を行った。 UTR-KINKI では、 原子炉運転、 原子炉内の熱中性子束分布測定、 中性子ラジオグラフィの実習を行い、 KUCA では臨界近接、 制御棒校正などの炉物理実験を中心に行った。 第 2 回目の研究炉スクールは 2022 年に開催され ( 2021 年から KUCA が運転停止中のため、 原子炉を用いた実習は UTR-KINKI のみで実施 )、 次回は 2025 年に予定されている。

ANEC のプログラムの中では、 原子炉物理を専攻するアジアの大学院生・若手教員を対象とした「原子炉実習・国際コース」を 2023 年から開催している。 このプログラムは 4 泊 5 日の合宿形式で、様々な大学から来た大学院生が 5 日間寝食を共にして、 制御棒校正や未臨界度測定などの実験に取り組む内容である。

2024 年には、 米国エネルギー省・核安全保障庁の若手職員の研修を初めて行った。 国際政治や核不拡散を専門として業務に従事しているが、 原子力工学を専門的に学んだ経験のない職員のための研修として、 UTR-KINKI の運転を含む 2 日間の実験と講義のプログラムを実施した。

その他の教育利用としては、 国内の原子力関連企業・団体の研修を年に数件実施している。 また、原子炉の見学は年間 1000 名程度を受け入れている。

### 5.1.5 研究利用

UTR-KINKI は貴重な実験施設でもあり、 学内の教員・学生による利用だけでなく、 広く学外の

研究者による利用も受け入れてきた。1981 年からは、原子炉を利用した照射実験等を推進することを目的とした原子炉等利用共同研究が始まり、全国の研究者が UTR-KINKI を利用できる仕組みが当時の文部省によって整備された。この制度は形を変えて現在も続いており、毎年研究課題の募集が行われ、近畿大学原子炉等利用共同研究運営委員会による審査を経て採択課題が決定されている。利用の申し込み資格は、国公私立大学、国公立研究機関及び独立行政法人機関の教員・研究者またはこれに準ずる者となっており、採択課題には申請内容に応じて原子炉の利用日が割り振られる。

近年は年間 15 課題程度が採択されており、様々な種類の中性子検出器の開発や原子炉物理に関する研究などの物理系の課題が最も多い[5.1-3]。また、生物系の課題も継続的に行われており、植物の種子や動物の培養細胞、マウスなどの照射が行われ、中性子線の生物影響の研究が行われている。これらの研究課題には多くの学部生・大学院生が参加しており、研究を通じた人材育成にも大きく貢献している。

他にも、企業による占有利用が年に数件実施されている。

### 5.1.6 おわりに

以上のように、UTR-KINKI は運転開始から 60 年以上経った現在も教育と研究にフル活用されており、原子炉の保守・点検や定期事業者検査、訓練等の日を除いてほぼ毎日利用されている状況である。原子炉利用の希望は多く、最近は海外からも教育利用の問い合わせや実習へのオブザーバー参加の依頼などがあるが、利用日がひっ迫していることやマンパワーの問題もあり、残念ながらすべての要望に応えることが難しいのが現状である。特に人材育成に関しては、学生が自らの手で運転し、実験を行うことができる貴重な原子炉であるだけでなく、理科教員や中高生など一般市民も運転を体験できるきわめてユニークな原子炉でもあり、同様の機能を持つ新たな原子炉を国内に設置することが困難である以上、UTR-KINKI をできるだけ長く維持していく必要があると考えている。一方、施設の高経年化が進むことに加えて、規制要求の増大もあり、私立大学の施設として原子炉を維持することはコストとマンパワーの面で大変大きな負担となっている。国内に残された貴重な原子力教育・研究資源として、安定した環境で運転を継続できるよう、関係者の協力を得ながら議論していきたい。

参考文献

5.1-1) 若林源一郎、山田崇裕、遠藤知弘、卞哲浩、「原子炉実験入門 原子力科学を学ぶ学生のために」、第 1 章、京都大学学術出版会、2022 年

5.1-2) C. H. Pyeon, T. Endo, G. Chiba, K. Watanabe, G. Wakabayashi, “Nuclear education programs with reactor laboratory experiments at zero-powered research reactor facilities in Japan”, Annals of Nuclear Energy, 204, 110531, 2024.

5.1-3) G. Wakabayashi, “Contribution to education and research using a 1 W reactor at Kindai University”, Annals of Nuclear Energy, 210, 110852, 2025.

## 5.2 京都大学複合原子力科学研究所におけるKURとKUCAを利用した研究・教育（黒﨑 健）

### 5.2.1 京都大学複合原子力科学研究所の概要

京都大学複合原子力科学研究所（以下、複合研）は、京都大学に 12 ある附置研究所の一つとして、大阪府泉南郡熊取町に所在している。研究所の規模は、土地面積が 323,654 $m^2$（参考：甲子園球場総面積：38,500 $m^2$）、定員内教職員数が 106（2023.4.1 現在）、予算が 1,788,860 千円（2022 年度決算）となっている。複合研の前身は、京都大学原子炉実験所である。原子炉実験所は、「原子炉による実験およびこれに関連する研究」を行うことを目的として 1963 年に発足した。2018 年に、原子炉実験所から複合研に名称が変更された。複合研と熊取町をはじめとする地元立地自治体との間には、60 年以上の長きにわたって良好な信頼関係が築かれている。

複合研には、2 基の研究用原子炉をはじめとして、多彩な加速器、ホットラボラトリやトレーサラボラトリといった放射性物質を安全に取り扱える施設、廃棄物処理施設などが設置されている。大学の附置研究所として、これほど多種多様な原子炉施設・放射線施設を有するところは国内外問わず他に類を見ない。国内研究炉の現状をまとめたものを、表 5.2-1 に示す[5.2-1]。この表からもわかるように、研究用原子炉を保有している大学は、もはや京都大学と近畿大学の 2 校のみとなっている。

複合研は、文部科学省から認定された共同利用・共同研究拠点としての顔も持ち合わせている。すなわち、京都大学だけでなく全国の大学や研究機関に開かれた研究所となっている。年間 250 件超の共同利用研究を受け入れており、毎年延べ人数で 3,000 人超の利用者が全国から来所している。このように、複合研は、原子力や放射線に関して、実際に目で見て手で触れることができる貴重な実践の場として、我が国の研究・教育に長年にわたって貢献してきている。

**表 5.2-1 国内研究炉の状況 (5.2-1)**

| 設置機関 | 施設名 | 熱出力 | 状況 |
|---|---|---|---|
| 京都大学(複合研) | KUR | 5,000 kW | 2017 年 8 月運転再開 |
| 同上 | KUCA | 100 W | 2017 年 6 月運転再開<br>(現在、燃料低濃縮化のため運転停止中) |
| 近畿大学 | 近畿大学原子炉 | 1 W | 2017 年 4 月運転再開 |
| 日本原子力研究開発機構 | NSRR | 300 kW<br>(定出力運転時) | 2018 年 6 月運転再開 |
| 同上 | JRR-3 | 20,000 kW | 2021 年 3 月運転再開 |
| 同上 | STACY | 200 W | 2024 年 8 月運転再開 |
| 同上 | HTTR | 30,000 kW | 2021 年 7 月運転再開 |
| 同上 | 常陽 | 140,000 kW | 2023 年 7 月設置変更許可(2026 年再開予定) |

### 5.2.2 KUR を利用した研究・教育

京都大学研究用原子炉（Kyoto University Research Reactor：KUR）は、最大熱出力が 5000 kW（5 MW）のスイミングプールタンク型の軽水減速・冷却の原子炉である。1964 年 6 月初臨界達成、

2006 年 2 月高濃縮ウラン燃料を用いた運転を終了、燃料の低濃縮化を図ったうえで、2010 年 4 月低濃縮ウラン燃料炉心が初臨界達成、2011 年 3 月の福島第一原子力発電所事故を受けて新規制基準対応を図り、2016 年 9 月新規制基準適合性に係る審査に合格、2017 年 8 月に運転を再開し現在に至っている。KUR は、核分裂により発生する中性子を研究・教育に利活用するための原子炉であり、商用発電炉のような発電機能は備えていない。

一週間・一サイクル運転を標準としており、近年は、1 MW で約 47 時間、その後 5 MW で約 6 時間のパターンで、火曜日の朝から木曜日の夕方まで連続して運転している。近年の年間運転時間は 1,000 ～ 1,200 時間であり、運転のない週は保守・点検等を行っている。燃料としては、濃縮度が 20%未満の低濃縮ウランシリサイド板状燃料を用いている。制御材としては、ホウ素入りステンレス鋼を用いている。

KUR の概略図を、図 5.2-1 ( 次頁参照 ) に示す [5.2-2]。この図からわかるように、多数の導管や実験孔が炉心まわりに設置されている。これらの設備を使って、炉心で発生する中性子を炉外に取り出している。実験孔の先には中性子を使った各種分析・解析ができる実験装置群が設置されている。また、中性子を炉外に取り出す際に、中性子のエネルギーを十分低減するための重水設備も設置されている。これらとは逆の流れ、すなわち、炉外から炉心にものを導入することも可能である。試料を炉心に導入するための各種輸送管が設置されており、高い中世子束が得られる炉心内部で中性子照射試験ができるようになっている。

KUR は、主に中性子源として、物理学、化学、生物学、工学、農学、医学等広く実験研究に利用されている。放射化分析や RI 製造といった中性子照射に関しては、はやぶさ探査機が持ち帰った微小粒子の元素組成分析等に貢献している。散乱・回折・イメージング等の中性子ビーム利用に関しては、生体分子構造の解析、気液二相流の可視化、シビアアクシデント時の熱流動現象研究等で顕著な成果をあげている。他には、低速陽電子ビームシステムを用いて、陽電子消滅分光法による材料分析も実施している。これらの中でも特に代表的な成果が、ホウ素中性子捕捉療法 ( Boron Neutron Capture Therapy : BNCT ) である。

BNCT の仕組みを、図 5.2-2 ( 次頁参照 ) に示す [5.2-3]。BNCT とは、中性子とホウ素の核反応により発生するアルファ粒子でがん細胞のみを選択的に破壊するという原理に基づいたがん治療法である。BNCT では、まず、がん患者に点滴でホウ素薬剤を投与する。投与されたホウ素薬剤はがん細胞に選択的に取り込まれる。その段階で中性子を照射すると、がん細胞内でホウ素と中性子の核反応が起こる。この核反応により発生したアルファ粒子が、がん細胞を破壊する。この時ポイントとなるのが、アルファ粒子の飛程である。飛程が細胞の中にとどまる程度であるため、他の正常細胞に影響を及ぼすことなくがん細胞のみが破壊される。KUR では、主に、脳腫瘍、頭頚部がん、悪性黒色腫などを対象に 500 例を超える BNCT の臨床研究を実施してきた。これほど多くの症例を有する

研究機関は、国内外で唯一のものである。これらの成果によってBNCTは社会実装され、いまでは保険診療が実現するまでに至っている。

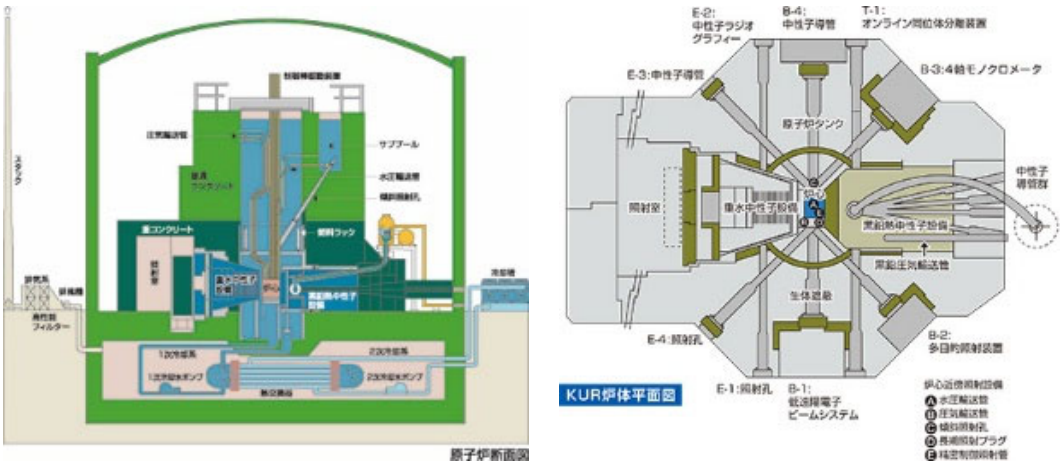



図5.2-1　KURの原子炉断面図（左）と炉体平面図（右）(5.2-2)

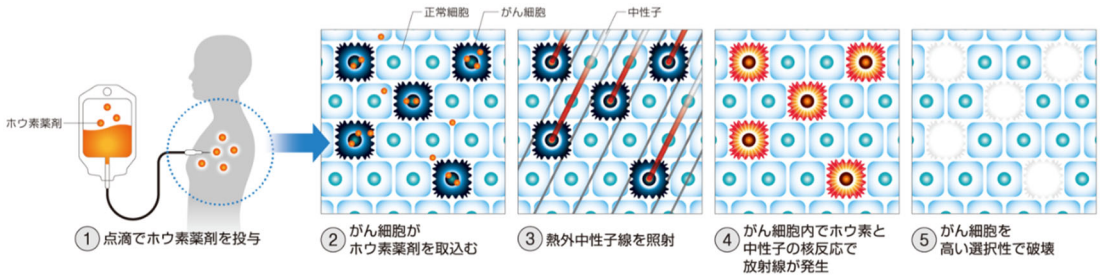



図5.2-2　BNCTの仕組み (5.2-3)

### 5.2.3　KUCAを利用した研究・教育

臨界集合体実験装置には、出力が低い、核分裂生成物の蓄積が少ない、炉心からの漏洩放射線が強くないので生体遮蔽がない、そのため炉心の組替えが容易である、スクラムが容易にできる、といった特徴がある。これらの特徴を生かして、臨界集合体実験装置は、主に原子炉物理学分野の実験研究に用いられている。

京都大学臨界集合体実験装置（Kyoto University Critical Assembly：KUCA）は、世界でも類を見ない複数架台方式を採用した臨界集合体実験装置である。後述する3つの架台について、1974年8月から12月にかけて初臨界を達成した後、1975年から共同利用研究に供されている。福島第一原子力発電所の事故以降、新規制基準対応のため運転を中断していたが、2016年5月に新規制基準適合性に係る審査に合格、2017年6月に運転を再開し現在に至っている。

KUCA の炉心構造を、図 5.2-3 ( 次頁参照 ) に示す [5.2-4]。一式の制御棒駆動機構で三つの原子炉 ( A 架台、B 架台、C 架台 ) を構成している。A 架台と B 架台はほぼ同じ構造であり、ポリエチレンや黒鉛といった固体を減速材として使用している。架台支持構造体に設置された格子板の上に燃料体を立てることで炉心を構成する。一方、C 架台は軽水を減速材として使用している。直径約 2 m、深さ約 2 m のアルミニウム製のタンクの中に格子板を設置し、そこに燃料体をはめ込むことで炉心を構成する。用途によってそれに適した架台が使用できるため、バラエティに富んだ研究テーマを多数こなすことができる。

KUCA の最大熱出力は 100 W であり、KUR の 5000 kW と比べるとけた違いに小さい。年間運転時間は、ある程度幅はあるものの、おおよそ 500 ～ 1,000 時間程度となっている。これまで、原子炉物理学や放射線物理学に関する様々な研究が KUCA を使ってなされてきた。具体的な研究テーマとしては、トリウムサイクル、臨界安全、稠密格子炉心、中性子スペクトル測定、高中性子束研究炉、ウラン燃料の濃縮度低減化、動特性パラメータ測定、トリウム・ハイブリッド炉、加速器駆動未臨界炉、などがあげられる。

KUCA は、我が国における原子力分野の人材育成の場としての役割を長年担ってきた。一時的な中断時期はあるものの、1975 年以降現在に至るまで、京都大学の学部学生実験と全国大学院生実験が KUCA で実施されている。2002 年以降は、海外の学生に対しても同じ実験コースを提供しており、これまでに、韓国、中国、スウェーデンの学生を受け入れている。1975 年から 2019 年の期間に KUCA の学生実験・院生実験を受講した学生の総数は、海外からの 300 名超含む 4,400 名超となっている。近年は、文部科学省の国際原子力人材育成イニシアティブ事業の枠組みも活用しながら、毎年約 150 名が参加して年間総計 7 ～ 8 週間の実習を実施している。ただし、コロナ禍と後述する燃料低濃縮化のため、現在は一時中断中となっている。

KUCA では、1974 年の設置以来、高濃縮ウランアルミニウム合金板状燃料を使用してきた。ところが、日米政府間の取り決めにより、研究用原子炉燃料の低濃縮化が図られることになり、KUR ( 2010 年 4 月低濃縮ウラン燃料炉心が初臨界達成 ) に続いて KUCA の燃料も低濃縮化されることになった。高濃縮ウラン燃料の米国への撤去は、2022 年 8 月に無事完了した。その後、海外での低濃縮ウラン燃料の製造と、製造後の燃料の日本への輸送の手配を進めている。燃料製造と輸送は段階的に行われ、2024 年度中に一回目の低濃縮ウラン燃料が受け入れられる予定となっている。後述するように、KUR は 2026 年 5 月で運転を終了するが、KUCA は燃料の低濃縮化を図ったうえで、今後も継続して研究・教育に利用していくことになっている。

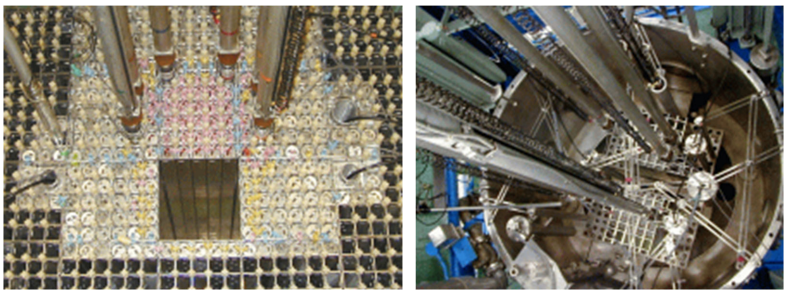


図5.2-3 KUCA の炉心構造、（左）：A 架台、（右）：C 架台 [5.2-4]

### 5.2.4 KUR の運転終了と複合研の将来計画

2022 年 3 月、京都大学は文部科学省等関係機関と相談・調整したうえで、2026 年 5 月をもって KUR の運転を終了することを決定した [5.2-5]。運転終了の直接的な引き金になったのは、以下の三点であるとされている。

- 核セキュリティを含む原子力規制の一層強化に対応することが困難になっていること
- 高経年化のため施設の維持管理に係る金銭的・人的負担が増加していること
- KUR の使用済燃料の米国の引き取りに係る使用期限が 2026 年 5 月であること

これを受けて、複合研では、KUR の運転終了を見据えて将来計画を検討している。研究所の方向性を示すロードマップを 2020 年度より作成し、毎年更新している。ロードマップでは、KUR の運転停止後の研究の柱として、「新型原子炉・廃止措置研究」、「多様な量子ビームを用いた研究」、「多様な放射性同位元素を用いた研究」の三つが掲げられている。この三つに後述する『「もんじゅ」サイト新試験研究炉』を加えた四つの柱を軸に、将来計画が検討されている。

加えて、複合研には、KUR の廃止措置を着実に遂行するという課題もある。KUR の廃止措置は、国内の大学が初めて行うメガワット級の研究用原子炉の本格的な廃止措置であり、多くの不確かさを内包している。例えば、発生する放射性廃棄物の処理・処分の方法の確立や必要な経費確保等、現段階で解決しきれていない課題がいくつか存在する。廃止措置を進めるうえで、今後、文部科学省と密接な連携・協議が必要となってくる。

将来を見据えたとき、「もんじゅ」サイトに設置予定の新試験研究炉は、一つの大きなキーワードになる。2023 年 5 月、日本原子力研究開発機構・福井大学・複合研の三者は、『「もんじゅ」サイトに設置する新たな試験研究炉に係る協力に関する協定』を締結した [5.2-6]。この協定のもと、三者が協力しながら、新試験研究炉の開発・運転に向けた準備が進められている。2024 年度時点で、概念設計が終了し、詳細設計段階に入っている。詳細設計において、複合研は、主に、原子炉から取り出した中性子を利用して行う各種実験のための設備・装置の設計・開発を担っている。

### 5.2.5 まとめ

本稿では、京都大学複合研の KUR と KUCA を利用した研究・教育の実績を述べてきた。KUR は主に中性子を利用した研究において、KUCA は主に原子炉物理学分野の教育において、長期間にわたって実績を重ねてきた。KUR や KUCA の活躍に見られるように、大学の研究炉は、原子力・放射線の研究・教育に欠かせないものである。ところが、いまやその存在は、風前の灯火といわざるをえない。国内に現存する大学の研究炉は、近畿大学に 1 基と京都大学に 2 基の 3 基のみであり、うち京都大学の KUR は 2026 年 5 月に運転を終了する。福井県の「もんじゅ」サイトに新たに設置される試験研究炉という希望はあるものの、2024 年度時点で、新試験研究炉が運転を開始する時期は明確になっていない。KUR が運転を終了した 2026 年 5 月から新試験研究炉が運転を開始するまで、少なく見積もっても十数年は必要となりそうである。この間、我が国の原子力・放射線に関する研究・教育が途切れないように、国全体で何かしらの方策を考えなければならないのではないか、と感じている。


参考文献

5.2-1) 原子力規制委員会ウェブサイト、第 2 回核燃料施設等の新規制基準に関する検討チーム、資料 3「試験研究用原子炉施設の規制基準について」、https://www.da.nra.go.jp/view/NRA023000080?contents=NRA023000080-002-005#pdf=NRA023000080-002-005（2024 年 8 月 15 日閲覧）を参考にして、筆者が 2024 年 8 月 15 日に作成した。

5.2-2) 京都大学複合原子力科学研究所ウェブサイト、京都大学研究用原子炉（KUR）、https://www.rri.kyoto-u.ac.jp/facilities/kur（2024 年 8 月 15 日閲覧）から抜粋、一部改変。

5.2-3) 大阪医科薬科大学ウェブサイト、関西 BNCT 共同医療センター、https://www.ompu.ac.jp/kbmc/bnct/about.html（2024 年 8 月 15 日閲覧）から抜粋、一部改変。

5.2-4) 京都大学複合原子力科学研究所ウェブサイト、京都大学臨界集合体実験装置、https://www.rri.kyoto-u.ac.jp/CAD/index.html（2024 年 8 月 15 日閲覧）から抜粋、一部改変。

5.2-5) 京都大学複合原子力科学研究所ウェブサイト、京都大学研究用原子炉 KUR の今後の取り扱いについてー新たな複合原子力科学の展開を目指してー、https://www.rri.kyoto-u.ac.jp/archives/15848（2024 年 8 月 15 日閲覧）

5.2-6) 京都大学複合原子力科学研究所ウェブサイト、「もんじゅ」サイトの新試験研究炉設置に係る関係機関間の協力協定締結について、https://www.rri.kyoto-u.ac.jp/archives/17340（2024 年 8 月 15 日閲覧）


## 5.3 もんじゅサイトの新試験研究炉（新研究炉の計画と今後の展望）（宇埜正美）

### 5.3.1 背景

試験研究炉とは、エネルギーを取り出して発電することが目的ではなく、主に中性子や放射線を利用することが目的の原子炉である。日本では、これまで多くの試験研究炉が設置・運転されてきたが、東京電力福島第一原子力発電所事故（1F 事故）以前から老朽化により廃炉になる試験研究炉があった。加えて1F 事故後は、新規制基準への対応の困難さからより多くの試験研究炉が廃炉になった。そのような中、平成 28 年の原子力関係閣僚会議において、福井県敦賀市にある高速

増殖原型炉、「もんじゅ」を廃止措置とし、同サイトに新しい試験研究炉を作ることが決まった。

またカーボンニュートラルの実現、経済・技術の安全保障、国際競争力の保持・強化から原子力を活用することが令和5年に閣議決定されているが、それを受けて原子力委員会は、原子力利用に関する基本的考え方の中で、人材育成を支える基盤的施設・設備の強化としてもんじゅサイトの新試験研究炉の設置が重要であることを決定している。(令和5年2月20日付 原子力委員会決定)

### 5.3.2 これまでの経緯

文部科学省では、平成29年度より炉型の絞り込みを開始し、西日本における原子力の研究開発・人材育成の中核的拠点にふさわしい機能や地元振興への貢献の観点から中性子利用を主目的とした中出力炉に絞り込んだ。[5.3-1～5.3-5] さらに令和2年～4年度にかけて、日本原子力研究開発機構(JAEA)、京都大学および福井大学を中核機関とした概念設計活動[5.3-6～5.3-9]が行われ、令和5年3月からはJAEAを実施機関として京都大学および福井大学が協力する詳細設計活動[5.3-10～5.3-12]が開始された。令和5年11月には原子炉設置業務を支援する主契約企業に三菱重工株式会社が決定し、詳細設計を進めている。

この概念設計および詳細設計における令和6年末までに公開されている主な成果は以下のようになる。

JAEAでは、概念設計において安全性、安定性、経済性、利便性及び将来性の5つの性能目標を設定し、JRR-3を参考に新試験研究炉の炉心周辺の設計を行った。図5.3-1[5.3-12](次頁参照)に基本緒元等を示すが、熱出力は10MW未満で、燃料要素20体および照射筒5体を含む約40cmx40cmx75cm(燃料領域)の5x5炉心のスイミングプール(炉心全体が水に浸かり格納容器は無い。)型軽水炉である。また後述する装置の検討を行っている京都大学との連携により優先5装置候補が決まっている他、中性子照射や将来的なニーズの変化にも対応可能な炉となっている。詳細設計では、原子炉設置許可申請に係る安全設計に向けて核的安全設計や熱水力安全設計、実験設備等を含めた炉心構造物の設計を行っている。

新試験研究炉の実験装置の検討を担当する京都大学では、概念設計において中性子小角散乱装置、中性子イメージング装置、中性子粉末回折装置、中性子反射率計、中性子放射化分析装置を優先装置候補としている。(図5.3-2[5.3-12]後頁参照)引き続き詳細設計では、それ以外の装置も含めてタスクフォースを組んで装置の計画立案と設置建設、学術や技術の継承・発展および関連コミュニティーの活性化と人材育成などを行っていく。

福井大学の概念設計におけるミッションは、地元関係機関との連携構築で、具体的には地元企業の利用を促進する伴走型連携の仕組みの検討と福井大学内での中性子利用のカリキュラムの構築である。これまでに、茨城県における利用促進の仕組みの調査や福井大学教員に対する中性子利用

研究の支援などを行ってきた。詳細設計段階では、この福井大学の活動は地域関連施策検討ワーキンググループの中に取り込まれ、利用促進法人やトライアルユース（専門家のもとで実際に中性子を使ってその利用方法を学び、今後の研究や開発に活かす可能性を探るための支援を行う体験的な制度）、敦賀市内の複合拠点の検討などと合わせて活動している。（図 5.3-3[5.3-12] 次頁参照）

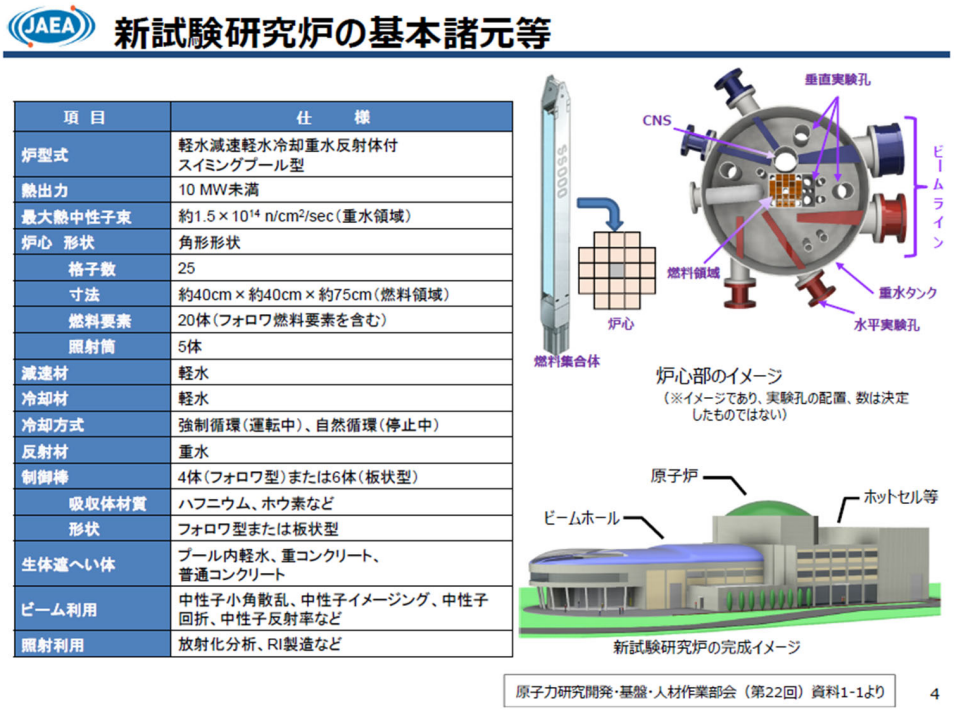



図5.3-1 新試験研究炉の基本緒元等[5.3-12]

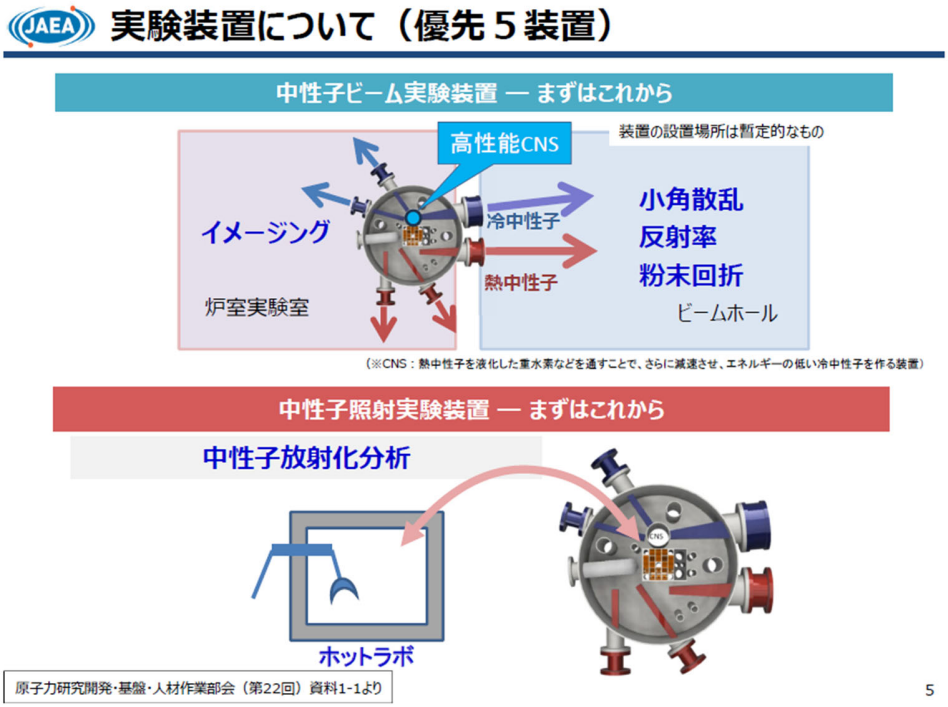



図5.3-2　優先５装置候補 (5.3-12)

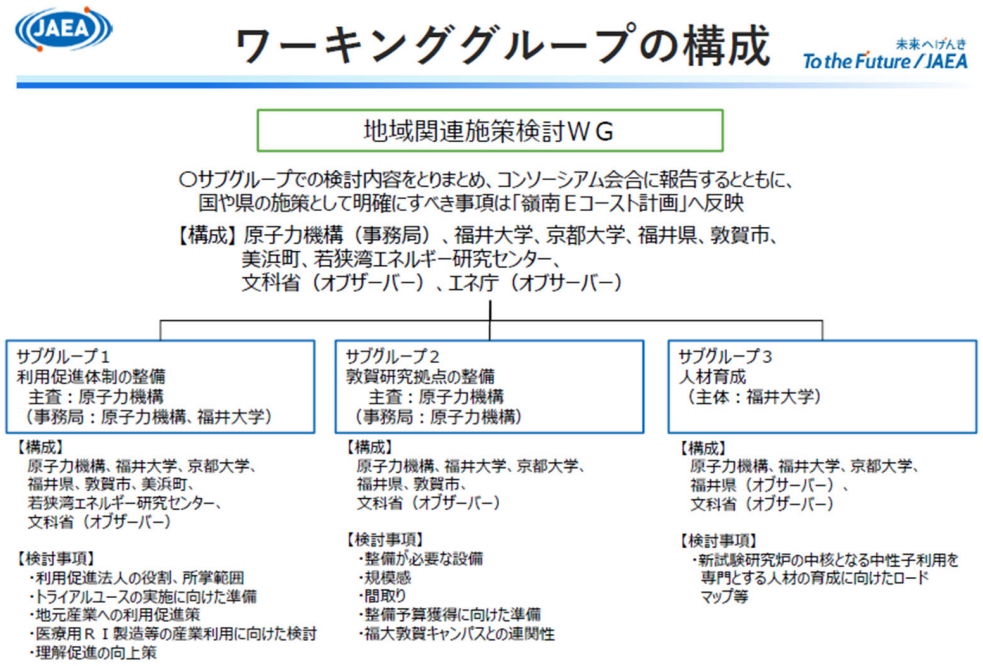



図5.3-3　地域関連施策検討 WG (5.3-12)

### 5.3.3 新試験研究炉で何ができるか、立地地域はどう発展するか？

(1) 中性子を用いて何ができるか？

この試験研究炉から発生する中性子を使って何ができるかを説明する。中性子が物質に入射すると、図 5.3-4（後頁参照）に示す様に、散乱、透過、核反応などが起こる。

散乱は中性子と原子核との相互作用により、中性子の進行方向が変わる現象である。中性子はミクロな磁石であるスピンを持つので，原子核の持つ核スピンや，磁性体の磁気モーメントの起源である原子核の周りの電子雲がもつ電子スピンとの相互作用（磁気双極子相互作用）によっても散乱されるという特徴がある。さらに、中性子は粒子であるとともに波の性質も持つので、中性子の波長と物質内部の結晶構造（原子配置）に応じて散乱された中性子が特定の方向だけに観測される回折現象がおきる。その回折現象を使って物質の結晶構造や磁気構造（物質内部の磁気モーメントの配置）を調べることができる。また、原子と原子の間の距離の変化から金属の溶接やプレス成形によって生じる残留応力（ひずみの度合い）などが分かる。回折現象はX線でも起こり、一般には原子炉や加速器施設などの大型実験施設の必要がないX線回折計を利用して結晶構造を調べる方が容易である。しかし、X線の散乱強度は原子番号（陽子の数）の 2 乗に比例するので、X 線回折ではウランのような重たい原子と水素のような軽い原子からなる物質の水素の構造はほとんどわからない。一方で中性子の散乱強度に原子番号依存性はなく、特に水素にも強く散乱されるので、水素など軽い元素を含む物質、例えばタンパク質などの構造解析や磁石等の磁気構造の解析に適している。

中性子は多くの物質に対して透過力が大きいが、その透過力は元素、さらには同じ元素でも同位体によって異なる（以後同位体の違いも含めて元素と呼びます）。そのため、金属で覆われた機械等に中性子を透過させると、内部の構造物の材質の違いによって透過率が異なるため、物質の内部の様子を非破壊で観察することができる。皆さんも健康診断などでレントゲン撮影をしたことがあるかと思うが、機械構造物などに対する中性子を使ったレントゲン写真をイメージするとわかりやすい。透過率は物質による散乱や吸収の大きさによって決まるが、X 線では軽い元素では透過率が大きく、重たい元素で透過率が小さくなる。それに対し、中性子の場合は、原子の重さに関係なく、例えば水素に対しても透過率が小さくなるため、測定対象の内部に水があると、透過してくる中性子が少なくなることで、その存在を知ることができる。従って X 線では情報が得られない燃料電池の中の水素の分布や液体か氷の状態などの変化が中性子ではわかる。

核反応は、原子核が中性子を吸収して他の原子核に変わる反応である。核反応は原子炉でエネルギーを生産する時に使われる。核反応を利用して核変換された原子核が放出するγ線等のエネルギーは原子核固有のものなので，それらを測定することにより、その試料に含まれている元素が何であったかを知る元素分析ができる。この方法はごく微量の試料であっても高い精度で分析できるため、はやぶさが回収した小惑星、イトカワの試料の分析にも使われた。またもう一つ重要な利用

方法に、医療用 RI(Radio Isotope、放射性同位元素 ) の製造がある。試験研究炉の中性子を利用して RI を作り、その RI の出す放射線の飛程 ( 放射線の届く距離 ) が短いことを利用して、がん細胞などを殺す。別途、がん細胞のみに RI が沈着する薬剤を開発する必要があるが、外科手術を必要とせず患者に対する負担の少ない治療法として、既に実用化されている。

このように中性子は様々な分野の材料開発に必要な分析や医学分野での応用が可能である。

(2) どのように利用するのか？

試験研究炉は、基本的には様々な人が利用する共同利用施設となる。利用したい人はその試験研究炉の運用機関に利用申請をして、学術や産業利用の意義が審査で認められれば利用できることになる。ただし、X 線回折とは異なり、一般に実験および得られたデータの解析には専門の知識が必要なので、一般の研究者には中性子の利用に対してはハードルがまだまだかなり高いと言える。そのため、JRR-3 や J-PARC などの中性子を利用することが可能な施設には、施設毎に利用相談窓口がある。さらに、どこに相談して良いかわからない研究者のために、国内の施設が共同で運営する J-JOIN という相談窓口が設置されており、実験内容によって適切な施設と装置を紹介してもらうことや利用前の技術相談に乗ってもらうことができる。またこれらの中性子を利用する施設の多くでは、大学等研究機関が中性子を利用した研究成果を論文等に公開する場合は無料、企業が製品開発等に用いるためその成果を公開しない場合などは有料で利用されている。その他、本当に使えるかどうかわからないので、一度試してみたいという方のために、トライアルユースの制度が設けられているところもある。当然、福井県には新試験研究炉同様、これらの制度もないので、現在の詳細設計において、地域関連施策検討WGでこれらについても議論している。

(3) 地域にどう貢献するのか？

試験研究炉といえども原子炉なので、新しく設置されるとなると建設の段階からその地域で雇用を生むことになる。また、利用者が属する大学や企業の研究機関が設置されることもある。物質や材料は中性子のみで分析するわけではなくその他の様々な分析手法とあわせて行う必要がある。また分析するのは完成された製品よりも中間素材の場合が多く、そのようにして開発された素材を用いて製品に作り替える工程が必要な場合が多いと言える。例えば RI 製造は原子炉では RI を作るだけで、できた RI を医薬品レベルまで分離・精製する必要があり、しかもこの工程は比較的半減期の短い医療用 RI に対して素早く行う必要がある。従って、新試験研究炉ができると分析装置や製造工程を持った多くの企業や大学がその周辺に集まり、当然製品を出荷するための物流も発達し、一大分析・工業都市に発展する可能性がある。このように試験研究炉を設置することはその地域の発展に大いに貢献する可能性がある。

(4) 試験研究炉を使ってみるのか？　試験研究炉で働いてみるのか？

もんじゅサイトの新試験研究炉が実際に運転を開始するまでに少し時間がある。それまで、福井大学