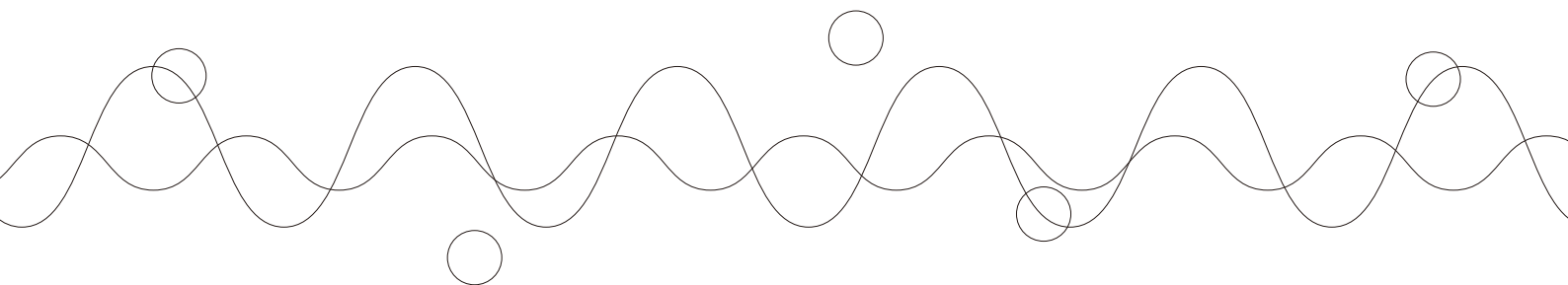


俯瞰ワークショップ報告書

原子力を取りまく現状と今後に向けて

2019年9月6日(金)開催



国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency

目 次

1. 概要	1
2. 開催趣旨	2
3. 講演	3
3-0. 佐藤 順一「原子力を取りまく現状と今後に向けて」	3
3-1. 野家 啓一「倫理問題としての原発論争」	6
3-2. 八木 絵香「原子力技術と社会」	11
3-3. 山口 彰「原子カイノベーションを実現するために」	16
3-4. 越塚 誠一「計算力学技術の現状と将来～原子力分野への展開～」	22
3-5. 北村隆行「技術基盤を支える工学フロンティア」	26
3-6. 岡嶋成晃「若手人材／研究者の現状と課題」	31
3-7. 橘川武郎「今後の原子力政策のあり方」	39
3-8. 遠藤典子「安全保障と原子力技術」	44
3-9. 久持康平「原子力関連のものづくりの課題と研究について」	48
3-10. 波木井順一「原子力開発と規格基準の果たす役割」	54
4. 全体ディスカッション	60
4-1. 意見出し	60
4-2. 総合ディスカッション	71
5. 結びに代えて（今後の展開）	77
付録	78
付録1. プログラム	78
付録2. 参加者一覧	79
付録3. 俯瞰ワークショップで挙げられた課題一覧	82

1. 概要

日本における原子力の議論は、常に難しさを伴ってきた。とくに福島での原子力発電所事故の後、原子力をめぐる議論において、その影響の残る地域について忘れることはできない。他方、原子力は、温室効果ガスである CO₂ の排出が極めて少ないエネルギーとしての側面をもつ。産業革命期以来多くの国や地域で主要なエネルギー源となってきた石油や石炭などの化石燃料は、その大量消費により、深刻な気候変動をもたらしている。この影響は、生態系の破壊や海面上昇による国土の喪失など、人類の生存基盤を揺るがすものであり、日本を含めた国際的な取り組みが急がれている。「第 5 次エネルギー基本計画」で目標と定める、電源構成内の原子力発電比率 20～22%の達成は、このような国際的取り組みのなかで日本が果たすべき役割の一端を表している。

JST 研究開発戦略センター（CRDS）によるエネルギー分野の俯瞰活動の一環である本ワークショップでは、このような日本の原子力をとりまく現状の把握に焦点をあてた。議論には、大学、企業、国研に所属する、原子力分野とその基盤となる科学・技術分野の専門家、倫理やコミュニケーションなどの人文社会科学分野の専門家、合計 26 名を招聘した。多様な視点や価値観から、全体として中立的かつ包括的な議論をおこなうことで、これからあるべき日本の原子力の姿を描く手がかりを得ることを目指した。

本ワークショップで得られた示唆は、原子力をめぐる課題は総体的に、大きく二層構造になっているのではないか、ということである。この二層構造のうち、一層は、原子力に関する科学的知見やそれを基にした技術の習得、継承、発展のあり方についてである。もう一層は、原子力と社会あるいは人間とのあいだの隔たりに関するものである。

議論全体が示したのは、原子力をめぐる課題は、この二層でひとつを構成していると捉えるべきということである。科学と技術が前提としなければならないのは、多様な関心や懸念、利害関係のなかで生きる人間によって構成される、多面的な社会である。社会課題としての原子力の課題についてより本質的に考えるためには、それを専門分野ごとに細分化するよりも、むしろ分野を超えて全体を有機的に把握する必要があることが明らかになった。

2. 開催趣旨

JST-CRDS では、国内外の社会や科学技術イノベーションの動向およびそれらに関する政策動向を俯瞰・把握し、これに基づいて課題を抽出することで、国として推進すべき研究開発戦略を提言している。

「第 5 次エネルギー基本計画」では、エネルギーのより高度な 3E+S（安定供給、経済成長、環境適合、安全性）原則のもと、2030 年温室効果ガス 26%削減に向けたエネルギーミックスの実現、原子力発電の電源構成比率目標 20~22%が謳われている。これは、地球温暖化の緩和策や安定的なエネルギー供給のために原子力が果たしうる役割を示唆するものである。他方、原子力をとりまく現状において、これから議論すべき課題は多い。

福島第一原子力発電所事故から 8 年が経過した現在、9 基の原子力発電所が稼働している（2019 年 9 月時点）。しかし、原子力をめぐっては、廃棄物処理に関する課題や原子力発電所への初期投資の増大など、様々な社会的課題が指摘されている。

一方、原子力に携わる人びとに関する課題も深刻化している。研究炉は停止し、国内の原子力研究や人材育成の基盤が脆弱化しつつある。原子力分野とその基盤となる科学・技術分野のあいだの交流や、国民あるいは社会とのコミュニケーションに関しても、課題が残されたままである。

このような状況にあるいま、本ワークショップでは、日本における原子力をとりまく現状と課題として、今後議論すべきことがらを俯瞰的に抽出することを目的とする。この目的のもと、ワークショップには様々な分野あるいはセクターの専門家を招聘し、多様な視点から幅広く、総合的な情報共有と議論を試みる。

3. 講演

3-0. 佐藤 順一「原子力を取りまく現状と今後に向けて」

・人間とエネルギー

初めに、人間とエネルギーについて述べる。人口増加とエネルギー使用量の推移は、密接な関係にあることは古くから知られている。食物は太陽からの光で作られているものの、太陽からのエネルギーが植物に移転する量は、稲や小麦などの穀物のカロリーから計算すると、面積あたりで 1%ほどである。人口が増えていった背景には、物を燃やして肥料にするなど、様々な工夫によって収益力が上がり、人間の数を養うことができるようになり、文明ができたことにある。化石エネルギー、すなわち石炭などの化石エネルギーを本格的に使えるようになった後に、急激に人口が増大したのはこのためである。

日本の全消費エネルギーの 7% は、日本での食料生産に使われている。これには、様々な食料の運輸や冷蔵庫などにも使われているエネルギーをも含んでいる。ただし、これは日本でつくっている作物に対して使われているものである。日本は食料の大部分を輸入しているため、石炭や石油、ガスなどのエネルギーを輸入しているだけではなく、食料というかたちでもエネルギーを世界各国から輸入している。これらを全て合わせると、我々が使っている全エネルギーの 10% を食料が占めている。

・主要国のエネルギー事情

ヨーロッパでは、自然エネルギー、原子力、ガス、石炭のすべてのセクターが概ね均等である。ただし、ヨーロッパは褐炭と石炭を分けて書いているため、石炭が少ないように見えるが、実は石炭はヨーロッパにおける主要なエネルギー源の一つである。

日本の主要なエネルギー源（2017 年）は、石油約 40%、石炭約 25%、天然ガス約 23% であり、原子力については福島第一原子力発電所事故後から減少し、現在数%程度である。

主要国の一次エネルギー自給率（2017 年）は、アメリカが 92.6%、ドイツが 36.9%、フランスが 52.8% であり、日本は約 9.6% である。これは先進国の中でも極めて低く、日本は世界でも最低のエネルギー自給率国である。

・原子力の歴史

産業革命以降、石炭や石油などのエネルギーが自由に使えるようになり、世界的に爆発的な人口増加が起きた。1900 年頃、キュリー夫人をはじめ様々な原子力関係、放射線に関する研究が始まり、1940 年頃に核分裂が確認された。その後、この核分裂に関する応用研究が始まる。そこでわかったことは、この核分裂が莫大なエネルギーを出すということである。 $E=mc^2$ というアインシュタインの式が理論的にわかり、最初のエネルギーとしての利用が、不幸にも原子爆弾という兵器のかたちで使われた。莫大なエネルギーを瞬時に放出することができるためである。

原子力は非常に大きいエネルギーであり、これをいかに有効に人間の生活のために使っていくかという観点から原子力発電ができた。これをいかに安全に制御するかということが、当初から課題であった。原子力発電所は、1960 年頃から建設され始め、日本では 1966 年頃から東海で運転が開始された。

その後、1971 年の福島原発から本格的に普及し始める。しかし、原子力発電は、最初の原発か

ら 60 年程の歴史しかなく、日本ではまだ約 50 年の歴史しかない。そうした観点からすると、原子力発電は、未だ発展途上の技術であるともいえる。

・原子力に対する考え方

こうした状況で原子力をどのように考えるかということに対して、一番の問題は、原子力を国内技術として対応できるかということである。つまり、原子力技術を社会技術として考え、再構築できるか、ということである。原子力技術は輸入ライセンス技術として入ってきたため、その呪縛を取り除けるかどうかが問われていると思われる。米原発のテロ対策（B5b）の発想を自分たちでつくれるかということである。

福島事故の後、元アメリカ合衆国原子力規制委員会（NRC）の委員長であったディアス氏が来日して講演をした際、アメリカで 9.11 のテロの後に同じテロが原発で起きたときにどうなるかという話があった。その結果をまとめ、B5b という名前の管理規格を作成し、国内外の関係部門に通知した。もちろん、日本にでもある。テロにより、突然、原発の全停電が起き、外部にある施設が全て丸焼けになった状態で原子力を止められるかという研究の結果、止められるということの解を見つけている。ディアス氏は、B5b を日本でも実行していれば福島第一原子力発電所の炉心溶融は起きなかったという解析結果から、日本の対応は非常に残念であると述べた。

福島第一原発事故後の 5 月、アメリカは突然 B5b の存在を発表した。アメリカは原子力を輸出している国に対して、全て B5b の内容を開示している。これについては、アメリカの公文書で、日本に渡したと記載されている。しかし日本ではそれを国として横展開しなかったために、この内容が周知されていなかった。原子力というものは非常に強固につくられているため、これを攻撃する意図を持ったテロリストが B5b の内容を悪用することを考慮して非公開にしていたものだったが、アメリカは福島第一原発での事故を受け、これを公にした。なぜアメリカと日本でこのような差が出てくるのか、ということは真に今後の課題である。

・規制に対する考え方

原子力の安全をどのように考えるのかを、そもそも論からもう一度考える必要がある。福島の教訓は、放射性物質の拡散は社会に様々な問題を起こすため、原子力発電所は全てのリスクを考慮して、これらの問題を防がなければならないということである。アメリカは何か事故が起きるたびに、オリジナルの技術としての考えから、社会的にどのような問題があるか、何を改善しなければならないのか、について考え行動している。

しかし、日本ではそのような動きは少なく、規制の具体的数値や基準だけが次々と決まる。原子力をオリジナル技術として確立させるためには、日本のエネルギー問題や社会問題をふまえ、それを実現する高度な基礎基盤技術の観点からの考察が必要になる。問題は、それが日本の原子力技術に必要な技術であると、日本が捉えることができるかどうかである。狭い原子力技術を志向していないかどうか、ということである。さらに、規制する側と規制される側という考え方をやめられるかどうか、対等な関係として両者が議論できるか、規制側がつくった数値や基準を守れば責任なし、という感覚から抜けられるかである。これらが福島原発事故の原因となったからである。

- ・安全と安心、リスクと便益について

最後に、安全と安心ということについても述べる。安全は、許容できないリスクはないこと、これは国際的に決められている定義である。飛行機の安全を扱うときも同様である。他方、安心は、個人の主観的な判断である。また、便益とリスクを考えなければならない。

予防接種や農薬等の化学物質、高齢者による自動車事故、喫煙など、様々な便益とリスクの問題がある。これらを考えて社会と対等に議論できるかということが問題である。これは原発も同様である。日本ほど予防接種がされていない国は、先進国のなかでは他にない。これは一人でも予防接種による患者が出ると全て予防接種がストップされるからである。こうした国では予防接種の普及は難しい。これは日本人のメンタリティの課題である。

日本は形式主義、ハード的発想で原発をうまく管理するリスク管理体制である。リスクというのは事前に想定しているものという考え方である。一方、アメリカの発想は基本的に実用主義でソフト的な発想である。うまく対応するための危機管理を行うためには、常に状況と実力を知る必要がある。状況と実力を知るためには、それらを支える基盤技術に対する深い洞察が欠かせないのである。もう一度、原子力を管理するという事を根本から考えなければならないと思う。

3-1. 野家 啓一「倫理問題としての原発論争」

- ・ 高レベル放射性廃棄物の処理問題
- ・ 原子力行政のシビリアンコントロール

私の専門は科学哲学という分野である。もともと理学部の物理の出身だが、哲学に変わったので、理系と文系の中間の領域で仕事をしている。最初に結論をいうと、キーワードは、トランスサイエンス、リスク社会、世代間倫理、という三つ。これらを軸にして、原子力問題は、最近倫理的・法的・社会的課題（ELSI: Ethical, Legal and Social Issues）と言われているのだが、倫理問題、社会問題として考える、ということがこの講演の趣旨である。

原子力発電には、単に科学的安全性のみならず、社会倫理的なシビリアンコントロールと呼んでおくが、これが必要だということだ。具体的には、信頼性と情報公開を含む透明性、そして公正性、すなわちフェアネス。そうしたことが社会倫理として求められるということ。そして、その観点から考えた場合には、原発ゼロを目指すことが望ましいということが、私の結論である。

今後の課題ということでは、放射性廃棄物の処理問題が最大の問題である。そして、原子力行政の透明性あるいはシビリアンコントロール、これを目指すべきだと考える。

まず、トランスサイエンスということについて、Alvin Weinberg は、マンハッタン計画にもかかわった核物理学者だが、彼が 1972 年に Science and Trans-Science という論文を書いている。これは、科学に問いかけることはできるが、科学によって答えることのできない問題群を扱ったものである。彼が具体例を挙げているのは、低レベル放射線障害の生物学的影響、原子炉のシビアアクシデント、そして、フーバーダムを破壊するような壊滅的地震であり、これらは全て東日本大震災と福島原発事故で現実のものとなったことである。トランスサイエンスについては今、大阪大学副学長の小林傳司先生が大変すぐれた著作を刊行している（図 3-1-1）。

1. トランス・サイエンスとは何か



- ・ Alvin Weinberg (1915～2006)
- ・ “Science and Trans-Science”, *Minerva* vol.10, 1972.
- ・ 「科学に問いかけることはできるが、科学によって答えることのできない問題群」
→ Ex. 低レベル放射線障害の生物学的影響、原子炉の過酷事故、フーバーダムを破壊する壊滅的地震
- ・ 小林傳司『トランス・サイエンスの時代』NTT出版、2007

図 3-1-1

(写真出典： https://en.wikipedia.org/wiki/Alvin_M._Weinberg 2020 年 2 月アクセス)

トランスサイエンスがなぜ問題になっているのかというと、これまでは事実と価値、つまり、科学の領域と人文社会の領域は明確に分かれていたが、相互乗り入れ、それを峻別することが難

しくなってきた、科学の問題が政治、社会、文化、経済、そういったものと密接に絡まり合っているという状況が存在するからである。環境問題、牛海綿状脳症（BSE）、パンデミック、原発事故は全てそうした事柄である。

これらと表裏一体であるのがリスク社会である。ドイツが原発からの撤退を決めたことは皆さんご承知のとおりだが、ドイツには、メルケル委員会、後に倫理委員会という名称になった委員会があり、このドイツのエネルギー政策を論じる委員会でリーダーの一人だったのが、社会学者の Ulrich Beck である（図 3-1-2）。彼は、チェルノブイリ原発事故の 1986 年に、『リスク社会（Risikogesellschaft）』という本を書いている。

3. リスク社会の到来



- Ulrich Beck (1944～2015)
- ドイツの社会学者、ミュンヘン大学教授
- 『リスク社会（危険社会）』1986
[邦訳：法政大学出版社]
- 国家の政策課題：富の分配（近代）からリスクの分配（第二の近代）
- チェルノブイリ原発事故（1986）
- 東京電力福島原発事故（2011）
→ ドイツ「安全なエネルギー供給に関する倫理委員会」（2011）

図 3-1-2

（写真出典： <https://timenote.info/en/Ulrich-Beck> 2020 年 2 月アクセス）

Beck によれば、リスク社会の特徴は、組織化された無責任である。産業革命以降、科学技術はいわば富の源泉であったが、とくに 20 世紀後半に入るとそれはリスクの源泉となった。これがリスク社会の特徴だと言っている。具体的には、光化学スモッグや酸性雨、放射能汚染などの事故や出来事は、簡単に県境や国境を越える。そのため、空間的、時間的な限定が不可能であり、責任の所在が特定不可能である。福島原発事故もそうであるが、例えば光化学スモッグは自動車会社に責任があるのか、個々のドライバーに責任があるのか、それを明確に決めることはできない。一旦、原発事故のような大きな事故が起こると、その被害の補償がほとんど不可能であり東京電力一社では賄い切れないものになっている。Beck によれば、これまでの政策目標は、いわば富の集中の是正、貧富の拡大の是正であったが、20 世紀後半になるとリスクの拡散の是正に、大きく転換した。世界が近代社会からセカンドモダン、第二の近代へ入ると、富は上方に集中し、リスクは下方に集中するという現象が起きているという。

さきに亡くなった梅原猛氏がヒロシマとフクシマを文明災、つまり、科学文明の発達によって起こった災害である、という言い方をしている。

東京電力福島第一原発で起こった過酷事故は、トランスサイエンス的な問題である（図 3-1-3）。安全性の確保、これは科学の問題であり、それと企業としてのコスト負担、これは経済の問題だ

が、そのバランスがとれなかった。その結果大きな事故を引き起こしてしまったという意味では、まさに科学の問題だけではなく、人文社会の問題でもあるということになる。生命圏と生活圏の両方が破壊されたこと、すなわち、大気、土壌、水、食料、全てが放射能によって汚染され、人間の生存条件の汚染と破壊が起こり、日本の狭い国土の一部が住めなくなっているという極めて大きな問題が引き起こされている。現在 50 を超える原発があるが、それらが廃炉になったとしても、そこには人が住めない、そうした国土の喪失が引き起こされている。双葉町や飯館村にはいまだに戻れない人がたくさんおり、ふるさとの喪失、コミュニティのきずなの喪失、祭りや伝統行事など地域文化の喪失、そうした、生命の危機だけではない、生活圏の基盤が失われた。

放射能の半減期は、何千年から何万年、つまり、人類との共存がほとんど不可能な時間的スケールである。その意味ではまさに最悪の環境汚染だと言っていい。一方、放射性廃棄物の処理技術はいまだに未完成であり、不完全なままにとどまっている。また、リスク社会のリスクは地域の間、そして世代間のフェアネス（公平性）の観点から極めて大きな問題を引き起こしている。今、日本で原発立地がなされているのはほとんどが過疎地域、地域経済が崩壊しているような地域である。また、放射性廃棄物の問題は、我々現存世代ではほとんど解決は不可能であるため、次の世代、未来世代に先送り、丸投げせざるを得ないような状態にある。そうしたリスクの公平な分配や地域間の公平性ということが完全に失われている。

受益圏と受苦圏がはっきりと日本の中で分かれている、つまり、原発によって受益する地域である首都圏と受苦圏である事故や被害が起こっている地域が明確に分離される、格差ができていく、という現状がある。

6. 東京電力福島第一原発事故の教訓

- 全電源喪失による過酷事故：トランス・サイエンス的問題→安全性確保（科学）とコスト負担（経済）
- 生命圏の破壊：人間の生存条件の汚染と破壊：大気、土壌、水、食料・・・（→ 国土の喪失）
- 生活圏の破壊：故郷、コミュニティ、地域文化
- 放射能の半減期：人類との共存は不可能、最悪の環境汚染
- 放射性廃棄物の処理技術：未完成、不完全
- リスクの地域間・世代間の公平な分配
→ 「受益圏」と「受苦圏」の格差 (NIMBY)

図 3-1-3

そして、世代間倫理ということが最近盛んに議論されるようになった。これは、決定権を持つのは現存世代、つまり国会議員を送り込んで議決ができるのは我々現存世代である。しかし、未来世代、まだ生まれていない世代というのは議決に加わることができない。だが、現存世代からマイナスの遺産、例えば放射性廃棄物を押しつけられるのは未来世代、つまり我々の子どもや孫やひ孫、そういった世代になる。

アメリカ先住民、インディアン の箴言に、「大地は子孫が貸してくれたもの」ということばがある。つまり、大地というものは一度汚したらもとは戻らない。クリーンにして子孫に返さなくてはならない。イロクオイ族、現在のニューヨーク州あたりにいて、今は絶滅した先住民だが、その会合では、何ごとを取り決めるに当たっても、我々の決定が以後の7世代にわたって及ぼす影響をよく考えなくてはならない、という誓いを立ててから決議をするという習慣があった。つまり、1票を投ずるということは、まだ生まれていない者たちを含めて以後の7世代、すなわち、大体200年後の人たちのための1票だということを考えて投票しなくてはならない、そうした知恵を持っていたということ。これは我々も考えなくてはならない事柄であろうと思う。

そうした観点から、トランスサイエンスの時代及びリスク社会における科学技術がのっとるべき倫理、人間の生き方の規範を、RISK という頭文字をとってまとめた (図 3-1-4)。科学者の社会的責任については、原爆が投下されたときはパグウォッシュ会議がカナダで開かれ、アインシュタイン・ラッセル宣言に基づいて物理学者のこれから進むべき道を議論したわけだが、現在、科学者の社会的責任は科学者共同体、つまり単に科学者のコミュニティの内部の倫理規範ではなく、科学と社会の間の問題、それを解決するような倫理規範へと大きく転換したと言っていいと思う。

8. リスク社会における科学技術倫理 (RISK)

- 科学者の社会的責任 (SSR)
 - 「科学者共同体」内部の倫理規範から「科学と社会」の間の倫理規範へ
- 信頼性 (Reliability)
- 世代間倫理 (Intergenerational Ethics)
- 社会的説明責任 (Social Accountability)
- 知識の製造物責任 (Knowledge - Product Liability)
 - 知識のデュアルユース問題
- * RISK = 科学コミュニケーション + リスクコミュニケーション
による「科学技術のシヴィリアン・コントロール」の必要性

図 3-1-4

そして、そこで倫理的な規範として我々が守るべきものは、一つは信頼性 (Reliability)。これは原発事故によって全く失われてしまった。行政と企業と市民が分断されていてまだに科学及び科学者、そして行政に対する信頼がかなり大きな割合で失われている。次に、社会的な説明責任 (Social Accountability)。これも原発事故の原因がいまだ究明されないまま、現在裁判が継続中だが、社会的な説明責任がほとんど果たされていないという現状だ。最後に、知識の製造物責任 (Knowledge-Product Liability)。製造物責任 (Product Liability) については PL 法という法律ができていますが、知識についても現在、知識のデュアルユース、軍事と民生の両方に使えるような知識をどのようにコントロールすべきか、ということが大きな議論になっている。

現在、科学コミュニケーションのみならず、リスクコミュニケーションというものが我々に必

要になっている。それに基づいた科学技術のシビリアンコントロールが第一に求められるということが、私の考えである。

【質疑応答】

質問：廃棄物の問題で世代間倫理ということが語られたが、もう一つ、廃棄物がプールにいっぱいあって、これ以上ためられないという現状もあると思う。それは世代間倫理の問題でもあるし、その一方で、今後本当に続けていかれるのかという事実的な技術の継続可能性の問題にもなると思うが、どのようにお考えか。

回答：恐らく放射性廃棄物の問題は、今、時間が切迫していて最大の問題だと思う。きょうお集まりの専門の方々から、その辺りの今後の見通し、どうすべきかを聞きたいと思っている。今のところ、私にはそれに対する解決策というのは持っていないが、早急に具体的な提案をいただき解決することが喫緊の課題だと提起し、専門家の方々から具体策をお聞きしたい。

3-2. 八木 絵香「原子力技術と社会」

- ・対話コミュニケーション活動の可能性と限界
- ・原子力に対する関心度低下、原子力世論の固定化

科学技術と社会、倫理、コミュニケーションを扱うことを専門としている。もともとの研究対象はヒューマンファクターと呼ばれる研究分野。たとえば、鉄道や航空機分野でこの問題があり、80年代から90年代にかけて原子力分野にヒューマンファクターの知見を導入しようとした時代があった。当時は学生として様々な研究をしており、そのなかで、航空や鉄道から入り、原子力分野にきた。

現在の研究の入り口は、おそらく東海村 JCO の臨界事故だと思う。この事故は今から 20 年前の事故だが、当時世の中が原子力の人にとって目線は、20 年経ってもあまり変わっていないというのが率直な印象である。福島事故を経て、そうした目線を持つ人が広がったり、濃くなったりしているが、当時から原子力の専門家に対する不信は強かった。それが 20 年間継続しているというのが現状ではないかと思う。

私はこのとき、直後に東海村に入り、自治体や住民の方などと様々な話をし、結構厳しい言葉をいただいた。当時、おそらく東海や大洗にいた方もそのような言葉をいただいているのではないかと思う。このとき私が思ったことは、世の中から見えている原子力の人たちというものと、実際に発電所ないし業界の中で働いている専門家や技術者の真摯さなど実像が、非常にずれているということだ。以降、このずれをどのように埋めるべきか、ということを考え始め、コミュニケーションに足を運んだ。

あえて試論的に申し上げようと思っているのは、原子力はコミュニケーションではないのではないか、ということである。コミュニケーション自体を否定しているのではなく、コミュニケーションにしかできないことやできることはたくさんある。私は、20 年前ぐらい前からずっと様々な立地地域、女川と六ヶ所に行っており、専門家と住民の方の対話や、同じ地域のなかで強く反対運動をしている人々と商工会で推進運動をしている住民同士というかたちで、意見が違ったり、立場が違ったり、知識量が違ったり、様々な方々に関する原子力のコミュニケーションの場というのをつくってきている。

そのなかで明らかになったことがあり、はっきり申し上げたいと思うことは、専門家の方々は、一般の人はリスクを理解しない、ゼロリスク信仰が高いといった証言をされることがあるが、これは、どのような情報提供の仕方やコミュニケーションをおこなうか、ということによる。丁寧に、相手の知識量やその人が過去に培った経験、何において原子力に不信感を感じているかということをもひも解いてコミュニケーションすれば、一定程度、きちんとリスクの実態を理解することは可能だと私は考えている。

ただし結構手間がかかるので、これを多くの人にやれるかというと難しい面もある。だが、こうしたコミュニケーションを通じてわかってきたことがある。すなわち、地元の住民の方で反対運動、推進運動の両方をされている方々同士が話してみると、彼らのなかに共通の価値観があるということである。

これは、原子力というテーマに持ち込むと非常に意見が合わないように見えるが、結局は、地域の将来を憂えている、もしくは子どもや孫の世代にどのような地域の価値を残していくかとい

うことを非常に心配しているという、共通の価値観があるのだということが、コミュニケーションを通じて可視化されてくる。すると、地域のコミュニケーションのなかではあくまでも原子力は手段であるという話に落ちてきて、コミュニケーションや合意形成の仕方が変わる可能性がみえてきている。

また、この 10 年ほどだが、実際に様々な原子力にかかわる論点について、推進と反対の両方の立場から両論を聞きたいというニーズが非常に大きい。これはなかなか難しい状況のなかで、実際に推進の専門家と反対の専門家が壇上に立ち、両方でコミュニケーションをして、それを一般の聴衆に聞いていただいたり、インターネット中継を通じて全国に発信したり、というやり方もおこなってきている。

非常に特徴的なことは、こうしたワークショップをする際、例えばどのようなシンポジウムにするか、誰を呼ぶか、何がテーマになるのか、タイトルはどうするのか、という企画の全てを、最初から賛否両論の人が集まって設計からおこなうことで、初めてコミュニケーションが成立するということがわかってきているということ。反対論者も含めて、何をきちんと世の中に提示しなければならないかという議論をしていくと、かなり成果が得られる部分がある（図 3-2-1）。こうしたやり方については、原子力に対する賛否を問わず好意的な評価もいただいているので、可能性はあると思っているのだが、問題がないわけではない。このやり方で全てが解決できるわけではなく、やり方自体もブラッシュアップしていく必要はあると思っている。

双方向シンポジウムを通じて 得られた成果と課題

- 成果
 - 意見の異なる専門家同士が、冷静に聴衆に論点を提示しあえる方式の可能性
 - 原子力への賛否にかかわらず、対話方式への賛同
- 課題
 - 同様の質問が繰り返しなされ、議論の積み上げが困難。（使用済燃料、ガラス固化体の発生・貯蔵の現状や処分地の選定方法など）
 - 議論が比較的素朴な段階に終始してしまい、より本質に迫る前に時間切れになる。
 - 高レベル放射性廃棄物処分を推進する立場と批判する立場から提供される資料が、それぞれ一面的であり、議論が噛み合わないことケースが多数確認される。

図 3-2-1

もう一つ、長らく私は資源エネルギー庁のコミュニケーション事業など高レベル放射性廃棄物の話に携わってきており、それを構造的な問題としてみると、次のようにいえると思う。すなわち、コミュニケーションは双方の理解にもなり、それぞれが実態から乖離したかたちではなくてより実像に近いかたちで原子力のリスクないしポテンシャルをみるというところまではコミュニケーションでできるが、結局、それが原子力の賛否をどちらかに動かすものではない。実像がわ

かったうえでもやめてほしいという人もいれば、だから進めるべきだという話になるため、これ自体が何らかの需要に結びつく取り組みではないということで、限界があると指摘されることがある。

反対側の方からも限界は指摘されている。たとえば、今、原子力の人たちはたくさん世の中とコミュニケーションしなさいと言われている。このコミュニケーションは一方的なものではなく、双方向であるべきだと言われている。資源エネルギー庁ないし電力会社の取り組みに反対派の人が参加してコミュニケーションすること自体、非常に意味があるのだが、反対側の人から見ると、反対したいから土俵に乗っているのに、丁寧なコミュニケーションをやったという資源エネルギー庁の実績だけが積み上がっていくという、非常にパラドックス、彼らにとってストレスフルな状況が生まれてしまっており、限界を感じているところである。

2011年、2012年頃は、一度、原子力の話をゼロクリアにして、本当にこの先のエネルギー、原子力をどうしようかという話をしようという機運が、賛否を問わずあり、国内でも様々な試みがなされていたと思う。ただし、そうした議論をしようという余地は、おそらくこの8年で大分小さくなってしまっており、今から新しく、どうするべきかという議論をすることには、随分限界があると思っている（図3-2-2）。

福島第一原子力発電所から8年余が過ぎた今 —スペースが閉じつつある今—

・ ジョン・ダワー（日本近代史）氏インタビューより

- 個人の人生でもそうですが、国や社会の歴史においても、突然の事故や災害で、何が重要なのか気づく瞬間があります。すべてを新しい方法で、創造的な方法で考え直すことが出来るスペースが生まれるのです。関東大震災、敗戦といった歴史的瞬間は、こうしたスペースを広げました。そしていま、それが再び起きています。しかし、もたもたしているうちに、スペースはやがて閉じてしまうのです。既得権益を守るために、スペースをコントロールしようとする勢力もあるでしょう。結果がどうなるか分かりませんが、歴史的節目だということをしっかり考えてほしいと思います。

（朝日新聞2011年4月29日付）。



原子力に対する関心度の低下と、原子力世論の固定化

図3-2-2

その結果として、今、起きていることは、世の中一般において、原子力に対して非常に関心の度合いが低いということ。再稼働をどうしているか、どのくらい廃炉になろうとしているかについて知らないという人が増加している。原子力世論は、基本的に固定化したと考えている。

一方、着目すべきは、段階的に縮小するのであれば、再稼働は容認できるという声である。これは日本原子力文化財団の調査でも出ており、原子力発電をしばらく利用する、すなわち再稼働は一定程度許容するが、徐々に廃止していく方向。これがおそらく、定まってしまった大筋の世論だと考える（図3-2-3）。

日本原子力文化財団調査より 国内における将来的な原子力利用

問8-1 今後日本は、原子力発電をどのように利用していけばよいと思いますか。
あなたの考えに近いものをお選びください。(○は1つだけ)

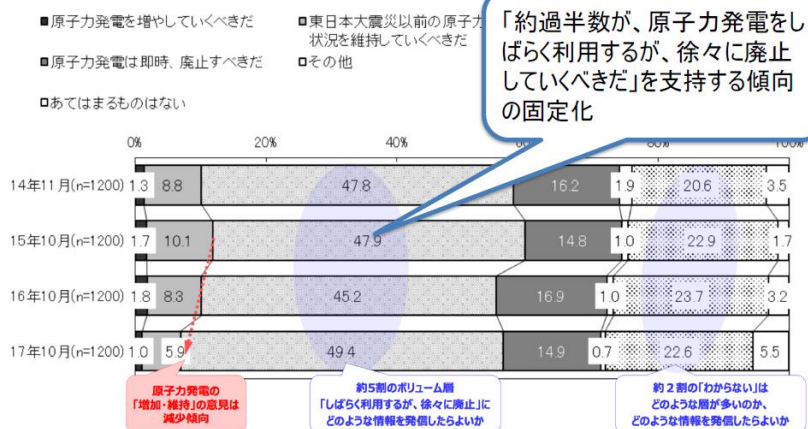


図 3-2-3

世論は、大きな方向性として最終的には原子力発電に依存しない社会の実現を望んでいる。それができるかどうかという話ではなく、そうした社会であってほしいという願望を抱いているということを、まず議論の入り口にするべきだということが、本日申し上げたいことである（図 3-2-4）。

一方、一般の人たちのなかでもそれがどの程度の実現可能性を持ったものなのか、どれほどのスピード感なのかという議論は意見が分かれている。結局、実現可能性があるかないかということが非常に重要であり、実現可能性がないのに脱原発というのは無責任だという話も出てくるため、そうした世論であるということを前提に、議論をスタートするべきだと思っている。

国民の多くの望む方向性

- 大きな方向性として、少なくとも過半の国民は**原発に依存しない社会の実現を望んでいる**。
- 一方で、**その実現に向けたスピード感に関しては意見が分かれている**
- 原発ゼロの意思を行動で示す国民の数が多いという背景には、**原子力に関する政策決定のあり方に関する不信**、そして原発への不安が極めて大きいという現実がある。

戦略策定に向けて～国民的議論が指し示すもの～(案) 2012年8月28日



- 「原子力ゼロの実現可能性」という理解はむしろ増大傾向にある。

図 3-2-4

結局、過半の国民中の声は、原子力のない世界のほうがよい、というもの。非常に申し上げにくいですが、そのように希望しているということをまず入り口に置き、その先の議論をしなければ最終的には再稼働もできないのではないかと私個人は危機感をもっている。前提として、そうした願望があるという現実があり、電力会社の中ですら、原子力部門以外の人はこうしたことをかなり口にされていると私自身は認識している。

このように考えたとき、原子力は多様な側面があるが電源としての原子力を考えるのであれば、誰がどのタイミングでどう発表するか等にもよるが、基本の認識として、まず確かにあれだけの事故を見たのであれば、できることなら原子力を減らすないしなくすという未来を望みたいという価値を、どのくらい原子力分野の人が許容できるかということを議論できたらよいと思っている。すぐ脱原発をしろと言っているわけではなく、その価値が共有できるのであれば、具体的にどのような実現可能性があるのかという議論に持っていく。コミュニケーションというよりむしろ幾つかのシナリオを書き、そのシナリオの戦略をもう少し共有できるようなやり方が必要なのではないかと思っている。その意味で、コミュニケーションそのものから、おそらくコミュニケーションもその一部に含まれるが、トランジションするためのマネジメントの戦略が大事であり、そちらに展開していくべきではないかと思う。

再稼働については、私見だが、必要なものはリスクコミュニケーションではなく、各社が再稼働はしないという選択肢がいかに困難かということを説明し、お願いするということしかないと思っている。同時にやるべきことは、国内のエネルギーが置かれている現状を紹介しながら実際に廃炉がされている状況を共有していくことだ。実質としては脱原発の方向に向かっているという言い方もできると思うので、廃炉の状況を発信したうえで、この先新增設やリプレースということをするか否かは、ゼロベースでのコミュニケーションがまだ必要だと考えている。

3-3. 山口 彰「原子力イノベーションを実現するために」

- ・技術、規制、社会の3つのイノベーション+基盤・人材のバランス
- ・技術のチャレンジを後押しする枠組みの構築

先ほどからリスクという言葉が出ているが、リスクというものは価値あるものに対する不確かな影響であるという言い方がされる。価値あるものに対するというところは大変重要であり、本来はどのような価値があるのかというところをしっかりと踏み込んで議論しなければならない。原子力はない世界のほうがよいという話をされたが、それは原子力の価値を語る枠組みにはなっていない。価値あるものは何か、その価値は何か、いかにどのものかというのは、もう少し大きな世界、大きな議論になる。本日は、原子力というものは価値があるということを前提に、その価値を最大限発揮しようと思うと安全が重要という話に帰結することや、そのための原子力イノベーションを実現しようとするのとどのように取り組めばよいのかが自然な議論になることなどを話したい。

原子力イノベーションというのは三つの要素とプラスアルファがある（図 3-3-1）。そのアクターはイノベーションを行う実施主体、そのイノベーションは、プロダクト、プロセス、マーケティングであり、それぞれ、技術、規制、社会と非常にうまくかかわっている。イノベーションの3要素は、このトライアングルが大変重要だということ。プラスアルファというのは、基盤と人材の充実が不可欠だということである。

原子力のイノベーション3要素+α

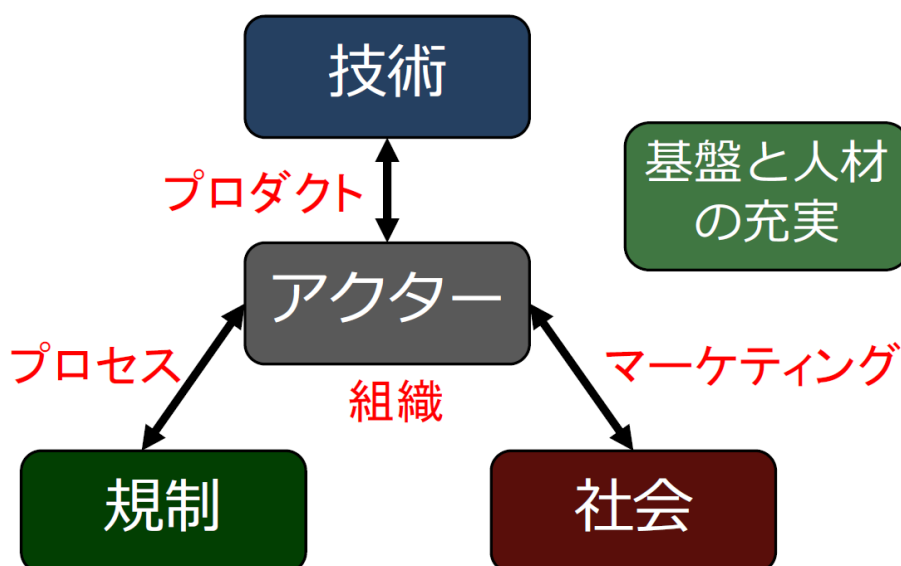


図 3-3-1

経済協力開発機構（OECD）のオスロマニュアル 2018 によると、現在及び今後直面する経済、社会、環境の課題に対処するには、斬新なアイデア、イノベーション、高いレベルの多面的

協力が必要である。そのため、政策立案者にとってイノベーションは必須の政策課題であり、中心である。当然、ここでいうイノベーションや、現在及び今後直面する課題のなかには、エネルギーや原子力の問題も含まれる。

第5次エネルギー基本計画のなかにはイノベーションについて以下のように語られている。“原子力も例外ではない。米国では 80 年運転、小型原子炉の開発、再生可能エネルギーとの共存、それらが英国、カナダなどでも始まっている。社会要請にこたえるイノベーションへの挑戦が始まっているのだ”と。こうしたかたちで真価が問われている。

カナダでは小型炉や溶融塩炉の開発がイノベーションの中心に見えるが、実はここに、カナダの原子力研究所がサイトを提供する等、技術の開発プラスアルファのものが入っている。アメリカには、原子力の技術革新を加速するゲートウェイ（GAIN）プログラムがあるが、これは財政的、技術的、規制上の支援を行うというところが重要であり、この考え方はイギリスも同様である。

すなわち、世界で起きているイノベーションというものは決して、小型炉や溶融塩炉など、新しい炉を開発しようという動きだけにとどまるのではなく、むしろ、そうした開発を社会としてどう支えていくか、それがどのように社会に役に立っているのか、どう実現するのか、そうしたところのイノベーションを志向しているのだと、私は理解している。

先ほどのオスロマニュアルに戻ると、イノベーションをおこなうにはイノベーションのための活動、目的と成果があり、全ての実施組織には知識のフローがある。加えて、内的なディメンジョンとして組織の問題と外的な要因がここにかかわってくることによりイノベーションができる、という趣旨である（図 3-3-2）。

イノベーションの内的および外的構造

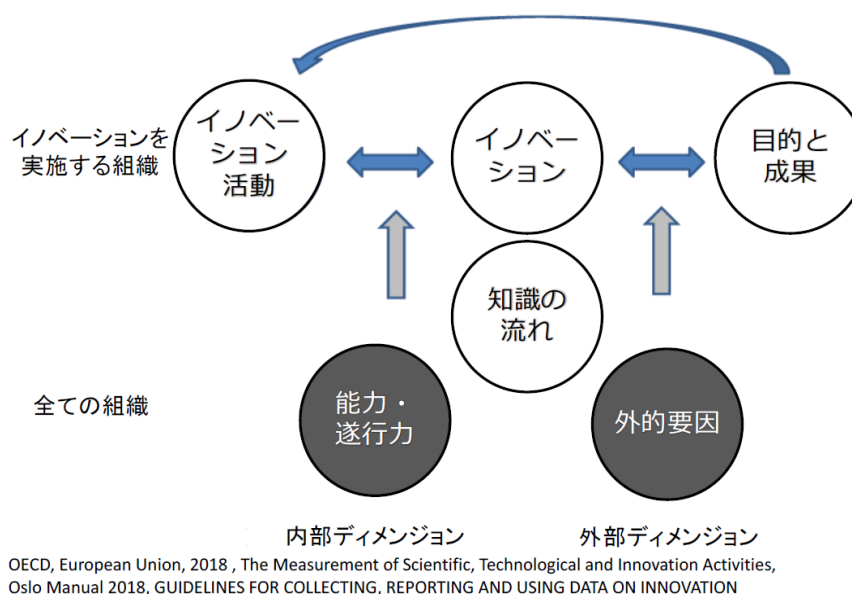


図 3-3-2

外的要因というものを図 3-3-3 でひも解いてある。特に原子力の場合、公共政策として、その

下に、規制と税制、政府の支援、公共インフラ、マクロ経済政策がある。マーケットがどのようにその技術を見ているのかという問題も存在する。さらに、社会環境と自然環境など、イノベーションの事業の外的環境には様々な要因がかかわってくる。それらによって初めて実現可能になってくるというものである。

外的要因の構造

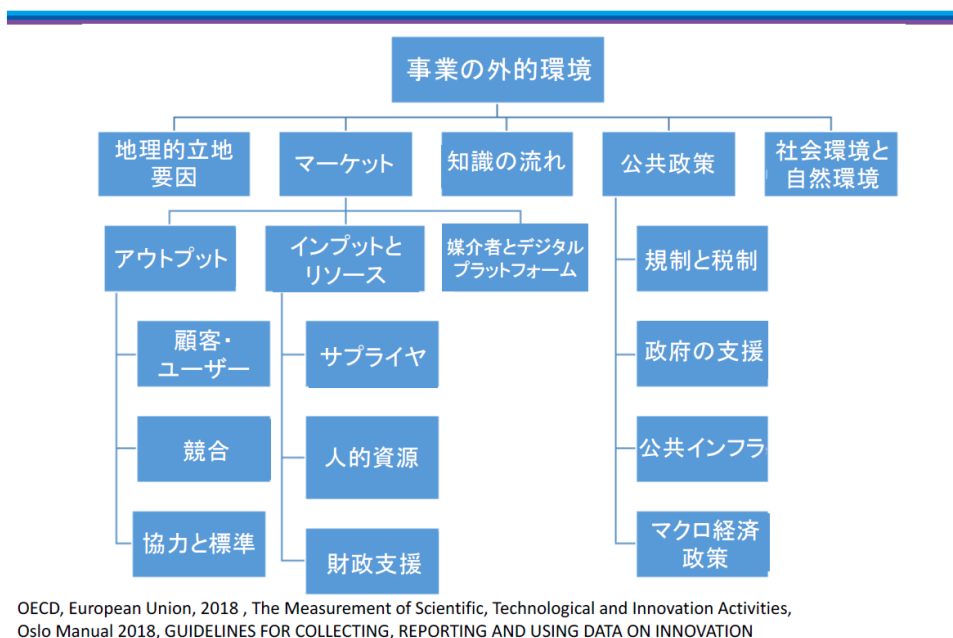


図 3-3-3

一つの例を挙げたい。現在、アメリカの新しい原子炉の建設は停滞している一方、新しい技術開発の動きは活発に行われている。それはどのように取り組まれているかという話である。アメリカの GAIN プログラムでは、技術と合わせ、財政上そして規制上といった、社会的な側面からの支援が中心になっていると話した。すると、そうした新しい概念の炉をつくっていったとき、安全というものをどのように確保し、いかに説明していけばいいのか。例えば熔融塩炉というのはもともと、炉心が熔融している炉であるから、これまでの安全の考え方をそのまま適用するというものでは成り立たない。

図 3-3-4 のように、普遍的な安全に対する概念、すなわち、リスク要因がどこにあるかというところから、燃料、核分裂生成物がこうしたバウンダリーの中に閉じ込められている。そうしたバウンダリーを破って放出されるソースタームの評価を行う。これがまさに原子力の安全のエッセンスである。この評価のなかに、様々なシナリオ、頻度、影響度、不確かさが含まれ、最終的には、リスクのプロファイルといったかたちで表される。こうしたものが普遍的な安全の概念ということになる。

一方、設計に固有なものもある。これはリスクの観点から重要な機器やシステム、安全の観点から重要なもの、深層防護の観点から有効性・適切性がどう入っていくか、想定すべき事象のスコップなどはどうするか、こういったものはそれぞれのシステム、設計に固有のものである。すると、設計に固有なものとの普遍的なものがきちんと結びついていなければ、技術のイノベーショ

ンはスムーズに進まないということになる。これが、我々が一般化すべき原子力安全への取り組みの姿である。

その一つの具体的な姿として表したものが図 3-3-5 である。これも米国の事例だが、リスクプロファイルを敷地境界における線量を評価軸に据えてあげることである。まさに原子力のリスクは放射線によるリスクであり、安全目標は放射線による健康リスクで表されるという社会の共通認識があるからである。そして、縦軸を発生頻度に置いてあげる。幾つかの折れ線があるが、これが、我々がきちんと防護すべきターゲットとなるポイントである。それらを結んだものが Frequency sequences のターゲットであり、これができると、それを軸にあらゆるタイプの原子炉に対して安全というものを考えていけば、合理的で一般性があり、かつ新しい提案にも対応できるような安全の普遍的とも言える枠組みが構築できる。それがリスク活用実績重視の規制、そしてリスク評価との関係であり、これが新しい概念の炉に適用できるという発想である。

原子力安全の一般的概念

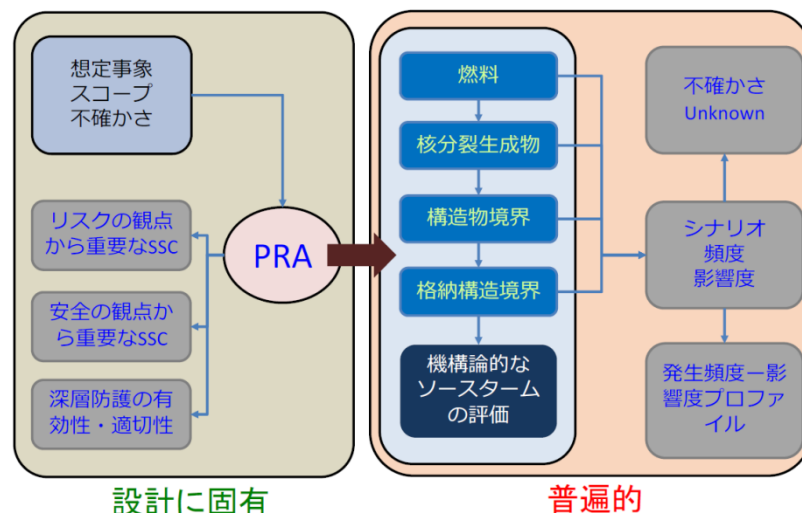
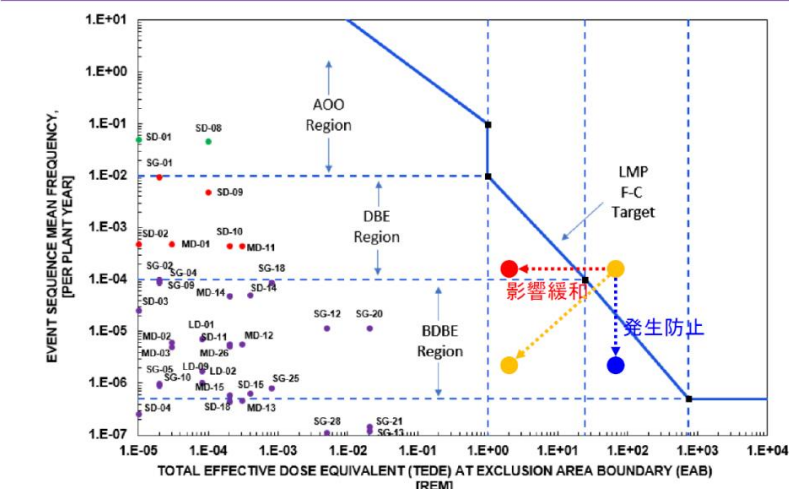


図 3-3-4

新概念炉のリスク活用実績重視 (RIPB) 規制とリスク評価



Modernization of Technical Requirements for Licensing of Advanced Non-Light Water Reactors, High Temperature, Gas-Cooled Pebble Bed Reactor LMP Demonstration, Southern Nuclear, Aug. 2018

図 3-3-5

米国の原子力規制委員会は、規制プロセスを向上させるとともに、軽水炉、今の原子炉以外のものに対するレビューにあらかじめ備えることによってさまざまな今後の状況の変化に対応する。またそのためにビジョンと戦略を策定し、申請があった場合に効果的に効率よくレビューと規制を行う。そうした自らのミッションを実践するレディネスを備えるのだということが、NRC Vision and Strategy というレポートで語られている（図 3-3-6）。

規制のイノベーション

- 米国原子力規制委員会は、規制プロセスを向上させるとともに非軽水炉のレビューに備えることにより、状況の変化に対応する
 - ビジョンと戦略を策定し、非軽水炉技術の申請があった場合に効果的に効率よくレビューと規制を行う
 - 技術開発における自らのミッションを実践する“Readiness”を備える

革新的な原子炉の導入の障害(バリア)とならないような効率性, 有効性, 対応性ある規制プロセスを構築

規範的な規制

リスク活用実績重視
(RIPB) 規制

予見性を最大化させるため、
やや規範的なRIPB規制(柔軟性と対応性)

USNRC, “NRC Vision and Strategy: Safely Achieving Effective and Efficient Non-Light Water Reactor Mission Readiness,” ADAMS ML16356A670, December 2016.

図 3-3-6

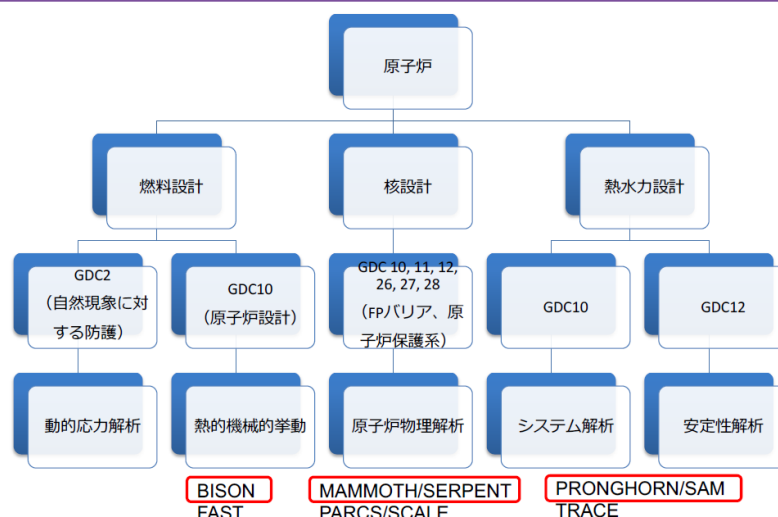
革新的な原子炉の導入には適合していないかもしれないが、効率性、有効性、実効性、予見性がある規制プロセスは規範的な規制であり、これは現在の規制の考え方である。一方、リスクを活用した実績重視の規制では、規範的な規制の長所を損なうことなく、柔軟性と対応性を向上させ、予見性を最大化させることが可能である。やや規範的な柔軟性と対応性を備えた規制構築が、現在の規制と連続性があり、且つ、イノベーションに対応できるのである。さらにレディネスとして、規制のレディネス、技術的なレディネス、そしてコミュニケーション、この三つの要素が新しい炉のイノベーションに必要なということで、各論としてはさまざまなアクティビティが紹介されている。

技術的な話もしたい。図 3-3-7 が次世代非軽水炉の一般設計基準と解析コードというものである。ここに書いてあるのはシステム、ハードウェアである。実際のシステムから設計のクライテリア、評価をする解析コードまでのところをつなげるかたちで次世代の非軽水炉が出たとき、赤い線で囲った解析コードを新たに開発していき、次世代非軽水炉に対するこうした体制を用意しておく。これが一つの技術的なレディネスということになる。

さて、イノベーションについてだが、オスロマニュアルによると、イノベーションとは新規または改良されたプロダクトまたはプロセス、またはその組み合わせであるという。従前のプロダクトやプロセスとは大幅に異なるもの、潜在的なユーザーが利用できるようになるもの、または

イノベーション組織が用いたもの（プロセスあるいはプロダクト）、こうした定義がある。

次世代非軽水炉の一般設計基準と解析コード



Stephen M. Bajorek, The U.S. Nuclear Regulatory Commission Approach to Modeling and Simulation₂ of Advanced Non-LWRs; *Preparing for the Next Nuclear Renaissance, NURETH-18, Aug. 2019*

図 3-3-7

具体的には、イノベーションのなかには、プロダクトのイノベーション、プロセスのイノベーション、マーケティングのイノベーション、組織のイノベーション、ということが述べられている。我々がイノベーションというものを語るとき、こうした技術のイノベーションを非常に重視しがちだが、バランスよく構築していくと、新しい技術に対するレディネスをどう備えていくか、これが将来に向けてのエネルギー問題、環境の問題、様々なものに関する価値ある技術に対する我々の備え、レディネスであると思う。

まとめると、この三つのイノベーション、プラスアルファを、いかにバランスよく進めていくかというところに知恵を絞らなければならないと思う。

原子力のイノベーションのためのレディネスという意味、とくに技術的観点という意味では、ギャップ分析あるいは優先度分析といったさまざまな技術的方法が開発されている。すなわち、現在我々が持っている技術のレベルと、我々が実現しなければならない技術のレベルとのギャップを分析して、重要な現象論を一つ一つ摘出し、それぞれに対する技術に、どこから手をつけていくかという優先度を決めていく、というものが一つ目の点である。

また、プロセスの観点では、実用化していく、つまりイノベーションを起こしてそれを実際に実用化して社会に役立てる、その間にどのようなパスがあるか、何が必要か、そこをきちんと検討することである。すると、この三つのイノベーションが必然的に上がってくるのだが、それに対して必要な準備を行っていくというものが、プロセスの観点でのイノベーションである。

そのように考えると、技術のイノベーション、技術のチャレンジ、これによって引っ張られていき新しいエネルギー技術などが出てくる。あわせて、そうした技術のチャレンジを後押しする枠組みの構築というものが、今の時代に変重要であると思う。

3-4. 越塚 誠一「計算力学技術の現状と将来～原子力分野への展開～」

- ・安全性を高めた原子炉の開発とこれによる既存炉のリプレース
- ・原子力を支える基盤技術の推進

本日は日本機械学会計算力学部門からの立場ということで話したい。まず、デジタルツインによるものづくりの高度化を支える計算力学の現状について話す。自分の研究に基づき、原子力分野における今後の技術開発に関して意見を述べたい。

現在、コンピュータシミュレーションなどのデジタル技術が進んでおり、実際の物理、現実世界、それらの研究開発、設計から保守に至るものづくりの各プロセスについてモデリングを行い、サイバー空間上で同じことができる、そうした技術が急速に発展している。その中心的な分野が計算力学である（図 3-4-1）。

例ではあるが、粒子法という私の研究分野で、自動車のギアボックスの簡単なモデルをシミュレーションしたものがある。粒子で計算するのだが、きれいに可視化すると、あたかも実験しているかのようなシミュレーション結果が得られる。このようなシステムが果たして現実の世界とどれほど合っているのかということを議論し、あるいは、これを見ながらどのような設計がいいのか、どのような車づくりをしていくべきなのかと議論し、考える、これがまさにデジタルツインではないかと考えている。

図 3-4-2 は、自動車で使われているギアボックスである。実際はもっと複雑な形状をしており、次に示すものが T 社のハイブリッド車の実際のギアボックスである。これはエンジンとモーターをまさにつないでいる部品がギアボックスで、日本の競争力、ハイブリッド車のかなめの部品である。オイルがあってシミュレーションしているわけだが、このオイルというものは、潤滑だけではなく、モーターの冷却も兼ねている。これが今、シミュレーションできるようになっている。

目次

- ・デジタルツインによるものづくりの高度化を支える計算力学の現状(主に粒子法シミュレーションの例で)
- ・原子力分野における今後の技術開発

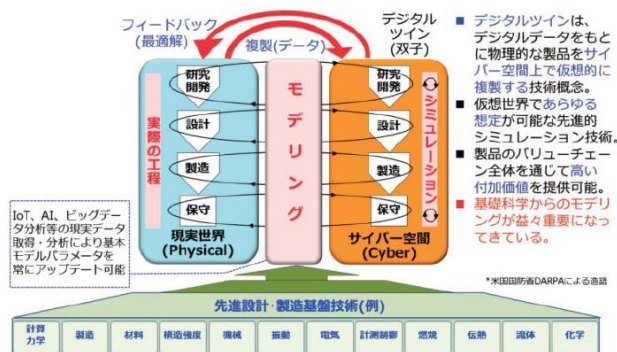


図 E-1 デジタルツインと先進設計・製造基盤技術

戦略プロポーザル 革新的デジタルツイン ～ものづくりの未来を担う複合現象
モデリングとその先進設計・製造基盤技術確立～, CRDS-FY2017-SP-01

図 3-4-1

粒子法

Oil flow in automobile gear box

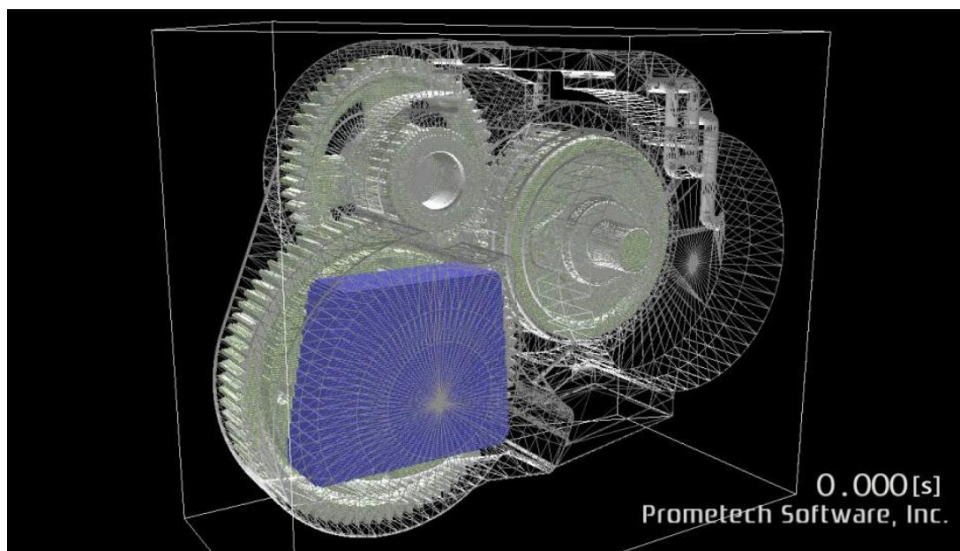


図 3-4-2

(出典：プロメテック・ソフトウェア株式会社 <https://www.particleworks.com/index.html> 2020 年 2 月アクセス)

ほかにも例があり、たとえばトヨタの冠水路のシミュレーションと実験である。冠水路に車が突っ込んだときの安全性をシミュレーションで評価できるようになっている。

また、ホンダはオイルの中の気泡の挙動の実験と計算を、丸山製作所は農業用機械のクランクケースの計算を実施している。ユニバンスはオートマチックのギアボックスのオイルの挙動解析をやっている。日本製鋼所は二軸スクリューで、樹脂をつくっているプロセスの解析を、三菱化学は攪拌槽のなかのシミュレーションを、資生堂も乳液をつくるプロセスシミュレーションをやっている。新日鉄住金は、鉄を連続鋳造でつくっていくときのスプレーで水をかけて冷却するプロセスのシミュレーションを、明治という食品会社は、嚥下のシミュレーションを実施している。高齢者の誤嚥が大変問題になっているところ、例えば明治は誤嚥を防ぐための水に溶かし込むとろみ剤をビジネスでおこなっており、どのようなときに飲み込みに失敗するのか、どうすれば成功しやすくなるのかというのを、シミュレーションで検討している。同様のことは病院でもおこなわれている。

シミュレーションが有効に利用された例もある。ハイブリッド車はモーターとエンジンを組み合わせる車なのだが、様々な方式が考えられたなか、梅村氏という方は、シミュレーションを用いて、適した方式を見つけ出したという。シミュレーションの結果が実際の車の開発につながっているということ。先進的な競争力につながるものづくりというのは、それを支えるシミュレーションがあるのが現状かと思っている。

では、シミュレーションの産業分野はどうなっているかというと、寡占状態になっている。構造解析と流体解析のソフトウェアは、四大会社、Ansys、Siemens、Dassault、HEXAGON、がそれぞれ持っており、これらが世界中で使われている。この中に日本製は SCRYU/Tetra の 1 個だけである。

日本の国産ソフトウェアは結構ある。SCRYU/Tetra はソフトウェアクレイドルという日本の

会社が開発したものだ。それから、JSOL の JMAG という電磁場解析ソフト、東レの Timon という樹脂ソフト、大学発のソフトウェアでは土井先生の J-OCTA、東大吉村先生の ADVENTURE、私は Particleworks という商用ソフトウェアと関係している。日本も頑張っており、この分野は非常に世界とコンペティティブである。

ものづくりの高度化とソフトウェアはセットになっている。例えば JSOL の JMAG、電磁場解析、これもハイブリッド車の開発に非常によく使われているソフトウェアである。それから、東レのソフトウェアは、炭素繊維の複合材料、その開発と密接に結びついたソフトウェアである。

企業と大学は学生に何を教えるべきかをまとめたデータが日本工学会のシンポジウム資料にある。トップは力学だ。力学シミュレーション、計算力学は、企業と大学の両者において、ものづくりには一番重要な技術であると考えているということである。機械学習や統計学も重要であり、大学も企業も必要だと考えている技術である。

大学と企業のあいだにギャップがあるのは微分方程式である。大学では、力学シミュレーションの基礎は微分方程式であり、数学であると考えている人がとても多く、こちらのほうが重要だと考えている人が多いのだが、企業はそうでもないことがわかる。いずれにしても、計算力学というものは今の日本の高度なものづくりにとって欠かすことができず、これからもますます重要なデジタルツインの技術であると考ええる。

さて、原子力分野における今後の技術開発として2点述べたい。一つは、純粋に技術の観点からである。安全性を高めた原子炉の開発と、これによる既存炉のリプレースである。米国とソ連はそれぞれ大事故を起こしており、それは、米国はスリーマイル島、ソ連はチェルノブイリだ。大事故以降、アメリカ、ヨーロッパでは、過酷事故対策炉の研究開発が盛んにおこなわれた。2 ループ構成の加圧水型原子炉 (AP-1000) や高経済性単純化沸騰水型原子炉 (Economic Simplified Boiling Water Reactor, ESBWR)、欧州加圧水型炉 (European Pressure Reactor, EPR) など、現在、このときに研究開発された炉が実際につくられつつある。AP-1000 も EPR も中国で運転が開始されている。我が国では、この流れからいうと、福島事故の経験を踏まえた耐震、耐津波など、さらに自然災害にも強い原子炉を我が国として開発すべきであると考ええる。

もう一つは、原子炉を支える基盤技術の推進である。デジタルツインや AI などの先端的な基盤技術を取り入れ、こうした原子炉開発、既存炉の運転管理を最新の技術で革新していくべきと考える。ソフトウェアが重要であるが、日本はないがしろにしており、原子力の分野では現在、韓国と中国はそれぞれ独自の原子炉研究開発をおこなっており国産化しているのだが、同時にソフトウェアも国産化している。アメリカ、欧州もソフトウェアの研究開発プロジェクトを推進しているが、日本はそうではない状況である。

この状況の例について、いくつか紹介したい。アメリカに NEAMS というプロジェクトがあり、これは Nuclear Energy Advanced Modeling and Simulation、まさにモデリング・アンド・シミュレーション、デジタルツインの原子力版がある。この NEAMS を開発し、技術を高めて、さまざまな原子炉開発の基盤にしようというものである。

他には、欧州に、THINS という欧州 24 機関による次世代炉の熱流動研究のプロジェクトがあり、シミュレーション技術を中心に知識を集約している。熱流動関係のソフトウェア開発を欧州全体 24 機関がおこなう非常に大きなプロジェクトである。こうしたことをアメリカも欧州も進めているが、日本にはそれが無い。

粒子法関係では、原子力関係の計算例がある。過酷事故の模擬実験を粒子法でシミュレーショ

ンしたもので、溶融物が凝固しながら広がっていくというプロセスをシミュレーションしているものや、福島第一原発における東日本大震災の津波の遡上を再現したものなどがある。前者は、原子炉が溶けて例えば格納容器の床に落ちて広がっていくとき、このように広がっていったのではないかと、というシミュレーションであり、後者は、福島第一原発における東日本大震災の津波の様子を再現したシミュレーションである。

最後に、図 3-4-3 に本講演のまとめを示す。

まとめ

- 計算力学は、デジタルツインによる高度なものづくりのための中心的な技術分野である。
- 計算力学に関する産業(CAE)は、着実に大きく発展している。商用ソフトウェアや規格作りにおいて、世界の中で日本もけっこう頑張っている。
- 一方、原子力分野におけるソフトウェア研究開発は、日本は米欧韓中に大きく遅れを取っている。
- 日本でも原子力分野の基盤的技術力を高め、福島原発事故後の原子力発電所リプレースの研究開発を始める時期ではないか？

図 3-4-3

3-5. 北村隆行「技術基盤を支える工学フロンティア」

- ・ 基盤技術再構築のための学術
- ・ 実際の機構観察に基づく知識・知恵

原子力技術の基盤学術という、それは工学だろう。それでは、工学とは何だろうか。工学とは、技術に関する学術、技術は実践である。学術とは知恵の塊のため、技術の知恵の塊は、ある意味で工学なのだろう。もう少しかみ砕くと、自然科学（認識科学）と設計科学で成り立っているものだ。

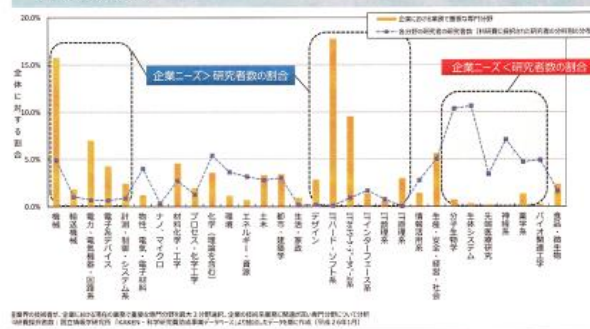
私の専門は機械工学だが、工学は二つに分かれる。原子力については、一つは、原子核工学、原子力工学、いわゆる原子力技術に特有のものである。もう一つは、一般の工学だ。私の専門はこちらのため、機械工学のなかの、とくに材料の強さ、破壊する、形が変わる、ものをつくる、といった形をつくるほうであり、この一般の工学の立場から話をする。機械工学だけではなく、土木工学や電気工学も同じようなものである。機械工学では、自然科学に相当するのが力学で、土木も同様だ。ただし、力学は材料の固体の力学や熱の力学や流体の力学等々がある。機械というのは何だろうという、これはルーローの定義でも有名で複数要素・運動・仕事を対象とする特徴がある。原子力を一般の工学から考えてみると、すなわち、機械工学、土木工学、電気工学から考えてみると、これは一般の蒸気機関に過ぎないということである。すると、一般的なこれまでの中核分野、中核的な工学の考え方が当てはまる。現在そして将来の問題点も実はそこにあり、一般の技術の知識体系のどこが問題になっているのかということを考え直す時期であろうと思っている。

図 3-5-1 は、折れ線グラフになっているのが研究者の数、横軸が各分野である。棒グラフは、企業がどういうところに人材を求めているのかということと、そのギャップを示している。原子力の基盤部分については、ニーズは多いが、研究者は少ない。これは原子力だけではなく、一般の技術としてそうだということであり、このあたりのことが問題になっている。

産業界ニーズの実態に係る調査結果より (文部科学省)

現在の業務で重要な専門分野とその分野に対する大学教育に係る認識

- 企業における現在の業務で重要な専門分野としては、依然として、機械、電気、土木、ITを選択した者が多く、さらに、いずれの分野についても、企業ニーズが高い。一方、必ずしも企業ニーズが高くない分野でも、研究者が数多く存在している。



問題：古い（旧い？）学術を
どのように
維持・発展させるか。

基盤技術
多くの産業分野において共通的
に必要となる技術
その知識群が基盤学術

図 3-5-1

大きな問題は、古い学術をどのように維持・発展できるかということである。学術が発展するには非常に時間がかかるため、一発展するような時間体系に自分たちのマインドが適応しているかということが一番大きなところだと思っている。それがこのグラフにもあらわれていて、実は苦しんでいる分野が、基盤学術に対応しているということである。

私の研究分野では、壊れるということに対して材料はどのような抵抗力を持っているのかということ調べるのが役目である。解明されているところも多いし、解明されていないところも沢山ある。その議論はしないが、トレンドとして今、その技術のなかの何が問題なのかみている。

機械学会には年鑑があり、どのような研究が裾野分野で進んでいるか書かれている。材料力学は基盤分野なので、毎年レビューが出ている。学会の考え方やそのときの会長の考え方等によりまとめ方に非常に大きなフラクチュエーションがあるが、題目を見ると、そのときのトレンドを知ることができる。

1980年頃は形が変わって壊れるかというような基盤的な課題のみであるが、85年ぐらいになると新構造材料が現れてくる。日本が経済的に発展して技術でもトップに躍り出たかと自信を持ち始めた時代である。2000年ぐらいになると、新しい材料も個別的になってきて計測法などにも新しい技術が出てきた。自分たちが先頭を走っているのだという気持ちになってきていた。さらに少し進んで2010年ぐらいになると、航空宇宙、自動車、電子デバイスという特徴的な産業の材料を対象とするかたちになってきた。こうした年鑑の内容を見て、私は思うことがあった。四つぐらい言えると思っている。図3-5-2にまとめた。

基盤（材料力学）研究の向上と停滞？

伸び率が高い（フロンティア） 国の研究プロジェクト

- ・「材料」の機能の重視
応用目的の明確化（個別材料の知識）
- ・「シミュレーション」の発展
計算機能力の向上

伸び率が低い フロンティアは何処にある？

- ・「力学」の衰退
連続体力学の頭打ち（共通的知識）
- ・「実験」を活かす方法の苦戦

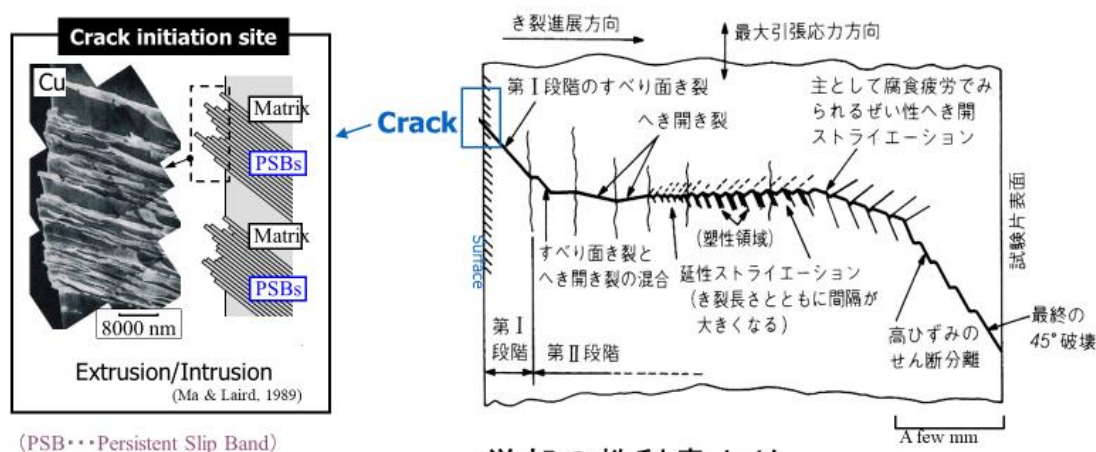
図3-5-2

一つは、材料の機能が重視されている、すなわち、応用目的が明確化されているということ。この材料はここに用いるのだから、この機能を最大化しよう、そのための個別の知識を得ようとなっている。それから、もう一つは、シミュレーションが抜群に発展しているということ。計算機の能力は抜群である。だが反対に、力学という言葉がなくなってきた。力学は、ものの運動や変形・破壊における同じところと違うところを明確に理解するものだが、それが頭打ちになってきて、個別性の反動が出てきた。シミュレーションも、実験を生かす方策として発展が著しい。

実験で本質がわかっていることはシミュレーションで種々の境界条件に拡張できるが、実験をやっても本質がわからないことはシミュレーションできない。

材料の機能に関するものやシミュレーションのほうは国プロに数多く取り上げられており、かなりフロンティアが出ている。では、力学のほうにはフロンティアはないのだろうか。一つだけ、問題点の例を示そう（図 3-5-3）。金属疲労は、1回の負荷では壊れないが、負荷を何度も何度もかけていると壊れるという現象である。普通は材料の表面から小さな亀裂が出て、負荷を上げておろして、上げておろすたびに、その亀裂が徐々に徐々に伸び、最後に壊れてしまう。

金属疲労を例に 問題点を



学部の教科書より

図 3-5-3

亀裂が伸びるシミュレーションをしようとするかどうか。これは簡単に今の計算機で計算できる。高級なソフトウェアを使わなくてもできる。小さい亀裂から亀裂先端にかかっている力を計算する。すると法則性に従って1回に亀裂が伸びる量がわかるので、亀裂を少しだけ長くしてやり、もう一回この計算をする。こうしたことを繰り返すとシミュレーションができるのだが、これは当たらない。

すなわち、これは実験法則で、相関関係に過ぎないのである。計算機的能力はもっとあるのだが、その複雑な法則はない。そのようなときにはどうするか。私はデジタルツインではなく、デジタルシングルが実態ではないかと思う。

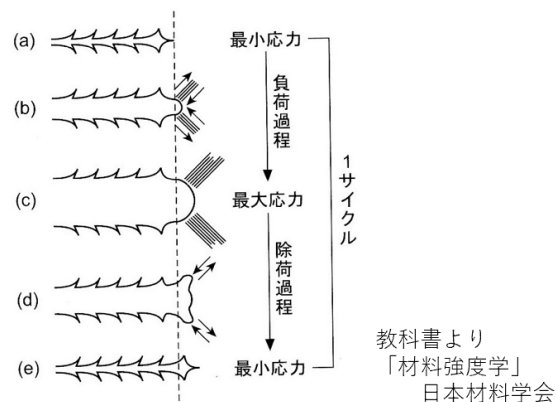
ここにこそ基盤の問題がある。これをどう解決するか。学術はこれまでのところ、そうしたときにはもう少し因果関係に戻りなさいという（図 3-5-4）。

実際は合わない：デジタル・シングル？

学術の役割

- ・ 亀裂先端で起きていること（亀裂伸長の機構）を物理的にモデル化（できるだけ因果関係）に基づく法則が必要。

教科書には疲労機構モデルがあるが、実際とは合致しない。



- ・ さらに、材料には微視組織がある。場所によって性質が複雑に異なる。有効なマルチスケール解析とは？

図 3-5-4

実際はもっと複雑なのだが、むしろこうしたところを追っていかなければならないのではないか。例えば私の研究室がおこなった実験で、ミクロンほどの大きさの金属に負荷のサイクルをかけた。何回にも分けて動かしていくと、プレートが滑っているのが見える（図 3-5-5）。

局所の疲労は見えるのか？ 最新の実験技術（フロンティア）

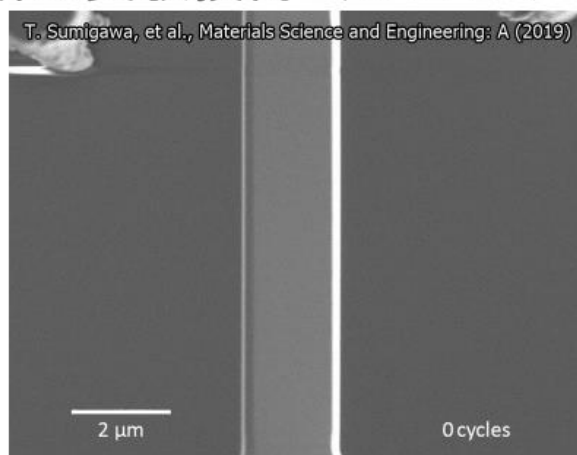


図 3-5-5

ナノは見えるか、教科書ではわからないとなっているものが見えるか、見えるのである。最近の新しいよい装置で、負荷を正当にかけてやれる様々な試験片をつくり、きちんと見ることができる（図 3-5-6）。私の研究室はこれがあるのでやったのだが、こうしたところの機構に戻らなければならない。亀裂があり、ここをずっと拡大していくと、原子まで見える。

シミュレーションできるところはシミュレーションするということでよいと思うが、現実には複

雑過ぎるので、そうは追いつかない。昔から設計というものは勘による部分があるということがもともとだ。経験による設計からの予測である。それが、計算による知識をまとめた設計へと進んできたのだが、それを機構による適切な予測にしないといけないのではないかと考える。これを基盤の進展という。その知識をつくろうということがこれから大切である。ただし、現実には複雑過ぎるので、どれから着手するか、どの実験技術を高めようか、ということを考えて見極めることが、実験者の腕、PD や PM の腕であると思っている（図 3-5-7）。



図 3-5-6

（出典：http://kitamura-lab3.p2.weblife.me/ 2020 年 2 月アクセス）

基盤から技術を考え直す -----現実には複雑すぎる-----

- 基盤技術は
経験による設計 ⇒ 予測（計算）による設計 へと進んできた
機構（物理的過程）に基づく適切な予測 への挑戦
- モデルは 実世界 と 計算世界 の結節点
精度は実世界の濃縮（知恵）の度合いによる 基盤学術（工学）
実験技術、計測技術（精度、密度）による体現度合
- どの現象のどの機構の探求をサポートするか
目利きの腕の見せ所（例えば；研究ではPD, PMの腕）

図 3-5-7

3-6. 岡嶋成晃「若手人材／研究者の現状と課題」

- ・若手人材確保のための挑戦的テーマ提示とその提示方法
- ・原子力プラント長期間停止における技術力維持・継承

私は昨年度まで JAEA（国立研究開発法人日本原子力研究開発機構）において原子力研究開発の基礎基盤研究分野の研究センター長を務めました。そうした観点では原子力研究開発の全体を把握している分野にいたと言える。本日は原子力のエネルギー分野に限った話だと思うが、原子力には放射線利用もあると思う。両者を認識しつつ、エネルギー分野における従事者の年齢分布データ等から、今後を担う若手人材や研究者に関する現状と課題がどのような状況にあるのかということを紹介する。

図 3-6-1 は、原子力学会会員の年齢分布について、2003 年と 2017 年を比較したものである。原子力学会会員は、研究機関、大学およびメーカーの方々などで構成されており、現在、会員数は約 6,000 名強である。

1. 日本原子力学会会員の年齢分布（2003年→2017年）

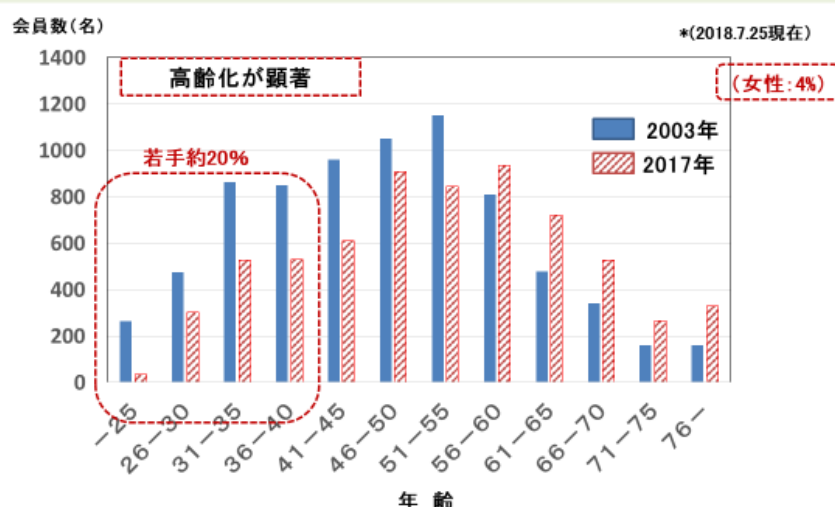


図 3-6-1

（出典：日本原子力学会 HP 60 周年記念シンポジウム講演資料）

図より、2003 年に比べると会員総数は若干減っており、2017 年の年齢分布プロファイルは、山の形がやや右のほうにピークシフトしている。すなわち、高齢化が顕著になってきている。おそらく他の学協会も同じような傾向があると思う。原子力学会における若手の割合は、定義に依存するが、仮に 40 歳ぐらいまでを若手とすると、現在、2 割程度を占める。ちなみに女性の会員は全体のわずか 4 %程度にしかすぎないという現状である。

次に、研究機関の職員の年齢分布を見る。私が所属している JAEA 場合を、図 3-6-2 に紹介する。図の横軸の年齢は 5 歳ごととしている。今年 4 月 1 日現在のもので、青い部分が研究者、小豆色の部分が技術者である。現役中の 36 歳から 40 歳ぐらいのところが年齢分布のなかで特に少ない状況になっている。今後、この年代の研究者や技術者がこのまま年をとっていくと、技術継

承に不安が残るであろう。また、彼らが活躍する時代になったとき、研究開発の実施数が少なくなるであろうとの懸念が、大きなポイントになると思う。

2. 研究機関職員の年齢分布

JAEAの場合

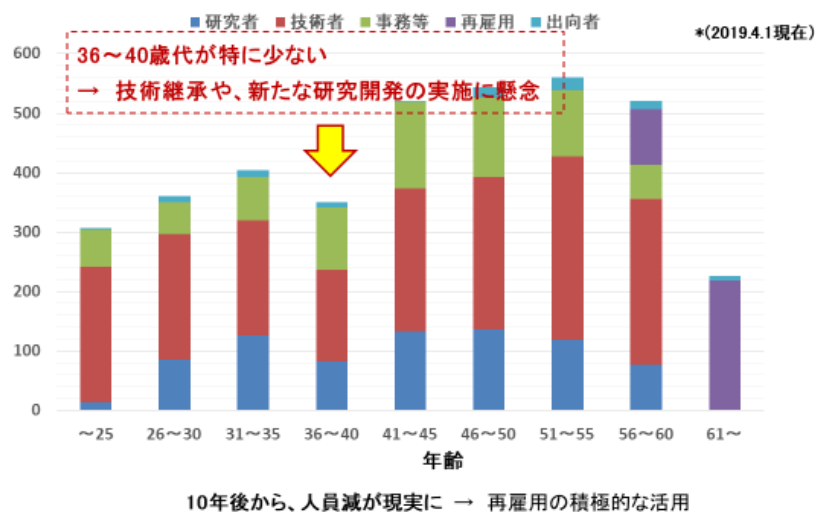


図 3-6-2

(出典：JAEA 内部資料 ※資料掲載につき許諾済み)

さらに具体的に、研究者の人員構成を図 3-6-3 に示す。ここで、青い線が 2009 年、赤い線が 2019 年である。両者を比較すると、26~45 歳の様相は大きく異なっている。2019 年では、36~40 歳の部分が特に研究者が少ないことがわかる。

2. 研究機関（研究者）の人員構成（09年 vs. 19年）

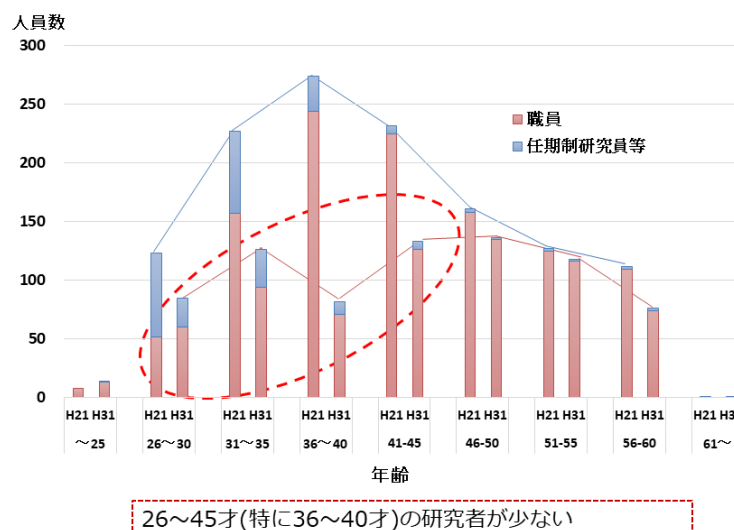


図 3-6-3

(出典：JAEA 内部資料 ※資料掲載につき許諾済み)

図 3-6-4 は JAEA 内の各研究部門の研究者の年齢分布である。安全研究を実施している安全研究センター、私がかつてセンター長を務めた基礎工学研究センター、基礎基盤研究のもう少し理学的なところを担っている先端基礎研究センター、高速炉や高温ガス炉といった新型炉を手がけている研究部門など、全体に共通して、36～40 歳ぐらいの年齢層が凹んでいる。

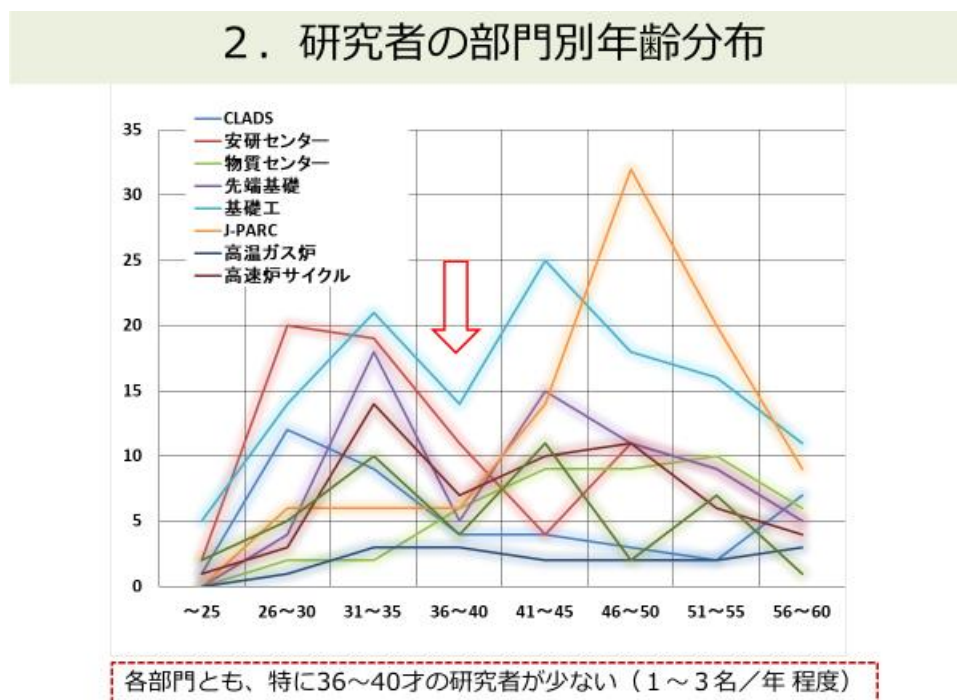


図 3-6-4

（出典：JAEA 内部資料 ※資料掲載につき許諾済み）

大まかだが、このあたりの年齢層の人たちはいずれの研究センターでも 1 年に 1 名から 3 名程度しか補充されなかった結果である。すなわち、研究分野が種々にわたるため、各分野に 1 年に 1 人、入るか入らないかという程度だったということがわかる。

次に、民間の場合を見てみる（図 3-6-5）。日本電機工業会からデータをいただいた。プラントメーカーの従業員の年齢構成について、震災直後の 2012 年と 2018 年との比較である。図から明らかなように、36～40 歳代ぐらいの年齢層で凹んでいるのがわかる。その結果、50 歳代の人たちが 10 年後に定年退職すると年齢分布プロファイルが大分変わり、現在 36～40 歳代ぐらいの人たちの少ないために、事業実施がやや危機的な状況になる可能性があるという危惧される。

次に、プラントメーカーにおける建設経験を持った方々の年齢分布を、図 3-6-6 に示す。同様に 2012 年と 2018 年を比較しており、明らかにわかることは、プラント建設経験者数は、全体として減少傾向にある。さらに、31～45 歳の年齢層のところは、全体の相対的な形から見ると、他の年齢層に比べてはるかに少ないということである。

これに加えて、今、40 代後半の人たちの減少も始まっている。この年齢層の人たちはかなり経験が豊富であるが、退職によって減ってきており、技術の伝承が今後の大きな課題になってきている。この人たちが減っていくうえ、36～40 歳代の受けも少ないので、伝承は大きな問題である。

3.1 民間(プラントメーカーの従業員)の年齢構成 (12年 vs. 18年)

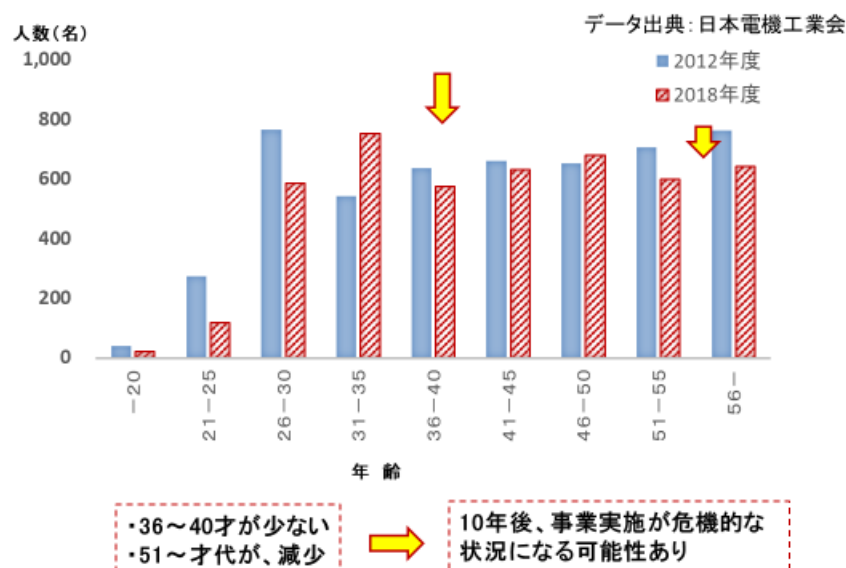


図 3-6-5

3.1 民間(プラントメーカーの建設経験者)の年齢分布 (12年 vs. 18年)

プラント建設経験者

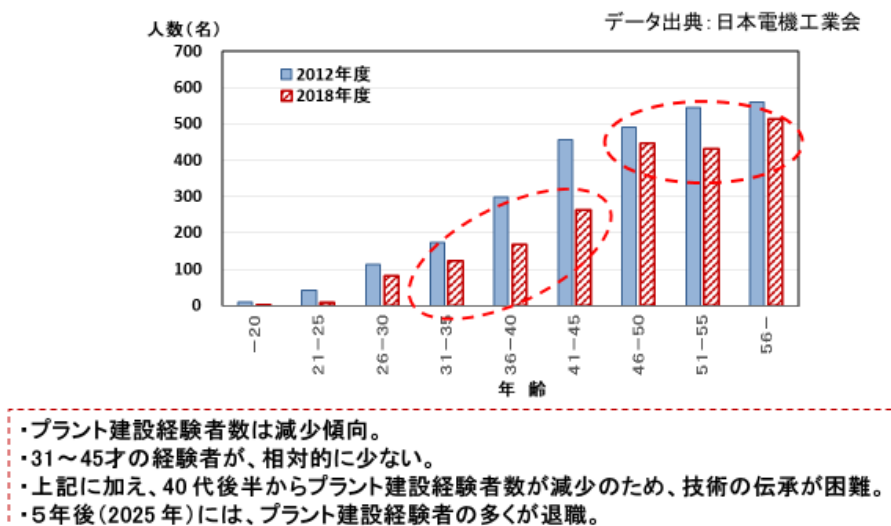


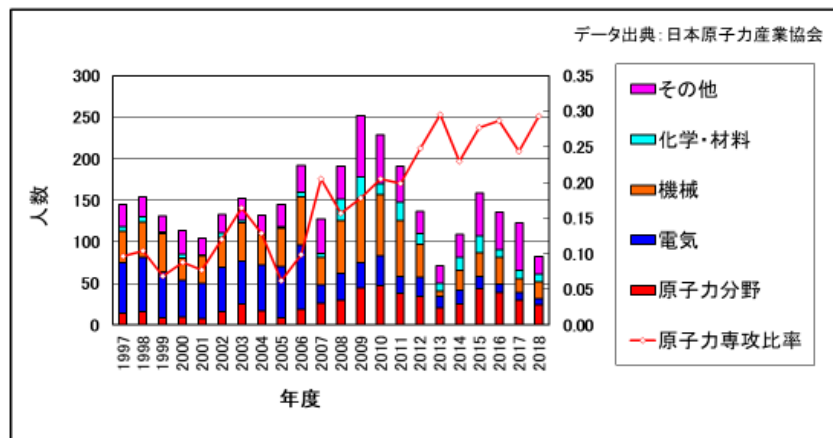
図 3-6-6

図 3-6-7 は新入社員の年度別数であり、メーカーでそれぞれの原子力部門に対しどれほど新入社員、採用者数が変遷しているかということを示している。震災が起こった翌年度の 2012 年以降を見るとわかるとおり、2013 年を底にして、少し上昇してきた。しかし、最近また減少する傾向にある。

原子力専攻の比率については、大体 10～30%の幅のところにある。原子力以外には、電気、機

械、化学・材料など、原子力そのものが、広範な分野からの採用になっていることがわかる。

3.1 民間(メーカー 原子力部門)の新入社員者数



- ・2013年が最低であり、2015年に向けて増加したが、その後、減少の傾向
- ・原子力専攻比率は、10～30%

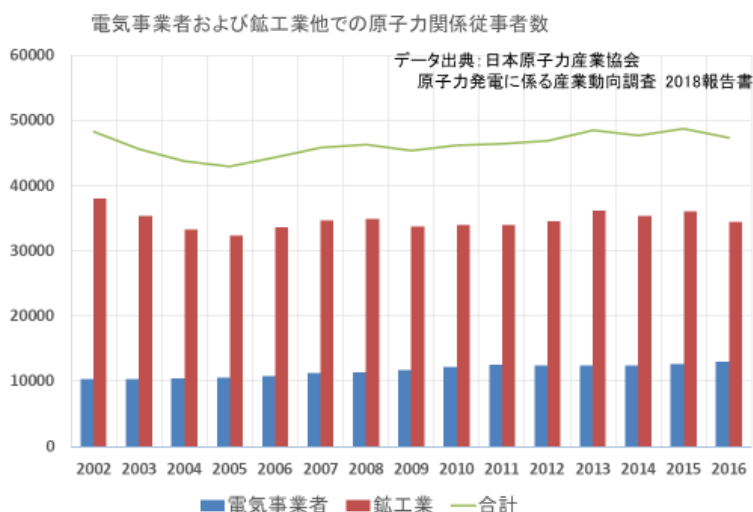
調査対象: 新入社員の配属状況

9

図 3-6-7

また、もう一つ民間の状況として、電気事業者の場合の年度別原子力関係従事者数を示す（図 3-6-8）。電気事業者の場合、全体として、ほぼ一定の人員の確保をしている状況である。赤は鈾工業ほかの分野での原子力関係の従事者数であり、若干変動があるが、プラントメーカーに比べると割と一定で人員を確保している状況である。

3.2 民間（電気事業者ほか）の原子力関係従事者数の推移



- ・電気事業者における原子力関係者数はほぼ一定の人員を確保

10

図 3-6-8

ところが、電気事業者についてもある特定の会社（A 社）を見てみると、原子力要員の年齢分布について、2009 年と 2019 年を比較したとき、明らかに、31 歳から 40 歳までの年齢層が少なくなっている（図 3-6-9）。そして、もう一カ所、少なくなっているところが、46 歳から 50 歳の年齢層部分であるということもわかる。

3.2 民間（電気事業者）の年齢分布（09年 vs. 19年）

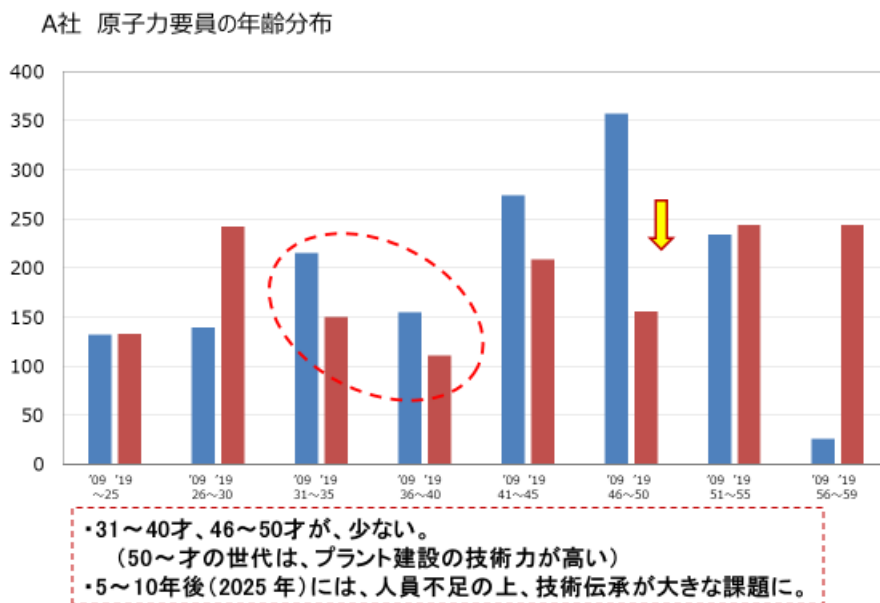


図 3-6-9

（出典：A 社内部資料 ※資料掲載につき許諾済み）

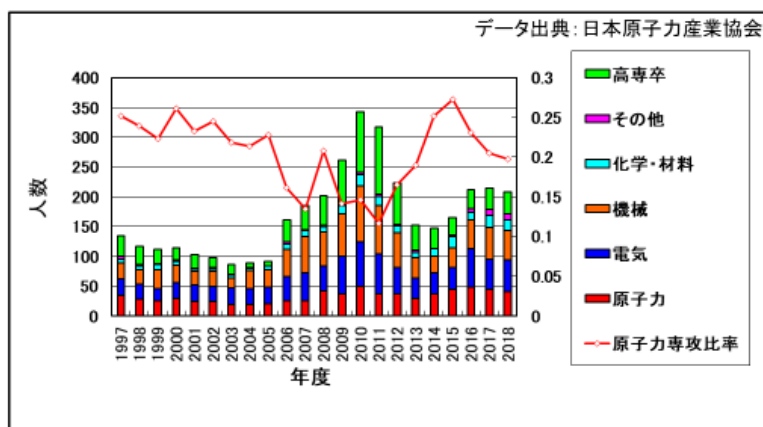
こうしたことからすると、このまま 5 年、10 年先を考えていくと、人員不足が起こることが容易に想定でき、技術継承を受ける側の人が徐々に減っていくことが大きな課題になっている。

電気事業者の原子力部門の配属状況は、先ほどと同様、震災以降の 2013 年、2014 年ぐらいを底にして少し持ち直すが、全体として減少傾向であることに変わりはない（図 3-6-10）。原子力専攻を卒業した人の比率は、人数が少ないときには高くなる傾向だが、全体的には 10～25% ぐらいになっている。もう一つの特徴は、2008 年あたりからは高専卒の方々がわりと大きな比率を占める状況がある。

電気事業者の中でも、特に保守等の業務を経験された方の割合の年齢分布を、ある会社（B 社）の場合について見る（図 3-6-11）。この図から、プラント保守の経験を有する人材の推移がわかる。

まず、作業班長数についてみると、図 3-6-11 の左側であきらかなように、2008 年度を 100 すると、2018 年には 66 に減少している。さらに、作業班長の内、稼働プラントの保守経験がある人は、2008 年には全員であったのが、66 中の 40 が経験なしの人々である。震災後にプラントが長期停止していることがこのようなところにも影響を及ぼしている。そこで、稼働プラント保守経験のあるなしについて年齢分布を見ると（図 3-6-11 の右側）、保守経験のある人は 40 代でピークになっており、40 代以上の人では、約半数保守経験がある。それに対し、30 代の人達の中では、3 割以下の人しか保守経験を有していない状況である。

3.2 民間(電気事業者 原子力部門)の配属状況



- ・震災以降、2014年が最低であり、2016年に向けて増加、最近はやや減少の傾向（2000～2005年の頃よりは、多い）
- ・原子力専攻比率は、10～25%（2009～2012年は、高専卒の採用が増加）

12

図 3-6-10

以上のようなデータをもとに、研究機関や民間の人員数について、全体的網羅したところ、その傾向として、震災以降 2013 年から 2014 年ぐらいを谷底に、少し増加傾向にあったが、最近、若干漸減傾向になってきている。研究員や従業員の年齢別分布の傾向からすると、現在、30 歳から 45 歳ぐらいまで、特に 36 歳から 40 歳の年齢層の人々が非常に少なくなっている。これに加え、40 代後半からの特に保守経験者数、様々な現場の経験をもっている人たちの人数も減ってきている状況である。

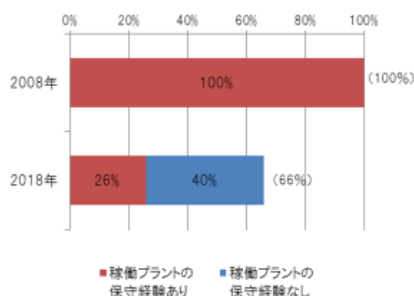
3.2 民間(電気事業者保守経験者)の年齢分布

作業班長における稼働プラント保守経験を有する人材の推移(B社の例)

2018年度の作業班長は2008年比で66%へ減少している。
また、作業班長のうち、稼働プラントの保守経験を有する者の比率も低下している。

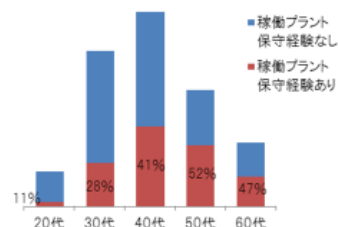
<作業班長数の推移>

※2008年時点の作業班長数を1とした場合



<参考>

2018年1月時点の年代別稼働プラント保守経験者割合



出典: 日本原子力産業協会 原子力の社会的信頼の獲得に向けた取り組み(2018.3.6)
(日本原子力産業協会調べ)

図 3-6-11

懸念事項は、プラントがまず 10 年間停止した場合、運用管理要員の技術力や彼らの経験を彼らより若い世代に具体的に伝えようとしても、その技術力や経験を維持することが困難であると同時に、伝えるための手段がないということが一つ指摘できると思う。もう一つは、この 50 代の人たちが今後退職していくことで、ますます若手への技術継承が困難になっているということが言える。さらに、現在 36 歳から 40 歳までの人員不足がこの先働き盛りになってくると、これまでに比べて、様々な研究や業務の担い手が不足していくだろうということから、研究開発及び事業継続のどちらも危機的な状況になっていく可能性があると思われる。

特に技術継承の点では、長期期間の停止により、現在その底上げをどうしているかという点、具体的なところでは、稼働している所へ行って、そこで経験を積むということはしてもらっているようだが、それにも限界があるだろう。さらに、具体的に実際の設計やものづくりというものは、現場での経験を積むこと、すなわち OJT の機会が必要かと思うが、そうした OJT の場が非常に少ないということが、現状である。

結果として、座学としては修めているが、実戦経験の非常に少ない技術者が多数輩出されるのではないかという懸念がある。これを補うという点では、すぐさまの解決が難しいので、すでに言及のあったシミュレーション、さらに積極的にバーチャルリアリティの積極的な活用ということも一方策ではないかと、私は考える。

人の確保には、まず若手が何かしら大きな目的を持っているというような、よいビジョンのテーマ、そうしたものの提示が必要だろうと思う。その提示も工夫が必要ではないかと考える。現状では、若手に少し意見を聞くと、廃炉には興味を有しているようだが、その廃炉の先は何なのかということが何もなく、今の現実だけをただ見ている、という状況のようである。何か挑戦的なテーマが必要ではないかと思う。例えば、廃棄物処理の解決などが一つの大きなテーマになるのではないかと考える。また、ダイバーシティというかたちで、女性の比率を高めたり、海外の人材を雇用したりすることも一つの展開になるのではないかとと思われる。

若手の人材育成という点では、理科離れということが現実にも言われているが、実際のところは工学離れが大きいのではないかと思う。もう一つ懸念することは、学生の実力が低下しているのではないかということも気がかりである。我々の同僚の中には様々な大学に教えに行ったりしている者もいるが、彼らから聞くと、数式に関する理解不足を実感することもあるという。この原因は何なのかと考えると、私自身の子どもをみていると感ずるのだが、入試制度に要因があるのではないかとも思っている。とくにセンター試験で点数のとりやすい科目だけを頑張って勉強することは、本質的に物理や化学を学んでいこうということではなく、点数のとりやすい科目だけを勉強するという形になっているのかもしれない。また、原子力の基礎、基盤工学に関する大学教育の希薄化が指摘できる。これについては日本原子力産業協会が資料をまとめたものがあり、問題意識が記されている。

さらに研究者の課題という点では、一つは、専門性の分化ということが挙げられる。俯瞰的にものを見ようという部分が少し欠けているのではないか。もう一つは、最近の若者の気質として言われる部分では、与えられた課題には取り組むのだが、自発的に取り組むことは苦手であるような傾向があるのではないかと感じられる。

3-7. 橘川武郎「今後の原子力政策のあり方」

- ・漂流する原子力政策
- ・実効性のあるバックエンド対策

私の専門は歴史で、経営の歴史について、アントレプレナーという科目を MOT で教えている。歴史なので、一般電気事業者 10 社のうち 7 社ほどの社史を書いており、そのために現場をたくさん回った。原発のサイトは全部訪問しており、東日本大震災（2011 年 3 月 11 日）の後、原子力に関して様々発言してきた。

私は推進派と反対派が交流しても意味がないと思っており、現実的な解決策を言わない人もまた意味がないと思っている。まず、推進派について述べる。日本は原発事故に対して無限責任である唯一の国である。電力会社は強かったがなぜそうなったかという、事故の話をする事自体がおかしい、こうした話だったので無限責任ができてしまった。それ自体が安全神話だったということだ。3.11 の後、米原発のテロ対策 B5b というものが重要だとわかっているにもかかわらず、特重問題で今さら間に合わないなどと言っている。推進派の方には、そこに問題点が端的に出ていると思う。

反対派については、広島、長崎、第五福竜丸、福島事故、と経験したこの国で、ドイツの緑の党のような有力な原発批判政党が育っていない。なぜかという、対案を言わないからである。小泉氏が端的だが、トイレのないマンション、これは実に正しい指摘だ。しかし、彼がもし学生であった場合そのような卒論を出してきたら落ちる。問題提起として、トイレのないマンションは正しいのだが、答えは原発ゼロしかなく後は専門家が考えてくれというものだ。5 年 5 カ月間首相をやっていた原発の数を数えると、日本で一番核のごみをつくった首相である。そのことに気づいたのなら、どのようにバックエンド問題を解決するのかということを行わなければならないのに、原発ゼロと言った瞬間に問題が解決するかのように思っているのが反対派だ。これも全く未来がないのであり、ずっと様々なところで話してきたが、推進派からも反対派からも未来は開けないのではないと思う。

ただし、権力を握っているのは推進派のほうなので、一番大きな問題は、亡くなった澤昭裕氏が、彼は非常に心ある推進派だったと思うが、彼が最後に残した遺稿のなかで指摘した論点だ。そこでは、日本の原子力を殺すのは原子力ムラ自身であると言われている。この言葉は重い。原子力を何らかの形で続けるというのなら、危険性を最小化するのが当たり前であり、中国で欧州加圧水型炉（European Pressure Reactor、EPR）や AP-1000（ウェスチングハウス社製加圧水型原子炉）が動いたこのときに、リプレースの話をしないような原子力の議論などあり得ない。審議会において私は第二次、四次、五次とエネルギー基本計画の委員をやってきた。菅首相の原子力五十何%の三次だけは囁いでいないが、四次と五次では反対した。私は反原発ではない。委員 15 人の中で、第五次基本計画に反対したのは二人。もう一人は反原発だが、私は違う。まさにリプレースのことを堂々と言わないような推進話というのは全くおかしいと思っている。

経産省は、順調に再稼働していると言うが、どう考えても順調ではない。すでに 21 基の廃炉が決まっており、順調に廃炉に向かっていると考えたほうが良いのではないかとと思っている。私は 8 年半が経ってもまだ未申請の 9 基については、浜岡 5 号機のように最新鋭の炉もあるため、全部がだめだとは言わないが、かなり動くのは難しいのではないかとと思っている。審査中の 12 基のなかにも活断層の問題があったり、許可済みで未稼働の 6 基にも地元との関係があったりし

て、30 基から 35 基くらい廃炉になってくるのではないかと考えている。

すると動くものは 20 基台、22 基あるいは 27 基ほどになる。今のエネルギーミックスでは、2030 年に原子力は 20～22%、これははっきりと経産省担当者が当時言っていたが、30 基が 80% の稼働率で動いてようやく達成できる数字なので、基数からしても足りない（図 3-7-1）。80% という数字は、14 カ月に 1 回点検があることを考えるとほぼずっと動いているという条件でのものである。唯一、3.11 まで一度も点検以外で止まったことがなかったのが四国電力の伊方であるが、その 3.11 までの生涯稼働率が 82% であったから、相当無理な数字である。事情に詳しい人には、この 20～22% は絵そらごとであるとわかっていると思う。それにもかかわらず、これに深く切り込んでいかない。つまり原子力は今、主として推進派の人たちがすべき議論をしない限り、厳しい状況になりつつあると思う。これが現実である。

日本政府策定のエネルギーミックス 電源構成

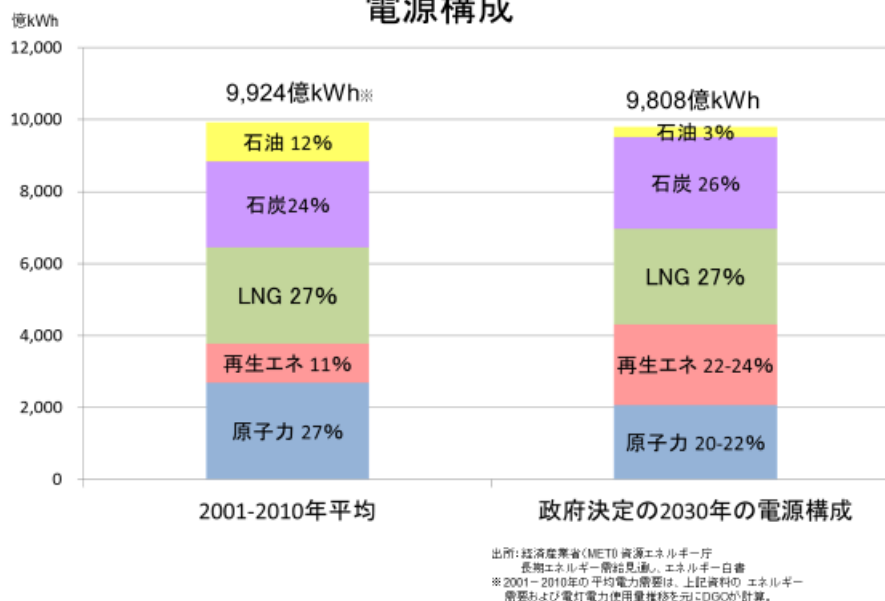


図 3-7-1

なぜ、第五次エネルギー基本計画に反対したかという点、もともと問題があったからだ（図 3-7-2）。もともとのミックス、15 年に決めたものを踏襲したのだが、それは原子力が高過ぎると思う。17 基というのは、3.11 のときの 57 基から廃炉になった 21 基を引き、建設中の東電・東通原発は意味がないと思っているため 1 基を引き、さらに 30 年末時点で運転延長の必要のない 18 基を引いたものである。問題は、2030 年末時点で稼働後 40 年以上になる 17 基をどうするかだ。政府はリプレースを言わないので、放っておくと 15% にしかないが、20～22% へ 5～7 ポイントを上げるためには延長しかない。

第5次エネルギー基本計画の問題点

(1)もともとの15年策定のミックスが問題あり

高すぎる原子力:

17(=57-21-1-18)基中10~15基が「60年運転延長」

低すぎる再生エネ:環境省案は中位31%、高位36%

(2)最近の変化を反映していない

再生エネコストの劇的な低下、原子力再稼働の未進捗、
ベースロード電源のあり方の変化、EV化見通しの上方修正、
原油価格とLNG価格とのデカップリングの始まり。

(3)50年見通しと30年目標との平仄が合わない

再生エネの主力電源化⇔30年目標をそのまま据え置き

「脱炭素の選択肢」としての原子力⇔リプレースを回避

37(=18+2+17)基すべて60年延長でも50年18基、60年5基、69年0基

リプレースと原子力依存度低減とは矛盾しない。

図 3-7-2

その延長をどれほどやるかという計算は可能で、稼働率によるが、10基から15基を延長することが決められたということだ。ということは、規制委員会の頭越しに事実上、60年運転を常態化したというのがこのミックスであり、原子力依存度を可能な限り下げるという公約とは明らかに反すると思う。また、再生エネの22~24%というのも低過ぎると思う。環境省案では31%という数字を言っていた。もともとのミックスが、原発比率が高過ぎ、再生エネ比率が低過ぎたと思う。それが15年に決まって、18年の間に様々な変化があった。その変化も反映されていない。

第五次基本計画は50年のことも言った。これは二つのことを言っている。再生エネの主力電源化、これは非常にいい方針だと思う。もう一つは50年でも原子力は脱炭素の選択肢として重要であることだ。これも一つの考え方だと思う。先ほど次世代へのツケという話で使用済み核燃料の問題が出たが、もう一つ大きく二酸化炭素の問題があり、そちらの方では原子力は二酸化炭素を減らすほうの武器になるかもしれないため、こうした考え方は当然あり得ると思うが、リプレースを言わないとオプション、選択肢にはなり得ない。自然に立ち消えていってしまう。その意味で、第五次基本計画は欺瞞に満ちたものだと私は思う。

3.11の後、政治家と官僚がとった態度は、たたかれる側ではなく、たたく側に回るということだと思う(図3-7-3)。原子力を国策民営でやってきたので事故を起こした電力会社の人が福島へ行って陳謝するのは当たり前だが、その後、政治家も官僚も行って同じことをしなければならなかったはずなのにそれをやりたくないため、原子力のことについては先延ばしして問題については立ち入らないという状況だ。電力業界をたたかれる側に見立て、政官はたたく側にと回った。

たたかれる側がさらに足りなくなったら、ガス業界も含め、システム改革のほうは進めた。つまり、3.11以降のエネルギー政策というものは非常に進んだ部分と全く進んでいない部分があり、進んだ部分がシステム改革、進んでいない部分が原子力政策である。規制委員会はできたが、原子力行政と規制行政は切り分けるということが前提であるから、原子力行政は何も進んでいない。

原子力政策：現状認識と打開策

- ・なぜ、原子力政策は漂流しているのか
「叩かれる側から叩く側に回る」
電力・ガスシステム改革には熱心だが、原子力政策は先送り
3年先しか見ない政治家・官僚
30年先、50年先を読む眼力が求められるエネルギー政策
- ・原子力政策再構築の方向性
 - (1)リプレースと依存度低減の同時追求
 - (2)postもんじゅのバックエンド対策：
毒性低下のための技術革新とオンサイト中間貯蔵
 - (3)オプションとしての
「リアルでポジティブな原発のたたみ方」

図 3-7-3

なぜそうしたことになるかという、それは選挙である。今やエネ庁の人はリプレースをやらなければならないと思っているが、官邸がそれを全てストップする。選挙に勝つということが大事であるからだ。それを官邸に言われてしまうと次のポスト、天下り先を考える官僚の人も言えなくなってしまうので、政・官は3年先しか見ない。この人たちがエネルギー政策を動かしている。ここにまさに最大の問題があると思う。

どうすればいいかということを見ると、私はリプレースを堂々と言うべきだと考える。なぜリプレースするかというと、新しいほうが、危険性が少ないからリプレースするのであり、逆に言えば古いものは危険性が大きいのであるから、40年を待たずたんでいいと思う。そうした意味で、原子力依存度を下げながらリプレースしていく。30年の依存度は15%ぐらいでいいと思う。

そして、何ととっても重要なことは、使用済み核燃料の処理問題の対応である。私は理科系ではないので、推進派が言う地層処分は安全だということに対して反論できない。だが、安全だったとして、プルトニウムの半減期は2万4,000年だが、2万年前の日本列島は北海道とロシアがつながっていた。本州から種子島までつながっていた。つまり、現在の海岸沿いにあるとされる最終処分場の適地は、海底に沈んでいくかもしれない。スカンディナ비아半島とはそこが違うのであり、危ない期間は短くしなければだめだと思う。

これを理科系の方に言うと、非常に難し過ぎて無理だと言われるのだが、ノーベル賞五つぐらいの価値があり、私は理科系の人を信じている。必要なことは必ず発明してくれると思っているので、核種変換のようなものに取り組むべきである。そのためのもんじゅの増殖炉ではなく高速炉の技術というのは重要だったが、これもまた、たんでしまった。これは非常に問題であり、ポストもんじゅの、そうした危ない期間を短くするためのバックエンド対策が必要だと思う。

ただし技術開発に時間がかかるため、使用済み核燃料の中間貯蔵はやらざるを得ないと思う。そうするとやはり、原発敷地内でのオンサイト中間貯蔵が必要だ。ところが日本はオンサイトではごみは残さないと約束しているから、そこに最大の問題がある。それを考えながら、立地地域が町として生きていけないと原発のたたみ方にならないので、三つのことを考えるべきである。

一つ目は、発電設備は危ないが、送変電設備は立派なので送変電設備を使って火力シフトをし、ずっと電源地帯としていく。これを嶺南地域に行くと、火力シフトはいいが原発の定期検査のときに比べて雇用が減ると心配されるのだが、二つ目の廃炉ビジネスを視野に入れば、それが雇用を着実に生んでいく。そして、三つ目に、オンサイト中間貯蔵に対して消費地から保管料を払う。これまでの電源三法交付金だと、次の原発をつくるためのお金ということで反発が強かった。しかし、この保管料は、すでに使った電気が生んだ危ないごみをあずかってもらうわけであるから、抵抗感は小さいはずである。火力シフトと廃炉ビジネスによる雇用確保と使用済み核燃料の保管に対する保管料、この三つがあれば原発なしでも立地地域は将来やっていけると思う。

ただし、これは、原発をたたむことを現時点で決めるということではない。あくまで、バックエンド問題が解決できないときにはたたまなければならないということに過ぎない。今の時点で原発をずっと使い続ける、あるいは、すぐに原発をゼロにする、それを言うこと自体、両方とも無責任だと思う。それを決めるのは、将来、バックエンド対策ができるかどうかによるのであり、そのためにチャレンジしないと、これは日本だけの問題ではなく世界の問題なので、そうした方向しかないのではないと思う。

政府や官僚は当てにならない。民間でいくしかない。民間活力の象徴は黒部ダム建設である。中島みゆきが1回だけ出場した紅白歌合戦で「地上の星」を歌ったのは黒四だった（図 3-7-4）。国に対して民間の方が、効率的に公益事業ができるという証として太田垣士郎らが黒部ダムを建てた。政府がもう一回、国家管理に戻そうとしていたから、それに対抗する意味合いがあった。そうした意味で、この原発のリプレースを民間で言えるかどうか。JR 東海が自分たちの手でリニアをつくるといったように、自分たちの手でリプレースを言う。これは民間しかないのではないかと考える。

太田垣士郎・芦原義重の黒四建設(1961)

□民間活力の象徴

- Project X: 中島みゆき紅白歌合戦出演(2002、地上の星)
- 三船プロ・石原プロ「黒部の太陽」(1968、石原裕次郎主演)

■いくつかのイノベーション

- 世銀借款として日本初のインパクトローン
- 大規模工事+新技術(アーチ式ダム)

□破砕帯を突破しての社運を賭けた挑戦

図 3-7-4

3-8. 遠藤典子「安全保障と原子力技術」

- ・国営化を含めた国の関与のあり方
- ・新型炉の開発と商用化

今まで、いわゆる核不拡散のコンテキストから原子力技術の管理は、国際原子力機関（IAEA）や核兵器の不拡散に関する条約（NPT）を中心になされてきたが、二国間協定をベースとした民生用原子力技術の移転問題が新たなリスクとして浮上している。特に中国製とロシア製原子炉の建設ラッシュ、また、そこから中東や東南アジア、インド周辺国における技術移転による核拡散の問題がある。その背景には、西側諸国の原子炉メーカーの相対的凋落がある。米国の Westinghouse Electric Company はカナダのファンドの傘下に入り、三菱重工業およびその連携先のフランスアレバグループや、日立 GE ニュークリア・エナジーが西側諸国の原子力陣営である。こうした安全保障の問題にかかわる問題をどのように見るべきか、この点も原子力政策においても重要な視点であり、本日提案する。

近年、気候変動問題を世界的リスクの一つに加えるべきだという議論が盛んである。キャス・サンスティーンというハーバード大の先生が「最悪のシナリオ」という本で、過剰反応と完全なる無視という言葉で、9.11 のテロ問題と気候変動問題に対するリスク認知について比較していた。人々は、顕在化していないリスクを無視する一方、経験した事象のリスクにだけは過剰反応しがちであると指摘している。原子力の過酷事故を経験したが、気候変動リスクに対し、原子力はその一つの有効な解決手段になることもまた事実である。これから経済成長が加速する新興国やエネルギー転換を図る国々においては、なおさらである。現在、日本の原子力のうち再稼働を果たしたのは9基、新設の計画はないが、世界市場では、アジア、アフリカ地域を中心に、建設ラッシュが続く状況にある（図 3-8-1）。

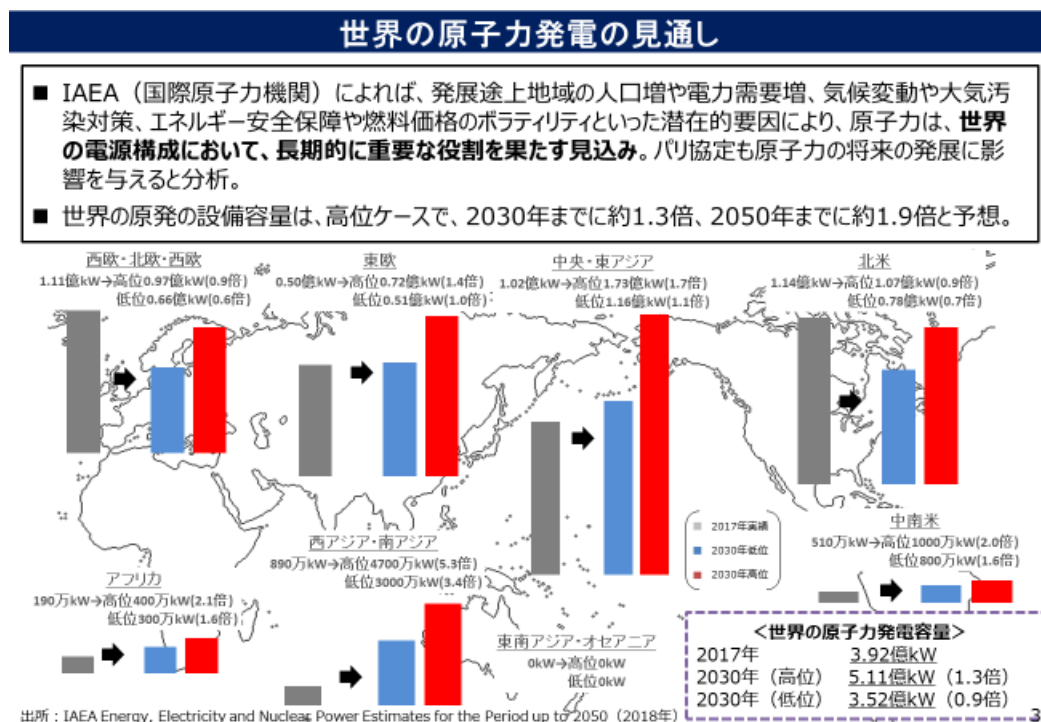


図 3-8-1 [出所：経済産業省]

図 3-8-2 は、アメリカ、日本、フランス、ロシア、中国の国内外における新規着工基数を表したものである。アメリカでは、スリーマイル島事故の後、国内では 2 基しか着工できず、海外では、福島原発事故以降はゼロとなっている。フランスも似た状況であり、それに対して中国とロシアは海外も含めて建設ラッシュにある。世界原子力協会の最新の数字（2019 年 8 月現在）では、中国は運転中が 45 基、建設中が 15 基だ。フランスの欧州加圧水型炉（EPR）とアメリカの加圧水型原子炉（AP-1000）は中国で初めて運転されている。つまり、中国の技術はこのような建設ラッシュのなかで確実に上がってきていると言える。

主要国の原子力発電所の建設状況						
		TMI事故まで (~1979)	TMI~フェルナンド (1979~1986)	フェルナンド~ 福島第一原発事故 (1986~2011)	福島第一原発事故以降 (2011~)	
米国	国内	133	0	0	2	
	海外	35	5	4	0	
フランス	国内	41	23	5	0	
	海外	5	2	7	0	
日本	国内	24	16	19	0	
	海外	0	0	0	0	
ロシア	国内	40	10	8	2	
	海外	32	23	7	7	※中国、インド、 ベラルーシ、 バングラデシュ
中国	国内	0	1	39	14	
	海外	0	0	3	3	※パキスタン

※「国内」は同国内で建設開始された基数、「海外」は同国メーカーが海外で建設開始した基数（一部重複あり）。
 （出典）日本原子力産業協会『世界の原子力発電開発の動向 2018』

図 3-8-2

中東は今、特にサウジアラビアに動きがある。同国は電力供給の 7 割を天然ガスに依存しており、今後の需要の高まりを見越し、原子力発電へのニーズが高まっている。2020 年までに 8.8 兆円をかけて、今後、20 年から 25 年をかけて 8.8 兆円で 16 基をつくる計画である。現時点では、韓国に加え、中国勢とロシア勢の攻勢が顕著である。

これに対してアメリカは、産業界を中心にサウジアラビアへの輸出を何としても実現すべき、との声が高まっている。アメリカは通常、二国間協定、いわゆるワンツースリーアグリーメントにおいて、ゴールドスタンダードと呼ばれる極めて厳しい不拡散の条件を相手国に飲ませている。しかし、そうした条件が比較的緩やかな中国、ロシアと対抗するために、ゴールドスタンダードを緩めてでもサウジアラビアに輸出すべきだという声も大きい。原子力の技術輸出において、その国同士のつながりは、廃炉までも含め 60 年を超える長期に渡るため、こうして次々と中国とロシアに依存していく国々が中東で増えていくということを大きく懸念しているのである。また、中国はとりわけ、バックファイナンスの仕組みを用い、中国輸出入銀行も支援するため、導入国がいわゆる借金漬けになる可能性も懸念されている。

中東では他にも、エジプトではロシアと締結されており、ヨルダンについては、ロシア、中国

と締結されている状況になっている。ASEAN も同様で、メインプレーヤーは中国、ロシアである。タイは中国核工業集団、カンボジアも同様に中国核工業集団と、ベトナムもロシア、中国政府との人材協力や安全の覚書などの協定を結んでいる。このような、中国とロシアが席卷している状況をどうみるかという問題である。

インド地域についても同様で、懸念されるべき国として挙げなくてはならないのはパキスタンであるが、こちらでも 30 万キロワットを 4 基、これも中国が全面協力して導入することになっている。このようなチャシュマ、カラチといった主力原発が中国に押さえられているということだ。

インドに関しては、原子力損害賠償制度の点で特異的な国である。ほとんどの国において、原子炉メーカーの事故の際の賠償責任は問われないが、インドの場合、原子炉メーカーについても賠償責任を問うスキームになっている。そのため、インド進出に二の足を踏む国が多いのだが、ロシアの積極的な進出があり、もちろんフランスとの付き合いもあるが、ロシア炉の利用が大きく膨らんでいる。このような状況で、インドはパキスタンとの対抗上、つまりパキスタンはインドとの対抗上、中国との結びつきを強めている状況である。

ベラルーシも同様だ。国内初となるオソロベツ原発はロシアのロスアトムによって建設中だが、ロシア開発対外経済銀行によって約 100 億ドルのファイナンスが行われている。中国も一帯一路の政策の下、ベラルーシに注力しており、オソロベツ原発に必要な送電線の配備に資金を提供する。

こうした状況について、アメリカでは原子力にかかわる産業、政府を中心に、非常に危機感が高まっている。従来、アメリカの主力原子炉メーカーは Westinghouse 社、GE 社だったが、近年、世界の開発の主力になっている小型モジュール炉 (SMRs) について、NuScale 社ほか、22 のプロジェクトに研究開発だけで 88 億円の政策資金が投入されている。

この政府によるサポートは、至近だけではなく、アイダホの国立研究所のサイトを使用させる等あらゆる側面を含む。また、2026 年に軽水炉の NuScale の SMRs は商用化が予定されているのだが、規制当局は設計における高い安全性を考慮し、規制緩和まであらかじめ準備している。具体的には、自動的に安全装置が作動する等の安全性の高い炉であるから、原子力災害対策重点区域 (EPZ) を非常に狭めて考えることができるのではないかと、といった思考である。申し上げたいのは、原子力においてもイノベーションは不断に起きており、ほかにも小型軽水炉、高温ガス炉、小型高速炉、熔融塩炉等の新型炉が存在している。

もちろん、SMRs はアメリカの専売特許であるわけではなく、中国もしっかり技術開発をおこない展開を進めている。実はビル・ゲイツも次世代炉の開発をおこなっており、当初は中国と組んでいたが、アメリカの輸出管理制度が厳格化されるなかで中国との付き合いを見直す必要が出ており、方向転換をした。テラパワーも同様である。技術盗用を懸念し、原子炉についても対中国の輸出規制対象になっている。なかでも SMRs 関連技術については厳しい規制をかけている。

では日本はどうか。極めて難しい長い交渉の末に立地ができた場合、どうしても原子炉メーカー、電力事業者は立地地域との関係上、大きな炉をつくりたいと考えてきた。したがって、小型炉の開発は行われてはいたが、メインストリームではなかった。そもそも、イノベーションにはファイナンスが大きな問題になる。特にアメリカの研究者と議論するときによく言われるのは、資金が先か、政策が先か、ということだ (図 3-8-3)。アメリカでは、イノベーションについてリスク資金がしっかりついてくるのだが、日本ではつかない (図 3-8-4)。すると、どうしても国が資金的に先導するイノベーションが必要になってくるだろうと思われる。

こうした新しい技術開発だけではなく、例えば既存炉のリプレースについても、実は民間の会社はほとんどの会社が、大型炉ならば1炉当たり1兆円近くかかるリプレースについて、ファイナンスはできない状況にあらうかと思う。総括原価方式もない。そのような状況でリプレースをするための制度や原子力事業のあり方そもそもについて、問われるのではないかと考える。

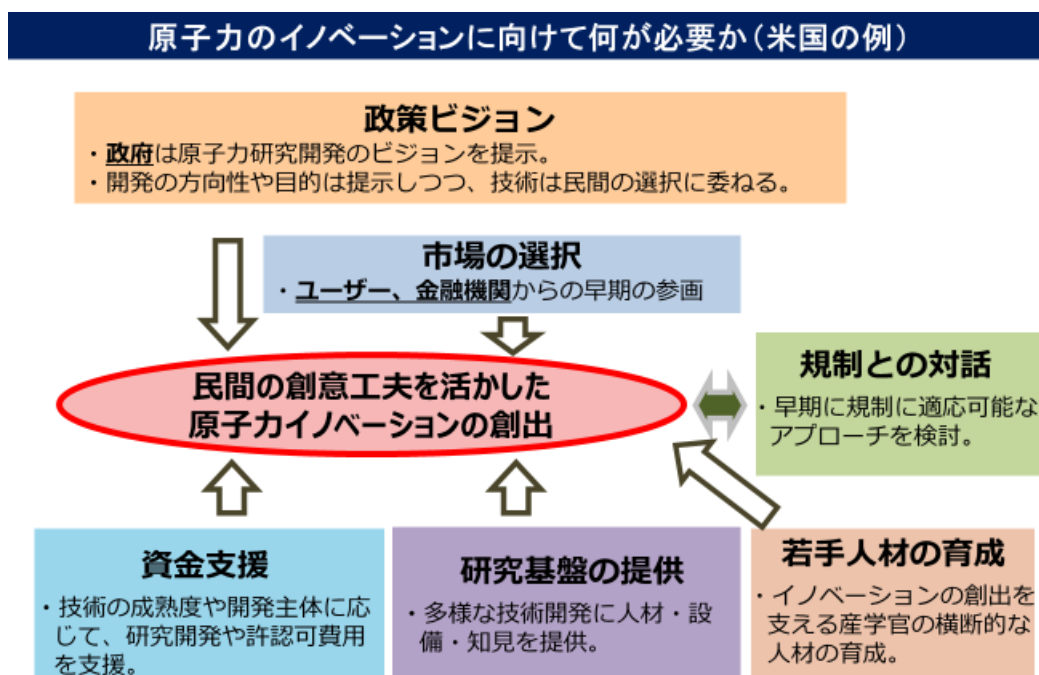


図 3-8-3

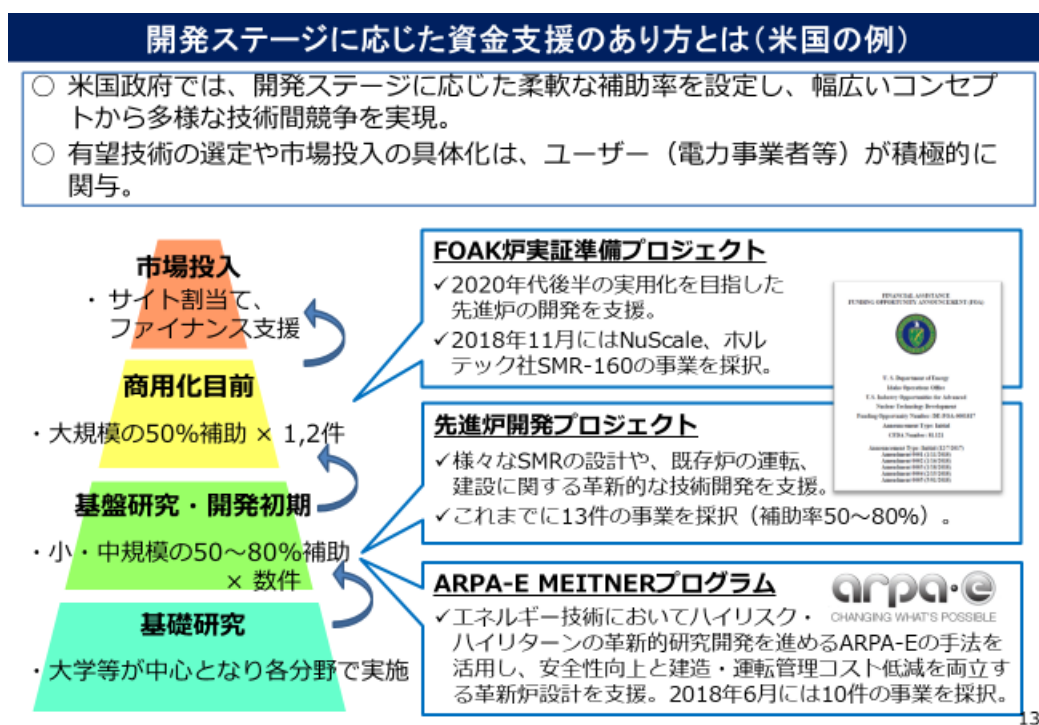


図 3-8-4

3-9. 久持康平「原子力関連のものづくりの課題と研究について」

- ・デジタル技術活用と技能者育成
- ・原子力のものでづくり技術における他産業技術の活用

私はもともと安全設計を専門とする者だが、現在は設計と製造、さらに工事の全体を統括している。本日は、我々のところの研究開発や人材育成の事例と、そこにある課題を紹介する。

背景と目的について、最も大事なことは、原子力エネルギーの初期投資が増大するなかで、どのように研究開発を続けていくか、何が必要か、ということである。また、廃棄物の処理について、そして人材育成の基盤が脆弱化していることについて、我々は何をしているか紹介するところから始めたい。目的については、メーカーの開発、研究を題材にして、原子力関連のものづくりの課題と関連する研究のあり方、我々が研究開発を進めるに当たって次のステップにいくために何が必要かという議論をしたい。

まず新型炉の開発目標について述べる（図 3-9-1）。我々としては、基本的には既存の原子炉について安全性等の改善を進めるということが一番のベースにあるのだが、長期的に考えて、社内では、軽水型でこの技術をそのまま使い高速炉として低減速でこのプラントを使っていこうというアイデアや、さらに高経済性小型軽水炉（BWRX-300）というものについて日米で高い経済性を目指すなど、革新的な安全性を使う等も行っている。また、高速炉を日米で共同開発しようとするについて、長期的な目線で準備していこうとしている。特に既存のプラントの安全対策に関しては、電力会社と一緒にやるためにはそれなりの課題はあるが、研究開発の課題としては、こうした長期的なものをどのように進めるかに大きな問題がある。

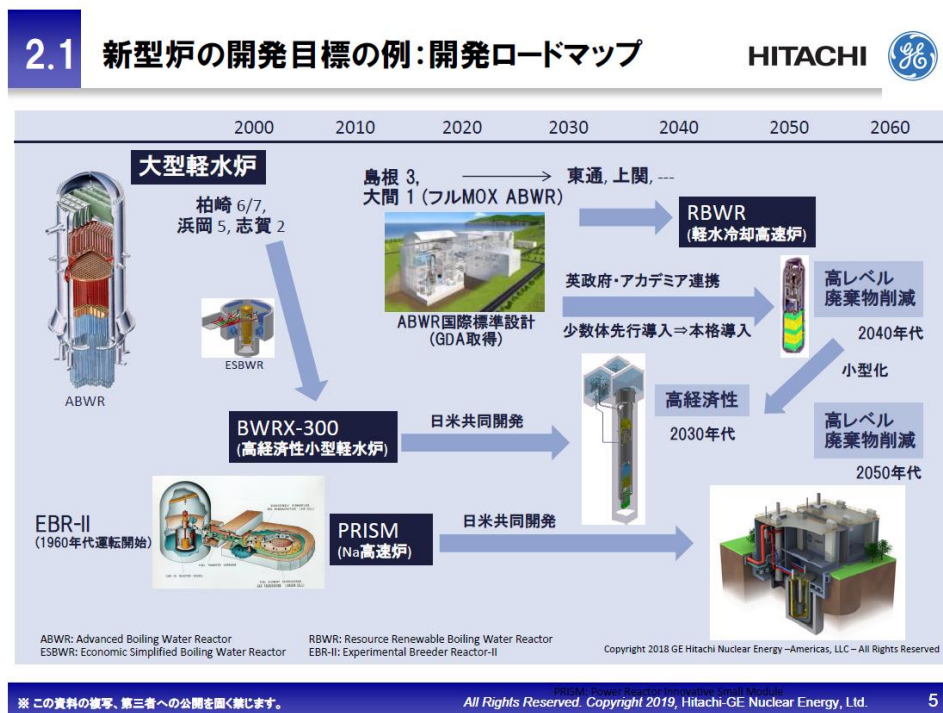


図 3-9-1

(資料掲載につき許諾済み)

新型炉の例は簡単に紹介する。300万クラスの小型軽水炉（SMR）の中で、革新的な安全技術と成熟技術を使って行っている。非常用復水器を使うことや自然循環技術を使うといった所が挙げられるが、大事な点はもう一つ、経済性もしっかり考えていくという点である。最新のプラントである ESBWR（Economic Simplified Boiling Water Reactor）でいえば、建屋やコンクリート物量を 50%に減らし、経済性も Levelized Cost Of Electricity を全体で考えながら設計し開発していくといったところが特徴になる。これは日本のプラントでいうと、原子炉建屋は約 90%小さくなり、単位出力当たりになると 50%ほどである。

ほかに、もう一つ軽水冷却高速炉（RBWR）というものがあり、これは既存の軽水炉の技術そのまま使って高速炉として用いるというものだ。既存の燃料よりもかなり密に燃料棒を詰め込んだ燃料を使う。ただし、技術は今までの軽水炉の技術を使うため、負のボイド反応度係数を用いる。固有の安全性はそのまま維持する一方、例えばできるだけプルトニウムを燃焼するなど、超ウラン元素等々をしっかりと使って放射性廃棄物を減らすような原子炉、しっかりと効率的に燃焼するような原子炉を目指すことを見据えて準備している。

さらにもう一つ、まだスタートしたばかりではあるが、我々はデジタル技術の活用も進めている。まず現在原子力発電所の中の運転員、保守員等との情報共有である。デジタル技術で情報をつなぐことによる計画や安全性の維持をはじめ、総合的な管理をこの技術でまとめていくといった研究も進めている。

最後に、どうしても難しい所として、技能者の育成がある。新しい建設がない中で、技能者が一旦減るとなかなか戻せない。そのため、常に維持し続けるという考え方で行っている。ただし現場がないため、どちらかというと技能五輪といった競技の場を使わせていただく等の方法をとっている（図 3-9-2）。

2.3 技能者の育成



技能五輪

国際技能競技大会(技能五輪国際大会)は2年ごとに開催され、22歳以下の各国代表が40種目にわたって高度な技能を競い合う。



日立GEは継続的な技能五輪への挑戦を通じて、熟練の製造員による若手の育成、さらには競技を通じた技術研鑽によって製造技術の向上を図っている。

※ この資料の複製、第三者への公開を固く禁じます。

All Rights Reserved. Copyright 2019, Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd.

9

図 3-9-2

(資料掲載につき許諾済み)

こうしたものが、現在の特に通常、既存の発電所における安全対策の研究開発や、福島復興対策とは別の、かなり先を見据えた準備として挙げられる例である。

これら現在の取り組みの背景については、図 3-9-3 に示す、原子力発電所の建設と運転の記録にみることができる。プラントをかなり連続的に使っており、メーカー目線で見ると、本当は運転したときではなく、その前に連続して建設していき、その技術や人材、技能者を継続して補充しながらやっていた、ということが実態だと思う。

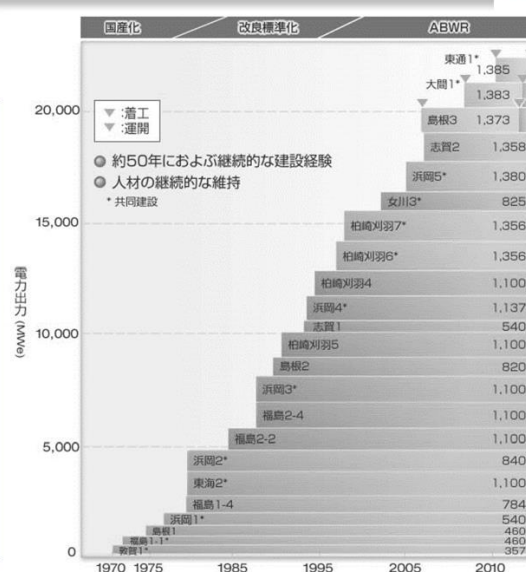
そうした継続的な原子力発電プラントの建設により、人材育成、さらに技術の維持がなされていたが、現在 3 プラントが建設中の状態でとまっている。プラントの運転のなかで経験する技術開発、直面する課題の解決を通じた人材の成長をおこなってきたのだが、そういった場が今はなくなっている状況で、人材育成、特に技能者をどのように育成していくかを模索しているところである。

3.1 過去のものづくり、人材育成の環境



継続的な原子力発電プラントの建設による人材育成。

プラント運用の中で経験する技術開発、直面する課題解決を通じた人材の成長。



※ この資料の複写、第三者への公開を固く禁じます。

All Rights Reserved. Copyright 2019, Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd.

11

図 3-9-3

(資料掲載につき許諾済み)

もう一つ、少し考えておきたいと思うことは、原子力施設の建設に必要な特有の技術である (図 3-9-4)。例えばモジュールのように、我々の建設技術のなかで故意に大きくしていったものもあるが、実は原子炉本体の基礎 (RPV ペDESTAL)、さらに上部ドライウェル、そして、圧力容器といったように、大規模な安定電源を出すためのしっかりした設備等技術が必要だったことが、建設のポイントになる。この中のものをつくるに当たっても、今となつては原子力産業のみで活用することになった原子力特有の基準あるいは技術を持っていたということである。

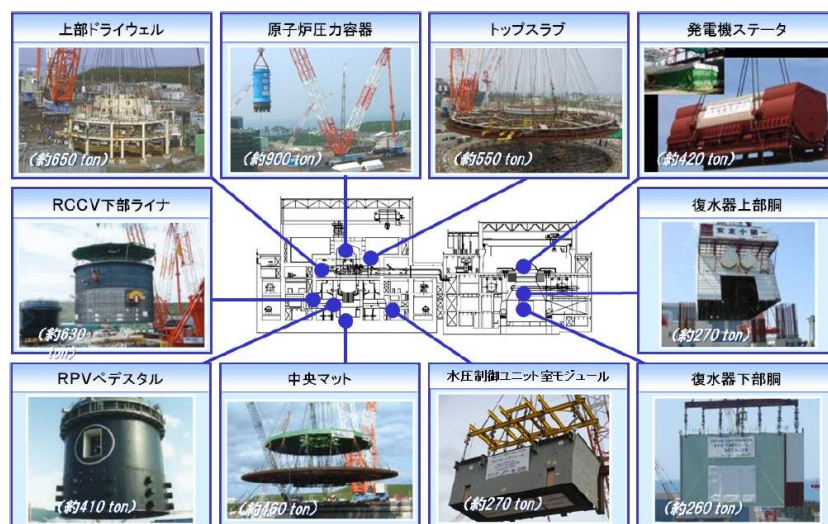
ただし、私が思うことは、こうした技術も他の作業、例えば火力発電所の技術、さらに建設工事技術等をしっかり共有しながらやっていたところはあるものの、もう一度、大規模な建設事業

を行うとした場合にこうした技術が実際に維持できるかどうか、問題となる。

ここで一つポイントとなるのは、他産業技術の活用である。日立のセグメント構成に関して、原子力はどうなっているかというと、日立製作所ではその 4%がエネルギーで、このうちの半分以下が原子力であり、かなり少ない部分がポートフォリオになる（図 3-9-5）。

3.2 原子力施設の建設に必要な技術の例

HITACHI 



※ この資料の複製、第三者への公開を固く禁じます。

All Rights Reserved. Copyright 2019, Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd.

12

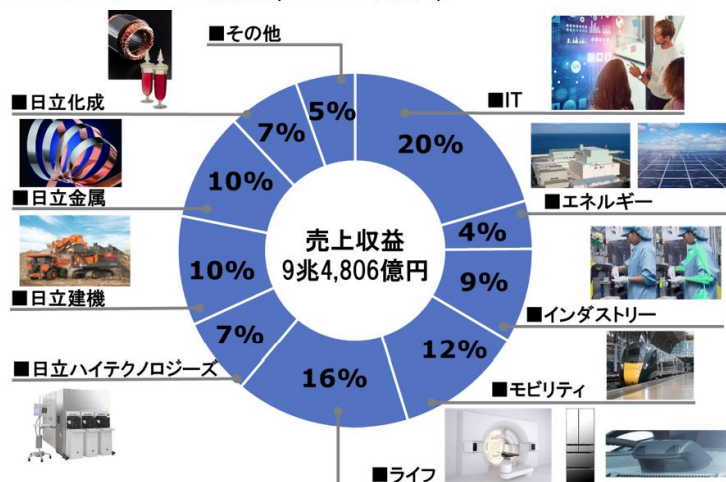
図 3-9-4

(資料掲載につき許諾済み)

3.3 他産業技術の活用

HITACHI 

● 日立のセグメント構成 (2018年度*)



* 2019年度より新区分に移行しており、新区分での数値を表示しています。

※ この資料の複製、第三者への公開を固く禁じます。

All Rights Reserved. Copyright 2019, Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd.

13

図 3-9-5

(資料掲載につき許諾済み)

私が入社した 25 年ほど前は、これが 10%ほどあり、まだ火力や水力といったものも全て一緒にやり、そのなかで技術を共有化しているような時代であったと思う。現在の全体構成は、IT のところが非常に多く、また産業技術の箇所も多いので、そうしたところとの共有が必要になってくるのではないかなと思う。

もともと原子力発電所が高いか安いかなという議論があるが、建設が止まってきており、さらに技術が原子力だけで成熟したときを考えると、ここだけの技能者になっていくのかというところが問題になってくると思う。

例えば原子力発電所は、もともと原子力の研究開発特有の技術があった。米国でいえば、原子力潜水艦の動力技術をもとにして、そうした技術者、技能者と一緒に共有されていたと思う。日本の場合、もしくは米国でも、火力発電所の大規模電源の場合には同様の技術を使えることができた。

ただし、最近の傾向のなかでは他電源が小型になってくると、原子力だけが大規模技術になっていくという状況もあるかなと思う。日立の場合は電車の中でインバーター等と一緒に使う状況があるので、そうしたところで共有化してきた。最近ではデジタル技術を一緒に使って何とか原子力のものづくりができないかということが考えられている状況かなと思う。

こうした状況のなかで考えると、我々としては研究開発と人材育成は維持するという部分や、何とか開始しましょうというところで新型炉の開発を始めている部分、デジタルの活用といった部分に関しては、通常の再稼働のための安全対策とは別に社内で始めているということである。

図 3-9-6 に示すように、目指すところは、将来のエネルギー問題を解決するに適した原子力施設だ。そこに到達するまでにまだ長い道のりがあるのだが、一つのポイントとして、原子力の固有技術を維持しながら、他産業技術をどのように活用していくかという点が、最も重要かなと思う。

4 全体の方向性の議論



● 課題に対する次への開発を開始



※ この資料の複写、第三者への公開を固く禁じます。

All Rights Reserved. Copyright 2019, Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd.

16

図 3-9-6

(資料掲載につき許諾済み)

火力発電所と共にものをつくっていた時代は、非常に効率的、経済的につくれたと思っているが、そうではない時代に、例えば日本のなかの原子力のサプライチェーンとともに仕事をしていたとしたときには、原子力固有技術が重荷になる場合もある。そうしたときに、ここを考えたい。これが一つの課題である。

開発を始め、原子炉メーカーが開発を始め次にサプライチェーンに広げていこうとしたときに、他産業技術を使うところはどうするのか、という点が問題になる（図 3-9-7）。

一つの考え方としては、例えば今、原子力成熟技術はかなり固有技術だけになり、原子力特有のスペックだらけになっている。もう一度、安全性を見直して固有技術であるべきところ、重要視すべきところはどこか、今の時代における他産業技術を大胆に取り入れたイノベーションとは何かを見つめ直し、我が国のなかのサプライチェーンとともに原子力の建設技術を再構築する道のりも必要なのではないか。

仕組みとしてはもう一度、原子力の本当に重要なところの安全性をどのように持ってくるか、他産業の技術を活用する場合、例えばデジタル技術を入れてくる際にはどのような仕組みが必要なのかといったことが課題になるのではなかろうかと思う。

4 全体の方向性の議論



- 原子力発電を支えるには、幅広い技術と人材の厚みの維持が必要。
- 1F廃炉や再稼動対応のみでは、適用技術分野が偏っている。

⇒ プラント新規建設による幅広い分野での技術・人材の育成が必要



出展：2018年3月6日 第16回総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会原子力小委員会 資料6-1

※ この資料の複写、第三者への公開を固く禁じます。

All Rights Reserved. Copyright 2019, Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd.

18

図 3-9-7

(資料掲載につき許諾済み)

3-10. 波木井順一「原子力開発と規格基準の果たす役割」

- ・米仏のような長期に亘るコミットメント
- ・先進国における現場マンパワー不足による原子力プラント建設の困難性

私は日本機械学会とアメリカ機械学会（ASME）で規格関係の仕事を 10 年ほどしており、その経験を少しまとめた。お伝えしたいことは、設計基準と構造基準、プラント開発は、一体で進んできたということだ。米国、例えば米国電力研究所（EPRI）は、欧州、特にフランス電力（EDF）を非常に意識している。EDF も EPRI を非常に意識しており、本当に執念深く相手を長期間見ている。その例を話したいと思う。特にスリーマイル島（TMI）原子力発電所事故とチェルノブイリ原子力発電所事故の後で何がされたかということや、今の ASME がやっていることなどだ。建設はないが随分と一生懸命、新型炉の努力もしている。加えて確率論的リスク評価（PRA）がアメリカで普及して安全性に関して大分見方が変わった部分があるため、それを具体的に話したいと思う。最後に専門性はそれほど高くないが、私から見て構造や材料について未解決の部分が大部分あるのではないかと素朴に考えていることについても話したい。

まずは、プラント開発、設計基準、構造基準は一体であるという話を述べる。昔、原子力の民生利用が解禁され、当時できた話は、例えば 10CFR100、立地基準、Appendix A の設計基準、原子力賠償保険等だ。そういったものと同じぐらいの時期に ASME セクションⅢができた。これは、当時の規格では压力容器ができなかったのが当時の製造技術で新たに規格を開発することにより加圧水型軽水炉（PWR）を世界中に売ろうという動きでできた。これが一つの例だと思う。

70 年代後半から 80 年代、石油危機があり、当時は高速増殖炉（FBR）の開発の競争だったのだが、各国は一生懸命やっていた。アメリカはクリンチリバーを企て、ASME コードケースの N-1592、高温構造技術、フランスは、これは一次ポンプや中間熱光源をタンクに詰めて直径 20 メーターで厚さ 50 ミリの非常に薄肉のタンク型の容器だが、これを製作するために RCC-MR というコードをつくった。日本でももんじゅで BDS というコードをつくった。これはみな、プラントの開発と設計基準、構造基準が一体になって進んだという例である。

TMI とチェルノブイリの後、アメリカとフランスでは何をしたかを述べる（図 3-10-1）。これが全てではないが、非常に長い間、執念深く同じことをやっていると思う。アメリカは 79 年に TMI が起こり、その後にケメニーやロゴビン等の立派な報告書ができ、例えば多重故障をどのように扱うか、そうしたことが随分議論された。そして 85 年頃に EPRI が Utility Requirements Document（URD）を立ち上げている。これは、設計仕様を最初から考えた、そういうことをやっている。それが第三世代炉、Ⅲ+世代炉、そういったことにつながって今に至っている。

これを見ていたのが EDF、チェルノブイリの後に EDF が欧州電力要求仕様書プロジェクト（EUR）を立ち上げる。これが実際に European Pressurized Reactor（EPR）につながっている。非常に一生懸命、EPRI の URD を見て独自に考えた。EPRI、EDF とともに 30 年から 40 年、同じことをずっとやっている。例えば URD ならリビジョン 13 や 14、EUR ならリビジョン A か、E だなど、そうしたことをずっとやっている。そして結果的に安全基準が二つできてしまった。フランスの安全基準は、一応、IAEA の形で（例えば、SSR 2/1 Design）世界の基準になっている。それとは別にアメリカの基準（10CFR50 Appendix A GDC）も存在する。そのように今はなっている。

TMIとチェルノブイル事故後の米欧の努力

米国（40年の努力）

- 1979 TMI事故
- 事故の教訓と反省
- 1979 ケメニー報告書
- 1980 ロゴビン報告書
- 新概念と標準
- 1985 EPRI-URD立上げ
- 新規開発炉(III+世代炉)
- 1990 AP-1000開発立上げ
- 2012 ボーグル3&4号着工

欧州（30年の努力）

- 1986 チェルノブイル事故
- 事故の教訓と反省
- 1990 EUR & EPR 立上げ
- 新規開発炉(III+世代炉)
- 2007 フラマンビル発電所着工
- EPRI-URDや米国R&Dを参考にしつつも結果的に異なったアプローチ

- 一貫した政策に基く長期の努力の継続(30から40年)
- 二つの安全基準(米国、差別化を意図する欧州)の乖離

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

TEPCO

図 3-10-1

URD の中では、TMI が起こった少し後に EPRI が社長たちを集め、最初からもう一度、原子力の設計仕様を考えることをずっとやって、今日に至っている。総合的に本当に一から何が大事か、それを階層化し、体系化して、まとめている。ただし結果的にこれが大型軽水炉の建設には結びつかなかった。実際のプロジェクトとりまとめを行ったのは EPRI だが、実質の作業は米国 MPR 社（原子力エンジニアリング会社）というコンサルタントの非常に実力のある会社だと思っている。

これを見ていた EDF は、EUR を立ち上げた（図 3-10-2）。実際には EDF-SEPTEN というエンジニアリングセンターがリヨンにあり、そこがやっている。リビジョン C というものが 2001 年にできているのだが、結構よくできており、炉心溶融等をともに考え、多重故障、TMI が悩んだ多重故障も本当に考え、クリフエッジやデザインエクステンション、コンプレックスシークエンス、これは多重故障の処理だが、そういったことにともに取り組んでできている。

ワークショップ冒頭で米原発テロ対策（B5b）に言及があったが、EUR REV.C の発行、これはテロの前である。EUR では 911 のテロの前でも B5b 相当が既に入っている。これはアメリカも考え、EDF もテロの前に考えていたが、日本ではできなかった。その EUR REV.C に入っているフェーズアプローチだが、これは実質 B5b と全く同じであり、シビアアクシデント対策の可搬式機器がテロの前に入っていた。その証拠である。

今、ASME は新型炉についてどのようなことをやっているかを図 3-10-3 に示す。2010 年ぐらいいまで南アフリカのガス炉をやっていた。2010 年ごろにガス炉が困難になり、このとき、IPWR（インテグレート PWR）という小型原子炉（SMR）に転換した。PRA や供用期間中検査、そういったものもそれに合わせてそれなりに軽水炉と並行してやっている。

EUR(European Utilities' Requirements)経緯

- 1992年開始(米国EPRIのURDを意識)
 - 欧州各国の事業者が加盟するが事務局はEDF-SEPTEN
- 1994年3月に最初のREV.A
- 1995年末にREV.B
- 2001年4月のREV.C
 - 「炉心溶融」、「(単一故障を超えた)多重故障」を陽に想定
 - Cliff Edge, Design Extension Condition (Complex Sequence (例.冗長性にあるシステムの同時故障)、Severe Accident(炉心溶融))
 - EPRの基礎
 - この段階でB5b並の可搬式のAMは既に導入済み(911より早い)
 - IAEA SSR 2/1 Design, February, 2012へ影響
- 2012年11月27日にREV.Dリリース
 - REV.C以降の進展と取り敢えずの福島対応、WENRA Reactor Harmonization WGのSafety of new NPP designs Draft 9, October, 2012と福島の本格反映
- 2016年12月にREV.Eリリース

2002年2月:NRCのICM Order
(暫定補償措置命令)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

TEPCO

図 3-10-2

ASMEでのSMRを含む新型炉と規格開発

- 2010年頃、PBMRが行詰まり、IPWR/SMRへ転換(JCNRM、XI)
- SEC. XI Div.2 “Reliability & Integrity Management” (2019)
 - 供用中健全性確保のための新たなツール(非破壊検査とオンラインモニタリングの組合せ、SSCの信頼性目標設定)
 - IPWR (mPOWER, NuScale)に従来手法は無理
(加圧器、蒸気発生器、圧力容器の一体化等)
 - ASME/JSME JWG ON RIM PROCESSES & SBC
 - 信頼性目標設定等への日本の寄与
- Non LWR PRA StandardをTechnology Neutral
 - IPWR/SMRへ適用可能に
- Standard Committee on Plant System Design
 - 今年設置、従来のComponent Codeからの脱皮
 - 従来逃げてきた「荷重設定」も考慮

RIM Attendance Sheet

MPR Associates
Enercon Services
Ultra Safe Nuclear Corporation
Kairos Power
Pacific Northwest National Laboratory
Ultra Safe Nuclear Corporation
National Institute of Standards and Tech
X-Energy
NuSource
NuScale Power
Maracor, Enercon Services
BWV Technologies
US Nuclear Regulatory Commission
Stress Engineering Services
Consultant
Reedy Engineering
Japan Atomic Energy Agency

出席簿

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

TEPCO

図 3-10-3

セクションXIは供用期間中検査だが、ディビジョン 1 は軽水炉であるが、ディビジョン 2 で SMR 用にそうしたルールをつくり、今年完成した。この原型は軽水用のリスクインフォームド ISI なのだが、それをこういったものに転換してつくっている。主なメンバーは、例えば MPR や Enercon は PR のコンサルなど、Ultra Safe やガス炉を扱っている人、Kairos Power は溶融塩炉、そして国研、NIST、これは DOC で商務省。さらに NuScale や BWX、これは SMR 関係。

NRC の職員も来て、その他 JAEA も入っているが、みなこうした人が具体的に集まって熱心に議論してものをつくっている。日本の人も入っている。この傘下には ASME、JSME のジョイントコミティがあり、貢献している。彼らは使えるものなら何でも入れるため、日本人であっても入れてやっている。

また、今年、これまで ASME はコンポーネントコードで容器や配管といった要素だったのだが、今はそれを少し脱皮してプラントを扱うこともしており、実際のプロジェクトはなくても非常に一生懸命やっている。

要するに、IPWR というのは構造上、かなり検査もしにくいいため、従来のものをそのまま使うのは全く無理である。そのため、少しゼロベースで考え直そうと、信頼性目標を定め、今まで体積検査をやっていたものをもう少し簡単なモニタリングでもいいのではないかと等、少し枠を広げて緩くして規格をつくろう、標準をつくろうと、そういった努力をおこなっている。

少し話を変える。アメリカで PRA が普及し、大分、安全設計の考え方が変わってしまったところもあると思う（図 3-10-4）。例えばリスクへの寄与で何が大事かということも大分通念が変わってしまい、一番影響しているのは電気系統、次に動的機器、機械の弁やポンプ、そして静的機器、容器や配管等、こうした順番で明らかに PRA で考えるとこうなるだろうと。

PRAが変えた風景(普及後に変わった意識)

- ・ リスクへの寄与: 電気系統 > 動的機器(弁、ポンプ) > 静的機器(容器、配管)
- ・ 地震対策は、SBO対策(地震PRA、SOARCA)
 - 地震の一番のリスクは、外電喪失
- ・ クラス1配管のISIと消火系配管による溢水リスクの比較(RI-ISIの普及)
 - 低サイクル疲労でクラス1配管の溶接部が破損するリスクは相対的に小さい
 - 溢水により電気系統は、容易く機能喪失する
- ・ 保守的な包絡解析は、単なる説明の道具、リアルなリスクではなく現実を見え難くする **TEPCO**

図 3-10-4

地震対策は、今までものが壊れるから構造物を強くしようというものだったが、PRA でいうと、ステーションブラックアウト対策になってしまう。外部電源喪失を防止することが目的になる。例えば、PRA の歴史は 75 年に WASH1400 ができ、そして 90 年に NUREG-1150 ができ、その後、NUREG-1935 があるが、これはステーションブラックアウトの深掘りしかしていない。なぜ、それしかしていないかというと、PRA でいうと非常にこれが大きいからである。

Peach Bottom 発電所のステーションブラックアウトの解析、これはほとんど福島第一原子力

発電所事故の実際のシーケンスと同じで、現象も結構模擬しているの、そうしたところにリスク研究のメリットがあったのかと思うときもある。

また、細かい点だが、配管の供用期間中検査について、これも PRA が入って随分変わった（図 3-10-5）。従来はクラス 1 配管、炉心に近い配管の底を UT（超音波検査）でたくさん調べるというものが主だったのだが、PRA が入って大分変わったので、実際そういったところは非常に丁寧にできており、リスクはかえって小さい。そのかわり、例えば消火系の配管、消火系は、今まではそれほど厳密につくられていないが、ありとあらゆる所にめぐらされている。

配管の RI-ISI (CC N-716-1) 後の常識

- ・ RG1.147 で NRC がエンドース、ほぼ全米制覇
- ・ クラス 1 配管溶接部は、25%/10 年 ⇒ 10%/10 年に UT（超音波検査）削減
- ・ 代わりに、ノンクラスの消火系やサービス補給水系配管を含めた内部溢水 PRA を義務付け
- ・ 結果、リスク寄与の大きい消火系、サービス水系の管理強化（改造、手順書強化）
- ・ クラスの高い配管の管理をリラックスし、相対的に低クラスの配管管理を強化（従前と逆）
 - － 安全解析上の大 LOCA より、低クラス配管の溢水で電気設備が機能喪失するのが真のリスク

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

TEPCO

図 3-10-5

例えば電源盤のところにも消火系はあるし、至る所にある。そういったものが一旦、水が漏れてしまうと、たやすく電源盤を壊してしまう。こうしたことがわかって、リスクベースに ISI が入り、今まで考えていたクラス 1 配管の UT（超音波探傷検査）の検査が減り、そうしたクラスが低かった消火系配管の改造等が進んでいる。当初考えた保守的な LOCA 解析等に随分とリソースを使ってしまうているのだが、そういったものが少し今は変わっているということはあると思う。

これも NRC の福島対策の地震対応なのだが、結局、地震による影響が大きいところは地震 PRA をやれと言っている。実際に事業者は結果を出している。Peach Bottom 発電所の例では、BWR マーク 1 など、実際にリスクに効くのは外部電源や DC バッテリー等の電源系である。その辺は PRA が普及して少し意識が変わったところだと思う。こうして少しずつ考え方が変わり、高度化していると思うのだがなかなか国内はこのようにはできないところが難しいところだと思う。格納容器の破損に対しても外電などが大きい。

また、供用期間中検査（ISI）についてだが、20 年ほど前に出た EPRI レポートで、リスクインフォームド ISI の根拠書なのだが、結論は非常に簡単で、従来は溶接点を超音波で見ると言っ

ていた。これは、流れ加速腐食や熱疲労も考えるなら、溶接点にこだわっても仕方がない、従来は疲労を気にして溶接点と言っていたのだが、疲労だけを気にしても仕方がない。結論として、溶接点そして疲労にこだわるなということがリスクインフォームド ISI の最初の原点だと思っている。

クラス1の溶接部は10年に25%から10%で6割減らしている。そのかわり、ノンクラスの消火系やサービス補給水系を含め、内部溢水のPRAを義務づけている。その結果、リスク寄与の大きい消火系やサービス系の管理が強化されている。だから、従来とは全く別なのである。こういったことが現実になり、これはアメリカの現実の規制なのだが、国内とは大分違う。

具体的な例で言えば、RI-ISIの実施データベースなのだが、リスクインフォームドISIをおこない、結果的には消火系などが管理強化されている構造材料の分野についてはやることがたくさんある。EPRは当初、二重格納容器でやっていた。これは航空機衝突を考慮して二重格納容器だったのだが、EPR2は一重になっている。衝撃荷重の扱いだが、こういったところも大分やる必要があると思っている。

それから、疲労であるが、疲労解析について述べる。これもロールスロイスが最初に言い始めたのだが、マイナー則などはやめる、あのような古典的なものは保守的でもやめると、例えば単調増加や単調減少など、荷重履歴の依存性等は、考慮できない。もう少し弾塑性解析で直接歪を計算して疲労解析等を合理化すればいいのではないか、そのようなことも言っている。

まとめであるが、プラント開発や設計基準、構造基準は一体である。それから、各国が本当に長期間、一定の意思や概念のもとに非常に執念深くライバルを見てずっと体系化してきている。時に同じ終着駅に着く場合がある。例えば可搬式のシビアアクシデント(SA)対策は、B5bもフレックスもEURもみな同じ。ただし、日本だけは辿り着かなかった。

技術開発があり、それから、社会の変化がある。

大規模なインフラ工事は先進諸国では非常に難しくなっている。EPRなどは非常に苦しかったようだが、例えば海外の溶接工が転落してしまって3カ月間、現場がとまってしまった。ルーマニアとポーランドから配筋工や溶接工を呼んできて、労働争議でとまってしまった。先進国ではアメリカもヨーロッパも、大規模工事が非常に難しくなっている。そのような話があると思う。

4. 全体ディスカッション

全体ディスカッションでは、まずコメンテーターから、日本における原子力の課題、今後議論すべきことについて、一人あたり2点意見を出していただいた。そのうえで、総合ディスカッションとして、講演のキーワードを含め、このワークショップで出された意見の全体をふり返りながら議論した。

4-1. 意見出し

＜原子力事業推進の本質的不確実性としての社会的受容性＞

日本で原子力発電所が稼働できなくなることが想定外だった要因には、社会が稼働することを認めてくれない状況を想定していなかったということも含まれる。日本で事故が起こることも想定外だったかもしれない。今後、もし技術開発してリプレースし、稼働したいということであれば、社会的受容性は重要なポイントになる。これを最初から組み込んでおらずに、やる、やらない、という議論はもはや不可能だ。ここが出発点になるのではないか。政治家がそっぽを向いてしまったことも深く想定外に入るかと思う。社会の風向きでがらりと変わってしまう可能性があるときに、大きな技術を続けていけなくなってしまうことがある。

＜廃棄物、使用済み核燃料の許容量、あるいは総量規制＞

まずはごみの問題の解決である。技術開発は必要だが、ごみの問題がまず社会的にも技術的にも解決されないことには始まらないのではないかな。

＜高レベル放射性廃棄物の処理問題＞

一点は、放射性廃棄物の処理問題について。実効性のあるバックエンド対策が必要だ。早急に解決しないと問題がますます大きくなる。もう一点は、立地の問題である。NIMBY (Not In My Back Yard) すなわち総論賛成・各論反対、ごみを処理することには賛成だが、それを自分の裏庭に作られては困る、という問題についてどうコンセンサスを得ていくかが問題になる。

＜原子力行政のシビリアンコントロール＞

軍事技術と同様、原子力技術、原子力行政にもシビリアンコントロールの視点がこれから重要になってくる。具体的に言えば、信頼性と透明性と公正性だ。信頼性は、安心とは個人の主観性の問題だという指摘があったが、同時に、安心は社会システムに対する信頼性の問題であると考えている。信頼性をどのように形作っていくかが安心の根拠になると思う。透明性は、情報公開をしっかり行い、エビデンスに基づいて議論を進めていくことが大事である。公正性（フェアネス）は、地域間の格差や世代間の格差がある。これら三つがこれから原子力行政を進めていくうえでの重要な課題になる。

<長期的原子力発電比率の議論とリプレースに向けた認識共有>

原子力はできるだけ減らしたい、ないほうが良いという世論にどう向き合うか、という話をしたが、それは、なくすということを選択しろという意味ではなく、長期的にどのように考えていくのか、それこそ発電比率をどうするのか、リプレースも含めた議論をするのであれば、一旦はそのような世論を真面目に受け止めるということが必要ではないかという意味で申し上げた。その意味で、キーワードとして、長期的原子力発電比率の議論とリプレースに向けた認識共有を挙げた。

<再稼働と人材育成>

再稼働と人材育成という問題を少し考えていくべきだと思っている。今いろいろなサイトのなかを見たり伺ったりする範囲で非常に、運転員の方で運転経験のない人が増え過ぎている。この状況で、どのように技術継承するのかというのは、実際に大きな問題だと思っている。やめるという方向性を含んでいるのだから、そちらに向かうのだということを決めるのも、一つの選択肢ではあると思うのだが、それは乱暴に過ぎて、技術をもし手放すにしても、手放し方はしっかりと段階的に考えるべきであると思う。私自身、強く再稼働を望んでいるわけではないが、今このまま再稼働が進まない状況が長くさらに続いてしまうことのリスクのほうが増加しつつある状況になっている。

<原子力発電比率を（20%～22%）をいかに達成するか>

エネルギー基本計画における 2030 年の原子力発電比率 20～22%の達成および維持には、安全性が確認されたプラントについての 40 年以降の運転、そして、その後も持続的に新增設、リプレースが必要になってくるのではないかと考えている。社会との関わりという観点では、それらの必要性を立地地域の方々をはじめとする社会の皆さまにご理解いただく活動が何よりも重要だと考えている。また、原子力発電と両輪をなす原子燃料リサイクルの重要性、理解活動についても同様に、重要であると認識している。特に脱炭素社会の実現に向け、2050 年までに温室効果ガス 80%の排出を削減するという目標達成には、電力排出分の削減のみならず、さらなる省エネ・電化等も必要になるということも認識している。

<原子力に対する社会からの理解取得>

原子力は建設に当たっての初期投資が大きく、これを 40 年以上という長期にわたる安定稼働のなかで時間をかけて回収していくという特徴があるため、電力自由化のなかで投資回収の予見性を確保できるということが必要になってくる。その実現に向けても、社会の理解が不可欠であると認識している。これらの社会からの理解の取得は、一朝一夕に成し遂げられるものではなく、日々の丁寧な情報発信、コミュニケーションによる信頼関係の醸成が必要と認識している。

<地元の理解 了解（安全性を高めた炉）>

地元の理解について、原子力発電所のオーナー、オペレーターの視点では、本来であれば、規制基準に合格し、検査合格すれば地元の説明し、再稼働という流れになるのだが、今の日本においては地元の了解といったものが暗に必要になってきている。基本的にこれは何も決め事がないので、立地市がいいといえいいのか、地元の周辺まで含まなければならないのか、こういったところの決め事がなく、国においてはさまざま協力いただいているのだが、まず一義的には電力会社がおこなう仕事となっているのが現状である。ただし、今後、原子力事業というものを継続的に、安定的に続けていくのであれば、この部分についてもう少し知恵を出しあい、考えていかなければならないのではないかと考えている。原子力のある技術開発に関していうと、地元の理解を得ていくためにはより安全な炉をつくっていくことが、技術開発において大事なところではないかと考える。福島事故を踏まえると、電源やポンプ等を必要としない、重力落下式の冷却系といった静的な安全設備が必要である。原子力防災を考えると、今、施設から概ね半径 30 キロの緊急防護措置を準備する区域（UPZ: Urgent Protective action planning Zone）というものを本当に技術的に小さくすることができるのであれば、こういったところを追求していかなければならないと考えている。

<原子力イノベーションにおける規制の予見性>

原子力イノベーションにおける規制の予見性について。事業者として規制を受けるのは当然だが、福島の事故以降をみると、特に我々としても原子力事業をおこなううえで、規制の予見性と、それに対し電力がこれでしっかりと対応する、といったことが非常に大切であると考えている。技術の面からいうと、原子力イノベーションの観点で、規制の予見性は研究開発のある段階から持っておかなければならないと考えている。しかも、それは今、我々が考えている早い段階から入れておかなければ、事業に影響が出てくるだろう。技術を使うことから判断して、これに関して規制はどのようになっているかということセットで判断していくようなプロセスでなければならないのではないかと考えている。

<規制の最適化（規制要件のオープンな議論）>

規制の最適化について、規制要件のオープンな議論をおこなう場を設けることが望ましいと考えている。まだ再稼働は十分に進んでいない。世界最高水準の厳しい新規規制基準ができ、それに係る審査を通して判断基準が明確でないといったことを感じることもあり、その透明性、一貫性、合理性といったことについて議論する必要があるのではないかと考える。それによって再稼働するプラントの数を増やすことにも繋がり、将来的にはより経済性にもすぐれた、より安全なプラントの構築にも繋がっていくと考えている。

<国の開発支援政策（社会的ニーズ含めた技術開発のため）>

今後、長期的に新しい原子力プラント等を開発するためには、国の政策を明確に示してほしいと感じている。社会的ニーズということで、原子力プラントには高い安全性、信頼性及び、確実

な実証等が求められるため、莫大な費用と期間がかかり、一企業では対応できない。そこについてはぜひ国の長期間にわたる支援が必要だと考えている。

<原子力に対する信頼の獲得（事実の継続的発信とディベート-段階的縮小の是非-）>

まずは原子力に対する信頼を「回復」ではなく、「獲得」、と考える。そもそも論として信頼を回復ではなく獲得していくことから始めなければならない。安全であるとアピールして、信頼が得られるかという、どうだろうと思う。（原子力を専門としない）一般の人が信じてもいいだろうというところまでいかなければ、原子力はこの先進まないだろう。原子力に対抗する再エネ、火力もそうかもしれないが、さまざまなエネルギーがあるなかで、どういったものがいいのかということを、色をつけないように議論することが必要ではないかということ、そして、事実の提供がまず必要だ。

<原子力の価値（メリット）の再確認 or 構築（再エネの補完、温暖化対策）>

原子力の価値があるということを前提に話が進むはずなのだが、そもそも、原子力としての価値、メリットはあるのか、認識を共有するところから始めるのか、改めて再構築するところから始まるのか、そこから議論をスタートさせることが必要なのかと思った。私としては、地球温暖化対策、再エネの持つデメリットである、いわゆる天気次第の再エネに対し、いつでもどこでも必要なだけ、という原子力のメリットがあると思っているが、このことがどこまで知られているのかはわからない。

<第5次エネ基を実現するための具体的アクションプラン（サプライチェーンの崩壊防止）>

第五次エネ基を実現するための具体的アクションプランについて。具体的なリプレイス、それから、再稼働の基数も明示しないという状況で、全く不明である。メーカーの立場から、足元で何が起きているかという、原子力産業界のサプライチェーンが崩壊しつつある、ということである。私どものような準大手のなかにも、原子力の分野である部分は撤退せざるを得ないというところが出てくる。末端のサプライチェーンになると、撤退を決めているというメーカーが何社も出てきており、私どもも代替メーカーを探すのに非常に苦労しているという状況がある。3.11以降、原子力はやるべきではないというイデオロギー的な考えを持っているメーカーもあるが、大半は実験室的なジョブがない状況で、人材も体制も維持できないということが現実にある。第五次の計画に非常に期待していたのだが、そこが不明瞭であると、ますます維持困難になっていくと思っている。私としてはいま一度、政府のほうの強力な指導をいただきたいと思っている。そのために我々がどうするかということも考えなければならないのではないかと思う。

<社会的受容性の向上 議論の場を成立させるための教育改革>

社会受容性を高めるための教育改革について述べる。本日の議論を聞いていても、賛成派と反対派の意見の隔たりは大きく、その根底にあるのは小中高での原子力、放射能、エネルギー、安

全保障にかかわる教育はほとんどなされておらず、大人になってから初めてこれらを議論し始めている、ということだと思う。最初から、(原子力に対する) 拒否反応、受け入れられないという土壌があるのではないかと考えている。このあたりの改革はかなり時間がかかるが、日本にとって大変必要なことだ。

<おもしろくて役に立つ原子力>

かつて 20 年ほど大阪大学の工学部にいた。工学部の学生は 800 人少々おり、一番細分化すると 20 ほどの学科に分かれている。原子力工学科は 20 年間、もちろん浮き沈みはあったが、総じて人気がなかった。これはつまり、原子力は、学生からおもしろくなく、下手をすれば役にも立たないと思われている分野だということなのかなと考えている。実際はそんなことはないのだが。特に最近では、核のごみの無毒化など、様々なイノベーションがこれから起ころうとしている。新設炉、シミュレーションの話、小型モジュール炉 (SMR) など、おもしろいことがこれから起ころうとしているのだが、なかなかそれが伝わっていないということと、本当に役に立つところがたくさんあるのだが、負の側面ばかりが学生のほうに伝わっていて、メリットが伝わっていない、魅力が伝わっていない。そこが問題だと思っている。

<原子力と教育>

メリットと魅力が伝わっていないことをどう解決するかというところで、教育の話これからしようと思っていたのだが、すでに別の方の発言にあったように、中学生、高校生ぐらいにしっかりと教育をおこなう、ということがとても重要だと思う。その際、科学的な事実に基づいてしっかりと教育するということをよりどころとして、偏りがないように中立な立場で教育することが大事ではないかと考えている。

<基盤学術・技術の維持と発展(予算と気概)>

いわゆる原子力安全、放射線を外に出さないという観点から考えると、放射線被ばくのリスクの可能性が低いのはそのとおりである。放射線が漏れる前に、割れたら直せばいいのだから。このような前提があるのだが、リプレース、そして、溶接をきっちりやっておかなければいけない。基盤技術、学術の維持と発展ということを書かせてもらった。括弧して予算と気概だ。予算というのはお金で、大学も学会もお金がない状況だ。原子力以外からもらえばいいのかもしれない。また、気概というのは、根性と言ってもいいかもしれないが、もうもたない。

<特に低年齢層への教育>

低年齢層への教育について述べる。可能であれば理工系に優秀な学生が来てくれるということがとても重要かと考える。要は、文系、理系というと、昔とそれほど変わらないが、最近はやライフ系などの割合が非常に増えていて、理工系に来てくれない。そうすると、小学校、中学校、高校、さらにいうとその両親に対して、理工系に来てもらえるように伝えていくことが重要かと

思っている。

<想定外に対しては究極のアナログ（ノンテクニカルスキル）の人材教育>

自動制御やロボット技術といった意味では、想定内で動いているところでの技術としては不可欠であり、そこは完璧にいつているはずだったのだが、いざ福島の場合、想定外になったときに、結局、ベントにせよ、注水にせよ、あるいは電源復旧にせよ、全く自動化も使えなくなってロボットも何の役にも立たなかった。そうした、最終的に人の作業が全てであったということの突きつけられ、非常に大きなショックを受けている。だが、そこにかけての人材育成、特に最近、ノンテクニカルスキルと言われるようなスキルが言われているが、テクニカルなスキルのみならず、そうしたノンテクニカルなところの人材育成、これが非常に重要だろうと考える。福島で対応された方、これと同じことが 20 年後に起こったとき、先ほどの人材の年齢分布を見て、本当に大丈夫なのかと思った。

<三人称の“安全”から一人称の“安心”へ>

第三人称の安全から第一人称の安心というのは、これまで我々も信頼性等にかかわってきたが、どうしても第三人称、非常に俯瞰的にシステムはこう動くべきという、あるいはどこに何の問題があるかということ調べようというような観点のみだったが、実際に福島で災害が起こって被害に遭われた方、あるいは作業現場にいた方、そうした人たちの意見を伺うと、そうした俯瞰的な安全観が役に立ったわけではなかったようだ。むしろ、遵守を謳っていたマニュアルが全く役に立たない想定外の状況に置かれた中で、自分たちの行動だけがプラントの危険を緩和する手段であり、自分たちの安全を守るのも自分たち自身であるという、崖っ淵に立たされた中での即応的な判断が求められたことが事故後には報告されている。このことを、第一人称の「安心」という言葉で表現したが、その意味は、現実世界の問題状況の中にいる行為者達の視点からの状況認識を調べ、その後の行為実践による状況変化が行為者の認識をどのように変容させていくかの視点からの分析を意味するもので、このような視点からの分析と人材育成も併せて進めることの必要性を実感している。このような個人の認識に対していかに踏み込めるかというところを、もっとも人材育成の中ではやっていくべきで、これを可能にするのがノンテクニカルスキルである。

<推進でも廃炉でも技術者は必要 原子力に夢がなければ人は集まらない>

教育者としてだが、推進でも廃炉あるいは後退でも、必ずどちらの技術も必要だ。技術者、新しい人材、若い人材を確保するためには夢がなければならないが、今、世の中は原子力イコール放射能というイメージで固定化されている。そして、例えば『戦争と原爆』がタイアップになった画像や、『津波と福島第一原子力発電所』がタイアップになった画像など、危険なイメージで描かれており、もう少し冷静な判断が必要、冷静な情報の提供が必要ではないかと思っている。

<一度技術を捨てると戻れない エネルギー安定供給の補完>

電気インフラとして、エネルギーは安定的に供給していかなければならないということがあり、そのためには、発電所の場所やタイプや発電量のバランスがとても重要だと思う（エネルギーのベストミックス）。いろいろな問題が原子力にはあると思うが、再エネの問題もそのほかの様々な技術も、まだまだ未熟であり、どうしても原子力というものに頼らざるを得ないだろうと私は思っており、少なくとも何か技術が確定するまでは技術を維持する必要があると思っている。一度技術を捨てると戻れない。それだけは事実であるため、技術の継続が必要だと思う。

<これからの原子力は魅力的な仕事なのか>

大学での人材育成を見て思うところについて述べる。2011年より前は、例えば新入社員の配属数も特に数が結構増えていることもあり、また、配属の状況などでもかなり数が増えているところが見られる。実際、自分の学生を見ていても、2011年以前は機械工学科だが、重工・電機メーカーの原子力部門に行きたい、など、明らかに原子力部門に行って、日本のエネルギー問題に貢献し、CO₂を減らすのだ、という意気込みを持って、行きたい、とはっきり言う学生たちがいたのだが、それ以降はぱたっと消えてしまった。魅力的なものがないと人材を育てることができなくなるので、何か新しい魅力が欲しい。

<世代間倫理に沿った原子力利用は可能か？>

先ほど世代間倫理の話をうかがい、七世代後のことを思いながら将来を決めるということ、大変勉強になった。放射性廃棄物のことについて、この問題を解決しなければならず、例えば予期せぬこのような事故が起きたときに、大きな負の問題を抱えてしまうことになってはならないと思った。同時に、日本の今、電力関係のことがらを決められない状況について今ここで決め方を失敗してしまい、次の世代に、日本はエネルギー問題に対して失敗したからGDPが下がって、生産も下がり、子どもも減ってきた、と言われてしまうわけにはいかない。その辺のところをしっかりと考えなければいけないと思った。

<安全と廃炉に関わる要素技術・基礎技術の研究推進（熱・流体・材料など）>

基礎的な力学あるいは物理、そうしたものを日々、実験を通してみているが、それらがこれからの安全や廃炉といったところにどのようにかかわっていくのか、仮に廃炉、再稼働、あるいは新型炉を作るといった、いずれの立場においてでも必要になってくるであろうということを、本日の話を伺って確信、気持ちを新たにした。この安全と廃炉というところだが、今年おこなわれた原子力にかかわる学会をみたところ、そういったキーワードを含む研究が多いというのを実感している。

<実験スケールから実機スケールへの拡張性（実験、数値解析）分野横断>

近年のコンピュータ技術に伴い、実機に近いものを、これまで培った技術から、どのように拡

張できるか。例えば安全とか廃炉にかかわるものとして発展できるか、ということ考えたのだが、どちらかというと、むしろ様々な間でスケール感の壁のようなものであるとか、それをどう乗り越えるか、あるいは企業と大学の間の知見の共有など、そういったところをどのようにうまく乗り越えていくかといったところも含め、表現させていただいた。余談だが、いま福島出身の3年次の学生がおり、彼はおそらく幼いころから現場で見てきたこととか、あるいは震災を体験したことによって、ぜひ日本原子力機構（JAEA）で働きたいと、この専攻を選んだ。

<メンテナンスの立場からの技術伝承>

特にメンテナンスの立場からの技術の伝承をいかにつなげていくか。例えば故障やいろいろな事故の経験というのは、なかなか小さなところではできなくて、結局そういった技術が伝承されておらずに大きな事故につながってしまう、ということが最近特に多く増えているということ。こうしたことをいかに成し遂げていくかということで、例えばバーチャルリアリティのようなものの活用が、それを一つの解決に導く可能性があるとも考えている。

<機械異常診断技術の進展（寿命予知の期待）>

現在、機械学会の機械状態監視診断士の資格認証についてトライボロジーの技術委員会で副委員長もしているが、そうした資格認証制度等をうまく活用し、技術の伝承やその確立を図っていく必要があると考えている。特にこの資格認証に関しては、電力関係の人が非常に多く受けているため、意味があると思っている。

<バックエンド対策のための基礎研究（基盤技術）の充実 人材育成>

化学工学の分野では、基礎的なものから始まり実際の商用設備に持っていくまで、非常に小さい実験室レベルからのパイロットプラントを経て、様々な実証試験をおこなった上で商用プラントにしていく。私は、原子力について素人のため詳細はわからないが、原子力発電は、商用機に持っていくまでの段階的な研究をどこまで十分におこなったのかとを感じる。商用機に至るまでの原子力に相応しい基礎からパイロット等の試行が不十分であるイメージを持っており、核廃棄物の問題等も含め、基盤的な基礎研究が非常に重要だと思う。実用化に向けた様々な基盤技術、たとえば欧米の取り組みをみると、非常に小さなレベルのプラントシステムの研究を多角的に随分おこなっている印象があるので、そうしたことをもっとやっていくべきではないかと考える。

<再生エネルギー等を中心とした総合的なエネルギー長期見通しの中で原子力は意味がある>

再生可能エネルギーなどを含め、もう少し冷静に原子力のエネルギー戦略上の位置づけを考え直したらどうかと思う。ある意味、ウランも限られた資源であり、海外からの輸入に頼っている。資源を安全に極限まで（放射性物質が残らない状態まで完全に核分裂させる等）有効に使える技術開発が、十分にできているのかを見直して、将来にとっておくべき燃料資源ではないかという印象を持っている。再生エネルギーで、例えば、ドイツの場合、風力だけで50%超のエネルギー

を補っている日もある等の報道もあるようで、様々なエネルギー源で需要を確保しながら、原子力は将来のためにとっておく、将来に、安全に無駄なく使える基礎基盤技術開発をまずは、進めるという観点もあってもいいのではないかと考える。

<21 世紀型の夢の原子炉をゼロから「創る」>

物理と原子炉との関係というのは非常に強く、エネルギー $E = \text{質量 } m \times \text{光速 } c \text{ の } 2 \text{ 乗}$ の物理学的関係式の話や、1936 年のシカゴパイルの話から全てが始まったということもあり、福島事故があったときに、実は私は原子核物理学をやっているため、原罪というか、我々から生み出されたものが何をやらかしたのだと、非常にショックを受けた。その後、核廃棄物の処理処分の問題を基礎的な立場から、ゼロから研究開発を今おこなっている者でもある。そうした立場から、本日の講演、議論を通じて、まず、原子力エネルギーの中心がないということに気づいた。若い人を育てるにも、今後の技術開発など、様々なことを考えるにしても、21 世紀型の原子炉は何なのか。例えば廃棄物を出さない原子炉を考えてみることや、廃炉がおこないやすい原子炉など、21 世紀型の原子炉とは何かということをしつかりと考えること。CO₂ は出さないというよい点をしつかりと加味しながら、21 世紀型の夢の原子炉というものをゼロから皆さんでつくってみて、考えてみたらどうか。前向きに原子炉のよさをもう少し全面に出し、足りないところをどのように工夫して前に進んで開発し乗り越えていくのか、そうしたドライビングフォースが必ず必要だと思う。

<フラッグシップが大切 本質的なものの提示>

基礎から産業に至る分野横断的な議論の場や、技術開発がどうなっているか等、情報公開をおこなう場所が必ず必要だと思う。かつて科学技術庁があったときには、そうした情報が全て役所のほうに上がっていたと思うが、今はそのような組織がなくて中長期的な原子力エネルギーの分野横断的な戦略というのをどこかでしつかりと作らなければ、日本はおかしくなっている。

<原子力に対する社会的魅力度・信頼度の向上>

原子力分野に係る魅力度の向上が必要である。原子力分野においては研究開発予算一つをとっても、なかなかうまく進まない。例えば宇宙分野と競っても勝てない状況を身近に感じている。研究開発機関として原子力の魅力度をもっとアップさせていくことにトライしなければならない。そのためには魅力のある将来的なビジョンを示していく必要もあるのだが、そのビジョンの実現に向け、新たなイノベーションをどのように生み出すかということを実体化することが重要である。これまでの原子力の枠にとらわれず、幅広い分野との連携・融合による新たなニーズの創造や、他分野が有するシーズの応用などを通じ、新たな価値を見出していく必要があると思っている。

<人材育成に必要な施設機能の維持>

施設機能の維持について。原子力機構はさまざまな原子力施設を持っている。これは人材育成の場として非常に貴重なものであるが、施設全体の老朽化が進み、さらには新規制基準対応を含む施設の維持に必要な様々な費用もかさんできており、今、全原子力施設のおよそ半数を廃止にせざるを得ない状況にある。例えば材料試験炉（JMTR: Japan Materials Testing Reactor）のような非常にニーズの高い施設についても残念ながら廃止を決めている。こうした状況に対し、失われた機能をどうするのか、また、現在残っているものも相当老朽化が進んでいるので、将来、中長期にわたってそうした機能をどのように維持していくのか、日本全体として真剣に考えていかなければならない。

【質問あるいは追加コメント】

- もう少し政府の支援が必要なのではないかという議論が多いが、現政府が6年半続いて何もリプレースを言わない。これが国策民営の問題点だと思う。両方が無責任になり、互いに相手に責任があると言い合っている間に行き倒れになる可能性があり、誰かがゲームチェンジャーになる必要があると思っている。
- 社会受容性と一般的に言われるが、その社会というものは何なのか、ということ。立地地域なのか、UPZ内の人なのか、電気利用者なのか、国民一般なのか、そこが曖昧になっており、精査してみると、結構違いがある。私自身も震災以降、様々なディスカッションを行ってきたが、約9年が経ち、国民のコンセンサスが得られない限り、再稼働ができないというのはナンセンスであろうと思っている。もっと言えば、国民のコンセンサスといった抽象的な範囲を対象として、原子力政策の社会受容をとらえているのであれば、原子力政策の方向性を見間違える可能性も否めない。また、エネルギー基本計画について、重要なベースロード電源でありながら可能な限り減らすという両論併記自体が欺瞞であろうと思っている。おそらく事業者がリアリティとして案じている技術の継承を考えれば、やめるか、続けるかということ、そろそろ判断しなくてはならない状況だと思っている。
- 幾つか廃棄物に関する見通しというものは、原子力の選択との非常に鍵となっているというコメントがあったことに対してだが、まず、放射性廃棄物というものは、一体どのようなものかということをしつかりと認識しなければならないと思う。ご承知のとおり、地球の真ん中は放射性物質だらけであり、宇宙の宇宙線も同様、そもそも、宇宙の起源とは放射能である。そこで、改めてそうした目で廃棄物というものを見たときに、原子力の放射性廃棄物というのはどのような性質であり、どのようなやり方で取り組んでいく必要があるのか。ほかの廃棄物はどうなのかと考えたときに、いわゆる化学物質のような廃棄物は半減期もなく、それがあれば永遠に続くわけで、カーボンエミッションというのは非常に升の大きい廃棄物だ。それに対し、原子力の廃棄物というのは極めて発生量が小さくて、適切な管理を行えばコントロールができるものだというのが国際的な考え方である。一方、社会的な理解という面では非常に深刻でうまくっていない。そのようなそれぞれの廃棄物のそもそもの特徴や、適切な対応の仕方というものを踏まえたうえで廃棄物を考えなければいけない。原子力の場合に限って放射性廃棄物というものが極めて本質的に問題のあるものであるという先入観

で議論するのは適切ではないと思う。

- 野家先生を書かれたもので、かつてサイエンスは単数の言葉であった、という文章を目にした。それがあある時期からサイエンシズになった。つまり、専門が分化して、それぞれ分かれてしまい、それぞれの分野の専門家は他分野の専門家ではなくなった。現在の原子力のような巨大なシステムは、一つの分野は専門だが、ほかは素人という人材が集まって、うまくシステムを作る。そうしたシステムを作る方法論をこれから構築することが必要ではないか。サイエンスと哲学は一緒だったと書いてあった。だから、専門家、現場の技術者がそれぞれしっかりとした哲学を持っているかどうかもある。本日は原子力をどのように俯瞰するかということなので、こうした学問の分離を踏まえて、全体が俯瞰できる人材をどのように育てるかということにフォーカスしていくといいのではないかな。

4-2. 総合ディスカッション

＜大学でしっかり教える仕組みを＞

原子力の施設を維持していくことが大事という意見について、教育機関である大学でしっかりと原子力を教えていく仕組みを確保することが重要だ。原子力を志す学生が少ない背景として、原子力に魅力を感じてもらえず、役にも立たないと思われているのではないか。そこで各大学では、例えば環境エネルギーや量子エネルギー、システム創成等に原子力から名前を変えて学生を集め、そのなかで原子力教育を上手にやっている。

そのように何とかやっている状況だが、これで本当にこれからやっていけるのか。本来ならば原子力という名前を明確にしっかりと前面に出して教えられるような状況になればいいと思っている。そうした意味では、京都大学複合原子力科学研究所は、原子力というものが前面に出たほとんど唯一の大学の組織なので、その重要性は高いように思っている。不安も希望もある。

＜領域侵犯による議論を＞

今は、専門家が自分の課題を原子力という問題に対して出した、という段階だ。専門家の課題ではなくて、社会にとっての課題は何かということを文字化できるかどうかさらに重要だ。

ここが始まりであるということで、あの人のこの話はノックアウトファクターではないか、あるいは、これは自分の専門ではないがノックアウトファクターだから、それを優先順位の上に置かなければいけない、という議論が行われ、それによって提言が出てくるとなると、科学がもう一步、違う側面になる。

シナリオのようなものを提示すると、そのシナリオを変えるぐらいのデジタルアクティブな科学技術の変革は何なのか、と課題もより明らかになる。社会全体の課題、のようなことを書き、それぞれ例えば、産業政策、エネルギー政策、教育政策、倫理の問題、教育の問題など、それぞれの課題に落とし、その関係を論ずるようなセッションを毎回企画してもらえるとよい。

領域侵犯でこの文理の問題を言いたい。文科系と理科系の対話という、特に理科系の人の研究開発に悩んで人文社会系の問題が出てくると、その部分を依頼して答えてほしいという。すると答えられないので、まだできていないねと言われる。他方、社会的な問題を考える人は、科学技術の問題を設定しきれない。こうした問題があるため、これはキャッチボールでやっていてはだめだということが徐々にわかってきた。少なくとも自分もわからないまでも、先方の専門領域のなかに入って、これはノックアウトファクターなのかどうかということを考える、という姿勢が大事ではないか。ぜひ続編をお願いしたい。

＜原子力技術の価値を知り、理解し、共有する＞

原子力技術はない方がよいが、やむを得ず使うものだろうか。それとも、原子力技術には価値があるから皆でうまく使うように考えるものか。これまでの原子力技術を語る文脈は前者に偏りすぎているのではないか。実は、普遍的な価値が原子力技術にはあるのかもしれない。価値とはなにかということをあらためて考える時期である。価値をみとめて、適切な使い方を考える発想と、価値を認めずいずれは消え去るであろう一時的な技術として受け入れる思想と、どちらが原子力を表しているだろうか。

<夢を語る／フラグシップ>

大学教員として感じることは、若い人の意識についてである。社会の役に立つ研究をしたいという、そうした志を持った若い人がおり、それで、核廃棄物の処理処分問題の話を基礎的に物理の立場から行っている。何かを聞きつけてきて、若い人が一緒にやりたいと来るのである。どのような問題設定をするかが非常に大事だ。本質的な問題をしっかりと提示して、そして一緒にやろう、やりたい、という空気を作っていかなければならない。そのためにはフラグシップが大事。本日はそのフラグシップがあるのかなのか、よくわからない。様々難しい問題があるということもわかるが、先生方が夢を語っていかなければ、ということが本質的かと思っている。

<借り物の技術からの脱却>

社内の原子力人材育成ネットワークで戦略ワーキンググループを立ち上げ、主査をしている。人材育成をまさに今、何かやろうとしているところである。イノベーションで社会受容性にこたえる開発のターゲット、どのような原子力発電所を技術的に認めるか等、日本として何を目標とするかについて、もっと平場の様々なところで議論が必要。少なくとも原子力の未来を語る一つの場がなければならない。

他方、エネルギー政策における原子力の位置づけ等も必要だが、例えば技術者が廃棄物の問題を技術的に解決できなければ解はない。原子力をやろうがやるまいが、技術を開発する側としては今の原子力の問題解決に向かって技術開発に邁進しなければならない。日本としては例えばそうしたことが実現できる原子炉を掲げて、それを開発プログラムの軸にするというようなことについて、早くそれを国民的な議論、平場にどのように持っていくかということをしっかりと考えなければならない。

もう一つ、日本の原子力開発が輸入の技術の導入から始まっており、一番根っこのフィロソフィや基盤が抜けたところから始まったのではないかという指摘があったが、これは私が仕事でイギリスの案件を手がけた際に、最も我々技術者にとってよかったことにつながる。それは次のようなことである。すなわち、今まで社内で教わったことを日本の許認可のなかで、そのまま先行機と同じだという説明をしてきた技術者が、イギリスの許認可当局に対しては設計思想から、ゼロから説明しなければならないという経験をしたこと。つまり、借り物の技術であったものを自分の技術として理解するということが随分勉強になった。

イノベーションで新しい技術開発、新しい炉の開発を日本でやるということは、日本のなかで許認可当局も含めて、いわゆる安全や、基礎基盤技術、基礎的な安全のフィロソフィなど、原点に戻って日本のなかで再構築するためのよい機会である。そうした機会として捉えて、こうしたプログラムのなかに盛り込むアイデアを出していかなければ、単にイノベーションを、どこかのアイデアだけをやっても、あまり意味がなく、もう少しそうした大きな動きにしていこうということが重要なのではないかと思う。ちょうど今、イノベーションがこれから立ち上がっている。まさにそうした動きにしていけたらよい。

<福島事故を踏まえたリプレースの新型炉開発を>

大きな流れでみて、大事故を起こした後、新しい新型原子炉を開発することがアメリカでもヨーロッパでもあった。アメリカの場合にはスリーマイル島（TMI）発電所で事故を起こして、例えば2ループ構成の加圧水型原子炉（AP-1000）ができた。AP-1000はインベッセルリテ

ンションといって、圧力容器の中で原子炉を保持するようなシステムが考えられた。それは TMI が原子炉は溶けたのだが、圧力容器の外には出なかった、そうした事故経験も踏まえ、これを重視する設計で過酷事故対策ができた原子炉が作られている。一方、ヨーロッパのほうはソ連のチェルノブイリが爆発し、大量の放射性物質を出してしまった。そうしたこともあり、欧州加圧水型炉（European Pressure Reactor, EPR）は相当頑丈にできており、コアキャッチャーもあり、コンテインメントは二重で作られた。

では、日本はどうするのか。福島事故があり、福島は津波でやられてしまい、自然の災害、地震津波系でやられてしまった経験がある。チェルノブイリとも TMI とも違う要素で大事故を起こしてしまったことに対応する安全な原子炉の開発に、日本は進むのかどうか。やめてしまうと、世界からみて、言及がなさすぎる感じもしている。福島事故の経験を踏まえ、これにも耐えられるような安全なリプレースの新型原子炉を日本は開発すべきではないか、そうしたタイミングにきているのではないかと申し上げたいと思う。

<他と共にニーズを考える／異分野連携>

今、我々も今後どうしていくかということを非常に考えている。魅力度アップと先ほど言ったが、そうした意味でも、我々としてしっかりとある程度、先のビジョンを明確に示していきたいと思っている。これまで予算が厳しいということで、例えば施設の半分を廃止することなど、厳しい計画を表に出さざるを得なかった。

また、バックエンド関係を今後、長期的にどうするか。これも昨年度、整理してオープンにしている。外から見ると、これに加えて、今後何をしていくのかをしっかりと示していきたい。ただしこれは近いところだと予算の問題等もありなかなか具体化できない難しいところがある。だが、我々としては少し長期の 2050+ というビジョンを 11 月ぐらいにオープンにする方向で、現在外部有識者にもご協力いただきつつやっているところ。

その中で、例えば新型炉などについても、様々我々のなかの研究開発施設で、現在、これまでのナトリウム冷却の高速炉や高温ガス炉が柱になっていくのだが、多様なタイプの炉についても様々に携わっていきたい。ただし外からも言われていることは、我々が今まで持っているシーズ、そして我々が思うニーズに対してのある意味一本道の開発ではなく、民間も含めて一緒になってニーズそのものを考えていこうということが求められていると感じている。本日他社のお話を聞いていても、そうした異なる分野との連携を非常に民間も意識しているとのことなので、ベクトルは似ていると思っている。今後ぜひ協力していきたい。我々のような研究開発施設が国のために、原子力の発展のためにいかに今後も役に立てるのかということをよく考えていきたいと思っている。

<安全な次世代の炉／文理の役割分担>

おそらくイノベーションのために必要なものは、つまるところ資金であって、理系の先生方が楽しく原子力の新しいイノベーションを起こしていただくために、しっかりそこに資金を確保できるような制度、仕組みを構築するのが文系の仕事だと思っている。第四次産業革命と呼ばれる技術トレンドの転換期にある現在、自動車の駆動が電気になり、人工知能や物のインターネットが進展するなか、人口が減ったり、省エネが進んだりしても、電化で電力の使用量は今後も伸びていく可能性がある。

そうした中で、原子力発電は安定的な電力供給を得られるベースラインのインフラであるということ、再認識しなくてはいけないと思っている。我々はエネルギー資源を輸入に頼っているおぼつかない自給率のもとで暮らしているということも、しっかり見据えなくてはならないだろうと思う。原子力にもイノベーションは起こるわけで、安全な次世代の炉というキーワードで、研究開発への資金支援について、政策合意を図れるよう文系として貢献できるところはないか、模索すべきであると思っている。

<イノベーション／根本に関する議論を>

本来、イノベーションというのは、社会の要求事項（エネルギーに関しても、安全に関しても、世代間の責任問題も、同様だが）を明確に議論し、それを克服しようとするときに、真にイノベーションが現れると思う。細かい議論、すなわち、ある技術で寿命を少し延ばした、といったことは、本質的なイノベーションにならない。エネルギーの問題は、国としても人類としても、我々日本人としても、死活問題だ。本来のそもそも論をして、そこでイノベーションを考え、そして自然に、こういうことをきちんと解決しよう、と取り組んでいく。このような流れが、私は本筋であると考えている。

おそらく、この流れなしに輸入技術で進んでいるために、様々なゆがみが出てきているのだと思う。アメリカもヨーロッパも、30年も40年も、しつこくきちんとおこなっている。そもそも論から議論しているので、新しい考え方が生まれ、新しいイノベーションが出ている。この根本に関する議論がないまま、表面的な部分で何とかしようということでは、うまくいかないのではないかな。これはバックエンドも含めてである。そもそも論をきちんと考えてやろうということが大切だ。例えばオンサイトの貯蔵ダムについて、どこかに集めろと言いながら、他方でバックエンドをどうするのか、これだけしか土地がない、このような状況では、イノベーションには程遠い。本来はそうしたところをきちんと考えていくべきではないかと思う。

<放射性廃棄物の特殊性>

さきほど高レベル放射性廃棄物の問題について発言したが、廃棄物とは何か、ほかの廃棄物との違いを考える必要があるという意見をいただき、それはそのとおりだと思う。ただし、プラスチックごみと放射性廃棄物は違い、放射性廃棄物の場合はまず目に見えない。そして、そこから放射能が何百ベクレル出て、それが例えばDNAに作用したり、がんを引き起こしたりということがあり、一般の市民は不安に思っている。

そのため、法律でも放射性管理区域というものが大学でも決まっており、しかも放射性物質を扱うには資格が要る。年間20ミリシーベルト以下という制限もあり、これも法律で決まっている。したがって、ほかの廃棄物と一緒に考えるということについては、産業廃棄物についてさえ法律があるのだから、放射性廃棄物の特殊な危険性、すなわちそれが与える影響の大きさをしっかりと区別して考えなくてはいけないと私は思っている。

私の大学でも、ある学部でアイソトープを下水に流していたことが、大きな社会問題になったことがあり、放射性廃棄物の場合にはそれなりの管理をしっかりとしないといけない。あるいは、これからプラスチックごみについてもそうした法律ができるかもしれないが、少なくとも現状では放射性廃棄物はかなり特殊な廃棄物だということを認識したうえで、我々は様々な行動を起こさなくてはならないと思っている。

<廃棄物／総合的な考慮を>

廃棄物といっても様々な問題を広く考えていかなければならず、例えば環境ホルモンの問題、我々が日常使っている洗剤、あれは環境ホルモンになる。それを、食器を洗った後に流している。洗濯も同様だ。洗濯によってマイクロプラスチックが20%ぐらい出る。様々なことを総合的に考えて、我々人類や日本人はどうしていくか、ということを考えてはいかがかという提案だ。

<法律による基準とその他の区別に基づく議論を>

現在、日本の法律で、産業廃棄物や放射性物質についての管理規定は決まっている。さきほど社会とは何かという提案もあったが、社会をつくっているのは基本的には納税者と有権者であり、彼らを選んだ国会が決めた法律によって基準が決まっているのだから、法律が定めた基準とまだ社会的合意ができていない他の案件とをしっかりと区別して議論するならば、そのとおりだと思う。

<廃棄物に関する R&D>

廃棄物に関する R&D の実績だけ、少し紹介したい。かつては全て海外に委託していた。当初の契約は、核分裂生成物はガラス固化体で、それは今でもそうだが、ガラスの設計がよくなり体数が減り、金属は当初セメント固化体だった。これもコンパクトな圧縮固化体になっており、量が減っている。低レベル廃液は、ビチューメンといってセメントの固化体だったのだが、ゼロにしている。そのため、実質の契約として当初に比べて結構減っているというのが事実だ。高速増殖炉（FBR）で燃やせる廃棄物もある。どこまで楽観的になっていいかわからないが、他のものと同様、分別と輸送の一層の最適化ということで、実績としてそれなりに合理化されているということは事実である。

また、高レベル廃棄物にしてもかつてはイギリスとフランスに全部委託しており、そのガラス固化体はほとんどを回収して日本にある。六ヶ所の二つのビルに全部入っているのとんでもない量ではない。確かに近づけないが、かつて日本でつくった原子力発電の高レベル廃棄物処理は全部依頼し、ほとんど回収済みで、六ヶ所の二つのビルに入っていることは事実である。フランスでは、放射性廃棄物管理に関する研究方針等を含む国家計画（PNGMDR）が政府により3年毎に策定されている。廃棄物の将来の R&D やシナリオが幾つか示され、議論されている。そうしたこともあってもよいのかもしれない。

<イノベーションと規制のあり方>

別の視点だが、このワークショップの開催の狙いは日本における原子力をめぐる現状を国外と比べて認識し、そして、多様な視点から課題や今後議論すべきことを俯瞰的にあぶり出して今後のあり方を考える、そうした面をみて、例えばいくつか出たコメントのなかに、規制の予見性といった話があった。技術の開発は、その進捗度や開発段階に応じて、本来、適切な規制のあり方というのは変わっていくべきであり、まさにイノベーションをしようと思ったら、イノベーションの新しい技術に合わせた規制のあり方が改革されていかなければならないと思う。そうした観点から、これは要望なのだが、規制の独立性という視点が大きなポイントになっているということは十分理解しつつも、原子力のイノベーションを語るうえで、規制に関してコミットしている立場の人がいないというのはいかにも残念なことだと思う。

<時間スケール別の課題整理を>

本日の議論を伺っていて一つポイントがあると思っているのは、今後、すぐ5年、10年の間に何とかやっていかなければならない課題と、もう少し長い時間のスケールで考えていかななくてはならない問題等である。本日の話を伺っている限りでは、それらが全て一緒くたになっているように思える。ぜひそこは時間スケールの観点でまとめてもらいたい。また、もう一つは、時間的な部分とは関係なくやっていかなければならない部分があるだろうと思う。

つまり、長い一定のレベルで、例えば基盤研究などがそうだと思うが、かなり長い時間的レンジを通して取り組む必要があるものが存在すると思う。例えば、短期的なものから長期的なところに向けて、人材育成も同様であり、人を育てるということは、今日実行して明日からすぐ育つのではなく、5年、10年先を見てやっていかなければならない部分だと思う。片や、総合的な教育と中高生等の教育、これについても同様に、時間的スケールで考える必要がある。その点で、ここにまとめてもらったようなテーマをもう一回見直して、その中から、短期的、中長期的、といった視点でまとめ直し、それをスターティングポイントにこれから先の議論を深めていくことが大事ではないかと思う。

5. 結びに代えて（今後の展開）

本ワークショップでの議論から、原子力に関する科学的知見や技術のあり方と、原子力と社会あるいは人間の関係のあり方は、有機的な課題として一体的に議論していく必要があることが示唆された。では、そのような議論のためには、どのような切り口があるか。

ワークショップの参加者から出された意見（今後議論すべきこと）のうち、大学、企業、国研、そして専門分野の違いを超えて多く出された項目は、“教育・人材育成”であった（付録3参照）。JST-CRDSでは、専門分野や立場を超えた俯瞰的な議論の実現を目指し、次回（第二回）ワークショップのテーマとして、この“教育・人材育成”を取り上げる予定である。

次回ワークショップにおいては、これから育てるべき理想の人間像と、そのための教育システムのあり方を議論する。“教育・人材育成”が対象としうる人びとは幅広い。原子力に関する科学や技術を専門とする人びとだけでなく、人文社会科学分野の人びと、広い年代の一般生活者までも含むことができる。次回ワークショップでは、そのように広い視野のもとで、招聘する有識者に経験と見識を持ち寄っていただく。これにより、将来の日本の原子力に様々なかたちで関わる個人がどのような能力を備えるべきか、そのような個人を育てる仕組みにはどのような要素や体制が必要か、検討したい。

付録

付録1. プログラム

開催日時：2019年9月6日（金） 13:00～18:00

開催会場：JST東京本部別館

2階セミナー会議室（東京都千代田区五番町7番地 K's 五番町）

13:00～13:15 はじめに 佐藤 順一（JST-CRDS）

13:15～13:20 趣旨説明 大平 竜也（JST-CRDS）

（1）社会との関わり

13:20～13:35 講演1「倫理問題としての原発論争」

野家 啓一〔東北大学 名誉教授〕

13:35～13:50 講演2「原子力技術と社会」

八木 絵香〔大阪大学 CO デザインセンター 准教授〕

（2）原子力をめぐる科学と技術

13:50～14:05 講演3「原子力イノベーションを実現するために」

山口 彰〔東京大学大学院 工学系研究科 原子力専攻 教授〕

14:05～14:20 講演4「計算力学技術の現状と将来 ～原子力分野への展開～」

越塚 誠一〔東京大学大学院 工学系研究科システム創成学専攻 教授〕

14:20～14:35 講演5「技術基盤を支える工学フロンティア」

北村 隆行〔京都大学大学院 工学研究科 機械理工学専攻 教授〕

14:35～14:45 休憩

（3）人材に関して

14:45～15:00 講演6「若手人材／研究者の現状と課題」

岡嶋 成晃〔一般社団法人 日本原子力学会 会長〕

（4）今後のあり方

15:00～15:15 講演7「今後の原子力政策のあり方」

橘川 武郎〔東京理科大学大学院 イノベーション研究科 教授〕

15:15～15:30 講演8「安全保障と原子力技術」

遠藤 典子〔慶応義塾大学 政策・メディア研究科 特任教授〕

15:30～15:45 講演9「原子力関連のものづくりの課題と研究について」

久持 康平〔日立GEニュークリア・エナジー株式会社

原子力生産本部 本部長〕

（5）世界との関わり

15:45～16:00 講演10「原子力開発と規格基準の果たす役割」

波木井 順一〔東京電力ホールディングス株式会社 原子力設備管理部
規格基準グループマネージャー〕

16:00～16:20 休憩

16:20～17:58 全体ディスカッション 進行役：大平 竜也/前川 智美（JST-CRDS）

17:58～18:00 閉会挨拶 佐藤 順一（JST-CRDS）

付録2. 参加者一覧

招聘識者 (26 名)

(敬称略・五十音順)

- ・遠藤 典子 慶応義塾大学 政策・メディア研究科 特任教授
- ・大野 勇 株式会社 IHI 資源・エネルギー・環境事業領域 主席技監
- ・岡嶋 成晃 日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門
原子力エネルギー基盤連携センター長
- ・金子 暁子 筑波大学 システム情報系構造エネルギー工学域 准教授
- ・神谷 秀博 東京農工大学 工学研究院応用化学部門 教授
- ・北村 隆行 京都大学大学院 工学研究科 機械理工学専攻 教授
- ・橘川 武郎 東京理科大学大学院 イノベーション研究科 教授
- ・黒崎 健 京都大学 複合原子力科学研究所 教授
- ・越塚 誠一 東京大学大学院 工学系研究科システム創成学専攻 教授
- ・櫻井 博儀 理化学研究所 仁科加速器科学研究センター RI 物理研究室 室長
- ・榎木 哲夫 京都大学大学院 工学研究科 機械理工学専攻 教授
- ・寺井 功 関西電力株式会社 原子燃料サイクル室
サイクル事業グループ チーフマネジャー
- ・寺本 剛 中央大学 理工学部 准教授
- ・中川 聡子 東京都市大学 工学部 電気電子通信工学科 教授
- ・中原 隆 三菱重工業株式会社 パワードメイン 原子力事業部 原子力技術部 部長
- ・野家 啓一 東北大学 名誉教授
- ・波木井 順一 東京電力ホールディングス株式会社 原子力設備管理部
規格基準グループマネージャー
- ・久持 康平 日立GEニュークリア・エナジー株式会社 原子力生産本部 本部長
- ・藤木 保伸 東芝エネルギーシステムズ株式会社 技監
- ・松尾 亜紀子 慶應義塾大学理工学部機械工学科 教授
- ・望月 正人 大阪大学大学院 工学研究科 マテリアル生産科学専攻 副理事・教授
- ・門馬 利行 日本原子力研究開発機構 事業計画統括部 部長
- ・八木 絵香 大阪大学 CO デザインセンター 准教授
- ・山口 彰 東京大学大学院 工学系研究科 原子力専攻 教授
- ・若林 利明 香川大学 工学部 材料創造工学科 教授
- ・渡辺 哲也 中部電力株式会社 原子力部 業務グループ 部長

JST-CRDS 環境・エネルギーユニット

- ・佐藤 順一 CRDS 環境・エネルギーユニット 上席フェロー
- ・大平 竜也 CRDS 環境・エネルギーユニット フェロー
- ・尾山 宏次 CRDS 環境・エネルギーユニット フェロー
- ・中村 亮二 CRDS 環境・エネルギーユニット フェロー、ユニットリーダー
- ・長谷川 景子 CRDS 環境・エネルギーユニット フェロー
- ・前川 智美 CRDS 環境・エネルギーユニット フェロー

- ・松村 郷史 CRDS 環境・エネルギーユニット フェロー

関係府省・機関

- ・竹内 英 内閣府 政策統括官（科学技術・イノベーション担当）付原子力政策担当室 参事官
- ・笠谷 圭吾 内閣府 政策統括官（科学技術・イノベーション担当）付原子力政策担当室 参事官補佐
- ・松本 英登 文部科学省 研究開発局 研究開発戦略官（核燃料サイクル・廃止措置担当）
- ・有林 浩二 文部科学省 研究開発局 研究開発戦略官（核燃料サイクル・廃止措置担当） 付放射性廃棄物企画室長
- ・鈴木 哲 文部科学省 研究開発局 研究開発戦略官（核融合・原子力国際協力担当）付 課長補佐
- ・関 洋治 文部科学省 研究開発局 研究開発戦略官（核融合・原子力国際協力担当）付 行政調査員
- ・類家 剛 文部科学省 研究開発局 研究開発戦略官（核融合・原子力国際協力担当）付
- ・清浦 隆 文部科学省 研究開発局 原子力課 課長
- ・小林 明希子 文部科学省 研究開発局 原子力課 室長（研究基盤・人材担当）
- ・舟木 健太郎 経済産業省 資源エネルギー庁 長官官房 総務課 国際原子力技術特別研究官
- ・小泉 真認 経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力政策課 課長補佐
- ・簗島 大悟 経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力政策課 課長補佐
- ・望月 武 経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力政策課 課長補佐
- ・荒井 周午 経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力政策課 係長
- ・荒井 優 経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力政策課 係長
- ・乾 俊輔 経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力政策課 係長
- ・松岡 秀樹 経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力政策課 係長
- ・三木 豪 経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力政策課 係員
- ・松川 文彦 経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力政策課 研究官
- ・伊藤 洋一 日本原子力研究開発機構 副理事長
- ・古塚 伸一 日本原子力産業協会 企画部長 部長
- ・喜多 智彦 日本原子力産業協会 人材育成部 部長
- ・千葉 崇生 日本原子力産業協会 人材育成部 課長
- ・坂上 千春 日本原子力産業協会 人材育成部 課長
- ・藤田 智成 電力中央研究所 原子力技術研究所兼企画 G 上席研究員
- ・田中 清弘 関西電力株式会社 原子燃料サイクル室 サイクル事業グループ グループマネージャー
- ・吉村 真人 日立 GE ニュークリア・エナジー株式会社 原子力国際技術本部 本部長

- ・ 北川 敬明 三菱重工業株式会社 パワードメイン 原子力事業部 原子力技術部
技術企画課 課長
- ・ 藤原 昇 一般社団法人 電気学会 専務理事・事務局長
- ・ 白鳥 正樹 横浜国立大学 名誉教授

JST

- ・ 倉持 隆雄 CRDS 副センター長
- ・ 藤山 知彦 CRDS 上席フェロー
- ・ 岩瀬 公一 CRDS 上席フェロー
- ・ 酒巻 哲朗 CRDS 上席フェロー
- ・ 渡邊 英一郎 参事役
- ・ 永野 智己 CRDS 総括ユニットリーダー、フェロー
- ・ 日江井 淳一郎 CRDS フェロー
- ・ 宮下 哲 CRDS フェロー、ユニットリーダー
- ・ 小宮 泉 社会技術研究開発センター 企画運営室 企画 G 主査

付録3. 俯瞰ワークショップで挙げられた課題一覧

俯瞰ワークショップで挙げられた 日本の原子力を取りまく課題（今後議論すべきこと）		課題の共通キーワード												
		廃棄物・ バック エンド対策	社会受容 性・対話・ 世論・ 世代間倫理	教育・ 人材育成	安全・安心	規制	行政・政策 (工研計画 での原子力 位置づけ)	再稼働・ リブレース 新設	研究開発・ 技術開発 維持推進	基盤技術・ 字術との 連携	分野横断	産業として の課題	イノベ ーション	フラッグ シップ(夢)
1	廃棄物使用済み燃料の許容量 総量規制	○				○								
2	廃棄物とは何か？他の廃棄物との違いを考える必要性	○												
3	一般ゴミとは違う放射性廃棄物 特殊性を把握して（対社会）議論	○	○											
4	高レベル放射性廃棄物の処理問題	○												
5	実効性のあるバックエンド対策	○												
6	バックエンド対策のための基礎研究（基盤技術）の充実 人材育成	○		○						○				
7	技術・規制・社会の3つのイノベーション+基盤・人材のバランス		○	○		○				○	○	○	○	
8	地元の理解 了解（安全性を高めた炉）		○		○									
9	原子力に対する社会からの理解取得		○	○										
10	社会とは何か？国民一般？事業者？		○											
11	対話、コミュニケーション活動の可能性と限界		○	○										
12	原子力に対する関心度低下と原子力世論の固定化		○											
13	原子力に対する信頼の獲得（事実の継続的発信とディベート-段階的縮小の是非-）		○											
14	社会的受容性の向上 議論の場を成立させるための教育改革		○	○										
15	原子力事業推進の本質的不確実性としての社会的受容性		○											
16	国の開発支援政策（社会的ニーズを含めた技術開発のため）		○	○		○		○						
17	原子力に対する社会的魅力度・信頼度の向上		○											
18	世代間倫理に沿った原子力利用は可能か？		○											
19	米仏のような長期に亘るコミットメント		○			○								
20	一方的なシーズの創出・提案ではなく、他と一緒にニーズを見つめる		○								○			
21	原子力の価値（メリット）の再確認or構築（再エネの補充、温暖化対策）		○										○	
22	フラッグシップが大切 本質的なものの提示		○											○
23	これからの原子力は魅力的な仕事なのか		○	○										○
24	原子力技術の価値を知り、理解し、共有する		○	○						○	○		○	
25	大学で原子力をきちんと教える 明確に			○										
26	特に低年齢層への教育			○										
27	原子力と教育			○										
28	メンテナンスの立場からの技術伝承			○					○					
29	若手人材確保のための挑戦的テーマ提示とその提示方法			○										○
30	デジタル技術活用と技能者育成			○						○				
31	人材育成に必要な施設機能の維持			○					○					
32	原子力全体を俯瞰できる人材の育成			○						○				
33	推進でも廃炉でも技術者は必要、原子力に夢がなければ人は集まらない			○										○
34	再稼働と人材育成			○				○						
35	想定外に対しては究極のアナログ(ノンテクニカルスキル)の人材教育			○										
36	先進国における現場マンパワー不足による原子力プラント建設の困難性			○								○		
37	安全と廃炉に関わる要素技術・基礎技術の研究推進（熱・液体・材料など）			○	○				○	○				
38	基盤字術・技術の維持と発展（予算と気候）			○			○		○	○				
39	原子力を支える基盤技術の推進			○					○	○				
40	原子力プラント長期間停止における技術力維持継承			○					○			○		
41	実際の機構観察に基づく知識・知恵			○						○			○	
42	面白くて役に立つ原子力			○									○	
43	備り物の原子力とその他の研究開発からの脱却			○					○				○	
44	21世紀型の夢の原子炉をゼロから「創る」			○									○	○
45	原子力のものでづくり技術における他産業技術の活用			○					○			○		
46	機械異常診断技術の進展（寿命予知の期待）				○				○	○		○		
47	安全性を高めた原子炉の開発とこれによる既存炉のリブレース				○			○	○					
48	三人称の“安全”から一人称の“安心”へ				○									
49	福島事故を踏まえた安全性を高めた原子力開発				○				○					
50	規制の最適化(規制要件のオープンな議論)					○								
51	イノベーション技術に合わせた規制、規制は変わっていくべき					○							○	
52	原子力イノベーションを進める上での規制の予見性					○							○	
53	原子力行政のシヴィリアン・コントロール						○							
54	政策的な議論とは別に技術開発、研究開発をいかに活性化させるかの議論を進めること重要						○		○					
55	技術のチャレンジを後押しする枠組みの構築						○		○				○	
56	牽流する原子力政策						○							
57	国営化を含めた国の関与のあり方						○							
58	安定的な電力供給インフラに向けた前向きな研究とそれを後押しするファンド政策						○		○					
59	第5次エネ基を実現するための具体的アクションプラン（サプライチェーンの崩壊防止）						○					○		
60	総合的なエネルギー長期見通しの中での原子力の有意性						○							
61	一度技術を捨てると戻らない エネルギー安定供給の補充						○					○		
62	短期的、中長期的な課題は各々区別すべき またそれによらない課題もあるはず						○							
63	原子力比率（20-22%）をいかに達成するか						○							
64	長期的原子力比率の議論とリブレースに向けた認識共有						○	○						
65	新炉の開発と商用								○			○		
66	基盤技術再構築のための字術									○	○			
67	基礎から産業に至る分野横断的な中長期戦略をオープンに策定									○	○	○		
68	実機スケールから実機スケールへの拡張性（実験、数値解析）分野横断										○	○		

■ワークショップ報告書 編集メンバー■

佐藤 順一	上席フェロー
○大平 竜也	フェロー
尾山 宏次	フェロー
関根 泰	フェロー
○徳永 友花	フェロー (2019 年 11 月～)
中村 亮二	フェロー、ユニットリーダー
長谷川 景子	フェロー
○前川 智美	フェロー
松村 郷史	フェロー

○：主担当

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2019-WR-03

俯瞰ワークショップ報告書

原子力を取りまく現状と今後に向けて

2019 年 9 月 6 日 (金) 開催

令和 2 年 2 月 February 2020

ISBN 978-4-88890-659-3

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
環境・エネルギーユニット

Environment and Energy Unit,

Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency

〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 K's 五番町

電 話 03-5214-7481

E-mail crds@jst.go.jp

<https://www.jst.go.jp/crds/>

©2020 JST/CRDS

許可無く複写／複製をすることを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.

Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.

