

企画セッション | 部会・連絡会セッション：新型炉部会

■ 2019年9月12日(木) 12:40 ~ 14:30 | Ⅲ J会場 共通教育棟 2F D22

[2J_PL] 今後の新型炉サイクル開発への提言（私たちの経験を踏まえて）

座長:小竹 庄司(日本原電)

[2J_PL01] 核燃料サイクル開発への提言

*河田 東海夫¹

[2J_PL02] 高速炉開発への提言

*柳澤 務¹

[2J_PL03] 高温ガス炉開発への提言

*伊与久 達夫¹ (1. JAEA)

[2J_PL04] 総合討論

新型炉部会セッション

今後の新型炉サイクル開発への提言（私たちの経験を踏まえて）

Proposition for the Future Development of the Advanced Fast Reactor Cycle (From Our Experience)

(1) 核燃料サイクル開発への提言

－「究極のゴミ焼却発電炉」：高速増殖炉開発における新しい視点－

(1) Proposition for the nuclear fuel cycle development

- “Ultimate refuse incinerating power plant”: a fresh look at FBR development -

*河田 東海夫¹¹元 原子力機構

1. 我が国は世紀を超えて原子力を安定的に利用し続けるための備えが必要

2011年3月の福島第一原発事故以来、原子力に対する国民の忌避感情の高まりは一向に鎮まることを知らない。こうした世相を背景に、政府の原子力問題への取り組みは極めて及び腰で、昨年策定された第5次エネルギー基本計画では、「2050年のエネルギー選択に際しては、・・・可能な限り原発依存度を低減する」ことを明記し、原子力縮減が国策であるかのような印象を国民に与えている。事故後8年が経過した今日でも再稼働できた原発はわずか9基にとどまる一方で、この間に21基の廃炉が決定され、残存する原発は建設中も含めて35基にまで減ってしまった。エネルギー基本計画では、2030年代のゼロエミッション電源比率を44%程度と見込んでおり、そのうち原子力比率は20～22%を想定している。この比率達成のためには、100万kW級原発35基前後を必要とし、それはちょうど現在残存する原発の全ての運転に匹敵する。それが達成できなければ、我が国は温室効果ガス排出削減に関するパリ協定の約束を果たすことができない。その後2050年に向けたさらに厳しい脱炭素化を達成するためには、それ以上の原子力比率維持が必要なことは明白である。

本年1月11日発行の米国のサイエンス誌は、エネルギー脱炭素化に貢献できる原子力の役割を再認識すべきとの社説を發表し、原子力なしでの本格的脱炭素化（deep decarbonization）は、平均発電コストを2～3倍高める可能性があり、既存原発の温存と新規建設の検討が必要との見解を表明した。また、日本、韓国、ベルギー、スペイン、スイスは原発フェーズアウトの厳しいリスクに直面しているとし、強力な対策が必要との警告を発している。

長い時間軸でみると、化石燃料資源の消耗は避けがたい現実であり、原子力の長期安定利用は、そうした時代に予見される人類史的危機を回避するための最大の武器となる。とくに化石燃料のうち、石油・天然ガスに関しては、シェールガスなどの非在来資源を含めて2020～2040年の間に生産ピークを迎え、その後は生産減退が予見されている。それほど遠い先の話ではない。エネルギー自給率が10%にも満たない我が国では、子孫の長期安寧のために、今世紀後半のみならず来世紀においても、相当規模の原子力を安定的に利用し続けられる備えをしっかりと固めていく必要がある。

2. 国土の狭い日本では、再処理路線堅持が原子力の長期安定利用を可能とする

資源に乏しい我が国は、原子力利用開始当初から閉じた核燃料サイクルの確立を目指してきており、それを商業規模で本格実施する中核施設が六ヶ所再処理工場である。同工場は2021年度上期竣工を目指しているが、脱原発団体やそれに同調するメディアは、再処理を放棄し、直接処分路線への転換を迫る様々なキャンペーンを執拗に展開している。そこで、改めて我が国が再処理路線を堅持することの重要性を、直接処分方式との対比で示すと以下の5点に整理できる。

*Tomio Kawata¹¹JAEA (retired)

- ① プルトニウムの発熱を持ち込まないため、高レベル廃棄物処分場の必要面積が三分の一で済む。
- ② プルトニウムを埋めないで、埋設廃棄物の放射性毒性とその有意残存期間を一桁小さくできる。
- ③ 多数の大型使用済燃料中間貯蔵施設の建設が不要で、中間貯蔵能力確保の必要性がミニマムで済む。
- ④ 将来的に制御不能な核拡散リスクを生むプルトニウム鉱山を残さない。
- ⑤ 資源節約ができ、高速増殖炉サイクルへの橋渡しができる。

直接処分の場合には、処分前に使用済燃料を 50 年以上冷却する中間貯蔵施設が必要となるが、35 基前後の原発を運転する場合、毎年 600 トン程度の使用済燃料が排出される。したがって、むつりサイクル燃料備蓄センター並みの大型中間貯蔵施設（貯蔵容量 3,000 トン）を 5 年ごとに建設し続ける必要が生じるが、立地問題が厳しい日本では、それは到底不可能であり、それができなければ、原発は直ちに停止に追い込まれる。一方、再処理政策を堅持すれば、40 年間の再処理で発生する高レベル廃棄物（ガラス固化体）の全量を貯蔵するための施設の敷地はすでに六ヶ所に確保済み（一部施設建設済み）で、新規立地問題で悩む必要はない。発電所側も中間貯蔵能力確保は不要かミニマムで済む。しかも、最も厄介な高レベル廃棄物の処分場必要面積も、直接処分の三分の一で済む。今日では、原子力事業推進上の最も困難かつ重要な課題は、立地問題や住民との合意形成問題であるが、①～③のいずれもがその問題解決をより容易にする。その点から、若干の発電コスト増（1 円/kWh 未満）を勘案しても、国土の狭い日本では、再処理方式は直接処分方式よりはるかに国民負担が小さい選択肢であると断言できる。

④は、直接処分した使用済燃料の場合、300 年後には β - γ 放射能が著しく低下するのでアクセスが容易になり、しかも含有プルトニウムの発熱も著しく低下するので、核兵器材料としての魅力が増すことから、核拡散上のリスクが無視できないレベルに高まるという問題である。こうしたことから、米国原子力学会の特別パネル報告「プルトニウムの防護と管理」（1995 年）では「使用済燃料の直接処分は国家レベルでの核拡散の脅威を消滅させることにはならない」ことを明確に指摘している。⑤については、学会員諸氏には改めて説明するまでもなからう。

3. 持続可能なエネルギー源としてみた場合の軽水炉の限界

今日、商業用原子力発電の主流は軽水炉であり、世界の原子力発電容量の約 9 割を占める（日本では 100%）。軽水炉は、軽水を減速材兼冷却材に使うという単純さと、低濃縮ウランの使用で他の炉型に比べコンパクトで高い出力密度を実現したことで、優れた経済性をもたらした。その一方で、軽水炉は、基本的にはウラン U-235 の核分裂のみを利用するシステムであり、再処理・リサイクル方式を採った場合でもプルトニウムの多重リサイクルが困難なため、ウラン資源利用効率は 1% 未満にとどまる。軽水炉は、ウランのおいしい部分をほんの少しだけつまみ食いして捨ててしまう、大変な「ウラン食い散らかし炉」であり、リサイクル方式をとった場合でも、その基本的性格を根本的に改善することはできない。

資源利用効率の悪さは、とりもなおさず廃棄物処分問題への負担がきわめて大きいことを意味している。軽水炉では、リサイクル方式を採った場合でも、地上に掘り出したウランの約 95% が、劣化ウラン（濃縮のテイル）や使用しきれない回収ウランとして残る。さらに、副産物として生まれるプルトニウムも、MOX 燃料としてリサイクル利用しても実際に消費されるのは生成量の 5% 程度に過ぎず、95% は高次化したプルトニウムとして MOX 使用済燃料中に残る。原子力利用が、もし軽水炉だけで終わるのであれば、これらはすべて廃棄物（核のゴミ）となり、膨大な負の遺産となる。軽水炉は、バックエンドの観点からも、真に持続可能なエネルギー源にはなり難い。原子力への長期依存が不可避と認識するならば、適切なタイミングで高速増殖炉サイクルに移行できる備えを怠ってはならない。

4. ウラン資源利用の理想体系は MA リサイクル型高速増殖炉サイクル

原子力が真に持続可能なエネルギー源となるためには、燃料供給の持続性ととともに、廃棄物問題の負担が過剰にならず、処分の永続的な実施が可能になることがもう一つの重要要件となる。

高速増殖炉はプルトニウムの多重リサイクルが可能であり、「ウラン資源をプルトニウムに変換しつつ燃やし尽くす炉」である。その結果ウラン資源の利用効率は軽水炉の 60 倍以上になるので、燃料供給の持続性の

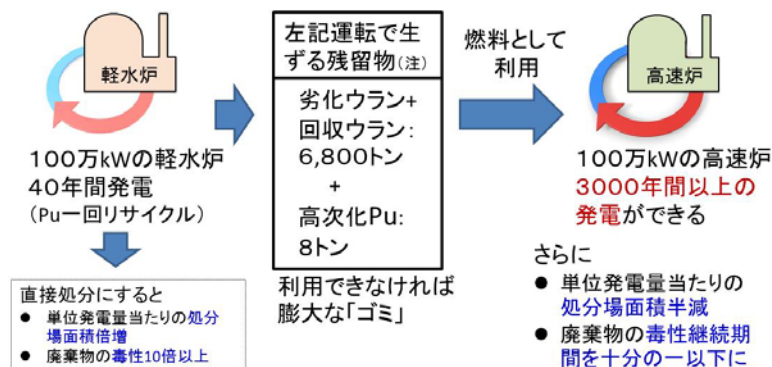
観点からは問題なく合格といえる。一方、高レベル廃棄物に着目すると、MA リサイクル型の高速増殖炉サイクルで発生するガラス固化体の単位発電量で規格化した発熱量は、軽水炉で発生するガラス固化体のその6割程度にしかない。その結果、前者の場合に必要な処分場面積は、後者の半分程度で済む。35GWe の発電を 100 年間続けた場合の処分場必要面積を極めて粗い概算で推定してみると、高速増殖炉サイクルでは、羽田空港の埋立地のおよそ 0.8 倍となる。1 世紀にわたる膨大な電力安定供給のツケ（処分場）がこの程度であれば、国民はそれを受容するであろうとの想定はあながち無謀とは言えまい。したがって、この程度であれば、永続的な処分の実施が可能とみなしてよいのではなかろうか。なお、軽水炉でも高速炉でも、燃料をリサイクル利用する場合は、再処理工程などからいわゆる「TRU 廃棄物」が発生し、それらの処分も考慮しなければならない、しかし TRU 廃棄物は、高レベル廃棄物に比べて発熱が小さいため、大量の廃棄物を一か所に集中して埋設することができる。したがって、高レベル廃棄物処分場面積の 1 % 程度のスペースを与えれば、TRU 廃棄物はすべてそこに埋設することができる。

5. 高速増殖炉を売り込む新しい看板：「究極のゴミ焼却発電炉」

高速増殖炉は炉心とブランケットからなり、炉心にはウランで希釈したプルトニウムを燃料として装荷し、ブランケットには濃縮されていないウランを装荷する。炉心に装荷するプルトニウムには、軽水炉の MOX 使用済燃料から回収される低品位のプルトニウムでも利用できる。また、炉心の希釈やブランケットに使用するウランは、フレッシュな天然ウランである必要はなく、濃縮のテイルとして発生する劣化ウランや、再処理の回収ウランでよい。したがって、高速増殖炉サイクルでは、新規のウラン採鉱はまったく不要で、軽水炉時代に無用の残渣として残される膨大な量の劣化ウランや回収ウランと、軽水炉では再利用が困難な MOX 使用済燃料を燃料源とすることで、何千年にもわたる発電を可能とする。この関係を 100 万 kW 級の軽水炉 1 基 40 年間分の発電を基準に下図に示す。高速増殖炉は、軽水炉時代が残す膨大な核のゴミを燃料としながら電気を何千年にもわたって人類に供給できる「究極のゴミ焼却発電炉」なのである。軽水炉サイクルは後に膨大な負の遺産を残すが、後に高速増殖炉サイクルが続くことによって、その負の遺産がすべて発電用の燃料に生まれ変わる。また、軽水炉時代が残す MOX 使用済燃料は、高速増殖炉の立ち上げ期に必要なとなる大量のプルトニウムの貴重な供給源になる。

冒頭で述べたように、我が国は世紀を超えて原子力を安定的に利用し続けるための備えを必要としている。その備えとなるのが、MA リサイクル型高速増殖炉サイクルの開発・実用化である。なお、ここで MA リサイクルを求める目的は、廃棄物の毒性低減ではなく、処分場必要面積を抑えるための発熱源除去である。この場合、90%の MA 回収率が実現できれば十分であることを注記しておく。

これまで、高速増殖炉は、燃やした以上のプルトニウムを生産できる「夢の原子炉」と言われてきたが、再処理反対キャンペーンで、今やプルトニウムはすっかり悪者扱いされている。一方、高速増殖炉が持つ「究極のゴミ焼却発電炉」というもう一つの姿は、循環型社会形成が重要な社会命題となっている今日の時代ニーズに完全合致しており、はるかに世の中から共感が得やすい。もんじゅ廃炉で、高速増殖炉に対する国民の期待は完全に地に落ちてしまった。そうした中で高速増殖炉サイクルの開発に弾みをつけるための「新しい看板」として、「究極のゴミ焼却発電炉」をアピールして行こうではないか。



高速増殖炉は「究極のゴミ焼却発電炉」

新型炉部会セッション

今後の新型炉サイクル開発への提言（私たちの経験を踏まえて）

Proposition for the Future Development of the Advanced Fast Reactor Cycle (From Our Experience)

(2) 高速炉開発への提言

－もんじゅの経験を踏まえて－

(2) Proposition for the fast reactor development (From my experience in Monju)

*柳澤 務¹¹元 原子力機構

1. はじめに

高速原型炉もんじゅが2016年12月21日、原子力関係閣僚会議で「もんじゅの位置付けを見直し、原子炉としての運転再開はせず、今後廃止措置に移行するが今後も高速炉研究開発を継続していく」という方針が決定され、欧州、米、ロシアと異なり、高速炉発電プラントの本格的な運転経験を得るに至らなかった。今後の開発計画は、高速炉開発会議の下、戦略ワーキンググループで検討されているので、もんじゅプロジェクトでの経験からの教訓や、やり残したことを中心に整理してみて、今後の高速炉実用化への取り組みの足がかりに資すればと思う。

2. 高速炉開発とは

原子力発電は、核分裂反応でエネルギーを発生させ、水を蒸気にしてタービンで電気を起こすというより、地球（大地）から贈られたウランを繰り返し燃やしてエネルギーを利用し、廃棄物は大地へやさしく戻すシステムであると言える。そこに至るまでには色々な段階や方式がある。軽水炉から出発して高速炉へ繋いでいくのが基本であるが、例えば軽水炉段階で一区切りつけ立ち止まる考え、地球規模で軽水炉利用が定着され国際的に一段落してから次の段階に進む考え、濃縮ウランを使いながら高速炉技術を成熟させてからリサイクルする考え、高速炉を使いつつトリウム燃料まで拡大して利用する考えなど様々である。

しかしこのように考えることで、再処理、高レベル廃棄物処分などの課題も一括して俯瞰できることになり、原子力全体に対する社会との認識の共有がしやすくなる。

人類の営みが国連のSDG（持続可能な開発目標）に沿うことが求められ、当初から諸々の活動の後始末、廃棄物処分まで視野に入れた取り組みにより、経済性を備えた循環型社会を指向することになる。核燃料サイクルはこのシステムそのものであり、高速炉はそのリサイクルシステムの中核の役割をなし、1994年の原子力長計では「リサイクル炉」という表現にもなっている。軽水炉での大量の劣化ウラン、使用済燃料を資源として再利用できる。また、高度な再処理技術により核分裂生成物の有用元素の回収、長半減期核種の核転換による安定化にも展開できる。

この循環型システムは、基本的には核反応による核種転換と各核種まで注目して利用、処理する核種分離という二つの技術によって支えられていると言える。高速炉を中核とした核燃料サイクルを支える学術科学は核種毎に扱うという意味で周期律工学とでも呼べる地球や宇宙の元素との対話である。

一方、高速炉開発の歴史をひもとくと、インドは高速炉と核爆弾（平和目的）の開発を併せて研究することに、仏では高速炉のブランケット燃料からは兵器級プルトニウムが取り出せることに関心があった。インドの高速炉開発は1972年5月臨界になったパルス型高速炉（Purnima）から出発した高速炉炉心の核特性把握と共に核爆弾の初歩的開発も行ったと言われ、プルトニウムに関する連鎖反応や臨界超過の動特性解析等に活用されたようである。非核兵器国がプルトニウム利用を行うには核不拡散や核セキュリティーに対し国際的にも意識して、より果敢かつ誠実に行動することが必要である。

原子力やプルトニウムを兵器として使わない、より進化した確固たる社会が望まれる。戦後やっと生まれた国連、NPT、軍縮諸条約、IAEAによる査察制度など社会が原子力を取り込むために社会制度も変化してい

る。原子力の平和利用の分野でも開発と国際管理は車の両輪である。プルトニウム利用は広まる方向であり中国による原子力後発国への働きかけなどを考えると、各国のプルトニウム利用を国際管理の下、行われるべきであり、日本の主体的活動が求められる。

低炭素エネルギーシステムとして、費用対効果からみても、原子力発電の果たす役割は大きい。ベースロード電源として軽水炉に続く第4世代システムとして大型高速炉が位置付けられる。また、熱供給、水素製造など原子力の多様なエネルギー源としても SMR などの技術開発により低炭素エネルギーシステムに貢献できる。

3. もんじゅプロジェクトの教訓

新しい技術の実用化を目指しての開発において、これまで馴染みのない技術を使いこなしていく場合、開発プロジェクト及びそれに携わる関係者に、新しい技術自体及びそれに対する向き合う姿勢、開発体制、社会への向き合い方などに関し、特別必要とされる慎重さ、謙虚さが十分でなかった。

新しい技術開発でつまずきがあれば、社会が心配することへの備え、構えができていなかった。開発当事者は新しい技術開発に挑戦する意気込みが強すぎることに引きずられ、社会への向き合い方への配慮が足りなかった。多様な人材と相当の陣容を整えておく必要があった。もんじゅは、試験、運転を通じて事故、トラブル、不具合等を経験し、原因究明、調査研究、対策、品質保証活動の改善、社会への説明責任を通じて、それらを克服しつつ、技術や人材、規制が育っていく道場とでも位置付けられるが、これらに応えられるような備え、構えが脆弱であった。

3-1. 政策面

(i) 実用化見通し

当初は高速炉実用化の見通しがもんじゅ運転10年後であった。この背景には米国で軍事用潜水艦の動力炉として、冷戦の厳しい情報管理の下で開発された軽水炉の成功の影響があったのではないかと考えられる。

新型炉開発でも、多少の手戻りは覚悟しても、計画通りに進めればうまく行くだろうという意識が強かった。開発から社会に受け容れられるまでの実用化の道は相当困難であるという認識が、政策立案側、技術者側も十分でなかった。

(ii) 開発方針転換

もんじゅは1995年12月のナトリウム漏洩事故後、拙速に実証炉計画から実用化へ繋げるのではなく、国際的な技術開発、研究開発のセンターへと舵を切った。そこで、技術高度化、保全技術を中心とした技術開発部門を充実整備し、福井県エネルギー研究開発拠点化計画でも研究開発の重要な役割を担うようになった。しかし、スケジュールとして、早期にステップアップする方向に引きずられた。

(iii) プルトニウム利用計画

ATR ふげんはプルサーマルや高速炉によるプルトニウム利用が進まない中、25年間 MOX 燃料の利用で東海の再処理、MOX 工場と連携しつつ、我が国のプルトニウム利用政策を支え続けた。大間の ATR 実証炉計画の中止に伴い、ふげんは運転停止に至り、この役割をもんじゅが引き継ぐこととなった。もんじゅは高速実証炉とセットで我が国のプルトニウム利用政策に直結した路線に乗っていた。事故後は、運転に支障が生ずると、プルトニウム利用計画が破綻するような短絡的な考え方にならないよう、包括的基本政策が必要であった。

(iv) 保障措置優良国

高速炉開発の歴史は核兵器との接点が多い。非核兵器国がプルトニウム利用を行うには、国際的にも意識して、より真剣な議論が継続的に必要なのではないか。あかつき丸によるプルトニウム輸送は国を挙げての画期的プロジェクトであったが、プルトニウム利用に伴う、インフラ、周辺技術を整備、充実し、国民にも広く、深く共有できるような政策が不足していた。プルトニウムが日本の国で現実に利用されているという実感が広まらないと国内外で理解は得られない。

3-2. 開発体制

(i) 長期停止による現場力の弱体化

当初は早期実用化の短期決戦型を想定したが、もんじゅナトリウム漏洩事故、東海アスファルト火災爆発

事故が続き、動燃の信頼は失墜した。電気事業者も実証炉の開発は容易ならざると、協力姿勢は弱まった。軽水炉等の現場経験を積んだ技術者の減少により現場力は弱体化した。また、プラントの運転が行えず、設計条件との対比、評価、マニュアルの改善なども十分ではなく、したがって、研究開発段階炉としての規制面からの配慮についての検討もできなかった。

(ii) 改革活動の風化

もんじゅの運営組織は、事故後の総点検、動燃改革、原研との原子力機構への統合等の改革を経てきた。新たな課題が追加されると、優先順位、取り組み姿勢に対する経営トップの判断は重要である。また、運営管理では計画に対する PDCA サイクルが基本となるが、特にチェックの段階が重要であり、根本に戻ってこのままで良いか等、本質的な監視が鍵である。そのために、現場ばかりでなく、経営層との一体的取り組みができるかがポイントとなる。

(iii) 完遂指向の体制

動燃設立当初はプロジェクト毎に専任の役員が就任していた。プロジェクト完遂の浸透が原点である。国のプロジェクトの長期化に伴う、国と地方の位置付けの合意形成やトラブル等により、監督官庁の役割が大きくなり、国が前面に立つことが多くなる。国が現場の指揮をとるのは難しく、昔の国鉄では総裁をおいて責任体制を明確にし、新幹線網のめどが付いて民営化したのは参考になるのではないか。もんじゅプロジェクトでは守備範囲が広く、現場ばかりでなく相当の覚悟をもって社会への細心の配慮、国際協力などプロジェクト推進を体現できる構えが必要であった。

3-3. 技術

(i) すべての活動が試験

もんじゅは研究開発段階の原子炉であり、規制も含めてすべての活動が新しい技術体系に対する試験であるという認識が徹底されなかった。実用炉のように経験を積んだ実績がある訳ではない。設定を変えたり、条件を変えたり、調整できるような計画作りで土俵ができる。そうすれば、規制側も新規の活動への対応が試験と位置付けられる。

(ii) ナトリウム技術

社会で馴染みのないナトリウム取扱技術への継続的な慎重さが不十分であった。地道な研究開発によって一定のレベルの基礎ができたと判断され、研究活動は縮小された。もんじゅナトリウム漏洩事故後、もんじゅに隣接してナトリウム研修棟を整備し、消防研究所との共同研究も進めた。常陽の火災事故からも新たな知見を得ている。

(iii) 他分野へのアンテナ

原子力以外のより広い技術分野へのアンテナ機能の備えが甘かった。軽水炉と異なり、高温であるが低圧であるという特徴がある。軽水炉中心の原子力業界とは異なる分野への関心、総合的に把握する視点をもち、それらの技術に関する交流や共同研究を行う積極的思考が必要であった。

(iv) 海外経験の反映

海外炉における貴重な経験の反映の仕方が不徹底であった。もんじゅの設計では、海外の高速炉や国内外軽水炉の運転経験での事故やトラブルの事例を活用するべく、情報入手と技術交流を行い、発生防止の対策を設備設計に反映させた。しかし、直接的原因の防止対策を行ったことで完了という意識で、起こった時の措置、備えを検討し、適応力の育成、訓練まで反映できなかった。運転再開にあたっては、事故、トラブル事例集を作成し、公開・活用を図った。

(v) 研究開発段階の保全計画

研究開発段階炉が備えるべき保全計画に対する準備が拙速であった。建設段階を終えていないのに、使用前検査において、屋外排気ダクトの腐食など保守管理上の問題が明らかになり、予防保全を基本とした計画的点検に基づく保全計画が必要であると認識した。保全計画は研究開発段階炉であることを考慮し、試行錯誤を重ねて充実させていくプロセスを科学的合理性をもって準備できなかった。こういう活動こそ、新しい技術体系への構えの真髄なのではないか。

3-4. 社会への対応

(i) 新しい技術体系への透明性不足

社会からの関心が高い原子力において、特にこれまでと異なる新しい技術体系の実用化に向けての開発、なかでも安全性に懸念が表明されている下では、技術開発の取り組みは透明性高く進めるべきである。原子力界には、技術開発は将来の重要な技術なので国家や専門家に任せているとの意識が強く、何度となく信頼性を大きく喪失してきている。もんじゅがビデオ隠しなどの不適切な対応から社会的な事件となり、動燃、サイクル機構、原子力機構に任せておけるかという組織信頼性が問われた。組織としての広聴、広報機能の構えが組織マネジメントとして極めて重要である。これらにより原子力界以外からも監視され、メディアへの喚起にもつながっていくことを経営理念に挙げるべきである。

(ii) 大学との連携

もんじゅを高速炉の国際研究開発拠点にすることは無論、新しい技術開発への挑戦を地元の技術向上にもつなげていく福井県エネルギー研究開発拠点化計画が実現したが、より発展した形を模索できたのではない。特に大学の役割は地域では重要であり、新技術の社会での受容性の研究などで特色を出せることが期待された。

(iii) 地域振興策

国のプロジェクトとして、もんじゅが役割を果たすときの国と地方の関係も重要である。ATR ふげんは実証炉建設に向けて地元も運転を見守ってきたが、実証炉中止に伴い、ふげんの運転停止が地元との相談もなく決められ、国策への不信感となった。もんじゅも同じ轍を踏んだ。鉄道、道路等の公共事業の国による整備に関して、もんじゅもその渦中に巻き込まれた。予め地域社会に対する立地振興構想が検討されるような仕組みが必要ではないか。米国では国家環境政策法は連邦政府が関わるあらゆる行為に対し、社会的、経済的、倫理的な視点からも評価される。

4. 実用化への展開

原子力に対して、これ程閉塞感がある中、高速炉の実用化を進めることは容易なことではない。開発プロセスの社会との共有がどこまでできるかが、今後の鍵となる。

4-1. 高速炉の実用化とは

技術開発として、まず開発目標を達成することが基本となる。具体的には、GEN-IV で取り上げられているように安全性、経済性、持続可能性（資源有効利用、廃棄物など環境保全）、核拡散抵抗性が目標となる。

次に、社会からの以下のような要請に応えていくことが求められる。実際に立地が決まり、建設、運転に至るプロセスが推進される要件となる。

- (i) 安全性の納得、規制手続きの整備
- (ii) 供給安定性、信頼性
- (iii) 社会が受け容れる経済性
- (iv) 産業活動の達成
- (v) プルトニウム管理が心配ない
- (vi) 燃料供給、使用済燃料、廃棄物処理の整備
- (vii) 国際的規範に沿っている
- (viii) 若い人の仕事
- (ix) 実施体制の信頼性

4-2. 実用化をめざして

我が国は欧州、米、ロシアとは異なり、高速炉発電プラントの本格的な運転経験がない。実用化に向けて、産業界、社会に受け容れられるかどうか、死の谷を乗り越える重要なステップである。すなわち、開発当事者、規制、社会が様々な経験を蓄積する機会を用意しないとイケない。もんじゅがやり残したことを冷静に整理、抽出しておくことが必要である。

高速炉のような新型炉開発の実用化では、取り組みの大半は規制の仕組み、安全確保の体系を整えることであり、相当な期間の運転、試験の実績が必要となる。

もんじゅでの経験をあきらめるなら、その代わりに海外炉の生きた運転経験を我が事ととらえる位の覚悟

が求められる。豊富な運転経験のロシア、実験炉ながら様々な試験も行っているインド、中国との技術交流の道を、容易なことではないが何としてでも探る気概をもってほしい。もんじゅのナトリウム漏洩事故後の改造では旧ソ連の BN-350 との技術交流、常陽のトラブルの解決ではインドの実験炉 FBTR との技術交流により知見を得たりしている。

また、もんじゅ施設を国際的な FBR 研修センターとして海外との交流もできないか。海外高速炉の運転・保守経験成果の集約、データベース化をはじめとして、もんじゅの実機設備を、停止されている状況の下、研究・研修材料にして、実物を調査・評価研究の対象あるいは海外にも開かれた若手技術者・学生への研修の場として活用できよう。また供用期間中検査などの機器の検査は、実機条件下での動作・操作試験により保全技術の高度化が図れる絶好のチャンスだ。

また、シミュレーターによる運転技術の高度化や事故、トラブル事象の研究や事故トラブル事例集の拡大・深化なども忘れてはいけない。プラントが廃止措置に向かっているからこそ、実現できる研究、技術開発があるだろう。

さらに、もんじゅの「マネジメント」を原点に戻って検討、再構築し、新しい技術体系開発の要塞化を図り、新たな技術開発成果を反映し、改良を加えて再利用についてきちんと検討したらどうであろうか。

4-3. プロジェクト推進

実用化を目指すプロジェクトの進め方として、バトンタッチ方式で良いのかという問いかけがなされてきた。実用化に向けて、産業界、社会に受け容れられるかどうか、死の谷を越えられるかどうかである。まず計画されたプロジェクトの全力での完遂が何より重要である。これまでは原型炉段階の完遂を重要なホールドポイントとしつつも、実用化への開発プログラムが先走っていた。原型炉が設計を終え、建設に入る段階から科学技術政策でなく産業政策の一環として位置付け直して民間の主体的参入を促す方策が考えられたかもしれない。設計期間全体を研究開発主体と建設・運転主体の併走期間として技術移転の観点や国の政策体系の中に適切に位置付けるチェック・アンド・レビューも行えた。プロジェクト運営の本質的課題である。

4-4. プルトニウム政策

我が国は資源に乏しい島国のエネルギー確保のためプルトニウム利用を目指す核燃料サイクルが国際的に認められてきた。核拡散防止の原点に立ち、プルトニウム利用計画や貯蔵の透明性を含め、積極的な工夫が必要である。

我が国は現在、プルトニウム利用の主流はプルサーマルであり、使用済 MOX を中間貯蔵し、高速炉利用とセットにする戦略とすべきである。MOX の使用済燃料は六ヶ所の再処理の対象になっていない。高速炉サイクルまで保管するには国が前面に立ち、中間貯蔵を明示する必要がある。そのためには、MOX 使用済燃料を再処理し、プルトニウム利用する高速炉の開発戦略を提示しない限り、中間貯蔵の立地も進まない。

4-5. 学会への期待

もんじゅ廃止決定を審議した高速炉開発会議は、経産、文科両大臣、関連三機関の代表者のみで構成され、学会の見解や地元の意向も取り込んだ議論もなかった。廃止決定に際し「もんじゅはプロジェクトの『技術的な内容』に問題があったというよりむしろ、保全実施体制や人材育成、関係者の責任問題など『マネジメント』に問題があった。とりわけ『最先端の研究開発』と『安全な発電事業の実施』という二つの性格が異なる要素が混在する難しいプロジェクト」と述べている。実用化を目指した新型炉開発の本質的課題の問いかけである。併せて、実証炉以降の開発に資する様々な成果知見が蓄積され、燃料供給等関連技術、人材育成基盤の成果も得られているとしている。まだやり残したことは多く、これらの議論は十分吟味されてはいない。原型炉のもんじゅを廃止決定した以上、これらの議論を冷静、客観的にまとめられるのは学会の重要な役割であろう。将来、次世代システムの研究開発から実用化段階へ進める上で、十分配慮できるようにしておくためにも。

*Tsutomu Yanagisawa¹

¹JAEA (retired)

新型炉部会セッション

今後の新型炉サイクル開発への提言(私たちの経験を踏まえて)

Proposition for the Future Development of the Advanced Fast Reactor Cycle (From Our Experience)

(3)高温ガス炉開発への提言

(3) Proposition for the high-temperature gas-cooled reactor development

*伊与久 達夫¹¹原子力機構

1. はじめに

高温工学試験研究炉(HTTR: High Temperature Engineering Test Reactor)⁽¹⁾は、熱出力 30MW、原子炉出口冷却材温度 950°C(最高)の被覆粒子燃料・黒鉛減速ヘリウムガス冷却型の、我が国初の高温ガス炉である。日本原子力研究開発機構(原子力機構)は、HTTR を中核施設として、高温ガス炉技術基盤の確立と技術の高度化、核熱利用の新たな利用分野を拓くための研究開発を推進している。

現在、高温ガス炉開発は、平成 30 年 7 月に閣議決定された第 5 次エネルギー基本計画で謳われている「水素製造を含めた多様な産業利用が見込まれ、固有の安全性を有する高温ガス炉など、安全性の高度化に貢献する技術開発を、海外市場の動向を見据えつつ国際協力の下で推進する」に沿って実施している。海外の高温ガス炉開発の動向や日本(原子力機構)との国際協力の具体的内容、及び今後の研究開発課題について、2019 年春の年会での新型炉部会セッション「新型炉の国際協力の現状と今後の研究開発課題(イノベーションの創出)」で報告されている^(2,3)。

筆者は 1979 年旧日本原子力研究所(旧原研)に入所以来、一貫して高温ガス炉開発に従事し、HTTR の設計から供用運転まで経験した。その経験を踏まえて今後の高温ガス炉開発に向けて提言する。

2. 高温ガス炉の特長

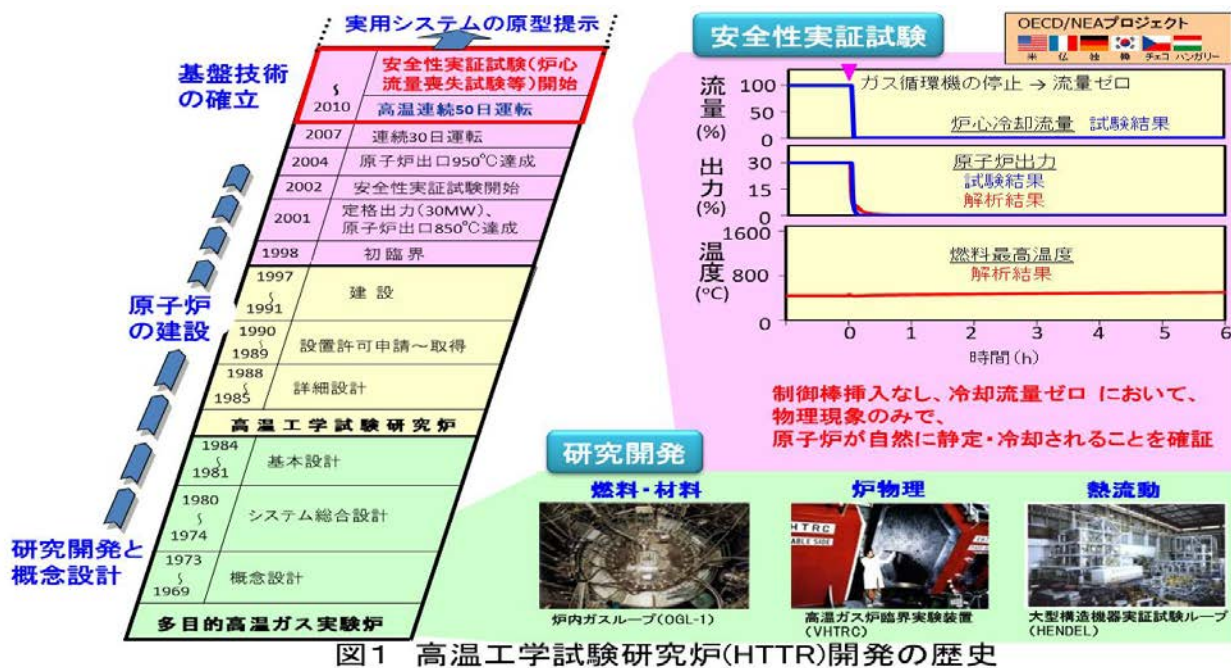
高温ガス炉は、①冷却材には化学的に不活性なヘリウムガスを用いているため、冷却材が燃料や構造材と化学反応を起こさないこと、②燃料被覆材にセラミックスを用いているため、燃料が 1600°Cの高温に耐え、核分裂生成物の保持能力に優れていること、③出力密度が低く(軽水炉に比べ 1 桁程度低い)、炉心に多量の黒鉛等を用いているため、万一の事故に際しても炉心温度の変化が緩やかで、燃料の健全性が損なわれる温度に至らないこと等の固有の特性による安全性(高温ガス炉固有の安全性)に優れた原子炉である。また、900°Cを超える高温の熱を原子炉から取り出せることから、熱効率に優れるとともに、水素製造等の発電以外での利用など原子力の利用分野の拡大に役立つ原子炉--である。

3. HTTR の概要

3-1 HTTR の歴史

HTTR 開発の歴史を示したのが図 1 である。高温ガス炉開発を開始したのが 1969 年(昭和 44 年)と古く、当初は原子力製鉄等を目的とした多目的高温ガス実験炉であった。その後、紆余曲折を経て 1987 年(昭和 62 年)原子力委員会が示した「原子力開発利用長期計画」で HTTR の建設が認められた。

HTTR は、多目的高温ガス実験炉の研究開発の成果等を基にして開発を進め、1991 年 3 月着工、1998 年 11 月 10 日初臨界、2001 年 12 月 7 日最大熱出力 30MW・原子炉出口冷却材温度 850°Cを達成し、850°Cの定格運転での使用前検査合格証を 2002 年 3 月 6 日に取得した。その後、高温ガス炉固有の安全性を実証する試験を開始した。また、2004 年 4 月 19 日に原子炉出口冷却材温度 950°Cを達成し、2010 年 3 月には高温連続運転(50 日間/950°C)を成功裏に完遂した。さらに、国際共同研究(OECD/NEA)プロジェクトとして初期出力 30%(9MW)の状態から炉心冷却材流量がゼロになる安全性実証試験を行い、図 1 右上に示すように高温ガス炉の優れた安全性を実炉により実証した⁽⁴⁾。



3-2 HTTR での工夫

(1) 設計段階

HTTR は世界で初めて 950℃の高温ガスを炉外に取出すために、耐熱性に優れた燃料・材料の開発、炉工学・熱流動・計測制御等の幅広い分野で研究開発を推進し、HTTR の建設に繋げた⁽⁵⁾。開発した燃料・材料とそれに起因した課題への主な対応策を表 1 に示す。筆者は主に黒鉛材の設計に従事した。

表 1 耐熱性に優れた材料開発とそれに起因した課題への対応策

HTTRの材料	材料に起因した課題	主要な対応策
燃料: 被覆粒子燃料 (SiC等のセラミックスで被覆)	製造時の破損が避けられない。 受入検査基準がない。	・燃料破損を許容、炉心設計での燃料最高温度低減策 ・受入検査基準を策定し製造時の品質管理を強化
冷却材: ヘリウムガス	軽く、漏れやすい。	・漏洩防止策(シール溶接、Ωシール、ラフチャータディスク等) ・検知法(Heリークデテクター、AE/光ファイバー等)【R&D】
減速材: 黒鉛 断熱材: 炭素、カウール	強度評価・受入検査の基準がない。 不純物ガスを1次系内に放出。	・黒鉛構造設計方針を策定 ・受入検査基準を策定し製造時の品質管理を強化。据付時の清浄度管理。運転初期での不純物除去運転等
鋼材(圧力バウンダリ) ①2・1/4Cr・1Mo鋼NT材 ②ハステロイ-XR ③オーステナイト系ステンレス鋼	使用温度が制限される。 高温域の強度評価基準がない。	・部材毎に使用温度を制限 (事故時の制限: ①550℃、②1000℃、③650℃) ・高温構造設計方針を策定 ・運転時は熱負荷を考慮した起動/停止操作等
制御棒(制御材B ₄ C/C) 被覆管: アロイ800H	被覆管の使用温度制限。 (炉内照射下: 900℃以下)	スクラム時制御棒の2段階挿入 (スクラム直後、低温領域のみに制御棒を挿入)

(2) 建設・運転段階

HTTR の設置目的及び予算的な制約から、契約はターンキー方式でなく設備・機器等の据付後に引取り、燃料装荷前の系統別/総合機能試験(KKS/SKS)、燃料を装荷しながらの臨界試験及び出力上昇試験は、研究開発の一環として、試験計画書・手順書の作成から試験の実施及び評価まで、建設メーカの協力を得て職員自らが行った。試験は、高温ガス炉の特殊性を考慮して早期に施設の不具合や異常を検知できるように計画した。具体的には、高温ガス炉は冷却材に軽くて漏れやすいヘリウムガスを用い、他炉に比べて高温領域になることから、KKS/SKS から出力上昇試験に亘って、①ヘリウム漏れ、②熱漏れ(ホットストリーク等)及び③放射線漏れの現象に細心の注意を払い、これらに起因した故障等を早期に検知できる試験計画とした。図2に出力上昇試験の実績を示す。

経験した主な不具合事象は、KKS/SKS 時の1次上部遮蔽体コンクリートの想定外の温度上昇と、出力上昇試験時の炉内構造物である炉心支持板の想定外の温度上昇で、研究者と技術者が一体となって原因を究明し対策を講じ、その有効性を確認した。

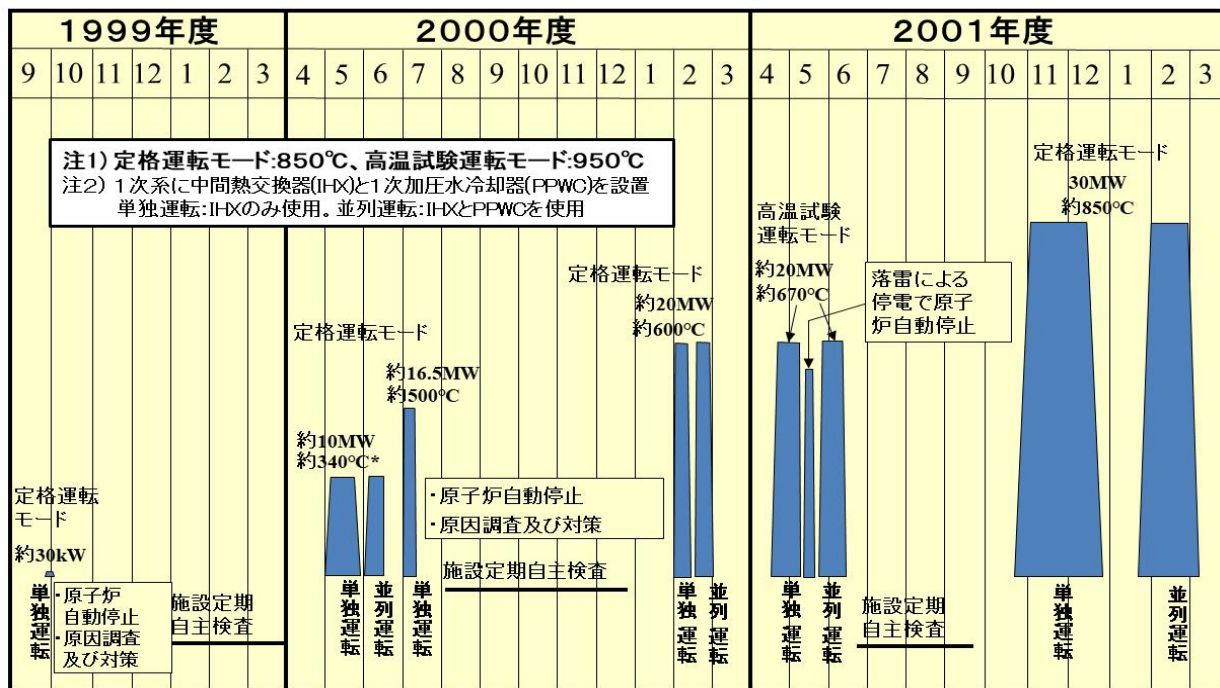


図2 HTTR出力上昇試験の実績

4. HTTR での経験

3章で述べた HTTR の設計から供用運転まででトピック的内容を、筆者の経験を踏まえて示す。

(A) 設計段階：設計データの整備

高温ガス炉の研究開発を行う部署が、HTTR の設計データを取得することとなっていたが、研究者は往々にして先端的な研究を指向するため、設計に必要なデータ取得に問題が生じる恐れがあった。このため、各々の設計担当者が、それに対応する研究室に割当てられ、設計に必要なデータが所定の時期に取得できるよう管理した(担当者ベースでの相互コミュニケーションを促進)。

(B) 設計段階：規格・基準類の策定

HTTR は我が国初の高温ガス炉であるため、安全基準の他、黒鉛、高温材料等の規格・基準類を自らが整備する必要があった。ここでは、黒鉛の構造設計方針と受入検査基準について紹介する。

黒鉛構造物は、要求される安全機能レベルの違い、交換可能性等を考慮して、炉心支持黒鉛構造物と炉心黒鉛構造物に大別して構造設計方針を策定した。本設計方針(技術基準)は、事業者側と規制側が個別に策定している。その策定までの大きな流れは；

- (1) 事業者側(旧原研)において、設計部署と研究部署が協力して設計方針案を作成
- (2) それを、メーカーの技術者、大学教授等の外部有識者(材料や構造設計等の専門家)を含めて検討
- (3) (2)の有識者からの意見等を踏まえて事業者の設計方針を策定し公開⁽⁶⁾
- (4) 規制側は、安全審査においては、(3)の設計方針の基本的考え方の妥当性を審査
- (5) 規制側は、事業者の設計方針をベースに、(2)の有識者とは別の有識者に検討させる
- (6) 規制側は、(5)の有識者からの意見等を踏まえて規制側の技術基準を策定(内規)

この流れで規格・基準類を策定すると、期間が長くなることと、技術的に保守的な傾向になる。

一方、黒鉛材料の受入検査基準の策定において、当時の黒鉛製造メーカー等の窯業界は閉鎖的な社会で、素材から製品になる工程での検査項目の選定とその判定基準の設定は困難を極めた。また、黒鉛構造物に含まれる有害な欠陥をどのように排除するかが大きな問題となった。東海 1 号炉(マグノックス炉)の受入検査では、全数黒鉛ブロックに強度試験を実施した⁽⁷⁾。しかしながら、受入検査で負荷すると強度が低下する可能性があることから、HTTR では非破壊の方法を選択した。黒鉛材料の非破壊検査技術は確立されていなかったため、非破壊試験の専門家や関連会社(黒鉛製造や黒鉛構造設計担当)の協力を得て、HTTR に使用する黒鉛材料を対象に、その具体的な検査方法や判定基準を定めた⁽⁸⁾。

(C) KKS/SKS

KKS/SKS は、建設メーカの専門家をスーパーバイザーとして、職員自らが試験計画書・手順書を作成するとともに、一部職員が運転員として直勤務体制で試験を実施した。機器等の調整不足、初期故障、誤操作等で不具合事象が多発した。これらの不具合事象も技術開発の一環として分析・評価し対策を講じ、それを系統的に整理した。本試験中の最大のトラブルが 1 次上部遮蔽体コンクリートの想定外の温度上昇で、研究者と一体となって、この原因を究明し、対策を施し、燃料装荷前にその効果を確認した。

(D) 臨界試験

HTTR の炉心は燃料体 30 カラム(1 カラムに 5 つの燃料体ブロック)で構成しており、臨界試験は外周部の燃料を装荷しながら実施し、19 カラムの環状炉心で初臨界を達成した。本試験での問題点は①燃料交換機の不具合と、②臨界カラム数の予測がズレたことである。

①は、燃料交換機の性能確認を、実際の燃料貯蔵設備、原子炉本体等を使用しないで実施したことから、燃料交換機の調整等が十分でなく、装荷初日でトラブルを発生するなど調整・補修に数ヶ月要した。

②は、中心から燃料を装荷するのではなく、より計算が難しい環状炉心での初臨界を計画したことや、最初に炉心に装荷したダミー燃料体中の不純物量等を適切に考慮していなかったため、実際より少ない燃料カラム数で初臨界になると計算していた。このため、燃料装荷を一時中断し、再度、計算による初臨界量(燃料カラム数)を見直して⁽⁹⁾から燃料装荷を開始した。

(E) 出力上昇試験

HTTR は原子炉出口冷却材温度が 850℃と 950℃の 2 つの運転モードがあり、先ず 850℃の出力上昇試験で使用前検査合格証を取得し、2 年程度の運転経験を積んで 950℃を達成した。ここでは、850℃の出力上昇試験について述べる。

試験は図 2 に示すように、出力が低出力、中間出力及び高出力(定格出力)と 3 段階に分けて、数多くの試験を実施するとともに、設備・機器等の性能を確認(不具合の有無も確認)しながら定格出力を達成させた。出力上昇試験の実施体制では、運転班とは別に試験班を設けた。試験班は研究開発を担当する課員で構成し、運転班と試験内容を相互確認して試験データを取得・評価して、当日試験日報を作成し、関係者に周知した。本試験でも種々の不具合が発生し、それを解決しながら試験を進めた。大きな問題は、炉内構造物である炉心支持板の想定外の温度上昇で、この原因究明のため、図 2 に示すように、新たに中間出力の高温試験運転モードの出力上昇試験を計画した。本試験で現象を究明し、対策を施した。

(F) 運転・保守(新規制基準以前の経験)

HTTR の運転手引は、運転員自らが作成し、KKS/SKS 等での運転実績を反映させて改善・改良を図った。現在でも、1 サイクルの運転終了後には、運転班長が中心となって、運転手引を見直している。運転手引は、設備・機器の状態や運転員の技能、QA 文書の変更等が影響するので、常に見直しが必要となる。

原子炉施設の保守は、建設メーカから設備・機器を引取ってから行っているため、二十年以上原子力機構が実施している。HTTR では運転員が各々チームに分かれ原子炉施設の保守も担当している。数々の故障・トラブルを経験し、その対策等を施し、それをまとめた外部への発表、技術報告書の作成等、高温ガス炉技術の蓄積に努めた。また、規制対応を確実にし、安全確保を最優先に施設を維持管理した。

(G) 安全性実証試験

高温ガス炉固有の安全性を実証する試験は、反応度の投入と冷却能力の喪失を模擬した。冷却能力の喪失を模擬する試験として最も厳しい条件が、炉心流量喪失と炉心冷却系喪失である。これらの試験を、高温ガス炉の研究開発を行っている部署と一緒に、原子力機構の安全研究センターの協力を得て、国際共同研究(OECD/NEA-LOFC)プロジェクトとした。本プロジェクトで計画した 3 つある試験のうち、1 つの試験を実施した⁽⁴⁾後、東北地方太平洋沖地震が発生。残り 2 つの試験は、運転再開後に行う計画である。

5. 経験に基づく提言

これ迄の HTTR での経験を踏まえて、今後、高温ガス炉開発を牽引する人達に提言(お願)する。

【提言 1】 今後の高温ガス炉開発において、HTTR を中核施設と位置付け、それを積極的に活用

高温ガス炉プロジェクトを推進するに際して、その象徴となる施設が存在することで、HTTR の設計・建設に携わったメーカーの技術力を維持でき、国内のみならず海外も含めた技術者・研究者を吸引する力が強まる。国内外の高温ガス炉開発を促進することが期待される。

【提言 2】プロジェクトに従事する技術者・研究者が、自発的にマイプラント意識を持てるよう指導

プロジェクトを推進するのは“人”で、そのプロジェクトが原子力基本法の目的に則っていれば、それを積極的(自発的)に推進する技術者や研究者は存在する。(A)から(G)までの経験で再認識した。

【提言 3】研究者の研究意欲を損なわないようにして、施設の保守・運転・試験を経験させる

(C)から(E)の経験等から、施設の維持管理や試験を経験させることで、研究成果がどのように活かされるか、また、現場で新たな研究テーマを見つけられる可能性もある。研究目的が明確になる。

【提言 4】規格・基準類等は学会や国際機関を有効に活用し、過度な保守性を排除(安全性と経済性の両立)、及び最新の知見・実績を短期間でスムーズに反映できるように

(B)の経験等から、高温ガス炉で必要となる規格・基準類等は、学会等で検討することで、技術的妥当性や信頼性が確保できる。黒鉛構造設計方針について、原子力学会で特別専門委員会を 2008 年度に設立して検討したことは良い事例。また、黒鉛材は長期に亘ると一部の特性が僅かに変化すること(HTTR で経験)があり、受入検査の判定値は、購入する前に検討する必要がある。

【提言 5】施設の立上げに際しては、労務管理を確実にを行い、施設の特異性を考慮した運転・試験計画を立案し、一歩一歩慎重に進める

(C)から(E)の経験等から、不具合対応時には特定の個人に作業が集中するので、作業管理や労務管理を工夫する必要がある(組合対応含む)。初期の運転・試験では、確実に故障・トラブルは発生するので、施設の特異性を考慮して(2.2 節の(2))で示した①He 漏れ、②熱漏れ、③放射線漏れ、出来るだけ早期に異常を検知し、効率的に対策が施せる計画に。

【提言 6】施設の維持管理担当者には、規制組織や推進組織での業務を経験させ、幅広い視野をもたせる

(F)の経験等から、トラブル対応等において、保安の観点から規制側へ、研究計画の変更や対策費の工面等で推進側へ説明し、了解を得る必要があり、現場でも両者の考え(ロジック)を身に付けさせる。

【提言 7】“国際協力の下で推進”するためにも、HTTR の運転・試験を海外の方が経験できる工夫を

海外の技術者が HTTR の運転員になることは保安上の要求等で厳しいが、HTTR を教育訓練に使用できるよう許可を変更することで、海外の研究者・技術者を HTTR で教育訓練できる。

6. おわりに

高温ガス炉開発は長く、その研究成果に基づき HTTR を建設し、それを活用して高温ガス炉の研究開発を実施してきている。ここでは、HTTR の設計から供用運転までの筆者の経験を踏まえて、主観的ではあるが、今後の高温ガス炉開発への提言を述べた。

最後に、高温ガス炉開発が国際協力の下で推進され、日本のエネルギー安全保障に貢献することを願う。

参考文献

- (1) S. Saito, et al., JAERI 1332(1994).
- (2)(3): 日本原子力学会 2019 年春の年会, 新型炉部会セッション, (2)浅野, 1J_PL03, (3)大橋, 1J_P04
- (4) K. Takamatsu, et al., J. Nucl. Sci. Technol., Vol. 51, Nos.11-12(2014).
- (5) 齋藤他, 原子力誌, Vol.32, No.9(1990).
- (6) 大洗研究所高温工学試験研究炉設計室他, JAERI M89-006(1989).
- (7) 豊田他, JAERI-M 91-102(1991).
- (8) 大岡他, JAERI-M 93-003(1993).
- (9) 藤本他, 原子力誌, Vol.42, No.5(2000).

*Tatsuo Iyoku

Japan Atomic Energy Agency

企画セッション | 部会・連絡会セッション | 新型炉部会

[2J_PL] 今後の新型炉サイクル開発への提言（私たちの経験を踏まえて）

座長:小竹 庄司(日本原電)

2019年9月12日(木) 12:40 ～ 14:30 J会場 (共通教育棟 2F D22)

[2J_PL04]総合討論

新型炉の実用化開発を進めているロシア、インド、中国などの国々がある一方、軽水炉を含む他のエネルギー資源の動向と新型炉の民間提案の多様な炉概念の研究開発を進めている米国や英国がある。2011年の東京電力福島第一原子力発電所事故以降、我が国は原子力発電への依存度を可能な限り低減するとの政策判断により、将来の新型炉開発は不透明になっている。本セッションでは、新型炉燃料サイクルの黎明期を支えた原子力研究者OBに、数十年の経験を踏まえて、今後の開発に対する提言を頂き、今後の新型炉開発について討論を行う。