

子散乱による高度な物質構造解析、新物質・材料の開発、製品検査、等に大きく貢献することが期待される。

5 研究炉の運営

(1) 運営組織

① JAEA における共同利用施設の運営

我が国の熱出力 1MW 以上の研究炉は JAEA と京都大学複合原子力科学実験所が運営している。京都大学複合原子力科学実験所は原子炉に対する安全規制やセキュリティが厳しくなり、大学で研究炉を維持管理していくことが困難となるなか、燃料問題の困難さもあって、加速器を中性子源とした将来計画を検討している。この現状からすると研究炉の運営組織としては JAEA が最有力な候補である。一方、JAEA は高速増殖原型炉；もんじゅ（以下「もんじゅ」という。）の運営を行っていたが、もんじゅを巡っては平成 27 年 11 月に原子力規制委員会が半年を目途に、安全に運転できる新たな事業者を示すよう文部科学大臣に異例の勧告を出した[8]。文部科学省は勧告に対する回答期限を過ぎても新たな事業者を示せず、結局廃炉となっている。このような状況から、国民が JAEA の安全管理能力に不安を覚える懸念がある。ただし、液体金属ナトリウム冷却の高速増殖炉の原型炉であるもんじゅと主に軽水冷却の JRR-3 に代表される研究炉とはリスク要因が異なる。また、JRR-3 等に対する原子力規制委員会による新規制基準適合確認審査において、JAEA は研究炉の安全管理能力を有していることが示されている。

②中性子散乱施設の運営

JAEA が現在運営している大型施設の現状を見てみると以下のことが見て取れる。大強度陽子加速器施設 J-PARC は KEK と JAEA の両者の共同運営で成果を挙げている。また、加速器施設の建設とその後の運営で、JAEA と KEK の多くの研究者が育成されている。JRR-3 の利用に係る運営面でも、東京大学原子力専攻、東京大学物性研究所と JAEA が協力することで大きな成果を挙げてきた。これらの状況は大型施設で大きな成果を挙げるには利用者の意見を大型施設の運営に反映させることが重要であることを意味し、大型施設の建設の場合は設計段階から利用者の意見を取り入れる組織体制が必要であることを示している。

照射炉の建設及びその後の運営に大学組織の関与が重要であるとするならば、これまで JMTR は JAEA と東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センターが協力して研究成果を出してきた。照射炉を建設・運営にあたり JAEA と量子エネルギー材料科学国際研究センターがこれまで以上に緊密な連携を取って進めることが望まれる。量子エネルギー材料科学国際研究センターは中性子照射に関する学術利用に関しては、関連の研究者コミュニティとの連携を通じて広く研究分野をカバーすることができる一方で、今後の照射炉に強く求められる産業利用の促進のためには、産業界もより主体的に建設・運営に関わることが求められる。具体的にどのような方式で産学官連携を実現するかについては、今後、十分検討することが望まれる。

ビーム炉の次期炉を検討する場合、海外での研究炉の建設や運営で以下のことが参考

になる。

欧米で成功している中性子散乱施設は、例外なく中性子散乱研究者であるその施設の研究・経営陣が主体となって、研究の大きな方向性を考えながら研究炉、あるいは加速器、その中性子源などの仕様を決め、建設に関わり、運営している。中性子源・ガイドホールなどの将来計画、そこに設置すべき実験装置を決定し、予算要求するのもその研究・経営陣である。当然ながらその過程で中性子散乱コミュニティーの意見を取りまとめ、国際的アドバイスを受けながら計画を練り上げていく。

研究炉の炉心設計はそこに設置する冷中性子源、熱中性子源、高温中性子源、中性子飛行管、ガイド管などと密接に関わっていて、さらにそれらは最終的に設置する装置群の選択、最適化設計とも関り、その施設の将来の拡張計画に大きな影響を与える。どれ一つ取ってもその施設が目指す研究計画の将来像と無関係では有りえない。

このような意味で研究炉の設計を行うチームと中性子散乱研究に責任をもつチームとは相当に密接な関係を築かなければ総体として研究成果をあげられる施設を計画・設計・建設・運営することは難しい。一方、現状ではこれらの高度な判断を要求される技術的知識・経験を持った研究者の数は日本には著しく少ない。コミュニティーとしてそのような研究者を育てることの可能な研究組織を早急に立ち上げる必要がある。また、大学、研究所、民間、また海外との活発な人事交流が不可欠である。若い人材が供給され、内部の研究者が外部の大学・研究所などへ移動することでより活力のある研究コミュニティーができることになる。

さらにこのような運営をするためにはその研究・経営陣に予算及び人事に関する十分な権限が不可欠である。それ無しでは多額の予算を必要とする施設の建設、運営に関し責任を取れる組織がなくなり、研究・経営の判断はできてもそれを実行することができない組織となってしまふ。

(2) 共同利用体制

① JRR-3 の施設供用制度

JRR-3 を用いた利用は、表6のように研究開発と研究開発以外に大別され、のうち研究開発は、JAEA の供用実験装置を用いる一般枠（原子力機構の「施設供用制度」と主に大学が所有する装置を用いる優先枠（東京大学原子力専攻共同利用管理本部（東京大学物性研究所を含む）の「大学共同利用制度」）に分類される。一般枠については、JAEA が定期募集（11月、5月）又は随時受付として課題を受付けている。優先枠及び研究開発以外の利用は定期的な課題公募はなく、随時受付により実施している。そのうち、大学が行う共同利用は、東京大学原子力専攻共同利用管理本部が窓口としてJAEA と契約を取り交わし実施している。

JAEA の施設利用については <http://tenkai.jaea.go.jp/facility/index.html> を参照されたい。

JRR-3 では、利用者の受付窓口、技術的相談、入構手続き、保安教育、実験支援などの対応を研究連携成果展開部、物質科学研究センター、研究炉加速器管理部が相互に

協力できる体制として一元的な窓口である JRR-3 ユーザーズオフィスを構築し、運営している。

表 6 JAEA の施設供用の利用区分

研究開発	一般枠	成果公開	一般課題（定期募集、随時受付（緊急時のみ））
			競争的資金利用課題（定期募集、随時受付）
		成果非公開	一般課題（定期募集、随時受付）
			産業利用促進課題（定期募集、随時受付）
優先枠（大学の共同利用等）			
研究開発以外（RI 製造・シリコン半導体製造等）			

大学共同利用（全国共同利用）の利用区分

・一般課題 年一回公募

・IRT (Instrument and Research Team) 課題（装置担当者グループ課題）

各装置につき 1 課題

（出典）原子力安全に関する分科会で作成

② JRR-3 施設利用における課題と対応

日本学術会議で報告された提言「研究用原子炉のあり方について」[1]において、JAEA の「施設供用制度」と東京大学原子力専攻共同利用管理本部（東京大学物性研究所を含む）の「大学共同利用制度」が共存し、大学利用者から見た場合の 2 元的な利用窓口の複雑さや課題採択審査などで課題の重複の可能性などの非効率性に関するコメントがあった。このうち、利用窓口の問題については、JRR-3 ユーザーズオフィスと東京大学原子力専攻共同利用管理本部が同一建家内に配置され、相互の窓口間での情報交換が行い易くなったため、運転再開後の利用においては以前よりも改善されるものと思われる。また、中性子ビーム利用における課題採択においては、JAEA と東京大学物性研究所が共通の課題採択システムを用いることで、課題採択審査における課題の重複は避けられるようにしている。しかし、組織毎ではなく JRR-3 施設全体としての研究成果を最大限となるよう必要な見直しは適宜実施していくべきである。

③ JRR-3 施設全体としての研究成果最大限化に向けた取り組み

JRR-3 の再稼働、原子炉設備保全や高経年化対策等を確実に実施し、年間 7 サイクル（26 日/サイクル）の安定運転を実施することを前提として、ホームページによるきめ細かい情報の提供、東京大学物性研等との利用受付窓口の連携強化、ユーザーフレンドリーな課題申請システムの採用などユーザーズオフィスの機能の拡充を行うとともに、コーディネータ、実験支援者の配置等により供用体制の充実を図る。研究環境の充実の取り組みとしては、JRR-3 の高度化を図る。また、利用者のすそ野拡大の取り組みとして、J-PARC やつくば学園都市など国内トップクラスの大学、研究機関と

近接するという地の利を生かして、JRR-3 を中心とした利用者の裾野の拡大と異分野・異種融合を促進し、新しい成果及び価値の共創の場を創出する。社会的にインパクトの高い成果創出にむけて JRR-3 に関与する研究者、研究機関の有するシーズと産業界のニーズとのマッチングを図る、などが望まれる。

④ 共同利用施設における利用体制に関する視点

我が国の共同利用施設（大学に附置される研究施設のうち、共同利用・共同研究拠点として文部科学大臣の認定を受けたもの）の全てに当てはまることではあるが、近年の継続的な運営費の削減により、どこも厳しい運営を強いられている現状がある。

利用者の旅費や実験に関わる消耗品等の経費は、文科省等の共同利用拠点に関連する外部資金を、施設側の努力で獲得することによって、その一部が賄われている。しかしながら、この状況は、施設側の業務の増大と、それに伴う研究開発時間の減少を引き起こし、「世界でその施設でしかできない先端の研究設備を利用者に提供する」という、本来、施設側の一番大切なミッションが滞り、世界的な競争力の低下につながるという悪循環を引き起こしている。

この悪循環を断ち切るには、必要な運営費が適切に配分されることが最も大切であるが、施設側も利用者から適切な利用料を徴収できる仕組みが必要である。国には、利用料の原資となるよう利用者が獲得できる補助金等の研究資金の設置が望まれる（米国では、研究炉やその付帯施設の利用に関してそのような仕組みが既に存在している）。これは、現在、施設側が獲得している共同利用拠点に関わる経費を、利用者が獲得することに対応する。これによって、利用者側の研究成果に対する責任とインセンティブが増大するとともに、施設側は自らの施設が利用者には選ばれよう最高の利用環境を整えることに注力することになり、利用者にとっても大きなメリットとなるはずである。（J-PARC の MLF は中性子ビームを用いる実験施設であり、その共同利用の体制については<参考資料 3>を参照されたい。）

（3） 人材育成

研究炉を利用した人材育成は、各種の研究者の育成だけでなく、発電炉を運転する技術者の育成においても重要である。近年、新規に発電炉導入を計画しているアジア諸国においては、原子力技術者の育成が急務となっており、これに対応するため、産学官連携の原子力人材育成ネットワークが構築された。研究炉を利用した人材育成としては、文部科学省の平成 22 年度「国際原子力人材育成イニシアティブ」に係る公募事業として、国内の若手技術者、大学生・高専生等を対象に、JMTR を活用した総合的な研修講座が実施されていた。また、京都大学複合原子力科学実験所においても、学部学生・大学院生を対象とした実験教育が行われており、特に KUCA を用いた原子炉物理実験は全国大学の大学院生を対象として昭和 50 年から行われて大きな貢献をしてきた[1]。さらに、JMTR では、アジア諸国の原子力技術向上や人材育成を行うためのワールドネットワークの構築の一環として、平成 22 年度より海外若手研究者・技術者を招へいし、基礎的な実務研修を行っていた。

JMTR の廃炉の決定はこのような人材育成プログラムの廃止となり、これまで原子力分野の人材育成に大きく貢献してきた京都大学複合原子力科学実験所の KUCA もいずれ廃炉となる時期が来る。つまり、現状で原子力分野の人材育成について明確な計画を検討する必要がある。

原子力委員会は平成 24 年に「原子力人材の確保・育成に関する取組の推進について」で以下のような見解を出している[9]。原子力発電所を保有する電気事業者にあっては、従事する人々が東電福島第一原子力発電所事故の教訓を血肉化することが必須であるが、同時に、原子力発電所の運転チームに安全技術者を配置するシフト安全技術者制度、運転員の資質の高い要求に対応するために学士の資格もしくはそれと同等の学術の素養を運転員に求める制度などを導入し、人材育成機能の在り方を見直し、一層充実させることを早急に検討すべきである、と提言している。

原子力発電所の運営母体組織である電力会社に就職する学生の 80%以上の理工系学生は大学あるいは大学院で原子力学を学んでいない電気、機械、建築、土木などの非原子力を専攻してきた学生である。これらの学生が入社後、短期間、原発従事者向けの座学中心の研修を受けているが、上述した原子力に関わる総合的な基礎学力を十分に習得しているとは言い難い。原発の通常のオペレーションとは異なる不測の事態に遭遇した時、あるいは事故時に現場にて緊急の判断を求められることを想定しなければならない。そのためには原子力に関する基礎学力および豊富な経験が要求される。それが短期間の研修で満たされるとは考え難い。つまり、各電力会社は大多数の非原子力専攻出身からの就職者に、原子炉の操作実習も含めた原子力教育を充実化させなければならない。そのための研究用・教育用原子炉の設置と社会人向けの原子力教育プログラムの制定、習得の認定制度の設置が早急に求められる。

さらに我が国において、将来、東京電力福島第一原子力発電所事故を起こした炉の廃炉、使用済み燃料の処理・処分、通常原子力発電所の廃炉など長期にわたる事業が必要とされる中で人材育成は重要で、研究炉が果たす役割は大きい。

6 まとめ

我が国における研究炉の在り方を検討した結果、以下のようにまとめられる。

- (1) 研究炉の安全性に関して、研究炉は、発電炉と比較して低出力であり、事故の進展も穏やかで、環境への影響も小さいなどの特徴がある。また、炉型が多様であることから、異常時の状況もさまざまである。新規制基準では自然災害等への対応が強化されているが、グレーデッドアプローチを適切に適用するなど、合理的な安全規制が必要である。
- (2) 多くの研究者の研究の場を与えてきた JRR-3、KUR、JMTR の中で JMTR の廃炉は原子力発電所の安全に係る研究の場を無くした。韓国や中国での原子力発電所の大きな事故が我が国へ大きな影響を及ぼす地理的条件からも、過酷事故を経験した我が国が安全研究を進めるために JMTR に代わる照射炉の建設は最重要課題である。

また、新たな研究炉ができるまでには長期間かかることから、照射炉のユーザーに対する支援が必要である。支援の内容としては、JRR-3 の照射設備の改善、海外研究炉の使

用などを検討することが望まれる。なお、海外研究炉の利用に関しては、8頁にあるように、「東北大学金属材料研究所では JMTR 停止以降、全国共同利用のための代替照射として海外炉を利用しているが、経費などの理由により JMTR 稼働時の 1/4 程度以下しか照射できていないのが現状である。」とされている。これをカバーするような支援が必要である。

(3) 研究炉の中で最も多くの研究者に研究の場を与えてきた JRR-3 が長期にわたり稼働できない状況が続き、世界の先端的な研究から大きく後れを取る状況の中で、JRR-3 の高度化は重要な課題である。また、JRR-3 も高経年化が進みつつある。新たな研究炉の建設までには長期間かかることから、次期炉の検討を早急に進めるべきである。

(4) 大型共同利用施設では、建設の段階から運営の段階で利用者の意見を運営に反映させることが重要で、新たに建設する照射炉でこのような取り組みを取り入れることを実現すべきである。

(5) 将来、研究炉は産業利用や原子力発電所の安全性や廃炉に係る利用が増加すると考えられる。これに対応するために関係省庁は研究炉の建設や運営に必要な費用の適切な負担について検討する必要がある。

(6) 将来、東京電力福島第一原子力発電所事故を起こした炉の廃炉、使用済み燃料の処理・処分、通常の原子力発電所の廃炉など長期にわたる事業が必要とされる中で人材育成は重要で、研究炉が果たす役割は大きい。

7 提言の内容

(1) 我が国の科学技術を支える量子ビームである放射光及び中性子を提供する施設の充実が重要である。特に、JMTR の廃炉による我が国における照射炉の消滅および JRR-3 や KUR などのビーム炉の高経年化は大きな懸念材料であり、早急な改善が必要である。

(2) 現状で最も重要なことは、照射炉の建設を早急に進めることである。出力は JMTR と同程度 (40~50MWth) とし、照射した試料を扱う実験施設を備える必要がある。研究炉の建設には長期間かかることから、この間のユーザーへの支援を行う必要がある。

(3) 中性子ビームの利用を促進するために、JRR-3 の高度化として、冷中性子源の増強と中性子導管のスーパーミラー化等を図ることが必要である。また、長期的な観点から時間を要する JRR-3 の次期炉の検討を早急に進めるべきである。

(4) 研究炉の利用が産業利用および原子力発電所の安全性の研究開発の占める割合が大きくなると予想される。研究炉の建設や運営に対する費用について、関係省庁で適切な負担の在り方を検討する必要がある。また、将来の原子力発電所の廃炉や使用済燃料の処分等長期にわたる事業を支えるための人材育成が必要であり、研究炉は人材育成に大きく貢献できる。

<参考文献>

- [1] 日本学術会議 基礎医学委員会・総合工学委員会合同 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会、提言「研究用原子炉の在り方について」、2013年10月16日
- [2] 長期エネルギー需給見通し、平成27年7月、経済産業省
- [3] 照射炉の照射利用ニーズに関する調査報告書、JMTR 運営・利用委員会 照射炉利用ニーズ調査専門部会、2015年12月
- [4] Clément, B., Hanniet-Girault, N., Repetto, G., Jacquemain, D., Jones, V.M., Kissane, P., von der Hardt, P., “LWR severe accident simulation: synthesis of the results and interpretation of the first Phébus FP experiment FPT0”, Nuclear Engineering and Design, Vol. 226 (1), Nov. 2003, pp. 5-82
- [5] 日本原子力学会「水化学」部会：「核分裂生成物挙動」研究専門委員会準備会編：Phébus FP プロジェクトにおける核分裂生成物挙動のまとめ - 福島プラント廃炉計画およびシビアアクシデント解析への適用、日本原子力学会、2017年5月
- [6] 日本学術会議 基礎医学委員会・総合工学委員会合同 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会、記録「研究炉の長期停止に伴う影響調査」2017年8月28日
- [7] 次世代研究用原子炉検討特別委員会報告書、日本中性子科学会次世代研究用原子炉検討特別委員会、2012年12月
- [8] 原子力規制委員会 原規規発第 1511131 号、2015年11月13日
- [9] 原子力委員会、「原子力人材の確保・育成に関する取組の推進について」、2012年11月27日

＜参考資料 1＞審議経過

平成 29 年

10 月 27 日 研究用原子炉の在り方検討準備会（第 1 回）
委員長、副委員長、幹事の選出
研究用原子炉のあり方について自由討議

11 月 24 日 研究用原子炉の在り方検討準備会（第 2 回）
研究用原子炉のあり方について自由討議

平成 30 年

1 月 17 日 研究用原子炉の在り方検討準備会（第 3 回）
提言「研究用原子炉の在り方について（案）」について審議

3 月 1 日 研究用原子炉の在り方検討拡大準備会（第 1 回）
提言「我が国の研究用原子炉のあり方について（案）」について審議

平成 30 年

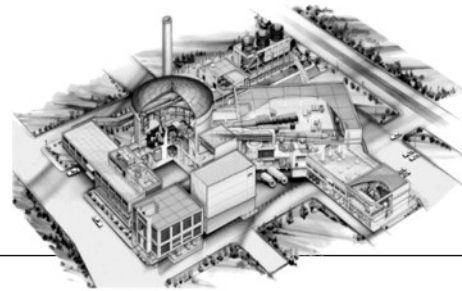
3 月 23 日～27 日 総合工学委員会 原子力安全に関する分科会（第 2 回・メール審議）
にて提言「研究用原子炉の在り方について」承認

<参考資料2> 研究炉の安全性の特徴

1. 研究炉の安全上の特徴 (JRR-3 の例)

試験研究炉は、発電炉と比較して低出力であり、事故の進展も穏やかで、環境への影響も小さいなどの特徴がある。また、炉型が多種多様であることから、炉ごとに異常時の状況も様々である。

JRR-3に関する安全上の特徴は以下のとおりである。



- 冷却材は常温、常圧。
- 安全保護系は"1 out of 2"ロジック、フェールセーフを採用。(⇒高い信頼性)
- 原子炉の異常時には、安全保護回路が作動し、制御棒は自動的に挿入される。この後は、特段の操作は不要。(⇒電源は不要)
- 運転中に全電源を喪失した場合にも、炉心からの崩壊熱は自然循環により除去できる実力を有している。(全電源を喪失したとしても炉心が損傷することはない。)
- 使用済燃料は自然循環により冷却される。
- 施設内の放射線量が低いため、事故時等に現場での対応が必要な場合にも、アクセス性が良い。
- 実験等の利用者に対して、異常時には、避難等の指示を行う。

2. 発電炉と研究炉の新規制基準の比較

発電炉		出力の高い研究炉 (JMTR、JRR-3、KUR)		出力の低い研究炉 (KUCA)
重大事故	意図的な航空機衝突			
	放射性物質の拡散抑制対策	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大防止		
	格納容器破損防止対策			
	炉心損傷防災対策			
	自然災害に対する考慮 (火山、竜巻、森林火災など)	自然災害に対する考慮 (火山、竜巻、森林火災など)	自然災害に対する考慮 (火山、竜巻、森林火災など)	自然災害に対する考慮 (火山、竜巻、森林火災など)
	火災に対する考慮	火災に対する考慮	火災に対する考慮	火災に対する考慮
	内部溢水に対する考慮	内部溢水に対する考慮	内部溢水に対する考慮	内部溢水に対する考慮
	電源の信頼性	電源の信頼性	電源の信頼性	電源の信頼性
	その他の設備の性能	その他の設備の性能	その他の設備の性能	その他の設備の性能
	耐震・耐津波性能 (耐震重要度分類Sクラスの設備・機器は、基準地震動及び基準津波の策定が必要)	耐震・耐津波性能 (耐震重要度分類Sクラスの設備・機器は、基準地震動及び基準津波の策定が必要)	耐震・耐津波性能 (耐震重要度分類Sクラスの設備・機器は、基準地震動及び基準津波の策定が必要)	耐震・耐津波性能
防災関係:		(JMTR、JRR-3)	(KUR)	(KUCA)
	PAZ:5km UPZ:30km	PAZ:なし UPZ:5km	PAZ:なし UPZ:500m	PAZ:なし UPZ:なし

PAZ: 急速な事故の進展を想定し、予防的に避難等を実施する区域
UPZ: 急速に進展する事故の可能性等を踏まえ、避難や屋内退避等を準備する区域

<参考資料3> 照射炉の利用ニーズ

「照射炉の照射利用ニーズに関する調査報告書、平成28年12月、JMTR 運営・利用委員会 照射炉利用ニーズ調査専門部会」より

総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会及び原子力学会の特別委員会のもと、平成27年6月に「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」が取りまとめられ、我が国の軽水炉の安全性向上を効率的に実現する技術開発及び人材育成の将来に向けた道筋が示された。

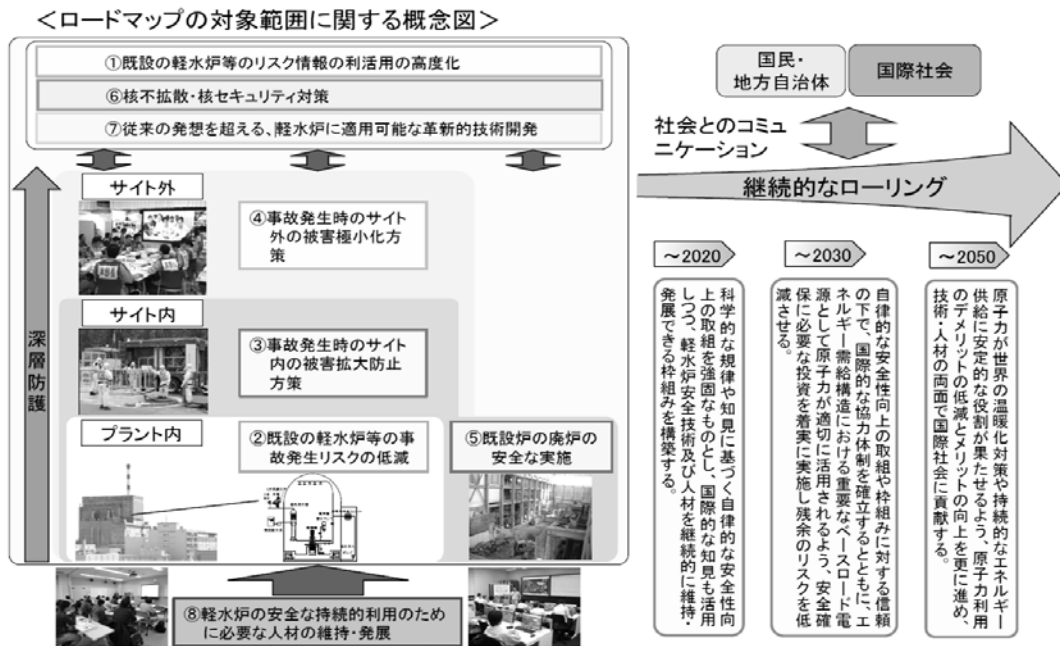


図1 軽水炉安全技術・人材ロードマップの必要性と役割

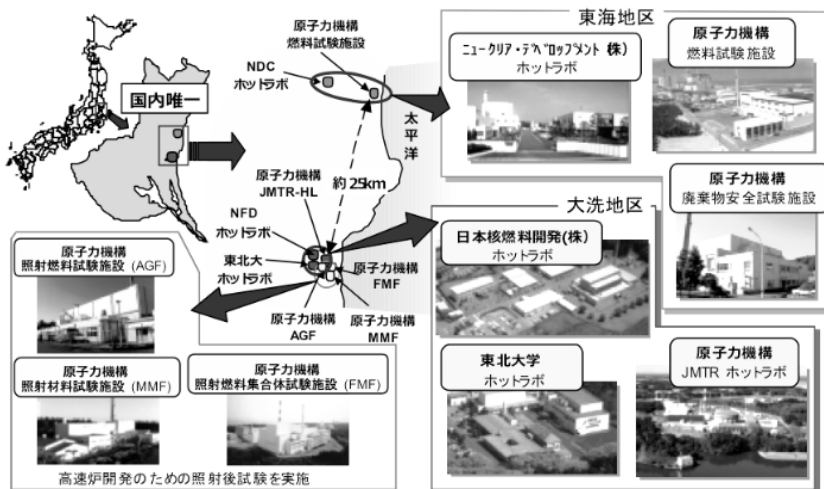


図2 大洗地区・東海地区に設置されている照射後試験施設群

原子力機構大洗研究開発センター近郊には、原子力機構のNSRR、常陽等の燃料・材料試験が可能な原子炉、各種の照射後試験施設、東北大学をはじめ、民間の照射後試験施設が隣接しており、この様な施設群が比較的狭い範囲で密集している地域は、世界でもほとんど例がない。

医療用に限らず、全ての RI の内、中性子との核反応を利用して製造する RI について、「国内で開発した RI」、「利用度の高い RI」、「研究のために国産化が必要な RI」及び「国内安定供給のために国産化が急務とされている RI」の観点から調査を行った。これらの具体例を表 1 から表 4 に示す。

表 1 国内で開発した RI

核種	半減期	生産方法	用途・特記事項
^{192}Ir	73.83d	$^{191}\text{Ir}(n, \gamma) ^{192}\text{Ir}$	工業用(非破壊検査)、 $\phi 2.0 \times 2.0\text{mm}$ Ir ペレット、370GBq(10Ci)/個(使用時)
^{60}Co	5.269y	$^{59}\text{Co}(n, \gamma) ^{60}\text{Co}$	工業用(計測機器)、 $\phi 0.46 \times 10\text{mm}$ 及び $\phi 0.91 \times 15\text{mm}$ Co ニードル、37MBq(1mCi)、185MBq(5mCi)、370MBq(10mCi)、740MBq(20mCi)
^{169}Yb	32.0d	$^{168}\text{Yb}(n, \gamma) ^{169}\text{Yb}$	工業用(非破壊検査)、 $\phi 1.0 \times 2.0\text{mm}$ Y_2O_3 ペレット、370GBq(10Ci)/個(使用時)
^{198}Au	2.6937d	$^{197}\text{Au}(n, \gamma) ^{198}\text{Au}$	医療用(舌癌治療)、 $\phi 0.8 \times 2.5\text{mm}$ Au グレイン、185MBq(5mCi)/個

表 2 利用度の高い RI

核種	半減期	生産方法	用途・特記事項
^{60}Co	5.269y	$^{59}\text{Co}(n, \gamma) ^{60}\text{Co}$	工業用(滅菌用線源)、スラグ $\phi 6 \times 25\text{mm}$ またはディスク $\phi 7 \times 1.1\text{mm}$ (密封カプセル寸法: $\phi 11.1 \times 451.5\text{mm}$)、296~480TBq(8,000~13,000Ci)/本
^{192}Ir	73.83d	$^{191}\text{Ir}(n, \gamma) ^{192}\text{Ir}$	工業用(非破壊検査)、 $\phi 1 \times 0.5\text{tmm}$ ウエハー $\times 2$ 枚、370~1,110Gq(10~30Ci)/個 医療用(小線源治療) 370GBq[10Ci]/1 個
^{125}I	59.4d	$^{124}\text{Xe}(n, \gamma) ^{125}\text{Xe}$ $\beta \rightarrow ^{125}\text{I}$	医療用(前立腺がん治療)、 ^{124}Xe ガスループ又は密封照射、15MBq/個
^{89}Sr	50.53d	$^{88}\text{Sr}(n, \gamma) ^{89}\text{Sr}$	医療用(疼痛緩和薬)、酸化ストロンチウム(SrO)を照射、強 β : 1.495MeV(100%)

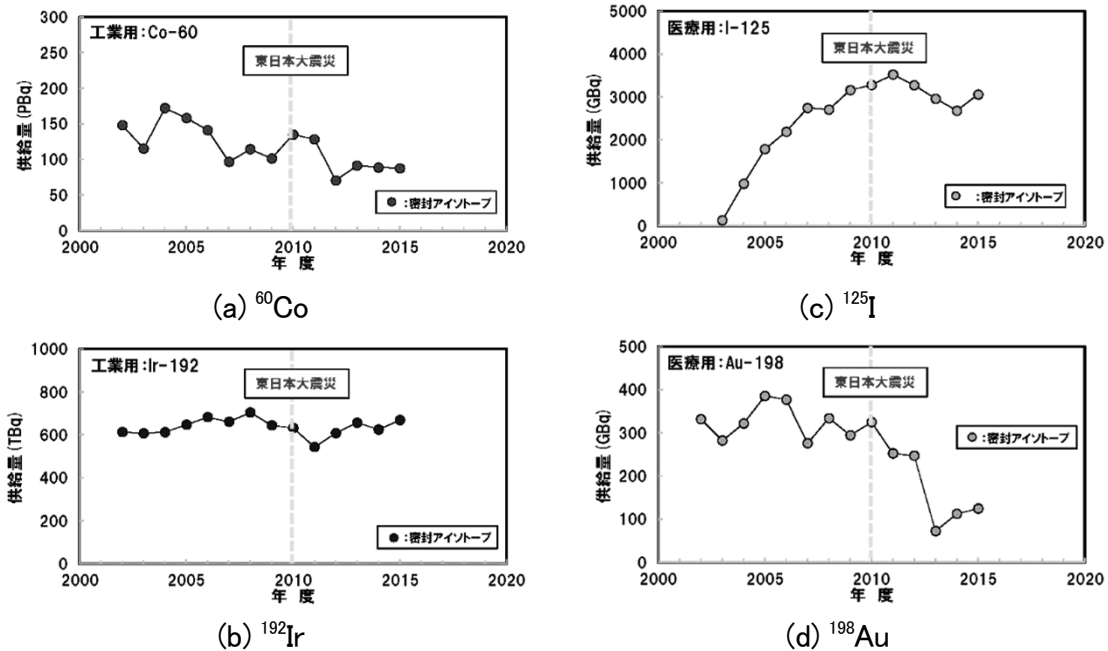
表 3 研究のために国産化が必要な RI

核種	半減期	生産方法	用途・特記事項
$^{188}\text{W}-^{188}\text{Re}$	69.4d/17h	$^{186}\text{W}(n, \gamma) ^{187}\text{W}$ $^{187}\text{W}(n, \gamma) ^{188}\text{W}$ $\beta \rightarrow ^{188}\text{Re}$	医療用(核医学診断・がん治療薬)、 ^{188}Re ジェネレータ、MAB 標識がん治療薬、強 β : 0.965MeV(25.6%), 2.12MeV(71.0%)、 WO_3 粉末を照射
^{186}Re	3.72d	$^{185}\text{Re}(n, \gamma) ^{186}\text{Re}$	医療用(核医学診断・がん治療薬)、MAB 標識がん治療薬 強 β : 0.939MeV(92.2%)、Re 金属粉末を照射
^{177}Lu	6.73d	$^{176}\text{Yb}(n, \gamma) ^{177}\text{Yb}$ $\beta \rightarrow ^{177}\text{Lu}$	医療用(がん治療薬)、MAB 標識がん治療薬 強 β : 0.497MeV(78.6%)、 Yb_2O_3 粉末を照射

表 4 国内安定供給のために国産化が急務とされている RI 製品

核種	半減期	生産方法	用途・特記事項
$^{99}\text{Mo}-^{99\text{m}}\text{Tc}$	66h/6h	$^{98}\text{Mo}(n, \gamma) ^{99}\text{Mo}$	医療用(核医学診断薬)、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ジェネレータ原料、 MoO_3 ペレットを照射、 ^{99}Mo : 37TBq(1000Ci)/週、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$: ~11TBq(300Ci)/日

代表的な RI の供給量の推移を図3に示す。国内で開発した RI は、海外からの代替品の入手が困難であり、国内製造が不可欠なものとして開発されたものである。例えば、医療用の小線源として開発された Au-198 については、安定供給が困難な状況が続いている。



※: JRR-3 は平成 22 年 11 月まで稼働

図3 代表的な RI の供給量の推移

安定供給のために国産化が急務とされている RI としては Mo-99 があげられ、少なくとも国内需要量の一部でも国産化で確保しておくことが重要である。Mo-99/Tc-99m ジェネレータ医薬品の供給量と Tc-99m 注射剤の供給量を図4に示す。Mo-99/Tc-99m は、核医学診断薬として重要な核種である。

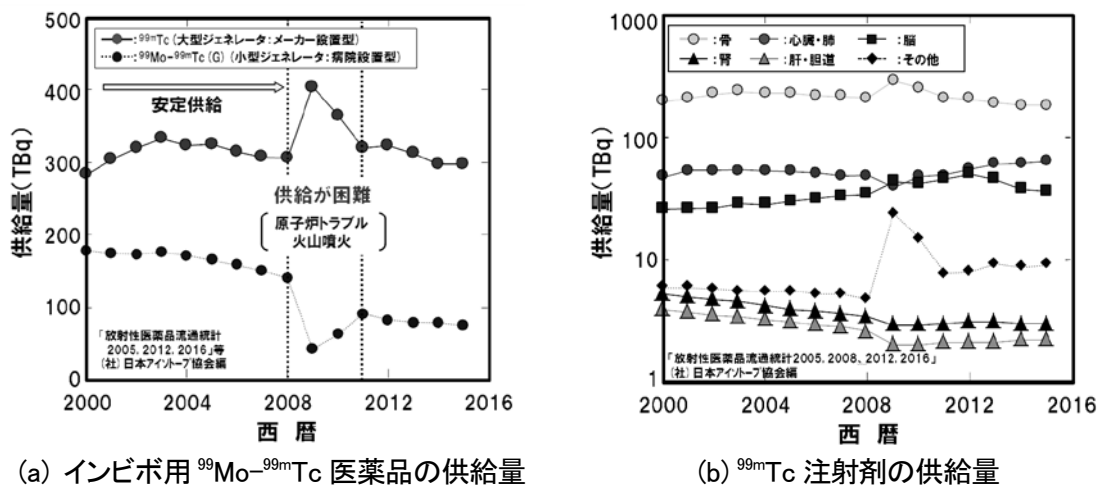


図4 インビボ用 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 医薬品の供給量と $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射剤の供給量

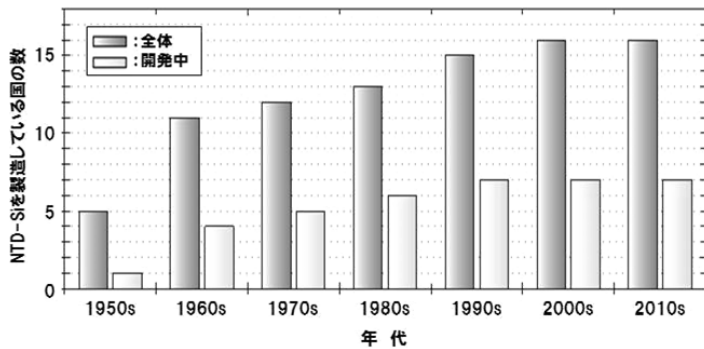
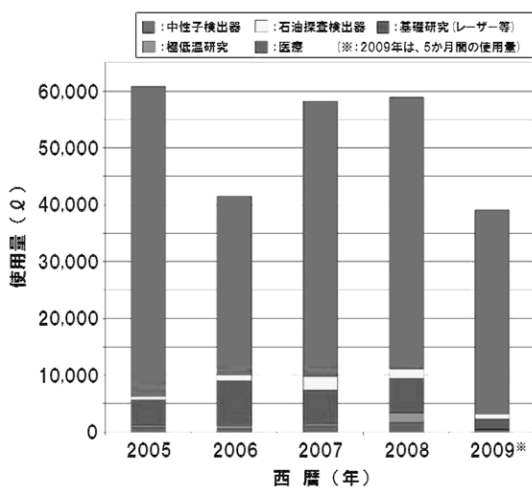


図5 NTD法によりSi半導体を製造している国の数

シリコンの照射は、1950年代から開始され、2010年代には16ヶ国の試験研究炉で製造されている。製造開発をしている国も7ヶ国あり、製造施設は増加傾向にあるが、日本のJRR-4やフランスのOSIRIS等の試験研究炉は廃炉となっており、製造施設を確保することも今後の課題となっている。



(a) ³Heの使用内訳 (2005~2009年)



(b) 中性子検出器の配備例

He-3は、中性子検出器、石油探査用検出器、基礎研究、極低温研究、医療分野等で利用されている。平成13年の同時多発テロ事件以降、米政府が各空港等にHe-3を使った中性子検出器を大量に配備し始めたこと、米国内に大量の³Heを必要とする新たな中性子散乱実験施設の建設が計画されたこと等から、平成20年を境に受給バランスが大きく崩れ、He-3不足と価格高騰という深刻な問題が起きた。

図6 ³Heの使用内訳とテロ対策用中性子検出器の配備例

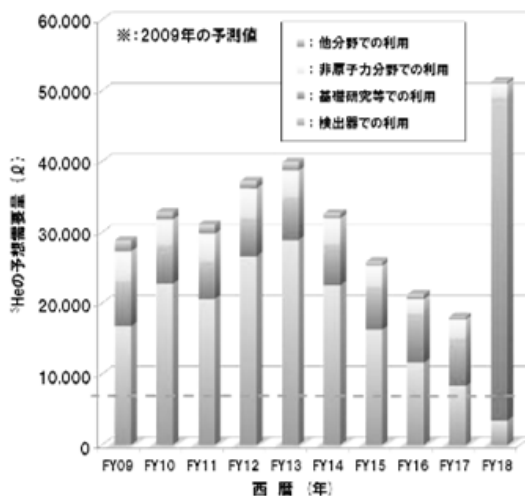


図7 ³Heの予想需要量

平成21年に予想されたHe-3の予想需要量(10年間)を図7示す。中性子検出器の配備はほぼ完了し、その需要は減少傾向にあるものの、各国で新たな中性子散乱実験施設が整備され、基礎研究等で大量のHe-3が必要と予想されている。このため、前述のとおり、He-3は不足状態が続き、現在も入手が困難な状況である。

<参考資料4> JRR-3 と J-PARC における利用体制について

1. JRR-3 と J-PARC における課題審査体制の比較

JRR-3 と J-PARC の中性子ビーム利用課題の審査体制とマシンタイム割り当て決定体制との比較を図1に示す。利用者から見ると、J-PARC の受付窓口が J-PARC ユーザーズオフィスに一元化されているのに対し、JRR-3 の受付窓口が大学共同利用窓口と JRR-3 ユーザーズオフィスに分かれている。

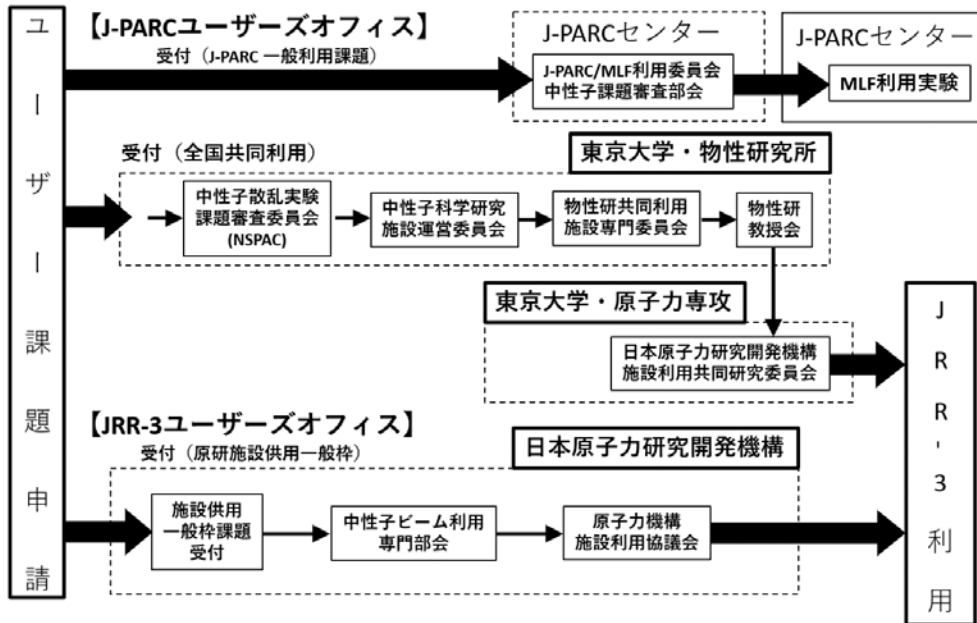


図1 JRR-3 と J-PARC における課題審査体制の比較（ビーム利用）

（東京大学物性研究所附属中性子科学研究施設運営委員会の配布資料に基づき作成）

2. J-PARC 物質・生命科学実験施設 (MLF) における体制

J-PARC/MLF の利用は表1のように一般利用、プロジェクト・装置利用、第三者占有利用の区分に大別されている。一般利用区分は、国内外を問わず幅広い利用者に開放することを目的に一般公募される区分である。プロジェクト・装置利用区分は、J-PARC 装置及び共用装置で、JAEA、KEK 及び登録機関が主導的に利用、あるいは大学等と共同で利用する区分である。また、第三者占有利用区分については、茨城県が専用装置として中性子実験装置を設置し、産業利用を目的とした実験課題の公募を行っている。

J-PARC の施設利用に係る利用者支援については、J-PARC ユーザーズオフィスを一元的な窓口とする体制を構築している。

J-PARC の施設利用については <https://j-parc.jp/> を参照されたい。

表 1 J-PARC/MLF における利用区分

利用区分	課題の名称	対象装置	受付種類	利用種別
一般利用	一般課題（短期）	全装置	定期募集（2回／年）	成果公開型／ 成果非公開型
	一般課題（長期）	中性子装置	定期募集（1回／年）	成果公開型
	P型課題	ミュオン装置	定期募集（2回／年）	成果公開型
	新利用者支援課題	共用装置	定期募集（2回／年）	成果公開型
	緊急課題	全装置	随時	成果公開型／ 成果非公開型
プロジェクト・装置利用	プロジェクト課題	全装置	定期募集（1回／年）	成果公開型
	装置グループ課題	全装置	定期募集（1回／ 年）	成果公開型
	開発課題	共用装置	定期募集（1回／年）	成果公開型
第三者占有利用	産業利用課題	iBIX,iMATERIA	随時	成果公開型／ 成果占有型
	茨城県プロジェクト課題	iBIX,iMATERIA	2回／年, 1回／年	成果公開型

＜参考資料 5＞研究炉の燃料問題

今後、研究炉を計画する場合には、新燃料及び使用済み燃料に関して、次の問題について配慮する必要がある。

新燃料について

現在、研究炉に使用されている燃料は、主として濃縮度 20%未満の低濃縮ウラン・シリサイド燃料である。一方、海外ではウラン・シリサイド燃料に比べてウラン密度が高く、かつ再処理性に優れたウラン・モリブデン燃料の開発が進められている。まだ実用には至ってはいないが、将来的にはウラン・モリブデン燃料が研究炉の主たる燃料となることが予想される。

したがって、使用済燃料の処理処分の課題と合わせて、今後の開発状況を勘案しつつ、ウラン・シリサイド燃料及びウラン・モリブデン燃料の双方を候補として検討する必要がある。

使用済燃料について

現在、我が国で発生した研究炉の使用済燃料は、基本的に米国へ返還することで日米合意がなされている。しかし、その返還受け入れ期限は 2029 年 5 月であり、その後については現在のところ未定である。従って、それ以降の研究炉運転については、発生する使用済燃料の取り扱いを新たに決める必要があり、以下の 3 つの方法が可能性として考えられる。

① 米国返還期限延長

国内研究炉の使用済みの低濃縮ウラン燃料の返還は、米国の核不拡散政策の下、米国エネルギー省 (DOE) が発表した外国研究炉使用済燃料受入プログラム (Foreign Research Reactor Nuclear Spent Fuel Acceptance Program) に基づく契約によるものである。これは、基本的に高濃縮ウラン燃料を低濃縮ウラン燃料に変更した研究炉からの使用済燃料が対象であり、米国による高濃縮ウラン燃料の返還促進のためのプログラムである。従って、高濃縮ウラン燃料返還後に低濃縮ウラン燃料を対象として本プログラムが延長されることは期待できない。

② 国内外での再処理

米国への返還期限が延長されても、将来的には使用済燃料の米国引き取りは終了するものと思われる。従って、米国返還以外の使用済燃料の処理処分体制を早々に構築することが必要である。

国内での再処理を考えた場合、発生する研究炉の使用済燃料の量が少ないため、技術的には可能であっても再処理の経費負担は割高になることから商業ベースに乗る可能性は低いと考えられる。また、国外に再処理を依頼する場合、再処理後に返還される高レベル廃棄物の保管が伴う点に注意が必要である。

③ 発生した状態のまま長期保管

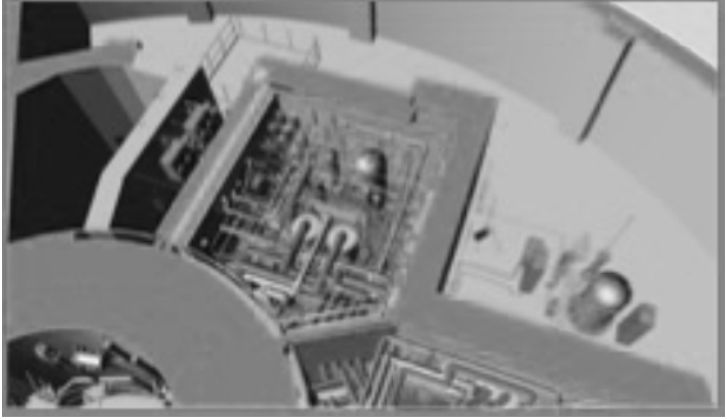
原子力発電所と比較して、研究炉から発生する使用済燃料の量は格段に少ないため再処理を行わずに長期にわたって保管管理を行うことも現実的な解決策となり得る。さらに、研究炉単独ではなく、原発の使用済燃料と統合して管理できる場合、より現実的な

案となり得るだろう。しかしながら、長期保管は使用済燃料の抜本的な解決策ではないことを鑑みると、現行の政策にある使用済燃料の再処理を前提としたものではなく、直接処分も含めた使用済燃料の最終処理処分について早々に見直す必要がある。

<参考資料6>用語集

ANSTO	Australian Nuclear Science and Technology Organization、オーストラリアの国立研究所
APS	Advanced Photon Source、米国の放射光施設
BNCT	Boron Neutron Capture Therapy、中性子捕捉療法
ESRF	European Synchrotron Radiation Facility、欧州の放射光施設
FRM-II	ドイツの研究炉
HANARO	High-Flux Advanced Neutron Application Reactor、韓国の研究炉
HFR	High Flux Reactor、フランスの研究炉
HFIR	High Flux Isotope Reactor、米国の研究炉
HTTR	High Temperature Engineering Test Reactor、高温工学試験研究炉
IASCC	Irradiation Assisted Stress Corrosion Cracking、照射誘起応力腐食割れ
ILL	Institute Laue-Langevin、フランス グルノーブルにある研究所
ISIS	英国の加速器中性子源
JAEA	Japan Atomic Energy Association、日本原子力研究開発機構
JMTR	Japan Materials Testing Reactor、JAEA が持つ材料試験炉
JOYO	高速実験炉「常陽」
J-PARC	Japan Proton Accelerator Research Complex、大強度陽子加速器施設
JRR-3	Japan Research reactor No. 3、JAEA が持つ研究炉
KEK	高エネルギー加速器研究機構
KUCA	Kyoto University Critical Assembly、京都大学臨界集合体実験装置
KUR	Kyoto University Research Reactor、京都大学研究用原子炉
MLF	J-PARC の Materials and Life Science Experimental Facility、物質・生命科学実験施設
NIST	National Institute of Standards and Technology、アメリカ国立の計量標準研究所
NSBR	米国度量衡基準局（現在の NIST）の原子炉
NSRR	Nuclear Safety Research Reactor、原子炉安全研究炉
OPAL	Open Pool Australian Light-water reactor、オーストラリアの研究炉
RI	Radio Isotope、放射性同位元素あるいは放射性同位体
SNS	Spallation Neutron Source、米国の中性子散乱施設
Spring-8	播磨科学公園都市にある大型放射光施設 Super Photon ring-8 GeV に由来している
インパイルループ	軽水炉内の水環境を模擬する条件で、炉室内に置く照射試験が可能な高温水循環、供給装置

可燃性毒物	燃料燃焼に伴う反応度低下を補償する物質。中性子を吸収し、中性子の吸収の少ない他の同位体に変化する。研究炉では主にカドミウムが用いられている。
グレーデッドアプローチ	原子炉のリスクに応じた合理的な規制を行うための手法。IAEA「基本的安全原則」での記載によると、「安全のために設置者によって投入されるリソースや、規制の対象範囲および厳格さとその適用は、放射線リスクの大きさとその制御可能性に見合ったものでなければならない。」とされている。
シリコンドーピング	原子炉内に設置したシリコン単結晶に中性子を照射すると、シリコン中に存在する Si-30 が中性子照射を受け Si-31 が生成され、これがベータ壊変して安定同位元素のリン (P-31) に変換する。シリコン中性子照射ドーピングはこの反応を利用して単結晶中にリンを均一に配置させる方法
シリサイド燃料	低濃縮燃料の代表的なもので、ウランにケイ素を混ぜた燃料
深層防護	原子炉の安全対策を多重に講じること。第1～3層はプラントの当初の設計にかかわるもので、異常運転や故障の防止と制御、事故の制御を目的とする。第4層は、プラントの設計基準外の部分で、事故の進展や重大事故の影響緩和を目的とし、格納容器の防護などが含まれる。第5層は、放射性物質が大規模に放出された場合の影響の緩和が目的で、原発の敷地外も含めた緊急時の対応方法を定める必要があるとする。
スクラム	原子炉の緊急停止
スーパーミラー	中性子を効率よく導くために内側を特殊な膜で覆ったもので、ニッケル全反射のm倍という言い方で性能を表す。m=2を2Q、m=3を3Qという。
破壊靱性試験	切り欠きを有する試験片に単調増加荷重を与え、荷重と切り欠き開口変位等の関係から、亀裂が伝搬して破壊する際に示す材料の抵抗性を評価するための試験である。
ホットラボ	放射能の強い物質を安全に取り扱える 施設を有する実験室
娘核種	放射線壊変では壊変前の核種が α 線や β 線を放出して壊変後の核種に変わる。壊変前の核種を親核種といい、壊変後の核種を娘核種という。
モリブデン燃料	低濃縮燃料の一つで、ウランとモリブデンの合金燃料
リグ	多重に計装を施した燃料集合体をひとまとめにし、それを収納容器に入れて原子炉に装荷している。この多重計装燃料付きの収納容器を総称して、照射リグといい、測定リグ、多目的リグのように用いる。

<p>ループキュービクル</p>	 <p>遮蔽能力があり、各種のループ試験設備を設置するための設備</p>
<p>レオメーター</p>	<p>材料の粘土を測定する装置</p>

提言等の提出チェックシート

このチェックシートは、日本学術会議において意思の表出（提言・報告・回答、以下「提言等」という）の査読を円滑に行い、提言等（案）の作成者、査読者、事務局等の労力を最終的に軽減するためのものです。

提言等（案）の作成者は提出の際に以下の項目をチェックし、提言等（案）に添えて査読時に提出してください。

	項目	チェック
1. 表題	表題と内容は一致している。	1. はい <input checked="" type="checkbox"/> 2. いいえ
2. 論理展開 1	どのような現状があり、何が問題であるかが十分に記述されている。	1. はい <input checked="" type="checkbox"/> 2. いいえ
3. 論理展開 2	特に提言については、政策等への実現に向けて、具体的な行政等の担当部局を想定している（例：文部科学省研究振興局等）。	1. 部局名： 文科省研究開発局原子力課
4. 読みやすさ 1	本文は 20 ページ（A4、フォント 12P、40 字×38 行）以内である。※図表を含む	1. はい <input checked="" type="checkbox"/> 2. いいえ
5. 読みやすさ 2	専門家でなくとも、十分理解できる内容であり、文章としてよく練られている。	1. はい <input checked="" type="checkbox"/> 2. いいえ
6. 要旨	要旨は、要旨のみでも独立した文章として読めるものであり 2 ページ（A4、フォント 12P、40 字×38 行）以内である。	1. はい <input checked="" type="checkbox"/> 2. いいえ
7. エビデンス	記述・主張を裏付けるデータ、出典、参考文献をすべて掲載している。	1. はい <input checked="" type="checkbox"/> 2. いいえ
8. 適切な引用	いわゆる「コピペ」（出典を示さないで引用を行うこと）や、内容をゆがめた引用等は行わず、適切な引用を行っている。	1. はい <input checked="" type="checkbox"/> 2. いいえ
9. 既出の提言等との関係	日本学術会議の既出の関連提言等を踏まえ、議論を展開している。	1. はい <input checked="" type="checkbox"/> 2. いいえ
10. 利益誘導	利益誘導と誤解されることのない内容である。	1. はい <input checked="" type="checkbox"/> 2. いいえ
11. 委員会等の趣旨整合	委員会・分科会の設置趣旨と整合している。	1. はい <input checked="" type="checkbox"/> 2. いいえ

※チェック欄で「いいえ」を記入した場合、その理由があればお書きください

記入者（委員会等名・氏名）：

総合工学委員会 原子力安全に関する分科会 柴田徳思

参考： 日本学術会議会長メッセージ、「提言等の円滑な審議のために」（2014年5月30日）。

<http://www.scj.go.jp/ja/head/pdf/140530.pdf>