

提 言

「研究用原子炉のあり方について」

平成25(2013)年10月16日

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

要旨

1 はじめに

2 現状と課題

- (1) 社会と原子力(原子力の利用とリスクへの対応)
- (2) 研究炉の役割と必要性
- (3) 国内外の現状
- (4) 課題と対策

3 提言

要 旨

研究炉については、その利用のメリットや必要性和ともに、原子炉施設としてのリスクがあり、そのリスクに対処するための真摯な取り組みが不可欠であるが、我が国における学術、科学・技術の発展の観点から、以下を提言。

- (1) **研究炉の役割と位置付け**： 研究炉は多くの分野で学術、科学・技術の発展に必要不可欠な研究基盤施設であり、国が安定・定常的に維持すべき施設である。我が国における研究炉利用のニーズについては将来的にも適切に対応する必要がある。
- (2) **研究炉の安全・安定運転の確保**： 研究炉については、施設の安全性・先端性を継続的に確保することが必要であり、その経費が国の施策として保証されるとともに、当該施設が全国共同利用制度や共用促進法のような仕組みの下で適切に運用される必要がある。
- (3) **研究炉の燃料問題への対応**： 研究炉の使用済燃料の措置に関する問題については既存の研究炉が抱える喫緊の課題として迅速に対応する必要がある。個別の設置事業者では対応が困難であり、国としての政策的観点から、中長期的な方策を早急に示す必要がある。
- (4) **研究炉の運営・利用体制の強化**： 研究炉の利用については、学術研究への適用と同時に産業界のニーズにも応える必要があり、また、原子力と科学・技術の適切なバランスを保つ必要もある。国内の研究炉を更に効率的、有効に、そして合理的に活用するために、統一的な利用体制の構築が望まれる。
- (5) **研究炉の後継と将来の研究炉の検討**： 建設から数十年経過している我が国の研究炉については、施設や装置のアップグレードを検討する時期にきている。公共性の高い研究炉の後継について適切な将来計画、またその運用体制を含めたグランドデザインを描くことを早急に進める必要がある。

1 はじめに

- 研究炉(臨界実験装置を含む)は、原子力・放射線関係の研究・開発、そして教育を推進する上で不可欠な**基盤的研究施設**であり、利用の分野は広く、それぞれの分野で一層の進展が期待されている。
- 日本学術会議においては、21世紀の人類社会及び日本社会にとって喫緊の課題である持続可能な社会の構築を展望して、**21世紀の日本における学術のあり方に関する提言**を行い、従来の技術開発志向の「科学技術」の推進を諸科学の全体としての学術の総合的发展の中で位置付けることにより、科学技術立国の実現を目指すべきとしている。
- 我が国の研究炉のあり方については、中長期の視点から、また研究機関や大学の研究者及び施設管理者などによる**全国的な観点からの検討**が必要。
- 研究炉は、発電炉とは異なり、中性子を基礎から応用の広い分野にわたって実験・研究等に利用することを目的とした原子炉であるが、共通する面もあり、東京電力福島第一原子力発電所の事故の教訓等を踏まえた**安全対策等に関する更なる検討**も不可欠。
- この認識をもとに、我が国における学術、科学・技術の発展の観点から、**研究炉の利用を今後も安定に維持・継続していくことの意義や重要性を明確にするとともに、そのために求められる既存及び将来の研究炉のあり方に関する見解・提言を取りまとめることとした。**

2 現状と課題

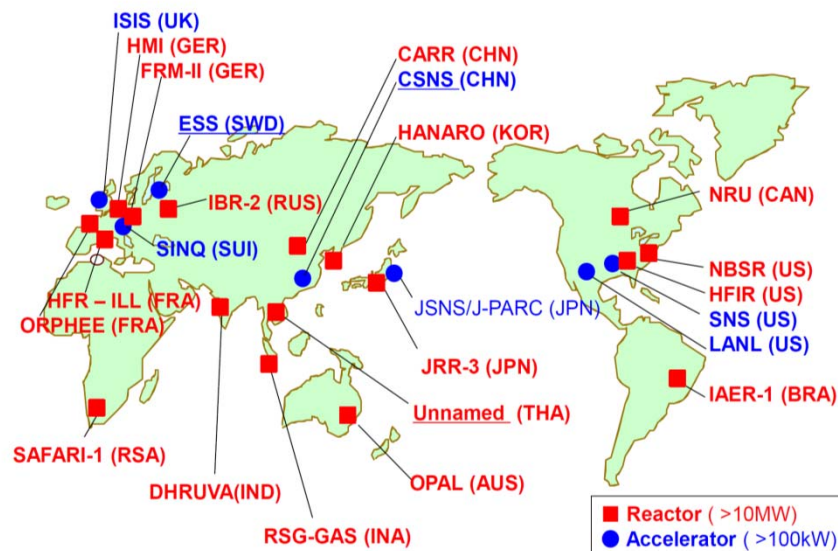
(1) 社会と原子力(原子力の利用とリスクへの対応)

- 我が国における原子力の利用は平和の目的に限られており、核エネルギーの発電への利用とともに放射性同位体や加速器の利用が進められてきた。
- その一方、原子力の利用に対する社会的な受容性は当初からの課題。特に2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故以降はこの傾向が顕著。
- 原子力発電所の事故に限らず、遺伝子組み換えや臓器移植などの新しい科学・技術にも科学に問うことはできるが科学(だけ)では答えることのできないという「トランス・サイエンス」の領域の問題(リスク)。科学だけでは解決できない問題であり、社会的に意思決定を行わざるを得ないとされている。
- 研究炉についても、その利用のメリットや必要性とともに、原子炉施設としてのリスクがあり、特に、放射性廃棄物、特に使用済燃料の問題については、その処理処分について適切な対策が求められる。利用のメリットや必要性を明確にするとともに、そのリスクに対処するための真摯な取り組みが不可欠。

(2) 研究炉の役割と必要性

① 学術利用

- 中性子はX線と比較して、強い透過力を持ち、軽元素、特に水素に高い感度と、同位体の判別能力を持つ。中性子の波長及びエネルギーは物質の構造と動的な性質の研究に最適で、しかも中性子は磁気を帯びているので**磁性体の研究にも有益**。
- **中性子散乱の学術利用**を牽引しているのは、東京大学物性研究所が行っている中性子散乱全国共同利用事業で、平成22年度のJRR-3M中性子ビームの利用状況は5063日・装置の利用日数のうち東京大学物性研究所の大学共同利用は2187日・装置(約43%)を占めている。
- **研究炉の定常中性子と加速器のパルス中性子**、両者の特徴を活かした併用が今後国際的に主流。



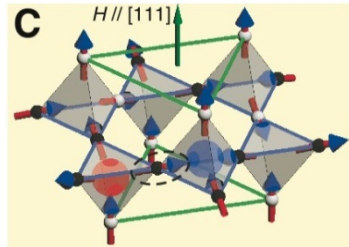
| | ピーク強度 | 時間平均中性子束 | 照射実験・RI製造 |
|------|-------|----------|-----------|
| 研究炉 | △ | ◎ | ◎ |
| 短パルス | ◎ | ○ | × |
| 長パルス | ○ | ◎ | × |

中性子ビーム実験に利用されている
世界の大型中性子源

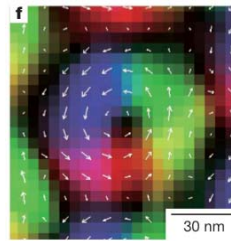
- 日本学術会議第三部報告「理学・工学分野における科学・夢ロードマップ」は、今後20～30年後の最先端科学が進化した世界を予想したもの。分野全体の提言84件のうち中性子が関わるものは50件に及ぶ。



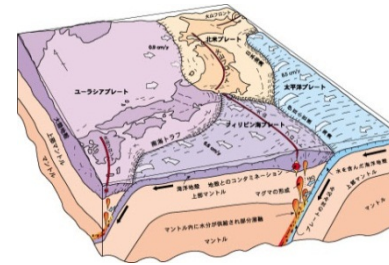
ア 物理(基礎物理・物性物理)及び地球科学



磁性体中の磁気モノポール

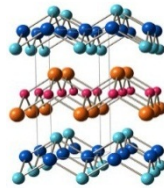


スカーミオン

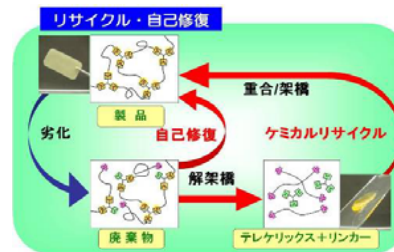


地殻-マントル鉱物の構造と水素の役割

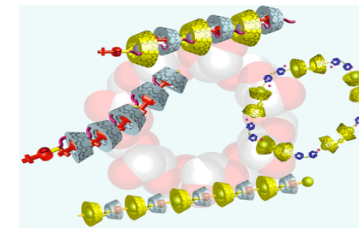
イ 化学・材料・高分子



新しい高温超伝導

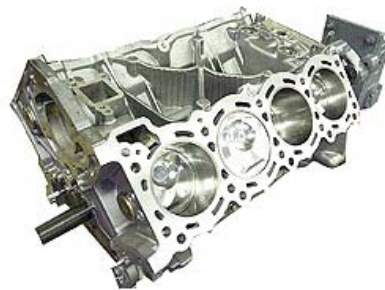


高分子の自己修復性



超分子

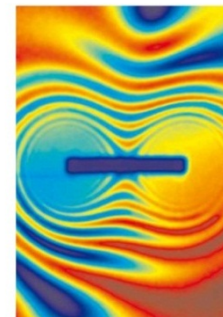
ウ 工学分野、中性子イメージング



エンジン

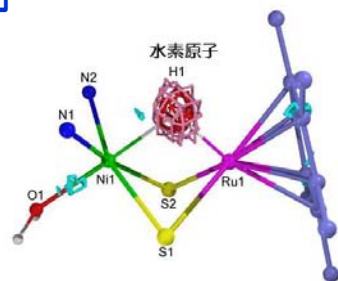


残留応力

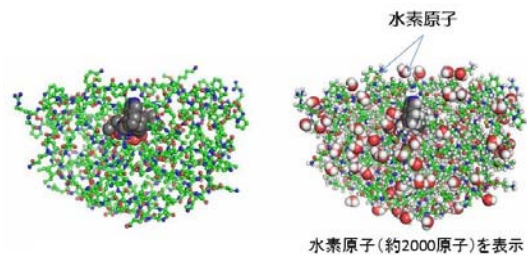


磁場分布

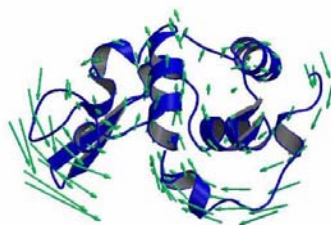
エ 生命科学



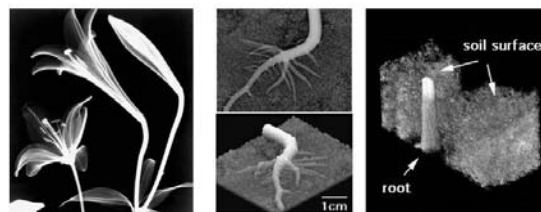
a) ヒドロゲナーゼモデル錯体の構造



b) ウイルスプロテアーゼの立体構造

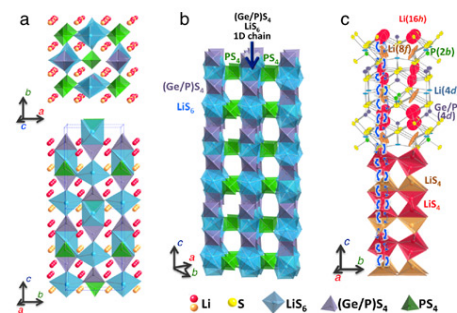
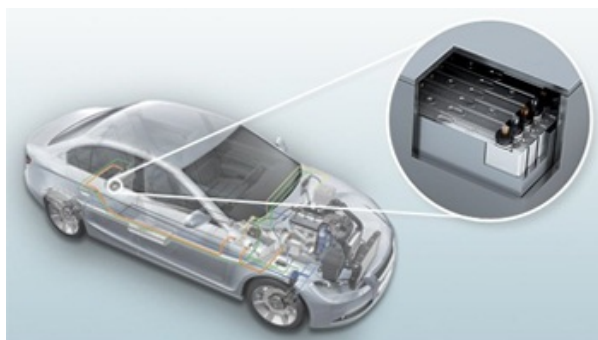


c) タンパク質のダイナミクス情報



d) 花（ユリ）および根周囲の水

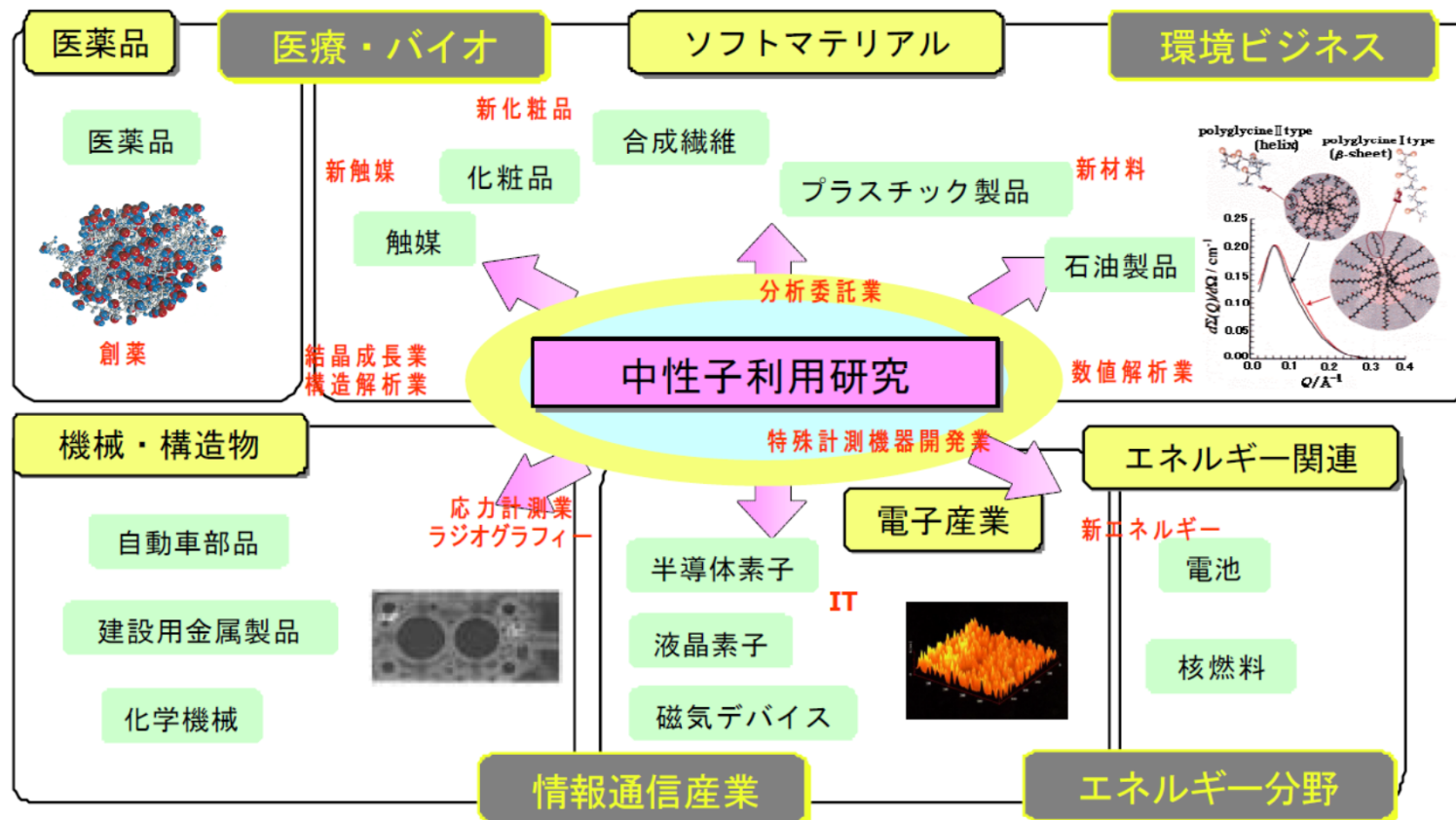
オ 環境分野



Liや燃料電池材料の構造と動作のその場観察

② 産業利用

ア 中性子産業利用の市場



イ 中性子を利用する産業分野

中性子の産業利用適用対象と直近の重点課題、研究開発に利用される測定方法

| 産業分野 | 適用対象 | 直近の重点課題 | 測定方法 |
|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| 電機・電器 | MRAM、光磁気ディスク、磁気記録ヘッド、液晶ディスプレイ | 稀少元素レス高性能磁石、Liイオン電池材料 | 粉末回折、偏極回折、反射率計 |
| 化学・繊維 | 高分子触媒、機能性プラスチック、ゴム、半導体素材、高張力繊維 | ディスプレイ用機能性薄膜 | 小角散乱、粉末回折、反射率計、ドーピング |
| 鉄鋼・金属 | 燃料電池用水素貯蔵用容器、Ti-Al合金、磁石 | 超高張力鋼、燃料電池用水素貯蔵材料 | 小角散乱、偏極回折、残留応力、集合組織 |
| 自動車 自動車部品 | エンジン、燃料電池、自動車部品 | Liイオン電池材料 | イメージング、小角散乱、粉末回折、残留応力、集合組織 |
| 重工・機械 | 発電プラント、建設機械、一般機械 | 構造物の残留応力 | イメージング、残留応力、集合組織 |
| 電力・ガス | 発電プラント、燃料電池、 | 構造物の残留応力 | イメージング、小角散乱、粉末回折、残留応力、集合組織 |
| 建設・土木 | コンクリート構造、橋梁、建築物一般 | コンクリートの耐腐食性 | イメージング |
| 製薬・食品 化粧品 バイオ応用 | 医薬品開発、機能性食品、バイオエネルギー | 感染症治療薬、抗がん剤、製剤、機能性化粧品、バイオマス利用、人工光合成 | 小角散乱、粉末回折、単結晶構造解析 |

ウ 密封RI製造

- 非破壊検査用の ^{192}Ir を除くと99.8%が輸入

エ シリコン半導体の製造

- 他の半導体製造方法と比べて均一性の高い高抵抗のパワー半導体。
- 現在、JRR-3M及びJRR-4では、年間約3.5トンの製造、世界的には200トン/年程度。また、2050年頃には1200t/年以上と予想。

③ 診断・治療利用

ア ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)

- 従来出力5MW以下の小型研究炉であるKUR及びJRR-4で行われてきており、特にKURでの臨床研究は症例数と対象がんの種類で世界一の実績。

イ 放射性医薬品製造

- 各種疾病診断等に使われている ^{99m}Tc の原料となる ^{99}Mo は重要であるが、全てを輸入に頼っていて、海外の研究炉の高経年化による故障や空輸のトラブルで供給不足に陥り、大きな問題に発展した。
- このため、内閣府はJMTRを用いた国内生産を行うことが不可欠との答申。

疾病診断・がん治療薬等の医療分野で重要なRI

| 核種 | 半減期 | 生産方法 | 用途・特記事項 |
|---|------------------|--|--|
| $^{99}\text{Mo}-^{99m}\text{Tc}$ | 66h/6h | $\text{U}(\text{n}, \text{f}) ^{99}\text{Mo}$ $^{98}\text{Mo}(\text{n}, \gamma) ^{99}\text{Mo}$ | 核医学診断薬、 ^{99m}Tc ジェネレーター原料、液体燃料炉利用PZCカラムの開発 |
| ^{89}Sr | 50.5d | $^{88}\text{Sr}(\text{n}, \gamma) ^{89}\text{Sr}$ | がん骨転移の疼痛系減薬 強 β^- : 1.495MeV(100%) |
| $^{188}\text{W}-^{188}\text{Re}$ ^{188}Re | 69.4d/17h 17h | $^{187}\text{W}(\text{n}, \gamma) ^{188}\text{W}$ | ^{188}Re ジェネレーター、MAB標識がん治療薬 強 β^- : 0.965MeV(25.6%)、2.12MeV(71.0%) |
| $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ | 28.7y/64h | $\text{U}(\text{n}, \text{f}) ^{90}\text{Sr}$ | ^{90}Y ジェネレーター、MAB標識がん治療薬 強 β^- : 2.28MeV(100%) |
| ^{125}I | 59.4d | $^{124}\text{Xe}(\text{n}, \gamma) ^{125}\text{Xe}$ $\rightarrow ^{125}\text{I}$ | 前立腺がん治療用線源 |

④ エネルギー利用

ア 既存の発電炉

- 発電炉の健全性を維持し、安定にしかも長期間にわたる稼動を実現するためには、燃料、材料、冷却水の健全性確保が必須で、そのための技術開発を継続する必要がある。技術開発には本来の原子炉環境条件である高温、高圧、強放射線場を実現できる研究炉が不可欠。
- 具体的な利用ニーズとしては、軽水炉の長期利用に伴う構造材料の健全性や燃料(MOX燃料を含む)高燃焼度化などの経済性の向上等に係る課題、現行軽水炉の高経年化対応、MOX燃料を含む軽水炉燃料の高性能化及び安全評価、東京電力福島第一原子力発電所事故の分析を含むシビアアクシデント研究などが挙げられる。これらの研究には、実環境を可能な限り模擬した照射試験が不可欠であり、高中性子束を有するJMTRの改修が決定された。
- 東京電力福島第一原子力発電所の事故への対応は続いており、原子力政策については不透明となっているが、安全性研究や高経年化対策研究の基盤技術を支える研究施設としての役割が期待される。

イ 将来的なエネルギー利用

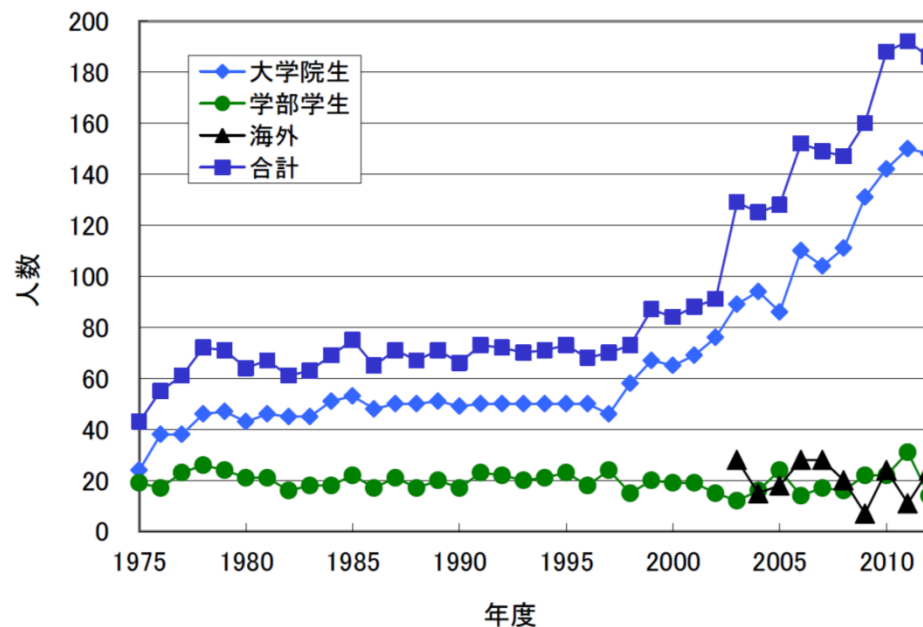
- これまで、軽水炉の安全研究にJMTR、NSRR等、新型炉の安全研究にHTTR、常陽、NSRR等の研究炉を維持・活用していくことの重要性が指摘されてきた。高速炉開発に利用しうる研究炉は世界的に不足、我が国の研究炉の中でJAEAの常陽やHTTRは、この分野での研究開発ニーズに応える能力を有している。
- 核融合エネルギーについては、核融合炉材料開発のために、大強度の中性子照射試験を担う国際核融合材料照射施設(IFMIF)建設に向けた工学実証・工学設計活動が開始されている。IFMIFでの材料開発を補完する位置付けで「常陽」等の高速中性子照射場の有効活用が期待される。

ウ 放射性廃棄物の管理技術

- 既存の原子力発電所の継続運転によって、年間数百トンの使用済燃料が発生・蓄積していくことになる。廃棄物管理は、そのエネルギーの恩恵を受けた世代が解決に向けて取り組むべき課題であり、原子力利用国に共通の課題。
- 今後の核燃料サイクル政策の動向によっては、MA(マイナーアクチニド)の分離・核変換の研究開発が、廃棄物減容や放射性毒性の影響の低減等によって廃棄物管理の方法に柔軟性を持たせる観点から、今後益々重要となる可能性。従来より、「常陽」及び関連施設を用いた研究開発が進展、この分野においては、今後も研究炉の役割は大きいと予想。

⑤ 人材育成

- 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、**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「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、JMTRを活用した研修講座。京大炉では学部学生・大学院生を対象とした実験教育、特に臨界集合体実験装置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1975年から行われている。
- 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、2010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。



京都大学臨界集合体実験装置
(KUCA)における炉物理実験教育

⑥ 波及効果・国際貢献

- 開発途上国との協力に関しては、人材育成や原子力発電導入のための準備活動等に協力すること、先進国との協力に関しては、研究開発に係る不確実性や負担を低減させること、国際的な中核的研究拠点(COE)化を目指すこと、多層な人的ネットワークを構築することが、原子力政策大綱(2005年10月11日策定)に記されている。
- これらに対応するため、JMTRでは、汎用照射試験炉に関する国際会議やアジアにおける汎用照射試験炉に関する国際会議を開催し、ワールドネットワーク及びアジアネットワークを構築しながら、国際的に活用される研究基盤を整備するとともに、世界の照射試験ニーズを増やす試み。

(3) 国内外の現状

① 海外の状況

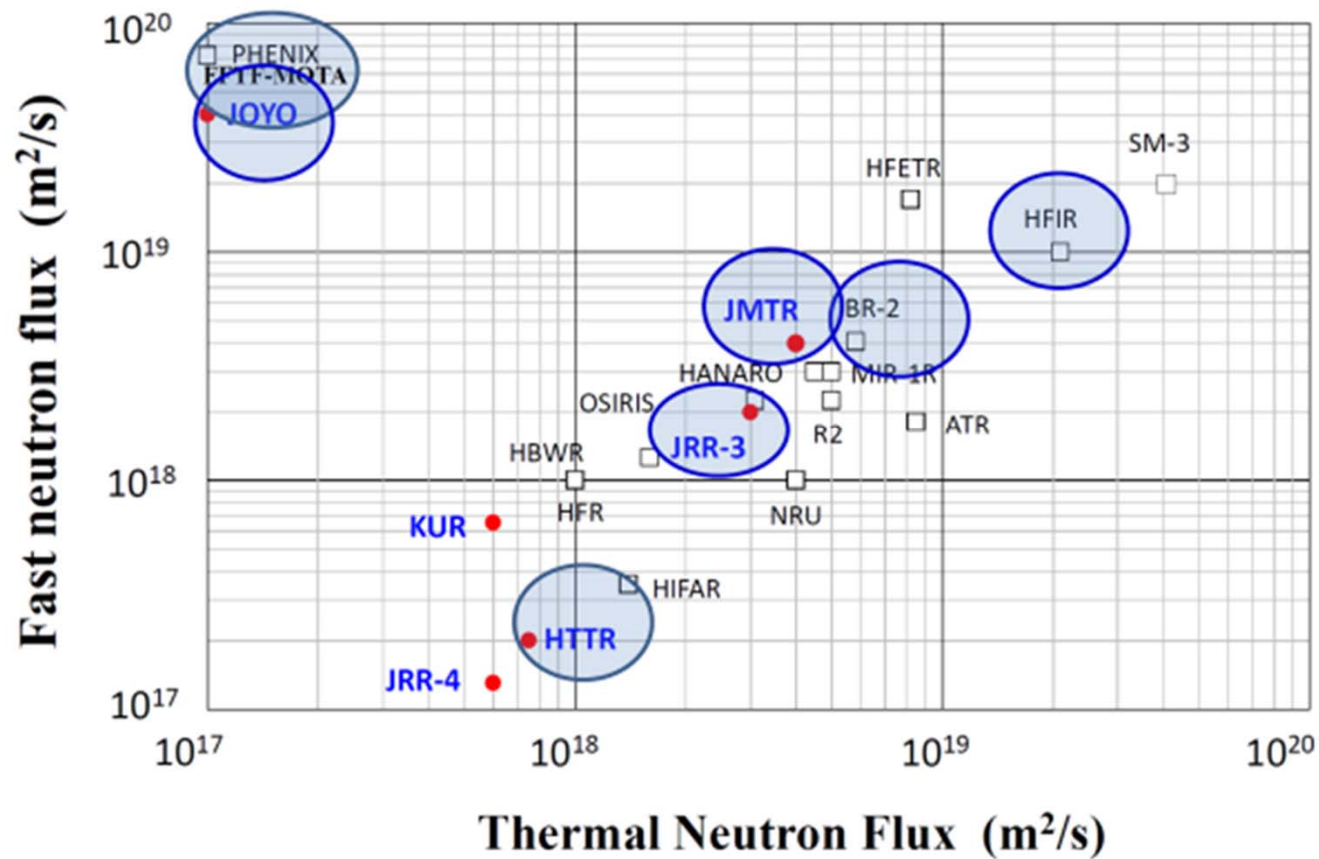
- 世界で稼働中の研究炉230基のうち約2/3が運転期間30年を超え高経年化が進んでいるが、世界的には研究炉の建設は継続的に行われている。
- IAEAの研究炉高度利用プロジェクト及び研究炉の高経年化データベース。

世界の高出力研究炉（10MW以上）の利用分野

| | (MW) 炉の名称 | 出力 | 運転 開始年 | 燃料・ 材料 | RI 生産 | 中性子 散乱 | ラジオ グラフィ | 放射化 分析 | 核変換 | 地質年代 | 捕捉療法 | 教育 | 訓練 | その他 |
|-----------|--------------|-----|-----------|-----------|----------|-----------|-------------|-----------|-----|------|------|----|----|--------------------|
| 北米 | ATR | 250 | 1967 | ○ | ○ | | | | | | | | | (米国) |
| | NBSR | 20 | 1967 | | | ○ | ○ | ○ | | | | | | (米国) |
| | HFIR | 85 | 1965 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | ○ | ○ | γ線照射 (米国) |
| | MURR | 10 | 1966 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | ○ | | (米国) |
| | NRU | 135 | 1957 | ○ | ○ | ○ | | | | | | | ○ | (カナダ) |
| 西欧 | BR-2 | 100 | 1961 | | ○ | | | | ○ | | | ○ | ○ | (ベルギー) |
| | OSIRIS | 70 | 1966 | ○ | ○ | | | ○ | ○ | | | | | 核融合炉材料 (フランス) |
| | HFR | 58 | 1971 | | ○ | ○ | ○ | | | | | | | 核データ (フランス) |
| | CABRI | 25 | 1963 | ○ | | | | | | | | | | 燃料棒のRIA試験 (フランス) |
| | ORPHEE | 14 | 1980 | | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | | | | (フランス) |
| | FRM-II | 20 | 2004 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | 高速中性子捕捉療法 (ドイツ) |
| | HFR-Petten | 45 | 1961 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | (オランダ) |
| ロシア | HBWR | 20 | 1959 | ○ | | | | | | | | | | (ノールウェー) |
| | VK-50 | 200 | 1964 | ○ | | | | ○ | | | | | ○ | 次世代炉、熱電供給 (ロシア) |
| | WWR-M | 18 | 1959 | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | | | ○ | 導管 (ロシア) |
| | IVV-2M | 15 | 1966 | ○ | ○ | ○ | | | ○ | | | | ○ | (ロシア) |
| | MIR | 100 | 1966 | ○ | ○ | | | ○ | | | | | ○ | GEN-IV (ロシア) |
| | WWR-TS | 15 | 1964 | | ○ | | | | ○ | | | ○ | ○ | (ロシア) |
| | SM-3 | 100 | 1961 | ○ | ○ | | | ○ | ○ | | | | ○ | GT-MHR (ロシア) |
| オセアニア・アジア | BOR-60 | 60 | 1968 | ○ | | | | | | | | | ○ | ITER、GEN-IV等 (ロシア) |
| | HFETR | 125 | 1979 | ○ | ○ | | | | ○ | | | ○ | ○ | (中国) |
| | CARR | 60 | 2010 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | | | (中国) |
| | CEFR | 65 | 2010 | ○ | | | | | | | | | | 電力供給 (中国) |
| | HANARO | 30 | 1995 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | (韓国) |
| | OPAL | 20 | 2006 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | ○ | (オーストラリア) |
| | RSG-GAS | 30 | 1987 | | ○ | | ○ | ○ | ○ | | | ○ | ○ | (インドネシア) |
| | DHRUVA | 100 | 1985 | ○ | ○ | ○ | | ○ | | | | ○ | ○ | (インド) |
| | FBTR | 40 | 1985 | ○ | ○ | | | | | | | | ○ | (インド) |
| | JMTR | 50 | 1968 | ○ | ○ | | | ○ | | | | | | (日本) |
| | JRR-3M | 20 | 1990 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | (日本) |

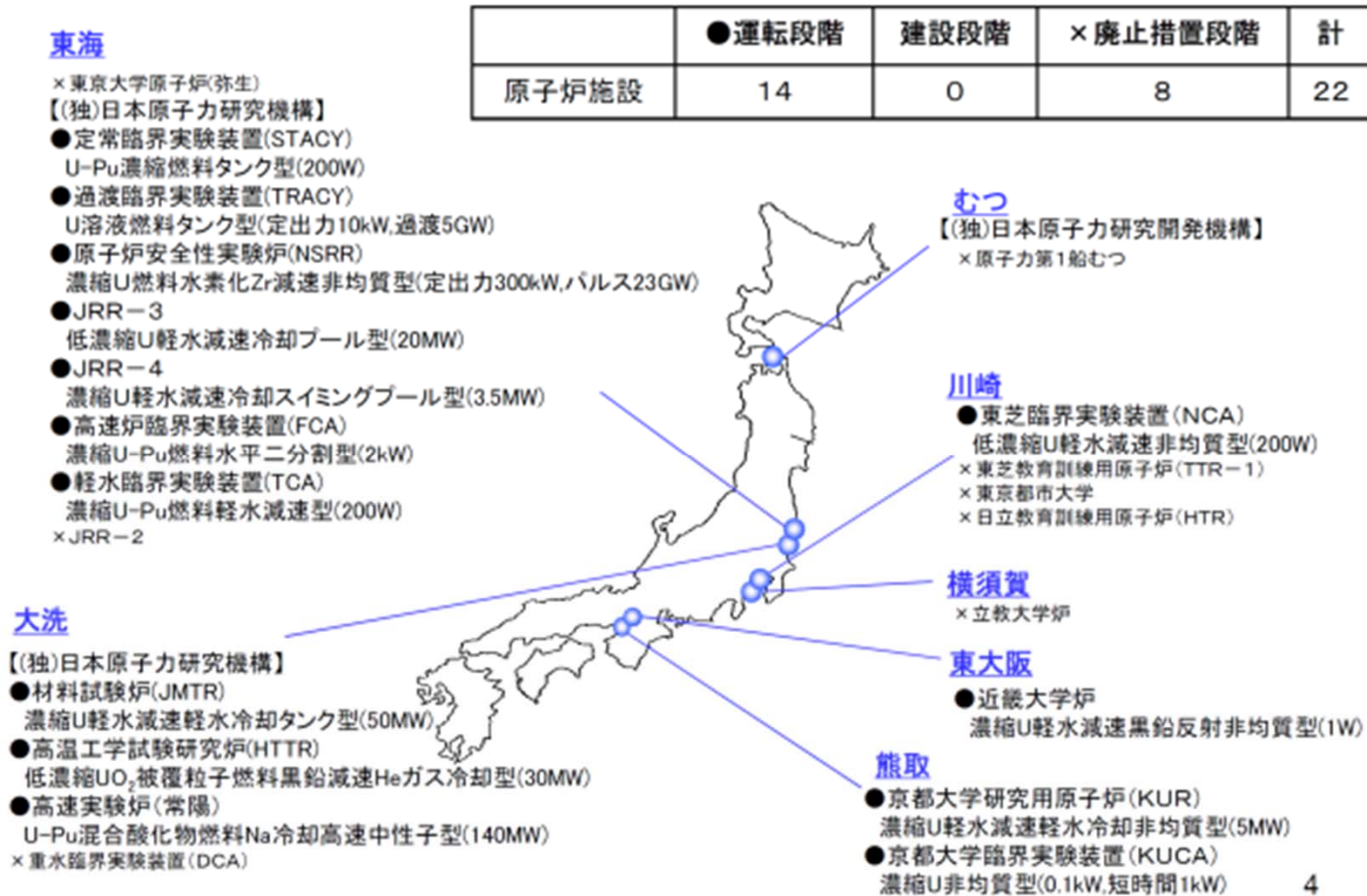
国内外の主な研究炉の比較

(http://www.nifs.ac.jp/kenkyo/kyodo-kenkyu/houkokukai/h23/sou_pdf/sou_3-1.pdf)



国内の主な研究炉

(原子力規制委員会、http://www.nsr.go.jp/committee/yuushikisya/kaku_shinkisei/data/0002_03.pdf)



② 国内の状況

• 14基が稼働中

- 着実に研究炉利用の環境が整えられている海外の状況に対し、我が国においては、**研究炉とその関連施設を将来どうするかは喫緊の課題**。これらの問題が解決しない場合には、文部科学省の目指す研究炉におけるアジアの地域センターとしての役割も果たせなくなるばかりか、中性子科学分野を中心とする国内の利用者のニーズにさえも応えられなくなる。

| 場所 | 機関 | 原子炉 | 運転開始 | 熱出力 | 利用の目的 | | | | | | 備考 |
|-----|------|-----------|------|--------------------|---------|------|-------|-----------|------|-----------|-----------------------------|
| | | | | | エネルギー利用 | 学術利用 | 産業利用* | 医学・治療利用** | 人材育成 | 波及効果・国際貢献 | |
| 東海 | JAEA | JRR-3 | 1990 | 20MW | | ○ | ○ | ○ | | ○ | 中性子散乱、燃・材料照射、RI製造、放射化分析 |
| | | JRR-4 | 1965 | 3.5MW | | | ○ | ○ | ○ | | BNCT、放射化分析、教育・訓練 |
| | | NSRR | 1975 | 300kW 3GW (パルス) | ○ | | | | | ○ | 反応度事故時燃料安全研究 |
| | | STACY | 1995 | 200W | ○ | | | | | | 溶液燃料臨界実験 |
| | | TRACY | 1995 | 2kW 5GW (パルス) | ○ | | | | | | 臨界超過過渡実験 |
| | | TCA | 1962 | 200W | ○ | | | | ○ | | 炉物理教育、反応度測定法開発 |
| | | FCA | 1967 | 2kW | ○ | | | | | | 高速炉、新型炉の炉物理研究 |
| | | JMTR | 1968 | 50MW | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 燃・材料照射、RI製造 |
| 大洗 | JAEA | HTTR | 1998 | 30MW | ○ | | | | | ○ | 高温ガス炉開発研究 |
| | | JOYO | 1977 | 140MW | ○ | | | | | ○ | 高速炉開発研究、燃・材料照射 |
| 川崎 | 東芝 | NCA | 1963 | 200W | ○ | | | | | | 技術・製品開発、電力事業者等からの委託研究 |
| 東大阪 | 近大 | UTR-KINKI | 1961 | 1W | | ○ | | ○ | ○ | | 教育・訓練、放射化分析等 |
| 熊取 | 京大 | KUR | 1964 | 5MW | | ○ | | ○ | ○ | | 中性子散乱、材料照射、RI製造、BNCT、教育・訓練等 |
| | | KUCA | 1974 | 100W | ○ | | | | ○ | | 炉物理研究、放射線物理研究、教育・訓練等 |

(4) 課題と対策

① 研究炉の必要性と位置付けについて

- 現在、研究炉は、多くの分野で学術、科学・技術の発展に必要不可欠な研究基盤施設であり、我が国における研究炉利用のニーズについては将来的にも適切に対応する必要がある。科学・技術(量子ビーム技術)の研究開発のツールとしての役割と原子力研究開発のための照射炉及び臨界実験装置としての役割があることを考えると、科学・技術政策と原子力政策の両面での位置付けからその必要性が明確にされるべき。
- 「新成長戦略」(2010年6月18日策定)に基づく「第4期科学技術基本計画」では、環境・エネルギーを対象とする「グリーンイノベーション」と、医療・介護・健康を対象とする「ライフイノベーション」を2つの大きな成長の柱としており、「原子力政策大綱」では、放射線利用や原子力研究開発に対してはもとよりライフサイエンスやナノテクノロジー・材料等の分野に対しても研究炉が欠くことのできない研究手段を提供してきているとしている。
- 中性子を利用した科学・技術の研究開発においては、最近、大強度加速器パルス中性子源J-PARCが稼働を始めたところである。このJ-PARCと原子炉定常中性子源JRR-3Mとが互いに補完することにより、この分野の研究開発力において世界的な優位性をもたらさなければならない。

② 研究炉の安全・安定運転について

ア 安全・安定運転の確保

- 国内の多くの研究炉は建設から数十年が経過しており、施設設備の高経年化が課題。
- 各施設とも厳しい財源状況の中で予備機器等の準備が十分ではなく、事後対策・事後保全とせざるを得ない状況が生じていて、トラブル時の修復への即時対応が遅れ、結果として稼働率が低下する要因。
- 事業者による施設の利用目的の問題もある。我が国唯一の本格的な中性子ビーム利用が可能なJRR-3Mは、JAEA内の利用以外に施設供用制度により、広く外部利用に供されており、その利用実績からは我が国全体の中性子研究者の共同利用施設の性格が非常に高い施設。
- しかしながら、JAEAの施設はJAEAの研究利用を第一目的にしているため、財政状況や法人内の研究優先順位によって、運転維持（施設供用）にも影響が及ぶ可能性が高くなっている。
- このような事態を避けるためには、十分な稼働率確保のための運転維持費が国の施策として保証されるとともに、当該施設が全国共同利用制度や共用促進法のような仕組みの下で適切に運用されることが必要。

イ 更なる安全対策・評価

- 研究炉の安全性については、東京電力福島第一原子力発電所の事故後に、文部科学省の指示により、**巨大地震等により電源機能等が喪失した際の炉心等に関する安全性評価**。
- 研究炉の規制基準については、国際基準も参考に、**設計基準を超える事象に対する対策を要求**することが検討されている。
- 研究炉の安全規制については、現在、原子炉等規制法において発電炉とは区別された枠の中で規制され、設計・施工に係る行政判断のための技術上の基準・指針では研究炉の特徴が考慮されているが、運転段階における行政上の運用においては必ずしも発電炉との違いは考慮されていない。発電炉と比較して、研究炉は5万kW級のものでも出力・崩壊熱はその出力に応じて小さく、十分な量の冷却水を保有していることから、例えば全ての電源の喪失を仮定しても燃料の損傷には至りにくいという特徴を有し、計画外停止（スクラム）に関する考え方は異なる。**研究炉の運転段階においても、研究炉の特徴を考慮して合理的に安全規制行政が行われることが望まれる。**

研究炉に係る型式及び出力毎の機能、事故時影響の比較

(原子力規制委員会、http://www.nsr.go.jp/committee/yuushikisya/kaku_shinkisei/data/0006_03.pdf)

- 設計基準を超える事象が想定される研究炉については、国際基準も参考に、災害の防止上の観点から対策を要求する（ただし、低出力炉（500kW未満）については、設計基準を超える事象を想定した設備対応は必要としない）ことが検討されている。

| 炉型 | | ナトリウム冷却炉 | ガス冷却炉 | 水冷却炉等 | | |
|------------|----------|---------------------|--|---|--------------------------------|--|
| | | | | 高出力炉（10MW以上、50MW以下） | 中出力炉（500kW以上、10MW未満） | 低出力炉（500kW未満） |
| 一次系 | 最高使用温度 | 常陽 出口500℃(140MW) | HTTR 出口950℃(30MW) | JMTR（50MW） 入口約49℃ JRR-3（20MW） 43℃ | KUR（5MW）55℃ JRR-4（3.5MW）60℃ | NSRR（300kW）60℃ NCA（200W）80℃ 近大炉（1W）10～30℃ FCA（2kW）40℃ TCA（200W）80℃ KUCA（100W）80℃ |
| | 圧力 | 約0.5MPa | 4MPa | JMTR 約1.5MPa JRR-3 大気圧 | 大気圧 | 大気圧 |
| 冷却機能 | | 強制冷却 | 強制冷却 | 強制冷却 | 強制冷却 | 低出力炉：冷却不要又は自然循環 臨界実験装置：冷却不要 |
| 電源機能喪失時の影響 | 原子炉 | 自然循環により燃料の健全性は維持 | 自然対流により燃料の健全性は維持 | 自然対流により燃料の健全性は維持 | 自然対流により燃料の健全性は維持 | NSRR：自然対流により燃料の健全性は維持 NCA、近大炉、FCA、TCA、KUCA：冷却不要 |
| | 使用済燃料プール | 3.5ヶ月後に冠水が損なわれる | ・原子炉建屋内：33日後に収納ラックが損傷※1 ・使用済燃料貯蔵建屋内（空冷）：28日後に収納ラックが損傷※1 | JMTR：燃料の健全性維持 JRR-3：43日後に冠水が損なわれる | 燃料の健全性維持 | NSRR：燃料の健全性維持 NCA、近大炉、FCA、TCA、KUCA：冷却不要 |
| 全機能喪失時の影響 | | 大 | 大 | 大 | 大 | NSRR（0.5mSv）、 NCA（0.2mSv）、 近大炉（0.09mSv）、 FCA（1.7mSv）、 TCA（0.05mSv）、 KUCA（0.41mSv） STACY※2 TRACY※2 |

※1 現時点では使用済燃料は保管されていない。

※2 STACY及びTRACYは燃料全量が瞬時に炉室内に漏えいし、一切の閉じ込め機能を期待しない、非現実的な条件での評価値はそれぞれ5mSv超であるが、仮想事故の評価ではそれぞれ8μSv、0.4mSv

③ 研究炉の燃料問題について

ア 使用済燃料の対米返還期限の延長

- KUR、JMTR及びJRR-3Mなどの研究炉で用いられた使用済燃料は、**2019年5月までは米国へ輸送し引き渡される予定**。これは、米国の政策の下、高濃縮ウラン燃料返還を促進するため。
- 高濃縮燃料の返還が終了すると低濃縮燃料を対象とする本契約が延長される可能性は低くなる。この問題については、**個別の事業者では対応が困難であり、国としての政策的観点から、中長期的な方策を至急に示すことが必要**。

イ 返還期限後の措置(中間貯蔵等)

- 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ため、使用済燃料の扱いについて国として方針を定めることが必要。

ウ 新燃料、使用済燃料の保障措置及び核物質防護

- 研究炉の運転には、**使用済燃料の措置だけでなく将来にわたって研究炉燃料を安定に調達できることが前提**。相手国の方針にも強く依存。
- 将来、研究炉燃料は現在のシリサイド燃料(U_3Si_2 燃料)に比べて再処理性が優れていると言われているU-Mo燃料へ変換されていくと考えられている。使用済燃料の米国への返還問題と合わせて、この**U-Mo燃料の導入可否を含めた長期的な戦略を持つ必要**がある。

エ 使用済燃料の最終処理処分

- 使用済燃料の対米返還が2019年以降も継続可能ならば、対米返還が合理的。
- 長期貯蔵を視野に入れて、対米返還交渉を進め、一方では再処理の可能性検討（国内再処理、海外再処理）、直接処分を含めた使用済燃料の処分方策の具体的検討を並行して行っていく必要がある。
- その際、対米返還以外の方策については政策的検討とともに法的整備が必要であり、国の対応が求められる。

| 政策 | 方式 | 政策変更 | 国内輸送 | 海外輸送 | 返還廃棄物 | 廃棄物処分 | 中間貯蔵 | 備考 |
|--------------|--------|------|------|------|-------|-------|------|--|
| 燃料リサイクル(再処理) | 米国へ返送 | × | ○ | ○ | × | × | △ | 現行通り。返送期間の延長が不可欠。米国の政策に依存。 |
| | 海外再処理 | × | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | IAEAで調整中。研究開発が必要。採算？ |
| | 国内再処理 | × | ○ | × | × | ○ | ○ | 技術的には可能。研究開発が不可欠。原子力自主開発路線。 |
| 直接処分 | 国内設処分 | ○ | ○ | × | × | ○ | ○ | 処分場未定。原子力自主開発路線。 |
| | 海外処分 | ○ | ○ | ○ | × | × | ○ | 現在の国際通念は自国内処分 |
| 長期保管 | 再処理 | × | △ | - | - | - | - | 将来、再処理することにしたうえで保管 |
| | 直設処分 | ○ | △ | - | - | - | - | 将来、直接処分することにしたうえで保管 |
| | 決定先延ばし | ○ | △ | - | - | - | - | 再処理するか、直接処分するかは、技術開発状況等をm定めたうえで将来決定することとして保管 |

○:必要 △:場合によって必要 ×:不要 -:不明

④ 研究炉の運営・利用体制について

ア ユーザーフレンドリーな利用体制

- 大学の研究者らによる研究炉の利用

全国共同利用研究所:「KUR」京都大学

茨城県東海地区:「弥生」東京大学、「JRR-3」「JRR-4」原子力機構

茨城県大洗地区:「JMTR」「JOYO」原子力機構

- JAEAの有するJRR-3Mなどの利用においては、施設供用制度と大学共同利用制度(東京大学原子力機構施設利用管理本部が所管)が共存。このため、利用者の立場から見た場合、2元的な利用窓口の複雑さや課題採択審査などでの課題の重複の可能性などの非効率性が存在し、また、施設全体の成果を最大限にするためのシステムとして必ずしも合理的ではない。
- 研究炉の利用については、産業界のニーズにも応える必要があり、原子力技術開発と科学・技術研究開発の適切なバランスを保つ必要がある。
- 国内の研究炉を有効に合理的に活用するために、統一的な利用体制(プラットフォーム)の構築を含めた新たな枠組みの検討は不可欠。
- 研究炉の有効利用と新たな利用体制の構築に当たっては、原子炉、装置、研究分野を熟知し、新規の測定法や装置の開発とともに利用支援を担う強力なスタッフの充実と、そのために人材育成を進める必要がある。
- 既存の研究炉における人材育成の発展によって、後述する大型研究炉(JMTR、JRR-3M)の後継と将来を担う人的資源を確保。

イ 国内外の研究炉との連携強化

- IAEAの研究炉高度利用プロジェクトによれば、研究炉は、原子力及び科学・技術の分野で、今なお重要で不可欠。しかし、利用率の低下、戦略的ビジネスプランの欠如、老朽化と改造の必要性、高濃縮度燃料の調達と処理、高品質高密度の低濃縮度燃料の不足、使用済燃料の蓄積、廃炉計画の策定とその実施、といった重要課題がある。
- 我が国の研究炉についても共通する面があり、これらの共通の課題に対しては国際的にも連携協力の仕組みを構築して対応する必要がある。
- 国内の連携に関しては、JMTR、常陽、HTTRが設置され、かつ大学も含む充実したホットラボ群が設置されたJAEA大洗のようなサイトは世界的にも例がない。中性子スペクトルや温度環境の異なる多様な研究炉の相互の連携を強化し、互いに補完していくことで様々なデータの蓄積が促進される。
- 相互連携によるユニークさを、比較的新しい研究炉が多く積極的な利用が推進されているアジア地域の中で追求していくことによって、その波及効果として、我が国は今後とも世界最先端の研究開発に関与し続け、次世代を担う人材を育成し続け、国際社会に貢献し続けていくことが期待できる。

⑤ 研究炉の後継と将来の研究炉について

ア 小型研究炉(KUR、JRR-4)の停止後の対策(特にBNCTについて)

- 出力5MW以下の京大KUR及びJRR-4がシャットダウンした場合、BNCTなどの先駆的・開拓的な研究に適した柔軟性の高い研究の場を失うことになる。
- 加速器BNCTが確立したとしても種々の基礎研究や臨床研究が必要であり、大面積で時間的にも安定した照射が可能な研究炉の役割は極めて大きい。先駆的・開拓的な研究や人材育成にも適した研究炉が必要であり、改修や更新を含めた対策案を提示する必要がある。

イ 大型研究炉(JMTR、JRR-3M)の後継と将来の研究炉

- KUR及びJRR-4に続き、JRR-3M及びJMTRの研究炉が約20年後には大規模改造が必要となるか、またはシャットダウンすると想定。その後継研究炉を整備することができなければ、我が国には大型研究炉がなくなり、研究炉利用において世界を先導してきた地位を失うことになる。
- したがって、後継研究炉について適切な将来計画、またその運用体制を含めたグランドデザインを描くことが必要。先進的で信頼性安全性の高い炉心をもつ 10^{15} n/cm²s程度の定常中性子源をJRR-3Mの後継炉として建設し、ビーム実験に加え、広い照射場を確保して照射実験、RI生産などに供することは、我が国の国際優位性に著しく貢献することが期待される。また最先端の研究炉建設により、優秀な原子力専門家の育成が期待できる。

3 提言

(1) 研究炉の役割と位置付け

我が国では、研究炉は、原子力開発の初期段階から設置された施設であり、原子力の研究・開発、人材育成、研究者・学生の研究・教育に役立てられてきた。また研究炉で得られる中性子は、基礎研究、産業、医療にも利用されるなど、研究炉は我が国の学術、科学・技術、産業の発展に貢献してきた。その実績からも、研究炉は多くの分野で学術、科学・技術の発展に必要不可欠な研究基盤施設であり、国が安定・定常的に維持すべき施設である。我が国における研究炉利用のニーズについては将来的にも適切に対応する必要がある。

(2) 研究炉の安全・安定運転の確保

国内の多くの研究炉は建設から数十年が経過しており、施設設備の高経年化が課題となっている。研究炉については、施設の安全性・先端性を継続的に確保することが必要であり、その経費が国の施策として保証されるとともに、当該施設が全国共同利用制度や共用促進法のような仕組みの下で適切に運用されることが必要である。

研究炉は、発電炉の発電利用とは異なるが、東電の事故の教訓等を踏まえた安全対策等に関し継続的に検討・評価を行う必要がある。研究炉の安全規制については、現在、原子炉等規制法において発電炉とは区別して規制され、研究炉の特徴が考慮されているが、維持段階における行政上の運用においては必ずしも発電炉との違いは考慮されていない。研究炉の維持段階においても、発電炉との違いを考慮して合理的な安全規制行政が行われることが望まれる。

(3) 研究炉の燃料問題への対応

我が国の研究炉で用いられた使用済燃料は、2019年5月までは米国へ引き渡される予定であるが、低濃縮ウラン(LEU)燃料を対象とする米国との契約が延長される可能性は低く、研究炉の運転を継続することが困難な状況になることも考えられる。

使用済燃料の措置については、国としての政策的観点から、中長期的な方策を早急に示す必要がある。具体的には、長期貯蔵を視野に入れて、対米返還の契約延長交渉を進め、一方では再処理の可能性検討、直接処分を含めた使用済燃料の処分方策の具体的検討を並行して行っていく必要がある。その際、対米返還以外の方策については政策的検討とともに法的整備が必要であり、国の対応が求められる。

(4) 研究炉の運営・利用体制の強化

研究炉の利用については、学術研究への適用と同時に産業界のニーズにも応える必要があり、また、原子力と科学・技術の適切なバランスを保つ必要もある。国内の研究炉を更に効率的、有効に、合理的に活用するために、統一的な利用体制(プラットフォーム)の構築が望まれる。構築に当たっては、新規の測定法や装置の開発とともに利用支援を担う強力なスタッフの充実と、そのための人材育成を進める必要がある。

国際原子力機関(IAEA)は、研究炉が原子力及び科学・技術の分野で、重要で不可欠であるとしながらも、老朽化と改造の必要性、燃料問題などの重要課題のあることを指摘している。燃料問題など、我が国の研究炉についても共通する課題があり、これらの共通の課題に対しては、国際的な連携協力の仕組みを構築して対応する必要がある。³⁰

(5) 研究炉の後継と将来の研究炉の検討

建設から数十年経過している我が国の研究炉については、施設や装置のアップグレードを検討する時期にきている。実際、出力5MW以下の小型研究炉であるKUR及びJRR-4がシャットダウンした場合、我が国ではホウ素中性子捕捉療法(BNCT)などの先駆的・開拓的な研究に適した柔軟性の高い研究の場を失うことになる。BNCTについては、将来的には加速器中性子源による治療施設が開発されることが望まれているが、その実現に必要な研究を含めて同様の先駆的・開拓的な研究や人材育成にも適した研究炉が必要であり、対策案を提示する必要がある。

また、JRR-3M及びJMTRの研究炉が約20年後には大規模改造が必要となるか、またはシャットダウンすると想定されている。研究炉の建設には長期の準備期間を必要とすることから、広く共同利用に供せられている公共性の高い研究炉の後継について適切な将来計画、またその運用体制を含めたグランドデザインを描くことを早急に進める必要がある。