

第4期中長期目標期間における原子力機構の挑戦

－研究開発の方向性－

参考資料

カーボンニュートラルに向けた主要国の中期・長期目標、エネルギー政策

国	2030年目標	2050年目標	エネルギー政策等
米国	2030年で最低50～52%削減 (2005年比)	カーボンニュートラル	バイデン大統領公約
カナダ	40～45%削減 (2005年比)	カーボンニュートラル	2050年までにカーボンニュートラルを達成することを目標とする法案 (Canadian Net-Zero Emissions Accountability Act) を議会に提出 (2020.11.19)
EU	55%削減 (1990年比)	カーボンニュートラル	欧州気候法
英国	2035年目標で78%以上削減 (1990年比) (2021.04.23読売新聞)	カーボンニュートラル	グリーン産業革命達成のための10項目計画 (2020.11.18)
中国	2030年までに排出量を削減に転じさせる (2005年比でGDPあたりのCO2排出量を65%以上減少)	2060年カーボンニュートラル	習近平国家主席表明 (2020年9月の国連総会、12月の気候野心サミットで表明)
日本	46%削減 (2013年度比)	カーボンニュートラル	2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略

参考文献：https://www.afpbb.com/articles/-/3343202?cx_part=top_category&cx_position=5
<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO65552230Y0A021C2FF1000/>
<https://www.sankei.com/premium/news/210421/prm2104210005-n1.html>
<https://www.env.go.jp/council/06earth/%E3%80%90%E8%B3%87%E6%96%99%EF%BC%93%E3%80%91r2.pdf>
<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210423/k10012992171000.html>

■ 福島第一原子力発電所（1F）事故の対処

□ 福島復興のための環境中の放射性セシウム動態評価手法の開発

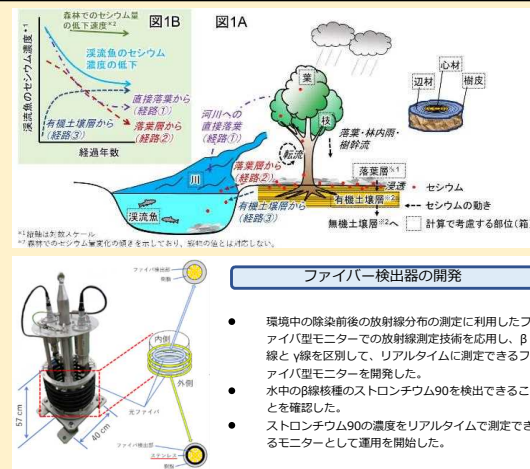
陸域生態系を包括した放射性セシウムの動態を考慮した被ばく評価モデルを開発し、溪流魚へ取り込まれるセシウムの経路を解明した

□ 水中のβ線リアルタイムモニタリング技術の開発

環境中の除染前後の放射線分布の測定に利用したファイバ型モニターでの放射線測定技術を応用し、β線とγ線を区別して、リアルタイムに測定できるファイバ型の汚染水モニターを開発した。この汚染水モニターは、民間移転するとともに、1F構内の排水路用放射線モニターとしての運用を開始した

□ 基礎・基盤研究の全体マップの作成、随時更新

研究開発を合理的に進めるために、廃炉プロセスにあるニーズの相関を示した「基礎・基盤研究の全体マップ」を作成、随時更新している



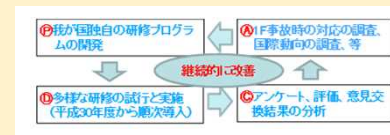
■ 原子力規制行政支援、安全研究

□ 国際的に高い水準の研究創出

OECD/NEAプロジェクト等の国際協力や産学との連携による成果の最大化に取り組み、国際協力参加機関と共同で1F事故の進展解析に関する論文を発表したほか、国内外の研究機関への解析コードの外部提供を行い、機器・配管の健全性評価手法に係る研究成果が米国機械学会の基準に採用されるなど、国際的に高い水準の顕著な成果を創出した。

□ 原子力防災支援

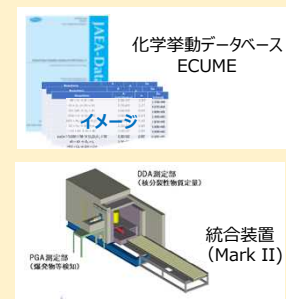
被ばく線量の確率分布の解析による地域防災計画の支援、災害対策本部で活動する中核要員の育成支援等、原子力防災に対する支援を拡大させた。



■ 原子力安全性向上、核不拡散・核セキュリティ

□ 原子力安全性向上

事故発生リスクの低減につながるものについては、OECD/NEAのベンチマーク解析を実施し、単相流に対する検証データを拡充した。事故拡大防止に関するものについては、SA時のFP化学挙動に関し、沸騰水型軽水炉に加えて加圧水型軽水炉(PWR)の制御材構成成分のデータを組み込み、適用範囲をPWR事故解析に広げたFP化学挙動データベースECUMEを公開した。既設炉の廃炉の安全な実施につながるものについては、使用済燃料・構造材料等の核種組成・放射化量評価手法ツールを開発完了し、民間事業者に提供した。



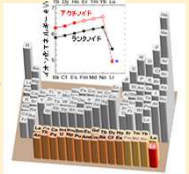
□ 核不拡散・核セキュリティ

IAEA等のニーズを踏まえた核検知・測定技術開発を行い、統合装置（Mark-II）を用いて、構造材などが混在しても核分裂性物質の定量ができることを確認した。

■ 原子力基礎基盤研究

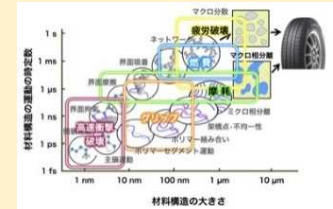
□ローレンシウムの第1イオン化エネルギーの測定に成功

103番元素ローレンシウムの最も外側の電子がとて緩く結合していることを発見し、103番目の元素でアクチノイド元素群が終了する事を初めて実験的に証明した。



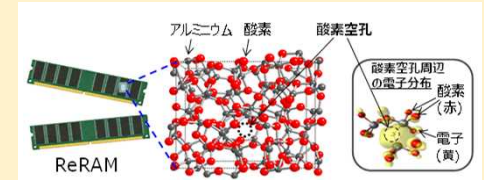
□J-PARCを用いて開発された新しいエコタイヤが住友ゴム工業（株）から製品化

J-PARC、SPring-8、スーパーコンピュータ「京」の連携活用を進め、タイヤ用ゴム内部の構造と運動性の詳細解析とコンピュータシミュレーションを実施し、タイヤの相反性能である低燃費性能、グリップ性能に加え耐摩耗性能の大幅な向上が可能となる新材料開発技術「ADVANCED 4D NANO DESIGN」を完成させた。この技術の採用により、低燃費性能とグリップ性能を高次元で維持しながら耐摩耗性能を従来品から51%向上させた新しいエコタイヤを住友ゴム工業株式会社が製品化した。



□アルミ酸化膜を用いた新しい不揮発メモリの電子状態の観測に成功

次世代付記初メモリReRAMの候補物質のアモルファスアルミ酸化物薄膜のメモリ動作時の電子状態を直接観測で捉え、メモリ動作による劣化が生じにくいことを観測により検証し、消費電力が大きなDRAMに代わり、消費電力が少ないReRAMの時代が到来する可能性が開けた



□廃棄豚骨を利用した安価で高性能な環境除染材料の開発

Srが骨に蓄積されやすいことに着目し、食品廃棄物である牛骨や豚骨から有害金属を吸着する環境除染材料を開発した。この材料は、実用化されている天然ゼオライト吸着剤と比較して各段に高い吸着性能を示している。有害物質を回収する環境浄化に活用されるだけでなく、有用金属回収技術への応用も期待されている。



□米国ORNLと共同で99番元素アインスタイニウムを用いた実験を開始

研究開発を合理的に進めるために、廃炉プロセスにあるニーズの相関を示した「基礎・基盤研究の全体マップ」を作成、随時更新している

■ 高速炉・新型炉

□高速炉に関する日仏共同研究開発、ARKADIA開発、規格基準整備・国際標準化

日仏ASTRID協力は、協力範囲を拡大させつつ推進し、日仏間で合意した基本設計段階の設計を完遂した。同協力で得られた成果を活用し、地震国日本の立地条件にも適合可能な耐震強化型のタンク型炉の設計概念を構築した。民間ニーズに応える基盤技術としてARKADIAの開発を推進した。PRAを用いて構造信頼性の目標値を導く手法を新たに開発し、これが米国機械学会（ASME）の高速炉用維持規格（Code Case N-875）として平成29年に発刊された。「安全アプローチSDG」を我が国主導で構築し、GIFにおいて承認を得た。



日本型タンク型高速炉



□実用高温ガス炉の安全上の特長を反映した安全基準の国際標準化

J-PARC、SPring-8、IAEAのCRPにおける安全要件の国際標準の検討において、機構が提示したHTTRデータに基づく安全要件原案が、IAEAエネルギー局案として採用され、IAEA報告書として発行された

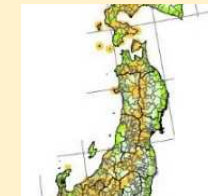
■ 核燃料サイクル

□ ガラス固化処理技術の技術成熟度向上及び運転ノウハウの日本原燃への反映

高レベル廃液の保有量を、中長期目標期間内に約2割を減少させる見込みであり、貯蔵に伴うリスクの着実な低減を図った。また、また、溶融炉の長期安定運転の技術的な見通しを得るとともに、溶融炉の安定運転に関するノウハウを蓄積し、日本原燃(株)に提供した。

□ 新たなMA分離技術の創出、高速炉核変換実現に向けた長寿命材料の開発

放射性廃棄物の減容化につながるSELECTプロセスを構築し、実高レベル放射性廃液を用いた約40時間のセル内での試験を複数回実施し、実高レベル放射性廃液を用いた試験で約300mgのMAの回収に成功した。Pu及びMAを高速炉で利用するための長寿命炉心材料開発を行い、高温・長時間強度特性及び耐照射特性の観点から、酸化物分散強化型（ODS）鋼の長寿命被覆管としての適用見通しを得た。



科学的特性マップ(一部抜粋)

□ 地層処分技術に関する研究開発

地層処分技術に関する研究開発の成果が、国の重要施策である「科学的特性マップ」の公表（平成29年7月、経産省）やサイトを特定しない一般的なセーフティケースとして説明をした「包括的技術報告書」（令和3年2月、NUMO）の作成に反映され、国、NUMOが進める地層処分事業に貢献した。

■ 施設稼働

□ NSRR、JRR-3

NSRR、JRR-3は、新規制基準に係る対応が完了し、各々、令和2年3月24日、令和3年2月26日に運転を再開した。今後は原子炉安全性研究、中性子利用研究に活用されていく。



JRR-3 (20MWt)



NSRR (300kWt)

■ 廃止措置

□ もんじゅ、ふげん

「もんじゅ」の廃止措置については、燃料体取出し作業の実績・経験を次作業へ反映し、計画工程を上回るペースで作業を進捗させ、実績・ノウハウを蓄積した。「ふげん」については、解体作業や必要な技術開発を着実に進めた。



もんじゅ

■ マネジメント

□ 「施設中長期計画」及び「バックエンドロードマップ」の策定

スリム化した施設の強靱化とバックエンド対策の着実な実施により、研究開発機能の維持・発展を目指すための2028年度までの計画として、「施設中長期計画」を策定した。現存する原子炉等規制法の許可施設を対象に、バックエンド対策に係る長期（約70年）の方針として、「バックエンドロードマップ」を策定した。

□ 「JAEA 2050+」の策定、「イノベーション創出戦略」の改定

わが国の政策目標を踏まえ、原子力機構が将来にわたって社会に貢献し続けるために、2050年に向けた将来の姿を「JAEA 2050+」としてまとめた。“新原子力”の実現に向けた戦略を明確化し、目指すイノベーション等を整理し、「イノベーション創出戦略」を改定した。



わが国の政策目標(「エネルギー基本計画」、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」、Society5.0、持続可能な開発目標 (SDGs)) を踏まえ、原子力機構が将来にわたって社会に貢献し続けるために、2050年に向けた将来の姿をまとめたもの

① 2050年に向けて、何をめざすか

□原子力のポテンシャルを最大限活用し、将来社会の変革に向けた貢献をめざす

- ◆ 原子力科学技術で、**気候変動問題の解決**に貢献
- ◆ 安全性を向上させた核燃料サイクルを含むエネルギーシステムにより、**エネルギーの安定確保**に貢献
- ◆ 原子力科学技術を通じて**未来社会 (Society5.0) の実現**に貢献

□東京電力福島第一原子力発電所事故の反省のうえに立って原子力安全の価値を再認識した**“新原子力”**の実現をめざす

- ◆ **“新原子力”**：従来の取組を超えて、将来社会への貢献をめざし、社会との双方向の対話とともに以下の実現をめざす新たな取組
 - ✓ 一層の安全性向上を含む「S+3E」*2と社会的課題の解決に応える原子力科学技術システムの構築
 - ✓ 他分野との積極的な融合によるイノベーションの創出
- ◆ **“新原子力”**の実現に向けて、原子力を巡るELSI*3を含めた諸課題に原子力科学技術を駆使して挑戦し、解決策を提案

原子力機構の将来ビジョンの全体像



*2 : 「エネルギー基本計画」では、エネルギー基本政策の視点として、安全性(Safety)を前提とし、安定供給(Energy security)、低コストでの供給(Economic efficiency)、環境への適合(Environment)からなる「S+3E」をかかげている。

*3 : Ethical, Legal and Social Issuesの略で、原子力科学技術を利用するうえで不可避な倫理的、法的、社会的問題。

② 2050年に向けて、何をすべきか

□ “新原子力”を実現するための研究開発

- ◆ 6つの研究テーマを設定し、原子力機構の多岐にわたる研究開発を横断的かつ戦略的に推進する

□ 持続可能な原子力利用のための取組・挑戦

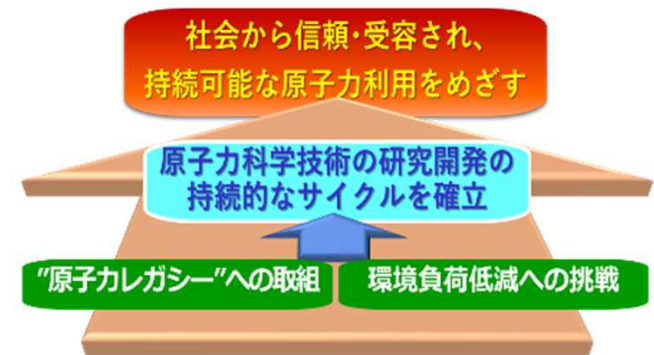
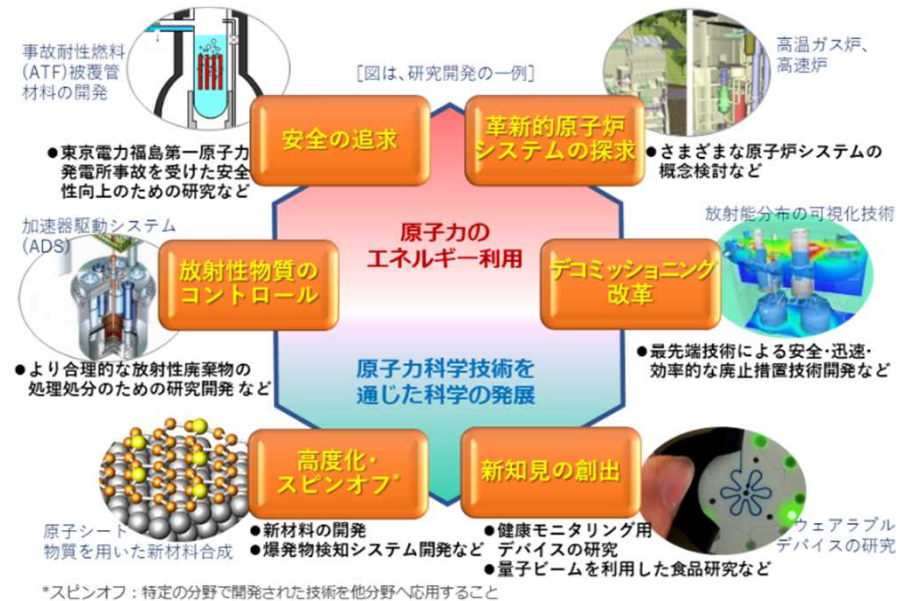
- ◆ 「放射性物質のコントロール」と「デコミッショニング改革」を通じて、バックエンド問題に着実に取り組み、原子力科学技術の研究開発のサイクルを構築する
 - ✓ 将来の原子力利用につながる、これまでの原子力利用で発生した“原子力レガシー”への取組、新たな産業分野づくりへの貢献
 - ✓ 環境負荷低減に向けた取組への挑戦

□ 国際協力・国際貢献、地域の発展

- ◆ 原子力先進国との研究開発協力、国際機関や原子力新興国への貢献、研究開発成果の国際社会への普及・展開などに積極的に取り組む
- ◆ 核不拡散、核セキュリティの体制強化に貢献していく
- ◆ 地域の一員として地域の発展のために貢献していく
 - ✓ 地域の方々の一層の信頼感の醸成
 - ✓ 地域の暮らしへの貢献
 - ✓ 地域社会とのパートナーシップの構築
 - ✓ 未来の科学者・技術者の育成への貢献

□ 組織づくりと人材確保・育成

- ◆ 原子力コミュニティだけにとどまらず、他分野のセクターと連携・協働し、将来社会に貢献できる組織をつくる
- ◆ 幅広い分野からの人材の確保・育成を進める

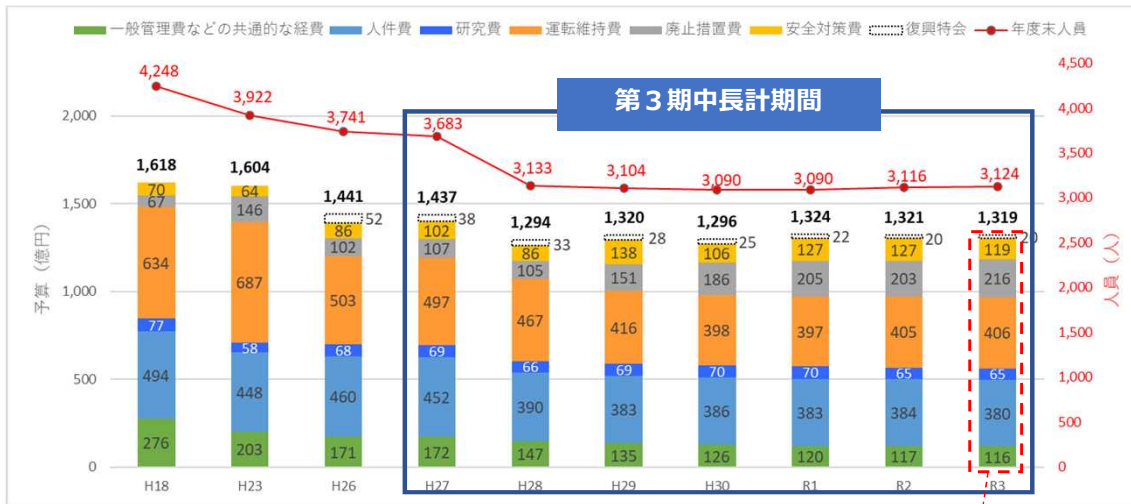


機構がめざす人材像



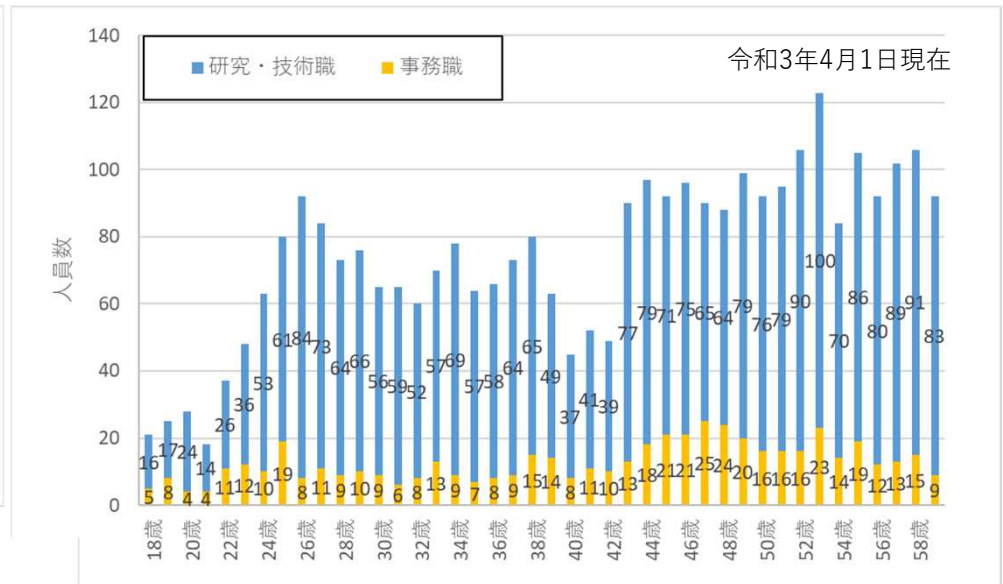
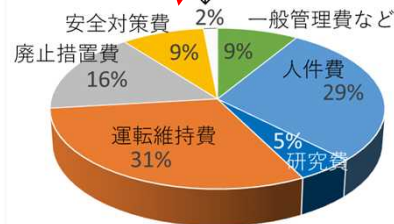
■ 現状と課題

- 第3期間中、予算や人員がほぼ横ばい状態であるが、施設の老朽化に伴う安全対策費や、もんじゅ、東海再処理工場の廃止措置に伴う廃止措置費が増加傾向にある。
- JRR-3及びHTTR運転再開に伴い、運転維持費も増加する見通しである。
- 研究・技術職の中間層の人材が不足している。
- 限られたリソースの中で、研究開発を推進するとともに、安全対策・廃止措置を確実に実施する必要がある。



↑ JAEA発足（二法人統合） ↑ 量研機構へ一部移管・統合

予算及び人員推移



年齢別人員構成図

経費及び人件費の削減、契約の合理化及び情報技術の活用により業務の効率化を促進する

■ 現状と課題

- 機構における業務の合理化・効率化は、今後も不断の見直しを行う必要がある。経費の削減、人件費管理の適正化、契約業務の適正化、情報技術の活用等について引き続き見直し・検討を行うことで、さらなる業務の合理化・効率化を図っていく。

■ 今後も継続的に取り組むべき主な活動

経費の合理化・効率化	人件費管理の適正化	契約の適正化	情報技術の活用等
<ul style="list-style-type: none"> • ロボットによる定型業務の自動化（RPA）、QRコードによる物品管理システム、電子決裁システム、web調達システム等を活用し、さらなる経費削減の取組を進めていく。 • PFI事業等を導入し、民間活力の導入を継続していく。 	<ul style="list-style-type: none"> • 適正な人員の配置及び人員構成に留意しつつ、研究者や技術者の確保を行いながら人件費の合理化に務める。 • 役員の報酬等及び職員の給与の水準を機構ホームページで適切に公表する。 	<ul style="list-style-type: none"> • 契約審査委員会により研究開発業務の特性を考慮した合理的な契約方式の選定等を行う。 • Web調達システムの活用等を積極的に行う。 • 契約事務の効率化のため、同様の内容の調達案件については一括調達を行うなどの取組を継続する。 	<ul style="list-style-type: none"> • 情報技術の活用による業務の効率化を継続する。 • 政府機関における情報セキュリティ対策を踏まえ、機構における適切な対策を講じ、情報技術基盤の維持、強化に努める。 • 財務・契約系情報システムについて安定運用を継続するとともに、更なる効率化を検討する。

「施設の安全確保」、「施設の集約化・重点化」及び「バックエンド対策」の総合的な最適計画を具体化し、スリム化した施設の強靱化（安全強化）とバックエンド対策の着実な実施により、研究開発機能の維持・発展を目指す

■ 現状と課題

- 平成29年3月末に「施設中長期計画」を策定
- 計画の実施状況、令和3年度予算等を踏まえ計画を改定
- 今後も、年度末を目安に計画を改定予定

■ 概要

施設の集約化・重点化

【集約化・重点化方針】

- 国として、最低限持つべき原子力研究開発機能の維持に必須な施設は下記を考慮した上で可能な限り継続利用
 - 試験機能は可能な限り集約化
 - 安全対策費等の視点から継続利用が困難な施設は廃止 等

機構の原子力施設を選別

- 継続利用施設 : 46施設
- 廃止施設 : 44施設

施設の安全確保

- 新規制基準・耐震化対応
- 高経年化対策
- 東海再処理施設のリスク低減対策

施設ごとに
具体化

バックエンド対策

- 廃止措置計画
(核燃料物質の集約化を含む)
- 廃棄物処理施設等の整備計画
- 廃棄体製作計画

施設ごとに
具体化

現存する原子炉等規制法の許可施設を対象に、バックエンド対策（廃止措置、廃棄物処理・処分等）の長期にわたる見通しと方針をバックエンドロードマップとして取りまとめた

■ 現状と課題

- 平成30年12月末に策定・公表
- バックエンド対策の進捗状況等を踏まえ、必要に応じて見直し予定

■ 概要

【対象施設】 現存する原子炉等規制法の許可施設
（核燃料物質の取扱量が少ない政令第41条非該当施設も対象） ➡ **79**施設が対象
（平成30年12月時点）

バックエンド対策の推進（約70年の方針）	
<ul style="list-style-type: none"> ● 廃止措置 ● 廃棄物処理・処分 ● 核燃料物質の管理 <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p style="color: red; font-weight: bold;">3期に区分し 施設ごとに具体化</p> </div>	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 第1期（～2028年度）約10年 当面の施設の安全確保（新規規制基準対応・耐震化対応、高経年化対策、リスク低減対策）を優先しつつ、バックエンド対策を進める期間 ➢ 第2期（2029年度～2049年度）約20年 処分の本格化及び廃棄物処理施設の整備により、本格的なバックエンド対策に移行する期間 ➢ 第3期（2050年度～）約40年 本格的なバックエンド対策を進め、完了させる期間

バックエンド対策に要する費用
<ul style="list-style-type: none"> ● 施設の廃止措置、廃棄物の処理処分に要する費用を試算 <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p style="color: red; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">約1.9兆円（約70年間）</p> </div>

効率化・最適化に向けた取組
<ul style="list-style-type: none"> ● 長期間、多額の費用が必要となるバックエンド対策の効率化・最適化に向け、技術開発、マネジメント体制等に係る取組方針を記載

組織の壁を越えて運営すべき課題に対して「プロジェクト管理」を導入し、効率的かつ効果的に推進する

■ 現状と課題

- 新試験研究炉の検討等、昨今、機構内には組織の壁を越えて対応すべき課題が増加してきている。これらの中には従来の組織運営では権限上の問題で解決が困難な課題もあり、「プロジェクト管理」による組織横断的な運営が必要である。

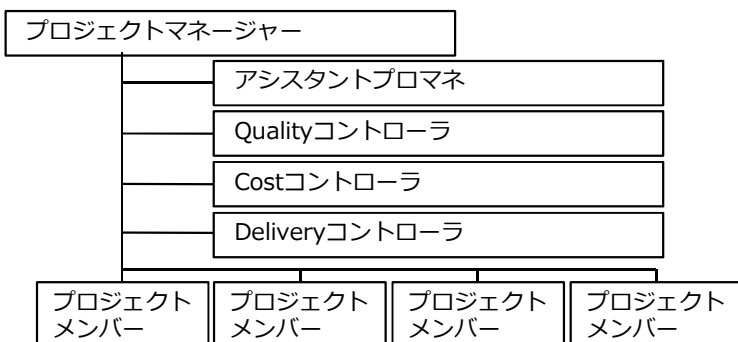
■ 今後取り組むべき主な活動

プロジェクト管理に向けた対応

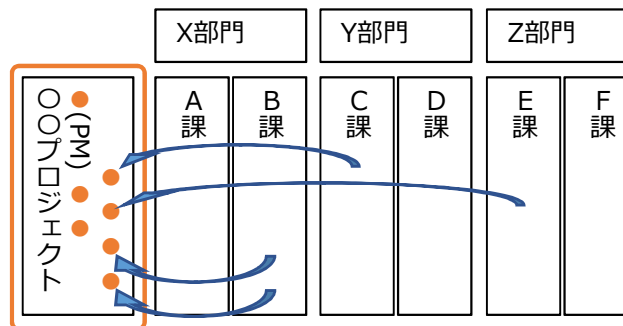
「プロジェクト管理が必要な業務」の要件を整理し、該当する案件に対して、組織横断的なプロジェクト管理による運営を行う

<要件>

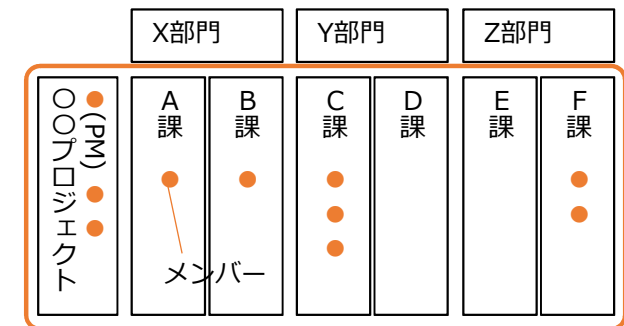
- 目標（QCD）が明確な業務
- やり直しが生じない工程設計が必要な業務
- 複数タスクで構成され、各タスクの関与（関係性）で目標を達成する業務
- 目標達成に向けて課題が多い業務



プロジェクトの構成のイメージ図



(例1) 個別組織型



(例2) 組織横断型

プロジェクトの類型例

燃料デブリ分析、放射性廃棄物処理処分、廃止措置等の研究開発を推進する

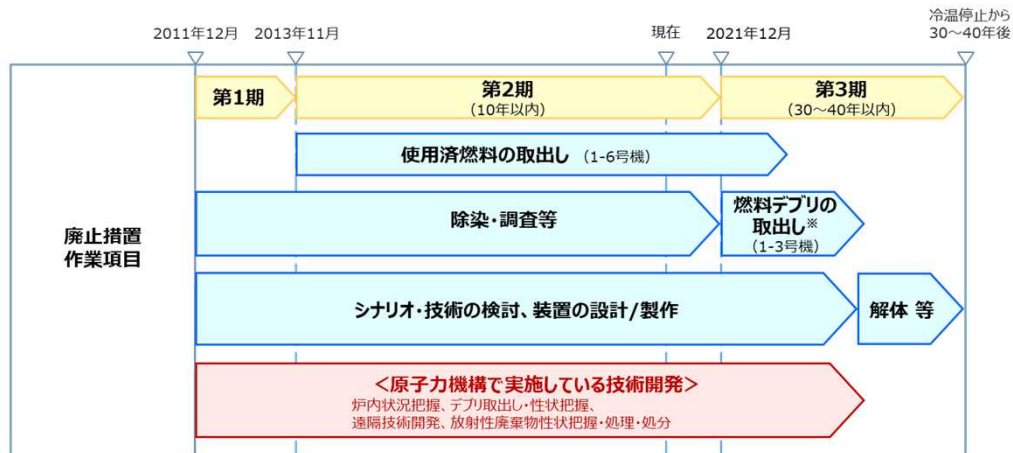
■ 廃止措置等に向けた研究開発の現状

- 1F廃止措置等に向けた中長期ロードマップの工程を踏まえ、研究開発を着実に推進
- 1Fの廃止措置に係る関係機関と連携・協力し、国内外の英知を結集した研究開発を実施

1Fの廃止措置等のロードマップ

東京電力ホールディングス（株）福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ

(最新版は第5回改訂版：2019.12.27)



経済産業省「廃炉の大切な話（2019.3）」をもとに作成し、第5回の改訂を反映。
 ※2020年12月24日に東京電力HDより2021年中から1年程度延期すると発表。

1Fの廃止措置に向けた研究開発体制



原子力損害賠償・廃炉等支援機構「東京電力ホールディングス（株）福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2018（2018.10）」をもとに作成

住民が安全で安心な生活を取り戻すために必要な環境回復に係る研究開発を確実に実施する 特定復興再生拠点区域の全域避難指示解除へ貢献する

■ 環境回復に係る研究開発の現状

- 福島長期環境動態研究や放射線計測技術開発などの研究開発、除染モデル実証事業やマップ事業などの国からの受託事業、国・自治体への協力を着実に実施
- 住民の安全・安心の醸成や、避難指示解除の判断・国や自治体の復興計画策定に貢献

環境回復のロードマップ（環境創造センター中長期取組方針）

環境創造センター中長期取組方針とは、福島県環境創造センターにおいて、**福島県、原子力機構**及び**国立環境研究所**の三者が連携・協力して、中長期にわたり取り組む基本的な事業方針を定めたもの。

- 適用期間は、2015年度から2024年度までの10年間
- 事業は、**前例がないものであることから**、3つのフェーズによる段階的な取組方針

フェーズ2（2019～2021年度）における取組み

- 分析・測定技術の最適化・高度化
- 環境中や野生生物への放射性物質の移行挙動の詳細把握
- 除染効果の持続性把握や除去土壌等の減容・再生利用・処分など



フェーズ1（2015～2018年度）における取組み

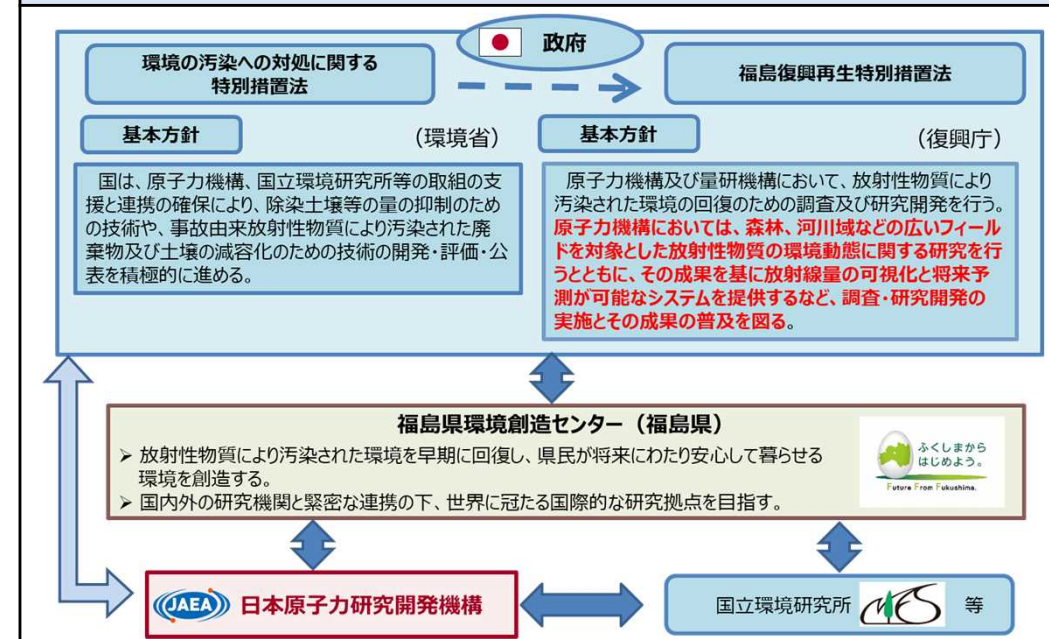
- 除染の徹底
- 除去土壌及び放射性物質に汚染された廃棄物等の適正処理
- 放射性物質の環境動態解明など

フェーズ3（2022～2024年度）における取組み

- フェーズ2における取組の進捗状況や社会情勢の変化等を踏まえて検討

参考：「環境創造センター中長期取組方針[フェーズ2]平成31（2019年）度～平成33年（2021年）度」（環境創造センター 平成31年（2019年）2月改訂）

環境回復に係る研究開発体制



楢葉遠隔技術センターでのデジタルツイン、遠隔解体技術等の様々な分野への応用・社会実装を推進する
 ⇒東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置等の安全かつ確実な実施に貢献する

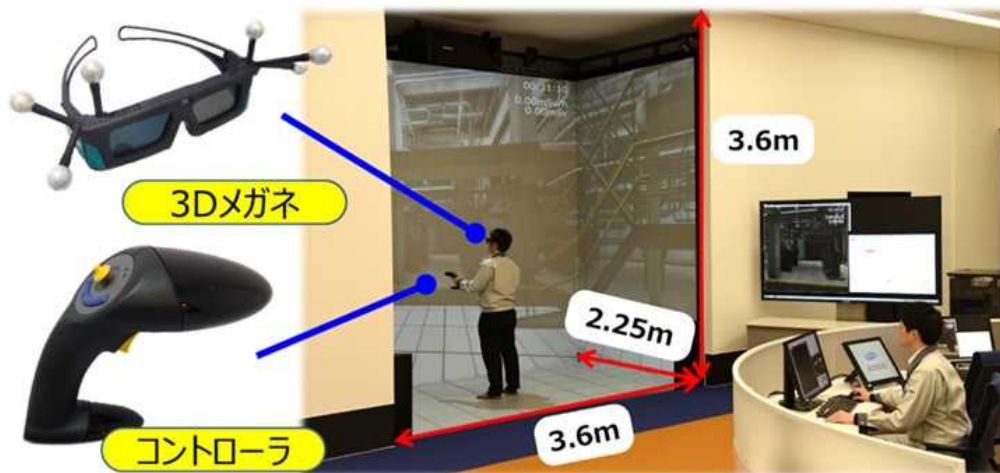
■ 楢葉遠隔技術開発センターの運用の現状

- 研究者の居室等のほか，バーチャルリアリティ（VR）システムやロボットシミュレータを設置
- 原子炉格納容器下部を模擬した試験体を設置し1Fの状況を再現するほか、災害対応ロボットの屋内実証試験、作業者の育成・訓練等を実施

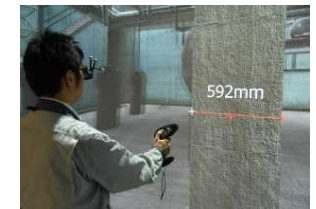


VRを用いた訓練システム

- 原子炉建屋内の環境を再現することで、廃炉に係る作業計画の事前確認や作業者の教育・訓練が可能
- 作業環境，作業方法・手順等の理解を促進



線量分布・被ばく線量表示



距離計測



物体投入・干渉箇所提示



照明



大熊分析・研究センターの取組

大熊分析・研究センター第1棟、第2棟の運用を開始する
 第1棟においては、ガレキ類、伐採木、焼却灰、汚染水処理に伴い発生する二次廃棄物等の低中線量試料の分析、第2棟においては燃料デブリ等の分析等を行う
 ⇒東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置等の安全かつ確実な実施に貢献する

■ 大熊分析・研究センターの運用の現状

- 施設管理棟：運用中。居室並びに分析のモックアップ等を行うワークショップを有する施設。
- 第1棟：整備中（2021年6月頃運用開始予定）
- 第2棟：認可申請中（2024年を目途に運用開始予定）

大熊分析・研究センターの整備



施設管理棟

延床面積 : 4,786m²
 階数 : 地上4階
 主要構造 : 鉄筋コンクリート造



施設管理棟開所式
 (2018年3月15日)



原子力施設の安全を脅かす現象を明らかにし、安全規制行政を技術的に支援する

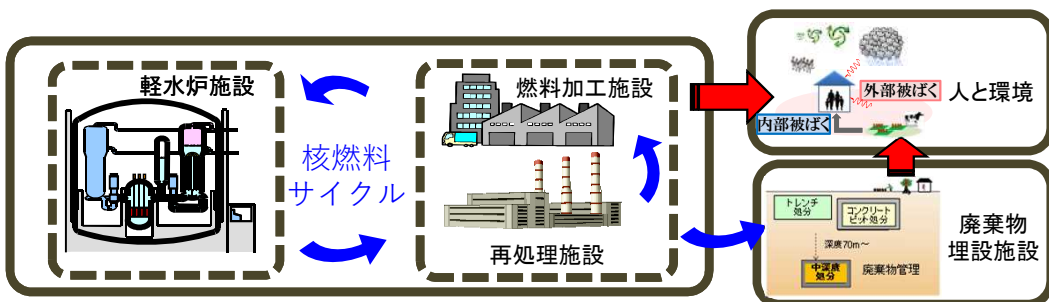
■ 現状と課題

- これまで、設計基準事象への対応を中心とした研究を行ってきたが、今後は原子力施設のリスクを低減するため、シビアアクシデント諸現象や外的事象の評価手法の高度化に向けた研究等を重点化する必要がある。

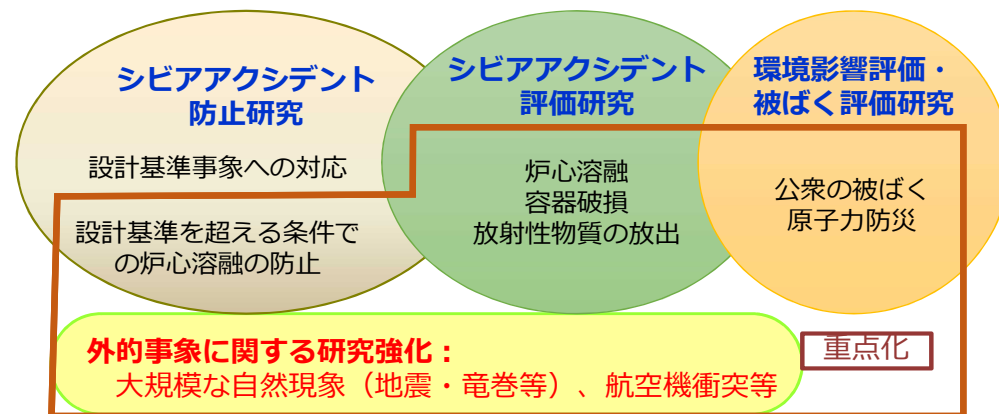
■ 今後取り組むべき主な研究活動

原子力安全規制のための安全研究

原子力利用に伴うリスクの評価と不確かさの低減



今後の重点研究課題



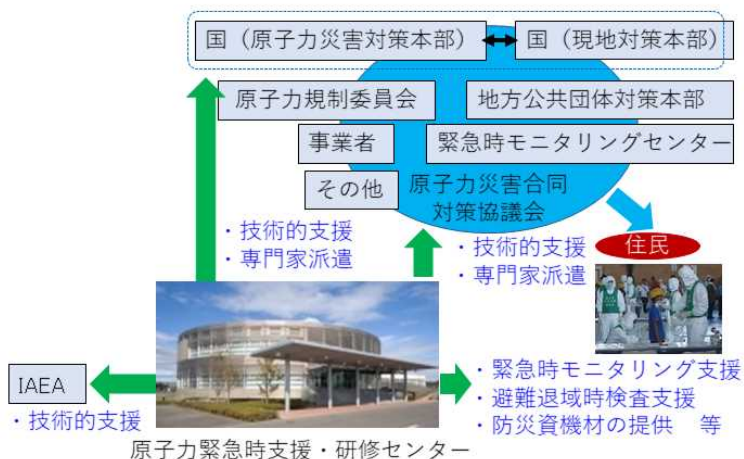
災害対策基本法等に基づく指定公共機関として、関係行政機関等の要請に応じて原子力災害時等における人的・技術的支援を実施する

■ 現状と課題

- 原子力防災の充実は、原子力の最大の課題であり、福島第一原子力発電所事故対応研究開発の成果を原子力防災対応体制の実効性向上に活用する必要がある。（例えば、緊急時モニタリングの技術開発や放射線防護・被ばくの研究）

■ 今後取り組むべき主な研究活動

指定公共機関としての原子力災害時等における人的・技術的支援



原子力防災研究



原子力分野に共通する基礎的研究や基盤技術の開発を実施し、原子力利用技術の創出、科学技術基盤の維持・強化に貢献する

■ 現状と課題

- 軽水炉安全、原子カイノベーションに貢献するため、核特性、熱流動計算コード及びデータベース拡充等を進める必要がある。
- 廃炉技術、環境回復に貢献するため、環境中での放射性物質の移行・蓄積過程の解明 や被ばく線量の測定・評価に関する研究を進める必要がある。

■ 今後取り組むべき主な研究活動

原子力利用技術の創出、科学技術基盤の維持・強化のための原子力基礎工学研究



原子力利用技術の創出、原子力科学技術基盤の維持・強化

軽水炉工学・核工学

- 核データ、放射線計測技術
- 核特性、熱流動コード
- 事故耐性燃料の基礎研究
- 廃止措置基盤技術
- 安全性向上技術



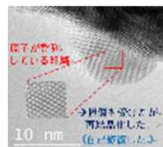
分離変換技術開発

- 高レベル放射性廃液からの群分離技術
- MA燃料サイクル技術
- 加速器駆動核変換技術



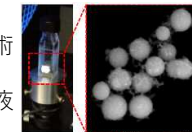
燃料・材料工学

- 照射と腐食による劣化特性
- 材料・シミュレーション燃料特性核



原子力化学

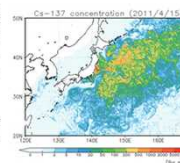
- 核燃料サイクルのための化学分離技術
- アクチノイド・核分裂生成物の溶液化学・固体化学



レーザー微粒子化分離

環境・放射線科学

- 放射性物質の環境分布予測技術
- 環境汚染による線量評価技術
- 放射線挙動解析コード



原子力安全の価値を再認識した“新原子力”の実現をめざし、デジタルツイン技術をベースに、現行原子力システム（軽水炉、再処理等）の安全性の向上やSMRの展開への対応が可能な新たな原子力システムを開発する

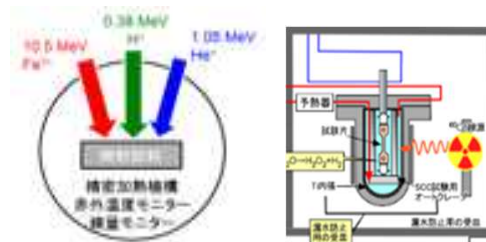
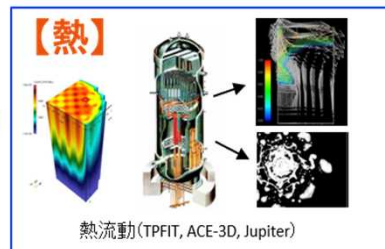
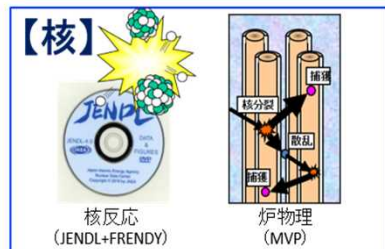
■ 現状と課題

- これまで、実規模の実験研究等をベースとした研究開発が実施されてきたが、今後の安全性向上や新たな原子力システムの開発においてコストの合理化が必要である。このため、産業界のニーズに応じたデジタルツイン技術と、それを支えるスマート燃料・材料評価技術の開発、これらの技術の軽水炉の安全性向上に関する取り組みへの実装が必要である。

■ 今後取り組むべき主な研究活動

デジタルツイン+

- JAEA保有のデータベースや計算コードを詳細化、高速化するとともに各種コードを統合し、デジタルツイン技術の核となるマルチフィジックスコードを開発
- 代替照射による軽水炉等環境模擬でのその場評価・解析、マイクロ化学チップによる分析等によるスマート技術の開発



- 事故時における事故耐性燃料のふるまい、シビアアクシデント時のソースターム等の評価
- デジタルツイン基盤技術の産業界への適用を見据えた新原子力オープンラボの整備

デジタルツイン技術開発
(核熱カップリングコードの開発)

SMiRT燃料材料評価技術
(革新的量子ビーム照射の開発)

2021年2月26日に運転を再開した高品位定常中性子源のJRR-3と世界最高強度のパルス中性子源 J-PARC MLFとの相乗的・相補的利用を推進し、学術・産業両面でのイノベーション創出を加速する

■ 現状と課題

- これまで、中性子・放射光の高品位化や利用技術の高度化、世界最高レベルの研究開発環境を広く社会に提供し、科学技術・学術の発展、新分野開拓と産業振興に貢献してきた。
- 今後はイノベーション創出戦略に基づき農業関係、自動車関連、エネルギー関連、環境問題、高分子材料の機能解明等、幅広い分野で新産業の創出に関わる研究開発を行う必要がある。

■ 今後取り組むべき主な研究活動等

施設・設備の整備と中性子・放射光利用技術の研究開発

- JRR-3、J-PARC MLFとの相乗的・相補的利用を推進し、学術・産業両面でのイノベーション創出を加速する。このために必要な中性子実験装置の更新・整備を行う。



モビリティ・イノベーションによるカーボンニュートラルへの貢献

- 中性子ビームによる「実用製品中の直接観察」により、自動車、航空機や、交通・輸送インフラの飛躍的な性能向上をもたらすイノベーションを創出し、地球環境の低炭素化と社会との持続可能な調和の構築を目指す。



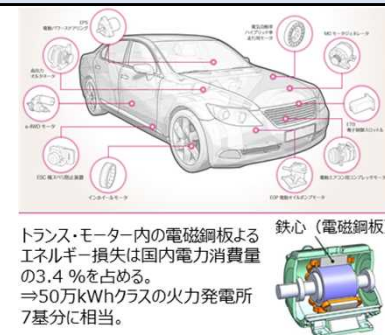
タイヤの耐摩耗性・グリップ力向上

- シリカとポリマーの結合を最適化。更なる低燃費、高耐久性タイヤを開発する。



高効率トランス・モーターの開発

- 中性子で得られる磁気構造に基づき組成や加工・熱処理を計算科学技術や磁気構造解析を用いて最適化し、素直な磁場応答を持つ低エネルギー損失材料を開発する。



世界最先端の原子力材料科学を推進し、新原理・新現象の発見、新物質の創成、革新的技術の創出などを目指すとともに、この分野における国際的COEとしての役割を果たす

■ 現状と課題

- カーボンニュートラルへの貢献を目指した原子力科学研究の新たな展開を図るうえで、極限環境にも耐える高性能材料が必要である。このため、新しいエネルギー材料物性機能の探索とそのため新物質開発を行う原子力先端材料科学を強化・推進し、燃料物性や耐放射線機器等の研究開発が必要である。

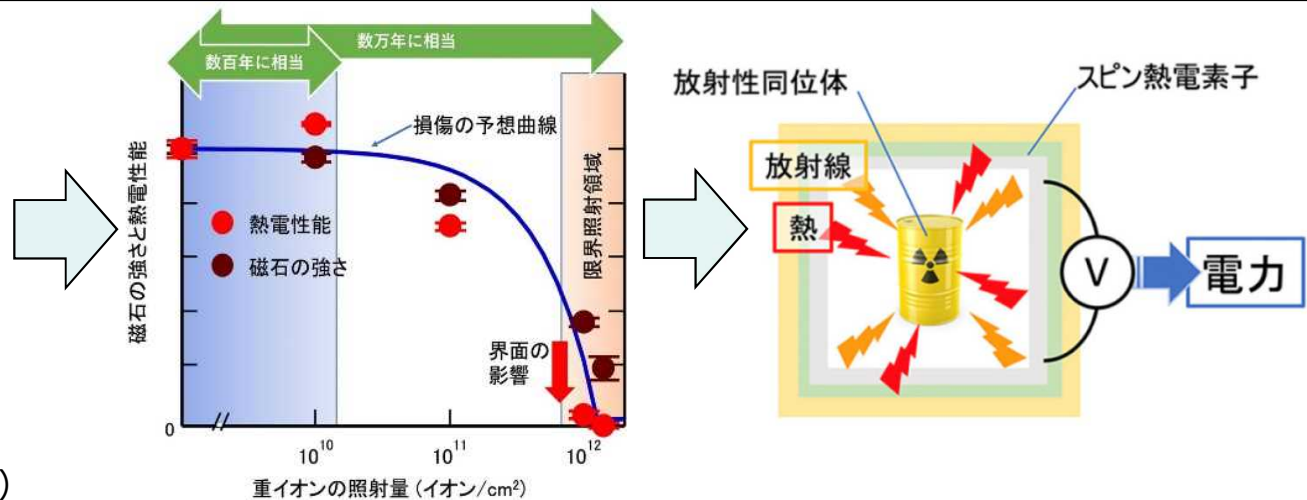
■ 今後取り組むべき主な研究活動

スピントロニクス等の新たなエネルギー材料物性機能の探索

- スピン熱電素子と放射性同位体の熱源の組み合わせによる、極限環境下で利用可能な半永久電源の研究
- 使用済核燃料等から生じる廃熱を安全に有効活用する新しい同位体発電システムの開発



タンデム加速器施設（東海）





NEXIPの取組の現状

政府事業への参画を通じて、機構が有する技術基盤等をプラットフォームとして活用することにより、産業界との協働を進め、原子力のエネルギー利用の多様性確保に努める

■ 現状と課題

- R2年度文科省事業に、JAEAは、研究代表として2件*、参画機関として6件の課題に取り組んでいる。
- 今後は、JAEAが有するオープンプラットフォーム機能を活用し、さらなる貢献が必要となる。

技術開発支援 経済産業省 Ministry of Economy, Trade and Industry

安全性向上に資する技術開発

－事故耐性燃料、安全高度化基盤技術．．．等

革新的な原子力技術開発

－高速炉、革新炉（小型軽水炉、高温ガス炉）等

基礎・基盤研究開発 文部科学省 MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE, SPORTS, SCIENCE AND TECHNOLOGY JAPAN

基盤チーム型

－将来の社会実装に向けたテーマ
－年間1億円以内、4年以内

ボトルネック課題解決型

－実用化のボトルネック課題解決へ向けた要素技術開発
－年間3千万円以内、3年以内

【研究テーマ】

- 多様な革新的ナトリウム冷却高速炉における統合安全性評価シミュレーション基盤システムの開発（基盤チーム型）
- スピン熱電発電素子による同位体発電システム開発に向けた基盤構築（新発想型）



国立研究開発法人
日本原子力研究開発機構
Japan Atomic Energy Agency

オープンプラットフォーム機能の積極的活用

基礎・基盤研究
技術評価・コンサルティング
人材育成
国際連携

技術基盤（施設・設備、計算コード、DB等）の提供
実用化に資する技術開発

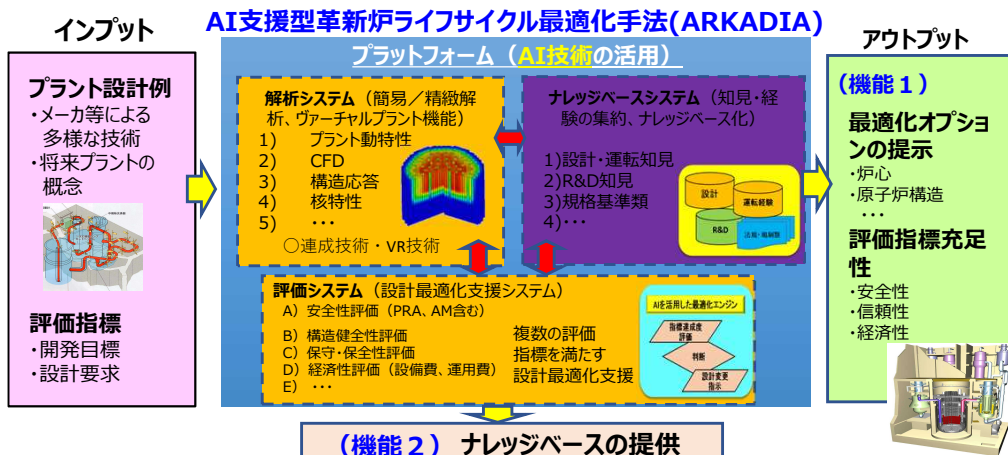
「グリーン成長戦略」や「エネルギー基本計画」、「戦略ロードマップ」を踏まえ、国・産業界と連携を図りながら、SMRタイプを含めて高速炉の研究開発を着実に推進する

■ 現状と課題

- 高速炉サイクルシステムの研究開発基盤の維持・発展を図るべく、(1)先進的な設計評価・支援手法の整備、(2)規格基準体系の整備、(3)安全性向上技術の開発、(4)サイクル技術開発、(5)大型ナトリウム試験施設(AtheNa)における試験、等の研究開発を国際協力を活用しつつ進めている。
- 炉型候補の絞り込みとその後の導入計画に関する国レベルでの議論、具体化に貢献する

■ 今後取り組むべき主な研究活動

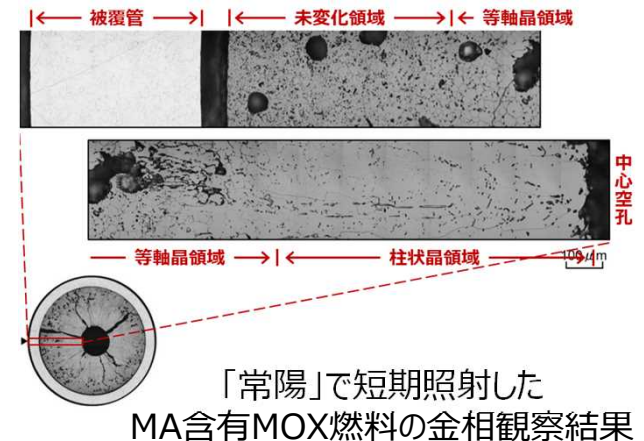
AI支援型革新炉ライフサイクル最適化手法 (ARKADIA) の開発



解析手法と試験検証、設計知見を含むナレッジベース、AIを活用した評価・統合プラットフォームを開発

燃料サイクルに関する研究開発

- 抽出クロマトグラフィを利用したMA分離技術開発を着実に推進
- 「常陽」でのMA含有MOX燃料の照射試験を通じて照射挙動を把握
- 核変換特性を飛躍的に向上させる長寿命炉心材料 (ODS鋼被覆管等) の開発を推進





高温工学試験研究炉（HTTR）の運転再開に向けた取組

高温ガス炉の実用化に資するため、高温工学試験研究炉（HTTR）を用いて、安全の確保を最優先とした上で、安全性の確証、固有の技術を確立する

■ 現状と課題

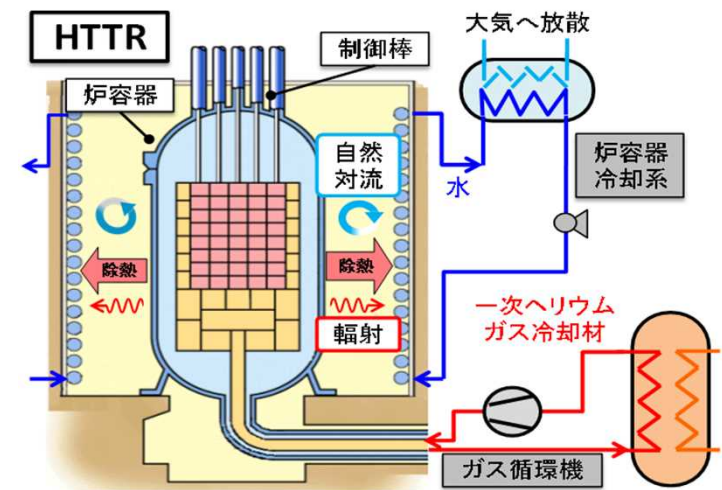
- HTTRは、原子炉設置変更許可取得（令和2年6月）、設工認（全4回）認可取得（令和3年4月）している。現状は、運転再開（令和3年7月予定）に向け、使用前事業者検査及び定期事業者検査を実施中。

■ 今後取り組むべき主な活動

HTTRを用いた安全性実証試験

OECD/NEA LOFC（Loss of Forced Cooling）プロジェクトで実施する安全性実証試験

- 炉心流量喪失試験（Run1：平成22年度実施済み）
初期出力30%（9MW）
炉心冷却流量の停止
炉容器冷却系の運転継続
停止操作（制御棒挿入）なし
→ 制御棒挿入なし冷却なしでも、物理現象のみで、原子炉が自然に静定・冷却されることを確認
- 炉心流量喪失試験（Run2）
Run1で確認した高温ガス炉の固有安全性を定格出力（30MW）で実施する
- 炉心冷却喪失試験（Run3）
炉心の強制冷却に加え、残留熱除去のための炉容器冷却系も停止し、すべての冷却機能が喪失した場合の安全性をRun1と同じ出力（9MW）で実施する



炉心冷却喪失試験

「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を踏まえ、カーボンフリー水素製造に必要な技術開発を推進し、水素社会の実現に貢献する

■ 現状と課題

- グリーン成長戦略に記載の、2030年までの大量かつ安価なカーボンフリー水素製造に必要な技術の開発に向け、高温ガス炉を用いた水素製造技術の確証、および水素製造施設と原子炉施設の接続に係る安全設計方針の確立が必要。

■ 今後取り組むべき主な活動

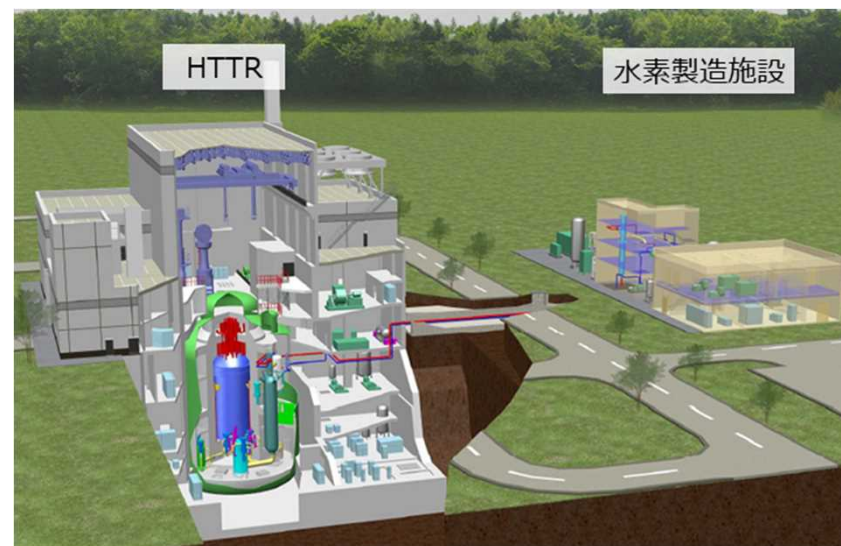
HTTR-熱利用試験に向けた対応

● HTTR-熱利用試験の目的

- 高温ガス炉を用いた水蒸気改質法による水素製造技術の確証
- 水素製造施設と原子炉施設の接続に係る安全設計方針の確立

● 内容

- HTTRに水蒸気改質法による水素製造施設を接続し、水素製造の長期間安定性を確証するとともにプラント動特性及び制御特性を確認する



HTTR-熱利用試験

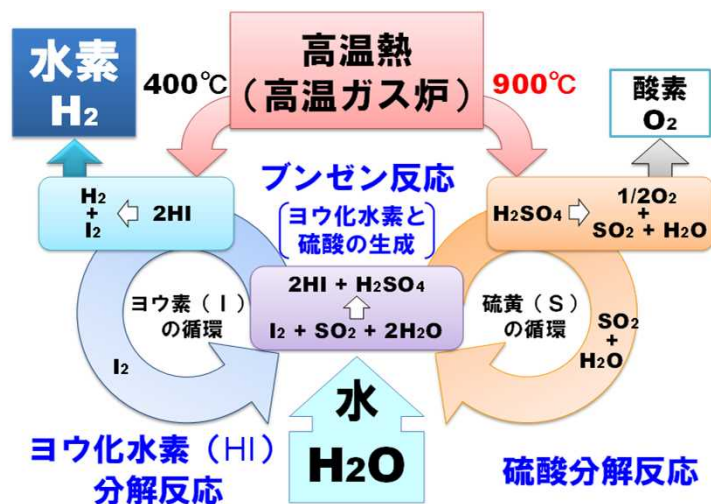
「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を踏まえ、革新的水素製造技術開発（ISプロセス）を推進し、水素社会の実現に貢献する

■ 現状と課題

- 社会実装に向け、長期安定水素製造に係る基盤技術の確立が課題。技術開発のためのデータ取得及び技術実証が必要。

■ 今後取り組むべき主な研究活動

組成連動プラント運転技術開発



- 組成変動に連動して反応器を制御する運転技術を開発
- 連続水素製造試験装置によるシステム化、検証



ISプロセス連続水素製造試験装置

各種照射ニーズや医療用RI製造ニーズに応えるために、「常陽」の新規制基準合格に向けた許認可対応を計画的・着実に進め、運転再開を目指す

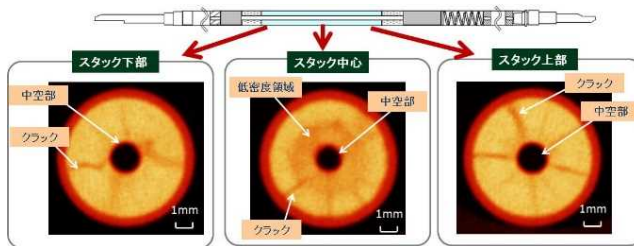
■ 現状と課題

- 現在、新規制基準適合性に係る審査を受けており、今後、令和4年から6年度に安全対策工事を行う予定であり、必要な資源（人員、予算など）を確保する必要がある。

■ 今後取り組むべき主な研究活動

高速炉を用いた核変換技術、Puマネジメント及び高速炉の実用化研究

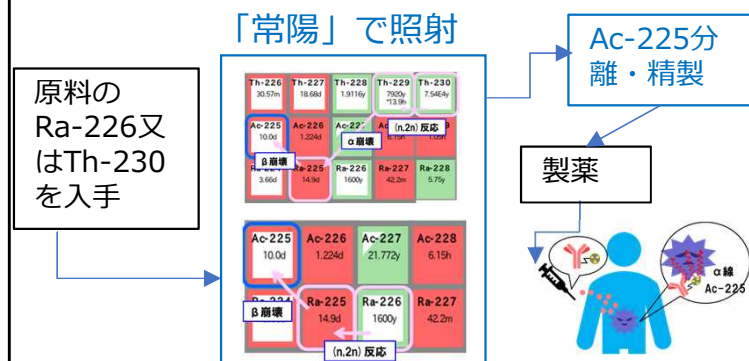
- 放射性廃棄物の減容化・有害度低減に向けた高速炉を用いた核変換技術の研究開発
 - ✓ MA含有MOX燃料の照射性能把握
 - ✓ SmARTサイクル研究 等
- 将来的なPu需給の多様性・透明性の検討に資するPuマネジメント技術開発
 - ✓ Pu燃焼炉の炉心特性データの取得
 - ✓ 高Pu含有燃料（30%超）の照射データ取得
 - ✓ 高次化Puを含むPu燃焼炉の先行実証 等
- 高速炉の実用化に向けた研究開発
 - ✓ 太径中空燃料、長寿命炉心材料、長寿命制御棒等の照射試験 等



「常陽」における照射データ取得例
(太径中空燃料の照射後のX線CT結果)

医療用RI製造技術に関する研究

- Ac-225（内用療法向け）製造 → 高速中性子の活用
- 大学との連携・JAEA技術の活用



長寿命・潜在的有害度の高いマイナーアクチノイドやプルトニウムの分離変換技術に係る工学規模の実用化研究開発に着手し、原理実証段階への移行を目指す

■ 現状と課題

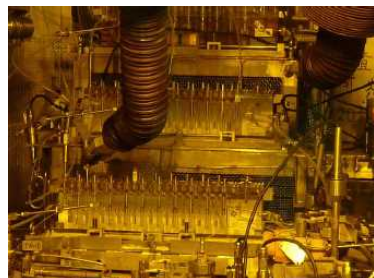
- これまでADS*)や高速炉、サイクル技術に係る基礎基盤的技術開発を行ってきたが、今後は、原理実証段階に移行するための工学規模の実用化研究開発が必要となる。このため、原理実証に必要な施設・装置やシステムコードを整備するとともに、取扱う物質の質・量を上げた分離変換サイクル関連試験やシミュレーション技術の高度化が必要である。

■ 今後取り組むべき主な研究活動

*) 加速器駆動未臨界炉

マイナーアクチノイド及びプルトニウムの分離変換技術

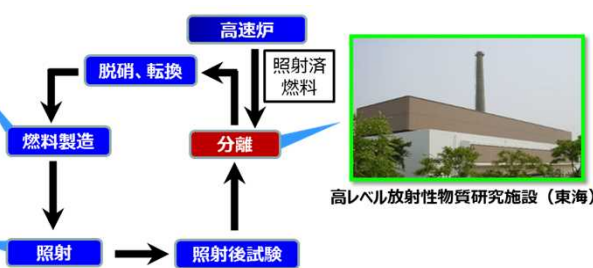
- 分離変換プロセスの改良、窒化物燃料の照射試験準備、乾式再処理プロセスの工学規模試験準備
- 高速炉サイクルを利用したMAの分離変換実証研究 (SmARTサイクル研究)
- ADS技術実証のみならず多目的に活用できる陽子照射施設の概念検討・関連技術開発



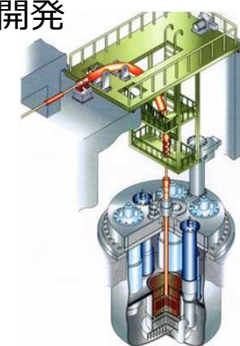
原子力科学研究所 BECKYのayセルでの遠隔操作で分離プロセスの試験を実施している状況



常陽 (大洗)



SmARTサイクル研究



ADSのイメージ

マイナーアクチノイド有効利用方策

- 新たな利用方法を創出する機会となる原子力電池等の研究開発への着手





民間の核燃料サイクル事業への支援

機構の核燃料サイクル研究開発の成果を民間の原子力事業者が活用することを促進するために、民間の原子力事業者からの要請を受けて、その核燃料サイクル事業の推進に必要とされる人的支援及び技術的支援を実施する

■ 現状と課題

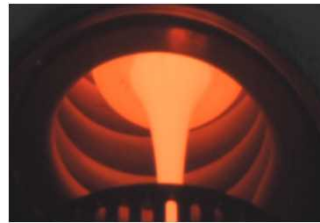
- ・ 機構独自開発技術、東海再処理施設の建設・運転を通じて得たノウハウ等を日本原燃株式会社へ技術移転している。
- ・ 今後も民間の原子力事業者からの要請を受けて、その核燃料サイクル事業の推進に必要とされる人的支援及び技術的支援を実施する。

■ 今後取り組むべき主な研究活動

日本原燃株式会社への技術移転

【原子力機構 再処理廃止措置技術開発センター】

- 機構が開発した技術
 - ◆ ウラン脱硝技術
 - ◆ U/Pu混合脱硝技術
 - ◆ ガラス固化技術



- 東海再処理施設の建設・運転の知見
- 放射線管理、核物質管理等の知見

【原子力機構 プルトニウム燃料技術開発センター】

- MOX燃料の量産技術の開発
- 自動化設備の開発を進めるとともに、検査技術、分析技術等の開発
- MOX燃料の品質保証システムの整備などを進め、MOX燃料製造技術体系を確立

日本原燃株式会社の「再処理事業」及び「MOX燃料加工事業」に関する技術支援・協力

機構の試験フィールドを活用して、新型炉開発と統合した再処理技術開発を、推進し、社会ニーズに対応する

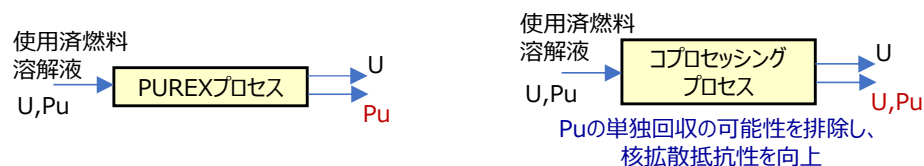
■ 現状と課題

- 軽水炉燃料（MOX燃料も含む）の再処理技術を高度化を図るため、U・Pu共抽出技術やMOX燃料再処理用の機器開発に取り組む。

■ 今後取り組むべき主な研究活動

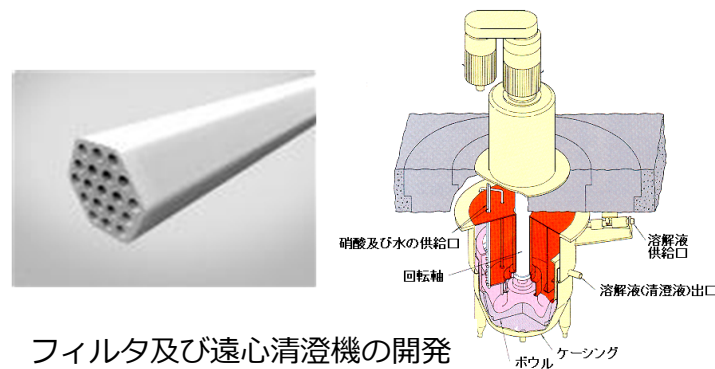
U・Pu共抽出技術

従来の再処理プロセス(PUREX法)では、プルトニウム(Pu)を単独に分離して除染している。U・Pu共抽出法は、PUREX法の改良プロセスであり、プルトニウムを常にウラン(U)が同伴した状態で除染を行う。また、移行期に発生するプルトニウム含有率の異なる種々の使用済燃料(軽水炉ウラン燃料、軽水炉MOX燃料、高速炉MOX燃料)の処理を可能とする。



MOX燃料再処理用機器開発

将来のプルサーマル炉の運転数の増加に備え、軽水炉MOX使用済燃料再処理用の機器開発を行う。



フィルタ及び遠心清澄機の開発



遠心抽出器の開発

地層処分技術の信頼性向上に向けた研究開発を着実に推進し、処分事業、安全規制を支える技術基盤の整備を継続的に強化するとともに、地層処分に関する技術力の強化・人材育成、国民との相互理解の促進に貢献する

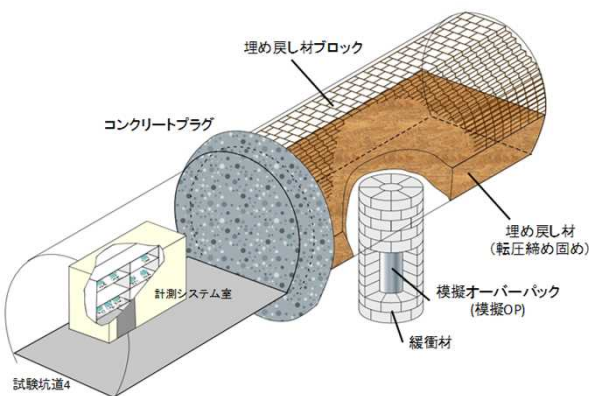
■ 現状と課題

- これまで、深地層の研究施設計画として、東濃地科学センター瑞浪超深地層研究所、幌延深地層研究センターの地下研究施設を活用した研究や、地質環境の長期安定性に関する研究、地層処分研究開発等を行ってきた。今後は、幌延深地層研究センターの地下研究施設を活用した国際連携を強化する。また、土岐地球年代学研究所における年代測定技術などの高度化を通じて、処分事業や安全規制を支える技術基盤整備の強化、人材育成の更なる促進に向け取り組む。

■ 今後取り組むべき主な研究活動

深地層の研究施設計画

- 幌延
実際の地質環境における人工バリアの適用性確認、処分概念オプションの実証、堆積岩の緩衝能力の検証といった必須の課題に関する研究開発を着実に推進する。
- 瑞浪
坑道埋め戻し後の地下水の環境モニタリング調査を実施する。



人工バリア性能確認試験の概要

地質環境の長期安定性に関する研究、地層処分研究開発

- 地質環境の長期安定性に関する研究
年代測定技術等を活用した山地の形成過程推定技術の構築等
- 地層処分研究開発
ニアフィールド環境の長期変遷・核種移行に係る先端的な評価手法の構築等



断層活動や噴火年代等を推定するための年代測定技術開発
(東濃・土岐地球年代学研究所 (ペレトロン年代測定装置))



酸素が少ない深部地下環境を模擬した場での放射性核種の移行挙動の把握
(東海・地層処分放射化学研究施設(QUALITY))

米欧の関係機関や国際機関との連携・協力を図り、国内外のニーズを取り入れながら、核不拡散・核セキュリティ強化に向けた能力構築支援、研究開発等を推進

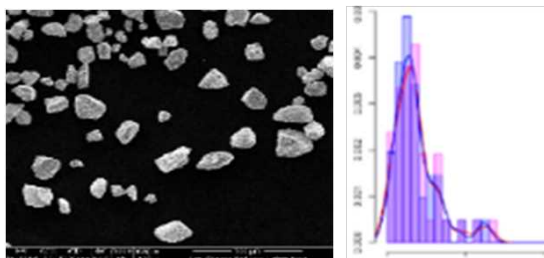
■ 現状と課題

- これまで、核鑑識、核物質の測定・検知などの技術開発、非核化達成事例の要因分析などの核不拡散政策研究、アジア地域を中心とした諸国に能力構築支援等を実施している。
- 引き続き、国際動向を踏まえ、外部との連携強化を図りつつ、核不拡散・核セキュリティの向上に貢献する必要がある。

■ 今後取り組むべき主な研究活動

核鑑識・核検知・測定技術開発

- RIテロの初動対応に資する放射線測定技術開発、テロ発生後も含めた核鑑識技術開発、新たな原子力システム・核燃料サイクルの保障措置・計量管理に活用できる革新的な核物質測定技術開発を行う。
- また、新たな原子力システム及び核燃料サイクルに対する保障措置アプローチなども開発していく。



核鑑識画像データの形態学分析技術

能力構築支援（人材育成支援事業）

- 本事業を受講した参加者が、対象国の核不拡散・核セキュリティ分野の重要ポストに就き、その国の体制整備に貢献する。
- 多様な研究施設を有する当機構の核不拡散・核物質防護実施に係る知見・経験を最大限に活用した能力構築支援を展開することにより、核不拡散、核セキュリティ強化に貢献する。



トレーニングツール（VR・実習フィールド）を用いたトレーニング

- 「ふげん」については、使用済燃料の搬出に向けた準備や施設の解体等の廃止措置を、安全、着実かつ計画的に実施する
- 「もんじゅ」については、平成30年3月に原子力規制委員会が認可した廃止措置計画等に基づき、安全、着実かつ計画的に廃止措置を実施する

■ 現状と課題

- ふげん：原子炉周辺設備の解体撤去に着手。原子炉の解体撤去工事に向け、安全で効率的な解体手順の準備・検討中。令和8年度の使用済燃料搬出完了に向けた輸送容器の準備等を実施中。今後、使用済燃料の搬出と、その後の計画を着実に進める必要あり。
- もんじゅ：平成30年度より第1段階の「燃料体取出し作業」を開始。「『もんじゅ』の廃止措置に関する基本方針」において、約5年半（令和4年末まで）での燃料体取出し作業を終了することになっており、530体のうち260体の燃料体取出しが完了。引き続き燃料体取出しと、その後の計画を着実に進める必要あり。

■ 今後の主な取り組み

新型転換炉原型炉ふげん

- 廃止措置計画に基づき、原子炉周辺設備の解体工事及びクリアランス測定を継続して実施
- 原子炉解体準備に向けて、炉内試料採取に合わせて、遠隔制御技術、位置決め技術等の実証を進めるとともに、ふくいスマートデコミッション技術実証拠点を活用し、水中解体の実証試験を行う
- 使用済燃料の搬出に向けた準備を着実に進める

高速増殖原型炉もんじゅ

- 廃止措置は、概ね30年間で完了することを目指し、燃料体取出し期間、解体準備期間、廃止措置期間Ⅰ、廃止措置期間Ⅱに4区分し、段階的に進めており、現在実施中の燃料体取出し作業を計画とおり完了する
- 第2段階以降に行う具体的作業について検討を進め、廃止措置計画の変更申請を行い、認可を受けた後に第2段階に着手
- 廃止措置計画に基づき、海外先行炉の知見を有効活用して解体計画を策定し、廃止措置に着実に取組む

国内外で原子力発電所の廃止措置ニーズが高まりつつある中、福井県の強みを活かし、若狭地区の電気事業者と連携を図りつつ、技術力強化等により廃止措置ビジネスをリードする地元企業の成長を支援し、地域経済の発展と廃止措置の課題解決に貢献する

■ 現状と課題

- これまで、廃止措置解体技術検証フィールド、レーザー加工高度化フィールド、廃止措置モックアップ試験フィールドを活用し、廃止措置ビジネスの確立と関連企業群の育成を目指しているが、連携体制を全国・世界の市場へ展開する必要がある。

■ 今後取り組むべき主な活動

管理区域を対象とした研修の実施

解体技術研修については、従来の非管理区域を対象とした研修に加え、管理区域を対象とした研修を実施する。



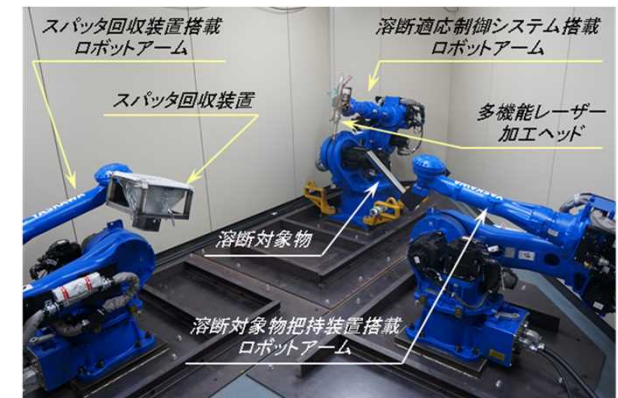
解体手順の確認・検討



配置・干渉検討

レーザー加工高度化の研究開発を実施

レーザー光を用いて廃止措置に係る溶断やレーザー除染などの技術開発を行う。レーザーヘッドを備えた多関節ロボットアームとレーザー溶融・凝固解析コードによる実験的及び解析的なアプローチによる研究を行うことで、レーザー加工条件を最適化する。



多関節レーザー加工アーム試験装置

安全確保・リスク低減を最優先とし、貯蔵中の使用済燃料や廃棄物を安全に管理するために新規制基準を踏まえた安全性向上対策に適切に取り組む

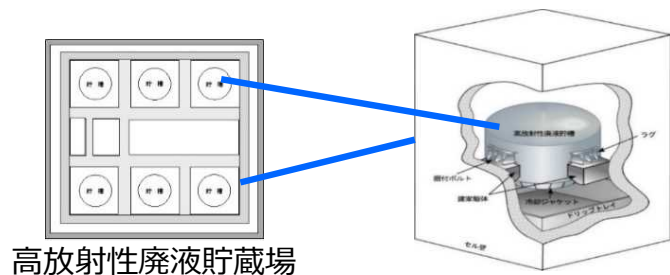
■ 現状と課題

- 潜在的な危険の原因の低減を進めるために高レベル放射性廃液の固化・安定化処理を令和10年度に完了すべく、原子力規制委員会からの指示に基づき提出した東海再処理施設の廃止に向けた計画等を、必要な資源を投入しつつ確実に完遂する必要がある。

■ 今後取り組むべき主な研究活動

高放射性廃液貯蔵の安全性向上

高放射性廃液を貯蔵している高放射性廃液貯蔵場の安全確保



高放射性廃液貯蔵場

高放射性廃液のガラス固化

ガラス固化技術開発施設における高放射性廃液のガラス固化



ガラス固化技術開発施設

溶融ガラス流下

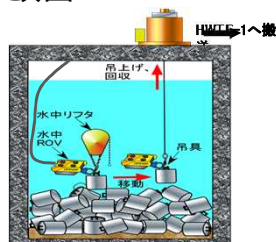
ガラス固化体

高放射性固体廃棄物の取出し/再貯蔵

高放射性固体廃棄物貯蔵庫の貯蔵状態の改善



高放射性固体廃棄物缶



廃棄物取出し方法の例

低放射性廃液のセメント固化

低放射性廃棄物処理技術開発施設における低放射性廃液のセメント固化



LWTF

蒸発缶

核種分離工程

役割を終えた施設を安全、且つ効率的に解体するための廃止措置技術や、低レベル放射性廃棄物を合理的、効率的に処理、処分するための技術開発等を行っている

廃止措置技術開発

施設の廃止措置に係るコスト低減や作業時間の短縮等を図るため、種々の解体技術開発を実施中



- 炉心タンク模擬材を対象としたレーザー穿孔試験を実施
- 遠隔制御性や位置決め技術等を含め、最適な穿孔条件を検証
- 原子炉側部から炉内にアクセスし、炉心タンクをレーザー穿孔予定

廃棄物処理処分技術開発

分析試料を採取し核種データを取得するため、原子炉構造材からの試料採取技術開発を実施中



- 簡易モックアップにより装置の機能確認及び習熟訓練を実施
- 昨年度に採取した圧力管試料を放射化学分析中
- 原子炉側部から炉内にアクセスし、炉内構造物（炉心タンク等）から試料採取予定

廃棄物測定技術開発

金属容器に封入されたウラン廃棄物に対するクリアランス測定技術開発を実施中



- 金属容器内で廃棄物の偏在があった場合でも、0.1Bq/gのウラン廃棄物を、ガンマ線計測により妥当な精度（±30%程度）で定量可能であることを実証
- R3年度は妨害ガンマ線の影響が大きい環境下におけるクリアランス検認手法についても検討予定

“新原子力”の実現に向け、 機構の強み・弱み*を踏まえた戦略 の明確化

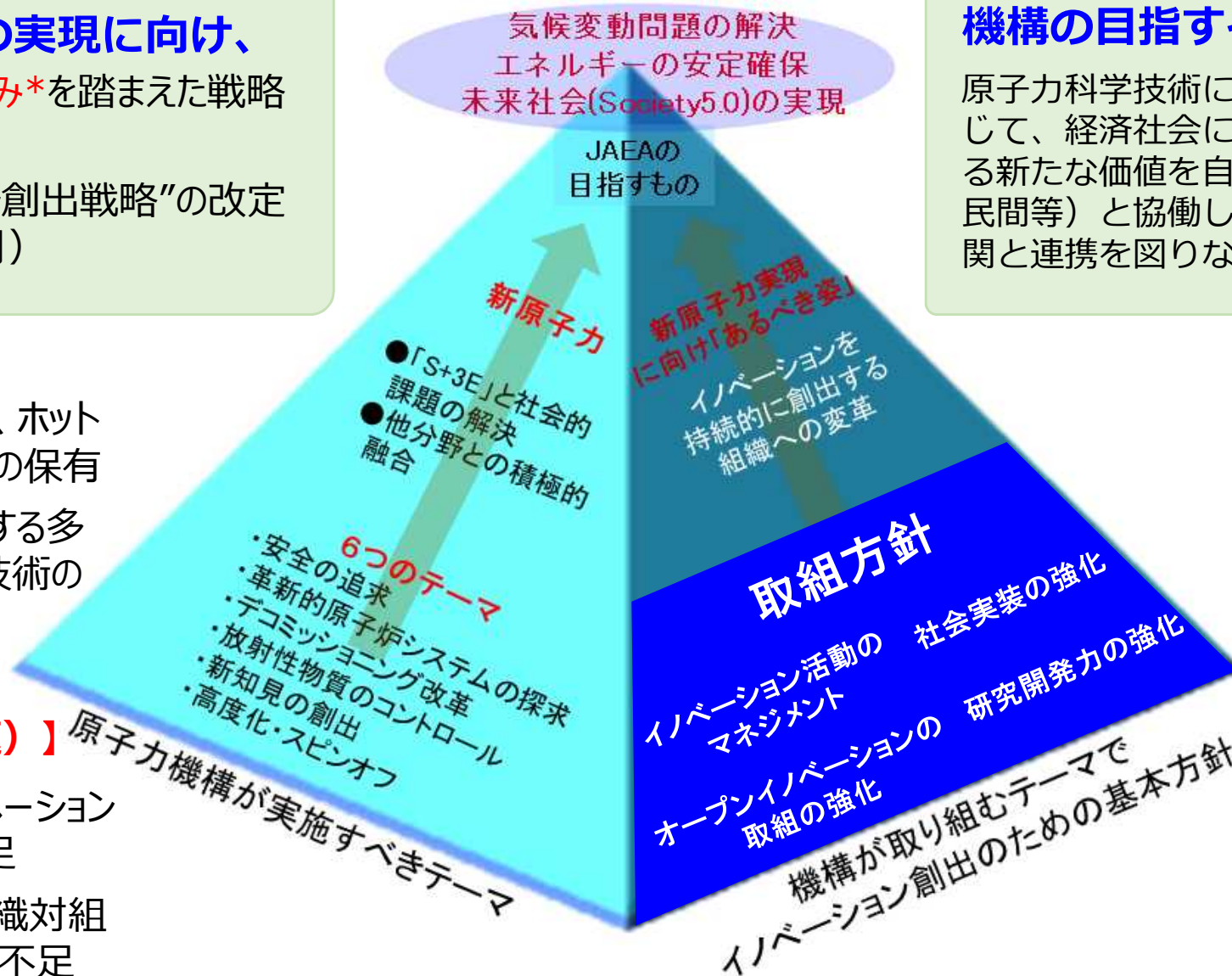
→“イノベーション創出戦略”の改定
(2020年11月)

*【強み】

- ✓ 試験研究炉、ホット試験施設等の保有
- ✓ 原子力に関する多様な知見、技術の保有 等

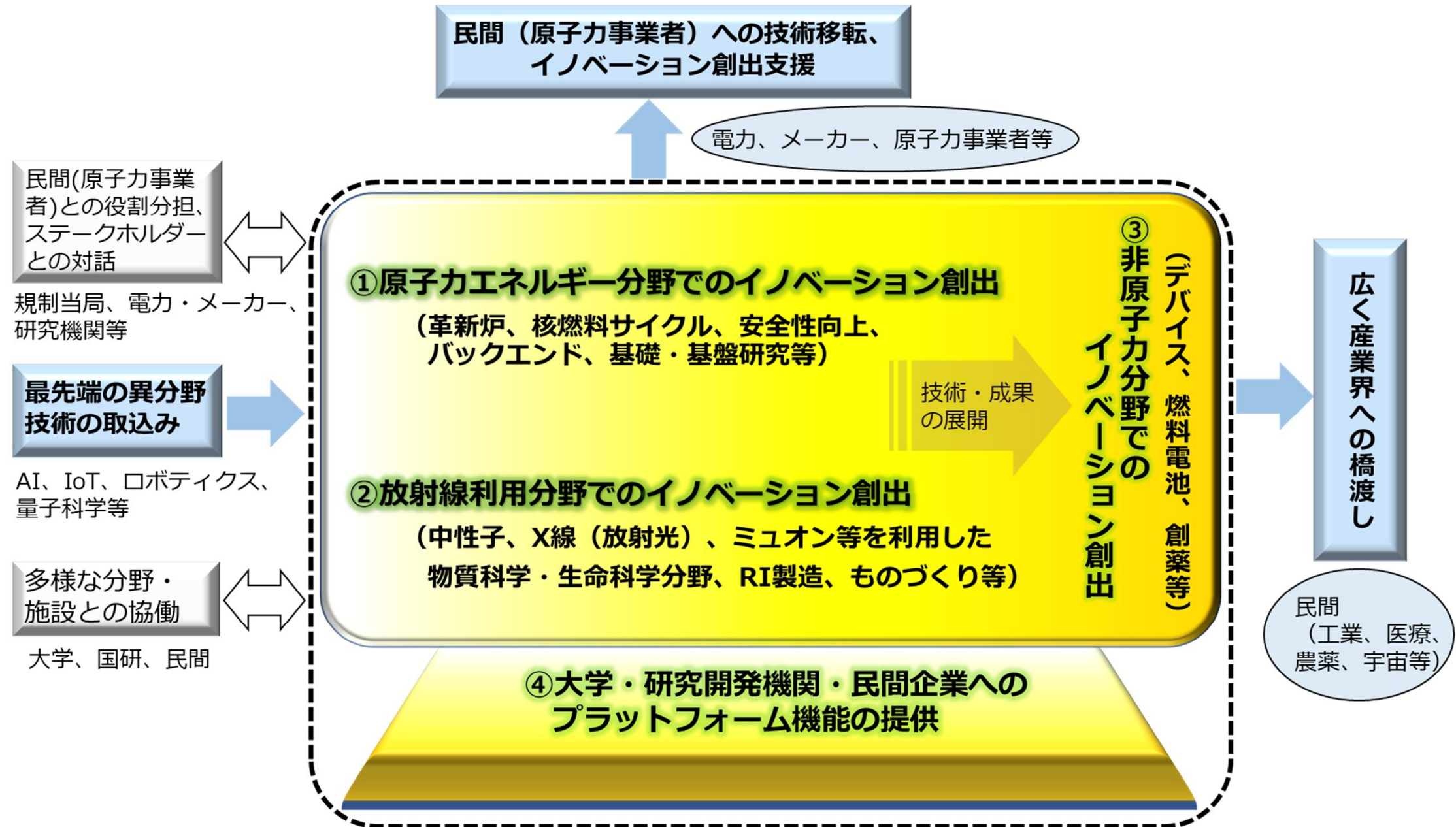
【弱み（課題）】

- ✓ オープンイノベーションの取組の不足
- ✓ 外部との「組織対組織」の連携の不足 等



機構の目指すイノベーション

原子力科学技術による創造的活動を通じて、経済社会に大きな変化を創出する新たな価値を自ら又は他者（大学、民間等）と協働して生み出し、関係機関と連携を図りながら社会実装する



一般分析機器等も含めた機構の有する施設・設備・機器の利用促進を図り、オールジャパンでのイノベーション創出に貢献していく



オープンイノベーションの「共創の場」としての
オープンファシリティプラットフォーム (OFP) を構築する

J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) 幅広い分野の最先端研究を行うための陽子加速器群と実験施設群
JRR-3 (Japan Research Reactor-3) 出力20MWの高性能汎用研究炉

原子力機構が創出する研究開発成果を社会実装していくため、イノベーションコーディネータによるコーディネート活動を活性化していく

JAEA技術サロンの開催

異分野・異種融合促進の新たな取組として、産業界で応用可能な機構の技術を研究者自らが説明し、外部有識者とともに成果の社会還元、実用化に向けた課題等の意見交換を実施



JAEA技術サロン
(2020年10月オンライン開催、2021年2月オンライン開催)

ビジネスマッチング活動

機構の保有技術の橋渡しチャンネルの拡大に向け、技術展示会・商談会等に積極的に出展



JST新技術説明会
(様々な国研、大学等と共催で
数回～10回/月程度開催)
2020年9月JAEA共催にてオンライン開催)

**分析技術展示会
「JASIS」**
(年1回開催)

イノベーション創出の観点から社会ニーズ及び顧客視点を踏まえた研究テーマを設定し、研究開発成果を持続的に創出していく

様々な組織との共創

締結先	研究協力協定（機関名の記載を省略）
東京大学	連携協力の推進に係る協定書
茨城大学	連携協力に係る協定書
岡山大学	連携協力の推進に係る協定書
原子力規制委員会	原子力安全研究による人材育成に関する協力協定
福島県	環境創造センターにおける連携協力に関する基本協定
東京電力(株)	福島第一原子力発電所1号機から4号機の廃止措置等に関する連携協力協定
電力中央研究所	原子力に関する研究開発についての研究協力協定
三菱重工業(株)等	高速増殖炉主概念の研究開発実施に関する基本協定
日本原燃(株)	再処理施設の建設、運転等に関する技術協力基本協定

様々な組織との将来社会の議論を通じた研究テーマの設定へ

研究開発成果の持続的創出においては、

- ・ 開発コストの削減
- ・ 開発期間の短縮 も重要



研究開発のDX化を積極的に進める



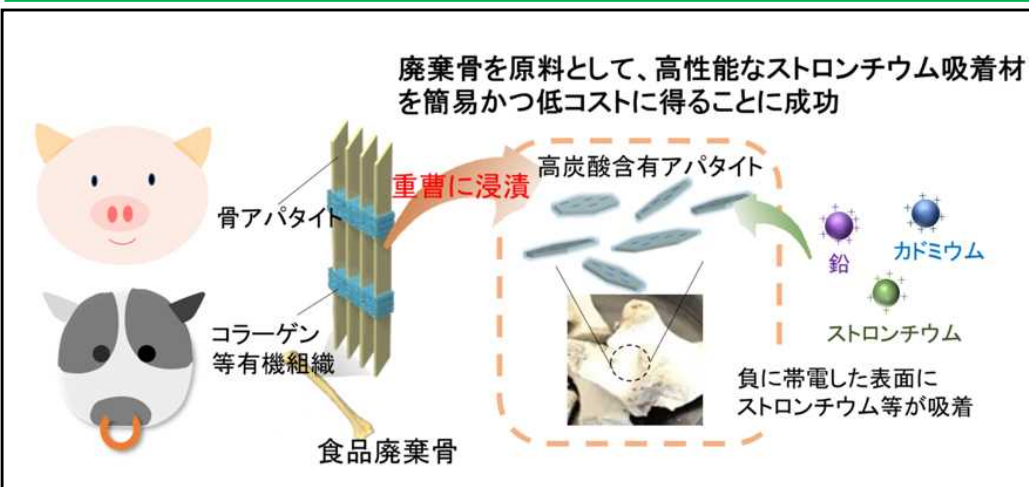
AI支援型革新炉ライフサイクル最適化手法 (ARKADIA) の開発

廃棄豚骨を利用した安価で高性能な金属吸着技術の開発

食品廃棄物の豚骨ガラを重曹水溶液に漬け込むことで作製した高炭酸含有アパタイトは、未処理の骨と比べて250倍、ストロンチウム吸着剤として知られる天然ゼオライト吸着剤と比べて約20倍の効率でストロンチウムを吸着することを確認した。



極めて簡易な方法で、身の回りにある廃棄骨を原料とする環境除染材料を開発することに成功した。



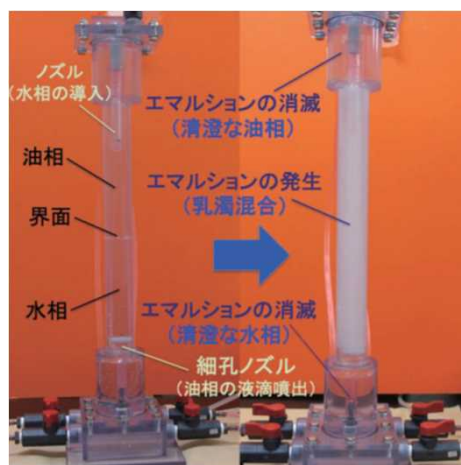
簡便・低コストで、高性能なレアメタル回収手法開発

エマルジョンフロー法^{*)}により、ポンプ送液だけで理想的な溶媒抽出を実現した。

^{*)} 水と混和しない溶媒を水中に液滴噴出させ、水に溶解している成分と水に懸濁・浮遊している成分の両方を回収・除去する方法



レアメタルの溶媒抽出や排水浄化を簡便・低コストで可能とし、原子力機構からのベンチャー企業立ち上げにより実用化した。



- 処理コスト：従来のミキサセトラ比で 1/10~1/100
- 処理スピード：従来のミキサセトラ比で 10~100倍
- 排水中の油分、懸濁成分（微粒子などの固体）も除去

JAEAが有する核燃料・RI を利用し、またJAEAが開拓した独自の核反応測定技術
 を駆使することで、「物理学70の不思議」 (日本物理学会誌第72巻第9号 (通巻823号)
 平成29年9月5日発行 付録) にも示されてい
 る超重元素の「安定の島」領域の新規の原子核を生成させ、新領域の原子核構造と
 核分裂を解明する

■ 現状と課題

- これまで118番元素までの超重元素が人工的に生成されている。自然界では、中性子星が合体する環境下において速い元素合成過程によって次々と重い元素が生成され、超重元素までも作られている可能性がある。そのため、大強度線形加速器を開発し、ウランまでのイオンを高エネルギーかつ大電流で加速し、アインスタイニウム等との反応で中性子過剰な超重原子核を生成して核分裂を調べるとともに、元素合成経路を予測するための核データを取得する。

■ 今後取り組むべき主な研究活動

大強度イオンビームで拓く原子核科学の新展開

- 超重元素の「安定の島」領域に向かう原子核を生成し、新領域の核分裂を解明する。

核融合反応で理研が合成している領域

球形閉殻

安定の島

変形閉殻

β安定線

大強度線形加速器

主な崩壊様式

- α崩壊
- 自発核分裂
- EC崩壊
- β崩壊核種

多核子移行反応により中性子数の多い超重元素を合成する。

250Cf, 249Bk, 248Cm, 238U (E_{c.m.}=780 MeV), 254Es

大強度線形加速器の開発

- 完成から39年が経ち老朽化しているタンデム加速器の高性能後継器として、超伝導線形加速器を開発することで、エネルギーを3倍以上、ビーム強度20倍以上の大強度重イオンビームを発生する装置を開発する。

新規イオン源+線形加速器の製作

イオン源

本提案

線形加速器

ビーム電流が現タンデムの20倍以上になる

~238U

世界初の「安価」「放射線管理区域不要」「前処理フリー」が可能な超小型AMSの研究開発・実用化を始めとして、地層処分技術と異分野との融合により防災・減災や分析技術開発等へのオープンイノベーション化を図る

■ 現状と課題

- これまで、地質環境の長期安定性技術開発として、地質環境調査技術や年代測定技術開発を行ってきた。今後は地層処分技術に関する研究開発で培った技術を防災・減災に適用することにより、機構が持つ技術の社会実装に取り組む。また、分析技術開発として取り組んでいる超小型AMSの開発においては、機構発ベンチャーを通じた様々な産業分野への普及を目指し、実用化を達成する。

■ 今後取り組むべき主な研究活動

地層処分技術に関する研究開発で培った技術災害防止への応用

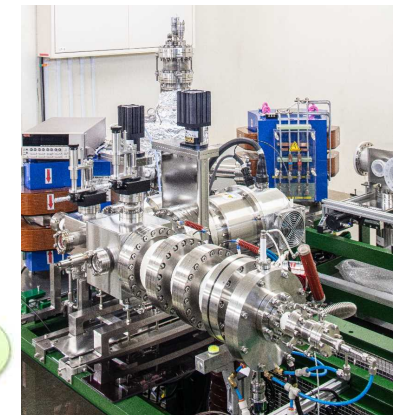
古文書などの歴史記録が残されていない地域における大規模な洪水などの発生年代や頻度をより高い精度で推定・特定するために、ドローン等の空撮技術や精密地形・地質調査技術、土岐地球年代学研究所の年代測定技術を融合し、地層処分における概要調査等に必要の編年技術の構築のみならず、自然災害が想定される地域の防災・減災等の分野に貢献する。



調査用ドローンの例

超小型AMSの開発・実用化

年代測定技術開発で培った特許「イオンビーム機能性透過膜」を用いた装置開発を行い、超小型AMS（加速器質量分析装置、1m×1m）の世界的COEを本機構に確立し、科学・産業を支えるAMSの世界的振興を図る。



開発中の超小型AMS装置

特定中性子線施設の共用実験装置に遠隔利用や実験プロセスの自動化ができる機器を付加することにより、研究者の施設利用機会の増加を図る

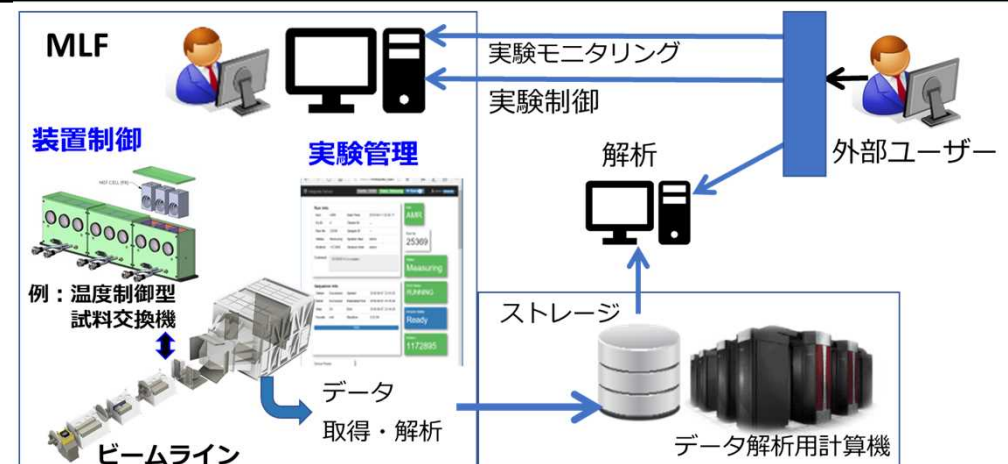
■ 現状と課題

- J-PARCの特定中性子線施設では幅広い分野で産学官の実験課題が実施されており、今までに低燃費タイヤの開発、全固体セラミックス電池開発、固体冷媒を用いた新しい冷却技術等に関わる成果を創出した。新型コロナウイルスの影響が顕在化した2020年3月から4月の期間で220名程度の外部ユーザーが来所できず、78課題の実施に影響した。そこで、ポストコロナ時代に適したリモート化・スマート化を実施し、施設利用機会の増加を図る。

■ 今後取り組むべき主な活動

- 遠隔化機能の付加
遠隔アクセス環境、データ処理・解析計算機の整備
- 実験プロセス自動化の付加
ユーザーの利用時間短縮も考慮した、試料交換・設置装置、ガス混合用精密調湿装置と制御用ソフトウェア、液体窒素自動供給装置等の装置群の整備運用結果を検証し、さらなる効率化・自動化を適宜進める。

遠隔化・自動化整備



原子力研究開発のDX化と新たなイノベーション創出を支援するため、最先端の原子力計算科学技術を集約したプラットフォームを開発・整備する

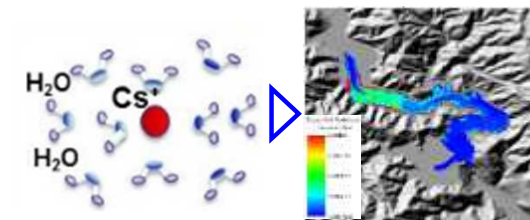
■ 現状と課題

- これまで、基本的な現象を対象に理想的な系で解析を行ってきたが、今後は現実の複雑な現象を伴う解析が必要である。このため、上記目標を達成するためには、高解像度・実時シミュレーション技術、遠隔可視化技術、機械学習マルチスケール計算技術、データ同化技術が必要である。

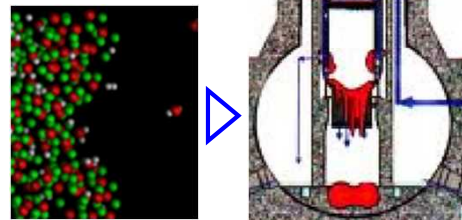
■ 今後取り組むべき主な研究活動

革新的原子力科学技術プラットフォーム

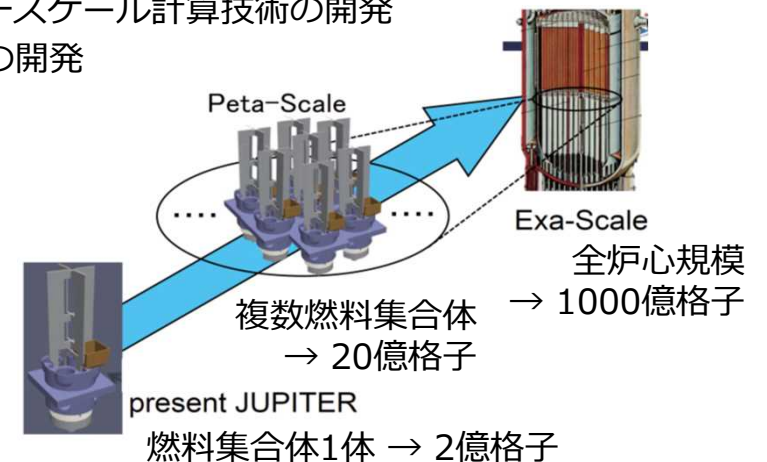
- ミクロレベルの精度を維持したメゾ・マクロ計算を可能とする機械学習活用型マルチスケール計算技術の開発
- GPU当最先端のアクセラレータを活用する高解像度・実時間シミュレーション技術の開発
- 観測データを用いてシミュレーションの不確実性を修正するデータ同化技術の開発
- 大規模な計算データ・観測データの遠隔可視化技術の開発



放射性物質環境動態予測高精度化



過酷事故進展予測高精度化





AI支援型革新炉ライフサイクル最適化手法 ARKADIAの開発

高速炉開発に係るナレッジベースと解析評価技術を統合した先進的設計評価・支援システム（統合評価手法）の開発・整備により、安全性、経済性、保全等全ての観点から、プラントライフサイクルを含めた炉システムの自動最適化を図る

（高速炉設計・開発プロセスの変革）

■ 現状と課題

- これまでに、ナレッジベースと解析評価技術の統合制御による「AI支援型革新炉ライフサイクル最適化手法（ARKADIA：Advanced Reactor Knowledge- and AI-aided Design Integration Approach through the whole plant lifecycle）」の概念を構築し、開発に着手
- 今後、民間の新型炉技術開発活動の支援等に活用することを目的に、重点的に開発を進める

■ 今後取り組むべき主な研究活動

戦略ロードマップに応じ、NEXIP事業等に貢献するARKADIAの開発

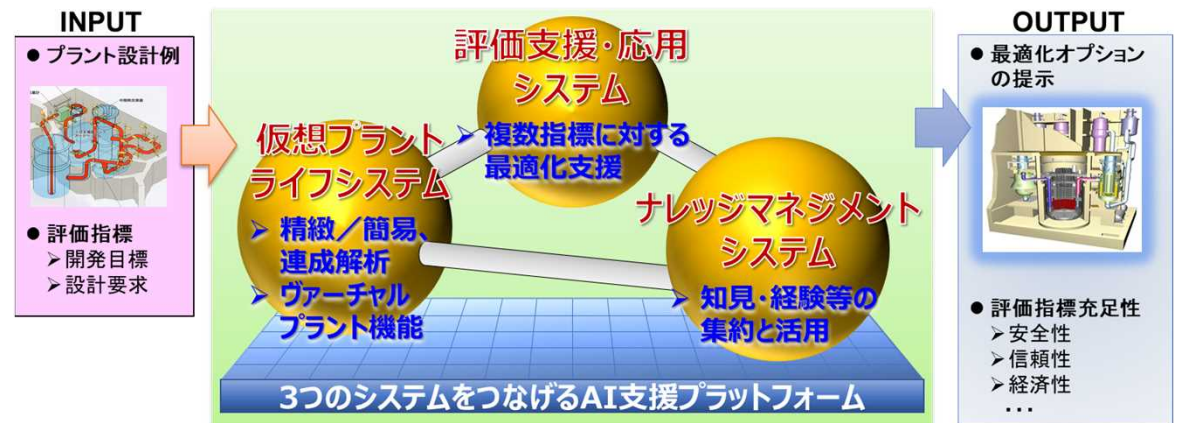
（2023年度まで）

3システム（右図）概念に基づき、AI技術を含め以下の開発を実施

- 設計最適化手法（ARKADIA-Design）
- 安全性評価手法（ARKADIA-Safety）
（シビアアクシデントを対象）
- ナレッジの集約（「もんじゅ」の成果の共有・活用、安全性試験等） ⇒ 民間へ段階的に提供

（2024年度以降）

AI技術の高度化、ナレッジベースの構築・拡充、DesignとSafetyの拡張・統合 ⇒ 技術伝承・人材育成に反映



地層処分計画を支える次世代の処分場の設計・施工や安全評価技術の整備に向けて、地下環境の可視化及びシミュレーションが可能なデジタルツイン技術の開発や、遠隔操作に関するロボティクス技術概念の構築・実証を進める

■ 現状と課題

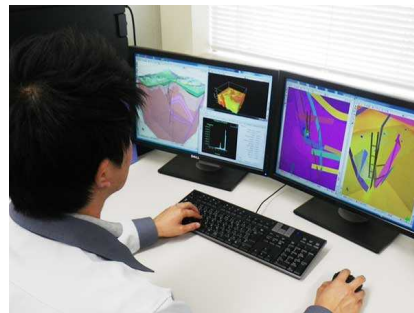
- これまで、深地層の研究施設計画（東濃地科学センター瑞浪超深地層研究所、幌延深地層研究センター）においては、約20年間に及ぶ地表からの調査、地下での坑道掘削、地下坑道内での調査・研究に関する膨大な4次元データが蓄積されており、これらのビッグデータを活用することにより、デジタルツイン技術の基盤の整備、例示・検証を行う。

■ 今後取り組むべき主な研究活動

地層処分技術のデジタルツイン化に向けたAI 技術の体系化

デジタルトランスフォーメーション

(DX) に関わる最先端の可視化、マルチフィジクスシミュレーション、人工知能 (AI) 技術を駆使し、地層処分技術のデジタルツイン化にむけた基盤を整備する。デジタルツインの構築に際しては、東濃、幌延、東海の研究開発拠点で得られた膨大なデータを一元的に統合・管理するとともに、システム計算科学センターのスパコンを活用し、大規模な可視化・シミュレーションが可能な技術の構築を目指す。



地質構造の可視化技術開発

地下施設での遠隔操作等のロボティクス技術概念の構築・実証

高レベル放射性廃棄物を地下深部の処分場に安全に処分するために、オーバーパックや緩衝材を遠隔的に搬送、定置、回収可能な先進的なロボティクス技術概念を構築する。特に、地下の地質環境の性状や坑道掘削の状況をリアルタイムに収集し、AI技術等により高精度かつ自律的にリスク回避・最適化可能なシステムの構築を目指す。



模擬廃棄体を用いた幌延地下坑道での搬送定置試験の様子 (現場オペレーション)

- 原子力機構、京都大学、福井大学の三者が中核的機関となって本事業を推進し、各々の主担当業務において主導的な役割を果たすとともに、中核的機関の主要メンバーによる「全体統括チーム」を組織し、全体進捗管理を行う。原子力機構は代表機関として本事業を統括する
- 中核的機関が中心となり、試験研究炉にニーズを有する機関によるコンソーシアムを構築し、コンソーシアムでの意見を集約しつつ、意見を反映した概念設計及び運営の在り方検討を進める

■ 現状

令和2年度（令和2年11月末～）

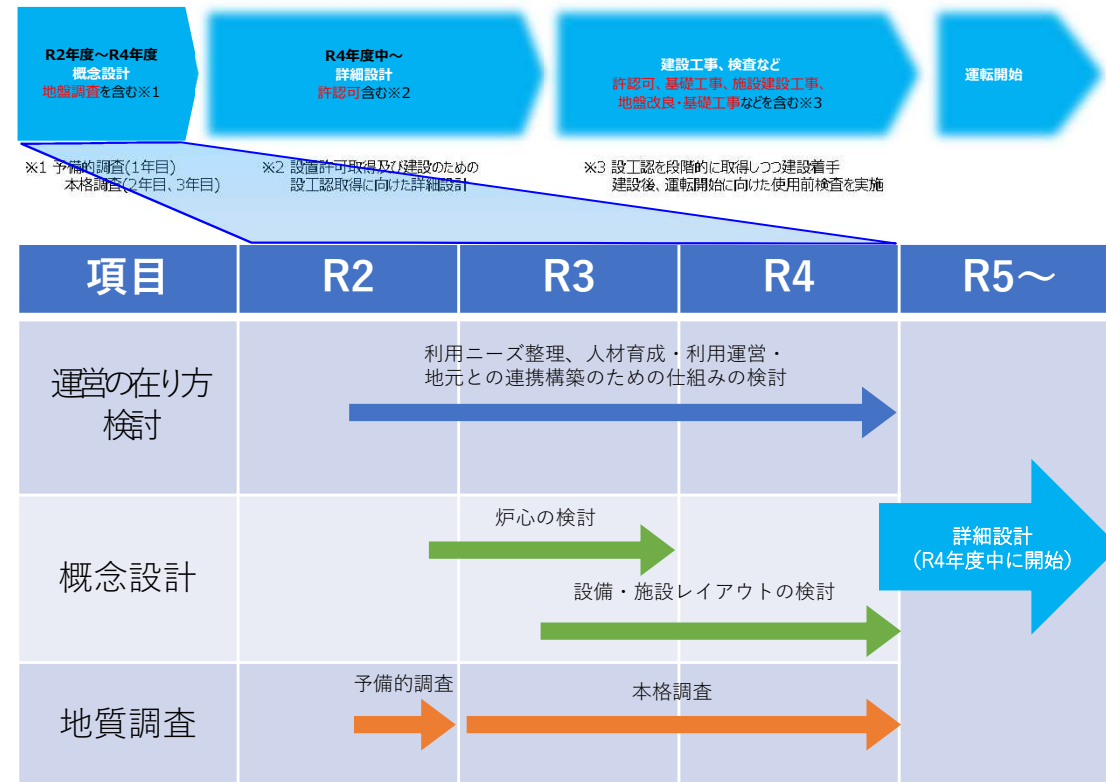
- (1)概念設計（予備的地質調査）
：候補地での100mのボーリング調査
- (2)第1回コンソーシアム委員会を公開で開催
：個別にニーズの聞き取りを行いつつ、炉心検討等に必要なニーズ調査を実施

■ 今後の主な活動

令和3年度～ 令和4年度

- (1)概念設計
 - ・予備的調査結果を踏まえた本格的な地質調査（200mのボーリング×5本など）
 - ・ニーズ調査結果を踏まえつつ、R3年度に炉心の検討、R3年度の途中からR4年度に利用設備を含めた施設全体像の検討
- (2)コンソーシアム（コンソーシアム委員会を年2回程度開催）
 - ・ニーズ調査を継続しつつ、概念設計に反映すべき人材育成、利用運営の仕組み検討
 ⇒ 令和4年度中の詳細設計開始、その後の建設・稼働につなげていく。

全体工程概略



JMTR後継炉としての新たな照射炉の建設に向けた検討を推進するとともに、我が国の原子力研究に係る国際供用の在り方を取りまとめ、照射試験技術及び照射後試験技術の開発・継承及び人材を育成する

■ 現状と課題

- 照射機能の重要性や海外施設利用に係る課題を認識しつつ、関係機関の利用ニーズを踏まえ、共働してJMTR後継としての安全研究や材料照射研究を担う新たな照射炉の建設に向けた検討を進めることが必要。また、JMTR廃止決定を受け、我が国における照射研究の基盤維持、技術継承及び原子力人材育成が必要。

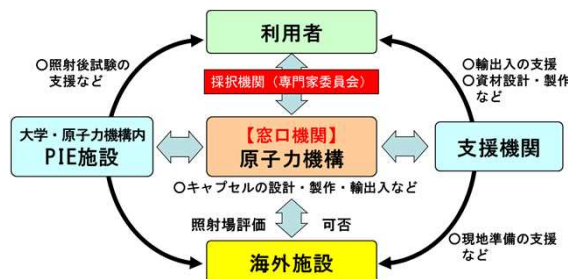
■ 今後取り組むべき主な活動

原子炉安全対策高度化開発

- 最新の規格、基準に対応した設備機器の検討を行い、原子炉技術の人材育成を推進。
 - 規制プロセスのリスクを低減する設備機器の検討
 - グレーデッドアプローチへの適用
 - BDBA対策、保守性に加え、将来の老朽化、廃止措置を見据えた設備機器・構成の検討

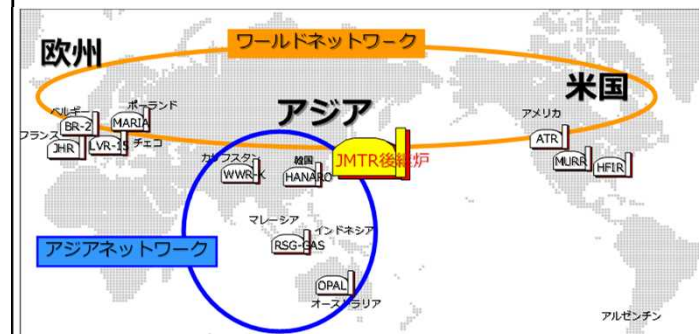
技術継承・人材育成に向けた対応

- JMTRで蓄積した照射技術を継承し、人材育成を図る。
 - 海外炉との照射技術交流
 - 照射試験の実施と技術実証
 - 海外炉での照射場の確保
 - 海外施設の供用促進の枠組み構築



国際的拠点として国際協力体制を構築

- 諸外国との照射試験炉ネットワークを再構築し、国内外の研究者間の交流も図り、新照射試験炉の設計、建設に資する。



照射試験炉ネットワーク再構築のイメージ



JAEAが所掌するミッションに関わる主な国際連携

国際戦略に基づき、研究開発成果の最大化、国際展開、及び国際貢献を目的として、諸外国の原子力機関、国際機関等との連携を推進している

※ 国際協力と原子力機構の国際化を積極的に推進していくことを目的に2017年3月に策定



原子力立地地域からの地域産業支援の要請に対応して、技術相談や技術交流、技術課題解決促進事業等により地元企業に対する技術支援活動を実施していく

技術相談

技術相談、オープンセミナー

オープンセミナーや展示会での情報提供、敦賀商工会議所・武生商工会議所・鯖江商工会議所からの紹介等も活用



技術相談の様子



オープンセミナーの様子
<アクアトム、福井商工会議所で開催>

企業訪問の実施

オープンセミナー

技術課題解決促進事業

<実施事例>

- ・機構が抱える技術課題について成立性を見極める事業
- ・企業から廃止措置に係る提案を募集し成立性を見極める事業



Na中リースパーツ回収治具の検討・試作



(跳ね上げ前) (跳ね上げ時)
全面マスク用追加遮光パーツの検討・試作

成果展開事業



水中観測用放射線システム



ポリ乳酸製洋食器具



多脚型ロボット (例)



レーザー遮光カーテン

技術交流

- ① 福井県鉄工業協同組合連合会
- ② 松浦機械製作所
- ③ セーレン
- ④ 越前焼陶芸
- ⑤ 越前打刃物
- ⑥ 鑑賞コケ育成 等



(もんじゅ現場見学)



(非破壊検査装置見学)
福井県機械工業協同組合との技術交流

技術交流の実施



越前焼陶芸に関する技術交流 コケ育成試験に関する技術交流

期待される成果

1. 地域企業が抱える技術課題の解決に貢献
2. 地域企業の共同研究や研究開発への参画に貢献
3. 地域企業の特許出願や新製品開発へ貢献
4. 以上を通して、地域産業の創出・育成へ貢献

近隣アジア諸国を含めた原子力に関する研究者及び技術者の養成訓練に係る研修事業を進め、国内外における重要な原子力技術者養成機関としての役割を果たす

■ 現状と課題

- これまで、研究開発現場での研究者・技術者の育成、国内研修、大学の支援、国際研修、産学官からなる原子力人材育成ネットワークに係る活動を行ってきた。コロナ禍も踏まえ、上記目標を達成するために、オンライン等を利用した新たな形態も取り入れ、引き続き研修等に取り組む必要がある。

■ 今後取り組むべき主な研究活動

国内外の人材育成に向けた取り組み

- 研究開発現場での研究者・技術者の育成
- 産官学の種々ニーズに対応した実務教育（RI・放射線技術者、等への国内研修、夏期休暇実習生・特研究生・博士研究員等による育成・確保）、大学教育支援（大学連携ネットワーク協定、東大専門職大学院、連携大学院方式）
- 国際協力（文科省受託事業）における講師育成研修、現地でのフォローアップ研修
- 原子力人材育成ネットワーク活動の推進



職員のイノベーションに対する意識の向上を図るとともに、機構外との人事交流、外部研修、外部人材の活用・登用等により、人材を確保・育成していく

職員への啓蒙活動

- ・イノベーション創出に向けた講演会の実施。
- ・各部門におけるイノベーション懇談会を実施。
- ・イノベーション創出戦略に関する意見交換の実施
- ・各部門におけるイノベーションセミナーを実施予定。



イノベーション創出に向けた講演会

人事交流・研修を活用した人材育成

大学、産業界等との積極的な人事交流の実施（R1年度）

	大学	産業界	他
受入れ	586名 (うちクロスアポイントメント制度6名)	60名	17名
派遣	195名 (うちクロスアポイントメント制度12名)	2名	72名

「NEDOが主催する専門研修（高度専門支援人材育成プログラム（SSA））等への参加」

・オープン・イノベーション推進やベンチャー支援等に
必要な知識やスキルなどの支援的素養を習得。