

# 開会にあたって —機構の再生へ向けて—

平成27年12月1日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

副理事長 田口 康

- 国立研究開発法人として新たなスタートのポイント
- 新たな業務運営の取組
- 「もんじゅ」の状況について
- この一年の主な動き(研究開発成果)
- むすび～機構の再生に向けた経営方針～

# 国立研究開発法人として 新たなスタートのポイント

第3期中長期計画（平成27年4月1日より7年間）に基づき、研究開発成果の最大化を図りつつ、原子力科学技術の進展に貢献するために、国の政策等を踏まえて諸課題に全力で取り組む

## 業務実施のポイント

- 安全最優先
- 経営機能強化
- 組織・業務改革の定着化
- 積極的な情報の提供・公開
- 社会や立地地域の信頼確保

## 研究開発実施のポイント

- 大学、産業界等との積極的な連携・協働
- 国際協力
- 原子力安全規制行政支援

# 新たな業務運営の取組（1 / 5）

## ～現状認識～

### 現状の課題認識

- 「もんじゅ」改革、高経年化対策、バックエンド対策 等は、依然として課題であることを強く認識
  - 安全確保を最優先と位置付けた第3期中長期計画に従い、常に自律的に変革・成長できる組織に育てるとともに、安全文化の再構築を図り、安全意識を徹底させることが重要
- 
- 民間で培った企業経営の手法を導入しながら、マネジメント改革、合理化、コスト意識や安全管理の手法を定着させ、国民に信頼される研究開発集団として機構を再生させたい



# 新たな業務運営の取組 (2 / 5)

## マネジメント改革～MVS～

### マネジメント改革としての組織のMVS\*

M

組織のミッション  
(使命)

☆原子力の未来を切り拓き、  
人類社会の福祉と繁栄に貢献する

V

組織のビジョン  
(将来像)

使命を認識しながら将来  
どういう組織になりたい  
か？

☆我が国唯一の原子力研究開発機関としての役割を果たす

- 原子力安全に資する研究開発を推進する組織
- 限られた経営資源(人物金)を有効活用できる組織
- 国際的な原子力利用に貢献する組織

☆高い組織IQで原子力開発研究を主導

- 安全を最優先し、常に自分で考え行動し、改革を続ける  
組織IQの高い組織

S

組織のストラテジー  
(戦略)

将来像を実現するため  
に何をすべきか

☆価値観の共有

(ex.JAEAバリューの策定)

☆ガバナンス・安全統括・内部統制機能の強化

(ex.トップダウン・ボトムアップ・ミドルアップ&ダウン)

☆業務の重点化・合理化・IT化の推進

(ex.リソース再配分・ゲート管理・カイゼン活動)

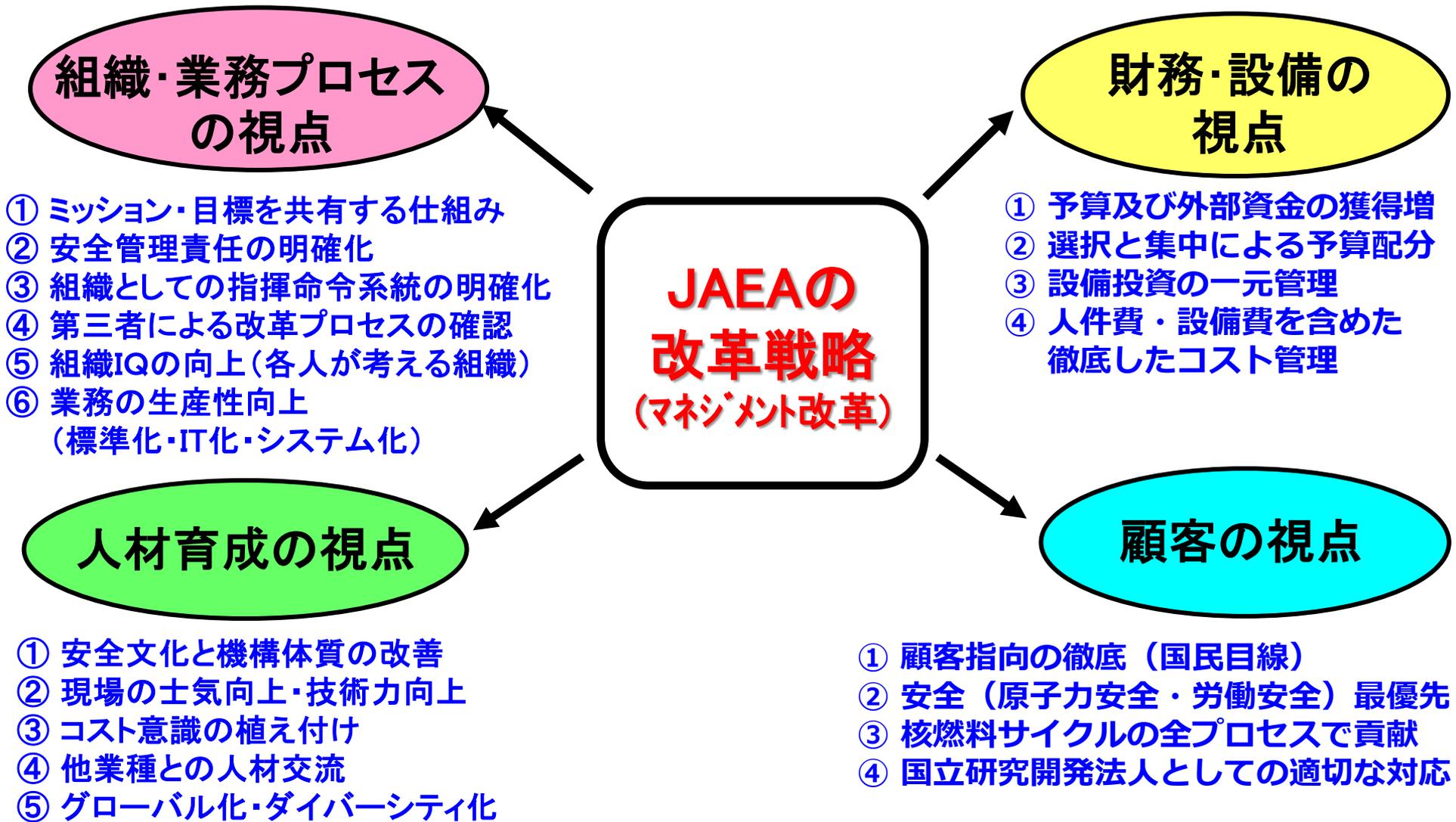
☆マネジメント改革と、明確な実行計画の実行

(ex.目標・施策・KPI・PDCAサイクル)

\* MVS: ミッション・ビジョン・ストラテジー

# 新たな業務運営の取組 (3 / 5)

## マネジメント改革～BSC～



# 新たな業務運営の取組（4 / 5）

## ～施設の集約化・重点化～

### 施設の更なる重点化に向けて

- 施設の安全確保のためには**経営資源の確保**が必要
  - そのアプローチとして**施設の更なる集約化・重点化**を検討
  - 安全確保のための**廃止措置/廃棄物対策**が重要として、並行して検討

#### 施設の安全確保

- 高経年化対策、新規制基準対応、耐震対応に係る計画を策定

- 廃止措置中の施設安全
- 処理施設の安全確保

- 施設ニーズ
- 安全確保に係る負担

#### 施設の集約化・重点化

- 経営資源の確保に向けて過去の経緯にとらわれない計画を策定

- 廃止措置計画
- 処理施設の集約化・重点化

#### バックエンド(BE)対策

- 廃棄物処理処分と廃止措置の加速
- 将来展開を含む合理的なBE計画

「施設の安全確保」と「施設の集約化・重点化」と「バックエンド対策」の  
**三位一体の最適計画策定**を目指す【～今年度末】

# 新たな業務運営の取組 (5 / 5)

## ～機構の重点施策～

### 重点施策に対して集中的に資源を投資

復興加速!

安全最優先!

社会に貢献!

課題解決へ!

待ったなし!

#### 福島復興貢献

- 1F廃止措置を加速する研究開発
- 福島環境回復の研究開発
- 廃炉国際共同研究センターの活動本格化



廃炉国際共同研究センター  
・H27/4/1設置  
・国際共同研究棟  
(H28年度末～)

#### 施設の安全な稼働

- 施設の高経年化対応、新規制基準対応、耐震化対応
- 試験研究炉の再稼働



NSRR



JRR-3

#### 原子力の課題解決・人材育成

- 安全性向上のための規制支援と基盤研究
- 放射性廃棄物の減容化・有害度低減の研究開発
- 高温ガス炉研究開発の推進
- 原子力人材育成



HTTR

#### 「もんじゅ」の確実な安全確保

- 保全計画の見直し及び保守管理体制の強化
- 未点検設備の解消
- 根本原因分析に基づく対策の実施と品質保証の改善
- 潜在する根本的な課題の対策



原型炉「もんじゅ」

#### 将来世代に対する責任ある取組

- バックエンド事業の着実な推進
- 東海再処理施設の潜在的リスク低減
- 施設重点化とリスクの集中管理



ガラス固化施設(TVF)における高レベル廃液処理の状況

平成24年11月

点検時期の延長  
／点検間隔・頻度  
の変更手続きに不  
備があることを原  
子力規制庁に報  
告  
(保守管理不備)



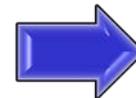
平成24年12月

第36条 保安措置  
命令(未点検機器  
の点検と保全計画  
見直し等)  
第67条 報告徴収  
⇒翌年1月報告



平成25年5月

第36条 保安措置  
命令(体制再構築  
等)  
第37条 保安規定  
変更命令



平成25年6月、  
9月、12月、  
平成26年3月、  
9月の保安検  
査で各種の  
違反・指摘を  
受領

平成26年12月

機構による措置命  
令への取組み報  
告書(旧36条報  
告)提出等  
⇒現在見直し中



平成27年3月、  
6月の保安検  
査で各種の  
違反・指摘を  
受領

平成27年9月30日

第67条 報告徴収(安全  
重要度分類の確定)  
⇒10月21日報告書提出



平成27年11月2日

理事長と原子力規制委員  
会との保守管理不備に関  
する意見交換



平成27年11月13日

原子力規制委員会から文部  
科学大臣に対して勧告

### □JAEAの認識

- 「もんじゅ」を通じて開発成果を確実に生み出していくことは、機構の責務
- 現時点において、「もんじゅ」を預かる当事者として、「もんじゅ」の安全に責任を有している

# 「もんじゅ」の状況について (2 / 3) ～現状の課題と対応～

## 1. 即刻解決すべき点 = 保安措置命令への対応

- ① 保全計画の見直し ⇒ 来春までに保全計画の重要設備の見直し完了
- ② 未点検設備の解消 ⇒ 来春までに残るA、C系列、追加の未点検機器の点検を全て完了
- ③ 根本原因分析(RCA)に基づく対策 ⇒ 対策の有効性評価を実施し、評価結果により、  
対策を修正・追加

## 2. 継続的な改善点 = QMS改善活動

- ① 自律的にPDCAが回る組織となるため業務管理表による管理 ⇒ ライン管理職の徹底指導
- ② ラインで業務が確実にできる組織となるため  
マネジメント能力の高い人材の登用、適材適所のライン配置

## 3. 潜在する根本的な課題とその対策

- ① オールジャパン体制での根本的課題への取組み  
機構内メンバーに加えて、設計製作ノウハウを有するメーカー、運転・保守に関する経験とスキルを有する電力等の民間の知恵を結集したオールジャパン体制で、潜在する課題の洗出しと対策加速等を実施
- ② 経験が少ない人材の活用のため、保守管理業務のIT化・システム化を強力に推進

# 「もんじゅ」の状況について (3 / 3)

## ～今後のスケジュール～

	平成27年度			平成28年度	
	4	7	10	1	7
<b>○ 保全計画の見直し及び保守管理体制の強化</b>					
保全計画見直し	安全重要度分類の変更に伴う保全計画変更			保全計画の見直し (保全単位、技術根拠、要領標準化) 点検記録の評価 (保全の有効性評価)	
保守管理体制の改善	保守管理業務支援システム機能強化(アラート機能改造、管理単位変更等)				
継続的改善					
<b>○ 未点検設備の解消 (特別採用技術評価含む)</b>					
	Bセル系等		Aセル系	Cセル系	
<b>○ 根本原因分析に基づく対策の実施と品質保証の改善</b>					
保守管理不備RCAの対策実施	是正処置計画への反映		是正処置実施、効果の評価 (強化期間)	予防処置の計画的処理	
品質保証の仕組み・運用方法改善	不適合管理委員会、CAP情報連絡会等の運用を改善			改善後の仕組運用、文書適正化、成果物チェック等	
継続的改善					
				保守管理不備報告書改訂(その1)	保守管理不備報告書改訂(その2)
<b>○ 潜在する根本的な課題の対策</b>					
民間の力を借りたオールジャパン体制での根本的課題への取組み				保守管理プロセス総合チェック、保全計画改定加速、保全の有効性評価	
				メーカーのQMS活動経験者による指導 (保守管理業務の自主的総点検、内部監査等を通じて職員を徹底指導)	
	IT化・システム化検討・設備点検要領書の標準化			システム詳細設計 (業務フロー、導入手順など)	

# この一年の主な動き (1 / 7)

- 本日の報告会は、第3期中長期目標期間における最初の回。
- 一方、核融合研究開発及び量子ビーム応用研究の一部業務の放射線医学総合研究所への移管を控える(平成28年4月1日に「量子科学技術研究開発機構」発足)。
- 上記状況の中、原子力機構としてのこの一年の動き(研究開発成果)について、以下を取り上げ紹介する。

## 【トピックス1: 医療用ラジオアイソトープの安定供給に向けて】

「加速器中性子で製造した医学診断用テクネチウム99mの実用化へ大きく前進」

## 【トピックス2: 量子ビーム技術の産業分野への利用拡大】

「原子力機構高崎研のイオンビーム育種技術支援が民間の花の新品種作出に貢献」

\* 下記の顕著な成果の詳細については、本日別途紹介。

- ① ローレンシウム(Lr)のイオン化エネルギー測定に成功⇒英国科学誌「Nature」に掲載
- ② ヨシはなぜ塩水でも育つのかー根の中でナトリウムを送り返す動きをポジットロンイメージングで観ることに成功⇒植物科学分野のトップジャーナル「Plant and Cell Physiology誌」に掲載

## 【現中長期目標期間に機構が取組んでいる主要分野の一年の主な動き】

東京電力福島第一  
原子力発電所(1F)  
事故への対処に係る  
研究開発

安全研究・防災支援  
に係る研究開発

高速炉の研究開発

原子力基礎基盤研究

核融合研究開発

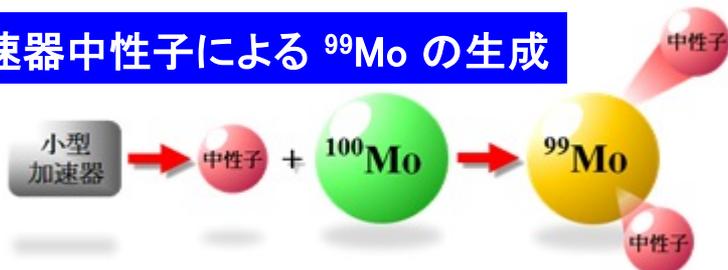
高レベル放射性廃棄物  
処分技術研究開発等

# この一年の主な動き (2/7)

## トピックス1: 加速器中性子で製造した医学

原子力エネルギー 診断用テクネチウム<sup>99m</sup>Tcの  
基盤連携センター 実用化へ大きく前進

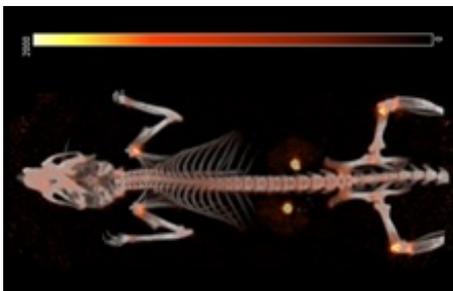
### 加速器中性子による <sup>99</sup>Mo の生成



<sup>99</sup>Moは、放射性医薬品テクネチウム<sup>99m</sup>Tcの親核種

**<sup>99m</sup>Tcを熱分離：純度が  
放射性医薬品基準をクリア**

日本独自の加速器中性子 <sup>99</sup>Mo 生成法の実用化に向けて大きく前進



既存 <sup>99m</sup>Tc 製品と同等の骨診断用放射性医薬品を用いたマウス生体内分布画像

## トピックス2: 原子力機構高崎研のイオン

高崎量子 原子力機構高崎研のイオン  
応用研究所 ビーム育種技術支援が民間の花の新品種作出に貢献



生物試料照射装置 サイクロトロン イオン照射施設TIARA

**「明日を創り、暮らしを守る量子  
ビーム利用支援事業」**

民間団体・企業ユーザーが利用支援を受け、高崎研におけるイオンビーム育種により、新たな特徴が付加された新品種作出に成功



花卉にフリンジの入ったアイビーゼラニウム

夏場高温期に退色しにくいキク

新花色のサルビア (ピンク色・サーモン色)

# この一年の主な動き (3 / 7)

## 福島研究開発部門

### 櫛葉遠隔技術開発センター



櫛葉遠隔技術開発センター開所式  
(平成27年10月19日・内閣総理大臣ご臨席)

- 櫛葉遠隔技術開発センターの一部運用を開始

実規模試験体を用いた格納容器下部の漏えい箇所補修・止水技術の実証試験等、福島第一原子力発電所の廃炉に必要な研究開発を実施

### 廃炉国際共同研究センター

- 廃炉国際共同研究センターを設立



廃炉国際共同研究センター開所式  
(平成27年4月20日・文部科学大臣ご臨席)

国際的な研究開発拠点を構築し、国内外の大学、研究機関、産業界等の人材が交流するネットワークを形成

### 福島県環境創造センター

- 福島県が整備した環境創造センターにおいて活動を開始



環境創造センター(環境放射線センター)  
(平成27年11月16日・開所式)

福島県、国立環境研究所と協同しながら、福島の実環境回復に向けた研究を推進

## 原子力科学研究部門

### 先端原子力科学研究の最近の取組

- 強い磁場でよみがえるウラン化合物の超伝導のしくみを解明



ウラン化合物単結晶

- 強磁場下での新しい機能性の解明や材料開発に期待

### J-PARC加速器性能の飛躍的向上

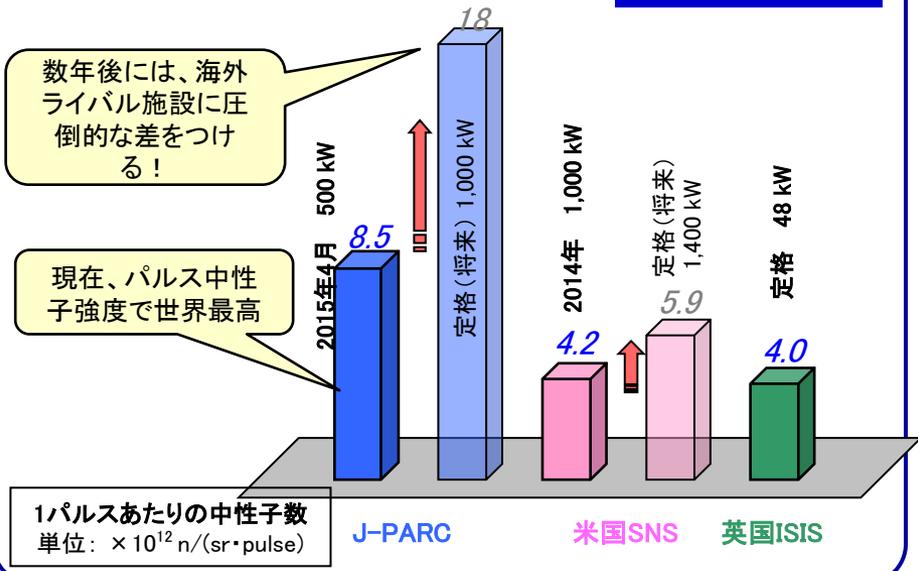
- 3GeVシンクロトロン 1MW相当のビーム加速試験に成功



1MW利用運転(ビーム供給)に向けて前進!

世界最高強度のパルス中性子強度を達成

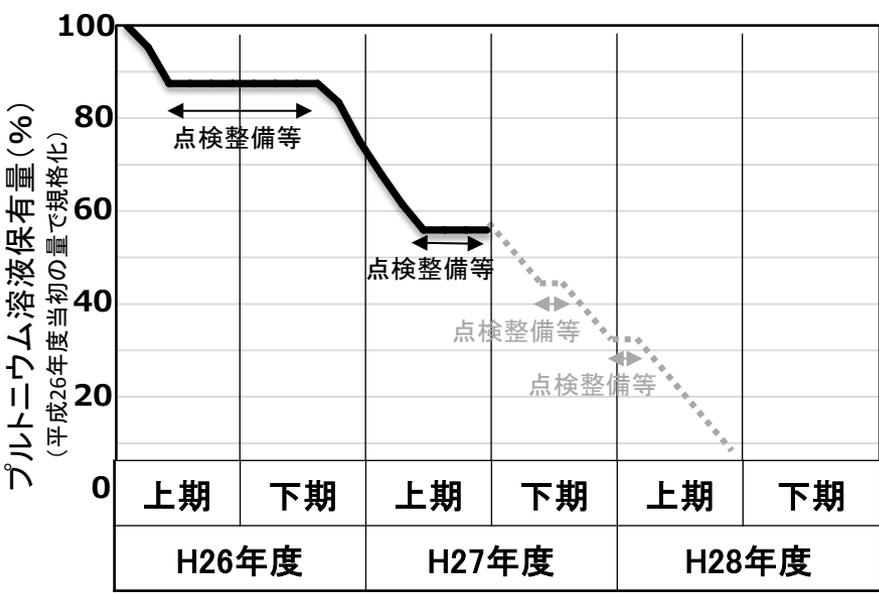
加速空洞



## バックエンド 研究開発部門

### 東海再処理施設の安全性向上に係る取組み

- ▶ プルトニウム溶液の安定化処理を平成26年4月から開始
- ▶ 平成27年9月末までに、当初保有量の約4割を処理
- ▶ 平成28年度(上期)には処理を終える見通し



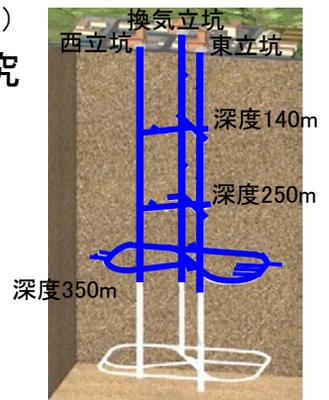
### 高レベル放射性廃棄物処分技術研究開発等

#### 深地層の研究施設における研究開発

- 幌延深地層研究所 (北海道, 堆積岩)  
人工バリアの適用性確認等の研究開発 (深度350m)



模擬オーバーパックの設置状況

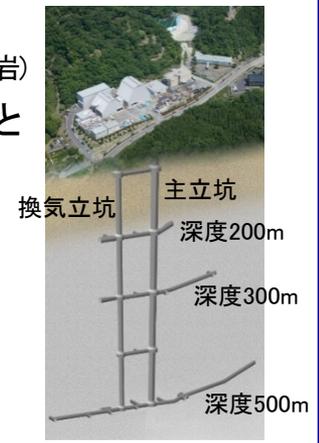


幌延深地層研究所 (イメージ図)

- 瑞浪超深地層研究所 (岐阜県, 結晶質岩)  
湧水量を制御する施工技術開発等と坑道の再冠水試験 (深度500m)



再冠水試験用止水壁の設置状況



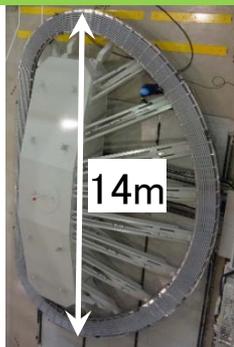
瑞浪超深地層研究所

## 核融合研究開発

### ITER(国際熱核融合実験炉)計画

○日本分担機器の88%の調達取決めをITER機構と締結し、調達を実行中

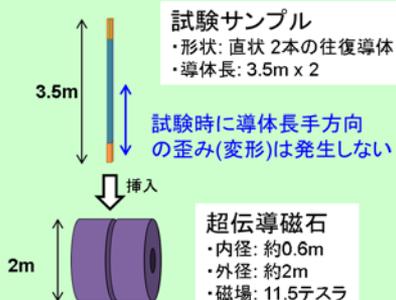
- 大きさ14m×9m、重さ300トンの超大型超伝導コイルの実機製作が進展。±0.01%の高精度巻線長管理に成功。



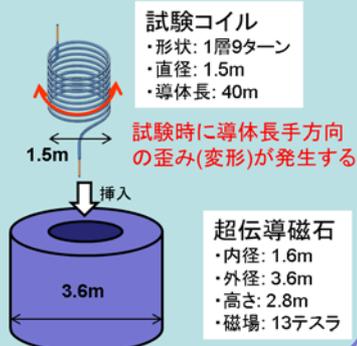
製作中のITER超伝導コイル

- ITERの実験条件で超伝導コイル導体の試験を実施。模擬試験装置での結果から予想した性能よりも高い性能を持つことを実証

#### 模擬試験装置 (スイス・ローザンヌ工科大学)



#### CSモデル・コイル試験装置 (原子力機構・那珂核融合研究所)

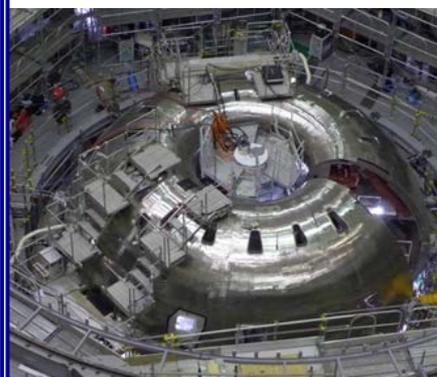


### 幅広いアプローチ(BA)活動

- サテライト・トカマクについて、9月に真空容器340度分の溶接接続が完了。2019年の運転開始に向け、欧州調達の電源機器や極低温冷凍システムの受け入れも順調に進展。



JT-60SAの進捗状況を披露する式典 (H27年4月)



340度分の真空容器



那珂核融合研究所に設置された欧州調達の冷凍機

## 安全研究・防災支援部門

- ・安全研究を実施し規制行政を技術的に支援
- ・1F事故後の新たな原子力防災等に対応

### <規制支援実績の例>

- ・確率論的事故影響評価手法を用いてヨウ素剤の服用等の緊急時防護措置の実効性を評価

→原子力規制委員会「原子力災害対策指針」の改定 (H27年4月)に貢献

更に、航空機モニタリング体制を整備し、緊急時の防災支援機能を強化



CIGMA (Containment InteGral Measurement Apparatus) の外観

### <今後に向けた取り組みの例>

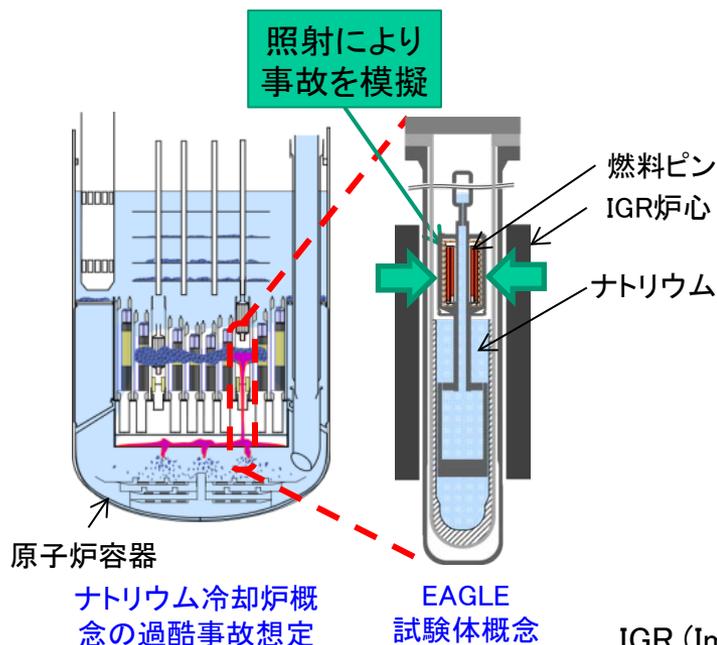
- ・シビアアクシデント時の重要な熱水力現象と安全対策を研究する大型格納容器実験装置(CIGMA)を完成し、実験を開始\*

\*原子力規制委員会からの受託研究

## 高速炉研究開発部門

### 国際協力を活用した研究開発

- 国際共同研究(EAGLE-3)をカザフスタン共和国国立原子力センターと開始。
- 高速炉の過酷事故における溶融燃料の移動と冷却に係る現象解明が目的。



EAGLE-3試験イメージ

IGR (Impulse Graphite Reactor)

## ～機構の再生に向けた経営方針～

### ➤ 国立研究開発法人として新たなスタート

(第3期中長期計画開始、一部業務を移管)

### ➤ 民間手法を導入した新たな取組・進め方

(とるべき姿の明確化(MVS)、施設の集約化・重点化⇒安全確保、バックエンド対策も踏まえた三位一体の計画策定)



### ➤ 重点対策に集中投資

- 福島復興貢献
- 施設の安全な稼働(高経年化対策、新規制基準対応、耐震化対応、試験研究炉再稼働)
- 原子力の課題解決・人材育成(安全性向上のための規制支援、基盤研究)
- 「もんじゅ」の確実な安全確保
- バックエンド対策



我が国唯一の総合的な原子力研究開発機関としての能力を発揮

### ➤ 「もんじゅ」課題解決

- 保守管理プロセス総合チェックや保全計画の抜本見直しなどの徹底的な改善に全力を傾注

# 研究開発成果の最大化に向けて ～第3期中長期計画～

平成27年12月1日

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

理事 大山 真未

# 国立研究開発法人とは

## 旧制度

- 全法人に一律の制度を適用  
(中期目標管理型)

平成27年度～

## 新制度

### 中期目標管理法

- 中期目標管理(3～5年)
- 一定の自主性・自律的裁量

### 国立研究開発法人

- 中長期の目標管理(5～7年)
- 研究開発成果の最大化を目的

### 行政執行法人

- 単年度管理
- 国との密接な連携、公務員身分

## ○国立研究開発法人(研究開発力の強化)

- ✓ 目的: **研究開発成果の最大化**
- ✓ 研究開発の特性を踏まえた制度設計  
(長期性、不確実性、予見不可能性、専門性)
  - 研究開発に係る優れた人材の確保・育成
  - 研究者の能力を最大限引き出す研究開発環境を整備
  - 大学・民間企業等の他機関との連携・協力

科学技術イノベーションの創出

# 中長期目標・計画



## 主務大臣

(文部科学大臣)  
(経済産業大臣)  
(原子力規制委員会)



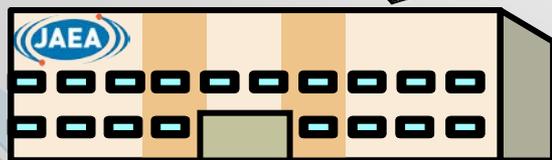
中長期  
目標

指示

申請

認可

中長期  
計画



原子力機構

- ・平成27年度より新目標期間(第3期)
- ・新たな中長期目標に基づき中長期計画を策定

～平成27年4月からの原子力機構は～

### ○ 国立研究開発法人として

- ・新たな理事長のリーダーシップの下、
- ・安全確保を大前提に、
- ・目標期間を7年とし、
- ・**我が国全体の研究開発成果の最大化**を目指す

### ○ 主要な研究分野

- ・東京電力福島第一原子力発電所事故の対処
- ・原子力安全規制行政等への技術的支援と安全研究
- ・原子力の基礎基盤研究と人材育成
- ・高速炉の研究開発
- ・再処理、燃料製造及び放射性廃棄物の処理処分等
- ・核融合研究開発

# 原子力機構の役員

平成27年8月4日現在

理事長  
児玉 敏雄



【業務分掌】  
機構業務の総理

副理事長  
田口 康



【業務分掌】  
機構業務の掌理  
もんじゅ再生本部  
原子力機構改革  
敦賀事業本部(敦賀事業本部長)



監事  
仲川 滋  
【業務分掌】  
機構業務の監査



監事  
小長谷 公一  
【業務分掌】  
機構業務の監査



理事  
森山 善範

【業務分掌】  
福島研究開発部門  
建設、研究連携成果展開



理事  
吉田 信之

【業務分掌】  
高速炉研究開発部門  
安全・核セキュリティ統括、  
核不拡散・核セキュリティ  
総合支援、敦賀事業本部  
(敦賀事業本部長代理)



理事  
田島 保英

【業務分掌】  
核融合研究開発部門  
移管統合準備、人事、国際、  
原子力人材育成、高崎拠点、  
関西拠点、青森拠点、  
那珂拠点



理事  
青砥 紀身

【業務分掌】  
高速増殖原型炉「もんじゅ」



理事  
大谷 吉邦

【業務分掌】  
バックエンド研究開発部門  
東海拠点サイクル研地区、  
幌延拠点、東濃拠点、人形  
峠拠点、



理事  
三浦 幸俊

【業務分掌】  
原子力科学研究部門  
安全研究・防災支援部門  
システム計算科学、試験  
研究炉(※)の再稼働、東  
海管理センター、東海拠  
点原科研地区、大洗拠点



理事  
大山 真未

【業務分掌】  
戦略企画、法務監査、事業  
計画統括、総務、財務、契約  
広報、ダイバーシティ

(※)試験研究炉とは、JRR-3、  
NSRR、STACY、FCA、常陽、  
JMTR、HTTRを指す。

# 研究開発拠点

## 東濃地区

高レベル放射性廃棄物処分技術に関する研究開発（結晶質岩系対象）を実施



## 幌延地区

高レベル放射性廃棄物処分技術に関する研究開発（堆積岩系対象）を実施



## 青森地区

原子炉施設の廃止措置、BA活動等による核融合理工学研究を実施



## 敦賀地区

もんじゅにおけるFBRサイクル実用化へ向けた研究開発、ふげんにおける廃止措置研究を実施



## 福島地区

東京電力(株)第一原子力発電所事故関連の対応業務を実施



## 東海地区

安全研究、原子力基礎・基盤研究の推進、中性子利用研究の推進、高レベル放射性廃棄物処分技術に関する研究開発、FBR燃料加工開発、軽水炉再処理技術開発、原子力研修や防災研修を実施



## 人形峠地区

ウラン濃縮関連施設の廃止措置を実施



## 東京・柏地区

計算科学研究等を実施

## 大洗地区

常陽や照射後試験施設等によるFBRサイクル技術開発、HTTR等による核熱利用研究、JMTRによる軽水炉の高経年化対策等の安全研究等を実施



## 関西地区

光量子や放射光を用いた量子ビーム応用研究を実施



## 高崎地区

荷電粒子等を用いた量子ビーム応用研究を実施



## 那珂地区

ITER計画推進、BA活動を活用した先進プラズマ研究を実施





# 事業の概要

## 第3期中長期計画（平成27年(2015年)4月1日から平成34年(2022年)3月31日までの7年間）

我が国における原子力に関する唯一の総合的な研究開発機関として、安全を最優先とした上で、研究開発活動を通じて、我が国全体の原子力開発利用、国内外の原子力の安全性向上、イノベーションの創出に積極的に貢献。

### 東京電力福島第一原子力発電所事故の対処に係る研究開発

【福島研究開発部門】

廃止措置等

環境回復

研究開発基盤の構築

機構の総合力を最大限発揮し、総力をあげた取組を展開

### 原子力安全規制行政への技術的支援及びそのための安全研究

【安全研究・防災支援部門】

安全研究

原子力防災等に対する技術的支援

### 原子力の基礎基盤研究と人材育成

【原子力科学研究部門】

原子力を支える基礎基盤研究

先端原子力科学研究

高温ガス炉と熱利用技術研究開発

量子ビーム応用研究

J-PARC

原子力人材の育成と供用施設の利用促進

### 核燃料サイクルに係る再処理、燃料製造及び放射性廃棄物の処理処分に関する研究開発等

【バックエンド研究開発部門】

再処理・燃料製造

高レベル放射性廃棄物処分技術

減容化・有害度低減

廃止措置・放射性廃棄物処理処分

### 高速炉の研究開発

【高速炉研究開発部門】

もんじゅ

高速炉の実証技術確立に向けた研究開発

### 核融合研究開発

【核融合研究開発部門】

ITER計画の推進

BA活動を活用・拡充した研究開発

### 原子力の安全性向上のための研究開発等及び核不拡散・核セキュリティに資する活動

原子力の安全性向上

核不拡散・核セキュリティ

### 産学官の連携強化と社会からの信頼確保のための活動

イノベーション創出に向けた取組

国際協力

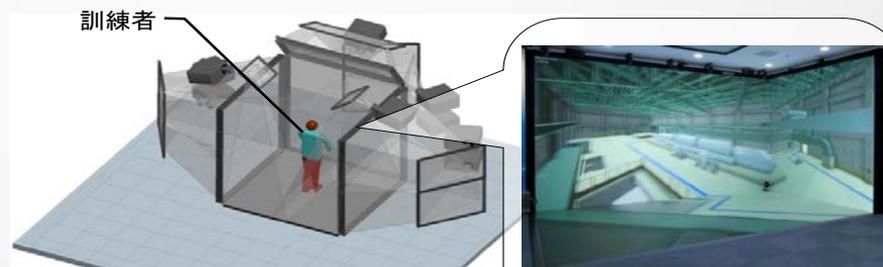
原子力事業者支援

# 福島第一原子力発電所事故の対処

## 廃止措置等に向けた研究

廃炉国際共同研究センターを中心に、国内外の英知を結集して研究開発を実施し、福島第一原子力発電所(1F)の安全で確実な廃止措置等に貢献

- 炉内状況把握に向けた事故解析手法の開発
  - 放射性核種の挙動評価
  - 炉材料の変形・破損挙動評価
- ロボット技術を集約した遠隔技術開発
  - 遠隔操作装置・機器、炉内調査技術の開発
  - シミュレーション手法、訓練システムの開発
- 1F廃棄物や汚染水対策の検討
  - 処分の安全評価手法の整備
  - 分析技術の高度化
  - 1Fサイトの地下水流動評価 など



作業現場を模擬して遠隔ロボットの操縦訓練を繰り返して行える仮想現実空間訓練システム

### 廃炉国際共同研究センター (H27年4月～)

- 研究開発及び人材育成の拠点
- 国内外の大学、研究機関等による廃炉研究のための共同利用施設



廃炉国際共同研究センター  
 ・H27/4/1設置  
 ・国際共同研究棟(H28年度末～)



楢葉遠隔技術開発センター  
 ・研究管理棟(H27/9/24～)  
 ・試験棟(H28/2～)



大熊分析・研究センター  
 H29年度運用開始予定

# 福島第一原子力発電所事故の対処

## 環境回復に係る研究

予測される放射性Csによる線量や今後有効な対策について科学的見地から提言し、合理的な安全対策の策定、農林業等の再生、各自治体の帰還計画立案等に貢献

- 人が容易に立ち入れない広範囲な山や森林、湖沼等の線量を**高精度、容易、迅速にモニタリング**する技術開発
- 環境中Cs動態挙動を評価し、**将来にわたる広域の放射線影響**を評価
- Cs吸着メカニズム等の解明と、これを活かした**合理的な減容方法、再利用方策**の検討



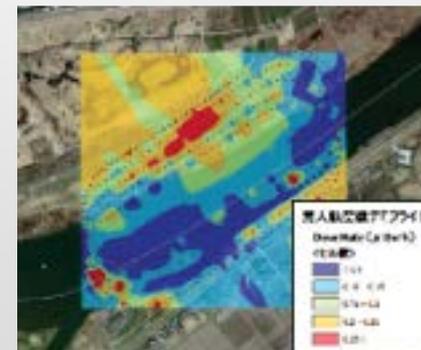
森林等の線量を迅速・高精度に測定するためのマルチコプター(左)と水底測定用の無人潜水艇(右)



環境中におけるCsの動態予測



福島県環境創造センターを拠点に、福島県、国立環境研究所と連携



放射性物質の分布を視覚化



放射線モニタリングを行う  
無人ヘリコプターの離陸前  
の動作確認中

# 原子力安全規制への技術的支援と安全研究

原子力施設の安全確保のための研究開発により、安全規制行政を技術的に支援

## 燃料安全研究

事故時の燃料破損挙動把握と影響評価

## 材料・構造安全性研究

重要機器等の経年劣化や放射線影響評価

## 熱水力安全研究

原子炉冷却に係る事故時の現象把握と影響評価

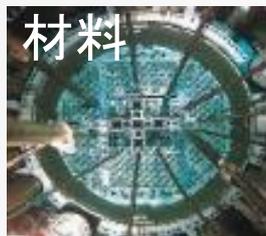
## 核燃料サイクル施設、放射性廃棄物に係る安全研究

重大事故の発生可能性・影響評価

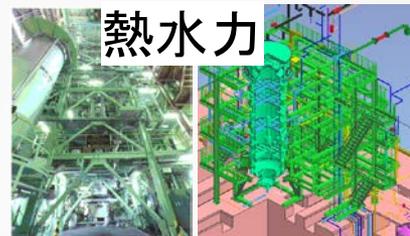
燃料デブリ等の臨界安全評価  
1F廃棄物等の保管・貯蔵・処分に係る安全評価



燃料  
原子炉安全性研究炉 (NSRR)



材料  
材料試験炉 (JMTR)



熱水力  
大型非定常試験装置 (LSTF)  
大型格納容器試験装置 (CIGMA)

核燃料サイクル  
放射性廃棄物



燃料サイクル安全工学研究施設

災害対策基本法等に基づく指定公共機関として、原子力災害時等における人的・技術的支援を実施

訓練等を通して原子力防災対応の実効性を高め、**原子力防災対応の基盤強化**を支援

人材育成プログラムや訓練等を通じ、**機構内専門家や、国内の原子力防災関係要員の育成**を支援

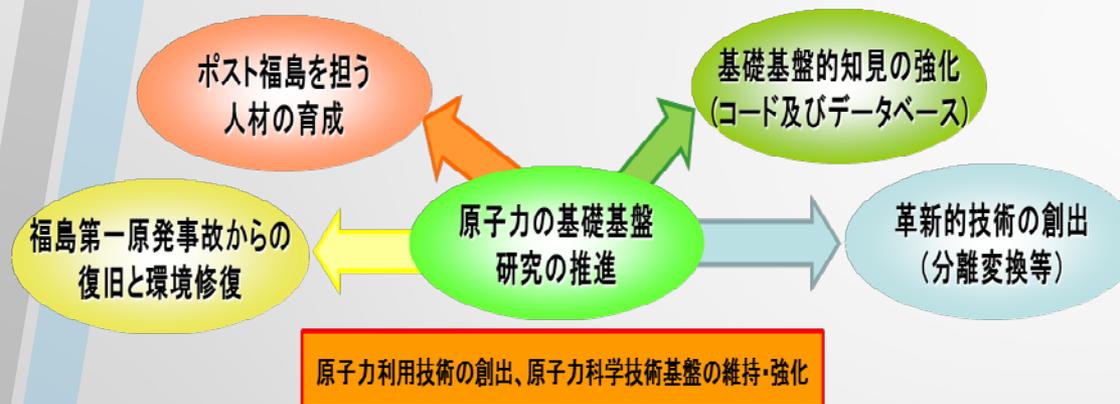
原子力防災分野における**国際貢献**



# 原子力の基礎基盤研究と人材育成

## 基礎基盤研究、先端原子力科学研究

原子力利用を支える科学的知見や技術を創出し、原子力科学の発展につながる可能性を秘めた挑戦的かつ独創的な研究を実施



- 原子炉内の現象を理解するため、中性子と原子核との反応に関する核特性コードおよびデータベース拡充により、廃炉・廃棄物処理技術開発に貢献
- 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・評価に関する研究により福島支援、環境回復に貢献
- 先端的な核物理、核化学的手法により、アクチノイドの科学的性質を明らかにする事により核変換技術に貢献
- 物質中の電子が持つ「スピン」を利用したエネルギー変換機構や情報伝達機構の解明により、耐放射線性電子デバイスの開発に貢献

アクチノイド  
先端基礎科学

原子力先端  
材料科学

・凝縮系科学、重元素科学等  
→ 核変換、MA核データ等

・エネルギー変換材料科学等  
→ 熱電材料、多機能材料等



森林中の放射性セシウムがどう動くのかを調べるために、川の水に含まれる放射性セシウムを捕集するためのカラムを取り付け中

# 原子力の基礎基盤研究と人材育成

## 高温ガス炉とこれによる熱利用技術の研究開発

高い安全性を有する高温ガス炉の実用化に資する研究開発を通じて、発電、水素製造など原子力利用の更なる多様化・高度化に貢献

### 固有の安全性

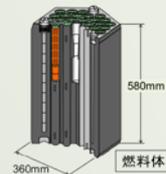
#### セラミックス被覆燃料

1600°Cでも放射性物質を閉じ込める



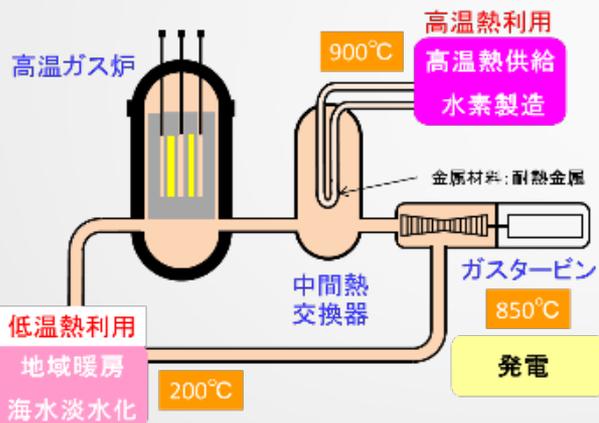
#### 黒鉛構造材

耐熱温度2500°C



#### ヘリウム冷却材

高温でも安定 (温度制限なし)



### 経済効率性の向上

- 80%近い熱利用率、約50%の発電効率

### 環境への適合性

- 軽水炉の1/4程度の使用済燃料量
- 燃料電池車への水素供給、化学工業等への熱供給による炭酸ガス排出の大幅削減

### エネルギーの安定供給

- 原子力による水素の安定供給

➤ 高温ガス炉産学官協議会にて、将来の実用化像、課題等の議論を開始 (H27年4月～)

➤ HTTRを再稼働し、高温ガス炉の固有安全性を確証

➤ ISプロセス水素製造に係る運転制御技術、信頼性等を確証

➤ HTTR-熱利用試験施設の設計、安全評価を実施

➤ 産学官が連携し、技術的・経済的な実証を担うリードプラントの概念構築等12

高温ガス炉 HTTR

熱利用施設

ガスタービン 発電設備

水素製造 設備

HTTR-熱利用試験施設

熱化学法による 水からの水素製造

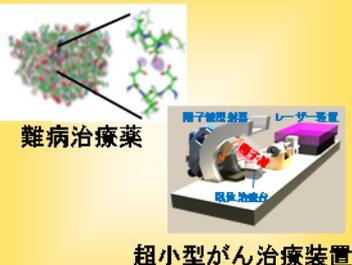
ISプロセス連続水素製造試験装置

# 原子力の基礎基盤研究と人材育成

## 量子ビーム応用研究

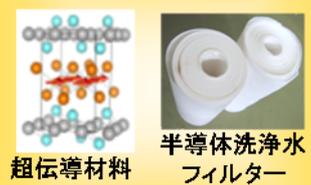
量子ビームの高品位化や利用技術の高度化、世界最高レベルの研究開発環境を広く社会に提供し、科学技術・学術の発展、新分野開拓と産業振興に貢献

健康で安全・安心に暮らせる社会の構築



生命科学・先端医療・バイオ技術

世界を勝ち抜く産業競争力の強化



物質・材料

地球温暖化・エネルギー問題の克服



環境・エネルギー

重点分野への貢献



施設・設備の整備とビーム技術の研究開発



JRR-3  
研究炉

TIARA

J-PARC

Spring-8

関西光科学研究所

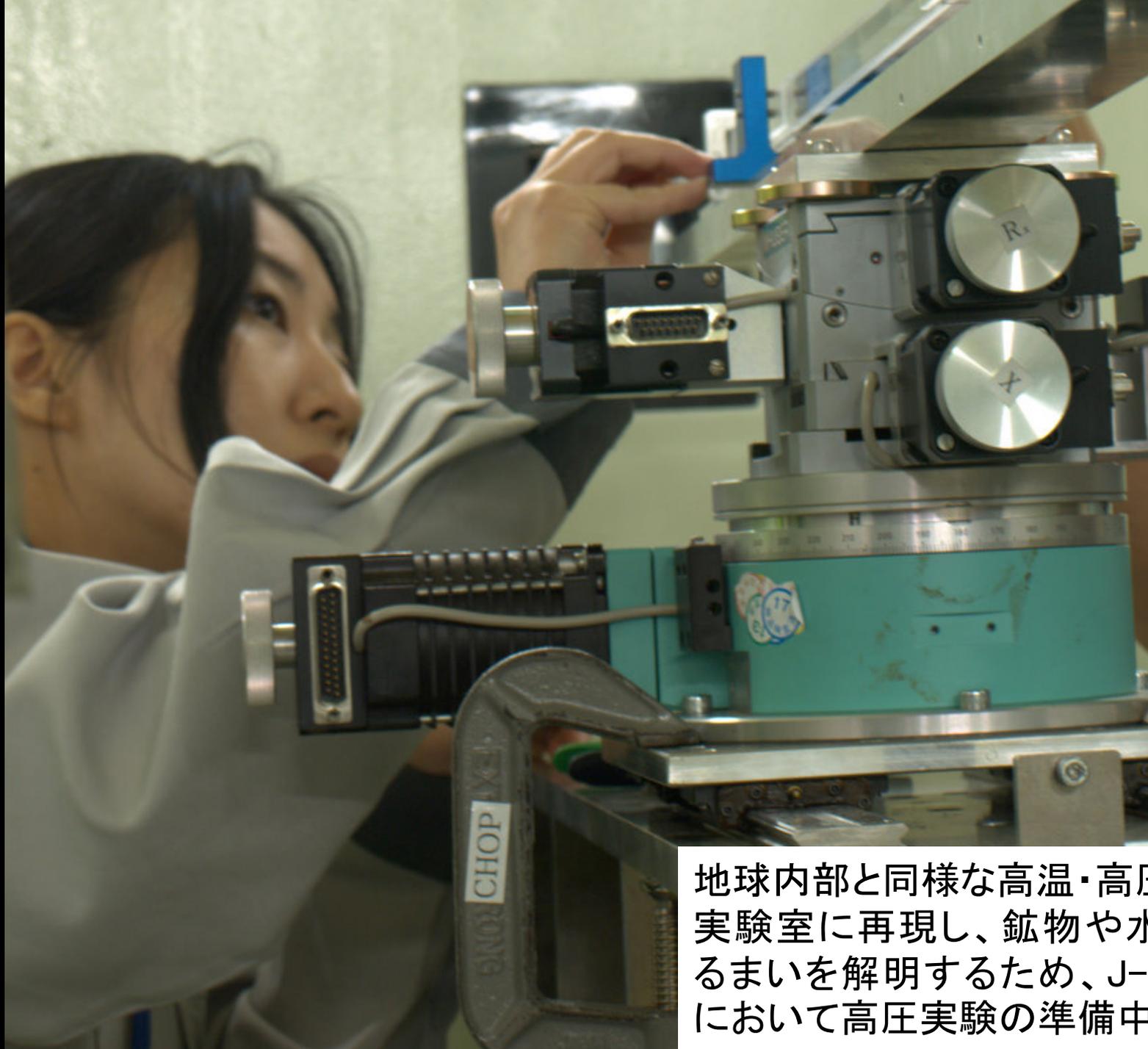
加速器

ラジオアイソトープ

レーザー

量子ビームプラットフォーム

- マイナーアクチノイド分離等のための新規抽出剤の開発や、セシウムの土壌等への吸脱着メカニズムの解明など、廃炉・廃棄物処理、環境回復に貢献
- 放射線グラフト重合技術を用いたセシウム捕集材の開発など、福島支援に貢献
- 中性子や放射光を用いた大型構造物内部の歪み・局所応力評価技術の開発など、発電プラントの安全性確保・国土強靱化へ貢献
- J-PARCについては、1MW相当の世界最強中性子パルスビームの安定供給を目指す



地球内部と同様な高温・高圧力を  
実験室に再現し、鉱物や水のふる  
まいを解明するため、J-PARC  
において高圧実験の準備中

# 高速炉の研究開発

「もんじゅ」については、保安措置命令への対応に取り組み、安全確保を最優先とし運転再開を目指す

高速炉の性能、信頼性、安全性の実証、技術基盤の確立に資することで、我が国のエネルギーセキュリティ確保や放射性廃棄物の長期的なリスク低減に貢献



高速増殖原型炉「もんじゅ」

高速実験炉「常陽」

## 国際協力の枠組みを活用した高速炉開発

2カ国/3カ国(日仏米)間協力

日仏協力

日露協力

日米協力

日米仏協力

12カ国1機関

第4世代原子カシステム国際フォーラム (GIF)

安全設計基準の国際標準化



日仏ASTRID協力

- 「もんじゅ」については、「保守管理上の不備対応」、「新規制基準対応」、「破砕帯対応」等の課題解決に取り組む。
- 性能試験再開に向けて、もんじゅ改革を着実に進め、新たな「もんじゅ」組織の下で、保全技術向上等、運転・保守管理体制を強化していく。
- 「常陽」を再稼働し、破損耐性に優れた燃料被覆管材料の照射データ等、燃料性能向上のためのデータを取得
- 高速炉の実証技術の確立や高速炉安全設計基準の国際標準化に向けて、日仏 (ASTRID協力)、日米等の二国間協力やGIF等の多国間協力による国際協力を活用した高速炉開発の推進と国際貢献

# JAEA 核燃料サイクルに係る再処理、燃料製造及び放射性廃棄物の処理処分に関する研究開発等

## 放射性廃棄物の減容化・有害度低減の研究開発

高速炉や加速器を用いた核変換など、放射性廃棄物の減容化・有害度の低減に向けた研究開発により、放射性廃棄物の処理処分の幅広い選択肢を確保

### 分離変換技術を取り入れた核燃料サイクルの研究開発



- マイナーアクチノイド(MA)分離回収・燃料製造に関する技術的成立性を評価し、既存施設を用いた小規模なMAサイクルの実証試験に着手
- 「常陽」を活用し、MA含有MOX燃料の照射性能を把握するため、米国、仏国との共同照射試験を実施
- 核変換実験施設の建設に向けて必要な要素技術開発、施設の検討や安全評価等に取り組み、建設着手を目指す。
- 機構内の基礎基盤研究と工学技術開発の連携及び国内外の幅広い産学官の研究者との連携を強化



# 核燃料サイクルに係る再処理、燃料製造及び放射性廃棄物の処理処分に関する研究開発等

## 使用済燃料の再処理、燃料製造に関する技術開発

再処理技術の高度化や東海再処理施設の廃止措置に向けた取組等により、核燃料サイクル事業や、再処理施設等の廃止措置技術体系確立に貢献



高レベル放射性廃棄物ガラス溶融炉



東海再処理施設

- 新型ガラス溶融炉の設計・開発、MOX燃料の再処理・燃料製造に向けた基盤技術開発を実施
- 東海再処理施設については、廃止措置に向けて廃止措置計画の策定等を計画的に実施
- Pu溶液の固化・安定化、高レベル放射性廃液のガラス固化を確実に実施

## 原子力施設の廃止措置及び放射性廃棄物の処理処分



原子力施設の設置者及び放射性廃棄物の発生者としての責任で、安全確保を大前提に、原子力施設の廃止措置、廃棄物の処理処分を計画的かつ効率的に実施

- 低レベル放射性廃棄物は、廃棄物データの管理、減容・安定化に係る処理、廃棄体化処理手法等の検討を計画的に実施
- 埋設処分事業は国の基本方針に基づき具体的な工程等を策定

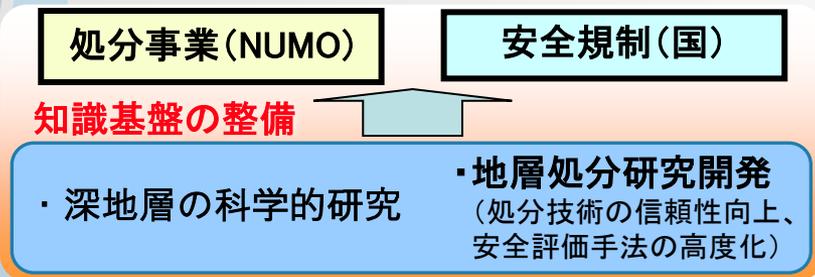
埋設施設のイメージ (埋設施設の概念設計より)

敷地面積: 約100 ha (1,250 m × 800 m)

# JAEA 核燃料サイクルに係る再処理、燃料製造及び放射性廃棄物の処理処分に関する研究開発等

## 高レベル放射性廃棄物の処分技術等に関する研究開発

地層処分の実現に必要な技術基盤を整備することにより、実施主体による処分事業、国による安全規制上の施策等に貢献



- 岩盤中の物質移動モデル化技術の開発(東濃)、実際の地質環境における人工バリアの適用性確認(幌延)等の 深地層の研究施設計画を着実に推進
- 地質環境変化の予測と長期安定性の評価技術の開発
- 深地層の研究施設計画の成果等を活用した 地層処分システムの構築・評価解析技術の先端化・体系化
- 代替処分オプションとしての 使用済燃料の直接処分研究を着実に実施
- 地層処分に関する 技術力の強化・人材育成、国民との相互理解促進に貢献

**東濃地科学センター**  
● 超深地層研究所計画 (結晶質岩: 岐阜県瑞浪市)

● 土岐地球年代学研究所 (岐阜県土岐市)

**幌延深地層研究センター**  
● 幌延深地層研究計画 (堆積岩: 北海道幌延町)

**核燃料サイクル工学研究所**  
(茨城県東海村)

● 地層処分放射化学研究施設 (QUALITY)

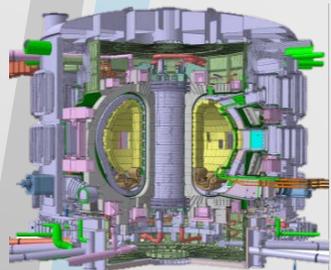
● 地層処分基盤研究施設 (ENTRY)



地下350mにある地下坑道で、  
岩石中にどんな有機物や微生物  
が含まれているかを分析する  
ため、試料を採取中

# 核融合研究開発

社会的受容性に優れ、恒久的な人類のエネルギー源として有力な候補である  
核融合エネルギーの実用化に向け、国際協力の下で研究開発を総合的に実施



ITER



出典: ITER機構

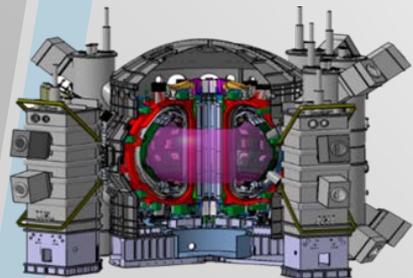
ITERサイトの近況(2015年9月)

## 【ITER(国際熱核融合実験炉)計画】

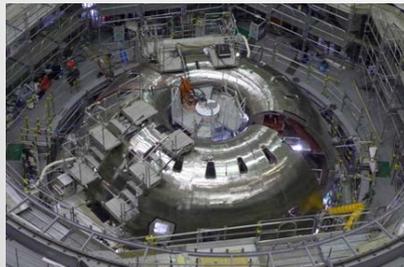
- 日・欧・米・露・中・韓・印の7極の協力による国際プロジェクト
- 我が国が調達責任を有するITER機器(超伝導トロイダル磁場コイル、超伝導コイル導体、ダイバータターゲット、加熱装置、計測装置、ブランケット遠隔保守装置)の設計・製作・試験を継続

## 【幅広いアプローチ(BA)活動】

- JT-60SAに係る機器・施設の調達、装置本体の組立てを実施し、2019年の運転開始を目指す
- スーパーコンピューター(核融合計算機)を用いたシミュレーション計算や日欧共同設計作業等により、原型炉開発の技術基盤構築を目指す
- 国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動(IFMIF/EVEDA)では、欧州調達の原型加速器の据付・調整・試験を継続



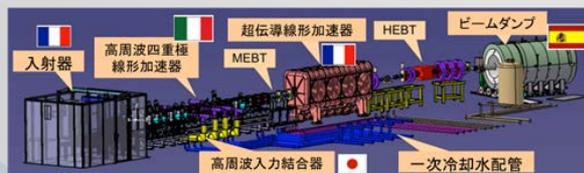
JT-60SA



340度までの溶接接続を終えた大型真空容器



核融合計算機



IFMIF/EVEDA原型加速器



JT-60SAのポロイダル磁場  
コイルを構成するパンケー  
キコイルの端部を確認中

# 一部業務の移管・統合

## 機構改革における一部業務の移管の位置付け

### ○原子力機構の業務の基本的考え方

これまで求められてきた社会的使命、果たすべき役割を念頭に、核分裂エネルギー関連分野を中心に**原子力機構の業務の重点化**を図る。

### ○分離・移管する業務

- ・量子ビーム応用研究の一部
  - レーザー・放射光研究(関西光科学研究所)
  - 放射線利用研究(高崎量子応用研究所)
- ・核融合研究開発
  - 那珂核融合研究所
  - 六ヶ所核融合研究所



- 上記業務を「国立研究開発法人 放射線医学総合研究所」へ移管・統合  
平成28年4月より「国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構」として業務開始

# まとめ

- 平成27年度より、国立研究開発法人として新たな出発。
- 安全を最優先とした上で、社会からの信頼確保に努めつつ、**我が国全体の研究開発成果の最大化**を目指す。

- ✓ 東京電力福島第一原子力発電所事故への対処
- ✓ 原子力の安全性向上
- ✓ 基礎基盤研究と人材育成
- ✓ 核燃料サイクル技術の確立
- ✓ 放射性廃棄物の処理処分

A large, light blue downward-pointing arrow is positioned between the list of activities and the final goals box.

エネルギー資源の確保  
科学技術イノベーションの創出



原子力機構は“ダイバーシティ”にも取り組んでいます

# 103番元素が解く周期表のパズル ローレンシウム(Lr)のイオン化エネルギー 測定に成功

平成27年12月1日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

永目 諭一郎

究極の化学  
極限の化学

希少なローレンシウム  
原子が**周期表の相対論**  
**領域**を照らし出す



立体周期表: バーの高さが各元素のイオン化エネルギー値を示す

# 内容

- 103番元素ローレンシウム(Lr)とは
- なぜローレンシウムか
- 究極の化学分析
- 成果の意義
- 化学界における反響
- まとめ

# 103番元素ローレンシウム(Lr)とは

国際純正・応用化学連合  
(IUPAC) 認定の周期表

1																	18
1																	2
H																	He
3	4											13	14	15	16	17	18
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	113	Fl	115	Lv	117	118

超アクチノイド元素

ランタノイド	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
アクチノイド	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

ローレンシウム  
最後のアクチノイド

超ウラン元素

1940年代にグレン・シーボルクが「**アクチノイドの概念**」を提唱

原子番号100を超える**超重元素**はイオンビームを用いて人工的に合成 ⇒ 電子構造や化学的性質はほとんど調べられていない

# ローレンシウム(Lr)の発見

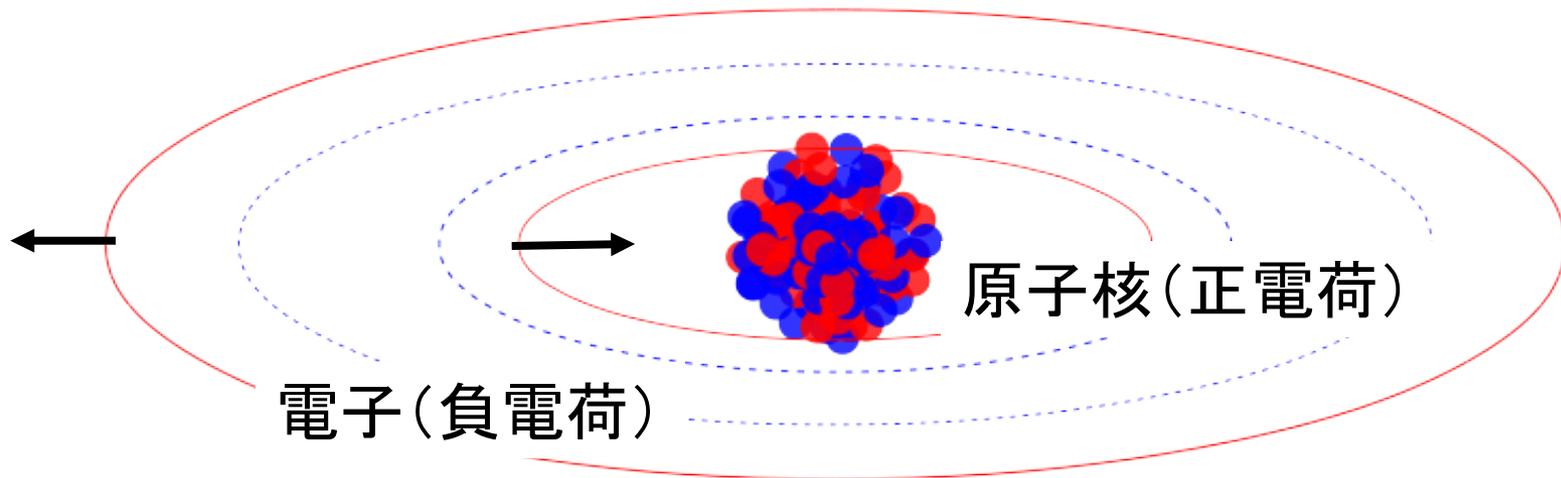
1961年 米国・ローレンスバークレー研究所で人工的に合成  
アーネスト・ローレンス(Ernest O. Lawrence)

1939年 ノーベル物理学賞:

「サイクロトロンの開発と人工放射性元素の研究」



# 超重元素に特徴的な電子配置



**元素の化学的性質**: 最も外側の電子配置に支配される ⇒ 周期律

**超重元素**: 中心の正電荷が大きくなり、近くの電子との相互作用が強くなる

**内側の電子**: 光速に近い速度で運動 ⇒ **相対論領域**  
⇒ 軌道半径が収縮

**外側の電子**: 原子核の正電荷が遮蔽される ⇒ 軌道半径が変化

⇒ 最も外側(最外殻)の電子配置に変化 ⇒ 周期律のほころび?

# なぜローレンシウム(Lr)か

## ➤ ローレンシウムの最外殻の電子配置

- ・相対論効果により最外殻の電子配置が変化し、Lrは周期表の予想から逸脱する可能性が理論的に予言
- ・ローレンシウムの「異常性」の探索

## ➤ ローレンシウムの化学的研究

- ・人工的に合成：数秒間に1原子の生成率
- ・寿命が短い(ローレンシウム-256)：半減期27秒
- ・シングルアトムスケール(atom-at-a-time)
- ・実験的な検証はない

⇒ シングルアトム分析 ⇒ 究極の化学

# 究極の化学分析－着眼点

## ➤ 着目：Lrの（第一）イオン化エネルギー

- ・原子から電子1個を取り去るために必要なエネルギー  
⇒ 最外殻の電子配置の情報
- ・これまでの手法では約1兆個以上の原子数が必要  
⇒ 超重元素での測定は皆無 ⇒ **ブレイクスルーが必要**

## ➤ 着想：表面電離（イオン化）過程 + 質量分離 + 放射線（アルファ壊変）計測の複合装置

- ・オンライン同位体分離器（原子力科学研究所）：  
⇒ 核反応生成物をオンラインでイオン化と質量分離  
新同位体の発見などで実績を有する
- ・アルファ壊変の精密測定：1個の原子でも同定が可能

# 表面電離過程

熱せられた金属表面に原子を接触させると、表面を通して電子が移動し、原子がイオン化される現象

原子がイオン化される効率 ( $I_{\text{eff}}$ ) は、主として次の量に依存する

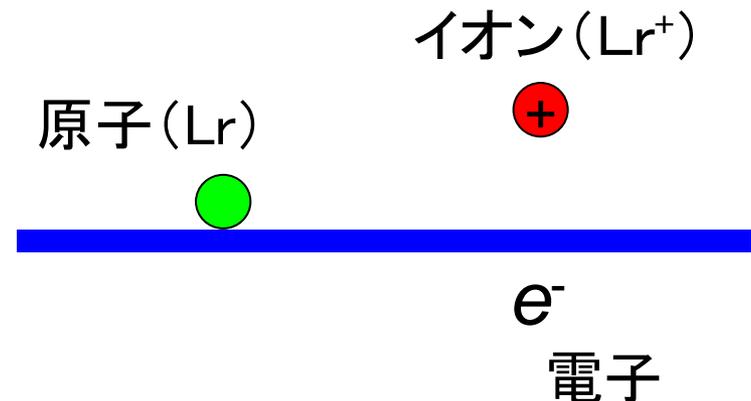
金属表面の温度 ( $T$ )

金属の種類 (仕事関数:  $\varphi$ )

原子のイオン化エネルギー ( $IP^*$ )

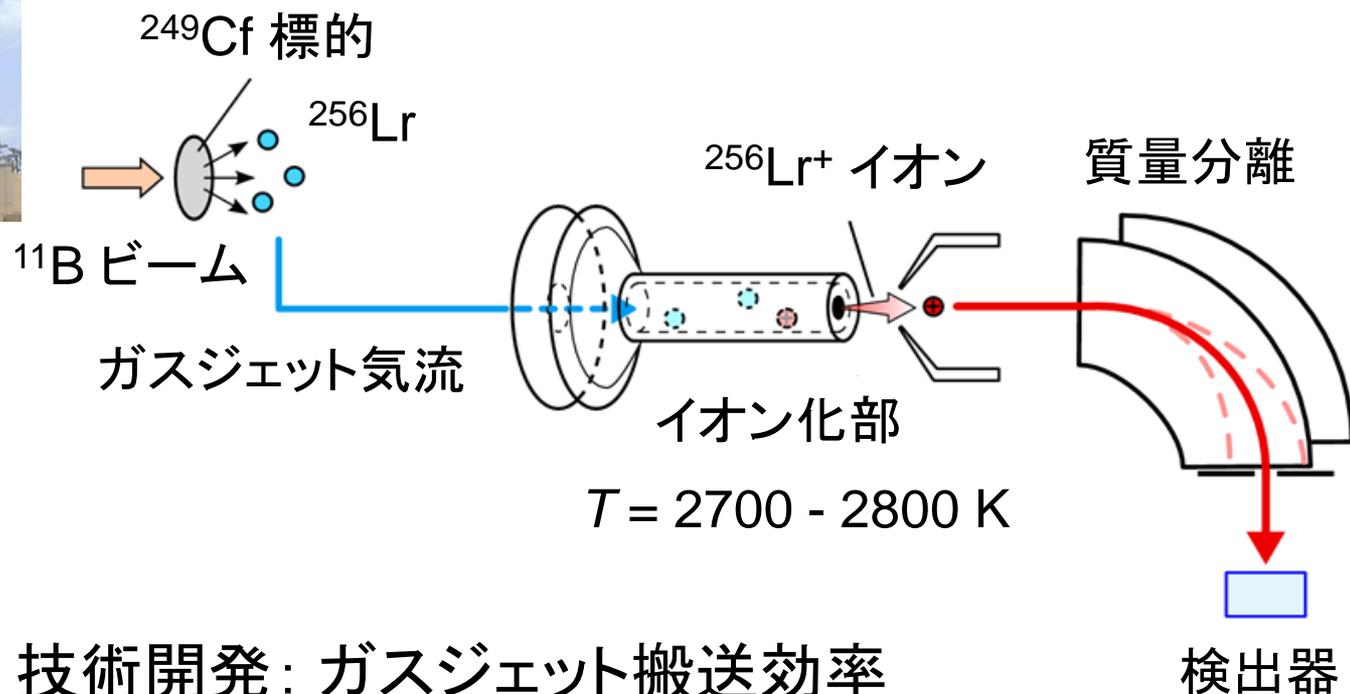
$$I_{\text{eff}} \propto \exp\left(\frac{\varphi - IP^*}{kT}\right)$$

$k$ : ボルツマン定数



# 究極の化学実験

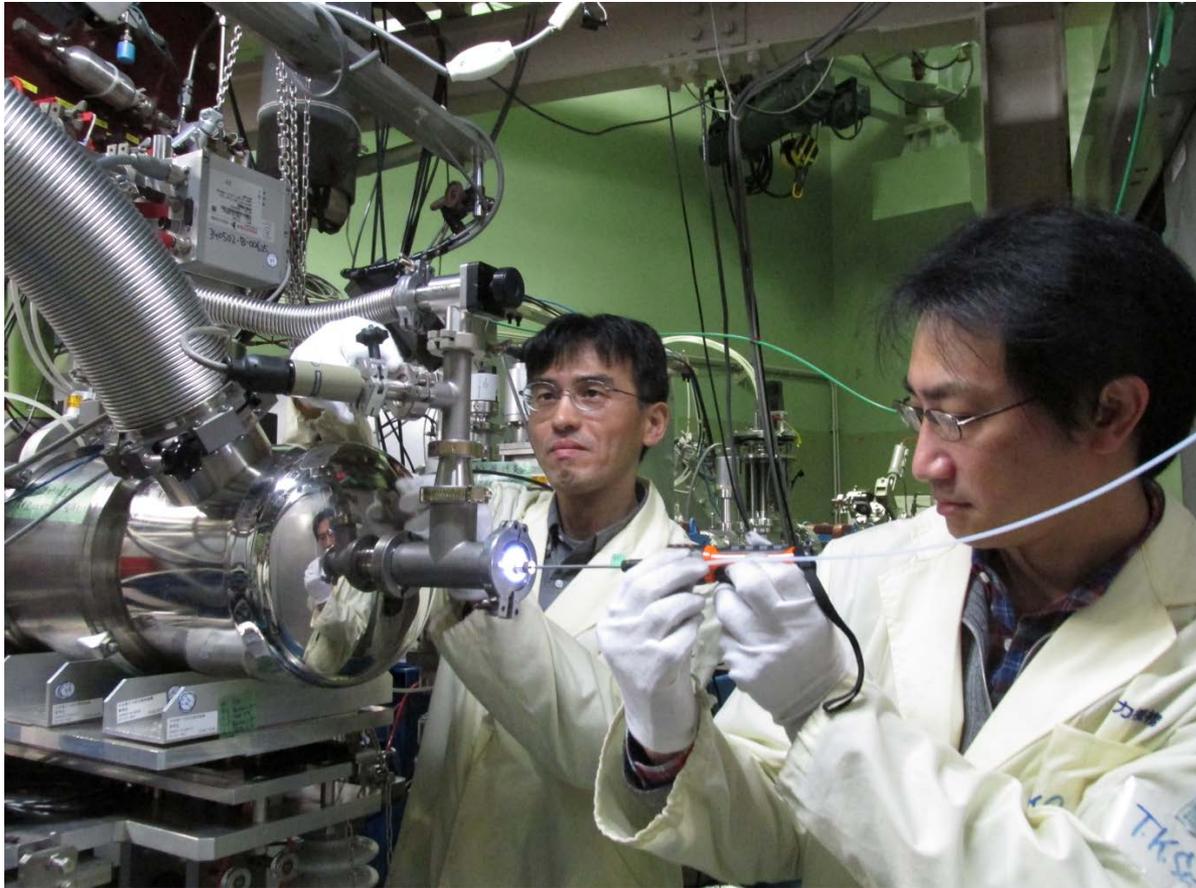
## イオン化効率 ( $I_{\text{eff}}$ ) の測定



原子力科学研究所  
タンデム加速器

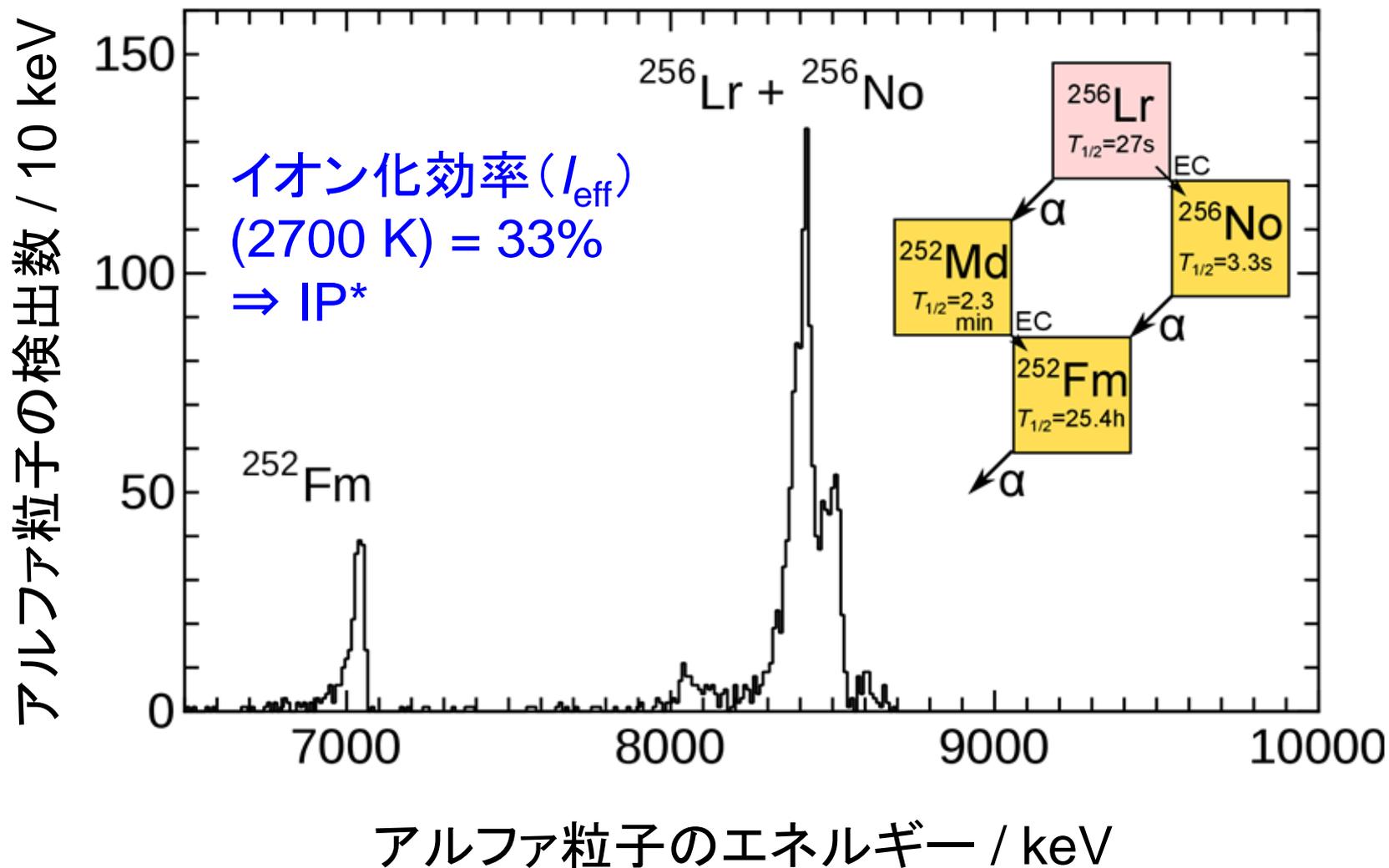
技術開発: ガスジェット搬送効率  
ガス排気、イオン化部  
の加熱、温度測定 など

# 実験のセットアップ



ガスジェット部とイオン化部を結合

# $^{256}\text{Lr}$ のイオン化と質量分離に成功



# イオン化効率 $\Rightarrow$ イオン化エネルギー

$$I_{\text{eff}} \propto \exp\left(\frac{\varphi - \text{IP}^*}{kT}\right)$$

$$\text{IP}^* \Rightarrow \text{IP}$$

(励起準位に対する補正)

$$I_{\text{eff}} = 33\%$$

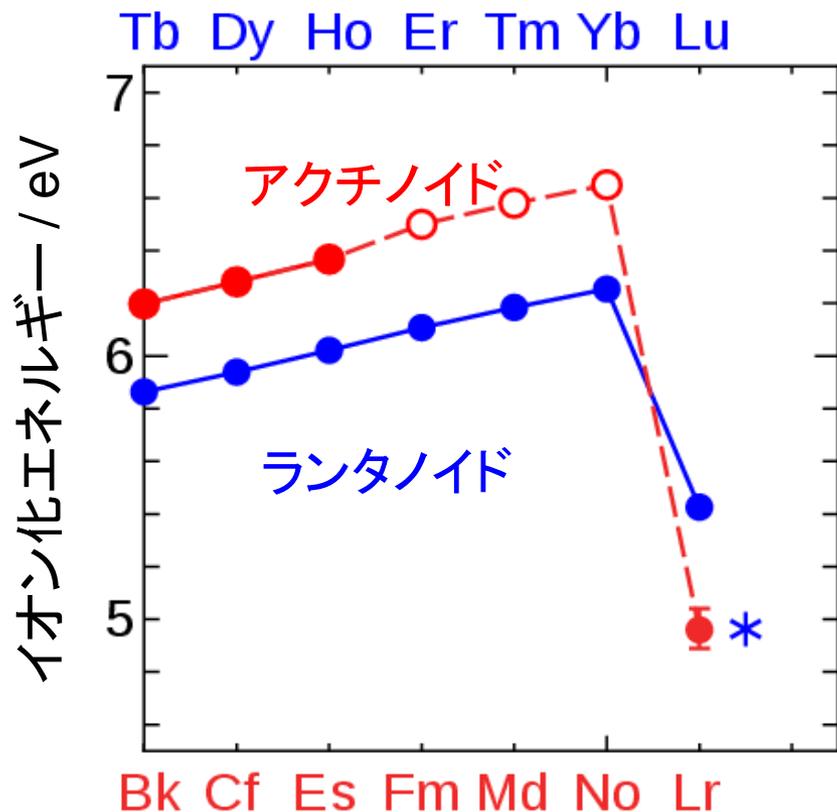


$$\text{IP}^* = 5.29 \text{ eV}$$



$$\text{IP} = 4.96 \text{ eV}$$

# イオン化エネルギー (IP) の決定



アクチノイドならびにランタノイド  
元素のイオン化エネルギー

	IP / eV
実験値	4.96 ± 0.08
理論値	4.963*

アクチノイド元素の中でもっとも  
小さい値

相対論効果の影響を考慮した  
電子配置: 最外殻の電子1個が  
ゆるく結合している

**Lu: 最後のランタノイド元素**



**Lr: 最後のアクチノイド元素**

# 成果の意義

- ▶ シングルの原子スケールでのイオン化エネルギー測定法の開発:
  - ・究極の化学分析法の開発(革新的技術の創出)に成功
  
- ▶ 「アクチノイドの概念」の実験的検証
  - ・周期表のパズルのひとつのピースをはめ込む
  
- ▶ 超重元素領域－相対論領域
  - ・原子の電子配置に関する初の実験的情報
  - ・相対論効果を考慮した電子配置を示唆
  - ・理論計算に対して信頼できるベンチマークを提供

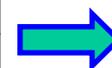
# 化学界における反響

## 周期表の改訂に繋がるか

1																	18
1																	2
H																	He
3	4											13	14	15	16	17	18
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	113	114	115	116	117	118
ランタノイド	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71		
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
アクチノイド	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103		
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

現在

3
21
Sc
39
Y
57-71
89-103



提案

3
21
Sc
39
Y
71
Lu
103
Lr

国際純正・応用化学連合 (IUPAC) 認定の周期表

# 周期表の改訂に繋がるか

1																	18
1	2															18	
H																He	
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	113	Fl	115	Lv	117	118

現在

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

1																	18
1	2															18	
H																He	
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	113	Fl	115	Lv	117	118

提案

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No

# ローレンシウムの居場所は？

- アクチノイド元素？
- 遷移金属元素？
- 国際純正・応用化学連合(IUPAC)  
2015年夏のIUPAC無機化学部門の議題として取り  
上げられた  
⇒ 周期表の改訂？

# まとめ

- ローレンシウムのイオン化エネルギー測定に成功
  - ⇒ 究極の化学分析の開発－革新的技術の創出
  - ⇒ 70年を経てアクチノイド系列を確立
  - ⇒ 相対論領域への挑戦を可能 ⇒ 周期律のほころび？
  
- ローレンシウムの周期表での居場所は？
  - ⇒ 周期表の改訂に係わる議論を巻き起こす
  
- 究極の化学－Extreme Chemistry
  - ⇒ 新しい研究領域(相対論領域の化学)の開拓
  - ⇒ 超重元素の研究: 元素全体の理解へ繋がる鍵が秘められているフロンティア領域

# ヨシはなぜ塩水でも育つのか

根の中でナトリウムを送り返す動きを  
ポジトロンイメージングで観ることに世界初成功

平成27年12月1日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
原子力科学研究部門 量子ビーム応用研究センター  
バイオ・医療応用研究ディビジョン  
植物RIイメージング研究グループリーダー  
藤巻 秀

# 量子ビームの農業・植物科学分野への貢献

## 量子ビーム応用研究センター・ウェブサイト

### 量子ビームの3つの重要な機能

	観る	創る	治す
中性子			
荷電粒子・RI・電子・ガンマ			
高強度レーザー			
放射光			

**観る** 原子・分子レベルで物質を観察する  
**創る** 原子・分子レベルで物質を加工する  
**治す** 細胞レベルでがん等を治療する

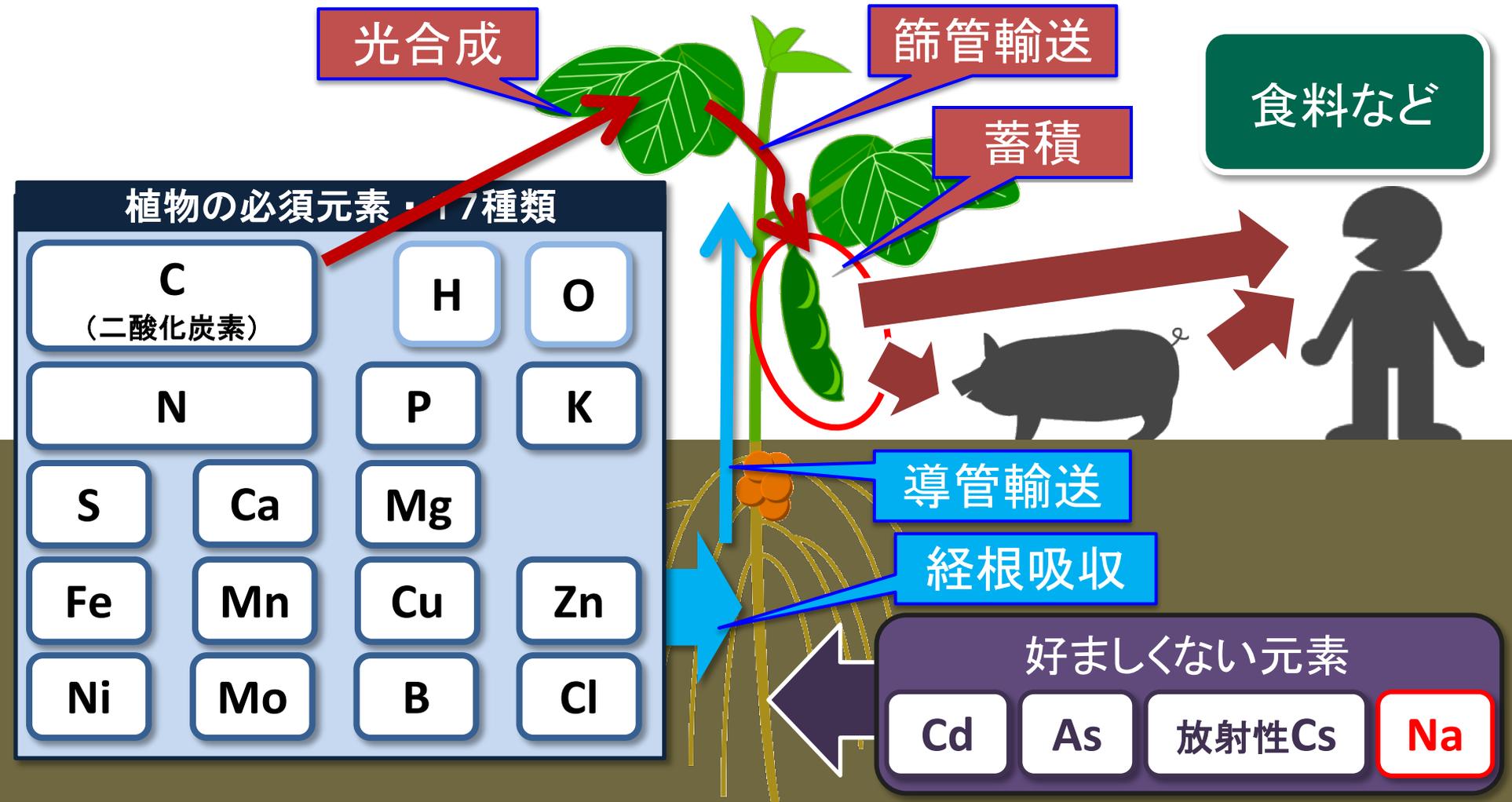
### 農業・植物科学分野では

創る: 「イオンビームを使って植物の新しい品種を創りたい」  
 → 『イオンビーム育種』

観る: 「植物の物質吸収／移行／蓄積機能を観たい」  
 → 『植物RIイメージング』・・・

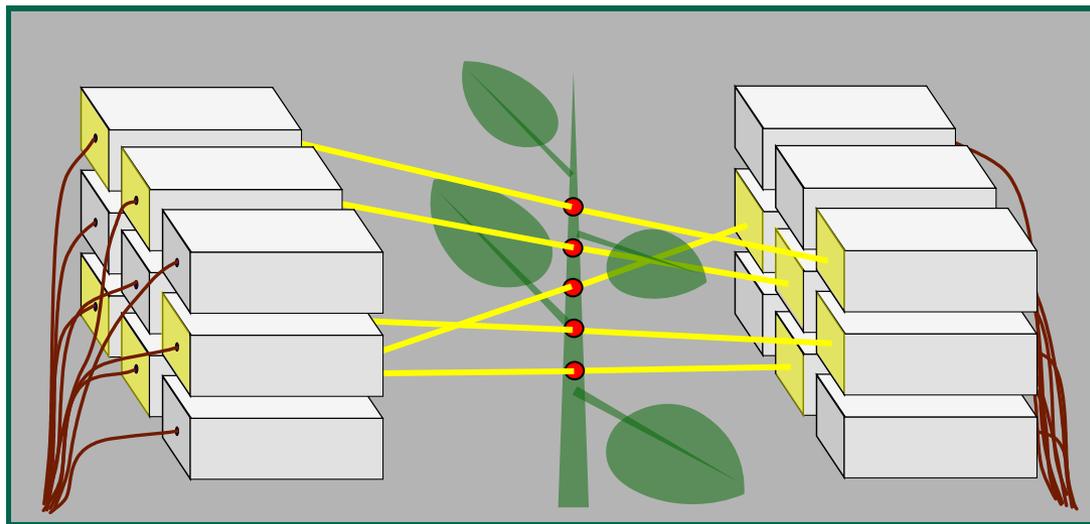


# 植物が環境中から集めた元素で 人は生きている

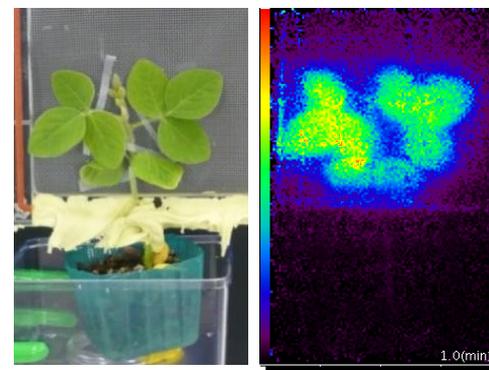


植物における元素の動きを解析し、輸送機能を解明・制御して、「安全な生産物の安定的な収穫」を目指す。

## Positron-emitting Tracer Imaging System (PETIS)



画素 1.1 mm × 1.1 mm  
視野 12.0 cm × 18.7 cm



- ◆ 医療用PETと同じ計測原理。
- ◆ 光・温度・湿度の制御等、植物研究に特化されたシステム。
- ◆ 過去15年ほどの間に、多様なRIの製造・投与技術、画像解析技術等を開発。
- ◆ 様々な農学・植物科学研究で成果。

# 身近な元素による世界的問題 ナトリウム (Na)

- ほとんどの植物にとってNaは有害
- 高潮などで海水を被った田畑では塩害が発生
- 世界の乾燥地域では、塩類集積土壌の拡大により  
**耕地減少と砂漠化が進行**



塩害による作物の生育障害・枯死  
出典: 農林水産省HP

- 世界の淡水資源の不足は年々深刻化
- 河川や湖沼に存在する淡水の量は地球上の水のわずか0.008%
- 世界の淡水使用量の約70%は農業用水  
**塩水でも農業に利用できるようにならないか？**

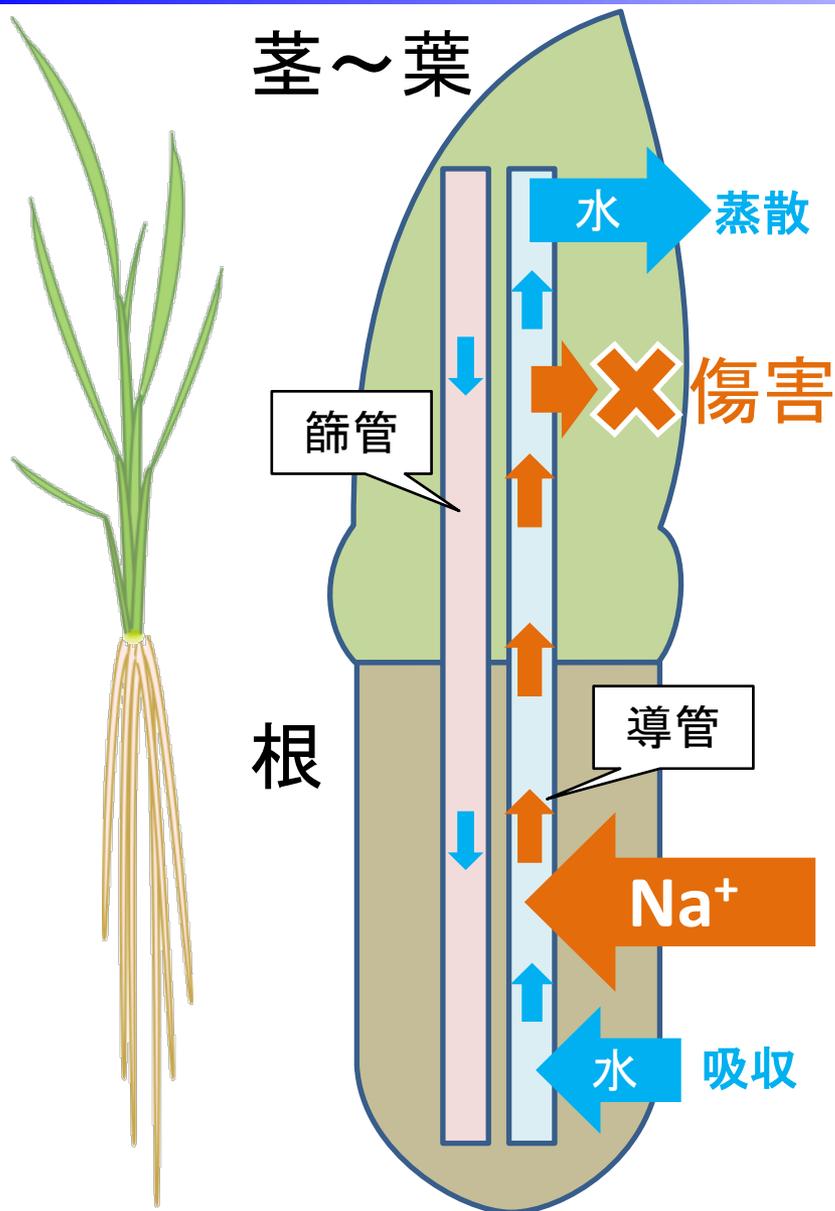


水不足人口の増加

出典: 国土交通省HP

Naに耐える作物があれば理想的

# イネはNaに弱い



イネは世界人口の半数が主食とする  
最も重要な作物

根の中心部を通る導管に入った  
 $\text{Na}^+$ は、水とともに茎へ移行し、  
葉に届く。

$\text{Na}^+$ は葉のイオンバランスを崩し、  
光合成などの働きを阻害する。

品種改良等でNaに強いイネを  
作るには、どうしたらよいだろうか？

# イネに近縁の耐塩性植物に着目

共同研究: 東京農業大学・樋口恭子教授

ヨシ *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.

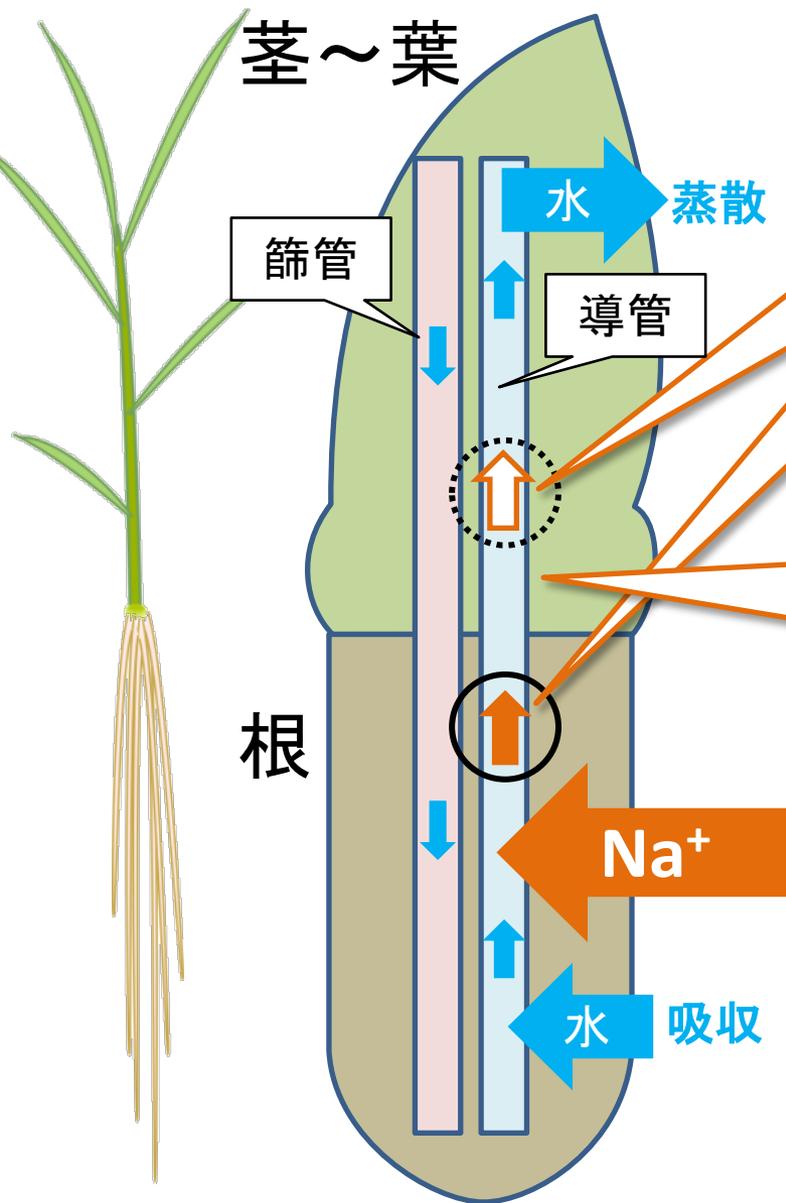


- ◆ 世界の乾燥地や湿地に自生
- ◆ 海水の混じる河口近くでも育つほど耐塩性が高い

同じイネ科でありながら、  
イネと違って、  
なぜヨシはNaに強いのか？



# ヨシの中でNa<sup>+</sup>はどう動いているか



先行研究:

ヨシの地上部の導管液には、  
根の導管液に比べ、  
ごく低濃度のNa<sup>+</sup>しか含まれない。

Kanai et al. *New Phytologist* (2007)

ヨシの茎のつけねを熱処理すると  
地上部へのNa<sup>+</sup>移行量が上昇する。

Matsushita and Match *Soil. Sci. Plant Nutr.* (1992)

【研究者らの仮説】

導管内のNa<sup>+</sup>を積極的に  
「どこかに」排除しているらしい

PETISによる検証に挑戦

# イネとヨシにおける $\text{Na}^+$ 動態の解析

植物を一定の塩条件に置いたまま、目に見えない $\text{Na}^+$ の流れをRIで追跡

$^{22}\text{Na}$  (半減期2.6年) を利用、イネとヨシ6個体ずつを供試

海水の10分の1程度の非放射性 $\text{Na}^+$ を含む水耕液

極微量の $^{22}\text{Na}$ を添加  
食塩約10億分の5グラムに相当

$^{22}\text{Na}$ を含まない  
水耕液に交換

水耕液から植物体への  
 $^{22}\text{Na}$ の移行を観察

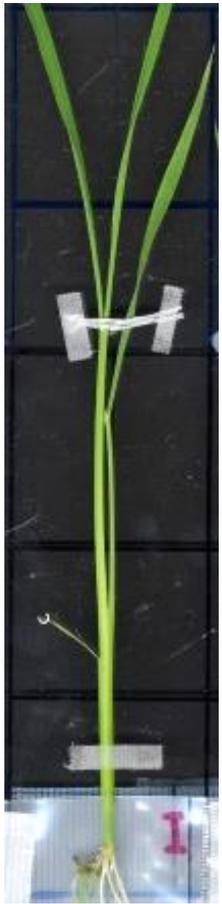
体内に吸収された後の  
 $^{22}\text{Na}$ の移行を追跡

「撮像前半」 24時間

「撮像後半」 18時間

# イメージングの結果（撮像前半）

1.0(hour)



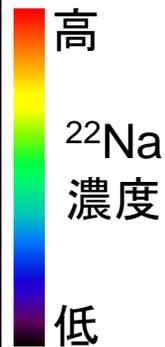
## ◆ イネ

1, 2時間で $^{22}\text{Na}$ が葉に到達し、その後も葉に移行し続ける。

## ◆ ヨシ

根から茎のつけねまで到達したところで、 $^{22}\text{Na}$ が強く集積する。

それより上方の茎葉部にはほとんど移行しない。

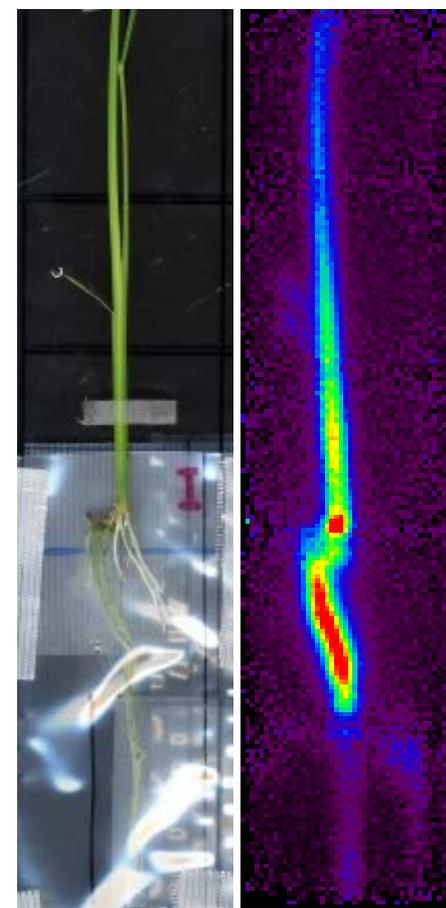


イネ

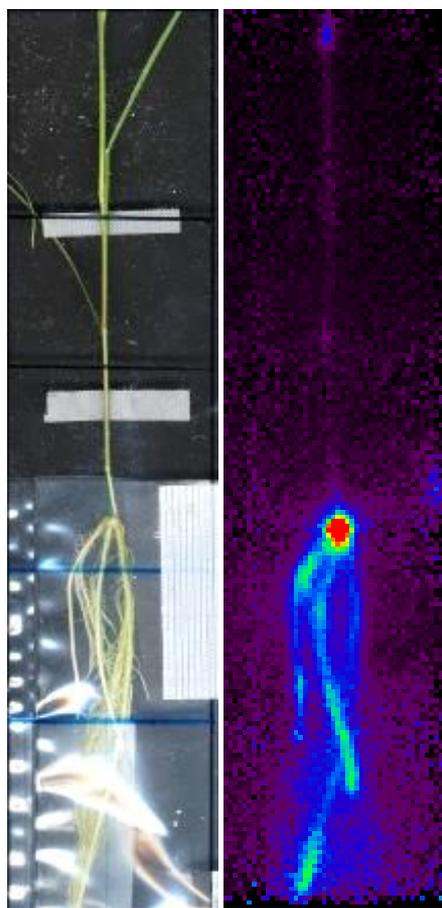
ヨシ

# イメージングの結果（撮像後半）

1.0(hour)



イネ



ヨシ

◆ **イネ**  
根の内部の $^{22}\text{Na}$ が葉へと移行していく。

◆ **ヨシ**  
根から茎のつけねに集積した $^{22}\text{Na}$ の動きは目視では判然としない。

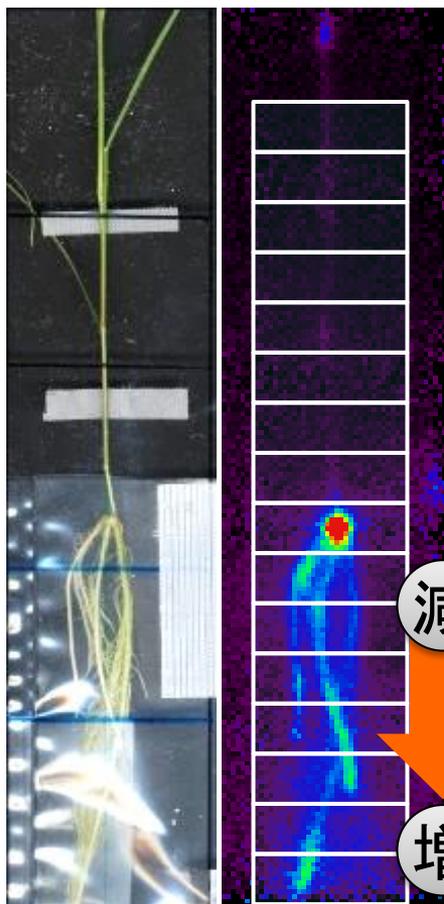
少なくとも明らかなこと

- 茎や葉への移行はほとんど見えない
- 水耕液中に $^{22}\text{Na}$ が「排泄」されている

ヨシでは「下向き」に移行しているはず。  
証明には画像の数値的解析が必要。

# 動画像データをどう解析するか

撮像後半、植物体内の $^{22}\text{Na}$ が移行していく方向を明らかにする。

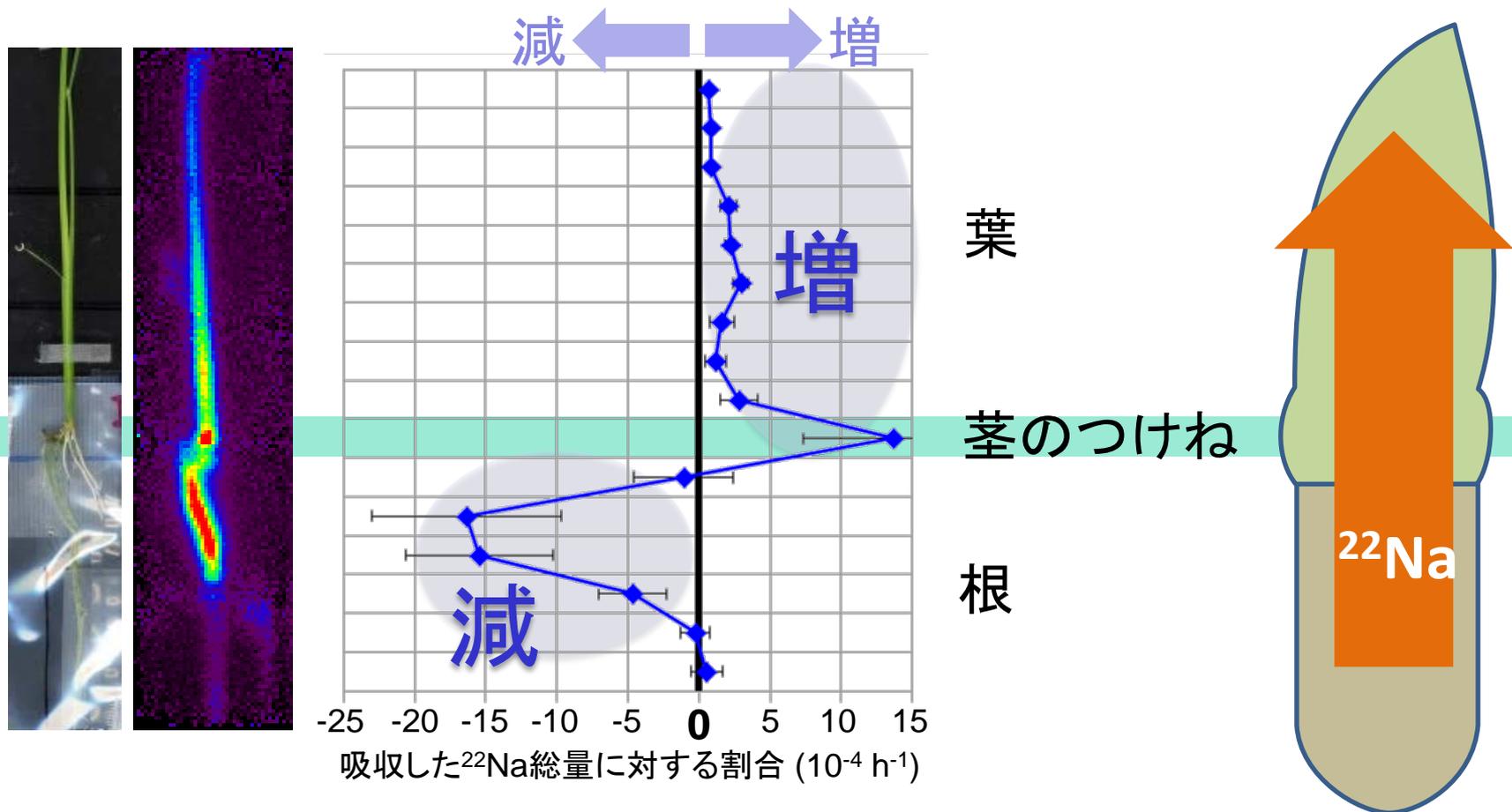


画像上に植物体軸に沿ってセクションを細かく設定  
各セクション内の $^{22}\text{Na}$ の増加率・減少率を定量

$^{22}\text{Na}$ の減少部位から増加部位に  
移行があったと考えられる。

# 「撮像後半」画像の解析結果：イネ

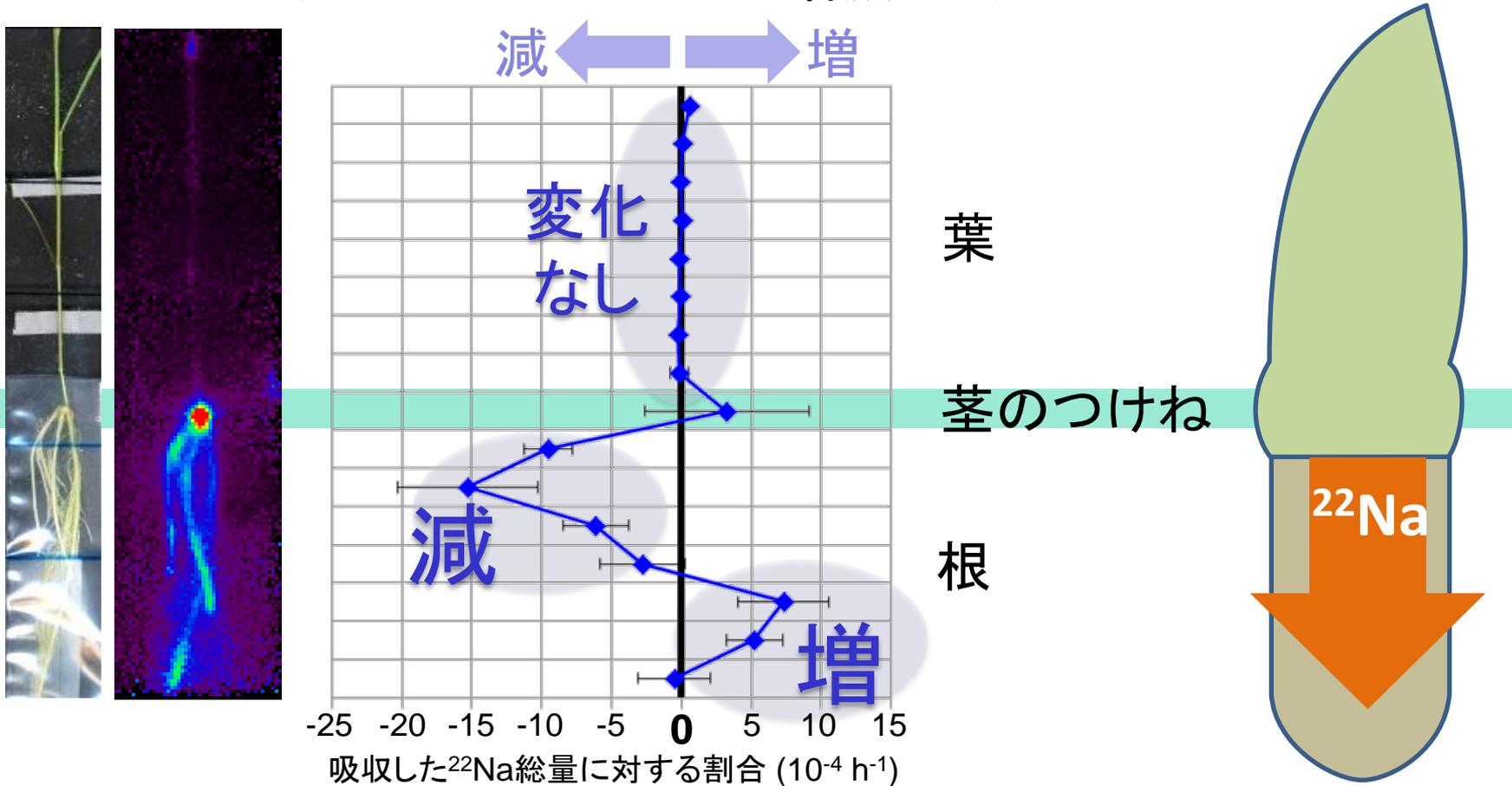
セクションごとの $^{22}\text{Na}$ の増減(6個体平均)



イネでは根の中の $^{22}\text{Na}$ は上方の葉に移行

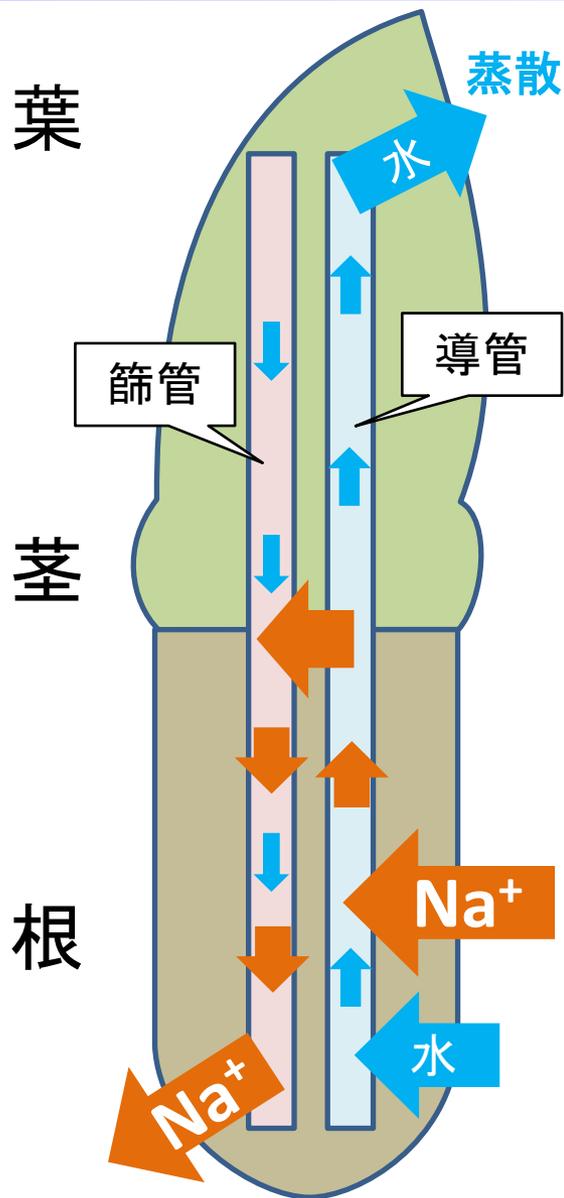
# 「撮像後半」画像の解析結果:ヨシ

セクションごとの $^{22}\text{Na}$ の増減(6個体平均)



ヨシでは根の中の $^{22}\text{Na}$ は下方に移行

# ヨシの根が「吐き戻す」耐塩性のしくみ



ヨシの根は  
高濃度の $\text{Na}^+$ にさらされている間  
吸収した $\text{Na}^+$ を下方に「Uターン」させ  
排除している。

Fujimaki et al. *Plant Cell Physiol.* (2015)

- 日本経済新聞、毎日新聞、読売新聞、朝日新聞等  
9紙に掲載
- NHK サイエンスZERO  
「食糧危機の切り札!?耐塩性作物」

現在、ヨシの遺伝子を探索中。

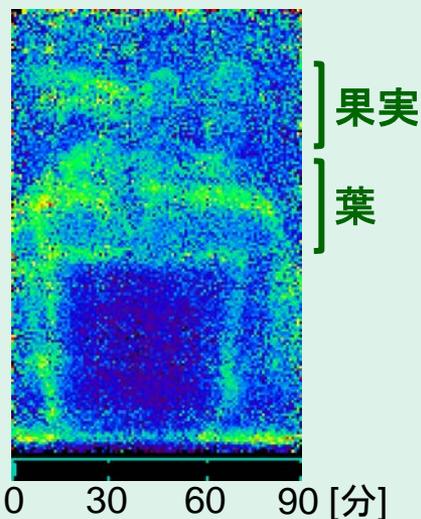
将来的にはイネを改変し、  
ナトリウム濃度の高い土地での栽培や、  
究極的には海水での栽培を可能にしたい。

# PETISによる農学・植物科学研究の展開

## 近年の研究例

$^{11}\text{CO}_2$

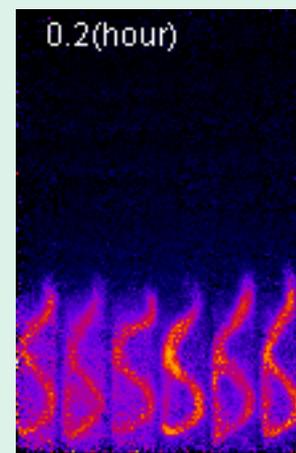
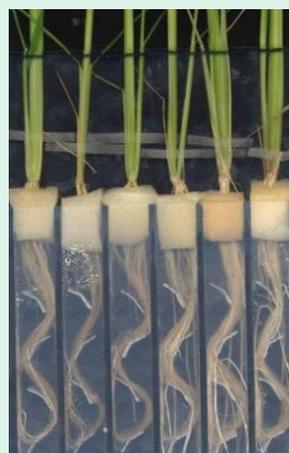
「トマトの温室内 $\text{CO}_2$ 濃度を上げていくと葉の光合成は盛んになるが、光合成産物の果実への移行効率が低下し、生産性は頭打ちになる」



東京理科大学との共同研究  
Yamazaki et al. *Plant Biotech.* (2015)

$^{107}\text{Cd}$

「カドミウム汚染水田を浄化するための高吸収イネの候補品種は、カドミウムを地上部に運び上げる能力が通常品種より2~3倍以上高い」



A B C D E F  
通常品種 候補品種

農業環境技術研究所との共同研究  
Ishikawa et al. *BMC Plant Biol.* (2011)

# イメージング手法の多様化

## ガンマカメラ

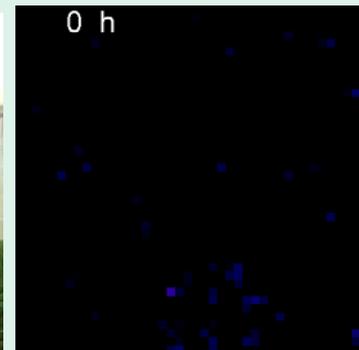
$^{137}\text{Cs}$ などの  
ガンマ線放出核種に対応

名古屋大学、東北大学との  
共同開発

Kawachi et al. *J. Environ. Radioact.* in press



ダイズ子実への $^{137}\text{Cs}$ の移行



## コンプトンカメラ

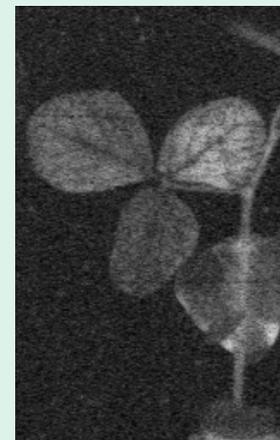
複数元素を同時に弁別撮像

## チェレンコフ光イメージング

非接触ながら高い解像度を実現

名古屋大学との共同開発

Yamamoto et al. *NIM A* (2015)



ダイズ葉での  
 $^{137}\text{Cs}$ の分布

# 新しい分野「核農学」の確立へ

## 医学用RIイメージング



人体内の薬剤分布の解析

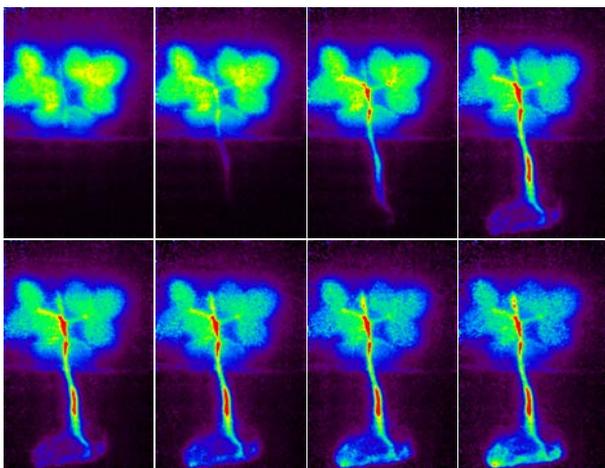
核医学

## 医療



診断と治療

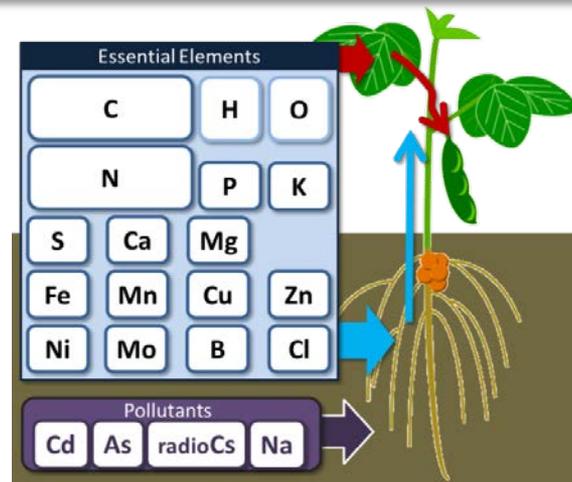
## 植物RIイメージング



植物体内の元素動態の解析

核農学

## 農業



農法の評価と改良

- 読売新聞掲載「核農学 植物の中を見る」(平成27年8月20日)

- 植物RIイメージング技術を用いて、ヨシ特有の耐塩性機構を証明。  
(東京農業大学との共同研究)
- 今後、高耐塩性イネの作出を進める。
- 今後、植物RIイメージング技術は「核農学」の確立を目指して展開。

# 高速炉サイクル確立に向けた 研究開発の現状と今後について

平成27年12月1日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
中村 博文

## 報告内容

- ◆ 震災を契機とした高速炉サイクル研究開発の変遷
- ◆ FaCTフェーズ I 成果の概要
- ◆ 高速炉サイクル技術保有の今日的意義と  
研究開発におけるもんじゅの役割
- ◆ 今後の研究開発の展開
  - 研究開発成果の実証・実用化への反映
  - もんじゅの研究開発
  - 高速増殖炉 / 高速炉の安全性強化
  - 高速増殖炉 / 高速炉の実証技術開発
  - 核燃料サイクルに係る再処理、燃料製造及び  
放射性廃棄物処理処分研究開発
- ◆ 高速炉サイクル研究開発の向うべき方向

## 報告内容

- ◆ 震災を契機とした高速炉サイクル研究開発の変遷
- ◆ FaCTフェーズ I 成果の概要
- ◆ 高速炉サイクル技術保有の今日的意義と  
研究開発におけるもんじゅの役割
- ◆ 今後の研究開発の展開
  - 研究開発成果の実証・実用化への反映
  - もんじゅの研究開発
  - 高速増殖炉／高速炉の安全性強化
  - 高速増殖炉／高速炉の実証技術開発
  - 核燃料サイクルに係る再処理、燃料製造及び  
放射性廃棄物処理処分研究開発
- ◆ 高速炉サイクル研究開発の向うべき方向

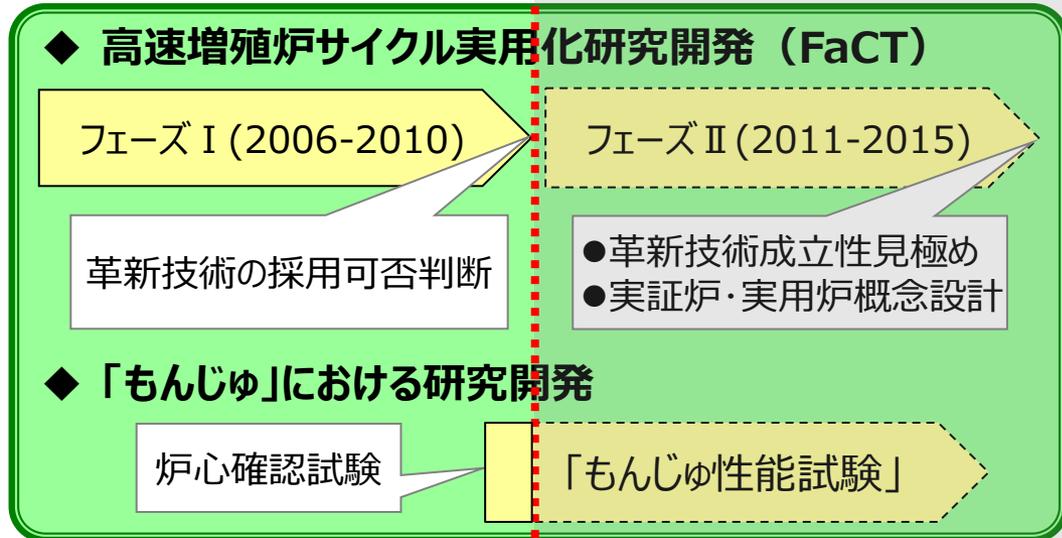
- ◆ 高速増殖炉サイクル実用化研究開発(FaCT)フェーズ I 成果取りまとめ (2011年3月末)
- ◆ エネルギー・原子力政策の見直しを踏まえ、FaCTフェーズ II への移行を見送り (2011年)
- ◆ エネルギー基本計画 (2014年4月) を踏まえ、当面はもんじゅ研究計画を中心に推進

▼ 2011年3月11日 (東日本大震災)

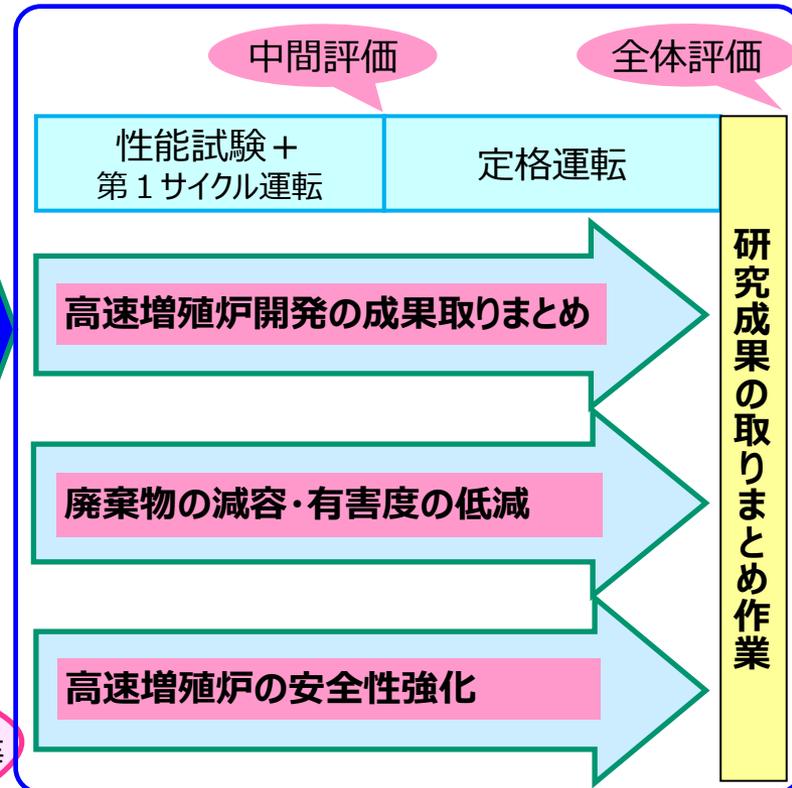


もんじゅ研究計画(2013年9月)

※ フェーズ II 移行、性能試験見送り



- ◆ 技術基盤の維持
- ◆ 安全性向上等に係る取組
- ◆ 保守管理上の不備に係る取組等



## 報告内容

- ◆ 震災を契機とした高速炉サイクル研究開発の変遷
- ◆ **FaCTフェーズ I 成果の概要**
- ◆ 高速炉サイクル技術保有の今日的意義と  
研究開発におけるもんじゅの役割
- ◆ 今後の研究開発の展開
  - 研究開発成果の実証・実用化への反映
  - もんじゅの研究開発
  - 高速増殖炉／高速炉の安全性強化
  - 高速増殖炉／高速炉の実証技術開発
  - 核燃料サイクルに係る再処理、燃料製造及び  
放射性廃棄物処理処分研究開発
- ◆ 高速炉サイクル研究開発の向うべき方向

## <炉システム>

- ◆ プラントに組込んだ設計成立性やシステムの機能達成の視点から**实用施設への採用を目指す革新技術（10課題）の採否可能性等を判断し、ステークホルダも合意**
- ◆ **実証炉の概念設計に移行可能な段階⇒フェーズII（5年）を経れば実証炉の基本設計段階**

## <再処理システム・燃料製造システム>

- ◆ **实用施設への採用を目指す革新技術（再処理：6課題、燃料製造：5課題）の採否可能性を判断し、ステークホルダも合意**
- ◆ **LF移行を考慮したプロセス及び工学規模装置に関する更なる基盤研究を推進する段階へ**

## <性能目標達成度評価>

- ◆ **採否判断結果を踏まえた高速増殖炉サイクルシステム概念を対象に開発目標（「安全性・信頼性」を前提とした「経済性」「持続可能性」「核不拡散性」）、設計要求に対する達成度評価を実施し、原子力委員会が示した性能目標※を概ね達成していることを確認**

※：シビアアクシデントの発生確率が十分低い、運転期間を通じた発電コストが他のエネルギー技術と競合できる、1をある程度超える増殖比の実現、Puが常にマイナーアクチニド等と混合された状態であること 等

## 報告内容

- ◆ 震災を契機とした高速炉サイクル研究開発の変遷
- ◆ FaCTフェーズ I 成果の概要
- ◆ **高速炉サイクル技術保有の今日的意義と  
研究開発におけるもんじゅの役割**
- ◆ 今後の研究開発の展開
  - 研究開発成果の実証・実用化への反映
  - もんじゅの研究開発
  - 高速増殖炉／高速炉の安全性強化
  - 高速増殖炉／高速炉の実証技術開発
  - 核燃料サイクルに係る再処理、燃料製造及び放射性廃棄物処理処分研究開発
- ◆ 高速炉サイクル研究開発の向うべき方向

## 対策を先送りせず、着実に進める取組

### ■ 使用済燃料問題

- 我が国は約17,000トンの使用済燃料を保管
- 原子力発電及び廃炉に伴って使用済燃料及び放射性廃棄物は発生し続ける

### ■ 使用済燃料問題の解決に向けた取組の抜本強化

- ① 高レベル放射性廃棄物の最終処分に向けた取組の抜本的強化
- ② 使用済燃料の貯蔵能力の拡大
- ③ 放射性廃棄物の減容化・有害度低減のための技術開発

### ■ 核燃料サイクル政策の推進

- ① 再処理やプルサーマル等の推進
  - 回収プルトニウム等の有効利用（核燃料サイクルの推進、高速炉等の研究開発）
  - もんじゅ：国際的研究拠点として研究成果の集約
- ② 中長期的な対応の柔軟性(不確実性への柔軟な対応)

### ■ 持続可能性と不確実性への対応

- 核燃料サイクルの推進が我が国の基本の方針
- 将来の不確実性に備えた幅広い選択肢の確保が我が国のエネルギー安全保障上からも重要



我が国のエネルギー安全保障への貢献（ウラン資源の有効活用）と高レベル放射性廃棄物発生量の低減（環境負荷低減）が可能な

**<高速炉サイクル技術の保有が重要>**

「常陽」、「もんじゅ」等を活用した段階的な研究開発が必要不可欠

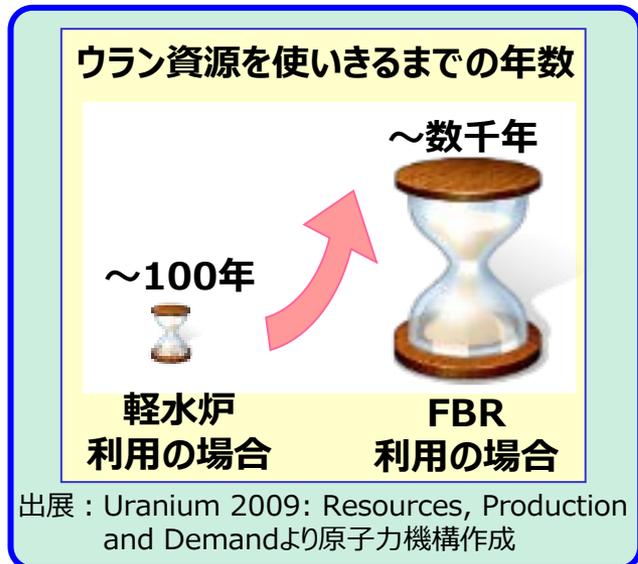
## <資源の有効利用>

- ◆ プルトニウムの利用により、ウラン資源を海外に頼らず **エネルギーの自立が可能**  
⇒ **高速増殖炉 (FBR) 導入で千年以上の利用**が可能
- ◆ ウラン資源埋蔵量は約**100年**程度だが、**高速炉サイクルの開発には長期間を有すること、各国の原子力発電の導入量に依存することから、着実な研究開発が必要**

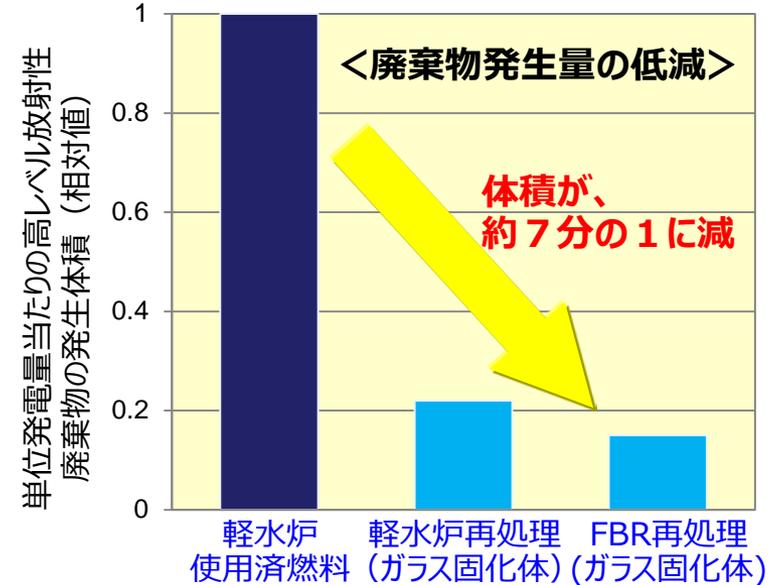
## <環境に優しい>

- ◆ 再処理しガラス固化体にする事で、**高レベル放射性廃棄物の発生量を低減**
- ◆ **高速炉サイクルへ移行**すると、高い熱効率とマイナーアクチノイド除去によるガラス固化体生成時の発熱制限の緩和などにより、**その低減効果はさらに大きくなる**

【ウラン資源の有効利用】



【環境負荷低減】



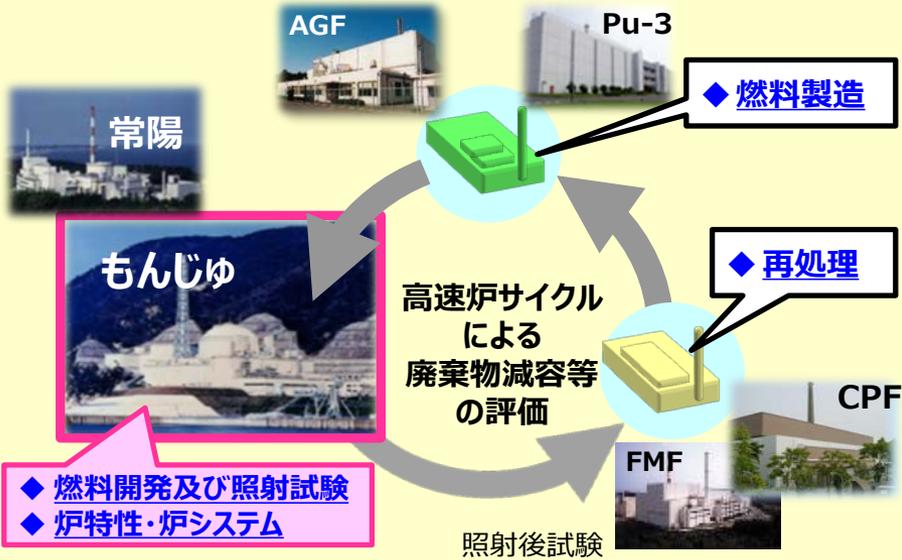
## <高速増殖炉技術の成果の取りまとめのための研究開発>

- ◆ 「もんじゅ」は大規模な高速増殖炉の発電所。我が国自前技術の集合体
- ◆ 自ら設計・製造・建設したプラントを動かして得られるノウハウが肝

## <廃棄物減容・有害度低減のための研究開発>

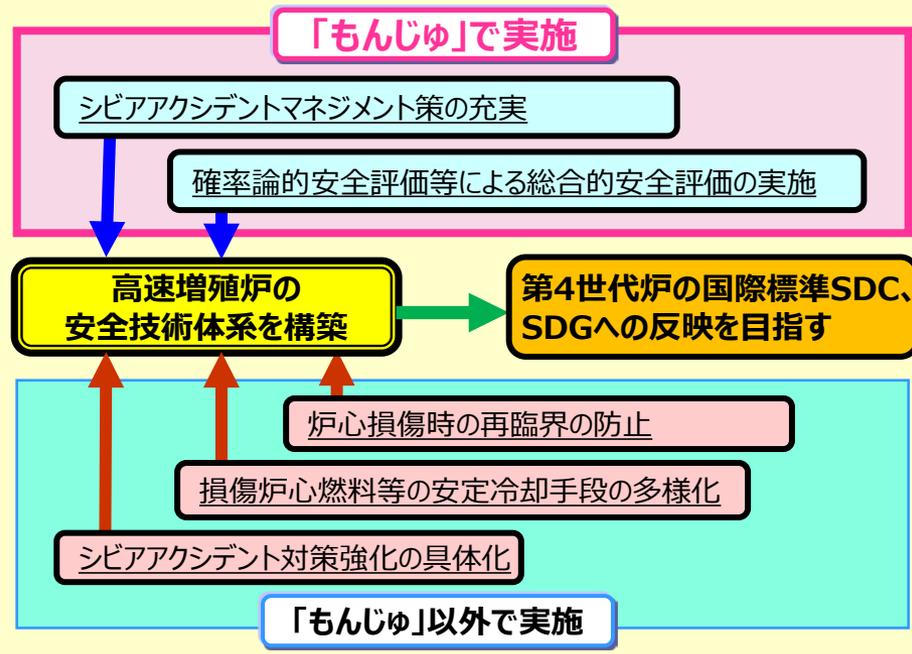
- ◆ 実際の燃料規模での試験研究が不可欠
- ◆ 燃料集合体の実規模照射試験が可能
- ◆ 炉心全体に不純物組成比以上のAm※を含む炉心特性データの取得は「もんじゅ」が世界初

※Am(アメリシウム)：廃棄物中の代表的長寿命放射性核種



## <安全性強化のための研究開発>

- ◆ もんじゅは実存するプラントとして、「高速増殖炉全体の安全技術体系の構築」のための研究開発の場を提供できる重要な施設



## 報告内容

- ◆ 震災を契機とした高速炉サイクル研究開発の変遷
- ◆ FaCTフェーズ I 成果の概要
- ◆ 高速炉サイクル技術保有の今日的意義と  
研究開発におけるもんじゅの役割
- ◆ **今後の研究開発の展開**
  - 研究開発成果の実証・実用化への反映
  - もんじゅの研究開発
  - 高速増殖炉／高速炉の安全性強化
  - 高速増殖炉／高速炉の実証技術開発
  - 核燃料サイクルに係る再処理、燃料製造及び  
放射性廃棄物処理処分研究開発
- ◆ 高速炉サイクル研究開発の向うべき方向

◆ 「もんじゅ研究計画」、「エネルギー基本計画」を反映した原子力機構の「第3期中長期計画」に基づき、以下の研究課題を中心に研究開発を推進

● 「高速炉の研究開発」

➢ 「もんじゅ」の研究開発

➢ 高速炉の実証技術の確立に向けた研究開発

– FBR/FRの安全性強化を目指した研究開発

– ASTRID開発協力を通じた実証技術開発

● 「核燃料サイクルに係る再処理、燃料製造及び放射性廃棄物の処理処分にに関する研究開発」

➢ 使用済燃料の再処理、燃料製造に関する技術開発

➢ 放射性廃棄物の減容化・有害度低減の研究開発



ASTRID炉

◆ 研究開発のための試験フィールドの整備

● 高速増殖原型炉「もんじゅ」 ➡ 早期の保安措置命令解除

● 高速実験炉「常陽」 ➡ 来年度の設置変更許可申請

● Pu燃料第3開発室 ➡ 加工事業化

● ホットラボ、照射後試験（PIE）施設 ➡ 新規制基準対応

● ナトリウム等試験施設 ➡ ナトリウム試験施設の集約化



原型炉「もんじゅ」



実験炉「常陽」



AtheNa施設

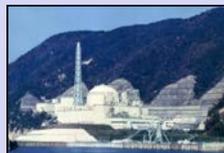
## FBR/FRの安全性強化のための研究開発

- ◆ 安全設計要件の国際的な整備
- ◆ 構造材料規格基準の国内整備と国際規格への反映
- ◆ 炉心損傷影響緩和技術開発
- ◆ 熱流動解析・評価手法開発
- ◆ ASTRID協力



## もんじゅの研究開発

- ◆ 炉心・燃料技術
- ◆ 機器・システム設計技術
- ◆ ナトリウム取扱技術
- ◆ プラント運転・保守技術
- ◆ MA含有MOX燃料照射試験
- ◆ 自然循環除熱能力実証



## 廃棄物減容・有害度低減のための研究開発

- ◆ 燃料製造
- ◆ 燃料開発及び照射試験
- ◆ 再処理（分離技術）
- ◆ 炉特性・炉システム
- ◆ 全体システム評価



## 実証技術の確立

### ◆ 安全設計要件を取り込んだ次期炉の設計に反映

- 解析コード、設計手法
- 設備設計

↳ **設計の確からしさ**  
**安全余裕の確認**

### ◆ 次期炉の運転に反映

- 運用基準、運転・検査要領
- 保守・補修方法

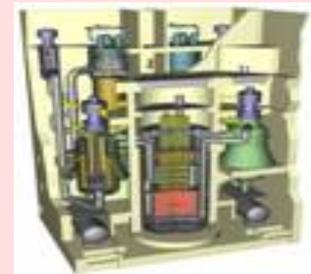
↳ **運転・保守基本方針**  
**(点検頻度等)**

### ◆ 廃棄物減容・有害度低減の技術的成立性確認

- 現行Am含有炉心での燃焼理論実証
- MA含有燃料の燃焼実証

↳ **最適システム概念**  
**設計技術の確立**  
**有効性の確からしさ**

## 実用化 FBRサイクル 実用炉



## 実用燃料 サイクルプラント



◎ 自ら設計・製造・建設した「もんじゅ」を活用し、高速増殖炉プラントの技術成立性を含む **高速増殖炉技術開発の成果の集約** と **次期炉設計への反映**

## 【高速増殖炉技術の成果の取りまとめ】

＜具体的な反映先の例＞

### ＜炉心・燃料技術＞

- 実機データに基づく **高次化Pu組成炉心特性の確認** 等

◆ 炉心設計手法及び炉心管理技術の検証・改良

### ＜機器・システム設計技術＞

- **プラントシステム設計技術の検証**
- **大型ナトリウム機器の設計技術の検証** 等

◆ ループ型炉動特性評価手法及びしゃへい評価手法等の妥当性確認  
◆ ナトリウム機器の経年特性や健全性実証

### ＜ナトリウム取扱技術＞

- 原子炉容器用 **供用期間中検査技術の開発** 等

◆ ループ型高速炉発電プラントのナトリウム管理技術の確立

### ＜プラント運転・保守技術＞

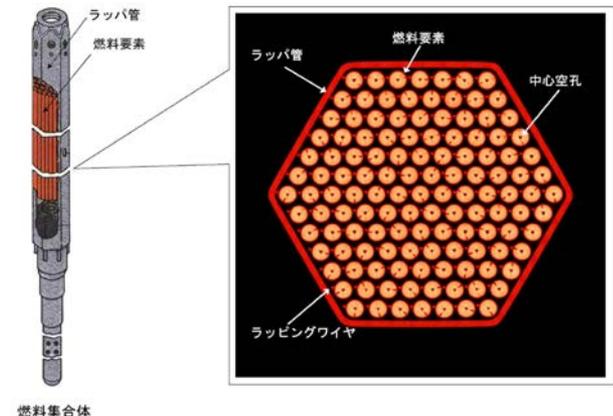
- FBR発電プラントの特徴を踏まえた **保全プログラムの構築** 等

## 【廃棄物減容・有害度低減の研究開発】

- MA含有のMOX燃料の **実規模照射試験** により、MAの核変換量の評価と照射挙動の確認 等

## 【安全性強化の研究開発】

- ナトリウム冷却炉の特徴である高い **自然循環性能による崩壊熱除去を実機で実証** 等



燃料集合体

照射試験結果（CT画像）

- ◎ 世界の高速炉の安全性向上に向け、**我が国主導**で**安全設計要件を構築**
- ◎ **高速炉開発国が安全規制や安全設計へ反映の意向**を示し**事実上の世界標準へ**

◆ **安全設計クライテリア(SDC)/ガイドライン(SDG)の位置付け・目的**

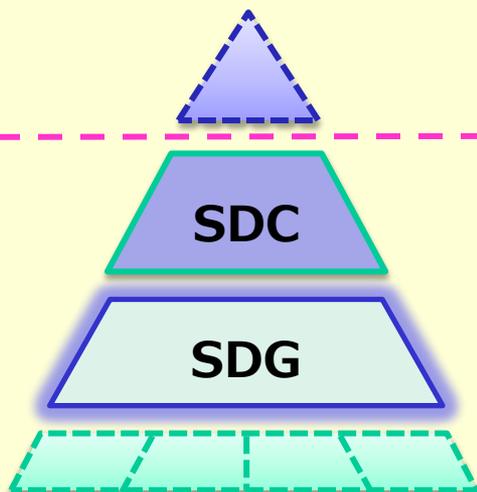
- 実用炉に向け、**安全設計の考え方**（主に設計基準事故を対象）を**国際標準化**
- **日本主導**により、**世界の高速炉の安全性向上へ**

◆ **主たる成果：SDCレポート（2013年5月GIFにて承認）**

- **ロシア等の規制関連機関から反映の意向、中国・インドでも安全設計に反映の意向**
- 高速炉開発国の規制機関やIAEAによるレビューが進展
- OECD/NEA委員会で**世界の規制機関による議論本格化**

**<SDC/SDGの位置づけ>**

基本的安全原則（例：深層防護、ALARAの原則等）



一般的**安全設計クライテリア**

SDCを設計に展開するためのガイド  
特定系統・機器設計の**推奨事項**

**国際的な共通化・調和の  
推進を目指す**

各国毎の規格・基準（ASME、JSME、民間規格等）

- ◎ プラントのライフサイクル評価に基づく合理的な設計と維持を目指した **高速炉の構造健全性をより高める規格体系を構築**
- ◎ **もんじゅの実データ**に基づく「**維持基準**」「**信頼性評価ガイドライン**」等の原案を策定
- ◎ **我が国の設計評価法が米国機械学会の規格に反映**

## <実施内容>

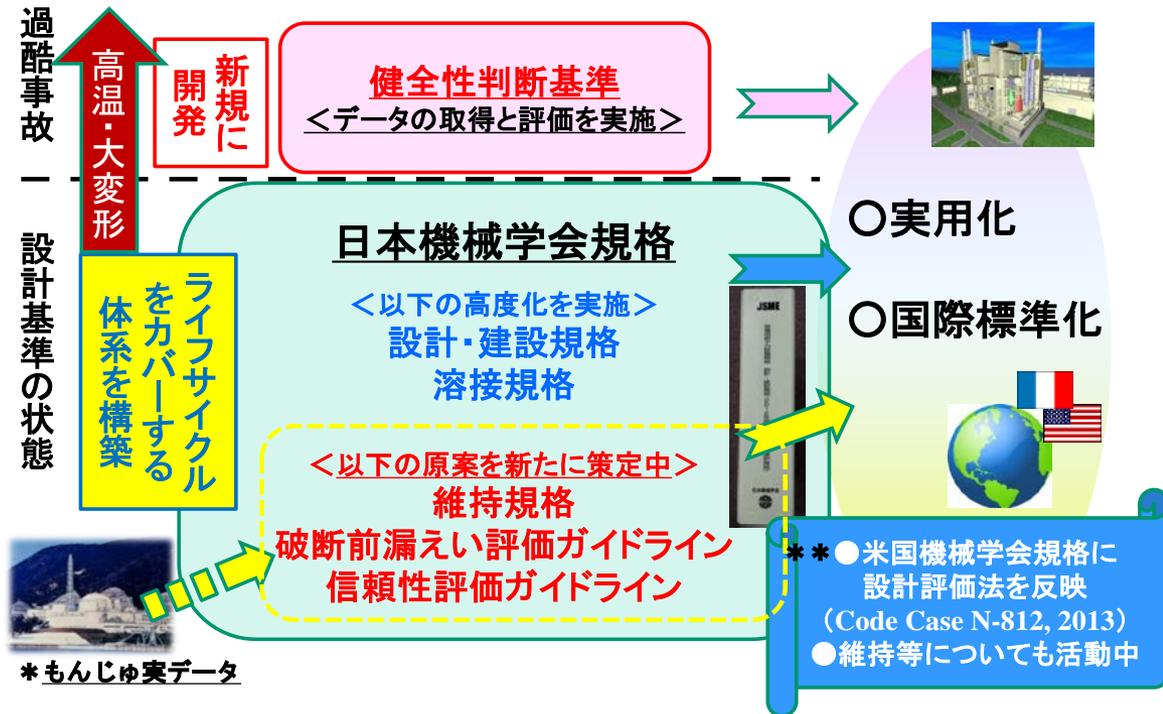
- ◆ **高速炉の規格体系を我が国独自の技術に基づき学会で整備し、その国際標準化活動を実施**

- \*もんじゅ実データに基づく高度化の推進
- \*米国規格への反映実績とさらなる活動

- ◆ **過酷事故時に想定されるより厳しい条件における健全性判断基準を開発**

## <今後の展開>

- ◆ **安全設計方針 (SDC/SDG) に整合する構造規格体系の構築**
- ◆ **ASTRID協力を踏まえた国際標準化の推進**



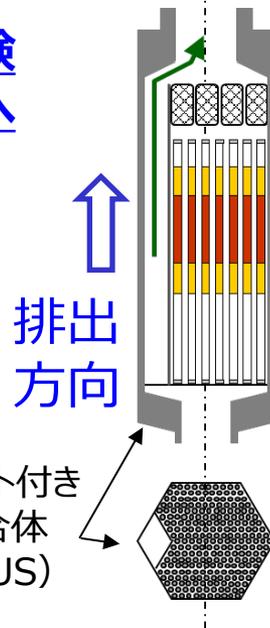
- 高速炉の過酷事故における溶融燃料の移動と冷却に係る現象解明を目的とした国際共同研究 (EAGLE試験) をカザフスタン共和国国立原子力センターと実施
- EAGLE-1,2では再臨界回避のための早期燃料排出機構を開発
- EAGLE-3では炉心損傷後の制御棒案内管からの流下に関する長期冷却性を確認

## □ これまでのEAGLE-1, 2 (2000~2011)

実燃料(UO<sub>2</sub>)による炉内溶融試験を実施し、溶融燃料を炉心領域外へ排出するメカニズムを確認



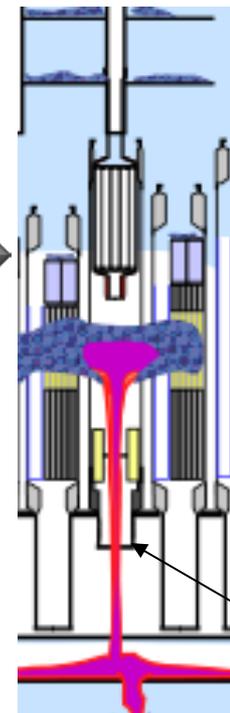
カザフスタン共和国  
IGR (Impulse Graphite Reactor)



日仏協力により両者で解析手法を検証中

## □ EAGLE-3 (2015~)

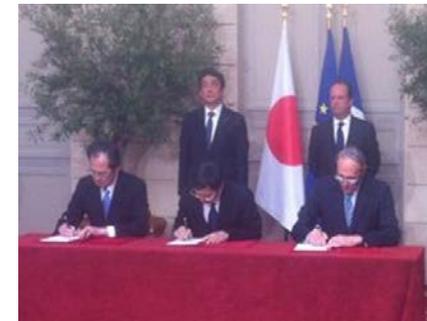
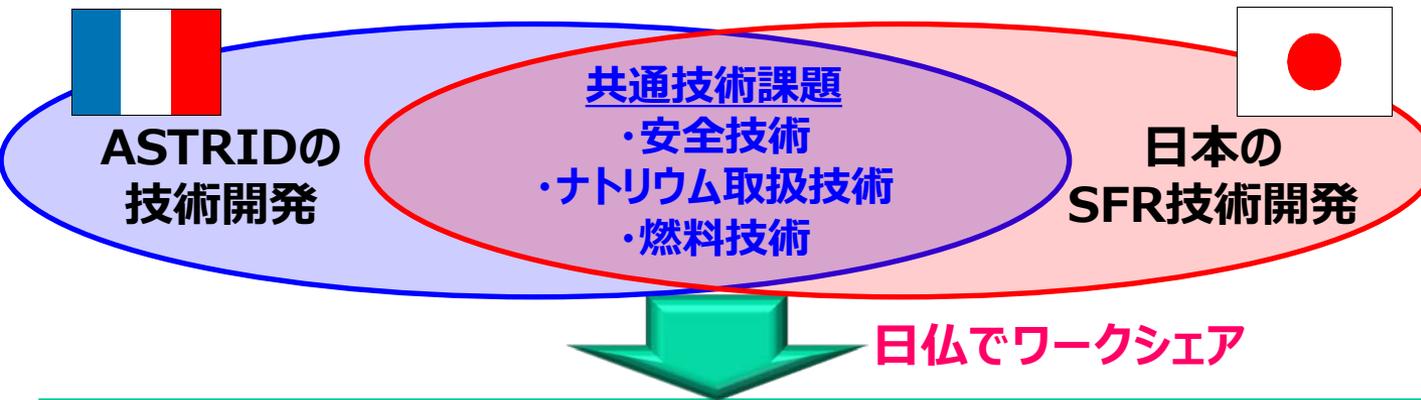
崩壊熱による溶融燃料の制御棒案内管を通じた燃料排出挙動を確認



溶融燃料の炉容器内保持を確認

制御棒案内管

- ◎ **日仏首脳同士の合意**に基づきASTRID開発プロジェクトへ参加（2014年5月に政府間の取決め、2014年8月に仏CEA・AREVAと実施機関間取決めを締結）
- ◎ シビアアクシデント対策の**安全設計の考え方を日仏で共有化し、我が国の設計技術をASTRIDに活かす**とともに、その知見を**我が国の安全系統・機器設計に反映**



政府間取決め締結

## <これまでの成果>

- **シビアアクシデント対策を中心とした安全性向上策の設計・R&Dを実施**
  - **設計（強制循環方式崩壊熱除去系、キュリー点電磁石方式自己作動型炉停止、免震技術）**
  - **R&D（燃料分野[7課題]、S A分野[9課題]、炉技術分野[10課題]）**
- 設計及びそれに関連する検討成果は、**我が国のSFRの崩壊熱除去系、受動的炉停止機構、免震装置の設計に直接反映可能**
- R&D協力では、**日仏双方の知見を持ち寄りデータ拡充、及び作業分担により進捗**

◎ **高速炉サイクルによる廃棄物減容・有害度低減の技術見通し**を得るためには、**Pu利用柔軟性向上、MA分離・変換関連サイクル技術等の確認**が必要

## 燃料開発及び照射試験：

- MA含有MOX燃料、高Pu富化度MOX燃料等の系統的な照射試験



FMF



AGF

## 燃料製造：

- 遠隔製造技術の開発
- 対応可能な燃料組成範囲の判断



Pu-3

常陽



Pu富化度  
MA濃度

## 燃料製造

高速炉サイクルによる  
廃棄物減容等  
の評価

## 高速炉

燃焼率

## 再処理

除染率  
回収率

## 再処理：

- MA分離プロセスの開発と性能評価
- 実現可能なプロセス概念の構築

## 炉特性・炉システム：

- 高速炉プラント技術の成り立ち確認
- MA含有炉心の特性取得

もんじゅ



## 全体システム評価：

- 各分野の情報の統合と有望なシステム概念の絞り込み
- 廃棄物減容化・有害度低減の効果の確認

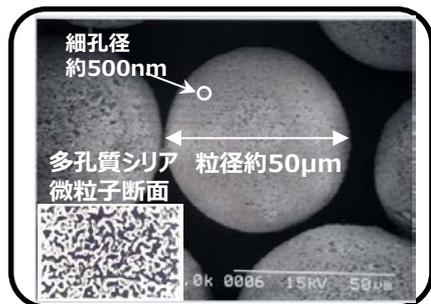
CPF



(MA：マイナーアクチニド)

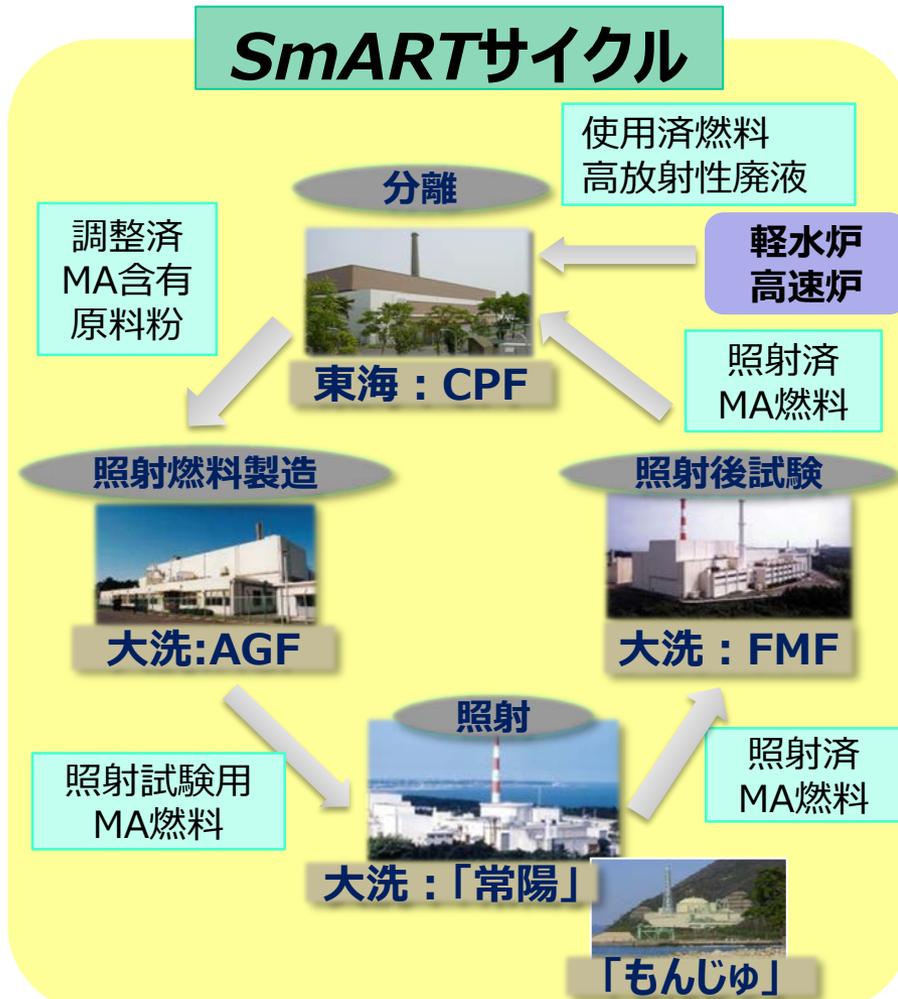
◎ **使用済燃料からのMAについて、分離・回収転換、燃料製造、照射、照射後試験までの一連の試験**を既存施設を用いて進める

## 廃棄物となる廃液からMAを分離

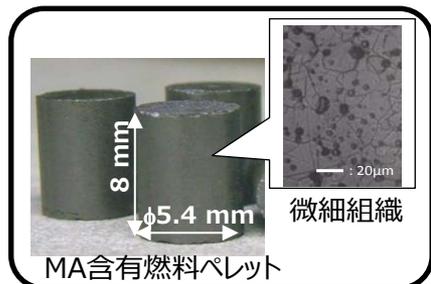


高レベル放射性廃液に含まれるMAの99.9%以上を吸着分離することに成功

## SmARTサイクル

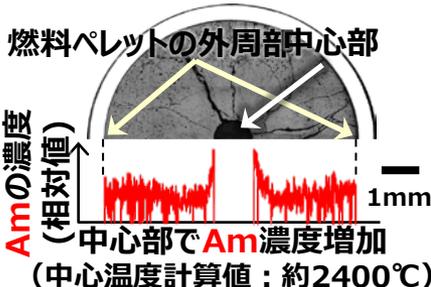


## MAを含有する燃料ペレットを製造



燃料製造技術の高度化  
 → 微細組織、酸素含有量の制御  
 → 基礎データ取得と製造条件最適化技術開発

## MA含有燃料の2000℃以上の照射試験



MAの燃料性能に及ぼす影響評価が不可欠  
 → 照射中のMA再分布挙動の物性(融点など)への影響を評価

(MA:マイナーアクチノイド, Am:アメリシウム, Cm:キュリウム)

- ◎ 実験装置のトラブルの復旧作業を終了し、**通常状態に復旧**
- ◎ **平成28年度に設置変更許可を申請予定**
- ◎ 再稼働後は、**放射性廃棄物減容化・有害度低減**、**仏国の実証炉（ASTRID）の開発協力に関する照射試験**等を予定

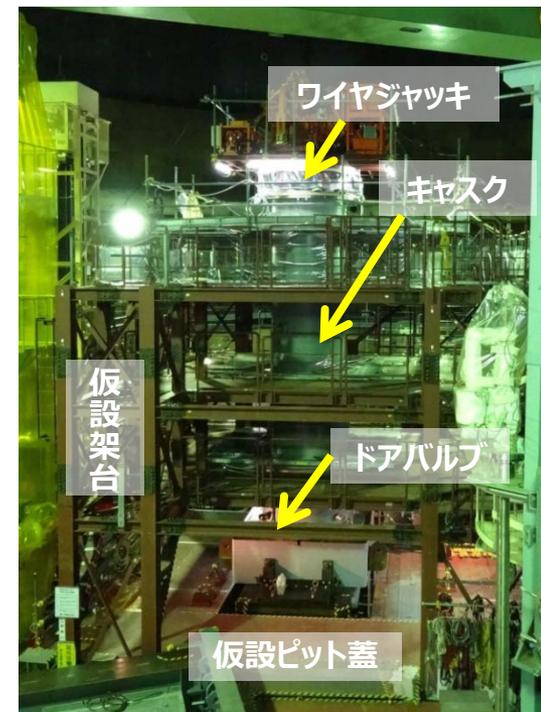
## ◆ 実験装置のトラブルの復旧作業を終了

炉容器内【高放射線（最大300Gy/h）、  
高温（約200℃）】の観察・補修技術開発

- 高耐放射線性ファイバースコープ等による炉内観察
- 大型炉内構造物（炉心上部機構約16.5 t）の交換
- 遠隔装置による実験装置の回収



- H26年5～11月：**炉心上部機構の交換、実験装置の回収を完了**
- H27年6月：作業に伴い取り外した機器の再設置を完了。**通常状態に復旧**



炉心上部機構の引抜作業

## 報告内容

- ◆ 震災を契機とした高速炉サイクル研究開発の変遷
- ◆ FaCTフェーズ I 成果の概要
- ◆ 高速炉サイクル技術保有の今日的意義と  
研究開発におけるもんじゅの役割
- ◆ 今後の研究開発の展開
  - 研究開発成果の実証・実用化への反映
  - もんじゅの研究開発
  - 高速増殖炉／高速炉の安全性強化
  - 高速増殖炉／高速炉の実証技術開発
  - 核燃料サイクルに係る再処理、燃料製造及び  
放射性廃棄物処理処分研究開発
- ◆ 高速炉サイクル研究開発の向うべき方向

- 高速炉サイクルの実用化に向けた政策が具体化される時点で以下の成果が提示できるよう研究開発を着実に推進
  - 【研究インフラの整備】
    - 「もんじゅ」、「常陽」等の試験施設の早期整備と再稼働
    - 「もんじゅ」、「常陽」、核燃料サイクル施設等を使った高速炉サイクル技術を支える人材と技術基盤の整備・蓄積
  - 【研究開発】
    - 福島第一原発事故を踏まえた安全性強化策を反映した革新技术の技術的成立性の確認
    - 国際的な安全設計要件を取り込んだ高速炉リファレンスプラント概念の構築
    - 廃棄物減容・有害度低減の技術的成立性の見通し
    - 実用化までの道筋（技術ロードマップ）の提示 等
- 政策具体化に当たっては、ステークホルダーとの対話・情報共有を進め、研究開発の方向性に反映
- その為にも、人材育成・技術継承を具体的に実行するとともに、速やかに新規制基準対応を実施して安全を最優先して試験施設を操業

# TOSHIBA

Leading Innovation >>>

## 第10回 原子力機構報告会 パネルディスカッション

— 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた研究開発 —

飯倉隆彦

2015年 12月 1日

# 産官学の連携、基礎基盤研究の現場への適用

## 基礎基盤研究を現場に繋ぐ、多様な機関・組織の連携

- 福島第一原子力発電所(1F)廃炉に向けた提言

### 1F廃炉への取組みの考え方(理念)を理解・共有

- ✓ 原子力安全文化、1Fの特殊性、NDF戦略プラン、ロードマップ

### 機関・組織の連携の枠組み構築と廃炉進展での見直し

- ✓ プラットホーム活用、事故廃棄物の分析・取扱い、処理処分実証

### 福島での協働、現場指向の基礎基盤研究

- ✓ 多様な分野の人材、双方向インターンシップ・交流、成果評価

NDF:原子力損害賠償・廃炉等支援機構

# 1F廃炉への取組みの考え方(理念)を理解・共有

## 明確な目的・目標・適用先、不明確な検討条件

### 1F事故廃棄物

✓ 特に、燃料デブリ

- 人(住民・作業員)と環境の安全を最優先、安全に取り出し、安定的に保管する

### 1Fの特殊性

- 線量が極めて高い
- 日々現場が変化している、工事が錯綜
- 目標を達成するための「不確かさ」の幅大

### NDF戦略プラン

- 安全 放射性物質によるリスク低減及び労働安全の確保
- 確実 信頼性が高く、柔軟性のある技術
- 合理的 リソースの有効活用
- 迅速 時間軸の意識
- 現場指向 徹底した三現主義(現場、現物、現実)

共通の理念

不確定性への対処、バックキャスト

原子力安全文化、深層防護を理解し、高い検討レベルに

# 機関・組織の連携の枠組み構築と廃炉進展での見直し

## 廃炉進展に伴い期待される主な基礎基盤研究

### 燃料デブリの場所・量の特定

- 相手を正確に知りたい



- ✓ 計測・分析
- ✓ 解析評価...

### 燃料デブリの取扱い方

- 原子力安全の確保はどうすべきか



- ✓ 臨界安全
- ✓ ダスト評価...

### 検認・保管、取出し完了判定

- 保障処置はどうすればいいか

- ✓ 計量管理
- ✓ 安定化処理...

### 現場適用化、システム化、実証

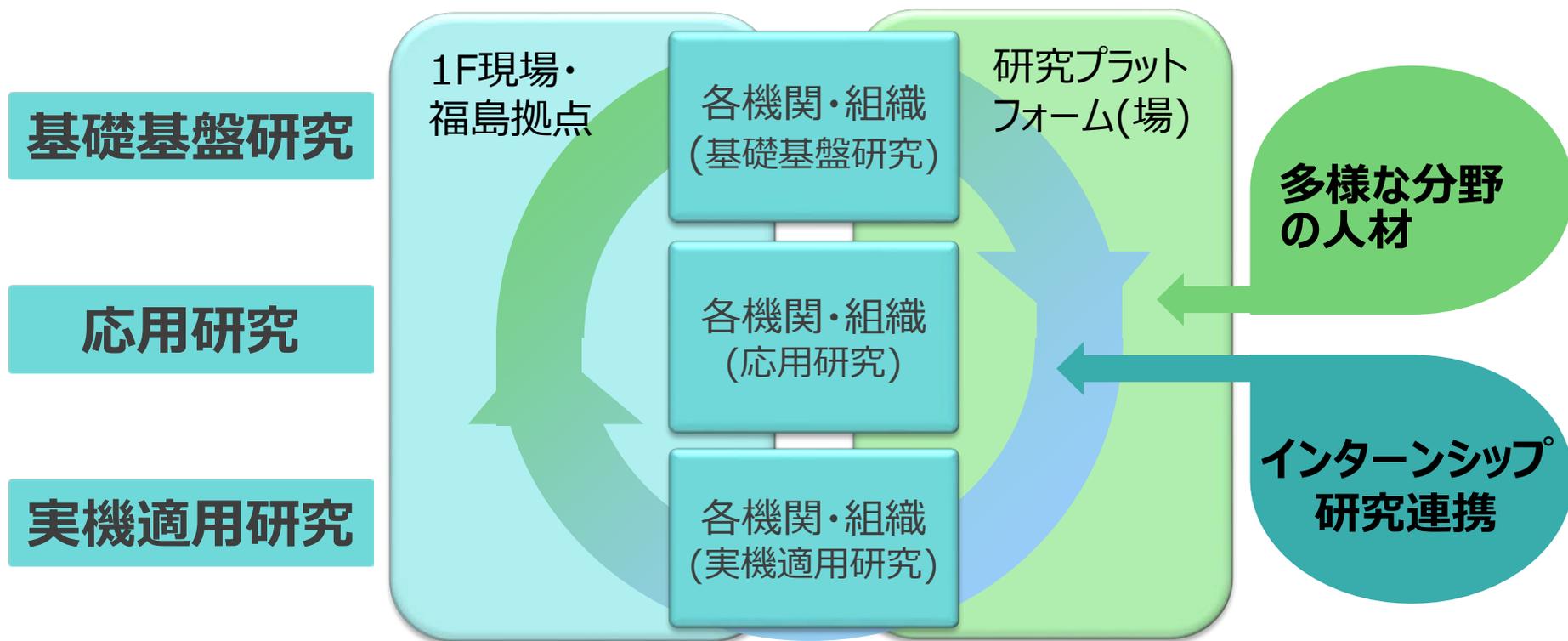
現場条件のフィードバック  
遠隔自動、遠隔保守・補修  
モックアップ試験  
現場での評価試験  
主システム見直し・再試験・評価  
周辺システムの設置、連携

- プラント毎の現場に適用しているか
- 環境変化に対応できるか
- 不確定性への配慮は十分か
- 労働安全・工事性・作業性、ユーティリティ、原子力安全、深層防護は確保されているか

現場適用を目指し、機関・組織をコーディネート

# 福島での協働、現場指向の基礎基盤研究

## 共通の理念・「場」と徹底した三現主義で目標達成



現場での目標達成や研究成果の適切な評価、処遇の道筋

**TOSHIBA**

**Leading Innovation >>>**

# 参考資料(1)

## ● NDFの燃料デブリ取り出し方法や適用技術評価における5つの基本的考え方

表 4.1-1 5つの基本的考え方に基づく評価指標

5つの基本的考え方		評価指標
安全	放射性物質によるリスクの低減 及び労働安全の確保	放射性物質の閉じ込め（環境への影響）
		作業員の被ばく（作業時間、環境）
		労働安全の確保
		リスク低減効果
確実	信頼性が高く、柔軟性のある技術	技術開発の難易度・技術成熟度
		要求事項への適合性
		不確実性に対する柔軟性・ロバスト性 <sup>(注)</sup>
		代替策等の対応計画
合理的	リソース（ヒト、モノ、カネ、スペース等）の有効活用	要員の確保（研究者、エンジニア、作業員）
		廃棄物発生量の抑制
		コスト（技術開発、設計、現場作業）
		作業エリア、敷地の確保
		廃止措置の後工程への影響
迅速	時間軸の意識	燃料デブリ取り出しへの早期着手
		燃料デブリ取り出しにかかる期間
現場指向	徹底した三現（現場、現物、現実）主義	作業性（環境、アクセス性、操作性）
		保守性（メンテナンス、トラブル対応）
		各号機への適用性

(注) ロバスト性とは、想定した条件が多少変わっても機能を発揮する頑健性を有することをいう。

出典:原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF) 東京電力(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2015

# 参考資料(2)

## ● 深層防護レベルの基本的な考え方

	防護 レベル	目的	目的達成に 不可欠な手段
当初設計 プラントの	レベル 1	異常運転や故障の防止	保守的設計及び建設・運転における高い品質
	レベル 2	異常運転の制御及び故障の検知	制御, 制限及び防護系, 並びにその他のサーベランス特性
	レベル 3	設計基準内への事故の制御	工学的安全施設及び事故時手順
設計基準外	レベル 4	事故の進展防止及びシビアアクシデントの影響緩和を含む, 過酷なプラント状態の制御	補完的手段及び格納容器の防護を含めたアクシデントマネジメント
計画 緊急時	レベル 5	放射性物質の大規模な放出による放射線影響の緩和	サイト外の緊急時対応

出典:原子力学会(AESJ) 原子力安全の基本的考え方について 第 I 編 原子力安全の目的と基本原則(AESJ-SC-TR005)

# 東京工業大学における福島第一原子力発電所廃炉に 向けた人材育成と基礎・基盤研究の取組み

東京工業大学

小原 徹

# 文部科学省委託事業

## 「廃止措置工学高度人材育成と基盤研究の深化」

### －活動の概要－

- 現場で効果的に適用できる実用的な技術の開発
  - 現場で必要とされる課題についての研究者の知見の深化及びこれまで関与できなかった研究者の新たな貢献をもたらすワークショップ活動
- 現場で実際にものを触れることの出来る技術者・研究者の育成
  - 放射性物質及び核燃料物質を用いた実験
  - 現場に近い状況でのロボットによる遠隔計測技術の実験
- 廃止措置事業に高いモチベーションをもつ人材の育成
  - キャリアパス形成活動
- 研究成果の他分野への適用
  - 環境汚染分析、食品・医薬品分析、天災時や種々の化学プラント事故時、深海探査・宇宙探査等への応用

# 廃止措置工学高度人材育成と基盤研究の深化（東京工業大学）

廃止措置に関する新たな技術知見の創出

廃止措置を担う人材の継続的な育成

**研究活動**  
 東工大原子炉工学研究所、東工大機械系  
 連携大学：東京医科歯科大、東京都市大、芝浦工大、東海大

**人材育成活動**  
**「廃止措置工学特別コース」**  
 東工大原子炉工学研究所

**【東海大学】**  
 ハロゲン化物系イオン液体を用いたセルロース溶解に基づく汚染木材等の除染法の開発

**【芝浦工業大学】**  
 廃液組成をマトリックスとしたホウ酸塩ガラスによる放射性核種を吸着した廃ゼオライトの固定化に関する研究

**【東工大：理工学研究科機械系】**  
 移動プラットフォームの設計とロボット搬送計測システムの統合開発

**【東京医科歯科大学】**  
 高強度化学合成繊維を用いた計量超冗長多関節アームの設計開発

分析

1. 難分析核種用マイクロ分析システムの構築

除染

2. セルロース分解性イオン液体を用いた汚染木材等の除染法の開発  
 3. 水熱分解法による汚染土壌・焼却灰処理技術

回収・固定化

4. フェリ・フェロシアン系吸着剤によるCs高選択回収技術  
 5. クラウンエーテル含有ゲルと天然鉱物を利用したCs、Sr同時回収・固定化技術

遠隔計測

6. シビアアクシデント後の遠隔計測技術

臨界安全

**【東京都市大学】**  
 7. デブリ取出時の未臨界確保方策  
 8. メルトダウン炉心の臨界事故解析と対策の検討

9. 廃止措置技術・人材育成フォーラム

成果の反映

1. デブリ材料工学に関する人材育成  
**「廃止措置・材料工学実験」**  
 (ホットラボ実験)

2. デブリ化学に関する人材育成  
**「核燃料・デブリバックエンド工学実験」**  
 (ホットラボ実験)

3. シビアアクシデント後の遠隔計測技術に関する人材育成  
**「シビアアクシデント工学実験」**  
 (モックアップ施設実験)

4. 廃止措置の最新技術と基礎に関する人材育成  
**「原子炉廃止措置特別講義」**  
**「原子炉廃止措置工学」**  
 (最新知見と基礎の体系的講義)

5. キャリアパス形成活動  
**「原子炉廃止措置インターンシップ」**  
**「原子炉廃止措置セミナー」**  
 (モチベーションの向上)

参加・情報交換

参加・情報交換

インターンシップ受け入れ・連携

講師派遣・連携

連携

連携機関  
 廃止措置実施機関

東京工業大学・連携大学  
 学生の参加

使用可能核種(手続き中含む):  $^{79}\text{Se}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{93}\text{Mo}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$

## 化学操作

液液分離



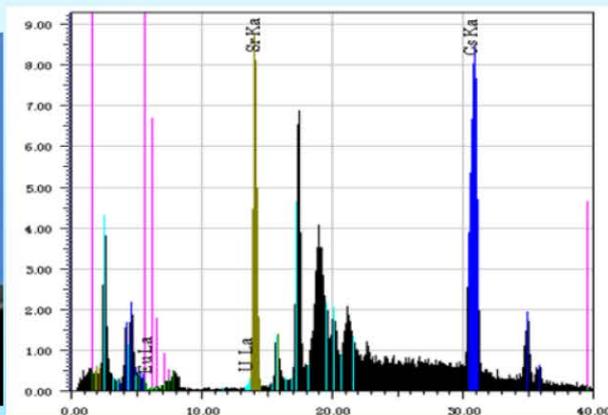
固液分離



ドラフト・器具類

## 分光分析

X線蛍光



## α、β、γ線計測

スペクトロメーター



# 基礎基盤的研究への期待 ～現場における課題解決に向けて～

2015年12月1日

東京電力株式会社

福島第一廃炉推進カンパニー

村野 兼司



TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY

# 廃炉において何が重要か？

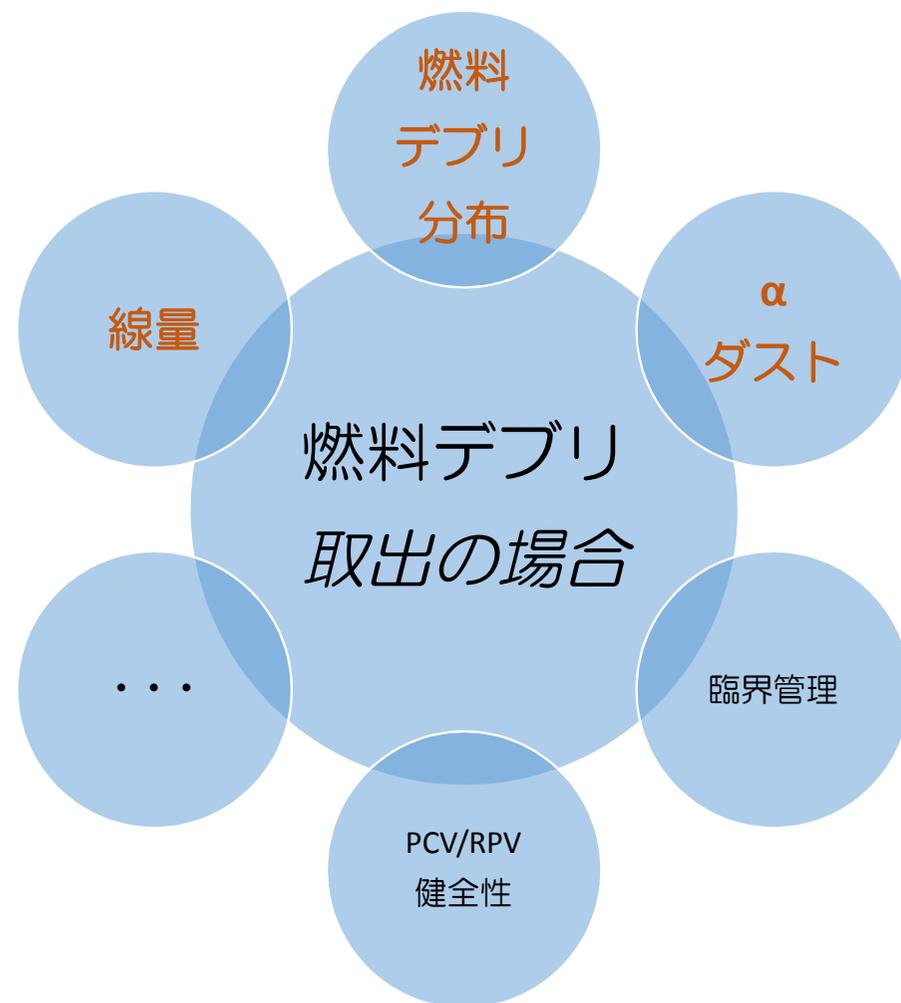
- 安全に
- 確実に
- 合理的に
- 迅速に
- 現場指向で

ー「東京電力（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」（平成27年4月30日 原子力損害賠償・廃炉等支援機構）より5つの基本的考え方 ー

## 廃炉作業の意思決定のために

- 廃炉戦略における個々の技術開発の位置付け
- 技術開発の結果を現場適用する際の難易度、リスク、便益、およびコスト

を把握し、**戦略を最適化**する必要



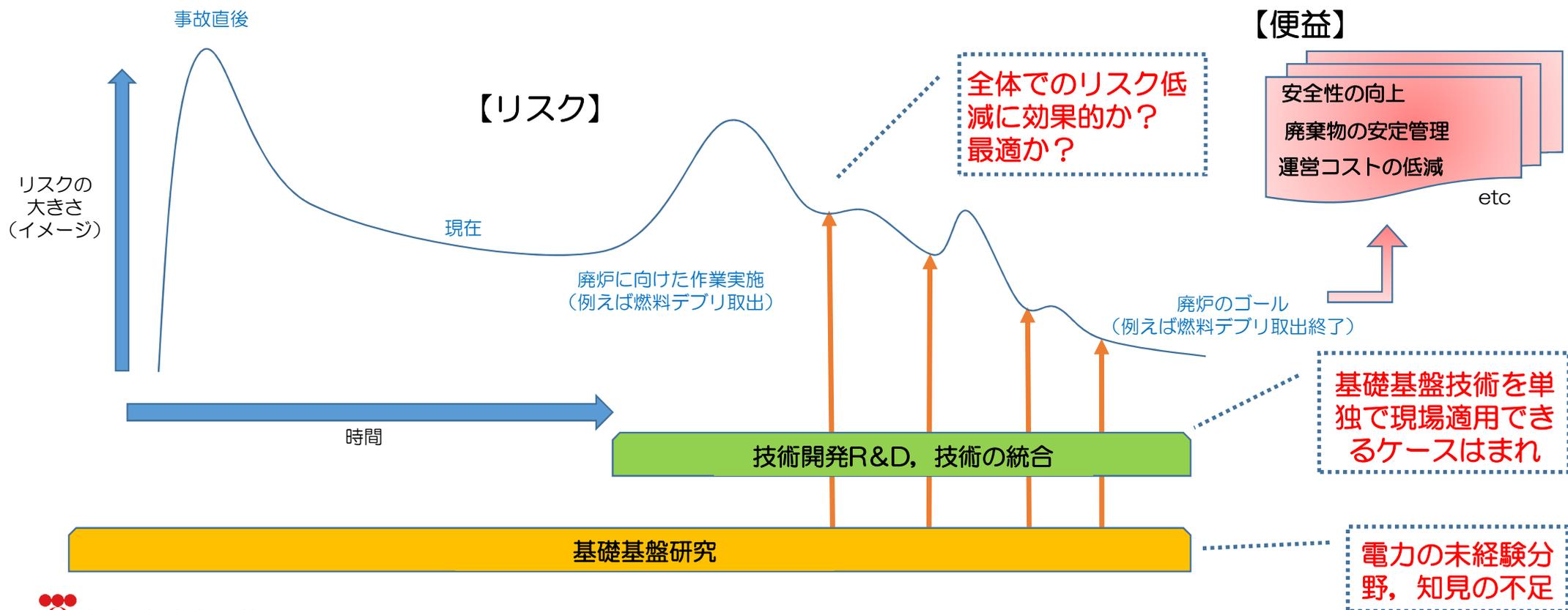
# 簡単でない意思決定

既設炉の管理	事故後の福島第一の廃炉
<ul style="list-style-type: none"><li>安全規制などの法整備</li><li>現場は日々巡視・点検され，運転管理，保守管理を実施</li><li>管理に必要な技術を蓄積</li><li>過去の建設，運転および保守における様々な経験に裏打ちされた品質マネジメント</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>損傷により安全機能は失われ，既に移動性の高い核分裂性物質が放出されている分インベントリは低い，リスクは存在する</li><li>廃炉作業により発生するリスク／便益をどう考えるべきかの指標はない</li><li>損傷施設内の線量率は高く，内部状況調査は非常に困難</li><li>同じ前例はない</li></ul>

- 福島事故以前に既設炉の運転管理において東京電力が培った能力・経験・知見・ツールの適用は限定的。
- リスク／便益は定義できておらず，曖昧な状態が継続することが意思決定を阻害
- 基礎基盤的研究は課題解決の糸口を与えるか？

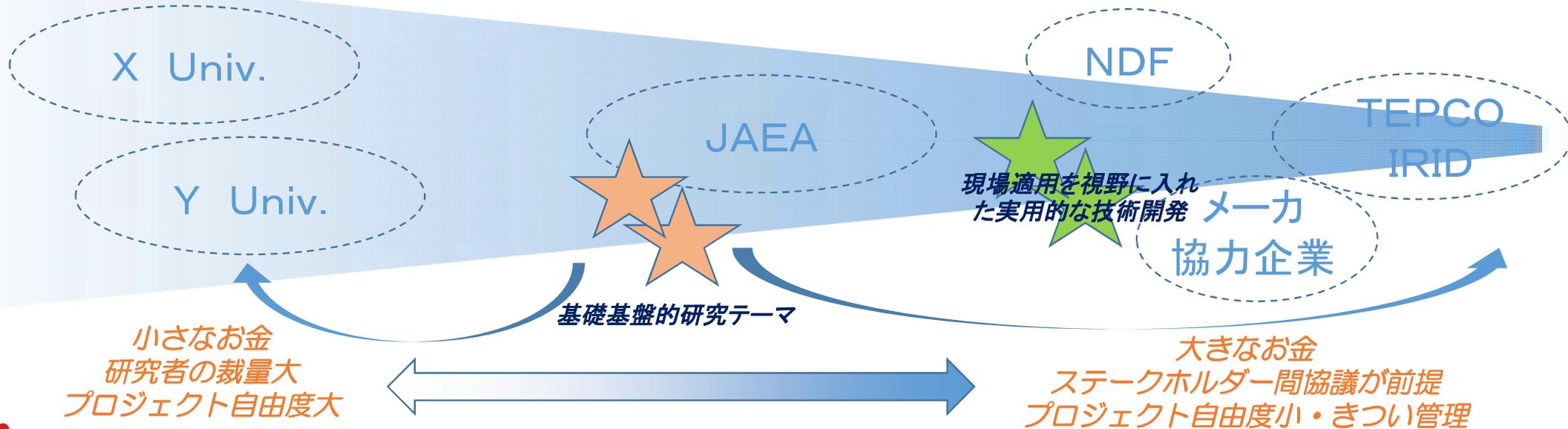
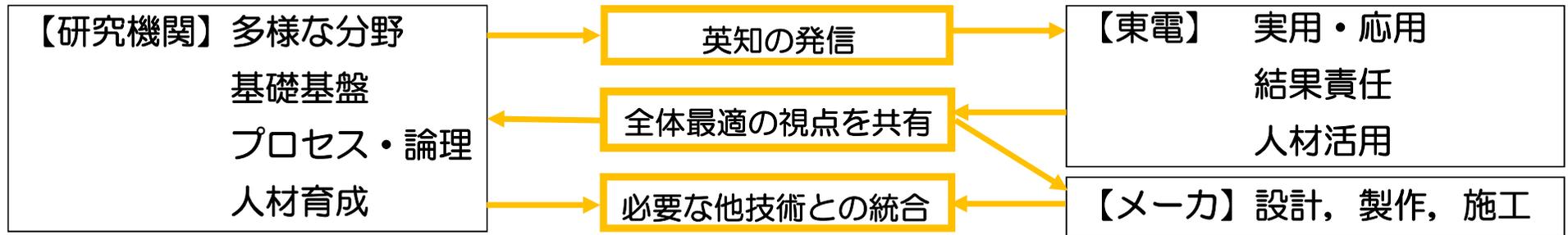
# 廃炉におけるリスクの低減と便益の向上

- 廃炉作業の実施によりリスクは一時的に上昇する可能性があり、適切に管理することが求められる
- 基礎基盤研究成果およびそれを活用した技術開発によるリスク低減／便益の向上
- 現場適用までには課題もある



# 研究開発プロジェクト マネジメントの課題

## 現場における課題解決



# なぜ, Packbot, Warriorなのか?

貫通部  
(X6)



Warrior

掃除機

Packbot (監視用)

## 情報発信

事故後早期に提供の提案

## 全体最適の視点

調査・除染ニーズ, 信頼性,  
耐環境性, 操作性, 軽量小型

## 技術の統合

様々なものを搭載可能, 通信

PCV内部調査のためPCV貫通部周辺を除染する遠隔操作ロボット

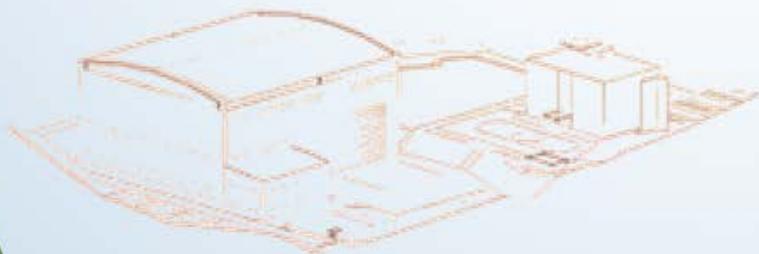
## 基礎基盤的研究に関する期待のまとめ

- 事故炉の廃炉は前例のない特殊なプロジェクトであり、発電炉の運転管理とは異なるマネジメントが要求される。新たな知見の発掘は廃炉作業の前進に寄与。
- 基礎基盤技術やそれを活用した技術開発成果を現場への適用により、廃炉作業に伴うリスクの低減および便益の向上を期待。
- より線量の高い場所へのアクセスが必要であり課題は複雑化する。解決には「情報発信」、「全体最適の視点共有」、「技術の統合」が必須。

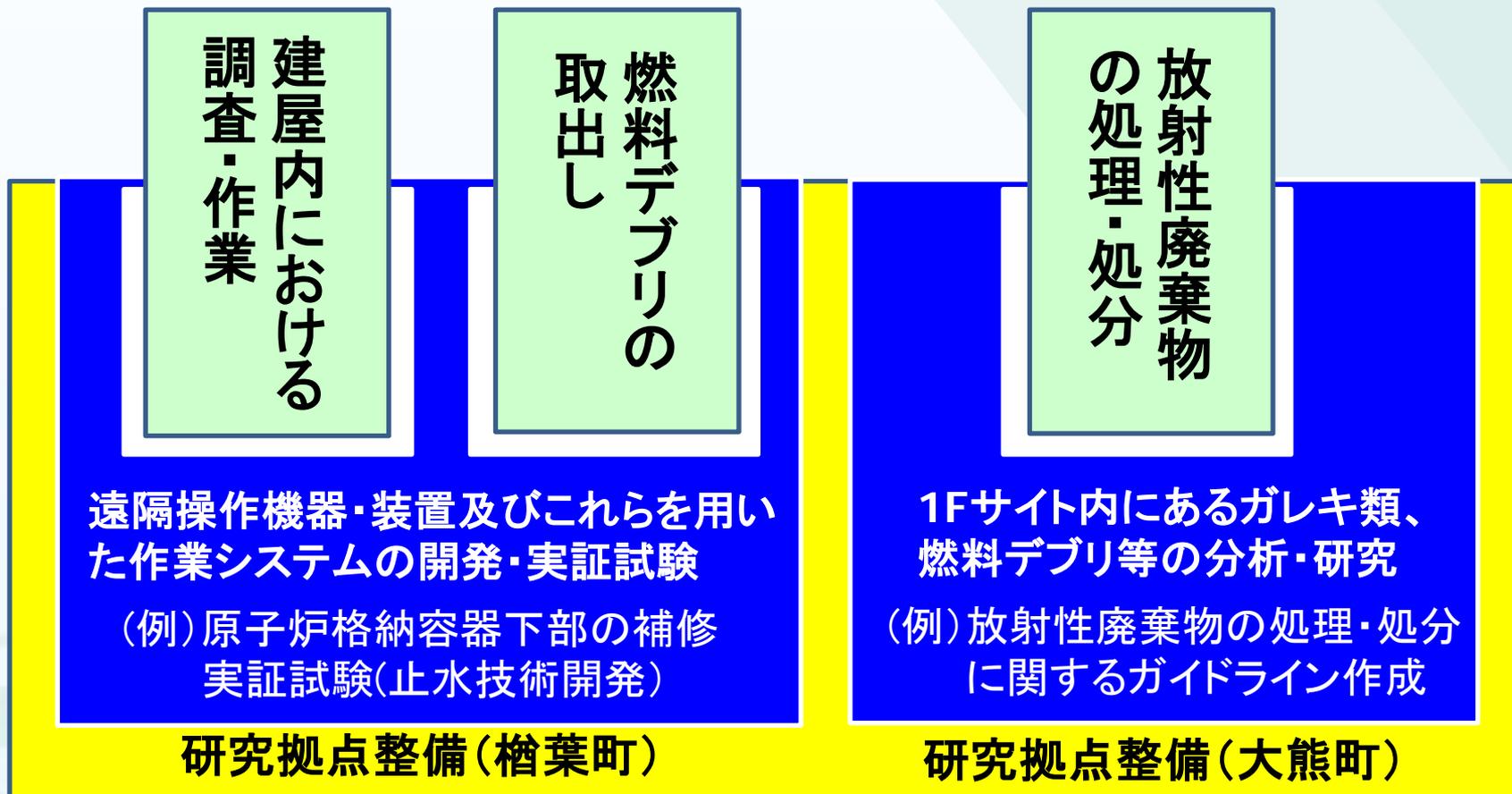
# 研究拠点の整備と 関連研究開発

平成27年12月1日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
福島研究開発部門 福島研究基盤創生センター  
河村 弘



# 新たな研究基盤の創生



新たな研究基盤の創生(JAEA)

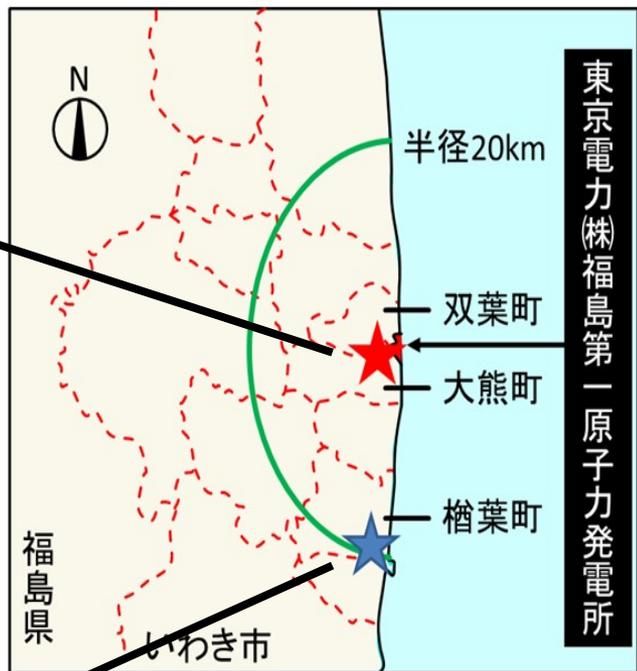
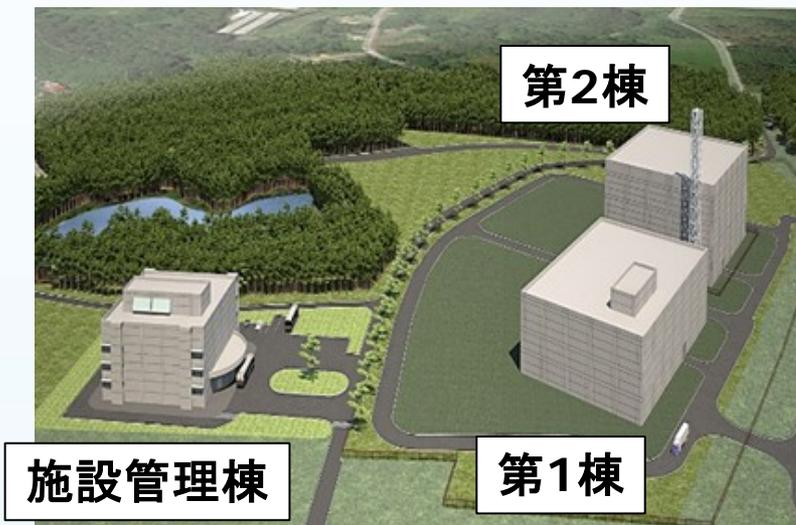


- 新規研究拠点(檜葉、大熊)を整備
- 上記2施設の機能高度化のための遠隔技術開発を実施

# 研究拠点の概要

<大熊分析・研究センター(イメージ図)>

- ★ 櫛葉遠隔技術開発センター(モックアップ試験施設)
- ★ 大熊分析・研究センター(放射性物質の分析・研究施設)



<櫛葉遠隔技術開発センター(イメージ図)>

# 研究拠点の整備状況と役割

- 遠隔操作機器・装置の開発・実証試験施設  
(櫛葉遠隔技術開発センター)
  - 研究管理棟の完成に伴い、2015年9月24日から一部運用を開始
  - 安倍首相、福島県知事、櫛葉町長、関係大臣等ご列席の元、10月19日に開所式開催
  - 試験棟建屋は11月30日完成
- 放射性物質の分析・研究施設  
(大熊分析・研究センター)
  - 2014年度から詳細設計開始。

## 新規整備施設の役割

廃止措置の推進  
(中長期ロードマップに基づく研究)

科学技術の向上  
(独自研究)

地域との共生  
(産業創生開発)

安全基盤の強化  
(安全規制研究)

項目	年度	2013 (H25)	2014 (H26)	2015 (H27)	2016 (H28)	2017 (H29)	2018 (H30)	2019 (H31)	2020 (H32)	2021 (H33)	2022 (H34)	2023 (H35)
遠隔操作機器・装置 の開発・実証施設		設計	建設		運用							
		設計・建設		運用								
放射性物質の 分析・研究施設	施設 管理棟	設計・建設		運用								
	第1棟	設計・建設		運用※								
	第2棟	設計・建設		運用※								

(注)「放射性物質の分析・研究施設」の運用開始時期については、認可申請等も含めて精査中。

# 櫛葉遠隔技術開発センター(研究管理棟)

事故炉をコンピュータ内に再現し、40年間の廃炉作業を促進

バーチャルリアリティ(VR)システムを用いた作業者訓練等を通じた「安全・確実な作業に向けた取組み」に貢献。

現場で得られた  
知見・経験等の  
フィードバック・  
蓄積

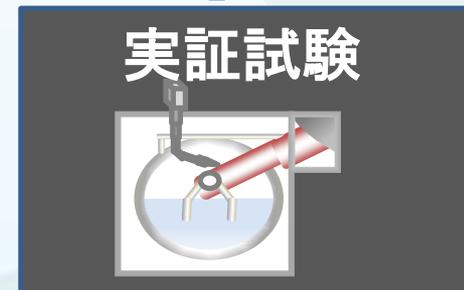


確実な作業の  
実施



安全・確実  
効率的な作業実施

効果的な作業手順、試験  
方法、安全な作業



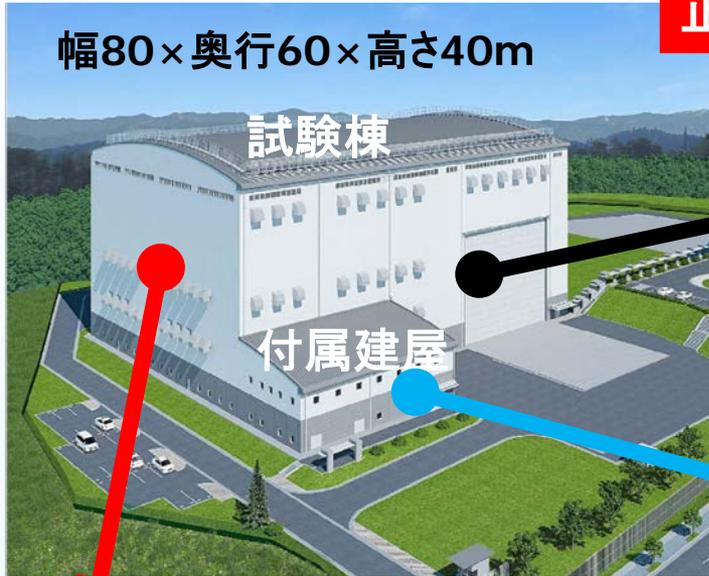
- 作業計画の立案・事前検証
- 作業の事前訓練

- 作業計画の検証
- 作業訓練

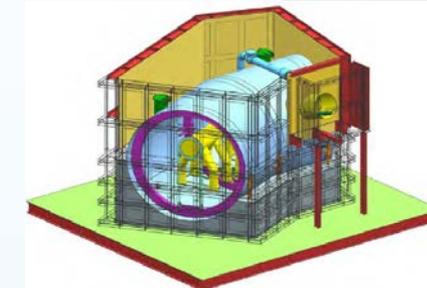
○現在、1F2号機の1階及び地下階を再現

○今後、引続き2号機の2~5階、他号機の全階を再現

# 楢葉遠隔技術開発センター(試験棟)



## 止水試験エリア



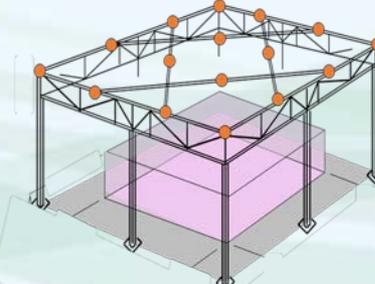
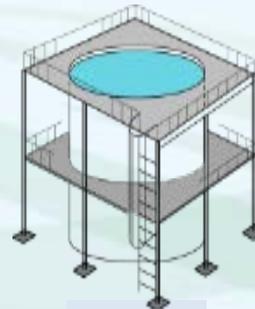
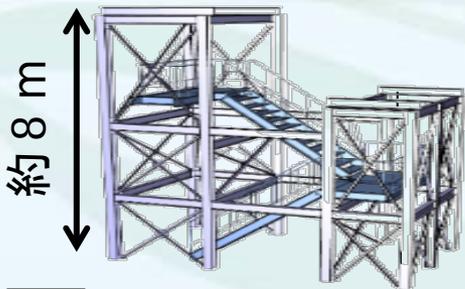
実物大の寸法の機器を  
1/8 切り出した試験体



【提供】技術研究組合国際廃炉研究開発機構(IRID)

## 要素試験エリア

ここでなければ体験できない、1F建屋内の  
作業環境をリアルに実物大で再現



## 研究活動推進エリア

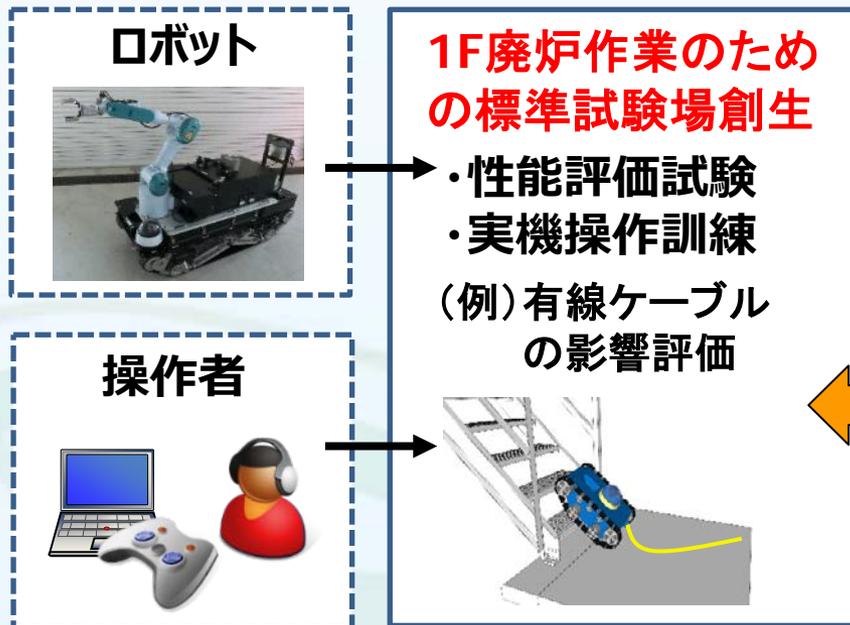
- 遠隔操作機器の補修・改造、  
実験データ解析・整理等に活用
- 研究室7室(50m<sup>2</sup>/1室。内、  
3室ロボットシミュレータ完備)
- 工作室1室(旋盤、ボール盤、  
フライス板、検査機器等完備)  
JAEAで作業補助者も準備
- 基本的には1年中稼働

# 研究拠点を支える技術開発

## 遠隔基盤技術の開発例

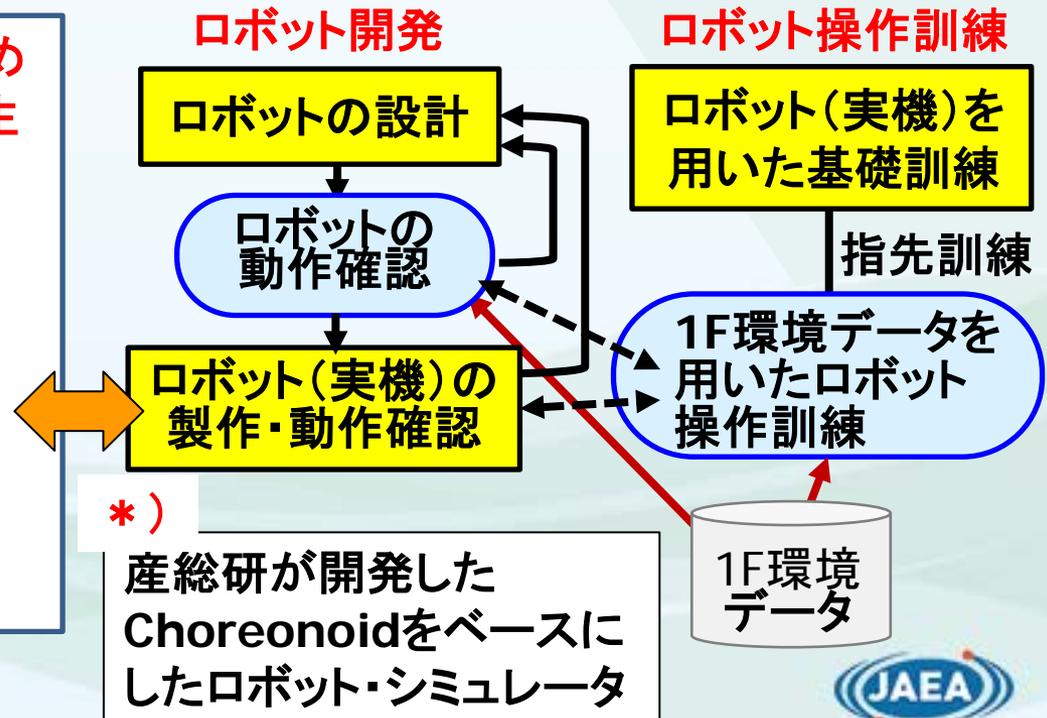
- 共通基盤的なタスク遂行能力を定量的に評価する試験法を開発し、ロボットの要求水準やオペレータの技能達成水準を明示。

### 原子力災害対応ロボットの標準試験法



- 変化する作業現場等の環境データをコンピュータに取り込み、ロボット開発の合理化等を目指したシミュレータ\*を開発。

### 1F廃炉ロボットのシミュレータ



# 現状整理と今後の課題(1)

- **楢葉遠隔技術開発センター**の施設・内装機器の整備は、外構工事を除いて11月末で完了。来年度からの本格運用にめど。
  - 約2年間、大学、産業界、廃炉研究機関、国、地元自治体等の有識者約50名に参加していただき、整備すべき設備、適正な利用料金、利用者目線の利用システム等について検討を行い、利用開始可能なレベルまで意見集約化を達成。今後は、さらに1F廃炉のための中核研究拠点として、研究開発等に臨機応変かつ迅速に対応しながら、施設の利用率をさらに高めるとともに、自らの研究開発を通じて試験機能の高度化を実現
  - 同センターをイノベーションハブと位置づけ、福島県浜通りの遠隔技術機器に係る産業拠点化のために科学技術で貢献

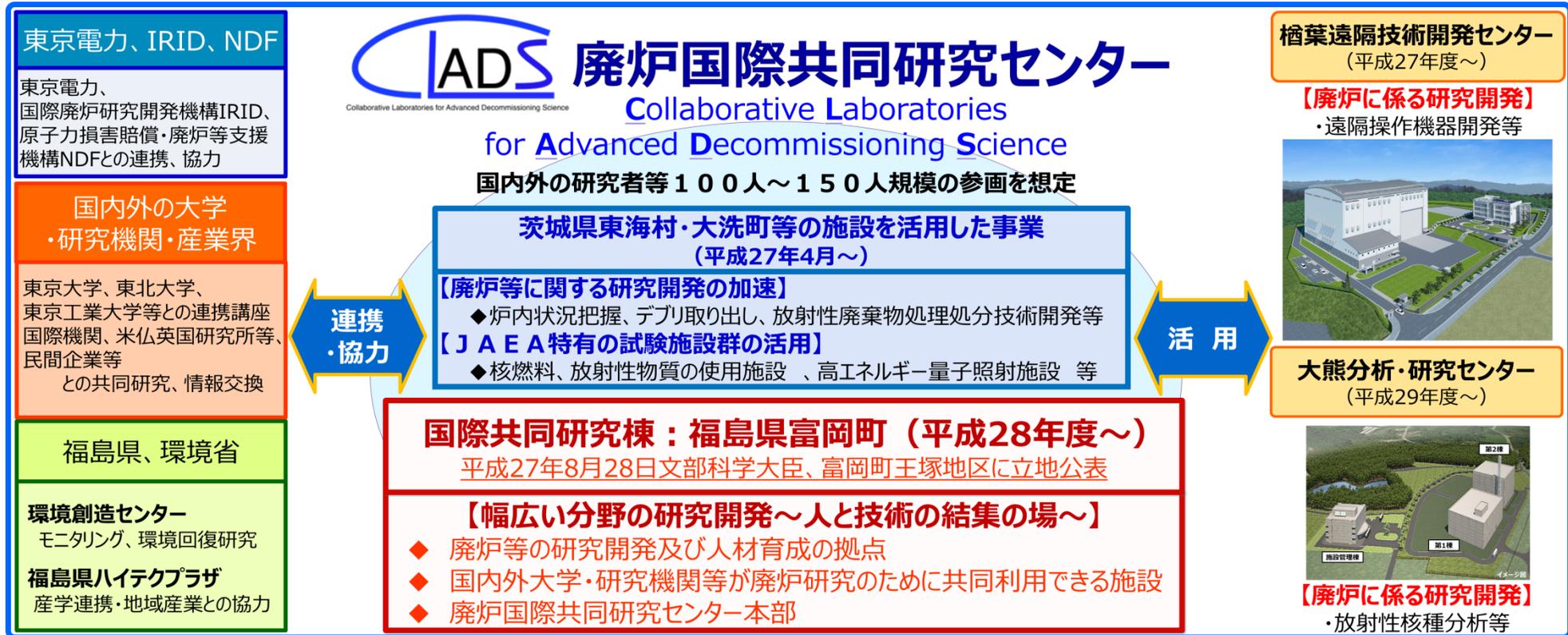
# 現状整理と今後の課題(2)

- **大熊分析・研究センター**の3棟の詳細設計を開始するとともに、敷地内の線量・土壌分析等の測定結果を踏まえ、次年度からまず、放射化物を扱わない、**施設管理棟**の工事開始。次に、低放射線量率のガレキ類等を扱う**第1棟**も国の認可が得られ次第、工事開始。**第2棟**については並行して進められている各種調査・検討結果を反映させ、引続き、詳細設計実施。
  - 東京電力の安全管理下で適切な運営が可能な体制を構築し、分析・研究施設の安全・安心運転を実現
  - 分析・研究に不可欠な技術者の確保や計画的育成、持続可能な業務委託の在り方等について検討加速
  - 新たな炉内調査や分析・研究内容検討の結果に対応可能な、融通性を持った試験施設・設備の設計を国内外の叡智を結集して実施

# 福島第一原子力発電所の廃止措置と 日本原子力研究開発機構の役割

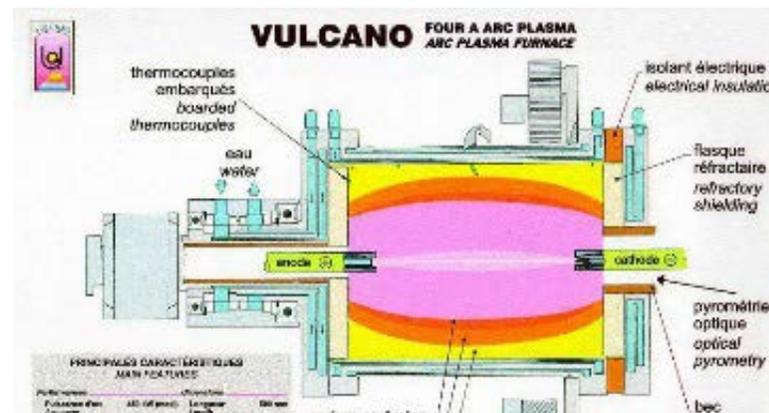
平成27年12月1日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
福島研究開発部門 廃炉国際共同研究センター  
小川 徹



## ● 海外と積極的に協力を実施

IAEA、米国（DOE、SRNL、ANL、INL、LANL、LBNL、LANL、ORNL、NRC）、英国（NNL、AMEC）、仏国（CEA）、独国（KIT）、フィンランド（VTT）  
他との共同研究、情報交換等を実施中。



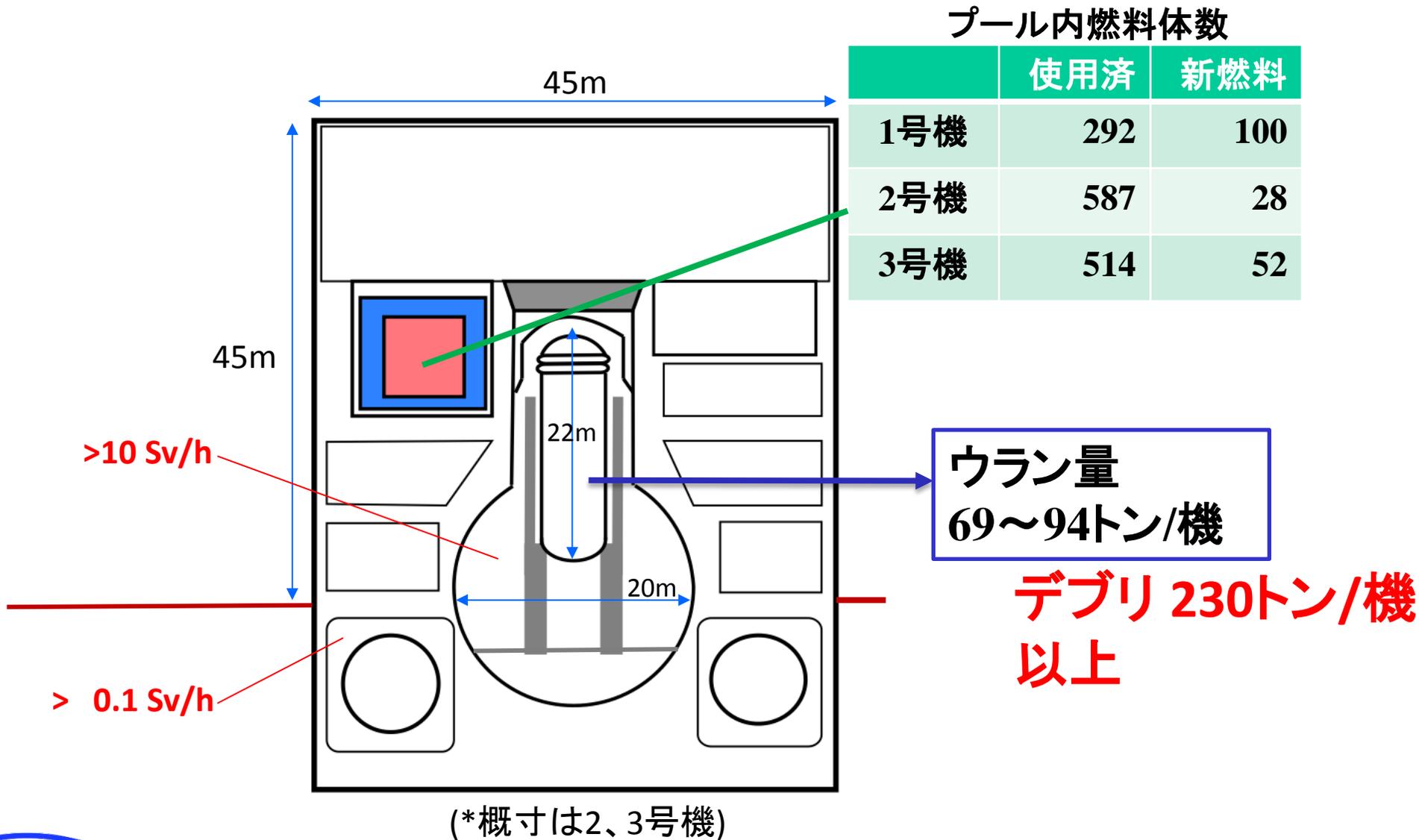
仏国CEAとのMCCIに関する共同研究

## ● 国内の大学等との連携・協力

- ・東大、名大 レーザー共鳴電離質量分析法
- ・京大、徳島大、 LIBS高度化
- ・東北大、BWR炉心崩壊後期過程の解析
- ・北大、廃棄体長期安定性評価技術
- ・長岡技大、格納容器内線量分布評価等



炉心材料とコンクリートの溶融反応

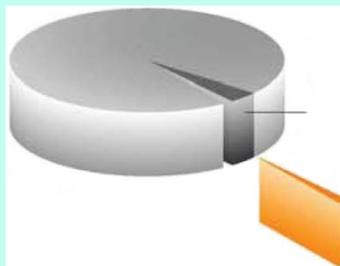


プール内燃料体数

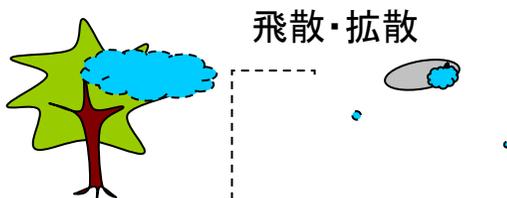
	使用済	新燃料
1号機	292	100
2号機	587	28
3号機	514	52

通常の  
焼炉

放射性物質でない廃棄物  
**約93%**  
約55万トン/機  
(大部分がコンクリート  
廃棄物 約49.5万トン)



クリアランス物  
**約5%** (金属・コンクリート廃棄物 約2.8万トン)  
低レベル放射性廃棄物  
**約2%** 大部分が金属廃棄物 **約1.3万トン**



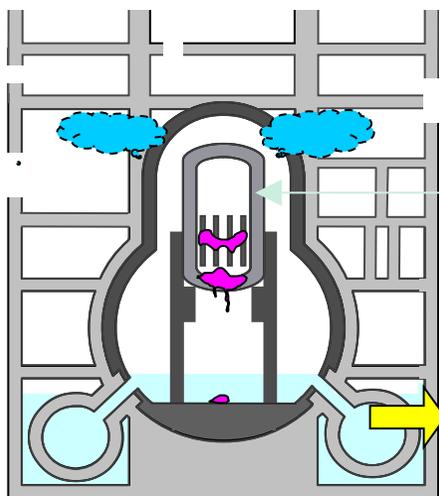
**【瓦礫／伐採木等】**

瓦礫

伐採木

土壌

- 物量が多く、広範囲に分布
- 樹木、土壌は処理・処分実績が乏しい
- 飛散・拡散による表面汚染が主で、一部が滞留水を通じた浸透汚染



水処理装置

汚染水

**【燃料デブリ／解体廃棄物】**

- 物量が多く高線量物も多い
- 現状ではアクセスが難しく、原廃棄物の採取が困難

**【汚染水処理二次廃棄物】**

汚染水処理  
二次廃棄物

交換配管・  
貯槽等

- 処理・処分実績が乏しい
- 原廃棄物の採取が困難
- 装置の特徴に応じて発生量や核種量の一部推定が可能



## 「戦略プラン」検討における基本的考え方

➤ 「戦略プラン」策定及び実行に当たってのリスク低減のための **5つの基本的考え方**を設定

- ◆ 基本的考え方1 : **安全** 放射性物質によるリスクの低減\*及び労働安全の確保  
(\*環境への影響及び作業員の被ばく)
- ◆ 基本的考え方2 : **確実** 信頼性が高く、柔軟性のある技術
- ◆ 基本的考え方3 : **合理的** リソース（ヒト、モノ、カネ、スペース等）の有効活用
- ◆ 基本的考え方4 : **迅速** 時間軸の意識
- ◆ 基本的考え方5 : **現場指向** 徹底した三現主義（現場、現物、現実）

事故進展理解のためのデータ取得、解析技術改良  
デブリ特性評価 → デブリ回収戦略

新規放射線計測、遠隔分析技術

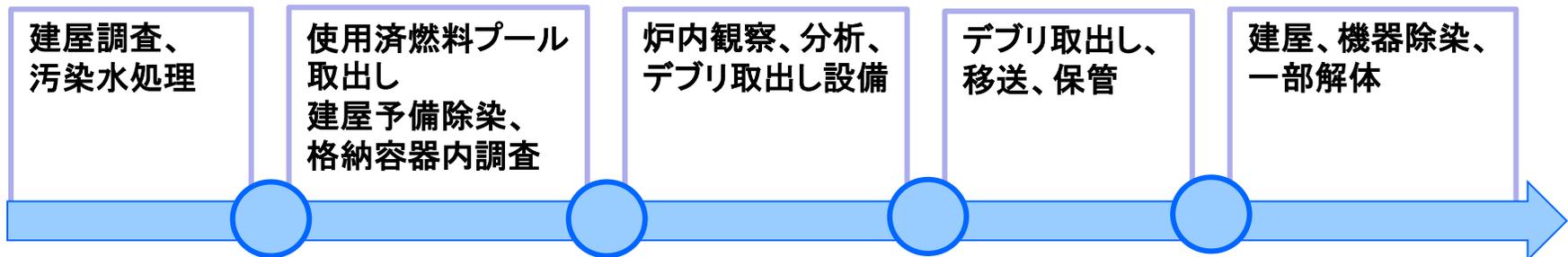
可燃性ガス対策(放射線分解生成ガス評価等)

デブリ回収時汚水処理(清澄度維持、 $\alpha$ 汚染対策)

構造物長期健全性評価技術

臨界安全、計量技術

廃棄物安定化技術、保管、処分安全



(\* 図の作業フローはTMI-2廃炉を参考とした例示)

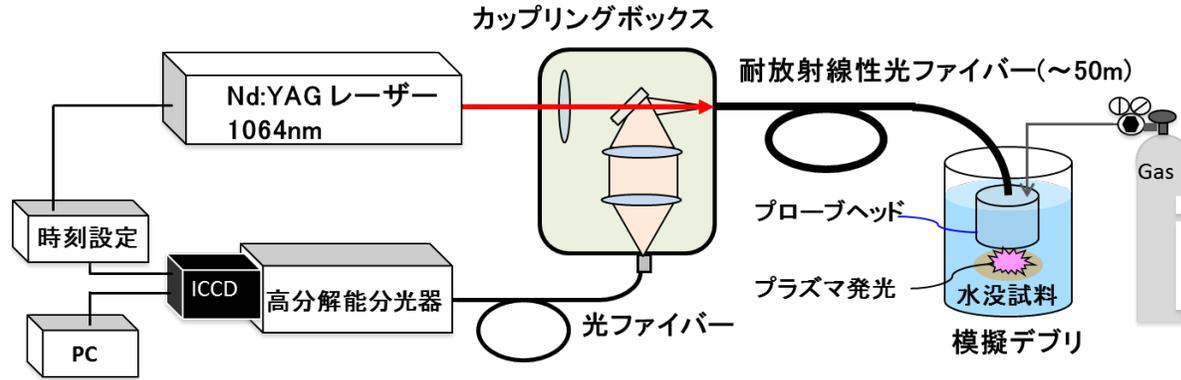
## 1. 燃料デブリの取り出し準備に係る研究開発

- ① 炉内状況の把握（事故進展挙動評価）
- ② 燃料デブリ性状把握
- ③ 燃料デブリ分析
- ④ 線量評価・計量管理

## 2. 放射性廃棄物の処理処分に係る研究開発

## 3. 遠隔モニタリング技術に係る研究開発

(以下に、今年度開始した共同研究事例3件を示す。)

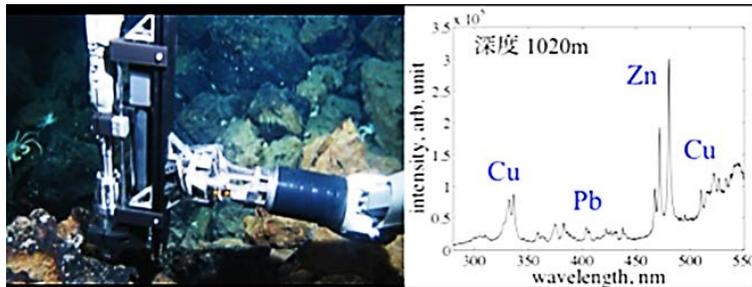


レーザー誘起発光分光法 (JAEA)

京大

【学術研究: 深海天然資源探査基盤研究】

ロングパルスレーザー技術



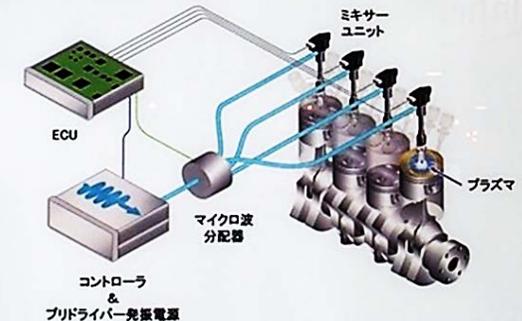
- ・実測による**デブリ組成の把握**
- ・炉内解体現場での、**その場分析による分別・分類**
- ・炉内**残存物**や**水中懸濁粒子**の**確認**

イマジニアリング(株)

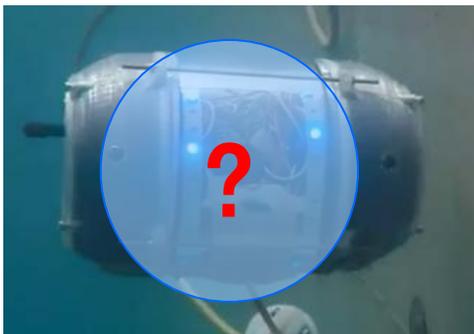
【自動車産業: 高効率燃焼実用化技術】

マイクロ波プラズマ生成技術

マイクロ波プラズマエンジン燃焼システム



### 粒子輸送モンテカルロ計算コードPHITSによる線量率分布評価 (長岡技大、JAEA)



超小型水中ROV

(英マンチェスター大)

出典: UoM Robotics, YouTube, (2015).

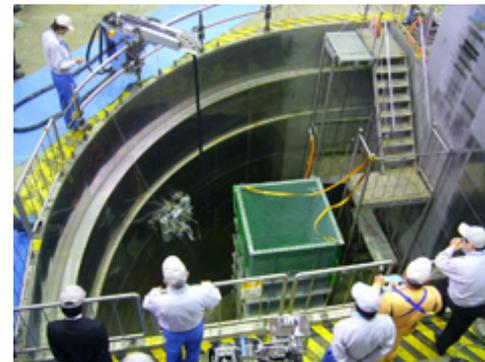


An example probe with detector (25mm x 40 mm), integrated digitizer and power supply.

小型中性子検出器の実装

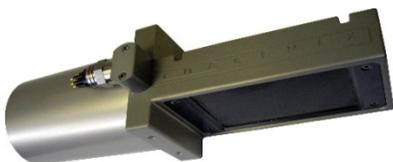
(英ランカスター大)

Aspinall, M. D., et al., Proceedings of SPIE. 7119, 71190G (2008).



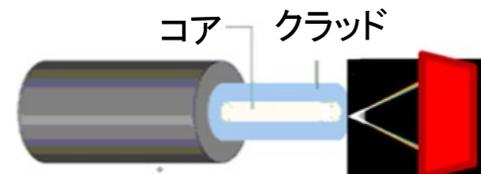
原子炉模擬ウェルモックアップ施設

((株)アトックスの施設)

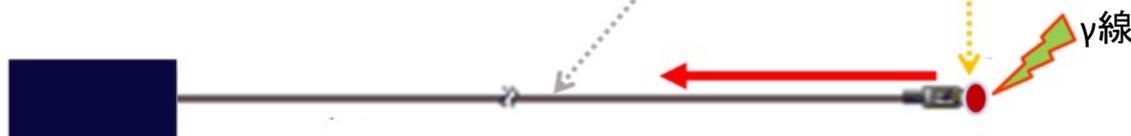


ソナーシステムの小型化・耐放射線性の検討(海技研)

Multibeam Profiling Sonar, Model 837A, MIMAGENEX



耐放射線性光ファイバ シンチレータ(赤外)

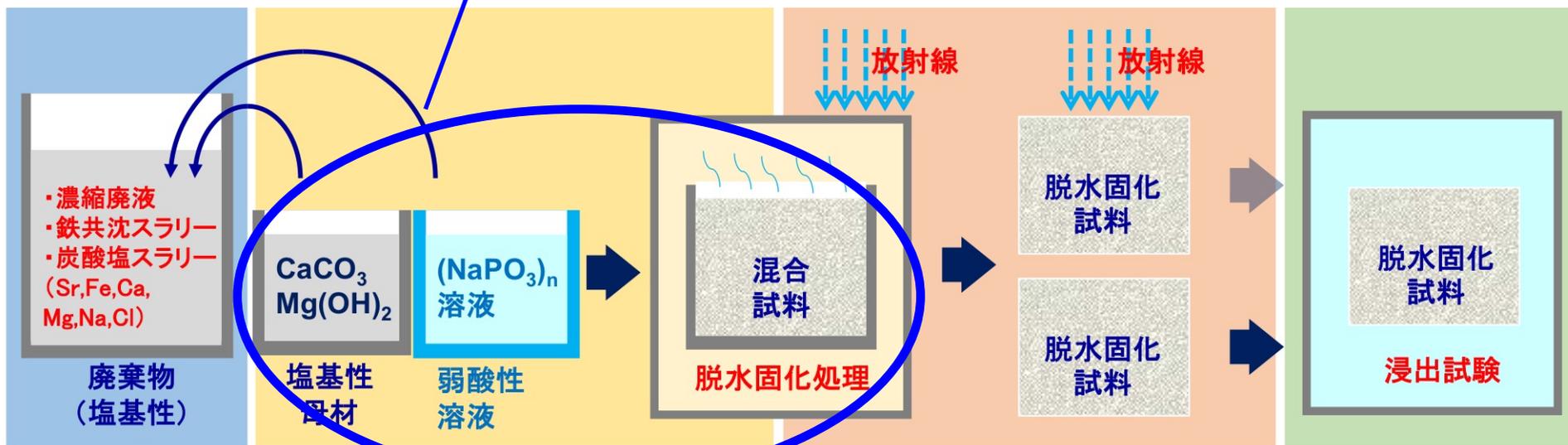


$\gamma$ 線計測システム(JAEA)

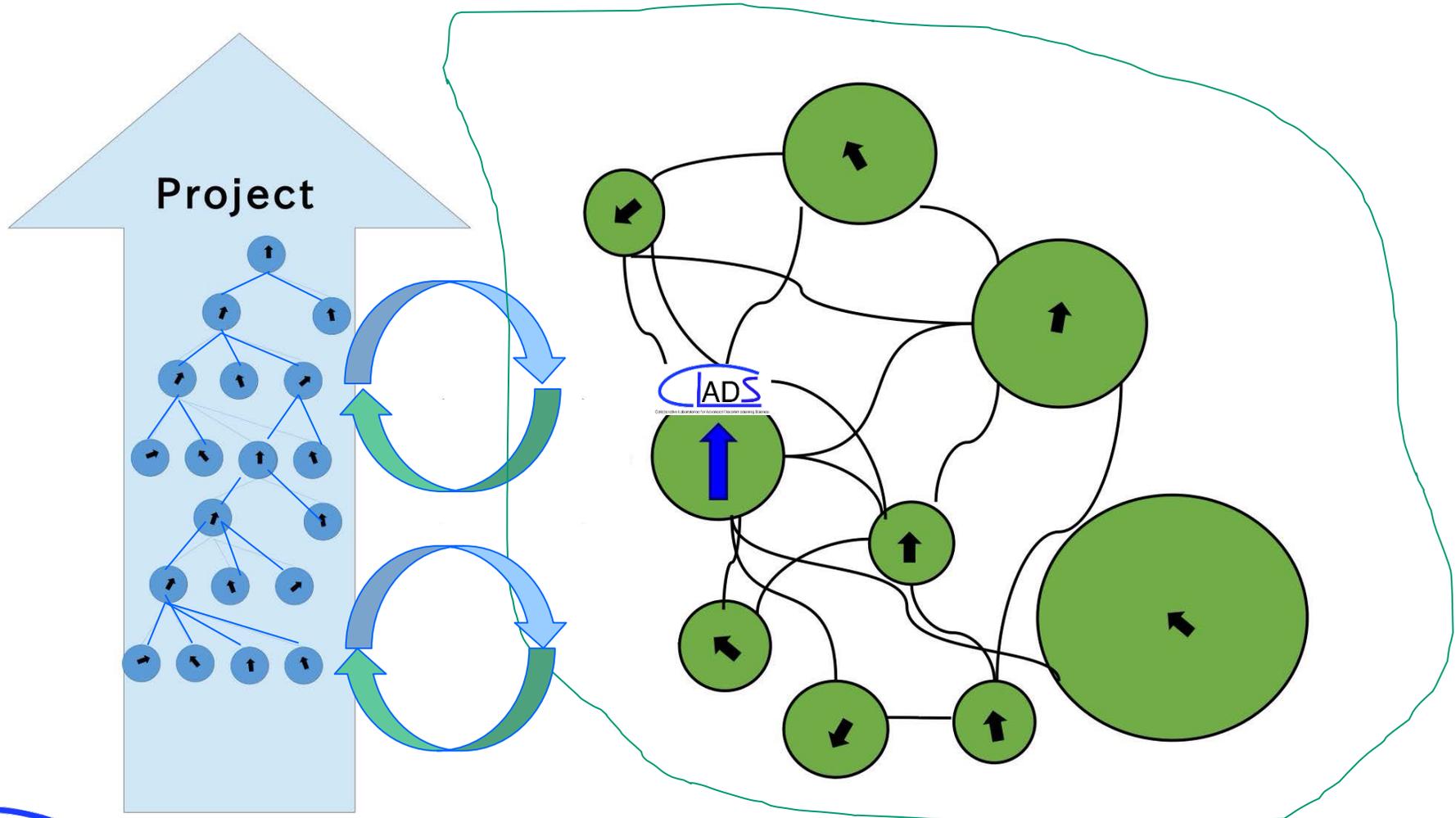
JAEA、英国シェフィールド大、北大、アドバンエンジ(株)

汚染水処理で発生した濃縮廃液やスラリー状二次廃棄物の脱水固化技術開発と長期安定性を評価する。

電気加速溶出試験



国内外の様々な情報・能力・志向の交叉から、長期的なリスク管理、代替案準備、人材育成を可能としたい。



## 廃炉基盤研究プラットフォームの形成

