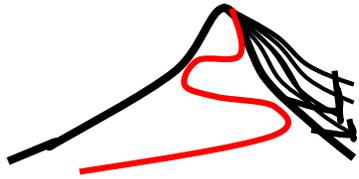


部門報告①

次期中長期計画に向けて

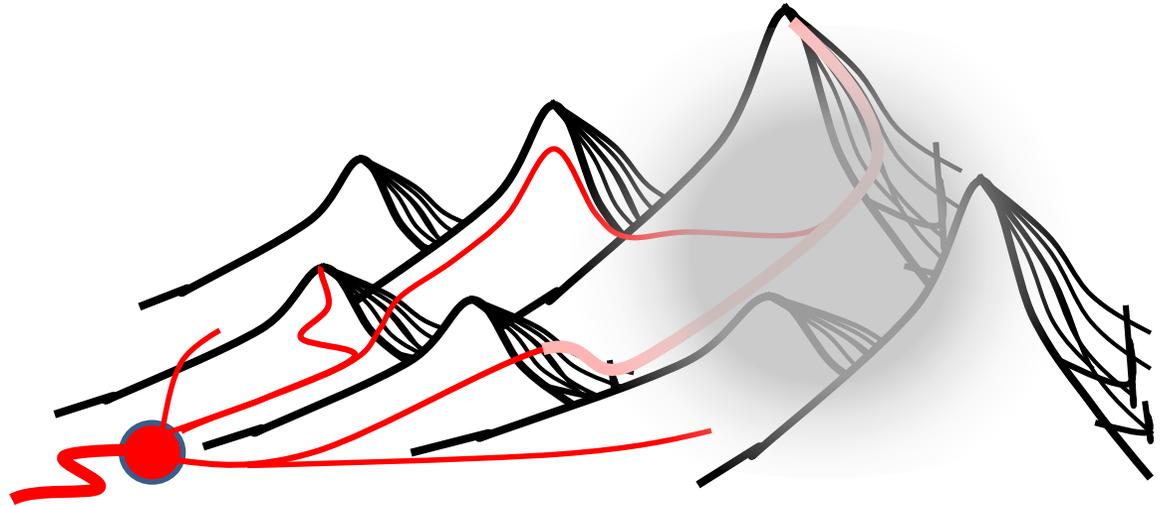


廃炉環境国際共同研究センター
センター長 岡本 孝司



原子力発電所の廃止措置

国内外を含めて多数実績



福島第一原子力発電所の廃炉

頂上（ゴール）を目指して、
安全な登山道（戦略）を探している
いろいろなアプローチ（方法論）を考えている
尾根の向こうはまだよく見えていない

福島第一原子力発電所の廃炉は、燃料デブリや廃棄物の全貌は明らかでなく、見通しが悪く険しい山を登るようなものである。

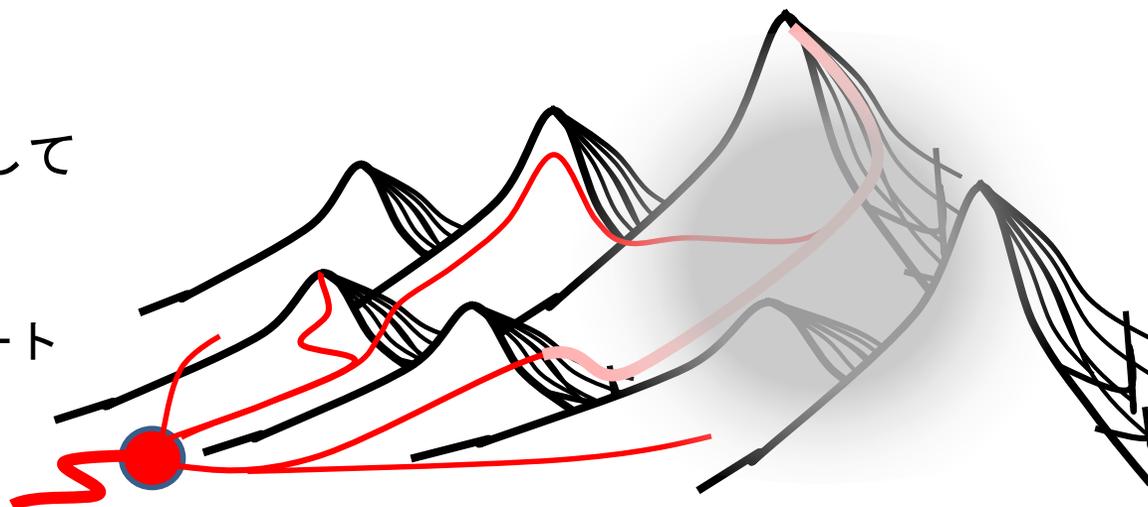
JAEAは原子力専門家として
シェルパをめざす

山岳隊であるNDF/東電のサポート



**JAEAの研究開発成果と
放射性物質取扱い経験**

- ◆ 核燃料・放射線の
専門家と施設群

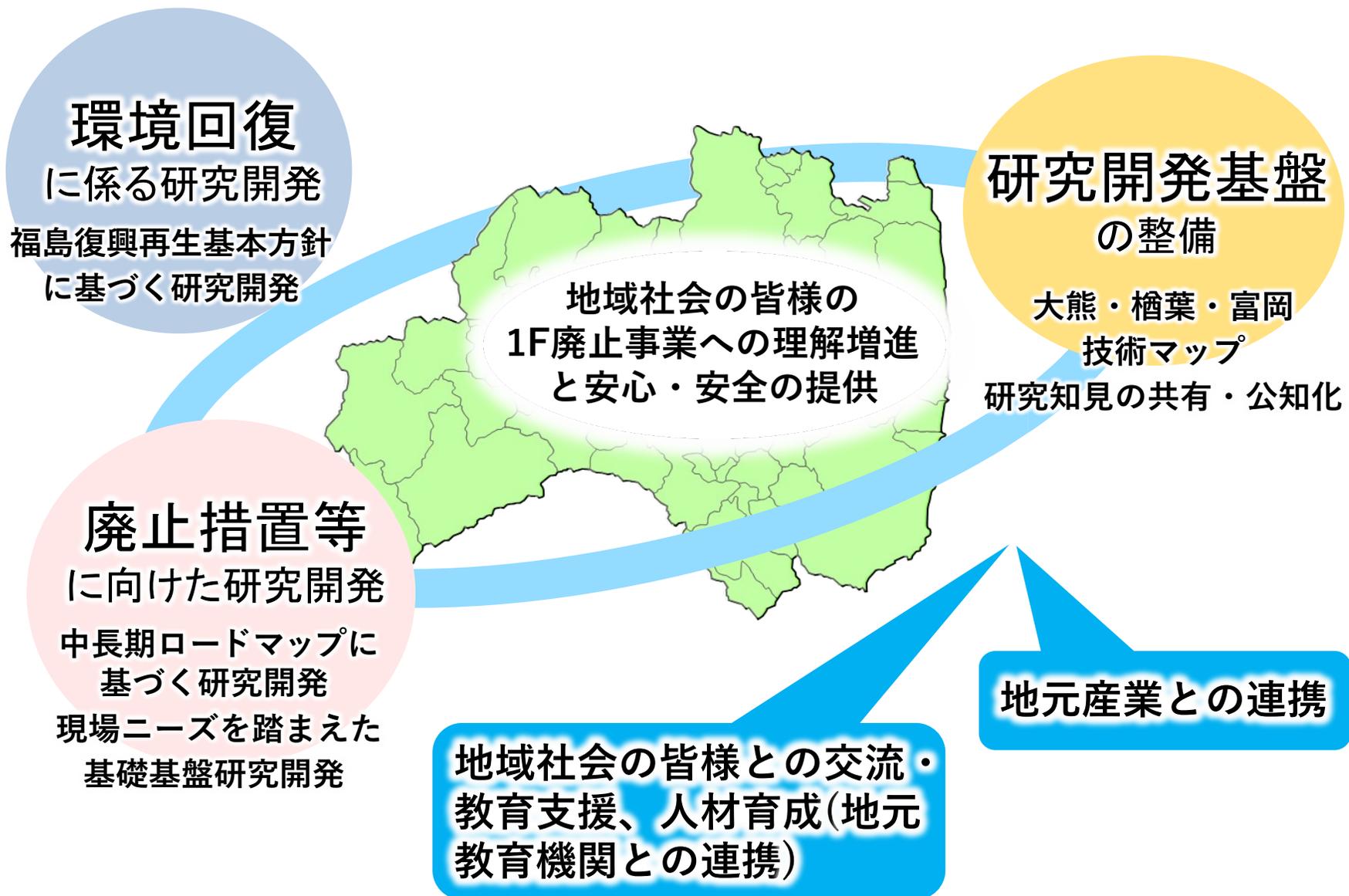


福島第一原子力発電所の廃炉

頂上（ゴール）を目指して、
安全な登山道（戦略）を探している
いろいろなアプローチ（方法論）を考えている
尾根の向こうはまだよく見えていない

JAEAのミッション:

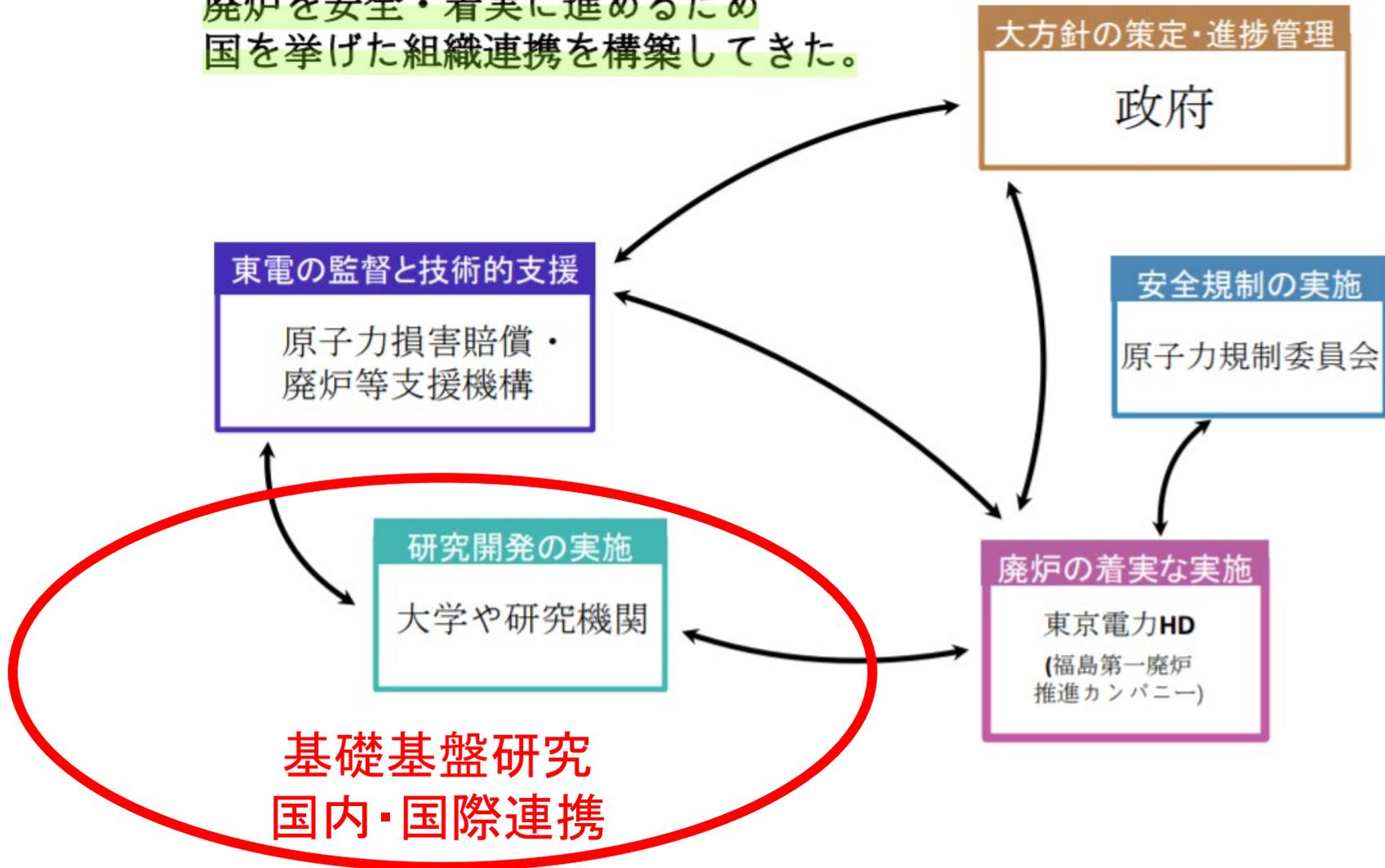
「基礎基盤研究を通じ、安全・リスク評価を行うことのできる知識と技術の構築」



廃炉のための連携と役割とJAEAの位置づけ

技術・組織・体制・地域の体制（山名元NDF理事長講演資料）とJAEAの関与

廃炉を安全・着実に進めるため
 国を挙げた組織連携を構築してきた。



**楢葉遠隔技術開発センター
(NARREC)**
遠隔操作機器・装置の実証試験



楢葉町 2016年4月

**廃炉環境国際共同研究センター
(CLADS)**
国内外の英知を結集する拠点



富岡町 2017年4月

大熊分析・研究センター
放射性廃棄物、燃料デブリの
分析・研究



大熊町 2018年3月
(施設管理棟運用開始)

環境動態・放射線モニタリング等の研究開発



三春町

南相馬市

国
文科省、経産省等

NDF(廃炉機構)

IRID

東京電力

大学・研究機関

米国・仏国・英国など

市町村

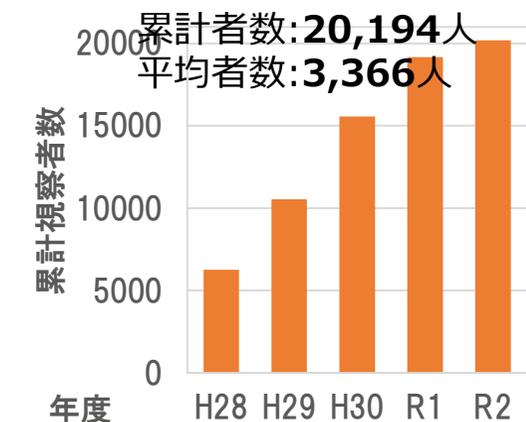
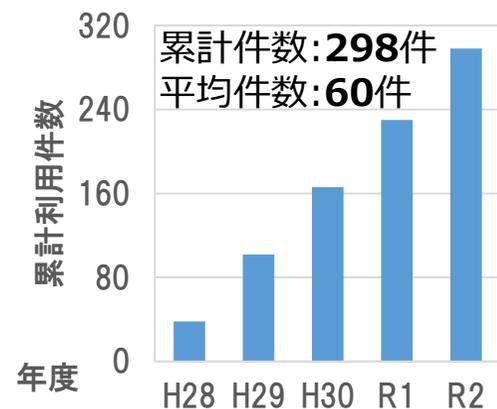
福島県

1Fの作業環境を模擬したモックアップ設備等を整備し、遠隔操作機器・装置(ロボット等)の実証試験の推進。IRIDによる格納容器下部の大型止水試験の実施、人材育成事業への貢献、1Fの3Dデータの整備・提供等

施設外観と試験設備の例



累計利用件数・視察者数



- 1F事故によって発生した放射性廃棄物や燃料デブリの性状等を把握するための分析や研究を行う施設を1Fに隣接した敷地に整備中。
- 茨城地区の分析施設と連携しつつ、人材育成を含めて研究を推進中。
- アルプス処理水の第三者分析を実施予定

放射性物質を取扱うための設備の例

放射線量が低い試料

放射線量が高い試料



第1棟のグローブボックス



第1棟の鉄セル

第1棟



第2棟

コンクリートセル（先行施設の例）

第1棟

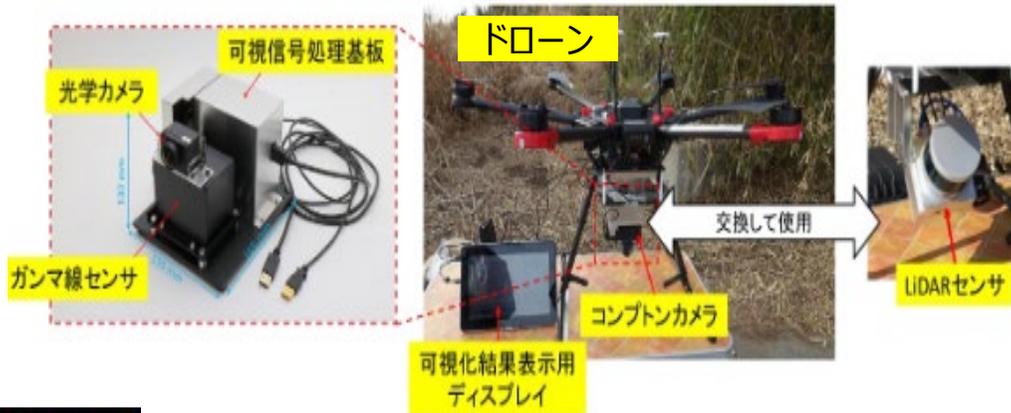
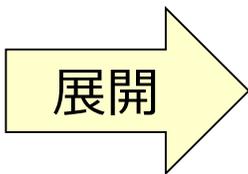
放射性廃棄物（低・中低線量のがれき類や水処理二次廃棄物等）を対象とした分析（アルプス処理水を含む）

第2棟

燃料デブリ（核燃料と構造材が溶け落ちた混合物）の分析。分析の結果は処理処分の方策や安全な取り扱い等に関する技術的な検討に活用

遠隔放射線イメージングシステムの開発

コンプトンカメラ、ドローンやLiDARセンサなどを組み合わせた遠隔放射線イメージングシステムを千代田テクノル、**栄製作所**(浜通り企業) と協力して開発

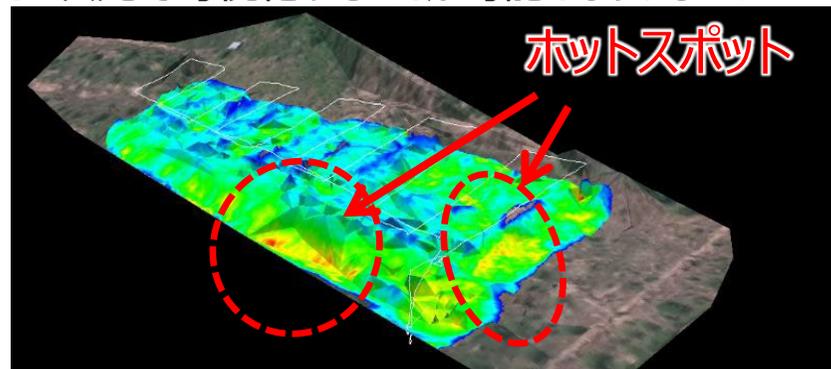


開発した小型コンプトンカメラ



1 F建屋内の可視化

移動しながら、迅速に、遠隔で放射性物質分布を3次元で可視化することが可能となりました。



線量率分布の可視化結果

地元教育機関との連携

ふたば未来学園高校
出前講座、施設見学等

福島高校、安積高校、磐城高校、ふたば未来等
放射線リスクに関する講義
意見交換会



防護服着用実習



独立行政法人国立高等専門学校機構

福島工業高等専門学校

National Institute of Technology, Fukushima College

高専生による学生視点のパンフレット作製
共同研究、人材育成プログラムにおける実習



国立大学法人

福島大学

Fukushima University

共同研究、人材育成
プログラムにおける実習
放射線科学の授業

廃炉創造ロボコン

毎年12月に開催（2021年は12月11日を予定）
2020年はオンライン開催にて13高専から計14チームが参戦

毎年1Fでの廃炉作業をテーマとした課題を設定しており、ロボット製作を通じて廃炉への興味と創造性の涵養を目的に実施

2020年に福島高専が文部科学大臣賞(最優秀賞)を受賞



リスク低減を進める 地元(国民)の理解

JAEAは原子力専門家として
シェルパをめざす

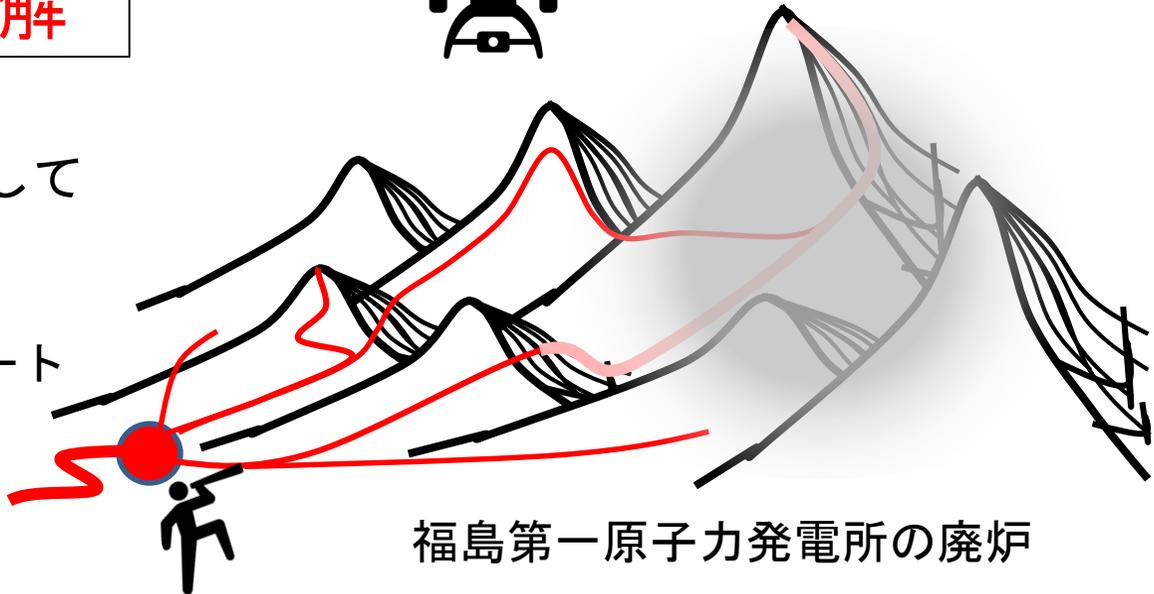
山岳隊であるNDF/東電のサポート



JAEAの研究開発成果と
放射性物質取扱い経験

- ◆ 核燃料・放射線の
専門家と施設群

俯瞰の視座



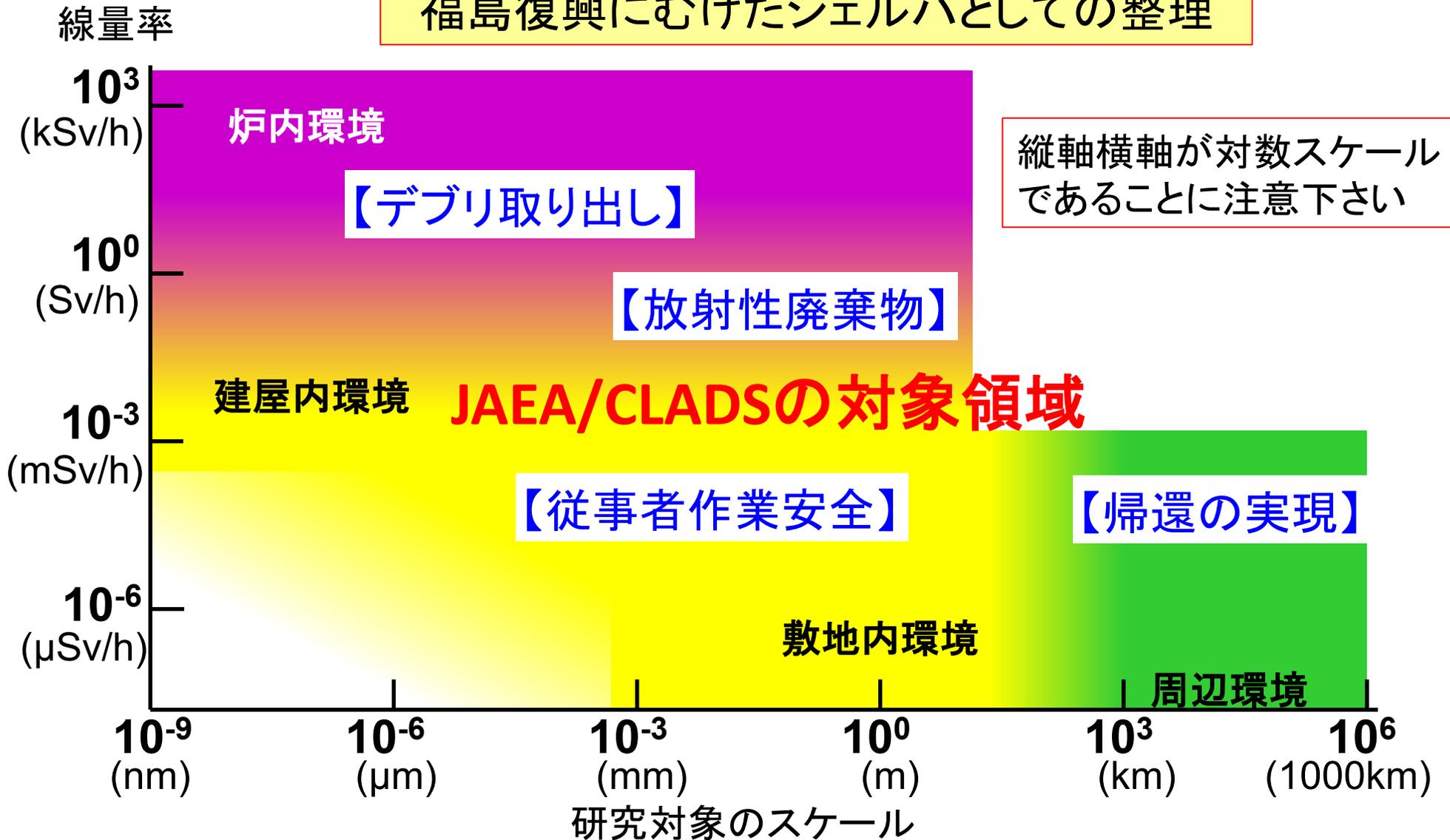
演繹の視座

福島第一原子力発電所の廃炉

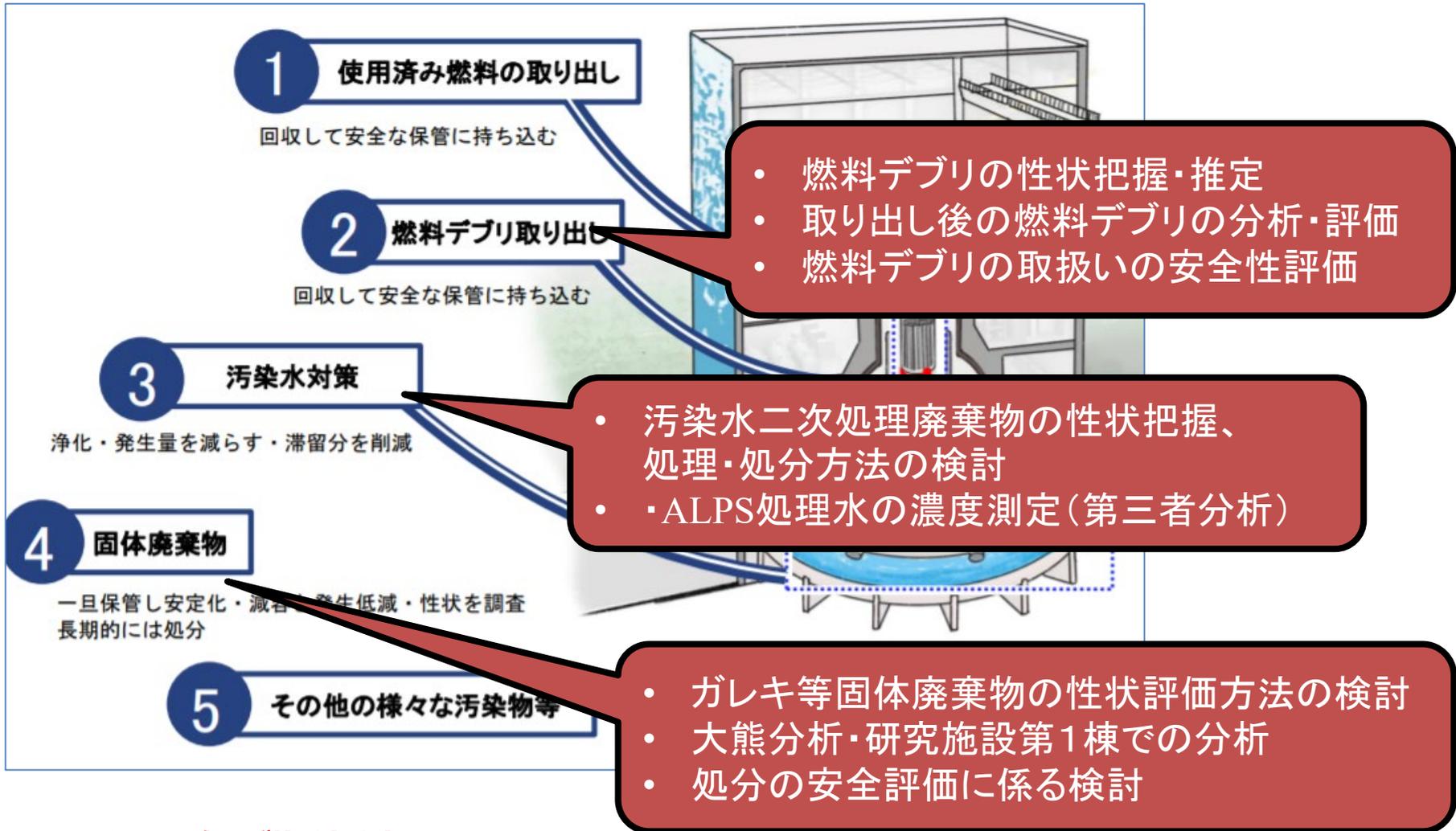
俯瞰と演繹

7年を振り返り、次の7年に向けて
総合的な視野で改善を進める
(放射線をパラメータとして考察)

福島復興にむけたシェルパとしての整理



主なリスク源への対策（山名元NDF理事長講演資料）



JAEAには、何が期待されているか？

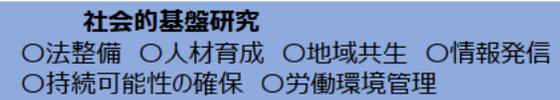
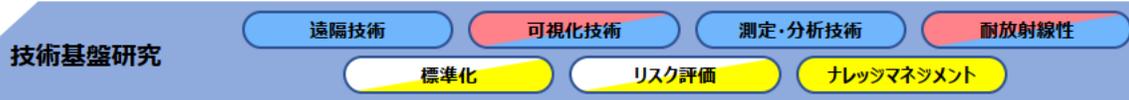
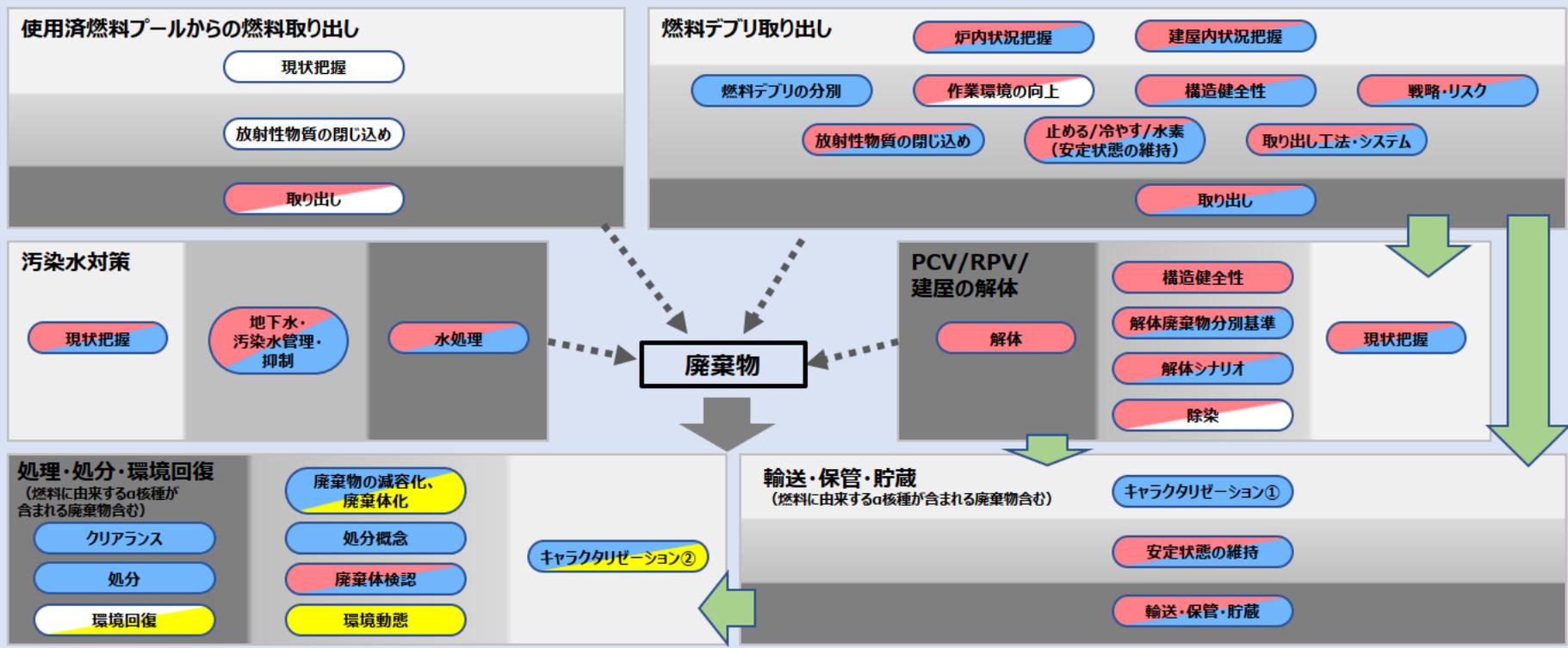
福島第一原子力発電所廃炉のための『基礎・基盤研究の全体マップ』

→ 大まかな廃炉作業の流れ



| | |
|--|----------------------------|
| | 基礎基盤研究の追及により課題解決につながる |
| | 応用・実用研究開発により課題解決につながる |
| | 基礎基盤研究により知見が蓄積される |
| | 基礎基盤研究により将来的に知見が得られる可能性がある |

廃炉を合理的に進めるための全体戦略（プロセスの全体最適、リスク管理、経済合理性）



廃炉プロセス毎に研究課題を抽出し重要度分類

<https://clads.jaea.go.jp/jp/rd/map/map.html>

1F廃炉に向けた中長期ロードマップ(2019/12/27) (山名元NDF理事長講演資料)



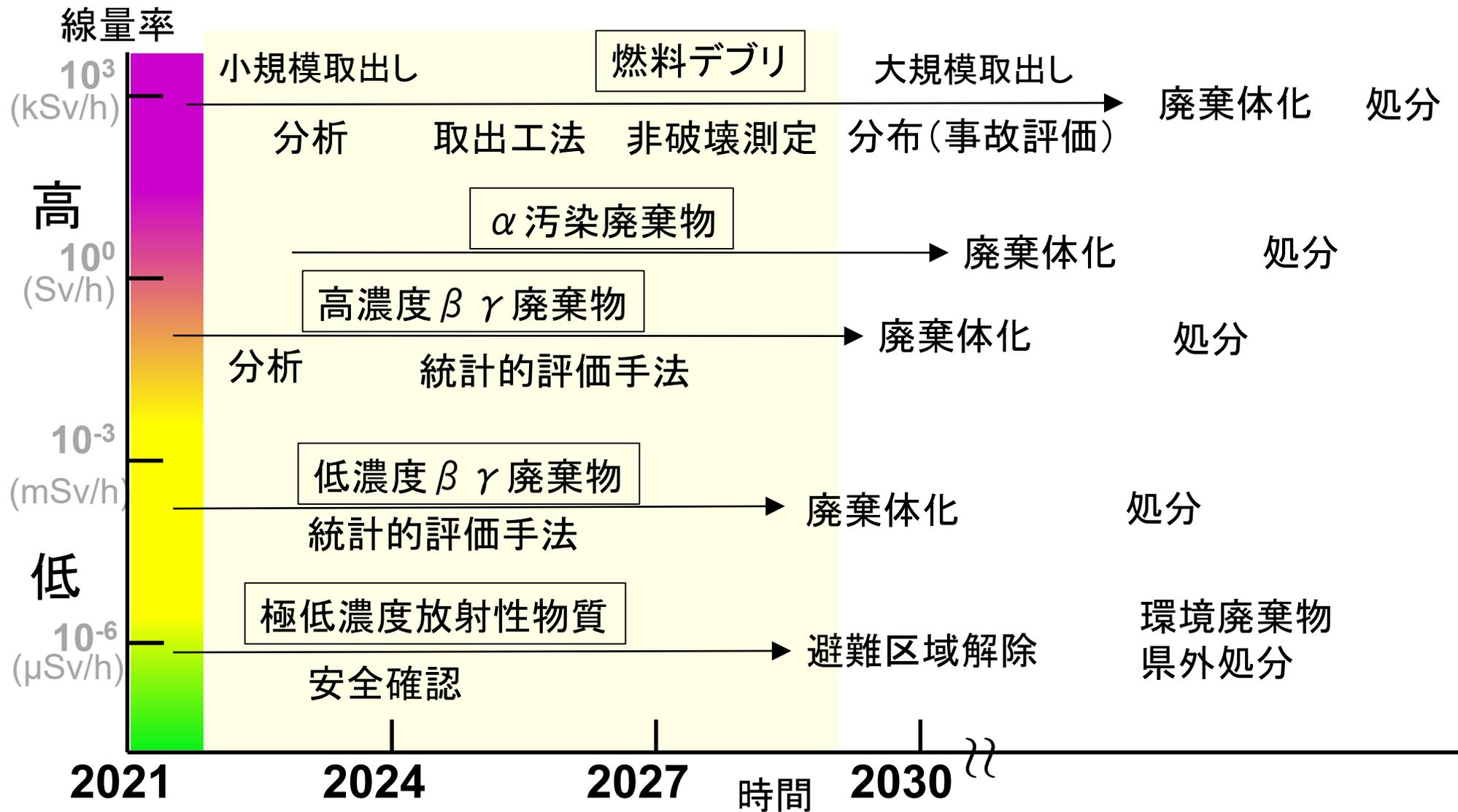
JAEAの中長期目標/中長期計画 (7年間毎)

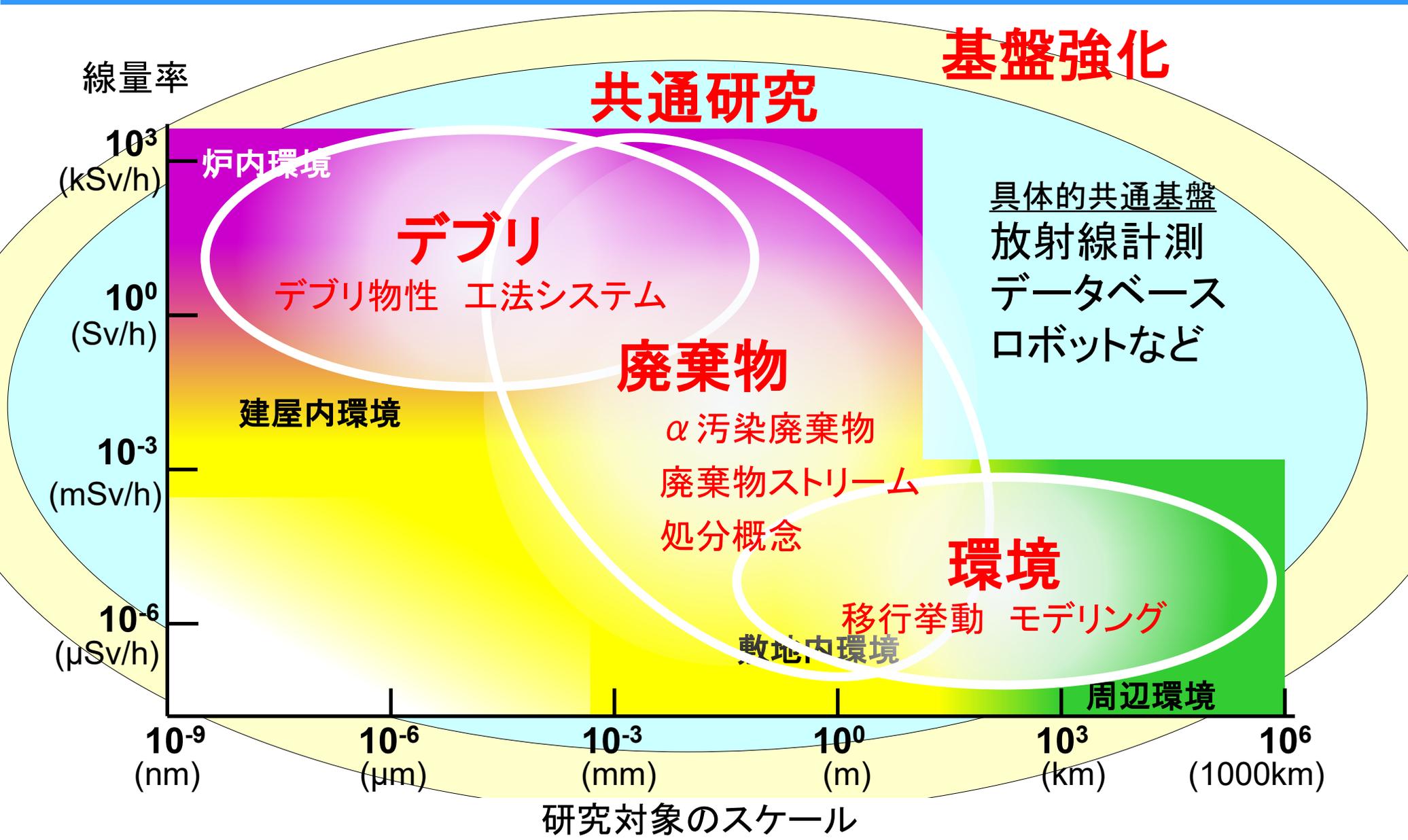


福島復興再生基本方針(2021/3、環境回復に向けて)



福島復興を目指し、放射線量を指標として整理を試行

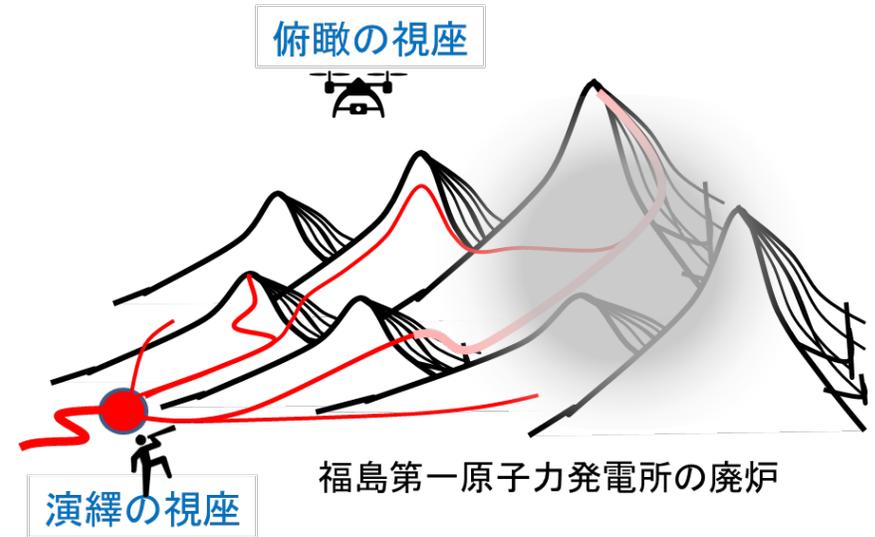




シェルパとしての俯瞰の視座

福島復興に向けてやらねばならないこと

- 燃料デブリ取り出し
- 非破壊測定によるデブリ分類
- デブリ分析結果からの評価
- 放射性廃棄物の分析
- 放射性廃棄物の評価手法
- 環境放射線に関する安全確保など



シェルパとしての演繹の視座

福島復興に向けた研究の新しい展開

- 燃料デブリ研究
- 廃棄物処理処分
- 炉内状況把握
- 遠隔技術
- 環境影響研究
- 環境モニタリング

第4期中長期計画として進めるべき研究領域

- ◆ 燃料デブリ安全
- ◆ 放射性廃棄物管理
- ◆ 環境回復等
- ◆ 放射線共通研究・基盤

**我が国における原子力に関する唯一の総合的研究開発機関として、
福島への復興・再生に向けた課題解決に取り組む**

下記 4 分野に重点化しての研究を推進する

- ① リスクの高い燃料デブリの取出し及び取扱いに関する研究（**燃料デブリ安全**）
- ② 多種多様な放射性廃棄物の取扱い及び管理に関する研究（**放射性廃棄物管理**）
- ③ 帰還困難区域の避難指示解除、復興・再生に繋がる研究（**環境回復等**）
- ④ **放射線**を中心とした**共通研究・基盤強化**（**放射線共通研究・基盤強化**）

基礎基盤研究を通じ、安全・リスク評価を行うことのできる知識と技術の構築

燃料デブリ取出

■ 中長期ロードマップ

| 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 |
|------|------|------|------|------|------|------|
|------|------|------|------|------|------|------|

▼ 燃料デブリ
試験的取り出し
(2号機)

燃料デブリの
段階的取り出し規模の拡大
(2号機)

取り出し規模の更なる拡大
(1/3号機)

2030年頃までの
望ましい姿

第3期の主な成果

- ◆ シミュレーションや模擬試験等を通じて1F炉内状況に関する知見創出。
 - ◆ 他機関による1F炉内状況の調査や海外との連携を通じて最新の知見を収集
 - ◆ 1F炉内状況に関する多くの知見を体系的にデータベースとして統合・編纂
- 研究成果により、燃料デブリ取出方法の検討等に寄与。
→ 今後、取り出し本格化に向け、分析評価手法の確立が課題。

取り出し本格化に向けて安全・リスク評価方法・体制がほぼ確立されていることが期待される。

- PCV内部調査。シミュレーションを援用した**状況把握**。
- 安全が確保された状態で、段階的に取り出しの規模拡大
- 得られた知見を踏まえ、収納・移送・保管方法等工法改善。
- 閉じ込め機能確保、冷却、臨界管理・評価、局所的な中性子測定、水素管理・評価等による**安全性確立**。
- 燃料デブリの仕分け手法。処分概念を踏まえた**安全な保管管理**

演繹
成果と課題

俯瞰

の反映

第4期の 主要課題

- ① 分析と解析による推定
- ② 分析手法の信頼性向上
- ③ 処分概念確立への貢献
- ④ 原子力安全への寄与

燃料デブリの分析と事故事象の解析・評価により炉内状況を推定する。

非破壊測定を含む取り出された燃料デブリの分析評価手法を確立する。

燃料デブリ取り出し及び保管時の安全を確保し、処分概念の技術候補を提示する。

得られた知見を結集し、原子力安全にも寄与する。

放射性廃棄物管理

■ 中長期ロードマップ

2022

2023

2024

2025

2026

2027

2028

大熊第1棟
運用開始

廃棄確認方法
の整備・確立

安全確保の方法論

2030年頃までの
望ましい姿

第3期の主な成果

- ◆ 廃棄物の性状把握方法の確立
- ◆ 統計的手法に関する技術開発の進展
- ◆ 廃棄物データベースの整備
- ◆ 処理手法の開発

- 研究成果により、廃棄物に関する技術的見通し等に寄与。
- 今後、処理・処分方策の構築に向け、合理的な評価が課題。

廃棄物管理の安全確保に向け、処理・処分方策の具体化されていることが期待される。

- 廃棄物の適切な分別・保管管理
- α 汚染廃棄物、高濃度から低濃度放射性廃棄物の合理的な分析・評価技術確立(標準化)
- 主要な廃棄物ごとの処分概念を踏まえた処理技術
- 主要な廃棄物に適用する処分概念の技術候補の検討

演繹
成果と課題

俯瞰

の反映

第4期の
主要課題

①合理的な性状把握・評価

1F放射性廃棄物管理を進めるための合理的な性状把握・評価方法を確立する。

②高濃度廃棄物の方策構築

高濃度放射性廃棄物の安全な処理・処分方策を構築する。

③低濃度廃棄物処理具体化

多種多様な低濃度放射性廃棄物の廃棄体化を含め、処分を見据えた処理を具体化する。

④知見集約と他施設展開

得られた知見を結集し、既存原子力施設の放射性廃棄物管理にも寄与する。



復興庁国際教育
研究拠点

環境創造センター
フェーズ3終了

帰還困難区域の全域解除目標
(2020年代末)

第3期の主な成果

2030年頃までの
望ましい姿

- ◆ 放射性物質移行挙動モデルの開発
 - ◆ 除染評価ツールの確立
 - ◆ モニタリング及びデータ分析による評価
 - ◆ FACE!Sによるデータベース化と情報発信
- 研究成果により、避難区域解除や将来予測に寄与。
→ 今後、全域解除に向け、更なる移行挙動の解明が課題。

- 帰還困難区域の全域解除に向け、安心・安全確保の理解が浸透していることが期待される。**
- 2020年代での帰還困難区域の全域解除を目指す
 - 個人被ばく管理・評価が進められ、除染と合わせて安全な帰還が担保される
 - 未除染の森林などにおける放射性物質移行挙動が理解され、農産物の安全性が担保

演繹
成果と課題

俯瞰

の反映

第4期の
主要課題

①避難指示解除への貢献

モニタリングデータ分析技術・被ばく評価手法の高度化により、避難指示解除に貢献する。

②影響評価・予測の提示

放射性物質挙動を把握し、将来にわたる影響評価・予測を社会に分かりやすく提示する。

| | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 |
|------|------|------|------|------|------|------|

▼大熊第1棟
運用開始

大熊第
2棟竣工

復興事業全体の
在り方見直し

取り出し規模の更なる拡大
(1/3号機)

2030年頃までの
望ましい姿

第3期の主な成果

- ◆ 放射線可視化ツールの開発
 - ◆ 放射線と材料に関する技術開発
 - ◆ CLADS国際研究棟、楢葉センターの竣工、大熊センターの一部竣工
 - ◆ 技術基盤マップの構築
 - ◆ 国際協力の推進
- 研究成果により、技術基盤構築と研究ハブ構築に寄与。
→ 今後、成果の現場実装に向け、橋渡しの仕組みが課題。

基礎基盤研究の成果が現場で活用され、1F廃炉、環境回復の安全性が向上していることが期待される。

- 福島第一原子力発電所内の放射性物質分布の可視化データを用いた安全管理
- トリチウムなどの極低レベル放射性物質の挙動可視化と情報発信
- 放射性物質分析技術の標準化による、安全確保
- 長期的な構造健全性や保管安全性に与える放射線影響
- 放射線関連データベースと、安全安心のための情報発信

演繹
成果と課題

俯瞰

の反映
第4期の
主要課題

①被ばく量の
低減

放射性物質の分布を可視化し、被ばく量の低減に寄与する。

②分析技術
高度化

放射性物質・核燃料物質の分析技術の高度化に寄与する。

③長期健全
性・安全性

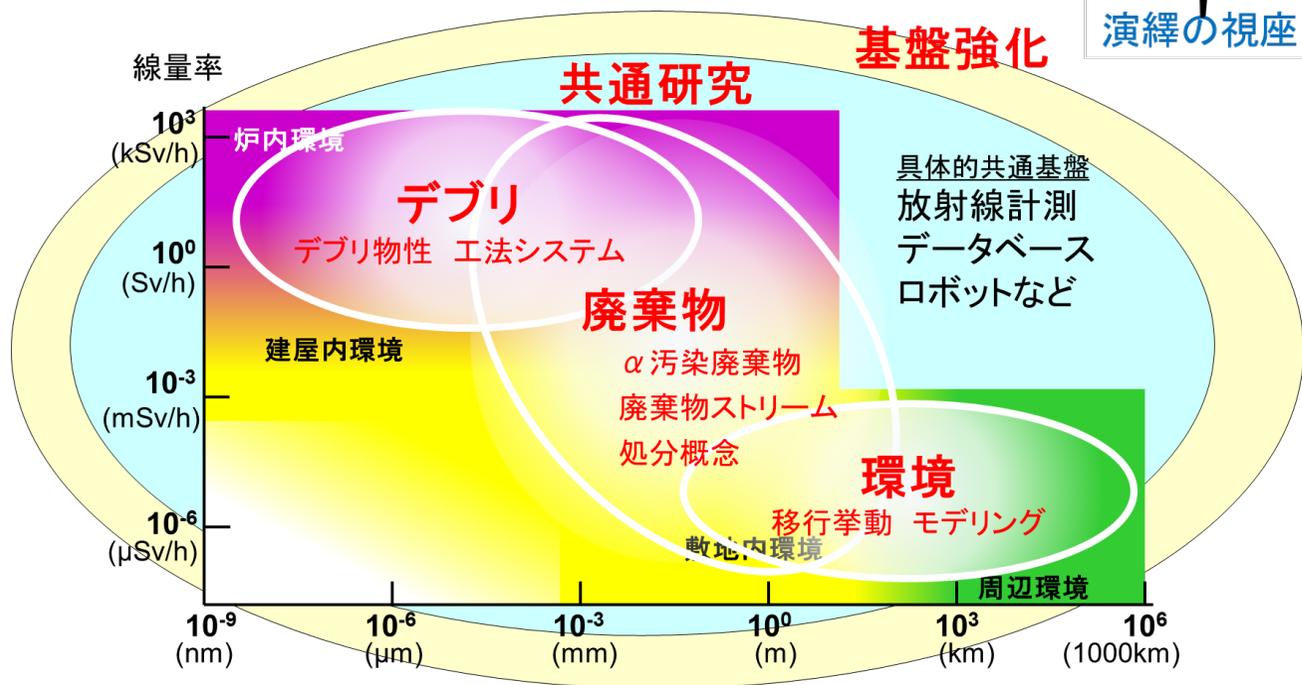
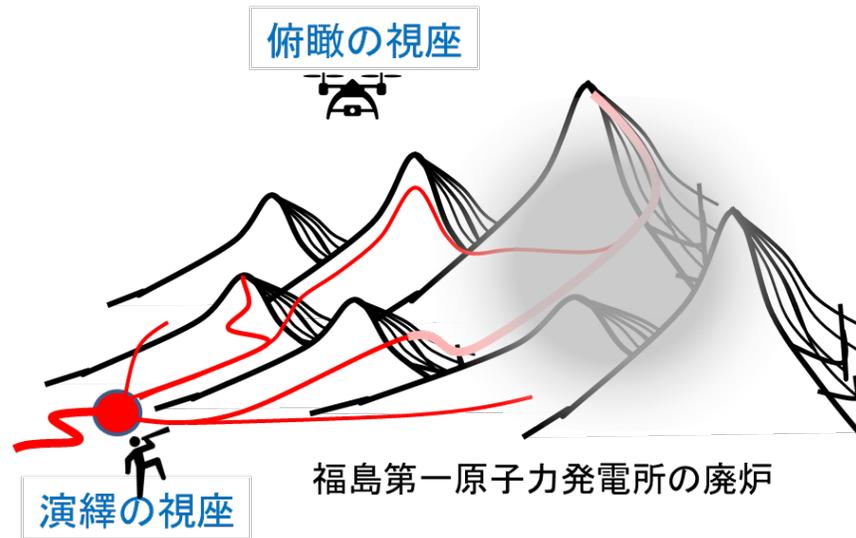
放射線と腐食・材料劣化の関係を明らかとし、長期健全性・安全性に寄与する。

④体制強化と
データベース

研究基盤となる仕組み、体制の強化。

シェルパとしての俯瞰の視座
 福島復興に向けてやらねばならないこと

シェルパとしての演繹の視座
 福島復興に向けた研究の新しい展開



- ◆ 燃料デブリ安全
- ◆ 放射性廃棄物管理
- ◆ 環境回復等
- ◆ 放射線共通研究・基盤

① 次期中長期計画に向けて

－ 福島復興に向けて、日本原子力研究開発機構のチャレンジ －

廃炉環境国際共同研究センター センター長 岡本 孝司

1F事故から10年余が経ち、少しずつ復興の足音が高くなってきています。原子力機構は、原子力研究開発の専門機関として、事故の発生を防ぐことができなかつたことを強く反省し、放射性物質によって汚染された地域の復興と、1Fの安全な廃炉に対して、責任をもって取り組んで参りました。これからは、福島の課題は、原子力機構の課題として捉え、積極的な研究開発に取り組んでまいります。10年という節目を迎え、また、原子力機構としては、次期中長期計画を策定するこのタイミングにおいて、その役割と責任について、俯瞰的に振り返ってみることが重要と考えます。福島部門、そして、CLADSでは、1年にわたり、福島部門における研究の在り方について、議論を続けてきました。ここでは、自己評価も踏まえ、福島復興に向けた原子力機構の研究開発を改めて俯瞰します。

(1) 基礎・基盤研究の全体マップ

CLADSでは、2018年度より、1Fの廃炉に関する研究開発を、日本国内の大学や研究機関を対象に、文部科学省の公募研究「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業（英知事業）」として進めてきています。1Fの廃炉は、非常に幅広い分野で構成されるため、廃炉に関する研究開発を俯瞰して示すことができる全体マップを作成し、公募に活用してきました。この全体マップでは、廃炉のプロセス毎に技術を俯瞰します。例えば、汚染水対策、使用済燃料プールからの燃料取り出し、燃料デブリ取り出し、建屋の解体、輸送・保管・貯蔵、処理・処分・環境回復といった幅広い分野をカバーしています。1Fは、既に原子炉ではなく、放射性物質に汚染された廃棄物と考えることができます。それらの廃棄物を安全に管理しつつ、処理・処分をしていくことが重要となります。このため、マップの中央には廃棄物としての流れを明記してあります。また、マップは、俯瞰してみることに有効ですが、その具体的な中身を掘り下げるには情報量が少ないものとなっています。そこで、マップをホームページに掲載し、インタラクティブに具体的な課題や現在進行中のプロジェクトなどに関する情報も参照できるようにしました。是非、ホームページ(<https://clads.jaea.go.jp/jp/rd//map/map.html>)を参照頂きたいと思ひます。このマップを用いることで、どのような研究が必要で、現状、どの程度分かっているのかを研究者に理解頂くことができるようになりました。まだまだ整理できていない課題が数多く残

っていることから、インターフェースの改善、アーカイブとしての拡張など、継続的にアップデートを進めています。なお、マップに記載された研究の一部は、原子力機構でも推進しています。また、大学との共同研究や、海外機関との研究も含めて、原子力機構の基礎基盤研究の位置づけを確認するためのマップと考えることもできます。

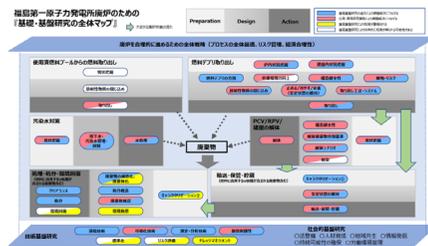


図1: 基礎・基盤研究の全体マップ

(<https://clads.jaea.go.jp/jp/rd//map/map.html>)

(2) 放射線環境

1Fの廃炉に関する具体的な基礎基盤研究を俯瞰するためには、オールジャパンで、また世界中の英知を結集して研究を進めていく上記マップを参考とすることができます。一方、原子力機構は、日本国内における唯一の原子力に関する国立研究開発機関として、特に放射線環境における課題解決に責務を負っています。きわめて荒いマップですが、縦軸に放射線の線量率を取り、横軸に対象とする空間の大きさを取った図になっています。比較的小きなスケールで極めて高線量な対象は、燃料デブリとなります。また、高線量から低線量まで、メートルクラスの領域は放射性廃棄物の処理などが対応します。線量が低く、バックグラウンドに近くなりますが、極めて広い空間に関しては、環境と放射性物質の関係が重要となります。この線量一空間マップでは、福島復興のために扱うべき領域や、線量率をパラメータとして示すことができます。このマップは横軸が空間ですが、横軸を時間とするマップも作ることができます。30~40年後には、1Fの廃炉は進み、廃棄物は処分されていることが想定されます。比較的線量が低いものは扱いが容易であり、早めに処理・処分につながります。一方で、燃料デブリのようなきわめて線量の高いものは扱いが困難で、時間がか

かることが予想されます。時間軸を含めたマップを俯瞰すると、次の10年に必要な研究開発が何であるかが見えてきます。時間的に逆方向に遡って現在を考察していることに他なりません。空間マップも時間マップも、廃炉を含めた福島復興につながる研究開発を俯瞰して試みる事ができます。

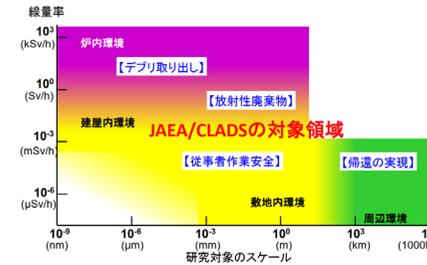


図2: 放射線量率と空間による整理

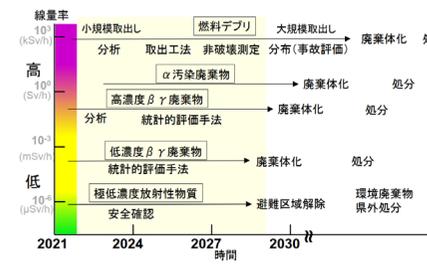


図3: 放射線量率と時間による整理

(3) 原子力機構の役割とチャレンジ

放射線量率と空間及び時間を整理して、1Fの廃炉を含む福島復興につながる課題を俯瞰して考えると、これからの10年間に必要な研究開発が見えてきます。原子力機構が現在推進している研究開発と、俯瞰して得られる必要な研究開発を踏まえ、次の10年に、原子力機構が果たすべき課題を考えます。図4に示すように、原子力機構は放射性物質や核燃料物質など、放射線に関連する全体を担当していくことが必要となります。具体的には、線量率が極めて高い燃料デブリに関する研究開発、高濃度から低濃度まで幅広い放射性廃棄物に関する研究開発、そして発電所敷地内を含む環境回復に関する研究開発がマッピングされ

ます。さらに、これらに共通なロボットや計測といった共通課題に対する研究開発、そしてこれらの研究開発を支える基盤としての設備やデータベースの強化があります。これらの5つの柱を基礎として、次の10年を考えていくことが重要です。

日本国内における、原子力研究開発を担う研究機関として、放射線に係るすべての研究領域をカバーしつつ、現場に密着した研究開発を担っていきます。特にリスクの高い燃料デブリや、高線量のセシウム廃棄物など、原子力機構の知見と経験が必須の分野を中心として、福島復興につながる研究開発を推進していくことが必要であると考えています。また、福島部門だけではなく、東海地区や大洗地区などにあるホット施設などとの連携を推進し、原子力機構全体で研究を推進していくことが重要と考えます。

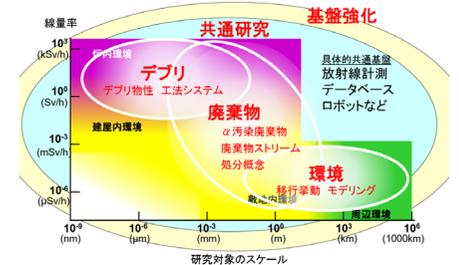


図4: 福島部門のこれからの研究課題

(4) おわりに

10年という節目にあたり、次の10年を考えるために、必要な課題を、放射線量、空間、時間という3次元で俯瞰して考察しました。技術的な視点だけではなく、社会科学的な視点からも、原子力機構に何が求められているのかを総合的に評価し、つなげていくことが重要です。研究をただ単に延長していくのではなく、本来必要な研究を客観的に評価し、必要な研究に集中するとともに、長期的視点で必要な基礎的研究を推進していくことが原子力機構に求められています。

日本国内の様々な研究機関のハブとなり、国や福島県、そして廃炉に責任を持つ東京電力などに成果を反映していきます。きわめてチャレンジングな研究領域ですが、国内にとどまらず、世界と協力し、世界をリードする研究機関でありたいと考えます。