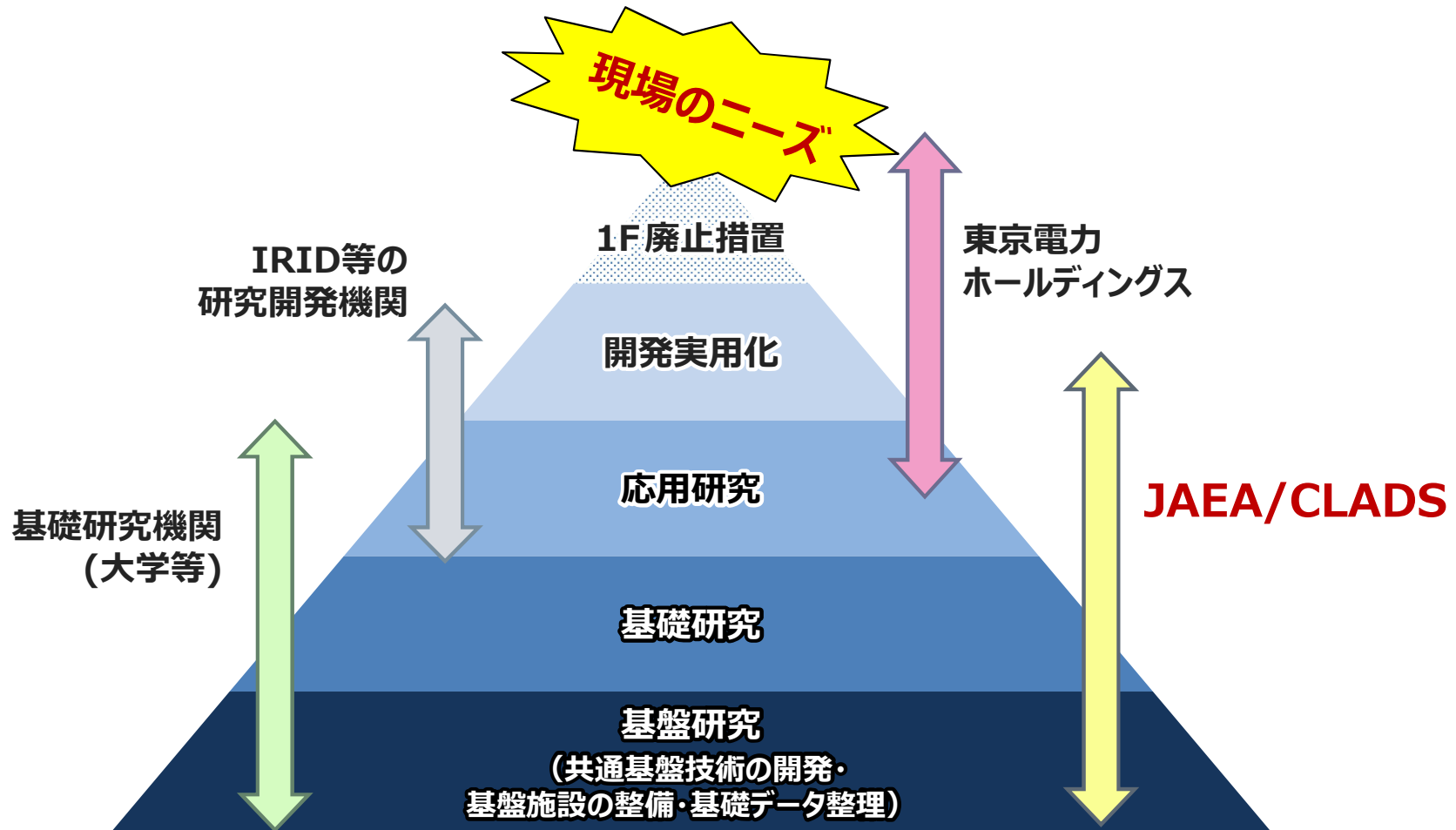


文部科学省における東京電力福島第一原子力発電所の 廃炉に向けた取組について

令和3年7月5日

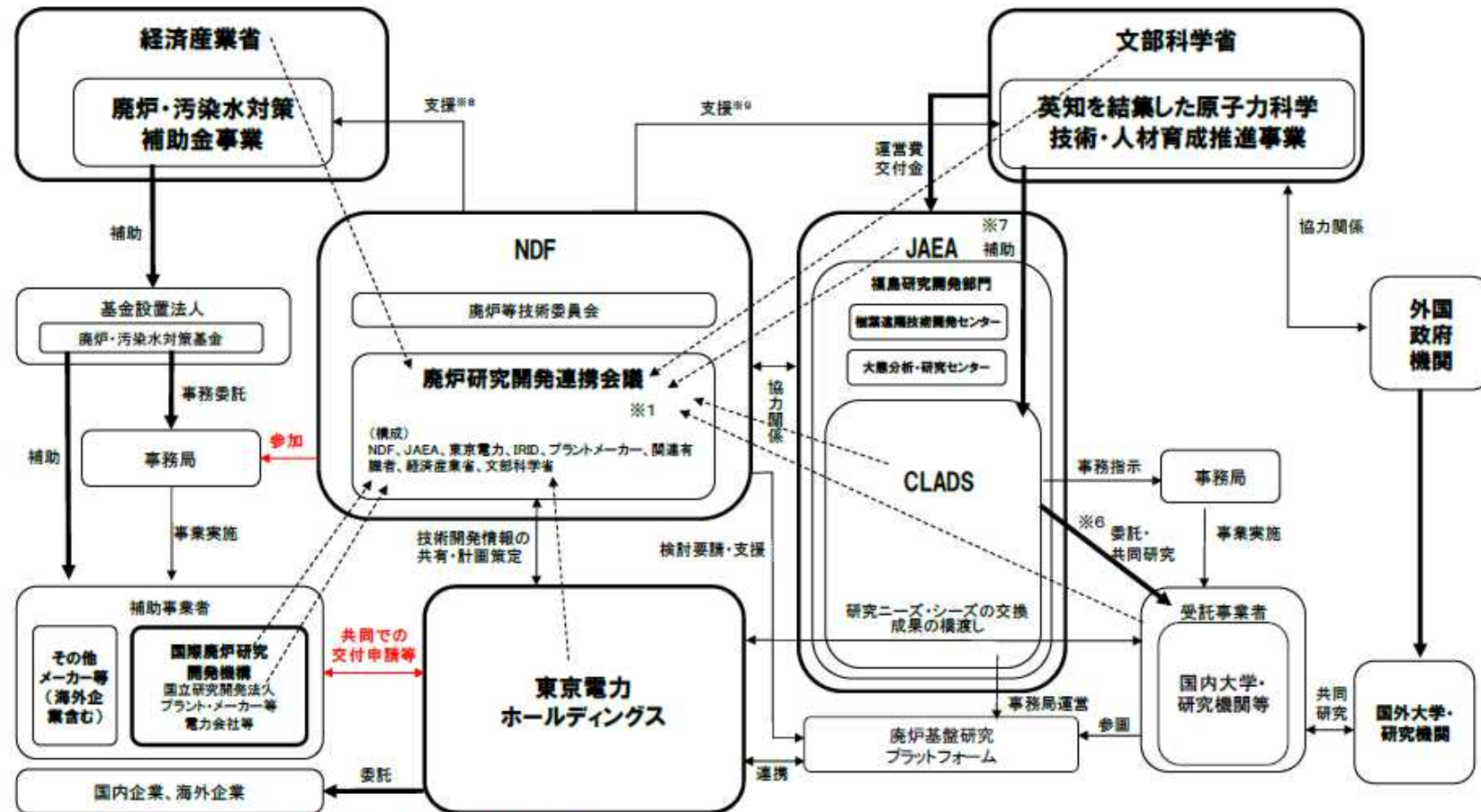
福島第一原子力発電所の廃炉に係る研究開発に関する役割分担

1Fの廃止措置に係る研究開発においては、基礎・基盤研究から応用研究、開発・実用化に至るまで多様な機関が連携しています。



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2017概要版(2017.8.31)」をもとに作成
(http://www.dd.ndf.go.jp/jp/strategic-plan/book/20170831_SP2017OV.pdf) (2018年7月25日に利用)

福島第一原子力発電所の廃炉に係る研究開発実施体制の概略



※1 廃炉研究開発連携会議は、廃炉・汚染水対策チーム会合決定によりNDFに設置。
 ※2 太い実線矢印は研究費・運営費等の支出(施設費除く)、細い実線矢印は協力関係等、点線矢印は廃炉研究開発連携会議への参加を示す。
 ※3 JAEA等、一部機関は複数個所に存在している。
 ※4 各機関はそれぞれMOU等に基づき外国機関との協力関係を有する。
 ※5 電力中央研究所等が独自に実施する研究開発は本図では省略した。
 ※6 英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業のうち、平成29年度までの採択分は文部科学省から受託事業者への委託であるが、本図では省略した。
 ※7 英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業の補助金は、JAEAに交付されるが、わかりやすさのためCLADSに交付されるものと表現した。
 ※8 廃炉・汚染水対策補助金事業は、中長期ロードマップや戦略プランにおける方針、研究開発の進捗状況を踏まえ、NDFがその次期研究開発計画の案を策定し、経済産業省が確定する。
 ※9 NDFは、英知を結集した原子力科学技術・人材育成事業のステアリングコミッティに構成員として参加する。

出典: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2020』p65

福島における日本原子力研究開発機構（JAEA）の研究拠点

福島における基礎・基盤研究の中核であるCLADSの機能を強化し、オンサイト／オフサイト研究を一つの指揮命令系統の下で進めるため、令和2年4月より、別の組織であった福島環境安全センター（三春町、南相馬市）を廃炉国際共同研究センターに統合し、「廃炉環境国際共同研究センター（CLADS）」に名称を変更。

廃炉環境国際共同研究センター（CLADS）

【オフサイト研究】

廃炉環境国際共同研究センター（CLADS）【三春町】

福島の実環境回復に係る環境動態研究等を実施

※福島県環境創造センター研究棟に入居し活動



廃炉環境国際共同研究センター（CLADS）【南相馬市】

福島の実環境回復に係る環境モニタリング・マッピング技術開発等を実施

※福島県環境創造センター環境放射線センターに入居し活動



【オンサイト研究】

廃炉環境国際共同研究センター（CLADS）【富岡町】

国内外の英知を結集し、安全かつ確実に1Fの廃止措置等を実施するための研究開発、人材育成等を実施



大熊分析・研究センター（経産省所管）【大熊町】

1Fの廃止措置推進のための放射性廃棄物や燃料デブリの分析・研究を行う施設の整備



楡葉遠隔技術開発センター（NARREC; 経産省所管）【楡葉町】

1Fの廃止措置推進のための遠隔操作機器（ロボット等）の開発・実証試験を実施



外部利用が可能な施設、詳細は下記URL参照
<https://naraha.jaea.go.jp/use/flow.html>



「東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等研究開発の加速プラン」の実現

令和3年度予算額 4,100百万円
 うちエネルギー対策特別会計予算額 1,536百万円
 (前年度予算額 4,249百万円)
 ※運営費交付金中の推計額含む



概要 東京電力(株)福島第一原子力発電所の安全かつ確実な廃止措置に資するため、日本原子力研究開発機構 廃炉環境国際共同研究センター(CLADS)を中核とし、廃炉現場のニーズを一層踏まえた国内外の研究機関等との研究開発・人材育成の取組を推進。

(1) 国内外の英知を結集する場の整備 130百万円(130百万円)

○廃炉環境国際共同研究センター「国際共同研究棟」の運用等

国内外の英知を結集し廃炉に係る研究開発・人材育成を実施するため、大学・研究機関等が供用できる施設として、廃炉環境国際共同研究センター「国際共同研究棟」を福島県富岡町に整備し、平成29年4月から運用を開始。



国際共同研究棟

(2) 国内外の廃炉研究の強化・中長期的な人材育成機能の強化 3,971百万円(4,120百万円)

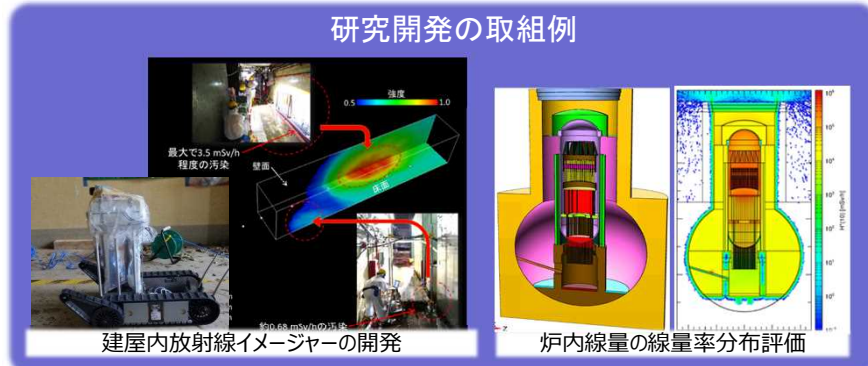
○廃炉環境国際共同研究センターによる廃炉研究開発の推進 (JAEAにおいて実施) 2,653百万円(2,802百万円)

廃炉環境国際共同研究センターにおいて、人的資源や研究施設を最大限活用しながら、燃料デブリの取り扱い、放射性廃棄物の処理処分、事故進展シナリオ解明、遠隔操作技術等の幅広い分野において、基礎的・基盤的な研究を実施。

○英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業 (大学等において実施) 1,318百万円(1,318百万円)

廃炉環境国際共同研究センターを中核とし、国内外の多様な分野の知見を組織の垣根を越えて融合・連携させることにより、中長期的な廃炉現場のニーズに対応する研究開発・人材育成を推進。

英知事業の取組例



建屋内放射線イメージの開発

炉内線量の線量率分布評価



CLADSを中核に48研究代表、再委託先含め約149大学等と連携



競技中のロボット

福島第一の現場を模した競技会場

高専生による廃炉ロボコン

国内外の英知を結集して1F廃炉に必要な技術をIRIDや東電等へ提供

1Fの安全かつ確実な廃止措置を実施するため、国内外の英知を結集、国内外の大学や研究機関と連携しつつ、研究成果を1F廃炉へ貢献

燃料デブリ状況の解明

模擬デブリを用いた試験等から実燃料デブリの性状を推定し、デブリ取出し計画へ反映、実燃料デブリの分析要素技術を開発

In-vessel: 溶融固化物

金属化合物 (SU-カミ合金, Zr等)
酸化物 ((U,Zr)O₂等)
非溶融燃料ペレット
ホウ化物等の結晶
構造材(金属)
コンクリートとの反応物(クイ酸塩化合物等)

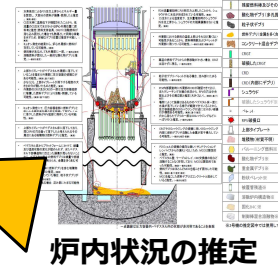
燃料デブリのイメージ図

Ex-vessel: MCCI生成物

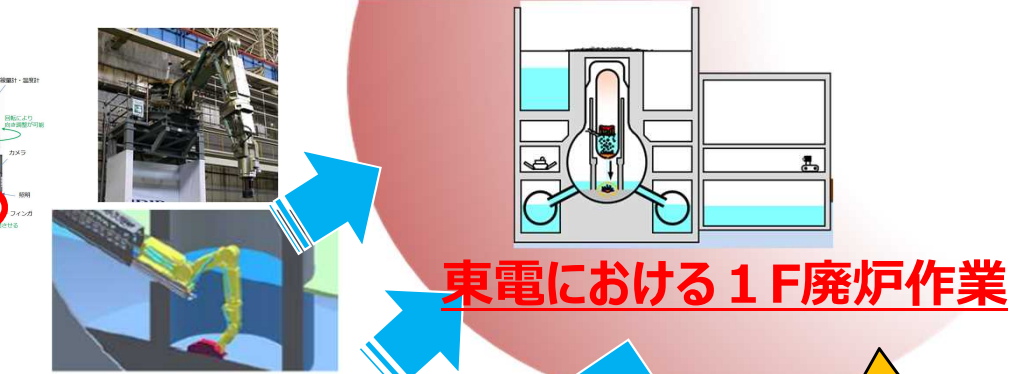
米国スリーマイルアイランド原子力発電所事故で発生した燃料デブリの分析データを基に1Fデブリの状態を推定



デブリへの接触調査(東電)



IRID等におけるエンジニアリング



デブリ取出し用ロボットアームの開発 (IRID)



汚染水の処理により発生する二次廃棄物の分析



1号機原子炉建屋内の高線量部位の把握に貢献

炉内状況の解明

燃料デブリ取出し方法の確定に向けて、原子炉圧力容器内の破損状況の高度化を図る。また、炉内の線量評価手法を開発する

試験体

水蒸気流量 少 多

1F事故時の燃料集合体の破損挙動を解明

格納容器(PCV)内線量率分布を予測

放射性廃棄物の処理処分

廃棄物の保管、処理、処分方法の確立に向け、廃棄物の分析を継続するとともに、安全な保管、処理、処分技術を開発

1Fの廃棄物サンプルを採取・分析

汚染分布を統計的に解析する手法としてベイズ統計の適用性を評価

遠隔操作計装技術開発

遠隔による3次元放射線分布の可視化技術の開発。廃炉現場作業を支援。

約680g

製作した小型の放射線可視化装置(コンプトンカメラ)の外観

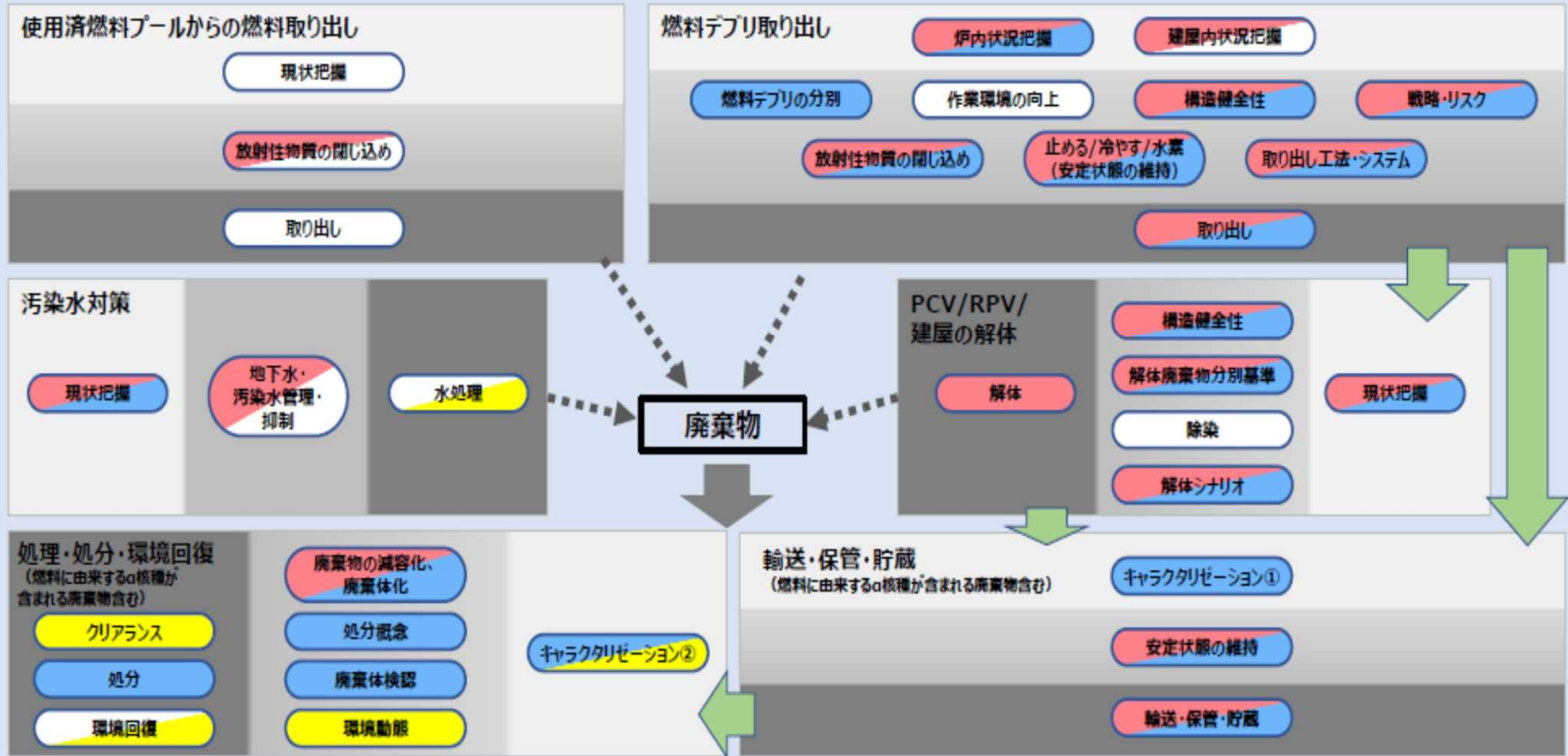
開発したコンプトンカメラをロボットに搭載し、1F原子炉建屋内において実証試験を実施。高線量率箇所の可視化に成功。

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』

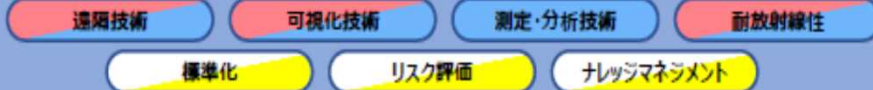
→ 大まかな廃炉作業の流れ



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）

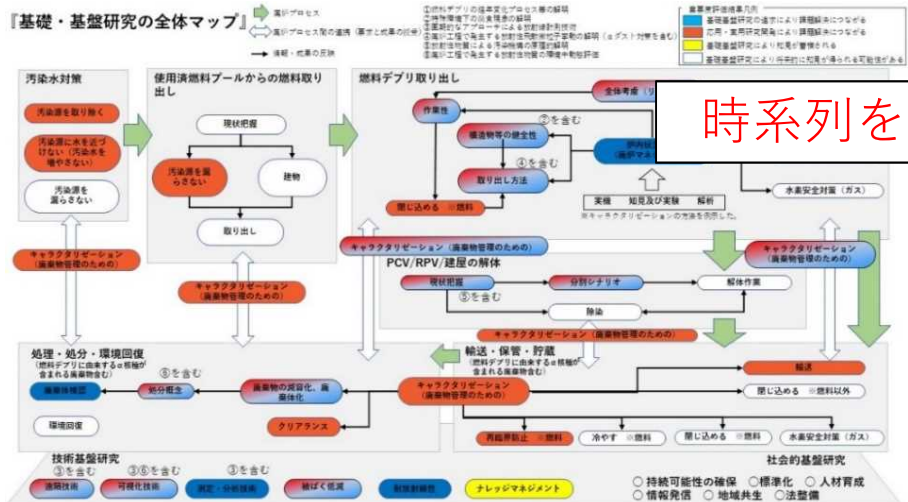


技術基盤研究

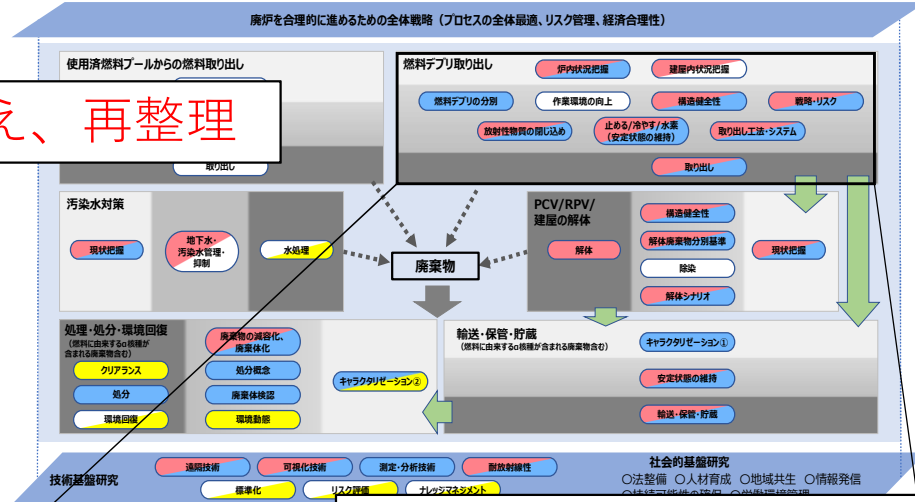


社会的基盤研究

- 法整備
- 人材育成
- 地域共生
- 情報発信
- 持続可能性の確保
- 労働環境管理



時系列を加え、再整理



WEB上で詳細版を表示

東電現場レビュー

課題名・段階マップに紐づく基本情報

時間軸
工程毎に必要なとされる期間にニーズの枝番号を記載。

〇ニーズ・望ましい状態とその理由
解決するにあたり理想的な状態(望ましい状態)と、ニーズが解決されるとなげ嬉しいかの理由。

〇関連する研究課題
該当ニーズを解決すると考えられる過去に実施した研究

〇関連する課題(一件一様)
併せて検討すべき関連する課題

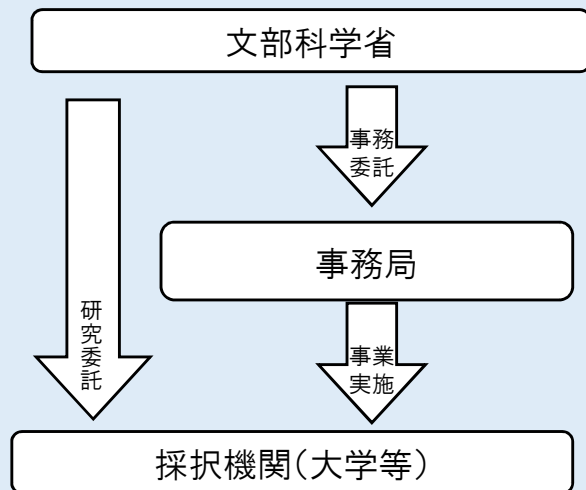
WEB上で詳細版を表示

燃料デブリ取り出し
汚染水対策
処理・処分・環境回復
技術基盤研究
社会的基盤研究

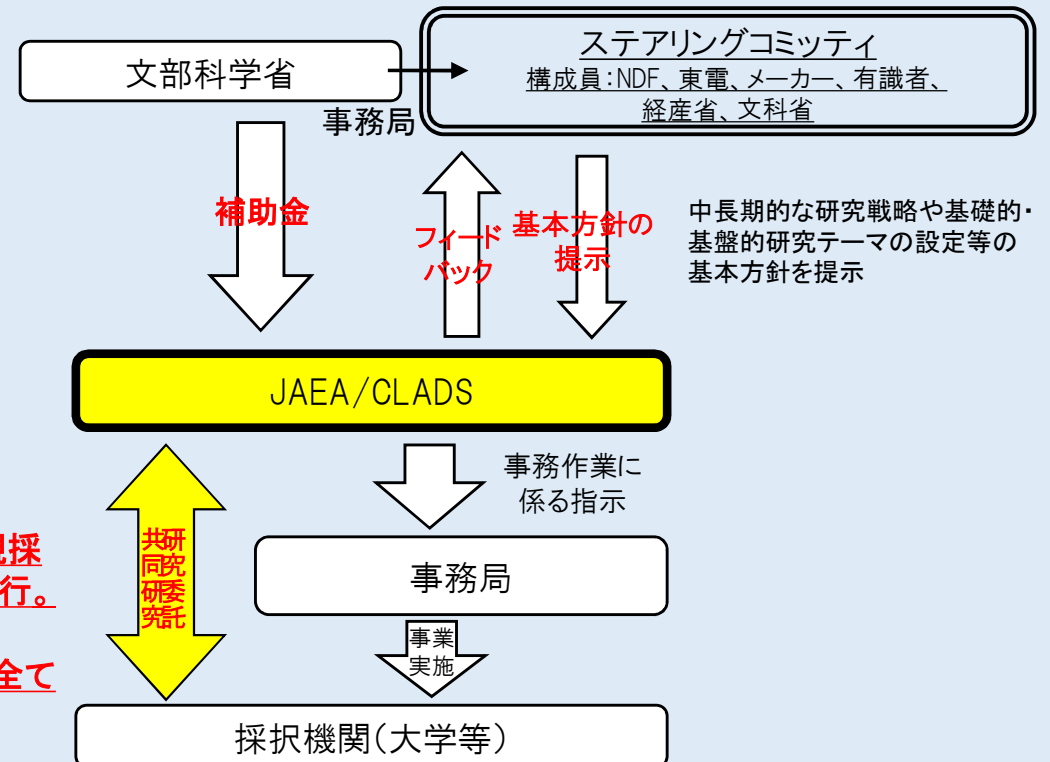
時系列の追加、77件ある一件一様の全てに対し、東京電力HDの現場レビューを実施することにより
ニーズを更に明確化

- 英知事業は平成27年度の開始以降、文部科学省の委託事業として実施していたが、この形態では文部科学省と各大学が委託契約を結ぶことになり、研究の成果が文部科学省に集まり、東電1F廃炉現場へ活用しづらい等の課題があった。
- 平成29年度にJAEA/CLADSの現地拠点となる国際共同研究棟が富岡町に完成したことを受けて、平成30年度新規採択分から段階的にJAEA補助金事業へ移管。令和2年度末をもって全ての事業がJAEA補助金事業への移管が完了。
- これまで英知事業とCLADSでそれぞれ廃炉研究を実施してきたが、JAEA補助金化によってCLADSとアカデミアの連携を強化し、CLADSのみでは成し得なかったアカデミアの広い英知を活用した横断的研究が可能となる体制を構築。

（～H29採択分まで）英知事業（文科省委託）



（H30採択分～）英知事業（CLADS補助金）



- 平成30年度新規採択課題分から移行。
- 令和2年度末で全ての移行が完了。

CLADSは国内外のアカデミア・研究機関・企業、48の研究代表、再委託含め延べ149機関と連携体制を構築



Collaborative Laboratories for Advanced Decommissioning Science

課題解決型廃炉研究PG

若手

一般

Logos for the Problem-Solving Nuclear Decommissioning Research PG, including:

- 東京大学 (The University of Tokyo)
- NIMS (National Institute for Materials Science)
- 東北大学 (Tohoku University)
- 京都大学 (Kyoto University)
- 九州大学 (Kyushu University)
- 東京大学 (The University of Tokyo)
- JCAC (Japan Chemical Analysis Center)
- WASEDA University (早稲田大学)
- 東京工業大学 (Tokyo Institute of Technology)
- HITACHI
- 北海道大学 (Hokkaido University)
- i-Lab., Inc.
- KEK (大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構)

国際協力型廃炉研究PG



Logos for the International Collaborative Nuclear Decommissioning Research PG (Japan-UK), including:

- 茨城大学 (Ibaraki University)
- 京都大学 (Kyoto University)
- University of BRISTOL
- Lancaster University
- 北海道大学 (Hokkaido University)
- 国立大学法人 静岡大学 (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)
- The University Of Sheffield.
- 信州大学 (Shinshu University)
- 海上技術安全研究所 (NIIAFS National Maritime Research Institute)
- diamond

国際協力型廃炉研究PG



Logos for the International Collaborative Nuclear Decommissioning Research PG (Japan-Russia), including:

- 東京工業大学 (Tokyo Institute of Technology)
- 慶應義塾 (Keio University)
- MEPHI (International Research Nuclear University)
- Kazan Federal University

共通基盤型原子力研究PG

若手

一般

Logos for the Common Infrastructure Nuclear Research PG, including:

- 筑波大学 (University of Tsukuba)
- 大阪大学 (Osaka University)
- 大阪大学 (Osaka University)
- 芝浦工業大学 (Zesyu Industrial University)
- KOGEI (東京工業大学)
- UEC (電気通信大学)
- 東北大学 (Tohoku University)
- 東京大学 (The University of Tokyo)
- 岡山大学 (Okayama University)
- 東京工業大学 (Tokyo Institute of Technology)
- QST (量子科学技術研究開発機構)
- 木更津工業高等専門学校 (National Institute of Technology, Kisarazu College)
- 東京大学 (The University of Tokyo)
- 名古屋大学 (Nagoya University)
- 産総研 (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

研究人材育成型廃炉研究PG

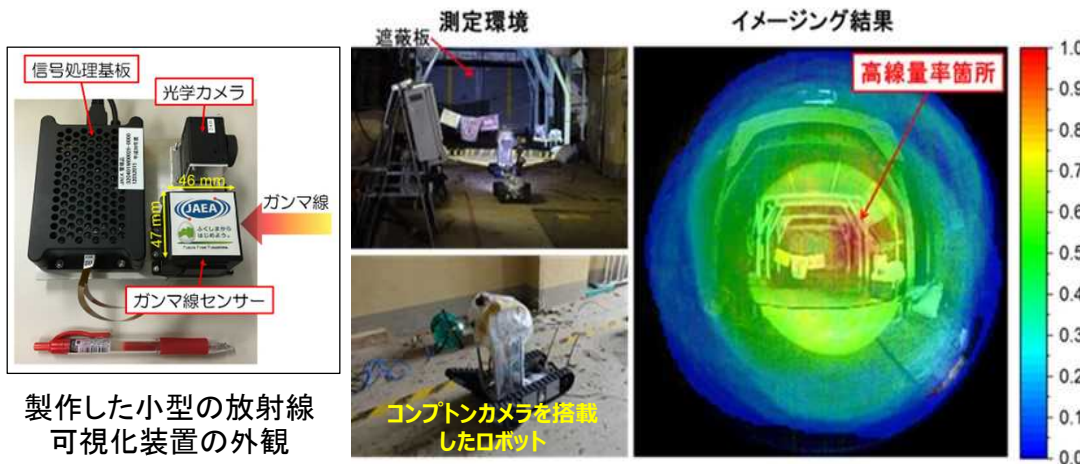
Logos for the Research Personnel Training Nuclear Decommissioning Research PG, including:

- 東北大学 (Tohoku University)
- 東京大学 (The University of Tokyo)
- 東京工業大学 (Tokyo Institute of Technology)
- 福島大学 (Fukushima University)

參考資料

小型・軽量測定装置により目に見えない放射線の分布状況を可視化する手法を開発

- 1Fの広い範囲が汚染している環境において、従来の測定装置による測定では個別地点での測定しかできず、空間的分布をとらえることができなかった。
- JAEAは小型・軽量の装置(コンプトンカメラ)を用いて空間的に分布した目に見えない放射性物質による汚染状況を一度に可視化する放射線測定手法の開発に成功。



製作した小型の放射線可視化装置の外観

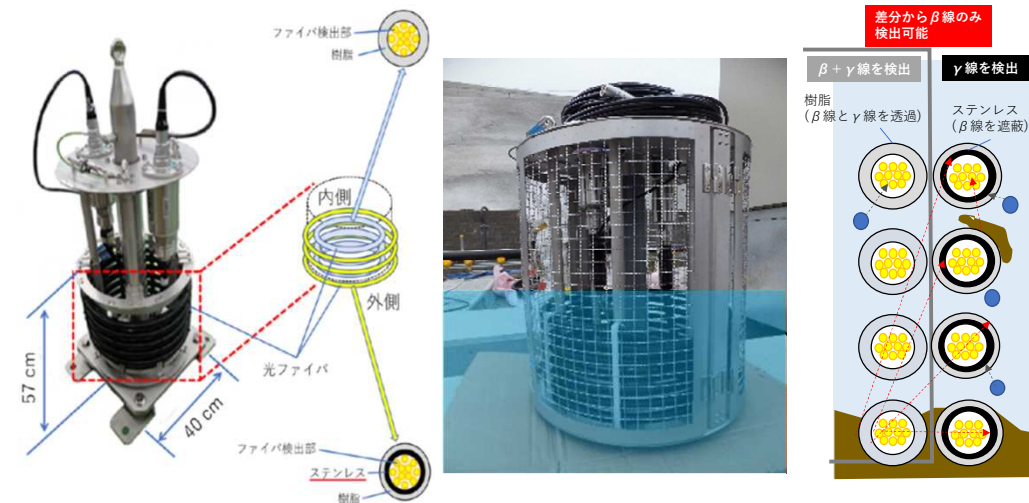
1F1号機原子炉建屋内において実証試験を実施し、高線量率箇所の可視化に成功。

【成果の展開・応用】

- 1Fの現場で実用化するため、令和元年度は東京電力への技術指導を実施。
- 1Fサイトを活用した実証試験を東京電力から費用を得て実施するとともに、更なる現場適用に向けて経産省「廃炉・汚染水対策事業」に採択され研究を推進。

汚染水の漏えいをリアルタイムで検出できる水中放射線測定装置の開発

- これまで、1F構内で排水路の放射線を測定するためには、排水路の水を実際にサンプリングし、分析する必要があり、分析に数時間を要していた。
- JAEAは、水中でリアルタイムで測定できるファイバ型モニターを開発。1F排水路のモニタリング装置として実際に活用可能であることを確認。



開発したファイバ型モニター

水に直接沈めて使用

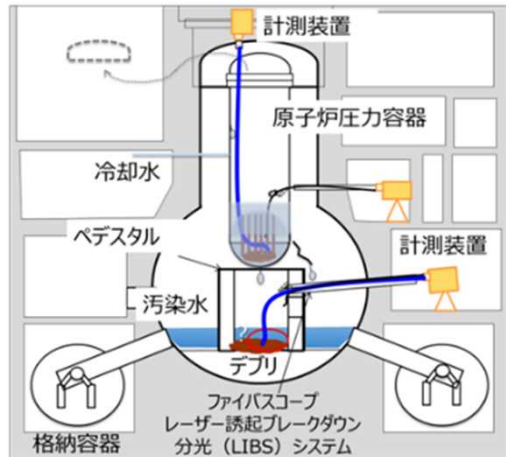
【成果の展開・応用】

- 東京電力及びメーカーと共同で、1F排水路において、水中の放射性物質をリアルタイムで検出可能であることを実証。
- JAEAよりメーカーに技術移転し、令和2年1月末より本装置が1Fの排水路に設置され運用を開始。

先進的光計測技術を駆使した燃料デブリ組成の その場分析法の開発

研究代表者: 若井田 育夫 (JAEA) 受託期間: 平成27~30年度

- 1Fの廃炉においては、溶融した燃料や構造材で構成されるデブリの組成をその場で迅速に測定する技術が求められる。
- 耐放射線性の光ファイバーでレーザーを照射することで発生するプラズマ光を分光分析することにより、デブリの元素組成を現場で分析する基盤技術を開発 (LIBSシステム)。
- 現場の適用に十分な性能で対応できるようにするため、本手法の高感度化、高分解能化等の技術の高度化を実施。



計測装置の炉内での設置例



可搬型LIBS
装置の試作

【成果の展開・応用】

- 令和3年度経産省「廃炉・汚染水対策事業」に採択され、実際の現場でのデブリ分析に利用可能な技術とするためシステム化等を推進中。

分析困難な放射性物質(ストロンチウム⁹⁰Sr)の 迅速分析法の開発

研究代表者: 高貝 慶隆 (福島大学) 受託期間: 平成27~令和1年度

- 放射性核種であるストロンチウム90 (⁹⁰Sr) は、従来法では複雑な前処理作業に長時間(約2週間~1か月)を要し、かつ熟練の技術が必要であり、分析作業の迅速化が課題。
- 福島大学やJAEA等からなる研究チームで、高周波誘導結合プラズマ-質量分析装置(ICP-MS)を基軸とした⁹⁰Sr分析に特化した新たな分析手法を開発。1検体あたり約20分~30分の迅速分析を達成。



ICP-MSを用いた⁹⁰Sr分析装置

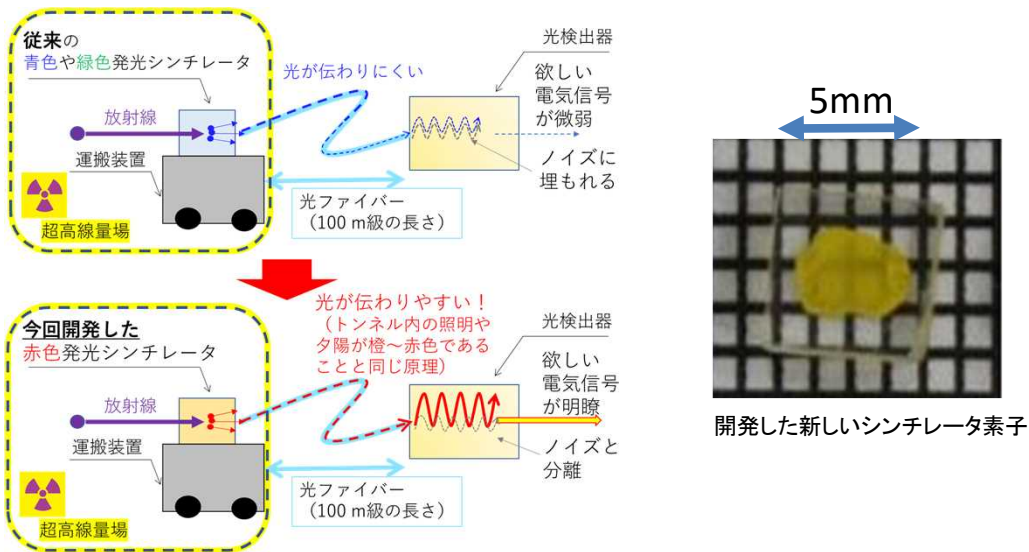
【成果の展開・応用】

- 東京電力と協力して技術改良、実証実験、従来法とのクロスチェックなどを重ね、平成26年12月より雨水のSr測定を中心に1Fの現場で運用を開始。
- 東京電力やメーカーと協力し、海水が混入した水への適用や検出限界値の向上に向けた技術開発を更に推進。

革新的発光材料の開発と1F炉内放射線計測への活用

研究代表者：黒澤 俊介(東北大) 受託期間：平成30～令和2年度

- 1Fの原子炉内の放射線量を測定するには遠隔での作業が前提となるため、高い放射線環境下で正常に動作し、かつ離れた場所まで信号(光)を伝送する技術が必要。しかし、従来のシンチレータ(青や緑色の発光)では発光量が低く遠隔まで光を届けることが困難であった。
- 英知事業において、高い発光量を有する赤色発光の新規シンチレータを開発。光ファイバーや光検出器と組み合わせ、高線量下で遠隔で放射線量を測定することに成功。



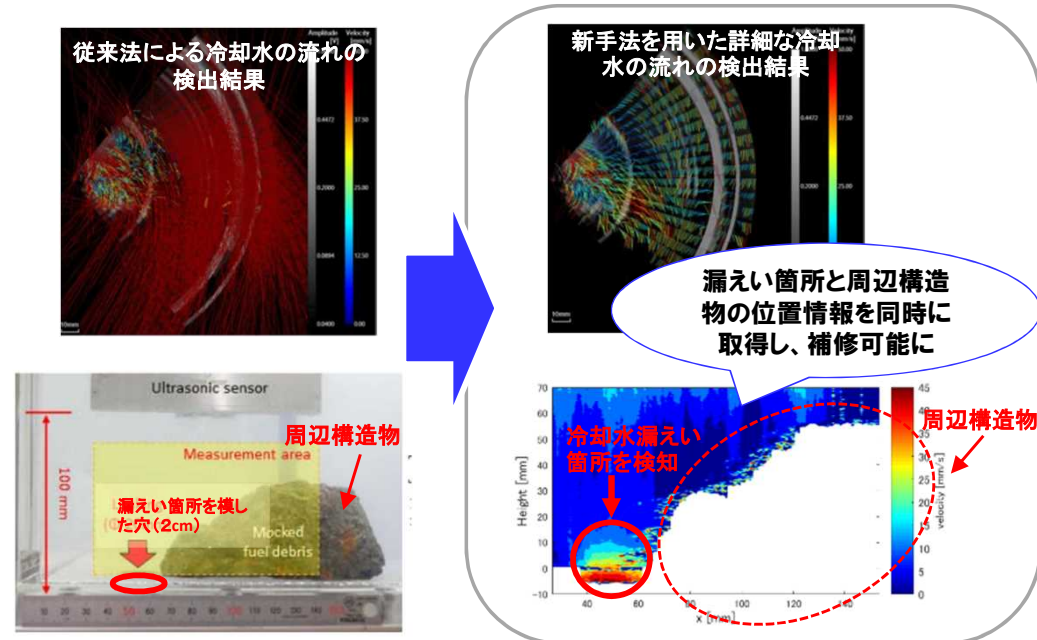
【成果の展開・応用】

- 東京電力から、当該システムを令和4年度以降1Fの原子炉内部調査で活用したいとの要望が寄せられた。
- 令和3年度、英知事業と東京電力双方から費用を出し、現場適用に向けたシステムの小型化や光ファイバーの長尺化等の機能の向上及び現場適用に向けた課題の検証等を実施中。

冷却水漏えいと周辺構造物情報を同時に把握可能な新たな超音波センサの開発

研究代表者：木倉 宏成(東工大) 受託期間：平成27～29年度

- 光学カメラでは視覚情報が得られにくい原子炉内において、冷却水の漏えい検知、漏えい箇所特定に向けて水の流れを詳細に可視化するとともに、炉内構造物の位置情報の取得を同時に行うことのできる新たな超音波センサの開発に成功。
- 開発したセンサをロボット等に搭載することで、炉内で冷却水漏えい検知や炉内構造物の位置情報取得に活用できることを確認。



冷却水の漏えい箇所とその周辺の構造物(左図)の位置情報を開発したセンサで検出(右図)

【成果の展開・応用】

- メーカーや東京電力から費用を得て、本技術をボート型アクセス装置等に搭載し、デブリ取り出しに向けた炉内冷却水漏えい箇所特定に活用すべく、共同研究を実施中。

H26～R1年度：第1期人材育成プログラム

多様な分野の知見を1F廃炉に取り込むための 拠点を全国の大学に構築

- 原子力分野だけでなく多様な分野の学生が、福島第一原子力発電所の廃炉に関心を持つことにより、長期的に廃炉を支える人材の育成に貢献するため、全国の大学等に人材育成の拠点を構築。
- 東京電力をはじめ廃炉に携わる企業との共同研究や廃炉に関する研修、ワークショップを開催する等、多様な分野の学生等が積極的に廃炉に関わるための契機となる取組を推進。

【採択機関】

(H26) 東北大学、東京大学、東京工業大学
(H27) 福島大学、福井大学、福島高専、
地盤工学会(千葉工業大学、早稲田大学)

【各大学における主な取組内容】

- 原子力に限らない、材料、建築、土木、機械、情報科学など異分野融合の体制を構築
- 燃料デブリの分析技術の習得等、廃炉に関する学生実験環境の充実 ⇒ 米国MITとの間で相互単位認定が可能に
- 廃炉に関する特別講義の開設
- 廃止措置に関する講義やサマーセミナー、1Fの見学等の実施
- 廃炉に携わる民間企業との産学連携講座の開設 等



廃炉に関する学生実験の様子



産学連携講座の開講



原子力発電所の視察

R1年度～：第2期人材育成プログラム

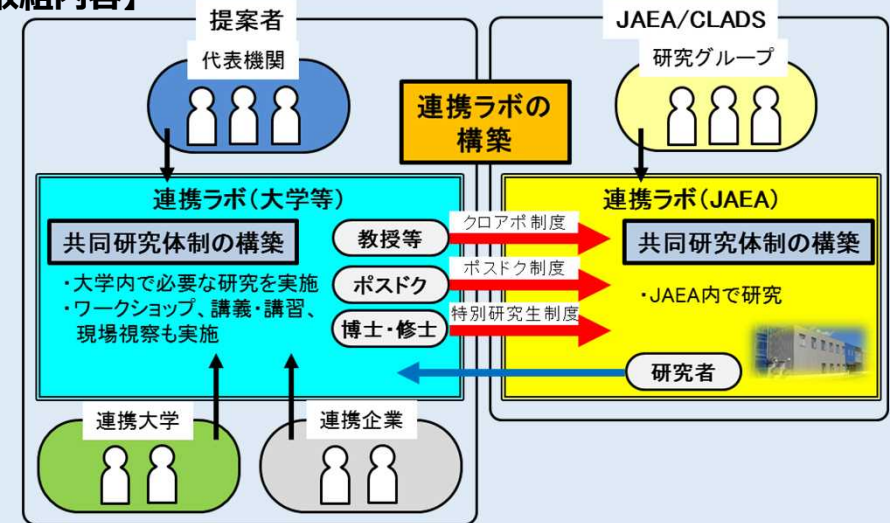
CLADSを中核に全国の大学の知見を 結集する体制を構築

- これまで全国の大学において培ってきた多様な分野の知見や経験を、CLADSに結集させる体制を構築。
- CLADSと大学との間でクロスアポイントメントを活用した産学官連携ラボラトリを設置することにより、将来の1F廃炉を支える多様な分野の研究人材層とCLADSが強力な連携体制を構築することを目指している。

【採択機関】

(R1) 東北大学、東京大学、東京工業大学、福島大学

【取組内容】



- 当該プログラム修了者503名のうち約20%にあたる83名の学生が原子力関連の企業等を就職先に選択（平成30年度実績）。
- このような実績が高く評価され、東京大学、東北大学、東京工業大学、福島大学の拠点は英知事業終了後、東京電力等と4大学との間で包括協定を締結し、産学連携講座を開設（現在実施中）。