

1F廃炉に向けた技術開発の現状 英知事業の取組み

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

廃炉環境国際共同研究センター (CLADS)

技術主幹 田川 明広



沿革

2011.3

- 東北地方太平洋沖地震
- **福島第一原子力発電所(1F)事故**

2011.12

- 政府と東京電力による中長期ロードマップ策定

2011

- 1F事故直後から環境モニタリング・除染活動への支援、国・自治体への支援を実施
- **福島支援本部 設立** (同年、福島技術本部に組織再編)
- 福島事務所 開設

2013

- 1Fの廃止措置に向けた研究開発を行う福島廃炉技術安全研究所を設置
- 国際廃炉研究開発機構に参画 (IRID)

2014.4

- **福島研究開発部門**として組織再編

2014

2015

- いわき事務所 開設
- 福島県環境創造センター環境放射線センターでの業務開始



2016

- 楢葉遠隔技術開発センター運用開始



- 福島県環境創造センター研究棟での業務開始



2017

- 廃炉国際共同研究センター (CLADS) 国際共同研究棟 運用開始



2018

- 大熊分析・研究センター施設管理棟 運用開始



2020

- 廃炉及び環境回復の研究開発組織を統合し「廃炉環境国際共同研究センター」に改組

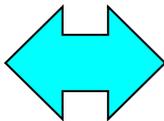
- 廃炉・環境回復において直面する課題の解決に貢献
- 国際共同研究棟を拠点に、国内外の機関と一体となり、1F廃炉/環境回復の研究開発及び人材育成を展開
- CLADSの活動を通じて「ふくしまの復興」に貢献

成果反映先



TEPCO

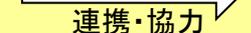
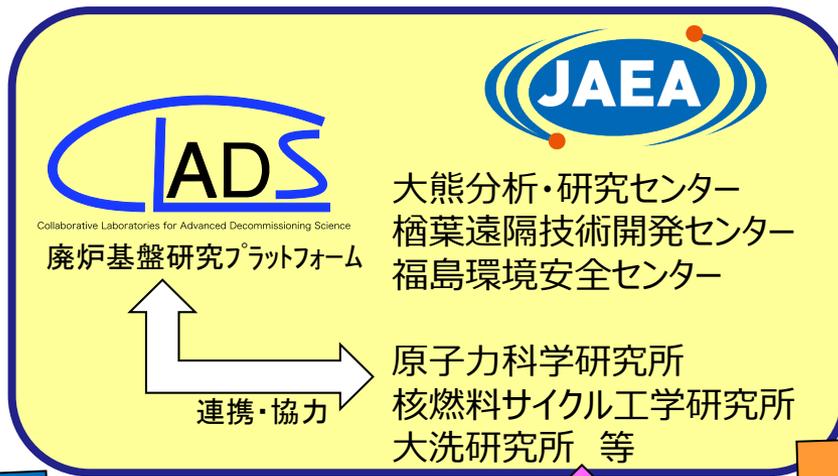
東京電力ホールディングス



連携・協力

情報発信・収集

論文・学会・FRC・分科会等
ホームページ
プレス
成果報告会 等

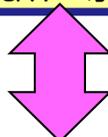


連携・協力

国内外アカデミア、研究機関

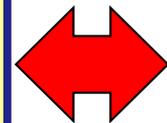


東京大学 英国
東北大学 仏国
東工大 露国
QST 等 米国 等



連携・協力

福島県 等



連携・協力

富岡町
大熊町
楡葉町 等
浜通り市町村

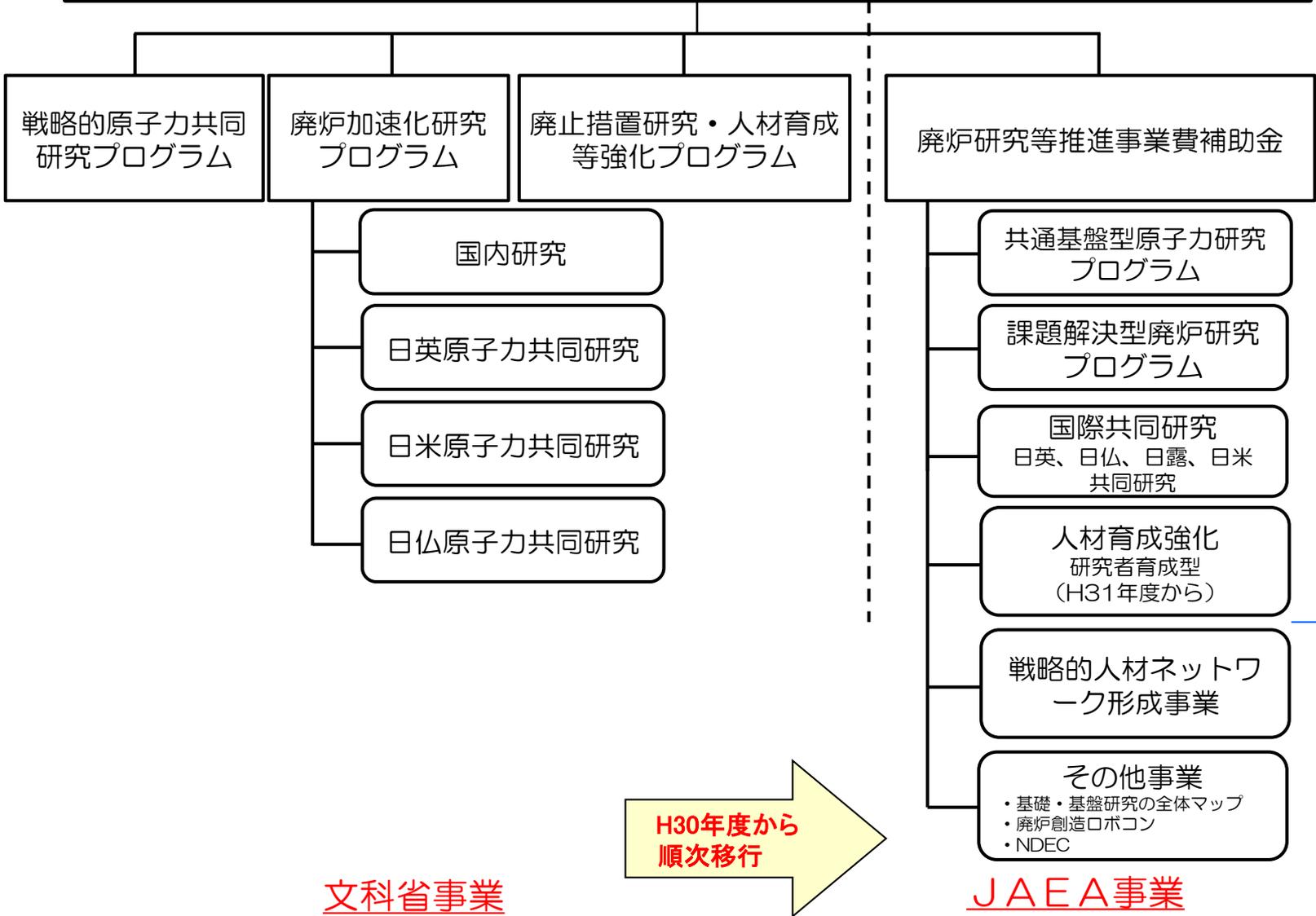


連携・協力

福島県内団体、企業等

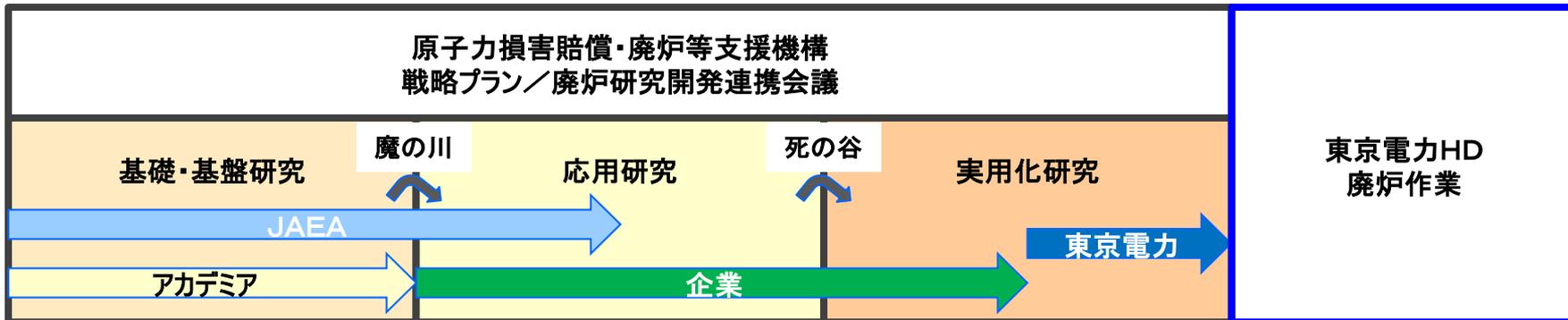


英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業（英知事業）



公募事業
直接執行

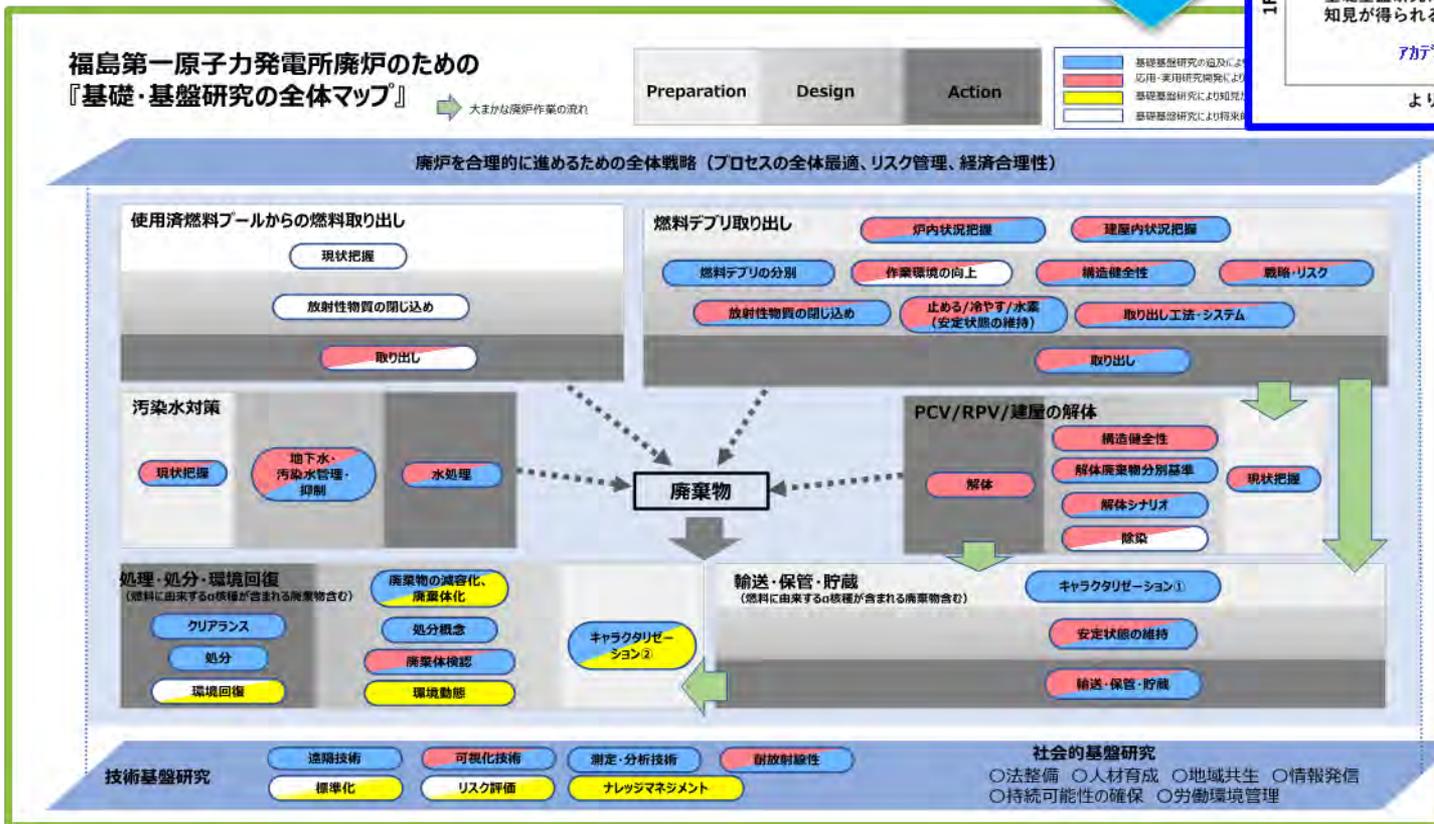
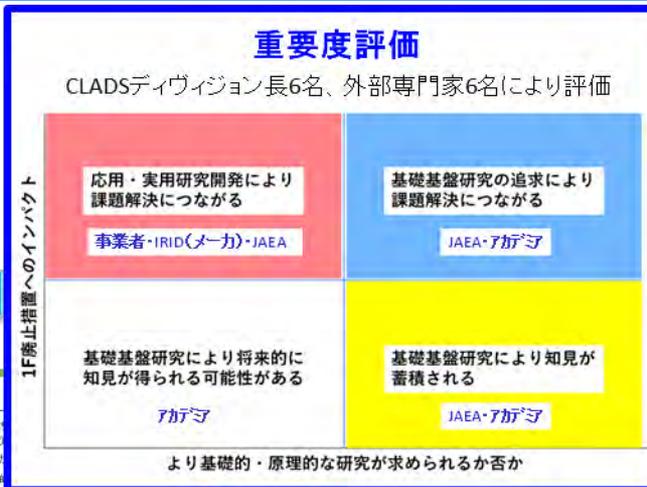
CLADSの主な研究開発スキーム



	基礎・基盤研究	応用研究	実用化研究
廃炉研究	<u>JAEA (運営費交付金)</u> ・JAEAシーズによる研究	<u>JAEA (運営費交付金)</u> ・JAEAシーズによる研究	
	<u>JAEA (文科省補助金: 英知事業)</u> <u><公募(約3年)></u> ・アカデミアシーズと連携した研究	経産省(国プロ) <u><公募(約2年)></u> ・JAEAシーズによる研究 ・企業等シーズと連携した研究	東京電力 <u><予備エンジニアリング費></u> ・東京電力と連携した研究
環境回復	<u>JAEA (運営費交付金)</u> ・JAEAシーズによる研究	<u>JAEA (運営費交付金)</u> ・JAEAシーズによる研究	<u>JAEA (運営費交付金)</u> ・JAEAシーズによる研究
			外部資金 ・JAEAシーズによる研究

1F廃炉のための『基礎・基盤研究の全体マップ』

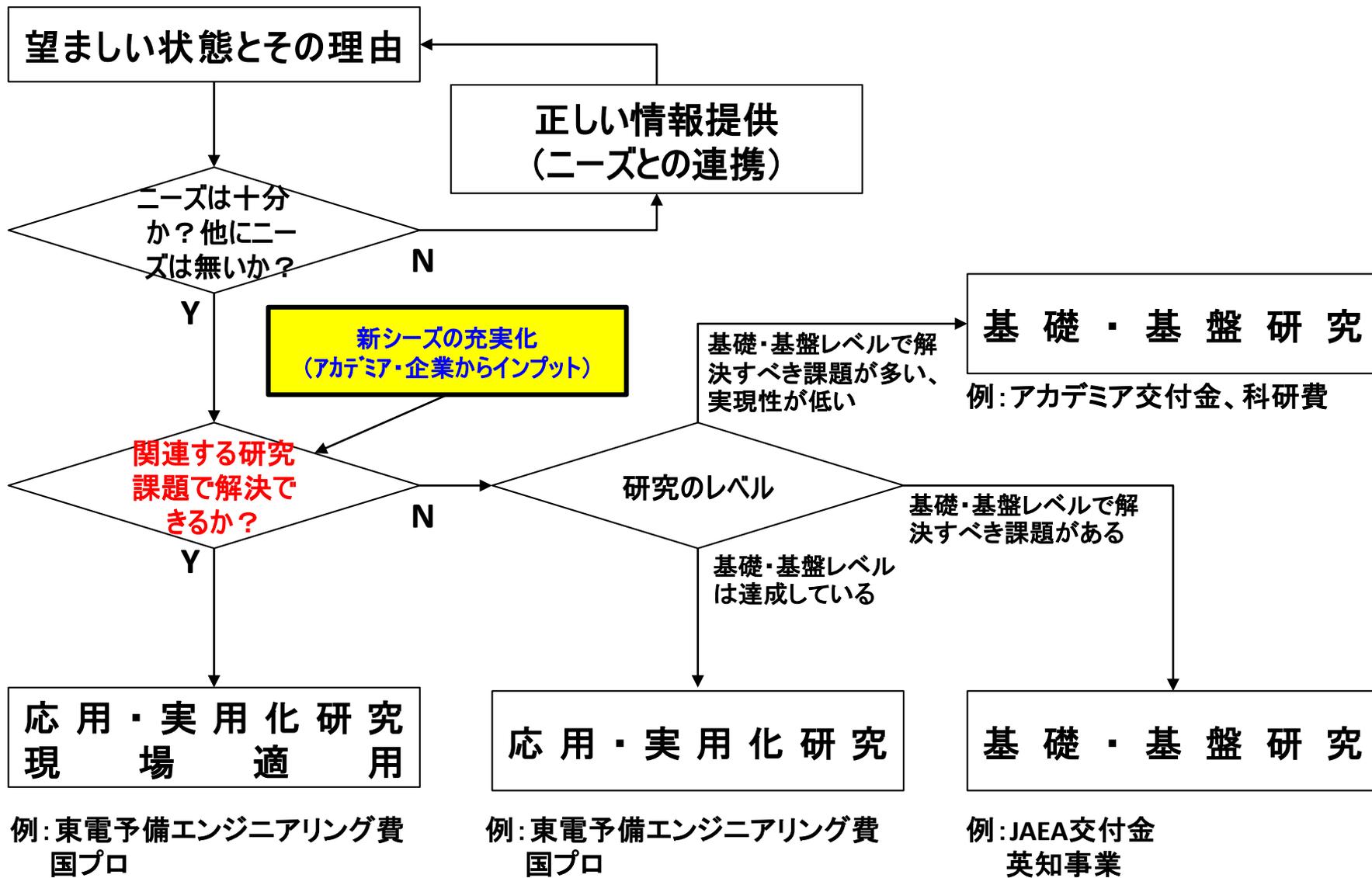
- 1F廃炉を俯瞰できるマップを作成し、JAEAのWEB上で公開
基礎・基盤研究の全体マップの課題を解決する



大まかな廃炉作業の流れ



時間軸情報



キーワード: 福島原子力事故関連
情報アーカイブ(JAEA)にリンク

○理想と現状のギャップ/解決すべき課題

～H29: 原安協概要
H30～: JOPSS(JAEA)にリンク

国プロ概要報告書等にリンク

基礎・基盤研究マップを1F廃炉ニーズ・シーズのデータベースとしても活用できる

「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」

採択数と関係機関間の連携体制

分類	平成30年度	令和元年度	令和2年度
研究人材育成型廃炉研究プログラム			
研究人材育成型	-	4 (12)	-
共通基盤型原子力研究プログラム			
若手研究	6 (6)	2 (1)	-
一般研究	5 (10)	5 (5)	-
課題解決型廃炉研究プログラム			
課題解決型	6 (13)	4 (7)	若手 2 (4)
			一般 6 (20)
国際協力型廃炉研究プログラム			
日英原子力共同研究	2 (8)	2 (5)	2 (6)
日露原子力共同研究	-	2 (4)	-

() 内連携機関数

課題解決型廃炉研究PG

若手 一般

共通基盤型原子力研究PG

若手 一般

国際協力型廃炉研究PG

国際協力型廃炉研究PG

研究人材育成型廃炉研究PG



平成30年度採択

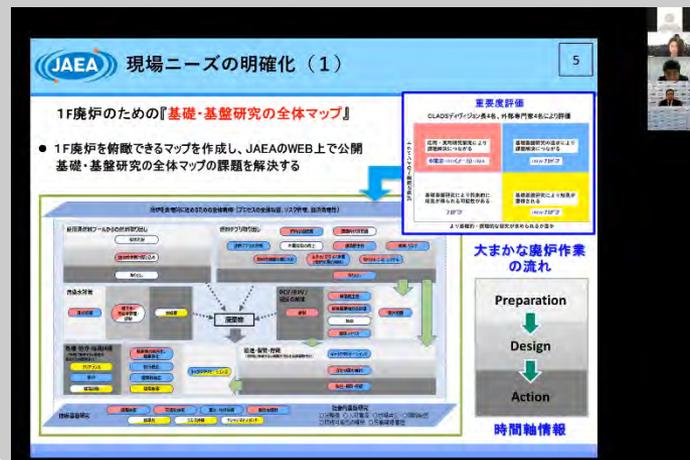
令和元年度採択

令和2年度採択



R3.6.30現在

国内外のアカデミア・研究機関・企業に対し、48研究代表、再委託含め延べ149研究機関と連携



技術サロン
(2020/10/7@WEB、
2021/2/10@WEB)
目的: 民間企業とのマッ
チングを目指す
参加人数:
83機関104名(10/7)
90機関125名(2/10)

令和2年度第1回英知事業WS(11/5@WEB)
目的: 現場ニーズと技術シーズのマッチング
参加人数: 143名
⇒ 研究代表者に対して、廃炉ニーズ側の情
報提供を実施した。

【参加者(研究者)の声】
・研究の進捗・課題などが分かり、非常に有益でした。
・ニーズ側とシーズ側の橋渡しを今後ともJAEAに期待

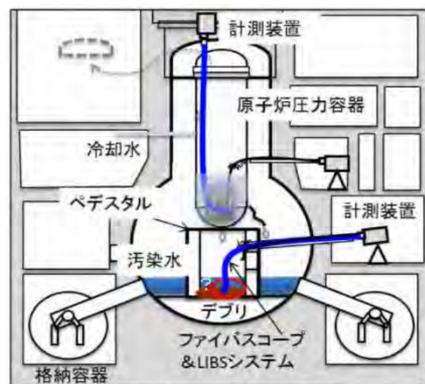
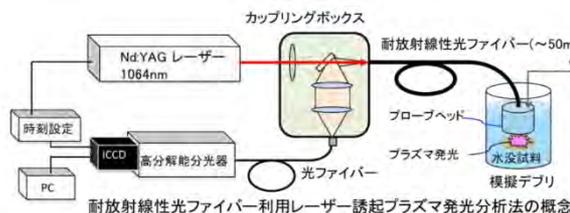
- マッチング推進の取組
 - ・ 良好事例を参考とするため、JAXAと意見交換したことで、より詳細な課題抽出と企業も含めたWIN-WINとなる課題設定が必要であるとの認識を得た。
 - ・ 民間企業への働きかけとして、機構内イノベーションコーディネータ、イノベ機構FTC(Fukushima Tech Create)コーディネータをR3年度に配置。
 - ・ 技術マッチングサイト等への掲載を通じ、実用化、応募数増加の働きかけを行う予定。

・ オンライン会議としたことで参加者は昨年度比2倍以上
・ 技術サロン、コーディネータを通じ、茨城県技術革新課、民間企業数社と意見交換

先進的光計測技術を駆使した炉内デブリ組成遠隔 その場分析法の高度化研究

研究代表者：若井田 育夫(JAEA) 受託期間：平成27～平成30年度

- 原子炉内に光ファイバを挿入し、レーザー照射によるプラズマ発光時の光スペクトルを分析することで元素分析を行う技術。
- 英知事業において、原理実証。R3年度本研究を進展させ、「廃炉・汚染水対策事業費補助金(燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発(燃料デブリの分析精度の向上、熱挙動の推定及び簡易分析のための技術開発))」に係る補助事業に応募して採択。



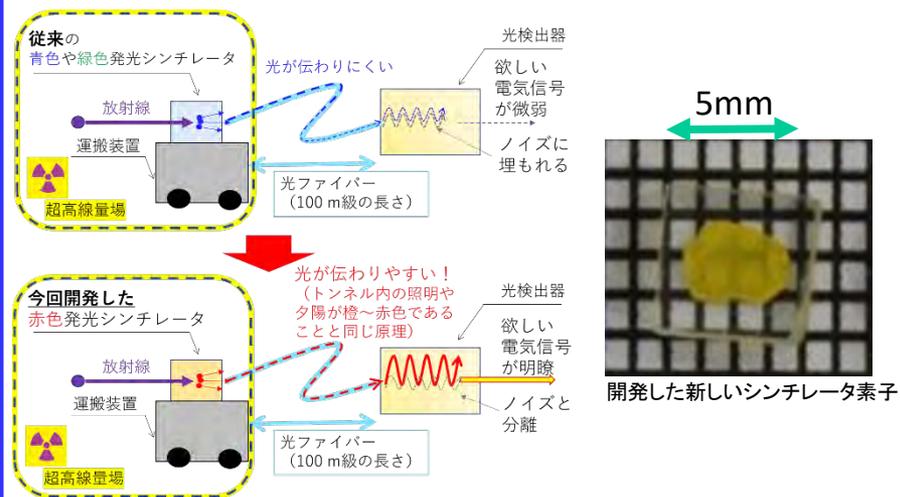
【成果の展開・応用】

- 令和3年度、東京電力からも費用を得て、実機構造材の腐食サンプル試料を元素分析予定。
- 令和3年度、廃炉汚染水対策事業に採択

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】

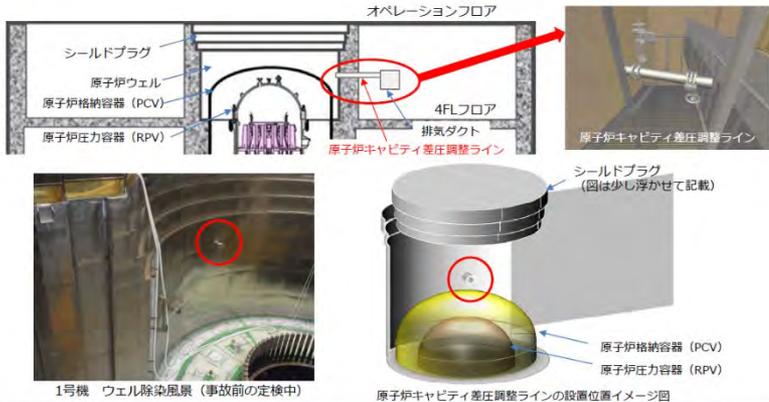
- 令和3年度、東京電力からも費用を得て、現場適用に向けたシステムの小型化や光ファイバーの長尺化等の機能の向上及び現場適用に向けた課題の検証等を実施中。

東京電力における成果実装について

1. 原子炉ウェル内調査について



- 2号機シールドプラグ下部の原子炉ウェル内の調査を5月20日、24日に実施したが、線量の測定値の再検証を行うため、再調査を6月23日に実施。調査結果の速報を紹介する。



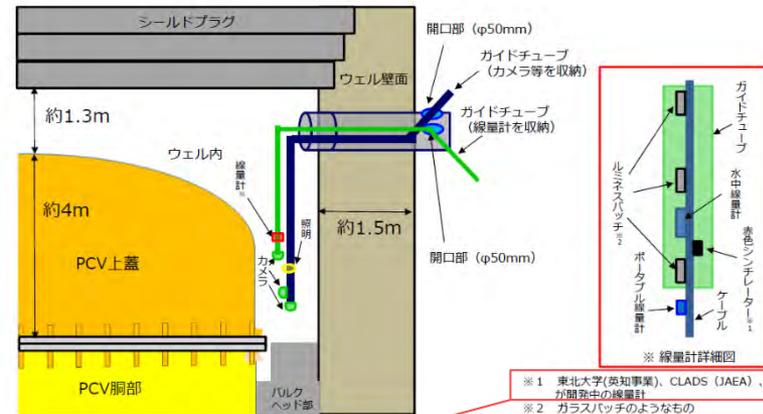
※原子炉キャビティ差圧調整ライン：運転中に原子炉キャビティ（原子炉ウェル）とオペレーションフロアの差圧を調整するラインで、原子炉建屋換気空調系の排気ダクトに接続されている

当初予測：40Sv/h(※)

2. 原子炉ウェル調査方法



- 前回投入した水中線量計（同一型式の別のもの）に加えて、ポータブル線量計等をウェル内へ投入した。

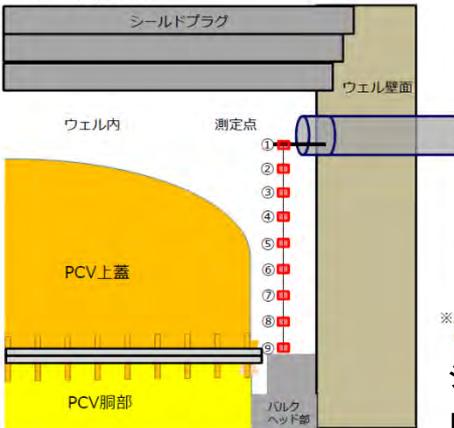


※1 東北大学(英知事業)、CLADS (JAEA)、東電が開発中の線量計
※2 ガラスバッチのようなもの

3-1. 原子炉ウェル調査結果（線量測定結果）



- 水中線量計で測定したウェル内の線量については、前回測定値と同等の値であった。
- その他線量計（ポータブル線量計、ルミネスバッチ、赤色シンチレータ）については、データ評価中。



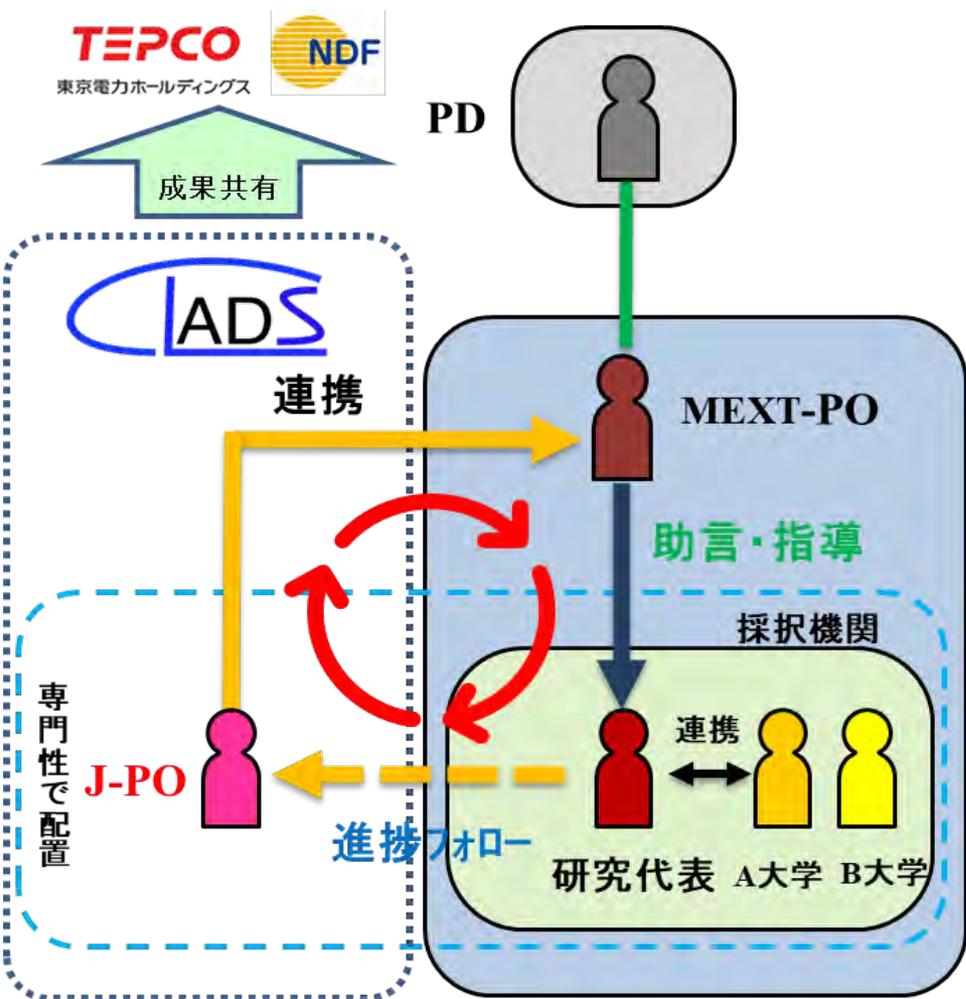
測定ポイント	距離 (mm)	線量当量率 (mSv/h)	
		5月20、24日測定	6月23日測定
①	0	74.6	-
②	500	150	-
③	1000	330	-
④	1500	300	280
⑤	2000	310	-
⑥	2500	380	-
⑦	3000	440	-
⑧	3500	530(最大)	370
⑨	4000	350	-

※ポータブル線量計の線量当量率は概算で約315mSv/h (詳細は評価中)

※1 東北大学(英知事業)、CLADS (JAEA)、東電が開発中の線量計

当初予測から数桁低い測定値を確定させたことで、今後の廃炉工程の検討に役立てられている。

シビアアクシデント時の核分裂生成物挙動 編:「シビアアクシデント時の核分裂生成物挙動」研究専門委員会(※)
廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議(第91回)(令和3年6月24日)で試験速報を報告(*)



対象：課題解決型廃炉研究プログラム
国際協力型廃炉研究プログラム
研究人材育成型廃炉研究プログラム

目的：英知事業における研究活動の促進と成果の最大化を図るため、POを補佐するため、様々な分野の専門家であるJ-PO（JAEA-PO）を設置し、研究をフォロー

- (1) 研究代表者とPOのパイプ役(年2回+報告書確認)
 - J-POフォロー会議等を通じて、研究課題の進捗、コロナ禍の影響等を把握した。
- (2) 研究活動への支援(研究者間の連携促進)(6回/年)
 - ワークショップ等の企画を通じて1F関連情報を研究者へ提供した。
 - J-POが中心となり「分野別情報交換会」を企画、研究者間の横の連携を促進した。
- (3) 1Fへの技術適用に向けた推進
 - CLADSと連携して東北大黒澤先生の研究を“橋渡し事例”として実施した。

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



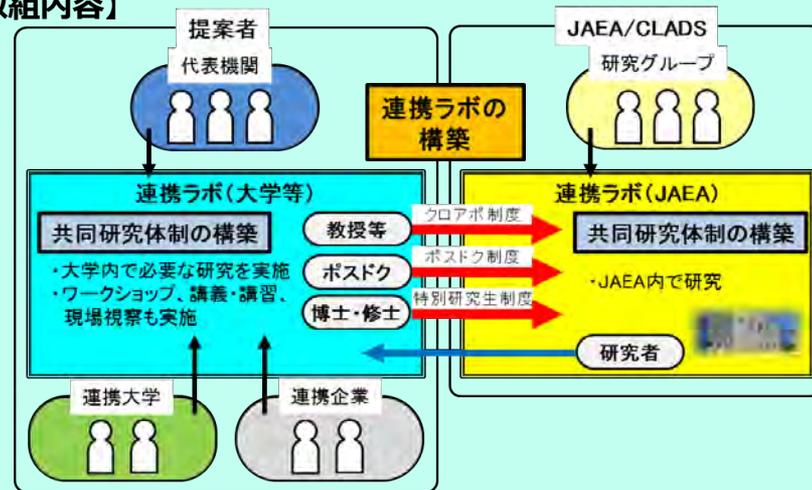
原子力発電所の視察

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。

【取組内容】



JAEA身分を付与し、より融合的な連携を行うことで、実効性高い育成を実施できる。

○連携ラボの目的・機能

- ・JAEA及び民間企業の協力の下、産業界の視点を取り入れたアカデミアの視点にとられない教育研究の機会として、産学連携講座の開設や、1F廃炉等の原子力関係のワークショップの開催、連携ラボを通じた協調・共創等により、1F廃炉関係研究人材の育成及び裾野の拡大を図り、持続的な1F廃炉研究体制の構築を図る。

○連携ラボを機能させる仕組み(達成するための活動)

・クローポ、博士研、特研究生の配置

JAEA関係者との連携や施設利用を通じて、ホット施設等の実践的な環境での知見や経験の蓄積を図りながら、研究人材の育成や廃炉研究への意識の高揚を行い、**JAEA、大学、メーカー間の研究者間のネットワークやキャリアパスの構築**に繋げる

・連携ラボ推進会議(採択機関を超えた横串しを通じた相乗効果が狙い)

課題間の情報、廃炉推進のための情報等の共有を行う

クローポ手続き等の課題の共有による事務手続きの円滑化

コロナ禍による状況の確認による速やかなリカバリー

○課題、苦勞

・クローポの労務協定書締結

・博士研の人材探し

・特研究生のJAEA内研究活動と大学教育とのバランス

戦略的人材ネットワーク形成事業

OECD/NEA: NEST (Nuclear Education, Skills and Technology Framework)の枠組みにて、国内外の若手研究者がNESTフェローとして国内外で研究する事業(予算2,000万円/年)

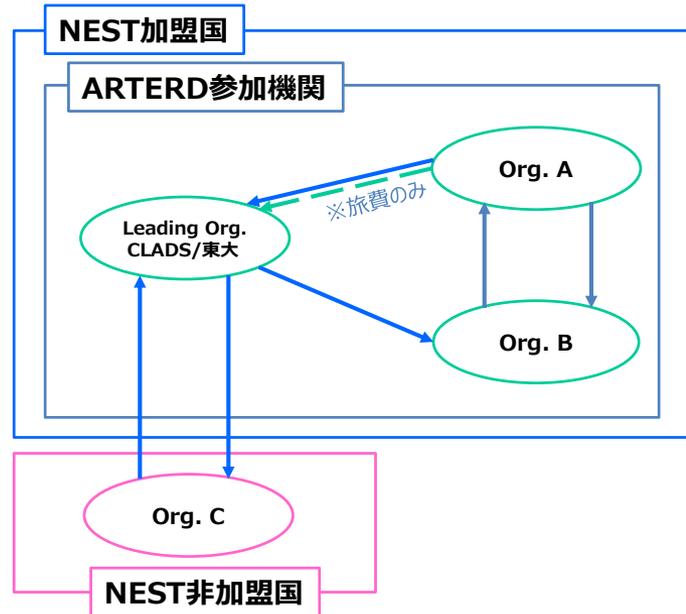
○NESTフェロー(R2年度)

- ・英国5名、ドイツ1名、韓国1名が日本に1~6か月滞在して研究する予定
- ・日本から英国8名、ドイツ1名、が渡航して研究⇒**新型コロナにより中止**

○NEST Advanced Remote Technology and Robotics for the Decommissioning (ARTERD) Project Agreement締結

○NESTフェロー(R3年度)

- ・**R3年度募集を前倒し実施**
(R2年12月8日)(21課題、1~6か月)
- ・韓国10名、イタリア3名、米国3名、英国2名、ドイツ1名、日本1名が日本の機関11名、カナダの機関4名、イタリアの機関3名、米国の機関2名の活動を希望して応募。
- ・新型コロナの状況を伺いつつも、着実に進捗している。



→: NEST CLADS Project 2019の枠組み(CLADS補助金)
→: 2021/3/9-10のNEST Management Board Meetingで確定(NEA拠出金)

R2年度募集を実施したが、新型コロナの影響で派遣は中止。ARTERDプログラムアグリーメント締結し、R3年度NESTフェロー募集を前倒し実施。コロナ禍で中止も、新たな枠組み構築。

【第5回廃炉創造ロボコン】

文部科学省英知事業下で開催されてきた廃炉創造ロボコンは、人材育成の観点から優れた取り組みであり、英知事業実施期間が終了した令和2年度はCLADSが廃止措置人材育成高専等連携協議会と連携して第5回の廃炉創造ロボコンを開催した。新型コロナウイルスの影響により、JAEA櫛葉遠隔技術開発センターでの集合開催はかなわなかったものの、令和3年1月24日、新たな試みであるオンライン方式で開催、14チームが参加し、1F廃炉の人材育成に質するという当初の目的を果たすことができた。

昨年度最優秀賞を獲得した福島高専は、アトックス社と連携し、新たなロボットを開発し1Fへの試験導入を目指している。

【第6回NDEC】

文部科学省英知事業下において採択機関の発意で構築された次世代イニシアティブ廃炉技術カンファレンスの第6回会議を、令和3年3月3日、CLADS主催でオンライン方式により開催、各機関の連携強化に貢献した。研究発表は28件、聴講者124名であった。

- ・最優秀フロンティアスピリット賞：横山 諒(東京大学)
「成層化した溶融金属の流出及び拡散凝固挙動評価」
- ・最優秀発表賞：丹治 珠緒(福島大学)
「化学分析と主成分分析による狭所の水質クラスタリング」



第5回廃炉創造ロボコン
文部科学大臣賞：福島工業高等専門学校

【英知事業卒業生の活躍紹介】

CLADS HPに「英知事業出身者の活躍」欄を新設(3.11に合わせて公開)、英知事業に係わった若手技術者やその技術が現在1F廃炉事業等に貢献している様子を配信することで、英知事業を対外的に広範囲に紹介している。<https://clads.jaea.go.jp/jp/eichijigyo/>

・文科省事業良好事例についてJAEAが継続。コロナ禍においても、人材育成等を着実に実施。

文科省事業では、成果報告書は国会図書館に納本するだけであったが、成果活用推進のため、JAEALレポート化してインターネットで公開している。

	論文発表		JAEALレポート		口頭発表	
	累計 (H30-R1)	R2年度 <small>※繰り越した課題を除く</small>	累計 (H30-R1)	R2年度 <small>※刊行予定を含む</small>	累計 (H30-R1)	R2年度 <small>※繰り越した課題を除く</small>
共通基盤型	17	11	29	15	67	33
課題解決型	9	4	16	16	57	32
研究人材育成型	3	10	4	4	11	34
国際協力型	14	3	8	5	77	18
合計	43	28	57	40	212	117

令和2年度成果含め以下の成果を公表済み
 論文発表:71件 JAEALレポート:97件 口頭発表:329件 プレス発表:2件

※プレス発表については、東北大から2件の発表があった。

得られた知見については、データベース化して公開していく

○デブリwiki

<https://fdada-plus.info/wiki/index.php>

○福島第一原子力発電所事故廃棄物に関する分析データ集 (FRAnDLi)

<https://frandli-db.jaea.go.jp/FRAnDLi/>

○福島第一原子力発電所の廃棄物・汚染物に関する情報

<https://clads.jaea.go.jp/jp/rd/tech-info.html>

○福島総合環境情報サイト (FaCEIS)

<https://fukushima.jaea.go.jp/ceis/>

○福島原子力事故関連情報アーカイブ (FNAA)

<https://f-archive.jaea.go.jp/>

The screenshot shows a web page titled "debris Wiki" with a sidebar menu and a main content area. The main content area is titled "事故進展の推定" (Accident Progress Estimation) and contains text describing the accident's progression from the initial event to the current state. A timeline diagram on the right shows the accident's progress from 2011 to 2019, with a focus on the current state of the accident. The diagram includes a table of accident stages and a flowchart showing the relationship between the accident's progress and the current state of the accident.

事故進展の推定

事故時におけるプラント状態とその後の状態変化の関係を図1に示す。1Fの各号機では、原子炉スクラムから炉心溶融、RPV・PCVバウダリの破裂、水素爆発、放射性物質放出等、号機毎に異なる様々な事故事象を経て安定状態に至った。安定状態の中では、磨耗や腐食等の変化を経て、現在の推定図に示されている状態となっていると予測される。ここでは、スクラムから冷却停止までの事象の評価・予測結果を示す。

まず、基礎情報として、平成26・27年度補正予算「廃炉・汚染水対策実証補助金」助成の炉内状況把握の高度化で検出された事故進展^[1]をもとに、原子力機構が別途検討した炉心溶融・炉心物質移行挙動^[2]を加味して、号機ごとの事故シナリオを整理した。得られた結果（炉心損傷開始タイミング、炉心溶融（スランピング）タイミング、RPV破損と炉心物質のベドスタル移行タイミング）を、事故前に計画されたRPV/E、D/W/E、S/C庄とともに、号機ごとまとめて示す。また、事故進展の根拠を把握しやすいため、得られた結果に基づく炉心溶融・炉心物質移行の概念図を併せて作成した。ここでは、RPV内およびベドスタルでの炉心物質移行を推定しているが、今後の試験的データ取出しには建屋内滞留水なども含まれており、将来的には建屋全体を含めた炉心物質移行推定を行う。

図1 事故進展によるプラント状態とその後の状態変化の概略

1号機の事故進展
「1号機の事故進展」を参照。

2号機の事故進展
「2号機の事故進展」を参照。

3号機の事故進展
「3号機の事故進展」を参照。

デブリwiki

①国内外の廃炉研究の強化

東京電力との間で基礎・基盤研究の全体マップ改定を機に東電の各プロジェクトとの関係を構築。

現在進行形の事業と過去に終了した事業から2件の成果の橋渡しに成功。PO権限強化の効果が得られた。

②中長期的な人材育成機能の強化

研究人材の育成も進みつつあるが、裾野を広げることが課題である。連携ラボについては博士研確保に苦慮するも、キャリアパス形成等の良好事例も得られている。

③情報発信機能の整備

成果活用のために研究成果を取りまとめ公表していくので、活用いただきたい。