

平成27年5月14日(木)

日本保全学会 東北・北海道支部 第7回総会・講演会

渡邊 豊(東北大学)



TOHOKU
UNIVERSITY

東北大学における廃止措置基盤研究・ 人材育成プログラム*について

*代表機関 : 東北大学

分担機関 : 福島大学、福島工業高等専門学校

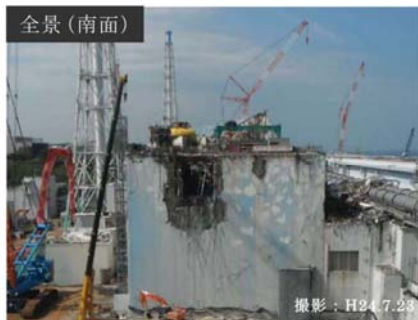
事業代表者: 原 信義 東北大学理事(震災復興推進担当)



総長による東電1Fサイト視察

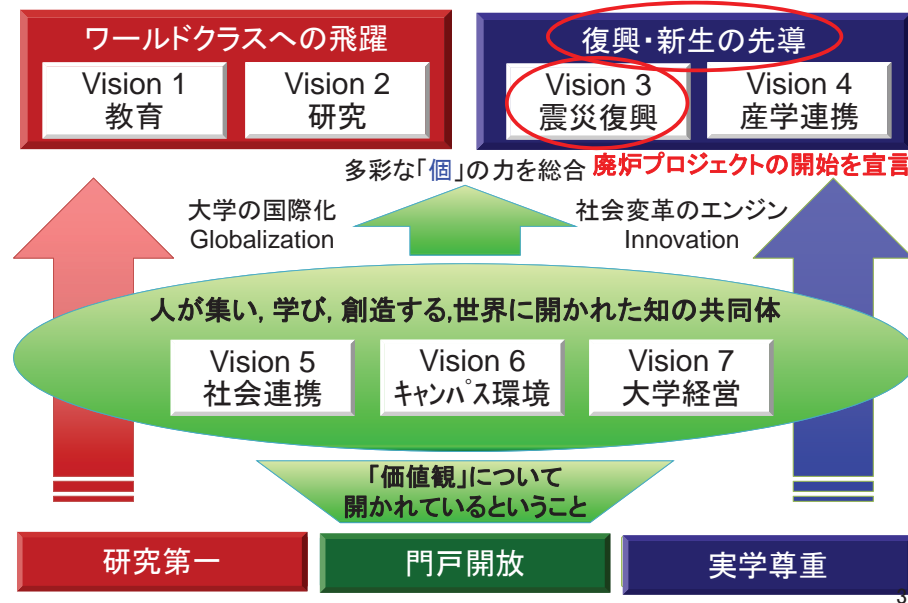
2012年8月27日

里見 進 総長
原 信義 理事(震災復興推進担当)
他2名



出典: http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/20120827_01.html

里見ビジョン(2013年発表)の全体イメージ



原子炉廃止措置プロジェクトの準備

廃炉に向けた研究開発計画と基盤研究に関するワークショップの開催

2013年11月20日

(文部科学省、IRID共催)

課題: 格納容器・建屋等の健全性・廃棄物処理・処分

約50名の学生が参加!



東北大学工学研究科・工学部

日本原子力研究開発機構(JAEA)との包括連携協力協定の締結

2014年3月28日

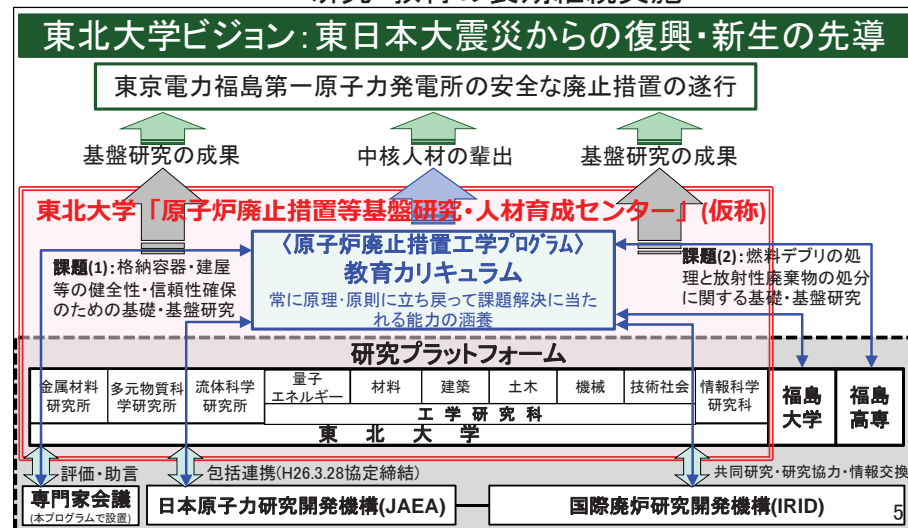
【共通の重要課題】: 廃止措置に関わる基盤研究と人材育成

- ◆ 共同研究の実施(H26年度スタート)
- ◆ 連携講座の設置(H27年度スタート)

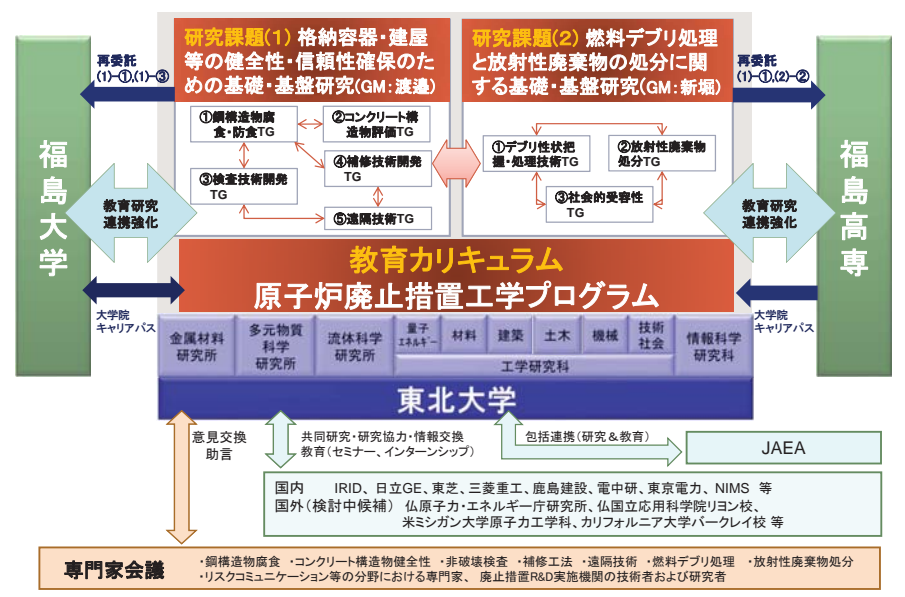


本プログラム全体の目標

原子炉廃止措置等基盤研究・人材育成センター(仮称)の設置
→ 研究・教育の長期継続実施



廃止措置のための格納容器・建屋等信頼性維持と廃棄物処理・処分に
 関する基盤研究および中核人材育成プログラム



専門家会議

関連する広範な分野の専門家・廃止措置実施機関等からの助言と意見交換

- 現場ニーズの反映
- アイデアのブラッシュアップ
- 盲点の発見
- 目標設定
- 成果の活用・展開方針
- 学生の主体的参加(発表・討論):訓練と人的ネットワーク形成

- <専門家>
- 柴田俊夫(阪大(営))・山本正弘(JAEA): 廃食防食、
 - 古村一朗(発電技研): 検査技術、 黒田聖治(NIMS): 補修工法
 - 田所 諭(JST・東北大): 遠隔技術
 - 瀧口克己(東工大(営))・井上範夫(東北大(営)): コンクリート(構造)
 - 三橋博三(東北大(営)): コンクリート(材料)
 - 朽山 修(原安協)・吉田善行(アトックス): 廃棄物処理・処分
 - 八木絵香(阪大): リスクコミュニケーション
- <廃止措置技術開発機関等>
- IRID、東京電力、日立GE、東芝、三菱重工、鹿島建設、JAEA、電中研

東北拠点における基盤研究と人材育成

- 【基盤研究】 現場ニーズが高く、かつ本学の研究ポテンシャルが高い分野
- (1) 格納容器・建屋等の健全性・信頼性確保のための基礎・基盤研究
 →『放射性物質閉じ込め機能』と『安定冷却』の維持
 - (2) 燃料デブリの処理と放射性廃棄物の処分にに関する基礎・基盤研究
 →科学的・合理的な処理・処分方法の策定
- 基盤研究への主体的参加
 ➢ 専門家との議論
- 【人材育成】
 「原子炉廃止措置工学プログラムの設置」

①原理・原則に立ち戻って課題解決を図る能力

②課題の本質(幹と枝葉)を的確に見分ける能力

③異分野専門家との高度コミュニケーション・協働能力

合理的な道筋は? クリティカルパスは?

専門的カリキュラムによる教育

状況が変化する廃止措置工程への的確かつ重層的対応能力を持つ中核人材

人材育成の目標と方法

- 【育成を目指す人材像】:以下の能力を涵養
- ① 原理・原則に基づく課題解決能力
 - ② 課題の本質を的確に把握する能力
 - ③ 異分野専門家との高度コミュニケーション能力
- 【育成方法】:「原子炉廃止措置工学プログラムの設置」
- (1)座学(研究課題の基礎となる広範な分野、20科目)
 - (2)廃止措置R&Dインターンシップ研修*(必修)
 - (3)国際セミナー・研究交流事業 *東芝・日立GE・MHI・鹿島建設、JAEA等
 - (4)修士・博士論文:研究への主体的参画(専門性を伸ばす)

R&Dインターンシップに加えて専門家会議での発表・討議に参加し、廃止措置技術開発を行っている機関・企業の研究者・技術者との意見交換・研究協力を通じた人的ネットワークとキャリアパス形成を可能に



教育プログラムの構築

恒常的な教育プログラムとして「学生便覧」内に位置付け

原子炉廃止措置工学プログラム

原子炉廃止措置工学プログラム（以下、本プログラムとする）は、本学の国家戦略対応型研究開発推進事業「廃止措置等基礎研究・人材育成プログラム委託費」（文科科学省）により創設された「廃止措置のための熟練者・建設者・技術者」として、廃止措置に関する基礎研究および人材育成プログラム」を実施するための教育プログラムです。本プログラムは、東京電力福島第一原子力発電所の安全な廃止措置をリードできる中核人材の育成を図ることを目的としています。前期課程においては、廃止措置に関するコア領域の知識を修得すると共に、廃止措置に係る広範な工学分野の知識を得ることとします。さらに、基礎研究への主体的参加、廃止措置を担う企業等におけるR&Dインターンシップ等を通じて、中核人材に求められる専門力を涵養します。後期課程においては、専門性をより深めるとともにリーダーとしての役割を担います。本プログラム修了者は、修了証を授与します。

修了要件
各研究科の規程による。
修了するために必要な単位は、所定する専攻で定められている修了要件に反って修得しなくてはならない。
（例：工学研究科 1～11の単位）

前期課程を修了した場合には、当該課程に3年以上在学し、両年度次の専門課程科目、専門科目及び関連科目の単位数を合わせて、30単位以上修得し、かつ、必要な研究指導を受け、本研究科委員会が別に定めるところにより修士論文又は特定の課題についての研究成果（以下「修士論文等」という。）の審査及び最終試験に合格しなくてはならない。ただし、在学期間に関しては、優れた研究業績を上げた者と本研究科委員会において認められた場合は、1年以上在学しなくてもよいとする。

後期課程を修了するためには、当該課程に3年以上在学し、所定専攻の学際系科目及び関連科目の単位数を合わせて、16単位以上修得し、かつ、必要な研究指導を受け、修士論文の審査及び最終試験に合格しなくてはならない。ただし、在学期間に関しては、優れた研究業績を上げた者と本研究科委員会において認められた場合は、1年以上在学しなくてもよいとする。

なお、本プログラム修了者については、所定研究科・専攻における所定の講義及び研修の単位取得と並び、以下に示す本プログラムの科目を履修し修得する必要がある。

【修士】
（1）廃止措置工学基礎科目から6単位を専攻以上修得すること。
（2）廃止措置R&Dインターンシップ（修得）単位以上修得すること。
【博士】
（1）廃止措置工学基礎科目6-54 単位以上修得すること。

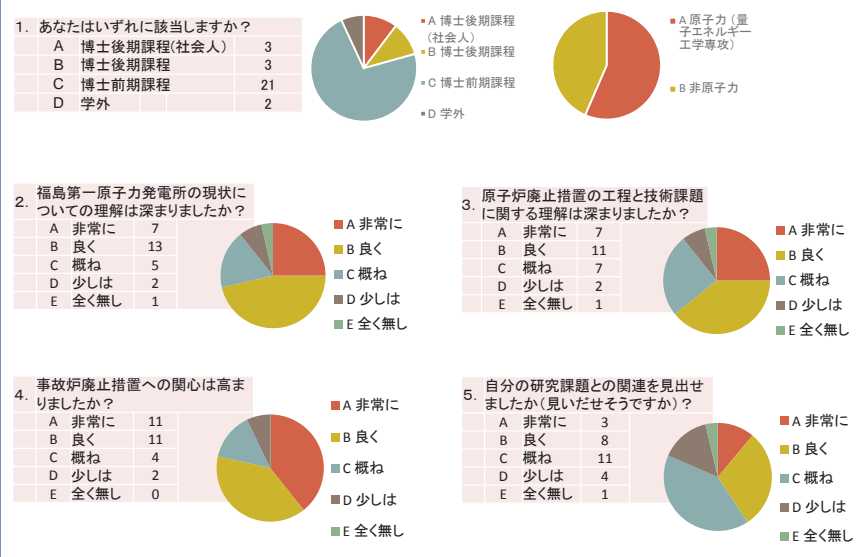
博士課程修得（博士） 科目表

区分	授業科目	単位	必修	選択	備考
修士課程	原子炉廃止措置工学基礎	2	○		
	原子炉廃止措置工学Ⅰ：基礎的知能分野	2	○		
	原子炉廃止措置工学Ⅱ：基礎的知能分野	2	○		
	原子炉廃止措置工学Ⅲ：核燃料知能分野	2	○		
	原子炉廃止措置工学Ⅳ：核燃料知能分野	2	○		
	原子炉廃止措置工学Ⅴ：核燃料知能分野	2	○		
	原子炉廃止措置工学Ⅵ：核燃料知能分野	2	○		
	原子炉廃止措置工学Ⅶ：核燃料知能分野	2	○		
	原子炉廃止措置工学Ⅷ：核燃料知能分野	2	○		
	原子炉廃止措置工学ⅧA：核燃料知能分野	2	○		
博士課程	原子炉廃止措置工学ⅧB：核燃料知能分野	2	○		
	原子炉廃止措置工学ⅧC：核燃料知能分野	2	○		
	原子炉廃止措置工学ⅧD：核燃料知能分野	2	○		
	原子炉廃止措置工学ⅧE：核燃料知能分野	2	○		
	原子炉廃止措置工学ⅧF：核燃料知能分野	2	○		
	原子炉廃止措置工学ⅧG：核燃料知能分野	2	○		
	原子炉廃止措置工学ⅧH：核燃料知能分野	2	○		
	原子炉廃止措置工学ⅧI：核燃料知能分野	2	○		
	原子炉廃止措置工学ⅧJ：核燃料知能分野	2	○		
	原子炉廃止措置工学ⅧK：核燃料知能分野	2	○		

人材育成委員会を設置して運営



「原子炉廃止措置工学概論」の状況(2/2)



「原子炉廃止措置工学概論」の状況(1/2)

日時：平成26年12月18日(木)～20日(土)
場所：東北大学 青葉山キャンパス
青葉記念館4階大研修室(18日、19日)
工学研究科量子エネルギー工学専攻大講義室(20日)
出席者：学生27名、講師16名(外部講師10名、東北大6名)

集中講義

平成26年度『原子核システム安全工学特論』プログラム
(『原子炉廃止措置工学概論』集中講義)

	12月18日(木)	12月19日(金)	12月20日(土)
1 講 (8:30-10:00)	10:20-10:30 開講式 講師 野 (東北大)	廃止措置時の環境放射性物質性評価における高濃縮ウランの環境リスク 講師 野 (東北大)	リスク・コミュニケーションの基礎 講師 野 (東北大)
2 講 (10:30-12:00)	福島第一原子力発電所の廃止と廃炉作業 講師 野 (山手通)	燃料の同位体化学と燃料デブリの処理 講師 野 (東北大)	燃料デブリの処理 講師 野 (東北大)
3 講 (13:00-14:30)	TDRおよびチェルノブイリの経験から学ぶもの、福島に活かせるもの 講師 野 (東北大)	燃料デブリの処理 講師 野 (東北大)	燃料デブリの処理 講師 野 (東北大)
4 講 (14:40-16:10)	原子力発電所の安全管理、廃炉作業の安全確保 講師 野 (東北大)	燃料デブリの処理 講師 野 (東北大)	燃料デブリの処理 講師 野 (東北大)
5 講 (16:20-17:50)	福島第一原子力発電所の現状と課題 講師 野 (東北大)		



「施設現地調査」の状況(1/3)

実施日時：平成27年3月11日(水)、12日(木)
訪問先：①(独)日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所
②東京電力(株) 福島第二原子力発電所
参加者：38名(学生28、若手教員7、引率3)
目的：安全な廃止措置をリードできる中核人材を育成するために現地調査を実施。
「施設」「物」の全体システム、スケール感、実環境を直接体感することにより、机上の知識との差を認識する。

調査内容：
①原子力科学研究所
TMIデブリとデブリ試験計画/結果(ホットセル)
J-PARC、JRR-3
②福島第二原子力発電所
原子炉建屋内、PCV内、PRVペDESTAL内、取水口設備など
SA対策設備、津波跡(電源盤、建屋外壁、瓦礫)
全電源喪失シミュレータ訓練(ビデオ)

「施設現地調査」の状況(2/3)



JAEA訪問時の会議



ホットセル(TMIデブリ、試験装置)現地調査



チーム・ディスカッション



チーム・ディスカッション後の発表

14

「施設現地調査」の状況(3/3)



15

「第1回専門家会議」の状況(1/2)

日時:平成26年11月11日(火)13:30~17:00

場所:東北大学 青葉山キャンパス

工学部 総合研究棟1階110教室

出席者:専門家15名、東北大学教員12名、他(学生)



16

「第1回専門家会議」の状況(2/2)

1. 意見交換の内容の内容

- (1)本事業の内容について
- (2)福島第一の現状と主要課題について
- (3)研究開発のニーズと現状について
- (4)研究開発・人材育成の目標設定について

2. 専門家のご意見(一部)

- ◆「原子炉廃止措置工学」の共通事項として知っておくべき事と個別専門事項として知っておくべき事を区別、整理して教育していくことを考えるべき。
- ◆常に全体を考えながらそれぞれのタスクに取り組んで欲しい。
- ◆修了生すべてを廃炉関連の仕事に就かせるというのではなく、広く産業分野へ人材を送り出すという考えでもよいのではないか。
- ◆反対に、もう少し強く廃止措置をやる人材を育てるという方針であってもよい。廃止措置は長期を要する。今は基礎研究をしっかりとやって、30年後に廃炉に参画する。そういった人材育成の仕方もある。
- ◆実際に問題があって、その問題をどう考えて解決へ導くか、そのプロセスを通して課題解決能力を身につけて欲しい。
- ◆今まさに、価値観の大きな転換時期に来ている。価値観や課題解決に向けた考え方、社会と技術の関わり等について学びながら人材育成していくべき。

17



「廃止措置ワークショップ」の状況(1/2)

日時:平成27年1月15日(木)10:00~18:00
 場所:東北大学 青葉山キャンパス
 工学研究科・工学部 中央棟2階大会議室
 参加者:104名
 (一般18、東北大46(内学生24)、講師22、関係者18*)



「廃止措置ワークショップ」の状況(2/2)

内容
 <全体セッション> 福島の実況と東北大における採択研究課題
 1.廃炉事業の意義と今後の展望
 2.東北大採択課題「**廃止措置のための格納容器・建屋等信頼性維持と廃棄物処理・処分に関する基盤研究及び中核人材育成プログラム**」
 3.原子力損害賠償・廃炉等支援機構の役割と基盤研究・人材育成への期待
 4.東電福島第一原子力発電所の現状
 5.東北大廃炉研究課題分野において今後必要となる具体的課題(ニーズ)

<研究セッション> 東北大学採択課題の更なる進化
 1.キーノート:**事故炉廃炉研究の特徴と東北大のアプローチ**
 副題:廃止措置に対する基本的考え方
 2.東北大研究のポイント
 (1)鋼構造研究のポイント・格納容器の健全性・信頼性確保のために
 (2)コンクリート構造物研究のポイント・建屋等の健全性・信頼性確保のために
 (3)廃棄物研究のポイント・燃料デブリの処理と放射性廃棄物の処分のために
 3.連携へ向けての質疑応答と議論

本学の伝統的強みである材料分野の研究ポテンシャルを生かせる研究テーマ

<人材育成セッション> **廃止措置人材育成拠点化としての展開**
 1.パネル討論1:人材育成の拠点化をより深化させるための手段・方法
 2.パネル討論2:若手研究者から見た使命、展望、希望

東北地方における廃止措置研究拠点
 廃止措置研究の全体連携強化



TG(1)-① 鋼構造物腐食・防食

(福島大学・福島高専との連携)

材料科学

量子エネルギー

目標 格納容器・注水配管などの防食と長期寿命予測技術の基盤構築

冷却・遮蔽のため水環境の維持が必須＝腐食リスクとの共存

- 放射線下での劣化塗膜下の腐食速度と形態を推定できる数理モデルの開発
- 複合影響下での局部腐食発生・進展による強度低下推定モデルの開発
- 強度評価・検査・補修と連携した長期健全性維持

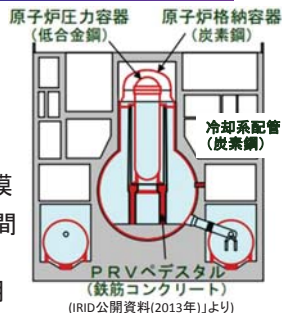
内容 >対象:炭素鋼・低合金鋼

- >要求性能:①腐食モードの予測(均一/局部・割れ) ②腐食進展速度の予測

- >特殊性:多様・特殊な環境条件
 温度、Cl濃度、pH、酸化剤(電位)、イオン種と濃度、流速、放射線、劣化塗膜

>腐食機構・支配因子の解明⇒数理モデル化⇒時間的かつ空間的に網羅的な予測⇒検査との連携

>腐食抑制剤の効果とリスクの評価、作用機構解明



年次計画 H26:模擬劣化試料・試験技術手法の整備、H27~H28:主要因子の単独影響評価、数理モデル開発着手、H29~H30:複合影響評価と数理モデルへの反映、抑制剤の評価



TG(1)-② コンクリート構造物評価

土木工学
都市・建築

目標 廃炉完了までのコンクリート構造物の要求機能維持に対する評価と対策

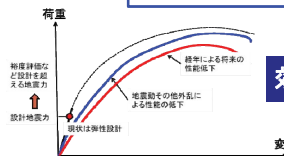
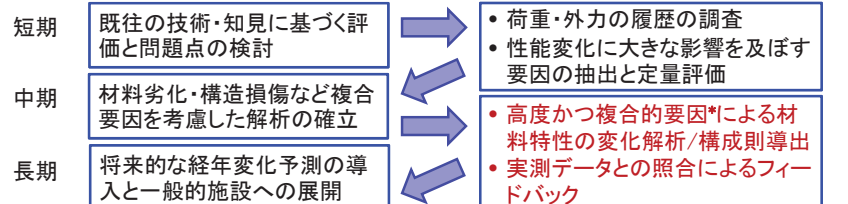
- >長期挙動予測も含めた精確な健全性評価
- >必要に応じた補修/補強の要否判定

要求機能:大規模余震下でも、構造/放射性物質の閉じ込め/安定冷却を維持。デブリ取り出し工法(冠水等)を考慮

内容

構造物の性能評価
補修・補強法

構造物や材料に対する
外乱の履歴と影響



効果

他の原子力施設

- 経年の影響も含めた性能評価
- 耐震裕度評価の精度向上

一般建築/土木構造物

- 経年の影響も含めた性能評価
- 爆発・火害など過大外力を受けた構造物の健全度評価

*中性化、鉄筋腐食、飛来塩分、地震動、爆発、放射線...

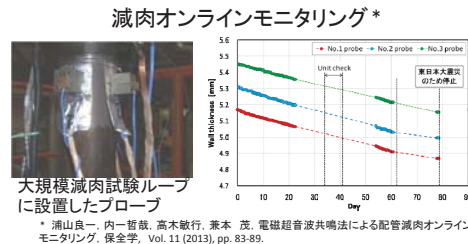
目標 非破壊検査による格納容器重要部位の長期健全性保証

安定冷却と放射性物質閉じ込めの為の**構造健全性**の観点から、**非破壊検査・モニタリング技術適用**の基礎的開発を行う。(遠隔操作の観点でのFS: TG(1)-⑤と協働)

内容

手法1: 電磁超音波共鳴法

- 共鳴法による高精度肉厚評価
- 接触媒質不要 (高温多湿環境に適応)
- 粗い表面において送受信可能
- 適用例: **局所減肉懸念部位のモニタリング**



手法2: 電磁アレイプローブによる材料劣化・き裂検出

- 適用例: 含水したサンドクッションによる格納容器外面の腐食検査
- 燃料プールのライナーの局部腐食検査・モニタリング
- 課題と解決方法: 対放射線性の評価 (JAEA高崎研との連携)
- 局所減肉の評価精度 (鋼構造物腐食・防食TGとの連携)
- プローブの設計(福島大学との連携)

目標 損傷した格納容器等の補修・補強, **局所的な穴あき部の封止, 防食被覆**などの施工技術の開発。遠隔操作の観点での設計とFS(TG⑤との協働)

内容 手法1: コールドスプレー(CS)

- 粒子を固相のまま吹き付けて成膜する技術
- 粒子温度: 100-200°C(ガス温度600°C前後)
- 火災, 火花等の発生無し(防爆上有利)
- 欠陥補修/防食コーティング/遮蔽への応用

開発課題 水中施工: 水中施工技術あるいは水除去施工法の開発
遠隔操作: ロボットでの可搬を考慮した軽量化・小型化技術の開発

手法2: 摩擦攪拌接合(FSW)

- 非消耗の回転ツールを用いて被接合材を固相状態で攪拌し接合
- 金属を溶かすことなく接合。火花、ヒューム等の発生無し。
- 表面状態への依存性が小さい

開発課題 鋼のFSWに適した安価で長寿命なツール材の開発
接合部特性に及ぼす水中施工、錆び等の影響解明と最適化
遠隔操作技術への展開

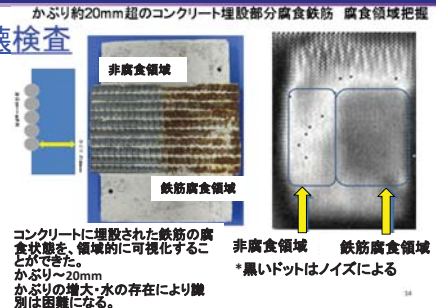


年次計画 H26~27年度: 基本的FS評価、H28~29年度: 実機条件等をより詳しく考慮した技術開発
H30年度: 開発された基盤技術の適用性評価と残された課題の整理

波及効果 橋梁・海洋構造物等の水中補修・保全技術

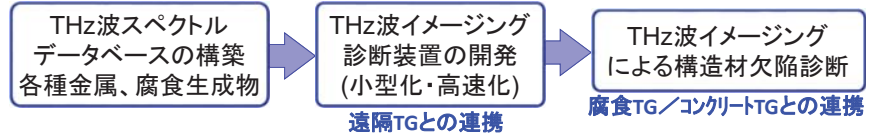
手法3: テラヘルツ波を用いた非破壊検査

- 金属に対する高い反射特性
 - 金属表面状態(腐食等)の診断に
- 発振器・検出器ともに小型
 - ロボット等への搭載、遠隔操作へ



適用例: **鉄筋コンクリートの構造健全性評価**

課題と解決方法



年次計画 >平成26年度~27年度は要素技術の開発・基本的フィジビリティの評価
>平成28年度~29年度は実機条件等をより詳しく考慮した上での基盤技術開発
>平成30年度は開発された基盤技術の適用性評価と残された課題の整理

波及効果 経年劣化が懸念される橋梁やダムなどの社会インフラの保全技術として応用

目標 TG(1)-③,④の計測/補修装置を現場適用するためのロボット台車設計および装置のアタッチメント化

内容

検査技術TG

- 必要性能
- プローブ開発



遠隔技術TG

- 可搬化および遠隔化のための装置スペック策定
- 現場運用中/予定ロボットへの適用性

要求機能と可搬性の調整

補修技術TG

- 必要性能
- 小型軽量化

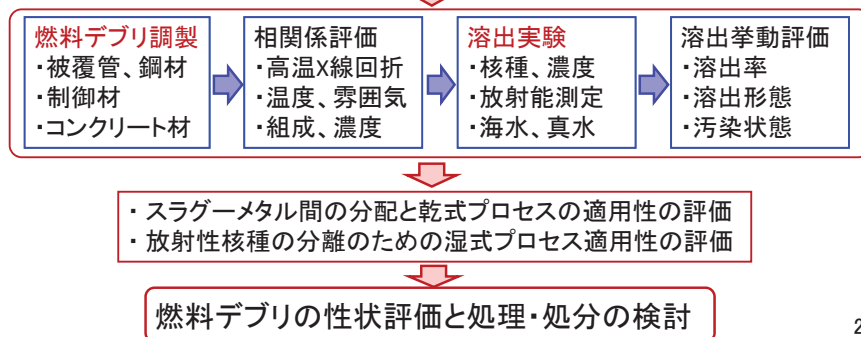


効果 『現場で使える』計測/補修装置の開発促進
・装置や台車の制御・操縦IFの標準化→廃止措置の効率化

TG(2)-① デブリ性状把握・処理技術 (多元研)

目標 燃料デブリの性状把握と放射性核種の溶出挙動評価
→ 廃止措置および放射性廃棄物処理・処分に不可欠

内容 燃料デブリの生成と一次冷却水や注入水との接触
(熱膨張, 熱収縮の繰り返し)
→ FP(核分裂生成物)およびU/TRUが溶解・微粒子等の生成
→ 固体汚染物および汚染水の発生、処理・処分が必要



26

TG(2)-② 放射性廃棄物処分 (金研) (福島高専と連携) (量子エネルギー)

目標 冠水環境におけるセメント系材料とウランとの相互作用の解明、閉じ込め性向上を目指した処分システムの提示

- ・燃料デブリと格納容器内セメント系材料との接触
- ・デブリ燃料等の処分坑道の維持に多量のセメントが必要

内容 ・ウラン核種と劣化したセメント系材料との収着分配係数の評価
・ラマン分光等を利用した収着の安定性とそのメカニズムの解明

・デブリの性状把握、処分システムの安全評価への寄与
(当廃棄物の処分は、U, Pu, Am, Npなど長半減期核種を含み、1万年を超える範囲での安全評価が必要となる。オーバーバック、緩衝材に加え、劣化セメントとの相互作用の検討が不可欠。)

年次計画 H26～29前半: 6価ウランを中心にセメント系材料との相互作用を冠水環境内において評価
H29後半～30: 閉じ込め性の向上を目指した処分システムの提示

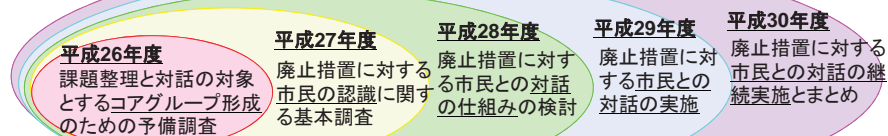
27

TG(2)-③ 社会受容性 (技術社会・量子エネルギー)

エネルギー基本計画における記載
『東電福島第一原発事故を受けて、国民の間に原子力に対する不信・不安が高まっていると共に、エネルギーに関わる行政・事業者に対する信頼が低下している。』
→ **廃止措置の実施においても国民の理解を得ることは不可欠**

目標 市民との対話に基づく社会的受容性醸成の実践

- 内容**
- ◆ 現在の国民感情を考えた場合、対話の実施は極めて困難
→ 時間をかけた対話の環境作りが重要
 - ◆ 対話の対象とするステークホルダーを慎重に検討する必要
→ 第一歩としてコアグループの形成



28

まとめ

- ◆ 5年プログラムの初年度であるH26年度には、研究・人材育成両面での基本的な準備が整った。
- ◆ 東北大学の特色を活かした基盤研究の拠点化ならびに東北地方における大学・高専との連携をさらに進めていく。
- ◆ 原子炉廃止措置研究・人材育成を行っている他地区の拠点大学と、内容が共通する事項については連携して、効率的な事業運営を実施していく。
- ◆ 保全学会東北・北海道支部ならびに関係各位からのご支援を切にお願い申し上げます。

29