



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 H28 年度成果報告とH29年度計画概要 説明、今後の研究の進め方等

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)

→ 大学 112 号 青葉山 2 号 112 号 → 青葉山 2 号 112 号

人 材 育 成

社会人 112 号 → 112 号

社会人 112 号

内 容

6 号 改 3 号 改 112 号 改

1. 事業概要

2. 進捗状況説明

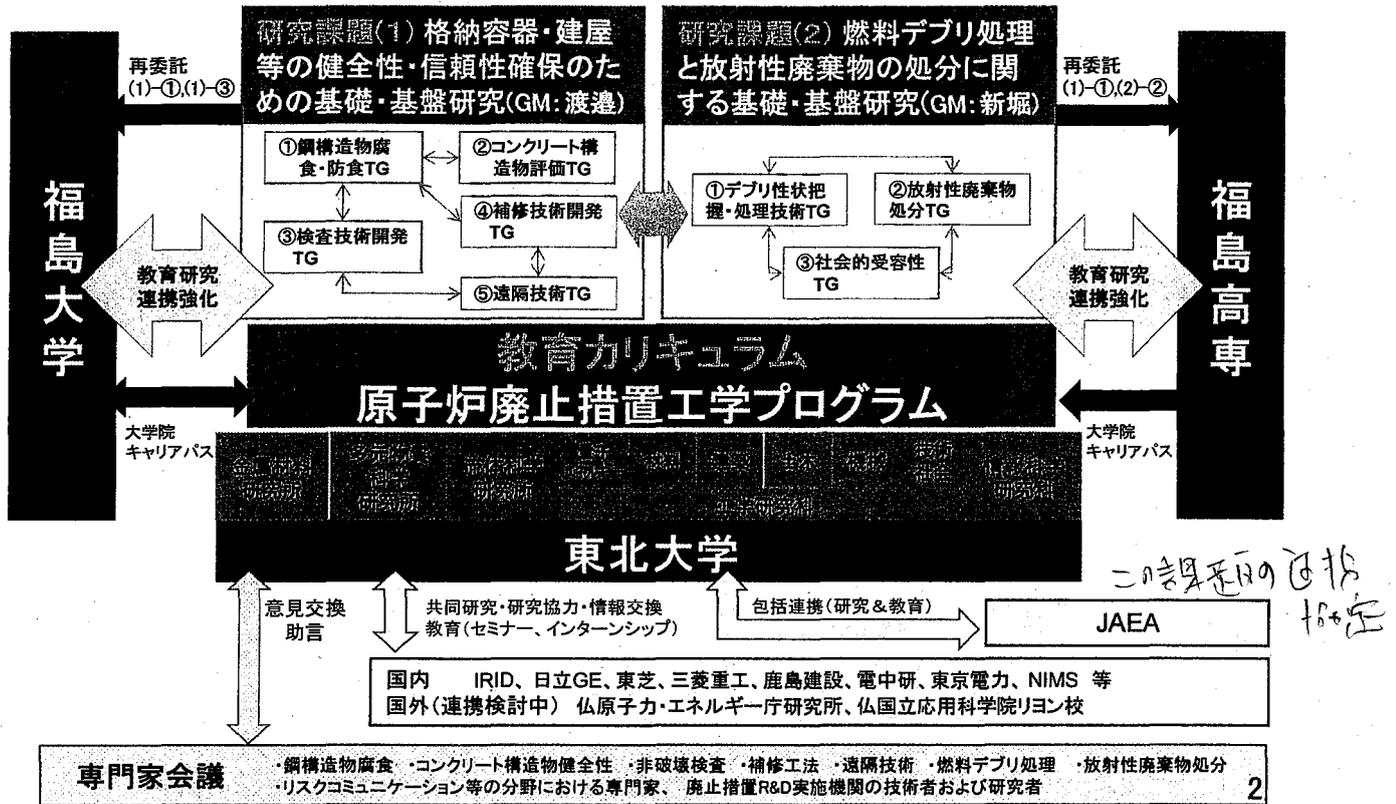
(1) 格納容器・建屋等の健全性・信頼性確保に関する基礎・基盤研究

- ① 格納容器・注水配管など鋼構造物の防食と長期寿命予測技術
- ③ 遠隔操作に対応可能な非破壊検査技術
- ④ 遠隔操作に対応可能な構造物補修技術
- ② コンクリート構造物の長期性能評価技術

(2) 燃料デブリの処理と放射性廃棄物の処分に関する基礎・基盤研究

- ① 燃料デブリ-コンクリート系の相関係と放射性核種溶出挙動把握
- ② セメント系材料によるウラン化学種閉じ込め効果の評価と処分システムの提示
- ③ 市民との対話に基づく社会的受容性醸成の実践

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



東北拠点における基盤研究と人材育成

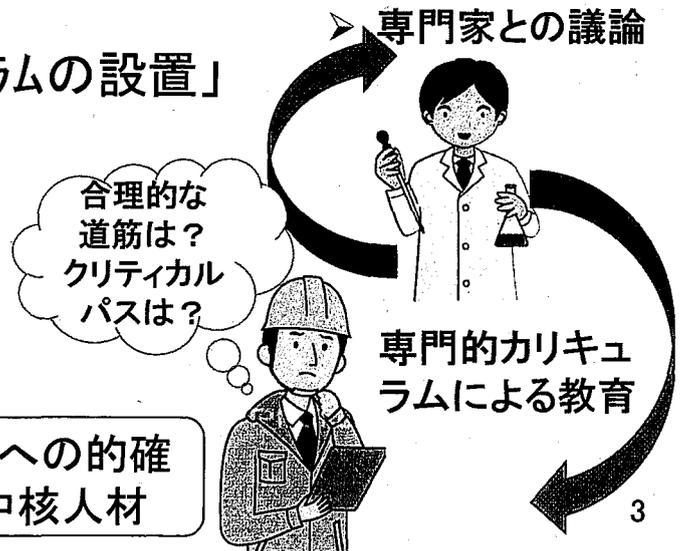
- 【基盤研究】 現場ニーズが高く、かつ本学の研究ポテンシャルが高い分野
- (1) 格納容器・建屋等の健全性・信頼性確保のための基礎・基盤研究
→『放射性物質閉じ込め機能』と『安定冷却』の維持
 - (2) 燃料デブリの処理と放射性廃棄物の処分に関する基礎・基盤研究
→科学的・合理的な処理・処分方法の策定

【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

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





内 容

1. 事業概要
2. 進捗状況説明
 - (1) 格納容器・建屋等の健全性・信頼性確保に関する基礎・基盤研究
 - ① 格納容器・注水配管など鋼構造物の防食と長期寿命予測技術
 - ③ 遠隔操作に対応可能な非破壊検査技術
 - ④ 遠隔操作に対応可能な構造物補修技術
 - ② コンクリート構造物の長期性能評価技術
 - (2) 燃料デブリの処理と放射性廃棄物の処分に関する基礎・基盤研究
 - ① 燃料デブリ-コンクリート系の相関係と放射性核種溶出挙動把握
 - ② セメント系材料によるウラン化学種閉じ込め効果の評価と処分システムの提示
 - ③ 市民との対話に基づく社会的受容性醸成の実践

4



事故炉廃止措置時におけるリスク管理

1. リスク管理の視点
 - ・ 事故炉廃止措置の成否決定因子 ⇒ 「安全性」と「経済性」
 - ・ 両者の同時最大化の追求
2. 基本的認識
 - (1) 安全リスク
 - ① 事故炉の廃止措置 = リスクの段階的低減事業
 - ② 現在の高リスク状態 ⇒ 安全に管理できる状態 ⇒ 管理しなくても安全な状態
 - ③ リスクの『時間的積分値』の最小化が命題
 - ④ 現場の状況に不明な点が多いので、Step by stepで進めざるを得ず、その都度想定外が生じる可能性 ⇒ 共通原因で破綻しない複数並列シナリオの構築
 - 放射線による人体、環境への影響
 - ・ 廃止措置活動(操作・作業)に起因するリスク (安全3機能維持⇒被ばく抑制、環境保全)
 - ・ 工程遅延リスク(リスク総和の最小限化) (想定外の発生、ライセンス、国民理解)
 - ・ 内的/外的事象に起因するリスク (安全3機能維持⇒被ばく抑制、環境保全)
 - ・ 設備経年劣化に起因するリスク (安全3機能維持)
 - (2) 経済リスク
 - ① 他のプロジェクトと基本的に同じ
 - ② ただし、デブリ等回収完了まで実態が不明な状況のまま投資判断を迫られる可能性 ⇒ 戦略的な取組みが必要
 - 廃止措置事業のための費用増大
 - ・ 廃止措置実施方法に関連するリスク (想定外の発生、手戻り)
 - ・ 工程遅延リスク (想定外の発生、ライセンス、国民理解)
 - ・ 廃棄物に関連するリスク (分別・仕分け、処理・処分方法、廃棄体基準)
 - ・ 現状設備の保全に関連するリスク(事故時損傷と経年劣化の想定外発生)

5



事故炉廃止措置時における原子力発電所の安全機能

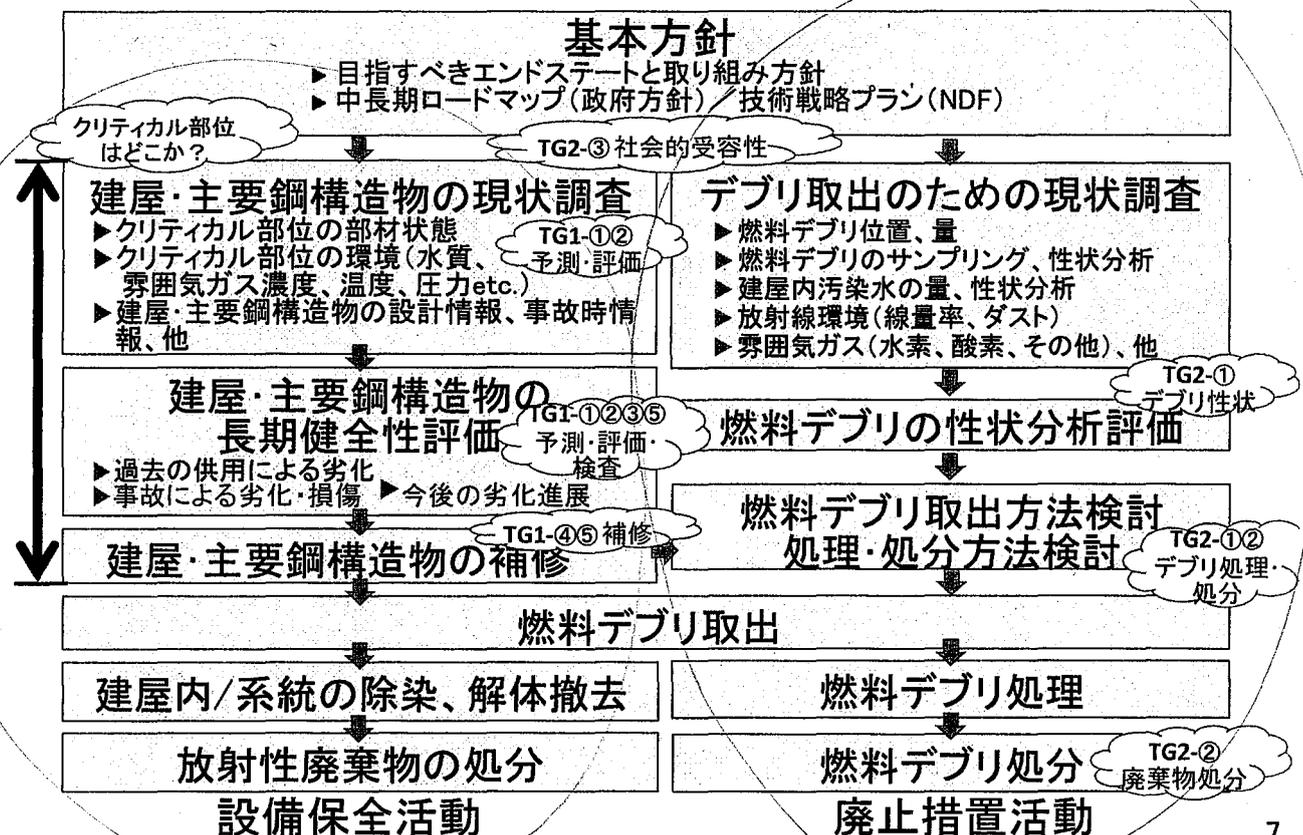
- ① 止める → 核分裂連鎖反応の停止
(再臨界の防止)
- ② 冷やす → 炉心燃料・使用済燃料からの崩壊熱の除去
(温度上昇、再溶融の防止)
- ③ 閉じ込める → 放射性物質の閉じ込め
(バウンダリーの劣化予測、劣化抑制、補修)
- ④ 作業者の被曝抑制

廃止措置時でも
常に安全機能の維持が必要



事故炉廃止措置の検討プロセス

東北大学「原子炉廃止事業」
として実施中の項目



レポート? → Main?

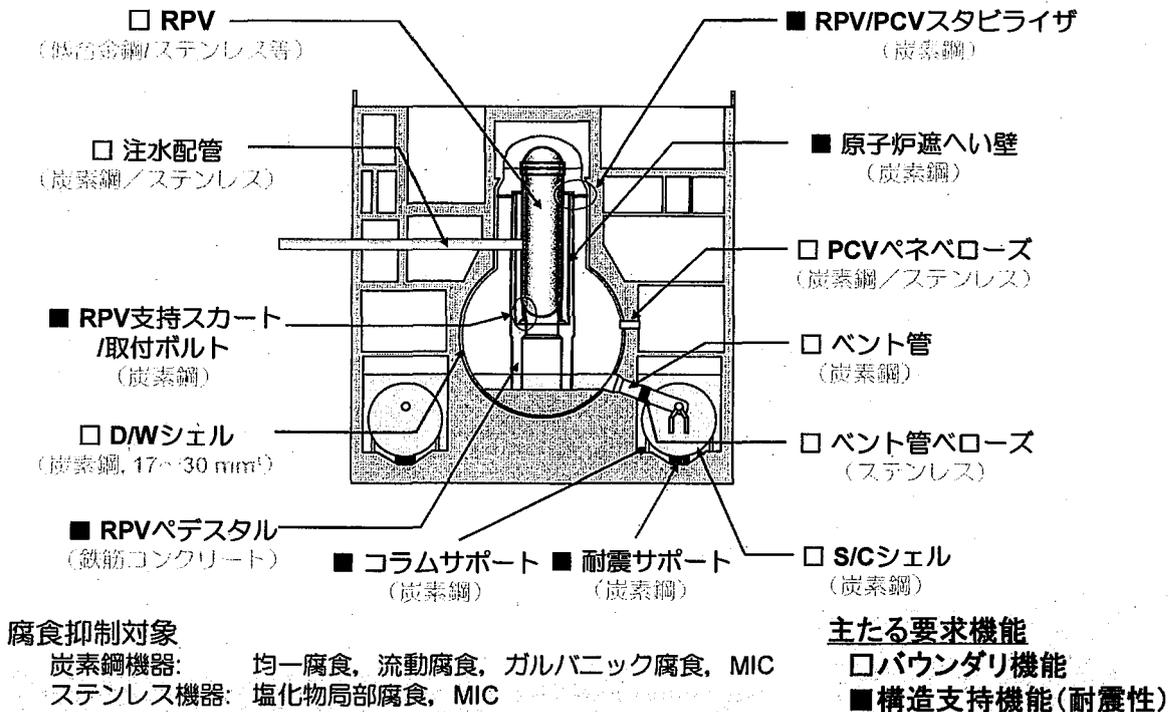


設備健全性維持の戦略的検討

設備保全活動



1F原子炉の構造・材質と要求機能



「福島第一原子力発電所の腐食課題への取組状況とニーズ例」東京電力(株)深谷祐一・熊谷克彦 東北大学「原子炉廃止措置事業」平成27年度第一回専門家会議(2015年6月)

長期的に確保すべき機能

1. 閉じ込め機能: PCV等のバウンダリ
2. 冷却機能: 熱的安定性の確保→放射性物質の拡散抑制(閉じ込めに寄与)
3. 構造強度

特有の困難さ

1. 腐食に関与する環境パラメーターが複雑かつ十分に把握できない。
酸化剤(酸素、放射線分解生成物) / 物質移動速度(单相流、混相流、
流路形状、液膜) / 温度 / pH / アニオン種 / 電気伝導率 /
鋼種(Cr含有量) <これらの複合影響>
2. 環境が経時的あるいは廃炉工程の進捗に伴って大きく変化し得る。
 - ・ PCV負圧管理による大気流入
 - ・ デブリ取り出し工程で発生する固液混相流による腐食加速
 - ・ ホウ酸塩投入による水の電気伝導率や炭素鋼の不動態化傾向への影響
3. 点検・補修のためのアクセスに大きな制約がある。



的確な予測に基づいた腐食への計画的対応が極めて重要。

RPV, PCV, 配管系: <炭素鋼、低合金鋼>

- 全面腐食(均一、不均一)
- 流速下腐食
- 異種金属接触腐食

(1)①(a)劣化塗膜下での腐食特性評価
(1)①(b)腐食に及ぼす流動影響の評価

燃料プールライナー、配管系: <ステンレス鋼>

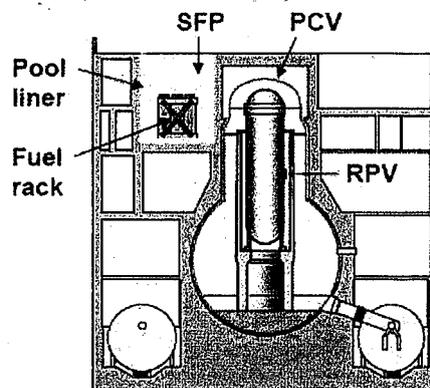
- 局部腐食(すきま腐食、孔食、応力腐食割れ)

燃料被覆管: <ジルカロイ>

- 局部腐食(すきま腐食、孔食、応力腐食割れ)

燃料ラック: <アルミニウム合金>

- 全面腐食(アルカリ腐食)
- 異種金属接触腐食
- その他要因: 微生物腐食



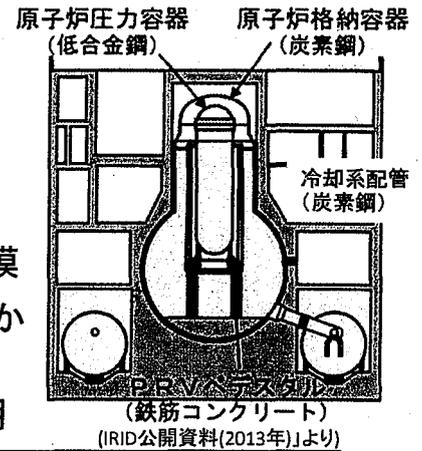
(1)① 鋼構造物腐食・防食

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

1. 実機に即した複合環境下での腐食モードと腐食速度の予測
2. リスク評価・検査・補修と連携した鋼構造物の長期健全性維持

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⇒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

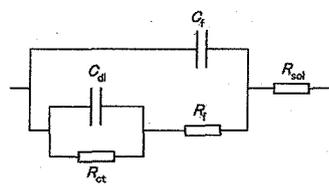


年次計画 H26: 模擬劣化試料・試験技術手法の整備、H27~H28: 主要因子の単独影響評価、評価モデル開発着手、H29~H30: 複合影響評価と評価モデルへの反映、抑制剤の評価

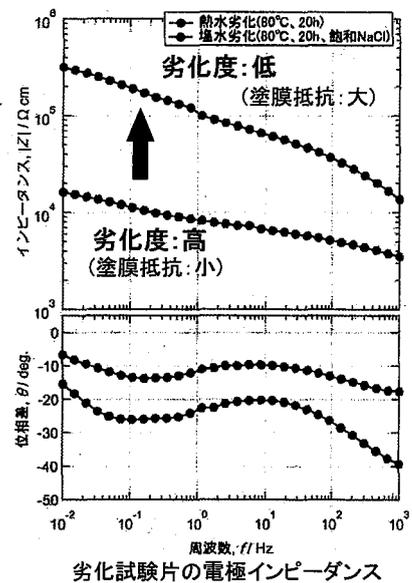
格納容器・注水配管など鋼構造物の防食と長期寿命予測技術 (a) 劣化塗膜下での腐食特性評価

<塗膜劣化度の評価手法の検討>

成果 塗膜の劣化度合いを電気抵抗として、「電気化学インピーダンス法」により、計測できることを確認した。



C_{dl} : 電気二重層容量
 R_{ct} : 電荷移動抵抗
 C_c : 塗膜容量
 R_f : 塗膜抵抗
 R_{sol} : 溶液抵抗



<γ線の影響を加味した塗膜下腐食機構解析>

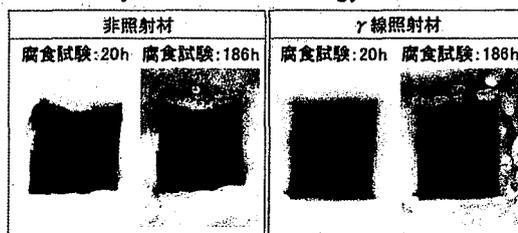
成果 塗膜のふくれ度合いと電気化学インピーダンスに及ぼすγ線照射を把握した。

劣化塗膜/水溶液界面の電気化学的等価回路



試験片
 γ線照射試験の状況
 (鋼材は透明樹脂ケース内に配置)

2.2 kGy/h × 500 h = 1.1 Mgy γ線照射



γ線照射材と非照射材を飽和NaCl水溶液に浸漬した際の腐食状況

・γ線照射により塗膜ふくれが顕著に増加することはなかった(飽和NaCl水溶液)。

・γ線照射による塗膜のインピーダンスの顕著な低下は計測されなかった(1M Na₂SO₄)。

<進捗状況>

計画通り

<今後の予定>

全面腐食から局部腐食へ移行する環境条件の定量化(塩化物イオン濃度、温度等)。

「実機配管系信頼性維持のための腐食予測とモニタリング」

物質移動係数分布の予測
→肉厚監視位置の選定

EMATによる肉厚モニタリング

実機配管系における物質移動係数分布：数値解析コードの活用

実機物質移動係数評価情報

流動下腐食速度・腐食モードの電気化学的評価

予測とモニタリングを組み合わせた配管系の信頼性維持技術の提案と実証

FAC減肉モニタリング例

定数はタタキ？

(1)③ 検査技術開発

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

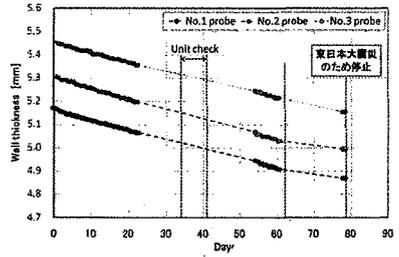
手法1: 電磁超音波共鳴法

- 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: 配管系局所減肉懸念部位のモニタリング

減肉オンラインモニタリング*



大規模減肉試験ループに設置したプローブ



* 浦山良一, 内一哲哉, 高木敏行, 兼本 茂, 電磁超音波共鳴法による配管減肉オンラインモニタリング, 健全学, Vol. 11 (2013), pp. 83-89.

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
- 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)

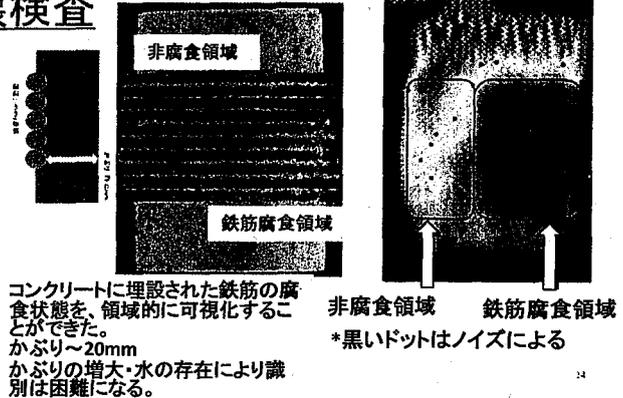
(1)③ 検査技術開発

かぶり約20mm超のコンクリート埋設部分腐食鉄筋 腐食領域把握

手法3:テラヘルツ波を用いた非破壊検査

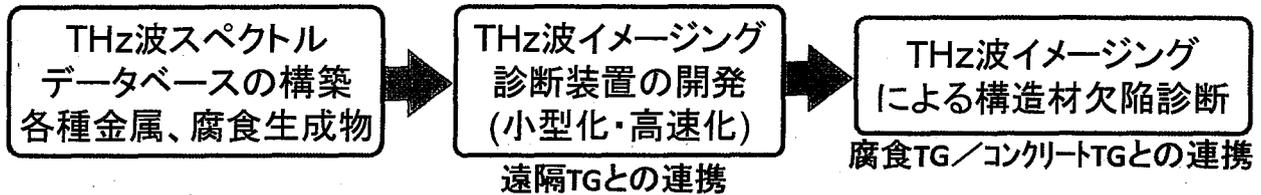
- ▶ 金属に対する高い反射特性
 - 金属表面状態(腐食等)の診断に
- ▶ 発振器・検出器ともに小型
 - ロボット等への搭載、遠隔操作へ

適用例 ▶ 鉄筋コンクリートの構造健全性評価



コンクリートに埋設された鉄筋の腐食状態を、領域的に可視化することができた。
かぶり~20mm
かぶりの増大・水の存在により識別は困難になる。

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 16

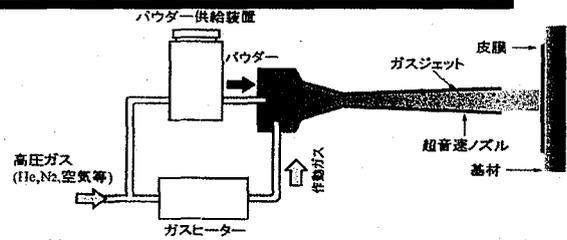
(1)④ 構造物補修技術開発

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課題整理(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)
- ▶ 火炎, 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
高分子材料 W, Pb

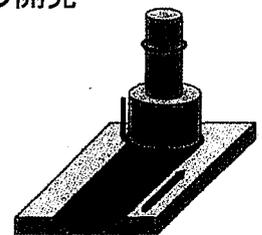
開発課題 水中施工: 水中施工技術あるいは水除去施工法の開発
遠隔操作: ロボットでの可搬を考慮した軽量化・小型化技術の開発



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

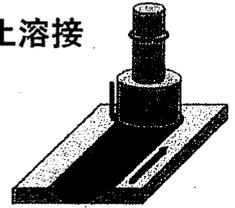
摩擦攪拌接合技術 (Friction Stir Welding)

格納容器・建屋等の補修溶接 → 構造強度の確保、冠水処理に伴う封止溶接
腐食して欠陥だらけの鋼構造物の溶接
水中溶接の可能性

溶融溶接は不向き

摩擦攪拌接合 (FSW) の利用

- ✓ 非消耗接合ツールの回転による固相攪拌を用いて構造材料を高品位に接合可能な技術
- ✓ 溶接欠陥の発生しやすく、溶接ひずみが多いアルミニウム合金構造物(輸送機器)への適用



鋼のFSWを行うための接合ツール材の開発

平成26年度に完了

格納容器・建屋の補修溶接技術への展開に向けて解決すべき要素技術

✓ 水中施工

通常、Al合金は大気、鋼はアルゴン雰囲気で行う

平成27年度に完了

Al合金、鉄鋼での適用事例あり → 接合条件範囲の適正化は不十分 → 接合因子と継手特性を評価

✓ 錆付いた鋼への適用

一般的には機械加工面に対してFSW → 適用可能性と適用可能な錆びの程度を解明

平成28年度に完了

✓ クラッド除去なし施工

実施検討例は全くなし (アーク溶接では不可能)

✓ 欠陥除去

Al鋳物、ステンレス鋼への適用例あり (欠陥の除去に成功) → 除去可能なサイズは不明確

✓ 普通鋼表面にステンレス鋼をクラッド化

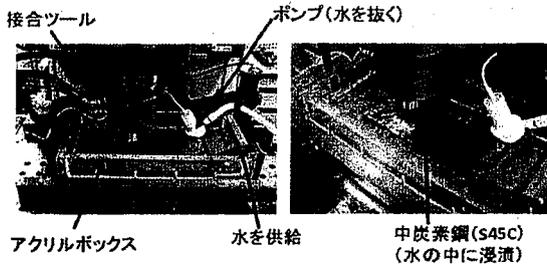
クラッド鋼のFSW、局部クラッド化可能 → 条件の適正化、クラッド部の特性評価は不十分

これらを個々に検証し、種々の組み合わせでの可能性を実証

18

摩擦攪拌接合技術 (Friction Stir Welding)

炭素鋼の接合: 水中施工性と継手組織・特性の評価

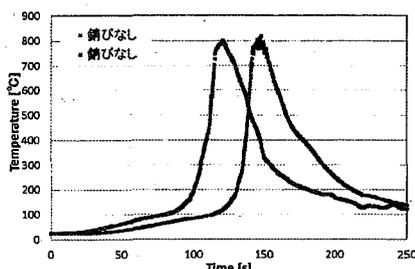


	150 rpm	200 rpm	250 rpm	300 rpm
FSW				
水中 FSW				

炭素鋼の接合: 錆びたままの施工性評価

接合速度: 1.0mm/s / 回転速度: 250rpm
Arガスによるシールド

供試材: S45C(表面錆あり、錆なし)
錆ありにおける錆厚さ: 約50μm

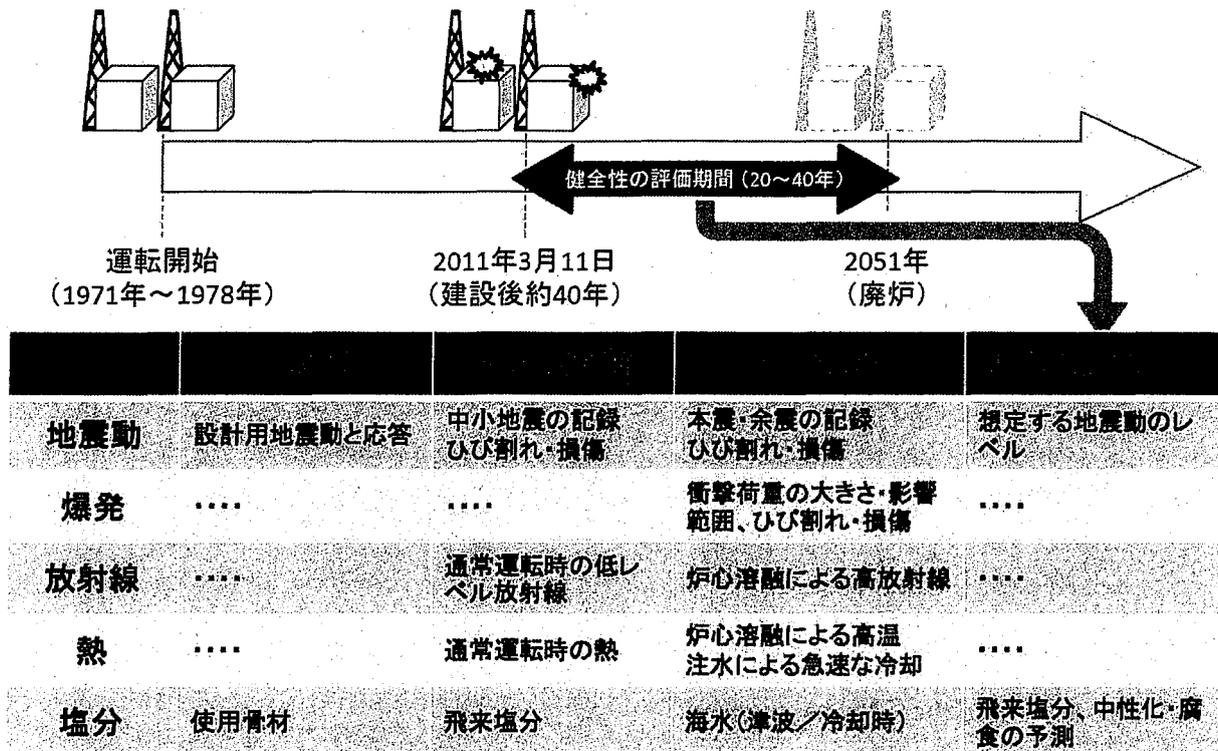


錆なし		
錆あり		

主軸方向荷重、トルクもほぼ同じ → 施工性に及ぼす錆の影響はなし

19

前田匡樹：原子炉廃止措置工学概論講義資料(2016)



1F『RC構造物』の長期健全性

“非線形領域を含む構造性能実力値の長期的評価”

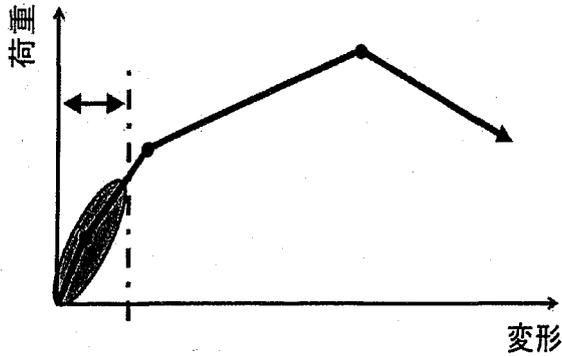
必要な技術は、

- 材料構成則（熱、海水など事故時履歴による性能変化を考慮）
- 非線形領域を含むRC構造部材の損傷度、応答評価モデル
- 放射線影響、中性化、アルカリ骨材等による経年変化の評価
- 効果的な検査と対応策（補修等）



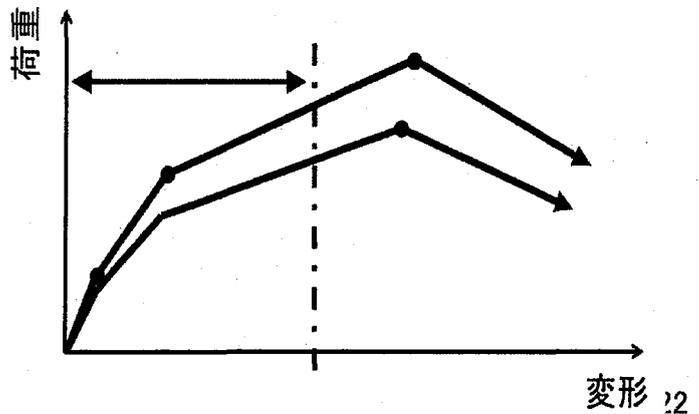
□従来の評価(設計)の対象

想定外力(地震動)による応答 ≤ 弾性範囲



□今後の評価の対象

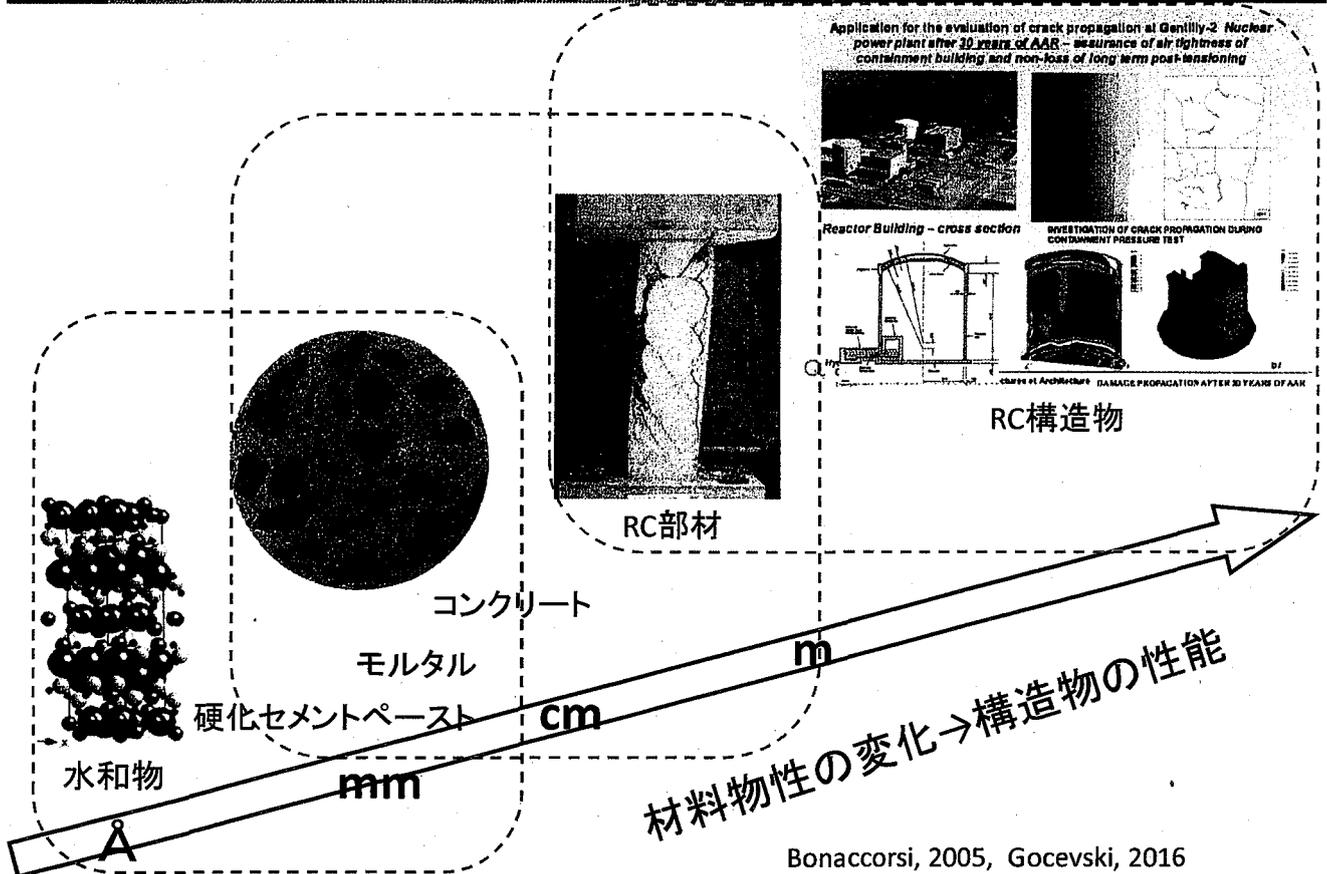
想定を超える外力や経年劣化による非線形化
⇒ 非線形領域を考慮した応答や構造性能劣化
の評価体系整備が重要



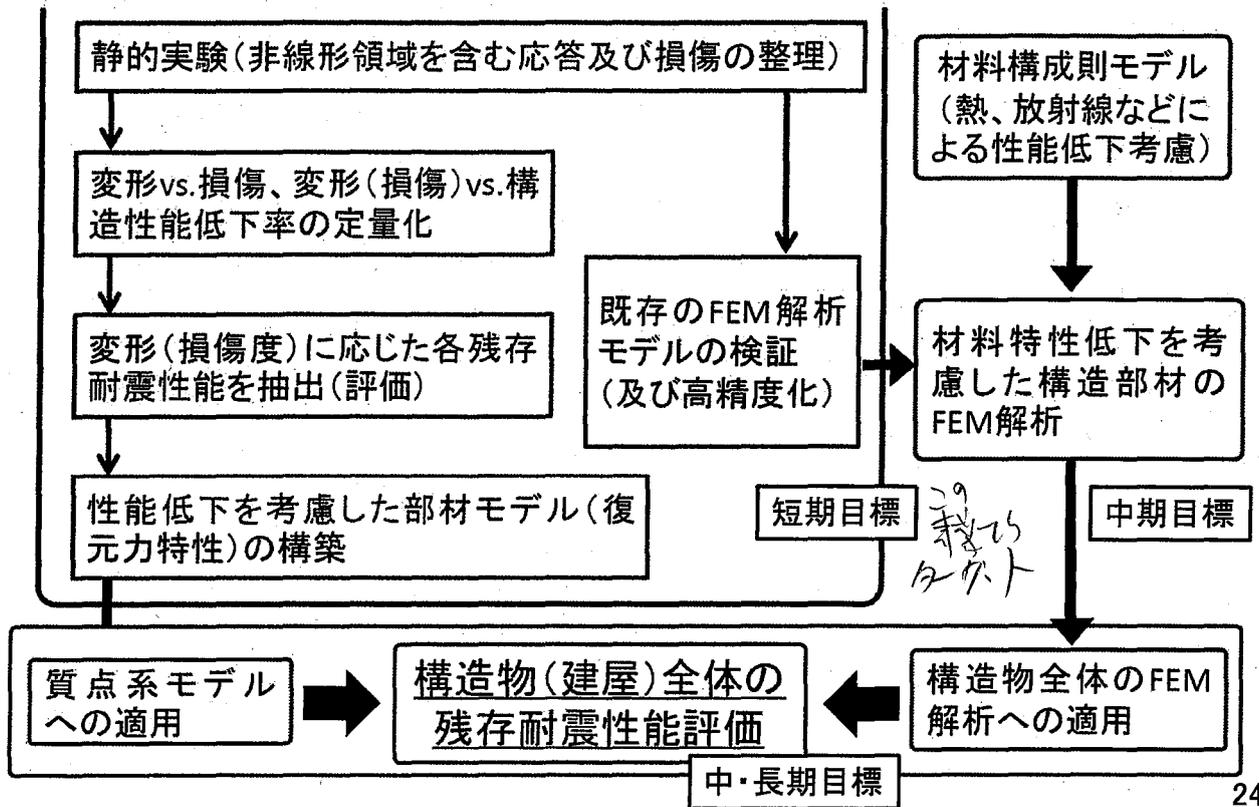
前田匡樹：原子炉廃止措置工学概論講義資料(2016)



コンクリートTGの研究方針

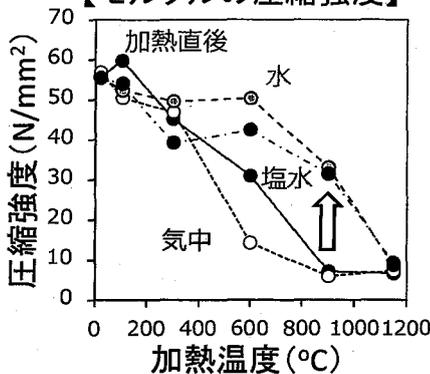


◎非線形領域を含めた構造部材(耐力壁)の応答・損傷度評価



高温加熱とその後の水の作用を受けたセメント硬化体の基礎物性の変化

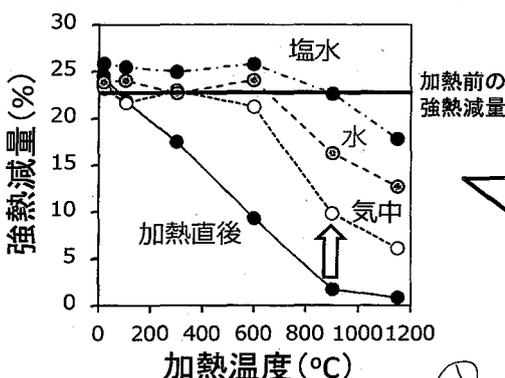
【モルタルの圧縮強度】



・200°C以上の加熱で圧縮強度は低下し、この傾向は600°C以上で顕著である。

・加熱した供試体に水を供給することで、低下した圧縮強度は回復する傾向を示す。

【セメントペーストの強熱減量】



加熱により強熱減量は低下するが、水の作用により強熱減量は回復。

↓

セメント水和物の酸化→水和のサイクルが生じている。この際、セメント水和物の体積は増減を繰り返す。

※強熱減量は、ここではセメント鉱物に結合しているH₂OやCO₂の分解量を計る指標としている。

2016/02/25

～RC壁試験体の静的載荷実～

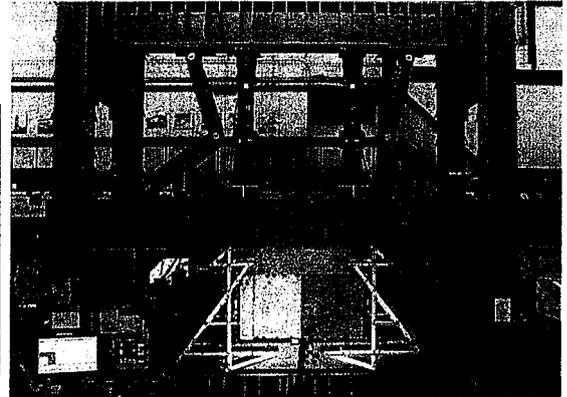
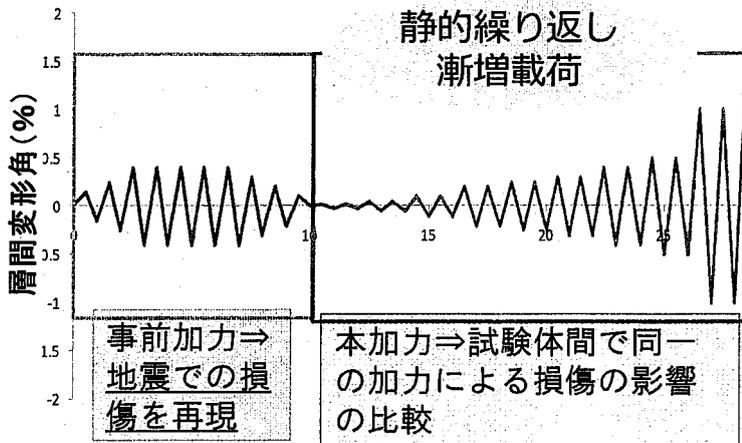
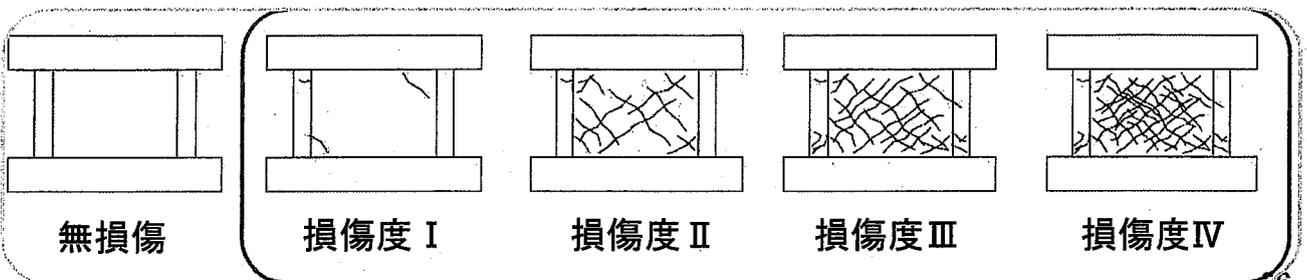


写真 加力装置



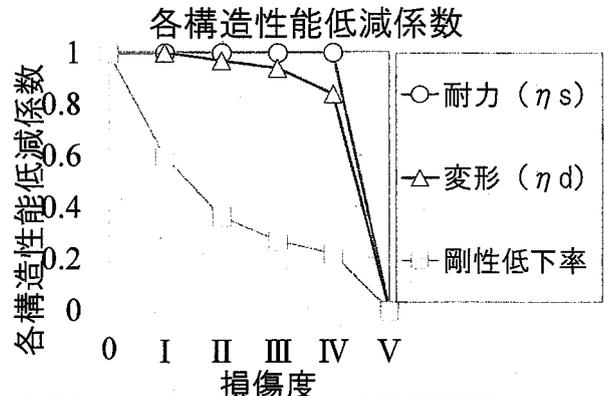
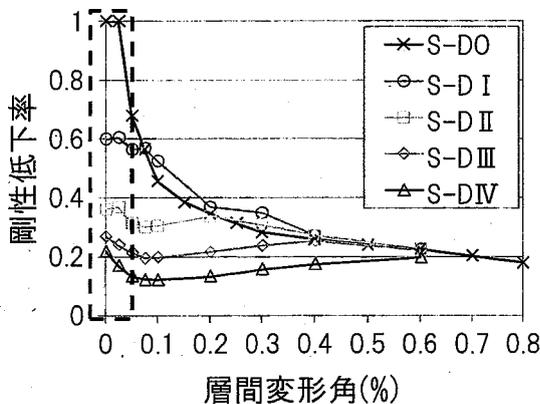
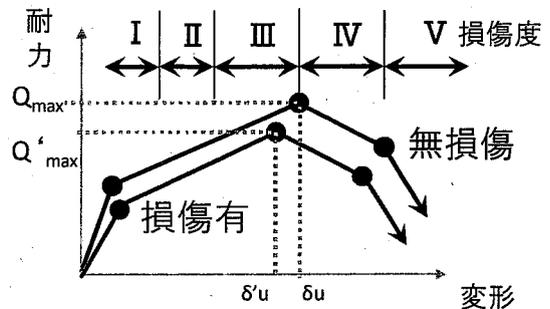
構造性能低下の評価

耐力の低下率 η_s $\eta_s = \frac{Q'_{max}}{Q_{max}}$

Q_{max} ; 無損傷の耐震壁の最大耐力
 Q'_{max} ; 損傷後の耐震壁の最大耐力

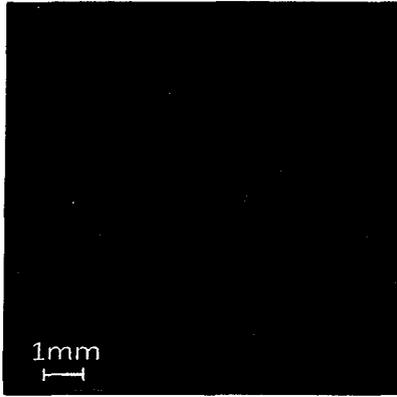
変形性能の低下率 η_d $\eta_d = \frac{\delta'_u}{\delta_u}$

δ_u ; 無損傷耐震壁の最大耐力時の変形
 δ'_u ; 損傷有耐震壁の最大耐力時の変形

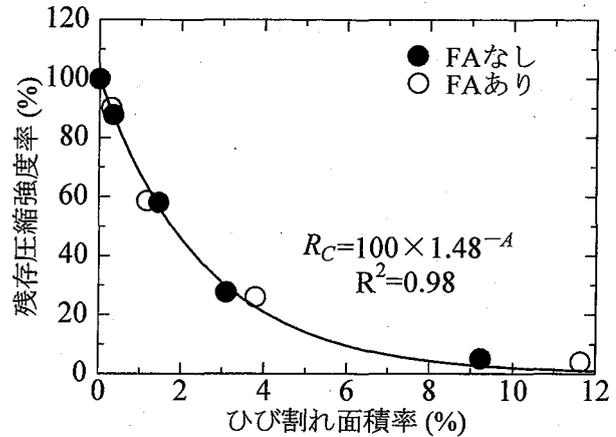


耐力および変形性能は、損傷度Ⅲまでほとんど劣化しない。剛性低下は早いステージから現れる。

実験対象はモルタル(W/B=0.55, S/B=2.5, 水中28日養生)



600°C加熱後のひび割れ蛍光画像
(拡大図)



ひび割れ面積と残存圧縮強度率の関係

- ・加熱により発生するひび割れ面積の定量化
- ・残存圧縮強度率との相関を評価
- ⇒ひび割れ面積を評価することで強度低下は予測可能である

2137D
C812-2015
7111111
コンクリートの含砂 - ?

ひび割れの
detecting
R_Cの?

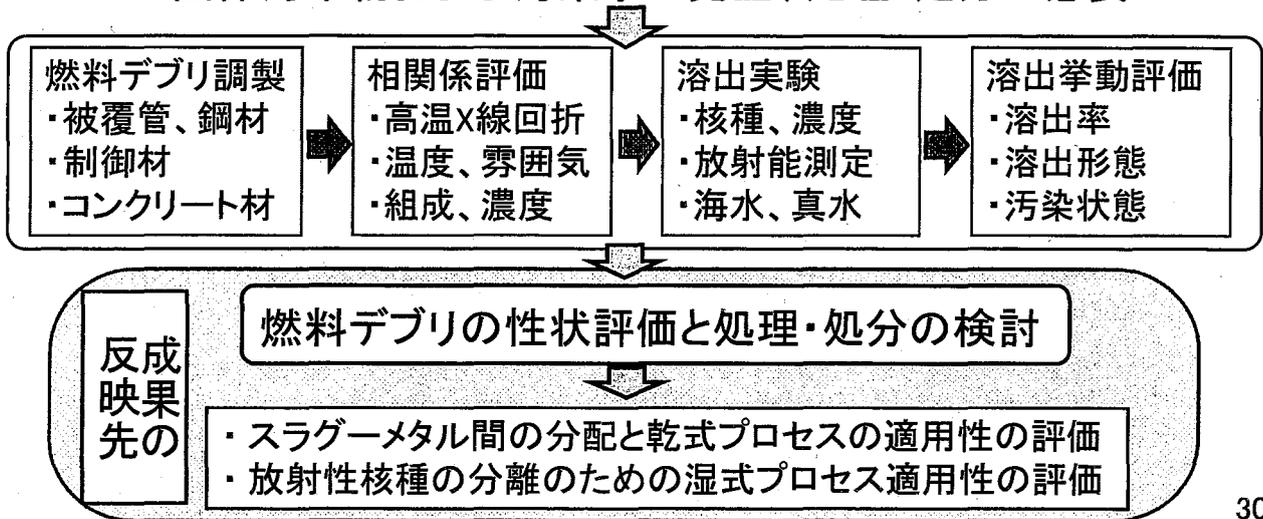
内容

1. 事業概要
2. 進捗状況説明
 - (1) 格納容器・建屋等の健全性・信頼性確保に関する基礎・基盤研究
 - ① 格納容器・注水配管など鋼構造物の防食と長期寿命予測技術
 - ③ 遠隔操作に対応可能な非破壊検査技術
 - ④ 遠隔操作に対応可能な構造物補修技術
 - ② コンクリート構造物の長期性能評価技術
 - (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
 - ① 燃料デブリ-コンクリート系の相関係と放射性核種溶出挙動把握
 - ② セメント系材料によるウラン化学種閉じ込め効果の評価と処分システムの提示
 - ③ 市民との対話に基づく社会的受容性醸成の実践

(2)① デブリ性状把握・処理技術

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

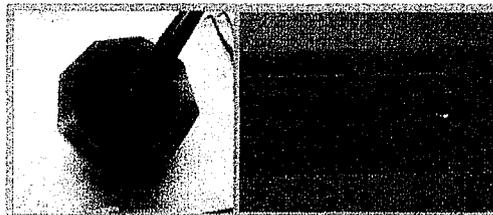


30

(a)ウラン-ジルコニウム-コンクリート系の相関係の把握

<これまでの実施内容>

燃料及び被覆管の主成分を含む模擬デブリとセメント粉末の系について、還元雰囲気下での高温反応による生成物の性状を評価するため、 UO_2 、 ZrO_2 、セメント成分としてCaOや SiO_2 を還元雰囲気下で高温加熱処理(1200-1600°C)を行い、相関係を調査した。



<結果>

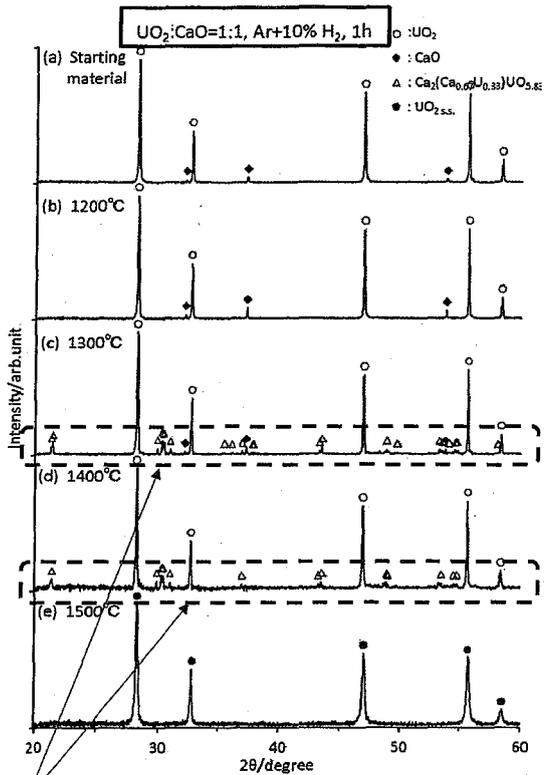
- UO_2 -CaO系: 1300~1400°Cで、 UO_2 とCaOが一部反応
- UO_2 -CaO- SiO_2 系: UO_2 相に変化なし
- UO_2 - ZrO_2 -CaO系: 1600°Cで $(U/Zr)O_2$ 固溶体生成
- UO_2 - ZrO_2 -CaO- SiO_2 系: 1500°C以上で $(U/Zr)O_2$ 固溶体生成

検討を行った還元雰囲気、1600°C以下の条件では、 UO_2 は被覆管中のZrとは反応しうるが、セメント系材料とは反応せず、別相であると考えられる。

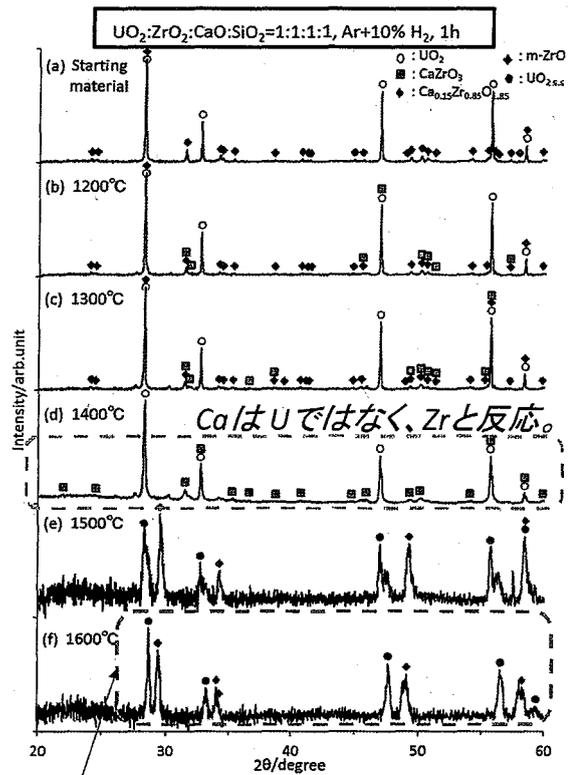
31



(a)ウラン-ジルコニウム-コンクリート系の相関係の把握



UとCaの反応物生成!



UとZrの固溶体生成。



(b)ウラン-ジルコニウム-コンクリート系からの放射性核種の溶出実験による評価

<実施内容> コンクリート成分を含む模擬デブリについて海水への放射性核種の溶出実験を行い、溶出挙動を評価した。

1200°C、Ar+10%H₂ガスフローで2時間熱処理(還元雰囲気)

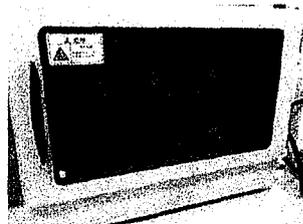
トレーサー添加UO₂中の添加核種の²³⁸Uに対する原子数比

²³⁸ U	²³⁷ Np	²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs	¹⁵¹⁺¹⁵² Eu	²³⁶ Pu	⁸⁵ Sr
1	1.6 × 10 ⁻³	4.8 × 10 ⁻³	7.0 × 10 ⁻³	1.3 × 10 ⁻³	6.1 × 10 ⁻³	1.1 × 10 ⁻³

+
ZrO₂, CaO, SiO₂ (UO₂:ZrO₂:CaO:SiO₂=1:1:1:1)



(写真)アクチノイド・FPトレーサー添加、U-Zr-Ca-Si-O模擬燃料デブリ



模擬デブリを海水に浸漬(4 g/L)し、7日間振とう

γ線スペクトロメトリ(¹⁵²Eu, ¹³⁷Cs, ⁸⁵Sr)、α線スペクトロメトリ(²³⁸U, ²³⁷Np, ²⁴¹Am, ²³⁶Pu)にて各核種の溶出率測定。

<結果> ¹³⁷Cs, ⁸⁵Srについては90.3%, 9.6%と高い溶出率が得られた。AcおよびLnの溶出率は、U(4.5%) > Pu(2.7%) > Am(1.0%) > Np(0.4%) > Eu(0.2%)であった。いずれのAcおよびLn元素についても、U-Zr-コンクリート(還元系)模擬デブリの溶出率は、U-Zr系模擬デブリの溶出率よりも大きくなった。

H29年度

a)ウラン-ジルコニウム-コンクリート系の相関係の把握

燃料及び被覆管の主成分を含む模擬デブリとセメント粉末の系について酸化雰囲気下での高温反応による生成物の性状を評価。

b)ウラン-ジルコニウム-コンクリート系からの放射性核種の溶出実験による評価

酸化雰囲気で作成したコンクリート成分を含む模擬デブリについて海水等への放射性核種の溶出実験を行い、溶出挙動を評価。

放射性廃棄物処分TG

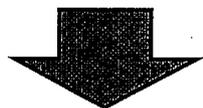
目標

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
- ・収着の安定性とそのメカニズムの解明



最終目標：閉じ込め性の向上を目指した処分システムの提示と処分システムに関する安全評価への寄与



年次計画

H29年度

6価ウランと劣化した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し、これらの知見を処分システムの安全評価に組み込む手法を提示



2-a) セメント系材料とウランとの相互作用の確認(1/3)

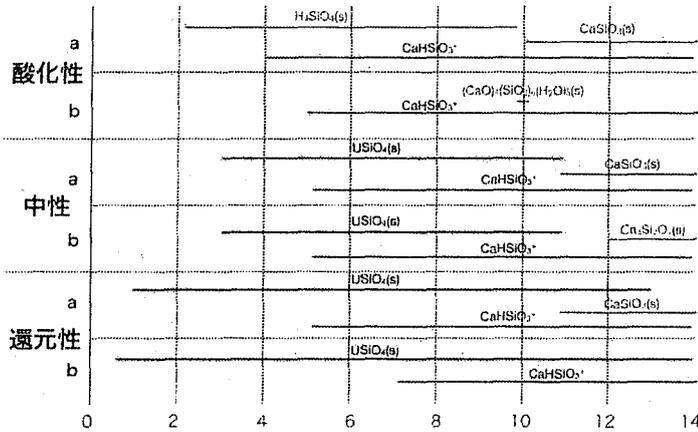
- 分配係数の評価には、実験に際し、セメント系材料が共存する高アルカリ環境(処分環境)に留意したウラン化学種の整理が必要
- Uの化学種は、CSH共存系、塩水系(NaCl 0.6 M)で異なるか検討

熱力学データベース(TDB)

- 熱力学ソフト: FactSage
- 熱力学データベース: FactPS, FThelgを中心とするが、OECD/NEA、SCDatabase、THEREDAからデータを追加

初期的典型条件の策定
(UCS各1M、各1e-2M)
↓
U/CSH/NaCl系の平衡計算
(溶解度制限固相の抽出)
↓
安定固相の除外
(ゲル生成、デブリ生成物)
↓
処分環境の制御
(酸化性/還元性、塩等)

より不安定な化学種(例: CSH系、U-CSH系)である生成済みゲル(非結晶相)の検討を行うために、溶解度制限固相となる安定な化学種(非CSH系)をマスクした初期的検討



> 1e-10Mで現れる化学種

a: UO_2 , U_3O_8 , U_4O_9 , $UO_3(H_2O)$, $(CaO)(UO_3)$

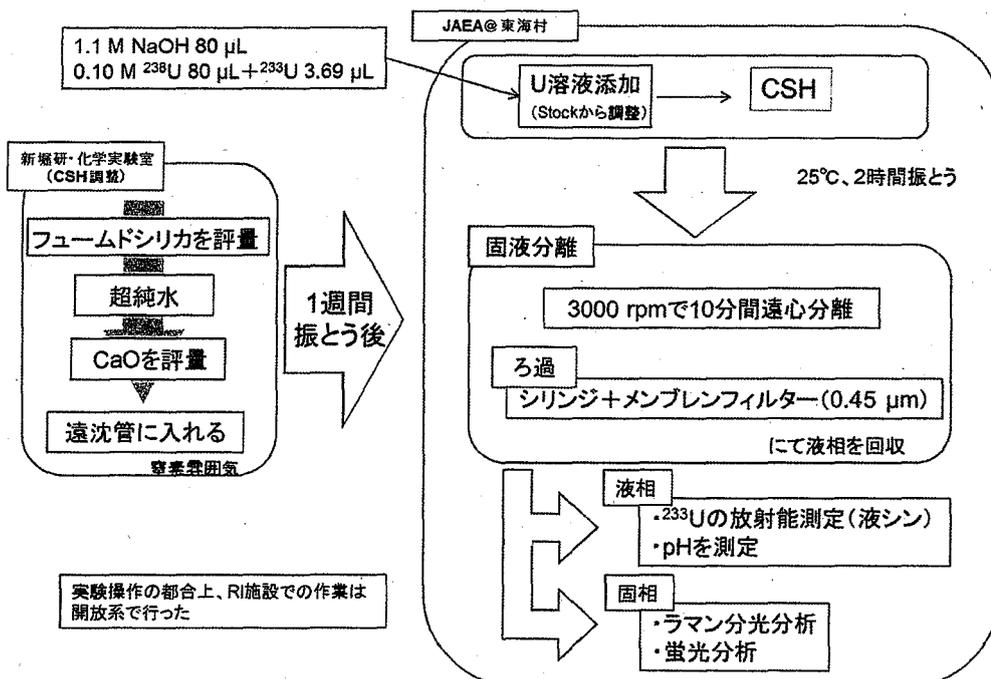
b: aに加えて H_4SiO_4 , $CaSiO_3$

- 酸化性条件pH10でCSH系結晶固相の生成が認められる。
- ゲル状の生成は広範に生成していると考えられる。



2-a) セメント系材料とウランとの相互作用の確認試験(2/3)

最終的にウランとセメント系材料との分配係数を評価するために、地下冠水環境におけるセメント成分とウランとの相互作用の検討を進めている。実験手順の概略は次の通り。



2-a)の整理を
基に東北大・
福島高専にて
実験系を検討

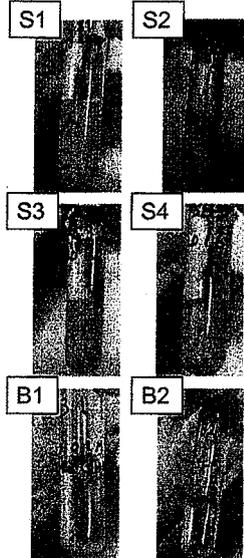


2-a)セメント系材料とウランとの相互作用の確認試験 (3/3)

実験結果の一例(セメント系材料の主成分であるカルシウムシリケート水和物(CSH)とウラン(VI)との相互作用)

冠水を考慮し、乾燥過程を経ない固相を調整

試料 No	L/S 比	Ca/Si 比	SiO ₂ (g)	CaO (g)	固相合計 (g)	液相体積(mL)	ウラン溶液添加量 (μL)
S1	20	0.4	0.294	0.107	0.401	8	83.69
S2	20	0.8	0.235	0.169	0.404	8	83.69
S3	20	1.2	0.188	0.213	0.401	8	83.69
S4	20	1.6	0.166	0.240	0.406	8	83.69
B1	-	-	-	-	-	8 (Ca(OH) ₂)	83.69
B2	(20)	(1.2)	-	-	(0.4)	8 (CSH 平衡)	83.69



値はblankを補正し、5回測定した平均値

試料名	液シン測定結果 (counts/60min)	pH
S1	0.14	10.50
S2	0.60	10.98
S3	0.27	12.53
S4	7.20	12.64
B1	1.60	12.77
B2	39.58	12.65
Initial	1079.95	---

※Initial: 1 M HNO₃ 8 mL + 純水 8 mL + ²³⁸U 80 μL + ²³³U 3.69 μL

いずれの試料の値はInitialから大きく下回っている
→ウランは固相側に存在

変質によりCaが溶脱したCa/Si比の小さいCSHにも、U(VI)の高い収着性を確認

H29年度:再現性、ラマン分光、蛍光寿命の測定

38



2-b)セメント系材料とウランとの相互作用の評価

□ a)の結果に基づき、セメント系材料とウランとの相互作用を処分システムの性能評価に取り込む手法について遅延係数を基に検討する。

□ 遅延係数 R_d は次式によって定義される。

$$R_d = 1 + \frac{(1 - \varepsilon)K}{\varepsilon}, \quad \varepsilon \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{D_e}{R_d} \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - \frac{u}{R_d} \frac{\partial c}{\partial x}$$

ここで、分配係数 K は(固相における着目核種の濃度)/(液相における着目核種の濃度)に溶液量/固相量(質量比)を掛けた値として定義される。

(ε : 空隙率)

遅延係数は1以上の値を持ち、核種移行の移流分散方程式において、地下水自体の移行や収着性のない核種($K=0$)に比較して、地下水流速 u (m/s)、分散係数 D_e (m²/s)を R_d により割った小さな流束(flux)で移行することとなる。

2-a)の実験を最終的に整理し、 R_d を求め、処分システムの性能評価に取り込む妥当性を検討(i.e., コロイドとしての移行を考慮する必要性の有無を検討)

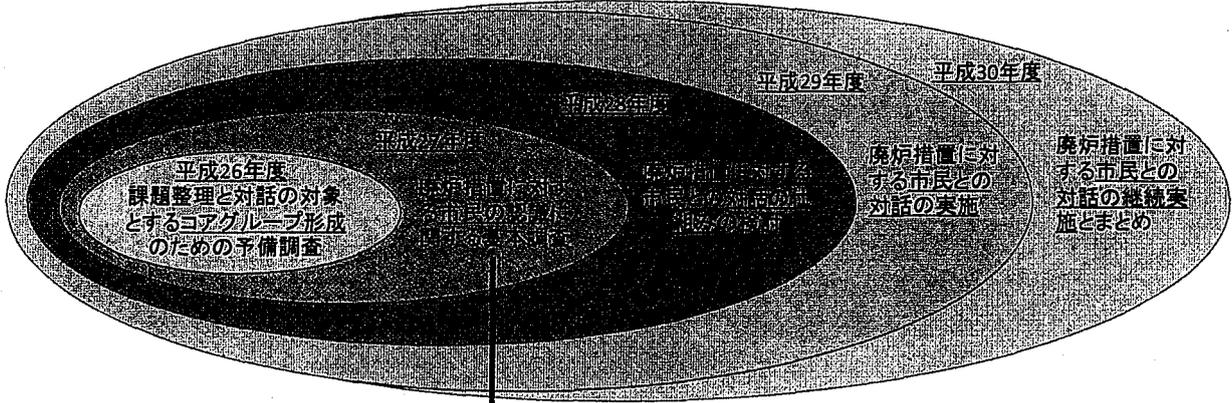
39



(2)③ 社会的受容性醸成の実践

本TGの目的: 市民との対話に基づく社会的受容性醸成の実践

- ・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



大都市圏でフォーカスグループインタビューを行い、より詳細に一般市民の「廃止措置」に関するリスク認知の傾向をあきらかにして、社会受容性の向上を目指した「対話」の実現に向けて準備



FGIの主な成果

フォーカスグループインタビューFGIを実施

- ・ 日時: 2015年1月31日(日)
- ・ 調査地域: 首都圏
- ・ 調査対象: 20-60代・男女 5名×2グループ
- ・ 会場: 表参道「Room Seed_ホワイト」

FGIとは、具体的な状況に即したある特定のトピックについて選ばれた複数の個人によって行われる形式張らない議論

<目的>

1. 市民の知識レベルを問う
2. 現時点で提示されている施策に対する納得感を問う

- ・ 質問項目1: 「原子力発電所の廃止措置」についてあなたの知っていることは教えてください。
- ・ 質問項目2: 「原子力発電所の廃止措置」について、これらの情報を知った上で、どのように思いますか？
- ・ 質問項目3: 「原子力発電所の廃止措置」について、どのような点に懸念を感じるでしょうか？
- ・ 質問項目4: (クリアランスレベルの説明後)このような説明でご納得頂けるでしょうか？頂けないとしたらそれはなぜでしょうか？
- ・ 質問項目5: 福島事故との関連について

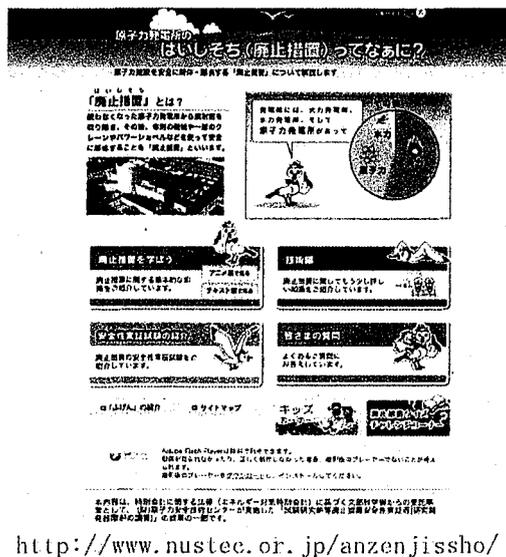


- 基本的な知識の欠如
- 政府・東京電力への不信感
- 若い世代の関心の薄さと論理的な態度
- 研究者への信頼

- ✓ FGIが一般市民の廃止措置に対する考え方を明らかにする上で有効に機能することを確認
- ✓ 一般市民の放射線や廃炉、そして福島第一原子力発電所の現状に対する知識が圧倒的に不足していることを再認識
 - ✓ 特に原子力に対する受容意識醸成のキーとなる放射線に関する基本知識の欠如
- ✓ 顔の見える専門家の存在の重要性は以前から指摘されているが、今回研究実施主体者として参加した「高橋」に対しては、全ての参加者からある程度の信頼が醸成
 - ✓ 専門家との対話が有効に機能する可能性を示唆

FGI実施手順(1) 提供情報

- 本研究では出来るだけ偏りのない情報に基づいて議論を行えるように、公的機関が出しているHPの情報を提示し、その内容に基づいて議論を行うことに
- 公開されている内容について有識者と検討した結果、文部科学省からの受託事象として(財)原子力安全技術センターが作成した廃止措置について一般的な説明を行っている以下のサイトの情報を利用



42

H28年度実施状況

- 今回のFGIは首都圏を対象にして行ったが、今後は福島からより離れた関西圏でのFGIを行い、今回明らかになった傾向の一般性、地域依存性を更に明確にしていく
- 開催地区でのFGIの日程確定
 - 場所: 大阪市
 - 日時: 平成28年12月18日(日)
 - G① 10:30~12:30(女性・5名)
 - G② 14:00~16:00(男性・5名)
- 実施内容に関しては昨年実施した東京地区と同じ
 - 実施内容に関しては前回の課題もあるが、東京地区と公平に比較するためにあえて同様の内容に

43



⑤福島原発廃止措置に関する感想

- 福島原発の廃止措置に関する意見に関しては、福島からの距離が遠いということで直接的な関心は低いという参加者と、関心を持っているという参加者に別れた

福島はちょっと遠い。敦賀原発が爆発したと言われたら、さすがに近いので…。滋賀県産を食べたのか福井県産を食べたのかとなった時の感覚とはちょっと違う。距離があるので安心というか…。そこで興味がない訳ではないが、自分とちょっと離れた所でのことという印象がある。(参加者B)

それこそ今日話を聞くまでは自分の身近なこととして捉えていなかった。それこそ産地に関してくらいしか直接自分に影響しないので。

(それは距離の問題?)

距離の問題かもしれない。自分が近くに住んでいたら、またもっと違ったかもしれない。

(参加者D)

Aさんは授業で安心と習ったから安心だと思っていたという話だった。子供が習ってきて関心を持っていたら親として「こちらも知っておかなきゃ」と思うかもしれない。聞かれたら最低ラインのことは教えてあげたいと思う。島根原発もあり知り合いもいるので全然関心がないことはない。自分ももっと知りたいと思うが、さすがにこうやって勉強会に参加して…となるとハードルが高いと感じる。(参加者C)

関心はある。一番目は自分が事故当時日本にいなかったからこそ厳しい報道でやばいと感じたから。後は福島に住んでいる友達がおり今も全然家に帰れないと聞いている。同じ日本にいるのに全然違う状況になっているということが、他人事とは思えない。(参加者A)



- 本事業に参画している研究者の積極的関与
 - 「高橋」だけが対話を行い一般市民の考え方を報告するというスキームは、市民側から見ても専門家の顔が見えないという印象
 - 個別のより専門的内容を説明するという作業を通じて、研究者自身がコミュニケーション能力を向上させることが必要
- 同一参加者との複数回の対話を通じたコアグループ形成の検討
- 福島における同様のFGI実施の可能性を検討

ご清聴ありがとうございました。