

#### 英知事業(文科省)成果報告会

#### 英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業 (廃炉加速化研究プログラム(国内研究)) 【D1】特殊環境下の腐食現象の解明

# 課題名:放射線環境下での腐食データベースの構築

# 令和3年3月1日

# 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

# 研究代表者 加治 芳行





- 1. 研究背景
- 2. 本事業の目的
- 3. 全体計画と達成目標
- 4. 実施体制
- 5. 成果の概要
  - ガンマ線照射下腐食試験環境の整備
  - ラジオリシスデータセット整備及びデータベース化
  - 炭素鋼の脱不動態化に及ぼすガンマ線照射の影響評価
  - 湿潤・乾燥環境でのガンマ線照射による腐食影響評価
  - 1F機器・構造物の腐食調査票の作成
- 6. 得られた成果と目標との関係性
- 7. 成果の効果
- 8. 今後の発展の方向性

# 1. 研究背景:想定される1F腐食の課題と実施内容



#### 1F廃炉に向けた腐食研究課題(\*)

- ① 放射線環境(ガンマ線)下での腐食
- ② デブリ等からの溶出成分の腐食影響
- ③ <u>薄い液膜や気液界面近傍のPCV内面の</u> <u>腐食</u>
- ④ <u>PCV内負圧管理や一部開放による空気</u> <u>流入の場合のPCV内面の腐食</u>
- ⑤ デブリ加工に伴うコロイド状粒子混入冷 却水による配管等の腐食
- ⑥ デブリ堆積下のすき間腐食
- ⑦ 微生物腐食
- 8 再臨界防止剤(ホウ酸イオン)注入による
   腐食影響

#### **ラジオリシス計算による腐食環境推定** (O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、鉄分(Fe<sup>2</sup>+、Fe<sup>3</sup>+等)、ホウ酸)



(\*) 廃炉基盤プラットフォーム 第13回運営会議(2020年1月15日開催)、資料13-6-2 分科会活動報告「特殊環境下の腐食現象の解明に関する分科会」より (<u>https://fukushima.jaea.go.jp/hairo/platform/pdf/platform1310.pdf</u>)

2. 本事業の目的



1Fの廃炉の着実な推進を考えた場 合、様々な課題が存在するが、とりわ け40年にわたり廃止措置を安全かつ 継続的に進めるためには、経年的に劣 化が進む構造材料の腐食が重要であ る。しかし、腐食反応を律速する環境 要因に関しては、現状十分にデータが 得られている訳ではなく、また、作業の 進展に伴い時々刻々と変化し得る。

【本事業の目的】

- 想定される範囲を充分に包含した 環境条件でのラジオリシスデータ及 び腐食影響データのデータベース化
- 複雑な流路環境における配管や
   構造材料の腐食現象の推定と評
   価試験法の調査



#### 対象となる放射線の環境条件イメージ

2号機格納容器内の測定結果では、7Gy/hが得られているが、デブリの存在部ではより高い値が想定される。 (2019年2月28日TEPCO報告資料より)

### 3. 全体計画と達成目標



短期(H29~31年)	中期(4~10年)	長期(~40年)
照射下腐食研究拠点の整備と 大学との共同研究の実施	共同研究の継続	デブリ
\$ \$ \$ \$	\$ \$ \$	労1 化F 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日
ラジオリシス及び腐食影響データ の系統的取得	放射線下の腐食 速度予測解析 コードの整備	→ 予廃 小 に が 部 部 部 ・ 部 部 部 部 部 部 部 部 部 部 部 部 部
潜在的腐 食要因調 査マップに よる調査 優先度を決めた腐 (関係機関	食劣化データ取得 との連携)	屋・機器類の d Maintenance)
	<ul> <li>短期(H29~31年)</li> <li>照射下腐食研究拠点の整備と 大学との共同研究の実施</li> <li>↓ ↓ ↓ ↓</li> <li>ラジオリシス及び腐食影響データ の系統的取得</li> <li>潜在的腐 食要因調 査マップに よる調査</li> <li>優先度を決めた腐 (関係機関)</li> </ul>	短期(H29~31年)中期(4~10年)照射下腐食研究拠点の整備と 大学との共同研究の実施共同研究の継続マーマーマーマーマーマーマーマーマーマーマーマーマーマーマーマーマーマーマー

#### 【達成目標】

- 1 F廃炉で必要となるラジオリシスデータと構造材料の腐食データを大学等と連携して取得し、データベース化
- 中核研究施設として量子科学技術研究開発機構(量研)高崎量子応用研究所に大学 等が共用で試験できるガンマ線照射スペースを確保し、実験機器類を整備
- 腐食の潜在的な影響を調査・解析するための調査票を整備

4. 実施体制





### 5. 成果の概要:ガンマ線照射下腐食試験環境の整備



海水成分含有水を用いたガンマ線照射容器及び配管を整備
 電離箱による線量率測定を行い照射容器内の線量率分布を評価
 → 1FのRPV・SFPの環境を模擬した照射場を構築







試料温度制御





海水成分を含む水中に浸漬した金属材料への ガンマ線照射後の生成物の分析装置を整備

#### 5. 成果の概要:ラジオリシスデータセット整備及びデータ ベース化 -水の放射線分解(ラジオリシス)プロセス-





### 5. 成果の概要:ラジオリシスデータセット整備及びデータ ベース化



化学種のg値のLET依存性(室温のデータ)

LET (eV/nm)	e <sub>aq</sub> -	•OH	H•	H <sub>2</sub>	$H_2O_2$	HO <sub>2</sub> •
0.2	2.7	2.7	0.6	0.5	0.7	-
2.3	2.63	2.72	0.55	0.45	0.68	0.008
123	1.48	1.78	0.62	0.68	0.84	-
1080	0.42	0.54	0.27	1.11	1.08	0.07

		Elliot '09 [3.1.1	1-16]	Ershov '08 [3.1.1-17]		
No.	Reactions	Forward	Back	Forwad	Back	
1	$e_{aq}$ + $e_{aq}$ (+ $H_2O$ + $H_2O$ ) $\rightarrow$ $H_2$ + $OH$ + $OH$	0H-7.30 × 10 <sup>9</sup>		$5.6\times10^9$		
2	$H^{\bullet} + H^{\bullet} \rightarrow H_2$	$5.13\times10^9$		$7.9\times10^9$		
3	${}^{\bullet}OH + {}^{\bullet}OH \rightarrow H_2O_2$	$4.81 \times 10^9$		$5.3  imes 10^9$		
4	$e_{aq} + H^{\bullet} (+ H_2O) \rightarrow H_2 + OH^{-}$	$2.77 \times 10^{10}$		$2.5 imes10^{10}$		
5	$e_{aq}$ + $OH \rightarrow OH$	$3.53 \times 10^{10}$		$3.0 \times 10^{10}$		
6	$H^{\bullet} + {}^{\bullet}OH \rightarrow H_2O$	$1.09 \times 10^{10}$		$7.0  imes 10^9$		
7	$e_{aq} + H_2O_2 \rightarrow OH + OH$	$1.36 \times 10^{10}$		$1.14 \times 10^{10}$		
8	$e_{aq} + O_2 \rightarrow O_2^{\bullet}$	$2.29 \times 10^{10}$		$1.94 \times 10^{10}$		
9	$e_{aq}^{-} + O_2^{\bullet-} (+ H_2O) \rightarrow H_2O_2 + OH^- + OH^-$	$1.30 \times 10^{10}$				
10	$e_{aq} + HO_2 \rightarrow HO_2$	$1.30 \times 10^{10}$		$2.0 imes10^{10}$		
11	$H^{\bullet} + H_2O_2 \rightarrow {}^{\bullet}OH + H_2O$	$3.66 \times 10^{7}$		$3.44 \times 10^7$		
12	$H^{\bullet} + O_2 \rightarrow HO_2^{\bullet}$	$1.30 \times 10^{10}$		$2.0\times10^{10}$		
13	$H^{\bullet} + HO_2 \rightarrow H_2O_2$	$1.14 \times 10^{10}$		$2.0 imes10^{10}$		
14	$H^{\bullet} + O_2^{\bullet} \rightarrow HO_2^{\bullet}$	$1.14 \times 10^{10}$		$2.0  imes 10^{10}$		
15	$\bullet OH + H_2O_2 \rightarrow HO_2 \bullet + H_2O_2$	$2.92 \times 10^{7}$		$3.8 \times 10^7$		
16	$^{\bullet}OH + O_2^{\bullet} \rightarrow O_2 + OH^{-}$	$1.10 \times 10^{10}$		$9.96 \times 10^{9}$		
17	•OH + HO <sub>2</sub> $\rightarrow$ O <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	$8.84 \times 10^{9}$		$7.1 \times 10^{9}$		
18	$HO_2^{\bullet} + HO_2^{\bullet} \rightarrow H_2O_2 + O_2$	$8.40 \times 10^{5}$		8.1 × 10 <sup>5</sup>		
19	$O_2^{\bullet-} + HO_2^{\bullet} (+ H_2O) \rightarrow H_2O_2 + O_2 + OH^{-}$	$1.00 \times 10^{8}$				
20	$H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^-$	$2.08 \times 10^{-5}$	$1.17 \times 10^{11}$	$2.5  imes 10^{-5}$	$1.4 \times 10^{11}$	
21	$H_2O_2 \leftrightarrow HO_2^{\bullet-} + H^+$	$9.49 \times 10^{-2}$	$5.02 \times 10^{10}$	$3.56 \times 10^{-2}$	$2 \times 10^{10}$	
22	$H_2O_2 + OH^- \leftrightarrow HO_2^{\bullet-} + H_2O$	$1.33 \times 10^{10}$	1.27 × 10-4			
23	${}^{\bullet}OH \leftrightarrow O^{\bullet-} + H^{+}$	9.49 × 10 <sup>-2</sup>	$5.02 \times 10^{10}$			
24	$\bullet OH + OH \leftrightarrow O^{\bullet-} + H_2O$	$1.33 \times 10^{10}$	1.27 × 10-4			
25	$HO_2^{\bullet} \leftrightarrow O_2^{\bullet-} + H^+$	$7.73 \times 10^5$	$5.02 \times 10^{10}$	$7 \times 10^5$	$4.5  imes 10^{10}$	
26	$HO_2^{\bullet} + OH^{-} \leftrightarrow O_2^{\bullet-} + H_2O$	1.55 × 10 <sup>-1</sup>	$1.55 \times 10^{-11}$			
27	$H^{\bullet} \leftrightarrow e_{aq}^{-} + H^{+}$	5.89	$2.11 \times 10^{10}$		$2.3 imes10^{10}$	
28	$H^{\bullet} + OH \leftrightarrow e_{aq} + H_2O$	$2.44 \times 10^{7}$	1.58 × 10 <sup>-9</sup>	$1.8 \times 10^{7}$		
29	$H^{\bullet} + H_2O \leftrightarrow H_2 + {}^{\bullet}OH$	$4.59 \times 10^{-5}$	$3.92 \times 10^7$		$3.74 \times 10^7$	
30	$\bullet OH + HO_2^- \rightarrow O_2^{\bullet-} + H_2O$	$8.13 \times 10^{9}$				
31	$O^{\bullet-} + HO_2^- \rightarrow O_2^{\bullet-} + OH^-$	$7.86 \times 10^{8}$				
32	$O^{\bullet-} + H_2 \rightarrow H^{\bullet} + OH^-$	$1.28 \times 10^{8}$				
33	$O^{\bullet-} + O_2 \leftrightarrow O_3^-$	$3.75 \times 10^{9}$	$2.62 \times 10^{3}$			
34	$e_{aq}^{-} + O_2^{\bullet-} (+ H_2O) \rightarrow HO_2^{-} + OH^{-}$			$1.3 \times 10^{10}$		
35	$^{\bullet}OH + HO_2^{-} \rightarrow HO_2^{\bullet} + OH^{-}$			$5 \times 10^9$		
36	$O_2^{\bullet-} + HO_2^{\bullet-} \rightarrow O_2 + HO_2^{-}$			$9.5  imes 10^7$		
37	$HO_2^{\bullet} + H_2O_2 \rightarrow {}^{\bullet}OH + O_2 + H_2O$			3.7		
38	$O_2^{\bullet-} + O_2^{\bullet-} \rightarrow O_2 + HO_2^- + OH^-$			$3.0 \times 10^{-1}$		
39	$O_2^{\bullet-} + H_2O_2 \rightarrow O_2 + {}^{\bullet}OH + OH^-$			$1.6 \times 10^{1}$		

日本原子力学会編,原子炉水化学ハンドブック,コロナ社,2000.







純水のラジオリシスの化学反応データセット(室温)

(3.1.1-16) A.J. Elliot, "The Reaction Set, Rate Constants and G-Values for the Simulation of the Radiolysis of Light Water over the Range 20° to 350°C Based on Information Available in 2008", Atomic Energy of Canada Limited Report, AECL No.153-127160-450-001, 2009.

(3.1.1-17) B.G. Ershov and A.V. Gordeev, "A Model for Radiolysis of Water and Aqueous Solutions of  $H_2$ ,  $H_2O_2$  and  $O_2$ ", Radiation Physics and Chemistry, 77, 928 – 935, 2008.

# 5. 成果の概要:ラジオリシス解析による腐食試験結果の検討

■ 炭素鋼の腐食への放射線の影響

- 生成された酸化剤濃度で腐食速度を推定(\*)

 $i_{lim} = 1.4(C_{O_2} + 0.4 \times C_{H_2O_2})$ 

全浸漬及び半浸漬条件での腐食速度に及ぼすガンマ線照射の影響を評価



<sup>(\*)</sup> M. Yamamoto, et al., "Estimation Method for Corrosion Rate of Carbon Steel in Water with Gamma-Ray Irradiation Condition", European Corrosion Congress 2015.

### 5. 成果の概要:炭素鋼の脱不動態化に及ぼすガンマ線 照射の影響評価







#### 5. 成果の概要:湿潤・乾燥環境でのガンマ線照射による 腐食影響評価



■ 試験片:SA738B (Mark II型PCV鋼)

試験片の化学組成

С	Si	Mn	Р	S	Cu	Ni	Cr	Мо	Ti	Fe	V	Nb
0.09	0.20	1.45	0.005	0.001	0.28	0.55	0.04	0.23	0.00	Rem	0.040	0.020



## 5. 成果の概要: 喫水部の局所的な腐食速度-336時間試験-



#### 試験片全体での局所的な最大腐食速度は喫水部で観測された

0 kGy/h : 1.22 mm/year
2.76 kGy/h: 2.02 mm/year

重量法による平均腐食速度より 3~4倍大きい



(左図:非照射条件、右図:照射条件)

### 5. 成果の概要:湿潤気相部における腐食影響評価





(\*) W. Oshikawa, et al., "ACM sensor output to estimate atmospheric corrosion rate of carbon steel exposed under conditions sheltered from rain", Zairyo-to-Kankyo, 51, 398-403, 2002.

### 5. 成果の概要:1F機器・構造物の腐食調査票の作成



				腐食の主要パラメータ			水母													
		腐食検討対象 対象設備 検討課題		酸化剤	水環境(温 度、pH)	小貝 (アニオン種、 導電率)	鋼種	腐食モード	腐食速度	評価・対策										
	<b>燃料プール</b> 減肉による耐震強度低下あるい は漏えいの可能性			<ol> <li>①酸素 (大気流入)</li> <li>②過酸化水素 (放射線分解)</li> </ol>	現状ほぼ中性	Cl <sup>-</sup> (<10ppb)	炭素鋼、ステン レス鋼、アルミ 合金、ジルコニ ウム	均一腐食 ガルバニック 腐食	遅 (現状水質が管理さ れている)	<ul> <li>・海近傍であり、ヒドラジン 注入は継続要</li> <li>・将来のためにクーポン試 験片を設置して、定期的にサーベランスすることを推奨</li> <li>・将来、燃料取り出し後、定 着ボルトの確認を推奨する</li> <li>が、安全を確認すれば省略可</li> </ul>										
	S/C コラムサホ ト	原子炉建屋		事故時の負荷で劣化、ひび割れ が生じ、配筋が腐食、耐震強度 が低下する可能性	酸素(大気侵入)	~30℃ 中性~ <sup>i</sup> 塩基性	C1 <sup>-</sup> (<10ppb)	コンクリート鉄 筋	均一腐食	遅	<ul> <li>・海岸沿い建築物を参照し、</li> <li>鉄筋腐食速度を推定</li> <li>・但し、海水に触れている箇所は考慮要</li> <li>・コンクリート評価は女川</li> <li>原発での実績を参照</li> </ul>									
原子炉圧力 容器 (RPV)	底部		<ul> <li>喫水線より上</li> <li>・フランジシー ル部</li> <li>・配管/電気ペネ</li> </ul>	減肉による耐震強度低下あるい は貫通漏えいの可能性	酸素(大気流入)	~30℃ 中性	C1 <sup>-</sup> (<10ppb)	炭素鋼	均一腐食	<ul> <li>流動液膜における</li> <li>高い酸素供給速度に</li> <li>依存</li> <li>本 pj で得られた液 膜腐食速度を参照</li> <li>(約0.02mm/y:ACM 試 験結果)</li> </ul>	<ul> <li>・(γ線照射下腐食速度 x 想 定使用年数)と対象構造物・ 機器肉厚とを比較評価</li> <li>・サンプリング等での水質 評価を推奨</li> <li>・但し、十分な肉厚があるため、当面対策は不要</li> </ul>									
	アンカーボ ト		喫水線近傍	減肉による耐震強度低下あるい は貫通漏えいの可能性	<ol> <li>①酸素 (大気流入)</li> <li>②過酸化水素 (放射線分解)</li> </ol>	~30℃ 中性	C1 <sup>-</sup> (<10ppb)	炭素鋼	局部腐食	<ul> <li>気液界面における 局部腐食速度</li> <li>本 pj で得られた腐 食速度を参照</li> <li>(約0,35mm/y:800時 間試験結果)</li> </ul>	<ul> <li>・当面対策は不要であるが PCV 喫水部近傍は、遠隔ロ ボット検査の際には状況観 察を推奨</li> </ul>									
	支持スカー	原子炉格納 容器 (PCV)	原子炉格納 容器 (PCV)	水没部 ・シェル内壁 ・劣化塗装部 ・ペネ	<ul> <li>・減肉による耐震強度低下ある いは貫通漏えいの可能性</li> <li>・燃料デブリ取り出し時の負圧</li> <li>管理への影響</li> </ul>	<ol> <li>①酸素 (大気流入)</li> <li>②過酸化水素 (放射線分解)</li> </ol>	~30℃ 中性	C1 <sup>-(&lt;10ppb)</sup> ホウ酸塩添加時: B(0H) <sub>4</sub> <sup>-(</sup> ?)影響評 価要	炭素鋼	均一腐食	<ul> <li>流動状況に依存</li> <li>本 pj で得られた</li> <li>腐食速度を参照</li> <li>(約 0. 2mm/y: 1000 時</li> <li>間試験結果)</li> </ul>	<ul> <li>・サンプリング等での水質</li> <li>評価を推奨</li> <li>・十分な肉厚があるため、</li> <li>当面対策は不要</li> </ul>								
DBV	接続配管		サンドクッシ ョン部	格納容器からの漏洩により常時 湿潤状態の可能性 米国で 0.9mm/年の減肉事例あ り。	<ol> <li>①酸素 (大気流入)</li> <li>②過酸化水素 (放射線分解)</li> </ol>	~30℃ 中性	Cl <sup>-</sup> (<10ppb?) ホウ酸塩添加時: B(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup> (?)影響評 価要	炭素鋼	均一腐食 隙間環境下の 腐食	<ul> <li>濡れ砂のある隙間 腐食速度</li> <li>・モックアップによ る速度評価を推奨</li> </ul>	<ul> <li>・(小型モックアップ試験による速度 x 想定使用年数)と対象構造物・機器肉厚とを比較評価</li> </ul>									
ペデスタル	コンクリー 鉄筋											圧 力 抑 制 室 (S/C) ベント管	貫通漏えいの可能性	<ol> <li>①酸素 (大気流入)</li> <li>②過酸化水素 (放射線分解)</li> </ol>	~30℃ 中性	Cl <sup>-</sup> (<10ppb) ホウ酸塩添加時: B(0H) <sub>4</sub> <sup>-</sup> (?)影響評 価要	炭素鋼 ステンレス鋼	均一腐食 SCC (ベロー ズ)	<ul> <li>流動状況に依存</li> <li>本 pj で得られた</li> <li>腐食速度を参照</li> <li>(本体約 0.2mm/y:</li> </ul>	<ul> <li>・サンプリング等での水質 評価を推奨</li> <li>・ベント管本体は十分な肉 厚があるため、当面の対策は</li> </ul>
原子炉冷却 配管	偏 流 部 位 ( ルボー、弁、 流・分流、オ フィス等)		S/C 內外面壁、接 続配管	貫通漏えいの可能性	<ol> <li>①酸素 (大気流入)</li> <li>②過酸化水素 (放射線分解)</li> </ol>	~30°C	Cl <sup>-</sup> (<10ppb) ホウ酸塩添加時: B(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup> (?)影響評 価要	炭素鋼	均一腐食	<ul> <li>本 pj で得られた腐 食速度を参照(喫水線 近傍約0.35 mm/y:</li> <li>800時間試験データ</li> </ul>	↑ ≪ → ベローズは観察推奨 当面対策は不要であるが、 喫水部近傍は、遠隔ロボッ ト検査の際には状況観察を 推奨									
	燃料デブリ り出し時の 循環冷却水 管	配 ンヨン・コロ	コーンヨンの可能		[ [ [ [ ()))) [ ())) [ ())) [ ())) [ ())] ()) ()) ()) ()) ()) ()) ()) ()) ()	1生村 科	(可) ガルバニッ 腐食	影響を評価5 ック	<del>そ</del> (衣 ージ	10前位、約32mm/y: 1000時間試験結果) 吋間エロ─ション・コロ ョン試験を推奨	 									



- ガンマ線照射試験施設での照射試験及び分析環境の整備
- 1F環境特有の不純物であるCl<sup>-</sup>、Br<sup>-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Feイオン、
   窒素酸化物等の<u>ラジオリシス反応データセットを整備(230式まで拡張)・デー</u>
   <u>タベース化</u>
- ガンマ線照射環境下における炭素鋼の腐食挙動、脱不働態化挙動について整理し、腐食特性マップを作成
- 湿潤・乾燥環境でのガンマ線照射データを取得し、喫水部における腐食加速(水膜効果と照射効果の重畳)及び湿潤大気環境下での酸化剤(オゾン)による腐食促進効果を確認
- 国内外国際会議等での意見交換及びブレーンストーミングを通して、各種機 器・構造物の腐食現象と評価試験方法について総合評価を実施し、腐食 調査票を作成



成果<sup>(\*)</sup>:専門誌論文及び研究開発報告書(4月刊行予定)として公開 波及効果:ガンマ線照射下腐食試験後のH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>濃度評価技術の高度化 (\*)学会・国際会議での口頭・ポスター発表:18件、学術専門誌査読付き論文:1報(2報投稿予定(準備中))、研究報告書:1件、施設共用優秀賞受賞(量研:2021年12月9日)

#### 7. 成果の効果



- IF特有の不純物の影響などを考慮したラジオリシス及び腐食データベース に基づいたラジオリシス解析により腐食環境を推定し、腐食速度の予測が 可能となった。本基本フレームを用いて、デブリ取り出し期間中の1Fの配 管、構造物の長期健全性の評価、並びにデブリ保管容器の劣化対策等 が可能となる。
- 各種機器・構造物の腐食現象と評価試験方法について総合評価した結果を集約した腐食調査票は、今後の1F廃炉の工程を考える上で具体的 な指標となる。
- 量研にガンマ線照射試験拠点を整備したことにより、本研究分野における 多くの学生や若手研究者(専門家)の育成へ貢献する。
- 得られた成果を積極的に公開していくことにより、<u>1Fの廃止措置に役に立つ</u> つだけではなく、発電事業や規制行政においても利用可能な基盤データを 提供することになり、原子力分野全体のメリットにもなる。



- 量研高崎量子応用研究所内に整備したガンマ線照射実験拠点を利用して、放射線影響下での腐食研究を継続的に実施することにより、データを拡充するとともに、本研究分野の技術継承と人材育成を継続
- 英知事業R2年度採択案件「α/β/γ線ラジオリシス影響下における格納容器系統内広域防食の実現:ナノバブルを用いた新規防食技術の開発」、「健全性崩壊をもたらす微生物による視認不可腐食の分子生物・電気化学的診断及び抑制技術の開発」に発展的に継続