

# 材料腐食への 海水及びガンマ線の影響評価

-1F廃止措置に向けたJAEAの研究状況-

平成26年3月6日

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

原科研福島技術開発特別チーム

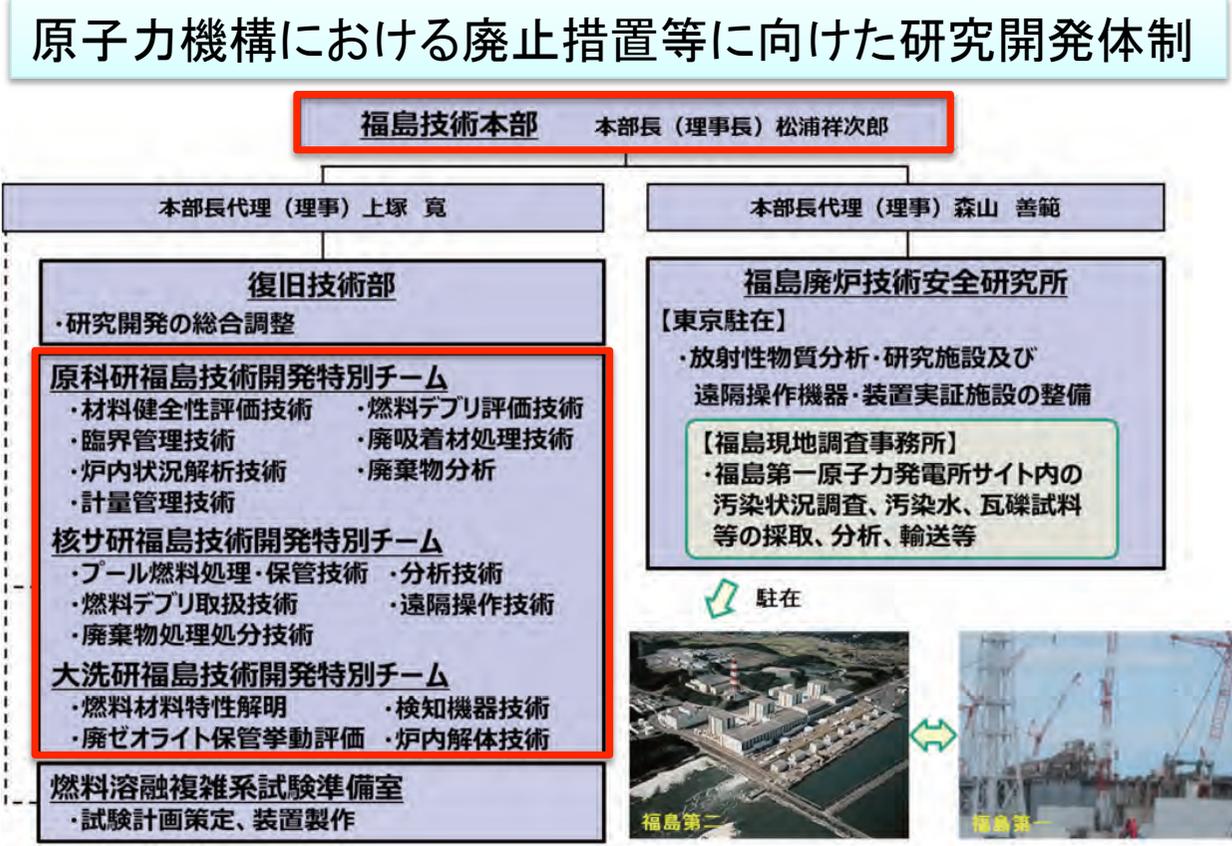
本岡隆文

1. はじめに
2. 材料腐食への海水の影響(一般論)
  - (1)炭素鋼
  - (2)ステンレス鋼
  - (3)ジルコニウム合金
3. 材料腐食への海水及びガンマ線の影響評価(研究事例)
  - (1)炭素鋼
  - (2)ステンレス鋼
  - (3)ジルコニウム合金
4. まとめ

# 1. はじめに(1/2)

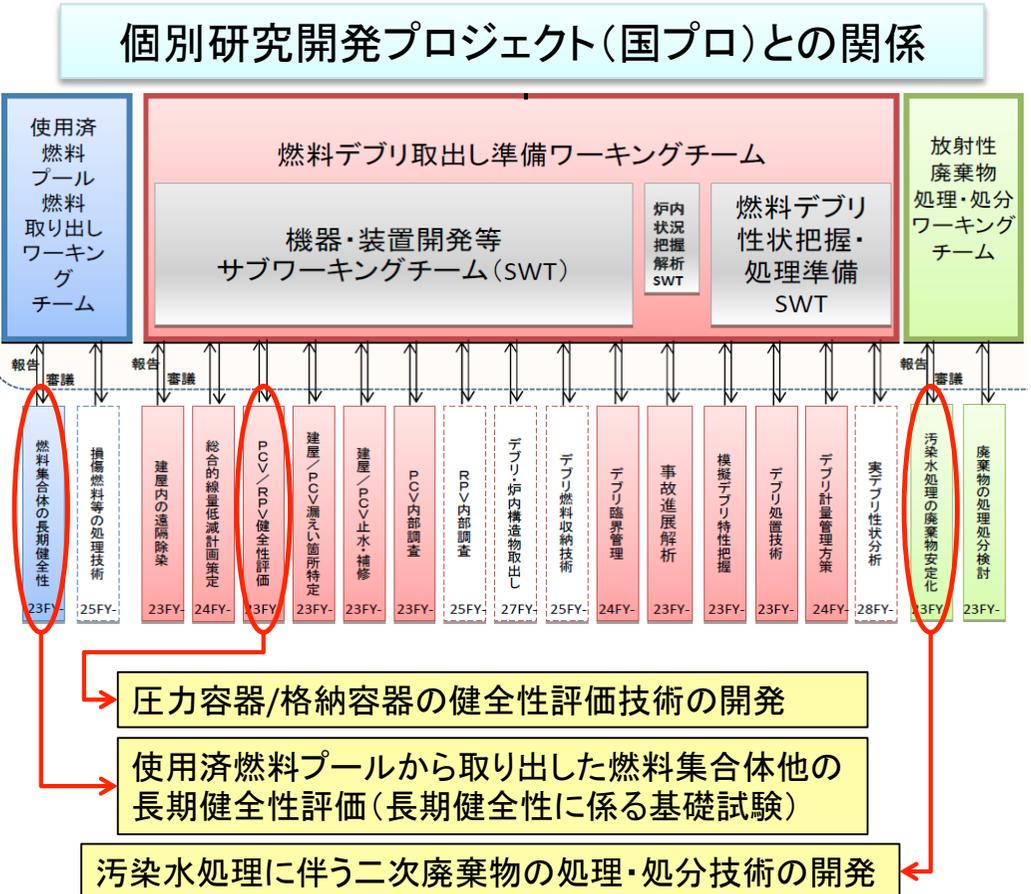
- 原子力機構(JAEA)では、福島第一原発の廃止措置に対して、中長期ロードマップに基づき、各種プロジェクトに係る研究・技術開発を実施している。

- 2012年4月にはJAEAの3拠点(原科研、大洗研、核サ研)に「福島技術開発特別チーム」を設置し活動を強化している。



# 1. はじめに(2/2)

- 今回は、材料腐食への海水の影響の概論を述べた後、原科研福島技術開発特別チームが実施している研究・技術開発のうち、「材料腐食への海水及びガンマ線の影響評価」に関する研究活動の一部を紹介する。



## 2. 材料腐食への海水の影響(一般論)

5/19

### (1) 炭素鋼

- 全面腐食

### (2) ステンレス鋼

- 局部腐食(孔食、すき間腐食)

### (3) ジルコニウム合金

- 局部腐食(孔食)

### 海水の主要成分

表 2.1 海水の主要成分<sup>1)</sup>

主な成分	ppm	epm
塩化物 $\text{Cl}^-$	18980.0	535.3
硫酸塩 $\text{SO}_4^{2-}$	2649.0	55.1
重炭酸塩 $\text{HCO}_3^-$	139.7	2.3
臭化物 $\text{Br}^-$	64.6	0.8
ふっ化物 $\text{F}^-$	1.3	0.1
ほう酸 $\text{H}_3\text{BO}_3$	26.0	
		593.6
ナトリウム $\text{Na}^+$	10556.1	459.0
マグネシウム $\text{Mg}^{2+}$	1272.0	104.6
カルシウム $\text{Ca}^{2+}$	400.1	20.0
カリウム $\text{K}^+$	380.0	9.7
ストロンチウム $\text{Sr}^{2+}$	13.3	0.3
		593.6

出典: 腐食防食協会編「腐食・防食ハンドブック」、丸善、

## 溶存酸素濃度の影響

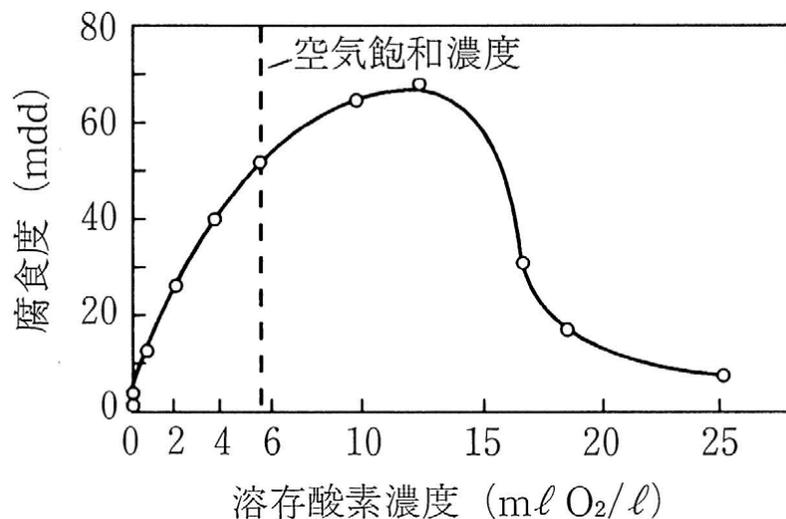


図 炭素鋼の腐食に及ぼす溶存酸素の影響(25°C低流速蒸留水中)

mdd= 0.0046mm/yr、

出典:腐食防食協会編:腐食・防食ハンドブック  
p.163 丸善(2000)

## pHの影響

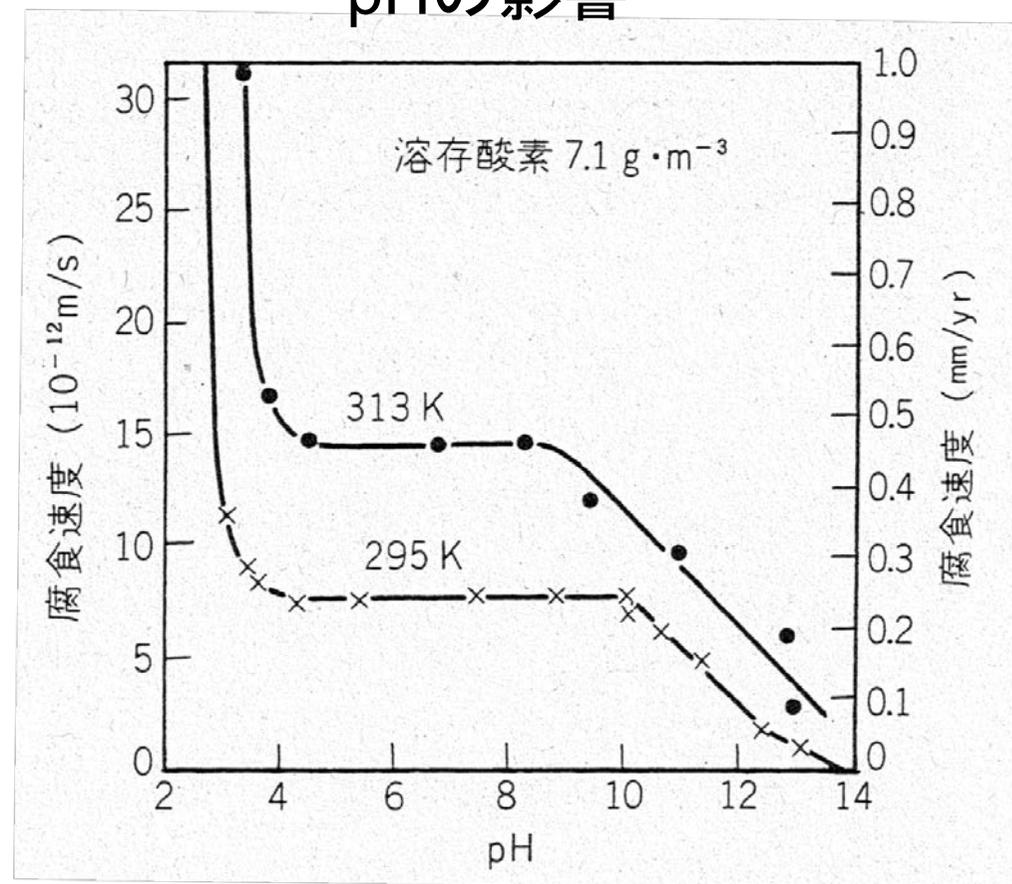


図 炭素鋼の腐食速度のpH依存性(22°Cと40°C)

出典: G.W.Whitman et.al., Ind.Eng.Chem., 16, 665 (1924)

## 塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)濃度の影響

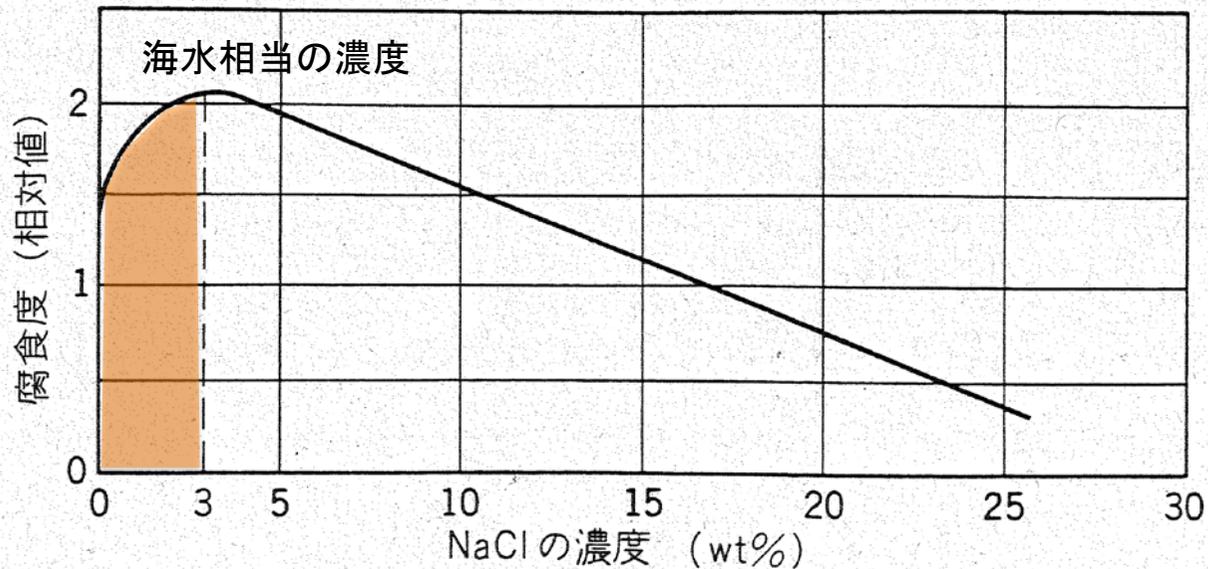


図 曝気した室温の食塩水中での鉄の腐食に対する濃度の影響

出典: H.H.ユーリック, R.W.レヴィー(岡本剛、松田精吾、松島巖 訳)、腐食反応とその制御(第3版)、産業図書、p.110(1989)

## (2) ステンレス鋼 局部腐食(孔食)

O: 腐食損傷なし、S: 錆発生、P: 孔食、C: 応力腐食割れ

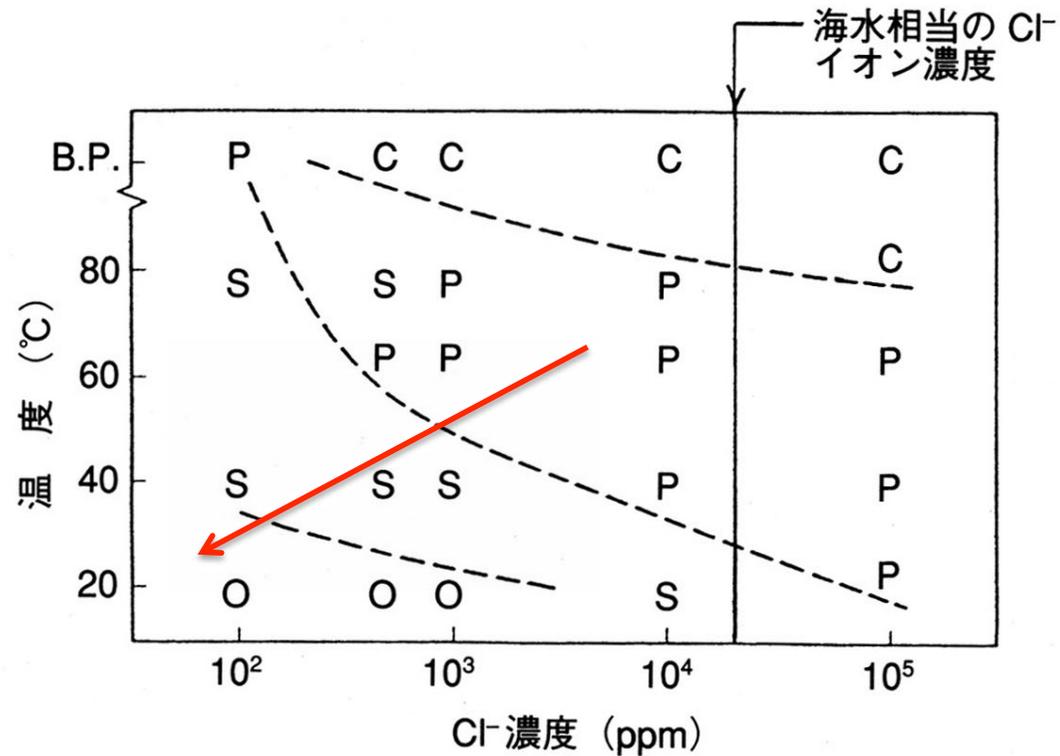


図 中性塩化物溶液中においてSUS304ステンレス鋼に生じる各種腐食

出典: 尾崎ら「海水機器の腐食—損傷とその対策」 科学図書出版

## (2) ステンレス鋼 局部腐食(すき間腐食)

9/19

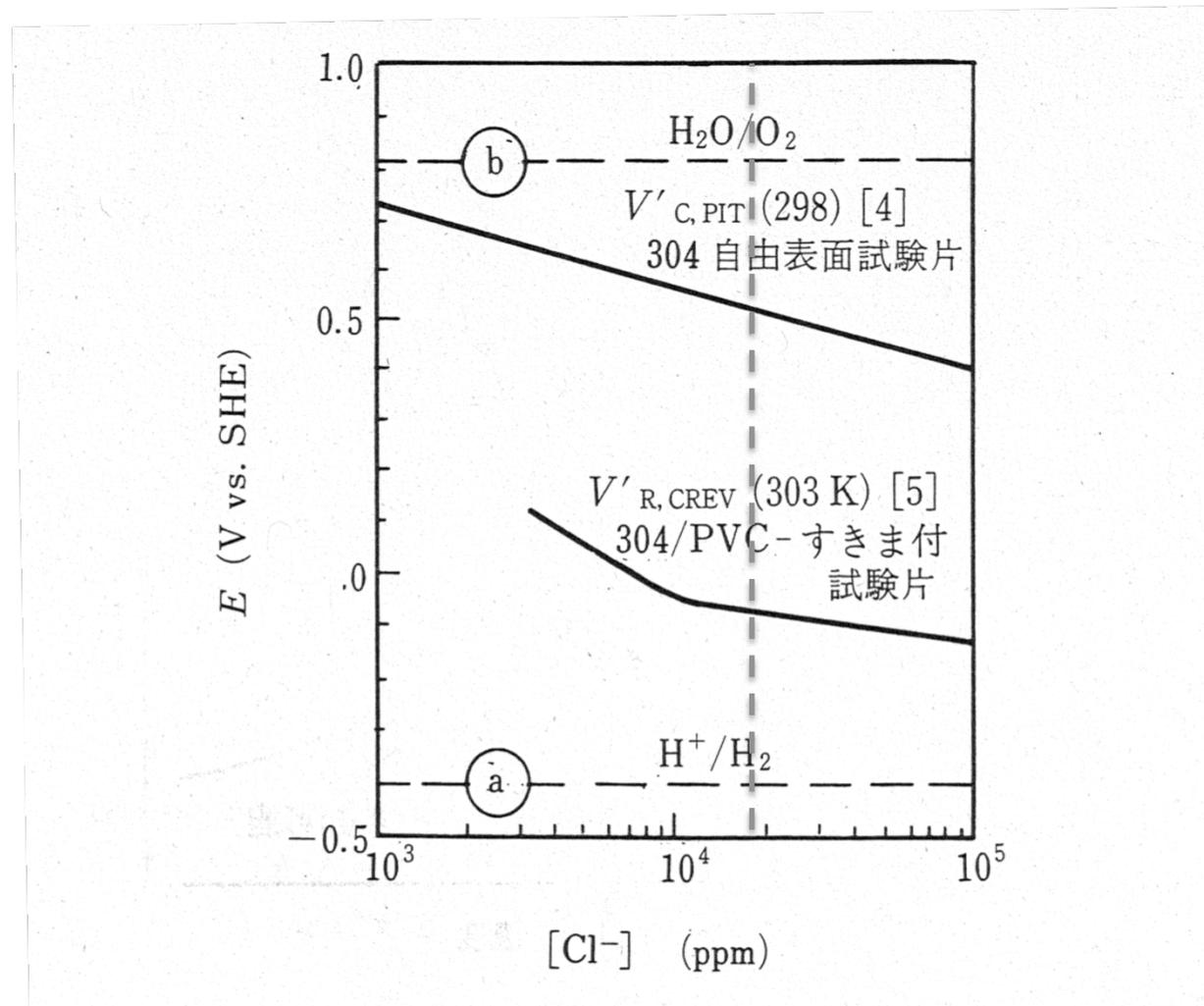


図 室温のSUS304鋼の孔食臨界電位 $V'_{C,PIT}$ 、およびすきま腐食臨界電位 $E_{R,CREV}$ 測定結果の例

### (3)ジルコニウム合金 局部腐食(孔食)

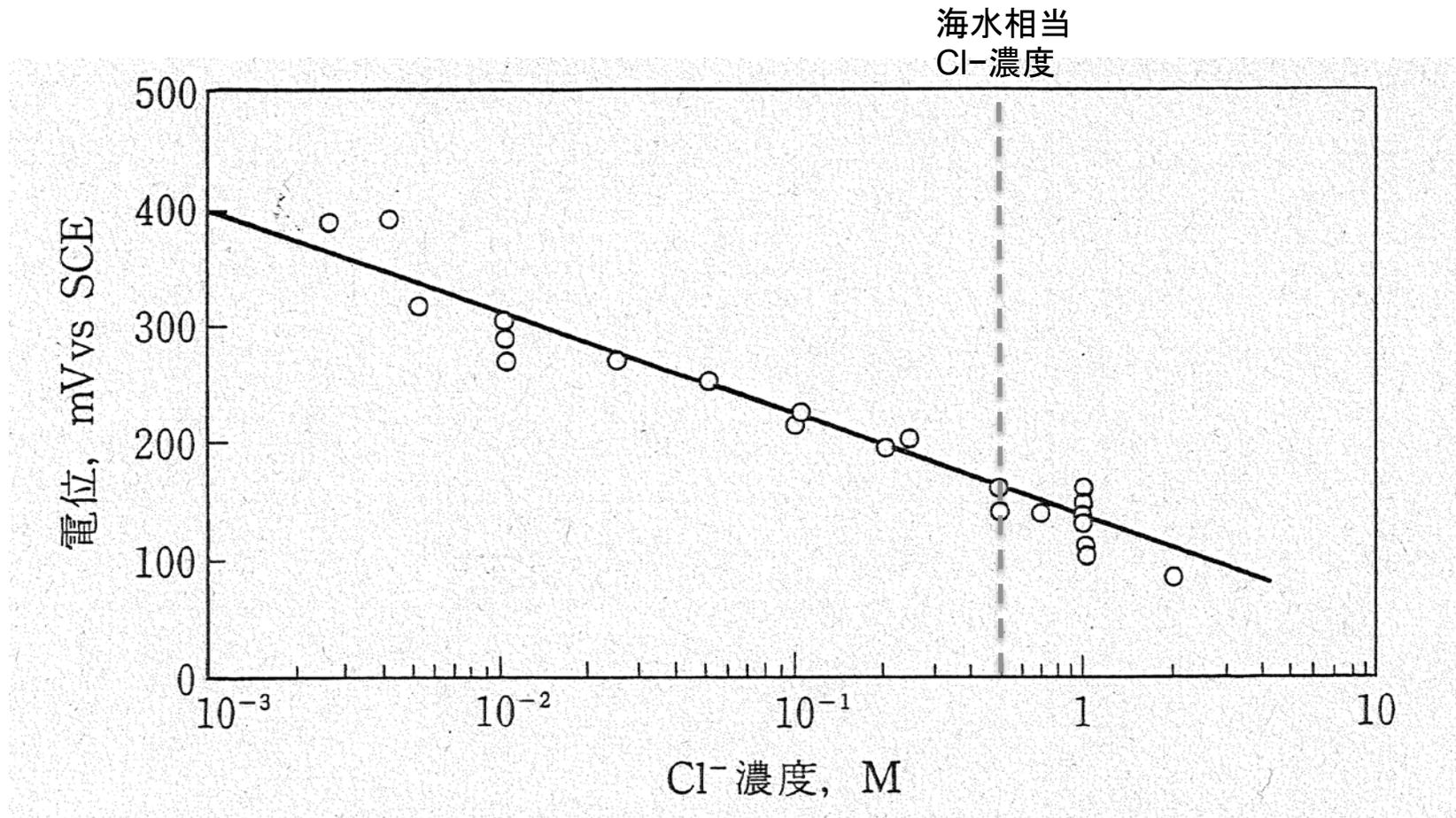


図 ジルコニウムの孔食電位の塩化物イオン濃度依存性

出典:北村義治、鈴木紹夫:防蝕技術、地人書館、p.73(1997)

#### (1) 炭素鋼

- ガンマ線照射下希釈海水中における原子炉容器鋼の腐食試験

#### (2) ステンレス鋼

- 塩化物を含むゼオライト中におけるステンレス鋼の腐食挙動

#### (3) ジルコニウム合金

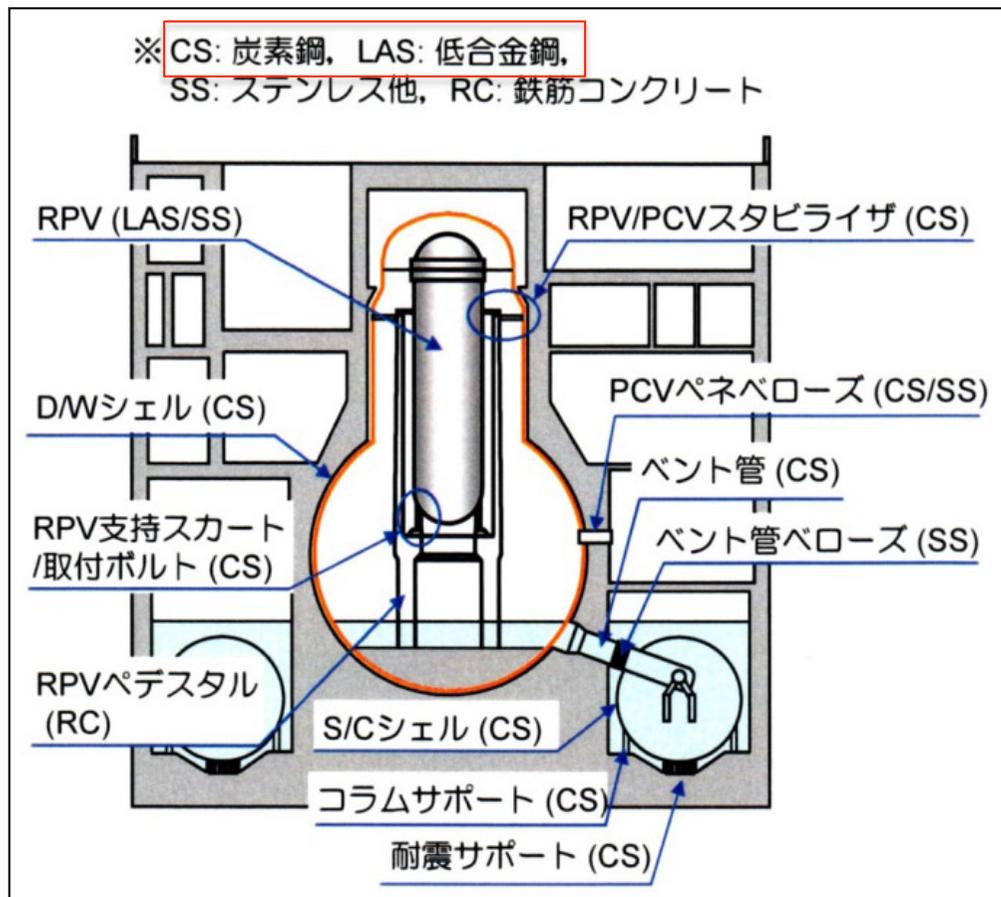
- ガンマ線照射下での人工海水におけるジルカロイ2の孔食挙動
- 希釈人工海水での照射済燃料被覆管の孔食挙動

# ガンマ線照射下希釈海水中における 原子炉容器鋼の腐食試験(1/2)

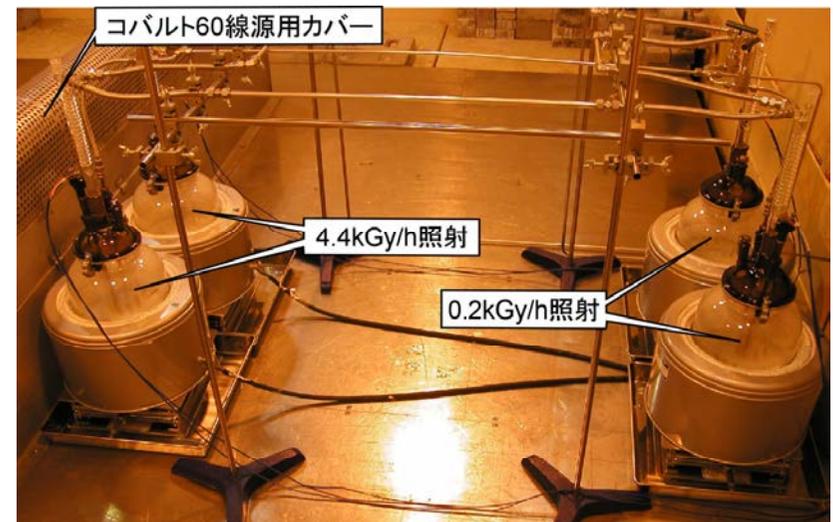
12/19

課題: 燃料デブリ取り出し終了までの圧力容器/格納容器の長期維持

## 圧力容器/格納容器の構成材料



高崎量子応用研究所  
ガンマ線照射棟

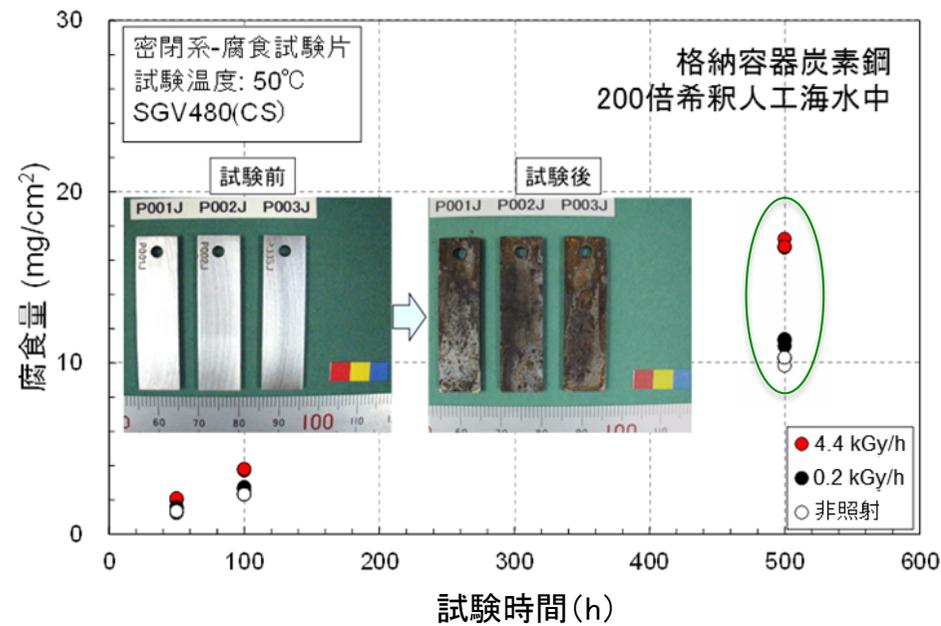


ガンマ線照射下の腐食試験状況

# ガンマ線照射下希釈海水中における 原子炉容器鋼の腐食試験(2/2)

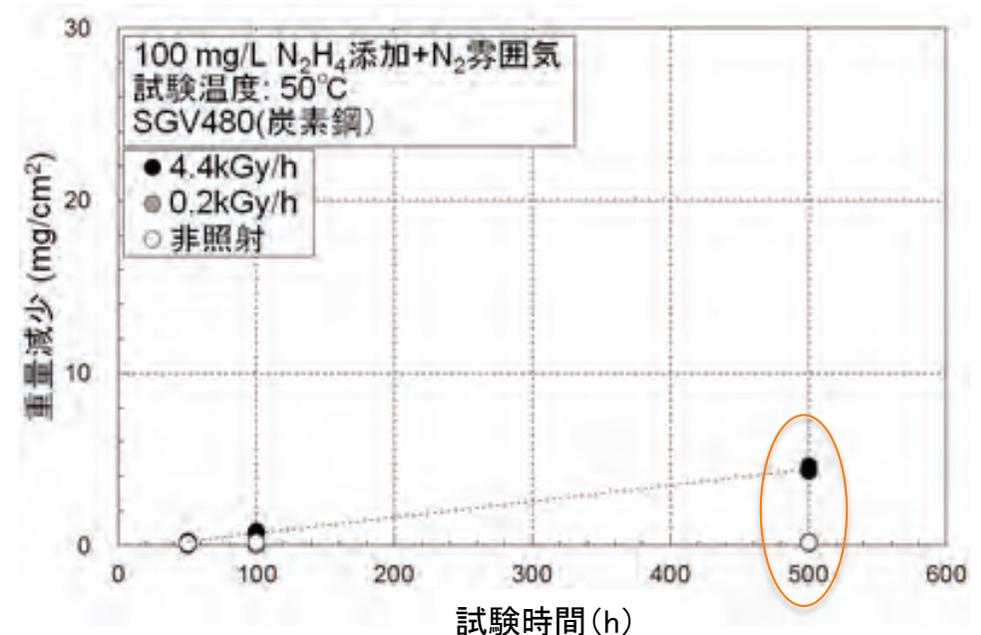
13/19

## 放射線の影響



高放射線場で腐食量は増えるが、  
低放射線場では腐食量は非放射線  
場と同等にまで低下する。

## 腐食抑制対策の検討

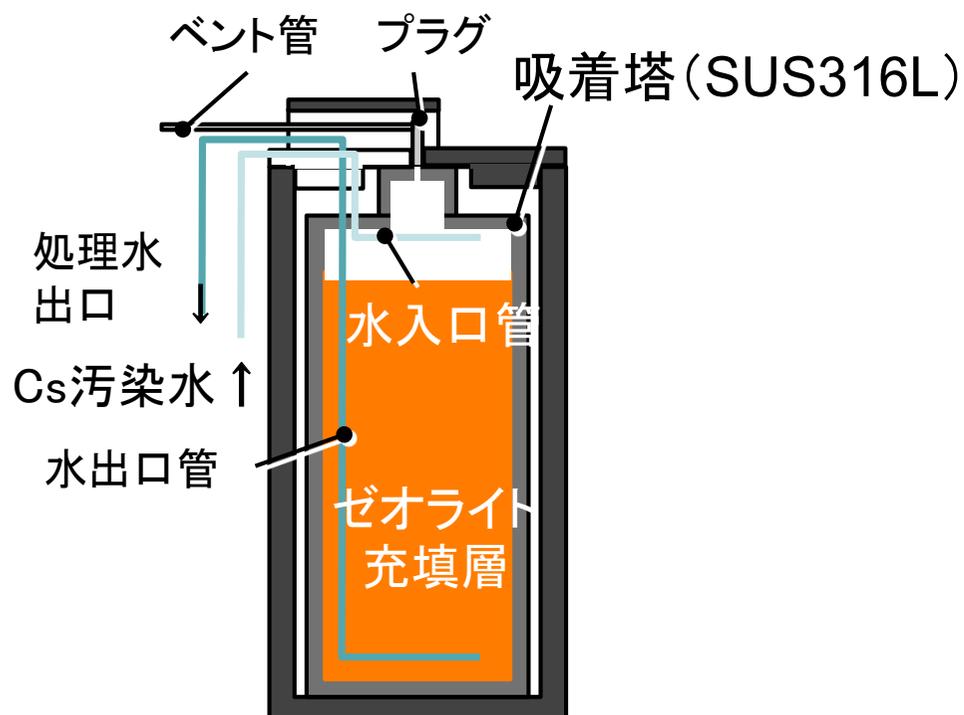


N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>添加+N<sub>2</sub>雰囲気とすることで、  
腐食量を低下することが可能で  
ある。

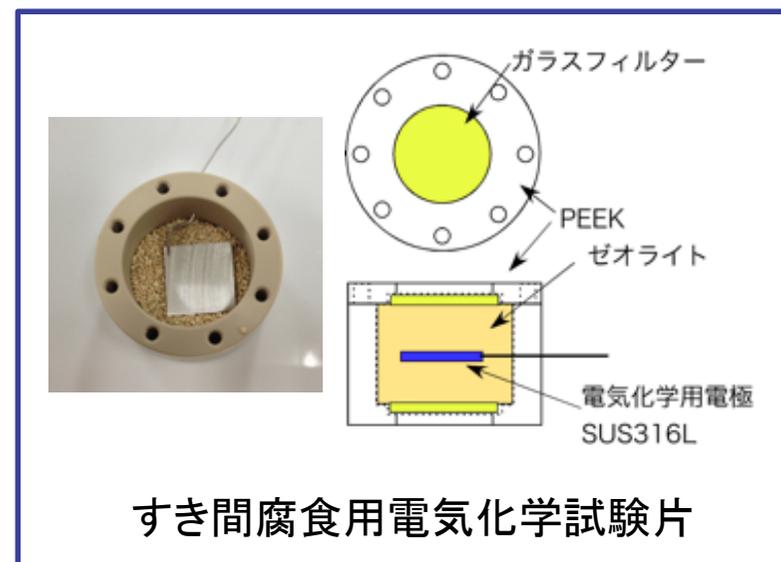
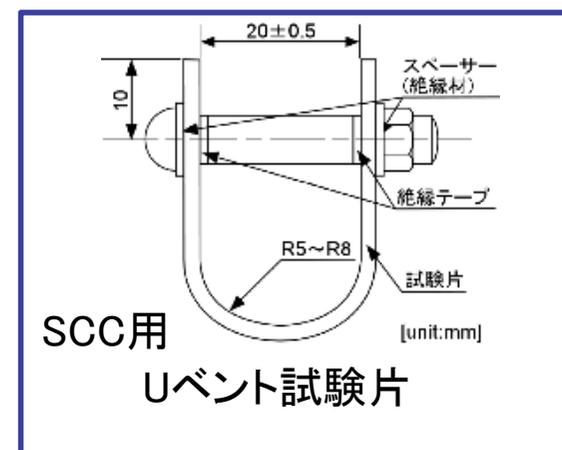
# 塩化物を含むゼオライト中における ステンレス鋼の腐食挙動(1/3)

課題: 汚染水処理二次廃棄物保管容器の  
健全性保持

Cs吸着塔の概略図

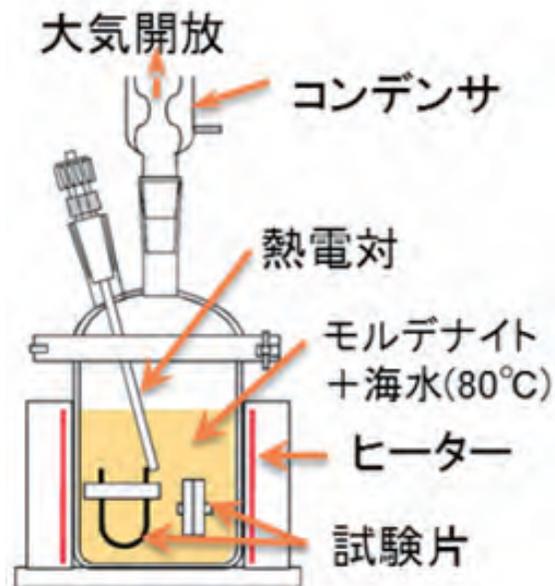


腐食挙動評価のための試験片



すき間腐食用電気化学試験片

# 塩化物を含むゼオライト中における ステンレス鋼の腐食挙動(2/3)



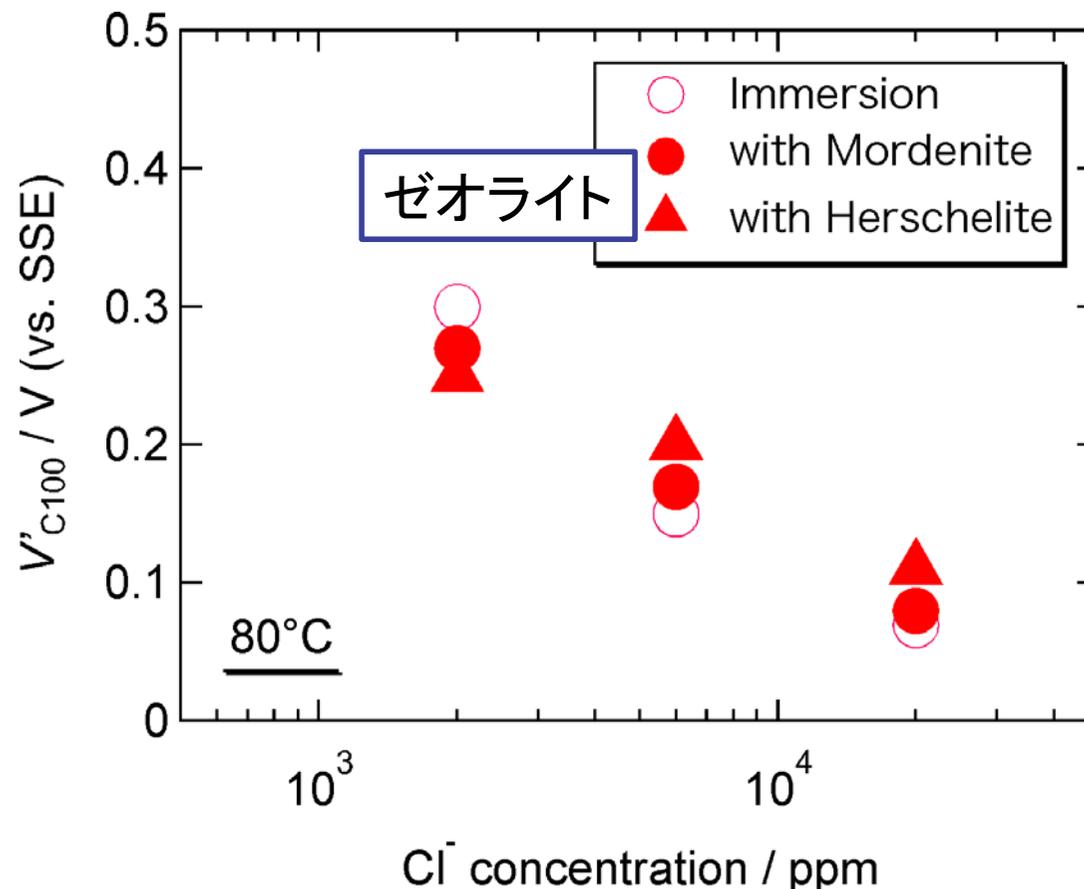
腐食試験装置  
の概略図

大気解放条件 80°C	2000hの浸漬腐食試験後のUベンド試験片のPT検査		
	約2000ppm	約6000ppm	約20000ppm
人工海水のみ			
人工海水 + モルデナイト			

腐食試験後のUベンド試験片のPT検査

人工海水のみの系、人工海水+モルデナイト共存系、  
いずれの環境でも、Uベンド試験片に割れ等は観察されなかった。

# 塩化物を含むゼオライト中における ステンレス鋼の腐食挙動(3/3)

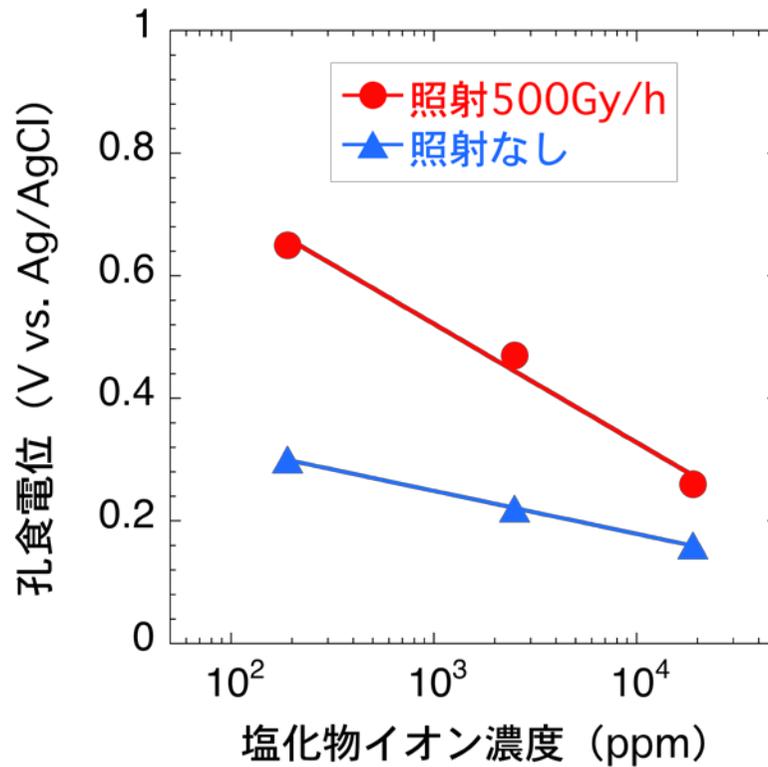


SUS316L鋼のゼオライト共存下における孔食発生電位( $V_{C100}$ )の塩化物イオン濃度の影響

ゼオライト (Mordenite又はHerschelite) 共存下におけるSUS316L鋼の孔食発生電位は、単純浸漬で得られる値とほぼ同じであった。

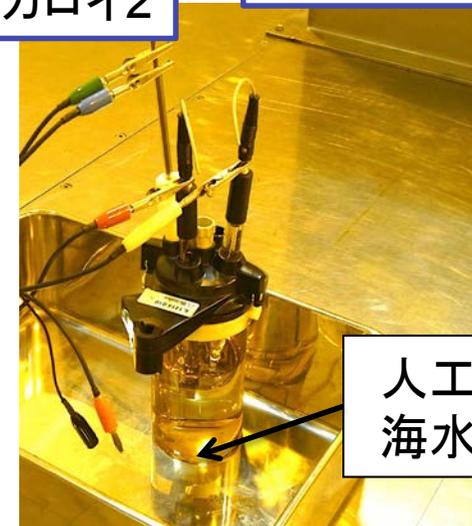
# ガンマ線照射下での人工海水における ジルカロイ2の孔食挙動

課題: 使用済燃料集合体の最終処分までの長期保管



ジルカロイ2

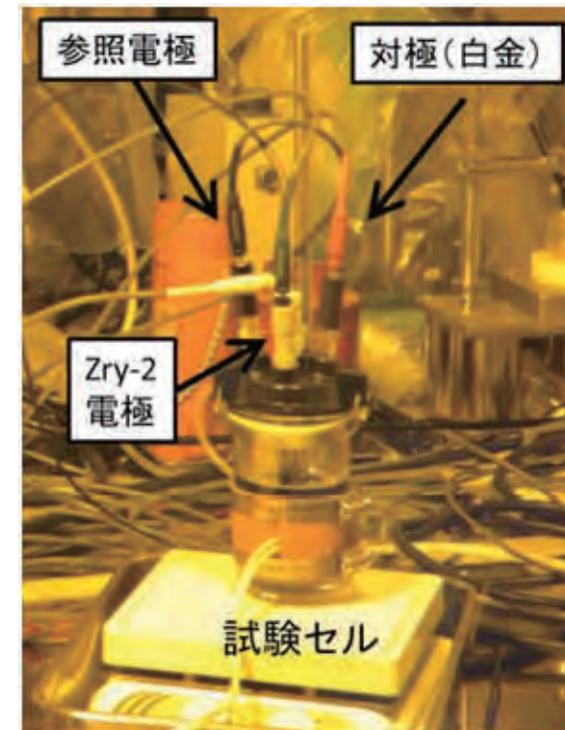
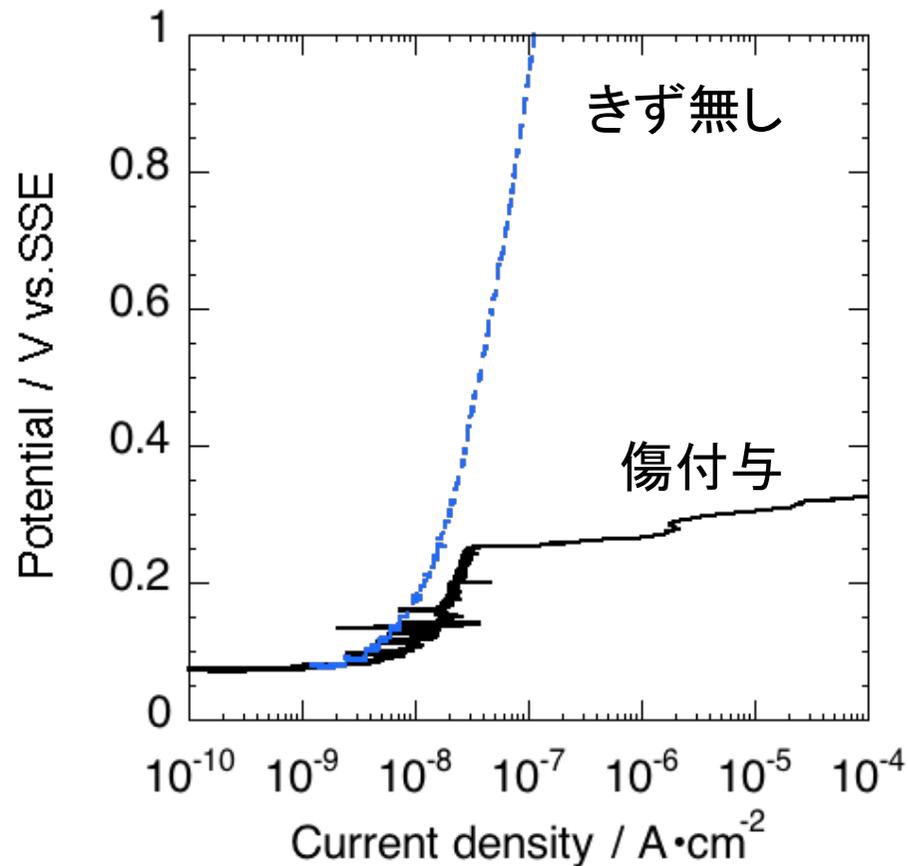
Co-60線源



人工  
海水

電気化学試験セル  
(ガンマ線照射用)

未照射Zry-2(酸化皮膜無し)では、  
Cl<sup>-</sup>濃度低下とともに孔食電位上昇し、孔食発生は困難である。  
放射線(ガンマ線)による水質変化は孔食電位を低下させない。



電気化学試験セル  
(ホットセル内照射材用)

無傷のものは孔食発生せず、照射済被覆管の酸化皮膜は孔食発生に対して障壁となっている。

- JAEAでは、従来知見の乏しかった燃料集合体、原子炉格納容器等の原子力材料の腐食に対する海水及び放射線の影響について、ガンマ線照射下の腐食試験等で調査・検討を実施している。
- 海水と放射線が、原子力材料の腐食に及ぼす影響に関する知見を数多く得ている。
- 福島第一原発において実測・分析された現場の状況を材料の腐食試験条件に適宜反映し、中長期の原子力材料の健全性評価技術開発を推進していく。