

高性能多核種除去設備 の検討状況について

～事業の成果～

2015年3月30日

東京電力株式会社

日立GEニュークリア・エナジー株式会社

株式会社東芝

高性能多核種除去設備の緒元

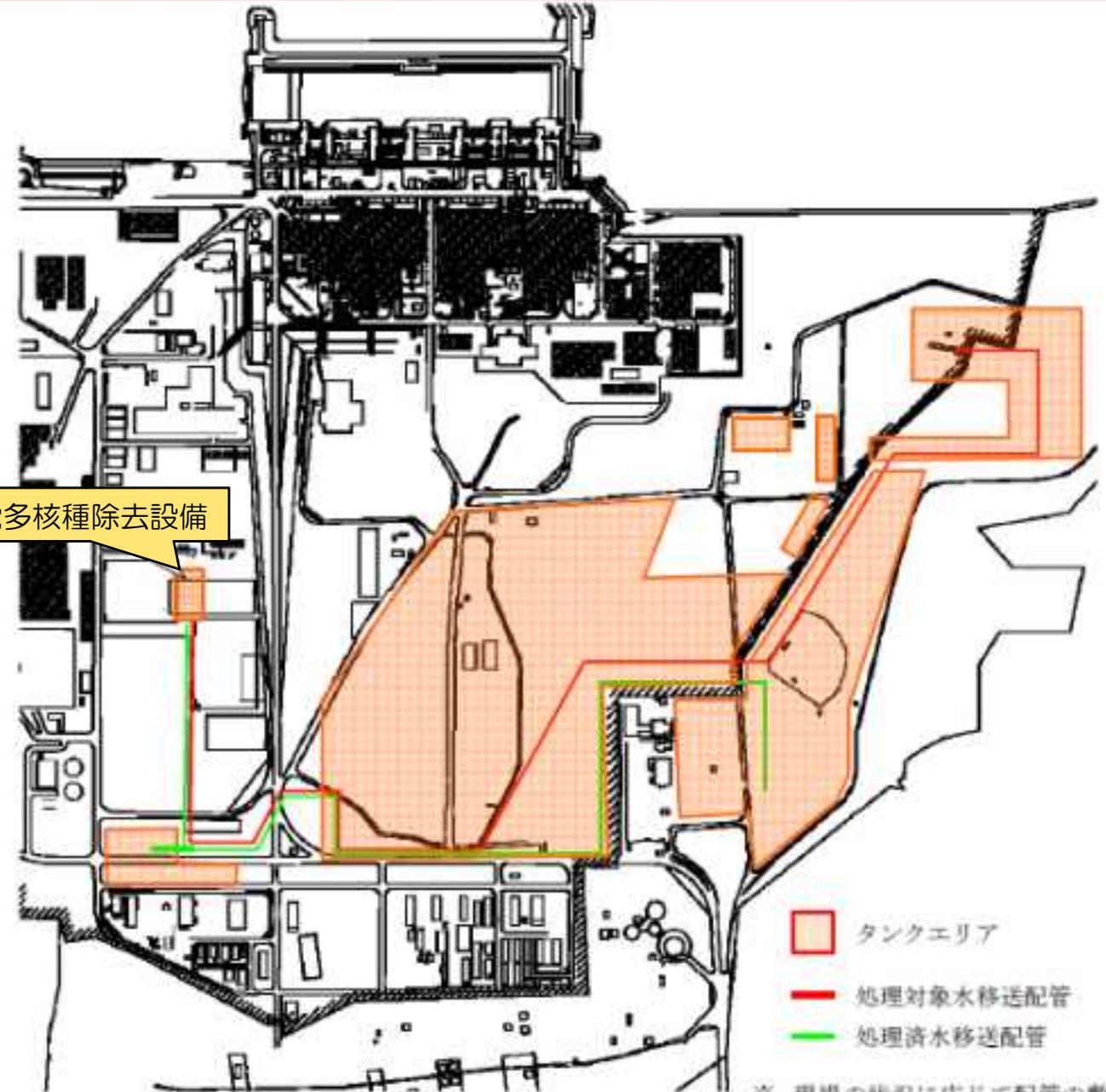
- 【成果概要】：機能要件及び技術要件ともに公募条件を達成。

No	評価項目	公募条件	成果	評価
1. 実証試験で整備する多核種除去設備の機能要件等				
1.1	処理容量	500m3/日×1系統	500m3/日×1系統の整備 (稼働率の向上が必要)	○
1.2	設置場所	福島第一原子力発電所敷地内	福島第一原子力発電所 敷地内設置済	○
1.3	その他考慮事項	設備の運転状態を制御室、免震重要棟にて運転操作・監視が行えること。 設備は、各種国内法規、基準へ適合すること他。	運転操作・監視可能	○
2. 多核種除去設備の技術要件等				
2.1	放射性廃棄物の減量	放射性廃棄物発生量を現行（年間2,300m3）の8割以上削減することを目指すこと。	年間430m3 81.3%削減 (500m3,稼働率100%を仮定)	○
2.2	処理能力の向上	公募条件：対象の放射性物質62核種について「ND」検出限界値未満	初期性能で62核種ND (適切な周期での吸着塔交換及び配管清掃等が必要)	○
2.3	耐食性について	実機を模擬した系での腐食データを取得し、長期に安定運用が可能な材料を選定すること。	試験結果で設備に適用した二相ステンレス鋼の腐食発生寿命は従来材より長いことを試算により確認	○
2.4	安全設計上の考慮等	<ul style="list-style-type: none"> 放射線遮へい評価 可燃性ガスの滞留防止 廃棄物の除熱評価 	実施計画書認可設備	○

高性能多核種除去設備の概要



高性能多核種除去設備



■ タンクエリア
■ 処理対象水移送配管
■ 処理済水移送配管

※ 現場の状況に応じて配管の敷設状況が異なる場合がある。

■ 設備の仕様

項目	仕様
処理方式	フィルタ+吸着処理
処理量	500m ³ /日
系列数	1系列
吸着塔数	20塔
吸着塔容量	1.4m ³ /塔

今後の課題

来年度以降下記の課題に取り組んでいく

- 稼働率の向上（吸着材の性能持続時間の延長）
- 各吸着塔の吸着性能の更なる向上
- 配管汚染の抑止（必要に応じて清掃を実施）

核種除去性能の評価

- H26.10.18より，汚染水（RO濃縮塩水）の処理を開始。
- 運転初期であるH26.10.20採取の処理済水（I-129等の難測定核種については、H26.10.20採取試料で分析を行っていないことからH26.10.28と10.29採取のコンポジット試料にて分析を実施）について、**除去対象とする62核種の検出限界以下を確認。**
- 主要な核種として、コバルト、ストロンチウム、ルテニウム、アンチモン、ヨウ素、セシウムの評価結果を下表に示す。

単位：Bq/cm³

核種 【告示濃度限度】	Co-60 【2E-01】	Sr-90 【3E-02】	Ru-106 【1E-01】	Sb-125 【8E-01】	Cs-137 【9E-02】	I-129 【9E-03】
処理対象水 放射能濃度	< 1.2E-00	9.2E+04	2.4E+01	3.0E+01	5.5E+00	7.1E-02
処理済水 放射能濃度 【告示濃度限度比】	< 6.1E-05*1 【< 0.0003】	< 1.0E-04*1 【< 0.005】	< 7.8E-04*1 【< 0.0008】	< 2.1E-04*1 【< 0.0003】	< 6.5E-05*1 【< 0.0007】	< 9.1E-04*2 【< 0.1】

*1：H26.10.20 サンプルング試料

*2：H28.10.28～10.29 コンポジット試料

■ 廃棄物発生量の評価

吸着塔交換周期から廃棄物発生量を算出し、公募要件を満足することを確認。

○公募要件との比較

	高性能多核種除去設備	補助事業に係る公募要件
廃棄物発生量[m ³ /年]	約430m ³ /年 ※1	≦460m ³ /年

※1 稼働率100%で評価

<高性能多核種除去設備廃棄物発生量の内訳>

No.	吸着塔種類	塔交換		放射性廃棄物	
		周期※2 (日)	平均通水量 (m ³ /塔)	10,000m ³ 当たりの 発生量 (m ³)	稼働率100%での 年間発生量 (m ³)
1	Cs・Sr吸着材塔	4.5	2,250	6.2	113.6
2	Sb吸着塔	28	14,000	1.0	18.3
3	重金属吸着塔	28	14,000	1.0	18.3
4	キレート樹脂塔	8	4,000	3.5	63.9
5	陰イオン交換樹脂塔	28	14,000	1.0	18.3
6	銀ゼオライト塔	14	7,000	2.0	36.5
7	水酸化鉄塔	28	14,000	1.0	18.3
8	SSフィルタ	14	7,000	2.7	49.5
9	CsJ01ドフィルタ	14	7,000	2.6	46.9
10	SrJ01ドフィルタ	14	7,000	2.6	46.9
合計				23.6	430.3

※2 吸着塔については、概ね告示濃度限度以下を維持する交換周期を想定

腐食性能の評価

- 日立GE：溶接部を主対象とした実機適用材による耐すきま腐食特性評価，
使用可能期間を仮定に基づき試算（中性：76年、酸性：20年前後）
- 東芝：複数の候補材（母材,溶金）の耐すきま腐食特性を比較して実機適用に
最適な鋼種を選定

	日立GE	東芝
対象鋼種	S 32750*1 (ス-パ°-二相ステンル鋼)	SUS 329J4L (二相ステンル鋼, JIS材) S 39274 (W富化材) (ス-パ°-二相ステンル鋼) S 32750*1 (ス-パ°-二相ステンル鋼)
実液試験	実機適用材の耐すきま腐食特性の評価 <small>*1:両社で溶接材が異なる</small>	選定材の耐すきま腐食特性の評価
社内ラボ試験	実機適用材の耐すきま腐食特性評価 するための体系的データ取得	候補材をスクリーニングするための体系的 データの取得

<日立GE腐食寿命試算結果>

No	温度 (°C)	pH	保持電位 (V vs SHE)	定電位試験結果 腐食発生時間 (秒)	腐食発生寿命試算値 (年) 【試験時間×換算係数】
1~5	80	7	0.35	≥ 10,000	≥ 76 【2,000時間×333】
6~10	40	7	0.35	≥ 10,000	≥ 76 【20,000時間×33】
11~ 15	40	3.5	0.55	2,070~3,470	16~26 【20,000時間×6.9】

別紙1

初期性能の確認：62核種の評価結果

初期性能の確認：62核種の評価結果（1/5）

	核種 (半減期)	炉規則告示濃度限度 (別表第2第六欄 周辺監視区域外の 水中の濃度限度) [Bq/cm ³]	処理対象水（H8Aエリア タンク）の放射能濃度 [Bq/cm ³]	処理済水		備考
				放射能濃度 [Bq/cm ³]*	告示濃度限度比	
1	Rb-86 (約19日)	3E-01	<1.6E+01	<5.9E-04	<2E-03	※10月20日試料
2	Sr-89 (約51日)	3E-01	<4.1E+03	<5.4E-05	<2E-04	※10月20日試料
3	Sr-90 (約29年)	3E-02	9.2E+04	<1.0E-04	<3E-03	※10月20日試料
4	Y-90 (約64時間)	3E-01	9.2E+04	<1.0E-04	<3E-04	Sr-90と放射平衡
5	Y-91 (約59日)	3E-01	<3.8E+02	<2.1E-02	<7E-02	※10月20日試料
6	Nb-95 (約35日)	1E+00	<1.9E+00	<6.7E-05	<7E-05	※10月20日試料
7	Tc-99 (約210000年)	1E+00	4.8E-02	<1.7E-03	<2E-03	※10月28日, 29日コンポジット試料
8	Ru-103 (約40日)	1E+00	<2.7E+00	<6.8E-05	<7E-05	※10月20日試料
9	Ru-106 (約370日)	1E-01	2.4E+01	<7.8E-04	<8E-03	※10月20日試料
10	Rh-103m (約56分)	2E+02	<2.7E+00	<6.8E-05	<3E-07	Ru-103と放射平衡
11	Rh-106 (約30秒)	3E+02	2.4E+01	<7.8E-04	<3E-06	Ru-106と放射平衡
12	Ag-110m (約250日)	3E-01	<2.1E+00	<5.3E-05	<2E-04	※10月20日試料
13	Cd-113m (約15年)	4E-02	<1.3E+04	<1.5E-04	<4E-03	※10月28日, 29日コンポジット試料

初期性能の確認：62核種の評価結果（2/5）

	核種 (半減期)	炉規則告示濃度限度 (別表第2第六欄 周辺監視区域外の 水中の濃度限度) [Bq/cm ³]	処理対象水（H8Aエリア タンク）の放射能濃度 [Bq/cm ³]	処理済水		備考
				放射能濃度 [Bq/cm ³]*	告示濃度限度比	
14	Cd-115m (約45日)	3E-01	<9.6E+01	<3.2E-03	<1E-02	※10月20日試料
15	Sn-119m (約290日)	2E+00	<2.3E+02	<9.9E-03	<5E-03	Sn-123の放射能濃度より評価
16	Sn-123 (約130日)	4E-01	<2.3E+02	<9.9E-03	<2E-02	※10月20日試料
17	Sn-126 (約1000000年)	2E-01	<2.0E+01	<3.4E-04	<2E-03	※10月20日試料
18	Sb-124 (約60日)	3E-01	<1.9E+00	<1.4E-04	<5E-04	※10月20日試料
19	Sb-125 (約3年)	8E-01	3.0E+01	<2.1E-04	<3E-04	※10月20日試料
20	Te-123m (約120日)	6E-01	<4.0E+00	<1.1E-04	<2E-04	※10月20日試料
21	Te-125m (約58日)	9E-01	3.0E+01	<2.1E-04	<2E-04	Sb-125と放射平衡
22	Te-127 (約9時間)	5E+00	<2.3E+02	<9.0E-03	<2E-03	※10月20日試料
23	Te-127m (約110日)	3E-01	<2.4E+02	<9.3E-03	<3E-02	Te-127の放射能濃度より評価
24	Te-129 (約70分)	1E+01	<3.4E+01	<5.6E-03	<6E-04	※10月20日試料
25	Te-129m (約34日)	3E-01	<6.4E+01	<2.4E-03	<8E-03	※10月20日試料
26	I-129 (約16000000年)	9E-03	7.1E-02	<9.1E-04	<1E-01	※10月28日, 29日コンポジット試料

初期性能の確認：62核種の評価結果（3/5）

	核種 (半減期)	炉規則告示濃度限度 (別表第2第六欄 周辺監視区域外の 水中の濃度限度) [Bq/cm ³]	処理対象水（H8Aエリア タンク）の放射能濃度 [Bq/cm ³]	処理済水		備考
				放射能濃度 [Bq/cm ³]*	告示濃度限度比	
27	Cs-134 (約2年)	6E-02	<3.0E+00	<9.0E-05	<2E-03	※10月20日試料
28	Cs-135 (約3000000年)	6E-01	3.4E-05	<3.9E-10	<7E-10	Cs-137の放射能濃度より評価
29	Cs-136 (約13日)	3E-01	<1.9E+00	<5.4E-05	<2E-04	※10月20日試料
30	Cs-137 (約30年)	9E-02	5.5E+00	<6.5E-05	<7E-04	※10月20日試料
31	Ba-137m (約3分)	8E+02	5.5E+00	<6.5E-05	<8E-08	Cs-137と放射平衡
32	Ba-140 (約13日)	3E-01	<9.0E+00	<2.3E-04	<8E-04	※10月20日試料
33	Ce-141 (約32日)	1E+00	<7.2E+00	<2.2E-04	<2E-04	※10月20日試料
34	Ce-144 (約280日)	2E-01	<3.4E+01	<6.4E-04	<3E-03	※10月20日試料
35	Pr-144 (約17分)	2E+01	<3.4E+01	<6.4E-04	<3E-05	Ce-144と放射平衡
36	Pr-144m (約7分)	4E+01	<3.4E+01	<6.4E-04	<2E-05	Ce-144と放射平衡
37	Pm-146 (約6年)	9E-01	3.6E+00	<9.5E-05	<1E-04	※10月20日試料
38	Pm-147 (約3年)	3E+00	<3.7E+01	<1.9E-03	<6E-04	Eu-154の放射能濃度より評価
39	Pm-148 (約5日)	3E-01	<5.6E+00	<2.8E-04	<9E-04	※10月20日試料

初期性能の確認：62核種の評価結果（4/5）

	核種 (半減期)	炉規則告示濃度限度 (別表第2第六欄 周辺監視区域外の 水中の濃度限度) [Bq/cm ³]	処理対象水（H8Aエリア タンク）の放射能濃度 [Bq/cm ³]	処理済水		備考
				放射能濃度 [Bq/cm ³]*	告示濃度限度比	
40	Pm-148m (約41日)	5E-01	<2.2E+00	<5.6E-05	<1E-04	※10月20日試料
41	Sm-151 (約87年)	8E+00	<3.0E-01	<1.5E-05	<2E-06	Eu-154の放射能濃度より評価
42	Eu-152 (約13年)	6E-01	<1.1E+01	<2.8E-04	<5E-04	※10月20日試料
43	Eu-154 (約9年)	4E-01	<3.5E+00	<1.8E-04	<5E-04	※10月20日試料
44	Eu-155 (約5年)	3E+00	<2.5E+01	<4.6E-04	<2E-04	※10月20日試料
45	Gd-153 (約240日)	3E+00	<2.0E+01	<3.1E-04	<1E-04	※10月20日試料
46	Tb-160 (約72日)	5E-01	<5.9E+00	<2.0E-04	<4E-04	※10月20日試料
47	Pu-238 (約88年)	4E-03	<9.2E-03	<8.4E-05	<2E-02	全α放射能の測定値に 包絡されるものとし評価
48	Pu-239 (約24000年)	4E-03	<9.2E-03	<8.4E-05	<2E-02	全α放射能の測定値に 包絡されるものとし評価
49	Pu-240 (約6600年)	4E-03	<9.2E-03	<8.4E-05	<2E-02	全α放射能の測定値に 包絡されるものとし評価
50	Pu-241 (約14年)	2E-01	<3.7E-01	<3.4E-03	<2E-02	Pu-238の放射能濃度から評価
51	Am-241 (約430年)	5E-03	<9.2E-03	<8.4E-05	<2E-02	全α放射能の測定値に 包絡されるものとし評価
52	Am-242m (約150年)	5E-03	<2.5E-04	<2.3E-06	<5E-04	Am-241の放射能濃度より評価

初期性能の確認：62核種の評価結果（5/5）

	核種 (半減期)	炉規則告示濃度限度 (別表第2第六欄 周辺監視区域外の 水中の濃度限度) [Bq/cm ³]	処理対象水（H8Aエリア タンク）の放射能濃度 [Bq/cm ³]	処理済水		備考
				放射能濃度 [Bq/cm ³]*	告示濃度限度比	
53	Am-243 (約7400年)	5E-03	<9.2E-03	<8.4E-05	<2E-02	全α放射能の測定値に 包絡されるものとし評価
54	Cm-242 (約160日)	6E-02	<9.2E-03	<8.4E-05	<1E-03	全α放射能の測定値に 包絡されるものとし評価
55	Cm-243 (約29年)	6E-03	<9.2E-03	<8.4E-05	<1E-02	全α放射能の測定値に 包絡されるものとし評価
56	Cm-244 (約18年)	7E-03	<9.2E-03	<8.4E-05	<1E-02	全α放射能の測定値に 包絡されるものとし評価
57	Mn-54 (約310日)	1E+00	<1.4E+00	<5.5E-05	<6E-05	※10月20日試料
58	Fe-59 (約45日)	4E-01	<2.3E+00	<1.0E-04	<3E-04	※10月20日試料
59	Co-58 (約71日)	1E+00	<1.7E+00	<5.8E-05	<6E-05	※10月20日試料
60	Co-60 (約5年)	2E-01	<1.2E+00	<6.1E-05	<3E-04	※10月20日試料
61	Ni-63 (約100年)	6E+00	6.7E+00	<1.5E-02	<3E-03	※10月20日試料
62	Zn-65 (約240日)	2E-01	<2.5E+00	<9.8E-05	<5E-04	※10月20日試料
全α			<9.2E-03	<8.4E-05	—	※10月28日、29日コンポジット試料

別紙2

高性能多核種除去設備で使用する材料の耐食性評価

腐食試験全体計画(案)

日立GE:
溶接部を主対象とした実機適用材による耐すきま腐食特性評価, 使用可能期間を評価

東芝:
複数の候補材(母材,溶金)の耐すきま腐食特性を比較して実機適用に最適な鋼種を選定

コスト・調達性等が優れた鋼材
への移行計画策定に活用

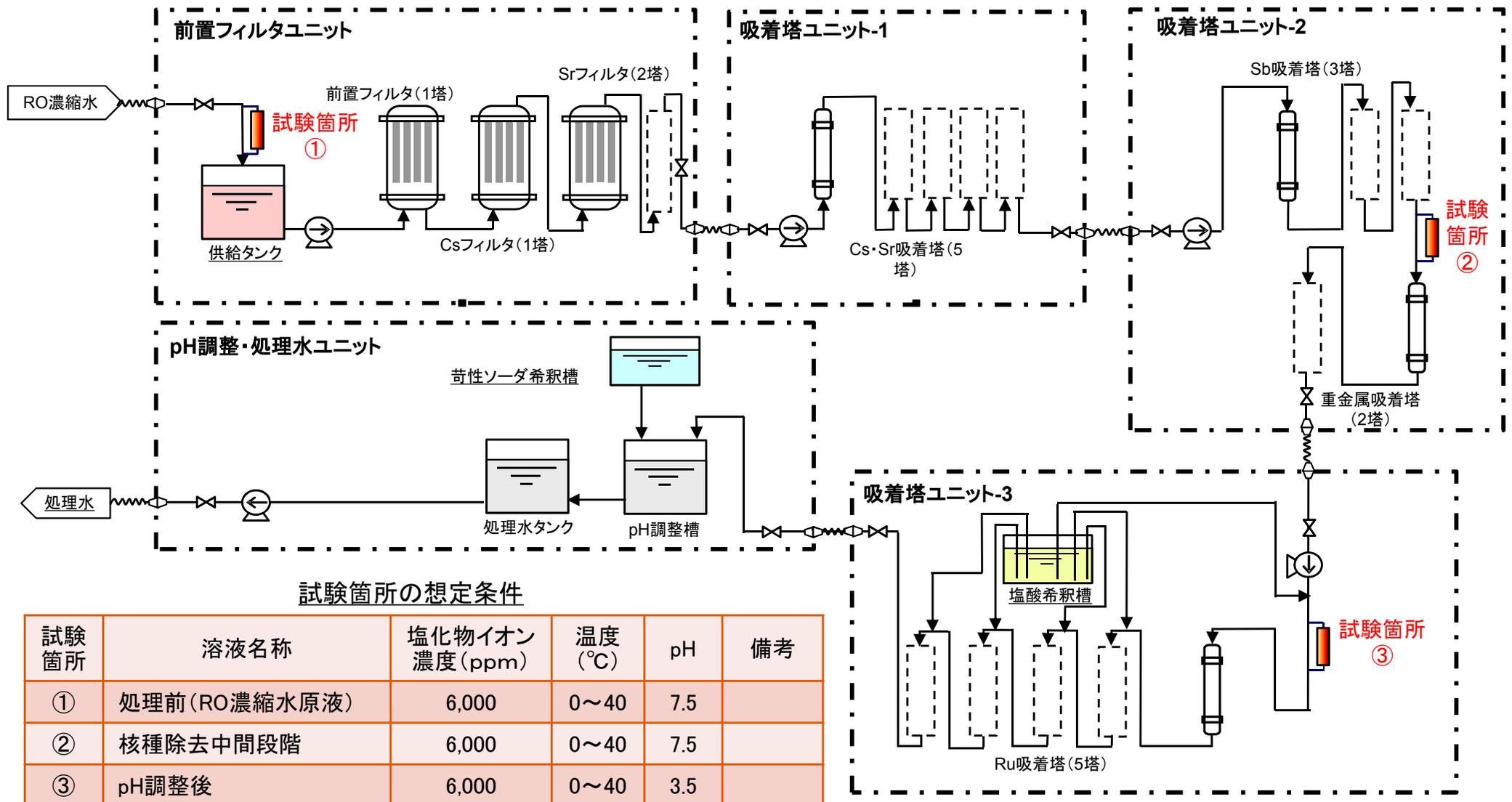
← 東芝評価の活用

→ 日立GE評価の活用

機器の保全計画策定に活用

		日立GE	東芝	備考
対象鋼種		S 32750*1 (スーパー二相ステンレス鋼)	SUS 329J4L (二相ステンレス鋼, JIS材) S 39274(W富化材)(スーパー二相ステンレス鋼) S 32750*1 (スーパー二相ステンレス鋼)	*1:両社で溶接材が異なる
実液試験		実機適用材の耐すきま腐食特性の評価	選定材の耐すきま腐食特性の評価	
1	電気化学試験	・実液環境の主要腐食因子の検討 ・実液環境と基礎試験環境との相関評価	同左	
2	浸漬試験	実液環境にて腐食発生を抑制できる耐食性材料であることを確認	同左	
基礎試験		実機適用材の耐すきま腐食特性評価するための体系的データ取得	候補材をスクリーニングするための体系的データの取得	
1	組織観察	σ相の析出等、組織に異常がないことを確認	同左*2	*2:硬さ測定含む
2	電気化学試験	腐食電位, 腐食すきま再不動態化電位	同左 (S32750の試験は両社で分担)	
3	浸漬試験	実機適用材の使用可能期間を試算するための腐食試験(加温による加速試験)	実機運転温度における長時間(最大5,000h程度)の腐食試験	

○ 検証試験装置を利用して、実液による実機適用材料の腐食電位測定および浸漬試験を以下の3箇所を実施。



【検証試験の目的】 1/10規模の試験装置で、設備構成の妥当性、実証試験設備の消耗品の交換周期予測・運転監視パラメータ設定等を行うためのデータを取得する。

二相ステンレス鋼溶接部の耐食性評価：実液試験 検証試験装置への試験片取付け状況



検証装置に組込んだ腐食試験装置(試験箇所①)

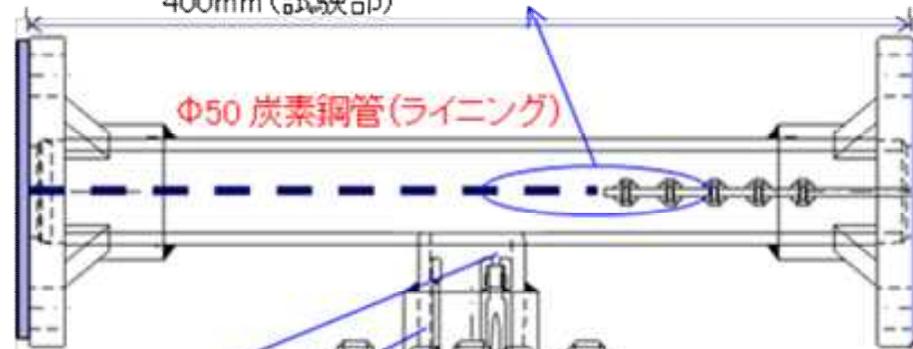
拡大写真

浸漬試験片(溶接部) : S32750 (SAF2507), S32205 (SAF2205),

- ・Ti棒にネジで固定
- ・試験片に数字をマーキング



400mm (試験部)

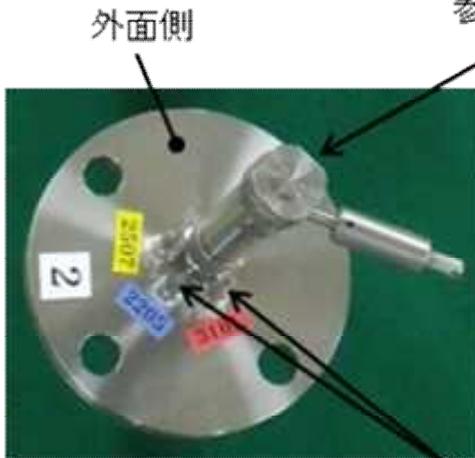


Φ50 炭素鋼管(ライニング)

ネジ穴

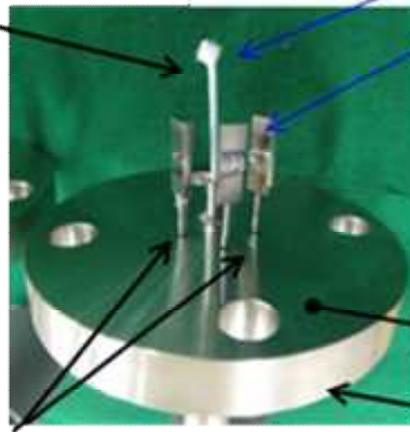
Ti棒通し穴

Ti棒固定板(T製)



外面側

参照電極



内面側

フランジ

試料極(溶接部) : S32750 (SAF2507), S32205 (SAF2205)
腐食電位測定部 SUS316L

- ・固定板はフランジに挟んで固定
- ・Ti棒を両端で支持するため、固定板は炭素鋼管の両側のフランジに固定

1. 母材

表1-1 S32750(SAF2507)の化学組成 (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N
規格値	≦0.030	≦0.80	≦1.20	≦0.035	≦0.020	6.0~8.0	24.00~26.00	3.0~5.0	≦0.50	0.24~0.32
化学組成	0.013	0.35	0.50	0.021	0.0005	6.41	25.49	3.83	0.14	0.29

表1-2 S32205(SAF2205)の化学組成 (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N
規格値	≦0.030	≦1.00	≦2.00	≦0.030	≦0.020	4.5~6.5	21.0~23.0	2.50~3.50	0.08~0.20
化学組成	0.014	0.43	0.77	0.026	0.0005	5.18	22.29	3.16	0.19

表1-3 SUS316Lの化学組成 (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
規格値	≦0.030	≦1.00	≦2.00	≦0.045	≦0.030	12.00~15.00	16.00~18.00	2.00~3.00
化学組成	0.005	0.55	1.00	0.017	0.002	12.46	17.03	2.13

2. 溶材

表2-1 ER2594の化学組成 (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N	W
規格値	≦0.03	≦1.0	≦2.5	≦0.03	≦0.02	8.0~10.5	24.0~27.0	2.5~4.5	≦1.5	0.20~0.30	≦1.00
化学組成	0.01	0.5	0.6	0.02	0.001	9.2	24.9	3.9	0.04	0.26	0.01

表2-2 ER2209の化学組成 (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N
規格値	≦0.03	≦0.90	0.50~2.0	≦0.03	≦0.03	7.5~9.5	21.5~23.5	2.5~3.5	≦0.75	0.08~0.20
化学組成	0.013	0.45	1.62	0.018	0.001	8.93	22.81	3.14	0.07	0.131

表2-3 Y316Lの化学組成 (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
規格値	≦0.03	≦0.65	1.0~2.5	≦0.03	≦0.03	11.0~14.0	18.0~20.0	2.0~3.0	≦0.75
化学組成	0.007	0.41	1.78	0.001	0.004	12.36	18.95	2.16	0.03

二相ステンレス鋼溶接部の耐食性評価：実液試験 試料電極の仕様と腐食電位測定結果

- 二相ステンレス鋼およびSUS316Lの溶接部から切り出した試験片を試料極として、検証試験第2Run時に、検証装置の3ヶ所で腐食電位を測定
- 各測定位置とも、3鋼種の腐食電位は、約300mV(SHE)で収束傾向
- pH3.5では、中性よりも腐食電位が高まる傾向を示した

表1 検証試験装置に装荷した試料電極と装荷位置

試験箇所	試料電極
① 前置フィルタユニット 供給タンク上流側	1) S32750 (SAF2507) 溶接試験片
② 吸着塔ユニット-2 重金属吸着塔上流側	2) S32205 (SAF2205) 溶接試験片
③ 吸着塔ユニット-3 塩酸注入点下流側	3) SUS316L溶接試験片

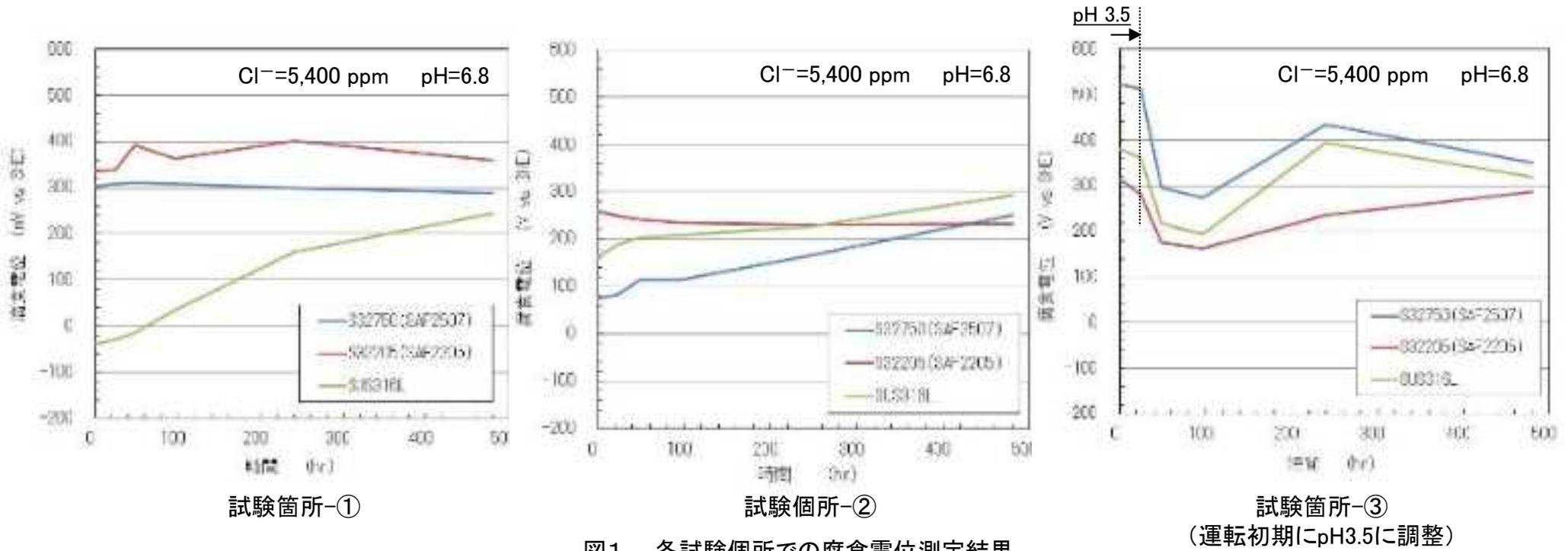
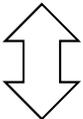


図1 各試験個所での腐食電位測定結果

二相ステンレス鋼溶接部の耐食性評価: 基礎試験

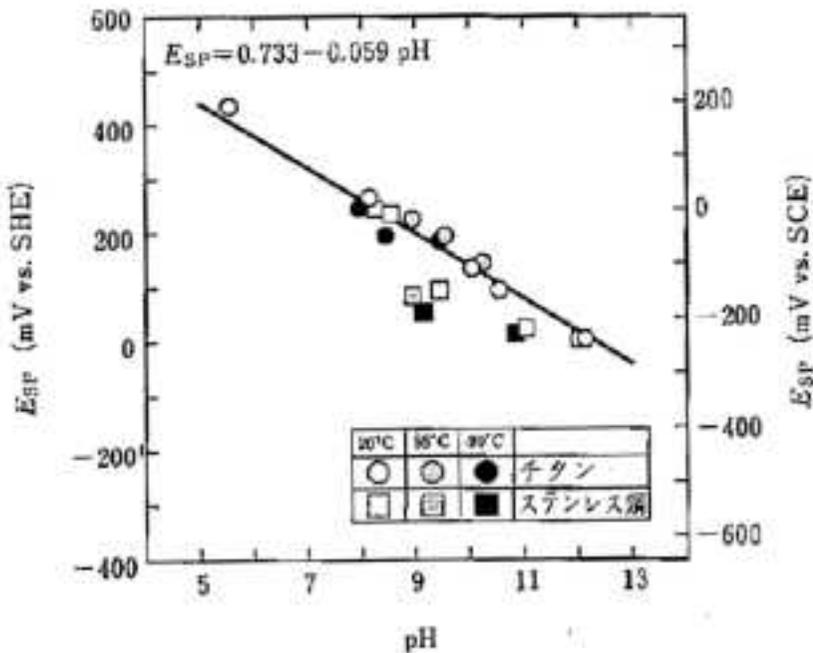
定常腐食電位測定結果

- pH7
- 1) 母材および溶接金属とも、約300mV (SHE) を挟んで±50mV 以内で安定
 - 2) 実液で測定した腐食電位とほぼ同等の値
- pH3.5
- 1) 母材および溶接金属とも、約500±50 mV (SHE) でほぼ安定
 - 2) pH 7の値よりも約200mV高い



文献値とほぼ一致

- ・pH 7=320 mV (SHE)
- ・pH 3.5=525 mV (SHE)



参考図 ステンレス鋼などのE_{sp}(定常腐食電位)の温度およびpH依存性 (中山 元、福田 敬則、明石 正恒: 腐食防食'93講演集(1993)p.415.)

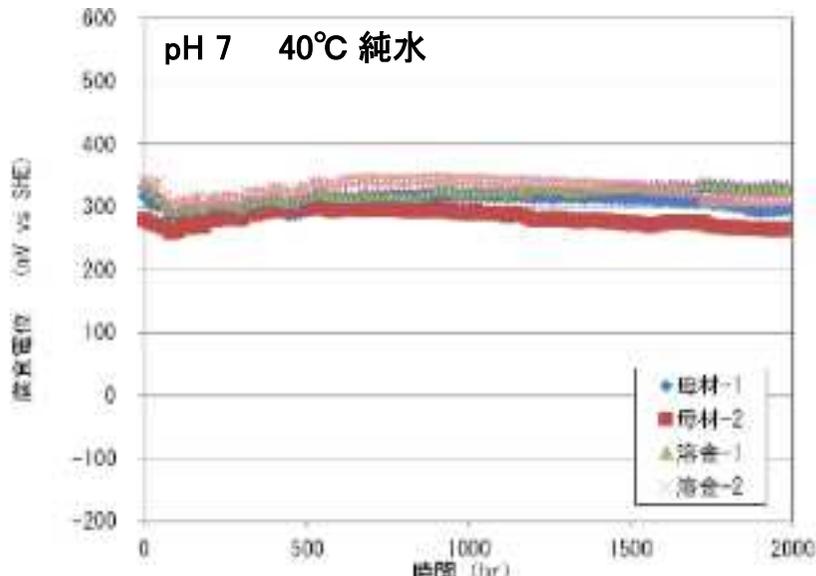


図1 S32750 (SAF2507)の定常腐食電位測定結果(pH7)

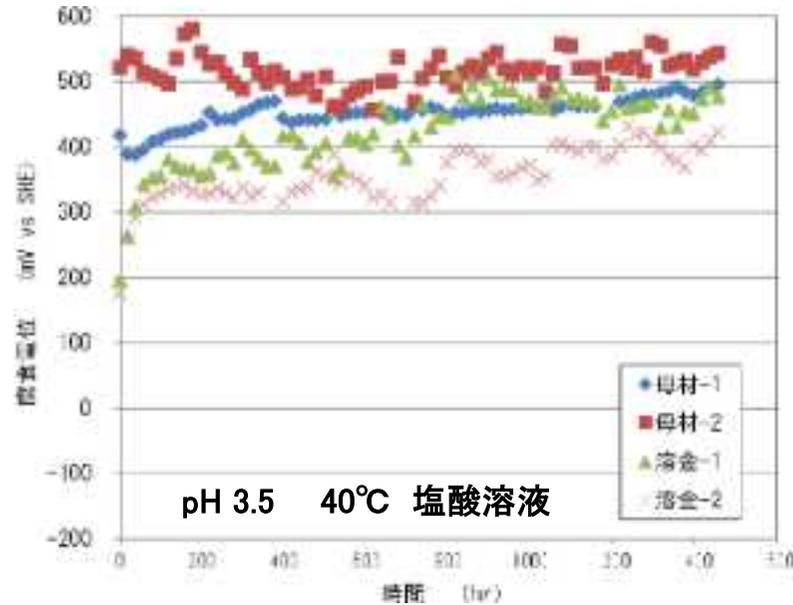


図2 S32750 (SAF2507)の定常腐食電位測定結果(pH3.5)

二相ステンレス鋼溶接部の耐食性評価：実液試験

試験片仕様と試験条件、浸漬試験結果（試験箇所①）

- 検証試験装置内の3ヶ所に、溶接試験片を装荷して浸漬試験を実施。第1 Run, 第2 Run 合わせて57日間運転
- 二相ステンレス鋼は腐食なし

表1 検証試験装置に装荷した試験片と装荷位置

試験箇所		浸漬試験片	枚数
①	前置フィルタユニット 供給タンク上流側	1) S32750 (SAF2507) 溶接試験片 2) S32205 (SAF2205) 溶接試験片	各6
②	吸着塔ユニット-2 重金属吸着塔上流側		
③	吸着塔ユニット-3 塩酸注入点下流側		

表2 検証試験装置の運転条件

—	期 間	日数	[Cl ⁻]	pH[注]
第1 Run	2014年8月26日～10月10日	46日	3,600 ppm	7.7
第2 Run	2015年2月9日～2月19日	11日	5,400 ppm	6.8

[注] 第2Run の試験箇所-③は試験開始後3日間のみpH3.5に調整
第1Run 終了後の吸着塔交換時に脱塩水によるフラッシングを実施

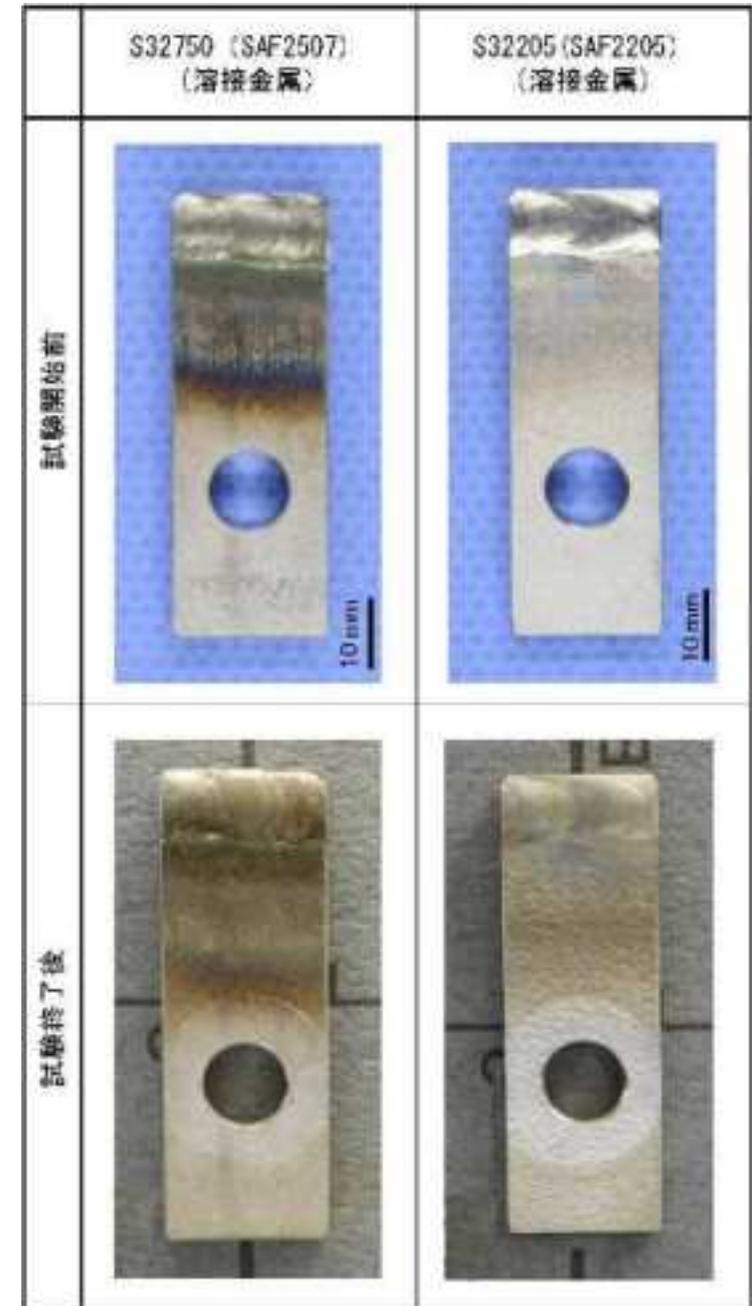


図1 試験開始前後の試験片の外観（試験箇所①）

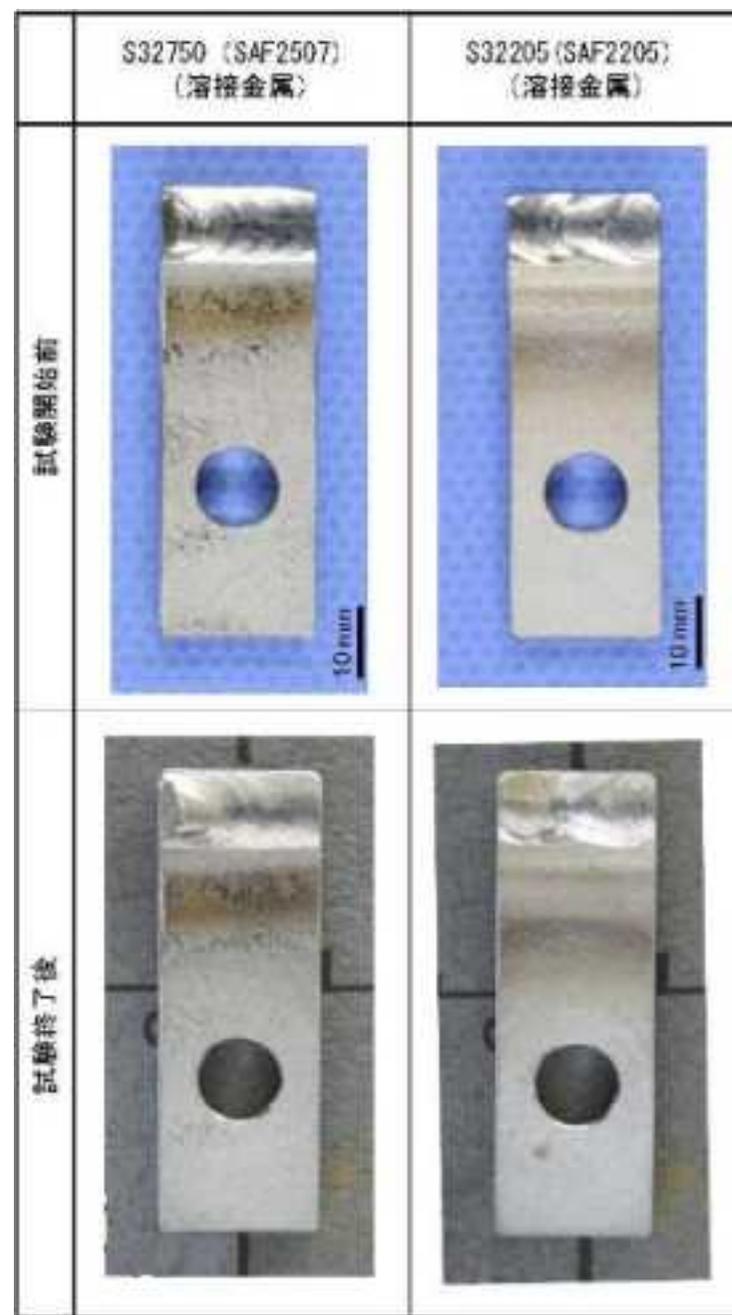
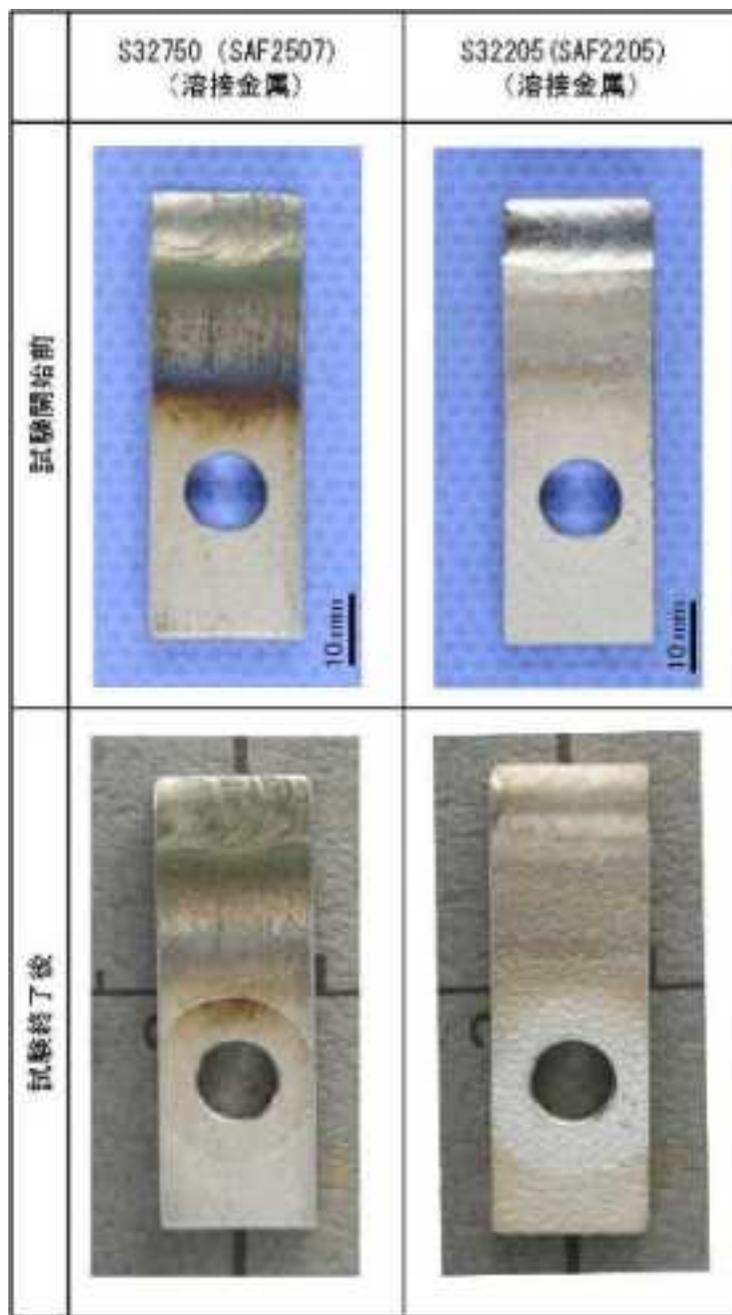


図1 試験開始前後の試験片の外観(試験箇所-②)

株/日立GE

図2 試験開始前後の試験片の外観(試験箇所-③, pH 3.5)

二相ステンレス鋼溶接部の耐食性評価：基礎試験

腐食すきま不働体化電位の測定結果

- JIS G 0592に準拠して、S32750 (SAF2507)の母材および溶接金属の腐食すきま再不働体化電位(以降、再不働体化電位と記載)を測定。比較のためSUS316L 溶接金属も測定
- 再不働体化電位は、S32750(母材) > S32750(溶金) > SUS316L(溶金)の順に大きい。
- S32750の定常腐食電位と比較した結果、実液(≦6,000ppmCl⁻、≦40℃、pH 7)は、S32750(溶金)とSUS316L(溶金)に、すきま腐食を起こし得る条件と評価された。一方、S32750(母材)が腐食する可能性は、きわめて低いと評価された。

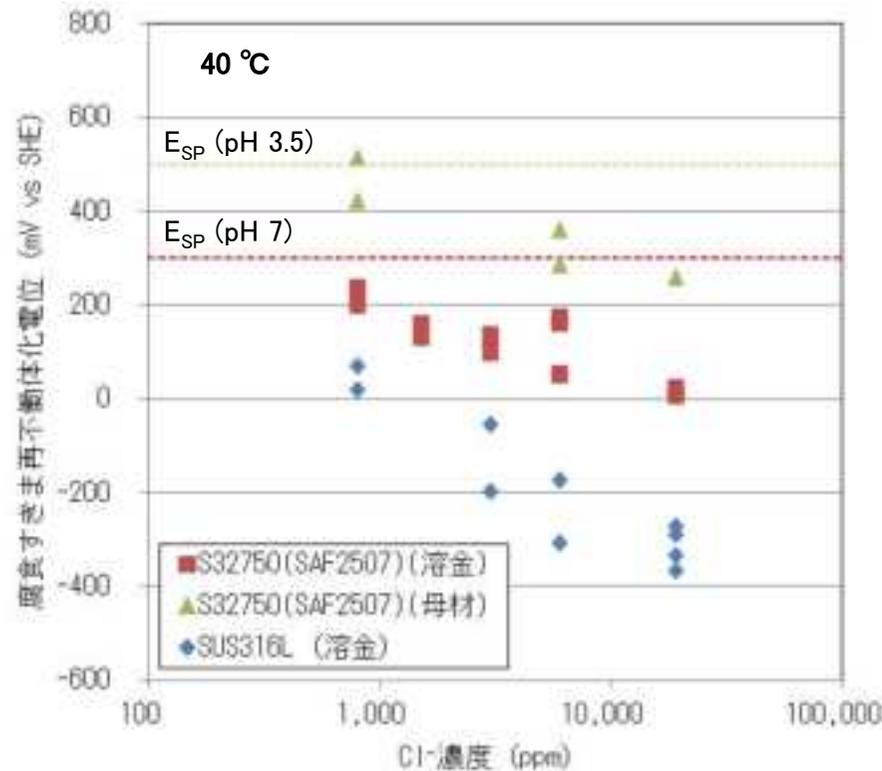


図1 S32750 (SAF2507) の溶接金属と母材およびSUS316L溶接金属の腐食すきま再不働体化電位のCl⁻濃度依存性

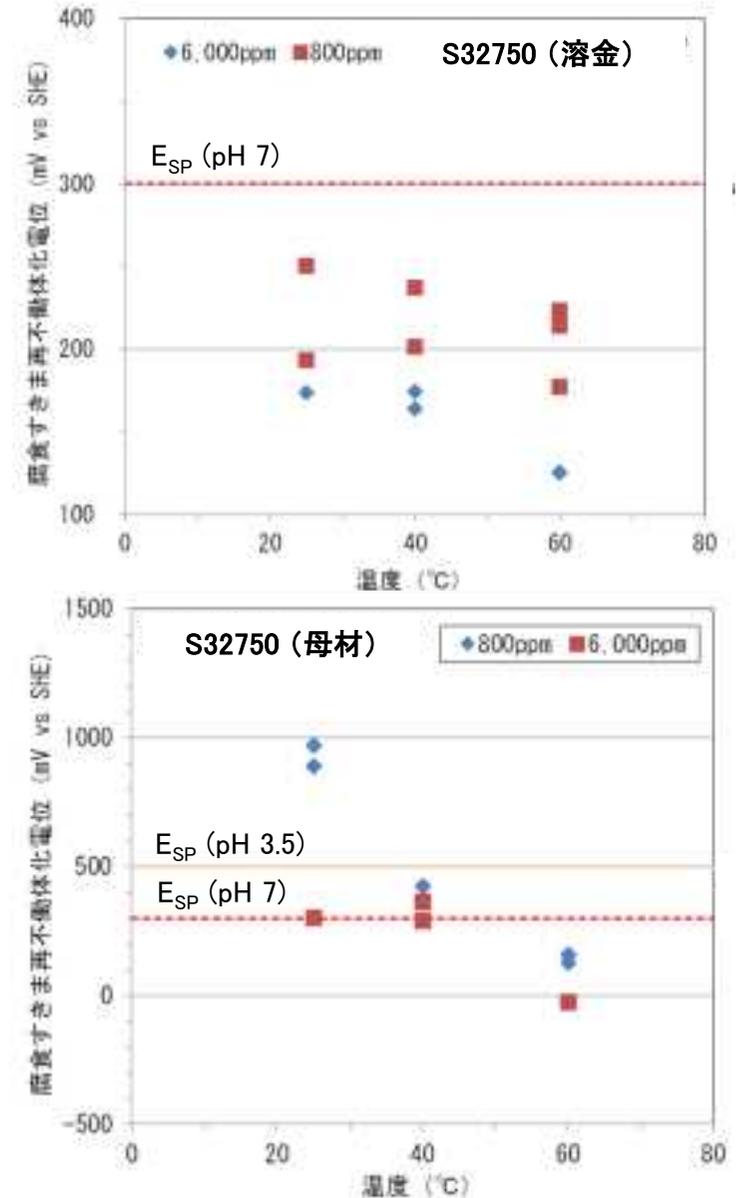


図2 S32750 (SAF2507) の腐食すきま再不働体化電位の温度依存性(溶接金属、母材)

二相ステンレス鋼溶接部の耐食性評価：基礎試験 温度加速した浸漬試験の結果

- 温度加速試験で、3,000時間浸漬しても、二相ステンレス鋼(S32750)溶接試験片で腐食なし。
- SUS304(母材)の3,000時間浸漬試験ですきま腐食発生。このため、SUS304データを基準として(2,000時間以上で腐食発生)、二相ステンレ鋼の腐食発生寿命を検討

表1 浸漬試験条件

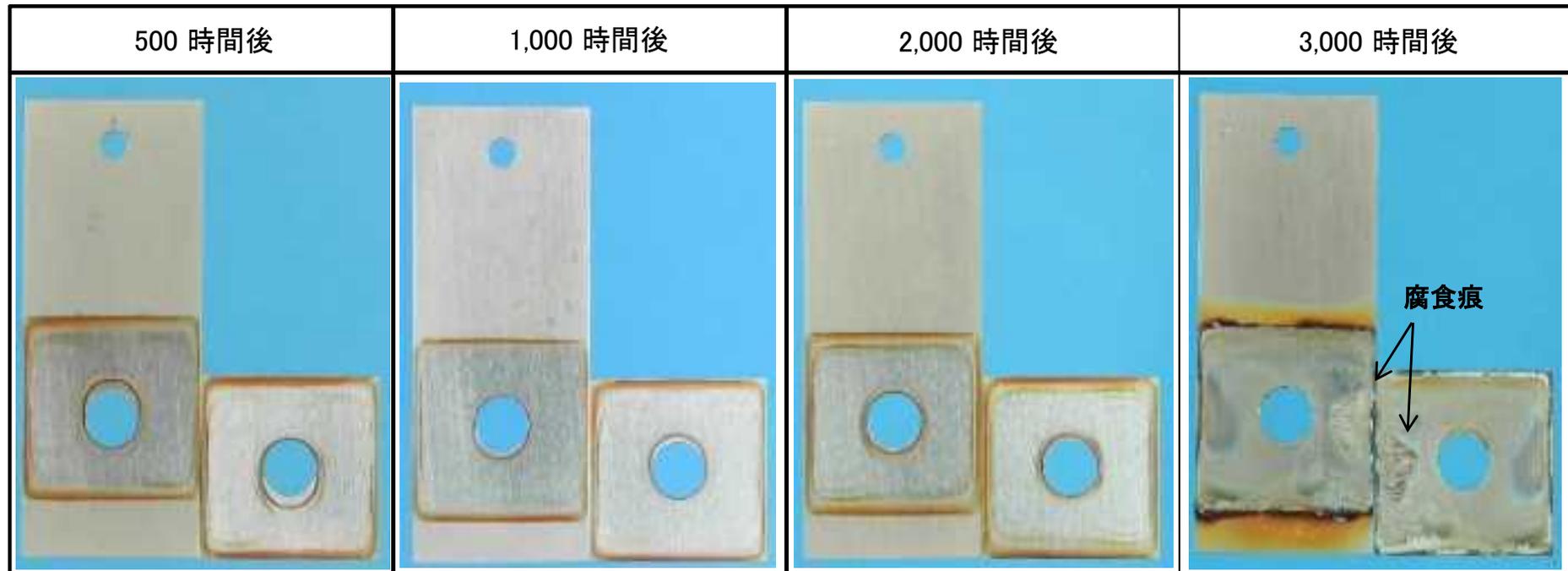
項目	試験条件
Cl ⁻ 濃度	6,000 ppm
温度	80 °C
溶存酸素	大気バブリング
試験時間	500 hr, 1,000 hr, 2,000 hr, 3,000 hr



試験開始前の試験片外観

1cm

図1 SUS304(母材)の浸漬試験後の試験片外観



二相ステンレス鋼溶接部の耐食性評価：基礎試験 腐食発生寿命試算の考え方

- SUS304のすきま腐食試験片を用いた定電位試験結果(図1)を参照
- 図1と同じ条件で、S32750(SAF2507)のすきま腐食試験片を用いて定電位試験を実施
- SUS304のすきま腐食発生時間に対する時間倍率を求めて、S32750溶接部の腐食発生寿命を試算

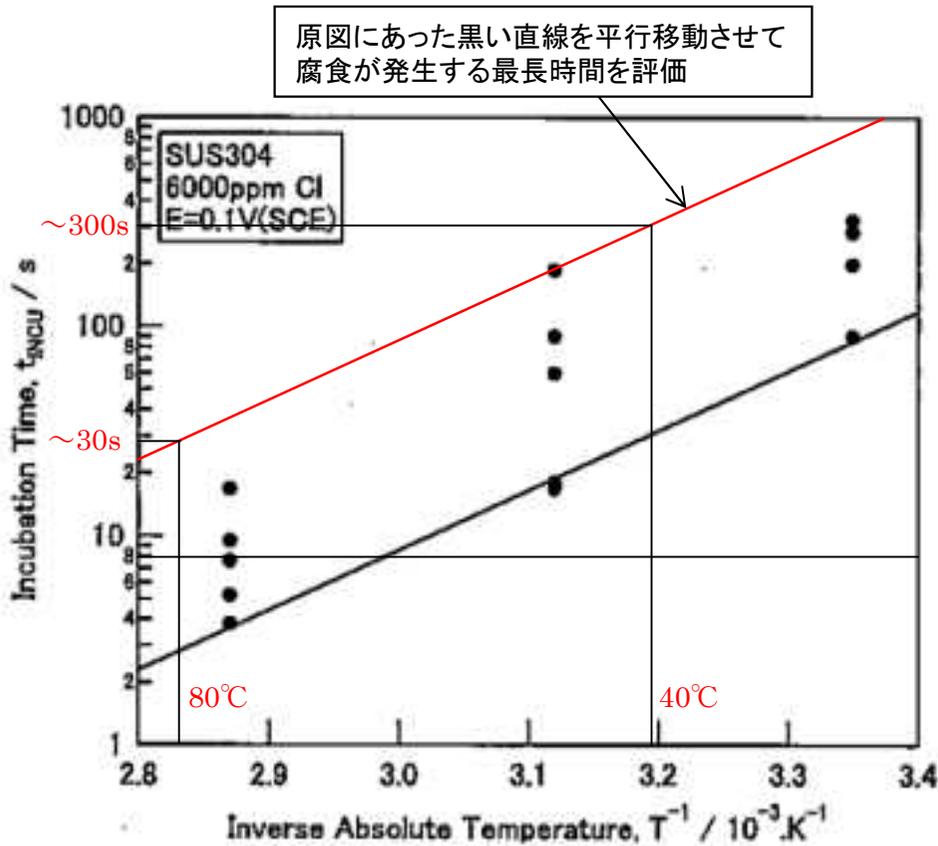


図1 SUS304(母材)のすきま腐食試験片による定電位試験結果

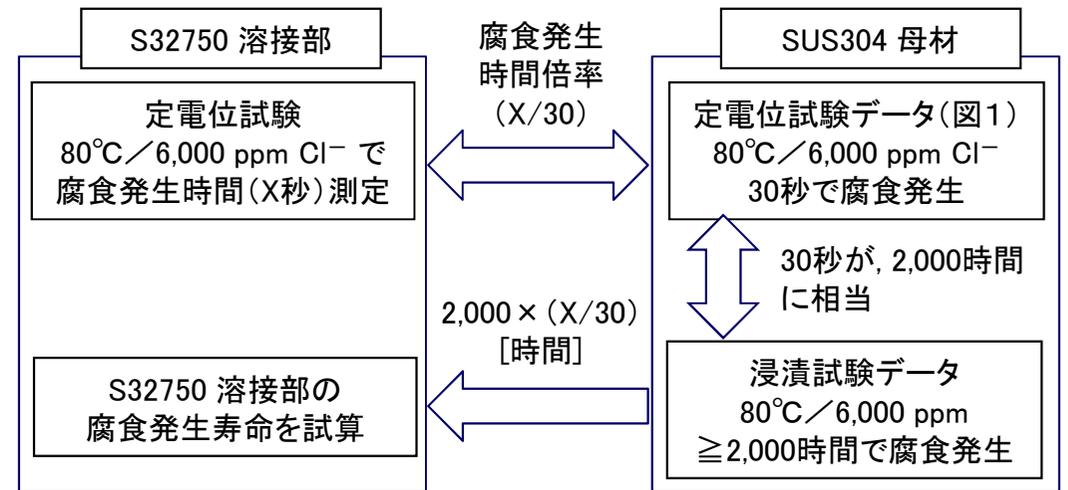


図2 S32750(SAF2507)溶接部の腐食発生寿命試算の考え方

S32750(SAF2507)溶接部の定電位試験の考え方

- 1) 図1の試験条件に従い、腐食電位を0.35V(SHE) (= 0.1V(SCE))に保持
- 2) 図2に基づき、S32750(SAF2507)溶接金属の80°Cの腐食発生寿命を試算
- 3) 比較のため、処理水の最高温度条件である40°Cの腐食発生寿命を試算
⇒ 40°Cの腐食発生時間は、図1より、80°Cの10倍と試算されるため、40°C浸漬試験の腐食発生時間は、≥ 20,000時間と試算
- 4) 40°C / pH 3.5の腐食発生寿命を評価するため、溶液をpH3.5とし、保持電位を0.55 V(SHE)に保持して試験

表 S32750(SAF2507)溶接部の定電位試験マトリックス

試験片	pH	温度	保持電位	N数	試験時間
S32750 (溶接金属)	7	80 °C	0.35 V (SHE)	5	≥ 10,000秒
		40 °C	0.35 V (SHE)		
	3.5	40 °C	0.55 V (SHE)		

【参照】電力中央研究所報告, 研究報告:Q12001(平成25年4月).

二相ステンレス鋼溶接部の耐食性評価：基礎試験

腐食発生寿命試算に関する試験結果（試験片の外観）

- S32750 (S2507) 溶接部を0.35 Vに保持し、40°Cおよび80°Cの中性溶液に浸漬した定電位試験では、10,000秒経過しても、腐食発生せず
- S32750 (S2507) 溶接部を0.55 Vに保持し、40°CでpH3.5の酸性溶液に浸漬した定電位試験では、2,070～3,470秒ですきま腐食が確認された

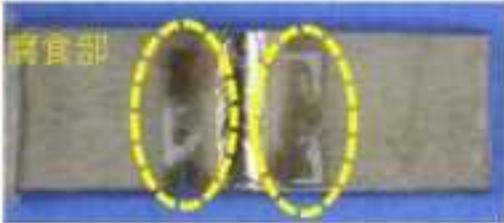
	試験条件		試験片外観（試験前）	試験片外観（試験後）	試験結果
	1	温度	80°C		
	pH	pH 7			
	保持電位	0.35 V (vs SHE)			
2	温度	40°C			10,000秒の腐食試験を実施し腐食なし (N数: 5)
	pH	pH 7			
	保持電位	0.35 V (vs SHE)			
3	温度	40°C			すきま腐食が発生 腐食発生時間： 2,070～3,470秒 (N数: 5)
	pH	pH 3.5			
	保持電位	0.55 V (vs SHE)			

図1 定電位試験に供したS32750(SAF2507)溶接部試験片の試験前後の外観写真

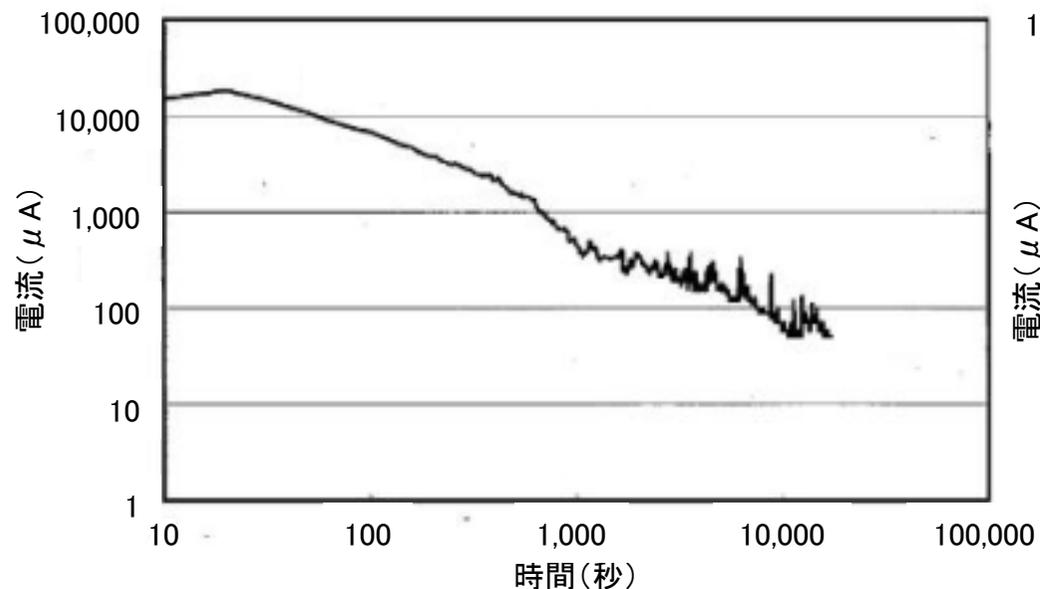


図1 80°Cの中性溶液による定電位試験時の電流変化

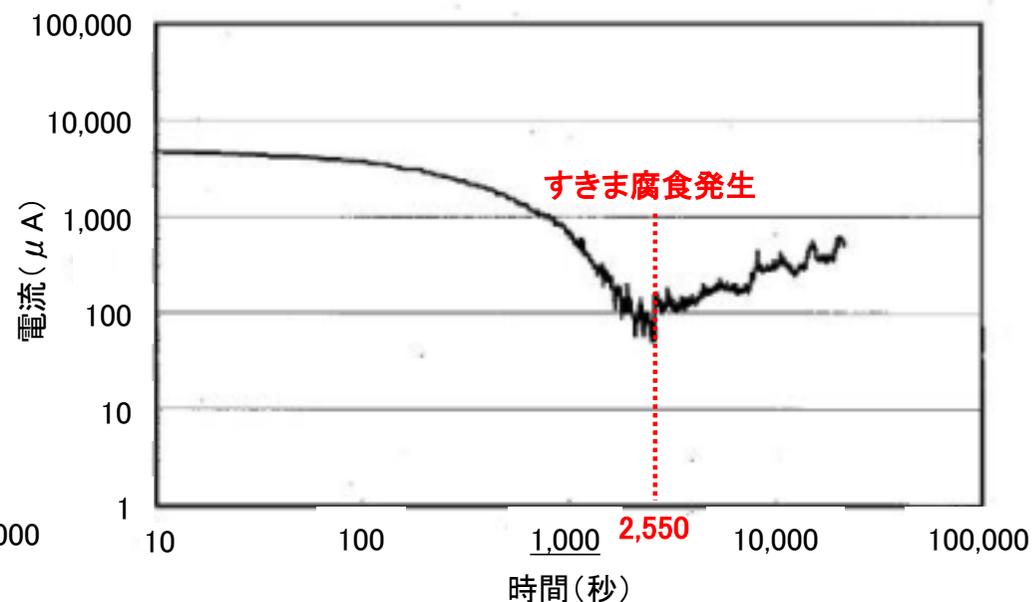


図3 40°CのpH3.5 溶液による定電位試験時の電流変化

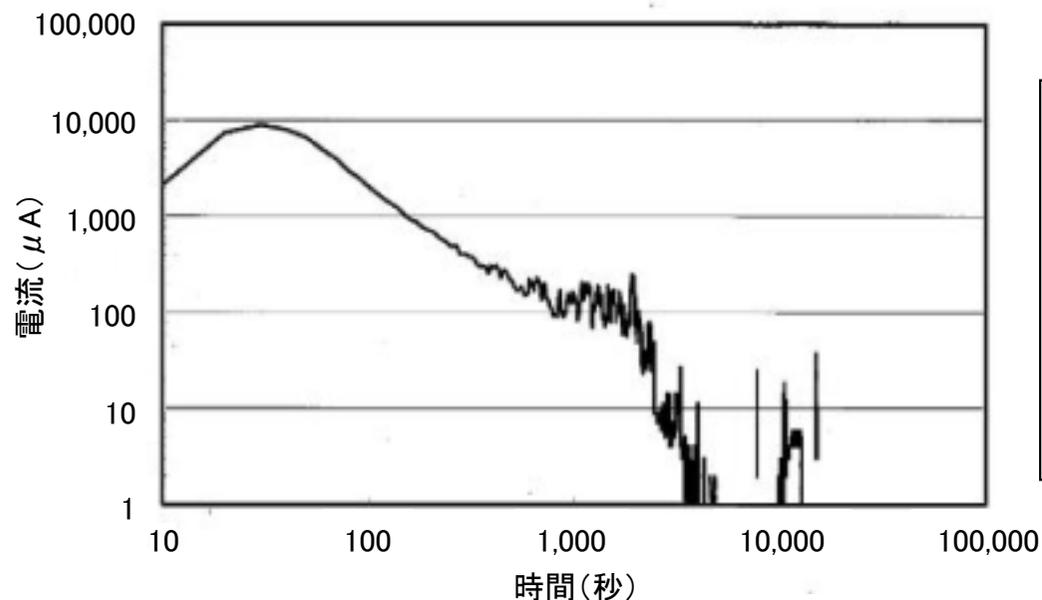


図2 40°Cの中性溶液による定電位試験時の電流変化

○ 図1、図2 : 腐食なし
中性溶液に浸漬した定電位試験では電流は単調に減少

○ 図3 : 腐食あり
pH 3.5溶液に浸漬した定電位試験では、途中から電流が上昇

↓

上昇に転じた時点を腐食開始と判定

二相ステンレス鋼溶接部の耐食性評価：基礎試験 腐食発生寿命の試算結果

- S32750 (SAF2507)溶接金属は、6,000 ppmのCl⁻を含む水であっても、**中性であれば、80°Cに保持しても76年以上腐食しない**と試算。40°C以下であれば、腐食発生寿命は更に延びると試算。
- S32750 (SAF2507)溶接金属は、6,000 ppmのCl⁻を含む水が**pH 3.5の場合は、40°Cに保持されていると、すきま腐食が16年～26年で発生する**と試算。

表1 定電位試験結果に基づくS32750(SAF2507)溶接部の腐食発生寿命の試算表

No	温度(°C)	pH	保持電位 (V vs SHE)	定電位試験結果 腐食発生時間(秒)	腐食発生時間倍率	腐食発生寿命評価値(年)
1	80	7	0.35	≥10,000	333 (1,0000 秒/30 秒*1)	≥76 (2,000時間*3) × 333
2	80	7	0.35	≥10,000	333 "	≥76 "
3	80	7	0.35	≥10,000	333 "	≥76 "
4	80	7	0.35	≥10,000	333 "	≥76 "
5	80	7	0.35	≥10,000	333 "	≥76 "
6	40	7	0.35	≥10,000	33 (1,0000 秒/300 秒*2)	≥76 (20,000時間*3) × 33
7	40	7	0.35	≥10,000	33 "	≥76 "
8	40	7	0.35	≥10,000	33 "	≥76 "
9	40	7	0.35	≥10,000	33 "	≥76 "
10	40	7	0.35	≥10,000	33 "	≥76 "
11	40	3.5	0.55	2,550	8.5 (2,550秒/300 秒*2)	19 (20,000時間*3) × 8.5
12	40	3.5	0.55	2,490	8.3 (2,490秒/300 秒*2)	19 (20,000時間*3) × 8.3
13	40	3.5	0.55	3,470	11.6 (3,470秒/300 秒*2)	26 (20,000時間*3) × 11.6
14	40	3.5	0.55	2,305	7.7 (2,305秒/300 秒*2)	18 (20,000時間*3) × 7.7
15	40	3.5	0.55	2,070	6.9 (2,070秒/300 秒*2)	16 (20,000時間*3) × 6.9

- 1) SUS304すきま腐食試験片による定電位試験結果。80°Cでのすきま腐食発生時間
 3) SUS304すきま腐食試験片による浸漬試験結果。80°Cでは>2,000時間で腐食発生。
 4) SUS304すきま腐食試験片の40°Cでの腐食発生時間評価値。
 定電位試験の結果から、80°C(2,000時間)の10倍と試算

- 2) 同左。40°Cでのすきま腐食発生時間

二相ステンレス鋼の耐食性を評価するため、実液試験および基礎試験を実施し、以下の知見を得た。

1. 実液に浸漬して測定した二相ステンレス鋼およびSUS316Lの溶接部の腐食電位は、約300 mV で収束する傾向を示した。これは、ラボで測定した二相ステンレス鋼の定常腐食電位と同等の値であった。
2. 実液を使用した約2ヶ月間の浸漬試験で ($[Cl^-] = 3,600 \sim 5,400$ ppm) , 二相ステンレス鋼溶接試験片の溶接部およびHAZに腐食はなかった。
3. 二相ステンレス鋼の腐食すきま再不働体化電位を測定した結果、実液は、溶接部にすきま腐食を起こし得る環境と評価された。
4. 二相ステンレス鋼溶接部の腐食発生寿命を仮定に基づき試算した結果、6,000 ppmの Cl^- を含む水であっても、中性であれば、耐食性を76年以上維持でき、pH 3.5の場合は、40°Cに保持されると、耐食性を16年~26年維持できると試算した。

■ 検証試験（東芝）の実施内容について

検証試験装置については、当初、日立GE・東芝の2社で設備を設置し、それぞれ吸着材の検証・材料試験（腐食試験）を行う予定であったが、吸着材の検証については、日立GEの検証試験装置を用いて東芝の選定した吸着材の検証を行うこととし、材料試験については、それぞれ実施することとする。

■ 東芝の実施する材料試験について

➤ 候補材の選定

➤ 基礎試験

➤ 実液試験

◆ 実施内容：

✓ 腐食電位測定

✓ 腐食すきま再不働態化電位測定

✓ 浸漬試験

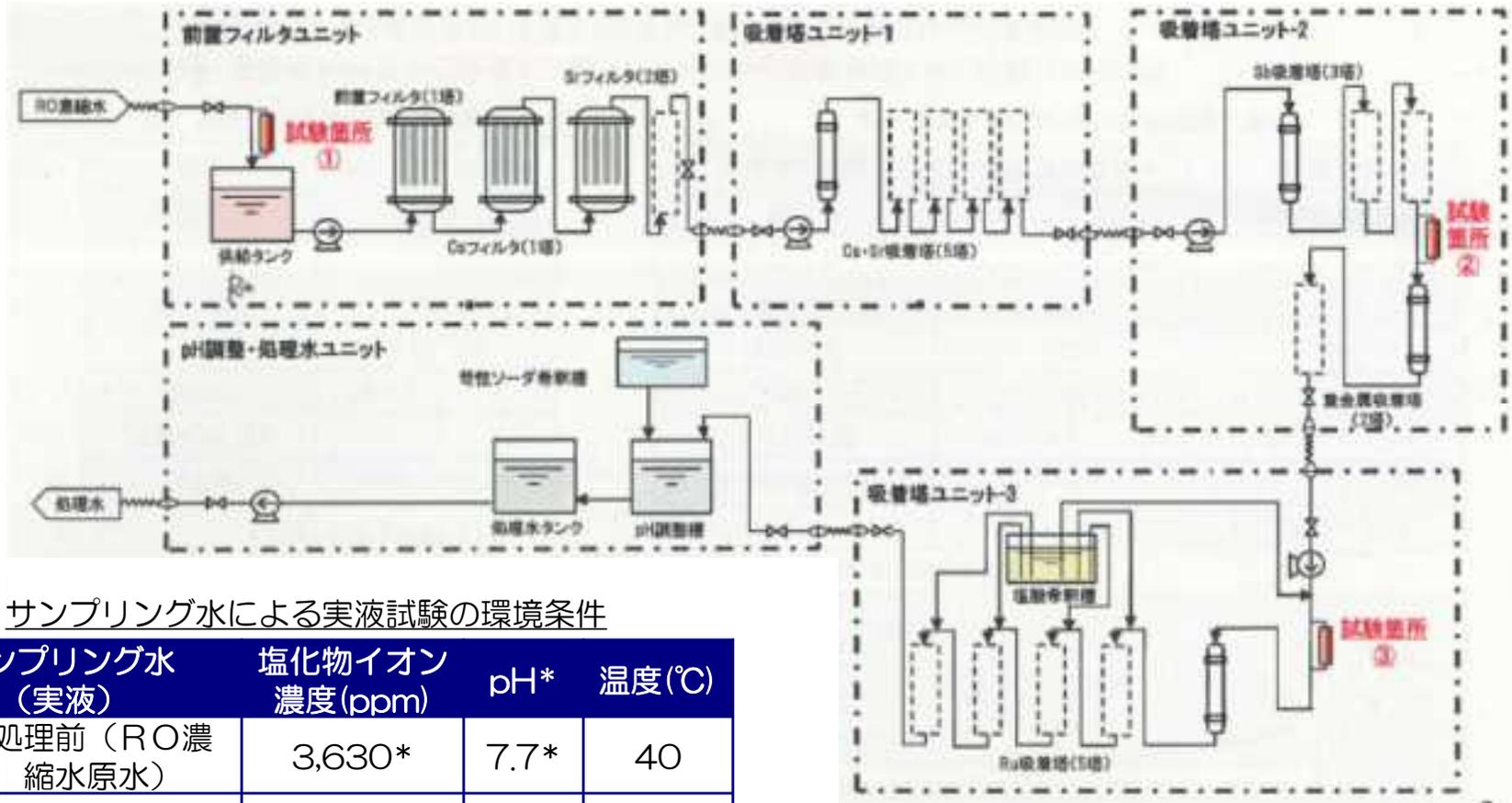
◆ 環境条件（想定）：温度40°C、Cl⁻濃度3000ppm、pH中性（7.5）、酸性（3.5）

◆ 確認する材料：二相ステンレス鋼：SUS329J4L、S39274、S32750
（基準材：SUS316L）

実液試験：サンプリング水（実液）

■ サンプリング水（実液）

以下の検証試験装置（日立GE）にて使用するH5北Bタンクの廃液をサンプリングし、実液試験に用いる。



サンプリング水による実液試験の環境条件

サンプリング水 (実液)	塩化物イオン 濃度 (ppm)	pH*	温度 (°C)
① 処理前 (RO濃縮水原水)	3,630*	7.7*	40
② 原水+活性炭**	3,630*	7.7*	40
③ 原水+pH調整	3,630*	3.5	40

* 日立GEによる処理前 (RO濃縮水原水) のサンプリング水に対する分析結果

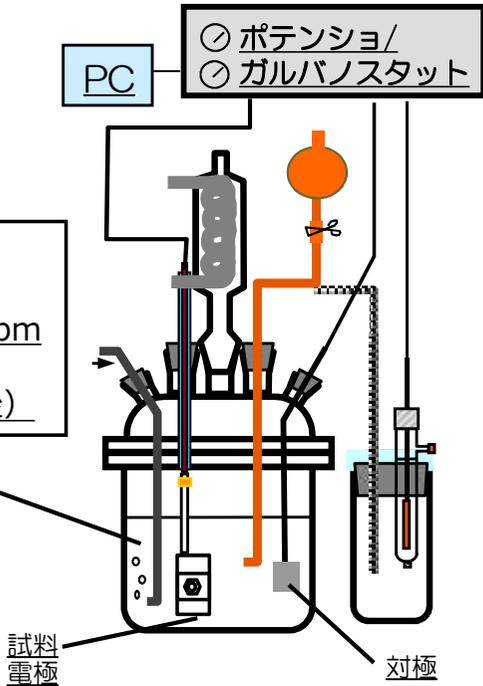
** 銀添着活性炭によるガルバニック腐食の影響評価を実施する。

試験容器内に活性炭を所定量投入する。活性炭の量と試験片の面積との比は実機吸着塔の状態と極力合わせる。

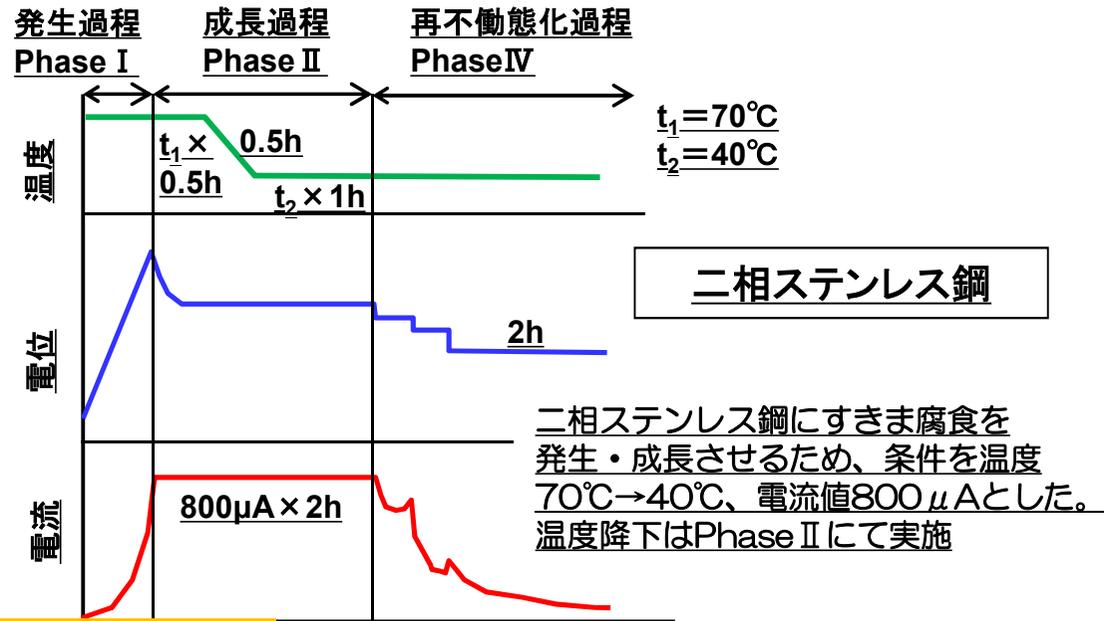
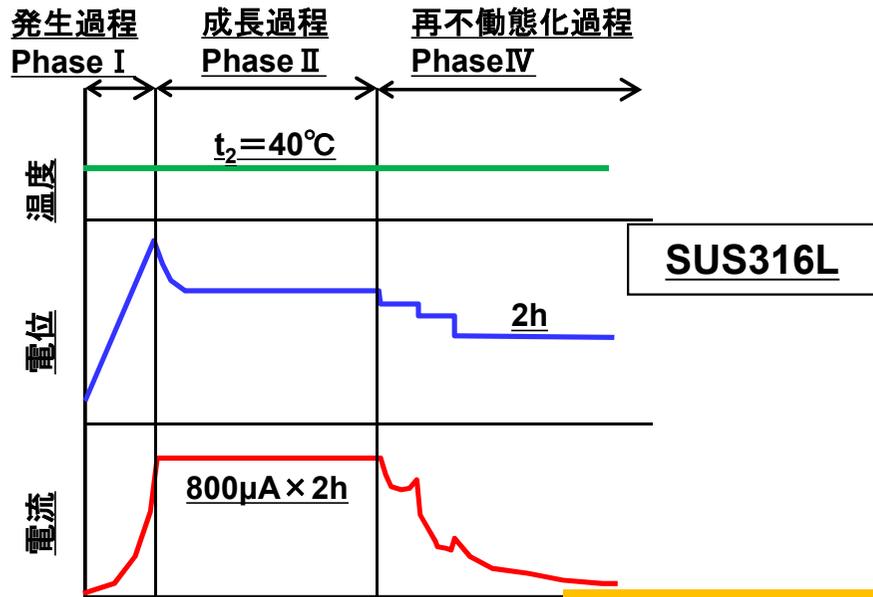
実液試験：腐食すきま再不働態化電位測定方法

測定装置構成図

＜実液＞
 温度：40℃
 塩化物イオン濃度：3630ppm
 pH：中性 7.7
 酸性 3.6 (pH調整後)



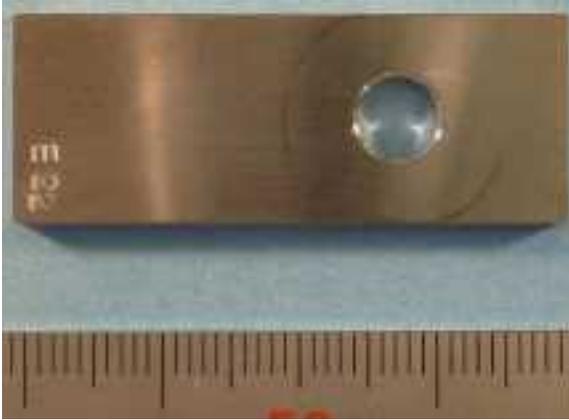
測定状況



腐食すきま再不働態化電位測定模式図

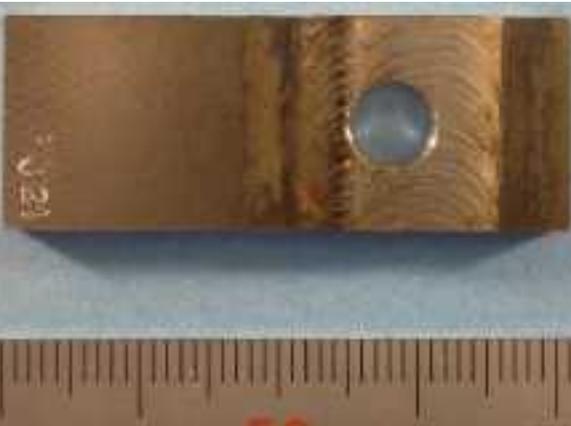
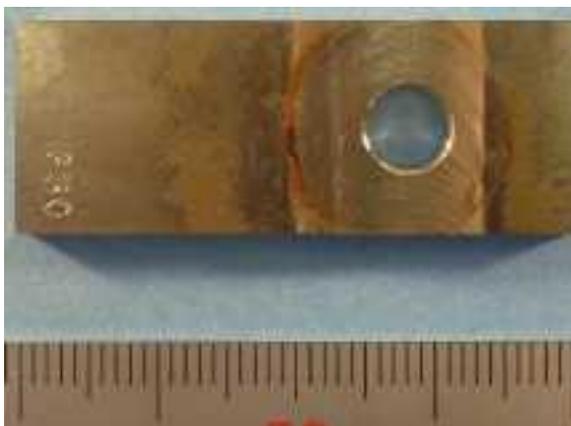
実液試験：浸漬試験結果（1）

① 実液、温度40°C、塩化物イオン濃度3630ppm、中性(pH7.7)、浸漬時間:1500h

SUS316L母材	S32974母材
 <p data-bbox="757 536 1003 691"><u>3試験片とも すきま腐食 発生なし</u></p>	 <p data-bbox="1720 536 1966 691"><u>3試験片とも すきま腐食 発生なし</u></p>
SUS329J4L母材	S32750母材
 <p data-bbox="766 1099 1012 1254"><u>3試験片とも すきま腐食 発生なし</u></p>	 <p data-bbox="1729 1099 1975 1254"><u>3試験片とも すきま腐食 発生なし</u></p>

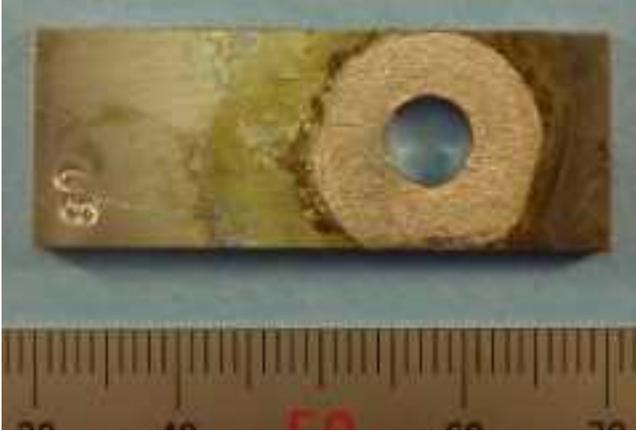
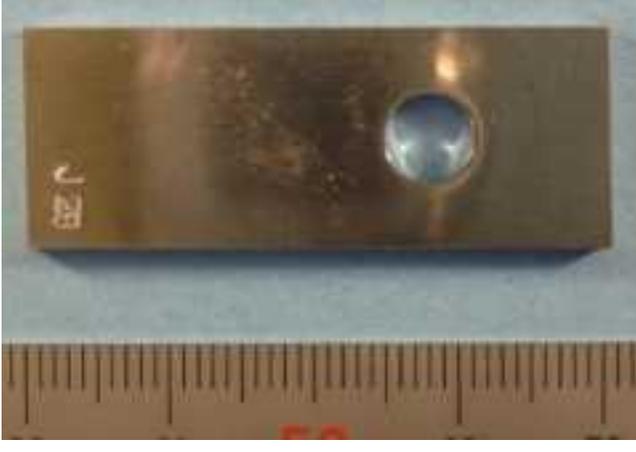
実液試験：浸漬試験結果（2）

① 実液、温度40℃、塩化物イオン濃度3630ppm、中性(pH7.7)、浸漬時間:1500h

SUS316L溶接部	S32974溶接部
 <p data-bbox="759 528 1003 679"><u>3試験片とも すきま腐食 発生なし</u></p>	 <p data-bbox="1693 528 1937 679"><u>3試験片とも すきま腐食 発生なし</u></p>
SUS329J4L溶接部	S32750溶接部
 <p data-bbox="759 1082 1003 1233"><u>3試験片とも すきま腐食 発生なし</u></p>	 <p data-bbox="1693 1082 1937 1233"><u>3試験片とも すきま腐食 発生なし</u></p>

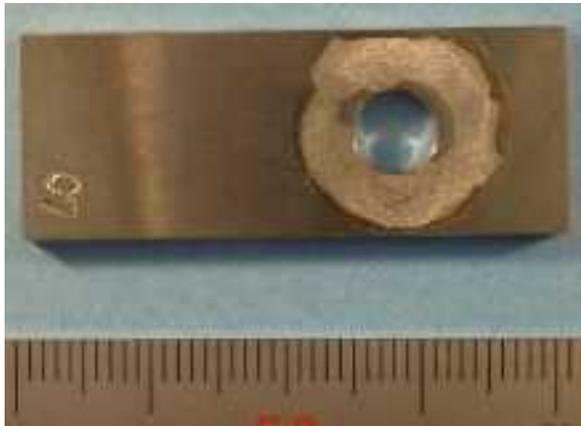
実液試験：浸漬試験結果（3）

② 実液＋活性炭、温度40℃、塩化物イオン濃度3630ppm、中性(pH7.7)、浸漬時間:1500h

<p>SUS316L母材</p>	<p>S39274母材</p>
 <p>3試験片とも すきま腐食 発生あり</p>	 <p>3試験片とも すきま腐食 発生なし</p>
<p>SUS329J4L母材</p>	<p>S32750母材</p>
 <p>3試験片とも すきま腐食 発生なし</p>	 <p>3試験片とも すきま腐食 発生なし</p>

実液試験：浸漬試験結果（４）

③ 実液＋pH調整、温度40°C、塩化物イオン濃度3630ppm、酸性(pH3.6)、浸漬時間:1500h

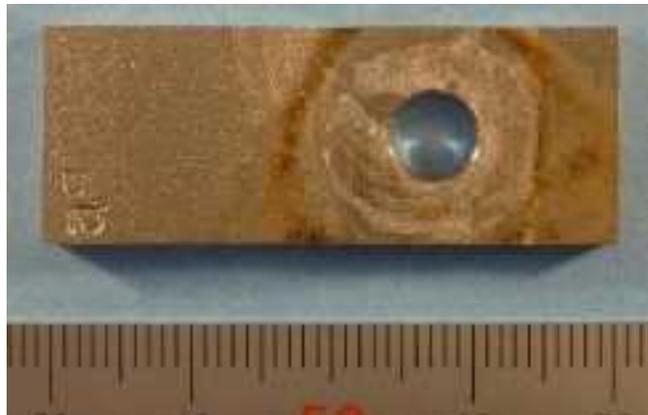
SUS316L母材	S32974母材
 <p>3試験片とも すきま腐食 発生あり</p>	 <p>3試験片とも すきま腐食 発生なし</p>
SUS329J4L母材	S32750母材
 <p>3試験片とも すきま腐食 発生なし</p>	 <p>3試験片とも すきま腐食 発生なし</p>

実液試験：浸漬試験結果（5）

② 実液＋活性炭、温度40°C、
塩化物イオン濃度3630ppm、
中性(pH7.7)、浸漬時間:1500h

③ 実液＋pH調整、温度40°C、
塩化物イオン濃度3630ppm、
酸性(pH3.6)、浸漬時間:1500h

SUS316L溶接部



3試験片とも
すきま腐食
発生あり
(溶接金属
部)

SUS316L溶接部

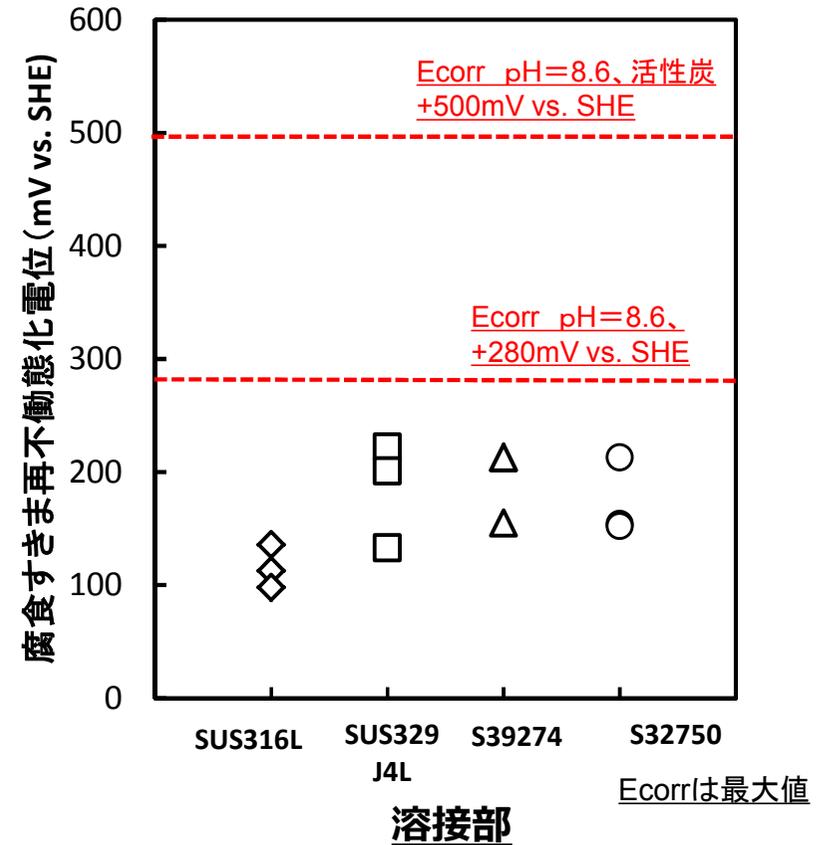
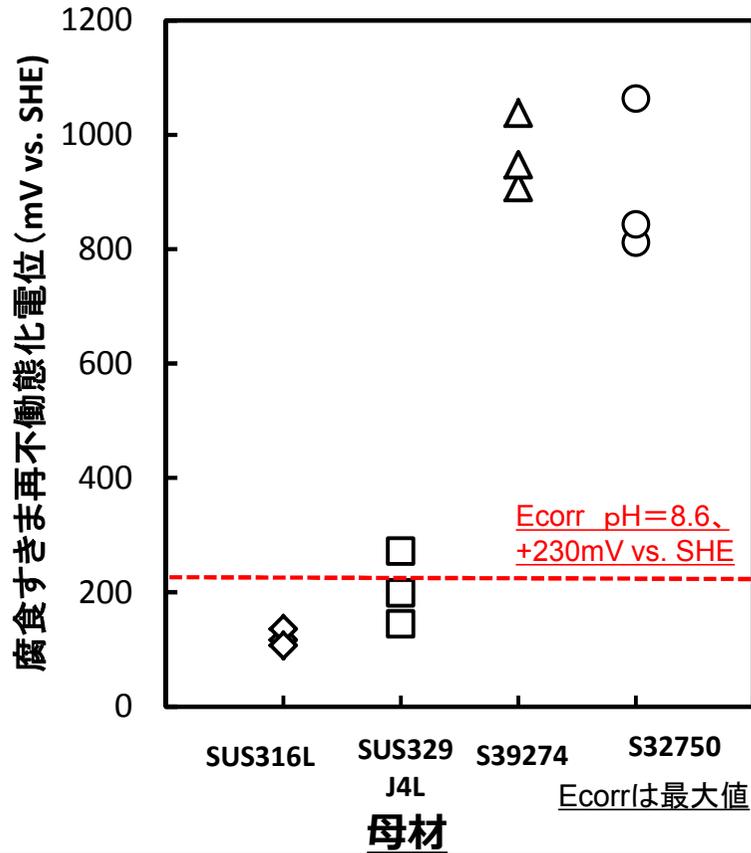


3試験片とも
すきま腐食
発生あり
(溶接金属
部)

二相ステンレス鋼溶接部は、日立GEの腐食発生寿命試算から適用可能と判定。

基礎試験：腐食すきま再不働態化電位と腐食電位測定結果

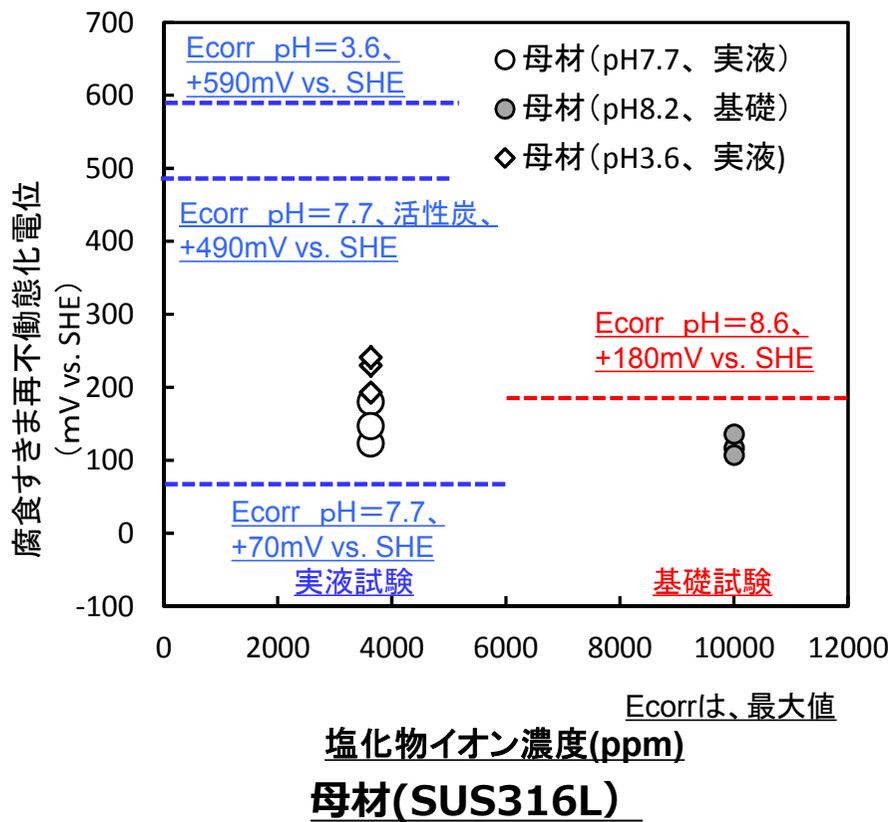
温度40°C、塩化物イオン濃度10000ppm、中性(pH8.2)



- S39274及びS32750母材の腐食電位は、腐食すきま再不働態化電位よりも低く、すきま腐食発生の可能性はない。
- SUS316L、SUS329J4L母材、SUS316L、SUS329J4L、S39274及びS32750溶接部の腐食電位は、腐食すきま再不働態化電位付近に位置している。しかし、浸漬試験ではすきま腐食の発生は認められていない。
- 活性炭によるSUS316L、SUS329J4L、S39274及びS32750溶接部の腐食電位は、腐食すきま再不働態化電位よりも貴側にあり、すきま腐食が発生する可能性がある。（二相ステンレス鋼溶接部は、日立GEの腐食発生寿命試算から適用可能と判定。）

実液試験：腐食すきま再不働態化電位と腐食電位測定結果(1)

東芝

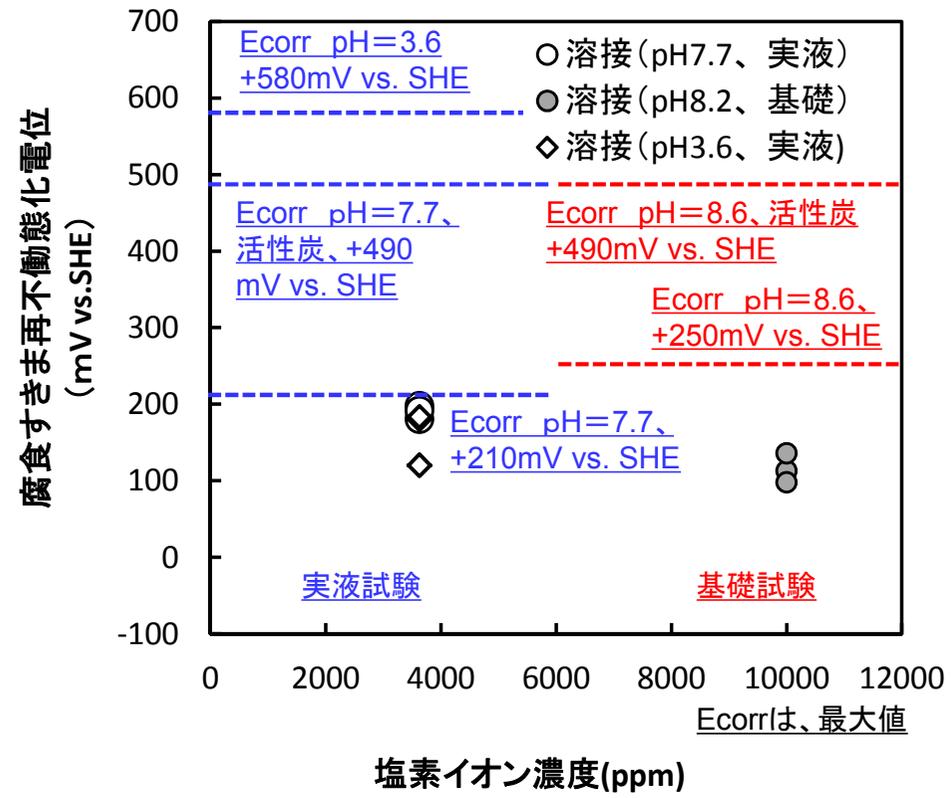


実液試験

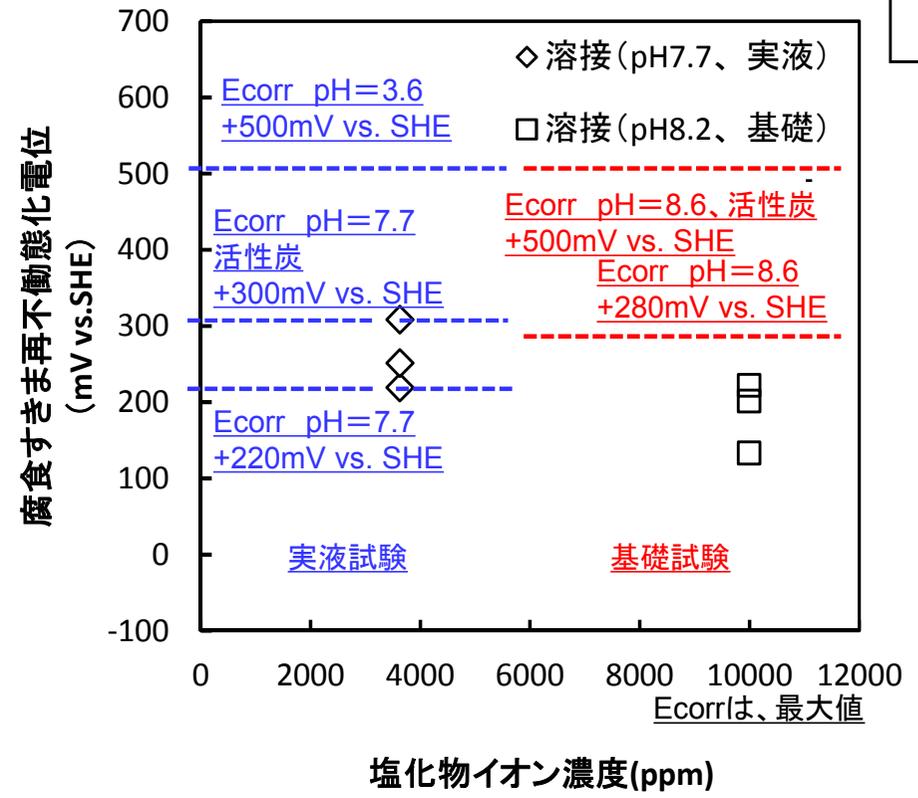
- SUS316L母材のpH7.7の腐食電位は、腐食すきま再不働態化電位付近に位置している。しかし、浸漬試験ではすきま腐食の発生は認められていない。
- SUS316L母材の活性炭及びpH3.6の腐食電位は、腐食すきま再不働態化電位よりも貴側にあり、すきま腐食を発生する可能性がある。浸漬試験では、活性炭及びpH3.6条件ともにすきま腐食の発生が認められている。

実液試験：腐食すきま再不動態化電位と腐食電位測定結果(2)

東芝



溶接部(SUS316L)



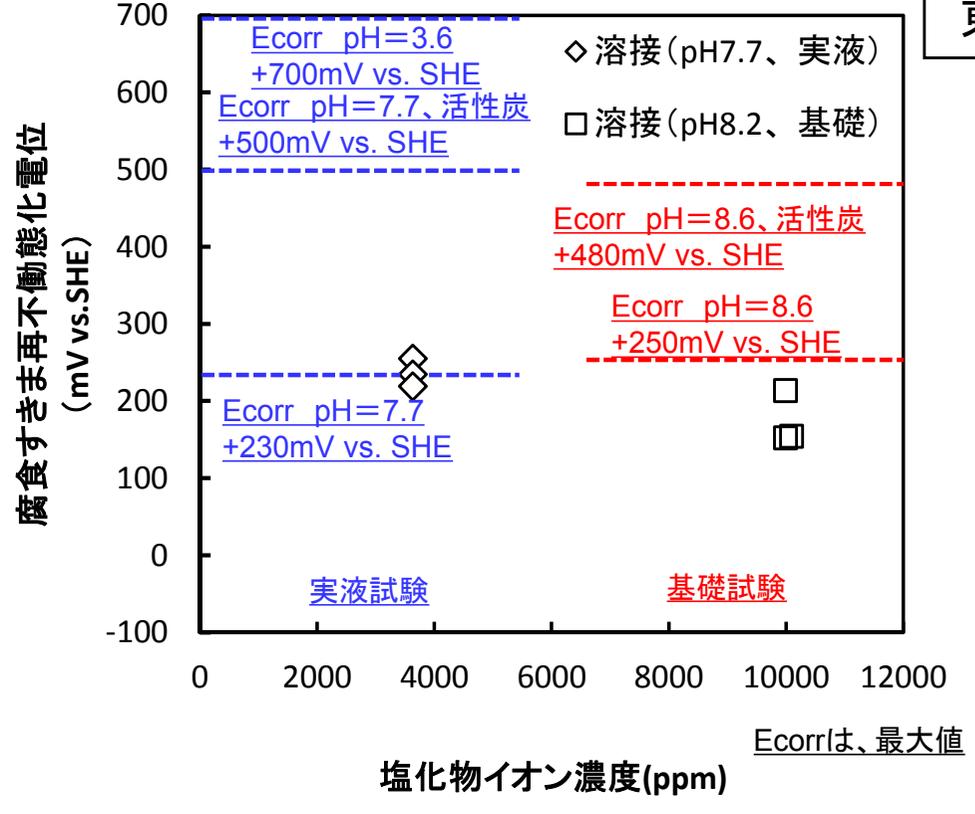
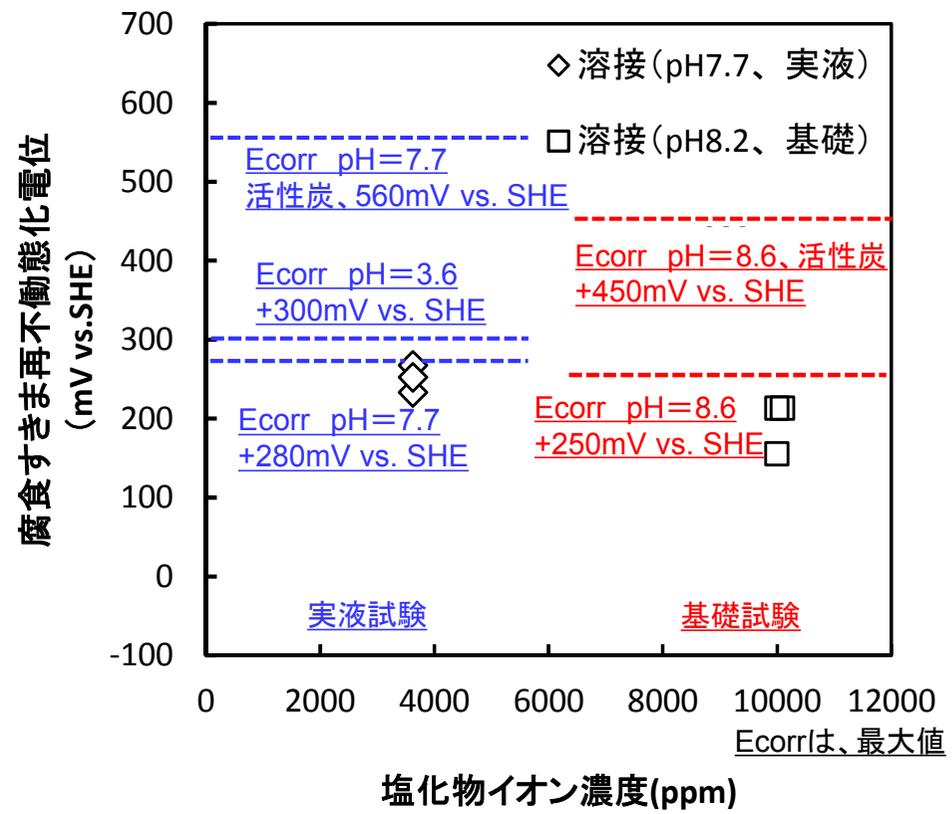
溶接部(SUS329J4L)

実液試験

- SUS316L及びSUS329J4L溶接部のpH7.7の腐食電位は、腐食すきま再不動態化電位付近に位置している。しかし、浸漬試験ではすきま腐食の発生は認められていない。
- SUS316L及びSUS329J4L溶接部の活性炭及びpH3.6の腐食電位は、腐食すきま再不動態化電位よりも貴側にあり、すきま腐食が発生する可能性がある。浸漬試験では、SUS316L溶接部の活性炭及びpH3.6条件ともにすきま腐食の発生が認められている。(二相ステンレス鋼溶接部は、日立GEの腐食発生寿命試算から適用可能と判定。)

実液試験：腐食すきま再不働態化電位と腐食電位測定結果(3)

東芝



実液試験

- S39274及びS32750溶接部のpH7.7の腐食電位は、腐食すきま再不働態化電位付近に位置している。しかし、浸漬試験ではすきま腐食の発生は認められていない。
- S39274及びS32750溶接部の活性炭及びpH3.6の腐食電位は、腐食すきま再不働態化電位よりも貴側にあり、すきま腐食が発生する可能性がある。（二相ステンレス鋼溶接部は、日立GEの腐食発生寿命試算から適用可能と判定。）

実機適用性評価と対応方針

鋼種		実廃液	実機適用性評価			対応方針
			中性	活性炭	酸性	
① SUS316L	母材	○	×*	×**	<ul style="list-style-type: none"> • 中性環境下では適用可。（定期的確認が必要） • 活性炭使用部位では適用困難。（今回使用した銀添着活性炭は適用困難。適用する場合は活性炭の再検討要。） • 酸性環境下では適用困難。（適用する場合は、塩酸濃度条件など再評価を実施。） 	
	溶接材	○	×*	×**		
② SUS329J4L	母材	○	○	○		
	溶接材	○	○	○		
③ S39274	母材	◎	◎	◎	<ul style="list-style-type: none"> • 母材は、中性、活性炭、酸性環境下ともに適用可。（必要に応じ、定期的確認が必要。） • 溶接材は、中性、活性炭、酸性環境下ともに適用可。（定期的確認が必要。） 	
	溶接材	○	○	○		
④ S32750	母材	◎	◎	◎		
	溶接材	○	○	○		

実機適用性評価：◎・・・適用可 ○・・・適用可（定期的確認が必要） ×・・・適用困難

*：今回使用した銀添着活性炭は適用困難。適用する場合は活性炭の再検討要。

**：適用する場合は、塩酸濃度条件など再評価を実施。

- SUS316Lを基準材とし、二相ステンレス鋼（SUS329J4L、S39274（W富化材）、S32750）に対する基礎試験及び実液試験（浸漬試験、腐食すきま再不働態化電位測定、腐食電位測定）を実施し、耐すきま腐食性より、実機適用性を評価した。
- SUS316L母材および溶接材は、中性環境下で実機適用可能である（定期的確認が必要）。銀添着活性炭や酸性（pH3.6）環境下では適用困難である（適用する場合は活性炭の再検討や塩酸濃度条件など再評価を実施）。
- 二相ステンレス鋼（SUS329J4L、S39274、S32750）の母材は、良好な耐すきま腐食性を有しており、中性、活性炭、酸性（pH3.6）環境下で実機適用可能である（必要に応じ、定期的な確認が必要）。
- 二相ステンレス鋼（SUS329J4L、S39274、S32750）の溶接材は、中性、活性炭、酸性（pH3.6）環境下で実機適用可能である（定期的確認が必要）。