

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：11401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656433

研究課題名(和文) 海水、ホウ酸入り原子炉压力容器腐食の模擬実験と腐食評価の試算

研究課題名(英文) Corrosion tests and assessments of nuclear reactor pressure vessel materials in solutions containing sea water and boric acid

研究代表者

金児 紘征 (Kaneko, Hiroyuki)

秋田大学・その他部局等・名誉教授

研究者番号：20006688

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：東京電力福島原子力発電所における原発事故で压力容器が激しく損傷したと予想される。注入された海水、ホウ酸が压力容器の腐食に与える影響を調べるため、加速実験条件として、150℃において、飽和NaCl-濃厚H3BO3の組成の水溶液中で、压力容器材料のSA533B、また内張りのインコネル、さらにSA533B/インコネルガルバニック対の腐食挙動を4時間、調べた。飽和NaCl水溶液ではほとんど腐食せず、濃厚H3BO3水溶液ではかなりの腐食となり、飽和NaCl-濃厚H3BO3水溶液では激しい腐食となった。さらにガルバニック対になると、腐食が加速した。

研究成果の概要(英文)：Following the accident during 2011 at the Fukushima Daiichi nuclear plant, sea water for cooling and boric acid for maintaining a non-critical condition, both corrosive liquids, were injected into nuclear pressure vessels. An experimental study was undertaken to provide an accelerated corrosion test on SA533B low alloy steel and Inconel 600, materials used in the construction of the pressure vessels. Samples of these materials were immersed in saturated NaCl and concentrated H3BO3 aqueous solutions at a temperature of 423K. SA533B suffered little or no corrosion in saturated NaCl solution, significant corrosion in concentrated H3BO3 solution and substantial corrosion in the binary saturated NaCl - concentrated H3BO3 solution. Galvanic corrosion of SA533B was accelerated when Inconel 600 was also immersed in the same solution and the two samples were electrically connected. Corrosion rate in the initial stage was 0.07 mm per hour.

研究分野：金属腐食

キーワード：原子力発電 压力容器 ガルバニック腐食

1. 研究開始当初の背景

(1-1) 2011年3月11日に東京電力株式会社福島第一原子力発電所でレベル7の原子炉事故が発生した。その結果、原子炉压力容器は冷却不能となり、核燃料溶融の過程で激しく損傷し、下部に穴が空いた可能性が高い。高温下で冷却のための海水と再臨界防止のための‘ホウ酸’が注入された。正常な状況であれば压力容器内に存在しない高腐食性の海水や余分の‘ホウ酸’が存在することは、压力容器の耐食性面からは深刻な事態であった。

(1-2) ところで、压力容器が $H_3BO_3$ によって激しく腐食することはよく知られている。2002年にアメリカのデビスベッセ加圧水型原子炉で低合金鋼の压力容器の上蓋が激しく腐食しているのが発見され、中性子制御用に注入されたホウ酸が耐食性のインコネル内張りの裂け目から流出したための腐食であることがわかった。その後、ホウ酸腐食について徹底的に実験室的な研究がなされたが、典型例では 370.5 K で大気開放下の濃厚ホウ酸水溶液中では、40 mm/y の激しい腐食速度であった。

2. 研究の目的

東京電力福島原子力発電所における原発事故で压力容器が激しく損傷したと予想される。冷却水として注入された海水、再臨界防止のために注入されたホウ酸が压力容器の腐食に与える影響について、緊急の研究計画を立てて研究を行う。

具体的には次の手順で検討する。まず、現状をいかなる状態と想定するかについて考察し、迅速に腐食知見を得るための加速腐食試験条件の設定について検討し、その設定条件で得られた実験結果について考察する。そして、想定していないような激しい腐食が起る可能性がないかを調べ、压力容器の腐食に対する保全性を検討する。

3. 研究の方法

(3-1) 压力容器モデル

予想される压力容器の激しい腐食を調べるために、どのような加速実験が模擬実験として適切か、その実験条件を検討した。Fig.1 に図解する。事故を起こした原子炉は沸騰水型原子炉であるが、Fig. 1(a)に沸騰水型原子炉の压力容器図を示す。压力容器は 15~16 cm 厚さの低合金鋼であり、ステンレス鋼と耐食性ニッケル基超合金で内張りされて耐食性を上げている。

それに対し、今回の事故で压力容器は激しい損傷を受けたと思われるが、ほとんど知見は得られていない。压力容器がすでに穴が空いている場合と空いていない場合では状況は異なるが、いずれの場合も、制御棒を溶接した箇所などが破壊した

可能性が高い。そこで、Fig. 1(b)にそれをモデル化した図を示す。压力容器の耐食性ニッケル基超合金溶接部の一部が破壊し、低合金鋼が直接、溶液に曝され、また、貫通した部分があり、低合金鋼との間でガルバニ対になりうる状況を想定する。

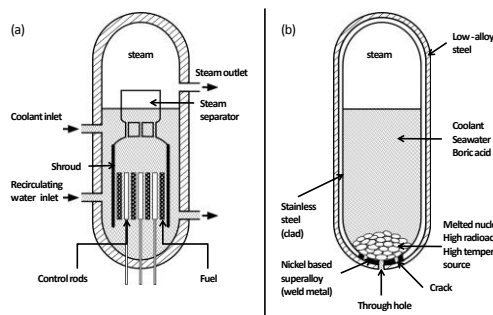


Fig. 1 Schematic diagrams of the boiling water reactor pressure vessel: (a) A diagram of the usual vessel and (b) A model of the damaged vessel.

(3-2) 加速腐食実験の設定条件

使用材料としては、実際の事故炉の压力容器材料は入手できないため、改良された現行の压力容器鋼SA533Bを使用する。

本研究では制御棒の継ぎ目である耐食性ニッケル基超合金の箇所で亀裂が生じて破断する可能性が最も高いと推測し、試験材料としては実際に使われて汎用性の高いインコネル 600 を選ぶ。

事故対策初期には冷却用に海水が注入された。また、事故初期に再臨界防止のため、‘ホウ酸’が注入され、その後も時々、注入された。压力容器の主たる溶液組成は、 $NaCl-H_3BO_3-Na_2B_4O_7$ 系と考えられる。酸性側に極端に移行する場合を想定して溶液系を $NaCl-H_3BO_3$ 系に設定する。

温度は 423 K に設定する。この根拠は、次の 2 つの理由の兼ね合いによる。東京電力の報告書によれば、事故直後は 473 K 以上の高温が続き、事故後約 2 ヶ月経っても 373 K 以上の高温であった。文献によれば、SA533B を用いて 298 K で飽和にした  $H_3BO_3$  水溶液でその腐食量を調べると、423 K を越えるとかえって腐食量が減少するという現象が観察された。そこで、423 K 以上で実験してもより加速腐食実験をしたことにならないと判断して、423 K に設定した。

試験溶液は、 $NaCl-H_3BO_3$  水溶液を基本とし、単独  $NaCl$  水溶液、単独  $H_3BO_3$  水溶液を比較のために使用した。Table 1 に、具体的な溶液組成を質量モル濃度で示す。溶液調整は、混合、単独水溶液ともに表中に示した成分質量を秤量した。いずれの場合も使用水分量は 25.0 g に固定し、混合水溶液中の  $NaCl$ 、 $H_3BO_3$  量は単独水溶液の時と同量にした。原子炉压力容器は高温下、冷却不十分であったことを想定し、 $NaCl$  水溶液についてはいずれの温度についても飽和水溶液になるように過剰に添加した。 $H_3BO_3$  については、373 K 以下で

は飽和水溶液にしたが、423 Kでは所定の濃厚水溶液になるようにした。

その結果、加速実験条件として、150°Cにおいて、飽和 NaCl-濃厚 H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>の組成の水溶液中で、圧力容器材料の SA533B、また内張りのインコネル、さらに SA533B/インコネルガルバニ対の腐食挙

Table 1 Chemical compositions of solutions.(NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O)

	NaCl	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O
Amount	20.00 g	20.00 g	25.00 g
Maximum concentration	13.7 mol/kg	12.9 mol/kg	
423 K	7.23 mol/kg (Saturated concentration)	12.9 mol/kg <sup>*2)</sup>	
373 K	6.71 mol/kg (Saturated concentration)	6.15 mol/kg (Saturated concentration)	
298 K	6.14 mol/kg (Saturated concentration)	0.93 mol/kg (Saturated concentration)	

\*1) Three solutions with the same amount of H<sub>2</sub>O were prepared: 20.00 g NaCl and 20.00 g H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> in 25.00 g H<sub>2</sub>O (as a NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> solution); 20.00 g NaCl, in 25.00 g H<sub>2</sub>O (as a NaCl solution); 20.00 g H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> in 25.00 g H<sub>2</sub>O (as a H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> solution)

\*2) At 423 K, the maximum concentration (12.9 mol/kg) of H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> is lower than the saturated concentration (19.4 mol/kg).

動を 4 時間、調べることにした。また、NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>水溶液を用いた実験の後に、材料の腐食に及ぼす pH の影響を評価するためにはより広い組成域で調べる必要があると考え、NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>-NaB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>系についても実験する。その溶液組成は Table 2 に示す。この場合、含有ホウ素が中性子吸収剤として使用されることを考慮し、含有ホウ素量を一定にして溶液を調整した。

Table 2 Chemical compositions of solutions (NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>-Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>-H<sub>2</sub>O)

Solution: NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O → NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>-Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>-H<sub>2</sub>O  
(acidic) B(OH)<sub>3</sub> → B<sub>5</sub>O<sub>8</sub> → HB<sub>4</sub>O<sub>7</sub> → B<sub>4</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup> (basic)  
Sodium pentaborate 6H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>+Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>→2NaB<sub>5</sub>O<sub>8</sub>·xH<sub>2</sub>O  
Sodium hydrogen tetraborate 4H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>+Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>→2NaHB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·xH<sub>2</sub>O

•Temp.: 150°C •Time: 4h

reagent	NaCl	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	H <sub>2</sub> O
NaCl	20.00g	—	—	25.00g
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	—	20.00g	—	
NaCl-H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	20.00g (12.9 mol/kg)	20.00g (12.9 mol/kg)	—	
NaCl-NaB <sub>5</sub> O <sub>8</sub>	20.00g (7.23 mol/kg)	16.36g	2.72g	
NaCl-NaHB <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	—	10.00g	8.57g	

### (3-3) 実験方法

実験装置は、著者等が高温、高圧下でFe-Znガルバニック腐食研究に用いたものを使い、実験方法も特に断らない限り同様とした。

試料は、長さ 3.5 cm、幅 1 cm で所定厚さに切断後、800 番までの耐水エメリーペーパーで研磨し、アセトンで洗浄した。試料は両面の 1 cm × 2 cm の面積だけを露出させて、その他の部分をテフロンテープで被覆した。実験後も、テフロンテープの部分は全く腐食しておらず、完全に溶液から絶縁されていることを確認した。

オートクレープ内で内容積 70 ml の耐熱ガラス

容器に入れた調合試薬に試料を浸すようにオートクレープを組み立てた。チッ素で脱気しながら昇温し、373 Kで、チッ素を追い出し、水蒸気のみ雰囲気となるようにして密封した。

電気化学的測定としては、自然浸漬電位測定、分極曲線測定、ガルバニ電流、電位測定などを行い、取り出した試料については、光学顕微鏡で表面観察、EPMA で試料断面観察を行なった。電位測定の際の参照電極には、KCl 飽和の Ag/AgCl 電極を用いた。

## 4. 研究成果

(4-1) Fig. 2 に、使用した材料、Fe, SA533B, Ni-16Cr-7Fe合金の自然浸漬電位を示す。電位は Ni-16Cr-7Fe合金が最も高く、Feが最も低いから、FeとSA533BはNi-16Cr-7Fe合金に対しアノードとなり、対にするとガルバニック腐食が進行すると予想される。その電位差の大きさからは、FeのほうがSA533Bよりも激しいガルバニック腐食になると予想される。なお、時間が経過すると Ni-16Cr-7Fe合金の電位は不安定になった。また、Feの電位が上昇して、Ni-16Cr-7Fe合金と電位逆転が起りうようになった。本研究では、まだ腐食の長期時間依存性については詳しく検討していないが、約 14.4 ks を過ぎると、実際に Fe/Ni-16Cr-7Fe合金、また、SA533B/Ni-16Cr-7Fe合金でも電位逆転現象が起ることを確認した。

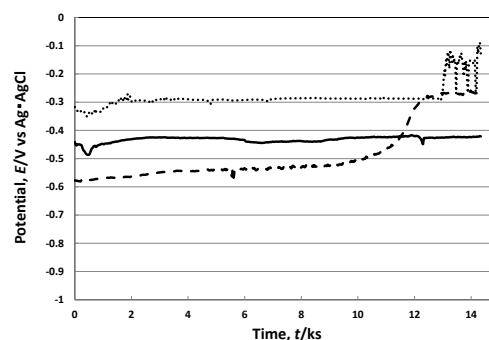


Fig. 2 Open-circuit potentials for SA533B, Ni-16Cr-7Fe alloy and Fe.

(4-2) Fig. 3には、SA533BとNi-16Cr-7Fe合金の分極曲線の例を示す。この溶液は実験中はpH3~4の範囲の弱酸性溶液である。したがって、SA533Bのカソード反応は水素の発生と溶存酸素の還元、アノード反応は主成分のFeの溶解と考えられる。SA533Bのアノード、カソード分極曲線を外挿して得られる腐食電流密度は約500 A/m<sup>2</sup>で、換算した腐食速度は0.07 mm/hである。ガルバニ対にした場合、SA533BとNi-16Cr-7Fe合金の電位差は200 mV以下であるから、Ni-16Cr-7Fe合金上のカソード電流は無視できなく、SA533Bのアノード電流がSA533Bのカソード電流とNi-16Cr-7Fe合

金のカソード電流の和であるとして補正すると、腐食電流密度は約600 A/m<sup>2</sup>で、換算した腐食速度は0.08 mm/hである。ガルバニック腐食の寄与は100 A/m<sup>2</sup>である。すなわち、SA533Bそれ自体の腐食が激しいが、ガルバニ対になるとさらに加速される。

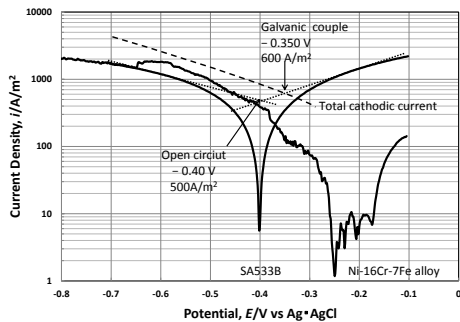


Fig. 3 Polarization curves obtained at a sweep rate of 0.5 mV/s for SA533B and Ni-16Cr-7Fe alloy.

各種実験パラメータを変化させた場合のガルバニック腐食への影響を調べたが、その結果を示す。(4-3) Fig. 4 に、ガルバニ対の組み合わせによる比較を示す。Fe/Ni-16Cr-7Fe合金とSA533B/Ni-16Cr-7Fe合金でガルバニ電流を比較すると、Fe/Ni-16Cr-7Fe合金のほうが著しく大きい。これは、Fig. 2 で示した自然浸漬電位測定から得られたガルバニ対の電位差の大きさの違いに対応している。SA533B/Ni-16Cr-7Fe合金では時間を経過するとガルバニ電流がほとんど流れなくなるが、結線直後は40 A/m<sup>2</sup>程度で、14.4 ksの平均は5 A/m<sup>2</sup>程度で、換算すると0.0007mm/hである。これに対し、Fe/Ni-16Cr-7Fe合金では結線直後は200 A/m<sup>2</sup>程度で、時間を経過しても30 A/m<sup>2</sup>程度の一定のガルバニ電流が持続した。この場合、30 A/m<sup>2</sup>は換算すると、0.004 mm/h (3.4 cm/y) の腐食速度になり、ガルバニック腐食の寄与も大きい。

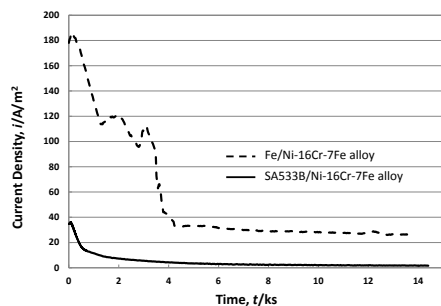


Fig. 4 Galvanic current densities for SA533B/Ni-16Cr-7Fe alloy and Fe/Ni-16Cr-7Fe alloy couples.

(4-4) Fig. 5 に、SA533B/Ni-16Cr-7Fe合金対のガルバニ電流、電位の溶液依存性を示す。NaCl水溶液、H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>水溶液、NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>混合水溶液の結果を比較すると、NaCl水溶液中では0.04 A/m<sup>2</sup>程度の微弱な電流しか流れず、H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>水溶液中では平均すると1 A/m<sup>2</sup>程度のガルバニ電流が流れ、混合水溶液中では5 A/m<sup>2</sup>で約5倍である。NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>混合水溶液中の場合、ガルバニ対に

してもSA533Bの自然電位から数mV程度しかアノード分極しないから、カソード支配型の腐食になる。なお、Fig.3で点線で示したSA533Bのアノード分極曲線で自然電極電位から20 mVアノード分極した電流密度を読み取ると30 A/m<sup>2</sup>となり、結線直後の実測値とよく対応した。

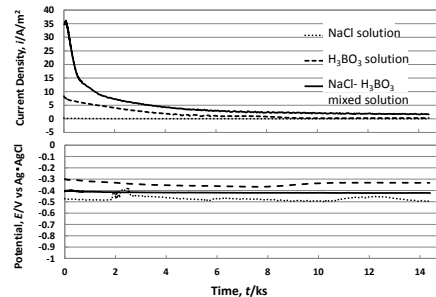


Fig. 5 Dependence of galvanic current density and galvanic potential on chemical composition of solutions for a SA533B/Ni-16Cr-7Fe alloy couple.

(4-5) 腐食電流の温度依存性について検討した。その結果、373 Kでもかなりの電流が流れてガルバニック腐食が持続する。したがって、423 Kから373 Kに温度低下すると腐食性は低下するが、著しいわけではない。298 Kでは、0.01 A/m<sup>2</sup>程度の微弱な電流しか流れず、ガルバニック腐食は起らない。酸素加圧の影響について検討した。その結果、2 MPaに酸素加圧すると、ガルバニ電流は増加するが、脱気の場合と比べて結線直後にせいぜい2倍程度である。したがって、水素発生との寄与と比べ、酸化剤としての酸素の寄与はあまり大きくない。(4-6) Fig. 6 に試料の断面観察結果を示す。(a)に示すNaCl水溶液では試料断面は平滑でほとんど腐食していないが、断面観察結果から、表面に4 μm程度の腐食生成物層が生成した。(b)に示すH<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>水溶液では表面に腐食生成物が見られ、断面観察からは界面がささくれ立ったように層状にはがれていて凹凸になっていた。母金属の表面から10 μm程度内側に層状に筋が見られ、内部酸化が起っていると思われる。(c)(d)にはNaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>混合水溶液中で、自然浸漬、あるいは、ガルバニ対実験後の試料を取り出して観察した結果を示す。NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>混合水溶液中では、H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>水溶液中よりもさらに激しく腐食し、腐食生成物は多孔質で、密着性は悪く、手で触ると簡単に取れてしまった。外見からは、ガルバニ試料のほうがより多孔質であった。断面観察結果から、激しく腐食し、界面が凹凸になっていたが、ガルバニ試料のほうが凹凸が激しかった。断面観察結果から求めた腐食速度は、自然浸漬試料で0.065 mm/h、ガルバニ実験試料で0.075 mm/hであった。ただし、このように凹凸のある試料では破損速度を知るという観点からは最も凹んだ厚さが問題となるから、その時

の腐食速度を測定すると、ガルバニ実験試料で 0.082 mm/hであった。

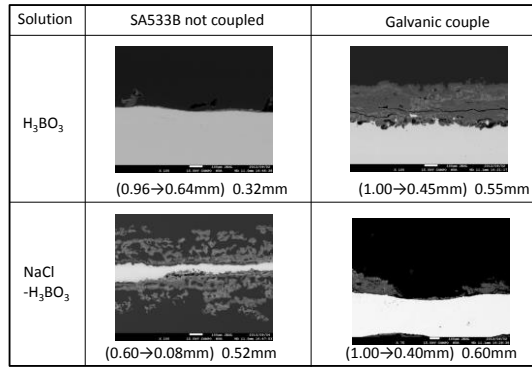


Fig.6 Surface morphologies of SA533B after 14.1 ks immersion.

(4-7) Table 3 に、Fig. 6 の断面観察から得られた腐食速度を比較して示す。また、NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 混合水溶液については、Fig.3 の分極測定から得られた値も示す。分極測定から算出された値と試料観察結果から得られた値はよく合っている。ただし、分極測定結果は算出法にも依存し、概略値である。断面測定した結果は直接の実測値であるから信頼性が高いが、測定誤差を考慮すれば、減肉量におよぼすガルバニック腐食の効果はまだ明確ではない。Fig. 4 で示したように、実測のガルバニ電流密度の平均値は 5 A/m<sup>2</sup> で、0.0006 mm/h にしかないから測定誤差範囲であるが、結線直後は約 40 A/m<sup>2</sup> で 0.005 mm/h の寄与となる。測定誤差を考慮して得られる NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 混合水溶液中の腐食速度は、自然浸漬、ガルバニ対を含めて 0.07~0.08 mm/h (60~70 cm/y) であった。

Table 3 Calculated corrosion rates of SA533B at 423 K.

NaCl	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	NaCl-H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	
Not coupled	Not coupled	Not coupled	Coupled with Nickel based superalloy
Not detected	0.040 mm/h (35 cm/y)	0.065 mm/h (57 cm/y)	0.075 mm/h (External) (66 cm/y) 0.066 mm/h (Internal) (58 cm/y)
		0.07 mm/h* (60 cm/y)	0.08 mm/h* (70 cm/y)

\* From the polarization analyses (see Fig. 3)

SA533B を溶液に浸漬すると、Fig. 6 に示すように、NaCl 水溶液ではほとんど腐食せず、H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 水溶液中では腐食し、混合水溶液中では激しく腐食した。Fig. 5 のガルバニック腐食実験で、腐食電流は、NaCl 水溶液中ではほとんど流れず、そのため腐食せず、H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 水溶液中では流れ、混合水溶液中では増大した。実験手法は異なるが、よく対応している。本研究で得られた平均的なガルバニ電流は 5 A/m<sup>2</sup> 程度で大きいわけではないが、ガルバニック腐食の寄与についてはアノードとカソードの面積比の効果について注意する必要がある。もし、圧力容器のステンレス鋼、ニッケル基

超合金の内張りが破れたとすると、濃厚溶液になっていけば導電性がよいから、広い面積(S<sub>c</sub>)のカソードと破れたわずかな面積(S<sub>a</sub>)の SA533B アノードの組み合わせとなる。近似的には、S<sub>c</sub>/S<sub>a</sub> 比だけアノード電流が増加し、この比が 100 から 1000 になることも十分ありうるから、同一面積試料で測定したガルバニ電流が小さくとも著しいガルバニック腐食になりうる。一度耐食性の内張り部分が少しでも破れて SA533B が水溶液と接すれば、集中的にアノード電流が流れて、局所的により酸性となり、ドリル孔のような穴があく可能性もある。一度貫通すると、流動加速腐食が起りうる。

(4-8) 上記の結果は NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 系で得られたものであるが、これらの腐食に及ぼす pH の影響を評価するためにはより広い組成域で調べる必要があるという観点から、NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>-NaB<sub>4</sub>O<sub>7</sub> (ほう砂) 水溶液中での実験を行った。SA533B と対にした場合のガルバニック腐食に関する実験結果を示す。SA533B とインコネル 600 を溶液外で接続した場合の外部ガルバニック腐食の時間的変化を Fig.7 に示す。この実験では 1 分間隔で on/off を繰り返す、腐食電位も同時に測定した。その結果、NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 系で最も大電流が流れ、SA533B はわずかにアノード分極しただけであるのでカソード支配型腐食形態であった。NaCl-NaB<sub>2</sub>O<sub>8</sub> 系では、ガルバニック電流は低下し、カソード分極とアノード分極が拮抗していた。NaCl-NaHB<sub>4</sub>O<sub>7</sub> 系ではガルバニック腐食はより低下し、カソード分極の程度が大きくなり、アノード支配型腐食であった。

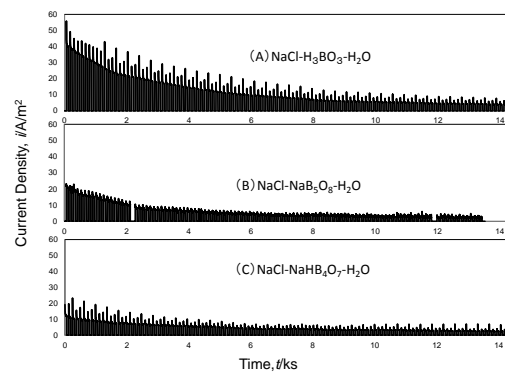


Fig.7 Current response for galvanic couples (1 min on/off)

Fig.8 に試料断面観察結果を示す。この結果からも NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 系で最も激しく腐食し、NaCl-NaB<sub>2</sub>O<sub>8</sub> 系、NaCl-NaHB<sub>4</sub>O<sub>7</sub> 系となるにつれて腐食が低下し、電気化学的知見とよく対応した。また、実際に溶液中で SA533B とインコネル 600 が接した時の状況を模した場合は試料断面観察結果を Fig.9 に示す。この場合、インコネル基板にねじ穴を切り、そこに SA533B をねじ込んで浸漬した。ここで示すように SA533B はガルバニック対になると激しく腐食した。その結果、五ホウ酸ナ

トリウムの場合はホウ酸の場合より若干腐食は低下するが、腐食形態はホウ酸の場合と類似していた。それに対し、四ホウ酸ナトリウムの場合は著しく腐食は低下し、SA533B/インコネルガルバニ対界面での加速的腐食も検知できなかった。

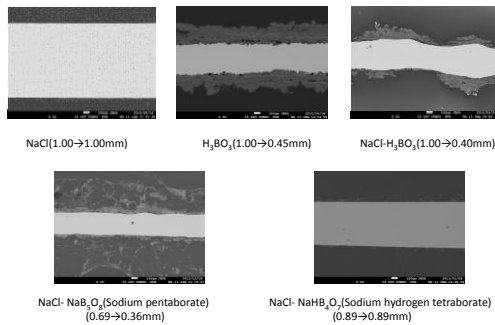


Fig.8 Surface morphologies of external galvanic couples

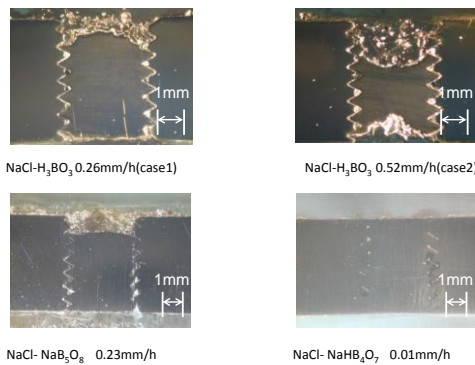


Fig.9 Surface morphologies of internal galvanic couples

今後は、より現実的な実験条件で検証していく必要があるが、激しく腐食する可能性があることを明らかにし、今後に進めるべき実験についても若干の考察をした。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

・ 金児 紘征, 中川 時子, 平泉 浩成, 「NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 水溶液中における原子炉圧力容器材料の加速腐食試験」, 日本金属学会誌, **76** (2012), 479-488.

・ Hiroyuki Kaneko, Tokiko Nakagawa, Kousei Hiraizumi and Ryo Sakai, “Accelerated Corrosion Tests of Nuclear Reactor Pressure Vessel Materials in NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> Solutions”, Materials Transactions, **54**(2013), 755 - 764.

・ 中川 時子, 長澤 允彦, 金児 紘征, 「NaHCO<sub>3</sub> 水溶液中における Fe-Zn ガルバニック腐食」, 日本金属学会誌, **77** (2013), 479-488.

[学会発表] (計 3 件)

・ 中川時子, 岩井 常, 酒井 亮, 金児紘征, NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 混合溶液中の SA533B の腐食; 日本金属

学会 24 年度秋季学会 (平成 24 年 9 月 19 日)

・ 中川時子, 金児紘征, 酒井 亮, NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>-Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> 水溶液中の SA533B の腐食挙動; 日本金属学会平成 25 年春季大会: (平成 25 年 3 月 27 日)

・ 金児紘征, 中川時子, 福本倫久, 原基, NaCl-H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>-Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> 溶液中における SA533B/インコネルガルバニック腐食形態; 日本金属学会平成 25 年秋季大会 (平成 25 年 9 月 19 日)

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

金児 紘征 ( Kaneko Hiroyuki)

秋田大学・大学院工学資源学研究所・名誉教授  
研究者番号: 20006688

### (2) 研究分担者

福本 倫久 (Fukumoto Michihisa)

秋田大学・大学院工学資源学研究所・准教授  
研究者番号: 20343064

中川 時子 (Nakagawa Tokiko)

秋田大学・大学院工学資源学研究所・助教  
研究者番号: 40180252

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: