

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01331

研究課題名(和文) 鋼本来の再不働態化能力を極限まで引き出すことが可能な金属組織設計指針の構築

研究課題名(英文) A new alloy design concept for high-corrosion resistant steels based on micro-electrochemistry of local dissolution and repassivation

研究代表者

武藤 泉 (Muto, Izumi)

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：20400278

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,200,000円

研究成果の概要(和文)：省資源型高耐食鋼の開発を可能とするマイクロスケールでの腐食現象の解析手法を開発し、それを用いて、鋼本来の再不働態化能力を極限まで引き出すことが可能な耐食鋼の設計指針を導出した。パーライト組織ではフェライトから孔食が発生し、鉄炭化物は溶解の広がりを防止する作用があることを見出した。また、固溶炭素は鋼の活性溶解の速度を低下させ、この作用が鋼の耐食性を向上させることを発見した。MnSなどの硫化物を起点とするステンレス鋼の孔食に対しては、介在物中にCeなどの鋼の活性溶解に対するインヒビターを添加することで、高合金化とは異なる機構で、塩化物に対する耐食性を向上させることができることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

耐孔食性に優れる鋼を開発するためには、材料表面に点在する腐食起点を特定し、そのうえでミクロな視点から高耐食化のための知見を見出すことができる新技術の開発に成功した。さらに、孔食が自発的に成長を開始する前に、溶解を停止させる技術を見出した。高合金化に代わる新しい原理であり、省資源高耐食鋼を開発する基盤技術になるものと期待される。特に、固溶炭素と鉄炭化物が鋼の高耐食化に寄与することを、マイクロメートルオーダー視点から解明したことは意義深い。輸送用機器などの軽量化に不可欠な高強度鋼の高耐食化に応用可能である。

研究成果の概要(英文)：The initiation sites and morphology during the early stage of pitting on pearlite structure were investigated. Pits were initiated in the ferrite lamellae and proceeded along the ferrite lamellae. Cementite acts as a barrier against the pit growth. In as-quenched and tempered martensitic, interstitial carbon was found to improve pitting corrosion resistance. Short-time tempering of martensite was suggested to be a feasible approach to striking an optimal balance between facilitating corrosion resistance and achieving the desired mechanical properties. For stainless steels, the addition of inhibitor to sulfide inclusions was determined to improve pitting corrosion resistance at sulfide inclusions. It was demonstrated that Ce³⁺ ions are likely to be produced by the dissolution of Ce-containing inclusions, and the Ce³⁺ ions inhibit trench formation at the sulfide/steel matrix boundary, resulting in improved pitting corrosion resistance at sulfide inclusions.

研究分野：腐食防食学

キーワード：耐食材料 腐食防食 炭素鋼 ステンレス鋼 孔食

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

炭素鋼やステンレス鋼における孔食起点の存在確率は面積 1cm^2 あたり1個程度と非常に低く、孔食の自発的成長の臨界半径も $1\mu\text{m}$ 程度と非常に小さい。耐孔食性に優れる鋼を開発するためには、材料表面に点在する腐食起点を特定し、そのうえでミクロな視点から高耐食化のための知見を見出すことができる新技術の開発が不可欠である。また、孔食が自発的に成長を開始する前に、溶解を停止させることが高耐食化においては重要であると思われる。しかし、そのような技術に関しては、高合金化が知られているのみで、省資源化が可能な効果的な手段は不明である。

2. 研究の目的

省資源型の高耐食鋼の開発を可能とするマイクロスケールでの腐食現象解析手法を開発し、それを用いて、鋼本来の再不動態化能力を極限まで引き出すことが可能な耐食鋼の設計指針を導出すること。

3. 研究の方法

(1) 試験片

炭素鋼 S45C とステンレス鋼(Steel A と B)を主に使用した。表 1 に、それらの化学組成を示す。

表 1 試験片の化学組成(mass%)

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Ce
S45C	0.47	0.19	0.85	0.015	0.015	0.01	0.18	0.01	-
Steel A	0.051	0.39	1.51	0.039	0.022	8.27	18.3	0.21	-
Steel B	0.011	0.47	<0.05	0.033	0.017	9.41	17.9	<0.01	0.091

(2) マクロスケール電気化学計測

試験片を幅 15mm ×長さ $30\sim 25\text{mm}$ に切断し、電極面積が 1cm^2 になるようにエポキシ樹脂とパラフィンで被覆した。電解液は、非脱気の水ウ酸緩衝溶液と NaCl 水溶液を用い動電位アノード分極を行った。水ウ酸緩衝溶液は、 $0.35\text{M H}_3\text{BO}_3$ と $0.075\text{M Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ を混合し、 $\text{pH} 6.0\sim 8.0$ の所定の pH に調整した($\text{M}=\text{mol/L}$)。また、 NaCl を $1\text{mM}\sim 0.5\text{M}$ の範囲で含有する水ウ酸緩衝溶液も使用した。一部の実験では、 $0.1\text{M Na}_2\text{SO}_4$ も使用した。電位の掃引速度は 23mV/min とし、照合電極には $\text{Ag/AgCl}(3.33\text{M KCl})$ 電極を使用した。本報告書の電位表記の基準は、 $\text{Ag/AgCl}(3.33\text{M KCl})$ 電極とする。実験は全て 25°C で行った。

(3) マイクロスケール電気化学計測

電気絶縁性の樹脂を使用して約 $100\mu\text{m}\times 100\mu\text{m}$ あるいは、これよりも小さな電極面を作製し、マクロスケール電気化学計測と同様の条件で動電位アノード分極を行った。照合電極には、小型の Ag/AgCl 電極を使用した。実験はすべて 25°C で行った。

4. 研究成果

(1) 炭素鋼の孔食発生機構の解明

孔食萌芽を解析する技術として、マイクロ電気化学システムの高度化を行った。開発したシステムにおいては、1)電極面の電位・電流信号の経時変化と撮影した動画を30ミリ秒以内の誤差で一致させること、2)光学顕微鏡の絞りと光源を調整することで分解能を約 100nm にまで高めることに成功した。さらに、試料電極の面積を $100\mu\text{m}$ 四方あるいはそれ以下とすることで、光学顕微鏡で観察している領域と試料電極面のサイズを一致させ、電流変化と試料表面の溶解位置を対応させることに成功した。

炭素鋼 S45C のパーライトにおける孔食発生の初期段階を解明するため、ピット形状の経時変化を解析することにした。図 1(a)は、ピットが発生する直前のその場観察画像であり、この際の電位は 0.540V であった。この時点をも 0 秒と定める。図 1(b)に示すように、0.03 秒後に多数のピットが発生した。これらのうち、矢印で示す二つのピットをピット B1 および B2 と呼称する。図 1(c)より、発生初期は、ピット B1、B2 とともに形状は円形であった。その後、図 1(d)から(i)に示すように、0.55 秒までの間に、ピットがパーライトのラメラ方向(赤矢印の方向)にのみに優先的に成長して、長方形に近い形になることが分かる。そして 0.55 秒以

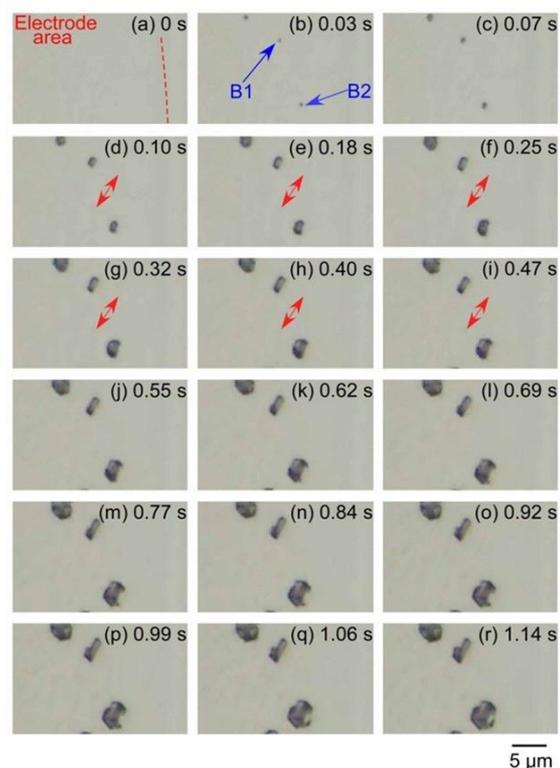


図 1 S45C のパーライト組織の分極中その場観察結果(100 mM NaCl 含有、 $\text{pH} 8.0$)

降は、ピットは全方位に成長した。

一般に、パーライトを構成するセメントイトとフェライトの耐食性を比較すると、炭化物であるセメントイトの方が耐食性は高いと考えられる。したがって、パーライト中で発生したピットの起点は、セメントイトではなくフェライトであると考えられる。さらに、図1に示すように発生初期、ピットはラメラの方向に沿って進行する。これは、フェライトで発生したピットが、フェライトラメラを優先的に溶解しながら腐食が成長したことによるものであると考えられる。セメントイトは、ピットの成長を妨げるバリアの役割を果たしていると思われる。そして、ピットの成長が進むと、深さ方向も含めてフェライトラメラの大部分を溶解することで、セメントイトのラメラ構造が崩壊し、ピットが等方的な成長に移行したものと考えられる。炭化物 Fe_3C の特性を改善することで、孔食萌芽の成長を停止できる可能性が高いことを見出した。

(2) 固溶炭素を利用した炭素鋼の高耐食化

固溶炭素も Fe の電子状態を変化させ、鋼の耐食性を向上させる可能性があるのではないかと考え固溶炭素量と耐食性との関係を調査した。500mM NaCl 含有ホウ酸緩衝溶液(pH 8.0)中でのアノード分極を行った。その結果、焼入れままマルテンサイトの耐孔食性は、焼戻しマルテンサイトよりも高く、これら二つの組織の耐孔食性の違いは固溶炭素量に起因する可能性があることが分かった。さらに、大気中での脱炭処理により低炭素マルテンサイトを作製し、マイクロスケールでのアノード分極測定を実施した。低炭素マルテンサイトの孔食電位は、 $-0.08V$ より低い電位であり、 $0.45\text{mass}\%$ の炭素を固溶したマルテンサイトよりも著しく耐食性が低いことが分かった。

固溶炭素が耐孔食性を高める理由をさらに詳細に考察するため、マイクロスケールでのアノード分極曲線の測定を行った。図2に、pH 8.0 のホウ酸緩衝溶液中で測定した焼入れままマルテンサイトおよび焼戻しマルテンサイトのマクロアノード分極曲線を示す。孔食発生におよぼす塩化物イオンの影響を調査するため、 1mM の NaCl を含むホウ酸緩衝溶液および NaCl を含まないホウ酸緩衝溶液の二種類を用いて分極測定を行った。図2(a)から分かるように、 $-0.6V$ 付近において、試料の活性溶解に伴う電流密度の上昇が見られた。活性溶解の際の電流密度を比較すると、焼戻しマルテンサイトの方が、焼入れままマルテンサイトの場合より活性溶解電流密度が高くなっている。どちらの試料についても、 $-0.6V$ より貴な電位域においては、電位の掃引にしたがって電流密度が低下し、 $-0.6V$ から $1.0V$ にかけて電流密度の上昇は見られなかった。これは不働態皮膜形成によるものである。 $1.0V$ 以降の電位域では電流値の大幅な上昇は、酸素発生反応によるものである。図2(b)に示す NaCl を含むホウ酸緩衝溶液中でも、同様の現象が観察され、焼入れままマルテンサイト中の固溶炭素は、塩化物が存在する際も、活性溶解を抑えることで耐食性を高めていると考えられる。

ところで、炭素鋼は靱性を確保するため焼き戻し状態で使用される。そこで、耐孔食性に及ぼす焼き戻し時間の影響を解析した。解析は、介在物が存在しない微小領域、MnS を起点とする孔食、酸化物/硫化物複合系介在物(MgO-Al₂O₃-CaS-MnS)を起点とする場合で評価を行った。図3に、本研究で得られた孔食電位と焼き戻し時間との関係を示す。ビッカース硬さは0.1時間で大きく低下しており、延性は充分回復してものと判断される。これに対して、0.1時間焼き戻し材の耐食性は、焼入れまま材と同等である。したがって、マルテンサイト組織の中に固溶炭素をうまく残存させたまま、転位密度などを低下させることで、耐食性と機械特性の両立が可能であると判断される。ベイナイトや残留ガンマ相の影響も含め、固溶炭素を耐食性向上と高強度化に活用できる可能性が高いことを見出された。さらに、焼き戻しマルテンサイト内に存在する Fe_3C は孔食の

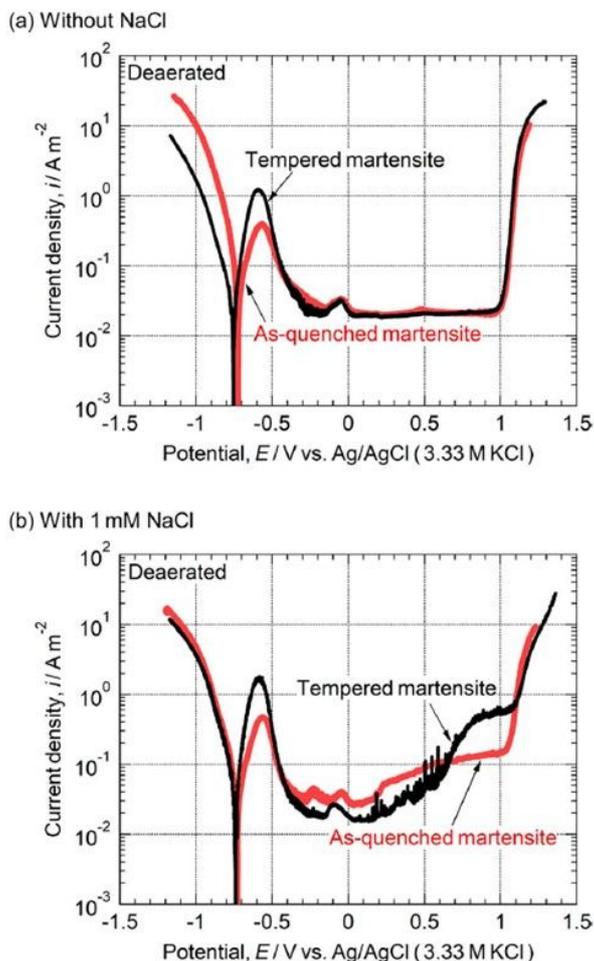


図2 pH 8.0 のホウ酸緩衝溶液中で測定した焼入れままマルテンサイトおよび焼戻しマルテンサイトのマクロスケールでのアノード分極曲線

成長を抑制する作用を有しており高耐食化には改善に寄与するため好都合であることも分かった。

(3) ステンレス鋼の孔食起点の把握と高耐食化技術の開発

ステンレス鋼は、炭素鋼とは異なり、MnS や CaS などの介在物が局部腐食の起点になることが知られている。そこで、介在物の電気化学特性を改質することで、耐孔食性を向上させることを試みた。図 4 に作製したステンレス鋼中の介在物の元素分析結果を示す。Steel A は Ce を添加していない比較鋼であり MnS が生成している (Point A)。これに対して、Ce を添加した Steel B では、Ce 酸化物 (Point B1 と B2) と Ce 硫化物 (Point B3) が複合化した介在物が生成していることが分かった。なお、本研究では簡素化のため、この介在物を CeS 系介在物と呼称する。

Steel A の MnS を含む微小領域のアノード分極曲線を 0.1 M NaCl 中で計測

したところ、0.4 V 付近で電流値が増加し孔食が発生した。解析の結果、MnS 周囲に溝 (trench) が形成され、そこを起点としてピット (pit) が発生していることが分かった。同様に、Steel B の CeS 系介在物を含む微小領域のアノード分極曲線を計測したところ、孔食電位は MnS の場合よりも高く 0.8 V 付近であった。解析の結果、CeS を起点にピットが発生したことが分かった。

このように、CeS 系介在物もピットの発生起点になるが、MnS に比較し孔食電位が著しく向上している。そこで、Ce 添加による耐食性向上機構を解明することにした。硫化物系介在物を起点とする孔食に関しては、1)硫化物系介在物のアノード溶解と、2)脱不動態化後の鋼母相の局部アノード溶解が特に重要であると思われる。そこで、Ce 系介在物がいずれの段階に作用しているのかを解析することにした。

図 5 に、CeS 系介在物を含む微小領域の 0.1 M Na₂SO₄ 中での動電位アノード分極曲線を計測する前と後での介在物の表面状態を示す。分極は 0.6 V まで行った。図から分かるように、CeS の部分が溶解している。すなわち、介在物中の Ce には硫化物のアノード溶解を防止する作用はないもの

と思われる。次に、Steel A の MnS を含む微小領域を対象に、溶液中に Ce³⁺ を添加した際の MnS のアノード溶解の程度を評価した。結果を図 6 に示す。この図から分かるように、Ce³⁺ にも硫化物系介在物のアノ

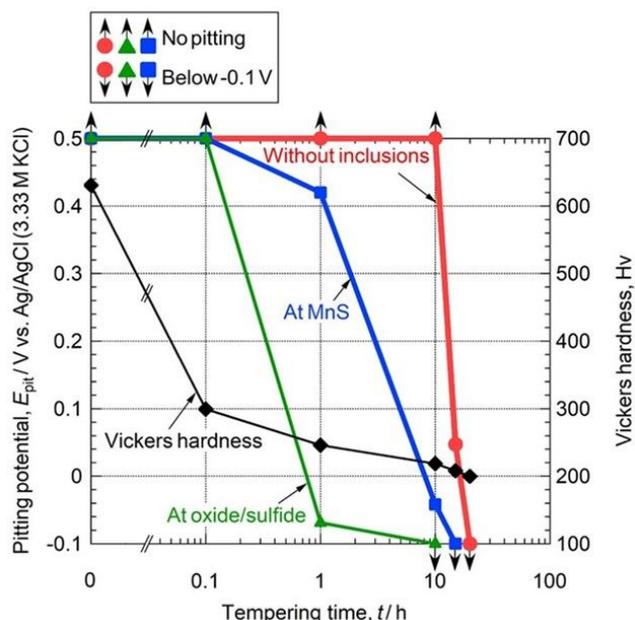


図 3 本研究で得られた S45C 炭素鋼の孔食電位と焼戻し時間との関係

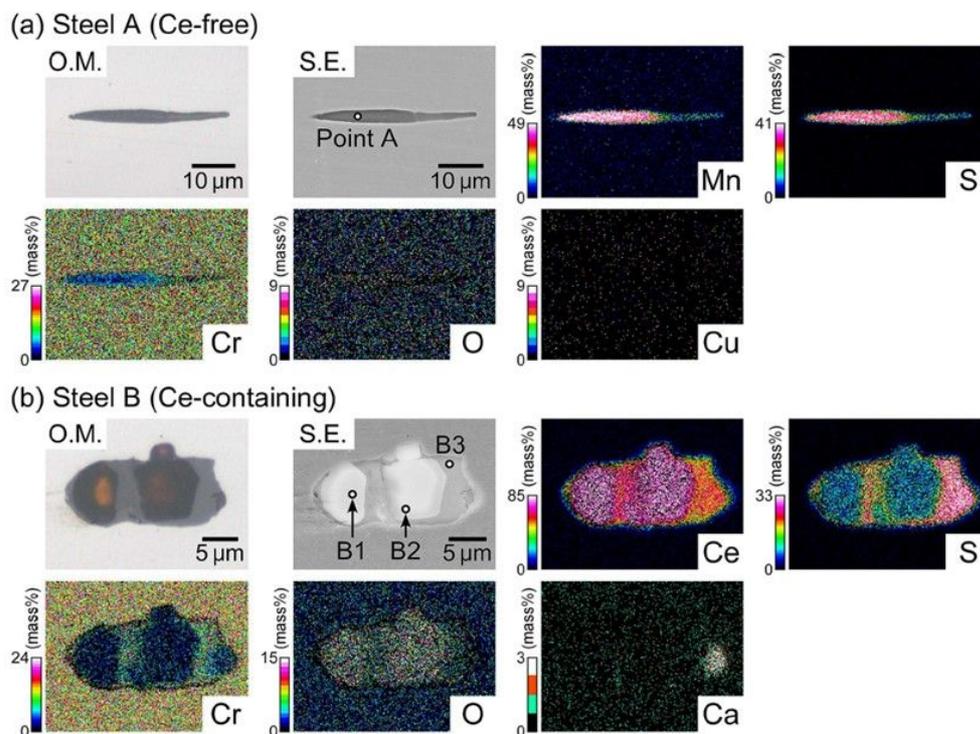


図 4 Steel A と B に存在する典型的な介在物の素成分分析の結果

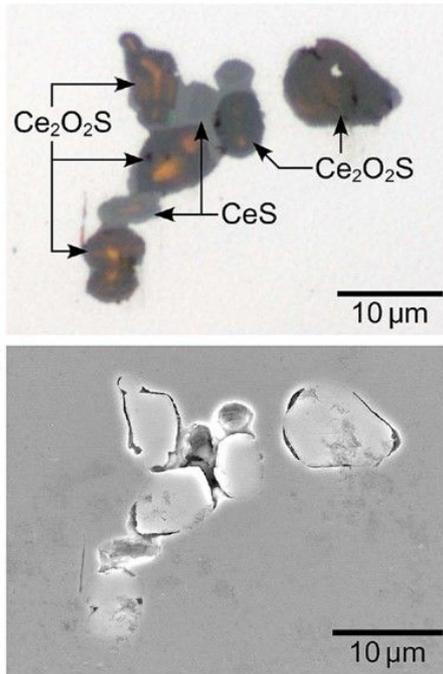


図 5 CeS 系介在物(上段)を 0.1 M Na₂SO₄ 中で 0.6 V まで動電位分極した時の侵食形態(下段)

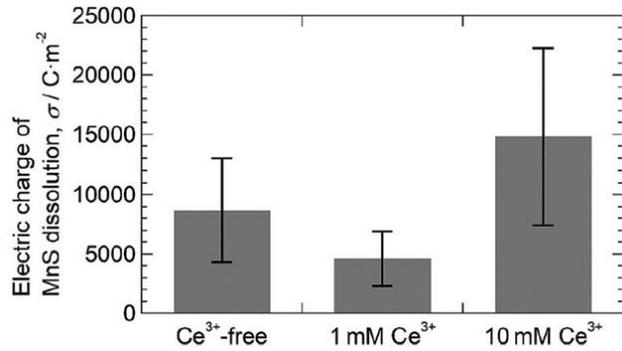


図 6 Steel A の MnS を含む微小領域の 0.1 M Na₂SO₄ 中での動電位アノード分極曲線から求めた MnS 溶解電気量に及ぼす Ce³⁺の影響

ード溶解を抑制する作用はないものと思われる。

次に、鋼母相のアノード溶解に対する Ce³⁺の影響を評価した。図 7 に、3 M NaCl 中での MnS を含む微小領域の動電位アノード分極曲線と、分極後の MnS/鋼母相の境界部の溝状侵食(アノード溶解)の挙動を示す。図 7(d)と(e)は、FIB で MnS を含む断面を作製した後の観察結果である。Ce³⁺を含まない場合には、溝の形状が急峻であるが、Ce³⁺を添加することで、溝が浅く間口が大きく広がること

が分かった。溝内部には鋼の溶解に伴い金属イオンが蓄積し、酸性化が起こりやすい。しかし、前者に比較し後者の形態の方が、溝内部と沖合の溶液との混合が容易であると思われる。強酸性化による局部アノード溶解(孔食)は生じにくいものと思われる。図 8 に、MnS と CeS を起点とする孔食発生過程の差異を整理した。CeS は溶解生成物である Ce³⁺の作用により介在物/鋼母相の境界部に形成される溝が浅くなり、溝内部の酸性化が起こりにくくピットが生じにくいものと結論づけられる。

以上のように、本研究により、腐食している局部に鋼母相の侵食を抑制する化学種を供給するような金属組織とすることで省資源高耐食化ステンレス鋼を開発できることが分かった。

なお、溶液中に NO₃⁻ を添加する、鋼中に Mo 濃化相を形成することも耐食性向上に有効に作用することも見出した。

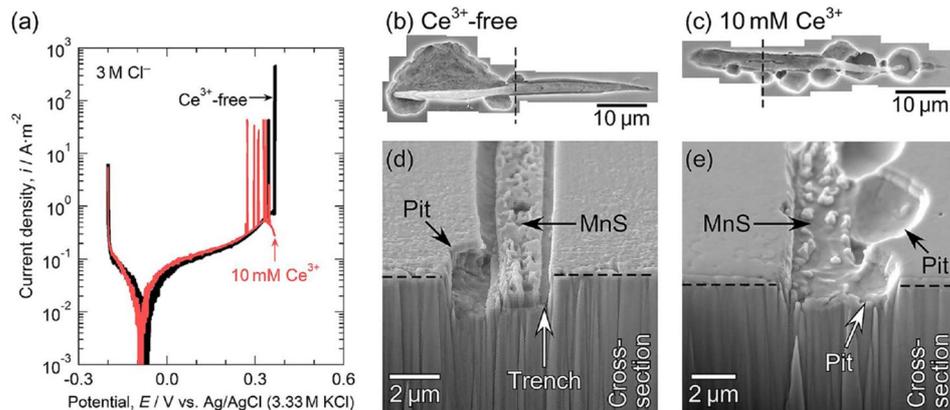


図 7 Steel A の MnS を含む微小領域の 3 M NaCl 中でのアノード分極における MnS/鋼母相境界部の侵食形態に及ぼす Ce³⁺の影響

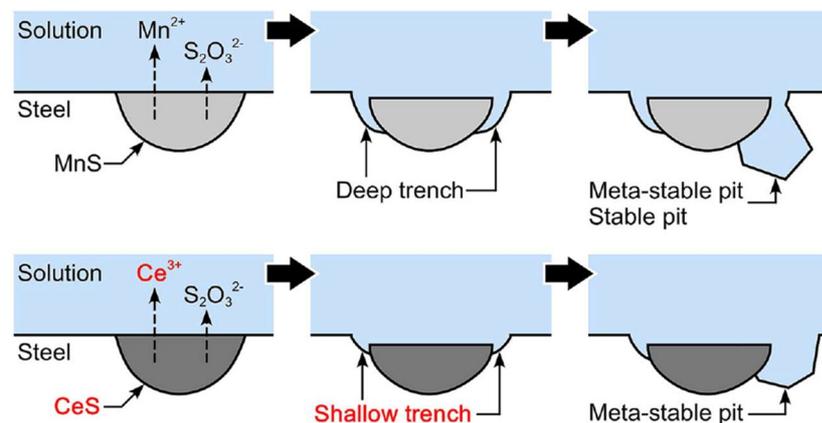


図 8 MnS と CeS を起点とする孔食発生過程の差異(CeS は溶解生成物である Ce³⁺の作用により介在物/鋼母相境界部の溝が浅くなり、ピットが生じにくくなるものと考えられる)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Yu Sugawara, Waka Inoue, Izumi Muto, and Nobuyoshi Hara	4. 巻 165
2. 論文標題 A Methodology for Fabrication of Highly Pitting Corrosion-Resistant Type 304 Stainless Steel by Plasma Carburizing and Post-Pickling Treatment	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 C441-C449
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1149/2.0081809jes	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Mariko Kadowaki, Izumi Muto, Yu Sugawara, Takashi Doi, Kaori Kawano, and Nobuyoshi Hara	4. 巻 165
2. 論文標題 Improving Pitting Corrosion Resistance at Inclusions and Ductility of a Martensitic Medium-Carbon Steel: Effectiveness of Short-Time Tempering	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 C711-C721
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1149/2.0071811jes	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Shinpei Asano, Izumi Muto, Yu Sugawara, and Nobuyoshi Hara	4. 巻 165
2. 論文標題 Relationships between Pitting Corrosion Potentials and MnS Dissolution of 5-18 Mass% Cr Steels	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 C732-C742
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1149/2.0271811jes	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 門脇万里子、武藤 泉、菅原 優、原 信義	4. 巻 67
2. 論文標題 共焦点レーザー顕微鏡を用いたマイクロ電気化学計測システムによる炭素鋼の孔食発生挙動の観察	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 材料と環境	6. 最初と最後の頁 497-501
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 武藤 泉、千葉亜耶、東城雅之、菅原 優、原 信義	4. 巻 105
2. 論文標題 鋼/MnS境界部の電気化学特性解明とステンレス鋼の耐孔食性向上技術	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 鉄と鋼	6. 最初と最後の頁 207-214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2018-068	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ida Noriyuki, Muto Izumi, Sugawara Yu, Hara Nobuyoshi	4. 巻 164
2. 論文標題 Local Electrochemistry and In Situ Microscopy of Pitting at Sensitized Grain Boundary of Type 304 Stainless Steel in NaCl Solution	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 C779 ~ C787
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2.1011713jes	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Mariko Kadowaki, Izumi Muto, Yu Sugawara, Takashi Doi, Kaori Kawano, Nobuyoshi Hara	4. 巻 164
2. 論文標題 Pitting Corrosion Resistance of Martensite of AISI 1045 Steel and the Beneficial Role of Interstitial Carbon	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 C962 ~ C972
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2.0541714jes	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Masashi Nishimoto, Izumi Muto, Yu Sugawara, Nobuyoshi Hara	4. 巻 164
2. 論文標題 Micro-Electrochemical Properties of CeS Inclusions in Stainless Steel and Inhibiting Effects of Ce ³⁺ Ions on Pitting	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 C901 ~ C910
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2.0051714jes	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Asako Otake, Izumi Muto, Aya Chiba, Yu Sugawara, Nobuyoshi Hara	4. 巻 164
2. 論文標題 Pitting at the / Boundary of Type 304 Stainless Steel in NaCl Solution: The Role of Oxide Inclusions and Segregation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 C991 ~ C1002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2.0561714jes	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計47件(うち招待講演 0件/うち国際学会 14件)

1. 発表者名 井田憲幸, 武藤 泉, 菅原 優, 原 信義
2. 発表標題 鋭敏化ステンレス鋼の粒界腐食発生挙動のマイクロ電気化学解析
3. 学会等名 (公社)腐食防食学会「材料と環境2018」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青山高士, 武藤泉, 菅原優, 原信義
2. 発表標題 ステンレス鋼のすき間腐食再不働態化に及ぼす硝酸イオンの影響
3. 学会等名 (公社)腐食防食学会「材料と環境2018」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 徳田慎平, 武藤泉, 菅原優, 原信義
2. 発表標題 負荷応力下における鋭敏化ステンレス鋼の孔食発生およびMnS介在物の溶解挙動解析
3. 学会等名 (公社)腐食防食学会「材料と環境2018」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 門脇万里子, 武藤 泉, 菅原 優, 原 信義
2. 発表標題 共焦点レーザー顕微鏡を用いたマイクロ電気化学計測システムによる炭素鋼の孔食発生機構の解析
3. 学会等名 (公社)腐食防食学会「材料と環境2018」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高谷夏実, 武藤 泉, 菅原 優
2. 発表標題 水溶液中におけるステンレス鋼表面の電位分布可視化用デバイスの開発
3. 学会等名 (公社)腐食防食学会「材料と環境2018」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 幸村智基, 武藤 泉, 菅原 優
2. 発表標題 強加工を施した鋼の耐食性評価
3. 学会等名 (公社)腐食防食学会「材料と環境2018」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 門脇 万里子, 武藤 泉, 菅原 優, 土井教史, 河野佳織, 原 信義
2. 発表標題 マルテンサイト鋼の耐孔食性におよぼす固溶炭素の影響解明
3. 学会等名 日本金属学会2018年秋期(第163回)講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高谷 夏実, 武藤 泉, 菅原 優
2. 発表標題 水溶液中におけるステンレス鋼表面の電位分布可視化用デバイスの作製
3. 学会等名 日本金属学会2018年秋期(第163回)講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青山高士, 菅原優, 武藤泉, 原信義
2. 発表標題 ステンレス鋼のすき間腐食再不動態化に及ぼすアニオンの影響
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第176回秋季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 幸村智基, 武藤泉, 菅原優
2. 発表標題 強加工を施した鉄鋼の耐食性評価
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第176回秋季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松村健吾, 武藤泉, 菅原優
2. 発表標題 蛍光イメージングによるステンレス鋼のすき間腐食発生過程解明
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第176回秋季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 神田玲哉, 武藤泉, 菅原優
2. 発表標題 有限要素法による構造用鋼のすき間腐食成長挙動の解析
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第176回秋季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小鱈匠, 武藤泉, 菅原優
2. 発表標題 Fe-Al接合部における異種金属接触腐食機構解明のための試料作製
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第176回秋季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Ida, I. Muto, Y. Sugawara, and N. Hara
2. 発表標題 The Role of Pitting at Mns Inclusions in Intergranular Corrosion of Sensitized Type 304 Stainless Steel in NaCl Solution
3. 学会等名 ECS 234th Meeting (The Electrochemical Society) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Aoyama, Y. Sugawara, I. Muto, and N. Hara
2. 発表標題 The Role of Nitrate Ions in Repassivation of Crevice Corrosion on Type 316L Stainless Steel
3. 学会等名 ECS 234th Meeting (The Electrochemical Society) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Nishimoto, I. Muto, Y. Sugawara, and N. Hara
2 . 発表標題 Effect of Molybdenum on Pit Initiation at Manganese Sulfide Inclusions in Stainless Steel
3 . 学会等名 ECS 234th Meeting (The Electrochemical Society) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Tokuda, I. Muto, Y. Sugawara, and N. Hara
2 . 発表標題 Effect of Applied Stress on Pit Initiation of Sensitized Type 304 Stainless Steel in Chloride Solution
3 . 学会等名 ECS 234th Meeting (The Electrochemical Society) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Kadowaki, I. Muto, Y. Sugawara, T. Doi, K. Kawano, and N. Hara
2 . 発表標題 The Effect of Interstitial Carbon on Pitting Corrosion Resistance of Martensitic Carbon Steels
3 . 学会等名 ECS 234th Meeting (The Electrochemical Society) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 N. Takaya, I. Muto, and Y. Sugawara
2 . 発表標題 Visualization of Potential Distribution inside Crevice of Type 430 and 304 Stainless Steels
3 . 学会等名 ECS 234th Meeting (The Electrochemical Society) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Matsumura, I. Muto, and Y. Sugawara
2. 発表標題 Change in pH and Chloride Concentration inside Crevice of Stainless Steels
3. 学会等名 ECS 234th Meeting (The Electrochemical Society) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Komura, I. Muto, and Y. Sugawara
2. 発表標題 Effects of Severe Plastic Deformation and Interstitial Carbon on Corrosion Resistance of Steel
3. 学会等名 ECS 234th Meeting (The Electrochemical Society) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 徳田慎平, 武藤泉, 菅原優, 原信義
2. 発表標題 負荷応力下における鋭敏化ステンレス鋼の孔食発生挙動のその場観察
3. 学会等名 第65回材料と環境討論会(腐食防食学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西本昌史, 武藤泉, 菅原優, 原信義
2. 発表標題 ステンレス鋼のMnS介在物/鋼境界部の溶解挙動に及ぼすMoの影響
3. 学会等名 第65回材料と環境討論会(腐食防食学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 門脇万里子, 武藤泉, 土井教史, 河野佳織, 菅原優, 原信義
2. 発表標題 介在物起点の孔食発生におよぼす固溶炭素の影響解明
3. 学会等名 第65回材料と環境討論会(腐食防食学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西本 昌史、武藤 泉、菅原 優、原 信義
2. 発表標題 ステンレス鋼/介在物界面の電気化学溶解特性に及ぼす母相および介在物組成の影響
3. 学会等名 日本金属学会2018年秋期(第163回)講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 門脇万里子、武藤 泉、片山英樹、 升田博之、菅原 優、原 信義
2. 発表標題 炭素鋼の金属組織境界部での耐局部腐食性の向上
3. 学会等名 日本金属学会2018年秋期(第163回)講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 神田玲哉、武藤泉、菅原優
2. 発表標題 マルテンサイト系SUS420J2の耐食性に及ぼす熱処理の影響
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 境沢 勇人、武藤 泉、菅原 優、大谷 良行、京 良彦、原 信義
2. 発表標題 リアルタイム in situ 観察機能付きマイクロ電気化学システムによる Al-Mg 系合金の孔食発生挙動の解析
3. 学会等名 材料と環境2017(腐食防食学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西本 昌史、武藤 泉、菅原 優、原 信義
2. 発表標題 硫化物系介在物を起点とするステンレス鋼の孔食発生挙動に及ぼす Ce の影響解析
3. 学会等名 材料と環境2017(腐食防食学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柿沼 洋、武藤 泉、菅原 優、大谷 良行、京 良彦、原 信義
2. 発表標題 マイクロ電気化学システムによる Al-Mg 合金の孔食発生挙動の in situ 観察と溶解挙動に与える pH の影響
3. 学会等名 材料と環境2017(腐食防食学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 門脇 万里子、武藤 泉、菅原 優、土井 教史、河野 佳織、原 信義
2. 発表標題 マイクロ電気化学システムを用いたフェライト-パーライト鋼の孔食発生初期段階のその場観察
3. 学会等名 材料と環境2017(腐食防食学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 徳田 慎平、武藤 泉、菅原 優、原 信義
2. 発表標題 塩化物イオン環境における汎用ステンレス鋼の孔食に及ぼす応力の影響検討
3. 学会等名 材料と環境2017(腐食防食学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柿沼 洋、武藤 泉、菅原 優、大谷良行、京 良彦、原 信義
2. 発表標題 Al-Mg 合金の孔食発生挙動の in situ 観察と溶解挙動に与える pH 緩衝作用の影響
3. 学会等名 日本金属学会2017年秋期(第161回)講演大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 徳田 慎平、武藤 泉、菅原 優、原 信義
2. 発表標題 塩化物環境における汎用ステンレス鋼の電気化学挙動に及ぼす応力の影響検討
3. 学会等名 日本金属学会2017年秋期(第161回)講演大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西本 昌史、武藤 泉、菅原 優、原 信義
2. 発表標題 ステンレ鋼の硫化物系介在物の電気化学特性に及ぼすCeおよびMoの影響解析
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第174回秋季講演大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 門脇万里子、武藤 泉、菅原 優、土井教史、河野佳織、原 信義
2. 発表標題 マイクロ電気化学システムによる炭素鋼の金属組織と腐食挙動の関係解明
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第174回秋季講演大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井田憲幸、武藤 泉、菅原 優、原 信義
2. 発表標題 鋭敏化ステンレス鋼における孔食発起点の解析
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第174回秋季講演大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高谷夏実、武藤 泉、菅原 優
2. 発表標題 水溶液中におけるステンレス鋼表面の電位分布可視化用デバイスの試作
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第174回秋季講演大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuto Sakaizawa、Izumi Muto、Yu Sugawara、Yoshiyuki Oya、Yoshihiko Kyo、Nobuyoshi Hara
2. 発表標題 Micro-Electrochemical in Situ Observation of Pit Initiation at Precipitates in AA5182 Al-Mg Alloy in 0.1 M NaCl
3. 学会等名 ECS 232nd Meeting (The Electrochemical Society) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masashi Nishimoto、Izumi Muto、Yu Sugawara、Nobuyoshi Hara
2. 発表標題 Role of Cerium Ions for Improving Pitting Corrosion Resistance of Sulfide Inclusions in Stainless Steels
3. 学会等名 ECS 232nd Meeting (The Electrochemical Society) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Noriyuki Ida、Izumi Muto、Yu Sugawara、Nobuyoshi Hara
2. 発表標題 Electrochemical Properties of Single Grain-Boundary and Pit Initiation Sites of Sensitized Stainless Steel
3. 学会等名 ECS 232nd Meeting (The Electrochemical Society) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroshi Kakinuma、Izumi Muto、Yu Sugawara、Yoshiyuki Oya、Yoshihiko Kyo、Nobuyoshi Hara
2. 発表標題 In situ microscope observation of pitting corrosion on Al-Mg alloy using micro electrochemical measurement and effect of pH on dissolution behavior
3. 学会等名 ECS 232nd Meeting (The Electrochemical Society) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Mariko Kadowaki、Izumi Muto、Yu Sugawara、Takashi Doi、Kaori Kawano、Nobuyoshi Hara
2. 発表標題 Microelectrochemical Real-time Observation of Very Early Stage of Pitting on Carbon Steel in Chloride Solutions
3. 学会等名 ECS 232nd Meeting (The Electrochemical Society) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shimpei Tokuda、Izumi Muto、Yu Sugawara、Nobuyoshi Hara
2. 発表標題 Effect of Applied Stress on Pitting Corrosion Behavior of Type 304 Stainless Steel in Chloride Environment
3. 学会等名 ECS 232nd Meeting (The Electrochemical Society) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 門脇万里子、武藤 泉、菅原 優、土井教史、河野佳織、原 信義
2. 発表標題 マイクロ電気化学計測システムによるマルテンサイト鋼の 耐孔食性におよぼす固溶炭素の影響解明
3. 学会等名 日本金属学会2018 年春期(第162 回)講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西本昌史、武藤 泉、菅原 優、原 信義
2. 発表標題 MnS介在物を起点とするステンレス鋼の孔食発生に及ぼすMoの影響
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第175 回春季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松村健吾、武藤 泉、菅原 優
2. 発表標題 蛍光イメージングによるステンレス鋼のすき間腐食発生過程解明
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第175 回春季講演大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 耐食性に優れる窒化物含有焼結鋼の製造方法	発明者 青山高士、武藤 泉、 菅原 優、原 信義	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-238217	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 金属表面の電位分布可視化用デバイス	発明者 高谷夏実、武藤 泉、 菅原 優	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-095665	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 腐食液性解析用高感度イメージングデバイスの作製方法	発明者 松村健吾、武藤 泉、 菅原 優	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-014609	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	菅原 優 (Sugawara Yu) (40599057)	東北大学・工学研究科・准教授 (11301)	