

令和 4 年 5 月 25 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02479

研究課題名(和文)カソード還元挙動に注目した防食的な鉄鋼さび層の育成

研究課題名(英文) Design of Protective Rust Layer on Carbon Steel Considering Cathodic Reduction Behaviour

研究代表者

山下 正人 (Yamashita, Masato)

大阪大学・工学研究科・招へい教授

研究者番号：60291960

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：社会資本鋼構造物は腐食しやすく、SDGsの強靱なインフラ構築のためにもそれらを防食することが重要である。鋼材の腐食で「鉄さび」を生じるが、鉄さびが還元されると腐食が加速する。本研究は非鉄金属イオンを導入することで還元されにくいさびや腐食生成物を育成し腐食を抑制することを指向しており、橋やプラント設備などの重要な施設の長寿命化に資する新規な防食法の基礎を作る。

研究の結果、Ni, Al, Znイオンを鉄さびにドーブすると還元が抑制され鋼材の腐食を低減できることが判明した。非鉄金属イオンを添加した塗料を鋼材に塗布すると鋼材表面の腐食生成物層が安定構造に変化し耐食性が高まることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高度成長期において建設された多くの鉄鋼インフラはすでに建設から長期間を経過し、腐食による劣化が社会問題となっている。今後長期にわたってそれらを健全に保つための補修費用は飛躍的に増大していくことが指摘されている。高度成長期は社会資本を建造する時代であったが、成熟した社会における現在から将来にかけて、社会資本の維持が最重要課題の一つになる時代に入っている。

本研究成果は、鋼材表面に生成するさびを還元されにくい(=酸化剤として作用し難い)組成や構造に制御することを可能にし、さびの還元特性を解明した点で学術的意義を与え、鋼材の耐食性を高めることで鉄鋼インフラを守る技術開発に繋がる点に社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：Social capital steel structures are susceptible to corrosion, and it is important to protect them from corrosion to build a strong infrastructure for the SDGs. Corrosion of steel materials produces "iron rust," and the corrosion is accelerated when the iron rust is reduced. This research aims to develop rust and corrosion product which are resistant to reduction by introducing non-ferrous metallic ions to inhibit corrosion, and will lay the foundation for a new corrosion prevention method that will contribute to extending the service life of important facilities such as bridges and plant equipment.

The research results showed that (1) Doping Ni, Al, and Zn ions into iron rust inhibits reduction of the rust and reduces corrosion of steel materials. (2) When a coating with nonferrous metal ions is applied to steel, the corrosion product layer on the surface of the steel changes to a stable structure and corrosion resistance of the steel is increased.

研究分野：腐食科学

キーワード：炭素鋼 鉄さび 大気腐食 防食 カソード還元 放射光

1. 研究開始当初の背景

高度成長期において建設された多くの鉄鋼インフラはすでに建設から長期間を経過し、腐食による劣化が社会的問題となっている。国土交通白書では「致命的な損傷が発生するリスクが飛躍的に高まる」と警告しており、新聞紙上あるいはテレビ報道などでは社会資本の老朽化と維持管理方法の問題点がしばしば指摘され、国民の生活の安全・安心への警告がなされている。すでに米国では2007年に米ミネソタ州ミネアポリスにおいて、ミシシッピ川に架かる州間高速道路の橋が崩壊する大事故が発生している。この橋は建設後40年が経過しており、腐食による劣化が原因であることが報告されている。我が国においても、首都高速道路など建築から40年以上経過している鉄鋼インフラは数多く、今後長期にわたって健全に保つための補修費用は飛躍的に増大していくことが指摘されている。高度成長期は社会資本を建造する時代であったが、成熟した社会における現在から将来にかけて、社会資本の維持が最重要課題の一つになる時代に入っている。

水や酸素の存在する地球環境で鉄がさびるのは人工的に活性な金属状態にしたからであり、表面を安定な鉄鉱石に戻せば原理的にはその後変化することはなく、鉄鋼の腐食を新たな思想で抑制できる。現在の腐食防食学の体系の中では、腐食活性の高い金属を地球環境中の腐食因子から隔離し腐食を抑制する思想が構築されているがこの環境遮断効果の継続も有限であり、このままでは高齢化した社会資本鋼構造物が崩壊する時代に突入するのも時間の問題であり、人類の文化的営みを将来にわたり維持するためには、この点において学術体系の変革が必要である。

鉄鋼の腐食に関して、常温、大気環境中で一般に認められる鉄鋼の主要結晶性さびの成分は、 α -FeOOH (ゲーサイト)、 β -FeOOH (アカガナイト)、 γ -FeOOH (レピドクロサイト) の3種類のオキシ水酸化鉄と酸化鉄 Fe_3O_4 (マグネタイト) に分類される。オキシ水酸化鉄の異性体のなかでも熱力学的安定性は異なるが、ゲーサイトが最も安定で2価の鉄を含む酸化物に還元されにくいことが報告されている。また、これまでの研究により、オキシ水酸化鉄が還元されてマグネタイトが生成すると酸素の還元が加速されること[1]や、ゲーサイトに合金元素が添加されると、その還元抵抗が上昇し鉄の腐食を抑制すること[2]が明らかになっている。これらの点を考慮すると、鋼材表面に生成するさびを還元されにくい(=酸化剤として作用し難い)組成や構造に制御することにより防食的な性質を付与することが可能になると考えられ、鉄鋼インフラの新たな防食思想の構築に繋がる。

以上のような背景のもと、研究を開始した。

2. 研究の目的

腐食反応にともない生成する鉄さびや非鉄金属元素の腐食生成物について、還元抵抗性を高めるために種々の金属カチオンを導入した場合の還元特性の変化を明らかにし、鉄さびや腐食生成物に防食的な性質を付与することで、鋼材の耐食性を高め鉄鋼インフラを守る新たな技術開発に繋げることを目的とする。得られた知見をもとに防食的なさびなどの腐食生成物の育成方法を検討し、社会資本構造物の長寿命化技術へ展開できる基礎的知見を構築する。これらの目的を達成するため、以下の2点を具体的な研究目的とした。

(1) さびの還元挙動に及ぼす非鉄金属イオンの影響解明

大気暴露により作製した鉄鋼さびの還元挙動を電気化学的方法により評価し、さび構造との関係を明らかにする。さびが生成した鋼板を窒素脱気条件で分極した後、電位を保持しながら空気を吹き込む。この方法により、さびの還元特性と酸素の還元挙動を知ることができる。さらに、さびに非鉄金属イオンをドープレ、還元挙動に与える影響を調査する。

(2) 防食的な腐食生成物の育成方法の検証

防食的な鉄さびや非鉄金属の腐食生成物を鋼材上に育成するため、樹脂を含んだ塗料中に非鉄金属イオンを添加し鋼材に塗布することにより、防食的な鉄さびや腐食生成物を育成する塗膜を有する鋼材を試作する。この被覆鋼材について腐食試験を行い、鉄さびや腐食生成物の構造と耐食性を評価する。

3. 研究の方法

(1) さびを有する鋼材の還元挙動に及ぼす非鉄金属イオンの影響解明

海浜環境で3カ月大気暴露することにより、さび層を有するSS400炭素鋼を準備した。この試料についてカソード分極挙動を評価するために、定電位カソード分極を行った。電気化学測定には三電極セルを使用し、溶液に $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, NiSO_4 , Na_2SO_4 , ZnSO_4 水溶液、参照電極に Ag/AgCl 電極、対極に Pt を用いた。 N_2 脱気環境下で、自然電位を測定後、自然電位から -800 mV まで 0.5 mV/s で掃引し、 -800 mV に定電位保持後のさび層の還元時間 t_c を $1000\text{ s} \sim 10000\text{ s}$ とし、この間

のカソード電流密度を測定した。その後、還元されたさび層を有する炭素鋼上での酸素還元速度を評価するため、空気を導入して 1000 s 間電流密度を測定した。さび層の構造解析のため、EDS 測定ならびに SPring-8 の高輝度放射光を用いた X 線回折 (XRD) 測定を行った。

(2) 非鉄金属イオンを添加した塗料を塗布した炭素鋼の腐食挙動解明

一般構造用圧延鋼材 SS400 のグリッドブラスト処理鋼板を供試材とした。金属化合物として $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ と CaO あるいは BaO を添加したジンクリッチペイントを、乾燥膜厚が $40 \mu\text{m}$ になるように供試材に塗装し、 23°C 、相対湿度 50 % の環境で 1 週間養生して試験片とした。金属化合物の合計添加量 (M_t) は 0~4.3 mass% とした。

各試験片を、中性大気腐食環境を模擬した乾湿繰り返し腐食試験に供した。本研究では、JIS K 5600-7-9 : 2006 サイクル腐食試験方法に規定されるサイクル D 法を採用し、試験時間を 2,160 時間とした。サイクル D 法は、 $30 \pm 2^\circ\text{C}$ で 50 g/L の NaCl 水溶液を 30 分間噴霧した後に、 $30 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 95 ± 3 % の湿潤環境で 1.5 時間保持し、さらに $50 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 20 ± 3 % および $30 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 35 ± 3 % でそれぞれ 2 時間乾燥させることを 1 サイクルとする、乾湿繰り返しサイクル腐食試験方法である。

腐食試験終了後、試験片の電気化学特性を評価した。電気化学測定には、ポテンショスタットを用いた。電解質にサイクル腐食試験で用いた 50 g/L の NaCl 水溶液を、参照電極および対極には Ag/AgCl (3.3 mol/L KCl 水溶液) および Pt 板をそれぞれ用い、 25°C の大気開放条件で測定を行った。自然電位を 3 時間測定した後に、自然電位から $\pm 120 \text{ mV}$ の範囲をスキャン速度 0.5 mV/s で動電位分極した。電流値を評価対象部の面積で除することで電流密度を算出した。得られた分極曲線からターフェル外挿法により腐食電位 E_{corr} および腐食電流密度 I_{corr} を算出した。また、カソード分極曲線およびアノード分極曲線の測定も行った。

腐食試験後の塗膜断面の観察および元素分析を実施した。さび層に損傷を与えないように回転砥石を用いて各試験片を切断し、電界放出型走査電子顕微鏡 (FESEM) (Zeiss 社製 Ultra 55) を用いて加速電圧 30 kV にて断面を観察するとともに、エネルギー分散型 X 線分析装置 (アメテック (株) 製 Genesis APEXs) により主要元素分布を調査した。

腐食試験により生成した腐食生成物の構造を調査するため、XRD 測定および X 線吸収微細構造 (XAFS) 解析を実施した。一般に、腐食生成物は微細な結晶から構成されている場合が多いため、X 線の輝度を高めることや適切なエネルギーを選択することが質の高い回折スペクトルを得るために重要であることから、測定には SPring-8 (Super Photon ring-8 GeV) の高輝度放射光を用いた。試験片から腐食生成物を採取した後、乳棒・乳鉢により粉末化した試料について、SPring-8 の BL16XU において XRD 測定を実施した。Zn の蛍光 X 線によるバックグラウンド上昇を抑制するため、X 線エネルギーとして 15 keV (波長 0.827 \AA) を選択した。Si (111) を用いた二結晶分光器により単色化した X 線を入射角 2.0° で入射し、 2θ スキャン方式により $5^\circ \sim 25^\circ$ の範囲を測定した。4 象限スリットにより入射ビームサイズを 0.1 (高さ) \times 1.0 (幅) mm^2 にし、 0.1 (高さ) \times 1.5 (幅) mm^2 および 0.2 (高さ) \times 2.0 (幅) mm^2 の二つのスリットを組み合わせて受光スリットとした。また、腐食生成物中の非鉄金属元素の存在状態に関する情報を得るため、SPring-8 の BL16B2 にて XAFS 測定を実施した。

4. 研究成果

(1) さびを有する鋼材の還元挙動と非鉄金属イオンの影響

海浜環境で 3 カ月大気暴露し得られたさび層の主要構成物質は $\gamma\text{-FeOOH}$ であった。これを定電位カソード分極すると、図 1 に示すように外観が変化した。 Al^{3+} 、 Ni^{2+} 、 Na^{2+} を含む場合は、時間の経過とともに茶褐色の外観が黒色に変化しており、さびが還元されていると推測される。一方、 Zn^{2+} を含む水溶液中では、茶褐色の外観が大きくは変化しなかった。

カソード電流密度は時間経過にともない小さくなった。また、脱気状態から通気状態に切り替えた際にカソード電流密度は増加した。これは酸素還元反応によるものであると考えられ、この増加量を酸素還元電流密度 ΔI_c とした。 Al^{3+} 、 Ni^{2+} 、 Zn^{2+} 含有水溶液において、 t_c を変化させて得られた ΔI_c の最大値は $5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以下であり、 Na^+ 含有水溶液中で得られた $20 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ と比べ小さな値であった。XRD 測定から、さびの主成分は α 、 $\gamma\text{-FeOOH}$ およびマグネタイトであり、 t_c の増加にともないマグネタイトの割合が増加した。一方、さび層の内部に水溶液中のカチオンに由来すると考えられる Al, Ni, Zn が存在している

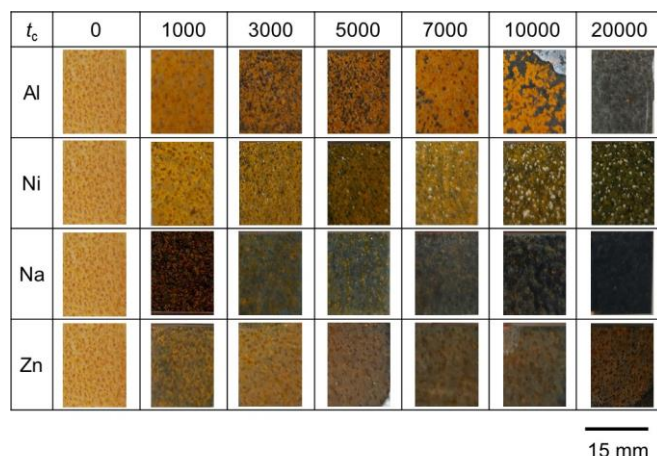


図 1 定電位カソード分極を行った各試料の外観

ことが EDS 測定により確認できたことから、生成したマグネタイトには Al^{3+} , Ni^{2+} および Zn^{2+} が含有されていると考えられる。すなわち、これらのカチオンを含有することでマグネタイトの特性が変化し、 ΔI_c が低下したと考えられる。また、 Zn^{2+} が添加された場合は、初期に存在していた $\gamma\text{-FeOOH}$ の還元自体が抑制された。

以上より、金属カチオン含有水溶液中で発錆炭素鋼をカソード分極すると、 Al^{3+} , Ni^{2+} および Zn^{2+} の影響で構造や性質が変化したマグネタイトがさび層中に形成し、酸素還元が抑制されることがわかった。また、 Zn^{2+} はさびの還元を抑制し、防食的なさびを得るために特に有効なカチオンであることが明らかとなった。

(2) 非鉄金属イオン添加塗料を適用した炭素鋼の腐食挙動

腐食試験に 2,160 時間供した後の、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ と BaO を添加した試験片外観を図 2 に示す。ここで R, B1, B2, B3 試験片の M_t はそれぞれ 0, 1.2, 2.2, 4.3 である。塗膜に金属化合物を添加していない R 試験片では、全面に白色の腐食生成物が生成しており、炭素鋼の腐食生成物である赤褐色の鉄さびも認められた。金属化合物を添加した試験片では、白色の腐食生成物の発生量が低減しており、表面に鉄さびの生成は認められなかった。

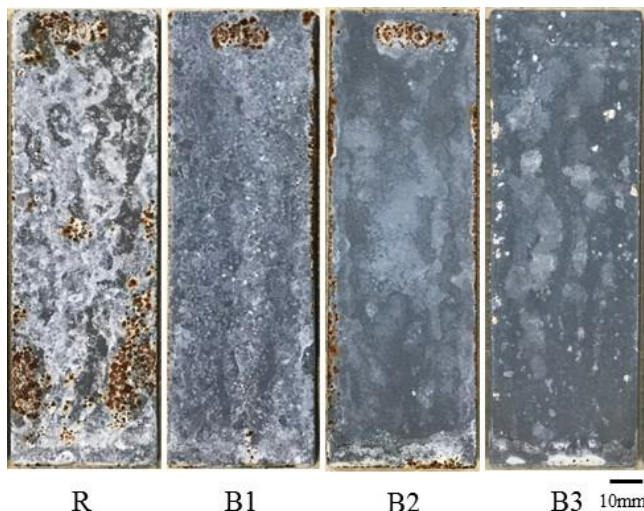


図 2 腐食試験後の試験片外観

各試験片のカソード分極曲線を図 3 に示す。R 試験片では、溶存酸素の一般的な拡散限界電流密度 ($10 \sim 20 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) 以上の電流密度が観測された。このことから、酸素の還元以外の反応が、カソード反応として生じていると考えられる。一方、金属化合物を塗膜に含有した B1, B2, B3 試験片では極めて低いカソード電流密度が認められており、カソード反応が抑制されている。

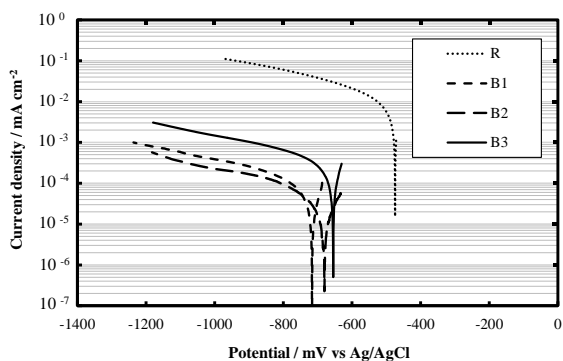


図 3 腐食試験後のカソード分極曲線

腐食試験実施後に測定した各試験片の分極曲線から得られた腐食電流密度 I_{corr} に及ぼす金属化合物の合計添加量 M_t の影響を図 4 に示す。塗膜に金属化合物を添加していない R 試験片で I_{corr} は最も大きく、赤さびの生成も見られたことから、生成した腐食生成物の防食性は低いと考えられる。金属化合物を添加することで I_{corr} が急激に低下した。また、 M_t の増加に伴い白色の腐食生成物の生成が抑制されたことから、金属化合物の添加により防食的な腐食生成物が形成されたと考えられる。なお、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ と CaO を添加した場合も同様の結果が得られた。XRD 測定、XAFS 測定および元素分布調査から、生成した腐食生成物は還元抵抗性が高く、鋼材の防食に寄与する構造であることが明らかとなった。

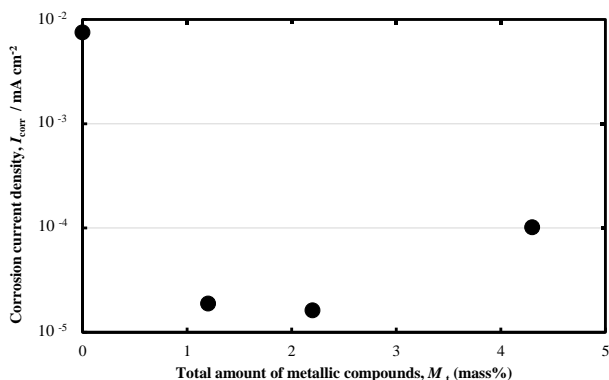


図 4 腐食電流密度の M_t 依存性

(3) 新たな防食技術への展開

本研究により、還元抵抗性の高い防食的なさびなどの腐食生成物の育成が可能になり、社会資本構造物の長寿

命化技術に展開できる基礎的知見が得られた。

<引用文献>

- [1] 山下正人、藤本慎司、鉄鋼材料に生成するさびの構造と防食性能、第 64 回材料と環境討論会講演集、D-112(2017)
- [2] 金 暲泰、花木宏修、山下正人、藤本慎司、乾湿繰り返し環境下で発錆炭素鋼に生成するさび層の構造と防食性に及ぼす金属塩の効果、第 64 回材料と環境討論会講演集、D-113(2017)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kim Kyung-Tae, Tsuchiya Hiroaki, Hanaki Koushu, Yamashita Masato, Fujimoto Shinji	4. 巻 76
2. 論文標題 Modification of Rust Layer on Carbon Steel with Reactive Actions of Metallic Cations for Improved Corrosion Protectiveness	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Corrosion	6. 最初と最後の頁 335 ~ 343
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5006/3408	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 Hayashida Shota, Takahashi Masamitsu, Deguchi Hiroshi, Tsuchiya Hiroaki, Hanaki Koushu, Yamashita Masato, Fujimoto Shinji	4. 巻 69
2. 論文標題 Structure of Corrosion Product Formed on Carbon Steel Covered with NiSO4-added Resin Coating under Sulfuric Acid Mist Environment Containing Chloride	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Zairyo-to-Kankyo	6. 最初と最後の頁 148 ~ 153
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3323/jcorr.69.148	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 TAKAHASHI Masamitsu, HAYASHI Yasunori, KIMURA Akihiko, HANAKI Koushu, YAMASHITA Masato, TSUCHIYA Hiroaki, FUJIMOTO Shinji	4. 巻 69
2. 論文標題 Corrosion Behavior of Rusted Carbon Steel Coated with a Paint Containing Metallic Salt under Wet and Dry Cyclic Condition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Materials Science, Japan	6. 最初と最後の頁 797 ~ 803
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.69.797	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 Hayashida Shota, Takahashi Masamitsu, Deguchi Hiroshi, Tsuchiya Hiroaki, Hanaki Koushu, Yamashita Masato, Fujimoto Shinji	4. 巻 62
2. 論文標題 Structure of Corrosion Product Formed on Carbon Steel Covered with NiSO4-added Resin Coating under Sulfuric Acid Mist Environment Containing Chloride	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 781 ~ 787
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.C-M2021819	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 Takahashi Masamitsu, Deguchi Hiroshi, Hayashi Yasunori, Kimura Akihiko, Hanaki Koushu, Tsuchiya Hiroaki, Yamashita Masato, Fujimoto Shinji	4. 巻 72
2. 論文標題 Corrosion behavior of carbon steel coated with a zinc rich paint containing metallic compounds under wet and dry cyclic conditions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials and Corrosion	6. 最初と最後の頁 1787 ~ 1795
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/maco.202112465	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 Yamashita Masato, Takahashi Masamitsu, Deguchi Hiroshi, Hayashi Yasunori, Kimura Akihiko, Hanaki Koushu, Tsuchiya Hiroaki, Fujimoto Shinji	4. 巻 70
2. 論文標題 Corrosion Behavior of Carbon Steel Coated with a Zinc-Rich Paint Containing Aluminum Sulfate and Barium Oxide under Wet and Dry Cyclic Conditions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Zairyo-to-Kankyo	6. 最初と最後の頁 327 ~ 333
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3323/jcorr.70.327	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 出口 博史、林田 将汰、土谷 博昭、花木 宏修、山下 正人、藤本 慎司	4. 巻 9
2. 論文標題 Al2(SO4)3含有樹脂被覆炭素鋼における鉄さびの構造と還元挙動	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SPring-8/SACLA利用研究成果集	6. 最初と最後の頁 550 ~ 553
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18957/rr.9.7.550	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 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 1件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 阿賀 一朗、出口博史、土谷博昭、花木宏修、山下正人、藤本慎司
2. 発表標題 大気暴露期間の異なる発錆炭素鋼のカソード分極挙動
3. 学会等名 日本金属学会2020年（第167回）秋期講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大本篤、出口博史、土谷博昭、花木宏修、山下正人、藤本慎司
2. 発表標題 金属カチオン含有水溶液中における発錆炭素鋼のカソード分極挙動
3. 学会等名 日本金属学会2020年（第167回）秋期講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋正充、出口博史、土谷博昭、花木宏修、木村晃彦、林慶知、山下正人、藤本慎司
2. 発表標題 金属化合物を添加したジंकリッチペイント塗布鋼材の腐食生成物の構造
3. 学会等名 腐食防食学会第67回材料と環境討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大本篤、出口博史、土谷博昭、花木宏修、山下正人、藤本慎司
2. 発表標題 濃度の異なる金属カチオン含有水溶液中での発錆炭素鋼のカソード分極挙動
3. 学会等名 日本金属学会2021年（第168回）春期講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Omoto Atsushi, Tsuchiya Hiroaki, Hanaki Koushu, Yamashita Masato, Fujimoto Shinji
2. 発表標題 Reduction Behavior of Rusted Carbon Steel in Metallic Cation-Containing Solutions
3. 学会等名 The Electrochemical Society, Pacific Rim Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Aga Ichiro, Deguchi Hiroshi, Tsuchiya Hiroaki, Hanaki Koushu, Yamashita Masato, Fujimoto Shinji
2. 発表標題 Cathodic Polarization Behavior of Rusted Carbon Steels Exposed to Atmospheric Environment for Different Duration
3. 学会等名 The Electrochemical Society, Pacific Rim Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yamashita Masato, Fujimoto Shinji
2. 発表標題 Structural Analysis of Rust Layer Formed on Carbon Steel Exposed to Atmospheric Corrosion Environments Using Synchrotron Radiation X-Rays
3. 学会等名 The Electrochemical Society, Pacific Rim Meeting 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林田将汰、出口博史、土谷博昭、花木宏修、山下正人、藤本慎司
2. 発表標題 塩化物を含む硫酸ミスト環境におけるNi ²⁺ 含有樹脂被覆炭素鋼の腐食生成物の放射光解析
3. 学会等名 腐食防食学会第66回材料と環境討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿賀一朗、出口博史、土谷博昭、花木宏修、山下正人、藤本慎司
2. 発表標題 厚さの異なるさび層を有する炭素鋼のカソード分極挙動
3. 学会等名 日本金属学会2020年(第166回)春期講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林田将汰、高橋正充、出口博史、土谷博昭、花木宏修、山下正人、藤本慎司
2. 発表標題 塩化物を含む硫酸ミスト環境においてNiSO ₄ 含有樹脂被覆炭素鋼に形成した腐食生成物の構造と防食性
3. 学会等名 日本金属学会2020年（第166回）春期講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋正充、出口博史、林慶知、木村晃彦、花木宏修、土谷博昭、山下正人、藤本慎司
2. 発表標題 塩化物を含む硫酸ミスト環境における金属化合物含有樹脂被覆炭素鋼の腐食生成物の構造
3. 学会等名 腐食防食学会材料と環境2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大本篤、出口博史、土谷博昭、花木宏修、山下正人、藤本慎司
2. 発表標題 金属カチオン含有水溶液中における発錆炭素鋼のカソード分極挙動とさびの構造
3. 学会等名 日本金属学会2021年（第169回）秋期講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山下正人、高橋正充、出口博史、花木宏修、土谷博昭、藤本慎司
2. 発表標題 硫酸アルミニウムと酸化バリウムを添加した ジンクリッチペイント塗布炭素鋼の腐食生成物の放射光解析
3. 学会等名 腐食防食学会第68回材料と環境討論会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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	花木 宏修 (Hanaki Koushu) (20336829)	大阪大学・工学研究科・招へい准教授 (14401)	
研究 分担者	藤本 慎司 (Fujimoto Shinji) (70199371)	大阪大学・工学研究科・教授 (14401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------