

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420771

研究課題名(和文)微生物の代謝反応が誘導する金属の腐食機構を応用した発電システムの開発に関する研究

研究課題名(英文) Study on the development of an electrical generation system depending on the electrochemical mechanisms related to microbiologically inducing corrosion of metals

研究代表者

宮野 泰征 (Miyano, Yasuyuki)

秋田大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60466589

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：文献等で報告される微生物腐食機構モデルを参考に、アノードとカソードを独立・機能的に編成したマクロセル構造を有する新規の実験系として設計・再現し、腐食反応を促進する条件、すなわち電極反応向上の可能性を検討した。

最初に、電位、化学物質などの非生物系的要因に着目し、微生物腐食機構を効率的に再現するための検討を行った。次に、電極反応に寄与する生化学的機能を持つ微生物を選定し、微生物の活動レベルと電極反応の相関について検討し、電極反応の向上に寄与する培養条件を導出した。電極反応の効率的再現下における、微生物の代謝挙動(反応物質の生成/消費)、バイオフィーム構造を詳細に解析した。

研究成果の概要(英文)： Based on some scientific research about the mechanism model of microbiologically influenced corrosion, a few original experimental set up functionally arranged as a macro cell. Then the possibility of the acceleration of corrosion reaction, i.e. the acceleration of electron flow of experimental electric cell system were investigated. Firstly, focusing on the abiotic corrosion inducers such as electric potential or chemical substances, the electron flow related to microbiologically influenced corrosion mechanism was investigated. Secondly, based on basic research some bacteria which can promote electric reaction was recruited, then the correlation of the bacterial activity and the electrode reaction was examined, moreover bacterial cultivating conditions to promote the reaction related to MIC. Then metabolism behavior of a microorganism (generation of a reactant/consumption) and the biofilm structure in the efficient condition of an electro chemical reaction were investigated.

研究分野：材料加工・組織制御工学

キーワード：微生物腐食 アノード カソード マクロセル 電位 共焦点顕微鏡レーザー顕微鏡 COCRM バイオフィーム

1. 研究開始当初の背景

現在、バイオマスエネルギー、燃料電池などは有力な代替エネルギーの候補とされているが、双方の原理を応用した微生物燃料電池にも注目が集まっている。その代表的な原理は、微生物が生成する H_2 を電子供与体として利用し、カソードでの電子受容を微生物の代謝作用により実現するというものである。多方面から研究が展開されているが、一般に燃料電池の基本原則・構成が踏襲されることが多く、微生物環境に導入した際の発電性能の低下や、高額な素材コストが懸案となっている。

微生物が電子伝達に関与する現象の一つに微生物腐食がある。これは、微生物による直接/間接的影響により誘起される金属の溶解現象である。各種構造材料で確認されるが、特にステンレス鋼の場合では中性の淡水環境でも異常な速度で大きな腐食損傷が発現するケースもあるため、機構解明と抑止技術の確立が求められている。歴史的には、鉄酸化細菌や硫酸塩還元菌などの特殊な微生物が主な原因細菌として注目されてきたが、現在は一般細菌が関与する腐食機構にも関心が集まっている。微生物腐食も一般の腐食と同様に金属の電位貴化を伴う現象で、陽極での金属溶解と陰極での還元反応によって進行する。この現象に関わる微生物腐食機構モデルが幾つか報告されているが、十分な実証的解明にはいたっていない。

このような、金属の腐食溶解（アノード反応）を誘導する微生物機能の中にはバイオリーチングとして研究開発/実利用の対象となっている機構もある。一方、微生物腐食におけるカソード反応を誘導する微生物機能として、微生物の代謝活動に伴う金属酸化物の形成作用が指摘されている。これは、天然真珠などの製造技術として利用されるバイオミネラライゼーションと類型される機構である。

申請者は、微生物腐食の機構を金属材料微細加工に応用するための研究に取り組んできた。これまでの検討は、シングルセルとして実験系を構築するものであったため、腐食反応の速度・規模の再現性が課題となっていた。しかし、微生物腐食の誘発因子（金属への微生物付着挙動、代謝物質の生成挙動と培養環境との相関、材料/材料組織の微生物特性）をパラメータに設定したマクロセルを設計し、電気化学的手法（分極抵抗法など）を利用した微生物腐食リアルモニタリングにより腐食誘導条件を導出すれば、腐食再現性を大幅に向上できる可能性があるものと考えられる。このような微生物による金属の腐食誘導を、電極反応として発電システム（電池）に応用することが本研究への強い動機である。

2. 研究の目的

微生物腐食の機構を応用した発電システム（電池）開発に関する研究基盤確立を目的

とする。微生物腐食とは微生物の代謝反応によって誘導される金属の溶解反応であり、微生物存在環境では金属の腐食電位が著しく変動することが知られている。このような電位変動と微生物の生理機能（代謝）の相関を検討した微生物腐食機構モデルを基本に、微生物腐食を原理とする発電システム（電池）創製を目指す。微生物の代謝の最適化と、アノード/カソードの発現部位をマクロセルとして編成することにより、微生物が誘導する腐食反応を電池として応用について検討する。

3. 研究の方法

文献等で報告される微生物腐食機構モデルは、対象とする微生物に応じて多様であるが、おもに金属バルクに微生物が形成するマイクロセルとして説明されている。微生物腐食の再現試験が想定する実験系もマイクロセルとして設計、議論されることが多いが腐食再現性が実験技術上の課題となっている。申請者はこの原因を、マイクロセルを基本とする実験系での電極反応の向上・制御性の難しさと判断した。そこで本研究では、アノードとカソードを独立・機能的に編成したマクロセル構造を有する新規の実験系として設計・再現し、腐食反応促進すなわち電極反応向上の可能性を検討していく。

非生物系での検討結果を基に、生物的環境で微生物腐食機構を効率的に再現するための検討を行う。電極反応の効率化を実現する化学物質、反応条件を特定し、その生産/消費に関連した生化学的機能を持つ微生物を選定する。選定した微生物の活動レベルと電極反応の相関について検討し、電極反応の向上に寄与する培養条件を導出する。電極反応の効率的再現下における、微生物の代謝挙動（反応物質の生成/消費）、バイオフィーム構造を詳細に検討する。

4. 研究成果

(1) 微生物腐食を誘導する反応物質の一つである化学物質に着目し、生物学的因子を排除した単純な実験系（非生物系）を構築し、過酸化水素などのモデル化学物質を実験パラメータとし、化学物質の生成/消費と電極反応の相互作用について検討した。

(2) モデル実験系でのステンレス鋼を対象とした電位応答を系統的評価し、微生物が誘導する金属の腐食溶解反応を電極反応への応用性について検討した。アノード/カソード間の電位の形成を誘導するため、耐食性の異なる幾つかの鋼種や、熱処理等により耐食性を低下させた材料による電極パラメータを設定し、実験系と電位の相互作用を系統的に検討した。

(3) (1) と (2) の項目で記載した実験パラメータから電極反応の向上が期待できる条件を導出する。微生物腐食機構をモデル物質で疑似的に再現した実験系（マクロセル）を対象に、電気化学的な観点から動電位分極曲の測定と、定電位保持時の電流密度の

測定を実施する。アノード/カソードの電極反応、さらに電極反応に関連する化学物質の生成/消費の挙動、ならびに電極が受ける腐食影響を詳細に検討し、電気化学的な検討で得た実験値からこのシステムの発電能力を理論値として導出した。

(4) 微生物腐食機構の効率的再現に寄与する可能性の高い微生物を選定し、それらの微生物をアノードとカソードの各反応層に効率的に配置し、マクロセルの形成を試みた。電極反応をリアルタイムモニタリングしながら、微生物の活動レベルを制御し、電極間の反応が活性化に導かれる培養条件を導出について検討した。

(5) 電極反応の評価という視点から、アノードでの鉄イオンの溶解と、カソードでの電子の消費(たとえば H_2 の発生)の相関について検討した。電極反応が高い反応状態にある場合に、微生物の活動レベルについて検討した。

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 2 件)

1. 宮野泰征:「金属腐食とバイオフィーム」, 化学療法領域, 31 巻, 11 号, 2220-2228 項, 2015 査読有

2. 宮野泰征, 稲葉知大, 野村暢彦:「金属/微生物その場同時観察技術を利用した微生物腐食の可視化」材料と環境, 64 巻, 11 号, 492-496 項, 2015 査読無

[学会発表] (計 14 件)

1. 宮野泰征, 本城国明, 稲葉和夫, 野村暢彦, 古川壮一, 木内正人:「Si ウェハーに薄層した微量抗菌性金属と微生物の相互作用」, 日本鉄鋼協会第 166 回秋季講演大会, 金沢大学角間キャンパス(石川), 2013 年 9 月 17 日~2013 年 9 月 19 日

2. Yasuyuki Miyano, Kuniaki Honjo, Osamu Kamiya, Masato Takahashi, Masato Kiuchi: “New Bioassay to Evaluate the Minimum Antibacterial Mass of Metallic Copper Using Cu Thin Coating” The 7th International Conference on Materials Engineering for Resources, Akita View Hotel, Akita, Japan, 2013. 11. 20~2013. 11. 22

3. 宮野泰征, 古川壮一, 森永康, 太田瑛美, 柳原希枝子, 本城国明, 木内正人:「ナノレイヤー製膜プロセスを応用した金属の新規抗菌評価法に関する研究」, 材料と環境 2014 春季全国大会, 一橋講堂: 学術総合センター(東京), 2014 年 5 月 18 日~2014 年 5 月 20 日

4. Yasuyuki Miyano, Tomohiro Inaba, Nobuhiko Nomura: “The use of Continuous-Optimizing Confocal

Reflection Microscopy (COCRM) for Studying interactions of bacterial attachment with stainless steel welds” The 17th International Congress on Marine Corrosion and Fouling (ICMCF), The National University of Singapore, Singapore, 2014. 7. 6~2014. 7. 10

5. 宮野泰征, 稲葉知大, 篠田修和, 野村暢彦:「共焦点反射顕微鏡法を利用したステンレス鋼溶接部における微生物付着挙動観察」, 日本鉄鋼協会第 168 回秋期全国大会シンポジウム, 名古屋大学(愛知), 2014 年 9 月 24 日~2014 年 9 月 26 日

6. 宮野泰征, 古川壮一, 森永康, 本城国明, 木内正人:「ナノレイヤー製膜プロセスを応用した金属の新規抗菌性評価」日本鉄鋼協会第 168 回秋期全国大会討論会, 名古屋大学(愛知), 2014 年 9 月 24 日~2014 年 9 月 26 日

7. 宮野泰征:「共焦点反射顕微鏡法を応用したステンレス鋼溶接部の微生物腐食研究~微生物腐食を誘導する金属学的因子の影響解明と微生物腐食発生プロセスの可視化に向けて~」, 日本溶接学会 第 217 回溶接冶金研究委員会, 東京体育館第二会議室(東京), 2014 年 10 月 30 日

8. 宮野泰征, 稲葉知大, 野村暢彦:「金属微細組織と微生物付着の相互作用の可視化に関する検討~微生物腐食を誘導する金属学的因子の影響解明に向けて~」, 日本農芸学会平成 26 年度年次会シンポジウム, 岡山大学(岡山), 2015 年 3 月 26 日~2015 年 3 月 29 日

9. 宮野泰征, 稲葉知大, 野村暢彦:「微生物腐食を誘導する金属学的因子の影響解明と微生物腐食発生プロセスの可視化に関する検討」, 材料と環境 2015 春季全国大会, 東京電機大学(東京), 2015 年 5 月 18 日~2015 年 5 月 20 日

10. 渡辺宏紀, 稲葉知大, 遠矢正城, 茂木亮介, 豊福雅典, 宮野泰征, 野村暢彦:「反射顕微鏡法を用いた微生物腐食の新規観察手法の確立」, 環境バイオテクノロジー学会 2015 年度大会, 東京大学(東京) 2015 年 6 月 29 日~2015 年 6 月 30 日

11. 宮野泰征, 稲葉知大, 渡辺宏紀, 清川達則, 野村暢彦:「金属表面の微生物付着挙動解明にむけたその場観察技術とその応用」, 日本鉄鋼協会第 170 回秋季講演大会, 九州大学伊都キャンパス(福岡), 2015 年 9 月 17 日~2015 年 9 月 19 日

12. 宮野泰征, 渡辺宏紀, 清川達則, 継田唯俊, 佐藤雄二, 塚本雅裕, 野村暢彦:「微細な元素濃度パターンを有するステンレス鋼表面を対象とした微生物付着挙動の可視化」, 材料と環境 2016 春季全国

大会, 筑波国際会議場 (茨城), 2016 年 5 月 25 日～2016 年 5 月 27 日

13. Yasuyuki Miyano, Tomohiro Inaba, Hiroki Watanabe, Tatunori Kiyokawa, Nobuhiko Nomura: "Elucidation of metallurgical factor for MIC (Microbiologically Influenced Corrosion) of stainless steel welds using a newly developed in-situ simultaneous Metal/Microbial observation technique", 10th International Conference on Trends in Welding Research, Hitotubashi Hall, Tokyo, Japan, 2016. 10.11～2016.10.14
14. 宮野泰征: 「金属/微生物その場同時 CSLM 観察によるバイオフィルム生成過程の可視化」, 2016 年真空・表面科学合同講演会, 名古屋国際会議場 (愛知), 2016 年 11 月 29 日～2016 年 12 月 1 日

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 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 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

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

宮野 泰征 (Miyano, Yasuyuki)

秋田大学・大学院工学資源学研究所・准教授

研究者番号: 60466589

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

野村 暢彦 (Nomura, Nobuhiko)

筑波大学・大学院生命環境科学研究科
・教授

研究者番号: 60292520

木内 正人 (Kiuchi, Masato)

産業技術総合研究所・ユビキタスエネルギー研究部門・主任研究員

研究者番号: 50356862

稲葉 知大 (Inaba, Tomohiro)

産業技術研究所・管理研究部門・研究員

研究者番号: 90760439

(平成 27 年度より連携研究者)