

高耐食・高機能材料開発指針構築に向けたリアルタイムイメージング電気化学計測システムの開発

名古屋工業大学 大学院工学研究科 物理工学専攻 准教授

星 芳 直

1. テーマ設定の背景

開発した材料（製品）の特長を最大限に生かし、その能力を長期間発揮するためには、使用環境における材料の耐食性を正確に把握する技術が必要となる。著者は環境・エネルギー材料の長寿命化を目的とした電気化学・腐食科学の理論に基づく環境劣化モニタリング法の開発や腐食劣化機構の解析を中心とした研究を展開している¹⁻⁴⁾。本研究では、電気化学測定と同時に材料表面の動的過程（金属溶解→皮膜形成→皮膜破壊）をリアルタイムに追跡する電気化学計測システムを紹介する。この手法により電気化学反応により進行する表面形態変化をその場解析できるため、著者はこの手法による環境劣化機構解明に基づく新材料開発指針の構築を研究目標としている。

2. 素形材分野との関連性

金属材料は「形を変える」あるいは「異種材料と組み合わせる」ことで、その機能を極限まで引き出すことができる。しかし、加工にともない特定の金属組織に観察される局所的な腐食発生（局部腐食）や異種材料との接触に起因した金属の特異的な腐食進行（ガルバニック腐食）への対策が喫緊の課題とされている。本研究開発技術は電気化学反応により進行する腐食現象の電気化学計測とともに腐食が進行する材料表面をモニタリング（動画撮影）できるため、材料の形状・加工方法や異種材料接触に起因した耐食性への影響が評価できる。評価手法確立は、求められる条件を想定した「材料」と「環境」のスクリーニングに繋がる。材料開発において最適な条件を見出すことは、高耐食・高機能材料開発へのブレイクスルーに直結すると考えられる。

3. 研究開発の成果

本研究開発技術の最大の成果は、金属が溶解中に発する電気化学的シグナル（電位・電流）と金属溶解表面の動的過程の同時計測に成功した点である（図1参照）。金属材料の耐食性や機能性の向上は、表面を覆う「酸化物皮膜」の制御が「鍵」である。従来の電気化学測定では、測定される電位・電流の変化や測定後の表面状態の観察結果から金属/溶液界面で進行する電気化学反応プロセス（金属溶解や酸化物皮膜生成）を議論（推定）していた。本研究開発技術では、電気化学データの計測と同時に金属表面の動的過程（金属溶解→皮膜形成→皮膜破壊）を動画撮影し、時間とともに変化する電気化学的シグナルに対する金属表面の形態変化が議論できる。金属全面の撮影に加え、マイクロオーダーの局所的な撮影も可能なため、電気化学的な局所的溶解発生・進展過程と反応進行サイトの因果関係を解析できる。この手法により、電気化学的挙動（全面溶解、局部溶解、不均一溶解）の解析に基づいた材料開発の指針を示すことができる。

4. 訴求点

本研究開発技術は、あらゆる条件を反映した環境での耐食性（寿命）評価へ適用が可能であり、社会的課題である「安全管理」に貢献する。材料表面における溶解・析出反応の動的過程の追跡に加え、交流応答を利用した波形解析や有限要素法シミュレーションなど異分野の技術と組み合わせた表界面現象の素反応解析へ展開できる。筆者は3Dインピーダンス法⁴⁾をこの技術に適用することで、表面の動画取得と同時に繰り返しインピーダンススペクトルを測定することに成功した。この手法により時間領域におけるデータを周波数領

域で解析するとともに、金属溶解、皮膜形成、皮膜破壊、ガス発生に起因する反応現象を分離することができた。以上のように、本技術に多様な分野の技術が融合することにより、電気化学反応機構に基づく材料開発の新しい視点を高耐食・高機能材料開発に組み込むことができる。

素形材分野では高強度化・軽量化実現に向けた異種材料の組み合わせ（マルチマテリアル）や3Dプリンタを用いた積層造形によるものづくり

において、材料の溶解反応を利用した多孔質材料の創成や貴金属リサイクルが極めて重要な役割を担っている。本研究開発技術は材料表面の細孔構造形成過程をリアルタイムに追跡可能であるとともに、材料表面から溶け出した金属イオンを電気化学的に検出することで表面形態と溶出イオンの関係解明に基づくりサイクル効率の最適化に対して極めて有効な手段となる。

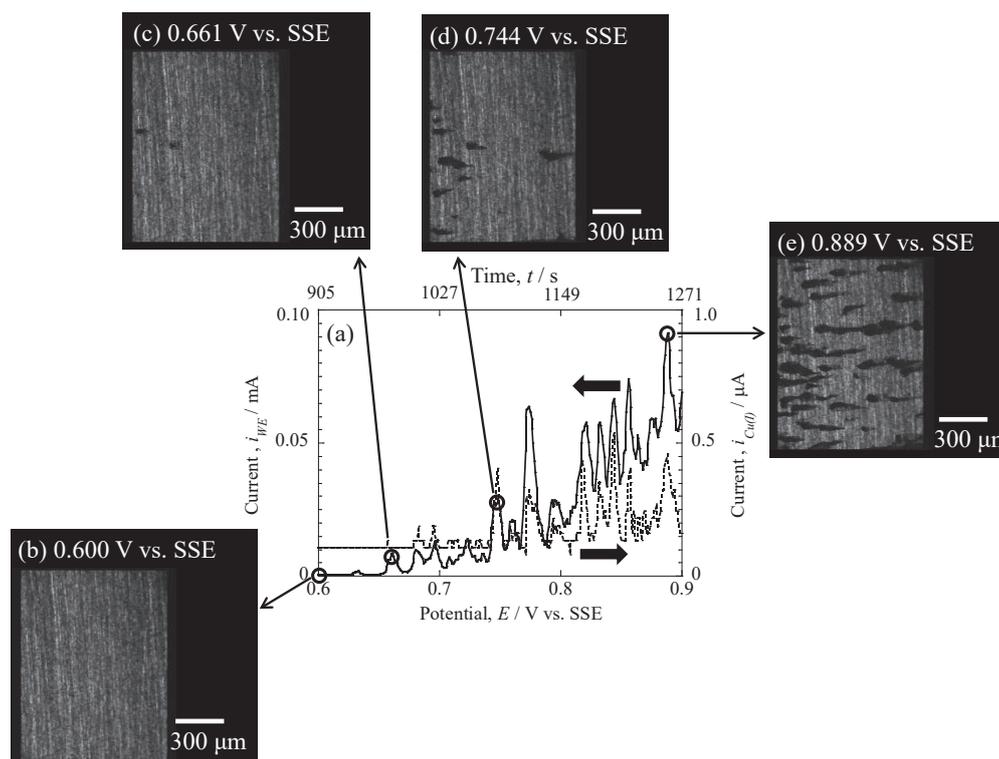


図1 リアルタイムイメージング電気化学計測システムによる銅電極の電気化学データと表面形態変化¹⁾。測定された電流のシグナルと表面のピット発生・進行が対応していることがわかる。

参考文献

- 1) Yoshinao Hoshi, Tomohiko Oda, Isao Shitanda, and Masayuki Itagaki, "Real-time Surface Observation of Copper during Anodic Polarization with Channel Flow Double Electrode", *J. Electrochem. Soc.*, 164, C450-C452 (2017).
- 2) 星 芳直, 小田 知彦, 四反田 功, 板垣 昌幸, "In-situ イメージングCFDEによるアノード分極中における銅の溶解電流および溶解面積の解析", *表面技術*, 69, 34-37 (2018).
- 3) Yoshinao Hoshi, Kei Miyazawa, Isao Shitanda, and Masayuki Itagaki, "The pH Detection of Magnesium Dissolution during Anodic Polarization with Channel Flow Double Electrode", *J. Electrochem. Soc.*, 165, C243-C245 (2018).
- 4) 星 芳直, 四反田 功, 板垣 昌幸, "時間情報を保持したインピーダンス測定法の各種材料解析への適用方法についての最新動向", *Electrochemistry*, 84, 892-898 (2016).