

令和 3 年 5 月 26 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01332

研究課題名(和文)表面ナノ構造制御した医療用金属材料の生体環境適合性

研究課題名(英文) Bio-compatibility of metallic biomedical materials with surface nano modification

研究代表者

藤本 慎司 (Fujimoto, Shinji)

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：70199371

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,600,000円

研究成果の概要(和文)：腐食は酸化還元反応により進行するため金属溶解による酸化反応(アノード反応)だけでなく還元反応(カソード反応)にも注目しなければならない。本研究では医療用金属材料の劣化の要因として挙げられる摩耗腐食や腐食疲労に及ぼすカソード反応の影響を調査し、カソード反応が増大すると摩耗腐食は促進されるが腐食疲労寿命は長くなることを見出した。また摩耗腐食における異種金属接触の影響を数値シミュレーションにより明らかにした。さらに模擬生体環境におけるカソード反応過程を解析し、生体環境におけるカソード反応のひとつである酸素還元反応が材料表面に吸着したタンパク質や細胞により阻害されうることが定量的に明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで検討されてこなかった、生体環境で生じる摩耗腐食や腐食疲労に及ぼす還元反応の影響を系統的に明らかにしていることは学術的に意義があるだけでなく、人工股関節などにより異なる金属材料が接触して利用されるデバイスでは摩耗腐食が加速されうることがシミュレーションにより明らかにしたことにより力学的条件が考慮され設計される金属インプラントに腐食の観点からの設計も加えることが可能となり、金属インプラントの長期信頼性の担保に寄与できるため社会的意義は高いと考えている。

研究成果の概要(英文)：As corrosion proceeds by a redox reaction, not only oxidation reaction (anodic reaction) such as metal dissolution but also reduction reaction (cathodic reaction) should be focused. In the present work, we examined the effects of cathodic reaction on wear corrosion and corrosion fatigue, which are regarded as reasons of the degradation of biomedical metallic implants, and found that the wear corrosion is enhanced whereas the fatigue life is prolonged by the increase in the cathodic reaction. In addition, the influence of galvanic coupling on the wear corrosion was revealed by a numerical simulation. Furthermore, we analyzed the cathodic reaction process on metal surface in simulated body environments, and quantitatively demonstrated that the oxygen reduction reaction, a cathodic reaction in simulated body environments, is suppressed by proteins and cells adsorbed on metal surfaces.

研究分野：環境材料工学

キーワード：生体材料 電気化学 腐食防食 細胞培養 腐食疲労 摩耗腐食

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

医療用金属材料の劣化要因に挙げられる摩耗腐食や腐食疲労に関する研究は国内外で行われているが、これら腐食反応は金属溶解によるアノード反応と、アノード反応の対反応として生じるカソード反応部がバランスして進行するため、カソード反応は腐食反応において重要な反応にも関わらず、アノード反応と比べ、ほとんど検討されてこなかった。特に模擬生体環境における摩耗腐食や腐食疲労におけるカソード反応過程の影響を調査した例は皆無であった。

### 2. 研究の目的

本研究では摩耗腐食および腐食疲労特性に及ぼすカソード反応の影響を調査するとともに摩耗腐食に及ぼす異種金属接触の影響を予測するシミュレーションモデルを構築することを目的とする。さらに電流制御分極法を用いて、金属表面のカソード反応過程を定量的に解析すること、さらに金属の表面酸化皮膜改質によるカソード反応制御の可能性についても検討することとした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 摩耗腐食試験

摩耗腐食試験はピンオンディスク試験により実施した。ディスク試料には CoCr 合金および純 Ti を用いた。CoCr 合金鑄造ままインゴットから切り出した試験片を真空封入した石英管を 1533 K で 6 時間熱処理を施した。その後氷水で急冷し、鑄造ままインゴットに残存した金属間化合物相がない CoCr 合金試験片を準備した。また純 Ti 板は受け入れまま実験に供した。また摩耗腐食に及ぼすカソード面積の影響を検討する実験ではディスク試料および模擬カソード試料に SUS316L を使用した。これら試料表面を面仕上げにしたのち、オートクレーブ内にて 394 K で 15 分間滅菌し、乾燥させた。一方、ピン試料には超高分子量ポリエチレン UHMWPE を用い、試験前にエタノール、蒸留水の順にそれぞれ 5 分間超音波洗浄した。試験溶液には PBS 溶液、 $\alpha$ -MEM 溶液、 $\alpha$ -MEM+FBS 溶液の 3 種類の模擬生体溶液を用いた。摩耗腐食試験前に 37°C、5% CO<sub>2</sub>、95-100% RH の環境に制御したインキュベーター内にてディスク試料を試験溶液に 1 日浸漬させた。その後、浸漬溶液から取り出したディスク試料を取り付けた電気化学セルをピンオンディスク試験機に設置し、電気化学セル内に新たに試験溶液を注ぎ入れディスク試料の自然電位が安定するまで 1 時間以上、浸漬させた。ピンがディスク試料に負荷する荷重を 1 kg、摺動速度を 15 mm/s もしくは 20 mm/s、回転角 30° または 60° の回転往復運動させ、その際に電位の経時変化を計測した。試験中の温度は 37°C に保持した。また長時間の摩耗腐食試験を行う場合には、水の蒸発による溶液濃度変化を考慮し、1 時間に蒸留水を滴下した。本研究では異種金属が接触した状況および摩耗されないカソード部面積が異なる状況を模擬した摩耗腐食試験も実施した。その際、ピンとディスク試料が摩耗しアノード溶解が主として生じる模擬アノード試料と摩耗せずカソード反応が生じる模擬カソード試料を準備し、模擬アノード試料上で回転往復運動中の試料の電位変化ならびに模擬アノード試料-カソード試料間に流れる電流を測定した。異種金属が接触した状況の模擬には CoCr 合金および純 Ti を、模擬カソード部面積が異なる状況の模擬には SUS316L を用いた。

本課題では異種金属が接触した状態での摩耗腐食の数値シミュレーションも実施した。そのための電極表面の分極特性を摩耗状態および静止状態における動電位分極実験により評価した。上述のピンオンディスク試験機を用いて  $\alpha$ -MEM 溶液中で回転往復運動を行い試験片表面で摩耗腐食を生じさせて電位変化を観測した。電位が安定したのち、安定した電位から掃引速度 1 mV/s で +1 V までアノード分極、-1 V までカソード分極を行った。次に、静止状態の試験は摩耗試験機を動作させずに同一条件下で実施した。数値シミュレーションには溶液の導電率も必要な物性値であるため、 $\alpha$ -MEM 溶液の導電率を導電率計を用いて測定した。

#### (2) 腐食疲労試験

供試材には SUS316L 鋼板を使用した。SUS316L 鋼板から放電加工機で平板引張試験片を切り出し、その表面をダイヤモンドペースト、コロイダルシリカ懸濁液を用いた研磨により鏡面仕上げにした。研磨後、アセトン、メタノール、蒸留水の順にそれぞれ 5 分間超音波洗浄を行った。ゲージ部のみを溶液に暴露させるため試験片のゲージ部とつかみ部の一部以外をテフロンテープで被覆した。腐食疲労評価は 0.9% NaCl 水溶液中での繰り返し応力付与試験にて行った。応力比を 0.1、周波数を 10 Hz、最大応力を 400 MPa とした。腐食疲労特性に及ぼすカソード部の影響を調査するため、引張試験片に加え、変形せず主としてカソード反応のみが生じると想定した模擬カソード試験片も準備した。試験中の試験片の電位変化、引張試験片と模擬カソード試験片間に流れる電流を計測した。繰り返し応力付与試験の最大サイクル数を 10<sup>7</sup> とした。

#### (3) 模擬生体環境における酸素還元過程の検討

医療用金属材料表面で生じる腐食反応は主として金属溶解によるアノード反応と酸素還元反

応によるカソード反応がバランスして進行する。模擬生体環境において生じるアノード反応に関しては様々な検討がなされてきたが、カソード反応についてはほとんど検討されていない。本研究では腐食反応において生じるアノード反応とバランスするカソード反応によって生じる電流を外部電源から印加する、電流制御分極法により試料表面で生じる酸素還元過程に及ぼす模擬生体環境の影響を調査した。供試材には SUS316L および純 Ti を用いた。鏡面研磨後、滅菌した試料を電気化学セルに設置し  $\alpha$ -MEM 溶液もしくは  $\alpha$ -MEM + FBS 溶液でセルを満たしたのち自然電位の計測を開始した。測定開始後、3~7 日経過してからパルス状のカソード電流を印加し、その際の電位を測定した。同様の実験を  $\alpha$ -MEM + FBS 溶液中で試料上に細胞を培養した状態でも実施した ( $\alpha$ -MEM + FBS 溶液 + cell)。解析に必要な電気容量は電気化学インピーダンス法により評価した。 $\alpha$ -MEM、 $\alpha$ -MEM + FBS 及び  $\alpha$ -MEM + FBS + cell の 3 日浸漬及び 7 日浸漬した試料、計 6 種類用意した。各試料の電位を 0 mV に設定して正弦波電位を周波数 10 kHz から 0.1 Hz の範囲で印加し、各周波数におけるインピーダンスを測定した。同様の測定を -400 mV まで 50 mV ずつ卑な方向に電位を変化させて行った。測定後、得られたインピーダンスをもとに皮膜容量を算出した。

#### (4) 酸素還元過程の表面皮膜の影響

後述するように、3(3)で実施した実験では環境の違いが酸素還元過程に影響を及ぼすことが明らかになった。酸素還元反応が表面反応であることから、試料表面にある皮膜の特性も酸素還元過程に影響すると考えられる。そのためアノード酸化により膜厚を制御した純 Ti を用いて電流制御分極法による酸素還元過程の評価を行った。また本実験では皮膜特性の変化に着目するため、アノード酸化および電流制御分極はリン酸緩衝溶液を用いて行った。アノード酸化は白金を対極とした 2 電極セル内で実施し、印加電圧を 3~10, 20, 30, 40, 50 V とした。アノード酸化した純 Ti を、Ag/AgCl 参照電極および白金対極を有する電気化学セルに設置し、その後、高純度窒素ガスを通気することにより溶存酸素を 0.1 ppm 程度まで低減させたリン酸緩衝溶液に 1 時間浸漬させた。その後、パルス状のカソード電流を印加し、電位を計測した。解析に必要な電気容量は電気化学インピーダンス法により得た。

### 4. 研究成果

#### (1) 摩耗腐食試験

PBS 中で行った摩耗腐食試験中の電位変化およびディスク-模擬カソード試料間に流れた電流の経時変化をそれぞれ図 1(a) および 1(b) に示す。図から明らかなように、ディスク試料と模擬カソード試料の面積比(カソード面積比)によらず電位は摩耗開始直後に卑な方向にシフトし、その後時間の経過とともに貴な方向へ変化して摩耗前の値へと回復する傾向を示した。しかしながら、面積比と電位の間に関連は見られなかった。一方、ディスク試料-模擬カソード試料間の電流は摩耗開始直後に大きく増加し、その後減少する挙動を示した。またカソード面積比が大きい場合に電流密度が大きくなる傾向が見られた。摩耗腐食試験中に発生した電流密度からディスク試料-模擬カソード試料間で生じた電気量を図 1(c) に示す。図中の電気量は 2 回の試験の平均値をプロットした。いずれの溶液においてもカソード面積比が大きくなるにともなって電気量は増加する傾向が見られた。摩耗腐食試験後にディスク試料表面に摺動方向に沿った溝が確認された。いずれの溶液においても摩耗痕内に溶液成分が検出され、摩耗により破壊された被膜や溶液からの析出物を起点とするアブレシブ摩耗が主に生じていたことが示唆された。摩耗腐食試験中の摩擦係数は PBS 溶液および  $\alpha$ -MEM + FBS 溶液に比べ、 $\alpha$ -MEM 溶液で有意に大きいことが分かった。これらからアミノ酸やたんぱく質などの生体分子がディスク試料表面に吸着し、すき間構造を形成するため腐食が促進されることより  $\alpha$ -MEM で得られた電気量は PBS と比べて大きくなる一方、タンパク質がディスク表面に吸着すると、摩耗が低減され損傷が抑制されるため、 $\alpha$ -MEM + FBS 溶液では  $\alpha$ -MEM 溶液と比べ、摩耗腐食試験中の電気量は小さくなったと考えられる。

摩耗腐食中に生じる摩耗、 $V_{total}$  は機械的摩耗による体積損失、 $V_{mech}$  と電気化学的溶解による体積損失、 $V_{chem}$  に影響を受け決定される。 $V_{total}$  は摩耗腐食試験後の摩耗痕から、

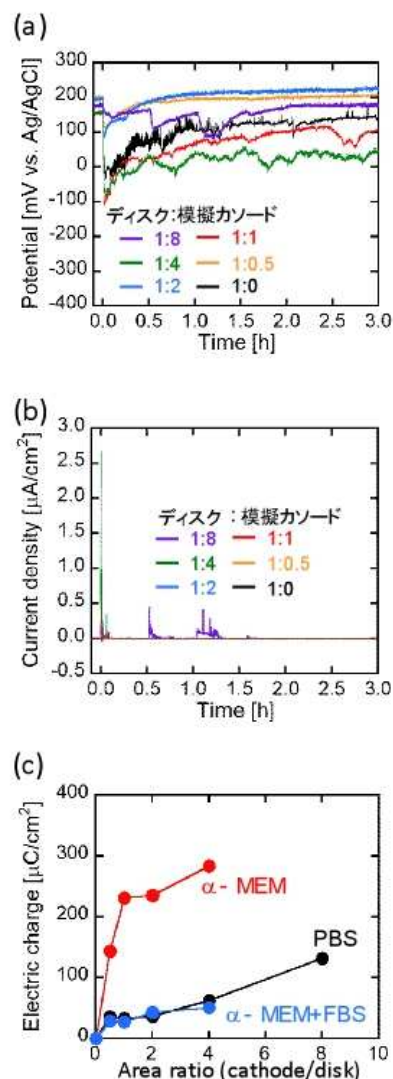


図 1 SUS316L の摩耗腐食試験中の (a)電位、(b)ディスク-カソード間の電流の経時変化、(c)試験中に発生した電気量に及ぼす面積比の影響。

$V_{chem}$  は図 1(c) に示した電流量から算出し、 $V_{mech}$  はそれらの差分から求めた。 $V_{mech}$  および  $V_{chem}$  のカソード面積比依存性を図 2 に示す。いずれの溶液においても  $V_{mech}$  は  $V_{chem}$  の  $10^4 \sim 10^5$  倍であり、 $V_{chem}$  は  $V_{mech}$  と比較して極めて小さい、すなわち摩耗腐食による体積損失はほとんどが機械的摩耗により生じることが分かった。またカソード面積比の増加にともない、 $V_{chem}$ 、 $V_{mech}$  とともに大きくなる傾向を示した。すなわちカソード面積比が大きくなるに伴い電気化学的溶解だけでなく機械的摩耗も増加したことから、腐食反応の促進により機械的摩耗が増加しうることが明らかとなった。このことより、電気化学条件を制御することにより、摩耗腐食による材料損失の低減が可能であることが示唆された。

本研究では上述の摩耗腐食挙動を有限要素法に基づく数値シミュレーションモデルを構築した。その際、CoCr 合金と純 Ti が接触した異種金属接触腐食に摩耗腐食が重畳した現象の計算を行った。数値シミュレーションに用いる CoCr 合金および純 Ti の分極特性を評価するために自然電位測定および分極曲線測定を行った。電位は摩耗開始とともに大きく低下し、800 秒程度でほぼ一定となった。CoCr 合金では約 -0.38 V、純 Ti では -0.23 V となった。摩耗状態および静止状態で得られた CoCr 合金および純 Ti のカソード分極曲線、アノード分極曲線を図 3 に示す。カソード分極曲線では摩耗の有無によらず電流はほぼ同程度であり、摩耗の影響は見られなかった。そのため数値シミュレーションに用いるカソード分極曲線は摩耗中の電位範囲内の、静止状態のものを用いることにした。静止状態のカソード分極曲線から、アノード電流がほぼ無視できる電位範囲におけるカソード電流密度関数を求めた。一方アノード分極曲線では摩耗によって電流が増大したことから、摩耗状態の分極曲線をモデル化しようとした。摩耗状態で得たアノード分極曲線から、カソード電流の影響を除去することにより、アノード電流密度関数を求めた。求めたアノード電流密度関数およびカソード電流密度関数を用いて数値計算を行い、電解質電位の空間分布を求めた。シミュレーションによって得た電位はピンオンディスク法を用いた摩耗試験中の電位と同程度であったことから、摩耗している CoCr 合金および純 Ti の電気化学挙動を模擬できたと考えられる。CoCr 合金単一試料および CoCr 合金・純 Ti 接触試料において CoCr 合金部を摩耗することにより生じた電解質中の電流密度分布をそれぞれ図 4(a) および 4(b) に示す。図から明らかなように、電極界面で摩耗部のアノード電流は増大し、そのアノード電流は単一試料より異種金属接触試料において大きくなること分かった。また摩耗部の電流密度に及ぼすカソード面積比の影響について検討した結果を図 4(c) に示す。図中の記号は試料の組み合わせを示しており、"F" は摩耗した試料を表している。いずれの条件においても、摩耗に伴い生じる電流はカソード面積比の増大とともに増加し、図 1(c) と同様の傾向を示した。摩耗している試料が CoCr 合金、純 Ti によらず、純 Ti と接触する方が CoCr 合金と接触するよりも電流が大きくなること分かった。これは純 Ti と接触する方が CoCr 合金と接触する場合より電位が貴になるためであると考えられる。またカソード面積比の増加に伴う電流密度の増加は純 Ti より CoCr 合金が摩耗される場合において大きくなる。これは CoCr 合金のアノード反応速度が純 Ti のそれと比較して大きいためであると理解される。

## (2) 腐食疲労特性に及ぼすカソード反応の影響

4(1) で述べたように、本研究により摩耗腐食はカソード反応の影響を受けることが明らかとなった。本節では腐食疲労特性に及ぼすカソード反応の影響について検討した結果を示す。図 5(a) は繰り返し応力負荷による腐食疲労試験によって得られた疲労寿命をまとめたものである。本試験では SUS316L 引張試験片単独、引張試験片と同面積をもつ SUS316L 板 (模擬カソード試料) を取り付けた試料、10 倍の面積をもつ SUS316L 板 (模擬カソード試料) を取り付けた試料を比較している。図から明らかなよ

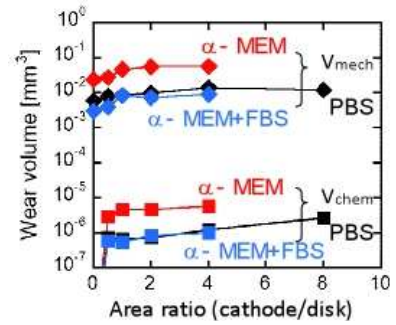


図 2  $V_{mech}$  および  $V_{chem}$  に及ぼすカソード面積比の影響。

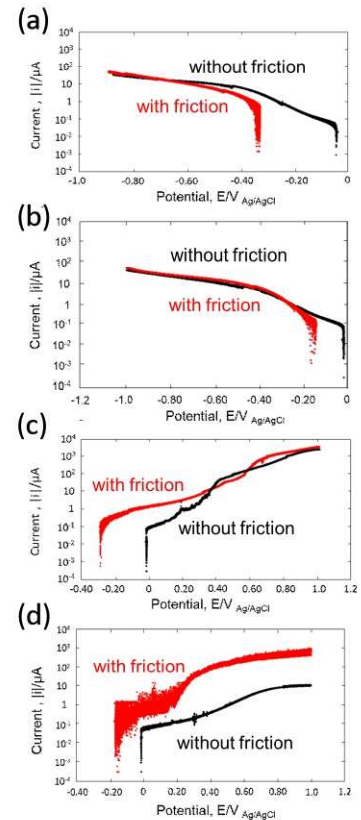


図 3 (a, b)カソード分極曲線 (c, d)アノード分極曲線; (a, c) CoCr 合金, (b, d) 純 Ti.

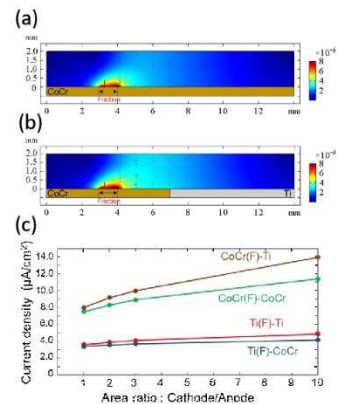


図 4 (a)CoCr 合金単独, (b)CoCr 合金・純 Ti 接触試料において CoCr 合金部の摩耗により生じた電解質中の電流密度分布. (c)摩耗部の電流密度に及ぼすカソード面積比の影響。

うに、模擬カソード試料を取り付けた場合に腐食寿命が長くなり、模擬カソード面積が 10 倍になると腐食寿命も著しく長くなった。図 5 (b) に示した腐食疲労試験中の電位変化をみると、模擬カソード試料を接続することによりカソード反応が促進されたことにより電位が貴な方向にシフトした。また引張試験片と模擬カソード試験片の間に流れるアノード電流は変位振幅とおおよそ同期して変化した。試験開始直後に大きく、100 サイクル以降の電流振幅はほぼ一定となり、カソード面積比が大きな場合に大きくなった。これはカソード面積が大きくなることでカソード反応が促進され、釣り合いの取れるアノード反応が増加したためであると考えられる。すなわちカソード面積が大きいほど、全体の腐食量は多くなる。腐食疲労試験において試料の破断前となる 37 万サイクル時の試験片ゲージ部には多数のすべりステップと腐食孔が観察された。しかしながらカソード面積比 1:10 ではすべりステップが不明瞭であった。腐食孔の数を開口面積ごとに整理すると、いずれの面積区分においても腐食孔数は引張試験片、カソード面積比 1:1、面積比 1:10 の順となった。上述したカソード面積が大きいほど全体の腐食量が大きいことと合わせて考えると、カソード面積が小さいほど腐食が局在化していることが示唆されている。急速ひずみ電極試験により再不働態化速度を評価すると、試料の電位が高いほど再不働態化速度が遅くなることが明らかとなった。以上の結果から、試料に引張応力が付与されると、わずかに塑性変形をし、不働態皮膜が破壊されて新生面が露出する。カソード面積が小さく、電位が低い場合、再不働態化速度が速いために、露出した新生面は瞬時に再不働態化する。しかしながら、介在物周辺などの局部腐食発生サイトでは金属の溶出が起こりやすいため、その部分のみに集中して腐食が生じることで腐食孔が生成する。そして腐食孔が応力集中の起点となって破断したと考えられる。一方でカソード面積が大きく、電位が高い場合、再不働態化速度が遅く、全体の腐食量が多いため、局部腐食発生サイト以外の新生面全体で腐食が生じる結果、腐食が集中せず、腐食孔になりにくいため、応力集中が起こらず、疲労寿命が延びたと考察した。

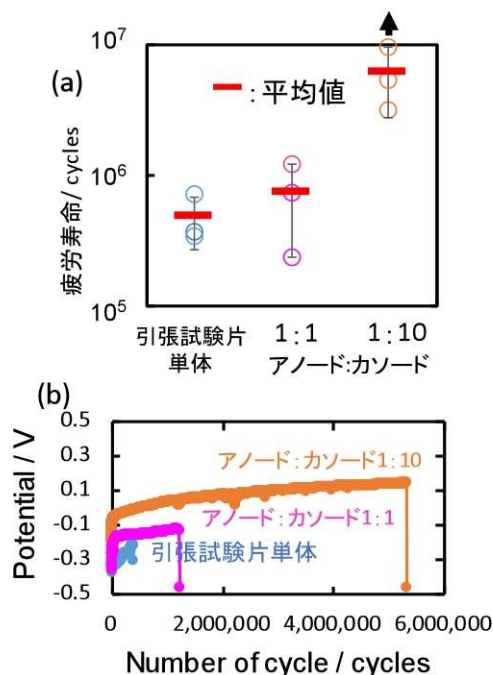


図 5 (a)疲労寿命, (b)腐食疲労試験中の試料の電位変化。

### (3) 模擬生体環境における酸素還元過程の検討

4(1)および 4(2)の結果より、カソード反応は摩耗腐食および腐食疲労に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。カソード過程に関する、より詳細な理解のため、腐食反応が生じた際の模擬カソード電流を試料に印加したことによる電位応答からカソード反応過程を解析する、電流制御分極を行った。電流印加直後、皮膜内への電荷の蓄積により試料の電位は急激に低下したのち、蓄積した電荷が酸素還元反応によって消費され電位は緩やかに元の値へと回復した。すなわち印加したカソード電流は皮膜の充放電電流と酸素還元電流に分けて電位応答を解析して試料表面で生じる酸素還元電流を求めた。SUS316L に対して得た結果を図 6 に示す。図から明らかのように、溶液にタンパク質や細胞が含まれると、もしくは試験期間が長くなると、酸素還元電流は小さくなった。このことから試料表面にタンパク質や細胞が接着し、その量が増加すると、試料表面への酸素還元が阻害されるため、酸素還元電流が減少したと考えられる。またアノード酸化により構造・物性を制御した Ti 酸化皮膜を用いた実験より、アノード酸化電圧が 6 V 以下では非晶質、7 V 以上では結晶性の酸化皮膜が形成し、酸素還元過程に違いが見られた。電位回復時における非晶質酸化皮膜上での酸素還元反応は皮膜表面への酸素拡散と電荷移動双方の寄与を受ける一方、結晶性酸化物を含む皮膜上では電荷移動のみに影響され、表面改質による酸素還元制御の可能性が示され、摩耗腐食や腐食疲労特性改善のための新しい概念に繋がる成果が得られた。

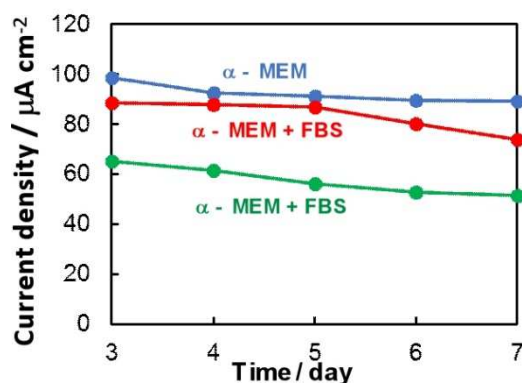


図 6 酸素還元電流の変化。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3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 Tsuchiya Hiroaki, Kurokawa Tetsuya, Miyabe Sayaka, Fujimoto Shinji	4. 巻 166
2. 論文標題 Fast Current-Controlled Polarization for the Analysis of Rapid Cathodic Process on Anodized Metal	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 C3443 ~ C3447
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2.0501911jes	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 MIYABE Sayaka, DOI Kotaro, FUJIMOTO Shinji	4. 巻 69
2. 論文標題 Fatigue of Metallic Biomaterials	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of The Surface Finishing Society of Japan	6. 最初と最後の頁 346 ~ 350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4139/sfj.69.346	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 MIYABE Sayaka, FUJII Norifumi, FUJIMOTO Shinji	4. 巻 69
2. 論文標題 Numerical Simulation of Tribocorrosion of CoCr Alloy and Ti with Galvanic Coupling in Simulated Body Fluid	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 769 ~ 774
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.69.769	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12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 長野慎太郎、宮部さやか、藤本慎司
2. 発表標題 SUS316Lステンレス鋼のNaCl水溶液中での疲労特性に及ぼすカソード部面積の影響
3. 学会等名 日本金属学会秋期大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 黒河哲哉、藤本慎司、土谷博昭、宮部さやか
2. 発表標題 Ti陽極酸化皮膜の電子特性および酸素還元過程の解析
3. 学会等名 電気化学秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松吉慶悟、宮部さやか、藤本慎司
2. 発表標題 SUS316Lステンレス鋼の摩耗腐食に及ぼす電気化学反応の影響
3. 学会等名 第65回材料と環境討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松吉慶悟、宮部さやか、藤本慎司
2. 発表標題 模擬生体環境において電気化学的条件がSUS316Lステンレス鋼の摩耗腐食損傷に及ぼす影響
3. 学会等名 日本金属学会春期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒河哲哉、宮部さやか、藤本慎司
2. 発表標題 Fe-Cr合金上での酸素還元過程に及ぼすCr濃度の影響
3. 学会等名 日本金属学会秋期大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 徳岡聡、山田夏子、土谷博昭、藤本慎司
2. 発表標題 NaCl水溶液環境における316Lステンレス鋼の腐食疲労挙動に及ぼす電解処理の影響
3. 学会等名 日本金属学会秋期大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長野慎太郎、宮部さやか、藤本慎司
2. 発表標題 SUS316L鋼のすきま腐食再不働態化電位に及ぼすタンパク質および細胞の影響
3. 学会等名 日本金属学会秋期大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 海瀬祐太、宮部さやか、藤本慎司
2. 発表標題 模擬生体環境で定荷重を付与した316Lステンレス鋼の腐食挙動にタンパク質が及ぼす影響
3. 学会等名 電気化学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小田原雅司、藤本慎司
2. 発表標題 液滴下におけるステンレス鋼の孔食挙動数値シミュレーション
3. 学会等名 電気化学会秋季大会
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 徳岡聡、山田夏子、土谷博昭、藤本慎司
2. 発表標題 表面ポーラス化したSUS316Lステンレス鋼の塩化物水溶液環境における腐食疲労挙動
3. 学会等名 ARSコンファレンス
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 黒河哲哉、宮部さやか、土谷博昭、藤本慎司
2. 発表標題 Ti陽極酸化皮膜の電子特性およびカソード過程の解析
3. 学会等名 日本金属学会春期大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長野慎太郎、宮部さやか、藤本慎司
2. 発表標題 カソード面積を制御したSUS316Lステンレス鋼の生理食塩水中での疲労特性
3. 学会等名 日本金属学会春期大会
4. 発表年 2018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	廣本 祥子  (Hiromoto Sachiko)  (00343880)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・構造材料研究拠点・ 主幹研究員  (82108)	

6. 研究組織（つづき）

	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	土谷 博昭  (Tsuchiya Hiroaki)  (50432513)	大阪大学・工学研究科 ・准教授   (14401)	
研究分担者	宮部 さやか  (Miyabe Sayaka)  (50584132)	大阪大学・工学研究科 ・助教   (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