

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02449

研究課題名(和文) 生体用Mg合金のための細胞接着性が時間変化する耐食被膜の創出

研究課題名(英文) Development of corrosion protection coatings of biomedical Mg alloys showing cell adhesion changing with time

研究代表者

廣本 祥子 (HIROMOTO, Sachiko)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・構造材料研究拠点・グループリーダー

研究者番号：00343880

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、Mg合金製ステントやプレート&ネジの埋入時の変形や摩耗で起こる表面損傷からの腐食を抑制するポリマー修飾水酸アパタイト(HAp)被膜の開発を目的とした。中性およびアニオン性ポリマーを修飾したHAp被覆AZ31合金の急速ひずみ電極試験、電気化学インデンテーション試験および細胞培養試験を行った。HAp被膜の損傷抑制および被膜修復には、中性のポリエチレングリコールやポリビニルアルコールよりもアニオン性のポリアクリル酸ナトリウムやアルギン酸ナトリウムの効果が高かったが、アニオン性ポリマーには生体適合性の課題があった。生体適合性およびHApの耐傷性・自己修復性向上に中性ポリマーが有効であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生体用Mg合金の実用化には、腐食制御および生体適合性向上のための表面被覆が不可欠である。一方、埋入手術時に手術器具や材料変形による表面損傷は避けられない。基材Mg合金よりも脆性なセラミックス被膜の一種である水酸アパタイト被膜において、ポリエチレングリコールのような親水性ポリマー修飾により被膜の損傷き裂からの腐食抑制が可能であることを示した本研究成果は、様々なポリマーとセラミックスの複合被膜へ応用できる。構造材料としてのMg合金も耐食被膜は不可欠であることから、ポリマー複合化によりセラミックス被膜の耐傷性向上が可能であることを示した本成果は、表面被覆Mg合金の材料信頼性向上に貢献するものである。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study was to develop polymer-modified hydroxyapatite (HAp) coatings that prevent corrosion from surface damage caused by deformation and wear during surgical implantation of Mg alloy stents and plates & screws. Rapid strain electrode tests, electrochemical indentation tests and cell culture tests were performed on HAp-coated AZ31 alloys modified with neutral and anionic polymers. Polyethylene glycol and polyvinyl alcohol were used as neutral polymers and polyacrylate and sodium alginate as anionic polymers. For damage resistance and coating repair of HAp coatings, the anionic polymers were more effective than the neutral polymers in reducing HAp coating damage and repairing the coating, but the anionic polymers were found to have biocompatibility issues. The neutral polymers were found to be effective for biocompatibility and damage resistance and self-healing properties of HAp coatings.

研究分野：腐食防食

キーワード：マグネシウム 水酸アパタイト被膜 ポリマー 自己修復 耐傷性 生体材料

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

血栓による血管狭窄部、骨折や骨欠損部などの患部を力学的に支持し、役目を終えたら溶解、生体に吸収されて消失する生体用 Mg 合金について、合金開発や表面改質、欧米や中国で骨折固定材やステントの臨床試験が行われている。Mg 合金は比強度が高く、Mg が生体必須元素であるため、ポリ乳酸 (PLA) に代わる生体内溶解性材料として注目されている。一方、埋入初期の急激な腐食によるデバイス強度の低下、腐食生成物 (Mg^{2+} 、 OH^- 、 H_2) による pH 上昇やガス溜まりの形成が Mg 合金の実用化を妨げている。

海外の血管拡張用 Mg 合金ステントでは、腐食制御被覆にパーマネントステントの薬物徐放 PLA 被覆が転用されており、埋入 28 日未満でのストラットの破断が報告された。ステント拡張時に生じた脆性な PLA 被膜のき裂から基材 Mg 合金の局部腐食が発生し破断に至った (Joner et al., *EuroIntervention*, 14, e1040-e1048 (2018).)、もしくは Mg 合金の延性不足のために拡張時に破断したと考えられる。Mg 合金製骨ネジは現在被覆されていない状態で使用されており、埋入初期の腐食の大きさはランダムである (Plaass et al., *J. Orthop. Res.*, 34, 2207-2214 (2016).)。埋入初期の腐食の大きさは埋入手術で起こる表面損傷の状態に依存すると考えられる。そこで、生体用 Mg 合金の腐食制御被膜には耐傷性の向上が求められ、このためには被膜に延性もしくは自己修復能の付与が有効であると考えられる。また、被膜には良好な細胞適合性が求められる。

我々は、生体用 Mg 合金の腐食制御被膜として水酸アパタイト (HAp) 被膜を開発し (Hiromoto, *Electrochim. Acta*, 54, 7085-7093 (2009).)、動物埋入試験等により HAp 被膜が基材 Mg 合金の腐食を抑制し、良好な生体適合性を示すことを明らかにした (Hiromoto et al., *Mater. Sci. Eng. C*, 122, 111942 (2021).)。また、HAp 被覆表面にできたキズは疑似体液中からのリン酸カルシウム析出により修復されることを明らかにした。被膜損傷部でのリン酸カルシウム析出を促進するためにポリアクリル酸ナトリウム (SPA) を HAp 被膜に修飾すると疑似体液中での低ひずみ速度引張り (SSRT) での破断伸びが増加することを明らかにした (Hiromoto et al., *Corrosion*, 73, 1461-1477 (2017).)。また、生体材料として使用実績のあるポリエチレングリコール (PEG) が SPA と同様に SSRT 試験での破断伸びを増加させることを明らかにした。

2. 研究の目的

本研究では、SPA および PEG などのポリマーによる HAp 被覆 Mg 合金の修飾が、HAp 被覆 Mg 合金に表面損傷が生じた場合の腐食挙動 (基材変形や圧子により形成された被膜損傷の修復挙動) に及ぼす影響を検討することを目的とする。SPA および PEG 以外に表面損傷部の腐食を抑制するポリマーを探索する。さらにポリマー修飾表面の細胞適合性評価を行い、耐食性・耐傷性および生体適合性に優れたポリマーの選択を行う。

3. 研究の方法

(1) ポリマー修飾 HAp 被覆 Mg 合金の作製とキャラクターゼーション

基材には Mg-3Al-1Zn (AZ31) 合金を用いた。急速ひずみ電極試験には厚さ 0.3 mm 圧延材から引張り試験片を、電気化学インデンテーション試験には径 15 mm の押出材より厚さ 2 mm のディスクを作製した。HAp 被覆は従来通り、エチレンジアミン四酢酸カルシウム二ナトリウム (Ca-EDTA)、リン酸二水素カリウムを含む水溶液を 90°C に加温し、AZ31 基材を 1 時間浸漬して行った。ポリマーには、親水性で中性の PEG、アニオン性の SPA に加え、中性のポリビニルアルコール (PVA) およびアニオン性のアルギン酸ナトリウム (AlgNa) を用いた。各ポリマーを超純水に 1~5% 溶解したポリマー溶液を用い、HAp 被覆 AZ31 にディップコーティングした。PEG または SPA 修飾 HAp-AZ31 表面を電子顕微鏡 (SEM) で観察し、断面を光学顕微鏡 (OM) で観察した。

(2) 急速ひずみ電極試験

未被覆、HAp-、PEG-HAp および SPA-HAp-AZ31 引張り試験片を用い、Hanks 液中で急速ひずみ電極 (RSE: rapid straining electrode) 試験を行った (図 1(a))。試験片の電位を Ag/AgCl 参照極に対して -1.55 V に保持し、検出される電流が一定になった後、1% のひずみをクロスヘッド変位速度 1000 mm min^{-1} (nominal strain rate: $5.6 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$) で印加し、応答電流を 1 point/sec で測定した。

(3) 電気化学インデンテーション試験

未被覆、HAp-、PEG-HAp、PVA-HAp-、SPA-HAp および AlgNa-HAp-AZ31 ディスク試験片を用い、Hanks 液中での電気化学インデンテーション試験により定電位保持による電流測定または電位測定を行った (図 1(b))。電流測定での試験片の保持電位は -1.5 V とし、セラミックス製圧子の押し付け圧を約 400 MPa とした。

(4) 細胞培養試験

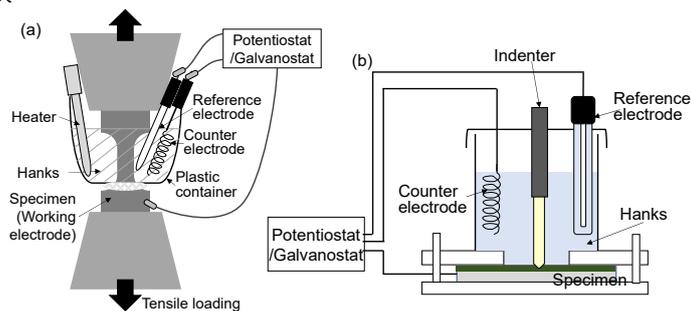


図1 (a) 急速ひずみ電極試験および(b) 電気化学インデンテーション試験装置の概略図

マウス骨芽細胞 MC3T3-E1 を用い、未被覆、HAp-、PEG-HAp-、PVA-HAp-、SPA-HAp-および AlgNa-HAp-AZ31 の細胞接着性試験を行った。細胞をディスク試験片表面に播種し、24 h 培養後に細胞を固定し、ギムザ染色を行った。

4. 研究成果

(1) ポリマー修飾 HAp 被覆 Mg 合金の作製とキャラクターゼーション

これまでに、HAp-AZ31 に SPA および PEG を修飾すると、Hanks 液中での SSRT 試験における破断伸びが改善することを明らかにした (図 2)。図 3 に示す表面 SEM および断面 OM 観察より、HAp 被膜に修飾した PEG は HAp 被膜のすき間に浸透して基材との境界に存在しているのに対し、SPA は多くが被膜の上層に存在していた。

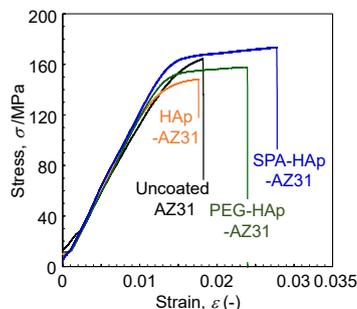


図2 HAp-, PEG-HAp-およびSPA-HAp-AZ31 のHanks液中でのひずみ速度 $5.6 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ のSSRTによる応力-歪み曲線

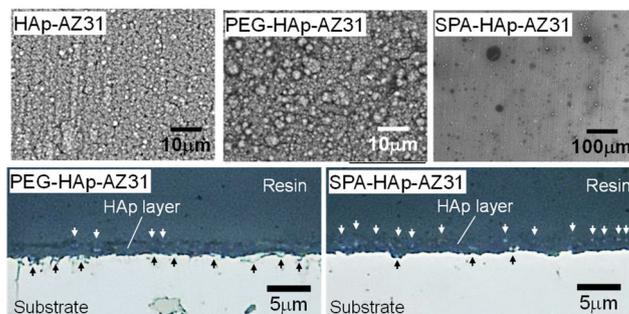


図3 HAp-, PEG-HAp-およびSPA-HAp-AZ31の表面SEM像およびPEG-HAp-およびSPA-HAp-AZ31の断面OM像

(2) 急速ひずみ電極 (RSE) 試験

HAp 被膜の PEG および SPA 修飾で SSRT における破断伸びが改善する原因を検討するため、RSE 試験を行った。試験片を腐食電位の -1.5 V に保持しながら急速ひずみを付与して被膜にき裂損傷を与え、損傷部からの金属溶解に伴う電流応答を計測した (図 4)。未被覆 AZ31 では、酸化皮膜の破壊に伴い急激に電流が上昇し、ピーク電流を示した後に緩やかに減少した。ほぼ一定になった電流は糸状腐食の進展に伴う細かな変動を示した。HAp-AZ31 では、被膜破壊に伴うピーク電流に加え、ひずみ付与約 45 秒後にブロードなピーク電流が現れた。PEG および SPA 修飾材でも同様の傾向がみられた。2 つ目のピーク電流が現れる時間は被膜の種類に依存しないこと、および被膜のき裂から発生した局部腐食により被膜が剥離している箇所様子がみられたことから、2 つ目のピークは被膜のき裂からの被膜剥離/破壊に伴う腐食進展に相当すると考えられる。

1 つ目および 2 つ目のピーク電流の値および電流が一定になるまでに流れた電気量 (ピーク面積) を求め、図 4 にまとめた。HAp-、PEG-HAp-および SPA-HAp-AZ31 の被膜破壊に伴うピーク電流は未被覆 AZ31 よりも 10-30 倍高かった。未被覆 AZ31 の酸化皮膜は HAp 被膜よりも薄いため、ひずみによるき裂発生が少なかったと考えられる。HAp 被膜への PEG 修飾により被膜破壊に伴うピーク電流は若干増加したが、腐食進展に伴うピーク電流は減少し、被膜修復までの電気量は減少した。一方、SPA 修飾により被膜破壊に伴う電流および腐食進展に伴う電流が減少し、被膜修復までの電気量が減少した。これより、PEG および SPA 修飾により HAp 被膜の修復が促進されることが明らかになった。また、試験後の表面観察より、HAp-AZ31 では被膜を壊しながら進展した糸状腐食が観察されたが、PEG-HAp-および SPA-HAp-AZ31 での腐食進展は HAp-AZ31 よりも抑制されていた。

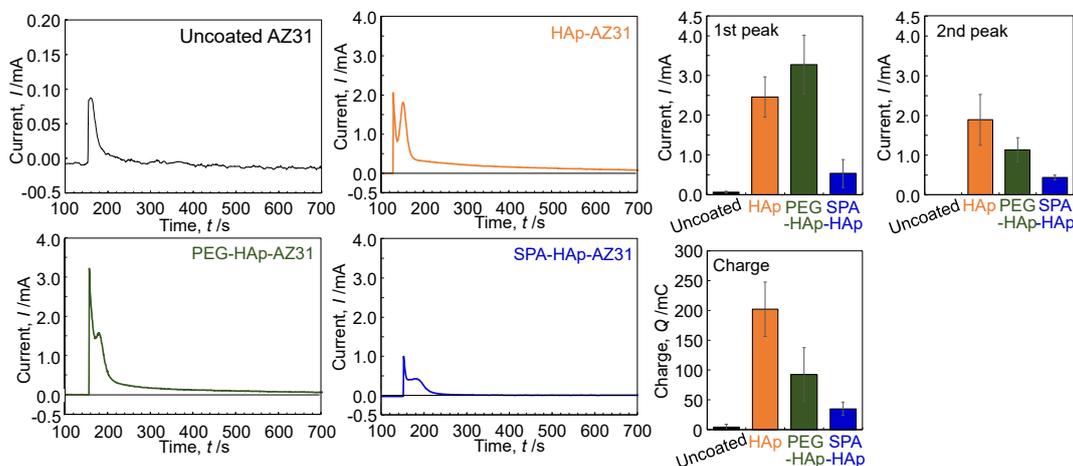


図4 未被覆、HAp-、PEG-HAp-およびSPA-HAp-AZ31のHanks液中でのRSEにおける電流応答曲線および曲線から得られた被膜破壊に伴うピーク電流、2つ目のピーク電流およびピーク面積 (電気量)

RSE 試験後の試験片表面から被膜および腐食生成物をクロム酸溶液で溶解除去し、基材 AZ31 表面のき裂・腐食形態を観察した(図5)。引張り方向に垂直の方向に溝状の孔が観察され、被膜のき裂の下で発生した腐食孔と考えられる。HAp-AZ31 と比較し、PEG-HAp-AZ31 では溝状腐食孔の横幅が短く、引張り方向の間隔が大きくなり、所々に HAp-AZ31 よりも溝幅が大きい腐食孔がみられた。SPA-HAp-AZ31 では溝状腐食孔の数が HAp-AZ31 よりも少なかった。これより、PEG および SPA 修飾が HAp-AZ31 の Hanks 液中での引張り変形下における被膜き裂発生・腐食・修復挙動に及ぼす影響を図6に示すように考察した。

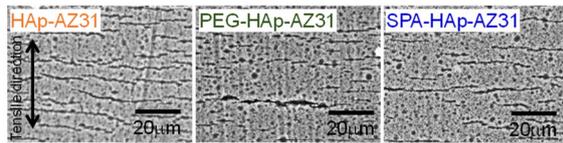


図5 RSE試験後に被膜および腐食生成物を除去したHAp、PEG-HApおよびSPA-HAp-AZ31の表面SEM像

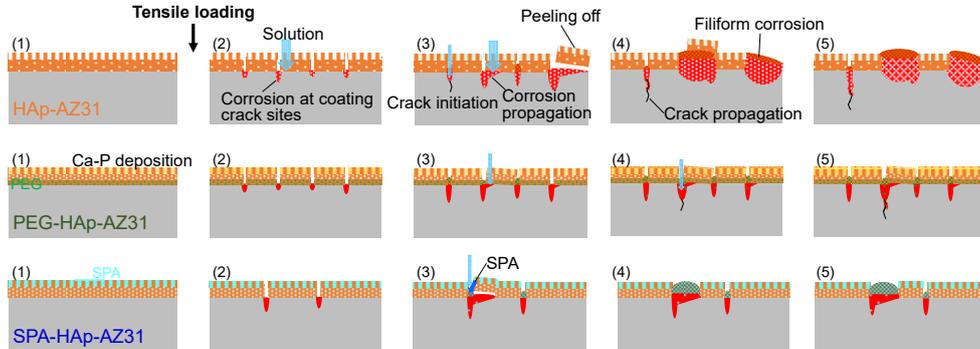


図6 HAp-AZ31のHanks液中での引張り変形下における被膜き裂発生・腐食・修復挙動に及ぼすPEGおよびSPA修飾の影響

PEG は HAp 被膜と基材の境界に存在し、被膜の接着性を向上させる。このため、基材の引張り変形による被膜のき裂発生頻度にはほとんど影響を及ぼさないが、被膜き裂下での基材の腐食が横方向に進展するのを抑制する。SPA は HAp 被膜の上層に存在し、基材の引張り変形による被膜のき裂発生を抑制する。SPA のアニオン性のために、被膜き裂下での基材の腐食を促進すると推測され、急激な腐食に伴う周囲の pH 上昇により Hanks 液からリン酸カルシウムなどの腐食生成物が早期に腐食箇所へ堆積して、腐食の進展を抑制する。

(3) 電気化学インデンテーション試験

HAp 被膜の被膜損傷抑制・損傷修復促進に有効なポリマー選択を迅速に行うため、試験片作製および測定が簡便な電気化学インデンテーション試験装置(図1(b))を開発した。SPA 同様にアニオン性のアルギン酸ナトリウム(AlgNa) および PEG と同様に中性のポリビニルアルコール(PVA) を HAp 被膜に修飾し、電気化学インデンテーション試験により被膜損傷部での腐食・被膜修復挙動を検討した。Hanks 液中で、未被覆、HAp-およびポリマー修飾 HAp-AZ31 を腐食電位付近に保持して得られた電流応答曲線(両対数)を図7に示す。

インデンテーションは、①圧子押し付け、②3秒間押し付けた後に、③表面から離して行った。図7の試験片電位を制御しながら測定した電流曲線に示すように、①-②間は圧痕周囲の塑性変形による被膜き裂からの溶解電流が検出され、③では圧痕内のき裂からの溶解電流が検出される。

未被覆 AZ31 では、②で一定電流を示し、③では微小なピークを示し数秒間電流は減衰したが、その後は緩やかな電流上昇がみられた。圧痕の内側と外側へ糸状腐食が進行していたことから、未被覆 AZ31 では表面損傷からの腐食進展が激しいと考えられる。

HAp-AZ31 では、①直後の電流は約0.3秒かけてピークに達した後にはわずかに減衰し、③後再び0.2-0.3秒かけてピークに達した後に大きく減衰した。約20秒後にブロードなピークを示し、圧痕からの腐食進展と修復が起こったことが示唆された。圧痕周囲には表面からは顕著な腐食はみられなかったが、断面SEM観察より圧痕外側で被膜のき裂下で深さ2-3 μmの腐食が観察された。RSE試験では被膜き裂部から顕著な糸状腐食の進展がみられたのに対し、本試験では糸状腐食がみられなかったのは、インデンテーションでは基材変形によるHAp被膜き裂が圧痕周囲に限定されるため、被膜剥離が起こりにくく、顕著な糸状腐食が抑制されたと考えられる。

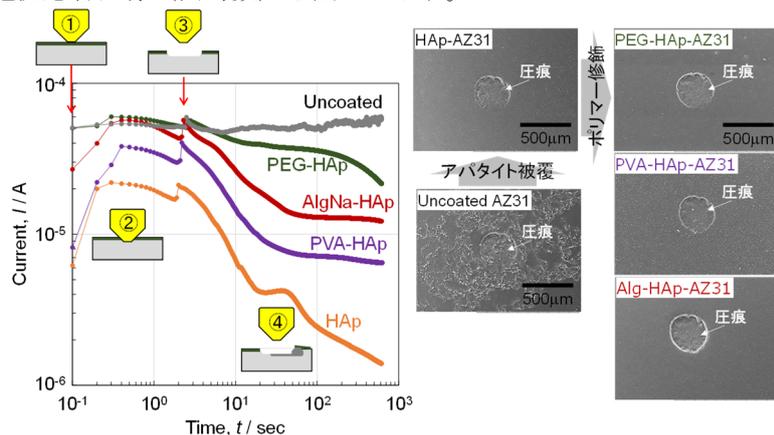


図7 Hanks液中で-1.5 V (vs. Ag/AgCl)に保持した表面被覆AZ31におけるインデンテーションに伴う電流応答曲線および試験後の圧痕のSEM像

①直後の電流がピークに達するまでの時間は、PEG 修飾では HAp-AZ31 と同様に約 0.3 秒だったが、AlgNa および PVA 修飾によりそれぞれ約 0.5 秒および約 0.4 秒と増加した。これは AlgNa および PVA 修飾により HAp 被膜の延性が増加した可能性を示唆している。圧子を離れた後の電流の減衰曲線上に、腐食進展を示すブロードピークはみられなかった。以上の結果より、AlgNa および PVA 修飾によっても HAp 被膜の耐傷性を改善できることがわかった。

次にインデンテーション時の浸漬電位の測定を行った。Hanks 液に各試験片を浸漬直後からの浸漬電位を図 8(a)に示す。電位は圧子押し付け直後に低下し、圧子を表面から離れた後にさらに低下した後、大きく上昇した。未被覆 AZ31 では押し付け開始から約 150 秒で直前の浸漬電位より約 5 mV 貴な電位に回復したが、表面被覆 AZ31 では 100 秒未満で元の電位より 10 mV 程度低い電位まで回復したが、元のレベルに回復するまでにはさらに時間がかかった。そこで、電位が元のレベルに回復するまでの時間を図 8(b)にまとめた。各表面での圧痕の SEM 像を図 9 に示す。

未被覆 AZ31 に比べ、HAp-AZ31 は電位減衰ピークの半値幅は狭いのに対し元のレベルまでの回復時間が長かった。アニオン性の SPA および AlgNa を修飾すると元のレベルまでの電位回復時間は未被覆 AZ31 と同程度になり、中性の PEG および PVA を修飾すると電位回復時間の短縮はアニオン性ポリマー修飾に及ばなかった。HAp 被覆のみでは圧痕周囲の塑性変形域で被膜の剥離がみられたが、ポリマー修飾により被膜の剥離が抑制された。ポリマーの種類による圧痕形態の違いは顕著ではなかった。アニオン性ポリマーでは、被膜き裂下での基材 AZ31 の腐食が促進され、腐食生成物による被膜修復が早期に起こった可能性が考えられる。中性ポリマーでは、HAp 被膜の接着性が向上し、圧痕からの腐食進展が抑制されたと考えられる。

インデンテーション電流測定および電位測定より、HAp 被膜の耐傷性向上には、アニオン性ポリマーの効果が高いことが明らかになった。

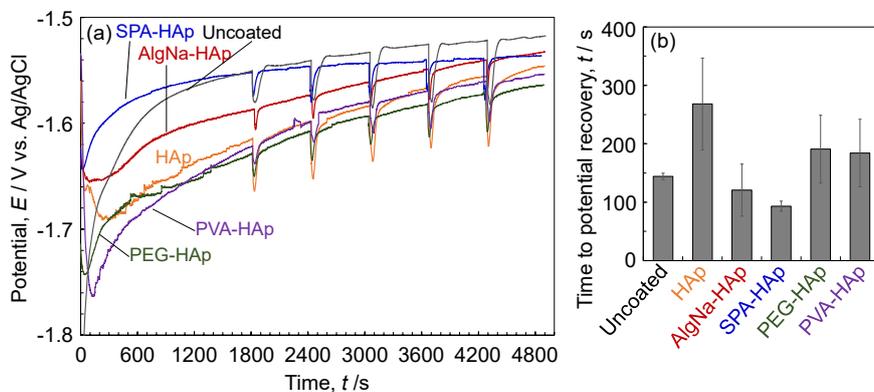


図8 (a) Hanks液中でのインデンテーションに伴う浸漬電位の変化および(b) 電位回復までの時間

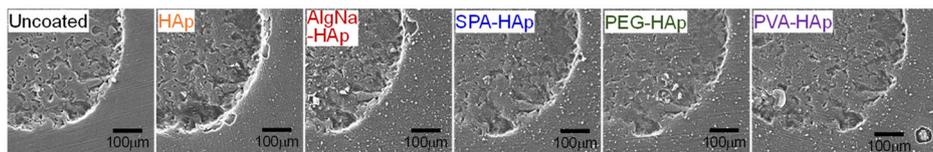


図9 Hanks液中で浸漬電位を測定しながらインデンテーションした圧痕のSEM像

(4) 細胞培養試験

未被覆、HApおよび各ポリマー修飾した HAp-AZ31 表面で 24 h 培養した骨芽細胞のギムザ染色像を図 10 に示す。未被覆表面では細胞は丸く収縮し、細胞接着が阻害されていたと考えられる。HAp 被覆表面では細胞は紡錘形に伸展して接着していた。PEG および PVA 修飾 HAp 被覆表面では HAp 被覆表面と同様に細胞は紡錘形に進展して接着していたが、PVA 表面では細胞数が少ない傾向がみられた。一方、SPA および AlgNa 修飾 HAp 被覆表面では、細胞の形が崩れており、細胞適合性が低かったと考えられる。MC3T3-E1 細胞の倍化時間は 20 h 前後であることから、本研究の培養時間の 24 h では細胞は接着、伸展したがほとんど分裂しなかったと考えられる。PVA 修飾表面は細胞数が HAp のみおよび PEG 修飾表面より若干少なかったことから、PVA 修飾は細胞接着を抑制したと考えられる。PEG および PVA 修飾表面では細胞伸展がみられたことから、細胞が増殖できる表面であると考えられる。

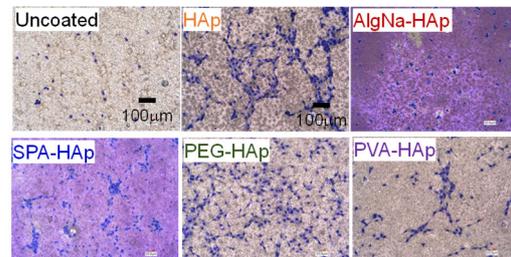


図10 様々なポリマーで修飾したHAp被覆AZ31表面で培養したMC3T3-E1骨芽細胞のギムザ染色像

HAp 被膜の耐傷性向上のための修飾ポリマーには、アニオン性の SPA や AlgNa の方が PEG および PVA よりも有効であることがわかった。一方、細胞適合性の観点より中性の PEG および PVA が生体用 Mg 合金の自己修復性/耐傷性向上ポリマーとして適していることがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hiromoto Sachiko, Doi Kotaro	4. 巻 212
2. 論文標題 Effect of polyethylene glycol modification on the corrosion behavior of hydroxyapatite-coated AZ31 Mg alloy under tensile deformation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Corrosion Science	6. 最初と最後の頁 110931 ~ 110931
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.corsci.2022.110931	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 廣本祥子	4. 巻 92
2. 論文標題 使用環境に応じた耐食性制御のためのMg合金の表面被覆 - 生体材料から構造材料 -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 金属	6. 最初と最後の頁 26-36
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 無
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 Trang Le Thi, Quang Cao Nguyen, Hiromoto Sachiko, O Minh, Kobayashi Equo	4. 巻 444
2. 論文標題 Formation and corrosion behavior of calcium phosphate coating layers on ZK60 alloy coated at various pH conditions by chemical conversion method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Surface and Coatings Technology	6. 最初と最後の頁 128639 ~ 128639
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.surfcoat.2022.128639	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 該当する
1. 著者名 Hiromoto Sachiko, Itoh Sayaka, Doi Kotaro, Katayama Hideki, Akashi Takaya	4. 巻 200
2. 論文標題 Short- and long-term corrosion behavior of carbonate apatite-coated Mg-4mass% Y-3mass% RE alloy in cell culture medium	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Corrosion Science	6. 最初と最後の頁 110222 ~ 110222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.corsci.2022.110222	査読の有無 無
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 Hiromoto Sachiko, Nozoe Etsuro, Hanada Kotaro, Yoshimura Takuya, Shima Kaori, Kibe Toshiro, Nakamura Norifumi, Doi Kotaro	4. 巻 122
2. 論文標題 In vivo degradation and bone formation behaviors of hydroxyapatite-coated Mg alloys in rat femur	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: C	6. 最初と最後の頁 111942 ~ 111942
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msec.2021.111942	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 Hiromoto Sachiko, Itoh Sayaka, Noda Naomi, Yamazaki Tomohiko, Katayama Hideki, Akashi Takaya	4. 巻 21
2. 論文標題 Osteoclast and osteoblast responsive carbonate apatite coatings for biodegradable magnesium alloys	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science and Technology of Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 346 ~ 358
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14686996.2020.1761237	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 Tuyet Thi Anh Ngo, Hiromoto Sachiko, Nguyen Phong Ngoc, San Thi Pham	4. 巻 985
2. 論文標題 Effect of pH of Coating Solution on Adhesion Strength of Hydroxyapatite and Octacalcium Phosphate Coatings on AZ31 Magnesium Alloy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 156 ~ 164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/msf.985.156	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 該当する

1. 著者名 Ngo Tuyet T.A., Hiromoto Sachiko, Pham San T., Cao Nguyen Q.	4. 巻 381
2. 論文標題 Adhesion properties of hydroxyapatite and octacalcium phosphate coating layers to AZ31 alloy formed at various pH values	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Surface and Coatings Technology	6. 最初と最後の頁 125187 ~ 125187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.surfcoat.2019.125187	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 該当する

1. 著者名 KAWAGOE Daisuke, SUZUKI Tatsuya, NAMAI Reiya, TSUBOI Yuma, HIROMOTO Sachiko	4. 巻 45
2. 論文標題 Addition of Citric Acid to Hydroxyapatite Slurry for Stable Dispersion of Nanoparticles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transactions of the Materials Research Society of Japan	6. 最初と最後の頁 73 ~ 76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14723/tmrsj.45.73	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 Cao, Le, Pham, Nguyen, Hiromoto, Kobayashi	4. 巻 12
2. 論文標題 In Vitro Corrosion and Cell Response of Hydroxyapatite Coated Mg Matrix in Situ Composites for Biodegradable Material Applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 3474 ~ 3474
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma12213474	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 該当する

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 S. Hiromoto
2. 発表標題 Slow Strain Rate Tensile Test of a Magnesium Alloy with Polymer-Hydroxyapatite Composite Coatings in Hanks' Simulated Body Fluid
3. 学会等名 Summit of Materials Science 2022 and Global Institute for Materials Research Tohoku User Meeting 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 廣本祥子
2. 発表標題 生体内溶解性Mg合金の腐食溶解速度制御のためのアパタイト被膜の開発
3. 学会等名 地プロ「医療・介護機器分野参入促進事業」 令和3年度講演会 令和3年度講演会「一緒に考えませんか、医療機器の産業化～近未来・中期・長期～ (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Hiromoto, S. Itoh, N. Noda, T. Yamazaki, H. Katayama, T. Akashi
2. 発表標題 Bioabsorbable Carbonate Apatite Coating for Biodegradable Mg Implants and Osteoclast Response
3. 学会等名 11th World Biomaterials Congress, WBC2020 Virtual. 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Hiromoto
2. 発表標題 Calcium Phosphate Coating of Mg/Mg alloys for Biomedical Use
3. 学会等名 The 3rd Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Hiromoto, S. Itoh, N. Noda, T. Yamazaki, H. Katayama, T. Akashi
2. 発表標題 Osteoclast responsive carbonate apatite coatings of WE43 alloy toward entirely-bioabsorbable and corrosion-controlled Mg alloys
3. 学会等名 12th Biometal Virtual Workshop. 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒崎 遥太, 藤生理, 川越 大輔, 廣本 祥子
2. 発表標題 クエン酸添加アパタイトスラリーの超音波処理の検討
3. 学会等名 第30回 日本MRS年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 廣本 祥子, 伊藤 清佳, 片山 英樹, 明石 孝也
2. 発表標題 生体用Mg合金のための炭酸アパタイト被膜の開発と長期耐食性評価
3. 学会等名 第41回日本バイオマテリアル学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D.N. Pham, S. Hiromoto, E. Kobayashi
2. 発表標題 Influence of Zinc Content and Heat Treatment on Microstructures and Corrosion Behavior of Mg-Zn Alloys
3. 学会等名 The 3rd International Conference on Light Materials -Science and Technology (LightMAT 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廣本 祥子, ドローネ ヴァンサン, 土井 康太郎
2. 発表標題 ポリマー修飾が水酸アパタイト被覆AZ31合金の疑似体液中でのき裂修復挙動に及ぼす影響の検討
3. 学会等名 第66回材料と環境討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Hiromoto, E. Nozoe, K. Hanada
2. 発表標題 In vivo degradation behavior of hydroxyapatite-coated magnesium alloys for bone implant application
3. 学会等名 PRICM 10 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Hiromoto
2. 発表標題 Apatite coating of biodegradable magnesium alloys and their corrosion behavior and biocompatibility
3. 学会等名 台湾 国立精華大学 セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Hiromoto
2. 発表標題 Apatite coating of biodegradable magnesium alloys and their corrosion behavior and biocompatibility
3. 学会等名 台湾 国立精華大学 セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

https://samurai.nims.go.jp/profiles/hiromoto_sachiko

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	山崎 智彦 (Tomohiko Yamazaki) (50419264)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・主幹研究員 (82108)	

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
---------	---------