

令和 4 年 9 月 2 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02482

研究課題名(和文) アルミニウム合金上への高耐食性、高導電性ヘテロ構造皮膜の創製

研究課題名(英文) Fabrication of the anticorrosive and electroconductive film on Al alloys using the steam coating process

研究代表者

芹澤 愛 (SERIZAWA, Ai)

芝浦工業大学・工学部・准教授

研究者番号：90509374

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 17,290,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、軽量のアルミニウム合金基材上に高耐食性と高導電性を兼ね備えた皮膜を形成するための技術開発を実施した。皮膜の作製指針は、申請者の開発してきた水蒸気プロセスで形成される高耐食性皮膜中にカーボンナノ粒子を適切に分散させることで、水酸化物/カーボンのヘテロ構造皮膜を作製することとした。結果として、水蒸気源にアスコルビン酸を添加することで、水蒸気プロセス中に水酸化物結晶とともにカーボンナノ粒子が生成し、水酸化物皮膜中に均一に分散させることに成功した。作製したヘテロ構造皮膜は、硫酸中においても高い耐食性を示し、導電性は水酸化物皮膜に比べて4桁程度向上することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究代表者のオリジナル技術である水蒸気プロセスを利用することで、水酸化物とカーボンからなるヘテロ構造皮膜をアルミニウム合金上に均一に作製する技術開発に成功した結果、導電性、耐食性ともに大幅に向上することを確認することができた。本技術は、導電性が必要な部材への表面処理法として、さらにはアルミニウム合金製セパレータ等の電池材料の製造に対して大きなアドバンテージとなることが考えられ、学術的にも産業的にも重要な知見である。

研究成果の概要(英文)： The novel technology to fabricate an anticorrosive film with high electrical conductivity on a lightweight aluminum alloy substrate was developed in this study. The strategy for the fabrication of the film was to realize a hydroxide/carbon heterostructured film by homogeneously dispersing carbon nanoparticles in the hydroxide film formed by the steam process originally developed by the applicant. As a result, by adding ascorbic acid to the steam source, carbon nanoparticles were generated simultaneously with the formation of hydroxide crystals during the steam process and were successfully dispersed uniformly in the hydroxide film. The heterostructured film showed high corrosion resistance even in sulfuric acid, and its electrical conductivity is about four orders of magnitude higher than that of the hydroxide film.

研究分野：材料工学

キーワード：導電性皮膜 耐食性皮膜 アルミニウム合金 ヘテロ構造 燃料電池用金属セパレータ

1. 研究開始当初の背景

我が国日本のエネルギー自給率は 10%以下であり、エネルギー資源のほとんどを輸入に頼っているのが現状である[ ]。エネルギーに関する 3R 政策のうち、材料科学分野においては、エネルギーのリユース技術への貢献が最も期待できる。なかでも、エネルギーの蓄積及び放出を自在に操るといった観点から、電池の高機能化が喫緊の重要な課題である。次世代電池には、高効率でかつ安価であることが求められる。“安価で高効率な電池”の開発には、電池全体の軽量化および低コスト化が必須である。セパレータは燃料電池スタック重量の 80%程度を占めることから、軽量化効果が最も高い部位である。一方、強酸環境下でも耐え得る極めて高い耐食性ならびに発生した電流を隣接したセルに高効率で流すための導電性も必須であるため、表面処理を施した薄肉の鉄鋼材料が利用されてきた。近年では、セパレータ用ステンレス鋼、カーボン材料等が開発されてきたが、依然、鉄鋼材料ではその重量、カーボン材料では脆性に課題がある。

このような背景と低炭素化、軽量性の観点から、セパレータへの軽金属材料の適用が期待されているが、軽金属材料への導電性を有する耐食性皮膜を形成するための技術が確立されていないために、その開発が遅滞しているのが現状である。さらに、電池の高容量化、高出力化といった近年の電池の開発傾向を踏まえると、電池の放熱性の向上も必要である。これらの観点から、ステンレス鋼と比べて、軽量、かつ、1桁大きな熱伝導率を有するアルミニウム合金は魅力ある材料である。本研究では、セパレータとして適用する際に、必要な特性となる導電性および耐食性を兼ね備えた皮膜をアルミニウム (Al) 合金上に創製するための技術開発を行う。

耐食性の付与は、水蒸気を利用した耐食性皮膜の作製により実現する。Al 合金上への高耐食性皮膜としては、3価クロム系化成処理(ベルスクード処理)があるが、経年劣化による6価クロムの発生が問題視されている。また、ジルコニウム等を用いたクロムフリー化成処理皮膜(ジルコン処理)があるが、強酸性環境下に晒されるセパレータへの適用では耐食性が不足している。硫酸を用いた陽極酸化処理は高耐食性を付与できるが、重金属等の使用、流路等の複雑形状への均一成膜性等に問題がある。さらに、陽極酸化膜の高耐食化には封孔処理等を行う必要があるため、多段階プロセスになり、コスト増に繋がる。また、これらの皮膜はいずれも絶縁体であり、導電性は皆無である。本研究では、我々が提案した新規プロセスである水蒸気プロセス(気相(飽和蒸気)と液相(亜臨界水)の混合状態の反応場)を利用することで、Al 合金基材上に耐食性皮膜の創製を行う。実際には、水と Al 合金を直接反応させることで水酸化物を形成させる、Al 合金をヘテロ構造化する表面改質である。水を飽和蒸気と亜臨界水の共存状態と状態変化させることで、反応性の担保、物質供給の制御を行う。これにより、異種界面形成を制御でき、極めて緻密な皮膜形成が可能となる。プロセスの詳細を図1に示す。

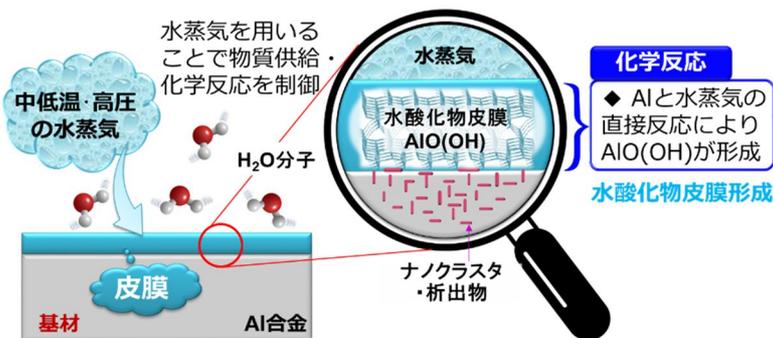


図1 水蒸気プロセスの概念

導電性付与の付与は、異種界面制御による皮膜のヘテロ構造化により実現する。絶縁体である水酸化物皮膜に導電性を生み出すには、物質内に電子移動を可能とする媒体を導入することが有効であると考えられる。近年、organic-inorganic のハイブリッド化による導電性の付与が報告されたが[ ]、これはビルドアップ型の材料設計であり、“安価で高効率な電池”とは開発指針を異にする。本研究では、高耐食性が見込まれる inorganic な皮膜中に、導電性パスとしての organic な導電粒子を導入するため、自己組織化型のヘテロ構造皮膜の材料設計を行う。具体的には、飽和蒸気を介してカーボン源を導入し、かつ皮膜中へのナノカーボン粒子の分散技術の開発を行う。

以上のことから、本研究では絶縁体中に導電性物質を分散させ導電パスとさせることに挑戦する。ただし、カーボン材料と酸化物、水酸化物は、通常は界面形成が困難である。カーบอนは、他の物質の混合を極めて嫌うためである。そこで、導電性皮膜を実現するために、水酸化物中に導電パスを作り出す技術開発が必須となる。本研究では、水酸化物/カーボンの異種界面形成を実現するため、ヘテロ構造皮膜の in-situ 形成に着目した。この際、出発原料として芳香族化合物を選択し、水蒸気中に揮発させて皮膜中に取り込ませる中で、皮膜中でナノカーボン粒子を自己組織化させる。本研究では、in-situ 皮膜形成による異種界面形成を作製するための材料設計指針を構築するための技術開発を行うことで、絶縁体皮膜のヘテロ構造化により導電性を発現させることをめざす。

## 2. 研究の目的

本研究では、鉄鋼材料の3分の1の密度を有するアルミニウム合金基材の導電性の向上に資する技術開発および合金基材上に高耐食性と高導電性を兼ね備えた皮膜を形成するための技術開発を行う。耐食性と導電性という両立しない特性を同時付与するため、申請者が提案した新規プロセスである水蒸気プロセスを利用する。アルミニウム合金をターゲット材料とし、水蒸気プロセスによって基材上に耐食性と導電性を兼ね備えたヘテロ構造皮膜の創製技術の開発をめざす。また、この水蒸気プロセスを行うことにより、皮膜を形成するのみならず、合金内の組織(溶質原子の集合状態)を制御し、ナノスケールのヘテロ構造を創出することで基材自体の導電性や熱伝導性を向上させることが可能になると考えている。すなわち、水蒸気プロセスによる一段階プロセスで、基材の組織制御と皮膜形成を同時に行うことができ、かつ導電性と高耐食性を同時に付与することができる点が従来技術にはない新規性と優位性である。

以上のことから、本研究では、カーボン源を選択および最適化によりヘテロ構造皮膜の創製技術を確立した後、耐食性および導電性を評価することで2つの特性が両立する作製条件を探索する。併せて、ヘテロ構造皮膜の構造解析により、耐食性および導電性の発現メカニズムの解明を行う。

## 3. 研究の方法

### (1) 高耐食性皮膜作製技術の開発：

水蒸気プロセスの温度、処理時間、圧力、溶液 pH を変化させて皮膜を形成させ、作製した皮膜の膜厚を計測する。得られた測定値とプロセス因子の関連性を調査し、導電率向上に重要なプロセス因子を明らかにする。さらに、皮膜の成長を促進する因子を特定した上で、適切な物質を添加することで水蒸気プロセス中の皮膜の成長速度を向上させる。

### (2) 耐食性皮膜内へのカーボン粒子合成技術の開発：

水蒸気プロセスによるカーボン粒子の合成に関しては、蒸気源へのカーボン源添加を行う。カーボン源として用いる物質は、水溶性であり水蒸気プロセスとの相性がよい、耐熱性が低いために容易に揮発する、水中の溶存酸素と結合することで強い権限性が発現される点等を考慮して選択する。さらに、分子構造や官能基の異なる分子を原料に用いた合成を行い、合成したカーボンの形態を解析し、高導電性のカーボンを形成するのに適した原料種を明らかにする。

### (3) 高耐食性・高導電性皮膜作製技術の開発：

水蒸気プロセスによる耐食性と導電性を兼ね備えた皮膜の作製に関しては、皮膜の形成過程中にナノカーボンを *in situ* で形成させるための技術開発を行う。ここでは、(2)の研究項目で得られた結果に基づいて、カーボン源の原料種を選定する。合成した皮膜内のナノカーボンの分散状態や含有量と耐食性および導電性の関連性を調査する。耐食性に関しては、電気化学測定および強酸溶液への浸漬試験を用いた評価を行う。

## 4. 研究成果

### (1) 高耐食性皮膜作製技術の開発：

高圧・高温下で発生する水蒸気を利用して、アルミニウム合金上に耐食性皮膜を作製する水蒸気プロセスは、低環境負荷であるため、次世代の表面処理技術として実用化が期待されている。実用化にむけてさらなる低コスト化が求められており、処理時間の短縮が望まれる。本研究では、アンモニアに着目し、水蒸気プロセスにおける水蒸気源にアンモニアを添加することによる皮膜の形成速度の変化を調べた。さらに、水蒸気プロセス時にアンモニアを添加した際にそれらが皮膜の形成挙動や反応速度に及ぼす影響について調査した。

基板には、20mm×20mm の Al-Mg-Si 合金を用いた。エタノールで洗浄した後、水蒸気プロセスを施した。処理条件は、温度 200、処理時間 28.8, 57.6, 86.4 ks とした。蒸気源には超純水とアンモニア(0.1, 0.3, 0.5, 1.0 mol/L)を使用した。溶液の総量は 10 mL とし、処理前後の溶液の pH を測定した。作製した皮膜の評価として、走査型電子顕微鏡 (FE-SEM) を用いて作製した皮膜の表面および断面の形態を観察した。また、X 線回折装置 (XRD) を用いて皮膜の結晶構造解析を行った。

XRD 結果より、アンモニア添加の有無ならびにアンモニアの添加量に依らず、すべての処理条件で AlO(OH) に対応する回折ピークが確認された。FE-SEM により観察した皮膜の表面形態を図 2 に示す。表面観察結果より、蒸気源にアンモニアを添加することで、超純水のみで作製した場合には観察されなかった、粗大化した AlO(OH) 結晶が確認された。また、粗大化した結晶の存在比は、アンモニア濃度が高いほど増加した。各蒸

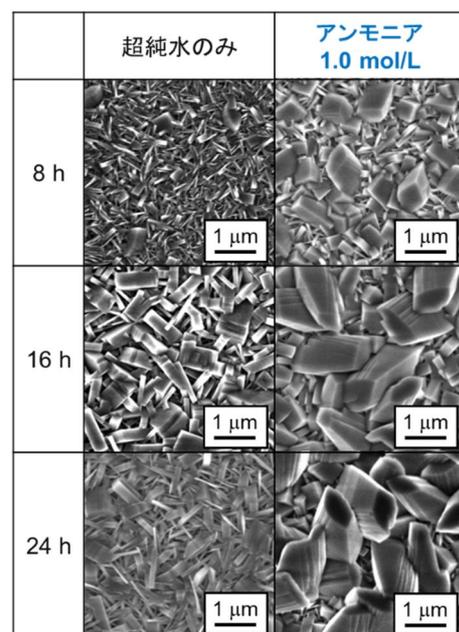


図 2 超純水のみ、あるいはアンモニアを添加した超純水を用いて作製した皮膜の表面形態

気源を用いて処理時間 86.4 ks で作製した皮膜の膜厚を図 3 に示す。皮膜の膜厚は、蒸気源が超純水のみの場合には 1.84  $\mu\text{m}$ 、アンモニアを添加 (0.1, 0.3, 0.5, 1.0 mol/L) した場合は、それぞれ、1.92, 2.30, 2.43, 2.44  $\mu\text{m}$  であった。アンモニア濃度が 0.1 mol/L から 0.3 mol/L に変化した際、膜厚は急激に増加することがわかった。また、最も膜厚の増加したアンモニア 1.0 mol/L では、超純水のみと比較して膜厚は 1.32 倍に成長した。フィックの第 2 法則における速度係数を  $K$  とすると、アンモニア濃度が 0.1 mol/L から 0.3 mol/L に変化したとき、速度定数  $K$  は急激に上昇した。速度係数  $K$  はアンモニア濃度が 1.0 mol/L の時に最大となり、超純水のみで作製した皮膜に比べ 1.9 倍大きいことがわかった[ ]。以上のことから、Al-Mg-Si 合金にアンモニアを添加して水蒸気プロセスを施すことにより AlO(OH) 皮膜を作製した結果、蒸気源の溶液のアンモニア濃度が上昇することで皮膜の膜厚は増加し、1.0 mol/L では超純水のみで作製した場合と比較して膜厚は 1.32 倍となることを明らかにした。

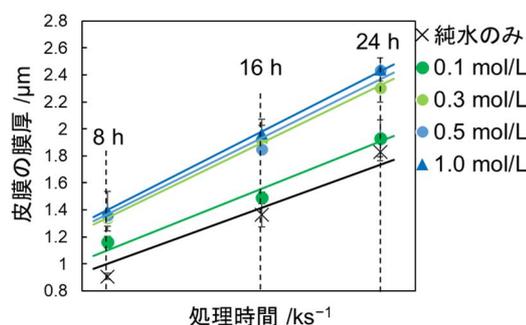


図 3 超純水のみ、あるいはアンモニアを添加した超純水を用いて作製した皮膜の膜厚変化

## (2) 耐食性皮膜内へのカーボン粒子合成技術の開発 :

ヘテロ構造皮膜の作製による耐食性および導電性の向上において、アルミニウム合金基材に対しては、耐食性と導電性を兼ね備えた皮膜を形成させるために、水蒸気を利用したアプローチを用いてヘテロ構造皮膜を形成するための技術開発を実施した。皮膜作製手法には、低コストかつ形状によらず耐食性皮膜 (AlO(OH)) の作製が可能な水蒸気プロセスおよび水熱合成法を選択した。水蒸気プロセスにおける蒸気源、水熱合成法における水源に炭化水素基類を添加することで、耐食性皮膜である AlO(OH) 中に導電性カーボン形成させ、導電性と耐食性を有する皮膜の作製を検討した。基材として、Al-0.96wt%Mg-0.59wt%Si 合金板材を用いた。皮膜作製には、水蒸気プロセスおよび水熱合成法を用いた。オートクレーブ内に 0.1 M に調整したアスコルビン酸 (Ascorbic acid : 以下、AsA と呼称) 水溶液 10 mL を加えた後、研磨した試料を設置した。この際、水蒸気プロセスでは溶液に触れないように試料台を用いて試料を設置し、水熱合成法では溶液中に試料が浸漬するように設置した。熱処理の条件として 200 °C で 24 h 電気炉内に保持することにより水蒸気プロセスまたは水熱合成法を施した。

Al-Mg-Si 合金に対して、水蒸気プロセスおよび水熱合成法を用いて製膜した試料表面の SEM 像を図 4 に示す。試料表面の SEM 像から、溶液に水のみを用いた水蒸気プロセス試料 (以下、SP(H<sub>2</sub>O) 材と呼称) では針状の結晶が試料表面に形成するのに対し、アスコルビン酸水溶液を用いた水蒸気プロセス試料 (以下、SP(AsA) 材と呼称) と水熱合成試料 (以下、HS(AsA) 材と呼称) では針状の結晶とともに球状の生成物の形成が確認された。また、FT-IR 結果からも、水蒸気プロセス試料および水熱合成試料の IR スペクトルから、AlO(OH) に由来するピークとともに炭素に由来するピークが確認されたことから、球状生成物は炭素生成物であることがわかった。

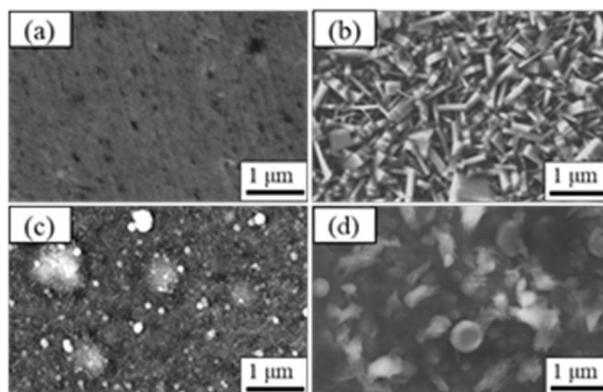


図 4 (a)未処理、(b)SP(H<sub>2</sub>O)材、(c)SP(AsA)材、(d)HS(AsA)材の表面形態

## (3) 高耐食性・高導電性皮膜作製技術の開発 :

各プロセスにより作製した皮膜の体積抵抗率は、SP(H<sub>2</sub>O)材、SP(AsA)材、および HS(AsA)材において、それぞれ  $8.1 \times 10^{12}$   $\Omega\text{cm}$ 、 $1.5 \times 10^{12}$   $\Omega\text{cm}$ 、および  $1.2 \times 10^9$   $\Omega\text{cm}$  であった。SP(H<sub>2</sub>O)材と比較して SP(AsA)材および HS(AsA)材は低い体積抵抗率を示したことから、蒸気源や水源にアスコルビン酸を添加することで皮膜の導電性は向上することがわかった。絶縁体と導体からなる複合体では、導電性カーボンが系内に連続的に存在することで導電性が発現する。そこで、皮膜中の炭素分布を調べるために、皮膜断面において組成分析を行った。各プロセスで作製した試料に対して、皮膜表面から深さ方向に点分析を行った結果を図 5 に示す。皮膜断面の観察より、SP(AsA)材、HS(AsA)材の膜厚はそれぞれ 0.47  $\mu\text{m}$ 、0.68  $\mu\text{m}$  であった。各試料における皮膜深さ方向の炭素分布は、SP(AsA)材では皮膜表面に多く分布しているのに対し、HS(AsA)材で

は、基板に近い範囲に炭素が最も多く存在し、表面付近では組成比が減少することが明らかとなった。このことから、SP(AsA)材に比べ、HS(AsA)材では良好な導電パスが形成されており、体積抵抗率がより低い値を示したと考えられる。以上のことから、Al-Mg-Si合金に対し、アスコルビン酸水溶液を用いて水蒸気プロセスおよび水熱合成法を用いることで、AlO(OH)とカーボンからなるヘテロ構造皮膜が作製可能であることを明らかとした。また、水熱合成法を用いることで AlO(OH)皮膜中に均一に粒子を分散させることができ、AlO(OH)皮膜と比べ導電性の向上が確認された。

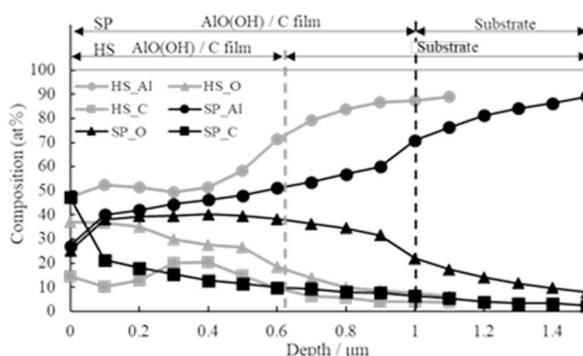
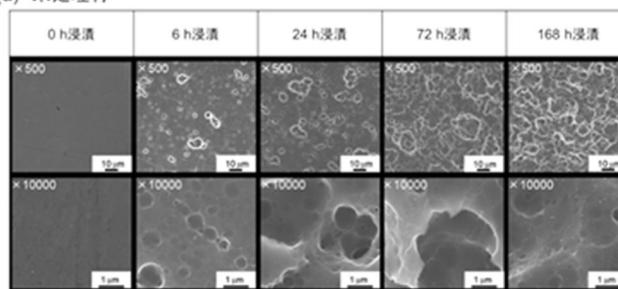


図5 アスコルビン酸水溶液を用いて作製した水蒸気プロセス材および水熱合成材の基材/皮膜界面近傍の各元素の濃度変化

孔食の発生抑制に関しては、水蒸気プロセスによって作製した AlO(OH)皮膜の耐酸性の評価を行った。未処理材および水蒸気プロセス材の pH = 3 の硫酸試験中の試料表面の外観変化を図 6 に示す。未処理材では浸漬時間 6 h で孔食が複数発生したのに対し、水蒸気プロセス材では 168 h 浸漬後も孔食が発生せず、水蒸気プロセスによって作製した AlO(OH)皮膜は優れた耐食性を示すことを明らかにした。また、皮膜の溶解は観察されず、膜厚の減少率は 0%であった[ ]。一方、アスコルビン酸水溶液を用いて作製したヘテロ構造皮膜に対し、pH = 3 の硫酸水溶液にて浸漬試験を実施した。48 h 浸漬後の皮膜の膜厚の減少率を 50% にすることに成功した。今後、48 h 浸漬後の皮膜の膜厚の減少率を 20% 以下にするヘテロ構造皮膜を形成する技術を確認する計画である。一方、硫酸溶液中への浸漬試験を実施した結果、48 h 浸漬後の孔食の発生はないことを確認できた。

(a) 未処理材



(b) 水蒸気プロセス材

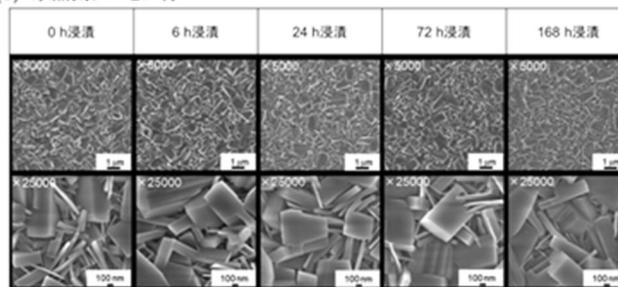


図6 (a)未処理材および(b)水蒸気プロセス材における pH = 3 の硫酸浸漬試験中の試料表面の外観変化

以上のことから、本研究では、独自の水蒸気プロセスを活用することでアルミニウム合金上に耐食性(強酸下)と導電性を有するヘテロ構造皮膜の作製に成功した。本研究成果は、一般的に両立が困難な耐食性と導電性を併せ持つ皮膜の作製に成功したこと、organic-inorganic のハイブリッド皮膜である水酸化物/カーボンのヘテロ構造皮膜の作製に成功したこと、そして良好な特性を有することを示せた点に大きな意義がある。これらの知見は、燃料電池用セパレータ用途の研究開発に対して大きく前進したものと言える。

<引用文献>

IEA、Energy Balance of OECD Countries 2017、2017  
 L. Wang, Z. Zhang, Y. Liu, B. Wang, L. Fang, J. Qiu, K. Zhang, S. Wang、Nature Communications、Exceptional thermoelectric properties of flexible organic-inorganic hybrids with monodispersed and periodic nanophase、9 巻、2018、3817 - 3824  
 N. Itano S.Y. Lee, A. Serizawa、Effect of Ammonia Addition on the Growth of an AlO(OH) Film during Steam Coating Process、Coatings、12 巻、2022、262 - 273  
 芹澤愛、伊藤友佑、栗原健輔、水蒸気を利用したアルミニウム合金の表面改質による多機能性の発現、材料の科学と工学、58 巻、2021、139 - 143

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 芹澤愛, 伊藤友佑, 栗原健輔	4. 巻 58
2. 論文標題 水蒸気を利用したアルミニウム合金の表面改質による多機能性の発現	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 材料の科学と工学	6. 最初と最後の頁 139-143
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 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 栗原健輔, Ivan Lobzenko, 都留智仁, 芹澤愛	4. 巻 72
2. 論文標題 Al-Mg-Si 系合金におけるナノクラスタの形成に対する溶質原子と空孔の局所的結合の影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 軽金属	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2464/jilm.72.47	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 N. Itano S.Y. Lee, A. Serizawa	4. 巻 12
2. 論文標題 Effect of Ammonia Addition on the Growth of an AlO(OH) Film during Steam Coating Process	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Coatings	6. 最初と最後の頁 262-273
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/coatings 12020262	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 [4]S.Y. Lee, D. Numata, A. Serizawa, K. Sasaki, K. Fukushima, X. Hu, T. Ishizaki	4. 巻 15
2. 論文標題 Systematic Study of Effective Hydrothermal Synthesis to Fabricate Nb-Incorporated TiO <sub>2</sub> for Oxygen Reduction Reaction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 1633-1644
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma15051633	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 Lee So Yoon, Matsubara Tatsuya, Numata Daiki, Serizawa Ai	4. 巻 11
2. 論文標題 Facile Synthesis of Potassium-Doped Titanium Oxide Nanostructure (KTiOxs)/AlO(OH) Composites for Enhanced Photocatalytic Performance	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Catalysts	6. 最初と最後の頁 548 ~ 548
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/catal11050548	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 芹澤愛	4. 巻 71
2. 論文標題 マグネシウム合金上への耐食性皮膜」, 表面技術	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 表面技術	6. 最初と最後の頁 233 ~ 238
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 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 芹澤 愛	4. 巻 46
2. 論文標題 アルミニウム合金中に形成する化合物の結晶成長制御と新規高熱伝導性ヒートシンク材料への適用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本結晶成長学会誌	6. 最初と最後の頁 46-4-03
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.19009/jjacg.46-4-03	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 宮下智弘, 稲村萌々, 長島悠真, 芹澤愛, 石崎貴裕	4. 巻 56
2. 論文標題 蒸気コーティング法による難燃性Mg-6%Al-1%Zn-1%Ca合金上への水酸化物系複合皮膜形成技術の開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 材料の科学と工学	6. 最初と最後の頁 243 ~ 259
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 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 -

〔学会発表〕 計41件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 Ai Serizawa, Kazuhiko Miyazawa, Yusuke Ito, Masami Takai
2. 発表標題 Improving the electrochemical performance of Aluminum alloys by steam coating process
3. 学会等名 THERMEC'2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 板野真尊, 芹澤愛
2. 発表標題 塩基性物質の添加がAlO(OH)皮膜の成長に及ぼす影響
3. 学会等名 軽金属学会第140回春期大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 栗原健輔, 芹澤愛
2. 発表標題 Al-Mg-Si系合金中に形成する2種類のナノクラスタの安定構造
3. 学会等名 軽金属学会第140回春期大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ai Serizawa, Kensuke Kurihara, Naotaka Itano
2. 発表標題 Anticorrosive properties of acid-resistant films on Aluminum alloy substrate fabricated by using steam
3. 学会等名 Eurocorr 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 So Yoon Lee, Ai Serizawa
2. 発表標題 Anticorrosive properties of acid-resistant films on Aluminum alloy substrate fabricated by using steam
3. 学会等名 Interfinish 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naotaka Itano, So Yoon Lee, Ai Serizawa
2. 発表標題 Effect of Ammonia Addition on the Growth of AlO(OH) Film during Steam Coating process
3. 学会等名 Interfinish 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hirotaro Shishida, So Yoon Lee, Ai Serizawa
2. 発表標題 Fabrication of AlO(OH)/carbon Hetero-structured Thin Film using Steam Coating Process
3. 学会等名 Interfinish 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koh Takazawa, So Yoon Lee, Ai Serizawa
2. 発表標題 Long-term Stability of Potassium-incorporated Titanium oxide Nano Structured KTiO <sub>x</sub> s/AlO(OH) Photocatalyst
3. 学会等名 Interfinish 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yusuke ITO, Ai SERIZAWA
2. 発表標題 Evaluation of mechanical properties of the foamed AlO(OH) film on an Al-Mg-Si alloy by steam coating process
3. 学会等名 軽金属学会第141回秋期大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高井昌美, 芹澤愛, 渡邊秀綱, 金内良夫
2. 発表標題 Al-5.5%Mg-4%Si合金における水蒸気時効硬化性および耐食性の評価
3. 学会等名 軽金属学会第141回秋期大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋知也, 芹澤愛, 茂泉健
2. 発表標題 Mg-Al-Zn系合金の疲労寿命に及ぼす水酸化物皮膜および基材強度の影響
3. 学会等名 軽金属学会第141回秋期大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 栗原健輔, 芹澤愛
2. 発表標題 Al-Mg-Si合金における ' ' 相 / 母相の整合および非整合界面構造の解析
3. 学会等名 軽金属学会第141回秋期大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮澤一彦, 芹澤愛, 塩田正彦, 田内雄一朗, 西本一恵, 仲津照人
2. 発表標題 低温時効を施したAl-Mg-Si合金荒引線におけるナノクラスタの形成挙動
3. 学会等名 軽金属学会第141回秋期大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤友佑, 芹澤愛
2. 発表標題 Al-Mg-Si合金上に被覆したAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (OH)皮膜の機械的性質およびひずみ付与による破壊機構
3. 学会等名 軽金属学会関東支部第6回若手研究者講演発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高井昌美, 芹澤愛, 渡邊秀綱, 金内良夫
2. 発表標題 水蒸気を用いて処理したAl-5.5%Mg-4%Si合金の機械的性質および耐食性の評価
3. 学会等名 軽金属学会関東支部第6回若手研究者講演発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋知也, 芹澤愛, 茂泉健
2. 発表標題 2種類のMg-Al-Zn系合金の疲労寿命に及ぼす耐食性皮膜および基材強度の影響
3. 学会等名 軽金属学会関東支部第6回若手研究者講演発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮澤一彦, 芹澤愛, 塩田正彦, 田内雄一朗, 西本一恵, 仲津照人
2. 発表標題 Al-Mg-Si合金荒引線のナノクラスタ形成挙動に及ぼす自然時効温度の影響
3. 学会等名 軽金属学会関東支部第 6 回若手研究者講演発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 栗原健輔, 芹澤愛
2. 発表標題 Al-Mg-Si系合金に形成されるナノクラスタの安定性に対する局所的結合の影響
3. 学会等名 軽金属学会関東支部第 6 回若手研究者講演発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 板野真尊, 李素潤, 芹澤愛
2. 発表標題 アンモニアを添加した水蒸気プロセスによって形成するAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (OH)結晶の成長挙動
3. 学会等名 表面技術協会第145回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 穴田拓太郎, 李素潤, 芹澤愛, 徳田祐樹
2. 発表標題 水蒸気プロセスおよびイオン化蒸着法を併用したAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (OH) / カーボンヘテロ構造皮膜の作製
3. 学会等名 表面技術協会第145回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高澤澁, 李素潤, 芹澤愛
2. 発表標題 カリウムを添加した酸化亜鉛光触媒KZnOxsおよびKZnOxs/AlO(OH)複合体の光触媒特性評価
3. 学会等名 表面技術協会第145回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ai Serizawa, Tomoya Takahashi, Yusuke Ito
2. 発表標題 Fracture behavior of anticorrosive-film fabricated on Aluminum alloys substrate by using steam
3. 学会等名 E-MRS 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高井昌美, 芹澤愛, 渡邊雄一郎, 遠藤歩美
2. 発表標題 Al合金締結部品上へ形成したAlO(OH)皮膜の耐食性評価
3. 学会等名 軽金属学会関東支部第7回若手研究者ポスター発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋知也, 芹澤愛, 茂泉健
2. 発表標題 AZ61マグネシウム合金の疲労寿命に及ぼす耐食性皮膜の膜厚の影響
3. 学会等名 軽金属学会関東支部第7回若手研究者ポスター発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮澤一彦, 芹澤愛, 塩田正彦, 山本俊, 西本一恵, 仲津照人
2. 発表標題 Al-Mg-Si合金伸線材の機械的性質へ及ぼす加工率および二段時効の影響
3. 学会等名 軽金属学会関東支部第7回若手研究者ポスター発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 A. Serizawa, M. Tanabe, K. Kanasugi
2. 発表標題 Anticorrosive properties of Aluminum-hydroxide films on Aluminum alloy substrate fabricated by using steam
3. 学会等名 Eurocorr 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤友佑, 栗原健輔, 芹澤愛
2. 発表標題 Al-Mg-Si合金上に作製した耐食性皮膜の引張応力化におけるき裂進展および破壊挙動の解明
3. 学会等名 軽金属学会第139回秋期大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高井昌美, 金杉航児, 芹澤愛
2. 発表標題 Al-Mg-Si合金製締結部品上へのAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (OH)皮膜の作製およびその腐食挙動
3. 学会等名 軽金属学会第139回秋期大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋知也, 芹澤愛, 茂泉健
2. 発表標題 AZ61Aマグネシウム合金の疲労寿命に及ぼす水酸化物皮膜の結晶相および膜厚の影響
3. 学会等名 軽金属学会第139回秋期大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮澤一彦, 芹澤愛, 塩田正彦, 山本俊, 西本一恵, 仲津照人
2. 発表標題 Al-Mg-Si合金伸線材の機械的性質に及ぼす加工率と人工時効温度の影響
3. 学会等名 軽金属学会第139回秋期大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 芹澤愛
2. 発表標題 階層的マルチヘテロ構造の創出によるアルミニウム合金の多機能化
3. 学会等名 軽金属学会第139回秋期大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金杉航児, 芹澤愛
2. 発表標題 塩基性溶液を添加して作製したAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (OH)皮膜の酸性溶液中での耐食性の評価
3. 学会等名 表面技術協会第143回講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 沼田大輝, 吉田和生, 芹澤愛
2. 発表標題 水熱合成法を用いて作製したTi-Nb複合酸化物の構造解析および酸素還元活性の評価
3. 学会等名 表面技術協会第143回講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ai Serizawa, Kouji Kanasugi, Masahiro Tanabe
2. 発表標題 Crystal Growth and Unique Morphology of Heterostructured Aluminum Hydroxide Film Formed on Aluminum Alloys using Steam
3. 学会等名 MGCTF 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 芹澤愛
2. 発表標題 水蒸気を利用したアルミニウム合金の新表面処理技術
3. 学会等名 (公社)化学工学会 / 化学装置材料部会表面改質分科会 2019年度第2回例会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 芹澤愛
2. 発表標題 アルミニウム合金の基礎と高機能化技術
3. 学会等名 地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター 技術セミナー「軽金属材料の基礎と新展開」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小田拓宏, 高橋知也, 芹澤愛
2. 発表標題 水蒸気プロセスによりAl合金上に作製したAlO(OH)皮膜の疲労特性
3. 学会等名 表面技術協会第141回講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小池健生, 李素潤, 芹澤愛
2. 発表標題 水蒸気プロセスおよび水熱合成法によるAlO(OH) / カーボンヘテロ構造皮膜の作製
3. 学会等名 表面技術協会第141回講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊康平, 芹澤愛
2. 発表標題 Al合金基材上に形成したAlO(OH)皮膜の成長に伴う皮膜および基材の微小硬さ変化
3. 学会等名 表面技術協会第141回講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金杉航児, 芹澤愛
2. 発表標題 Al-Mg-Si合金上に形成したAlO(OH)皮膜の酸性溶液浸漬による耐食性評価
3. 学会等名 表面技術協会第141回講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ai Serizawa, Kouji Kanasugi, Masahiro Tanabe
2. 発表標題 Improving the electrochemical performance of Aluminum alloys using steam
3. 学会等名 10th International Conference on Key Engineering Materials (ICKEM 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計4件

産業財産権の名称 複合部材の製造方法、及び複合部材	発明者 山口英二, 堀江永有太, 伊藤由華, 芹澤愛, 石崎貴裕	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-053199	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 スライドファスナー用のAl合金製パーツ及びその製造方法	発明者 芹澤愛, 石崎貴裕, 森田佳祐, 小泉琢哉	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-018253	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 締結部材及びその製造方法	発明者 芹澤愛, 石崎貴裕, 渡邊雄一郎, 遠藤歩美	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-017942	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 表面処理装置	発明者 石崎貴裕, 芹澤愛, 近藤景星	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-216220	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	石崎 貴裕  (ISHIZAKI Takahiro)  (50397486)	芝浦工業大学・工学部・教授    (32619)	

#### 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
---------	---------