

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：32619

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K18249

研究課題名(和文) 蒸気コーティング法による難燃性マグネシウム合金上への耐食性皮膜形成技術の開発

研究課題名(英文) Development of the surface treatment technique for formation of anticorrosive films prepared on Ca-added flame-resistant magnesium alloy by steam coating

研究代表者

中村 嘉恵 (Nakamura, Kae)

芝浦工業大学・工学(系)研究科(研究院)・研究員

研究者番号：10772741

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、蒸気コーティング法による難燃性Mg合金上への防食皮膜形成技術の開発、皮膜の形成機構の調査、皮膜を有する難燃性Mg合金試験片に対する腐食促進試験による耐食性評価を目的としていた。研究の結果、形成される皮膜は、Mg(OH)<sub>2</sub>：水酸化マグネシウム、Mg-Al系LDH：層状複水酸化物、AlO(OH)：ペーマイトで構成されることがわかった。また、腐食促進試験の結果から、皮膜成分と腐食促進イオンとの反応によって、Mg-Al系LDHが生成され、Mg基材には、ほとんど影響しないことが明らかとなった。よって、蒸気コーティング法は、難燃性Mg合金に対しても、耐食性を向上させる効果があるといえる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was (1) developing of forming technology for anti-corrosive film on flame-retardant Mg alloy by steam coating, (2) investigation of film formation mechanism and (3) evaluation of corrosion resistance of flame-retardant Mg alloy substrate with the film by corrosion promotion test. As a result of the research, it was revealed that the film was composed of Mg(OH)<sub>2</sub>: magnesium hydroxide, Mg-Al LDH: layered double hydroxide, and AlO(OH): boehmite. In addition, the corrosion promotion test clarified that the chemical reaction between the film component and the corrosion promoting ions produced the additional production and the Mg alloy substrate was hardly corroded. Therefore, the steam coating can improve corrosion resistance of flame-retardant Mg alloy.

研究分野：腐食・防食，表界面工学

キーワード：難燃性マグネシウム合金 AZX612 表面処理 蒸気コーティング法 防食皮膜 腐食促進試験

1. 研究開始当初の背景

2000年代以降、発展途上国の経済成長にともない、主に建設や輸送産業で利用されるFe(鉄)やAl(アルミニウム)といった金属資源の需要が急激に増大している。生産量も増加し続けているため、地球上での埋蔵量が豊富な上記2種類の金属でさえ、2050年には枯渇する可能性が示唆されている。将来にわたり金属資源を確保するためには、使用量の多い金属資源を代替可能かつ資源の豊富な新しい金属材料を適用することを視野に入れる必要がある。このような社会的背景の下、近年、Mg(マグネシウム)が注目されている。

Mgは、地殻の埋蔵量がFe、Alに続いて多い金属であり、その機械的、電気的特性も、FeやAlに比べても優れており、軽量であるため輸送機器などの大型部材への展開が期待されている。しかし、Mgの工業製品への適用が少ないのは、腐食しやすく燃え易い性質(欠点)を有するためであった。

これらの欠点を改善するため、耐食性や難燃性をもつMg合金が開発されている。例えば、AlやZn(亜鉛)が添加されたMg-Al-Zn(AZ)系合金は、機械的性質や铸造性、耐食性にも優れ、一部の電子機器管体やスポーツ用品に使用されている。近年では、Ca(カルシウム)を添加したMg-Al-Zn-Ca(AZX)系難燃性Mg合金が開発され、社会的注目を浴びている。この合金は、次世代の鉄道車輛への適用が期待されており、その耐熱性、機械的特性、耐食性を調査するための研究開発が実施され、その特性が徐々に明らかになりつつある。この研究開発を通して、難燃性Mg合金の耐食性は、Ca添加により、通常Mg合金よりも低いことが明らかとなった。これは、Ca添加によるCa系晶出物とMgの標準電極電位が異なるため、局部電池が形成されやすいことに起因する。これを改善するためには、適切な表面処理によって耐食性を向上させる必要がある。通常Mg合金に対しては、化成処理法や陽極酸化処理法などが開発されているが、難燃性Mg合金に対しても有効であるとは限らない。また、これらの方法では、処理できる部材の大きさに制限があったり、処理を行うために有害物質を必要とした点で課題が残る。

申請者の研究グループは、これまでに、有害物質を必要とせず、大きな部材に対しても処理可能な、Mg合金表面への防食膜生成技術「蒸気コーティング法」を開発してきた(図1)。このプロセスは、密閉性の反応容器内で中低温・高圧下の水蒸気を利用する。金属と水蒸気の反応を利用することで、その金属由来の水酸化物や酸化物を形成できる。例えば、Mg合金AZ31に適用した場合、Mg(OH)<sub>2</sub>(水酸化マグネシウム)とMg-Al系層状複水酸化物(LDH: Layered Double Hydroxide)からなる皮膜を形成できる(図2)。このLDHは層間にアニオン(例えば、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>等)を保有しており、このアニオンを別のアニオンと

交換する機能(インターカレーション機能)を有する。LDHのアニオン交換反応を利用することで、腐食反応を促進させるアニオン(Cl<sup>-</sup>やSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>等)を層間に捕捉できるため、腐食反応の進行を低減させることができる(図3)。

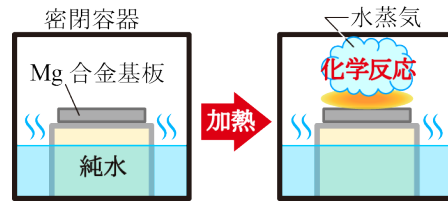


図1 蒸気コーティング法

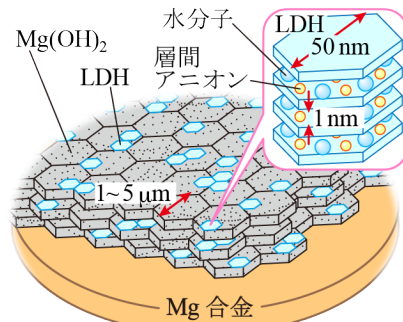


図2 蒸気コーティング法で生成される防食膜の構造

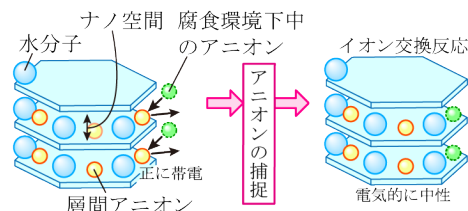


図3 Mg-Al系LDHのインターカレーション模式図

2. 研究の目的

本研究では、蒸気コーティング法により難燃性Mg合金上に優れた耐食性を有する防食膜を形成させるためのプロセスを確立し、その皮膜の耐食性を評価することを目的とする。この耐食性の評価では、実環境下を想定し、通常用いられる塩水環境下に加え、その他のアニオン種(例えば、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>やCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>等)を添加した塩水環境下を利用する。

3. 研究の方法

本研究では、下記の3項目に関する研究開発を行い、難燃性マグネシウム合金に優れた耐食性を付与するための皮膜形成技術の確立およびその皮膜の耐食性を評価する。

(1) 蒸気コーティング法による難燃性Mg合金上への耐食性皮膜の形成技術の開発

ここでは、耐食性の優れた皮膜を形成するために最適な条件を探索する。過去に行った、通常Mg合金に対する蒸気コーティングの皮膜生成条件を参考に、難燃性Mg合金に対して、蒸気源の処理時間、温度、圧力等の条件を変数として蒸気コーティングを行う。皮

膜をもつ Mg 合金の耐食性は、図 4 に示す 2 つのスケールで付与されることから、両方の視点から分析を行う。

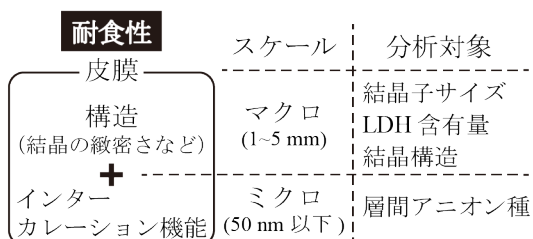


図 4 蒸気コーティング法によって生成された皮膜の分析対象

皮膜のマクロな構造に関しては、結晶子サイズ、LDH 含有量、結晶構造を SEM (Scanning Electron Microscope), XRD (X-ray Diffraction), FT-IR (Fourier-transform infrared spectroscopy) 等を使用して詳細に分析する。ナノスケールの分析では、LDH の層間アニオン種を調査し、これには FT-IR を用いる。

### (2) 難燃性 Mg 合金上に形成させた皮膜の形成メカニズムの解明

表面形態、組織、添加元素の分散状態の異なる、皮膜の生成されていない難燃性 Mg 合金基材を用意し、様々な条件で蒸気コーティングを施す。このときの皮膜の構造を、SEM, EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy), XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy), FT-IR 等を用いて詳細に調査し、皮膜の構造特性を評価する。

### (3) 実環境を想定した腐食環境下における蒸気コーティング法の有用性の評価

過去に行った Mg 合金の暴露試験の結果から、実環境中には、 $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  が含まれていることがわかっている。このため、これらのアニオン単体および塩水にアニオンを混入した溶液中における浸漬試験を実施する。浸漬時間を変化させて、腐食促進試験を実施し、一定時間浸漬後に形成される腐食生成物の種類や形態を調査する。

## 4. 研究成果

研究項目(1)については、様々な処理温度・時間で、難燃性 Mg 合金 AZX612 に蒸気コーティング処理を行い、形成された皮膜を分析し、その耐食性を、分極測定によって評価した。図 5 に、作成した試料の外観写真を示す。処理温度が高い、あるいは処理時間が長いほど、白色になった。これは、AZX612 上に形成された皮膜の膜厚が厚くなったためだと考えられる。

異なる処理温度・時間で作製した皮膜の XRD パターンのうち、代表的な測定結果を図 6 に示す。すべてのサンプルの XRD パターン上に、 $2\theta = 18.4, 32.2, 38.0, 50.9, 58.6, 62.0, 68.8, 72.0^\circ$  の位置に回折線が認められ、これらのピークは  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  の 001, 100, 011, 012, 110, 111, 200, 021 反射に帰属される回折線と

	130°C	140°C	150°C	160°C	170°C
3 h					
5 h					
7 h					
9 h					

図 5 蒸気コーティング法により防食膜を生成された AZX612 基板の外観

一致した。また、 $2\theta = 11.2, 22.8^\circ$  の位置にも回折線が観察された。これらのピークは炭酸型の Mg-Al 系 LDH (構造式:  $[\text{Mg}_6\text{Al}_2(\text{OH})_{16}[\text{CO}_3^{2-} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]]$ ) の 003 および 006 反射に帰属した。さらに、 $2\theta = 14.3^\circ$  にも小さなみられるピークが観察され、 $\text{AlO}(\text{OH})$  (ベーマイト) の 020 反射に帰属した。これらの結果から、作製した皮膜は主に  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  と Mg-Al 系 LDH から成ることがわかった。これは Ca を含まない Mg 合金 AZ31 上に蒸気コーティングで形成した皮膜の構成成分と同じである。一方で、AZ31 ではみられなかった  $\text{AlO}(\text{OH})$  については、AZX612 は AZ31 と比較して基材中の Al 含有量が多いことに起因すると考えられる。

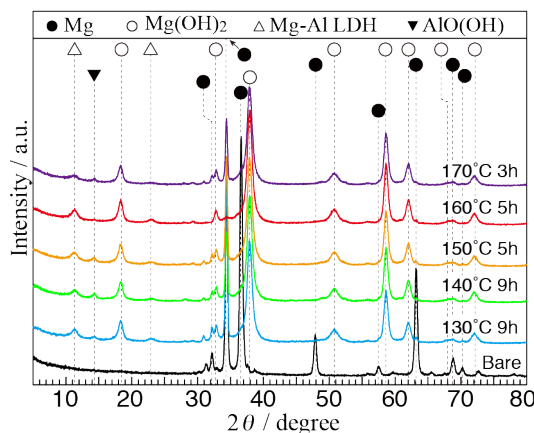


図 6 様々な条件で蒸気コーティング処理された AZX612 基板の XRD 測定結果

異なる処理温度・時間で形成した皮膜の FT-IR スペクトルを図 7 に示す。460  $\text{cm}^{-1}$  と 950  $\text{cm}^{-1}$  付近に広範囲の吸収バンドが存在しており、これらは金属と酸素の結合による格子振動に帰属されるため、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$  と Mg-Al 系 LDH の結晶構造に起因する Mg-O と Al-O 由来であると考えられる。また、3697  $\text{cm}^{-1}$  のピークは  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  中の O-H 伸縮振動によるものである。1400~1700  $\text{cm}^{-1}$  に観察される吸収バンドは  $\text{CO}_3^{2-}$  の対称伸縮振動に起因する。この結果は、サンプル中に  $\text{CO}_3^{2-}$  が含まれていることを示しており、LDH の層間に炭酸イオンがゲスト層として含まれていると考え



られる。これらの結果は、Ca を含まない AZ31 上に蒸気コーティングを施した皮膜の化学結合状態とも一致する。CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> が皮膜中の LDH の層間に存在する理由としては、蒸気コーティング処理に用いた超純水中に溶け込んだ CO<sub>2</sub> から生成された CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> が原因であると推察される。これらの結果は、LDH が皮膜中に存在するという XRD パターンの結果に合致する。

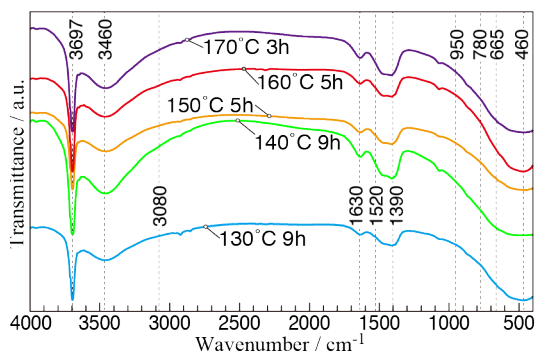


図7 様々な条件で蒸気コーティング処理された AZX612 基板の FT-IR 分析結果

皮膜を被覆した AZX612 の耐食性を調べるために、3.5 mass% NaCl 溶液中において電気化学分極測定を行った。皮膜を被覆した AZX612 および未処理の AZX612 を用いて得られた分極曲線を図 8 に示す。未処理の AZX612 の場合、腐食電位  $E_{corr}$  は -1.47 V であった。電位を  $E_{corr}$  よりもアノード方向に掃引すると、電流密度が急激に上昇し、-1.45 V 付近で電流値が一定となった。これは、基板表面の溶解と保護膜の形成が要因であると考えられる。作製した皮膜の  $E_{corr}$  は、130 °C 7h で -1.35 V、130 °C 9h で -1.27 V、140 °C 5h で -1.40 V、140 °C 7h で -1.19 V、140 °C 9h で -0.95 V、150 °C 5h で -1.34 V、160 °C 3h で -1.37 V、160 °C 5h で -1.32 V、170 °C 3h で -1.05 V であった。130 °C 7h で作製した皮膜では、分極曲線が未処理のものと同じようにアノード側で電流密度が急激に増加した。これは皮膜の保護性が不十分なために腐食反応が容易に進行したためと推察される。処理温度 170 °C 3h、160 °C 5h、140 °C 9h で形成さ

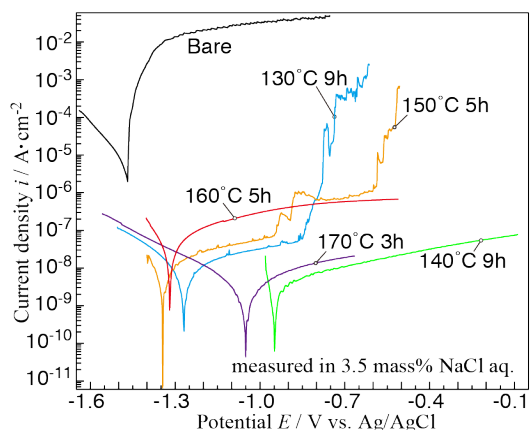


図8 防食膜を形成された AZX612 基板の分極測定結果

れた皮膜は、130 °C 7h とは異なり、アノード側における急激な電流密度の上昇は観察されず、広い電位範囲においてアノード電流密度が 1  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  以下で保持されていた。これらの結果は 140 °C 9h、160 °C 5h、170 °C 3h で作成した皮膜が高い耐食性を有することを示す。これらの結果から、蒸気コーティング法は、難燃性 Mg 合金に対しても、耐食性を向上させる効果があるといえる。

研究項目(2)については、密閉容器を、図 9 のように昇温速度 0.68 °C/min で室温から 160 °C に昇温させた後、この温度で所定時間保持した。この過程で (a) 85.3 min, (b) 129.4 min, (c) 173.5 min, (d) 202.9 min, (e) 262.9 min, (f) 322.9 min 経過時に試料をそれぞれ取り出した。これらの皮膜を SEM, XRD, XPS, FT-IR によって分析した。

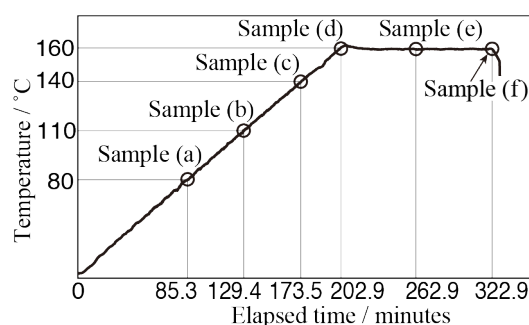


図9 研究項目(2): 時間経過にともなう温度変化

図 10 に SEM による皮膜表面の観察像を示す。Sample (a) と (b) は、0.5  $\mu\text{m}$  より小さい生成物がわずかに存在していた。Sample (c) と (d) は、0.5  $\mu\text{m}$  程度の生成物が多くみられた。Sample (d)-(e) にかけて、基板表面の生成物が急激に大きくなっている様子が観察された。Sample (f) では、鉛直に立った板状物質上に、水平の板状物質が重なっている様子が観察された。

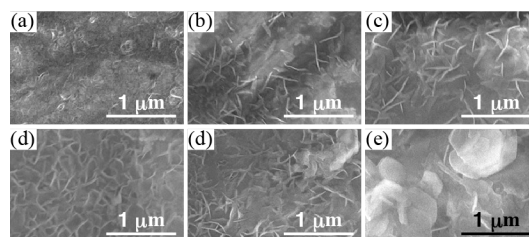


図10 異なる処理時間で AZX612 上に形成された皮膜表面の SEM 画像

図 11 に各試料の XRD パターンを示す。Sample (a) と (b) では AZX612 基板に起因するピークが計測され、Sample (c) では、AZX612 基材に起因するピークに加えて、Mg(OH)<sub>2</sub> に起因するピークが存在した。Sample (d) では、Mg-Al 系 LDH、Mg(OH)<sub>2</sub> に起因するピークがみられた。これらのピーク強度は 160 °C の保持時間が長くなるにつれて大きくなり、同時に AZX612 に起因するピークは弱くなった。

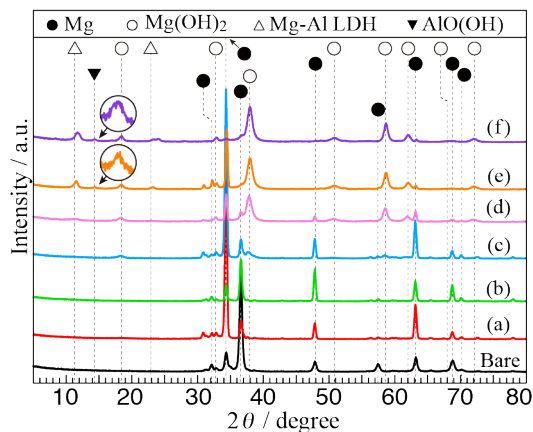


図 11 異なる処理時間で AZX612 上に形成された皮膜の XRD 測定結果

図 12 に、各試料の FT-IR スペクトルを示す。Sample (d), (e), (f) では、 $3697\text{ cm}^{-1}$  に  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  の O-H 伸縮振動によるピークがみられる。 $3444$  および  $1625\text{ cm}^{-1}$  のピークは  $\text{H}_2\text{O}$  分子の O-H 振動に、 $460\text{ cm}^{-1}$  のピークは Mg-O の振動に起因する。そして、 $1390\text{ cm}^{-1}$  のピークは層間アニオン  $\text{CO}_3^{2-}$  の非対称振動に起因する。これは Sample (d), (e), (f) にみられ、Sample (b), (c) にはない。Sample (c) の場合、 $3697\text{ cm}^{-1}$  に  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  に由来するピークが存在することから、この温度で生成されている物質は主に  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  である。これは、XRD パターンの結果と一致する。

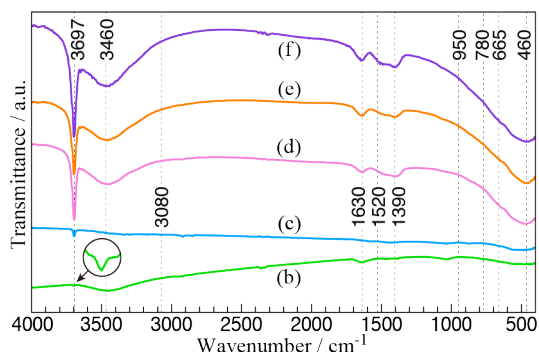


図 12 様々な条件で蒸気コーティング処理された AZX612 基板の FT-IR 分析結果

これらの結果から、蒸気コーティング処理によって形成される AZX612 基板上の皮膜の形成メカニズムは、以下のように説明できる(図 13)。皮膜の形成機構は、まず、表面に存在する MgO (酸化マグネシウム) と水蒸気が反応して、非晶質の  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  が形成され、反応温度の上昇に伴って、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$  が結晶化する。さらに温度が上昇すると、Mg-Al 系 LDH が形成される。最終的に、皮膜に残った Al が水蒸気と反応して  $\text{AIO}(\text{OH})$  が形成される。

最後に、研究項目(3)では、様々なアニオン種 ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ) を含有させた NaCl 水溶液中での難燃性 Mg 合金 AZX612 の腐食挙動を、浸漬試験によって調査した。浸漬試験後の試料を SEM, XRD, FT-IR, 電気化学分極

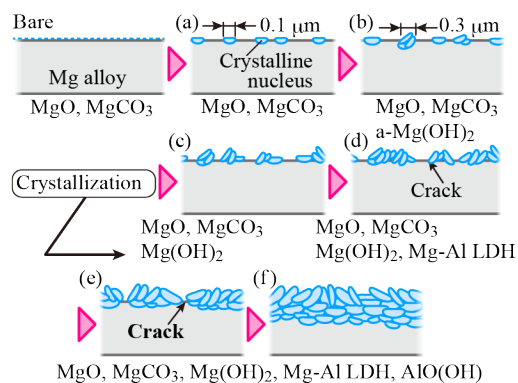


図 13 蒸気コーティング法により AZX612 上に形成される防食膜の形成メカニズム

測定によって分析した結果、腐食生成物は  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{MgCO}_3$ , Mg-Al 系 LDH から構成されることを明らかにした。また、分極測定結果によって得られた腐食電流密度から、AZX612 基板の腐食速度を概算した。Cl<sup>-</sup>イオンのみ含有される溶液 (5 mass % NaCl 水溶液) では  $0.318\text{ mm yr}^{-1}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  添加 NaCl 水溶液では  $0.308\text{ mm yr}^{-1}$  であり、腐食速度は、4 種の水溶液の中では、Cl<sup>-</sup>イオンのみ含有される溶液が最も速く、 $\text{SO}_4^{2-}$  を含む NaCl 水溶液が最も遅かった。研究項目(1), (2) を通じて、Mg 合金上に形成される  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  には、腐食促進イオンに対して保護性を有することが示されたが、この研究項目でも同様に、浸漬試験によって AZX612 基板上に形成された腐食生成物  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  が保護膜として働いたため、腐食が抑制されたといえる。 $\text{SO}_4^{2-}$  添加 NaCl 溶液では、他の溶液種と比較して、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$  形成が促進されたため、最も腐食速度が抑えられたと考えられる。

## 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 7 件)

① 綱川美佳, 嶋田雄太, 宮下智弘, Lee Hoonseung, 中村嘉恵, 芹澤愛, 石崎貴裕, 蒸気コーティング法による Mg-6Al-1Zn-2Ca 合金への耐食性皮膜の作製, 軽金属, 67(10), pp.511-517, 2017.

② 綱川美佳, 嶋田雄太, 中村嘉恵, 菊池風斗, 松村健樹, 石崎貴裕, AZ31B マグネシウム合金上へのリン酸系化成処理皮膜の作製と評価, 軽金属, 67(10), pp.497-502, 2017.

③ K. Nakamura, M. Tsunakawa, Y. Shimada, A. Serizawa, T. Ishizaki, Formation mechanism of Mg-Al layered double hydroxide-containing magnesium hydroxide films prepared on Ca-added flame-resistant magnesium alloy by steam coating, Surface and Coatings Technology, 328, pp.436-443, 2017.

④ O. L. Li, M. Tsunakawa, R. Shiratori, K. Nakamura, K. Nishinaka, T. Ishizaki, Corrosion resistance of anodized film prepared on Ca-added flame-resistant magnesium alloy AZCa612,

Corrosion Science, 125, pp.99–105, 2017.

⑤ T. Ishizaki, M. Tsunakawa, Y. Shimada, R. Shiratori, K. Nakamura, A. Serizawa, Formation of Corrosion Resistant Mg(OH)<sub>2</sub> Film Containing Mg-Al Layered Double Hydroxide on Mg Alloy Using Steam Coating, International Journal of Mechanical (ICMME 2017), pp.201–205, 2017.

⑥ T. Ishizaki, S. Kumagai, M. Tsunakawa, T. Furukawa, K. Nakamura, Ultrafast Fabrication of Superhydrophobic Surfaces on Engineering Light Metals by Single-Step Immersion Process, Materials Letters, 193, pp.42–45, 2017.

⑦ M. Tsunakawa, R. Shiratori, K. Nakamura, T. Ishizaki, Corrosion behavior of flame-resistant Calcium-added Magnesium alloy in NaCl aqueous solution containing various anion species, Proceedings of EUROCORR 2016, WS B, pp.1–7, 2016.

〔学会発表〕 (計 13 件)

① 嶋田雄太, 綱川美佳, 中村嘉恵, 石崎貴裕, 走査型プローブ顕微鏡を用いた Ca 添加難燃性 Mg 合金の腐食挙動の解析, 軽金属学会 第 133 回 秋期講演大会, P60, 2017 年 11 月, 宇都宮, 査読無.

② 綱川美佳, 嶋田雄太, 中村嘉恵, 石崎貴裕, Ca 添加難燃性マグネシウム合金の塩化物水溶液中での腐食挙動に及ぼすカチオン添加の影響, 軽金属学会 第 133 回 秋期講演大会, P32, 2017 年 11 月, 宇都宮, 査読無.

③ Y. Shimada, M. Tsunakawa, K. Nakamura, T. Ishizaki, Influence of Ca-addition amount on corrosion behavior of Ca-added Mg alloys, Eurocorr 2017, No. 83386, September 2017, Prague, Czech Republic, peer-reviewed.

④ M. Tsunakawa, Y. Shimada, K. Nakamura, T. Ishizaki, Preparation of corrosion resistant film on magnesium alloys with different aluminum contents by steam coating, Eurocorr 2017, No. 84676, September 2017, Prague, Czech Republic, peer-reviewed.

⑤ 中村嘉恵, 綱川美佳, 嶋田雄太, 芹澤愛, 石崎貴裕, 蒸気コーティング法によるマグネシウム合金上へのセラミックス複合皮膜の作製, 日本セラミックス協会第 30 回秋季シンポジウム, 1PE04, 2017 年 9 月, 神戸, 査読無.

⑥ 横溝哲也, 笹川圭祐, 中村嘉恵, Oi Lun Li, 芹澤愛, 石崎貴裕, 蒸気コーティング法を用いた Al-Zn-Mg 合金上への耐食性皮膜作製技術の開発, 軽金属学会 第 132 回 春期講演大会, P49, 2017 年 5 月, 名古屋, 査読無.

⑦ 綱川美佳, 嶋田雄太, 中村嘉恵, 石崎貴裕, 塩水環境下における Ca 添加難燃性マグネシウム合金の腐食速度の算出, 軽金属学会 第 132 回 春期講演大会, P56, 2017 年 5 月, 名古屋, 査読無.

⑧ 嶋田雄太, 綱川美佳, 中村嘉恵, 石崎貴裕, AZ61 系 Mg 合金の腐食挙動に及ぼす Ca 添加量の影響, 軽金属学会 第 132 回 春期講

演大会, P32, 2017 年 5 月, 名古屋, 査読無.

⑨ 中村嘉恵, 綱川美佳, 白鳥亮太, 石崎貴裕, 蒸気コーティング法で形成した難燃性マグネシウム合金上の耐食性皮膜の形成過程モニタリング, 第 11 回日本フラックス成長研究発表会, 1P38, 2016 年 12 月, 仙台, 査読無.

⑩ 中村嘉恵, 綱川美佳, 白鳥亮太, 石崎貴裕, 蒸気コーティング法で難燃性マグネシウム合金上に形成した皮膜の耐食性に及ぼす成長速度の影響, 軽金属学会 第 131 回秋期講演大会, No. 72, 2016 年 11 月, 水戸, 査読無.

⑪ M. Tsunakawa, K. Nakamura, R. Shiratori, T. Ishizaki, Corrosion behavior of flame-resistant Calcium-added Magnesium alloy in NaCl aqueous solution containing various anion species, Eurocorr 2016, No. 52202, September 2016, Montpellier, France, peer-reviewed.

⑫ 中村嘉恵, 綱川美佳, 白鳥亮太, 石崎貴裕, 蒸気コーティング法により難燃性マグネシウム合金上に形成した皮膜の耐食性に及ぼすプロセス因子の影響, 表面技術協会 第 134 回講演大会, 2C-07, 2016 年 9 月, 仙台, 査読無.

⑬ 中村嘉恵, 綱川美佳, 白鳥亮太, 石崎貴裕, 蒸気コーティング法で形成した難燃性マグネシウム合金上の耐食性皮膜の形成メカニズム, 軽金属学会 第 130 回 春期講演大会, No.139, 2016 年 5 月, 大阪, 査読無.

〔図書〕 (計 1 件)

T. Ishizaki, M. Tsunakawa, R. Shiratori, K. Nakamura, A. Serizawa, Preparation of Corrosion-Resistant Films on Magnesium Alloys by Steam Coating, Magnesium Alloys, pp.91–125, 248pp, 2017.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称: マグネシウム複合材料及びその製造方法

発明者: 中村嘉恵, 石崎貴裕, 西村俊一  
権利者: 学校法人 芝浦工業大学, ジャパン  
ファインスチール株式会社

種類: 特許

番号: 特願 2017-106817 号

出願年月日: 2017. 5. 30

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 嘉恵 (Nakamura Kae)

芝浦工業大学・大学院工学研究科・研究員

研究者番号: 10772741