

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04693

研究課題名(和文) 不燃性Mg合金を実現するthermal barrier型酸化皮膜設計指針の確立

研究課題名(英文) Formation of thermal barrier-type oxide film to achieve nonflammable Mg alloys

研究代表者

井上 晋一 (Inoue, Shinichi)

熊本大学・先進マグネシウム国際研究センター・助教

研究者番号：30792585

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：Mg合金の酸化皮膜観察によって、thermal barrier型酸化皮膜は酸素の内方拡散が抑制されると形成することが明らかとなった。これは外方拡散する元素を添加するだけでなく、皮膜中での酸素の粒界拡散や原子価制御による酸化速度の低減も非常に有効であることが本研究によって明らかにすることができた。その結果、thermally grown型Y2O3皮膜を形成するMg-1Zn-2Y合金(発火温度:880℃)にCa, Yb, Be, Srなどの元素を微量添加することでthermal barrier型Y2O3皮膜が形成させ、発火温度が1000-1050℃まで向上させることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって高い酸素遮断能を有するthermal barrier型酸化皮膜形成による不燃性の向上は、高温で容易に発火するMg合金の安全性を高め、航空機などの輸送機器への適用を促進するだけでなく、Mg合金の鑄造プロセスにおいても酸化物の溶湯汚染を防ぐことにつながると考えられる。このように本研究課題の成果は、不燃性Mg合金を設計する上で重要なthermal barrier型酸化皮膜の形成条件を解明という学術的意義やMg合金の社会実装の促進という社会的意義に資するものであると考えられる。

研究成果の概要(英文)：This study revealed the formation condition of a thermal barrier-type oxide film. When the inward diffusion of oxygen is suppressed, a thermal barrier-type oxide film forms on the surface of alloys. The addition of elements that diffuse outwards, suppression of oxygen diffusion along grain boundaries, and valence control are effective for the formation of this type of oxide film.

As a result, a thermal barrier Y2O3 film was formed by adding small amounts of elements such as Ca, Yb, Be, and Sr to the Mg-1Zn-2Y alloy (ignition temperature: 880 °C), which forms a thermally grown Y2O3 film. The ignition temperatures of Mg-Zn-Y alloys were successfully increased to 1000-1050 °C.

研究分野：材料工学

キーワード：マグネシウム合金 不燃性 高温酸化

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

マグネシウム合金(Mg 合金)はその軽量性から輸送機器等の構造材料としての利用が古くから期待されているが、化学的高活性による低耐食性と易燃性、といった克服すべき明確な課題が存在する。このような状況の中、米国連邦航空局(FAA)の民間航空機への Mg 合金使用規制の緩和(後述)を受けて、Mg 合金の易燃性の克服もまたクローズアップされており、難燃性マグネシウム合金の研究が盛んに行われている。マグネシウム合金の発火・燃焼性の問題を克服するために、Mg よりも反応性の高い金属元素を添加した不燃性マグネシウム合金がいくつか開発されている。例えば、Ca や CaO の添加は、熔融したマグネシウム合金の発火や燃焼を効果的に抑制することができる。1990 年代には、国内において、Ca を添加した AZ 系マグネシウム合金が表面の保護的な CaO 膜により高い着火温度を示すことを報告している。2000 代に入ると、韓国において、「Eco-Mg」と呼ばれる CaO 添加マグネシウム合金を開発した。この合金は、熔融したマグネシウム合金に CaO を添加することで、CaO と MgO が混合した酸化物からなる酸化膜が形成する。少量の Be を添加することでマグネシウム合金の耐酸化性が効果的に向上することは以前から知られていた。また、希土類(RE)元素の添加は、マグネシウム合金に不燃性を付与する。RE 元素は、合金上に緻密で保護的な RE 酸化膜を形成する。このように、マグネシウム合金の難燃性には、合金表面に形成する酸化皮膜に依存する。これまでの研究で、Mg-X 合金の酸化皮膜を熱力学と高温酸化挙動の観点から分類を行い、酸化皮膜を形成する主要な酸化物3種類(MgO,  $X_mO_n$ , MgO/ $X_mO_n$ )と2種類のサブグループ(thermal barrier 型と thermally grown 型)が存在することを明らかにした。これらの酸化皮膜の中で、酸化物の種類に関わらず、thermal barrier 型酸化皮膜は、高い難燃性を示す傾向が見られた。

### 2. 研究の目的

ここで、本研究課題の核心をなす学術的「問い」が生まれてくる。どのようにすれば、thermal barrier 型酸化皮膜を形成させることができるのか？thermal barrier 型酸化皮膜と thermally grown 型酸化皮膜の違いを決定する因子は、なんなのかを明らかにすることで、新たな合金開発、すなわち不燃性マグネシウム合金成分設計に繋げることが可能であるのではと考えた。

### 3. 研究の方法

本研究では、Mg-X 二元合金と数種類の多元系マグネシウム合金を研究対象とする。これら合金系において、申請者が分類した6種類の高温酸化皮膜が形成する条件を明らかにする。そこで下記の3つの研究項目を実施することで、最終的には「thermal barrier 型酸化皮膜形成を決定する因子の解明」を行い、合金成分設計指針の確立を目指す。

#### (1) Thermal barrier 型酸化皮膜の形成条件の解明

Thermal barrier 型酸化皮膜の形成条件を Mg-X および多元合金を用いて、(i) 酸化皮膜構造、(ii) 酸化皮膜に作用する応力、(iii) 酸化皮膜の破壊強度、(iv) 酸素および元素の拡散経路を系統的に調査する。これにより、thermal barrier 型酸化皮膜を形成する不燃性マグネシウム合金設計の確立に繋げる。

#### (2) Thermal barrier 型酸化皮膜形成を促進する添加元素の探査

Thermally grown 型酸化皮膜を形成するマグネシウム合金への新たな元素を添加することで、thermal barrier 型酸化皮膜形成する可能性を探る。項目1で得られた Thermal barrier 型酸化皮膜の形成条件が、添加元素によりどのように変化するかを系統的に調査する。

#### (3) Thermal barrier 型酸化皮膜を形成する不燃性マグネシウム合金設計

(1)および(2)で得られた結果をマグネシウム合金に応用し、不燃性を発現する合金成分設計の指針を確立する。

### 4. 研究成果

#### (1) Thermal barrier 型酸化皮膜の形成条件の解明

Mg-X 二元合金の酸化皮膜断面観察や皮膜に作用する残留応力を調査することで、thermally grown 型酸化皮膜と thermal barrier 型酸化皮膜の特徴づけを行うことで、形成条件の解明を実施した。

Mg-X 合金において形成する典型的な thermally grown 型酸化皮膜を Fig. 1 に示す。形成する酸化物の種類は MgO、XO(添加元素の酸化物)、XO/MgO と異なっているが、酸化皮膜の膜厚が 1  $\mu\text{m}$  以上の分厚い皮膜が形成しており、ポーラス状の酸化皮膜かマイクロクラックが観察された。また、XO が

主要な酸化物である酸化皮膜は、合金中に XO 酸化物粒子が形成する内部酸化の発生が観察された。特に内部酸化は、酸化皮膜中の酸素の内方拡散が優勢であるときに発生するとされている。また、酸化皮膜の膜厚の増大は、酸化皮膜に作用する応力(成長応力)を増大させることが知られており、応力が増大しすぎると皮膜がブレイクダウンする。観察されたマイクロクラックは、このような応力の増大によって形成されたと考えられる。加えて、ポーラス状皮膜や皮膜中に形成したマイクロクラックは、酸素の通り道として合金内部への酸素の拡散を助けると考えられる。そのため、thermally grown 型酸化皮膜は、皮膜中の酸素の内方拡散が優勢であるときに形成すると考えられる。

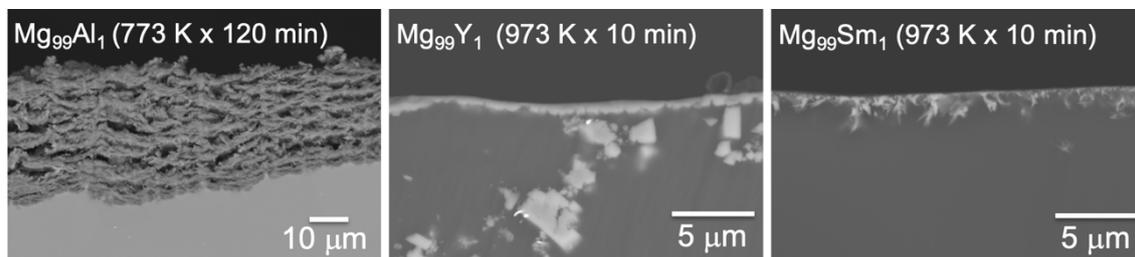


Fig. 1 Mg-X 合金の典型的な酸化皮膜

Mg-Ca, Yb 合金では、thermal barrier 型酸化皮膜が観察された(Fig. 2)。これらの皮膜では、膜厚が 1 μm の薄膜が形成しており、内部酸化や皮膜中のマイクロクラックは観察されなかった。内部酸化が観察されなかったため、酸素の内方拡散が優勢でないことが考えられる。また、酸化皮膜に作用する残留応力を  $\sin^2\psi$  法で測定した。Fig. 3 に CaO および  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  の面間隔に変化を示す。CaO および  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  も  $\sin^2\psi$  の値が小さい時は、面間隔が減少してしたが、 $\sin^2\psi$  の値が大きくなると面間隔の変化しなくなった。これは CaO/合金および  $\text{Yb}_2\text{O}_3$ /合金の境界近傍では、圧縮応力が作用しているが、表面に近づくに伴い、ほとんど応力が作用していないことを示していると考えられる。このような皮膜に作用する応力の緩和は、カチオン(添加金属元素)の外方拡散が優勢な場合に形成する酸化皮膜が有している特徴と言われている。

Thermally grown 型酸化皮膜および thermal barrier 型酸化皮膜の特徴から、thermal barrier 型酸化皮膜を形成させるためには、以下の 2 つの条件が考えられる。① カチオンの外方拡散を優勢な元素をマグネシウム合金に添加する。② 酸素の内方拡散を抑制する元素を添加する。このいずれかの条件を満たすことで、thermal barrier 型酸化皮膜が形成し、高い不燃性を有するマグネシウム合金をせつけいすることにつながると考えられる。

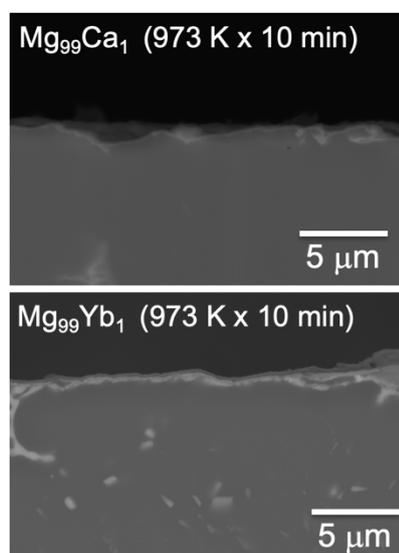


Fig. 2 Mg-Ca, Mg-Yb 合金の酸化皮膜

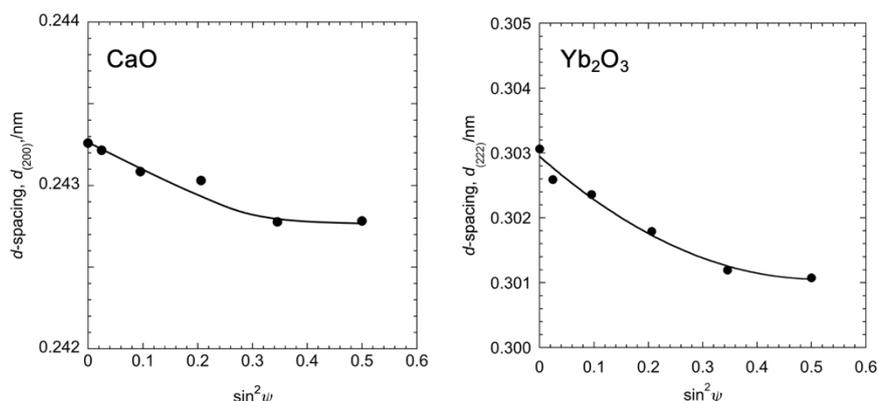


Fig. 3 CaO および  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  の面間隔に変化

## (2) Thermal barrier 型酸化皮膜形成を促進する添加元素の探査

Mg-X 二元合金 (X = Li, Na, Al, Si, Ca, Sc, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Ag, Sn, Sb, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Be, Gd, Dy, Ho, Yb) を作製し、発火温度および形成する高温酸化皮膜の観察を行った。Table 1 に形成した酸化皮膜を分類した。その中で thermal barrier 型酸化皮膜を形成した元素は、Ca, Yb, Sr, Be であった。

これらの元素を高温で thermally grown 型  $Y_2O_3$  皮膜を形成する Mg-1Zn-2Y 合金に添加することで、thermally grown 型酸化皮膜を thermal barrier 型酸化皮膜に改質することを試みた。Fig. 4 に Mg-1Zn-2Y, Mg-1Zn-2Y-1Ca, Mg-1Zn-2Y-0.1Yb, Mg-1Zn-2Y-1Al-0.1Be, Mg-1Zn-2Y-1.5Sr 合金の酸化皮膜断面写真を示す。分厚く、内部酸化が観察され、マイクロクラックが形成している thermally grown 型  $Y_2O_3$  皮膜が、薄膜で、内部酸化やマイクロクラックがない thermal barrier 型  $Y_2O_3$  皮膜に改質した。また、微量の添加であるにもかかわらず、thermal barrier 型  $Y_2O_3$  皮膜が形成したことで、1000℃を超える発火温度を示した。これらの結果から、thermally grown 型酸化皮膜を形成する合金に thermal barrier 型酸化皮膜を形成する元素を添加することで皮膜を改質できることが明らかとなった。

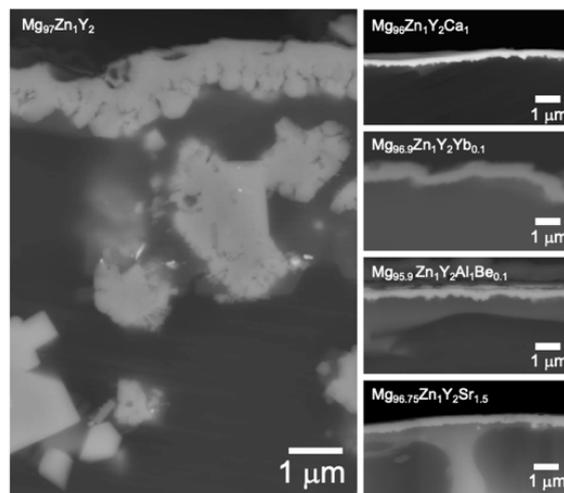


Fig. 4 Mg-1Zn-2Y, Mg-1Zn-2Y-1Ca, Mg-1Zn-2Y-0.1Yb, Mg-1Zn-2Y-1Al-0.1Be, Mg-1Zn-2Y-1.5Sr 合金の酸化皮膜断面

### (3) Thermal barrier 型酸化皮膜を形成する不燃性マグネシウム合金設計

(2)において、Mg-1Zn-2Y 合金に Ca, Yb, Be, 添加することで、thermally grown 型  $Y_2O_3$  皮膜を thermal barrier 型  $Y_2O_3$  皮膜に改質させることができた。Thermal barrier 型酸化皮膜形成のメカニズムを明らかにするために Mg-1Zn-2Y-1Ca, Mg-1Zn-2Y-0.1Yb, Mg-1Zn-2Y-1Al-0.1Be, Mg-1Zn-2Y-1.5Sr 合金酸化皮膜断面の EDS 測定を実施した (Fig. 5)。Ca, Yb, Sr を添加した Mg-Zn-Y 合金では、最外層に新たな皮膜が形成している様子が観察された。このような保護的な最外層が形成することで酸素の内方拡散が抑制されたと考えられる。また、Mg-1Zn-2Y-1.5Sr 合金では、Sr が  $Y_2O_3$  皮膜に固溶している様子が観察された。p-type 酸化物である  $Y_2O_3$  ( $Y^{3+}$ ) に SrO ( $Sr^{2+}$ ) が固溶すると原子価制御によって酸化速度が低下し、皮膜が薄膜化すると考えられる。Mg-1Zn-2Y-1Al-0.1Be では、Be は軽元素であるため、EDS では検出することはできない。GD-OES 測定から Be が  $Y_2O_3$  皮膜に濃化していることが明らかとなっている。加えて、 $Y_2O_3$ -BeO 状態図によると、BeO は  $Y_2O_3$  に固溶しないため、Be は  $Y_2O_3$  皮膜の粒界に偏析していると考えられる。そのため、thermally grown 型酸化皮膜を thermal barrier 型皮膜に改質する方法は、①保護的な皮膜の複層化、②原子価制御による酸化速度の低減、③粒界偏析による酸素の内方拡散の抑制が有効であると考えられる。

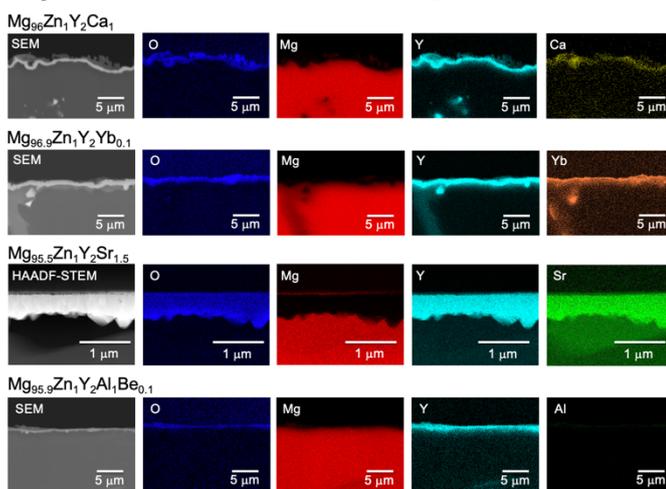


Fig. 5 Mg-1Zn-2Y-1Ca, Mg-1Zn-2Y-0.1Yb, Mg-1Zn-2Y-1Al-0.1Be, Mg-1Zn-2Y-1.5Sr 合金の EDS 測定結果

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Inoue Shin-ichi, Yamasaki Michiaki, Ohata Mitsuru, Kakiuchi Shigeki, Kawamura Yoshihito, Terasaki Hidenori	4. 巻 9
2. 論文標題 An attempt at friction-stir-welding of $\alpha$ -Mg/long-period stacking ordered two-phase Mg-Zn-Y-Al-La alloys: Effect of texture weakening on their mechanical properties	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Joining Processes	6. 最初と最後の頁 100221 ~ 100221
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jajp.2024.100221	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 Kawamura Yoshihito, Osaki Naoto, Kiguchi Takanori, Vinogradov Alexei, Inoue Shinichi	4. 巻 978
2. 論文標題 Advanced wrought Mg-4.5Al-2.5Ca-0.02Mn (at%) alloys with exceptional balance of high thermal conductivity, yield strength, ductility, nonflammability, and corrosion resistance	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 173299 ~ 173299
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2023.173299	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 Inoue Shin-ichi, Iwanaga Kazumasa, Kawamura Yoshihito	4. 巻 12
2. 論文標題 Oxidation behavior and improvement in nonflammability of LPSO-type Mg-Zn-Y-Sr alloy	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Magnesium and Alloys	6. 最初と最後の頁 742 ~ 749
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jma.2024.01.017	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 Inoue Shin-ichi, Ohmoto Ryosuke, Yamasaki Michiaki, Kawamura Yoshihito, Takahashi Hideyuki	4. 巻 225
2. 論文標題 Effect of self-doping of Be into Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> oxide film on incombustibility of Mg-Zn-Gd alloy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Corrosion Science	6. 最初と最後の頁 111611 ~ 111611
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.corsci.2023.111611	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 Tang Yongpeng, Inoue Shinichi, Mito Masaki, Masuda Takahiro, Higo Yuji, Tange Yoshinori, Ohishi Yasuo, Kawamura Yoshihito, Horita Zenji	4. 巻 881
2. 論文標題 Simultaneous enhancement of strength and ductility in nonflammable Mg alloys through dynamic precipitation using severe plastic deformation under high pressure	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 145395 ~ 145395
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2023.145395	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 Inoue Shin-ichi, Ishiage Kakeru, Kawamura Yoshihito	4. 巻 934
2. 論文標題 Optimization of heat treatment condition of nonflammable Mg-Al-Ca alloys with high thermal conductivity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 168014 ~ 168014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2022.168014	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 Inomiya Takumi, Kubota Masahiro, Inoue Shin-ichi, Kawamura Yoshihito	4. 巻 72
2. 論文標題 Properties of pure magnesium fabricated by combination of mechanical milling with vibration type ball mills and spark plasma sintering	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Japan Institute of Light Metals	6. 最初と最後の頁 127 ~ 132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2464/jilm.72.127	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 Inoue Shin-ichi, Ishiage Kakeru, Kawamura Yoshihito	4. 巻 934
2. 論文標題 Optimization of heat treatment condition of nonflammable Mg-Al-Ca alloys with high thermal conductivity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 168014 ~ 168014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2022.168014	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 Kawamura Yoshihito, Ougi Kazuki, Inoue Shin-ichi, Kiguchi Takanori, Takafuji Makoto, Ihara Hirotaka, Shih Donald S.	4. 巻 63
2. 論文標題 Advanced Mg-Al-Ca Alloys with Combined Properties of High Thermal Conductivity, High Mechanical Strength and Non-Flammability	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 118 ~ 127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-M2021195	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 Inoue Shin-ichi, Yamasaki Michiaki, Ohata Mitsuru, Kakiuchi Shigeki, Kawamura Yoshihito, Terasaki Hidenori	4. 巻 799
2. 論文標題 Texture evolution and fracture behavior of friction-stir-welded non-flammable Mg-Al-Ca alloy extrusions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 140090 ~ 140090
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2020.140090	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 Kawamura Yoshihito, Ougi Kazuki, Inoue Shin-ichi, Kiguchi Takanori, Takafuji Makoto, Ihara Hirotaka, Shih Donald S.	4. 巻 63
2. 論文標題 Advanced Mg-Al-Ca Alloys with Combined Properties of High Thermal Conductivity, High Mechanical Strength and Non-Flammability	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 118 ~ 127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-M2021195	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17件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 井上晋一, 大元涼介, 山崎倫昭, 河村能人
2. 発表標題 LPSO型Mg-Zn-Gd系合金のGd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 皮膜形成に及ぼすBe添加の影響
3. 学会等名 第172回日本金属学会春期講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上晋一, 河村能人
2. 発表標題 ミルフィーユ構造形成による不燃性Mg-Zn-Y-Al-Yb合金の高強度化
3. 学会等名 第173回日本金属学会秋期講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上晋一
2. 発表標題 マグネシウム合金の高温酸化挙動と不燃性
3. 学会等名 第145回軽金属学会秋期大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上晋一, 山崎倫昭, 河村能人
2. 発表標題 Be添加がLPSO型Mg-Zn-Gd合金の酸化皮膜形成に及ぼす影響
3. 学会等名 第145回軽金属学会秋期大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上晋一, 河村能人
2. 発表標題 マルチ機能を有するMg-Al-Ca-Mn合金の高温酸化挙動と不燃特性
3. 学会等名 第174回日本金属学会春期講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Inoue
2. 発表標題 High-temperature oxidation behavior and nonflammability of Mg alloys
3. 学会等名 Japan-Taiwan Advanced Light Metals [Mg and Ti] Fall Symposium 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Inoue, M. Yamasaki, Y. Kawamura
2. 発表標題 Effect of self-doping of Be into Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> film on nonflammability of Mg-Zn-Gd alloy
3. 学会等名 V4-Japan meeting in Kumamoto (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Inoue
2. 発表標題 Nonflammable Mg alloy developed at Kumamoto University
3. 学会等名 V4-Japan meeting in Budapest (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上晋一, 岩永宗征, 河村能人
2. 発表標題 Sr添加によるLPSO型Mg-Zn-Y合金の不燃性化
3. 学会等名 第171回日本金属学会秋期講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上晋一
2. 発表標題 マグネシウム合金の不燃化設計
3. 学会等名 2022年日本金属学会/日本鉄鋼協会秋季講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上晋一, 大元涼介, 山崎倫昭, 河村能人
2. 発表標題 LPSO型Mg-Zn-Gd系合金のGd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 皮膜形成に及ぼすBe添加の影響
3. 学会等名 第172回日本金属学会春期講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Inoue
2. 発表標題 Effect of Additional element on Nonflammability of LPSO type Mg-Zn-Y alloy
3. 学会等名 The 5th International Symposium on Long-Period Stacking Ordered Structure and Mille-fuille Structure, LPSO2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Inoue
2. 発表標題 Flammability improvement of LPSO type Mg-Zn-Y alloy
3. 学会等名 Korea-Japan joint seminar 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上晋一, 山崎倫昭, 河村能人
2. 発表標題 Be添加がMg-Zn-Gd系合金の発火温度と高温酸化挙動に及ぼす影響
3. 学会等名 日本金属学会第168回春期講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上晋一, 山崎倫昭, 河村能人
2. 発表標題 Be添加がLPSO型Mg-Zn-Gd系合金の発火温度と高温酸化挙動に及ぼす影響
3. 学会等名 軽金属学会第140回春期講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上晋一
2. 発表標題 不燃性マグネシウム合金の酸化皮膜設計
3. 学会等名 第105回軽金属学会九州支部例会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上晋一, 大元涼介, 山崎倫昭, 河村能人
2. 発表標題 Be添加がMg-Al-X合金の発火温度と高温酸化挙動に及ぼす影響
3. 学会等名 第141回軽金属学会秋期講演大会
4. 発表年 2021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
--	---------------------------	-----------------------	----

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