

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04987

研究課題名(和文) 二元共晶合金でのスフェライト構造の探索と力学特性発現のメカニズムの解明

研究課題名(英文) Formation of spherical microstructure and its mechanical properties of non-ferrous metal alloy

研究代表者

松下 正史 (Matsushita, Masafumi)

愛媛大学・理工学研究科(工学系)・教授

研究者番号：90432799

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：Mg<sub>85</sub>Zn<sub>6</sub>Y<sub>9</sub>はLPSOの体積分率がほぼ100%の合金である。本合金は高圧高温下で、-MgとD03構造の二相構造へと相転移し、特異なスフェライト型のマイクロストラクチャーを形成する。本組織は、-MgのMatrixにD03構造のグレイン(～100nm)が析出したコア部と、柱状晶のセル部からなり、10/GPa/1273 Kと15GPa/1273Kで処理した試料で確認されたが、それ以下の圧力温度領域では形成されない。上記スフェライト組織の形成に伴い強度、硬さ共に大きく上昇する。一方、二元系では、圧力によってラメラの微細化は進むものの、上記の集合組織の形成には至らなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

軽量構造材料の開発は、輸送機器の省エネルギー、カーボンニュートラルを促進する上で重要なテーマである。本研究は、実用金属中最も低い密度を持つマグネシウム(Mg)をベースとする合金の強度についての基礎研究である。100nmを下回る二相組織からなるコア部と、コア部から伸びる柱状晶かなるセル部とで形成された階層型ヘテロ構造組織を有するMg合金を高圧合成で作製したところ、その強度はマグネシウム合金として極めて高いものとなった。この高強度は上記の階層的ヘテロ組織に由来する。これら強さを生み出す組織の探索は高強度材料探索ための手掛かりになると考えている。

研究成果の概要(英文)：Mg<sub>85</sub>Zn<sub>6</sub>Y<sub>9</sub> is an alloy with a volume fraction of LPSO of almost 100%. This alloy undergoes a phase transition to a two-phase structure consisted of -Mg and D03 superlattice under high-pressure and high-temperature, furthermore, it forms a unique spherical domain structure. This structure consisted of a core part in which grains <100 nm of the D03 were precipitated in the -Mg Matrix and cell part in which consisted of columnar crystal, which were confirmed in the samples being after treated at 10 GPa/1273 K and 15 GPa/1273 K, respectively. However, it is not formed in the pressure and temperature below that. With the formation of the spherical domain structure, both strength and hardness increase significantly. Moreover, we attempted to form above-mentioned structure in the binary alloy system; however, it cannot form in present researches.

研究分野：金属物性物理学

キーワード：マグネシウム合金 高圧合成 構造解析 マイクロストラクチャー ヘテロ組織 階層組織

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

Mg<sub>85</sub>Zn<sub>6</sub>Y<sub>9</sub> は 18R-type LPSO 構造の体積分率がほぼ 100 %の合金である。研究代表者らは本合金の 18R-type LPSO 構造が高圧高温下で D0<sub>3</sub> と α-Mg の二相混相への相転移することを発見した。さらに、10 GPa、1273 K から凝固し、常圧に回収した本合金からはスフェルライト状の階層構造を持つ組織が形成されており、圧縮応力下での 0.2% 耐力は 780 MPa、破断応力が 1 GPa、破断時の圧縮歪みが 6.5 %と際立った機械特性を示すことを発見してきた。

本研究では同種高強度合金をさらに探索すると共に、スフェルライト構造と力学特性の関連を明らかにし、今後の材料設計に汎用可能な知見を得ることを目指す

### 2. 研究の目的

本研究で明らかにしたいのは、

「スフェルライト状の階層構造をもつヘテロ凝固組織がなぜ Mg-Zn-Y 系で形成されるのか？」と、

「マイクロストラクチャーと力学特性にはどのような相関があるのか？」

の二点である。

スフェルライト状の階層構造は、D0<sub>3</sub> 構造をベースとした非化学両論的金属間化合物と α-Mg の二相ヘテロ組織(D0<sub>3</sub>/α-Mg)からなる。以降、本報告書での D0<sub>3</sub> は上記、非化学両論的金属間化合物のことを指し、その構造は Mg: Y = 3: 1 の構造をベースするし、Y の占める 0,0,0 サイトの一部が Mg に置き換わり、Mg が占める 0.25,0.25,0.25 サイトの一部が Zn に置き換わったものを意味する。

D0<sub>3</sub>/α-Mg は 18R-type LPSO 相の高圧高温相であるが、18R-type LPSO から D0<sub>3</sub>/α-Mg 二相構造への相転移過程のその場観察は十分になされていない。また、18R-type LPSO、D0<sub>3</sub>、α-Mg の三相の熱エネルギー的安定性について評価した事例もない。

10 GPa/1273 K から凝固された Mg<sub>85</sub>Zn<sub>6</sub>Y<sub>9</sub> で、スフェルライト状の階層構造をもつヘテロ凝固組織は報告したが、他の圧力温度で高圧処理された本合金の結晶構造、マイクロストラクチャーについては十分なデータがない。そのため、結晶構造、マイクロストラクチャーへの処理圧力、温度は不明であり、さらには、各種マイクロストラクチャーと力学特性の関係についても明らかではない。

このような現状を踏まえ、以下の 5 項目を目的とし、研究を行った。

- (1) Mg<sub>85</sub>Zn<sub>6</sub>Y<sub>9</sub> の 18R-type LPSO から D0<sub>3</sub>/α-Mg 二相構造への相転移過程のその場 X 線回折
- (2) 第一原理計算による 18R-type LPSO、D0<sub>3</sub>、α-Mg の三相の熱力学的安定性評価
- (3) Mg<sub>85</sub>Zn<sub>6</sub>Y<sub>9</sub> の高圧高温処理条件とマイクロストラクチャーの相関の調査
- (4) 上記(3)で作成したサンプルの力学特性のマイクロストラクチャーとの相関の調査
- (5) 他の組成をもつ Mg-Zn-Y 合金ならびに、Al 系共晶合金でのスフェルライト状の階層構造をもつヘテロ凝固組織の探索

### 3. 研究の方法

高圧高温実験方法について述べる。本研究では、サンプルカプセルには、融点(2852 °C)が高く、をもち反応性が低い MgO を用いた。加熱はセル内部のヒーターへの電力供給によって実施し、断熱材にはジルコニア、圧力媒体には Co をバインダーとした MgO の八面体を利用した。サンプルは、いずれの合金も、高周波誘導炉を用いて作製されたインゴットから、高圧合成に利用できるよう Φ2 mm × 5 mm の円柱状に切り出したものを用いた。

高圧下その場 X 線回折 (XRD) は SPring-8 BL04B1 の白色放射光を用いてエネルギー分散法によって実施した。高圧発生装置は同ビームラインに設置された Kawai 型マルチアンビルプレス (SPEED1500) を用いた。白色 X 線は、二つのスリットによって 200 × 50 μm<sup>2</sup> に絞られてサンプルに入射し、回折角 5.039° に固定された solid-state detector によって XRD プロファイルを収集した。

高圧高温処理実験は愛媛大学工学部機械工学科機器材料学研究室に設置されたウォーカー型マルチアンビルマルチアンビルプレス (CTE, Co.) と、愛媛大学地球深部ダイナミクスセンターに設置された Kawai-型マルチアンビルプレス Orange-1000, Sumitomo heavy industries, Ltd.) を用いて実施した。

高圧高温処理後の回収物の結晶構造解析は X 線回折(Rapid II-V/DW, Rigaku, Co. Ltd)を、マイクロストラクチャー観察には 走査型電子顕微鏡 (FE-SEM: JSM-7000F, JOEL)を利用した。透過電子顕微鏡 (TEM: JOEL, JEM-2010) による観察は focused ion beam (FIB: FEI, SCIOS)を用いて作製した試験片について行った。回収物の圧縮試験は、万能試験機 (8516 universal testing system, Instron Co. Ltd)を用い、変位はレーザー変位計 (LS7600: Keyence, Co. Ltd)を用いた。ビッカース硬さは(HMV-G21DT, Shimadzu Co. Ltd)を用いている。

第一原理計算による各相の自由エネルギー評価は、密度汎関数理論(DFT: Density Functional Theory)に基づく計算コード VASP(Vienna Ab initio Simulation Package)を用いた。本計算では計算負荷を抑えるため断熱近似が用いられている。DFT は規則構造に対してのみ計算可能な手法で

あり、非化学量論的化合物計算は不可能である。そこで、不規則性を考慮した計算へのアプローチとして、不規則構造を多数のクラスターの和で近似するクラスター展開法(Cluster Expansion Method: CEM)を利用する。クラスター展開を用いた規則構造の探索に ATAT(Alloy Theoretic Automat-ed Toolkit)を使用した。

#### 4. 研究成果

本章では、上記目的に記載した(1)~(5)まで項目についての研究成果を 4.1~4.5 にまとめる。

##### 4.1 $Mg_{85}Zn_6Y_9$ の 18R-type LPSO から $D0_3/\alpha$ -Mg 二相構造への相転移過程のその場 X 線回折

7.8 GPa まで加圧した後、昇温過程の XRD プロファイルを時分割測定によって収集した。図 1 は X 線強度の変化を横軸に温度、縦軸にエネルギーを取ったフォルスカラーマップ上に示したものである。753 K 以下では 18R-type LPSO とサンプルカプセルに使用した MgO からのピークが確認できる。763 K から  $D0_3$  構造の 1/8 であるシンプルな bcc 構造からのピークが現れた。これは LPSO から析出した Zn と Y をリッチに含む相と考えられる。さらに温度を上げると、 $D0_3$  規則格子からの superlattice line が現れ、803 K 以上では hcp (2H) からのピークが現れ、18R-type LPSO からのピークが減衰する。883 K 以上では、18R-type LPSO からのピークは消失し、 $D0_3/\alpha$ -Mg からのピークとなった。1143 K 以上で両相は溶解する。本結果より、18R-type LPSO から  $D0_3/\alpha$ -Mg への固相-固相相転移過程が明らかになった。

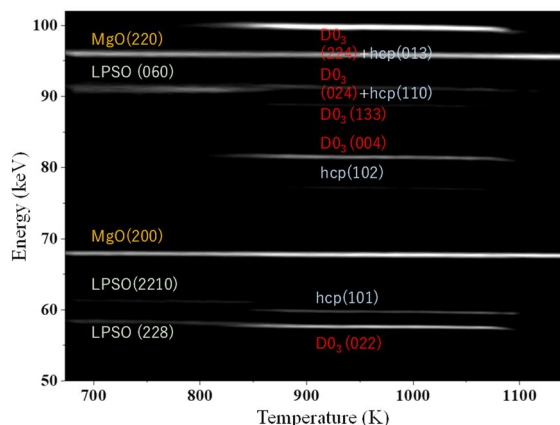


図 1 7.8 GPa での昇温過程における  $Mg_{85}Zn_6Y_9$  の X 線回折パターンの温度変化のフォルスカラーマップ。

##### 4.2 第一原理計算による 18R-type LPSO、 $D0_3$ 、 $\alpha$ -Mg (hcp) の三つの相の熱力学的安定性評価

VASP と ATAT の組み合わせにより Mg-Zn-Y 三元図上に、 $\alpha$ -Mg(hcp)と  $D0_3$  の自由エネルギーを 0.1 MPa、5 GPa、10 GPa、15 GPa の四つの圧力条件で計算した。一方、18R-type LPSO はその理想組成であり、本研究の対象組成でもある  $Mg_{85}Zn_6Y_9$  でのエネルギーを上記 4 つの圧力条件で計算した。その後、 $Mg_{1-X}Zn_{2X/5}Y_{3X/5}$  で表される線上の自由エネルギー曲線図を作成し、3 種の構造間の自由エネルギー変化を議論した。

計算結果より、どの圧力でも、18R-type LPSO が  $Mg_{85}Zn_6Y_9$  組成では基底状態となることがわかった。hcp は  $X=0$  の時、 $D0_3$  よりも低いエネルギーをとるが、自由エネルギー曲線は、 $X$  が増加するにつれて  $D0_3$  のエネルギーが相対的に低下し、hcp と  $D0_3$  の自由エネルギー曲線の間には、共通接線を引くことが可能である。この結果は、二相分離傾向を示している。さらに、18R-type LPSO と hcp- $D0_3$  の間の共通接線間のエネルギー差は圧力の増加とともに小さくなる傾向が顕著である。

これまでの結果をまとめると、常圧から 15 GPa までの範囲で、三相のエネルギー関係は 18R-type LPSO が基底状態であり、 $D0_3/\alpha$ -Mg の二相状態が励起状態となる。実験的には、常圧では 18R-type LPSO は直接液相へと相転移するのに対し、4.1 に示した通り、高圧下では、 $D0_3/\alpha$ -Mg を経て、液相へと相転移する。一般に、固相-液相間の相転移は圧力の増加を伴うため、高圧下では液相の自由エネルギーが大きく上昇する。その結果、液相より  $D0_3/\alpha$ -Mg の二相状態が低エネルギーとなり、観測されたものと考えられる。また、18R-type LPSO と  $D0_3/\alpha$ -Mg 両状態間のエネルギーバリアーは温度上昇に伴うフォノンの影響で覆る可能性が十分に考えられる差であり、計算結果は実験結果をうまく説明していると考えられる。

##### 4.3 $Mg_{85}Zn_6Y_9$ の高圧高温処理条件とマイクロストラクチャーの関連の調査

5 GPa/973 K、10 GPa/973 K、15 GPa/973 K のそれぞれの条件で本合金を保持した後、クエンチし回収したサンプルの結晶構造とマイクロストラクチャーについて述べる。973 K は、in-situ XRD の結果から、18R-type LPSO から  $D0_3/\alpha$ -Mg への相転移温度と融点の中間に位置する。

回収されたサンプルの XRD はすべて  $D0_3/\alpha$ -Mg の二相構造で説明できた。マイクとストラクチャーを図 2 に示す。明るい  $D0_3$  構造と暗い  $\alpha$ -Mg が交互に積層した二相ラメラ組織が確認できる。また、直線的なドメインバウンダリーが観察され、これらは LPSO の grain boundary (post-LPSO boundary) が残存した結果と考えられる。本結果より、18R-type LPSO から  $D0_3/\alpha$ -Mg への相転移は、LPSO の結晶粒内における拡散で発生したと考えられる。インターラメラスペーシング ( $\lambda$ ) は圧力の増加とともに小さくなり 5 GPa/973 K、10 GPa/973 K、15 GPa/1273 K で



処理した試料の  $\lambda$  はそれぞれ  $760 \pm 50$ ,  $145 \pm 10$  and  $90 \pm 10$  nm である。これは圧力によって、拡散が抑制されたこと、単位体積に含まれる原子数が多くなった結果、核生成が発生しやすい条件が生まれたことに起因すると考えられる。

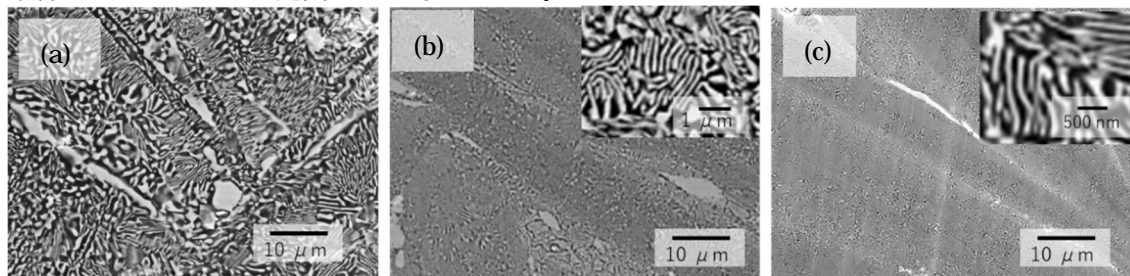


図 2. 5 GPa/973 K (a), 10 GPa/973 K (b), 15 GPa/973 K (c) から回収された  $Mg_{85}Zn_6Y_9$  の反射電子像。

次に、5 GPa/1273 K、10 GPa/1273 K、15 GPa/1273 K のそれぞれの条件で本合金を保持した後、クエンチし回収したサンプルの結晶構造とマイクロストラクチャーについて述べる。1273 K は 4.2 の X 線回折から考えて、液相になっている温度と考えられる。

回収されたサンプルの XRD の結果は、すべて  $D0_3/\alpha$ -Mg の二相構造で説明される。図 3 にマイクとストラクチャーを示す。図 3(a) に示す 5 GPa/1273 K から回収したサンプルでは板状のラメラ組織が観察された。973 K の各圧力から急冷したサンプルで見られた post-LPSO boundary に由来する直線的なドメイン構造は観察されず、球形に近いコロニーがみられた。これらの特徴は融点から急冷した二相共晶組織とよく類似している。

一方、図 3(b) に示す 10 GPa/1273 K から回収したサンプルは、 $\alpha$ -Mg の Matrix 中に浮かんだ  $\sim 50$  nm の  $D0_3$  グレインからなるコアと、コアから放射状に  $D0_3$  グレインが連結し形成された柱状晶をセルとするコア - セル型の階層構造がみられる。さらにその外周部にはセルとつながったラメラ組織が確認でき、極めて複雑な階層型ヘテロ組織が形成されていることがわかる。

さらに、図 3(c) に示す 15 GPa/1273 K で処理された試料では  $\alpha$ -Mg Matrix 中に浮かんだ  $\sim 100$  nm の  $D0_3$  グレインを含むコアから放射状に、ラメラ状のセル組織 ( $\lambda = 300 \sim 1000$  nm) が形成されている。10 GPa/1273 K で処理した試料とは異なり、コア中の  $D0_3$  とセル組織は連続しておらず  $\alpha$ -Mg のマトリックスで分断されている。また、ラメラ組織中の  $\alpha$ -Mg 部には 30 nm 幅の極めて薄い明るい相が噛んでいる。10 GPa/1273 K 処理した試料と類似した複雑な階層型ヘテロ組織であるが、グレイン一つのサイズが、10 GPa/1273 K で処理したものの方がより微細である。

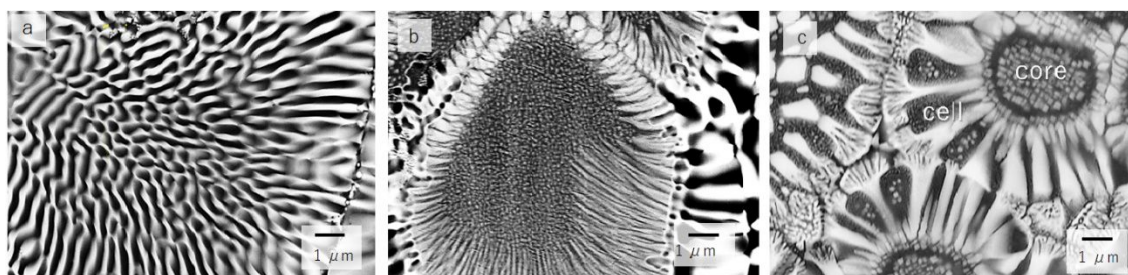


図 3. 5 GPa/1273 K (a), 10 GPa/1273 K (b), 15 GPa/1273 K (c) から回収された  $Mg_{85}Zn_6Y_9$  の反射電子像。

#### 4.4 上記(3)で作成したサンプルの力学特性のマイクロストラクチャーとの関連の調査

4.3 で述べた六種類のサンプルについて、圧縮試験とビッカース硬さ測定を実施した。降伏応力 ( $\sigma_{0.2}$ : 0.2%耐力) とビッカース硬さ(HV)を図 4 に示す。

973 K の各圧力での処理で作成された板状のラメラ組織を取る試料については、 $\lambda$  に比例して降伏強度、ビッカース硬さとも上昇する。一方、破壊時のひずみは小さくなり、硬さと伸びが相反する傾向が示されている。これらは従来の共晶合金についての研究で報告されてきたものと同種の傾向である。

他方、10 GPa/1273 K、15 GPa/1273 K で処理したサンプルはそれぞれ、783 MPa と 570 MPa となった。両試料のビッカース硬さは、それぞれ 220 と 216 [HV(1N)]であり、両者ともに Mg 合金としては極めて硬い。微細なヘテロ組織によって形成される複雑な階層型構造がこの強度を生み出したと考えられる。

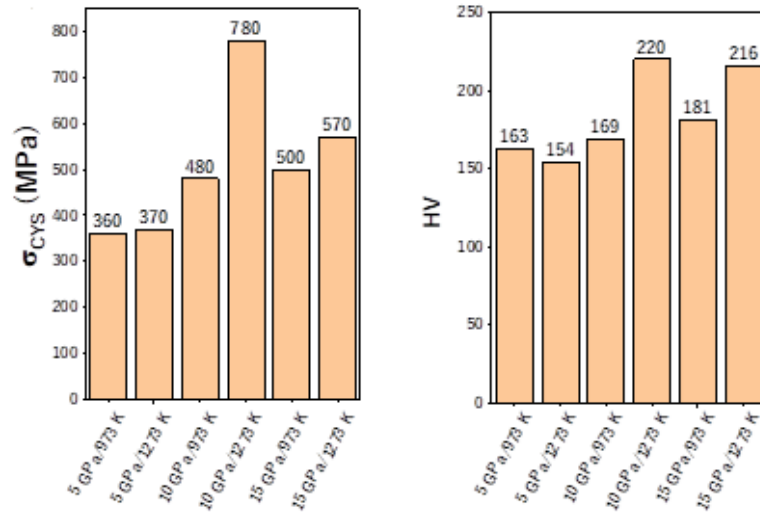


図 4. 各圧力温度条件で処理した  $Mg_{85}Zn_6Y_9$  の  $\sigma_{CYS}$  と HV ビッカース硬さ

#### 4.5 他の組成をもつ Mg-Zn-Y 合金ならびに、Al 系共晶合金でのスフェライト状の階層構造をもつヘテロ凝固組織の探索

上記の現象は 18R-type LPSO の体積分率がほぼ 100%の  $Mg_{85}Zn_6Y_9$  で見られた。そこで同合金系で 18R-type LPSO の体積分率が 25%の  $Mg_{97}Zn_1Y_2$  について、高圧高温処理を行った。本合金中の 18R-type LPSO も  $D0_3/\alpha$ -Mg の二相構造へと相転移し、 $\alpha$ -Mg 母相中にラメラ組織が浮かぶマイクロストラクチャーを呈した。しかしながら、4.3 の 10 GPa/1273 K (図 3(b)) や、15 GPa/1273 K (図 3(c)) で示した複雑な階層構造を示す組織は本研究の範囲では形成されなかった。

また、4.3 と 4.4 に述べた現象が、共晶系の特異な凝固形態に由来するものと考え、Al 系の代表的共晶合金である Al-Si 合金 (シルミン) について高圧高温処理を実施し、その処理条件依存性を調査した。圧力の増加とともに共晶組織は微細化されていくものの、図 3(a) や (b) に見られる組織の形成には至らなかった。

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 2件）

1. 著者名 Teruki Tsuchiya, Masahiro Fukuda, Hiroaki Ohfuji, Michiaki Yamasaki, Yoshihito Kawamura, Masafumi Matsushita	4. 巻 844
2. 論文標題 A novel long-period phase in Mg97Yb2Cu1 alloy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 155972-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jallcom.2020.155972	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 MATSUSHITA Masafumi	4. 巻 30
2. 論文標題 Research for Long-Period Structure in Mg Alloy using High Pressure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Review of High Pressure Science and Technology	6. 最初と最後の頁 178 ~ 186
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4131/jshpreview.30.178	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 Atsushi Yokota, Masafumi Matsushita, Naruhito Geshi, Daiki Yamasaki, Toru Shinmei, Michiaki Yamasaki, Yoshihito Kawamura	4. 巻 11/7
2. 論文標題 Formation Process of Long-Period Stacking-Ordered Structures in Mg97Zn1Y2 Alloy Comprising HCP and Cubic Phases Fabricated by High-Pressure High-Temperature Annealing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Metals	6. 最初と最後の頁 1031-1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/met11071031	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16件（うち招待講演 2件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 國光 弘平, 國谷真広, 新名 亨, 肥後 裕司, 松下 正史
2. 発表標題 高圧下凝固プロセスで作製された Al/Si ナノラメラ組織とその機械特性の研究
3. 学会等名 第61回 高圧討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中 伸治, 川端 勇輝, 國光 弘平, 中田 雄大, 村上 湧斗, 河野 翔也, 飯久保 智, 新名 亨, 山崎 倫昭, 河村 能人, 肥後 裕司, 松下 正史
2. 発表標題 LPSO からの圧力相転移で発生する fcc/hcp 二相組織の強度特性と第一原理計算による相安定性の研究
3. 学会等名 第61回 高圧討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 下司 成人, 福田 雅大, 大藤 弘明, 山崎 倫昭, 河村 能人, 松下正史
2. 発表標題 Mg97Zn1Y2 への高圧処理の影響と, hcp-matrix 周辺での LPSO 再形成過程の研究
3. 学会等名 第61回 高圧討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 國光弘平, 國谷真広, 松下正史, 新名亨, 肥後裕司
2. 発表標題 高圧下凝固プロセスで作製されたAl/Si 微細共晶組織とその機械特性の研究
3. 学会等名 第12回 軽金属学会中国四国支部 講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中伸治, 中田雄大, 松下正史, 河野翔也, 飯久保智
2. 発表標題 LPSOからのfcc/hcp二相構造への圧力誘起相転移についての第一原理計算を用いたエネルギー安定性からの評価
3. 学会等名 第12回 軽金属学会中国四国支部 講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川端勇輝, 國光弘平, 松下正史, 新名亨, 肥後裕司
2. 発表標題 LPSOからの圧力相転移で発生するD03/hcp二相組織の形成過程と機械特性の研究
3. 学会等名 第12回 軽金属学会中国四国支部 講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福田雅大, 山崎大輝, 松下正史, 大藤弘明, 西山宜正, JoesfBednarcik, 山崎倫昭, 河村能人
2. 発表標題 Mg-Zn-Ybで発見された新奇な長周期超格子
3. 学会等名 第12回 軽金属学会中国四国支部 講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松下正史
2. 発表標題 多分野に広がる高圧装置と技術
3. 学会等名 45回 未来を拓く高圧力科学技術セミナー (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masafumi Matsushita, Daiki Yamauchi, Yuki Kawabata, Toru Shinmei, Hiroaki Ohfuji, Michiaki Yamasaki, Yoshihito Kawamura
2. 発表標題 Formation of Ultra-Fine Spheric Microstructure Consist of Dual Phase in Mg85Zn6Y9 Alloy
3. 学会等名 MRS 2019 fall meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 松下 正史
2. 発表標題 Mg85Zn6Y9、ならびにMg97M1Yb2中に現れる長周期構造とその圧力変化
3. 学会等名 2019年度 日本顕微鏡学会 関西支部 特別講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山内大輝、川端勇輝、新名 亨、松下正史、山崎倫昭、河村能人
2. 発表標題 高温高圧合成により作成されたMg85Zn6Y9の機械的特性
3. 学会等名 第11回中国四国軽金属学会支部講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松下正史、山内大輝、川端勇輝、新名 亨、大藤弘明、肥後裕司、西山宣正
2. 発表標題 スフェルライト型Mg合金の合成と機械特性
3. 学会等名 第60回 高圧討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中田雄大、佐々木 亮太、村上湧斗、松下正史、飯久保智
2. 発表標題 Mg85Zn6Y9合金の高圧場凝固組織の変化と熱力学的考察
3. 学会等名 第62回高圧討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村上湧斗、渡辺舜、松下 正史、内海伶那、齋藤寛之
2. 発表標題 高压高温を利用したポリエチレンの構造制御
3. 学会等名 第62回高压討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎大輝、松下正史、横田温貴、山崎倫昭、河村能人
2. 発表標題 Mg-Zn-Ybで発見された新奇な長周期超格子
3. 学会等名 軽金属学会中国四国支部第13回講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 國谷真広、伊藤温希、松下正史
2. 発表標題 高压凝固されたシルミンの組織と硬さの変化
3. 学会等名 軽金属学会中国四国支部第13回講演大会
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
研究 分担 者	飯久保 智  (Iikubo Satoshi)  (40414594)	九州工業大学・大学院生命体工学研究科・准教授   (17104)	

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