

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01675

研究課題名（和文）バークハード性の発現と強化の原理解明に基づく高強度高成形性マグネシウム合金の開発

研究課題名（英文）Development of bake-hardenable wrought magnesium alloy with excellent room temperature formability

研究代表者

佐々木 泰祐 (SASAKI, Taisuke)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・磁性・スピントロニクス材料研究センター・グループリーダー

研究者番号：30615993

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,000,000円

研究成果の概要（和文）： 実用金属中最軽量のマグネシウム合金の構造材料としての用途拡大にむけて、弱点であった室温成形性と強度のバランスをアルミニウム合金並みに高めるための研究を行った。

加工熱処理により作製した板材に溶体化処理を行って優れた室温成形性を発現させ、その後さらに低温・短時間の熱処理を施すことで高強度を発現させることを目指した。その結果、微量のCaとZnを含む合金が加工後の時効処理により大幅に強化できること、加工熱処理工程を最適化すると、優れた室温成形性に加え強度の面内異方性を解消できることを見出した。得られた知見をもとに、マグネシウム合金中最高クラスの強度-成形性バランスを有する合金を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、高温での熱処理後に優れた室温成形性が得られ、その後低温・短時間の熱処理を行うと強度が大きく向上するといった、従来の商用合金にはないマグネシウム合金板材の開発に成功した。さらに、CaとZnが濃化したナノスケールのクラスタの高密度な分散が強化に有効であることを実験とシミュレーションの観点から導き出すことができた点は、基礎研究の見地からも価値の高い成果といえる。

上記の成果をもとに導き出した優れた室温成形性と高い強度を得るための指針の妥当性を実際の合金開発により実証できた点は、得られた成果が今後の合金開発にも活かせることを示すことから、社会的な意義も高い研究成果だといえる。

研究成果の概要（英文）： In order to broaden the application of the lightweight magnesium alloys, as structural materials, we proposed a strategy overcome the strength-formability trade off dilemma, which has been a weak point of magnesium alloys, to achieve comparable formability and strength with aluminum alloys.

In this work, we aimed at achieving excellent room temperature formability in the solution treated condition and demonstrating a high strength by subsequent short-time aging at low temperatures. As a result, we found that lean alloys containing small amounts of Ca and Zn can be significantly strengthened by aging treatment after pre-straining, and that optimizing the rolling process can reduce in-plane anisotropy in strength in addition to excellent room temperature formability. Based on these findings, we succeeded in developing an alloy with a balance between strength and formability that is among the highest class of magnesium alloys.

研究分野： 微細組織解析

キーワード： マグネシウム合金 力学特性 析出

1. 研究開始当初の背景

自動車の車体外板などの製造工程では、板材を成形加工して塗装後、例えば 170°C で 20 分の塗装焼付処理とよばれる低温で短時間の熱処理を行う。塗装焼付処理時に成形加工した材料の強度が上がる現象をベークハード性 (BH 性) と呼ぶ。現在自動車の車体材料などに用いられる BH 鋼や Al-Mg-Si (6000 系) アルミニウム (Al) 合金は BH 性を有し、それを利用して強度を向上させる。一方、実用金属中最も軽量で、自動車などの輸送機器の構造材料としての応用が期待されるマグネシウム (Mg) 合金に BH 性を示す合金は存在しなかった。Mg-3Al-1Zn 合金に代表される Mg 合金板材は十分な強度を有するが、加工熱処理中に Mg 母相の底面が板厚方向に強く配向した底面集合組織が発達するために、室温での成形加工が極めて難しい。溶体化処理の後に優れた室温成形性を発現し、BH 処理により高強度を発現する BH 型合金を開発できれば、用途拡大につながる可能性がある。

このような背景から、我々はこれまでに BH 性を示す Mg 合金の開発に取り組み、その結果、BH 性を示す Mg-3Al-0.8Zn-0.7Mn-0.5Ca (wt.%) (AZMX1110) 合金板材を開発した [1]。圧延材を溶体化処理後に、引張試験により 2% の予ひずみを導入して 170°C で 20 分の時効処理を行った後、再び引張試験を行うと明確な BH 性を示す。TEM と 3DAP による同一視野解析から、開発合金の BH 性は予ひずみにより導入された転位の溶質元素の偏析による不動化と、Guinier Preston (G.P.) ゾーンの析出によることを提案し、強化機構の一端も明らかになりつつある [1]。

本研究の開始当初、この BH 性は AZMX1110 等の希薄な組成を有する合金で確認されているのみで、BH 性を発現する組成範囲や強化の起源も明らかではなかった。しかし、本来時効硬化しない商用合金と同一組成の Mg-3Al-1Zn 合金に微量の Ca と Ce を添加すると、AZMX1110 合金と同様、急速に時効硬化することを見出した (図 1)。広い組成範囲での BH 性発現を期待させるこの結果は、BH 性発現のクライテリアや強化因子など詳細の解明につながる研究を進める足掛かりとなり、それをもとに優れた BH 性を発現する BH 型 Mg 合金の設計指針を提案できれば、「Mg 合金の BH 性の学理の解明」を起点とする新規性の高い研究が展開できると考えた。

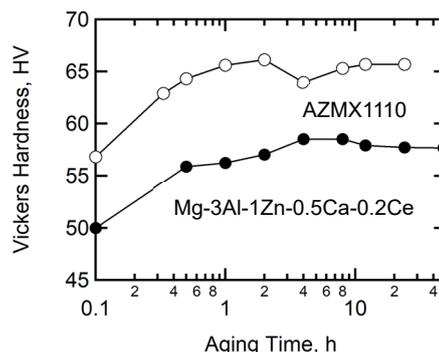


図 1: AZMX1110 合金と研究開発当初に開発した Mg-3Al 系合金の 170°C における時効硬化曲線

2. 研究の目的

そこで本研究は、Mg 合金に BH 性を発現させるために合金元素や組成が満たすべき条件と、強化量と強化機構の関係を解明し、大きな BH 性を示す Mg 合金の設計にむけた指導原理を提案することを目的とする。

さらに、BH 性の発現が期待できる Mg 合金板材の室温成形性や強度を最大化する組織を創り込むための加工熱処理プロセスの最適化に取り組み、最終的に自動車の車体材料として用いられる 6000 系 Al 合金を凌駕する室温成形性と強度を有する新規 Mg 合金圧延材の開発に取り組み、提案した指導原理の妥当性を検証する。

3. 研究の方法

本研究で用いた試料は、高周溶解炉を用いて溶製した試料に均質化処理を施し、その後圧延を行って作製した板厚が 1mm の板材である。以降、特に断りがない限り、圧延は 300°C で板厚 10 mm から 1 mm まで圧下率 10% で行った。試料の化学組成は、断りがない限り wt.% で記載した。

BH 性の評価は、圧延後の試料に溶体化処理を施し、引張試験により 2% のひずみを導入した後、オイルバス中で 170°C で 20 min の時効処理を行い、その後再び引張試験に供し、予ひずみ導入時の最大荷重と時効処理材の 0.2% 耐力の差を塗装焼付硬化量とした。室温成形性の評価はエリクセン試験を用い、エリクセン値によって室温成形性を評価した。

微細組織解析は走査型電子顕微鏡 (SEM: Carl Zeiss Crossbeam 1540EsB)、透過型電子顕微鏡 (TEM: FEI Tecnai 20 TEM, FEI TITAN G2 80-200)、3 次元アトムプローブ (CAMECA LEAP 5000XS) を用いて行った。アトムプローブ解析用試料は予め電子線後方散乱 (EBSD) を用いて Mg 母相の (0002) 面が試料表面に平行である面を同定し、収束イオンビーム (FIB)-SEM 複合機 (FEI Helios G4) を用いてリフトアウト法により作製した。

研究途中で解析した Mg-5wt.%Zn 合金、および Mg-9wt.%Al 合金は、共同研究先の Johns Hopkins University の Timothy P. Weihs 教授グループで合金の溶解・鋳造を行い、その後、150°C で 1 パスの ECAE (Equal channel angular extrusion) 加工を施した。

4. 研究成果

(1) Mg-Zn-Ca 系合金における BH 性の発現する組成範囲と強化メカニズムの検討

まず、BH 性の発現する組成範囲と強化メカニズムについて検討するため、Zn 添加量を系統的に変化させた Mg-xZn-0.3Ca-0.5Zr (ZXXx00, x=1-6%) 合金板材を作製してその BH 性を評価した。作製した板材の合金組成と呼称を表 1 に、得られた応力ひずみ曲線を図 2 に示す。なお、図 2 には ZXK100、ZXK300、および ZXK600 の結果を代表例として示し、溶体化処理材の応力-ひずみ曲線は、2%の引張予ひずみを導入する際に得た応力-ひずみ曲線を示す。また、図中の T4 と T8 は、それぞれ溶体化処理材、BH 処理材などの熱処理状態を示す。Zn 濃度が 3%程度までは~28 MPa におよぶ比較的大きな BH 性が得られ、Zn 添加量の増大に伴い BH 性は低下する。たとえば、ZXK100 合金の BH 処理による強度の増分は 27MPa、ZXK600 合金の BH 処理による強度の増分はわずか 11 MPa である。

表 1: 試料の化学組成と呼称

試料	化学組成 (wt.%)
ZXK100	Mg-0.9Zn-0.3Ca-0.3Zr
ZXK200	Mg-1.8Zn-0.3Ca-0.5Zr
ZXK300	Mg-3.3Zn-0.3Ca-0.2Zr
ZXK400	Mg-3.7Zn-0.3Ca-0.5Zr
ZXK500	Mg-5.1Zn-0.3Ca-0.3Zr
ZXK600	Mg-6.1Zn-0.2Ca-0.3Zr

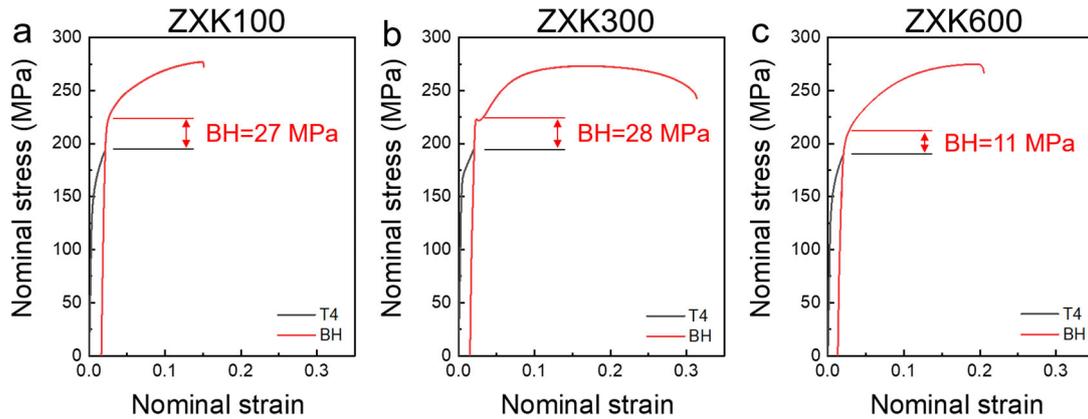


図 2: (a) ZXK100, (b) ZXK300, (c) ZXK600 合金の BH 処理前後における応力ひずみ曲線。なお、図中の T4 と T8 はそれぞれ溶体化処理材、BH 処理材の熱処理状態を示し、溶体化処理材の応力-ひずみ曲線は 2%の引張予ひずみを導入する際に得たものを示す。

当初、BH 性が発現する合金は、ひずみを導入せずに 170°C で時効処理を行うと G.P.ゾーンが析出する Zn 添加量にして~3wt.%以下の希薄な組成を有する合金に限定されると予想していた。ところが、予想に反して、170°C の時効処理中に β' 相が直接析出する ZXK600 合金など高濃度の Zn を含む全試料が BH 性を示した点は、BH 性を発現する組成範囲やその強化因子を解明する上で特筆すべき点である。

そこで、これらの合金の微細組織を TEM と 3DAP により解析し、微細組織と BH 性の相関を検討した。2%のひずみを導入後に時効処理を行った ZXK300 合金には、Ca と Zn の転位芯への偏析と Ca と Zn が濃化した溶質クラスタの形成が観察された。一方、高濃度の Zn を添加した ZXK600 合金には、Zn のみが濃化したクラスタが析出し、転位芯に偏析していた溶質元素も Zn のみであった。そこで解析から得た知見をもとに、フェーズフィールド転位力学計算を用いて転位芯に偏析した溶質元素の転位の固着力を見積もったところ、転位芯に Ca が偏析するか否かにかかわらず、溶質元素の転位の固着力は大差ないことが分かった。

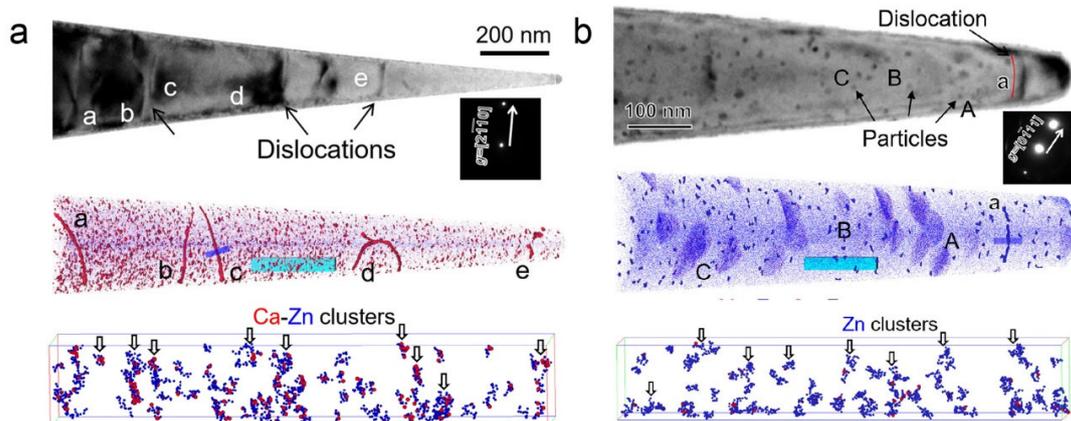


図 3: (a) ZXK300, (b) ZXK600 合金の BH 処理材より得た 3 次元アトムマップ。転位芯への溶質元素偏析が見られるとともに、母相には微細なクラスタが形成している。

以上の結果から、Z XK600 合金の BH 性が Z XK300 合金に比べ小さいのは、Z XK600 合金に形成される Zn の濃化したクラスタが、Z XK300 合金中に形成する Ca-Zn クラスタに比べて強化への寄与が小さいことに起因すると結論できる。

次に、ひずみの付与により 170°C の高温時効中に G.P.ゾーンが析出せず β' 相が直接析出する Z XK600 合金でもクラスタが形成する原因について、モデル合金を用いた検討を進めた。モデル合金として 150°C で 1 パスの ECAE を施した Mg-5Zn (Z5)合金と Mg-9Al (A9)合金を用いた。図 4(a)の EBSD 逆極点図マップに示すように、ECAE 加工を行った Z5 合金は未再結晶領域と再結晶粒より構成される。再結晶粒では、球状の β' 相が粒内と粒界上に存在し(図 4(b))、未再結晶粒では、[0001]方向に伸長した β' 相が転位線状に不均一析出している(図 4(c))。さらに、未再結晶粒より得た Zn の 3D アトムマップは、未再結晶粒内に存在する転位の転位芯に Zn が偏析する様子と、Zn の濃化したクラスタが高密度に形成する様子を示す(図 4(d))。これとは対照的に、ここではデータは示していないが、溶体化処理後に ECAE 加工を施すことなく 150°C で時効処理を行った試料では、クラスタは形成していなかった。

一方、いかなる温度で時効処理を行っても、安定相である $Mg_{17}Al_{12}$ 相が直接析出する A9 合金では、クラスタの形成がみられたのは ECAE を行った試料のみであった。これらの結果から、ひずみの導入は種々の Mg 合金においてクラスタの形成を促すことが理解できる。強ひずみ加工中に過剰に導入される空孔に注目して分子動力学計算を行ったところ、空孔は溶質元素と引力相互作用を有するためクラスタ形成を容易にすることがわかった。

上記の検討から、当初の予想以上に広い組成範囲で BH 性が発現する原因は、ひずみの導入に伴って導入された過剰空孔が溶質元素を引き付けることでクラスタの形成が促されることが主要因と結論できる。

(2) 優れた室温成形性と強度を有する BH 型 Mg 合金の開発

次に、高い強度と優れた室温成形性を発現する BH 型合金の開発の成果について述べる。エリクセン試験により溶体化処理材の室温成形性を評価したところ、室温成形性の指標であるエリクセン値は、Zn の濃度が 3 wt.%程度まではわずかに上昇し、さらに Zn 濃度が高くなると大きく低下する(図 5)。Z XK100 合金のエリクセン値は 6.0 ± 0.4 mm で、最高の室温成形性を示す Z XK300 合金のエリクセン値は 7.0 ± 0.4 mm、Z XK600 合金では、エリクセン値は 4.3 ± 0.3 mm であった。これは、優れた室温成形性を得る最適な Zn 濃度は 3 wt.%程度であることを意味する。

一方、図 2 の溶体化処理材と BH 処理材の引張応力-ひずみ曲線より、BH 処理後に最も高い 0.2%耐力を示したのは Z XK300 合金である。そこで、Z XK300 合金の 0.2%耐力の面内異方性を評価するため、圧延(RD)方向、板幅(TD)方向を荷重方向として引張試験を行い、その結果得られた応力-ひずみ曲線を図 6 に示す。溶体化処理材、BH 処理材ともに、TD 方向よりも RD 方向に荷重した方が高い強度を示し、溶体化処理材の 0.2%耐力は RD 方向、TD 方向でそれぞれ

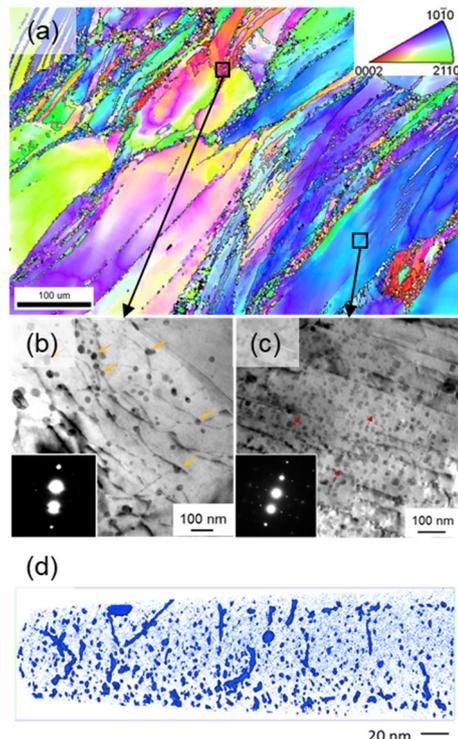


図 4(a)ECAE 加工した Mg-5Zn 合金より得た EBSD 逆極点図マップ、(b)再結晶粒、(c)未再結晶粒より得た明視野 TEM 像、(d)未再結晶粒より得た 3D アトムマップ

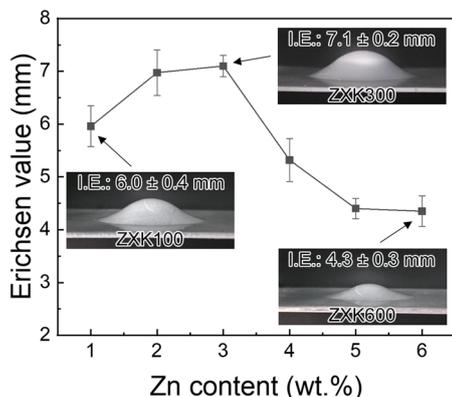


図 5: Zn 濃度とエリクセン値の関係。エリクセン値は溶体化処理材の値を示す。

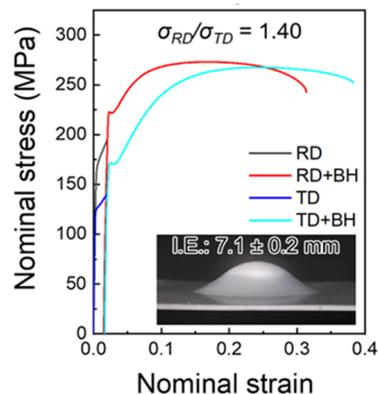


図 6: Z XK300 合金の溶体化処理材、BH 処理材の引張応力ひずみ曲線。RD、TD は荷重方向が圧延方向、板幅方向であることを示す。

176±6 MPa、126±1 MPa で、BH 処理材のそれは RD 方向、TD 方向でそれぞれ 229±5 MPa、166±6 MPa である。この結果は、0.2%耐力の面内異方性 (σ_{RD}/σ_{TD}) が 1.4 程度と、極めて高いことを意味する。

この高い面内異方性の原因を明らかにするために、EBSD により Z XK300 合金の集合組織を解析した。図 7 に示した逆極点図マップと(0002)極点図に見られるように、マグネシウム母相の(0002)極は TD 方向に傾斜している。こうした TD-split texture と呼ばれる集合組織は、底面への(0002)極の強い配向を避けられるため、高い室温成形性が得られる。ところが、TD-split texture を有する試料の引張試験を行う際、荷重方向が RD 方向の時は柱面<a>すべりが主に活動し、荷重方向が TD 方向の場合は臨界分解せん断応力が柱面<a>すべりよりも著しく低い底面すべりが活動する。そのため、TD 方向の 0.2%耐力は、RD 方向の 0.2%耐力に比べて著しく低くなる。よって、優れた室温成形性と面内異方性が低く高い強度を達成するには、(0002)極が板幅方向のみならず、板厚方向から全方位に傾斜した集合組織を形成する必要がある。

そこで加工熱処理プロセスを最適化したところ、図 8(a)に示すように(0002)極が板厚方向から全方位に傾斜した集合組織である“Annular-texture”を発達させることができた。その結果、溶体

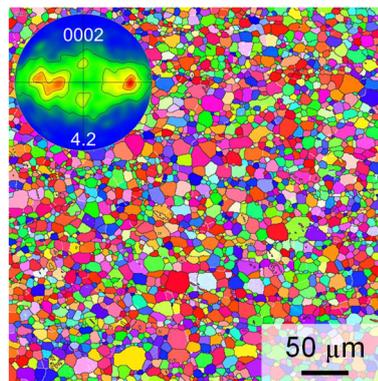


図 7: Z XK300 合金溶体化処理材より得た EBSD 逆極点図マップと(0002)極点図

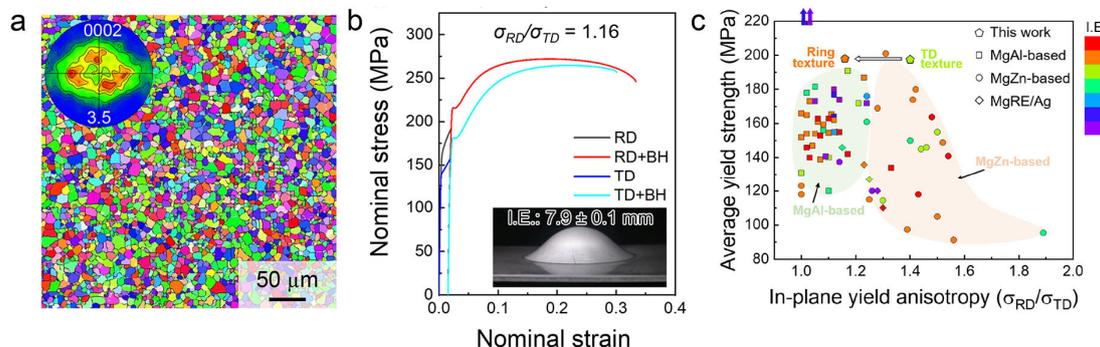


図 8:最適化された加工熱処理工程により作製した Z XK300 合金の(a) 溶体化処理材の EBSD 逆極点図マップと(0002)極点図、(b) 溶体化処理材のエリクセン試験後の試料外観写真と溶体化処理材、および BH 処理材より得た引張応力-ひずみ曲線。なお、RD、TD は荷重方向が圧延方向、板幅方向であることを示す。(c) 本研究で開発した合金と様々なマグネシウム合金板材の RD、TD 方向の平均の強度と面内異方性の比較図。プロットの色はエリクセン値の大小を示す。

化処理材における 0.2%耐力は RD 方向、TD 方向で 162±1 MPa、140±2 MPa、BH 処理材の 0.2%耐力は RD 方向、TD 方向でそれぞれ 215±2 MPa、181±2 MPa となり、BH 処理後の 0.2%耐力の RD、TD 方向の平均値を 200 MPa 程度に保ちつつ、面内異方性 (σ_{RD}/σ_{TD}) を 1.19 と大きく低下させることができた。また、溶体化処理材のエリクセン値も 7.9 mm まで向上した。種々の Mg 合金圧延材と特性を比較した図 8(c)に示す通り、最適化された加工熱処理プロセスによって作製した Z XK300 合金圧延材は、Mg 合金板材の中で最も優れた強度と室温成形性のバランスと最低クラスの耐力の面内異方性を有する。

さらに、Z XK300 合金に結晶粒の微細化材として添加される Zr は他の合金元素に比べ比重が大きく、かつ融点が高いことから合金元素として扱い難い点に注目し、Zr を代替可能な元素を探索したところ、Mn が効果的であることを見出し、組成と加工熱処理工程を最適化することで、溶体化処理後のエリクセン値が 8.0mm、BH 処理後、圧延方向と板幅方向の 0.2%耐力はそれぞれ 212MPa、178MPa で、耐力の平均値が 200MPa、耐力比が 1.19 の BH 型 Mg-2.39Zn-0.29Ca-0.22Al-0.41Mn (ZXAM2000)合金を開発した。開発材は従来の BH 型マグネシウム合金の弱点であった耐食性も克服し、市販の Mg-3Al-1Zn (AZ31)合金板と同等の耐食性を有する。

以上のように、本研究では、組成を系統的に変化させた Mg-Zn-Ca-Zr 合金の BH 性と組織解析から、BH 処理により Ca と Zn の濃化したクラスタが形成する希薄合金が BH 型 Mg 合金として有望であることを見出し、それをもとに Mg 合金板材の中で最高レベルの強度と室温成形性、さらには低い面内異方性を有する合金の開発に成功した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yi Peng, Sasaki Taisuke T., Eswarappa Prameela Suhas, Weihs Timothy P., Falk Michael L.	4. 巻 249
2. 論文標題 The interplay between solute atoms and vacancy clusters in magnesium alloys	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 118805 ~ 118805
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2023.118805	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 Xie D., Li Z.H., Sasaki T.T., Gao Y.F., Lyu Z.Y., Feng R., Chen Y., An K., Chew H.B., Nakata T., Kamado S., Hono K., Liaw P.K.	4. 巻 251
2. 論文標題 Identifying the effect of coherent precipitates on the deformation mechanisms by in situ neutron diffraction in an extruded magnesium alloy under low-cycle fatigue conditions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 118903 ~ 118903
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2023.118903	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 Bhattacharyya J.J., Sasaki T.T., Nakata T., Agnew S.R.	4. 巻 233
2. 論文標題 Why rolled Mg-Al-Ca-Mn alloys are less responsive to aging as compared to the extruded	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 115513 ~ 115513
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2023.115513	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 Li Z.H., Cheng D., Wang K., Hoglund E.R., Howe J.M., Zhou B.C., Sasaki T.T., Ohkubo T., Hono K.	4. 巻 257
2. 論文標題 Revisited precipitation process in dilute Mg-Ca-Zn alloys	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 119072 ~ 119072
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2023.119072	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 Sasaki T. T., Sepehri-Amin H., Uzuhashi J., Ohkubo T., Hono K.	4. 巻 47
2. 論文標題 Complementary and correlative (S)TEM/APT analysis of functional and structural alloys	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 MRS Bulletin	6. 最初と最後の頁 688 ~ 695
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1557/s43577-022-00374-7	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 Li Z.H., Gao S., Sasaki T.T., Nakata T., Kamado S., Tsuji N., Hono K.	4. 巻 221
2. 論文標題 Discontinuous yielding phenomena triggered by Zn addition in low-alloyed Mg-Al-Ca-Mn alloys	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 114967 ~ 114967
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2022.114967	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 Sasaki T.T., Lin J.Y., Yi P., Li Z.H., Prameela S.E., Park A., Lipkin E., Lee A., Falk M.L., Weihs T.P., Hono K.	4. 巻 220
2. 論文標題 Deformation induced solute segregation and G.P. zone formation in Mg-Al and Mg-Zn binary alloys	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 114924 ~ 114924
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2022.114924	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 Nakata T., Li Z.H., Sasaki T.T., Hono K., Kamado S.	4. 巻 218
2. 論文標題 Role of grain boundary segregation on microstructural development in basal-textured Mg-Al-Zn alloy sheet	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 114828 ~ 114828
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2022.114828	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 Li Z.H., Sasaki T.T., Uedono A., Hono K.	4. 巻 216
2. 論文標題 Role of Zn on the rapid age-hardening in Mg-Ca-Zn alloys	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 114735 ~ 114735
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2022.114735	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 Suhas Eswarappa Prameela, Taisuke Sasaki, Peng Yi, Michael Falk, Kazuhiro Hono, Timothy P. Weihs	4. 巻 N/A
2. 論文標題 Unlocking the Strengthening Potential of Magnesium Alloys Using Deformation-Induced Clustering and Precipitation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Magnesium Technology 2022	6. 最初と最後の頁 5 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-92533-8	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 佐々木泰祐、埋橋淳、大久保忠勝、宝野和博	4. 巻 61
2. 論文標題 3次元アトムプローブ解析法の最近の進展	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 あたりあ	6. 最初と最後の頁 72 ~ 77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/materia.61.72	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 Sasaki T. T., Bian M.-Z., Li Z. H., Hono K.	4. 巻 73
2. 論文標題 Toward Development of Strong and Formable Magnesium Alloy Sheets with Bake-Hardenability	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JOM	6. 最初と最後の頁 1471-1483
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11837-021-04613-1	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 Li Z. H., Sasaki T. T., Cheng D., Wang K., Zhou B. C., Uedono A., Ohkubo T., Hono K.	4. 巻 N/A
2. 論文標題 Precipitation Behavior in Low-alloyed Mg-Ca-Zn Alloys	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Magnesium Technology 2023	6. 最初と最後の頁 35 ~ 37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-22645-8_8	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17件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 佐々木 泰祐
2. 発表標題 熱処理型展伸マグネシウム合金の開発
3. 学会等名 軽金属学会第145回秋期大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Sreenivas Raguraman, Zehao Li, Suhas Prameela, Vicente Munizaga, Taisuke Sasaki, Adam Griebel, Michael Falk, Timothy Weihs
2. 発表標題 Leveraging Plastic Deformation to Optimize Solute Clustering and Intermetallic Nucleation in Magnesium Alloys for Biodegradable Implant Applications
3. 学会等名 TMS 2024 Annual Meeting & Exhibition (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Suhas Eswarappa Prameela, Christopher Walker, Christopher DiMarco, Debjoy Mallick, Xingsheng Sun, Taisuke Sasaki, Justin Wilkerson, KT Ramesh, George Pharr, Timothy Weihs
2. 発表標題 Rapid quantification of dynamic and spall strength of metals across strain rates
3. 学会等名 TMS 2024 Annual Meeting & Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Luo Xuan, 佐々木 泰祐, 中田 大貴, IMIELA Marc, KLAUMUENZER David, 鎌土 重晴, 宝野 和博
2. 発表標題 熱処理型マグネシウム合金の成形性に及ぼすG.P.ゾーン分散の影響
3. 学会等名 軽金属学会 第143回秋期大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Luo Xuan, 佐々木 泰祐, Li Zehao, 宝野 和博
2. 発表標題 Unexpected strengthening effect by basal plate precipitates in Mg-Ca-Zn alloys
3. 学会等名 日本金属学会 2022年秋期 第171回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zehao Li, Taisuke Sasaki, Akira Uedono, Tadakatsu Ohkubo, Kazuhiro Hono
2. 発表標題 Precipitation behavior in low-alloyed Mg-Ca-Zn alloys
3. 学会等名 TMS2023 152nd Annual Meeting & Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T.T. Sasaki, J.Y. Lin, P. Yi, Z.H. Li, S.E. Prameela, A. Park, E. Lipkin, A. Lee, M.L. Falk, T.P. Weihs, K. Hono
2. 発表標題 Deformation induced G.P. zone formation in magnesium alloys
3. 学会等名 TMS2023 152nd Annual Meeting & Exhibition (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Luo Xuan, 佐々木泰祐, Li Zehao, 中田大貴, 鎌土重晴, 宝野和博
2. 発表標題 Role of Al and Mn on the microstructure and mechanical properties in Mg-Zn-Ca-Al-Mn sheet alloys
3. 学会等名 日本金属学会 2022年春期第170回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Li Zehao, 佐々木泰祐, Luo Xuan, 中田大貴, 鎌土重晴, 宝野和博
2. 発表標題 Development of bake-hardenable Mg-Al-Ca-Mn-Ce concentrated alloy sheets with good room temperature formability
3. 学会等名 日本金属学会 2022年春期第170回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐々木泰祐, Bian Ming-Zhe, Li Zehao, 宝野和博
2. 発表標題 高強度高成形性熱処理型マグネシウム合金板材の開発
3. 学会等名 日本金属学会 2022年春期第170回講演大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐々木泰祐
2. 発表標題 3DAP/TEM/SEMを用いた金属材料の特性発現メカニズムの解明
3. 学会等名 日本金属学会 2022年春期第170回講演大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Suhas Eswarappa Prameela, Taisuke Sasaki, Yi Peng, Michael Falk, Timothy Weihs
2. 発表標題 Unlocking the Strengthening Potential of Magnesium Alloys Using Deformation-induced Clustering and Precipitation
3. 学会等名 TMS2022 Annual Meeting & Exhibition (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐々木泰祐, 大久保忠勝, 宝野和博
2. 発表標題 3DAP/TEM 同一視野解析を用いた金属材料のひずみ時効メカニズムの解明
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 第77回学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zehao Li, Taisuke Sasaki, Cheng Du, Wang Kang, Zhou Bi-Cheng, Hono Kazuhiro
2. 発表標題 On the precipitation evolution in a Mg-0.3Ca-0.6Zn alloy
3. 学会等名 Mg2021 12th International Conference on Magnesium Alloys and their Applications (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sasaki Taisuke, Bian Ming-Zhe, Li Zehao, Nakata Taiki, Kamado Shigeharu, Hono Kazuhiro
2. 発表標題 Strategies to achieve excellent room temperature formability and high strength in wrought magnesium alloy sheets
3. 学会等名 Mg2021 12th International Conference on Magnesium Alloys and their Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Li Zehao, Sasaki Taisuke, Uedono Akira, Kazuhiro Hono
2. 発表標題 Origin of the rapid age hardening and formation of the G.P. zones in Mg-Ca-Zn base alloys
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期(第169回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々木泰祐, 林哲宇, Prameera Suhas Eswarappa, Weihs Timothy, 宝野和博
2. 発表標題 Strain induced precipitation of G.P. zones in binary magnesium alloys
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期(第169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	塚田 祐貴 (TSUKADA Yuhki) (00620733)	名古屋大学・工学研究科・准教授 (13901)	
研究 分担者	B i a n M i n g z h e (BIAN Mingzhe) (30848320)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・材料・化学領域・研究員 (82626)	

	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 協力者	リ ゼハオ (LI Zehao)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・磁性・スピントロニクス材料研究センター・NIMSポスドク研究員 (82108)	微細組織解析

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	ルオ シュアン (LUO Xuan)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・磁性・スピントロニクス材料研究センター・NIMSポスドク研究員 (82108)	合金開発・微細組織解析
研究協力者	中田 大貴 (NAKATA Taiki) (80800573)	長岡技術科学大学・産学融合トップランナー養成センター・特任講師 (13102)	材料創製

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			
米国	Johns Hopkins University	University of Virginia	University of Tennessee	