

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月17日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21360348

研究課題名（和文）時効析出型高強度展伸用マグネシウム合金の開発

研究課題名（英文）Development of age-hardenable wrought magnesium alloys with high strength

研究代表者

大石 敬一郎 (OH-ISHI KEIICHIRO)

長岡技術科学大学・工学部・特任准教授

研究者番号：70294890

研究成果の概要（和文）：自動車用鋼板のような大型部材として用途のある展伸用 Mg 合金の開発を目指し、圧延・押出などの熱間加工後、時効処理により強化できるような時効硬化型 Mg 合金の研究を行った。時効析出型の Mg-Ca 合金は Al や In の微量添加により時効硬化性が改善される。Al 添加合金では底面上に GP ゾーンが形成され、In 添加合金では柱面上に板状析出物の形成が確認された。この柱面析出物は析出強化に有効に働くとされており、新しい時効硬化型マグネシウム合金開発に期待される。さらに、これらの結果に基づいて Mg-Al-Ca-Mn 合金の熱間押し材を作製し、400MPa を超える高い引張耐力を示す材料の開発に成功した。

研究成果の概要（英文）：In this work, the potential for development of high strength wrought Mg alloys with age-hardenability was studied to expand the use of Mg products in transportation field. The age-hardening response of Mg-Ca based alloys enhanced by the addition of Al and In. The Al added alloys form the monolayer G.P. zones on the basal planes, while the In added ones do the planar precipitates on the pyramidal planes. The pyramidal precipitates have been known to give effective precipitation hardening rather than the basal ones, so the knowledge obtained from the research of this alloy can be useful for development of new age-hardenable Mg alloy. Based on these results, we successfully achieved ultra-high strength extruded Mg-Al-Ca-Mn alloys with tensile proof stress of over 400 MPa.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
21年度	8,800,000	2,640,000	11,440,000
22年度	2,600,000	780,000	3,380,000
23年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
年度			
総計	14,000,000	4,200,000	18,200,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・構造・機能材料

キーワード：強度・靱性・破壊・疲労・クリープ・応力腐食割れ・超塑性・摩耗

1. 研究開始当初の背景

近年、地球温暖化が深刻な問題となっており、その原因とされる温室効果ガスの一つである CO₂ 削減が重要な課題である。多岐に渡る CO₂ 削減策の中で、自動車・飛行機などを

はじめとした輸送機器を軽量化することにより燃費を向上させることが有効な解決手段の一つである。それには輸送機器を構成する構造材料の一層の軽量化が不可欠であり、

アルミニウムを中心とした軽量構造材料の性能の飛躍的向上が望まれる。

マグネシウムは構造材料として用いられる元素の中で最も比重が小さく、高い比強度、優れた減衰能などの特長を有しており、鉄やアルミニウム合金の代替材料として検討されている。Mg合金の構造材料としての用途が拡大すれば、輸送機器全体の大幅な軽量化、つまり燃費向上が期待され輸送部門でのCO₂削減に効果がある。しかし、Mgはhcp構造であるために常温加工性に乏しく、展伸材料としての用途はMg全体のわずか7%に過ぎず、残りのMgはダイカストをはじめとした鑄造材料として利用されている。さらにMgは常温での強度、耐熱性に乏しいという欠点がある。Mg合金の部品拡大のためにはこれらの課題を克服し、自動車用鋼板のような大型部材として多くの構造用途のある展伸用Mg材料の開発が不可欠である。そのためには、Mg合金をAl合金のように圧延・押出し後、時効処理により強化できるような、時効硬化型Mg合金の開発が必要である。

現時点で、高強度マグネシウム合金として研究されているものは、Mg-RE(希土類元素：Gd, Nd, Ce, Laなど)系合金とMg-Zn-Y系合金である。希土類元素はMgに対して固溶度が大きく時効硬化性を示すため、高強度材料としても期待される。しかし、これらの合金系は高価な希土類元素を含み、価格の観点から広い構造用途のある展伸材として普及させるのは不可能である。

2. 研究の目的

本研究では高価な希土類元素を添加しない時効硬化型の展伸用マグネシウム合金を開発することを目的とする。具体的な数値目標として、0.2%耐力 350–400 MPa、最大引張強さ 400 MPa 以上、伸び 15–20%の実用性の高い展伸マグネシウム合金を開発することを目指す。

3. 研究の方法

本研究では時効析出型展伸材の開発を目指していることから、押出し・圧延などの加工プロセス時は良好な加工性を持ち、その後の時効処理により高強度化する特性が要求される。よって、溶体化後の硬度が60HV前後、時効により100HV以上の高い時効硬度が得られることを目標とし合金探索する。以下に、具体的な計画・方法を示す。

(1) Mgに対して大きな固溶限をもつ合金元素Zn, Sn, Al, Ca, Biをベース合金として、原子サイズや原子結合力などを考慮して合金元素を添加し、時効熱処理により100HV以上の高い時効硬度が得られる合金系を探索

する。

(2) 透過電子顕微鏡(TEM)、3次元アトムプローブ(3DAP)により析出組織の変化および析出物の形態・構造を原子レベルで解析することにより、マグネシウム合金における時効析出メカニズムを解明する。また、高い時効硬化性を示した合金の組織を析出物のサイズ・分布状態から定量的に評価し、マグネシウム合金の高強度化に効果的な組織因子を明らかにする。

(3) 著しい時効硬化を示した合金について大型の鑄塊を溶製し、熱間押出し・圧延により棒材・板材を作製し、引張・圧縮試験、疲労試験を行い、機械的性質を調べる。

(4) 走査型電子顕微鏡(SEM)や電子後方散乱回折(EBSD)を利用し、結晶粒径および集合組織を調べ、得られた強度・延性との相関を明らかにする。さらに、プロセス条件を変化させ、高強度・高延性マグネシウム合金を得るための加工熱処理プロセス最適化を図る。

4. 研究成果

(1) Mg-2.4at%Zn (Mg-6wt%Zn)合金にAgやCaを微量に添加することにより時効硬化性が著しく向上する。その時効特性に及ぼす微量添加元素の影響をTEMおよび3DAPにより解析した。Ca添加合金では時効硬さの最大値はCa無添加合金の2倍程度まで増加し、時効硬化が早い段階で起こることがわかった。3DAPによれば、時効初期においてZnとCaからなる溶質ゾーンの形成が確認された。したがって、この溶質ゾーンが時効の進行とともに形成される棒状 β_1' 中間相の核形成サイトとなり時効析出が促進されることが明らかとなった。一方、Ag添加合金ではTEM観察より時効強化相である棒状析出物の微細化と数密度の増加が確認された。Ag添加合金のピーク時効組織を3DAPで解析したところ、析出物においてAgの偏析が確認され、Ag添加が析出物の形成や母相との界面構造に関与することが明らかとなった。

(2) Mg-Ca合金やMg-RE合金はZnの微量添加によりMgの(0001)底面上に規則GPゾーンが形成され、時効硬化性が著しく改善されることが報告されている。この結果をもとに規則GPゾーンを形成し優れた時効硬化性を示す新たな合金系を探索した。Znの代わりにAlやインジウム(In)を添加したところ時効硬化性が改善され、特にIn添加合金において高いピーク硬さが得られた。TEMや3DAPにより組織解析したところ、Mg-Ca-Al合金ではZn添加合金と同様にMgの底面に沿った規則GPゾーンが観察され、一方、In添加合金ではMgの{10-10}柱面に平行な板状析出物の形

成を確認した。格子像観察および3DAP実験により、その柱面上の板状析出物はCaとInの濃度が高く、なおかつ3層の{10-10}面から構成されることがわかった。ここでIn添加合金とAl(あるいはZn)添加合金との析出形態の違いは構成元素の組み合わせに関係があると考えられる。Mg-Ca-Al合金ではCaはMgの原子サイズより大きい、AlはMgより小さいため、CaとAlの組合せにより格子ミスフィットを効果的に抑えている。一方、Mg-Ca-In合金ではInとCaのいずれの溶質元素もMgの原子サイズよりも大きいため、母相と析出物との間には大きな格子ひずみが生じていることが予想される。この大きな格子ひずみ発生により板状析出物の晶壁面が底面から柱面に変化したと考えられる。さらにこの柱面に平行な板状析出物は底面上の析出物よりも析出強化に有効に働くことが報告されており、Mg-Ca-In合金がMg-Ca-Zn合金より高い時効硬化能を示すこととよく一致する。

(3) Mg-4Al-3Ca-0.4Mn(wt%)合金の連続铸造材を押し出し、室温での引張特性を調べたところ、0.2%耐力で410MPa、引張強さ420MPa、破断伸び5%という非常に優れた機械的特性を示すことを見出した。この強度は希土類元素を含まないMg合金の中では世界最高レベルである。そこで本合金の組織をTEMおよび3DAPで解析し、組織と機械的特性との相関を明らかにした。連続铸造された初期組織は約20 μ mの α -Mg相の結晶粒と微細なラメラ状の粒界析出物からなる。その合金の350°C押し出し材は約1 μ mの等軸再結晶粒領域と粗大な未再結晶領域からなるバイモーダル組織を形成することがわかった。铸造時に存在する晶析物は押し出し中に球状化して微細に分散しており、押し出し中に形成される動的再結晶粒の粗大化を抑制するだけでなく、動的再結晶粒の核形成サイトとしても働くことが示唆された。一方、TEMで調べたところ未再結晶領域ではMgの底面に沿った数原子層の厚さを持つ微細な板状析出物、および数nmの球状析出物が観察された。さらにTEMと3DAPでナノ解析すると板状析出物はAl₂Ca相、球状析出物はAl₃Mn₅相と同定された。そのうち板状Al₂Ca相の存在が双晶の発生を抑制し動的再結晶を遅滞させることが明らかとなった。このように本合金で達成される400MPaを超える高い強度は結晶粒微細化強化、微細析出物の分散強化、強い集合組織による強化の複合強化によると考えられる。また、押し出し温度が上昇するにつれ再結晶粒径が若干大きくなり、再結晶率も増加し、ほぼ均一な微細粒組織が得られる。耐力は減少するが、それでも320MPa以上の強度を保持しており、伸びも10%まで増加した。

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21件)

- ① C.L. Mendis, K. Oh-ishi, T. Ohkubo, K. Hono, Effect of Li additions on the age hardening response and precipitate microstructures of Mg-2.4Zn-0.16Zr based alloys, 査読有, Mater. Sci. Eng. A, 2011. doi: 10.1016/j.msea.2011.12.051
- ② C.L. Mendis, K. Oh-ishi, K. Hono, Microalloying effect on the precipitation processes of Mg-Ca alloys, 査読有, Metall. Mater. Trans. A, 2011. doi 10.1007/s11661-011-1049-5
- ③ T. Homma, S. Nakawaki, K. Oh-ishi, K. Hono, S. Kamado, Unexpected influence of Mn addition on the creep property in a cast Mg-2Al-2Ca (mass%) alloy, 査読有, Acta Mater., 59, (2011), 7662-7672. Doi:10.1016/j.actamat.2011.08.049
- ④ S.W. Xu, K. Oh-ishi, S. Kamado, T. Homma, Twins, recrystallization and texture evolution of a Mg-5.99Zn-1.76Ca-0.35Mn (wt.%) alloy during indirect extrusion process, 査読有, Scripta Mater., 65, (2011), 875-878. Doi:10.1016/j.scriptamat.2011.07.053
- ⑤ S.W. Xu, K. Oh-ishi, S. Kamado, F. Uchida, T. Homma, K. Hono, High strength extruded Mg-Al-Ca-Mn alloy, 査読有, Scripta Mater., 65, (2011), 875-878. Doi:10.1016/j.scriptamat.2011.07.053
- ⑥ T.T. Sasaki, K. Oh-ishi, T. Ohkubo and K. Hono, Effect of double aging and microalloying on the age hardening behavior of a Mg-Sn-Zn alloy, 査読有, Mater. Sci. Eng. A, 530, 2011, 1-8. Doi:10.1016/j.msea.2010.05.010
- ⑦ T. Homma, S. Nakawaki, K. Oh-ishi, K. Hono, S. Kamado, Effect of Mn addition on creep property in Mg-2Al-2Ca systems, 査読無, Proc. Magnesium Technology 2011, TMS2011, 2011, 223-226.
- ⑧ J. Jayaraji, C.L. Mendis, T. Ohkubo, K. Oh-ishi, K. Hono, Precipitation hardenable Mg-Ca-Al alloys, 査読無, Proc. Magnesium Technology 2011, TMS2011, 2011, 245-248.
- ⑨ C.L. Mendis, J.H. Bae, N.J. Kim, K. Hono, Mechanical properties and microstructures of twin roll cast Mg-2.4Zn-0.1Ag-0.1Ca-0.1Zr alloy, 査読無, Proc. Magnesium Technology 2011, TMS2011, 2011, 261-266.
- ⑩ K. Oh-ishi, C.L. Mendis, T. Ohkubo, K. Hono, Effect of laser power and specimen

- temperature on atom probe analyses of magnesium alloys, 査読有, Ultramicroscopy, 111, (2011), 715-718.
Doi:10.1016/j.ultramicro.2011.01.002
- ⑪ C.L. Mendis, J.H. Bae, N.J. Kim, K. Hono, Microstructures and tensile properties of a twin roll cast and heat-treated Mg-2.4Zn-0.1Ag-0.1Ca-0.1Zr alloy, 査読有, Scripta Mater., 64, (2011), 335-338.
DOI: 10.1016/j.scriptamat.2010.10.031
- ⑫ C.L. Mendis, K. Oh-ishi, T. Ohkubo, K. Hono, Precipitation of prismatic plates in Mg-0.3Ca alloys with In additions, 査読有, Scripta Mater., 64, (2011), 137-140.
DOI: 10.1016/j.scriptamat.2010.09.028
- ⑬ 大石敬一郎, 宝野和博, 時効析出型展伸マグネシウム合金の可能性, 査読有, 金属, 80, (2010), 637-642.
- ⑭ K. Hono, C.L. Mendis, T.T. Sasaki, K. Oh-ishi, Towards the development of heat treatable high strength wrought Mg alloys, 査読有, Scripta Mater., 63, (2010), 710-715.
DOI: 10.1016/j.scriptamat.2010.01.038
- ⑮ J. Jayaraj, C. L. Mendis, T. Ohkubo, K. Oh-ishi, K. Hono, Enhanced precipitation hardening of Mg-Ca alloy by Al addition, 査読有, Scripta Mater., 63, (2010), 831-834.
DOI: 10.1016/j.scriptamat.2010.06.028
- ⑯ C.L. Mendis, K. Oh-ishi, K. Hono, Effect of Al additions on the age hardening response of a Mg-2.4Zn-0.1Ag-0.1Ca (at.%) alloy – TEM and 3DAP study, 査読有, Mater. Sci. Eng. A, 527, (2010), 973-980.
DOI: 10.1016/j.msea.2009.09.015
- ⑰ K. Oh-ishi, C.L. Mendis, R. Watanabe, K. Hono, Influence of Zn additions on age hardening response and microstructure of Mg-0.3 at.% Ca alloys, 査読無, Proc. Magnesium Technology 2010, 2010, 517-520.
- ⑱ K. Oh-ishi, C.L. Mendis, T. Homma, S. Kamado, T. Ohkubo, K. Hono, Bimodally grained microstructure development during hot extrusion of Mg-2.4Zn-0.1Ag-0.1Ca-0.16Zr (at.%) alloys, 査読有, Acta Mater., 57, (2009), 5593-5604.
DOI: 10.1016/j.actamat.2009.07.057
- ⑲ K. Oh-ishi, R. Watanabe, C.L. Mendis, K. Hono, Age hardening response of Mg-0.3at.%Ca alloys with different Zn content, 査読有, Mater. Sci. Eng. A, 526, (2009), 177-184.
DOI: 10.1016/j.msea.2009.07.027
- ⑳ C.L. Mendis, K. Oh-ishi, Y. Kawamura, T. Honma, S. Kamado, K. Hono, Development of a precipitation hardenable Mg-2.4Zn-0.1Ag-0.1Ca-0.16Zr (at%) wrought magnesium Alloy, 査読無, Proc. 8th International Conference on Magnesium Alloys and Their Applications, 2009, 81-88.
- 21 K. Oh-ishi, C.L. Mendis, K. Hono, T. Honma, S. Kamado, The mechanism of the bimodal grain microstructure formation of hot-extruded Mg-2.4Zn-0.1Ag-0.1Ca alloys, 査読無, Proc. 8th International Conference on Magnesium Alloys and Their Applications, 2009, 225-230.
- [学会発表] (計 39 件)
- ① K. Oh-ishi, S.W. Xu, T. Homma, S. Kamado, Microstructural variations of as-cast Mg-Al-Ca-Mn alloy by hot extrusion, The 1st International GIGAKU conference in Nagaoka (IGCN), 2012年2月3-5日, Nagaoka University of Technology, Nagaoka, Japan
- ② S. Kamado, S.W. Xu, K. Oh-ishi, T. Homma, K. Hono, Strengthening of Mg-Al-Ca-Mn alloy by hot extrusion, The 1st International GIGAKU conference in Nagaoka (IGCN), 2012年2月3-5日, Nagaoka University of Technology, Nagaoka, Japan
- ③ S.W. Xu, K. Oh-ishi, H. Takahashi, T. Homma, S. Kamado, Effect of deformation temperature on the microstructure and mechanical properties of high strength extruded Mg-Al-Ca-Mn alloy, The 1st International GIGAKU conference in Nagaoka (IGCN), 2012年2月3-5日, Nagaoka University of Technology, Nagaoka, Japan
- ④ 大石敬一郎, 徐世偉, 本間智之, 鎌土重晴, 高強度Mg-3.6 Al-3.3Ca-0.4Mn合金押出し材の微細組織, 軽金属学会第121回秋期講演大会, 2011年11月12-13日, 早稲田大学(東京都新宿区)
- ⑤ 徐世偉, 大石敬一郎, 鎌土重晴, 本間智之, 熱間圧延加工に伴うMg-Al-Ca-Mn合金の動的なマイクロ組織変化, 軽金属学会第121回秋期講演大会, 2011年11月12-13日, 早稲田大学(東京都新宿区)
- ⑥ 村山義幸, 宮下幸雄, 鎌土重晴, 本間智之, 徐世偉, 大石敬一郎, Mg-Al-Ca-Mn系合金押出し材の疲労特性, 軽金属学会第121回秋期講演大会, 2011年11月12-13日, 早稲田大学(東京都新宿区)
- ⑦ T. Bhattacharjee, C.L. Mendis, K. Oh-ishi, T. Ohkubo, K. Hono, Microstructural evolution of Mg-2.4Zn (at%) alloy with trace additions of Ag and Ca, 2011年日本金属学会秋期講演会, 2011年11月7-9日, 沖縄コンベンションセンター(沖縄県宜野湾市)
- ⑧ K. Hono, C.L. Mendis, K. Oh-ishi, T.

- Bhattacharjee, Enhancement of precipitation hardening of magnesium alloys by Microalloying, The 4th Asian Symposium on Magnesium Alloys (ASMA4) (招待講演), 2011年10月2-4日, Busan, Korea
- ⑨ K. Hono, C.L. Mendis, J. Jayaraji, K. Oh-ishi, T. Ohkubo, Enhancement of precipitation hardening of Mg-Ca alloys by Microalloying, European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes (EUROMAT) 2011, 2011年9月12-15日, Montpellier, France
- ⑩ C.L. Mendis, J. Jayaraji, K. Oh-ishi, T. Ohkubo, K. Hono, Enhanced precipitation hardening of Mg-Ca based alloys through the formation of GP zones, 5th Inter. Light Metals Technology Conf. (LMT) 2011, 2011年7月19-22日, Luneburg, Germany
- ⑪ 本間智之, 大石敬一郎, 鎌土重晴, 宝野和博, 耐熱Mg-Al-Ca合金におけるMn添加のイントリンシック挙動, 軽金属学会第120回春期大会, 2011年5月21-22日, 名古屋大学(愛知県名古屋市)
- ⑫ 鎌土重晴, 徐世偉, 大石敬一郎, 本間智之, 宝野和博, Mg-Al-Ca-Mn系汎用合金の押し出し加工中の動的組織変化を利用した超高強度化, 軽金属学会第120回春期大会, 2011年5月21-22日, 名古屋大学(愛知県名古屋市)
- ⑬ C.L. Mendis, K. Oh-ishi, T. Ohkubo, K. Hono, Precipitation of prismatic plates in Mg-0.3Ca-(0.3-1)In (at%) alloys, Symposium on Approaches for Investigating Phase Transformations at the Atomic Scale, 140th Annual Meeting & Exhibition, TMS2011, February 27-March 3, 2011, San Diego, USA
- ⑭ C.L. Mendis, J.H. Bae, N.J. Kim, K. Hono, Mechanical properties and microstructures of twin roll cast Mg-2.4Zn-0.1Ag-0.1Ca-0.1Zr alloy, Magnesium Technology 2011, 140th Annual Meeting & Exhibition, TMS2011, February 27-March 3, 2011, San Diego, USA
- ⑮ J. Jayaraji, C.L. Mendis, T. Ohkubo, K. Oh-ishi, K. Hono, Precipitation hardenable Mg-Ca-Al alloys, Magnesium Technology 2011, 140th Annual Meeting & Exhibition, TMS2011, February 27-March 3, 2011, San Diego, USA
- ⑯ T. Homma, S. Nakawaki, K. Oh-ishi, K. Hono, S. Kamado, Effect of Mn addition on creep property in Mg-2Al-2Ca systems, Magnesium Technology 2011, 140th Annual Meeting & Exhibition, TMS2011, February 27-March 3, 2011, San Diego, USA
- ⑰ C.L. Mendis, 大石敬一郎, J.H. Bae, N.J. Kim, 宝野和博, 双ロールキャストで作製された高強度 Mg-2.4Zn-0.1Ag-0.1Ca-0.16Zr(at%)合金の微細組織, 軽金属学会 2010 年秋期大会, 2010 年 11 月 13-14 日, 長岡技術科学大学(新潟県長岡市)
- ⑱ 大石敬一郎, C.L. Mendis, 大久保忠勝, 宝野和博, Mg-2.4at%Zn 合金の時効硬化性改善に及ぼすマイクロロイングの効果, 軽金属学会 2010 年秋期大会, 2010 年 11 月 13-14 日, 長岡技術科学大学(新潟県長岡市)
- ⑲ 黒田瞬, 本間智之, 鎌土重晴, 大石敬一郎, 宝野和博, 高温高速押し出し加工による Mg-Zn-Ca-Mn 合金の高強度化, 軽金属学会 2010 年秋期大会, 2010 年 11 月 13-14 日, 長岡技術科学大学(新潟県長岡市)
- ⑳ J. Jayaraj, C.L. Mendis, T. Ohkubo, K. Oh-ishi, K. Hono, Enhanced precipitation hardening of Mg-Ca alloy by Al addition, 日本金属学会 2010 年秋期大会, 2010 年 9 月 25-27 日, 北海道大学(北海道札幌市)
- 21 C.L. Mendis, K. Oh-ishi, T. Ohkubo, K. Hono, Effect of In additions on the age hardening response and microstructures of Mg-0.3Ca (at%) alloys, 日本金属学会 2010 年秋期大会, 2010 年 9 月 25-27 日, 北海道大学(北海道札幌市)
- 22 C.L. Mendis, J.H. Bae, N.J. Kim, K. Hono, Mechanical properties and microstructures of twin roll cast Mg-2.4Zn-0.1Ag-0.1Ca-0.16Zr alloy, 日本金属学会 2010 年秋期大会, 2010 年 9 月 25-27 日, 北海道大学(北海道札幌市)
- 23 大石敬一郎, C.L. Mendis, 大久保忠勝, 宝野和博, Mg-2.4at%Zn 合金の時効硬化性に及ぼす微量添加元素の効果, 日本金属学会 2010 年秋期大会, 2010 年 9 月 25-27 日, 北海道大学(北海道札幌市)
- 24 K. Hono, K. Oh-ishi, C. L. Mendis, and T. Ohkubo, Advances in laser assisted 3D atom probe and its applications to light metals, The 12th International Conference on Aluminium Alloys, September 5-9, 2010, Yokohama, Japan
- 25 K. Oh-ishi, C. L. Mendis, T. Ohkubo, K. Hono, Quantitative atom probe analyses of magnesium alloys, 52nd International Field Emission Symposium (IFES2010), 5-8 July, 2010, Sydney, Australia
- 26 黒田瞬, 日南田純平, 本間智之, 鎌土重晴, 大石敬一郎, 宝野和博, Mg-Zn-Ca-Mn 合金押し出し材のミクロ組織と機械的性質に及ぼす Mn 添加の影響, 軽金属学会 2010 年春期大会, 2010 年 5 月 22-23 日, 関

- 西大学(大阪府吹田市)
- 27 大石敬一郎, C.L. Mendis, 渡辺竜一, 宝野和博, Ag 添加 AZ91 マグネシウム合金の時効硬化性と微細組織, 日本金属学会 2010 春期大会, 2010 年 3 月 28-30 日, 筑波大学 (茨城県つくば市)
- 28 C.L. Mendis, K. Oh-ishi, K. S. Shin, K. Hono, Mechanical properties and microstructures of extruded Mg-6Zn-1Si-Mn alloys with and without Ca, 日本金属学会 2010 春期大会, 2010 年 3 月 28-30 日, 筑波大学 (茨城県つくば市)
- 29 本間智之, 中脇春介, 鎌土重晴, 大石敬一郎, 宝野和博, Mg-Al-Ca 系合金のクリープ特性に及ぼす Mn 添加の効果, 日本金属学会 2010 春期大会, 2010 年 3 月 28-30 日, 筑波大学 (茨城県つくば市)
- 30 K. Oh-ishi, C.L. Mendis, R. Watanabe, K. Hono, Influence of Zn additions on age hardening response and microstructure of Mg-0.3 at.% Ca alloys, Magnesium Technology 2010, TMS2010, February 14-19, 2010, Washington State Convention & Trade Center, Seattle, USA
- 31 大石敬一郎, 渡辺竜一, C.L. Mendis, 宝野和博, 合金元素を微量添加した AZ91 マグネシウム合金の時効硬化性と微細組織, 軽金属学会第 117 回秋期講演大会, 2009 年 11 月 14-15 日, 電気通信大学 (東京都調布市)
- 32 本間智之, 中脇春介, 鎌土重晴, 大石敬一郎, 宝野和博, Mg-2Al-2Ca 合金鑄造材の Mn 添加による微細組織変化, 軽金属学会第 117 回秋期講演大会, 2009 年 11 月 14-15 日, 電気通信大学 (東京都調布市)
- 33 春原宏樹, 平渡末二, 本間智之, 鎌土重晴, 小島陽, 大石敬一郎, 宝野和博, Mg-Zn-Ca-Mn 合金押出し材の高温機械的性質に及ぼす Zn+Ca 添加量の影響, 軽金属学会第 117 回秋期講演大会, 2009 年 11 月 14-15 日, 電気通信大学 (東京都調布市)
- 34 平井一樹, 山本健介, 丁漢林, 本間智之, 鎌土重晴, 小島陽, 大石敬一郎, 宝野和博, Mg-0.6Zn-0.3Ca-Mn(mol%)合金の熱間圧延条件の最適化, 軽金属学会第 117 回秋期講演大会, 2009 年 11 月 14-15 日, 電気通信大学 (東京都調布市)
- 35 C. L. Mendis, K. Oh-ishi, Y. Kawamura, T. Honma, S. Kamado, K. Hono, Development of a precipitation hardenable Mg-2.4Zn-0.1Ag-0.1Ca-0.16Zr (at%) wrought magnesium alloy, 8th Inter. Conf. on Magnesium Alloys and their Applications, October 26-29, 2009, Congress centrum neue weimarhalle, Weimar, Germany
- 36 K. Oh-ishi, C.L. Mendis, R. Watanabe, K. Hono, Microstructure and age -hardening response of Mg-0.3Ca-xZn alloys (x=0, 0.3, 0.6, 1.0, 1.6 in at.%), 8th Inter. Conf. on Magnesium Alloys and their Applications, October 26-29, 2009, Congress centrum neue weimarhalle, Weimar, Germany
- 37 K. Oh-ishi, C.L. Mendis, T. Homma, S. Kamado, K. Hono, The mechanism of the bimodal grain microstructure formation of hot-extruded Mg-2.4Zn-0.1Ag-0.1Ca alloys, 8th Inter. Conf. on Magnesium Alloys and their Applications, October 26-29, 2009, Congress centrum neue weimarhalle, Weimar, Germany
- 38 C.L. Mendis, K. Oh-ishi, K. Hono, Effect of Li additions on the age hardening response of Mg-2.4Zn-0.2Zr, 日本金属学会 2009 秋期大会, 2009 年 9 月 15-17 日, 京都大学 (京都府京都市)
- 39 大石敬一郎, C.L. Mendis, 大久保忠勝, 宝野和博, Mg-2.3at%Zn 合金の時効硬化性と微細組織に及ぼす Ca 添加の効果, 日本金属学会 2009 秋期大会, 2009 年 9 月 15-17 日, 京都大学 (京都府京都市)
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
大石 敬一郎 (OH-ISHI, KEIICHIRO)
長岡技術科学大学・工学部・特任准教授
研究者番号: 70294890
- (2) 研究分担者
宝野 和博 (HONO KAZUHIRO)
独立行政法人物質・材料研究機構・磁性材料ユニット・フェロー
研究者番号: 60229151
- メンデイス チャミニ (MENDIS CHAMINI)
独立行政法人物質・材料研究機構・磁性材料ユニット・NIMS ポスドク研究員
研究者番号: 60536704
- 鎌土 重晴 (KAMADO SHIGEHARU)
長岡技術科学大学・工学部・教授
研究者番号: 30152846
- 本間 智之 (HOMMA TOMOYUKI)
長岡技術科学大学・工学部・助教
研究者番号: 50452082