

令和 6 年 6 月 23 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01669

研究課題名（和文）整合析出物を利用したマグネシウム合金高速押出し材の組織制御への挑戦

研究課題名（英文）Challenges for the microstructure control in high-speed extruded magnesium alloys using coherent precipitates

研究代表者

中田 大貴（Nakata, Taiki）

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

研究者番号：80800573

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,000,000円

研究成果の概要（和文）：展伸用Mg-3Al-0.4Mn(mass%)合金へのカルシウム添加により、高速押出後でも微細な結晶組織を維持し、優れた強度特性を発現する材料を提案した。Mg-3Al-0.8Ca-0.4Mn(mass%)合金は、押出速度を2.4 m/minから6.0 m/minに増加させても、結晶粒径がほとんど粗大化せず、引張耐力は280 MPaを示した。さらに、圧縮耐力は210 MPaに達し、カルシウムを含まない合金と比較して2倍以上の値を示した。カルシウム添加に伴う微細結晶組織の形成には、熱的に安定なAl₂Ca相の分散が重要となることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

既存の押出用マグネシウム合金は、成形加工性と強度特性を両立しないことが実用化の妨げとなっていた。例えば、生産性を高めることを目的として、押出加工を高速化すると、結晶粒が顕著に粗大化し、構造部材として必要な強度特性を担保することができなかった。特に、圧縮耐力の低下は顕著であり、強度異方性の改善も必須とされていた。本研究では、高速押出加工後でも、極めて優れた強度特性を維持する材料開発に成功した。その強度・延性バランスは、既存の高速押出用・中強度6N01や7N01合金に匹敵することから、本研究成果は、マグネシウム合金を利用した輸送機器の軽量化に重要な役割を果たすことが期待される。

研究成果の概要（英文）：We investigated the effect of Ca addition on microstructure and mechanical properties of extruded Mg-3Al-0.4Mn (mass%) alloy, and we proposed a novel material, which had fine grain structures and high strengths even after high-speed extrusion. A Ca-containing Mg-3Al-0.8Ca-0.4Mn (mass%) alloy kept fine grain structures even when the extrusion speed was increased from 2.4 m/min to 6.0 m/min. The fine grain structures brought about a high tensile proof stress of 280 MPa. Furthermore, the compressive proof stress was 210 MPa, which was two times larger than that of the Mg-3Al-0.4Mn alloy. The dispersion of heat-resistant Al₂Ca particles was a key factor for the formation of the fine grain structures by the Ca addition.

研究分野：材料加工、組織制御

キーワード：マグネシウム合金 押出加工 結晶組織 機械的性質 強度異方性 粒界ピーニング

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

マグネシウム合金は、構造用金属材料の中で最も軽いことから、輸送機器の構造部材として使用することで車体重量を大幅に低減でき、燃費向上につながる。また、近年普及が進められている電気自動車やドローンも、車体重量低減による航続距離の増大が必要とされており、マグネシウム合金の利活用が求められている。本研究では、マグネシウム押出材開発に注目した。

マグネシウム押出材の課題として、機械的性質と押出性の両立が困難であることが挙げられる。例えば、一般的な押出用マグネシウム合金である AZ80 (Mg-3Al-1Zn, mass%) 合金の引張耐力は 200 MPa であるものの、押出可能な最大速度が ~3 m/min とされており、高コスト化要因となる。対して、AZ31 (Mg-3Al-1Zn, mass%) 合金は、より大きな速度でも押出可能であるものの、合金元素添加量が少ないため、引張耐力は 150 MPa 程度と低強度である。特に、押出加工の高速化に伴い、結晶粒径が粗大しやすく、強度劣化が顕著になる。さらに、マグネシウム押出材には、強度異方性も生じる。例えば、押出方向に平行な応力負荷時の圧縮耐力は、同条件の引張耐力の 2/3~1/2 程度しかなく、輸送機器の構造部材としては使い難いことから、マグネシウム押出材の普及は全く進んでいなかった。

2. 研究の目的

コスト面も考慮したマグネシウム押出材の高性能化には、押出加工を高速化しても結晶粒が粗大化し難いことが求められる。結晶粒の粗大化を抑制する方法としては、析出物による粒界ピン止めが有効であることから、耐熱性が高いと考えられる析出物を含む合金を設計し、押出材の機械的性質や微細組織に及ぼす合金組成・プロセスの影響を調べることを目的とした。

3. 研究の方法

連続鋳造により作製した Mg-3Al-0.4Mn および Mg-3Al-0.8Ca-0.4Mn (mass%, 以下、AM30 および AXM310) 合金を使用し、押出加工を行った。押出加工には、押出比 40 の矩形ダイスを用いて、出口速度を 2.4 m/min (低速) もしくは 6.0 m/min (高速) とした。押出温度は 400 °C とした。押出材の機械的性質は、引張試験および圧縮試験により評価した。荷重負荷方向は押出方向 (extrusion direction; ED) とし、試験温度は室温、初期ひずみ速度は 10^{-3} /s とした。微細組織観察には、走査電子顕微鏡 (scanning electron microscopy; SEM)、エネルギー分散型分光 (energy dispersed spectroscopy; EDS) および電子線後方散乱回折 (electron backscattered diffraction; EBSD) を用いた。

4. 研究成果

図 1 に、押出まま材の (a, b) 引張応力-ひずみ曲線および (c, d) 圧縮応力-ひずみ曲線を示す。低速で押出加工を行った場合には、カルシウム添加の有無にかかわらず、高い引張耐力を示す。低速押出加工後の AM30 合金の引張耐力は 230 MPa であった。また、圧縮耐力は、応力負荷方向に関係なく 160 MPa であり、引張耐力と比較して小さいものの、既存の AZ31 合金 (圧縮耐力: 100 MPa 以下) よりも優れた値を示すことがわかった。しかしながら、高速押出加工後には強度特性は低下した。引張耐力の低下は小さく、220 MPa と良好な値を維持したものの、圧縮耐力の低下は大きく ~100 MPa となった。また、破断伸びも低下も大きかった。

カルシウムを添加することで、強度特性は向上した。低速押出加工後の AXM310 合金の引張耐力は 290 MPa に達し、圧縮耐力も 210 MPa となり、同条件で押出した AM30 合金と比べて、50~60 MPa もの耐力増加を示した。カルシウム添加によるさらにユニークな点は、高速押出加工後でも高強度を維持した点である。押出速度が 2.5 倍になっても、引張耐力は 280 MPa であり、圧縮耐力も 210 MPa を維持することがわかった。また、AXM310 合金は、高強度だけでなく、良好な延性を示すこともわかった。この引張耐力-延性バランスは、中強度・高速押出用 6000 系アルミニウム合金 (6N01) や 7000 系アルミニウム合金 (7N01) に匹敵する数値である。

図 2 に、押出材の逆極点図マップを示す。高速押出加工後の AM30 合金を除いて、微細な再結晶組織と加工ひずみを含む未再結晶組織からなる混粒組織が形成した。低速押出加工後の AM30 合金の再結晶粒径は ~4 μm と微細であったが、高速押出加工後には結晶粒径が ~50 μm まで粗大化した。この結晶粒の顕著な粗大化により、圧縮耐力が大きく低下したものと考えられる。

カルシウム添加することで、結晶組織は微細化した。低速押出加工後の AXM310 合金の再結晶粒径は ~3 μm であり、同条件で押出した AM30 合金の 3/4 であった。このため、耐力が大きく向上したと考えられる。さらに、AXM310 合金では、高速押出加工後でも再結晶粒径が ~4 μm と微細であった。このため、AM30 合金とは異なり、高速押出加工後でも高性能を発現したと考えられる。

図 3 に、AXM310 押出材の透過二次電子像および EDS 元素マップを示す。結晶粒界近傍に、アルミニウムおよびカルシウムに富む析出物を形成していた。これは、 Al_2Ca 相が析出物として粒界ピン止め効果を発現したことを示唆している。高速押出加工を行うと、加工発熱が大きく、

析出物は固溶することが多いものの、 Al_2Ca 相は熱的安定性が高く、高速押出材の粒界ピン止め、およびそれに伴う結晶粒の微細化に有効であったと考えられる。このため、AXM310 合金は、高速押出後でも、極めて高い耐力を維持したと考えられる。

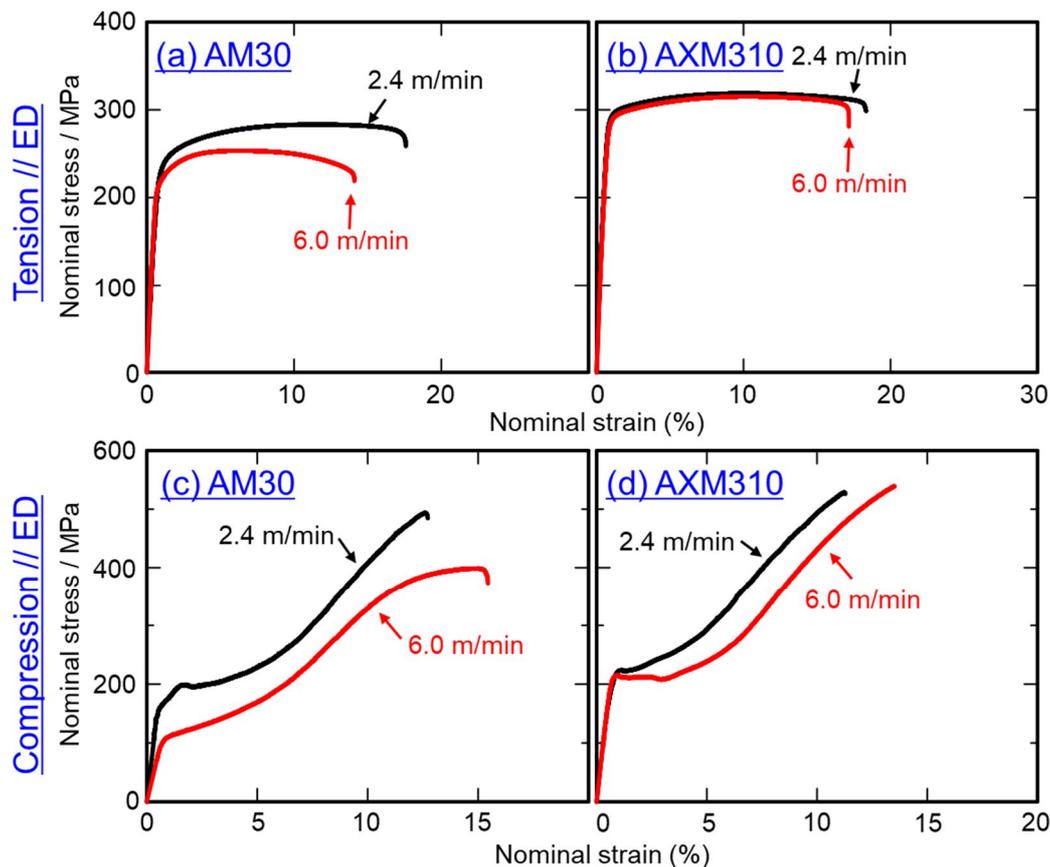


図1 AM30 および AXM310 合金押出まま材の(a,b)引張応力-ひずみ曲線および(c,d)圧縮応力-ひずみ曲線

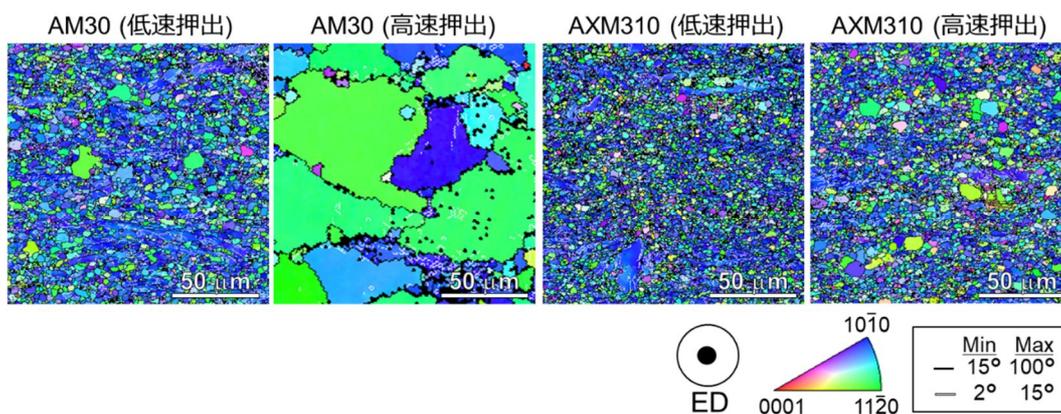


図2 AM30 および AXM310 合金押出まま材の逆極点図マップ

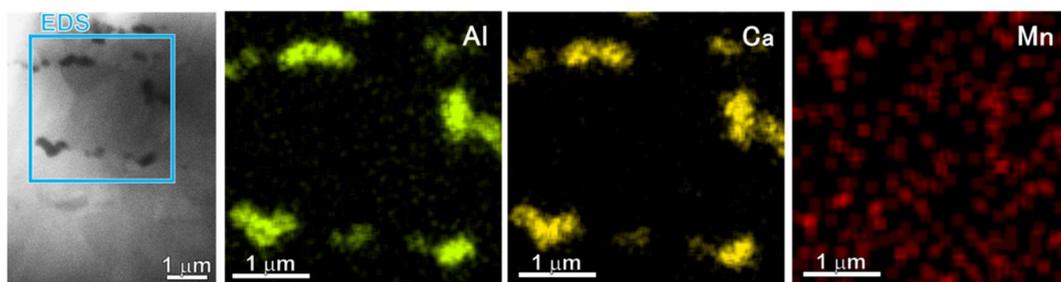


図3 高速で押出した AXM310 合金押出まま材の透過二次電子像と EDS 元素マップ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計30件（うち査読付論文 28件 / うち国際共著 19件 / うちオープンアクセス 7件）

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 J. Zuo, T. Nakata, C. Xu, Y.P. Xia, H.L. Shi, X.J. Wang, G.Z. Tang, W.M. Gan, E. Maawad, G.H. Fan, S. Kamado, L. Geng | 4. 巻 848 |
| 2. 論文標題 Effect of grain boundary segregation on microstructure and mechanical properties of ultra-fine grained Mg-Al-Ca-Mn alloy wires | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A | 6. 最初と最後の頁 143423 ~ 143423 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2022.143423 | 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 T. Nakata, Z.H. Li, T.T. Sasaki, K. Hono, S. Kamado | 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 T. Nakata, C. Xu, H. Yamato, L. Geng, S. Kamado | 4. 巻 191 |
| 2. 論文標題 Effect of microalloyed Al and Ca on mechanical properties and corrosion resistance of high-speed extruded Mg-2Zn-1Mn (mass%) alloy | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Materials Characterization | 6. 最初と最後の頁 112121 ~ 112121 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matchar.2022.112121 | 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 T. Nakata, T. Hama, K. Sugiya, S. Kamado | 4. 巻 852 |
| 2. 論文標題 Understanding room-temperature deformation behavior in a dilute Mg-1.52Zn-0.09Ca (mass%) alloy sheet with weak basal texture | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A | 6. 最初と最後の頁 143638 ~ 143638 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2022.143638 | 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 Zhao Yang, Gang Wang, Chao Xu, Miao Wang, Taiki Nakata, Hongyu Xu, Lin Geng, Shigeharu Kamado | 4. 巻 21 |
| 2. 論文標題 Synergistic effect of Mn+Sc additions on the microstructure evolution and mechanical properties of Mg-Gd-Y-Mn-Sc alloy | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Materials Research and Technology | 6. 最初と最後の頁 3756 ~ 3766 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmrt.2022.11.015 | 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 該当する |

| | |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名 Z.H. Li, S. Gao, T.T. Sasaki, T. Nakata, S. Kamado, N. Tsuji, K. Hono | 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 T. Nakata, C. Xu, L. Geng, S. Kamado | 4. 巻 928 |
| 2. 論文標題 Twinning-mediated texture weakening in a basal-textured Mg-6Al-1Zn (mass%) alloy sheet by a novel cold-sample rolling method | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds | 6. 最初と最後の頁 167154 ~ 167154 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2022.167154 | 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 Zhao Yang, Taiki Nakata, Chao Xu, Gang Wang, Lin Geng, Shigeharu Kamado | 4. 巻 934 |
| 2. 論文標題 Preparation of high-performance Mg-Gd-Y-Mn-Sc alloy by heat treatment and extrusion | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds | 6. 最初と最後の頁 167906 ~ 167906 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2022.167906 | 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 T. Nakata, S. Kanitani, Y. Matsumoto, M. Ogawa, K. Shimizu, S. Kamado | 4. 巻 27 |
| 2. 論文標題 Role of dynamic recrystallization and grain growth on the formation of abnormal basal texture in a high-alloyed Mg-Al-Zn extruded alloy | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Materialia | 6. 最初と最後の頁 101652 ~ 101652 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mtla.2022.101652 | 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 Takayuki Hama, Taiki Nakata, Koichi Higuchi, Hikaru Yoshida, Yuri Jono | 4. 巻 869 |
| 2. 論文標題 Plastic deformation behavior of a Mg-1.5Zn-0.1Ca (mass%) alloy sheet under different strain paths | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A | 6. 最初と最後の頁 144772 ~ 144772 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2023.144772 | 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 T. Nakata, T. Matsuno, R. Oki, S. Kamado | 4. 巻 938 |
| 2. 論文標題 Effect of micro-texture on tensile properties and room-temperature stretch formability of Mg-Al-Zn alloy sheet | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds | 6. 最初と最後の頁 168519 ~ 168519 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2022.168519 | 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 D. Xie, Z.H. Li, T.T. Sasaki, Y.F. Gao, Z.Y. Lyu, R. Feng, Y. Chen, K. An, H.B. Chew, T. Nakata, S. Kamado, K. Hono, P.K. Liaw | 4. 巻 254 |
| 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 中田大貴 | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 マグネシウム合金押出材の特性評価と今後の展望 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 車載テクノロジー | 6. 最初と最後の頁 61～64 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 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 清水和紀, 中田大貴, 鎌土重晴 | 4. 巻 92 |
| 2. 論文標題 高速押し出し型難燃性マグネシウム合金の開発と高速車両構体への適用 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 金属 | 6. 最初と最後の頁 569～574 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 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 T. Nakata, C. Xu, K. Sugiya, Y. Yoshida, K. Yoshida, L. Geng, S. Kamado | 4. 巻 840 |
| 2. 論文標題 Microtexture-induced anomalous anisotropic tensile behavior in Mg-Al-Zn alloy sheet | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A | 6. 最初と最後の頁 143002～143002 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2022.143002 | 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 Jin Zuo, Mingquan Zhang, Taiki Nakata, Guisong Wang, Danyang Li, Hailong Shi, Chao. Xu, Xiaojun Wan, Wenjun Li, Guohua Fan, Lin Geng, Shigeharu Kamado | 4. 巻 15 |
| 2. 論文標題 Effect of Al Addition on Grain Refinement and Phase Transformation of the Mg-Gd-Y-Zn-Mn Alloy Containing LPSO Phase | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Materials | 6. 最初と最後の頁 1632～1632 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma15051632 | 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 該当する |

| | |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名 Huafeng Liu, Jing Zuo, Taiki Nakata, Chao Xu, Guisong Wang, Hailong Shi, Guangze Tang, Xiaojun Wang, Shigeharu Kamado, Lin Geng | 4. 巻 15 |
| 2. 論文標題 Effects of La Addition on the Microstructure, Thermal Conductivity and Mechanical Properties of Mg-3Al-0.3Mn Alloys | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Materials | 6. 最初と最後の頁 1078 ~ 1078 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma15031078 | 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 該当する |

| | |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名 J. Zuo, T. Nakata, C. Xu, Y.P. Xia, H.L. Shi, G.S. Wang, G.Z. Tang, G.H. Fan, S. Kamado, L. Geng | 4. 巻 18 |
| 2. 論文標題 Effect of annealing on microstructure evolution and age-hardening behavior of dilute Mg-Al-Ca-Mn alloy | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Materials Research and Technology | 6. 最初と最後の頁 1754 ~ 1762 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmrt.2022.03.091 | 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 該当する |

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 T. Nakata, C. Xu, Y. Ito, S. Kamado | 4. 巻 833 |
| 2. 論文標題 Role of homogenization on tensile properties and microstructures in a dilute Mg-Zn-Ca-Mn alloy sheet | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A | 6. 最初と最後の頁 142541 ~ 142541 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2021.142541 | 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 T. Nakata, C. Xu, S. Kamado | 4. 巻 181 |
| 2. 論文標題 Formation of anomalous twinning and its effect on texture development in a cold-rolled Mg-Zn-Ca alloy sheet | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Materials Characterization | 6. 最初と最後の頁 111507 ~ 111507 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matchar.2021.111507 | 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 T. Nakata, C. Xu, K. Kaibe, Y. Yoshida, K. Yoshida, S. Kamado | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Improvement of strength and ductility synergy in a room-temperature stretch-formable Mg-Al-Mn alloy sheet by twin-roll casting and low-temperature annealing | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Magnesium and Alloys | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jma.2021.07.017 | 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 該当する |

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 T. Nakata, C. Xu, Nurul Aliea Syafiqah binti Osman, L. Geng, S. Kamado | 4. 巻 910 |
| 2. 論文標題 Development of corrosion-resistant Mg-Al-Ca-Mn-Zn alloy sheet with good tensile properties and stretch formability | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds | 6. 最初と最後の頁 164752 ~ 164752 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2022.164752 | 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., Ohkawa T., Kanitani S., Matsumoto Y., Ogawa M., Shimizu K., Kamado S. | 4. 巻 366 |
| 2. 論文標題 Significance of segregation on grain refinement and property improvement in extruded Mg-Al-Mn alloy with moderate Al content | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 Materials Letters | 6. 最初と最後の頁 136523 ~ 136523 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matlet.2024.136523 | 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 Yang Zhao, Xu Chao, Song Shengnan, Nakata Taiki, Kamado Shigeharu | 4. 巻 972 |
| 2. 論文標題 Influence of bimodal microstructure on strength and ductility of as-extruded Mg-Gd-Y-Zr alloy | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds | 6. 最初と最後の頁 172742 ~ 172742 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2023.172742 | 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., Oki R., Kanitani S., Matsumoto Y., Ogawa M., Shimizu K., Kamado S. | 4. 巻 968 |
| 2. 論文標題 New strategy to achieve fine recrystallized microstructure and strength-ductility synergy in extruded Mg-Al-Zn alloy | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds | 6. 最初と最後の頁 172003 ~ 172003 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2023.172003 | 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 Nakata T., Kamado S. | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 Towards tailoring basal texture of rolled Mg alloy sheet by recrystallization for high room-temperature formability: A review | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Magnesium and Alloys | 6. 最初と最後の頁 3992 ~ 4010 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jma.2023.08.006 | 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 Nakata T., Xu C., Geng L., Kamado S. | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 Origin of extension twinning-mediated static recrystallization and unique parallel alignment of (0001) poles to transverse direction in Mg-3Al-0.4Mn (mass%) alloy sheet | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Magnesium and Alloys | 6. 最初と最後の頁 3200 ~ 3213 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jma.2023.09.007 | 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 該当する |

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 Nakata T., Xu C., Abe R., Geng L., Kamado S. | 4. 巻 203 |
| 2. 論文標題 Unexpectedly formed strong basal texture in a rolled Mg-Zn-Ca-Mn alloy sheet | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Materials Characterization | 6. 最初と最後の頁 113101 ~ 113101 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matchar.2023.113101 | 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., Xu C., Geng L., Kamado S. | 4. 巻 234 |
| 2. 論文標題 Formation of unusual rolling texture in a Mg-Al-Mn alloy sheet by large-strain hot-rolling | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Scripta Materialia | 6. 最初と最後の頁 115558 ~ 115558 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2023.115558 | 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 |

〔学会発表〕 計22件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 3件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 庄内崇人, 中田大貴 |
| 2. 発表標題 Mg-Y-Zn 合金の圧縮特性および腐食特性に及ぼす LPSO 相体積分率の影響 |
| 3. 学会等名 第12回バイオマテリアル学会北陸信越ブロック若手研究発表会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 松原大和, 中田大貴, 鎌土重晴 |
| 2. 発表標題 Mg-Al-Mn合金押出材の引張および圧縮特性に及ぼすCa添加と押出速度の影響 |
| 3. 学会等名 日本金属学会・日本鉄鋼協会北陸信越支部令和5年度連合講演会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 大川卓己, 中田大貴, 鎌土重晴 |
| 2. 発表標題 均質化レス押出しによるMg-Al-Mn合金の高性能化 |
| 3. 学会等名 日本金属学会・日本鉄鋼協会北陸信越支部令和5年度連合講演会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 東海尚希, 中田大貴, 鎌土重晴 |
| 2. 発表標題 希薄Mg-Mn-Ca合金押出材の微細組織、腐食特性および引張特性に及ぼす添加元素量の影響 |
| 3. 学会等名 日本金属学会・日本鉄鋼協会北陸信越支部令和5年度連合講演会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 中田大貴 |
| 2. 発表標題 難燃性Mg合金の開発とMg合金のスポーツへの応用 |
| 3. 学会等名 KOSENフォーラム(招待講演) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 T. Nakata |
| 2. 発表標題 Heat-treatable Mg-Al-Ca-Mn alloy sheet with room-temperature formability |
| 3. 学会等名 3rd Indo-Japan Bilateral Symposium on Futuristic Materials and Manufacturing-Sustainable Development Goals(招待講演)(国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 内田陽良, 中田大貴, 鎌土重晴 |
| 2. 発表標題 時効硬化型Mg-Zn-Mn合金板材の微細組織および室温特性に及ぼす微量元素添加の影響 |
| 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 鳶田惇之介, 中田大貴, 鎌土重晴 |
| 2. 発表標題 Mg-Al-Mn合金板材の変形能に及ぼすスズ元素分布の影響 |
| 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 高頭拓也, 中田大貴, 鎌土重晴 |
| 2. 発表標題 優れた変形能を示す低異方性マグネシウム合金押出材の開発 |
| 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 海部圭吾, 中田大貴, 鎌土重晴 |
| 2. 発表標題 優れた引張特性, 室温成形性 および耐食性を有するMg-Al基合金の開発 |
| 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 小笹智也, 松本泰誠, 小川正芳, 清水和紀, 中田大貴, 鎌土重晴 |
| 2. 発表標題 カルシウム添加マグネシウム合金による自動車用構造部材の開発 |
| 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 Shao Xuanyi, 宮下幸雄, 中田大貴 |
| 2. 発表標題 Mg-Al-Ca-Mn系合金溶接材の疲労き裂発生挙動 |
| 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, 中田大貴, David Klaumunzer, 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及ばす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 阿部良哉, 中田大貴, 鎌土重晴 |
| 2. 発表標題 希薄Mg-Al-Zn-Ca-Mn合金圧延板材の微細組織および機械的性質の及ばすAlおよびZn添加量の影響 |
| 3. 学会等名 日本金属学会・日本鉄鋼協会北陸信越支部令和4年度連合講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 H. Sakata, T. Nagai, R. Sanada, K. Kikuchi, N. Aoyagi, T. Penafior, M. Inoue, T. Nakata |
| 2. 発表標題 Microstructures and Mechanical Properties of Biodegradable Magnesium-Titanium Bonding Materials by SPS |
| 3. 学会等名 6th STI-GIGAKU 2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 T. Nagai, N. Aoyagi, M. Inoue, T. Nakata, S. Kamado |
| 2. 発表標題 Microstructural characteristics of biodegradable Mg-Ti bonding materials for biomedical applications |
| 3. 学会等名 13th Biometal (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 坂田北登, 永井泰稀, Penafior Galindo Tania Guadalupe, 井上誠, 中田大貴, 鎌土重晴, 青柳成俊 |
| 2. 発表標題 生分解性マグネシウムをチタン表面に積層焼結した接合材の強度と腐食特性 |
| 3. 学会等名 日本材料学会第3回生体・医療材料部門委員会学生研究交流会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 菊池海斗, 中田大貴, 宮下幸雄, 鎌土重晴 |
| 2. 発表標題 Mg-Zn-Ca-Al-Mn合金圧延板材の微細組織および諸性質に及ぼす圧延条件の影響 |
| 3. 学会等名 軽金属学会第141回秋期大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 伊藤優輔, 中田大貴, 鎌土重晴 |
| 2. 発表標題 低濃度Mg-Zn-Ca-Mn合金圧延板材の引張特性に及ぼす均質化処理条件の影響 |
| 3. 学会等名 軽金属学会第141回秋期大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 海部圭吾, 中田大貴, 鎌土重晴, 吉田雄, 吉田克仁 |
| 2. 発表標題 Mg-Al-Mn合金圧延材の微細組織, 引張特性および室温張出し成形性に及ぼすアルミニウム添加量の影響 |
| 3. 学会等名 軽金属学会第141回秋期大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 清水和紀, 松本泰誠, 小川正芳, 中田大貴, 鎌土重晴 |
| 2. 発表標題 鉄道車両構造部材に使用する易加工性マグネシウム合金押出材の開発 |
| 3. 学会等名 軽金属学会第140回春期大会(招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 永井泰稀, 小野塚悠, 井上誠, 青柳成俊, 中田大貴, 鎌土重晴 |
| 2. 発表標題 生体医療用としての純チタン/マグネシウム焼結接合体の組織と界面強度 |
| 3. 学会等名 軽金属学会第140回春期大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究室ホームページ

<https://mcweb.nagaokaut.ac.jp/~mgcenter/>

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|