

令和 2 年 5 月 21 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04502

研究課題名(和文) 粒界性格と粒界偏析量を制御した双結晶作製手法の開発と粒界諸特性の解明

研究課題名(英文) Development of the bicrystal fabrication method which controlled grain boundary character and quantity of grain boundary segregation and elucidation of properties of grain boundaries

研究代表者

池田 賢一 (Ikeda, Ken-ichi)

北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号：20335996

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、粒界偏析・粒内固溶元素が個々の粒界の力学特性や再結晶挙動に与える影響を系統的に明らかにするために、新たな双結晶作製手法の開発と多結晶における粒界が関与する諸特性を評価し、以下の成果が得られた。

(1)ブリッジマン法に適した双結晶モールドを設計・製作し、純アルミニウムの双結晶作製に成功した。(2) Al-Mn合金の析出・再結晶挙動は、熱間加工プロセス温度と微量添加元素に強く影響を受けることを明らかにした。(3) Al-Mg-Si合金では、粒内固溶元素が関与する析出挙動において、粒界性格が影響を及ぼしてその力学特性が変化することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

実用金属材料は多結晶材料であり、多くの結晶粒界が内在する。本研究は、結晶粒界が関与する力学特性などの諸特性が個々の粒界性格に依存することを示した。得られた成果は、学術的のみならず、材料設計指針を検討する上で、粒界性格を考える必要があることを示した点で、社会的意義もある。特にアルミニウム合金の粒界特性を評価するための双結晶作製手法を確立した点は、今後の研究に活かせる成果である。また、自動車用構造部材として使用されるアルミニウム合金の時効熱処理に伴う力学特性の変化に、粒界性格が影響を及ぼすことを示したことは、粒界性格が材料設計に組み込むべきパラメータであることを示した点は特筆すべき成果である。

研究成果の概要(英文)：In this study, in order to clarify the influence of elements of grain boundary segregation and solid solution on the mechanical property and the recrystallization behavior of polycrystalline metals, the development of the bicrystal fabrication method and the elucidation of properties of grain boundaries were carried out. The main results are as follows.

(1) We designed the new mold suitable for Bridgman Method and succeeded in the fabrication of pure aluminum bicrystals. (2) The precipitation and recrystallization behavior of Al-Mn alloys were strongly affected by the temperature of hot working process and the additional elements. (3) In Al-Mg-Si alloys, the grain boundary character affects the aging precipitation behavior and the mechanical properties.

研究分野：材料組織学・材料強度学

キーワード：結晶粒界 結晶成長 再結晶 力学特性 表面・界面物性 局所力学挙動 粒界性格

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

多結晶材料の力学特性や電気特性などの構造・機能材料の諸特性は、材料中に含まれる各結晶の結晶方位分布や結晶粒径に強く依存する。すなわち、結晶粒間の界面である結晶粒界（以下、粒界と示す）の相対方位関係等で表される粒界性格や粒界密度が材料の特性に影響を及ぼすことになる。粒界の研究は1920年代から多くの研究者により幾何学理論や転位論を用いた粒界構造の研究が始まり、1960年代以降は、透過電子顕微鏡などの各種分析装置の開発・発展により多くの実験的な研究が行われるようになった。1990年以降から近年に至るまでに、国内で超微細結晶粒材料・バルクナノメタル研究分野が確立され、通常結晶粒材料とは異なる粒界が大いに関与する興味深い特性を有する材料の研究が行われてきた[1, 2]。このように粒界研究は、学術的・基礎的研究を中心に約100年にわたり精力的に行われてきた。しかし、金属材料の分野においては粒界特性に及ぼす粒界偏析の影響や塑性変形における粒界の役割（転位の発生源なのか消滅箇所なのか）など、未解明な点が多く残されたままである。他方、工業材料分野においても、1980年代初めには、『粒界工学：Grain Boundary Engineering』分野[3]が確立され、粒界性格を制御した多結晶実用材料において、高機能を有する材料を創製できることが明らかにされてきた。このように、『粒界』をキーワードした知見は現在においても学術的にも工業的にも重要である。

研究代表者らは、浮遊帯域溶融回転法により作製したMo対称傾角粒界を有する双結晶の粒界破壊強度の粒界性格依存性について検討した実績[4]があり、双結晶研究を進める情報を有している。また、電解コンデンサ用アルミニウム箔や自動車用アルミニウム合金の集合組織形成過程について、多結晶材料中の粒界性格分布や結晶方位分布を統計的に処理して検討を行ってきた[5, 6]。合金元素の添加は、多結晶材料中の個々の粒界の原子構造を変化させ、熱処理に伴う結晶粒成長挙動に影響を与えることが予想されるが、多結晶材料の統計的な情報では、十分には解明できない。そこで、材料の組織制御を行うためには、約100年にわたる粒界基礎研究のように個々の粒界の諸特性に及ぼす合金元素の影響を詳細に明らかにする必要がある。

<参考文献>

[1] 例えば X. Huang et al., *Science*, 312 (2006) 249-251

[2] 文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究『バルクナノメタル』ホームページ：  
<http://www.bnm.mtl.kyoto-u.ac.jp/index.html>

[3] 渡辺忠雄, 日本金属学会報, 22 (1983) 95-102, T. Watanabe, *J. Mater. Sci.*, 46 (2011) 4095-4115

[4] 池田賢一ら, 日本金属学会誌, 63 (1999) 179-186

[5] 池田賢一ら, 軽金属, 51 (2001) 119-124

[6] 池田賢一ら, 軽金属, 64 (2014) 353-360

## 2. 研究の目的

このような研究背景のもと、本研究では、粒界偏析元素や粒内固溶元素が個々の粒界の力学特性や再結晶挙動に与える影響を系統的に明らかにするために、研究代表者らがこれまでに培ってきた単結晶・双結晶作製手法と多結晶の諸特性評価手法を融合させ、以下の3点を研究目的として実施した。

- (1) **粒界性格と粒界偏析量等を制御した新規双結晶手法の確立**
- (2) **再結晶・粒成長の素過程である粒界移動挙動に与える固溶・偏析元素の影響の解明**
- (3) **粒界偏析元素、粒内固溶元素が粒界近傍の力学特性に及ぼす影響の解明**

## 3. 研究の方法

### (1) **粒界性格と粒界偏析量等を制御した新規双結晶手法の確立**

所属研究室所有のブリッジマン炉を用いて、グラファイト製の双結晶試料作製用モールドの設計・作製を実施した。設計したグラファイト製モールドを用いて純アルミニウムを試料とした双結晶の育成を行うために、「種結晶の作製方法」「種結晶と母材の接合条件」「成長速度」「温度分布」「方位制御の方法」を検討項目として、最適条件の探索を実施した。

### (2) **再結晶・粒成長の素過程である粒界移動挙動に与える固溶・偏析元素の影響の解明**

研究対象として主にAl-Mn合金を対象として、再結晶挙動に及ぼす固溶・偏析元素の影響について検討を実施した。1050アルミニウム合金相当の純アルミニウムに、1 mass%のMnを添加した合金鋳造材を出発材とした。以降、as-cast材と示す。as-cast材を熱間圧延終了温度が300°C、400°Cおよび500°Cとなるように熱間圧延を施した。圧下率は80%であり、以降、圧延温度の違いにより、それぞれHR300、HR400およびHR500と示す。各熱間圧延材を大気中で300°C、400°Cおよび500°Cで種々の時間（最長約1000ks）熱処理を施した。各試料の組織観察は、試料を切断し、機械研磨および電解研磨を施したTD面に対して、FE-SEM観察による反射電子像観察ならびにEBSDによる結晶方位解析を実施した。また、as-cast材、熱間圧延材および熱処理材の力学特性評価として、荷重0.5kgf、押し込み時間15sの条件でビッカース硬さ試験を実施した。

### (3) **粒界偏析元素、粒内固溶元素が粒界近傍の力学特性に及ぼす影響の解明**

熱処理型アルミニウム合金であるAl-Mg-Si合金圧延材を研究対象として、多結晶中に存在する粒界性格分布をFE-SEM/EBSDにより明らかにし、各結晶粒界近傍の時効熱処理に伴う力学特

性の評価を実施した。Al-Mg-Si 系合金 (Al-0.62Mg-0.34Si(mass%)) に 550°C-1 h の溶体化熱処理を施し、氷水焼き入れ後、オイルバスを用いて 180°C および 250°C の人工時効を施した。亜時効 (U) 段階で時効を中断した後、EBSD 解析により Brandon の条件で分類した粒界性格分布を確認して、粒界を横切るようにライン状にナノインデンテーション試験を実施した。インデント位置を結晶方位分布もしくは SEM/BSE 像の取得により確認した。その後、同温度による時効を追加して、ピーク時効 (P) 材を作製し、U 材と同一の粒界に対して、同様のナノインデンテーション試験を行った。各時効材との比較として、さらに無析出帯 (PFZ) の影響を調べるために管状電気炉による 350°C 長時間時効を実施した。350°C の過時効材を 350O と示す。この試料に対しても同様に EBSD 解析による粒界性格分布の評価とナノインデンテーション試験を実施した。一部の試料については、時効析出物およびその分布状態を明らかにするために、SEM/BSE による組織観察を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) 粒界性格と粒界偏析量を制御した新規双結晶手法の確立

本研究で設計・作製したブリッジマン炉用双結晶育成グラファイトモールドの各パーツおよび作製した純アルミニウム双結晶を種結晶とともに図 1 に示す。作製したパーツを組み上げて、ブリッジマン炉に設置して、図 1(c) に示すような片側の結晶が直径約 15 mm の純アルミニウムの双結晶を作製するための各種条件を検討した。このモールドでは、下部に任意の粒界性格を有するような 2 種類の単結晶を種結晶として配置させる必要がある。単結晶の作製には、単結晶育成用モールドを用いてブリッジマン炉により育成すること、溶解するための母材には先端をモールド形状に合うように加工しておくことがよい単結晶を作製する条件であることを明らかにした。次に、種結晶と母材の接合条件について、種々の温度条件を検討して評価した結果、炉内の温度を最高温度 800°C とすることでよい接合状態が得られることがわかった。このように、2 本の種結晶から方位を引き継がせる結晶成長条件を確立することができた。次のステップとして育成する 2 つの単結晶が任意の粒界性格を有する双結晶になるための条件を検討した。特に炉内の温度分布ならびに、炉の移動速度すなわち結晶成長速度について種々の条件を確認した。その結果、成長速度は 4~8 mm/h において育成できることが確認できた。しかし、全ての領域において双結晶となっている訳ではなく、三重結晶になっている箇所もあった。また、種結晶の方位から若干数度回転して成長していることも EBSD 解析により明らかになった。これは、種結晶の切断方法、炉への設置方法等が原因と考えられ、さらなる検討が必要であることがわかった。

このように本研究では、任意の粒界性格を有する双結晶育成手法を確立できたが、当初の目的としていた粒界偏析量を制御する手法までは検討することができなかった。今後は、アルミニウム合金への拡張を含め、諸特性を評価できる双結晶作製に取り組む予定である。

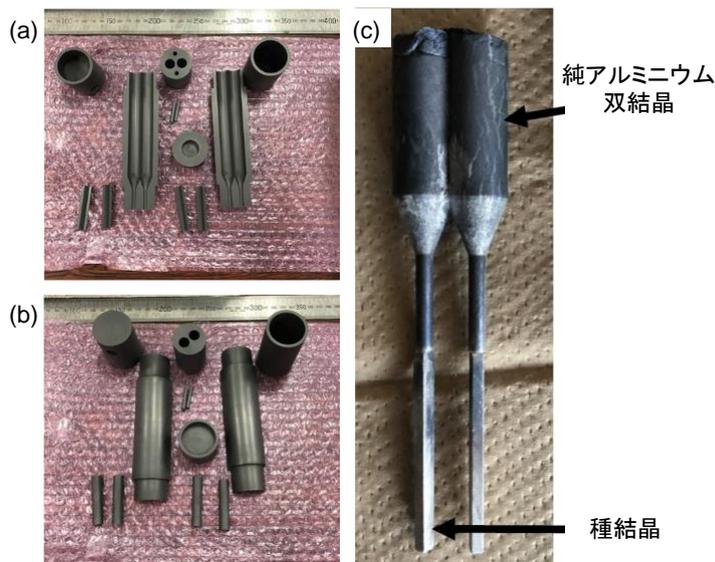


図 1 (a, b) 本研究で設計・作製したグラファイト双結晶育成モールド、(c) 本モールドを用いて育成した純アルミニウム双結晶

##### (2) 再結晶・粒成長の素過程である粒界移動挙動に与える固溶・偏析元素の影響の解明

図 2 は HR300、HR400 および HR500 熱間圧延材の結晶方位分布図である。標準ステレオ三角形に示したカラーキーに基づき、圧延面法線 (ND) 方向の結晶方位を示している。いずれも RD 方向に伸長した結晶粒で構成されており、熱間圧延温度が高いほど、ND 方向の結晶粒幅が大きいことがわかった。また、いずれもアルミニウム合金の典型的な圧延集合組織が形成されていた。各熱間圧延材の結晶粒内の SEM/BSE 像を図 3 に示す。いずれも明るいコントラストで RD 方向に沿って並んでいる晶出物が確認された。また、直径数  $\mu\text{m}$  の等軸状のチャネリングコントラストで示される亜結晶粒が観察された。HR400 では、亜結晶粒界上に粒状の析出物が存在していることが確認できた。一方、HR500 では、亜結晶粒の大きさが HR400 よりも大きく、析出物は亜結晶粒内にも確認された。ビッカース硬さは、HR300 が 65.4、HR400 が 59.5、HR500 が 47.4 だった。以上の結果より、as-cast 材の熱間圧延により、加工組織が形成され、圧延温度によって動的回復組織が異なることが明らかになった。また、熱間圧延温度が 400°C 以上になると、亜結晶粒内に微細析出粒子が存在することがわかった。

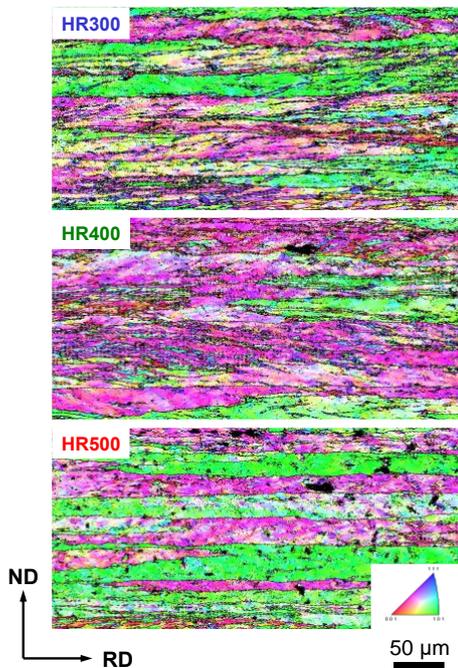


図2 HR300、HR400 および HR500 の TD 面における結晶方位分布。結晶方位は ND 面の方位で示している。

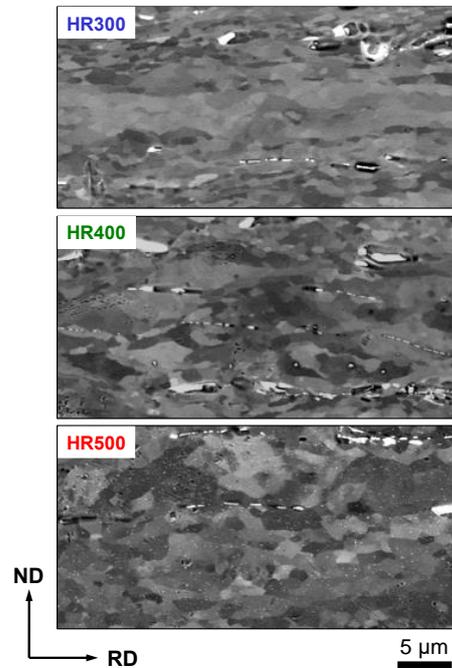


図3 HR300、HR400 および HR500 の TD 面における SEM/BSE 像。晶出物、亜結晶粒、微細析出物を確認できる。

このような初期組織を有する各熱間圧延材に 300°C、400°C および 500°C で熱処理を施し、再結晶や析出挙動について調査した。図4は 400°C 保持時間に対する、硬さの変化を示した図である。HR300 は、約 1 ks の熱処理により、硬さの急激な低下が見られた。HR400 も約 100 ks の熱処理により硬さが低下し、両者はほぼ同等の HV30 程度となった。一方、HR500 では、硬さの低下は HV10 程度であり、約 1000 ks の熱処理によって、硬さは HR500 の方が HR300 や HR400 よりも高い値となった。300°C 熱処理材では、HR300 の硬さの低下が大きく、約 1000 ks の熱処理後の硬さの大小関係は、熱間圧延後の硬さの序列と同じであった。また、500°C 熱処理材では、約 1 ks の熱処理によって、いずれの熱間圧延材も急激な硬さの低下があり、約 1000 ks の熱処理後には全てほぼ同じ硬さの値を示した。このように、熱処理に伴い硬さの変化が生じ、再結晶や析出現象が熱間圧延温度に影響を受けることが明らかになった。

各熱処理材、各温度 86.4 ks 熱処理材の EBSD 解析の結果、300°C 熱処理材では、いずれの熱間圧延材も熱処理前の組織とほぼ同様の結晶方位分布であった。500°C 熱処理材では、結晶粒幅が約 50 μm まで粗大化しており、再結晶が進行していることが確認できた。熱間圧延温度の違いは結晶方位分布からは確認できなかった。400°C 熱処理材では HR300 と HR400 には、粒界上に再結晶粒が多数存在していた。HR500 にも再結晶粒が存在していたが、その数密度は低かった。

これまでの Al-Mn 系合金の析出・再結晶の研究より、400°C 近傍の温度では、析出が早期に生じることになり、再結晶粒の成長との競合関係で、その組織安定性が決まると考えられている。したがって、400°C の熱処理で形成される微細組織を詳細に解析することが重要である。なお、熱間圧延時に形成される亜結晶粒界/粒内の析出物は、再結晶粒の成長を抑制すると考えられるため、その後の熱的安定性に大いに寄与することが示唆される。

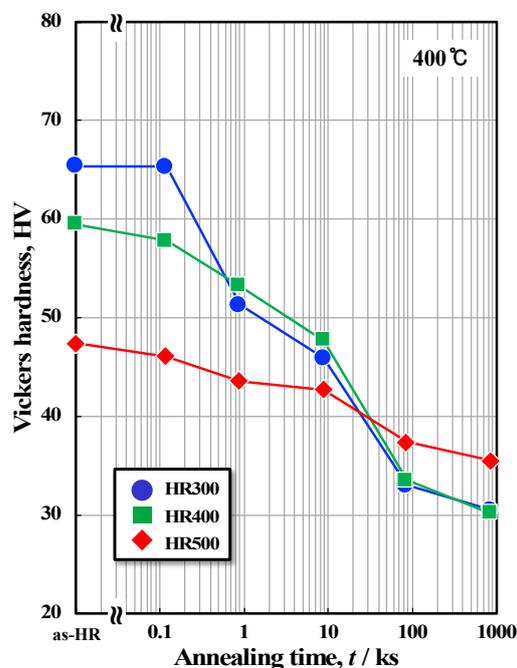


図4 HR300、HR400 および HR500 の 400°C 熱処理におけるピッカース硬さの変化。

### (3) 粒界偏析元素、粒内固溶元素が粒界近傍の力学特性に及ぼす影響の解明

本研究で実施した熱処理条件を表1に示す。これらの条件は、各温度での時効硬化曲線を取得して得られた条件から決定したものである。図5は、180Uおよび250UのEBSDによる結晶方位解析から得られた粒界性格分布を示す。図5(a), (c)は各粒界の回転角度で分類した粒界性格、すなわち大角粒界 (HAGB, 15°以上：青)、小角粒界 (LAGB, 5° ~ 15° : 黄緑) および亜粒界 (5° 未満：赤) の分布を示しており、図5(b), (d)は粒界近傍の原子配列の対応度がよいと考えられる対応粒界、中でもΣ3 (CSL3: 緑) とΣ5 粒界 (CSL5: 黄) の分布を示している。多結晶材料中にこれらの粒界が存在することが確認できたので、同一粒界において180℃と250℃の亜時効とピーク時効でどのように粒界近傍のナノ硬さが変化するかを調査した。

表1 各試料名と時効熱処理条件

Sample	180U	180P	250U	250P	350O
Temp. [°C]	180	180	250	250	350
time	1 h	8 h	7.5 min	30 min	1 h

図6は、180℃時効における HAGB と CSL5 まわりのナノ硬さの分布を示す。亜時効、ピーク時効状態の熱処理を施した試料はともに HAGB 近傍でナノ硬さの増加が確認されたが、CSL5 近傍では粒内と同程度の硬さを示した。180U と 250U における LAGB 近傍のナノ硬さを図7の上段に示す。180U では、HAGB 近傍と同様にナノ硬さの増加が確認できたが、その増加量は小さかった。250U では、LAGB 直

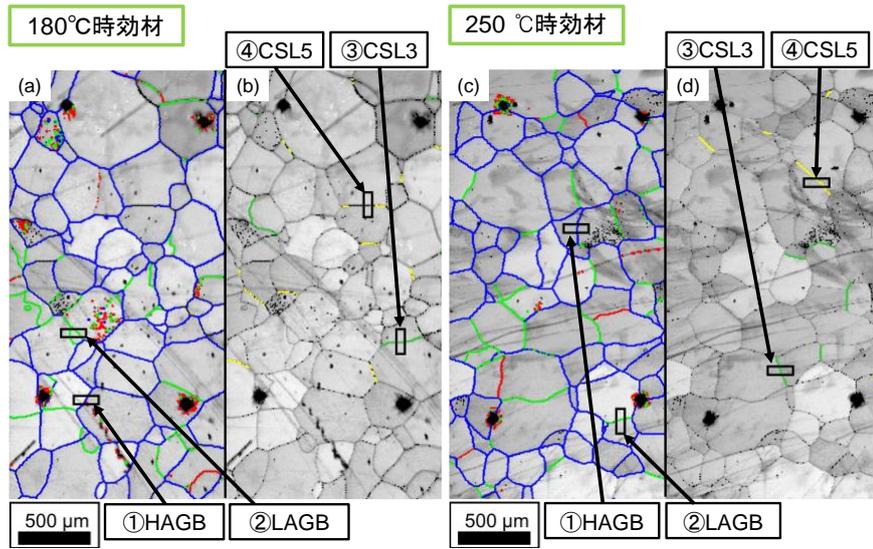


図5 180U と 250U の粒界性格分布 (a), (c)は大角粒界、小角粒界、亜粒界の分布であり、(b), (d)は対応粒界分布である。

上は粒内よりもナノ硬さが低く、またその左右1μmの範囲において更なる硬さの減少が生じていた。LAGB の 180P と 250P では、傾向は亜時効のものと同様であるが、その分布状態が若干変化することが示された。また、350O の CSL5 近傍にナノインデンテーション試験を実施し、圧痕位置を SEM/BSE 観察により特定した結果、粒界までの幅が約 3.5 μm の PFZ を確認することができた。この SEM/BSE 像をもとに PFZ への圧痕位置を決定し、PFZ 内の平均ナノ硬さを算出したところ、粒内硬さ (0.57 GPa) よりも小さな 0.53 GPa となった。

180℃、250℃時効材の各粒界への実験結果より、時効温度を変えることにより粒界近傍の力学特性は変化し、加えて粒界性格ごとにその力学特性に差異が生じることが示された。すなわち、粒界性格によって固溶・偏析元素の熱処理に伴う挙動の違いが生じることが示唆された。PFZ 幅の違いなど、時効生成物の分布状態と粒界性格の関係についてさらに系統的に解明していくことで、高機能構造材料創製への設計指針の確立へ繋ぐことが期待される。

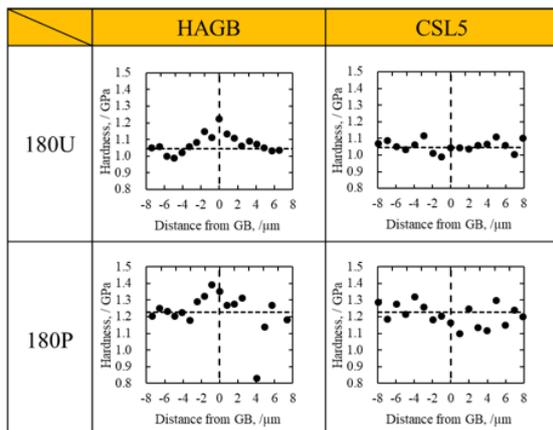


図6 180℃時効における HAGB と CSL5 近傍のナノ硬さ分布。

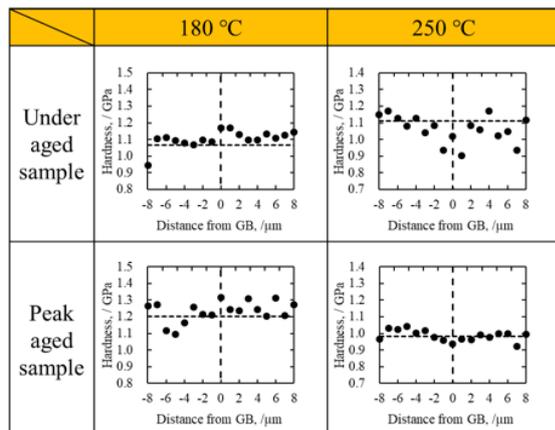


図7 180℃時効における LAGB 近傍のナノ硬さ分布。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 池田賢一, 高下拓也, 秋吉竜太郎, 波多聡, 中島英治, 山田和広, 金子賢治	4. 巻 66
2. 論文標題 Al-Mg-Si合金の再結晶挙動に及ぼすスカンジウムとジルコニウムの影響	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 軽金属	6. 最初と最後の頁 609-616
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://doi.org/10.2464/jilm.66.609">http://doi.org/10.2464/jilm.66.609</a>	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 Ken Takata, Kohsaku Ushioda, Ryutaro Akiyoshi, Ken-ichi Ikeda, Jun Takahashi, Satoshi Hata, Kenji Kaneko	4. 巻 58
2. 論文標題 Improvement of Strength-Elongation Balance of Al-Mg-Si Sheet Alloy by Utilising Mg-Si Cluster and Its Proposed Mechanism	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Materials Transactions	6. 最初と最後の頁 728-733
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://doi.org/10.2320/matertrans.M2016258">http://doi.org/10.2320/matertrans.M2016258</a>	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 Yusuke Shimada, Satoshi Hata, Ken-ichi Ikeda, Hideharu Nakashima, Akiyoshi Matsumoto, Kazumasa Togano, Hiroaki Kumakura	4. 巻 740
2. 論文標題 Infiltration behavior of molten Mg and its influence on microstructural evolution in SiC-doped MgB <sub>2</sub> wires prepared by internal Mg diffusion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 305-311
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.01.012">https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.01.012</a>	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 Ken-ichi Ikeda, Takuya Takashita, Ryutaro Akiyoshi, Satoshi Hata, Hideharu Nakashima, Kazuhiro Yamada, Kenji Kaneko	4. 巻 59
2. 論文標題 Effects of Scandium and Zirconium Addition on Recrystallization Behavior of Al-Mg-Si Alloy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Transactions	6. 最初と最後の頁 590-597
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2320/matertrans.L-M2018802">https://doi.org/10.2320/matertrans.L-M2018802</a>	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 高田健, 潮田浩作, 金子賢治, 秋吉竜太郎, 池田賢一, 波多聡, 中島英治	4. 巻 82
2. 論文標題 過飽和Al-Mg-Si合金における固溶強化挙動	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本金属学会誌	6. 最初と最後の頁 314-318
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2320/jinstmet.J2018015">https://doi.org/10.2320/jinstmet.J2018015</a>	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 Jing Wu, Ken-ichi Ikeda, Q. Shi, YuLung Chiu	4. 巻 148
2. 論文標題 Kink boundaries and their role in dynamic recrystallisation of a Mg-Zn-Y alloy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Characterization	6. 最初と最後の頁 233-242
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.matchar.2018.12.027">https://doi.org/10.1016/j.matchar.2018.12.027</a>	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 Bendo Artenis, Maeda Tomoyoshi, Matsuda Kenji, Lervik Adrian, Holmestad Randi, Marioara Calin D., Nishimura Katsuhiko, Nunomura Norio, Toda Hiroyuki, Yamaguchi Masatake, Ikeda Ken-ichi, Homma Tomoyuki	4. 巻 99
2. 論文標題 Characterisation of structural similarities of precipitates in Mg-Zn and Al-Zn-Mg alloys systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Philosophical Magazine	6. 最初と最後の頁 2619-2635
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1080/14786435.2019.1637032">https://doi.org/10.1080/14786435.2019.1637032</a>	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 Mitra J., Hata S., Ikeda K., Arya A.	4. 巻 73
2. 論文標題 Commencement of Ordering in Al-0.69Mg-0.31Si Alloy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Transactions of the Indian Institute of Metals	6. 最初と最後の頁 301-308
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1007/s12666-019-01844-4">https://doi.org/10.1007/s12666-019-01844-4</a>	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21件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Ken-ichi Ikeda, Ryutaro Akiyoshi, Satoshi Hata, Hideharu Nakashima, Kazuhiro Yamada, Kenji Kaneko
2. 発表標題 Effect of Sc and Zr Addition on Recrystallization Behavior in Al-Mg-Si Alloy
3. 学会等名 6th International Conference on Recrystallization and Grain Growth (ReX&GG2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Ken-ichi Ikeda, Ryutaro Akiyoshi, Satoshi Hata, Hideharu Nakashima, Kazuhiro Yamada, Kenji Kaneko
2. 発表標題 Effect of Thermo-Mechanical Treatment on Recrystallization Behavior in Al-Mg-Si-Sc-Zr Alloys
3. 学会等名 9th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM9) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 池田賢一, 秋吉竜太郎, 高下拓也, 波多聰, 中島英治, 山田和広, 金子賢治
2. 発表標題 熱的安定な析出物がAl-Mg-Si系合金の再結晶挙動に及ぼす影響
3. 学会等名 軽金属学会 平成28年度加工と熱処理による優先方位制御研究部会 公開講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 池田賢一
2. 発表標題 Al-Mg-Si系合金の再結晶集合組織に及ぼす熱的安定な析出物の影響
3. 学会等名 軽金属学会 第99回シンポジウム「加工と熱処理による優先方位制御」
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 池田賢一, 佐藤翔悟, 三浦誠司, 高田健
2. 発表標題 Al-0.62mass%Mg-0.32mass%Si合金の時効硬化に及ぼす予ひずみの影響
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 第73回学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤翔悟, 池田賢一, 三浦誠司, 高田健
2. 発表標題 Al-Mg-Si系合金における微細組織と機械的性質の関係
3. 学会等名 日本金属学会2017年(第161回)秋期講演大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池田賢一, 佐藤翔悟, 三浦誠司, 高田健
2. 発表標題 Al-Mg-Si合金の時効析出挙動に及ぼす冷間加工の影響
3. 学会等名 日本金属学会 高温変形の組織ダイナミクス研究会 「平成29年度夏の学校」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ken-ichi IKEDA, Seiji MIURA
2. 発表標題 Effect of Sc and Zr Addition on Recrystallization Behavior and Texture formation in Al-Mg-Si alloy
3. 学会等名 18th International Conference on Texture of Materials (ICOTOM18) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池田賢一, 佐藤翔悟, 三浦誠司, 高田健
2. 発表標題 予ひずみを与えたAl-Mg-Si合金の時効硬化挙動とその力学特性
3. 学会等名 軽金属学会第134回春期大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ken-ichi IKEDA, Shogo SATO, Seiji MIURA, Ken TAKATA
2. 発表標題 Effect of Cold Rolling on Age Hardening in Al-0.62mass%Mg-0.32mass%Si Alloy
3. 学会等名 International Conference on Aluminum Alloys (ICAA16) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安原颯人, 池田賢一, 三浦誠司, 豊田武
2. 発表標題 低炭素鋼の時効析出挙動に及ぼすTi添加の影響
3. 学会等名 平成30年度日本金属学会・日本鉄鋼協会両支部合同サマーセッション
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tianhang SUN, Ken-ichi IKEDA, Seiji MIURA, Ken TAKATA
2. 発表標題 The effect of natural aging combine with prestrain on bake hardening response in Al-Mg-Si alloy
3. 学会等名 軽金属学会第135回秋期大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池田賢一, 佐藤翔悟, 孫天航, 三浦誠司, 高田健
2. 発表標題 Al-0.62mass%Mg-0.32mass%Si合金の二段時効挙動に及ぼす予ひずみの影響
3. 学会等名 軽金属学会第135回秋期大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池田賢一
2. 発表標題 アルミニウム合金の加工熱処理工程における組織形成機構の解明
3. 学会等名 日本金属学会2019年(第164回)春期講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田賢一, 孫天航, 嶋田雄介, 李昇原, 土屋大樹, 松田健二, 本間智之
2. 発表標題 Al-1.0mass%Mg2Si合金の時効生成物に及ぼす添加元素の影響
3. 学会等名 軽金属学会第136回春期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田賢一, 長船裕樹, 三浦誠司, 井本浩史, 佐藤馨, 名越正泰
2. 発表標題 熱間圧延を施したAl-1%Mn合金に形成される微細組織とその熱的安定性
3. 学会等名 軽金属学会第136回春期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋本拓也, 池田賢一, 三浦誠司
2. 発表標題 Al-Mg-Si系合金の時効析出に伴う粒界近傍の力学特性変化の粒界性格依存性
3. 学会等名 令和元年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両支部合同サマーセッション
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田賢一, 孫天航, 嶋田雄介, 李昇原, 土屋大樹, 松田健二, 本間智之
2. 発表標題 Al-Mg-Si系合金の時効生成物に及ぼす添加元素の影響
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期(第165回)講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安原颯人, 池田賢一, 三浦誠司, 豊田武
2. 発表標題 低炭素鋼の引張延性挙動に及ぼすTi添加と時効温度の影響
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第178回秋期講演大会 学生ポスターセッション
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋本拓也, 池田賢一, 三浦誠司
2. 発表標題 Al-0.62mass%Mg-0.34mass%Si合金における粒界近傍の力学特性と時効析出挙動の関係
3. 学会等名 軽金属学会第137回秋期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋本拓也, 池田賢一, 三浦誠司
2. 発表標題 微小硬さ試験によるAl-Mg-Si系合金の局所力学挙動に及ぼす粒界性格の影響
3. 学会等名 日本金属学会 微小領域の力学特性評価とマルチスケールモデリング 第一回研究会
4. 発表年 2019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	三浦 誠司 (Miura Seiji) (50199949)	北海道大学・工学研究院・教授  (10101)	
研究分担者	滝沢 聡 (Takizawa Satoshi) (20240632)	北海道大学・工学研究院・助教  (10101)	
研究協力者	佐藤 翔悟 (Sato Shogo)	北海道大学・工学院・大学院生  (10101)	
研究協力者	橋本 拓也 (Hashimoto Takuya)	北海道大学・工学院・大学院生  (10101)	
研究協力者	山瀬 和葉 (Yamase Kazuha)	北海道大学・工学部・学生  (10101)	