

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02462

研究課題名（和文）耐用温度200 を超えるアルミニウム基超合金の改良設計と高温クリープ長寿命化

研究課題名（英文）Modified design for aluminum-based superalloys for improvement of creep rupture life at elevated temperatures above 200 degrees C

研究代表者

高田 尚記 (Takata, Naoki)

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：70432523

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究は、耐用温度200 を超えるアルミニウム基合金の設計原理構築を見据え、200 以上の高温における強度とクリープ破断寿命の両立に着目し、設計合金の強化相（金属間化合物相）とその形態に及ぼす第4合金元素（今回はCuとNiに着目する）の影響を解明する。また、実験的に同定した Al-Mg-Zn-Cu-Ni 5 元系の相平衡に基づく熱力学計算を用いて、Al-5Mg-3.5Zn-2Cu-2Ni (at.%) 5 元系合金を設計した。本設計合金は実機想定温度である200 にて高い高温強度を有するとともに、基本合金である3元系合金の10倍以上のクリープ破断寿命を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、耐熱材料として信頼性の高いNi基超合金に着想を得た「熱力学的に安定な高体積率の金属間化合物相を用いた強化原理」を基に新たな合金開発を実施した。申請研究の設計合金は既存の合金と同じ成分系かつ希少元素を不要とするため、従来のAl合金の製造プロセスで容易に製造可能である。また、耐用温度200 以上のAl合金の適用は、ターボチャージャのインペラ部材に留まらず、その軽量性から様々な耐熱部材（ガスタービン後段側のコンプレッサーブレード等）を代替できる。そのため、長期的な目標に掲げる「Al基超合金の開発」分野自体が高い創造性を有し、潜在的に大きな産業的波及効果を持つと考えられる。

研究成果の概要（英文）：With a view to establishing the design principles for aluminum-base alloys with service temperatures exceeding 200 °C, this study focuses on the compatibility of strength and creep rupture life at temperatures above 200 °C and elucidates the effects of the fourth alloying element (Cu and Ni) on the strengthening phase (intermetallic phases) and its morphology in the designed alloy. We have designed an Al-5Mg-3.5Zn-2Cu-2Ni (at.%) quinary alloy using thermodynamic calculations based on the experimentally identified phase equilibria of the Al-Mg-Zn-Cu-Ni quinary system. The designed alloy has high strength at 200 °C and a creep rupture life that is 10 times longer than that of the ternary alloy, which is the base alloy.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)

研究分野：材料組織学

キーワード：アルミニウム 耐熱合金 熱力学計算 組織制御 高温強度 高温クリープ

1. 研究開始当初の背景

現状、アルミニウム (Al) 合金の高温部材への適応は限られているが、耐熱性 Al 合金に分類される 2218 合金 (Al-4Cu-2Ni-1.5Mg (mass%)) や 2618 合金 (Al-2.3Cu-1.2Mg-1.1Fe-1.0Ni (mass%)) または 354 鋳造合金 (Al-9Si-1.8Cu-0.5Mg (mass%)) が自動車用エンジンのターボチャージャにおける圧縮機内部のインペラに使用されている。例えば、今世紀に入り環境規制の厳格化によって普及した燃費の良いディーゼルエンジンは、トルク・出力の向上、排気ガスクリーン化を目的のためターボチャージャが搭載されている。更なるエンジン高効率化には、圧縮機内部の高温・高圧化による圧縮比向上が効果的であり、インペラ部材の高温強度の向上が要求される。

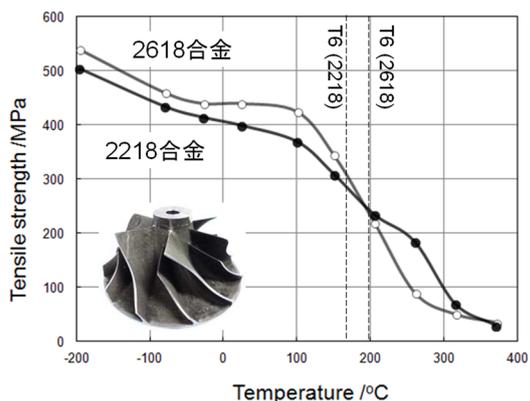


図1 既存の Al-Cu 系合金 (2618 合金及び 2218 合金) の温度に伴う引張強度の変化

現状主に使用されている合金 (2618) の適応限界温度は 160°C 程度であり、Al の融点  $T_m$  の半分以下 (約  $0.45T_m$ ) である。図1に、既存のアルミニウム合金の温度に伴う強度の変化を示す。これらの合金は規格化されている熱処理温度 (T6 人工時効処理温度: 160°C~200°C) 以上の温度で著しい強度低下を示す。これは時効処理により析出した強化相の高温 (使用温度) における粗大化に起因する。既存の熱力学データベースを用いて 2618 合金の構成相の温度に伴う変化を解析すると、本合金は時効処理に析出する S-Al<sub>2</sub>CuMg 相 (体積率: 約 5%) によって強化されると考えられ、実際 200°C の時効処理においては準安定相である S'相が析出する。したがって 200°C 以上の使用温度において、準安定相は安定相 (S 相) に相変態し、それに伴って析出物が著しく粗大化し、顕著な弱化を招く。

したがって、(1) 限られた強化相の体積率、(2) 強化相の不安定性 (準安定相の使用) が既存の Al 合金の高温強度の問題点として挙げられる。

一方、融点の 6 割の温度域 ( $0.6T_m$ ) 以上で使用されるニッケル (Ni) 基超合金は鍛造合金、鋳造合金ともに多く存在すし、優れた高温強度を示す。Ni 基合金は Al 合金同様、熱処理を用いて組織制御される。溶体化処理 ( $\gamma$ -Ni(fcc)単相化) 後、強化相である金属間化合物相 (主に L1<sub>2</sub> 構造を有する  $\gamma'$ 相) を微細均一に析出させる。多くの Ni 基合金において強化相の体積率は非常に高い (一般の鍛造 Ni 基合金の体積率は 10~20%、鋳造合金は 50%~70%)。熱力学的に安定な平衡相 ( $\gamma$ 母相と平衡する  $\gamma'$ 相) による強化は、高温の安定な組織形態を維持し、優れた高温強度を実現する。本研究は、同じ fcc 母相を有する Al 合金に耐熱材料 (特に Ni 基合金) の組織形態を再現できれば、高温強度の飛躍的向上が可能ではないか? という着想に基づくものである。本着想に基づき、計算状態図を活用し耐熱 Al 合金を設計した。

実用の観点から汎用元素である Mg, Zn に着目し、熱力学データベースを利用した計算状態図を基に新たな合金 (Al-5Mg-3.5Zn (at.%)) を設計した。設計合金は微細析出形態を有する安定な T-Al<sub>6</sub>Mg<sub>11</sub>Zn<sub>11</sub> 相により強化され、インペラ使用想定温度 200 °Cにて既存合金を凌ぐ高強度を有することを実証した (図2)。また、本合金は比較的良好な室温韌性や高温の良好な成形性を示し、新たなインペラ部材として有望である。

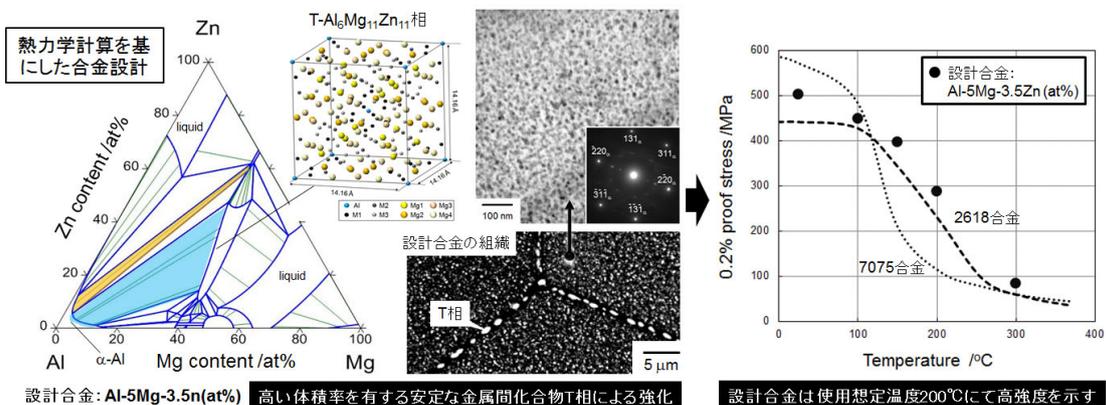


図2 熱力学計算を基にした新たな耐熱 Al-5Mg-3.5Zn 合金の設計とその高温強度 (これまでの成果)

本設計合金の課題点は、低い高温クリープ破断寿命（高温長時間使用の信頼性）である。ラーソン・ミラーパラメータによる整理は、本合金のクリープ強度は既存の 2618 合金より低く、同じ 3 元系既存合金の 7075 合金とほぼ同等である（図 3）。本合金のクリープ破断後の試験片観察は、高温クリープ中における結晶粒界近傍の顕著な無析出帯（溶質元素欠乏層）が存在し、その近傍にてポイドが生成することを示した。したがって、高い高温強度を維持し、高いクリープ破断寿命を実現するには、粒界の無析出帯を抑制し、強化相である T 相の安定性を高める必要がある。

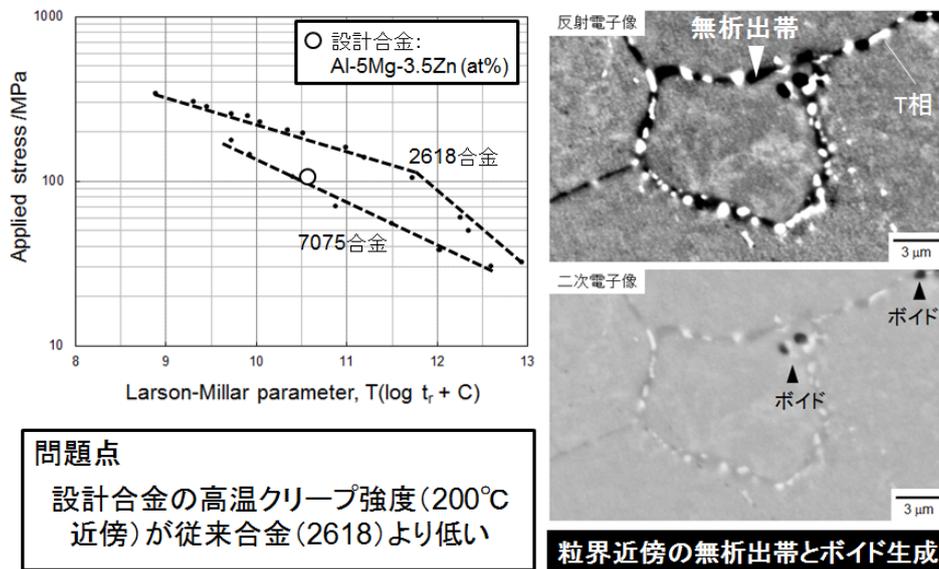


図 3 設計合金の問題点：低いクリープ破断寿命とクリープ寿命低下をもたらす組織因子

## 2. 研究の目的

本研究は、耐用温度 200°C を超えるアルミニウム基合金の設計原理構築を見据え、200°C 以上の高温における強度とクリープ破断寿命の両立に着目し、設計合金の強化相（金属間化合物相）とその形態に及ぼす第 4 合金元素（今回は Cu と Ni に着目する）の影響を解明する。また、これらの合金の高温強度とクリープ寿命を調べた結果を基に、200°C 以上の高温強度とクリープ特性が既存合金を凌駕する改良 Al 合金の設計と組織制御指針を確立する。

## 3. 研究の方法

本設計合金の実際のクリープ速度-時間曲線を基に、クリープ破断寿命を向上させる組織制御指針を図 4 に示す。強化相である T 相に分配する第 4 元素の添加は、T 相の相安定性及び体積率を高め、最小クリープ速度を低下させることが可能である。また、熱力学的に安定な金属間化合物を結晶粒界に生成させ、クリープ加速の要因となるポイド生成を抑制すると考えられる。これらの組織制御指針を基にした改良合金の設計が、既存合金を超える高い高温強度とクリープ破断寿命の両立を実現すると期待される。

前述の組織制御を実現するため、本研究独自で整理した熱力学データベースによる計算状態図を基に第 4 元素として Cu および Ni を選択した（図 4）。Cu 元素は T-Al<sub>6</sub>Mg<sub>11</sub>Zn<sub>11</sub> 相だけでなく T-Al<sub>6</sub>Mg<sub>11</sub>Cu<sub>11</sub> 相を生成し、T 相に優先的に分配すると予測される。したがって、Cu 添加は粒内 T 相の相安定性と体積率向上に寄与する。また、Ni 元素は T 相にほとんど分配せず、独立して斜方晶 Al<sub>3</sub>Ni 相を形成する。Al<sub>3</sub>Ni 相は α-Al 母相 (fcc) と非整合な結晶構造を持つため、粒界上の優先的な生成が期待される。本研究では、熱力学計算に基づき設計・改良した合金を溶製し、高温の組織変化を調査する。

図 5 に、Al-Mg-Zn-Cu 4 元系と Al-Mg-Zn-Ni 4 元系計算状態図の断面図とそれらに生成する化合物の結晶構造、及び期待される材料組織の模式図を示す。両断面図における横軸の原点は 3 元

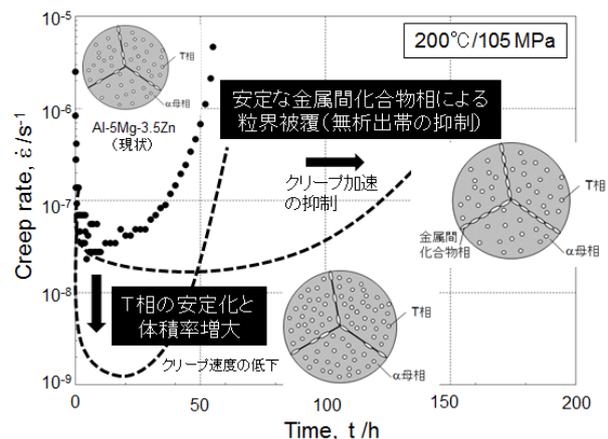


図 4 本研究で設計した耐熱 Al 合金のクリープ破断寿命の向上に向けた組織設計指針

系設計合金の組成である Al-5Mg-3.5Zn (at%)である。Al-5Mg-3.5Zn 合金へ Cu 元素の添加は、200°C以上の温度域において  $\alpha$ -Al/T の 2 相域を  $\alpha$ -Al/ $\eta$ -Zn<sub>2</sub>Mg の 2 相域に遷移させる。この相領域の変化は、添加された Cu 元素が T 相よりむしろ  $\eta$  相に分配することを示し、 $\eta$  相の析出を促進する推察される。この計算結果は、Cu 添加が粒内析出相 (T 相及び  $\eta$  相) の安定化と体積率向上に寄与することを示す。また Ni 元素の添加は  $\alpha$ -Al 相、T 相及び Al<sub>3</sub>Ni 相の広い 3 相域を出現させ、その相領域は 200~400 °C の温度域において Ni 濃度に依らず変化しない。この計算結果は、Ni 元素は強化相である T 相に分配せず、 $\alpha$ -Al 母相内において Al<sub>3</sub>Ni 相を独立して生成させることを示す。また、溶製過程において液相から Al<sub>3</sub>Ni 相は晶出すると予測されるため、 $\alpha$ -Al 母相の粒界に存在すると予測される。Al<sub>3</sub>Ni 相は  $\alpha$ -Al 母相の粒界を被覆し、高温におけるクリープ抵抗 (粒界析出強化) として期待される。以上の 4 元系計算状態図を基に、本研究では 3 元系合金に Cu と Ni を 1 at% 添加した合金を設計した。

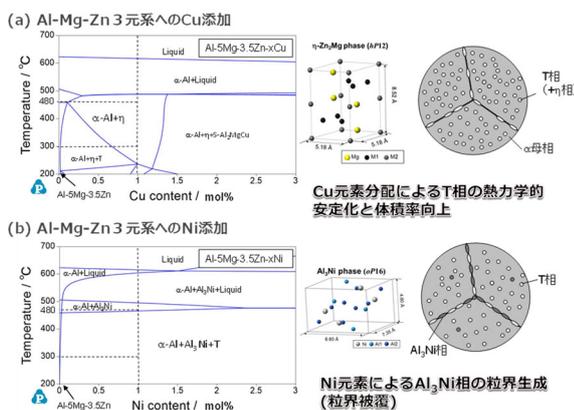


図 5 (a) Al-Mg-Zn-Cu 4 元系及び(b) Al-Mg-Zn-Ni 4 元系計算状態図の断面図 (横軸の原点は 3 元系設計合金の組成に対応する) とそれらに生成する化合物の結晶構造、及び期待される材料組織の模式図

#### 4. 研究成果

これらの 4 元系改良合金 (Al-5Mg-3.5Zn-1Cu 合金及び Al-5Mg-3.5Zn-1Ni 合金) を溶製し、3 元系合金同様、480°C 溶体化処理後、300°C の時効処理に伴う析出過程を調査した。その代表的な結果として、300°C/1h 時効を施した Cu 添加合金 (Al-5Mg-3.5Zn-1Cu) 及び Ni 添加合金 (Al-5Mg-3.5Zn-1Ni) の析出形態を示す STEM-HAADF 像と EDS 分析による元素分布図を、図 6 に示す。Cu 添加合金の STEM 像において、図中矢印に示すように

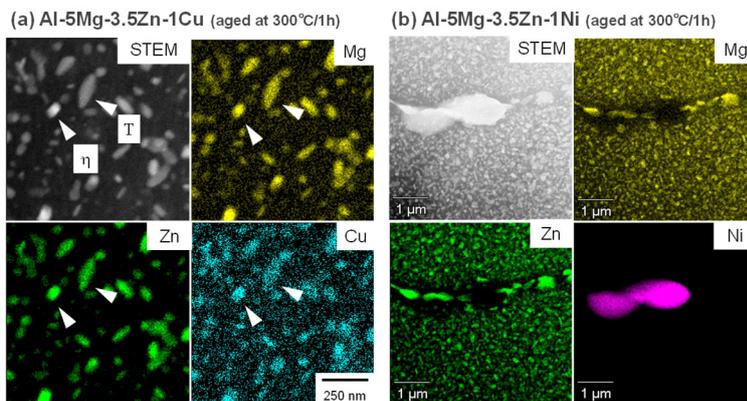


図 6 (a) Cu 添加合金 (Al-5Mg-3.5Zn-1Cu) 及び(b) Ni 添加合金 (Al-5Mg-3.5Zn-1Ni) の 300°C/1h 人工時効処理後の析出形態を示す STEM-HAADF 像と EDS 分析による元素分布図

コントラストの異なる析出相が観察された。HAADF 像のコントラストは元素の原子番号に依存し、重い元素ほど明度は高くなるため、明るいコントラストを持つ析出相は原子番号の大きい Zn 元素を高濃度に含む。これは EDS 元素分析によって検証され、Zn 元素が濃化した析出相において Al 濃度が低いことが確認された。これらの結果は、明るいコントラストを持つ析出相が  $\eta$ -Zn<sub>2</sub>Mg 相であり、やや暗いコントラストを持つ析出相が T-Al<sub>6</sub>Mg<sub>11</sub>Zn<sub>11</sub> 相であることを示す。なお、両相の存在は XRD 測定によって確認された。また、添加された Cu 元素は  $\alpha$ -Al 母相の粒内析出相である  $\eta$  相と T 相の双方に分配し、相安定性の向上に寄与していると考えられる。一方、Ni 添加合金において Ni 元素が濃化した比較的粗大な化合物相が粒界に観察され、Mg と Zn が濃化した微細な析出相は粒界及び粒内に分布する。これらの相は Al<sub>3</sub>Ni 相と T 相に対応する。Al<sub>3</sub>Ni 相は溶体化処理で残存したものが粒界に偏在し、粒内には T 相のみ析出すると考えられる。T 相内部に Ni 元素は検出されず、Ni 元素は析出した T 相にほとんど分配しない。したがって、3 元系基本合金の組織形成に役割が異なると予測される第 4 元素 (Cu 及び Ni) を添加した結果は、計算状態図で予測された効果 (図 5) と良く一致することが実験的に示され、Cu 添加は強化相である T 相に分配し、高温における安定性を向上させ、Ni 添加は Al<sub>3</sub>Ni 相の粒界上に生成に寄与し、高温クリープ抵抗として作用することが期待される。

これまで示した実験・計算結果に基づく、Al-Mg-Zn 3 元系基本合金への Cu 及び Ni の複合添加 (5 元系合金への改良設計) は、粒内に析出する T 相 (及び  $\eta$  相) の安定性を高めるとともに、粒界上に安定に存在する Al<sub>3</sub>Ni 相による強化を実現可能と期待される。しかし、実験に基づいた信頼性の高い Al-Mg-Zn-Cu-Ni 5 元系の熱力学データベースは報告されていないのが現状である。Al-Cu-Ni 3 元系平衡状態図で認められる Al<sub>3</sub>(Ni, Cu)<sub>2</sub> 相は 5 元系合金においても生成すると予想されるが、Al<sub>3</sub>(Ni, Cu)<sub>2</sub> 相を再現したデータベースは現状 Al-Cu-Ni 3 元系のみである。したがって、更なる合金の改良設計に現状の計算状態図を用いることはできない。そこで、Al-Mg-

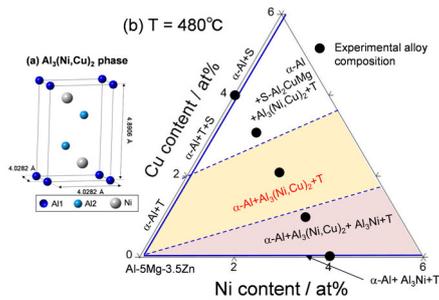


図7 (a) Al-Cu-Ni 3 元系に存在する  $Al_3(Ni, Cu)_2$  相の結晶構造と(b)5 元系状態図の 480°C等温断面図に示した本実験で作製した合金組成と実験的に同定された相領域 (断面図原点は、3 元系基本合金の組成である Al-5Mg-3.5Zn (at%) を示す)

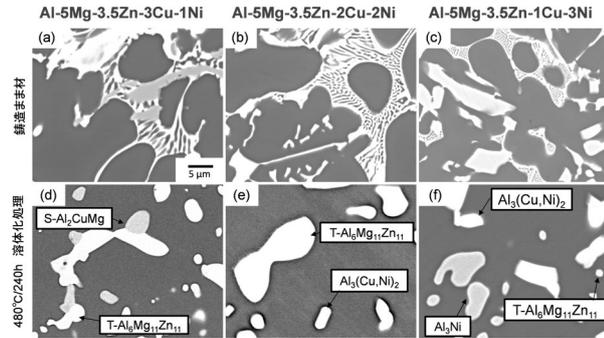


図8 (a, d) Al-5Mg-3.5Zn-3Cu-1Ni, (b, e) Al-5Mg-3.5Zn-2Cu-2Ni 及び(c, f) Al-5Mg-3.5Zn-1Cu-3Ni (at%) の合金の (a-c) 溶製まま材と(d-f) 480°C/240h 溶体化処理を施した組織の SEM 像

Zn-Cu-Ni 5 元系改良合金設計に資する高温における相平衡 (特に $\alpha$ -Al 母相と平衡する金属間化合物相) を実験的に明らかにするため、Al-5Mg-3.5Zn 合金を基本組成として Cu と Ni の添加量を系統的な変化させた合金を溶製し、480°Cの溶体化処理 (平衡化処理) を実施し、5 元系合金の $\alpha$ -Al 相に平衡する金属間化合物相を調査した。溶製した合金の組成を 5 元系状態図の 480°C 等温断面図プロットしたものと実験的に同定された相領域を図7に示す。この断面図の原点は、3 元系基本合金の組成である Al-5Mg-3.5Zn (at%) である。また図8に、本研究で作製した Al-5Mg-3.5Zn-3Cu-1Ni, Al-5Mg-3.5Zn-2Cu-2Ni 及び Al-5Mg-3.5Zn-1Cu-3Ni (at%) の合金の溶製まま材と 480°C/240h の溶体化処理を施した組織の SEM 像を示す。480°C/240h の溶体化処理材の組織形態は、溶製材の凝固組織形態とは大きく異なり、粗大化していた。したがって、480°Cにおける平衡状態の組織形態であると判断し、XRD 測定及び EDS 元素分析を用いて構成相を同定した。その結果、Cu 濃度の高い合金において $\alpha$ -Al 母相中に T 相だけでなく S- $Al_2CuMg$  相が検出された。Ni 合金濃度の増加に伴って、S 相は消失し、 $Al_3(Ni, Cu)_2$  相が $\alpha$ -Al 相と平衡することがわかった。更に Ni 濃度増加させると  $Al_3Ni$  相も平衡することがわかった。この結果に基づいて Al-Mg-Zn-Cu-Ni 5 元系における相領域を大まかに同定した結果を、図7(b)に示す。本実験結果を基に、 $\alpha$ -Al 母相、T 相 (粒内析出相) 及び  $Al_3(Ni, Cu)_2$  相 (粒界被覆相) の 3 相組織を制御した 5 元系合金の設計を実施した。

上記までの実験的に同定した相領域を反映した熱力学計算を基に元素分配の観点から Cu 及び Ni を添加した Al-5Mg-3.5Zn-2Cu-2Ni (at%) 合金を設計した (図9)。また、その 5 元系の設計合金の 200°Cと 300°C高温時効における組織変化と高温における力学特性を調査した。480°C溶体化処理後の試料は、 $\alpha$ -Al 母相中に比較的粗大な T- $Al_6Mg_{11}Zn_{11}$  相と  $Al_3(Cu, Ni)_2$  相が観察され、熱力学計算結果と良く一致する。200°C/10h 時効後、微細な析出物相 (T 相) が分散していた。

図10に、200°C/10h 予時効を施した Al-5Mg-3.5Zn-2Cu-2Ni (at%) 5 元系合金の高温強度と 200°C/105 MPa におけるクリープ曲線を、これまでの Al-5Mg-3.5Zn (at%) 3 元系合金と比較して示す。設計した 5 元系合金は 200°C 以上の温度域において Al-5Mg-3.5Zn (at%) 3 元系合金と同等の強度を示し、200°C における高温クリープ破断寿命は 10 倍以上を示した。したがって、改良 5 元系合金は実機使用想定温度である 200°Cにおける高温クリープ破断寿命と高温強度を両立しており、「研究の方法」で述べた組織制御指針の有効性を検証できた。

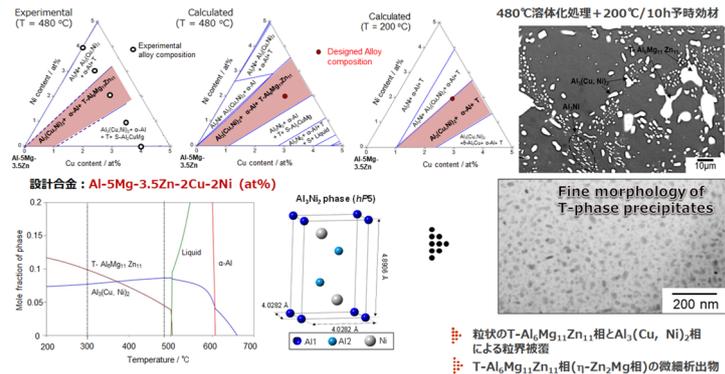


図9 熱力学計算を用いた Al-5Mg-3.5Zn-2Cu-2Ni (at%) 合金の設計と熱処理による組織の特徴

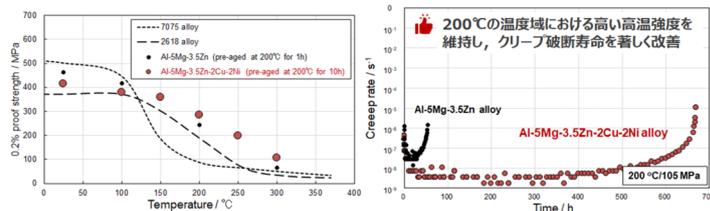


図10 200°C/10h 予時効を施した Al-5Mg-3.5Zn-2Cu-2Ni (at%) 合金の高温強度と 200°Cにおけるクリープ特性

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 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Takata Naoki, Takagi Rikito, Li Ruoqi, Ishii Hiroki, Suzuki Asuka, Kobashi Makoto	4. 巻 139
2. 論文標題 Precipitation morphology and kinetics of T-Al6Mg11Zn11 intermetallic phase in Al-Mg-Zn ternary alloys	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Intermetallics	6. 最初と最後の頁 107364 ~ 107364
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.intermet.2021.107364	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 Ishii Hiroki, Takagi Rikito, Takata Naoki, Suzuki Asuka, Kobashi Makoto	4. 巻 71
2. 論文標題 Influence of added fourth elements on precipitation in heat-resistant Al-Mg-Zn ternary alloys	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Institute of Light Metals	6. 最初と最後の頁 275 ~ 282
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2464/jilm.71.275	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 Okano Naoki, Aikawa Motonari, Takata Naoki, Suzuki Asuka, Kobashi Makoto	4. 巻 72
2. 論文標題 Solidification microstructure and room-temperature fracture toughness of Al-based cast alloys prepared through eutectic reactions in Al-Mg-Zn ternary system	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Japan Institute of Light Metals	6. 最初と最後の頁 79 ~ 87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2464/jilm.72.79	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 Takata Naoki, Suzuki Asuka, Kobashi Makoto	4. 巻 61
2. 論文標題 Design and Microstructural Control of Heat-Resistant Aluminum Wrought Alloys Based on Calculated Phase Diagrams	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materia Japan	6. 最初と最後の頁 195 ~ 201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/materia.61.195	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 Ishii Hiroki, Takagi Rikito, Takata Naoki, Suzuki Asuka, Kobashi Makoto	4. 巻 63
2. 論文標題 Influence of Added Fourth Elements on Precipitation in Heat-Resistant Al-Mg-Zn Ternary Alloys	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 513 ~ 521
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-L2021021	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 Wang Wenyan, Takata Naoki, Suzuki Asuka, Kobashi Makoto, Kato Masaki	4. 巻 838
2. 論文標題 High-temperature strength sustained by nano-sized eutectic structure of Al-Fe alloy manufactured by laser powder bed fusion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 142782 ~ 142782
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2022.142782	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 Ruoqi, Takata Naoki, Suzuki Asuka, Kobashi Makoto, Okada Yuji, Furukawa Yuichi	4. 巻 14
2. 論文標題 Precipitation Hardening at Elevated Temperatures above 400 °C and Subsequent Natural Age Hardening of Commercial Al-Si-Cu Alloy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 7155 ~ 7155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma14237155	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 Takata Naoki, Okano Taiki, Aikawa Motonari, Suzuki Asuka, Kobashi Makoto, Hagihara Koji	4. 巻 124
2. 論文標題 Morphology and mechanical properties of the T-Al6Mg11Zn11 phase in the eutectic microstructure of Al-Zn-Mg ternary alloys	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Intermetallics	6. 最初と最後の頁 106881 ~ 106881
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.intermet.2020.106881	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 Wang Wenyuan, Takata Naoki, Suzuki Asuka, Kobashi Makoto, Kato Masaki	4. 巻 125
2. 論文標題 Formation of multiple intermetallic phases in a hypereutectic Al-Fe binary alloy additively manufactured by laser powder bed fusion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Intermetallics	6. 最初と最後の頁 106892 ~ 106892
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.intermet.2020.106892	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 Qi Xing, Takata Naoki, Suzuki Asuka, Kobashi Makoto, Kato Masaki	4. 巻 35
2. 論文標題 Laser powder bed fusion of a near-eutectic Al-Fe binary alloy: Processing and microstructure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Additive Manufacturing	6. 最初と最後の頁 101308 ~ 101308
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.addma.2020.101308	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 Qi Xing, Takata Naoki, Suzuki Asuka, Kobashi Makoto, Kato Masaki	4. 巻 805
2. 論文標題 Managing both high strength and thermal conductivity of a laser powder bed fused Al-2.5Fe binary alloy: Effect of annealing on microstructure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 140591 ~ 140591
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2020.140591	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 Wang Wenyuan, Takata Naoki, Suzuki Asuka, Kobashi Makoto, Kato Masaki	4. 巻 11
2. 論文標題 Processability and Optimization of Laser Parameters for Densification of Hypereutectic Al-Fe Binary Alloy Manufactured by Laser Powder Bed Fusion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 320 ~ 320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst11030320	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 Qi Xing, Takata Naoki, Suzuki Asuka, Kobashi Makoto, Kato Masaki	4. 巻 1016
2. 論文標題 Microstructure of Al-2.5Fe Binary Alloy Fabricated by Laser Powder Bed Fusion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 1175 ~ 1180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/MSF.1016.1175	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 -

〔学会発表〕 計21件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 岡野直輝, 相川宗也, 高田尚記, 鈴木飛鳥, 小橋 眞
2. 発表標題 Al-Mg-Zn3元系の共晶反応を利用したAl基鋳造合金の凝固組織と室温靱性
3. 学会等名 軽金属学会 第140回春期大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黎若琪, 高田尚記, 鈴木飛鳥, 小橋 眞, 岡田裕二, 古川雄一
2. 発表標題 汎用Al-Si-Cu合金の400 以上の高温における析出とその後の自然時効硬化
3. 学会等名 軽金属学会 第140回春期大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 崎啓人, 王文苑, 高田尚記, 鈴木飛鳥, 小橋 眞, 加藤正樹
2. 発表標題 レーザー粉末床溶融結合法による Al/T-Al6Mg11Zn11二相共晶合金の積層造形
3. 学会等名 軽金属学会 第140回春期大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 王 文苑、高田 尚記、鈴木 飛鳥、小橋 眞、加藤 正樹
2. 発表標題 過共晶Al-Fe合金積層造形体の高温強度
3. 学会等名 日本金属学会 第169回秋期大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黎若琪, 高田尚記, 鈴木飛鳥, 小橋 眞, 岡田裕二, 古川雄一
2. 発表標題 Al-Si-Cu鑄造合金の400 以上の高温時効硬化及びその後の自然時効
3. 学会等名 日本金属学会 第169回秋期大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡野 直輝、相川 宗也、高田 尚記、鈴木 飛鳥、小橋 眞
2. 発表標題 Al-Mg-Zn3元系共晶合金の凝固組織と室温破壊靱性
3. 学会等名 日本金属学会 第169回秋期大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井 大貴、高田 尚記、鈴木 飛鳥、小橋 眞
2. 発表標題 耐熱アルミニウム合金設計に資するAl-Mg-Zn-Cu-Ni 5元系における相平衡の同定
3. 学会等名 日本金属学会 第169回秋期大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 崎 啓人、王 文苑、高田 尚記、鈴木 飛鳥、小橋 眞、加藤 正樹
2. 発表標題 -AlT-Al6Mg11Zn11二相共晶合金積層造形体の微視組織とその熱処理の影響
3. 学会等名 日本金属学会 第169回秋期大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroki Ishii, Rikito Takagi, Naoki Takata, Asuka Suzuki, Makoto Kobashi
2. 発表標題 Influence of Cu and Ni additions on precipitation of intermetallic phases in heat-resistant Al-Mg-Zn ternary alloy
3. 学会等名 The Material Research Meeting 2021 :MRM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Wenyuan Wang, Naoki Takata, Asuka Suzuki, Makoto Kobashi, Masaki Kato
2. 発表標題 High Temperature Strength and Thermal Stability of Additive- Manufactured Hypereutectic Al-Fe Alloy
3. 学会等名 The Material Research Meeting 2021 :MRM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Li Ruoqi、高田 尚記、鈴木 飛鳥、小橋 眞
2. 発表標題 Al-Mg-Zn-Cu-Ni 5元系合金の高温時効に伴う金属間化合物相の析出
3. 学会等名 日本金属学会 第170回春期講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 王 文苑、高田 尚記、鈴木 飛鳥、小橋 眞、加藤 正樹
2. 発表標題 Al-Fe-Mn合金粉末を用いたレーザー粉末床溶融結合法の造形性及ばすレーザー条件の影響
3. 学会等名 日本金属学会 第170回春期講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石井大貴, 高木力斗, 高田尚記, 鈴木飛鳥, 小橋 眞
2. 発表標題 Al-Mg-Zn3元系耐熱合金の析出に及ばす第4添加元素の影響
3. 学会等名 軽金属学会第140回春期大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 王 文苑, 高田尚記, 鈴木飛鳥, 小橋 眞, 加藤正樹
2. 発表標題 レーザー積層造形法により作製したAl-15%Fe合金造形体の特性に及ばすプロセス条件の影響"
3. 学会等名 軽金属学会第140回春期大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石井大貴, 高木力斗, 高田尚記, 鈴木飛鳥, 小橋 眞
2. 発表標題 Al-Mg-Zn 3元系合金のT-Al6Mg11Zn11相の析出に及ばす第4元素添加の影響
3. 学会等名 日本金属学会 第167回講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 相川 宗也、高田 尚記、鈴木 飛鳥、小橋 眞、西浦 且章、萩原 幸司
2. 発表標題 -Al/T-Al6Mg11Zn11二相共晶合金の高温における強度と変形機構
3. 学会等名 日本金属学会 第167回講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 王 文苑、高田尚記、鈴木飛鳥、小橋 眞、加藤正樹
2. 発表標題 レーザー粉末床融法により作製されたAl-15Fe合金の微視組織
3. 学会等名 日本金属学会 第167回講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高田尚記、岡野大幹、相川宗也、鈴木飛鳥、小橋眞、萩原幸司
2. 発表標題 Al-Zn-Mg3元系共晶反応により形成するT-Al6Mg11Zn11相の形態と機械的性質
3. 学会等名 軽金属学会 第139回秋期大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 王 文苑、高田尚記、鈴木飛鳥、小橋 眞、加藤正樹
2. 発表標題 Microstructural Characterization of a Hypereutectic Al-Fe Binary Alloy Fabricated by Laser Powder Bed Fusion
3. 学会等名 軽金属学会 第139回秋期大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 王 文苑, 高田尚記, 鈴木飛鳥, 小橋 眞, 加藤正樹
2. 発表標題 Al-Fe二元系過共晶合金積層造形体の高温における組織変化
3. 学会等名 日本金属学会 第168回講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 チーシン, 高田尚記, 鈴木飛鳥, 小橋 眞, 加藤正樹
2. 発表標題 レーザー粉末床溶融結合法により積層造形されたAl-2.5Fe二元合金の組織および機械的性質に及ぼす焼鈍の影響
3. 学会等名 日本金属学会 第168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

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