

令和7年11月28日

各報道機関文教担当記者 様

金属 3D プリントで造形した アルミニウム-鉄合金の性能を低温加熱で改善に成功

金沢大学理工研究域機械工学系の宮嶋陽司教授、石川和宏教授、自然科学研究科機械科学専攻博士前期課程（研究当時）の巽 遼太、名古屋大学の高田尚記教授、兵庫県立大学の足立大樹教授らの研究グループは、金属 3D プリントで作製したアルミニウム-鉄（Al-Fe）合金について、300℃以下の低温焼鈍（加熱）によって、電気・熱伝導率および機械的特性を同時に改善できることを明らかにしました。

レーザ粉末床溶融（Laser Powder Bed Fusion: L-PBF）法（※1）は、金属 3D プリント技術を応用し、複雑な形状の部材を短時間で造形できる革新的な製造法として注目されています。しかし、急速な冷却により残留応力（※2）や過飽和固溶体が生じ、導電性や強度が不安定になるという課題がありました。

今回の研究では、比較的低温での焼鈍によるナノ析出（※3）制御により、電気伝導率を高めながら残留応力を緩和する新しい熱処理指針を提示しました。本研究成果は、電気伝導率を高めながら内部残留応力を除去する新しい熱処理指針が確立され、軽量構造部材や高効率放熱部品など、エネルギー効率向上に寄与する応用に加え、次世代モビリティ電子機器冷却技術の開発にもつながると期待されます。

本研究成果は、2025 年 11 月 14 日、Elsevier 社の国際誌『*Journal of Materials Research and Technology*』のオンライン版に先行掲載され、2025 年 11 月 18 日に正式掲載されました。

【研究の背景】

アルミニウム (Al) 合金は、軽量で熱・電気伝導性に優れることから、航空機や自動車、電子デバイスの構造材や放熱部材として広く利用されています。

近年注目を集めるレーザ粉末床溶融 (Laser Powder Bed Fusion: L-PBF) 法は、3D プリント技術を応用して金属粉末を積層・溶融することで、複雑な形状の金属部品を短時間で造形できる画期的な製造法です。しかし、この方法で造形された Al 合金は、急速な冷却により格子欠陥や残留応力を多く含むため、機械的特性や導電性が不安定になるという課題がありました。

本研究では、これらの課題を解決するため、Al-Fe 合金に対して 573 K (約 300°C) 以下の比較的低温での焼鈍処理を系統的に行い、微細組織の変化と物性の関係を詳細に調べました。

【研究成果の概要】

本研究グループは、L-PBF 法により作製したアルミニウム-鉄 (Al-Fe) 二元合金に対して、573 K (約 300°C) 以下の低温焼鈍 (アニール) (※4) 処理を施すことで、電気・熱伝導率の向上と残留応力の除去を同時に実現できることを明らかにしました。

具体的には、Al-2.5 mass% Fe 合金試料を 300 °C以下で加熱し、電気抵抗率・機械特性・熱伝導特性・内部応力の変化を詳細に解析しました。その結果、300 °Cでの短時間 (約 2 分) 焼鈍により、造形時に生じた残留応力が大幅に緩和され、電気抵抗率が低下することを確認しました。これは、Al 中に固溶していた Fe の析出による電子散乱の減少が主因と考えられます。さらに、X 線回折 (XRD) および透過電子顕微鏡 (TEM) 観察の結果、ナノスケールの Al_6Fe 析出物が新たに形成され、Fe の固溶濃度が減少していることを実証しました。この析出により、ビッカース硬さ (※5) は一時的に上昇した後、僅かに減少して安定化しました。また、焼鈍によって比熱が増加し、熱伝導率も改善しました。これらの変化は、電子の散乱源となる固溶 Fe 原子の減少に起因します。

以上の結果から、L-PBF 法で造形された Al-Fe 合金において、低温焼鈍によるナノ析出制御が、電気・熱伝導性と機械強度を同時に最適化する有効な手法であることを初めて実証しました。

【今後の展開】

本研究により、L-PBF 法によって造形される Al 系部材の導電性や放熱性の精密制御が可能となりました。今後は、Al-Fe-X (三元系, X は第 3 元素) 合金への拡張を進め、高強度と高伝導を両立する次世代軽量材料の開発を目指します。さらに、これらの知見は、電子機器の冷却、モビリティ用構造部材、軽量放熱ヒートシンクなど、エネルギー効率向上に直結する幅広い分野での応用が期待されます。

本研究の一部は、科学研究費補助金（基盤研究（B）24K01214 および基盤研究（A）24H00378）、軽金属奨学会（Light Metal Educational Foundation, Inc.）研究助成、科学技術振興機構（JST）・戦略的創造研究推進事業（PRESTO）（課題番号：JPMJPR22Q4）によって実施されました。

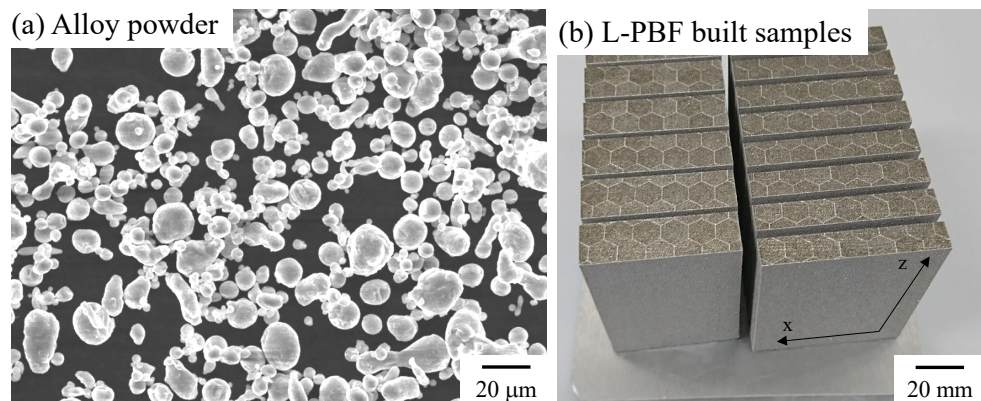


図 1：(a) 合金粉末の形態を示す SEM 画像。(b) L-PBF 法で作製された Al-2.5 mass% Fe 合金試料の外観と、試料座標（z 方向は造形方向）を示す。

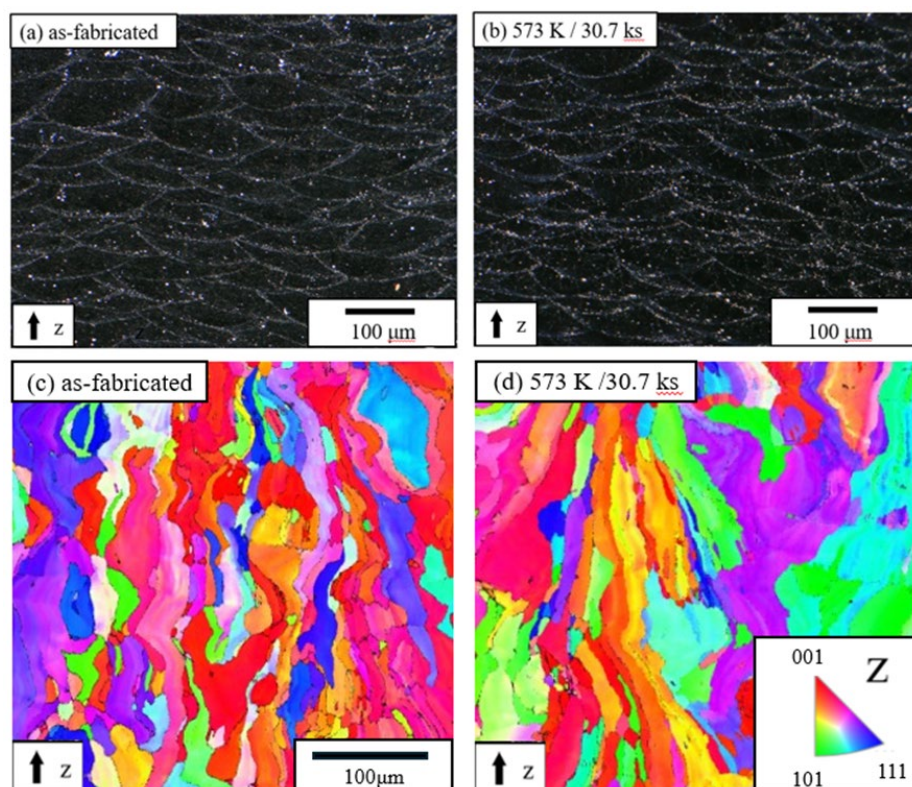


図 2：溶融池構造を示す光学顕微鏡像、および (c, d) それぞれに対応する結晶粒の様子。(a, c) は造形直後の試料、(b, d) は 300 °C で長時間焼鈍した試料を示す。

【掲載論文】

雑誌名： *Journal of Materials Research and Technology*

論文名： Variations in mechanical, electrical, thermal properties, and residual stress of laser powder bed fused Al-Fe binary alloy by annealing

（レーザー粉末床溶融法で作製した Al-Fe 二元系合金の機械的・電氣的・熱的特性および残留応力の焼鈍による変化）

著者： Ryota Tatsumi, Yuki Hamasaki, Kayoko Yanagi, Toshihiko Sasaki, Kazuhiro Ishikawa, Hiroki Adachi, Dasom Kim, Naoki Takata, Yoji Miyajima

（巽 遼太、浜崎友貴、柳 嘉代子、佐々木 敏彦、石川和宏、足立大樹、キム ダソン、高田尚記、宮嶋陽司）

掲載日： 2025 年 11 月 14 日にオンライン版に掲載、11 月 18 日に正式掲載。

DOI： <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.11.107>

【用語解説】

※1 レーザ粉末床溶融（L-PBF）法

金属粉末を 1 層ずつ敷き、レーザで選択的に溶融・凝固させる 3D プリント技術の一種。複雑形状・小ロット生産に適し、近年航空・医療分野でも注目されている技術。

※2 残留応力

造形・加工後に材料内部に残る見えない応力。変形や割れの原因となるため除去が重要。

※3 ナノ析出物（Al₆Fe）

母相中に析出する数 nm～数十 nm サイズの金属化合物。転位運動を阻害して強度を向上させるとともに、過飽和固溶原子を減らして導電性を高める。（1nm は 1mm の 100 万分の 1。）本研究では Al₆Fe がナノ析出物である。

※4 低温焼鈍（アニール）

金属材料を比較的低い温度（本研究では 300℃以下）で加熱することで、内部応力を除去し、析出微細化などによって特性を改善する熱処理法。

※5 ビッカース硬さ

金属やセラミックスなどの材料が、どれくらい“へこみにくい”かを数字で表したものが「ビッカース硬さ」です。ダイヤモンドでできた、四角いピラミッド形の小さな圧子

(あっし) を材料の表面に押し付け、そのときにできた“くぼみの大きさ”から硬さを計算します。

【本件に関するお問い合わせ先】

■ 研究内容に関すること

金沢大学理工研究域機械工学系 教授

宮嶋 陽司 (みやじま ようじ)

TEL : 076-234-4716

E-mail : yoji-miyajima@se.kanazawa-u.ac.jp

■ 広報担当

金沢大学理工系事務部総務課総務係

割出 智美 (わりだし ともみ)

TEL : 076-234-6957

E-mail : s-somu@adm.kanazawa-u.ac.jp