



Title	レーザ粉末床溶融結合法における雰囲気ガスを用いた金属組織と機能制御に関する研究
Author(s)	天野, 宏紀
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/88036
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名 (天 野 宏 紀)

論文題名 レーザ粉末床溶融結合法における雰囲気ガスを用いた金属組織と機能制御に関する研究

論文内容の要旨

本研究では、金属レーザー粉末床溶融結合 (Laser Powder Bed Fusion: LPBF) 法において、スパッタ・ヒュームの除去のために用いられている雰囲気ガスに着目し、雰囲気ガスが金属LPBF法における造形プロセスと造形体の微細組織に与える影響の解明を目的とした。本論文は以下の全7章より構成される。

第1章では、金属LPBF法における雰囲気ガスの従来の役割と、雰囲気ガスに関するこれまでの研究事例について解説し、雰囲気ガスの力学特性支配因子としての役割がほとんど理解されていないことを述べた。一方で、雰囲気ガスの活用が、金属LPBF法において造形体の力学特性を向上させ、造形体の更なる高機能化の実現に有用であることを、ガスの有する物理特性から示し、本研究の目的について述べた。

第2章では、従来用いられているアルゴンガスに対して熱伝導率が高いヘリウムガスを用いることで、造形プロセス中のスパッタ発生の抑制が可能であることを明らかにした。ヘリウムガスの物性値に基づく高い冷却能により、レーザー照射部におけるガス相への放熱が促進し、レーザー照射部での温度上昇が抑制された。これにより、スパッタ発生の抑制は、レーザー照射部近傍での雰囲気ガスの膨張ならびにそれに伴う上昇気流の抑制によるものと示唆された。したがって、スパッタ発生の抑制には、高い冷却能を有するガス種を選択することが有効であることが明らかとなった。

第3章では、熱伝導率が高いヘリウムガスがTi-6Al-4V (mass%) 造形体の微細組織と力学特性に与える影響を明らかにした。雰囲気ガスにヘリウムガスを用いることで、ヘリウムガスの物性値と流速上昇に基づき、造形体からのガス相への熱伝達率は大幅に上昇した。造形体内の温度履歴シミュレーションにより、ヘリウムガスの高い熱伝達率に基づき、造形体からガス相への放熱が促進されたことで、凝固時と凝固後の冷却過程での造形体の冷却速度が上昇した。その結果、 α' マルテンサイト組織が微細化し、造形体のビッカース硬度や引張降伏応力が上昇した。これらの結果より、ガス種を選択によって、造形体の微細組織と力学特性の制御が可能であることが明らかとなった。

第4章では、ヘリウムガスが316Lステンレス鋼造形体の微細組織に与える影響を明らかにした。造形プロセスの雰囲気ガスにヘリウムガスを用いることで、造形体の凝固組織としてのセル構造が微細化した。セル構造のサイズから冷却速度を算出することで、ヘリウムガスの高い熱伝導率に基づき、ヘリウムガス雰囲気における造形体の冷却速度は、上昇することが明らかになった。したがって、第3章で示した金属とは異なる金属材料に対しても、ガス種を選択によって、微細組織の制御が可能であることが明らかとなった。

第5章では、ガスフロー方向に着目し、レーザー走査方向とガスフロー方向の組み合わせが造形体の結晶集合組織に与える影響を解明した。レーザー走査方向とガスフロー方向の組み合わせにより、溶融池深さの差異が生じることで、造形体の結晶集合組織が変化することを明らかにした。すなわち、ガスフロー方向が結晶集合組織を制御する新たな重要な因子であることが明らかとなった。

第6章では、第5章で示したレーザー走査方向とガスフロー方向の組み合わせによる結晶集合組織変化のメカニズムを、造形体からガス相への放熱の観点から熱拡散シミュレーションとガス相での流体シミュレーションを連成させた計算機実験を用いて解明した。その結果、レーザー走査方向とガスフロー方向との関係が、溶融池からガス相への放熱を変化させ、レーザー走査方向に依存して溶融池深さが変化することが結晶集合組織変化の要因であることを明らかにした。第5章と第6章より、ガスフロー方向を利用した新たな結晶集合組織制御法を見出した。

第7章では、本論文を総括し、雰囲気ガスに注目した金属組織制御に関する今後の展望について述べた。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (天野 宏紀)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	中野 貴由
	副 査	教授	荒木 秀樹
	副 査	教授	安田 弘行
	副 査	教授	石本 卓也 (富山大学 都市デザイン学系)
	副 査	准教授	松垣 あいら

論文審査の結果の要旨

本論文は、金属レーザー粉末床溶融結合 (Laser Powder Bed Fusion: LPBF) 法にて、スパッタ・ヒュームの除去のために用いられている雰囲気ガスが、造形体の力学特性を支配する重要な因子としての役割を有することを証明している。造形された金属材料の微細組織と結果としての力学特性は、① 熱伝導率や熱容量といった物性値が約 10 倍の差異を示すアルゴンやヘリウムといったガス種、さらには、② 同一のガスであってもレーザー走査方向とガスフロー方向との組み合わせ、により顕著に異なることを明らかにしている。本論文を通して、金属 LPBF 法における、ガスを積極的に用いた金属造形体の力学特性向上への新たな指針を得ている。

第 1 章は序論であり、ガスの有する幅広い物理特性に基づいて、雰囲気ガスの活用が金属 LPBF において造形体の力学特性を向上させ得る可能性を説明している。一方で、金属 LPBF 法における雰囲気ガスの一般的な役割と、雰囲気ガスに関するこれまでの研究事例を解説することで、これまでに、雰囲気ガスの力学特性支配因子として役割がほとんど理解されていないことを述べている。

第 2 章では、スパッタ発生に対するガス種の影響を明らかにしている。アルゴンガスとヘリウムガスの比較に基づき、ヘリウムガスがスパッタ発生を抑制することを示している。さらに、その要因が、ヘリウムガスの物性値に基づく高い冷却能に起因したレーザー照射部での温度上昇の抑制と、レーザー照射部近傍での雰囲気ガスの膨張ならびにそれに伴う上昇気流の抑制であることを考察している。

第 3 章では、Ti-6Al-4V (mass%) 合金 LPBF 造形体の微細組織と力学特性に対するガス種の影響を明らかにしている。アルゴンガス、ヘリウムガスの物性値と流速に基づき造形体からガス相への熱伝達率を算出することで、雰囲気ガスとしてのヘリウムガスの使用が造形体からのガス相への放熱を促進することを示している。結果として、ヘリウムガスの使用により、凝固時のみならず凝固後の冷却過程での造形体の冷却速度が上昇し、 α' マルテンサイト組織が微細化することで、ビッカース硬度や引張降伏応力が統計学的に有意に上昇することを見出ししている。

第 4 章では、第 3 章と同様に、ヘリウムガスによる溶融池からのガス相への熱伝達の促進が、316L ステンレス鋼造形体の凝固組織としてのセル構造を微細化することを明らかにしている。

第 5 章と第 6 章では、レーザー走査方向に対する雰囲気ガスフロー方向の角度が、造形体からガス相への放熱に影響することで、溶融池のサイズや結果としての結晶集合組織を変化させることを解明している。造形体での熱拡散シミュレーションとガス相での流体シミュレーションを連成させた計算機実験に基づき、レーザー走査方向に対しガスフロー方向が平行の場合 (以降、平行フロー) には、溶融池直上で高温となり熱伝導率が上昇したガスがレーザー走査軌道上を流れることで溶融池からガス相への放熱が促進されることを示している。その結果、平行フローでは、垂直フローと比較して、溶融池が浅くなることを示している。この溶融池深さの不一致は、同一のレーザー走査戦略を用いた場合であっても、積層厚さが小さい場合に平行フローでの凝固部が垂直フローによって上書きされることを意味し、実際に積層厚さの変化に依存して結晶配向方向が変化することを明らかにしている。本論文では、この知見をガスフロー方向に着目した新たな結晶集合組織制御法として提案するに至っている。

第 7 章では、本論文を総括し、さらに雰囲気ガスに注目した金属組織制御に関する今後の展望について述べている。

以上のように、本論文は材料工学的立場から、金属 LPBF 法の雰囲気ガスがスパッタ・ヒュームの除去のみならず造形体の力学特性の重要な支配因子であることを見出ししている。本論文は、雰囲気ガスを積極的に活用した金属造形体における力学特性の向上への新たな指針を与えるものであり、材料工学の発展に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。