



Title	微細ジルコニア粉末とレジン混合材料を用いてAM技術で成形したグリーン体の脱脂工程に関する基礎的研究
Author(s)	田中, 裕梨奈
Description	この博士論文の全文は利用可能日以降に公開されます。利用可能日以前の閲覧方法は https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/ をご参照ください。
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(歯学)
Dissertation Number	甲第16926号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16926
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99771
Type	doctoral thesis
File Information	Yurina_Tanaka_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（歯学） 氏 名 田 中 裕 梨 奈

主査 教授 黒 嶋 伸 一 郎
審査担当者 副査 教授 坂 口 究
副査 准教授 上 田 康 夫

学 位 論 文 題 名
微細ジルコニア粉末とレジン混合材料を用いて AM 技術で成形したグリーン体の
脱脂工程に関する基礎的研究

審査は、審査担当者全員の出席の下、はじめに申請者より提出論文の概要の説明が行われ、審査担当者が提出論文の内容および関連した学問分野について口頭により試問する形式で行われた。申請者より説明された提出論文の概要は以下の通りである。

日常臨床における補綴装置製作は手作業が中心で、作業時間やコストが課題となっている。近年、歯科領域ではデジタル技術が普及し、モノリシックジルコニアクラウンでは CAD/CAM による切削加工が主流であるが、材料廃棄量の多さや生産効率の低さが指摘されている。一方、Additive Manufacturing (AM) 技術は材料を積層して造形するため、複雑形状の再現性や材料利用効率に優れる。しかし、AM 技術ではセラミック粉末を樹脂バインダーで硬化させたグリーン体の脱脂・焼結工程が不可欠で、脱脂条件が寸法精度や欠陥発生に大きく影響する。ところが、鋳造用レジンにバインダーとして用いたグリーン体の脱脂工程に関する先行研究はほとんどない。

以上より、AM 技術を利用してジルコニア補綴装置を製作することができれば、より質の高い補綴歯科治療を広く提供できると考えた。そこで本研究の目的は、「脱脂時の昇温速度を低下させると最終焼結後の試料体の亀裂や破損の発生リスクを低下させることができる」と仮説を立て、最適な脱脂条件を探索することにある。

3D ソフトウェアで直径 8.0mm、厚さ 2.0mm のグリーン体を設計し、鋳造用レジンと微細ジルコニア粉末を重量比 50:50 で混合したスラリーを用い、液槽光重合方式 3D プリンターで造形した。造形後、昇温速度 20~120°C/min で脱脂を行い、1,500°C、6 時間 30 分で最終焼結した。寸法、質量変化、外観観察ならびに FE-SEM 観察を行って、統計解析も用いて評価を行った。

その結果、造形直後のグリーン体は、CAD 設計値と比較して寸法の減少が認められた。また、昇温速度が高いほど焼結後の直径の線収縮は有意に増大した。さらに、最も低速な 20°C/min においても亀裂や剥離、黄色化が観察され、本研究仮説は支持されなかった。

グリーン体の寸法減少は、3D プリンターにおける光強度の不均一性による硬化不足や未硬化層の流出、ならびに剥離操作に伴う機械的応力も影響した可能性が考えられた。また、昇温速度の影

響については、微細粉末の高比表面積、層界面の不均一性、分解ガス排出経路の制限が複合的に作用し、低速条件でも欠陥が残存したと考えられる。一方、焼結体の黄色化は、有機物の不完全分解による炭素残留や酸素空孔の生成に加え、レジン中の金属成分やファーネス条件の影響が示唆された。さらに FE-SEM 観察結果から、ブラウン体表層の緻密化がガス放出を阻害し、局所応力による剥離を誘発した可能性が推測された。

以上より、本研究には限界があるものの、AM 技術を応用したジルコニアクラウン製作の基盤構築に付与できたと考えられた。

審査担当者からの主な質問は以下のとおりであった。

1. 仮説を立てた妥当性について。仮説を立てたときにどういった背景・先行研究・理論に基づいて立てられたか。
2. 粉末とレジンの配合比が 50 : 50 であるが、この比率を選択した根拠について。
3. 粉末とレジンの配合比が本研究以外の比率の場合、どういったことが考えられるか。
4. 試料体の寸法である直径 8.0 mm と厚さ 2.0 mm は、脱脂挙動評価として最適であったか。
5. 試料体が本研究条件より厚い場合や、他の形状をした場合に想定される結果について。
6. LCD 方式で、本研究で観察された寸法誤差、欠陥は材料の要因か、装置の要因か、どちらが優位性を持っていたのか。
7. 仮説が支持されなかったことについて。最も低速な昇温速度の 20℃/min であってもクラックが生じていたが、より低速な昇温条件を適用した場合にどのような脱脂挙動が考えられるか。
8. 考察における本研究の限界に関して、FE-SEM 観察が 30 倍で行われている妥当性について。
9. FE-SEM 観察を高倍率で行った際に得られると予測される情報について。
10. 今後の展開に関して、クラック抑制のための次の手段として、昇温速度以外に検討すべき脱脂工程のパラメーターとして何が挙げられるのか。
11. 今後の研究における、有効な粉末粒径の分布やレジンの組成について。その展望について。
12. 本基礎研究の現在地について。臨床応用の時期と、それまでに行わなければならない研究ステップについて。
13. 物性の問題が解決した際に、AM 技術によって製作されたジルコニアクラウンが、ミリング加工によって製作されたジルコニアクラウンよりもどのような優位性を持つのか。

これらの質問に対する申請者の回答および説明は専門的知識に基づいた的確なものであった。また、今後の課題と研究の将来展望も示された。試問により申請者が関連学問領域における十分な知識を有していると判断された。本学位論文の研究内容は新規性を有し、得られた知見は今後の AM 技術を利用したモノリシックジルコニアクラウン製作の臨床応用化に向けた基盤構築と発展へ寄与すると考えられ、高く評価できる。以上のことから、審査員一同は、申請者が博士（歯学）の学位を授与されるに相応しいと判定した。