HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	BIOINSPIRED COMPOSITE GYROID AND BIOMIMETIC VORONOI LATTICES FOR BIOMECHANICAL APPLICATIONS [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Alemayehu, Dawit Bogale
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16536号
Issue Date	2025-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/95700
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Dawit_Bogale_Alemayehu_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　Dawit Bogale Alemayehu

審査担当者　主　査　教　授　東藤 正浩
副　査　教　授　梶原 逸朗
副　査　教　授　大橋 俊朗

学位論文題名

BIOINSPIRED COMPOSITE GYROID AND BIOMIMETIC VORONOI LATTICES FOR BIOMECHANICAL APPLICATIONS
(生体力学的応用のための生体に着想を得た複合ジャイロイドと生体模倣ボロノイ格子に関する研究)

格子構造は軽量でエネルギー吸収に優れているが, その力学的挙動は複雑であり, 変形領域全体をシミュレーションすることは, 有限要素解析においても困難である. さらに, 一般的なソリッド歯科インプラント CAD モデルは, 広く使用されているにもかかわらず, 実際の臨床環境を正確に再現することが難しく, 正確な応力分布とオッセオインテグレーションを模倣する能力が制限される. したがって, 生体の組織成長に適した環境を提供する多孔質生体材料が提案されてきている. 複合三周期極小表面 (TPMS) や生体模倣ボロノイ格子などの新しい格子構造は, 力学的特性と生理学的強要件を満足する構造モデルの提供が期待される.TPMS はエネルギー吸収能と応力分布の改善において優れている. 一方, ボロノイ格子は海綿骨の不均一な多孔質構造を模倣し, 歯科バイオメカニクスにおける数値シミュレーション手法を実現させる. これらの生体模倣技術は, 従来の設計上の制約と, 高度な応用における複雑な力学的および生物学的要求との間のギャップを埋める可能性があり, 生体力学工学における新しい材料開発が期待される.

TPMS ジャイロイド格子構造は, 応力を分散し, エネルギーを効果的に吸収する優れた能力を備えている. 異なる相対密度を持つさまざまなジャイロイド格子を使用し, その耐衝撃性と衝撃エネルギー吸収能力が期待される. 構造条件の変更により, 軽量構造と高エネルギー吸収に最適な格子条件を決定することができる. また, 歯科インプラントのバイオメカニクスでは,TPMS ジャイロイド格子を使用して, 完全格子設計とハイブリッド設計の両方で新しいインプラント設計が期待できる. 異なるセルサイズの格子モデルを使用することにより, ひずみの低減と均一な応力分布を提供する最適な構造設計が期待される. これらの革新的なインプラントは, 生体骨の構造特性を再現し, 骨とインプラントの界面におけるオッセオインテグレーションを改善し, 辺縁骨吸収を最小限に抑えることも期待できる. 最適化されたハイブリッド格子インプラントは, 生体力学的適合性とインプラント寿命を改善することにより, 従来のソリッドスレッド設計よりも優れた性能を発揮する可能性がある. 有限要素シミュレーションにおけるヒト海綿骨の複雑な挙動の解析において, 生体模倣的な格子構造は有用である. これらの格子は, 特に海綿骨の多孔質構造と機械的挙動を再現することを目的としており, 応力分布と耐荷重能力の正確なシミュレーションを可能にし, 生理学的環境での骨の挙動の正確なシミュレーションが期待される. これらの貢献により, この生体医工学分野における材料設計に寄与し, 実社会への応用に新たな可能性が生まれることを期待している.

以上の社会的・学術的背景に基づき, 生体模倣格子構造を用いた新しい複合化手法を考案し, 有限要素解析と実験的試験によりその力学的影響について調査し, その有用性について調査した.
以上を第 1 章にまとめ, 以下, 本論文の構成と概要について述べる.

第 2 章では, 2 つの異なる TPMS ジャイロイド構造を組み合わせ, 衝撃条件下でのこれらの構造のエネルギー吸収および剛性特性について, 有限要素解析と実験的試験により調査した.2 つの異なる構造の割合に起因する相対密度変化がエネルギー散逸に及ぼす影響を検証し, これらの設計が耐衝撃性を高める可能性を実証した.

第 3 章では, ソリッド TPMS 格子構造とジャイロイド TPMS 格子構造を組み合わせた歯科インプラント設計を提案した.CAD モデリングと有限要素解析により, 格子セルサイズによる剛性, 応力集中への影響について調査し, 最適な構造条件を明らかにした.

第 4 章では, 生体模倣ボロノイ格子モデルを使用し, 有限要素解析により歯科インプラントにおけるヒトの下顎海綿骨多孔性および力学的特性を再現する手法を提案した. 格子の細孔サイズがインプラントならびに骨に与える影響について, 明らかにした.
最後に第 5 章では, 全体の結論を述べた.

これを要するに, 本論文では, 生体模倣格子構造を用いた新しい複合化手法を考案し, 有限要素解析と実験的試験によりその力学的影響について調査し, その有用性が示された. 本手法は, 実現性の高い機能性インプラントの設計開発に寄与するものであり, 生体医工学の発展に貢献するところ大なるものである. よって, 著者は, 北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものとして認める.