

2023 年度年次報告書
分解・劣化・安定化の精密材料科学
2022 年度採択研究代表者

松本 卓也

岡山大学 学術研究院医歯薬学域
教授

階層性自己組織化複合材料デザイン

主たる共同研究者:

安達 泰治 (京都大学 医生物学研究所 教授)

岡嶋 孝治 (北海道大学 大学院情報科学研究院 教授)

松垣 あいら (大阪大学 大学院工学研究科 准教授)

研究成果の概要

松本グループは、さらなるリソース集中のための硬組織形成基礎データ収集を進めた。マウス大腿骨、象牙質など生体硬組織の発生過程について高い時間空間分解能での X 線 CT、組織染色画像、走査電子顕微鏡画像を取得し、グループ内で共有できるようにした。この検討から大腿骨の物性と構造変化との異なる空間分解能での相関性を検討し、結晶成長変化と物性変化との多階層での関連について明確にした。

松垣グループは、多階層的に骨基質配向化構造が発現する仕組みを人工的に制御する技法として、レーザ走査型金属 3D プリンタによる微小 3 次元構造の任意形状付与を実現し、骨形成細胞の配向を起点とした骨基質形成プロセスを再現した。さらに、骨基質様配向が、骨内在的な抗菌特性発現に寄与することを発見した。加えて実験動物を用いた人工応力負荷モデルを構築し、力学負荷に応じた骨基質の動的変化を捉えることに成功した。

安達グループは、骨形成やリモデリング過程における骨の分解・安定化の結果生じる不均質な骨基質の力学物性、時間発展を表現できる力学モデル開発を進めた。特に、骨基質の損傷・修復過程を *in silico* に実装し、単純な骨梁モデルでその現象再現を確認した。また、複雑海綿骨モデルに適用し、骨梁間の荷重分担変化による骨梁構造変化を再現した。発生期骨形成過程の多細胞ダイナミクスを実現する計算科学手法を構築し、軟骨細胞増殖や細胞死による組織の体積や形状変化を再現した。

岡嶋グループは、広範囲かつ高速にレオロジー計測が可能なナノプローブ顕微鏡システムの要素技術を開発した。高速スキャナーと広範囲スキャナーを融合した FPGA 制御プログラムを試作した。細胞の弾性率・張力を独立に解析する手法、および往復フォースカーブ測定による細胞集合体レオロジーの時空間計測を実現した。スパースなデータの再構成技術である圧縮センシング法を AFM 物性計測に適用し、更なる高速化の可能性を示した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Watanabe, R. Matsugaki, A. Gokcekaya, O. Ozasa, R. Matsumoto, T. Takahashi, H. Yasui, H. Nakano, T. Host Bone Microstructure for Enhanced Resistance to Bacterial Infections, *Biomaterials Advances*, 154, 213633, 1-9 (2023)
DOI: 10.1016/j.bioadv.2023.213633
- 2) Yokoyama, Y., Kameo, Y., Adachi, T. Development of Continuum-based Particle Models of Cell Growth and Proliferation for Simulating Tissue Morphogenesis, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 142, 105828, (2023)
DOI: 10.1016/j.jmbbm.2023.105828
- 3) Shigemura, K. Kuribayashi-Shigetomi, K. Tanaka, R. Yamasaki, H. Okajima, T. Mechanical Properties of Epithelial Cells in Domes Investigated Using Atomic Force Microscopy, *Front. Cell Dev. Biol.*, 11, 1245296 (2023)
DOI: 10.3389/fcell.2023.1245296