

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 中川 慶之

「バイオプリンティングへの応用を目指した新規イオン架橋性ゲルの開発」と題した本論文は、厚みのある移植組織を 3D インクジェットプリンターにより作製する際のインク材料に応用可能な新規イオン架橋性ゲルの開発に関する研究成果を纏めたものであり、全 7 章から構成されている。

第 1 章では、研究背景および研究目的を述べている。まず再生医療の技術的課題の 1 つとして厚みのある移植組織の構築を挙げ、3D プリンターにより細胞とハイドロゲルからなる 3 次元組織を作製するバイオプリンティングが近年注目されていることや本技術の現状に係る総論を述べている。その上で、本技術の印刷解像度向上の重要性に鑑み、インクジェット技術に基づくインクジェットバイオプリンターの使用が加速される必要性を論じ、これを妨げている要因としてインクジェットバイオプリンター用のインクとなるハイドロゲル材料、いわゆるバイオインクの開発があまり進んでおらず、バイオインク的设计指針も明らかでない点を指摘している。以上を踏まえ、インクジェットバイオプリンター用の高性能なバイオインクの開発を狙い、自在な分子設計が可能な合成高分子イオン架橋性ゲルを開発し、開発したゲル材料の 3D インクジェットプリンティングプロセスを検討することを、研究目的に設定している。

第 2 章では、スターブロックコポリマーから構成されるカルシウムイオン架橋ハイドロゲルの開発について述べている。前駆体高分子であるスターブロックコポリマーの分子設計の工夫により架橋を担う部位の分子内架橋を抑制することで、フリーの金属イオンの添加により直接ゲル化可能なイオン架橋性ゲルが合成高分子でも実現できることを初めて示している。また、材料の高い生体適合性も示している。

第 3 章では、酸化還元応答性を有する鉄イオン架橋スターブロックコポリマーゲルの開発について述べている。第 2 章で用いたカルシウムイオンと比較して強固な架橋点構造や酸化還元応答性の付与が期待される鉄イオンを新たな架橋イオンとして検討することにより、材料の高機能化が実現可能であることを示している。

第4章では、イオン架橋性スターブロックコポリマーゲルの3D インクジェットプリンティングに係る検討について述べている。第2章にて開発したスターブロックコポリマーの溶液が種々のフリーの金属イオンの添加で速やかにゲル化することを示すとともに、この特長により3D インクジェットプリンティングをスターブロックコポリマーゲルで初めて実現している。そして、実験結果と反応拡散モデルに基づく考察により、ゲル化に要する金属イオン量が少ないほど高解像度を実現できることを明らかにしている。

第5章では、直鎖状ABA型トリブロックコポリマーからなるイオン架橋性ゲルの開発について述べている。フリーの金属イオンの添加で直接ゲル化可能なイオン架橋性ゲルが直鎖高分子でも実現できることを示し、架橋を担う部位の分子内架橋を抑制する分子設計の重要性を一層裏付けている。また、前駆体高分子のサイズや前駆体高分子1個あたりの架橋を担うアーム鎖本数がゲルのネットワーク構造や力学的強度、ゲル化能に与える影響を論じており、イオン架橋性ゲルの自在な分子設計を行う上での指針となる知見を深めている。

第6章では、第3章にて示した鉄イオン架橋スターブロックコポリマーゲルに着目し、その前駆体高分子の分子設計と得られるゲルの物性・機能の相関について述べている。前駆体高分子の分子設計により得られるゲルのゲル化能や力学的強度、分解安定性が制御できることを示すとともに、前駆体高分子の分子設計の精密な制御が材料の生体適合性を向上させる上で重要であることを示唆する結果を得ている。

第7章では、第2章から第6章の内容を総括し、今後の展望について述べている。バイオインクに要求される性能やバイオインクの設計指針を整理するとともに、本研究の意義や今後の課題について論じている。そして、本研究の成果が将来的にはバイオプリンティングによる革新的な再生医療へと発展していくことが期待されることを述べている。

以上要するに、本論文はイオン架橋性ゲルの自在な分子設計への道を拓くものであると同時に、インクジェットバイオプリンター用バイオインクとして応用する際のイオン架橋性ゲルの設計指針を明らかにするものである。本研究はインクジェットバイオプリンターに着目して新規バイオインクを開発している点が従来の研究とは異なり独創的である。また、材料設計とプロセス検討の一体的検討を通してバイオインクの設計指針に関する一般化した知見の整理を目指す先駆的な取り組みを行っている点が学術的にも意義が高く、化学システム工学の発展に大きく貢献するものであると考えられる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。