

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	構造制御を基盤としたタンパク質素材からなる機能性材料の構築
Title(English)	
著者(和文)	田中道大
Author(English)	Michihiro Tanaka
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11794号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:芹澤 武,中嶋 健,下山 裕介,古屋 秀峰,澤田 敏樹
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11794号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		田中 道大	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名	
	主査	芹澤 武	教授	審査員	澤田 敏樹	准教授	
	審査員	中嶋 健	教授				
		下山 裕介	教授				
		古屋 秀峰	准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「構造制御を基盤としたタンパク質素材からなる機能性材料の構築」と題し、全五章から構成されており、日本語で書かれている。本論文は、タンパク質の構造制御を基盤として、機能性材料のバルク素材としてタンパク質を利用するための新たな道筋を示すことを目的としている。

第一章「序論」では、本論文の背景と目的について述べている。

第二章「液-液界面を利用した繊維状ウイルス集合体の構築」では、溶液中とは全く異なるユニークな集合構造が形成される界面に着目し、エマルションの液-液界面を利用することにより、繊維状ウイルスの一種であるファージを素材とするタンパク質集合体の新たな自在構築手法を確立することを目的としている。ファージ水溶液と有機溶媒を混合して攪拌することでエマルションを形成し、エマルションの液-液界面においてファージが形成する集合構造を評価している。その結果、エマルション形成直後に液-液界面にナノ繊維が集合化している様子が観察され、これらナノ繊維は経時的に構造緩和しながら熱力学的な平衡状態に近い緻密なマイクロ構造を形成することを明らかにしている。形成させたエマルションは1年以上安定に保持され、また幅広い pH に対しても高い安定性を示しており、界面を利用して構築した階層的な集合構造が、エマルションの高い構造安定性に寄与することを明らかにしている。さらに構築したファージ集合体は、ファージの外殻タンパク質が元来示す還元能を維持しており、様々な機能を付与するための担体として利用できる可能性を示している。以上のことから、液-液界面を適切に利用することで、ナノスケールからミクロスケールに渡ってファージ素材を階層的に集合化させる手法を新たに見出している。

第三章「機械学習を利用した繊維状ウイルスの構造最適化に基づくミネラルゼーション能の向上」では、還元特性に最適化されたファージを機械学習により効率的に探索することを通じて、ファージを目的に応じて人工的に進化させる手法の確立を目的としている。ファージ表層のタンパク質を遺伝子改変し、ファージライブラリーを構築している。遺伝子改変ファージと金イオンを混合した後に生成される金ナノ粒子の表面プラズモン共鳴吸収スペクトルのピーク強度を指標として遺伝子改変ファージの還元能を評価している。遺伝子改変ファージの還元能を解析するために機械学習モデルを構築した結果、それらの還元特性を予測でき、ファージの機能を向上できることを見出している。またファージ濃度に応じて還元により生成される金の形態を制御できることを見出し、遺伝子改変ファージを利用することで、その生成量や生成速度を向上できることを見出している。さらに、ペプチドによる還元能の向上が、ファージから構築した階層的な集合体を用いた場合にも適用できることを実証し、ファージ自身の機能を向上させることで、ファージから構築されるバルク材料の機能を向上できることを見出している。

第四章「シルクタンパク質の構造制御と熱伝導性材料の創製」では、シルクタンパク質が形成する集合構造を様々なスケールで制御し、それら集合構造と熱伝導性との相関を明らかにすることで、熱伝導性材料の素材としてのシルクタンパク質の有用性を明らかにすることを目的としている。由来の異なる様々な種類の蚕が天然で紡糸するシルク繊維や、シルク繊維を構成するシルクナノ繊維からなる配向フィルムの高熱伝導率は、有機系高分子材料の中では高い値を示し、シルクナノ繊維のように規則的な分子集合体からなる階層構造が高熱伝導に重要であることを見出している。また、シルクタンパク質を水溶液として抽出した後フィルム化し、フィルムの溶媒浸漬や延伸、相対湿度に応じた二次構造の変化が高熱伝導率に与える効果を評価している。その結果、 β シート構造の形成に伴う規則的な構造の形成が、高熱伝導に重要であることを明らかにしている。さらに、熱伝導率に対するシルクフィルム内の共有結合の効果を評価した結果、 β シート構造のような規則的な集合構造の存在下での共有結合形成が、有機系高分子材料の高熱伝導化に有用であることを見出している。以上のことから、熱伝導性材料の素材としてのシルク素材の有用性を明らかにしている。

第五章「結論および今後の展望」では、本論文の結論と今後の展望について述べている。

これを要するに、本論文はバルク材料として機能を発現するようにタンパク質の階層的な集合構造形成の制御手法や合目的な機能改変手法を見出し、新しい機能をもつ環境低負荷材料を構築するためのタンパク質の構造制御の有用性を新たに開拓していることから、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。