

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	タンパク質分子針の動的挙動考慮設計による自己集合構造の創出
Title(English)	Dynamics-coupled Design of Protein Needles for Constructing Self-assembly Structures
著者(和文)	菊池幸祐
Author(English)	Kosuke Kikuchi
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12662号, 授与年月日:2024年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:上野 隆史,石井 佳誉,金原 数,田口 英樹,三重 正和
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12662号, Conferred date:2024/3/26, 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	菊池 幸祐	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	上野 隆史	教授	三重 正和	准教授
	審査員	石井 佳誉	教授		
		金原 数	教授		
田口 英樹		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Dynamics-coupled Design of Protein Needles for Constructing Self-assembly Structures (タンパク質分子針の動的挙動考慮設計による自己集合構造の創出)」と題し英文で書かれ、全 5 章より構成されている。

第 1 章「General Introduction」では、タンパク質集合体設計および動的集合化機構について概説し、本研究の目的と意義を論じている。

第 2 章「Protein Needles Designed to Self-assemble through Needle-tip Engineering」では、針状タンパク質分子 PN を用いた二次元集合パターンの構築を達成している。PN の設計自在性と異形状に着目して 3 種類の分子針を作成し、高速原子間力顕微鏡観察と独自の解析によって新規集合体の構築を実証した。構築した集合体は分子針末端によるタンパク質間相互作用にくわえて分子針側面とマイカ基板とのタンパク質—基板間相互作用を利用した協同的な効果によって得られていることも見出した。さらに、観察した動的集合過程をもとに数理モデルを構築してシミュレーションを実行し、より一般的な集合化法則を明らかにした。これらの結果を踏まえ、PN 利用によってタンパク質の分子設計・運動観察・集合構築を体系的に理解し応用する指針を打ち立てた。

第 3 章「Design of a Hierarchical Assembly at a Solid-liquid Interface Using an Asymmetric Protein Needle」では、第 2 章で見出した運動性・異方性にもとづく集合化を拡張し、複数のタンパク質間相互作用を使い分けたより高度な集合体構築を試みた。そこで両端非対称の分子針 gp5 を利用して集合体ネットワークを構築し、高速原子間力顕微鏡によって探究した。その結果、gp5 が天然では実現しえないような四量体構造をマイカ基板上で形成することを見出した。詳細な比較実験から、四量化は N 末端間の疎水性相互作用により実現されていることを明らかにし、もう一方の C 末端 His-tag による柔軟な結合が四量体を互いに連結する効果を有すると示した。以上より、タンパク質—マイカ基板のハイブリッド系による特異な集合構造を実現し、こうした複合化による多様な集合構造の構築可能性を論じている。

第 4 章「Controlling Structural Coloration of Cellulose Nanocrystal Films through Monodisperse Proteins」では新たな展開として、セルロースナノ結晶 (CNC) とタンパク質との複合化による構造色材料の創出を行っている。ここでは、CNC が自己集合によってキラルネマチック液晶構造を発現する事象に対し、従来あまり研究が進めてこられなかった、CNC へのタンパク質複合化を試みている。蒸発誘起自己集合手法にもとづいてタンパク質—CNC 懸濁液を用いたフィルムを作成したところ、得られるフィルムの構造色がタンパク質の種類と濃度に応じて変化することを見出した。UV-Vis 反射率スペクトル測定から、リゾチームおよびウシ血清アルブミンが混合比依存的な青方遷移を示すことを定量的に確認した。一方で CNC—タンパク質複合化におけるスケール拡張性や物性制御の困難さなどの課題も明らかにし、今後の生体由来材料設計における展望を議論している。

第 5 章「General Conclusion」では、ここまで得られた知見を総括し、自己集合体設計における動的挙動考慮の重要性とハイブリッド系の有用性とを論じている。さらに本研究の展望として、運動性を組み込んだ集合体の設計可能性を示している。

以上を要するに、本論文は分子の動的挙動を考慮したタンパク質集合体設計の枠組みを打ち立てた独創的な研究であり、理学上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士 (理学) 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。