

プログラム名：超高機能構造タンパク質による素材産業革命

P M 名：鈴木 隆 領

プロジェクト名：大規模ゲノム情報を活用した超高機能タンパク質の設計及び製造

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成 27 年度

研究開発課題名：

高機能タンパク質素材の高機能発現メカニズムの解明

研究開発機関名：

国立研究開発法人理化学研究所

研究開発責任者：

沼田 圭司

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

自然界に存在する多種多様な構造タンパク質から、人類の生活に役立つ機能・構造材料を創出するため、天然の構造タンパク質の構造と基礎物性の相関を明らかにすることを目指す。高分子材料分野の一つの目標である、「クモ糸の有する物性を人間により再現・超越する」という課題を達成するために、構造タンパク質の構造材料としての基盤科学を構築し、次世代型の構造材料としての地位を確立することを目指す。具体的には、1) クモの牽引糸に固有の物性である、変形速度の上昇に伴い強度が増加するという特殊な挙動を、高分子構造の観点から解明する。2) 水系の環境で紡糸されるクモ糸は、自由水と結合水を上手く局在し利用することで、特異的な物性を達成している。そこで、クモ糸の中の水の構造から、紡糸および材料設計に必要な知見を得る。3) クモの牽引糸の紡糸過程における、構造の変化を明らかにすることで、クモ糸の紡糸機構を解明する。現在、クモの大瓶状腺内のシルクの構造は、液晶だという説と高濃度ミセル溶液であるという説に、二分されている。高分子構造の観点から、この論争に結論を出すと共に、シルクの紡糸機構を解明し、構造タンパク質の成型加工に関する新たな技術へと発展させる。4) シルクを構造材料として利用する際に、最も検討されていない物性が熱的物性である。シルクは、合成高分子と同様にガラス点移転と呼ばれる相転移温度が2つあるが、これらは水分子の脱離および結晶の融解によるものと考えられている。これらのガラス転移点に熱分解温度を加えた熱物性に関する基礎研究を進める。

平成 27 年度は、クモ糸の物性をデータベースとして整備する一方で、水がシルクの物性および構造に与える影響を定量的に評価し、材料設計に利用可能な知財および基盤となる知見を確立することを目的とした。特に、水と熱的性質の相関について既存の知見が皆無であったため、産業利用に必要な基本情報を整備することを最初の目標とした。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

物性の定量化およびデータベース化は、順調に進展した。目標値である 50 サンプルを達成し、データベースとしての運用を開始することに成功している。海外からのサンプルとして、マレーシアおよびブラジルのサンプリングにも成功しており、今後のデータベース化が予定されている。今後は、北米や欧州などのサンプルを加え、幅広い多様性を網羅するデータベースの構築を進める。

データベース化に加えて、モデル構造タンパク質である、シルクを利用した基礎物性の発現機構の解明を進めている。具体的には、以下の 4 課題について、明確な答えを導き出す。

1) クモの牽引糸に固有の物性である、変形速度の上昇に伴い強度が増加するという特殊な挙動を、高分子構造の観点から解明する。当該の物性により、クモの牽引糸は高タフネス材料として振る舞うことができると考えており、構造タンパク質を高タフネス材料として確立するためには、変形速度依存の基礎研究は必須である。現在、測定に適した装置を構築しており、H28 年度中には高速変形過程における構造と物性の相関を調べることが可能となる。

2) ジョロウグモの紡糸機構を、形態観察および構造解析から、明らかにすることに成功した。今後は、水系紡糸により形成される階層構造が、変形過程においてどのように機能しているのか、また階層構造が機械的な物性に与える影響を調べていく。クモの牽引糸の紡糸過程における、構造の変化を明らかにすることで、クモ糸の紡糸機構を解明する。

3) シルクを構造材料として利用する際に、最も検討されていない物性が熱的物性（変形温度および熱安定性）である。シルクの転移温度について水由来の転移と構造由来の転移を明らかにし、シルクの方法設計に適した水分量を明らかにした。同時に、ある一定の水分量において、シルク素材のタフネスが大きく向上することを発見した。これらの知見は、シルクをはじめとした構造タンパク質の熱的性質および機械的性質を制御するために欠かせない基礎技術となる。現在は、水分、熱、および圧力の総合的な環境が、シルク分子の転移に与える影響も定量化を進めている。

2-2 成果

クモ糸の物性をデータベースとして整備し、目標値として設定した 50 サンプル以上のデータ取得を達成した。データは、Spiber 中村および慶應大学荒川と協力し、一括管理する体制を構築した。次年度以降は、更なる解析速度の向上が期待される。同時に、カイコ由来のシルクについては、アジア各国との共同研究により、配列と物性の相関を定量的に示すことに成功した。この成果は、クモ糸のデータベースに先立ち、構造タンパク質の構造と物性の相関を示すモデルケースとして非常に有意義である。

シルク素材の含水率が、シルクの熱物性に与える効果を定量化することに成功した。本成果は、知財として出願した。一方で、ある特定の含水率がシルク素材の機械的物性を劇的に向上させることを明らかにした。関連する技術 2 件を知財として、出願した。これらの成果は、シルク素材の材料設計に利用可能な基盤技術である。

天然のクモ糸が紡糸される機構を明らかにした。また、紡糸機構に由来する階層構造が、クモ糸固有の機械的物性を発現させていると推察された。本件は、水系紡糸機構の基本特許として出願した。

以上の成果は、構造タンパク質を構造材料として利用する際に必須の知見であり、プロジェクト 1-2 およびプロジェクト 2 への寄与が期待される。同時に、水系紡糸技術や構造タンパク質の材料科学分野を確立するために必要な基礎研究であり、構造タンパク質の基礎科学という観点からも重要な役割を担うと考えられる。

2-3 新たな課題など

シルクをはじめとした構造タンパク質の熱物性が含水率に影響されることから、水の影響を受けない構造タンパク質の開発に着手した。

3. アウトリーチ活動報告

理化学研究所一般公開にて、研究内容を紹介した（2015 年 4 月）。

高分子学会 高分子未来塾において、クモ糸の話「強靱な高分子、クモの糸！」を紹介（2015 年 12 月）。