

1. 研究課題名：生命科学の時代が求める新材料 - ソフト&ウェットマテリアルの創製

2. 研究期間：平成 18 年度～平成 22 年度

3. 研究代表者：グン 劍萍（北海道大学・大学院理学研究科・教授）

#### 4. 研究代表者からの報告

##### (1) 研究課題の目的及び意義

21 世紀の生命科学の時代における緊急課題として、ハード&ドライ材料から脱却し、生体軟組織に代替するソフト&ウェットマテリアルを創製する。これは豊かな医療・福祉社会を目指す上で不可避の重要課題である。生体軟組織に代替するソフト&ウェットマテリアルとして、1) 力学機能（しなやかさ、優れた力学強度、衝撃吸収能）、2) 界面機能（低流体抵抗、低滑り摩擦、他の生体組織との反応性、細胞、骨などとの接着性）、3) 物質輸送機能（蛋白質、糖などの栄養物質の輸送、ホルモン、イオンなどの情報伝達）などを併せ持たなければならない。ゲル状物質のみがそれらを実現しうる。目標は下記の通りである。

①機能性高強度ゲルの創製:血管、軟骨や腱などの生体軟組織の秩序/複合/階層構造をヒントに、高い力学強度としなやかさ、それに高機能を同時に実現するようなゲルをデザインし、合成化学と生合成の手法を縦横に活用して創製する。

②機能性高強度ゲルの特性解析:①のゲルがもつ力学特性、界面特性、輸送特性を解析し、その秩序/複合/階層構造との関連を解明する。さらに、生体軟組織と比較することによって、生物の優れた機能発現の原理を物質科学的な視点から解明する。

③生体適合性高機能ゲルの創製:①②の成果を活かし、生体適合性と優れた機能を併せ持つゲルを開発し、ソフト&ウェットな人工血管、人工関節軟骨、人工腱などの真の生体代替軟組織を実現する。

これらの研究を通して最終的にはソフト&ウェットマテリアルの科学という新分野の創成を目指す。

##### (2) 研究の進展状況及び成果の概要

平成 18 年度から、生体軟組織の秩序/複合/階層構造をヒントにした、ソフト&ウェットマテリアルゲルの創製を開始した。2 次元層構造ゲルの設計と合成に関しては、酢酸菌が生産する生物由来のバクテリアセルロース(BC)ゲルに着目し、硬い BC 層と柔軟なゼラチン層から成る二次元複合構造を有するゲルの合成に成功した。二次元複合構造により破断応力が数 MPa にも達するほど高強度化することが示された。また、3 次元複合構造ゲルの設計と合成に関しては、高強度ダブルネットワーク(DN)ゲルの研究を進め、第一網目への多孔構造の導入により、3 次元構造を制御した DN ゲルの創製に成功した。適度な多孔濃度によって DN ゲルが降伏挙動を示し、引っ張り破断応力数 MPa、破断歪 2000%の高強度ゲルが得られた。さらに、DN ゲルの大きな破壊エネルギーが亀裂先端に局在して起こる降伏変形によるという破壊力学モデルを提案した。一方、ゲル創製に活用するゲルの動的・静的不規則系複合/階層構造測定システムの構築に取り組んでおり、ゲルの階層構造の厳密な測定に特化した世界最高速の動的光散乱装置(SMILS)を開発した。SMILS により DN ゲルの第一網目と第二網目が高度に絡まっていることが明らかになった。さらに中性子小角散乱や 3D-TEM による構造解析にも取り組んでいる。平成 19 年度から、非線型・大変形・緩和現象を中心にした機能性高強度ゲルの物性解析に着手した。力学機能の解析(破壊)、界面機能の解析(界面の潤滑)、物質輸送機能の解析(揺らぎの拡散)を行っている。界面機能の解析においては、ゲル上に培養した細胞表面の摩擦係数直接測定に初めて成功した。ゲル表面の表面電荷と柔らかさが摩擦低減に重要であることが見出された。

#### 5. 審査部会における所見

##### A (現行のまま推進すればよい)

本研究の最終的な目的は、研究代表者が見出した高強度ヒドロゲルの強度発現の機構解明と、それに基づく高機能ゲル材料の開発である。機構の解明に関しては、これまでの研究によって巨視的な挙動は明らかにされつつあり、微視的および分子論的な解釈へ向けて測定装置類の開発等が順調に進んでいる。また、力学的な試験についてはネッキング現象など興味深い特性が明らかになりつつあり、材料開発の観点からのみならず固体力学としての広がりも見え始めている。もう一つの目標である新材料開発については、その用途を人工関節などの生体材料を中心に見据えて研究が精力的に進められており、現行のまま推進すればよいと判断した。