

# 論文内容要旨（和文）

平成25年度入学 大学院博士後期課程

機械システム工学専攻

分野

氏 名 和田 真人



論文題目 高分子ゲル機械材料の低摩擦特性に関する研究

本論文では、生体適合性や機械的強度を有する高機能高分子ゲルの高強度かつ低摩擦性を活用した新規ゲルデバイス開発を目的に、低摩擦性を活用したゲルデバイスに特化した摩擦測定装置を開発し、機械的強度や摩擦特性を定量評価することにより適応可能な条件を検討したものである。

本論文は、下記の8章より構成されており、要旨は以下の通りである。

第1章では、序論として高機能高分子ゲルについてと本研究の背景と目的を述べた。

第2章では、高機能高分子ゲルの作製方法や、ゲル特有の摩擦理論、高分子ゲルがもつ各機能（柔軟性、高延性、高吸水性、形状記憶性、生体適合性、3Dゲルプリンターによる自由造形性など）を記述した。

第3章では、高機能高分子ゲルとして高強度ダブルネットワークゲルと形状記憶ゲルに注目し、その力学特性と摩擦特性を評価した。力学特性は圧縮試験により評価した。高強度ダブルネットワークゲルは、圧縮破断強度が約23 MPaの強度を示した。これは、機械材料として扱うには十分である。また、形状記憶ゲルの圧縮挙動では、室温では硬質高分子材料、60℃環境下では高強度ゲルにみられる特有の圧縮挙動を示した。これにより、温度変化にて結晶性モノマーの融解が作用することで異なる力学特性を持つことが示された。摩擦特性については本研究で新たに開発したゲル摩擦測定に特化した摩擦装置を用いることで、動摩擦係数の荷重依存性や速度依存性が確認された。これによりゲルの低摩擦が実現しうる実機条件を見出した。

第4章では、温度依存性をもつ形状記憶ゲルの摩擦挙動について述べた。温度による力学特性、摩擦特性の評価や、高分子ポリエチレングリコール (polyethylene glycol: PEG) 添加による力学特性 (ヤング率と含水率) の変化によって起きる摩擦挙動を評価した。PEG添加による低ヤング率化かつ低摩擦化の発現は、水膜内の表面に「Polymer brush」とよばれる、PEGブラシが構築されたためと推察される。これらは使用環境に合わせたゲルデバイス開発における重要な機能と位置づけられる。

第5章では、ゲル摩擦係数の電場依存性について述べる。ゲル専用開発した摩擦測定装置に、ゲル摩擦界面に垂直に電圧を印加する機構を組み込んだ。これにより電場を発生させ、ゲル表面の水膜厚さの変化によって起きる摩擦挙動を評価した。1st網目のAMPsは電解質ゲルであり、そのためゲル内の溶媒にプロトンが発生する。発生したプロトンは電圧を印加することで陰極側に移動する。そのとき、陽極側と陰極側で濃度差が生じる。その濃度差により浸透圧が起り、ゲル内の水分子もまた陽極側に移動する。この水分子の移動がゲルの表面摩擦係数に影響していると考察した。

第6章では、表面加工によるゲル表面の低摩擦化について述べる。ゲルの表面に加工を施すことでゲル表面の粗さが増大し、表面の凹凸の凸の部分だけ接触させることにより、実質的な接触面積を小さくし、凹の部分では油溜まりに似た作用が働くと考えられる。その結果、無加工の状態と比較すると約81%動摩擦係数を下げることが可能にした。これにより、ゲル表面に潤滑剤などを塗布することなく、低摩擦化された表面を付与することができる。

第7章では、高分子ゲル機械材料を用いた無潤滑摺動シール材の開発について述べる。第3章で見出した動摩擦係数の荷重依存性や速度依存性、ゲルの低摩擦が実現しうる実機条件をもとに、ゲルシール材に特化した試験機（本研究にて新規開発）を設計開発した。垂直摺動と、回転摺動を同時に測定することにより多様な測定を可能にした。そして前述の力学特性の評価と摩擦挙動の評価によって得られた知見をもとに新たに潤滑剤としての水を添加すること無しにゲル内部に存在する水の滲み出しによって低摩擦が実現する摺動シールを新規に設計開発した。これにより優れた摺動特性とシール性を併せ持つゲルシール材の開発が期待される。実用化が難しいとされてきた課題（適した加工法や実機条件）を解決することで、本研究の有用性を示した。シール材の開発に成功すれば、本研究で示された温度効果、高分子添加効果、電場印加効果、低摩擦加工などのさまざまな知見を、シール材の高機能化に適用できることを示唆した。

第8章では、本論文を総括し、今後の検討課題について述べた。

# 学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成29年2月14日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

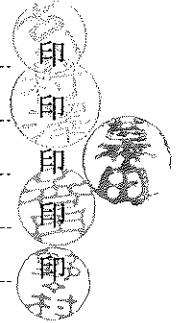
主査 古川 英 光

副査 村 澤 剛

副査 暮 田 寿 典

副査 香 田 智 則

副査 野 々 村 美 宗



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

論文申請者	専攻名 機械システム工学専攻	氏名 和田 真人
論文題目	高分子ゲル機械材料の低摩擦特性に関する研究	
学位論文審査結果	合格	論文審査年月日 平成29年1月25日～平成29年2月7日
論文公聴会	平成29年2月7日	場 所 工学部 11号館 201室 (未来ホール)
最終試験結果	合格	最終試験年月日 平成29年2月7日

## 学位論文の審査結果の要旨 (1,000字程度)

本学位論文の研究は、高強度高機能高分子ゲルに特有な低摩擦特性による新規ゲルデバイス開発を最終目標として、ゲルの低摩擦性評価に特化したオリジナルの研究装置を開発し、機械的強度や摩擦特性を定量評価することにより、高分子ゲルの機械材料としてのゲルデバイスへの適応可能条件を検討したものである。

第1章は序論であり、摩擦理論と高分子ゲルについて概説し、本研究の背景と目的を述べられている。

第2章では研究の学術的背景として、高分子ゲルの合成法、ゲルの摩擦理論、高分子ゲルの機能について論じられている。以降、研究成果について論じられている。第3章は主に高強度ダブルネットワークゲルに関する研究であり、圧縮破断強度が約23MPaに達しつつ、低摩擦特性を示すことが測定された。高強度ゲルの動摩擦係数の荷重依存性や速度依存性が機械応用に供するレベルで調べられ、学術的な新規性が認められる。

第4章は主に山形大学で新規開発された形状記憶ゲルについての研究であり、力学特性と摩擦特性の温度依存性が測定されている。形状記憶ゲルの組成やポリエチレングリコールの添加割合の効果も調べられている。

第5章ではゲルの機械応用に向け、電場による摩擦制御が検討されている。ゲルの摩擦界面に垂直に電圧を印加する機構を摩擦測定装置に組み込むことで、電場によりゲル表面の水膜厚さを変化させることによって生じる摩擦係数の変化を新規に評価している。

第6章では表面加工によるゲル低摩擦性の向上が検討されている。ラフネス加工により動摩擦係数を約80%減少させられている。

第7章では新規ゲルシールの開発に向け、摺動摩擦と回転摩擦を同時に評価できる新試験機の開発について述べられている。

最後の第8章は、本論文を総括し、今後の検討課題について述べている。

本論文研究で得られた知見は科学的および工業的に有益であり、第3・4章の内容は英文原著論文として1報掲載済み、第5章の内容は1報投稿準備中である。また第3・4章の内容に関連した特許1件が出願済み1件、第6章の内容は出願中1件である。またこれらの内容は国際学会だけでも5件の発表があり、審査基準を満たしている。よってこれらの研究業績により、審査委員全員による協議の結果、本論文の内容は学位論文として評価できるものと認め、学位論文審査を合格と判定した。

なお本論文は、研究倫理又は利益相反等に係る学内規則に基づく手続きは必要ありません。

## 最終試験の結果の要旨

本学の規定に従い、本論文および関連分野に関して、各審査員がそれぞれ口頭により最終試験を行い、本論文の内容についてよく理解され、関連する学問の基礎について必要となる知識を修得されていること確認した。また、英文論文の執筆、国際会議の発表実績により、英語の能力があると判断した。博士の学位を授与するのにふさわしい知識と能力を有していると認められる。

以上を踏まえ、審査委員全員による協議の結果、最終試験を合格と判定した。