

Tribological Properties of Hydrogels with Hemispherical Surface Dimples

竹藤, 春菜

<https://hdl.handle.net/2324/7363592>

出版情報 : Kyushu University, 2024, 博士 (理学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名 : 竹藤 春菜

論 文 名 : Tribological Properties of Hydrogels with Hemispherical Surface Dimples
(表面に半球状くぼみ形状をもつハイドロゲルのトライボロジー特性)

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

ハイドロゲル(以下、ゲル)は高分子の 3 次元ネットワーク構造が水で膨潤した物質であり、生体モデルや生体代替物質など、生物分野や医療分野での応用が期待されている。例えば、ゲルを人工関節軟骨へ応用するための研究が盛んに行われているが、ゲルの摩擦や摩耗といったトライボロジー特性を理解することは大変重要である。ゴムなどのソフトマターの摩擦研究は行われているが、ゲルの摩擦研究は歴史が浅く、とりわけその表面形状に着目した例は少ない。一般に固体の表面形状はその表面物性に影響を与えることが知られている。ゲルの表面形状のみを変化させることでそのトライボロジー特性をコントロールすることが可能となれば、高い含水率や物質透過性など、他の固体に見られないユニークな物性を損なうことなくさらなる高機能化を期待できる。そこで、本研究では、表面にくぼみ形状をもつ Poly(vinyl alcohol) (PVA) ゲルを作製し、その表面摩擦や凝着、摩耗挙動について調べた。

第 1 章では、表面にくぼみ形状をもつ PVA ゲルと濡れ性の異なるガラス基板との接触及び凝着強さについて報告する。水滴形状を転写し、半球状のくぼみ形状をもつ PVA ゲルを作製した。それを用いて、ガラス基板との接触状態をその場観察により評価したところ、表面形状は圧縮下でも保持され、ゲル/基板の接触面積が減少することを確認した。水中で試験を行った場合、くぼみ内に存在する水は荷重を支持できず、局所的な接触圧が上昇することが示唆された。また、ゲルとガラスが接触した状態から剥離させ、ゲル/ガラス間にはたらく凝着力を測定したところ、表面が平坦なゲルに比べ、くぼみ形状をもつゲルの方は凝着力が小さくなる傾向がみられた。これは接触面積の減少やくぼみ内の水が界面へ供給されることで剥離を促進したことが理由と考えられる。

第 2 章では、表面にくぼみ形状をもつ PVA ゲルと、濡れ性の異なるガラス基板に対するゲルの摩擦について報告する。摩擦相手基板の濡れ性が変化することによって、表面が平坦なゲルの摩擦挙動が変化することは既に知られている。ここではくぼみ形状をもつゲルを使用して、摩擦にどのような影響を及ぼすのか、また、表面形状の摩擦への影響と基板の濡れ性の関係について検討を行った。表面が平坦なゲル同様、基板濡れ性に応じて、くぼみ形状をもつゲルの摩擦挙動が変化すること、また特に疎水性の基板に対して、広い速度範囲で摩擦が低下することを確認した。これらの結果の要因は速度域によって異なることが示された。比較的低速から中速域ではゲル/基板の接触面積減少による摩擦応力の低下、また比較的高速域ではくぼみ内の水が界面へ供給されることで潤滑剤として寄与したことによる摩擦応力の低下であると考えられた。後者の効果は、摩擦界面の観察により、くぼみから水がしみだす様子を実際に確認することができた。

第 3 章では、表面にくぼみ形状をもつ PVA ゲルの摩擦に対してゲルの弾性率が及ぼす効果につ

いて報告する。ゲル化前溶液の調製濃度を変更したり、ゲル化後に **dry-anneal** 処理を行ったりすることで、異なる弾性率を示す PVA ゲルを 3 種類作製することができた。表面形状の効果は、摩擦にはより弾性率が低いゲルにおいて、凝着にはより弾性率が高いゲルにおいて顕著に見られたが、測定条件に依存している可能性があるため、今後の検証が必要である。

第 4 章では、PVA ゲルの定量的な摩耗評価について報告する。ゲルを応用するにあたり、摩耗の評価は必須であり、従来は摩耗表面の顕微鏡観察が主として行われてきた。しかし、摩耗したゲルは膨潤や乾燥の影響を大きく受けるため、定量性を欠く評価にとどまっていた。ここでは、試験の際の潤滑液に着目し、紫外分光法(UV スペクトル測定)や全有機炭素(TOC)測定を行うことで、定量的にかつ高精度で摩耗量を評価することができた。本手法によりガラス基板に対するゲルの摩耗量は、表面が平坦なゲルに比べ表面にくぼみ形状をもつゲルで低下することを確認した。

本研究では、表面に半球状のくぼみ形状をもつ PVA ゲルの接触、凝着、摩擦、そして摩耗についての検討を行った。表面が平坦なゲルとは挙動が異なり、特にガラス基板に対して低摩擦、低摩耗を示すことを確認し、要因として、ゲルと相手基板との接触面積の減少、くぼみ形状内にトラップした水の界面への供給による剥離及び潤滑の促進が示唆された。表面形状とトライボロジー特性の関係をより深く理解するためには、今後さらに、パターン形状においてキーとなるパラメータは何か、など研究を発展させていく必要がある。