

微結晶構造制御による PVA ハイドロゲルの低摩擦化

Friction Reduction of PVA Hydrogel by Controlling Microcrystallite Structure

九大・工(正) *鎌光 清道 九大・工(正) 澤江 義則

Seido Yarimitsu*, Yoshinori Sawae*

*Kyushu University

1. 緒言

ハイドロゲルは、ソフト EHL(Elastohydrodynamic lubrication)や内部流体が荷重の大部分を支持することで摩擦を低減する二相性潤滑¹⁾の発現が期待され、人工関節軟骨として人工関節のしゅう動面に導入して潤滑モードを改善する目的²⁾や、関節軟骨欠損部の補填用材料として使用する³⁾等の用途が提案されている。著者らは、繰り返し凍結解凍法によりポリビニルアルコール(Poly(vinyl alcohol): PVA)をゲル化させる PVA 凍結解凍(Freezing-thawing: FT)ゲル⁴⁾、PVA 水溶液を乾燥させた後、水中で膨潤させ PVA をゲル化させるキャストドライ(Cast-drying: CD)法により作製した CD ゲル⁵⁾をもとに、FT ゲルと CD ゲルの構造を単層のゲル内で複合化したハイブリッドゲル(CP ゲル)⁶⁾を開発し、ハイブリッド化により低摩擦・低摩耗化が可能であるとともに、CP ゲルの摩擦・摩耗特性がゲルの製造工程における乾燥処理条件に依存して変化することを示した⁷⁾。このハイブリッド化法では、不均質微結晶構造が形成されやすい凍結解凍処理と均質微結晶構造が形成されやすい乾燥処理を交互に施すことに加え、微結晶の成長が促進される高温乾燥処理の時間が低摩擦・低摩耗化には重要な因子であることが示唆されたが、凍結解凍処理と乾燥処理の両者を施すことにより、ゲル内部のどのような微結晶構造が形成され、摩擦・摩耗低減に寄与するのかの詳細なメカニズムはわかつていないのである。

そこで本研究では、そのメカニズム解明の一環として、凍結解凍、乾燥処理の回数や順序が CP ゲルの摩擦・摩耗特性に与える影響を検討した。

2. 実験方法

2.1 ゲルの作製

CP ゲルの原料には、重合度約 1700、ケン化度 98.0~99.0 mol% の PVA を用いた。本研究では、これまでの研究において低摩擦化に効果的であった”60°C, 80%RH で 6 時間の乾燥”を製作工程に組み込んだ CP ゲルを対象とし、凍結解凍処理の回数や各処理の順序が CP ゲルの摩擦特性に与える影響を検討した。15 mass%PVA 水溶液 30 g を直径 90 mm ポリスチレンシャーレに流し込み、-20°C で 8 時間凍結、4°C で 16 時間解凍を 1 回行った。その後、同様の凍結解凍処理や 60°C, 80%RH の高温乾燥処理、8°C, 50%RH の低温乾燥処理を Fig.1 に示す順序にて施し、各試料を作製した。

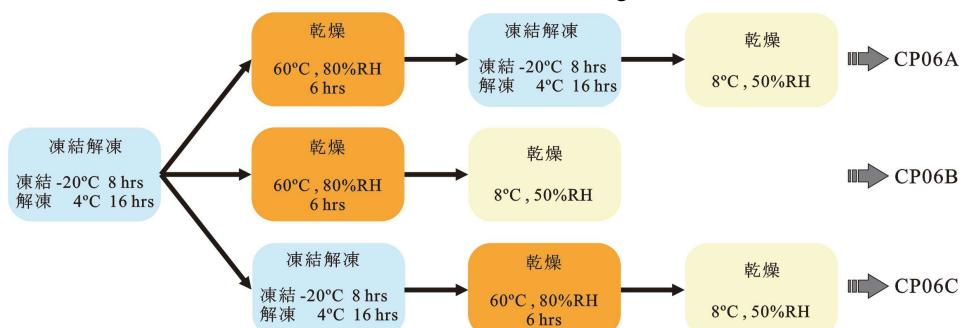


Fig.1 Preparation procedures of CPgels

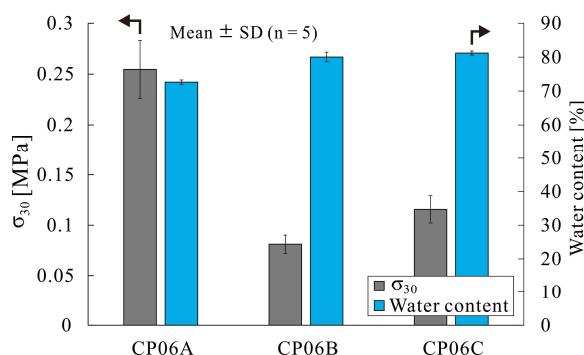


Fig.2 Compression stress for 30% reduction and water content of CP gels

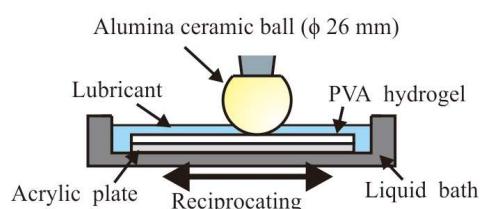


Fig.3 Schematics of reciprocating friction test

今回作製した各ゲルの含水率、30%圧縮応力(σ_{30})を Fig.2 に示す。CP06B, C の σ_{30} は CP06A と比較して著しく低下したが、含水率は増加した。また、CP06C は CP06B と比較して含水率、 σ_{30} ともに大きくなつた。

2.2 摩擦試験

本研究で用いた摩擦試験機の概要を Fig.3 に示す。CP ゲルはアクリル平板に接着した。摩擦相手材としてはアルミニウムセラミック球(直径 26 mm, $Ra \leq 0.01 \mu\text{m}$)を用いた。荷重は 9.8 N とした。すべり速度は 50 mm/s とし、往復動ストローク 25 mm にて 2,000 サイクル(総すべり距離 100 m)摩擦した。潤滑液には純水を用い、試験は全て室温($25 \pm 1^\circ\text{C}$)にて行った。全ての試験は 5 回ずつ実施した。

3. 結果および考察

摩擦係数の推移およびすべり距離 95~100m の平均摩擦係数をそれぞれ Fig.4(a), (b) に示す。CP06B は初期摩擦は低いもののすべり距離の増加とともに摩擦係数は増加し、最も高い摩擦係数を示した。CP06A および C は摩擦係数の増大は見られず、特に CP06C は 0.01 以下の低摩擦を維持した。Fig.5 に摩擦試験前後の各ゲルの表面観察像を示すが、摩擦係数が徐々に増大した CP06B は顕著な摩耗が確認された。CP06A, C は擦過痕は見られるものの試験前の表面構造は完全には失われていなかった。高温乾燥処理により微結晶構造の成長が促進され σ_{30} は増加するものの、高温乾燥処理の影響が大きくなると摩擦は増大することが示されており⁷⁾、これらを踏まえると CP06C は高温乾燥処理をゲル製作工程の後半に設けたことにより CP06A と比較して σ_{30} は低下したものと推察される。

本稿の講演時には今回作製した CP ゲルの微結晶構造解析結果とあわせ、凍結解凍、乾燥処理を組み合わせた微結晶構造制御による摩擦メカニズムについて議論を行う予定である。

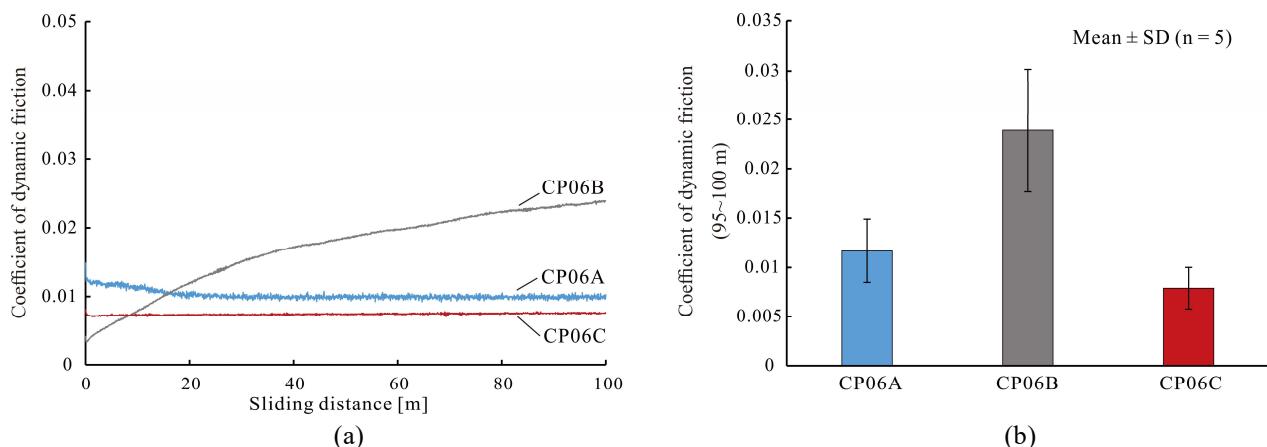


Fig.4 Coefficient of dynamic friction of CP gels: (a) Typical transient, (b) Average values between 95 to 100 m

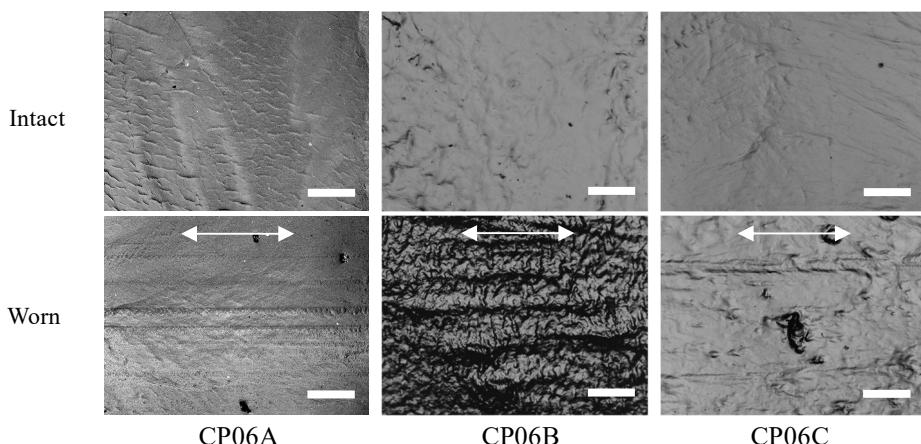


Fig.5 Confocal laser scanning images of intact and worn surface of CP gels (bars: 100 μm , arrows: sliding direction)

文献

- 1) G.A. Ateshian et al., J. Tribol., 120 (1998), 241.
- 2) T. Murakami et al., Proc. IMechE, H. J. Eng. Med., 212, 1 (1998) 23.
- 3) 鎌光・中嶋・村上・岡崎・松田・岩本, 臨床バイオメカニクス, 36 (2015) 201.
- 4) 南部: ゲルの製造法, 特開昭 57-130543 (1982).
- 5) E. Otsuka, A. Suzuki, J. Appl. Poly. Sci., 114, 1(2009) 10.
- 6) 鎌光・村上・鈴木, トライボロジー会議 2017 秋高松予稿集, (USB)
- 7) 鎌光・村上・鈴木, トライボロジー会議 2021 秋松江予稿集, (USB)