

山形大学 工学部 技術部
機器開発技術室 和田真人

1. 諸言

ゲルは溶媒を含んだソフト&ウェットな新材料で高分子の3次元網目構造を持っており、高含水率・物質透過性・低摩擦性・衝撃吸収性・生体適合性といった金属やプラスチックなどのハード&ドライな材料には見られない優れた機能を持つ。その一方で、一般的には圧縮破断応力が0.1~0.4MPa程度と壊れやすく工業的に扱いにくいとされていた。そこで2000年以後現在までに様々な高強度ゲルが提案され、圧縮破断応力が最大で30MPaという世界最高強度を誇るダブルネットワークゲル(DNゲル)も開発され、新規先端材料としての期待が高まっている。現在進めているゲル界面の測定評価技術を紹介する。

2. 試料

2-1. ダブルネットワークゲル(DNゲル)

試薬は、1stモノマーとして2-Acrylamido-2-methylpropanesulfonic acid (AMPS), 2ndモノマーとしてN,N'-Dimethylacrylamide (DMAAm), 架橋剤としてN,N'-Methylenebis(acrylamide) (MBAA), 反応開始剤として2-Oxoglutaric Acid(α -ketoglutaric Acid) (α -keto)を使用する。

2-2. 形状記憶ゲル(SMG)

親水性モノマーとしてDMAAm, 結晶性モノマーとしてStearyl acrylate (SA), 架橋剤としてMBAA, UV重合開始剤としてBenzophenoneを使用する。

3. 測定装置

3-1. 速度変動摩擦測定機 μ V1000

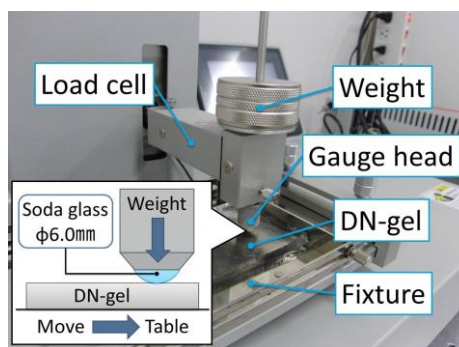


Fig. 1 速度変動摩擦測定機 μ V1000
(Trinity Lab INC)

速度変動摩擦測定機 μ V1000 を Fig.1 に示す。本装置は、一度の測定で極低速の0.1mm/secから高速の100.0mm/secまでの静・動摩擦係数を得ることができる。また、その他の特徴は、速度依存するスティック&スリップ現象の測定、原点復帰時に接触子自動ピックアップ機能搭載、測定データは専用析ソフトにて処理が可能である。

本来、金属の摩擦測定や、潤滑油の性能評価を行う場合は、通常ステンレス球を用いるが、今回は、ゲルとの相性がいい、直径6.0mmのソーダガラス球を用いた。

3-2. 偏光顕微摩擦測定機

共同開発した偏光顕微摩擦測定機(Fig.2)を紹介する。本装置は、ゲル界面の摩擦挙動を偏光顕微鏡にて観察するために開発された。基本的な測定機能は μ V1000の機能を受け継いでおり、偏光顕微鏡と組み合わせることでリアルタイムに摩擦係数の変化とゲル界面を同時に観察することができる。

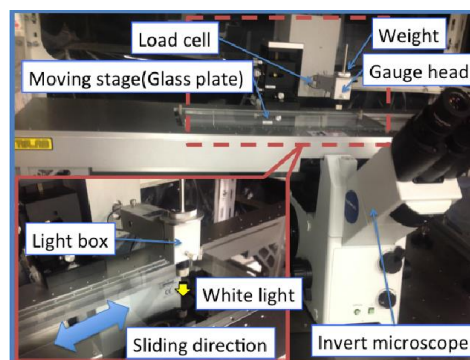


Fig. 2 偏光顕微摩擦測定機
(Trinity Lab INC)

3-3. ゲル専用摩擦測定プログラム

ゲル界面の摩擦測定には、弾性体としての振る舞いを考慮する必要がある。測定子の沈み込みが摩擦に影響を与えることから接触子とゲル界面の接地時間を一定に保ち測定を行っていかなければならない。また μ V1000の特徴である速度変動測定では、速度変化する際に、ゲル界面の馴染みが追いつかず、データに式(1)を用いてフィッティングをかけ動摩擦係数を算出する必要があった。さらに、従来のプログラムでは測定開始時は接地状態からのスタートであり1回目と2回目以降の測定では条件が異なり、摩擦挙動も変わってくる。上記の問題を取り除いた細やかな条件設定が可能なプログラムに変更した。

$$F(t) = F_0 + \Delta F \exp(-\gamma_p t) \quad (1)$$

F_0 , ΔF は係数, γ_p は緩和速度をあらわす.

3-4. 摩擦測定用ゲル保持具

ゲルの固定法については低摩擦材料ゆえに、物理固定か化学接着かで現在議論されているところである。我々は化学接着の研究も行っているが、現在の固定方法は物理固定を採用している。ゲル側面と上面からの押付固定し、押付板、保持具本体には高摩擦処理を施している。また、温度変化に伴う摩擦係数を測定するため水槽型の加温ゲル保持具を製作した。

3-5. レーザー変位測定

ゲル界面摩擦への影響因子として考えられるのは測定子の沈み込み量である。現在、測定中の沈み込み量をリアルタイムに実測できるようレーザー変位計を設置している。速度域の変化に伴う、沈み込み量を見ることにより固体潤滑～混合潤滑、流体潤滑への移行を確認出来る可能性がある。

4. ヘルツ接触理論

ヘルツ理論を用いることにより測定子の接触面積や接触深さを求めることができる。本実験で使用したヘルツ接触理論では、DN ゲルとソーダガラス球との接触が点接触の問題と仮定し、すべての材料は線形弾性とした。ヘルツ接触理論により、ソーダガラス球と DN ゲルとの接触半径は、以下の式により計算した。

$$a = \left(\frac{3PR}{4E_*} \right)^{1/3} \quad (2)$$

式(2)における E_* , R は式(3), (4)より求める。

$$E_* = \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)^{-1} \quad (3)$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (4)$$

ここで、 a を接触半径、 E_* , R はそれぞれ、ソーダガラス球と DN ゲルとの間の等価のヤング率と曲率半径を表す。 R_1 , R_2 , E_1 , E_2 および ν_1 , ν_2 はそれぞれソーダガラス球と DN ゲルの曲率半径とヤング率及びポアソン比を示している。本問題では相当半径となる R_2 の値を無限大と考えたため、 R は R_1 にほぼ等しい値となる。そして、式(5)より最大接触深さ h と、式(6)より界面接触面積 S が求められ、それぞれの間には R と a の幾何学的関係から得られた。

$$h = R - \sqrt{R^2 - a^2} \quad (a < R) \quad (5)$$

$$S = 2\pi R \left(R - \sqrt{R^2 - a^2} \right) \quad (a < R) \quad (6)$$

ここでの、接触深さは、垂直荷重下の静止状態におけるソーダガラス球の DN ゲルへの侵入深さを意味する。

5. 結果

Fig.3は、垂直荷重の変動によるDNゲルにおけるガラス球の接地深さと接触面積を示している。Fig.3に示すように、垂直荷重の増加により、接触深さと接触面積の値も明らかに増加している。また最終的に、接触深さと接触面積は、摩擦係数への影響因子として作用する。

本測定の結果より、今後のDNゲルの摩擦測定は測定子の沈み込み量や接触面積が摩擦測定にどう影響するか検討する必要がある。

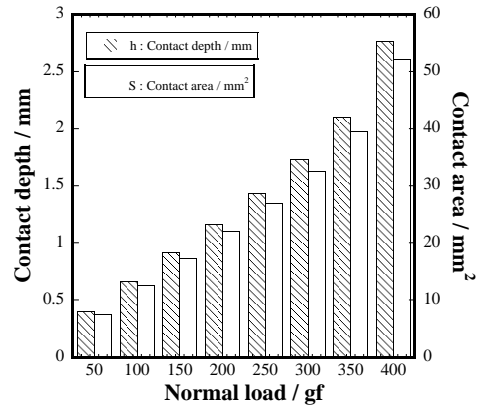


Fig. 3 接触深さと接触面積

6. まとめ

ゲル界面測定には様々な影響因子を考慮する必要がある。今回、行った測定法の改善により測定精度の向上が図られた。

7. 謝辞

本研究の一部は、平成25年度科学研究費補助金(奨励研究, 課題番号:25917033), NEDO 若手研究 Grant(09A25003a), 科研費(基盤 B 25288094, など), 文科省 GRENE 事業グリーンライボ・イノベーション・ネットワーク, A-STEP シーズ顕在化タイプ(AS2421731K)などの助成で行われました。ここに感謝いたします。

本研究を進めるにあたり、ご指導を頂いた古川英光教授に感謝致します。また、日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた古川研究室の皆様と、装置、保持具制作の際に、ご協力頂いた「株式会社トリニティラボ」様に感謝いたします。