

表面粗化高分子板とニトリルゴム間に塗布された ムチン懸濁液の物性評価

田中 孝国^{*1}, 小川 知輝^{*2}, 酒井 洋^{*3}, 桑原 敬司^{*4}
大岡 久子^{*5}, 伊澤 悟^{*6}, 那須 裕規^{*6}

Evaluation of the physical ability of a mucin suspension
between a roughening polymer board and nitrile rubber

Takakuni TANAKA, Tomoki OGAWA, Hiroshi SAKAI, Takashi KUWAHARA
Hisako OOKA, Satoru IZAWA and Yuki NASU

Mucins are glycoproteins present in almost all animals and many microbes as the main component of mucus. Mucins have a lubrication role into epithelial cells. The sliding friction of nitrile butadiene rubber was measured as an experimental model for evaluating the friction properties of a mucin suspension. Their starting friction coefficients were obtained from a simple inclination method using an inclined board made of various roughening polymer boards (acrylic, polyethylene, polystyrene, polyethylene terephthalate, polycarbonate, polyvinyl alcohol, polypropylene), where the friction coefficient was defined by the angle at which a nitrile butadiene rubber began to slide down. The influence of setting roughening polymer board materials on friction property was also evaluated. Marked differences in friction were found depending on the concentration of Mucin suspension. By measuring the contact angle, the addition of the wet properties to the surface of polymers was shown in the mucin suspension.

KEYWORDS : mucin / friction / inclination method / polymer board

1. まえがき

ムチンは、1 本鎖ペプチド骨格に多数の糖鎖が結合した構造を持ち、数 100 万~数 1000 万の分子

量の糖タンパク質である。生体内に存在するムチンは、上皮細胞から分泌されており、上皮細胞の境界面において、摩擦低減効果の役割を果たしていることが知られている¹⁾。これまで我々はムチンの潤滑能を評価するために簡易実験装置(手動

*1 物質工学科 (Dept. of Materials Chemistry and Bioengineering), E-mail: Tanakatakakuni@oyama-ct.ac.jp

*2 R3 年度 物質工学科 卒業生 (Dept. of Materials Chemistry and Bioengineering)

*3 物質工学科 (Dept. of Materials Chemistry and Bioengineering)

*4 長岡技術科学大学 物質生物系 (Nagaoka University of Technology, Dept. of Materials Science and Bioengineering)

*5 群馬高専 物質工学科 (Dept. of Materials Chemistry and Bioengineering, National Institute of Technology, Gunma College)

*6 機械工学科 (Dept. of Mechanical Engineering)

静摩擦係数測定装置)を作成し、二物体間に塗布されたムチン懸濁液の摩擦低減効果を測定してきた。その結果、ムチン濃度 10~50 [g/L] のムチン懸濁液を金属板に塗布することで、摩擦低減効果に寄与すること、接触角による測定により、ムチンを塗布した金属板表面には濡れ特性が付与されることが判明した²⁾。更に、高分子板に塗布しても同様な効果が得られることも判明している³⁾。本報告では、潤滑能付与が認められたこれらの板に対して、粗さの異なる紙やすり(120, 800, 1200 番)を用いて表面を粗化した板に塗布されたムチン懸濁液の示す摩擦低減効果について同様の実験を行ったので報告する。

2. 実験方法およびデータの解析方法

2. 1 手動静摩擦係数測定装置について

本実験でもこれまでと同様の手動静摩擦係数測定装置(図 1)を使用した^{2,3)}。この装置は、海野の報告を基に作製した静摩擦係数を測定する簡易実験装置である⁴⁾。この装置は、装置上部に取り付けられた滑車 b を用いてワイヤーを手動で巻き取り、平板を傾斜させていくことで、傾斜板上に設置した滑らせモデルであるニトリルゴム a の滑り始めの角度をデジタル角度計 c (水平傾斜計デジタルキュービック、感度=0.1[°], 精度=±0.2[°])により測定することで、斜面角度 α を測定し、静摩擦係数を式(1)により簡易的に求めることが可能である⁴⁾。

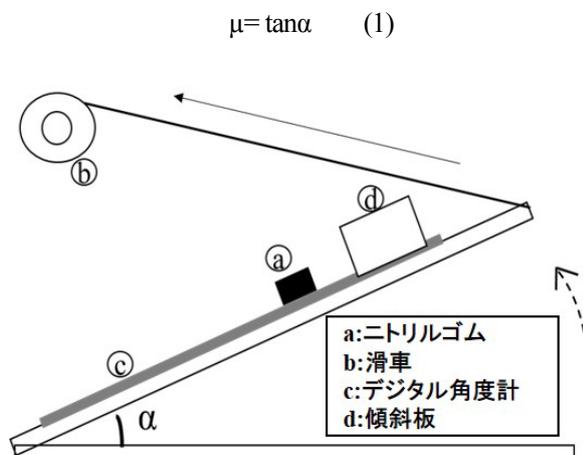


図 1 手動静摩擦係数測定装置^{2,3)}

尚、今回用いた実験装置の大部分の材料はステンレス鋼を使用し、ワイヤーにはピアノ線を使用した。ニトリルゴムは、100 [mm]×7 [mm]×4 [mm]、重量は 5.0 [g] のサイズを用いた^{2,3)}。

2. 2 二物体間の静摩擦係数の測定

ニトリルゴムと傾斜板の間には空気、ムチン懸濁液 (0, 10, 50, 100 [g/L])をそれぞれ塗布し、各条件の傾斜角 α を 100 回測定した。ニトリルゴムは縦 100 [mm]、横 7 [mm]の面を水及び懸濁液に付着させ、付着後は一度ニトリルゴムを垂直にして、余分に付着した液体の除去を行った。実験装置上の傾斜板に水及び懸濁液を付着させたニトリルゴムを置き、斜面を徐々に手動で傾斜させることで滑り始めの傾斜角 α を測定した。ムチンはムチン豚胃由来 (SIGMA-ALDRICH, M2378-100G, Mutin from porcine stomach Type □)を使用した。その後、大きく外れた値を除き階級値ごとに分け、その平均角度から静摩擦係数を算出した。実験室の温度は 21~27 [°C]、相対湿度は 27~61%で実施した。

2. 3 傾斜板の表面粗さの測定

実験に使用した傾斜板(アクリル、ポリエチレン PE, ポリスチレン PS, ポリエチレンテレフタレート PET, ポリカーボネート PC, ポリビニルアルコール PVAL, ポリプロピレン PP 板)の 7 種類である。これらの傾斜板の表面を 3 種類の粗さの紙やすり(120, 800, 1200 番)を用いて手動で粗化し、表面粗さ測定機 SURFCOM TOUCH 50 (株式会社東京精密製)を用いて、表面粗さをそれぞれ測定した。得られた結果より算出平均粗さ Ra を得た。測定の基準長さは 4 [mm] とし、測定はそれぞれ 3 回ずつ行った。

3. 結果のまとめ

3. 1 紙やすりで粗化した板の表面粗さの測定結果

図 2 は粗さの異なる紙やすりを用いて表面を粗化した場合の静摩擦係数を各傾斜板の種類ごとに比較したグラフである。使用した紙やすりは粗い順に 120, 800, 1200 となっている。参考データと

して無加工の銅板を記載した。図 2 より、PE を除いた傾斜板において、120 番のやすりをを用いた場合の表面粗さには他条件と比べ差が見られたが、800, 1200, やすりがけ無しでは大きな差は見られなかった。これは、傾斜板の材質による傷のつきにくさが原因だと考える。本研究では傾斜板を粗化する方法は手動であるため、粗化にバラツキがあったことが考えられた。サンプルを設置し、表面を自動的に粗化する装置の導入により、均一な粗化が可能になると考えられる。

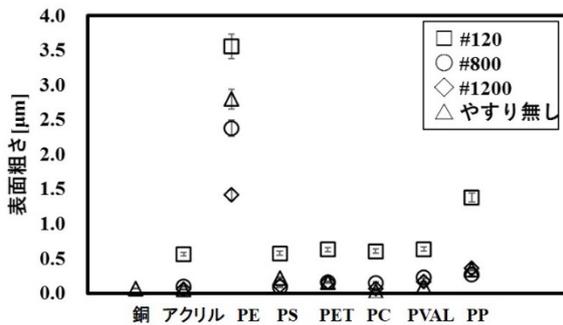


図 2 粗化した各傾斜板の表面粗さ (Sample 数=4)

3. 2 紙やすりで粗化した高分子板の表面粗さの測定結果

図 3-9 のグラフは測定を 100 回ずつ実施しており、その平均値および標準偏差を記載している。これらの図より、傾斜板の表面が粗化されると、ムチンを塗布したニトリルゴム-高分子板間の静摩擦係数は水の条件より小さくなり、ムチン懸濁液濃度が上昇するにつれて静摩擦係数は減少傾向を示すことが判明した。また、静摩擦係数が全般的に低い値を示すのは乾燥(空気)の条件であることが判明した。Cohen らのナイロン板同士の実験においても水をナイロン板の間に挟むと、静摩擦係数が空気の時よりも 1.5 倍になることが報告されている。その理由として水が高分子板の表面の内部に浸透し、空気の時よりも接触している面積が増え、静摩擦係数の上昇を示したことが考えられた⁹⁾。

続いて、水とムチン懸濁液を比較すると、全ての板でムチン懸濁液の静摩擦係数低減効果が確認できた。その理由としては、金属板²⁾の時と同様に、境界潤滑状態が形成されたことが考えられた。尚、境界潤滑状態とは、物体同士が一部接触して

いるが、官能基を持つ流体分子(ムチンの OH 基)が表面に吸着もしくは塗布されることで膜が形成され、摩擦係数の大幅な低減効果が望める状態である⁶⁾。

傷の有無に関わらず、乾燥条件下ではニトリルゴム-高分子板間の接触面積が減少することで静摩擦係数は小さくなり、それ以外の二物体間に水が存在する条件では、密着性が向上して静摩擦係数が大きくなる傾向があることが判明した。

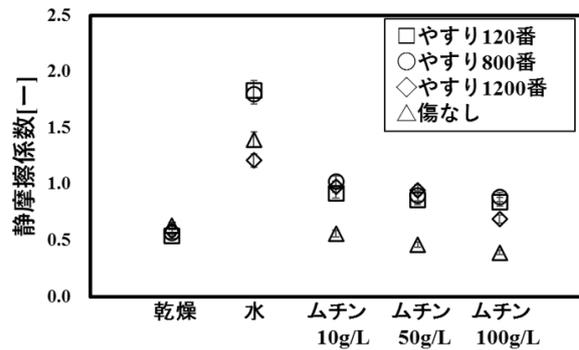


図 3 アクリル板の静摩擦係数

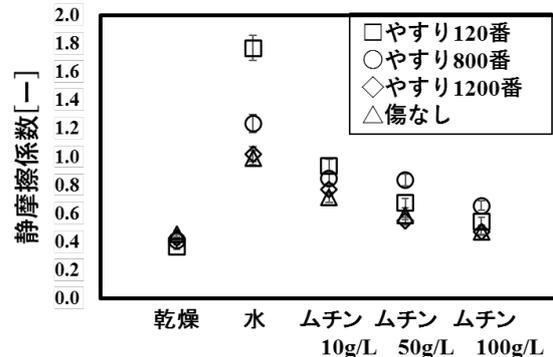


図 4 PE 板の静摩擦係数

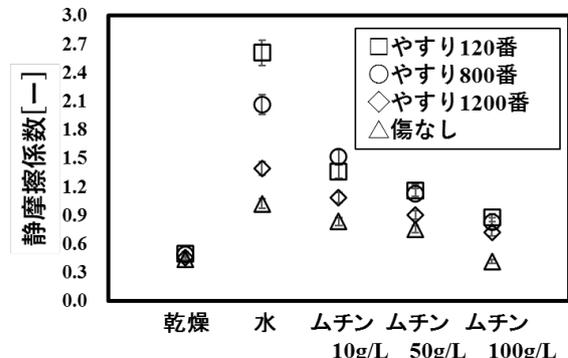


図 5 PS 板の静摩擦係数

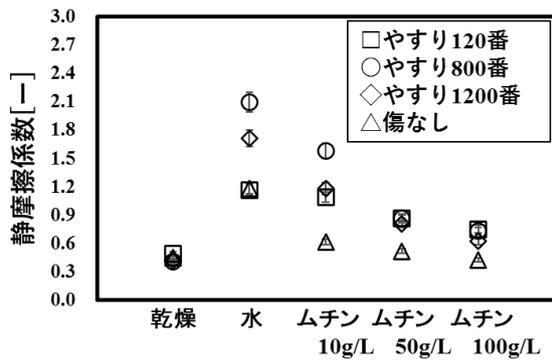


図 6 PET 板の静摩擦係数

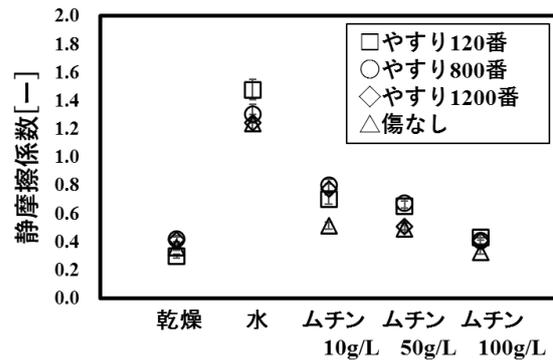


図 9 PP 板の静摩擦係数

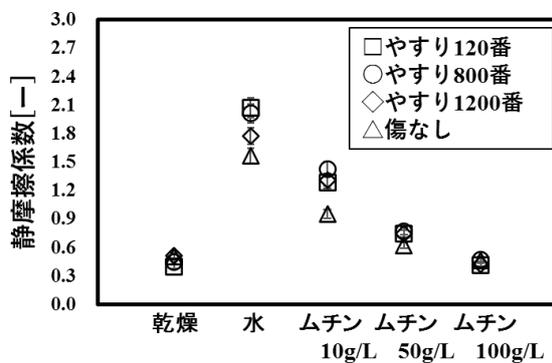


図 7 PC 板の静摩擦係数

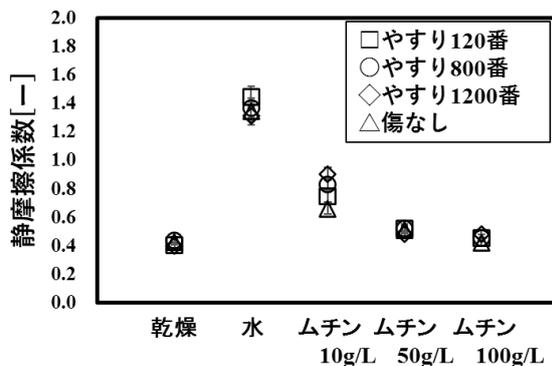


図 8 PVAL 板の静摩擦係数

4. 結果のまとめ

本実験では、ムチン懸濁液を二物体間に塗布することで、静摩擦係数が減少し、潤滑能を示した。また、ムチン懸濁液の濃度上昇に伴い、静摩擦係数にさらなる減少が見られた。この結果から、二物体の接触する表面にムチン懸濁液の塗布を行うことで、ムチンが粒子状物質として二物体間に挟まり、物体同士の接触面積を減らすことで、摩擦を低減していることが考えられた。濃度上昇による潤滑能向上は、ムチンの凝集性が増すことで二物体間の潤滑層が厚くなり、さらに接触面積が減少したことが考えられた。この傾向はムチン懸濁液が塗布される対象表面が粗化されている場合においても有効であり、摩擦低減効果(潤滑能)を物体に付与することが可能であった。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 20K04250 の助成を受けて実施されています。

参考文献

- 1) Shi, Lei : Biomimetic Surfaces of Biomaterials Using Mucin-Type Glycoproteins, Trends in Glycotechnology, Vol.12, No.66, pp. 229-239 (2000)
- 2) 田中孝国 他 : 滑り摩擦測定装置によるムチン懸濁液の潤滑能評価, 技術・教育研究論文誌, Vol.28, No.1, pp. 37-42 (2021.06)
- 3) 田中孝国他 : 滑り摩擦測定装置を用いた高分子板上におけるムチン懸濁液の潤滑特性の評価, 技術・教育研究論文誌, Vol.29, No.1, pp.13-16 (2022.06)

- 4) 海野都久子：どじょう生体面の滑り摩擦測定-粘液層を伴う柔らかい生体面のモデルとして-, トライボロジスト, Vol. 46, No. 2, pp.155-161 (2001)
- 5) S. C. Cohen et.al. : The friction and lubrication of polymers, Proceedings of the Royal Society of London, A 291, pp.186-207 (1966)
- 6) 長谷亜蘭：トライボロジーの基礎, 精密工学会誌, Vol.81, No.7, pp. 643-647 (2015)

[受理年月日 2022 年 9 月 5 日]