

ムチン(糖タンパク質)による摩擦力低減効果の基礎検討 およびムチン濃度推定法の試み

田中 孝国^{1*}, 那須 裕規², 矢島 夏海¹, 酒井 洋¹, 高屋 朋彰¹,
大岡 久子³, 桑原 敬司⁴

¹小山工業高等専門学校 物質工学科 (〒323-0806 小山市中久喜 771)

*tanakatakuni@oyama-ct.ac.jp

²小山工業高等専門学校 機械工学科 (〒323-0806 小山市中久喜 771)

³群馬工業高等専門学校 物質工学科 (〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町 580)

⁴長岡技術科学大学 生物機能工学専攻 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

Basic study of friction reduction by using mucin (glycoprotein) and trial of the presumption method

Takakuni TANAKA, Yuki NASU, Natsumi YAJIMA, Hiroshi SAKAI,
Tomoaki KOUYA, Hisako OOKA and Takashi KUWAHARA

National Institute of Technology, Oyama College

(771 Nakakuki, Oyama City, Tochigi Prefecture 323-0806, JAPAN)

National Institute of Technology, Gunma College

(580 Toriba, Maebashi, Gunma, 371-8530 Japan)

Nagaoka University of Technology, Department of Bioengineering

(1603-1 Kamitomioka, Nagaoka, Niigata 940-2188, JAPAN)

(Received February 24, 2020; Accepted March 23, 2020)

Mucins are glycoproteins, and the functions of the mucins include the lubrication of the surfaces and protection from chemical, physical, and bacterial impact damage in vivo. Mucin is found in animal epithelial cell surfaces, saliva, and the stomach. The average molecular weight of pig stomach mucin is about 9 million. In this study, the lubrication ability of mucin was tested in a friction test of pig mucin (to examine the effect of mucin on friction). For the friction test, a mucin solution droplet was poured between stainless steel plates, and the surface friction was measured by a bearing tester. The data measured a static friction coefficient and a dynamical friction coefficient after 100 times of round-trip friction. The results showed that a mucin solution between metal plates has a friction reduction effect. Improvement was seen in the effect in comparison with no lubrication and water only. In the future, we will try to experiment with replacing the metal with cloth or artificial skin.

Key words: mucin / friction / glycoprotein

1. 背景

高齢化社会を迎える日本では、長期入院患者の床ずれ問題への対応が緊急性を帯びている。特に高齢者は、血流障害を起こしやすく、皮膚が薄くなるドライスキン状態を生じさせて、強い痒みを発生させて爪で無意識に引っ掻く、または寝衣—皮膚の摩擦刺激により、非常に傷つきやすくなる。これらのことが、床ずれの主な原因であることが指摘されている。従って、床ずれを防止するには、皮膚-寝衣間の摩擦を低減し、適度な湿润環境を保ちつつ、傷口からの細菌感染を防ぐことが重要である [1]。

糖タンパク質として知られるムチンは、分子量数 100 万～数 1000 万の巨大分子である。また、熱耐性は 40°C未滿とされる[2]。生体中の上皮細胞の表層にある粘膜層の主要構成成分であり、溶液および上皮細胞の境界面において重要な役割を果たしている物質である。生体内におけるムチンは、保湿性・水和潤滑能・粘性の保持や、化学構造によるウイルスなどからの防御性を持つことが知られている。現在ムチンは、関節同士が擦れて痛みを生じる変形性関節症の治療薬として溶液で関節に投与されていること(単独使用ではなくヒアルロン酸などと併用することから、ムチンは摩擦低減効果を示す物質であることが判明している。この特性から、材料やその表面に水分とともにムチンを付与もしくはコーティングできれば、ムチンの能力を示すことが可能であると考えられる。更にムチンは、有機/無機素材どちらの板状素材であっても、コーティングすると単層構造を形成することが可能である[2]。本研究では、このムチンを用い、2 物体間の摩擦低減効果について、金属片による基礎実験を実施した。

今回、摩擦試験とは別に豚の胃ムチン水溶液中のムチン濃度推定の実験も実施した。市販のムチン濃度定量分析キットは人体から抽出されたムチンしか用いることが出来ないため [3]、摩擦実験と並行して、水溶液の濃度を安価に把握するために、既存の手法を用いたムチン水溶液中のムチン濃度の簡易推定法についても検討を実施したので報告する。

2. 実験内容

2-1 摩擦試験について

摩擦力は静止摩擦力(静摩擦力)と動摩擦力に分けられている。前者は静止物が動き出すまでの抵抗力、後者は動き出した後の抵抗力を示している。静摩擦力と動摩擦力の一般式は以下の通りである[4]。

$$\text{静摩擦} : F = \mu \times N \quad (1)$$

$$\text{動摩擦} : F' = \mu' \times N \quad (2)$$

ここで F [N] は静止摩擦力、 F' [N] は動摩擦力、 μ [—] は静摩擦係数、 μ' [—] は動摩擦係数を示す。本実験では表面性測定機 (トライボギア TYPE:18, HEIDON 社)を用い、金属片(SS400)を用いた軸受け摩擦試験を行った。軸受け摩擦試験とは、ボール圧子の治具による脱脂済み軸受用鋼球と脱脂済みの鋼板の組合せによる摩擦試験である。床ずれは尾てい骨の引っ張りや衣服やベッドの部分で発生することが多いことから[1]、今回の治具による試験を考案した。パラメータは、試験機の初期値を使用した。軸にかける荷重(垂直力)を 200 [g]、往復運動速度は 3000 [mm/mv]、治具運動距離 20 [mm]、往復回数 100 回に設定し、摩擦鋼球は SUJ2 (高炭素クロム軸受鋼材、耐摩耗性試験に使用される、小山鋼材) [5] を用いた。また、データの収集および解析には、トライボソフト 5.08 (汎用摩擦摩耗解析ソフト, HEIDON)を使用した。金属片と鋼球の間に、豚の胃ムチン(WAKO, 以降ムチン)を用いて作製した水溶液(濃度 0, 1, 2, 4, 5, 6, 6.5, 8, 10, 15, 22.5, 30 [g/L])、切削油(市販品: AZ 水溶性切削オイルスプレー-AZ009, エーゼット社, 切削加工に使用する潤滑油剤), 潤滑剤 (市販品: KURE5-56, 呉工業社)を 10 [μL] 滴下し、摩擦試験を実施することで、ムチンの及ぼす摩擦への影響について実験を実施した。摩擦試験時の相対湿度は 50-52 [%]、温度は 25-27 [°C]であった。



図1 表面性測定機

2-2 ムチン水溶液簡易推定法について

ムチンは糖タンパク質であることから、種や存在する場所によって同じ生体であっても構造体が異なる [2] が、人体成分から抽出されたムチンに関しては様々な製品(例えば、コスモバイオ社の人体からの涙液ムチン分析キットなど)[3] が存在する。その一方で、動物から抽出されたムチンに関しては、簡易手法が存在しない。本研究では、簡易的な3種の手法を検討した。まず、キャノンフェンスケ粘度計(粘度計番号25)による絶対粘度の測定をJISの手法を用い、25°C条件下で実施した [6]。続いて、生化学実験で広く使用されている Bradford 法によるタンパク質濃度の比色分析 [7] を用いた分光光度計(585 [nm])測定により、濃度差が見られるか分析を実施した。また、健康状態を確認するために、唾液の粘性実験で使用された手法の1つである、毛細管(ガラスキャピラリー管、容量5[μL]、長さ125 [mm])による溶液吸い上げ実験 [8] についても検討を実施した。

3. 実験結果および考察

3-1 ムチン水溶液の摩擦試験について

図2は濃度を変化させたムチン水溶液と摩擦係数の関係のグラフである。尚、使用したムチンは40[g/L]前後の水溶液を作製すると沈殿が見られたため、今回の実験では沈殿の見られない濃度として30[g/L]を最大とした。また、他の条件などとの比較データを表1に記載した。

図2および表1より、ムチン水溶液の摩擦低減効果が確

認された。金属に対するムチンの摩擦低減効果について、地方独立行政法人山口県産業技術センターのグループからは水溶性クーラント(切削油)の添加材としてムチンを検討しており、摩擦磨耗に有効である報告をしている(ムチンの種類や純度については不明)[9]。ただし、クーラント中におけるムチンの状態や、長期の摩擦試験におけるムチンの残存性などについては記述が無く、同時にムチンの熱変性については不明である [9]。

本研究では、ムチン水溶液をそのまま使用し、両摩擦係数とも、切削油>潤滑剤>ムチン水溶液の傾向がみられた。また、摩擦低減効果は、静摩擦係数では無潤滑および水の時と比較すると約80%、約75%の減少、動摩擦係数では、約30%、約40%の減少が観察され、ムチン水溶液の摩擦低減効果が示された。ムチン水溶液が摩擦低減効果を示した理由として、明確ではないがムチンの構造体にあることが示唆されている[2,9,10]。ムチンは主にペプチドからなるコアタンパクが極性基として作用することで様々な物質の表面に吸着し、膜を形成すると同時に、糖鎖部分が外側に向くとされている [10,11]。この膜および糖鎖の潤滑的な働きにより、ムチンの付着した表面における摩擦低減効果が生体内などで生じると示唆されている [2,9,10]。

続いて、ムチンの熱耐性について、放射温度計を用いて測定を実施した。本研究では金属片を用いているが、最終目的は、床ずれの緩和を想定しているため、通常の金属の摩擦試験で実施される10,000回以上の往復運動は必要無いと考えた。従って前述の通り100回の往復運動で実施した(測定器の性質上、数10回では誤差が出やすいため)。板上の温度変化は実験終了後約+2[°C]の変化であり、温度は26-29[°C]の範囲であったため、ムチンの熱による失活などの影響も無いことがわかった。

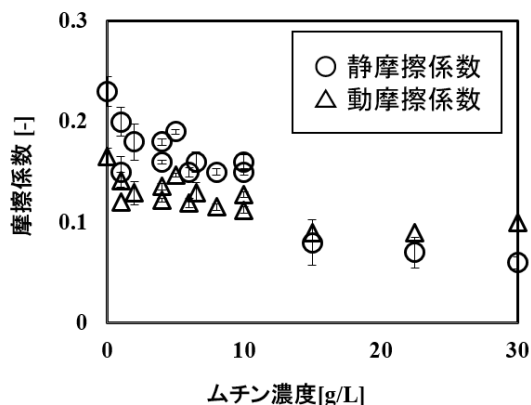


図2 ムチン水溶液の濃度と摩擦係数の関係
(サンプル数=5)

表1 ムチン水溶液以外のデータ

(潤滑剤および切削油以外, サンプル数=5)

	静摩擦係数 [-]	動摩擦係数 [-]
無潤滑	0.31±0.01	0.14±0.01
潤滑剤	0.10	0.08
切削油	0.09	0.07
水のみ	0.23±0.01	0.17±0.01
ムチン 30 [g/L]	0.06±0.006	0.10±0.0046

3-2 ムチン水溶液濃度の簡易推定法について

図3は、キャノンフェンスケ粘度計を用いた動粘度測定結果である。この結果より、純粋なムチン水溶液であれば、未知濃度であっても濃度の推定が可能であることが判明した。続いて、Bradford法によるタンパク質濃度測定でも水溶液中のムチン濃度の推定が可能であることがわかった(図4)。しかし、ムチン水溶液は濃度が高くなると粘性が上昇するため、高い濃度の水溶液の希釈操作法において、変動が見られることを確認している。図5は、毛細管吸い上げ高さについての検討である。毛細管による水溶液の吸い上げ高さは、水溶液中のムチン濃度が高くなるにつれ低くなり、粘性の影響が見られた。その一方で、バラツキが観察され、この手法による未知濃

度の推定は困難であることが判明した。これらの結果から、ムチン水溶液の濃度推定の簡易手法は動粘度測定もしくはBradford法による吸光度測定が適していることが考えられた。今後、ムチン水溶液の濃度条件を増やして複数回測定し、手法の適用可能な濃度範囲について検討を続ける予定である。

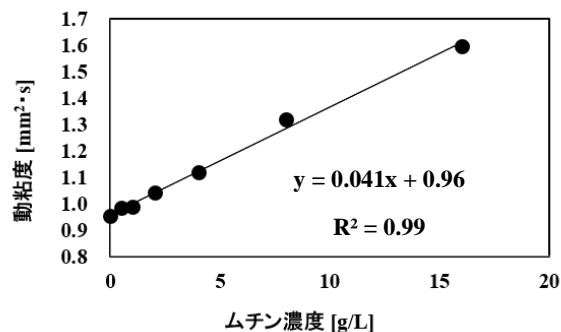


図3 ムチン水溶液の濃度と動粘度の関係

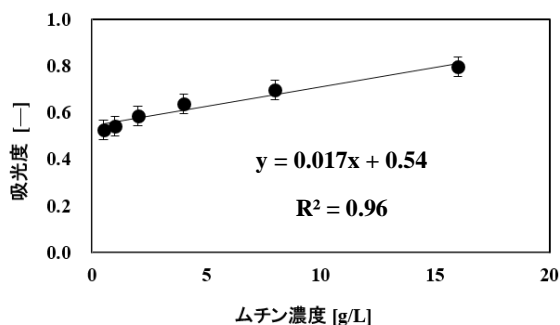


図4 ムチン水溶液の濃度とBradford法による吸光度の関係 (サンプル数=3)

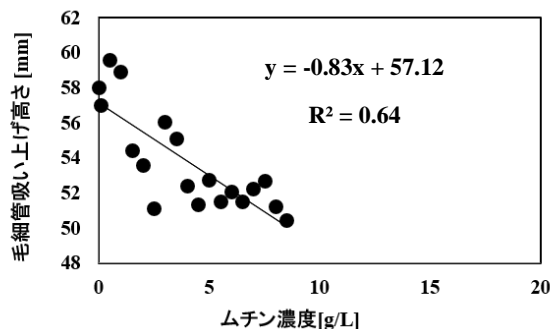


図5 ムチン水溶液の濃度と毛細管吸い上げ高さの関係

4. まとめ・今後の予定

本研究では、ムチン水溶液による摩擦低減効果に関する基礎研究を実施した。その結果、ムチン水溶液は金属の摩擦低減に有効な液体であり、市販の潤滑油や切削油に近い効果を示すことが判明した。また同時に実施した、ムチン水溶液濃度の推定法についても、定量化までは達していないが、適していると考えられる手法(動粘度およびBradford法)の2種類を確認した。今後、摩擦低減の実験は素材(金属から布や人工皮膚など)や、試験機の治具(平板用ホルダ一の取り付け)を改良して実施し、床ずれ予防の基礎研究を続けていく予定である。

謝辞

本研究は、平成31年(令和元年)度 高専一長岡技科大共同研究助成金により実施された。

参考文献

- [1] 紺家千津子 他, 療養場所別自重関連褥瘡と医療関連機器圧迫創傷を併せた「褥瘡」の有病率, 有病者の特徴, 部位・重症度, 褥瘡会誌, Vol.20, No.4, pp.423-445 (2018)
- [2] Shi Lei, Biomimetic Surfaces of Biomaterials Using Mucin-ape Glycoprotein , Trends in Glycoscience and

- Glycotechnology, Vol.12, No.66, pp.229-239 (2000)
- [3] 例えば涙液ムチン測定キット : (2019.02.28 参照)
https://www.cosmobio.co.jp/product/detail/tear-mucin-assay-kit-pmc.asp?entry_id=16393
- [4] 村木正芳, 図解トライボロジー摩擦の科学と潤滑技術, 日刊工業新聞社, pp.8-9 (2012)
- [5] JIS G 4805:2008 高炭素クロム軸受鋼鋼材
- [6] JIS Z 8803:2011 液体の粘度測定方法
- [7] BIO-RAD : プロテインアッセイ (2020.03.11 参照)
<https://www.bio-rad.com/ja-jp/product/bio-rad-protein-assay?ID=d4d4169a-12e8-4819-8b3e-ccab019c6e13>
- [8] 北村由紀子 他, 毛細管を用いた唾液のレオロジー特性評価法に関する基礎的検討, 老年菌学, Vol.21, No.2, pp.102-110 (2006)
- [9] 特開 2008-231414 : クーラントおよびそれを用いた塑性加工又は研削又は切削又は研磨装置およびその方法
- [10] Rama Bansil and Bradley S. Turner, Mucin structure, aggregation, physiological functions and biomedical applications, Current Opinion in Colloid & Interface Science, Vol.11, pp.164-170 (2006)
- [11] 池内健, 水和潤滑の研究と応用における今後の進歩への期待, トライボロジスト, Vol.52, No.8, pp.568-572 (2007)