

繰り返し洗濯を実施したムチン塗布介護服と 人工皮膚間における摩擦特性の評価

田中 孝国^{1*}, 渡邊 江利子¹, 酒井 洋¹, 大岡 久子², 桑原 敬司³, 那須 裕規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)

³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)

⁴小山工業高等専門学校 機械工学科 (〒323-0806 小山市中久喜 771)

Evaluation of the friction properties between artificial skin and a mucin cloth with repeated washing

Takakuni TANAKA, Eriko WATANABE, Hiroshi SAKAI,
Hisako OOKA, Takashi KUWAHARA and Yuki NASU

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 April 7, 2022; Accepted May 20, 2022)

A pressure ulcer (bedsore) is damage to the skin and underlying tissue, primarily caused by prolonged pressure or friction on the skin. In this study, we focused on mucin (glycoprotein) and tested its effectiveness in reducing friction between skin and bedclothes (with repeated washing), which is believed to be the cause of bedsores. The load (vertical force) applied to the shaft of the surface-measuring machine was set to 200 [g], the reciprocating speed was 3000 [mm/min], and the jig's moving distance was 20 [mm]. One mL of water or solutions with different concentrations of pig stomach mucin was dropped on the cloth pieces, and the same measurement was performed. As a result, the friction-reducing effect of the mucin suspension was confirmed. Applying a mucin suspension concentration of 300 ~ 400 [g/L] on the cloth was especially effective. It was also confirmed that the coefficient of friction was not affected by the number of times the bedclothes were washed.

Key words: mucin / friction / pressure ulcer / artificial leather

1. 背景

近年、日本国内では高齢化社会が進行しており、要介護者および長期入院患者に生じる、床ずれが深刻な問題となっている。一度床ずれを患ってしまうと治癒が困難なため、予防が重要とされている [1]。この床ずれに対し、臨床の場で有力視されている物質の一つがムチンと呼ばれる糖タンパク質である。ムチンは生体内で潤滑作用を示すことから、床ずれ予防に対し有用な物質の一つであるとされる [2]。我々は前報[3]で、ムチン懸濁液の及ぼす介護服-人工皮膚間の摩擦特性について調査した結果、ムチン懸濁液の摩擦低減に寄与する濃度範囲が 400~500 [g/L]であること、更に、最小の静/動摩擦係数は潤滑油より優れた摩擦低減能を示すことを明らかにしている。同時に、ムチン懸濁液の濃度変化による静/動摩擦係数の変化は、ムチンの凝集性が関与していることが示唆された。本研究では、介護服に塗布したムチン懸濁液の繰り返し使用を想定し、洗濯を施した場合に、介護服上のムチン懸濁液がどのような摩擦低減効果を示すかについて、実験したので報告する。

2. 実験

2-1 摩擦の評価法

摩擦力は静摩擦力と動摩擦力に分けられる。静摩擦力は動き出すまでの抵抗力、動摩擦力は動き出した後の抵抗力である[4]。本実験では摩擦係数の値の変動に着目し、摩擦特性の評価を前報と同様に実施した[3]。

2-2 ムチン懸濁液の調製

実験で使用したムチン懸濁液は、市販の豚由来の胃ムチン粉末(M2378-100G, Mucin from porcine stomach Type II, 黄白色, SIGMA-ALDRICH)を水に懸濁し作製した(Fig. 1)。ムチンはほとんど水に溶解しないため、混合時は懸濁状態、静置時は2層に分かれている状態である。ムチン懸濁液の濃度は体積当たりの重量で表しており、懸濁液における濃度単位は以降[g/L]と表す。本実験での濃度は 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600[g/L]の7種類を準備した。

ムチンを水に懸濁すると、pHを変化させる。Fig. 1は、懸濁液中のムチン濃度とpHの関係についてのグラフである。濃度は0~100 [g/L]の17種類でpHの測定を行った。Fig. 1より、ムチン懸濁液のpHは酸性を示すことが判明した。本実験では、実際に肌に触れた際を考慮して、ムチン懸濁液を中性 (pH=7.0) に調整した後に実験に供した。調整にはリン酸緩衝液 (pKa = 7.22) を用いた [5]。

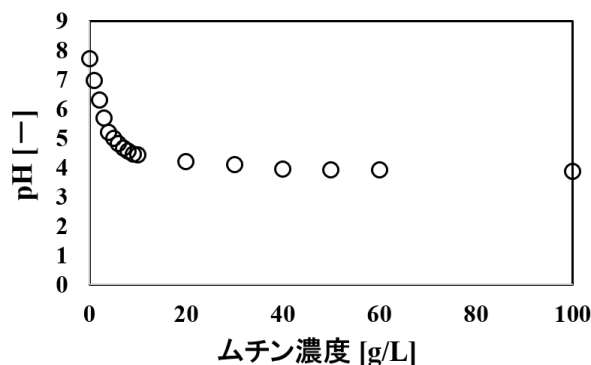


Fig. 1 ムチン濃度と pH の関係

2-3 摩擦試験に使用した素材

前報[3]と同様に、床ずれが発生する環境を再現するため、被介護者の衣服として介護服(綿 100%, 幸和製作所)と皮膚の代替として人工皮膚(プロテイン PU, 新東科学)を用意した。人工皮膚は直径 40 [mm] に切り、表面性測定機専用の人工皮膚専用ホルダー(Φ50, 新東科学)に取り付けた。試験機の下部の鋼板に介護服の布片(5.5×70[mm])を両面テープにより固定し、前報同様にムチン懸濁液 3.0 [g]を介護服片に塗布した[3]。塗布部分は、肌に触れる内側を使用した。

2-4 ムチン塗布介護服の洗濯

洗濯は家庭用の洗濯機(NA-VX3700L ドラム式電気洗濯乾燥機, Panasonic)を用いた。介護服の洗濯は、0(未洗濯)、1, 2, 5, 10 回の回数で実施した。ムチン塗布介護服は、1つの濃度についてそれぞれ4つ準備し、実験の最後まで使用した。まず洗濯前にムチン懸濁液を塗布・摩擦試験(未洗濯)後に、洗濯 1 回目・摩擦試験、その後も同様に洗濯と摩擦試験を続けるという手順である(ただし、洗濯

3,4,6,7,8,9 回時に摩擦試験は未実施)。洗濯はネットを使用し、洗い時間は7分、すすぎは2回、脱水時間は6分で実施した。洗剤は市販の液体洗剤(アタック抗菌 EX スーパークリアジェル, 花王)を使用し、柔軟剤や漂白剤は使っていない。洗濯後はしわを伸ばし、一般に市販されているピンチハンガーで自然乾燥させ、乾燥にアイロン等は使用していない。

2-5 摩擦試験について

摩擦係数の測定には、表面性測定機(HEIDON トライボギア TYPE:18, 新東科学)を使用した。表面性測定機の軸にかかる荷重は試験機の初期設定である 200[g]に設定し、往復運動速度 3,000[mm/min], 移動距離 20[mm], 往復回数 100[回]の条件で実施した。人工皮膚は人工皮膚専用ホルダー(Φ50)を試験機上部に設置し、下部に布片を固定する鋼板を使用した。固定には、両面テープ(ナイスタッカー一般タイプ, ニチバン)を用いて介護服片を鋼板に貼り付け、試験を行った。摩擦試験中はポータブル型非接触温度計(THERMO-HUNTER PT-S80/U80, オプテックス)で表面温度を測定し、常に 40°C未満であることを確認した。実験環境は、室温平均 25°C, 相対湿度平均 45%で実施した。また、ムチンを塗布した介護服は、乾燥(2-4)および洗濯(脱水工程を含む)直後の状態(以降, 湿潤), それぞれの状態での摩擦試験を実施した。

3. 結果

3-1 ムチン塗布介護服-人工皮膚間の摩擦特性 (介護服が乾燥状態の時)

Fig. 2 および 3 は、ムチン塗布介護服が乾燥状態における、ムチン塗布介護服-人工皮膚間の静摩擦および動摩擦係数の結果である(サンプル数は全て 4 である)。Fig. 2 および 3 より、静摩擦係数の方が動摩擦係数より大きな摩擦係数を示すことが判明した。また、本実験のムチン濃度範囲において、両方の値とも摩擦係数の最小値を示した後に、摩擦係数が上昇することが判明した。洗濯の回数に関わらずムチン濃度 300~400 [g/L] の条件時に摩擦係数が低い

傾向が見られた。前報より、静摩擦係数は潤滑油 0.294[-], 切削油 0.359[-], 動摩擦係数は潤滑油 0.215[-], 切削油 0.262[-] が判明しているが [3], これらの値と今回の最小値の結果を比較すると、同等以下の値であったことから、ムチン塗布の効果を確認できた。

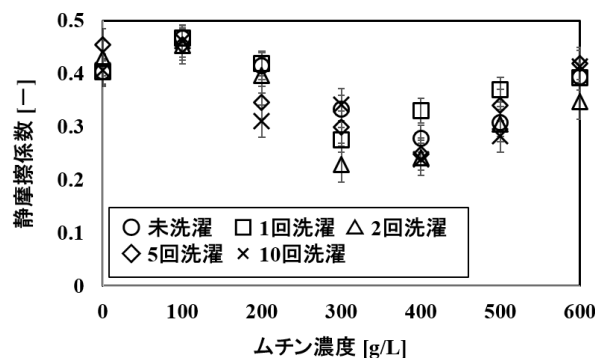


Fig. 2 洗濯回数を変化させた場合における、ムチン濃度と静摩擦係数の関係 (乾燥時)

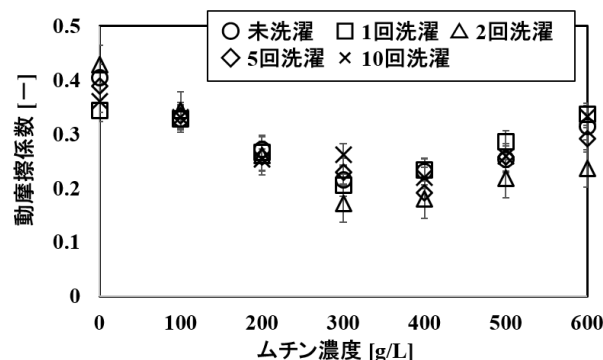


Fig. 3 洗濯回数を変化させた場合における、ムチン濃度と動摩擦係数の関係 (乾燥時)

3-2 ムチン塗布介護服-人工皮膚間の摩擦特性 (介護服が湿潤状態の時)

Fig. 4 および 5 は、ムチン塗布介護服が湿潤状態(洗濯直後)における、ムチン塗布介護服-人工皮膚間の摩擦係数の結果である(サンプル数は全て 4 である)。乾燥時と同様に、静摩擦係数の方が動摩擦係数より大きな摩擦係数を示すことが判明した。乾燥時と同様に、両方の値とも摩擦係数の最小値を示した後に、摩擦係数が上昇する傾向が見られたが、乾燥時よりも変化が少ないことが判明した。洗濯

の回数に関わらず乾燥時と同様に、ムチン濃度 300~500 [g/L] の条件時に摩擦係数が低い傾向が見られた。潤滑油、切削油の値と比較すると、静摩擦係数の最小値は両方の油の値未満を示していたが、動摩擦係数は同等以下であることが判明した。

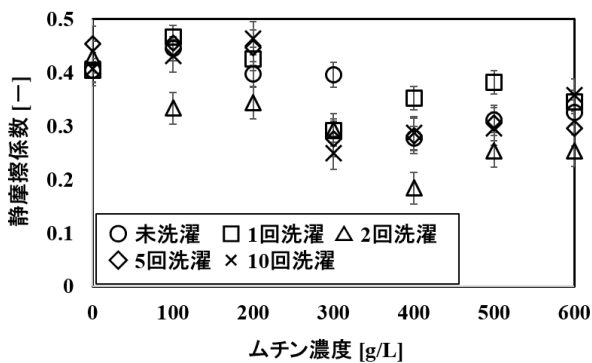


Fig. 4 洗濯回数を変化させた場合における、ムチン濃度と静摩擦係数の関係 (湿潤時)

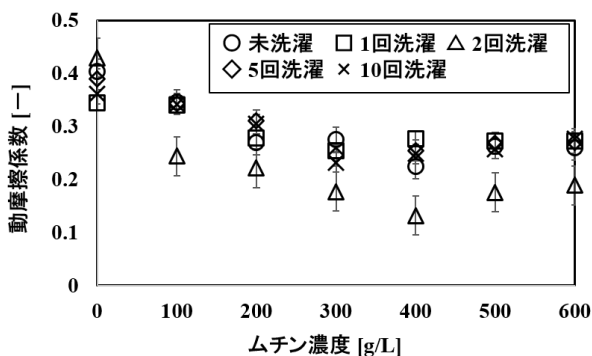


Fig. 5 洗濯回数を変化させた場合における、ムチン濃度と動摩擦係数の関係 (湿潤時)

4. 考察

4-1 ムチン懸濁液における静摩擦係数と動摩擦係数の変化

床ずれは、長期間寝たきりなどの状態で静止して圧迫された骨突出部位で生じる [6]。そのため、前報[3]同様に、床ずれ予防には、静摩擦係数の減少に着目することが重要であると考えた。Fig. 2~11 の静摩擦係数の平均最小値を Table1 にまとめた。Table1 より、介護服に塗布して摩擦低

減効果を持たせる最適なムチン濃度は 300~400 [g/L] であることが判明した。前報 [3] では同様の実験で、最適なムチン濃度 400~500 [g/L] と結果が出ており、今回の結果と異なっている。その理由は不明であるが、実験操作時に違いが 1 点あった。介護服へのムチン塗布工程後の乾燥過程で、前報では外気で 10~15℃下、2 時間の乾燥であったのに対し(実験の時期が乾燥した冬場であった)、今回は温度が 25℃に保たれた室内で 2 時間の乾燥に切り替えたことが考えられる。これを要因とするのであれば、確認してはいるが、おそらく外気により、塗布後に乾燥したムチンが剥がれ落ちた可能性が考えられた。今後、乾燥前後の重量に着目し追跡したい。

Table 1 静摩擦係数の変化

洗濯回数	介護服乾燥時		介護服湿潤時	
	ムチン濃度 [g/L]	静摩擦係数最小値 [-]	ムチン濃度 [g/L]	静摩擦係数最小値 [-]
0	400	0.278	400	0.277
1	300	0.275	300	0.291
2	300	0.230	400	0.184
5	400	0.249	300	0.276
10	400	0.239	300	0.250

一般的に、寝返りは健常者で 20~30 [回/日] [7]、高齢者(70~80 歳)で約 20 [回/日] [8]であるが、本試験結果は往復 100 回の摩擦試験により得られた結果であることから、十分、実使用に耐えられると考えられた。更に、洗濯回数を重ねてもムチンは介護服から除去されず、摩擦低減効果を持続させたことから、寝衣(介護服)を毎日交換洗濯したと仮定しても、毎回の洗濯後の介護服へのムチン塗布は必要ないことが判明した。

4-2 ムチン懸濁液の濃度変化による摩擦係数の変化

今回も前報[3]に引き続き、ムチン懸濁液の濃度変化がおよぼす摩擦係数への影響は、懸濁液中ムチンの有する複雑な立体構造と凝集作用が関与していると考えられた[9]。300~400[g/L]で摩擦係数が減少し、摩擦低減効果を示すことが判明した。これは濃度の違いによりムチン懸濁液中のムチン分子の構造が変化したためであることが考えられ

た。300[g/L]未満の濃度においては濃度が低かったため、ムチンが均一に塗布されなかったこと、500[g/L]を超える濃度ではムチン分子同士が密着し、様々なサイズの凝集塊が生じて均一性を保てなかったことが要因であることが考えられた[9]。また、今回の摩擦係数の変動も、介在する物質や流体により潤滑作用によるものと考えられた。潤滑状態の観点からストライベック曲線(Fig. 6)を用いて考察した。

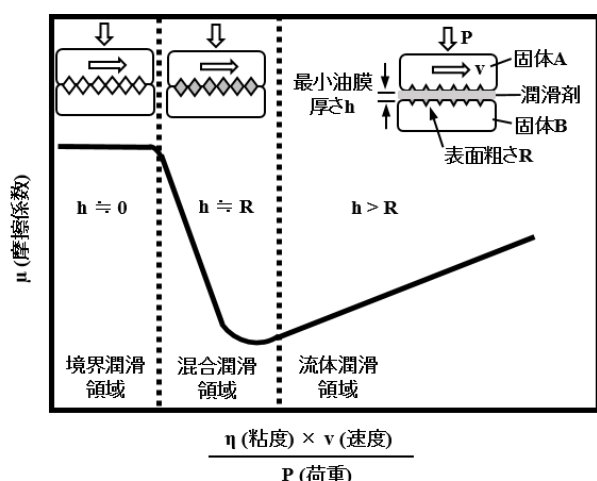


Fig. 6 ストライベック線図 [10]

潤滑の状態は、潤滑物質の粘度 η [Pa · s]、速度 v [m/s]、荷重(圧力) P [Pa] と摩擦係数との関係から表わされる。摩擦係数と $\eta \times v / P$ [-](軸受特性数)で整理すると、境界潤滑、混合潤滑、流体潤滑の3領域に分類される。ストライベック曲線の表面粗さ R [μm]、油膜厚さ h [μm]とし、領域別にあらわした場合、境界潤滑では、摩擦表面はその微小凸部間で直接接触をしているため $h \rightarrow 0$ である。混合潤滑においては、油膜厚さは表面粗さにほぼ同じであるため $h \approx R$ である。流体潤滑では、摩擦表面は流体である潤滑剤にとって完全に隔てられているため $h > R$ となる[10]。本実験では、速度と荷重は一定の値(往復運動速度 3000[mm/min]、荷重 200[g])で試験を行った。これよりストライベック曲線の横軸である速度 v と荷重 P は定数とみなすことができる。よって、摩擦係数の変化は粘度との関係が大きいと考えられる。また、ムチン懸濁液は 300~400[g/L]の特定の範囲で摩擦低減能が確認でき、500~600[g/L]にかけて摩

擦係数は再び上昇傾向にあった。これは、前者の場合では境界潤滑から混合潤滑へ変化したため摩擦係数が低下し、後者においては混合潤滑から流体潤滑へ変化したため摩擦係数が増加したと考えられた[10]。

4-3 介護服の状態における摩擦係数の変化

洗濯回数や、介護服の状態に応じて摩擦係数の変化が見られた。介護服の素材である綿は洗濯や着用によって収縮や厚さや密度の変化があることが知られている[11]。綿の紡績製品は、精練・漂白がなされているため水を吸いやすく、吸湿性・吸水性が大きい[12]。綿は水分率が 70~120%の領域で滑り摩擦力が急激に大きくなり、120%で最大となる。介護服が濡れた状態の摩擦は、濡れた布が人工皮膚へ張り付き、繊維と皮膚間の水の表面張力により介護服が人工皮膚に押し付けられ、接触面積が大きくなることにより生ずる[13]。これらの原因が関係して介護服の状態によって摩擦係数の変化が生じたことが考えられた。

5. まとめ

本研究ではムチンを塗布した介護服と人工皮膚間の潤滑作用、および選択した介護服と人工皮膚間の潤滑作用について検討を行った。その結果、床ずれを抑制する手法として(摩擦係数を小さくするために)、介護服が濡れない状態(皮膚との接触面積が小さい状態)を維持し、身体の骨突出部位にあたる介護服部分に、今回得られた結果であるムチン懸濁液濃度 300~500 [g/L] を塗布することが有効であると考えられた。

謝 辞

本研究は科研費 JSPS20K04250 の助成を受けて実施されました。

参考文献

- [1] 川端康浩：褥瘡，第44回日本老年医学会学術集会記録，pp.240-241 (2003)
- [2] Shi, Lei : Biomimetic Surfaces of Biomaterials Using Mucin-

- Type Glycoproteins, Trends Glycotechnology, Vol.12, No.66, pp.229-239 (2000)
- [3] 田中孝国 他：「床ずれ発症抑制を目的としたムチンの摩擦特性に関する基礎検討」, 技術・教育研究論文誌, Vol.28, No.1, pp.43-48 (2021.06)
- [4] 松川宏：摩擦の物理, 岩波書店, pp.1-4 (2012)
- [5] 加藤太郎：緩衝液のイロハ, 生物工学会誌, Vol.95, No.8, pp.476-479 (2017)
- [6] 上原ます子 他：家庭でできる床ずれ(褥瘡)ケア, 日本看護科学会誌, Vol.27, No.1, pp.78-80 (2007)
- [7] 前田和平他：健常者における睡眠中の寝返り回数と日間変動の検討, 第 50 回日本理学療法学会大会要旨, P3-C-0894 (2015)
- [8] 新井清代 他：高齢者における寝返り動作の研究, 理学療法科学, Vol.26, No.1, pp.75-78 (2011)
- [9] Gleb E. Yakubov, et al. : Aqueous lubrication by fractionated salivary proteins: Synergistic interaction of mucin polymer brush with low molecular weight macromolecules, Tribology International, Vol. 89, pp. 34-45 (2015)
- [10] 長谷重蘭：トライボロジーの基礎, 精密工学会誌, Vol.81, No.7, pp.643-647 (2015)
- [11] 柳許子：綿メリヤス製品の繰り返し着用, 洗濯による形態変化, 繊維消誌, Vol.25, No.12, pp.632-634(1984)
- [12] 林雅子 他：被服材料学 改訂版, 実教出版株式会社, pp.9-13 (2001)
- [13] 木下瑞穂：湿潤時における布の摩擦特性と布に含まれる水の形態に関する研究, 広島大学大学院教育学研究科紀要, 第 2 部, No.60, pp.243-247 (2011)