

## 抗菌性を付与したムチン懸濁液塗布介護服の摩擦特性への影響

田中 孝国<sup>1\*</sup>, 高橋 美羽<sup>1</sup>, 酒井 洋<sup>1</sup>, 大岡 久子<sup>2</sup>, 桑原 敬司<sup>3</sup>, 那須 裕規<sup>4</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>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)

<sup>3</sup>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)

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

## Effect of the friction properties on nursing clothes with antimicrobial application and mucin suspension

Takakuni TANAKA, Miwa TAKAHASHI, Hiroshi SAKAI,  
Hisako OOKA, Takashi KUWAHARA, and Yuki NASU

National Institute of Technology, Oyama College  
(771 Nakakuki, Oyama City, Tochigi 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 6, 2023; Accepted May 15, 2023)

A pressure ulcer (bed sore) is damage to the skin and underlying tissue that is primarily caused by prolonged pressure or friction on the skin. Previous studies have shown that a mucin suspension has a friction-reducing effect between nursing care clothing and artificial skin. In this study, we tested the optimal antimicrobial substance and its effect on friction reduction when added to mucin-applied care clothing. The mucin suspension alone was not found to exhibit antibacterial activity. Boric acid was useful against *E. coli*, which was used as a model substance, and the boric acid did not diminish the friction-reducing effect. In this study, both antimicrobial properties and friction reduction effects were achieved.

**Key words:** mucin II / friction / antimicrobial

### 1. 背景

高齢化が進む日本では、床ずれ(褥瘡)が大きな問題となっている。日本褥瘡学会の調査によると、一般病院での褥瘡の有病率は数%にもなっている。また、介護老人福祉施設での施設内の褥瘡発生率は75%にも及んでおり、褥瘡の予防により治療や介護への負担を減らすことが重要である

と考えられる [1]。床ずれは、初期には圧迫部の皮膚の発赤が見られるのみだが、次第に腫脹し、硬結を触れるようになる。そして、これらが継続または消長を繰り返し、組織壊死へと進行する。組織壊死は皮下脂肪組織や筋肉組織にとどまらず、骨や関節にもおよんで骨髄炎や関節炎に至るものや直腸、肛門、膣にまでおよぶことが知られており、発症すると治癒が困難なため、抑制・予防が治療の根幹に

なると言われている [2]。床ずれを抑制・予防するには、圧迫・ずれの排除，スキンケア，栄養状態の改善が重要であるとされている [2]。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。ムチンは高分子糖タンパク質であり，平均分子量は数 100 万以上，人体の粘膜の保護，保湿，潤滑などに役立っている物質である[3]。生体内で潤滑作用を示すことから，床ずれの抑制・予防に対し有用な物質の一つであると考えられている[3]。

我々はこれまで，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てきた。その結果，ムチン懸濁液の摩擦低減に寄与する濃度範囲が 300~400 [g/L]であること，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[4]。更に，繰り返し洗濯を実施しても効果を示すことが判明した[5]。一方で，床ずれを悪化させる要因である細菌への対処については手つかずであった。本研究では，ムチン懸濁液を塗布した介護服片に対して，抗菌性物質を付与した場合の有効性および摩擦低減効果への影響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。静摩擦力は水平に静止している物体が動き出すまでの抵抗力，動摩擦力は物体が動き出した後の抵抗力をそれぞれ示している。静摩擦力と動摩擦力は以下の式で簡易的に示されることが知られている [4]。

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

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

(1), (2) 式中の, F は静摩擦力, F' は動摩擦力,  $\mu$  は静摩擦係数,  $\mu'$  は動摩擦係数, N は垂直抗力をそれぞれ示す。摩擦係数は摩擦力の荷重への比例係数のことであり，摩擦係数が大きいことは物体間に生じる摩擦が大きいことを示している。本実験では摩擦係数の値の変動に着目して摩

擦特性の評価を行った。

### 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，これまでと同様に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, 以降ムチン 2)を水に懸濁し作製した。ムチン 2 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 2 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，これまでの実験で得られている摩擦低減に寄与する濃度である 300 [g/L]とした [4]。

### 2-3 抗菌性評価試験

本研究では，JIS L 1902「繊維製品の抗菌性試験及び抗菌効果」[7] を参照し，ハロー法によって抗菌性の評価を行った。ハロー法とは，ハローの有無によって評価する細菌試験方法であり，ここで言うハローとは試料の周りにできる試験菌の発育が阻止された部分のことである(Fig. 1)。

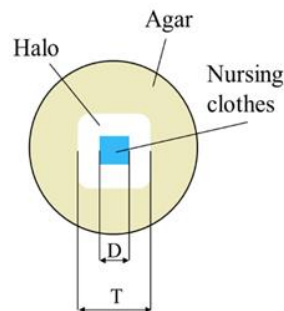


Fig. 1 ハロー試験イメージ図

まず試験片の準備を行った。試験片は 70wt%エタノール水溶液に浸した後に滅菌水ですすいだ介護服片(綿 100%, 幸和製作所, 2.0 [cm]×2.0 [cm]) にムチン 2 懸濁液 3.0 [g] を塗布し乾燥させた。塗布部分は，肌に触れる内側を使用した。乾燥後，各種抗菌性物質にそれぞれ浸した。今回採用した抗菌性物質は医療用などに用いられることの多い 5 種類の製品を入手時の濃度で使用した(効果の見られた

ホウ酸のみ異なる濃度で試験を実施した)[8]。まず、6wt%次亜塩素酸ナトリウム水溶液 (NICHIGA), 70 wt %エタノール水溶液(三協製薬), 3 wt %石鹼水溶液(LION), 30 wt %過酸化水素水溶液(富士フィルム和光純薬) の濃度は入手時の濃度である。実験時にはそれぞれの水溶液に、ムチン2が300 [g/L] になるように調整し使用した。続いて、ホウ酸(富士フィルム和光純薬)は0.4,8,12,16, 25,30 [g/L] の濃度の水溶液をそれぞれ作製し、同様にムチン2が300 [g/L] になるように調整し使用した。

モデル細菌として、大腸菌(*Escherichia coli* K-12)を用いた(病原菌を扱うための設備が本学に無いため)。培養には、市販のLB培地 (Difco™ LB Broth, Miller)を用いた。30°Cの条件下で24時間の培養を行い、0.9 wt%の濃度の生理食塩水で吸光度が0.2になるように希釈したものをさらに $10^6 \sim 10^8$  倍に希釈して菌液を調製した。クリーンベンチ内で、作製した菌液とLB寒天培地を滅菌シャーレに加え、素早く混ぜたのち室温で約10分間放置した。寒天凝固後に、介護服を切って作成した試験片を、培地の中心に密着させて設置させ、約30°Cで48時間培養した。培養後、試験片の周囲にできたハローについて Fig. 1 に示した T および D の値を測定し、(3)式によってハローの幅を算出した。ハローの幅の平均値が0 [mm]以上の場合にはハロー有で抗菌活性があると判定し、ハローの幅の大きさによって抗菌活性の強さを求めた。

$$W = (T - D) / 2 \quad (3)$$

W : ハローの幅[mm]

T : 試験片の長さとおよびハローの幅との合計[mm]

D : 試験片の長さ[mm]

#### 2-4 摩擦試験について

摩擦係数の測定には、表面性測定機(新東科学株式会社, HEIDON トライボギア TYPE:18)を用い、各摩擦係数の測定と解析を行った[4]。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]の条件で測定を行った。人工皮膚(プロテイン PU, 新東科学)を

取り付け付けた治具(Φ50)を試験機上部に設置し、下部に介護服片を固定する鋼板を使用した。介護服片の固定には、両面テープ(ニチバン株式会社, ナイスタック一般タイプ)を用いて鋼板に設置し、測定を行った。摩擦試験中はポータブル型非接触温度計(オプテックス株式会社 THERMO-HUNTER PT-S80/U80)を用いて介護服片の表面温度を測定し、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20°C, 相対湿度平均22%で実施した。

### 3. 結果

#### 3-1 抗菌性試験結果(ムチン2懸濁液のみ)

Fig.2 に、ムチン2懸濁液のみを塗布した試料の場合の結果を示した。試験片の周辺にハローの形成は全く見られなかったため、ムチン2懸濁液のみでは抗菌性は示さないことが判明した。

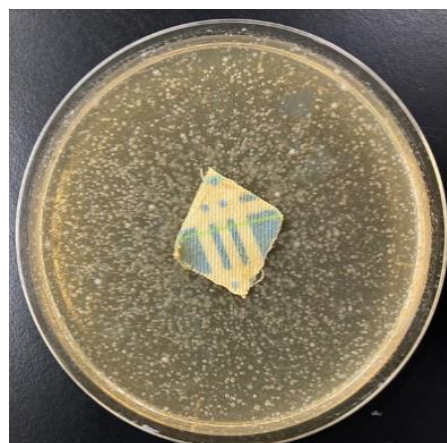


Fig. 2 ハロー試験結果(ムチン2懸濁液のみ)

#### 3-2 各種抗菌性物質を追加したムチン2懸濁液の抗菌性

ムチン2懸濁液はホウ酸を加えた場合のみ、ハローの形成が確認された(Fig. 3)。他の抗菌性物質(6wt%次亜塩素酸ナトリウム水溶液, 70 wt %エタノール水溶液, 3 wt %石鹼水溶液, 30 wt %過酸化水素水溶液)は、Fig. 2 と同様にハローの形成が見られなかった。ホウ酸は通常3.0 wt%以下で用いられていることから、ホウ酸の濃度を減少させた場

合におけるハロー幅への影響について実験を行った(Fig. 4)。Fig. 4の結果より、調整したホウ酸の濃度が大きくなるほど、ハローの幅も大きくなる傾向が見られた。ホウ酸の濃度の変化によるハロー幅との関係は、式(4)で示されることが判明した。尚、Fig. 4の直線性を示すR<sup>2</sup>は、0.97であった。

$$\text{ハロー幅} = 0.047 \times (\text{ホウ酸濃度}) - 0.029 \quad (4)$$

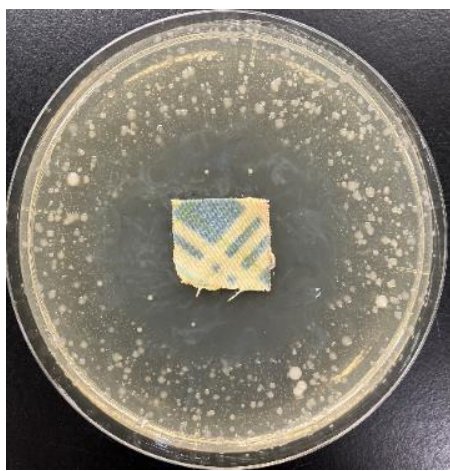


Fig. 3 ハロー試験結果  
(ムチン2懸濁液+25wt%ホウ酸水溶液)

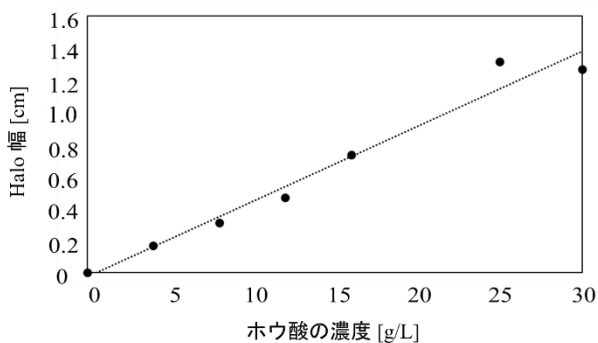


Fig. 4 ホウ酸濃度によるハロー幅への影響

### 3-3 各濃度のホウ酸を調整したムチン2懸濁液塗布後の摩擦特性

Table 1に静摩擦試験, Table 2に動摩擦試験の結果を示した。ムチン2懸濁液はすべて300 [g/L]に調整して測定している。Table 1,2より、ムチン2懸濁液のみの場合とホ

ウ酸を調整したムチン2懸濁液の場合では、ホウ酸の濃度が増加しても静摩擦および動摩擦係数の値に大きな差は見られなかった。また、これまでの報告同様、介護服—人工皮膚の間が、乾燥状態・湿潤状態のときよりも、ムチン2を含む懸濁液を塗布した場合のほうが摩擦係数の減少が観察された。

Table 1 人工皮膚—介護服間の静摩擦係数 (サンプル数4)

サンプル	静摩擦係数 [-]	標準偏差
乾燥状態	0.445	0.0362
水	0.384	0.0250
ムチン2懸濁液	0.168	0.0179
ムチン2懸濁液+ 4.0 wt%ホウ酸水溶液	0.172	0.0178
ムチン2懸濁液+ 8.0 wt%ホウ酸水溶液	0.189	0.0202
ムチン2懸濁液+ 12.0 wt%ホウ酸水溶液	0.164	0.0207
ムチン2懸濁液+ 16.0 wt%ホウ酸水溶液	0.197	0.0309
ムチン2懸濁液+ 25.0 wt%ホウ酸水溶液	0.190	0.0151
ムチン2懸濁液+ 30.0 wt%ホウ酸水溶液	0.196	0.0198

Table 2 人工皮膚—介護服間の動摩擦係数 (サンプル数4)

サンプル	動摩擦係数 [-]	標準偏差
乾燥状態	0.391	0.0299
水	0.329	0.0174
ムチン2懸濁液	0.148	0.0279
ムチン2懸濁液+ 4.0 wt%ホウ酸水溶液	0.145	0.0120
ムチン2懸濁液+ 8.0 wt%ホウ酸水溶液	0.171	0.0255
ムチン2懸濁液+ 12.0 wt%ホウ酸水溶液	0.139	0.0268

ムチン 2 懸濁液 + 16.0 wt% ホウ酸水溶液	0.169	0.0146
ムチン 2 懸濁液 + 25.0 wt% ホウ酸水溶液	0.159	0.0184
ムチン 2 懸濁液 + 30.0 wt% ホウ酸水溶液	0.168	0.0257

## 4. 考察

### 4-1 ハロー試験結果

ムチン 2 懸濁液のみの場合ではハローの形成が見られなかったことから、ムチン 2 そのものは大腸菌に対して抗菌作用を全く持っていないことが判明した。今回用いた抗菌性物質である、エタノール、次亜塩素酸ナトリウム、石鹼水溶液、過酸化水素水をそれぞれムチン懸濁液に調製した場合も、同様にハローの形成は見られなかった。以上より、これらの物質は単独では抗菌性の効果を示すものの、ムチン 2 懸濁液と混ぜ合わせると、理由は不明であるが抗菌性が示されなくなることが判明した。

ホウ酸水溶液を調整したムチン 2 懸濁液を用いた場合、ハローの形成が確認できたことから、ホウ酸はムチン 2 懸濁液と混合されても抗菌性を示すことが判明した。今回ホウ酸の濃度は通常使用される 3.0 wt% 以下で試験を実施したが、十分にハロー形成が見られたことから、これ以上濃度を高める必要は無いと考えられた。ホウ酸には長期使用における局所刺激の例がみられることから、3.0% 以上の濃度での使用は避けるべきであると考えられた [9]。

今回大腸菌を用いた実験を実施したが、褥瘡の細菌感染は複数の菌が原因となることが多い。頻度が高いのは、エンテロバクター、ブドウ球菌、腸球菌(エンテロコッカス属)とされている [10]。これらの菌に対する抗菌性をホウ酸は有している [11] ことから、ムチン 2 懸濁液を塗布した介護服片に添加する抗菌性物質としては有力な物質であることが示唆された。

### 4-2 ムチン 2 懸濁液の濃度変化による摩擦係数の変化

ムチン 2 懸濁液のみの場合の各摩擦係数と、各ホウ酸を調整したムチン 2 懸濁液の場合の各摩擦係数には大きな違いがなかったことから、ホウ酸の添加の有無は摩擦特性に影響を示さないことが判明した(3.0 wt% まで)。また、これまでの結果同様、ムチン懸濁液は乾燥状態や湿潤状態よりも摩擦力が小さくなることも改めてわかった。今回の結果より、ムチン 2 懸濁液にホウ酸を調整すると、摩擦の低減効果も保ちつつ抗菌性を付与することができたと考えられた。その一方で、コンタクトレンズケア用多目的用剤(マルチパーパス溶液: MPS)において、ホウ酸を含む MPS は、ホウ酸を含まない MPS と比較して有意にムチン 1、ムチン 4、ムチン 16 などの膜結合型ムチンの発現を減少させるとの報告がある [12]。本実験で使用したムチン 2 では摩擦などへの影響は見られなかったが、使用するムチンの種類によってホウ酸がムチンの示す摩擦低減効果などに悪影響を与えることも考えられる。

## 5. まとめ

本研究ではムチン 2 を塗布した介護服に抗菌性物質を追加した場合における最適な抗菌性物質および、摩擦低減効果に及ぼす影響について試験を実施した。その結果、モデル物質として使用した大腸菌に対してホウ酸が有用であること、ホウ酸は摩擦低減効果に影響を及ぼさないことが判明した。

## 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] 日本褥瘡学会実態調査委員会：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、日本褥瘡学会誌, Vol.20, No.4, pp.423-445 (2018)
- [2] 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)

- [3] Shi, Lei : Biomimetic Surfaces of Biomaterials Using Mucin-Type Glycoproteins, Trends Glycotechnology, Vol.12, No.66, pp.229-239(2000)
- [4] 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)
- [5] 田中孝国 他 : 「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」, 技術・教育研究論文誌, Vol.29, No.1, pp.37-42 (2022.06)
- [6] 松川宏 : 摩擦の物理, 岩波書店, pp.1-4(2012)
- [7] JIS L 1902, 繊維製品の抗菌性試験方法及び抗菌効果, (2015)
- [8] 木村由和 : 抗菌・抗カビ剤の検査・評価法と製品設計 第4講無機系抗菌剤の特性とその応用製品について, 株式会社エヌ・ティー・エス, p.131(1997)
- [9] 薬発第755号, 医療用医薬品再評価結果-その24, (1985)
- [10] 松村由美, 宮地良樹 : V. 院内感染対策からみた特殊病態患者の管理 4. 褥瘡患者, 日本内科学会雑誌, Vol.97, No.11, pp. 2743-2747 (2008)
- [11] 勝川千尋, 原田七寛, 津上久弥, 牧野正直 : 各種微生物に対するホウ酸の抗菌力, CHEMOTHERAPY, Vol.41, No.11, pp. 1160-1166 (1993)
- [12] Imayasu M 他 : ヒト角膜上皮細胞の膜結合型ムチンに対するコンタクトレンズケア用多目的用剤と配合成分の影響, Eye Contact Lens, Vol. 36, No.6, pp.361-366 (2010)