

令和 5 年 5 月 2 日現在

機関番号：52201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04250

研究課題名(和文)寝衣コーティング手法による床ずれ発症抑制に関する基礎的研究

研究課題名(英文)A preliminary study of the Bedsore Suppression by Nightclothes coating technique

研究代表者

田中 孝国 (Tanaka, Takakuni)

小山工業高等専門学校・物質工学科・准教授

研究者番号：30413743

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：ムチンは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。本研究では、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。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。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。ムチン懸濁液に抗菌性は無かったものの、抗菌性物質(ホウ酸)を添加しても摩擦低減効果は変化しなかったことが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高齢化社会を迎える日本において、床ずれの抑制・予防策は重要な課題である。床ずれは寝たきり状態でなくても非常に起こしやすい疾患でありながら、まだ抑制・予防策についての検討は十分ではない。本研究で得られた結果は、介護服に抗菌性物質を含んだムチン懸濁液を塗布するだけで(患者への負担もほぼ無く)、床ずれの抑制・予防策となりえる。その結果、入院期間の短縮が見込まれ、高齢者の早期社会復帰(QOL向上)に大きく貢献できる。

研究成果の概要(英文)：Mucin is one of the most useful substances for the prevention and control of bedsores because of its in vivo lubricating ability. In this study, the frictional properties of mucin suspension between nursing clothes and artificial skin were investigated. The results suggest that the concentration range of mucin suspension that contributes to friction reduction is 300-400 [g/L], and that the coefficient of static/dynamic friction changes with concentration of mucin suspension are related to the cohesive property of mucin. Furthermore, the effect of repeated washing was also found to be effective. Although the mucin suspension had no antimicrobial properties, it was found that the addition of an antimicrobial substance (boric acid) did not change the friction-reducing effect.

研究分野：化学工学

キーワード：ムチン 摩擦

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

寝たきりの患者に発生しやすい床ずれは、主に免疫力や身体組織の耐久性低下により、弱った皮膚と寝衣との間に生じる摩擦が要因とされている。同時に高齢者は生体防御力が低下しているため、一度生じた床ずれの傷口から細菌感染を非常に起こしやすく、完全な治癒は極めて困難である。そのため、床ずれ防止・抑制対策の更なる検討が必要不可欠である。

糖タンパク質として知られるムチンは、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、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。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り、細菌などが他の物質へ接着するために分泌するフィブロンクチンが吸着しにくくなることなどから抗菌作用を材料に付与させることが可能であることが報告されている(Shi Lei, TIGG, 12(66), 229-239, 2000)。ムチンでコーティングした材料を生体内に移植することも可能であり、移植後の炎症作用も弱いという報告がされている(Shi Lei, TIGG, 12(66), 229-239, 2000)。ムチンの材料適合性および産業応用性については、まだ研究途上であるものの、ムチンを用いて材料表面をコーティングすることで、上皮細胞(生体を覆い保護を行っている)の表層が模倣可能であることが期待される。ムチンの示すこれらの効果は、床ずれの抑制・予防に有効であることを示唆している。

2. 研究の目的

背景で示した通り、ムチンの潤滑性や抗菌性などの特性を明らかにすることで、床ずれの抑制・予防策の1つとして大きく貢献することが考えられる。そこで本研究の目的として、ムチンの潤滑能(以降、摩擦低減効果)、実際に患者の使用する介護服へ塗布した際および洗濯した際の摩擦低減効果、抗菌性について明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 介護服にムチンを塗布、介護服と人工皮膚間における摩擦低減効果の評価

コーティング対象の寝衣として、入院時に良く使用される介護服(綿 100%)を対象とした。ムチンは粉末であるため、水に懸濁させ、介護服へ塗布する手法を選択した。塗布した介護服と人工皮膚を重ね合わせ、摩擦試験機(表面性測定機)を用いて摩擦力について測定した。摩擦試験時は、介護服と人工皮膚を平板上に平行に設置し密着させて、往復運動させて試験を行った。静摩擦係数および動摩擦係数の測定を実施し、ムチン塗布による摩擦力低減効果について考察した。摩擦試験で得られた結果の解析にはトライボソフトを使用した。床ずれ部位に関する摩擦係数等の目標値は評価項目が無かったため、摩擦係数が低い方が望ましいと考え、本実験ではゼロに近い値を目標値とした。続いて、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、洗濯を実施した場合に、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、評価した。

(2) ムチン懸濁液を塗布した介護服における抗菌性の評価

本研究では、JIS L 1902「繊維製品の抗菌性試験及び抗菌効果」を参照し、ハロー法によって抗菌性の評価を行った。まず、介護服片にムチン懸濁液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種類の製品である(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)。6%次亜塩素酸ナトリウム水溶液、70%エタノール水溶液、3%石鹼水溶液、30%過酸化水素水溶液、0.4, 8, 12, 16, 25, 30 [g/L]ホウ酸水溶液の各種を用いた。尚、抗菌性物質の%は全て重量%を示している。モデル細菌として、大腸菌(K-12 株)を用いた。培養には、市販のLB培地および寒天を用いた。LB 寒天培地の凝固後に、ムチン懸濁液を塗布した介護服片を寒天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幅の大きさによって抗菌活性の強さを求めた。

(3) 滑り摩擦測定装置によるムチン懸濁液の潤滑能評価

(1)および(2)の試験と同時に、既報告(海野都久子, トライボロジスト, 46(2), pp.155-161 (2001))を基にした手動摩擦試験装置の製作を実施し、作製した装置によるムチン懸濁液の潤滑能について評価試験を実施した。本装置は、傾斜角測定を行う実験装置である。実験装置は取り付けられた滑車によってワイヤーを手動で巻き取り、平板を傾斜させることで傾斜板上に設置したモデルの滑り始めの角度をデジタル水平傾斜計により測定した。実験装置の本体材料にはステンレス鋼を使用し、滑車によって巻き取られるワイヤー部にはピアノ線を使用した。手動静摩擦係数測定装置に設置する傾斜板として、銅板、アルミニウム板、ステンレス板、トタン板、チタン板を使用した。使用した傾斜板の内、金属板はアセトンによる脱脂処理を実施した。尚、本研究では各金属板は市販された状態のまま使い、表面粗さなどについては調整していない。それぞれ

の傾斜板上を滑らせるモデルとして、ニトリルゴムを用いた。ニトリルゴムと傾斜板間には空気、水、ムチン懸濁液(ムチンは水に懸濁状態、10, 25, 50, 100 [g/L])を添加し、各条件それぞれ 100 回ずつの測定を行った。ニトリルゴムは 100 [mm]×7 [mm] の面を傾斜板に設置した。空気以外の条件では、水及び懸濁液に 100 [mm]×7 [mm] の面を付着させ、一度ニトリルゴムを垂直にして、余分に付着した懸濁液の除去を行った。その後、実験装置上の傾斜板に懸濁液を付着させたニトリルゴムを置き、斜面を傾斜させることでニトリルゴムの滑り始めの傾斜角を測定した実験時の温度は 25±2 [°C]、湿度は 50±10 [%] で実施した。

本研究では、斜面上に設置したモデルが滑り始める際の摩擦係数、すなわち、静摩擦係数をモデルが滑り始めた時の傾斜角 α から算出し、以下の式(1)で静摩擦係数 $\tan \alpha$ を算出した。

$$\mu = F_0/N = (m \times g \times \sin \alpha) \div (m \times g \times \cos \alpha) = \tan \alpha \quad \dots (1)$$

4. 研究成果

(1) 介護服にムチンを塗布、介護服と人工皮膚間における摩擦低減効果の評価

人工皮膚—介護服間にムチン懸濁液を塗布した場合、静摩擦係数は、ムチンの濃度 0~200[g/L] 間で増大し、300~500[g/L] 間の濃度で低減、600 [g/L] で再び増大する傾向にあった。ムチン懸濁液は濃度 500 [g/L] において最小静摩擦係数 0.232 [-] を示し、未塗布介護服の静摩擦係数と比較し、39%の静摩擦係数減少が確認された。更に、潤滑油 0.294 [-] や切削油 0.359 [-] よりも低くなることが判明した。動摩擦係数では、ムチンの濃度 0-300 [g/L] 間で減少し、300~500 [g/L] 間の濃度で横ばいに推移した。600 [g/L] で再びわずかに増大する傾向にあった(図 1)。更に、ムチン懸濁液は濃度 300 [g/L] において最小静摩擦係数 0.173 [-] を示し、未塗布介護服の動摩擦係数と比較し、48%の動摩擦係数減少が確認された。静摩擦係数と同様に、潤滑油 0.215 [-]、切削油 0.262 [-] よりも低くなることが判明した。

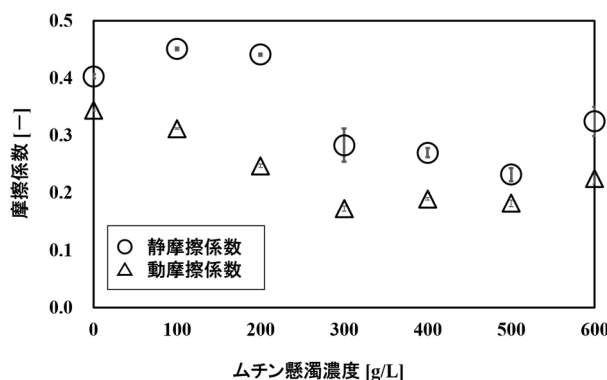


図 1 ムチン懸濁液(水)の静/動摩擦係数

その一方で、介護服にムチン懸濁液を塗布後、乾燥させた場合、100~200[g/L] 間で静摩擦係数は減少傾向を示し、濃度 200[g/L]において静摩擦係数は 0.31[-]で最小値を示した。未塗布介護服の静摩擦係数と比較すると、18%の静摩擦係数減少が確認された。また、300~600[g/L]で静摩擦係数は増加し、未塗布の人工皮膚—介護服の静摩擦係数と同様の値を示した。続いて、動摩擦係数では、各濃度において未塗布の動摩擦係数と同様の値を示した。これらの結果から、ムチンは水溶液中に懸濁している状態もしくは、水分が周囲に存在する状態で、摩擦係数の減少に寄与することが明らかとなった。続いて、ムチン塗布介護服が洗濯直後の湿潤状態における、ムチン塗布介護服-人工皮膚間の摩擦特性について評価を実施した。静・動摩擦係数両方の値とも、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。洗濯 10 回までの結果ではあるが、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(表 1)。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。

表 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

(2) ムチン懸濁液を塗布した介護服における抗菌性の評価

モデル細菌として大腸菌(K-16)を選択し、ハロー試験による抗菌性評価を実施した。ムチン懸濁液のみでは抗菌性を全く示さなかったため、数種類の抗菌性物質を加えて試験を実施したところ、ホウ酸を加えた場合のみ、ハローの形成が確認された。ホウ酸は医薬品として通常3.0重量%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。その結果、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(1)で示されることが判明した($R^2=0.97$)。

$$\text{ハロー幅} = 0.047 \times (\text{ホウ酸濃度}) - 0.029 \quad (1)$$

同時に、各濃度のホウ酸を調整したムチン懸濁液塗布後の摩擦特性について評価を実施した。ムチン懸濁液のみの場合とホウ酸を調整したムチン懸濁液の場合では、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、これまでの結果同様、介護服-人工皮膚の間が、乾燥状態・(ムチン懸濁液以外の液体による)湿潤状態のときよりも、ムチン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。

(3) 滑り摩擦測定装置によるムチン懸濁液の潤滑能評価

手動測定装置による検討によりムチン懸濁液の潤滑能は、濃度上昇に伴い向上するが、ある濃度からは潤滑能の変化が無くなること示された。この濃度上昇による潤滑能向上効果は、懸濁液中のムチンの凝集作用によって境界潤滑状態から流体潤滑状態へ変化したと考えられた。おそらくムチン同士が凝集することで、物体の細かな隙間にムチンが入り込みにくくなり、潤滑層が大きくなることで流体潤滑状態へと推移し、潤滑能が向上したことが考えられた。

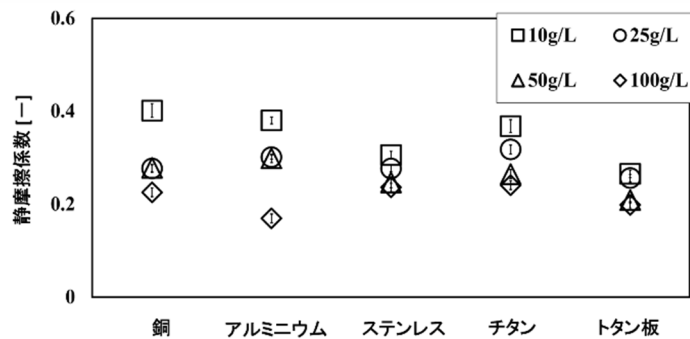


図2 ムチン濃度を变化させた時の各傾斜(金属)板とニトリルゴム間の静摩擦係数

以上の検討を通して、ムチン懸濁液の摩擦低減効果(潤滑能)が示された。同時に、床ずれの予防・抑制法の1つとして、ムチン懸濁液を介護服に塗布する手法は有効であることが判明した。ただしムチン懸濁液に自身に抗菌性は無いため、病原性細菌に抗菌作用を示す物質を添加する必要があることが判明した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 田中孝国, 那須裕規, 秋元純樹, 酒井洋, 矢島夏海, 高屋朋彰, 大岡久子, 桑原敬司	4. 巻 28
2. 論文標題 ドジョウが分泌する粘液の回収と摩擦低減能の評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 技術・教育研究論文誌	6. 最初と最後の頁 13-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 田中孝国, 大関康生, 矢島夏海, 酒井洋, 大岡久子, 桑原敬司, 那須裕規	4. 巻 28
2. 論文標題 滑り摩擦測定装置によるムチン懸濁液の潤滑能評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 技術・教育研究論文誌	6. 最初と最後の頁 37-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 田中孝国, 矢島夏海, 酒井洋, 高屋朋彰, 大岡久子, 桑原敬司, 那須裕規	4. 巻 28
2. 論文標題 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	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 技術・教育研究論文誌	6. 最初と最後の頁 43-48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 田中孝国, 小川知輝, 酒井洋, 大岡久子, 桑原敬司, 那須裕規	4. 巻 29
2. 論文標題 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	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 技術・教育研究論文誌	6. 最初と最後の頁 13-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 田中孝国, 渡邊江利子, 酒井洋, 大岡久子, 桑原敬司, 那須裕規	4. 巻 29
2. 論文標題 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	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 技術・教育研究論文誌	6. 最初と最後の頁 37-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 田中孝国, 小川知輝, 酒井洋, 桑原敬司, 大岡久子, 伊澤悟, 那須裕規	4. 巻 55
2. 論文標題 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	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 小山高専紀要	6. 最初と最後の頁 34-38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 高橋美羽, 酒井洋, 大岡久子, 桑原敬司, 那須裕規, 田中孝国
2. 発表標題 ムチン懸濁液を塗布した介護服への抗菌性付与および摩擦特性の評価
3. 学会等名 第8回 関東磐越地区化学技術フォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋美羽, 酒井洋, 大岡久子, 桑原敬司, 那須裕規, 田中孝国
2. 発表標題 ホウ酸添加ムチン懸濁液を塗布した介護服の抗菌性および摩擦特性の評価
3. 学会等名 第25回化学工学会学生発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊江利子, 田中孝国, 那須裕規
2. 発表標題 ムチンを用いた褥瘡予防の検討
3. 学会等名 第7回 関東磐越地区化学技術フォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小川知輝, 那須裕規, 田中孝国
2. 発表標題 手動摩擦測定装置によるムチン懸濁液の潤滑性評価
3. 学会等名 第7回 関東磐越地区化学技術フォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊江利子, 那須裕規, 酒井洋, 大岡久子, 桑原敬司, 田中孝国
2. 発表標題 ムチン懸濁液が及ぼす人工皮膚-介護服間への潤滑作用
3. 学会等名 第12回 福島CEセミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小川知輝, 那須裕規, 田中孝国
2. 発表標題 滑り摩擦測定装置を用いたムチン懸濁液の摩擦低減効果の評価
3. 学会等名 第27回 高専シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Natsumi Yajima , Yuki Nasu , Hiroshi Sakai , Hisako Ooka , Tomoaki Kouya ,Takakuni Tanaka, Takashi Kuwahara
2. 発表標題 Friction reduction characteristic of the mucin between Skin and Care clothes
3. 学会等名 5th STI-GIGAKU (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Natsumi Yajima, Takakuni Tanaka, Yuki Nasu, Hiroshi Sakai, Tomoaki Kouya, Hisako Ooka, Takashi Kuwahara
2. 発表標題 Lubrication characteristics of mucin
3. 学会等名 第6回関東磐越地区化学技術フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋元純樹, 那須裕規, 酒井洋, 矢島夏海, 大岡久子, 桑原敬司, 田中孝国
2. 発表標題 ドジョウから採取した粘液の示す摩擦低減能の評価
3. 学会等名 第6回関東磐越地区化学技術フォーラム講演
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大関康生, 那須裕規, 矢島夏海, 大岡久子, 桑原敬司, 田中孝国
2. 発表標題 ムチンが及ぼす高分子材料と金属間における滑り摩擦の影響
3. 学会等名 第6回関東磐越地区化学技術フォーラム講演
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大関康生, 那須裕規, 矢島夏海, 大岡久子, 桑原敬司, 田中孝国
2. 発表標題 滑り摩擦測定装置によるムチン水溶液の潤滑能評価
3. 学会等名 第23回化学工学会学生発表会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	那須 裕規 (Nasu Yuki)	小山工業高等専門学校・機械工学科 (52201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------