

■ Review article

硬質表面の拭き取り洗浄の理論と実際

福崎智司

三重大学大学院生物資源学研究科

Theory and practice of wipe cleaning of hard surfaces

Satoshi Fukuzaki

Graduate School of Bioresources, Mie University

Key word : 拭き取り洗浄、硬質表面、不織布、片道拭き、微生物制御

1. はじめに

食品産業では、設備・機器や調理台、食卓等を対象に不織布を用いた拭き取り操作が頻繁に行われている。拭き取りは、汚れを簡便かつ迅速に除去することができる操作であるが、付着汚れを効果的に拭き取るためには不織布への吸水量や拭き取り方向など、適切に定めた操作方法が必要となる。特に、水はタンパク質や微生物菌体等の親水性汚れを溶解・分散させる性質があり、洗浄媒体としての役割を不織布に付与することで拭き取り効率を高めている。一方、水は油や皮脂などの疎水性物質に対して溶解力を持たない。疎水性汚れの拭き取り除去における水の役割については十分に理解されていないことから、水拭きが良いのか乾拭きが良いのか、明確な操作マニュアルが設定されていない現場も少なくない。また、対象物に食中毒や腐敗・変敗を起こす細菌やウイルスが付着している可能性がある場合は、殺菌効果のある液体を不織布に含浸させて拭き取り消毒をしている場合が多い。

筆者は、長年にわたり食品産業における洗浄・殺菌技術の学術的研究と現場の衛生管理指導を行ってきた。食品の衛生管理における清掃は、5S活動（整理、整頓、清掃、躰、清潔）の1つに分類され、作業者の目でキレイな状態を得る操作である。さらに微生物の制御対策では、肉

眼では見ることのできない微視的な汚れや微生物を対象とした清潔が求められている。その意味で、高い清浄度を得る拭き取り操作は洗浄技術の単位操作の1つと云えることから、筆者は「拭き取り洗浄」の用語を用いている。

本稿では、硬質表面に付着した各種の有機物汚れや微生物を効果的に除去するための不織布を用いた拭き取り洗浄の操作条件について、著者らの研究事例を中心に解説する。

2. 拭き取り洗浄の基礎

洗浄系は、汚れ、被洗浄体、媒体、洗浄力から構成される。洗浄は、系を構成する各種界面の状態を制御する技術であり、濡れ、浸透、拡散、化学反応が時々刻々と進行する速度過程である。この考え方は、拭き取り洗浄においても適用できる。

2.1 汚 れ

種々の産業において、汚れは日常的に発生している。食品産業では、汚れは広義に“Matter out of place（場違いな箇所に存在する物質）”と解釈されている¹⁾。すなわち、その物質が汚れであるか否かは、化学的な性状や衛生的な清浄度によるのではなく、どの場所に存在するかによって判断される。医療関連施設では、汚れとして血液、粘液、分泌液、排泄物、皮脂等に由来する有機物（タ

ンパク質、多糖類、油、微生物) や、機械油、環境からの塵埃、残留薬剤などが挙げられる。

2.2 被洗浄体

被洗浄体は、洗浄対象物のことであり、医療・療養環境にあるものすべてが被洗浄体に該当する。被洗浄体の材質、物理的構造、表面構造、強度、吸湿性等の特性によって拭き取り洗浄の操作条件は異なる。筆者らの研究では、被洗浄体にはステンレス鋼板、タッチパネルの材質に使用されるポリエチレンテレフタレート (PET) 板、ポリエチレン板、フッ素樹脂板を用いている。

2.3 媒体

媒体は、汚れ-被洗浄体の界面に洗浄力を伝達する働きと、離脱した汚れを安定に分散保持 (再汚染を抑制) して系外への移動を仲介する働きをする。気体と固体を媒体とする洗浄を乾式洗浄、液体を媒体とする洗浄を湿式洗浄と呼ぶ。食品産業ではほとんどの場合、液体の媒体として水が用いられている。不織布やクロスのみで拭き取る場合は乾式洗浄に属し、水を吸水させて拭き取る場合は湿式洗浄となる。

乾拭き (乾式) は、清掃と類似した清浄度レベルの操作であり、液状汚れの吸収や目視で確認できる塵埃の除去を目的とする場合が多い。水は、その極性構造に基づいて多くの親水性汚れを溶解・分散するため、水拭き (湿式) における基盤的洗浄力でもある。一般に、不織布に一定量の水を吸水させた水拭きの方が、乾拭き (乾式) よりも得られる清浄度は高い^{2,4)}。

2.4 洗浄力

洗浄力は、物理的作用力と化学的作用力に大別される。

不織布を用いた拭き取り洗浄における主な物理的作用力は、不織布と被洗浄体の間に生じる動摩擦力 (F_k) と不織布による汚れの吸着・吸収の作用に起因する。 F_k は、(1) 式で表される。

$$F_k = \mu' N \quad (1)$$

ここで、 μ' は動摩擦係数、 N は垂直抗力である。被洗浄体が水平 ($\cos \theta = 1$) に設置されている時、垂直抗力は拭き取り時に不織布にかけた荷重に等しい。 F_k は、付着汚れを掻き取る作用力となる。

拭き取りにおける化学的洗浄力は、不織布に吸水させる水溶液の持つ作用力に依存することになる。特に、汚

れに対する溶解力や汚れの保持力、水による硬質表面の濡れ性を改善する作用力が有効となる。

3. 拭き取り洗浄実験

筆者らの研究室では、拭き取り洗浄実験に一定の荷重と拭き取り速度が与えられる表面性測定機 (トライボギア) を用いている²⁾。図 1 に、拭き取り洗浄実験の概略図を示す。最初に油付着ステンレス鋼板 1 枚 (C) と清浄なステンレス鋼板 3 枚 (A, B, D) を移動テーブルに固定する。次に、平面圧子 (清拭面: 30 mm × 30 mm; 900 mm²) にレーヨン不織布 1 枚を取り付け、一定量 (0 ~ 400 μ L) の吸水液を不織布に吸水させる (飽和吸水量: 405 μ L/900 mm²)。この平面圧子を表面性測定機に設置した後、分銅を載せて荷重 50 ~ 500 gf をかける。平面圧子の位置を固定したまま、直ちに移動テーブルを 600 mm/min の速度で 100 mm 移動させ (図中右方向)、平板 B から平板 D の位置まで拭き取り洗浄 (片道拭き) を行う (n=3)。往復拭きの時は、平板 D から平板 B の位置まで直ちに移動させる。洗浄後、平板 C と D の表面上に残存する油の量をスワブ棒を用いたふき取り法で回収し、油分濃度計を用いて測定する。油の残存率は、油の初期付着量と残存量 (平板 C と D の合計量) から算出する。

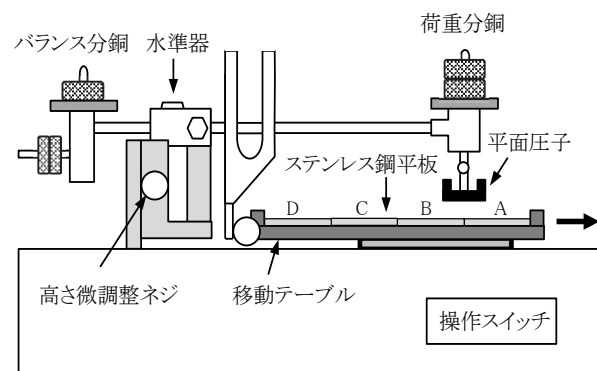


図 1 拭き取り洗浄実験に使用した表面性測定機の概略図⁶⁾

(移動テーブルは 600 mm/min で右方向に移動: 不織布を装着した平面圧子は平板 B から D まで移動)

4. タンパク質の拭き取り除去

ここでは、タンパク質 (牛血清アルブミン: BSA) を塗布したステンレス鋼板 (25°C で 2 時間乾燥) を対象に、純水を吸水させたレーヨン不織布を用いて拭き取り洗浄

を行った結果を紹介する²⁾。

4.1 吸水量と荷重

図2に、不織布への純水の吸水量を変えて、荷重を50, 150, 350 gfで拭き取り洗浄（片道1回）した時の吸水量と除去率の関係を示す。いずれの荷重においても、吸水していない乾拭きでは乾燥BSAはほとんど除去されていない。すなわち、乾燥BSAの除去には媒体としての水が必須であることがわかる。

荷重50 gfの場合、吸水量の増加とともに除去率は上昇し、80 μL以上の吸水では除去率は最大値（93.3%）に達している。荷重を150 gfに高めると、除去率の最大値（93.7%）に達する吸水量は約40 μLに低下する。さらに350 gfの荷重では、20 μLの吸水量で最大除去率（95.8%）に達する。また、拭き取り後の残存BSA量（平板CとDの合計量）のうち、拭き取り終了点（平板D）の占める割合は相対的に多い傾向がある（60～80%）。このように、最大除去率を与える最小吸水量は飽和吸水量の4～20%程度であり、荷重に依存して大きく減少する。

本実験系において、荷重350 gfの拭き取り洗浄での乾拭きおよび湿式拭き（吸水量:100 μL）の F_k は、各々約40 gfおよび100 gfであり、明らかに湿式拭きの値が大きい。これは、繊維と硬質表面間の極小隙間にできる水のメニスカス（液体架橋）が大きな吸着力を与えるため、せん断抵抗が増加することに起因している。

以上の結果から、乾燥BSA付着ステンレス鋼表面を対象とした不織布を用いた拭き取り洗浄では、吸水量と荷重の組み合わせが重要な因子であることがわかる。適切な吸水量は、不織布を湿らせるレベルの量で十分であ

り、荷重は動摩擦力を増加させ、ステンレス鋼と不織布の界面に水を移動させる働きをする。

4.2 片道拭きと往復拭き

図3に、1つの不織布を用いて片道拭き1回、片道拭き2回、往復拭き1回したときの残存率を示す。残存率は、往復1回>片道2回>片道1回の順に高い。片道1回よりも片道2回において残存率が高いのは、1回目の操作で拭き取ったBSAが2回目の操作で再付着したことを意味している。さらに、往復拭きをすることにより残存率は片道拭き2回よりもさらに増加している。これは、往路から復路への拭き取り方向の変化が再付着を誘発したと考えられる³⁾。不織布に拭き取ったBSAの再付着を抑制するためには、拭き取り方向を一定にした片道拭きが望ましいと言える。

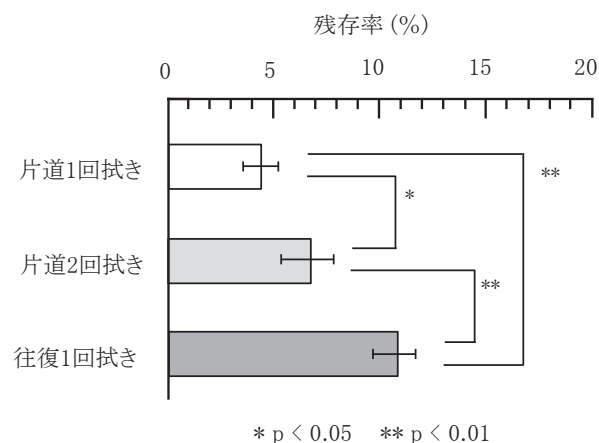


図3 レーヨン不織布を用いて種々の操作で乾燥BSA質が付着したステンレス鋼板を拭き取り洗浄したときの残存量の比較²⁾

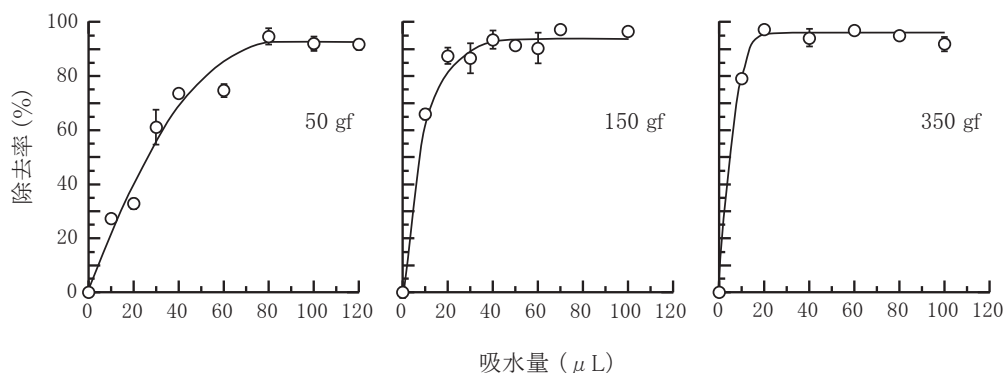


図2 種々の吸水量のレーヨン不織布を用いて異なる荷重で乾燥BSAが付着したステンレス鋼板を拭き取り洗浄したときの除去率²⁾

5. 植物油の拭き取り除去

前項では、乾燥したタンパク質汚れの拭き取りにおいて、不織布への水の吸水が必須であることを述べた。

ここでは、植物油（菜種油）を塗布したステンレス鋼板を対象に、純水および界面活性剤水溶液を吸水させたレーヨン不織布を用いて拭き取り洗浄（荷重：350 gf）を行った結果を紹介する⁶⁾。

5.1 純水の吸水量の影響

図4に、純水を吸水させた不織布を用いて油付着ステンレス鋼板を拭き取り洗浄したときの、吸水量に対する F_k および残存率の関係を示す。残存率が低いほど、良好な洗浄を意味する。

F_k は、吸水量に依存して増加する傾向が見られ、乾拭きで41 gf、200～250 μ Lの吸水で105 gfまで増加する。残存率は、乾拭きで最も高く（40.9%）、吸水量の増加とともに減少し、吸水量200 μ L（飽和吸水量の約50%）のときに約19%で最小値に達している。 F_k 値の増加と残存率の減少には相関性が見られる。 F_k は、ステンレス鋼平板上の膜状の油に直接的に作用する機械的な掻き取り力となったと考えられる。

拭き取り後の油の全残存量（平板C + D）に占める平板Cの残存量の割合は、吸水量200 μ Lのときに平均22%、平板Dが78%であり、拭き取り終了点の方が高い傾向となる。これは、水を吸水させた不織布では拭き取り終了点で油を不織布内に保持できないことを示唆し

ており、タンパク質の拭き取りと傾向は一致している。

5.2 界面活性剤水溶液の吸水

本実験では、界面活性剤として陰イオン界面活性剤であるラウリル硫酸ナトリウム（SLS）を用いている。SLSは、アルキル基を親油基とする親水性の高い界面活性剤であり（Davies法で求めたHLB値：40）、強い乳化力（O/W型）を持つことが特徴である。

5.2.1 濃度の影響

図5Aに、純水にSLSを添加したときのSLS濃度（対数値）と γ_{ow} の変化を示す。SLS無添加時の油-純水の γ_{ow} 値（25.0 mN/m）は、SLS濃度の増加とともに低下し、SLSの臨界ミセル濃度（cmc）である0.3%（横軸：-1.98）で3.0 mN/mまで低下する。湿式洗浄における固体表面上の油滴や油膜の除去の初期段階では、 γ_{ow} の低下が重要な因子であり^{7,8)}、これは拭き取り洗浄においても同様である。

図5Bに、SLS水溶液中におけるステンレス鋼に対する油の接触角（ θ_s ）を示す。純水中にける θ_s （74.1°）は、SLS濃度の上昇とともに大きくなり、0.3%では145°に達する。 θ_s の増加は、 γ_{ow} の低下に加えて、ステンレス鋼-水の界面張力（ γ_{sw} ）の低下を意味している⁹⁾。0.4～1.0% SLS水溶液中では、 θ_s は180°となっているが、これは本実験系ではステンレス鋼への油滴の付着は起こらなかったことを意味している。

ここで、油滴の除去に必要な仕事量（ ΔG_{des} ）は、Young-Dupréの式が成立すると仮定すると次式で表され

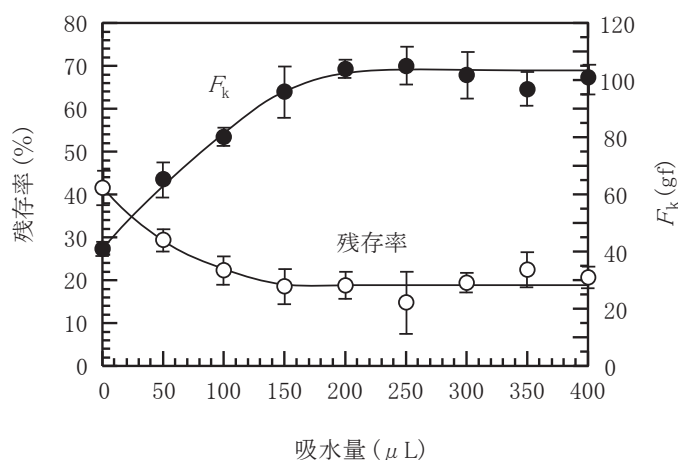


図4 レーヨン不織布を用いた拭き取り洗浄における油汚れの残存率と F_k に及ぼす吸水量の影響⁶⁾
(荷重：350 gf)

る。

$$\Delta G_{\text{des}} = \gamma_{\text{ow}} (\cos \theta_s + 1) \quad (2)$$

すなわち、 ΔG_{des} を小さくするためには、 γ_{ow} 値を小さくし、 θ_s を 90° 以上に大きくする溶液を不織布に吸水させれば良いことになる。

図 5C に、種々の濃度の SLS 水溶液を $200 \mu\text{L}$ 吸水させたレーヨン不織布を用いて 350 gf の荷重で油付着ステンレス鋼板を拭き取り洗浄したときの、 F_k および残存率を示す。 F_k は、SLS の添加によって 103 gf (SLS: 0.005%) から約 82.2 gf (SLS: $0.05 \sim 0.3\%$) まで約 20% 減少するが、高い水準を維持している。残存率は、SLS 濃度の増加とともに減少し、SLS の cmc である 0.3% 付近ではほぼ一定値 ($5 \sim 6\%$) に収束している。残存率の減少は、SLS の添加による γ_{ow} 値の低下および θ_s の増加

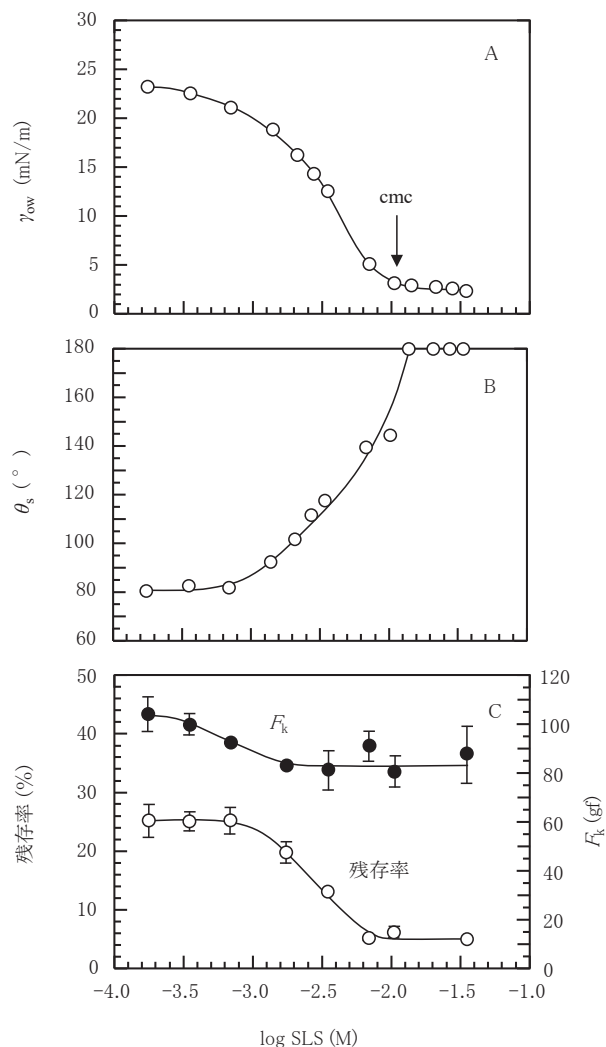


図 5 レーヨン不織布を用いた拭き取り洗浄における SLS 濃度 (対数値) に対する (A) γ_{ow} 値、(B) θ_s 値、(C) F_k および残存率の関係⁶⁾
(荷重: 350 gf ; 吸水量: $200 \mu\text{L}$)

と相関していることがわかる。

純水および 0.3% SLS 水溶液を用いた実験で得られた γ_{ow} 値と θ_s 値 (図 5A, B) を (2) 式に代入すると、純水での ΔG_{des} は 31.8 kJ/mol , 0.3% SLS での ΔG_{des} は 0.543 kJ/mol と算出される。これらの数値を比較しても、 0.3% SLS 水溶液の吸水による拭き取り除去率が高くなることは明らかである。

0.3% SLS を $200 \mu\text{L}$ 吸水させた拭き取り洗浄後の油の残存量の割合は、平板 C が約 23% (平板 D: 約 77%) であり、純水と同等の割合であるが、絶対量は純水よりもはるかに少ない。なお、 $0.2 \sim 0.3\%$ SLS を吸水させた拭き取り洗浄では、拭き取り終了位置の平板 D に SLS の泡沫作用に起因すると考えられる泡沫や乳化された小油滴が目視されるようになる (図 7F 参照)。

5.2.2 吸水量の影響

図 6 に、 0.3% SLS 水溶液の吸水量を変えてレーヨン不織布を用いて拭き取り洗浄したときの F_k と残存率を示す。 F_k は、乾拭きと比較すると SLS 水溶液の吸水量を高めるとともに増加し、 $200 \mu\text{L}$ ではほぼ一定値 (79 gf) に達する。残存率は、SLS 水溶液の吸水量を $50 \mu\text{L}$ から $400 \mu\text{L}$ まで増やすと 23.7% から 1.4% にまで大きく減少している。油の拭き取り性は、SLS 水溶液の濃度のみならず、吸水量にも依存することがわかる。

5.3 不織布に拭き取られた油の存在位置

拭き取り操作後、不織布に拭き取られた油の存在場所を観察するために、筆者らは樹脂用蛍光増白剤を油に配合して、ブラックライト照射 (365 nm) により存在位置を確認している。

図 7 に、種々の拭き取り洗浄後の不織布の蛍光写真を示す。乾拭きの場合、蛍光強度が相対的に小さく、不織布全体に油が薄く広がって分布していることがわかる。純水 $200 \mu\text{L}$ の場合、不織布の前方部分に油が集中的に観察されており、吸水量が $400 \mu\text{L}$ に増えるとその傾向は顕著になる。 0.3% SLS 水溶液 $200 \mu\text{L}$ の場合、不織布の前方部分の油の濃縮度が純水よりも高まっており、さらに $400 \mu\text{L}$ の吸水では局所的な濃縮がより明確に観察されている

水は、油を溶解することはできない。ゆえに図 7 の観察結果は、不織布に保持された水が油をはじき、拭き取り方向に油を移動させる役割をし、 F_k が不織布前方部

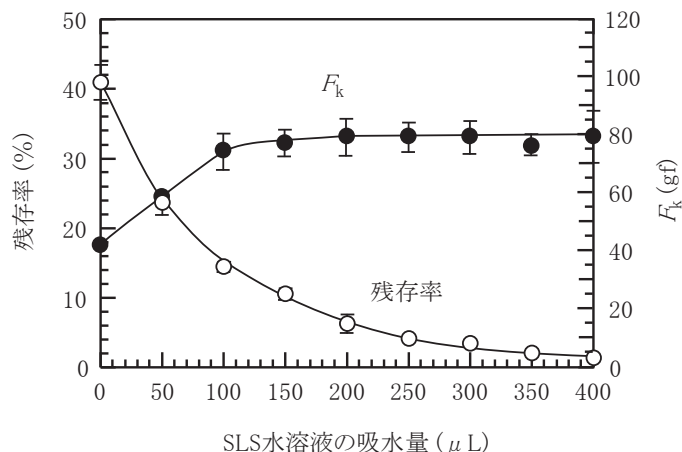


図6 レーヨン不織布を用いた拭き取り洗浄における油污れの残存率に及ぼす0.3% SLS水溶液の吸水量の影響⁶⁾
(荷重: 350 gf)

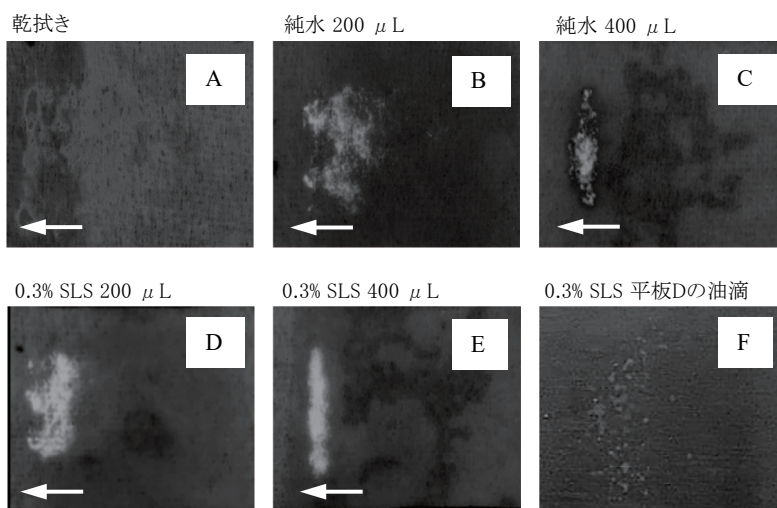


図7 レーヨン不織布に拭き取られた油污れと拭き取り終了位置に見られた油滴の蛍光写真 (矢印は拭き取り方向を示す)⁶⁾

に油を取り込む働きをしたものと推測される。SLSは、不織布内に掻き取った油に対する乳化作用を発揮する。界面活性剤は不織布繊維にも自発的に吸着する傾向があるため^{10,11)}、不織布内に拭き取られたエマルションの粒子が不織布繊維に吸着して、不織布内に油を安定に保持したと考えられる。

図7Fは、0.3% SLS水溶液200 μLを吸水させて拭き取り洗浄したときの、拭き取り終了位置(平板D)の蛍光写真である。終了位置に移動して残存した油は、皮膜状ではなく、SLSによってローリングアップされて油滴状になり平板上に分散していることがわかる。

5.4 拭き取り終了位置での2回目の垂直方向の拭

き取り洗浄

上述の通り、拭き取り終了位置の平板Dでは、不織布に拭き取られなかった油が平板Cから移動して残存する現象が見られる。そこで、1回目の拭き取り洗浄を行った後、平板Dを右側に90°回転させて図1の平板Cの位置に置き、2回目の拭き取り洗浄(乾拭き)を行って移動残存油を拭き取ることを試みた。この時、拭き取り終了位置には清浄なステンレス鋼平板Eを設置した。すなわち、平板Dに対しては、1回目の拭き取り方向に対して垂直方向の乾拭き洗浄を行ったことになる。

表1に、純水および0.3% SLS水溶液(200 μL)を吸水させた不織布を用いて1回目の拭き取り洗浄を行った後の平板Cの油の残存率と、2回目の垂直方向の乾拭き洗浄を行った後の平板Dおよび平板Eの残存率を示す。

表1 1回目の拭き取り洗浄終了位置において2回目の垂直方向の乾式拭き取りを行った時の油の残存量⁶⁾

吸収溶液	油の残存率 (%)		
	1回目湿式拭き取り	2回目乾式拭き取り	
1回目の拭き取り	平板C	平板D	平板E
純水	5.2 ± 0.6	5.4 ± 0.7	2.4 ± 1.0
0.3% SLS	1.2 ± 0.6	0.3 ± 0.3	N.D.

荷重：350 gf; 吸水量：200 μL

1回目の拭き取り洗浄が純水を吸水させたレーヨン不織布の場合、2回目の乾拭きにより平板Dの残存率は5.4%に減少し、平板Eでは2.4%の移動残存率が検出されている。

一方、1回目の拭き取り洗浄が0.3% SLS吸水レーヨン不織布の場合、平板Dの残存率は0.3%に減少し、平板Eでは残存油は検出されていない。このように、SLSの作用により油滴状に分散した残存油に対しては、乾燥レーヨン不織布による掻き取りおよび吸着・吸収作用により、拭き取り終了位置（平板E）に移動残存油を伴うことなく、容易かつ効果的に拭き取ることが期待できる。

以上の結果から、付着油の効果的な操作条件の一つとして以下の手順が示唆された。

不織布に γ_{ow} 値を最小とする界面活性剤水溶液の適量を吸水させる（過剰な吸水は避ける）。油が付着した拭き取り対象面に対して、片道拭き（例えば、右から左に一方向拭き）を拭き取り面をずらしながら繰り返す。各拭き取り操作の終点には、移動した油滴状の油が残存するため、拭き取り終了位置を乾拭きで上から下方向に拭き取り操作を行う。

6. 殺菌剤含侵不織布の使用

食品製造現場では、食中毒を起こす細菌やウイルス、

腐敗・変敗微生物が付着している場合も多く、殺菌効果のある薬剤を使用する拭き取り洗浄の方が望ましい対象物もある。

拭き取り洗浄の場合、不織布はあくまで菌体を拭き取る媒体である。殺菌剤を含浸させた不織布を用いた場合も、微生物菌体をしっかり拭き取り、不織布上で殺菌作用を示すことを期待しており、殺菌剤を洗浄対象物に塗り付ける媒体ではない。そのため、殺菌剤含浸不織布の場合は洗浄作用と殺菌作用を同時に評価する必要がある。したがって、殺菌剤含浸不織布の有効性は、拭き取り操作後の菌体の初期付着箇所と拭き取り終了箇所での生残菌数と総菌体量（生菌+死菌）の残存率、そして不織布における生残菌数を測定して評価することが合理的である。

ここでは、海洋性食中毒細菌（*Vibrio parahaemolyticus*）を塗布（風乾）したステンレス鋼板を対象に、純水、200 mg/Lの弱酸性およびアルカリ性次亜塩素酸水溶液（以下、次亜水と略記）、70%エタノール水溶液を吸水させたレーヨン不織布を用いて拭き取り洗浄（荷重：50 gf）を行ったときの殺菌および除去効果を紹介する¹²⁾。

表2に、純水（pH 5.0）および殺菌剤を含浸させたレーヨン不織布を用いて菌体付着ステンレス鋼平板を拭き取り洗浄（片道1回）したときの生残菌数と総菌体残存率を示す。

純水を含浸させた場合、生残菌数は平板CとDでは $5.0 \sim 5.9 \times 10^3$ CFU、不織布では 1.0×10^6 CFUが検出され、ほとんどの生残菌数は不織布上で検出されている。ステンレス鋼平板と不織布の生残菌数の合計は、有効数字2桁で表すと 1.0×10^6 CFUとなる。純水系の拭き取り洗浄では殺菌作用はないと見なし、操作中の自然減衰も含めて、この数値を初発菌数のコントロール値とする。

次亜水の場合、平板CとDの生残菌数は弱酸性（pH 5.0）次亜水で $1.5 \sim 2.4 \times 10^3$ CFU、アルカリ性（pH

表2 殺菌剤含侵不織布を用いた拭き取り洗浄後の *V. parahaemolyticus* の生残菌数と総菌体量¹⁰⁾

含侵液	生残菌数 (CFU)				対数減少値 (-)	総菌体残存率 (%)
	平板C	平板D	不織布	合計		
純水 (pH 5.0)	5.9×10^3	5.0×10^3	1.0×10^6	1.0×10^6	—	13.7 ± 0.3
次亜塩素酸水溶液						
pH 5.0, 200 mg/L	2.4×10^3	1.5×10^3	< 40	3.9×10^3	2.4	11.7 ± 1.1
pH 11.0, 200 mg/L	2.2×10^3	3.0×10^3	< 40	5.2×10^3	2.3	5.8 ± 0.9
エタノール水溶液 (70%)	1.1×10^3	1.2×10^3	6.1×10^2	2.9×10^3	2.5	70.0 ± 3.0

荷重：50 gf; 吸水量：100 μL

11.0) 次亜水で $2.2 \sim 3.0 \times 10^3$ CFU が検出されている。これは、純水含浸不織布と同オーダーの生菌数である。拭き取った不織布上では、弱酸性および弱アルカリ性次亜水とも生菌数は検出限界以下 (< 40 CFU) となっており、水のコントロール値と比較した対数減少値は各々 2.4 および 2.3 となる。70% エタノール水溶液の場合、生菌数は平板 C と D で $1.1 \sim 1.2 \times 10^3$ CFU であり、純水および次亜水と同オーダーである。不織布上では、生菌数は 6.1×10^2 CFU である。総生菌数は 2.9×10^3 CFU であり、純水のコントロール値に対する対数減少値は 2.5 となる。いずれの殺菌剤水溶液とも、殺菌を目的とした含浸液としては優れた効果を示している。

一方、次亜水とエタノールでは拭き取り洗浄後の総菌体の残存率に大きな差異が認められる。次亜水の場合、総菌体残存率は 5.8 ~ 11.7% の範囲にあり、高い割合で菌体を不織布内に拭き取ることができている。すなわち、次亜水含浸不織布の拭き取り洗浄では、ほとんどの菌体は拭き取られた不織布上で殺菌されていたことになる。ところが、70% エタノール含浸不織布では、ステンレス鋼平板の総菌体の残存率は 70.0% と極めて高く (除去率は 30%)、多くの菌体はステンレス鋼板上に残留していることになる。それでも、平板上の生菌数は次亜水と同じ 10^3 オーダーであったことから、70% エタノールの殺菌作用はステンレス鋼板上で発揮されたことになる。

7. エタノール含浸不織布の使用における考慮点

従来、環境クロス用の殺菌剤としては消毒用アルコールが一般に用いられてきた。厚生労働省は、昨今のウイルス感染症対策として、モノの消毒にエタノールを 70 ~ 95% 含む消毒用アルコールを用いて拭き取ることを推奨している¹³⁾。ところが、表 2 でも明らかなように、エタノール含浸不織布は細菌菌体の拭き取り除去率が低いという結果も示されている。また、高濃度のエタノール水溶液は油に対する溶解力や水-油の界面張力を低下させる作用を持つことから^{14, 15)}、油汚れの拭き取り除去の際にも有効と考えられているが、その効果については十分に理解されていない。

ここでは、乾燥タンパク質 (BSA)、風乾した細菌菌体 (*V. parahaemolyticus*)、植物油を塗布したステンレス鋼板を対象に、種々の濃度のエタノール水溶液を含浸させたレーヨン不織布を用いて拭き取り洗浄 (荷重: 350

gf) を行ったときの殺菌および除去効果を紹介する¹⁶⁾。

図 8 に、拭き取り洗浄 (片道 1 回) におけるエタノール水溶液の濃度と各モデル汚れの除去率の関係を示す。

乾燥 BSA の場合、純水 (0% エタノール) 含浸不織布での除去率は 95.8% であり、1 回の片道拭きでも高い除去率が得られている。図 2 の結果と同様に、水は乾燥 BSA の溶解と不織布への取り込みに寄与したと考えられる。エタノール水溶液含浸不織布では、エタノール濃度の増加とともに除去率は徐々に減少し、70% および 99.5% エタノールでの除去率は各々 59.6% および 35.1% である。風乾 *V. parahaemolyticus* 菌体に対しても、純水含浸不織布の除去率 (86.3%) が最も高く、エタノール濃度が高いほど除去率は低下している。70% および 99.5% エタノールでの除去率は、各々 52.7% および 16.0% である。一般に、エタノールなどの極性溶媒は、

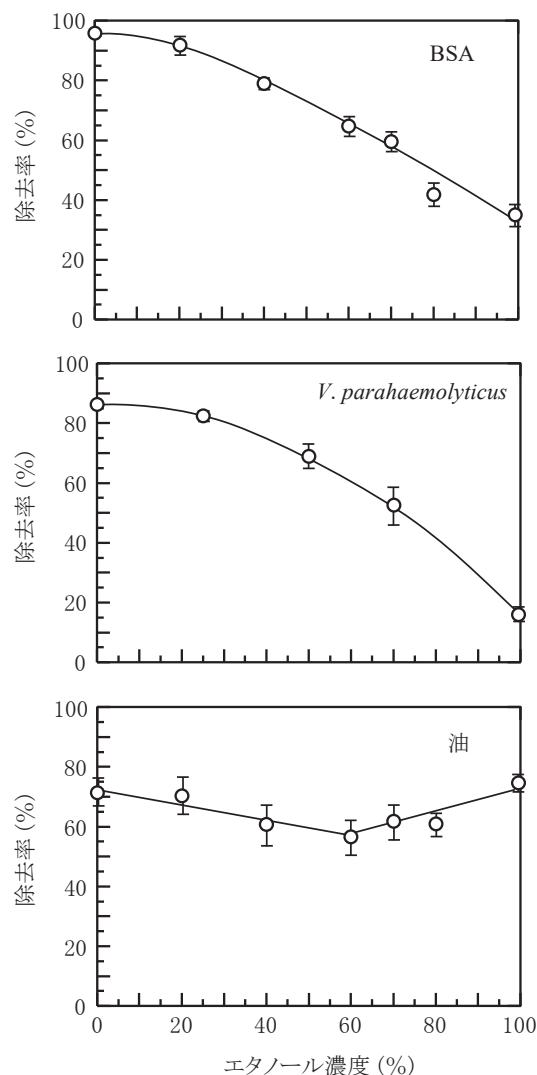


図 8 エタノール水溶液含浸レーヨン不織布を用いた拭き取り洗浄における各モデル汚れの除去率¹⁶⁾
(荷重: 350 gf, 吸水量: 100 μ L; n = 3)

タンパク質の構造の不安定化や変性、荷電アミノ酸残基と水との親和性の低下をもたらし、その結果タンパク質の溶解度を減少させることが知られている¹⁷⁻¹⁹⁾。おそらくは、高濃度のエタノールの存在によって水溶液の疎水性が増すため、BSA や *V. parahaemolyticus* の細胞表面の親水基と水との相互作用が減少し、結果として菌体の溶解・分散性が減少した結果ではないかと考えられる。

油の場合、純水を用いたときの除去率 (71.4%) と比較して、エタノール濃度の増加とともに除去率は徐々に減少する傾向が見られ、60% エタノールでは 56.6% まで減少している。エタノール濃度が 70% 以上になると除去率は増加傾向に転じ、99.5% エタノールで 74.7% となり、純水とほぼ同等となる。70 ~ 99.5% エタノール水溶液を用いたときの拭き取り後の油のステンレス鋼板上の残存量の割合は、平板 C は 10 ~ 12% であり、純粋の場合よりも拭き取り効果は高い。一方、平板 D が 88 ~ 90% と高い。すなわち、高濃度のエタノール水溶液は油を溶解しながら拭き取り方向に油を移動させるが、拭き取り終了時点で油を不織布内に取り込めていないことを示している。

8. おわりに

ステンレス鋼に付着した乾燥状態の親水性汚れおよび油膜に対しては、不織布による乾拭きよりも水を吸水させた湿式拭きの方が効果的であることを述べた。これは、拭き取り洗浄において水が媒体としての重要な役割を果たしていることに他ならない。水と荷重は、親水性汚れの溶解や F_k の増加に寄与し、油に対しては拭き取り方向への移動と不織布前方部に汚れを取り込む作用力として働く。殺菌剤含浸不織布においても、次亜水の「水」としての性質は、高い拭き取り除去効果の要因となっていた。この点において、環境消毒としてエタノール含浸クロスを使用する場合は、生菌数の減少効果とは別に、汚れが残留する操作になっていないかを十分に考慮する必要がある。また、拭き取り洗浄では、汚れが付着していた位置よりも拭き取り終了位置での残存率が相対的に高いこと、そして拭き取り方向を一定にした片道拭きは、拭き取った汚れの再付着を抑制することにも留意する必要がある。本稿が、医療関連施設での拭き取り操作の改善にお役に立てれば幸いである。

■参考文献

- 1) Jennings WG. *Advances in Food Research*, vol. 14 (Chichester, C. O. and Mark, E. M. eds.), Academic Press, Inc., New York 1965; 325.
- 2) 田中恵祐, 長谷諒佑, 成松絢葉, 落合 徹, 新井田康朗, 高橋和宏, 福崎智司. 不織布を用いた乾燥タンパク質付着ステンレス鋼表面の拭き取り洗浄における水の界面での役割. 防菌防黴 2020; 48: 629-634.
- 3) 田中恵祐, 長谷諒佑, 成松絢葉, 落合 徹, 新井田康朗, 高橋和宏, 福崎智司. 不織布に吸水させた水と荷重が拭き取り洗浄性に及ぼす影響. 食品加工技術 202; 140: 79-84.
- 4) 松本侑子, 高橋和宏, 浦野博水. 拭き取りクロスによる付着微生物の除去挙動. 防菌防黴, 2015 43: 3-7.
- 5) 松本侑子, 高橋和宏, 浦野博水. 往復拭き取り操作における拭き取り速度とクロスの含水量がポリエチレンテレフタレート表面からの微生物細胞の除去におよぼす影響. 防菌防黴 2018; 46: 181-186.
- 6) 渡邊大貴, 辻本 彩, 林 沙英, 落合 徹, 新井田康朗, 高橋和宏, 福崎智司. 拭き取り洗浄によるステンレス鋼表面からの植物油の除去における動摩擦力と界面活性剤の役割. 防菌防黴 2023; 51: 147-153.
- 7) Koopal LK. Physico-chemical aspects of hard-surface cleaning. 1. Soil removal mechanisms. *Neth. Milk Dairy J.* 1985; 39: 127-154.
- 8) Twomey A. The physics and chemistry of cleaning. *New Zealand J. Dairy Technol.* 1968; 3: 150-159.
- 9) Kling K. Lange H. Zur energetik des waschvorganges bei öligen anschmutzungen, *Kolloid Z.* 1955; 142: 1-5.
- 10) Lange H. General remarks on soiling and cleaning. In *Detergency: Theory and Test Methods*. Part-1 (Cutler WG. Devis RC. eds.). Marcel Dekker, Inc., New York. 1972; 66-103.
- 11) Paria S, Manohar C. Khilar KC. Experimental studies on adsorption of surfactants onto cellulosic surface and its relevance to detergency. *J. Inst. Eng. Sgp.* 2003; 43: 34-44.
- 12) 田中恵祐, 渡邊大貴, 成松絢葉, 落合 徹, 新井田康朗, 高橋和宏, 福崎智司. 次亜塩素酸水溶液含浸不織布の殺菌作用と拭き取り洗浄性. 食品加工技術 2022; 42: 8-14.
- 13) https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/syoudoku_00001.html (2022年4月1日閲覧).
- 14) Johnson LA. Lusas EW. Comparison of alternative solvents for oil extraction. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1983; 60: 229-242.
- 15) 浦野博水, 福崎智司. エタノール水溶液中における硬質表面からのトリオレインの除去に及ぼす界面張力と溶解度の寄与. *J. Environ. Control Technique.* 2013; 31: 147-154.
- 16) 渡邊大貴, 田中 恵祐, 高橋和宏, 福崎智司. 拭き取り洗浄におけるエタノール水溶液含浸不織布の使用上の考慮点. 調理食品と技術 2022; 28: 1-7.
- 17) Pace CN. Treviño S. Prabhakaran E. Scholtz JM. Protein structure, stability and solubility in water and other solvents. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 2004; 359: 1225-1235.
- 18) Yoshizawa H. Hirano A. Arakawa T. Shiraki K. Effects of alcohol on the solubility and structure of native and disulfide-modified bovine serum albumin. *Int. J. Biol. Macromol.* 2012; 50: 1286-1291.
- 19) Yoshizawa H. Hirano A. Arakawa T. Shiraki K. Mechanistic insights into protein precipitation by alcohol. *Int. J. Biol. Macromol.* 2012; 50: 865-871.