

## スパンレース不織布と新型複合素材不織布の発塵性比較

田中聡行・中野智春

### 要旨

手術用布製品からの塵埃は手術部位感染症の原因となり得る。本研究では、実際の手術室内の動作を再現し、一般的なスパンレース不織布(SL)と新型複合素材不織布(SFS)の発塵性を比較した。器械台の準備、及びガウン着用動作では、SL が SFS よりも発塵現象が顕著であり、手術台の高さで検出された浮遊微粒子数も有意に多かった。しかし、垂直層流環境下での TKA ドレーピング動作では、SL で著明な発塵が観察されたにも関わらず、浮遊微粒子数には差がなかった。SFS と垂直層流は、塵埃感染の予防への効果が期待される。

### はじめに

通常、手術を行う際には患者や術者を血液や汚染物質から守るために覆布(シート)やガウンなどが使用される。こうした手術用布製品の素材として、以前は木綿が主流であり、これを洗濯・滅菌して再利用していた。しかし、綿布の織り目の直径は 7~50 $\mu\text{m}$  であり、細菌自体だけでなくその担体である皮膚落屑も十分通過できる。また、綿布からでる塵埃も手術部位感染(Surgical Site Infection: SSI)の原因として問題視されるようになったため、単回使用汎用サージカルドレープ(ディスプレイザブル不織布)製品が広く普及してきた<sup>1-3)</sup>。不織布は、文字通り繊維を織らずに細かい線維を絡ませて製作されるため、織り目が存在しない。更に、綿布に比べてバリエーションが高く、発塵性も低い。塵埃は微生物の担体となって空气中を浮遊するため、2013 年の日本手術医学会のガイドラインの中でも、塵埃などの空気感染が重大な感染経路のひとつに挙げられている<sup>4)</sup>。

Moylan ら<sup>5)</sup>は綿布使用 1121 例の感染率が 6.51%であったのに対し、不織布使用 1060 例の感染率は 2.83%であったと報告している。また、馬杉ら<sup>1)</sup>は条件をそろえた整形外科手術 1164 例の術後感染率を検討し、綿布(610 例)が 9.34%、不織布(554 例)が 6.68%であり、不織布を用いた方が有意に感染率は低かったとしている。その他にも手術創で検出される細菌の 80~90%が手術室内の空気に起因するという報告<sup>6)</sup>や人体由来の塵埃が気流に乗って術野に細菌を運搬するという研究結果も存在する<sup>7)</sup>。つまり、手術に使用する布製品からの発塵性が低いほど SSI の発生予防に有効であるといえる。近年、より優れたバリエーションと低い発塵性を詠った新型複合素材不織布が開発されたが、既存の不織布との発塵性能の差を検証した報告は認められない。

本研究の目的は、現在広く普及しているスパンレース不織布と新型複合素材不織布の発塵性を比較検討することである。

## 対象

спанレース不織布と新型複合素材不織布の2種類である。спанレース不織布 (RH シリーズ®) (hopes Co. Ltd., Hokkaido, Japan) は、ウッドパルプ 45% + ポリエステル 55% の線維を水の衝撃力で絡めて固定する製法 (спанレース製法) で作製した不織布であり、「覆布」として約 85% のシェアを占めている。本研究で使用する新型複合素材不織布 (複合吸水 SFS®) (hopes Co. Ltd., Hokkaido, Japan) は、熔融したポリプロピレンウェブを熱エンボスローラーで熱圧着するспанボンド製法によってシート状にし、そのシートとシート間にポリエチレンフィルムを挟んだ複合不織布で、コンポジット 3 層不織布とも呼ばれている。

## 方法

### 1. 器械台の準備

助手が器械台カバー (DEF-58-T®) の滅菌包装を開き、清潔看護師が中身を取り出して胸の前で広げた後、高さ 1m、幅 80cm、奥行き 50cm の器械台に静かに被せる。

### 2. ガウン着用

助手が滅菌包装を開封し、医師が手術用ガウン (JG-100®) を取り出して胸の前で広げ、クロード法ガウンテクニックで着用する。

### 3. 人工膝関節置換術 (TKA) ドレーピング

High-efficacy particulate air (HEPA) フィルター付き垂直層流バイオクリーン室 (ISO・JIS クラス 7 (Fed.Std. クラス 10000)、平均風速 0.44m/s、室温 21.9°C、湿度 32.4%) 内の手術台に患者を仰臥位とする。患肢に 3 枚の撥水覆布 (RH-33®)

を固定した後、下肢用穴あきシート (RH-710EFC90®) を被せた。

各場面における微粒子の飛散状況を微粒子可視化システム<sup>8)</sup>で観察した。光源システムからのレーザー光をスキャニングミラーで走査し、均一な強度のレーザーシートを作成する。このレーザーシート上の粒子からの散乱光を、環境光を低減する干渉フィルターを備えた高感度カメラで撮像した。浮遊微粒子数の測定には、光散乱式自動粒子計数器 (KC-52®) (RION, Tokyo, Japan) を使用し、測定粒子区分を 0.3µm, 0.5µm, 1.0µm, 2.0µm, 5.0µm とした。サンプル吸入口にサンプリングチューブ (内径 6mm) を取り付け、器械台や手術台を想定した床上 1m に設置した (測定間隔: 1 分, 測定体積: 2.83L)。各動作は 5 回ずつ行い、毎分の微粒子数を集計して統計学的検討 (Mann-Whitney の U 検定による 2 群間比較) を行った。有意水準は 5% 未満とした。

## 結果

### 1. 器械台の準備

微粒子可視化システムによる映像では、シートを胸の前で広げる瞬間に前下方への発塵現象が観察され、複合素材不織布よりもспанレース不織布で顕著であった。1 分間当たりの平均微粒子数を図 1 に示す。計測した全てのサイズ域で複合素材不織布からの発塵量が有意に低く、特に直径 1.0µm 以下ではспанレース不織布の約半数に抑制されていた ( $p < 0.05$ ) (図 1)。

### 2. ガウン着用

シートと同様に、折りたたまれた状態から広げる際に前下方への発塵の増強がみられた (図 2)。また、ガウンの袖に腕を通す瞬間や助手がガウンの裾を引っ張った瞬間の袖口と襟元から多く

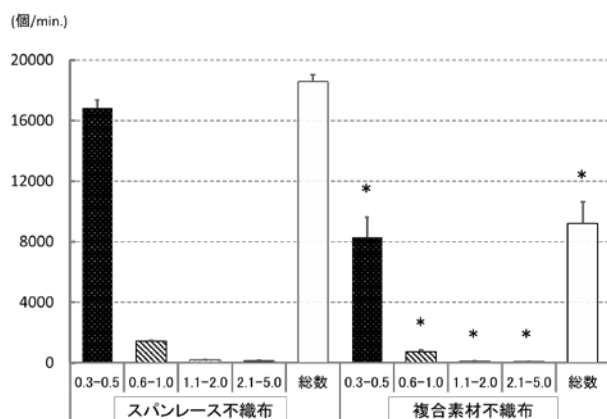


図1 浮遊微粒子数(シート)

\*:スパンレース不織布と有意差あり(p<0.05)

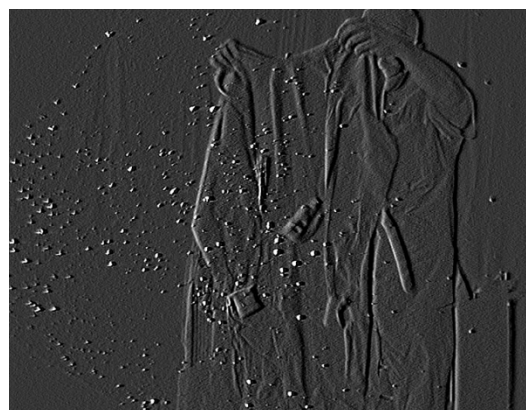


図2 微粒子可視化映像

スパンレースガウンを広げる際、著名な発塵が観察された

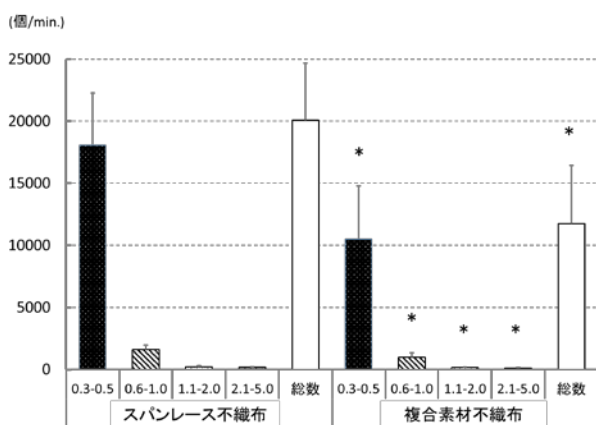


図3 浮遊微粒子数(ガウン)

\*:スパンレース不織布と有意差あり(p<0.05)

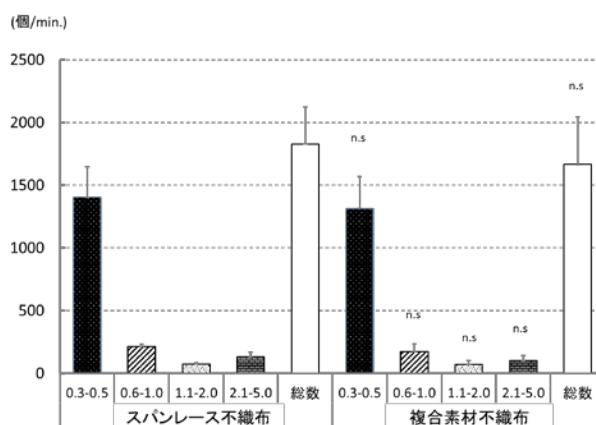


図4 浮遊微粒子数 (TKA ドレーピング)

垂直層流直下の手術台高位では両者間に浮遊微粒子数の有意な差は認められなかった

の発塵が確認され、比較的スパンレース不織布で際立っていた。浮遊粒子数の比較では、全ての粒子径で複合素材不織布がスパンレース不織布よりも優れた低発塵性を示した(p<0.05) (図3)。

### 3.TKA ドレーピング

垂直層流吹き出し口の直下に手術台があるため、浮遊塵埃は床方向へ緩やかに流れている状態であった。下肢用穴あきシートを患肢に通す場面では、ストックネットと接触する穴の部分からシートの裏面へ著明な発塵を認

めたが、層流によって速やかに下方へ流れていく様子が確認できた。自動粒子計数器で検出した浮遊粒子数は、スパンレース不織布と複合素材不織布との間で有意な差を認めなかった (図4)。

### 考察

米国疾病予防局の院内感染調査機構 National Nosocomial Infection Surveillance (NNIS) による 1999 年の報告では、1986~1996 年の米国内の SSI 発生率は手術総数 593344 件中 15523

例であり、死の転帰をとることも少なくない<sup>9)</sup>。整形外科手術は、身体の深部の血行に乏しい硬組織を扱うことが多いため、感染には不利な条件といえる。特に、人工関節置換術などの人工材料に SSI が起こると、バイオフィーム形成によって抗菌剤や生体の免疫機構に対する抵抗性が高くなり、その治療には複数回の手術と甚大な医療費、膨大な時間と労力を要するだけでなく、患者への精神的・肉体的負担を強いることになる。日本人工関節学会の調査では、本邦における人工関節置換術は年間 12 万件以上であり、日本整形外科学会学術研究プロジェクト調査では、その 1.36% に SSI が発生していた<sup>10)</sup>。即ち、本邦だけでも年間 1600 例以上の人工関節術後 SSI が発生していることになる。日本手術医学会のガイドラインでは SSI の主な原因を手術中の細菌汚染であるとしており<sup>4)</sup>、塵埃などの空気中の浮遊微粒子に媒介される塵埃(飛塵)感染も重大な感染経路とされている<sup>11,12)</sup>。つまり、手術室内の浮遊微粒子を制御することは SSI 予防対策の観点から極めて重要であるといえる。

手術室で使用される各種繊維類(手術用シーツやガウンなど)は大きな発塵源であるため、綿布よりも発塵性が低い不織布へ移行してきた<sup>1,2)</sup>。しかし、不織布は原料や製造法によって多様な特性を発現する<sup>13)</sup>。本研究では、新しい複合素材不織布(複合吸水 SFS)の発塵性を、従来のспанレース不織布と比較した。過去に複合吸水 SFS の発塵性を評価した文献は、我々が渉猟した範囲では認められない。更に本研究では実際の臨床の現場での“動き”を再現しており、より現実に近い条件での評価が可能である。

一般的に、不織布は線維を一定方向やランダムに集積・結合させて製作する<sup>13)</sup>。спанレース不織布は、安全性や衛生的観点から接着樹脂などの化学薬品を使用せずにウォータージェット

と呼ばれる降圧水流下でウェブ同士を交絡させる。布としての操作性や強度は綿布に劣るものの、線維を折らず大量生産が可能であるため、コストは安い。そのため、滅菌された使い捨て(ディスポーザブル)形式で納入され、使用後は密閉処理されて廃棄される。こうすることにより、患者や術者だけでなく、感染廃棄物を取り扱う医療従事者への感染の危険性も減少させる。その後、更に発塵性やバリア性を向上させるため、ポリプロピレン樹脂層からなる複合不織布(コンポジット 3 層不織布)が開発された。

本研究の結果から、複合素材不織布の発塵性における優位性が改めて証明された。特に、シーツやガウンが折りたたまれた状態から広げる際に細かい線維である塵埃が発生していた。開封した直後のシーツやガウンからの線維微粒子は清潔であるといえるが、浮遊している間に不潔域に触れることもあり得るため、清潔機器や術野の近くでのこうした動作は極力避けるべきである。また、спанレース不織布では「ガウンの袖に腕を通す」時や「ガウンの裾を引っ張った」時にも袖口から発塵現象が認められていた。人体からは細菌の付着した皮膚落屑が多量に発生されていることから<sup>14,15)</sup>、皮膚と接触した塵埃の噴出は細菌汚染のリスクを高める危険性が高い。従って、ガウンの着用は可能な限り清潔者や術野などから離れた場所で静かに行うことが肝要である。一方、垂直層流内で行った TKA ドレーピングでは小シーツ 3 枚と比較的大きな穴あきシーツを使用したにも関わらず、検出された微粒子数に有意な差は認められなかった。バイオクリーンルームの HEPA フィルターは約 99.97% の微粒子を含むほとんどの微生物を除去できるため、浮遊微粒子や細菌感染率を低減するとされる<sup>16)</sup>。今回、спанレース不織布から比較的多くの微粒子が発生したが、垂直層流によって速やかに下方へ

移動していたため、手術台の高さでの浮遊微粒子数は複合素材不織布と同等の低い値になったと考えられる。近年、層流が必ずしも SSI 発生率を低減しないという報告も散見されるが<sup>17)</sup>、本研究の結果からは手術台を正確に垂直層流の真下に設置すれば、浮遊微粒子による細菌汚染の危険性は減少すると推察され、SSI に対しては有効な予防策のひとつであるといえる。

本研究で設定した場面はいずれも執刀以前のものであり、終刃に至るまでの時間軸での評価ではない。また、現段階で複合素材不織布の費用対効果を試算することは困難であるが、SSI の治療にかかる医療費が高額であることから推察すると、SSI 発生率を低下させることによる医療費削減への貢献度は決して小さくない。不織布には可燃性や帯電性の問題、及びガウンとしての着心地やシートとしての操作性など改良すべき点はまだ残されている。今後こうした機能性の充実とともに、塵埃(飛塵)感染の原因となる発塵性を更に向上させる不織布の開発が望まれる。

## 参考文献

- 1) 馬杉則彦：医療における不織布の使用状況及び感染防止。繊維学会誌。1989; 45(7): 302-304.
- 2) 永井勲：感染予防と医療用不織布について。医器学。1991; 61(2): 71-74.
- 3) Ha'eri G, Wiley A : Wound contamination through drapes and gowns: a study using tracer particles. Clin Orthop Relat Res. 1981; 154: 181-184.
- 4) 日本手術医学会：手術医療の実践ガイドライン(改訂版)。2013.
- 5) Moylan JA, Kennedy BV : The importance of gown and drape barriers in the prevention of wound infection. Obstet Gynecol Surv. 1981; 36(3): 153-155.
- 6) Howorth FH : Prevention of airborne infection during surgery. Lancet. 1985; 1(8425): 386-388.
- 7) Brown J, Doloresco Iii F, et al. : "Never events": not every hospital-acquired infection is preventable. Clin Infect Dis. 2009; 49(5): 743-746.
- 8) 古川太郎：微粒子の可視化。空気調和・衛生工学。2011; 85(5): 335-341.
- 9) Mangram AJ, Horan TC, et al. : Guideline for prevention of surgical site infection, 1999. Am J

## まとめ

スパンレース不織布と新型複合素材不織布の発塵性を実際の動作の中で比較した。器械台の準備、及びガウン着用動作では、スパンレース不織布が複合素材不織布よりも多く発塵していたが、垂直層流下では差が認められなかった。複合素材不織布と垂直層流は、塵埃感染の予防に有用であると考えられる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導、ご尽力を賜りました小関弘展教授ならびに模擬手術室の設定等のご協力をいただいた株式会社セントラルユニ、不織布製品の提供をいただいた日本メディカルプロダクツ株式会社の方々に心より謝意を表します。

Infect Control. 1999; 27: 97-134.

- 10) 正岡 利紀, 山本 謙, 他 : 整形外科領域における術後感染の疫学-日本整形外科学会学術研究プロジェクト調査より (シンポジウム 整形外科術後感染の実態と予防対策). 臨床整形外科. 2009; 44: 975-980.
- 11) Yavuz SS, Bicer Y, et al. : Analysis of Risk Factors for Sternal Surgical Site Infection Emphasizing the Appropriate Ventilation of the Operating Theaters. Infect Control Hosp Epidemiol. 2006; 27(9): 958-63.
- 12) Memarzadeh F, Manning AP : Comparison of operating room ventilation systems in the protection of the surgical site. ASHRAE transactions. 2002; 108: 3.
- 13) 北村征治, 久保木薫恵, 他 : 手術用不織布の発塵性に関する検討: 特に素材・製法との関係について. 医器学. 1983; 53(12): 595-599.
- 14) Dineen P, Drusin L : Epidemics of postoperative wound infections associated with hair carriers. Lancet. 1973; 302(7839): 1157-9.
- 15) Moylan JA, Fitzpatrick KT, et al. : Reducing wound infections: improved gown and drape barrier performance. Arch Surg. 1987; 122(2): 152-157.
- 16) Ueda T, Shibata H, et al. : Efficacy of laminar air flow room with or without clean nursing for preventing infection in patients with acute leukemia. Jpn J Clin Oncol. 1982; 13: 151-157.
- 17) Gastmeier P, Breier AC, et al. : Influence of laminar airflow on prosthetic joint infections: a systematic review. J Hosp Infect. 2012; 81(2): 73-78.

(指導教員 : 小関弘展)