

総説

透析施設の感染制御強化と 空気清浄度評価による検証

— COVID-19 関連
新たな取り組み

医療法人ひがしだクリニック 松尾賢三

透析施設の感染制御強化と 空気清浄度評価による検証

— COVID-19 関連
新たな取り組み

医療法人ひがしだクリニック 松尾賢三

I. はじめに

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）のパンデミック下、各医療機関は感染拡大防止策を徹底強化して実践している。その中でも維持血液透析治療は、集団で行ういわゆる3密リスクを伴う治療であることは周知のとおりである。現在実践中の主たる対策は、飛沫・接触・空気の3つの感染経路に対して対ヒトでは手指・口腔内の洗浄消毒、マスク・フェイスシールド等防護具装着、スクリーン等による空間的隔離いわゆるゾーニングを行い、そこで使用されるモノに対しては、清掃・洗浄・消毒を行い再利用し、あるいはディスポの被滅菌物等を使用している。

ここでそれぞれのモノの視点から室内空間全体に目を向けると、われわれが直接接触する設置されたモノすなわち環境表面に対しては清掃・消毒を行っているが、治療空間全体に対しての防御策は十分に行われているだろうか。

新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）の環境表面での生存期間の長さが複数報告されているが^{1)~4)}、何もしなければ空気中エアロゾルとして3時間、ヒトの皮膚上で9時間、段ボール、ステンレス、プラスチックなど物の表面で1日から3日、マスク外側で7日間と、生存期間は決して短くない。ヒトやモ

ノ、空気を介して一度ウイルスが侵入すると、日頃直接扱わない場所や部位にも、その移動した空間を汚染し（交差汚染）、生存期間の長さにより感染リスクが遷延する空間となる。従ってヒトや直接扱うモノの表面だけでなく、扱わない空間内装表面、そしてその空間を媒介する空気そのものも対象に、可能な限り室内空間全体にわたる抗菌・抗ウイルス強化を推奨する。本稿では、感染拡大防止策を室内装全体へ広げた取り組み強化を紹介する。

また主に飛沫・空気感染対策として換気が行われているが、空気環境について空気清浄度の評価法を紹介し、換気についての基本的考え方とその感染制御強化についても論じる。

II. 室内空間の抗菌・抗ウイルス強化

透析室々内空間の基本構成は、天井・壁・床そして窓や扉がある。次に設備機器として空調、給排気口、配管、照明器具などが固定設置されている。そこに室内備品としてベッド、テーブル、椅子、PCなどが持ち込まれ、医療機器として透析用コンソールなどがある。そしてその空間を満たしているのはもちろん空気である。この中で今回の新たな取り組みは、室内空間の空気清浄化と日頃われわれが清掃消毒しない天井・壁・床等の空間清浄化による抗菌

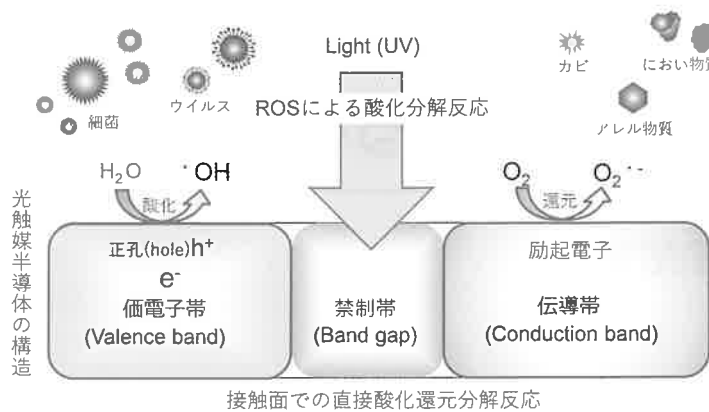


図1 光触媒の基本原理

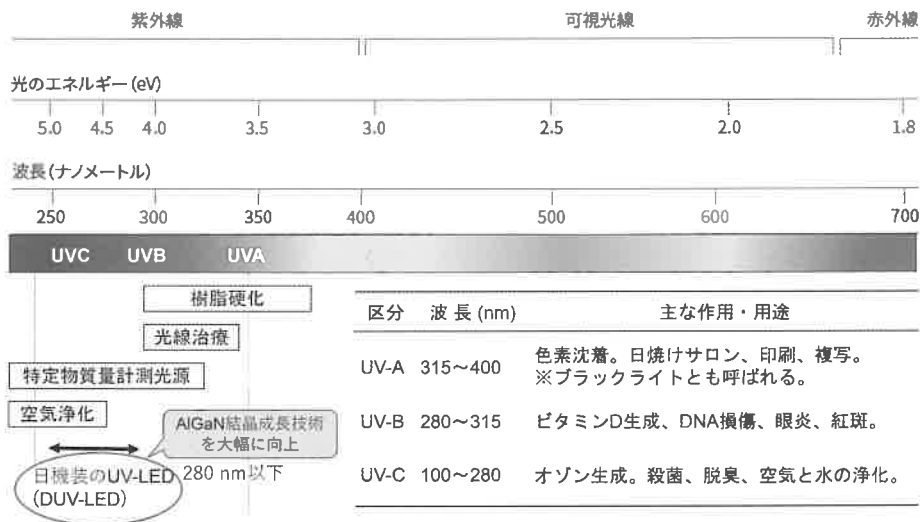


図2 紫外線の種類と特徴 (日機装株式会社資料提供、一部改変)

・抗ウイルス強化である。

1. 空間除菌装置の導入—光触媒反応と深紫外線 LED 照射

治療空間の空気を介した抗菌・抗ウイルス強化の手法として、第1に光触媒反応と深紫外線 LED 照射による空気清浄化を推奨する。図1に光触媒の基本原則を示す。光触媒は酸化チタンを代表に金属酸化物の半導体である。半導体の構造は、まず電子が豊富にある価電子帯があり、光エネルギーの吸収により電子がバンドギャップを通過して伝導帯に移動し、高エネルギー状態の励起電子となる。励起電子は自由度が高く、容易に空気中の酸素を還元してスーパーオキシドアニオンを発生させる。一方、電子が移動した後、価電子帯には電子の抜けた穴、正孔 (hole) ができる。hole はプラスに荷電した状態で、空気中の水分子と反応してヒドロキシラジカル

を発生させる。光触媒半導体による酸化還元反応でできたスーパーオキシドやヒドロキシラジカルなどの活性酸素種 (ROS) が、空気中の細菌・ウイルス・真菌・臭い物質・アレルゲンなどを酸化分解するわけである^{5),6)}。

次に提唱するのが紫外線である。紫外線は、400 nm よりも波長が短い光のことで、波長区分 UV-A, B, C それぞれの作用により用途が分かれる (図2)。紫外線は菌やウイルスに直接照射されると、核酸を構成している塩基の中のチミン同士が結び付き、チミンダイマーが形成され、損傷された核酸となり、細胞分裂時に必要な核酸情報のコピーができず、菌やウイルスは不活化することが知られているが、2021年7月理化学研究所の共同研究グループは、波長253.7 nmの紫外線による SARS-CoV-2 の不活化のメカニズムが、ウイルスタンパク質の損傷やウイルス粒子の形態の変化を伴わない、ウイルスのゲ

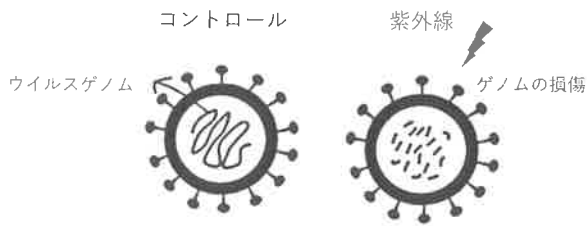


図3 波長253.7 nmの紫外線照射によるウイルスRNA損傷を示す概念図

理化学研究所プレスリリース「紫外線照射による新型コロナウイルス不活化のメカニズム—ウイルスRNAの損傷が原因だった—」2021年7月5日 (https://www.riken.jp/press/2021/20210705_3/) より引用

表1 水銀ランプと深紫外線LEDの比較(日機装株式会社資料提供)

	波長	動作電圧	大きさ	ウォーミングアップ時間	寿命	環境負荷
水銀ランプ	複数波長	100~数万V	数cm~数m	10~30分	3,000~5,000時間	高い
深紫外線LED	任意の波長を選択可能	5~10V	数mm	0秒	10,000時間以上	低い

ノムRNAへの損傷であることを初めて明らかにした(図3)。紫外線によるSARS-CoV-2の除去は、さまざまな空間への応用が期待できる⁷⁾。

これまで紫外線発生光源として「水銀ランプ」が使われてきたが、水銀の人体や環境への有害性から、水俣条約により2020年をめどに取り扱いが制限されることになった。この水銀ランプに置き換わるものとして、日機装株式会社(日機装)は、265nm~310nmの発光ダイオード(light emitting diode: LED)を製造しており、なかでも280nm以下のUV-Cに相当する「深紫外線」に特化したLED製造を手掛けている(図2)。2014年ノーベル物理学賞を受賞した名古屋大学教授・天野浩氏、名城大学教授・赤崎勇氏、カリフォルニア大学教授・中村修二氏らが青色LEDの開発・実用化に成功したことを機に、波長が短くなれば光出力が低くなるという紫外線の課題を青色LEDの技術応用で克服した深紫外線LED(DUV-LED)の登場が様々な製品開発につながったわけである⁸⁾。深紫外線LEDは水銀のような悪影響が極めて少ないうえに、大きさがコンパクトで省エネ・長寿命というLEDならではの長長を持つ、まさに“次世代の光源”である⁹⁾。特に日機装のLEDは、世界最高出力となる50mW(従来品の1.7倍)の光出力を持ち、10,000時間超の製品寿命を両立したDUV-LEDを開発に成功している(表1)。DUV-LEDは、水や空気の浄化、光源としての特長を兼ね備え、需要が急速に高まっている⁸⁾。

2020年に日機装は、DUV-LED搭載の空間除菌消臭装置Aeropureを上市した。Aeropureの空気清浄化の仕組みは、紫外線殺菌と光触媒による酸化分解反応である。構造は、DUV-LED、アルミ不織布光触媒フィルター、エキスパンド光触媒フィルターを搭載している。光触媒はいずれも酸化チタンベースである。アルミ不織布光触媒フィルターで菌やウイルスを補足し、深紫外線LEDで照射しDNAやRNAを損傷し不活化させる。この段階を生き延びた菌やウイルス、そしてアレルゲン物質、臭い物質などはエキスパンド光触媒フィルターで捕捉し光触媒反応で分解される(図4)。2021年には、静音性がさらに良くなり、より広い空間に対応した、20畳用のハイパワーモデルとしてAeropureフロアタイプが上市された。

Aeropureに搭載されているDUV-LED照射の抗ウイルス効果について、DUV-LED照射によりSARS-CoV-2を不活化することが報告され、1秒で87.4%、10秒、20秒、30秒、60秒の照射でSARS-CoV-2を99.9%不活化している¹⁰⁾。また、SARS-CoV-2変異株の英国由来 α 株、ブラジル由来 γ 株に対しても、DUV-LED照射1秒で90%以上、5秒では99%以上のウイルス不活化が報告された¹¹⁾。基本的に変異はウイルスのRNAたんぱく塩基配列の変異であるから紫外線は変異に関係なく効果を発揮する。

抗菌・抗ウイルス目的の空気環境整備として、

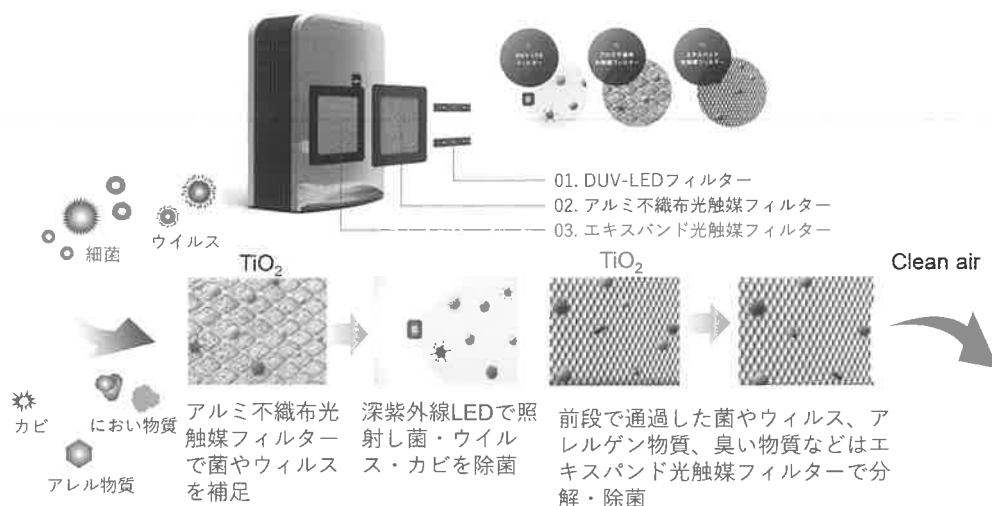


図4 DVD-LED 搭載の空間除菌装置 Aeropure の構造 (日機装株式会社資料提供、一部改変)

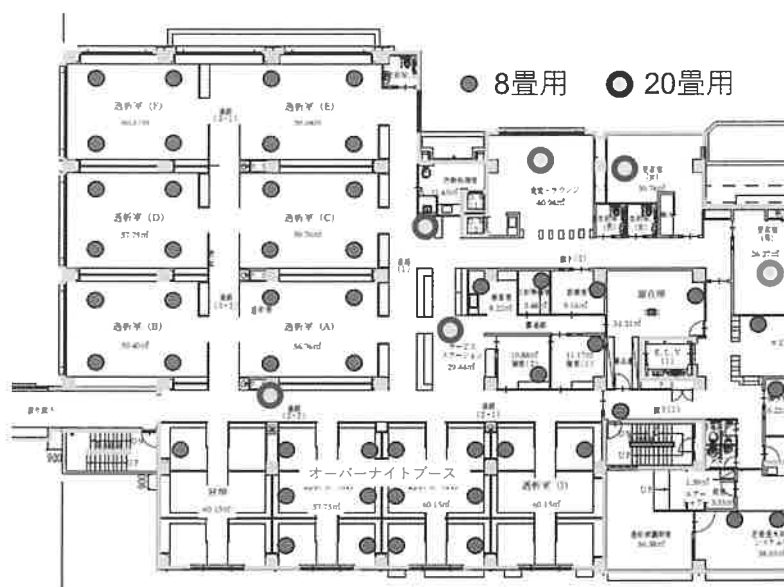


図5 エアロピュア：2階透析室フロアの設置力所 (8畳用：50台、20畳用：6台)

Aeropure 8畳タイプは、当初、個室で使用していたが、COVID-19パンデミックとなり、2020年7月クリニック内全フロアに設置し、2021年5月、Aeropure 20畳用フロアタイプも25台設置した。そのうち2階透析フロアには、Aeropure 有効面積に応じて、8畳用カウンタータイプ50台、20畳用フロアタイプ6台を設置した (図5)。

2. 室内装の光触媒コーティング

次に室内装表面 (天井・壁・床など) の抗菌・抗ウイルス対策として光触媒コーティングを推奨する。

基本原理は、前述の通り空気中の細菌やウイルスが接近または付着すると酸化還元反応により分解し、また臭い物質やアレルゲンの分解も起きる⁵⁾。

ここで、光触媒の基本特性と最近の技術進歩について図に示す (図6)。紫外線のみで光触媒反応が起きる酸化チタンタイプは屋外向きとして使われてきたが、2000年代に、可視光でも触媒反応が起きる、より酸化力の強い酸化タングステンタイプが開発され、さらに助触媒としてある種の金属元素を加えると酸化力は増すことが証明された^{12), 13)}。同様に酸化チタンタイプでも助触媒により可視光応答型の製

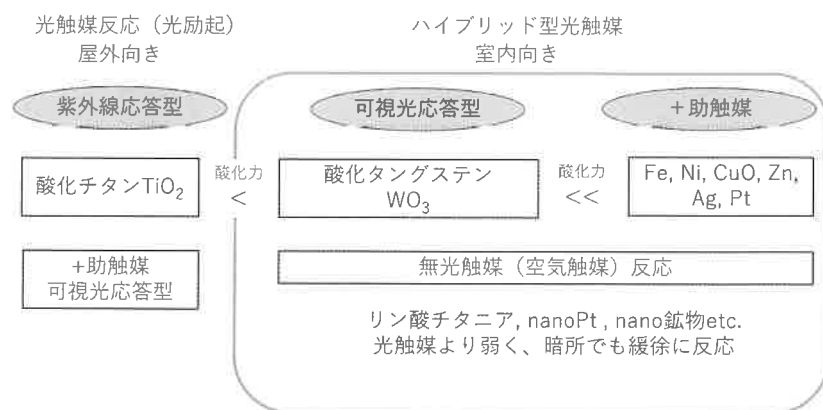


図6 光触媒の基本特性と最近の技術進歩

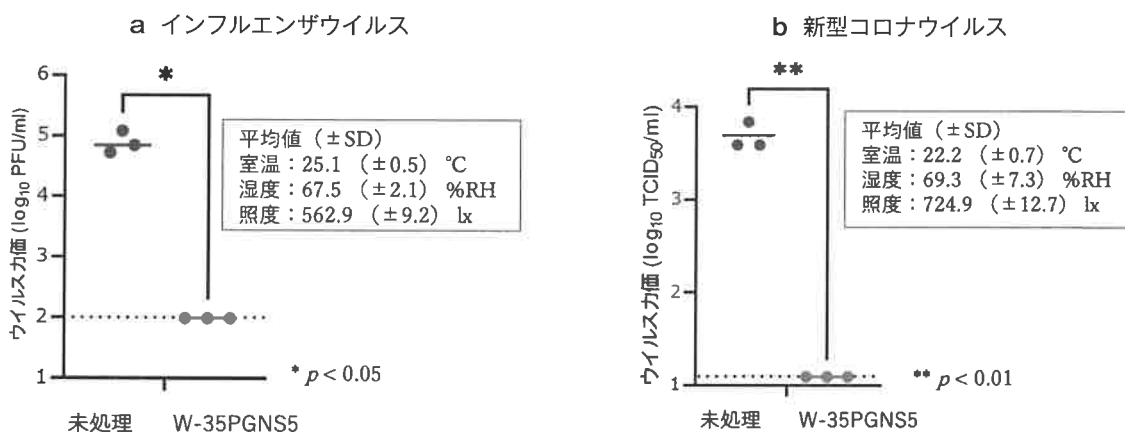


図7 可視光熱触媒コート剤のウイルス不活化効果

a: インフルエンザウイルスに対して、W-35PGNS5は10秒間の処理でウイルスを99%以上不活化した
 b: 新型コロナウイルスデルタ株に対して、W-35PGNS5は10秒間の処理でウイルスを99%以上不活化した
 (京都大学ウイルス・再生医科学研究所 微細構造ウイルス学分野 野田岳志教授の実験データより引用)

品が開発されている。また一方で、光がなくても空気があれば触媒反応が起きる無光触媒反応、これはチタンがリン酸化されたリン酸チタニアやナノレベルに微細化したプラチナをはじめある種の触媒物で起ることが分かっている。特徴は光触媒反応より弱い、暗所でも緩やかに触媒反応が起きることである。

今回使用した株式会社ジャパンナノコートの可視光熱触媒コート剤商品開発名 W-35PGNS5 (株式会社 HCS グループ商品名ルミネクト[®]) は、産業技術総合研究所が開発した酸化タングステンの可視光熱触媒特殊技術をベースに助触媒、無光触媒としてナノプラチナ等を担持したハイブリッド光触媒コート剤で、光のあるなしに関係なく24時間抗菌・抗ウイルス効果を発揮し、その効果は、光や熱が加わ

る事で増大する特性を持っている。

本コート剤の抗ウイルス効果は、京都大学ウイルス・再生医科学研究所 (現・医生物学研究所) 微細構造ウイルス学分野・野田岳志教授の実験により実証された (プレスリリース: 株式会社ジャパンナノコートが開発した可視光熱触媒コート剤。 <https://prt-times.jp/main/html/rd/p/000000003.000092134.html>)。

本コート剤の抗ウイルス効果の実験結果を示す (図7)。本コート剤原液 (W-35PGNS5) 添加後10秒間の処理でインフルエンザウイルスおよび SARS-CoV-2 デルタ株を99%以上不活化した。SARS-CoV-2 の感染拡大の要因として飛沫に含まれるウイルスが重要であるが、従来の酸化チタン原材料のコート剤のように紫外線を当てて数時間後に不活性化に至る

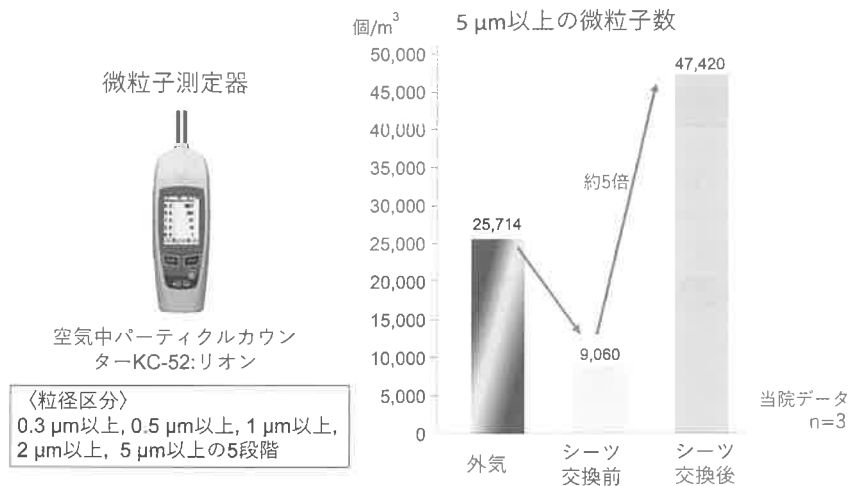


図8 シーツ交換時の微粒子測定

空気清浄器により室内の空気は外気より下がり、シーツ交換するとホコリは舞い上がる。そのほこりが床に落ちるまで数十分要する

ということでは、感染リスクを十分に軽減できない。今回の実験により、前述の DUV-LED 照射とほぼ同等の秒単位での分解速度が立証され、本コート剤は、治療環境において感染リスク軽減効果が大きいと期待できる。

また MRSA を使った抗菌効果の実験では、 10^4 レベルにコロニー培養された条件で、光触媒なしで、暗所並びに 500 ルクス室内光下に 8 時間おくと培養されて菌増殖が見られるのに対して、培地を光触媒コーティングすると、いずれの条件でもコロニーは消失している。真菌に対しても、約 30 度湿度 90% 以上で 32 日間光なしで放置、未処理でカビ増殖、コーティング処理でカビは生えていない (HCS グループホームページ掲載 <https://lumi-next.com/product/>)。

2021 年 6 月に 1 階玄関から 2 階透析室、3 階病棟までクリニック内のすべての部屋、通路など空間内装の天井、壁、床、空調内フィルター、ベッド、コンソール等、あらゆるモノの表面、さらにマンシェット、聴診器、フェイスシールドなど備品も光触媒コーティング加工した。またエレベーター内にも Aeropure を設置し、光触媒コーティングを施工している。

尚、ナノコーティング施工技術は、従来の光触媒加工とは異なり特殊であるため、社団法人日本ナノコート協議会が、本コート剤の施工及び取り扱いを管理・指導し、今回当院では、協議会正会員である

株式会社 HCS グループ (本社：福岡市博多区) にコーティング施工を依頼した。

3. 光触媒コーティングによるリネン類の管理工夫

ここで、リネンに関する取扱いと問題点を提示する。「透析施設における標準的な透析操作と感染予防に関するガイドライン (五訂版)」には、リネン類は患者ごとに交換することが望ましい。(Level 2B) 「リネン類は他の環境表面と異なり、清拭による消毒が困難である。(中略) しかし一方で、交換の際にほこりが舞い上がり、逆に環境を汚染したり患者が吸入したりといったデメリットもある。各施設の状況や運用に応じて適宜工夫する。」と記載されている¹⁴⁾。

実際にシーツ交換時の微粒子を測定すると (図 8)、この時外気の粒径 5 μm 以上の微粒子数は 1 立方メートル当たり約 2.5 万で、室内では 1 万以下に減少したが、シーツ交換時約 5 万近く外気よりはるかに上昇し室内環境が汚染されることが分かる。

この結果を踏まえて、透析室ではシーツを廃止し、清拭できる枕とマットレスに変更した。さらに光触媒コーティングを行い、枕・マットレス・掛け布団用カバーは 24 時間抗菌・抗ウイルス効果を備え持たせた。リネン類の管理工夫として防水・耐熱寝具に光触媒コーティング加工し、シーツ類の代わりに患者にはタオルを持参してもらい使用している。掛け布団は従来の全患者共有での使用を廃止し、個人

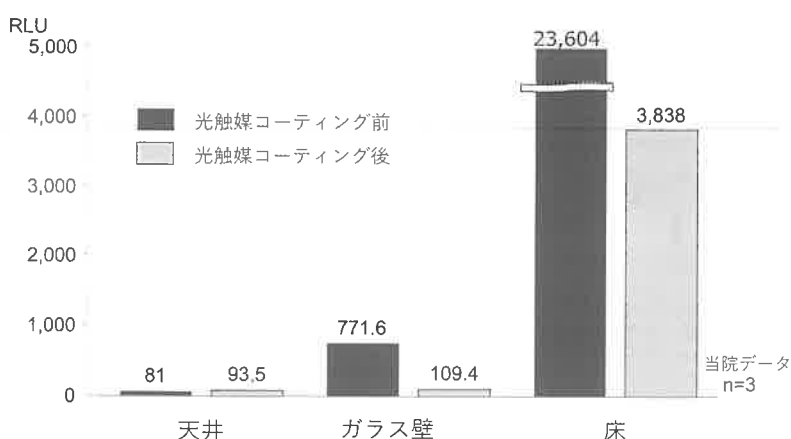


図9 光触媒コーティング前後のATPの値
触媒コーティング施工前と2, 3, 6日後にATPふき取り検査を実施した

使用とした。

また患者ごとの布団を入れ替える操作について、個人専用の光触媒コーティング加工済フトンカバーに入れている。その際布団との接触面を多くなるように包み込み、ベッドヘッド棚に保管し、次の透析まで無光触媒反応の時間としている。カバーはクールで色分けし、ネームカードで判別している。

4. 室内装のATPふき取り検査-光触媒コーティング前後

ここで室内装の汚れ具合をみる検査、食品衛生分野でよく使われているATPふき取り検査(A3法)を行った(使用機器 ルミテスター Smart キックマンバイオケミファ株式会社)。ATPは有機物の汚染度を表し、血液、体液、排泄物、微生物の存在を示唆する。ただしウイルスの有無の判定は該当しない。当院での光触媒コーティング前後のATPの値を示す(図9)。天井が最も低く、ガラス壁は700 RLU台から100 RLU台へと低下した。床はもちろん最も汚い部位であるが、1/6以下に低下した。今後長期間にわたり、光触媒反応による有機物の分解が進むことが期待される。

Ⅲ. 空気環境の評価法

「無菌医薬品製造区域の環境モニタリング法」は元々2012年第十六改正日本薬局方第一追補(JP16-S1)中にあったGMP関連の参考情報G4である¹⁵⁾。現在、この指針は薬局方から独立して扱わ

れている¹⁶⁾。無菌医薬品製造は微生物学的汚染を排除するもので、主に製薬工場のバイオクリーンルームで取り扱われている手法である。透析室は製薬とは違い、治療現場であるが、空気清浄度を把握することで感染制御にかなり役立つ考え方であるのでここで紹介する。

各透析施設では、医薬品である透析液製造の最終段階を担っている。われわれの施設では、2012年3月新築移転時に透析液製造用のクリーンルーム(CR)を作り現在まで約10年間運用してきた。前室でクリーンウェアに着替え、エアシャワールームで塵埃を落としCRに入り作業している^{17), 18)}。

1. 空中浮遊微粒子測定

環境モニタリング法の空気質の検査として、最初に空中浮遊微粒子(パーティクル)の測定について説明する。前述のシーツ交換時に使用している機器は、リオン株式会社のパーティクルカウンタKC-52、粒径区分: 0.3 μm 以上, 0.5 μm 以上, 1 μm 以上, 2 μm 以上, 5 μm 以上の5段階で測定できる。

空中浮遊微粒子測定であるが、製造区域のグレード分類があり、グレードA, Bが無菌操作を行う区域で、グレードC, Dがその周りの支援区域である。

ここで注目すべきは、これまで粒径0.5 μm 以上の浮遊微粒子数でグレード分類されていたのが、JP16-S1より粒径5 μm 以上の浮遊微粒子数が追加明記されたことである。その理由として、米国薬局方USP30 chapter1116で、浮遊微生物は単体で浮遊しているのではなく、おおむね10~20 μm の微

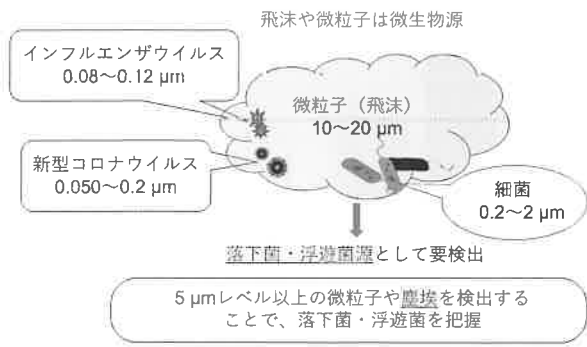


図10 浮遊微粒子は10 μm ~20 μm程度の微粒子に付着している

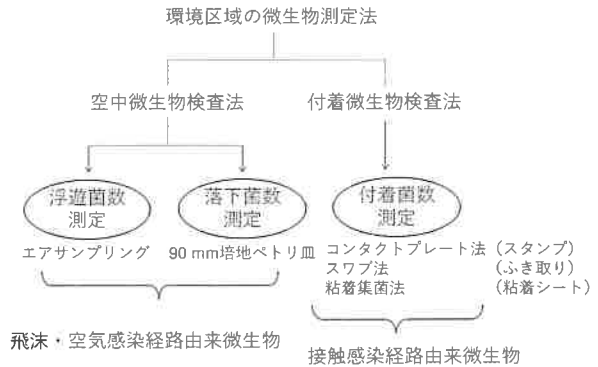


図11 環境区域の微生物数測定法



使用機器：air sampler BIOSAMP (ミドリ安全)

- ◇サンプリング方式：慣性衝突法 (多孔板法)
- ◇サンプリング流量：100 L/min
- ◇使用培地：90 mmペトリ皿寒天培地

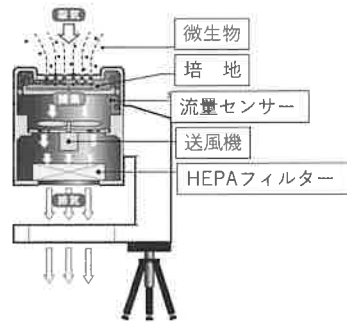


図12 空中浮遊菌の捕集 (ミドリ安全バイオサンプ)

(出典：ミドリ安全ホームページ <https://www.midori-md.jp/bio1000.html>)

粒子に付着していると記載されたからである (図10)。つまり COVID-19で感染源となるウイルスも単体で浮遊しているのではなく、飛沫、すなわちエアロゾル微粒子として感染波及していると考えべきである。WHOにおける用語の定義の中に、飛沫とは5 μmより大きい吸入性エアロゾルと記され、そしてエアロゾルとは、気体中に浮遊する微小な液体または固体の粒子と周囲の気体の混合体と定義されている (日本エアロゾル学会)。さらに飛沫は乾燥して小さくなれば5 μmより小さい吸入性エアロゾル、すなわち飛沫核となり、より浮遊・飛散しやすく吸入により空気感染のもととなる。まずは5 μmレベル以上の微粒子や塵埃を検出し、管理することが重要である。

2. 環境微生物の検査法 - 浮遊菌・落下菌・付着菌
環境区域の微生物数測定法を示す (図11)。空中

微生物検査と付着微生物検査があり、空中微生物はエアサンプラーによる浮遊菌数測定と、従来からあるペトリ皿による落下菌数測定がある。これらは飛沫・空気感染経路由来の微生物を把握することになる。付着菌数測定には、培地を対象物に直接接触させるコンタクトプレート法、スワブ綿棒でふき取るスワブ法、粘着シートを貼付して剥がす粘着集菌法がある。表面付着菌は装置、壁など、手袋、作業衣を検査対象とする。これらは接触感染経路由来の微生物モニタリング法である。空中浮遊菌の捕集法であるが、使用機器はエアサンプラーで、装置の中にセットした培地皿に向け空気を吸引して浮遊菌を捕集する。サンプリング方式は多種あり、当院ではミドリ安全のバイオサンプを使用している (図12)。無菌医薬品製造区域での環境微生物の許容基準には、グレードAからDの4グレードがあり、参考までにグレードAでは、微生物は1コロニーも生えては

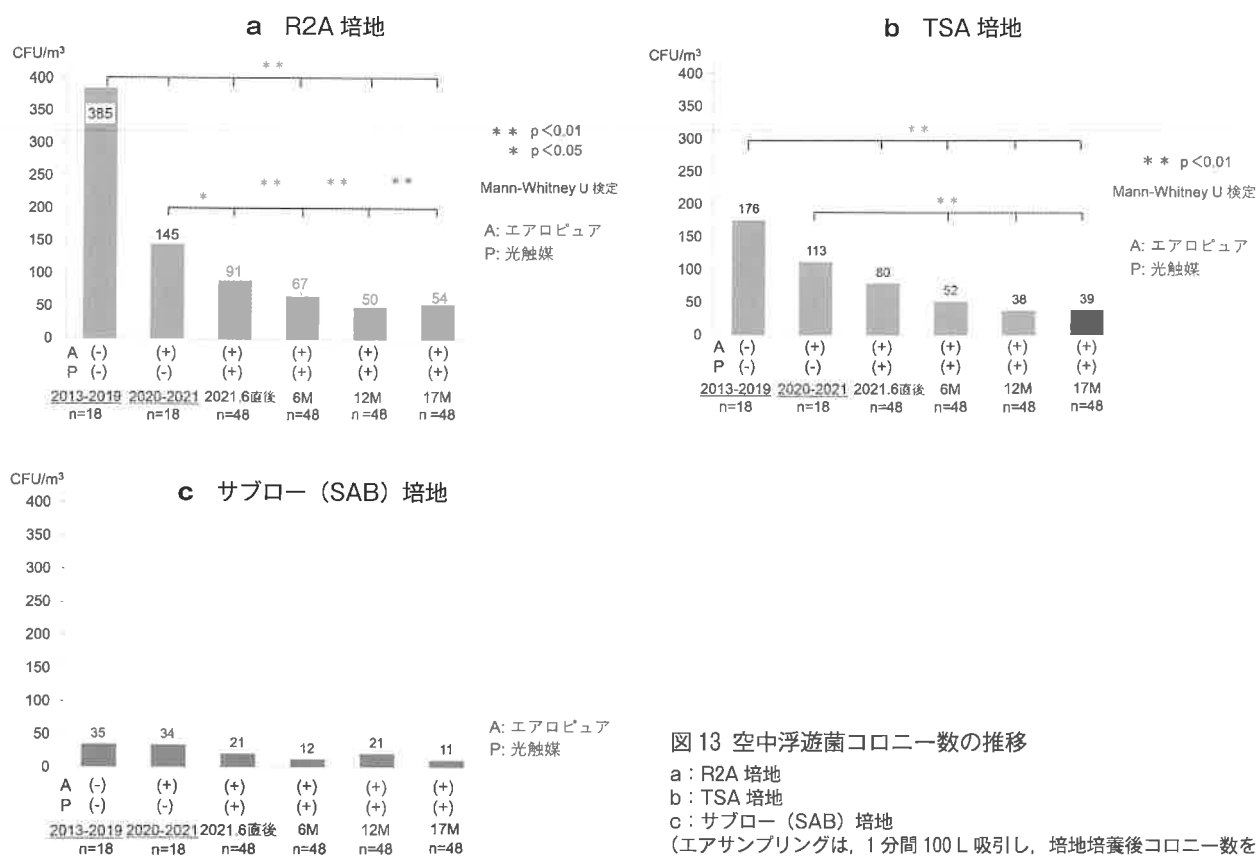


図13 空中浮遊菌コロニー数の推移

a: R2A 培地
b: TSA 培地
c: サブロー (SAB) 培地
(エアサンプリングは、1分間 100 L 吸引し、培地培養後コロニー数を立法メーターに換算する)

いけない非常に厳しい条件である¹⁵⁾。これは無菌を目指す時の条件でヒトがたくさんいる透析室ではもちろん達成不可能である。

3. 空気清浄度評価の実際と推移

当院の透析液製造 CR での空気清浄度は、5 μm 以上空中微粒子と浮遊菌のみでの推移をみると、CR 内ではグレード B 相当 (作業時 2900 個 / m^3 以下、10 CFU/m^3 以下) の清浄度を達成している。CR の設備を設け、正しく運用し、通常ヒトがいなければ透析施設でも実現可能であると考え^{17), 18)}。

透析室内の空気清浄度評価として空中浮遊菌コロニー数の推移をグラフに示す (図 13)。培地は水棲菌で使われる R2A、一般細菌用 TSA (SCD)、真菌用サブロー培地 (SAB) を使用している。エアサンプリングは 1 分間 100 L 吸引し、培地培養後コロニー数を立法メーターに換算した。Aeropure 導入前 2013 年から 2019 年の 7 年間では R2A 培地のコロニー数が最も多かった。Aeropure 導入後 R2A 培地コロニー数は有意に減少し、TSA 培地コロニー数も減少傾向、さらに光触媒コーティングを追加すると、

R2A, TSA 培地コロニー数ともに有意に減少し、空気・空間清浄化導入前の約 30~20% 程度まで減少し推移している (図 13-a, b)。一方、サブロー培地真菌コロニー数は、有意差はないがわずかに減少し推移している (図 13-c)。

次に空中浮遊微粒子についてであるが、まずパーティクルの粒径の違いによる特徴について図 14 に示す。定期清掃前の CR 内でのヒトの単純歩行動作 10 秒後測定結果であるが、粒径 0.5 から 1 μm 程度のパーティクルは重さも軽く床面からどの高さでも常に浮遊し落下することはほとんどない。数も桁数が多い。一方微生物源となる粒径 5 μm 以上のパーティクルは浮遊と落下の動きがあり、歩行動作 10 秒後測定で、下半身までの高さでパーティクルは床から舞い上がっていることが明らかとなった。この検証に基づいて CR 内での作業は、定期清掃の元、無駄な動きをせず、モノを床面に直置きせず、作業台や備品保管棚の高さは床面から約 1m 以上の高さを推奨している¹⁷⁾。

さて治療空間の透析室でのパーティクルの動きであるが、今回の空気・空間清浄化を導入する以前の

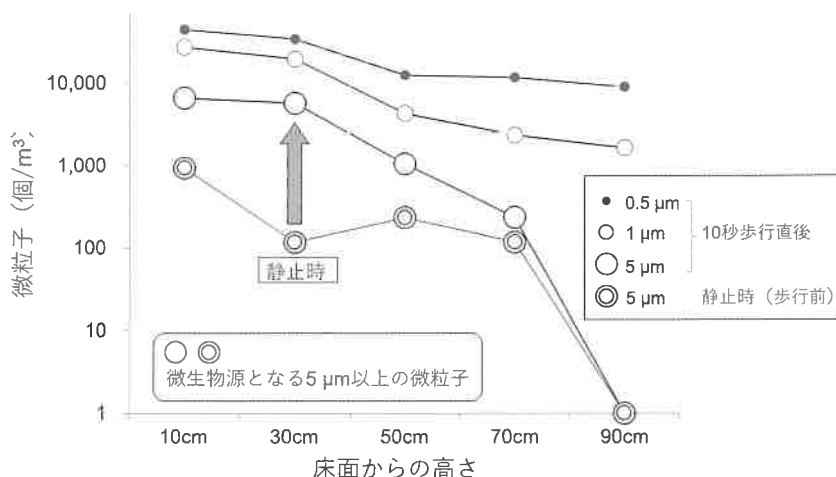


図14 歩行時パーティクル5 μm以上は舞う
測定条件：透析液調整室グレードB（クラス10000）静止時と歩行10秒後測定（文献17より引用、一部改変）

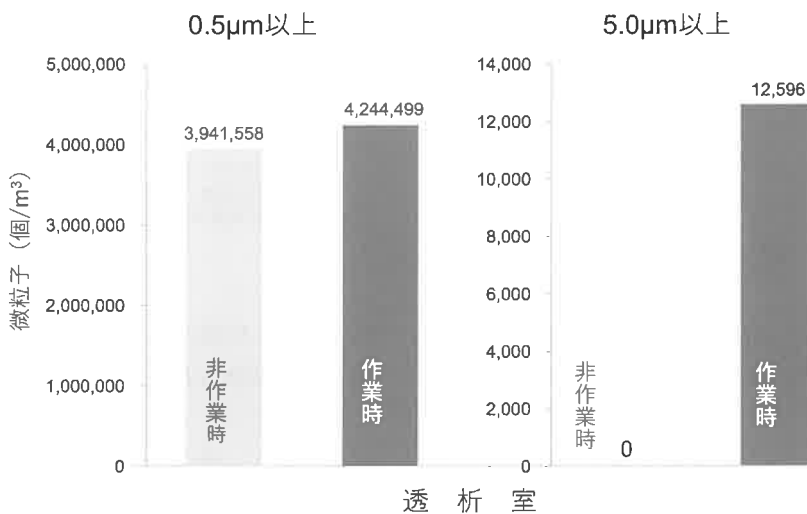


図15 透析室での非作業時と作業時の空中微粒子の推移
測定条件：床面より1m高、空気・空間清浄化導入前

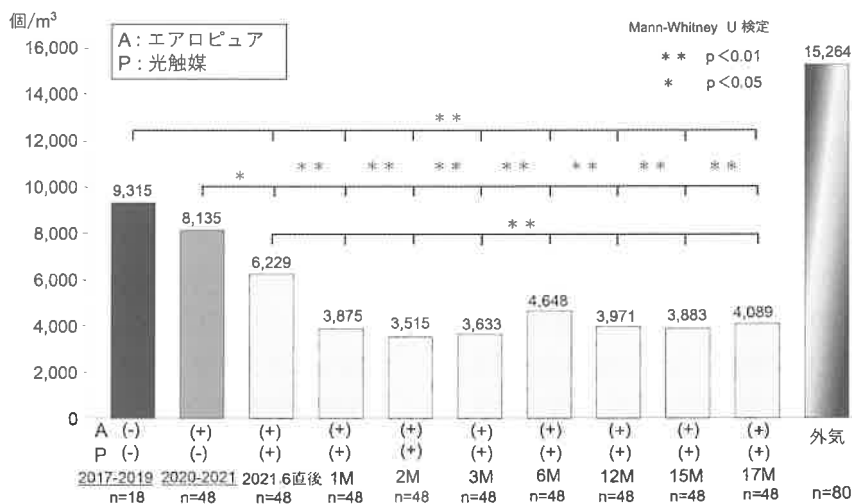


図16 粒径5 μm以上パーティクル数の推移

測定結果を図15に示す。測定条件は床面より1mの高さで測定している。パーティクル全体でみると粒径0.5 μm 以上総数で約400万個/ m^3 前後のパーティクルが常時浮遊している。一方粒径5 μm 以上のパーティクルは、朝就業開始前の非作業時は検出ゼロ、スタッフ・患者が在室してからの作業時に、ヒトの動きが加わり、約1万個/ m^3 まで増えていることがわかる¹⁷⁾。

粒径5 μm 以上パーティクル数の推移を示す(図16)。外気は非常に変動が激しく、1万前後から高い時で一瞬4、5万に達するときがある(異常高値除外)。一方室内パーティクル数は、浮遊菌同様にAeropureと光触媒コーティング導入により有意に減少し、しかも清浄化導入前の約50%以下まで減少し、1年以上の長期にわたり効果が継続している。

以上より、空間除菌消臭装置Aeropureとハイブリッド光触媒コーティングの組み合わせは透析室内の空気・空間清浄度を高めるのに非常に有効であると考えられる。

4. 湿度管理の工夫

湿度管理は一般に湿度が低いとウイルスが活性化し浮遊しやすくなり、高すぎるとウイルスの生存期間は短くなるがカビが繁殖しやすくなる。湿度の安全ゾーンは40~60%とされている。特に冬場は乾燥しやすいため、透析室の湿度管理はとても重要で、当院では大きめの加湿器5台設置し平均45%を保っている。その他の部屋は様々なタイプで加湿をしている。ここで重要なのは、加湿器は非設置型が清掃管理しやすいということである。設備型加湿器は、ダクト内で真菌が繁殖しやすく室内を汚染するリスクを有し、目視下での有効な清掃ができないため、除菌剤使用でどこまで管理できるかが課題である。

IV. 換気について

換気とは、「室内の空気と外気を交換することで、目的として外の空気を室内に取り入れ、空気を外に追い出すことで室内の空気中の汚染物質を排出・希釈すること」と定義されている(日本建築学会、環境工学委員会空気環境運営委員会、空気調和・衛生工学会、換気設備委員会)。

では、外気、空気は清浄であるか。推察のとおり、

大陸からのPM2.5の飛来や花粉症アレルゲン物質の浮遊、外気中にも微生物はいる。外気の空気質はもちろん清浄としている場所や瞬間もあるが、常に変動している。

また外だけでなく室内でもヒトが過ごしていると有害な汚染物質が発生している。粉塵、臭気物質・真菌発生、CO2濃度が上昇するだけではない。常に室内清掃や換気が必要なわけである。

1. 透析室の換気条件

「透析施設における標準的な透析操作と感染予防に関するガイドライン(五訂版)」第4章 透析室設備と環境対策に、「II 透析室の室内環境及び設備」について記載されており¹⁹⁾、日本医療福祉設備協会が作成した清浄度クラスと換気条件が採用されている(HEAS-02-2013)。この表で、人工透析室は、清浄度クラスIV一般清潔区域に該当し、等圧換気で最少換気回数(回/h)は外気量で時間当たり2回、全風量で6回と記載されている。外気量は換気回数と、1人当りの外気取り入れ量30 m^3/h を比較し、多い値を採用する事が必要であるとされている。さらに透析室の換気条件であるが、1) 一般透析室・隔離透析室(空気感染症以外の場合): 等圧換気、全風量6回/h以上。など記載されているが、各透析施設がこの条件をクリアしているかどうか定かでない。

これらの条件は、建築段階で建物の設備設計上、在室する人数も考慮し、十分な換気ができるように換気設備を設定して達成できるものであり、各施設がどうなっているか自施設で確認されたほうが良い。

2. 換気の方法—機械換気と自然換気

換気の方法を2020年4月に、厚労省がSARS-CoV-2によるクラスター感染を回避するためのリーフレットとして案内している。示されている換気の方法は①機械換気による方法②窓の開放による方法を推奨している。①機械換気による方法では、ビル管理法に基づく必要換気量(1人当たり毎時30 m^3)が確保できていることを確認すること、足りない場合は在室人数を減らし必要換気量を確保する。②窓の開放による方法として、換気回数を毎時2回以上(30分に1回以上、数分間程度、窓を全開する)、と記載されているが、これで安全というわけではない。部屋の広さや窓の規模もあるが、まず風が一定以上

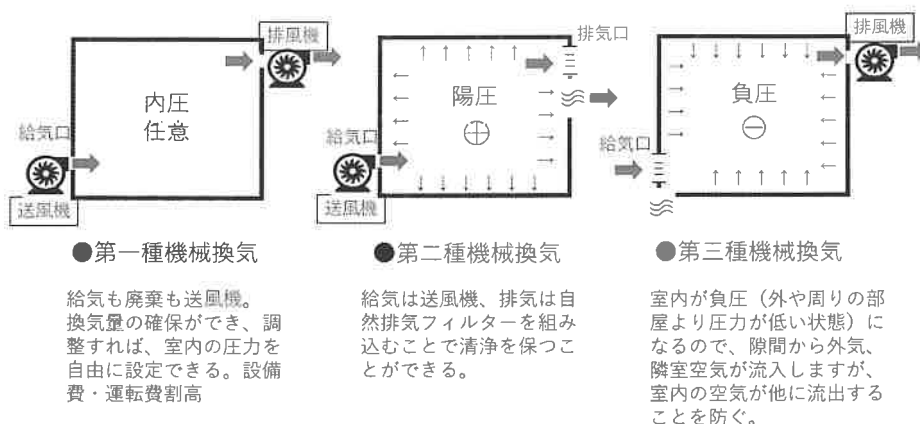


図 17 機械換気の種類（文献 19 より引用 一部改変）

安定して吹かないと効果がない。換気の悪い密閉空間が感染のリスク要因の1つと認識し、とにかく換気を実行することを主眼に書かれている。やはり職場や居住空間で十分な換気ができているかを知ることが賢明である。

換気には窓を開ける自然換気と、機械換気があり、ここでは機械換気について説明する（図 17）。機械換気は主に3つに分けられる。第一種機械換気は、吸気と排気の両方に対し送風機を使い換気量や室内圧を調整できる。第二種換気は給気は送風機、排気は自然排気で給気側にフィルターを組み込むことで清浄を保つことができる。第三種換気は、排気を機械管理し室内は陰圧（負圧）となる²⁰⁾。

3. 必要換気量と空气中二酸化炭素濃度

必要換気量とは、室内の空気を衛生的に保つために、最低限換気しなければならない空気量で、二酸化炭素（CO₂）濃度を、一定以下に保つための換気量のことである。建築基準法施行令第20条の2第2号には、成人男子が静かに座っている時のCO₂排出量に基づいた必要換気量 20 m³/h・人、ビル管理法では、商業施設など人が活動している空間ではCO₂濃度 1000 ppm 以下に保つため 30 m³/h・人以上確保すること、ただし機械換気でCO₂濃度 1000 ppm 以下保てれば 30 m³/h・人以上でなくても良いと記載されている。また建築物基準法・建築物衛生法では、CO₂濃度 1000 ppm 以下が法的義務と記載されている。

必要換気量を計算し、換気設備能力が基準を満たすだけでなく、換気が十分行われているかは、実際

現場のCO₂濃度を測定してあらゆる状況の中で1000 ppm 以下を目標に、常にこれを維持することが重要である。

4. 透析室の換気状況—換気量・換気回数・機械換気の使い分け

当院の透析室は、透析治療中、窓解放による自然換気はせずに、機械換気のみを行っている。換気回数を計算してみると、外気量のみでは1.2回であったが、全風量では6.1回と基準をクリアした。次に必要換気量を計算してみた。

条件として患者安静状態 20m³/h・48名、スタッフ活動状態 30 m³/h・12名で計算すると、必要換気量は最低でも 1320 m³/h、全員活動状態の 30 m³/h・60名で最高でも 1800 m³/h となり、いずれも機械換気給気量 2160 m³/hの方が必要換気量を上回っており、かつCO₂濃度も 1000 ppm 以下で十分な換気ができていると判断した。

しかしながら換気量や換気回数を満たしても、SARS-CoV-2 感染リスクはある程度下がるだろうが、COVID-19 に罹患しないという保証はない。

当院の透析室は放射空調のため、第二種換気となっており室内は正圧で、同フロア内のトイレや更衣室・汚物処理室は、排気を主とする第三種機械換気で、機械排気が行われている。更衣室はほこりが溜まったり、汗などの臭気が出る場所なので排気量は大きくしてある。また汚物処理室も同様である。現在の換気で基準は満たしているが、換気扇の能力を最大限に生かすための取り組みとして、機器の設定を弱から強へ変更、照明センサーと連動している

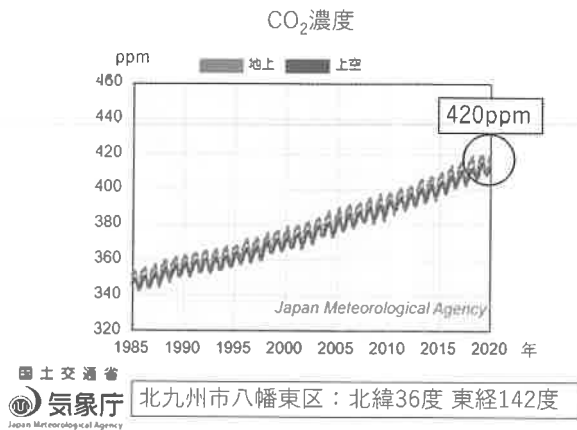


図18 二酸化炭素濃度 地点別経年変化
二酸化炭素分布情報

地点の地上付近および高度約6km上空における二酸化炭素濃度の経年変化
(出典：国土交通省 気象庁ホームページ <https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/co2timeser/co2timeser.html>)

更衣室は第3種機械換気：陰圧保持 換気量400 m³/h

女性更衣室



男性更衣室



CO₂濃度 450~500 ppm (4名更衣中)

図19 男女更衣室 第3種機械換気：陰圧保持 換気量400 m³/h
根拠を持って管理すれば更衣室は安全に使用できる

トイレや更衣室は、照明と換気扇を分離し新たに換気扇スイッチを付け、常時換気にするなどさらなる対策をとった。

5. CO₂濃度 1000 ppm 以下維持のための運用工夫

一方厚労省は、ビル管理法における空気環境の基準として、基準項目が多数ある中、空気中のCO₂濃度は、1000 ppm 以下としている。これが一番簡単に取り組める換気の指標と考え、推奨する。

では外気CO₂濃度はどのくらいであるのか。気象庁が公表している2020年の北九州市八幡東区近辺の地上では、およそ420 ppmであった(図18)。当院の周辺を測定してみると400~430 ppmとはほぼ同じ数値であった。当施設は経済産業省の「次世代エネルギー・社会システム実証事業」および「北九

州スマートコミュニティ創造事業」に参画して、創エネ・省エネ・蓄エネ・リサイクル等のエネルギー有効活用を行い、環境負荷を軽減するスマートクリニックとして、正に透析医療におけるGreen Nephrology を実践している^{21)~25)}。2012年新築移転時より、エネルギー管理システム(BEMS)のうち、透析室管理ステーションでは空気環境モニタリングとして、温度、湿度、照度、CO濃度、CO₂濃度も測定している。透析室のCO₂濃度は400 ppm前後から750 ppmを表示し、夜など無人の透析室では380 ppm台まで低下する。

今回透析室全体の換気の状態を知るため、測定器を追加し評価した。透析室のCO₂濃度測定結果は、患者入室前スタッフのみでCO₂濃度は450~500 ppm、透析中はスタッフと患者がフルにいる状



使用後のビニールは、感染性廃棄物として廃棄。
車椅子は次亜塩素酸水で清拭後、スチームで熱消毒

制作費用 270円
ランニングコスト 62円
業務用ビニール90Lを2.5枚
使用し毎回交換

図 20 手作りの感染対策用車いす

態でおおむね 650~790 ppm を表示した。8 名単位の集団ブースが A から F までの 6 ブースあり、各ブースで測定したところ、D、F ブースが 700~1050 ppm と一時的であるが 1000 ppm を超えた。

対策としてサーキュレーターを 3 カ所設置し、空気の流れを作ったところ、CO₂ 濃度 650~780 ppm まで下がり、他ブースと同等になった。

男女更衣室は第 3 種機械換気：陰圧保持換気量 400 m³/h で、必要換気量ひとりあたり 30 m³/h から計算すると最大収容人数 13 名となる。しかし患者間の距離を保つためいづれも同時使用人数 4 名以下にして、使用中会話禁止で、更衣中に CO₂ 濃度を測定したところ 450~500 ppm と換気は十分であった (図 19)。

更衣室を使用中止にしている施設もあるが、根拠をもって管理すれば更衣室は安全に使用できると考える。そのためには適正使用人数の割り出しと CO₂ 濃度モニタリングが必要である。

食堂ラウンジは第 1 種換気 (ロスナイ) で換気量 250 m³/h である。静止状態の必要換気量 20 m³/h から最大収容人数 12.5 名となる。ラウンジは使用人数を最高 10 名までとしている。治療前の 10 名待機中の CO₂ 濃度は 430~490 ppm と基準をクリアした。ただしマスク着用・会話制限・飛沫防止パネルを適宜使用している。特に食事に関しては、透析室でもラウンジでもマスクを外している状態なので、一切会話は禁止し、大型パーティションや卓上飛沫防止パネルで対ヒトに対して嚴重に局所の空間的隔離を確保している。

COVID-19 パンデミックの中、基本的に透析治療時間の短縮や透析中の食事を禁止せず、院内クラスター感染等起こすことなく経過している。

2022 年 7 月から 8 月にかけて COVID-19 第 7 波の際、当院患者で同時 SARS-CoV-2 陽性者がピーク時 8 名で、透析治療を同時に 6 名行い、陽性者入院療養 2 名を同時期に経験した。何れも院外での感染であった。SARS-CoV-2 陽性者は、透析室入退室の際、局所隔離型車いすを使い (図 20)、陰性患者とは時間をずらす時間的隔離を実行し、感染者専用ルートによる空間的隔離移動とともに、治療中は徹底した空間的隔離の元、多くの陰性患者とほぼ同時間に治療を行わざるを得なかったが、院内での感染拡大やクラスター感染を起こすことなく治療ができた。詳細は文面の都合上割愛する。

1F 玄関入口の受付は、患者出入りによりドア開閉が多い朝など来院時間は機械換気と自然換気を併用している。排煙窓には、COVID-19 パンデミックにより定期的に自然換気をするようになったため、防虫対策を兼ねて網戸を取り付けている。

換気の指標として、CO₂ 濃度測定強化により、換気量の充足度を可視化できた。透析室は機械換気をベースに、機器設備の運用見直しと人的・空間的・時間的配置の工夫によって感染リスクを考慮した十分な換気量を保つことができていた。しかし、様々な状況の中で機械換気と自然換気を必要に応じ上手に組み合わせ換気を行うことが重要であると考えられる。



図 21 飛沫対策：歯磨き時の工夫

V. 接触・飛沫感染制御の強化 —医療従事者間の取り組み

その他、接触感染の制御強化として、他医療機関のクラスター感染事例を元に、共有されるPC周りキーボードやマウスはフィルムラッピングを行い、院内ピッチ、固定電話も同日共有はせず、1日単位で占有使用としている。スタッフ休憩時のマスク着脱瞬間は食事と歯磨き時であることから、空間的配慮として食事場所は2カ所から4カ所に増やし、休憩グループ内の人数を均等に分散し、食事中はマスクなしでの会話は禁止し、かつパーティション類を使用している。また歯磨き時の飛沫クラスター感染のオフィス事例から、スタッフ休憩時間中の歯磨きは、同じ洗面台で同時歯磨きを禁止し、歯磨き場所も複数設け、飛沫防止対策として歯磨きからうがいまで一連の動作は、両端を開放したビニール袋で口元を覆って行い、終了毎洗面台を消毒している（図21）。

VI. おわりに

日頃より換気・空調設備を意識していると、商業施設や総合病院で、空調フィルターや換気扇が黒々

としているのに遭遇する。COVID-19 パンデミックを経験して、これを機に空気環境への取り組みの重要性を認識し、大きな施設ほど建物管理をしっかりやってほしい。小さな医療機関は、医療従事者も協力して環境整備の一環として定期的な空調フィルター清掃を意識してほしい。フィルター清掃は、交差汚染の温床を取り除き、余分な負荷が取れて節電・省エネになる。空調は壊れずに安全に能力を発揮して長持ちした方がいい。これらの気づきと配慮が、われわれの職場環境と患者の命を救う治療環境の感染制御強化のひとつになり、その先には地球環境にやさしい Green Nephrology^{21) - 25)}につながる。

透析室の感染制御強化は、ヒト・モノから空間・空気まで枠を広げて、従来からの手法に最新技術の知見と導入を考慮して進化させることが、より安心・安全な医療につながると考える。

謝辞

今回使用した光触媒コート剤の新型コロナウイルス（デルタ株）に対する不活性効果を実証していただいた京都大学ウイルス・再生医科学研究所（現医生物学研究所）微細構造ウイルス学分野教授の野田岳志先生に深謝いたします。

【参考文献】

- 1) Neeltje van Doremalen, Trenton Bushmaker, Dylan H Morris, et al. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med* 382 (16): 1564–1567, 2020
- 2) Hirose R, Ikegaya H, Naito Y, Watanabe N, et al. Survival of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and Influenza Virus on Human Skin: Importance of Hand Hygiene in Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *Clin Infect Dis* 73 (11): 4329–4335, 2021
- 3) Alex W H Chin, Julie T S Chu, Mahen R A Perera, et al. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *Lancet Microbe* 1: e10, 2020
- 4) Goldman E. Exaggerated risk of transmission of COVID-19 by fomites. *Lancet Infect Dis*; 20: 892–93, 2020
- 5) 第一人者が明かす光触媒のすべて 藤嶋昭 ダイアモンド社 2017
- 6) Fujishima A, Honda K, Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode. *Nature* 238: 37–38, 1972
- 7) Chieh-Wen Lo, Ryosuke Matsuura, Kazuki Iimura, et al. UVC disinfects SARS-CoV-2 by induction of viral genome damage without apparent effects on viral morphology and proteins. *Scientific Reports* 11: 13804, 2021
- 8) 杉山 博信 深紫外線LED照射によるウイルス不活化と製品開発への応用 月刊 研究開発リーダー 株式会社 技術情報協会, 東京, 18 (1): 13–17, 2021
- 9) 永松 謙太郎, 安井 武史, 平山 秀樹 期待される殺菌用・深紫外LED 特別 WEB コラム『新型コロナウイルス禍に学ぶ応用物理』14, 公益社団法人 応用物理学会 2020
- 10) Hiroko Inagaki, Akatsuki Saito, Hironobu Sugiyama, et al. Rapid inactivation of SARS-CoV-2 with deep-UV LED irradiation. *Emerging Microbes & Infections* 9: 1744–1747, 2020
- 11) Hiroko Inagaki, Akatsuki Saito, Chiho Kaneko, et al. Rapid Inactivation of SARS-CoV-2 Variants by Continuous and Intermittent Irradiation with a Deep-Ultraviolet Light-Emitting Diode (DUV-LED) Device. *Pathogens* 10 (6): 1–8, 2021
- 12) Takeo Arai, Masatoshi Yanagida, Yoshinari Konishi, Yasukazu Iwasaki, Hideki Sugihara, Kazuhiro Sayama. Promotion effect of CuO co-catalyst on WO₃-catalyzed photodegradation of organic substances. *Catalysis Communications* 9 (6): 1254–1258, 2008
- 13) Takeo Arai, Masumi Horiguchi, Masatoshi Yanagida, Takahiro Gunji, Hideki Sugihara, Kazuhiro Sayama. Complete oxidation of acetaldehyde and toluene over a Pd/WO₃ photocatalyst under fluorescent- or visible-light irradiation. *Chemical Communications* 43: 5565–5567, 2008
- 14) 第3章 標準的洗浄・消毒・滅菌 III 患者療養環境の清掃・消毒 2) リネン類は患者ごとに交換することが望ましい。透析施設における標準的な透析操作と感染予防に関するガイドライン (五訂版) 日本透析医学会 62, 2020
- 15) 無菌医薬品製造区域の環境モニタリング法 参考情報G4 208-213, 第十六改正日本薬局方第一追補 厚生労働省告示第519号 2012年9月27日
- 16) 事務連絡 第十七改正日本薬局方第二追補の制定により削除された参考情報の取扱いについて 厚生労働省医薬・生活衛生局医薬品審査管理課 監視指導・麻薬対策課 厚生労働省告示 第49号 2019年6月28日
- 17) 松尾賢三 透析室の水質管理 B-2 施設編① ひがしだクリニック 透析スタッフ 医学出版 東京 2 (49): 47–56, 2014
- 18) 松尾賢三 バイオフィルムの制御について 透析液清浄化に向けて 改訂版 医薬ジャーナル社 大阪 119–132, 2015
- 19) 第4章 透析室設備と環境対策 II 透析室の室内環境及び設備 透析施設における標準的な透析操作と感染予防に関するガイドライン (五訂版) 日本透析医学会 68–73, 2020
- 20) 建築設備設計基準 令和3年版 (国土交通省大臣官庁官庁営繕部設備・環境課監修) 公共建築協会 東京 2021
- 21) 松尾賢三 北九州におけるスマートコミュニティの展開—スマートコミュニティに医療機関が加わることの意義と課題 環境情報科学 44 (3): 36–41, 2015
- 22) Barraclough KA, Agar JWM. Green nephrology. *Nat Rev Nephrol* 16: 257–268, 2020
- 23) 永井恵 豪州の地球温暖化と水枯渇に対応する腎臓医療 沙漠研究 30 (4): 63–69, 2021
- 24) Vanholder R. Green Nephrology. *Kidney Dial.* 2 (3): 454–458, 2022
- 25) 2022 International Society of Nephrology Emerging Leaders. Green nephrology: a series of mini reviews on minimizing the environmental impact of kidney health care. *Kidney Int.* 104(1): 7–11, 2023