

関連総説 シンポジウム III**院内感染予防における空調・換気の設計法**

柳 宇

工学院大学 建築学部

**Design of air-conditioning and ventilation system
in hospital-acquired infection prevention**

U Yanagi

School of Architecture, Kogakuin University

抄録

病院には、手術室、病理検査室、解剖室、中央材料室のような特殊用途の部屋があるほか、外来待合室、診察室、病室 ward など不特定多数の人が集まる空間も混在している。病院内での感染は患者自身が持っている微生物が増殖し病気を起こす内因性感染と、病院内でほかのヒトまたは環境由来病原体が起こす外因性感染に大別される。

近年、エビデンスに基づく治療の概念が導入されるなど、病院環境の衛生管理に対する考え方は変化しつつある。このような現状を踏まえて、本報では、病院環境と感染症、HEAS 規格、ASHRAE の病院空調設計マニュアル、WHO のグローバルガイドラインなどにおける病院感染症対策のための空調・換気設備設計の現状について述べる。
(臨床環境 27 : 67-76, 2018)

《キーワード》 病院環境、院内感染、手術部位感染、空調・換気設計

Abstract

In a hospital, not only the special rooms like an operating room, a pathology laboratory, a dissection room, and a central supply room, but also the environment in which many and unspecified persons gather, such as a waiting room, a consultation room, and a ward are intermingled. Hospital-acquired infections is divided roughly into the endogenous infection exogenous infection. Endogenous infection is caused by the patient itself who has disease germ, and exogenous infection is caused by other humans or environmental disease germ.

受付：平成29年12月6日 採用：平成30年11月13日

別刷請求宛先：柳 宇

工学院大学建築学部

〒163-8677 東京都新宿区西新宿1-24-2

Since the concept of medical treatment based on evidence was introduced in recent years, the view over the health administration of hospital environment is changing. Based on the present condition, this paper shows the present condition of air-conditioning / ventilation system design of the countermeasures against hospital-acquired infections in hospital environment. HEAS standard (Healthcare Engineering Association of Japan), HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013), the Global Guidelines for the Prevention of Surgical Site Infection (WHO,2016) are described in this paper.

(Jpn J Clin Ecol 27 : 67 – 76, 2018)

《Key words》 hospital environment, hospital-acquired infections, surgical site infection, air-conditioning / ventilation system design

I. 序言

病院には、手術室、病理検査室、解剖室、中央材料室のような特殊用途の部屋があるほか、外来待合室、診察室、病室など不特定多数の人が集まる空間も混在している。

病院内での感染は患者自身が持っている微生物が増殖し病気を起こす内因性感染と、病院内ではかのヒトまたは環境由来病原体が起こす外因性感染に大別される。海外の報告によれば、病院で働く医療従事者のツベルクリン反応の陽性率は、一般の人の8倍にもなる¹⁾。また、病院内の患者が免疫力の低下に起因する、健常者では病気を起こさない弱毒性の微生物が起こす、いわゆる日和見感染症が問題となっている。日和見感染菌については、BMSAの報告で、待合室内浮遊細菌のうち、多い場合全体の5.3%が日和見感染菌であることが明らかになっている²⁾。

近年、エビデンスに基づく治療の概念が導入されるなど、病院環境衛生管理に対する考え方は変化しつつある。このような現状を踏まえて、本報では、病院環境と感染症に関わる法律と規格、国内・海外における病院感染症対策のための空調・換気設備設計の現状について述べる。

II. 病院環境と感染症に関わる法律と規格

日本では、医療施設の建築・設備に対する要求事項について次の医療法第20条があり、それは全ての規制の基となっている。

医療法第20条：病院、診療所または助産所は、清潔を保持するものとし、その構造設備は、衛生

上、防火上及び保安上安全と認められるようなものでなければならない。

また、医療法第23条では、病院環境に関して、“病院、診療所又は助産所の構造設備について、換気、採光、照明、防湿、保安、避難及び清潔その他衛生上遺憾のないように必要な基準を厚生労働省令で定める”としている。

さらに、施行規則第16条において、空気環境については、“機械換気設備については、感染症病室、結核病室又は病理細菌検査室の空気が風道を通じて病院又は診療所の他の部分に流入しないようにすること”、“感染症病室及び結核病室には、病院又は診療所の他の部分及び外部に対して感染予防のために遮断その他必要な方法を講ずること”としている。

以上のように、医療法は、病院の空調・換気設備に関する規制の原則事項を定めているだけである。改めて強調するまでもないが、病院環境における空調・換気設備設計の重要なポイントは感染症拡散の防止である。近年、「感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律（以後、感染症防止法と略す）」の改訂が行われている。感染症防止法では感染症を、危険性が極めて高い1類感染症（エボラ出血熱、ペストなど）、危険性が高い2類感染症（結核、SARS、MERS）、感染症の集団発生を起こしうる3類感染症（コレラ、細菌性赤痢など）、健康に影響を与えるおそれがある4類感染症（ウエストナイル熱、デング熱、レジオネラ症など）、発生・拡大を防止すべき5類感染症（日本脳炎、麻疹など）、に分類し

ている。

第1種感染症指定病室の空調・換気設備については、①空調設備は、全外気方式（屋外の空気のみを給気に用いる方式をいう）のもの又は再循環方式（病室からの排気の一部を循環させて給気の一部に用いる方式をいう）であって、感染症の病原体を第1種病室等（第1種病室及びこれに隣接する前室をいう）内に再流入させないために十分な能力を有するフィルタを備えているものであること。②給気設備には、外部に感染症の病原体を飛散させないために十分な能力を有するフィルタが設置され、又は空気の逆流を防止するような機能が設けられていること³⁾。前述の通り、感染症防止法では第1種の指定病室の空調・換気設備について、大原則を示したことに過ぎない。実際の病院空調・換気設備の設計方法については、日本医療福祉設備協会（Healthcare Engineering Association of Japan）の“病院設備設計ガイドライン（空調設備編）HEAS-02-2013”やアメリカの

ASHRAE（American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, アメリカ暖房冷凍空調学会）の病院空調設計マニュアル（HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics, Second Edition, 2013）がある。また、2016年11月3日、世界保健機構（World Health Organization: WHO）から“外科手術部位感染予防に関するグローバルガイドライン（Global Guidelines for the Prevention of Surgical Site Infection, 2016）”が出されている。以下にそれぞれについて述べる。

Ⅲ. HEAS 規格

日本では病院内の空気質の制御について、日本医療福祉設備協会から、清浄度クラス別にガス状汚染物質を希釈するための必要最小新鮮空気導入量（換気回数）と、病原体を含めた粒子状物質を除去するためのフィルタの性能に対する要求事項の詳細が示されている（表1）。また、手術室に

表1 日本医療福祉設備協会規格（HEAS-02-2004）

清浄度クラス	名称	適用	該当室 (代表例)	最小換気回数 [回/h]		給気最終 フィルタ の効率
				外気量 ^{*4}	全风量	
I	高度清浄区域	層流方式による高度な清浄度が要求される区域	バイオクリーン手術室 ^{*2}	5 ^{*1}	2 ^{*4}	DOP計数法 99.97%
			易感染患者用病室 ^{*5}	2	15	
II	清浄区域	必ずしも層流方式でなくてもよいが、Iに次いで高度な清浄度が要求される区域	一般手術室	3 ^{*2}	15 ^{*6}	比色法 90%以上
			未熟児室	3	10	
III	準清浄区域	IIよりもやや清浄度を下げてもよいが、一般区域よりも高度な清浄度が要求される区域	聴覚・血管造影室	3	15	比色法 80%以上
			手術手洗いコーナー	2	6	
			NICU・ICU・CCU	2	6	
			分娩室	2	6	
IV	一般清浄区域	原則として開創状態でない患者が在室する一般区域	一般病室	2 ^{*7}	6	比色法 60%以上
			新生児室、人工透析室、診察室、待合室	2	6	
			救急外来(処置・診察)、一般検査室	2	6	
V	汚染管理区域	有害物質を扱ったり、感染性物質が発生する室で、室外への漏出防止のため、陰圧を維持する区域	RI管理区域諸室 ^{*7}	全排気	6 ^{*8}	比色法 60%以上
			細菌検査室 ^{*9}	2	6	
			病理検査室 ^{*9}	2	12	
			隔離診察室 ^{*9} 、感染症用隔離室 ^{*9}	2	12	
	解剖室 ^{*9}	全排気	12			
拡散防止区域	不快な臭気や粉塵などが発生する室で、室外への拡散を防止するため陰圧を維持する区域	患者用便所、汚物処理室 使用済みリネン室、薬安室	— ^{*10}	10 ^{*11} 10 ^{*11}	— ^{*10}	

*1 換気回数と、一人当たりの外気取り入れ量30m³/h程度を比較し、多い値を採用することが必要である。

*2 バイオクリーン手術室の空調環境を参照。

*3 余剰新鮮ガスやレーザー光束使用時の臭気を排除するため、10回/h以上を要求される場合もある。

*4 吐出し風速を垂直層流式0.35m/s、水平層流式0.45m/s程度とする。

*5 造血幹細胞移植患者用病室など。

*6 一般手術室の空調環境を参照。

*7 各室に便所などを配置した場合、必要排気量によって外気量が決定することもあるので注意する。

*8 実際に必要な換気量は、放射線物質の種類や量、取り扱い方に対して、有効な希釈量を考慮して決定する。

*9 排気には汚染物質を有効に処理可能な、排気処理装置を考慮すること。

*10 特に規定しない、各施設の状況により決定する。

*11 排気量を示す。

においては、高度清潔区域のバイオクリーンルーム、易感染患者病室に対して層流方式が推奨され、清潔区域の一般手術室においては、必ずしも層流方式でなくてもよいとされている。

IV. ASHRAE 病院空調設計マニュアル 2013

本マニュアルは次の13章から構成されている。

第1章：医療施設空調システムの概要

第2章：感染制御

第3章：空調と空気搬送系

第4章：ユーティリティ

第5章：防火・防煙

第6章：自動制御設備

第7章：既存施設

第8章：用途別屋の設計

第9章：医療施設の運用

第10章：災害対策および緊急時対応

第11章：維持管理

第12章：医療施設のサステナビリティ

第13章：空調設備の防震設計

ここでは、第2章の感染制御の関連部分について、著者の解説を加えて紹介する。なお、第2章は下記の2.1~2.13の13節から構成されている。

2.1 はじめに

院内感染 (HAIs, Hospital-acquired infections, nosocomial infections ともいう) について、アメリカでは、通院・入院の患者 (admitted patients) の4~5%が院内感染に遭遇している。その年間コストは70億\$ (約7700億円) にのぼる。また、院内患者の80~90%は直接接触 (direct contact) 感染、10~20%は空気伝播 (airborne transmission) 感染としている。図1は諸感染経路のイメージを示す⁴⁾。

2.2 感染制御における空調システムの役割

本マニュアルでは、病院内における病原体の環境中への拡散経路として次の項目を挙げている。

- ・咳とくしゃみ
- ・接触

- ・術野または傷口の付着物
- ・水霧 (water mist)
- ・虫刺され (虫媒介)

また、感染症の対策における空調システムの役割については次の項目を挙げている。

- ・希釈 (換気)
- ・空気質 (ろ過)
- ・暴露時間 (空気の入換えと圧力の差)
- ・温度
- ・湿度
- ・微生物生育力 (UV 処理)
- ・気流計画

微生物由来空気感染の対策は、粒子の物性・微生物学・医学からの総合的な取り組みが必要である。粒子の落下・付着は、粒子の粒径・形状・密度・気流に関係する。室内の乱流は粗大粒子 (Larger particles) の空中滞在時間を長くさせる恐れがあるため、手術室には層流 (laminar airflows) が望ましいとしている。一方、 $1\mu\text{m}$ 以下の粒子は重力沈降の影響が無視でき、ブラウン拡散により、常に空中を浮遊している。

また、咳またはくしゃみによるほかの人への影響範囲は0.9~1.8m (3~9f) のため、空調による制御が難しく、個人の防護や隔離による対策が必要であるとしている。

咳またはくしゃみより放出される粒子の影響が及ぼす範囲について、1897年に発表された Flügge⁵⁾ の論文は次のように述べている：鼻・口から

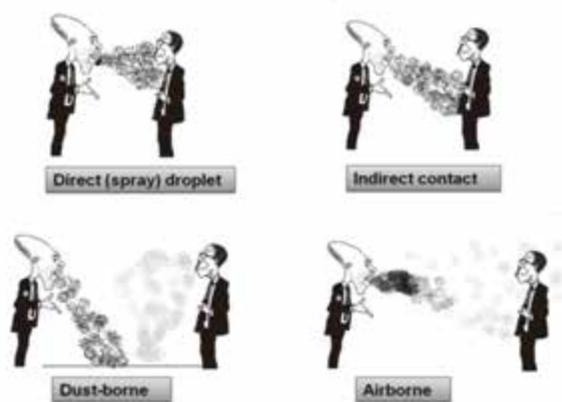


図1 諸感染経路

放出される細菌を含む飛沫 (droplet) は 2 m 以上まで飛散しない。また、1934年に William⁵⁾ は初めて飛沫核 (droplet nuclei) の概念を提唱している。ASHRAE マニュアルもこのような背景を踏まえたものであると考えられる。

日本の教科書も含めて、飛沫核が $5\mu\text{m}$ 以上のものは飛沫感染、 $5\mu\text{m}$ 以下のものは空気感染とし、飛沫感染は約 2 m 以上離れば感染しないとしている。しかし、2003年に起きた SARS の集団感染について、香港の研究グループらは当初飛沫感染といわれていた SARS-CoV による感染は空気感染であることを明らかにしている⁶⁾。

すなわち、室内に気流がなければ計算上では $5\mu\text{m}$ 以上の粒子は 2 m まで飛散しているうちに、相手の呼吸域の下に重力によって沈降するが、気流が存在していれば、 $5\mu\text{m}$ 以上の粒子でも遠く飛散する。このことは毎年のように偏西風により中国から日本に黄砂が飛来することにより解釈できる。

2.3 人はどのように空気汚染物質に影響されるのか

健常者は、呼吸器感染症予防のために立派な防御システムを持っている。それは、口腔から人呼吸器系まではフィルタリングの役割を果たしている (図2)。

マニュアルでは、感染リストを次の式より表現できるとしている。

$$\text{感染} = \frac{\text{曝露量} \times \text{被曝場所} \times \text{曝露時間} \times \text{毒性}}{\text{ホストの免疫力}}$$

従って、院内感染低減するための空調設計は、上記方程式右辺の各要素を検討することである。病原体によるヒトの健康への影響は量-影響関係によって決まる。上記式の分子の項は曝露量、分母は個人差を表している。なお、ホスト免疫力はヒト側の要素であるが、空調設計による対策できるのは分子項に示している曝露量・被曝場所・曝露時間・毒性である。

曝露量を低減させるにはフィルタによるろ過、換気による希釈によって濃度を低減させる。被曝場所については、病院内汚染度に応じたゾーニングや陰圧・陽圧の制御を行う。曝露時間においては、気流計画が重要である。毒性については、紫外線殺菌の活用方法がある。

2.4 感染制御におけるリスク管理のアプローチ

リスク管理において、下記に示す項目を考慮に入れる必要がある。

- ・リスクの確認
- ・曝露レベルの評価
- ・リスク発生可能性の評価
- ・リスクにより損失の算定
- ・リスクのランキング
- ・脆弱性の確認

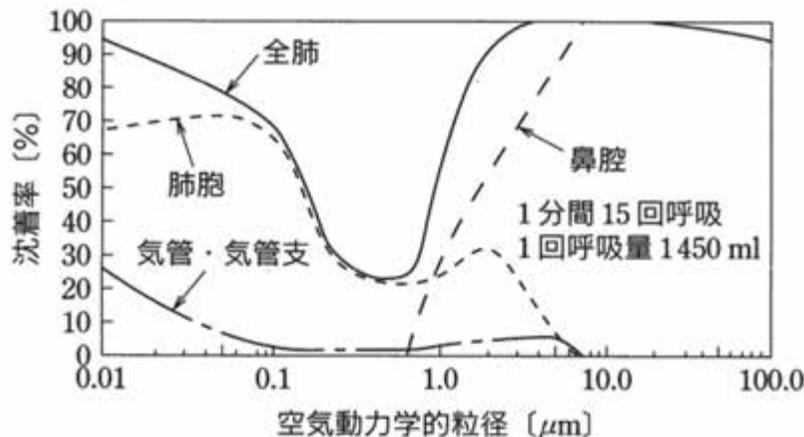


図2 浮遊粒子の呼吸系内の沈着率⁷⁾

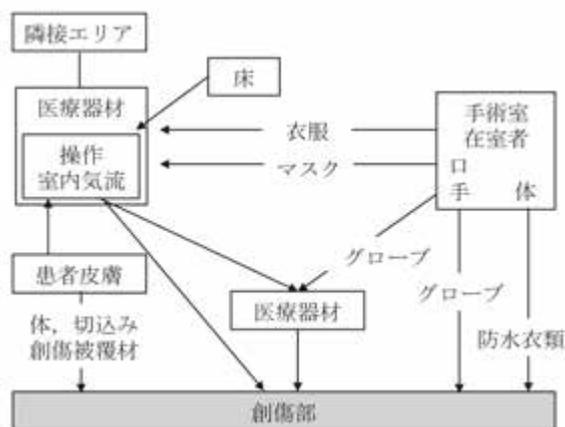


図3 手術部位感染（術野感染）経路

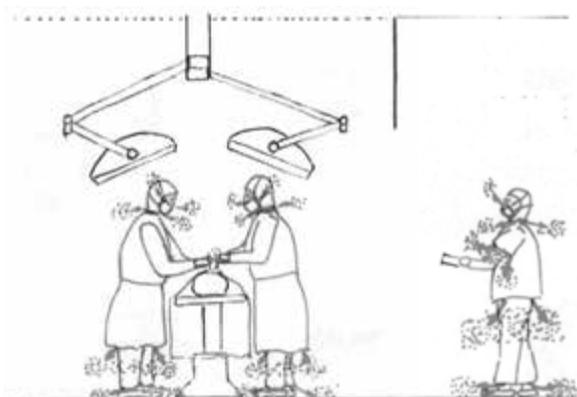


図4 術野感染源

（提供：伊藤喜三郎建築研究所，鈴木文明様）

2.5 術野感染

術野にはヒト、物など多くの感染源があると考えられる。図3に手術部位感染経路を示す。医療器械、グローブ、衣類、患者自身が持っている病原体、創傷被覆材などにより直接的な感染のほか、医療器材を介した間接的な感染がある（図3、図4）。

2.6 要保護者

免疫力が低下する骨髄移植（Bone marrow transplant）患者、HIV患者のために、室の陽圧環境（Positive pressure environment、PPE）が必要である。また、空気感染隔離（AII、Airborne infection isolation）室は伝染性接触感染症（communicable contagious diseases）患者のために設計されるものである。

表2 換気による粒子の除去性能

換気回数 (回/h)	99%除去に 所要時間(分)	99.9%除去に 所要時間(分)
2	138	207
4	69	104
6	46	69
8	35	52
10	28	41
12	23	35
15	18	28
20	14	21
50	6	8

控室（前室）→陰圧

専用の排気システム → HEPA フィルタ

2.7 換気量／希釈

表2に換気による浮遊粒子の除去性能を示す。換気回数が多ければ多いほど室内浮遊粒子濃度が指数関数的に減衰するため、換気は有効な手段である。

2.8 自然換気

WHO ガイドライン（2007）では、自然換気は病院内感染の拡散リスクの低減に有効であるとしている。また、イギリスの研究では、病院内最大で70%自然換気ができる。そのうち40%はシンプルな自然換気、30%は換気経路を考慮した換気としている。アメリカでは、北アメリカではいくつかの病院に自然換気を導入している。

自然換気と感染症の関係については、2003年のSARS流行において、中国の広州にある医療設備のよいICU（ICU、集中治療室）で働くHCWs（health care workers、医療従事者）のSARS感染例が多く見られたのに対して、窓のガラスもない（結果的には自然換気量が多い）臨時病室で働くHCWsの感染例がないとの報告がある⁸⁾。

日本でも、医療施設における自然換気の適用について諸議論がある。自然換気は省エネである一方、室内の気流計画が難しい側面がある。

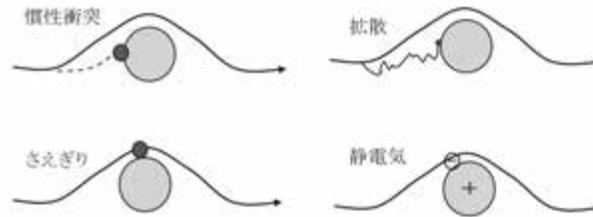


図5 フィルタのろ過原理

表3 必要フィルタ捕集率

Space Designation (According to Function)	Filter Bank #1, MERV ^a	Filter Bank #2, MERV ^a
Classes B and C surgery; inpatient and ambulatory diagnostic and therapeutic radiology; inpatient delivery and recovery spaces	7	14
Inpatient care, treatment and diagnosis, and those spaces providing direct service or clean supplies and clean processing (except as noted)	7	14
protective environment rooms (PE)	7	17(HEPA) ^c
Laboratories; Class A surgery and associated semirestricted spaces	13 ^b	N/R ^d
Administrative; bulk storage; soiled holding spaces; food preparation spaces; and laundries	7	N/R
All other outpatient spaces	7	N/R
Skilled nurses facilities	7	N/R

source: ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2008.

Notes:

- a. Minimum efficiency reporting value (MERV) is based on method of testing described in ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2007
- b. Additional prefilters may be used to reduce maintenance for filters with efficiencies higher than MERV 7
- c. Filter Bank #2 may be MERV 14 if MERV 17 tertiary terminal filter is provided for these spaces
- d. N/R = not required.

表4 MERV と粒径別の捕集率

MERV	0.3-1.0μm	1.0-3.0μm	3.0-10μm
Category E-3			
6	—	—	35to50%
7	—	—	50to70%
8	—	—	70to85%
9	—	—	85%+
Category E-2			
10	—	60to65%	85%+
11	—	65to80%	85%+
12	—	80%+	85%+
Category E-1			
13	<75%	90%+	99%+
14	75to85%	90%+	99%+
15	85to95%	90%+	99%+
17	99%	99%	99%

Source: Adapted from ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2007(ASHRAE 2007).

2.9 ろ過

フィルタによる浮遊粒子のろ過には下記に示す4つの原理がある(図5)⁹⁾。

慣性衝突: 空中を浮遊している粒子は、粒径が大きいほど、または運動速度が大きいほど、その粒子が持っている慣性力が大きくなることは物理学上の教えである。慣性衝突による浮遊粒子の捕集はこの慣性の特徴を利用するものである。フィルタの種類によって、繊維の太さ、繊維間の隙間が異なるが、空気がフィルタを通過する際に、中の浮遊粒子は気流方向の急な変化によって、ある粒径以上の粒子が流線に追従できず、慣性力でフィルタの繊維に衝突し、フィルタのろ材に捕集される。

さえぎり: ろ材のごく近傍、即ち、フィルタ繊維の表面から浮遊している粒子の半径以内のものがろ材にさえぎられ捕集されるのがさえぎり機構である。さえぎりは、粒子が流線からはずれないことを前提になっているため、前述した慣性衝突

とは異なる。

拡散: 小さい粒子、または風速が小さい場合、ブラウン運動(拡散)が支配的になる。ブラウン拡散により浮遊粒子がろ材に付着し、捕集される。

静電気: 帯電粒子は、クーロン力(coulombic attraction)により異符号電子を帯びた繊維に引きつけられ捕集される。通常のろ材も多少静電気効果があるが、静電気フィルタと呼ばれるものは、合成繊維のような積極的に静電気を利用するものである。

実際の場合、エアフィルタによる粒子の捕集は前述したもののうちどれかまたは複数の捕集機構による。粒径によって捕集機構が異なるが、0.2 μm前後の粒子に対しての捕集率は最も低い。

ASHRAEのマニュアルでは表3に示す通り、対象室に応じて必要フィルタの捕集率を示している。表4にMERVと粒径別浮遊粒子に対する捕

集率を示す。MERVは最小捕集率報告値であり、全部で20ランクに分類されている。

2.10 湿度

低湿度は乾燥感、高湿度はダンプネスの原因となる。また、アレルギーや呼吸器感染症などは高湿度に関係している。湿度については、人からの水蒸気の発生（皮膚表面、呼吸）の視点から、絶対湿度より相対湿度の方がより重要である。以上の視点から、本マニュアルは、空調の設定において相対湿度の最大値を60%と推奨している。

2.11 紫外線殺菌

1800年にハーシェルは太陽光をプリズムで分光して、水銀球部を黒くした温度計でスペクトル中の異なる点の温度を測定した。彼は温度計を紫から赤に移動させるにつれて温度が上昇し、赤を超えても温度が上昇し続けることを見出し、赤外線を発見した。

赤外線が発見された翌年に、当時25歳のリッターは、赤の外側に赤外線があるのなら、紫の外側にも不可視光線があるに違いないと考え、実験の結果により紫外線を発見した¹⁰⁾。

紫外線（UV）は波長によってUV-A（400-315 nm）、UV-B（315-280 nm）、UV-C（280- 100 nm）に分類される（図6）。

一般に、波長の長いUV-Aは危険性が最も小さいが、UV-B、UV-Cは皮膚がんをもたらす原因になる。生物のDNA（デオキシリボ核酸）は吸収スペクトルが250 nm近辺に存在しており、DNAに紫外線が照射するとDNAを構成する原子が励起される。この励起はDNA分子を不安定

にし、らせん構造（アデニン、グアニン、シトシン、チミンの四種類の塩基と糖、リン酸が連なった二重らせん構造）を構成する“はしご”を切り離して隣接する塩基同士でチミン-チミン、シトシン-シトシン、ウラシル-ウラシル等の二量体を形成させる。この二量体が遺伝子中のコドンを乱し、DNA配列の不正配列、複製の中断、ギャップの生成、複製や転写のミスを生じさせる。このことにより正常に遺伝子が機能しなくなった場合にかん等の突然変異が引き起こされることがある。細菌、真菌、ウイルスはチミンダイマーができると死に至ることから、紫外線による殺菌作用はこの原理を利用している。なお、インフルエンザA型ウイルスのようなRNA（リボ核酸）ウイルスの場合、紫外線に暴露されると塩基配列の中のウラシルの二量体が形成され、複製機能が喪失する¹¹⁾。

ASHRAEマニュアルでは、紫外線殺菌効果を次に示す式で示している。式の分子の項はいわゆるCT値（線量×時間）であり、分母は病原体の抵抗力を示している。

$$\text{殺菌効果} = \frac{\text{UV線量} \times \text{照射時間}}{\text{毒力（抵抗力）}}$$

ASHRAEのみならず、アメリカのCDC（Centers for Disease Control and Prevention：疾病対策センター）のガイドラインでも医療施設において紫外線殺菌の活用を薦めている。

表5にフィルタと紫外線による病原体の除去性能を示す。フィルタが苦手とする小粒径のウイルスに対して紫外線殺菌が有効であることは分かる。また、両方を組み合わせた場合、それぞれの

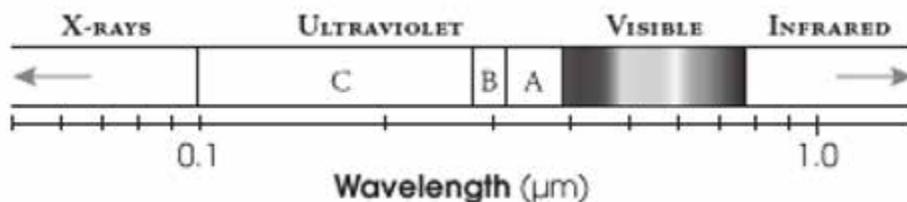


図6 紫外線の分類

表5 フィルタ・紫外線による病原体の除去性能

Filter Rating	MERV 6	MERV 8	MERV 10	MERV 13	MERV 15	MERV 16
Bacillus anthrax spores, %	15.5	35.7	39.2	96.3	99.979	99.981
TB bacilli, %	7.4	18.1	19.5	78.5	98.0	98.1
Smallpox virus, %	3.7	7.4	7.9	39.6	68.0	70.6
Botulinum toxin, %	34.6	69.9	76.3	99.986	100	100
Influenza A virus, %	62	112	12.0	46.229	71	76
UVGI System Rating	URV 6	URV 8	URV 10	URV 13	URV 15	URV 16
Average intensity, $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	75	150	500	2,000	4,000	5,000
Dose ($t = 0.5 \text{ s}$), $\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$	37.5	75	250	1,000	2,000	2,500
Bacillus anthrax spores, %	0.4	0.8	1.5	3.1	6.0	8.9
TB bacilli, %	23.4	41.3	65.6	88.1	98.6	99.8
Smallpox virus, %	17.4	31.8	53.4	78.3	95.3	99.0
Botulinum toxin, %	0	0	0	0	0	0
Influenza A virus, %	13.8	25.7	44.8	69.5	90.7	97.2
MERV/URV Rating	6/6	8/8	10/10	13/13	15/15	16/16
Bacillus anthrax spores, %	15.9	37.2	40.2	96.4	99.980	99.983
TB bacilli, %	29.1	52.0	72.3	97.5	99.972	99.997
Smallpox virus, %	20.4	36.8	57.1	86.9	98.5	99.7
Botulinum toxin, %	34.6	69.9	76.3	99.986	100	100
Influenza A virus, %	19.2	34.0	51.4	83.589	97	99



図7 気流制御による室間圧力差の確保

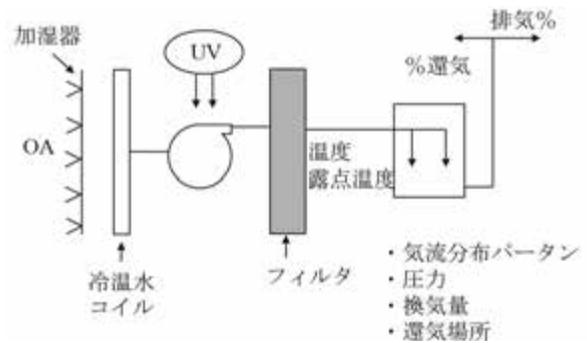


図8 感染制御に関する空調設計要素

特徴を生かし、より捕集性能が高まる。

2.12 気流と与圧

本マニュアルは、汚染の存別に室間の圧力差を維持し、気流を最もクリーンな区域からクリーンな空域、一般区域、汚染区域に流れるようにし、空気の逆流を起さないようにすることを推奨している (図7)。

2.13 感染制御における空調設計の役割

図8に感染制御に関する空調設計要素を示す。空調設計の要素を以下に示す通りである。

- ・取入外気量 (自然換気量を含む)
- ・フィルタのタイプと設置場所
- ・加湿

- ・UV 殺菌
- ・冷水温度
- ・給気条件
- ・各部屋の給気量
- ・気流分布と速度
- ・還気グリルの設置場所
- ・圧力差を維持するための給気、還気、排気のバランス

V. WHO 外科手術部位感染予防に関するグローバルガイドライン

WHOの調査によれば、手術部位感染 (SSI: Surgical Site Infection) は患者入院期間中に最も見られる院内感染 (HAI) である。アメリカでは SSI 感染が HAI 感染の67%、ヨーロッパでは

33%を占めている。中低所得の発展途中国においては、SSIは最も一般的なHAIであり、先進国より高い。

以上の背景で、WHOより2016年に“外科手術部位感染予防に関するグローバルガイドライン”が出されている¹²⁾。その4.23節に関節置換手術の手術室においては、必ずしも層流式のバイオクリーンルームを必要としないとしている。これに関しては、現在論争が起きており、ドイツはそれを採用しないことにしており、中国はそれを進行しつつも縛られることはないとしている¹³⁾。

VI. 結び

これまで、病院環境と感染症に関わる法律と規格、国内・海外における院内感染対策のための空調・換気設備設計の現状について述べた。医療法は、病院の空調・換気設備に関する規制の原則事項を定めている。空調・換気に関する詳細な設計法は、HEAS規格、ASHRAEマニュアルに示されている。さらに、ASHRAEマニュアルには院内感染対策に関する詳細な設計法も示されている。一方、WHOは手術室の空気清浄に関して、場合によっては必ずしも層流型バイオクリーンルームを必要としないことを示している。その考え方はドイツの医者らが発表している論文を根拠にしている。しかし、沈らの当事者に対する聞き取り調査の結果、医者らは層流クリーンルームと乱流クリーンルームの違いを必ずしも分かっていないことが明らかになった¹³⁾。病院環境における院内感染の対策においては医学と工学の連携が必要である。

引用文献

- 1) 平成17年度厚生労働省科学研究費補助金(健康科学総合研究事業)報告書:今後の建築物の維持管理のあり方に関する課題等に関する研究, 2006.3
- 2) 平成13・14年度BMSA特別研究報告書:病院環境における環境微生物測定結果報告書, 2003.3
- 3) 厚生省告示第四十三号:感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律第三十八条第二項の規定に基づく厚生労働大臣の定める感染症指定医療機関の基準, 平成十一年三月十九日

- 4) Li Y. How to improve the CDC recommended ventilation design in isolation rooms? 1st Congress of International Federation of Hospital Engineering (IFHE), 2010
- 5) Li Y. Ventilation and airborne infection. Healthy Buildings 2009; 2009.9.13-17; New York, USA. Plenary I3-082.2
- 6) Yu IT, Li Y, et al. Evidence of airborne transmission of the severe acute respiratory syndrome virus. *N Engl J Med* 350: 1731-1739, 2004
- 7) 本間克典:実用エアロゾルの計測と評価, 技報堂, 東京, 1990, pp.15
- 8) 殷平:室内環境的安全性と独立新風系統, 暖通空調HV & AC (33), 2003
- 9) 柳 宇:エアフィルタによる浮遊微生物粒子の捕集性能の評価について, 室内環境 10: 23-32, 2007
- 10) 井上晴夫, 高木克彦, 他:光化学 1, pp.10, 丸善, 東京, 1999
- 11) 柳 宇. 紫外線殺菌の過去・現在・未来. 空気清浄 51, 4-9, 2013
- 12) WHO: Global Guidelines for the Prevention of Surgical Site Infection, 2016
- 13) 许钟麟, 沈晋明:中国の手術室における中央換気方式と手術部位感染予防対策, 第46回日本医療風刺設備学会特別企画講演, 2017