

総説 シンポジウム3

病院環境における微生物の汚染実態とその対策

柳 宇

工学院大学 建築学部

The microbial contamination and its countermeasures in hospital environment

U Yanagi

School of Architecture, Kogakuin University

(臨床環境 24 : 16 - 21, 2015)

《キーワード》病院環境, 微生物汚染, 感染症, 対策

I. 緒言

人間の肉眼の解像力は0.2mm程度であるといわれている。従って、ごく一部の原虫を除けば一般に肉眼で見えない生物を微生物と呼ぶ。地球が12時間前に誕生したとすれば、原核生物(Prokaryotes)は9時間前、真核生物(Eukaryotes)は約3時間前に既にこの地球上に生存していた。これに対して、人類の記録された歴史の始まりはたったの1秒前である。微生物は人間より遥かに昔からこの地球上に生存している(表1)。

建築環境における微生物の問題は主として、細菌、真菌、ウイルスによるものである。細菌は下等微生物に属し、自己複製能力を持つ生物であるが、染色体が核膜で覆われておらず、細胞質にDNAが直接露出していることから原核生物と呼ばれている。殆どの細菌は単独で存在し、従属栄養生物であるため、必要なエネルギーはほかの生物に依存する。真菌は高等微生物に属し、核膜に

表1 地球のカレンダー¹⁾

深夜 12:00	地球の誕生
午前 3:00	最初の生命の確実な証拠
午前 3:00~9:15	原核生物
午前 9:15	最初の真核生物
午前 10:45	原始的動物門の進化
午前 10:54	最初の陸上植物
午前 11:00	最初の脊椎動物
午前 11:30	恐竜(類)の時代
午前 11:50	ほ乳類の時代
午前 11:59	最初の人類
午前 11:59	最初の現生人類
午前 11:59	人類の記録された歴史
午前 12:00	現在

覆われた核を持つ真核生物であり、多細胞の従属栄養生物である。細菌は細胞2分裂法によって増殖するが、これに対して真菌は菌糸を伸ばし、菌糸上またはその先から胞子を出すことによって生

受付：平成27年8月15日 採用：平成27年8月21日

別刷請求宛先：柳 宇

〒163-8677 東京都新宿区西新宿1-24-2 工学院大学建築学部

Received: August 15, 2015 Accepted: August 21, 2015

Reprints Requests to U. Yanagi, Department of Architecture, Kogakuin University, 1-24-2, Nishi-shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo 163-8677, Japan

育, 増殖を成し遂げる。

一方, ウイルスはタンパク質の外皮, 核酸でできた中心部 (遺伝子) および侵入用の酵素から構成される。細菌, 真菌と異なり, ウイルスは全て寄生性で, 宿主細胞の外では増殖しない。

環境微生物は細菌 (0.5~10 μm), 真菌 (2~100 μm), ウィルス (0.02~0.3 μm) に大別される。

室内空気中での微生物粒子の挙動は感染症の感染経路に深く関わり, その粒子の密度のほか, 粒径に左右される。しかし, 空気中微生物の粒径に関しては生物学と環境工学の見方が必ずしも同じではない。例えば, 生物学上では黄色ブドウ球菌の大きさは約0.8 μm とされているが, 0.8 μm は単体 (裸) の幾何径であり, 必ずしも空中で浮遊する大きさ (空気力学径) ではない。実際に, 微生物粒子が単体で空中を浮遊することは全くないわけではないが, 今までの共通認識として, 多くの微生物は複合体で, または非生物粒子に付着して空中を浮遊するとされている²⁾。従って, 付着する粒子径によって, 空中での微生物粒子 (微生物+粒子) の挙動は大きく異なる。

本報では, 病院環境における微生物汚染の実態, 病院環境と感染症, 空中微生物の制御方法などについて述べる。

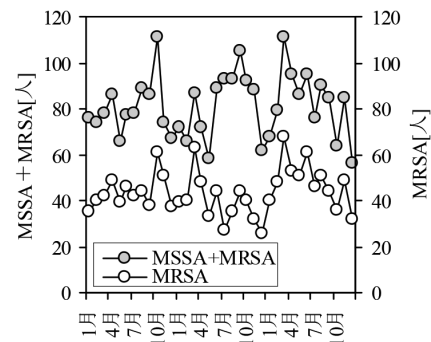
II. 病院環境における微生物汚染の実態

1. 病院環境の特徴

病院には, 手術室, 病理検査室, 解剖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。病院内の空気汚染問題, とりわけ, 微生物に起因する空気汚染問題は, その対象によって健常者である医療従事者や事務スタッフなどと, 免疫力が低下している患者との2種類に分類することができる。海外の報告によれば³⁾, 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。また, 院内感染の約10%は真菌によるものと推定された。病院は感染のリスクが高い場所といえよう。また, 院内感染については, メチシリン耐性黄色ブドウ球菌 (MRSA, Methicillin-resistant Staphylococcus

aureus) が重要な病原体であることが広く知られている。図1に2003年1月から2005年12月までの3年間に検出された検出された *S.aureus* (MSSA と MRSA) の検出症例数と入院患者から検出された MRSA の症例数の推移を示す。MSSA の約半分が MRSA であることが分かる⁴⁾。

院内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, 病院内の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, 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, バイオメディカルサイエンス研究会 (Biomedical Science Association Biomedical Science Association : BMSA) の報告⁵⁾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。



(図中示しているのは, 集中治療室に入院している患者から分離された MSSA と MRSA の推移を示している)

図1 MRSA と MSSA 患者の推移

2. 外来待合室内の浮遊微生物濃度⁶⁾

建築環境において, 在室者自身が細菌を発生することにより, 室内浮遊細菌濃度を高めることが知られている。ここでは, 在室者数とその活動は時間帯によって激しい変動の特徴を有する待合室内浮遊細菌濃度の挙動を把握するために行った9病院の連続測定の結果について述べる。

表2と表3に調査対象病院の概要と調査対象の待合室の空調設備の概要を示す。図2に H~P の9病

表2 調査対象病院の概要

病院名	所在地	延べ床面積[m ²]	一般病床数	測定日
H	港区	28,500	535	7月24日
I	東村山市	19,300	140	7月27日
J	和光市	24,400	350	7月31日
K	柏市	11,000	290	8月4日
L	青梅市	3,700	120	8月16日
M	日立市	58,200	563	8月18日
N	大阪市	30,300	487	8月22日
O	大阪市	28,600	534	8月23日
P	守口市	29,100	359	8月24日

表3 調査対象室の空調設備概要

病院名	空調方式 ¹⁾	換気方式	エアフィルタ捕集率 ²⁾	
			前段	後段
H	AHU+ダクト	OAHU	70%	なし
I	[-]	[-]	[-]	
J	FCU	自然換気	なし	
K	OAHU+ダクト+FCU	OAHU連動	サランフィルタ	
L	FCU	排気ファン	なし	
M	AHU+ダクト+FCU	AHU連動	なし	90%
N	AHU	AHU連動	[-]	
O	AHU+ダクト+FCU	AHU連動	なし	90%
P	AHU+ダクト+FCU	AHU連動	70%	90%

1) AHU:エアハンドリングユニット, OAHU:外調機, FCU:ファンコイルユニット,
PAC:パッケージ型空調機
2) 前段:重量法, 後段:比色法

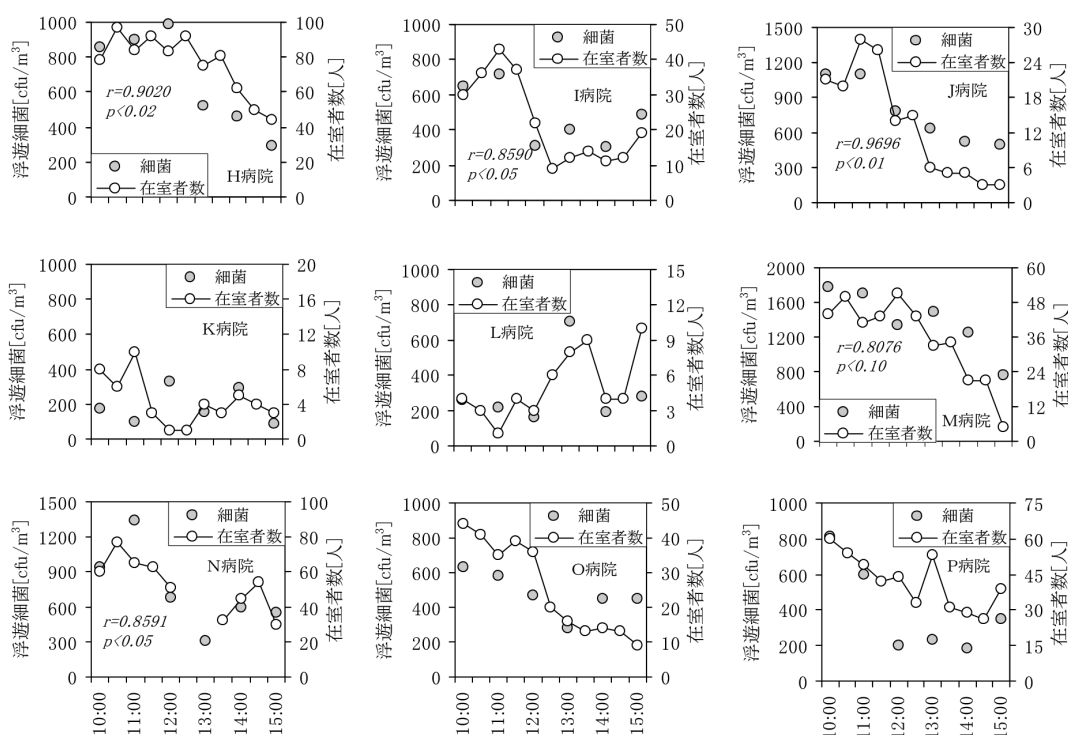


図2 室内浮遊細菌濃度と在室者数の関係

院待合室内浮遊細菌濃度と在室者数の関係を示す。H, I, J, N病院において両者間に有意な相関関係が認められ ($p < 0.05$)、待合室内浮遊細菌の汚染源は在室者であることが示唆された。また、H, I, J, M, N, O, P病院においては、午前中在室者数の多い時間帯に室内浮遊細菌濃度も著しく高くなっていることから、院内感染(外因性感染)のリスクが高いものと推察される。

Ⅲ. 病院環境と感染症⁷⁾

2003年に入ってから中国発の新型肺炎“重症呼吸器症候群”(Severe Acute Respiratory Syndrome, 以降SARSと呼ぶ)はグローバル化の様子を呈し、世界中に緊張が走った。それは、当初病原体の正体と発生源が分からなかったことと、それにも関連するが医療従事者(Health Care Workers, HCWs)の感染率が高かったことに原因があったと思われる。WHOの統計データ

によれば、HCWsは全症例8,096例の約2割(1,706例)を占めている。一方、国別では、中国大陸と香港特別行政区の症例数は圧倒的に多く、全体の約9割(7,082例、死亡率9.2%)を占めている⁸⁾。ここでは、北京大学附属人民医院で起きた集団感染事例について述べる。

(1) 救急外来—感染する事例

救急外来の事例に関する状況概要を表4に示す。当時、整形外科と外科各4名の医者が普段通り仕事をを行い、仕事上SARS患者との接触がなかった。また、その間SARS患者が廊下に居たため、整形外科もその廊下に面しているドアを閉じ、窓を開けていたという。外科の窓が建物の外壁(北)に、整形外科の窓が中庭に面している(図3)。

この事例に関して、清華大学・中国CDC・北京大学人民医院の研究グループは当時の状況を再現し、数値流体解析(Computational fluid dynamics, CFD)による解析とトレーサガスSF₆による実験的な検証を行った。その結果、図4に示す経路で整形外科医師4名が感染したという。また、当時廊下に居たSARS患者の呼出濃度を1とした場合(相対濃度)、整形外科診察室内の濃度は平均して800ppm(約1,000倍希釈)であったと報告されている。

(2) 観察室—感染しない事例

2002年11月中庭(18m×18m)の3m高さで天井を設け、救急外来の観察室として使用し始めた(図5)。

4月7~16日の間SARS感染者と擬似患者計20人

表4 人民医院感染事例の状況経過

2003年	状況概要
4月17日	病院内SARS患者または疑いのある者が多くなったため、その内の十数名が急診(救急外来)の廊下へ移動させられた。廊下を挟んで建物の外壁側に外科診察室、中庭に整形外科診察室がある。それぞれの診察室に4名の医者が居た。廊下、整形外科、外科の位置関係を図6に示す。
17~23日	上記十数名の者が廊下で観察・治療を受けていた。
24日	全員が「地壇医院」へ移送され、完全隔離の処置を施された。
25日	整形外科の4名医者が全てSARSウィルスに感染したことが診断されたのに対して、外科の4名が何れも感染されなかった。

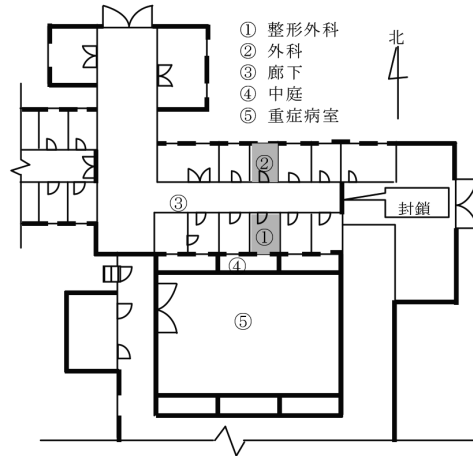


図3 北京大学人民医院救急外来平面図

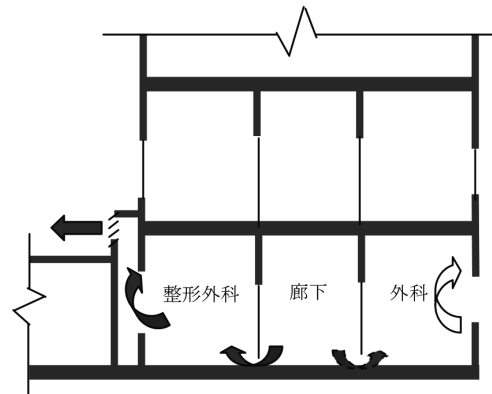


図4 北京大学人民医院救急外来気流の流れ

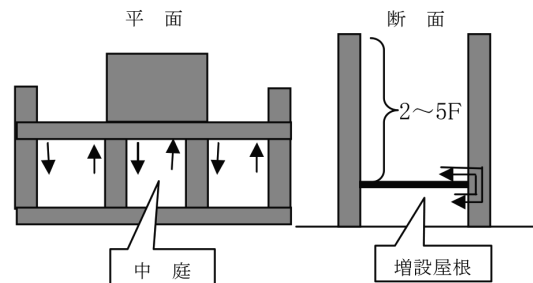


図5 診察室の平面と断面
(図中の矢印は取入れ外気と排気を示す)

が観察室(24床)に入院していた。観察室には外窓がないため、図6に示すように屋上に給気口と排気口を取っていた。一方、当時「発熱門診」に來られた患者数は多い時に1日当たり200名を超え、病院内で騒いでいたため、中庭に面している2~5階の室(図6)の全てが窓(計96)を開け、



図6 診察室屋上給排気口の配置

内部廊下に面しているドアを閉じていた（筆者ら行った聞き取り調査より判明）。即ち、上記の96の窓の室内 SARS 濃度は観察室内から排出された SARS の量に左右されることになる。しかし、当時中庭に面している室内の HCWs, 一般患者, 訪問者は数百人も居たにもかかわらず, SARS に感染したのは HCWs の2名のみであった。この事例について, 救急外来と同様な方法を用いて検証を行った結果, 当時中庭中の濃度は50~80ppm (患者の呼出濃度を1.2~2万倍希釈) であったと報告されている。

同研究グループは以上2つの事例から, 救急外来の濃度を危険濃度 (患者呼出濃度を1~2千倍), 観察室屋上の濃度は安全濃度 (患者呼出濃度を1.2~2万倍以上希釈) とした。

北京大学人民医院の事例に関して, 研究内容の詳細についてまだ議論する余地はあるが, 危険濃度と安全濃度の差が約10倍であることは大変興味深い。

IV. 空中微生物汚染の制御方法

室内空气中浮遊微生物の濃度は, 空中への発生量とそれを希釈・除去するための換気量 (給気量・捕集量) とのバランスによって決まる。定常状態においては, 室内に侵入する量に加える室内での発生量が室内から排出される量と等しくなり, 図7に示すモデル (全外気空調) では室内濃度を式 (1) と式 (2) で表すことができる。

ここで,

C : 室内空中微生物の濃度 [cfu/m³]

Co : 外気中微生物の濃度 [cfu/m³]

Cs : 給気中微生物の濃度 [cfu/m³]

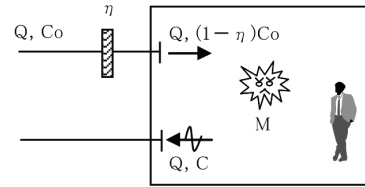


図7 室内空気汚染の概念図

$$C = C_s + \frac{M}{Q} \quad [1]$$

$$C_s = C_o (1 - \eta) \quad [2]$$

Q : 給気量 [m³/h]

η : エアフィルタの捕集率 [%]

M : 室内微生物の発生量 [cfu/h]

ここでは, 病院環境において不特定多数の人が集まる場所である外来待合室内微生物の対策について述べる。

前述した式 (1) から分かるように, 室内浮遊微生物汚染の対策は濃度 C を低くすることであり, Cs の低減, M の抑制, Q の確保である。

Cs の低減については, 一般的に空調機に備えている中性能フィルタでは, 浮遊細菌と浮遊真菌粒子に対して80%以上の捕集性能を有することから⁹⁻¹⁰, 空調システム内が微生物に汚染されなければ, Cs を低減することが柳らの既往の研究より明らかになっている¹¹。

Q については, 前述した北京大学附属人民医院の事例に示されているように, 換気量の確保は室内病原体濃度の低減, とりわけ感染症リスクの低減につながる。しかし, 一般的に Q 値は室内熱負荷より決まるケースが多い。また日本医療福祉設備協会から出された HEAS-02-2004規格に外来待合室の Q 値を推奨している (全風量: 6回/h)。Q 値を増やせば増やすほど C が低くなるが, エネルギーの消費量も増大するため, 限界がある。

M について, 浮遊真菌の場合においては, 空調システムの衛生管理が重要である。一方, 細菌のような主な発生源が室内にある場合においては, 個人の衛生管理が重要であるほか, 待合室内に微生物汚染を対策とする補助設備としての空気清浄機の導入が有効であると考えられる。例えば, 待

合室内に風量 q [m^3/h], 捕集率 η_2 の空気清浄機を導入すれば, 室内濃度 C' は下記の式 (3) より表され, 導入しない場合の濃度 C [式 (1)] に比べて $q \eta_2 / (Q + q \eta_2)$ の分が低くなる。

図8にあるクリニックの待合室における空気清浄機の効果を実証した結果を示す¹²⁾。外来者が増えても, 空気清浄機の稼働によって室内浮遊細菌濃度が低減されたことが明らかになった。

$$C' = C \frac{q \eta_2}{Q + q \eta_2} \quad [3]$$

一方, 上記の物理的な対策のほか, 紫外線による殺菌も有効である。2005年アメリカ CDC の改定版では, フィルタの捕集性能, 換気量 (給気量) のほか, 補助設備として, 待合室の上部に紫外線殺菌 (Ultraviolet germicidal irradiation: UVGI) ランプの適応についての詳細が示されて

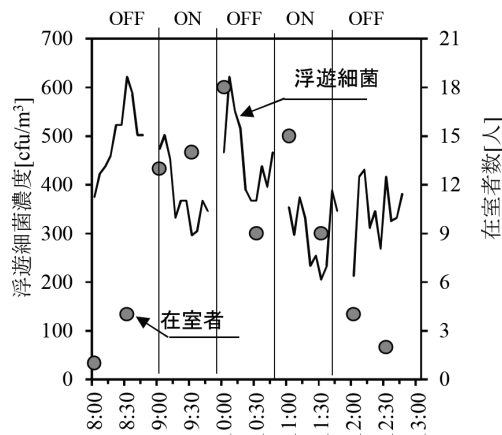


図8 空気清浄機による浮遊最近濃度の低減

いる。UVGI は空調機や空気清浄機のエアフィルタがもっとも低い捕集率を示す粒径200nm 付近のウイルスに対して有効であることが報告されている¹³⁾。今後, 待合室内に補助設備の導入などを含めた総合的な対策についての検討が必要であると思われる。

V. まとめ

本報では, 病院環境内の微生物汚染, 感染症について述べたうえで, その対策方法を示した。前述したとおり, 病院環境は感染リスクの高い場所で

ある。現在日本国内の最大感染症である結核の新規登録者数2万人をも超えている。結核菌については紫外線による殺菌が有効である。病院環境においては, 在来の物理的な方法のほか, 紫外線殺菌などの補助的な対策が必要とされている。

参考文献

- 1) ウォーレス: 現代生物学, 東京化学同人出版, 1991
- 2) U. Yanagi, Y. Kawakami, Y. Suyama, T. Otsuka. The Behavior of Mold Spores Suspended in Indoor Air and an Alternative Method for Analyzing Filters Obtained from Sampling by Filtration. J Asian Archit Build Eng Vol.7, No.2, 435-438, 2008
- 3) 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
- 4) 森木省治, 稲垣文子, 熊倉 俊一: 病院環境および医療従事者における包括的細菌サーベイランス, 病院医学教育研究費成果報告書, 2006
- 5) 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
- 6) 柳 宇, 他8名: 病院施設における室内環境の衛生管理に関する研究 第2報—外来待合室内浮遊微生物の挙動と対策, 空気調和・衛生工学会論文集, No.141, 9-17, 2008
- 7) http://www.who.int/csr/sars/country/table2004_04_21/en/ (accessed 2014-08-01)
- 8) 柳 宇, 池田耕一, 吉澤 晋: 中国における SARS 対策, 空気調和・衛生工学会, 2004, Vol.78(5), 51-59, 2005
- 9) 柳宇, 池田耕一: 空調システムにおける微生物汚染の実態と対策に関する研究 第2報—エアフィルタによる浮遊微生物粒子の捕集率とその評価, 日本建築学会環境系論文集, 617, 53-56, 2007
- 10) 柳宇, 山田花菜, 池田耕一. エアフィルタによる細菌と真菌の捕集特性に関する研究 (その1) 捕集率の経時変化. 第24回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会, 60-62, 2006
- 11) 柳宇, 山崎省二, 塩津弥佳, 池田耕一: 病院における浮遊微生物濃度に与える空調設備の影響, 臨床環境医学, Vol.17, No.2, 39-46, 2008
- 12) Yanagi U and Kagi Naoki, Controlling airborne bacterial contamination, IFHE DIGEST 2013, 28-30, 2013
- 13) Guideline for preventing the Transmission of Mycobacterium tuberculosis in Health-Care Setting, 2005