

原 著

病院における浮遊微生物濃度に与える空調設備の影響

柳 宇 山 崎 省 二
塩 津 弥 佳 池 田 耕 一

国立保健医療科学院 建築衛生部

The influence of air-conditioning system on
airborne microbial concentration in
hospital environments

U Yanagi Shoji Yamazaki Mika Shiotsu Koichi Ikeda

Department of Health Building & Housing, National Institute of Public Health

要約

病院は人の集まる場所であり、空気の汚染しやすい場所でもある。近年院内感染の一種である日和見感染症に社会的な注目が集まっており、その環境側の原因となる微生物汚染の対策が求められている。本研究では、病院内浮遊微生物汚染の対策を確立することを目的とし、病院内浮遊微生物濃度に影響を及ぼす要素、すなわち、エアフィルタの捕集性能、換気量などの実態調査を行い、その結果について検討を行った。本研究より得られた主な結果は次の通りである。①病院環境において、浮遊細菌の主な発生源は室内(居住者)、浮遊真菌の主な発生源は屋外にある。②エアフィルタは浮遊微生物粒子の除去に有効であり、その捕集率が高ければ高いほど、より多くの浮遊微生物粒子が除去される。③エアフィルタの捕集性能と換気量を適正に設計され運用されれば室内浮遊微生物濃度が関連基準を満足することが可能である。

(臨床環境17:39~46, 2008)

《キーワード》室内環境、病院、浮遊微生物、制御、空調設備

Abstract

A hospital is a place in which patients gather and indoor air tends to be polluted. Opportunistic infection has recently been the subject of social attention, and the control method of the microbial contamination which is the cause by the side of the environment is required. This study aims at establishing the control method to the airborne microbe contamination in hospitals. The factors which affect the airborne microbe concentration in a hospital, i.e., the collection efficiency of an air

受付:平成20年5月19日 採用:平成20年6月6日

別刷請求宛先:柳 宇

〒351-0197 和光市南2-3-6 国立保健医療科学院 建築衛生部

Received: May 19, 2008 Accepted: June 6, 2008

Reprint Requests to U Yanagi, Department of Health Building & Housing, National Institute of Public Health, 2-3-6 Minami Wako-shi, Saitama 351-0197 Japan

filter, the ventilation rate, etc. were inquired. The main results obtained by this study are as follows. [1] In hospital environments, the major sources of airborne bacteria and airborne fungi are indoor and outdoor respectively. [2] An air filter is effective in removal of airborne microbes. The higher the collection efficiency, the more the removed airborne microbes. [3] These results indicate that it is possible to design indoor air cleanliness of a hospital on microbes by using the proper ventilation rate and collection efficiency in order to maintain the indoor cleanliness to satisfy the related standard.

(Jpn J Clin Ecol 17 : 39~46, 2008)

《Key words》 Hospital, airborne microbes, control, HVAC (heating, ventilating and air-conditioning) equipment.

I. はじめに

病院は不特定多数の人が集まる場所であり、空気の汚れやすい場所でもある。その空気汚染物質の一つとして空気中を浮遊する微生物粒子が挙げられる。海外では、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倍にも上ることや、院内感染の約10%は真菌によるものであることなどが報告されている¹⁾。病院は感染リスクの高い場所といえよう。

院内感染、即ち、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、健常者では病気を起こさない弱毒性の微生物が、免疫力低下した病院内の患者に起こすいわゆる日和見感染症や、病院内患者間での交互感染などが問題となっている。日和見感染菌について、NPO法人バイオメディカル研究会(BMSA)の研究報告では待合室内全浮遊細菌のうち、多いとき全体の5.3%にも達することが明らかになっている²⁾。

病院環境における微生物汚染の実態については、今まで病室、待合室についていくつかの調査結果が報告されている。吉澤ら^{3,4)}、楡井⁵⁾、香阪ら⁶⁾、水トラ⁷⁾、今井ら⁸⁾、柏ら^{9~11)}が病院内の浮遊細菌と浮遊真菌の測定結果を報告している。また、名倉ら¹²⁾が3病院の病室に備えられたファンコイルユニット(FCU)に注目し、夏期にFCU内で増殖した微生物が室内に飛散することを報告している。

一方、海外ではAndrewら¹³⁾が、室内空気の換気によって浮遊微生物を制御するための設計目標

を検討した結果、室内圧力、換気および微生物のろ過が必要であることを明らかにした。Liuら¹⁴⁾は空調を使用することで微生物汚染を引き起こす可能性について調査を行った結果、一例ではあるが空調利用は微生物汚染に影響を及ぼすことがわかり、空調開始後1時間は窓を開放するべきであると主張した。空調システム内の微生物汚染の状況については柳ら¹⁵⁾の実態調査より、空調システム内が微生物増殖の温床となっていることが明らかになっている。

以上の研究より、病院内の病室や待合室内の浮遊細菌と真菌の汚染の現状がある程度把握できた。しかし、今までの測定は病室または待合室内の浮遊微生物濃度そのものが中心になっており、その濃度の低減に及ぼす要因、とりわけ空調・換気設備について詳細に検討したものは少ない。そこで、本研究では、病院内浮遊微生物汚染への対策を確立することを目的とし、まず病院内浮遊微生物汚染の実態を把握するとともに、その汚染濃度に影響を及ぼす要因、即ち、エアフィルタの性能、換気量などについて検討を行った。

II. 研究方法

1. 測定対象室

測定対象室は以下の2点を勘案し、病室、外来待合室、及び集中治療室を選定した。

- 1) 異なる用途(業務内容、空調設備)での差異の把握が可能であること。
- 2) 病院の日常業務に大きな支障をきたさないこと。

各病院の概要、測定対象室、および測定日を表

表1 測定対象の概要

病院名	A	B	C	D	E	F	G
所在地(地方)	北海道	中部	関東	関西	中国	中国	四国
延床面積[m ²]	17,635	26,498	68,588	17,622	47,253	26,264	35,426
一般床数	220	385	650	304	580	330	440
病室床数	4	4	6	4	4	4	1
外来待合室	1F	2F	1F	1F	3F	1F	2F
集中治療室	ICU	-	CCU	-	ICU	ICU	NICU
測定日(2002年)	10/7,8	10/17,18	10/28,29	11/6,7	11/18,19	11/28,29	12/5,6

1に示す。

2. 測定項目と測定装置

測定項目は浮遊微生物濃度、粒径別浮遊粒子濃度、換気量、温度、相対湿度、CO、CO₂であった。

浮遊微生物の測定に BIOSAMP MBS-1000(ミドリ安全、東京)を用いた。本測定器は JIS K 3836「空中浮遊菌測定器の捕集性能試験方法」規格にて99%の捕集率を持ち、1 μm以下の粒子まで捕集が可能とされている¹⁶⁾。

細菌の測定にはソイビーン・カゼイン・ダイジェスト寒天培地(SCD)、真菌の測定にはクロラムフェニコールを添加したポテトデキストロース寒天培地(PDA)を用いた。培地の培養条件は32℃、2日間(SCD)と25℃、3日間以上(PDA)であった。

3. 測定方法

1) 浮遊微生物

病室、外来待合室、集中治療室のそれぞれにおいて、室内床上1.1mの2箇所(但し、B、D病院の待合室は広いため3箇所)、空調給気1箇所計3箇所(B、D病院4箇所)で、1日目の午後と夕方、2日目の午前の3回で BIOSAMP MBS-1000を用いて空気200L(集中治療室の空調給気濃度が低いものと予想されたため吸引量を500Lとした)中の微生物をSCDとPDA培地に捕集した。SCD、PDA培地培養後の細菌と真菌のコロニー数(200L当たり)を5倍(集中治療室の吸引量は500Lであるため2倍)にし、それぞれの浮遊細菌と浮遊真菌の濃度(cfu/m³)を求

めた。

2) 換気量

各対象室において浮遊微生物を3回測定した後、1302型マルチガスモニターを用いて換気量の測定をトレーサーガス(SF₆)の減衰法で行った。

3) 温度・湿度・CO・CO₂

対象室の空気環境条件を把握するために、上記ひとつの培地による浮遊微生物の測定期間中に温度・湿度・CO濃度・CO₂濃度についてビルセツトマスター(日本カノマックス株、大阪)を用いた測定を行った。

4) 聞き取り調査

各病院の空調設備の概要を把握するために、測定当日に関連項目を記載してある質問票をその病院の空調設備管理担当者に渡し、後日回収した。表2に回答が得られたA、C、F、G病院の空調方式、エアフィルタの捕集率及び空調運転時間を示す。全ての対象室においては還気を取らず、全外気運転方式を取っていた。測定は2002年10月7日~12月6日の間に、日本の北部→南部(病院A→G)の順に行った。BとD病院は空調熱源を暖房に切り替えたため、測定期間中病室と外来待合

表2 空調設備の概要

対象室	病院	空調方式 ¹⁾	エアフィルタ捕集率	
			プレフィルタ	主フィルタ
病室	A	なし	なし	なし
	C	AHU+ダクト	85% ²⁾	90% ³⁾
	F	AHU+FCU	70% ²⁾	65% ³⁾
	G	AHU+ダクト	80% ²⁾	60% ³⁾
外来待合室	A	なし	なし	なし
	C	AHU+ダクト	85% ²⁾	90% ³⁾
	F	AHU+FCU	50% ²⁾	65% ³⁾
	G	AHU+ダクト	80% ²⁾	60% ³⁾
集中治療室	A	なし	なし	なし
	C	AHU+ダクト	85% ²⁾	90% ²⁾
	F	PAC+ダクト	50% ²⁾ +60% ³⁾	99.97% ⁴⁾
	G	AHU+ダクト+PAC	80% ²⁾	90% ³⁾

1) AHU: エアハンドリングユニット、FCU: ファンコイルユニット、PAC: パッケージ型空調機。2) 重量法。

3) 比色法。4) 計数法。

室の空調運転を行えなかった。また、E病院からは回答を得られなかった。

Ⅲ. 結果

1. 換気回数・温度・湿度・CO・CO₂

1) 換気回数

病室では、G病院は0.97回/h、他は1.67～2.02回/hであった。外来待合室では、AとC病院は玄関ドアの開閉が頻繁であったため測定ができなかった。B病院の換気回数は12.51回/hと最も高い値を示したが、他は2～6回/hの範囲にあった。集中治療室では、C病院は8.54回/hの値を示しているのに対して、他の病院は0.72～2.49回/hの範囲にあった。

2) 温度・相対湿度

E病院病室の3回目測定結果(33.2℃)を除けば、他の全ての対象室における3回の測定値の間に大きな開きがなく、病室は24～26℃、外来待合室は20～27℃、集中治療室は23～27℃の範囲にあった。一方、相対湿度については、全体的に30～60%の範囲にあった。

3) CO・CO₂

CO濃度は0～6ppmの範囲にあった。CO₂濃度については、病室(1400～1800ppm)を除けば、総じて1000ppm以下であった。

2. 浮遊微生物

1) 浮遊細菌

図1に浮遊細菌の測定結果を示す。測定時間帯によって測定値が異なっている。これは在室者数や使用状況の影響を受けるものと考えられる。病室内の浮遊細菌濃度の3回測定の平均値は120～350cfu/m³の範囲にあった。外来待合室内の浮遊細菌濃度については、A病院は360～590cfu/m³と比較的高い値を示したが、B～G病院は50～340cfu/m³であった。集中治療室については、A病院は210～520cfu/m³であるのに対して、他の病院は全て200cfu/m³を下回った。

2) 浮遊真菌

図2に浮遊真菌の測定結果を示す。前述の細菌の結果と同じように、病室については、空調されていないA病院室内浮遊真菌濃度(270～880

cfu/m³)が他の病院に比べ高い値を示した。また、B～G病院についてみると、BとD病院の病室は自然換気(空調の運転が行われず、窓開けによる換気)であったため、比較的高い値を示した。外来待合室については、A病院の室内浮遊真菌濃度(340～850cfu/m³)は他の病院(30～390cfu/m³)に比べ高い値を示した。集中治療室については、A病院は空調されていないため室内における3回の測定結果がどれも高い値(270～1200cfu/m³)を示したが、他の全ての病院は5cfu/m³以下であった。

3) 室内・給気・外気濃度の関係

図3と図4のそれぞれに外気中、給気中、室内の浮遊細菌と浮遊真菌濃度の比較を示す。浮遊細菌については、○表示が図の対角線の右下よりプロットされていることより、外気中濃度に比べ、ほとんどの場合、給気中濃度が低いことがわかる。これは外気中の浮遊細菌の一部がエアフィルタにより除去されたためと考えられる。一方、給気中濃度を示す○に比べて、同じ外気中濃度の位置の●が高濃度(縦軸)にプロットされているので、給気濃度に比べ、室内浮遊細菌濃度が高くなっている。

浮遊真菌については、外気濃度の高低に関わらず、給気中の濃度が著しく低くなっている。このことは集中治療室の測定結果がより顕著であった。また、室内浮遊真菌濃度と給気中の浮遊真菌濃度は同程度の値を示している。

Ⅳ. 考察

1. 室内浮遊微生物の主な汚染源とその濃度

室内浮遊総菌数は給気中のそれより高く、室内浮遊真菌数は給気中のそれと同程度であることから、浮遊細菌の主な発生源は室内(居住者)に、浮遊真菌の主な発生源は屋外にあることが推察される(図3、図4)。

室内浮遊細菌の濃度については、空調設備が備えられていないA病院の集中治療室を除いた全ての病室、外来待合室内の浮遊細菌濃度(3回測定の平均値)は日本医療福祉設備協会のHEAS-02-1998規格^{23),17)}の目標値200～500cfu/m³と日本建

築学会の AIJES-A002-2005基準¹⁸⁾の維持管理規準値500cfu/m³以下、集中治療室内の浮遊細菌濃度は HEAS-02-1998規格の参考指標値と AIJES-A002-2005の維持管理規準値200cfu/m³以下であった。一方、浮遊真菌数については、外気濃度の如何に拘わらず、A病院の病室、外来待合、集中治療室のいずれも高い値を示した。(図1、図2)

以上の結果より、本研究の調査対象の病院においては、空調設備が備えられ運転されていれば、室内浮遊細菌と浮遊真菌の濃度は関連基準を満足できることがわかった。しかし、図1に示しているように、時間帯によっては、室内浮遊細菌濃度が高くなることがある。外来待合室のように時間帯によって人の出入りが激しいときの浮遊微生物粒子の挙動について検討が必要であり、筆者らが別途で行っている^{19~21)}。

2. エアフィルタ捕集性能と微生物濃度

給気中浮遊細菌数及び浮遊真菌数は殆ど全てが外気中のそれに比べて低くなっていることから、エアフィルタの有効性が確認された。エアフィルタによる浮遊細菌と浮遊真菌の捕集性能について柳らの実証実験により定量されている^{22, 23)}。また、集中治療室の給気中の浮遊細菌濃度と浮遊真菌濃度が病室・外来待合室のそれより低くなっていることは、エアフィルタ捕集性能の差によるものと考えられる。

病院内空気清浄度の設計は、気流計画のほか、主として換気回数とエアフィルタの捕集率の両面より行われている。対象室における測定した換気回数の結果および上記のことを総合して考えると、換気回数または送風量とエアフィルタの捕集率が HEAS-02-1998 規格に定められている規準を満足すれば、室内浮遊微生物濃度の平均値は同規格の指標値または参考指標を満たせることが分かった。これは、今後病院の室内空気環境の設計において重要な参考資料となる。

3. 病院内浮遊微生物汚染の対策方法

空中浮遊微生物濃度は、空中への発生量とそれを希釈・除去するための換気量・捕集量とのバランスによって決まる²⁴⁾。この視点からみれば、前述した HEAS 規格は、用途別に空気清浄度を設

定し、それを達成するための設計風量、フィルタの捕集率を示していることがわかりやすい。また、本研究結果もエアフィルタの有効性を示している。

一方、病院は増築、改築が行われるケースが少なくない。自然換気の病室内の浮遊真菌濃度が外気の影響を受けて高くなることが本研究より明らかになっている。増築・改築場合の土壌菌や、壊された建物内の *Aspergillus* spp. などの真菌が室内へ侵入することによる患者の健康に影響を及ぼすことは既に指摘されており²⁵⁾、この場合の室内環境の管理が重要となる。

V. まとめ

本研究では、全国7つの病院における微生物の測定結果について検討した。以下に本研究より得られた主な結果と考案をまとめて示す。

1. 空調設備が備えられていないA病院の対象室内の浮遊細菌濃度、とくに浮遊真菌濃度は他の病院より顕著に高かった。
2. 本調査の結果をみる限り、換気回数とエアフィルタの捕集率が HEAS-02-1998規格に定められている規準を満足すれば、室内浮遊細菌濃度の平均値は同規格の指標値または参考指標を満たすことが可能である。
3. 病院環境において、浮遊細菌の主な発生源は室内に、浮遊真菌の主な発生源は屋外にある。
4. エアフィルタは浮遊微生物粒子の除去に有効であり、その捕集率が高ければ高いほど、より多くの浮遊微生物粒子が除去されることが確認された。
5. 病室と外来待合室内の浮遊微生物濃度は同程度であり、集中治療室は、比較的低い値を示した。

注釈

日本医療福祉設備協会規格「病院空調設備の設計・管理指針」が2004年に改定され HEAS-02-2004となった。HEAS-02-2004には、浮遊微生物の目標値または参考指標が削除されている。これは、根拠に基づく医療との考えのもとでとられた処置と考えられている。

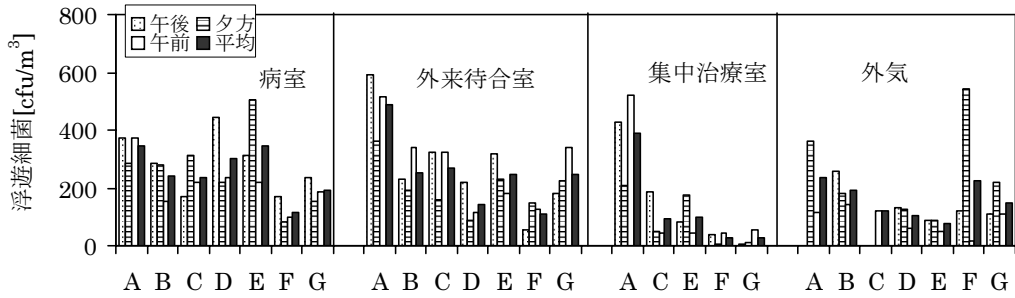


図1 各病院の室内浮遊細菌濃度

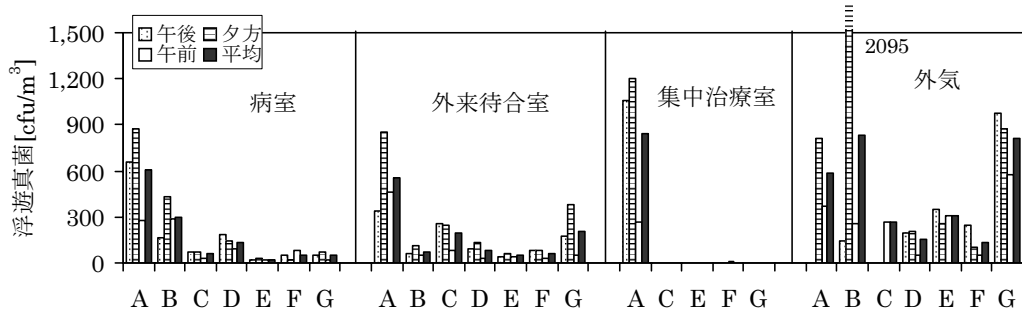


図2 各病院の室内浮遊真菌濃度

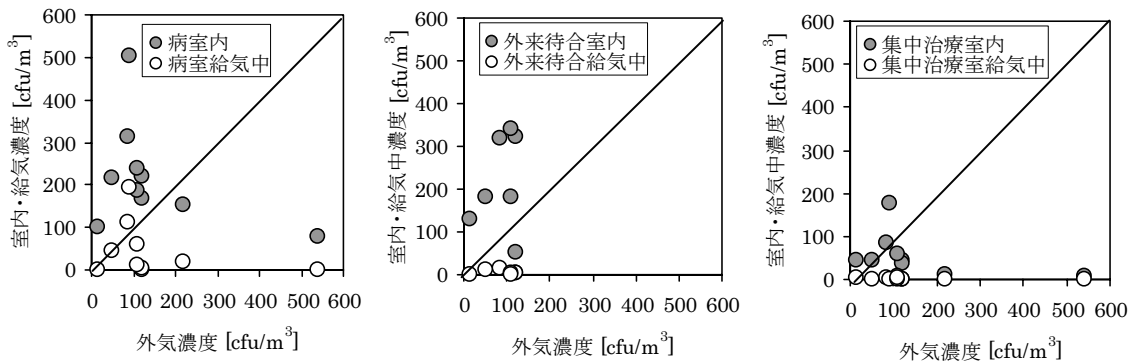


図3 外気中・給気中・室内の浮遊細菌濃度の比較 (C、E、F、G病院)

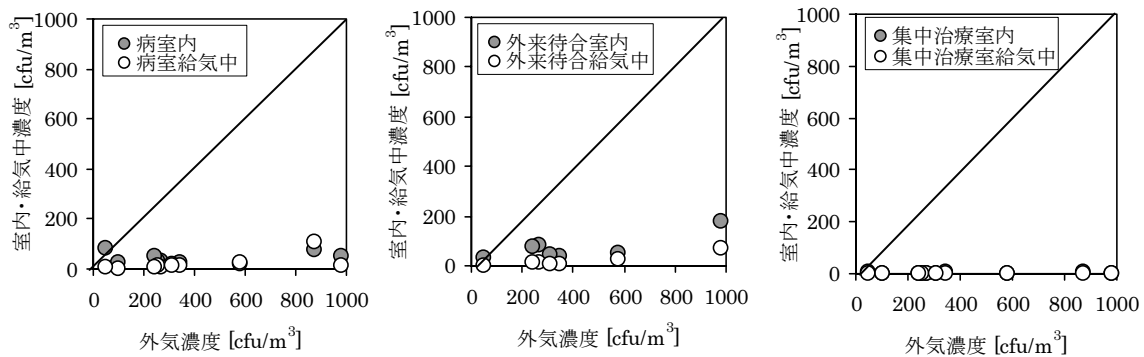


図4 外気中・給気中・室内の浮遊真菌濃度の比較 (C、E、F、G病院)

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(主任研究者:小畑美知夫)、2006
- 2) 平成13・14年度BMSA(NPO法人バイオメディカルサイエンス研究会)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) 吉澤 晋、山崎省二、他:病院の空気浄化設計に関する研究 一測定例を中心として. 空気調和・衛生工学 47: 505-518、1973
- 4) Yoshizawa Susumu, Shoji Yamazaki, et al: Researches on Air Cleaning Design for Hospitals (Centering on One Measurement). TRANSACTIONS SHASE JAPAN 12: 49-66, 1974
- 5) 楡井武一:総合病院における病棟の空気環境の測定. 空気調和・衛生工学会学術論文集、689-692、1985
- 6) 香阪雄太郎、吉澤晋、他:小児病室の空気環境(第2報). 日本建築学会大会学術講演梗概集、323-324、1985
- 7) 水ト慶子、田中辰明:病院建築における真菌とその制御に関する研究. 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、1265-1268、2001
- 8) 今井綾乃、田中辰明:医療施設における真菌の動態調査. 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、1365-1368、2002
- 9) 柏貴浩、田中辰明、他:空気調和環境下における病院の真菌動態調査に関する研究. 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、1261-1264、2001
- 10) 柏貴浩、田中辰明、他:空気調和環境下における病院の真菌動態調査に関する研究 その2、築5年の総合病院調査及び新築病院との比較. 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、1373-1376、2002
- 11) 柏貴浩、田中辰明、他:空気調和環境下における病院の真菌動態調査に関する研究 その3、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、1921-1924、2003
- 12) 名倉宏明、奥宮正哉、他:病院環境と空調システムに関する研究 その1、病室空気環境の季節変化に関する検討. 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、1983-1986、2004
- 13) Andrew J Streifel, John W Marshall, et al: Parameters for Ventilation Controlled Environments in Hospitals, Design, Construction, and Operation of Healthy Buildings Solutions to Global and Regional Concerns. ASHRAE, 305-309, 1998
- 14) YY Liu, XX Wei, G Cheng, M Jiang: Investigation and analysis of airborne microbial contamination in air conditioned hospital wards. Indoor Air: 1487-1490, 2005
- 15) 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1報、微生物の生育環境と汚染実態. 日本建築学会計画系論文集 593: 49-56、2005
- 16) 仲田幸博、杉田直紀、他:携帯型空中浮遊菌サンプラー開発. 第17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予稿集、113-116、1999
- 17) 日本病院設備協会:日本病院設備協会規格一病院空調設備の設計・管理指針(HEAS-02-1998)
- 18) 日本建築学会環境基準 AIJES-A002-2005:微生物により室内空気汚染に関する設計・維持管理規準・同解説
- 19) 柳宇、池田耕一、他:病院待合室における浮遊微生物汚染の実態調査. 第16回日本臨床環境医学会総会抄録集、41、2007
- 20) 柳宇、池田耕一、他:9病院の待合室における微生物汚染の実態調査. 空気調和・衛生工学会大会論文集、1371-1374、2007
- 21) 柳宇:病院環境における微生物汚染の対策. 空気清浄 45: 32-32、2007
- 22) Yanagi U, Yamada K, et al: A Study on the Filtration Efficiency of an Air Filter

- over Airborne Bacteria and Fungi vs Elapsed Time. Proceeding of Healthy buildings 4: 479-482, 2006
- 23) 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
- 24) 柳宇：病院環境と微生物. 臨床環境15：91-100、2006
- 25) Centers for Disease Control and Prevention (CDC): Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities, 2003