

有限要素法を用いた中小病院の 「Clean Hospital化」に関する実測および解析

佐野 武仁・山田 花菜・山崎 省二・池田 耕一

Measurement and Analysis of Infectious Contamination in a Small-to-Medium-Sized Hospital with Infinite Element Method

Takehito SANO, Kana YAMADA, Shouji YAMAZAKI and Kouichi IKEDA

In recent years, the increase of nosocomial infections caused by droplet infection, airborne infection or contact infection has been a social problem, and preventive countermeasures are being discussed. For SARS (Severe Acute Respiratory Syndrome) for example, it has been argued that the delay of action to prevent it has caused a global problem.

For the purpose of seeking data concerning hospital sanitization, from the perspective of preventive medicine, this paper examined the real condition of a certain small-to-medium sized hospital for a year.

Measurements focused on microbes (staphylococci and fungi), the most serious sources of infections in hospitals, including common bacteria (total count), staphylococcus aureus, and multidrug-resistant staphylococcus aureus.

We measured air cleanliness and airborne microbes at principal spots in the hospital 12 times during the year; after culturing, colony count was done to each microbe. Also, we measured the surface-adherent microbes taken from walls or fixtures (work tables, handrails, bed sheets, etc.) 6 times during the year. Multivariate analysis was done on the data.

The results show the changes in the number of microbes depending on temperature and humidity throughout a 12-month period. Compared effects of different cleaning methods are also shown.

Key words: nosocomial infection (院内感染), droplet infection (飛沫感染), airborne infection (空気感染), contact infection (接触感染), hospital sanitization (クリーンホスピタル化), small-to-medium sized hospital (中小病院), fungi (真菌), bacteria (細菌), multivariate analysis (多変量解析)

1. はじめに

本研究は、これまで医学界では論じられてこなかった有限要素法を用いた中小病院の「Clean Hospital化」に関する解析について提案するものである。

近年、社会問題である院内感染が増加しているが、院内感染の防止・対策について討議がなされている。また、中国で流行した SARS (重症急性呼吸器症候群)

に対して、感染問題の対策が不十分であると論議されている。なぜならこの対策の遅れが感染を広範囲に広め、世界的な問題へと進展したからである。

本研究では、感染を起こさない院内環境や衛生管理、および感染拡大阻止対策に伴い、予防医学の視点における病院の現状調査を1年間を通じ実測し、中小病院の「Clean Hospital化」について実態調査および解析を行うことを目的とする。

測定では、病院内の汚染源として最も重要視されている菌（ブドウ球菌類、真菌）に着目し、一般細菌（総菌）、真菌、黄色ブドウ球菌、多剤耐性黄色ブドウ球菌を対象とする。

病院の主要箇所の空中浮遊菌を測定し、培養後、菌数（コロニー数）を計測する。また、院内環境の空気清浄度のみではなく、壁を中心に直接接触する院内設備（作業台、手すり、ベッドのシーツなど）に付着する菌（表面付着菌）についても測定する。

年間を通じ、空中浮遊菌は12回、表面付着菌は6回測定し、温度、湿度の変化による菌の動態調査をする。また、清掃による清浄効果についても測定し、「Clean Hospital化」に関して検討する。

2. 大気中の微生物と院内感染経路と予防策

2.1 大気中の微生物

大気中には無数の微生物が浮遊している。それらの多くは環境由来であり、人の健康に対して無害であるが、一部の微生物については、これを人が吸入することで感染性疾患やアレルギー疾患を起こすことがある。

SARS ウィルスの出現や院内感染事故の頻発などを受けて、屋内環境（院内環境）における大気中微生物の存在に改めて社会的関心が寄せられるようになった。しかし、目に見えない微生物に対する恐怖心から、病原性の有無にかかわらず、微生物の存在自体に過敏になり過ぎる傾向がみられるなど、関心の高まりがそのまま感染性微生物への適切な対応に結びついていないのが現状と思われる。

図1に示したが、屋内大気にみられる微生物には、大まかに分けてウィルス、細菌および真菌がある。もちろんこれらのほとんどは自然環境由来であり、人に健康被害を及ぼすものは少ない。微生物が屋内に侵入するルートには、感染（保菌）した人によるものと、屋外から人や器物に付着するか、気流とともに単純に持ち込まれるものとに分けられる。

感染者が微生物を持ち込んだ場合はその人が汚染源ということになるが、屋内環境のような狭い閉鎖空間の大気は、このような汚染源の存在によって、短時間で感染性微生物に濃厚に汚染される恐れがあ

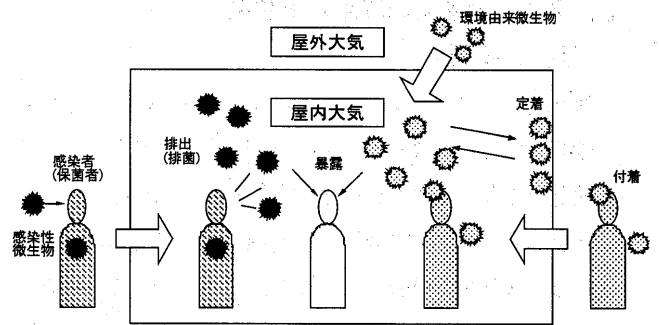


図1 微生物の屋内への侵入と定着

る。また、人以外にもペット動物などがこの役を果たすこともある。

屋内環境（院内環境）の大気中に存在する微生物の制御法を考えると、まずは、汚染源がどこにあるかを把握する必要がある。制御対象の微生物の発生源が同じ屋内環境にあるとき、その発生源を確認し、消毒を行なうと同時に、微生物が増殖した理由を明らかにして、増殖に適さない環境をつくる必要がある。

すでに発生してしまった大気中の微生物への対処法として、最も簡便なのは、汚染大気をフィルタろ過し、微生物を除去する方法である。しかし、微生物は大気中から除去されただけで、微生物そのものを殺菌、または不活性化したわけではない。家庭用のエア・フィルタなどでは、捕集した真菌がフィルタ上で繁殖し、新たな汚染源となるケースも多く、フィルタ自体に抗菌性をもたせるなど、2次感染の防止にも関心が向けられている。

感染性の強い微生物によって大気が濃厚に汚染されているときや、フィルタろ過のみでは高い効果を得られないような条件下では、さらに微生物そのものの感染力を減退させるために消毒が必要である。大気中微生物に対する消毒法としては、消毒剤の噴霧やくん蒸などが有効であり、微生物が器物や人の体表に付着したときは、消毒剤での清拭や煮沸消毒などを行なう。消毒剤は対象となる微生物によって選択すべき薬剤が異なり、使用濃度や使用方法も異なるので、使用にあたっては十分な注意が必要である。

2. 2 院内感染の経路と予防策

1) 飛沫感染

飛沫感染とは、咳やくしゃみなど気道から発生する微細な水分を含んだ飛沫中に病原体が存在し、この飛沫が別の固体の感受性部位（多くは気道や肺、一部眼などの粘膜）に付着して感染が起こるものである。飛沫感染の特徴は、飛沫が飛散しうる範囲すなわち発生源から1～1.5m程度までしか直接の感染リスクがないこと、感染源となる飛沫のサイズが大きいため、重ねたガーゼなど粗い目をもったマスクなどでもトラップされ、病原体の侵入を阻止できることである。

飛沫感染予防は、飛沫が1m程度飛ぶことから、これ以上の距離を置くことを示しており、患者は個室入室が望ましいこと（必須ではない）、医療従事者が患者に接触（1m以内）する際のマスク着用が推奨されている。

2) 空気感染（飛沫核感染）

空気感染の病原体も基本的には飛沫として放出されるが、飛沫感染と異なる点は飛沫を形成する水分が蒸発した状態でも長く感染性を失わないという点である。水分を含まない飛沫の中心となる埃や病原体のみの粒子（飛沫核と呼ばれる）の状態でも感染性が保たれている。この結果、病原体やそれを含む粒子は長く空中を漂い、より広くより遠い範囲まで感染源との接触が希薄なまま感染が成立するようになる。空気感染を制御するためには、気流の調整が非常に重要となり、厳密には気圧差によって常に気流がコントロールできる負圧病室構造でなければ空気感染は制御できない。また、細かい感染性粒子をトラップするためには、ガーゼのような粗い目での捕捉は困難で、超高性能フィルタ（HEPAフィルタ）のような微粒子をもトラップできる機能が必要とされている。現在、空気感染を^{はしか}すると考えられているのは、結核、麻疹、水痘およびバイオテロとしての天然痘、炭疽症の5つの病原体である。

空気感染予防は、長時間空気を漂う飛沫核を制御するために気流をコントロールすることと、病原体が感受性部位である気道との接触を阻止するためのHEPAマスク使用を規定している。患者はドアを

閉めた個室に収容しその部屋を負圧にすることで気流をコントロールし、飛沫核を封じ込めるものである。また、通常の医療マスクでは、病原体を完全に捕捉できないのでHEPAマスクの使用が規定されている。

3) 接触感染

接触感染は、病原体が存在する部位に感受性部位が直接接触する、あるいは何らかの介在手段によって病原体が感受性部位に触れることによって感染することをいう。媒介手段として最も重要視されているのが医療従事者や患者本人、付添人などの手である。また、不適切に取り扱われた医療器具や、病変部や手がよく触れる病院環境表面の役割も大きい。接触感染は病原体が飛ぶわけでも気流に乗って遠くに運ばれるわけでもないため、大きな問題ではないように感じられるが、最も制御が困難な感染経路である。病院感染として問題になっているMRSAやバンコマイシン耐性腸球菌、またSARSやインフルエンザも飛沫が付着した手や環境表面を介して接触感染を起こすことが知られている。

接触感染予防は、患者は個室入室が望ましいこと（必須ではない）、患者がいる病室への入室時には手袋着用、患者と接触が予想される場合のガウン着用、診療器具の専用化などが推奨されている。

3. 院内感染防止に関する解析

3. 1 解析目的

各菌種において、年間の空中浮遊菌測定データを基に、下記①、②の相関性について、重回帰分析を用い、空中浮遊菌の空中移動の可否について判定した。

- ① 菌種別の室相互間の測定データと温湿度の関係を検討する
- ② 菌種別の室相互間に与える影響を検討する

本論文では空中浮遊菌、表面付着菌について研究しているが、ここでは空中浮遊菌数と温湿度の関係、各菌種の室相互間に与える影響について検討するもので、空中浮遊菌のみを対象とする。

この手法を用いた研究は過去に例はなく、新しい

試みである。

3. 2 解析方法 (重回帰分析)

ある変数 y (目的変数: ここでは各菌種数のこと) と、それに影響すると考えられる変数 x_1, \dots, x_p (説明変数: 温度・湿度・各室の菌数などのこと) の間の関係式を求め、それに基づいて x_1, \dots, x_p の値から y の値を予測したり、その際の各 x の寄与の大きさを評価したりする分析を回帰分析と呼ぶ。説明変数が 1 つのときを単回帰分析、2 つ以上のときを重回帰分析という。

目的変数 y と説明変数 x_1, \dots, x_p に関して、 n 個の観測値が得られているとき (表 1), 目的変数 y の値を説明変数 x_1, \dots, x_p から予測するため、ある関数 f を用いて、 y と x_1, \dots, x_p との間に次式の間係を想定する。

$$y_i = f(x_{1i}, \dots, x_{pi}) + \varepsilon_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots (1)$$

$\left[\begin{array}{l} \varepsilon_i: \text{説明変数の値 } x_{1i}, \dots, x_{pi} \text{ によって説明で} \\ \text{きない誤差項} \end{array} \right]$

関数 f の形は、例えば y と x_1, \dots, x_p との間関係が、微分方程式によって表される化学反応のときのように既知であることもあるが、一般には未知である。

重回帰分析では $f(x_{1i}, \dots, x_{pi})$ として、 x_{1i}, \dots, x_{pi} の線形式 (1 次式) を考え、次のような線形重回帰モデルが成り立つものと仮定する。

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \dots + \beta_p x_{pi} + \varepsilon_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots (2)$$

$\left[\begin{array}{l} \beta_1, \dots, \beta_p: (\text{偏}) \text{ 回帰係数} \\ \beta_0: \text{定数項} \end{array} \right]$

モデル式 (2) に含まれる未知の定数項、回帰係数に対する推定値 $\beta^*_0, \beta^*_1, \dots, \beta^*_p$ が得られると、説明変数 x_1, \dots, x_p の任意の値に対して、それに対する目的変数の予測値 y^* を計算することができる。

$$y^* = \beta^*_0 + \beta^*_1 x_1 + \dots + \beta^*_p x_p \quad \dots (3)$$

表 1 重回帰分析のデータ (n 個体の p 変数観測値)

変数 個体	y	x_1	\dots	x_p
1	y_1	x_{11}	\dots	x_{p1}
.
.
.
n	y_n	x_{1n}	\dots	x_{pn}

推定値 $\beta^*_0, \beta^*_1, \dots, \beta^*_p$ が求められると、観測された n 組の $\{(x_{1i}, \dots, x_{pi}), i = 1, \dots, n\}$ に対して、重回帰式 (3) に基づく予測値 $\{y^*_i, i = 1, \dots, n\}$ を計算することができる。このとき、目的変数 y の偏差平方和に関して、

- S_T : 総平方和
- S_R : 回帰による平方和
- S_e : 回帰からの残差平方和

とすると、次式の分解が成り立つ。

$$\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{S_T} = \frac{\sum_{i=1}^n (y^*_i - \bar{y})^2}{S_R} + \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y^*_i)^2}{S_e} \quad \dots (4)$$

$\left[\begin{array}{l} \text{左辺: もとの観測値 } \{y_i\} \text{ の平方和} \\ \text{右辺: 第 1 項は、そのうち回帰式で説明される部分の大きさ} \\ \text{第 2 項は、回帰式で説明されない部分の大きさ} \end{array} \right]$

総平方和 S_T の中で、回帰式で説明される部分 S_R の割合を寄与率 R^2 と呼ばれる。

$$R^2 = \frac{S_R}{S_T} = 1 - \frac{S_e}{S_T} \quad \dots (5)$$

R^2 が大きければ回帰モデルがよく当てはまり、小さければ当てはまっていないと判断される。 R^2

の正の平方根 R は観測値 $\{y_i\}$ と予測値 $\{y_i^*\}$ との間の相関係数に等しく、重相関係数と呼ばれる。

式 (4) の平方和の分解は、 x_1, \dots, x_p が y の予測に役立っていてもいなくても、常に成り立つ。 x_1, \dots, x_p が全体として、 y の予測に役立つといえるかどうかは、次の分散分析によって検定することができる。

表 2 分散分析表

変動要因(SV)	平方和(SS)	自由度(DF)	不偏分散(V)	分散比(F_0)
回帰による R	S_R	p	$V_R = S_R/p$	$F_0 = V_R/V_e$
回帰からの e	S_e	$n-p-1$	$V_e = S_e/(n-p-1)$	
全体	S_T	$n-1$		

(注) $F_0 \geq F_p, n-p-1$ ならば、有意水準 α で回帰は有意。

(x_1, \dots, x_p) は、 y の予測に役立っていると判断する。

※) おおむね寄与率 R^2 が 0.8 以上であれば、回帰モデルに当てはまり相関性があるとする。

4. 実測建物、実測装置

4. 1 実測建物 1～3 階平面図

ここで表題を「中小病院の「Clean Hospital 化」>としたのは、大病院では院内感染防止の対策が立てられている病院が多いこと、院内感染は中小病院で起る場合が大病院と比較してはるかに多いこと、また、中小病院のクリーン度について調査した例がほとんどないので研究対象として取り上げるべきであると考えた。

今回実測をした病院は、日本における大都市に在する 3 階建て内科外科病院で、図 2 a)～c) にその平面図を、表 3 に実測対象室名①～⑧と測定方法について、表 4 に実測日を示す。実測に当たって空中浮遊菌は 12 回、表面付着菌は 6 回実施した。

4. 2 測定装置

空中浮遊菌測定に用いられる空中浮遊菌サンプラーは定置型と携帯型の 2 種類に大別される。本研

究では携帯型空中浮遊菌サンプラー(図 3 a) b) を使用した。

携帯型空中浮遊菌サンプラーに求められる条件は、

- ① 捕集効率が定置型と同等以上であること
- ② 吸引流量が定置型と同等以上であること
- ③ 一定の時間をバッテリーで駆動できること
- ④ 軽量、小型であること

の 4 点があり、これらの条件は満たされている。

本研究に使用した携帯型空中浮遊菌サンプラー(以降、携帯型バイオサンプラーと略す)は、空中浮遊菌捕集部、送風部、制御部、操作部、表示部およびバッテリー部により構成されている。

捕集原理は、捕集部に設けられた約 300 個のピンホールを通し、浮遊菌を寒天培地に衝突させることによって捕集する。

携帯型バイオサンプラーは送風機が一体型のため、サンプラーの排気は試験チャンバー内に排出される。このとき、HEPA フィルタを通すので外気に影響はない。捕集効率が高いと粒子濃度の均一性が失われてしまい、この影響除去のため、拡大ダクト部は開き角度を従来のチャンバーと比べ小さくし、試験体設置部は幅を狭くし、気流方向に長くすることで内部の旋回流をなくし、速やかに下流側へ流す形状とした。これにより、濃度の均一性を確保した。

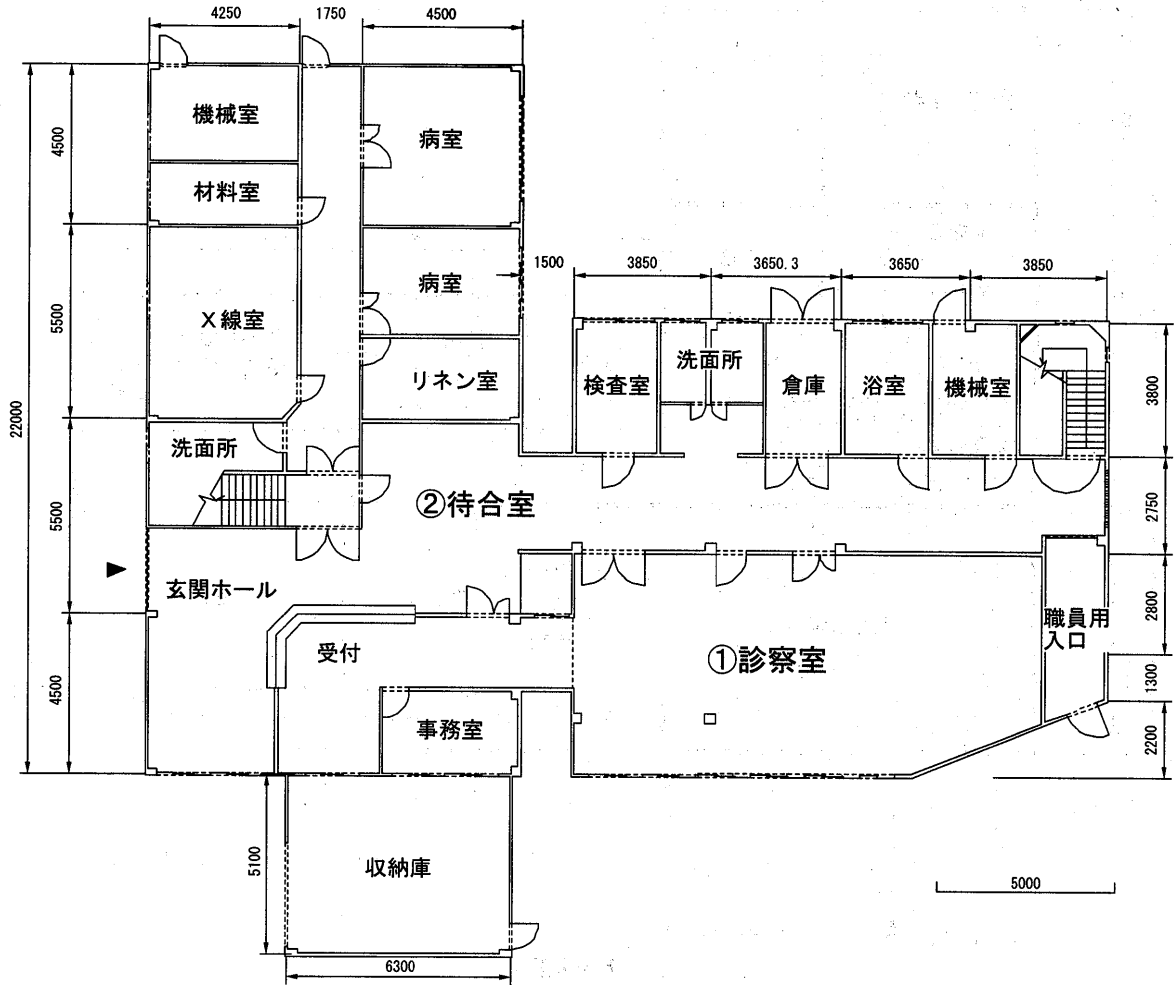
4. 3 寒天培地と測定方法

4. 3. 1 空中浮遊菌の測定方法

空気中の微生物の主なものとして、細菌・真菌・ウィルスなどがあるが、このうち、ウィルスはサイズが小さく培養が難しいことから、携帯型バイオサンプラーを使用し、細菌と真菌のコロニー数を計測する。

空中浮遊菌の測定結果は、空気中の菌の濃度を知ることができ、病院内の各室の測定値を相互に比較することができるなど大きな利点をもつため、本研究では、菌を増殖させる固体培地表面にサンプル空気を衝突させる方法を用いる。

測定場所は診察室、待合室、手術室、廊下、病室 I、病室 II、一般室の計 7 箇所である。病室 II は、

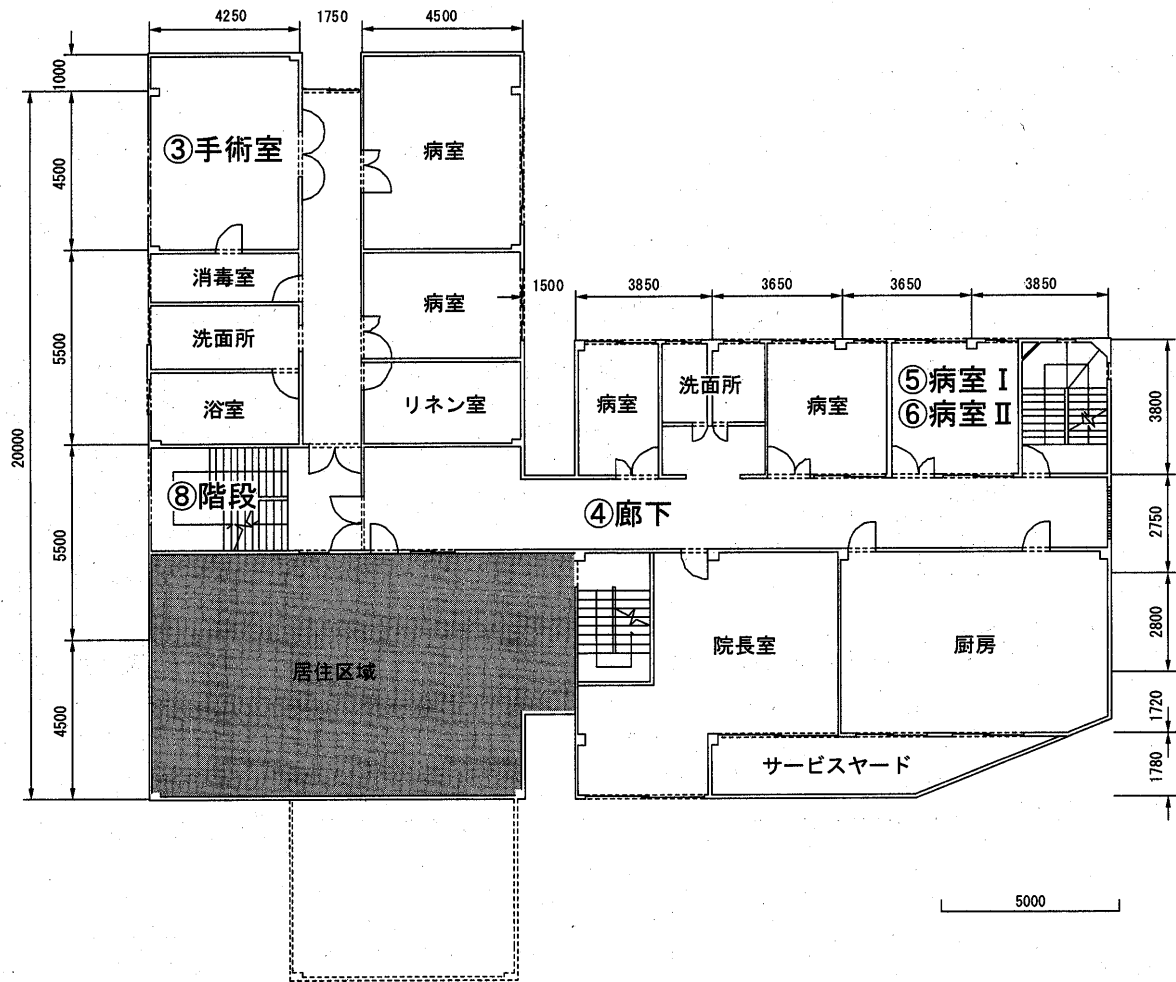


a) 1階平面図

図2 実測建物1～3階平面図

表3 実測対象室名と測定方法

実測点	名称	階数	空中浮遊菌 (有無)	表面付着菌 (菌採取場所)
①	診察室	1 F	○	壁+診察台
②	待合室	1 F	○	壁+カウンター
③	手術室	2 F	○	壁+手術台
④	廊下	2 F	○	壁+手すり
⑤	病室I	2 F	○	壁+ベッド
⑥	病室II	2 F	○	壁+ベッド
⑦	一般室	3 F	○	壁+ベッド
⑧	階段	2 F	×	壁+手すり

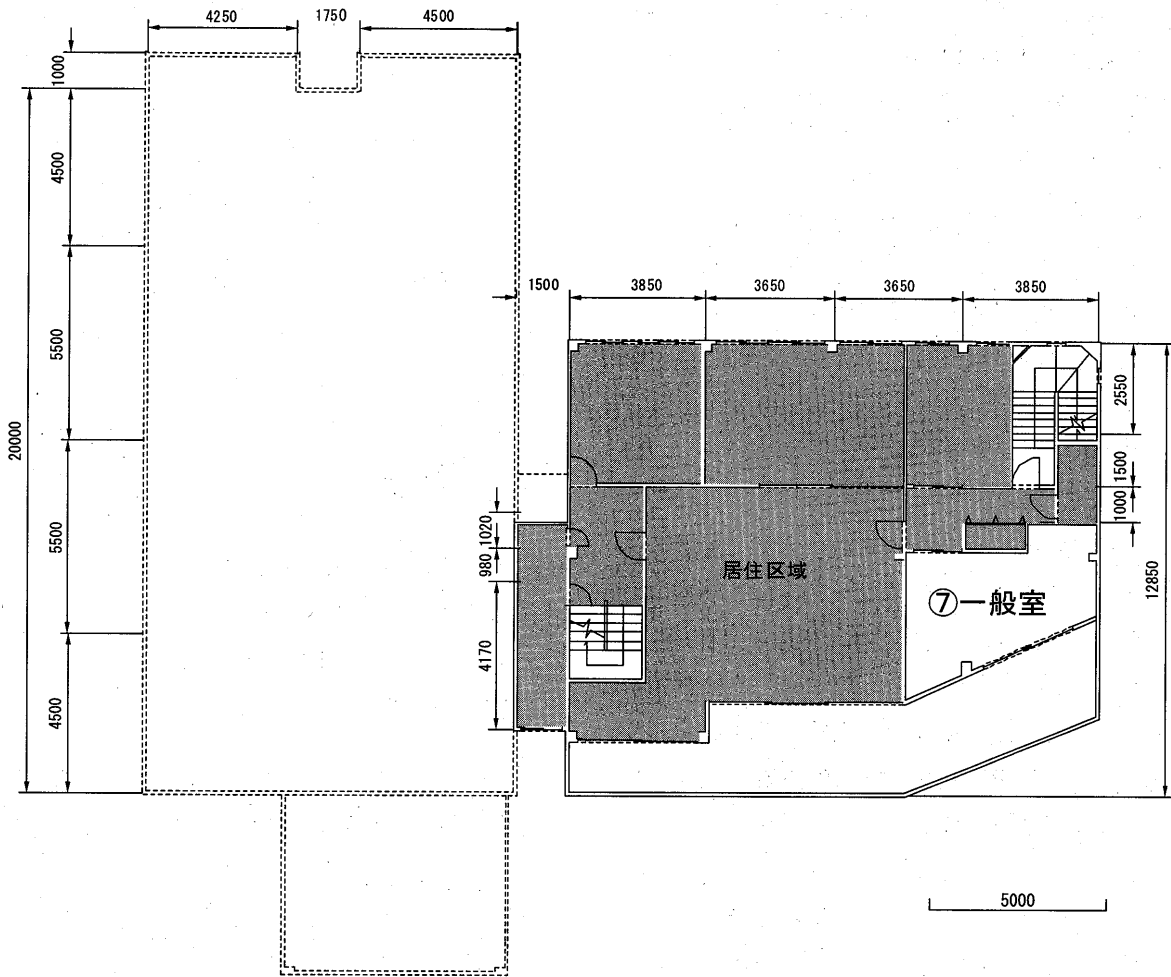


b) 2階平面図

図2 実測建物1～3階平面図

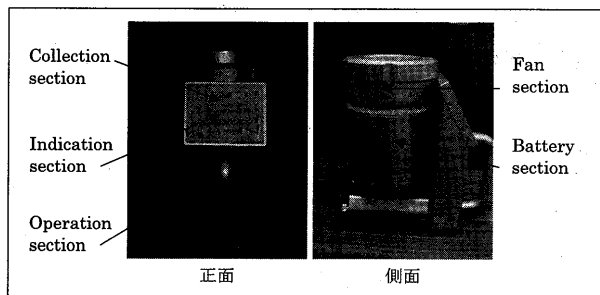
表4 実測日の設定

実測回数	空中浮遊菌	表面付着菌
第1回	2003. 7. 28	
第2回	2003. 8. 25	-
第3回	2003. 9. 29	
第4回	2003. 10. 27	-
第5回	2003. 11. 17	
第6回	2003. 12. 22	-
第7回	2004. 1. 26	
第8回	2004. 2. 23	-
第9回	2004. 3. 15	
第10回	2004. 4. 10	-
第11回	2004. 5. 15	
第12回	2004. 6. 20	-

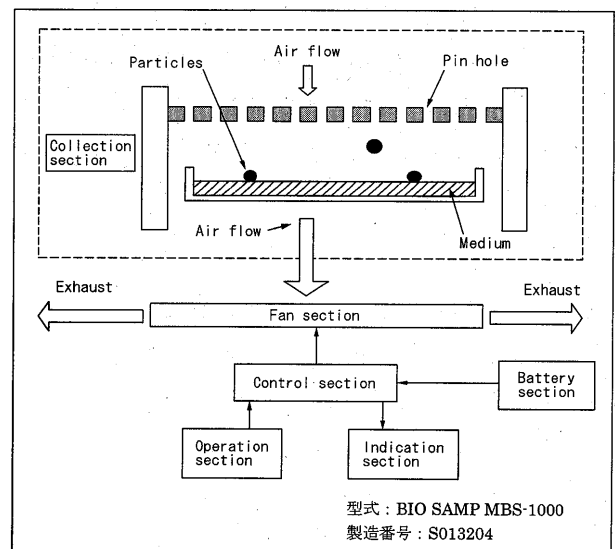


C) 3階平面図

図2 実測建物1～3階平面図



a) サンプラー外観



b) サンプラー構造

図3 携帯型空中浮遊菌サンプラー

病室 I の測定後、10分間窓を開放し、閉めてから測定する (図 2 a) ~ c), 表 3)。

微生物の測定には以下に示す 4 種類の培地を使用した。

- ① トリプトソーヤ寒天培地 (以降 SCD 寒天培地と略す)

本培地は一般細菌の測定に用い、SCD 寒天培地培養後の観察コロニー数を一般細菌数とする。

- ② CP 加ポテトデキストロース寒天培地 (以降 PDA 寒天培地と略す)

本培地はポテトデキストロース寒天培地にクロラムフェニコールを添加して調製されているので、真菌の測定に用いる。実際に、PDA 寒天培地に形成したコロニーの中に、耐性細菌が含まれる可能性もあるが、真菌が主であるので、以降、便宜上 PDA 寒天培地培養後の観察コロニー数を真菌数とする。

- ③ 卵黄加マンニット食塩培地

本培地はマンニット食塩培地に卵黄を添加して調製されているので、黄色ブドウ球菌の測定に用いる。以降、卵黄加マンニット食塩培地培養後、特有の観察コロニー数を黄色ブドウ球菌数とする。

- ④ MSO 寒天培地

本培地は MRSA 等の耐性菌を選択的に発育させるが、MRSA の確定には分離された菌について菌種同定と薬剤感受性試験を行なう必要があるが、特有のコロニーが形成される。以降、MSO 寒天培地培養後、特有の観察コロニー数を多剤耐性黄色ブドウ球菌数とする。

各測定場所に、SCD 寒天培地、PDA 寒天培地、卵黄加マンニット食塩培地、MSO 寒天培地を各 4 枚ずつ使用し、携帯型バイオサンプラーを用いて、直径 9 cm の標準シャーレに 2.5 分間 (250ml) 空中浮遊菌を衝突させ採取する。

培地の培養条件図 4 は、PDA 寒天培地は 25℃・48 時間以上、SCD 寒天培地、卵黄加マンニット食塩培地、MSO 寒天培地は 32℃・48 時間とし、それ

ぞれの培地の観察コロニー数を計測する。各コロニー数と温湿度変化との相関性について調査するため、年間を通じ計 12 回測定を行なう。

4. 3. 2 表面付着菌の測定方法

空中浮遊菌とは別に、各室の壁と各室の作業台や机、手すり、ベッドのシーツなどに付着している細菌や真菌を測定するため、生理食塩液または緩衝液で湿らした滅菌綿棒で検体対象物表面を擦り取り、これをシャーレに塗抹・培養し、菌数計測する拭き取り法 (分離法) を用いる。(分離法は付着微生物を適切な物質で拭き取るかまたは試料そのものを抽出する方法である。)

測定場所は空中浮遊菌の測定箇所に階段を加えた 8 箇所で行なう (図 2 a) ~ c), 表 3)。培地においても空中浮遊菌と同様の培地図 5 を用いる。

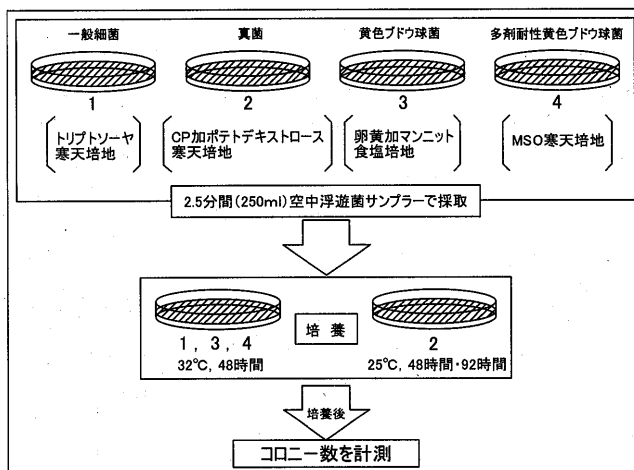


図 4 空中浮遊菌の測定方法

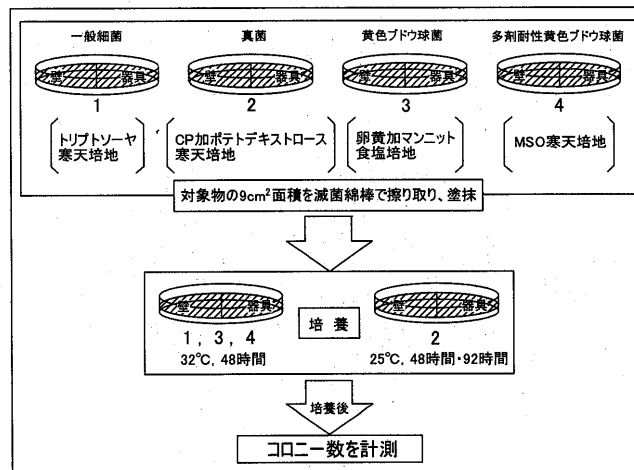


図 5 表面付着菌の測定方法

採取する際の規定として、検体対象物部の高さは80cm、面積は3cm×3cm(9cm²)とする。培地の培養条件は、検出する菌により異なり、PDA寒天培地は25℃・48時間以上、SCD寒天培地、卵黄加マンニット食塩培地、MSO寒天培地は32℃・48時間とし、それぞれの培地の観察コロニー数を計測する。この測定方法は、年間を通じ計6回測定を行なう。

5. 清浄度の規定

日本医療福祉設備協会の「病院空調設備の設計・

管理指針(HEAS-02-1998)」を基に清浄度を評価する。表5に清浄度クラスⅠ～Ⅶの概要を示す。

6. 実測結果と評価

6.1 実測結果と清浄度の評価

本章では、空中浮遊菌に関して、表5に示す日本医療福祉設備協会の「病院空調設備の設計・管理指針(HEAS-02-1998)」を参考にして評価した。

手術室の清浄度は200CFU/m³以下、その他、診察室(図6a)), 待合室(図6b)), 廊下, 病室Ⅰ,

表5 清浄度クラス表(病院空調設備の設計・管理指針(HEAS-02-1998)より)

清浄度クラス	名称	摘要	該当室(代表例)	平常作業時の微生物数平均
A. 医療ゾーン				
Ⅰ	高度清潔区域	層流方式による高度な清浄度が要求される区域。周辺室に対して正圧を維持する。	バイオクリーン手術室 バイオクリーン病室	10CFU/m ³ 以下
Ⅱ	清潔区域	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。正圧を維持する。	一般手術室 手術用配盤室 既滅菌室	200CFU/m ³ 以下
Ⅲ	準清潔区域	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。Ⅳ以降の区域よりも正圧を保つ。	手術部周辺区域 NICU・ICU・CCU 未熟児室 特殊検査・治療室	
Ⅳ	一般清潔区域	原則として開創状態でない患者が在室する一般的な区域。ほぼ等圧でよい。	一般病室 診察室 待合室 玄関ホール 廊下	200～500CFU/m ³ 目標
Ⅴ	汚染管理区域	室内で有害物質を扱ったり、臭気が多い室で、室内空気の室外への漏出を防止するため、負圧を維持する。	細菌検査室 解剖室 患者用便所 使用済みネン室	—
B. 一般ゾーン				
Ⅵ	一般区域	病院特有でない一般的な居室、作業室の空調	事務室 医局 会議室	—
Ⅶ	汚染拡散防止区域	臭気や粉じんなどが多量に発生する室で、室外への拡散を防止するため負圧を維持する。	一般用便所 一般用ごみ処理室	—

(注) CFUはColony Forming Unitの意。

空気単位容積中に含まれる微生物の集落(コロニー数)に相当する。

病室Ⅱは500CFU/m³以下であり、一般室においては、医療ゾーンと比較するためのデータなので規定はない。図7・8に各室の清浄度をグラフ上では点線で示す。

手術室は、清浄度をはるかに超えてしまい、濃厚に汚染されているが、温湿度が低い2月から4月の3カ月間は清浄度を満たしている。汚染原因には、①手術室の使用頻度が少なく手術室内の換気が十分にできず、菌が増殖してしまったこと、②温湿度が高く一般細菌・真菌が生育する絶好の環境を作ってしまったことの2つがある。

手術室以外は、ほぼ清浄度を満たしているの、比較的清浄であるといえる。

病室Ⅰと換気を行なった病室Ⅱを比較すると、病室Ⅰより病室Ⅱの方が菌数は減少しているの、換気的重要性を表している。しかし、測定時に環境菌である枯草菌が発見され、外部から菌が侵入してきたことが分かった。今回の測定では換気によって病室の清浄度が高くなる結果がでたが、換気によって必ずしも清浄になるとはいえないことが分かった。

一般室においては、人の出入りがなく、年間を通じて安定した結果がでた。一般ゾーンにある一般室は、医療ゾーンより汚染されている結果を表しているの、測定した医療施設の医療ゾーンは清浄であることがいえる。

各室の3月と4月の温湿度と菌数の関係をグラフに示したが、3月から4月にかけて、温度が3.3℃上昇しても湿度が2.4%減少しているの、真菌以外の菌数は減少または変動していない。

また、各室の9月から10月にかけても、温度の変化がなくても湿度が20.4%減少したことで菌数も減少していることが分かる。これは、湿度が高いほど菌が増殖しやすいことを表している。汚染を防ぐには、特に湿度調節を管理する必要があるといえる。

次に、菌種別に年間のデータを比べたが、グラフ中の(A)～(G)が一般細菌、(H)～(N)が真菌、(A')～(G')が黄色ブドウ球菌、(H')～(N')が多剤耐性黄色ブドウ球菌を表している。

(C)を除く(A)～(F)、(J)を除く(H)～(M)は、ほぼ清浄度を満たしており、特に12月から5月の6

カ月間は温湿度が低いので清浄度を満たしている。(A')～(G')、(H')～(N')についてはすべて清浄度を満たしている。

一般細菌(A)～(F)に関して清浄度を満たしていない部分があるのは、一般細菌は人から由来するので、①測定時に患者あるいは医療従事者が出入りしたこと、②温湿度が上昇したことが理由である。また、真菌(H)～(M)に関しては、温湿度も原因だが、環境から由来するので、医療器具または室内設備の汚染が原因である。

全体的に評価すると、温湿度減少が菌数減少につながり、特に、菌数と湿度との相関性が高いことが分かった。冬季は温湿度が低く、菌数も少ないが、これからの改善策として、夏季の菌増殖を抑えるために、温湿度の調整が必要である。

最後に、表面付着菌の測定結果であるが、清浄度の規定がないので評価できないが、実測結果(図は省略)から、壁より器具類の方から菌が多く発見された。これは人が壁より器具類の方に触れる機会が多いためだと考えられる。作業台、手すり、ベッドなどは手を介して感染症病原体の媒介をする可能性がある部分として、消毒剤を用いた洗浄・消毒を行ない、これらに触れたときには手洗いが必要である。患者あるいは医療従事者が触れるものは日頃から清掃し、清潔にしておかなければならない。

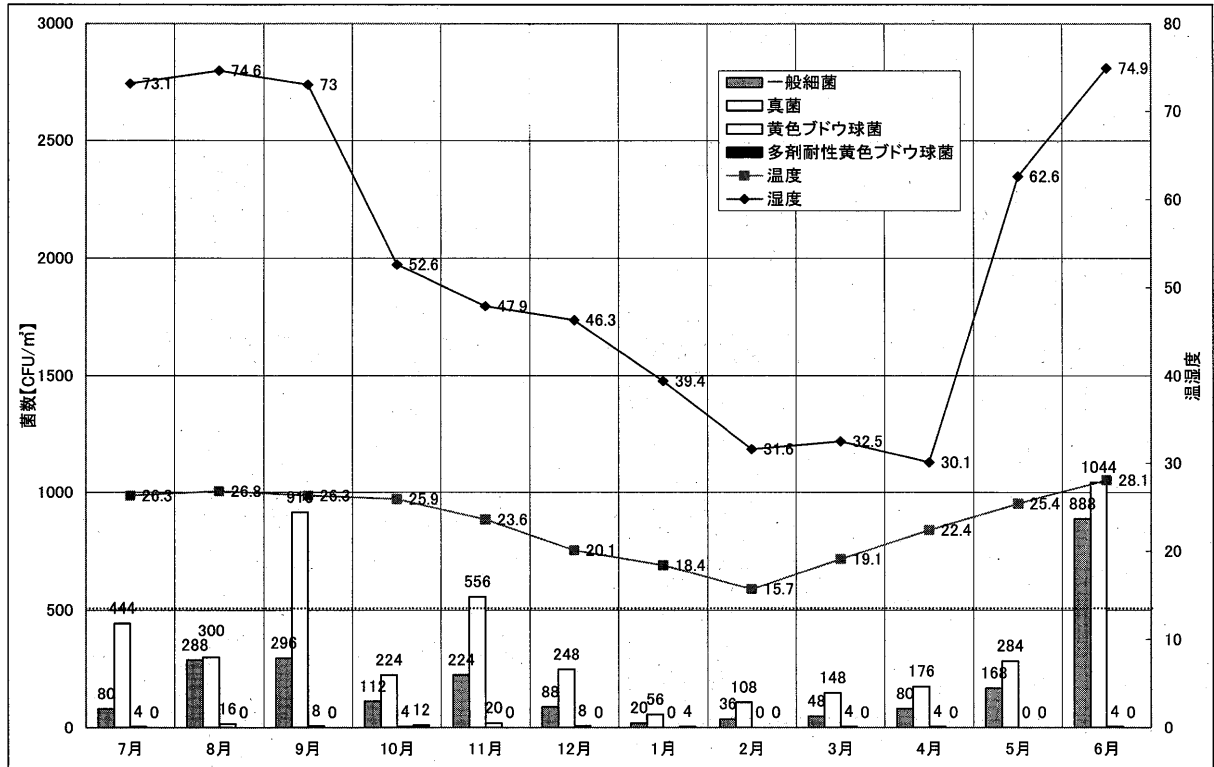
6. 2 実測結果と有限要素法による清浄度の評価

6. 2. 1 有限要素法による各菌種(年間の全データ)と温湿度の解析

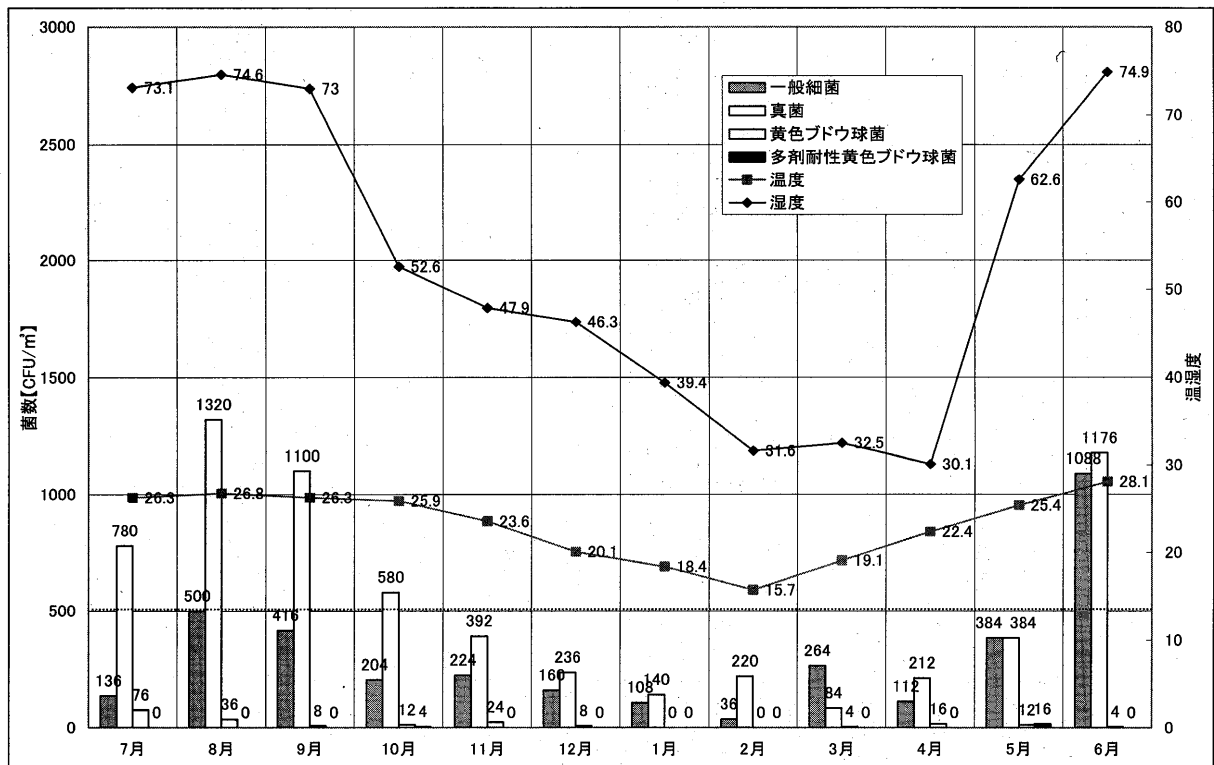
2003年7月「診察室～一般室の菌数」から2004年6月までの一般細菌数を目的変数 y とし、温湿度(説明変数 x)との相関性を調べた。これを真菌、黄色ブドウ球菌、多剤耐性黄色ブドウ球菌も同様に解析する。表6に各菌種の全データと温度、湿度との解析結果を示す。

6. 2. 2 菌種別の室相互間の解析

菌種別に分けて室相互間の相関性を解析した。菌種別に各室の年間菌数を目的変数 y とし、その他を説明変数 x として当てはめ、相関性を調べた。これを「診察室→待合室→手術室→廊下→病室Ⅰ→



a) 診察室



b) 待合室

図6 空中浮遊菌測定データ

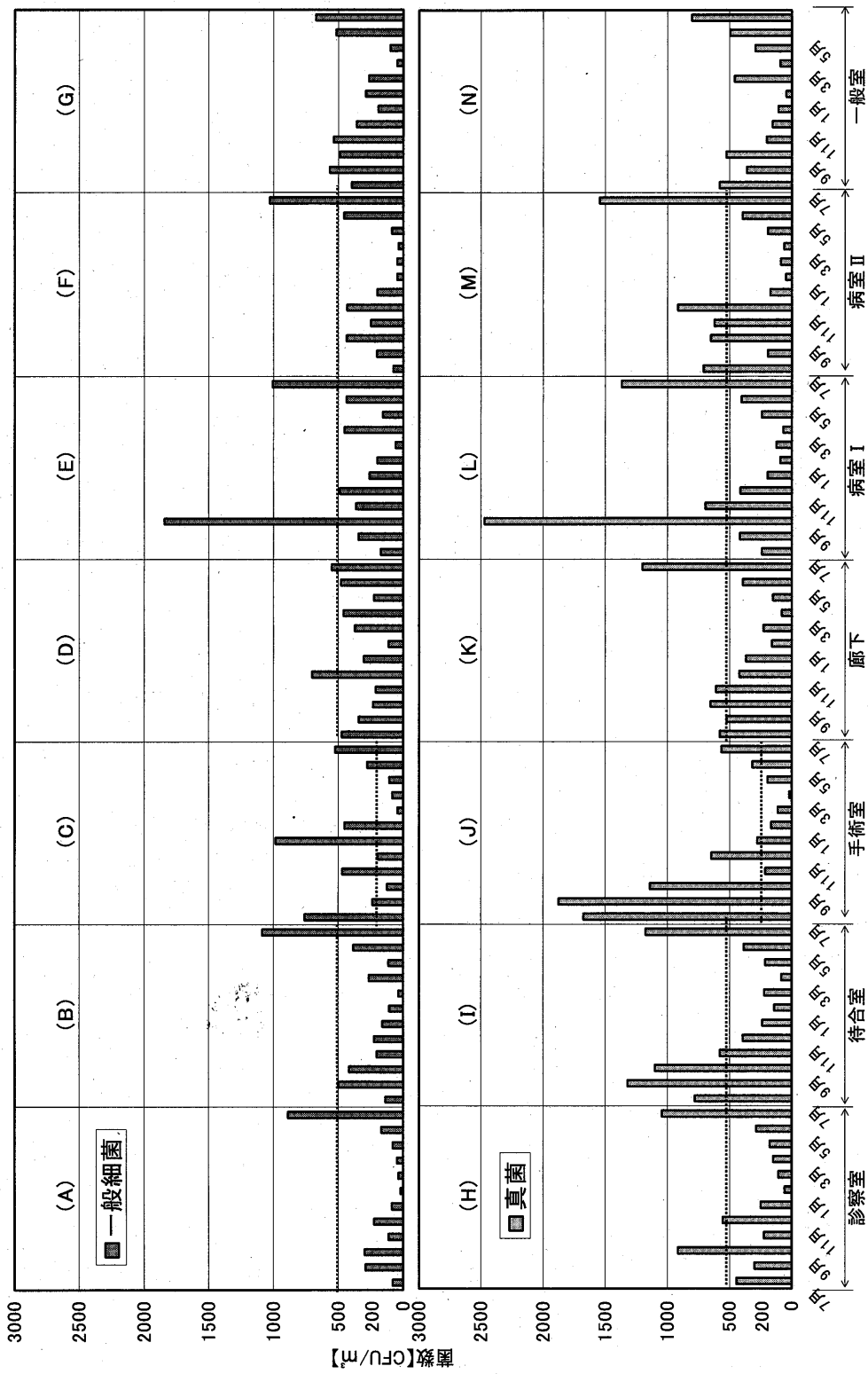


図7 各室の年間データ (一般細菌・真菌)

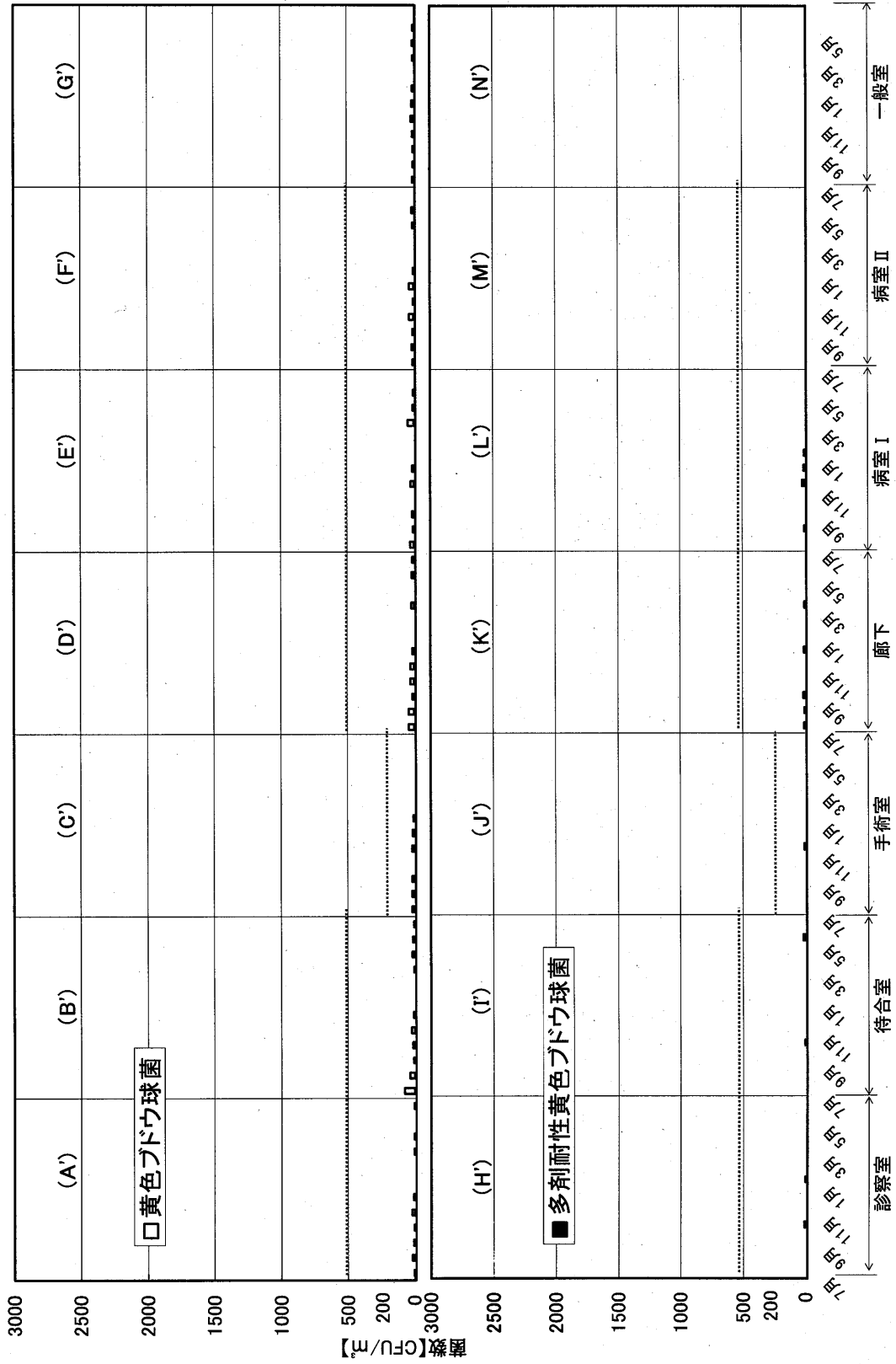


図 8 各室の年間データ (黄色ブドウ球菌・多剤耐性黄色ブドウ球菌)

病室Ⅱ→一般室」の順に解析し、温度、湿度、風速は説明変数 x のみである。

表7に一般細菌における室相互間の解析結果を、表8に真菌における室相互間の解析結果を、表9に黄色ブドウ球菌における室相互間の解析結果を表した。表10に多剤耐性黄色ブドウ球菌における室相互間の解析結果を表したが、説明変数 x に1変数も入らなかった。

6.3 有限要素法を基にした解析結果

各菌種（年間の全データ）と温湿度の相関を表6に示した。おおむね寄与率 R^2 が0.8以上であれば相関性があるとする。

1)各菌種とも寄与率 R^2 が0.8以上を満たしていないので、温湿度と相関性がないことが分かったが、

菌4種のうち、真菌の寄与率 R^2 が比較的高く、細菌類（一般細菌、黄色ブドウ球菌、多剤耐性黄色ブドウ球菌）よりも真菌の方が温湿度と相関性があると考えられる。（表6）

2)温度のみの寄与率 R^2 （表は省略）と、湿度のみの寄与率 R^2 を比較すると、一般細菌、真菌は温度より湿度の方が、黄色ブドウ球菌、多剤耐性黄色ブドウ球菌は湿度より温度の方が寄与率 R^2 が高かった。しかし、温度のみ、湿度のみの寄与率 R^2 よりも、温湿度との寄与率 R^2 が高いので、各菌種とも温度、湿度、両方に相関性があるといえる。

3)菌種別の室相互間の解析結果を表7から表10に示した。ここでは、おおむね寄与率 R^2 が0.8以上のケースを取り上げて考察する。

表6 各菌種（年間の全データ）と温湿度の解析

目的変数 y	説明変数 x	重相関係数 R	寄与率 R^2	公 式
一般細菌数	温度 (x_8) 湿度 (x_9)	0.4902491	0.2403442	$y = 12.65805x_8 + 5.91001x_9 - 271.67080$
真菌数	温度 (x_8) 湿度 (x_9)	0.6643585	0.4413722	$y = 19.87706x_8 + 13.74372x_9 - 714.02220$
黄色ブドウ球菌数	温度 (x_8) 湿度 (x_9)	0.2611783	0.06821412	$y = 0.57587x_8 + 0.07373x_9 - 6.31697$
多剤耐性黄色ブドウ球菌数	温度 (x_8) 湿度 (x_9)	0.06957065	0.00484008	$y = 0.09599x_8 - 0.00815x_9 - 0.41009$

表7 各室の一般細菌数における解析

目的変数 y	説明変数 x	重相関係数 R	寄与率 R^2	公 式
診察室	待合室 (x_2) 病室Ⅱ (x_6)	0.9776047	0.9557111	$y = 0.54079x_2 + 0.29738x_6 - 51.55676$
待合室	診察室 (x_1)	0.9640664	0.9294241	$y = 1.14976x_1 + 79.61273$
手術室	—	—	—	—
廊下	風速 (x_{10})	0.5070968	0.2571472	$y = -710.30320x_{10} + 571.81020$
病室Ⅰ	病室Ⅱ (x_6)	0.5887501	0.3466267	$y = 1.00654x_6 + 207.86630$
病室Ⅱ	診察室 (x_1)	0.9329341	0.870366	$y = 1.12292x_1 + 57.48630$
一般室	湿度 (x_9) 病室Ⅱ (x_6)	0.8861937	0.7853393	$y = 7.27455x_9 + 0.21756x_6 - 77.69641$

表 8 各室の真菌数における解析

目的変数 y	説明変数 x	重相関係数 R	寄与率 R^2	公 式
診察室	病室 I (x_5) 病室 II (x_6)	0.9618214	0.9251004	$y = 0.40937x_6 + 0.22983x_5 + 55.36694$
待合室	湿度 (x_9)	0.9002436	0.8104385	$y = 22.05292x_9 - 621.58290$
手術室	待合室 (x_2) 廊下 (x_4) 湿度 (x_9)	0.918047	0.8428102	$y = 1.15399x_9 - 1.60460x_4 + 24.00040x_9 - 595.56450$
廊下	待合室 (x_2) 手術室 (x_3) 病室 II (x_6) 湿度 (x_9)	0.9796453	0.9597048	$y = 0.32263x_6 + 0.38717x_2 - 0.18943x_3 + 5.40505x_9 - 90.58139$
病室 I	診察室 (x_1) 病室 II (x_6)	0.8923557	0.7962987	$y = 3.07314x_1 - 1.00406x_6 - 124.05690$
病室 II	診察室 (x_1) 待合室 (x_2) 廊下 (x_4) 病室 I (x_5) 温度 (x_8)	0.9744391	0.9495315	$y = 0.95565x_4 - 0.49592x_2 + 1.05407x_1 - 0.20149x_5 + 29.3905x_8 - 651.01940$
一般室	廊下 (x_4)	0.7345816	0.5396102	$y = 0.56566x_4 + 90.10681$

表 9 各室の黄色ブドウ球菌数における解析

目的変数 y	説明変数 x	重相関係数 R	寄与率 R^2	公 式
診察室	手術室 (x_3)	0.6825235	0.4658384	$y = 0.55901x_3 + 2.08696$
待合室	廊下 (x_4) 風速 (x_{10}) 病室 II (x_6)	0.8947026	0.8004927	$y = 1.34579x_4 + 98.01636x_{10} - 0.77581x_6 - 25.42846$
手術室	診察室 (x_1) 待合室 (x_2)	0.7682323	0.5901809	$y = 0.72500x_1 + 0.12999x_2 + 0.35341$
廊下	診察室 (x_1) 待合室 (x_2) 風速 (x_{10}) 病室 II (x_6)	0.9362719	0.8766051	$y = 0.52403x_2 + 0.64252x_1 - 54.75290x_{10} + 0.47961x_6 + 14.800$
病室 I	廊下 (x_4) 病室 II (x_6) 湿度 (x_9)	0.7118598	0.5067444	$y = 0.81112x_4 - 0.44124x_9 - 0.4671x_6 + 25.75950$
病室 II	風速 (x_{10})	0.4527735	0.2050039	$y = 41.86265x_{10} - 1.75643$
一般室	病室 II (x_6)	0.4170571	0.1739366	$y = 0.18235x_6 + 5.17647$

表10 各室の多剤耐性黄色ブドウ球菌数における解析

目的変数 y	説明変数 x	重相関係数 R	寄与率 R^2	公 式
診察室	—	—	—	—
待合室	—	—	—	—
手術室	—	—	—	—
廊 下	—	—	—	—
病室 I	—	—	—	—
病室 II	—	—	—	—
一般室	—	—	—	—

※) 多剤耐性黄色ブドウ球菌は説明変数 x に 1 変数も入らなかった。

- 4) 一般細菌の室相互間の相関性は、「診察室⇒待合室, 病室 II」「待合室⇒診察室」「病室 II⇒診察室」と相関性があった。
- 5) 真菌の室相互間の相関性は、「診察室⇒病室 I, 病室 II」「待合室⇒湿度」「手術室⇒待合室, 廊下, 湿度」「廊下⇒待合室, 手術室, 病室 II, 湿度」「病室 II⇒診察室, 待合室, 廊下, 病室 I, 湿度」と相関性があった。
- 6) 黄色ブドウ球菌の室相互間の相関性は、「待合室⇒廊下, 病室 II, 風速」「廊下⇒診察室, 待合室, 病室 II, 風速」と相関性があった。
- 7) 多剤耐性黄色ブドウ球菌は, 説明変数 x に 1 変数も入らなかったため, 室相互間の相関性を認められない結果が出たので室相互間に影響を及ぼす可能性はないことが分かった。
- 8) 解析の結果, 細菌類 (一般細菌, 黄色ブドウ球菌) の気流形成は循環していないが, 真菌は病院全体を循環しており, 細菌類より真菌の方が室相互間に影響を及ぼしやすいことが明らかになった。
- 9) 寄与率 R^2 で比較しても, 真菌は, 細菌類より寄与率 R^2 が 0.8 以上であり, ①細菌類は人から由来するので, 各室の在室人数等による菌数の変動があり, 室相互間の相関性が低くなったこと。②真菌は環境から由来するので, 在室人数に関係なく室相互間の相関性があり, 室相互間に影響を与えていることを意味している。

全体をまとめると, 細菌類は寄与率が低く空気中を浮遊する菌ではなく, 主に接触感染により感染すると考えられる。院内感染の範囲は患者 (宿主) が行動する範囲で接触する行動範囲内での感染であるが, 真菌は室相互の相関性が高く, 寄与率も当然高くなるので, 各室内の空気圧に配慮する。また, 6 月から 9 月にかけて, 室温を 25℃ 以下, 湿度 50% 以下程度の冷房が必要となる。黄色ブドウ球菌, 多剤耐性黄色ブドウ球菌は年間を通じてほとんど検出されていない。

7. 考察のまとめ

本稿では, 1) 菌採取による病院の清浄度調査 (実態調査), 2) 測定データの解析, 3) 清掃による清浄効果の 3 つを考察した。

1) 菌採取による病院の清浄度調査

日本医療福祉設備協会の「病院空調設備の設計・管理指針 (HEAS-02-1998)」を基に清浄度の評価を行なった。測定データをグラフ化し, 測定データと温湿度との相関性, 換気後の清浄度, 年間の清浄度について検討した。

測定データと温湿度との相関性では温湿度の低下が菌数減少につながり, 特に湿度との相関性があることが分かった。今後, 湿度の管理が重要であると

分かった。

病室の換気前後の測定を行なった結果、換気効果はみられたが、換気後の測定結果に環境菌が発見された。

年間清浄度では、12月から5月の期間は温湿度が低いので、清浄度を満たしており、清浄であると評価できた。

表面付着菌の測定結果では、壁より器具類の方から菌が多く発見され、人が壁より器具類の方に触れる機会が多いためだと考えられ、作業台、手すり、ベッドなどは手を介して感染症病原体の媒介をする可能性がある部分として、消毒剤を用いた洗浄・消毒を行ない、これらに触れたときには手洗いが必要である。

2) 測定データの解析

重回帰分析により、年間の測定データと温湿度との相関性、菌種別の室相互間の影響について解析した。

年間測定データと温湿度との相関性では、細菌類より真菌の方が温湿度との相関性が高かった。菌種別の室相互間の影響については、細菌類は人由来であり、各室の在室人数による菌数変動があるので室相互間の相関性が低くなり、真菌は環境由来なので在室人数に関係なく室相互間の相関性があると分かった。

3) 清掃による清浄効果 (Clean Hospital 化)

3方法の清掃法による Clean Hospital 化(清浄化)について検討した。清掃法は、ほうきによる掃き掃除(乾式清掃法)、モップによる清掃法(湿式清掃法)、アルコール噴霧による消毒(消毒清掃法)の3方法である。

ほうき清掃は、床の埃を空中に巻き上げ、モップ清掃は埃を拾い上げたり、除去することができず、埃の移動のみなので、逆に汚染してしまった。アルコール噴霧による消毒法は、細菌類には効果がみられたが、真菌には効果がなかった。

謝 辞

本研究は、大学院修士論文として山田花菜が担当したが、全体の構想は佐野が指導し、菌類培養などの実験には、山崎省二・池田耕一先生のご指導を頂きました。実測・分析等にあたり、空中浮遊菌サンブラーは、山崎先生が開発しました機器を使用しました。また、感染関係の指導は、本学の渡辺満利子・蔵楽正邦先生のご意見も頂きました。

また、上記以外に、2004年度平井聖学学長裁量研究費を頂きました。深謝いたします。

参考文献

- 1) 柏貴浩, 森正夫, 田中辰明: 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, pp.1261-1264, 2001.
- 2) 今井綾乃, 田中辰明: 医療施設における真菌の動態調査研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.1365-1368, 2002.
- 3) 篠原史彦, 岩田利枝: 住宅における真菌調査と採取方法に関する研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.1381-1384, 2002.
- 4) 柳宇, 山崎省二, 塩津弥佳, 池田耕一: 医療施設における室内浮遊微生物に関する研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.1917-1920, 2003.
- 5) 病院空調設備の設計・管理指針検討委員会: 病院空調設備の設計・管理指針 (HEAS-02-1998), 1998.
- 6) 熊倉伸宏: 感染症予防, 社会医学が分かる公衆衛生テキスト, pp.105-115, 新興医学出版, 1999.
- 7) 高鳥浩介, 相原真紀, 村松芳多子: 特集: 建築物の室内生物汚染対策「1. 微生物汚染についての考え方」, IBEC (建築環境・省エネルギーとかたち), pp.5-9, 2003.
- 8) 池田耕一: 特集: 建築物の室内生物汚染対策「2. 病院における微生物汚染対策(1): 病院における微生物汚染対策の考え方」, IBEC (建築環境・省エネルギーとかたち), pp.10-13, 2003.
- 9) 黒田渉: 特集: 建築物の室内生物汚染対策「2. 病院における微生物汚染対策(2): 病院における微生物汚染対策事例①」, IBEC (建築環境・省エネルギーとかたち), pp.14-18, 2003.
- 10) 福本啓二: 特集: 建築物の室内生物汚染対策「2. 病院における微生物汚染対策(3): 病院における微生物汚染対策事例②」, IBEC (建築環境・省エネルギーと

- かたち), pp.19-25, 2003.
- 11) 森正夫, 柏貴浩: 特集: 建築物の室内生物汚染対策
「2. 病院における微生物汚染対策(4): 病院における
微生物汚染調査」, IBEC (建築環境・省エネルギーと
かたち), pp.26-31, 2003.
 - 12) 仲田幸博, 杉田直記, 三上壯介, 尾之上さくら, 山
崎省二: 携帯型空中浮遊菌サンプラーの開発, 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,
pp.113-116, 1999.
 - 13) 浅野美礼, 毛利王海, 遠藤美代子, 佐々木美奈子,
高橋泰子: 患者シーツ交換における空气中浮遊粒子と
浮遊微生物の関係, 日本エアロゾル学会 (編) エア
ロゾル科学・技術研究討論会, pp.170-171, 2001.
 - 14) 山崎省二: 講座: 環境微生物概論・測定と評価 (第
4回)「空気調和と微生物汚染」, 空気清浄, pp.315-
320, 2002年
 - 15) 北里大学病院: 院内感染防止対策の手引 (2004), 非
売品
 - 16) 小菅旬子, 高鳥浩介: 大気中の感染性微生物とバイ
オセーフティ管理, 空気調和・衛生工学会学術講演会
講演論文集, pp.335-340, 2004.
 - 17) 安岡彰: 病院における感染症対策, 空気調和・衛生
工学会学術講演会講演論文集, pp.373-376, 2004.
 - 18) 山崎省二: 環境微生物の測定方法, 月刊フードケミ
カル, pp.68-74, 1997.

(さの たけひと 生活環境学科)

(やまだ かな 平成16年度生活機構研究科生活科学研究
専攻修士生・国立保健医療科学院)

(やまざき しょうじ 国立保健医療科学院)

(いけだ こういち 国立保健医療科学院)