



特集：環境技術



図1 モニター調査の様子

2. 調査方法

2.1 調査対象駅

過去に実施した郵送方式による意識調査の結果、他の地点と比べ地下構内の空気環境を不快と指摘する回答が多かった<sup>7)</sup>。そのため、これまでの研究では、臭気判定士により地下ホームにてカビ臭がするとの指摘があったA駅と、橋上駅であるB駅の2駅を調査対象としてきた<sup>8) 9)</sup>。本報告では、地下駅であるC駅、D駅も加え、合計4駅、9箇所(表1)にて以下の微生物調査及びモニター調査を実施した。

2.2 微生物調査

建材等の固体表面で繁殖する微生物を付着微生物と呼ぶが、人が付着微生物を目にすると、その場所を不衛生(きれいではない)に感じると考えられる。一方、空間内に浮遊する微生物(浮遊微生物)は直接人が見ることができないが、付着微生物との間では、浮遊-固体表面への付着-再浮遊及び定着(繁殖)という関係が考えられ、それらの相関も一部報告されている<sup>11)</sup>。そこで、駅の衛生環境を評価するにあたり、局所的な情報である付着微生物量ではなく、空間として代表的な情報が得られる浮遊微生物量に着目し、空間中に浮遊する真菌と細菌(以下、空中浮遊微生物と記す)を測定することとした。真菌とは、大きさ約3-80 $\mu\text{m}$ の真核生物、細菌は大きさ約

1 $\mu\text{m}$ 前後の原核生物と定義され、カビは真菌に分類される<sup>10)</sup>。空中浮遊微生物の採取には、吸込み型捕獲装置(図2左:M Air T, Millipore製)を用いた。床からの高さ約150 cmの位置に同装置を設置し(図2右)、空気200リットルを吸引し、空中浮遊微生物を寒天培地上に捕獲した。真菌採取には、室内環境に存在する真菌の生育に適したDG18(Dichloran-Glycerol)培地を用いた。また細菌採取用には標準寒天培地を用いた。空中浮遊微生物採取後の寒天培地を30 $^{\circ}\text{C}$ で一定時間培養し、寒天培地上に出現した菌数(図3:コロニー数)を計測した。併せて温度・相対湿度を各調査部位にて測定した<sup>9)</sup>。A駅、B駅は2003年6月から2004年5月まで、月2回測定した。D駅は2002年9月から2003年1月まで月2回、2005年8月に1回測定をした。C駅は、2005年8月、2006年1月にそれぞれ1日測定した。C駅は限られた測定日ではあったが、1日あたりの測定回数を15及び20回と多くし、列車風の有無等様々な地下ホームの環境変化を捉えた測定を行った。

2.3 モニター調査

モニター調査は、実際に被験者が駅構内を歩き、指定された地点で主観評価を行う形式で実施した。モニター調査は、2003年冬、2004年夏、2005年夏に実施し合計278名が参加した(図1)。この調査では、駅の衛生環境を表す因子として、壁や天井等の微生物汚れと、空気中のおいしさに注目し、「この場所のきれいさが気になるか」「この場所のにおいが気になるか」の2つの質問を設定した。各質問には「全く気にならない」から「非常に気になる」までの4段階で評価を行った。

表1 各駅における調査対象箇所

A 駅	地上ホーム*, 地上コンコース*, 地下ホーム, 地下コンコース
B 駅	地上ホーム*, 地上コンコース*
C 駅	地下ホーム1, 地下ホーム2
D 駅	地下ホーム

\*屋根有り



図2 吸込み型捕獲装置(左)と設置風景(右)

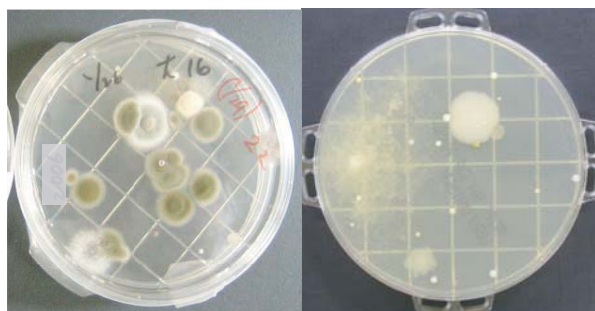


図3 出現した真菌（左）と細菌（右）のコロニー

### 2.4 統計処理

測定箇所毎の微生物検出量の比較は、SPSS®を用いて、Kruskal-Wallis 検定後、Mann-Whitney-U 検定の Bonferroni 法にて行った。また各調査箇所における空中浮遊微生物量と、モニター調査による「この場所のきれいさが気になるか」「この場所のにおいが気になるか」に対する回答率から、空中浮遊真菌量、細菌量のどちらが「きれいさ」や「におい」に対する回答率に大きな影響を与えるのかを重回帰分析により調べた。回答率を目的変数 (Y), 空中浮遊真菌量を  $x_1$  とした常用対数を説明変数 1 ( $X_1 = \log_{10} x_1$ ), 空中浮遊細菌量を  $x_2$  とした常用対数を説明変数 2 ( $X_2 = \log_{10} x_2$ ) とし、重回帰分析を行った。

## 3. 結果

### 3.1 微生物量調査結果

A, B, C, D 駅における空中浮遊真菌量及び空中浮遊細菌量の平均値を図 4 に示す。統計処理の結果、A 駅地下ホームにおける空中浮遊真菌量は、A 駅の地上地点及び B 駅、C 駅、にて検出された真菌量よりも多かったが、D 駅地下ホームにおける真菌検出量との差はなかった。C 駅地下ホームでは、空中浮遊真菌量が橋上駅である B 駅の地上ホーム及び地上コンコースにおける検出量と差が見られなかった。また D 駅地下ホームの真菌検出量は、B 駅の地上ホーム、地上コンコースと比べると検出が多かったが、A 駅地上コンコースと比較すると、差は見られなかった。したがって、地下ホームにおける空中浮遊真菌量が、常に地上設備における検出量よりも多いわけではないことが分かった。一方、空中浮遊細菌量は、A 駅地上コンコース、B 駅地上コンコース、D 駅地下ホームにおいて、多く検出される傾向がみられた。

### 3.2 モニター調査結果

モニター調査にて「この場所のきれいさが気になるか」に対して得られた冬季及び夏季の回答率 (%) を図 5 に示す。A 駅全ての測定地点と D 駅地下ホームにて、冬季夏季問わず 9 割以上が、その場の見た目の「きれいさ」を「やや気になる～非常に気になる」(以下、何かしら気

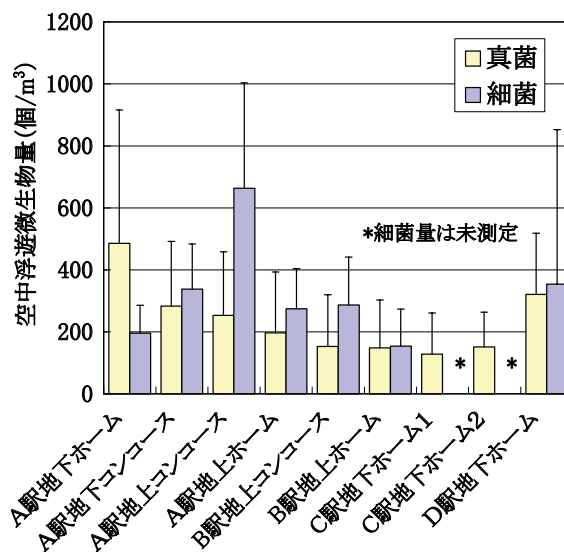


図4 測定箇所における平均空中浮遊真菌量

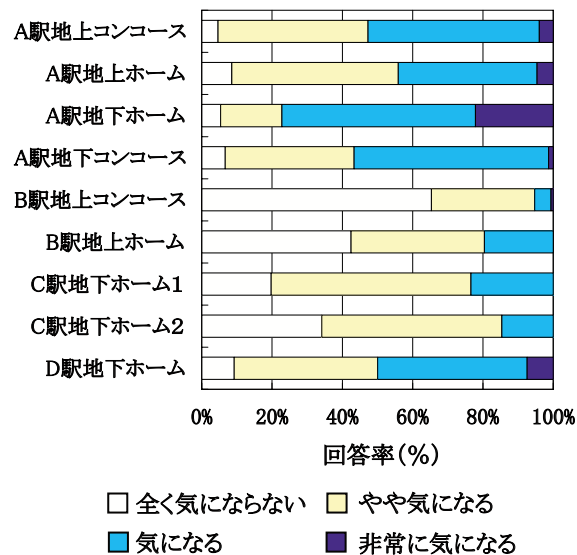
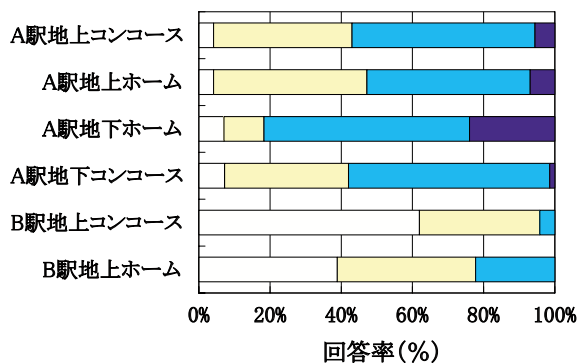


図5 測定箇所毎の「きれいさ」に対する回答率 (%) (上：冬季, 下：夏季)

になる、と記す) と回答した。また A 駅では、A 駅地下ホームで冬季夏季共に約 23%、D 駅地下ホームでも 10% 弱、A 駅地上ホーム、A 駅地上コンコースでさえ、非常に気になるという回答が 6-7% あったのに対し、C 駅地下ホーム 1, 2 では、その割合が 0% であった。

特集：環境技術

更に、B駅地上ホームとB駅地上コンコース、C駅地下ホーム1、2では、検出された空中浮遊真菌量はほぼ同様（約140個/m<sup>3</sup>）であったが（図4）、「きれいさ」に対する何かしら気になる回答率は、それぞれ夏季で約35%、58%、79%、66%とバラつきがみられた。つまり、同じC駅でも地下ホームの築年数が異なったり、地下ホームと同量の空中浮遊真菌量が浮遊していても、地上ホームは地上施設で開放的な空間だったり、築年数が新しいといった視覚的要素が加わると、利用者はその場のきれいさをより気にならないほうへ回答することが示唆された。

モニター調査にて「この場所のにおいが気になるか」に対して得られた冬季及び夏季の回答率（%）を図6に示す。何かしら気になるという回答率はA駅地下ホームにて最も高かった。A駅地下ホームにおけるモニター調査結果では、何かしら気になるという回答率は、冬季夏季共に約9割あった。その他各測定箇所別の各選択肢に対する回答率の冬季と夏季の結果をみても、ほとんど差が無く、A駅地下コンコース、A駅地上コンコース、A駅地上ホームの順で回答率が高かった。しかし、A駅での非常に気になる回答率は、A駅地上コンコースを除き、冬季のほうが数%回答率が高かった。

B駅は、冬季と夏季を比較すると、B駅地上ホーム、B駅地上コンコース共に夏季において、何かしら気になる回答率が約8-14%高かった。また、冬季と夏季共に、非常に気になる回答率は0%であった。

空中浮遊真菌量がほぼ同じ（約140個/m<sup>3</sup>）であるB駅地上コンコース、B駅地上ホーム、C駅地下ホーム1、2（図4）では、「におい」に対し、C駅地下ホーム1では何かしら気になるという回答率が約75%と高かったのに対し、B駅地上コンコースで約15-30%、B駅地上ホームで27-36%、C駅地下ホーム2で約34%とほぼ同様であった。「きれいさ」に対する回答と同様に、C駅では同じ駅にも関わらず、ホームが異なると、においに対する評価が異なることが分かった。

これまでに報告した郵送調査の結果では、駅の空気を不快と感じる場所として、地下構内と回答する割合が高かった。確かに、A駅地下ホームにおいて冬季と夏季共に約9割がにおいが気になると回答していたが、しかし、利用者の印象として地下ホームのにおいが気になると記憶に残っていても、今回調査したC駅地下ホーム2のように、実際にその場で「この場所のにおいが気になるか」を改めて評価していただくと、必ずしも、地下ホームのにおいを、地上部よりも気になると感じている訳ではないことが分かった。

3.3 主観評価と空中浮遊微生物量との相関

3.1及び3.2節で、各調査対象駅の年間及び測定期間内の平均空中浮遊微生物量及び駅の「きれいさ」と「におい」に対する冬季と夏季のモニター調査結果を示した。そこで利用者の「きれいさ」や「におい」に対する主観

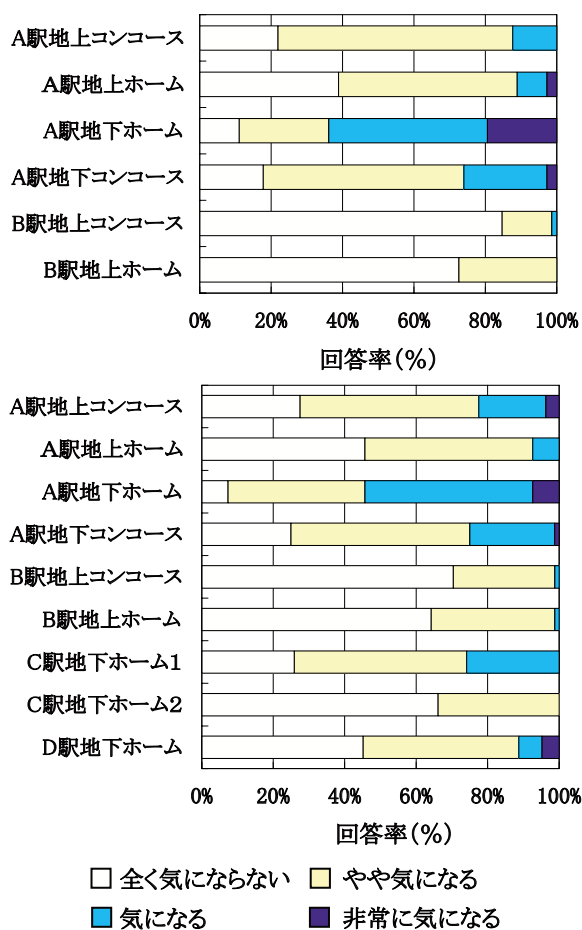


図6 測定箇所毎の「におい」に対する回答率（%）  
（上：冬季，下：夏季）

評価の回答率と、空中浮遊真菌量及び細菌量との関係の有無、関係がある場合はどのような関係であるのかを調べることにした。

3.3.1 「きれいさ」に対する主観評価と空中浮遊微生物量の常用対数との相関

図7（左）に、「この場所のきれいさは気になるか」という問いに対する主観評価回答率と空中浮遊真菌量の常用対数との相関を示す。「何かしら気になる」という回答率と、空中浮遊真菌量の常用対数との間では相関がみられ（相関係数0.62）、更に「非常に気になる」という回答率と空中浮遊真菌量の常用対数との間でも、相関（相関係数0.63）がみられた。

また図7（右）に、同じ問いに対する主観評価回答率と、空中浮遊細菌量の常用対数との相関を示す。その結果、「何かしら気になる」という回答率と、空中浮遊細菌量の常用対数との間で相関がみられたが（相関係数0.36）、「非常に気になる」という回答率と空中浮遊細菌量の常用対数との間では、相関はみられなかった（相関係数-0.13）。

3.3.2 「におい」に対する主観評価と空中浮遊微生物量の常用対数との相関

図8（左）に、「この場所のにおいが気になるか」とい

表2 「きれいさ」「におい」に対する回答率を目的変数（Y）とした重回帰分析結果

説明変数	標準偏回帰係数			
	きれいさ		におい	
	何かしら気になる	非常に気になる	何かしら気になる	非常に気になる
真菌 $X_1$	5.62*	3.87**	7.22**	3.51**
細菌 $X_2$	1.85	-1.93	1.76	-1.70
補正済決定係数	0.43*	0.51*	0.72**	0.64**

$X_1 = \log_{10} x_1, X_2 = \log_{10} x_2$

標準偏回帰係数：説明変数を標準化して求めた偏回帰係数を標準偏回帰係数という。標準偏回帰係数の大きさを、説明変数の影響の大きさが比較可能。

補正済決定係数：自由度を考慮して計算した決定係数で0から1の間をとり、1に近いほどその重回帰式の精度が高いことを示す。

\* 危険率5%で有意差があることを示す ( $p < 0.05$ )。

\*\* 危険率1%で有意差があることを示す ( $p < 0.01$ )。

う問いに対する主観評価回答率と空中浮遊真菌量の常用対数との相関を示す。「何かしら気になる」という回答率と、空中浮遊真菌量の常用対数との間では高い相関がみられた（相関係数 0.77）。更に「非常に気になる」という回答率と空中浮遊真菌量の常用対数との間でも、高い相関（相関係数 0.71）がみられた。

また図8（右）に、同じ問いに対する主観評価回答率と、空中浮遊細菌量の常用対数との相関を示す。その結果、「何かしら気になる」という回答率と、空中浮遊細菌量の常用対数との間で相関がみられたが（相関係数 0.39）、「非常に気になる」という回答率と空中浮遊細菌量の常用対数との間では、相関はみられなかった（相関係数 -0.14）。

### 3.4 重回帰分析結果

図7、図8に示したデータを元に重回帰分析を次式に基づき行った。

$$Y = a_1 X_1 + a_2 X_2 + b \tag{1}$$

Y：回答率（%）

$X_1$ ： $\log_{10} x_1$

$X_2$ ： $\log_{10} x_2$

$x_1$ ：空中浮遊真菌量（個/m<sup>3</sup>）

$x_2$ ：空中浮遊細菌量（個/m<sup>3</sup>）

a：偏回帰係数

b：回帰定数

その結果、何かしらきれいさが気になる回答率（ $Y_1$ ）、非常にきれいさが気になる回答率（ $Y_2$ ）、何かしらにおいが気になる回答率（ $Y_3$ ）、非常ににおいが気になる回答率（ $Y_4$ ）は、それぞれ以下の(2)-(5)式となった。

$$Y_1 = 47.8 X_1 + 18.0 X_2 - 71.9 \tag{2}$$

$$Y_2 = 19.0 X_1 - 10.8 X_2 - 11.0 \tag{3}$$

$$Y_3 = 63.9 X_1 + 17.7 X_2 - 125 \tag{4}$$

$$Y_4 = 14.3 X_1 - 7.93 X_2 - 9.82 \tag{5}$$

得られた重回帰式(2)-(5)の2変数に対する標準偏回帰係数を以下(6)式により求めた結果を表2に示す。

$$b'_i = b_i \times \sqrt{S_{ii}/S_{yy}} \tag{6}$$

$b'_i$ ：標準偏回帰係数

$b_i$ ：偏回帰係数

$\sqrt{S_{ii}}$ ： $\log_{10} x_1, \log_{10} x_2$ の標準偏差

$\sqrt{S_{yy}}$ ：回答率の標準偏差

その結果、(2)-(5)式全てにおける空中浮遊真菌量の常用対数（ $X_1$ ）に対する標準偏回帰係数は、空中浮遊細菌量の常用対数（ $X_2$ ）に対するそれよりも大きく、またそれらは全てにおいて統計的に有意な値であった。更に補正

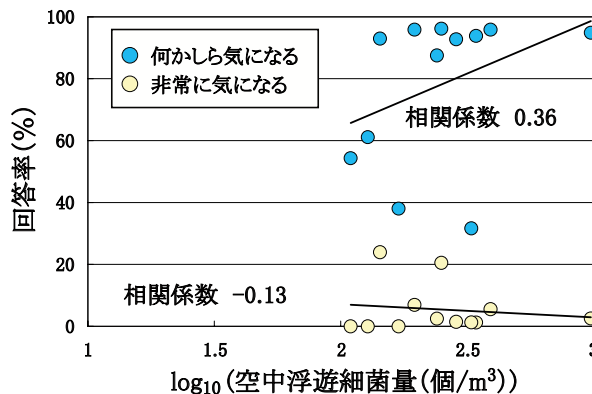
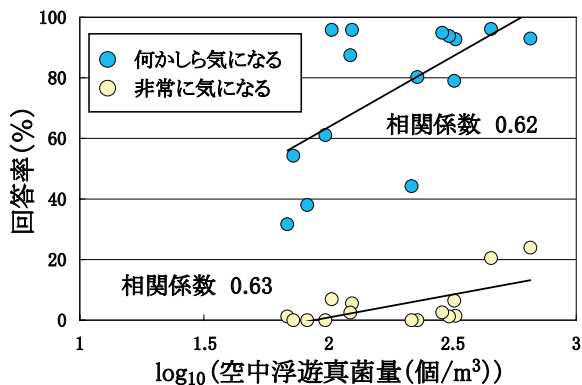


図7 「きれいさ」に対する回答率と空中浮遊真菌量（左）及び空中浮遊細菌量（右）の常用対数との相関

特集：環境技術

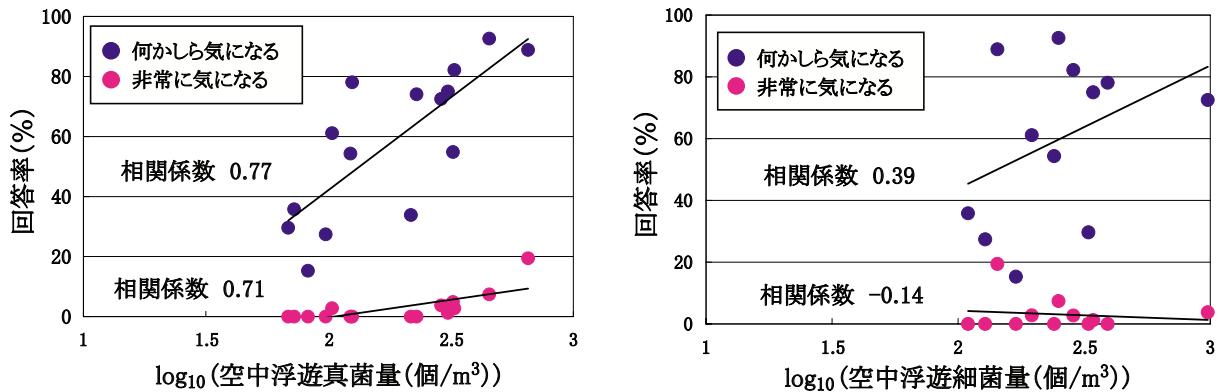


図8 「におい」に対する回答率と空中浮遊真菌量（左）及び空中浮遊細菌量（右）の常用対数との相関

決定係数の値も、「きれいさ」よりも「におい」に関する重回帰式のほうが値が大きかった。したがって駅における「きれいさ」及び「におい」に対する回答率に対し、空中浮遊真菌量の方が空中浮遊細菌量よりも大きな影響を与える要因であり、「きれいさ」よりも「におい」に関する重回帰式のほうがより精度が高いことが分かった。

4. まとめ

駅の衛生環境評価の一環として、空中浮遊微生物を一要因として注目し、モニター調査結果の回答率に与える影響を相関及び重回帰分析により調べた。その結果、駅構内の「きれいさ」及び「におい」に関する利用者の回答率に対しては、いずれの場合も、空中浮遊真菌のほうが、空中浮遊細菌よりも与える影響が大きく、また「きれいさ」よりも「におい」を評価するほうがより適切に評価できることが分かった。駅の「きれいさ」を利用者が評価するにあたっては、空中浮遊微生物以外の要因、例えば駅構内の内装、築年数等の視覚的要因が何ら関係することが示唆された。

5. 今後の展開

駅構内の衛生環境、とりわけにおいを評価する場合には、空中浮遊真菌量とその指標として有効であることから、真菌が放出する揮発性物質が駅空間のにおい形成要因の一つであると考えている。そこで駅で採取した真菌をフラスコ内で培養した後、フラスコ内の空気を化学分析した結果、駅のにおいと関連した揮発性物質が真菌から放出されていることが分かった<sup>12)</sup>。今後は、微生物量、臭質、駅構造、駅築年数による視覚要素の違い等の各要因が、駅環境の衛生性、快適性にどのように影響するのか等について、駅シミュレータを利用した試験を通して追究していきたいと考える。

本研究の一部は、国土交通省の補助金を受けて実施した。

文献

- 1) Dechow M. and Sohn H., and Steinhansesn J., "Concentrations of selected contaminants in cabin air of Airbus aircrafts," *Chemosphere*, vol. 35, pp. 21-31, 1997.
- 2) Rose LJ., Simmons RB., Crow SA., and Ahearn DG., "Volatile organic compounds associated with microbial growth in automobile air conditioning systems," *Current Microbiology*, vol. 41, pp. 206-209, 2000.
- 3) Spengler JD. and Wilson DG., "Air quality in aircraft," *Proceedings of the institution of mechanical engineers, part E: journal of process mechanical engineering*, vol. 217, No. 4, pp. 323-335, 2003.
- 4) Olsen SJ., et al., "Transmission of the severe acute respiratory syndrome on aircraft," *The new England journal of medicine*, vol. 349, pp. 2416-2422, 2003.
- 5) Mazumdar S. and Chen Q., "A one-dimensional analytical model for airborne contaminant transport in airliner cabins," *Indoor Air*, vol. 19, No. 1, pp. 3-13, 2009.
- 6) Abdel Hameed A. Awad, "Environmental study in subway metro stations in Cairo, Egypt," *Journal of Occupational Health*, vol. 44, pp. 112-118, 2002.
- 7) 鈴木浩明 他：衛生・清潔に関する利用者意識の実態と要望の分析，鉄道総研報告，Vol. 19, No. 1, pp. 15-20, 2005
- 8) 川崎たまみ 他：駅構内の空気質に与える微生物の影響評価，鉄道総研報告，vol. 11 No. 5, pp. 35-40, 2008
- 9) Kawasaki T., et al., "Distribution and identification of airborne fungi in railway station in Tokyo, Japan" *Journal of Occupational Health*, vol. 52, No. 3, pp. 186-193, 2010.
- 10) 高島浩介:カビ検査マニュアルカラー図譜，テクノシステム，2002
- 11) 間瀬 創 他：コンクリート壁面における付着真菌の累積挙動，保存科学，No. 47, pp. 197-201, 2008
- 12) 京谷 隆 他：鉄道駅構内空気から採取した真菌が放出する揮発性物質のSPME-GCMS法による分析，H20年度室内環境学会総会講演集，pp. 124-125, 2008