

駅構内の空気質に与える微生物の影響評価

川崎 たまみ* 京谷 隆* 潮木 知良*
藤浪 浩平** 早川 敏雄*

Assessment of the Effects of Airborne Microorganisms on Indoor Air Quality of Railway Stations

Tamami KAWASAKI Takashi KYOTANI Tomoyoshi USHIOGI
Kohei FUJINAMI Toshio HAYAKAWA

The presence of microorganisms is one of the important factors that affect indoor air quality in the environment. This study shows a method and result of airborne microorganisms monitoring in railway stations. As a result of monitoring the number of airborne microorganisms periodically at the positions measured in stations, the number of airborne fungi in underground spaces was greater than that in above-ground spaces in most cases. There was a slight difference in the types of fungi detected on underground and above-ground platform. The current study may be a fundamental and effective data to design and manage railway stations from the viewpoint of architectural hygiene.

キーワード：駅，衛生，空気質，微生物，臭気，快適性

1. はじめに

公共性の高い鉄道施設は地下空間，トンネルなどさまざまな閉鎖空間により構成されており，閉鎖空間内の衛生環境を評価・把握し，それを向上させることはより安心して快適な鉄道を提供する上で非常に役に立つと考える。空間内の衛生環境について航空機や自動車では調査の報告例^{1) 2) 3)}がみられ，その対策例も報告されている。しかしこれまで鉄道の衛生環境に関する科学的・工学的分析事例の報告^{4) 5) 6)}は少なかった。また鉄道利用者の衛生環境に関する意識とニーズを把握するための総合的な意識調査例も数少なかった。そこで鉄道施設の衛生環境の向上を目指すために，衛生環境に影響を与える要因を抽出すること，ならびに鉄道利用者の衛生環境に対する意識を把握することが必要であると考えた。このため，駅の衛生環境の実態を調べるために微生物や化学物質等を対象とした環境調査と，駅構内の衛生環境に関わる利用者の意識の把握を目指す意識調査に着手した^{7) 8) 9) 10) 11)}。郵送調査方式による意識調査の結果から，「駅の快適性を考える上で重要な要因は何か」という問いに対し，約2割が「臭い」や「空気のきれいさ」とい

た空気環境を選択したことが分かった(図1)¹¹⁾。また「駅構内の空気環境について，意識したことがあるか」という問いに対して，1割前後の利用者が強い不快感を示すことがわかった。さらに不快な臭いの具体例として約3割の人がカビ臭を挙げた¹¹⁾。そこで駅構内の空気質に影響を与える要因の1つとして微生物に着目し環境調査を実施することとした。このように意識調査と環境調査を並行して実施することは，衛生環境の改善に寄与し，少子高齢化が進むなかで鉄道利用者を獲得していく

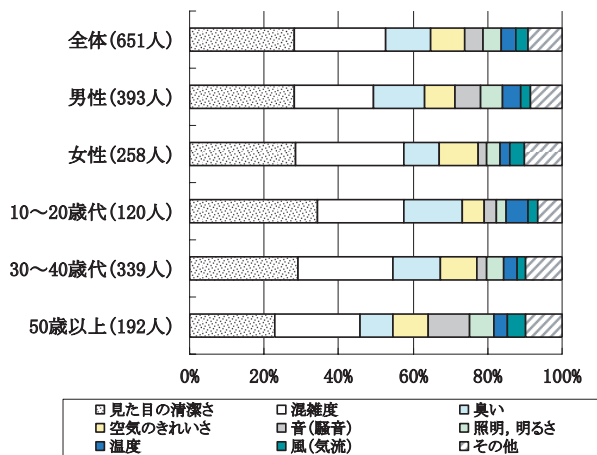


図1 駅の快適性を考える上で最も重要な要因¹¹⁾

* 環境工学研究部 (生物工学)

** 人間科学研究部 (人間工学)

特集：環境技術

上で重要であると考え。社会的動向としては、2005年「微生物による室内空気汚染に関する設計・維持管理規準・同解説」をはじめとした室内環境に関する3つの日本建築学会環境基準が発行となった^{12) 13) 14)}。このことを受け一般の人々も益々室内環境へ高い関心をよせることが予想される。本報告では、駅構内における臭気判定および微生物量を測定した結果を報告する。

2. 環境調査

空間内の空気質を決定する要因として、二酸化炭素(CO₂)、一酸化炭素(CO)、揮発性有機化合物(VOC)、窒素酸化物(NOx)、浮遊粉塵、たばこ煙、オゾン、微生物等が挙げられる¹⁵⁾。中でも微生物の存在は、単に視覚的な衛生観を損ねるだけではなく、不快感や空気環境を左右する悪臭の要因となりうる事が報告されている^{16) 17) 18) 19) 20)}。そこで駅構内空气中に浮遊する微生物に注目し、細菌(空中浮遊細菌)と真菌(カビ)(空中浮遊カビ)を測定対象とし、その浮遊量と種類を調査することとした。なお、測定を実施した2003年の夏の天候は梅雨明けが遅く冷夏、また2004年の夏は猛暑であった。

2.1 調査対象駅と調査方法

2.1.1 調査対象駅の選定

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¹¹⁾。そのため微生物調査を実施するにあたり、地下構内がある調査対象駅の選定は、臭気判定士による臭気判定に拠ることとした。選定対象駅は地上と地下にコンコースおよびホームのあるA駅、B駅と地下構内のみのC駅とし、臭気判定を実施した。臭気判定士が実際に駅構内の判定箇所にて、臭気(臭質)および臭気強度を判定した(図2)。なお測定方法は東京都条例第118号に準じた。



図2 駅構内の臭気判定士による空気採取の様子(地上部(左)と地下構内(右))

2.1.2 微生物調査

(1) 空中浮遊菌測定

調査対象微生物は、空气中を浮遊する細菌とカビ(以下、空中浮遊菌と記す)とした。空中浮遊菌の採取には、吸込み型捕獲装置(図3上:M Air T, Millipore製)を用いた。床からの高さ約150cmの位置に同装置を設置し(図3下)、空気200リットルを吸引し、空中浮遊菌を寒天培地上に捕獲した。細菌採取用には標準寒天培地(PCA)を用いた。カビ採取用には、好湿性カビと好乾性カビの生育に適したDG18(Dichloran-Glycerol)培地を用いた²¹⁾。空中浮遊菌採取後の寒天培地を30℃で一定時間培養し、寒天培地上に出現した菌数(図4: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。なお、対照試験として、測定当日、駅の地上ホーム端部にて同様の作業を行い地上外気での測定値とすることとした。調査は、2003年6月から2004年5月までの12ヶ月間にわたり月2回の頻度で行った。空中浮遊菌の検出量は、t-検定により統計処理を行なった。

(2) カビ種の同定試験

(1)と同方法により空中浮遊カビを採取後、寒天培地を25℃、5-7日間培養した。その後得られたコロニーから分離したカビを純粋培養し、形態学的同定を行なった。



図3 吸込み型捕獲装置(上)と設置風景(下)

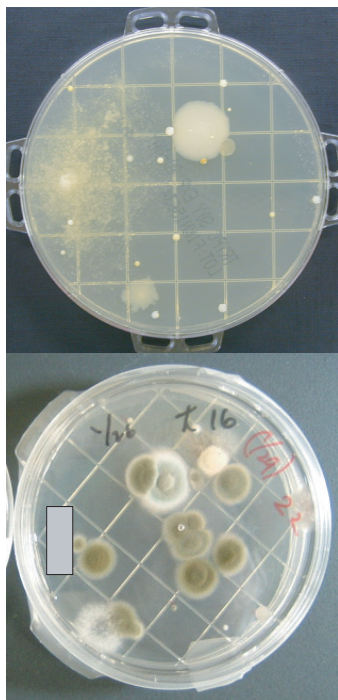


図4 出現した細菌（上）とカビ（下）のコロニー

表1 臭気強度の評価尺度¹⁴⁾

0	無臭
1	やっと感知できるにおい（検知閾値）
2	何のにおいであるかわかる弱いにおい（認知閾値）
3	楽に感知できるにおい
4	強いにおい
5	強烈なにおい

表2 臭気判定の結果

測定場所	臭気強度	臭質
A 駅 地上ホーム	0	無臭
A 駅 地下ホーム	1～2	カビ臭
B 駅 地下ホーム1	1	石灰臭
B 駅 地下ホーム2	1	ほこり臭
C 駅 地下ホーム	1～2	ほこり臭

3. 結果

3.1 臭気判定による調査対象駅の選定

臭気強度は0から5までの6段階の尺度で評価をする。臭気強度1は、やっと検知できる程度、臭気強度2は、何のにおいであるかわかる、といった尺度が定義されている（表1）¹⁴⁾。臭気判定士による判定結果を表2に示す。地上ホーム（A 駅のみ）は開放された空間で風通しもよいため、臭気判定の結果、無臭と判定された。一方、地下ホームは臭気強度1、または1～2、臭気の性質を現す臭質としてはカビ臭、石灰臭、ほこり臭と判定された。そこで地下構内を有する調査対象駅は、測定箇所が制限される中、有効なデータが得られるよう地下と地上の両構造を備え、かつカビ臭があると判定されたA 駅とした。一方、A 駅での測定結果と比較するため、地上構造のみで一般的な橋上駅であるD 駅でも同様に微生物調査を実施することとした。

3.2 空中浮遊菌測定結果

まずA 駅の結果について以下に述べる。図5は、A 駅における空中浮遊細菌数と湿度との関係を示す。図6は、A 駅における空中浮遊カビ数と湿度との関係を示す。なお図中の菌検出量の単位 cfu (colony forming unit) は、培地で培養した菌が形成する集団（コロニー）の数を示す。細菌もカビも、同じ日に測定したにもかかわらず、細菌は地上コンコースで最も多く検出され、カビは地下ホームにて多く検出される、といった検出の傾向に違い

がみられた。細菌数は、夏の地上コンコースで統計的に多く検出された。一方、カビ数は、地下ホームで有意に多く検出されたものの、夏冬では統計的に有意な差がみられなかった。各測定部位の湿度を測定した結果、夏冬共に、地下構内において最も高い湿度を示した。特に湿度が高く確認されたのはホーム端である。A 駅における地下ホームでの平均湿度は地上外気と比較すると、それぞれ30.4ポイント（冬）、24.4ポイント（夏）高い、65.0%（冬）、87.2%（夏）であった（図5と図6）。また、トンネルから電車が入線する数分前から、トンネル内の空気が地下ホーム内へ流入するのに伴い、湿度の上昇が確認された（約10ポイント）。A 駅では、細菌数と湿度の間、およびカビ数と湿度の間には、いずれも相関はみられなかった（図5と図6）。駅全体の測定部位のカビ数と湿度には相関は見出されなかったことから考えると、地下構内は既にカビの発生、生育に適した環境であり、もはや季節により生じる外気湿度変化に伴うカビの発生量にはさほど差が生じないことが示唆された。

D 駅における空中浮遊細菌数と湿度との関係と、空中浮遊カビ数と湿度との関係をそれぞれ図7と8に示す。D 駅での空中浮遊菌数は、全体的にA 駅における検出量に比べ、少なかった。細菌数は、夏の地上コンコースで統計的に多く検出された。一方、カビ数は、夏冬間では統計的な差がみられなかった。D 駅におけるコンコースの平均湿度は、地上外気と比べ2.6ポイント（冬）、2.8ポイント（夏）のみ高い、34.2%（冬）、64.4%

特集：環境技術

(夏)であった(図7と図8)。D駅は橋上駅でありコンコースは開放されている。したがって測定部位による湿度の差が小さかったことが考えられる。また細菌数と湿度の間では、冬期にてやや相関がみられたが(相関係数

= 0.48), 夏期では相関はみられなかった。カビ数と湿度の間には、冬期にて相関がみられたが(相関係数 = 0.77), 夏期では相関はみられなかった(図7, 図8)。

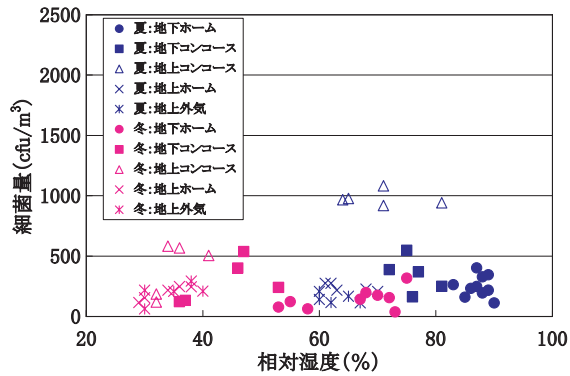


図5 A駅における浮遊細菌検出量

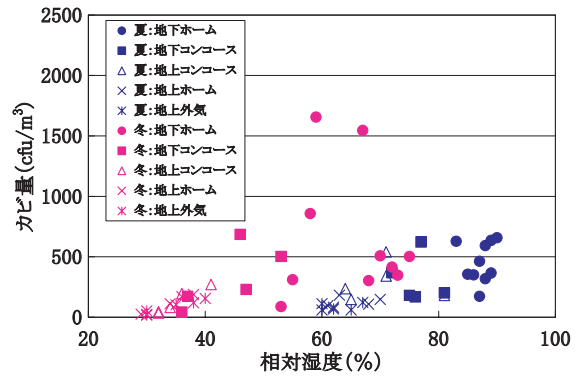


図6 A駅における浮遊カビ検出量

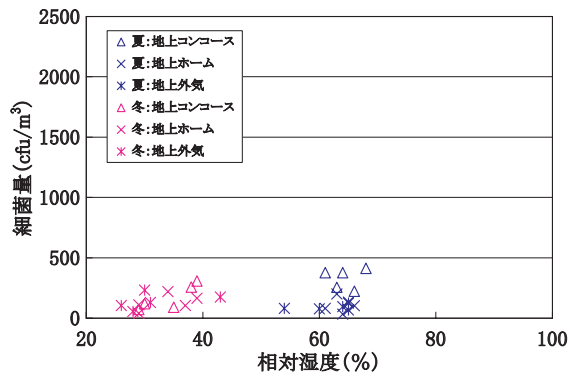


図7 D駅における浮遊細菌検出量

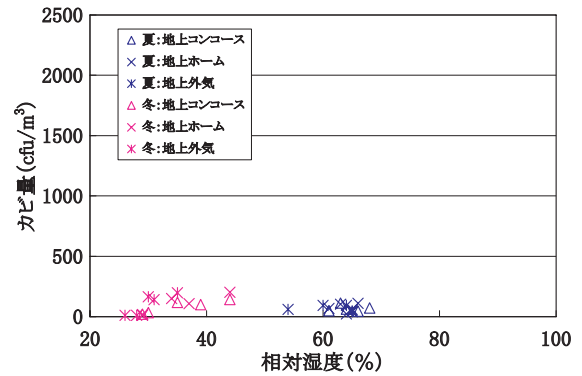


図8 D駅における浮遊カビ検出量

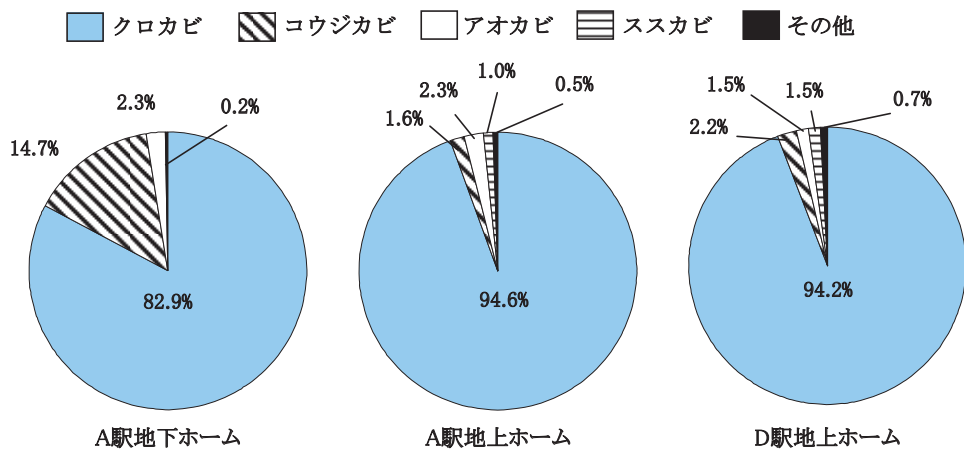


図9 カビの同定結果

3.3 カビ同定の結果

図9はそれぞれA駅地下ホーム、A駅地上ホーム、D駅地上ホームにて採取したカビの同定結果を示す。地下ホームと地上ホームとでは、検出されたカビの種類と、その占有率に若干差が見られた。一般的に屋外空気中に多く存在するススカビ^{22) 23)}は、地上ホームでは検出されたが、地下ホームでは未検出であった。また地下ホームではコウジカビの占める割合が地上ホームと比べ高い傾向を示した。コウジカビは一般的には好湿性よりは耐乾性真菌に分類され、室内での悪臭の原因ともなりうることも報告されている^{16) 24) 25)}。しかし、今回の同定結果からは、利用者に肺炎の感染を引き起こす可能性のあるカビ(コウジカビの一種)等、利用者の健康に直接的に害を与えるようなカビは検出されなかった。高湿である地下ホームにおいて、耐乾性のコウジカビの占める割合が高く、また通常地方都市の大気中でよく検出されるコウジカビの一種(*Aspergillus versicolor*)²⁶⁾が、地下ホーム内で検出されたことは興味深い。これは電車や利用者を介して地下構内へ持ちこまれたカビが、そのまま地下空間で生育し、空中浮遊菌として検出された可能性が考えられる。

4. まとめ

本報告で実施した吸込み型捕獲装置を用いた空中浮遊菌採取による微生物検出の結果、同日に同部位にて測定を実施しても、細菌とカビでは、その検出パターンが異なることが分かった。さらにA駅とD駅において1年間微生物量をモニタリングした結果、A駅地下構内では、同駅の他地上部位や橋上駅であるD駅とは異なり、季節を問わず①湿度が高く、②カビが多く浮遊し、また③検出されるカビ相に若干差がみられる、といった傾向があることも分かった。これらのことから、本報告で実施した空中浮遊微生物評価手法は、駅構内の空気中に存在する微生物を評価する上で有効な評価手法であると考えられる。

臭気判定の結果、地下構内の臭気強度は、カビ臭とほこり臭については1~2とさほど評価尺度からいうと高くはなかった。しかし、意識調査の結果から地下構内の空気環境に対する不快感が高かったことを考慮すると、カビ臭、ほこり臭は認知閾値程度であっても利用者はその空間を不快と評価することが示唆された。

5. 今後の展開

我々は郵送調査と併せて、実際に鉄道利用者に駅構内を回ってもらいその場で主観評価をするといったモニター形式による意識調査も実施している。その結果、利

用者がにおいが気になると回答した主観評価と、その部位における空中浮遊カビ検出量が高い相関を示すことも分かった^{27) 28)}。また駅で採取したカビが臭気物質を放出することが化学分析の結果分かった²⁹⁾。今後は空中浮遊細菌の同定に着手する予定である。また駅という空間内で、微生物、臭質、臭気強度、視覚要素、といった各要因が衛生で快適な駅環境を提供するにあたりどのよう影響してくるのか等について、駅シミュレータを利用した試験を通して追究していく予定である。

謝辞

カビの同定にご協力頂いた李憲俊博士(衛生微生物研究センター)に感謝する。

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) Simmons RB., Rose LJ., Crow SA., and Ahearn DG., "The occurrence and persistence of mixed biofilms in automobile air conditioning systems," *Current Microbiology*, vol. 39, pp. 141-145, 1999.
- 4) 吉沢晋, 菅原文子: 地下鉄駅構内の微生物汚染 実測結果を中心として, 空気清浄, vol. 23, pp. 2-16, 1986
- 5) Dumyahn TS., Spengler JD., Burge HA., and Muilenburg M., "Comparison of the Environments of Transportation Vehicles: Results of Two Surveys," *ASTM special technical publication*, pp. 3-25, 2000.
- 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) 川崎たまみ 他: 鉄道駅における環境評価手法の検討, 第77回日本産業衛生学会講演集, pp. 390, 2004
- 8) Kawasaki, T. et al., "Fundamental examination of hygienic assessment of the railway station environment," presented at *Proceedings at the 6th ICOH International Conference on Occupational Health Care Workers*, Kitakyushu, Japan, 2004, p. 191.
- 9) 川崎たまみ 他: 鉄道駅における微生物調査, 第78回日本産業衛生学会講演集, p. 871, 2005
- 10) Kawasaki T, et al, "Trial examination of a method to evaluate the environment in railway stations" presented at *The 10th*

特集：環境技術

- International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Beijing, China, September 4-10, 2005, Paper pp. 859-863.
- 11) 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
 - 12) 「微生物による室内空気汚染に関する設計・維持管理規準・同解説」日本建築学会環境基準 AIJES-A002-2005（日本建築学会），丸善，2005
 - 13) 「ホルムアルデヒドによる室内空気汚染に関する設計・施工等規準・同解説」日本建築学会環境基準 AIJES-A001-2005（日本建築学会），丸善，2005
 - 14) 「室内の臭気に関する対策・維持管理規準・同解説」日本建築学会環境基準 AIJES-A003-2005（日本建築学会），丸善，2005
 - 15) 柳 宇：オフィス内空気汚染対策，技術書院，2001
 - 16) Bjurman J. and Kristensson J., "Volatile production by *Aspergillus versicolor* as a possible cause of odor in houses affected by fungi," *Mycopathologia*, vol. 118, pp. 173-178, 1992.
 - 17) Korpi A., Pasanen AL., and Pasanen P., "Volatile compounds originating from mixed microbial cultures on building materials under various humidity conditions," *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 64, pp. 2914-2919, 1998.
 - 18) Claeson AS., Levin JO., Blomquist G., and Sunesson AL., "Volatile metabolites from microorganisms grown on humid building materials and synthetic media," *Journal of Environmental Monitoring*, vol. 4, pp. 667-672, 2002.
 - 19) Claeson AS., Sandstrom M., and Sunesson AL., "Volatile organic compounds (VOCs) emitted from materials collected from buildings affected by microorganisms," *Journal of Environmental Monitoring*, vol. 9, pp. 240-245, 2007.
 - 20) Schleibinger H., Laussmann D., Bornehag CG., Eis D., and Rueden H., "Microbial volatile organic compounds in the air of moldy and mold-free indoor environments," *Indoor Air*, vol. 18, pp. 113-124, 2008.
 - 21) Hocking A. D. and Pitt J. I., "Dichloran-glycerol medium for enumeration of xerophilic fungi from low-moisture foods," *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 39, pp. 488-492, 1980.
 - 22) 山崎省ニ：カラーアトラス環境微生物，オーム社出版局，2002
 - 23) 高鳥浩介：カビ検査マニュアルカラー図譜，テクノシステム，2002
 - 24) Pasanen P., Korpi A., Kalliokoski P., and Pasanen AL., "Growth and volatile metabolite production of *Aspergillus versicolor* in house dust," *Environmental International*, vol. 23, pp. 425-432, 1997
 - 25) Nalli S., Horn OJ., Grochowalski AR., Cooper DG., and Nicell JA., "Origin of 2-ethylhexanol as a VOC," *Environmental Pollution*, vol. 140, pp. 181-185, 2006
 - 26) Lepom P. and Kloss H., "Production of sterigmatocystin by *Aspergillus versicolor* isolated from roughage," *Mycopathologia*, vol. 101, pp. 25-29, 1988
 - 27) 川崎たまみ 他：鉄道駅の衛生環境について一旅客意識と微生物量の実態一，第79回日本産業衛生学会講演集，p. 800, 2006
 - 28) 川崎たまみ 他：鉄道駅の衛生環境について一旅客意識と微生物量の実態（その2）一，第80回日本産業衛生学会講演集，p. 522, 2007
 - 29) 京谷 隆 他：鉄道駅で採取された真菌が発生するに於いて物質のSPME-GCMS法による分析 第80回日本産業衛生学会講演集，p. 523, 2007