

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289198

研究課題名(和文) 個別分散型空調機における微生物汚染の低減と省エネ両立の方策

研究課題名(英文) The reduction of microbial contamination and the method of energy-saving coexistence in individual distributed air-conditioning systems

研究代表者

柳 宇 (Yanagi, U)

工学院大学・私立大学の部局等・教授

研究者番号：50370945

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究より次の事柄が明らかになった。

(1) 個別空調方式では相対湿度が70%以上に保たれる時間の長さがカビの生育に大きく影響を与える。(2) 空調機内の汚染が著しい場合、2 μ m以上の浮遊粒子と真菌の間に相関が認められた。このことより、2 μ m以上の浮遊粒子濃度からある程度浮遊真菌濃度を予測できることが示唆された。(3) 空調の吹出口から病原菌、日和見感染菌を含めた111属の細菌が検出された。(4) カビから生産するマイコトキシンが他種の真菌の成長を阻害する、すなわち競争原理が働いていることが確認された。(5) 個別システムの消費電力が中央方式ほど大きくないため、洗浄による省エネの明確な効果は確認されなかった。

研究成果の概要(英文)：The following matter became clear from this study.

(1) In an individual air-conditioning system, the length of the time when relative humidity is maintained to 70% or more affects growth of mold greatly. (2) In case of the contamination inside of an air-conditioning was remarkable, correlation between suspended particle concentration larger than 2 micrometers and airborne fungus concentration was accepted. From this, it was suggested that airborne fungus concentration can be predicted to some extent from the suspended particle concentration of 2 μ m. (3) The bacteria of 111 genus including a pathogenic bacillus and opportunistic infection bacillus were detected from the air outlet of air-conditioning. (4) The mycotoxin blocks growth of other fungi. That is, it was checked that the principle of competition is working. (5) Since the power consumption of an individual system was not so large as a central system, the clear effect of energy saving by washing was not confirmed.

研究分野：建築環境工学

キーワード：空調システム 省エネ 空気質 微生物 細菌 真菌 マイコトキシン DNA

1. 研究開始当初の背景

1980 年に入り欧米で社会問題となった SBS (Sick Building Syndromes、シックビルシンドローム) の原因究明について、Mendell¹⁾ が 1984~1992 年間発表された 32 の大規模な疫学研究の成果についてレビューを行った結果、SBS について常に高頻度で症状が申告される唯一の要素は空調であることが明らかになった。

空調機に起因する居住者の健康障害について海外、国内から多くの研究成果が発表されている。Edward²⁾ らが同じオフィスビル内で働く 27 名の従業員のうち、4 名が過敏性肺炎と診断され、その原因が空調機内で増殖した放線菌であると指摘している。また、日本国内では、安藤ら³⁾ の調査結果で日本の夏型過敏性肺炎の大半は空調機内で増殖したトリコスポロンが原因であることが明らかになった。空調機内の温湿度環境は微生物の増殖に適しており、前述した健康障害に深く関わっている。申請者らはこれまで、主として中央方式の空調システム内の微生物汚染の実態解明とその対策に関する一連の研究を行ってきており^{4)、5)}、空調機内での微生物増殖湿度環境の定量的な関係に関する知見を蓄積している。また、個別分散型空調については、あるオフィス内のカビ臭原因をアンケートと環境調査より明らかにしている⁶⁾。しかし、個別分散型空調機の種類や設置方法などは多様であるため、申請者らは個別分散型空調の微生物汚染実態の全容解明と対策の提案に至っていない。

一方、空調機の coils など微生物が付着し増殖すると熱交換効率が低下し、エネルギーの無駄使いになる。空調機内の微生物汚染の低減は室内空気質の向上のみならず、省エネにおいても重要である。

2. 研究の目的

本研究では個別分散型空調機における微生物汚染の実態を明らかにし、その低減効果の検証を行うとともに、衛生管理と省エネの両立が図られる方法について検討することを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 個別方式空調機内カビ増殖特性の解明

調査対象の概要

入居中の事務所ビル室内において調査を行った。対象は東京都 3 件、埼玉県 2 件、神奈川県 1 件、千葉県 1 件であった。なお C ビルについては 2 台の室内機を対象に測定を行った。

温湿度の測定方法

温度と相対湿度の測定には、ボタン型の温湿度ロガーを用いた。空調機内と室内の温湿度環境をそれぞれ想定し、空調機吹出し口内と吸込み口に上記の温湿度ロガーを設置し、5 分間隔の連続測定を行った。

微生物の生育環境の測定方法

微生物生育環境の調査にはカビセンサを用いた。設置個所は温湿度ロガーと同様に空調機吸込み口 (1 枚) と吹出し口内 (2 枚) とした。なお、設置期間は吸込み口 4 週間、吹出し口内 2 週間と 4 週間とした。

(2) 空調機内微生物と微粒子の関係の解明

調査対象の概要

入居中事務所ビルを中心とした 10 ビル (A~J、うち C、D、F、C、J が個別方式) を対象に調査を行った。対象ビルのそれぞれに PAC+ダクト、AHU+ダクト、天カセ PAC が備えられている。また空調機もしくはダクトのクリーニングを行った B ビル、C ビル、D ビル、E ビル、H ビルは空調機洗浄後も洗浄前同様の方法で測定を行った。なお、C ビル、D ビル、E ビルは洗浄直後、B ビル、H ビルは洗浄から約 1 週間後の測定であった。

測定方法

浮遊微生物：浮遊細菌と真菌はバイオサンプリングを用いて捕集し、細菌の測定には SCD、真菌の測定には PDA 及び、DG-18 培地を用いた。測定箇所は空調機の吹出し口と室内及び外気とし、吸引流量は 100 L/min とした。空調機からの吹き出し空気中の測定は、空調機が停止している状態で測定し、その後空調機の運転直後から連続して 4 回測定を行った。なお、その際は吹き出し空気以外の空気の混入を防ぐため吹出し口をビニールシートで養生した。またダクトを有する A ビル、B ビル、E ビル、H ビルでは 4 回連続測定した後、外乱を与えるため、ダクトを手で叩いた状態で再び上記と同様の測定を行った。培地は恒温槽にて 32 ± 2 日間 (SCD 培地) と、25 ± 3 日間以上 (PDA 培地、DG-18 培地) の条件で培養し、培養後コロニーを計数したほか、真菌については形態学による同定を行った。

浮遊粒子：浮遊粒子は粒子濃度を 6 段階の粒径別 (0.3~0.5 μm、0.5~0.7 μm、0.7~1.0 μm、1.0~2.0 μm、2.0~5.0 μm、5.0 μm~) に測定できるパーティクルカウンタ KR-12A を用いた。空調機吹き出し口、室内及び外気を対象に微生物濃度測定に用いるエアサンプラーと同時に作動させ、1 分間隔で連続測定を行った。

(3) 空調内付着微生物 DNA 解析

前述した付着微生物試料の一部を下記に示す方法で 16S rRNA 解析を行った。

DNA 抽出方法

試料採取後、フィルタを安全キャビネット内で取り出し、ストマッカー 80 スタンダードボックスに入れた後、DNA フリー水 5ml を加え、ストマッカーバイオマスターにかけ DNA を抽出した。その後袋から 1.5ml の試験管に抽出液を入れ、遠心機 (KUBOTA5911) に 4 × 3000 回転 × 30 分かけ細菌とウイルスを分離した。

精製と増幅方法

DNA の精製には Nucleo Spin を使用し、ボルテックスで液を混合させ、昇温、エタノール添加、遠心分離など 22 の工程を経た。

PCR を用いた DNA の増幅には、次に示すプロトコールで行った。 94 °C × 3 分； 94 °C × 45 秒； 50 °C × 60 秒； 72 °C × 90 秒； 上記の ~ を 35 回繰り返す； 72 °C × 10 分； 4 °C で保持。

解析方法

Agilent 2200Tape Station を用いて、解析が必要とされる核酸濃度および総量の検定を行った結果、品質条件を満たさない一部サンプルを除外した後、作成したシーケンスライブラリーを混合した。混合したライブラリーには品質向上のため、AMPureXP (ベックマ・コールター社製) を用いた。シーケンスの解析にはイルミナ 社次世代シーケンサー-Miseq を用いて塩基配列を取得した。

16S rRNA の解析において、クラスタリング、相同性検索 (Blast 検索, DDBJ 16S ribosomal RNA データベース Ver.2016_01_12 使用), 系統分類 (QIIME パイプライン使用), 系統樹データの作成 (QIIME パイプライン使用), Rarefaction 解析 (QIIME パイプライン使用), 菌叢比較 (QIIME パイプライン使用) を行った。

(4) マイコトキシンに関する検討

共存状態における真菌種別の強弱を、真菌の成長過程で生産する微生物由来の揮発性有機化合物 (MVOC : (Microbial Volatile Organic Compounds) と、マイコトキシンによる生育の阻害影響より評価を行った。本研究に使用した菌種は *Wallemia sebi* (NBRC 4439) *Cladosporium sphaerospermum* (NBRC 4458) *Penicillium chrysogenum* (NBRC 9252) *P.expansum* (NBRC 5453) *Aspergillus restrictus* (NBRC 7101) *Acremonium fusidioides* (NBRC 6813) *Rhodotorula mucilaginosa* (NBRC 0908) *R. mucilaginosa* (NBRC0909) であった。また、試験に使用するマイコトキシンはペニシリウムとフザリウムが生産する Patulin と T-2 Toxin であった⁷⁾。

4. 研究成果

(1) 個別方式空調機内カビ増殖特性の解明 温湿度

測定結果からすべての対象において間欠運転が多く行われていることが分かった。ここでは、一例として図 1 と図 2 に A ビルにおける温度、相対湿度の 1 週間の測定値を示す。温度については、運転中は吸込み口の温度が 28 付近で推移していたことから、省エネのため室温が約 28 になるよう制御されていたと考えられる。相対湿度については、運転期間中は空調機内で 70%以上あったのに対し、室内では 60%を下回っていた。また、温湿度の変動から間欠運転が多く行われていたことが図から読み取れる。

温湿度環境と微生物生育環境の関連性

図 3 に筆者らの既往の研究⁵⁾と同様に基準センサ菌の生育が認められた箇所の相対湿度累積出現頻度 (累積度数を全データ数に対

する出現頻度[%]) を示す。基準センサ菌の生育が認められた箇所の相対湿度累積分布曲線はすべて破線の範囲 (相対湿度 70%以上で累積出現頻度が 30%以上) に入っていることが分かる。この結果から個別空調方式においても、中央方式と同様に相対湿度が 70%以上に保たれる時間の長さがカビの生育に大きく影響を与えることが明らかになった。また、この結果は筆者らが以前に行った中央方式空調機内の結果⁵⁾と一致している。

図 4 に相対湿度累積出現頻度とカビ指数の関係を示す。なお、C ビルにおいては、天カセ (a) と天吊 (b) の 2 台分のデータを示している。相対湿度 70%以上の累積出現頻度が 30%付近を境目に生育の有無が分かれており、30%付近を超えると基準センサ菌の生育速度は相対湿度の上昇に従って速くなることが認められた。図 5 にカビ指数と相対湿度の変動係数の関係を示す。この図から変動係数が 10%以上の場合に比べ、10%以下の場合のカビ指数が小さくなっており、カビの増殖が抑制される傾向にあることが明らかになった。

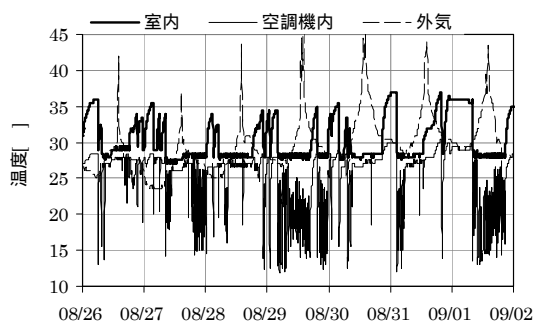


図 1 温度の経時変化 (A ビル)

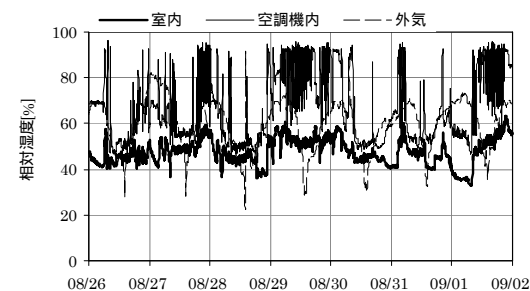


図 2 相対湿度の経時変化 (A ビル)

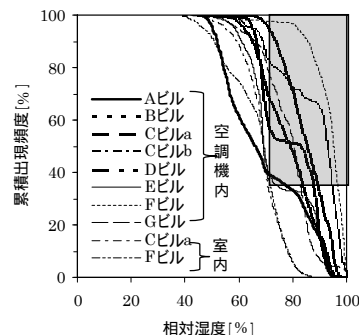


図 3 カビの生育が見られた箇所

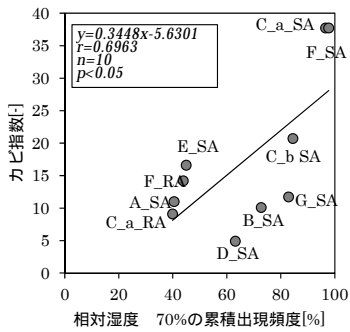


図 4 カビ指数と相対湿度の関係

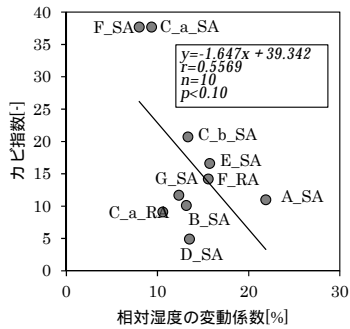


図 5 カビ指数と相対湿度の変動係数の関係

(2) 空調内微生物と微粒子の関係

図 6 に 2.0-5.0 μm の粒子濃度と微生物と粒子間の相関係数の分布を示す。なお、図中の塗りつぶされている点が正の相関、塗りつぶされていないのが負の相関である。B ビルと E ビルを除けば、ほとんどのビルで 1000 p/L 以下に分布していた。図 6 のように比較的低い濃度のビルでは、粒子濃度が同程度であっても相関係数は測定対象によって大きく異なっており、相関の有無に濃度（低濃度の場合）による影響はないものと思われる。濃度が 1000 p/L を超えるなど他のビルに比べ顕著に高い濃度がみられた B ビルと E ビルでは有意な相関 ($P < 0.01$) が得られ、空調機内の汚染が著しい場合両者の間に相関が認められた。これは B ビル、E ビルのみによる結果であり、汚染が顕著にあった場合の特徴といえる。そのため、今後は粒子濃度と相関の有無について、これらと同程度、あるいはそれ以上の濃度のビルにおいて更なる調査を行い、ある一定の濃度を超えると相関が得られるのか、また濃度にある程度関係して相関が高くなるのか、などについて検討を行う必要があると思われる。

(3) 空調機内付着微生物の DNA 解析

16S rRNA 塩基配列解析を行った結果、空調の吹出口から 111 属の細菌が検出された。そのうち、反応数の上位 20 属は次の通りである。Actinobaculum, Corynebacterium (コリネバクテリウム、結核菌と比較的近縁であり、外毒素を産生して、動物やヒトに対する病原性を持つものが含まれる)、Kocuria (コクリア、放線菌)、Cloacibacterium, Staphylococcus (ブドウ球菌)、Lactobacillus

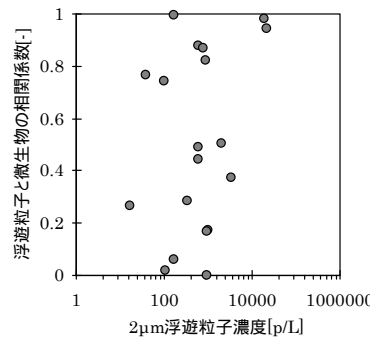


図 6 浮粒子と微生物関係

(ラクトバシラス、乳酸菌)、Streptococcus (ストレプトコッカス悪性の要素があり、急性咽喉炎や扁桃炎などの熱や感染症、リウマチ熱、虫歯などを引き起こす菌である)、Anaerococcus (アナエロコッカス、腋に多く存在する嫌気性常在菌で、既存薬剤が効きにくいことから腋臭(ワキガ)の要因の一つ。)、Peptoniphilus、Fusobacterium、Methylobacterium (メチロバクテリウム、水環境に生育している)、Pleomorphomonas (プレオモルフォモナス)、Agrobacterium (アグロバクテリウム、土壌菌)、Paracoccus (パラコッカス、土壌菌)、Sphingomonas (スフィンゴモナス、水環境、土壌、植物など様々な環境に生育している)、Janthinobacterium (ジャンシノバクテリウム)、Hydrogenophilus (ヒドロゲノフィルス)、Acinetobacter (アシネトバクター、土壌、河川水など自然環境中からしばしば分離される環境菌であり、乾燥に比較的強い性質を持ち、また動物の糞便などからも分離される。)、Enhydrobacter (水性菌)、Pseudomonas (シュードモナス、緑膿菌、日和見感染菌)。また、洗浄により、Kocuria, Cloacibacterium, Fusobacterium、Methylobacterium、Agrobacterium が検出されなくなった。

(4) マイコトキシンの解析

P. chrysogenum 及び *R. mucilaginosa* に対して劣勢である *C. sphaerospermu* の MVOC では物質によってばらつきがあるものの、マイコトキシンの実験では大きく阻害の影響を受けていることが確認された。しかし、孢子混合液の実験において *C. sphaerospermu* が極端に抑制されていなかったのは、成長速度が早いために他の菌種が成長する前に栄養源の確保ができていたなど自らの成長に必要な条件が揃ったためであると考えられる。

W. sebi は孢子混合液の実験において、14 日間安定した成長を続けており、MVOC 実験でも抑制は殆ど受けていなかった。*W. sebi* は生育速度が遅いが、他の菌種に対して影響を与えていたため、成長速度が異なる菌との共存状態においてもその影響はあることが確認された。*A. fusidioides* も孢子混合液の実験において *W. sebi* や *R. mucilaginosa* と同様の傾向を示していることから、これらに類

似した特徴を持っていることが考えられる。*P. chrysogenum* は原液の *Patulin* 及び T-2 Toxin を塗布した場合、コロニー数が大幅に減少した。マイコトキシンが他種の真菌の成長を阻害する、すなわち競争原理が働いていることが考えられる。

(5) 省エネ

同環境中に設置された2系統の個別方式空調において、空調機洗浄を行った系統とそうでない系統の消費電力の測定を行った。個別系統の消費電力が中央方式ほど大きくないため、洗浄による省エネの明確な効果は確認されなかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計15件)

A. 原著論文(計4件)

- 1) 柳 宇、鍵直樹、東賢一、鎌倉良太、杉山順一、大澤元毅：高齢者福祉施設における室内環境に関する研究-第2報 室内温湿度・CO₂濃度の長期間連続測定結果、空気調和・衛生工学会論文集、No.229、pp.15-22、2016
- 2) 柳 宇、鍵直樹、大澤元毅、池田耕一：個別方式空調機内におけるカビ増殖特性に関する研究、空気調和・衛生工学会論文集、pp.31-38、2015
- 3) 柳 宇、四本瑞世、杉山順一、緒方浩基、鍵直樹、大澤元毅：高齢者福祉施設における室内環境に関する研究、第1報 遺伝子解析法を用いた微生物汚染実態詳細調査の結果、空気調和・衛生工学会論文集、No.215、pp.19-26、2015
- 4) Tetsuro OTSUKA、 Yuji SUYAMA and U YANAGI、 Method for Generating Fungal Spores Using Dry Dispersion and Ultrasonic Device、 Report of the Research Institute of Industrial Technology、 Nihon University、 Number98、 pp.1-9、 February 24、 2014

B. 雑誌論文(査読あり)(計11件)

- 1) 柳 宇：講座：建築物の衛生と微生物制御 空気調和設備の適正管理、日本防菌防黴学会誌、Vol.44、No.4、pp.47-54、2016
- 2) 柳 宇：外気処理の過去と現在、空気調和・衛生工学、Vol.89、No.11、pp.3-7、2015
- 3) 柳 宇：病院環境における微生物の汚染実態とその対策、臨床環境医学、第24巻、第3号、pp.1-6、2015
- 4) 柳 宇：空気清浄機による浮遊微生物の除去性能の試験法、空気清浄、No.53、pp.15-18、2015
- 5) 柳 宇：ハウスダスト中のカビ、空気清浄、Vol.52、No.3、pp.29-33、2014
- 6) 柳 宇：新たな健康阻害要因 - 生物汚染、保健医療科学、Vol.63、No.4、pp.342-349、2014
- 7) 事務所ビル室内浮遊粒子の特徴と実態、

建築設備と配管工事、Vol.52、No.11、1-5、2014

- 8) 柳 宇：室内環境と微生物、空気清浄、第52巻、第1号、pp.45-54、2014
- 9) 柳 宇：新公衆衛生概論 - 健康で快適な社会のために - 建築物の微生物環境衛生、生活と環境、平成25年11号、pp.1-5、2013
- 10) 鍵直樹、柳 宇、星野芳昭：空調機加湿メディアにおける微生物と臭気成分の実態調査、空気清浄、第51巻、第2号、pp.18-22、2013
- 11) 柳 宇：気化式加湿器における微生物汚染の対策方法、空気清浄、第50巻、第5号、pp.18-23、2013

〔学会発表〕(計20件)

- 1) Riku Watanabe、 U Yanagi : A STUDY ON THE BEHAVIOUR AND CONTROL OF MICROBES IN AIR CONDITIONING SYSTEM、 Healthy Buildings Europe 2015、 ID507
- 2) 柳 宇：室内環境中のバイオエアロゾルの実態と対策、平成27年度室内環境学会学術大会、p.330、2015
- 3) 渡辺陸、柳 宇：空調システム内における微生物と微粒子の関係、第32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、pp.167-169、2015
- 4) 渡辺陸、柳 宇：パッケージ型空調機に用いられる機材表面でのカビ増殖特性、建築物衛生管理の現状、平成26年室内環境学会学術大会後援要旨集、pp.268-269、2014
- 5) 鈴木拓斗、柳 宇、渡辺陸：空調システムクリーニング効果に関する考察、建築物衛生管理の現状、平成26年室内環境学会学術大会後援要旨集、pp.200-201、2014
- 6) 柳 宇、鍵直樹、鎌田洋一：共存状態でのカビ生育特性に及ぼす競争原理の影響に関する検討、日本防菌防黴学会 第41回年次大会、p.270、2014
- 7) 柳 宇、鍵直樹、大澤元毅：個別方式空調機内での微生物増殖の特性、空気調和・衛生工学会平成26年度大会、pp.105-108、2014
- 8) 渡辺陸、柳 宇：個別空調方式における微生物の生育特性に与える温湿度環境の影響、第23回日本臨床環境医学会学術集会、p.91、2014
- 9) 山谷芙紗子、柳 宇、鍵直樹：真菌の生育特性に及ぼすマイコトキシンの影響に関する基礎研究、第23回日本臨床環境医学会学術集会、p.67、2014
- 10) 柳 宇：建築環境における微生物の汚染・健康影響・改善対策、第23回日本臨床環境医学会学術集会、pp.53-54、2014
- 11) 四本瑞世、柳 宇、緒方浩基：社会福祉施設内環境における微生物汚染の防止に関する研究 その1 数種の施設におけ

る遺伝子解析法を利用した微生物汚染の実態評価、第48回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集、pp.193-196、2014

- 12) 柳 宇、鍵直樹、鎌田洋一：共存状態でのカビ生育特性に及ぼす競争原理の影響に関する検討、日本防菌防黴学会 第41回年次大会、p.270、2014
- 13) 横山貴紀、柳 宇、鍵直樹、大澤元毅：パッケージ型空調機における温湿度環境と微生物汚染の実態解明に関する研究、平成25年室内環境学会学術大会講演要旨集、pp.232-233、2013
- 14) 柳 宇、吾孫子正和、菅野昇平、松本英志、岡部優志：アースチューブにおける微生物汚染の実態とその対策方法、空気調和・衛生工学会平成25年度大会、pp.29-32、2013
- 15) 四本瑞世、柳 宇、杉山順一、緒方浩基、鎌倉良太：オフィスビルにおける室内環境に関する研究(第2報) 遺伝子解析法を利用した室内浮遊微生物の実態調査、空気調和・衛生工学会平成25年度大会、pp.25-28、2013
- 16) 杉山順一、横山貴紀、鎌倉良太、四本瑞世、緒方浩基、柳 宇、斉藤敬子：オフィスビルにおける室内環境に関する研究(第1報) 室内環境ならびに浮遊微粒子と微生物の特性、空気調和・衛生工学会平成25年度大会、pp.21-24、2013
- 17) 横山貴紀、柳 宇、四本瑞世、鍵直樹、大澤元毅：DNA塩基配列解析法を利用した個別分散型空調機内付着微生物汚染実態の解明、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.907-908、2013

〔図書〕(計8件)

- 1) 柳 宇：室内環境における微生物対策、pp.19-22、pp.29-35、pp.47-52、pp.125-134、pp.150-156、技報堂出版、2016
- 2) 柳 宇：菌・カビと人類とのかかわりは？、菌・カビを知る・防ぐ60の知恵、p.94、化学同人、2015
- 3) 柳 宇：建築物の微生物環境衛生、知っておきたい新公衆衛生学、pp.80-86、日本環境衛生センター、2015
- 4) Yanagi U：Air Pollution and Pollutants、Chapter 12、Microbial contamination in indoor environment、pp.187-206、AcademyPublish.org、2014
- 5) 柳 宇：ビル用マルチ型空調システム計画・設計から性能評価まで、空気調和・衛生工学会発行、pp.29-36、2014
- 6) 柳 宇：環境アレルギーアドバイザー試験公式テキスト、pp.270-278、pp.298-336、日本能率協会マネジメントセンター、2013

6. 研究組織

- 1) 研究代表者

柳 宇 (YANAGI U)

工学院大学・建築学部・建築学科・教授
研究者番号：50370945

- 2) 研究分担者
野部達夫 (NOBE TATSUO)
工学院大学・建築学部・建築学科・教授
研究者番号：40338273

鍵直樹 (KAGAI NAOKI)
東京工業大学・情報理工学(系)研究科・准教授
研究者番号：20345383

研究者番号：20345383
鎌田洋一 (KAMATA YOUICHI)
岩手大学・農学部・教授
研究者番号：20152837

参考文献

- 1) Mendell, M.J. Non-specific symptoms in office workers: a review and summary of the epidemiologic literature. *Indoor Air* 3:pp. 227-236、1993
- 2) Edward F.B, et al. Hypersensitivity pneumonitis due to Vontamination of an Air Conditioner、*The New England Journal of Medicine*、283(6)、pp.271-276、1970.
- 3) 安藤正幸：わが国における過敏性肺炎の現況と展望、*The Japanese journal of antibiotics* 50(1)、pp.77-84、1997
- 4) 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 .日本建築学会環境系論文集、No.593、pp.49-56、2005
- 5) 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、No.617、pp.53-56、2007
- 6) 柳 宇、鍵直樹、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4報 - 個別方式空調における「かび臭」原因究明のための調査、日本建築学会環境系論文集、No.654、pp.721-726、2010