

## 審査の結果の要旨

氏 名 柳 宇

本論文は建物の空調システムの微生物汚染にかかわる諸問題を系統的に分析し、その対策を定量的に論じたものである。空調システムに関連した微生物汚染に関わる問題は、例えば「加湿器病」のように比較的古くから知られている。最近では、過敏性肺炎が空調システムに関連する問題として注目されている。しかしながらこれらの問題に関して、疫学または臨床医学的な観点からの検討は行われて来たが、工学的な衛生の問題という観点から建物の空調システムが系統的に検討されたことは殆どない。空調システム内に限らず、微生物の生育は、酸素、栄養源、温湿度が必要な条件となっている。空調システムはこれら条件を兼ね備えるものであり、細菌、真菌といった微生物の温床となっている。本論文ではこのような背景の下、建物の空調システムの微生物汚染に関して、屋外空気の入入口から室内への調和空気の吹き出し口まで、すなわち空調システムの入口から出口まで微生物汚染の成因と対策に関して詳細かつ定量的な検討を加えている。本論文の構成と特徴は以下の通りである。

### 1. 空調システム内における微生物汚染の特徴の解明

第1章で微生物による汚染問題を概括したのち、第2章、3章で、実環境下における微生物の生育環境を、温湿度とバイオセンサーにより定量的に評価している。その結果、冷房期と暖房期を問わず空調システム内の温湿度環境は好湿性と好乾性微生物の生育には適さないが、冷房期の冷却コイル下流からダクト内までの間では、70～95%の相対湿度範囲を適とする微生物の生育にとって好環境となっていることを明らかにしている。また、相対湿度70%以上に保たれる時間の長さが微生物の生育状況を左右し、その出現累積頻度が30%を超えると微生物の生育速度はこれに比例して速くなることを見出している。

### 2. 空調用ダクト内汚染対策の評価とその効果評価方法の確立

従来のダクト内に付着する微生物などを含む微粒子量の測定、評価には、拭い取り法、光透過法及び吸引法があるが、これらは付着粒子量が少ないダクトや、丸ダクト・小サイズダクトなどへの適用が困難であった。このような空調用ダクト内の汚染評価は、ダクト内の清掃にとって必要不可欠であるが、ダクト内清掃は一般に業務の行われないう休日を利用して行われることが多く、清掃直後の休日あけには直ちに室内が使用されるケースが多いことから、現場での測定が容易でしかもその場で清掃の効果を評価できる簡便な方法が必要とされて来た。

第4章では、本論文で新たに開発された「デジタル画像法」による付着微粒子量の評価について述べている。「デジタル画像法」は試料の採取と画像の解析により付着粒子量を求める方法である。この「デジタル画像法」により、現場で試料の採取から解析結果を得るまでの一連の作業に要する時間は30分程度であり、付着粒子量の少ないケースにも適応できるとしている。

この方法は画像処理技術を駆使し、面積率という指標から付着粒子量を求めるという独

創的な計測、処理方法である。また本論文では、単に空調用ダクト内の付着粒子量を簡易に測定、処理する方法を提案するだけでなく、実際に使用中の9つのオフィスビルの空調用ダクト内においてこの方法の検証を行い、その妥当性について明快な結果を得ている。

### 3. 抗菌コイルの適用とその評価方法の提案

冷房期、空調システム内の熱交換器（冷却コイル）の表面は湿度が高くなるため、多くの微生物が生育することが確かめられている。しかし、コイル清掃などにかかわる全国規模のアンケート調査（第7章）では、調査対象建物の70%以上が空調機の熱交換コイルの清掃が行われておらず、コイルでの微生物汚染に対して何らかの対策が必要になっている。

第5章では、抗菌素材を熱交換コイルのフィンにコーティングしたのに関し、空調運転の状態でその抗菌性能を評価する方法を提案し、実際に評価を行っている。検討はまずフィルム密着法（JIS Z 2801）に準じて、抗菌材の抗菌性能に関する試験を行い、抗菌材の抗菌性能を確認した後、金属イオンを微量分析より定量し、その結果から抗菌メカニズムの考察を行っている。次に、抗菌性能を定量的に評価するための指標API（Antibacterial Performance Index）を提案し、実際の空調運転時を想定してフィンの抗菌性能評価を行い、API指標が実用的な指標であることを確認している。

### 4. 浮遊微生物粒子に対するエアフィルタ捕集性能の解明

事務所ビルの空気清浄装置には、粒子状物質による室内空気汚染を低減するために、中性能、低性能のろ過式エアフィルタが用いられている。このフィルタの性能評価は、微生物の種類に対応する粒径別の除去性能の測定が有用となるが、現状のエアフィルタの捕集率の評価はこれを考慮できない比色法または重量法によることがほとんどである。

第6章では実際に建物で使用中のエアフィルタの粒径別捕集性能を計測し、その特性を明らかにしている。この結果は、フィルタの実際の設計に用いることのできる詳細なものである。また、エアフィルタの捕集率は浮遊粒子の粒径の対数関数で表されること、浮遊黄色ブドウ球菌の捕集率は浮遊粒子の $1\mu\text{m}$ 以上の捕集率にほぼ等しく、浮遊総菌では $2\mu\text{m}$ 以上の浮遊粒子の捕集率に、浮遊真菌では $5\mu\text{m}$ 以上の粒子の捕集率に近似していることなどを明らかにしている。

以上、要約するに本論文はこれまで汚染の可能性が強く指摘されていながら、工学的見地から組織的、系統的に取り組みられていなかった建物の空調システム内の微生物汚染に関し、屋外空気の取り入れ口からエアフィルタ、空調システム内の熱交換コイル、加湿器、空調ダクト、室内への吹き出し口に至るまで、微生物の生育条件、抗菌素材の効用、清掃の効果の評価など系統的かつ包括的な検討結果を示している。この成果は、建物の衛生管理に大きな技術的寄与をなすものであり、建築環境工学、設備工学に大きく貢献するものである。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。