

平成13年度厚生科学研究費補助金(生活安全総合研究事業)

室内空気中の微生物防止対策に関する研究

報 告 書

平成14年 3月

財団法人 ビル管理教育センター

室内空気中の微生物防止対策に関する研究報告書

目次

I. 調査研究の概要	1
1. 研究の背景と目的	1
2. 研究計画・方法	1
2.1 研究課題	1
2.2 委員会構成	2
II. 室内環境中およびダクト内の浮遊微生物に関する研究	5
1. はじめに	5
1.1 研究の目的と背景	5
1.2 調査・研究概要	5
2. 空調システムの汚染状況	6
2.1 空調システム内部の汚染	6
2.1.1 空調システム内部の汚染物質	6
2.1.2 空調システム内部の汚染の実態	11
2.2 空調システム汚染の諸問題	16
2.2.1 環境衛生的問題	16
2.2.2 防災的問題	17
2.2.3 機能的問題	17
2.2.4 経済的問題	18
2.3 空調システムの汚染診断と清掃の必要性	19
2.4 ダクトクリーニング工法	19
2.5 ダクトの汚染診断手法	22
2.5.1 定性的診断方法	22
2.5.2 定量的診断方法	22
2.5.3 評価判定	23
2.6 ダクト汚染実測値	27
2.6.1 付着粉じん量	27
2.6.2 付着微生物量	28
3. ダクト清掃作業施工中の室内環境中およびダクト内の浮遊微生物実態調査	30
3.1 目的	30
3.2 調査方法	30
3.2.1 調査対象施設	30
3.2.2 使用機器	30
3.2.3 測定条件	31
3.3 運転状態による汚染濃度変化	31
3.4 定常運転状態での汚染調査	33
3.5 清掃後の経過時間と汚染濃度	34

4. 空調機及びダクト内における化学物質レベル	36
4.1 調査概要	36
4.2 調査結果	37
4.3 まとめ	41
5. ダクト汚染評価・ダクト清掃評価方法	42
5.1 ダクト清掃・清掃評価方法の考え方	42
5.2 定性評価法	42
5.3 定量評価法	43
5.3.1 評価指標	43
5.3.2 評価基準	43
5.4 測定方法	46
5.4.1 付着粉じんの測定方法	46
5.4.2 浮遊総菌数の測定方法	47
5.5 測定時期の検討	54
5.6 まとめ	54
6. 居住状態にあるビル室内の浮遊微生物実態調査	61
6.1 調査対象及び方法	61
6.2 調査時期及び規模	61
6.3 調査項目及び調査方法	62
6.3.1 室内浮遊微生物	62
6.3.2 室内環境項目	62
6.4 調査結果および考察	62
6.4.1 室内環境項目	62
6.4.2 浮遊微生物数と環境因子との関連	64
6.5 まとめ	66
7. 総括	67
<b>Ⅲ. 循環式浴槽及び水景施設における微生物に関する研究</b>	<b>68</b>
1. 水景施設における微生物に関する研究	68
1.1 水景施設におけるレジオネラ属菌調査	68
1.1.1 調査目的	68
1.1.2 調査方法	68
1.1.3 調査結果	69
1.1.3.1 水景施設の概要	69
1.1.3.2 微生物及び理化学調査の結果	74
1.1.4 レジオネラ属菌が検出された水景施設事例	83
1.1.5 まとめ	92
1.1.6 考察	93
1.2 「室内空気中の微生物汚染に関する調査研究報告書」(平成12年度厚生科学研究補助金) の水景施設周辺における微生物の実態調査から大阪府及び横浜市のデータ解析…	96
1.2.1 調査目的	96
1.2.2 調査方法	96
1.2.3 調査結果	97
1.2.3.1 水景施設の概要	97

1.2.3.2	微生物及び理化学検査の結果	101
1.2.4	まとめ	110
1.3	提言	112
1.4	水景施設におけるレジオネラ症防止対策マニュアル作成	113
1.4.1	マニュアル作成の目的と背景	113
1.4.2	水景施設におけるレジオネラ症防止対策マニュアル	114
2.	循環式浴槽における微生物に関する研究	144
2.1	はじめに	144
2.1.1	循環式浴槽水のレジオネラ属菌汚染状況	144
2.1.2	調査の目的	146
2.1.3	調査の概要	146
2.1.4	調査・試験項目と方法	146
2.2	循環式浴槽実態調査	147
2.2.1	調査の概要	147
2.2.2	宿泊施設（旅館）における調査	148
2.2.3	社員寮における調査	152
2.2.4	日帰り温泉入浴施設における調査	158
2.2.5	考察	162
2.2.6	まとめ	164
2.2.7	循環式浴槽のレジオネラ属菌汚染対策の現況調査	165
2.3	循環式浴槽に関するレジオネラ汚染調査の実施状況に関するアンケート調査	173
2.3.1	調査の概要	173
2.3.2	調査期間	173
2.3.3	調査項目	173
2.3.4	調査結果	173
2.3.5	考察	188
2.3.6	まとめ	190
2.4	総括	195
付録-1		197
(1)	塩素消毒	197
(2)	塩素濃度と殺菌効果	199
(3)	浴槽水に対する塩素の殺菌効果	199
(4)	紫外線殺菌	200
(5)	オゾン殺菌	201
(6)	銀・銅イオン殺菌	202
付録-2	循環式浴槽水の抗酸菌汚染	205
付録-3	アンケート調査データ一覧	207

## I. 調査研究の概要

### 1. 研究の目的と背景

室内空気質（IAQ：Indoor Air Quality）は影響を受ける建物の範囲が極めて広く、また室内空気の汚染物質も粒子（生物・非生物）やガス状物質等多種がある。中でも近年、室内空気の浮遊微生物（特に細菌）による集団感染症（結核・レジオネラ症・MRSA等）の多発は重大な問題となっており、緊急な対応が迫られている。

また、昨今の経済的緊縮度が増すなかで IAQ が対応する環境もまた当然厳しいものが増している。

このため、平成 12 年度厚生科学研究補助金（生活安全総合研究事業）「室内空気中の微生物汚染に関する調査研究」として、①室内環境中及びダクト内の浮遊微生物の実態調査、②水景施設周辺における微生物の実態調査、③建築物内における水景全般に亘るレジオネラ汚染防止の検討を実施し、現状の実態把握を行った。

なお、本年度は上記の研究成果を踏まえ、建築物をめぐる内外空気の環境条件の変化や室内環境空気に対する管理条件の変化に対して、微生物を含めた室内空気管理の在り方並びに微生物汚染の効果的な防止対策を検討したものである。

### 2. 研究計画・方法

#### 2. 1 研究課題

室内空気中の微生物防止対策に関する研究を実施するため、以下に挙げる項目について調査・研究を行った。

#### (1) 室内環境中及びダクト内の浮遊微生物に関する研究

##### 1) ダクト汚染に関する研究

- ①ダクトによる室内空気汚染のメカニズムの解明
- ②ダクト気流中の真菌、細菌の空気力学的挙動の違いの明確化
- ③ダクトクリーニングの効果評価・判定法の確立
- ④ダクトクリーニング時期の目安の判定法の確立
- ⑤室内 VOC 汚染へのダクトの寄与の定量化

##### 2) 室内の微生物汚染に関する研究

- ①室内の微生物汚染の質的量的実態把握
- ②室内気流中の真菌、細菌の空気力学的挙動の違いの明確化
- ③室内微生物測定法の確立

## (2) 水景施設及び循環式浴槽における微生物に関する研究

水景施設及び循環式浴槽におけるレジオネラ属菌の増殖メカニズムに関する研究

- ①水景施設における継続的実態調査
- ②循環による増殖速度の調査
- ③循環式浴槽における入浴者数等の影響調査
- ④維持管理方法、設計施工対応等を含めた汚染防止対策の在り方についての検討

### 2. 2 委員会構成

本研究の目的を達成するために、財団法人ビル管理教育センターに「室内環境中及びダクト内の浮遊微生物に関する研究委員会」（委員長：池田耕一；国立公衆衛生院）、「水景施設及び循環式浴槽における微生物に関する研究委員会」（委員長：紀谷文樹；神奈川大学）を設置した（表1，2）。さらに部会として、「ダクト清掃・評価方法作成部会」、「水景施設における微生物に関する研究部会」、「循環式浴槽における微生物に関する研究部会」を設置して（表3～5）研究方法等について具体的な方針を決定後、調査・研究を実施した。

表1 室内環境中及びダクト内の浮遊微生物に関する研究委員会

	氏名	所属	役職
委員長	池田 耕一	国立公衆衛生院建築衛生学部	部長
委員	大廻 和彦	日本ウイントン(株)技術部	部長
"	狩野 文雄	東京都立衛生研究所環境保健部	主任研究員
"	高鳥 浩介	国立医薬品食品衛生研究所衛生微生物部	第3室長
"	田中 誠	東京都食品環境指導センター建築物衛生課	課長補佐
"	朴 俊錫	国立公衆衛生院建築衛生学部	研究員
"	八太 豊	ミドリ安全(株)環境機器事業本部技術開発部	部長補佐
"	目黒 克己	(財)ビル管理教育センター	理事長
"	山崎 省二	国立公衆衛生院衛生獣医学部	部長
"	柳 宇	新日本空調(株)技術研究部	副主査
オザハ	竹内 黎明	日本ダクトクリーニング協会	事務局長
"	三上 壮介	ミドリ安全(株)環境事業本部	顧問

表2 水景施設及び循環式浴槽における微生物に関する研究委員会

	氏名	所属	役職
委員長	紀谷 文樹	神奈川大学工学部建築学科	教授
委員	赤井 仁志	(株)ユアテック営業本部営業部	副長
"		リニューアルグループ環境チーム	
"	縣 邦雄	アクアス(株)つくば総合研究所技術一部	部長
"	荒井 桂子	横浜市立衛生研究所検査研究課	
"	遠藤 卓郎	国立感染症研究所寄生動物部原生動物室	室長
"	小川 正晃	(株)ユニ設備設計	取締役社長
"	金子 岳夫	東京都中央区保健所日本橋保健センター 生活衛生課	主査
"	中谷 肇一	東京都衛生局生活環境部環境指導課	副参事
"	古畑 勝則	麻布大学環境保健学部	助教授
"	目黒 克己	(財)ビル管理教育センター	理事長
"	藪内 英子	岐阜大学医学部微生物学講座	非常勤講師
"	山口 恵三	東邦大学医学部微生物学講座	教授
"	山崎 和生	(株)西原衛生工業所技術管理部	部長
"	山吉 孝雄	大阪府公衆衛生研究所公衆衛生部	主任研究員
事務局	高柳 保	(財)ビル管教育センター調査研究部	副部長
	斎藤 敬子	(財)ビル管教育センター調査研究部研究検査課	主任調査役
	杉山 順一	"	"

表3 ダクト清掃・評価方法作成部会

	氏名	所属	役職
部会長	山崎 省二	国立公衆衛生院衛生獣医学部	部長
委員	池田 耕一	国立公衆衛生院建築衛生学部	部長
"	大廻 和彦	日本ウイントン(株)技術部	部長
"	高鳥 浩介	国立医薬品食品衛生研究所衛生微生物部	第3室長
"	八太 豊	ミドリ安全(株)環境機器事業本部技術開発部	部長補佐
"	柳 宇	新日本空調(株)技術研究部	副主査
ワザハ	竹内 黎明	日本ダクトクリーニング協会	事務局長
"	三上 壮介	ミドリ安全(株)環境事業本部	顧問

表4 水景施設における微生物に関する研究部会

	氏名	所属	役職
部会長	山吉 孝雄	大阪府公衆衛生研究所公衆衛生部	主任研究員
委員	荒井 桂子	横浜市立衛生研究所検査研究課	
"	金子 岳夫	東京都中央区保健所日本橋保健センター 生活衛生課	主査
"	小瀬 博之	東洋大学工学部環境建設学科	講師
"	山崎 和生	(株)西原衛生工業所技術部付	部長

表5 循環式浴槽における微生物に関する研究部会

	氏名	所属	役職
部会長	小川 正晃	(株)ユニ設備設計	取締役社長
委員	赤井 仁志	(株)ユアテック営業本部営業部 リニューアルグループ環境チーム	副長
"	縣 邦雄	アクアス(株)つくば総合研究所技術一部	部長
"	荒井 桂子	横浜市立衛生研究所検査研究課	
"	遠藤 卓郎	国立感染症研究所寄生動物部原生動物室	室長
"	金子 岳夫	東京都中央区保健所日本橋保健センター 生活衛生課	主査
"	古畑 勝則	麻布大学環境保健学部	助教授
"	藪内 英子	岐阜大学医学部微生物学講座	非常勤講師



## Ⅱ. 室内環境中およびダクト内の浮遊微生物に関する研究

### 1. はじめに

#### 1. 1 研究の目的と背景

室内浮遊粒子状物質がアレルギー、シックビル症候群(Sick Building Syndrome :SBS)やビル関連疾病(Building Related Illness :BRI)に関与するという多くの論文が発表されているが、空調システム内部汚染と室内空気環境(Indoor Air Quality :IAQ)の因果関係については、現状では全てが解明されている訳ではない。しかしながら、多くの空調システム、特に空調用及び排気用ダクト内の汚染度調査によれば、想像を超えた粉じん・化学物質・微生物等の存在が報告されている。人々の健康に関わる環境衛生の維持管理が予防保全を建前とするなら、未然に防止されるべきである。

空調設備の点検と清掃により、多くの人々が快適で衛生的な生活が出来ることは社会的にも経済的にも意義のあることである。

IAQの問題は影響を受ける建物の範囲が広く、また室内空気の汚染物質も粒子状物質(生物・非生物)やガス状物質等多岐にわたっている。中でも近年、欧米を中心に浮遊微生物による空気汚染問題は重大な社会的関心と呼んでおり、緊急な対応が迫られている。

このような状況をふまえ、本調査研究は室内空気環境を調和する空調システムの適応管理の在り方について、先ずダクト内の汚染の実態を調査(微生物を含む)し、その清浄化評価法を検討すること、また、浮遊菌サンプラーを用い室内空気中の浮遊微生物(細菌・真菌を含む)の実態を調査し、室内空気管理の在り方について検討する基礎資料を得ることを目的とするものである。

- 1) 室内環境中及びダクト内の汚染状況
- 2) ダクト清掃作業中の室内環境中及びダクト内微生物実態調査
- 3) ダクト汚染評価・ダクト清掃評価法
- 4) 居住状態にあるビル室内の浮遊微生物実態調査

#### 1. 2 調査・研究概要

##### (1) 室内環境中及びダクト内の汚染状況

第2章においては、ダクトを含む空調システム全体における浮遊粉じん、浮遊微生物による汚染の状況、環境衛生問題、火災等の防災問題、経済性を含む維持管理上の問題点、汚染の評価法などについて広く概説している。

##### (2) ダクト清掃作業中の室内環境中及びダクト内微生物実態調査

第3章では、昨年度調査に引き続きダクト清掃作業施工中のオフィスビルにおいて、浮遊粉じんおよび浮遊微生物の実測調査を行い、測定方法や時期(清掃後の経過時間)について検討すると共に、実測された清掃前後の汚染レベルを把握し、基準値に関しても検討している。

### (3) ダクト汚染評価・ダクト清掃評価法

室内空気中の微生物汚染対策に関する研究委員会内にダクト清掃・評価方法作成WG(以後WGと略す)を設けて、ダクト汚染の評価並びにダクト清掃の評価方法を検討した。

### (4) 居住状態にあるビル室内の浮遊微生物実態調査

第6章においては、居住状態にあるビル室内において、浮遊粉じん、CO、CO<sub>2</sub>等いわゆるビル管6項目を測定すると同時に浮遊微生物測定を実施し、ビル管6項目と浮遊微生物濃度との関連を検討し、推定式を作成し、ビル管6項目の中の幾つかの項目の経時変動より、浮遊微生物濃度の推定をし、推定値と実測値の比較を行っている。

## 2. 空調システムの汚染状況

### 2. 1 空調システム内部の汚染

オフィスビルを中心として、空調システムを備えた多くの建物ではその室内空気のほとんどは空調システムを通して供給される。本来、空調システムは快適な温湿度環境の保持あるいは室内空気質の改善などを行い、健康な生活を営むための設備である。しかし、空調システムの内部、特に空気の搬送経路である空調ダクト内部が汚染されていれば、室内空気も汚染されてしまう。そのため、室内空気質を良好に保つためには、空調システムの内部を清浄な状態に保つことが不可欠である。

空調システム内部汚染の原因としては、粉じんだけではなく、細菌・真菌などの微生物、VOC、臭気などが挙げられる。汚染物質および汚染物質について、ダクト内部を中心に以下に概説する。

#### 2. 1. 1 空調システム内部の汚染物質

##### (1) 粉じん

空調システム内の粉じんは内面に付着・堆積しているものと、システム内に浮遊しているものとに分けられる。

空調機内のエアフィルタの捕集効率は100%ではないため、フィルタを通過した微細粉じんは空調システム内で、沈降・浮遊を繰り返し、風圧・温度・湿度などの影響を受けて相互に衝突しながら集塊し、粉じん塊・粉じん群を形成していく。

##### ① 付着・付着粉じん

ダクト内部の粉じんには付着力の強弱があり、一般的には空調機に近いダクト上流域は粉じんに油脂分が含まれ強固に付着し、下流域は付着力が弱い。粉じんの付着・堆積状況はダクトの用途によっても異なるが、給気ダクトの場合、付着・堆積量はダクト底面に最も多く、次に側面、天井面の順であり、概ねその比率は65:25:10程度である(表2-1)。

表 2 - 1 矩形ダクト内 部位別付着粉じん量

建物	下面	側面	上面	経年数
1	24.32	10.44	3.28	30
2	13.88	5.32	3.20	22
3	28.90	15.50	6.00	30
4	44.24	3.48	3.56	36
5	13.80	10.40	6.86	22

単位：g/m<sup>2</sup>

次に粉じんの成分であるが、東京都内の 6 施設から粉じんを採取し分析した結果、土砂の主成分である珪酸のほか、カルシウム化合物、酸化鉄などが検出された<sup>1)</sup>(表 2 - 1、表 2 - 3)。また、6~8%のタール分が含まれているが、これは主に自動車の排気ガスや室内での喫煙によるものと推察される。無機質と有機質の割合は概ね 6:4 の比であった。

表 2 - 2 粉じんの主な元素

建物	Fe (鉄)	Cu (銅)	Mn (マンガン)	Pb (鉛)	Zn (亜鉛)
A	70.4	0.45	1.19	5.62	431.0
B	91.5	0.49	1.25	4.90	393.0
C	156.0	0.64	1.18	2.37	219.0
D	27.7	0.54	0.47	1.13	11.6
E	42.9	0.39	0.44	2.75	227.0
F	430.0	0.41	1.25	0.88	87.3

単位：mg/g

表 2 - 3 ダクト内付着粉じんから検出された化学成分

建物	検出された物質
A	SiO <sub>2</sub> 、CaSO <sub>4</sub> ・2H <sub>2</sub> O、CaCO <sub>3</sub> 、MgO、CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> 、Ca <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>10</sub>
B	SiO <sub>2</sub> 、CaSO <sub>4</sub> ・2H <sub>2</sub> O、KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> MgO、Al <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>10</sub> 、CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> 、Al <sub>2</sub> 、O <sub>3</sub>
C	SiO <sub>2</sub> 、CaSO <sub>4</sub> ・2H <sub>2</sub> O、CaCO <sub>3</sub> 、Al <sub>2</sub> 、O <sub>3</sub> 、Ca <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>10</sub> KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> 、Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
D	α-SiO <sub>2</sub> (Quartz)、CaSO <sub>4</sub> ・2H <sub>2</sub> O、CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> (Anorthite Low)
E	α-SiO <sub>2</sub> (Quartz)、CaSO <sub>4</sub> ・2H <sub>2</sub> O(Gypsum)
F	α-SiO <sub>2</sub> (Quartz)、CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> (Anorthite Low)、CaSO <sub>4</sub> ・2H <sub>2</sub> O(Gypsum)、CaCO <sub>3</sub> (Calite sym)

建物の経過年数と付着粉じん量との関係は、立地条件、使用状況などにより差異はあるものの、経過年数が経つほど付着・付着粉じん量は増加する傾向にある（表2-4）。

表2-4 ダクト内付着粉じん量

建物	都市	建物経年	ダクト内付着粉じん量 (g/m <sup>2</sup> )		空調方式
			清掃前	清掃後	
A	堺市	15	9.00~15.00	0.45~0.60	各階ユニット
B	門真市	20	2.50~10.20	0.66~0.83	各階ユニット
C	東京都	21	7.92~20.00	0.08~0.85	中央方式
D	大阪市	25	4.50~23.50	0.25~0.83	中央方式
E	東京都	31	13.88~20.00	0.36~2.30	中央方式
F	東京都	38	28.90~49.00	1.28~3.48	各階ユニット

② 浮遊粉じん

ダクト内部に付着・堆積した粉じんは、空調機の起動時のような外乱が生じると飛散して粉じん濃度が上昇し、定常運転状態になるにつれて安定していく（図2-1）。

空気中の浮遊粉じんは通常 0.01 $\mu$ m~10 $\mu$ m 程度の粒径のものが多く、人間の肺に影響を及ぼす大きさは 0.3 $\mu$ m~10 $\mu$ m のものであるといわれている。

浮遊粉じん濃度は温湿度や室内・外気の汚染濃度などさまざまな条件によって変化するが、付着・付着粉じんと同様に建物の経過年数が経つほど増加する傾向にある（表2-5）。

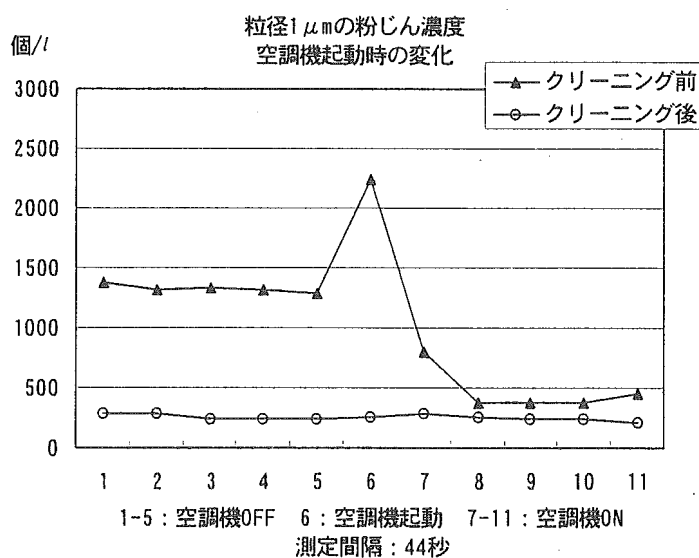


図2-1 空調機起動時の浮遊粉じん濃度変化

表 2 - 5 吹き出し口における浮遊粉じん濃度（粒径0.3 $\mu$ m）

建物	建物 経年	浮遊粉じん濃度 (個/L)
A	1~9	34,883
B		86,047
C		128,837
D	10~19	116,279
E		206,512
F		242,791
G	20~	173,023
H		349,767
I		452,093

## (2) 微生物

空調システムの各部位のうち、微生物汚染に直接関係するものとしては、ダクト、冷却コイル、加湿器などが考えられる。これらの汚染の室内環境への直接的な影響としては、給気ダクト内からの微生物の放出によるアレルギー問題などの SBS、BRI が報告されている。また、冷却塔などの冷房関連設備や加湿器内の加湿水などのレジオネラ菌による汚染問題、MRSA（メチシリン耐性黄色ブドウ球菌：Methicillin Resistant Staphylococcus aureus）などの微生物による院内感染、医療機関、教育機関、社階福祉施設などでの結核やインフルエンザの集団感染は社会的問題となっている。

### ① 付着微生物

空調システム内に粉じんが付着・堆積すると水分の凝縮などにより、ある程度の湿度が保たれる結果、微生物の増殖に適しているという報告がなされている。

全国各地の 110 以上の施設からダクト内部の粉じんを収集し、粉じん中の細菌量および真菌量を調査した結果、粉じん 1g 当たり細菌量は平均で  $10^4$  個、真菌量は  $5 \times 10^3$  個が確認され、還気ダクト内粉じん中の細菌量・真菌量は給気ダクト内粉じんに比較し、5~10 倍高い傾向が見られた（図 2 - 2）。

これまで、空調機内には細菌が真菌より多いがダクト内粉じんには真菌が多く、細菌は少ないという報告もあったが、細菌も真菌に劣らず多く存在することが確認された。

また、発現した細菌はグラム陽性桿菌が主にみられ、真菌は *Cladosporium*、*Penicillium* が多い傾向にある。細菌は生物由来の菌であることから、室内環境（在室人員等）との関連性についても今後の研究が待たれるところである。真菌は環境由来の菌であり、高湿度を好み僅かな栄養源があれば、20℃~35℃の範囲が最も増殖しやすいといわれている。建物の経過年数による微生物量の差異は明らかでない。

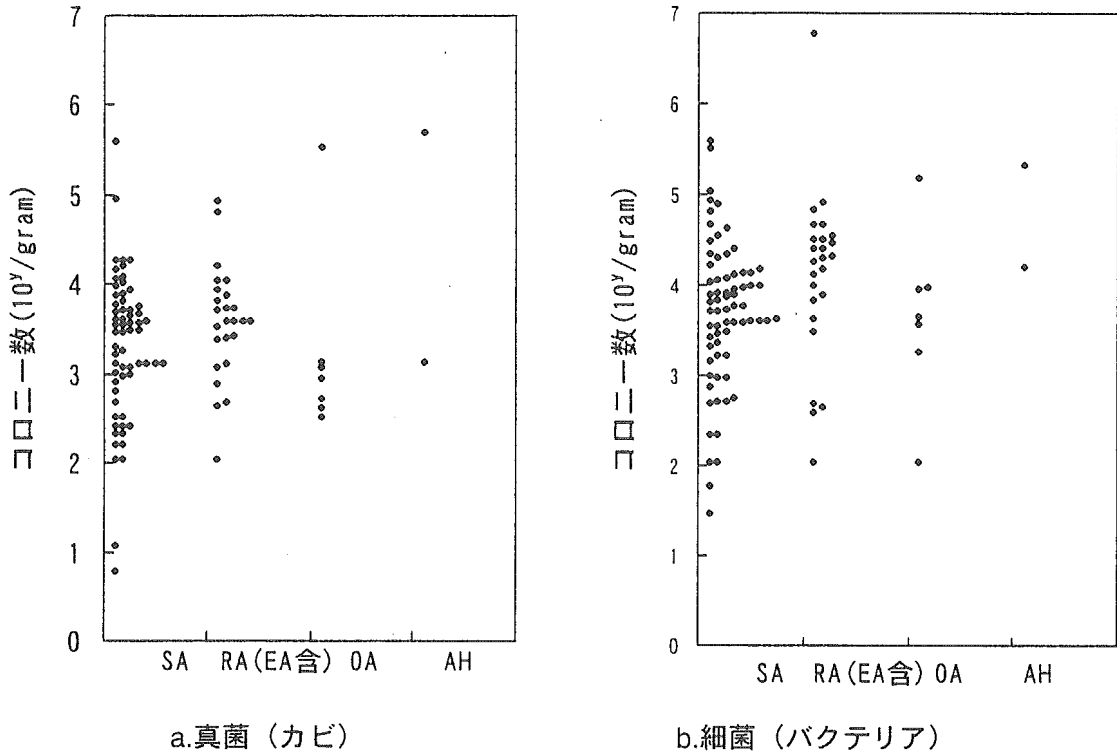


図 2-2 ダクト内粉じん中の微生物量

② 浮遊微生物

空調システム内の浮遊微生物の挙動は、計測器の性能上の問題などから明らかでないが、付着粉じん中の微生物が相当量見られることから、浮遊微生物についても、空調気流とともに相当量が室内へと放出されているものと思われる。菅原らの報告<sup>2)</sup>によれば、ダクトからの放出真菌濃度は室内の真菌濃度とほぼ一致しており、室内の真菌濃度はダクトからの放出によって構成されていると述べている。

昨年度の調査の結果によれば、細菌では乾燥に強い好気性菌を中心としたものがみられ、室内では *Micrococcus* 属のような球菌が多くみられた。このことは人的な要因によって室内が汚染されているためと考えられる。ダクト内では室内とは逆に、熱などに抵抗性の強い孢子形成菌 *Bacillus* 属が多く見られた。また、真菌では空調機起動時のような外乱が生じた際に浮遊粉じんと同様に真菌数の増加が認められ、菌種では *Cladosporium*、*Penicillium* に強い関係が見られた。この 2 菌種は環境中での主要真菌であり環境汚染の指標とされている。*Cladosporium* は本来土壌由来または植物由来であり、環境の外的因子として影響を及ぼす。*Penicillium* は土壌由来であるが、環境の外的因子として室内やダクトに飛散し、粉じんに付着しながら生息しているものが空調システムから放出されているものと思われる。

(3) 揮発性有機化合物 (VOC : Volatile Organic Compound)

VOC は多くの種類があるため、その発生源も多様である。既往研究では各種建材や生活用品に対する問題が指摘されているが、空調システムの VOC による汚染の調査研究は多くはない。昨年度の調査結果によると、ダクトを含む空調システムでは芳香族炭化水素、脂肪族炭化水素、ハロゲン、アルコール、エーテル、エステル、ケトン類

が存在しており、個々の物質では約 76 の有機化合物が検出されている。

空調システムの各部位における TVOC (Total VOC : 総揮発性有機化合物) の測定では、空調機からダクトを介して吹き出し口に至るまでに化学物質濃度が増加していく傾向がみられた。特に、空調機内部の冷却、加熱コイル前後で高い濃度が確認されており、空調機の維持管理の不備によっては清浄な空気を送る筈の空調機内部が室内化学物質のひとつの発生源になりうることを示唆している。

また、最近の研究では建物内に存在する微生物の中には生殖と代謝の副産物としてアルコール類やケトン類をはじめとする多くの化学物質を放散するものが報告されており<sup>3)</sup>、微生物由来の化学物質 (MVOC : Microbial VOC) による臭気や室内空気質への影響が問題になりつつある。

## 2. 1. 2 空調システム内部の汚染の実態

空調システムは空気を浄化、冷却・減湿、加熱・加湿し送風するための送風機をユニットにした空調機と、その空気を搬送するダクトに大別され、ダクト種類ごと (表 2-6)、部位ごと (表 2-7) に汚染の状況や汚染物質も異なる。

### (1) 外気 (OA) ダクトの汚染

空調システムは、通常、外気 30%、室内空気 70% の割合で混合した空気を送風機によって循環させている。外気取り入れ口は通常高い位置に設置されているが、質量の小さい土砂、自動車の排気ガスなどは外気とともに吸入される。したがって、外気ダクトの汚染は、外気取り入れ口の位置だけではなく、その建物の位置している周辺環境の影響を大きく受けることになる。

ダクト内の汚染状況は、微細土砂などがダクト底面に付着・堆積する傾向がみられ、成分としては有機質系、無機質系に分けられ、その内有機質系にはタール分が多く含まれる。

また、屋上の冷却塔の冷却水で増殖したレジオネラ属菌が、外気取り入れ口から吸入され、空調システムを通り室内に拡散され、多数の人が感染し死亡した事例も報告されている。

### (2) 還気 (RA) ダクトの汚染

空調システムにおける還気ダクトは、給気ダクトから供給された室内空気を空調機に戻す役割をしている。給気ダクトがフィルタを介した空気を供給しているのに対し、還気ダクトは室内空気を直接空調機へ戻すこととなり、給気ダクトに比較して粉じんの付着・堆積量が多い。

ダクト内の汚染状況は、人の行動から発生する衣服の繊維、カーペットの屑、ペーパーダストなどの繊維質粉じんがダクト全体にわたり付着・堆積する傾向がみられる。

### (3) 給気 (SA) ダクトの汚染

給気ダクト内の汚染の主要因は、フィルタを通過した微細粉じんが、その粒径、温湿度、静電気、粘性、質量、流速などのさまざまな複合的要因により集塊化し付着・堆積する。この粉じんがある程度の厚みまで堆積すると、送風気流により剥離し吹き

出し口から室内に飛散し、室内を汚染させることとなる。

ダクト内の汚染状況は、炭素質系の粉じんや結晶質、錆、ガラス繊維などが多く見られ、ダクト底面や分岐部、ダンパなどの乱気流が発生する部位に多く付着・堆積する傾向がある。亜鉛鉄板のダクトでは発錆は少ないが、鋼板を使用しているダンパや空調機内部のケーシングなどに発錆が多く、経年劣化によりダクト内に飛散してくることが多い。また、ガラス繊維は、消音チャンバなどの内貼り材が劣化したものが多くみられる。

#### (4) 外気取り入れガラルの汚染

一般的にフィルタを通さない外気を直接吸い込む部分であるため、ガラルの羽根板やその内側のダンパに汚れがつきやすい。建物の立地条件にもよるが、一般的には砂状の粉じんが多い。また、錆が発生しやすい部位でもある。

#### (5) フィルタの汚染

汚染物質を除去する部分であり、その目的からいって、当然汚染度の高くなる箇所である。外気および環気の汚染がそのままフィルタの汚染となる。

#### (6) コイルの汚染

フィルタを通過した粉じんがコイルに付着する。また、コイル表面だけでなく細かい隙間にも粉じんが付着する。粉じん付着が進行すると、熱交換効率の低下や風量低下などを招く。

#### (7) 加湿装置の汚染

水分の多い箇所であることから、結晶状粉じん（カルキ分）や錆の発生が多い。

#### (8) チャンバの汚染

気流が乱れる場所であり、粉じんの堆積が多い。また、保温・消音材であるグラスウールやモルトプレーンの劣化、飛散が見られる場合もある。

#### (9) ダンパの汚染

気流が乱れる場所であり、粉じんの堆積が多い。



表 2-6 ダクト種類別 汚染状況

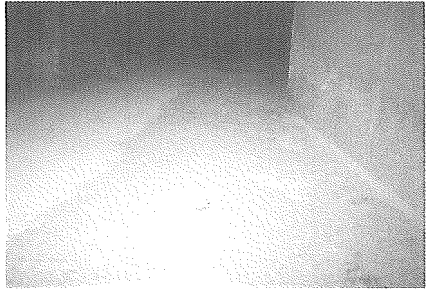
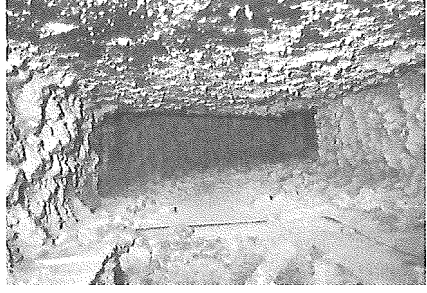
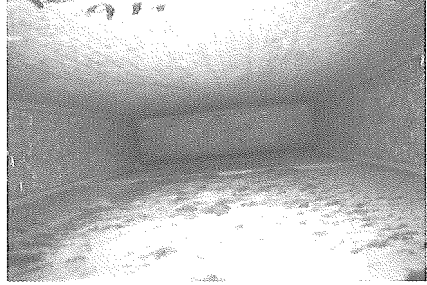
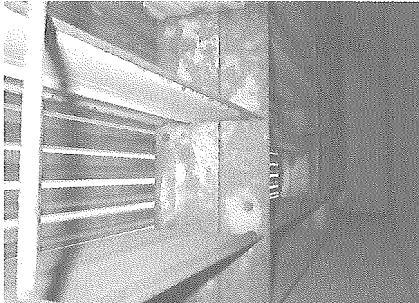
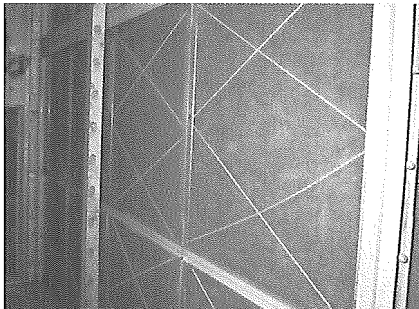
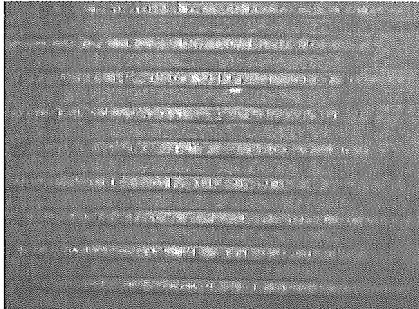

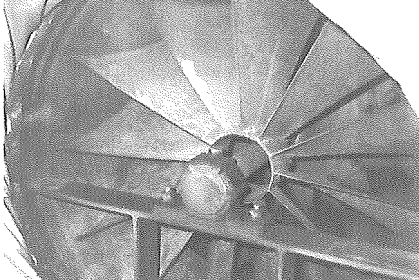

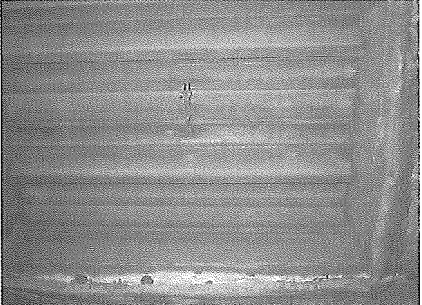
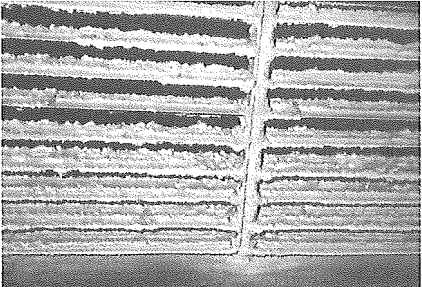

ダクト種別	特徴	付着・堆積状況
OA ダクト	<p>ダクトのほぼ全面に付着・堆積するが、砂等の重いものは底面に堆積し、堆積量も多い。 炭素質、結晶質が多く、燃焼性は低い。</p>	
RA ダクト	<p>ダクトのほぼ全面に付着・堆積する。 通常、室内の粉じんをフィルターを通さず直接吸い込むため、室内で発生した繊維質が多く、燃焼性が高い。</p>	
SA ダクト	<p>ダクトの底面や気流の当たる変形部や突出部に主として堆積し、全体の堆積量は比較的少ない。</p>	

表 2-7 空調システム部位別 汚染状況

部位	特徴	付着・堆積状況
外気取り入れ ガラリ	外気を直接吸い込む部分であり、汚れが付きやすい。 一般的には、砂状の粉じんが多く、錆が発生しやすい部位でもある。	
空調機内部 フィルタ	汚染物質を除去する部分であり、当然汚染度の高くなる箇所である。 外気及び還気の汚染がフィルタに付着する。	
空調機内部 コイル	フィルタを通過した粉じんは、コイルに付着する。 粉じん付着が進行すると、熱交換効率の低下や風量低下などを招く。	
空調機内部 加湿装置	水分の多い箇所であることから、結晶状粉じん（カルキ分）や錆の発生が多い。	
空調機内 ファン	気流の乱れる部分であり、粉じんが付着しやすい。 また、可動部分であるため、付着した粉じんが飛散しやすい。	

部位	特徴	付着・堆積状況
チャンバ	<p>気流が乱れる場所であり、粉じんの堆積が多い。</p> <p>また、保温・消音材であるグラスウールやモルトプレートの劣化・飛散が見られる場合もある。</p>	
ダンパ	<p>気流が乱れる部分であり、粉じんの堆積が多い。</p>	
RA 吸い込み口 シャッター	<p>室内の空気はほぼすべてこの部分を通過し循環するが、通常はフィルタなどは取り付けられておらず、粉じんが付着しやすい。衣類やカーペットなどから発生した繊維質が多い。</p>	
SA 吹き出し口	<p>SAダクトから吹き出した粉じんや室内で発生した粉じんが、気流の乱れや静電気の影響で吹き出し器具や天井に付着する。</p>	

## 2. 2 空調システム汚染の諸問題

空調システムは、前述のようにさまざまな物質により汚染され、その汚染箇所・部位も多岐に渡る。このような汚染は環境衛生的問題や防災的問題などさまざまな問題を引き起こす。

### 2. 2. 1 環境衛生的問題

室内に供給される空気の通り道であるダクトが汚染されると、当然供給される空気も汚染され室内空気質（IAQ）の低下を招く。以下に汚染物質別の環境衛生的問題を列挙するが、これらの汚染物質は単体で論じられるべきではなく、複合汚染として捉えなければならないし、多方面からの対策が必要である。

#### （1）浮遊粉じんによる汚染

一般室内環境では、呼吸器系の病気を引き起こすほど浮遊粉じん濃度が高くなることはほとんどないといえる。しかし、病気になるほど高濃度ではなくても、喉がいがいがする、目がしょぼしょぼするなどの症状を引き起こすこともあり、部屋全体としてはほこりっぽいという感覚を居住者に抱かせる。また、直接の悪影響ではないが、吹き出し口周辺が黒ずむ、吹き出し口から机上や床に粉じんが落下するなどの衛生的問題も起こる。

また、粉じんは、粉じん単体としてだけでなく、微生物の運搬者としても考えられる。

#### （2）微生物による汚染

ダクト内部には非常に多くの微生物が存在しており、単体で、または、粉じんに付着した形で室内に放出される。これらの微生物は、アレルギーや呼吸器系の病気を引き起こす原因となる。直接的に病気を引き起こす微生物が存在することはまれではあるが、日和見感染症の原因となる菌はダクト内に多く存在し、子供、老人、病気の人などのいる室内においては注意を要する。また、ダクトそのものは発生源ではないが、クーリングタワーから飛散したレジオネラ属菌がダクトを通して室内へ放出されレジオネラ症の集団感染を引き起こすこともある。

また、微生物はにのいの発生源としても注目すべきである。特にいわゆるカビ臭は空調システムに起因する場合も多い。

#### （3）VOCによる汚染

ダクトそのものからの発生はまれではあるが、空調機やダンパ、ガラリを塗装した直後には、高濃度のVOCがダクトを通して室内へ放出されると考えられる。VOCはいわゆるツンとするにおいを感じさせるだけではなく、ひどい場合には、中毒症状や皮膚粘膜刺激症状を引き起こすこともある。

また、ダクト内の微生物がその生命活動に伴い発生するVOCに関する研究も進められている。

#### （4）においによる汚染