

平成17年度厚生労働科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）

建築物における環境衛生管理に関する研究

平成17年度 総括・分担研究報告書

平成18年3月

財団法人 ビル管理教育センター

平成 17 年度厚生労働科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）
建築物における環境衛生管理に関する研究報告書

目 次

I. 研究の背景と目的	2
II. 研究課題	3
III. 研究組織	3
IV. 研究成果	6
IV-1 室内エアロゾルの性状とその評価方法に関する研究	6
1. はじめに	6
1.1 研究目的	6
1.2 研究組織	8
1.3 本年度の調査研究の概要	9
2. アスベスト汚染の現状と対策	11
2.1 海外でのアスベスト関連文献調査	11
2.2 鼻部吸入曝露実験によるロックウールの肺内動態	13
2.2.1 はじめに	13
2.2.2 試料と方法	13
2.2.3 結果	15
2.2.4 考察	16
3. 特定建築物における粒子状物質と化学物質の実態調査	25
3.1 測定概要	25
3.2 粒子状物質の実測調査結果	32
3.3 微生物	67
3.3.1 測定方法	67
3.3.2 結果及び考察	69
3.3.3 まとめ	76
3.4 化学物質の実測調査結果	77
3.4.1 測定・分析方法	77
3.4.2 結果および考察	78
3.5 粒子状物質の組成分析	83
3.5.1 ICP-MS による粒子状物質の金属組成分析	84

4.	喫煙室における汚染実態調査	97
4.1	分煙対策とたばこ煙の影響	97
4.1.1	測定概要	97
4.1.2	測定結果	109
4.2	喫煙空間における粒子状物質の EC/OC 及びニコチン測定結果	143
4.3	ガス状物質の測定結果	154
4.3.1	環境たばこ煙(Environmental Tobacco Smoke:ETS)中の ガス状物質測定法の調査	154
4.3.2	東京1建物における予備調査	157
4.3.3	予備調査結果	158
4.3.4	3-ET およびニコチン分析法の回収率 および回収率の保存日数依存性の確認	163
4.3.5	各施設の実測調査	165
4.3.6	各施設の実測調査結果および考察	166
4.4	大学における分煙区画と濃度の実態	172
4.4.1	分煙区画の形態種類と測定濃度	172
4.4.2	換気ガラリを有する分煙区画の問題抽出	176
5.	パッシブ法を用いた化学物質の全国追加調査	177
5.1	追加調査の概要	177
5.1.1	測定調査概要	177
5.1.2	測定方法の概要	177
5.2	調査結果	178
5.3	まとめ	180
6.	室内環境の測定精度の考察	181
6.1	概要	181
6.2	試験方法	181
6.3	配布試料の作成	182
6.3.1	ブランク試料の作成	182
6.3.2	標準添加試料の作成	182
6.3.3	室内空気捕集試料の作成	182
6.4	実験結果	183
6.4.1	前処理条件及び分析条件	183
6.4.2	クロマトグラフの状態と検量線	184
6.4.3	配布試料の均一性確認用サンプルの測定結果	190
6.4.4	配布試料の測定結果の集計	190
6.5	まとめ	194
7.	まとめ	195

2.3	循環濾過式浴槽の生物浄化槽の細菌構成	273
2.3.1	目的	273
2.3.2	方法	273
2.3.3	結果	274
2.3.4	考察	274
2.4	リアクタによるバイオフィルムの生成抑制に関する検討	276
2.4.1	目的	276
2.4.2	実験方法	276
2.4.3	結果および考察	278
2.4.4	まとめ	282
3.	消毒および細菌検査	284
3.1	残留塩素濃度測定法の特性評価	284
3.1.1	試験の目的	284
3.1.2	残留塩素濃度測定方法	284
3.1.3	pHの影響	287
3.1.4	アンモニウムイオン存在時の影響	289
3.1.5	各種温泉水の残留塩素の挙動	292
3.1.6	まとめ	296
3.2	塩素処理に伴う消毒副生成物の検討	298
3.2.1	結合塩素の生成特性	298
3.2.2	循環系浴槽水のトリハロメタン生成能	301
3.3	レジオネラ属菌検査用GVPN培地の性能比較	307
3.3.1	はじめに	307
3.3.2	材料と方法	307
3.3.3	結果	308
3.3.4	考察	311
3.3.5	参考文献	311
4.	給水設備における水質挙動	312
4.1	目的	312
4.2	水質調査	312
4.2.1	特定建築物における夏期時の水質検査結果	312
4.2.2	水道事業体における水質検査結果	321
4.3	水質検査結果の比較および考察	326

厚生労働科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）
総括研究年度終了報告書

建築物における環境衛生管理に関する研究

1. 室内エアロゾルの性状とその評価方法に関する研究
2. 建築物の給水における水質管理に関する実態調査

主任研究者 目黒 克己（（財）ビル管理教育センター理事長）

研究要旨

室内空気質における微小粒子及び化学物質の建築物内の実態把握ならびに規制のあり方等についての検討を目的とした。また循環式浴槽のレジオネラ症防止対策として、ろ過装置の構造上の問題点等に注目し、衛生的な維持管理方法の検討を目的とした。

空気環境については汚染物質の測定方法の検討及び特定建築物における各種汚染物質の実測として、粒子状物質測定では空調時における質量濃度と微粒子の個数濃度測定を行うとともに、粒子組成について検討した。化学物質測定では空調時におけるVOCやアルデヒド類等の化学物質濃度を調査した。また、建築物における喫煙の影響について検討した。建築物内の水環境では貯水槽への受水による水質影響について消毒副生成物の挙動を調査した。循環式ろ過器の構造上の問題点として、ろ過処理速度とろ材に及ぼす影響について検討した。各種残留塩素濃度測定法の特性評価および結合型残留塩素測定の留意点を検討するとともに各種温泉水質での実用性を調査した。

その結果、室内空気質調査結果では、空調時の粒子状物質濃度は非空調時よりも低濃度であり、空調による換気効果が見られた。化学物質も同様に濃度上昇はみられなかった。喫煙調査結果として、喫煙区域は基準値を脅かないものの、空気環境に影響を及ぼしている可能性があった。また受動喫煙防止対策の効果は、空気清浄機や局所排気等による対策を講じても、喫煙・非喫煙の区切りがない場合は粒子状物質やガス状物質等の漏洩が確認され、既存建築物による受動喫煙防止対策の困難さが窺えた。貯水槽への受水による消毒副生成物の上昇は新規項目では確認できなかった。循環式浴槽のろ過器はろ過層厚 600 mm で流速 40m/h が除去能力の高い結果となった。また、逆洗はろ過層厚 600 mm の場合で流速 40m/h、400 mm の場合で 35m/h が好条件であった。残留塩素測定では pH やアンモニウムイオンの条件で測定不可な測定器もあり、特に温泉水を使用している場合は泉質により誤差を生じることが確認された。

以上の結果より、特定建築物の居室内における粒子状物質及び化学物質については換気が適切に行われていれば問題ないことが確認できた。今後、居室内の室内空気質を評価するにあたっての計測項目及び測定方法を早急に取りまとめたい。循環式浴槽ろ過器の汚濁除去の効率良い運転条件等が明確にした。今後、ろ過器製造業者等へ周知し、感染事故を未然に防止したい。残留塩素測定は特に泉質により測定に不向きな方法もあることから、浴場管理者等に改めて周知する注意がある。

I. 研究の背景と目的

1. 室内空気質の実態把握とその評価方法に関する研究

室内空気質(IAQ)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)や揮発性有機化合物等多様である。昨今、経済的緊縮度の増大や省エネルギー化対応の強化等の社会的状況のなかで、建築物の換気量が抑制される傾向にあり、IAQの悪化が懸念されている。中でも近年、室内環境における浮遊微生物による集団感染症の多発は重大な問題となっているほか、平成15年の健康増進法の施行により、受動喫煙防止対策として喫煙室等の設置やたばこ煙を屋外に排出する方式の喫煙対策機器を設置、これら設備の適切な維持管理が規定され、建築物の維持管理の観点から緊急な対応が求められている。

平成14年度に取りまとめられた建築物衛生管理検討会報告書では「室内の浮遊粉じんに関しては、形状、粒径、化学組成等の性状や挙動の把握を行った上で、その粉じんの有害性等について科学的知見を踏まえて、基準値や測定方法の再検討が必要である」と提言された。これを受け、平成15年度より2ヶ年に亘って特定建築物の居室内におけるエアロゾルの粒径別濃度測定や評価方法の検討及びVOC等の化学物質の測定・評価方法の検討を目的として、特定建築物においてIAQ実態調査を実施してきた。これらの知見を踏まえた上で、今年度は追跡調査として、室内微粒子物質の個数濃度測定による評価方法や特定建築物における受動喫煙防止対策の取組み状況、対策の有無や対策法による効果の検証、使用目的の異なる部屋におけるVOC類等の測定を実施した上で、健康影響等を考慮し、適正な評価及び規制方法のあり方等について提言することを目的とする。

2. 建築物の給水における水質管理に関する実態調査

建築物内の給水管理に関する事項としては、水道水の水質基準が改正された。平成4年の水道水水質基準の大幅な改正後10年以上経過し、社会的、科学的状況の変化が生じたことから、水質基準の見直しが図られた。消毒副生成物項目については原水の種類や浄水方法等によりトリハロメタン以外の物質が問題提起され、健康影響等を考慮し追加された。これを受けて建築物衛生法では給水設備内における水温、塩素量、時間、有機物量等の影響を受け生成されると考えられるシアン化物イオン及び塩化シアンやハロ酢酸等の6項目について6月1日から9月30日までの間、1年に1回検査することと追加された。

また、建築物内の水利用設備として浴槽もある。

特に循環式浴槽についてはレジオネラ症集団感染事例報告等があり、緊急な対応が求められている。レジオネラ症防止対策として、過去の研究で「循環式浴槽におけるレジオネラ症防止対策マニュアル」として循環式浴槽の管理方法等を示した。しかし、循環配管の内壁等に付着し、レジオネラ属菌の温床となるバイオフィルムの除去等の洗浄方法については詳細に謳われておらず、循環式浴槽の管理者等は定期的な換水及び換水時の浴槽の清掃にとどまっているのが現状である。

そこで、建築物内の給水水質の実態調査を全国的に実施し、建築物内給水の水質実態を把握して、健康影響等を考慮した上で検証を行い、建築物内給水設備における維

持管理の必要性を示すとともに、循環配管内に生成されたバイオフィルムの適正な洗浄方法及び洗浄後の評価方法、上水以外の水質については塩素剤等の殺菌方式による効果の検証や残留塩素濃度等の水質の評価方法等についても検討し、レジオネラ症防止するための循環式浴槽の洗浄方法を主とした具体的な維持管理マニュアルを作成し、循環式浴槽利用者や設備維持管理者、行政関係者等に改めて周知させるとともに新版レジオネラ症防止指針の改訂に向けた新たなる知見のとりまとめを目的とする。

Ⅱ. 研究課題

本研究の目的を遂行するにあたり、以下に挙げる項目を研究課題とした。

1. 室内空気質の実態把握とその評価方法に関する研究

- ①室内環境中における粒子状物質・化学物質の追加実測調査と評価方法の検討
- ②研究機関間でのVOC等の測定精度の比較検討
- ③特定建築物の受動喫煙防止対策の取組み状況調査とガス状物質濃度等実態調査
- ④炭素の成分分析および空調機に起因する微生物汚染の検討
- ⑤文献調査

以上の調査を行い、エアロゾルや化学物質等の室内空気質の性状を解明し、これらの研究成果と昨年度までの知見を踏まえ、健康影響等を考慮した上で、室内空気質の適正な測定・評価及び規制方法のあり方等を提言した。

2. 建築物の給水における水質管理に関する実態調査

- ①浴槽水の調査・実験と管理に関する検討
- ②循環ろ過の性能の検証
- ③消毒および細菌検査方法の検討
- ④給水設備における水質挙動調査
- ⑤文献調査

以上の調査・研究を行い、浴槽水を含んだ建築物内給水に関する実態や問題点を抽出し、健康影響を考慮した上で、現時点における具体的な維持管理方法等を提言した。

Ⅲ. 研究組織

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「建築物の環境衛生管理に関する研究委員会」（主任研究者：目黒克己；（財）ビル管理教育センター理事長）を設置した。また、部会として、「室内エアロゾルの性状とその評価方法に関する研究部会」、「建築物の給水における水質管理の実態調査部会」を設置して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。

なお、委員会及び部会の構成は表1～3のとおりである。

表1 建築物の環境衛生管理に関する研究委員会

	氏名	所属及び役職
主任研究者	目黒 克己	(財)ビル管理教育センター理事長
分担研究者	池田 耕一	国立保健医療科学院建築衛生部部長
〃	紀谷 文樹	神奈川大学工学部建築学科教授
〃	藤井 修二	東京工業大学大学院情報理工学研究科 情報環境学専攻教授

表2 室内エアロゾルの性状とその評価方法に関する研究部会

	氏名	所属及び役職
分担研究者	池田 耕一	国立保健医療科学院建築衛生部部長
〃	藤井 修二	東京工業大学大学院情報理工学研究科 情報環境学専攻教授
委員	相澤 好治	北里大学医学部衛生学公衆衛生学教授
〃	池尻 康孝	福岡市保健福祉局生活衛生部生活衛生課技術吏員
〃	一条 和夫	リオン株式会社技術統括部課長
〃	鍵 直樹	国立保健医療科学院建築衛生部
〃	北角 彰	大阪府健康福祉部環境衛生課課長補佐
〃	小山 博巳	柴田科学株式会社技術開発部部長
〃	坂下 一則	東京都福祉保健局健康安全室環境水道課主事
〃	竹田 菊男	株式会社住化分析センター千葉事業所所長
〃	垂水 弘夫	金沢工業大学建築系教授
〃	並木 則和	金沢大学工学部物質化学工学科助教授
〃	西村 直也	芝浦工業大学工学部二部電気設備学科助教授
〃	本間 克典	東京ダイレック株式会社技術顧問
〃	明星 敏彦	(独)産業医学総合研究所 人間工学特性研究部主任研究官
〃	柳 宇	国立保健医療科学院建築衛生部主任研究官
〃	横山 辰巳	日本カノマックス(株)環境計測事業ユニット アプリケーションエンジニア

表3 建築物の給水における水質管理に関する調査研究部会

	氏名	所属及び役職
部会長	紀谷 文樹	神奈川大学工学部建築学科教授
委員	赤井 仁志	株式会社ユアテック技術開発部課長
〃	縣 邦雄	アクアス株式会社つくば総合研究所所長
〃	岡田 誠之	東北文化学園大学科学技術学部環境計画工学科教授
〃	小川 正晃	株式会社ユニ設備設計代表取締役社長
〃	野知 啓子	関東学院大学工学部社会環境システム学科技師
〃	古畑 勝則	麻布大学環境保健学部衛生技術学科助教授
〃	吉田 真一	九州大学大学院医学研究院細菌学分野教授

事務局 小畑美知夫、齊藤秀樹、高柳 保、齋藤敬子、鎌倉良太、杉山順一
(財)ビル管理教育センター 調査研究部

平成 17 年度厚生労働科学研究費補助金
建築物における環境衛生管理に関する研究
「室内エアロゾルの性状とその評価方法に関する研究部会」報告書

1. はじめに

1.1 研究目的

居室内における粒子状物質について、建物における衛生的環境の確保に関する法律では、相対沈降径が概ね $10\mu\text{m}$ 以下の粒子を浮遊粉じんとして定義し、重量濃度により規制が行われている。また、特定建築物内における浮遊粉じん濃度の不適率は、建築物環境衛生管理者の適正な維持管理や、空気清浄技術の高度化及び分煙対策の普及等から昭和 52 年の全国平均 21.9% に比べ平成 12 年は 2.2% と低減している。

しかし、近年になり人体に影響のある粒子径は、 $2.5\mu\text{m}$ 程度の微粒子であるとの報告あり、大気環境では PM2.5 と呼ばれる $2.5\mu\text{m}$ 以下の微粒子を対象とした重量濃度による評価が行われている。さらに、アレルギー等の問題から居室内に浮遊する真菌やカビ等の影響、化学物質過敏症の観点からホルムアルデヒドや揮発性有機化合物(VOC)について問題視されてきている。このような背景にもかかわらず、建築物衛生法における空気清浄に関する項目は、 $10\mu\text{m}$ 以下の浮遊粉じんの重量濃度、二酸化炭素、一酸化炭素、ホルムアルデヒドの 4 項目に限られている。そこで、今後更なる省エネルギー化対応強化の状況で換気量の抑制による室内空気質の悪化及び室内環境の高度な汚染制御に対応するために、空気環境の現状の把握が重要となる。

平成 13~14 年度の建築物衛生管理検討会報告書において、「室内粉じんに関しては、形状、粒径、化学組成等の性状や挙動の把握を行った上で、その粉じんの有害性等について化学的知見をふまえて基準値や測定方法の再検討が必要である」と提言されており、健康影響に関する微粒子の重量及び個数濃度分布並びに性状について、現状を把握する必要がある。また、ホルムアルデヒドや VOC 等の化学物質についても住宅における実態調査は進んでいるものの、特定建築物に関する調査は少ないのが現状である。

平成 15 年度の調査研究では、このような背景を考慮し、特定建築物における居室のエアロゾル及び化学物質の発生要因及び性状等の実態を明確にし、健康影響を考慮した上で、適正な評価及び規制方法のあり方等について検討することを目的とし、特定建築物の居室のエアロゾルと VOC の計測方法の基本となる項目、実態調査の方法と問題点を把握した。具体的な調査内容としては、A)浮遊粉じん計測及び B)化学物質計測に関して検討した結果、以下の結果が得られた。

(1)特定建築物内の空気質の文献調査

特定建築物内の粒子状物質及び化学物質の測定事例について、継続して各委員が調査を行った。

(2)測定方法の検討

調査内容より、粒子状物質及び化学物質の測定方法について検討を行い、実態調査への適用について決定した。

(3)室内環境中における粒子状物質及び化学物質の実態調査

粒子状物質の実測調査は、測定手法の確認と現場測定の可能性など、問題点の抽出を主たる目的として、対象建物1件について行った。化学物質の実測調査は、測定手法の確認と現場測定の可能性、パッシブ法の有効性など、問題点の抽出を主たる目的として、粒子状物質の測定と併行して対象建物1件について行った。平成16年3月8日から10日、三田国際ビルで行った。

平成16年度の研究は、平成15年度の結果をふまえて測定法の確認調査のための精密測定による実測調査と、全国的な簡易調査を実施した。また、調査研究の基礎事項であるエアロゾルの健康影響調査及び測定方法の特性と汚染物質の発生源について、以下に区分し調査を行った。

(1) エアロゾルの健康影響

粒子状物質の健康影響について疫学的見地から呼吸器への沈着、生体の反応、沈着部位の違いによる呼吸器障害について調査した。その他に、粒子状物質の種類と健康影響の関係についても調査を行った。

(2) 室内測定方法と特性と汚染物質の発生源

測定装置の特性としてパーティクルカウンタ、SMPS及びWater-CNC、WPS、光音響法、パッシブサンプラー、検知管について検討を行った。また、汚染物質の発生源として、粒子状物質及び化学物質の発生源とその化学組成について調査した。

(3) 精密測定による実測調査

当年度に実施した全国4箇所の建物に関する精密測定を行った。粒子濃度については、レーザーパーティクルカウンターなどによる空調時、非空調時および外気の濃度測定結果を示したほか、SMPS、WPSなどを用いてナノオーダー粒径粒子の個数濃度把握を行った。また、現在の建築物衛生法で定められている質量濃度の測定に関連して、ローボリュームエアサンプラーによる質量濃度とデジタル粉じん計による平均相対濃度との比率から、各測定対象空間および時間帯による係数値についても検討を行った。ガス状物質としての揮発性有機化合物については、経時変化のほか、アクティブサンプリングとパッシブサンプリングの比較検討結果も提示した。さらに、粒子組成による解析を試み、屋内と外気との特性比較を行った。

(4) 化学物質の全国簡易調査

特定建築物の室内における空気環境の実態把握のために、パッシブサンプラーを用いた全国規模の化学物質の濃度調査を行った。全国5都市（札幌、東京、愛知、大阪、福岡）の約100件の建物について、濃度測定を行うと同時に、建物に関するアンケート調査を行った。結果として、指針値を超過する物件が数例あったが、比較的低濃度となっており、室内に使用されている床材、喫煙の対策、空調設備と室内濃度との関係を明らかにした。今後、濃度の高い建物の原因の詳細を調査する必要がある。

(5) 粒子状物質の全国簡易調査

特定建築物における空気環境の実態把握のための全国調査を報告した。全国5都市（札幌、東京、愛知、大阪、福岡）より22建物を選定し、室内外でのSPM、VOC濃度測定、空調換気設備調査を実施した。SPMについては重量濃度と個数濃度の相関は低く、両者を直接結びつける事は難しい。また換気回数が大きく影響するが、在室人数等との相関は殆ど見られなかった。VOCについては、空調設備はほとんど影響しないが、幾つかの物質は

室内側が高濃度となる傾向が見られた。但し空調方式や家具等との関係は見られず原因は明確では無かった。

また、本年度は、昨年度まで 2 年間の研究成果をふまえて、アスベストに関する調査、喫煙対策の効果の検討を追加し調査することとした。各項目の概要は以下のとおり。

(1) アスベスト関連調査

エアロゾルの健康影響の点から、室内エアロゾルで問題となるアスベストについてその文献調査とその代替品の健康影響について調査している。

(2) 特定建築物における粒子状物質と化学物質の実測調査

昨年度までの結果について検討を加え、特定建築物の実測調査を行う。今年度は、空調条件、大気条件が異なる季節毎の室内空気環境への影響を中心に検討を行うこととした。

(3) 受動喫煙防止対策の観点からの実測調査

事務所建築等で問題となる喫煙対策について喫煙室の実態、喫煙室内外での汚染実態の分析調査を行うこととした。

(4) パッシブ法を用いた化学物質の全国追加調査

本年度までの結果について検討を加え、精密・全国調査等での原因不明物件での詳細測定を行うこととした。

(5) 室内環境の測定精度の考察

VOC 等の測定分析では結果を測定に伴う測定精度が問題となるがその実態は明らかではないため、分析機関の相互比較実験を行い検討を行う。

1.2 研究組織

本研究の推進には、調査研究委員会をビル管理教育センターに設置して、調査研究を実施することとした。委員会メンバーは以下のとおりである。

分担研究者	池田 耕一	(国立保健医療科学院建築衛生部部長)
分担研究者	藤井 修二	(東京工業大学大学院情報理工学研究科教授)
委員	相澤 好治	(北里大学医学部衛生学・公衆衛生学教授)
〃	池尻 康孝	(福岡市保健福祉局生活衛生部生活課技術吏員)
〃	一条 和夫	(リオン(株)技術統括部担当課長)
〃	鍵 直樹	(国立保健医療科学院建築衛生部)
〃	北角 彰	(大阪府環境衛生課課長補佐)
〃	小山 博巳	(柴田科学(株)研究開発部部長)
〃	坂下 一則	(東京都福祉保健局健康安全室環境水道課ビル衛生検査係長)
〃	竹田 菊男	((株)住化分析センター千葉事業所所長)
〃	垂水 弘夫	(金沢工業大学建築系教授)
〃	並木 則和	(金沢大学工学部物質化学工学科助教授)
〃	西村 直也	(芝浦工業大学工学部建築学科助教授)
〃	本間 克典	(東京ダイレック(株)技術顧問)
〃	明星 敏彦	((独) 産業医学総合研究所人間工学特性研究部主任研究官)
〃	柳 宇	(国立保健医療科学院建築衛生部建築衛生室室長)

// 横山 辰巳（日本カマックス㈱環境計測事業カンパニーチーフアプリケーションエンジニア）
協力委員 工藤 雄一郎（北里大学医学部衛生学・公衆衛生学教室医師）
// 榎木 文行（大阪府茨木保健所生活衛生室環境衛生課主査）
長谷川あゆみ（㈱住化分析センター環境技術センター）
調査協力 愛知県健康福祉部生活衛生課
// 札幌市保健福祉局保健所環境衛生課
厚生労働省 柏樹 悦郎（厚生労働省健康局生活衛生課生活衛生対策企画官）
// 手島 裕明（厚生労働省健康局生活衛生課主査）
事務局 （財）ビル管理教育センター

1.3 本年度の調査研究の概要

本年度調査研究としては（1）アスベスト関連調査（2）実態調査（3）測定精度の検討について行ったこととした。なお、実態調査には、a) 粒子状物質及びガス状物質の実測調査、b) 粒子状物質の金属組成の測定、c) 浮遊微生物の測定、d) 受動喫煙防止対策の観点からの実測調査、e) 化学物質測定の追跡調査、f) パッシブ測定による VOC の再調査について行うこととした。

（1）アスベスト関連調査

建築物内の空気中のアスベストに関する文献調査及びエアロゾルの健康影響の点から、室内エアロゾルで問題となるアスベストについてその代替品（ロックウール）を調査する。現段階では発がん性は確認されていないが、有害性評価を行う。

（2）実態調査

a) 粒子状物質及びガス状物質の実測調査

昨年度までの結果について検討を加え、特定建築物の実測調査を行う。今年度は、空調条件、大気条件が異なる季節毎の室内空気環境への影響を中心に検討を行うこととした。昨年度まで行った測定項目に加え、ガス状物質については、モニター装置の有効性についても検討することとした。

b) 粒子状物質の金属組成の測定

粒子の組成について検討することとした。PM2.5 カットインパクタを用いて捕集し、カーボンモニターにより分析する。タバコ煙、コピー機からの発じんを同定できる可能性がある。また、シウタスインパクター-ICP-MS 分析も同時に行う。

c) 浮遊微生物の測定

居室内の浮遊微生物及び空調機に起因する微生物汚染について検討を行う。測定項目としては、受動喫煙防止の観点からガイドラインに述べられているデジタル粉じん計と共に、パーティクルカウンタ、WPS と共に、炭素分析による EC、OC 分析を行うことで粒子状物質を、またニコチン類などの揮発性有機化合物についても、喫煙・非喫煙スペースにおいて測定を行い、たばこ煙の室内環境の影響について検討を行った。

d) 受動喫煙防止対策の観点からの実測調査

事務所建築等で問題となる喫煙対策について喫煙室の実態、喫煙室内外での汚染実態調査を行うこととした。また、居室内へのタバコ煙の侵入についても、運用方法、空調システムによる検討を行っている。上述した粉じん測定、EC/OC 測定、ニコチン測定によっている。

e)化学物質測定の実績調査

本年度までの結果について検討を加え、今後更にデータを蓄積し、測定・分析等の観点及び空調設備の観点から検討を行うこととした。また、VOCの簡易測定、モニター装置による連続測定も行い、その有効性について検討している。

f)パッシブ測定によるVOCの再調査

昨年度パッシブ測定において指針値超過建物について再測定を行うこととした。また、濃度の超過した原因についても、検討を行った。

(3) 室内環境の測定精度の考察

VOC等の測定分析では結果を測定に伴う測定精度が問題となるがその実態は明らかではないため、研究機関の相互比較実験を行い検討することとした。本研究では、ホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドの捕集に使用されるDNPHカートリッジを使用して、その測定精度について検討を行った。

(藤井修二)

2. アスベスト汚染の現状と対策

2.1 海外でのアスベスト関連文献調査

① Asbestos-Containing Materials in Schools

掲載文献及び著者名：

USEPA: Federal Register 40 CFR Part 763; Final Rules and Notice, 1987

内容：

米国環境保護庁（USEPA）が、有害物質管理法（TSCA）に基づいて、地方行政庁の教育部（LEA, Local Education Agencies）に対し出した空気中に飛散しそうなアスベストを含む学校の建物中の建材を調査し、確定し、適切な対応処置を採ることを命じる最終規制。A4 サイズの紙に、ポイントくらいの小さな文字で 3 段組の文章で、77 ページにわたって詳細な規定が書かれている。示されている。その対策の内容は関係者にはいつでも入手できるように州政府に提出される必要がある。この規則は訓練された監視員による監視を要求している。

② Asbestos

掲載文献及び著者名：

WHO: Air Quality Guidelines, 2nd edition 6.2,

内容：

WHOが1987年にまとめたAir quality guidelines for Europeを13年ぶりに改訂した室内空気中にある様々な汚染質に関する健康影響や、発生源、室内濃度範囲、物性、リスク評価などについてまとめられた解説書である。その第6章第2項がアスベストである。人への健康影響や、中飛腫、肺癌に罹病するリスク評価をした結果、安全レベルは設定できずできるだけ空気中の濃度は低く保たれるべきだとしている。

③ Asbestos related diseases from environmental exposure to crocidolite in Da-yao, China, I. Review of exposure and epidemiological data

掲載文献及び著者名：

s. Luo, X. Liu, S. Mu, S.P. Tsai, C. P. Wen: Occupational Environmental Medicine 2003; 60: 35-42

内容：

クロシドライト曝露に関する疫学調査が、1984年から中国のDa-yaoで実施された。調査した40歳以上の人の68000人の20%に胸膜はんは見られた。1984年から95年までの間では年間6.6人/年、96年から99年の間は、22人/年であったなどの結果が得られた。

④ Asbestosis: A Marker for the Increased Risk of Lung Cancer Among Workers

掲載文献及び著者名

William Weiss: Chest 115, DOI: 10.1378/115.2. 536-549, 1999

内容

この総説においては、アスベストに曝された労働者のうち肺癌のリスクが高められたのは、アスベスト肺になった人に限ると言う仮説を検証しようとした。この仮説は文献調査により支持された。アスベスト肺と肺癌には高い相関が示された。

⑤ Diagnosis and Initial Management of Diseases Related to Asbestos

著者及び掲載論文名

Andrew J. Ghio, Victor L. Roggli: Correspondence, AMERICAN JOURNAL OF RESPIRATORY AND CRITICAL CARE MEDICINE VOL 171 2005

内容

アメリカ胸部疾患学会の特別委員会がアスベスト肺とタバコ喫煙に関し、全く問題がないことを確認した。このことは現在の科学に挑戦するものであるが、エックス線断層撮影の結果によっても支持された。

⑥ Asbestos and the Pleura

著者及び文献名

David W. Cugell, and David W. Kamp: *Chest* DOI: 10.1378, *Chest*.125.3.1103-1117, 2004

内容

本報は、アスベスト曝露に関する歴史的情報、臨床学的発見、優れた放射線学的証拠、病理学的な機序の最近の研究、公共政策の意味合いなどに関する検討を行ったものである。また参考文献からは、さらに詳細なアスベスト関連疾患に関する情報が得られるよう配慮している。

⑦ development? Process of mesothelioma and lung cancer diseases a preliminary step in the pathogenic

Are lung and pleural benign asbestos induced

著者及び文献名

M Goldberg: 2005;62;663-664 *Occup. Environ. Med.*

内容

本報ではReidらによってもたらされたクロシドライト曝露と悪性でない肺及び胸腺の疾患や悪性中皮腫のリスクの関係に関する重要な発見について解説している。本報では標準化さら他郷部レントゲン写真と長年にわたるコホート研究によりアスベスト曝露によるリスクの精度の高い評価ができるようになったとしている。

⑧ Indoor Asbestos Concentrations associated with the Use of Asbestos Contained Tap Water in Portable Home Humidifiers

(池田耕一)

2.2 鼻部吸入曝露実験によるロックウールの肺内動態

2.2.1 はじめに

石綿は、耐熱性や絶縁性、耐久性などに優れており、わが国では石綿セメント製品やボード類などの建築材料、ビニール床タイル、歯車など合成樹脂の補強材、断熱・防音のための吹きつけ材、ボイラー配管や加熱炉の保温材などに使用されてきた。しかし、人に対し肺の線維化病変、肺がんおよび胸膜・腹膜などの悪性中皮種の原因となることが報告され^{1),2),3)}、数多くの *in vitro* および *in vivo* 実験でも毒性を持つことが明らかになったため世界的に使用が禁止ないし制限されている^{4),5),6)}。我が国では平成7年に、労働安全衛生法施行令、労働安全衛生規則および特定化学物質等障害予防規則が改正され、アモサイト、クロシドライトおよび、これらの含有率1%を超える製品の製造、輸入、使用、販売が禁止された。さらに、平成16年10月より、クリソタイルおよびこれらの含有率1%を超える製品の製造、輸入、使用、販売についても禁止となった。このような流れの中で石綿に替わるより安全な繊維状物質（石綿代替繊維）の開発が急務となった。

現在の市場では、石綿代替繊維として多くの人造非晶質繊維(*man-made vitreous fiber*: 以下 MMVF)が使用されるようになった。ロックウール(*rock wool*: 以下 RW)は、MMVFの1種であり、熔融した軟質の岩石(鉄スラグ、銅スラグ、ニッケルスラグなどの鉱さいや、安山岩、玄武岩、角閃岩などの天然石)から製造される。RWは断熱性、耐火性、吸音性に優れているため、主として耐火断熱材、保温材、吸音材等に用いられている⁷⁾。これまでのRWを用いた *in vivo* 実験では、ラットで肺の線維化が観察されているが、肺腫瘍の発生は認められていない⁸⁾。また、*in vitro* 実験ではクリソタイルより弱いもののマクロファージからの β -グルクロニダーゼやLDHの放出⁹⁾、培養細胞の巨細胞形成¹⁰⁾が報告されている。RWの安全性について国際がん研究機関(IARC)は、現在Group3(ヒトのデータでは不十分で、動物のデータで制限つきないし不十分な発がん性を示す)に分類している¹¹⁾。

石綿やRWなどのMMVFによる曝露の影響を最も受けるのは呼吸器系である。これまで、筆者らは、RWを用いて、ラットに対して短期間の鼻部吸入曝露実験を行ってきた。その後、繊維の肺内動態を長径別繊維数の変動と、長径・短径のサイズ変化について位相差顕微鏡を用いて計測してきた。本研究では、より詳細に肺内動態を観察するため電子顕微鏡を用いて長径別繊維数の変動と、長径・短径のサイズを観察し、RWの肺内滞留性を検討した。

2.2.2 試料と方法

(1) 試料

試料は、ロックウール工業会から提供を受けたNC社製のRWである。今回の実験に使用したRWの化学組成について蛍光X線回折を用いて分析したところSiO₂ 39%, CaO 33%, Al₂O₃ 14%, MgO 5%, Fe₂O₃ 1.8%, S 0.6%であった。

元々、RWは塊状で存在し、サイズ(長径と短径)も一様ではない。一般的にMMVFの生体影響評価を行う場合、その繊維の持つ最大有害性を把握する目的で動物実験を行っている。繊維サイズによって生体影響が変わることが知られていることから、繊維サイズをできるだけ有害性が大きくなると考えられる値に近づける方法が必要になる。そこで、動物試験用の繊維試料調整法として、Kohyamaら¹²⁾の方法に従ってRWのサイズを調整した。RWをシリンダー(径6 cm, 28.3cm²)に詰め、手動式錠剤成形圧縮機(前川試験

機製作所, TYPE:BRM-32)を用いて 2 度加圧(160kg/cm²=4.5MPa)した。このようにして得られた繊維を実際に発塵させ、曝露チャンバー内で測定した繊維の幾何平均長径(幾何標準偏差)は 15.49 μm (2.02), 幾何平均短径(幾何標準偏差)は 2.44 μm (1.59)であった(図 2-2-1)。その後、鼻部吸入曝露実験装置で RW を発生させやすくするために、加圧後の試料とガラスビーズ(アズワン株式会社製, BZ-02)を混合した。混合比率は、RW 試料:ガラスビーズ=1:39 とした。

(2) 鼻部吸入曝露実験装置

このように作成した試料は、以前に Kudo ら¹³⁾が報告した方法にて発生させた試料発生部に、エアコンプレッサーから 30l/min の空気を送った。試料発生部の試料貯蔵槽に上記の方法で作成した試料を投入した。ガラスビーズと混合した試料はエアコンプレッサーから送られた空気によって流動化され、ガラスビーズと試料が分離する。その結果、試料は気中へ放出される。また発生した試料は、サブチャンバー内へ送られ、一定濃度に希釈・均一化され、その後曝露チャンバーに移送される。曝露チャンバー内の排気流量は 40l/min に設定した。曝露チャンバー内の粉塵を一定濃度(10,000cpm)に保つために、デジタル粉塵計でモニタリングし、フィーダーにフィードバックをかけ試料の発生量を調節した。ラットホルダーは、曝露チャンバーに差し込むような形でセットした。

(3) 曝露実験

オス Fischer 344 ラット (6~10 週齢) を 1 回の実験に 10 匹使用し、2 回実験した(合計 20 匹)。実験室の環境に慣らすため、1 週間程ケージで予備飼育した。餌及び水は自由摂取とした。飼育室内は、気温 22℃, 湿度 40% の新鮮ろ過空気に保った。

実験は、1 日 3 時間連続曝露を 5 日連続で行った。本実験における目標曝露濃度は、質量濃度 30mg/m³, 繊維数濃度 50±10 fiber/cm³ に設定した。ラットの固定位置は実験期間中、日ごとに上下左右入れ替えを行った。曝露実験中、曝露チャンバー内の濃度確認を 5 回(曝露開始後 30 分, 60 分, 90 分, 120 分, 150 分)行った。曝露チャンバー内の濃度を測定するためにあらかじめ用意したプラスチックホルダーに、メンブランフィルター(以下 MF, MILLIPORE 社, 孔径 0.8μm, 直径 25mm), フィルター T60A20(以下 T60A20, 東京ダイレック株式会社, 直径 25mm), ニュークリポアフィルター(以下 NF, 野村マイクロ・サイエンス株式会社, 孔径 0.2μm, 直径 25mm)をセットした。所定の時間において、電動式吸引ポンプ(Gilian, GilAir-5)を用いて MF に 1 分間, T60A20 に 10 分間, NF に 5 分間, 吸引速度は 500ml/min で採塵し、それぞれ繊維数濃度(fiber/cm³)計測, 質量濃度(mg/m³)計測, 電子顕微鏡撮影(SEM)を行うことで濃度を確認した。

鼻部曝露チャンバー中の粉塵の計測には、MF 上で捕集した繊維の中で、位相差顕微鏡によりアスペクト比(縦横比)が 3 より大きいもののみを繊維数の判断についての規定¹⁴⁾に従って計測した。鼻部曝露チャンバー内(発塵繊維)の粉塵質量濃度(mg/m³)の測定は、T60A20 に捕集した検体を電子天秤で量り、その値と採取前の値から質量濃度(mg/m³)を計算した。

5 日目の曝露実験終了後、ラットをただちに屠殺し、これを曝露終了直後群(n=5, 以下直後群)とした。以後 1 週後, 2 週後, 4 週後の観察期間を経て屠殺したものをそれぞれ、

曝露終了1週後群(n=5, 以下1週後群), 曝露終了2週後群(n=5, 以下2週後群), 曝露終了4週後群(n=5, 以下4週後群)とした。なお, ラットは週1回体重測定を行った。また, 曝露期間中, 終了後は断続的にラットの状態を観察し外観上の兆候に変化がないか確認した。

(4) ラット肺内繊維数の計測

ラットを, ネンブタール麻酔後, 腹部大動脈を切開, 脱血死させ肺を摘出した。摘出した肺は, 秤量瓶に入れ-20℃で保存した。その後, 肺組織を常温にて解凍し, ミンチにし, 一定重量になるまで凍結乾燥した。凍結乾燥終了後の重量を乾燥肺重量(17g)とした。これを低温灰化装置(ヤナコ株式会社, PLASMA ASHER, LTA-102)にて24時間灰化した。

低温灰化後, 秤量瓶にフィルター(Sartorius 製, Minisart)を通した蒸留水を加えて繊維を懸濁し, 吸引ろ過装置でNF(孔径 $0.2\mu\text{m}$)に捕集し, 自然乾燥させた。その後, 走査型電子顕微鏡(Scanning electron microscope: SEM)を用いて, 計測倍率は2000倍から7000倍で計測した。1検体につき200本以上計測した。計測対象の繊維は, 長径と短径の比(以下アスペクト比)が3より大きいものとした。繊維の計測は, SEMを用い, 長径(L)のサイズ別($L\leq 5$, $5<L\leq 20$, $L>20$)に分けて計数した。計測方法は, WHOの基準¹⁵⁾に従い計測した。また, 計数した繊維の中のWHO繊維(長径が $5\mu\text{m}$ より大きく, 短径 $3\mu\text{m}$ 未満のもの)¹⁴⁾も算出した。その後, 乾燥肺重量中の繊維数に換算した。

また直後群の総繊維数/全肺重量(fiber/mg)の幾何平均を100%としたときの半減期を算出した¹⁶⁾。

(5) 繊維のサイズ(長径・短径)計測

発塵繊維と肺内繊維のサイズ(長径・短径)を知るために, アスペクト比が3より大きく, 計測視野領域境界からはみ出していないものをSEMにより2000倍から7000倍で計測した。繊維は, ラット1匹につき200本以上計測した。計測は長径 $0.21\mu\text{m}$, 短径 $0.07\mu\text{m}$ 以上のものを計測した。

(6) 統計学的解析

総繊維数, 長径, 短径については幾何平均および幾何標準偏差を算出した。また, 長径, 短径は2回の実験で, ラットの肺内に入った繊維を1匹につき最低200本測定し, 5匹まとめた値の幾何平均値を算出した。1元配置分散分析を行い, Scheffe法による多重比較により検定を行った。

2.2.3 結果

(1) 曝露チャンバー内の繊維濃度モニタリング

各回の曝露濃度を表2-2-1に示した。1回目と2回目の5日間のデジタル粉塵計の平均値(標準偏差)は9359(310) counts/min, 10056(956) counts/min, 平均繊維数濃度(標準偏差)は77.4(17.4) fiber/cm³, 63.7(23.3) fiber/cm³で平均値は70.6 fiber/cm³であった。平均重量濃度(標準偏差)は30.0(5.8) mg/m³, 30.8(7.4) mg/m³であった。また, 曝露