

平成 15 年度厚生科学研究補助金（がん予防等健康科学総合研究事業）

室内環境の評価法及び  
健康影響の予測法の開発に関する研究  
(H15-がん予防-087)

総 括 報 告 書

平成 16 年 3 月

主任研究者  
早稲田大学理工学部建築学科

田辺 新一

## 平成 15 年度厚生労働科学研究費補助金（がん予防等健康科学総合研究事業）研究概要

研究課題名（課題番号） : 室内環境の評価法及び健康影響の予測法の開発に関する研究  
(H15-がん予防-087)

国庫補助金精算所要額（円） : 13,500,000

研究期間（西暦） : 2001-2003

研究年度（西暦） : 2003

主任研究者名= 田辺新一 (早稲田大学理工学部)

分担研究者名= 東敏昭 (産業医科大学)  
加藤信介 (東京大学)  
渡辺弘司 (健康住宅普及協会)  
岸田宗治 (健康住宅普及協会)  
松本真一 (秋田県立大学)  
龍有二 (北九州市立大学)  
秋元孝之 (関東学院大学)  
岩田利枝 (東海大学)  
岩下剛 (鹿児島大学)

研究協力者名= 内野文吾 (産業医科大学)  
大里厚 (産業医科大学)  
古木勝也 (産業医科大学)  
源城かほり (秋田県立大学)  
舟木理香 (早稲田大学)

研究協力者名= 浅井万里成 (早稲田大学)  
(大学院生) 酒井聡至 (早稲田大学)  
丸元典子 (早稲田大学)  
田淵誠一 (早稲田大学)  
谷英明 (早稲田大学)  
西村栄利子 (早稲田大学)  
東田浩毅 (早稲田大学)  
北原祐耶 (関東学院大学)  
岡垣大介 (東海大学)

### (1) 研究目的

本研究の目的は、シックハウス症候群に関してその室内環境の評価方法及び健康影響の予測法の開発を行うことである。

### (2) 研究方法

化学物質の室内濃度に影響を与えるのは、建材・施工材等からの放散量、換気量、室内温湿度、時間などである。これまで室内濃度のみの測定が行われることが多かったが、濃度のみでは適切な評価や予測を行うことはできない。本研究ではそれらの測定法を開発するとともに、実測評価を行った。

- 1) 放散速度測定法の開発：パッシブ放散量測定法（ADSEC）の設置方法による精度比較実験を行った。シリコンシートと重りを用いたリーク実験、床・壁・天井の測定方法比較実験を行った。
- 2) PFT法を用いた換気量簡易測定法の改良：PFT法を用いた換気量測定では、3ゾーン測定法の開発を行った。第3物質を考案し放散量実験及びサンプリングレイト算出実験を行った。
- 3) 集合住宅における室内空気質実測：昨年度実測した集合住宅において、今年度は夏季・冬季と2度実測を行った。換気量、放散速度、気中濃度の比較及び季節による違いを調査した。
- 4) 新築戸建住宅における室内空気質実測：新築戸建住宅において室内空気質調査を行い、生活状態と非生活状態における空気環境の差異を検討した。
- 5) 健康影響予測に関わる室内空気中の化学物質要因による生体影響知見の整理：シックハウス症候群の最新知見をまとめるとともに、VOCs暴露の変化と自覚症状の関連性を検討した。
- 6) 吸着性建材による室内化学物質濃度の低減に関する実験と数値解析：物質伝達率制御型小型チャンバーを用いてパッシブ吸着建材に対して様々な条件を与え、化学物質濃度低減効果に関する実験及び数値解析を行った。
- 7) 東北地域の戸建住宅における室内空気質の実態調査：昨年度に引き続き、東北地域の高断熱高気密住宅の気密性能、換気性能、室内化学物質濃度、放散速度との関係を検討した。
- 8) 計画換気を用いた工業化住宅における室内空気質に関する研究：24時間計画換気設備の設けられた高気密高断熱住宅を測定し、室内空気質に影響を与える要因について検討した。
- 9) 新築集合住宅における室内空気質の経年変化と二次汚染の測定：既報と同様の住宅を測定し経年による気中濃度の変動を明らかにし、二次汚染についてチャンバー実験を行った。
- 10) 住宅内における室内空気質及びダニ生息密度実態調査：機械換気設備を停止させることで室内空気質の化学物質濃度が上昇することを実測し、換気システムを停止させることの危険性を確認した。
- 11) 南九州の小学校教室におけるワックスがけ状況の調査：鹿児島市内の小学校に対してワックスがけ状況に関するアンケート調査を実施し、同時に行った実測調査についても報告した。
- 12) 北部九州における住宅の空気質に関する研究：九州北部における基礎断熱住宅の床下および居室の温湿度環境について実測調査を行った。

### (3) 結果と考察

- 1) シリコンシート・重りの使用によるパッシブ放散量測定法（ADSEC）の測定精度向上効果が確認された。また、ADSECを用い同一建材を床・壁・天井面部位に施工した場合の測定を行った結果同一の放散速度が得られた。一方、欧州で使用されているFLECに関しては天井、床、壁の順にリークが大きくなっており、測定法上の工夫が必要であると考えられた。
- 2) PFT法の第3物質として $C_7F_{14}$ の放散量実験を行い、雰囲気温度 $25^{\circ}C$ を基準とした放散量算出式を得た。また、換気回数既知のチャンバーで実験を行い、 $C_6F_6$ 、 $C_7F_8$ 、 $C_7F_{14}$ サンプリングレイトを算出した。連続する3ゾーンでの換気量簡易測定法が可能となった。
- 3) 集合住宅における夏季実測より換気設備が測定日の3日前まで稼動していなかった住戸でVOCs気中濃度、放散速度が増加していた。吸着効果が確認された。また、3ゾーンにおける換気量測定を行い、計画時に設定換気回数に近い値を得た。
- 4) 居住者生活時において、非生活時より気中濃度が低くなった。居住者自身の自発的換気効果が考えられた。放散速度は全体的に低い値となった。換気量、換気回数をPFT法を用いて計測した結果、ヒアリング調査結果から予想された傾向とは異なった。
- 5) シックハウス症候群の最新の知見、特にシックハウス症候群に影響を及ぼす要因をまとめ、文献調査を行った。アレルギーの有無や年齢とSBSでみられる自覚症状との間に有意な関連性は認められなかった。シックハウス症候群にはホルムアルデヒドを主要因とする説が強いものの、そのほかの揮発性有機化合物や個人要因、社会的要因など多くの要因による影響により発症するものと考えられた。
- 6) 物質伝達率制御型小型チャンバーを用いたパッシブ吸着建材における実験を行い、物理吸着によるHCHO再放散試験では脱着現象が確認できたことより、濃度低減試験以外に吸着化学物質再放散試験

を行うことも必要と考えられた。また、実大モデルの CFD 解析より全条件において床面付近で高濃度となり、床面から発生したホルムアルデヒドは床面に滞留しやすく、室中心付近で低濃度領域が存在するという知見を得た。

7) 対象とした 3 戸の住宅において、ホルムアルデヒド気中濃度は 1 戸で厚生労働省指針値を上回った。TVOC 濃度は 3 戸とも指針値を下回った。断熱気密性能が低い住宅では隙間からの温度差換気の割合が非常に高い可能性があることがわかった。寒冷地における住まい方が室内空気質濃度と関係している実態が明らかになった。

8) ホルムアルデヒド濃度は全ての施工段階において厚生労働省の指針値を満たしており、対策が十分に成されていると考えられたが、アセトアルデヒドについては引渡完了直後において指針値を上回った。トルエンを除き、各施工段階において VOCs は指針値を満たした。第 1 種換気から第 3 種換気に切り替えると、少量ではあるがホルムアルデヒド、アセトアルデヒドの放散量が上昇した。小屋裏や壁から室内に流入する汚染物質の可能性であることがわかった。

9) 実測より、ホルムアルデヒドが蟻酸の前駆物質であることが確認され、蟻酸は夏季より冬季に多く生成された。また、二酸化窒素の気中濃度が高いと蟻酸がホルムアルデヒドよりも多くなる傾向がみられた。このことから、二酸化窒素が O ラジカルの生成に関与し、ホルムアルデヒドから蟻酸が生成されるという知見を得た。チャンバー実験より、ホルムアルデヒドの酸化反応は紫外線の弱い場所で起きていることが分かった。

10) 新築 5 住宅を対象に換気設備を停止することによる影響を調査した結果より、停止によって室内の化学物質濃度を大きく上昇させることとなり、健康に与える影響が大きいことが確認できた。また、ダニ生息密度に関して、34 住宅においてライフスタイルなどのアンケート調査を含め、昨年度と同様の方法で調査を行った。その結果、一般住宅と高気密高断熱住宅のダニ生息密度にはかなり差が認められたか、築後年数と生息密度との間には明確な相関は認められなかった。

11) ワックスがけを実施すると回答した学校の大半が夏期休暇中に実施していた。また、床の種類とワックスの種類との適切な組み合わせを検討することが必要である。さらに、今回の測定においてワックスがけ終了後、窓閉鎖状態で TVOC 濃度が厚生労働省暫定目標値以下まで減衰するのに 6 日を要した。休暇中にワックスがけをする場合は児童の登校日までに適切な換気量及び時間が必要であるという知見を得た。

12) 床下暖房を設置していない基礎断熱住宅では、冬期、梅雨期とも比較的高い湿度状態が続くこと。同じ基礎断熱でも床下温風暖房と組み合わせた住宅では比較的低い湿度に保たれていること。床下換気口をもつ住宅では梅雨期の床下温湿度は外気の影響を大きく受け、極端な高湿度状態になることが確認された。

#### (4) 結論

3 年間の研究によって、パッシブ放散量測定法 (ADSEC) の技術的課題がほぼ解決された。また、この装置を実際の住宅での実測に用いることによって、気中濃度測定のみではわからない放散源に関する評価や予測が可能になった。また、欧米の測定装置と比較しても非常に簡便で安価に精度が高い測定が可能になった。また、建築基準法の改正により義務化が行われた機械換気システムによる換気量を簡易に測定するために PFT 法の開発・改良を行った。PFT 法の第 3 物質を検討することで、3 ゾーンにおける換気量測定が可能になった。住宅における、気中濃度、部位別放散速度、換気量を把握することで、曝露される人間の健康影響の予測評価が可能になった。この方法を用い、24 時間換気システムを設けた集合住宅、戸建住宅、東北地方の住宅、北九州地区の住宅、工業化住宅の測定を行った。化学物質汚染の原因や対策が定量的に把握できることが実証された。また、居住者の生活時における生活活動による化学物質気中濃度低減が確認された。また、対策としてパッシブ吸着建材を使用した実験より、ホルムアルデヒドの建材への脱着が確認され、モデル解析より室中心と比較し、床近傍において濃度が高い傾向になると分かった。二次汚染についての検討を行った結果、ホルムアルデヒドが蟻酸の前駆物質であり、二酸化窒素の関与が確認された。

# 目次

## 目 次

平成 15 年度厚生科学研究補助金（がん予防等健康科学総合研究事業）

室内環境の評価法及び健康影響の予測法の開発に関する研究

(H15-がん予防-087)

## 報 告 書

## 目 次

第 1 章 放散速度測定法の開発（田辺）	1
1-1 はじめに	3
1-2 リーク実験	3
1-2-1 実験目的	3
1-2-2 実験概要	3
1-2-3 実験結果	4
1-2-4 考察	4
1-3 部位別性能比較実験	4
1-3-1 実験目的	4
1-3-2 実験概要	4
1-3-3 ADSEC 実験結果・考察	5
1-3-4 FLEC 実験結果・考察	6
1-4 まとめ	6
第 2 章 PFT 法を用いた換気量簡易測定法の改良（田辺）	9
2-1 はじめに	11
2-2 換気量簡易測定法	11
2-2-1 目的	11
2-2-2 PFT 法概要	11
2-2-3 PFT 第 3 物質の検討	12
2-3 放散量実験	12
2-3-1 実験目的	12
2-3-2 実験概要	12
2-3-3 実験結果・考察	12
2-4 サンプルングレイト実験（その 1）	16
2-4-1 実験目的	16
2-4-2 実験概要	16
2-4-3 実験結果	16
2-5 サンプルングレイト実験（その 2）	16
2-5-1 実験目的	16
2-5-2 実験概要	16
2-5-3 実験結果	16
2-6 まとめ	17
第 3 章 集合住宅における室内空気質実測（田辺）	19
3-1 夏季実測	21
3-1-1 実測目的	21

## 目 次

3-1-2	実測概要	21
3-1-3	結果・考察	24
3-2	冬季実測	34
3-2-1	実測目的	34
3-2-2	実測概要	34
3-2-3	実測結果	35
3-3	まとめ	41
<b>第4章</b>	<b>新築戸建住宅における室内空気質実測（田辺）</b>	<b>43</b>
4-1	研究目的	45
4-2	調査概要	45
4-2-1	調査対象	45
4-2-2	調査項目	45
4-2-3	調査期間	47
4-3	結果・考察	47
4-3-1	ヒアリング調査	47
4-3-2	温湿度測定	49
4-3-3	気中濃度測定	49
4-3-4	部位別放散速度測定	51
4-3-5	換気量測定	54
4-3-6	予測換気回数	56
4-4	まとめ	56
<b>第5章</b>	<b>健康影響予測に関わる室内空気中の化学物質要因による生体影響知見の整理（東）</b>	<b>57</b>
5-1	研究目的	59
5-2	医学的見地から見たシックハウス症候群	59
5-2-1	概念	59
5-2-2	臨床症状	60
5-2-3	発症要因	60
5-2-4	対策	61
5-2-5	今後の展望	61
5-3	ホルムアルデヒドの健康影響	61
5-3-1	はじめに	62
5-3-2	実験的研究	62
5-3-3	人体への影響	62
5-3-4	許容濃度について	64
5-3-5	諸外国における規制値、勧告値	64
5-4	調査研究	65
5-4-1	背景と目的	65
5-4-2	対象と方法	65
5-4-3	結果	66
5-4-4	考察	67
5-5	最後に	67

<b>第 6 章 吸着性建材による室内化学物質濃度の低減に関する実験と数値解（加藤）</b> .....	71
6-1 研究目的 .....	73
6-2 吸着現象のモデル化 .....	74
6-3 パッシブ吸着建材の濃度低減性能（吸着速度） .....	74
6-4 吸着速度測定および評価 .....	75
6-5 吸収分解石膏ボードの濃度低減性能に関する実験と CFD 解析 .....	75
6-5-1 物質伝達率制御型小形 Chamber の実験概要 .....	76
6-5-2 テストチャンバーに関する CFD 解析概要 .....	77
6-5-3 実験結果 .....	78
6-5-4 CFD 解析結果 .....	80
6-5-5 考察 .....	80
6-6 実大居室モデルにおける濃度低減に関する数値解析 .....	81
6-6-1 居室モデルの概要 .....	81
6-6-2 居室モデルにおける CFD 解析の概要 .....	81
6-6-3 CFD 解析結果 .....	82
6-6-4 考察 .....	83
<b>第 7 章 東北地域の戸建住宅における室内空気質の実態調査（松本）</b> .....	87
7-1 目的 .....	89
7-2 調査概要 .....	89
7-2-1 調査対象 .....	89
7-2-2 調査方法・調査項目 .....	89
7-2-3 分析方法 .....	93
7-3 調査結果 .....	93
7-3-1 アルデヒド類の気中濃度 .....	93
7-3-2 TVOC 濃度 .....	94
7-3-3 VOCs 濃度 .....	94
7-3-4 床面からの放散速度 .....	94
7-3-5 換気量 .....	96
7-3-6 温湿度 .....	98
7-4 まとめ .....	100
<b>第 8 章 計画換気を用いた工業化住宅における室内空気質に関する研究（秋元）</b> .....	101
8-1 はじめに .....	103
8-2 測定対象住宅 .....	103
8-3 測定概要 .....	103
8-3-1 空気温度・相対湿度 .....	103
8-3-2 気中濃度 .....	103
8-3-3 部位別放散速度 .....	103
8-3-4 換気量 .....	103
8-4 測定結果 .....	105
8-4-1 カルボニル化合物 .....	105
8-4-2 VOCs .....	107
8-4-3 換気量測定 .....	108
8-5 まとめ .....	109



第 9 章 新築集合住宅における室内空気質の経年変化と二次汚染の測定（岩田）	111
9-1 はじめに	113
9-1-1 研究背景	113
9-1-2 ホルムアルデヒドに起因する二次汚染	113
9-2 集合住宅実測	113
9-2-1 目的	113
9-2-2 方法	114
9-2-3 結果	117
9-2-4 考察	120
9-3 チャンバー実験	121
9-3-1 目的	121
9-3-2 方法	121
9-3-3 結果	122
9-3-4 チャンバー実験のまとめ	122
9-4 結論	123
第 10 章 住宅内における室内空気質及びダニ生息密度実態調査（健康住宅普及協会）	125
10-1 機械換気設備停止による室内空気中の化学物質濃度への影響	127
10-1-1 はじめに	127
10-1-2 調査住宅	128
10-1-3 室内空気質の採取・分析方法	129
10-1-4 調査結果	129
10-1-5 揮発性有機化合物（VOC）	131
10-1-6 まとめ	136
10-2 高気密高断熱住宅におけるダニ実態調査	137
10-2-1 はじめに	137
10-2-2 調査方法（調査住宅とアンケート調査）	137
10-2-3 ダニの調査	138
10-2-4 調査結果	139
10-2-5 まとめ	141
第 11 章 南九州の小学校教室におけるワックスがけ状況の調査（岩下）	143
11-1 研究目的	145
11-2 ワックスがけに関するアンケート調査	145
11-2-1 アンケート調査概要	145
11-2-2 アンケート調査結果	145
11-2-3 アンケート調査結果の考察	150
11-3 教室におけるワックスがけ後の VOC 濃度測定	150
11-3-1 測定概要	150
11-3-2 測定手順	151
11-3-3 測定項目	151
11-3-4 温湿度測定結果	151
11-3-5 VOC 測定結果	152
11-3-6 ワックスがけ後における VOC 濃度の検討	152
11-4 まとめ	153

## 目 次

<b>第 12 章 北部九州における住宅の空気質に関する研究（龍）</b> .....	<b>155</b>
12-1 はじめに .....	157
12-2 実測対象住宅 .....	157
12-2-1 H 邸 .....	157
12-2-2 N 邸 .....	158
12-2-3 T 邸 .....	158
12-2-4 K 邸 .....	158
12-2-5 Y 邸 .....	158
12-3 梅雨期実測結果 .....	159
12-3-1 居室と床下の空気温度日変動 .....	159
12-3-2 居室と床下の相対湿度日変動 .....	159
12-3-3 夏季の居室快適範囲 .....	159
12-3-4 床下のカビ繁殖範囲 .....	159
12-3-5 居室と床下空間の熱環境 .....	159
12-4 冬季実測結果 .....	160
12-4-1 暖房システム概要 .....	160
12-4-2 冬季熱環境実測結果 .....	162
12-5 まとめ .....	162
<b>第 13 章 総括（田辺）</b> .....	<b>163</b>
13-1 研究目的 .....	165
13-2 研究方法 .....	165
13-3 結果と考察 .....	165
13-4 結論 .....	167
<b>Appendix</b> .....	<b>169</b>

# 第1章 放散速度測定法の開発

## 第1章 放散速度測定法の開発

### Development of Measurement Device for Emission Factor

Passive type device (ADSEC: Advanced Diffusive Sampling Emission Cell) for measuring emission factor of aldehydes and VOCs from building materials has been developed. It consists of a micro chamber, a diffusive sampler, a silicon sheet and a weight. In this part, performances of ADSEC were evaluated in two points. One was effect of using the silicon sheet and the weight, and the other was validity of measurement method of floor, wall and ceiling. It was confirmed that the silicon sheet and the weight decreased in/outflow of air to/from the cell. The results of measuring of floor, wall and ceiling which used the same building materials were almost the same value.

#### 1-1 はじめに

近年、シックハウスの社会問題化が進んでいる。2003年7月の建築基準法が改正されるなど、法的に室内空気環境や建材に対し規制を行う動きが高まる中、引渡し時などに室内気中濃度測定が行われることも以前より頻繁になってきた。

しかし、放散源を特定し、その影響を評価するためには、建材からの放散速度測定も行うことが不可欠である。現在、現場実測において建材からの放散速度を求める方法に、FLEC (Field and Laboratory Emission Cell)<sup>1,2)</sup> が用いられることがあるが、大掛かりで複雑な装置を必要とし、簡易に測定することは難しい。

そのため本研究では、拡散サンプラーを利用した、建材からの放散速度の測定器具、ADSEC<sup>3~5)</sup> (Advanced Diffusive Sampling Emission Cell) を開発し、その性能を評価する実験を行った。

#### 1-2 リーク実験

##### 1-2-1 実験目的

ADSEC を用いた放散速度測定では建材表面への密着性を高めるために、床測定ではシリコンシートと重りを、壁・天井測定ではシリコンシートを用いている。測定時における、重り、シリコンシートの使用によるADSECの建材表面への密着性の向上効果を把握し、その必要性を検討するため、比較実験を行った。

##### 1-2-2 実験概要

化学物質を放散しないと考えられるガラス板の上に Carbonyl-ADSEC を置き、恒温槽内に設置した。各セル内にサンプラーの破過量を考慮し、120 $\mu$ L のホルムアルデヒド溶液を入れたバイアル瓶を置き、シリコン膜を通してセル内に放散させた。また恒温槽内にはアセトアルデヒド溶液を入れたバイアル瓶を置き、シリコン膜を通してセル内に放散させた。セルのみ、セルとシリコンシート、セルとシリコンシートと重りの3条件として、各条件2セットずつ設置して、ダブル

サンプリングを行い、サンプラーによる各物質の捕集量を比較した。パッシブサンプラーとして DSD-DNPH 拡散サンプラー<sup>6)</sup>を用いた。実験条件名を表 1-1 に、測定条件を表 1-2 に、実験概要を図 1-1 に示す。

表 1-1 実験条件名

実験条件	条件名
セルのみ	N
セルにシリコンシート	NS
セルにシリコンシートと重り	NSW

表 1-2 測定条件

測定器具	Carbonyl-ADSEC
捕集管	DSD-DNPH 拡散サンプラー
捕集対象物質	ホルムアルデヒド アセトアルデヒド
捕集時間	24h
測定建材	ガラス板
温度	25°C 設定
湿度	成り行き (温湿度計により測定)
定性定量	HPLC

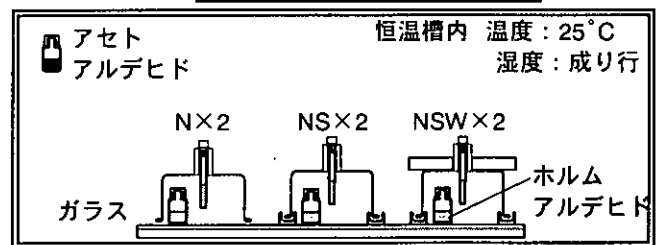
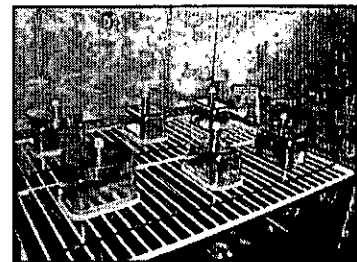


図 1-1 実験概要

1-2-3 実験結果

各条件におけるホルムアルデヒド、アセトアルデヒドの捕集量を表 1-3、図 1-2, 1-3 に示す。なお、測定中の温度は 25°C±1°C、相対湿度は 38±13%rh であった。

表 1-3 捕集量 [μg]

	N	NS	NSW
ホルムアルデヒド	74.9	116.2	103.4
	89.9	98.4	110.1
アセトアルデヒド	33.5	18.8	8.2
	32.4	14.1	6.8

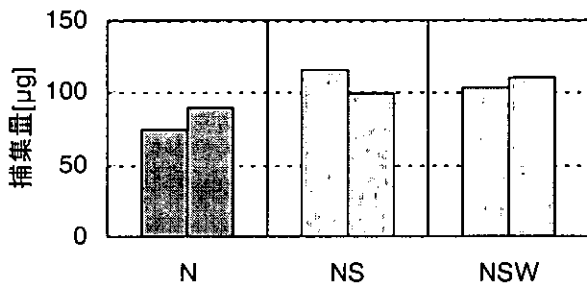


図 1-2 ホルムアルデヒド結果

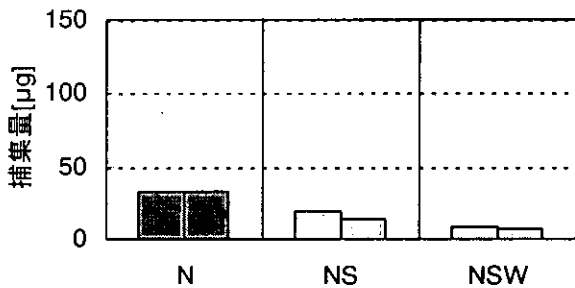


図 1-3 アセトアルデヒド結果

1-2-4 考察

ホルムアルデヒドをセル内に、アセトアルデヒドをセル外に設置したことから、ホルムアルデヒドに関してはセル内が周辺空気より高濃度となり、アセトアルデヒドに関してはセル内が周辺空気より低濃度となっている。そのためリークが少ない程、サンプラーによるホルムアルデヒド捕集量は多くなり、アセトアルデヒド捕集量は少なくなると考えられる。

ホルムアルデヒド結果では、他条件に比べてセルのみ (N) が最も少ない捕集量を示しており、シリコンシートの装着は、セル内からセル外への空気の流出の減少に有効であると考えられる。またシリコンシートを装着した場合 (NS) とシリコンシートと重りを使用した場合 (NSW) に関しては、明確な差は見られず、重りの効果は確認されなかった。

アセトアルデヒド結果ではセルのみ (N) が最も多い捕集量を示し、シリコンシートと重りを併用した場合 (NSW) が最も少ない捕集量を示した。そのためシリコンシートと重りの併用はセル外からセル内への

空気の流入の減少に寄与していると考えられる。しかし、恒温槽内の平衡濃度が明らかでないため、恒温槽内空気流入の測定値に与える影響を把握することができず、今後の更なる検討が必要である。

以上のことから測定時には、シリコンシートと重りを装着したセルが最も遮断性が高く、リークの減少に有効であると考えられる。

1-3 部位別性能比較実験

1-3-1 実験目的

壁・天井測定時にはセルを固定するため、専用の設置器具を用いる。また、床測定時には放散面の上部にサンプラーの拡散部が位置するのに対して、天井測定時には放散面の下部に位置し、壁測定時には放散面の横に位置する。<sup>4)</sup> これらの影響の有無を検討し、ADSEC の床 (水平面上向き)・壁 (鉛直面)・天井 (水平面下向き) 測定の性能を評価することを目的として測定を行った。また同時に FLEC でも同じ測定を行い、各部位による放散量、ADSEC と FLEC の測定結果を比較した。

1-3-2 実験概要

床・壁・天井の測定において各部材からの化学物質の放散を考慮し、測定建材と各面との間にガラス板を挟んだ。壁・天井測定時では、ガラス板と建材を固定する際、化学物質の放散が少ないアルミテープを用いた。ADSEC 天井における建材、ガラス、セルの位置関係を図 1-4 に、ADSEC 測定風景を図 1-5 に、FLEC 測定風景を図 1-6 に示す。

ADSEC については、DSD-DNPH 拡散サンプラーを用いて、各部位からのカルボニル化合物を捕集した。これを HPLC によって分析した。

ADSEC 放散速度の算出には、単位面積、単位時間当たりの放散量とし、式 (1-1) を用いた。

$$EF = \frac{M}{S \cdot t} \quad \dots (1-1)$$

EF: 放散速度 [μg/m<sup>2</sup>h]      M: 捕集量 [μg]

S: 建材の測定表面積 [m<sup>2</sup>]      t: 捕集時間 [h]

FLEC については Sep-Pak DNPH-silica カートリッジを用いて各部位からのカルボニル化合物を捕集した。セル内に流入させる空気の湿度は、Air Control によって 50%rh に制御した。壁・天井の測定は ADSEC 設置時に行った。床の測定は、ADSEC 設置時と回収時の 2 回行った。

測定は、ADSEC は 24 時間、FLEC は各面 33 分ずつとした。ADSEC は各面に 2 台ずつ設置した。ADSEC、FLEC ともにメモリー式温湿度計 (TABAI ESPEC CORP. THERMO RECORDER RS-11) を用いて空気温度、相対湿度を測定した。測定条件を表 1-4 に、タイムテ

ープルを図1-7に示す。

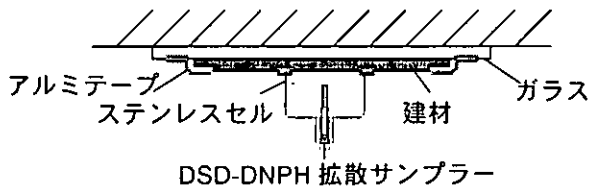


図1-4 天井における建材、ガラス、セルの位置関係

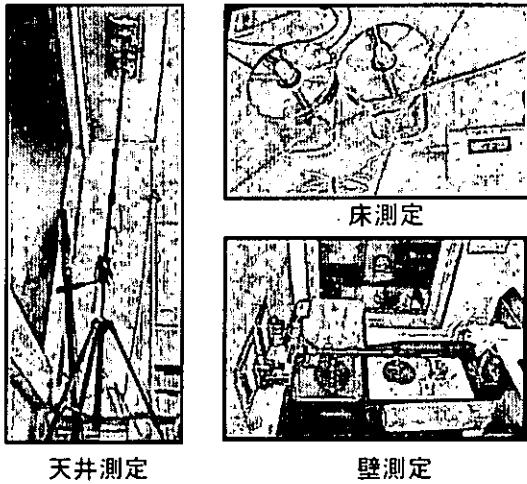


図1-5 ADSEC測定風景

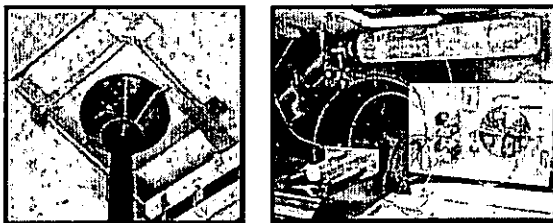


図1-6 FLEC測定風景

表1-4 測定条件

	ADSEC	FLEC
実験日	2003年5月20日~21日	
実験場所	早稲田大学55号館S棟8階田辺研究室	
測定建材	MDF(流通品)、ガラス板下地	
恒温槽内温度	成り行き	
相対湿度	成り行き	50±4 [%rh]
温湿度測定器具	ESPEC THERMO RECORDER RS-11	
サンプラー	DSD-DNPH 拡散サンプラー Carbonyl-ADSEC	Sep-Pak DNPH-silica カートリッジ
吸引速度	-	0.33 [L/min]
積算流量	-	10 [L]
測定時間	24 [h]	33 [min]
定性定量	溶媒抽出 HPLC	

ADSEC	設置	24時間	回収
床・天井	←		→
ADSEC 壁		←	→
FLEC 天井	←	33分	
FLEC 壁		←	33分
FLEC 床			←

図1-7 測定タイムテーブル

1-3-3 ADSEC 実験結果・考察

測定期間中(24時間)における室内、および各測定部位の平均温度と最高、最低温度を表1-5に示す。各部位の平均温度は、天井、壁、床の順に高く、天井と床の温度差は約2°Cであった。

アセトアルデヒドに関しては捕集量が0.3~0.5µgと非常に小さい値を示したためにホルムアルデヒドのみ考察対象とした。ADSECによるホルムアルデヒド放散速度測定結果を表1-6、図1-8に示す。

表1-5 各測定部位温湿度 [°C]

測定箇所	平均	最低	最高
室内	25.6	22.9	27.7
床	23.5	21.6	28.9
壁	24.8	22.6	28.0
天井	25.5	23.1	28.3

表1-6 ADSEC放散速度 [µg/m²h]

測定箇所	ADSEC	FLEC
床	185	186
壁	203	209
天井	205	205

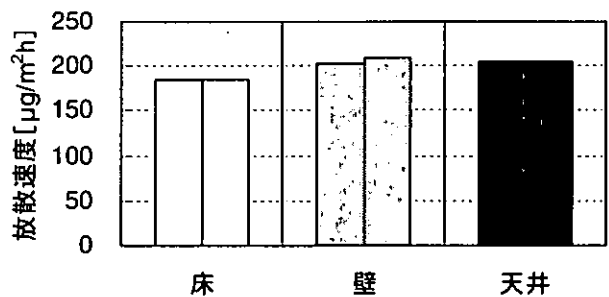


図1-8 ADSEC放散速度

測定したMDFはホルムアルデヒド放散量の多い建材であり、各面ともに200µg/m²hに近い値を示していた。ダブルサンプリングを行ったが、サンプラーによる放散速度の違いは見られなかった。天井と壁は同程度の値を示していたが、床は約20µg/m²h程低い値となっていた。化学物質の放散は温度により影響を受け

る。そのため雰囲気温度が他に比べて低かった床の放散速度が低い値を示したと考えられる。そこで既往実験により求められた ADSEC の放散速度の温度換算式である式 (1-2) を用いて、各部位の温度を 25°C に補正した結果を表 1-7、図 1-9 に示す。

$$EF_t = EF_{25} \times 1.08^{(t-25)} \quad \dots (1-2)$$

$EF_t$  : 周囲温度  $t$ °C における放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ]

$EF_{25}$  : 周囲温度 25°C における放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ]

表 1-7 放散速度 25°C 補正結果 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ]

床	196	197
壁	205	211
天井	200	200

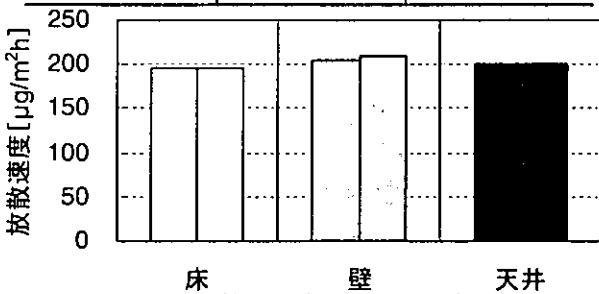


図 1-9 放散速度 25°C 補正結果

温度を補正したことにより、床・壁・天井の放散速度はほぼ一致した。同一建材を用いた測定で、各面から同程度の放散量が得られたことから、ADSEC の床・壁・天井の測定方法は有効であると考えられる。よって重りの重量や、壁・天井測定器具のばねの弾性力が適切であることも確認できた。また、放散面によるサンプラーと建材表面との位置関係の違いや、気中濃度測定時とは逆向きにサンプラーをセルに挿入することにも影響がないことが確認できた。

1-3-4 FLEC 実験結果・考察

測定期間中 (各 33 分) における室内、及び各測定部位の平均温度と最高、最低温度を表 1-8 に示す。

FLEC の放散速度は式 (1-3) を用いて求められる。

$$EF = \frac{C \times N \times V}{A} \quad \dots (1-3)$$

$EF$  : 放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ]       $C$  : 気中濃度 [ $\mu\text{g}$ ]

$A$  : 建材の測定表面積 [ $\text{m}^2$ ]       $N$  : 換気回数 [1/h]

$V$  : 室容積 [ $\text{m}^3$ ]

ADSEC 同様、ホルムアルデヒドについてのみ放散速度結果を表 1-9、図 1-10 に示す。

表 1-8 各測定部位温湿度 [°C]

測定箇所	平均	最低	最高
床	22.4	22.3	22.5
壁	24.5	24.1	25.7
天井	25.2	24.8	25.8

表 1-9 FLEC 放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ]

床	498.9
壁	406.6
天井	222.6

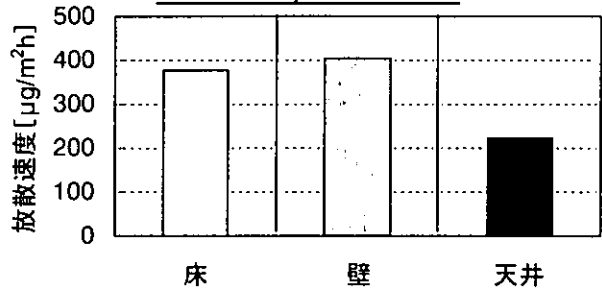


図 1-10 FLEC 放散速度

FLEC の測定では、床で約  $500\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ 、壁で約  $400\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  であるのに対し、天井では約  $200\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$  と各部位についてかなりのばらつきが見られた。これは天井測定においてリークが生じているためと考えられる。この結果より、FLEC と建材表面との位置関係の違いや、壁・天井セルを固定するための器具など含め床・壁・天井の測定方法に更なる検討が必要であるとされる。

また既往実験から、通常 FLEC の放散速度結果が ADSEC の結果よりも大きくなることが確認されているが、今回の測定でも ADSEC 測定結果と比較して、天井を除いて大きく上回る値を示した。

1-4 まとめ

- 1) シリコンシート・重りの使用による ADSEC の測定精度の向上効果が確認された。
- 2) ADSEC による同一建材の部位別放散量測定を行った結果により、床・壁・天井面からの ADSEC を使用した放散速度測定の有効性が確認された。
- 3) FLEC に関しては天井、床、壁の順にリークが大きくなっており、更なる考察が必要であると考えられる。

【参考文献】

- 1) P. Wolkoff et al., "Field and Laboratory Emission Cell: FLEC", IAQ 91 Healthy Buildings, 1991; pp. 160-165
- 2) CHEMATEC, "FLEC- Field and Laboratory Emission Cell", 1997.
- 3) 田辺ら, "建材から発生するアルデヒド類のパッシブ測定法 (ADSEC) の開発 その 1 ADSEC による測定方法の検討", 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.677-680, 2001
- 4) 田辺ら, "パッシブ測定法を用いた室内空気質評価 その 1 実住宅におけるカルボニル化合物の実測", 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.669-672, 2002

5) 田辺ら, “パッシブ測定法を用いた室内空気質評価  
その2 VOC-ADSEC の概要と捕集時間の検討”, 空  
気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.673-676,  
2002

6) 内山茂久、金子敏郎、田辺新一、長谷川修司、分  
子拡散型サンプラーDSD-DNPH による大気中カルボ  
ニル化合物の測定；千葉市環境保健研究所年報（第6  
号）1999



## 第2章 PFT法を用いた 換気量簡易測定法の改良

## 第2章 PFT法を用いた換気量簡易測定法の改良

### Improvement of Passive Measurement Method for Ventilation Rates Using PFT Method

The Building Standard Law” was revised in 2003 against the social problems “Sick house syndrome”. It is important to investigate indoor air quality by measuring air concentrations, emission rates and ventilation rates. In this study, it is aimed to establish the simple measurement method for ventilation. To use this measurement method in the field surveies, it is important to know PFT emission rates from the diffusion sources and PFT sampling rates of passive sampler VOC-SD. As a result of investigation of PFT emission source, the amount calculation formulas of PFT emissions were obtained. According to this result, the emission rates of PFT went up 4% per a degree. The sampling rates for PFT method of three kinds of samplers were examined. The equations of the sampling rate from temperature were confirmed. The sampling rates of  $C_6F_6$ ,  $C_7F_8$  and  $C_7F_{14}$  were 4.27, 2.74 and 10.00 ml/min when the temperature was 25 degrees A multi-family residential building equipped with mechanical ventilation was measured by using the simple method. The system of ventilation has been investigated by carrying out comparison examinations and the result obtained by this method.

**KEYWORDS:** Ventilation Rates, PFT method, Sampling Rates

#### 2-1 はじめに

近年、シックハウス症候群などの室内空気質問題対策への関心が非常に高くなっている。2003年7月に改正建築基準法が施行され、ホルムアルデヒドを放散する建材の内装使用面積規制、居室において適切な換気回数を確保する換気設備の義務付けが加えられた。これらの背景より、化学物質の室内気中濃度によって評価されていた室内空気質問題に対し、換気量や化学物質放散速度、居住者の生活スタイルからの改善策の提案が必要となった。新築に限らず、居住者のいる既存住宅において、様々な要因を考慮した室内空気質評価を行うためには、簡易測定法が有用である。そこで、既往研究<sup>1)~3)</sup>よりパッシブ法を用いた気中濃度測定、放散速度測定、換気量測定による室内空気質評価法を提案してきた。

本研究では、既存のPFT法<sup>4)</sup>の原理を参考に、独自に作成した測定法を用い、換気量簡易測定法を改良・確立することを目的とした。よって、昨年度より検討を行ってきた測定法を用いて、換気量簡易測定法改良のための基礎的実験を行った。

#### 2-2 換気量簡易測定法

##### 2-2-1 目的

換気量は、室内空気質環境を向上させる主要な手段である。しかしながら、過度の換気は省エネルギーの観点からは好ましくないため、適度な換気量の確保が重要である。改正建築基準法では、居住空間において

0.5回/hの換気回数を確保する機械換気設備の設置が義務付けられている。そのため、設備設計の段階で設定した換気量が現場で再現できているかどうか、居室の換気性能を確認するため、換気量測定への需要が高まっている。 $SF_6$ などを使用する換気量測定は、大掛かりな装置と専門的な知識を要し、簡便とはいえず、居住者などがいる場合、騒音などの問題から居住環境での測定は困難である。そこで、簡易手法による換気量測定法が望まれている。

##### 2-2-2 PFT法概要

PFT法は、小型のトレーサーガス源から自然界に存在しないガスを室内に放散させ、パッシブサンプラーで捕集を行い、測定期間中の平均換気量を算出する。既往研究では、ヘキサフルオロベンゼン( $C_6F_6$ )、オクタフルオロトルエン( $C_8F_8$ )を充填したパーミエーションチューブ及びバイアル瓶をトレーサーガス源に使用し、パッシブサンプラー-VOC-SDを用いて、連続した2ゾーンにおける換気量測定法開発を行った。図2-1にバイアル瓶を用いた放散源、図2-2にパーミエーションチューブを用いた放散源、図2-3にパッシブサンプラー-VOC-SDを示す。

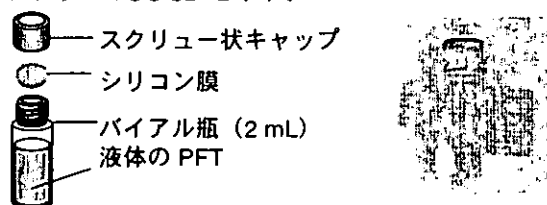


図 2-1 バイアル瓶を用いた PFT 放散源

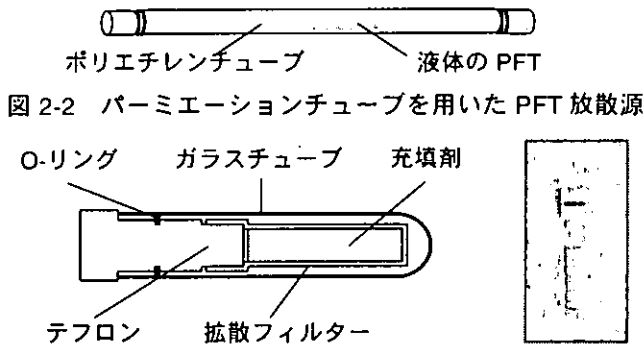


図 2-2 パーミエーションチューブを用いた PFT 放散源

図 2-3 パッシブサンプラ-VOC-SD

2-2-3 PFT 第 3 物質の検討

室内空気質実測において、測定対象室は居住者の生活時間が長いと考えられる居間及び寝室としている。居間、寝室における空気交換量を把握するためには、居間を Zone1、寝室を Zone2、その他の室を Zone3 と設定し、3 物質を用いた連続する 3 ゾーンでの測定が望まれる。本年度は、3 つめの物質としてパーフルオロメチルシクロヘキサン (C<sub>7</sub>F<sub>14</sub>) を選定し、放散量実験及びサンプリングレイト算出実験を行った。

2-3 放散量実験

2-3-1 実験目的

実測において、換気量測定期間中の PFT 全放散量は、PFT 放散源の減少量を用いる。そこで、放散量の温度換算式があれば有用である。本実験では、周辺温度やシリコン膜の厚さが放散量に与える影響を検討することを目的とした。

2-3-2 実験概要

PFT 放散源は、図 2-1 に示すバイアル瓶を用いて、液体の C<sub>7</sub>F<sub>14</sub> を充填した。恒温槽の中で実験を行い、温度は 10, 15, 20, 25, 30, 35°C の 6 条件とした。また、シリコン膜の厚さを 1.0mm, 1.5mm, 2.0mm, 2.5mm の 4 条件設定し、各厚さにおいて 4 本ずつ用意し、計 16 本を全て同時に恒温槽に入れ測定した。測定は 10, 15 時、翌 10, 14 時の計 4 回行った。放散量は電子天秤を用いて計量することにより得られる PFT 源の重量変化から求めた。

2-3-3 実験結果・考察

各温度条件における PFT 源の放散量を表 2-1, 2-2、放散量と温度との関係を図 2-4~2-9 に示す。

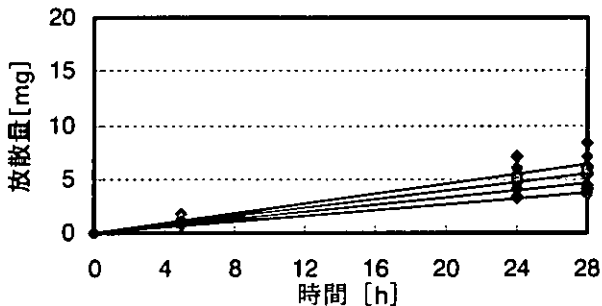


図 2-4 放散量と温度の関係 (10°C)

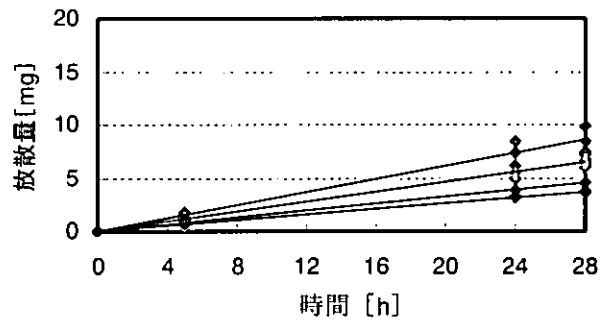


図 2-5 放散量と温度の関係 (15°C)

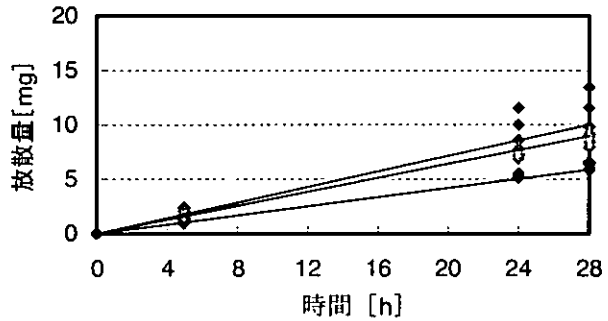


図 2-6 放散量と温度の関係 (20°C)

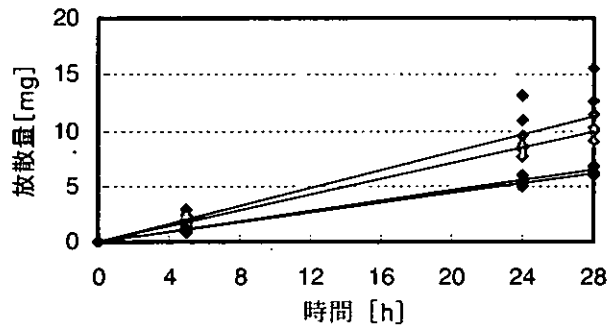


図 2-7 放散量と温度の関係 (25°C)

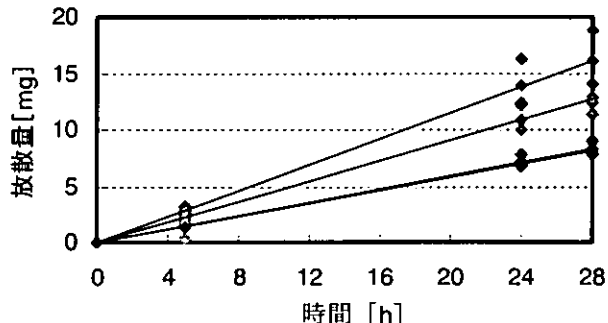


図 2-8 放散量と温度の関係 (30°C)

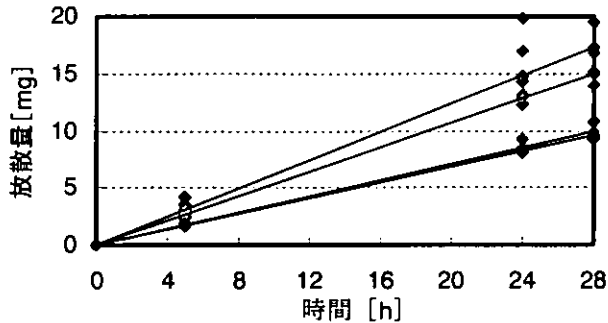


図 2-9 放散量と温度の関係 (35°C)

表 2-1 PFT 放散量と温度 (10, 15, 20°C)

シリコン膜 厚さ [mm]	放散量 [mg]			
	5h 後	24h 後	28h 後	
10°C	1.0	1.1	5.5	6.2
		1.2	5.3	6.0
		1.8	7.1	8.4
		1.3	6.1	7.1
	1.5	1.2	4.7	5.4
		1.1	5.0	5.7
		1.1	4.6	5.3
		1.2	4.9	5.5
	2.0	0.7	3.1	3.8
		0.7	3.1	3.6
		1.3	3.1	3.9
		N.D	N.D	N.D
2.5	N.D	N.D	N.D	
	0.9	3.3	4.0	
	1.1	3.4	4.0	
	1.1	4.0	4.5	
15°C	1.0	1.4	6.1	7.2
		1.4	6.1	7.4
		1.8	8.5	9.9
		1.7	7.4	8.5
	1.5	1.1	5.4	6.4
		1.3	5.5	6.6
		1.0	5.0	6.0
		0.9	5.5	6.5
	2.0	0.5	3.1	3.6
		0.6	3.2	3.8
		0.6	3.3	3.9
		N.D	N.D	N.D
2.5	0.6	3.0	3.5	
	0.7	3.2	3.7	
	1.0	3.8	4.5	
	1.0	3.8	4.6	
20°C	1.0	1.7	8.7	9.9
		1.6	8.6	9.8
		2.5	11.6	13.4
		2.0	10.0	11.6
	1.5	1.0	7.3	8.5
		1.1	7.7	8.9
		1.1	6.9	8.0
		1.4	7.8	9.1
	2.0	1.0	5.1	5.9
		0.9	5.2	6.0
		1.0	5.0	5.8
		1.3	5.6	8.0
2.5	1.3	5.0	5.9	
	1.2	5.1	5.9	
	1.4	5.6	6.3	
	1.1	5.6	6.5	

表 2-2 PFT 放散量と温度 (25, 30, 35°C)

シリコン膜 厚さ [mm]	放散量 [mg]			
	5h 後	24h 後	28h 後	
25°C	1.0	1.3	8.5	10.2
		1.7	9.5	11.4
		2.9	13.2	15.6
		2.4	11.0	12.7
	1.5	1.5	8.6	9.9
		1.4	8.4	10.0
		1.6	7.7	9.0
		2.0	8.8	10.2
	2.0	1.1	5.5	6.3
		1.2	5.5	6.6
		1.1	5.1	6.0
		1.3	6.1	8.8
2.5	1.0	4.9	5.7	
	0.9	4.9	5.9	
	1.0	5.3	6.2	
	1.2	6.0	6.9	
30°C	1.0	2.5	12.2	14.0
		2.4	12.3	14.1
		3.3	16.3	18.8
		2.8	13.9	16.1
	1.5	2.1	10.8	12.3
		2.1	10.8	12.9
		1.7	10.0	11.3
		2.2	10.9	12.8
	2.0	1.3	6.9	8.1
		0.4	7.1	8.3
		1.5	7.0	8.0
		1.6	7.3	8.4
2.5	1.3	6.6	7.4	
	1.3	6.8	7.8	
	1.4	7.2	8.3	
	1.4	7.8	8.9	
35°C	1.0	2.8	14.3	16.8
		3.1	14.8	17.3
		4.2	19.9	23.1
		3.5	16.9	19.5
	1.5	2.6	12.9	14.9
		2.7	13.1	15.1
		2.3	12.2	14.0
		2.7	13.1	15.1
	2.0	2.8	8.2	9.5
		1.8	8.6	9.9
		1.6	8.0	9.2
		2.3	10.5	13.1
2.5	1.6	7.7	8.7	
	1.6	8.1	9.3	
	1.8	8.3	9.6	
	1.9	9.3	10.7	