

(4) 生活環境で体内に有害物質が吸収された量を知りたい（生物学的モニタリング）デザイン：生物学的モニタリング検査は労働衛生の分野で活用されています。生体試料中の有害物質の濃度から曝露濃度や症状との関連を求めています。検査材料としては血液、尿、髪の毛、呼気、その他が用いられます。検査材料の採集は一般に医師など医療従事者によって行われます。検査材料の中で被験者への負担がなくよく利用されているのは尿で、これを用いた活用が期待されます。しかし、この尿を用いた検査のルールは決められていません。

尿を用いた研究例を紹介します。シックハウスとして問題になっている可塑剤、難燃剤に含まれるフタル酸エステル、リン酸トリエステル類は曝露によって体内に入り、血液や体内でモノフタル酸エステル、リン酸ジエステルに代謝され尿中に排泄されます。排泄された代謝物濃度と人の健康状態との関係を比較することによって生体への影響が明らかになります。この研究によってフタル酸エステル、リン酸トリエステル類は人への影響が明らかになりました。用いられた尿は朝のスポット尿を -20°C で保存し、使用しています。

シックハウスで比較的高濃度の曝露を受ける防虫剤のパラジクロロベンゼンは室内で曝露を受け体内から排泄されることが報告されています。

(5) ある程度の長時間の曝露（数か月から数日）知る方法として住居のダストを用いるデザイン：

住居のダストは一般に埃と言われ、その中には土・砂、綿ほこり、繊維くず、人の毛髪・フケ、食べかす、ペットの抜け毛、花粉、昆虫の死骸やフン、カビ、細菌、ダニの死骸やフン、タバコの煙や排気ガスなど様々な物質が含まれています。埃は空気中の化学物質を吸着しています。この埃は風邪や人、物の動きによって空気中に舞い上がります。舞い上がった埃は呼吸により吸収し生体への影響が問題となります。また室内の埃は長時間存在（数日から数か月）することから恒常的な曝露を受ける事になります。シックハウスに関連する物質としては難燃剤、可塑剤としてのフタル酸エステルやリン酸トリエステルおよび農薬（WHO の分類では SVOC に属する化学物質）はこの埃と共に室内に存在します。

このハウスダスト中フタル酸エステル類曝露とアレルギー症状への影響が報告されています。ダストの採集方法はハンディクリーナーを用いて居間の床全面や床より上の棚や家具の表面のハウスダストを採取します。分析に不要な毛髪や紙屑、食べ物屑などをその場でピンセットを用いて取り除き、あらかじめアセトンでフタル酸エステルの汚染を除去された共栓付きガラス試験管に入れ、フッ素テープで口を塞ぎ、アルミホイルで包み、分析まで -20°C の冷凍庫で保管します。

b. 分析（評価）

(1) ホルムアルデヒド

ホルムアルデヒドの分析方法は検討会の中間報告書-1 第1回～第3回のまとめで詳細に説明されています（ウェブ2）参照）。この方法はシリカゲルに DNPH(2,4-ジニトロフェニルヒドラジン) をコーティングした捕集剤を空気が通過するとホルムアルデヒドは DNPH へと誘導化されます。この誘導化された物質をアセトニトリルで抽出し、分析機器として高速液体クロマトを用いて測定します。他のアルデヒド類も同じ方法で測定されます。表 5.1.7. には有機化合物の捕集、抽出、分析機器、採取条件を示します。

表 5.1.7. 有機化合物の捕集、抽出、分析機器、採取条件

物質名	捕集剤	抽出	分析機器等	採取条件
ホルムアルデヒド、(アセトアルデヒド、アセトン、アクロレインベンズアルデヒド等)	DNPH(2,4-Dinitrophenylhydrazine)をコーティングしたシリカゲル	DNPH誘導化したサンプルをアセトニトリルで抽出	高速液体クロマトグラフ、移動相：アセトニトリル：水(6:4)、検出器：UV 360nm	高さ1.2~1.5m、30分間採取、流量1L/min
トルエン、キシレン、エチルベンゼン、スチレン、パラジクロロベンゼン、テトラデカン、ノナール(その他の溶剤、MVOC)	活性炭	二硫化炭素(アセトン含有二硫化炭素)、加熱脱着、容器採取法	ガスクロマトグラフ/質量分析法、検出：SIM	高さ1.2~1.5m、30分間採取、流量、0.1~1.0/min
クロルピリホス、ダイアジノン、フェノプカルブ	スチレンジニルベンゼン共重合体またはオクタデシルシリル化シリカゲルを捕集剤	アセトン	ガスクロマトグラフ/質量分析法、検出：SIM	採取は2時間、高さは床上約30cm~1.5mの範囲内、流量1L/min程度(24時間)、1~10L/min程度(約2時間)
フタル酸ジ-n-ブチル、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	カーボン系吸着剤、オクタデシルシリル化シリカゲル、またはスチレンジニルベンゼン共重合体	アセトン、加熱脱着、容器採取法	ガスクロマトグラフ/質量分析法、検出：SIM	1~10L/min程度の流量で概ね30分間採取

測定値の評価は指針値としホルムアルデヒド $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、アセトアルデヒド $48\mu\text{g}/\text{m}^3$ が示され、この値以下であればほとんどの人に影響を及ぼさないとする値です。

私共が実際に測定したアルデヒド類の事例を表 5.1.8. に示します。表は札幌、福島、愛知、大阪、岡山、北九州の住宅(居間、寝室)室内 535 室の平均濃度と最大濃度および当該物質が住宅で検出された件数を示しています。ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドアルデヒド、アセトンはほとんどの室内で検出されます。それ以外のアルデヒドは表 5.1.8. の検出数と平均濃度を参考にしてください。

表 5.1.8. 札幌、福島、愛知、大阪、岡山、北九州の住宅(居間、寝室) 535 室の濃度

番号	名前	平均濃度 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	標準偏差	最大値	検出数
1	ホルムアルデヒド	42.1	30.6	232	534/535
2	アセトアルデヒド	18.9	17.4	132	522/535
3	アセトン	31.5	39.1	538	525/535
4	アクロレイン	0.1	1.1	23	6/535
6	クロトンアルデヒド	3.1	5.8	63	157/535
7	ベンズアルデヒド	0.3	0.8	6	22/535
8	ヘキサアルデヒド	4.3	12.1	174	200/535

定量下限値は $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1440分の捕集で空気を 0.5m^3 以上吸引した場合

検出率は $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ の半分 $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ までとした。

(2) VOC と MVOC (揮発性有機化合物、微生物揮発性有機化合物)

WHO の分類では VOC は化学物質の沸点範囲が 50 ～ 100℃から 240 ～ 260℃の化学物質としています。指針値が示されている揮発性有機化学物質は、トルエン、キシレン、パラジクロロベンゼン、スチレン、エチルベンゼンがあります。これらの捕集、分析方法はウェブ 1) から 4) を参考にしてください。MVOC は室内に生育する微生物などによって室内の有機物質が代謝や分解されて増加する有機化合物です。この MVOC の種類は現在 100 種類以上が報告されています。MVOC を WHO の沸点範囲で分類するとほとんどは VOC に属します。VOC の室内濃度は沢山の種類が報告されています。私共が実際に測定した VOC 類の測定事例を表 5.1.9. に示します。51 種類の VOC・MVOC の室内濃度平均値と最大値を示しました。測定を実施された場合は参考にしてください。なお、この 51 種類の物質のサンプリング、分析方法はウェブ 1)、5) を参考にしてください。トルエン、キシレン、エチルベンゼンは多くの室内で検出されています。その他、リモネン、n - デカン、n - ウンデカン、 α - ピネンや酢酸ブチル、酢酸エチルも多くの室内で検出されています。また検討会は TVOC の管理目標として暫定目標値を $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ としています。表 5.1.9. に示す 2009 年度調査の平均値をすべてプラスすると $171\mu\text{g}/\text{m}^3$ となり暫定正勧告値以下です。

(3) SVOC (準揮発性有機化合物)

WHO の分類では SVOC は沸点範囲 240 ～ 260℃から 380 ～ 400℃の有機化合物とされています。これに属する有機化合物は殺虫剤 (DDT, クロルデン)、可塑剤 (フタル酸化合物)、難燃剤 (PCB, PBB) として使用されています。指針値はフタル酸ジ - 2 - エチルヘキシル、フタル酸ジ - n - ブチル、ダイアジノン、クロルピリホス、フェノブカルブの 5 種類が示されています。分析方法はウェブ 3)、4) を参考にしてください。

一方、沸点の高い SVOC は、浮遊粉塵^{じん}やハウスダストなどの表面に付着し、室内に蓄積することが懸念されています。難燃剤や可塑剤として使用されている有機化合物のフタル酸エステル類やトリリン酸エステル類はハウスダストに付着すると言われていています。私共が室内から採集したダストに存在するフタル酸エステル類とトリリン酸エステル類濃度を表 5.1.10 に示します。

室内ダスト中のフタル酸エステル類ではフタル酸ジエチルヘキシル (DEHP) が最も多く存在しています。リン酸トリエステル類ではリン酸トリス (ブトキシエチル) が多く存在します。分析方法はウェブ 6) を参考にしてください。

表 5.1.9. VOC・MVOC 濃度調査事例

VOC/名	2013年個人住宅濃度		2013年屋外の濃度		2009年住宅濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	平均値	最大値	平均値	最大値	平均値	最大値	検出数
2-ペンチルフラン					0.3	1.8	6/131
クロホルム					1.0	5	47/533
2-メチルフラン					* 0.3	2.3	11/131
3-メチルフラン					* 0.3	0.6	2/131
n-ヘキサン	2.3	17.0	2.6	96.0	1.7	78	102/533
1,1,1-トリクロロエタン	0.5	26.0	0.0	0.0	0.2	10	7/533
四塩化炭素					0.2	3	1/533
酢酸エチル	2.0	56.0	0.5	18.0	10.0	200	399/533
メチルエチルケトン					3.0	39	236/533
2,4-ジメチルペンタン	0.1	1.5	0.6	38.0	0.1	9	1/533
ベンゼン	1.6	10.0	1.4	4.1	1.8	37	94/533
1,2-ジクロロエタン	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	10	4/533
トリクロロエチレン	0.1	1.7	0.0	0.8	0.1	3	2/533
1,2-ジクロロプロパン	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	0/533
2,2,4-トリメチルペンタン					* 0.3	2.1	5/131
2-ペンタノール	MVOCとしての取り扱い				* 0.3	2.0	8/131
トルエン	8.3	53.0	5.4	55.0	13.1	71	513/533
n-トリデカン					* 4.4	151.5	102/131
1-ブタノール					1.0	13	77/533
メチルイソブチルケトン					1.3	41	56/533
2-ペンタノール	MVOCとしての取り扱い				* 0.5	3.4	29/131
クロロシプロモメタン	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	133	10/533
テトラクロロエチレン	0.3	9.3	0.0	0.0	0.7	61	158/533
n-オクタン	2.4	110.0	0.1	0.9	3.5	200	158/533
酢酸ブチル	1.7	14.0	0.2	1.8	5.2	242	302/533
2-ヘキサノール	MVOCとしての取り扱い				* 0.3	0.7	2/131
2-メチル-1-ブタノール					* 0.4	4.0	29/131
メタ・パラキシレン	4.5	16.0	2.8	6.3	5.3	28	378/533
オルトキシレン	1.8	7.4	1.0	4.4	2.2	13	162/533
3-メチル-1-ブタノール	MVOCとしての取り扱い				* 2.1	19.0	77/131
エチルベンゼン	2.2	6.5	1.4	4.3	4.1	27	334/533
1-ペンタノール	MVOCとしての取り扱い				0.6	10.5	32/131
スチレン					2.2	28	151/533
α -ピネン	7.8	120.0	0.1	1.6	22.9	445	404/533
n-ノナン	3.8	38.0	0.4	2.7	5.2	71	222/533
1,3,5-トリメチルベンゼン	1.0	6.2	0.5	1.8	1.2	54	62/533
3-オクタン	MVOCとしての取り扱い				* 2.2	58.3	75/131
1,2,4-トリメチルベンゼン	3.2	21.0	1.5	4.2	3.6	34	246/533
n-デカン					10.4	315	375/533
パラジクロロベンゼン	2.9	1600.0	0.9	34.0	18.2	3718	218/533
1-オクテン-3-オール	MVOCとしての取り扱い				* 0.9	16.5	40/131
3-オクタノール	MVOCとしての取り扱い				* 0.3	3.1	6/131
1,2,3-トリメチルベンゼン	0.8	7.0	0.3	1.0	1.4	55	70/533
リモネン	22.0	200.0	0.2	3.3	13.9	281	418/533
2-エチル-1-ヘキサノール					* 2.3	43.6	115/131
硫酸ジメチル					* 0.3	0.6	5/131
ノナノール					* 2.2	26.8	130/131
n-ウンデカン	9.6	140.0	2.1	8.7	10.0	139	353/533
デカノール					* 0.4	7.8	16/131
n-ドデカン					* 4.6	71.2	128/131
n-ヘプタン	1.9	32.0	0.1	1.0	3.9	339	44/533

2013年年度厚生労働科学研究補助金横浜市周辺の公共住宅と個人住宅における室内環境中化学物質の冬季実態調査

室内、室外(n=77) 定量下限不明

*2009年秋から冬(札幌、北九州の住宅(居間、寝室)の131室濃度

2009年の平均値は定量下限値(0.5)の半分0.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を代入して計算した。

533件数は札幌、福島、愛知、大阪、岡山、北九州の住宅(居間、寝室)の濃度

表 5.1.10 住宅室内ダスト中のフタル酸エステル類とトリリン酸エステル類

物質名	記号	平均値	最大値	最小値	LOQ
可塑剤					
フタル酸ジエチル	DEP	0.88	15.86	LOQ以下	0.68
フタル酸ジメチル	DMP	0.49	11.77	LOQ以下	0.28
フタル酸ジイソブチル	DiBP	7.42	205.18	0.67	0.31
フタル酸ジ-n-ブチル	DnBP	77.08	1084.23	2.22	0.48
フタル酸ブチルベンジル	BBP	5.26	119.53	LOQ以下	0.15
アジピン酸ジエチルヘキシル	DEHA	28.49	1670.19	LOQ以下	0.74
フタル酸ジエチルヘキシル	DEHP	1726.78	17081.46	LOQ以下	0.57
フタル酸ジイソノニル	DINP	147.03	3096.50	2.03	0.66
難燃剤					
リン酸トリメチル	TMP	0.18	13.37	LOQ以下	0.40
リン酸トリエチル	TEP	0.08	2.39	LOQ以下	0.13
リン酸トリプロピル	TPP	0.60	11.19	LOQ以下	0.18
リン酸トリブチル	TBP	1.39	36.21	LOQ以下	0.26
リン酸トリス (2-クロロエチル)	TCEP	6.54	756.08	LOQ以下	0.25
リン酸トリス (2-クロロイソプロピル)	TCIP	2.76	68.60	LOQ以下	0.20
リン酸トリス (1, 3-ジクロロ-2-プロピル)	TDCPP	5.74	313.69	LOQ以下	0.28
リン酸トリス (ブトキシエチル)	TBEP	99.25	1507.90	LOQ以下	0.15
リン酸トリフェニル	TPhP	0.61	13.27	LOQ以下	0.52
リン酸トリス (2-エチルヘキシル)	TEHP	0.53	8.05	LOQ以下	0.18
リン酸トリクレシル	TCP	0.43	17.94	LOQ以下	0.23
その他					
4-ノニルフェノール	4-NP	0.18	7.56	7.77	0.58
S-421	S-421	5.39	1116.18	LOQ以下	0.18
ジブチルヒドロキシトルエン	BHT	2.70	268.70	LOQ以下	0.44

測定事例207件数

単位 $\mu\text{g/g}$

c. 個人曝露量 (濃度)

(1) 個人サンプラーの濃度

個人サンプラーでは VOC の捕集が可能です。一般的には拡散型のサンプラーを用いて捕集が行われ、その捕集剤に吸着された有機化合物を分析します。これを求めるには個々の有機化合物が捕集剤に吸着される捕集速度や捕集剤から溶剤を用いて抽出する条件を検討しておく必要があります。ここでは測定事例として私共が開発したサンプラーを使用して測定された個人曝露濃度について示します。なお、サンプラーの捕集、分析についてはウェブ6) を参考にしてください。

表 5.1.11 曝露濃度測定事例

	定量下限 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	計算に用 いた定量 下限	算術平均	標準偏差	最大値	検出数
1 ホルムアルデヒド	9	4.5	25	14	73	42/45
2 アセトアルデヒド	8	4	12	8	41	29/45
3 アセトン	8.7	4.35	27	25	147	44/45
4 メチルエチルケトン	34.7	17.35	19	9	70	2/45
5 1-ブタノール	51.8	25.9	-	-	26	0/45
6 ベンゼン	51.8	25.9	10	3	19	41/45
7 トルエン	5.9	2.95	38	54	328	40/45
8 エチルベンゼン	6.9	3.45	9	20	102	11/45
9 キシレン	6.9	3.45	13	12	66	24/45
10 α -ピネン	8.4	4.2	14	22	106	17/45
11 p-パラジクロロベンゼン	6.9	3.45	9	17	91	7/45
12 2-エチル-1-ヘキサノール	21	10.5	28	16	58	26/45
13 リモネン	10.4	5.2	28	27	136	39/45

北海道小学生の曝露濃度 (24時間測定)

表 5.1.11. には小学生の一日の行動（住居－通学－学校－塾や習い事－帰宅－自宅、食事－睡眠）の曝露を測定しています。この測定事例の平均値から見ると比較的高い曝露はトルエン、2 - エチル - 1 - ヘキサノール、リモネン、アセトン、ホルムアルデヒドが見られます。なお、2 - エチル - 1 - ヘキサノールはビニールタイルなどの接着剤に使用されているフタル酸ジエチルヘキシル（DEHP）の加水分解物質だと言われているとされています。

(2) 尿中代謝物を用いた生物学的モニタリングの濃度

シックハウスに関連する物質として可塑剤、難燃剤の有機化学物質であるフタル酸ジエステル類と尿中代謝物についての多くの報告があります。例えばフタル酸ジエステル類は生体内で加水分解や代謝を受けて尿中にフタル酸物エステル類として排泄されます。トリリン酸エステル類はジリン酸エステル類として排泄されます。ウェブ 6) には 5 種類のフタル酸エステル類（①フタル酸ジ-2-エチルヘキシル、②フタル酸ジブチル、③フタル酸ブチルベンジル、④フタル酸ジイソブチル、⑤フタル酸ジノルマルオクチル）の尿中代謝物 8 種類の同時分析する方法を示します。フタル酸ジエステルから遊離されたアルキル基は脂肪族のアルコール(2-エチル-1-ヘキサノール)になります。またフタル酸ジエステルは分析時に無水フタル酸になります。（リン酸については指示により省く）

表 5.1.12. 7、8 歳児の男女別フタル酸ジエステル代謝物の測定事例と平均値

リン酸トリエステルとフタル酸エステル	主な尿代謝物質名	男子(146名) 尿		女子(101名) 尿	
		7歳、8歳			
	年齢	算術平均	標準偏差	算術平均	標準偏差
	平均値				
	クレアチニン (mg/100mL)	101.6	37.2	90.8	37.5
フタル酸エステル	フタル酸エステル代謝物				
フタル酸ジ-2-エチルヘキシルDEHP	フタル酸ジ (2-エチルヘキシル) エステル MEHP (μ M/L)	0.128	0.077	0.092	0.108
	フタル酸モノ-2-エチル-5-オキシヘキシル5oxo-MEHP (μ M/L)	0.111	0.111	0.110	0.129
	フタル酸2-エチル-5-カルボキシペンチル5cx-MEPP (μ M/L)	0.173	0.146	0.142	0.204
	2-エチル-1-ヘキサノール2EH (μ M/L)	0.387	0.379	0.281	0.421
フタル酸ブチルベンジルDBZP	フタルサンモノ-ベンジルMBzP (μ M/L)	0.038	0.120	0.046	0.109
フタル酸ジノルマルオクチルDnOP	フタル酸モノ-3-カルボキシプロピルMCPP (μ M/L)	0.016未満	—	0.016未満	—
フタル酸ジイソブチルDiBP	フタル酸モノ-イソブチルMiBP (μ M/L)	0.204	0.294	0.281	0.202
フタル酸ブチルベンジル DBZP、 フタル酸ジ-n-ブチルDBP	フタル酸モノ-n-ブチルMnBP (MBP) (μ M/L)	0.245	0.272	0.202	0.167
全てのフタル酸エステル類	無水フタル酸PHA (μ M/L)	0.451	0.282	0.422	0.292

表 5.1.12 には 7～12 歳児とその両親のフタル酸ジエステル代謝物の平均値を示しました。フタル酸ジ-2-エチルヘキシル（DEHP）は沢山の代謝物質が知られていますがここでは 3 種類の代謝物質を調べています。フタル酸モノ-2-エチルヘキシル（MEHP）が一次代謝物でそこからさらに代謝され、フタル酸-2-エチル-5-モノオキシヘキシル（MEOHP）、フタル酸-2-エチル-5-モノカルボキシペンチル（MECPP）となります。

参考ウェブサイト一覧

- 1) シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会、中間報告書－第4回～第5回のまとめについて
http://www1.mhlw.go.jp/houdou/1212/h1222-1_13.html（2016年1月5日確認）
- 2) シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会、中間報告書－第1回～第3回のまとめ
www1.mhlw.go.jp/houdou/1212/h1222-1_13.html（2016年1月5日確認）
- 3) シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会、中間報告書－第6回～第7回のまとめについて
<http://www.mhlw.go.jp/houdou/0107/h0724-1.html>（2016年1月5日確認）
- 4) シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会、中間報告書－第8回～第9回のまとめについて
<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2002/02/h0208-3.html>（2016年1月5日確認）
- 5) 厚生労働科学研究費補助金（地域健康危機管理研究事業）分担研究報告書
VOC・MVOCの同時定量条件に関する検討
分担研究者 河合 俊夫 中央労働災害防止協会・大阪労働衛生総合センター
<http://mhlw-grants.niph.go.jp/niph/search/NIDD00.do?resrchNum=201036008B>
（2016年1月21日確認）
- 6) 5C-1511 可塑剤・難燃剤の曝露評価手法の開発と小児アレルギー・リスク評価への応用
（1）可塑剤・難燃剤の環境曝露評価および尿中代謝物測定による生体曝露評価手法の開発
中央労働災害防止協会 大阪労働衛生総合センター 河合 俊夫・坪井 樹
https://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/kadai/syuryo_report/h25/pdf/5C-1151.pdf
（2016年1月21日確認）

d. SVOC のダスト中濃度と尿中代謝物濃度の相関

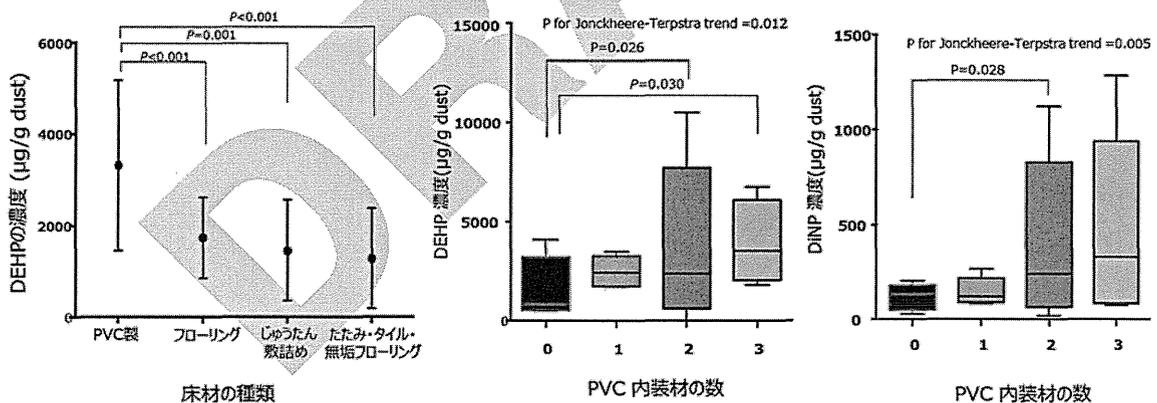
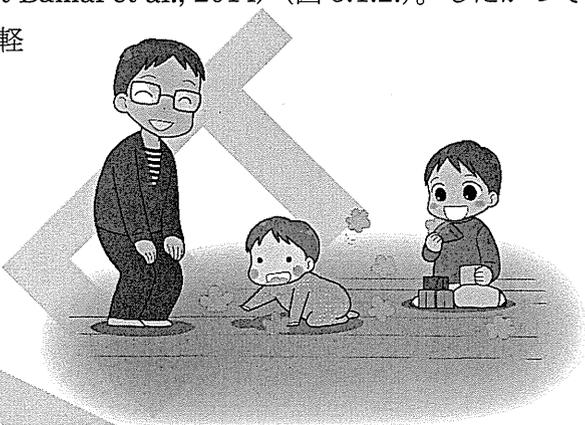
室内中の化学物質は、分子量や揮発性等、物質の性質によってガス状で気中に存在していたり、室内のダスト（ホコリ）にも吸着した状態で存在したりしています。私たちは一日の大半を室内で過ごしているため、室内の化学物質濃度が高いと個人の曝露（体の中に取り込まれること）濃度も高い、という相関関係はありますが、室内の化学物質濃度がそのまま個人の曝露濃度になる（ダスト中化学物質濃度＝個人曝露濃度）わけではありません。従って、室内中の空気やダスト中の化学物質から実際にはどのくらいの量（濃度）が曝露されているのかということについて考える必要があります。1つの方法として、空気やダスト中の化学物質濃度から、個人の性別および年齢で異なる呼吸、接触率等の係数を用いて実際の体内への取り込み量（曝露量）を推定する方法が用いられています。このような係数は、米国の環境保護庁（United States Environmental Protection Agency, EPA）より出版されている『Child Specific Exposure Factors Handbook』（U.S.EPA, 2011）に載っていますので参考にしてください。

実際に私たちは室内環境からの化学物質の曝露のみならず、食事や薬品、日用品等からも曝露を受けています。では実際にどのくらいの量の曝露を受けているのでしょうか。一般的には、体内に取り込まれた化学物質は、加水分解や代謝を受けて尿中に排泄されます。また、脂溶性の高い物質であれば、血液中や組織に蓄積します。従って、個人の尿や血液中の化学物質あるいは化学物質の代謝物の濃度を測定することで、個人の化学物質曝露濃度を把握することができます。また、尿中の化学物質濃度や室内の化学物質濃度を基に、分子量等の化学物質の特性、個人の身長、体重、年齢、尿への排泄率もしくは呼吸率等の係数を用いて、化学物質の1日摂取量を推定することもできます。ここでは、平成22年度厚生労働省科学研究費補助金 健康安全・危機管理対策総合研究事業および平成23年度環境省環境研究総合推進費で実施した室内環境からのフタル酸エステル類の曝露に関する調査の結果を例にあげて、ダスト中濃度と尿中代謝物濃度の相関について述べます。

フタル酸エステル類は、半揮発性有機化合物（5章参照）に分類され、建材や日用品等、多くの製品に含まれています。曝露源としては食品からの曝露の寄与が最も大きいといわれています。食品パッケージに含まれるフタル酸エステルが食品に移行し、その食品を私たちが摂取することで曝露されていると考えられているからです。しかし、フタル酸エステル類は、食事の他、玩具や容器などのプラスチック製品、化粧品、シャンプー、ボディローションなどのパーソナルケア製品、塗料、電気ケーブル、合成皮革などにも含まれているため、これらの製品を使用することによっても曝露します。これらの製品から徐々に揮発したフタル酸エステル類は、ダストや気中に存在しています。室内のフタル酸エステル類がどのくらい体内に取り込まれているかということ調べるために、一般住宅の居間のダストとその住人の尿を採取し、ダストに含まれるフタル酸エステル類の濃度とその尿中代謝物濃度の相関を見たところ、いくつかの化合物でダスト中濃度と住人の尿中代謝物濃度との間に正の相関があることがわかりました。さらにその相関は、棚などの高い場所にあるダストよりも、床面などの低い場所にあるダストとの間で認められました（Ait Bamai et al., 2015）。ここで、「正の相関」とは、ダスト中の濃度が高いと、尿中の濃度も高いということを示しています。すなわち、室内のダスト中の濃度が高い住宅では、体内に取り込まれる量も多いということになります。すなわち、食事を介した曝露に加え、床面など低い場所のダストが、重要な曝露源となりうるということを示しています。また、この「正の相関」は大人（両親）よりも子ども（小学生）、さらに父親よりも母親で強く見られ、特に子どもで最も強い相関が認められました。つまり、一般的に日中はほとんど家にいない父親より、比較的家にいる時間が長い母親のほうが自宅の化学物質

により多く曝露されていることを示しています。また、子どもは大人よりさらに多くの曝露を受けているということを示しています。子どもは体重当たりの吸気量は大人より多く、さらに乳幼児は、床を這う、手や物を口に入れるという行動等により成人よりも多くの化学物質の曝露を受ける機会があり、また代謝機能も未熟です。そのため、子どもは大人よりも環境中の化学物質に対して脆弱(もろくて弱いこと)であるといわれています。

ダストに含まれるフタル酸エステル類は住宅の床材やプラスチック製の玩具にも含まれています。近年、日本や諸外国では、玩具や育児用品への一部のフタル酸エステル類の使用は規制されるようになりました。しかし、住宅の建材や内装材に対する使用規制は未だ行われていません。フタル酸エステル類のうち、最も使用されている DEHP (di-2-ethylhexyl phthalate) の曝露源は食事由来の他に、室内の PVC 製の建材や内装材由来であることが欧米や日本の研究により報告されています。また、PVC 製の床材の他、複合(複層)フローリングの床材においてもダストに含まれる DEHP の濃度が高いことが報告されています (Ait Bamai et al., 2014) (図 5.1.2.)。したがって、室内環境中からのフタル酸エステル類の取り込みを軽減する一つの方法としては、PVC 製や複合フローリングの床材をできるだけ使用しないようにすることが効果的であると言えるでしょう。また、ハウスダストの取り込みを軽減するためには、① 1 m² あたり 20 秒くらいでゆっくり掃除機をかける、② 水拭きをして室内のダストを除去する、③ 手洗いで手に付着したダストを除去することが効果的です。



PVC内装材の数: 0: PVCなし; 1: 天井, 壁, 床のうちいずれか1つがPVC; 2: 天井, 壁, 床のうちいずれか2つがPVC; 3: 天井, 壁, 床のすべてがPVC

多重比較: 「PVC内装材の数 = 0」をレファレンスとしたときの各PVC数に対するp値 (統計学的有意差はBonferroniの補正より $P < 0.017$)

Ait Bamai et al., *Sci. Total Environ.* (2013)

図 5.1.2. 住宅の床材種類および PVC 内装材の数とダスト中フタル酸エステル類濃度との関連

5.2. 生物学的要因

5.2.1. 真菌（カビ）

a. 室内環境中の真菌

室内中に真菌は必ず存在します。職業性の大量曝露は確実に呼吸器系などの健康影響を与えることが報告されていますが、通常の居住室内環境における気中真菌濃度の上昇によるシックハウス症状への影響はよくわかっていません。その他、真菌は微生物由来揮発性有機化合物 (Microbial Volatile Organic Compounds; MVOC) のような刺激性の化学物質を産生することがあり、マイコトキシン (カビ毒) を産生することがあります。また菌体成分の 1→3 - β - D - グルカンも刺激性があり呼吸器などに健康影響を生じる可能性があります。また、真菌室内中の真菌には以下のような種類があります。

①クラドスポリウム (Cladosporium)

俗称はクロカビ。室内や外気中において最も高頻度に検出されます。中温性・好湿性で、湿性、水系環境に多く、土壌、植物、繊維、紙、木材、皮革、体表、家塵、油剤、プラスチック、穀類など様々な場所に存在します。アレルギーの原因となり、医療機関の検査では血液検査による特異 IgE (特定の物質がアレルギーの原因となるかを推定する血液検査) の測定が行うことができ、皮膚テスト用アレルゲンによる検査も行われています。

②アスペルギルス (Aspergillus)

俗称はコウジカビ。自然界に広く検出され、中・高温性の耐乾性から好乾性であり、家塵、土壌、穀類、繊維、紙、皮革などに存在します。アレルギーに関連し、医療機関では、血液検査による特異 IgE の測定が行うことができ、皮膚テスト用アレルゲンによる検査も行われています。この真菌による特殊なアレルギーとして、アレルギー性気管支肺アスペルギルス症という喘息とアレルギー性の肺炎が合併する病気の原因となります。免疫機能が低下している人には肺アスペルギルス症という感染症の原因となります。

③ペニシリウム (Penicillium)

俗称はアオカビ。生活環境では、ハウスダスト、水系・乾燥性環境、空中などに多く、とくに室内空中に広く存在します。温度感受性が強く、多くは 30℃ 以上で発育不良の中温性です。アレルギーの原因となり、医療機関では、血液検査による特異 IgE の測定が行うことができ、皮膚テスト用アレルゲンによる検査も行われています。

④アルテルナリア (Alternaria)

俗称はススカビ。中温性、好湿性真菌で、木材、空中、土壌などに存在します。アレルギーの原因となり、医療機関では、血液検査による特異 IgE の測定が行うことができ、皮膚テスト用アレルゲンによる検査も行われています。

b. 真菌評価方法

一般的に利用できる有効な評価方法は少ない状況です。気中の真菌数を直接、定量的に評価する方法として、落下真菌をシャーレで培養する方法、エアースンプラーで一定量の室内空気を吸引して、顕微鏡により真菌数をカウントすることや、培養される真菌数をカウントして、一定空気量（1 m³あたりのコロニー（菌の集落）数（colony forming unit: cfu）など）に含まれる真菌量を定量化する方法があります。培養後に、真菌の種類とその量の定量化も可能になります。しかしながら、曝露量を直接リスク評価に利用することは難しく、職業曝露では105-107cfu/m³のレベルで呼吸器症状などが生じるとされますが、一般室内環境の気中真菌量とシックハウス症状の関係ははっきりしていません。そのため、WHOの報告書などでも、一般室内環境のガイドライン値の設定はできないとしています。

どうしても測定する必要がある場合、真菌気中濃度の測定は、食品衛生などの特殊な検査機関が受託検査として行っていますが、現実的には住居等の環境対策に利用されることはほとんどないと思われま

す。その他、研究室レベルとなりますが、室内の塵を集めて真菌を培養定量することや、PCR（Polymerase Chain Reaction）法という分子生物学的手法で真菌遺伝子を検出定量することも行われています。しかしながら、これらとシックハウス症状との関連ははっきりしていません。また、室内気中の微生物由来揮発性有機化合物（Microbial Volatile Organic Compounds：MVOC）を測定することにより真菌の影響を推定する方法があり、シックハウス症候群の指標となる可能性が報告されています。MVOCはいくつかの研究でシックハウス症候群などの健康影響が報告されていますが、検査機関に依頼して測定することは難しい状況です。また室内塵中における菌体成分の1→3-β-D-グルカンやエルゴステロールを測定することも研究レベルでは行われていますが、シックハウス症候群との関連ははっきりしていません。

以上のように真菌について環境から定量的に評価するのは難しい状況ですが、個人について真菌の影響を医療機関で判断する方法として、特定の真菌に対するアレルギーが存在するか確認するには、先に述べたクラドスポリウム、アスペルギルス、ペニシリウム、アルテルナリアについて血液検査で特異IgEを測定することにより、アレルギー症状に影響しているか推定することができます。

5.2.2. 細菌

a. 室内環境中の細菌

一般環境では室内に細菌が存在することは避けられません。感染症としては、室内に結核等の呼吸器感染症発症者がいる場合や、空調の冷却水、循環式給湯器のメンテナンス不良などによるレジオネラ感染症といった疾病と関係します。細菌が産生するエンドトキシン（細菌の細胞壁に含まれる毒素）は呼吸器系に影響する物質として知られています。

b. 細菌評価方法

真菌と同様に、気中の真菌数を定量的に直接評価する方法として、落下細菌をシャーレで培養する方法、エアースンプラーで一定量の室内空気を吸引して細菌量を定量化する方法があります。しかしながら、一般居住室内環境において気中細菌量が増えたことによるシックハウス症状への影響は認められていません。環境中のエンドトキシンは受託検査として測定が可能ですが（食品衛生等

のため)、一般のシックハウスの調査のために行われることはないと考えられます。エンドトキシンは、一般の室内環境ではシックハウス症状に影響を与えるとは考えにくく、逆に適度に曝露するとアレルギー性の喘息が減少することが報告されています。

5.2.3. ダニアレルゲン他

a. 室内環境中のダニアレルゲン他

日本国内のアレルギーの原因の代表となるダニは、チリダニ科ヒョウダニ属のヤケヒョウダニ (*Dermatophagoides pteronyssius*) とコナヒョウダニ (*Dermatophagoides farinae*) で、これらがハウスダストアレルギーの原因となります。ハウスダストアレルギーは通年的に生じるアレルギーであり、主に気管支喘息やアレルギー性鼻炎を生じます。

その他、ゴキブリや家の中で飼うイヌ、ネコ、ラットなどのげっ歯類等がアレルゲンとなりアレルギー症状に影響することがあります。

b. ダニアレルゲン他の評価法

ダニアレルゲンについてはいくつかの種類が同定・分類されていますが、Der p 1/ Der f 1、Der p 2/ Der f 2 が主要なアレルゲンと考えられ、環境測定において精密な測定法として受託検査としてエライザ (Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay : ELISA) による測定法が行われていますが、その他半定量ダニアレルゲン測定キットが市販品として発売されており、一般家庭などでも測定が可能です。

その他、ゴキブリでは Bla g 1、ネコでは Fel d 1、イヌでは Can f 1、ラットでは Rat n 1、といったものが代表的ですが研究室レベルの測定として行われており、受託検査による測定も一般になっていません。

以上のアレルゲンについては、個人への影響の医療機関での検査として、血液検査で特異 IgE を測定することにより、アレルギー症状に影響しているか推定することができます。



5.3. 物理的要因

5.3.1. 温熱的要因

a. 快適な温度条件

熱環境の快適性に影響する条件は、温度、湿度、風速、輻射です。人は食べものを食べてエネルギーを生産しますが、生産するエネルギー（代謝量）と身体から発散するエネルギーは、健常の時は常に等しい状態になっています。このバランスが壊れそうになったときに寒さ、暑さを感じるようになります。この4つの条件は快適環境を実現するには相互に関連します。例えば、温度が低いときは温度を上げなくとも輻射量を増やせば寒さを感じなくなるし、温度が高く暑いときは扇風機で風を受ければ涼しく感じるということになります。

また、作業の状態によって代謝量は異なるので、同じ環境条件でも代謝量が多いときは暑く感じ、安静にしているときは寒く感じます。寒いときは着衣の量を増やして暖かくし、暑いときは薄着にして涼しさを得ることができます。このように快適条件の要因は温度、湿度、風速、輻射に加えて代謝量、着衣量の6つになります。

これらの条件をすべて考慮し、温熱環境の総合的な指標としてデンマークのファンガーが提唱したPMV 1)が今日では利用されています。PMVは6つの快適条件が定めれば計算で求めることができるので、空調設計や温熱環境の評価で良く利用されるようになってきています。計算の結果、PMVの値が0であれば暑くも寒くもない、+2であれば暑い、+1であればやや暑い、-2であれば寒い、-1であればやや寒い、の評価となります。また、人によって快適と感じる条件は異なり、PMVが0の条件でも、5%の人は不満を感じるという実験結果が示されています。

また、修正有効温度は、

空調設備が設置される建物では、建築基準法に決められた室内環境条件（温度、湿度、風速）の範囲に入るように建物を設計し室内環境を調整しなければなりません。学校の場合には、先に述べたように学校環境衛生基準に従う必要があります。住宅の場合に、室内環境の基準は法律上定められてはいませんが、日本建築学会では1994年に室内温度の推奨値を提案しております。

ただし、いずれも輻射の条件が示されていませんが、輻射による暖房・冷房は、温風・冷風を送る暖房・冷房方式に比べて快適であるとよく言われており、輻射利用の暖冷房が今後、増えていく可能性があります。

b. 温度分布、輻射の不均一

空調された室内において、温度が上下方向で、或いは水平方向で異なることはよく経験します。例えば、暖房している場合には、窓近くや足元が寒く感じます。断熱・気密性能が不十分な場合には、窓や床からの熱のロスが大きく、ロスの大きい場所の近くは温度が低くなるために温度の分布が生じやすくなります。また、窓表面や床表面の温度が低い場合には輻射の作用によって人体から熱が逃げていくために不快に感じます。これらの問題を解消するためには断熱・気密性能を高めることが最も有効である。

学校の教室では、温風暖房器が普及していますが、暖房器からは高い温度の空気が吹き出されるので、その近くに座っている児童にとっては暑くてたまらないということが生じます。その場合には当然、暖房器から机を離さなければなりません。或いはこの問題を解決するには輻射方式の暖房

方式を採用することが確実ですが、断熱・気密性能を高めて熱ロスを低くすれば、高い温度の空気を吹き出すことはなくなり局所的な分布も少なくなると推察されます。

c. 適応

快適温度の範囲についてみると、夏は相対的に高く冬は低くなっています。これは季節により変化する外気温に体が慣れることによるものであり、適応と呼びます。また、先に自然換気を行うオフィスの場合には、空調する場合に比べて温度の快適範囲が広がるという研究成果について述べましたが、一種の適応であり省エネルギーを進める上では重要な研究成果です。

また、転勤や大学入学のために北海道から南の地域に移動した人たちは冬の室内の温度が低く風邪をひいてしまったという話をよく聞きます。これは適応ができないことが原因で健康への影響にかかわる問題ですが、まだ研究は十分に進んでいません。

d. 低温・高温と健康

低温と高温が健康に与える問題に関しては既に触れましたが、低温の問題に関して追加して説明します。筆者らは2015年の冬に山形県の3つの町の住宅それぞれ約80件を対象に室内の温度を測定しました。その結果、暖房している住宅は主に居間だけであり、12℃から24℃の間で分布があるものの平均で約20℃となっていること、寝室の温度は分布が大きく約8℃と約20℃を中心とした山が2つ見られること、トイレは8℃を中心とした山がみられるが16℃まで分布していること、などの特徴がみられました。居間などの暖房している部屋と暖房していないスペースでの温度差は大きく、その間を移動する場合には居住者に熱的なストレス（ヒートショック）が加わることになります。

このような室内の温度の特徴、特に暖房している居間と暖房していない寝室やトイレとの温度差が大きいことやそのことが脳卒中の発症に影響していることを筆者らは既に30年前に明らかにしております。

断熱・気密性能の高い住宅に移った後には、それまで暮らしていた住宅で症状のあった気管支喘息、喉の痛み、せき、アトピー性皮膚炎などについては居住者の60%位が回復したことが調査で明らかにされています。

夏期の住宅内の高温に対しては、冷房設備の運転で対応することが望ましいのですが、冷房設備を運転して睡眠をとった場合には、冷房しない場合よりも睡眠障害、疲労感の度合いが高いという調査結果が得られており、冷房を適切に使用することが大切であるといえます。



5.3.2. 湿度

相対湿度は温熱快適性に関連するだけでなく健康に対しても各種の影響を及ぼします。夏期においては同じ温度でも湿度が低いほど快適に感じます。しかし相対湿度が低すぎる場合には特に冬期においては皮膚の乾燥、ドライアイ、呼吸器疾患、アレルギー鼻炎・喘息などの原因となります。インフルエンザウイルスは低湿度ほど活性化することが明らかとなっています。一方、高湿度の場合には、カビ・ダニが繁殖し、その結果、アレルギー疾患など健康への影響が出てきます。高湿度で結露やカビが発生している建物はダンプビルという言葉で呼ばれていることは、先に述べました。

また、高湿度の場合には化学物質の蒸発作用が促進されシックハウスを引き起こす可能性が大きくなります。

高断熱住宅では冬期の乾燥が問題として指摘されることが多くなっていますが、これはそれまでの住宅に比べて同じ量の水蒸気が発生しても温度が全体的に高くなっているために相対湿度が低くなることが原因の一つではないかと推察されます。また化学物質が乾燥感を引き起こす可能性のあることが指摘されています。

一方、空気質にも湿度は影響し、湿度が高いと臭いの強度が強くなり、低いと空気を新鮮に感じますが、研究によっても明らかにされています。

いずれにしても相対湿度は高すぎないようにまた低すぎないように調整することが大切です。しかしながら、一般の住宅の場合には湿度の調整は難しく、居住者が加湿器や除湿機を持ち込んで対応していることが多い状態です。湿度の調整は、これからの大きな課題です。

DRAFT

5.4. 喫煙、受動喫煙、三次喫煙

5.4.1. 喫煙、受動喫煙によって発生する有害物質と病気

喫煙者が吸い込む煙を主流煙、タバコの先端から立ち上る煙を副流煙と呼ぶことは広く知られるようになりました。タバコを吸わない人が、副流煙と喫煙者の口から吐き出された煙の混合物を吸わされることを受動喫煙と呼びます。

喫煙によって発生する煙は、粒子状成分（ミスト状のタール）とガス状成分（一酸化炭素、ホルムアルデヒドなどの気体）の混合物です。タバコ煙が視認できるのは粒子状成分が光を乱反射するからです。タバコ煙の粒子の直径は $1\mu\text{m}$ （ミクロン）以下で、中国からの越境汚染で問題となった微小粒子状物質（ $\text{PM}_{2.5}$ ）よりも小さいため、ガス状成分とともに空気の流れに乗って肺の最深部まで到達します。

粒子とガスには約4000種類の化学物質が含まれており、そのうち約200種類は人体に有害で、約70種類には発がん性物質があります。

そのため、まず、肺の炎症を起こし、その炎症は血液を通じて全身の動脈硬化を起こし、心筋梗塞や脳卒中、末梢動脈の閉塞などの血管系の病気になります。発がん性物質は、肺からだけでなく、口腔粘膜～咽頭にも曝露されますし、消化管からも吸収されるので、肺がん、舌がん、咽頭・喉頭がん、食道がん、胃がん、大腸がん、膀胱がんなどのリスクも高くなります。近年、糖尿病や慢性関節リウマチ、免疫の異常の原因になることも分かってきました。

受動喫煙に曝露された場合も上記の喫煙関連疾患のリスクが高くなります。例えば、長期間の受動喫煙の曝露を受けた人の肺がんや心筋梗塞のリスクは、曝露のない人よりも20～30%も高くなります。

口腔粘膜や衣服に付着した粒子状物質からガス状成分が長期間にわたって揮発します。その場で喫煙していないのに喫煙者の口臭や衣服がタバコ臭いこと、吸わない人が喫煙可能な飲食店等を利用すると衣服や毛髪がタバコ臭くなる現象を三次喫煙と呼びます。健常人には「迷惑」ですみませんが、気管支喘息や化学物質過敏症の患者さんでは発作の原因となりますし、つわりの時期の妊婦では嘔気を催します。

シックハウス症候群を避けるためには、自宅内を完全禁煙にするだけでなく、玄関・通用口や窓に面した庭先、集合住宅の場合は隣家や下の階のベランダを含めて居住空間の周囲での喫煙を禁止して受動喫煙を避けること、さらに、三次喫煙を避けるために同居している家族に禁煙させることが必要です。自宅外であれば、屋内で喫煙している飲食店等には立ち入らないこと、公共施設等の喫煙室の周囲には近づかないこと、屋外であっても喫煙コーナーの風下は避けることが大切です。さらに、集合住宅では上下左右に隣接する住居との壁や床・天井の隙間、コンセントの隙間などからガス状物質が流入することも指摘されており、今後の検討課題とされています。



5.4.2. 喫煙、受動喫煙による汚染の測定方法

タバコの燃焼により発生する微小粒子状物質とガス状物質の測定方法は以下の通りです。

①微小粒子状物質 (PM_{2.5})

PM_{2.5} のリアルタイムモニタリング (5 秒毎) は、TSI 社製のデジタル粉じん計 Sidepak AM510 を用い、換算係数 (0.295) によりタバコ煙濃度を算出しました。柴田科学社製のデジタル粉じん計 LD-3K を用いた測定では、質量濃度換算係数は 0.8(mg/m³)/cpm を用いました。

②ガス状物質 (総揮発性有機化合物 Total Volatile Organic Compounds: TVOC)

Figaro 技研株式会社製 パーソナル TVOC モニタ FTVR-01 を用いました。

5.4.3. 自宅内・自宅周囲で喫煙した場合の受動喫煙の実態

①個室で喫煙した場合

6 畳の個室で 1 本の喫煙をした場合の PM_{2.5} 濃度は 600 ~ 700µg/m³ に達しました。これは、大気汚染がひどい日の北京市の PM_{2.5} の汚染状況に相当します。ドアや襖の隙間から隣のリビングに拡散した PM_{2.5} 濃度も 200µg/m³ に達しました (図 5.4.1.)。

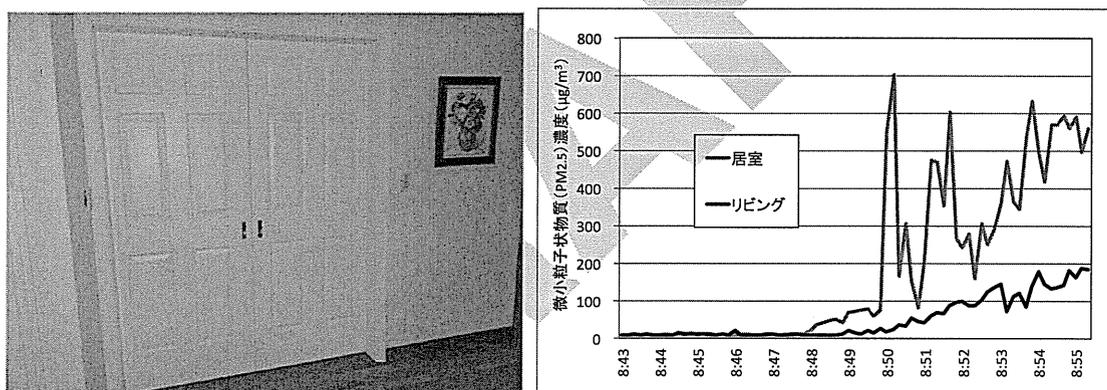


図 5.4.1. 個室で喫煙した場合のリビングの汚染 (受動喫煙)

②台所換気扇の下で喫煙した場合

換気扇の下に置いた椅子に座って喫煙している状態で、平面レーザーを照射したところ、煙の一部はフードからはみ出していることが視認されました。ダイニングテーブルの上で測定した PM_{2.5} 濃度が上昇したことから、換気扇の近くで喫煙することは受動喫煙を避ける対策にはならないことが分かりました (図 5.4.2.)。



図 5.4.2. 換気扇からはみ出すタバコ煙によるリビングの汚染 (受動喫煙)

③ベランダで喫煙した場合

いわゆる「ホタル族」です。サッシを閉めて喫煙した時のベランダ、サッシの内側、室内のテーブルの上でPM_{2.5}の濃度を測定しました。サッシを閉めているにもかかわらず、サッシの内側、そして、室内のテーブル上のPM_{2.5}の濃度が上昇し、タバコ煙が室内に流入していることが分かりました。平面レーザー光線の照射により、タバコ煙の流入経路はサッシとレールの隙間であることが分かりました(図5.4.3.)。



図 5.4.3. ベランダで喫煙した際のリビングの汚染(受動喫煙)と煙の流入経路

④玄関先で喫煙した場合

玄関のドアを閉め、屋外で喫煙しても屋内のPM_{2.5}濃度が上昇しました。平面レーザーを照射したところ、ドアの隙間が流入経路であることが分かりました(図5.4.4.)。



図 5.4.4. 玄関先で喫煙した際のリビングの汚染(受動喫煙)と煙の流入経路

⑤喫煙後の呼気に吐出されるタバコ煙

成人男性の肺の容積は約5リットルで、1回の呼吸量は約500ミリリットルです。喫煙終了後の呼気には、肺内に充満していたタバコ煙が含まれています。図5.4.5.は喫煙を終了し、タバコの火を消した後の呼気に平面レーザーを照射すると大量の煙が視認されました。粉じん計で確認したところ、喫煙後の粉じんの吐出は約30～40呼吸=150～200秒ほど続くことが分かりました。



図 5.4.5. 喫煙後の呼気に含まれるタバコ煙

⑥台所での喫煙後、リビングでの受動喫煙

換気扇のフードにできる限り近づいて、吐き出す煙はすべて換気扇に向かって吐き出す実験を行いました。喫煙を終了するまで室内のPM_{2.5}の濃度は上昇しませんでした。喫煙者がリビングに戻ってきた瞬間にリビングのPM_{2.5}が大きく上昇し、その後、台所のPM_{2.5}濃度が上昇し、さらにキッチンカウンターの濃度が上昇しました(図5.4.6.)。

リビングのPM_{2.5}濃度がまず上昇した原因は、リビングに移動した喫煙者の肺内に充満していたタバコ煙が呼気とともに吐き出されたためです。台所のPM_{2.5}濃度が上昇したのは、喫煙後ただちに換気扇のスイッチを切ったため、排気しきれなかったタバコ煙が台所全体に拡がり、その煙がキッチンに拡散したためです。ベランダや玄関先で喫煙して、その直後に室内戻った場合にも同じ現象が発生します。喫煙者と同居している限り、受動喫煙を防止することは出来ません。

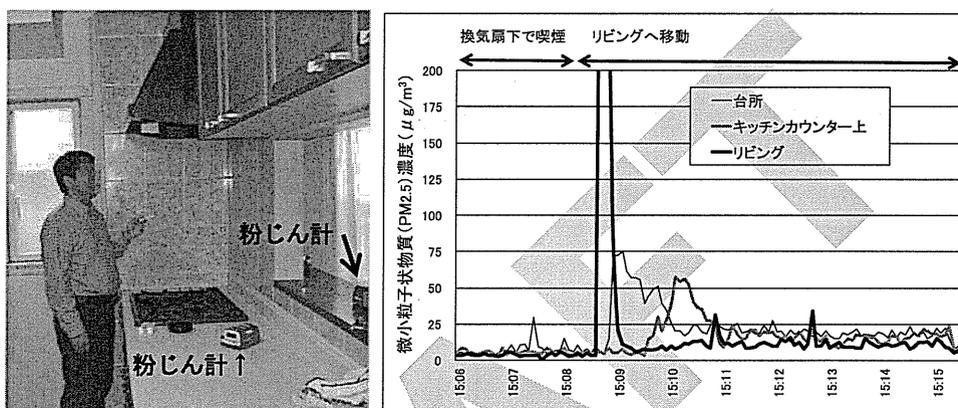


図 5.4.6. フードの真下に立ち、煙は換気扇に向かって吐き出した実験

⑦隣家のベランダからの受動喫煙

アパートやマンションのベランダでの喫煙による受動喫煙が社会問題となっています。2012年12月、「被告が、原告(隣家)に対する配慮をすることなく、自室のベランダで喫煙を継続する行為は、原告に対する不法行為になる」「後から居住したことをもって、原告が被告のベランダでの喫煙によるタバコの煙を受忍すべきということとはできない」という判決が下され、5万円の慰謝料が認められました。

この裁判の原因となった状況を再現するために、集合住宅のベランダで喫煙を行って実験をしたところ、水平方向の隣家のベランダでも、1フロア上のベランダでもPM_{2.5}が上昇し、それぞれ、開けていた窓から屋内にタバコ煙が流入することも確認できました(図5.4.7.)。