平成10年度ティンバーエンジニア養成研修会テキスト

木質住宅部材ホルムアルデヒド対策の新提案

平成 10 年 4 月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

目　　次

Ⅰ　住宅のホルムアルデヒド気中濃度予測法の新提案 …… 1

Ⅱ　ホルムアルデヒド放散基準に関する新しい対応の方向 …… 25

Ⅲ　住宅部材としての木質建材とホルムアルデヒド対策 …… 55

［付］　木質建材分科会報告書（概要） …… 66

Ⅰ　住宅のホルムアルデヒド気中濃度予測法の新提案

1　目的

現在の JIS および JAS では、製造時における木質材料のホルムアルデヒド(HCHO)放散量をデシケータ値を用いて規制している。しかし、実際にホルムアルデヒドを放散する材料を使用した場合の住宅室内におけるホルムアルデヒド気中濃度と、その関係は未だ明らかにされていない。本研究では実大の実験棟を用い、実際に室内のホルムアルデヒド気中濃度を測定することにより、材料の放散能と気中濃度の関係を明らかにすることを目的とした。さらに、その結果をもとに木質材料のホルムアルデヒド放散能から住宅室内におけるホルムアルデヒド気中濃度を予測する方法の提案を試みた。

本研究で用いられた実大実験棟はホルムアルデヒド気中濃度測定専用の実験棟であり、その各部仕様は現在建設されている住宅として考えられる一般的なものとした。実際の住宅においてホルムアルデヒドの気中濃度を測定した例は近年数多く見られるが、それらは実際の使用状況に極めて近いもの、すなわち家具等の箱物や数種の木質材料が同時に使用された状況における測定である。ここでは、それらのようなホルムアルデヒド放散状況として複雑な各種要因を可能な限り除外し、単一条件の下に行う測定を試みた。さらに、長期間に渡る測定を行うことにより、一定条件下におけるホルムアルデヒド気中濃度の経時変化を観察するが可能となった。

2　実験方法

2．1　実大実験棟の仕様

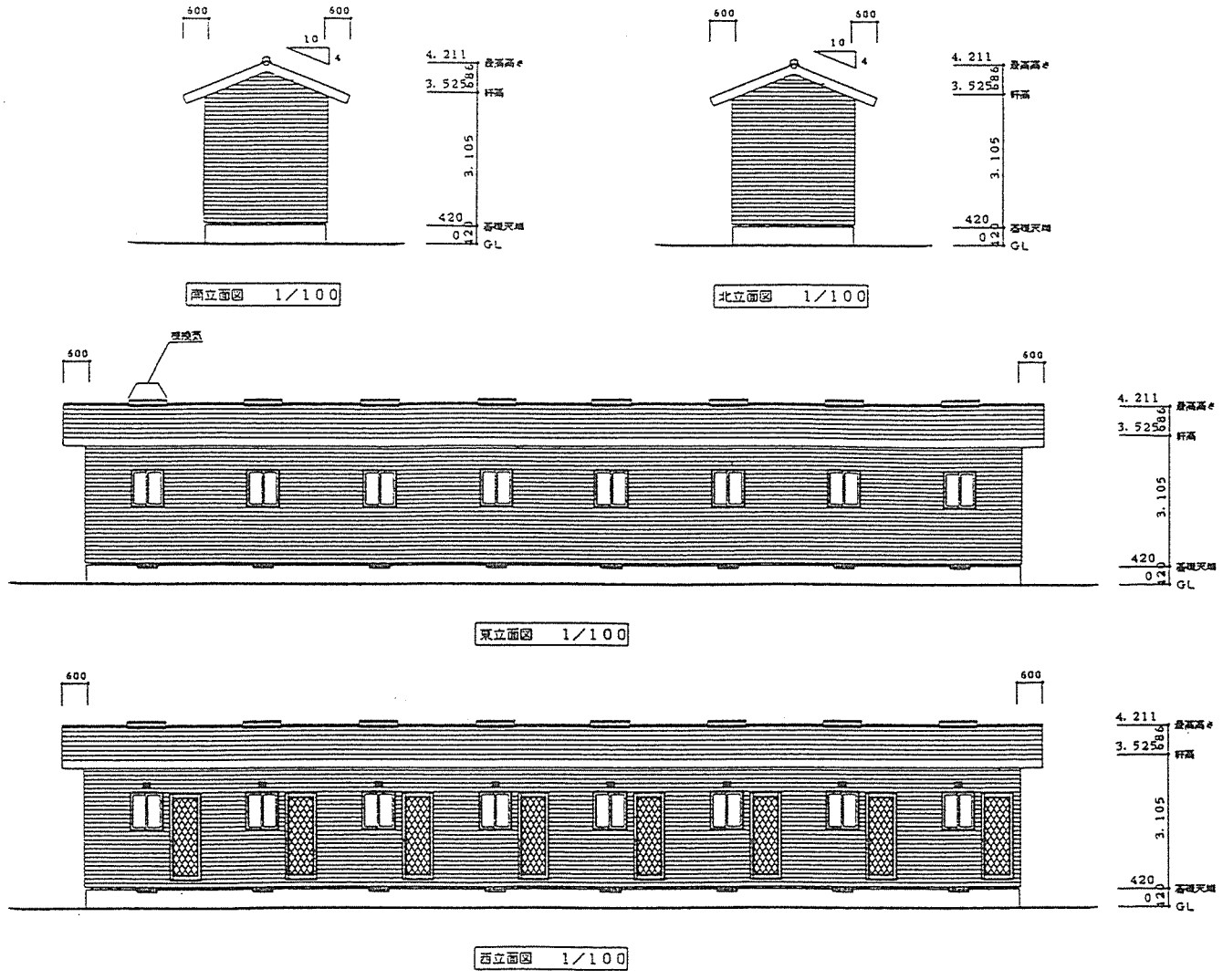
本実験用に新たに建築した実大実験棟の仕様等に関する概要は以下の通りである。本実験棟の各仕様は、現在通常施工されていると思われる最も一般的な木造軸組工法住宅に準拠するものである。したがって、各部の気密性・通気性等は一般的なものであると考えられる。実験棟の立面図、平面図および矩計図をそれぞれ図Ⅰ－1、図Ⅰ－2および図Ⅰ－3に示す。

(1)建物概要

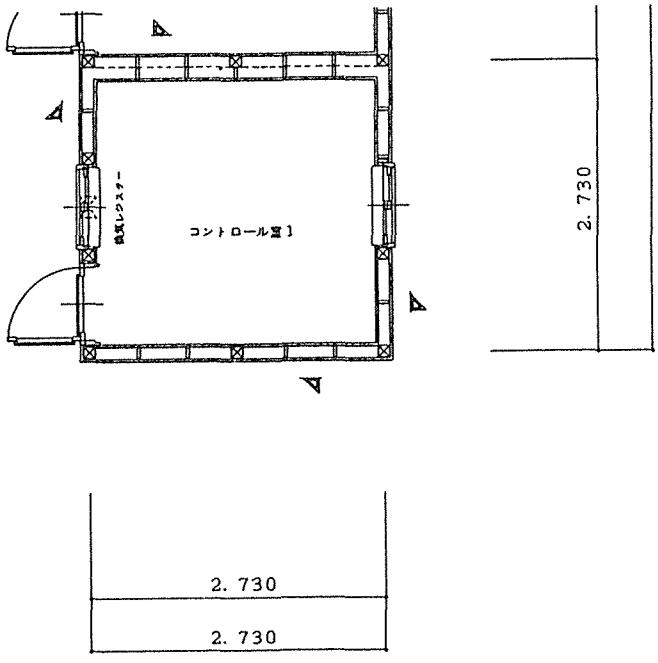
所 在 地	茨城県つくば市
規　　模	木造在来軸組工法平屋建 8 戸長屋形式
竣工年月日	1997 年 6 月 3 日
試験室床面積	7.45m^2(4.5 帖大)
軒　　高	3,525mm
最高高さ	4,211mm
基　　礎	コンクリートブロック積布基礎（床下換気口あり）
基 礎 高	420mm
屋　　根	切妻屋根(4 寸勾配，棟換気付)

(2)外部仕上げ

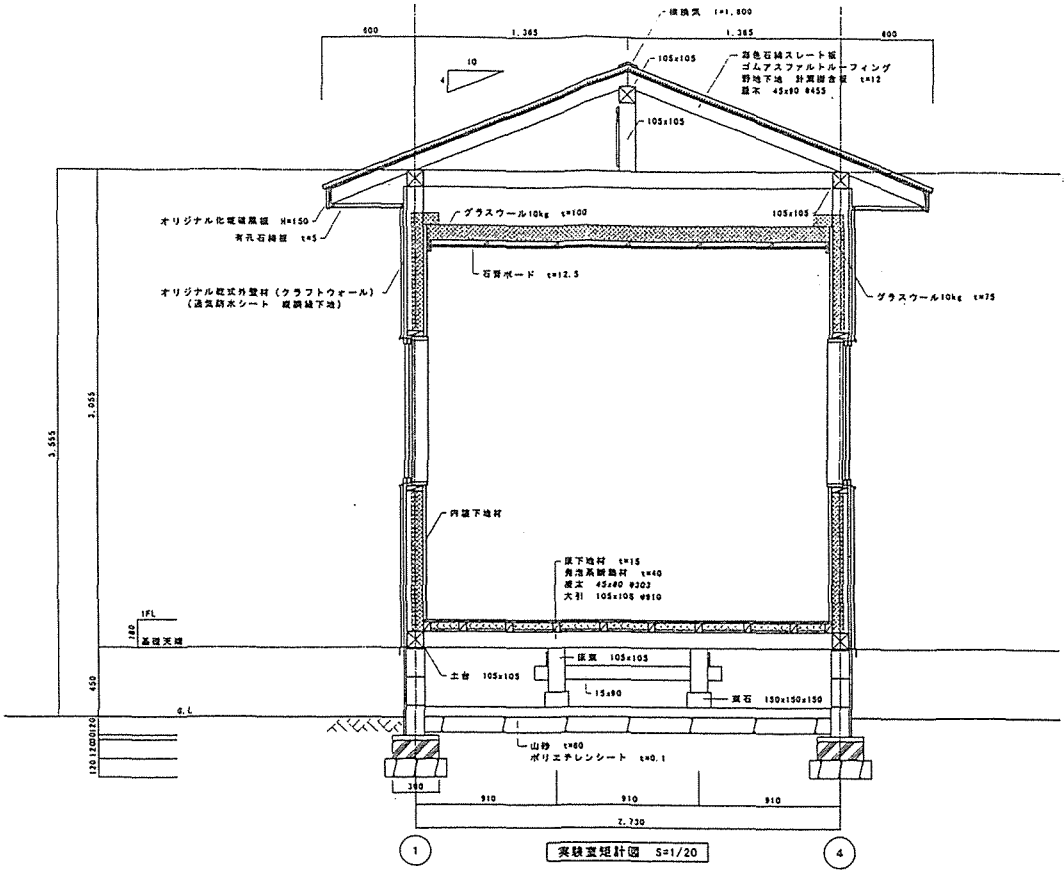
屋　　根	彩色石綿スレート板葺
軒　　天	石綿板張り(有孔板あり)



図Ⅰ－1　実大実験棟立面図



図Ⅰ－2　実大実験棟平面図



図Ⅰ－3　実大実験棟矩計図

破風・鼻隠し	化粧石綿板張り
外　　壁	窯業系サイディング 12mm 厚張り
外部建具	アルミサッシ建具

(3)各部断熱仕様

床	ポリプロピレンフォーム 40mm 厚
外　　壁	住宅用グラスウール 10K 75mm 厚
天　　井	住宅用グラスウール 10K 100mm 厚

(4)各長さ・面積・容積等

建物長手(南北)方向	約 21.84m
建物短手(東西)方向	約 2.73m
天井高	約 2.4m
壁表面間距離	約 2.71m
床材料有効設置面積	約 7.34m^2
壁材料有効設置面積	約 23.276m^2
開口部面積	約 3.86m^2(窓：約 1.12m^2，出入り口ドア：約 1.62m^2)
室内有効容積	約 17.62m^3

(5)内部仕上げ

各試験室の内部仕上げ仕様を表Ｉ－１に示す。試験室１はコントロール(標準室)とし、試験室２から５は床に使用される建材に関して、また試験室６および７は壁に使用される建材に関して試験を行うこととした。

各試験材料は、工場製造直後にビニール等に梱包され、施工直前に開封された。施工は1997年５月24日から６月３日にかけて行われ、各試験室ともほぼ同時期であった。

(6)その他

各試験室間の界壁(内部の戸境壁)は二重壁とし、その中央にポリエチレンシートを土台から壁面・小屋裏を通して屋根面に達するまで張ることにより、気密性を確保した。これは、各試験室間の影響を除外するためである。また、基礎に関しても界壁直下の立上り部には、床下通気口等の開口は設けないこととした。

床下の換気は、各試験室東西各面外壁直下の立上り部中央にそれぞれ設けた床下換気口にて行うこととした。有効換気面積は約 5.46m あたり約 800cm^2 と住宅金融公庫仕様書(5m 以内に 300cm^2 以上)以上であること、および基礎の１区画が約 7.45m^2 と非常に面積が小さいこと、さらに内部の基礎高が約 420mm と高いことから等から、十分な換気・通気が得られていると考えられる。

また、床下内部の地盤上には地盤面からの水分上昇を防ぐため、ポリエチレンシートを施工した。

小屋裏空間は上記のように各試験室毎に完全に区画し、小屋裏換気はその区画毎に行うこととした。換気方法は、軒天に設置した有孔板から吸気し、棟から排気する棟換気方式とした。

２．２　ホルムアルデヒド気中濃度測定方法

実大実験棟の各試験室において、室内のホルムアルデヒドを 2,4-ジニトロフェニルヒド

表Ｉ－１　各試験室の内部仕上げ仕様一覧

試験室番号	床		壁		天井
	下地	仕上げ	下地	仕上げ	下地
No.1 (ｺﾝﾄﾛｰﾙ室)	スギムク板(本実付) 15mm 厚	――	石膏ボード 12.5mm 厚	――	石膏ボード 12.5mm 厚
No.2	構造用合板(ﾗﾜﾝ国産 7ply) 15mm 厚(F2 相当 1 類ﾒﾗﾐﾝ)	――	↑	――	↑
No.3	↑	断熱畳 55mm 厚 断熱材:ポリスチレンフォーム	↑	――	↑
No.4	↑	木質フローリング 12mm 厚(F2) UV 硬化型ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ･ｳﾚﾀﾝ系表面塗装	↑	――	↑
No.5	パーティクルボード 15mm 厚(E2 ﾒﾗﾐﾝﾕﾘｱ)	――	↑	――	↑
No.6	スギムク板(本実付) 15mm 厚	――	普通合板(ﾗﾜﾝ国産 5ply) 12mm 厚(F2 1 類ﾒﾗﾐﾝ)	――	↑
No.7	↑	――	↑	ﾉﾝﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞｸﾛｽ(塩ﾋﾞ系)[a] ﾉﾝﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ接着剤(ﾃﾞﾝﾌﾟﾝ系)[b]	↑
測定機器室	↑	――	石膏ボード 12.5mm 厚	――	↑

[a]難燃裏打材（グアニジン）からの放散か 0.05ppm 以下

[b]0.5mg/l で不検出

ラジンシリカゲル(DNPH)カートリッジ(Sep-Pak DNPH-Silica Cartridges：Waters 社製)に吸着させた後、高速液体クロマトグラフィ(HPLC)を用いて濃度分析を行い、ホルムアルデヒド気中濃度を求めた。

(1)ホルムアルデヒド捕集方法

空気中のホルムアルデヒドは、パッシブ法およびポンプ法の両方法で捕集した。パッシブ法では、竣工後の長期的な経時変化を、ポンプ法では、測定を行った期間の短期的な日内変動を追うことを目的とした。

①パッシブ法

試験室中央部の高さ 1.2m の位置に DNPH カートリッジを固定したまま 24 時間放置し、その間に自然吸着したホルムアルデヒドを捕集した。

②ポンプ法

試験室中央部の高さ 1.2m の位置からビニルホースを介して屋外へ流速 1*l*/min でエアポンプ(SHIBATA MODEL US-500 VARIABLE STROKE PUMP：柴田科学機器工業㈱製)を用いて強制的に室内空気を吸引した。その空気中のホルムアルデヒドを DNPH カートリッジに吸着させ捕集した。ポンプ法による捕集では、オゾンスクラバ(Sep-Pak Ozone Scrubber：Waters 社製)を DNPH カートリッジの直前に装着して、オゾンおよび水分等を除去した。捕集は一定時間毎に 30 分間行った。捕集空気量は、積算流量計(DRY TEST GAS METER DC-1A：㈱シナガワ製)を用いて測定した。

③測定手順

各試験室において全開口部を 15 分間開放し換気を行い、閉鎖して 8 時間以上密閉状態を保った後にホルムアルデヒドの捕集を開始した。換気終了後から捕集終了まで室内空気は小型扇風機によって攪拌した。

(2)ホルムアルデヒド濃度定量方法

DNPH カートリッジに吸着させたホルムアルデヒドは、ホルムアルデヒド 2,4-ジニトロフェニルヒドラゾン(FA-2,4-DNPHz)として存在する。有害大気汚染物質測定方法マニュアル[1]に準じて、これをアセトニトリルで溶出させた後、高速液体クロマトグラフィ(HPLC)(LC-10AD：㈱島津製作所製)を用いて濃度分析を行った。HPLC による分析によって求められたホルムアルデヒド濃度より、以下の計算式を用いて、パッシブ法・ポンプ法それぞれのホルムアルデヒド気中濃度を算出した。

a)パッシブ法[2]

$$Cg=\frac{W}{0.0854\times T}$$

ここに、Cg：ホルムアルデヒド気中濃度(ppm)

W：ホルムアルデヒド捕集量(μ g)

0.0854：比例定数(μ g/ppm・hr)

T：放置時間(この場合 24hr)

b)ポンプ法[3]

$$Cg=\frac{Cl\times Vl}{Vg}\times\frac{22.4}{30}\times\frac{273+t}{273}$$

ここに、Cg：ホルムアルデヒド気中濃度(ppm)

Cl：ホルムアルデヒド HPLC 分析濃度(μ g/ml)

Vl：溶出液量(この場合 2ml)

Vg：捕集空気量(l)

t：空気温度(℃)

30：ホルムアルデヒド分子量

2．3　材料からのホルムアルデヒド放散量の測定

気中濃度の測定の他、実大実験棟に使用された材料に関して材料自体からのホルムアルデヒド放散量を下記の要領で実施した。

(1)施工時における材料からのホルムアルデヒド放散量

実験棟に使用された各材料が梱包を開封され、施工された時期にあわせて、それぞれの材料に関してホルムアルデヒドの放散量を別途実験室にて測定した。測定は JIS・JAS に準じてデシケータ法を用いて行われた。ここで測定されたデシケータ値を、各材料のホルムアルデヒド放散能の初期値とした。

(2)現場における材料からのホルムアルデヒド放散量

実大実験棟の現場において、実際に使用した各材料のホルムアルデヒド放散量を、気中濃度測定時期にあわせて数回にわたり逆デシケータ法にて測定した。

実大実験棟に床および壁として使用されている材料を試験体とした。床材料からの HCHO 捕集は、逆デシケータ法と同様に床面にデシケータを置いて行った。壁材料からの捕集は、デシケータを壁面に横向きに固定して行った。

2．4　その他の測定

(1)温湿度の測定

換気開始から HCHO 捕集終了までの床・壁・天井各面中央部の表面温度および室内中央部の高さ 1.2m の位置における室内空気温度を熱電対で測定し、10 分毎にデータロガ(PORTEABLE DATA LOGGER TDS-303：㈱東京測器研究所製)で記録した。また、室内中央部の高さ 1.2m に設置したデジタル自記温湿度計(THERMO RECODER RS-10：タバイエスペック㈱製)により換気終了から捕集終了まで室内空気の温湿度を測定し、10 分毎に記録した。さらに、室内空気の温湿度を室内中央の床に設置した自記温湿度計(MODEL E-141：横河ウェザック㈱製)で測定した。

(2)試験室の自然換気回数

炭酸ガス法(JIS A 1406)により、CO_2 の濃度減衰から各試験室の自然換気回数を測定した。換気回数の測定は、ホルムアルデヒド気中濃度の測定を開始した直後の 1997 年 7 月に数日を選んで行われた。以後、この測定値を各試験室の自然換気回数とした。

2．5　測定スケジュール

実大実験棟竣工後から約 1 ヶ月毎に測定を行った。さらに、夏季には冷房(設定温度：26 ℃)運転時の、冬季には暖房(設定温度：22 ℃)運転時のホルムアルデヒド気中濃度を併せて測定した。空調作動時の室内湿度はなりゆきとした。また、測定時以外の期間は朝夕 30

分間ずつ全試験室の開口部を開放し、換気を行った。空調装置は室内ユニット CS-BA22T、室外ユニット CU-BA22T(松下電器産業㈱)を用いた。

測定スケジュールの概要を表Ⅰ－2に示す。

表Ⅰ－2　測定日時の概要

測定回数	測定日時	備考
1	1997. 6.23.－ 6.24.	
2	1997. 7. 8.－ 7. 9.	
3	1997. 7.23.－ 7.24.	
4	1997. 7.24.－ 7.25.	冷房作動
5	1997. 8.18.－ 8.19.	
6	1997. 8.20.－ 8.21.	冷房作動
7	1997. 9.17.－ 9.20.	
8	1997.10.16.－ 10.17.	
9	1997.11.20.－ 11.21.	
10	1997.12.14.－ 12.15.	
11	1997.12.16.－ 12.17.	暖房作動

3　実験結果および考察

3．1　各試験室の自然換気回数

炭酸ガス法にて測定した各試験室の自然換気回数 N を表Ⅰ－3に示す。

表Ⅰ－3　各試験室の自然換気回数 N

試験室番号	自然換気回数 N(回/hr)
No.1	0.463
No.2	0.466
No.3	0.503
No.4	0.440
No.5	0.454
No.6	0.414
No.7	0.448

表より、各試験室の自然換気回数は 0.4 ～ 0.5 回/hr 程度となっており、試験室間による差異はあまり見られない。一方、住宅を対象として過去に行われた換気回数の測定例からは、日本においては 0.05 ～ 5.0(平均 0.79)回/hr、欧米では 0.02 ～ 4.5(平均 0.33)回/hr という値が示されている [4]。しかし、これらのデータは年代的に多少古く、日本で現在建築されている一般的な住宅の換気回数は、住宅の気密性向上とともに欧米に近づいており、0.5 回/hr 程度と考えることができる。したがって、また、本実験棟の気密度はほぼ実際の住宅に近いものであり、測定されたホルムアルデヒド気中濃度は実際の住宅にも適用可能であると考えられる。ただし、本換気回数の値は測定時のものであり、外気の風速・室内外の

温度差・測定方法の差異等により変化することは考えられる。

3．2　材料からのホルムアルデヒド放散量の初期値

本実験棟に使用された内部仕上げ用材料からの初期ホルムアルデヒド放散量(デシケータ値)を表Ⅰ－4に示す。

表Ⅰ－4　各材料の初期ホルムアルデヒド放散量

材料	デシケータ値(mg/*l*)
床構造用合板	2.73(1.62 ～ 24.3 ～ 3.90)[a]
壁普通合板	4.99(3.70 ～ 14.0 ～ 5.90)[a]
木質フローリング	5.30(4.58 ～ 8.1 ～ 6.00)[a]
パーティクルボード	6.41(5.70 ～ 5.9 ～ 6.90)[b]
スギムク板	0.24[c]
石膏ボード	0.16[c]
断熱畳	0.08[c]
壁クロス	0.12[c]
壁クロス+クロス接着剤+ろ紙[d]	0.22[c]
パテ[e]+ろ紙[d]	0.22[c]
ろ紙[d]	0.04[c]

[a]試験体10体の平均値(最小値～変動係数(%)～最大値)
[b]試験体8体の平均値(最小値～変動係数(%)～最大値)
[c]試験体1体
[d]ろ紙：台紙として使用
[e]パテ：石膏ボードの目地・不陸調整用として使用

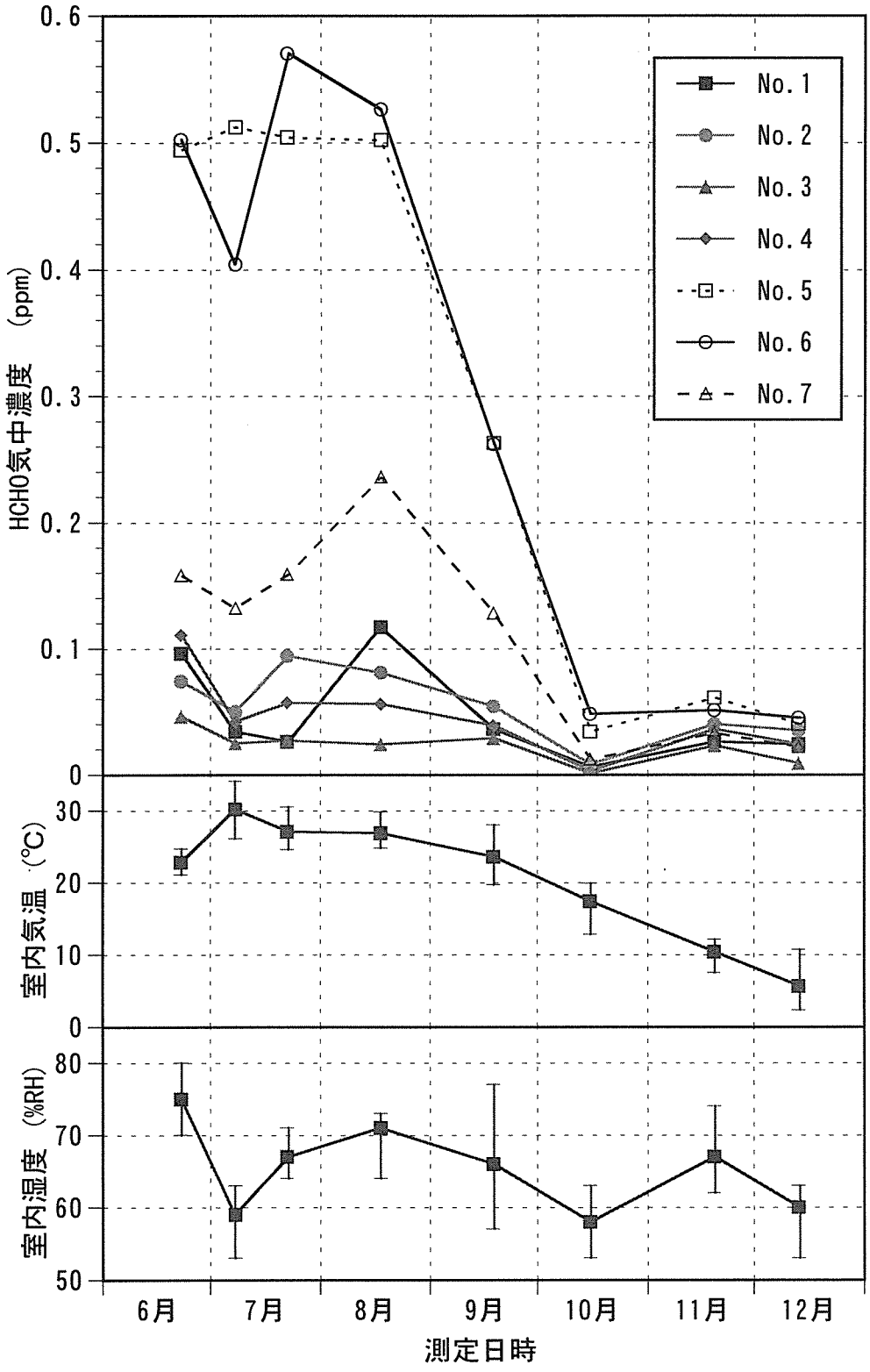
床の構造用合板はF2相当品としては、約3mg/*l*と低い値を示した。壁用の普通合板はF2品として基準を満足していた。木質フローリングおよびパーティクルボードはそれぞれF2・E2品としては、基準値を超える値を示していた。また、木質フローリング・パーティクルボードが比較的値にバラツキが小さいのに比して、合板類では大きなバラツキを有していた。このことは、サンプルを採取する板あるいは同一の板でも部分によっては、かなり異なる放散能を持つことを意味する。その他の材料では、非常に小さいデシケータ値を示しており、放散能は小さいと考えることができる。また、ノンホルムアルデヒドとされる壁クロスやクロス接着剤においても、わずかながらデシケータ値が測定された。さらに、スギのムク板もホルムアルデヒドを放散することには注意を要する。

3．3　ホルムアルデヒド気中濃度の長期的経時変化

各試験室における24時間パッシブ法によるホルムアルデヒド気中濃度、および室内空気の温湿度平均値の長期的な経時変化を図Ⅰ－4に示す。

3．3．1　気中濃度の経時変化

図より、8月までの竣工後3ヶ月間においては、各試験室とも多少の上下動は存在する



図Ⅰ－４　各試験室のHCHO気中濃度(24時間パッシブ法)
および室内温湿度の経時変化

ものの、ホルムアルデヒド気中濃度はほぼ一定の値を維持していることがわかる。このことから、各材料のホルムアルデヒド放散能は初期段階ではほとんど低下しないと考えられる。また、気中濃度は温湿度および換気回数の影響を強く受ける(4章参照)ため、このような気中濃度値の上下動が発生したと考えられる。換気回数に関しては、測定時の外気の風速により変化が発生した可能性も考えられる。

その後、9月測定時点から気中濃度は急激な減少を示し、10月以降は非常に低濃度領域でほぼ一定の値を示すに至った。この気中濃度の低下が、いわゆるエージングの効果が発揮された結果であるのか、あるいは温湿度が9月以降急激に低下していることが影響した結果であるのかについては明確でない。これに関しては、今後気中濃度の変化をさらに継続して検討する必要がある。何れにしても、冬季において室内は0.08ppmを下回るような低濃度状態になることが確認された。ただし、これは空調を作動しない状態での結果であるため、実際の使用状況下で同様の濃度が維持されるとは言い難い。

3．3．2　各内部仕上げ仕様による気中濃度

(1)床スギムク板(No.1)

床材に関する試験室のうち、No.1のスギムク材およびNo.2～No.4の合板の試験室においては、竣工直後から高温多湿の夏季を含めてほぼ気中濃度が0.08ppm前後からそれを下回る値を示した。スギムク材と合板のデシケータ値には大きな差異が見られるものの、両者を使用した試験室における気中濃度には明確な差異が確認されなかった。スギムク材の試験室に関しては、当初材料の養生過程において、材料が外部からホルムアルデヒドを吸着したため、比較的大きな気中濃度を示したと考えられた。しかし、竣工から6ヶ月を経た時点においても両者に明らかな差異が見られないことから、スギムク材からも合板と同様にホルムアルデヒドが放散されている可能性が示唆された。スギムク材のホルムアルデヒド放散能に関しては、今後さらに検討を要する。また、デシケータ法においては、木口部分も含め全表面から放散されるホルムアルデヒドが測定される。実際に材料が住宅に使用される場合には、施工上木口部分が室内に露出することはない。一方合板等の木質材料においては、木口部分から多くのホルムアルデヒドが放散されると考えられる。したがって、このような設置条件の差により、気中濃度とデシケータ値が必ずしも同様の傾向を示さないと考えられる。

(2)床合板および床合板+仕上げ材(No2.～No.4)

前述したように、床に合板を使用した試験室においては、表面の被覆(仕上げ)の有無に関わらず、高温多湿の夏季を含めて竣工直後より0.08ppm前後からそれ以下の気中濃度を示した。さらに、合板粗床(No.2)に比して仕上げを施したもの(No.3およびNo.4)はより低い気中濃度であった。これは材料表面における被覆の効果が大きいことを示している。実際の住宅では、合板粗床のまま使用されることはなく、合板の上には通常必ず仕上げ材が施工される。したがって今回の実験結果の範囲においては、今回使用したようなデシケータ値が3mg/*l*程度の比較的低いホルムアルデヒド放散能を持つ合板を使用した場合には、ほぼ0.08ppm以下の気中濃度を満足し得ると考えられる。ただし、この場合も仕上げ材の選択には留意する必要がある。断熱畳等はほとんどホルムアルデヒドを放散しないと思われるが、木質フローリングを使用する場合には特に注意を要する。今回使用した木質フローリングのデシケータ値は5mg/*l*を越えていたが、表面の塗装がUV硬化型ポリエス

テル・ポリウレタン系樹脂を使用していたため、表面被覆の効果により基材合板および下地合板からのホルムアルデヒド放散が抑制され、気中濃度が抑えられたと考えられる。したがって、木質フローリング仕上げの場合はその表面塗装が非常に重要となる。またカーペット仕上げに関しては、今回実験を行っていないため、言及は避けることとする。

また、ホルムアルデヒドの気中濃度は材料の設置率(室内有効容積 V あたりの材料有効設置面積 S)の影響を強く受ける(4章参照)が、床材の場合は部屋の床面積が変化しても設置率は一定であり、影響を受けない。

(3)床パーティクルボード(No.5)

床にパーティクルボードを使用した試験室に関しては、竣工から 3 ヶ月の間 0.5ppm を越えるような高い気中濃度を示した。今回使用したパーティクルボードはデシケータ値も高い値を示していた。またパーティクルボードの場合は、合板とは異なり木口部分が室内表面に露出しないことによる気中濃度低減の効果は低いと考えられる。床合板の場合を見てもわかるように、材料上に仕上げ材を施工することによる被覆効果は大きいことから、実際に仕上げ材が施工されることによりある程度の気中濃度低減が期待できる。しかし、粗床での気中濃度のレベルから考えれば、仕上げ材を施工したとしても 0.08ppm 程度に気中濃度を抑えることが可能かどうかは現在のところ明確でない。この点に関しては、今後さらなる検討が必要である。したがって、床材としてパーティクルボードを使用する際には、特に注意が必要であろう。

(4)壁合板および壁合板+壁クロス(No.6 および No.7)

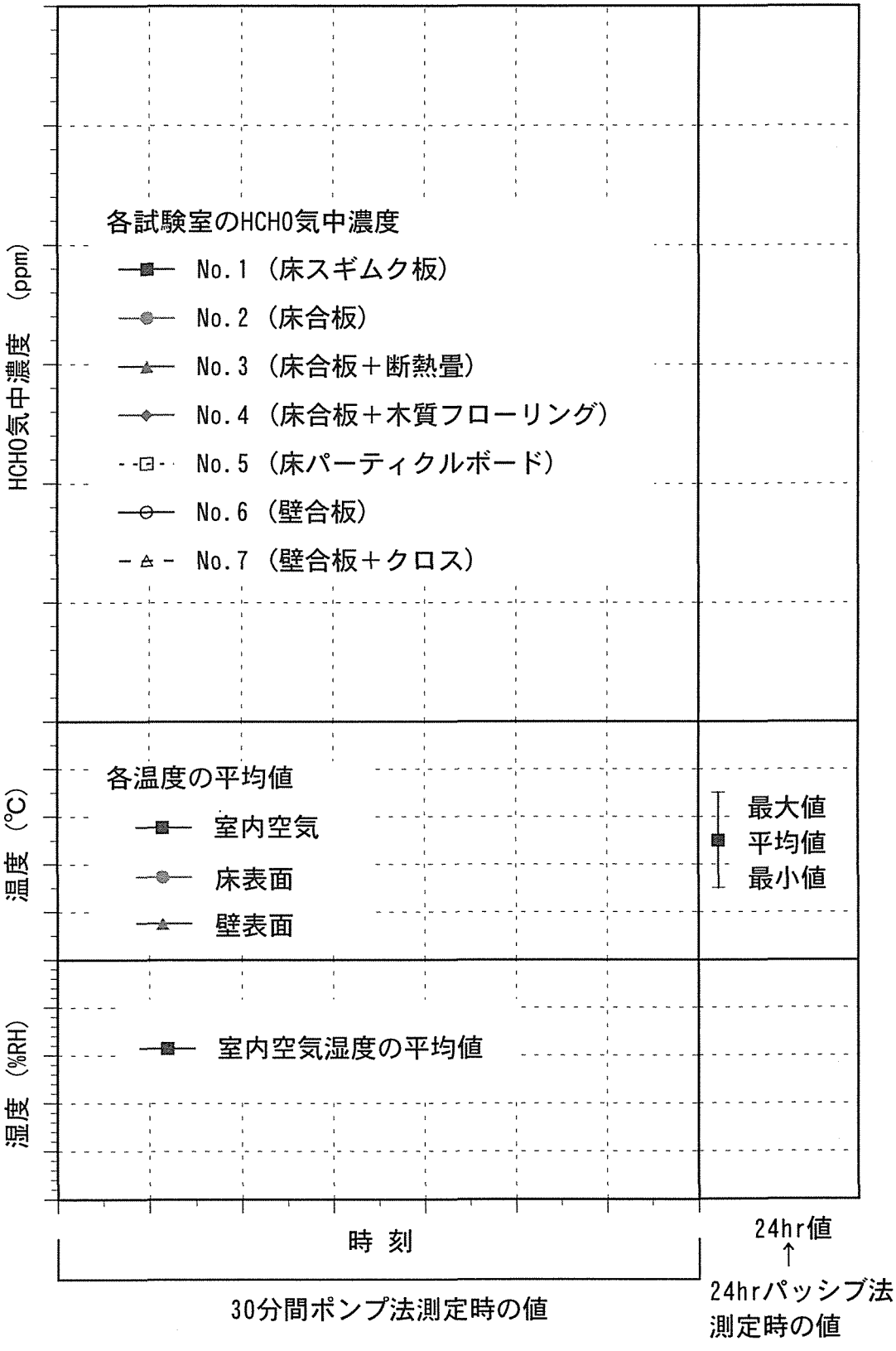
壁面が合板素地の試験室(No.6)でも床にパーティクルボードを使用した試験室と同様に、竣工から 3 ヶ月の間 0.5ppm を越えるような高い気中濃度を示した。これは、デシケータ値から考えて今回使用した壁合板が床合板に比して高いホルムアルデヒド放散能を有していたこと、および材料の有効設置面積が床面の 3 倍以上であったこと等によると考えられる。したがって、壁に合板等の木質材料を使用する場合においても注意が必要となる。一方、合板上に仕上げとしてノンホルムアルデヒド壁クロスをノンホルムアルデヒドクロス接着剤で貼った場合の気中濃度は 0.2ppm 前後の値を示した。このような仕上げ材を施工したとしても、0.08ppm 程度に気中濃度を抑えることは不可能であった。しかし、仕上げを施工することにより 1/2 ～ 1/3 程度気中濃度が低減され、表面被覆の効果が大きいことが確認された。

壁面の場合は床面とは異なり、床面積が大きくなるにつれ材料の設置率が小さくなるため、部屋の床面積が大きいほど気中濃度が低減される可能性がある。しかし居室ではないが、トイレ等のように非常に床面積が小さい部屋の場合は、特に注意を要する。

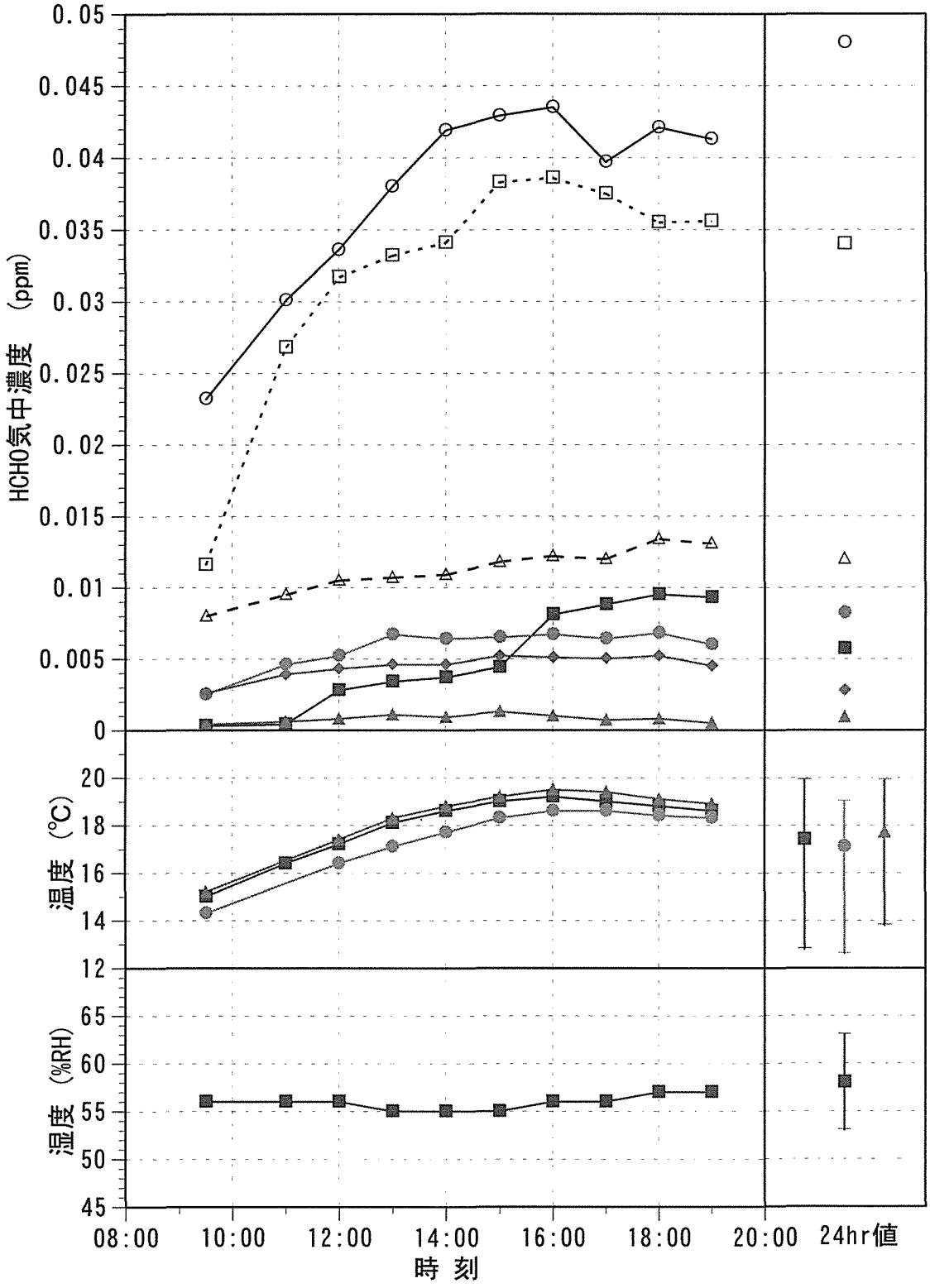
3．4　ホルムアルデヒド気中濃度の日内変動

各測定時点における 30 分間ポンプ法による気中濃度、および室内空気の平均温湿度と床・壁面表面温度の平均値それぞれの短期的な経時変化、すなわち日内変動の一例(10 月測定分)を図Ｉ－6(図Ｉ－5は凡例集)に示す。

図より、密閉状態にある室内の場合、気中濃度は雰囲気の温湿度、特に温度の影響を強く受けながら変動している様子がわかる。したがって、気中濃度は室内温度の上昇とともに



図Ｉ－５　各試験室のHCHO気中濃度(30分間強制捕集)、室内温湿度および表面温度の変化に関する図の凡例等



図Ⅰ－6　各試験室のHCHO気中濃度(30分間ポンプ法)、室内温湿度および表面温度の変化
1997.10.16.
(図Ⅰ－5参照)

に午前中から上昇を始め、夕方近くに最大となるような傾向が窺える。

また、竣工直後から 10 月までの間は、30 分間ポンプ法による気中濃度と 24 時間パッシブ法による気中濃度はほぼ対応する値を取っていたが、11 月以降はパッシブ法に比してポンプ法の値が非常に小さくなっていた。DNPH カートリッジは使用温度が 10 ～ 100 ℃となっており、10 ℃を下回る気温となった 11 月以降では十分にホルムアルデヒドを吸着できず、そのためにこのような結果が得られたと思われる。したがって、ポンプ法のみならずパッシブ法も含めて、気温が 10 ℃以下になる場合の測定方法としては適当でないことも考えられるため、冬季の測定方法に関しては今後検討が必要であろう。

３．５　ホルムアルデヒド気中濃度に対する冷暖房の影響

7 月・8 月の夏季に冷房を作動した際の 24 時間パッシブ法による気中濃度と、それぞれの前日における空調を作動しないなりゆき状態での気中濃度との比較を図Ｉ－７に示す。7 月の測定では冷房の作動により全試験室で気中濃度の大幅な低下が確認された。一方、8 月の測定においては、気中濃度が高い試験室で濃度の低下が見られたものの、低濃度の試験室ではほとんど変化が見られなかった。この原因としては、空調作動時の外気温と室内空気温度との差が小さかったこと、材料の表面温度が室内空気温度ほど低下しなかったこと、冷房によりかえって湿度が上昇したこと等が考えられる。これらのことより、冷房は気中濃度を一時的に減少させる効果があることがわかる。冷房によって室内外の温度差が大きくなる場合は、換気回数が大きくなること、あるいはドレン水にホルムアルデヒドが吸着されて屋外に排出されること等が考えられるが、確認されてはいない。

上記と同様、冬季 12 月の暖房作動時に 24 時間パッシブ法で測定した気中濃度と、その前日において空調を作動しないなりゆき状態での気中濃度との比較を図Ｉ－８に示す。暖房の作動により各試験室とも気中濃度は明らかに増加した。このことから、暖房は気中濃度を一時的に増加させてしまうことが確認された。

以上より、冷暖房の作動による試験室内の空気温度変化が一時的にはホルムアルデヒド気中濃度に影響を与えていると考えられる。しかし今回の結果においては、冷房時では温度低下が小さいにも関わらず気中濃度の減少幅が大きいのに対して、暖房時には温度上昇が大きいわりには気中濃度の増大幅が小さいという傾向が見られた。これは、暖房作動時における室内空気温度の上昇に対して、材料の表面温度が追従して上昇していないためと考えられる。

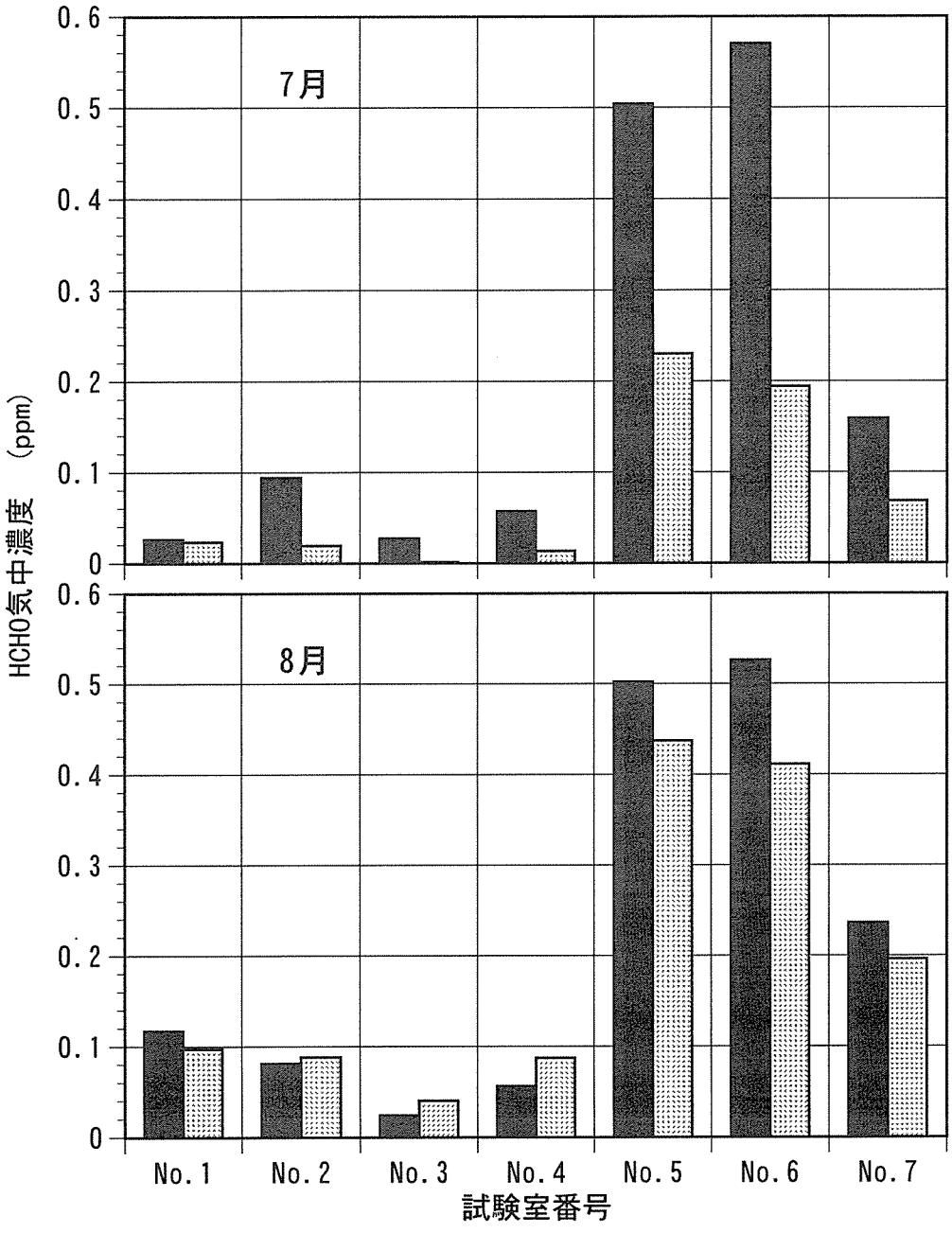
３．６　本測定方法の問題点

本測定方法に関わる問題点は未だ多く存在するため、今後のさらなる検討が望まれる。以下にその問題点を述べる。

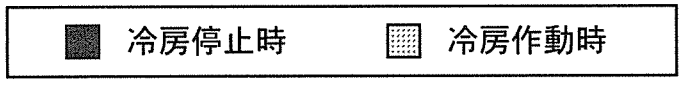
① HCHO 捕集方法および濃度分析方法においては、人為的な誤差の発生が考えられるため、精度の向上が必要である。

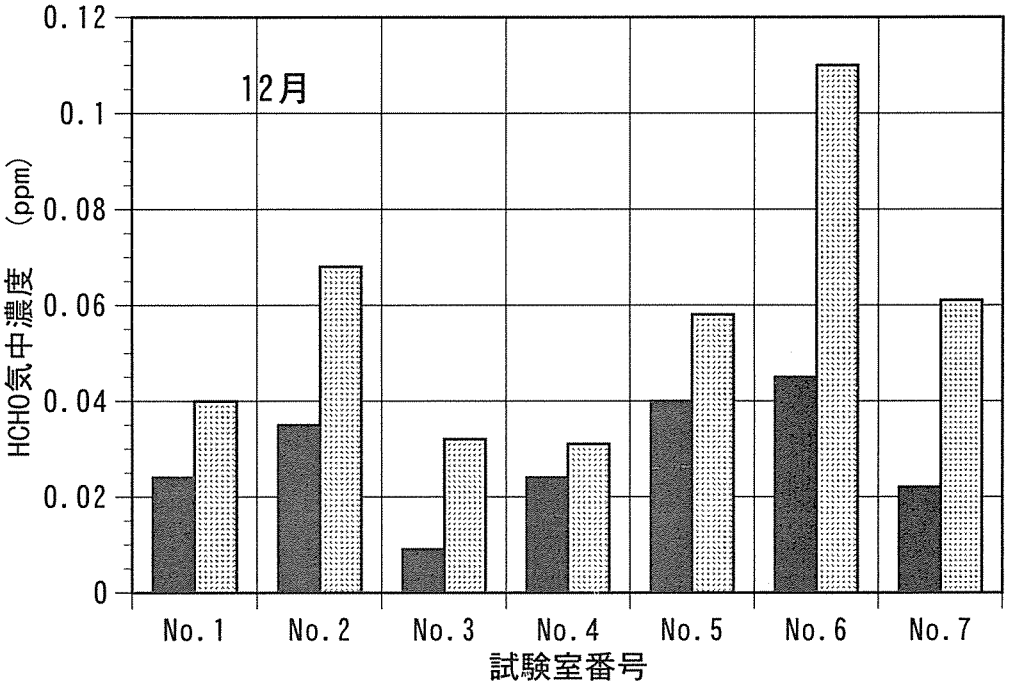
②温湿度が変化する環境下での 24 時間パッシブ法における気中濃度計算式の妥当性はより詳細に検討すべきである。

③実際の環境下における 24 時間パッシブ法と 30 分間ポンプ法との整合性に関して基礎データを収集する必要がある。

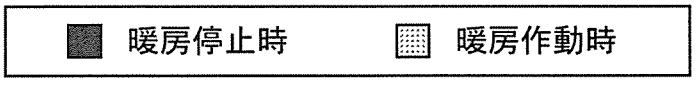


図Ⅰ－7　冷房停止/作動時の各試験室の24時間HCHO気中濃度の比較





図Ⅰ－８　暖房停止/作動時の各試験室の24時間HCHO気中濃度の比較



④ DNPH カートリッジによる吸着量が温湿度の変化でどのような影響を受けるのかを検討しなければならない。

⑤外気の温湿度・風速によって換気回数が変化することが考えられるため、多様な条件での換気回数の測定が望まれる。

⑥現場における実験と研究室における実験をリンクさせる必要がある。

⑦他の測定方法との比較・整合性を検討する必要がある。

⑧より長期間にわたる測定と基礎データの蓄積が望まれる。

4　住宅のホルムアルデヒド気中濃度予測法の新提案

4．1　実験棟現場における逆デシケータ法

気中濃度各測定時期にあわせて実験棟現場にて測定された逆デシケータ値を表Ⅰ－5に示す。

多少の上下動はあるものの、経時的に逆デシケータ値が減少していることがわかる。本方法の利点は、材料が使用されている状態でそのまま測定できること、仕上げ材等を含んだ状態で測定できること等である。逆に欠点としては、実験室で行うデシケータ法や逆デシケータ法のように温度の制御が不可能であり、測定時の温度はなりゆきとなることである。

4．2　現場逆デシケータ値からの気中濃度推定方法

(1)現場逆デシケータ値からの気中濃度換算方法

デシケータ値を一般条件における気中濃度に換算するには次式が用いられる。

$$C=(0.158D+0.017)\times\frac{2}{1+Q/S}\times 1.09^{(t-23)}\times\frac{55+h}{100}$$

ここに、C：気中濃度(ppm)

D：デシケータ値(mg/l)

Q：換気量(m^3/hr)

S：材料の表面積(m^2)

t：温度(℃)

h：相対湿度(%)

この式に用いられているデシケータ値は 20 ℃における値であるが、現場における逆デシケータ値は現場の気温の下で測定されたものである。したがって、その測定時の温度を標準条件の値に換算することを考慮して、現場で測定された逆デシケータ値から一般条件における気中濃度を換算するには次式を用いた。

$$C=(0.158D_s+0.017)\times\frac{2}{1+Q/S}\times 1.09^{(t_1-t_2-3)}\times\frac{55+h}{100}$$

ここに、D_s：現場における逆デシケータ値(mg/l)

t_1：気中濃度測定時の温度(℃)

t_2：現場における逆デシケータ値測定時の温度(℃)

また、換算に用いた数値を表Ⅰ－6にまとめて示す。

表Ｉ－５　実験棟現場における各材料の逆デシケータ値

試験室番号	部位	材料	測定日	6. 9.－ 6.10.	6.26.－ 6.27.	7.30.－ 7.31.	8. 4.－ 8. 5.	9. 8.－ 9. 9.
			温度(℃)[a]	17-22.0-27	25-27.5-30	25-25-25	28-30.5-33	25-25-25
No.2	床面	床合板		0.35	0.26	0.24		0.30
No.3	↑	床合板+断熱畳		0.00	0.07	0.01		0.01
No.4	↑	床合板+木質ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ		0.76	1.55	1.06		0.88
No.5	↑	パーティクルボード		5.07	6.21	3.04		2.51
No.6	↑	スギムク板		0.14	0.91	0.61		0.60
	壁面(西側)	壁合板					1.88	1.07
	↑ (南側)	↑					1.82	1.11
No.7	床面	スギムク板				0.30		0.30
	壁面(西側)	壁合板+壁クロス					0.69	0.19
	↑ (南側)	↑				0.33	0.29	0.37

[a]温度：最小値－平均値(計算に使用した値)－最大値

表Ｉ－６　各室のと材料設置率 L と Q/S (=N/L)

試験室番号	室内有効容積 V (m^3)	材料有効設置面積 S (m^2)	材料設置率 L (m^2/m^3)	$Q/S=N/L$ (m/hr)
No.1	17.62	7.34	0.42	1.10
No.2	↑	↑	↑	1.11
No.3	↑	↑	↑	1.20
No.4	↑	↑	↑	1.05
No.5	↑	↑	↑	1.08
No.6	↑	23.28	1.32	0.314
No.7	↑	↑	↑	0.339

(2) 床試験室に関して

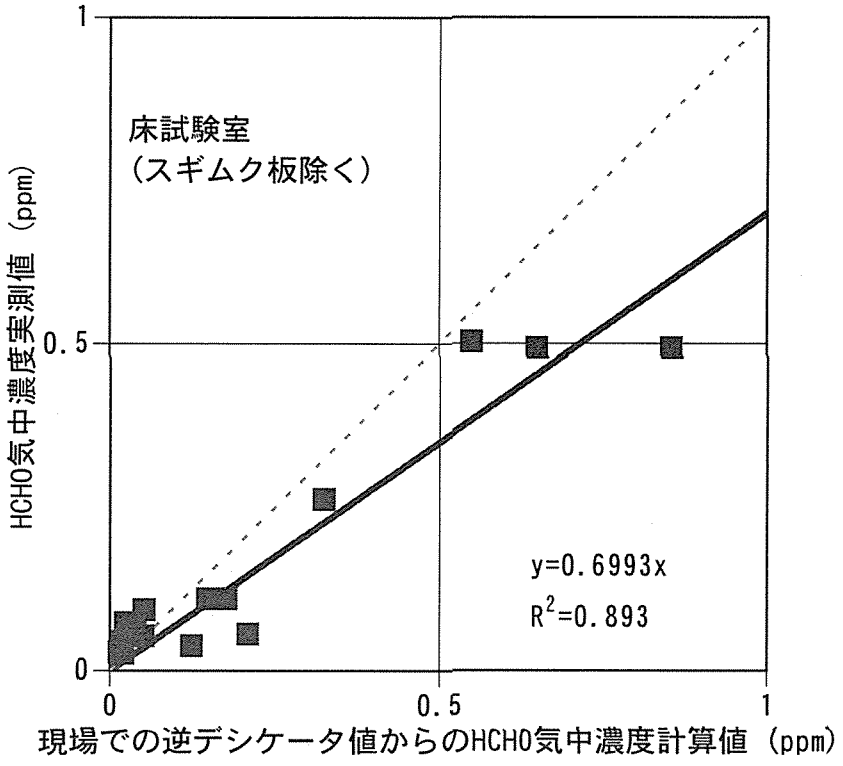
スギムク板(No.1)を除く床試験室(No.2 ～ No.5)に関して、現場における逆デシケータ値から換算した気中濃度の計算値と気中濃度の実測値との比較を図Ｉ－９に示す。原点を通して回帰分析を行ったところ、回帰係数は 0.7 程度であり、決定係数は 0.9 程度と高い相関を示した。低濃度領域では多少のバラツキが見られるが、高濃度領域では実測値より計算値の方が高い値を示していた。実用的な評価方法としては、気中濃度の計算値が実測値より安全側で評価されることとなる。したがって床試験室に関しては、ここで用いた計算式の妥当性、および現場における逆デシケータ値から実際の気中濃度をある程度正確に推測することが可能であることが示された。

また、壁試験室(No.6 および No.7)における床スギムク材の現場逆デシケータ値をもとに、コントロール室(No.1)の気中濃度を算出し、上記データとあわせて評価を試みた。結果の比較を図Ｉ－１０に示す。スギムク板のデータを加えた場合も上記の結果に比してほとんど変化がなかった。よって実用的には、異なる試験室で測定した材料の放散能を用いて、コントロール室の気中濃度をある程度正確に推測できることが確認された。したがって、以降はこの考え方を用いてコントロール室に関しても議論することとした。

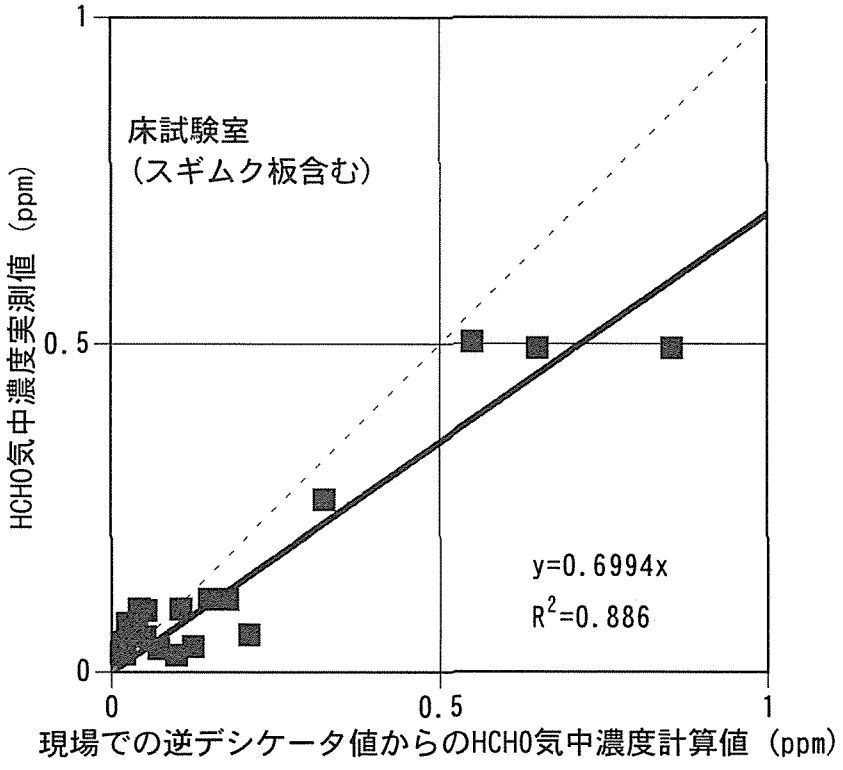
(3) 壁試験室に関して

壁試験室(No.6 および No.7)に関して、壁に使用された材料のみに関する現場逆デシケータ値から算出した気中濃度計算値と実測した気中濃度との比較を図Ｉ－１１に示す。図より、決定係数は 0.8 程度であるものの、前述の床試験室の結果とは回帰係数において非常に異なるものとなった。また、計算値に比較して実測値が高くなり、安全側の評価とはいえない。

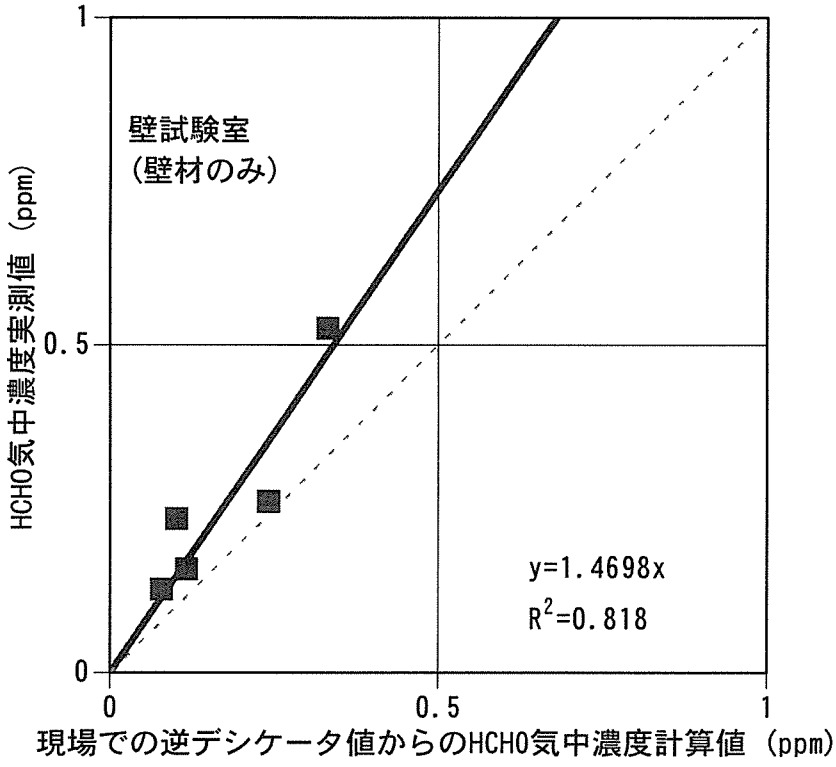
壁試験室の評価に際して、壁のみの逆デシケータ値に加え、床スギムク板の逆デシケータ値を加算した上での評価を試みた。すなわち、上記のように壁材の逆デシケータ値から求めた気中濃度の他に、床材(スギムク板)の逆デシケータ値から気中濃度を独立に求め、両者を単純に加算して壁試験室の気中濃度を算出する方法である。結果を図Ｉ－１２に示す。データ数が少ないため正確なことはいえないが、この評価法を用いたことにより、前述の床試験室の結果とほぼ一致する結果が得られた。したがって、壁試験室の気中濃度評価に際しては、壁材・床材それぞれの気中濃度計算値を合計した値を試験室の気中濃度することにした。



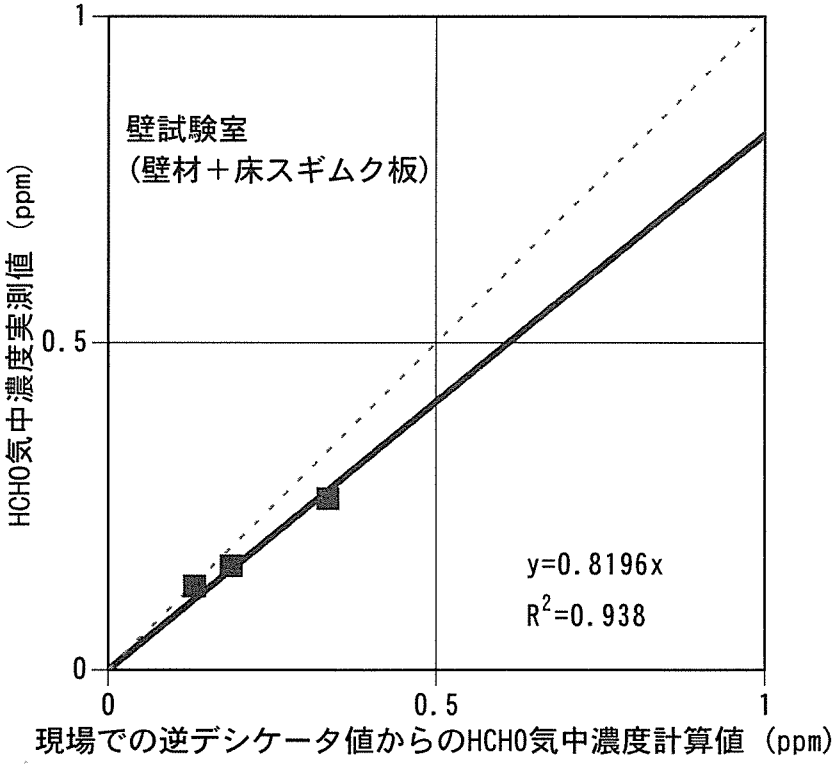
図Ｉ－９　現場での逆デシケータ値からのHCHO気中濃度計算値と
HCHO気中濃度実測値の比較



図Ｉ－１０　現場での逆デシケータ値からのHCHO気中濃度計算値と
HCHO気中濃度実測値の比較



図Ｉ－１１　現場での逆デシケータ値からのHCHO気中濃度計算値と
HCHO気中濃度実測値の比較



図Ｉ－１２　現場での逆デシケータ値からのHCHO気中濃度計算値と
HCHO気中濃度実測値の比較

(4) 全試験室に関して

上記(2)床試験室および(3)壁試験室の評価方法を総合して、現場における逆デシケータ値から算出した気中濃度計算値と実測した気中濃度を比較した。結果を図Ｉ－１３に示す。図より、(2)で床試験室に関して得られた結果とほぼ一致する結果が得られた。したがって、実用的には本方法で気中濃度を評価することに無理はないと考えられる。

今回の測定および評価方法の結果をまとめると以下のようになる。

①気中濃度推定に必要な測定方法としては、現時点においては現場における逆デシケータ法が適当である。

②逆デシケータ値からの気中濃度の換算には、前述の式を用いることに無理はない。

③ある部屋の気中濃度計算値は、そこで使用されている異なるすべての木質材料に関して独立に計算した気中濃度計算値の単純和とすることで合理的に判断できる。

④算出された気中濃度計算値は、実際の気中濃度より安全側に評価される。

上記内容は今回の実験結果の範囲内で言えることであり、これ以上に関してはさらなる検討が必要である。

４．３　本評価法の問題点

本評価法を用いれば、ある程度の正確さで気中濃度が推定されるものの、今後解決されるべき問題点は多く存在する。以下に、現時点での問題点を述べる。

①測定方法が現場における逆デシケータ法であるため、より精度良く測定可能な実験室における測定方法とリンクさせる必要がある。

②基礎的なデータ数が不足しているため、今後データの蓄積が望まれる。

③デシケータ値および逆デシケータ値が周囲の温度条件によりどのように変化するのか検討する必要がある。

④異なる材料が使用されていた場合の気中濃度の算出法に関して、精密に検討することが必要である。

⑤気中濃度換算式の妥当性をより詳細に検討すべきである。

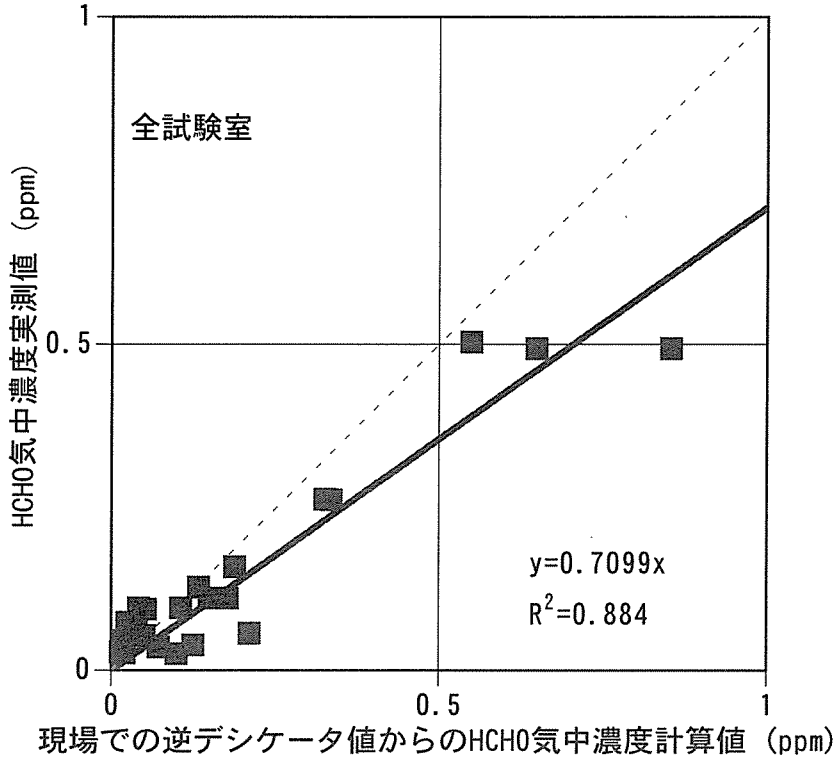
参考文献

1) 環境庁大気保全局大気規制課 編："有害大気汚染物質測定方法マニュアル"，1997，pp.48-52.

2) 松村年郎，安藤正典，名智幸江："ホルムアルデヒドパッシブサンプラーの開発"，第24回建築物環境衛生管理全国大会研究発表会講演要旨集，1997，pp.38-39.

3) 松本庸夫："環境試験室における合板から放散するホルムアルデヒドの気中濃度について"，林産試験場研究報告 No.262，41-58(1974).

4) 鈴木滋彦："住環境における換気"，住宅部材安全性能向上事業報告書 住環境に関する総合調査，日本住宅・木材技術センター，1991，pp.11-30.



図Ｉ－１３　現場での逆デシケータ値からのHCHO気中濃度計算値と
HCHO気中濃度実測値の比較

Ⅱ　ホルムアルデヒド放散基準に関する新しい対応の方向

はじめに

住宅の高気密化等に伴い，建材から発生するホルムアルデヒドおよびＶＯＣ（揮発性有機化合物）による室内の空気汚染が問題となっている。1997年6月には，厚生省の「快適で健康的な住宅に関する検討会議」の「健康住宅関連基準策定専門部会・化学物質小委員会」により，ホルムアルデヒド室内濃度指針値として，0.1mg／m³（約0.08ppm）という数値が提案された。

一方，合板およびパーティクルボードなどの木質材料に関しては，それぞれＪＡＳ規格およびＪＩＳ規格においてホルムアルデヒド放散（放出）量に関する規定があり，デシケータ法と呼ばれる方法でホルムアルデヒド放散量（以下デシケータ値と呼ぶ）が測定されている。これらの木質材料については，木質材料の材料試験で測定されるデシケータ値と実際の住環境における気中濃度との関係を明らかにしておくことが必要である。また，欧米諸国では，パーホレータ法またはチャンバ法といった各国特有の方法で，木質材料のホルムアルデヒド放散量が測定されている。したがって，我が国のデシケータ値と各国の測定法によるホルムアルデヒド放散量との相関を明らかにしておくことも必要である。

ここでは次の４点について焦点をしぼり，解説する。

①我が国のデシケータ値と各国のホルムアルデヒド放散量との相関。

②既往の研究に基づく，デシケータ値から実際の住環境におけるホルムアルデヒド気中濃度推定方法の提案。

③デシケータ値からの気中濃度推定方法の問題点を明らかにするとともに，より合理的な気中濃度推定のための新しいホルムアルデヒド放散量測定方法の提案。

④新しいホルムアルデヒド放散量測定方法に関する実験の概要。

２．１　木質材料のホルムアルデヒド放散量の測定方法

２．１．１　デシケータ法

合板のＪＡＳ規格およびパーティクルボード・中質繊維板（ＭＤＦ）のＪＩＳ規格において採用されているホルムアルデヒド放散（出）量試験は一般にデシケータ法と呼ばれている。デシケータ法では，デシケータ中に試料と蒸留水を24時間共存させ，試料からデシケータ内の気中に放散し，気中から蒸留水に吸収されるホルムアルデヒドの水中濃度（mg／ℓ）が測定される（図２－１）。

２．１．２　パーホレータ法

木質材料からのホルムアルデヒド放散量測定方法としてヨーロッパ諸国で採用されている方法にパーホレータ法と呼ばれる方法がある（EUROPEAN STANDARD, EN120, July 1991）。パーホレータ法では，木質材料からトルエンで直接抽出されるホルムアルデヒド量が測定される（図２－２）。デシケータ法により測定されるホルムアルデヒドとパーホレータ法によるホルムアルデヒドとは性質が異なると考えられる。例えば，デシケータ法によるホ

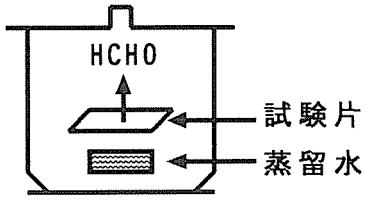


図２－１　デシケータ法

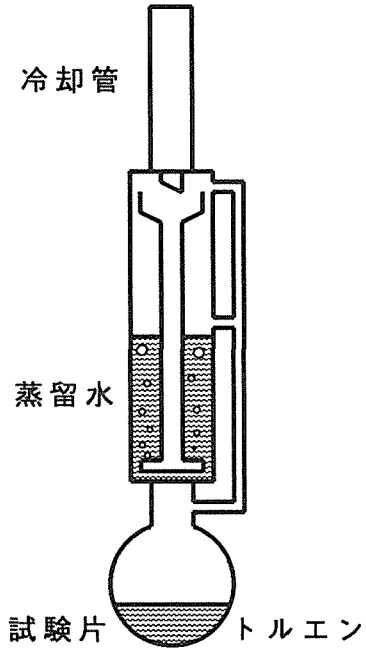


図２－２　パーホレータ法

ルムアルデヒド放散量は材料の履歴に敏感に影響されるが，パーホレータ法によるホルムアルデヒド放散量は材料の履歴にあまり影響されない。

２．１．３　チャンバ法

木質材料からのホルムアルデヒド放散量測定法のひとつに，温度，湿度および換気量が制御された実験室（チャンバ）に材料を設置して，ホルムアルデヒド気中濃度を直接測定する方法がある（EUROPEAN STANDARD, PrEN 717-1, April 1996）。このような方法はチャンバ法と呼ばれているが，チャンバの容積によりラージチャンバ法（チャンバ容積20m^3～40m^{3}程度）とスモールチャンバ法（チャンバ容積１m^{3}程度）に区別されている。チャンバ法は実際の住環境に近い状態でホルムアルデヒド気中濃度を測定する方法であるが，材料の設置状態などの点でまったく実際の住宅と同じというわけではない。また，専用の高額のチャンバが必要なこと，測定に長時間（１週間程度）を要することなどから，現在の材料試験であるデシケータ法の代替方法とみなすのには現実的には無理がある。

２．１．４　各測定法によるデータの相関

（１）デシケータ法とパーホレータ法によるデータの相関

パーホレータ法とデシケータ法によるホルムアルデヒド放散量の関係は材料の養生条件により変化するが，パーホレータ法による測定値はデシケータ値の5から10倍であることが報告されている。パーホレータ値をｙ（mg／100g），デシケータ値をｘ（mg／ℓ）とすると，以下の関係式が提案されている。

富田による換算式[1-2)]

試料を１週間養生した後にデシケータ法による測定を行った場合

$y = 5.0x - 1.0$

試料を３週間養生した後にデシケータ法による測定を行った場合

$y = 6.0x + 1.8$

井上による換算式[3)]

試料を１週間養生した後にデシケータ法による測定を行った場合

$y = 6x$

試料を２週間養生した後にデシケータ法による測定を行った場合

$y = 8x$

富村による換算式[4)]

試料を２カ月養生した後にデシケータ法による測定を行った場合

$y = 10x$

以上のことから，パーホレータ値はデシケータ値のほぼ６倍程度とみなすことができる。

（２）デシケータ法とチャンバ法によるデータの相関

チャンバ法での測定値とデシケータ法での測定値との関係については次の実験式が示されている[3)]。

$$C = 0.158D + 0.017$$

C：温度23℃，湿度45％，換気回数１回／時間，設置率１m^2/m^3のときの気中濃度（ppm）

D：デシケータ法によるホルムアルデヒド放散量（mg／ℓ）

なお，設置率とはチャンバ容積に対する材料表面積の比のことを指す。

２．２　気中濃度推定方法の提案

２．２．１　ホルムアルデヒド気中濃度に関する理論式

藤井ら[5)]によりホルムアルデヒドの気中濃度に関して次の理論式が示されている（図２－３）。

$$V\frac{dC}{dt} = mS - aSC - QC \qquad \cdots ①$$

V：チャンバ容積（m^3）

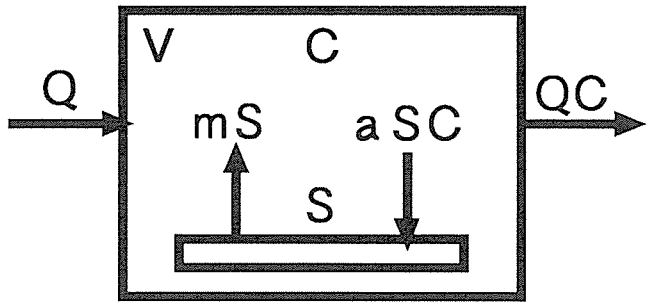
C：ホルムアルデヒド気中濃度（$ppm = cm^3/m^3$）

m：材料のホルムアルデヒド放散速度（$cm^3/m^2 \cdot hr$）

a：材料のホルムアルデヒド吸収係数（m/hr）

S：材料の表面積（m^2）

Q：換気量（m^3／hr）



V：チャンバ容積（m^3）
C：ホルムアルデヒド気中濃度（ppm）
m：ホルムアルデヒド放散速度（$cm^3/m^2 \cdot hr$）
a：ホルムアルデヒド吸収係数（m／hr）
S：材料の表面積（m^2）
Q：換気量（m^3／hr）

図２－３　ホルムアルデヒドの放散機構

定常状態（気中濃度が変化しないとき）では，$dC/dt=0$となるから，次式が得られる。

$$mS - aSC - QC = 0$$

したがって，換気下の定常状態での気中濃度は次式で示される。

$$C = \frac{m}{a + Q/S} \qquad \cdots ②$$

この理論式は，材料のホルムアルデヒド放散特性であるmとaが一定の場合は，ホルムアルデヒドの気中濃度に影響する因子がQ／S，すなわち換気量と材料表面積の比だけであることを示す。この理論式が実際のホルムアルデヒドの気中濃度の挙動をよく表すことは実験的に確認されている[3]。

その他，ホルムアルデヒドの気中濃度に影響する因子として，材料の養生状態（密閉されているか，解放されているか），養生時間，温度および湿度等があることが知られているが，これらの因子は，材料のホルムアルデヒド放散特性であるmおよびaに直接影響すると考えるのが妥当である。

一方，Hoetjerは次の理論式を示しているが，その妥当性はLehmann[6]により実験的に示されている。

$$Cs = \frac{Ceq}{1 + \frac{1}{k}\frac{N}{L}} \quad \cdots③$$

Cs：定常常態でのホルムアルデヒド気中濃度（ppm）
Ceq：換気率が0のときの気中濃度（ppm）
k：材料のホルムアルデヒド移動係数（m/hr）
N：換気率（回/hr）
L：設置率（材料表面積／チャンバ容積）（m^2/m^3）

いま，チャンバ容積を**V**（m^3）とすると，**N**＝**Q**／**V**，**L**＝**S**／**V**となり，**Q**／**S**＝**N**／**L**となる。また，藤井の理論式で換気量が0，すなわち**Q**／**S**＝0のときの気中濃度は**m**／**a**で示されるので，**Ceq**＝**m**／**a**であり，**m**＝**Ceq**×**a**となる。したがって，藤井の理論式は次のように書き換えることができる。

$$C = \frac{Ceq \times a}{a + \frac{N}{L}} = \frac{Ceq}{1 + \frac{1}{a}\frac{N}{L}} \quad \cdots④$$

このように藤井とHoetjerによる二つの理論式はまったく同じ内容を表しており，藤井の理論式における**a**とHoetjerの理論式における**k**は同じものであることがわかる。

2．2．2　気中濃度に影響する因子

ホルムアルデヒド気中濃度に影響する因子は数多くあり，ホルムアルデヒド気中濃度の挙動を複雑なものとしているが，藤井およびHoetjerの理論式，およびそれらに関連する研究から判断すると，ホルムアルデヒド気中濃度に影響する因子は次の二つに分けることができる。

①内的因子：温度，湿度，養生条件，時間
②外的因子：換気量と面積（換気量／面積）

ここでの内的因子とは，材料のホルムアルデヒド放散特性に直接的に影響するものを指し，具体的には温度，湿度，養生条件・時間等が挙げられる。また，外的因子とは材料のホルムアルデヒド放散特性が一定であってもホルムアルデヒド気中濃度を変化させるもので，換気量と材料表面積があり，特に「換気量／材料表面積」（**Q**／**S**）が影響することがわかっている。藤井の理論式によれば，**Q**／**S**が小さくなると気中濃度が大きくなる。

表2－1に，日本の代表的な居室の容積および床，天井，壁の面積を示す。また，表2－2および表2－3に，日本の代表的な居室における換気回数と床，壁および天井のそれぞれに建材を使用した場合の**Q**／**S**との関係を示す。

表２－１　室内容積と面積

畳　　数	6	8	10
容積（㎥）	23.3	31.1	38.9
床面積（㎡）	9.7	13.0	16.2
天井面積（㎡）	9.7	13.0	16.2
壁面積（㎡）	30.2	34.6	38.8
床＋天井（㎡）	19.4	26.0	32.4
全面（㎡）	49.6	60.6	71.2

表２－２　６畳間の換気回数とＱ／Ｓの関係

畳　　数	6	6	6	6
容積（㎥）	23.3	23.3	23.3	23.3
換気回数（回／hr）	0.2	0.5	1.0	2.0
換気量（㎥/hr）	4.7	11.7	23.3	46.6
床（m/hr）	0.48	1.20	2.40	4.80
床＋天井（m/hr）	0.24	0.60	1.20	2.40
壁（m/hr）	0.15	0.39	0.77	1.54
全面（m/hr）	0.09	0.23	0.47	0.94

Ｑ:換気量(㎥/hr), Ｓ:面積(㎡)

表２－３　１０畳間の換気回数とＱ／Ｓの関係

畳　　数	10	10	10	10
容積（㎥）	38.9	38.9	38.9	38.9
換気回数（回／hr）	0.2	0.5	1.0	2.0
換気量（㎥/hr）	7.8	19.5	38.9	77.8
床（m/hr）	0.48	1.20	2.40	4.80
床＋天井（m/hr）	0.24	0.60	1.20	2.40
壁（m/hr）	0.20	0.50	1.00	2.01
全面（m/hr）	0.11	0.27	0.55	1.09

Ｑ:換気量(㎥/hr), Ｓ:面積(㎡)

２．２．３　パーティクルボードのデシケータ値と気中濃度との相関

（１）デシケータ値と一定条件における気中濃度との相関

デシケータ値（**D**）と温度23℃，湿度45％，**Q**／**S**＝１の場合の気中濃度（**C**）の関係については次の実験式が示されている[4]。

$$\mathbf{C} = 0.158\mathbf{D} + 0.017 \qquad \cdots⑤$$

C：気中濃度（ppm）
D：デシケータ値（mg/ℓ）

ここでの気中濃度は，上記の条件で試料を設置してから4日～7日間の値であり，また，デシケータ値は，1週間養生した試料について20℃で測定されたものである。

Myersは，温度25℃，湿度50%，**N**／**L**＝**Q**／**S**＝1の条件で14日後の気中濃度とデシケータ値とは次式の関係があるとしている[7]。

$$D = 6.70C + 0.23 \quad (C = 0.15D - 0.034) \qquad \cdots⑥$$

これら二つの換算式は，条件および係数がほぼ等しく，デシケータ値と気中濃度に相関性があることを示している。したがって，気中濃度はデシケータ値から換算可能であるといえる。

（2）換気量および材料面積が変化した場合の気中濃度の換算

理論式が示すとおり，ホルムアルデヒド気中濃度には換気量と材料面積の比，すなわち**Q**／**S**が影響する。また，**Q**／**S**の影響の度合いは，材料のホルムアルデヒド吸収係数が影響する。Myersは**Q**／**S**を1から0.5にすると気中濃度が1.4倍程度になったことを報告している[7]。また，井上らによれば，**Q**／**S**＝1のときの気中濃度を基準とすると，**Q**／**S**＝0.5のときの気中濃度は1.25～1.5倍，**Q**／**S**＝2のときは0.70～0.75倍になったことが報告されている[3]。このときのパーティクルボードのホルムアルデヒド吸収係数は0.5～2程度の範囲であった。材料のホルムアルデヒド吸収係数（**a**）および移動係数（**k**）は表面加工や塗装によって変化すると考えられるが，表面処理しないパーティクルボードおよび合板の場合は0.5～2前後の値をとることが報告されており[6-9]，平均的に1前後の値をとるとみなすことができる。したがって，**Q**／**S**が変化した場合の気中濃度は次式で予測することができる。

$$C_n = C \times \frac{2}{(1 + Q/S)} \qquad \cdots⑦$$

C_n：**Q**／**S**＝**n**のときの気中濃度(ppm)
C：**Q**／**S**＝1のときの気中濃度(ppm)
Q：換気量(m^3/hr)
S：材料表面積(m^2)

この式を用いて計算すると，**Q**／**S**＝0.5および2のときの気中濃度は，**Q**／**S**＝1のときの気中濃度の1.33倍および0.67倍となる。また，吸収係数を0.5とみなしたときはそれぞれ1.5倍および0.6倍，また吸収係数を2とみなしたときは1.2倍および0.75倍となる。したがって，吸収係数を1とみなしても，**Q**／**S**が0.5～2程度の範囲では，この式を用いて計算しても誤差はそれほど大きくならない。

（3）温度が変化した場合の気中濃度の換算

Myersら[10]は，温度が15℃上昇するとホルムアルデヒド気中濃度が3.8倍に，また，松本[11]は温度が10℃上昇すると2.3倍になると報告している。また，井上は温度が5℃上昇するごとに気中濃度が1.5～1.6倍になると報告している[12]。これらの結果から，井上はホルムアルデヒドの気中濃度は温度が1℃上昇するごとに1.09倍になり，次式で各温度でのホルムアルデヒド気中濃度を推測できるとしている[3]。

$$C_t = C \times 1.09^{(t-23)} \quad \cdots ⑧$$

C_t：温度 t ℃のときの気中濃度(ppm)
C ：温度23℃のときの気中濃度(ppm)

この式を用いて計算すると，温度が5℃，10℃および15℃上昇すると気中濃度はそれぞれ1.5倍，2.3倍および3.6倍となり，既往の研究結果とよく一致する。

（4）湿度が変化した場合の気中濃度の換算

松本らは，合板について湿度とホルムアルデヒド気中濃度には直線関係があるとし[13]，湿度80%を基準にしたときの湿度1%当たりの気中濃度の変化率が0.8%であるとしている[11]。また，Myers らは，湿度が25%から75%に上昇したとき気中濃度は1.5倍になったことを報告している[10]。これは，湿度25%を基準にしたときの湿度1%当たりの気中濃度の変化率が1%であることを示す。両者の実験結果から，湿度45%を基準としたときの変化率を計算するとそれぞれ1.11%および0.83%となり，平均するとほぼ1%となる。したがって，湿度が変化したときの気中濃度は次式で予測することができる[3]。

$$C_h = C\ (55 + h)/100 \quad \cdots ⑨$$

C_h：湿度 h %ＲＨのときの気中濃度(ppm)
C ：湿度45%のときの気中濃度(ppm)

（5）デシケータ値による一般条件における気中濃度の換算式

以上の結果をまとめると，次の一般条件の気中濃度の換算式が得られる。

$$C = (0.158D + 0.017) \times \{2/(1 + Q/S)\} \times 1.09^{(t-23)} \times (55 + h)/100 \quad \cdots ⑩$$

C：気中濃度（ppm）
D：デシケータ値（mg/ℓ）
Q：換気量（m^3/hr）
S：材料表面積（m^2）
t：温度（℃）
h：相対湿度（%）

表２－４　合板のデシケータ値と気中濃度との関係　[11)]

試料	ﾃﾞｼｹｰﾀ値 (mg／ℓ)	気中濃度(ppm) 計算値	実測値	実測値	気中濃度(ppm) 計算値	実測値	実測値
合板１	16.00	7.85	7.90	6.10	11.22	20.40	15.90
合板２	12.00	5.90	9.50	7.10	8.43	15.80	14.60
合板３	6.00	2.98	4.60	2.20	4.25	7.90	5.20
合板３	4.30	2.15	2.40	1.80	3.07	3.10	3.90
合板４	0.70	0.39	0.55	0.39	0.56	0.68	0.48
合板５	0.53	0.31	0.49	0.28	0.44	0.46	0.42
合板６	0.05				0.11	0.58	0.28
温度（℃）		30.0	30.0	30	30.0	30.0	30.0
湿度（％ＲＨ）		80.0	80.0	80	80.0	80.0	80.0
Ｑ／Ｓ（m/hr）		0.60	0.60	0.60	0.12	0.12	0.12
時間		同時	５時間後	24時間後	同時	５時間後	24時間後

Ｑ:換気量(㎥/hr)，Ｓ:面積(㎡)．計算値：⑩式を用いた計算値

表２－５　合板のデシケータ値と気中濃度との関係　[12, 14, 15)]

試料	ﾃﾞｼｹｰﾀ値 (mg／ℓ)	気中濃度 (ppm) 計算値	実測値	備考	
合板１	8.00	2.80	3.00	３時間後	印刷紙オーバーレイ塗装合板 (30℃) (30℃)
合板１	3.40	1.21	0.70	２週間後	
合板１	2.20	1.23	0.69	６週間後	
合板１	1.53	0.87	0.45	12週間後	
合板２	1.15	0.43	0.27	３時間後	印刷紙オーバーレイ塗装合板
合板２	0.70	0.28	0.15	２週間後	
合板３	1.36	0.51	0.41	２時間後	印刷紙オーバーレイ塗装合板（裏面塩ビシート）
合板３	1.20	0.45	0.10	２週間後	
合板３	1.40	0.52	0.01	６週間後	
合板４	0.40	0.18	0.25	２時間後	印刷紙オーバーレイ塗装合板（裏面塩ビシート）
合板４	0.57	0.23	0.13	２週間後	
合板４	0.75	0.30	0.11	６週間後	
温度（℃）		25.0	25.0		
湿度（％RH）		70.0	70.0		
Ｑ／Ｓ（m/hr）		0.36	0.36		
時間		同時	同時		

Ｑ:換気量(㎥/hr)，Ｓ:面積(㎡)．計算値：⑩式を用いた計算値

表２－６　合板のデシケータ値と密閉容器中の気中濃度との関係　[12)]

試料	ﾃﾞｼｹｰﾀ値 (mg／ℓ)	気中濃度 (ppm) 計算値	実測値	備考	
合板１	5.83	1.59	1.80	０時間	印刷紙オーバーレイ塗装合板
合板１	3.04	0.84	0.79	１日後	
合板１	1.86	0.53	0.47	４日後	
合板１	0.86	0.26	0.33	２週間後	
合板１	0.58	0.18	0.21	６週間後	
温度（℃）		20.0	20.0		
湿度（％RH）		55.0	55.0		
Ｑ／Ｓ（m/hr）		0.00	0.00		
時間		同時	同時		

Ｑ:換気量(㎥/hr)，Ｓ:面積(㎡)．計算値：⑩式を用いた計算値

表２－７　デシケータ値による気中濃度の推定値

デシケータ値（mg／ℓ）		気中濃度の推定値（ppm）				
5.0		0.81	0.54	1.08	1.20	1.84
1.5		0.25	0.17	0.34	0.38	0.58
0.5		0.10	0.06	0.13	0.14	0.22
0.1		0.03	0.02	0.04	0.05	0.07
室内の環境条件	温度（℃）	23	23	23	25	30
	湿度（%RH）	45	45	45	70	70
	Q／S（m/hr）	1.0	2.0	0.5	1.0	1.0
	時間	同時	同時	同時	同時	同時

Q:換気量(㎥/hr), S:面積(㎡).　　気中濃度の推定値：⑩式を用いて計算した値

２．２．４　合板のデシケータ値と気中濃度との関係

パーティクルボードの実験で得られた換算式（⑩式）を既存の合板に関する研究[11, 12, 14, 15]へ適用した計算結果を表２－４から表２－６に示す。

表２－４の研究は普通合板を使用して行われたものであるが，この場合計算値と実測値はよく一致している。印刷紙オーバーレイ塗装合板を用いた研究（表２－５）においても，裏面を塩ビシートで被覆したものを除けば，計算値と実測値はよく一致しているといえる。裏面を塩ビシートで被覆した場合（表２－５の合板３および合板４）は，時間の経過とともにデシケータ値が増加し，気中濃度が低下するという異常ともいえる結果になっている。この原因は，気中濃度の測定には裏面を塩ビシートで被覆した合板を用いたのに対して，デシケータ値の測定の場合は，試験片作製時に裏面の塩ビシートを取り除いたためではないかと推測される。表２－６の研究はデシケータ値と密閉されたデシケータ中（換気量が０のとき）の気中濃度との関係であるが，この場合も計算値と実測値はよく一致している。以上のことから，パーティクルボードで得られたデシケータ値による気中濃度の換算式は普通合板および特殊合板にも適用可能であると考えられる。

デシケータ値から種々の室内環境における気中濃度を推定した値を表２－７に示す。

２．３　これまでの試験方法の問題点と新試験方法の提案

現在，合板およびパーティクルボード等の木質建材についてはそれぞれのＪＡＳ規格およびＪＩＳ規格において，ホルムアルデヒド放散（出）量試験が規定されており，一般にデシケータ法と呼ばれる方法でホルムアルデヒド放散量（デシケータ値）が測定されている。このデシケータ値から種々の環境条件におけるホルムアルデヒド気中濃度をかなり精度よく換算することが可能であるが，換算式（⑩式）を適用できるのは次の二つの条件に限られる。

①材料のホルムアルデヒド放散特性が表裏面および側面で同じである。

②デシケータ値を測定した試料を居室にそのまま（両面むき出しで）使用する。

しかし，実際には，フローリングや特殊合板のように表裏面のホルムアルデヒド放散特性が異なる建材も多く，また，住宅に使われる場合は建材の片面だけ居室にさらされることになる。その他の問題点も含めて現在のデシケータ値による気中濃度換算の問題点を整理すると次のようになる。

①現在のJAS・JISデシケータ法では，裏面および側面が無処理のままデシケータ値が測定されるが，実際の住宅にこれらの材料が使われる場合は片面だけが居室にさらされる。したがって，フローリングや特殊合板のように表裏面のホルムアルデヒド放散特性が異なるものでは，合理的な気中濃度換算ができない。

②構造用合板やボード類を耐力壁や下地に使う場合の気中濃度の換算ができない。

③大断面集成材・単板積層材（ＬＶＬ）等の材料では，寸法的な問題からデシケータ法によるホルムアルデヒド放散量の測定が困難であり，規格化されていない。

現在のJAS・JISデシケータ値による気中濃度換算には以上のような欠点がある。各材料ごとに，デシケータ値と気中濃度の関係を実験的に調べることができればよいわけであるが，それには専用のチャンバーと膨大な実験が必要になってくる。このため，今のデシケータ値と相関性のある簡易な試験法を開発することが得策である。そうすれば，新しい試験法によるホルムアルデヒド放散量からデシケータ値を換算し，デシケータ値から気中濃度を合理的に換算することができる。したがって，気中濃度で示されるガイドラインを満足させる材料を合理的に供給していくためには，次の諸要件を備えた新しいホルムアルデヒド放散量の測定法を開発することが必要である。

①気中濃度に合理的に換算可能なこと。

②片面からのホルムアルデヒド放散量を測定できること。

③大断面集成材等の材料にも適用可能なこと。

④簡易な方法であること。

⑤下地からのホルムアルデヒド放散や壁，床および天井の各構造体からのホルムアルデヒド放散量を測定可能であること。

以上の要件を備えたホルムアルデヒド測定方法として，逆デシケータ法が提案されている[16]。この方法は材料の上にデシケータを逆さまにおくもので（図２－４），その方法の原形はBrunnerによって報告されている[17]。ＪＡＳ・ＪＩＳデシケータ法で使われているデシケータをこの逆デシケータ法に使用すると，試料の表面積はデシケータの開口部の面積となり，現在のデシケータ法での試料表面積の4分の1程度になる。それに対応して，結晶皿面積および水量を調節してやらなければならない。気中濃度の理論式を示した藤井らは，次のようなデシケータ値に関する理論式も示している[5]。

$$C_w = \frac{mS}{aS + a_w S_w} \frac{a_w S_w}{W} t = \frac{m}{a + a_w S_w / S} \frac{S_w}{W} a_w t$$

C_w：デシケータ値

m：材料のホルムアルデヒド放散速度

a：材料のホルムアルデヒド吸収係数

S：材料表面積

a_w：水のホルムアルデヒド吸収係数

S_w：水の表面積

W：水量

t：時間

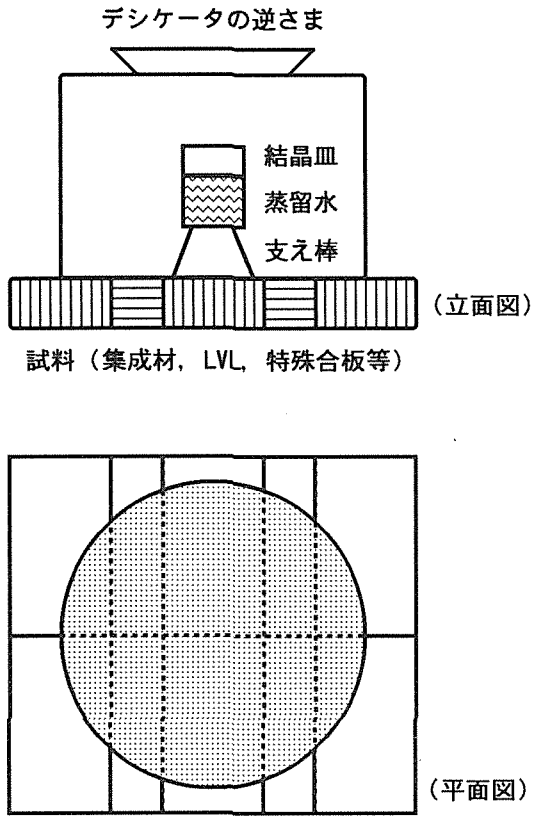


図２－４　逆デシケータ法の概略図

この理論式は，Ｓｗ／Ｓおよび Ｓｗ／Ｗが一定の場合，デシケータ値が変化しないことを示している。したがって，試料面積が4分の1になった場合，水の表面積（結晶皿の面積）と水量も4分の1にすればデシケータ値は変化しないことになる。したがって，逆デシケータ法の試験条件を以下に示すとおりにすれば，JASおよびJISデシケータ法と同等の性能を評価できると判断できる。

試験条件	デシケータ法	逆デシケータ法
試験片の面積	約1800cm^2	約450cm^2　（約1／4）
結晶皿の直径	12cm	6cm（200mlのビーカ）
結晶皿の面積	約104cm^2	約28cm^2　（約1／4）
水の容積	300ml	75ml　（1／4）

逆デシケータ法のデシケータ法との相違点を示すと，結晶皿の代わりに内径約6cmのビーカ（PYREXの200mlのビーカ）を使い，蒸留水の量は75mlとする。また，ビーカは適当な支えを用いてうかせ，材料表面がビーカによって覆われないようにする（例えば，プラスチックコップに穴をいくつか開けて，それを逆さまにして材料の上に置き，その上にビーカをのせる）。材料の大きさは40cm×40cmの場合（端面を含まない場合）と40cm×20cmを2枚突き合わせした場合（端面を含む場合）の２とおりある。放置時間は24時間とする。

２．４　新試験方法に関する実験

２．４．１　新試験方法に関する実験方法

（１）デシケータ値に及ぼす試料表面積，結晶皿面積および水量の影響

以下の材料について，JASおよびJISデシケータ値と，試料表面積，結晶皿面積および水量をそれぞれ4分の1にしたときのホルムアルデヒド放散量を測定し，両者の関係を把握した。

普通合板（厚さ2.5mm，5.5mm）（F1，F2，規格外）
構造用合板（厚さ9.0，12mm）（F1，F2，規格外）
パーティクルボード（厚さ12mm，20mm）（E0，E1，E2）
ＭＤＦ（厚さ12mm，20mm）（E1，E2）

（２）デシケータ値と逆デシケータ値の相関関係の把握

以下の材料についてデシケータ値と逆デシケータ値を測定し，両者の関係を把握した。

普通合板（厚さ2.5mm，5.5mm）（F1，F2，規格外）
構造用合板（厚さ9.0，12mm）（F1，F2，規格外）
パーティクルボード（厚さ12mm，20mm）（E0，E1，E2）
中質繊維板（MDF）（厚さ12mm，20mm）（E1，E2）

（３）各種木質建材のホルムアルデヒド放散量の測定

以下の材料については逆デシケータ法を適用して各表面（板目，積層面，木口）からのホルムアルデヒド放散量（逆デシケータ値）を測定した。

大断面構造用集成材
化粧ばり構造用集成材（化粧集成柱）
造作用集成材
化粧ばり造作用集成材
構造用ＬＶＬ
造作用ＬＶＬ

次の材料については，デシケータ法および逆デシケータ法によりホルムアルデヒド放散量を測定した。

複合フローリング
特殊合板（天然杢化粧合板）

次の化粧パーティクルボードおよび中質繊維板（ＭＤＦ）については，以下に示す６種類の方法でホルムアルデヒド放散量を測定した。

木質材料の種類
メラミンオーバーレイ化粧パーティクルボードおよびＭＤＦ
塩化ビニルシートオーバーレイ化粧パーティクルボードおよびＭＤＦ
ウレタンコート紙オーバーレイ化粧パーティクルボードおよびＭＤＦ
つき板オーバーレイ化粧パーティクルボードおよびＭＤＦ

ポリウレタン塗装化粧パーティクルボードおよびＭＤＦ

ホルムアルデヒドキャッチャー剤処理パーティクルボードおよびＭＤＦ

試料の処理と測定方法

記　号	試料の処理と測定法
素板Ｄ	素板のデシケータ法
素板ＤSeal	素板の端面を被覆した場合のデシケータ法
素板逆Ｄ	素板の逆デシケータ法
化粧Ｄ	表面処理した材料のデシケータ法
化粧ＤSeal	表面処理した材料の端面も被覆した場合のデシケータ法
化粧逆Ｄ	表面処理した材料の逆デシケータ法

（４）各種構造体のホルムアルデヒド放散量の測定

実大住宅実験棟に使われていた各材料のホルムアルデヒド放散量を逆デシケータ法により測定した。また，実大住宅実験棟の各部屋の床および壁からのホルムアルデヒド放散量を逆デシケータ法により現場で測定した（写真２－１）。壁からの放散量はJASデシケータ法と同サイズの角形ステンレス容器を高さ1.2mの台に乗せ，市販の突っ張り棒で24時間固定することにより，ホルムアルデヒドを水に吸収させた（写真２－２）。

２．４．２　実験結果とその評価

（１）デシケータ値に及ぼす試料表面積，結晶皿面積および水量の影響

試料表面積，結晶皿面積および水量を4分の1にしたデシケータ法（4分の1デシケータ法）によるホルムアルデヒド放散量（4分の1デシケータ値）と通常のデシケータ法によるホルムアルデヒド放散量（デシケータ値）との関係を図２－５に示す。4分の1デシケータ値をｙ，デシケータ値をｘとすると両者の関係は以下のようになる。

$$y = 0.9266x - 0.0249 \quad (\text{相関係数：}0.9908325)$$

このことから，試料表面積，結晶皿面積および水量の比を一定にすれば，デシケータ法によるホルムアルデヒド放散量はほぼ一定の値を示すことがわかり，デシケータ値に関する藤井の理論式が妥当であると判断される。したがって，逆デシケータ法でも材料表面積等の比が4分の1デシケータ法と同じであるので，測定値は材料表面積等の影響を受けず，デシケータ法と同等の性能を評価できると考えられる。

（２）デシケータ値と逆デシケータ値の相関関係

表面加工していない合板およびパーティクルボードについてのデシケータ値と逆デシケータ値との関係を図２－６と図２－７に示す。両者には相関係数が0.91以上の相関関係が認められた。逆デシケータ法による測定で，突き合わせをした場合（端面を含む場合）としない場合（端面を含まない場合）とではほとんど差がなかった。逆デシケータ値はデシケータ値の７割程度の値となったが，この原因は材料の木口面（端面）からの放散量が板面からの放散量より多く，デシケータ法では板面と木口面からの放散量を測定しているのに対して，逆デシケータ法では板面のみの放散量を測定しているためと判断される。

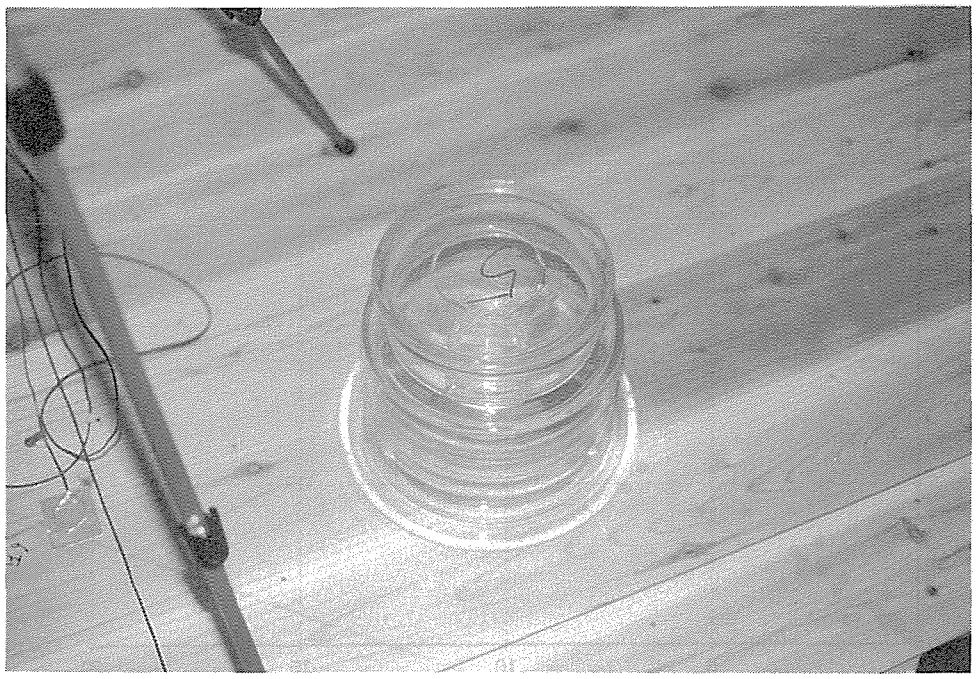


写真２－１　現場での逆デシケータ法による床からの
ホルムアルデヒド放散量の測定方法

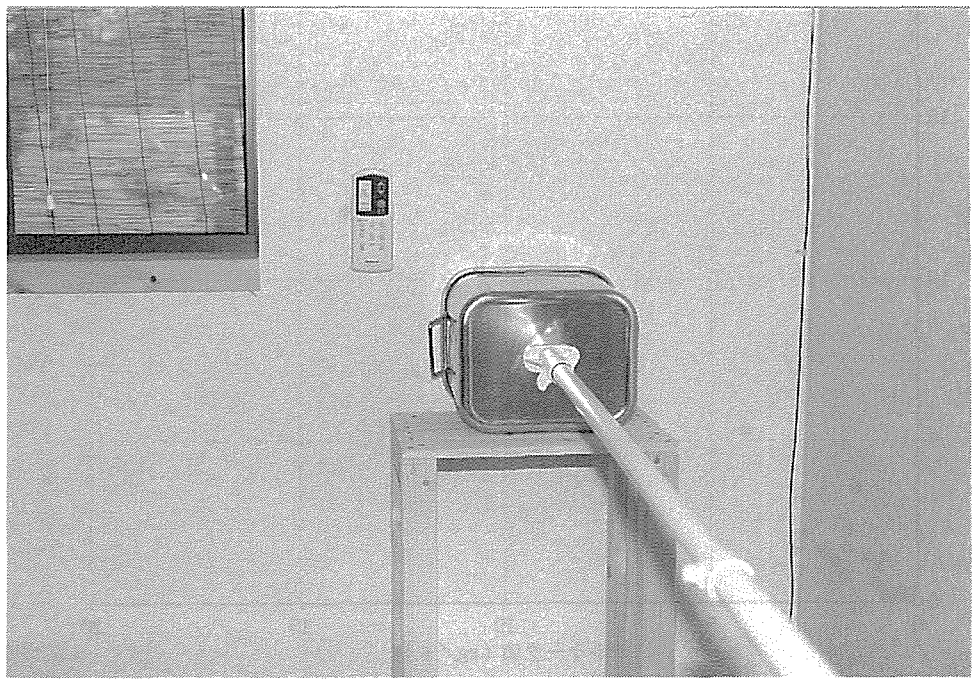


写真２－２　現場での逆デシケータ法（横デシケータ法）による
壁からのホルムアルデヒド放散量の測定方法

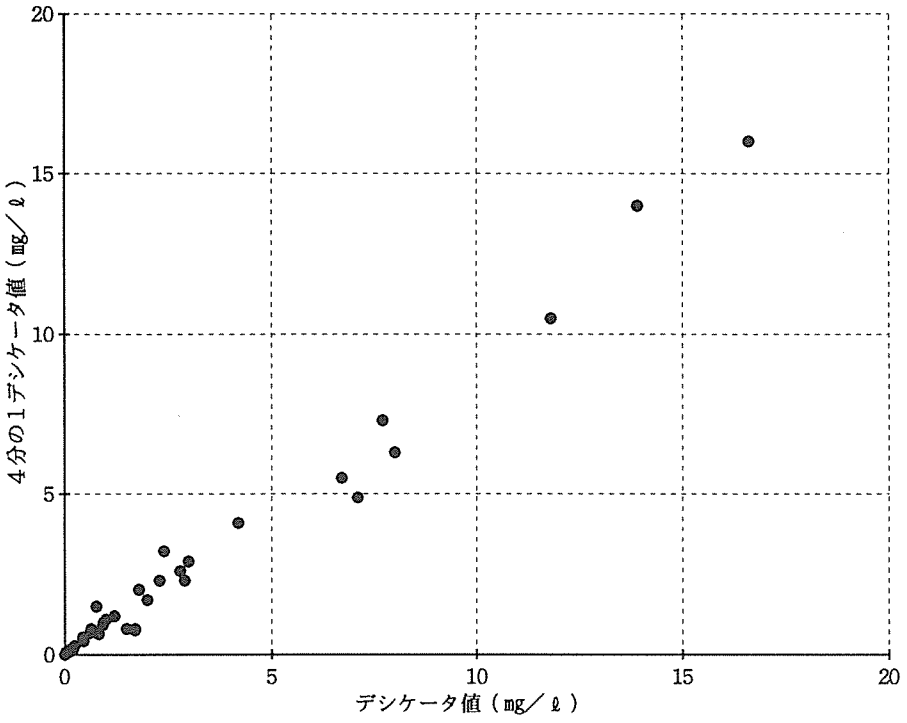


図２－５　デシケータ値と４分の１デシケータ値との相関
標本数：44（表面加工していない合板およびパーティクルボード）
回帰式：ｙ＝0.9266ｘ－0.0249　（相関係数：0.9908325）

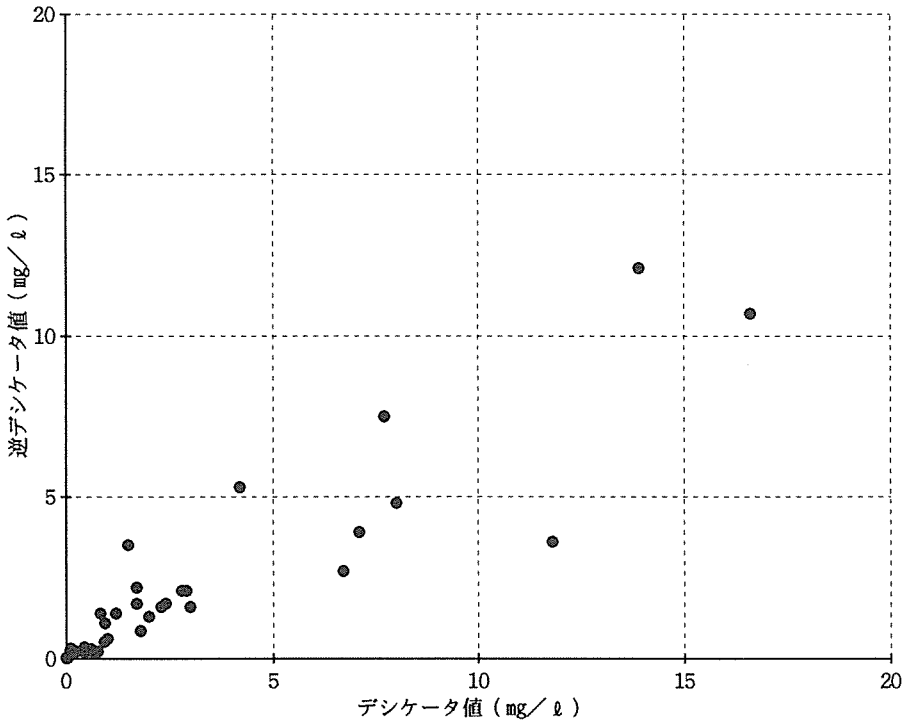


図２－６　デシケータ値と逆デシケータ値（突き合わせなし）との相関
標本数：44（表面加工していない合板およびパーティクルボード）
回帰式：ｙ＝0.6401ｘ＋0.1932　（相関係数：0.9144529）

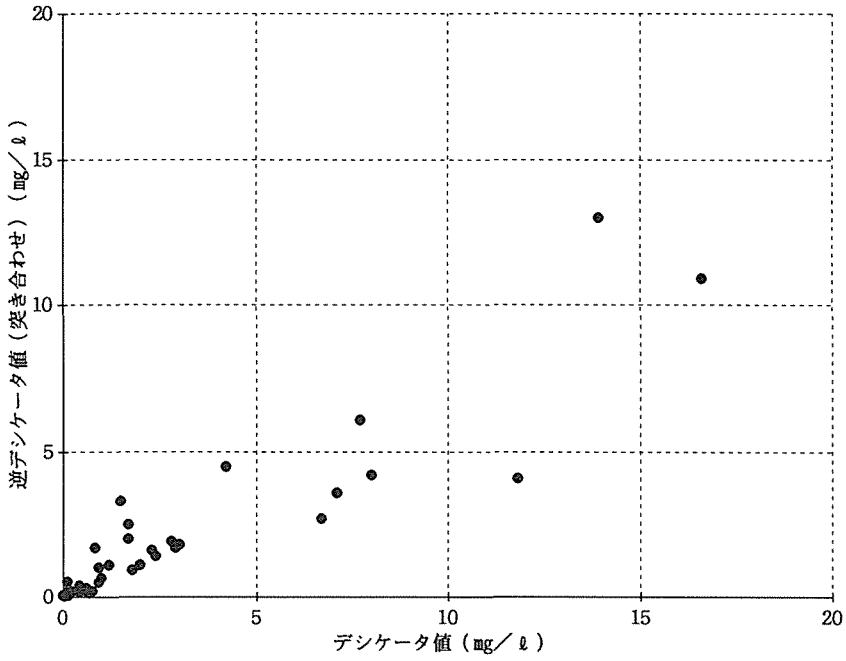


図２－７　デシケータ値と逆デシケータ値（突き合わせあり）との相関
標本数：44（表面加工していない合板およびパーティクルボード）
回帰式：y＝0.6461x＋0.1349
相関係数：0.9210796

（３）デシケータ値に及ぼす端面シールの影響

表面処理したボード類のホルムアルデヒド放散量を図２－８から図２－１３に示す。これらの図の中の各記号は以下の材料と測定法を示す。

素板Ｄ：　素板のデシケータ法
素板ＤSeal：素板の端面を被覆した場合のデシケータ法
素板逆Ｄ：　素板の逆デシケータ法
化粧Ｄ：　表面処理した材料のデシケータ法
化粧ＤSeal：表面処理した材料の端面も被覆した場合のデシケータ法
化粧逆Ｄ：　表面処理した材料の逆デシケータ法

素板Ｄ，素板ＤSeal，素板逆Ｄおよび化粧Ｄによる放散量がほぼ同レベルとなり，一方，化粧ＤSealと化粧逆Ｄによる放散量は他の測定法に比べて著しく小さな値を示した。これは，後者二つの方法により，表面加工した部分のホルムアルデヒド放散能（ホルムアルデヒド遮蔽効果）を測定できるためと考えられる。したがって，表面加工した材料で端面が処理して居室に使われる場合は，逆デシケータ法または端面をシールしてのデシケータ法により合理的な気中濃度換算が可能になると判断される。

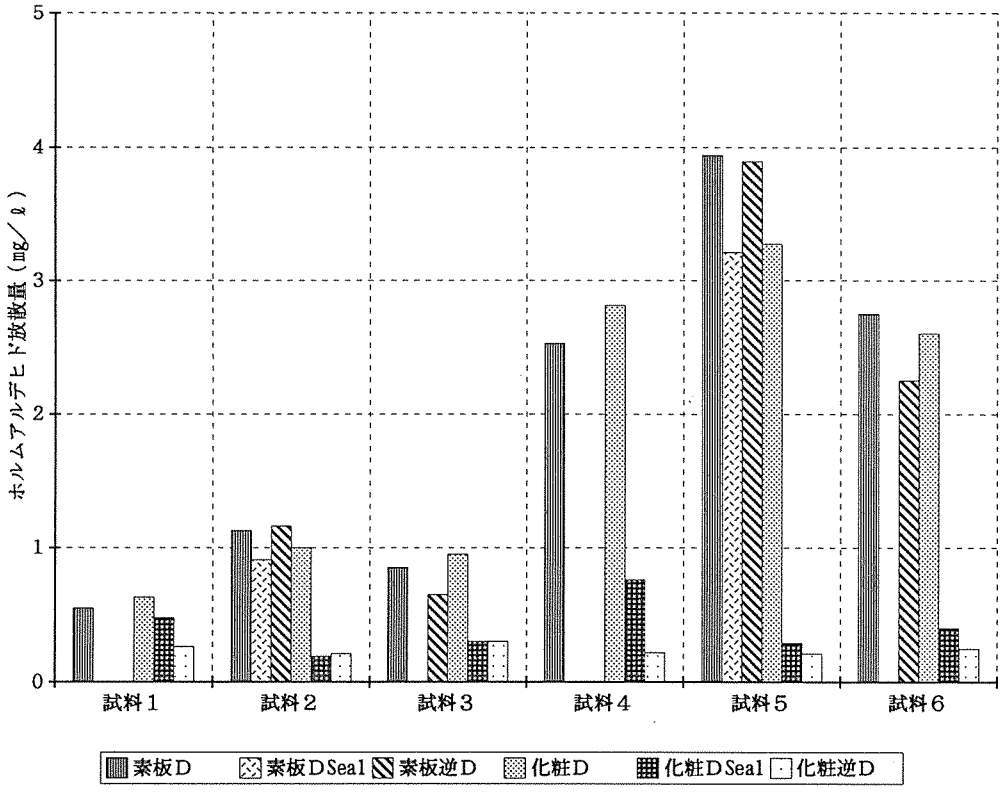


図２－８　メラミン化粧材の放散量

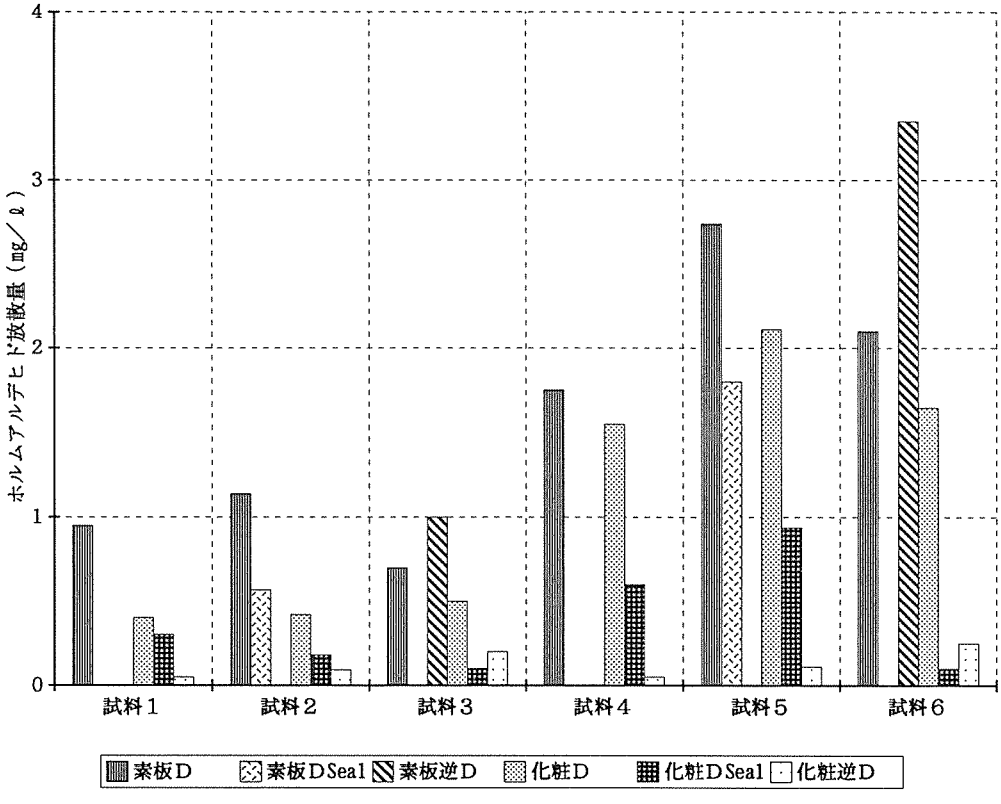


図２－９　塩化ビニル化粧材の放散量

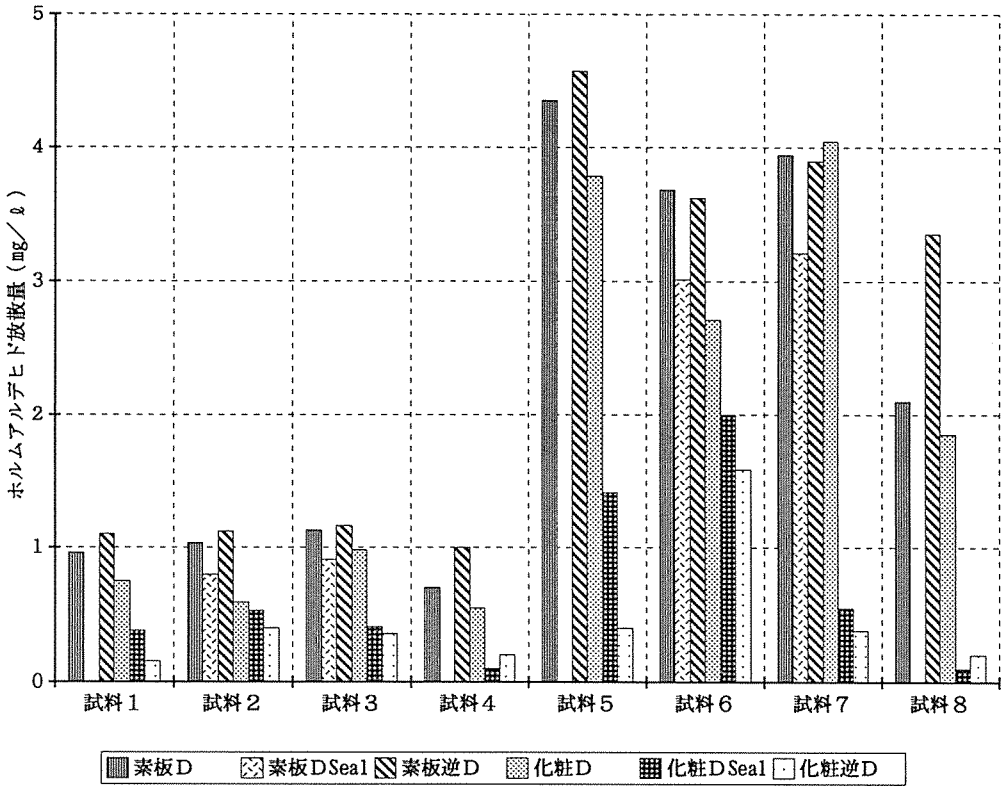


図２－１０　紙貼り化粧材の放散量

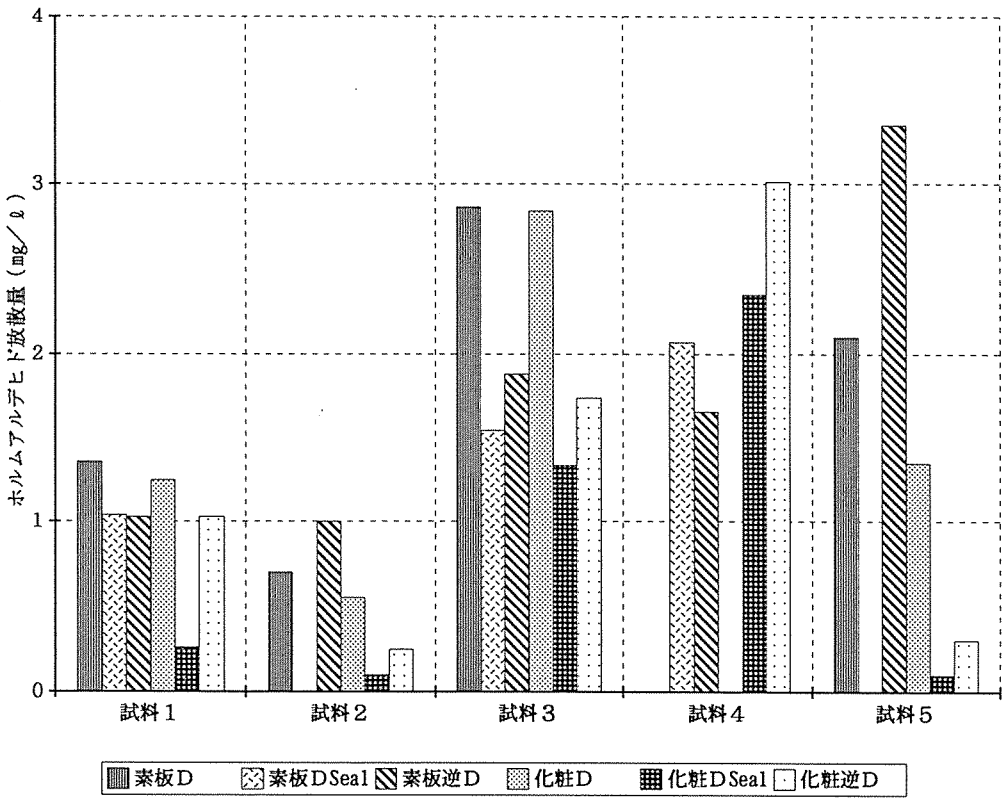


図２－１１　突き板化粧材の放散量

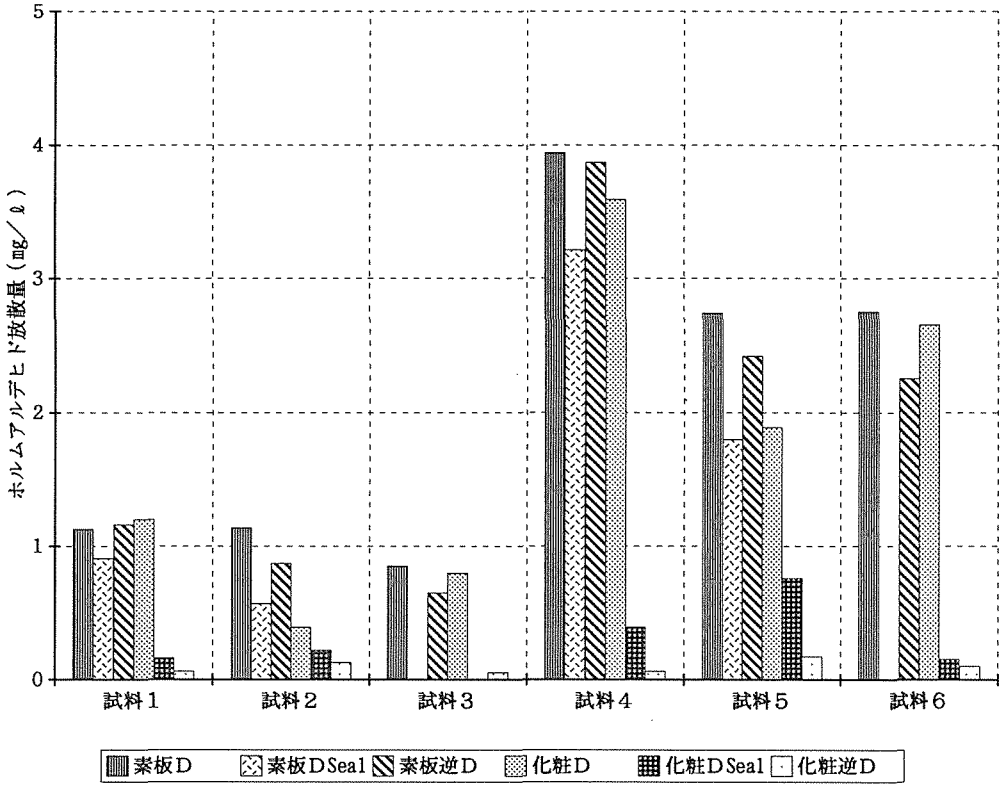


図２－１２　ウレタン塗装材の放散量

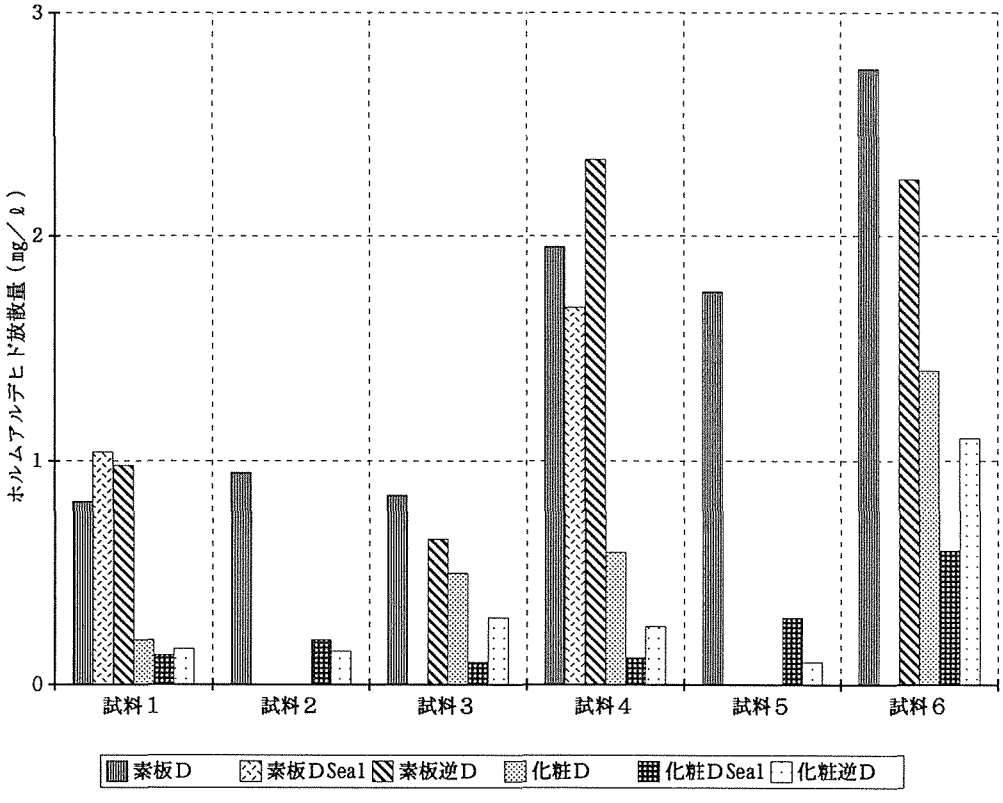


図２－１３　キャッチャー剤使用材の放散量

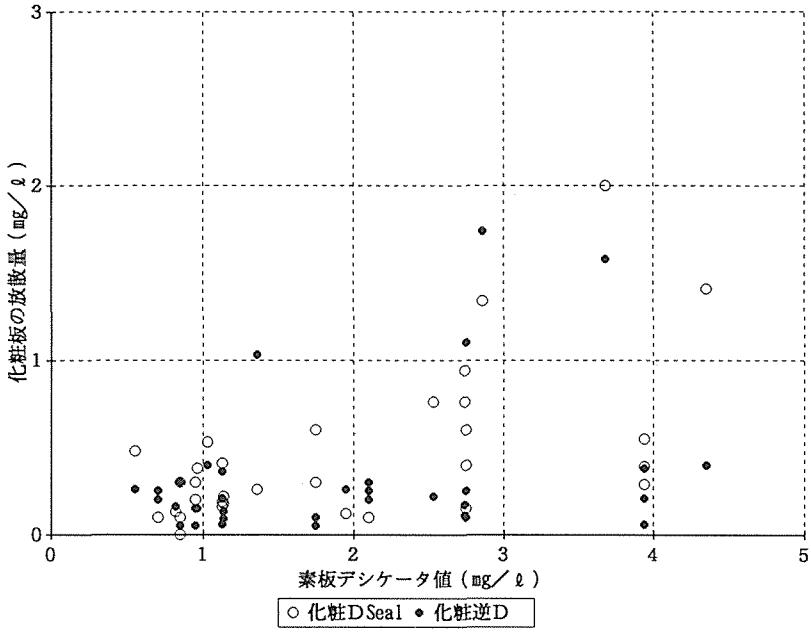


図２－１４　素板のデシケータ値と化粧板のホルムアルデヒド放散量との相関

化粧ＤSeal：化粧板の端面をシールした場合のデシケータ値

標本数：36

回帰式：ｙ＝0.22839ｘ－0.0110　（相関係数：0.5977534）

化粧逆Ｄ：化粧板の逆デシケータ値

標本数：36

回帰式：ｙ＝0.1115ｘ＋0.1191（相関係数：0.3147005）

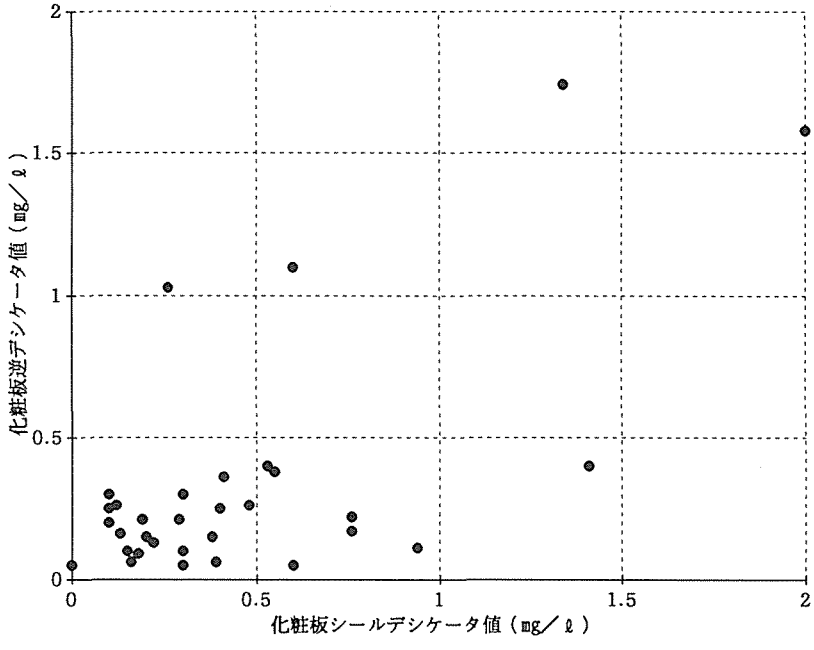


図２－１５　化粧板の端面をシールした場合のデシケータ値と逆デシケータ値との相関

試料数：36

回帰式：ｙ＝0.6075ｘ＋0.0746　（相関係数：0.6549196）

素板のデシケータ値と化粧板の端面をシールした場合のデシケータ値および化粧板の逆デシケータ値との相関を図２－１４に示す。いずれも相関係数は小さく，化粧板の放散量は素板のデシケータ値の１割から２割程度の値となっている。図２－１５は，化粧板の端面をシールした場合のデシケータ値と化粧板の逆デシケータ値との相関を示したものである。相関係数は0.6549となり，若干の相関が認められる。化粧板の逆デシケータ値は，化粧板をシールした場合のデシケータ値の６割から７割程度の値となった。いずれの測定法においても，端面のシール方法およびデシケータと材料間のシール方法が測定値に与える影響をより詳細に調べる必要がある。

（４）各種木質建材からのホルムアルデヒド放散

①集成材・ＬＶＬからのホルムアルデヒド放散量

実験結果を表２－８に示す。

レゾルシノールによる大断面集成材では，板目面より積層面の放散量が大きい値を示したが，いずれもF1の基準値以下であった。木口からの放散量はさらに多く１mg/ℓ程度の値となったが，大断面集成材の使われた方を考慮すると，木口面からのホルムアルデヒド放散は無視できると考えられる。したがって，積層面のホルムアルデヒド放散量を逆デシケータ法により測定することにより，大断面集成材からのホルムアルデヒド放散量を評価することができる。

水性高分子・イソシアネートによる化粧ばり構造用集成材からも微量のホルムアルデヒドが放散しているが，これが木材に由来するものか，化粧用接着剤の変性酢酸ビニル樹脂接着剤に由来するものか判断できない。

水性高分子・イソシアネートによる造作用集成材からはほとんどホルムアルデヒドが放散しない。非ホルムアルデヒド系接着剤による集成材についてもまでホルムアルデヒド放散量の試験を課す必要はないともいえる。”非ホルムアルデヒド接着剤による接着製品”という区分があってもよいかもしれない。

化粧ばり造作用集成材（上がり框）の台板集成材は南米からの輸入品で接着剤は不明であるが，ホルムアルデヒド放散量が２mg/ℓとなっていることから，ホルムアルデヒド系の接着剤が使われているものと判断される。化粧積層面の放散量が化粧していない積層面より放散量が多くなっているのは，化粧剤に使われたナラ合板によるものかもしれない。

集成材からも，無視できない程度のホルムアルデヒドが放散するものがあるので，何らかの規格整備が早急に必要であろう。

フェノールによる構造用LVLのホルムアルデヒド放散は極めて少ないが，変性フェノールによる造作用LVLは１mg/ℓ以上の値を示した。この値は，ホルムアルデヒド対策を施していない接着剤を用いた場合にはさらに大きくなるものと判断される。したがって，早急に規格整備が必要である。試験法については，現行ＪＡＳ法（試験片数10枚），現行のＪＩＳ法（試験片面積1800cm²）および逆デシケータ法が考えられる。

表２－８　逆デシケータ法による集成材・ＬＶＬからのホルムアルデヒド放散量

品目	樹種	接着剤	化粧材樹種 厚さ(mm)	化粧用接着剤	寸法 幅(mm)	高さ(mm) 積層数	長さ(mm)	測定面	ﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ放散量（mg/ℓ） 1	2	平均
大断面集成材	ベイマツ	レゾルシノール			105	300 9ply	400	板目 積層面 木口	0.18 0.40 1.10	0.12 0.33 0.98	0.15 0.37 1.04
化粧ばり 構造用集成材 (化粧集成柱)	スプルース	水性高分子	ヒノキ 1.5	変性酢ビ	106	106 5ply	400	板目 積層面 木口	0.35 0.39 0.12	0.36 0.23 0.13	0.36 0.31 0.13
造作用集成材	ファー （モミ）	水性高分子			31	360 12ply	360	板目 積層面 木口	0.02 0.02 0.03	0.11	0.07 0.02 0.03
化粧ばり 造作用集成材	チリマツ	ﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ系	ナラ突き板 1.7 ナラ合板 2.7	変性酢ビ	90	150 5ply	400	化粧板目 化粧積層面 積層面 木口	1.92 2.03 1.29 1.95	 2.34	1.92 2.03 1.29 2.15
構造用LVL	ラジアタ	フェノール			400	50 16ply	400	板目 積層面 木口	0.18 0.30 0.37	0.29 0.14 0.40	0.24 0.22 0.39
造作用LVL	ラワン	変性フェノール			400	31 12ply	400	板目 積層面 木口	1.31 0.93 1.30	0.78 1.22 1.12	1.05 1.08 1.21

表２－９　複合フローリングからのホルムアルデヒド放散量

台板	台板品質	台板厚さ	化粧材樹種	化粧接着剤	表面加工	裏面加工	測定面	ﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ放散量（mg/ℓ）		
								1	2	平均
MDF	E1	9 mm	ナラ	不明	ｳﾚﾀﾝ塗装	塩ビシート＋不織布	表面	0.02	0.02	0.02
							裏面	0.00	0.00	0.00
							ﾃﾞｼｹｰﾀ法	0.42	0.31	0.37
MDF	E2	9 mm	ナラ	不明	ｱﾐﾉｱﾙｷｯﾄﾞ塗装	塩ビシート＋不織布	表面	1.93	1.46	1.70
							裏面	0.6	0.74	0.67
							ﾃﾞｼｹｰﾀ法	4.11	4.11	4.11
合板	F2	12 mm	ナラ	変性SBRメラミン	UVｳﾚﾀﾝ塗装	なし	表面	0.42	0.4	0.41
							裏面	3.23	2.37	2.80
							ﾃﾞｼｹｰﾀ法	2.67	2.78	2.73
合板	F2	12 mm	ナラ	変性SBRメラミン	ｳﾚﾀﾝ塗装	なし	表面	0.74	0.62	0.68
							裏面	3.00	5.50	4.25
							ﾃﾞｼｹｰﾀ法	3.20	3.20	3.20
合板	F2	12 mm	ナラ	変性SBRメラミン	ｱﾐﾉｱﾙｷｯﾄﾞ塗装	なし	表面	1.30	0.52	0.91
							裏面	0.11	0.36	0.24
							ﾃﾞｼｹｰﾀ法	1.20	0.89	1.05

表２－１０　天然杢化粧合板からのホルムアルデヒド放散量

台板	台板品質	台板厚さ	化粧材樹種	品質	塗装	塗装種類	試験面	ﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ放散量（mg/ℓ）		
								1	2	平均
合板	F2	6 mm	ナラ	F2	あり	不明	表面	4.2	5.4	4.8
							裏面	3.1	2.7	2.9
							ﾃﾞｼｹｰﾀ法	1.7	1.3	1.5
合板	規格外	6 mm	ナラ	規格外	あり	不明	表面	5.3	6.6	6.0
							裏面	5.7	3.9	4.8
							ﾃﾞｼｹｰﾀ法	1.5	2.3	1.9
合板	F2	6 mm	ナラ	F2	なし	不明	表面	3.4	2.9	3.2
							裏面	2.2	1.9	2.1
							ﾃﾞｼｹｰﾀ法	1.4	1.6	1.5
合板	規格外	6 mm	ナラ	規格外	なし	不明	表面	2.6	3.2	2.9
							裏面	2.2	1.8	2.0
							ﾃﾞｼｹｰﾀ法	1.3	1.3	1.3

②複合フローリングからのホルムアルデヒド放散量

複合フローリングからのホルムアルデヒド放散量を表２－９に示す。ウレタン塗装したフローリングの表面からの放散は，裏面からの放散やデシケータ値と比べて極めて少ない。しかし，アミノアルキッド塗装したものは表面からもデシケータ値と同レベルの放散が認められる。フローリングは片面だけが居室にさらされるので，逆デシケータ法による測定値により合理的な気中濃度換算が可能となる。

③特殊合板（天然杢化粧合板）からのホルムアルデヒド放散量

特殊合板からのホルムアルデヒド放散量を２－１０表に示す。表裏面からのホルムアルデヒド放散量がデシケータ法による放散量より大きい値を示した。この原因は明らかではないが，化粧材を台板に貼るときの接着剤によるものかもしれない。

④表面加工したボード類からのホルムアルデヒド放散量

表面加工したボード類からのホルムアルデヒド放散量を図２－８から図２－１３に示す。各表面処理の効果をまとめると以下のようになる。

メラミン化粧板：素板に関係なくホルムアルデヒドの遮蔽に有効である。

塩化ビニルシート化粧板：素板に関係なくホルムアルデヒドの遮蔽に有効である。

紙張り化粧板：ホルムアルデヒド遮蔽効果があまりよくないものもある。接着条件や紙の種類等の影響を受ける。

突き板化粧板：塗装しない場合，ホルムアルデヒドの遮蔽効果はあまりよくない。

ウレタン塗装化粧板：ホルムアルデヒドの遮蔽に有効である。

キャッチャー剤塗布板：ホルムアルデヒド放散を低減させる効果が大きい。

いくつかの表面処理はホルムアルデヒドの遮蔽に有効であるが，そのような遮蔽効果は現在のＪＩＳデシケータ法では評価できない。表面処理のホルムアルデヒド遮蔽効果の評価には，逆デシケータ法かまたは端面をシールしてのデシケータ法が適している。

⑤各種構造体からのホルムアルデヒド放散

実大住宅実験棟の床および壁に使われていた材料の逆デシケータ法によるホルムアルデヒド放散量（逆デシケータ値）を表２－１１に示す。また，実大住宅実験棟の各部屋の床および壁からのホルムアルデヒド放散量を逆デシケータ法により現場で測定した値（逆デシケータ値）を表２－１２に示す。さらに，実大住宅実験棟の床および壁からの逆デシケータ値をもとに気中濃度に換算した値と気中濃度の実測値（パッシブサンプラー法による24時間平均値）を表２－１３に示す。現場での床および壁の逆デシケータ値の測定は10月以降行われなかったため，10月以降の気中濃度は9月の逆デシケータ値から計算した。計算には⑩式を以下のように改良して用いた。すなわち，現場では逆デシケータ法による測定温度が標準温度（20℃）と異なるため，現場での逆デシケータ値を標準温度に換算することを⑩式に追加した。デシケータ値に及ぼす温度の影響については，10℃の温度上昇でデシケータ値が２～３倍になることが報告されている（昭和47年度国有林野事業特別会計調査報告書「合板等から放散されるホルムアルデヒドの測定方法について」）。これは，

表２－１１　各材料の逆デシケータ法によるホルムアルデヒド放散量

（単位：mg／ℓ）

材料＼測定日	6月12-13日 開封直後	6月30-1日 開封直後	8月6-7日 室内放置	8月7-8日 開封直後	9月10-11日 開封直後	12月25-26日 開封直後
床用合板	0.59		0.19	1.78	1.11	0.22, 1.19
合板＋畳		0.05	0.02			
合板フローリング	1.36		0.47	1.24	1.23	0.53
パーティクルボード	6.53		1.40			2.53
ＭＤＦフローリング						0.04
スギ		0.10	0.04			
壁用合板	0.40		0.25	0.87	4.18	1.70, 1.95
壁用合板＋クロス		0.20	0.10			

（森林総合研究所に送られてきた材料を測定したもの）

表２－１２　モデル住宅の床と壁の逆デシケータ法によるホルムアルデヒド放散量

（単位：mg／ℓ）

実験室	部位	材料＼測定日	6月9－10日	6月26－27日	7月30－31日	8月4－5日	9月8－9日
		温度	17℃－27℃	25℃－30℃	25℃－25℃	28℃－33℃	25℃－25℃
2	床	合板	0.35	0.26	0.24		0.30
3	床	合板＋畳	0.00	0.07	0.01		0.01
4	床	フローリング	0.76	1.55	1.06		0.88
5	床	パーティクルボード	5.07	6.21	3.04		2.51
6	床	スギ	0.14	0.91	0.61		0.60
	壁西面	合板				1.88	1.07
	壁南面	合板				1.82	1.11
7	床	スギ			0.30		0.30
	壁西面	合板＋クロス				0.69	0.19
	壁南面	合板＋クロス			0.33	0.29	0.37

（モデル住宅の床と壁を現場で測定したもの）

気中濃度に及ぼす温度の影響と同じであり，温度が１℃上昇するごとに測定値が1.09倍になることを示す（⑧式参照）。温度は材料のホルムアルデヒド放散特性そのものに影響するので，逆デシケータ値に及ぼす温度の影響も全く同様であると考えることができる。したがって，逆デシケータ値の標準温度（20℃）への換算係数は，逆デシケータ値測定時の温度をｔ2とすると，$1.09^{(20-t2)}$となる。この係数と⑩式の温度換算係数$1.09^{(t1-23)}$を掛け合わせると，次のようになる。

$$1.09^{(t1-23)} \times 1.09^{(20-t2)} = 1.09^{(t1-t2-3)}$$

したがって，現場での逆デシケータ値から気中濃度を換算するための式は次のようになる。

表２－１３　逆デシケータ値から換算した気中濃度と実測値との関係

日付	実験室 No.	材料	測定温度 (℃)	逆ﾃﾞｼｹｰﾀ値 (mg/ℓ)	室内温度 (℃)	湿度 (%RH)	Q／S (m/hr)	気中濃度(ppm) 計算	気中濃度(ppm) 実測
6月９日	2	床合板	22.0	0.35	22.7	76	1.11	0.074	0.074
6月９日	3	合板＋畳	22.0	0.00	22.6	77	1.20	0.017	0.046
6月９日	4	ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ	22.0	0.76	23.0	76	1.05	0.147	0.111
6月９日	5	ﾊﾟｰﾃｨｸﾙﾎﾞｰﾄﾞ	22.0	5.07	22.9	75	1.08	0.853	0.494
6月26日	2	床合板	27.5	0.26	22.7	76	1.11	0.037	0.074
6月26日	3	合板＋畳	27.5	0.07	22.6	77	1.20	0.017	0.046
6月26日	4	ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ	27.5	1.55	23.0	76	1.05	0.175	0.111
6月26日	5	ﾊﾟｰﾃｨｸﾙﾎﾞｰﾄﾞ	27.5	6.21	22.9	75	1.08	0.648	0.494
7月30日	2	床合板	25.0	0.24	27.1	69	1.11	0.060	0.094
7月30日	3	合板＋畳	25.0	0.01	27.0	68	1.20	0.019	0.027
7月30日	4	ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ	25.0	1.06	27.4	67	1.05	0.209	0.057
7月30日	5	ﾊﾟｰﾃｨｸﾙﾎﾞｰﾄﾞ	25.0	3.04	27.3	67	1.08	0.549	0.504
8月４日	6	壁合板	30.5	1.85	27.1	69	0.314	0.336	0.570
8月４日	7	壁クロス	30.5	0.49	27.0	69	0.339	0.100	0.159
9月８日	2	床合板	25.0	0.30	23.5	64	1.11	0.049	0.054
9月８日	3	合板＋畳	25.0	0.01	23.2	68	1.20	0.014	0.029
9月８日	4	ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ	25.0	0.88	23.6	63	1.05	0.123	0.039
9月８日	5	ﾊﾟｰﾃｨｸﾙﾎﾞｰﾄﾞ	25.0	2.51	23.7	63	1.08	0.324	0.263
9月８日	6	壁合板	25.0	1.09	23.5	68	0.314	0.240	0.262
9月８日	7	壁クロス	25.0	0.28	23.9	66	0.339	0.078	0.128
10月16日	2	床合板	25.0	0.30	17.2	57	1.11	0.027	0.008
10月16日	3	合板＋畳	25.0	0.01	17.2	59	1.20	0.008	0.001
10月16日	4	ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ	25.0	0.88	17.5	57	1.05	0.069	0.003
10月16日	5	ﾊﾟｰﾃｨｸﾙﾎﾞｰﾄﾞ	25.0	2.51	17.6	57	1.08	0.182	0.034
10月16日	6	壁合板	25.0	1.09	17.8	57	0.314	0.134	0.048
10月16日	7	壁クロス	25.0	0.28	17.8	57	0.339	0.043	0.012
11月20日	2	床合板	25.0	0.30	10.4	67	1.11	0.016	0.040
11月20日	3	合板＋畳	25.0	0.01	9.9	66	1.20	0.004	0.023
11月20日	4	ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ	25.0	0.88	10.4	68	1.05	0.041	0.036
11月20日	5	ﾊﾟｰﾃｨｸﾙﾎﾞｰﾄﾞ	25.0	2.51	10.4	68	1.08	0.107	0.061
11月20日	6	壁合板	25.0	1.09	10.4	64	0.314	0.075	0.051
11月20日	7	壁クロス	25.0	0.28	10.9	66	0.339	0.025	0.033
12月14日	2	床合板	25.0	0.30	5.3	60	1.11	0.010	0.035
12月14日	3	合板＋畳	25.0	0.01	5.2	60	1.20	0.003	0.009
12月14日	4	ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ	25.0	0.88	5.7	60	1.05	0.026	0.024
12月14日	5	ﾊﾟｰﾃｨｸﾙﾎﾞｰﾄﾞ	25.0	2.51	9.6	65	1.08	0.098	0.064
12月14日	6	壁合板	25.0	1.09	5.8	59	0.314	0.048	0.045
12月14日	7	壁クロス	25.0	0.28	6.0	60	0.339	0.016	0.022

気中濃度計算：現場での逆デシケータ値から⑪式を用いて計算した気中濃度

気中濃度実測：パッシブ法により実測した24時間平均の気中濃度

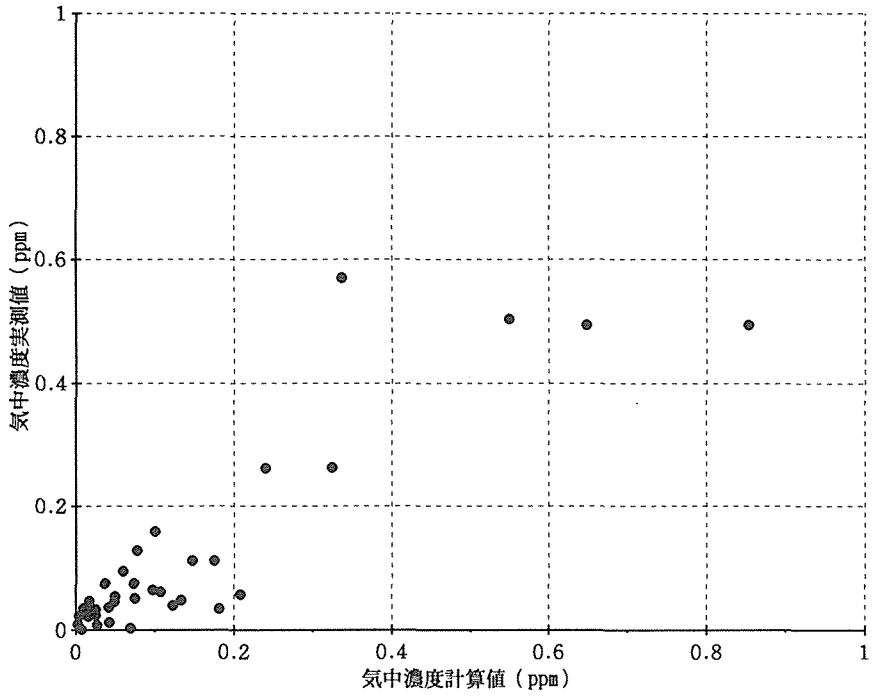


図２－１６　逆デシケータ値から換算した気中濃度と実測値との相関

標本数：３８

回帰式：$y = 0.7246x + 0.0148$　（相関係数：0.8874）

気中濃度計算値：実大のモデル住宅の床および壁の現場での逆デシケータ値から⑪式を用いて計算した気中濃度

気中濃度実測値：パッシブ法により実測した24時間平均の気中濃度

$$C = (0.158D + 0.017) \times \{2/(1 + Q/S)\} \times 1.09^{(t1-t2-3)} \times (55 + h)/100 \quad \cdots ⑪$$

C：気中濃度（ppm）

D：逆デシケータ値（mg/ℓ）

Q：換気量（m^3/hr）

S：材料表面積（m^2）

t1：気中濃度測定時の温度（℃）

t2：逆デシケータ値測定時の温度（℃）

h：相対湿度（％）

一例を示すと，６月９日の実験室No.2の場合次のようになる。

$$C = (0.158 \times 0.35 + 0.017) \times \{2/(1 + 1.11)\} \times 1.09^{(22.7-22.0-3)} \times (55 + 76)/100 = 0.0736$$

現場で測定した床およびの壁の逆デシケータ値から換算した気中濃度と実測値の関係を図２－１６に示す。両者に相関が認められる。したがって，表面加工した材料については，逆デシケータ法により測定されるホルムアルデヒド放散量（逆デシケータ値）から，気中濃度の換算を合理的に行うことができる。

2．5　まとめ

4分の1デシケータ法とデシケータ法での測定値は非常に相関が高く，4分の1デシケータ法の測定値はデシケータ法の9割程度となった。したがって，材料表面積，水の面積，水の量相互の比を一定にすれば，測定値はほぼ一定の値を示すことが確認された。以上のことから逆デシケータ法でも，材料表面積，水の面積，水の量相互の比を一定にすれば，デシケータ法と同等の性能を評価することが可能であると判断できる。

逆デシケータ法とデシケータ法での測定値も大まかには相関があり，逆デシケータ法の測定値はデシケータ法の７割程度となった。このことは，デシケータ法では板面・木口・側面すべての面からの放散量を測定しているのに対して，逆デシケータ法では板面からだけの放散量を測定していることによるものと推測される。ＬＶＬを用いた実験結果から，デシケータ法によるホルムアルデヒド放散量は，逆デシケータ法による各表面のホルムアルデヒド放散量の平均的な値となることが確かめられている[18]。表面加工したパーティクルボードおよびＭＤＦを用いて実験結果から，木口面をシールした試験片についてのデシケータ法によるホルムアルデヒド放散量が，逆デシケータ法による板面からのホルムアルデヒド放散量とほぼ一致することが確認された。

また，実大実験棟を用いた実験から，現場での床および壁の逆デシケータ値から⑪式を用いて計算した気中濃度とパッシブサンプラー法による24時間平均の気中濃度の実測値とには高い相関があることが認められた。

以上のことから，デシケータ法による測定値は木質材料の板面，積層面，木口等の各表面のホルムアルデヒド放散特性の平均的なホルムアルデヒド放散特性を表し，一方，逆デシケータ法にによる測定値は各表面の各々の放散特性を表すと結論できる。また，木口面等を合理的に被覆することにより，デシケータ法によっても板面のみのホルムアルデヒド放散特性を評価することが可能である。

以上の結論から，材料の表面加工の有無および実際の使われ方を考慮して各試験方法を採用することにより，より合理的な気中濃度への換算が可能になる。

また，建具・箱物家具等では，チャンバ法による測定法によってホルムアルデヒド放散特性を評価することが望ましい。しかし，試験・検査体制の現状を考慮すると，すべての製品をチャンバ法により測定することは不可能と思われるので，材料規制の併用または最終製品への公的マークの表示体制を整備する必要がある。

文献

１）富田文一郎ら：日本木材加工技術協会第２回年次大会講演要旨，29-30(1984)

２）富田文一郎ら：木材工業，**40**(7)，323-326(1985)

３）井上明生ら：木材工業，**45**(7)，313-319 (1990)

４）富村洋一ら：第34回日本木材学会大会要旨，171(1984)

５）藤井正一ら：建材試験情報，**9**(3)，10-14 (1973)

６）W.H.Lehmann：Forest Prod.J.，**37**(4)，31-37 (1987)

７）G.E.Myers：Forest Prod.J.，**33**(5)，27-36 (1983)

8) G.E.Myers : Forest Prod.J., **34**(10), 59-68 (1984)
9) R.L.Christensen and W.H.Andersen : Proceedings of 23rd International Particleboard/Composite Materials Symposium(USA), 55-64 (1989)
10) G.E.Myers and M.Nagaoka : Wood Sci., **13**(3), 140-150 (1981)
11) 松本庸夫：木材工業, **29**(1), 18-24 (1974)
12) 井上明生：木材工業, **41**(2), 73-76 (1986)
13) 松本庸夫ら：木材工業, **27**(11), 547-550 (1972)
14) 日本木材加工技術協会合板部会：合板工業, **125**, 1-9(1985)
15) 唐沢仁志, 野口美保子：林業試験場木材利用部昭和56年度業務報告書, 146-148(1982)
16) 井上明生：木材工業, **52**(1), 9-14 (1997)
17) Edmone Roffael : Malayan Forest Records. **37**, p.79 (1993)
18) 井上明生ら：日本木材加工技術協会第15回年次大会講演要旨, 28-29(1997)

Ⅲ 住宅部材としての木質建材とホルムアルデヒド対策

ここ数年、新築の家あるいはリフォームを行った家で変な臭いがしてどうも不快であるとか、ひどい場合には頭痛がして通常の生活にも支障を来すといった相談が相次いで寄せられ、社会問題となっている。これには建材等から放散されるいわゆる揮発性有機化合物(VOC)が原因であるとされている。 特に、木質建材から放散されるホルムアルデヒドがその代表的な物質とされ、昨年６月に発足した健康住宅研究会（今泉勝吉委員長）でも取り扱うべき優先物質の１つとして、その対策が急がれている。一方、この問題に関連して木材関連業界においても、日本住宅・木材技術センターを事務局に実大実験棟による現場実験を行っている。ここでは、この実験成果を含めて木質材料・木質建材に関わるホルムアルデヒド問題とその対策について述べる。

１．木質材料と化学物質

第２次大戦後、豊富な石油資源を背景に発達した合成化学をベースに材料の代替が進み、天然材料から合成化学製品へと移ってきた。木質材料も大きく様変わりし、製材品を中心とする単品の柱・角もの類が集成材に、板類は合板やパーティクルボード、ＭＤＦといった接着剤を利用した再構成木質材料に取って代わった。また、表面仕上げも白木仕上げを中心としたものから着色・塗装、あるいは塩化ビニル樹脂に代表されるプラスチック材料ににによる仕上げと変わっていった。現在では、木質建材といえばこのような化学的手法をふんだんに取り入れた木質材料といっても過言ではない。これらの変化は、戦後われわれが建材や住宅に求めてきた利便性、化粧性、メンテナンスフリー性に合致するものであり、多くの人に歓迎された。また、それらは経済的にみても好都合であったからである。

広く建築材料として使用されている材料に含まれる揮発性物質の測定結果によると、木材、合板、畳、壁、床材、断熱材、接着剤、難燃剤、塗料、シロアリ駆除剤、これらすべてのものから有機化合物を含む化学物質が、量としては微量であるが、揮散している。主なものはホルムアルデヒド、有機溶剤、可塑剤、防腐・防虫剤、可塑剤である。これらは健康住宅研究会で室内空気を汚染させるおそれのある物質として優先的に取り組む３物質（ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン）、３薬剤（木材保存剤、可塑剤、防蟻剤）としているものである。しかしながら、言い換えると、われわれの快適な生活(？)はこのような化学物質の利用によって維持されている面も大きい。

ところで、この３物質のうち塗料や防腐剤の溶剤として利用されているトルエンやキシレンは非常に揮散性が高く容易に蒸発してしまい注意すれば慢性的な健康影響は

表Ⅲ－１　木質材料・製品と使用接着剤

木質材料・接合	ｴﾚﾒﾝﾄ・構成メンバー	用　　途	接　着　剤
［面材］			
合板	単板	構造用／非構造・内装用	PF, MUF/MUF, UF
ＰＢ	パーティクル	非構造・内装用	MUF, UF
ＯＳＢ	ストランド	構造用	PF, MDI
ＷＢ	ウェーファー	構造用	PF, MDI
フレークボード	フレーク	構造用	PF, MDI
ＦＢ（ＨＢ、ＭＤＦ）	繊維束	構造用／非構造・内装用	PF, MUF/MUF, UF
［軸材］			
集成材	挽き板	構造用／非構造・内装用	RF, PRF, API/API, UF
たて継ぎ材	挽き板	構造用／非構造・内装用	RF, PRF, MF, API, C-PVAc/UF, C-PVAc
ＬＶＬ	単板	構造用／非構造・内装用	PF/UF
ＰＳＬ、ＯＳＬ	ストランド	構造用	PF
［複合製品］			
複合パネル	挽き板、ＬＶＬ、ＰＢ 合板、ＰＢ、ＦＢ	構造用／非構造・内装用	RF, API, UF, PVAc/API, UF, M-PVAc, PVAc
ﾎﾞｯｸｽﾋﾞｰﾑ、Ｉﾋﾞｰﾑ等	挽き板、ＬＶＬ 合板、ＯＳＢ、ＷＢ、 フレークボード	構造用	RF, API
建築接合	製材、集成材、合板	構造用	RF, EP, UR

ホルムアルデヒド系接着材

ＲＦ：レゾルシンール樹脂接着剤　ＰＲＦ：フェノール・レゾルシンール共縮合樹脂接着剤　ＭＦ：メラミン樹脂接着剤　ＭＵＦ：メラミン・ユリア共縮合樹脂接着剤

ＵＦ：ユリア樹脂接着剤

非ホルムアルデヒド系接着材

ＡＰＩ：水性高分子－イソシアネート系接着剤　ＭＤＩ：イソシアネート系接着剤　ＰＶＡｃ：酢酸ビニル樹脂エマルジョン接着剤　Ｃ－ＰＶＡｃ：変性酢酸ビニル樹脂接着剤　ＥＰ：エポキシ樹脂接着剤　ＵＲ：ウレタン樹脂系接着剤

避けることができる。また、３薬剤のうち木材保存剤（防虫剤を含む）・防蟻剤については、現在使用に供されている品種では溶剤の揮散は考えられるが、薬効を発揮する主成分はその蒸気圧が極めて低く、通常使用では実用上問題がないといわれる。可塑剤についても壁材等からの放散が検知さているが、もともと揮散しにくい物質であり一般には極めて微量でそれ程問題にならないものと考えられる。

残るホルムアルデヒドが問題である。ホルムアルデヒドは沸点が－19.3℃、独特の刺激臭をもつ気体で、水によく溶ける。一般にはホルマリンとして市販されている。ホルムアルデヒドの毒性については、遺伝毒性、発ガン性、刺激性の面から検討されており、これまでの実験によるとその気中濃度が0.1mg/m³以下であれば問題ないとしている。昨年、公にされたわが国の指針値もこの値を採用している。ＷＨＯでは発ガン性が疑わしい物質に区分している。一般には発ガン性物質として報道されているようであるが、ヒトに対して発ガン性が明確に認められているわけではない。しかしながら、化学物質に敏感な人にあっては、先の指針値以下であっても、極めて不快な物質となり、いわゆる化学物質過敏症と言われるさまざまな症状が発症する可能性が否定できない。

ところで、このホルムアルデヒドは木質建材にとっては極めて重要な役割を担っている。接着剤の主要原料の１つである。表Ⅲ－１に接着剤あるいは接着工法を利用した木質材料を示した。これに製材を加えるとほぼすべての木質材料が網羅されることになる。合板はじめパーティクルボード、ＭＤＦ、集成材と主要な基礎材料が接着製品である。そして、使用接着剤を見ると、構造用、内装用を問わず、いわゆるホルムアルデヒドを主要原料としたホルムアルデヒド系接着材（接着剤略号にＦを含むもの）が断然多い。さらに、これらを使用した木質フローリング、家具類といった２次、３次製品にも、ホルムアルデヒド系の接着剤が使用されている。接着剤の合成時にホルムアルデヒドの殆どは反応して消費されるが、その一部が接着在あるいは木質中に吸着残留し、それが徐々に放散する。さらに、アミノ樹脂系の接着剤では反応の不十分な樹脂の反応の進行・分解、および加水分解によりホルムアルデヒドが放散する。これが、建材による室内空気質のホルムアルデヒド汚染のメカニズムであるが、主要な発生源は残留する遊離ホルムアルデヒドである。表Ⅲ－２に最近の主要市販木質材料のホルムアルデヒド放散能、表Ⅲ－３にＪＡＳ及びＪＩＳの規格値を示した。一部輸入品に高いものが見受けられるが、最近の製品については低ホルムアルデヒド化が進み、Ｆ２レベルであっても規格値の5mg/*l* よりかなり低い放散能に抑えられている。現在では、低ホルムアルデヒド製品が一般的になってきていると言えよう。

ホルムアルデヒドによる室内空気汚染が大きな社会問題となり、一部木質接着製品の非ホルムアルデヒド化が図られているが、コスト・生産システムからすべてがこれにシフトすることは不可能であり、ホルムアルデヒド系の接着剤は今後とも木材接着

剤として重要な位置を占めるものと考えられる。

2．低減対策の基本的な考え方

ホルムアルデヒドの室内気中濃度については次のような理論式が提示されている。

$$V\ (dC/dt) = mS - aSC - QC \qquad (1)$$

気中濃度が変化しない、いわゆる定常状態では、$dC/dt = 0$ となり、次の式が成立する。る。

$$mS - aSC - QC = 0 \qquad (2)$$

したがって、換気下の定常状態での気中濃度は以下のようになる。

$$C = m/(a + Q/S) \quad \text{または} \quad C = m/(a + N/L) \qquad (3)$$

C：ホルムアルデヒド気中濃度(ppm=cm^3/m^3)
m：材料のホルムアルデヒド放散速度(cm^3/m^2・hr)
a：材料のホルムアルデヒド吸収係数(m/hr)
S：材料の表面積(m^2)
Q：換気量(m^3/hr)
N：換気回数(回/hr)
L：設置率(m^2/m^3)

この式は、材料のホルムアルデヒド放散・吸収特性を表すmとaが一定の場合は、気中濃度が換気量と材料表面積によって決まることを示し、換気量Qが大きくなれば気中濃度Cは小さくなり、材料表面積Sが大きくなれば気中濃度が増大することを示している。勿論、材料のホルムアルデヒド放散速度mが大きければ気中濃度Cは大きくなる。平たく言えば、この式の表すところは、「ホルムアルデヒド放散能の大きい材料をふんだんに使用し、換気が悪ければ気中濃度は高くなる」という、至極当たり前のことである。これから導き出される低減対策の基本は次の３つになる。

(1)使用材料の非ホルムアルデヒド化・低ホルムアルデヒド化
(2)設計・施工（どれだけの放散能の材料をいかほど使うか)
(3)通風・換気

3．材料のホルムアルデヒド放散能と気中濃度

表Ⅲ－２　主要木質材料からのホルムアルデヒドの放散傾向(mg/l)

試験片番号	普通合板ラワン	化粧合板ラワン	ｺﾝｸﾘｰﾄ型枠合板	構造用合板	ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ１種	ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ２種
1	0.9/MU	2.5	1.8/MU	0.1/P	0.4	4.5
2	1.2/MU	2.5	2.3/MU	3.0/MU	2.1	11.6
3	1.7/MU	2.5	9.5/MU	0.9/MU	0.7	14.1
4	0.2/MU	2.5	8.1/MU	*0.033/P	0.4	
5	*1.1/MU	2.5	*23.8/MU	*0.063/P	1.8	
6	*1.2/MU	2.5	*14.1/MU		0.4	
7	*0.4/MU		*23.0/MU		0.1	
8			*14.2/MU		2.0	
9			*9.7/MU		0.3	
10			*1.8/MU		3.4	
11			*1.2/MU		0.8	
試験片番号	単板積層材	ﾊﾟｰﾃｨｸﾙﾎﾞｰﾄﾞ	ＭＤＦ	ＯＳＢ	ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞボード	
1	0.5/P	3.8/M	0/I	0.2/P	0.7	
2	0.4/P	4.5/M	4.3/U	*0.2/P	0.5	
3	11.3	3.8/M	*3.5/U	*0.02/P	1.5	
4		0.8/M	0.7/M	*0.12/IP	1.3	
5			*1.1/U	*0.4/P	4.7	
6			*3.1/U	*0.5/P	0.4	
7			*5.9/M		0.2	
8			*3.1/U		0.1	
9			*7.2/U		0.6	
10			*4.2/U		0.3	

注1)アルファベットは使用接着剤　MU:メラミンユリア，P:フェノール樹脂，
　　M:メラミン樹脂，I:イソシアネート系，U:ユリア樹脂
注2)＊は輸入製品

表Ⅲ－３　合板(JAS)及びボード類(JIS)のホルムアルデヒド放散量(mg/l)

	日本農林規格(JAS)			日本工業規格(JIS)		
表示区分	Ｆ1	Ｆ2	Ｆ3	Ｅ0	Ｅ1	Ｅ2
基準値	0.5以下	5以下	10以下	0.5以下	1.5以下	5以下
対象製品類	合板類			パーティクルボード、MDF類		

現実的には、その材料がどのくらいのホルムアルデヒド放散能をもち、それを使用した室空間でどのように気中に放散されるかが問題である。まづ、材料のホルムアルデヒドの放散能を特定することが必要である。この特定法には大きく分けて２つの大きな流れがある。１つは、わが国のJIS、JASに採用されているデシケーター法であり、いま１つは、主として欧米で採用されているパーフォレーター法及びその簡便法であるフラスコ法（WKI）法である。

デシケータ法について確認しておくと、JASとJISで対象とする製品、試験片の調整に若干の違いはあるが、合板やパーティクルボード、ＭＤＦなどの面材を対象とする。これらの材料から5×15cm寸法の試験片10枚を切り出し、これを240mm径のデシケータ(内容積9～11*l*)中に20℃にて24時間放置する。 その間、試験片から放散されるホルムアルデヒドを120mm径のシャーレに張った蒸留水300m*l* に吸収させ、その濃度を定量する。この測定値は一般にデシケータ値と呼ばれmg/*l* で表示される。表Ⅲ－３に示した示した数値はこのようにして測定されたホルムアルデヒドの等級区分の基準値である。

デシケータ値と気中濃度との関係については、先にも触れられているように、次のような実験式が提示されている。

$$C=(0.158D+0.017)\times 1.09^{(t-23)}\times[(h+55)/100]\times[2/(1+N/L)] \qquad (4)$$

C：気中濃度(ppm)　D：デシケータ値(mg/*l*)　t：温度(℃)
h：相対湿度(%)　N：換気回数(回/hr)　L：設置率(m^2/m^3)

気中濃度は20℃で測定されたデシケータ値とそれに対する温湿度補正で求められる。ところが、このデシケータ値は材料（試験片）のすべての面から放散されるホルムアルデヒドの量を測定している。しかし、実際系には、例えば床材、あるいは壁材の場合には暴露面は一面であり他の５面は直接室空間に曝されることない。さらに、暴露表面には塗装やオーバーレイ等表面加工が施されているのが普通である。このように考えると、現行の規格によって公にされているデシケータ値はせっかくではあるが実態を表しているとはいえない（表Ⅲ－４）。それでは、この実験式が使えないかというとそうではない。図Ⅲ－１は合板及びパーティクルボードを実大実験棟の壁・床に使用し、それらの材料の逆デシケータ値から(4)式を使って計算した気中濃度と実測気中濃度をプロットしたものである。非常に良好な相関関係を示している。

４．具体的な低減方策

低減対策の基本で上げたように、低減策の第１は材料の低ホルムアルデヒド化であ

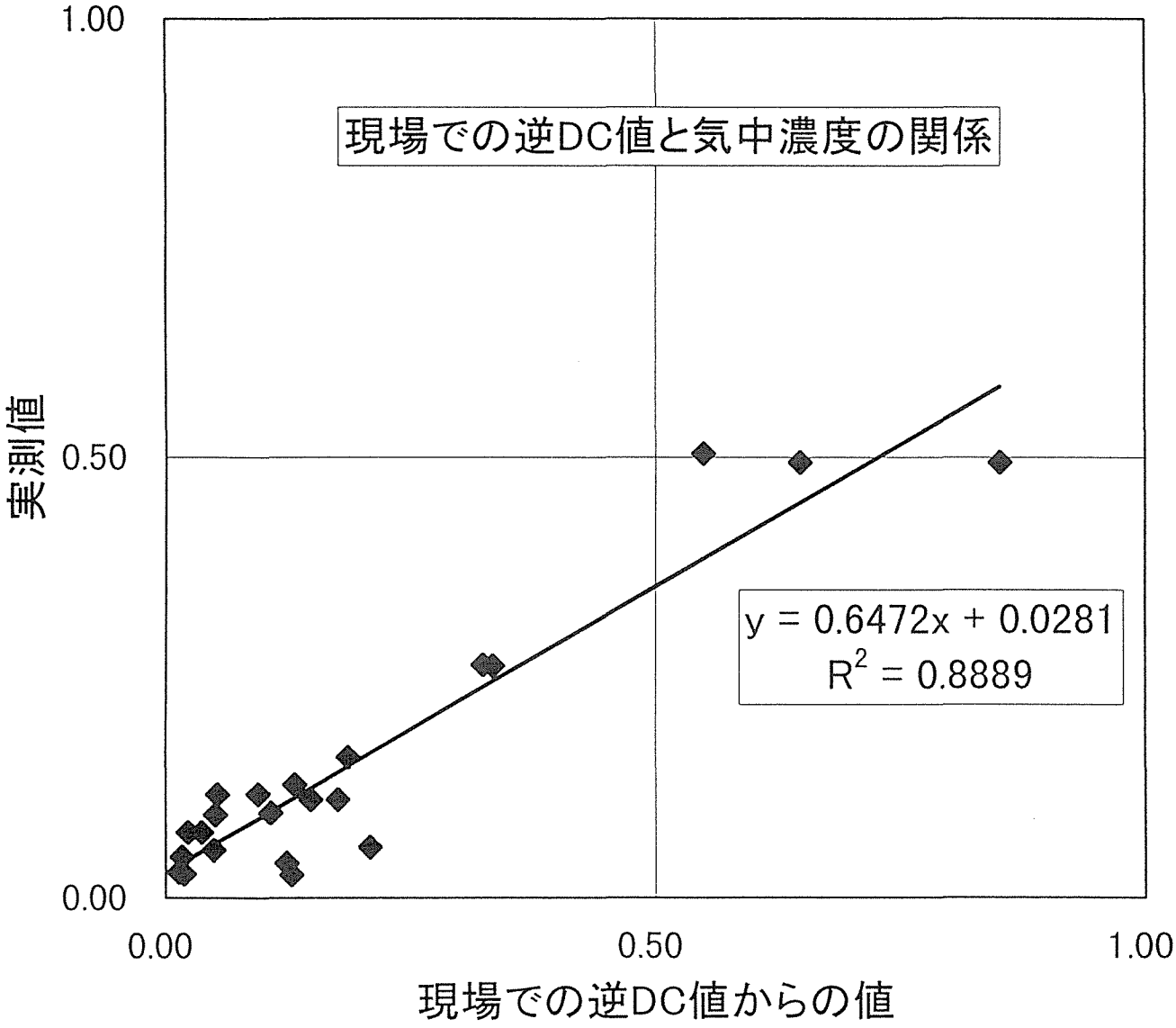
表Ⅲ－４　規格DC値とモデルハウス実験より求めた逆デシケータ値

	(1)		(2)	(3)	(4)	(5)
	規格-DC値		逆DC値	現場逆DC値	相当DC値	(1)/(5)
室番号/仕様	*	8/18-21	9/10-11	9/08-09	June-Aug.	
2　床:合板(素板)	2.73	3.00	1.11	0.30	0.194	14
3　床:合板+畳	↑			0.01	0.028	97
4　床:合板+ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ	↑		1.23	0.88	0.165	16
5　床:ﾊﾟｰﾃｨｸﾙﾎﾞｰﾄﾞ	6.41	4.10		2.51	1.854	3.5
6　壁:合板(素板)	4.99	5.10	4.18	1.09	1.164	4.3
7　壁:合板+クロス				0.28	0.327	15

表Ⅲ－５　木質材料からのホルムアルデヒド放散の低減方法

対　象	方　　法	具　体　例	特徴と問題	効果
接着剤	製造モル比の低減	ユリアの２次添加	強度不足	中
	遊離ﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞの低減	キャッチャー剤添加	硬化不足	小
	接着層の中和	中和剤、中性硬化剤	硬化不良	小
被着材	物理的処理	含水率の低減	処理が容易	大
	化学的前処理	キャッチャー剤含浸	処理に難点	大
後処理	エージング	高換気率、熱処理	処理が簡便	大
	化学的処理	アンモニア、ＳＯ2、ユリア	処理が高価	大
	物理的処理	塗布、塗装、オーバーレイ	処理が高価	大
使用環境	換気、温度、水分	高換気、低温、低湿	簡便	大

（富田文一郎，1996に加筆）



図Ⅲ－１　現場逆ＤＣ値から求めた気中濃度と実測値との相関（ppm）

る。逆デシケータ値を用いた気中濃度の計算値が実測値と極めてよく一致したことは、木質建材からの化学物質汚染対策に大きなヒントを与える。すなわち、床・壁材に限っていえば室空間に暴露される面からの化学物質の放散を抑えることができれば、空気質の汚染も防ぐことができるということである。ここで、重要なことは実際に使用されている状況における暴露面からの放散であって、例え基材がホルムアルデヒドを放散するものであっても、何らかの加工によってその放散を抑制できればいいということである。基材である合板やパーティクルボードからの放散が少ないに越したことはないが、現在のように基材のみについてＦ2だ、Ｆ1だと問題にするのは、コスト面を考えても一考を要する。先にも触れたように、気中濃度はこれ以外の要因によって高くなったり低くなったりする。

具体的な木質材料からのホルムアルデヒド低減方法としては表５に示したような方法が取られている。接着剤・被着材については材料メーカーが行いうるもので、後処理と使用環境が利用者サイドで可能な方法である。エージングについては、合板の実験室試験によると、デシケータ値3～5mg/l の合板を換気回数４程度の室内に放置すると、放置条件にもよるが早ければ２週間、遅くとも６週間で放散量は1/3以下になると報告されている。放置時間の経過にともないホルムアルデヒドの放散能は確実に低下するものと考えられる。しかし、換気が充分確保されていない室内、特に高温・高湿の状態では３ヶ月程度は当初の気中濃度が低下しないこともある。また、このような環境に低ホルムアルデヒド材料を保管すると逆に吸収し放散能が高くなる。

化学的処理についてはアンモニアや亜硫酸ガスやその水溶液、尿素水溶液による処理などの効果が報告されている。これらの手法は施工後であっても対応できるが、処理によって変色などの欠点を生じることがあるので注意を要する。塗装やオーバーレイといった物理的処理は非常に効果的である。特に家具部材にあっては全面が室内に暴露されるため、表面のみならずエッジシールが重要である。ボードの例では、端面シールの解除によってチャンバー内のホルムアルデヒド濃度が10倍にも上昇する。

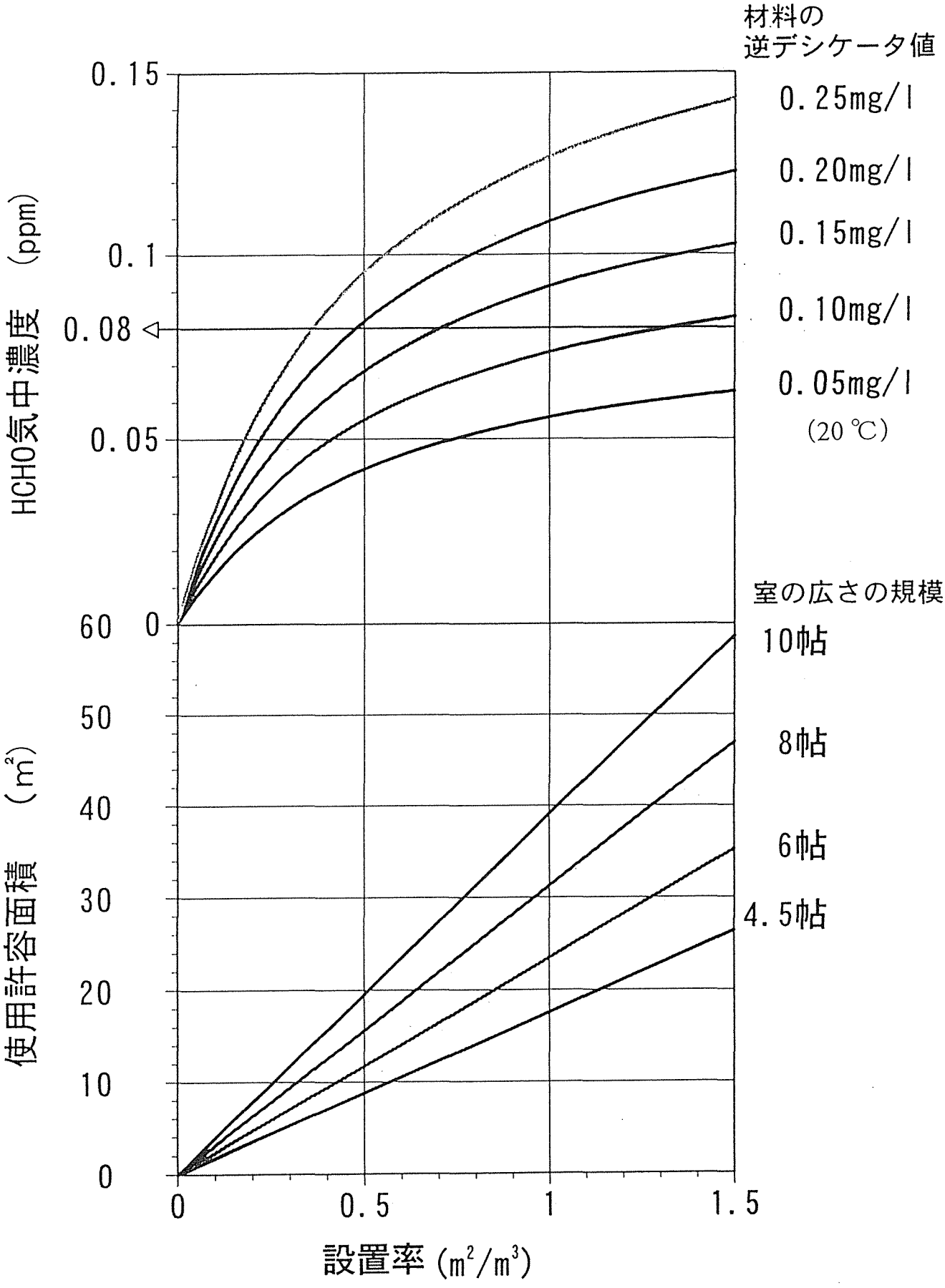
使用環境については、温湿度の気中濃度に与える影響は大きい。先の(4)式によれば、温度が標準状態の23℃から33℃に10℃上昇するとホルムルデヒドの気中濃度は136％上昇し、湿度が45％から75％になると30％も上昇する。通風・換気の影響も大きく、換気回数0.5回/hrを標準に取ると換気回数0.2回/hrでは約70％増加し、逆に1.0回/hrでは40％低下する。したがって、設計施工にあたってはこれらのことを考慮するとが必要である。むしろ、室内空間には化学物質を含まない天然材料の使用が望ましいいが、加工品を使用する場合には化学物質の放散を押さえる適切な処理を施して使用すべきである。その他の構造材・外装材についてはいわゆる接着剤を使用した再構成木材等加工品を使っても問題はない。ただし、室空間との遮断性には充分配慮しなければならない。

図Ⅲ－２には、使用材料の逆デシケータ値と室内気中濃度、使用面積の関係をモデル的に示した。使用材料の表面からのHCHOの放散を、この程度にコントロールすることはそれほど難しいことではない。

いま、ホルムアルデヒドが住空間における空気質汚染の最大の課題となっているが、これはここ数年で解決に向かうものとみてよい。しかし、住空間における化学物質と人間生活の問題は、今後とも継続していく本質的な問題である。適切な対応とより良質の材料の開発が望まれるところであるが、今一度住環境材料としての天然系材料である木質材料のあり方について見直す時期に来ているのではないかとの感を強くしているところである。

参考文献

1. 富田文一郎：「木質材料からのホルムアルデヒド拡散と対策」, TIMBER ENGINEERING NEWS, No. 28, 1996, pp. 2-5.
2. 井上明生：「ホルムアルデヒド気中濃度のガイドライン対策」, 木材工業, Vol. 52, No. 1, 1997, pp9-14.
3. 日本木材加工技術協会合板部会：「合板から放散されるホルムルデヒド量の経時変化について」, 合板工業, N. 125, 1983, pp. 1-9.
4. Edomene Roffael: 「Formaldehyde Release from Particleboard and Other Wood Based Panels, 1993, Forest Research Institute Malaysia.



図Ⅲ－２ 気中濃度、材料ＤＣ値、使用許容面積算出図
設定条件；室温:26℃, 湿度:75%RH, 換気回数:0.5回/hr

[付]　木質建材分科会報告書（概要）

第１編　木質建材のホルムアルデヒドに関する放散性と安全対策

建材としての木材は、工業化が進展している現在においても、住宅の主要な資材として使用されている。これは、単に、天然素材である木材のもつぬくもりなどのよさが評価されているからということだけではなく、品質性能に優れ利用する上で便利な合板等の新しい木質建材を供給してきたことが大きく寄与したためであると考えられる。

接着剤を使用した木質建材のホルムアルデヒド放散問題に関しては、本委員会では、使用場所やその環境条件を考慮して、木質建材の適切な選択の目安と使用方法を客観的な資料に基づいて具体的に明らかにすることを目標に実験・検討を行うこととした。

１　ホルムアルデヒド放散量を測定する新試験方法

デシケータ値から種々の環境条件におけるホルムアルデヒド気中濃度を精度よく推定するためには、材料表面からの放散のみを測定できる新しい方法を開発することが必要である。また、現在のデシケータ法では集成材、ＬＶＬなどの製品について、ホルムアルデヒド放散能を測定できない。

そこで、図１に示す新しい測定方法を開発した。これを逆デシケータ法という。また、この方法で測定した放散能を逆デシケータ値という。

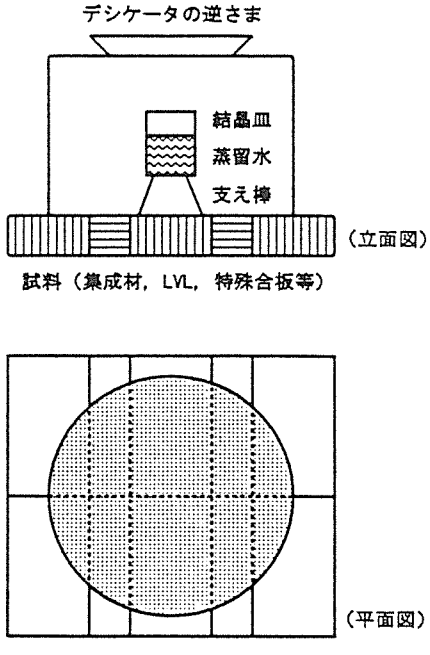


図１　逆デシケータ法の概略図

2　表面加工したボード類からのホルムアルデヒド放散量

素板と表面を加工した各種のボード類について、ホルムアルデヒド放散能をデシケータ法と逆デシケータ法によって測定した。その結果、ボードに表面加工をすると、放散能を抑制することができることが分かった。その効果の程度は表面加工の方法によって異なっているが、概して著しく大きい。この抑制効果を反映した測定法としては、逆デシケータ法が適しており、現在のJAS・JISデシケータ法では適切な評価法とはいえない。

3　木質建材のホルムアルデヒド放散に関する実大住宅実験

デシケータ値を用いて、住宅室内におけるホルムアルデヒド気中濃度を推定するための理論式を提案したが、実際の住宅の理論式の適用可能性を把握するため、実大の実験棟で室内のホルムアルデヒド気中濃度の測定実験を行うことにした。

（1）実大実験棟の仕様

①建物概要

規　　模	木造在来軸組工法平屋建8戸長屋形式
試験室床面積	7.45㎡(4.5畳大)

②面積・容積等

天井高		約 2.4　m
床材料有効設置面積		約 7.34 ㎡
壁材料有効設置面積		約23.276㎡
開口部面積	窓	約 1.12 ㎡
	出入り口ドア	約 1.62 ㎡
	計	約 3.86 ㎡
室内有効容積		約17.62 ㎥

③内部仕上げ

表１のとおり。

④試験室の自然換気回数：0.414～0.503 回/hr

（2）現場逆デシケータ値からの気中濃度推定方法

試験室の床又は壁を対象に測定された逆デシケータ値（以下、現場逆デシケータ値という。）から気中濃度を推定するための計算式を次のように提案した。

$$C = (0.158Ds + 0.017) \times \frac{2}{1 + Q/S} \times 1.09^{(t1 - t2 - 3)} \times \frac{55 + h}{100}$$

C：気中濃度（ppm）

表１　各試験室の内部仕上げ仕様一覧

試験室番号	床		壁		天井
	下地	仕上げ	下地	仕上げ	下地
No.1 (ｺﾝﾄﾛｰﾙ室)	スギムク板(本実付) 15mm厚	――	石膏ボード 12.5mm厚	――	石膏ボード 12.5mm厚
No.2	構造用合板(ﾗﾜﾝ国産7ply) 15mm厚(F2相当1類ﾒﾗﾐﾝ)	――	石膏ボード 12.5mm厚	――	石膏ボード 12.5mm厚
No.3	構造用合板(ﾗﾜﾝ国産7ply) 15mm厚(F2相当1類ﾒﾗﾐﾝ)	断熱畳55mm厚 断熱材:ポリスチレンフォーム	石膏ボード 12.5mm厚	――	石膏ボード 12.5mm厚
No.4	構造用合板(ﾗﾜﾝ国産7ply) 15mm厚(F2相当1類ﾒﾗﾐﾝ)	木質フローリング12mm厚(F2) UV硬化型ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ・ｳﾚﾀﾝ系表面塗装	石膏ボード 12.5mm厚	――	石膏ボード 12.5mm厚
No.5	パーティクルボード 15mm厚(E2ﾒﾗﾐﾝﾕﾘｱ)	――	石膏ボード 12.5mm厚	――	石膏ボード 12.5mm厚
No.6	スギムク板(本実付) 15mm厚	――	普通合板(ﾗﾜﾝ国産5ply) 12mm厚(F2 1類ﾒﾗﾐﾝ)	――	石膏ボード 12.5mm厚
No.7	スギムク板(本実付) 15mm厚	――	普通合板(ﾗﾜﾝ国産5ply) 12mm厚(F2 1類ﾒﾗﾐﾝ)	ﾉﾝﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞｸﾛｽ(塩ﾋﾞ系)[2] ﾉﾝﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ接着剤(ﾃﾞﾝﾌﾟﾝ系)[3]	石膏ボード 12.5mm厚
測定機器室	スギムク板(本実付) 15mm厚	――	石膏ボード 12.5mm厚	――	石膏ボード 12.5mm厚

注　1）床・壁の供試材は、ＪＡＳのＦ2又はＪＩＳのＥ2相当品である。

2）難燃裏打材（グアニジン）からの放散が0.05ppm以下

3）0.5mg/ℓで不検出

Ｄｓ：現場逆デシケータ値(mg/ℓ)

Ｑ：換気量（㎥/hr）

Ｓ：材料表面積（㎡）

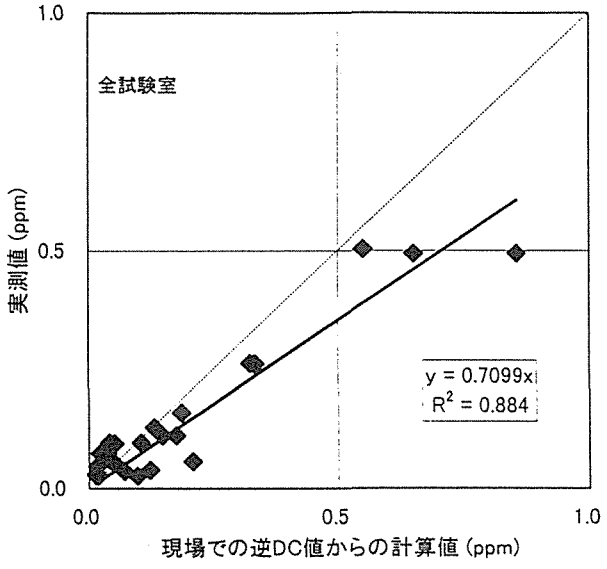
t_1：気中濃度測定時の温度(℃)

t_2：現場における逆デシケータ値測定時の温度(℃)

ｈ：相対湿度（％）

現場逆デシケータ値から計算式により算出した気中濃度計算値と実測した気中濃度の関係を図２に示す。原点を通して回帰分析を行ったところ、回帰係数は、0.7程度であり、決定係数は0.9程度と高い相関を示した。

したがって、製造時点での木質建材のＪＡＳ・ＪＩＳ規格値を逆デシケータ値とし、その規格値に合致する製品が住宅現場で使われた場合の現場逆デシケータ値との関係が把握されるならば、規格の逆デシケータ値を利用して、実際の住宅の室内気中濃度を計算することができ、したがって、木質建材の使用量の目安を明らかにすることが可能になる。



注：１）現場での逆デシケータ値からの計算値
実験住宅試験室の壁面又は床面を対象に逆デシケータ法によって測定したホルムアルデヒド放散能を使って気中濃度推定式で計算した室内気中濃度

２）実測値
現場逆デシケータ値測定時点での実験住宅試験室の気中濃度を24時間計測して得られた値

図２　ホルムアルデヒド気中濃度の計算値と実測値の関係

（３）実験成果のまとめ

実験データ及び検討結果をまとめると以下のようになる。

①現段階での規格デシケータ値は材料そのもののもっているホルムアルデヒド放散能

を表す特性値の一種ではあるが、気中濃度の算出に用いる特性値としては不適である。

②逆デシケータ値は室内暴露面から放散されるホルムアルデヒド放散能をよく表している。したがって、これを用いることによって容易に気中濃度を推定し得るが、その材料が実際に使用されている状態か又はでき得る限り使用現場に近い状態で測定したものを用いないと、気中濃度の推定値に大きな誤差が生じるおそれがある。

4　木質建材の住宅への使用の目安についての検討

木質建材の住宅への使用の目安を明らかにするには、まず、その基礎となるホルムアルデヒドの放散に関する木質建材のＪＡＳ規格及びＪＩＳ規格について、見直しを行う必要がある。見直しを要する事項は以下のとおりである。

第一に、これまで規格が制定されていなかった集成材、単板積層材等の品目についても、規格の制定を検討することが必要である。

第二に、試験法としては、逆デシケータ法を採用することが必要である。

第三に、規格の基準値及び等級区分を見直すことが必要である。

第四に、ＪＡＳ規格とＪＩＳ規格では、現在ホルムアルデヒドに関する基準を異にしているが、木質建材の使用者の便益に資するため、相互に連絡調整を図りながら整合性のある規格改正の検討を行っていくことが重要である。

以上に述べたようなＪＡＳ規格及びＪＩＳ規格を見直し、木質建材の住宅への使用の目安を明らかにして行くに当たっては、各種の試験が必要となる。

まず、規格基準値を利用して住宅の気中濃度を的確に予測できるようにすることが必要であるが、それには、規格基準値と住宅として使用した場合の現場逆デシケータ値との相関関係を計数的に把握することが必要となる。このための試験が必要となる。下地用と表面用、素地ものと化粧加工もの等でこの相関関係の状況が異なるので、それぞれに対応した試験を行い確かめることが必要となる。

次に、逆デシケータ試験の方法を定めるための試験が必要となる。逆デシケータ試験については、実務面を考慮して恒温室で同時に多数の試験を実施できるよう改善を図らなければならない。その方法を開発することが必要であり、そのための試験を必要とする。

これらは、今後に残された検討課題である。

第２編　保存処理木質建材に関する薬剤成分の揮散性と安全性

住宅における保存処理木質建材（以下、保存処理材という。）に関する気中の揮散問題についてみると、保存処理材そのものから薬剤成分が住宅の気中に揮散し、人の健康への影響に対して問題であるとして具体的な指摘を受けた事例は現段階では把握していない。

しかし、保存処理材に使用する薬剤成分には、関係法令で毒物や劇物に指定されているものもあることから、一般に危惧の念をもたれることが多いと考えられる。

そこで、委員会は保存処理材から薬剤成分が住宅の気中にどの程度揮散するかについて、その実態を把握することに重点をおいて検討を行った。

ただし、現場での防蟻施工に使用する防蟻剤に関連する検討は、他の分科会で検討するので、ここでは対象から除外することにした。

１　木材保存剤の揮散性

一般に、化学物質の揮散のしやすさは、その物質の蒸気圧を指標にして判断するのが適していると考えられる。

健康住宅研究会において優先的に取組む物質を選定する過程で、高い濃度が頻繁に検出される可能性が高い物質として10物質を選定している。これらの物質の蒸気圧は、20℃のときには0.9～740mmHgの範囲にある。

他方、現在使用している木材保存剤の蒸気圧をみると、高いものでも、防腐成分のIF-1000の1×10^{-3}mmHg（25℃）、防虫（防蟻）成分のクロルピリホス1.87×10^{-5}mmHg（25℃）、ホキシム1×10^{-4}mmHg（20℃）といった数値になっている。これらの数値は、前述の健康住宅研究会で選定した10物質の0.9～740mmHgと比較すると、桁違いに低い蒸気圧である。

以上のように蒸気圧の面からみると、木材保存剤は揮散し難い薬剤であると判断される。

２　木材保存剤の気中揮散に関する実証実験

（１）実験対象物質の選定

実験は時間と労力、経費等の制約があることから、木材保存剤の油剤及び乳剤の中から11種類（住宅室内に準じた試験室での実験では、うち５種類）の物質に限定して原体（原液）、表面処理剤及び接着剤混入処理合板を用いて実験を行った。その選定は、揮散性の比較的大きい物質及び木材保存剤の中で需要の大きい物質を対象とした。

（２）実験の種類

実験は密閉状態での２種類の試験と換気状態での試験の３種類について行った。以下では、後者の実験について記述する。

（３）合板及び単板の試験片

①供試薬剤（以後、各々の試験片の呼称を［　］内で示す。）

ア　クロルピリホス＋IF-1000（合板）［合-Ｃ］

イ　ホキシム乳剤（合板）　［合-Ｐｈ］

ウ　クロルピリホス油剤（単板）　［単-Ｃ］

エ　ホキシム油剤（単板）　［単-Ｐｈ］

オ　ペルメトリン油剤（単板）　［単-Ｐｅ］

②合板：寸法［合-Ｃ：920㎜×920㎜×5.5㎜、合－Ｐｈ：920㎜×920㎜×4㎜］

揮散有効面積［1.71㎡/枚］

混入量［合-Ｃ：300gCP+400gIF製剤/㎥、合-Ｐｈ：400gPh製剤/㎥］

この試験片は、接着剤混入処理合板で、各木口はシールなしである。この試験片10枚を試験室内に設置して試験した。

③単板：寸法［900㎜×200㎜×10㎜］、揮散有効面積［0.18㎡/枚］

塗布量［100ｇ製剤/㎡］

この試験片は、表面処理を施した単板で、片面塗布試験片である。この試験片の24枚を試験室に設置し試験した。

（４）試験装置

試　験　室　：ＣＦ-13型（2.8m×2.3m×2.1m）［日本石油輸送(株)製］

（冷凍コンテナー改造）　容積：13.5㎥、床面積：6.44㎡、

室内空気循環量：１㎥/min、室内設定温度：23℃

換気速度：120ℓ/min、（0.5回/hr）

（５）試験方法

①試験法の概要

一定温度（23℃）の試験室（保冷コンテナー改造）の床面に所定の試験片を並べ、24時間静置した後、内部の空気を１ℓ/minの速度で、固体捕集剤を通して真空ポンプで吸引し、揮散した空気中の目的成分を固体捕集剤に吸着捕集した。捕集された成分は密閉系試験と同様に、アセトンで抽出・濃縮後、ガスマス分析を行い濃度を測定した。

②試験片の設置及び試験の条件

試験片は、合板の場合は床面に並べて設置し、扉を閉じて庫内の空気の循環と換気を行いながら、24時間コンテナー内に静置した。単板の場合は、床面と壁面に塗布面を表にして並べ試験を行った。

（６）実験結果

①処理単板からの揮散濃度は、0.0005～0.0010mg/㎥程度であったが、処理合板からの揮散濃度は、その約1/10のレベルで、0.00005～0.00010mg/㎥程度であった。（図３）。

②ホキシムとクロルピリホスは揮散濃度に差異はなかった。また、ペルメトリンについては検出されなかった。

③処理合板においては、薬剤が合板の接着剤の中に封入されているのに対して、処理単板においては、薬剤が表面塗布されていることから、この両者では、揮散濃度の変化がやや異なるものと考えられる。処理単板では初期濃度がかなり高いが、濃度の低減速度は速い。

（７）試験結果の総合評価

以上の検討の結果を踏まえて、薬剤成分別に揮散の状況を一覧表にまとめると、表２のとおりである。

次に、この揮散濃度が人体に与える影響との関係でどの程度の水準であるかをみるための目安にするため、クロルピリホス等について、本試験での最高気中揮散濃度と下降後の気中濃度（30日程度経過後の横這い状況に推移したときの気中濃度をさす。以下同じ。）を薬剤それぞれの亜急性吸入毒性の無影響量（NOEL）と比較すると、表３のとおりである。

表３によりクロルピリホスについてみると、最高気中濃度の場合、処理合板においては約1/1500、処理単板で約1/160で、下降後の気中濃度の場合、処理合板で約1/1900、処理単板で約1/380である。ホキシムについては、亜急性吸入毒性試験が行われていないので、その無影響量は未定であるが、クロルピリホスの1/2と仮定すると、最高気中濃度の場合、合板で約1/1200、単板で約1/300、下降後の気中濃度の場合、合板で約1/2300、単板で約1/680となる。ペルメトリンについては、最高気中濃度の場合、単板で、百万分の１以下となる。合板ではさらにこれよりも小さくなると考えられる。

この実験は、室温が23℃、換気回数が0.5回/hという条件を設けて行ったものである。また、その揮散有効面積（揮散に関係する表面積）は、合板ではコンテナー容積13.5㎥当たり17.1㎡である。この揮散有効面積を６畳間の場合で換算すると、６畳間の４壁面の面積に相当する。また、単板の場合には、６畳間の床面の約８割の面積に相当する。クロルピリホスで処理した建材をこのような条件で室内に面して使用することは、実際の住宅ではまずないといってよい。

以上から、保存処理材からの薬剤の揮散は極めて微量であり、一般的には、人の健康を損なう恐れはないと考えられる。

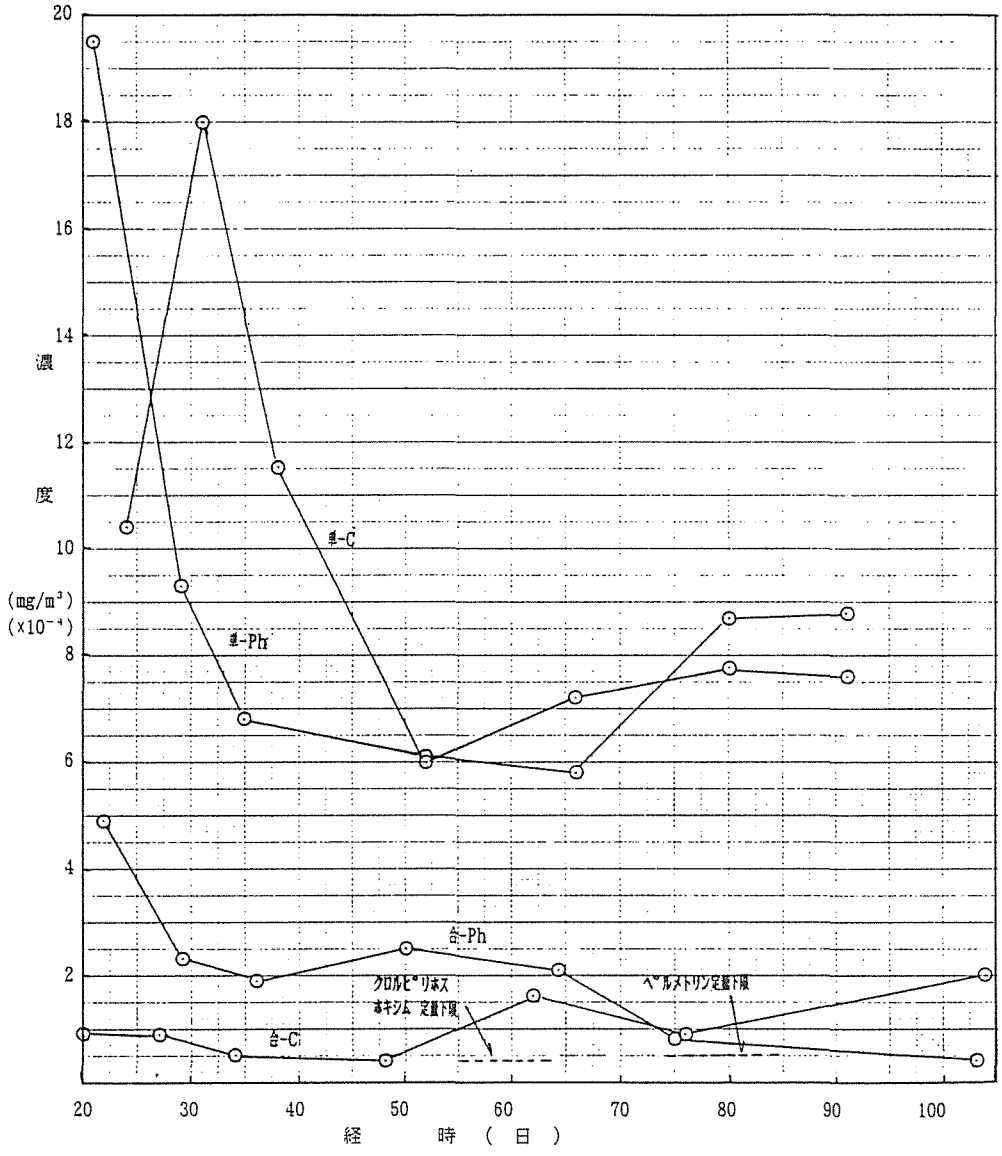


図３　薬剤成分の揮散濃度の推移

表２　薬剤成分の揮散濃度一覧

薬　　剤	処 理 量	揮散有効面積 (㎡)	最 高 濃 度 (mg/㎡)	下降後の濃度 (mg/㎡)
ホキシム50% 乳剤	仕上がり合板１㎡当たり ホキシムとして300g	17.1	0.00049	<0.00026
クロルピリホス 25% ＋IF-1000 30%乳剤	仕上がり合板１㎡当たり クロルピリホスとして500g、 IF-1000として600g	17.1	0.00020	<0.00016
クロルピリホス １%油剤	単板の片面１㎡当たり100g	4.32	0.00180	<0.00078
ホキシム １%油剤	単板の片面１㎡当たり100g	4.32	0.00195	<0.00087
ペルメトリン 0.2%油剤	単板の片面１㎡当たり100g	4.32	<0.00005	<0.00005

表３　薬剤の吸入毒性と揮散水準の比較表

化合物名	亜急性吸入毒性 ・無影響量(NOEL)（mg/㎥）	供試材料	気中濃度（mg/㎥） 最高	気中濃度（mg/㎥） 下降後	最高気中濃度／NOEL（概数）	下降後気中濃度／NOEL（概数）
クロルピリホス	0.296 (6hrs/day, 5d/W, 13W)	合板	0.00020	＜0.00016	1/1500	1/1900
		単板	0.00180	＜0.00078	1/160	1/380
ペルメトリン	50 (3hrs/day, 7d/W, 4W)	合板	——	——	——	——
		単板	＜0.00005	——	1/100万	——
ホキシム	クロルピリホスの1/2と仮定(0.592)	合板	0.00049	＜0.00026	1/1200	1/2300
		単板	0.00195	＜0.00087	1/300	1/680

注：１　上表中、ホキシムの亜急性毒性試験は実施されていないので、NOELは未定であるが、他の毒性値よりクロルピリホスの1/2以下の毒性値（クロルピリホスのNOELの1/2=0.592mg/㎥）と仮定する。

４　保存処理材の揮散性と安全性

保存処理材からの薬剤成分の揮散性については、既に述べたとおり、一般的には揮散の程度は極めて微量であるといえる。以下に、保存処理材の種類別に住宅における使用実態との関係で揮散性と安全性について述べる。

（１）加圧注入防腐・防蟻処理木材

①クレオソート油で処理した木材

クレオソート油で加圧注入処理した木材は、現在、鉄道用枕木としての用途がほとんどという状況にあり、住宅用部材として使用することは一般的にはない。

②その他の薬剤で処理した木材

加圧注入防腐・防蟻処理に使用する薬剤は、ＪＩＳ規格に規定されているものが主体である。その有効成分には、一部を除いて無機塩を使用しており、揮散はしない。また、溶剤として水を使用しているが、これらは、工場で完全に蒸散させてから出荷するようなシステムをとっており、揮散問題は生じない。なお、一部有効成分に有機化合物を使用している薬剤もあるが、この有効成分は、前項で述べたとおり揮散性は極めて低い水準にある。住宅における用途は、土台、根太、大引きなどの床組構造材、１階の外壁の構造材、浴室、台所など湿気のある場所の壁内構造材等である。室内に面した部分に使用することは極めて少ない。

（２）防腐・防蟻薬剤で表面処理した木材

①クレオソート油（防蟻成分を混入）で処理した木材

クレオソート油に防蟻成分を混入した薬剤を木材の表面に塗布して使用する部位は、構造耐力上主要な部分である柱、筋かい、土台等の地面から１ｍ以内の構造材である。この薬剤は、一般に、しろあり防除施工業者などの専門業者によって現場で吹付け又は塗布の方法で使用されている。この場合は、使用場所が床下など見えがくれ部分に限定

されること、塗布から住宅の竣工までにかなり長い期間を要することから、一般的には住宅の室内での揮散問題が生じることはない。

クレオソート油は木材保存剤の中では揮散しやすい性質を有しているので、揮散が懸念される場合には、塗布から竣工までになるべく長い期間をおくことが望ましい。

なお、これらの薬剤の使用量は極めて少ない。

②その他の薬剤で処理した木材

これらの薬剤の有効成分の蒸気圧は低く、その揮散性は極めて低いものである。これは実証実験でも証明されている。これらの薬剤は、一般的には現場でしろあり防除施工業者等の専門業者が使用するもので、塗布部位も室内に面する部位には使用していない。このため、揮散問題が発生することはないものと考えられる。これらの薬剤には石油系溶剤を使用した油剤と水を溶剤とした乳剤とがある。この溶剤の揮散は比較的早く、塗布から竣工までの間に一般には蒸発してしまうほか、乳剤に使用する乳化剤は揮散しないので問題は生じない。

（３）防かび剤で処理した木材

木材の防かび処理は、製材工場や材木店の在庫期間中又は輸送期間中では含水率が高く、木材表面にかびにより変色や汚染が発生しやすいので、この段階で商品としての価値が低減するのを防止する目的から行われる。その方法は木材の表面に防かび剤を吹付け又は浸せきにより処理する。

防かび処理を行った木材が住宅に使用される場合には、通常は表面の仕上げ加工を行う。特に、室内に面する部分の場合には、必ず表面仕上げ加工が行われ、木材の表面部分に薄く付着している防かび成分は切削される材とともに除去されるので、住宅での防かび剤による健康障害問題は発生しないものと考えられる。

（４）加圧注入防虫処理木材

加圧注入による防虫処理は、南方産広葉樹のラワンやナラ等の特定樹種の乾燥した辺材部分がヒラタキクイムシにより食害されるのを防ぐ目的で行われる。

加圧注入処理に使用する防虫剤は、すべてほう素化合物（ほう酸、ほう砂）であり、いずれも無機化合物であり、揮散しないのであるから問題はない。

（５）薬剤を接着剤に混入した合板等

薬剤を接着剤に混入する処理方法は、合板や単板積層材で行われており、防虫処理と防腐・防蟻処理の２種類に大きく区分される。防虫処理は、主としてラワンなどの南方産広葉樹材を原料とする合板を、ヒラタキクイムシの食害から守るために行われている。これらは、ＪＡＳ規格の基準により製造されており、ホキシムやフェニトロチオンのほかクロルピリホスを有効成分とする薬剤を使用している。

防腐・防蟻処理合板及び単板積層材は、ＡＱ規格（(財)日本住宅・木材技術センター

の規格）により製造されており、クロルピリホス＋IF-1000、クロルピリホス＋サンプラスなどを有効成分とする薬剤が使用されている。

これら合板等からの薬剤の有効成分の揮散については、すでに述べたとおり、実証実験によって極めて微量であることが判明している。なお、薬剤に使用されている溶剤については、合板の製造時のホットプレスによる熱圧を受けて工場出荷までには完全に揮散している。