平成１７年度　室内空気環境に関する実証実験および調査業務

平成１８年３月

（財）住宅リフォーム・紛争処理支援センター

目　　次

第１章　化学物質の発散状況の実態把握 ･･･ 1

１．　吸着建材に関する実験（その２） ･･ 1
1-1　目的 ･･ 1
1-2　実験の内容 ･･ 1
1-3　吸着性能実験 ･･ 2
(1) 各種建材のホルムアルデヒド吸着性能試験 2
(2) 各種建材のVOC吸着性能試験 5
1-4　温湿度変化によるホルムアルデヒド吸着性能比較試験 ････････････････････ 7
(1) 試験体 7
(2) 試験方法及び条件 7
(3) 測定結果及びまとめ 8
1-5　ホルムアルデヒド吸着限界量測定試験 ････････････････････････････････････ 11
(1) 試験体 11
(2) 試験条件 11
(3) 試験方法 11
(4) 測定結果及びまとめ 11

２．　実大実験室を用いた吸着低減建材の低減効果確認試験 ････････････････････････ 12
2-1　目的 ･･ 12
2-2　試験方法 ･･ 12
(1) 実大実験住宅 12
(2) 低減建材の種類と施工面積 13
(3) 化学物質放散源 16
(4) 実験条件 17
(5) 室内空気質濃度測定 18
(6) 放散源の放散速度測定 19
2-3　結果 ･･ 20
(1) デシケーター法、チャンバー法による放散源の放散量測定結果 20
(2) 実大実験室の温湿度測定結果 22
(3) 実大実験室のホルムアルデヒド濃度経時変化 23
(4) 実大実験室のスチレン濃度経時変化 24
(5) 実大実験室のトルエン・ＴＶＯＣ濃度経時変化 25
(6) 実大実験室とコントロール室との濃度差の経時変化 26
(7) 換気量換算値Qadsの算出 27
2-4　まとめ ･･ 29

３． 簡易法による建材からの化学物質放散量測定の検討 ･････････････････････････ 30
3-1 目的 ･･ 30
3-2 試験方法 ･･ 30
(1) ステンレス製密閉タンクを用いた簡易法 30
(2) 試験体 33
(3) ステンレスタンクの洗浄 35
(4) パッシブ型サンプラーのサンプリングレート（SR)、
相当換気量、及び濃度の計算 36
(5) チャンバー法・デシケーター法による放散量測定 38
3-3 結果 ･･ 39
(1) デシケーター試験、チャンバー試験による放散量測定結果 39
(2) 簡易法 パッシブ型サンプラー濃度測定結果 41
(3) チャンバー試験により算出した放散速度と
簡易法で算出した放散速度の比較 44
3-4 まとめ ･･ 45

４． 構造用合板表面におけるカビ成長速度に関する基礎実験
ー 雰囲気温湿度及びホルムアルデヒド放散量の影響 ー ･･････ 46
4-1 はじめに ･･ 46
4-2 ホルムアルデヒド放散量を調整した構造用合板の製造 ･･････････････････ 46
(1) 接着剤種類及び製造条件 46
(2) ホルムアルデヒド放散量の測定 47
4-3 構造用合板表面におけるカビ生育に対する温湿度
及びホルムアルデヒド放散量の関係 ･･････ 48
(1) 試験に使用する真菌及び温湿度条件 48
(2) 実験方法 48
(3) 実験結果 52

第２章 適切な換気経路を確保するための方策の検討 ････････････････････････････ 60

１． 天井裏等からの汚染物質の室内侵入に関する研究 ･･････････････････････････ 60
1-1 研究の目的 ･･ 60
1-2 気密化木造スライスモデルの隙間ネットワークの測定 ･･････････････････ 60
(1) 測定の目的 60
(2) 測定の方法 60
(3) 測定の結果 65
1-3 2×4 構法の部分スライスモデルの隙間ネットワークの測定 ･･････････････ 66
(1) 測定の目的 66
(2) 測定の方法 66
(3) スライスモデル、部分スライスモデルの測定結果に基づく
隙間ネットワーク 74

1-4　隙間ネットワークを用いたシミュレーション　……………………… 75
(1)　シミュレーションの方法 75
(2)　気密仕様と建物種別と換気方式による通気性状 76
(3)　年間の内部通気と濃度の性状 80
(4)　侵入率の比較と年間推移 86

2.　天井裏等の建物内部空間からの汚染物質の室内侵入に関する実証実験　………… 90
2-1　はじめに　……………………………………………… 90
2-2　測定対象と測定方法　……………………………………… 90
2-3　測定結果　……………………………………………… 90
(1) 戸建 1 90
(2) 戸建 2 91
(3) 戸建 3 92
(4) 戸建 4 92
2-4　既往の測定結果との比較　………………………………… 93
(1)　既往の測定結果概要 93
(2)　本年度の測定結果の概要 93
(3)　既往の結果と本年度の比較 94

第 3 章　換気計画法の確立に関する検討　………………………………… 95

1.　風量測定器の精度検証実験　結果概要　……………………………… 95
1-1　目的　…………………………………………………… 95
1-2　風量測定器精度測定方法　………………………………… 95
(1)　測定装置 95
(2)　端末部材 96
(3)　風量測定器 97
(4)　測定手順 97
(5)　測定結果の整理 98
1-3　風量測定における誤差要因の分類と実験による検証　……………… 99
(1)　風量測定における誤差要因の分類 99
(2)　実験による検証(1)　測定方法による誤差 99
(3)　実験による検証(2)人的要因による誤差 102
(4)　測定結果のまとめ 108
1-4　風量測定が困難な箇所の対処方法の検討　………………………… 109
(1)　室内端末部材が壁面隅角部に設置されている状態の風量測定 109
(2)　室内端末部材が窓開口付近に設置されている状態での風量測定 110
(3)　外壁面材の形状が風量測定に与える影響 113
1-5　まとめ　……………………………………………… 116

２．　住宅の現場における風量測定マニュアル ･･････････････････････････････････ 117
2-1　はじめに ･･ 119
2-2　用語の説明 ･･･ 120
(1) 換気システムの種類 120
(2) 吹出し端末 120
(3) 吸込み端末 120
(4) 室内端末 120
(5) 屋外端末 120
(6) フード式風量測定器 121
(7) 誤差 121
(8) 風量（測定部位の風量） 121
(9) 換気量 121
(10) ｋファクタ法 121
2-3　住宅の現場における風量測定法 ･･････････････････････････････････ 122
2-3-1　風量測定の目的 ･･ 122
(1) 目的 122
(2) 本マニュアルにおける風量測定の対象 122
2-3-2　風量測定の方法 ･･ 123
(1) フード式風量計 123
(2) k ファクタ法 124
(3) 風速計を用いた方法 126
(4) 風向の確認方法 126
2-4　フード式風量測定器を用いた現場での風量測定の方法 ･･････････････ 127
2-4-1　測定の概要 ･･･ 127
(1) 測定器の構成例 127
(2) 測定の手順 128
2-4-2　現場での風量測定 ･･ 128
(1) 測定の準備 128
(2) 測定方法 129
2-4-3　測定方法 ･･･ 130
(1) 吸込み端末での測定 130
(2) 吹出し端末での測定 130
(3) 測定が難しい部位での測定 131
2-5　測定誤差 ･･･ 132
2-5-1　測定で生じる可能性がある誤差 ･･････････････････････････････ 132
2-5-2　測定で生じる誤差とその回避方法 ･･･････････････････････････ 132
(1) 測定器の持っている誤差 132
(2) 測定対象により生じる誤差 132
(3) 測定者により生じる誤差 133
(4) その他の誤差 133
2-6　測定の記録 ･･･ 134
2-7　おわりに ･･･ 139

３．　新築住宅換気設備の施工状況実態調査 …… 140
3-1　目的 …… 140
3-2　調査概要 …… 140
3-3　調査項目 …… 140
(1) 風量測定 140
(2) 施工状況調査 141
(3) 換気設計図書調査 141
3-4　調査結果の概要 …… 141
3-5　調査結果 …… 144
(1) 換気システムの必要風量と実測風量の関係 144
(2) 換気設備の設計方法 145
(3) 共同住宅の換気設備 145
(4) 戸建住宅の換気設備 148
(5) 設計施工に関して 152

４．　換気能力の低下実験 …… 157
4-1　目的 …… 157
4-2　概要 …… 158
(1) 実験手順とスケジュール 158
(2) 実験装置 159
(3) フィルター 163
(4) 設置場所 165
(5) 測定項目 168
(6) 実施状況 171
4-3　実験結果と考察 …… 172
(1) 排気ファンの汚れの状況 172
(2) 換気能力低下 182
(3) 浮遊粒子数 191
(4) 付着汚れの分析 202
4-4　まとめ …… 210

５．　換気システムの清掃と衛生に関する調査及び実験 …… 212
5-1　換気システムの清掃と衛生に関する調査 …… 212
5-1-1　はじめに …… 212
5-1-2　調査方法および調査対象文献 …… 212
5-1-3　換気設備の清掃と衛生に関する法規、基準、ガイドライン …… 213
(1) 国内の清掃と衛生に関する法規、基準、ガイドライン 213
(2) 海外の清掃と衛生に関する法規、基準、ガイドライン 214
5-1-4　空気調和･換気設備の汚れの種類 …… 214
(1) 粉塵 214
(2) 微生物 215
(3) その他 215

5-1-5　ダクトにおける汚染評価方法 …… 216
(1) 塵埃量に関する評価方法 216
(2) 衛生に関する評価方法 218
5-1-6　ダクト清掃方法 …… 219
(1) ダクト清掃手法 219
(2) 換気設備の清掃実施例 220
5-1-7　換気設備の汚染予防 …… 221
(1) フィルターの分類 222
(2) 日常のメンテナンス 222
5-1-8　換気設備の定期検査 …… 223
(1) 空気調和設備用の定期検査用チェックリスト 223
(2) 換気設備の定期検査方法 226
5-1-9　おわりに …… 226
5-2　業務用換気設備等を対象とした清掃手法による
住宅用の全般換気設備の清掃 …… 228
5-2-1　目的 …… 228
5-2-2　対象建物 …… 228
5-2-3　清掃手順 …… 228
5-2-4　清掃結果 …… 231
(1) 風量 231
(2) 内部写真（清浄度） 232
5-2-5　施工上の問題点 …… 233
5-2-6　まとめ …… 233

６．　住宅用換気システムの省エネルギー計画手法 …… 234
6-1　目的 …… 234
6-2　省エネルギー技術の収集と分類 …… 234
(1) ダクト式換気システムの適正化 235
(2) 高効率モーターの省エネ性 240
(3) ハイブリッド換気システムの採用 244
(4) 第１種ダクト式熱交換換気システムの夏季の片肺利用 248
6-3　省エネルギー技術の効果の推定 …… 250
(1) 目標レベル 250
(2) 住宅着工数 251
(3) 家庭の消費エネルギー 251
(4) 効果の推定 252
6-4　まとめ …… 253

７．　住宅用機械換気システム設計計算法の精度向上
（設計プロセスの信頼性向上）に係る研究 …… 254
7-1　はじめに …… 254
7-2　研究の目的と背景 …… 254
7-3　研究概要 …… 255
7-4　ダクト式換気システム部材の測定方法 …… 256

(1) 送風機 257
(2) 端末換気口 257
(3) 分岐・合流チャンバー 258
(4) フレキシブルダクト 259
(5) 1 モーター2 ファン 260
7-5 新試験方法と既試験方法による測定結果の読替え方法 …… 261
(1) 送風機 261
(2) 端末換気口 261
(3) 分岐・合流チャンバー（多分岐継手） 262
7-6 換気システム設計手法の検証 …… 263
(1) 検証実験計画 263
(2) 新測定法による測定結果の精度の検証 266
(3) 換気回路網計算法による設計風量と検証実験の結果検証 267
7-7 実用的設計マニュアル素案 …… 271
(1) 静圧に基づく多分岐継手の圧力損失計算手法 271
(2) 室内端末における風量バランスの計算手法 274
(3) 多分岐継手の風量バランスの検討 276
(4) まとめ 276

第１章　化学物質の発散状況の実態把握

1.　吸着建材に関する実験（その２）

1-1 目的

室内空気汚染化学物質の室内濃度低減化対策のひとつとして、化学物質を吸着して室内の化学物質濃度を低減化するという建材が見られるようになってきた。しかしながら、それらの吸着性能の効果や持続性等の傾向については、不明な点が多い。このため、昨年度は、低減効果をうたった建材や吸着性を有すると考えられる一般的な建材等の吸着性能に関して検討したが、今年度は、キャッチャー剤及びキャッチャー剤を用いた建材等に関して、吸着性能だけではなく、吸着性能に影響を与える因子（温度、湿度など）についても調査し、長期的な性能として限界吸着量の検討を行う。

1-2 実験の内容

化学物質吸着実験として、下表に示す３つの実験を行った。

表 1-1　化学物質吸着試験概要

実験	調査概要	実験条件	試験体
1. 吸着性能実験	化学吸着及び物理吸着による吸着性能の調査	・温度：28℃ ・湿度：相対湿度50% ・換気回数：0.5回/h ・汚染物質：ホルムアルデヒド及びVOC５物質（ﾄﾙｴﾝ、ｷｼﾚﾝ、ｴﾁﾙﾍﾞﾝｾﾞﾝ、ｽﾁﾚﾝ、ﾊﾟﾗｼﾞｸﾛﾛﾍﾞﾝｾﾞﾝ） ・供給濃度：0.1ppm程度	・ホルムアルデヒド キャッチャー剤 せっこうボード ロックウール天井材 珪藻土 ・VOC せっこうボード、珪藻土
2. 温度・湿度を変えた実験	温度、相対湿度が異なる条件下での吸着性能の変化を調査する。	・温度：28℃と28℃を中心に3水準程度 ・湿度：相対湿度50%と相対湿度50%を中心に3水準程度 ・換気回数：0.5回/h ・汚染物質：ホルムアルデヒド、 ・供給濃度：0.1ppm程度	せっこうボード 炭ボード
3. 限界吸着量実験	キャッチャー剤を用いた建材の限界吸着量の調査	・温度：28℃ ・湿度：相対湿度50% ・換気回数：0.5回/h（試料負荷率との関係で検討する） ・汚染物質：ホルムアルデヒド ・供給濃度：0.4ppm程度	せっこうボード 炭ボード

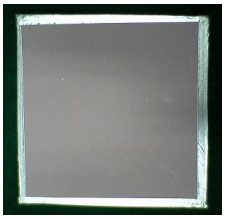
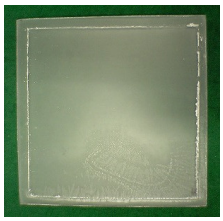
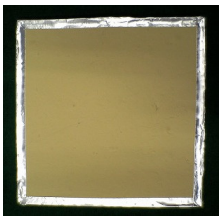
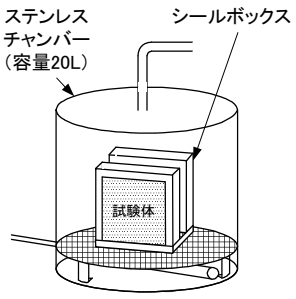
1-3 吸着性能実験

（1）各種建材のホルムアルデヒド吸着性能試験

①試験体

今回の調査に使用した試験体は、市場流通建材の吸着建材 2 種、吸着剤 1 種、通常建材 1 種の計 4 種である。試験体の名称、設置方法等を表 1-2 に示す。

表 1-2　試験体

試験体名称	キャッチャー剤 使用ロックウール	キャッチャー剤 使用せっこうﾎﾞｰﾄﾞ	ホルムアルデヒド キャッチャー剤	珪藻土
種別	吸着建材	吸着建材	吸着剤	一般建材
寸法(mm)	165×165×9	160×160×13	165×165×5	165×165×8-9
枚数（枚）	2	2	2	2
外観				
試験体 作製手順	―――	表裏面の一部および切断面をアルミテープでシール	165×165×5mm のガラス板に 20 g/m²塗布し、20℃60%RH の室内で 1 日養生した。	165×165×5mm のガラス板に 2～3mm 厚になるよう塗布し、20℃60%RH の室内で 3 日養生した。
曝露条件	表面のみ曝露			
曝露面寸法 (mm)	147×147			
小形チャンバーへの 試験体 設置方法	 試験体の表面のみ曝露されるようにシールボックスを用いて曝露面積を調整し、小形チャンバー中央部に試験体を設置した。			

②試験条件

試験の種類および小形チャンバー制御条件など、試験条件について表 1-3 に示す。

表 1-3　試験条件

試験の種類		放散試験	吸着試験	脱着試験
小形チャンバー制御条件	温度	28±1℃		
	湿度	50±5%		
	換気回数	0.5±0.05 回/h		
	試料負荷率	2.2m^2/m^3		
捕集日		1、3、7 日目	1、3、7 日目	設置 1、3、7 時間後、1、3、7 日目
ホルムアルデヒド供給濃度設定値		0・g/m^3	100・g/m^3	0・g/m^3
捕集条件	捕集管	GL-Pak mini AERO DNPH（ジーエルサイエンス社製）		LpDNPH S10L（シグマアルドリッチ社製）
	流速	0.167L/min.	0.167L/min.（パージ・0.100L/min.）	0.167L/min.
	捕集量	10L	5L	

③試験方法

測定は、図 1-1 に示すように放散試験。吸着試験、脱着試験を連続して行った。

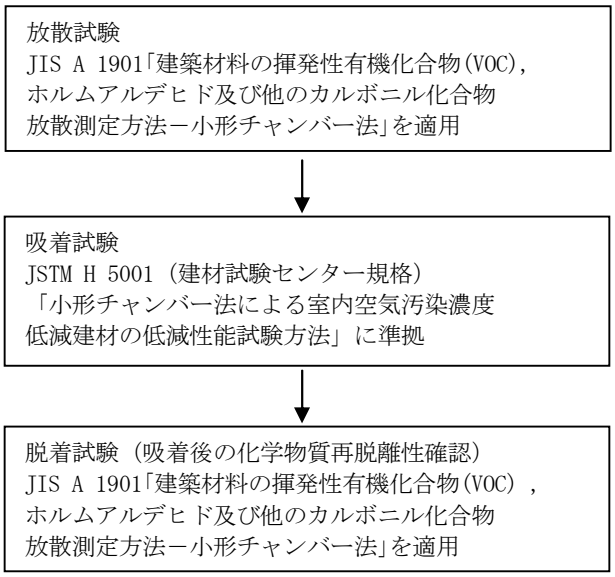


図 1-1　測定の流れ

④測定結果及びまとめ

4 種の試験体について、ホルムアルデヒドの吸着率経時変化を図 1-2 に、試験体ごとの吸着率比較グラフを図 1-3 に示す。結果をまとめると以下の通りである

a. 放散試験時には、測定値がすべて定量下限値以下であった（これに関するグラフは省略)。

b. キャッチャー剤を使用した吸着建材 2 種は、全測定期間を通して安定した吸着性能を示した。双方にわずかな吸着率の低下が見られたが、脱着速度は定量下限値以下であった。

c. ホルムアルデヒドキャッチャー剤のみの試験体は、7 日間の測定期間を通して約 80%の吸着率を示し続け、脱着は見られなかった。

d. 一般建材である珪藻土は、約 80%の吸着率を示し続けたが、脱着試験 7 日目にわずかな放散が認められた。

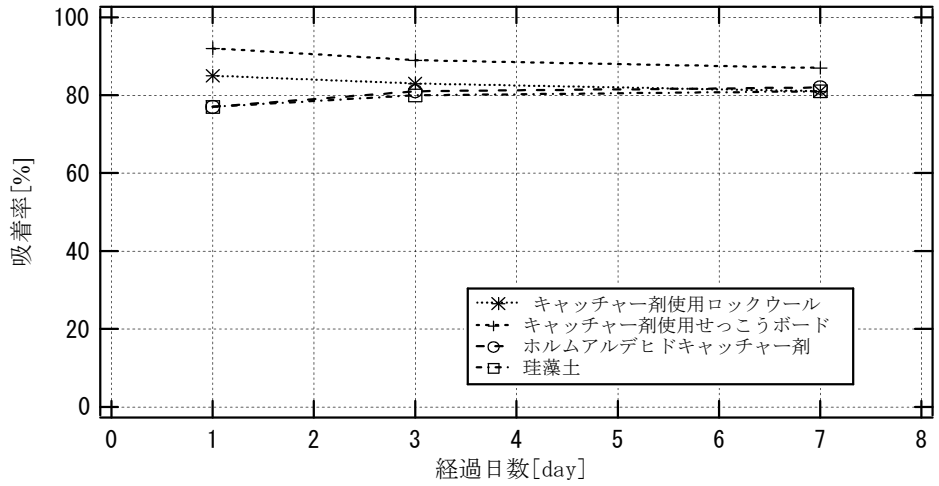


図 1-2　ホルムアルデヒド吸着率経時変

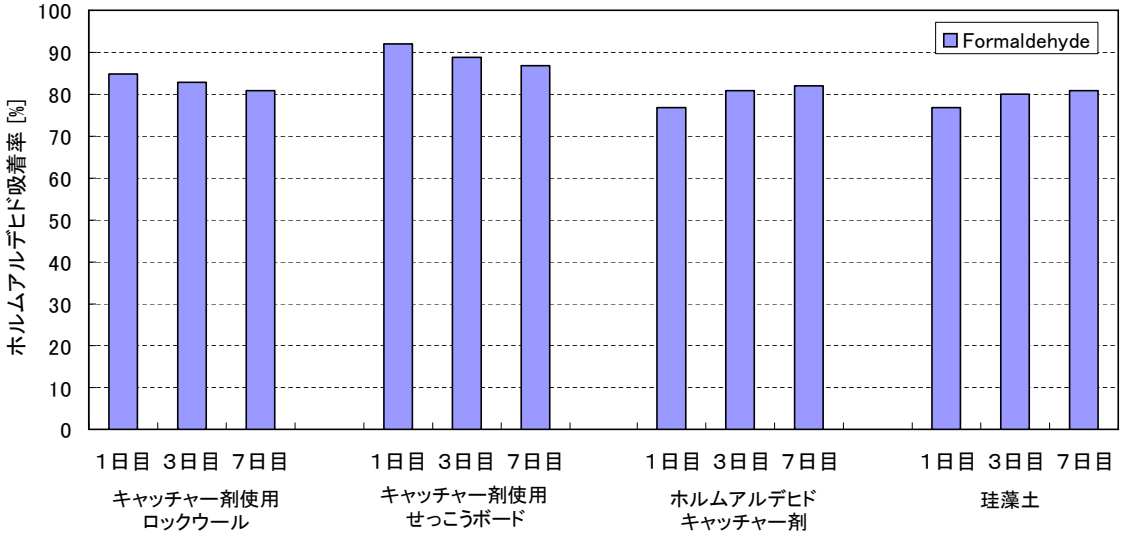


図 1-3　吸着率の比較

（2）各種建材の VOC 吸着性能試験

①試験体

試験体は、下記に示す内装材 2 種である。

・キャッチャー剤を用いたせっこうボード（吸着建材、13㎜厚）

・珪藻土 （一般建材、ガラス板に 2～3㎜厚を塗布）

②試験方法

以下のａ ～ ｃの測定を連続して行った。

a. 放散試験（7 日間）：JIS A 1901 に従って放散速度測定を行う。

b. 吸着試験（7 日間）：JSTM H 5001 に準拠して吸着性能測定を行う。なお、汚染ガスの供給は、VOC 混合標準ガスを一定の割合で希釈し導入する方法を採用した。なお、供給汚染ガスの条件は表 1-4 の通りである。

表 1-4 汚染ガス条件

汚染ガス種類	ﾄﾙｴﾝ，ｴﾁﾙﾍﾞﾝｾﾞﾝ，o-ｷｼﾚﾝ、m-ｷｼﾚﾝ，p-ｷｼﾚﾝ，ｽﾁﾚﾝ，p-ｼﾞｸﾛﾛﾍﾞﾝｾﾞﾝ
原 ガ ス 濃 度	各 1ppm
混 合 比	原ガス:清浄空気＝1：10

c. 再放出試験（7 日間）：JSTM H 5001 の付属書 1〔建築材料の吸着汚染物質の放散性（再放出試験)〕に準拠して再放出速度測定を行う。

③測定結果およびまとめ

測定結果を表 1-5～表 1-12 に示す。キャッチャー剤を用いたせっこうボード及び珪藻土ともに、VOC に対する吸着能力は低く、吸着力が認められたのは測定を開始して 1 日目の測定時のみであり、その吸着率は、トルエン、キシレン、エチルベンゼン及びスチレンに対しては 5%程度であった。ｐ－ジクロロベンゼンは比較的様々な材料においても吸着が認められる傾向にあるが、今回の測定では 30%程度であった。さらに、吸着試験後の再放出試験において、吸着試験の際に導入した汚染ガス成分について高い放散が認められた。これは、吸着試験において吸着された化学物質が、その後の再放出試験において脱着したものと思われる。

表 1-5　放散速度算出結果（キャッチャー剤を用いたせっこうボード）

物　質　名	放散速度［・g/(m²・h)］		
	1 日目	3 日目	7 日目
トルエン	＜1	＜1	＜1
エチルベンゼン	＜1	＜1	＜1
キシレン	＜1	＜1	＜1
スチレン	＜1	＜1	＜1
p－ジクロロベンゼン	＜1	＜1	＜1

表 1-6　吸着率算出結果（キャッチャー剤を用いたせっこうボード）

物　質　名	吸着率［%］		
	1 日目	3 日目	7 日目
トルエン	5	－	－
エチルベンゼン	5	－	－
キシレン	6	－	－
スチレン	11	－	－
p－ジクロロベンゼン	30	－	－

表 1-7　吸着速度算出結果（キャッチャー剤を用いたせっこうボード）

物　質　名	吸着速度［μg/(m²・h)］		
	1 日目	3 日目	7 日目
トルエン	4	＜1	＜1
エチルベンゼン	4	＜1	＜1
キシレン	15	＜1	＜1
スチレン	8	＜1	＜1
p－ジクロロベンゼン	30	＜1	＜1

表 1-8　脱着速度算出結果（キャッチャーを用いたせっこうボード）

物　質　名	脱着速度［μg/(m²・h)］					
	1 時間後	3 時間後	7 時間後	1 日目	3 日目	7 日目
トルエン	(32)	(13)	(＜5)	＜1	＜1	＜1
エチルベンゼン	(63)	(41)	(21)	＜1	＜1	＜1
キシレン	(210)	(141)	(72)	＜1	＜1	＜1
スチレン	(82)	(67)	(44)	2	＜1	＜1
p－ジクロロベンゼン	(152)	(155)	(133)	12	＜1	＜1

注）（　）内の数値は気中濃度［μg/m³］を示す。

表 1-9　放散速度算出結果（珪藻土）

物　質　名	放散速度［μg/(m²・h)］		
	1 日目	3 日目	7 日目
トルエン	＜1	＜1	＜1
エチルベンゼン	＜1	＜1	＜1
キシレン	＜1	＜1	＜1
スチレン	＜1	＜1	＜1
p－ジクロロベンゼン	＜1	＜1	＜1

表 1-10　吸着率算出結果（珪藻土）

物　質　名	吸着率［%］		
	1 日目	3 日目	7 日目
トルエン	－	－	－
エチルベンゼン	－	－	－
キシレン	10	－	－
スチレン	1	－	－
p－ジクロロベンゼン	17	－	－

表 1-11　吸着速度算出結果（珪藻土）

物　質　名	吸着速度［μg/(m^2・h)］		
	1 日目	3 日目	7 日目
トルエン	＜1	＜1	＜1
エチルベンゼン	＜1	＜1	＜1
キシレン	25	＜1	＜1
スチレン	1	＜1	＜1
p－ジクロロベンゼン	15	＜1	＜1

表 1-12　脱着速度算出結果（珪藻土）

物　質　名	脱着速度［μg/(m^2・h)］					
	1 時間後	3 時間後	7 時間後	1 日目	3 日目	7 日目
トルエン	(24)	(10)	(＜5)	＜1	＜1	＜1
エチルベンゼン	(61)	(37)	(20)	＜1	＜1	＜1
キシレン	(247)	(139)	(71)	＜1	＜1	＜1
スチレン	(112)	(83)	(57)	2	＜1	＜1
p－ジクロロベンゼン	(258)	(248)	(210)	21	4	＜1

注）（　）内の数値は気中濃度［μg/m^3］を示す。

1-4 温湿度変化によるホルムアルデヒド吸着性能比較試験

(1) 試験体

今回の調査に使用した試験体は、一般建材 1 種（せっこうボード）、吸着建材 1 種（炭ボード）の 2 種である。

(2) 試験方法及び条件

試験は、STM　H　5001 に準拠して行った。小形チャンバー制御条件など、試験条件について表 1-13 に示す。

表 1-13　試験条件

制御条件	温度	28±1℃			18±1℃		33±1℃	
	湿度	50±5%	60±5%	12±2%	50±5%	20±2%	50±5%	11±2%
	換気回数	0.5±0.05 回/h						
	試料負荷率	2.2m^2/m^3						
捕集日		1、3、7 日目						
ホルムアルデヒド供給濃度設定値		100μg/m^3						

(3) 測定結果及びまとめ

図 1-4～図 1-11 に、試験体別のホルムアルデヒド吸着率経時変化を示す。

せっこうボードは、温湿度条件の差により吸着率にかなりの幅が現れた。最高値を示した 18℃ 20%RH での試験結果は、33℃50%RH の結果のほぼ倍の吸着率である。

33℃11%RH の 7 日目を例外とすれば、低温度・低湿度の方が吸着率が高くなる傾向が見られる。1 日目・3 日目の測定結果に関しては、絶対湿度の低い条件ほど吸着性能が高い傾向が見られた。

炭ボードは、ひとつの条件を除けば測定期間を通して 91～80%の範囲に収まり、安定した吸着性能を発揮した。例外は 28℃60%RH の測定値であるため、炭ボードのホルムアルデヒド吸着性能は相対湿度に影響を受ける可能性があると思われる。

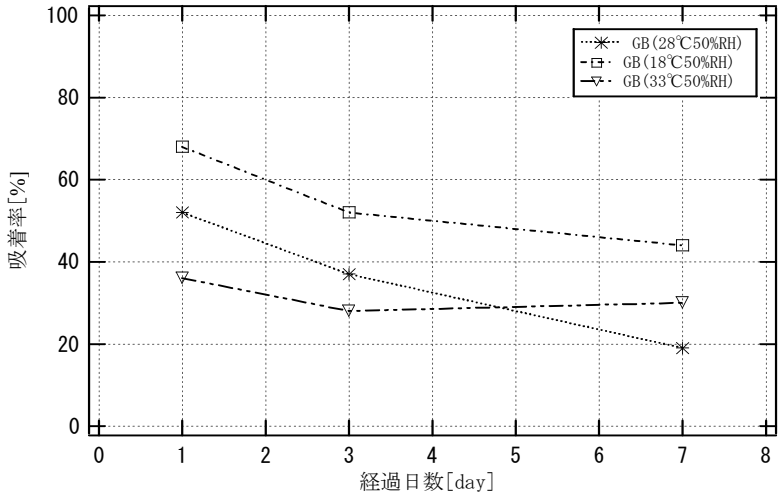


図 1-4　ホルムアルデヒド吸着率経時変化（温度比較(50%)・せっこうボード）

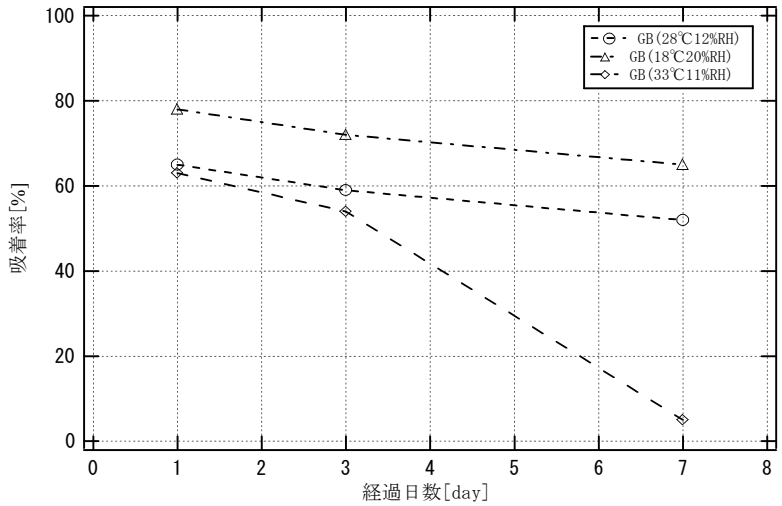


図 1-5　ホルムアルデヒド吸着率経時変化（温度比較(低湿度)・せっこうボード）

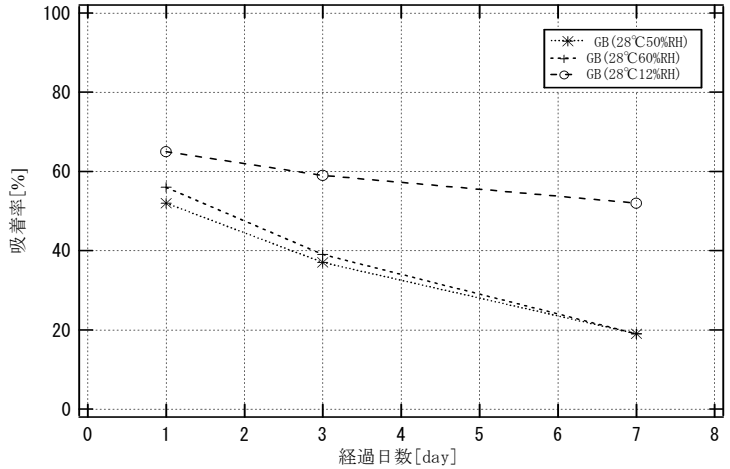


図 1-6　ホルムアルデヒド吸着率経時変化（湿度比較(28℃)・せっこうボード）

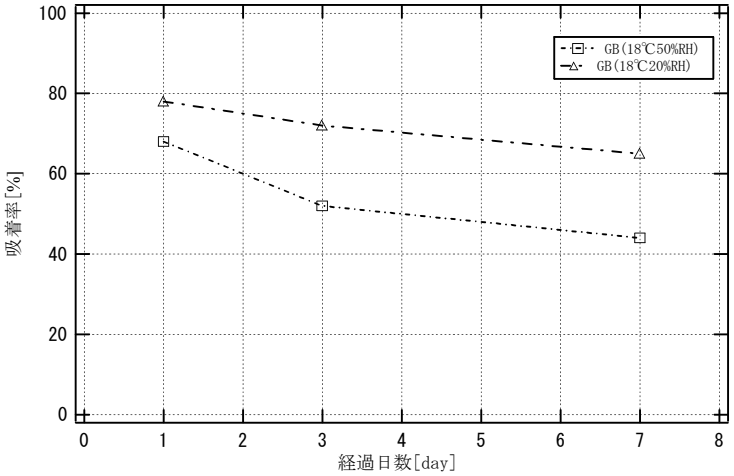


図 1-7　ホルムアルデヒド吸着率経時変化（湿度比較(18℃)・せっこうボード）

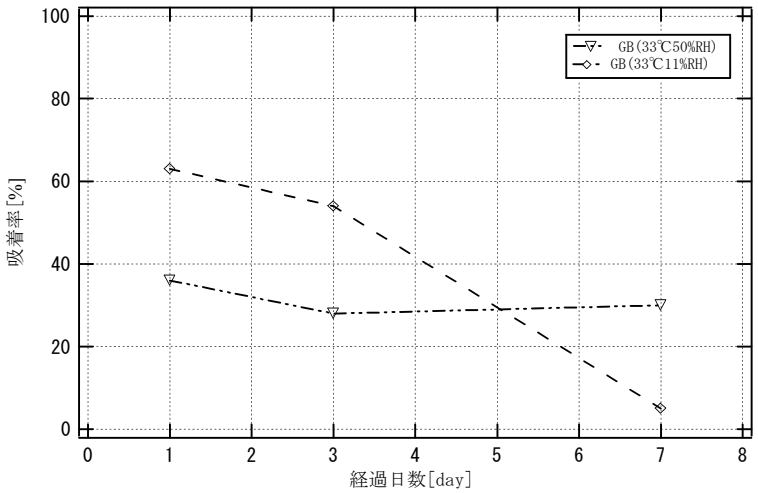


図 1-8　ホルムアルデヒド吸着率経時変化（湿度比較(33℃)・せっこうボード）

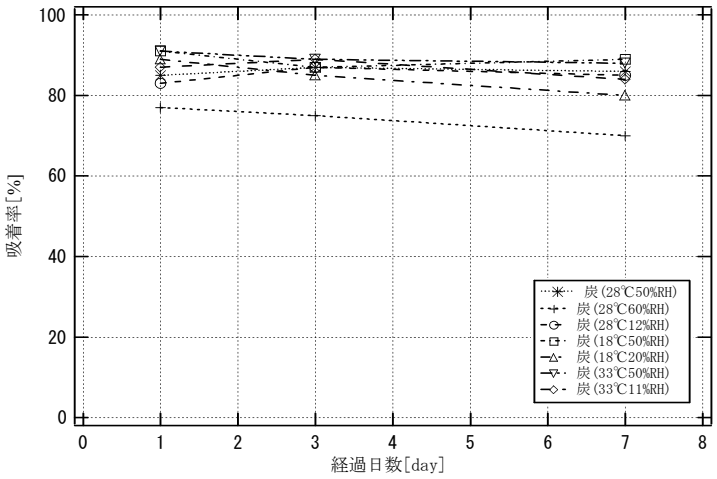


図 1-9　ホルムアルデヒド吸着率経時変化（温湿度比較・炭ボード）

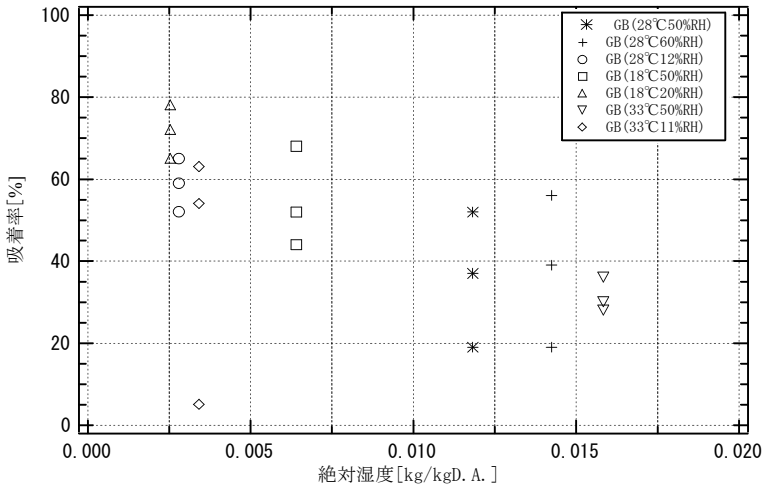


図 1-10　絶対湿度とホルムアルデヒド吸着率の関係（せっこうボード）

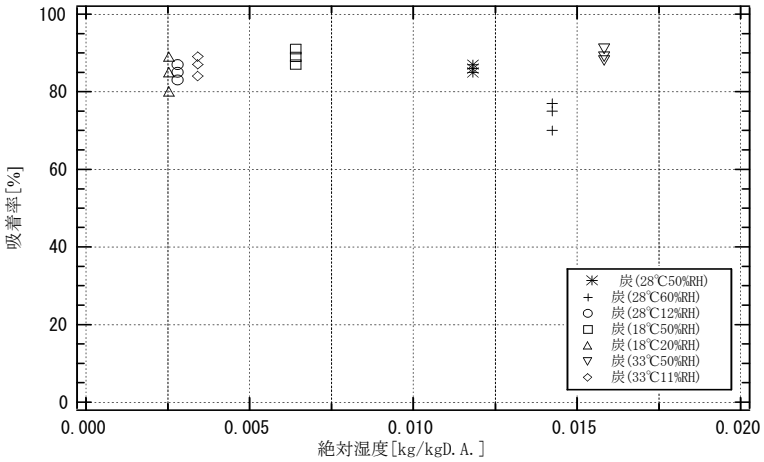


図 1-11　絶対湿度とホルムアルデヒド吸着率の関係（炭ボード）

1-5 ホルムアルデヒド吸着限界量測定試験

(1) 試験体

今回の調査に使用した試験体は、キャッチャー剤使用せっこうボード、炭ボードの 2 種である。

(2) 試験条件

試験の種類および小形チャンバー制御条件など、試験条件について表 1-14 に示す。

表 1-14　試験条件

試験の種類		吸着限界量測定（指針値）	吸着限界量測定（指針値 5 倍）
制御条件	温度	28±1℃	
	湿度	50±5%	
	換気回数	0.5±0.05 回/h	
	試料負荷率	2.2m²/m³	
捕集日		1、3、7、14、21、28、35、42 日目	
ホルムアルデヒド供給濃度設定値		100μg/m³	500μg/m³

(3) 試験方法

試験は、JSTM H 5001:2005 に準拠して、構成したシステムを使用して行い、本試験には 10L チャンバーを用いた。

(4) 測定結果及びまとめ

吸着率の経時変化を図 1-12 に示す。今回測定を行った試験体 2 種は、ホルムアルデヒドの供給濃度が厚生労働省の室内濃度指針値、指針値 5 倍値の両条件で 90%近い吸着率を示した。

2 段階の濃度条件で、両試験体は 42 日間の測定期間を通じてほぼ一定した吸着性能を示し続けた。炭ボードには 5%ほどの吸着率の低下が見られたが、7 日目以降は安定した性能を示している。

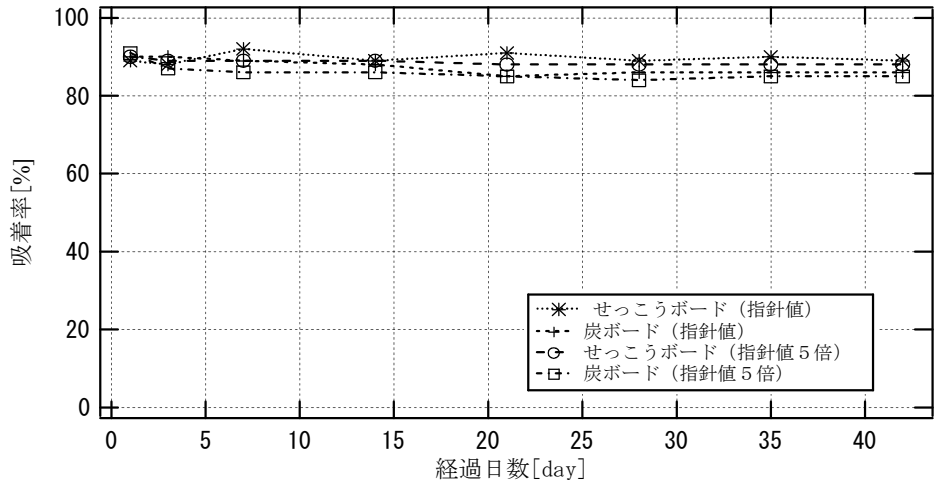


図 1-12　ホルムアルデヒド吸着率経時変化（吸着限界量測

２．　実大実験室を用いた吸着低減建材の低減効果確認試験

2-1 目的

室内ホルムアルデヒド濃度全国実態調査では、シックハウス対策のための改正建築基準法に対応した新築住宅のホルムアルデヒド濃度は、改正前に比べ低下している。しかし改正前に建設された既存住宅では、依然として建材からホルムアルデヒド発生量が減衰していないこと、また住宅の換気量不足も伴い、室内空気質は必ずしも良好な状態でない建物も存在する。そのため室内空気質改善のための検討は重要な課題である。

材料レベルにおいては、小型チャンバーを用いた室内空気汚染濃度低減建材の試験方法が提案され、評価が可能となっている。しかしチャンバー試験において濃度低減効果の高い材料を実大実験室に施工し、性能確認を行った実験は少ない。そこで低減建材の性能を実大レベルで確認することを目的とする。

2-2 試験方法

（1）実大実験住宅

床面積12.1m^2（８畳､気積V=29m^3）の実験室が6部屋連なる実験住宅の5部屋（Ａ～Ｄ室、Ｆ室）を用いる。この実験住宅は、エアコンを用いて温度制御を行い、またインバーター制御の給排気換気扇（第一種換気）により換気量を制御することが可能である。内装は、床面に木質フローリング、壁天井面を壁紙仕上げ（下地石こうボード）とし、一般住宅の内装仕上げと同等の仕様をなっている。また実験室の気密は相当隙間面積で約1cm^2/m^{2}程度であり高気密・高断熱仕様となっている。実大実験住宅の平面図を図1-13及び写真1-1に示す。また実験室詳細を表1-15に示す。

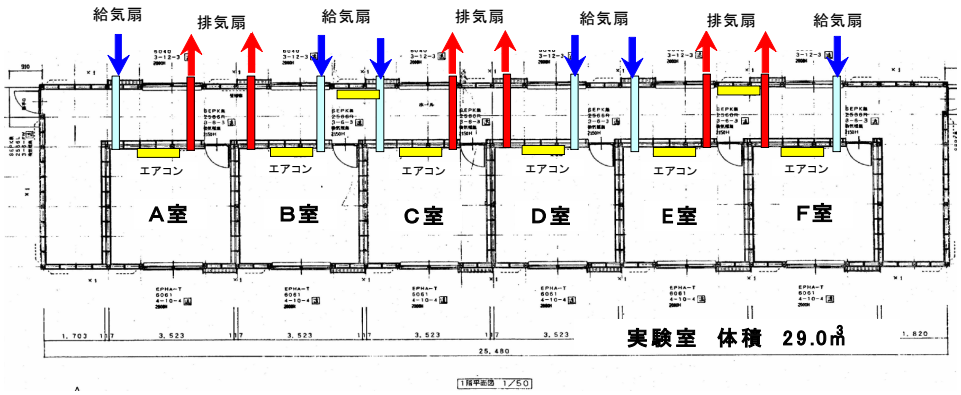


図 1-13　実大実験住宅の平面

写真 1-1　実大実験住宅の外観

表 1-15　実験室詳細

実験使用室	A室　～　D室、F室　5室
実験室寸法	w3.4m×d3.55m×h2.4m　床面積 12.1m^2　　気積 29.0m^3
内装仕様	壁天井　　石膏ﾎﾞｰﾄﾞ＋壁紙仕上げ 床　　木質ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ
気密性	相当隙間面積　C＝1.0 cm^2/m^2 程度　次世代省エネ基準Ⅲ地域仕様
換気回数	換気扇を用いた強制給排気　0.50（回/時）
日射	遮断（断熱雨戸を閉めることで日射を遮断）

(2) 低減建材の種類と施工面積

低減建材は、昨年度研究課題の成果としてチャンバー試験で高い吸着効果を確認しているせっこうボードと炭ボードの2種類とする。施工部位は、実験室の南北2面の壁面の場合と、天井面を含む3面の場合を想定する。また室内空気の攪拌は、エアコンと機械換気による標準状態の他、扇風機を用い、低減建材表面に直接風を当てて室内空気の対流を行う強制攪拌状態の2種類とする。（あらかじめ風速分布の測定を行う。）

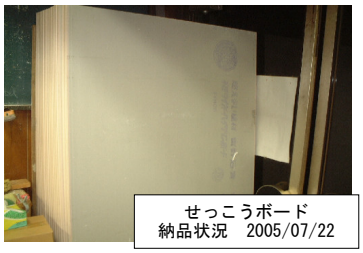
低減建材の種類、表面積、試料負荷率、室内空気攪拌状態を表1-16に、施工状況を写真1-2、写真1-3に示す。また強制攪拌状態を図1-14、写真1-4に示す。

表 1-16　低減建材の種類、表面積、試料負荷率、対流状態

実験室	低減建材	施工部位	表面積(m^2)	吸着建材負荷率（m^2/m^3）	室内空気　攪拌状況
A	なし				標準状態
B	せっこうボード	壁2面	17	0.58	標準状態
C	せっこうボード	壁天井3面	29	1.00	標準状態
D	炭ボード	壁2面	17	0.58	標準状態
F	炭ボード	壁2面	17	0.58	強制攪拌状態

写真 1-2　施工状況（左：せっこうﾎﾞｰﾄﾞ　右：炭ボード）

実大実験室を用いた化学物質吸着建材の性能試験　施工状況



せっこうボード
納品状況　2005/07/22

炭ボード
納品状況　2005/07/22

施工準備
2005/07/25

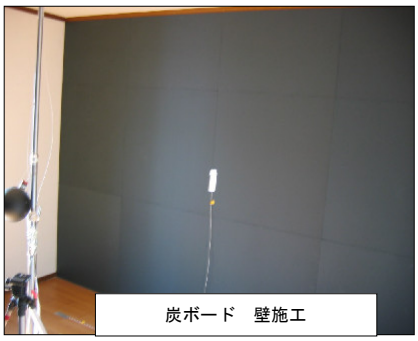
せっこうボード　壁施工

せっこうボード　天井施工

せっこうボード　壁施工

炭ボード　壁施工

炭ボード　壁施工



炭ボード　壁施工

写真 1-3　低減建材　施工状況

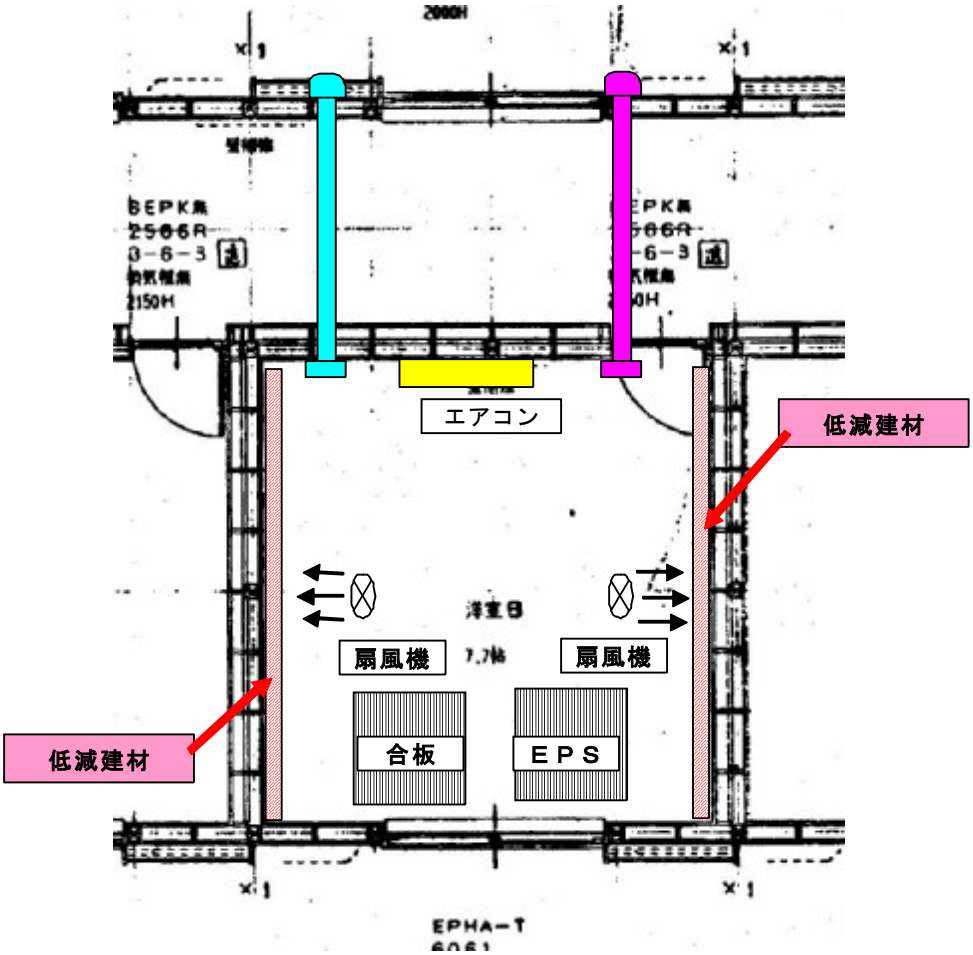


図 1-14　扇風機を用いた室内空気の強制攪拌状態

写真 1-4　炭ボード工状況（左：Ｄ室標準状態　右：Ｆ室扇風機による空気攪拌状態）

(3) 化学物質放散源

実験住宅の化学物質濃度は既に低い状態となっていること、また改正建築基準法により住宅からの化学物質の放散が低下していることなどから、家具を模した放散源を実験室内に設置する。

ホルムアルデヒド放散源は、合板（コンクリート型枠用合板1.8m×0.9m　厚さ12mm）でホルムアルデヒド放散等級Ｆ☆の材料とする。ＶＯＣ放散源は、トルエンが放散するよう特注で製作したＥＰＳ（ビーズ法ポリスチレン）ボード(1.8m×0.9m　厚さ30mm)とする。これらの材料8枚を10cm間隔で並べて箱状の放散源とする。

なお合板、ＥＰＳボードとも側面から化学物質が放散しないようアルミテープでシール処理し、ボード表裏面の放散面積が床面積の約2倍とする。なお合板からのホルムアルデヒド放散速度がＦ☆☆上限値(120μg/m^{2}h)とＦ☆☆☆上限値(20μg/m^{2}h)の中間と仮定すると70(μg/m^{2}h)となり、発生量は放散速度に表面積を乗じることで約1800（μg/h)、換気量は0.5回換気より14.5(m^3/h)となるので、室内濃度は発生量を換気量で除して124(μg/m^3)となる。

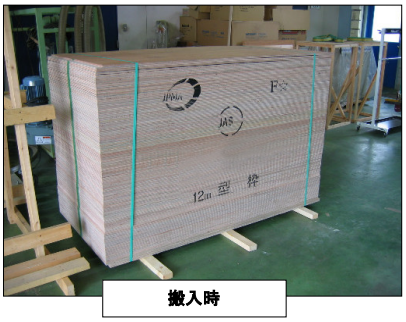
表1-17に放散源の仕様を、写真1-5、写真1-6にホルムアルデヒド放散源の状況を示す。

表 1-17　放散源の仕様

化学物質	材　料	枚数	表面積(m^2)	試料負荷率(m^2/m^3)
ﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ	ｺﾝｸﾘｰﾄ型枠用合板　Ｆ☆ 1.8m×0.9m　厚さ12mm (側面ｱﾙﾐﾃｰﾌﾟ処理)	8	25.9	0.89
トルエン	特注ＥＰＳ 1.8m×0.9m　厚さ30mm (側面ｱﾙﾐﾃｰﾌﾟ処理)	8	25.9	0.89

写真 1-5　放散源の設置

JASｺﾝｸﾘｰﾄ型枠用合板　F☆

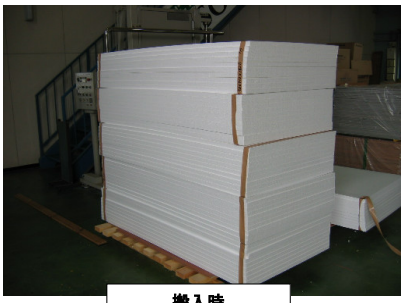


搬入時

側面アルミテープ処理

養生状況

ﾄﾙｴﾝを含む特注EPS


搬入時

側面アルミテープ処理

養生状況

写真 1-6　ホルムアルデヒド放散源（コンクリート型枠用合板　F☆）とトルエン放散源（特注 EPS）

(4) 実験条件

各実験室共通の条件を表1-18に、図1-15に施工及びサンプリングスケジュールを示す。

表 1-18　各実験室共通の条件

温度条件　　エアコン冷房運転　28℃設定
湿度条件　　湿度　なりゆき
日　　射　　雨戸締切による遮断
換気条件　　換気回数　0.5　回/h
測定スケジュール
　　低減建材施工前濃度、施工後濃度
　　放散源設置後　1日目、3日目、7日目、14日目、21日目、28日目
　　放散源除去後　1日目、3日目、7日目、10日目(33℃設定)
測定期間
　　施工　　2日
　　放散源設置　28日間
　　放散源除去　　7日間　　合計37日間

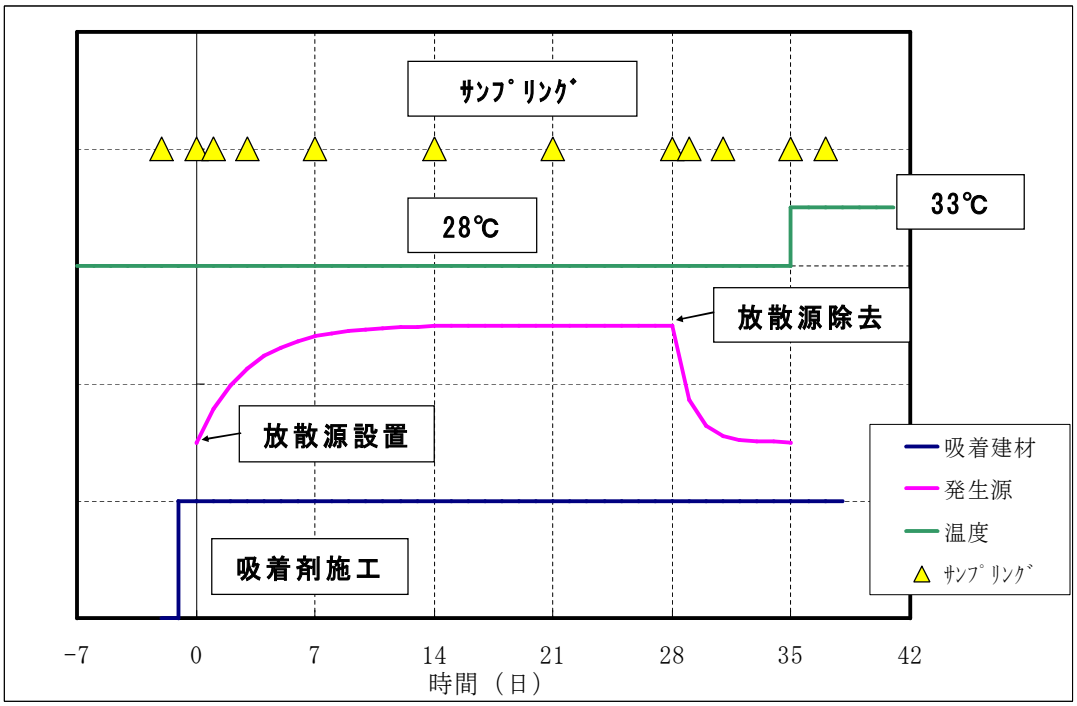


図 1-15　施工及びサンプリングスケジュール

（5）室内空気質濃度測定

①アクティブサンプリング

サンプリング位置は実験室内中央とする。廊下に設置したサンプリングポンプに空気捕集用カートリッジを取り付け、実験室中央部の空気をテフロンチューブを介して廊下側のカートリッジで採取する。

測定化学物質は、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエン、キシレン、スチレン、エチルベンゼン、ＴＶＯＣの7種類とする。

ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドはDNPHカートリッジに採取した空気（流量1.0L/minで30L採取）を高速液体クロマトグラフ（HP/LC）を用いて分析を行う。その他のＶＯＣについては、ＶＯＣ吸着管に採取した空気（流量0.1L/minで3L採取）をガスクロマトグラフ（GC/MS)を用いて分析を行う。アルデヒド類及びＶＯＣのサンプリングは二重測定とし、平均値を室内濃度と規定する。

②パッシブサンプリング

パッシブサンプリングに用いるサンプラーは、ホルムアルデヒド用、ＶＯＣ用とも全国実態調査に用いたタイプと同様のものを用いる。サンプラーの実験室暴露時間は24時間とし、実験室中央にパッシブサンプラーを設置する。

（6）放散源の放散速度測定

実大実験室に設置した放散源の放散速度を、JIS A 1901「建築材料の揮発性有機化合物(VOC)、ホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物放散量測定－小型チャンバー法」による放散速度測定を実施する。またコンクリート型枠用合板については、試験前後においてJIS A 1460「建築用ボード類のホルムアルデヒドの放散量測定　デシケーター法」による放散量測定を行う。試験条件を表1-19に示す。

表 1-19　小型チャンバー法による放散速度測定　試験条件

チャンバー容積	20(L)型
実験温湿度	28℃、50%
換気回数	0.5回/h
試験体仕様	①コンクリート型枠用合板（側面アルミテープ処理）
	②特注ＥＰＳ（側面アルミテープ処理）
試料負荷率	0.89　（表面積178cm^2）　実験室の放散源試料負荷率と一致
	2.20　（表面積440cm^2）　チャンバー試験標準試料負荷率
シールボックス	使用せず
試験期間	28日間
測　　定	ﾌﾞﾗﾝｸ、　1日目、　3日目、　7日目
	14日目、 21日目、 28日目

2-3 結果

（1）デシケーター法、チャンバー法による放散源の放散量測定結果

デシケーター試験によるコンクリート型枠用合板のホルムアルデヒド放散量測定結果を表1-20に示す。またチャンバー法による合板及びＥＰＳの放散速度測定結果を図1-16に示す。またチャンバー試験結果を用い１/Cとn/Lの関係を図1-17、表1-21に示す。

表 1-20　デシケーター試験結果

	ホルムアルデヒド放散量(mg/L)		等級
	平均	最大	
試験開始前	0.36	0.37	F☆☆☆
試験終了後	0.17	0.18	F☆☆☆☆
低下率(%)	47%	49%	

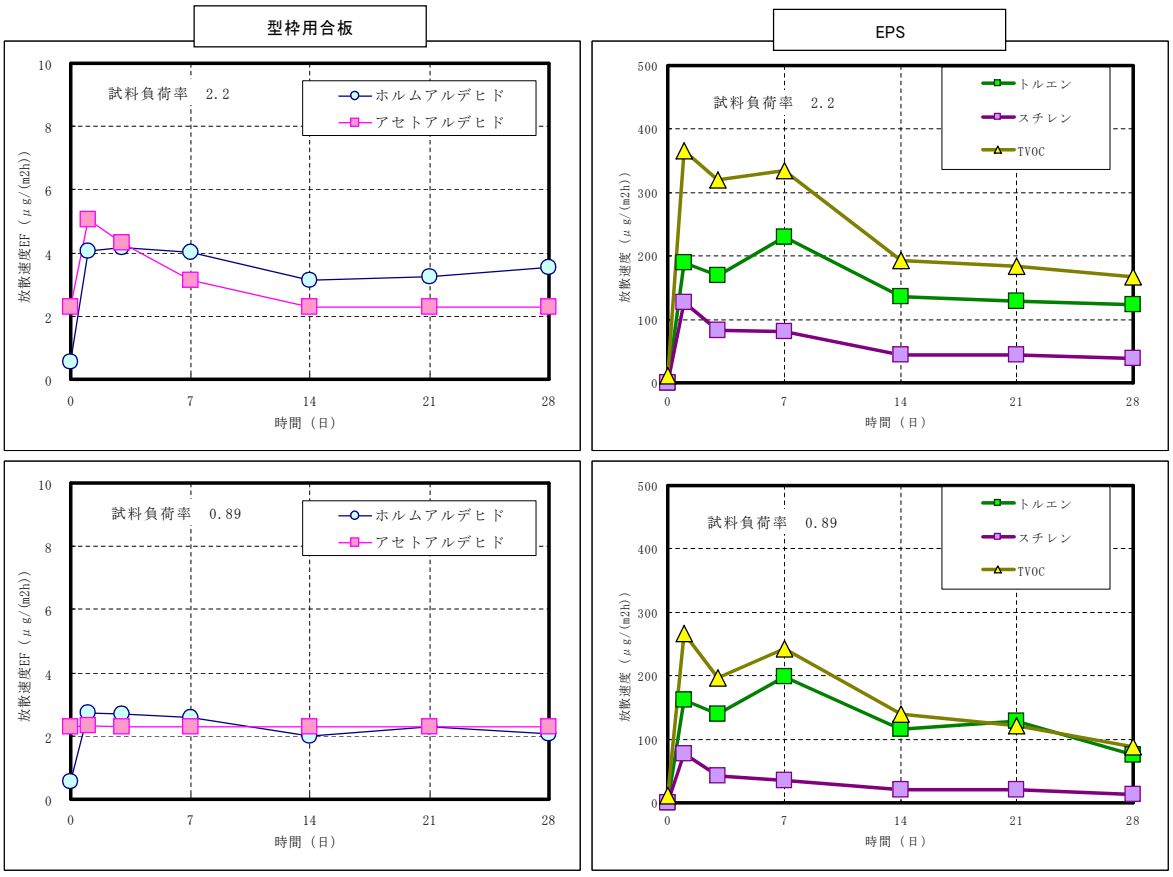


図 1-16　放散源（合板、EPS）の放散速度経時変化

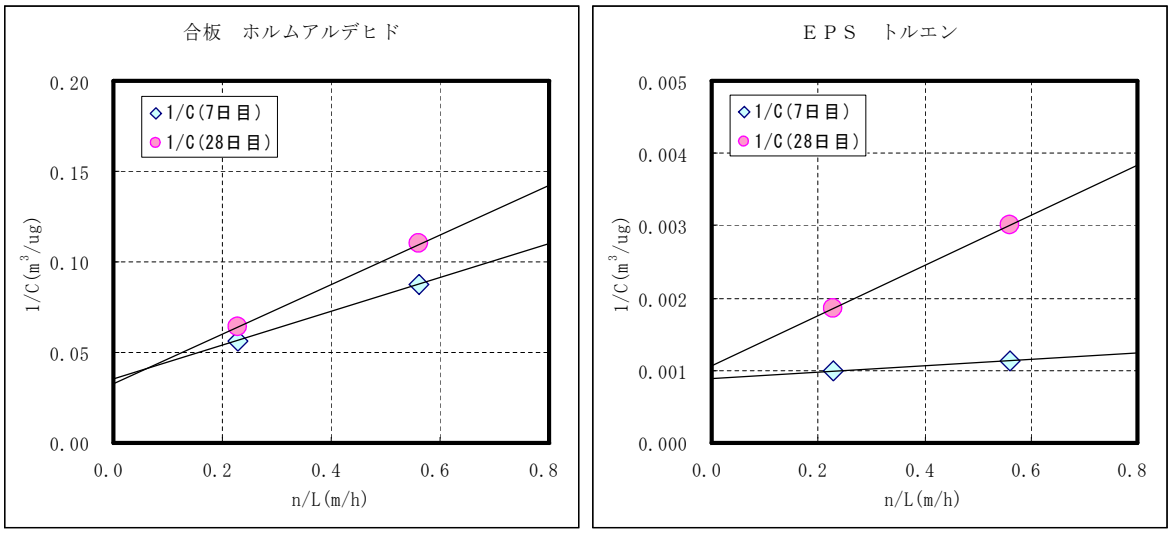


図 1-17　合板のホルムアルデヒド濃度、EPS のトルエン濃度　n/L と 1/c

表 1-21　合板・EPS の平衡濃度 Ce、吸収係数α

	試料負荷率 L	換気回数 n	n/L	ホルムアルデヒド濃度 C(7日目) (μg/m³)	1/C(7日目) (m³/μg)	C(28日目) (μg/m³)	1/C(28日目) (m³/μg)
合板	2.20	0.50	0.227	17.7	0.0565	15.6	0.0641
	0.89	0.50	0.562	11.4	0.0877	9.1	0.1099
					7日目		28日目
				平衡濃度Ce	28.3		30.3
				吸収係数α	0.378		0.022

	試料負荷率 L	換気回数 n	n/L	トルエン濃度 C(7日目) (μg/m³)	1/C(7日目) (m³/μg)	C(28日目) (μg/m³)	1/C(28日目) (m³/μg)
EPS	2.20	0.50	0.227	1009.0	0.0010	540.0	0.0019
	0.89	0.50	0.562	877.0	0.0011	332.0	0.0030
					7日目		28日目
				平衡濃度Ce	1123.9		940.2
				吸収係数α	1.995		0.000

（2）実大実験室の温湿度測定結果

実験期間中の実大実験室の温湿度測定結果を、図1-18に示す。各実験室ともエアコン冷房運転28℃設定（一部期間暖房33℃設定）を基本としているが、温度は概ね設定値通りとなっていることが確認できた。また湿度はいずれの測定室も50%を超える値となった。

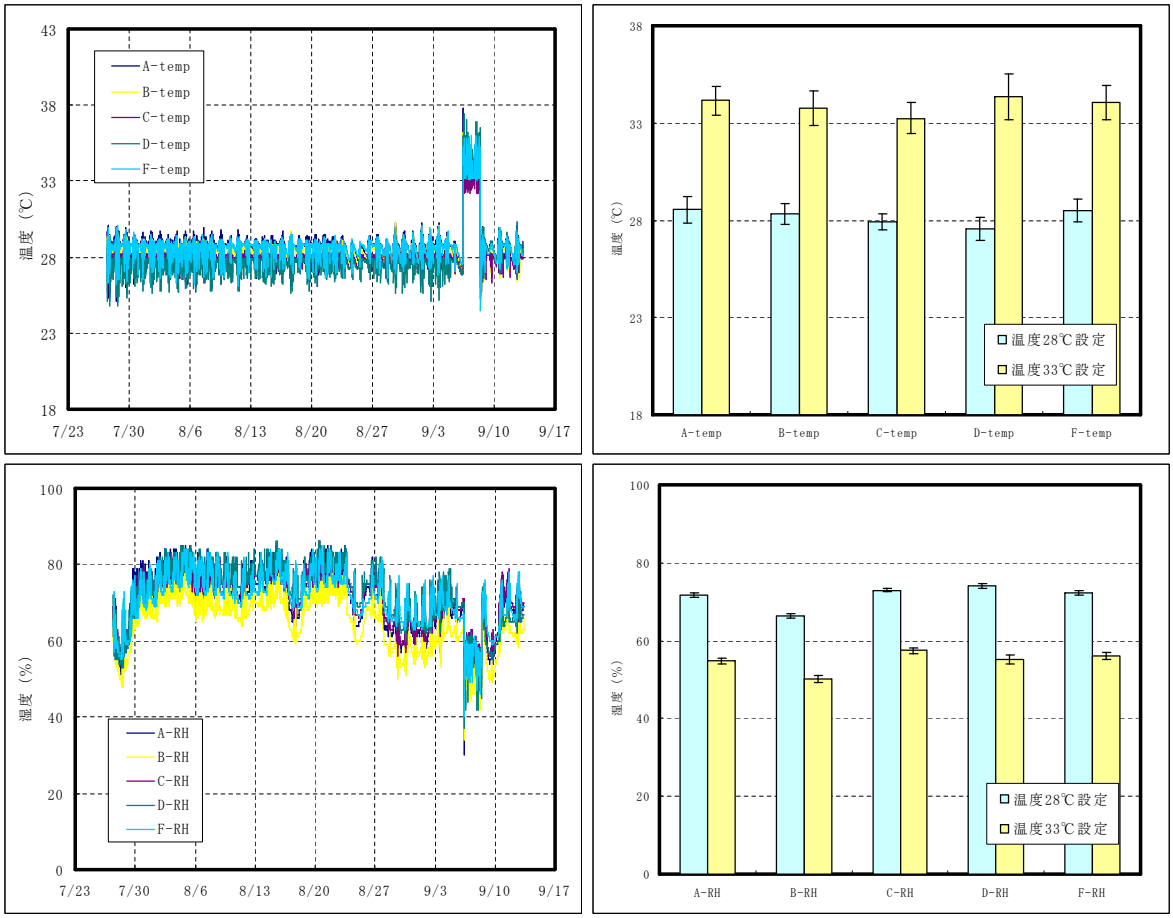


図 1-18　実験期間内における実大実験室温湿度測定結果

（3）実大実験室のホルムアルデヒド濃度経時変化

室内ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド濃度の経時変化を図1-19に示す。0日目から28日目までが放散源を設置した状態（28℃設定）、28日目から35日目までが放散源を除去した状態（28℃設定）、35日目から38日目は、放散源を除去し室温を33℃に設定した状態を示す。

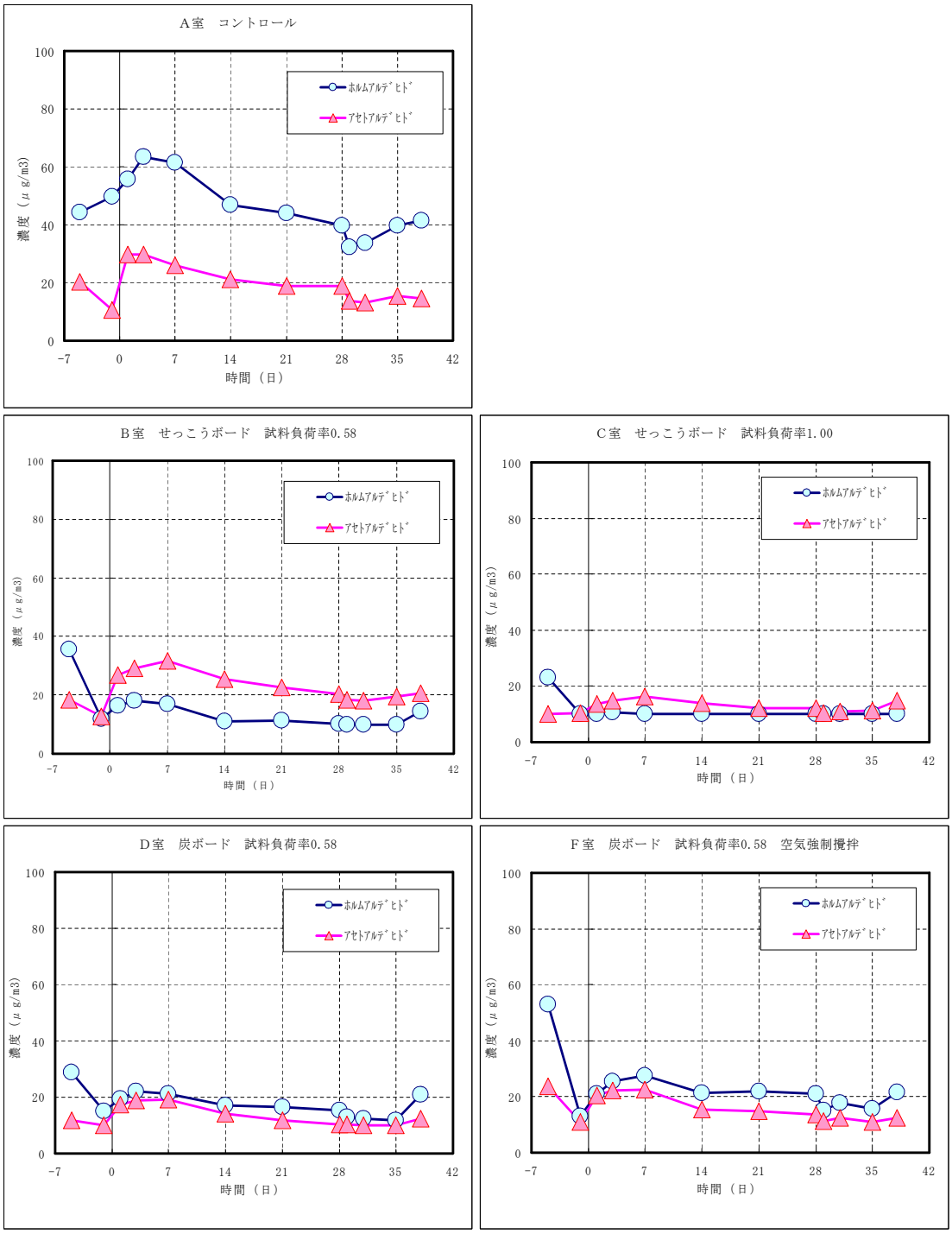


図 1-19　実大実験室　ホルムアルデヒド・アセトアルデヒド濃度の経時変化
室内濃度指針値　ホルムアルデヒド 100（μg/m³）　アセトアルデヒド 48（μg/m³）

（4）実大実験室のスチレン濃度経時変化

室内スチレン濃度の経時変化を図1-20に示す。0日目から28日目までが放散源を設置した状態（28℃設定）、28日目から35日目までが放散源を除去した状態（28℃設定）、35日目から38日目は、放散源を除去し室温を33℃に設定した状態を示す。

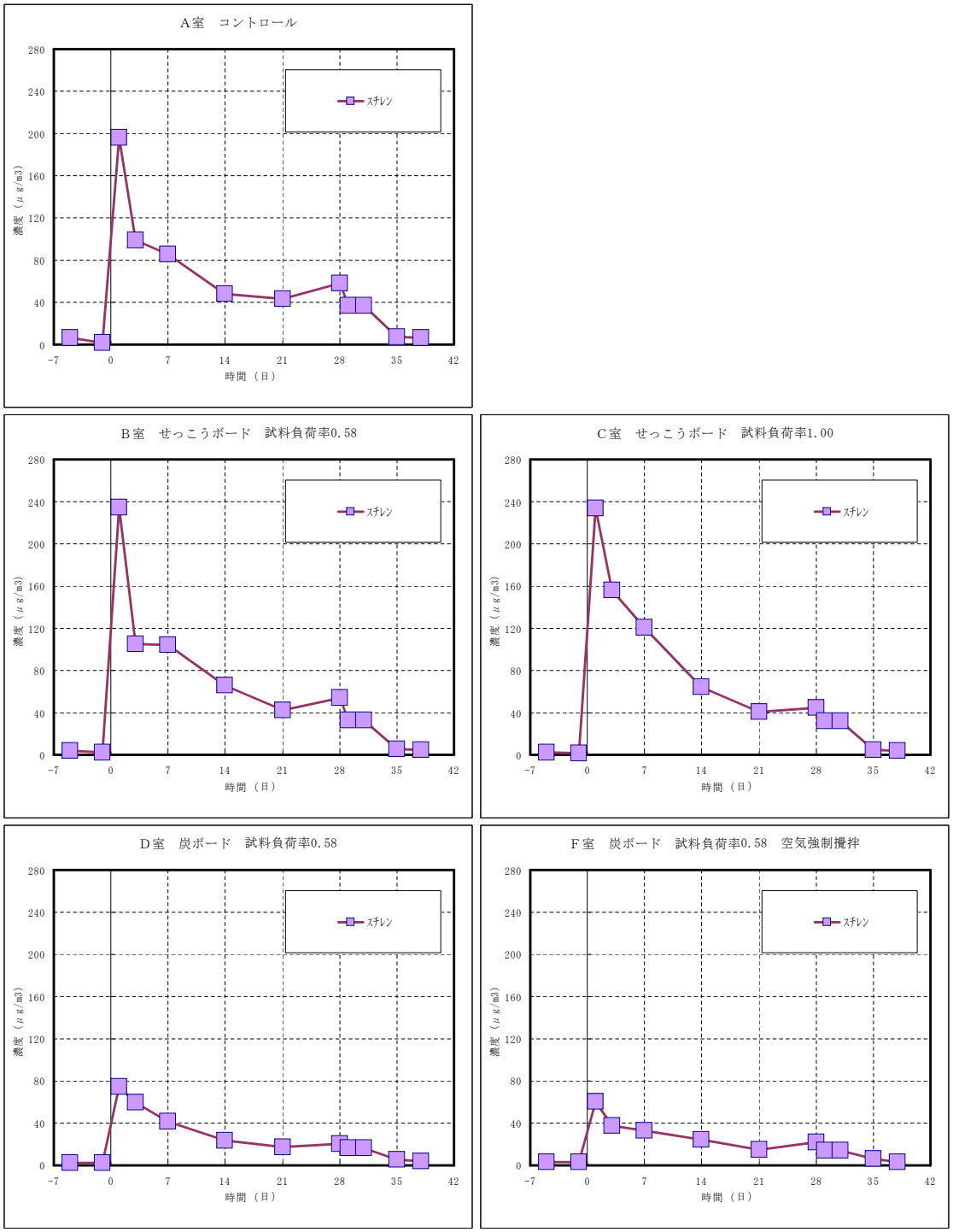


図 1-20　実大実験室　スチレン濃度の経時変化
室内濃度指針値　スチレン　220（μg/m³）

(5) 実大実験室のトルエン・ＴＶＯＣ濃度経時変化

室内トルエン・ＴＶＯＣ濃度の経時変化を図1-21に示す。0日目から28日目までが放散源を設置した状態（28℃設定）、28日目から35日目までが放散源を除去した状態（28℃設定）、35日目から38日目は、放散源を除去し室温を33℃に設定した状態を示す。

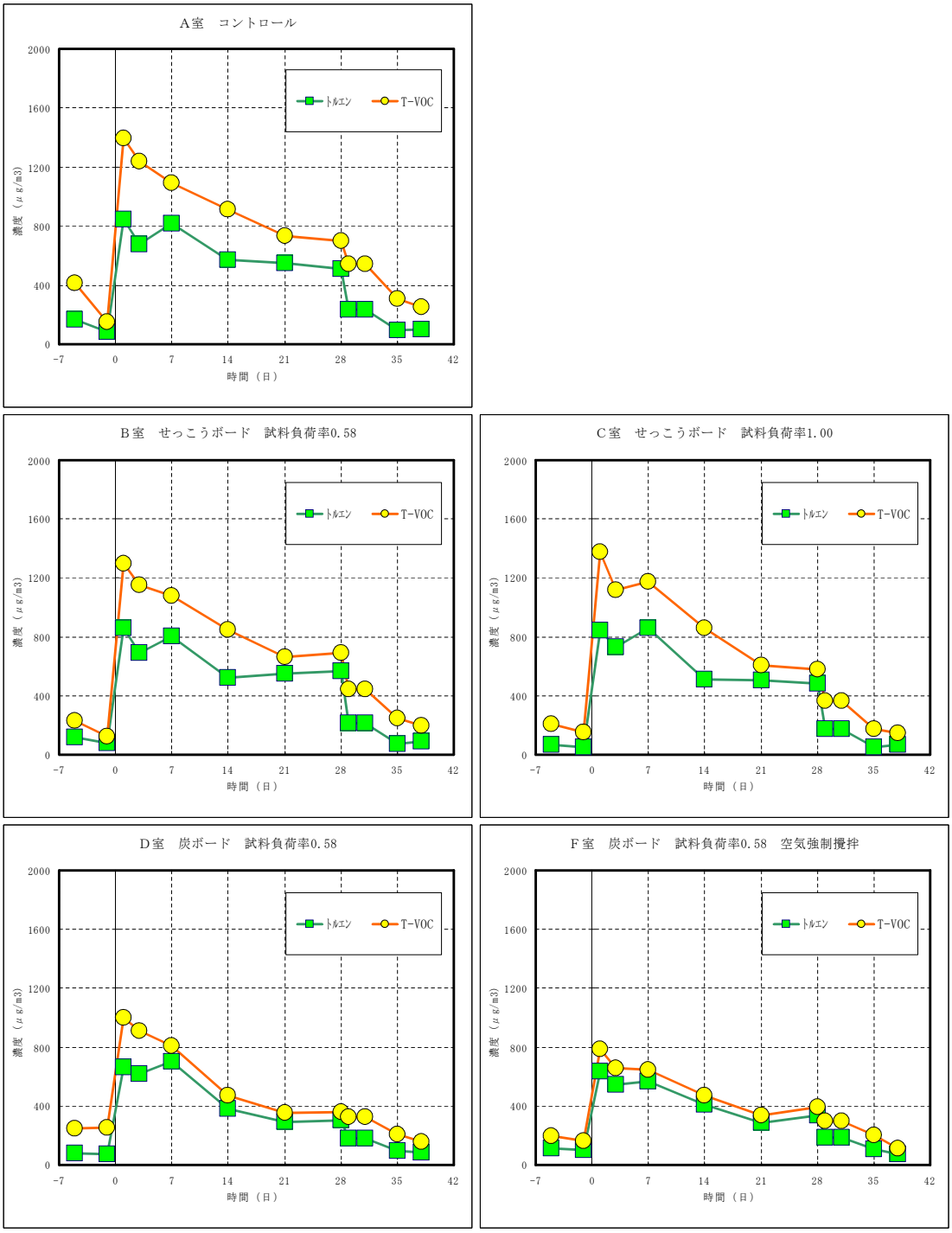


図 1-21　室内トルエン濃度・ＴＶＯＣ濃度の経時変化
室内濃度指針値：トルエン 260（μg/m³）　　室内濃度暫定目標値：ＴＶＯＣ400（μg/m³）

（6）実大実験室とコントロール室との濃度差の経時変化

A室（コントロール）との濃度差の経時変化を図1-22に示す。0日目から28日目までが放散源を設置した状態（28℃設定）、28日目から35日目までが放散源を除去した状態（28℃設定）、35日目から38日目は、放散源を除去し室温を33℃に設定した状態を示す。

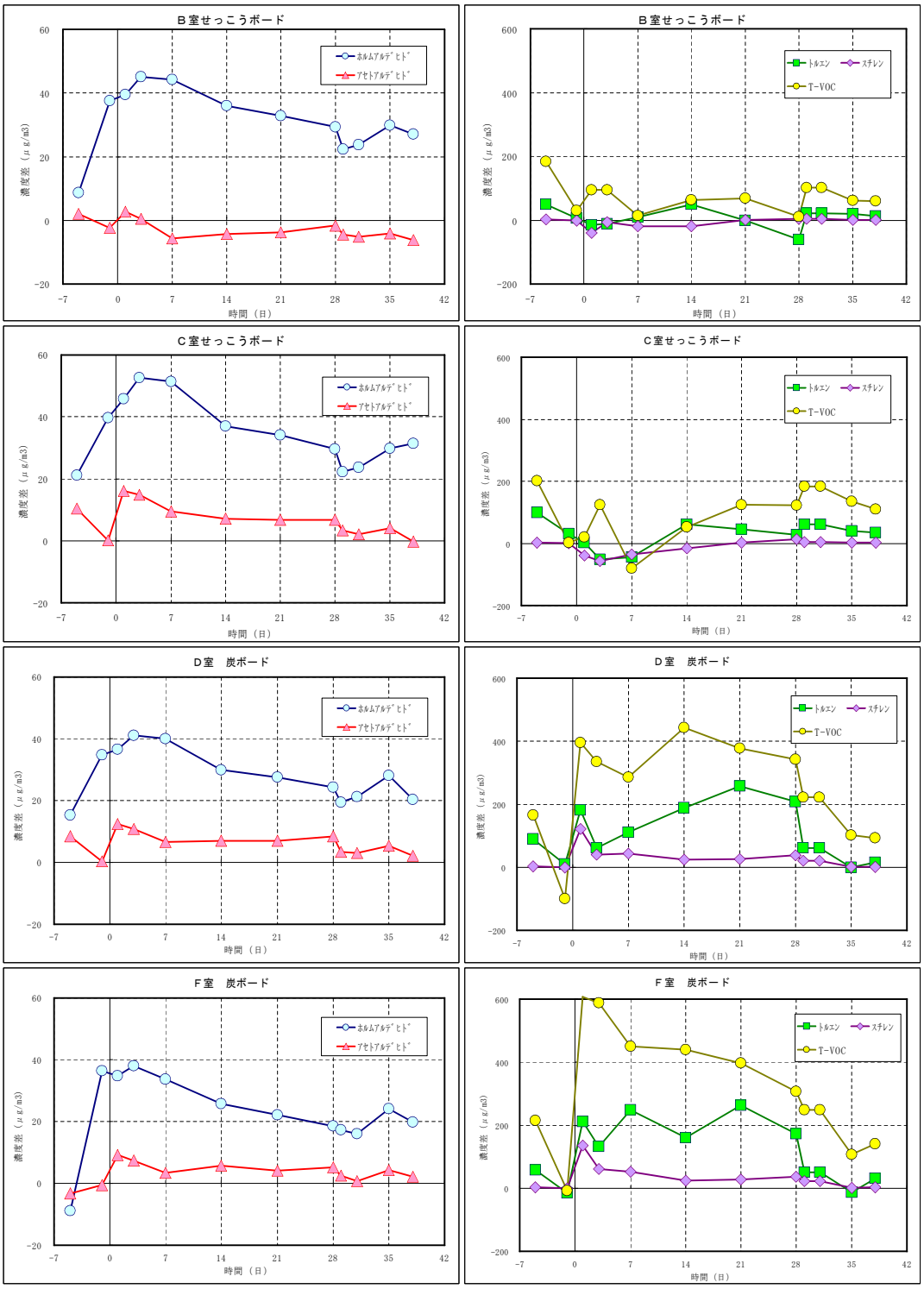


図 1-22　コントロール室（A室）との化学物質濃度差

（7）換気量換算値Qads の算出

室内空気汚染濃度低減建材の低減性能試験方法その 1ー小型チャンバー法によるホルムアルデヒド低減性能（シックハウス対策に関する標準化の枠組と今後の展望　平成 16 年 11 月　(財)建材試験センター梗概集）に、低減建材の性能試験方法が規定されている。この試験を用いることで、汚染空気をチャンバー内に供給し、入口濃度と出口濃度から、吸着速度 ads、換気量換算値 Qads を算出することができる。（**式 1** 参照）

今回の実大実験室を用いた実験では、汚染空気を供給する代わりに、実験室内に発生源を設置し、低減建材を施工しないコントロール室との比較を行っているが、各実験室内に設置した放散源からの放散量が等しいと仮定し、**式 1** により換気量換算値を算出し、図 1-23 に示す。

$$Qads = \left(\frac{C_{control}}{C_{material}} - 1\right) \times \frac{Q}{A}$$

式 1

ここで　Qads　：換気量換算値($m^3/(h \cdot m^2)$)

$C_{control}$：コントロール（A 室）濃度

$C_{material}$：低減建材施工室濃度

Q：換気量(m^3/h)

A：低減建材表面積(m^2)

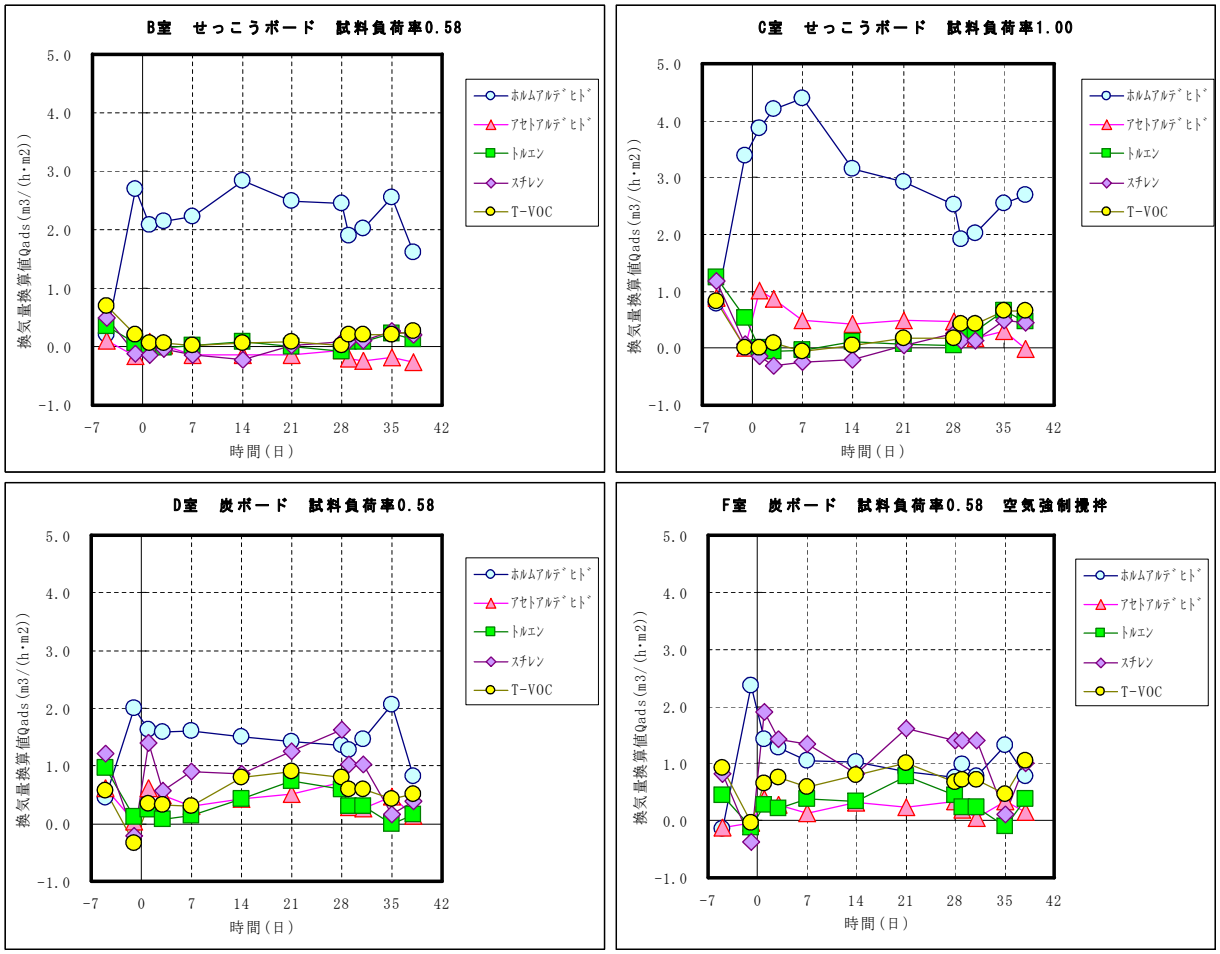


図 1-23　換気量換算値 Qads の経時変化

実験期間内における化学物質毎の平均換気量換算値を表 1-22 に、換気量換算値の積み上げ図を図 1-24 に示す。

表 1-22　換気量換算値Qads 平均値

	換気量換算値Qads($m^3/(h \cdot m^2)$)							
	B室せっこうボード		C室せっこうボード		D室炭ボード		F室炭ボード	
	吸着時	放散時	吸着時	放散時	吸着時	放散時	吸着時	放散時
ﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ	2.368	2.025	3.511	2.291	1.52	1.41	1.07	0.96
ｱｾﾄｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ	0.000	0.000	0.626	0.183	0.51	0.29	0.28	0.18
ﾄﾙｴﾝ	0.000	0.133	0.021	0.431	0.37	0.18	0.40	0.18
ｽﾁﾚﾝ	0.000	0.169	0.000	0.297	1.10	0.65	1.42	0.99
T-VOC	0.052	0.219	0.076	0.544	0.58	0.52	0.75	0.73
合計	2.420	2.546	4.235	3.746	4.077	3.062	3.911	3.049
備考	吸着時：放散源設置期間（初期～28日目）平均値 放散時：放散源除去期間（28日目～38日目）平均値							

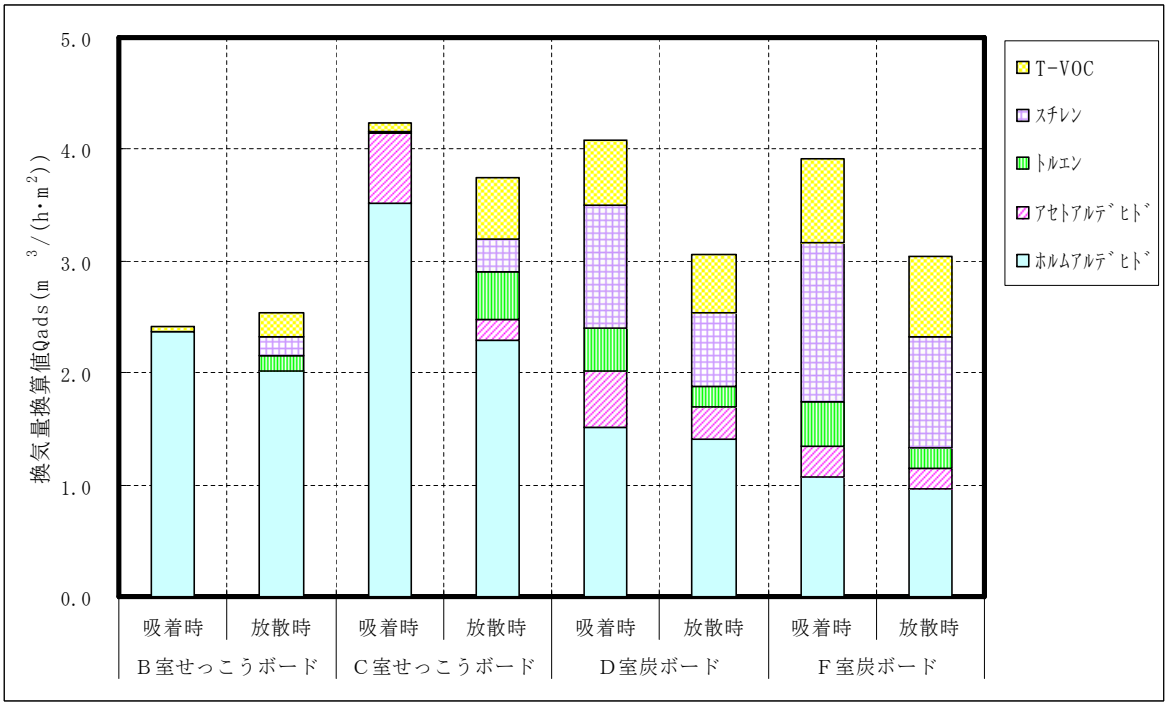


図 1-24　換気量換算値の積み上げ図

2-4 まとめ

実大実験室を用いた吸着低減建材の低減効果確認試験により以下の結果を得た。

（1）せっこうボード、炭ボードともホルムアルデヒドの濃度低減効効果が認められ、28日間の実験期間においてホルムアルデヒド室内濃度は、約20(μg/m³)となり低い値を示した。また放散源を除去した後、吸着建材からの再放散は、同一温度条件では確認できなかった。

（2）換気量換算値は、せっこうボードで2.5(m³/(h･m²))程度の値となり、低減建材の試料負荷率が大きいものは、初期の換気量換算値が大きい値となった。炭ボードでは1.0～1.5(m³/(h･m²))の範囲であり、空気を強制的に攪拌した部屋の方がホルムアルデヒドに関しては濃度低減が小さい結果となった。空気を攪拌することで放散源からの放散量が増加した可能性もあり、今後詳細な検討が必要である。

（3）せっこうボードは、トルエンなどのＶＯＣに対しての低減効果は確認できなかった。しかし炭ボードは、ＶＯＣを低減する効果が実験の範囲内で確認できた。また炭ボードについては、ＶＯＣ放散源を除去した後も吸着材からの再放散は、同一温度条件では確認できなかった。

３．　簡易法による建材からの化学物質放散量測定の検討

3-1 目的

建材からの化学物質放散量測定は、JIS A 1901で規定されているチャンバー法を用いて行われている。また建築基準法におけるホルムアルデヒド発散建築材料の大臣認定においても、チャンバー法での測定が行われている。一方ホルムアルデヒドの大臣認定では、JIS A 1460で規定するデシケーター法による放散量測定も認められている。これは、密閉されたデシケーター内で建材から発生したホルムアルデヒドが、水に吸収される原理を利用している。デシケーター法では、ホルムアルデヒド以外の化学物質の測定はできないが、密閉容器に化学物質を吸着するパッシブ型サンプラーを設置することにより、簡易的にホルムアルデヒド以外の化学物質放散量を求めることが可能であるなら、化学物質放散の少ない建築材料開発の助けとなる。

本実験では、簡易法による建材からの化学物質放散量測定の検討を行い、チャンバー法で求めた放散量との整合性を検討することを目的とする。

3-2 試験方法

（1）ステンレス製密閉タンクを用いた簡易法

簡易法はステンレス製密閉タンク(20L)を用い、タンク内に試験片とパッシブサンプラーを設置してホルムアルデヒド及びＶＯＣを同時に測定する方法とした。

ステンレス製密閉タンクを用いる利点としては、

①ステンレス製密閉タンクが、チャンバー法における20Lチャンバーと同様の形状をしていることから、チャンバー試験と同じ大きさの試験片で試験ができること。またボード状のサンプルのみならず、シート状、綿状の建材の測定も可能であること。

②ホルムアルデヒド用及びＶＯＣ用のパッシブ型サンプラーを同時に設置することで、異なる化学物質を同時に測定できること。

③パッシブ型サンプラーの数量を変化させることで、相当換気量を変えることが可能であること。

などである。

試験に使用するステンレス密閉タンク(20L)を写真1-7に示す。

写真 1-7　ステンレス密閉タンク

パッシブ型サンプラーは、ホルムアルデヒド用とＶＯＣ用の2種類とした。

試験時間は､建材からのＶＯＣ放散量とパッシブサンプラー吸着量の関係を確認するため､8時間、24時間、48時間、72時間、168時間の5条件とする。またチャンバーは、28℃環境の恒温恒湿室に設置し試験を行う。

試験条件を表1-23に、チャンバー設置状況を写真1-8に、パッシブ型サンプラー設置状況を写真1-9、1-10に示す。またパッシブサンプラー設置位置詳細を図1-25に示す。

表 1-23　実験条件

密閉タンク容量材質	20L ステンレス製 SUS304
タンク内環境	温度　28℃
パッシブ型サンプラー	ホルムアルデヒド用サンプラー ＶＯＣ用サンプラー
サンプラー個数	ホルムアルデヒド用、ＶＯＣ用共通　1個または2個
測定時間	8, 24, 48, 72, 168時間

写真 1-8　恒温恒湿室及び恒温恒湿内チャンバー設置状況件

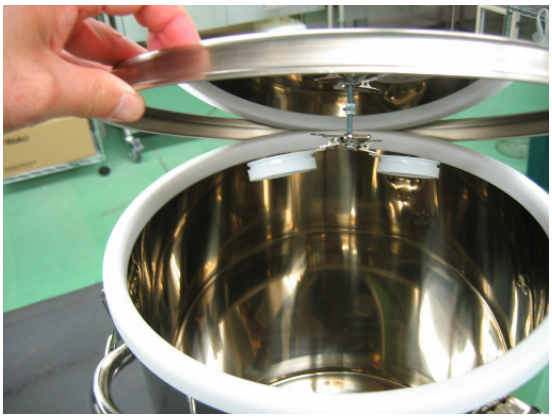


写真 1-9　パッシブ型サンプラー設置状況（上部設置）

写真 1-10　パッシブ型サンプラー設置状況（左：中段設置　右：下部設置）

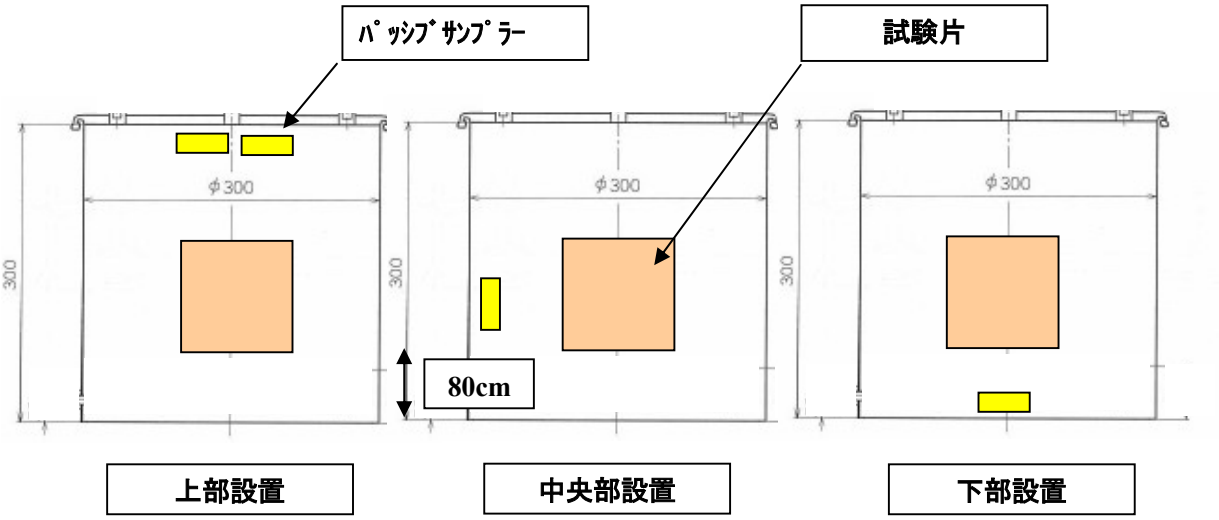


図 1-25　パッシブサンプラー　設置位置詳細

（2）試験体

試験体は、コンクリート型枠用合板、木質フローリング、パーティクルボード、ＭＤＦ、ＥＰＳ断熱材の5種類とする。なお試験片側面から化学物質が放散しないよう、アルミテープでシール処理を行う。材料の仕様を表1-24及び写真1-11に、試験体チャンバー内設置状況を写真1-12に示す。

表 1-24　材料仕様

材料	規格	放散等級	面積 (cm^2)	試料負荷率 (m^2/m^3)	測定対象
ｺﾝｸﾘｰﾄ型枠用合板	JAS	Ｆ☆	440	2.2	ﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ
木質ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ	JAS	Fc2（H12 製）	440	2.2	ﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ、VOC
ﾊﾟｰﾃｨｸﾙﾎﾞｰﾄﾞ	JIS	Ｆ☆☆☆☆	440	2.2	ﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ
ＭＤＦ	JIS	Ｆ☆☆☆☆	440	2.2	ﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ
ＥＰＳ断熱材	無	——	440	2.2	VOC

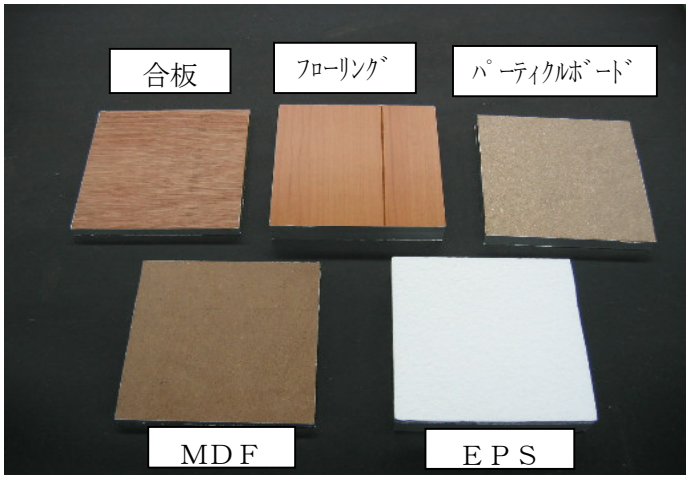


写真 1-11　試験体　（側面アルミテープによりシール処理）

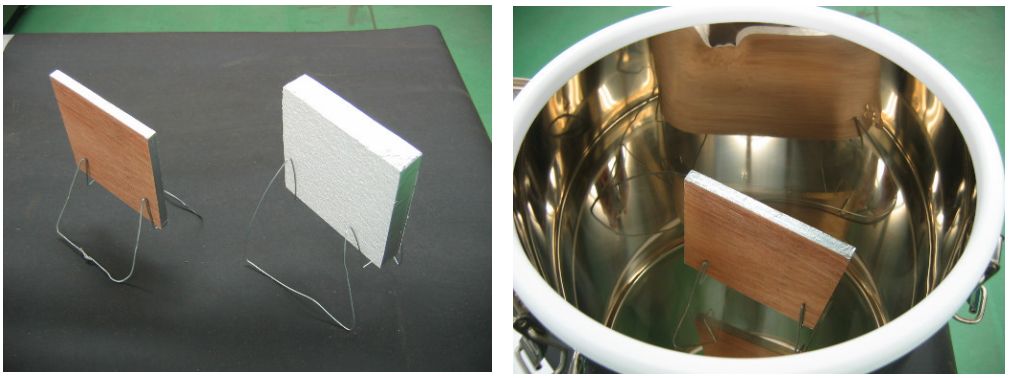


写真 1-11　試験体設置状況

チャンバー内試験片設置高さは、JIS A 1901 建築材料の揮発性有機化合物(VOC)、ホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物放散量測定方法－小型チャンバー法」における20Lチャンバー（ADP AC製）と一致させた。（試験片下端がタンク底部より80mmの位置になるようにする。）

実験条件を表1-25、表1-26に示す。なお表中の◎は、パッシブサンプラーの取り付け位置を上、中、下の3か所での実験を行ったことを示し、○は上部のみを示す。

表 1-25　アルデヒド用パッシブサンプラー　実験条件

パッシブサンプラー		建材	8hr	24hr (1日)	48hr (2日)	72hr (3日)	168hr (7日)
種類	個数						
ﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ用	1	合板	◎	◎	◎	◎	◎
		ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ	○	○	○	○	○
		ＰＢ	○	○	○	○	○
		ＭＤＦ	○	○	○	○	○
	2	合板	○	○	○	○	○
		ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ	○	○	○	○	○
		ＰＢ	○	○	○	○	○
		ＭＤＦ	○	○	○	○	○

表 1-26　VOC 用パッシブサンプラー　実験条件

パッシブサンプラー		建材	8hr	24hr (1日)	48hr (2日)	72hr (3日)	168hr (7日)
種類	個数						
VOC用	1	ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ	◎	◎	◎	◎	◎
		ＥＰＳ	○	○	○	○	○
	2	ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ	○	○	○	○	○
		ＥＰＳ	○	○	○	○	○

(3) ステンレスタンクの洗浄

試験前に図1-26に示す手順でステンレスタンクを洗浄した後、試験を開始した。なおステンレスタンクの加熱処理温度(150℃)は、測定化学物質の沸点を参考（表1-27）に、大型恒温恒湿槽の能力範囲で実施した。

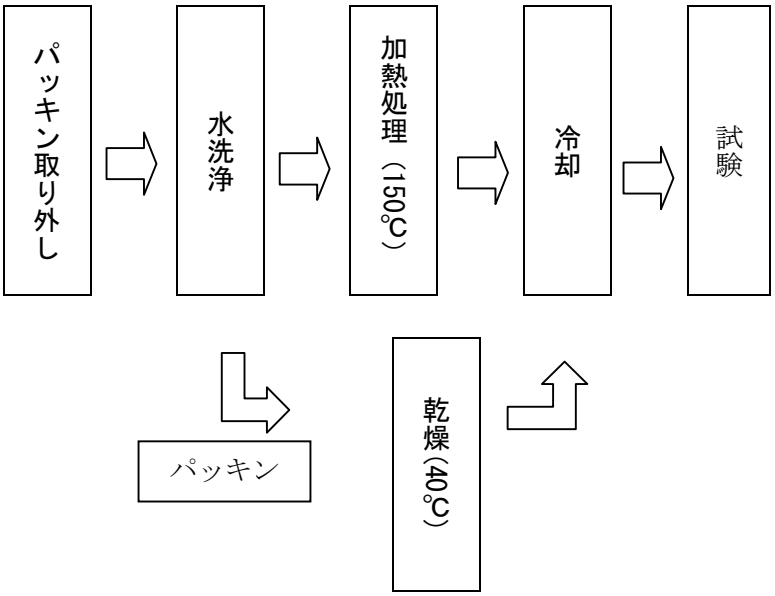


図 1-26　ステンレスタンクの洗浄方法

表 1-27　測定化学物質の沸点

化学物質	分子量	沸点（℃）
ホルムアルデヒド	30.03	-19.3
アセトアルデヒド	44.1	20.2
トルエン	92.13	110.6
エチルベンゼン	106.16	136.2
キシレン	106.16	144.4(o),139.1(m),138.4(p)
スチレン	104.14	145.2

(4) パッシブ型サンプラーのサンプリングレート（SR)、相当換気量、及び濃度の計算

パッシブ型サンプラーは、図 1-27 に示すような一定温度環境において、同一サンプリング条件におけるアクティブサンプリングによる捕集量とパッシブサンプリングによる捕集量の回帰直線からサンプリングレートを求めている。そして求めたサンプリングレートと捕集量から**式 2** を用いて気中濃度を算出している。（パッシブサンプラー取扱説明書引用）

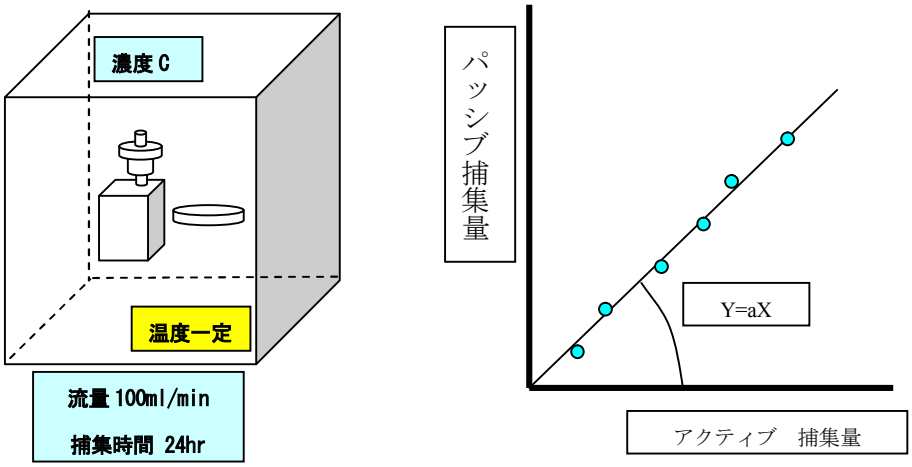


図 1-27　サンプリングレートの算出

$$C = \frac{s}{SR \times \frac{273+28}{273+25} \times 60 \times h} \times 10^6 \quad \cdots\cdots \text{式 2}$$

ここで　C：濃度(μg/m^3)
s：捕集量(μg)
SR：捕集速度(mL/min)
Sampling Rate

h：捕集時間(h)
10^6 (mL/m^3)

サンプリングレートの値は、アクティブサンプリングのサンプリング流量との比率で求めることから、相当換気量Q(mL/min)と読み替えることが可能である。

建材からの放散速度は**式 3** で求めることができ、パッシブ型サンプラーのサンプリングレート（相当換気量）を用いて算出することが可能である。

$$EF = C \times \frac{Q}{A} = C \times \frac{SR \times \frac{60}{10^6}}{A} = \frac{s \times 10^6}{SR \times \frac{273+28}{273+25} \times 60 \times h} \times \frac{SR \times \frac{60}{10^6}}{A}$$

$$EF = \frac{s}{h \times A} \quad \cdots\cdots \text{式 3}$$

ここで　EF：放散速度(μg/(m^{2}h))
C：濃度(μg/m^3)
Q：換気量(m^3/h)
A：試料表面積(m^2)(=0.044)
SR：捕集速度(mL/min)
s：捕集量(μg)
h：捕集時間(h)
10^6 (mL/m^3)

(5) チャンバー法・デシケーター法による放散量測定

簡易法の測定結果と比較するため、JIS A 1901「建築材料の揮発性有機化合物(VOC)、ホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物放散量測定－小型チャンバー法」による放散量測定を実施する。またホルムアルデヒド発散建築材料については、JIS A 1460「建築用ボード類のホルムアルデヒドの放散量測定　デシケーター法」による放散量測定を行う。 チャンバー法の試験条件を表1-28に、試験実施状況を写真1-13に示す。

表 1-28　チャンバー法　(JIS A 1901 準拠)　試験条件

チャンバー容積	20Ｌ (V=0.02m^3)
チャンバー内環境	温度　28℃
	湿度　50%　　換気回数　0.5回
試験片	表で示す５種類
試料負荷率Ｌ	2.2　及び　1.1
測定日数	1日、3日、7日

写真 1-13　デシケーター試験　チャンバー試験状況

3-3 結果

（1）デシケーター試験、チャンバー試験による放散量測定結果

チャンバー試験による合板からのホルムアルデヒド放散量測定結果を図表1-1に示す。またＥＰＳからのトルエン放散量測定結果を図表1-2に示す。また各種建材の放散量測定結果のまとめを表1-29に示す。

図表 1-1　合板からのホルムアルデヒド放散量測定結果（ﾁｬﾝﾊﾞｰ試験・ﾃﾞｼｹｰﾀｰ試験）

材料	コンクリート型枠用合板
厚さ	12mm
放散等級	JAS　F☆　平成17年6月

デシケーター法による放散量測定

試験方法	JIS A 1460 建築用ボード類のホルムアルデヒド放散量の試験方法 デシケーター法			
試験片枚数	9 枚			
表面積	1780 cm^2			
密度	502 kg/m^3			
放散量 (mg/L)	1回目	2回目	平均	最大
	0.35	0.38	0.37	0.38

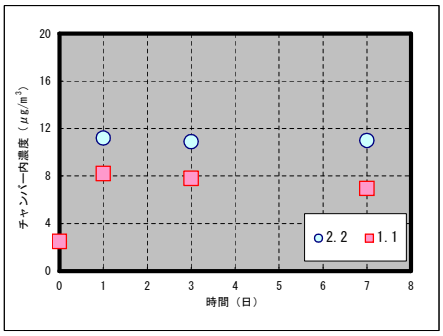
チャンバー試験による放散速度測定

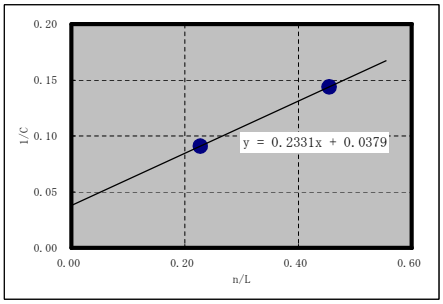
試験方法	JIS A 1901 建築材料の揮発性有機化合物(VOC)、ﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ及び他のｶﾙﾎﾞﾆﾙ化合物放散測定方法－小型ﾁｬﾝﾊﾞｰ法	
ﾁｬﾝﾊﾞｰ容量V	20 L	
温度T	28 ℃	±0.5
湿度RH	50 %	±5
換気回数n	0.5 回/h	±0.05
ｼｰﾙﾎﾞｯｸｽ	使用	

	ホルムアルデヒド			
試料負荷率 L(m^2/m^3)	2.2		1.1	
	ﾁｬﾝﾊﾞｰ内濃度($\mu g/m^3$)	発散速度($\mu g/m^2h$)	ﾁｬﾝﾊﾞｰ内濃度($\mu g/m^3$)	発散速度($\mu g/m^2h$)
ﾌﾞﾗﾝｸ	2.5	0.6	2.5	1.1
1日目	11.2	2.5	8.2	3.7
3日目	10.9	2.5	7.8	3.5
7日目	11.0	2.5	7.0	3.2

7日目ﾁｬﾝﾊﾞｰ内濃度より平衡濃度Ce、吸収係数α算出

L (m^2/m^3)	n/L	1/C ($m^3/\mu g$)	Ce ($\mu g/m^3$)	α (m/h)
2.2	0.227	0.0909	26.4	0.16
1.1	0.455	0.1439		





図表 1-2　ＥＰＳからのトルエン放散量測定結果（チャンバー試験）

材料	ＥＰＳ
厚さ	30mm
放散等級	無

デシケーター法による放散量測定

試験方法	JIS A 1460 建築用ボード類のホルムアルデヒド放散量の試験方法 デシケーター法			
試験片枚数	枚			
表面積	cm^2			
密度	kg/m^3			
放散量 (mg/L)	1回目	2回目	平均	最大

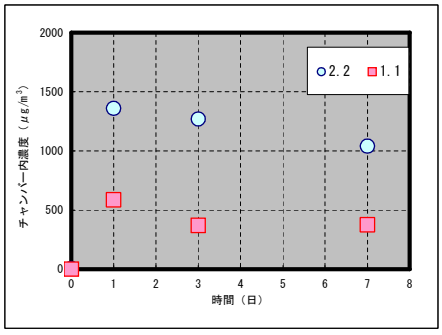
チャンバー試験による放散速度測定

試験方法	JIS A 1901 建築材料の揮発性有機化合物(VOC)、ﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ及び他のｶﾙﾎﾞﾆﾙ化合物放散測定方法－小型ﾁｬﾝﾊﾞｰ法	
ﾁｬﾝﾊﾞｰ容量V	20 L	
温度T	28 ℃	±0.5
湿度RH	50 %	±5
換気回数n	0.5 回/h	±0.05
ｼｰﾙﾎﾞｯｸｽ	使用	

	トルエン			
試料負荷率 L(m^2/m^3)	2.2		1.1	
	ﾁｬﾝﾊﾞｰ内濃度($\mu g/m^3$)	発散速度($\mu g/m^2h$)	ﾁｬﾝﾊﾞｰ内濃度($\mu g/m^3$)	発散速度($\mu g/m^2h$)
ﾌﾞﾗﾝｸ	5	1.0	1	0.2
1日目	1360	309.1	585	265.9
3日目	1270	288.6	369	167.7
7日目	1040	236.4	375	170.5

7日目ﾁｬﾝﾊﾞｰ内濃度より平衡濃度Ce、吸収係数α算出

L (m^2/m^3)	n/L	1/C ($m^3/\mu g$)	Ce ($\mu g/m^3$)	α (m/h)
2.2	0.227	0.0010	-1344.8	-0.10
1.1	0.455	0.0027		



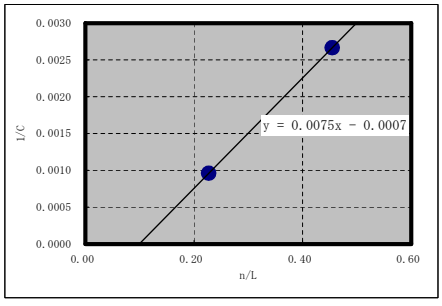


表 1-29　各種建材の放散量測定結果のまとめ

建材名	厚さ	ホルムアルデヒド放散量				
		ﾃﾞｼｹｰﾀｰ試験	7日目放散速度(μg/(m²･h))		平衡濃度Ce	吸収係数α
	(mm)	放散量(mg/L)	L=2.2	L=1.1	(μg/m³)	(m/h)
コンパネ合板	12	0.37	2.5	3.2	26.4	0.163
フローリング	12	0.39	6.8	9.3	57.0	0.253
パーティクルボード	15	0.09	9.5	17.8	44.4	3.409
ＭＤＦ	9	0.27	21.5	40.4	100.8	3.379

建材名	厚さ	トルエン放散量				
		ﾃﾞｼｹｰﾀｰ試験	7日目放散速度(μg/(m²･h))		平衡濃度Ce	吸収係数α
	(mm)	放散量(mg/L)	L=2.2	L=1.1	(μg/m³)	(m/h)
フローリング	12		2.1	1.8	-27.3	-0.057
ＥＰＳ	30		236.4	170.5	-1344.8	-0.099

（2）簡易法　パッシブ型サンプラー濃度測定結果

①捕集量とパッシブサンプラー設置位置について

JIS A 1901 のチャンバー法では、空気清浄器を用い清浄空気をチャンバー下部から給気し、試験体から発生する化学物質を、チャンバー上部の排気部でサンプリングしている。今回提案の密閉型チャンバーも形状は 20L 型小型チャンバーを同様であり、上部にパッシブ型サンプラーを設置することで、JIS A 1901 と捕集位置を一致させている。しかしパッシブサンプラー設置位置により捕集量の影響を検討するため、パッシブサンプラー設置位置を上部、中央部、下部の 3 種類行い、比較実験を行った。試験結果を図 1-28 に示す。

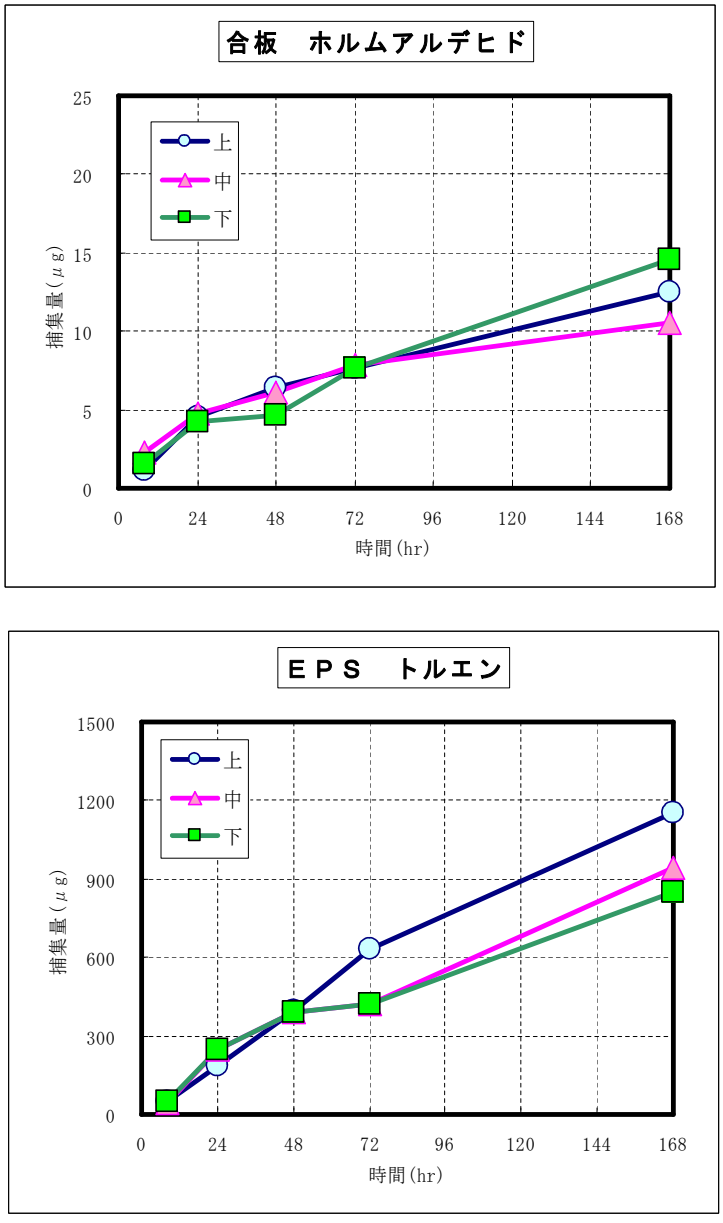


図 1-28　捕集量とパッシブサンプラー設置位置

②時間と捕集量の関係

捕集時間とホルムアルデヒド捕集量の関係を図 1-29 に示す。図中の n=1 はパッシブサンプラー1個での測定、n=2 は 2 個での測定を示し、2 個測定の際の捕集量は合計とした。

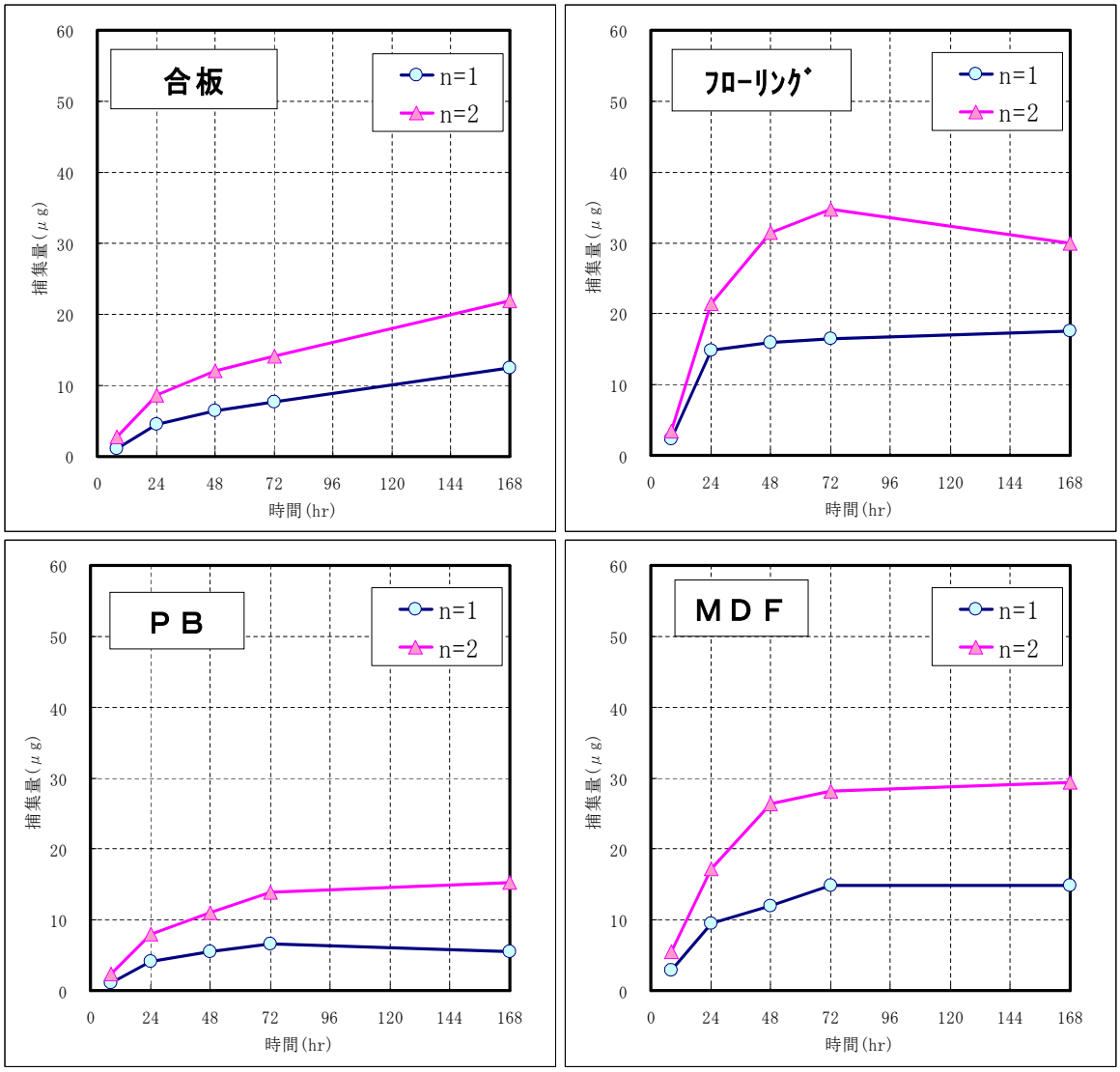


図 1-29　捕集時間とホルムアルデヒド捕集量の関係

捕集時間とトルエン捕集量の関係を図 1-30 に示す。図中の n=1 はパッシブサンプラー1 個での測定、n=2 は 2 個での測定を示し、2 個測定の際の捕集量は合計とした。

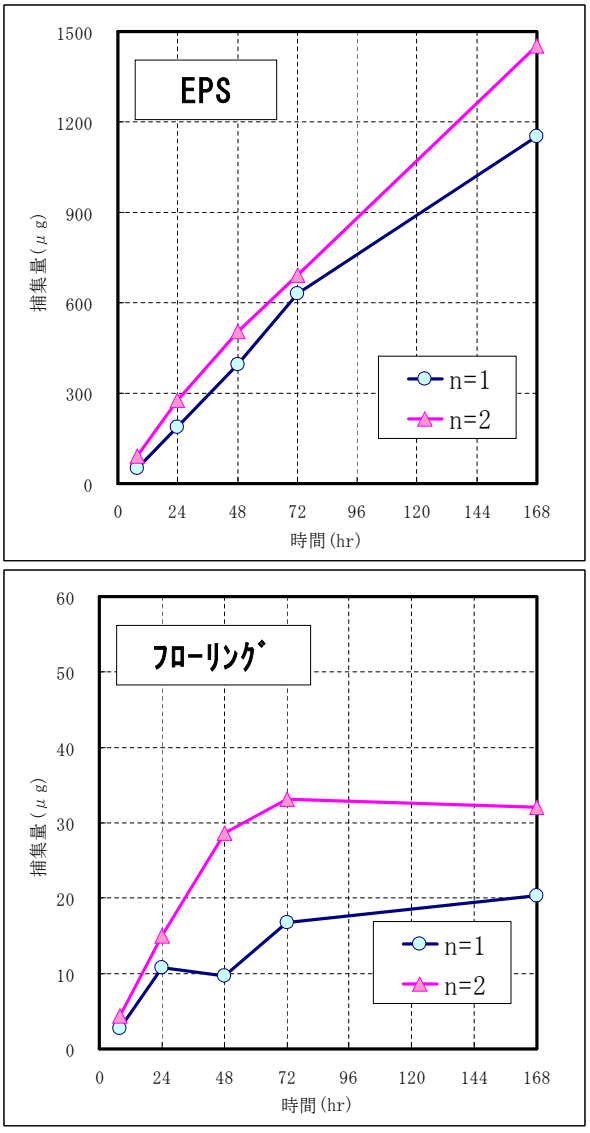


図 1-30　捕集時間とトルエン捕集量の関係

(3) チャンバー試験により算出した放散速度と簡易法で算出した放散速度の比較

チャンバー試験により算出した放散速度と簡易法で算出したホルムアルデヒド放散速度の比較を表 1-30、図 1-31 に示す。なお図中の実線はチャンバー法による放散速度測定結果を示す。

表 1-30　チャンバー法と簡易法　放散速度比較（ホルムアルデヒド）

			EF(ug/(m²·h))				
			8	24	48	72	168
合板	ｻﾝﾌﾟﾗｰ	N=1	3.2	4.3	3.0	2.4	1.7
	ｻﾝﾌﾟﾗｰ	N=2	7.9	8.1	5.7	4.4	3.0
			EF(ug/(m²·h))				
				24	72	168	
	JIS ﾁｬﾝﾊﾞｰ	L=2.2		2.5	2.5	2.5	
	JIS ﾁｬﾝﾊﾞｰ	L=1.1		3.7	3.5	3.2	
ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ			EF(ug/(m²·h))				
			8	24	48	72	168
	ｻﾝﾌﾟﾗｰ	N=1	6.8	14.1	7.5	5.2	2.4
	ｻﾝﾌﾟﾗｰ	N=2	8.1	11.4	7.9	6.3	2.8
			EF(ug/(m²·h))				
				24	72	168	
	JIS ﾁｬﾝﾊﾞｰ	L=2.2		7.7	7.0	6.8	
	JIS ﾁｬﾝﾊﾞｰ	L=1.1		9.6	8.8	9.3	
ＰＢ			EF(ug/(m²·h))				
			8	24	48	72	168
	ｻﾝﾌﾟﾗｰ	N=1	3.2	3.8	2.6	2.1	0.7
	ｻﾝﾌﾟﾗｰ	N=2	2.9	3.0	3.5	3.5	2.2
			EF(ug/(m²·h))				
				24	72	168	
	JIS ﾁｬﾝﾊﾞｰ	L=2.2		8.0	8.6	9.5	
	JIS ﾁｬﾝﾊﾞｰ	L=1.1		14.7	15.6	17.8	
ＭＤＦ			EF(ug/(m²·h))				
			8	24	48	72	168
	ｻﾝﾌﾟﾗｰ	N=1	8.3	8.9	5.6	4.7	2.0
	ｻﾝﾌﾟﾗｰ	N=2	8.0	8.4	8.4	8.2	4.1
			EF(ug/(m²·h))				
				24	72	168	
	JIS ﾁｬﾝﾊﾞｰ	L=2.2		20.5	21.2	21.5	
	JIS ﾁｬﾝﾊﾞｰ	L=1.1		39.6	38.8	40.4	

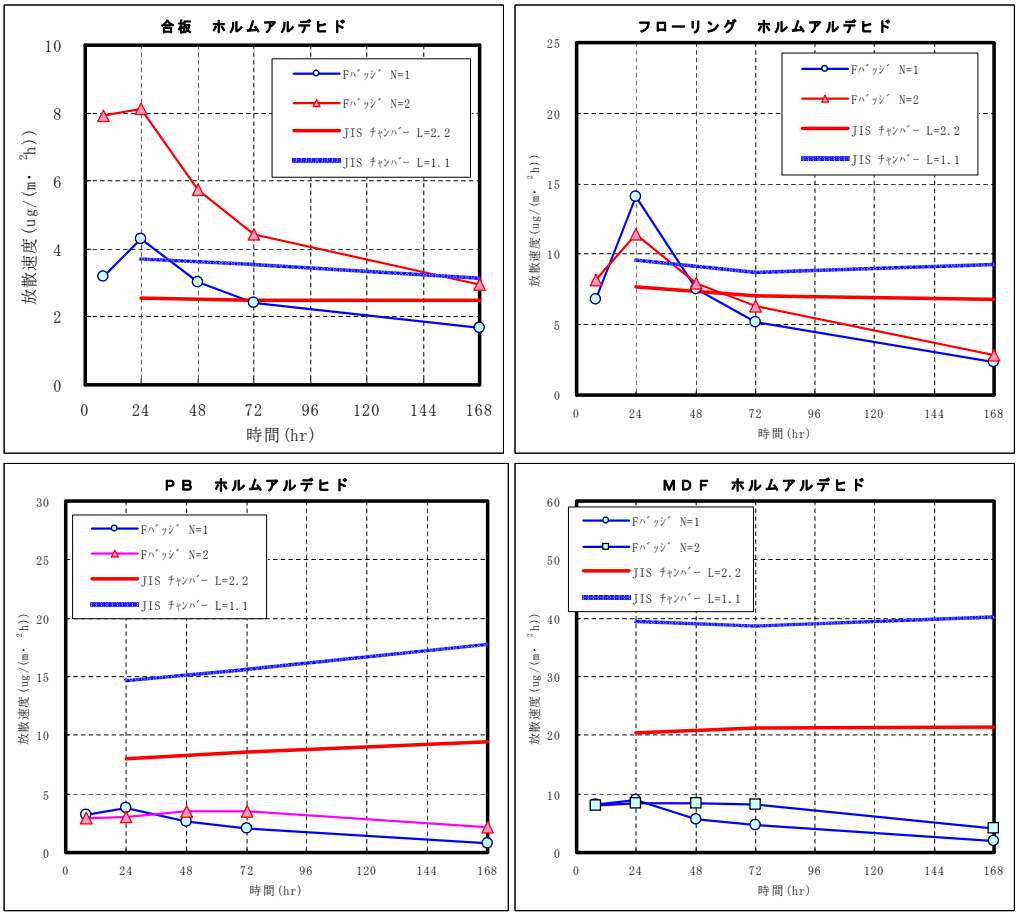


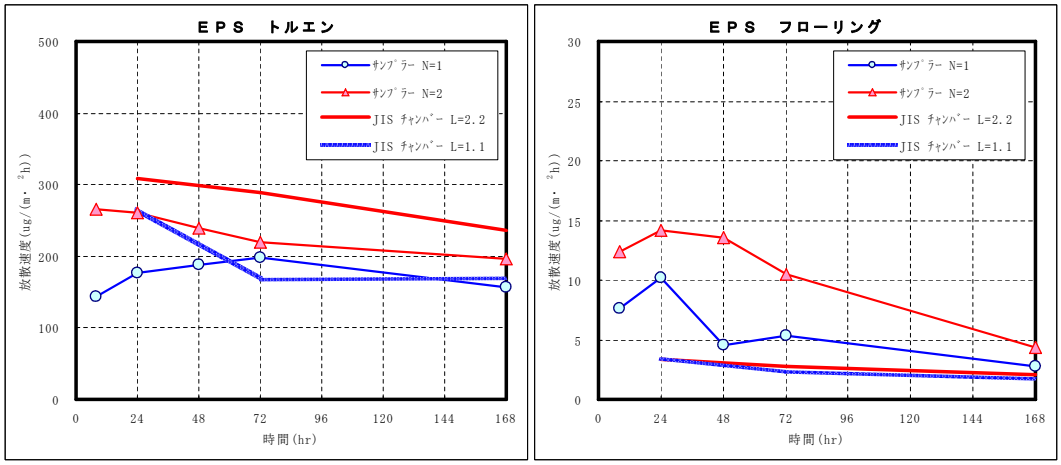
図 1-31　チャンバー法と簡易法　放散速度比較（ホルムアルデヒド）

チャンバー試験により算出した放散速度と簡易法で算出したトルエン放散速度の比較を表 1-31、図 1-32 に示す。なお図中の実線はチャンバー法による放散速度測定結果を示す。

表 1-31　チャンバー法と簡易法　放散速度比較（トルエン）

			EF(ug/(m²·h))				
			8	24	48	72	168
ＥＰＳ	ｻﾝﾌﾟﾗｰ	N=1	144.0	176.8	187.7	198.6	156.0
	ｻﾝﾌﾟﾗｰ	N=2	265.5	260.0	239.4	218.7	196.5
			EF(ug/(m²·h))				
				24	72	168	
	JIS ﾁｬﾝﾊﾞｰ	L=2.2		309.1	288.6	236.4	
	JIS ﾁｬﾝﾊﾞｰ	L=1.1		265.9	167.7	170.5	
ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ			EF(ug/(m²·h))				
			8	24	48	72	168
	ｻﾝﾌﾟﾗｰ	N=1	7.7	10.2	4.6	5.3	2.7
	ｻﾝﾌﾟﾗｰ	N=2	12.3	14.2	13.5	10.5	4.3
			EF(ug/(m²·h))				
				24	72	168	
	JIS ﾁｬﾝﾊﾞｰ	L=2.2		3.3	2.7	2.1	
	JIS ﾁｬﾝﾊﾞｰ	L=1.1		3.5	2.4	1.8	

図 1-32　チャンバー法と簡易法　放散速度比較（トルエン）



3-4　まとめ

簡易法による建材からの化学物質放散量測定において以下の結果を得た。

(1) ステンレスタンク内にパッシブ型サンプラーを設置する位置の影響はほとんど見られなかった。

(2) 簡易法による建材から発散した化学物質の捕集量は、時間経過とともに増加傾向を示し、捕集量から算出した放散速度の推定値は、減衰傾向を示した。

(3) JIS A 1901 で規定するチャンバー法で求めた放散速度と、簡易法で求めた放散速度の推定値を比較すると、ホルムアルデヒドについては、合板、フローリングで 48 時間程度までは測定値が高く、安全側評価となった。しかし 168 時間では測定値が低めになっており、危険側評価となる可能性がある。

パーティクルボード､ＭＤＦでは､すべての測定において簡易法の測定値が低めになっており、危険側となった。

トルエンについては、放散量の多いＥＰＳは、比較的チャンバー試験結果に類似した傾向を示したが、放散量の少ないフローリングでは、測定値が高く安全側評価となった。

４．　構造用合板表面におけるカビ成長速度に関する基礎実験
－　雰囲気温湿度及びホルムアルデヒド放散量の影響　－

4-1 はじめに

熱水分解析モデルの普及とともに、木材腐朽やカビ発生等といった生物劣化を温湿度の時間積算から予測するための研究が北米や欧州で試みられている。一方、建材に含まれる化学物質濃度の低下に伴い、カビ等の真菌が発生し易くなるとの報告があり、建材上のカビ生育条件に関する基本的な知見の蓄積が重要と考えられる。本報告では、構造用合板を対象に定常条件下におけるカビの生育速度と環境条件（温湿度）の関係を明らかにし、カビ成長モデル開発のためのデータを収集するとともに、建材からのホルムアルデヒド放散量がカビ成長に及ぼす影響を把握する。

4-2 ホルムアルデヒド放散量を調整した構造用合板の製造

(1) 接着剤種類及び製造条件

表 1-32　合板製造に用いた接着剤の種類及び配合

名称	接着剤	接着剤の配合*
試料 A	水性高分子イソシアネート接着剤	主剤：100 部 、架橋剤：8 部、水：8 部 炭酸カルシウム：10 部
試料 B	メラミン・ユリア共縮合樹脂接着剤	ユリア樹脂：180 部 、メラミン樹脂：60 部 、 尿素：24 部 、SBR ラテックス：70 部 、水：50 部 、 小麦粉：75 部 、塩化アンモニウム：3 部
試料 C	ユリア樹脂接着剤 （ホルムアルデヒド／ユリア樹脂　モル比 1.35）	ユリア樹脂：100 部 、小麦粉：5 部 塩化アンモニウム：１部
試料 D	ユリア樹脂接着剤 （ホルムアルデヒド／ユリア樹脂　モル比 1.8）	ユリア樹脂：100 部、小麦粉：5 部 塩化アンモニウム：１部

*100 部、8 部とは業界用語で、100：8 のこと

表 1-33　合板の製造条件

試料	塗布量* g/900cm^2	冷圧			熱圧	
		圧力 kgf/cm^2	時間 hr	圧力 kgf/cm^2	温度 ℃	時間 min
試料 A	32	12	4	－	－	－
試料 B	34	8	2	8	115	6
試料 C	28	8	1	8	115	6
試料 D	28	8	1	8	115	6

*接着剤塗布量：単板 30cm 角の両面での塗布量、片面では 15g

(2) ホルムアルデヒド放散量の測定

各合板は、製造後 1 日室温で養生した後、ホルムアルデヒド放散量試験片（137×137㎜）2 枚とカビ抵抗性試験片（50×50㎜）40 枚を切り出した。試験片を作製した後、40℃の熱風乾燥機で 2 週間放置、その後 28℃の恒温室に放置した（湿度は 20～30%RH)。

ホルムアルデヒド放散量は、合板製造から約 1 か月後と 2 か月後に測定を行なった。試験片を 2 枚チャンバーに設置し、表 1-34 に示す条件で測定を行なった。測定結果を表 1-35 に示す。

表 1-34　ホルムアルデヒド放散量の測定条件

温度	相対湿度	換気回数	試料負荷率
28℃	50%RH	0.5 回/hr	4.41m^2/m^3

表 1-35　ホルムアルデヒド放散速度の測定結果

試料	番号	ホルムアルデヒド放散速度(・g/m^2h)		ホルムアルデヒドチャンバー濃度(・g/m^3)	
		1/4～1/10	2/17～2/20	1/4～1/10	2/17～2/20
試料 A	1	3.6	10.9	31.7	96.4
	2	5.8	12.9	51.2	113.6
試料 B	1	9.4	12.7	83.0	112.3
	2	9.2	12.7	80.8	112.4
試料 C	1	86.5	86.3	761.5	761.5
	2	69.8	78.7	614.1	694.0
試料 D	1	518.8	496.0	4565.1	4376.1
	2	365.4	434.9	3215.9	3837.1

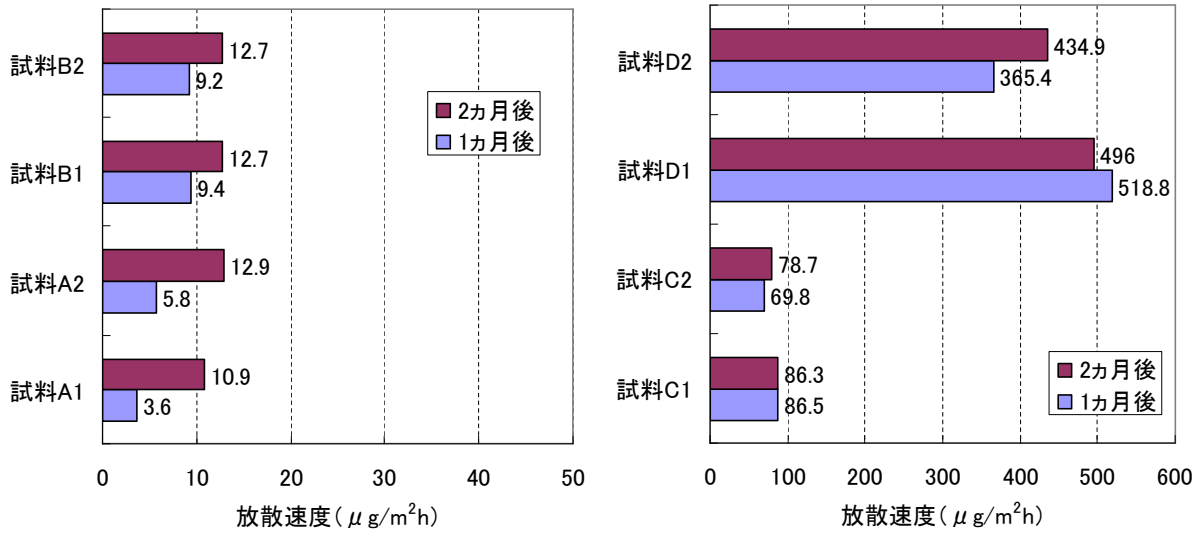


図 1-33　ホルムアルデヒド放散速度

4-3 構造用合板表面におけるカビ生育に対する温湿度及びホルムアルデヒド放散量の関係

(1) 試験に使用する真菌及び温湿度条件

試験に用いる真菌は、JIS Z 2911（カビ抵抗性試験）を考慮し、以下に示す菌とする。JIS Z 2911（カビ抵抗性試験）に規定される菌（アスペルギルス・ニゲル、ペニシリウム・シトナリウム、クラドスポリウム・クラドスポリオイデス、アルタナリア・アルテルナタ、ケトミウム・グロボスム（木材軟腐朽菌）

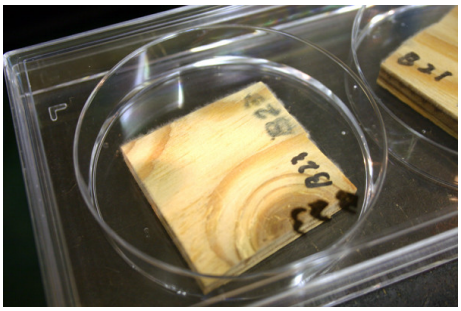
表 1-36　カビ生育速度に関する実験条件

相対湿度（塩水溶液） 温度	75% NaCl	80% NH_4Cl	85% KCl	95% KNO_3	100% 蒸留水
5℃	●	●	●	●	●
15℃	●	●	●	●	●
25℃	○	●	○	○	●
35℃	●	●	●	●	●

●：試料 A のみ、○：全試料

(2) 実験方法

①試料へのカビ胞子の接種

	試料については予め 105℃で 3 時間乾燥滅菌し、シャーレに入れ温度が安定した後に胞子混濁液を噴霧する。カビの混合胞子混濁液は、あらかじめ寒天培地上に成育させたカビ胞子を 5 白金耳とり、湿潤材添加殺菌剤に溶かす。次に内容物を滅菌ガーゼでろ過したものを噴霧器に入れ、試料に噴霧する。
	試料は胞子を接種した後、シリカゲルを用いて乾燥させる。その後、塩飽和水溶液で調湿された容器に、3 体ずつ静置する。作業は無菌的に行う。
	調湿された容器内の湿度を安定させるため、大型の容器（内部は調湿する）に入れてから、インキュベータ内に設置する。

②観察方法及び評価指標

カビの生育状況は数日おきに、雑菌が混入しないよう容器外部から実体顕微鏡を用いて観察する。生育状況の評価は a)、b）に示す 2 種類の指標によって試みる。

a）JIS Z 2911 準拠した評価法

表 1-37 に示す JIS Z 2911（カビ抵抗性試験）の B 法に従って評価を行う。

表 1-37　カビ指数

菌糸の発育	結果の表示
肉眼及び顕微鏡下でかびの発育は認められない。	0
肉眼ではかびの発育が認められないが、顕微鏡下で確認できる。	1
菌糸の発育はわずかで、発育部分の面積は試料の全面積の 25%を超えない。	2
菌糸の発育は中程度で、発育部分の面積は試料の全面積の 25～50%。	3
菌糸はよく発育し、発育部分の面積は試料の全面積の 50～100%。	4
菌糸の発育は激しく、試料全面を覆っている。	5

b）カビの生育密度を考慮した評価法（提案法）

表 1-37 に示した JIS Z 2911（カビ抵抗性試験）のカビ指数による評価法では、試料表面のカビ生育範囲によって評価を行っているが生育密度に関する項目は無い。提案法では、生育密度に関する評価項目を加味したうえで、菌糸の成長及び胞子の生成状態について考慮できるよう、表 1-38、表 1-39 に示す指標によって評価する。

表 1-38　菌糸成長に関する評価指標（提案法）

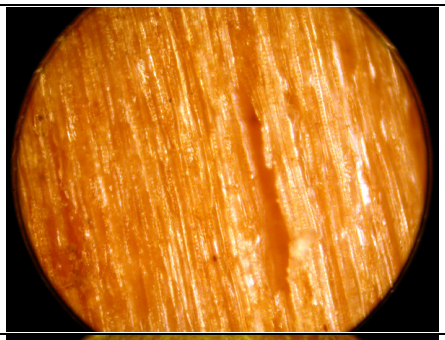
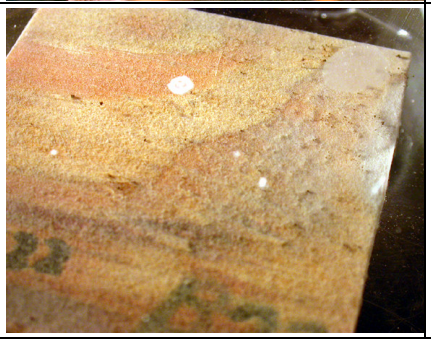
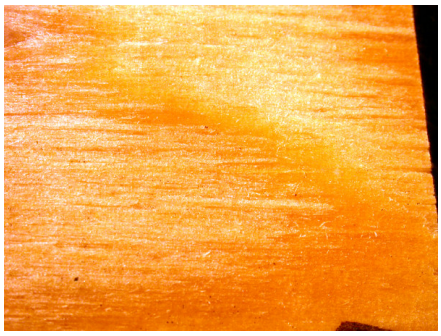
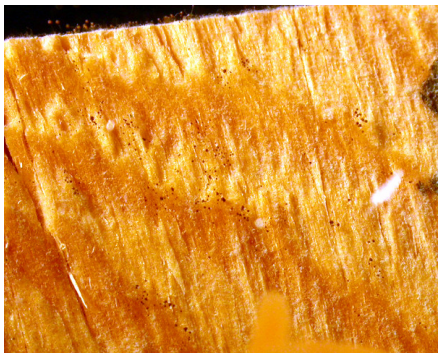
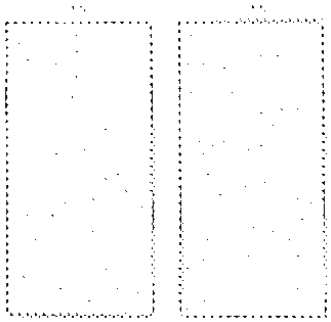
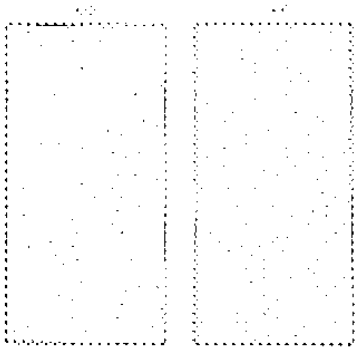
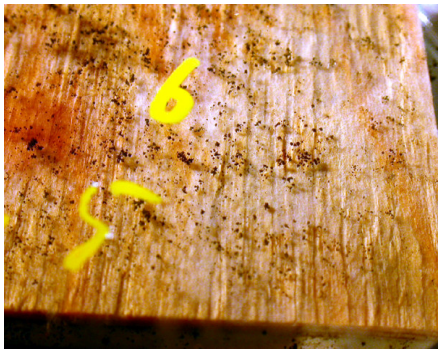
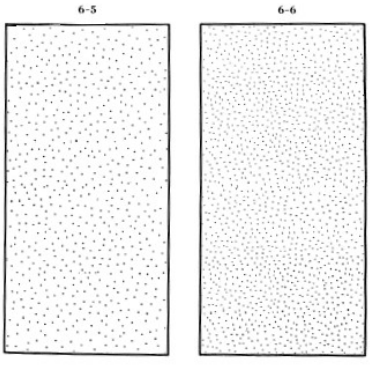
評価指数	肉眼による目視	顕微鏡（40 倍）	状況
0			肉眼及び顕微鏡下で菌糸の発育は認められない
1			肉眼では菌糸の発育は認められないが、顕微鏡下では確認できる
2			菌糸の発育が肉眼で認められるが、基材表面は見える
3			肉眼で菌糸の発育が肉眼で認められ、基材表面が見えない部分が存在する

表 1-39　胞子のう生育密度に関する評価指標（提案法）

評価指数	肉眼による目視	レイティングナンバ標準図*	状況
0		―	胞子のうが目視によって確認できない
1			胞子のうが目視によって確認でき生育密度はまばら
2			胞子のうが目視によって確認でき生育密度は中程度
3			胞子のうが目視によって確認でき生育密度は高い

*JIS Z 2371（塩水噴霧試験方法）より引用

提案法における胞子のうの成長指数に関しては、表 1-39 で定義した胞子のうの生育密度（0～3）と、図 1-34 に示す生育面積比（0～1、[領域 B の面積]/[領域 A の面積]）の積により求めた。

胞子のうの成長指数（0～3）= 胞子のうの生育密度（0～3）×生育面積比（0～1）

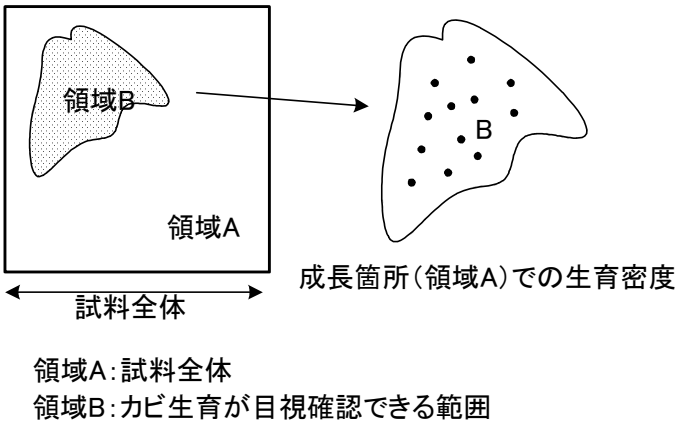


図 1-34 レイティングナンバ法による胞子のう生育密度の評価対象範囲

(3) 実験結果

実験は胞子混濁液を噴霧した試料を、インキュベータに設置した時点を開始日とし、2～3 日の間隔で試料の観察を行った。JIS Z 2911 準拠した評価法による実験開始後 27 日までの結果を図 1-35、図 1-36 及び写真 1-14、写真 1-15 に示す。また、提案法による結果を図 1-37～図 1-40 に示す。

図 1-35 の 35℃、25℃では、95%以上と 75%で顕微鏡によって菌糸が確認できるまでに約 1 週間の差が生じており、雰囲気湿度によるカビ成長への影響が示されている。また、15℃と 5℃では、湿度にかかわらず菌糸が確認されるまでに 2 週間程度かかっている。

図 1-36 はホルムアルデヒド放散量の影響について比較を行ったものである。温度条件は 25℃のみであるが、ホルムアルデヒド放散速度の大きい試料ほど、菌糸が確認されるまでに時間を要しており、合板に含まれるホルムアルデヒドがカビの成長を抑制していることが推察できる。

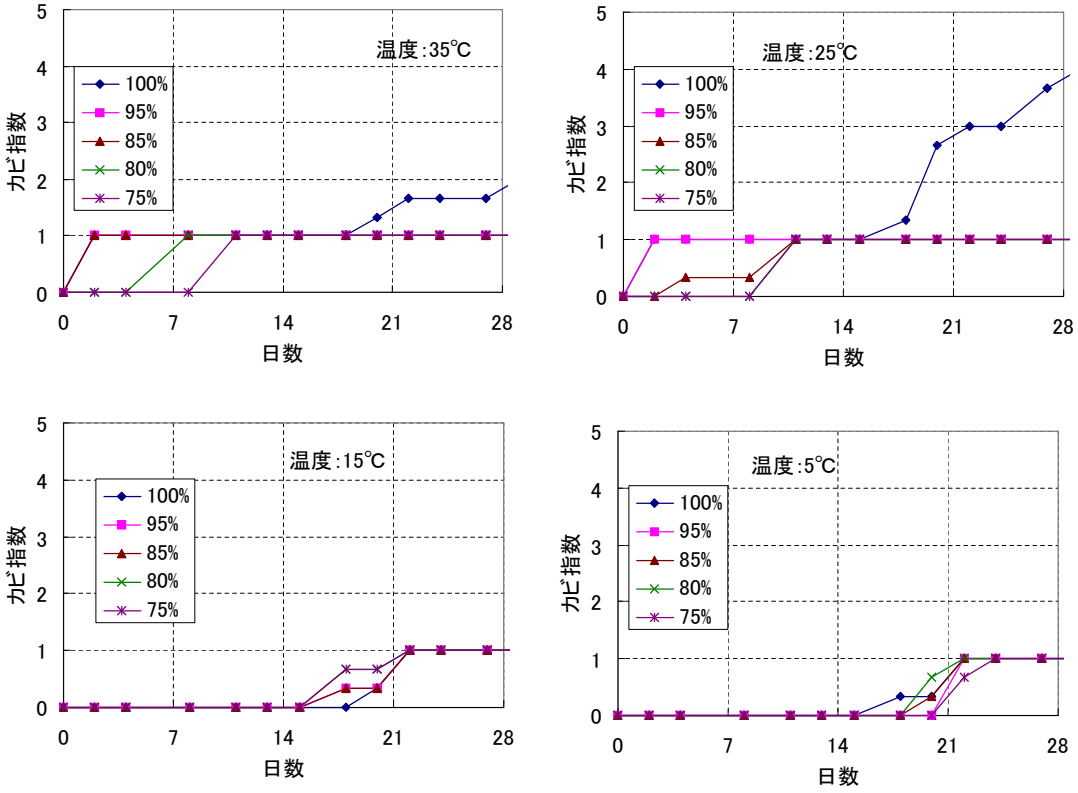


図 1-35　各温湿度条件におけるとカビ指数の変化（試料 A：JIS 評価法による）

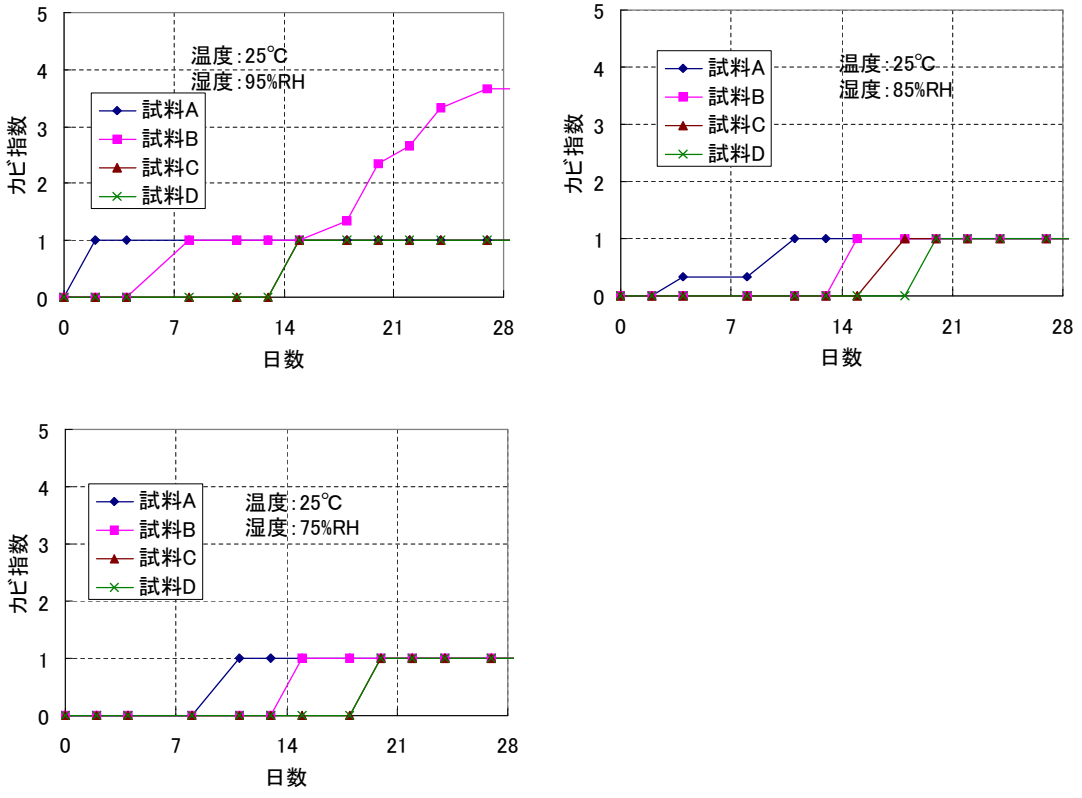
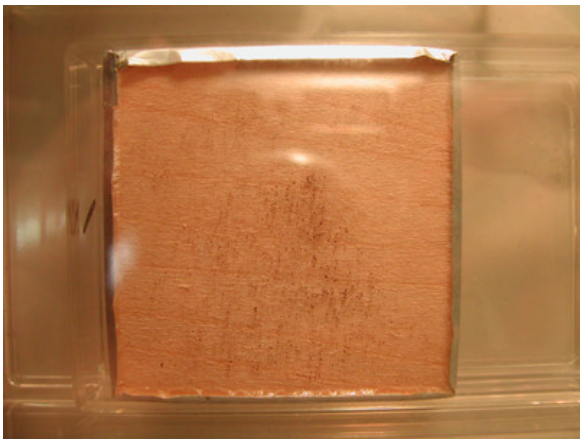
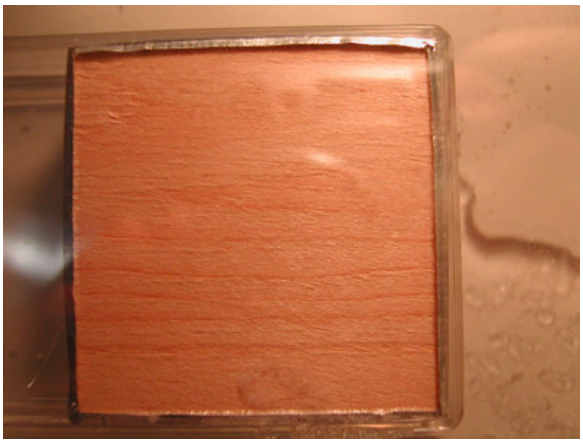


図 1-36　ホルムアルデヒド放散量の違いによるカビ指数の変化
（温度 25℃、湿度 75、85、95%、：JIS 評価法による）

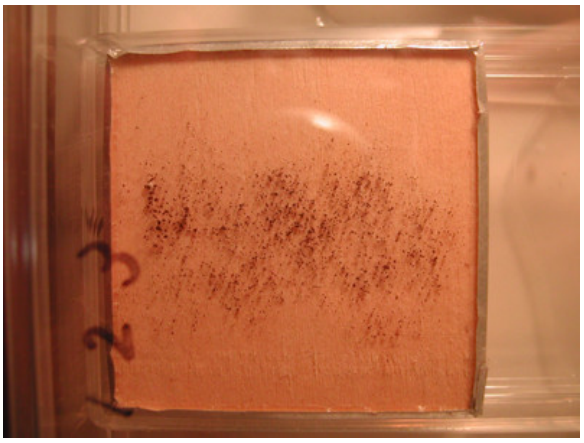
試料 A　No. 1



試料 B　No. 1



試料 A　No. 2



試料 B　No. 2

試料 A　No. 3

試料 B　No. 3

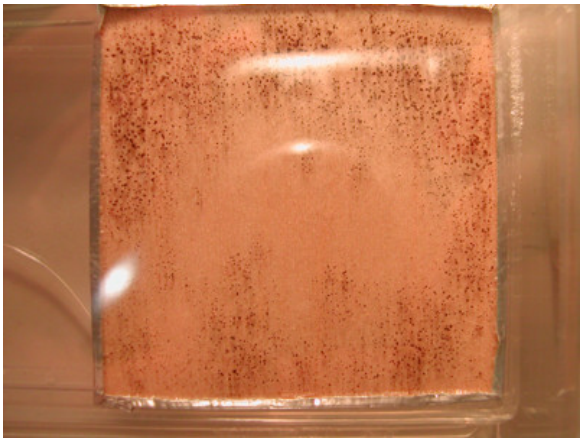


写真 1-14　試料 A のカビ生育状況
（25℃100%、27 日目、カビ指数 3.7　[平均値]）

写真 1-15　試料 B のカビ生育状況
（25℃95%、27 日目、カビ指数 3.7　[平均値]）

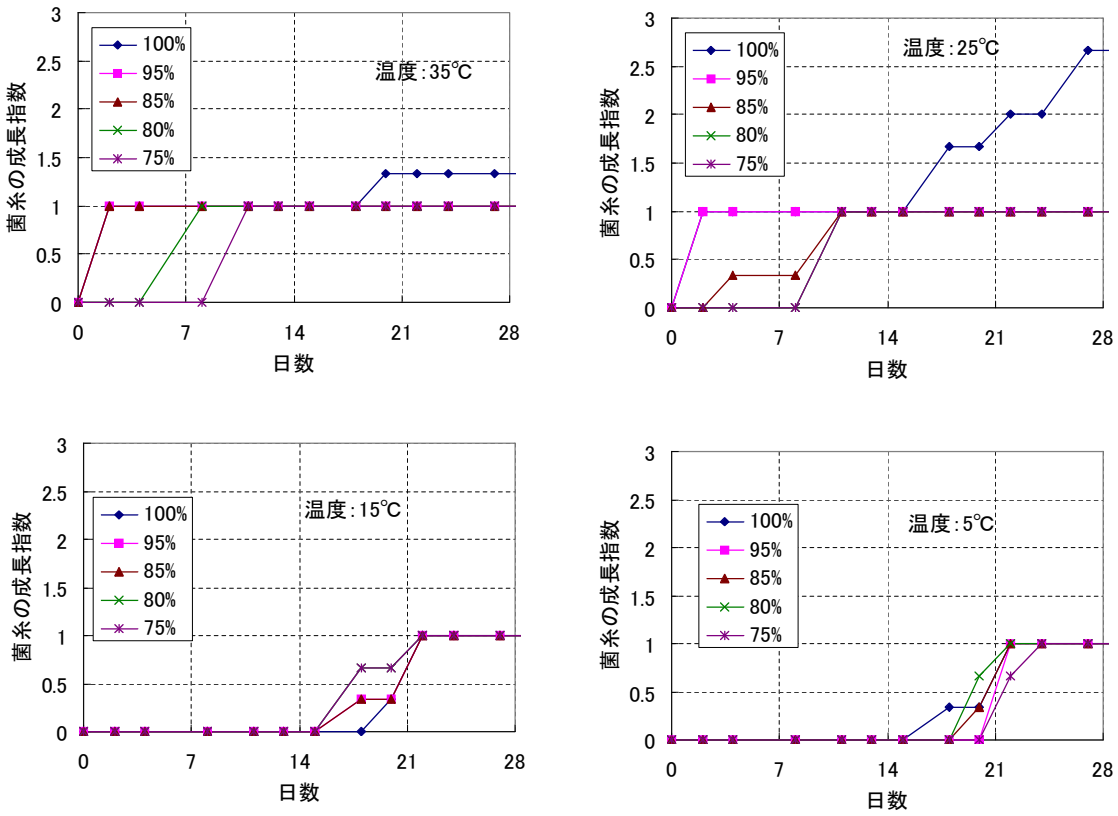


図 1-37　各温湿度条件における菌糸の成長指数の変化（試料 A：提案法による）

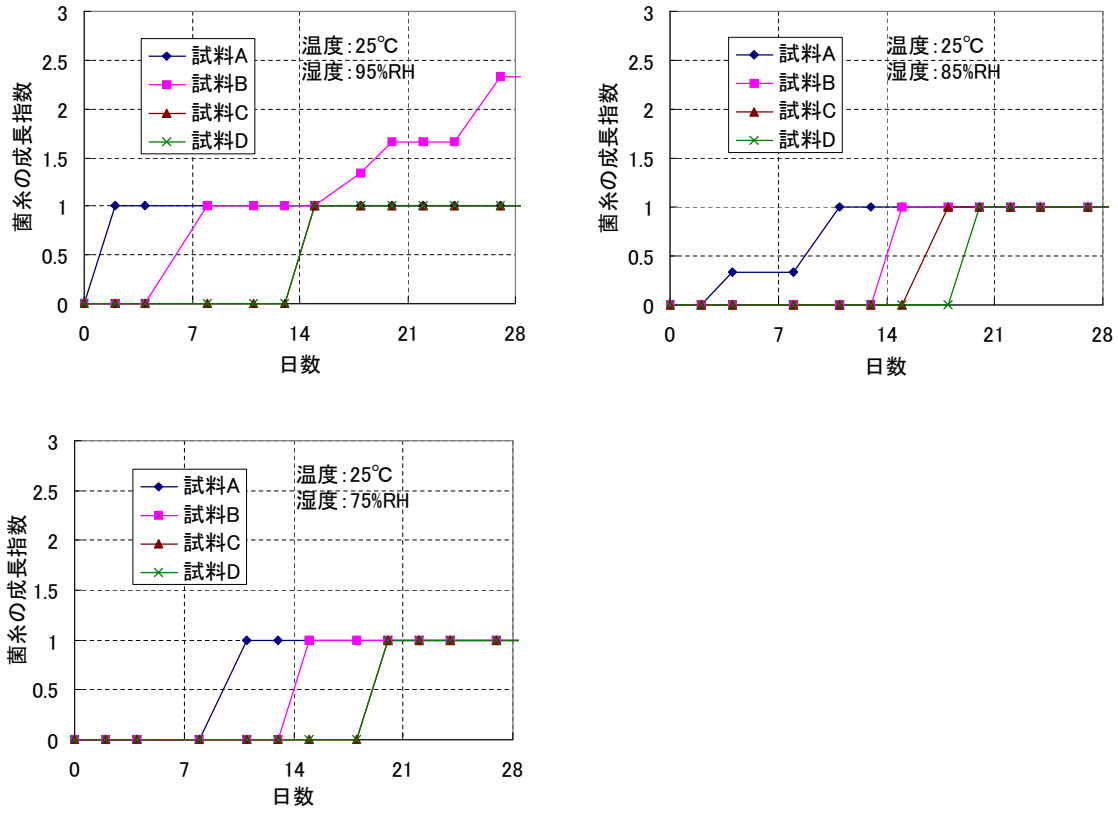


図 1-38　ホルムアルデヒド放散量の違いによる菌糸の成長指数の変化
（温度 25℃、湿度 75、85、95%：提案法による）

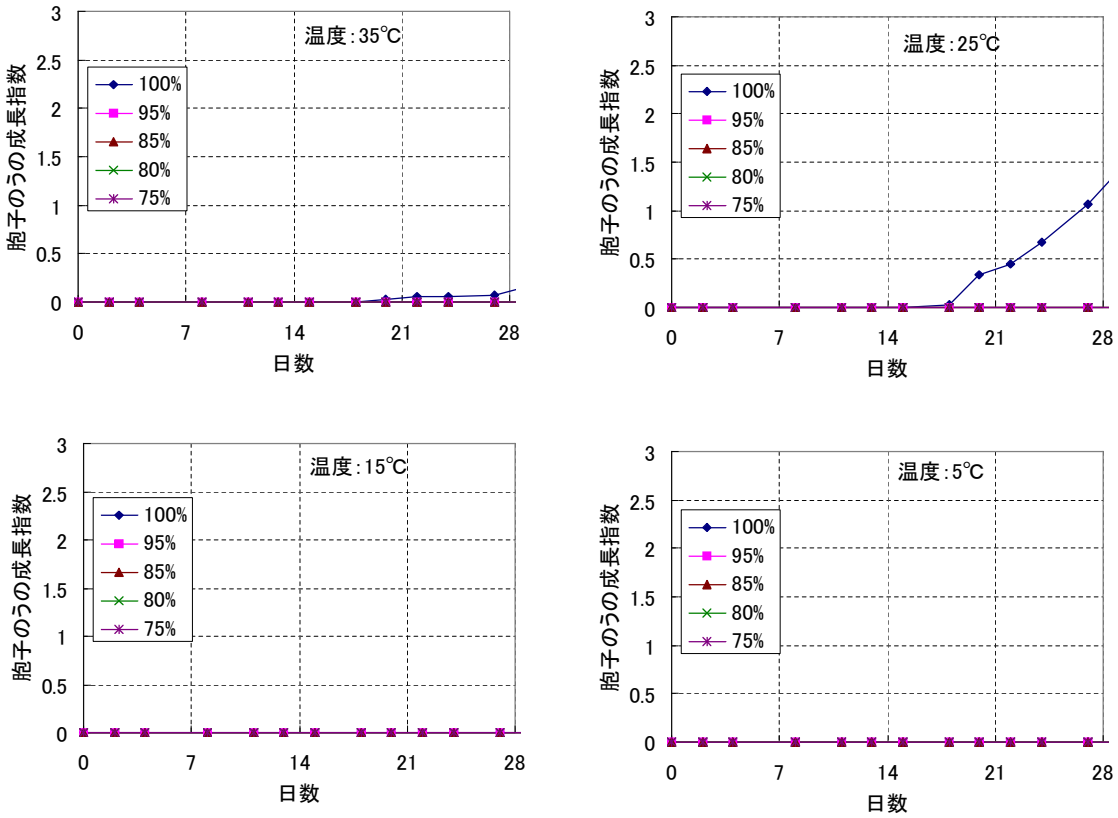


図 1-39　各温湿度条件における胞子のうの成長指数の変化（試料 A：提案法による）

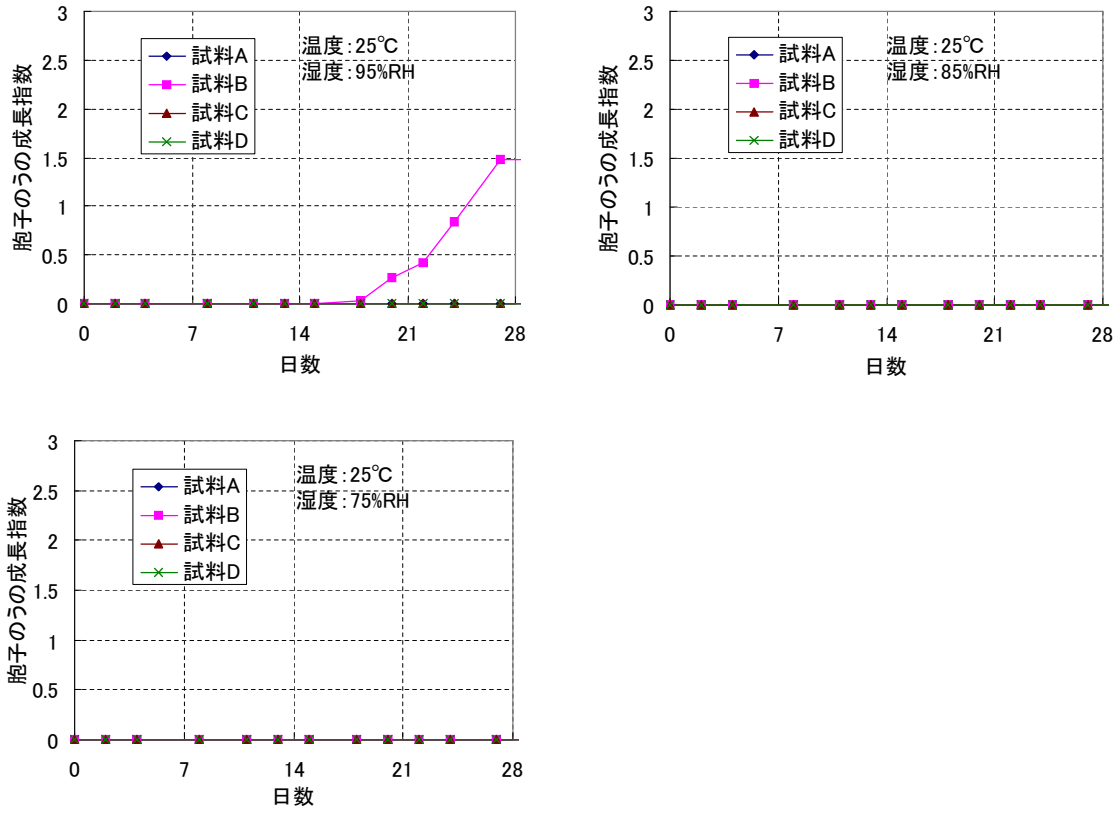
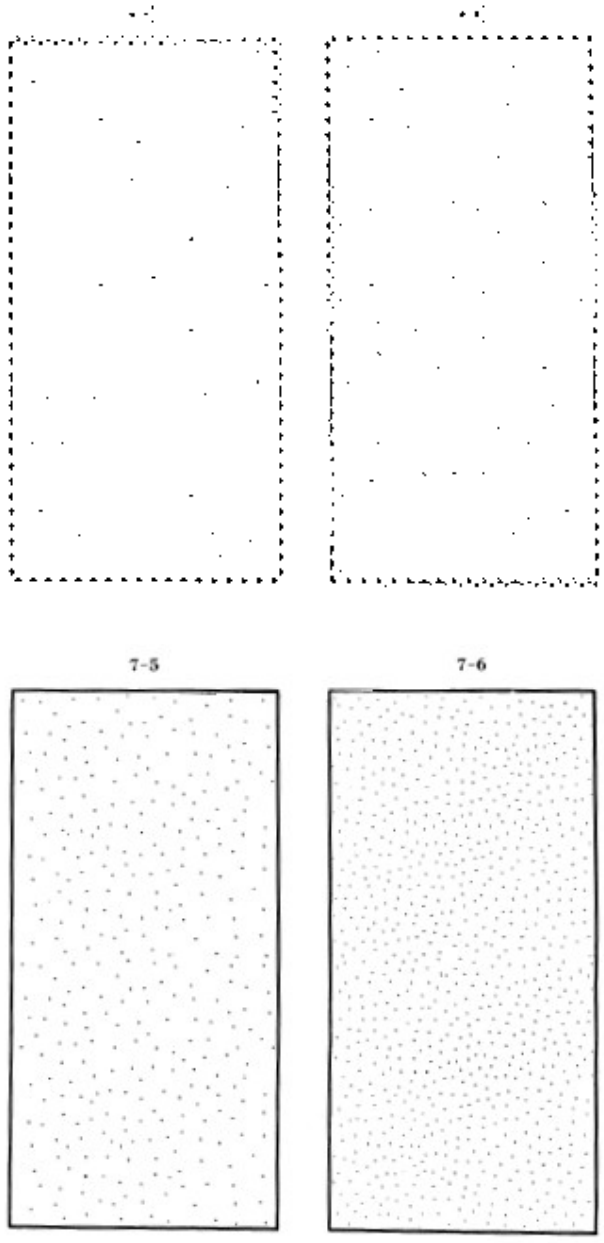


図 1-40　ホルムアルデヒド放散量の違いによる胞子のうの成長指数の変化
（温度 25℃、湿度 75、85、95%：提案法による）

＜参考資料＞



付図１　レイティングナンバ標準図（JIS Z 2371[塩水噴霧試験方法]）

Table 1. Mould growth index in asseements and modelling

Index	Growth rate	
0	No growth	Spores not activated
1	Some growth detected only with microscopy	Initial stages of hyphae growth
2	Moderate growth detected with microscopy	Coverage more than 10 %
3	Some growth detected visually	New spores produced
4	Clear visually detected growth	Coverage more than 10 %
5	Plenty of visually detected growth	Coverage more than 50 %
6	Very heavy and tight growth	Coverage around 100 %

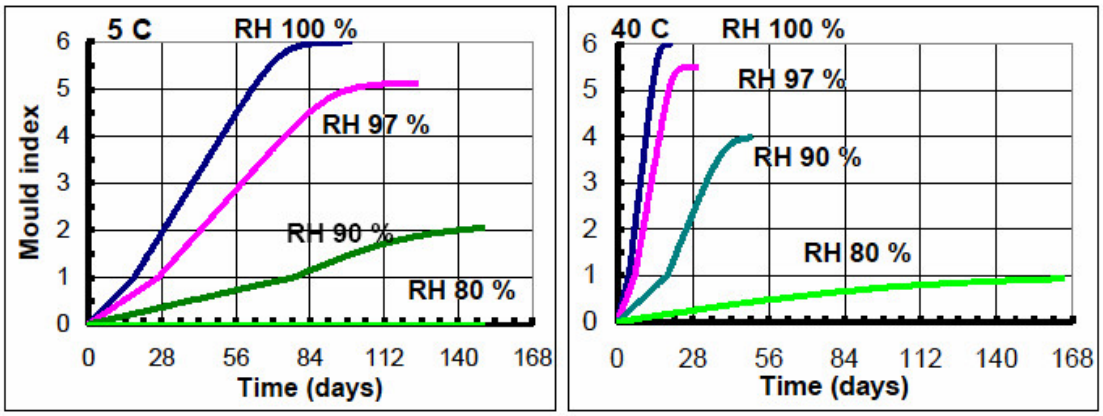


Figure 2. Prediction of mould development on pine sapwood (resawn surface) at prevalent ambient temperatures (5 and 40 °C) and prevalent ambient relative humidity as a function of exposure time using the mould index (Viitanen et al 2000).

付図 2　Viitanene による Mould Index と計算結果例

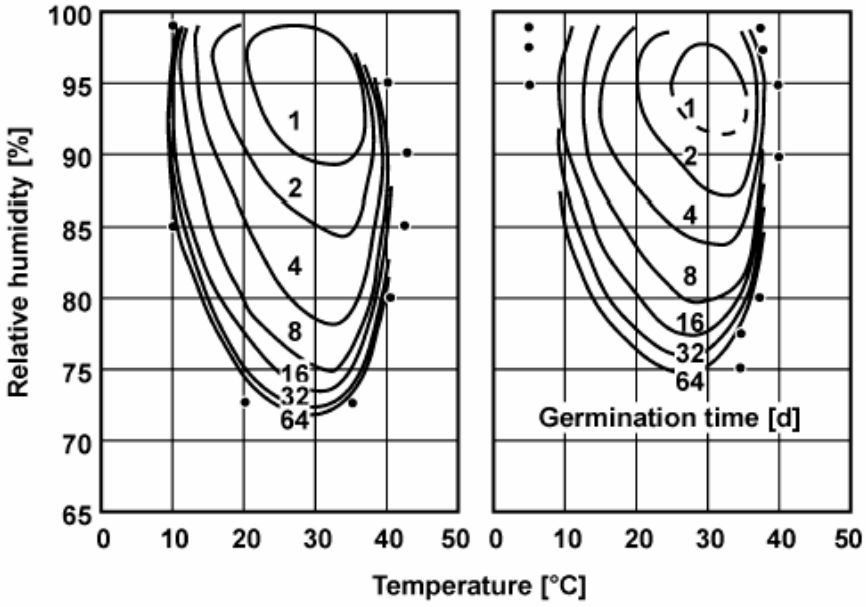


Fig. 9　Isopleth systems for spore germination of the mould fungi *Aspergillus restrictus* (on the left) and *Aspergillus versicolor* (on the right) according to Smith [126].

The isolines indicate, in dependence on temperature and relative humidity, the germination times in days (entered numerical values). The points mark conditions under which no germination took yet place after 95 days.

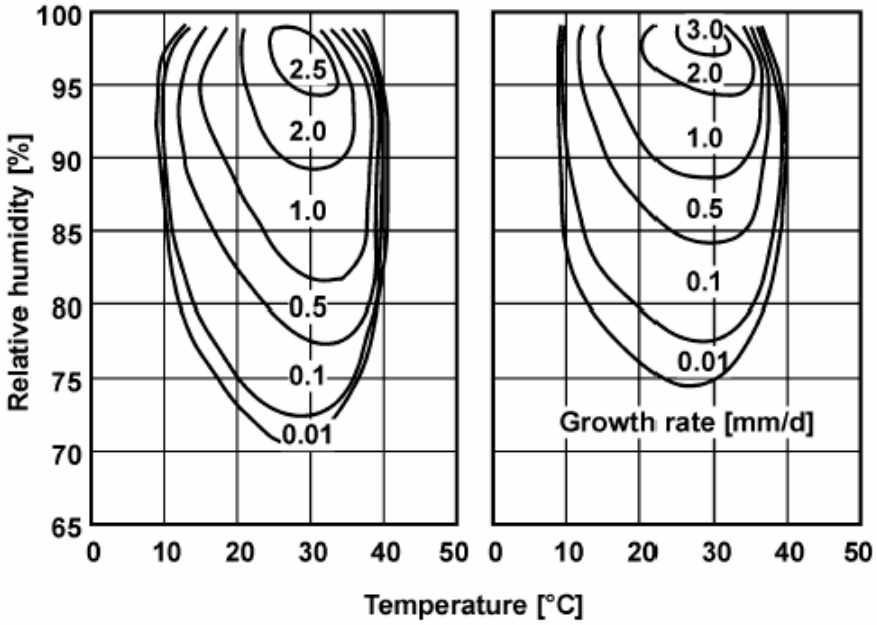


Fig. 10 Isopleth systems for mycelium growth of the mould fungi *Aspergillus restrictus* (on the left) and *Aspergillus versicolor* (on the right) in dependence on temperature and relative humidity according to Smith [126]. The numbers at the isolines represent the growth rates in mm/d.

付図３　胞子の発芽及びカビ成長に関する Isopleth（等高線）

第 2 章　適切な換気経路を確保するための方策の検討

１．　天井裏等からの汚染物質の室内侵入に関する研究

1-1 研究の目的

既往の内部空間の化学物質放散が室内空気質に与える影響に関する研究から、床下、外壁及び間仕切りの内部空間、天井懐などの内部空間で発生した汚染物質が漏入に伴い室内に侵入すると、屋内濃度を高めるということが明らかとなった。また、これらの研究によって居住空間における空気汚染物質の侵入率の実態の概要を把握することができた。また 2004 年度には、非気密の在来木造のスライスモデルによる測定を行い、内部空間相互の連結が強いことが明らかとなった。

本年度は、次世代基準に準じた断熱気密仕様に改修したスライスモデル、2×4 構法による部分スライスモデルを作成して隙間ネットワークを把握し、これらの結果を用いて熱負荷換気濃度シミュレーションを行うことで、天井裏などの内部空間からの汚染物質室内侵入に関する実態及びメカニズムに関する研究を行った。

1-2 気密化木造スライスモデルの隙間ネットワークの測定

（1）測定の目的

次世代基準に準じた断熱気密仕様の建物内部空間からの汚染物質の侵入経路を、スライスモデルを用いて検討する。

（2）測定の方法

①スライスモデルの概要

宮城学院女子大学生活文化学科の構造材料実験室内に、戸建住宅の内部空間の連結状態をモデル化し、主な連結の組み合わせを含んだ非気密仕様のスライスモデルを在来軸組構法によって施工した。奥行き約 1.3m、高さ約 3m、幅約 4.5mの外形として、前面及び背面には透明版を用いて、透明版と切断部の間は完全に気密化した。実建物における内部空間相互の通気性状が再現されるように適切な部位が組み込まれている。室内及び内部空間には、チューブ及び攪拌用のファンなどを設置しておくと共に、透明版面にはスリーブを複数設けてファンによる加減圧が任意に可能となっている。

既往の研究で、非気密仕様のスライスモデルの測定を行い、内部空間相互の連結が強いことが判明した。本研究では、さらに、次世代基準に準じた断熱気密仕様に改修工事をおこなった。

各部位で使用されていたビニルクロス貼りや、通気止めとして使用されていたグラスウールは撤去され、外壁と接する内壁や天井には気密フィルムが用いられた。また、間仕切り壁にも石膏ボードが組みこまれ、壁内と天井裏との接合部には通気止めとして、105×40 の木材がはめこまれた。さらに、気密テープによって、気密フィルムの末端や、合板目地を貼りとめた。GWは 10K 厚さ 50 ㎜から 16k 厚さ 100 ㎜に交換した。実験モデルは図 2-1 のとおり 15 のセルに分かれる

気密化に向けて解体工事から始まった。一旦、工事のため、壁や天井、フローリングがはがされ、構造がむきだしとなった。

改修前は通気止めとして断熱材を二つ折りにしてはさんでいたところも、木材と気密フィルムとで気密がほどこされた。床下と壁内との接続部も通気止めが施された。2 階洋室左（セル番号 9）の正

面からとった写真である。居住空間と非居住空間との間は気密フィルムや石膏パネルなどで気密がほどこされ、断熱材も厚くなったのが分かる。洋室、和室ともに、気密フィルムを挟みこむようにして、壁がつけられた。　各部屋の壁にはコンセントが設置された。また、各部屋の天井にはダウンライトも設置された。

写真 2-1　改修工事完了のスライスモデル

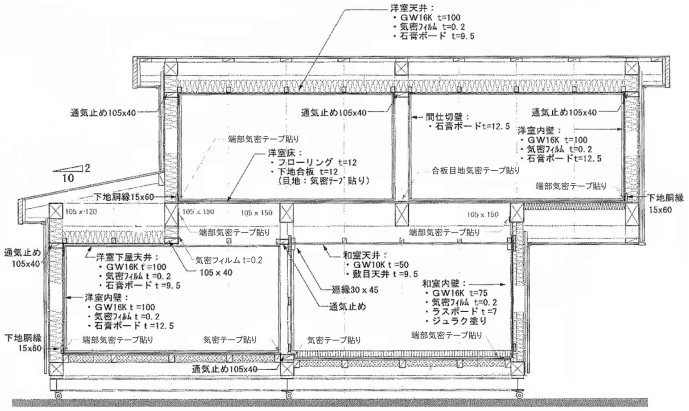


図 2-1　スライスモデル断面形状と各セルの番号

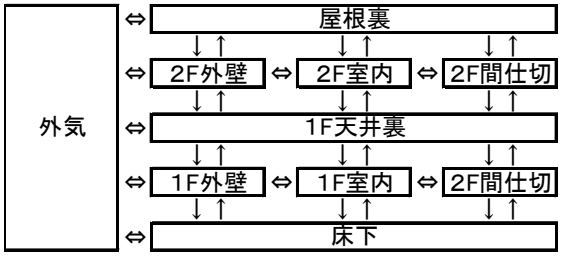


図 2-2　セル連結のモデル

写真 2-2　解体工事 1

写真 2-3　解体工事 2

写真 2-4　解体工事 3

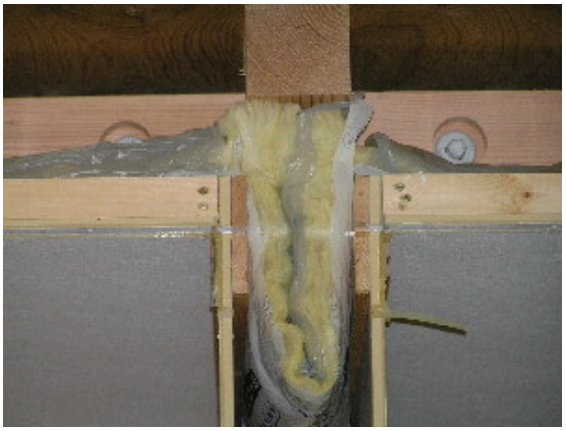


写真 2-5　2 階間仕切り上部

写真 2-6　2 階間仕切り上部

写真 2-7　1 階間仕切り下部

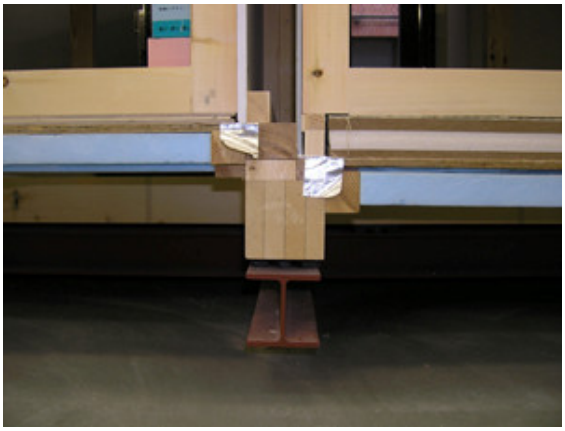


写真 2-8　1 階間仕切り下部

写真 2-9　2 階洋室左（セル番号 9）

写真 2-10　2 階洋室左（セル番号 9）

写真 2-11　洋室壁 1

写真 2-12　洋室壁 2

写真 2-13　和室壁 1

写真 2-14　和室壁 2

写真 2-15　洋室 1

写真 2-16　洋室 2

写真 2-17　和室 1

写真 2-18　和室 2

写真 2-19　天井

②スライスモデルを用いた相当隙間面積、N 値測定方法

同圧法による測定を行った。図 2-3 のような 4 つのセルの場合に、セル 1－セル 2 間の相当隙間、N 値を求める場合には、次の手順で測定した。

- 排気セル 1 を外部に開放する。
- ガス流入セル 2、3、4 に給気し、同じ気圧にする。

（各セルにファンで給気するか、一箇所に給気してその他のセルと給気するセルとの間に通気抵抗が無視できる程度の通気経路を設ける。）

- セル 2 への給気量をトレーサーガス法で測定する。

以上の方法で、セル 1 とセル 2 の気圧差と風量を測定し、相当隙間面積、N 値を求める。

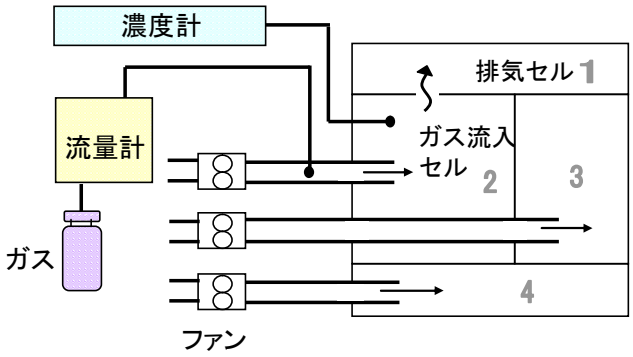


図 2-3　同圧法の測定システム

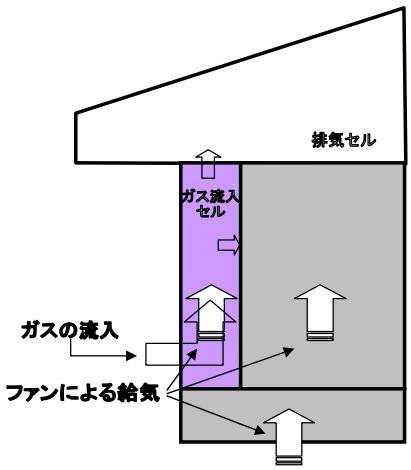


図 2-4　スライスモデルにおける測定手順

○測定手順(図 2-4)

①ガス流入セルを決める。

②排気セルを決める。

ファンによる給気で、ガス流入セルと同じ気圧に他の隣接するセルの気圧：P_1を調節する。ただし，排気セルには給気しない。

③給気経路にトレーサーガスを供給（ドージング）して、ガス流入セル内の濃度を測定する。

④給気セルから流出セルへの通気量Qを算出する。

⑤差圧と風量から相当隙間面積及びN値を算出する。

上記を、給気セル及び排出セルを変えて行い、各セル間の通相当隙間面積及びN値を算出する。

注）給気セルからの流出経路は、排出セルと外部のみとなる。給気セルと外部との間の通気率及び N 値が既知となれば、給気セルと排出セル間の通気率及び N 値が算出できる。なお、給気セルと外部との間の通気率及び N 値は、上図における軒裏も含めて外部以外のすべての気圧を同圧とした測定によって得られる。

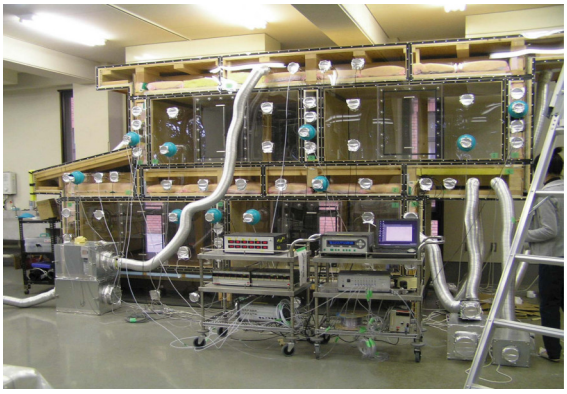


写真 2-20　　スライスモデルの測定状況

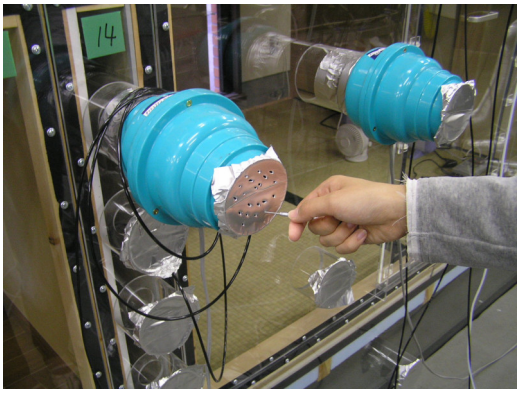


写真 2-21　セルへの給気量の調節

(3) 測定の結果

風量と差圧の測定結果例を表 2-1 に示す。既往の研究で、換気見切りの通気率等は取得済みのため、今回は換気見切りの測定は行わなかった。各セル間において、気圧を 3 段階に変えそれぞれ安定濃度を記録、通気量Q値を算出した。　また、差圧と通気量は、両対数図上で直線上に分布し、相当隙間面積及びN値の換算が可能であることを示している。表 2-2 に例を示す。

ガス流入セル	排気セル	Pa	安定濃度(mg/㎥)	実験室濃度(mg/㎥)		安定濃度(ppm)	実験室濃度(ppm)		Q値
2	1	5	900	2.5		233	0.6		5.15
		10	800	2.5		207	0.6		5.79
		15	700	2.5		181	0.6		6.62
2	3	5	810	2.5		210	0.6		5.72
		10	530	2.5		137	0.6		8.74
		15	430	5		111	1.3		10.78
2	9	5	1100	4		285	1.0		4.21
		10	730	3		189	0.8		6.35
		15	670	2		174	0.5		6.92
2	13	5	1100	2		285	0.5		4.21
		10	800	3		207	0.8		5.79
		15	620	3		161	0.8		7.47

表 2-1　測定結果例（流入セル 2－流出セル 1、3、9、13 の場合）

ガス流入セル	排気セル	気圧	Q	面積(c㎡)	n値
2	3	0.5	5.72	6.0	1.7
		1	8.74		
		1.5	10.78	8.6041	0.6

表 2-2　換算結果例　（流入セル 2－流出セル 3 の場合）

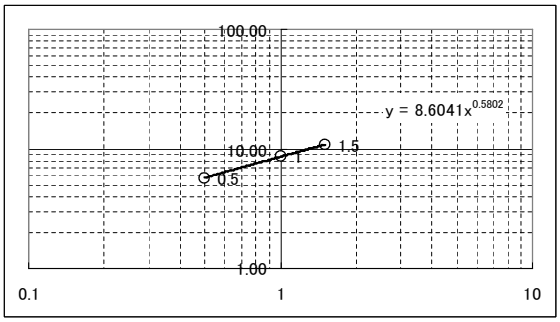


図 2-5　グラフ例　差圧（気圧）と風量の関係（流入セル 2－流出セル 3 の場合）

以下の図 2-6 に相当隙間面積の換算結果を、スライスモデル断面図に示す。

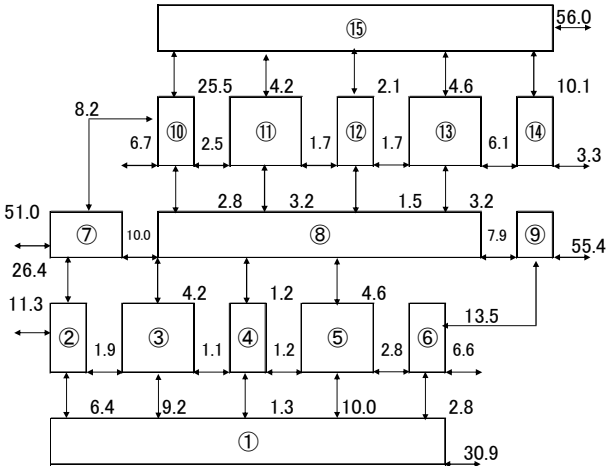


図 2-6　スライスモデルの断面図；相当隙間面積

1-3 2×4 構法の部分スライスモデルの隙間ネットワークの測定

（1）測定の目的

シックハウス予防策の一環として、建築材料から放散する化学物質による室内空気汚染の対策が進められている。しかし、効果的に侵入対策を行うためには、発生源から室内までの侵入経路の把握が望まれる。そこで、2×4 構法を用いた部分スライスモデルを作成し、非居住空間からの汚染物質室内侵入に関する実験を行った。

（2）測定の方法

①部分スライスモデルの概要

2×4 構法の戸建住宅の内部空間の連結状態をモデル化した部分スライスモデルを作成し、宮城学院女子大学生活文化学科の居住環境実験室内に設置した。カナダなどの北国では一般的構法であり、気密性が優れているといわれる 2×4 構法によって作成した。

部分スライスモデルは 9 体作成し、それぞれ実建物における内部空間相互の通気性状が再現されるように適切な部位が組み込まれている。

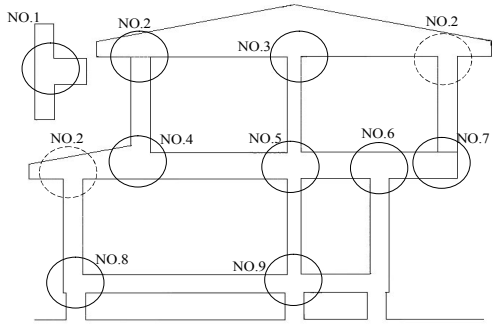


図 2-7　部分スライスモデルの部位（2×4 構法）

写真 2-22NO1（A）　写真 2-23NO2（I）　写真 2-24NO3（H）

写真 2-7NO4（G）　写真 2-7NO5（F）　写真 2-7NO6（E）

写真 2-4NO7（D）　写真 2-4NO8（B）　写真 2-4NO9（C）

図 2-8　部分スライスモデル（2×4 構法）

奥行き約 450 ㎜、高さ約 900 ㎜、幅約 450 ㎜の外形として、本体の周囲にアクリパネルをビスで固定し、アクリパネルと切断部の間は完全に気密化した。室内及び内部空間には、チューブ及び攪拌用のファンなどを設置しておくと共に、透明版面にはスリーブを複数設けてファンによる加減圧が任意に可能となっている。

スライスモデル実験空間内には、フローリング、ビニルクロス、下地合板、合板、サイディング、透湿防水シート、グラスウール、エゾ松、米松、TI 合板、石膏ボード、押出法ポリスチレンホーム保温板 3 種などが建材として使用されている。

［部分スライスモデル制作課程］

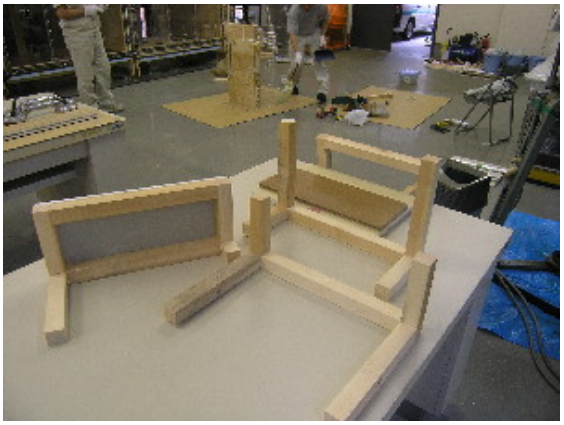


写真 2-31　2×4 構法による外枠

写真 2-32　外壁内作

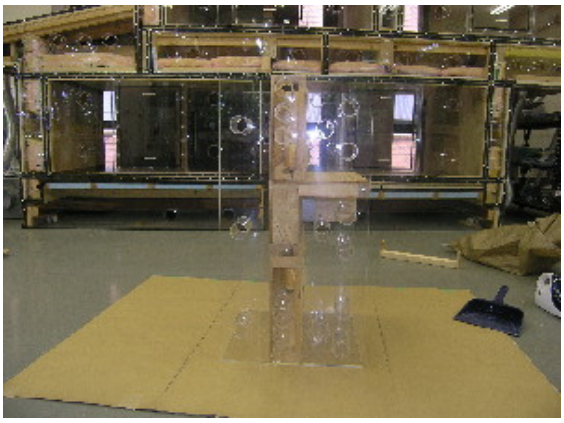


写真 2-33　2 階床フローリング取り付け

写真 2-34　断熱シート取り付け

写真 2-35　外壁取り付け

写真 2-36　2 階内壁取り付け

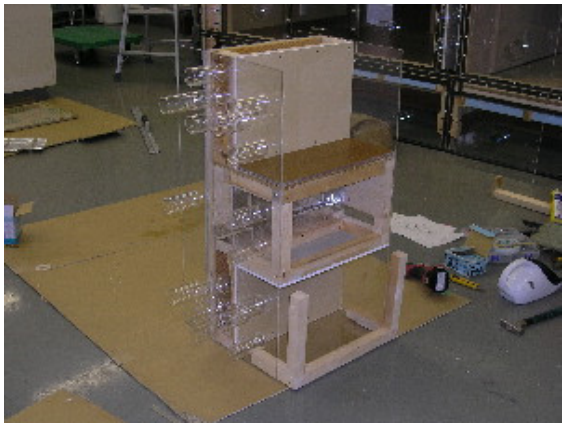


写真 2-37　1 階外枠取り付け

写真 2-38　2 階外枠取り付け

写真 2-39　外壁外枠取り付け

写真 2-40　アクリパネル取り付け

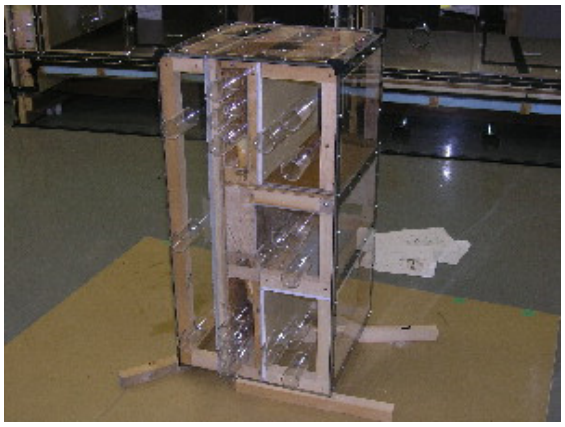


写真 2-41　完成

②部分スライスモデルを用いた通気率、N 値の測定方法

本実験では、2×4 構法を用いて機密性が高くなったため、マスフローコントローラーを使用して、同圧化する必要性が生じ、その結果、より精密な測定が可能となった。

エアーコンプレッサーから流出された空気はエアタンクに収容され、マスフローコントローラーで流量が調節される。流量計によって微調整し、各セルに流れる流量を読み取る。

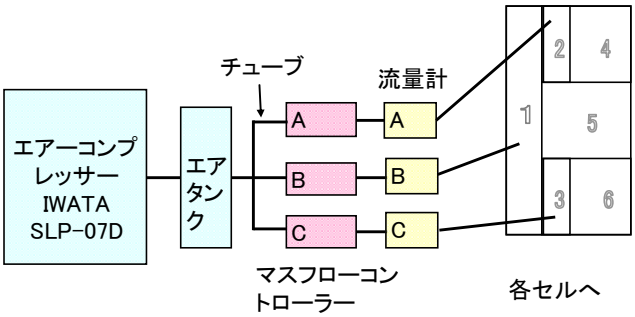


図 2-9　マスフローコントローラーを用いた同圧法

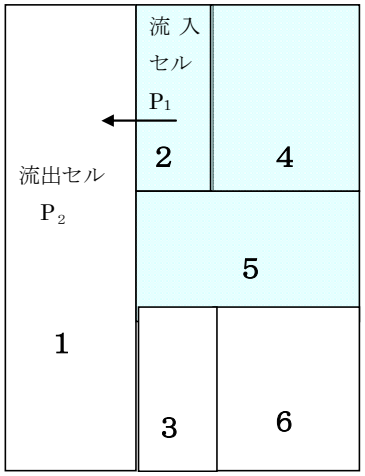


図 2-10　同圧化の手順

図 2-10 に示す部分スライスモデルの場合に、セル 1-セル 2 間の通気率（相当隙間面積)、N 値を求める場合には、次の手順で測定する。

①セル 1 を外部に開放して、気圧を基準圧と同じにする。
②セル 2 に給気して、セル 2 内の気圧を高くする。
③セル 4、5 にも給気してセル 2 内と同じ気圧にする。気圧の調整は流量計によって行う。
④セル 2 への給気量を流量計から読み取る。
⑤以上の方法で、セル 1 とセル 2 の気圧差と風量を測定する。上記の測定結果から、通気率（相当隙間面積)、N 値を求める。

注）給気セルからの流出経路は、排出セルと外部のみとなる。給気セルと外部との間の通気率及び N 値が既知となれば、給気セルと排出セル間の通気率及び N 値が算出できる。なお、給気セルと外部との間の通気率及びN値は､外部以外のすべての気圧をP_1とした測定によって得られる。

写真 2-42　NO1（Type-A)）の測定状況と他 8 体（NO2～NO9）

測定の結果を表 2-3 に示す。各セル間において、気圧を 3 段階に変え流量を測定し通気量（Q 値）を求めた。

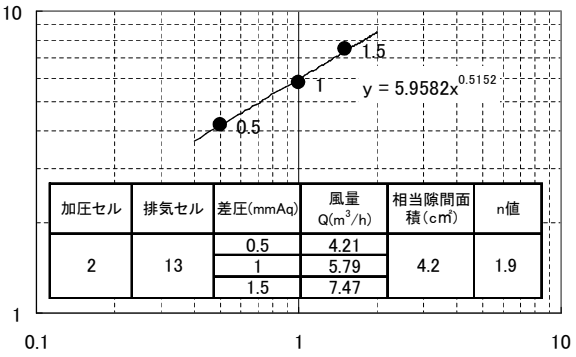
差圧と流量は、両対数図上で直線上に通気量及び N 値の換算が可能なであることを示している。

Type-I、セル 1－セル 6 間のように、相当隙間面積が大きく、マスフローコントローラーでは測定不可能であった箇所は、マルチガスモニターを使った従来の測定方法によって行った。

Type-I

開放セル	流入セル	流量	(Pa)	気圧	安定濃度(ppm)	Q値	相当隙間面積(cm2)	N値
1	2	1.8	5	0.5		0.108		
		5.2	10.1	1.01		0.312		
		7.8	15.3	1.53		0.468	0.40	0.8
	3	12.74	5	0.5		0.7644		
		26.26	10.1	1.01		1.5756		
		34.23	15	1.5		2.0538	2.10	1.1
	6	*	5.3	0.53	67.5	17.77778		
		*	10.2	1.02	50	24		
		*	15.2	1.52	42	28.57143	33.86	2.2

表 2-3　部分スライスモデル測定結果一覧の例
（Type-I の開放セル 1－流入セル 2、3、6 の場合）



加圧セル	排気セル	差圧(mmAq)	風量 Q(m^3/h)	相当隙間面積(cm^2)	n値
2	13	0.5	4.21	4.2	1.9
		1	5.79		
		1.5	7.47		

図 2-11　換算結果とグラフ例
（Type-I の流入セル 1－排気セル 2 の場合）

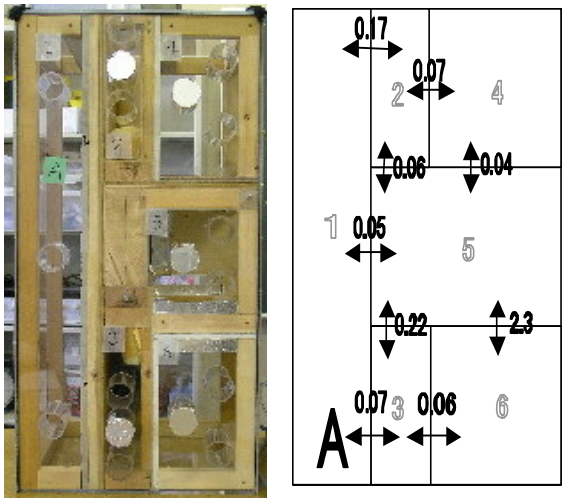


図 2-12　部分スライスモデル A－Type

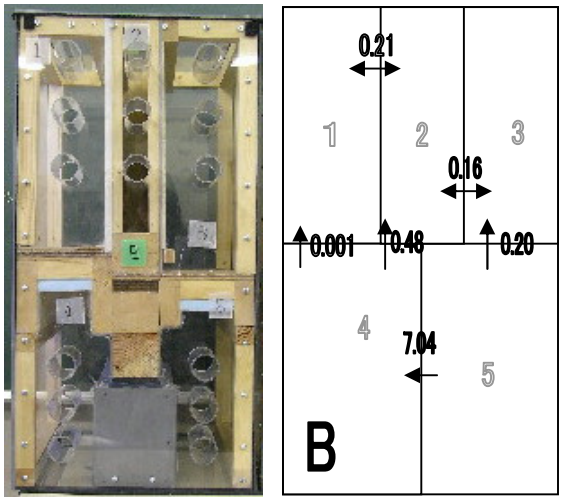


図 2-13　部分スライスモデル B－Type

セル 5－セル 6 間（1 階洋室－階間間）の相当隙間面積が高かった。それに比べてセル 4－セル 5 間（2 階洋室－階間間）の隙間は小さかった。セル 1－セル 2，5，3（室外－室内間）と、内部空間同士の相当隙間面積を比べると、ほとんど変化が見られなかった。

セル 4－セル 5 間は床下換気のため、相当隙間面積は大きかった。セル 1－セル 4（1 階洋室－床下）間は、セル 3－セル 5（1 階和室－床下）間と比べると相当隙間面積は小さかった。セル 1－セル 4（1 階洋室－床下）間よりも、セル 2－セル 4（壁内－床下）間の方が隙間は大きかった。

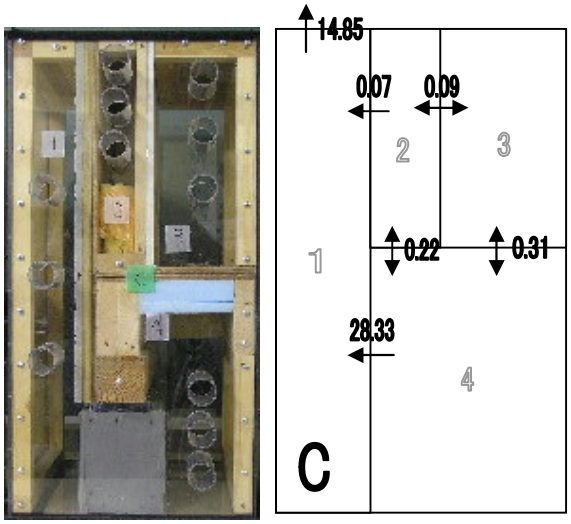


図 2-14　部分スライスモデル C－Type

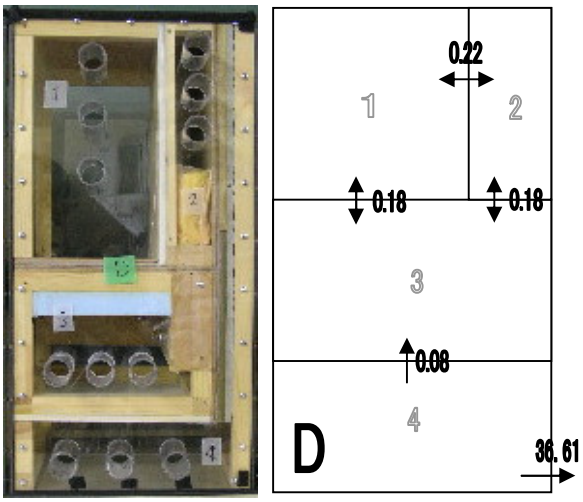


図 2-15　部分スライスモデル D－Type e

セル 1－セル 4（室外－床下）間は床下換気孔のため相当隙間面積は大きかった。セル 1－セル 2（室外－壁内）間、セル 2－セル 3（壁内－1 階洋室）間と、セル 2－セル 4（壁内－床下）間、セル 3－セル 4（1 階洋室－床下）間を比べると、横のつながりよりも、縦のつながりの方が大きかった。

セル 4 から外の相当隙間面積が大きいのは通気孔があるからである。セル 4 は室外に当たるセルであるが、セル 4－セル 3（室外－床下）間の相当隙間面積は小さかった。

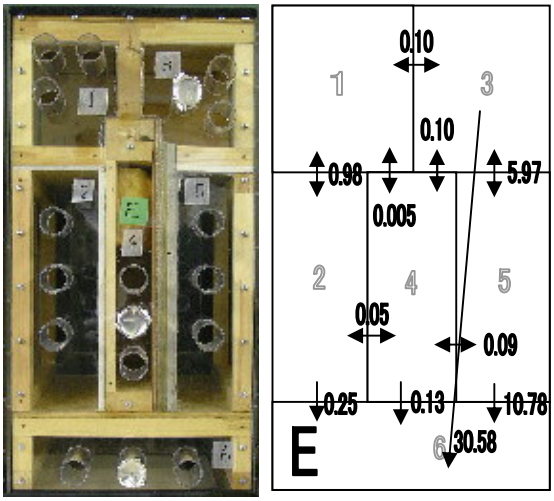


図 2-16　部分スライスモデル E－Type

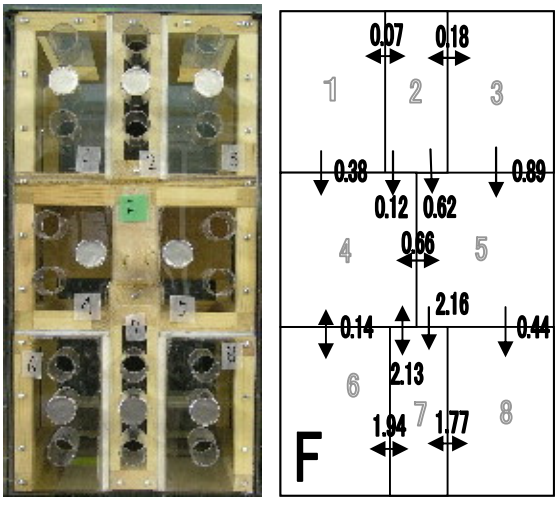


図 2-17　部分スライスモデル F－Type

セル 3－セル 6 間の相当隙間面積が大きいのは通気孔があるからである。セル 5 は室外に当たるセルであるが、セル 3（2 階床下）とセル 5 の隙間は大きかった。全体的に壁を挟んだ横のつながりよりも、床や天井を挟んだ縦のつながりの方が大きかった。

セル 4、5－セル 7（階間－1 階壁内）間は、セル 2－セル 4，5（2 階壁内－階間）間と比べ相当隙間面積は大きかった。セル 6、8－セル 7（1 階洋室－壁内）間は、セル 1，3－セル 2（2 階洋室－壁内）間に比べ相当隙間面積は大きかった。

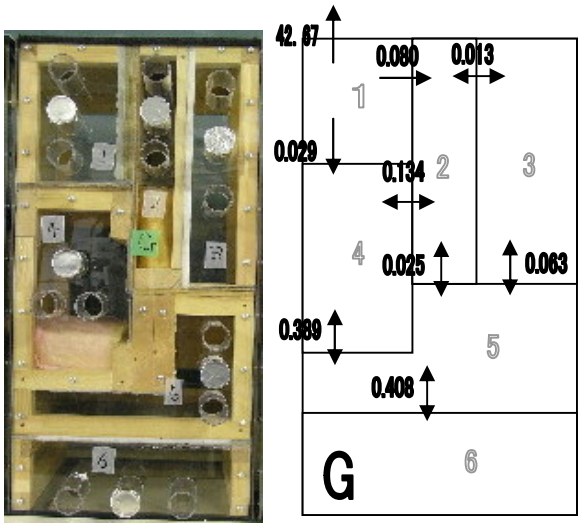


図 2-18　部分スライスモデル G－Type

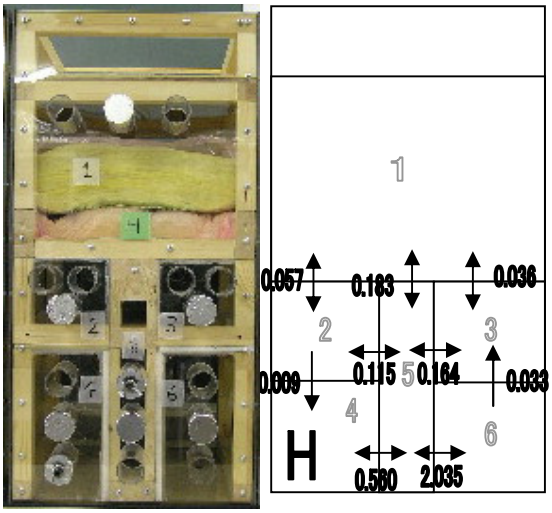


図 2-19　部分スライスモデル H－Type

セル 1 から外への相当隙間面積が大きいのは、通気孔があるからである。内部空間同士の相当隙間面積は全体的に小さかった。セル 2－セル 3（壁内－室内）間や、セル 3－セル 5（室内－床下）間のように、室内と非居住空間との相当隙間面積は小さかった。

セル 4，6－セル 2，3（2 階洋室－天井裏）間の相当隙間面積は小さかった。セル 4，6－セル 5（2 階洋室－壁内）間の相当隙間面積は、2 階洋室―天井裏間に比べて大きかった。

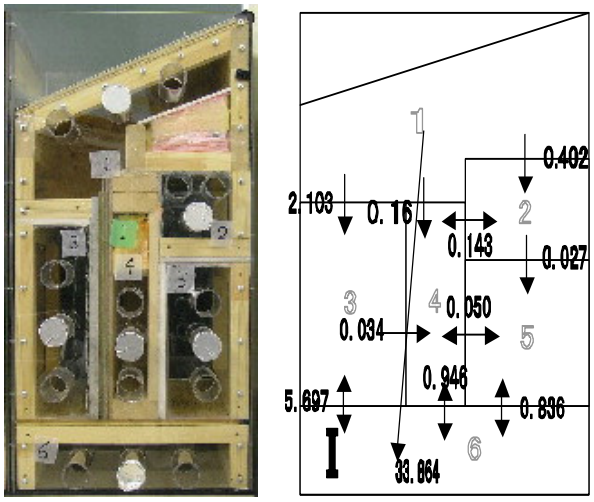


図 2-20　部分スライスモデル I－Type

セル 1－セル 6 間の相当隙間面積が大きいのは通気孔があるからである。セル 2－セル 5（天井裏－洋室）間や、セル 4－セル 5（壁内－洋室）間のように、室内空間と非居住空間との相当隙間面積は小さかった。

全体的にセル間の相当隙間面積は小さかった。通気層や床下換気は相当隙間面積が大きいが、それ以外の内部空間のつながりでは、相当隙間面積に幅はなかった。部屋と壁内との間の相当隙間面積は他の内部空間に比べ大きかった。外壁と内部空間との間は隙間が小さかった。部屋と床下、部屋と天井裏との相当隙間面積を比較すると、部屋と天井裏の方が相当隙間面積は大きかった。

全体的に内部空間相互の相当隙間面積に大きな差はなく、一定であった。これは 2×4 構法が、面を合わせて空間を造り、それを積み重ねていくという、独特の構法であるからと考えられる。また、室外と外に面した壁内、また、外に面した壁内と居住空間である室内との相当隙間面積が他と比べると小さかった。

(3) スライスモデル、部分スライスモデルの測定結果に基づく隙間ネットワーク

①非気密化仕様の在来軸組み構法のスライスモデルと次世代基準に準じた在来軸組み構法のスライスモデルとの相当隙間面積の比較

非気密化在来木造と気密化された在来木造の結果を比較すると、以下のようになる。なお、各空間と外気の間の相当隙間面積については、施工内容が同じであるため大きく変わらないと考えられる。また、外壁については、通気層の室内側の断熱層とし、外壁と外気間の相当隙間面積には防風層の隙間を介する経路を測定した結果となっている。

床下（①）と１階の壁（②、④、⑥）の間は、いずれのモデルでも相当隙間面積は小さく差がない。階間（⑧）と１階間仕切壁（④）、外壁（⑥）の間は、木の通気止めが施工されたことで、相当隙間面積が大幅に小さくなった。階間（⑧）と２階の壁（⑩、⑫）の間の相当隙間面積は、いずれのモデルでも小さく差がない。屋根裏（⑮）と２階の間仕切（⑫）の間は、気密化によって相当隙間面積が小さくなったが、屋根裏（⑮）と外壁（⑩）との間では大きくなっている。これは、防風層の施工状態によるものである。

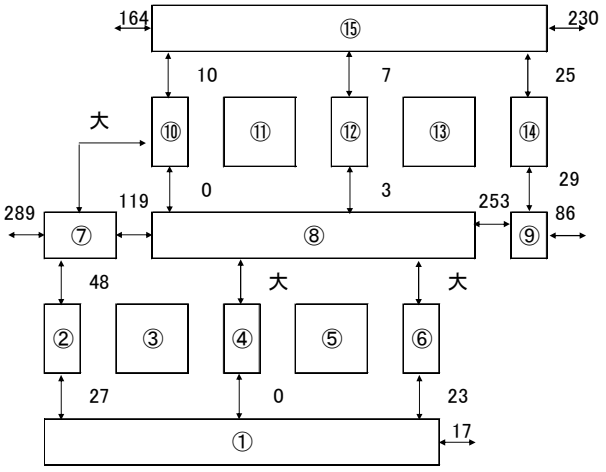


図 2-21　非気密化スライスモデル相当隙間面積の測定結果
（単位ｃ㎡）

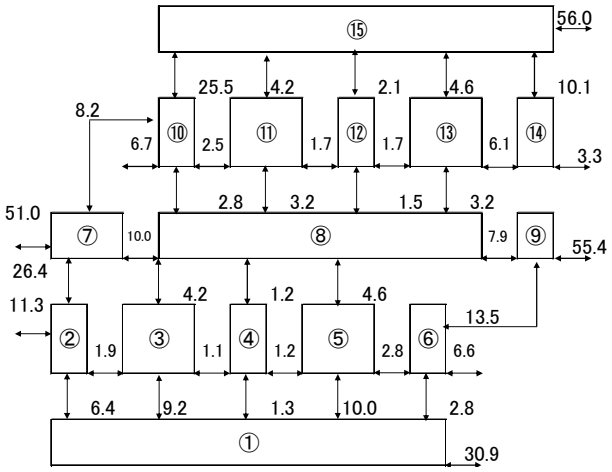


図 2-22　気密化スライスモデル相当隙間面積の測定結果
（単位ｃ㎡）

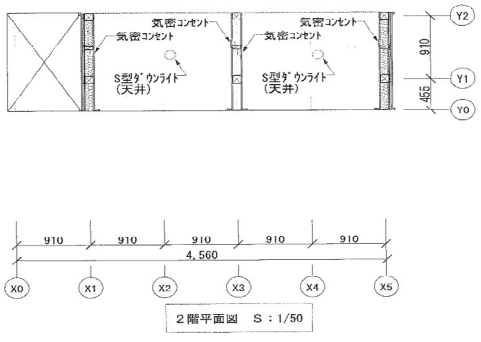


図 2-23　コンセントとダウンライトの設計図

②次世代基準に準じた在来軸組み構法によるスライスモデルと、2×4 構法による部分スライスモデルの相当隙間面積の比較

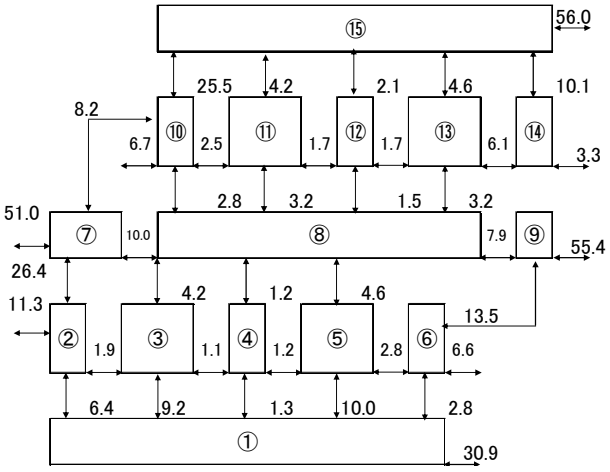


図 2-24　次世代基準に準じた在来軸組み構法によるスライスモデルの相当隙間面積（単位 ㎝²）

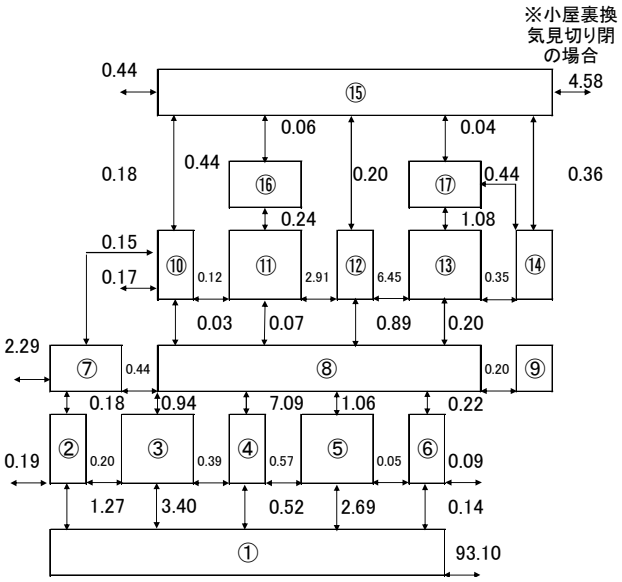


図 2-25　2×4 構法による部分スライスモデルの相当隙間面積（単位 ㎝²）

2×4 構法による部分スライスモデルと、次世代基準に準じた在来軸組構法によるスライスモデルでは、相当隙間面積の値は全体的に部分スライスモデルのほうが大きい値を示した。また、スライスモデルは縦の繋がり（床と部屋、部屋と天井等）、外との繋がり（セルと外気）で相当隙間面積が大きい値を示すのに対して、部分スライスモデルは、横の繋がり（部屋と壁内）で比較的大きな値を示していることがわかる。また、外との繋がりは非常に小さく、比較的、内部空間同士の繋がりのほうが大きい。

1-4 隙間ネットワークを用いたシミュレーション

（1）シミュレーションの方法

スライスモデル及び部分スライスモデルを用いた相当隙間面積及び N 値の測定結果から想定した実大の 2 次元住宅モデルにおける隙間及び開口のネットワークモデルを用いて、非定常熱負荷・換気・濃度計算プログラム Fresh 2006 によるシミュレーションを行った。内部空間での汚染物質発生が室内濃度に与える影響、汚染物質の挙動について、換気方式、季節変動を考慮した全体像を明らかにすることがこのシミュレーションの狙いである。Fresh 2006 は、逐次積分法による熱負荷計算プログラム（北大荒谷）に、開口内空気への機械力、風力、浮力等の外力、摩擦抵抗力、及び空間内空気の伸縮に伴う復元力、慣性力の平衡を New mark-β法によって解く方法による換気回路網計算及び同じく New mark-β法による濃度計算を連結させたものである。

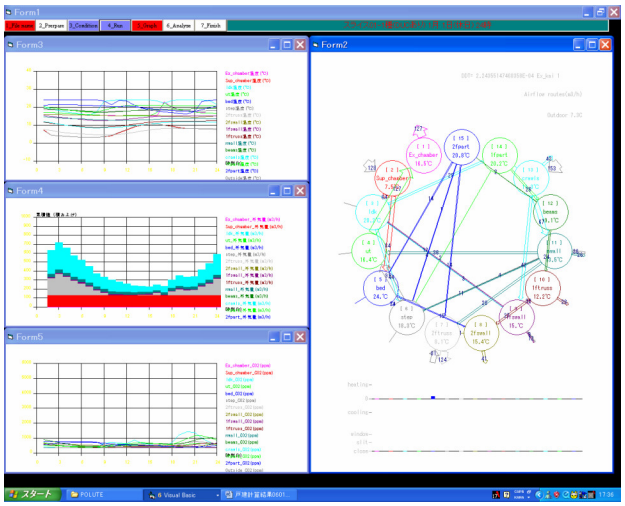


図 2-26　プログラム“Fresh2006”の計算状況
（図は、空間温度、外気導入量、CO2 濃度、換気回路）

実大の 2 次元住宅モデルは、換気回路の表示を可能にするために、東西に同一の隣棟が接続されている状況を想定したものである。これによって断面図に換気経路を表示することが、基本的には可能となる。

はじめに、気密仕様と建物種別と換気方式による通気性状の関係を把握するために、1 月 1 日の東京の気象データを用いて換気経路と濃度の性状を、集合住宅と戸建住宅のモデルにおいて比較した。戸建住宅では、次に年間の通気と濃度の性状を把握するために、年間計算を行って天井裏（階間）及び床下からの汚染物質の挙動と室濃度の性状を換気方式と気密仕様との関係に注目して比較した。窓の開閉については、外気温度が 18℃以上の場合に、室温が 26℃になるように、居住者が開放するように想定している。夜間睡眠時には窓を操作しないようにしている。窓の開巾は、10cm と全開（80cm）の 2 段階を設け、室温が 26℃以上になると 10cm 開放し、開放 1 時間後に室温が 26℃を上回っていれば全開にするように設定している。室温が 26℃を下回ったら同様に全開から 10cm 開放に変え、1 時間後に 26℃以下であれば閉鎖するように設定している。この設定は、窓開巾の実態調査及び開閉行為のメカニズムの検討結果に基づいたものである。

（2）気密仕様と建物種別と換気方式による通気性状

戸建住宅のモデルは、下屋付きの 2 階建てであり、1 階に ldk とユーティリティー（ut）をもうけ、2 階に寝室（bed）とホール階段室(step)を設けている。ldk は、1 階部分で step と間仕切壁を介して隣接すると共に、同じく 1 階部分で ut とも間仕切壁を介して隣接している。また、1 階 LDK の天井裏（beam）は、北側の外壁と UT の天井裏を介して北側の外壁(nwall)と連結している。シミュレーションに使用した隙間のネットワークは、構造体モデルを用いて同圧法により測定した相当隙間面積とＮ値を用いて、表 4-3、表 4-4 に示す値を設定している。なお、室間の通気口は、十分確保されている状態を想定し、210ｃ㎡とした。

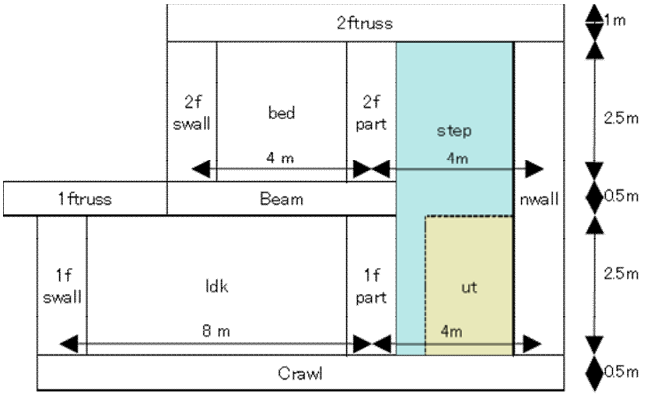


図 2-27　戸建て住宅の計算モデル

表 2-4　計算条件

名称	気密性	換気方式		ドアアンダーカット	
				UT-STEP	LDK・BED－STEP
戸非3A	非気密	第3種	A	閉	閉
戸非3B			B	開	閉
戸非3C			C	開	開
戸非1A		第1種	A	閉	閉
戸非1B			B	開	閉
戸非1C			C	開	開
戸気3B	高気密	第3種	B	開	閉
戸気3C			C	開	開
戸気1B		第1種	B	開	閉
戸気1C			C	開	開

非気密の C 値:5.0c ㎠/㎡、気密の C 値:1.6c ㎠/㎡

表 2-5　隙間の設定（非気密の場合）

部屋名 1	部屋名 2	相当隙間面積	N値	高さ	分布高さ
		c ㎠	1～2	m	m
ldk	1fswall	168	1.5	1.75	2.5
ldk	1fpart	168	1.5	1.75	2.5
ut	1fpart	56	1.5	1.75	2.5
ut	nwall	84	1.5	1.75	2.5
bed	2fswall	112	1.5	4.25	2.5
bed	2fpart	112	1.5	4.25	2.5
step	1fpart	28	1.5	1.75	2.5
step	2fpart	112	1.5	4.25	2.5
step	nwall	140	1.5	3.25	5
2ftruss	Outside	2300	2	6.25	0
2ftruss	Outside	2300	2	6.25	0
2ftruss	2fswall	80	1	6	0
2ftruss	2fpart	56	1	6	0
2ftruss	nwall	200	1	6	0
1fswall	1ftruss	384	1	3	0
2fswall	1ftruss	3500	1	3	0
1ftruss	Outside	2300	2	3.25	0
1ftruss	beams	952	1	3.25	0
beams	2fpart	24	1.2	3.5	0
beams	1fpart	2000	2	3	0
beams	nwall	400	2	3	0
crawls	1fswall	216	1.47	0.5	0
crawls	nwall	216	1.47	0.5	0
crawls	1fpart	0.001	1	0.5	0
crawls	Outside	2000	2	0.5	0
crawls	Outside	2000	2	0.5	0
1fswall	Outside	100	2	1.75	2.5
2fswall	Outside	100	2	4.75	2.5
nwall	Outside	140	2	3.25	5

表 2-6　隙間の設定（気密の場合）

部屋名 1	部屋名 2	相当隙間面積	N値	高さ	分布高さ
		c ㎠	1～2	m	m
ldk	1fswall	48	1.5	1.75	2.5
ldk	1fpart	48	1.5	1.75	2.5
ut	1fpart	16	1.5	1.75	2.5
ut	nwall	16	1.5	1.75	2.5
bed	2fswall	32	1.5	4.25	2.5
bed	2fpart	32	1.5	4.25	2.5
step	1fpart	10	1.5	1.75	2.5
step	2fpart	32	1.5	4.25	2.5
step	nwall	40	1.5	3.25	5
2ftruss	Outside	2300	2	6.25	0
2ftruss	Outside	2300	2	6.25	0
2ftruss	2fswall	20	1	6	0
2ftruss	2fpart	20	1	6	0
2ftruss	nwall	92	1.5	6	0
1fswall	1ftruss	28	1	3	0
2fswall	1ftruss	3500	1	3	0
1ftruss	Outside	2300	2	3.25	0
1ftruss	beams	1190	1	3.25	0
beams	2fpart	30.8	1.2	3.5	0
beams	1fpart	2000	2	3	0
beams	nwall	36	1.5	3	0
crawls	1fswall	92	1.2	0.5	0
crawls	nwall	92	1.2	0.5	0
crawls	1fpart	0.001	1	0.5	0
crawls	Outside	2000	2	0.5	0
crawls	Outside	2000	2	0.5	0
1fswall	Outside	100	2	1.75	2.5
2fswall	Outside	100	2	4.75	2.5
nwall	Outside	140	2	3.25	5

このモデルを用いて、非気密と気密の２つの気密仕様、第３種換気と第１種換気、ドアアンダーカットの有無による計算条件を設定して、東京の１月１日の気象データを用いてシミュレーションを行った。Fresh2006 による数値実験上の気密測定結果では、非気密の場合の C 値は 5.0c ㎡/㎡で、気密の場合の C 値は 1.6 c ㎡/㎡となった。

シミュレーションの結果、第 3 種換気を用いた場合、気密の場合においても 2 階の給気口からは給気が十分に得られないなどの、既往の知見に沿った結果が示されると共に、内部空間を経由する経路が無視できないことが示された。第 3 種換気の場合には、天井裏（階間）、外壁、を経由して居室に流れる経路、天井裏（階間）、間仕切壁を経由してユーティリティーやホール階段室に流れる経路が見られた。また、床下からも外壁を介して居住空間に流れる経路が見られた。第 1 種換気の場合には、内部空間から居室への経路は少なくなっているが、非気密の場合の 1 階においては内部空間から居室への経路が残った。また、ドアアンダーカットの有無は経路や流れの方向を決定するほどの影響は見られなかった。

戸非 3C（図 2-28）の結果では、2 階の bed の給気口が逆流し、通過風量が非常に少なく、天井裏（下屋）の空気が、外壁経由で侵入している。1 階の 1dk には、給気口から微少の給気があるが、外壁経由で床下の空気が侵入し、間仕切壁経由で天井裏（階間）の空気が侵入している。戸非 3B（図 2-29）の結果では、ホール階段室（step）と 1dk 及び bed の間のドアアンダーカットが省略されても、状況は大きく変わらない。戸非 3A（図 2-30）の結果では、ホール階段室（step）と ut の間のドアアンダーカットが省略さると、床下から外壁を介した ut への漏入、天井裏（階間）から間仕切壁を介した ut への漏入が顕著となり、他の部屋の換気量がより減少する。

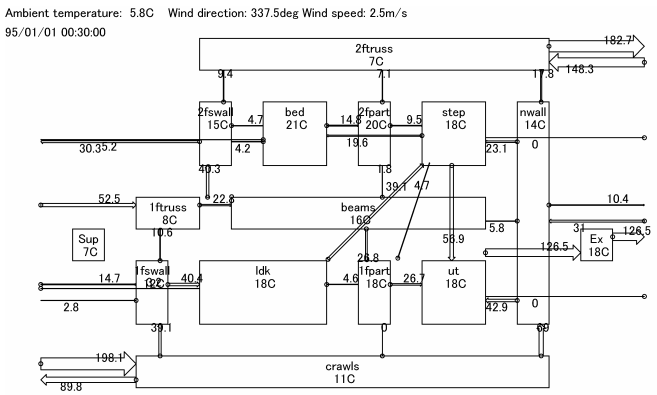


図 2-28　戸非 3C

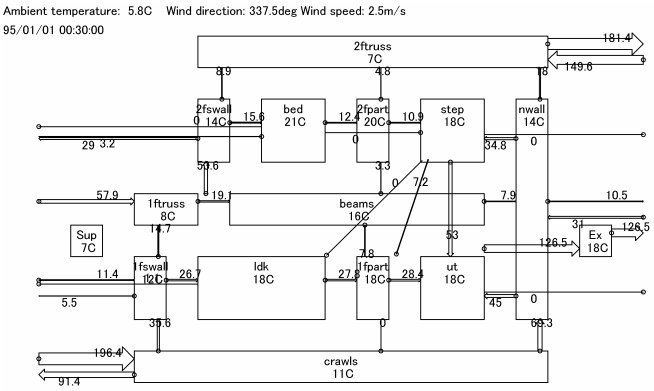


図 2-29　戸非 3B

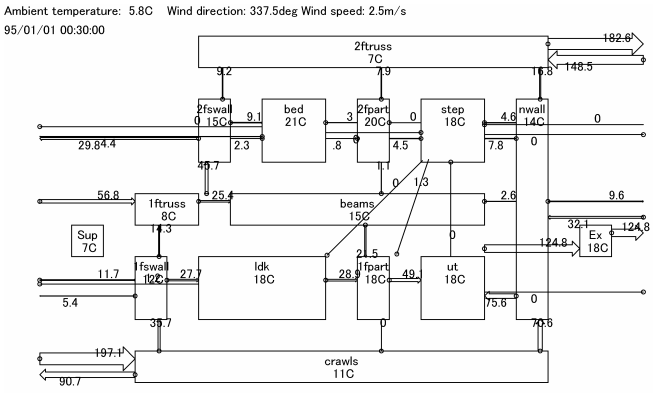


図 2-30　戸非 3A

戸非 1C（図 2-31）の毛かでは、2 階の bed、1 階の 1dk への給気が確保され、内部空間からの漏入が減少する。ただし、1 階の 1dk へは、外壁経由で床下の空気が侵入している。戸非 1B（図 2-32）の結果では、2 階の bed、1 階の 1dk への給気が確保され、両室への内部空間からの漏入はない。戸非 1A（図 2-33）の結果では、2 階の bed、1 階の 1dk への給気が確保され、両室への内部空間からの漏入はほとんどない。ただし、1 階の 1dk へは、外壁経由で床下の空気が若干侵入している。

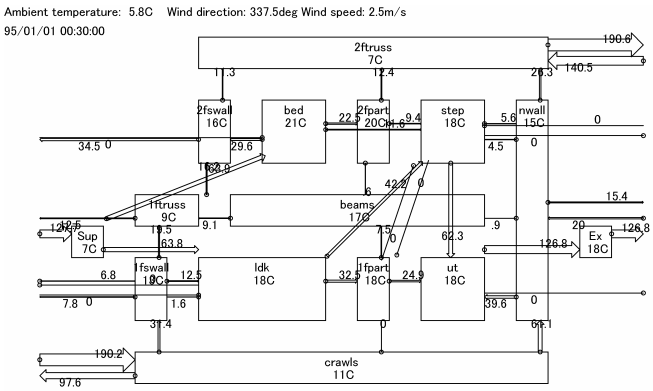


図 2-31　戸非 1C

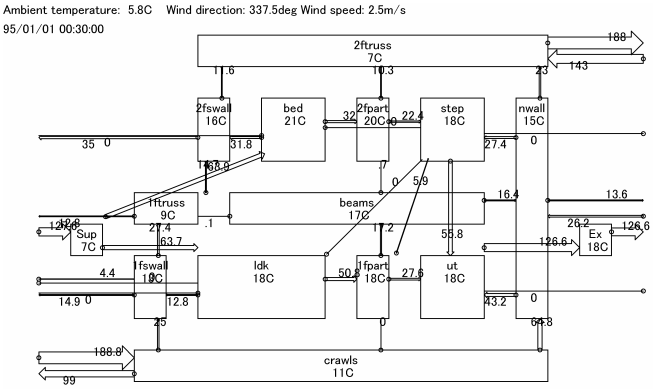


図 2-32　戸非 1B

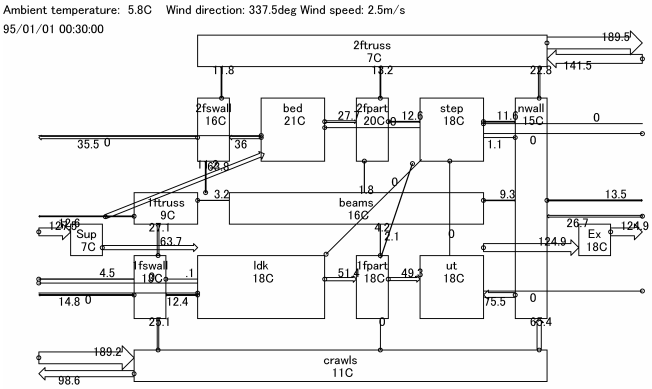


図 2-33　戸非 1A

戸気 3C（図 2-34）の結果では、2 階の bed の給気口経由の給気量が少なく、bed の通過風量が非常に少ない。天井裏（下屋）の空気が、外壁経由で侵入している。1 階の 1dk には、給気口の給気がある程度あるが、外壁経由で床下の空気が侵入し、間仕切壁経由で天井裏（階間）の空気が侵入している。戸気 2B（図 2-35）の結果では、ホール階段室（step）と 1dk 及び bed の間のドアアンダーカットが省略されても、状況は大きく変わらない。

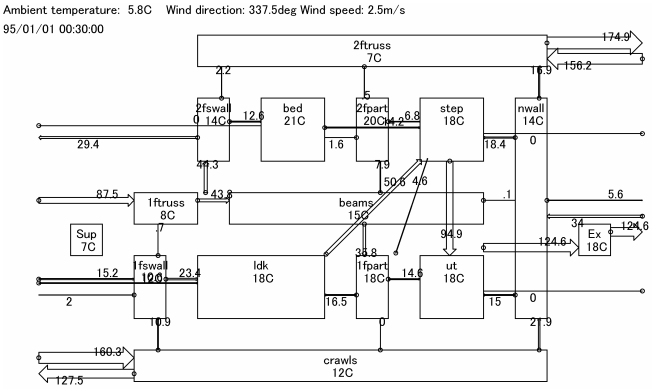


図 2-34　戸気 3C

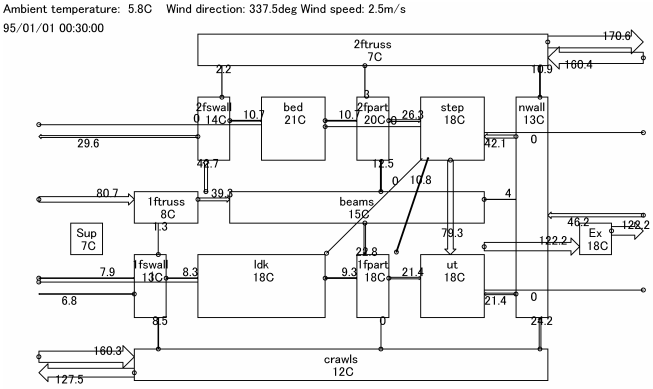


図 2-35　戸気 3B

戸気 1C（図 2-36）の結果では、2 階の bed、1 階の 1dk への給気が確保され、内部空間からの漏入が減少する。ただし、1 階の 1dk へは、外壁経由で床下の空気が侵入している。戸気 1B（図 2-37）の結果では、2 階の bed、1 階の 1dk への給気が確保され、両室への内部空間からの漏入はない。

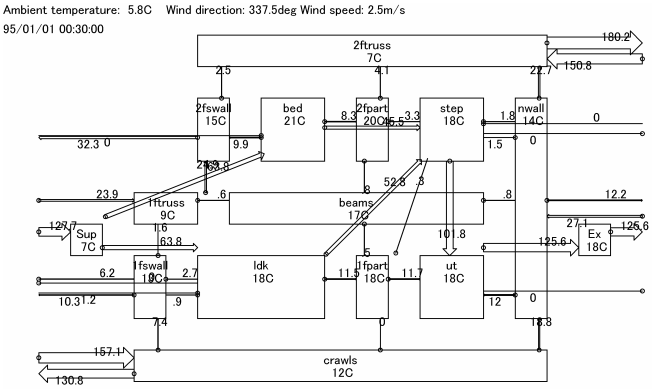


図 2-36　戸気 1C

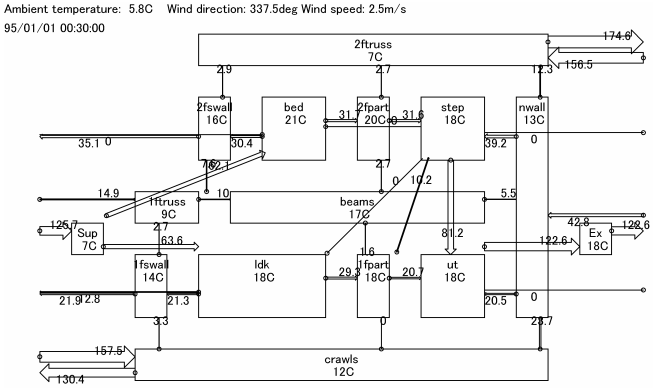


図 2-37　戸気 1B

(3) 年間の内部通気と濃度の性状

年間計算では、個別間欠暖房を行い、夏期には通風を行っている。これらのスケジュールはＮＨＫ国民生活時間調査に基づいて在室時間を設定し、居住者が室温が低下すれば暖房を行い、室温が上昇すれば窓を開放するとした。ホルムアルデヒドの基準放散量（25℃50%）を、室内については床面積当たり 0.1mg/h ㎡、内部空間については、外壁と間仕切壁は壁面積当たりで 0.1mg/h ㎡、床下と天井裏については、それぞれの水平面積当たりで 0.1mg/h ㎡とした。なお、含有量及び気柱濃度の影響係数については、室内を対象にした測定結果と同様の値を仮定した。従って、ホルムアルデヒド濃度の計算結果は参考にとどめる必要がある（山田裕巳、林基哉、田辺新一、実験住宅を用いたホルムアルデヒド気中濃度予測法の研究、日本建築学会計画系論文集NO.553P.55　2002年3月）。炭酸ガスの発生は、勤め人男と家庭婦人の 2 名が居住することによる CO2 発生スケジュールが設定されている。

表 2-7　ホルムアルデヒド濃度の計算条件

基準放散量	温度依存	含有量	気中濃度影響係数
EF25/50	a	M0	β
0.1	1.1	580	0.06
mg/h㎡	―	mg/㎡	m/h

図 2-38、39、40、41 は、1 時間毎の計算結果を用いて月平均値を算出した結果である。全体を通じて、年間を通じた緩やかな変化に、夏期の窓開放による急激な変化が加えられた状況が見られる。

図中の各外気導入量の月平均値は各室への直接外気導入量を示しており、内部空間経由の外気の侵入を含んでいない。ただし、第 3 種換気の場合（戸非 3C、戸気 3C）には、強制排気量を図中に示している。第 3 種換気の場合、窓の開放がない 1 月～5 月及び 10 月～12 月の外気の直接導入は無いか非常に少ない。特に非気密の場合はこの期間の外気の直接導入はほとんど無い。

第 1 種換気の場合（戸非 1C、戸気 1C）には、強制給気によって通年の直接の外気導入がある。天井裏（階間）で発生させた SF6 及び床下で発生させた R22 及び炭酸ガス CO2 については、発生量が年間を通じて一定であるが、ホルムアルデヒド HCHO については、発生量が温度、気中濃度、放散能力の影響を受ける。年間を通じた変化を見ると放散能力の低下に伴う濃度の低下が見られる。

1 月～6 月にかけては、温度上昇に伴う濃度上昇が見られ、7 月～9 月には窓開放による濃度の急激な低下が発生している。10 月～12 月には温度低下に伴って濃度が低く推移している。この年間推移における傾向は、いずれの場合においても見られる。夏期の通風によってホルムアルデヒドの放散が促進されて、放散能力が低下することで秋以降の濃度低下がもたらされたと考えられる。

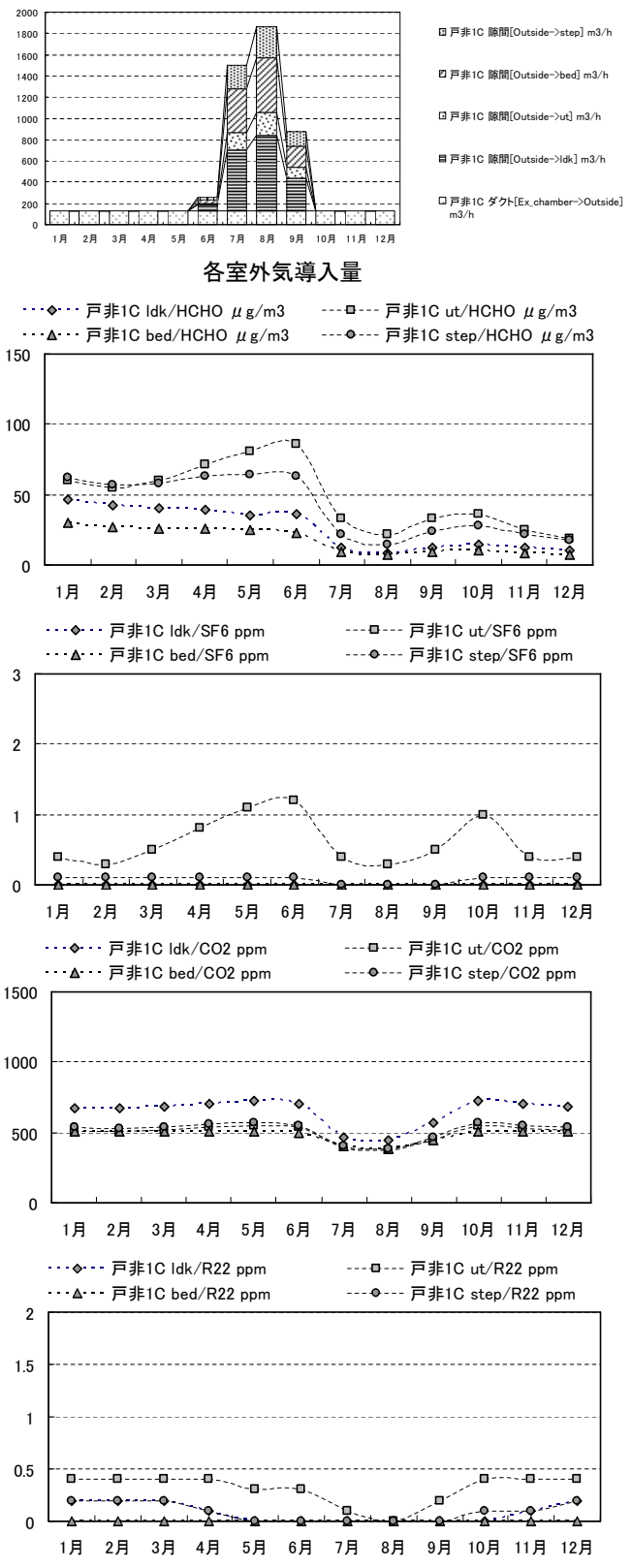


図 2-38　年計算-戸非 1C（戸建で非気密で第 3 種換気を用いドアアンダーカットが設置されている）

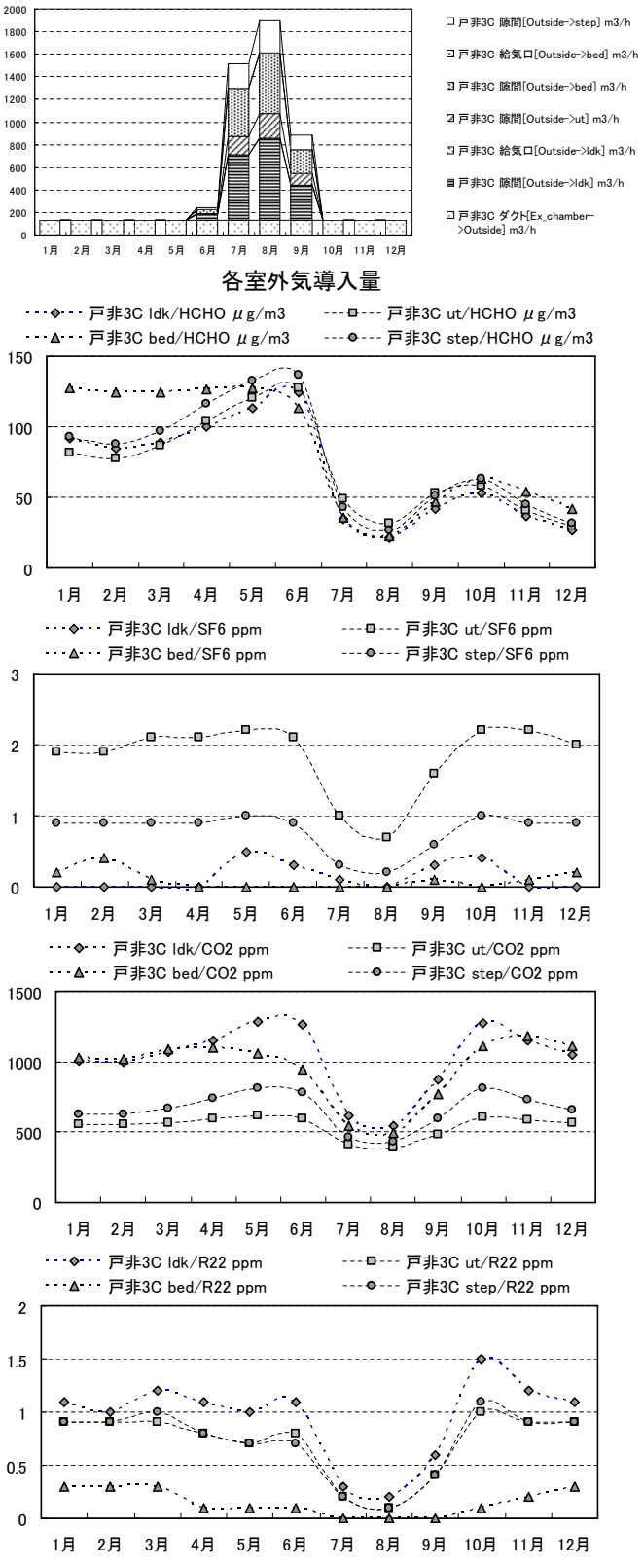
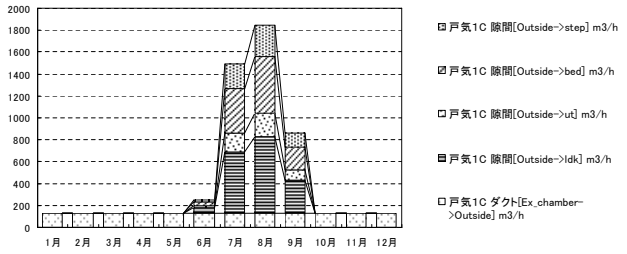
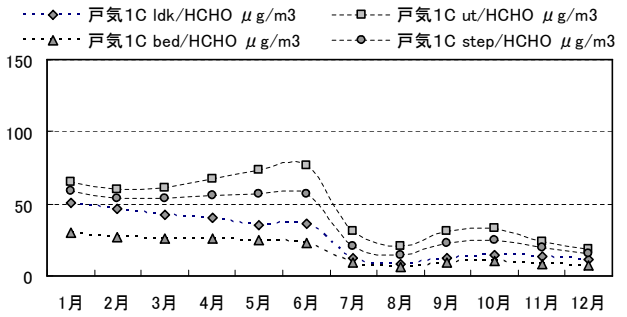
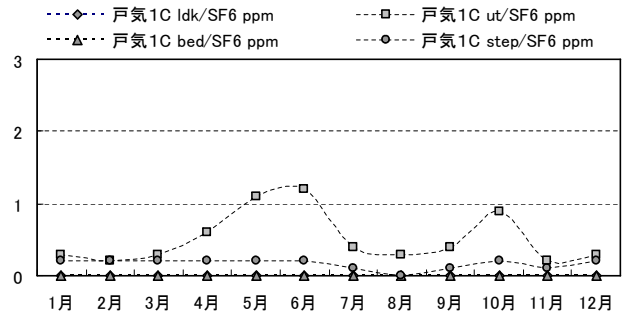


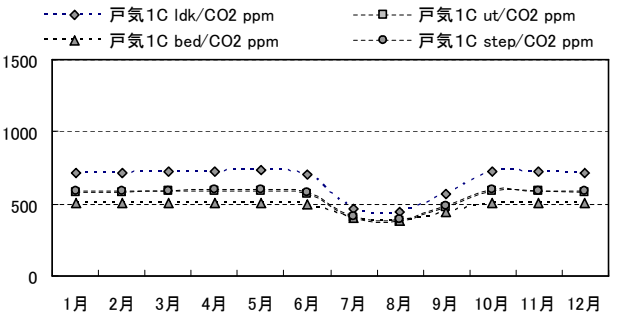
図 2-39　年計算-戸非 3C（戸建で非気密で第 1 種換気を用いドアアンダーカットが設置されている）



各室外気導入量







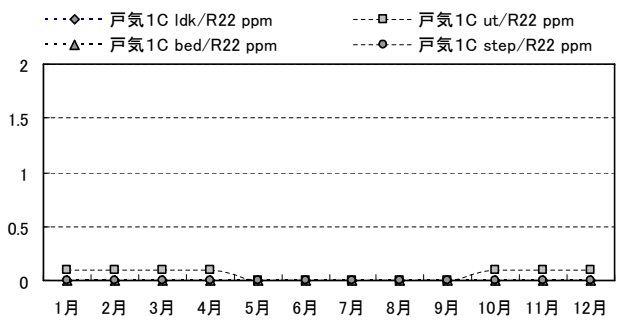
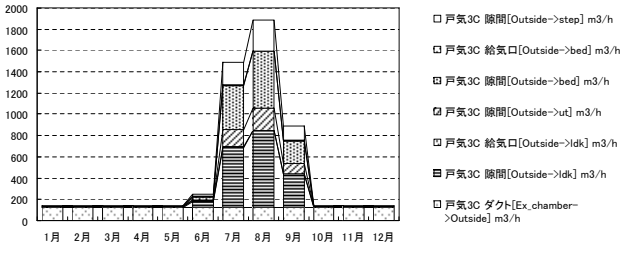
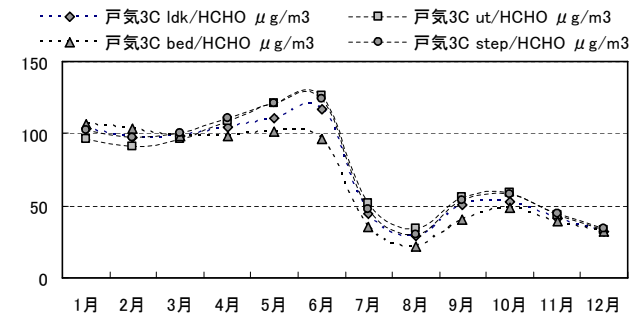
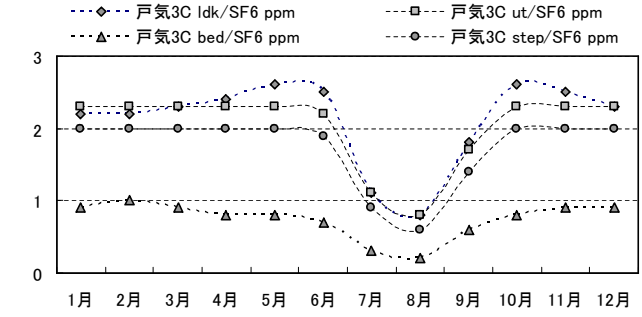


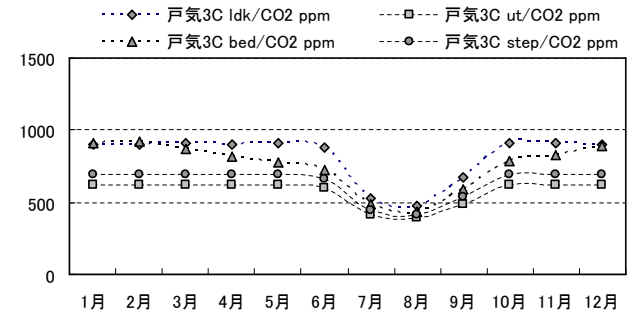
図 2-40　年計算-戸気 1C（戸建て気密で第 1 種換気を用いドアアンダーカットが設置されている）



各室外気導入量







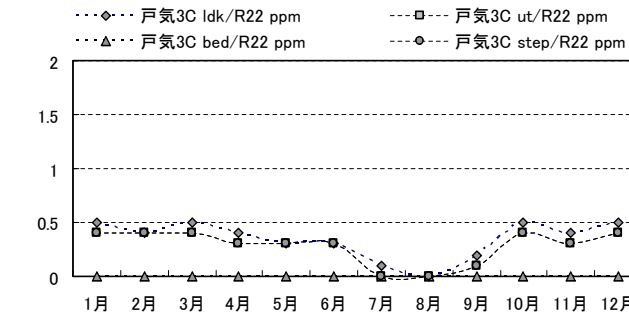


図 2-41　年計算-戸気 3C（戸建で気密で第 3 種換気を用いドアアンダーカットが設置されている）

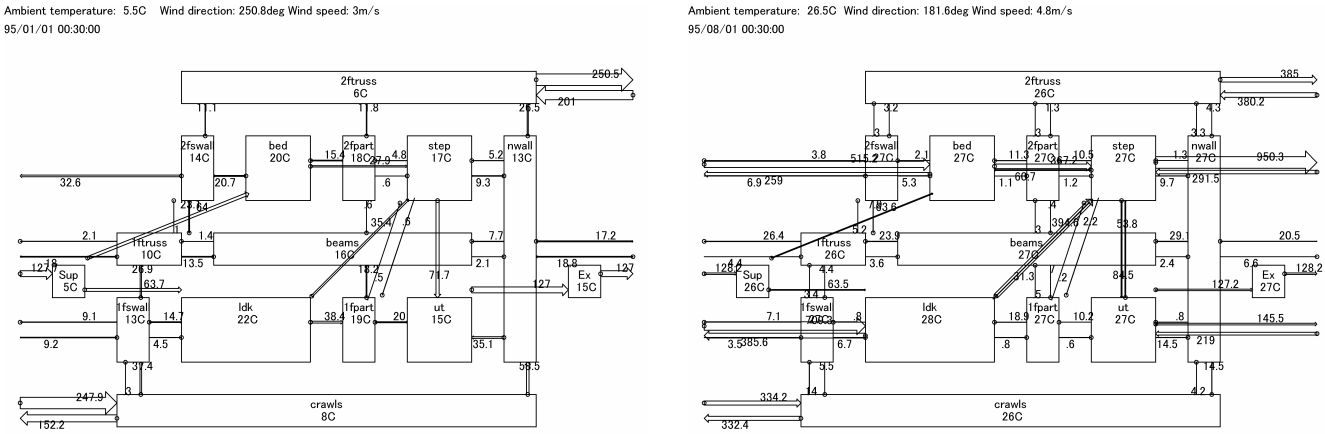


図 2-42　年計算-戸非 1C（1 月平均、8 月平均の風量 m3/h）

戸建で非気密の住宅モデルで第 1 種換気を用いドアアンダーカットが設置されている場合、天井裏（階間）で発生させた SF6 の濃度は、居住空間においては低く推移した。床下で発生させたＲ22 についても床下の濃度に対して室内の濃度は、4 分の 1 程度以下であったが、第 1 種換気においても床下から室内への侵入が存在することが確認された。ホルムアルデヒド（ＨＣＨＯ）については、時間経過とともに発生能力の低下に伴う濃度低下傾向があるが、特に夏期の通風による濃度低下が見られた。また、CO2 濃度は 1000ppm 以下であった。

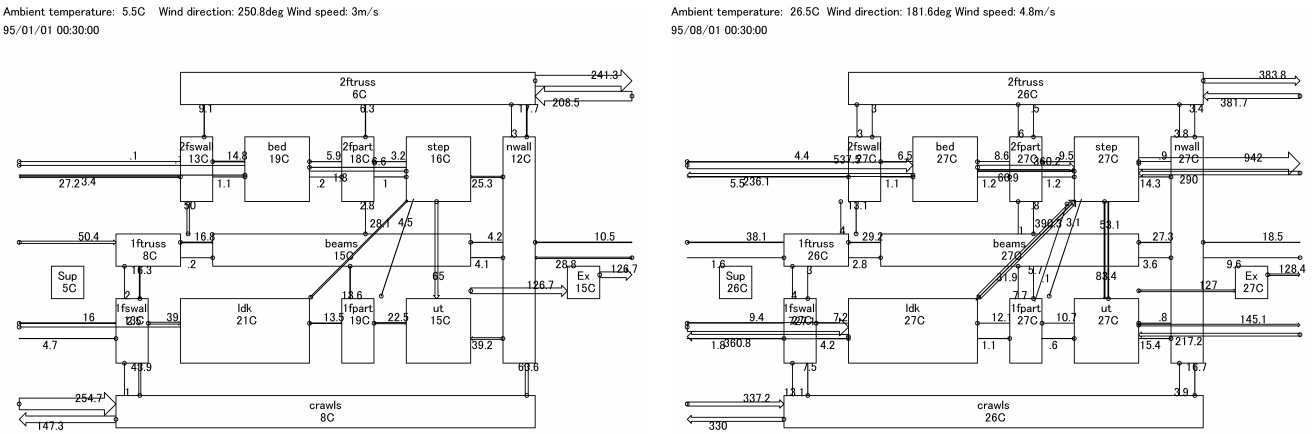


図 2-43　年計算-戸非 3C（1 月平均、8 月平均の風量 m3/h）

戸建で非気密の住宅モデルで第 3 種換気を用いドアアンダーカットが設置されている場合、天井裏（階間）で発生させた SF6 の濃度は、居住空間においては第 1 種の場合より高く推移した。床下で発生させたＲ22 についても床下の濃度に対して室内の濃度は、第 1 種の場合より高かった。ホルムアルデヒド（ＨＣＨＯ）については、時間経過とともに発生能力の低下に伴う濃度低下傾向があるが、特に第 1 種換気の場合より高く推移した。また、CO2 濃度は 1000ppm を超えており、居室への給気不足の影響が見られた。

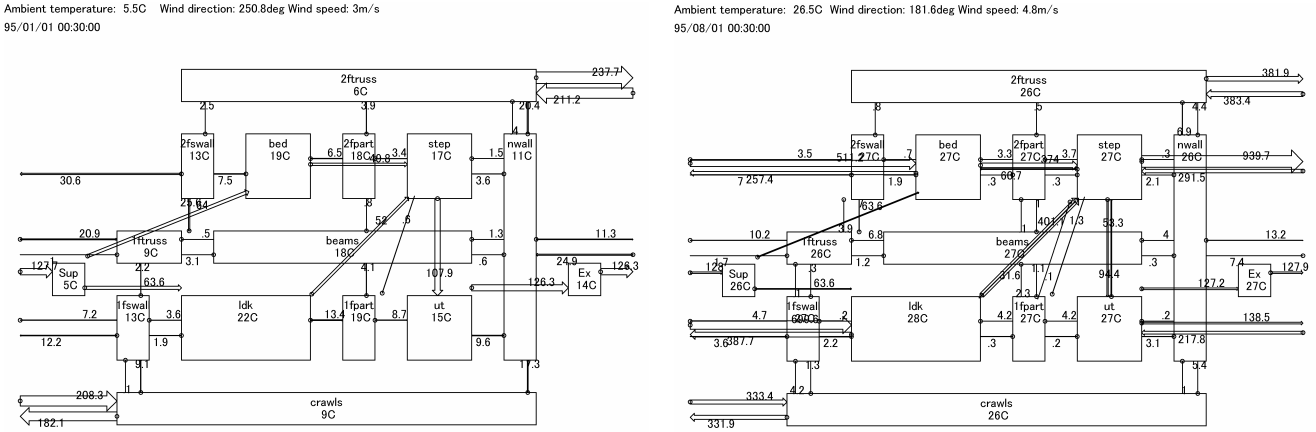


図 2-44　年計算-戸気１C（1 月平均、8 月平均の風量 m3/h）

戸建て気密の住宅モデルで第 1 種換気を用いドアアンダーカットが設置されている場合、天井裏（階間）の SF6 濃度は、非気密の場合より高いが、居住空間においては低く推移した。ただし、2 階居室（Bed）では流入の影響が見られた。床下で発生させたＲ22 については、室内の濃度は非序に低く推移した。ホルムアルデヒド（ＨＣＨＯ）については、時間経過とともに発生能力の低下に伴う濃度低下傾向があるが、特に夏期に高くなる傾向が見られた。また、CO2 濃度は 1000ppm 以下であった。

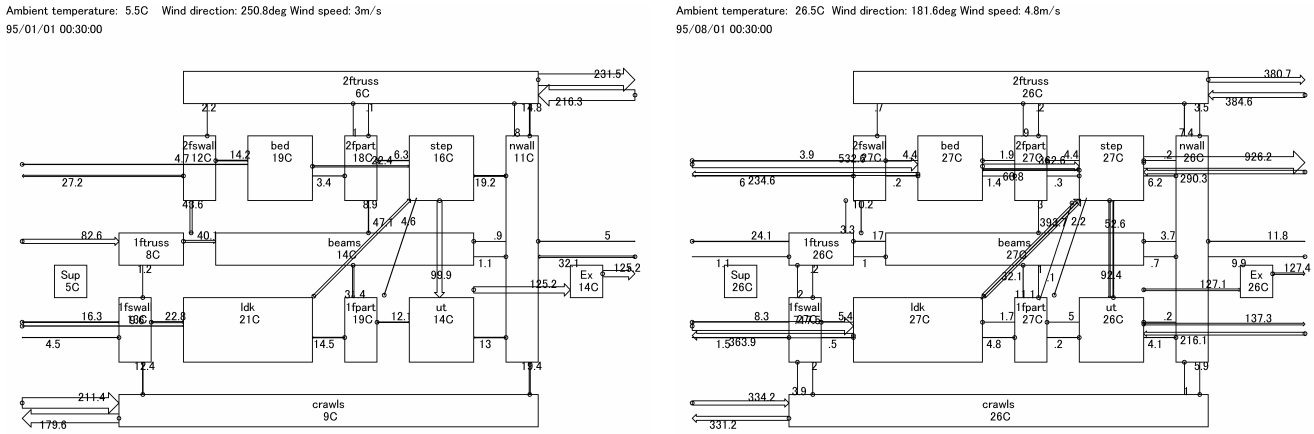


図 2-45　年計算-戸気３C（1 月平均、8 月平均の風量 m3/h）

戸建て気密の住宅モデルで第 3 種換気を用いドアアンダーカットが設置されている場合、天井裏（階間）で発生させた SF6 の濃度は、居住空間においては第 1 種の場合より高く推移した。床下で発生させたＲ22 についても床下の濃度に対して室内の濃度は、第１種の場合より高かった。ホルムアルデヒド（ＨＣＨＯ）については、時間経過とともに発生能力の低下に伴う濃度低下傾向があるが、特に夏期に LDK の濃度が高く推移した。また、CO2 濃度は 1000ppm を超える時期があり、居室への給気不足の影響が見られた。

換気方式や気密性能によって内部空間からの汚染物質侵入性状が影響されるが、全体を通じて外壁や間仕切壁が天井裏（階間）や床下と室内を繋ぐ経路となっている。

図 2-46～2-49 に、年平均濃度を示す。CO2 濃度は、第 3 種換気の場合は第 1 種換気の場合に対して 1.5 倍程度であるが、ホルムアルデヒド（ＨＣＨＯ）濃度では、2.2 倍程度になった。これの差は、内部空間で発生したホルムアルデヒド（ＨＣＨＯ）が、第 3 種換気の場合に室内に侵入したた

めであると考えられる。また、天井裏（階間）で発生した SF6、床下で発生した R22 についても、同様の理由で第 1 種換気の場合に対する第 3 種換気の場合の濃度の比は 5 倍程度と大きい。これらの内部空間で発生させたガスについては､第 1 種換気の場合には排気を行っている ut の濃度がある程度高くなる。その他の室濃度はゼロか非常に低い。

以上のように、内部空間からの侵入の影響は、建物の気密性の違い（今回の比較では、1.6c ㎡/㎡と 5.0ｃ㎡/㎡）よりも、換気方式の違い（第 1 種と第 3 種）によってより大きくなることが示された。このことは、同時に通気止めの効果が限定的であることを示唆するものである。

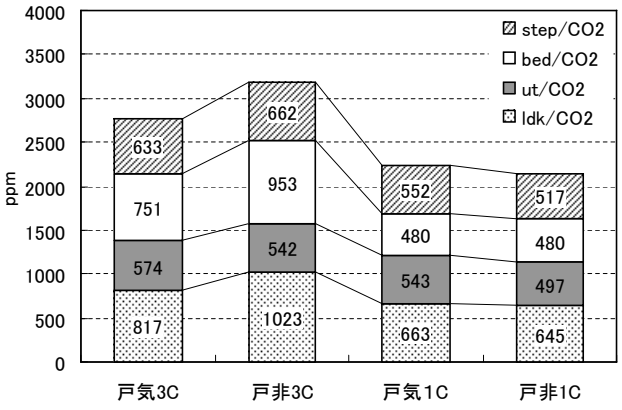


図 2-46　年平均 CO2 濃度

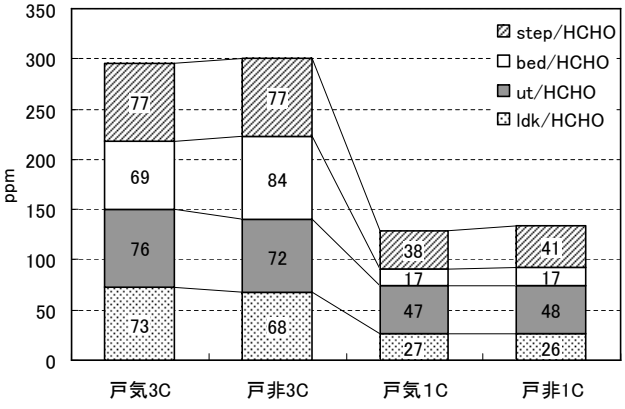


図 2-47 年平均ＨＣＨＯ濃度

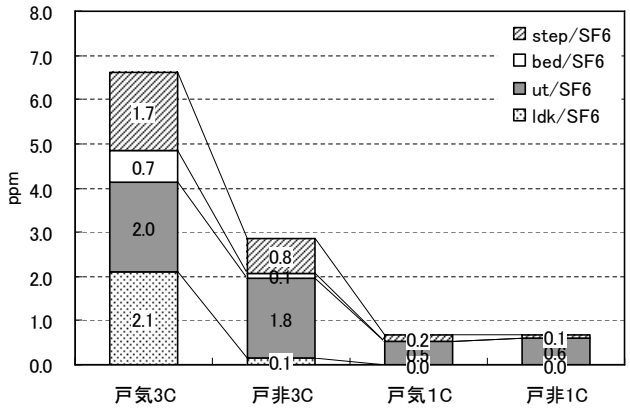


図 2-48　年平均 SF6（階間発生）濃度

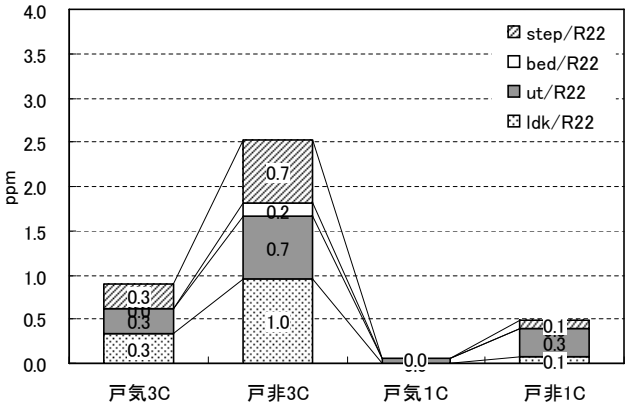


図 2-49　年平均 R22（床下発生）濃度

（4）侵入率の比較と年間推移

多数室における侵入率については、以下のように扱うこととする。一般的に住宅には複数室があり、室毎に濃度が異なると考えられる。このような場合の侵入率を次のように考えることが出来る。はじめに、住宅内の居住空間全体の侵入率κを次のように定義する。

侵入率: $\kappa = C \cdot Q / M$　　・・・数式 1

ここに、内部空間発生量:M、居住空間からの汚染物質排出量:m

居住空間からの汚染物質排出量:

$$m = \Sigma_{i=1、N}\, m_i \quad \cdots \text{数式 2}$$

ここに、N:室数、 $m_i = \Sigma_{i=1、N}$ 排気濃度:C_i × 排気量:Q_i

また、侵入程度を示す室侵入率を以下のように定義する。

室侵入率: $\kappa_i = C_i \cdot q_i / M$　　・・　数式 3

ここに、内部空間での発生量:M、各室の通過風量:q_i、各室の濃度:C_i

侵入率κと室侵入率κ_iの間には、次の関係がある。

$$\kappa \leqq \Sigma_{i=1、N}\, \kappa_i \quad \cdots\cdots \text{数式 4}$$

ここに、N:室数

シミュレーションによる侵入率について、以下のような設定及び結果である。図 2-50 に示す内外温度差は、多数室の室平均温度と外気温度の差である。気象条件はＨＡＳＰ標準気象データ（東京）を使用した。以下に示す侵入率は、集中排気の濃度Ｃ’と排気風量Ｑによるｍ（＝Ｃ’×Ｑ）を用いて式１により算出した結果である。図 2-51 に示す侵入率は、天井裏（階間）の場合高く、床下の場合が低い。侵入率は、第 3 種換気で高く、第 1 種換気の場合が低い。また、天井裏（階間）については、気密性が高い方の侵入率が高い。床下のついては、気密性が高い方が低い。

図 2-52 に示すように、天井裏（階間）からの侵入率は、第 3 種換気の場合は夏期を除いて高く推移するが、第 1 種換気の場合は冬期に低く夏期に高くなる。なお、窓の開放は 7 月～9 月である。既往の実測において、室内の負圧のレベルが大きい場合（-0.2mmAq より低圧）には、侵入率が高い（60%以上）のに対して、室内の負圧のレベルが小さい場合（-0.2mmAq より高圧）には、侵入率が低い場合から高い場合までである（20～100%）ことと対応していると考えられる。図 2-53 に示すように、床下からの侵入率は、比較的低く推移しているが、気密性能が低く第 3 種換気の場合、40%に達している。実測では、床下換気口が設置されている場合の侵入率は 0～20%であり、計算結果と大略対応している。

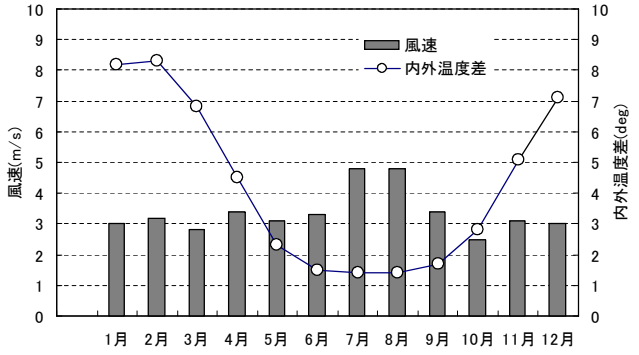


図 2-50　内外温度差と外部風速（東京）

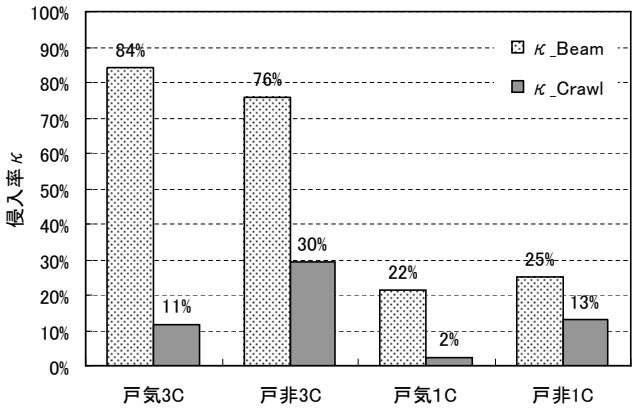


図 2-51　侵入率κの換算結果（トレーサーガス発生量、排気濃度と排気風量を使用した場合）

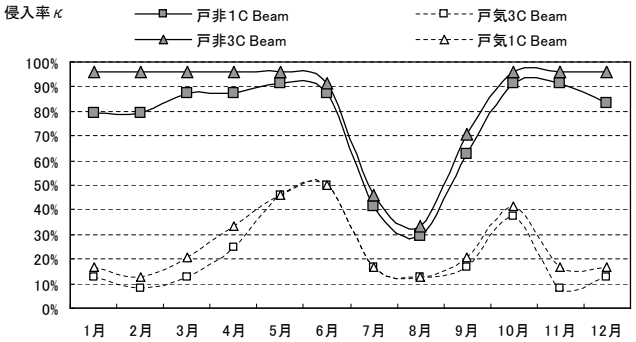


図 2-52　侵入率κの年推移（天井裏:Beam で SF6 発生）

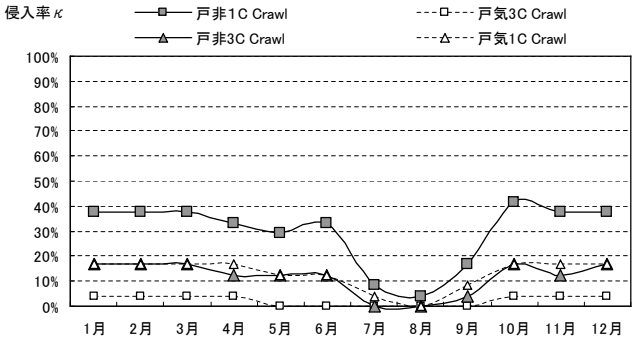


図 2-53　侵入率κの年推移（床下:Crawl で R22 発生）

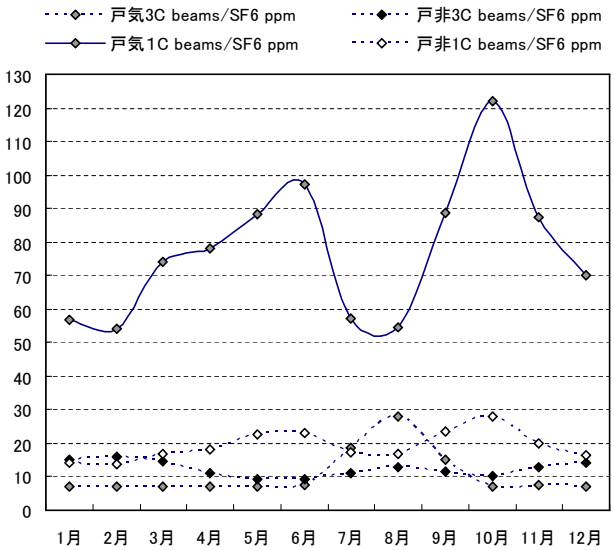


図 2-54　内部空間（天井裏）の濃度

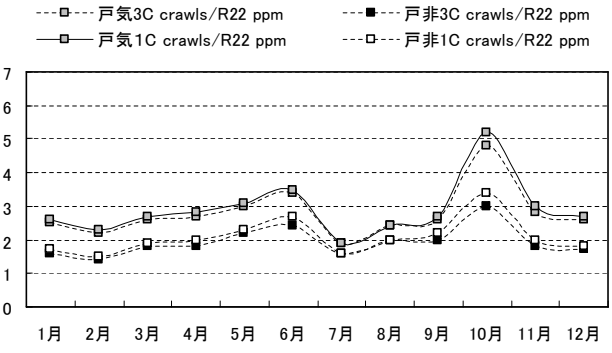


図 2-55　内部空間（床下）の濃度

［参考文献］

1) M.Hayashi、 H.Yamada 、 PERFORMANCE OF A PASSIVE VENTILATION SYSTEM USING BEAM SPACE AS A FRESH AIR SUPPLY CHAMBER、THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDOOR AIR QUALITY AND CLIMATE VOL.１、 Proc.int.conf. “ INDOOR AIR ’96 ”、 859-864、 1996/6
2) 林 基哉、山田 裕己、絵内 正道、寒冷地住宅の煙突効果を活かした集中換気システムの換気特性 天井チャンバーを用いた給気システムの可能性の検討、日本建築学会計画系論文報告集 第５０４号、47-54、1998 年２月
3) H.Yamada、 S.Tanabe、 M.Hayashi、 A FEASIBILITY STUDY ON PREDICTION METHOD ON FOLMALDEHYDE CONCENTRATION ON HOUSES 、 SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN-ENVIRONMENT、 Proc.int.conf. “ICHES ‘98”、 643-646、 1998
4) M.Hayashi、 M.Enai、 Y.Hirokawa、 SIMULATION OF VENTILATION AND INDOOR AIR QUALITY IN HOUSES USING AVERAGE JAPANESE DAILY SCHEDULE 、 Proc.int.conf. “ Building Simulation ’99 ” Vol.2、 815-822、 1999/9
5) 林 基哉、山田 裕己、絵内 正道、煙突自然換気の年間特性と換気量制御法、日本建築学会計画系論文報告集 第５２９号、 39-46、 2000 年３月
6) 山田 裕己、上原 浩二、林 基哉、田辺 新一、「小型チャンバーを用いたホルムアルデヒド気中濃度予測法の基礎研究」、日本建築学会計画系論文報告集 第 543 号、 57-64、 2001 年 5 月
7) M.Hyashi、M.Enai、Y.Hirokawa、ANNUAL CHARACTERISTICS OF VENTILATION AND INDOOR AIR QUALITY IN DETACHED HOUSES USING A SIMULATION MEYHOD WITH JAPANESE DAILY SCHADULE MODEL 、The International Journal of Building Science and its Applications ’BUILDING AND ENVIRONMENT’ Vol.36、No.6 July 2001、721-731
8) 林 基哉、 「発生総量と汚染物質種把握のための現場調査方法の検討」IBEC No.126「特集 室内空気対策」、 69-73、(財) 建築環境・省エネルギー機構 発行 2001 年 9 月
9) 福島 明、絵内正道、宮浦睦明、本間義規、基礎断熱した床下空間を利用したパッシブ換気・暖房方式の実住宅への適用―寒冷地のパッシブ換気に関する研究 その２、日本建築学会計画系論文集 第 532 号、51-57、2000/6
10) 本間義規、福島明、絵内正道、パッシブ換気住宅における夏期の温湿度環境、平成１０年度空気調和衛生工学会学術講演会講演論文集、1998
11) 鈴木大隆、本間義規、廣田誠一、鎌田紀彦、坂本弘志、30°勾配屋根住宅の立地条件や断熱・換気条件を考慮した小屋裏・通気層温度解析結果と考察 積雪寒冷地の断熱気密化住宅における小屋裏換気手法に関する研究(その２)、日本建築学会計画系論文集 第 504 号、25-30、1998/2
12) 本間義規、鉾井修一、福島 明、吸放湿性建築材料の実用的湿気物性同定に関する基礎的検討、日本建築学会計画系論文集 第.513 号、31-36、1998/11
13) 鎌田紀彦、鈴木大隆、小笠原一隆、北谷幸恵、本間義規、北海道の戸建住宅における断熱改修の応用的研究、日本建築学会計画系論文集 第 516 号、23-28、 1999/2
14) 林基哉、大澤元毅、内部建材の化学物質放散が室内空気質に与える影響 第 3 種換気システムを用いた戸建住宅に関する基礎実験、日本建築学会環境系論文集 NO.573 P.65 2003 年 11 月

15) M Hayashi、 H Osawa、 THE INFLUENCE OF THE CONCEALED POLLUTION SOURCES UPON THE INDOOR AIR QUALITY IN HOUSES、 Proc.int.conf. “ INDOOR AIR ’ 05 ”、Paper ID: 2.7-30、2005/9
16) 松井静子、佐藤隆二、山中俊夫：住宅における通風に関する調査研究（その１）通風に対する意識、日本建築学会近畿支部研究報告集、pp.177～180、1995 年
17) 鈴木玉美、吉田治典、梅宮典子：夏から秋にかけての窓開閉行為の要因に関する申告調査の分析、日本建築学会近畿支部研究報告集、pp. 325～328、2000 年
18) 鈴木玉美、梅宮典子、吉田治典：夏季から秋季にかけての窓開閉行為の要因に関する研究　大学キャンパスにおける学生を対象とした調査、日本建築学会計画系論文集、第 556 号、pp.91～98、2002 年 6 月
19) 山中俊夫、佐藤隆二、松井静子：住宅における通風に関する調査研究（その２）通風行為の実態と通風環境の評価、日本建築学会近畿支部研究報告集、pp.180～184、1995 年
20) 菅原正則、本間博文、梅干野　晃、飯野由香利：夏季の自然通風時における住居平面と住まい方の室内気候への影響に関する調査研究、空気調査･衛生工学会論文集、第 57 号、pp.117～127、1995 年
21) 山中俊夫:住宅における通風行為と通風環境に関する基礎的研究　5 階建て集合住宅の一住戸における秋季の通風環境調査、日本建築学会近畿支部研究報告集、pp. 77～80、1996 年
22) 中間期を中心とする窓開放面積率と室内外気候との係わりに関する研究－大学キャンパスにおける実態調査、空気調査・衛生工学会論文集、第 92 号、pp.19～28、2004 年
23) 渋川宗宏、梅宮典子、西岡利晃、大倉良司：窓の開放時間帯、閉鎖時間帯における室温と外気温の実態―大学の研究室における測定―、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、pp. 609～610、2002 年
24) 井上銀次郎、梅宮典子、鈴木玉美、吉田治典、西岡利晃、大倉良司：窓開閉行為が生起するときの温熱環境的条件に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）、pp. 625～624、2003 年

２．　天井裏等の建物内部空間からの汚染物質の室内侵入に関する実証実験

2-1 はじめに

既往の調査において、在来木造を対象に天井裏等の内部空間から室内への侵入率測定を行った。その結果、床下や天井裏から室内への侵入率が、これらの内部空間で発生する可能性がある化学物質について、室内空気汚染の観点で無視できない程度に高いことが確認された。本年度は現在の日本の住宅の中で約 20%を占める工業化住宅（プレハブ住宅）の代表的な 3 種類(木質パネル・軽量鉄骨・コンクリートパネル)を対象に侵入率を測定した。(表 2-8 参照)

2-2 測定対象と測定方法

①相当隙間面積の測定：給気ファンはシャッターを閉、排気ファン・排水口水封・各部屋の内部建具は開の状態で 1F 窓に排気ファンを設置し相当隙間面積の測定を行った。

②換気風量及び空間気圧の測定：風量計を用いた給排気口風量の測定を行った。

③ＶＯＣの測定：ホルムアルデヒド等のパッシブ測定バッチを各居室に設置し、24 時間後に回収し分析した。

④換気量および侵入率κの測定：測定場所は内部空間として床下・天井懐（階間）の 2 か所を対象とし、トレーサーガスとして SF6 と R22 を用いた。また、換気量を測定するために、それぞれの換気状態について室内でトレーサーガスを一定発生させて、換気量を測定した。

⑤室内外温湿度・外部風速の測定：室内の温度湿度にはサーモレコーダーにて記録を行い、他に関しては気象庁のデーターベースを利用した。

表 2-8　測定対象の概要

測定対象住宅				
構造	宮城：木質パネル	奈良：軽量鉄骨プレハブ	宮城：軽量鉄骨プレハブ	長野：コンクリートパネル
換気方式	第一種換気	第一種換気	第一種換気	第一種換気
気密性能	2.9cm²/m²	2.9cm²/m²	2.0cm²/m²	1.0cm²/m²
測定時の換気状態	強制給排気	強制排気	強制給排気	強制排気
風量測定結果	給気合計：157.5m³/h 排気合計：165m³/h	給気合計：95m³/h 排気合計：243m³/h	給気合計：168m³/h 排気合計：175m³/h	給気合計：0m³/h 排気合計：403m³/h

2-3 測定結果

(1) 戸建 1

仙台西部にある新興住宅地に建てられた住宅で周辺は同様の住宅と緑に囲まれ、高層の建物は見られない。

①相当隙間面積

相当隙間面積αA=356c ㎡で、C 値=αA’=356/120.7=2.9c ㎡/㎡で、2 以上 5 以下の気密住宅に属する。

②換気風量

換気回数は 0.52 回/h であり、建築基準法の 0.5 回/h と近い値になった。

③侵入率κ

換気量は、第 1 種換気においては、200 ㎥/h 程度であり、給気ファン風量の合計 210 ㎥/h を若干下回った。第 1 種換気状態では、階間の侵入率κは 100%程度で安定傾向にあり、床下の侵入率κは 40%程度で安定した。

左上：風量測定の様子

右上：気密測定の様子

左下：測定機器類

写真 2-43　測定の状況

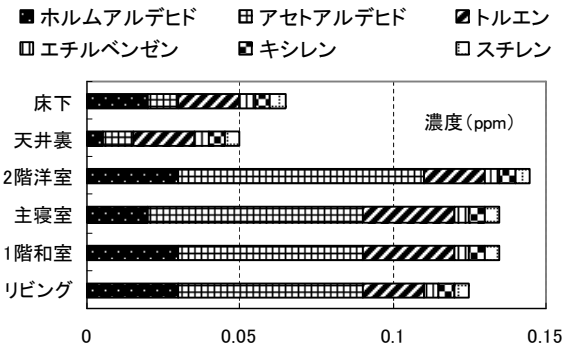


図 2-56　ＶＯＣ測定結果戸建 1

④ＶＯＣ測定結果

図 2-56 に示すように、アセトアルデヒドの濃度は、居室においてリビング 0.06ppm、1 階和室 0.06 ppm、主寝室 0.07 ppm、2 階洋室 0.08 ppm と指針値 0.03 ppm を上回っていた。内部空間に関しては 0.01ppm になり、指針値を下回っていた。

ホルムアルデヒドの数値は、居室と内部空間において測定値が 0.005 ppm～0.03 ppm になり、指針値 0.08 ppm を全ての箇所で下回っていた。

トルエンの数値は、居室と内部空間において測定値が 0.02 ppm～0.03 ppm になり、指針値 0.07 ppm を全ての箇所で下回っていた。

エチルベンゼンの数値は、全ての箇所において測定値が 0.005 ppm となり、指針値 0.88 ppm を下回っていた。キシレンの数値は、全ての箇所において測定値が 0.005 ppm となり、指針値 0.20ppm を下回っていた。

スチレンの数値は、全ての箇所において測定値が 0.005 ppm となり、指針値 0.05ppm を下回っていた。以上の結果から、居室におけるＶＯＣ濃度が高いことが分かり、発生源は居室の壁紙などの建材であると推測される。

(2) 戸建 2

奈良県にある建設会社の研究所内に建てられた実験住宅で研究所内に建てられているが、ほぼ一般的な住宅街と変わらない立地条件にある。

①相当隙間面積

相当隙間面積αA=384c ㎡で、C 値=αA’=384/132.8=2.9c ㎡/㎡で、2 以上 5 以下の気密住宅に属する。

②換気風量

換気回数は 1 時間あたり 0.73 回/h であり、建築基準法の 0.5 回/h よりも多い値になった。

③侵入率κ

換気量は、第 1 種換気においては、120 ㎥/h 程度であり、給気ファン風量の合 93.5 ㎥/h を上回っていた。また第 3 種換気状態においては 175 ㎥/h 程度で比較的安定した。

第 1 種換気状態では、床下の侵入率κは 50%程度で安定傾向にあった。また第 3 種換気状態では、床下の侵入率κは 50%程度で安定傾向にあり、階間の侵入率κは 100%程度で安定した。

（3）戸建 3

多賀城市内住宅地に建てられた住宅で周辺は同様の住宅に囲まれ、また近くに中高層のマンションが建てられている。

①相当隙間面積

相当隙間面積αA=253c ㎡で、C 値=αA’=253/125=2.0c ㎡/㎡で、2 以上 5 以下の気密住宅に属する。

②換気風量

換気回数は 1 時間あたり 0.56 回/h であり、建築基準法の 0.5 回/h と近い値になった。

③侵入率κ

換気量は、第 1 種換気においては、150 ㎥/h 程度であり、給気ファン風量の合 168 ㎥/h を下回っていた。

第 1 種換気状態では、床下の侵入率κは 10%程度で安定傾向にあった。また階間の侵入率κは 70%程度で安定した。

④ＶＯＣ測定結果

図 2-57 に示すように、アセトアルデヒドの濃度は、居室と内部空間において測定値が 0.005pp～0.01ppm になり、指針値 0.03ppm を全ての箇所で下回っていた。

ホルムアルデヒドの数値は、居室と内部空間において測定値が 0.005ppm～0.03ppm になり、指針値 0.08ppm を全ての箇所で下回っていた。

トルエンの数値は、居室と内部空間において測定値が 0.05ppm～0.10ppm になり、床下 0.07ppm、1 階和室 0.08ppm、主寝室 0.10ppm で指針値 0.07ppm を上回っていた。

エチルベンゼンの数値は、全ての箇所において測定値が 0.005 ppm となり、指針値 0.88 ppm を下回っていた。キシレンの数値は、全ての箇所において測定値が 0.005 ppm となり、指針値 0.20ppm を下回っていた。

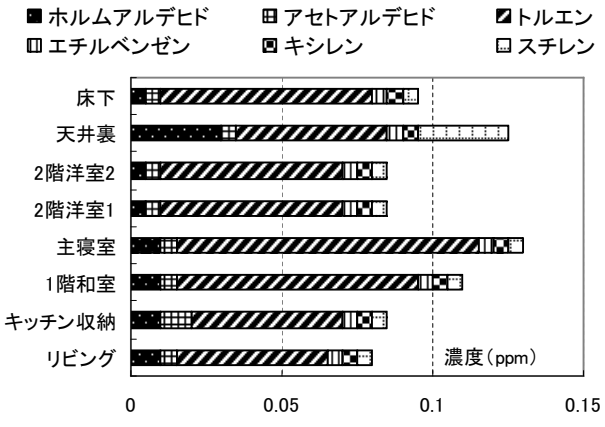


図 2-57　ＶＯＣ測定結果戸建 3

スチレンの数値は、居室と内部空間において測定値が 0.005ppm～0.03ppm になり、天井裏のみ 0.03ppm と指針値 0.05ppm に近い値となった。以上の結果から、居室、内部空間共にＶＯＣ濃度が高いことが分かり、発生源は内部空間の建材などであると推測される。

（4）戸建 4

軽井沢の別荘地に建てられた建物で周辺は森林で、ある程度の間隔で別荘が点在している。

①相当隙間面積

相当隙間面積αA=253c ㎡で、C 値=αA’=253/259=1.0c ㎡/㎡であり、2 以下の気密住宅に属する。

②換気風量

換気回数は 1 時間あたり 0.29 回/h となった。なお、この建物は建築基準法改正以前の建物である。

③侵入率κ

換気量は、第 3 種換気においては、250 ㎥/h 程度であり、給気ファン風量の合 0 ㎥/h を大きく上回っていた。

第 3 種換気状態では、屋根裏の侵入率κは 30%程度で安定した。また階間の侵入率κは 85%程度で安定傾向した。

※ 換気回数＝換気扇風量/(延べ床面積×天井高)

2-4 既往の測定結果との比較

(1) 既往の測定結果概要

①戸建住宅(在来木造、2×4)

・C 値は 1.6～4.2 で気密住宅の範囲にあった。

・主な対象住宅には第 3 種換気設備が設置されており、給気ファンが設置されている住宅もあった。

・内外差圧は、-0.25～-0.05mmAq であった。

・階間からの侵入率は 67～100%、床下からの侵入率は 14～80%、屋根裏からの侵入率は 11%であった。

・基礎パッキンの場合に、床下からの侵入率が高い場合が見られた。

②集合住宅(鉄筋コンクリート造)

・C 値は 1.2 以下で、気密性が非常に高かった。

・第 3 種換気設備が設置されており、給気ファンが設置されている住宅もあった。

・実験は第 3 種換気の状況で行った。

・内外差圧は、-2.0～-0.3mmAq であった。

・階間及び屋根裏からの侵入率は 10～94%、床下からの侵入率は 50～100%であった。

・階間及び屋根裏は RC 構造体に囲まれており、外気への開放が行われていないため、侵入率が低くなる原因としては、排気系への漏出による直接排気が考えられる(仙台・東京 4 階)。

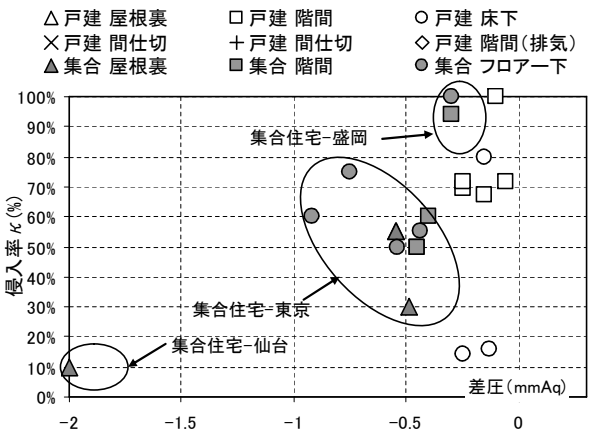


図 2-58 既往の測定結果

・東京の物件の 4 階では、排気風量 58 ㎥/h に対して換気量が 80 ㎥/h になっており、この差が階間からの直接排気であると考えられる。

・東京の物件は、内装面に通気口が設けられており、内部空間が室内に開放される設計になっている。

(2) 本年度の測定結果の概要

①戸建住宅(工業化住宅)

・C 値は 2.0～2.9 の気密住宅の範囲のものが 3 戸と、1.0 と気密住宅の範囲から外れるものが 1 戸あったが、これは建築基準法改正以前に建設されたものである。

・第 1 種または第 3 種換気設備が設置されている。
・内外差圧は、-0.70～0.17mmAq であった。
・侵入率は、第 1 種換気状態で階間が 68～100%、床下が 11～52%。第 3 種換気状態で階間が 88～100%、床下が 47%、屋根裏が 32%であった。
・基礎パッキンの場合に、床下からの侵入率が高い場合が見られた。

(3) 既往の結果と本年度の比較

図 2-58 及び 2-59 に示すように内外差圧(図中の横軸) が低くなると共に、侵入率が高くなる傾向は、既往の測定結果と合わせるとより明確に見られる。

図 2-58 に示すように RC 造集合住宅においては、内外差圧が-0.4mmAq よりも下回る範囲で、天井裏及び屋根裏からの侵入率が 50%以下の測定結果が無い状況となっている。また、屋根裏と床下が比較的高いが、10%と非常に低い場合も存在する。

戸建住宅において、床下からの侵入率はほとんどの場合に 20%以下であり、他の部位よりも低い。これは、床下換気口によって外気に開放されていることによると考えられる。しかし、基礎断熱の住宅や基礎パッキンを用いた床断熱の住宅の一部では、侵入率が 30～80%の範囲で比較的高くなっている。

天井裏（階間）からの侵入率は、内外差圧が正の値の場合（室内が正圧の場合）を除いて、約 70%以上の高い値を示している。既往の測定結果と同様に本測定でもこの状況が確認された。

基礎パッキンにモルタル塗装を施した状態で通常風の通り道となる基礎と土台の隙間がふさがれると、換気性能が著しく低下する場合がある。このような場合に床下からの侵入率が高くなることが推定された。

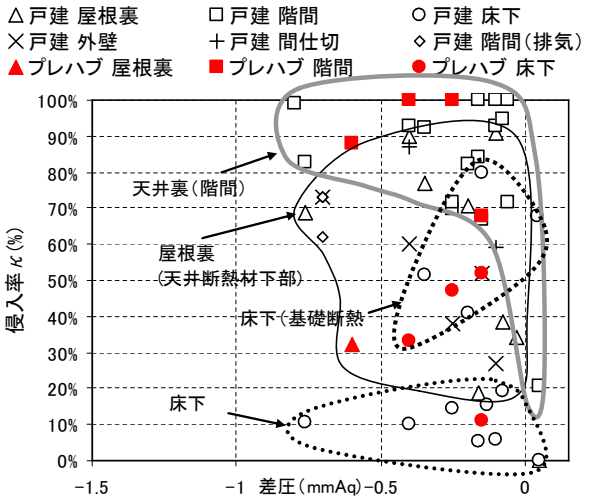


図 2-59　既往の測定結果との比較

表 2-9　侵入率の測定結果一覧

測定対象	C値 (cm²/m²)	換気	箇所	内外差圧 (mmAq)	換気量 (m³/h)	侵入率 κ (%)
戸建-2×4 (鶴川)	2.5	第三種	階間	-0.16	63	84
			床下	-0.16	61	19
			屋根裏	-0.16	63	11
戸建-在来構法 (埼玉)	4.2	第三種	階間	-0.05	205	96
戸建-在来構法 (船岡)	3.5	第三種	階間	-0.06	214	71
戸建-在来構法 (八乙女)	1.6	第三種	床下	-0.13	94	16
			階間	-0.1	100	100
戸建-在来構法 (松島)	2.9	第三種	階間	-0.25	130	70
			床下	-0.25	143	14
			階間	-0.25	143	71
戸建アパート 在来構法(八乙女)	4.2	第三種	階間	-0.15	65.5	67
			床下	-0.15	65.5	80
RC集合住宅 4階最上階(盛岡)	1.2	第三種	階間	-0.3	188	94
			床下	-0.3	188	100
RC集合住宅 7階最上階(柏木)	0.9	第三種	階間	-2	85	10
RC集合住宅 4階中間階(東京)	0.75	第三種	階間	-0.4	86	60
			床下	-0.75	82	75
			階間	-0.45	87	50
			床下	-0.44	84	55
			階間	-0.45	81	50
RC集合住宅 6階最上階(東京)	0.83	第三種	屋根裏	-0.49	90	30
			床下	-0.92	156	60
			屋根裏	-0.55	144	55
			床下	-0.54	122	50
			屋根裏	-0.55	152	55
戸建-木質パネル (錦ヶ丘)	2.9	第一種	階間	-0.42	220	100
			床下	-0.36	175	33
戸建-軽量鉄骨 プレハブ(奈良)	2.9	第一種	床下	-0.2	116	52
		第三種	階間	-0.25	193	100
			床下	-0.25	178	47
戸建-軽量鉄骨 プレハブ(多賀城)	2.0	第一種	階間	0.17	155	68
			床下	0.17	160	11
戸建-コンクリート パネル(軽井沢)	1.0	第三種	階間	-0.7	248	88
			屋根裏	-0.6	250	32

第 3 章　換気計画法の確立に関する検討

１．　風量測定器の精度検証実験　結果概要

1-1 目的

換気装置・空気調和装置の現場における風量測定技術は、システム性能の検証方法として重要な技術であり、かつ対象とするシステムの検証を実施するためには十分な精度が必要とされている。特に住宅用の換気システムの場合、必要とされる風量が事務所や病院など他の建築と比較して小さいことから、数 m^3/h 程度の測定誤差が設計風量に占める割合は大きく、風量測定に高い精度が求められる。しかしながら風量の小さいシステムを対象とした風量測定器および風量測定技術に関するわが国の研究、開発事例は少なく、住宅においても常時稼動が可能な機械換気設備の設置が義務付けられた現在、この課題は一層重要となっている。またわが国の住宅用換気システムには、施工が容易なフレキシブルダクトを使用するケースが多いことや、ダクト径もφ50㎜と小さいため、この特殊性を考慮した風量測定技術も必要と考えられる。

このような住宅用換気システムの現場における風量測定法の課題に対し、平成 16 年度から現場における風量測定精度の検証実験を実施、平成 16 年度には 8 種類の風量測定器（うち 2 種類は拡張フードを用いたもの）と 11 種類の端末部材の組合せによる精度のばらつきを確認した。

平成 17 年度は、測定誤差を生じる要因の整理と測定精度との関係や、現場において測定が困難な箇所の対応方法とその測定精度について確認実験を実施した。

1-2 風量測定器精度測定方法

(1) 測定装置

測定装置は送風機から整流網を設置したチャンバーを通して仮想壁面に取り付けた端末部材に送風し、端末部材の吸い込み又は吹き出し風量を風量測定器で測定する。測定装置の概要を図 3-1 に示す。送風機とチャンバーをつなぐダクトには超音波流量計を設置しており、この超音波流量計の測定値を「検証風量」とする。送風機、超音波流量計設置状況を写真 3-1 に、チャンバー外観及び端末部材取付状況を写真 3-2 に示す。なおチャンバーは「JIS C9603-1988　換気扇　附属書 1　風量測定方法」に示される測定装置を風量測定用チャンバーとする。

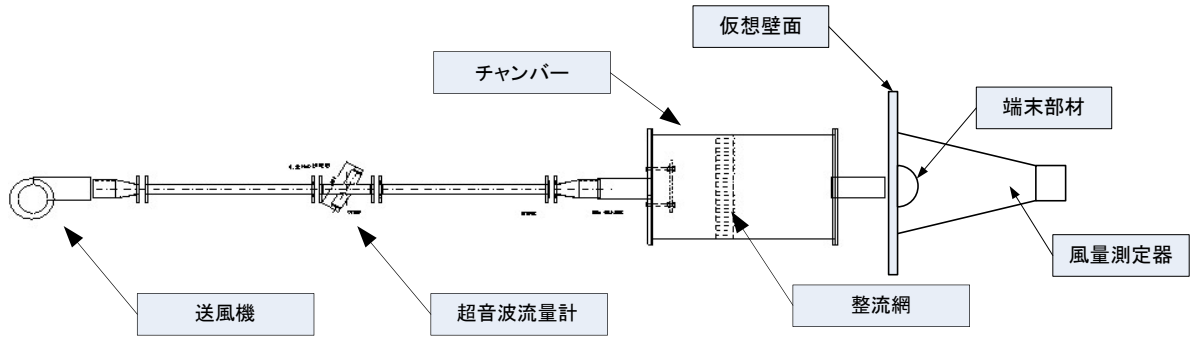


図 3-1　測定装置

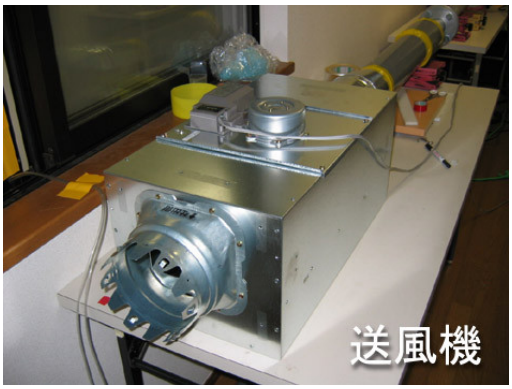


写真 3-1　測定装置（送風機、超音波流量計）

写真 3-2　測定装置（チャンバー、端末部材取付状況）

(2) 端末部材

本実験で用いる端末部材一覧を表 3-1 に示す。昨年度測定を実施した端末部材のうち、住宅用として一般的に用いることが多い室内用端末φ50mm、屋外用端末φ100mm とし、吸い込み、吹き出し方向において偏流が大きいと予想される部材を選定した。

表 3-1　実験に用いた端末部材

室内端末部材	接続径 φ50 mm	ID-50-1	ID-50-2	ID-50-3
屋外端末部材	接続径 φ100 mm		OD-100-2	OD-100-3

(3) 風量測定器

本実験では、表 3-2 に示す熱線式風量測定器を用いた。なお［A］タイプの熱線式風量測定器については、拡張フードを取り付けることが可能であることから、一部の実験では、拡張フードによる影響も検討した。

表 3-2　実験に用いた風量測定器

［A］熱線式風量計	［A］熱線式風量計（拡張フード）
測定範囲　　：8～450m³/h 重量：1.7kg 	

(4) 測定手順

吸い込み・吹き出し両方向について、図 3-2 で示す測定フローに従い、同一条件 3 回の繰り返し測定を実施した。

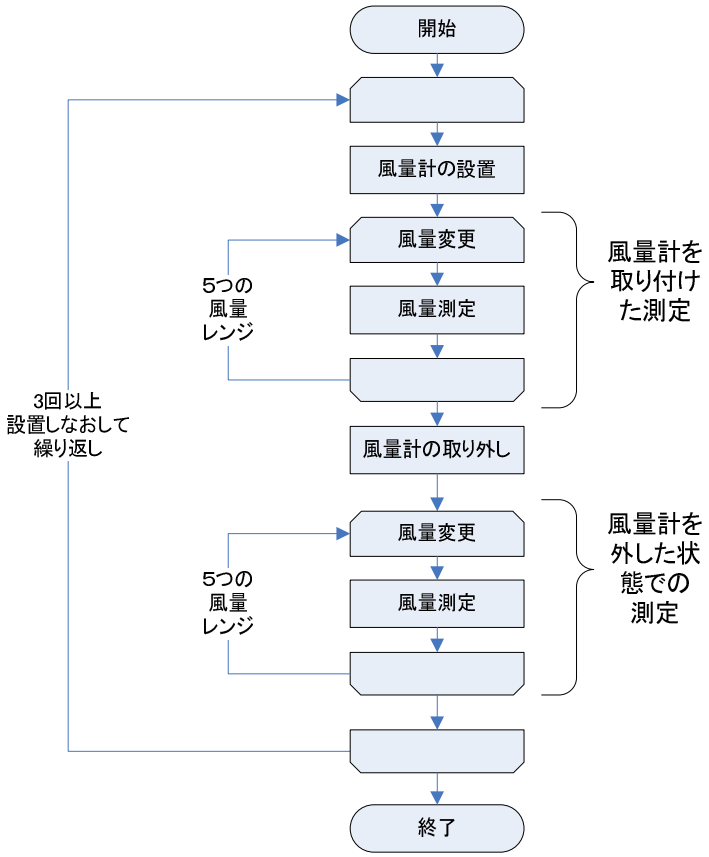


図 3-2　基準データ測定フロー

（5）測定結果の整理

実験では、超音波流量計で計測した検証風量と風量測定器での計測風量との差から、測定風量毎の誤差、相対誤差を算出し、さらに測定したすべての風量における誤差絶対値の平均、相対誤差絶対値の平均を算出した。

以下に定義を示す。

○検証風量(㎥/h)

超音波流量計で計測した風量に校正係数 0.9798 を乗じたものを検証風量とする。なお校正係数は、超音波流量計と検定書付き吸い込みノズルの測定結果より算出した。

○計測風量(㎥/h)

風量測定器で測定した風量を計測風量とする。

○誤差(㎥/h)

風量計と超音波流量計の風量の差。

風量計の計測風量より、超音波流量計の検証風量を減じたもの。

○相対誤差(%)

検証風量に対する誤差の割合

○誤差絶対値の平均(㎥/h)　及び　相対誤差絶対値の平均(%)

誤差の絶対値の平均値。正負に関わらず、検証風量からの乖離のみを評価する。

1-3 風量測定における誤差要因の分類と実験による検証

(1) 風量測定における誤差要因の分類

平成 16 年度の風量測定結果では、風量測定器と端末部材の組み合わせにより、測定誤差が異なることが確認されている。そこで、精度が高い熱線式風量測定器を用い、風量測定器の熱線の方向による影響や、端末部材の空気の流れる方向による影響、フードの大きさによる影響など、現場における測定方法により風量測定結果が異なる可能性があるものを「測定方法による誤差」とした。また測定者や記録者のヒューマンエラーに起因する誤差を「人的要因による誤差」とした。

今回実験で確認した風量測定における誤差要因の分類を表 3-3 に示す。

表 3-3　風量測定における誤差要因の分類

(1)測定方法による誤差	(1-1) 熱線方向の影響 (1-2) 端末部材の偏流の影響 (1-3) 風量測定器のフード容量の影響
(2)人的要因による誤差	(2-1) 測定者の測定器保持方法及び測定者の位置による影響 (2-2) 風量測定器のすきまの影響 (2-3) 端末部材と風量測定器の位置ずれの影響 (2-4)平均化機能を有していない風量測定器の読み取り誤差の影響

(2) 実験による検証(1) 測定方法による誤差

①熱線方向の影響

端末部材で生じる偏流に対して、熱線風量計の設置の向きの誤差影響を確認する。

熱線式風量測定器(赤)は、測定洞内に設置された熱線によって風量を検知するもので熱線が測定洞内に網状に張られている。熱線の向きを床面に対して平行とした場合と垂直とした場合について実験を行う。なお端末部材は壁面設置としグリルの向きは床面に対し平行で下向きとなっている。

熱線風量測定器　熱線センサー部測定方向の定義と端末部材の設置を図 3-3 に示す。

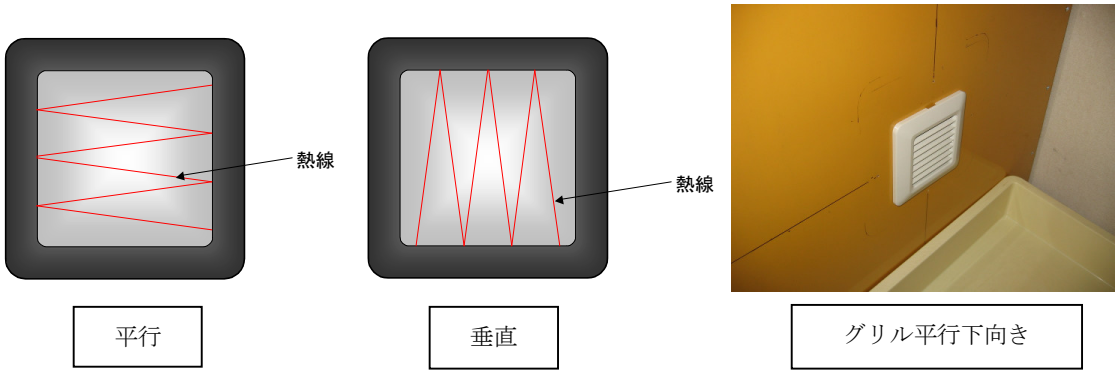
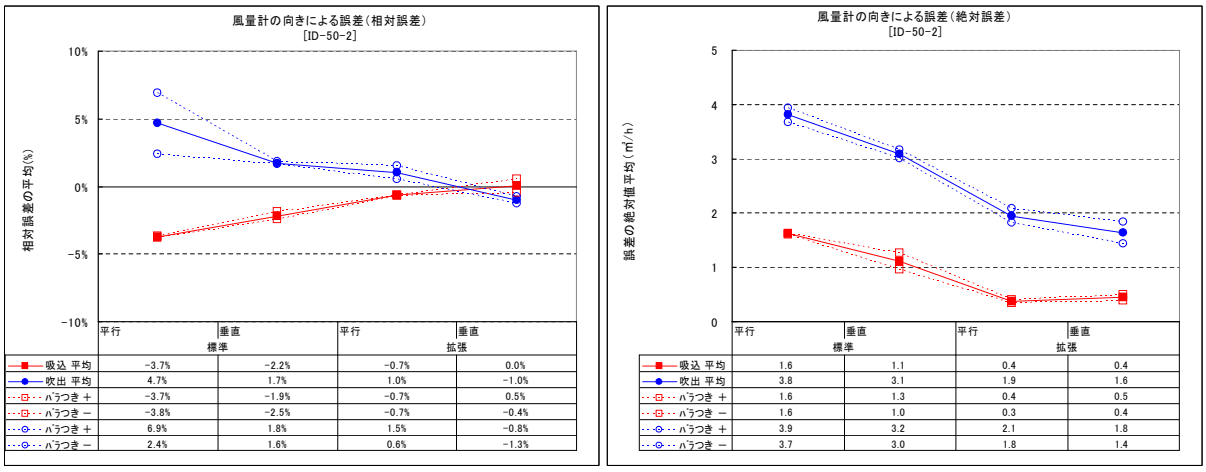


図 3-3　熱線風量測定器　熱線センサー部測定方向の定義と端末部材の設置

熱線式風量測定器の熱線の方向と風量測定誤差の関係を図 3-4 に示す。標準フード、拡張フードとも端末部材のグリルの方向に対し、熱線が直交した方向に風量測定器を設置した場合の誤差が小さいことが確認できた。



	平行	垂直	平行	垂直
	標準		拡張	
吸込 平均	-3.7%	-2.2%	-0.7%	0.0%
吹出 平均	4.7%	1.7%	1.0%	-1.0%
バラつき＋	-3.7%	-1.9%	-0.7%	0.5%
バラつき－	-3.8%	-2.5%	-0.7%	-0.4%
バラつき＋	6.9%	1.8%	1.5%	-0.8%
バラつき－	2.4%	1.6%	0.6%	-1.3%

	平行	垂直	平行	垂直
	標準		拡張	
吸込 平均	1.6	1.1	0.4	0.4
吹出 平均	3.8	3.1	1.9	1.6
バラつき＋	1.6	1.3	0.4	0.5
バラつき－	1.6	1.0	0.3	0.4
バラつき＋	3.9	3.2	2.1	1.8
バラつき－	3.7	3.0	1.8	1.4

図 3-4　熱線式風量測定器の熱線の方向と風量測定誤差の関係（左：相対誤差　右：絶対誤差）

②端末部材の偏流の影響（グリルの向きによる影響）

端末部材に ID-50-2 を用い、グリルの向きを上下左右の 4 方向に変化させた場合の風量測定結果へ与える影響を検討する。端末部材を仮想壁面へ設置及び風量測定器で測定状況を写真 3-3 に、グリルの向きの定義を図 3-5 に示す。なお左向きの場合、送風機からの空気はU形に流れになり、右向きの場合はS形に流れることになる。

写真 3-3　端末部材（ID-50-2）を仮想壁面へ設置及び風量測定器での測定状況

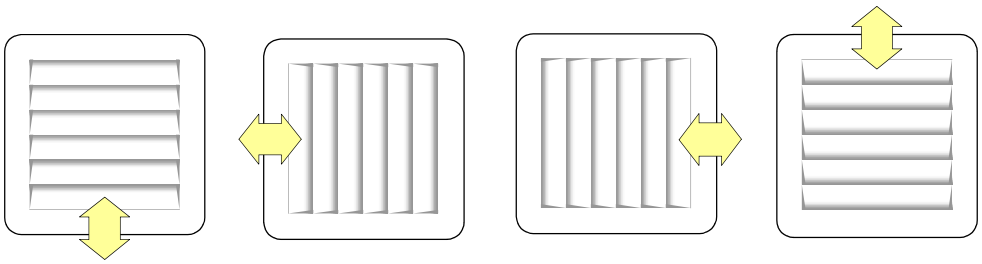
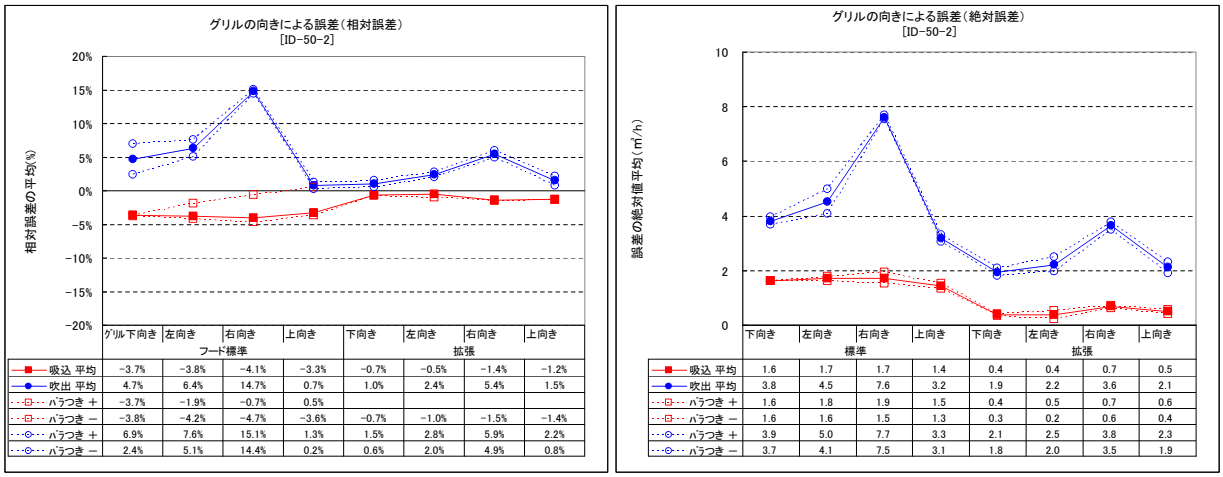


図 3-5　グリル吹き出し方向

グリル吹き出しの向きと風量測定誤差の関係を図 3-6 に示す。標準フード、拡張フードとも空気の流れがＳ形となる右向きで誤差が大きくなる傾向が確認できた。



	グリル下向き	左向き	右向き	上向き	下向き	左向き	右向き	上向き
	フード標準				拡張			
吸込 平均	-3.7%	-3.8%	-4.1%	-3.3%	-0.7%	-0.5%	-1.4%	-1.2%
吹出 平均	4.7%	6.4%	14.7%	0.7%	1.0%	2.4%	5.4%	1.5%
バラつき＋	-3.7%	-1.9%	-0.7%	0.5%				
バラつき－	-3.8%	-4.2%	-4.7%	-3.6%	-0.7%	-1.0%	-1.5%	-1.4%
バラつき＋	6.9%	7.6%	15.1%	1.3%	1.5%	2.8%	5.9%	2.2%
バラつき－	2.4%	5.1%	14.4%	0.2%	0.6%	2.0%	4.9%	0.8%

	下向き	左向き	右向き	上向き	下向き	左向き	右向き	上向き
	標準				拡張			
吸込 平均	1.6	1.7	1.7	1.4	0.4	0.4	0.7	0.5
吹出 平均	3.8	4.5	7.6	3.2	1.9	2.2	3.6	2.1
バラつき＋	1.6	1.8	1.9	1.5	0.4	0.5	0.7	0.6
バラつき－	1.6	1.6	1.5	1.3	0.3	0.2	0.6	0.4
バラつき＋	3.9	5.0	7.7	3.3	2.1	2.5	3.8	2.3
バラつき－	3.7	4.1	7.5	3.1	1.8	2.0	3.5	1.9

図 3-6　グリル吹き出しの向きと風量測定誤差の関係（左：相対誤差　右：絶対誤差）

③風量測定器のフード容量の影響

今回の熱線式風量測定器には、標準フードと拡張フードがあり、フード容量の差が風量測定結果に与える影響を検討した。端末部材は、外部端末として用いる 100φの OD-100-3 とした。写真 3-4 に端末部材及び測定状況を示す。

OD-100-3

写真 3-4　端末部材及び測定状況（中央：標準フード　左：拡張フード）

図 3-7 にフード容量と風量測定結果の関係を示す。吸い込みでは標準フード、拡張フードとも測定誤差は小さい値となっているが、吹き出しでは、標準フードの測定誤差が 25%を超える結果となった。フード容量が大きな拡張フードを用いることで、誤差が 5%程度まで減少したことが確認できた。

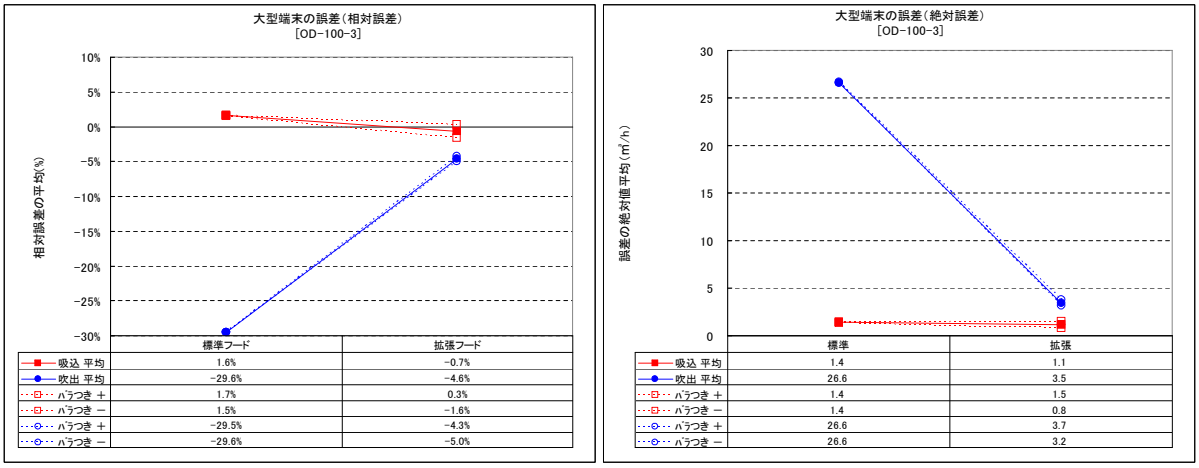


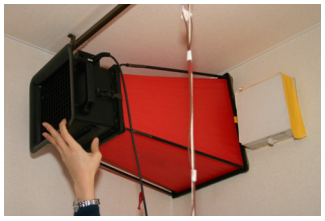
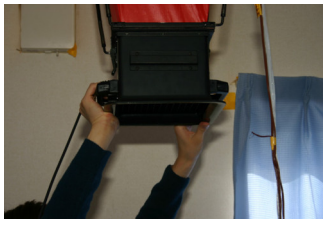
図 3-7　フード容量（標準フード及び拡張フード）と風量測定結果（左：相対誤差　右：絶対誤差）

(3) 実験による検証(2)人的要因による誤差

①障害物による誤差

測定者自身が気流を阻害し、風量測定結果に誤差を生じさせる場合が考えられる。代表的な状況を表 3-4 に示す。

表 3-4　測定者自身が気流を阻害する状況

風量測定時のミス	初心者	熟練者
①測定中に指が測定気流にかかっている。 【状況】部屋のコーナー壁面の為、姿勢がきつい。		
②測定中に指が測定気流にかかっている。 【状況】天井取り付けの端末部材なので、測定器の重量を全て保持しなければならない。		
③測定中に頭が気流を阻害している。 【状況】脚立を使用したら高さが合わない。熟練者の姿勢は脚立上に中腰を強いられる。		

実験では表 3-4 のような測定者による気流の阻害状況を写真 3-5、写真 3-6 のようにモデル化し、風量測定を実施した。なお端末部材は ID-50-1 を用いた。

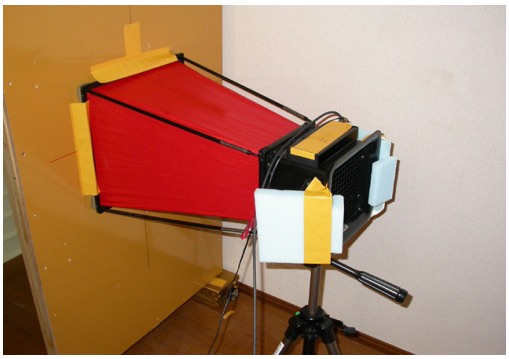


写真 3-5　指による気流阻害　再現実験状況

写真 3-6　頭による気流阻害　再現実験状況

測定結果を図 3-8 に示す。今回の測定結果を見る限り、測定者の指や頭が気流を阻害することによる風量測定にはあまり影響が出ていないことが分かる。とはいえ、端末部材との組み合わせなどにより必ずしもすべての条件で問題ないとは言えないので、風量測定に際しては注意が必要である。

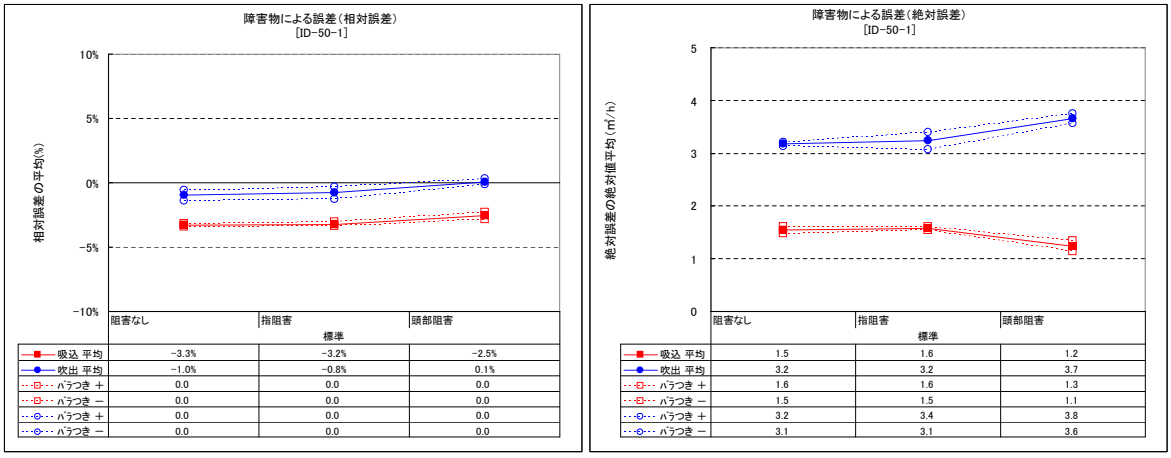


図 3-8　障害物による誤差　測定結果

②隙間による誤差

風量測定器を壁面・天井面に隙間なく設置し、風量測定を実施することが原則であるが、状況により風量測定器と壁面・天井面との間に隙間が生じる場合が考えられる。そこで端末部材に偏流の大きな ID-50-3 を用い、図 3-9 に示すように風量測定器上部に 10㎜ の隙間を空けた場合の誤差を実験的に検証した。なお端末部材は図 3-10 に示すよう、上向きと下向きの 2 種類について実験を実施した。

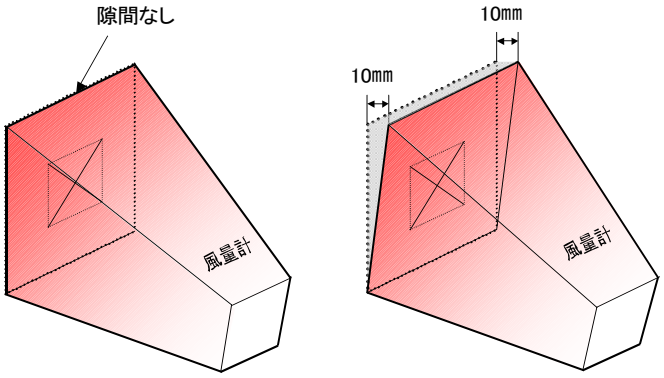


図 3-9　隙間設定条件

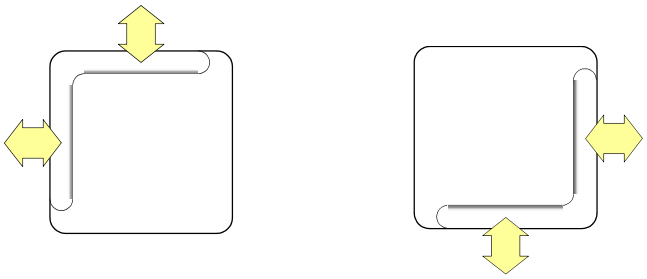
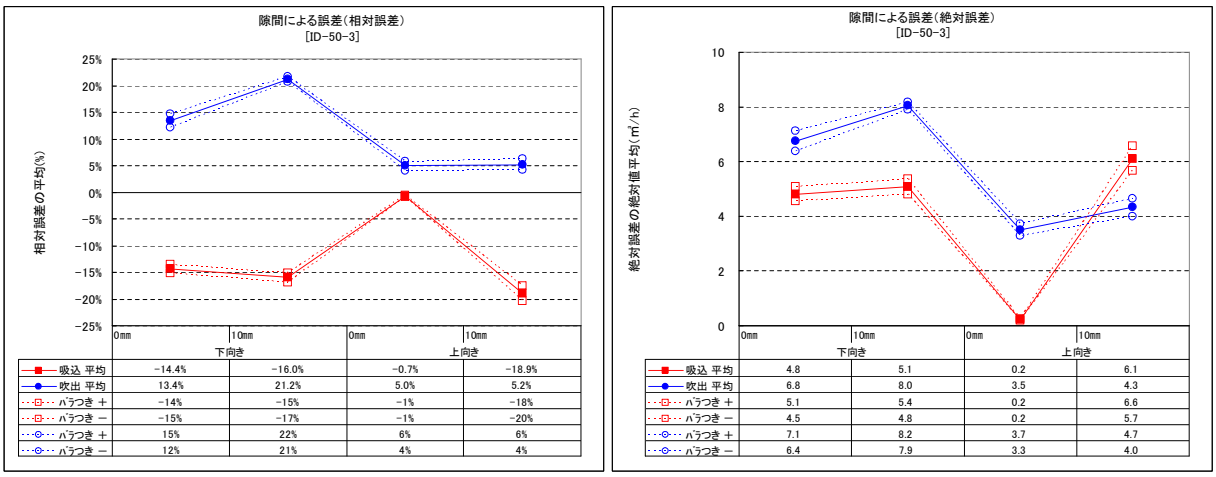


図 3-10　端末部材　ID-50-3　グリルの方向

測定結果を図 3-11 に示す。端末部材のグリルの方向が上向き設置に対し、風量測定器の上部に隙間を設けた場合、吸い込みで誤差が大きくなっている。逆に端末部材のグリルの方向が下向き設置の場合、隙間無しでも誤差が大きいが、10㎜ の隙間により吸い込み側で誤差が大きくなる傾向を示した。



	0mm	10mm	0mm	10mm
	下向き		上向き	
吸込 平均	-14.4%	-16.0%	-0.7%	-18.9%
吹出 平均	13.4%	21.2%	5.0%	5.2%
バラつき +	-14%	-15%	-1%	-18%
バラつき −	-15%	-17%	-1%	-20%
バラつき +	15%	22%	6%	6%
バラつき −	12%	21%	4%	4%

	0mm	10mm	0mm	10mm
	下向き		上向き	
吸込 平均	4.8	5.1	0.2	6.1
吹出 平均	6.8	8.0	3.5	4.3
バラつき +	5.1	5.4	0.2	6.6
バラつき −	4.5	4.8	0.2	5.7
バラつき +	7.1	8.2	3.7	4.7
バラつき −	6.4	7.9	3.3	4.0

図 3-11 隙間による影響　測定結果

③端末部材と風量測定器の位置ずれの影響

風量測定器の中心と端末部材の中心が芯ずれをしている場合の誤差を測定する。端末部材の中央に風量測定器センサー部の中心を合わせる場合と、下にずらした場合の 2 通りで測定する。また、風量測定器は標準のフード及び拡張フードそれぞれで測定する。端末部材は大型フードを有する OD-100-2 を用いる。図 3-12 に風量測定器と端末部材設置位置及び使用した端末部材を示す。

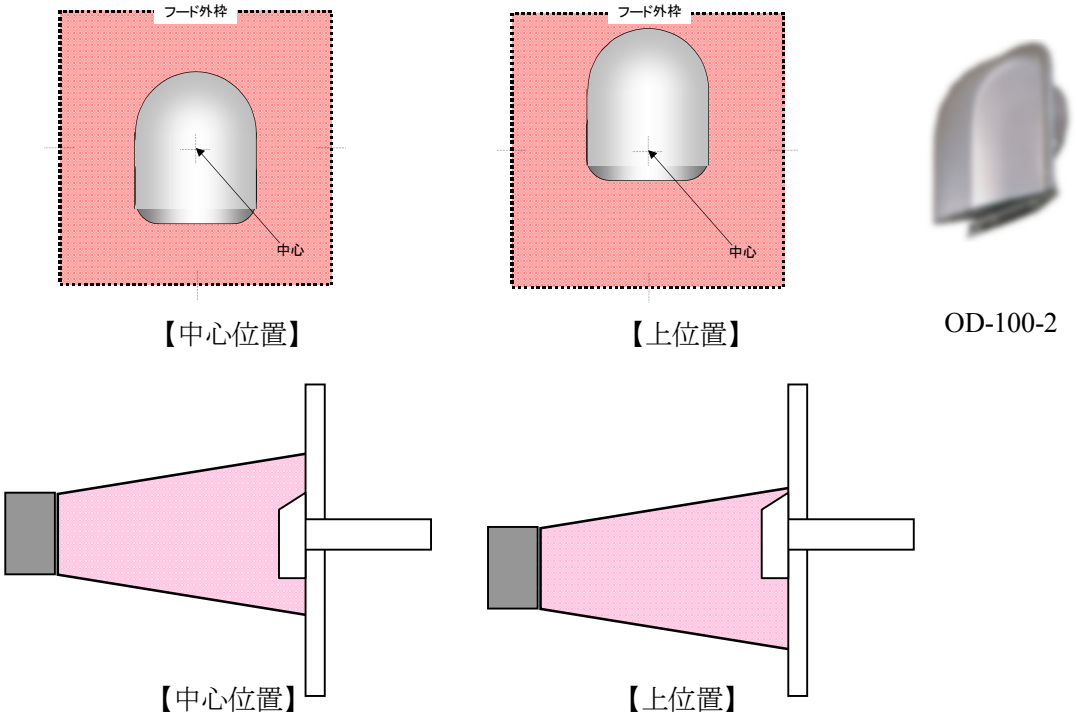
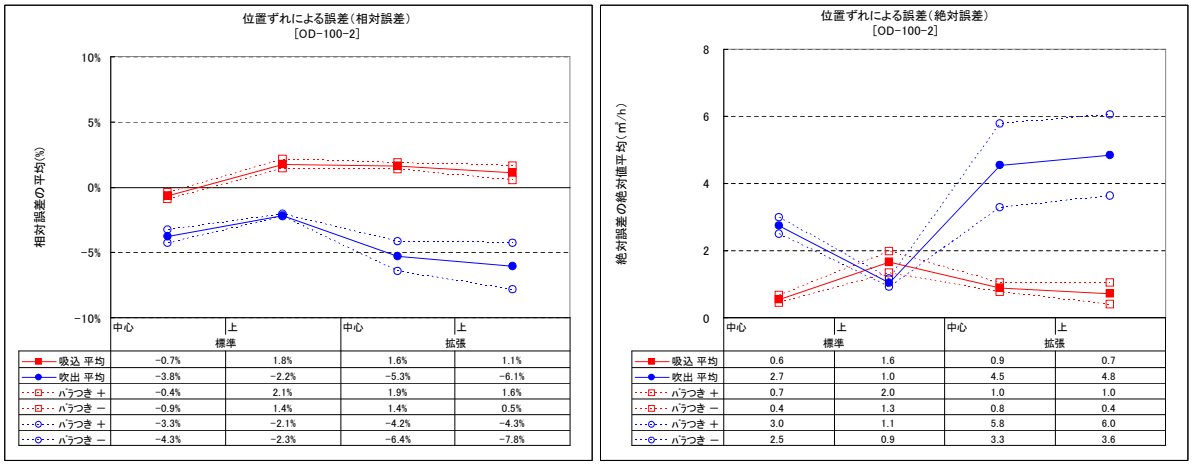


図 3-12　風量測定器と端末部材設置位置及び使用した端末部材（OD-100-2）

図 3-13 に測定結果を示す。端末部材 OD-100-2 に対し、風量測定器の位置を変化させた場合の風量は、今回の測定では、明確な差は見られなかった。また 1-3（2）③（p 100）の実験では、拡張フードを用いることで風量測定精度が向上したが、今回使用した端末部材では、標準フード使用時とほぼ同程度の誤差となった。



	標準 中心	標準 上	拡張 中心	拡張 上
吸込 平均	-0.7%	1.8%	1.6%	1.1%
吹出 平均	-3.8%	-2.2%	-5.3%	-6.1%
バラつき ＋	-0.4%	2.1%	1.9%	1.6%
バラつき －	-0.9%	1.4%	1.4%	0.5%
バラつき ＋	-3.3%	-2.1%	-4.2%	-4.3%
バラつき －	-4.3%	-2.3%	-6.4%	-7.8%

	標準 中心	標準 上	拡張 中心	拡張 上
吸込 平均	0.6	1.6	0.9	0.7
吹出 平均	2.7	1.0	4.5	4.8
バラつき ＋	0.7	2.0	1.0	1.0
バラつき －	0.4	1.3	0.8	0.4
バラつき ＋	3.0	1.1	5.8	6.0
バラつき －	2.5	0.9	3.3	3.6

図 3-13　端末部材と風量測定器の位置ずれの影響

④平均化機能を有していない風量測定器の読み取り誤差の影響

今回用いた風量測定器は、風量表示がデジタルでかつ平均化機能を有しているため、計測中に表示値の変化を確認しなくても、測定終了後平均値を確認することができる。しかし平均化機能を有していない風量測定器も多く、応答性が悪いアナログ式に比べ、デジタル表示は、風量測定の間、測定者は表示値を絶えず確認し、測定者自身で平均化する必要がある。

そこで平均値が 10m^3/h 程度、50m^3/h 程度、110m^3/h 程度の 3 つの波形（2 つの正弦波(周期 10 秒と 30 秒)を合成し、乱数でノイズを与えたもの）について、15 秒間、30 秒間、60 秒間の数値出力を専用プログラム（実験用仮想表示器）で行い、これをモニターに表示したものを被験者が記録して提出する方法を用いた。図 3-14 に実験用仮想風量表示装置を示す。

図 3-14　実験用仮想風量表示器

被験者の記録より平均、標準偏差を算出した。なお平均値については、被験者の測定結果の平均とし、仮想表示器の平均と比較した。標準偏差は、実験用仮想風量表示器のデータの平均風量と被験者の測定結果の差の二乗を被験者数で除し、平方根をとって算出した。

図 3-15 に実験用仮想風量表示器の平均値と被験者の記録の平均値の関係を示す。10m^3/h 相当、50 m^3/h 相当、110m^3/h 相当において被験者の測定結果平均と真の風量の差は 1m^3/h 以下であった。

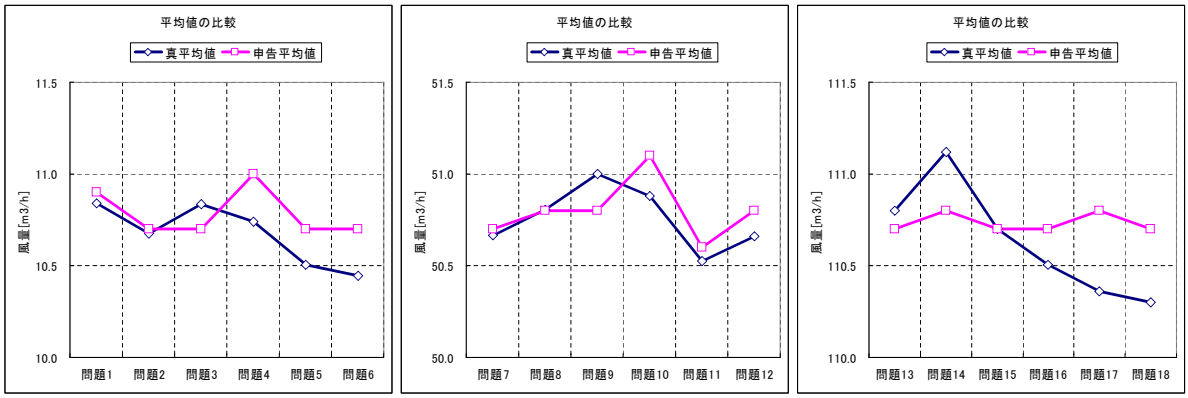


図 3-15　実験用仮想風量表示器の平均値と被験者の記録の平均値の関係

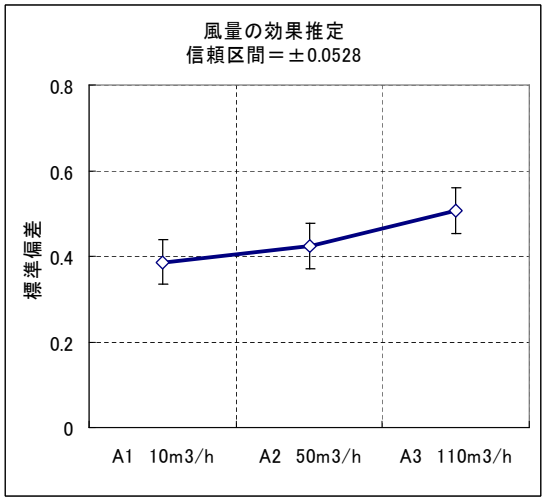


図 3-16　設定風量と標準偏差

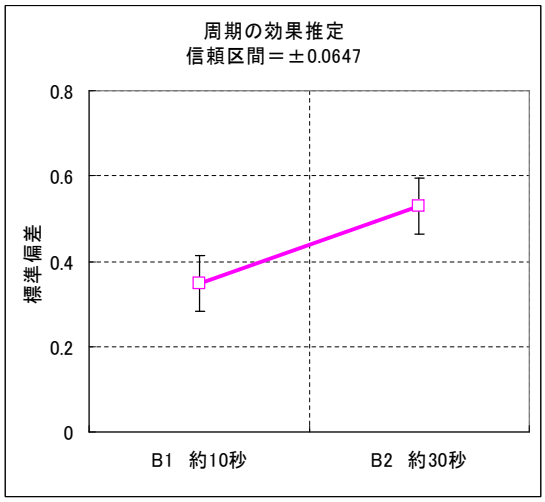


図 3-17　周期と標準偏差

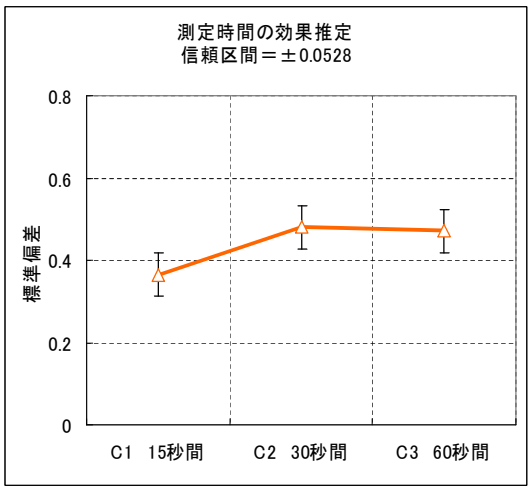


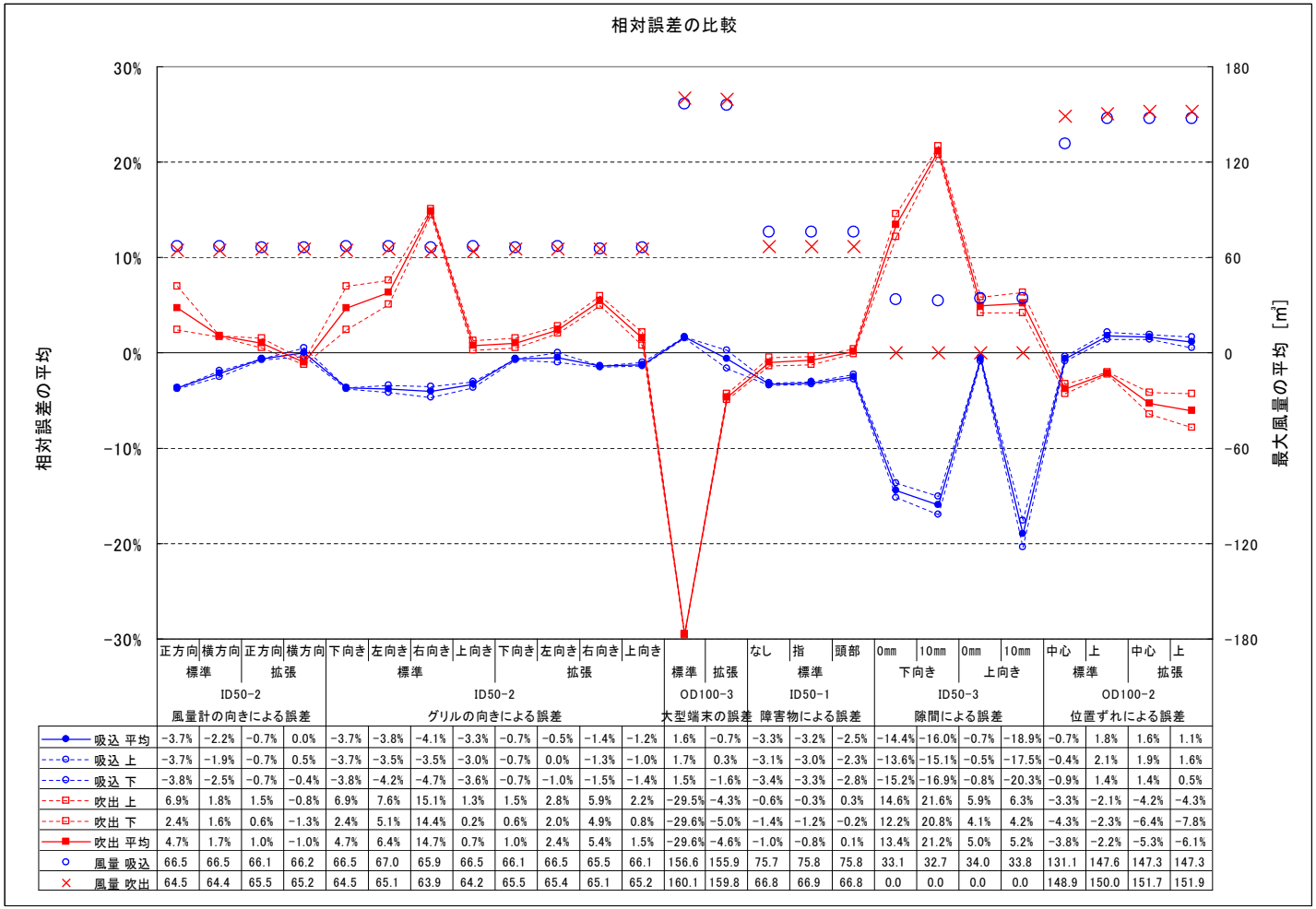
図 3-18　測定時間と標準偏差

図 3-16 に設定風量と被験者測定結果の標準偏差の関係を示す。風量増加に伴い標準偏差は大きくなる傾向を示した。図 3-17 に周期と被験者測定結果の標準偏差の関係を示す。風量変化の周期が長くなると標準偏差が大きくなる傾向が認められた。図 3-18 に測定時間と標準偏差の関係を示す。測定時間 15 秒に比べ、30 秒と 60 秒は標準偏差が大きくなっている。

(4) 測定結果のまとめ

風量測定における誤差要因の分類と検証実験結果（相対誤差の比較）を表 3-5 にまとめる。この結果より風量測定で注意すべき点は、風量測定器と壁面・天井面の隙間を開けずに測定すること、次に端末部材の形状によっては拡張フードを用いて測定すること、特に吹き出しにおいては拡張フードを使用することで測定精度が向上することが確認できた。

表 3-5　風量測定における誤差要因の分類と検証実験結果（相対誤差の比較）



	正方向	横方向	正方向	横方向	下向き	左向き	右向き	上向き	下向き	左向き	右向き	上向き			なし	指	頭部	0mm	10mm	0mm	10mm	中心	上	中心	上
	標準		拡張		標準				拡張				標準	拡張	標準			下向き		上向き		標準		拡張	
	ID50-2				ID50-2								OD100-3		ID50-1			ID50-3				OD100-2			
	風量計の向きによる誤差				グリルの向きによる誤差								大型端末の誤差		障害物による誤差			隙間による誤差				位置ずれによる誤差			
吸込 平均	-3.7%	-2.2%	-0.7%	0.0%	-3.7%	-3.8%	-4.1%	-3.3%	-0.7%	-0.5%	-1.4%	-1.2%	1.6%	-0.7%	-3.3%	-3.2%	-2.5%	-14.4%	-16.0%	-0.7%	-18.9%	-0.7%	1.8%	1.6%	1.1%
吸込 上	-3.7%	-1.9%	-0.7%	0.5%	-3.7%	-3.5%	-3.5%	-3.0%	-0.7%	0.0%	-1.3%	-1.0%	1.7%	0.3%	-3.1%	-3.0%	-2.3%	-13.6%	-15.1%	-0.5%	-17.5%	-0.4%	2.1%	1.9%	1.6%
吸込 下	-3.8%	-2.5%	-0.7%	-0.4%	-3.8%	-4.2%	-4.7%	-3.6%	-0.7%	-1.0%	-1.5%	-1.4%	1.5%	-1.6%	-3.4%	-3.3%	-2.8%	-15.2%	-16.9%	-0.8%	-20.3%	-0.9%	1.4%	1.4%	0.5%
吹出 上	6.9%	1.8%	1.5%	-0.8%	6.9%	7.6%	15.1%	1.3%	1.5%	2.8%	5.9%	2.2%	-29.5%	-4.3%	-0.6%	-0.3%	0.3%	14.6%	21.6%	5.9%	6.3%	-3.3%	-2.1%	-4.2%	-4.3%
吹出 下	2.4%	1.6%	0.6%	-1.3%	2.4%	5.1%	14.4%	0.2%	0.6%	2.0%	4.9%	0.8%	-29.6%	-5.0%	-1.4%	-1.2%	-0.2%	12.2%	20.8%	4.1%	4.2%	-4.3%	-2.3%	-6.4%	-7.8%
吹出 平均	4.7%	1.7%	1.0%	-1.0%	4.7%	6.4%	14.7%	0.7%	1.0%	2.4%	5.4%	1.5%	-29.6%	-4.6%	-1.0%	-0.8%	0.1%	13.4%	21.2%	5.0%	5.2%	-3.8%	-2.2%	-5.3%	-6.1%
風量 吸込	66.5	66.5	66.1	66.2	66.5	67.0	65.9	66.5	66.1	66.5	65.5	66.1	156.6	155.9	75.7	75.8	75.8	33.1	32.7	34.0	33.8	131.1	147.6	147.3	147.3
風量 吹出	64.5	64.4	65.5	65.2	64.5	65.1	63.9	64.2	65.5	65.4	65.1	65.2	160.1	159.8	66.8	66.9	66.8	0.0	0.0	0.0	0.0	148.9	150.0	151.7	151.9

1-4 風量測定が困難な箇所の対処方法の検討

（1）室内端末部材が壁面隅角部に設置されている状態の風量測定

①実験方法

a）風量測定器及び端末部材

使用する風量測定器は、平均化機能を有する熱線風速計式で、標準フードのもっとも大きなＡタイプとする。また風量測定における平均化時間は 14 秒とする。 端末部材は、室内用端末φ50 で、ID-50-A （薄型）と、室内用端末φ100 のﾊﾟｲﾌﾟﾌｧﾝ（厚型）する。風量測定器及び端末部材を写真 3-7 に示す。

Ａタイプ　熱線風速計式
（平均化機能　有）

ID-50-A （薄型）

ﾊﾟｲﾌﾟﾌｧﾝ（厚型）

写真 3-7　風量測定器及び端末部

b）仮想壁面の設置

端末部材が室内隅角部に設置されていることを想定し、仮想壁面を設置する。設置状況を写真 3-8 に示す。

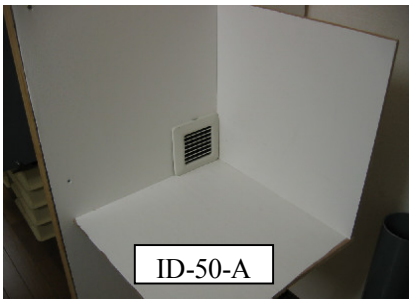
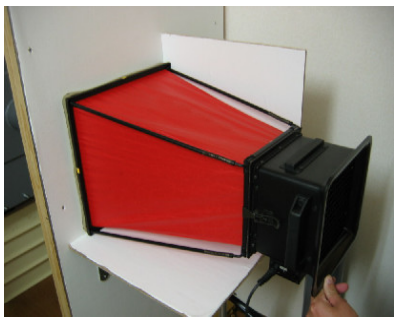


写真 3-8　仮想壁面の設置

c）風量測定器　計設置方法

風量測定器の設置は、写真 3-9 に示す 3 種類の方法とする。



設置方法 1
直接設置

設置方法 2
円筒形ビニルで接続

写真 3-9　測定状況

設置方法 3
箱状フードでの測定

②測定結果

室内端末部材が壁面隅角部に設置されている状態の風量測定結果を図 3-19 に示す。端末部材が薄型である ID-50-1 では、直接風量測定器を設置しても相対誤差 5%以下の結果となったが、パイプファンなど端末部材が厚いものの場合、風量測定器を直接設置すると、隙間が生じて誤差が大きくなる。簡易ビニル袋フードは吹き出しでは効果が認められた物の吸い込みではビニルが潰れて誤差が増大した。ダンボール箱を用いた簡易フードは、端末部材が厚いタイプで効果が見られた。

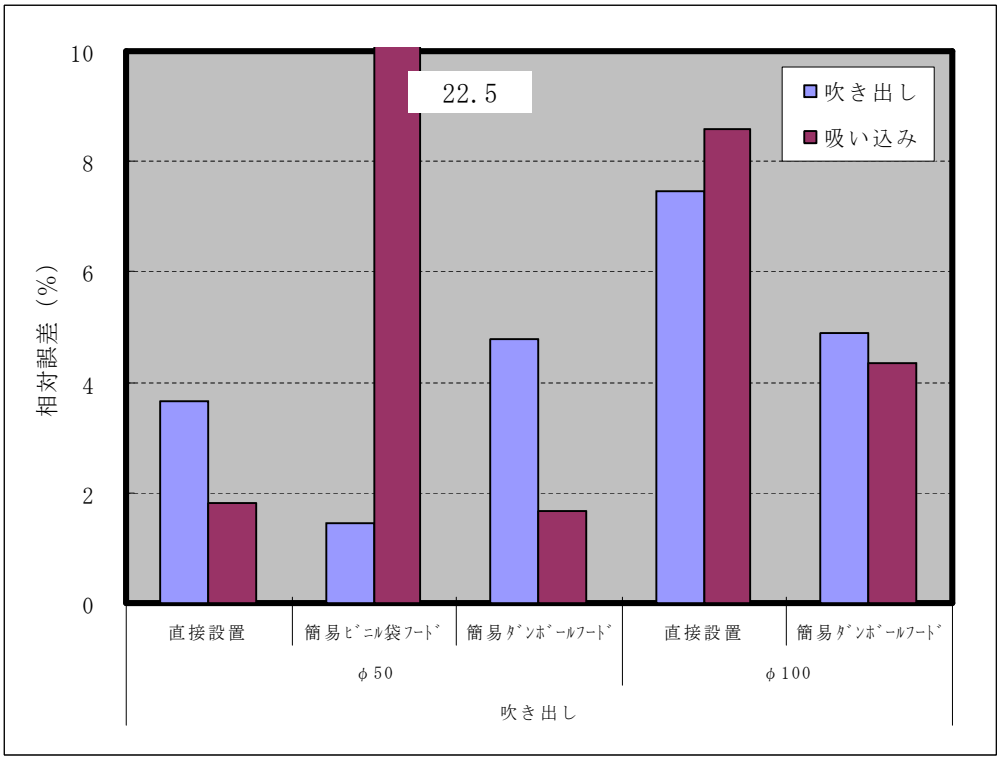


図 3-19　室内端末部材が壁面隅角部に設置されている状態の風量測定結果

（2）室内端末部材が窓開口付近に設置されている状態での風量測定

①実験方法

a）風量測定器及び端末部材

風量測定器及び端末部材を写真 3-10 に示す。

ID-50-A　（薄型）

写真 3-10　風量測定器及び端末部材

b）仮想壁面の設置

端末部材が窓開口付近に設置されていることを想定し、仮想窓開口を設置する。設置状況を写真 3-11 に示す。

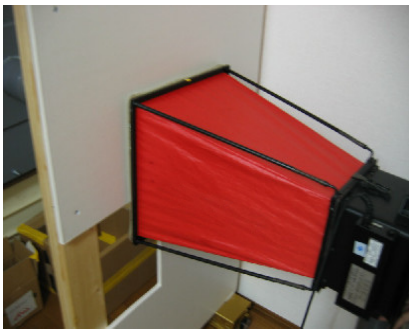
写真 3-11　窓開口付近の端末部材の設置

c）風量測定器　計設置方法

風量測定器の設置は、表 3-6 に示す 2 種類の方法とする。また測定状況を写真 3-12 に示す。

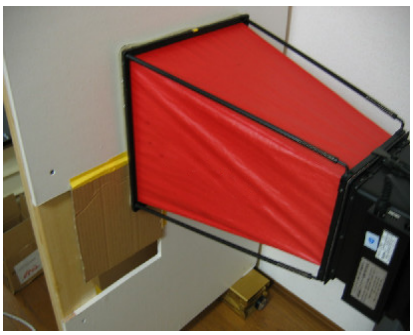
表 3-6　風量測定器設置方法

条件	設置方法
1	隙間を生ずるが、フード中心に端末部材に設置 空気の漏れ　大　　偏心　小
2	隙間はないが、フード端部に端末部材に設置し偏心した状態 空気の漏れ　小　　偏心　大
3	段ボール製あて板を窓開口部付近に設置する。 空気の漏れ　小　　偏心　小



設置方法 1

設置方法 2



設置方法 3

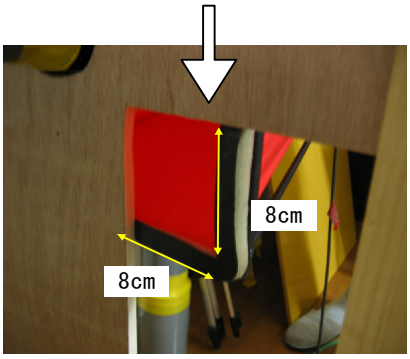


写真 3-12 風量測定器設置状況

②測定結果

図 3-20 に室内端末部材が窓開口付近に設置されている状態での風量測定結果を示す。窓開口を無視して直接風量測定器を壁面に設置した場合、吹き出しは比較的誤差が小さいのに対し、吸い込みで 10%を超える誤差が測定された。風量測定器を偏心して配置することで、吸い込みの誤差は減少したが、吹き出しの誤差は変化が認められなかった。窓開口部分にダンボールを設置し、仮想壁面を設けて測定することで、吹き出し、吸い込みとも誤差は小さくなることがわかった。

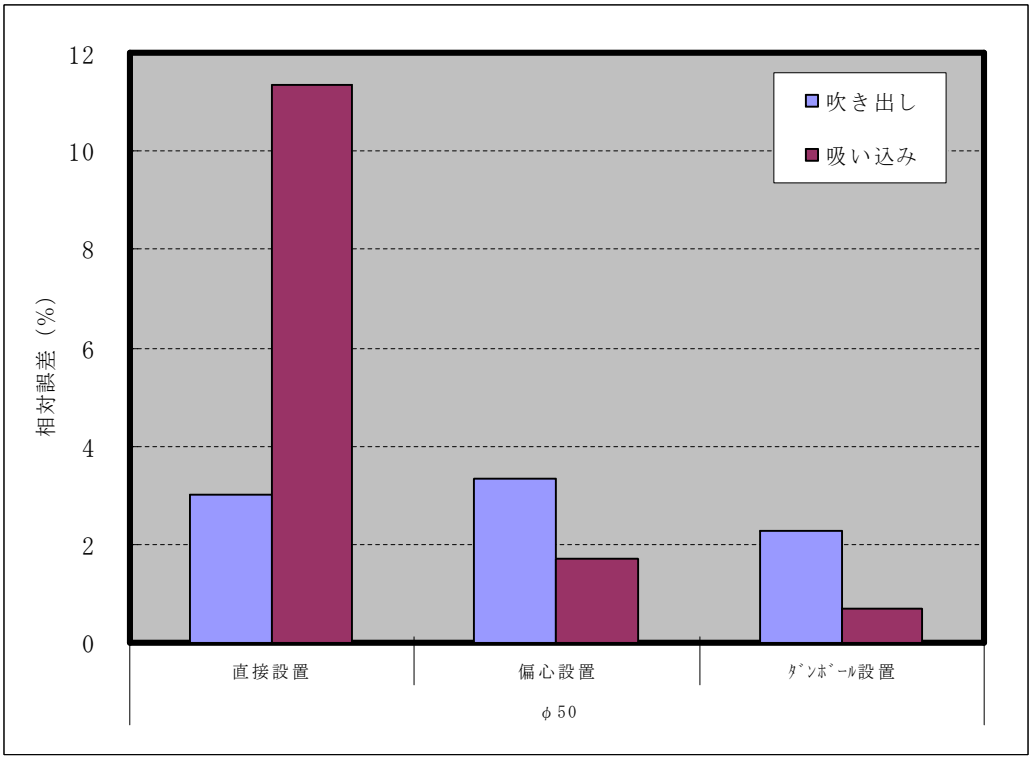


図 3-20　室内端末部材が窓開口付近に設置されている状態での風量測定結果

（3）外壁面材の形状が風量測定に与える影響

①測定方法

a）壁面の形状

住宅の外壁については、

JIS A 5422　　窯業系サイディング

JIS A 6711　　複合金属サイディング

の規格が存在する。いずれの規格も断面形状については例示を示している。（図 3-21 参照）

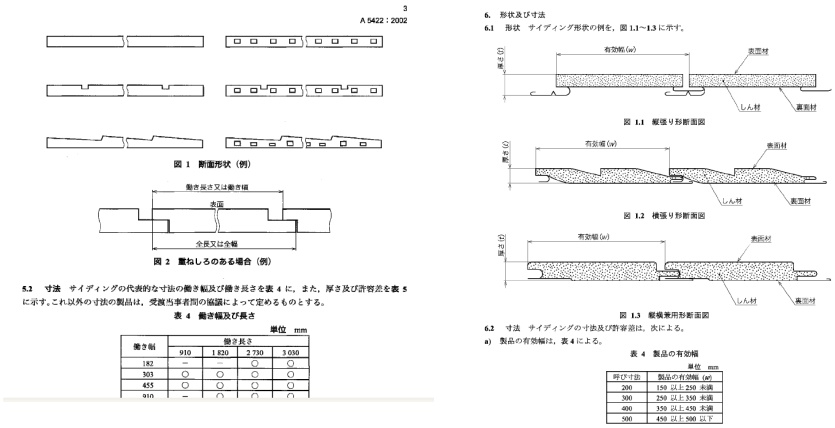


図 3-21　窯業系サイディング、金属サイディング断面形状

また日本窯業外装材協会発行「外壁リフォーム」の中で外壁サイディングの形状を分類したものを図 3-22 に示す。

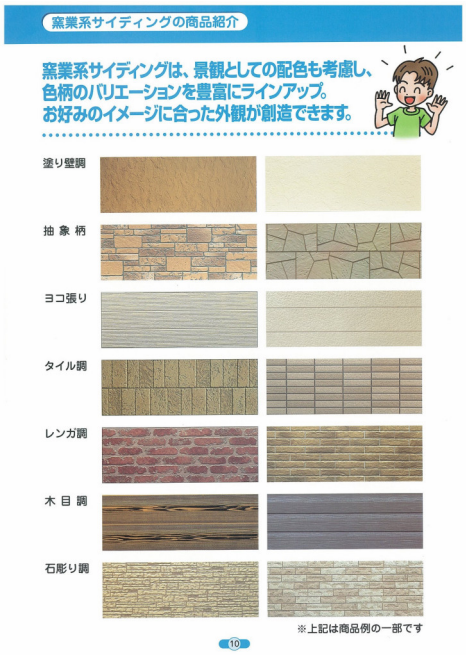


図 3-22　外壁サイディングの表面形状分類（外壁リフォーム：日本窯業外装材協会）

外部端末部材を設置する外壁面の表面形状のうち、最も不利なものを特定することが困難であることから、壁面形状については、代表的な外壁サイディング、擬似的凹凸を配置した壁面、フラット面の 3 種類について試験を実施した。

外壁面の形状、詳細を表 3-7 に示す。

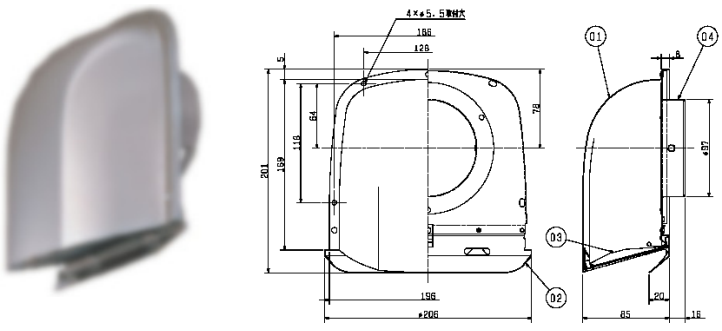
表 3-7 外壁面表面形状

条件	設置方法
1	標準仕様外壁サイディング 厚さ　16mm 溝間隔　152mm 溝幅　8mm 溝深さ 約 4mm 風量計設置時　開口面積 約 2cm^2
2	擬似的凹凸面 深さ　12mm 間隔　12mm 個数　8 開口面積 11.5cm2
3	フラット面

b）風量測定器及び端末部材

使用する風量測定器は、平均化機能を有する熱線風速計式で、標準フードのもっとも大きなAタイプとする。また風量測定における平均化時間は 14 秒とする。 端末部材は、外壁用端末φ100 で、0T-100-A とする。風量測定器及び端末部材を写真 3-13 に、壁面設置状況を写真 3-14 に示す。

Aタイプ　熱線風速計式
（平均化機能　有）



0D-100-B（縦 201mm　横 206mm　厚さ 85mm）

写真 3-13　風量測定器及び端末部材

写真 3-14　端末部材（OD-100-B）の壁面設置状況

②測定結果

外壁面材の形状が風量測定に与える影響検証実験結果を図 3-23 に示す。吸い込みに比べ吹き出しで壁面形状の影響が大きいこと。またサイディングや擬似凸凹面で相対誤差が大きくなった。

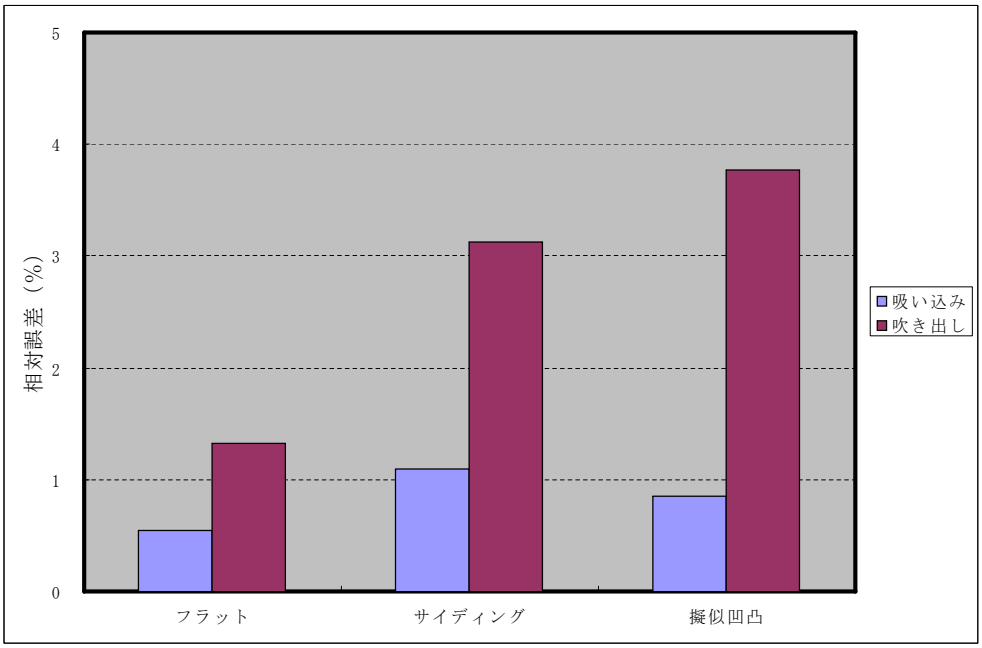


図 3-23　外壁面材の形状が風量測定に与える影響検証実験結果

1-5 まとめ

風量測定器の精度検証実験結果より以下の結果を得た。

(1) 風量測定における誤差要因として大きいものは、

①風量測定器と壁・天井面の隙間

②偏流の大きな端末部材の吹き出し部分の風量測定におけるフードの選択

となった。

(2) 風量測定が困難な箇所、例えば入り隅部に端末部材が設置されている場合や、窓開口近傍に端末部材が設置されている場合、更に壁面・天井面が平滑でない場合などがある。しかしダンボールを用いた簡易フードやあて板を設けることで、測定誤差は低減することが確認できた。

２．住宅の現場における風量測定マニュアル

平成 18 年 2 月

（財）住宅リフォーム・紛争処理支援センター

目　　次

2-1　はじめに　119
2-2　用語の説明　120
2-3　住宅の現場における風量測定法　122
　2-3-1　測定の目的
　2-3-2　測定法の種類
　　(1) フード式風量計
　　(2) k ファクタ法
　　(3) 風速計を用いた方法
　　(4) 風向の確認方法
2-4　フード式風量計を用いた現場での測定方法　127
　2-4-1　測定の概要
　2-4-2　測定の準備
　　(1) 測定の準備
　　(2) 測定器の準備
　　(3) 現場の確認
　2-4-3　測定方法
　　(1) 吸込み口における測定
　　(2) 吹出し口における測定
　　(3) 測定が難しい部位における測定
2-5　測定誤差　132
2-6　測定の記録　134
2-7　おわりに　139

2-1 はじめに

本マニュアルは、施工後の住宅用の換気システムにおいて風量測定を行う場合の測定方法や測定結果の記録方法などについて実用的な知見をまとめたもので、平成 18 年 2 月現在の知見に基づいて記述されています。

平成 15 年 7 月に施行された改正建築基準法では、室内空気質対策を目的として新築住宅に全般換気システムを導入することが義務付けられ、また平成 18 年 4 月に施行される住宅の省エネ基準では、全般換気システムの省エネルギー性能のみならず施工後の風量測定や維持管理に留意することなどが記されています。

このように、換気システムの必要性が認識されていますが、換気システムがどのように稼動していて、設計風量と比較してどのような風量を給気または排気しているかに関してはまだ、多くの情報はありません。これは換気システム設置後の風量測定が一般的でないことにその一因があると考えられます。また住宅用換気システムにおける風量測定自体に決まりごとがないことも遠因といえるでしょう。

そこで、本書は、わが国でも比較的入手しやすい「フード式風量測定器」を用いて住宅の現場においてどのように「風量測定」するか、と「測定データの記録」はどのようにするか、についての知見をまとめたもので、住宅換気に携わる様々な人が風量検証を行う場合の一助となることを目的として作成されています。

2-2 用語の説明

ここでは、本書で使用する用語について記します。

(1) 換気システムの種類

第 1 種換気設備：給気と排気の双方に送風機（給気機及び排気機）を用いるもの。
第 1 種換気システムともいう。

第 2 種換気設備：給気のみに送風機（給気機）を用い、排気のための排気口を設けるもの。
第 2 種換気システムともいう。

第 3 種換気設備：排気のみに送風機（排気機）を用い、給気のための給気口を設けるもの。
第 3 種換気システムともいう。

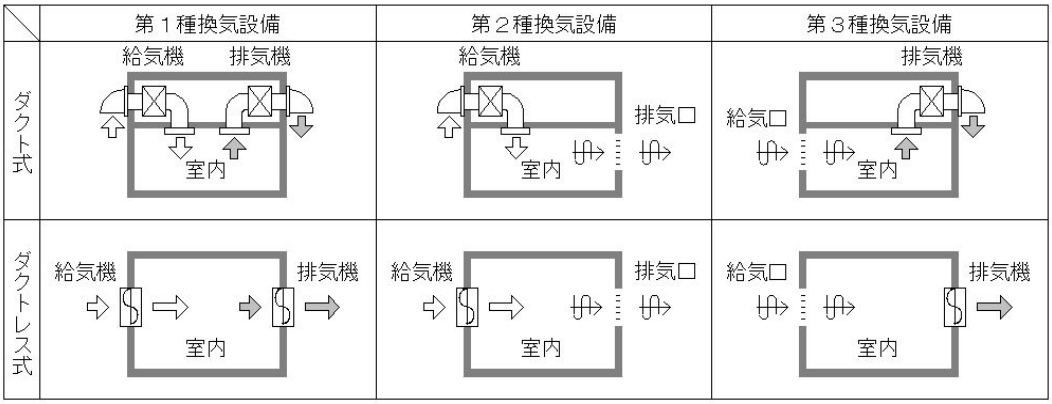


図 3-24　換気システムの種類

(2) 吹出し端末

対象室（外も含みます）に空気を吹出している端末部材。外気を供給している給気口のみでなく、屋外の場合は室内から排気されるいわゆる排気口も吹出し端末に含まれる。

(3) 吸込み端末

対象室（外も含みます）から空気を吸込んでいる端末部材。第 3 種換気システムの室内端末のみではなく、第 1 種換気システムや第 2 種換気システムの外気取り入れ端末も屋外を対象とした場合には吸込み端末に含まれる。

(4) 室内端末

室内に設置されている換気システムの吹出し端末および吸込み端末。通常はグリルなどと呼ばれる。

(5) 屋外端末

屋外に設置されている換気システムの吹出し端末および吸込み端末。通常はフードがついている。

(6) フード式風量測定器

フードのついた風量測定器で風量の検知部分に熱線式の風速計やプロペラなどを用いたものがある。(2-4 で、熱線式の風量検知部を有した測定器を用いた測定方法や留意点などを紹介します。)

(7) 誤差

正確な風量を基準とした場合の風量測定器の指示する値が持っている誤差で、式(3.1)で表される。また相対誤差は式(3.2)によって算出される。

$$\text{誤差} = Q_m - Q_{ref} \quad m^3/h \qquad (3.1)$$

$$\text{相対誤差} = \frac{Q_m - Q_{ref}}{Q_{ref}} \times 100 \quad \% \qquad (3.2)$$

Q_m：風量測定器の指示値　m^3/h

Q_{ref}：正確な風量　m^3/h

(8) 風量（測定部位の風量）

対象部位を通過する空気量であり、本マニュアル換気量とは異なる。

(9) 換気量

住宅全体を対象とした外気導入量であり、換気システム風量と漏気量などの合計。この値を計測するためにはトレーサーガスなどが必要となる。

(10) ｋファクタ法

換気システム部材に圧力測定孔などを設け、差圧を測定することにより風量に換算できる手法および測定方法のこと。

2-3 住宅の現場における風量測定法

2-3-1 風量測定の目的

(1) 目的

換気設備は、換気計画に基づいてダクト配置やファン選定を行い、現場における施工を経て運用が開始されます。計画換気で最も重要なのは計画された換気量や換気性能が確実に得られることで、設計では計画風量を得るために十分な能力のあるファンやシステム部材を選定し、また現場では設計図に基づき、計画風量が得られるよう過大な圧力損失が生じないように施工がなされています。しかしながら運用段階になって様々な原因で計画された風量が得られていない事例が少なからず存在しています。

そのため、施工後に換気システムの風量を検証することはきわめて重要で、風量測定は計画風量が得られていることの確認のみでなく、各端末部材における風量のバランスや計画風量が得られていない場合の原因を推定するためにも有用な技術でもあります。そのため本マニュアルでは、以下を風量測定の目的と位置づけています。

○換気システムにおいて設計風量が得られていることの確認
○施工が良好に行われていることの確認
○室内端末部材で風量バランスの調整を行うための確認

(2) 本マニュアルにおける風量測定の対象

本マニュアルは、フード式風量計を用いた場合の換気システムの風量測定を目的としているため、室内端末と屋外端末における風量測定がその測定対象となります。以下の図は、ダクト式の第 3 種換気システムの模式図で赤い丸がついている端末部材がその対象となりますが、後述しますが屋外端末では、外部風の影響などにより測定結果に誤差が生じやすいため参考値と考えることが必要と考えられます。

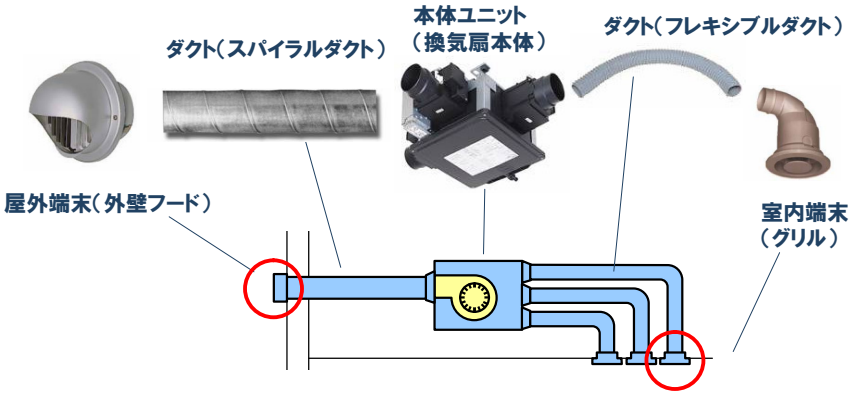


図 3-25 風量の検証部位（ダクト式第 3 種換気システム）

2-3-2　風量測定の方法

ここでは、風量測定の方法について概要を紹介します。

(1) フード式風量計

フード式風量計は写真のように、フードを有する風量測定器の呼称で、端末部材に測定器をあてて、風量を測定するものです。現在は国内でも何種類か購入が可能で、住宅用の換気設備の風量測定では一般的になりつつあります。風量の検知には熱線式、プロペラ式、圧力式などがあります。

熱線式には空気の流路全面に検知部がある物から一点のみで検知を行っているものがあり、一般的には全面において検知を行うものの精度が高い傾向にあります。本マニュアルではフード式風量計を主に扱っています。

熱線式風量計
測定範囲：8～450m³/h
重　　量：1.7kg

熱線式風量計
測定範囲：7～230m³/h
重　　量：1.75kg

熱線式風量計
測定範囲：10～300m³/h
重　　量：1.6kg

[プロペラ式風量計
測定範囲：10～300m³/h
重　　量：1.0kg

圧力補償ﾌｧﾝ式風量計
測定範囲：0～300m³/h
重　　量：3.9kg

風速計式風量計
測定範囲：10～300m³/h
重　　量：1.0kg

図 3-26　フード式風量測定器の例

(2) k ファクタ法

k ファクタ法は、微差圧計を用いる風量測定法のことで、以下のような特徴を持っています。

換気システム部材（多くは室内端末部材）に圧力を測定するための孔がタップなどの形で設けられており、微差圧計を接続できるようになっています。圧力測定のための構造としては、

○システム部材内部と室内の差圧を測定するもの
○システム部材内部２点で差圧を測定するもの
○空気流動の方向（給気か排気かなど）によって測定部が異なるもの

などの種類があります。この手法は、北欧を中心とした海外で使用されていますが、わが国ではこの測定方法に関連した規格はありませんが､測定法に対応した端末部材や測定器の購入は可能です。また、測定原理は、以下のようになります。

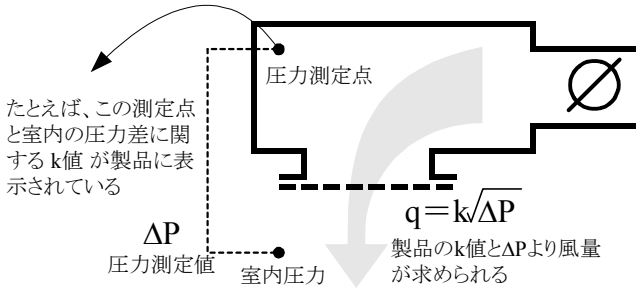
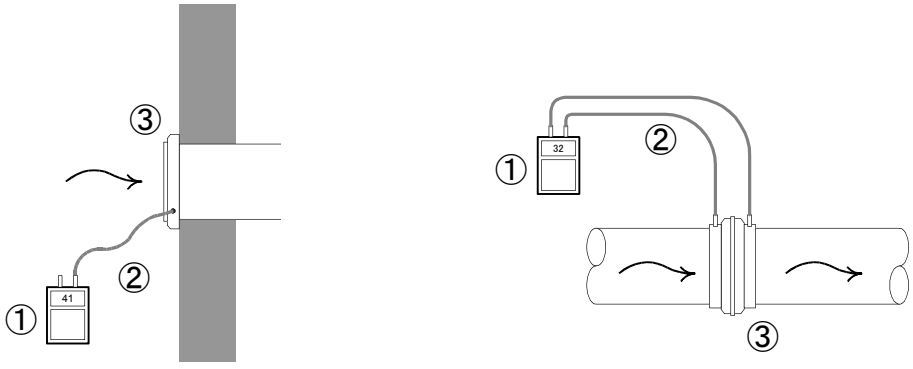


図 3-27　k ファクタ法の測定原理の一例



〔端末部材での測定〕　　〔ダクト中間部材での測定〕

図 3-28　測定装置の例

①装置の構成

・微差圧計（風量測定装置　図 3-28 中の①）

・圧力測定用チューブ（換気装置部材と圧力計とを接続するもの　図 3-28 中の②）

・換気システム部材（測定対象　図 3-28 中の③）

②測定方法

圧力計と測定対象部位の圧力測定孔をチューブなどで繋ぎ、圧力を測定します。

③風量への換算方法計算法

以下の式(3.3)を用いて風量に換算します。

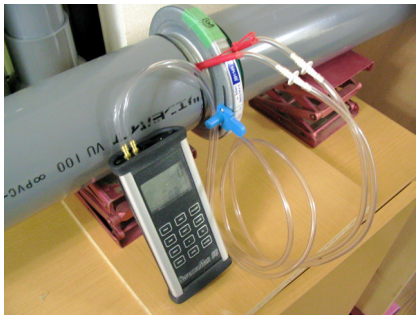
$$q = k\sqrt{\Delta P} \qquad (3.3)$$

k　　：k 値、$L/s/Pa^{0.5}$　（1Pa 時の流量 L/s）

q　　：風量 L/s

・P　　：圧力差 Pa

圧力範囲　　：0～±1000 Pa
（分解能 1.0 Pa）
風量範囲　　：0～95 m^3/h（k=3 の場合）
重量　　：450 g



圧力範囲　　：-100～1500 Pa
（分解能 0.1 Pa）
風量範囲　　：0～116 m^3/h（k=3 の場合）
重量　　：400 g

図 3-29　k ファクタ法に対応した測定器の例

図 3-30　k ファクタ法に対応した室内端末部材の例（スウェーデン）

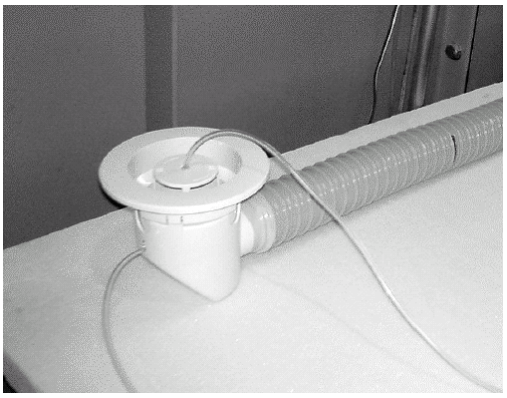


図 3-31　k ファクタ法に対応した室内端末部材の実験事例

図 3-32　k ファクタ法に対応したダクト中間部材の例

(3) 風速計を用いた方法

JIS などに示された方法で、端末部材の前にガイドとなる筒を設けて当該部位の前面において、風速を多点計測し、面積を乗じて風量に換算する方法が一般的である。しかしながら、測定が煩雑であり特に住宅用換気設備の端末部材は小さいため、多点の計測に適さないためこの方法は、推奨できません。またフード式風量計の 1 種にフード内の 1 点を測定して風量に換算する測定器もあります。

(4) 風向の確認方法

風向の確認は風量測定そのものではありませんが、たとえば端末部材の風量が 10㎥/h 程度と少ない場合は、空気の流動は確認できても風向が確認できない場合があります。そのような場合には、タフト等を使用して風向を確認することが出来ます。現場においてダクトのつなぎ間違いなどの原因で吹き出し端末から吸い込まれているようなミスも確認できます。

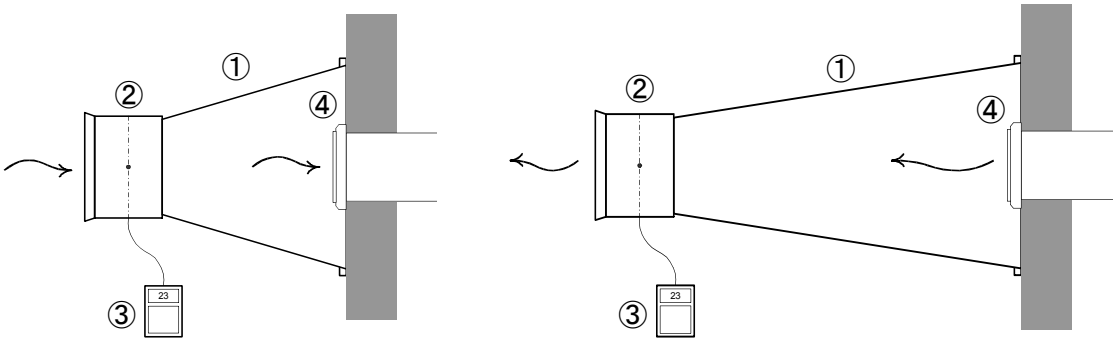
2-4 フード式風量測定器を用いた現場での風量測定の方法

本章では、実際に住宅の現場で風量測定を行うために、国内で比較的入手が容易なフード式風量測定器を使用した風量測定の方法について示します。フード式風量測定器は吸込み条件では、的精度が高い実験結果が得られていますが、吹出し条件では、誤差が大きくなり易く、測定には注意が必要です。またフード式風量測定器は風のない室内での測定が前提とされていますので、屋外端末での測定結果は参考程度と考える必要があります。しかしながら、室内側と屋外側の両方で風量を測定することは、換気システムに何らかの不具合があった場合には、その発見が容易となるので可能な限り室内側・屋外側の両側から測定するとよいでしょう。また本マニュアルでは外壁式の同時給排気形換気扇の風量測定は対象としていません。吸込み形か吹出し形のどちらか一方の機能を持った換気扇や端末部材のみを測定対象としています。

2-4-1 測定の概要

(1) 測定器の構成例

ここでは、端末部材に特別な機器を用いて実際に現場の測定で使用する風量測定器の構成例について記します。一例として図 3-33 のような機器があります。



〔吸込み条件での測定〕　　〔吹出し条件での測定〕

①フード　②風量検知部　③風量表示器　④測定対象の端末部材

図 3-33　風量測定器の構成の例

フード式風量測定器は、吸込み端末でも吹出し端末でも測定できますが、吸込み端末での測定における相対誤差の方が小さい値を示します。風量表示部では任意の時間の平均風量が表示できる製品もあり、このような製品であれば測誤差の低減でき、記録レポートの作成に便利です。

また風量検知部に接続するフードは通常型フードと拡張フードの 2 種類のフードを有するものがあり、端末部材にあわせて使用できます（吹出し端末では拡張型のフードを使用することにより誤差が小さくなります)。端末部材の大きさに比較して小さすぎるフードは端末部材周辺の空気の流れを変えてしまうため、検知部の精度が高くても風量測定器を使用していない条件における風量とは異なっている可能性があるので注意が必要です。

(2) 測定の手順

測定は、通常は以下のような手順によって行います。

①測定現場に行く前の準備	(2-4-2 で解説)
②換気システムおよび住宅の準備	(2-4-2 で解説)
③風量測定器の準備	(2-4-2 で解説)
④風量測定	(2-4-3 で解説)
⑤測定の記録	(2-6 で解説)

2-4-2　現場での風量測定

ここでは現場測定に必要な、準備する項目、測定装置の設定方法および測定の注意事項について記します。

(1) 測定の準備

①測定現場に行く前の準備

現場に行く前に以下の用意や準備をして下さい。

○対象住宅の平面図、換気システムの配置図および設計風量などの資料

あらかじめ換気システムの位置を確認しておくと良いでしょう。また、換気システムに風量切り替えノッチがある場合は、換気設計がどのノッチにおける設計であるかについても確認しておく必要があります。

○記録用紙

記録用紙の例を本書の最後に添付しています。

○脚立等

天井部にある端末部材の測定時に無理な測定姿勢とならないよう使用します。

○測定器の精度確認

使用する風量測定器は、メーカーの指定する更正をうけるか、実験室でその測定精度を十分確認しておいて下さい。

②換気システムおよび住宅の準備

ファンが安定した運転を開始するまでには時間がかかりますので、可能であれば測定を行う数日前から運転を開始して下さい。どうしても測定日当日まで換気システムの運転が出来ない場合は、測定開始の少なくとも 30 分～2 時間以上前に運転を開始して下さい。換気システムの運転開始から時間が十分経過していない場合は、十分な風量が出ない場合があります。

また現場において以下の確認を行ってください。

○吹出し端末の位置、吸込み端末の位置を確認し分類番号をつけて設計図と比較しながら記録します。室内端末のみならず屋外端末も記録して下さい。

（分類番号の例は 2-4-3 に記してあります）

○上記位置が図面と整合していない場合はその旨を記録用紙に記録する。

③風量測定器の準備

a）風量測定器の組み立て

フード部と風量検知部が分かれている測定器では、測定する端末部材にあわせてフードの大きさを選択して、風量検知部に接続して下さい。また風量表示部の接続が必要な機種もあるので、取扱説明書に従って組み立てを行う必要があります。

b）風量測定器の充電

充電式の風量測定器の場合は測定の前に必ず十分に充電をしておいて下さい。また電池式の風量測定器の場合は、新しい電池を用いて下さい。電圧が安定しない場合は正しい測定が出来ないと考えられます。いずれの形式も使用する測定器の取扱説明書に従って下さい。

（2）測定方法

測定は、住宅のドアや窓などを全て閉めた条件で行って下さい。また測定者は無理な体勢とならないように測定を行って下さい。風量の測定は各端末で 10 秒以上の測定を行いその平均値を記録してください。

図 3-34　測定の姿勢

この写真では片手でフードを支えていますが、可能な限り両手で支えてフードと壁の周囲に隙間を作らないようにしてください。しかし風量測定器を通過する空気の流れを邪魔しないようにして下さい。顔などを近づけて空気流動の邪魔となると測定に誤差が生じる可能性があります。以下、各端末における測定の注意点を示します。

2-4-3　測定方法

(1) 吸込み端末での測定

フード式の風量測定器は吸込み条件での測定において相対誤差が小さい特徴を持っています。通常の吸込み端末では「通常フード」での測定で問題ありません。しかし「通常フード」を用いて吸込み端末が覆いきれない場合には大型の「拡張フード」を使用し、それでも測定が出来ない場合は、現場で大きめのフードを自作する方法が考えられます。しかし、そのような自作フードを用いた場合の測定精度は実験室での検査により確かめる必要があります。どのようなフードを使用したのかについては記録を必ず残して下さい。

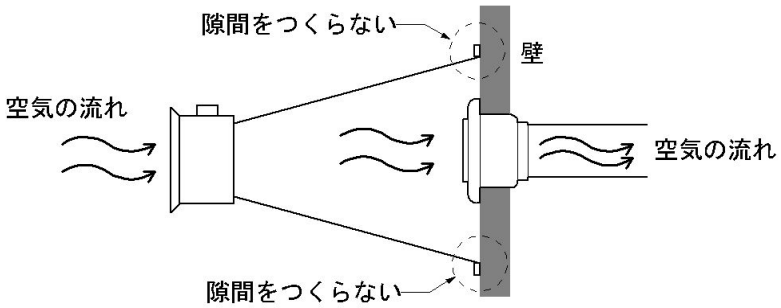


図 3-35　吸込み端末での風量測定の例

(2) 吹出し端末での測定

吹出し端末での測定にはなるべく「拡張フード」などの十分な大きさ（端末部材を覆う部分の面積）と十分な長さ（端末部材から風量検知部までの長さ）のあるフードを使用して下さい。また以下の図 3-36 および図 3-37 のように吹出し流がなるべくフードの内側に直接当たらないようにフード位置を調節して下さい。「拡張フード」を用いない場合や用いても空気の流れを妨げる形で設置した場合は、10 %以上の相対誤差を生じる可能性があります。「拡張フード」を使用していない場合は、実験では相対誤差 50%となる例も確認されています。

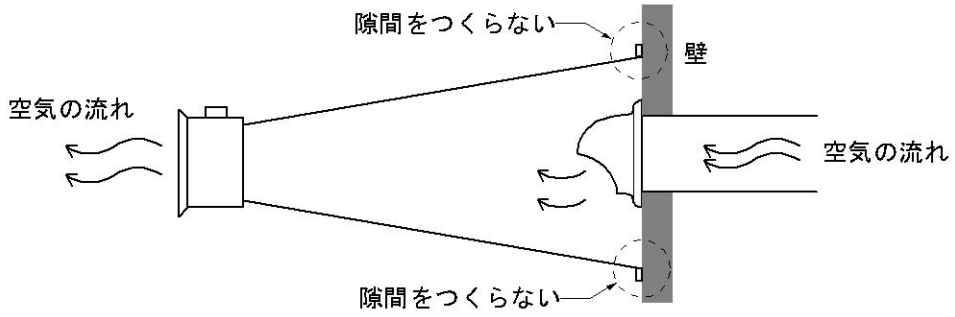


図 3-36　吹出し端末での風量測定

●吹出気流がフードに当たらないように設置する

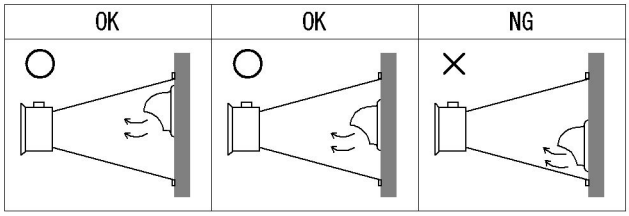


図 3-37　より正確な測定をするためのフードと風量測定器の位置
（拡張フードを使用）

(3) 測定が難しい部位での測定

測定が難しい箇所として以下のような箇所が考えられますが、どのような条件であったか、写真などの記録を残した上、可能な限り測定を行ってください。また、メーカーが提供しているフードでは測定が出来ないような大きい端末部材もあります。そのような場合は、段ボールなどで、大きめのフードを自作して風量を測定することも可能ですが、この場合も実験室においてその精度を確認しておく必要があります。

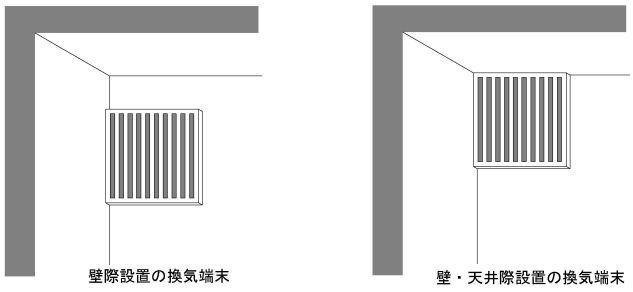


図 3-38　正確な風量測定が難しいと考えられる部位の例

2-5 測定誤差

ここでは、風量測定において生じる測定誤差の要因とその回避方法について記します。

2-5-1 測定で生じる可能性がある誤差

測定で生じる誤差には以下のような物があり、それぞれの誤差が相互に影響しない場合の総合的な誤差 E_T は式（3.4）のように表されます。

（1）測定器の持っている誤差　　E_1 %
（2）測定対象により生じる誤差　E_2 %
（3）測定者により生じる誤差　　E_3 %
（4）その他の誤差　　E_4 %

$$E_A = \sqrt{E_1^{\,2} + E_2^{\,2} + E_3^{\,2} + E_4^{\,2}} \qquad (3.4)$$

2-5-2 測定で生じる誤差とその回避方法

（1）測定器の持っている誤差

測定器そのものが持っている誤差で、測定する風量によっても誤差が変化します。またメーカーが推奨している更正を行っていない機器も誤差を有しています。

前者に対しては、風量測定器の選定において精度の高い機種を選定する必要があります。一般に風量の検知面積が大きい物ほど精度が高い傾向にあります。また後者に対しては、メーカーの推奨する更正を一定期間毎に必ず受けることで回避できます。

（2）測定対象により生じる誤差

この誤差は測定対象となる端末部材の条件により生じる誤差で、たとえば同じ形式の端末部材でも吹出し条件か、吸込み条件かによっても測定精度が異なります。通常は吹出し条件では偏流が大きいため実験室実験では相対誤差が 50%を示す事例も確認されました。また測定対象周辺の室内側の条件や端末部材へのダクトの接続条件によっても気流性状が変化し誤差を生じます。

吹出し条件における誤差の回避には、拡張型のフードを使用するなど風量検知部において偏流の影響が少なくなるようにする工夫が効果的です。なお吹出し条件のみならず吸込み条件でも大型の端末部材を測定対象とする場合は、拡張型のフードを使用し、端末部材周辺の空気の流れを阻害しないようにすることも必要です。

また室内端末のすぐ横に壁があるなど室内側の条件で、測定が困難な場合は自作のフードなどを用いることで測定が可能ですが、実験室において同条件で精度を確認して測定結果を判断する必要があります。

(3) 測定者により生じる誤差

測定者による誤差には、例えば測定姿勢に無理が生じた場合に測定フードが測定対象に密着していない事により生じる物や、顔や手が測定器を流れる空気の邪魔となる場合、測定器の指示値の読み取り誤差などがあります。

誤差の回避には、無理な姿勢での測定をしないように脚立などを用意することが考えられます。また測定器には測定結果をメモリ出来る物や測定の平均値を表示できる物もあるので、このような測定器を選定することも誤差を低減に効果があります。また風量測定を複数回行うこともよいでしょう。

(4) その他の誤差

その他、現場では事前に想定できないようない条件が生じる可能性が考えられます。不可避な場合もありますが、測定記録にそれらを記録しておくことで、正しい値の推定が出来る場合もあります。

2-6 測定の記録

測定の記録は以下の項目に留意して行ってください。

○測定は換気システムの測定可能な全ての端末部材において行う
○室内側からの測定のみでなく、屋外側からの測定も可能な限り行う
○測定が不可能な場所は、その理由や条件を記述し、写真記録を行う
○端末部材の写真を記録しておく（端末部材そのものと測定時の写真)
○測定年月日（開始時間、終了時間含む）を記録する
○測定者名を記録する
○測定時の条件（外気温度、室内温度、湿度、外部風速・風向、大気圧など）について可能な限り記録する
○測定住宅の住所
○測定住宅の平面図（換気装置の配置図を兼ね、端末部材の分類番号を記入する）
○測定住宅の床面積および気積を記入する
○風量設計書（圧力損失計算、換気システム部材の特性値の載った資料）による設計風量を記述すし、測定風量と比較できるようにする
○熱交換型第1種換気システムについては有効換気量率も記録する
○設計と異なる施工がなされていた場合はそれについても記録する

表 3-8　端末部材の分類番号の例

1）室内端末
　吸込み端末：R　（例 R1、R2…）
　吹出し端末：S　（例 S1、S2…）

2）屋外端末
　吸込み端末：O　（例 O1、O2…）
　吹出し端末：E　（例 E1、E2…）

3）パイプ用ファン
　室内側から見て吸込み端末（排気ファン）：EF（例　EF1、EF2…）
　室内側から見て吹出し端末（給気ファン）：SF（例　SF1、SF2…）

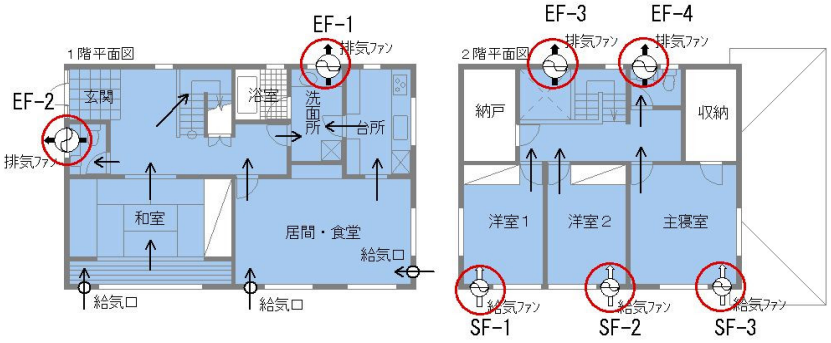
測定記録の例（1）

■ 測定時の諸条件記録シート〔戸建て住宅用〕

●測定年月日	2005/8/18		開始時：	14:00		終了時：		15:00	
●測定住宅	木造　2階建		●所在地	茨城県つくば市立原1丁目					
●床面積	1階：	82.81 m^2	2階：	66.25 m^2	3階：	--	m^2	合計	149.06 m^2
●対象床面積	1階：	82.81 m^2	2階：	66.25 m^2	3階：	--	m^2	合計	149.06 m^2
●気積	1階：	207.03 m^3	2階：	159 m^3	3階：	--	m^3	合計	366.03 m^3
●対象気積	1階：	207.03 m^3	2階：	159 m^3	3階：	--	m^3	合計	366.03 m^3
●測定者	○○　○○								

●測定条件			備考
外気温度：	25	℃	簡易測定器で計測
室内温度：	27	℃	風量測定装置の値
室内湿度：	60	%RH	
外部風速：	無風	m/s	アメダス気象データより
風向　：	---	--	アメダス気象データより
大気圧　：	1013	hPa	アメダス気象データより

●測定住宅の平面図・換気システム配置図（別紙でも可）



●風量設計値

整理記号	風量
EF-1	50 m^3/h
EF-2	40 m^3/h
EF-3	50 m^3/h
EF-4	40 m^3/h
	m^3/h
SF-1	20 m^3/h
SF-2	20 m^3/h
SF-3	20 m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
給気合計	60 m^3/h
排気合計	180 m^3/h

●換気設備の種類

第3種ﾀﾞｸﾄﾚｽ（2階給気ﾌｧﾝ）

■ 風量測定結果の記録シート

整理記号	接続ダクト 径	接続ダクト 種類	測定部位の形式	測定ﾌｰﾄﾞの種類	測定風量(m^3/h)（室内） 第1回	第2回	第3回	測定風量(m^3/h)（屋外） 第1回	第2回	第3回
EF-1	φ100mm	塩ビﾊﾟｲﾌﾟ	換気扇	標準	48.1	47.6	48.4	45.7	45.2	46.0
EF-2	φ100mm	塩ビﾊﾟｲﾌﾟ	ﾊﾟｲﾌﾟﾌｧﾝ	拡張	36.4	36.6	35.8	34.6	34.8	34.0
EF-3	φ100mm	塩ビﾊﾟｲﾌﾟ	換気扇	拡張	54.0	53.2	54.4	51.3	50.5	51.7
EF-4	φ100mm	塩ビﾊﾟｲﾌﾟ	ﾊﾟｲﾌﾟﾌｧﾝ	拡張	42.3	41.6	42.8	40.2	39.5	40.7
給気合計					180.8	179.0	181.4	171.8	170.0	172.4
SF-1	φ100mm	塩ビﾊﾟｲﾌﾟ	ﾊﾟｲﾌﾟﾌｧﾝ	標準	18.5	19.2	18.2	19.4	20.2	19.1
SF-2	φ100mm	塩ビﾊﾟｲﾌﾟ	ﾊﾟｲﾌﾟﾌｧﾝ	標準	22.2	21.9	22.1	23.3	23.0	23.2
SF-3	φ100mm	塩ビﾊﾟｲﾌﾟ	ﾊﾟｲﾌﾟﾌｧﾝ	標準	23.1	23.0	22.8	24.3	24.2	23.9
給気合計					63.8	64.1	63.1	67.0	67.4	66.2

合計値				
	室内側から測定した合計値（1～3回測定した値の平均値の合計）	給気量（吹出し合計）	63.7	備考
		排気量（吸込み合計）	63.7	吹出：拡張、吸込：標準
	屋外側から測定した合計値（1～3回測定した値の平均値の合計）	給気量（吸込み合計）	66.9	有効換気量率を乗じていない測定値
		排気量（吹出し合計）	171.4	

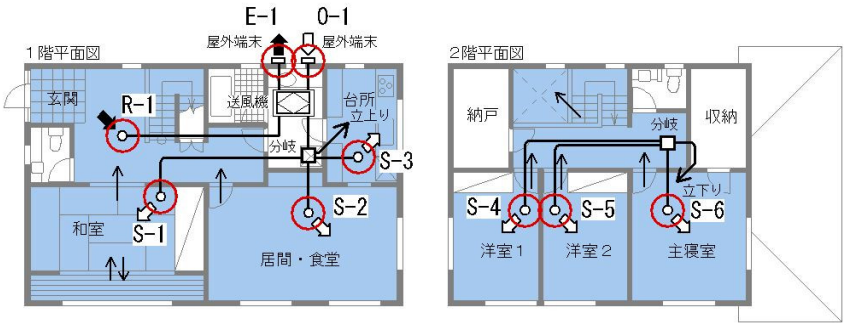
測定記録の例（2）

■ 測定時の諸条件記録シート〔戸建て住宅用〕

●測定年月日	2005/8/18		開始時：	14:00		終了時：		15:00	
●測定住宅	木造　2階建		●所在地	茨城県つくば市立原1丁目					
●床面積	1階：	82.81 m²	2階：	66.25 m²	3階：	--	m²	合計	149.06 m²
●対象床面積	1階：	82.81 m²	2階：	66.25 m²	3階：	--	m²	合計	149.06 m²
●気積	1階：	207.03 m³	2階：	159 m³	3階：	--	m³	合計	366.03 m³
●対象気積	1階：	207.03 m³	2階：	159 m³	3階：	--	m³	合計	366.03 m³
●測定者	○○　○○								

●測定条件			備考
外気温度：	25	℃	簡易測定器で計測
室内温度：	27	℃	風量測定装置の値
室内湿度：	60	%RH	
外部風速：	無風	m/s	アメダス気象データより
風向　：	---	--	アメダス気象データより
大気圧　：	1013	hPa	アメダス気象データより

●測定住宅の平面図・換気システム配置図（別紙でも可）



●風量設計値

整理記号	風量	
S-1	25	m³/h
S-2	25	m³/h
S-3	25	m³/h
S-4	25	m³/h
S-5	25	m³/h
S-6	25	m³/h
O-1	150	m³/h
R-1	140	m³/h
E-1	140	m³/h
給気合計	150	m³/h
排気合計	140	m³/h

●換気設備の種類

第1種ﾀﾞｸﾄ（熱交型・集中排気）

■ 風量測定結果の記録シート

整理記号	接続ダクト 径	接続ダクト 種類	測定部位の形式	測定ﾌｰﾄﾞの種類	測定風量(m³/h)（室内） 第1回	第2回	第3回	測定風量(m³/h)（屋外） 第1回	第2回	第3回
S-1	φ50mm	ﾌﾚｷｼﾌﾞﾙ	ｸﾞﾘﾙ端末	拡張	29.0	29.2	29.3			
S-2	φ50mm	ﾌﾚｷｼﾌﾞﾙ	ｸﾞﾘﾙ端末	拡張	32.5	32.2	31.8			
S-3	φ50mm	ﾌﾚｷｼﾌﾞﾙ	ｸﾞﾘﾙ端末	拡張	33.2	33.1	34.0			
S-4	φ50mm	ﾌﾚｷｼﾌﾞﾙ	ｸﾞﾘﾙ端末	拡張	21.5	20.5	20.8			
S-5	φ50mm	ﾌﾚｷｼﾌﾞﾙ	ｸﾞﾘﾙ端末	拡張	22.0	22.1	22.0			
S-6	φ50mm	ﾌﾚｷｼﾌﾞﾙ	ｸﾞﾘﾙ端末	拡張	24.3	24.2	23.8			
給気合計					162.5	161.3	161.7			
O-1	φ150mm	塩ビﾊﾟｲﾌﾟ	ﾌｰﾄﾞ端末	標準				165.0	168.0	163.0
R-1	φ100mm	ﾌﾚｷｼﾌﾞﾙ	ｸﾞﾘﾙ端末	標準	151.0	148.0	153.0			
E-1	φ150mm	塩ビﾊﾟｲﾌﾟ	ﾌｰﾄﾞ端末	拡張				145.0	145.5	143.0

合計値				備考
室内側から測定した合計値（1～3回測定した値の平均値の合計）	給気量（吹出し合計）	161.8		吹出：拡張、吸込：標準
	排気量（吸込み合計）	150.7		
屋外側から測定した合計値（1～3回測定した値の平均値の合計）	給気量（吸込み合計）	165.3		有効換気量率を乗じていない測定値
	排気量（吹出し合計）	144.5		

記録用紙の例（1）

■ 測定時の諸条件記録シート〔戸建て住宅用〕

●測定年月日		開始時：		終了時：	
●測定住宅	造　階建	●所在地			
●床面積	1階：	m^2	2階：	m^2	3階： m^2　合計： m^2
●対象床面積	1階：	m^2	2階：	m^2	3階： m^2　合計： m^2
●気積	1階：	m^3	2階：	m^3	3階： m^3　合計： m^3
●対象気積	1階：	m^3	2階：	m^3	3階： m^3　合計： m^3
●測定者					

●測定条件		備考
外気温度：	℃	
室内温度：	℃	
室内湿度：	%RH	
外部風速：	m/s	
風向　：	--	
大気圧　：	hPa	

●測定住宅の平面図・換気システム配置図（別紙でも可）

●風量設計値

整理記号	風量
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
給気合計	m^3/h
排気合計	m^3/h

●換気設備の種類

■ 風量測定結果の記録シート

整理記号	接続ダクト		測定部位の形式	測定ﾌｰﾄﾞの種類	測定風量(m^3/h)（室内）			測定風量(m^3/h)（屋外）		
	径	種類			第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回

合計値			備考
	室内側から測定した合計値（１～３回測定した値の平均値の合計）	給気量（吹出し合計）	
		排気量（吸込み合計）	
	屋外側から測定した合計値（１～３回測定した値の平均値の合計）	給気量（吸込み合計）	
		排気量（吹出し合計）	

記録用紙の例（2）

■　測定時の諸条件記録シート〔共同住宅用〕

●測定年月日		開始時：	終了時：
●所在地			
●測定住棟	造　　階建	●測定住戸　　階建ての　　階	
●測定住戸　床面積	m2	●測定住戸　対象床面積	m2
●測定住戸　気積	m3	●測定住戸　対象気積	m3
●測定者			

●測定条件		●建物工法（気密性能）	●サッシの仕様
外気温度：	℃		
室内温度：	℃		
室内湿度：	%RH	●玄関ドア仕様	●レンジフードファンの仕様
外部風速：	m/s		
風向　　：	--		
大気圧　：	hPa		

●測定住戸平面図・換気システム配置図・対象階平面図（別紙でも可）・方位

●風量設計値

整理記号	風量
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
給気合計	m^3/h
排気合計	m^3/h

●換気設備の種類

■　風量測定結果の記録シート

整理記号	接続ダクト		測定部位の形式	測定ﾌｰﾄﾞの種類	測定風量(m^3/h)（室内）			測定風量(m^3/h)（屋外）		
	径	種類			第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回

合計値	室内側から測定した合計値 （１～３回測定した値の平均値の合計）	給気量（吹出し合計）	備考
		排気量（吸込み合計）	
	屋外側から測定した合計値 （１～３回測定した値の平均値の合計）	給気量（吸込み合計）	
		排気量（吹出し合計）	

2-7 おわりに

本マニュアルは、(財) 住宅リフォーム・紛争処理支援センターを事務局として平成 15 年度から行われている風量測定器の性能検証実験などを通じて得られたデータなどを元に記述されており、関連する情報の紹介、およびフード式風量測定器を用いた風量測定の手順や留意事項についてとりまとめたものです。本マニュアルで、主な対象としたフード式風量測定器以外にも、k ファクタ法は、対応する端末部材さえあれば、簡便でかつ精度の高い手法であると考えられ、今後の技術の普及が期待されます。

風量測定では、様々な誤差要因があることも記述していますが、現場では風量測定が困難な事例も散見されます。これらは計画段階において風量検証や維持管理・運用時についても検討を行うことで回避が可能と考えられます。

平成 18 年 2 月

３．　新築住宅換気設備の施工状況実態調査

3-1 目的

改正建築基準法令(平成15年7月1日施行)において全般換気に関する必要換気量の下限値が規定された。この間、機械換気設備を設ける場合の機械換気量の設計はメーカーカタログ値によって判定し、確認申請上もこれが許容される状況にある。

一方、平成15年度に行なった基準法改正以降の新築住宅における換気設備の風量測定で、カタログ値が確保できていない事例があった。また、従来軽視されがちであった換気設備の新規導入に際して、メーカーの技術指導が行き届かないケースもありえると懸念される。

このような事例、懸念を鑑み、新築住宅における換気設備の施工状況実態を調査し、メーカーへの情報提供とガイドラインとりまとめに資するデータを得ることを目的とする。

3-2 調査概要

調査概要を表3-9に示す。

表3-9　調査の概要

	2004年度調査	2005年度調査
調査サンプル数	24戸	24戸
調査期間	2004年8月～2005年1月	2005年8月～2006年3月
調査建物	・戸建住宅　24戸	・戸建住宅　8戸 ・共同住宅　9棟　16戸
換気設備の種類	・第1種換気設備　14戸 ｉﾀﾞｸﾄ式全熱交換型　8戸 ⅱﾀﾞｸﾄﾚｽ式　6戸	・第1種換気設備　6戸 ｉﾀﾞｸﾄ式全熱交換型　4戸 ⅱﾀﾞｸﾄﾚｽ式　2戸
	・第3種換気設備　10戸 ｉﾀﾞｸﾄ式　8戸 ⅱﾀﾞｸﾄﾚｽ式　2戸	・第3種換気設備　18戸 ｉﾀﾞｸﾄ式　16戸 ⅱﾀﾞｸﾄﾚｽ式　2戸

実施方法については、指定住宅性能評価機関に委託し、新築住宅の竣工検査時に実施した。

3-3 調査項目

(1) 風量測定

換気設備運転時の給・排気端末における風量を測定した。

風量測定器（SWF-125型、写真-3-16）は平均化機能付きで、測定範囲は8～450m^3/ｈのものを用いた。

なお現場測定に先立ち、測定精度の均一化のため別途「風量測定マニュアル(案)」を整備し、指定住宅性能評価機関の担当者に対する風量測定講習会を(財)住宅リフォーム・紛争処理支援センターにおいて実施した。

写真 3-15　風量測定講習会

写真 3-16　風量測定器

(2) 施工状況調査

各物件の換気設備施工状況を写真撮影し、記録した。調査のポイントを以下に示す。

①換気設備の室内端末、屋外フード等を設計図書と照合した上で写真撮影を行う。その際可能な限り換気設備部品の型番等が判別できる写真を撮る。

②可能な限り、換気設備の天井裏等に隠蔽される部分の記録写真（送風機本体、熱交換器、分岐チャンバー、ダクトなど）を撮る。

③設計図書と異なる換気設備仕様、施工状況をできる限り詳細に記録する。

④集合住宅の場合は工法種別を記録する。

⑤集合住宅の場合は玄関ドア仕様を記録し、写真撮影を行う。

⑥集合住宅の場合はレンジフードファンの仕様を記録する。

(3) 換気設計図書調査

測定風量との照合および、現場状況写真との照合を行ない整理した。

○建築確認申請書「8. 建築設備の種類」別紙、設計風量計算書等

○換気設備配置図（ダクト式の場合はダクト図）

○その他

①換気設備に関する設計変更があった場合の変更図書、風量計算書を収集する。

②換気部品（屋外フード、ダクト、分岐チャンバー、室内端末、その他）の型番が判別できる資料を収集する。

③多分岐のダクト式換気設備の場合、計算対象とした室内端末を示す資料を収集する。

3-4 調査結果の概要

調査結果の一覧表を次に示す。

【新築住宅換気設備の施工実態調査】-2004年度調査の概要

＊各測定機器の補正係数算定済み

調査資料

No.	測定時期	換気種別	ﾀﾞｸﾄ方式	集中/室別	A 延床気積	B 対象気積	C=B/A	換気計画				＊計測結果						実測/計画		過不足		竣工時の問題	竣工時の問題	竣工データの採用	備　考
								給気風量	給気回数	排気風量	排気回数	給気風量	給気回数	実測割合	排気風量	排気回数	実測割合	給気	排気	給気	排気				
1	秋期測定	第1種換気	ダクトレス式（一部ダクト有）	室別給気ファン	202.3	176.8	87%	108	0.61	127	0.72	74	**0.42**	68%	122	**0.69**	96%	×	×	×	○	○	×	○	・施工時に給気ファン1台(SF-2)が略された。(本表では除外して計算した)
2		第1種換気	ダクトレス式（一部ダクト有）	室別給気ファン	202.3	176.8	87%	108	0.61	127	0.72	88	**0.50**	82%	121	**0.68**	95%	×	×	○	○	○	×	○	・施工時に給気ファン1台(SF-2)が略された。(本表では除外して計算した)
3		第1種換気	ダクトレス式（一部ダクト有）	室別給気ファン	206.0	191.7	93%	135	0.70	127	0.66	121	**0.63**	90%	測定不能	----	----	×	----	○	----	×	×	△	・測定フードが開口部にかかり排気(EF-1)が一部測定不能 ・排気ファンが給気ファン(SF-5)に変更
4		第1種換気	ダクトレス式（一部ダクト有）	室別給気ファン	208.6	192.9	92%	135	0.70	127	0.66	112	**0.58**	83%	測定不能	----	----	×	----	○	----	×	×	△	・測定フードが開口部にかかり排気(EF-1)が一部測定不能 ・排気ファンが給気ファン(SF-5)に変更　・配線ミスで測定不能
5		第1種換気	ダクトレス式	室別給気ファン	264.0	241.0	91%	162	0.67	132	0.55	134	**0.55**	82%	132	**0.55**	100%	×	○	○	○	×	○	△	・天井廻り縁で測定フードにかかる。
6		第1種換気	ダクトレス式	室別給気ファン	234.5	227.2	97%	112	0.49	155	0.68	99	**0.43**	88%	109	**0.48**	70%	×	×	×	×	○	○	○	
7		第1種換気　全熱交換	ダクト併用式	室別給気・集中排気	207.2	198.6	96%	134	0.67	134	0.67	108	**0.54**	81%	測定不能	----	----	×	----	○	----	×	○	△	・全熱交換機吸込口の形状にフードが合わず測定不能。 ・O-1,E-1は接近のため、O-2,E-2,O-3,E-3は高所のため測定不能
8		第1種換気　全熱交換	ダクト併用式	室別給気・集中排気	220.7	213.0	97%	146	0.68	146	0.68	125	**0.59**	86%	測定不能	----	----	×	----	○	----	×	○	△	・全熱交換機吸込口の形状にフードが合わず測定不能。 ・O-1,E-1は接近のため、O-2,E-2,O-3,E-3は高所のため測定不能
9		第1種換気　全熱交換	全ダクト式	室別給気・集中排気	331.0	297.9	90%	173	0.58	173	0.58	191	**0.64**	111%	測定不能	----	----	○	----	○	----	×	○	△	・全熱交換機吸込口の形状にフードが合わず測定不能。 ・O-1,E-1,O-2,E-2は高所のため測定不能
10		第1種換気　全熱交換	全ダクト式	室別給気・集中排気	373.0	306.7	82%	172	0.56	172	0.56	197	**0.64**	115%	測定不能	----	----	○	----	○	----	×	○	△	・全熱交換機吸込口の形状にフードが合わず測定不能。
11		第1種換気　全熱交換	全ダクト式	室別給気・集中排気	248.4	205.6	83%	163	0.79	163	0.79	159	**0.77**	97%	測定不能	----	----	×	----	○	----	×	○	△	・全熱交換機吸込口の形状にフードが合わず測定不能。 ・O-2,E-2は高所のため測定不能
12		第1種換気　全熱交換	全ダクト式	室別給気・集中排気	254.7	217.1	85%	163	0.75	163	0.75	172	**0.79**	106%	測定不能	----	----	○	----	○	----	×	○	△	・全熱交換機吸込口の形状にフードが合わず測定不能。 ・O-1,E-1,O-2,E-2は高所のため測定不能
13		第3種換気	ダクト式	集中排気ダクト	282.0	178.3	63%			124	0.70				143	**0.80**	115%		○		○	△	○	△	・換気対象外の天井裏で5m3/h、階段室で64m3/hの計画換気があったが集計で除外した。 ・外壁の凹凸(E-1)及び網代天井(R-1)の隙間で計測不安　・棟換気測定不能
14		第3種換気	ダクト式	集中排気ダクト	407.6	332.7	82%			223	0.67				234	**0.70**	105%		○		○	△	○	△	・換気対象外の天井裏で5m3/hの計画換気があったが集計では除外した。 ・外壁の凹凸(E-1)の隙間で計測不安　・棟換気測定不能
15		第3種換気	ダクト式	集中排気ダクト	274.7	145.6	53%			111	0.76				122	**0.84**	110%		○		○	○	○	○	・換気対象外の天井裏で5m3/h、ホールで53m3/hの計画換気があったが集計では除外した。　・グリル大きく測定不能　・E-2高所のため測定不能
16		第3種換気	ダクト式	集中排気ダクト	341.0	341.0	100%			170	0.50				測定不能	----	----		----		----	×	○	×	・測定フードが照明器具にあたり(R-2)測定不能 ・排気グリル(R-3)が測定フードより大きく測定不能
17		第3種換気	ダクト式	集中排気ダクト	304.3	304.3	100%			152	0.50				168	**0.55**	110%		○		○	△	○	○	・E-1～3、高所のため測定不能
18		第3種換気	ダクト式	集中排気ダクト	342.0	188.4	55%			140	0.74				155	**0.82**	111%		○		○	△	○	○	・換気対象外の天井裏で5m3/h、ホールで68m3/hの計画換気があったが集計では除外した。 ・R-6のグリルが大きく測定不能　・E-3高所のため測定不能
19	冬期測定	第1種換気　全熱交換	全ダクト式	室別給気・集中排気	254.6	214.6	84%	121	0.56	121	0.56	142	**0.66**	117%	測定不能	----	----	○	----	○	----	×	×	△	・全熱交換機吸込口の形状にフードが合わず測定不能。 ・接続ミスか風量ゼロが1箇所ある。　・O-1,E-1は高所のため測定不能
20		第1種換気　全熱交換	全ダクト式	室別給気・集中排気	245.9	197.0	80%	121	0.61	121	0.61	134	**0.68**	111%	測定不能	----	----	○	----	○	----	×	×	△	・全熱交換機吸込口の形状にフードが合わず測定不能。 ・接続ミスか風量ゼロが1箇所ある。　・O-2,E-2は高所のため測定不能
21		第3種換気	ダクトレス式	局所排気ファン	230.2	206.0	89%			110	0.53				104	**0.51**	95%		×		○	△	×	○	・1種換気から3種換気に変更された　・EF-1窓掛かりで測定不安
22		第3種換気	ダクトレス式	局所排気ファン	229.0	188.3	82%			110	0.58				126	**0.67**	115%		○		○	△	×	○	・1種換気から3種換気に変更された　・EF-2開口部掛かりで測定不安
23		第3種換気	ダクト式	室別排気ﾀﾞｸﾄ・集中排気ﾀﾞｸﾄ	397.9	397.9	100%			199	0.50				229	**0.57**	115%		○		○	△	○	○	・E-5は高所のため測定不能
24		第3種換気	ダクト式	室別排気ﾀﾞｸﾄ・集中排気ﾀﾞｸﾄ	279.3	169.3	61%			107	0.63				122	**0.72**	114%		○		○	△	○	○	・換気対象外の天井裏で5m3/h、ホールで76m3/hの計画換気があったが集計では除外した。 ・E-2は高所のため測定不能
秋期・冬期　報告の平均					272.6	229.5	85%	139	**0.64**	143	**0.64**	133	**0.60**	94%	145	**0.66**	104%	**36%**	**69%**	**86%**	**92%**	**12件**	**8件**	**23件**	

※　計画時の風量は、建築確認申請上の風量であり、必ずしも機器風量とはかぎらない。

【新築住宅換気設備の施工実態調査】

＊各測定機器の補正係数算定済み

添付資料-1

No.	建物種別	測定時期	換気種別	ﾀﾞｸﾄ方式	集中/室別	A 延床面積	B 対象気積	C=B/A	換気計画 給気風量	換気計画 給気回数	換気計画 排気風量	換気計画 排気回数	＊計測結果 給気風量	＊計測結果 給気回数	＊計測結果 実測割合	＊計測結果 排気風量	＊計測結果 排気回数	＊計測結果 実測割合	換気過不足 給気	換気過不足 排気	実測/計画 給気評価	実測/計画 排気評価	備　考
1	戸建	夏・秋期測定	第1種 熱交換	給気ダクト式	室別給気・集中排気	104	250	240%	163	0.65	163	0.65	160	0.64	**98%**	194	0.78	**119%**	○	○	○	△	・天井点検口に断熱材が覆っていて点検が困難
2	戸建		第1種 熱交換	給気ダクト式	室別給気・集中排気	104	250	240%	163	0.65	163	0.65	157	0.63	**97%**	220	0.88	**135%**	○	○	○	×	・天井点検口に断熱材が覆っていて点検が困難
3	共同		第3種 パス換気扇	排気ダクト式	トイレ・洗面・浴室 集中排気	50	126	249%			130	1.03				104	0.83	**80%**		○		△	・換気風量は(170[弱],240)で、分配率=2.5:1:1
4	共同		第3種 パス換気扇	排気ダクト式	トイレ・洗面・浴室 集中排気	42	106	253%			130	1.22				114	1.07	**88%**		○		△	・調査により、機器の不具合が発見された住戸があった。→原因不明により、機器の交換 ・換気風量は(170[弱],240)で、分配率=2.5:1:1
5	共同		第3種 パス換気扇	排気ダクト式	トイレ・洗面・浴室 集中排気	57	134	236%			105	0.79				126	0.94	**120%**		○		△	・本体と副吸込ダクトの接続が外れかかっていた。→風量は満たしていた。 ・換気風量は(50,80,105[工場出荷],125,150,180,200,220) の8区分あり、分配率=2:1:1
6	共同		第3種 パス換気扇	排気ダクト式	トイレ・洗面・浴室 集中排気	73	179	246%			105	0.59				141	0.79	**135%**		○		×	・換気風量は(50,80,105[工場出荷],125,150,180,200,220) の8区分あり、分配率=2:1:1
7	共同		第3種 パス換気扇	排気ダクト式	トイレ・洗面・浴室 集中排気	67	159	236%			100	0.63				106	0.67	**106%**		○		○	・換気風量は(75,100[工場出荷],125,150㎥)の4段階あり、分配率=4:3:3
8	共同		第3種 パス換気扇	排気ダクト式	トイレ・洗面・浴室 集中排気	65	155	236%			100	0.65				118	0.76	**118%**		○		△	・換気風量は(75,100[工場出荷],125,150㎥)の4段階あり、分配率=4:3:3
9	共同 ワンルーム		第3種 パス換気扇	排気ダクト式	浴室 集中排気	23	54	232%			85	1.58				46	0.85	**54%**		○		×	
10	共同 ワンルーム		第3種 パス換気扇	排気ダクト式	浴室 集中排気	20	46	232%			85	1.85				43	0.93	**50%**		○		×	
11	共同		第3種 パス換気扇（トイレ別）	排気2層管ダクト式(トイレ別)	洗面・浴室 集中排気	79	195	248%			100	0.51				69	0.35	**69%**		×		×	・換気風量は(60,80[工場出荷],100㎥)3段階あり、分配率=9:5 風量設定を出荷時のままか？
12	共同		第3種 パス換気扇（トイレ別）	排気2層管ダクト式(トイレ別)	洗面・浴室 集中排気	68	169	249%			100	0.59				83	0.49	**83%**		×		△	・換気風量は(60,80[工場出荷],100㎥)3段階あり、分配率=9:5 風量設定を出荷時のままか？
13	戸建		第1種・第3種 併用型	給気ﾀﾞｸﾄﾚｽ&排気ﾀﾞｸﾄ併用	洗面・ホール 集中排気	72	187	258%			134	0.72				122	0.65	**91%**		○		○	・納戸の局所換気部分で壁の入隅に飛込んだ換気扇(排気)があった。
14	戸建		第1種・第3種 併用型	給気ﾀﾞｸﾄﾚｽ&排気ﾀﾞｸﾄ併用	洗面・ホール 集中排気	77	207	269%			182	0.88				148	0.71	**81%**		○		△	
15	共同		第3種 パス換気扇	排気ダクト式	トイレ・洗面・浴室 集中排気	78	190	243%			140	0.74				161	0.85	**115%**		○		△	・24時間換気のﾓｰﾄﾞがわかり難い表示盤である ・換気風量は80～200(10㎥刻み)であり、分配率=2:1:1
16	共同		第3種 パス換気扇	排気ダクト式	トイレ・洗面・浴室 集中排気	70	166	236%			140	0.85				100	0.60	**71%**		○		×	・24時間換気のﾓｰﾄﾞがわかり難い表示盤である ・換気風量は80～200(10㎥刻み)であり、分配率=2:1:1
17	戸建	冬期測定	第1種 熱交換	給気ダクト式	室別給気・集中排気	76	198	259%	119	0.60	119	0.60	160	0.81	**134%**	168	0.85	**141%**	○	○	×	×	・2階ロフト壁に点検口があり、機器本体にアクセスしやすい構造である。
18	戸建		第1種 熱交換	給気ダクト式	室別給気・集中排気	85	218	258%	119	0.55	120	0.55	116	0.53	**97%**	146	0.67	**122%**	○	○	○	×	・2階ロフト壁に点検口があり、機器本体にアクセスしやすい構造である。
19	戸建		第1種換気	バスダクト併用式	室別給気・集中排気	115	288	250%	120	0.42	164	0.57	103	0.36	**86%**	155	0.54	**94%**	×	○	△	○	・殆どダクトがない換気システム。
20	戸建		第1種換気	バスダクト併用式	室別給気・集中排気	63	158	252%	84	0.53	108	0.69	61	0.39	**73%**	94	0.59	**87%**	×	○	×	△	・1住戸が2つの区画に分けられていた。 殆どダクトレスでメンテナンスに優れた換気システム
21	共同		第3種 パス換気扇	排気ダクト式	トイレ・洗面・浴室 集中排気	45	106	237%			不明	---				108	1.02	—		○		×	
22	共同		第3種 パス換気扇	排気ダクト式	トイレ・洗面・浴室 集中排気	63	149	235%			不明	---				101	0.68	—		○		×	
23	共同		第3種 パス換気扇	排気ダクト式	トイレ・洗面・浴室 集中排気	74	185	251%			144	0.78				140	0.76	**97%**		○		○	
24	共同		第3種 パス換気扇	排気ダクト式	トイレ・洗面・浴室 集中排気	100	252	251%			144	0.57				151	0.60	**105%**		○		○	
全体の平均						69.6	171.9	246%	128	0.57	125	0.80	126	0.56	**97%**	123	0.74	**98%**	**4/6**	**22/24**	**3/6**	**5/24**	

※ 計画時の風量は、建築確認申請上の風量であり、必ずしも機器風量とはかぎらない。

※ 実測/計画の記号は、○は計画の±10%・△は±20%・他は×とした。

給気 ▢ 及び 排気 ▢ は、換気回数が0.5回未満のものを示す。

3-5 調査結果

調査住宅の換気設備に関する設計図書の内容を整理し、設計値と実測値との関係を検討した。なお、ここで用いた実測値は全て換気設備の室内側端末の風量である。

(1) 換気システムの必要風量と実測風量の関係

全調査物件の確認申請における換気システムの必要風量と実測風量（給気量および排気量）の関係を下図に示す。物件番号は 04 年度調査物件を 1～24 とし、05 年度調査物件を仮に 25～48 とした。必要風量は必要換気量（換気対象気積の 0.5 倍）である。

実測風量は物件毎の合計値（給気量合計および排気量合計）であり、測定不能な端末の風量は算入していない。物件番号 4, 5～12, 19, 20 の排気量がゼロとなっているがこれらはカセット式の第 1 種熱交換型換気設備で本体グリルの排気端末が大きすぎて測定できなかったものである。
また、給気量のない物件は全て第 3 種換気設備である。

ほとんどの物件において、給気量あるいは排気量のいずれかが必要風量を上回っており、必要風量を満足していないものは 3 物件のみであった。

このうち物件 6 (戸建住宅) はダクトレスの第 1 種換気設備で、排気量は必要風量の約 95%あり、風量測定器の精度(「風量測定装置の精度検証実験報告書」における［A］熱線式データ参照)を勘案すると、必要風量を満足していないとはいいきれない。

物件 35, 36 は共同住宅の浴室換気暖房システムで、トイレを局所換気としたものである。この物件の換気ユニットは、本体の風量調整板により 3 段階の風量調整が可能な機種であり、設計風量はその最大風量であった。一方、換気ユニットの仕様書によると、工場出荷時の風量設定は 3 段階のうちの中間風量と記載されている。また、現場においてダクト、送風機等の換気設備の施工に特段の不備は見当たらなかった。このことから、この 2 物件については現場における換気ユニット本体の風量調整板の変更がなされていない疑いがある。ただしこの場合は換気システムの設定を変更することにより必要風量を満足することになる。

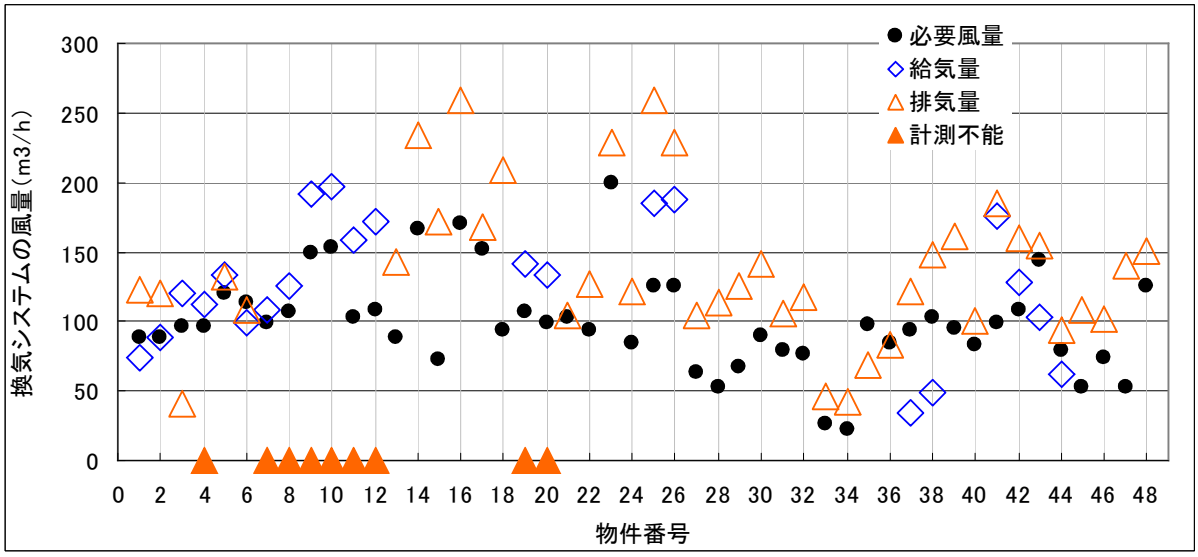


図 3-39　全調査物件における換気システムの必要風量と実測風量
＊計測不能は全熱交換型換気システムの本体グリル（集中排気）で、風量測定器がカバーできなかったものを示している。

（2）換気設備の設計方法

調査住宅の確認申請図書において、ダクト式換気設備を備える戸建住宅の圧力損失計算は全て「シックハウス対策マニュアル」における詳細法（A式）で行っており、図書およびその計算内容に不備はなかった。

ただし、共同住宅については「シックハウス対策マニュアル」における簡略法（B 式）を用いた物件や各部圧力損失算出過程が不明なものなどがあり、使用単位もＳＩ単位に統一されていない。また、ダクト図の片隅に圧力損失計算を付記したものや不明な物件もあった。このため、設計風量が不明な物件についてはメーカーの仕様書等に従い各端末の設計風量を仮定した。

シックハウス対策基準施行前の戸建住宅では、換気設備設計は単にシステム・仕様の選択にとどまり、圧力損失計算まで行うことは少なかった。このため、新たな設計業務となった圧力損失計算を前述のマニュアルに忠実に行っている（あるいは換気設備メーカーに外注している）状況が推察される。

一方、共同住宅の換気設備設計は従前より専門の設備設計事務所あるいは空調設備業者が行っており、圧力損失計算についても独自の手法・経験を持っている。このため、設計者が自らの経験で培った方法に固執し、確認審査過程においてそれが許される状況があるのかもしれない。

（3）共同住宅の換気設備

①調査住宅の概要

調査住宅において共同住宅は 16 物件で、機械台数は 16 台であった。これらは全て浴室排気ファンを常時運転する方式である。

このうち 2 物件はワンルームマンションで、浴室乾燥機能のない親子ファンであるが、その他の 14 物件は全て浴室換気暖房システムであった。

また、トイレの局所換気を別系統で行うものが 2 物件あり、他はトイレも副端末を備えている方式であった。

表 3-10　調査住宅における共同住宅の換気設備の概要

物件 No.	機械 No.	端末設置場所 本体	端末設置場所 副1	端末設置場所 副2	浴室乾燥機能	備考
3	1	浴室	洗面	便所	あり	
4	2					
5	3					圧損計算書完備
6	4					
7	5					
8	6					
9	7		洗面・便所	なし	なし	ワンルームマンション
10	8		便所			
11	9		洗面		あり	トイレ局所換気・2層管使用 ダクト相当長で圧損計算
12	10					
15	11			便所		ダクト相当長で圧損計算
16	12					
21	13					圧損計算書完備
22	14					
23	15					ダクト相当長で圧損計算
24	16					

②各室内端末の風量

室内の副端末数は合計 26、本体グリル数は物件数と同じ 16 である。これらの実測風量と設計風量の関係を図 2 に示す。

副端末、本体グリルともにバラツキが大きく、機械毎の最小風量の端末（最大圧損経路）の実測風量が設計風量以上のものは 3 物件だけである。

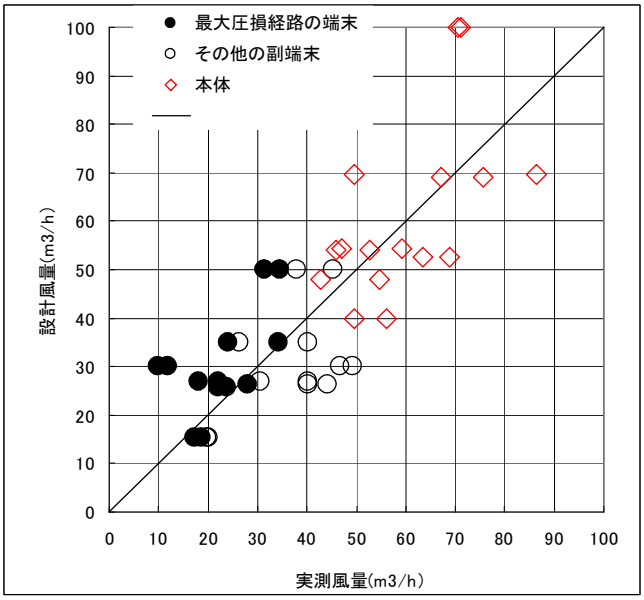


図 3-40　室内端末の実測風量と設計風量（共同住宅）

各室内端末の機械毎の実測風量を図3-41に、風量比(実測値/設計値)を図3-42に示す。副端末が複数あるものは8物件で、設計において各副端末は同風量とされているものが多い。しかし、ほぼ同風量となっているのは4物件で、その他の副端末の風量が最大圧損経路の端末風量の2倍～5倍程度となっているものがあった。

また、その他の副端末の風量比はほぼ100％以上であるが、本体の風量比は100%を跨いで分布しており、
最大圧損経路の端末の風量比も同様である。さらに、最大圧損経路の端末の風量比が40%程度のものが2物件あった。この物件（機械NO.5,6）の機械1台の合計風量の風量比が約100%（図3-44）であることを考えると、ファン本体の風量調節板の設定が設計どおりではなかった状況が疑われる。

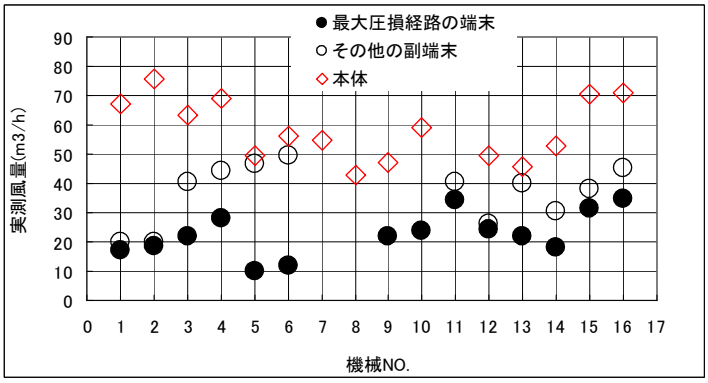


図3-41　機械別の室内端末の風量（共同住宅）

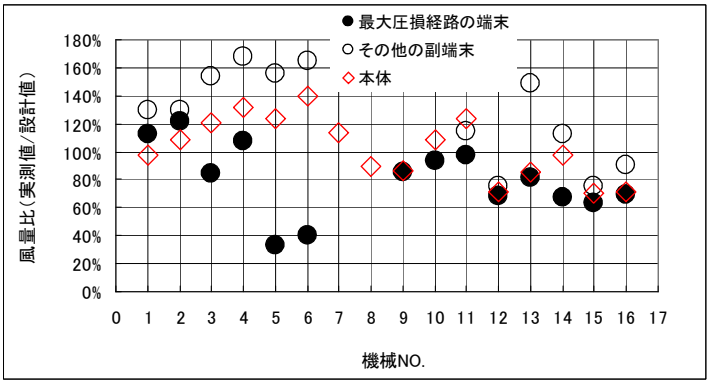


図3-42　機械別の室内端末の風量比（実測値/設計値）共同住宅

機械一台当たりの合計風量の実測値と設計値の関係を図3-43に、風量比を図3-44に示す。

合計風量のバラツキは小さく、風量比でみると80%以下のものは3物件のみである。このうちの2物件（物件NO.15,16）は「強運転モード」の風量を設計風量としていた。その他の物件は風量測定器の精度(「風量測定装置の精度検証実験報告書」における［A］熱線式データ参照)を勘案すると、設計風量をほぼ満足していると考えられる。ただし、風量比80%以下の物件は本体と副端末ともに風量比が100%未満であり、風量測定時における運転モードの設定が違っていたか、あるいは施工不良が疑われる。

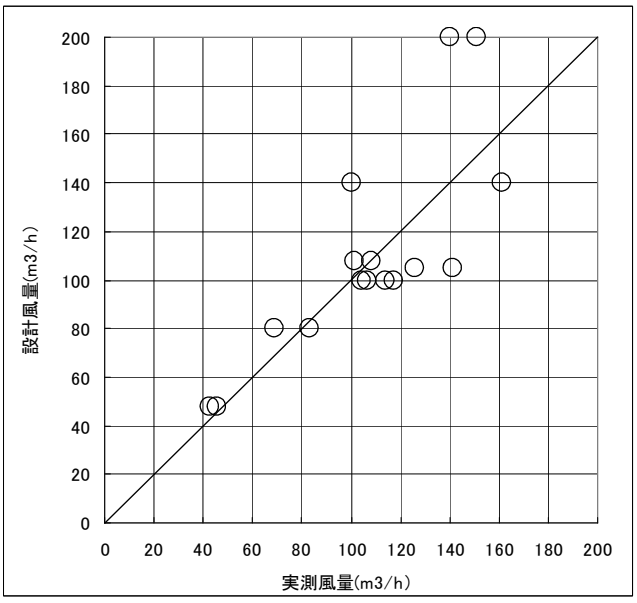
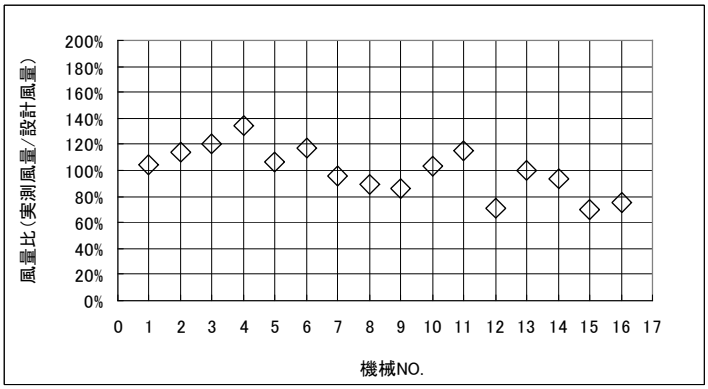


図3-43　換気設備1台毎の実測風量合計と設計風量



③共同住宅の現場で認められた問題点等

○風量ゼロの端末（トイレ）があった。排気風量合計も設計風量の 50%程度で、その後業者が機器を交換したが原因は把握できなかった。
○換気設備本体（天井ファン）に明らかな隙間が認められた。
排気風量合計が設計風量にやや不足しており、天井点検口から調査し発見した。
○浴室換気暖房システムで、設計風量を「強運転モード」の値で行っている物件が 2 件あった。
○天井点検口を開放すると、当該部位に相当量の風量が計測された。
○トイレを別系統（24 時間換気に用いない）とする方式で、トイレの扉アンダーカットからの空気の流出（トイレ→廊下）が認められた。
○端末設置室の建具および点検口の開・閉の状態が空気の流れに影響する傾向が認められた。

表 3-11　建具および点検口の状況と観測された空気の流れの概要（共同住宅）

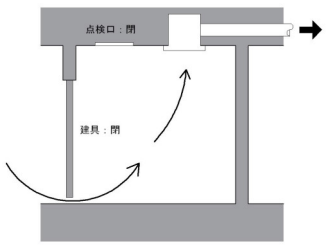
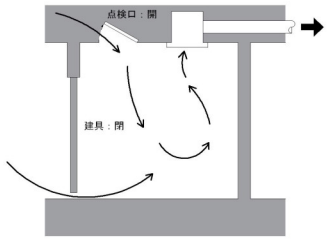
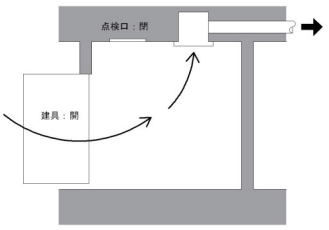
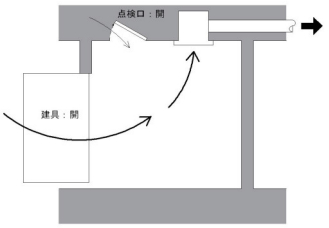
		天井裏点検口の状態	
		閉鎖	開放
建具の状態	閉鎖	 ・点検口の風量ゼロ ・空気は建具のアンダーカットから流入	 ・点検口の通過風量は換気ファン本体の排気風量の50%程度
	開放	 ・点検口の風量ゼロ ・空気は建具開放部より流入	 ・点検口通過風量はゼロの場合が多いが、本体排気風量の20%程度を計測した場合があった

写真 3-17　換気設備本体の筐体の隙間

（4）戸建住宅の換気設備

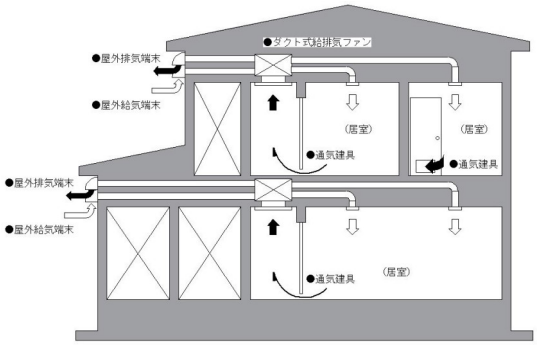
①調査住宅の概要

○給気パイプ用ファンは各居室の広さに対応して設置台数を計画
　ただし、空間の広さを無視した計画例もあった

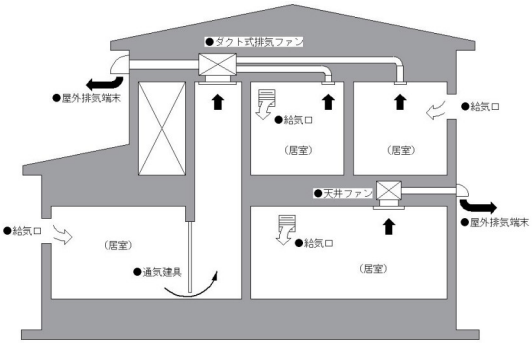
○排気パイプ用ファンは局所ファンを常時運転
　階段室に追加設置した例もあった

○第 1 種ダクト式換気設備
　全熱交換型、1 フロア 1 システム

○第 3 種ダクト式換気設備
　2 階をダクト式、排気ファンを 1 階に追加設置



参考図3-1　第1種ダクト式換気設備の代表例



参考図3-2　第3種ダクト式換気設備の代表例

②ダクトレス換気設備（給気）

調査住宅においてダクトレスの給気ファンを設置したものは、04 年調査で 6 物件、29 台、05 年調査で 4 物件、12 台であった。これらの給気ファンの実測風量と設計風量の関係を図 3-45 に示す。

設計風量を上回ったファンは 04 年調査で 1 台、05 年調査で 2 台であり、ほとんどが設計風量以下であった。

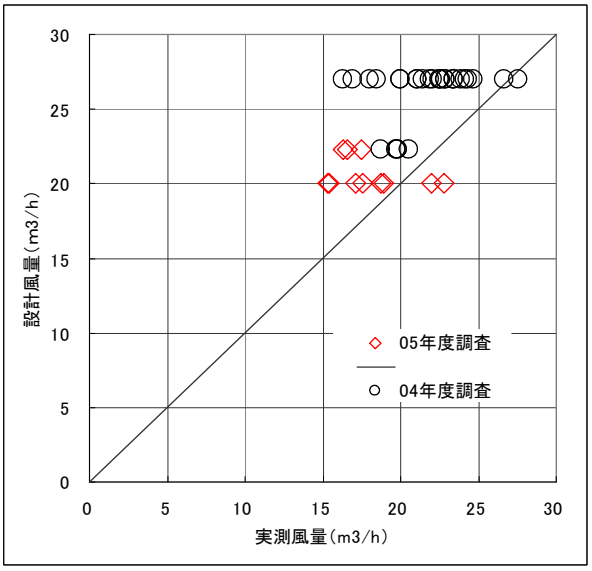


図 3-45　パイプファン（給気）の実測風量と設計風量

調査した給気ファンの風量比（実測値/設計値）を図 3-46 に示す。

風量比では 80%前後のものが多い。いずれのファンもパイプフードの圧損を見込んだ風量で計画しており、吹出しにおける風量測定器の精度(「風量測定装置の精度検証実験報告書」における［A］熱線式データ参照)が拡張フードで最大誤差 5%程度、標準フードで 10%程度であることを勘案しても設計風量を満足していない状況がありえると考えられる。

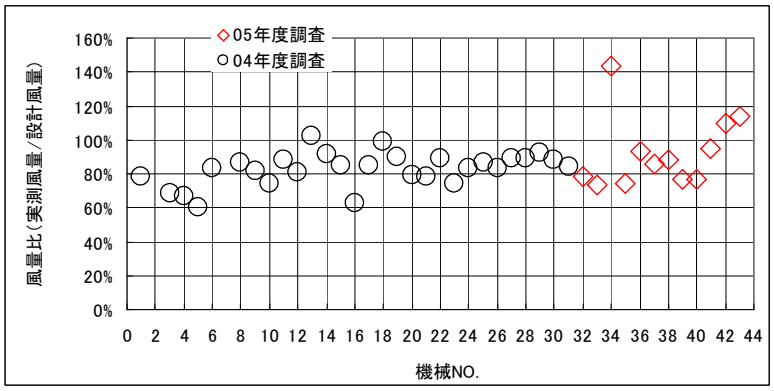


図 3-46　パイプファン（給気）の風量比（実測値/設計値）

調査対象は 3 機種(2 メーカー)であり、この結果が給気ファンの一般的性向を示しているとまでは言い難いが、設計で見込んだパイプフードの圧損がやや過小ではないかと疑われる。

③ダクトレス換気設備（排気）

調査住宅においてダクトレスの排気ファンを採用したものは 04 年度調査で 5 物件、11 台、05 年調査で 4 物件、7 台であった。

排気ファンの実測風量と設計風量の関係を図 3-47 に、風量比(実測値/設計値)を図 3-48 に示す。機械 No. 3，6～18 は機種が変更されたものまたは風量測定が不可能であったものである。

排気ファンも設計風量を満たしていないものが多い。いずれのファンもパイプフードの圧損を見込んだ風量で計画しており、吸込みにおける風量測定器の精度(前述資料参照)が比較的よいことを考慮すると排気ファンでも設計風量を満足していない状況がかなりあるといえるだろう。

ちなみに調査対象は 7 機種(2 メーカー)であり、給気ファンと同様に設計で見込んだパイプフードの圧損がやや過小ではないかと疑われる。

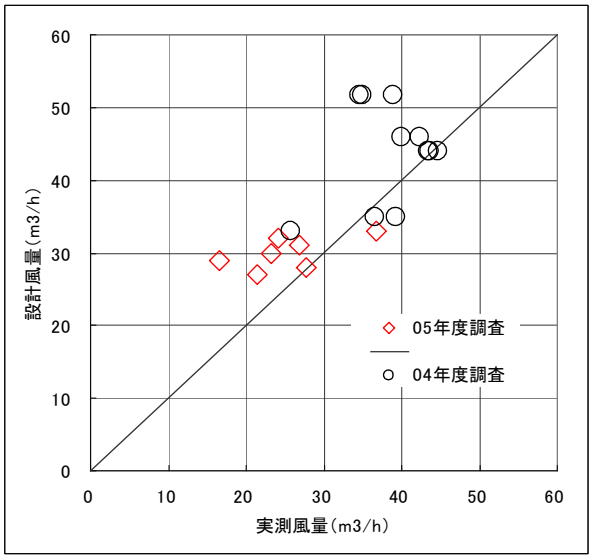


図 3-47　パイプファン（排気）の実測風量と設計風量

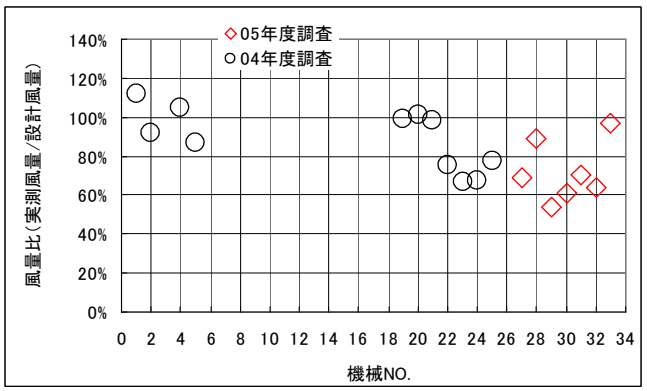


図 3-48　パイプファン（排気）の風量比（実測値/設計値）

④ダクト式換気設備（第１種・給気）

調査住宅において第１種ダクト式を採用したものは04 年度調査で 8 物件、機械台数 18、05 年度調査で 4 物件、機械台数 8（全て全熱交換型）であった。

これらの風量計算は全て「シックハウス対策マニュアル」における詳細法（A式）で行っており、計算に不備はなかった。また全てメーカーカタログ記載の有効換気量率を見込んでおり、うち 4 物件 8 台はさらに余裕率 10%を見込んで計算していた。

室内グリル端末数は合計 83 であり、これらの実測風量と設計風量の関係を図 3-49 に、風量比（実測値/設計値）を図 3-50 に示す。端末風量はバラツキが大きく、風量ゼロの端末が 2 箇所（いずれも 04 年度調査物件）あり、他は風量比で 60～180%であった。しかし、機械一台あたりの合計風量でみると（図 3-51、図 3-53）、風量比で 80%以上となっており、前述の風量測定器精度（吹出し）を勘案すると、設計風量をほぼ満足しているとみられる。また、過剰な風量となっているケースも少なく、省エネルギー面での問題も少ないであろう。

ただし、機械毎の最小風量の端末（最大圧損経路）の実測風量と設計風量の関係（図 3-52）をみると、設計風量未満のものが 11 ケースあり、風量 0 のケースと併せて不適切な施工状況が疑われる。

なお、風量測定器の検知範囲は 8m^3/h 以上であるため、実測結果の風量ゼロは 8m^3/h 未満の意味であり、必ずしも 0m^3/h ではない。

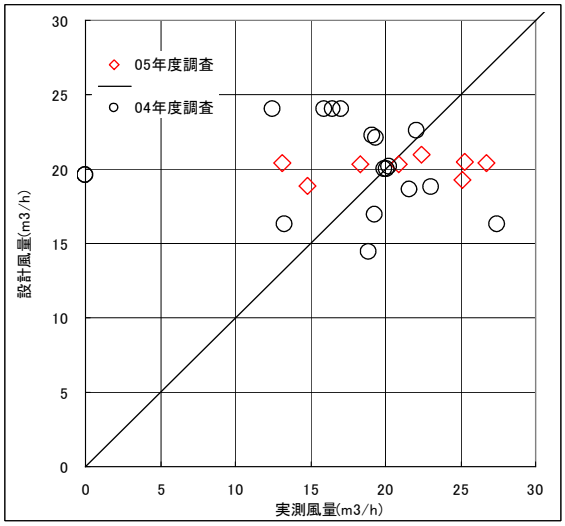


図 3-52　最大圧損経路の実測風量と設計風量
（第１種ダクト式（全熱交換型）給気系）

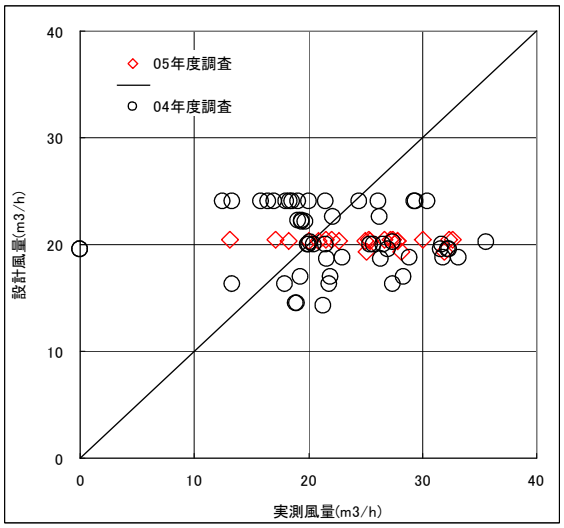


図 3-49　室内端末の実測風量と設計風量
（第１種ダクト式（全熱交換型）給気系）

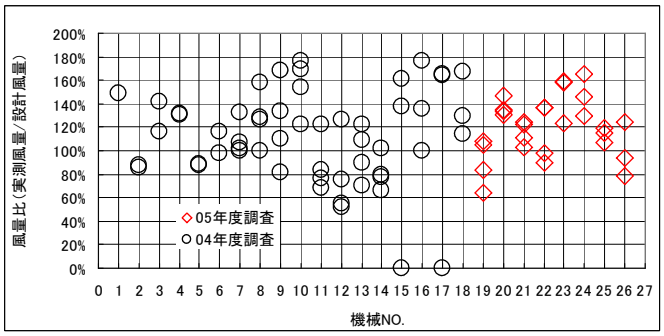


図 3-50　室内端末の風量比（実測値/設計値）
（第１種ダクト式（全熱交換型）給気系）

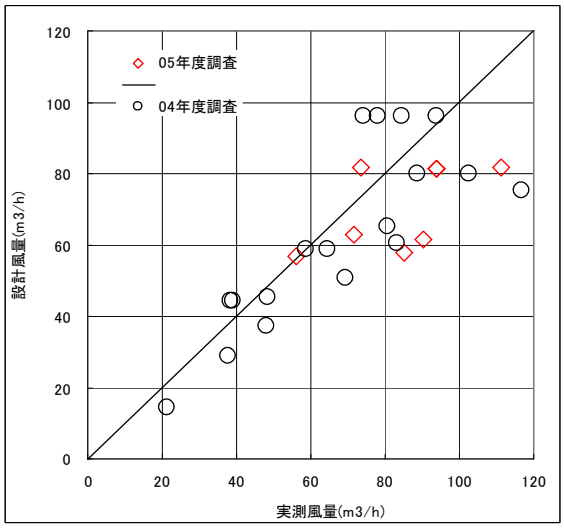


図 3-51　換気設備１台毎の実測風量合計と設計風量
（第１種ダクト式（全熱交換型）給気系）

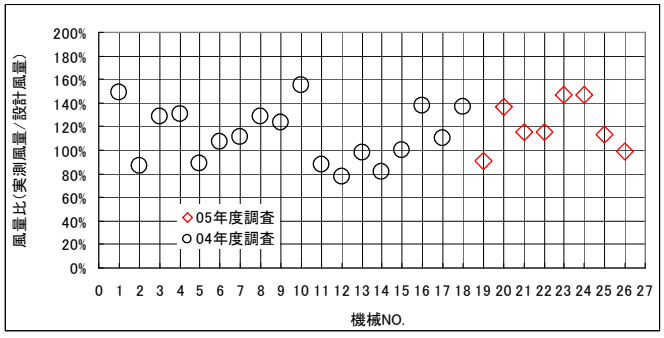


図 3-53　換気設備１台毎の風量比（実測値/設計値）
（第１種ダクト式（全熱交換型）給気系）

⑤ダクト式換気設備（第 3 種室内グリル端末）

調査住宅において第 3 種ダクト式(天井ファンを除く)を採用したものは 04 年度調査における 8 物件で、機械台数は 8 であった。(05 年度調査では当該方式の物件はなかった。)

これらの風量計算は全て「シックハウス対策マニュアル」における詳細法(A式)で行っており、計算に不備はなかった。またこのうち 4 物件 5 台は余裕率 10%を見込んで計算している。

室内グリル端末数は 29 であり、これらの実測風量と設計風量の関係を図 3-54 に、風量比(実測値/設計値)を図 3-55 に示す。また、機械一台あたりの合計風量について実測風量と設計風量の関係を図 3-56 に、風量比(実測値/設計値)を図 3-57 に示す。

前述の風量測定器精度(吸込み)を勘案すると、全般に設計風量をほぼ満足しているとみられる。ただし、設計風量の 2 倍を超える風量となっているケースがあり、省エネルギー的には風量を絞る等の対応が必要であろう。

また、機械毎の最小風量の端末(最大圧損経路)の実測風量と設計風量の関係(図 3-58)をみると、設計風量未満のものが 3 ケースあり、不適切な施工状況が疑われる。

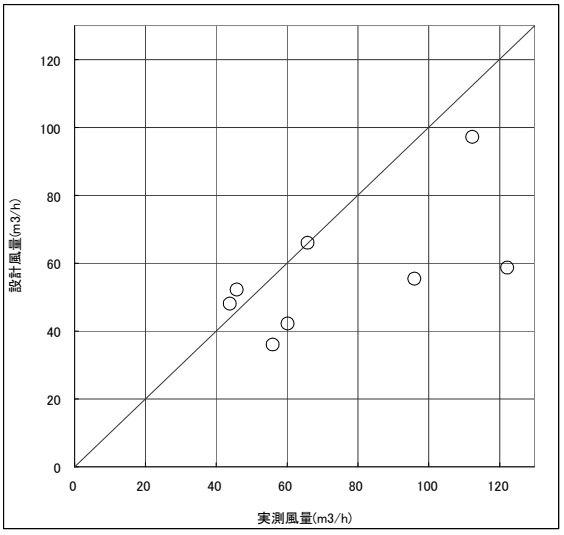


図 3-56　換気設備 1 台毎の設計風量と実測風量合計
第 3 種ダクト式室内グリル端末

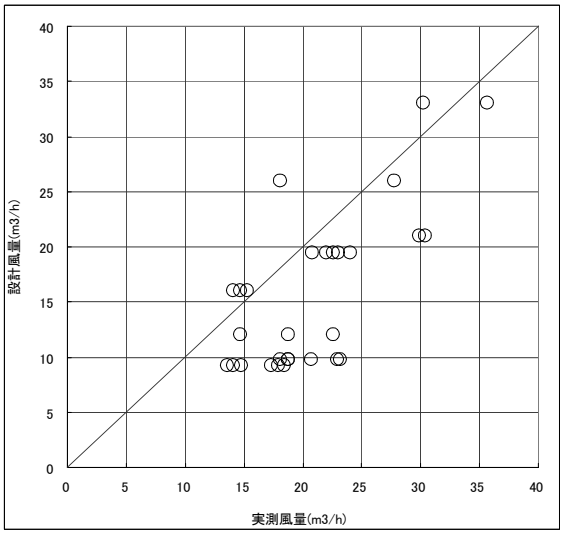


図 3-54　室内端末の実測風量と設計風量
第 3 種ダクト式室内グリル端末

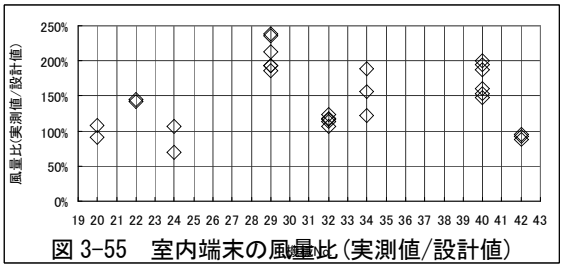


図 3-55　室内端末の風量比(実測値/設計値)
第 3 種ダクト式_室内グリル端末

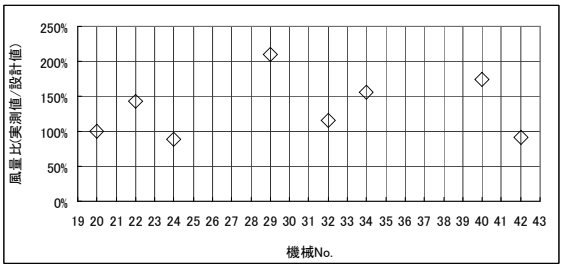


図 3-57　換気設備 1 台毎の風量比(実測値/設計値)
第 3 種ダクト式室内グリル端末

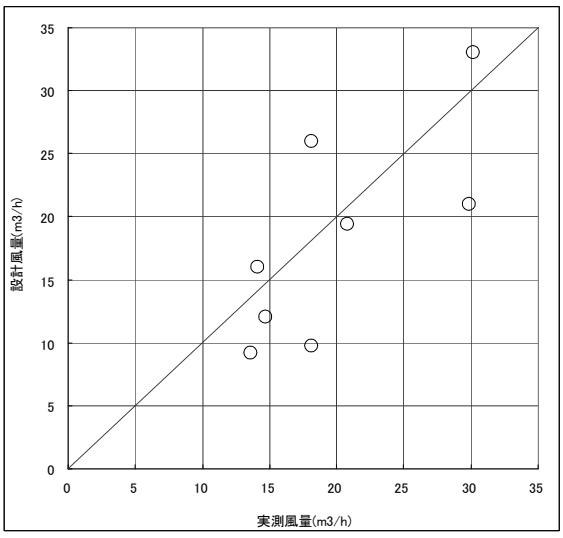


図 3-58　最大圧損経路の実測風量と計画風量
第 3 種ダクト式室内グリル端末

⑥ダクト式換気設備（第 3 種天井ファン）

調査住宅において第 3 種ダクト式(天井ファン)を採用したものは 04 年度調査で 8 物件、機械台数は 13、05 年度調査で 2 物件、機械台数 4 であった。

04 年度調査の 8 物件の風量計算は全て「シックハウス対策マニュアル」における詳細法（A式）で行っており、計算に不備はなかった。またこのうち 5 物件 5 台は余裕率 10%を見込んで計算している。しかし、05 年度調査の 2 物件については風量計算書を入手できなかった。

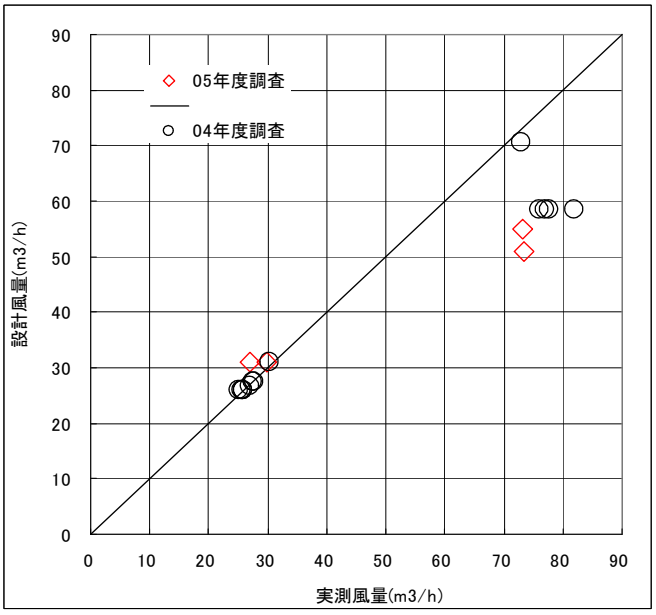


図 3-59　室内端末の実測風量と設計風量
第 3 種ダクト式_天井ファン

両年度調査における実測風量と設計風量の関係を図 3-59 に、風量比(実測値/設計値)を図 3-60 に示す。

天井ファンの実測風量と設計風量はほぼ一致している。これは、パイプファンに比べて機械の機外静圧が大きく、ダクト式としては経路が短く単純であるためと考えられる。

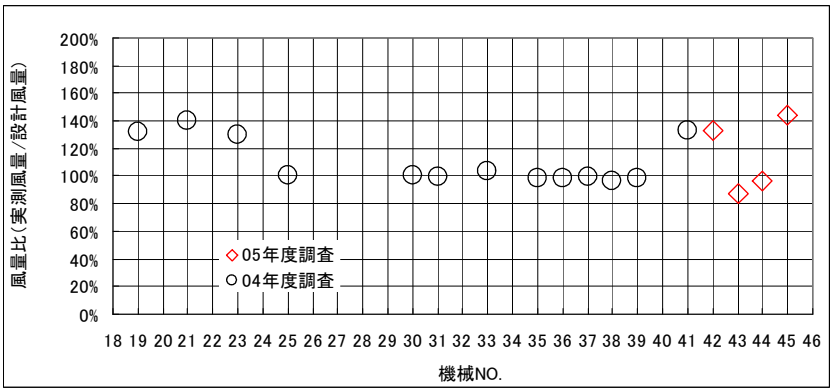


図 3-60　室内端末の風量比（実測値/設計値）
第 3 種ダクト式_天井ファン

(5) 設計施工に関して

調査住宅 48 物件（04 年度調査 24 物件、05 年度調査 24 物件）において、換気設備の不具合および実施段階での仕様変更等が発生した事例を表 3-12 に示す。

表 3-12　調査住宅における換気設備の不具合および変更事項の内容

不具合および変更事項		調査年度	住宅種別
不具合事項	・スイッチを入れても作動しない排気ファンがあった	2004	戸建
	・風量ゼロの室内端末があった		
	・風量ゼロの副端末があり、機器を交換した	2005	共同
	・機器本体のダクト接続パネルが外れかかっていた		
	・天井チャンバー給気方式で、内装各部位の隙間の空気流動が観測された		
	・局所換気のトイレから空気の流入が観測された		
	・設計風量が強運転モードの値であった(24時間換気モードではない)		
	・間仕切壁の一部を切り欠いてパイプファンが設置されていた		戸建
	・天井点検口が断熱材で覆われており、天井裏にアクセスできない		
変更事項	・給気ファンを省略	2004	戸建
	・排気ファンを給気ファンに変更		
	・ダクト式(排気)をパイプファンに変更		
	・パイプファン(排気)を天井ファンに変更		
	・局所換気用として計画した排気ファンを常時換気用に変更		
	・端末位置を変更		
	・換気設備の機械本体位置を変更		
	・第1種換気を第3種換気に変更		

参考資料①　風量測定ができなかった事例

大きすぎる端末

同時給排気型換気扇

測定器が窓にかかる

照明器具と壁の近傍

凹凸のある仕上げ面

壁に嵌り込んだ端末

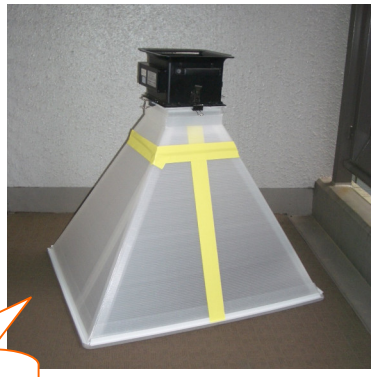
参考資料②　風量測定が難しい事例

軒天の換気用有孔ボードに取り付けられた屋外端末

接近した２連の屋外端末外壁の凹凸も障害となる

参考資料③　風量測定状況

窓を塞いで測定



風量測定器用
簡易大型フード

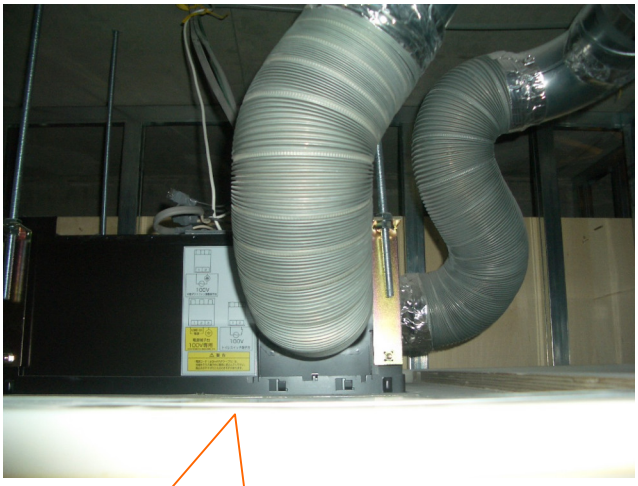
屋外端末の測定
状況

室内端末の測定
状況

参考資料④　同時給排気型換気扇の風量測定

風量測定器のフードがはみ出た部分に蓋をして、給気および排気のそれぞれを測定

参考資料⑤　ダクトの施工例



共同住宅_換気ユニット接続部
（浴室換気システム）

戸建住宅_50φフレキシブルダクト
（第１種全熱交換型換気システム）

参考資料⑥　その他の現場事例

断熱材が敷かれた点検口

雨樋との取り合い

2層管の屋外端末

屋外端末近傍の
外部工作物

参考資料⑦　換気システムのスイッチ

多機能なスイッチ
（浴室換気乾燥システム）
設定状況の把握が難しい

換気システムの
カバー付スイッチ

４．　換気能力の低下実験

4-1 目的

住宅の換気設備におけるフィルターの役割は、給気系統においては外気に含まれる浮遊粉塵や花粉、昆虫等を室内に持ち込まない事と送風経路の汚れを防止する事であり、排気系統においては送風経路（特に送風機の羽根やシャッター）の汚れを防止することにある。また、汚れの防止は送風機の能力低下を防止する目的を含み、風量低下や圧力損失増大を抑制している。フィルターは地味な存在ではあるが、住宅の換気システムが正しく機能するために必要な構成部材の一つといえる。

しかし、不織布等で汚れを濾過するフィルターの性質上、メンテナンスが不可欠であり（フィルターが無ければダクトや送風機のメンテナンスが大変になるが)、換気扇メーカーのカタログや取扱説明書には、一般的にフィルター清掃の目安として２か月、交換の目安として１年と記されている。ただし、住宅用換気システム用のフィルターは換気扇メーカーの専門店への注文などが必要で、ルームエアコンのようにホームセンターや家電量販店、スーパーマーケット等で容易に購入することができず、交換時期が遅れてしまいがちとなって設計どおりに換気システムが機能していないことが危惧される。

本業務は上記のようなフィルターの重要性と維持管理上の問題を取り上げ、フィルターの汚れの進み具合によって換気能力がどの程度低下するのかを実験によって明らかにすることを目的としたものである。

4-2 概要

実際の住宅および屋外に送風機とフィルターを有する実験装置を設置し、定期的[1]に風量と圧力、吸い込み及び吹き出し口の粒子数を計測する。

(1) 実験手順とスケジュール

図 3-61 に示すように、本実験は下記の手順で行った。

① 全ての実験装置の初期性能を記録する。
- 風量
- P-Q 特性

② 各実験装置を実験場所に設置し、運転を行う。

③ 運転開始後、約 1 か月で 1 回目の測定を行う。
- 風量
- P-Q 特性
- 吸い込み、吹き出し粒子数　等

④ ③の後、約 1 か月で 2 回目以降の測定を行う。
- 風量
- P-Q 特性
- 吸い込み、吹き出し粒子数　等

⑤ 最後の測定終了後、付着した汚れの物理的、化学的分析を行う。

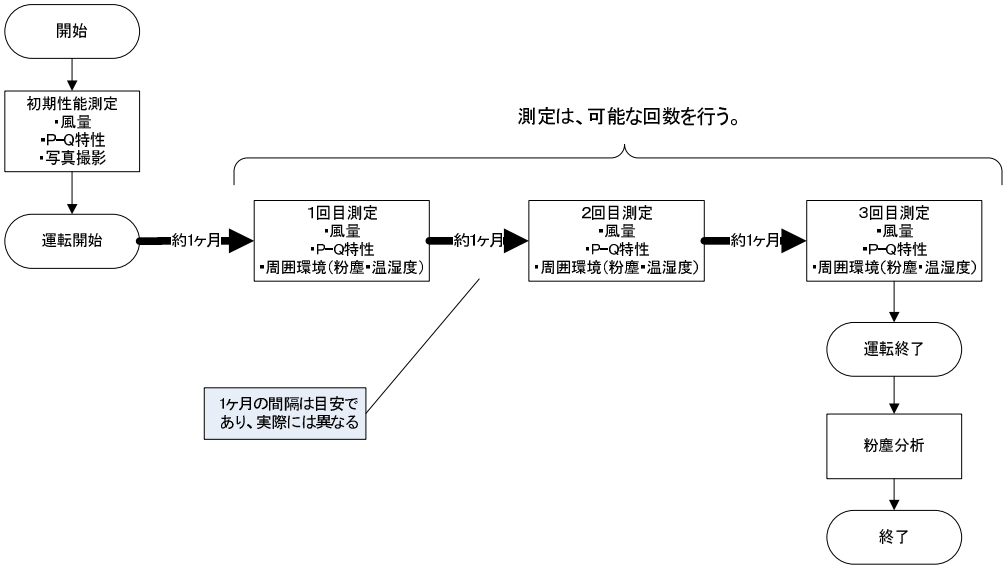


図 3-61　実験の流れ

[1] 機材を持ちまわりで計測したので、実際には非定期的な計測となった。

(2) 実験装置

図 3-62 および図 3-63 に実験装置の概要図を示す。また、写真 3-18 から写真 3-21 に実験装置の写真を示す。

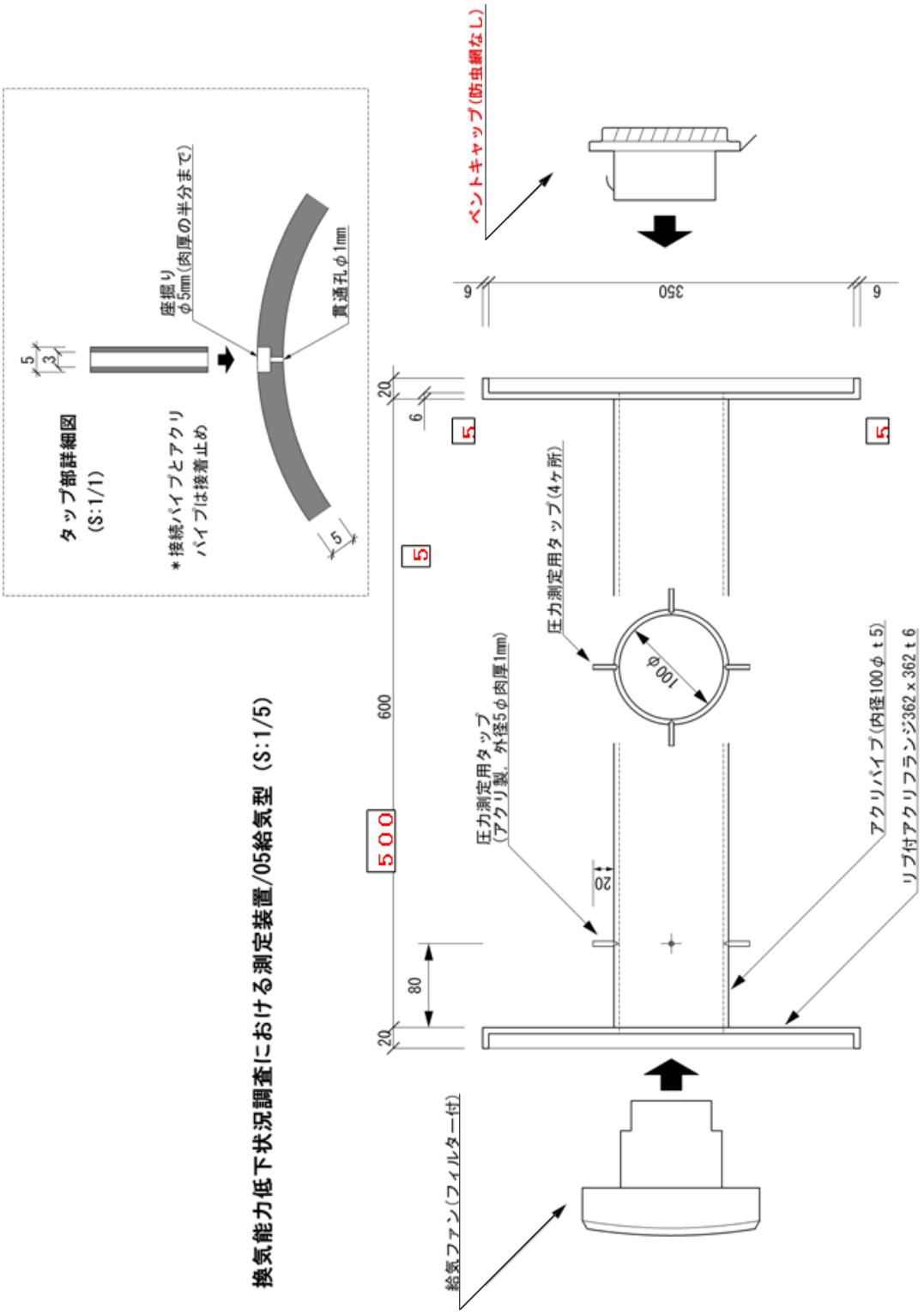


図 3-62　排気用実験装置

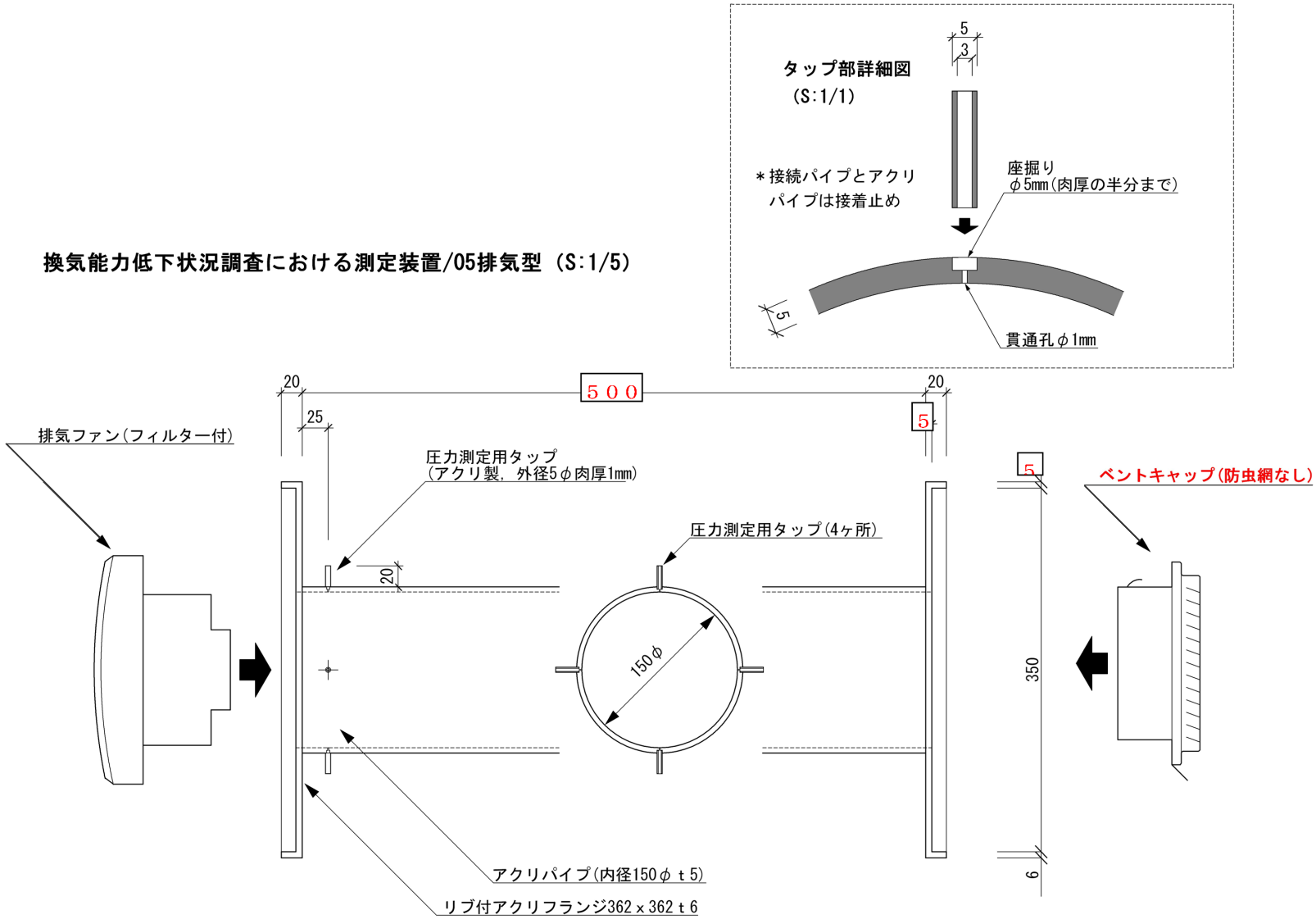


図 3-63　給気用実験装置

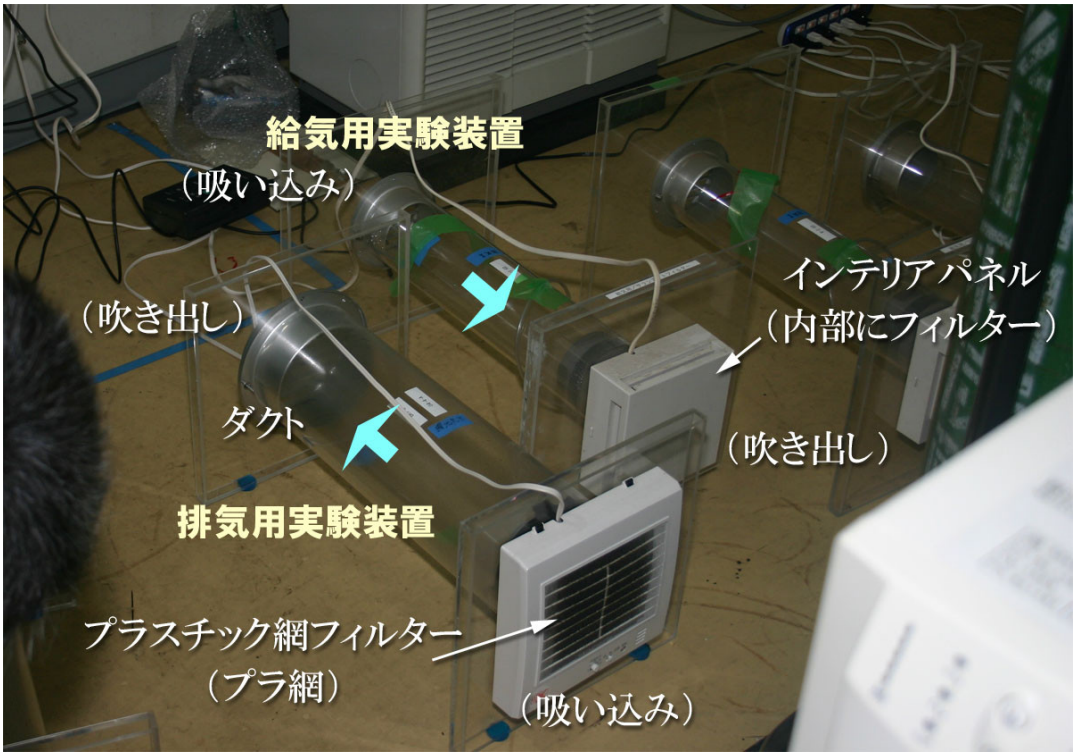


写真 3-18　実験装置の外観

写真 3-19　排気用ファン（実験後の状態）

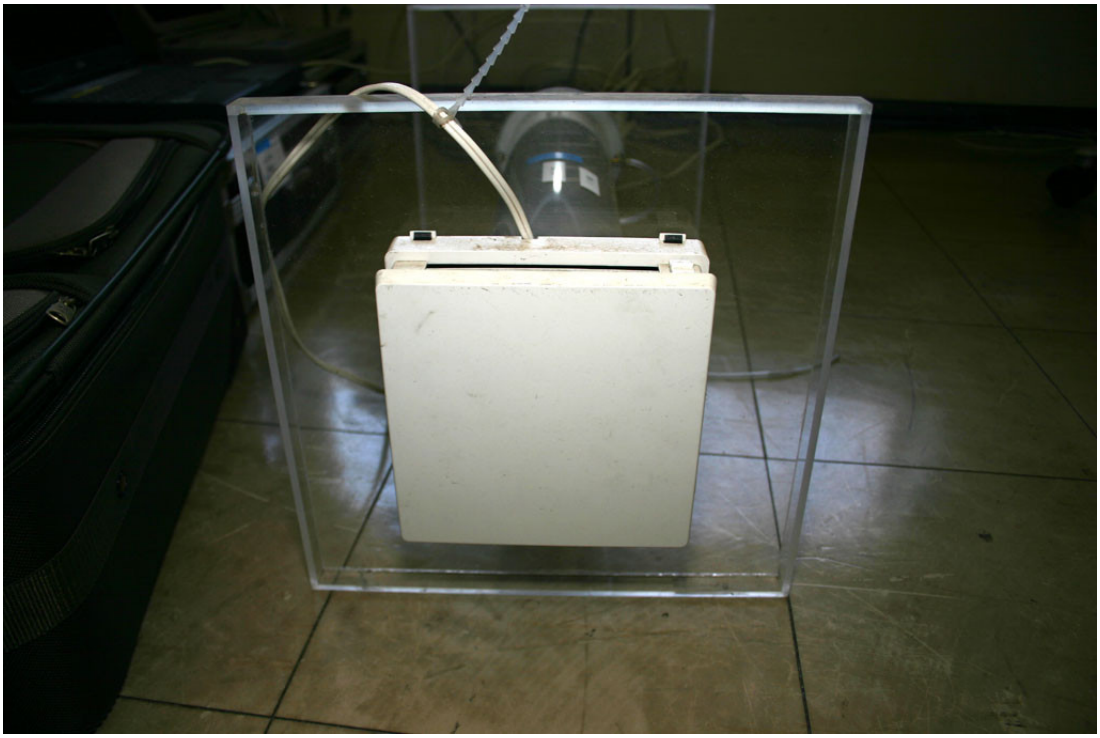


写真 3-20　給気用ファン（実験後の状態）

写真 3-21　他の端部（排気用装置における吹き出し部、給気用装置における吸い込み部）

(3) フィルター

本実験では、表 3-13 および写真 3-22 から写真 3-25 に実験装置に用いたフィルターを示す。なお、フィルター名は本報告書では下記のように表現する。

- サランネットフィルターは、「捕集率 30%」と記す。
- 不織布フィルターは、「捕集率 80%」と記す。
- 高性能除塵フィルターは「捕集率 98%」と記す。
- プラスチック網フィルターは「プラ網」と記す。
- フィルター無しは「なし」と記す。

表 3-13　フィルターの種類

フィルター種類		給気用		排気用	
		2004 年型	2005 年型	2004 年型	2005 年型
1. サランネットフィルター	捕集率※1 30%		2 台		
2. 不織布フィルター	捕集率※1 80%	2 台			
3. 高性能除塵フィルター※2	捕集率※1 98%		2 台		
4. プラスチック網フィルター	粗塵用			2 台	2 台
5. なし	パネル無し 電磁ｼｬｯﾀｰのみ			2 台	2 台
設置場所		事務所等 2 箇所		住宅 4 箇所 （戸建 3、集合 1） リビング、書斎、洋間、台所	

※1　捕集率は重量法による。
※2　高性能除塵フィルターは、空調用フィルターとしては中性能フィルターに該当する。

写真 3-22　サランネットフィルター

写真 3-23　不織布フィルター（平成 16 年度に製作した実験装置用）

写真 3-24　不織布フィルター（平成 17 年度の実験装置用）

写真 3-25　プラスチック網フィルター（プラ網）

写真 3-26　フィルター無しの排気型実験装置の吸い込み状態

(4) 設置場所

表 3-14 に設置場所の概要を示す。また写真 3-27 から写真 3-30 に実験装置の設置状態の写真を示す。なお、実験を行った住宅および事業所は全て換気設備の専門家の自邸および企業である。

表 3-14　設置場所の概要

種別	設置場所			設置場所の特徴
排気	KW 邸	室内	書斎	• 茨城県龍ヶ崎市 • 戸建住宅 • 執務室として使用している 6 畳の書斎 • 使用者は 1 人だけだが、パソコンと書類・書籍・機材が多い
	TJ 邸		洋間	• 千葉県我孫子市 • 集合住宅 • 使用頻度は低い
	ST 邸		居間	• 茨城県つくば市 • 戸建住宅 • 家族が利用し、ペットが多い
	SW 邸		台所	• 茨城県つくば市 • 戸建住宅 • 台所の冷蔵庫の上に実験装置を設置
給気	BR 社	屋外	筑波	• 茨城県つくば市 • 郊外の研究所の 6 階バルコニー
	SP 社		都内	• 東京都渋谷区 • マンション 2 階のバルコニー • 甲州街道、首都高 4 号線（高架）に隣接し、中央環状線初台ｼﾞｬﾝｸｼｮﾝ道路が工事中。設置場所ﾊﾞﾙｺﾆｰは甲州街道反対側で　緑道に面する

写真 3-27　KW 邸における実験装置の設置状態（書棚の上に配置）

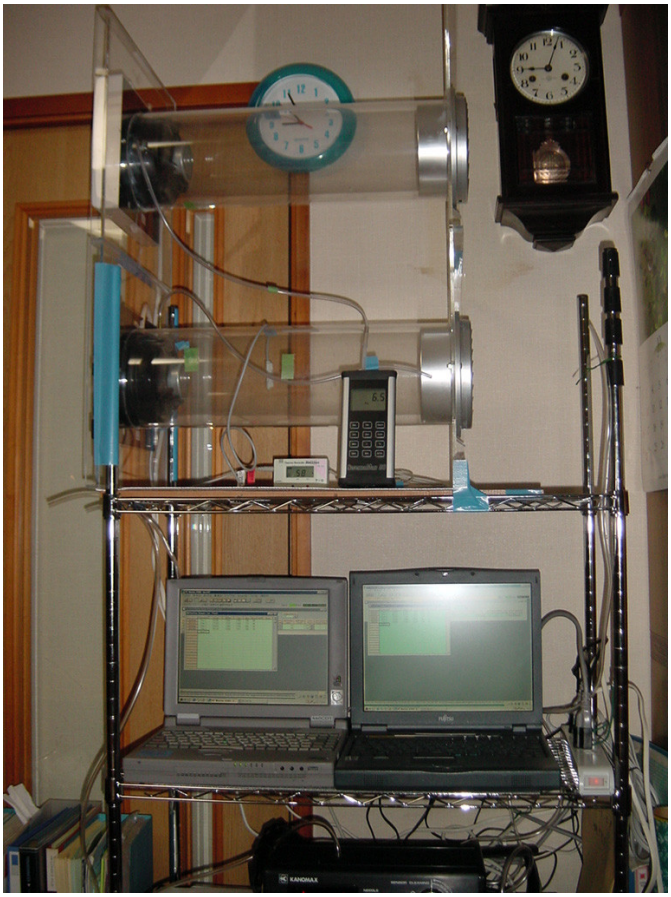


写真 3-28　ST 邸における実験装置の設置状態（ラックを上に配置）

写真 3-29　SW 邸における実験装置の設置状態（冷蔵庫と家具の上に配置）

写真 3-30　SP における実験装置の設置状態（バルコニーの床に設置）

(5) 測定項目

表 3-15 に測定項目の一覧を示す。

表 3-15　測定項目

測定項目	測定方法
風量	• 熱線式風量計で吸い込み風量を計測する
浮遊粉塵	• パーティクルカウンターで粒子数を 24 時間以上連続して記録する ➢ 屋外（給気用実験装置）にて長時間の連続計測が困難な場合は時間を短縮する ➢ 2 台のパーティクルカウンターを用いて実験装置の吸い込み部と吹き出し部を同時に記録する • ピエゾバランス粉塵計にて測定期間中の粉塵量（重量）を記録する ➢ パーティクルカウンターでの計測中にスポットで行う。 • イオンクロマトグラフ法等で粉塵成分の解析を行う。
周囲空気温湿度	• メモリ内蔵温湿度計にて、浮遊粒子数測定時の温度・湿度を記録
ダクト内外静圧差	• 差圧計でダクト内外の静圧差を記録 • 屋外用端末に通気抵抗となるテープを貼り付けて P-Q 特性を記録する
写真	• フィルター、ファン、ダクト、シャッター等

①風量

熱線式風量計「SWF-125」（販売：コーナー札幌㈱）を用いて吸い込み部で風量を計測する。ただし、この風量計の測定範囲は 8～450m³/h であるので、フィルターの汚れなどで実験装置の風量が 10m³/h 程度となった場合に計測不能、または精度悪化が生じる。

測定範囲：8～450m³/h、重量：1.7kg

写真 3-31　熱線式風量計（SWF-125）

②浮遊粒子数

パーティクルカウンター（光散乱式自動粒子計数器）にて、①0.3μm以上、②0.5μm以上、③1.0μm以上、④2.0μm以上、⑤5.0μm以上の各サイズの粒子数（0.5ℓの大気中に含まれる粒子の数）を計測する。

なお計測は、図 3-64 のように 2 台のパーティクルカウンターと記録用 PC を用い、実験装置の吸い込み側と吹き出し側の空気を同時にサンプリングする[2]。この方法により、吸い込み側で測定した粒子数を周辺空気、大気の浮遊粒子数として評価し、吸い込み側の粒子数から吹き出し側の粒子数の相違からフィルターで捕集される粒径が把握できる。また計測は 1 台の実験装置あたり 24 時間以上の計測を行うことで 1 日の周期的な変動を考慮したデータとする。

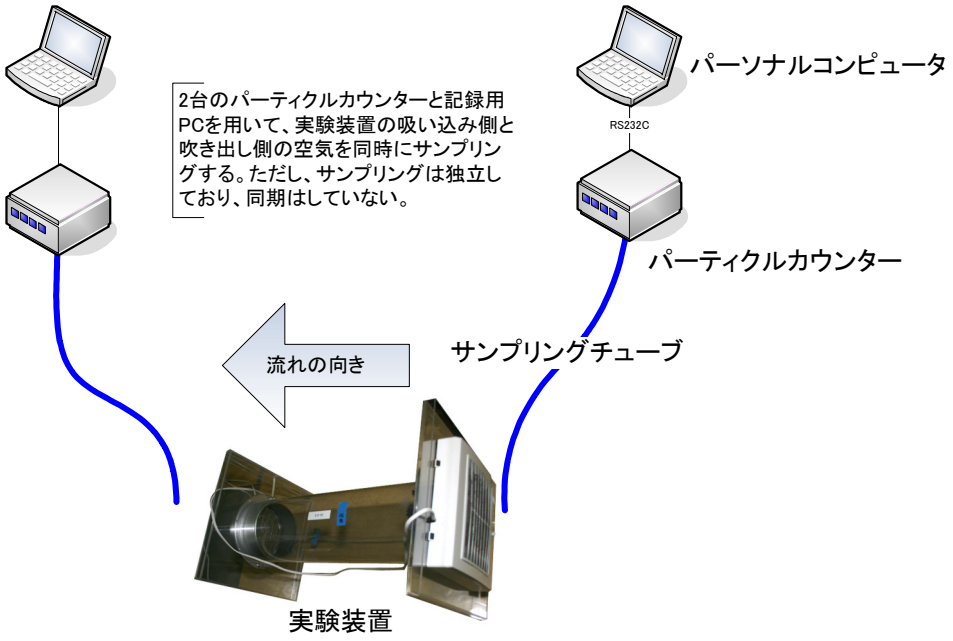


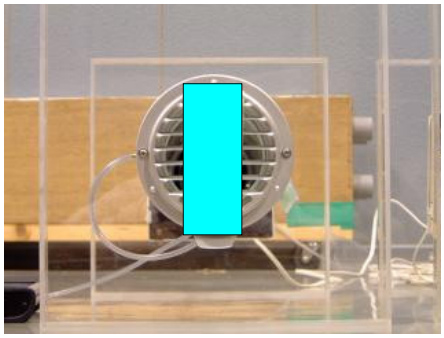
図 3-64　浮遊粒子数の測定イメージ

[2] ただし、吸い込み側と吹き出し側のサンプリングは独立しており、同期はしていない。

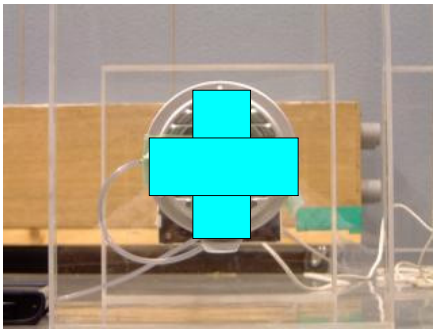
③ダクト内外静圧差

写真 3-33 に示す圧力タップと微差圧計で実験装置のダクト内と周囲空間との静圧差を測定した。この測定ではヨゴレ等による圧力損失は n 値<2 と考えられるため、⊿P と Q のデータの組み合わせが複数必要となる。そのため、測定は実験装置の屋外フードに抵抗を加えて 4 パターンの測定を行った。

パターン 1：解放（通常状態）
パターン 2：テープ 1 枚貼付（写真 3-32　写真左参照）
パターン 3：テープ 2 枚貼付（写真 3-32　写真右参照）
パターン 4：屋外フードの完全閉鎖

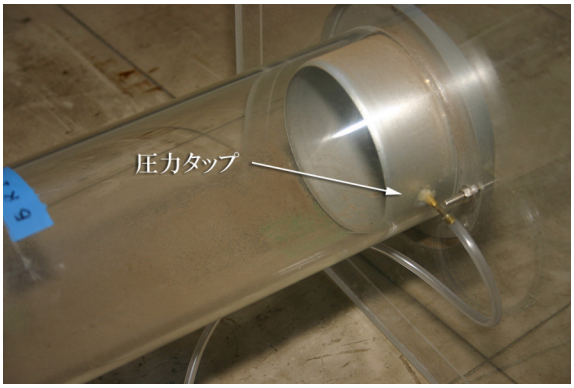


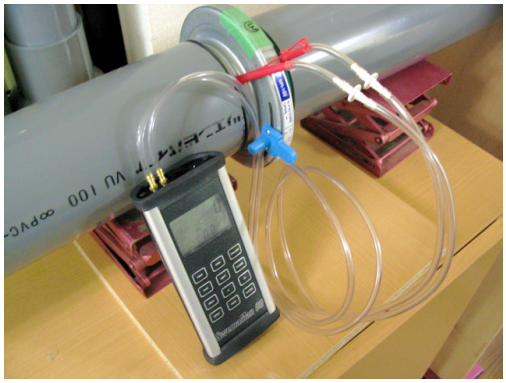
テープ 1 枚貼付



テープ 2 枚貼付

写真 3-32　抵抗となるテープの貼付イメージ





※背景のダクトは関係なし

写真 3-33　実験装置の静圧測定法　左：圧力タップ、右：差圧計（SwemaMan80）

(6) 実施状況

表 3-16 に示すような日程にて、各実験装置での計測を行った。

9 月実施分は、全ての実験装置の発送前の予備測定であり、2005 年 9 月 7 日に実施している。その後、BR を除く 5 箇所へは装置の発送や設置の為に数日以上の遅れが生じているので、BR だけを 1 回目の風量・P-Q 測定を 9 月 7 日とし、他の 5 箇所については、設置後の測定を 1 回目の計測値とした。

表 3-16　実施状況

種別	設置場所			フィルター	測定記録							
					2005年				2006年			
					9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
排気	KW邸	室内	書斎	プラ網	1回目		2回目			3回目		
				無し								
	TJ邸		洋間	プラ網	1回目	2回目				3回目		4回目
				無し								
	ST邸		居間	プラ網	1回目	2回目	3回目		4回目			
				無し								
	SW邸		台所	プラ網	1回目				2回目		3回目	
				無し								
給気	BR	屋外	筑波	捕集率98%	1回目	2回目	3回目					4回目
				捕集率80%								
				捕集率30%								
	SP		都内	捕集率98%	※1 1回目	※2 2回目	※2 3回目	4回目				5回目
				捕集率80%								
				捕集率30%								

※1:予備測定

※2:風量測定のみ

4-3 実験結果と考察

(1) 排気ファンの汚れの状況

排気用実験装置の埃の付着状況は装置外部から目視で観察できるので、写真撮影記録を元に埃の付着状況についてまとめる。

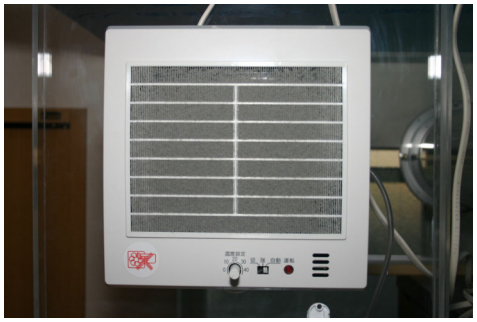
①最終測定日の状態

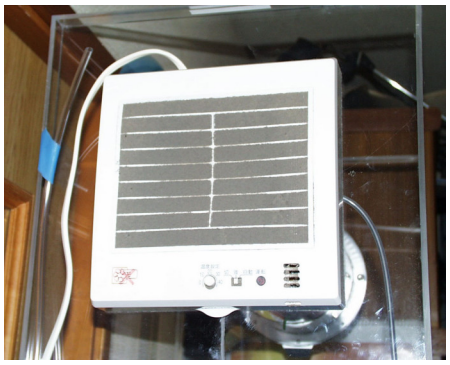
表 3-17 に排気用実験装置の最終日の埃の付着状態写真を示す。以下にその特徴をまとめる。

【考察】

- KW（書斎）と TJ（洋間）は、書斎や洋間という使用者が限られた居室での実験である。そのためか目視では綿埃の付着が顕著である。
- KW（書斎）は TJ（洋間）よりも経過日数が短いにも係わらず、綿埃がプラスチック網フィルター（図中では“プラ網”と記す）の全面を覆っている状態である。TJ（洋間）はプロペラ部分にのみ埃が付着し、周囲への埃の付着は少ない。
- ST（居間）の埃の付着が著しく、プラスチック網フィルターがたわんでいる状態にある。
- SW（台所）は油の付着が顕著である。
- フィルターなしの状態では、ST（居間）において埃が固まり状に成長して流れを妨げている状態であった。しかし ST（居間）以外ではシャッターに埃が付着する程度で流れを阻害するほどではない。

表 3-17　排気用実験装置の埃の付着状態（最終測定日）

	プラスチック網フィルター	フィルターなし
KW 排気 書斎		
	125 日経過	
TJ 排気 洋間		
	164 日経過	

	プラスチック網フィルター	フィルターなし
ST 排気 居間		
	108 日経過	
SW 排気 台所		
	48 日経過	

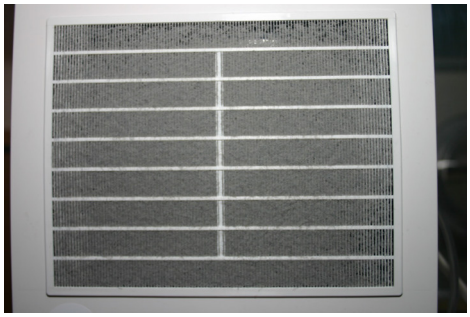
②各実験装置の経時変化

a）KW（書斎）における埃の付着状態

表 3-18 に埃の付着状態の変化を、写真 3-34 と写真 3-35 に最終測定の埃の付着状態の拡大写真を示し、以下にその考察を記す。

- 測定 2 回目の埃はプロペラ部分に集中し、まだ隙間が見られる。“フィルターなし”のシャッターのエッジに綿埃が引っかかっている。
- 最終測定の状態では、プラスチック網フィルターの全面を埃が覆い、ほとんど隙間が見られない状態である。フィルターなしの状態でも、埃の塊が成長している。

表 3-18　KW（書斎）における埃の付着状態の変化

測定回数	プラスチック網フィルター	フィルターなし
2 回目		
最終測定		

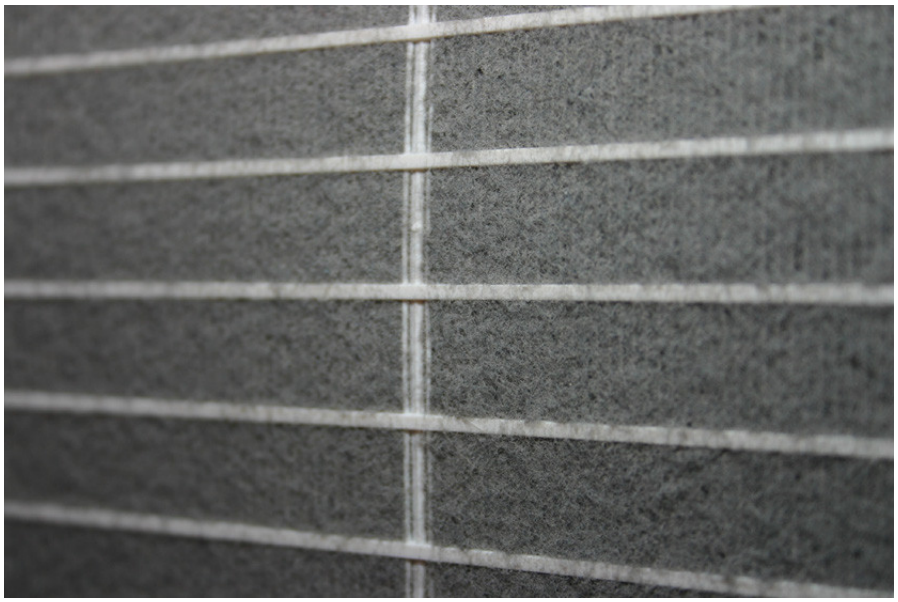


写真 3-34　KW（書斎）における埃付着状態（プラ網、最終測定）

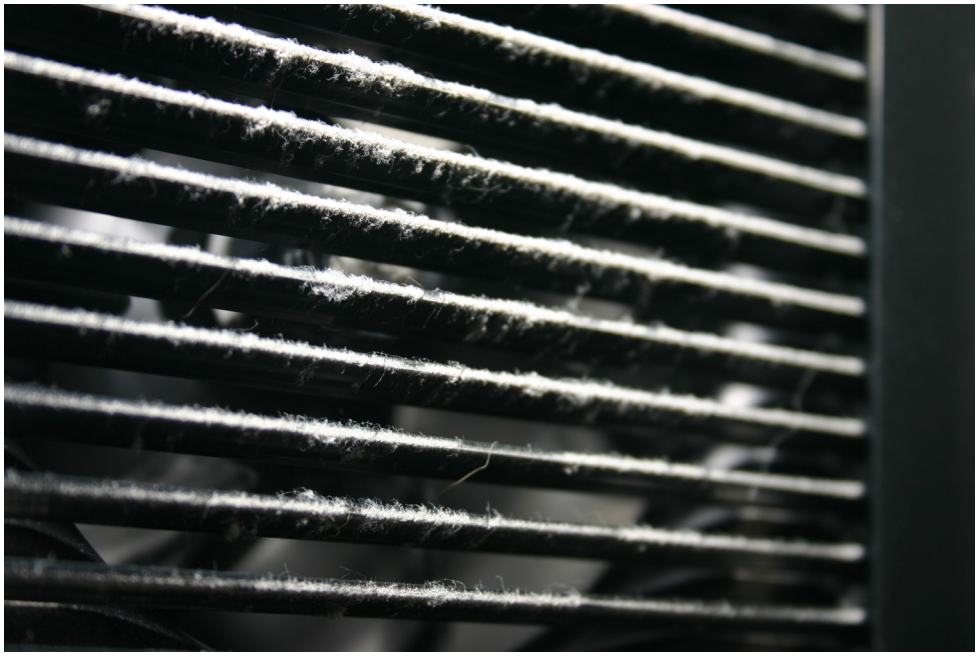


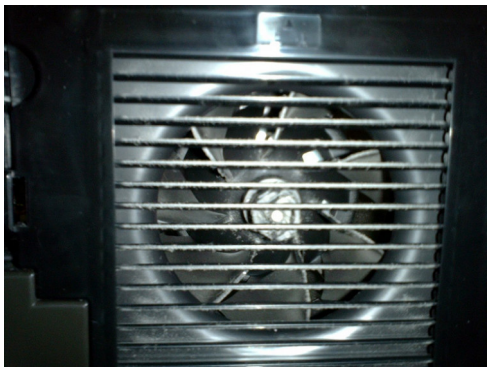
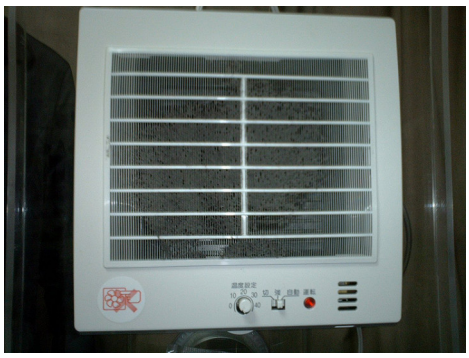
写真 3-35　KW（書斎）における埃付着状態（フィルタなし、最終測定）

b）TJ（洋間）における埃の付着状態

表 3-19 に埃の付着状態の変化を、写真 3-36 と写真 3-37 に最終測定日埃の付着状態の拡大写真を示し、以下にその考察を記す。

- 測定 2 回目の写真では埃の付着はわずかであり比較的きれいな状態にある。
- 測定 3 回目の写真だとプラスチック網フィルターにはプロペラを中心に埃の付着が顕著になり、フィルターなしの写真ではプロペラへの埃の付着が確認できる。
- 最終測定では埃の付着範囲が拡大し、隙間も少なくなっている。
- 拡大写真では長い繊維状の埃の付着が確認でき、プロペラ部での隙間がほとんど無くなっていることが解る。

表 3-19　TJ（洋間）における埃の付着状態の変化

測定回数	プラスチック網フィルター	フィルターなし
2 回目		
3 回目		
最終測定		

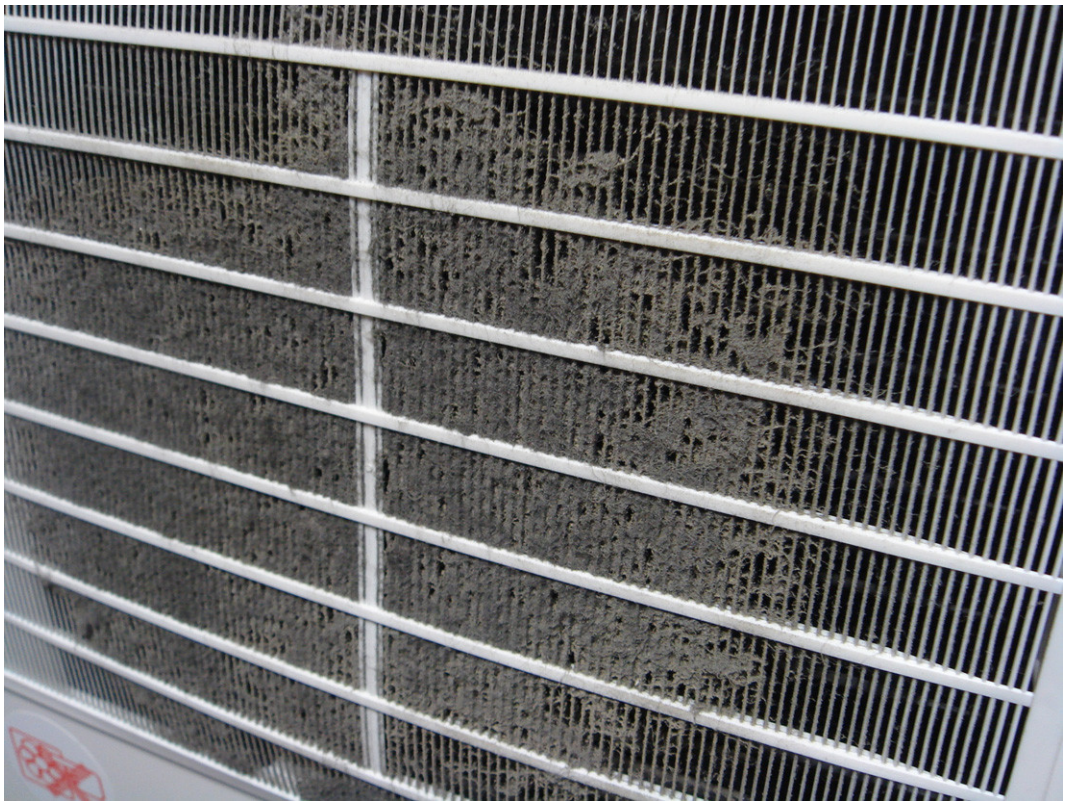


写真 3-36　TJ（洋間）における埃付着状態（プラ網、最終測定）

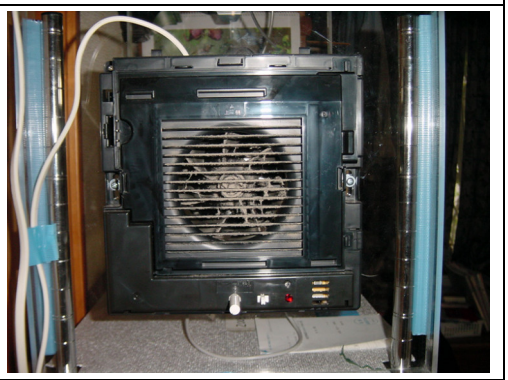
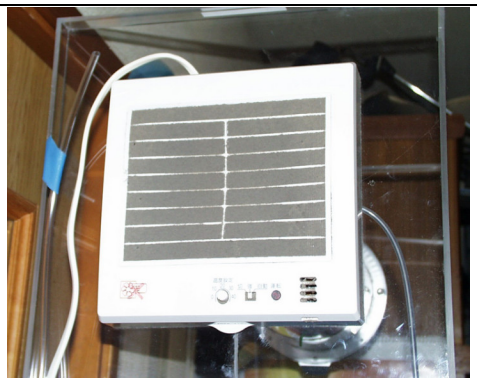
写真 3-37　 TJ（洋間）における埃付着状態（フィルタなし、最終測定）

c）ST（居間）における埃の付着状態

表 3-20 に埃の付着状態の変化を、写真 3-38 と写真 3-39 に最終測定の埃の付着状態の拡大写真を示し、以下にその考察を記す。

- 測定 2 回目（運転開始後約 1 か月）で既にプラスチック網フィルターの大半を埃が覆い、フィルターなしでもシャッターやプロペラに埃の付着が確認できる。
- 最終測定（運転開始後約 4 か月）では、プラスチック網フィルターの全てを埃が覆いつくし、プラスチック網フィルターが反り返っていることが確認できる。フィルターなしでは、シャッターに付着した埃が塊となってシャッターを塞いでいる状態である。
- 写真 3-38 の拡大写真では、反り返ったプラスチック網フィルターと全面を覆う埃、反り返ることで生じた隙間から空気が吸い込まれるのでそこに付着し始めた埃などが観察される。
- 写真 3-39 では、埃の塊が複数のシャッターをまたいで成長していることが確認された。

表 3-20　ST（居間）における埃の付着状態の変化

測定回数	プラスチック網フィルター	フィルターなし
2 回目		
最終測定		

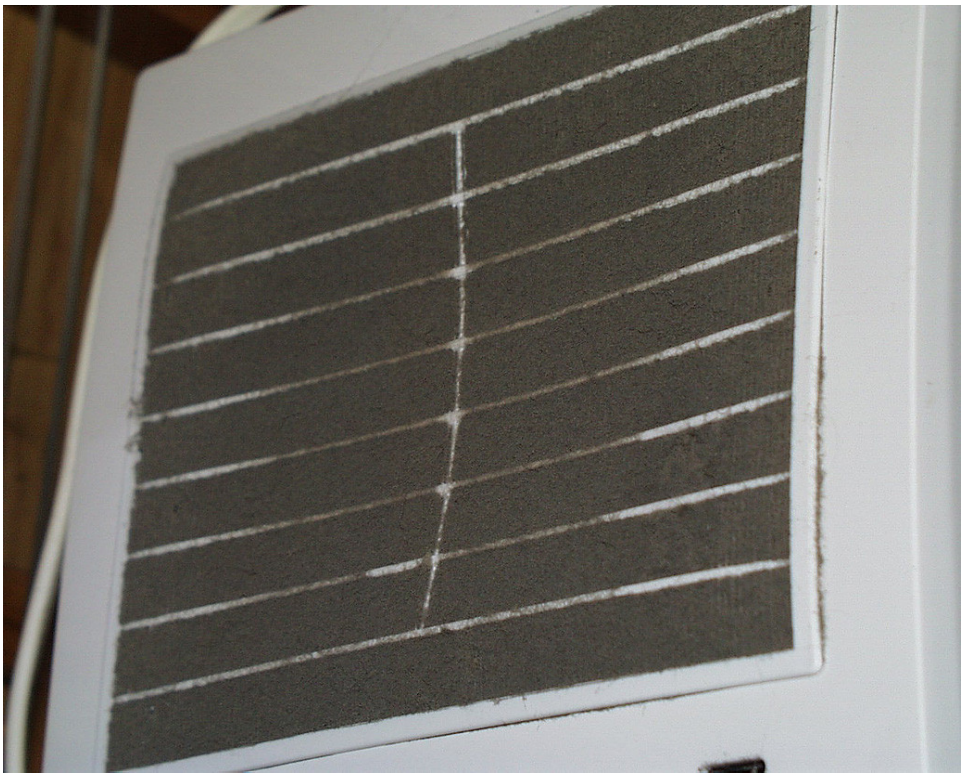


写真 3-38　ST（居間）における埃付着状態（プラ網、最終測定）

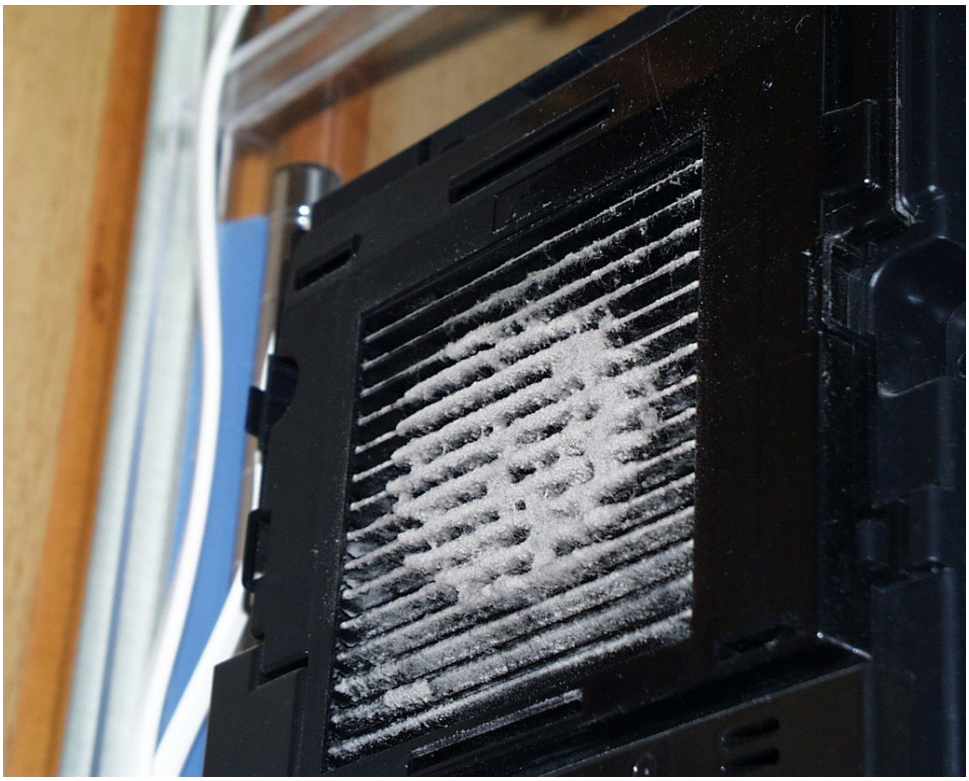


写真 3-39　ST（居間）における埃付着状態（フィルタなし、最終測定）

d）SW（台所）における埃の付着状態

表 3-21 に埃の付着状態の変化を、写真 3-40 と写真 3-41 に最終測定の埃の付着状態の拡大写真を示し、以下にその考察を記す。

- 油の付着が多く、埃は油にまみれた状態で付着しているのが特徴的である。
- 写真 3-40 では、網の間が油で埋まっている状態、そこに埃が付着してメッシュ状になっている状態が確認できる。
- 写真 3-41 では、シャッターに付着した長繊維の埃の付着が確認され、またプロペラ回転軸周辺から外側に広がる綿状に成長した繊維状の埃の塊が特徴的である。

表 3-21　SW（台所）における埃の付着状態の変化

測定回数	プラスチック網フィルター	フィルターなし
2 回目		
最終測定		

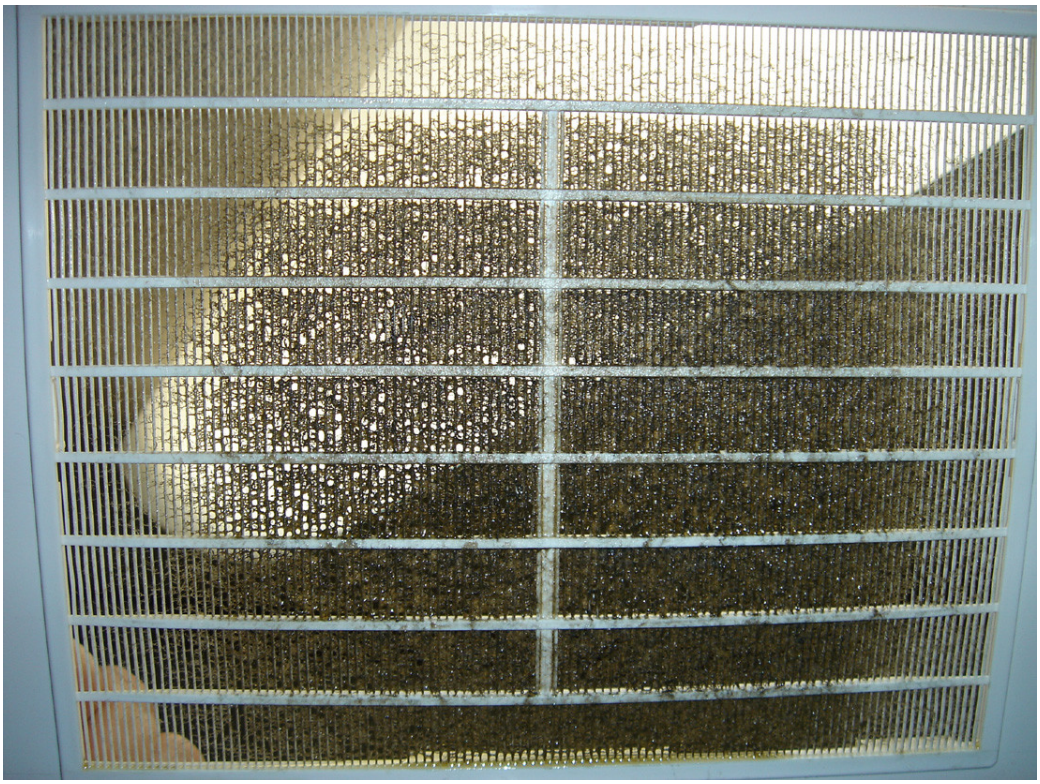


写真 3-40　SW（台所）における埃付着状態（プラ網、最終測定）

写真 3-41　SW（台所）における埃付着状態（フィルタなし、最終測定）

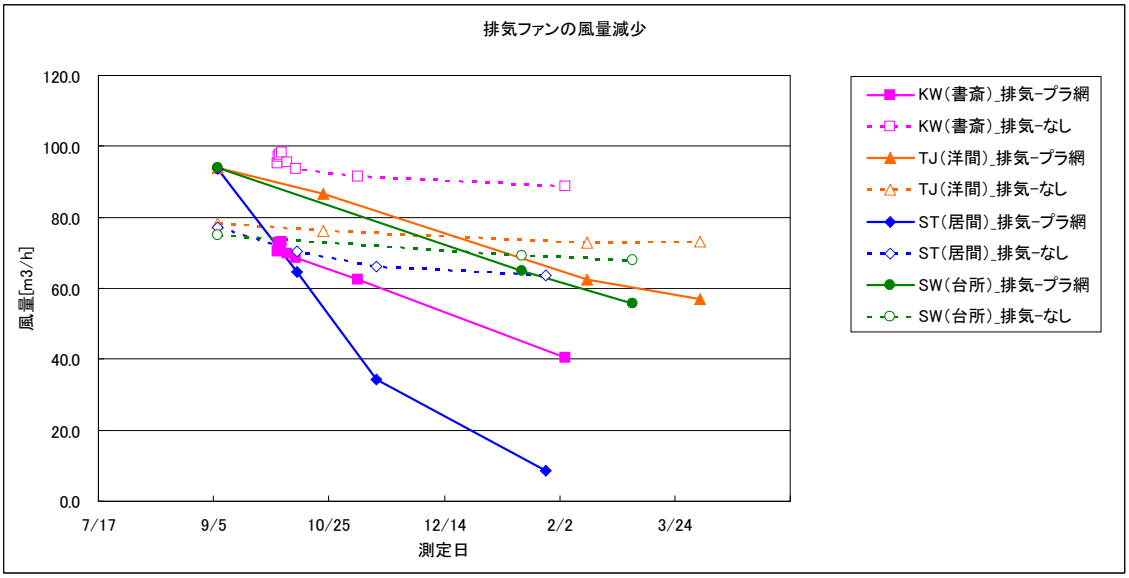
(2) 換気能力低下

各実験装置の風量低下および圧力損失の増大について記す。

①排気ファン

図 3-65 に排気ファンの風量減少を示し、以下にその考察を記す。

- 排気ファンは、概ね同程度の速度で風量低下が見られる。しかもその減少勾配は、“プラ網”と“なし”で大別される。
- ST_排気-プラ網のみ、初期での風量の減少勾配が大きい。ただし、埃の付着が多くなった後半では、他の“プラ網”と同程度の勾配となった。
- “なし”と記したプラスチック網フィルターの無い排気ファン（一般的な排気用ファン）においても、各装置で風量低下が生じることが確認された。



※KW における風量は、他の実験装置と初期風量が異なる構成となっている。

図 3-65　排気ファンの風量減少

②給気ファン

図 3-66 に給気ファンの風量減少を示し、以下にその考察を記す。

- BR（筑波）の給気ファンでは、初期においてフィルターの捕集率によって減少傾向が異なっている。ただし、後半の測定における風量減少が緩やかになったことは共通している。
- SP（都内）の給気ファンは、捕集率の違いによって風量低下速度が異なることは確認できない。
- 給気ファンの風量低下は、場所によって、またフィルターの捕集率の違いで初期の風量減少勾配は異なるが、埃等の付着後は概ね緩やかな勾配で減少が継続する傾向があると思われる。

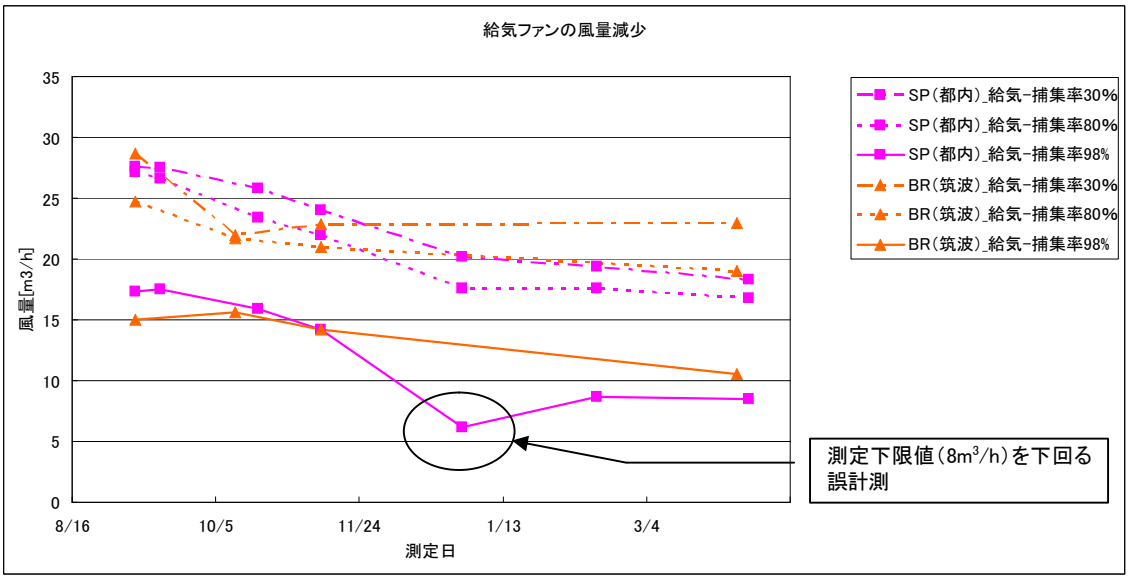


図 3-66　給気ファンの風量減少

③風量減少速度

図 3-67 に各実験装置における 1 日当たりの風量減少速度を、図 3-68 に 1 日当りの風量減少率を示す。なお、これらグラフにおける風量減少速度および減少率は、風量減少量を最小二乗近似で直線近似したもので、2005 年 9 月 7 日に行った初期性能の測定結果（図 3-65 から図 3-68 中には示している）は除外して算出している。これは、初期性能測定後、各実験装置が予定された場所で運転を開始するまでの時間遅れを考慮するためである。ただし、BR（筑波）の給気ファンだけは、初期性能測定後、速やかに同じ地点で運転を開始したので、9 月 7 日の初期性能測定後からの風量減少速度、減少率を求めた。

- 給気ファンは、1 日当り 0.02～0.05[(㎥/h)/日]の風量が減少することが確認された。この風量減少は各実験装置に用いた給気ファンの能力の 0.29～0.08[%/日]に相当し、34 日で最大 10%の風量が減少することとなる。
- 給気ファンの風量減少速度は、同じ測定場所ではフィルターの捕集率に関らず一定（SP（都内）で 0.05[(㎥/h)/日]、BR（筑波で 0.02[(㎥/h)/日]）である。しかし、能力減少率で比較すると、捕集率向上にしたがって減少率が大きくなることが確認できる。すなわち、高性能なフィルターほど能力減少が大きくなることが確認された。
- 排気ファンの風量減少は ST（居間）を最大として場所による相違が生じた。プラスチック網フィルターでは、最大値は ST（居間）の 0.49[(㎥/h)/日]、最小値は TJ（洋間）の 0.18[(㎥/h)/日]、減少率にすると 0.78[%/日]から 0.21[%/日]となる。
- 排気ファンのフィルターなし（インテリアパネルも無く、シャッターのみの状態）でも、風量減少が生じ、その程度は給気ファンを超える。ただし、給気ファンに比べて定格風量が大きいので、減少率にすると、0.03～0.08[%/日]程度と少ない。
- プラスチック網フィルターを有する排気ファンでは、13 日で 10%の風量が減少する測定結果が得られた。1 か月では 23%に及ぶ速度である。また、フィルターなしでも 1 か月 2.4%減少することも確認された。

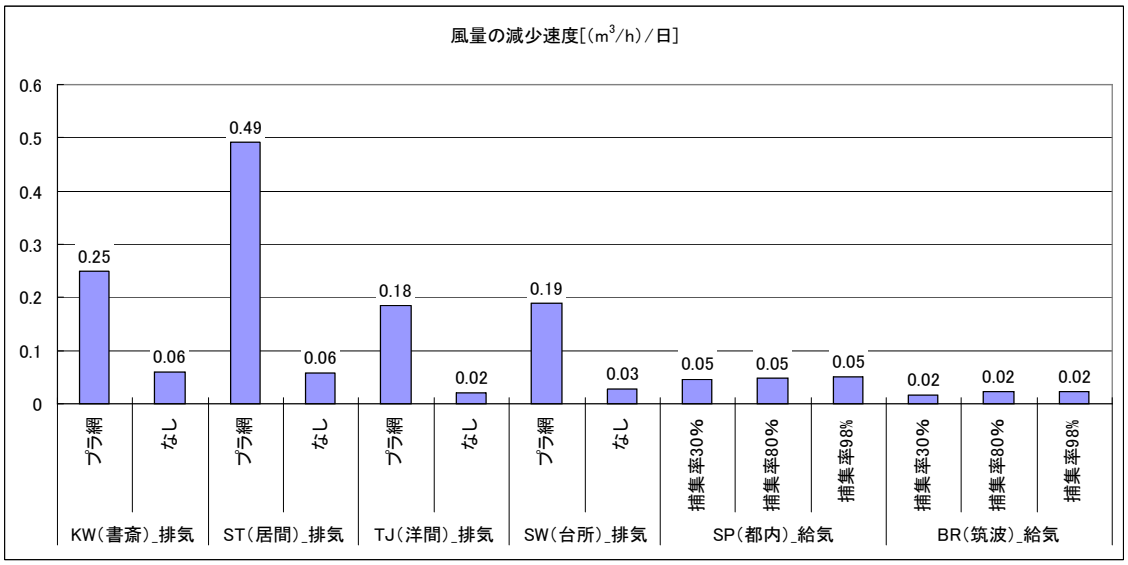


図 3-67　1 日当りの風量減少速度の比較

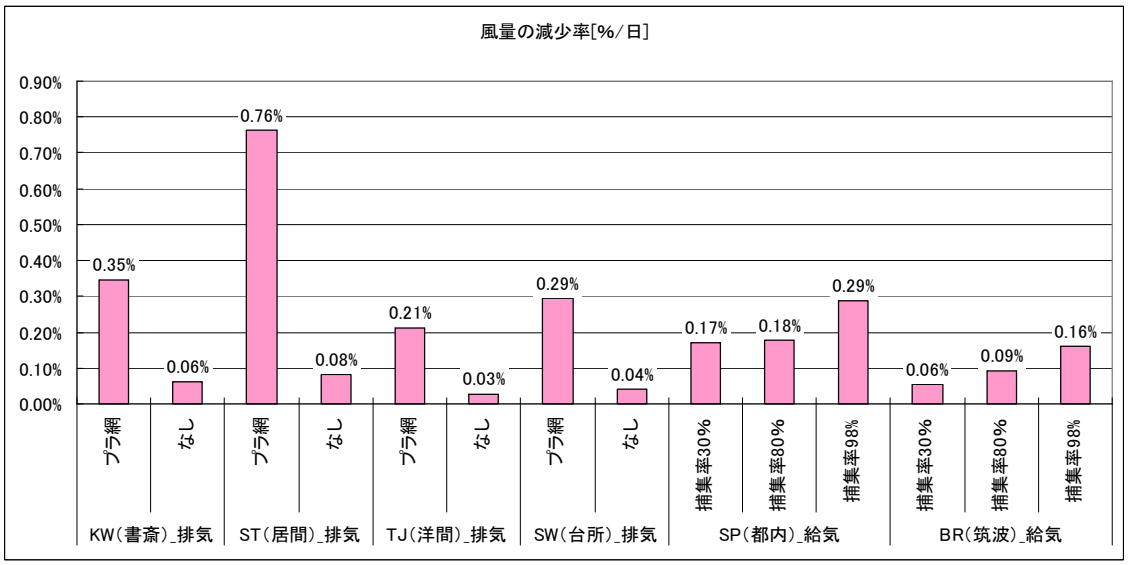


図 3-68　風量減少率（1 日当りの減少割合）の比較

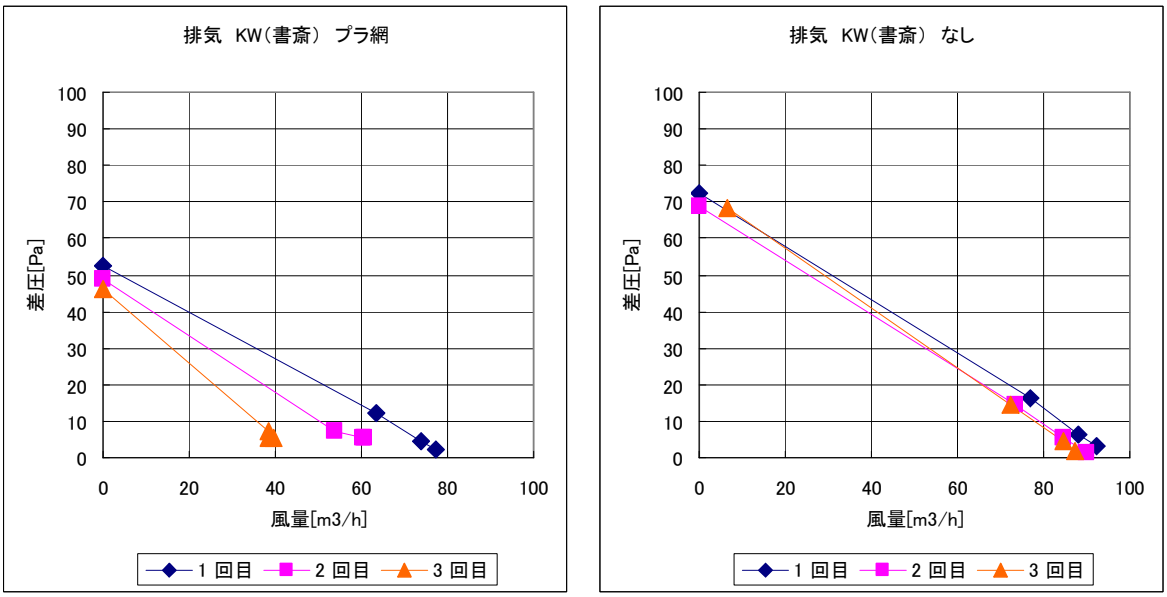
④圧力損失の増大

埃の付着によってフィルターの圧力損失が増大することは明白である。更に、プロペラに付着した埃はプロペラの重量増大や空気の乱れを招き、ファン効率の低下も危惧される。このような圧力ー風量特性（P-Q 特性）を「(5) ③ダクト内外静圧差（p 170)」に記す方法で測定した結果について考察する。

a）排気ファン

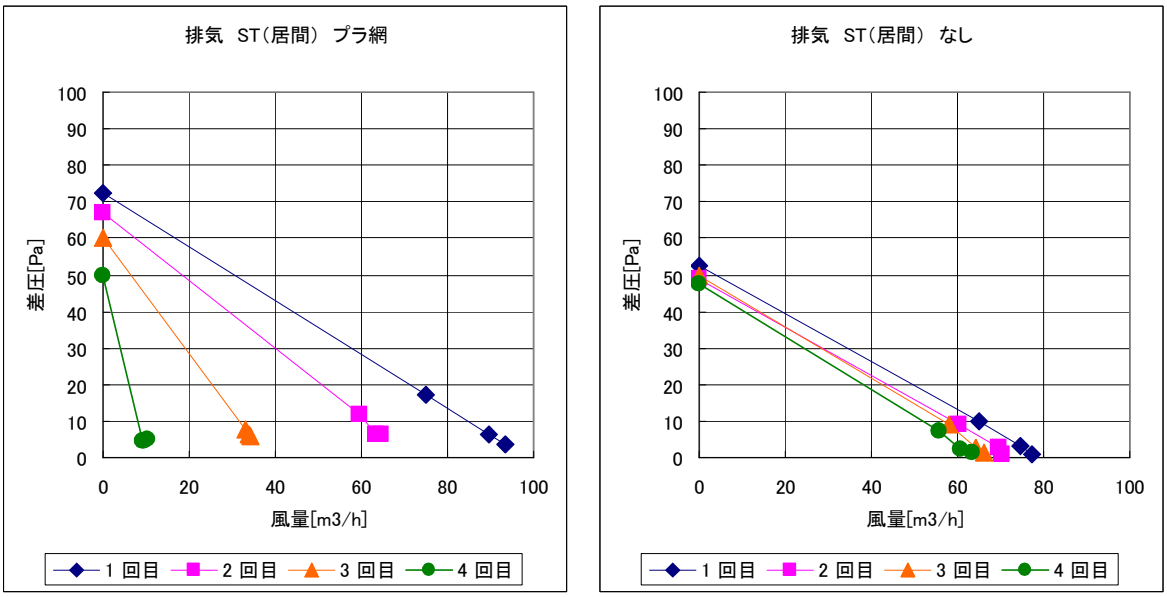
図 3-69 から図 3-72 に排気ファンの P-Q 特性の変化を示し、以下にその考察を記す。

- TJ（洋間）のフィルターなし以外の実験装置において、“プラスチック網フィルター”および“フィルターなし”共に、時間経過にしたがって P-Q 特性が悪くなる（性能が低下する）ことが確認された。ファイルターなしに比べてプラスチック網フィルターがある場合は P-Q 特性の変化が顕著である。
- ST（居間）以外の 3 箇所の測定結果では、風量 0[m³/h]の場合の差圧（閉切り静圧）は 10[Pa]程度の降下に過ぎないが、ST（居間）では 20[Pa]を越える閉切り静圧の低下が生じている。
- KW（書斎）、TJ（洋間）、SW（台所）のプラスチック網フィルターの P-Q 特性の変化に差異は少ないが、閉切り静圧だけに限ると SW（台所）が比較的大きい。これは、SW（台所）では写真 3-40（p 180）のように油の付着が甚だしく、この油の重量増が原因したと推測される。



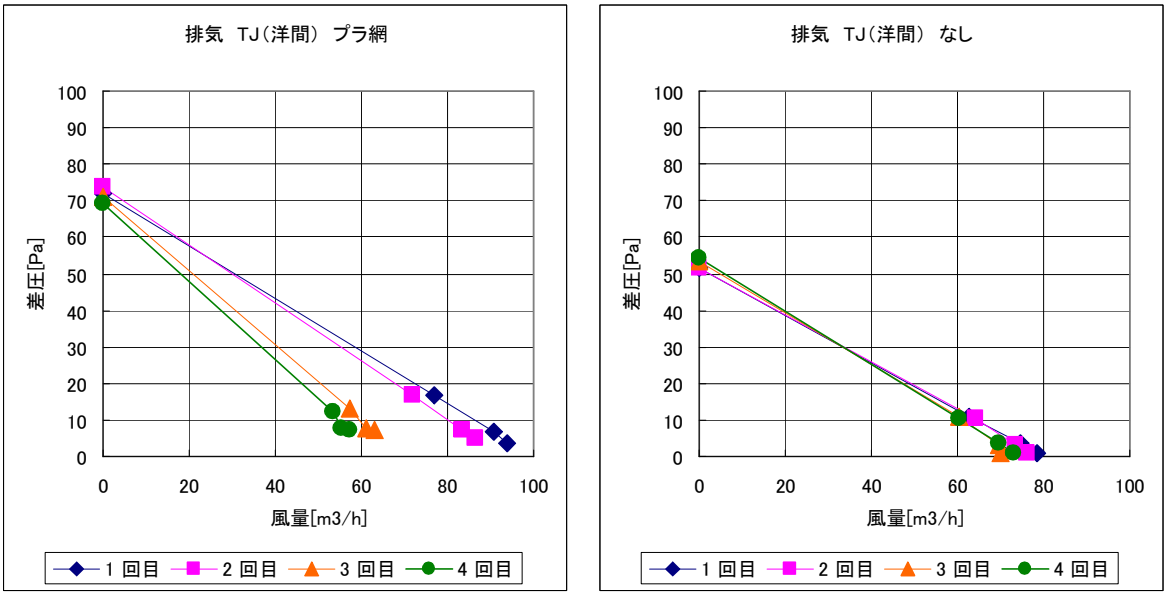
（左：プラスチック網フィルター、右：フィルターなし）

図 3-69　KW（書斎）排気ファンの P-Q 特性の変化



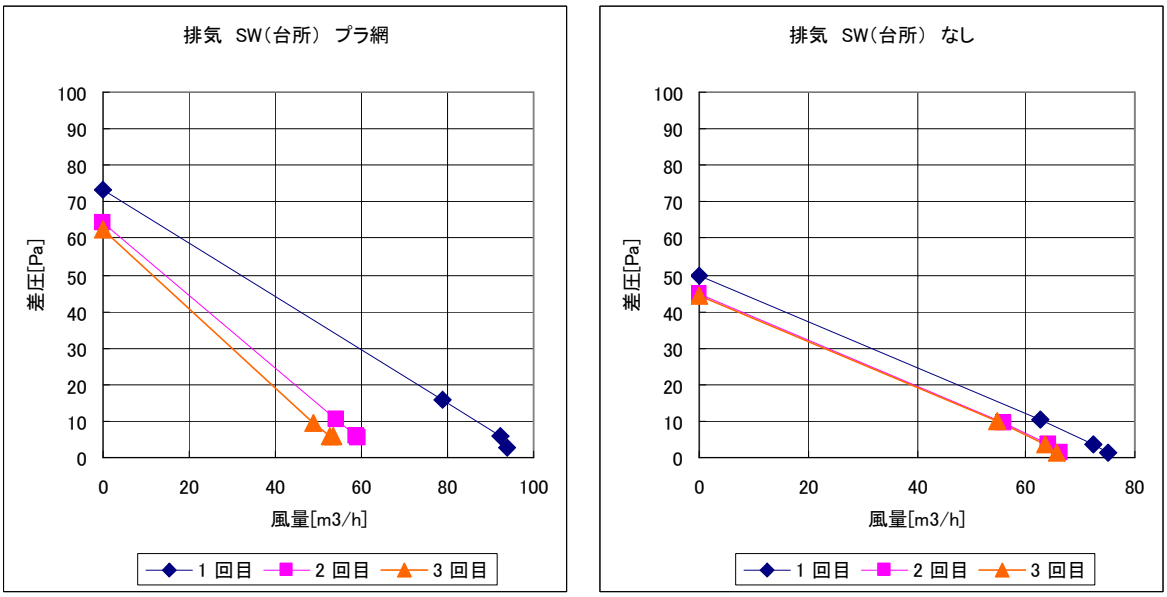
（左：プラスチック網フィルター、右：フィルターなし）

図 3-70　ST（居間）排気ファンの P-Q 特性の変化



（左：プラスチック網フィルター、右：フィルターなし）

図 3-71　TJ（洋間）排気ファンの P-Q 特性の変化



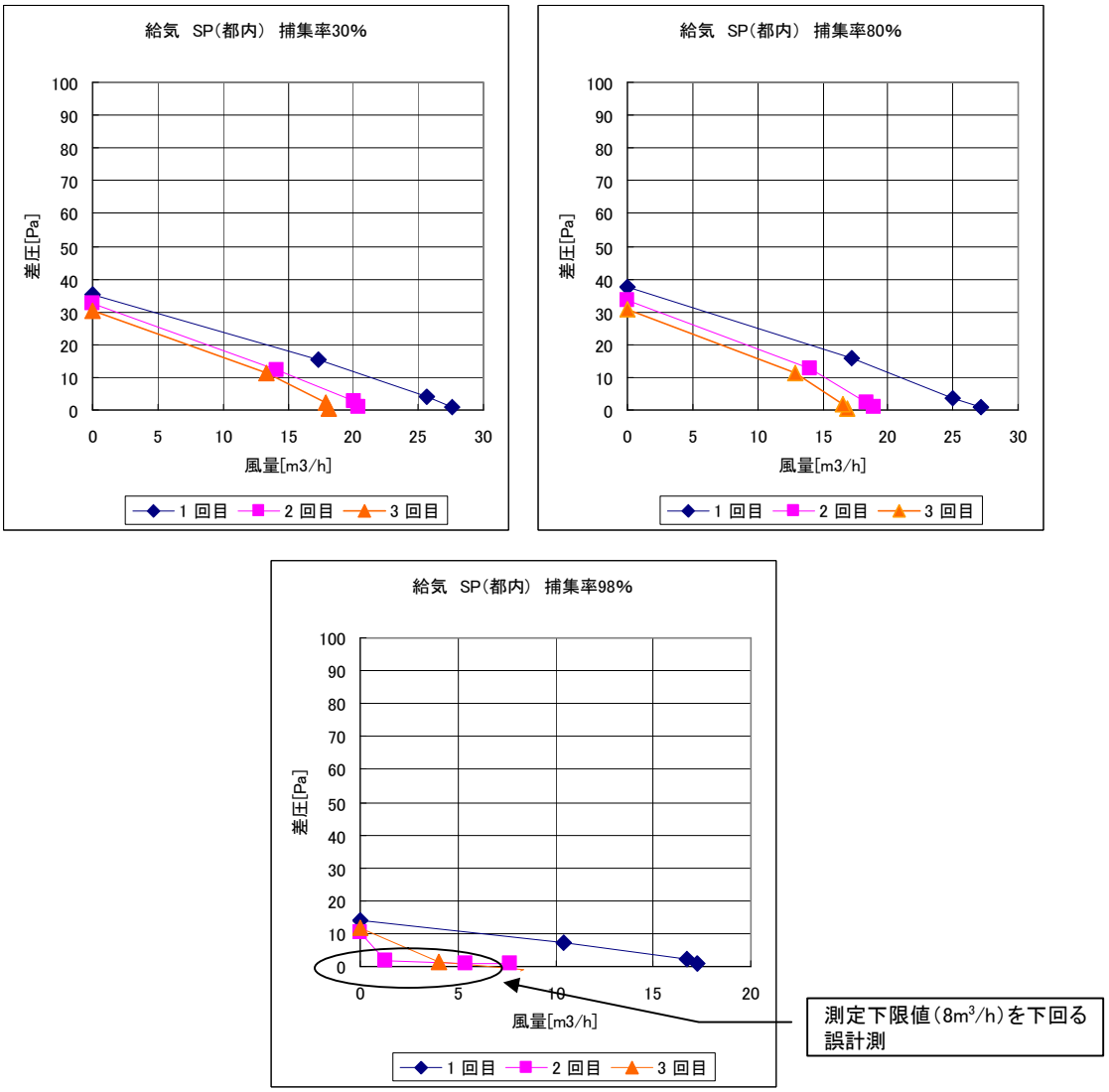
(左：プラスチック網フィルター、右：フィルターなし)

図 3-72　SW（台所）排気ファンの P-Q 特性の変化

b）給気ファン

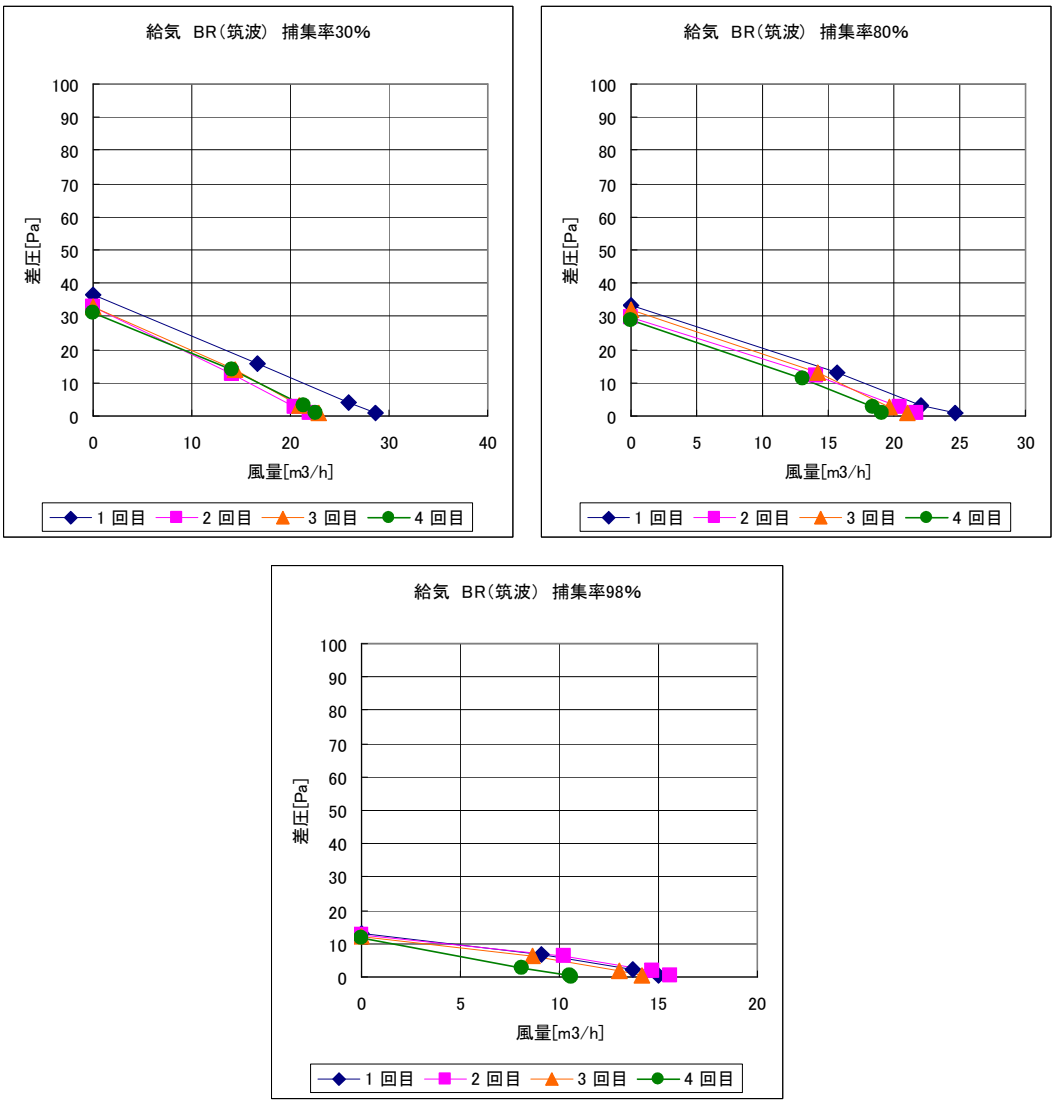
図 3-73 と図 3-74 に給気ファンの P-Q 特性の変化を示し、以下にその考察を記す。なお、図 3-73 において SP（都内）の捕集率 98%の 2 回目、3 回目の P-Q 特性が他のグラフの形状と異なるのは、風量が風量測定器の下限値を下回った誤測定によるものである。

- 全ての実験装置において、時間経過にしたがって P-Q 特性が悪くなる（性能が低下する）ことが確認された。
- フィルターの捕集効率による P-Q 特性の変化の差異は小さい。しかし、場所による相違が見られ、SP(都内)の P-Q 特性の方が BR（筑波）に比べて変化が大きい。SP（都内）は、都内幹線道路に隣接する場所で、しかも工事期間中とのことなので周辺大気の浮遊粒子が P-Q 特性の悪化に影響していると考えられる。



（左上：捕集率 30%、右上：80%、下 90%）

図 3-73　SP（都内）給気ファンの P-Q 特性の変化



（左上：捕集率 30%、右上：80%、下 90%）

図 3-74　BR（筑波）給気ファンの P-Q 特性の変化

(3) 浮遊粒子数

6 箇所の実験装置設置場所における雰囲気空気の浮流粒子数の測定結果について記す。

①パーティクルカウンターによる測定結果

図 3-75 から図 3-79 に各粒径以上の浮流粒子数を示し、考察を以下に記す。

- ST（居間）の室内浮遊粒子の場合、0.3μm から 1μm の微少粒子の数が多い傾向があり、特に 11 月において多量の粒子をカウントした。この微少粒子については、KW 室内（書斎）と SP 外気（都内）が比較的多い傾向がある。
- その他、TJ 室内（洋間）と SW 室内（台所）などは比較的に少ない傾向がある。
- 室内空気と外気の浮遊粒子数に大きな差異は認められない。

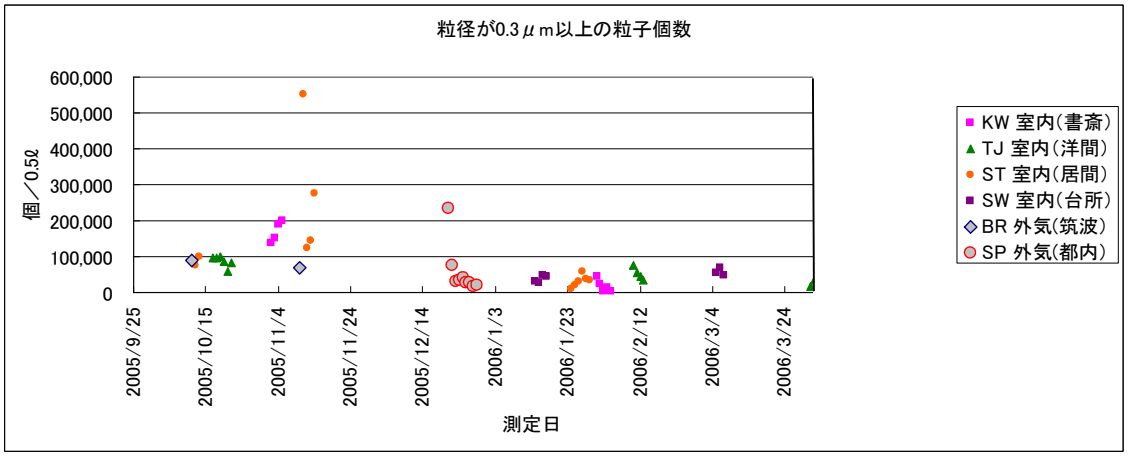


図 3-75　粒径が 0.3μm 以上の浮遊粒子数

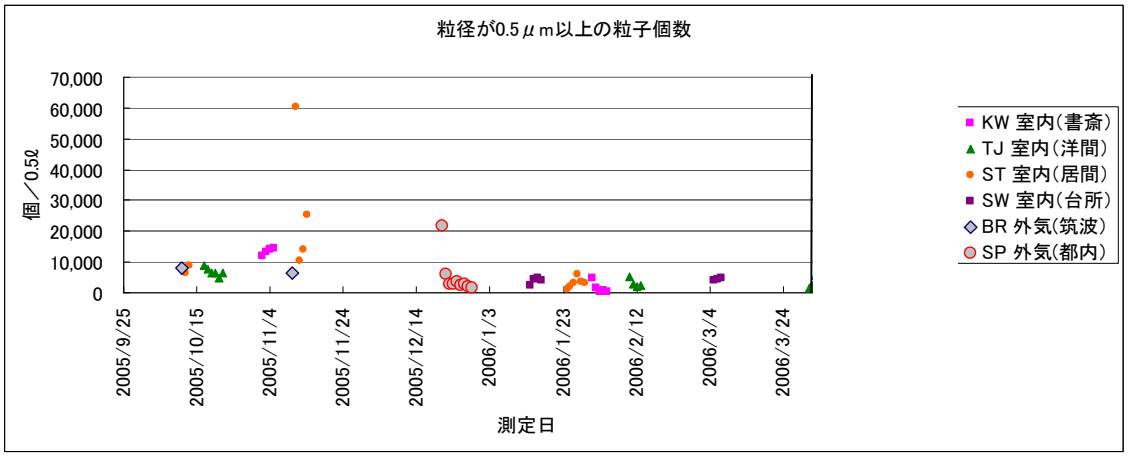


図 3-76　粒径が 0.5μm 以上の浮遊粒子数

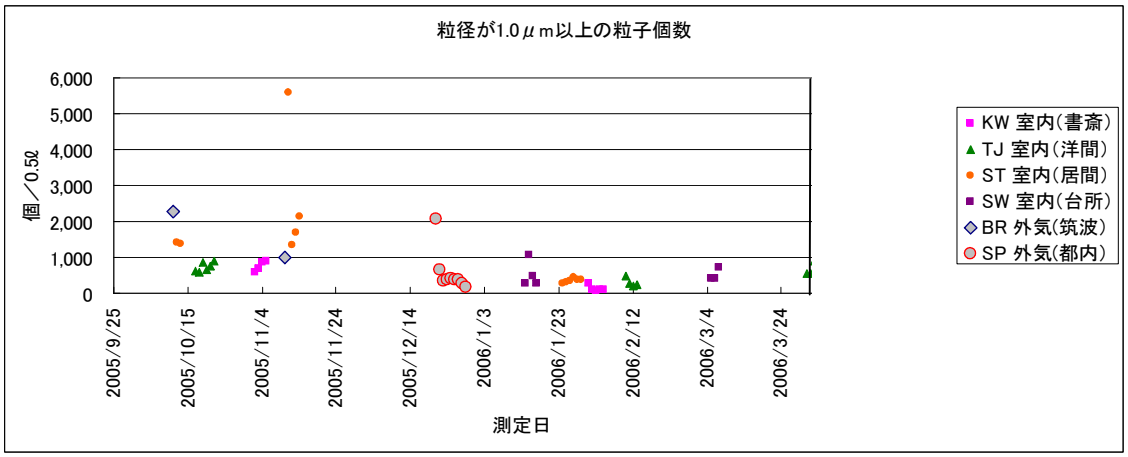


図 3-77　粒径が 1.0μm 以上の浮遊粒子数

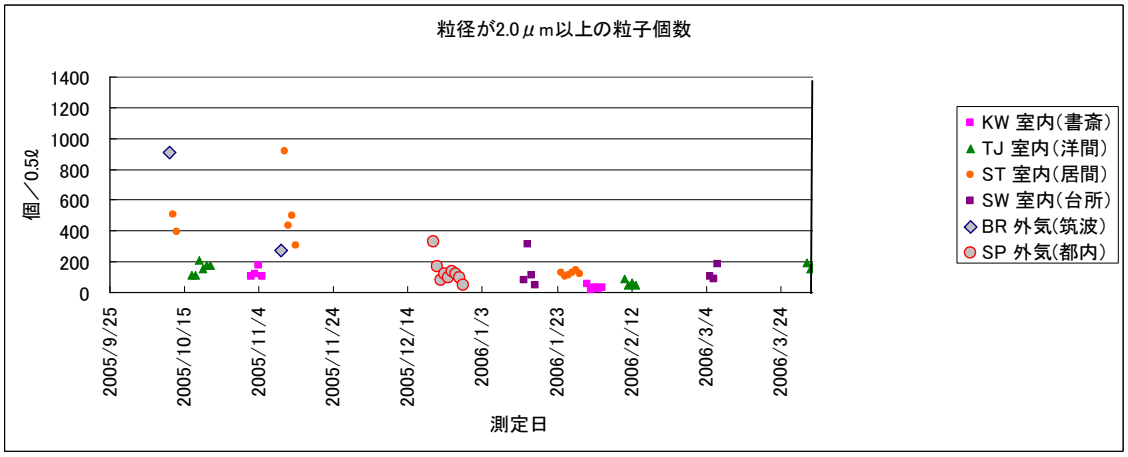


図 3-78　粒径が 2.0μm 以上の浮遊粒子数

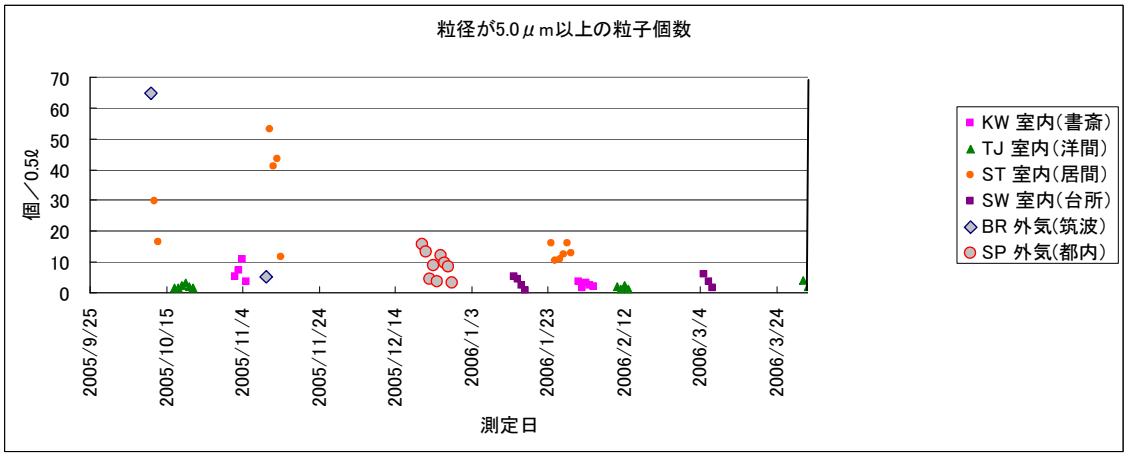


図 3-79　粒径が 5.0μm 以上の浮遊粒子数

②実験装置の設置場所の浮遊粒子数の比較

図 3-80 から図 3-84 に実験装置を設置した 6 箇所における浮遊粒子数を粒径ごとに比較する。

- ST（居間）は、他の室内空間に比べて 5μm 以上の浮遊粒子が極めて多いのが特徴である。（図 3-75 から図 3-79 の浮遊粒子数の時系列変化ではピーク値が強調され、一見すると微少粒径の多さが際立っていた。）
- TJ（洋間）は、大きな粒径の粒子数は少ないが、微少粒径の粒子が多い。
- 全ての粒径において、BR（筑波）の大気中の浮流粒子数は、SP（都内）に比べて多い結果となっている。この原因は、図 3-85（p 195）と図 3-86（p 195）に示す月平均において、BR（筑波）が浮遊粒子の多い 10 月と 11 月に粒子数の測定を行ったのに対し、SP（都内）は 10 月と 11 月には測定を行っていないためである。

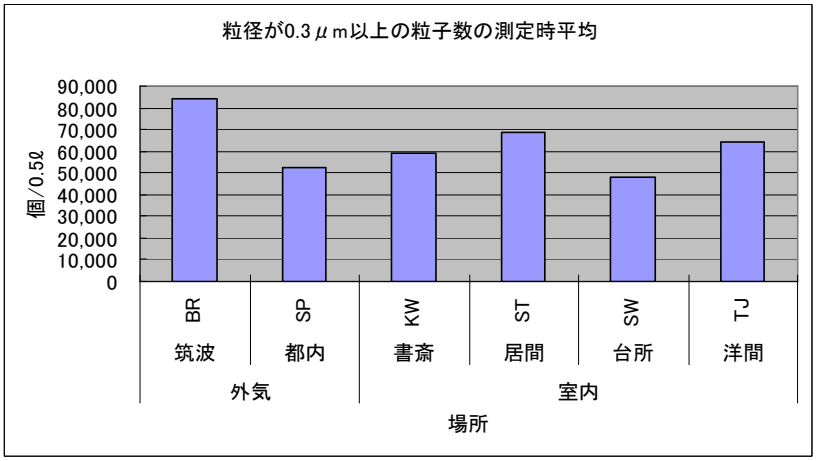


図 3-80　粒径が 0.3μm 以上の粒子数の測定時平均

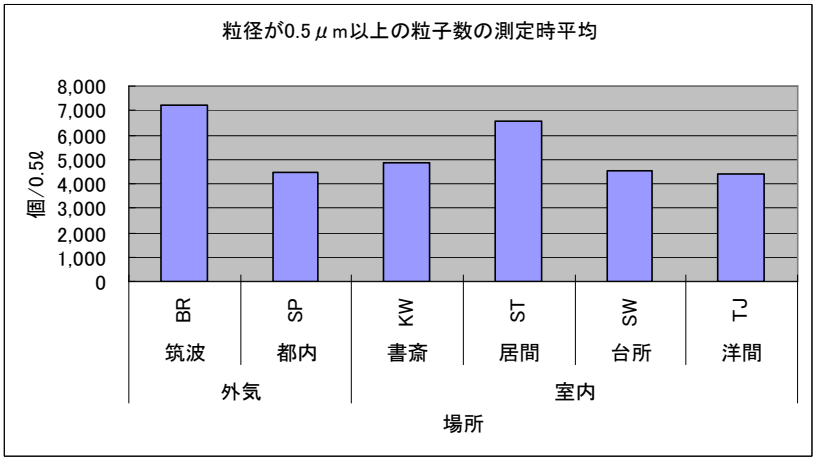


図 3-81　粒径が 0.5μm 以上の粒子数の測定時平均

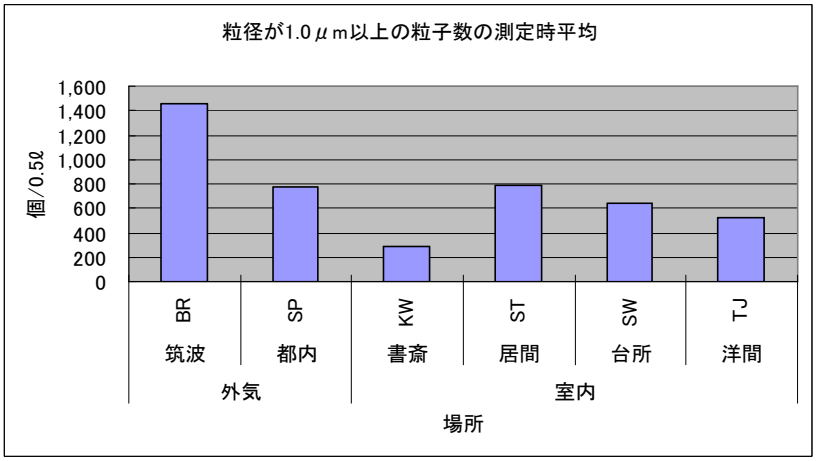


図 3-82　粒径が 1.0μm 以上の粒子数の測定時平均

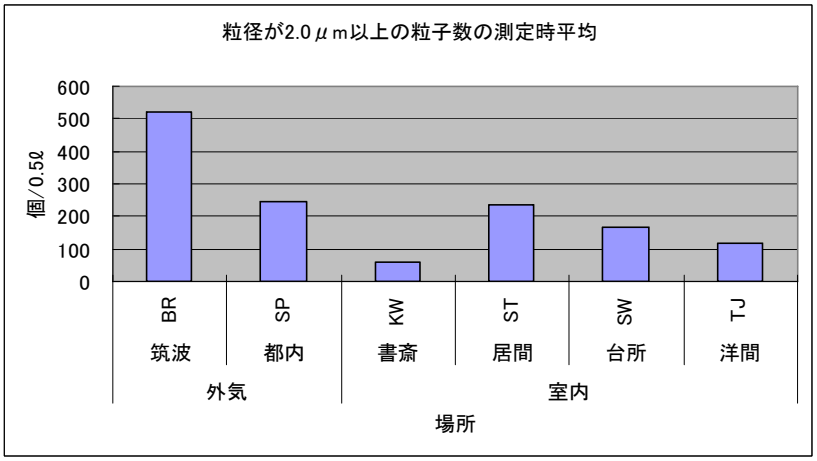


図 3-83　粒径が 2.0μm 以上の粒子数の測定時平均

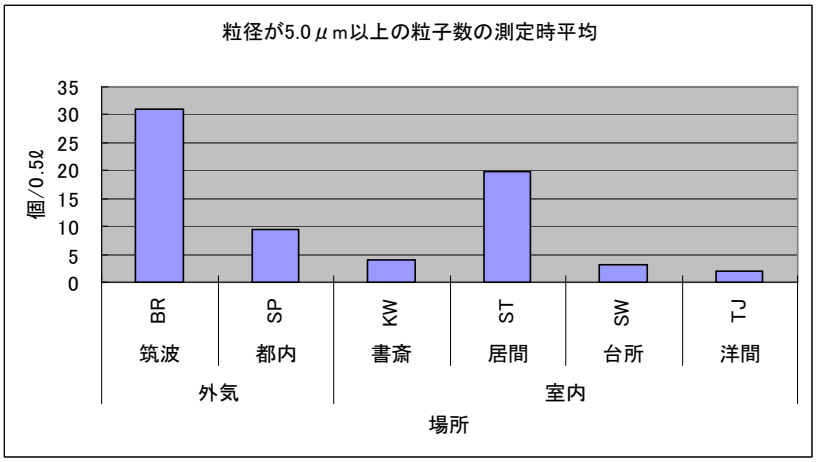


図 3-84　粒径が 5.0μm 以上の粒子数の測定時平均

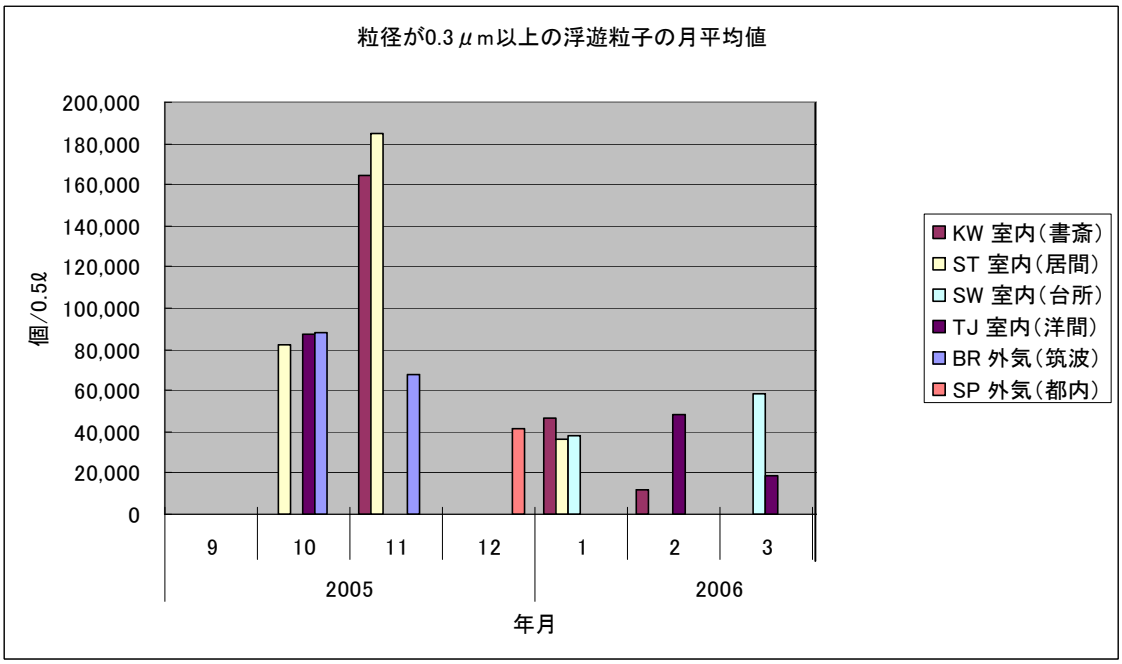


図 3-85　粒径が 0.3μm 以上の浮遊粒子の月平均値

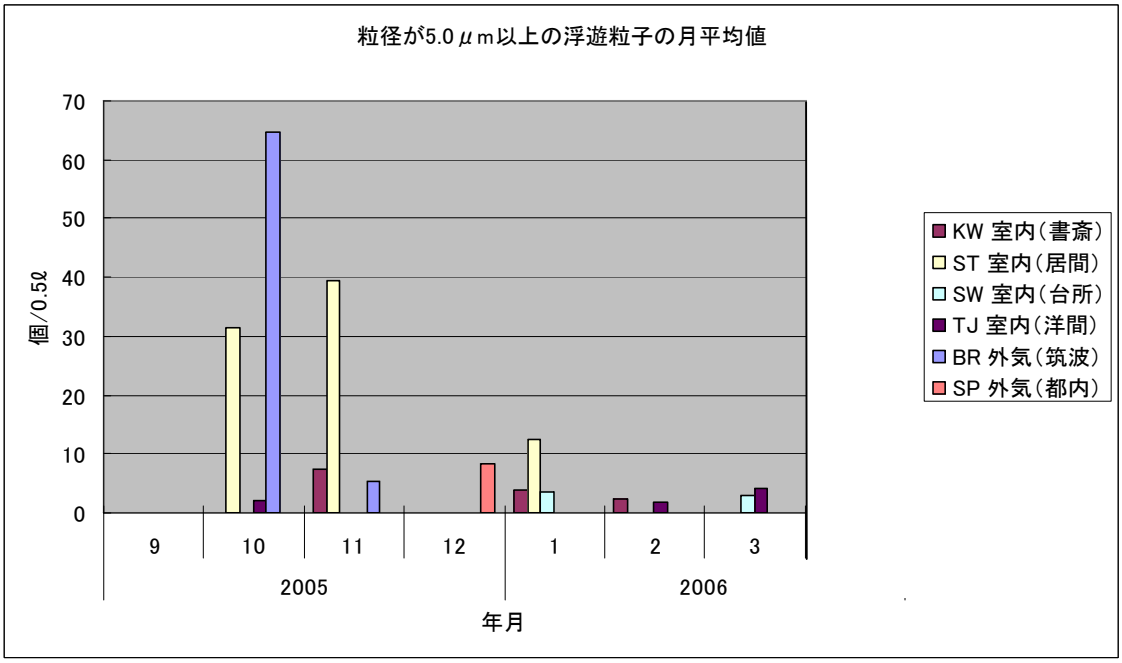


図 3-86　粒径が 5.0μm 以上の浮遊粒子の月平均値

③風量減少速度と周囲浮遊粒子数との相関

図 3-68（p 185）に示した風量減少率を Y 軸、図 3-80（p 193）から図 3-84（p 194）に示す浮遊粒子数を X 軸とし、排気ファンと給気ファンの浮遊粒子数と減少率の相関を分析する。

a）排気ファン

図 3-87 から図 3-91 に排気ファンの相関図を示す。

- 図 3-88 と図 3-91 は、ST（居間）の浮遊粒子数が他の 3 箇所との乖離が大きいので相関係数が非常に大きな値となっているが、プラスチック網フィルターの風量減少率は、浮遊粒子数と相関があると言える。
- フィルターなしの場合、粒径によって相関係数が異なり、誤差も考慮すれば相関があるとは言えない。

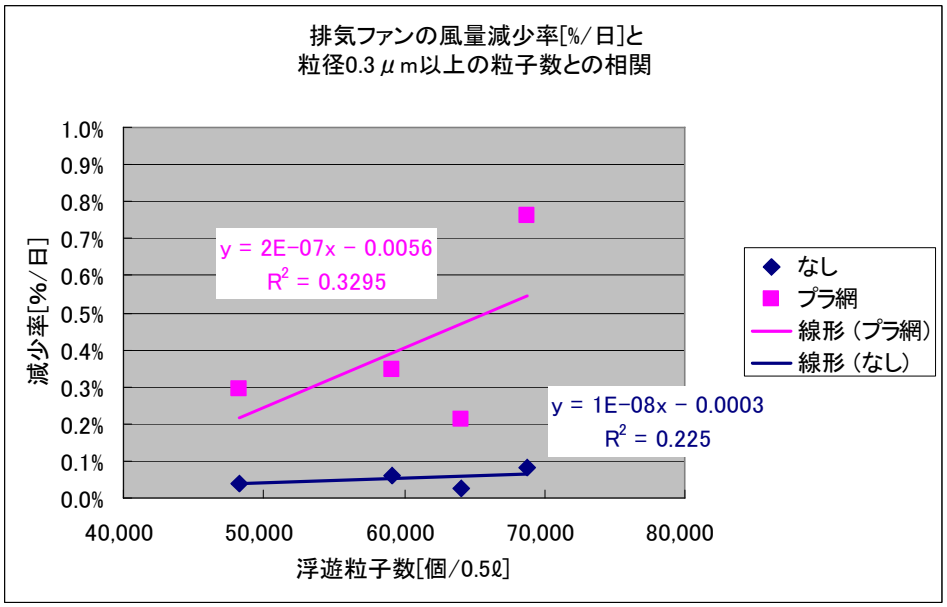


図 3-87　排気ファンの風量減少率[%/日]と粒径 0.3μm 以上の粒子数との相関

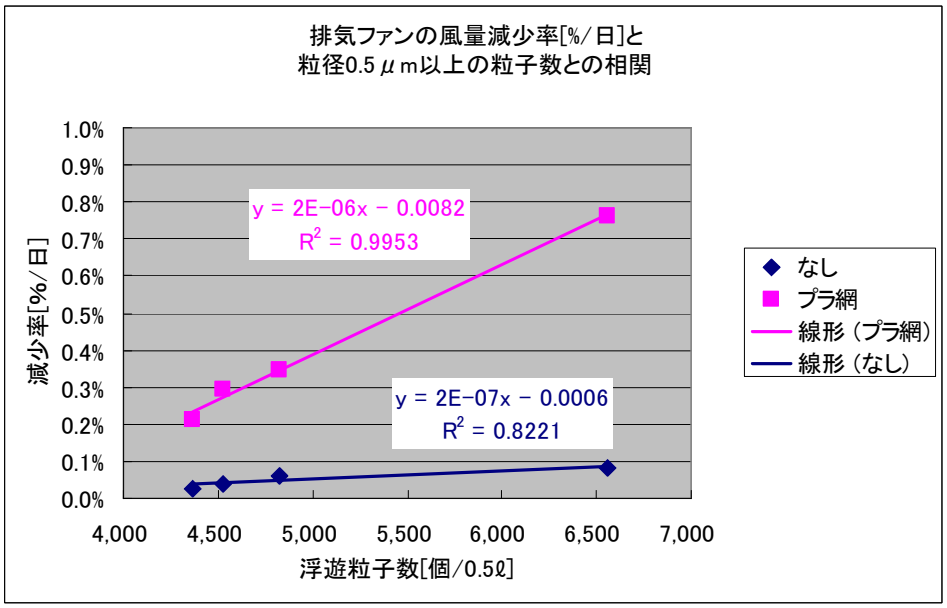


図 3-88　排気ファンの風量減少率[%/日]と粒径 0.5μm 以上の粒子数との相関

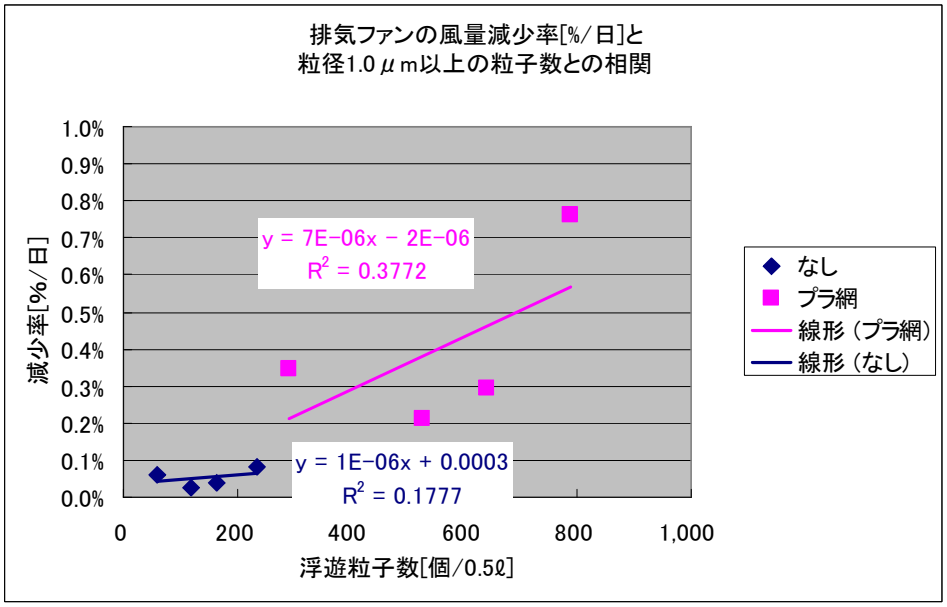


図 3-89　排気ファンの風量減少率[%/日]と粒径 1.0μm 以上の粒子数との相関

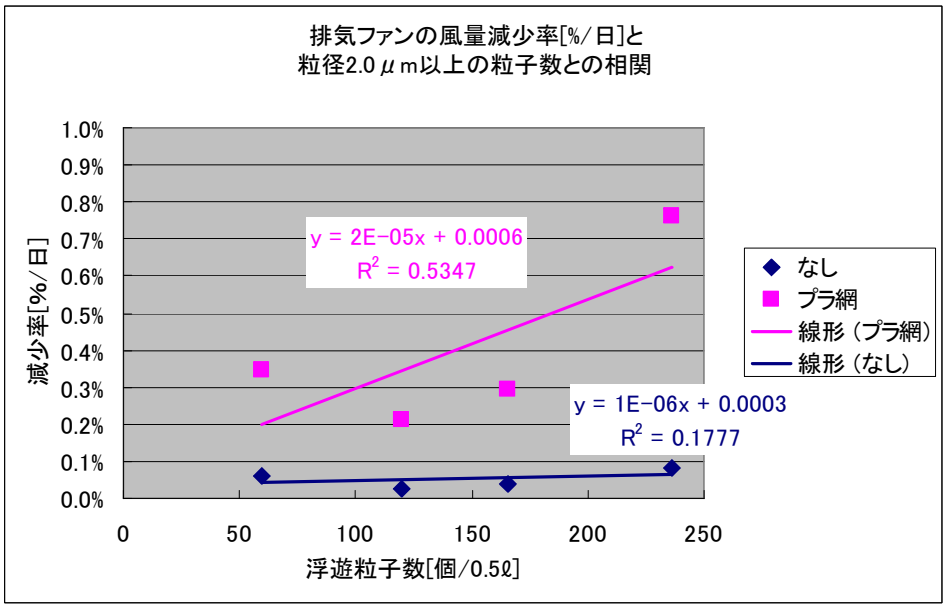


図 3-90　排気ファンの風量減少率[%/日]と粒径 2.0μm 以上の粒子数との相関

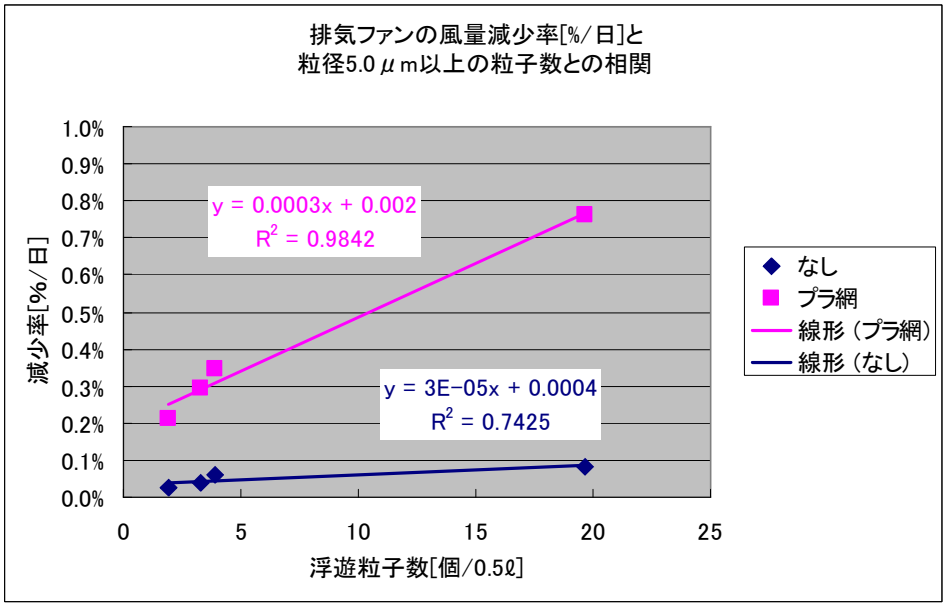


図 3-91　排気ファンの風量減少率[%/日]と粒径 5.0μm 以上の粒子数との相関

b）給気ファン

図 3-92 から図 3-96 に給気ファンの相関図を示す。

- 「(3) ②実験装置の設置場所の浮遊粒子数の比較（ｐ193)」に記したように、浮遊粒子数が多かった 10 月と 11 月に粒子数の測定を行っていない SP（都内）の平均浮遊粒子数は、BR（筑波）の平均浮遊粒子数よりも少なくなった。そのために、図 3-92 から図 3-96 の相関は逆勾配になったものと考えられる。

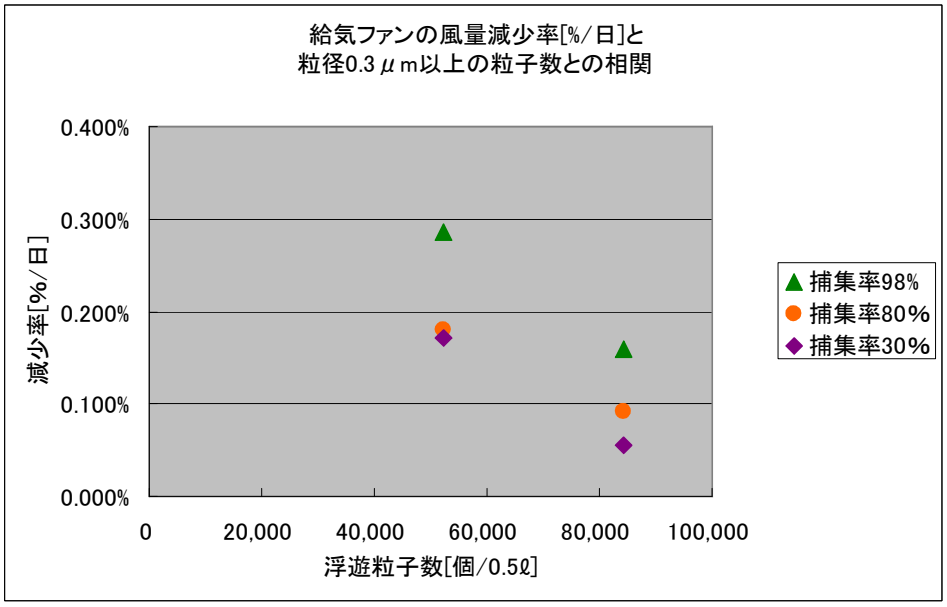


図 3-92　給気ファンの風量減少率[%/日]と粒径 0.3μm 以上の粒子数との相関

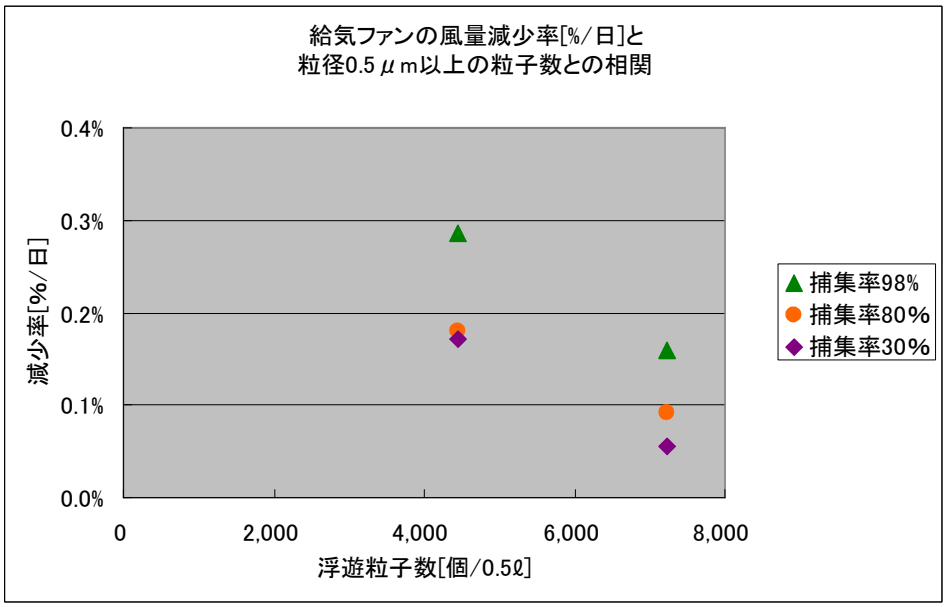


図 3-93　給気ファンの風量減少率[%/日]と粒径 0.5μm 以上の粒子数との相関

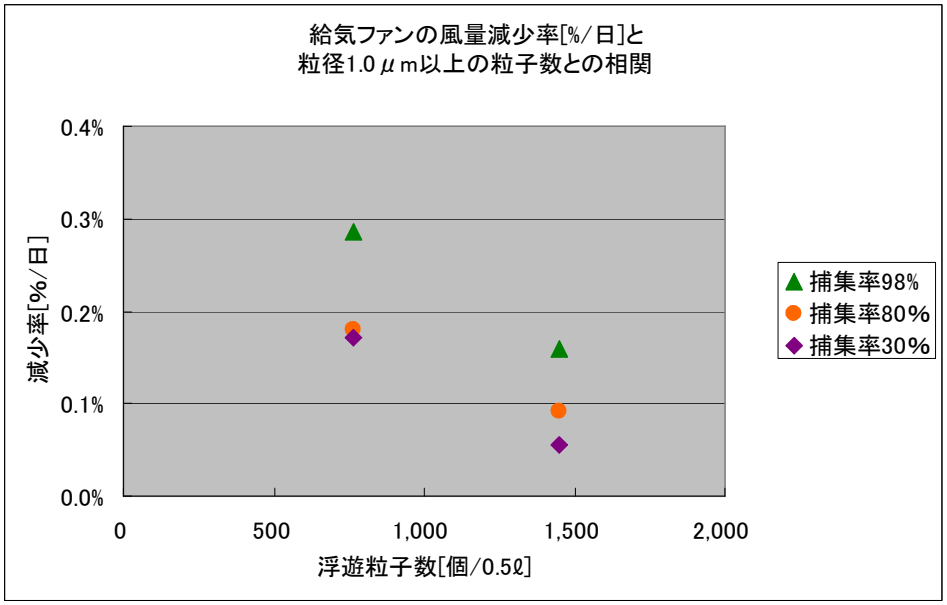


図 3-94　給気ファンの風量減少率[%/日]と粒径 1.0μm 以上の粒子数との相関

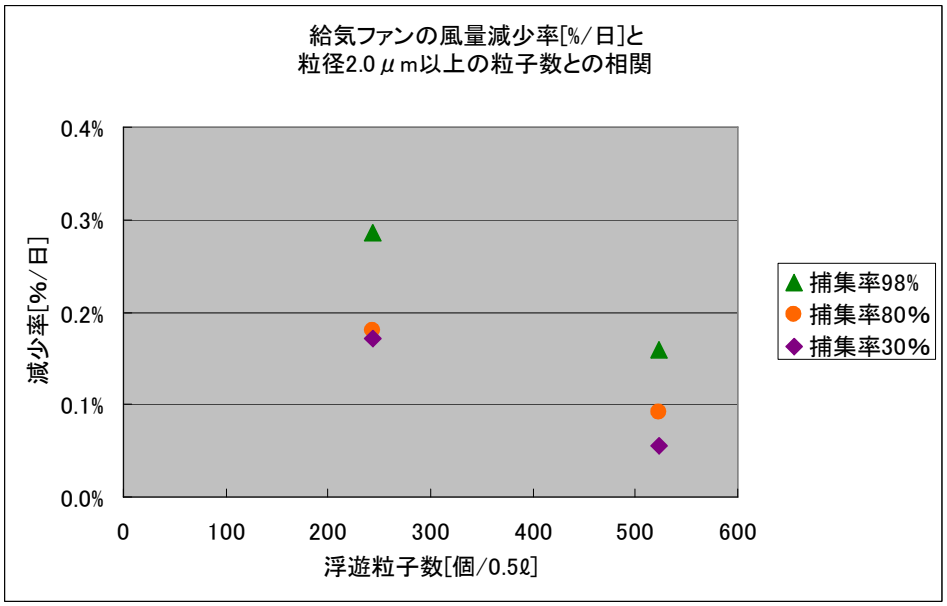


図 3-95　給気ファンの風量減少率[%/日]と粒径 2.0μm 以上の粒子数との相関

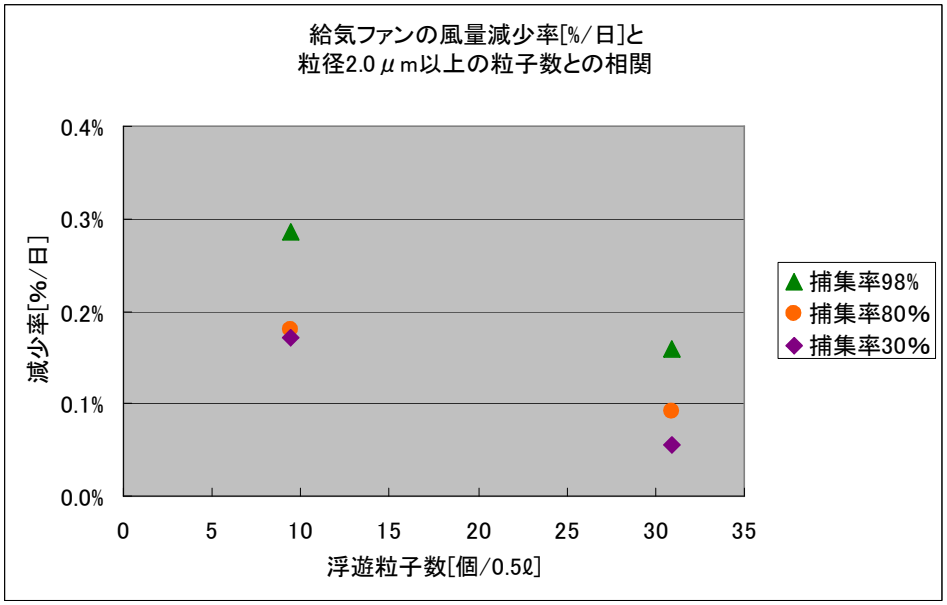


図 3-96　給気ファンの風量減少率[%/日]と粒径 5.0μm 以上の粒子数との相関

(4) 付着汚れの分析

約半年の運転の後、実験装置に付着した汚れの付着量と種類を分析した結果を記す。

①各実験装置の汚れの付着状態

各実験装置の汚れの付着状態を、マイクロスコープを用いた拡大写真で示し、考察を記す。

a) KW(書斎)

- プラスチック網フィルターには繊維状の埃(綿ほこり)が捕集されている。繊維表面に汚れがないことから洋服などのほこりと考えられる。
- フィルター内部には砂埃が認められる。プラスチック網フィルター部分を通過して内部に堆積したと考えられる。

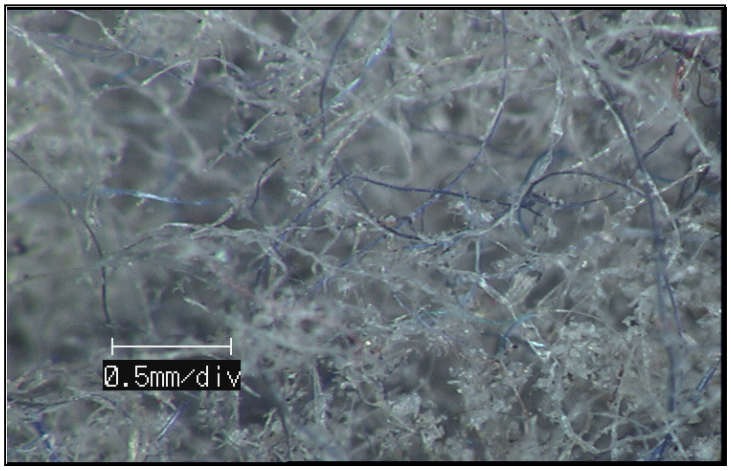


写真 3-42　KW(書斎)におけるフィルター表面の付着状況

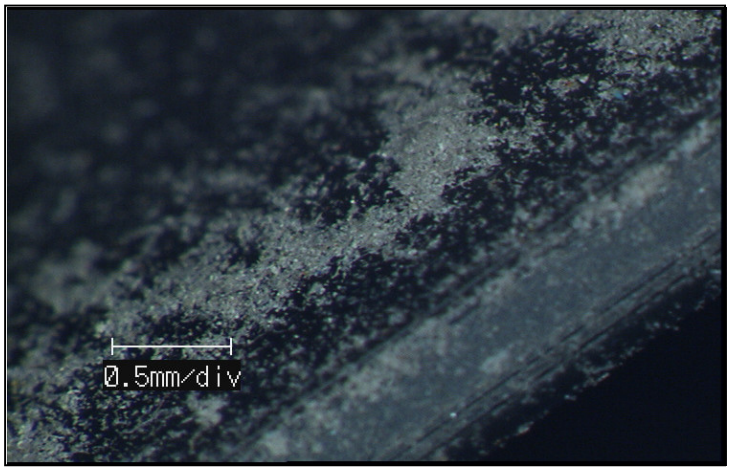


写真 3-43　KW(書斎)におけるフィルター内部の付着状況

b) TJ(洋間)

- プラスチック網フィルターおよびフィルター内部には繊維状と砂状の埃が捕集されている。

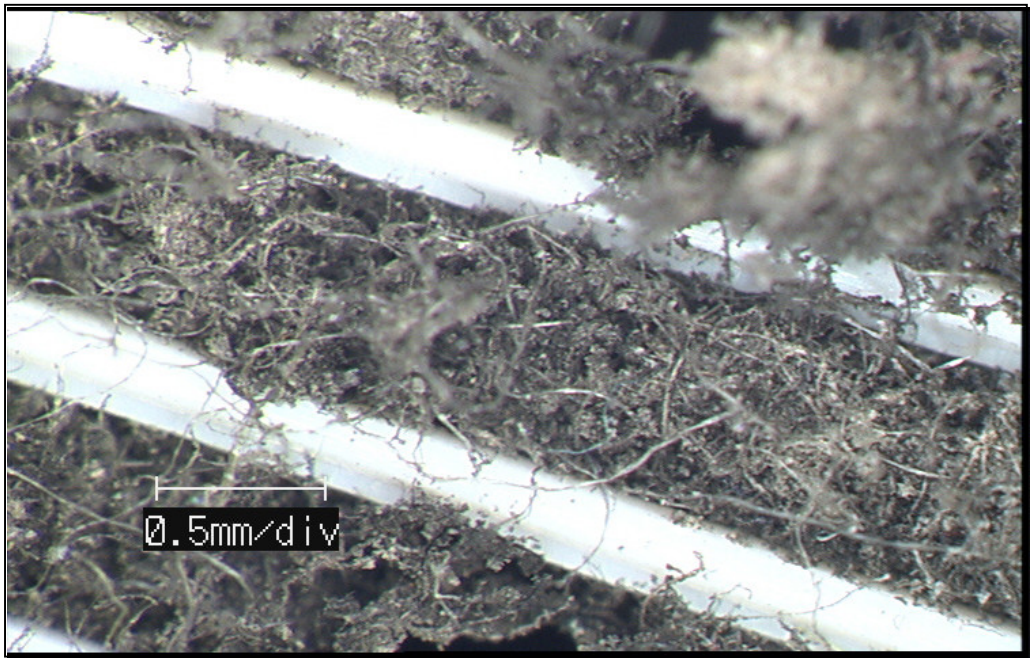


写真 3-44　TJ(洋間)におけるフィルター表面の付着状況

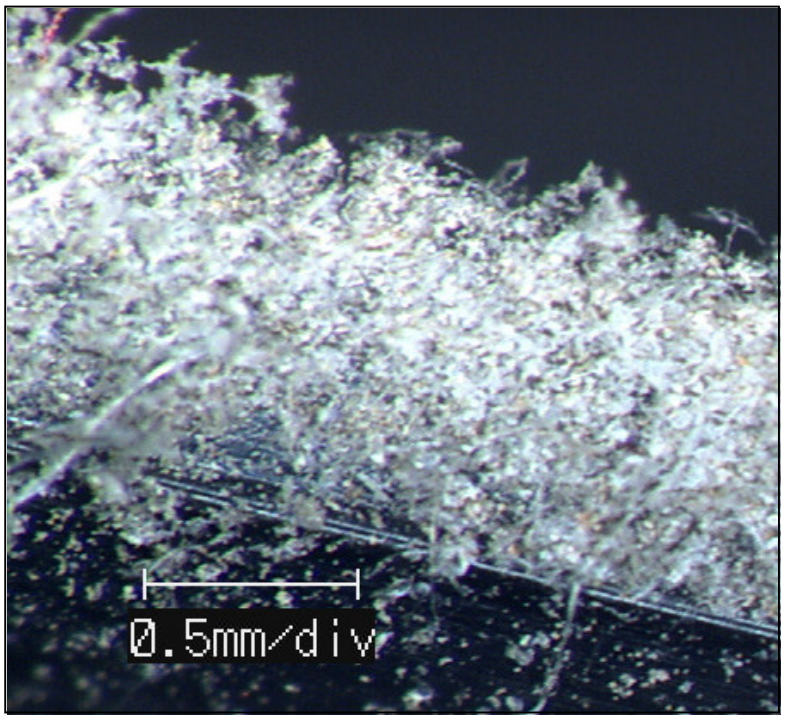


写真 3-45　TJ(洋間)におけるフィルター内部の付着状況

c) ST(居間)

- プラスチック網フィルターおよびフィルター内部には繊維状と砂状の埃が捕集されている。繊維状の埃は赤や青の繊維もあり、洋服や家具から脱離した繊維であると考えられる。
- フィルター内部には砂埃が認められる。

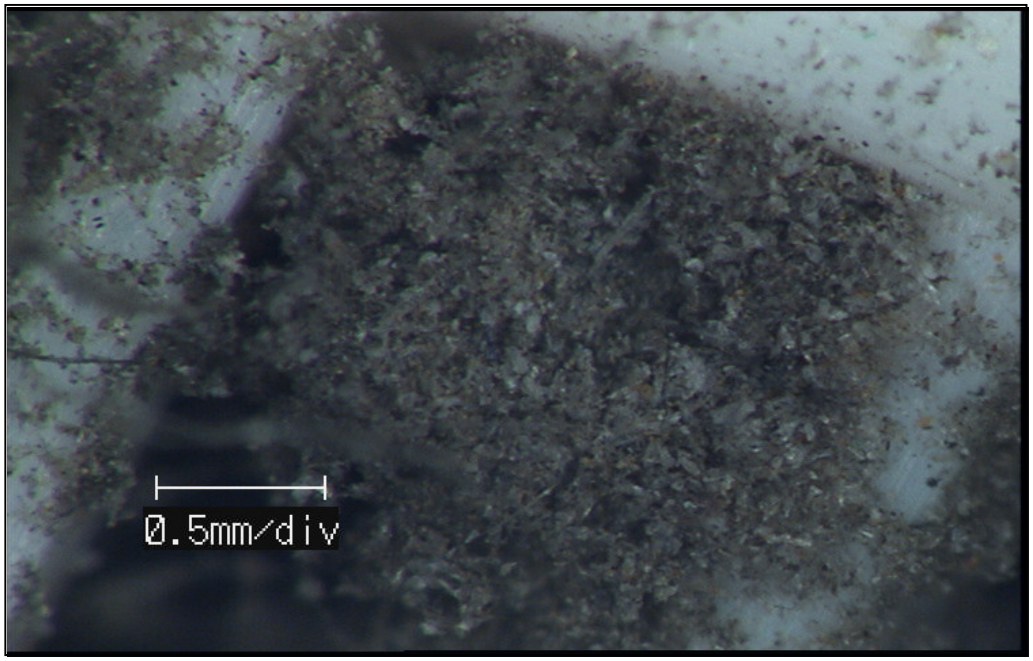


写真 3-46　ST(居間)におけるフィルター表面の付着状況

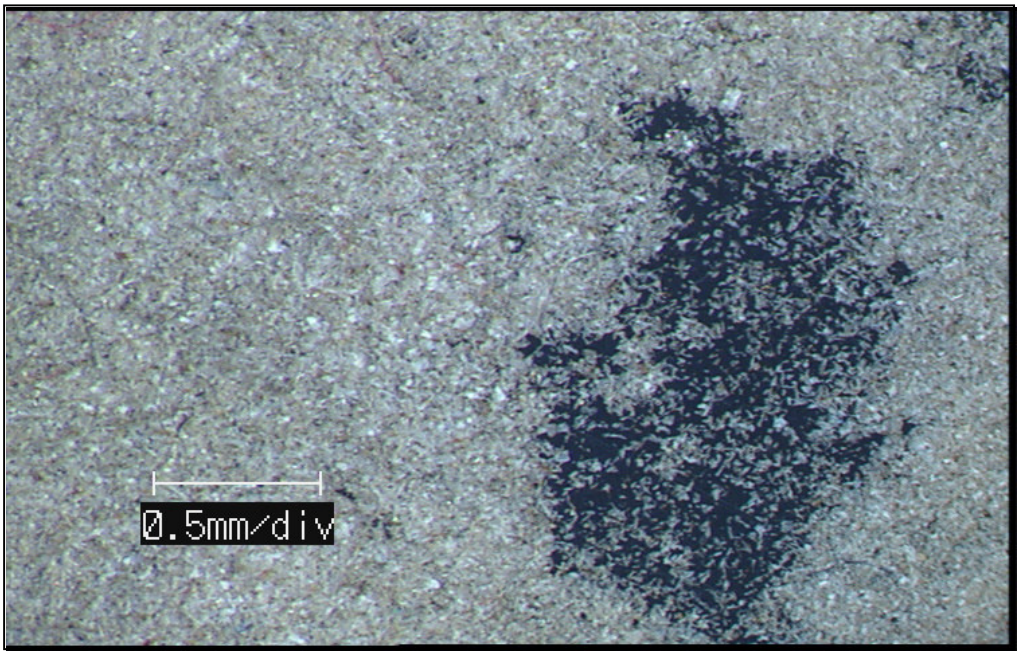


写真 3-47　ST(居間)におけるフィルター内部の付着状況

d) SW(台所)

- プラスチック網フィルターには繊維状および粒子状の埃が油によって網表面に幕を作っていることが認められる。周辺部には隙間が見られたが、中央部はこの油の幕で覆われている。
- フィルター内部にも油が付着し、その上に多量のほこりが付着している。

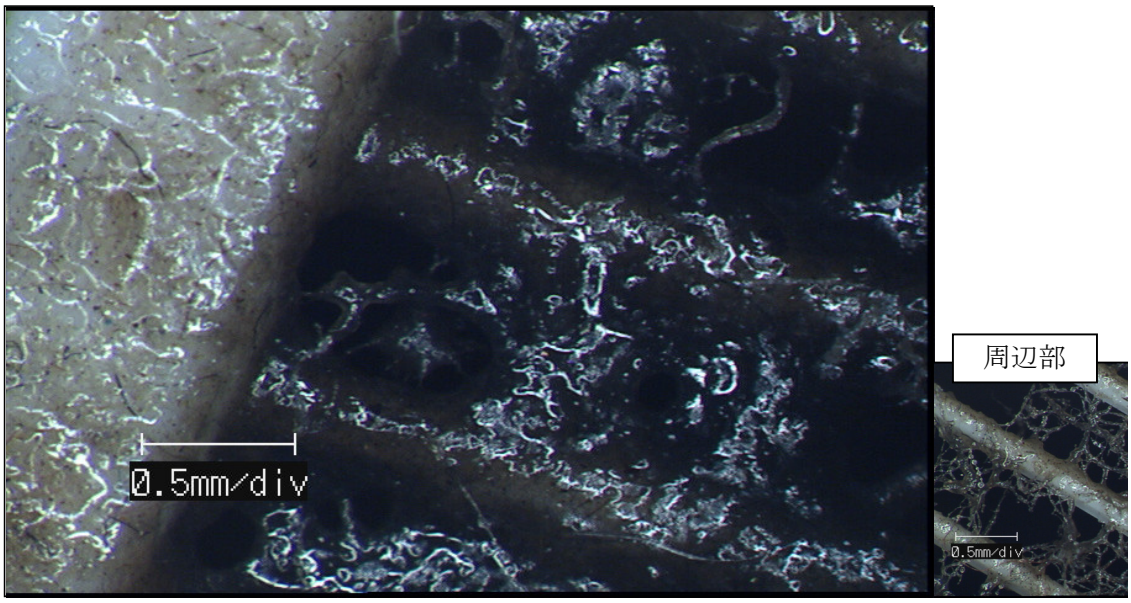


写真 3-48　SW(台所)におけるフィルター表面の付着状況

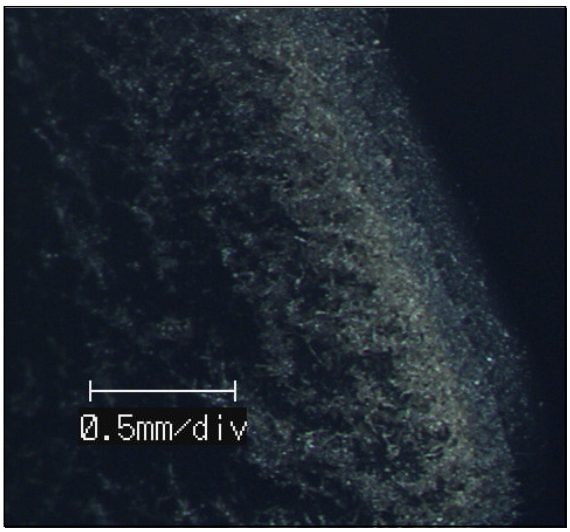


写真 3-49　SW(台所)におけるフィルター内部の付着状況

②付着物の量と質

a）付着物の量

図 3-97 に屋外設置した給気フィルターの捕集物質の質量比較を示す。概ね捕集率が高い程捕集物量は大きくなる傾向を示している。

図 3-98 に屋内設置した排気フィルターの捕集物質の資料比較を示す。同一のフィルターを使用していても、設置場所によって捕集量が大きく異なる。最大値を示した SW は設置場所が台所であり、プラスチック網の表面に油が多量に付着し、油が糊のような作用を示し、捕集量が大きいと考えられる。

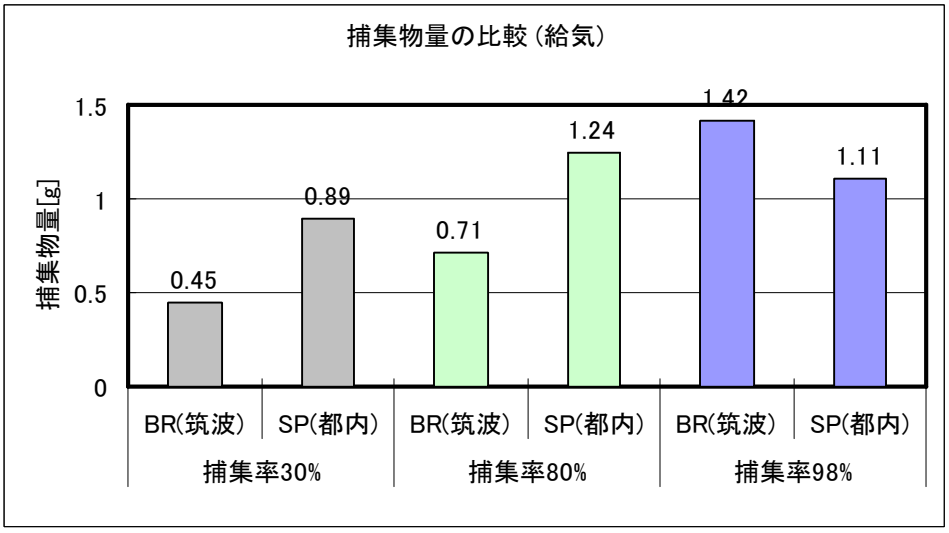
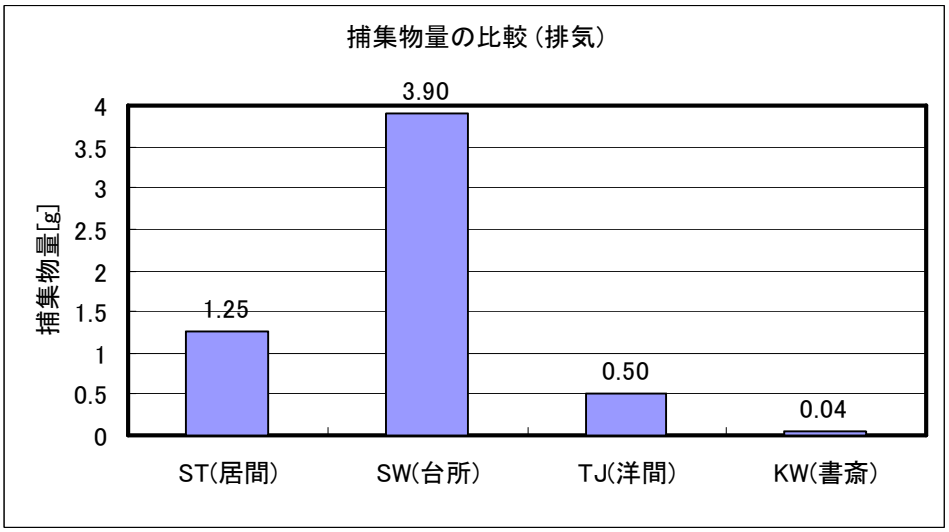


図 3-97　給気フィルターにおける捕集物量



※KW（書斎）は参考値、圧力損失測定において埃の塊が一部脱落した後の測定の為。

図 3-98　排気フィルターにおける捕集物量

b）付着物の質

油について、捕集物から n-ヘキサンを用いて油分(油脂)を抽出し、その重量を測定した(ヘキサン抽出物質)。図 3-99 と図 3-100 に給排気実験装置各々のヘキサン抽出物質の重量と割合を示す。屋外設置の給気実験装置は、鉱物性油脂類の割合が大きい傾向を示しており、自動車の排気ガスの影響と考えられる。一方で屋内設置の排気実験装置は、動植物性油脂類の割合が大きく、食用油に影響を受けたものと考えられる。給気実験装置については、捕集率や設置場所による傾向は読み取れないが、排気実験装置については、フィルター有無によらず、設置場所によって絶対量が異なることが分かる。

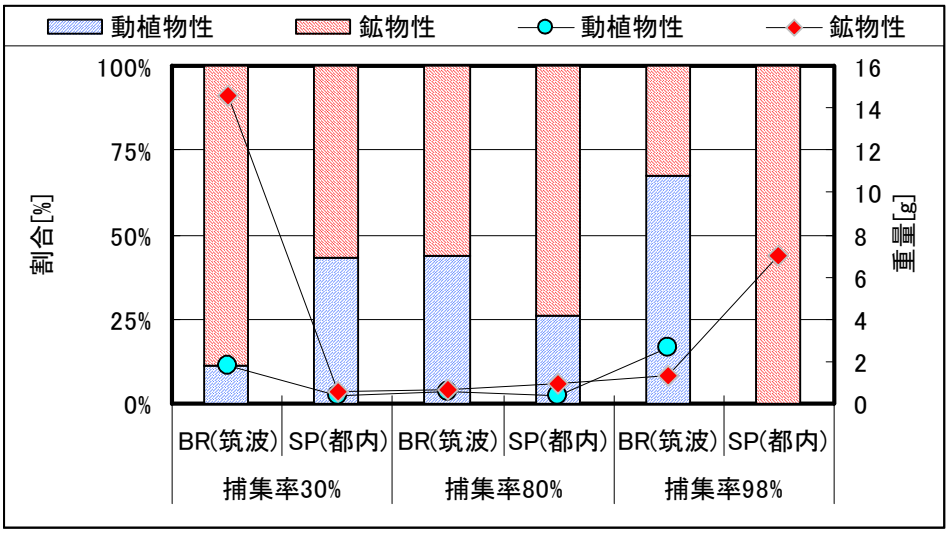


図 3-99　捕集物中の油分の構成割合と量(給気)

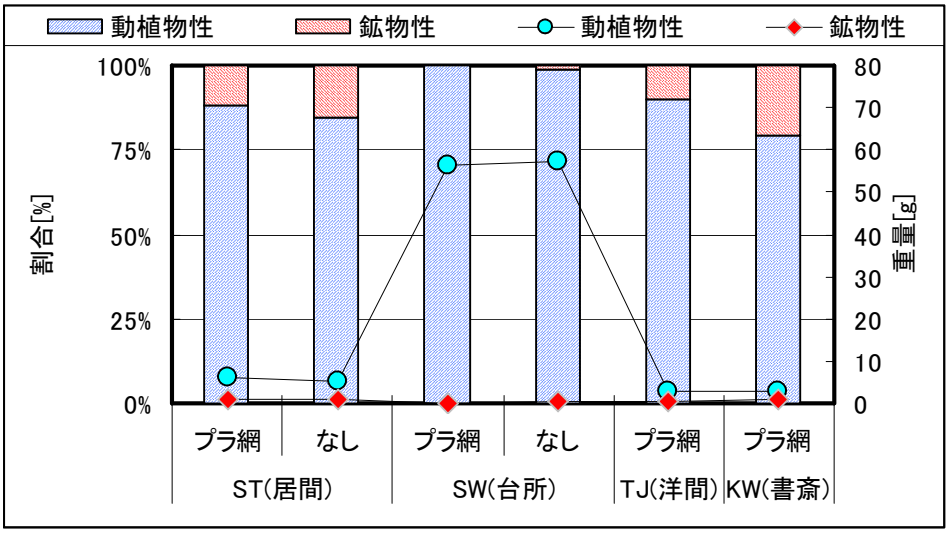


図 3-100　捕集物中の油分の構成割合と量(排気)

フィルターの劣化を促すと考えられる捕集物中の酸性物質(陰イオン)の種類別の量を図 3-101 から図 3-104 に示す。測定した陰イオンの種類は 6 成分(フッ素イオン、塩素イオン、臭素イオン、硫酸イオン、亜硝酸イオンおよび硝酸イオン。燐酸イオンは妨害成分のため再現性が取れず、測定不可とした)である。フィルター種、設置場所に係わらず、塩素、硫酸、硝酸が主成分として検出された。給気実験装置では高性能除塵フィルターの全種類で陰イオン濃度が特徴的に低く、フィルター種によって捕集される捕集物の種類が異なると考えられる。排気実験装置では、設置場所によって検出濃度が異なるが、設置場所の空気の質による相違と考えられる。

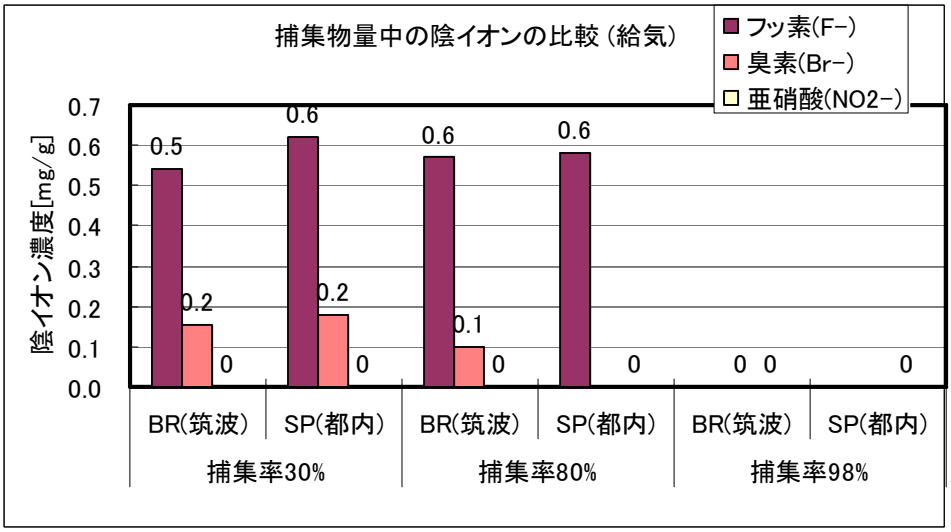


図 3-101　捕集物中の陰イオン量(フッ素・臭素・亜硝酸:給気)

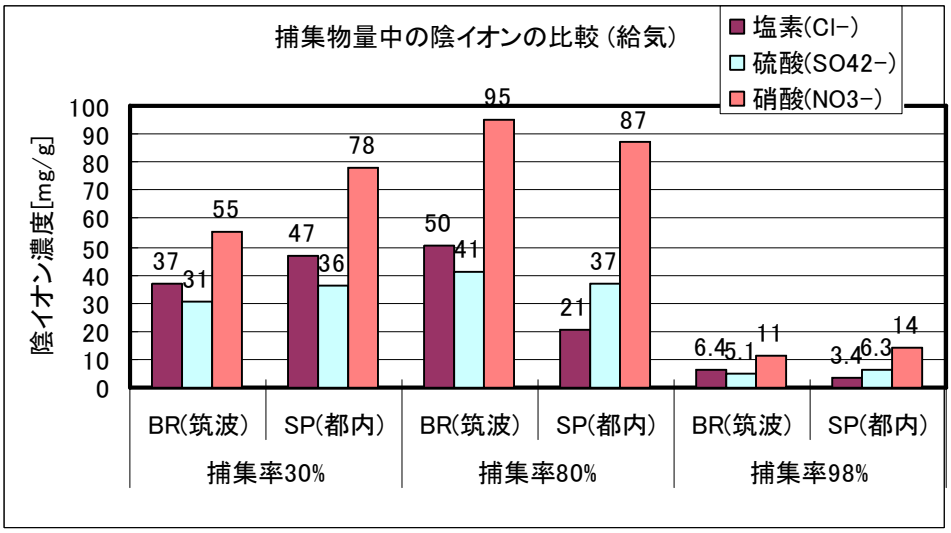


図 3-102　捕集物中の陰イオン量(塩素・硫酸・硝酸:給気)

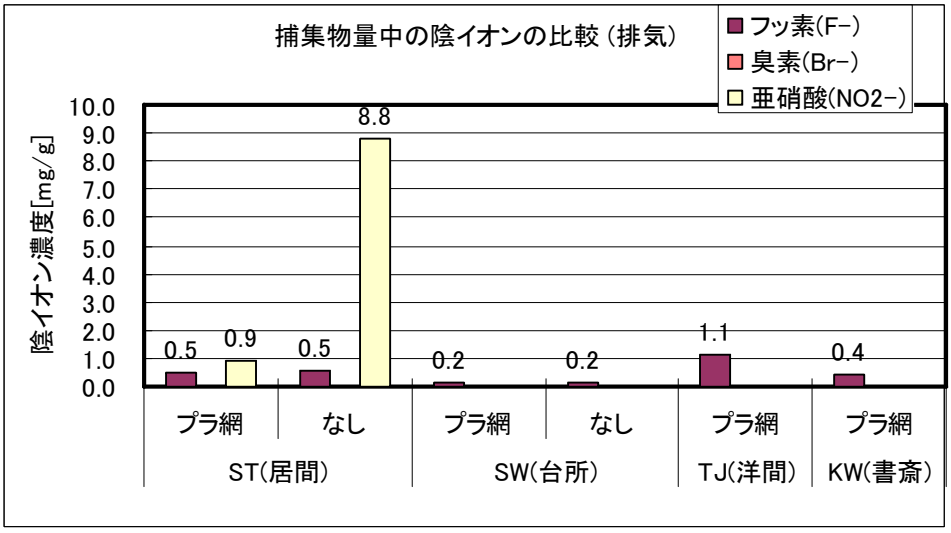


図 3-103　捕集物中の陰イオン量（フッ素・臭素・亜硝酸：排気）

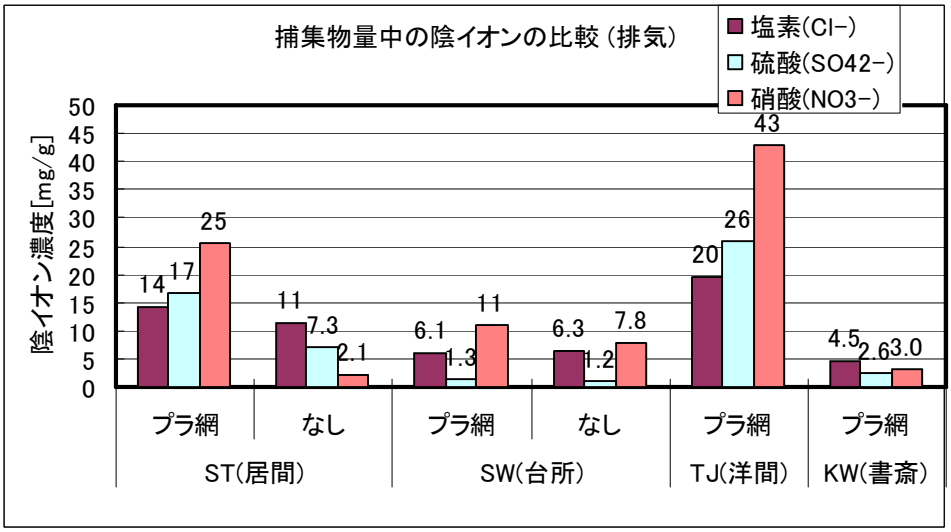


図 3-104　捕集物中の陰イオン量（塩素・硫酸・硝酸：排気）

4-4 まとめ

「4-3　実験結果と考察」に記した考察を以下のようにまとめる。

(1) 給気ファンは、1 日当り 0.02～0.05[(m3/h)/日]の風量が減少することが確認された。この風量減少は各実験装置に用いた給気ファンの能力の 0.29～0.08[%/日]に相当し、35 日で最大 10%の風量が減少することとなる。

(2) 給気ファンでは高性能なフィルターほど能力減少が大きくなることが確認された。今回の実験から得られた減少率から、5%の能力低下、又は 10%の能力低下をフィルター清掃（又は取替え）時期としてメンテナンス間隔を計算すると、表 3-22 のように最短で 17 日、10%までの能力低下を許容しても 34 日となり、メーカーが推奨する 2 か月では不十分となる場合もありえることが確認された。

表 3-22　実験結果から得られた給気用フィルターのメンテナンス間隔

給気用フィルター		風量減少率 [%/日]	フィルターのメンテナンス間隔 [日]	
			5% の能力低下	10% の能力低下
捕集率 30%	粗塵用サランネット	0.17%	29	58
捕集率 80%	中性能フィルター	0.18%	27	55
捕集率 98%	中性能フィルター	0.29%	17	34

(3) プラスチック網フィルターを有する排気ファンの速度減少は、最大で 0.49[(m³/h)/日]、最小で 0.18[(m³/h)/日]、減少率にすると 0.78[%/日]から 0.21[%/日]となる。フィルターの無い排気ファンでも風量減少が確認されたが、減少率は 0.03～0.08[%/日]程度と少ない。

(4) 実験結果から計算した排気ファンのメンテナンス間隔は表 3-23 のようになり、場所によってはプラスチック網フィルターを 6 日程度で清掃しなくてはならない。ただし、プラスチック網フィルターは、本来ファンやプロペラを粗塵から保護するもので、そのメンテナンスは非常に容易（正面から掃除機で吸い取れる）である。また実験結果ではフィルターが無い状態でも 60 日（2 か月）で 5%の能力低下が生じることが確認されているので、このメンテナンスを容易にする上でもプラスチック網フィルターは有効な方法であるかもしれない（未検証)。

表 3-23　実験結果から得られた排気用フィルターのメンテナンス間隔

排気用フィルター	風量減少率 [%/日]	フィルターのメンテナンス間隔 [日]	
		5% の能力低下	10% の能力低下
プラスチック網フィルター	0.76%	6	13
フィルターなし	0.08%	60	120

(5) ファンの能力低下はP-Q特性の悪化で生じている。フィルターの無い機種でも能力低下が生じていることから、フィルターの交換だけでなく、プロペラやシャッターの清掃なども定期的に行うことが望ましい。フィルターなしの排気ファンの実験結果を引用すれば、ファンなどの清掃は4か月ごとに行う必要がある。

(6) 排気用のプラスチック網フィルターは2μm以上の粒子を捕集しており、粗塵からファンやプロペラを保護する可能性がある。

(7) 給気用の粗塵用フィルター、中性能フィルター共に捕集効果が確認され、特に98%捕集率の中性能フィルターは2μm以上の粒子の大半を捕集している。(実測結果なので、JISで定められた試験結果とは異なると思われる)

(8) 換気部材に付着する汚れは、量、質ともに設置場所やフィルターの種類によって様々であるが、特に油汚れが付着しやすい状況では、汚れの付着量が多くなる。

５．　換気システムの清掃と衛生に関する調査及び実験

5-1　換気システムの清掃と衛生に関する調査

5-1-1　はじめに

住宅用の換気設備は、換気設備メーカーの推奨する期間および方法によって清掃が行われるべきであり、その目的は主に換気システムの稼動に支障が出ないようにすることである。また、空調設備や換気設備の清掃は衛生の視点からも重要であると考えられるが、その方法は主にダクト径の大きい非住宅用の設備に関するものがほとんどで、わが国で多く使用されているダクト径の小さい(たとえば・50㎜)換気設備における清掃の効果およびその清掃方法に関しては、情報がほとんどない。そこで本調査では、清掃の効果、清掃の手法、清掃と衛生の関係、などについて主に国内外の文献調査を行い、整理を行うことを目的とする。

5-1-2　調査方法および調査対象文献

文献調査では、国内外の清掃と衛生に関する規格、書籍、論文を対象として調査を行った。調査結果より、調査対象の文献一覧を表 3-24 に、調査の対象とした文献を発行している団体を表 3-25 に、示す。

表 3-24　調査対象文献一覧

番号	発行元	文献名称	発行年
F1	AIVC	VIP02 2003: Indoor Air Pollutants Part 1: general description of pollutants, levels and standards	2003
F2	AIVC	TN58 Reducing Indoor Residential Exposures to Outdoor Pollutants	2003
F3	AIVC	TN56 A review of international literature related to ductwork for ventilation systems	2002
F4	AIVC	BIB10 2000: An Annotated Bibliography Ventilation Air Duct Cleaning Office Buildings	2000
F5	CIBSE	TM26 2000:Hygenic maintenance of office ventilation ductwork	2000
F6	NADCA	AVR 2005:Assessment Cleaning and Restoration of HVAC system	2005
F7	NADCA	Introduction to HVAC system cleaning services	2005
F8	VDI	VDI 6022 Part 1: Hygienic standards for ventilation and air-conditioning systems Offices and assembly rooms	1998
F9	VDI	VDI 6022 Part 2 1999: Hygienic standards for ventilation and air-conditioning systems Standards for hygiene training	1999
F10	CEN	EN 779 2002: Particulate air filters for general ventilation - Determination of the filtration performance	2002
D1	JSA	JIS B 9908 換気用エアフィルタユニット・換気用電気集塵機の性能試験方法	2001
D2	JADCA	ダクト系にみる実態と清掃管理	1989
D3	JADCA	日本ダクトクリーニング協会技術基準	1990
D4	JADCA	空調系ダクト内部清掃の診断、判定要領	1991
D5	JADCA	ダクト系にみる実態と清掃管理	1992
D6	JADCA	空調設備清掃作業監督者講習会テキスト	1995
D7	JADCA	健全な室内空気環境をいかに守るか	2000
D8	JADCA	第 14 回建築物環境衛生セミナー	2000
D9	JADCA	空調ダクトの衛生管理	2001
D10	JADCA	空調ダクト清掃作業従事者研修用テキスト	2003
D11	JADCA	空調用ダクトの実務	2004
D12	JADCA	新版厨房排気設備の清掃管理の手引き	2005
D13	AIJ	柳宇ら：空調用ダクトの簡易評価方法の開発、日本建築学会環境系論文集	2003

表 3-25　調査対象文献を発行している団体

団体略称	団体正式名称	備考
AIVC	Air Infiltration and Ventilation Centre	国際エネルギー機関(IEA)換気センター
CIBSE	Chartered Institution of Building Services Engineers	英国を中心とした公認建築設備技術者協会
NADCA	National Air Duct Cleaners Association	全米エアーダクトクリナーズ協会
VDI	Verein Deutscher Ingenieure	ドイツ技術者協会
CEN	European Committee for Standardization	欧州標準化委員会
JSA	財団法人　日本規格協会	Japanese Standard Association（英語名称）
JADCA	中間法人　日本ダクトクリーニング協会	Japanese Air Duct Cleaners Association（英語名称）
AIJ	社団法人　日本建築学会	Architectural Institute Japan（英語名称）

5-1-3　換気設備の清掃と衛生に関する法規、基準、ガイドライン

国内外とも、住宅用空気調和・換気設備は、空気調和・換気設備全般に含まれており、調査対象文献からは、住宅用のみを対象とした基準やガイドラインは確認できなかった。

(1) 国内の清掃と衛生に関する法規、基準、ガイドライン

表 3-26 に国内の空気調和･換気設備一般に関する清掃と衛生に関する「基準およびガイドライン」とその概要を示す。

また、特定建築物（一定用途の 3000㎡以上の建築物）に関しては、空気調和・換気設備一般に対する衛生の法規として、直接的な法規ではないが、建築物における衛生的環境の確保に関する法律（建築物環境衛生管理基準）いわゆるビル管法が存在する（表 3-27 参照)。

表 3-26　国内の清掃と衛生に関する基準およびガイドライン

種別	発行元	題名	発行年	内容
基準	日本ダクトクリーニング協会	日本ダクトクリーニング協会技術基準	1990	(1)適用性 (2)清掃度 (3)ダクト、天井等に対する影響 (4)施工性 (5)経済性
ガイドライン	日本ダクトクリーニング協会	空調ダクトの衛生管理	2001	厨房排気ダクト系の点検・清掃

表 3-27　空気調和設備を設けている場合の建築物環境衛生基準

浮遊粉塵の量	0.15 mg/m³ 以下
一酸化炭素の含有率	10 ppm 以下
二酸化炭素の含有率	1000 ppm 以下
温度	17 ℃ 以上 28 ℃ 以下（機械換気設備を設けている場合は、除外）
相対湿度	40 % 以上 70 % 以下（機械換気設備を設けている場合は、除外）
気流	0.5 m/s 以下
ホルムアルデヒドの量	0.1 mg/m³ 以下

【参考文献】

D3, D7, D12

(2) 海外の清掃と衛生に関する法規、基準、ガイドライン

表 3-28 に海外の空気調和・換気設備一般に関する掃と衛生に関する「基準およびガイドライン」とその概要を示す。

表 3-28　海外の清掃と衛生に関する基準およびガイドライン

種別	発行元	題名	発行年	内容
基準	NADCA	AVR 2005 Assessment Cleaning and Restoration of HVAC system	2005	冷暖房空調設備の清浄度の評価と清掃が必要な時期の決定する手順を示している。
ガイドライン	VDI	VDI 6022 Part 1 Hygienic standards for ventilation and air-conditioning systems Offices and assembly rooms	1998	事務所ビルの衛生に関する計画、設計、運用、管理に関する必要事項と手順を示している。
	CIBSE	TM26 Hygeneic maintenance of office ventilation ductwork	2000	事務所ビルの衛生に関する評価手法と実例を示している。
	NADCA	Introduction to HVAC system cleaning services	2005	冷暖房空調設備の清掃に関する概要を示している。

【参考文献】

F5，F6，F7，F8

5-1-4　空気調和・換気設備の汚れの種類

空気調和・換気設備における汚れは 2 種類存在する。ひとつ目は設備を通過する空気によって運ばれてくるもの、ふたつ目は換気設備自体の損傷や腐食によって生じるものである。空気によって運ばれてくる汚れは外気側からは粉塵、微生物、花粉、虫などであり、室内側からは粉塵、繊維、油などである。外気の汚れの発生源は、車、商業・生産活動、公共施設、農業、建設、建物廃棄、水、鳥、げっ歯類、建物管理、土壌などであり、室内の汚れの発生源は、衣服、カーペット、ペーパーダストなどである。空気調和・換気設備自体の損傷や腐食は、設備に使用される素材に耐性の強いものを選び、運用時の周囲環境を適切に保つことで汚染の発生を防ぐことができる。また、換気システム自体の汚れとして製造時に使用された油分が残っている場合も指摘されている。

以下の項に空気調和・換気設備の汚染物質である粉塵、微生物、その他（油、虫など）について記述する。

【参考文献】

F1，F2，F3

(1) 粉塵

室内の浮遊粉塵は、空調機の起動時のような外乱が生じると飛散して粉塵濃度が上昇し、定常運転状態になるにつれて安定していく。空気中の浮遊粉塵の粒径は 0.01～10μm のものが多く、人間の肺に影響を及ぼす大きさは、0.3～10μm といわれている。浮遊粉塵量も経過年数が経つほど増加する傾向がある。

粉塵が堆積しやすい場所は手の届かないダクト内である。ダクトの堆積粉塵は、ダクトの用途に

よって異なる。外気ダクトは、建物周辺環境の影響を大きく受け、微細土砂などが、ダクト底面に付着堆積する傾向がある。給気ダクトは、空調機内部にあるフィルタを通過した微粉塵が、ダクト内で衝突を繰り返しながら大きくなり付着・堆積する。炭素質の粉塵や結晶質、さび、ガラス繊維などが多く、ダクト底面や分岐部、ダンパなどの乱気流が発生する部位に多く付着・堆積する傾向がある。還気ダクトは室内空気をフィルタを通さずに直接空調機に戻しているため、給気ダクトに対して分時の付着・堆積量が多い。人の行動から発生する衣服の繊維、カーペットのくず、ペーパーダストなどの繊維質粉塵がダクト全面にわたり付着・堆積する傾向がある。建物の経過年数と堆積粉塵量との関係は、立地条件、使用状況などにより差異はあるものの、付着・堆積粉塵量は経過年数が経つほど増加する傾向がある。

【参考文献】

D5, D6, D10, D12

(2) 微生物

浮遊微生物は、菅原らの報告より「ダクトからの放出真菌濃度は室内の真菌濃度とほぼ一致しており、室内の真菌濃度はダクトからの放出によって構成されている」とされている。また、これらの微生物は、ダクトの清掃により減少することが確認されている。

ダクト内付着微生物は、粉塵 1g あたり、細菌量は平均で 10^4 個、真菌量は平均で 5×10^3 個の調査結果があり、還気ダクト内の粉塵中の細菌・真菌量は給気ダクト内の粉塵と比較して 5～10 倍高い傾向が見られた。これまでは、ダクト内粉塵には真菌が多く、細菌が少ないという報告があったが、ダクト内には真菌に劣らず細菌も多く存在することが確認された。細菌は、生物由来の菌であることから居住者との関連性も考えられる。

【参考文献】

D6, D10, D11

(3) その他

その他の汚れとして、油、虫、花粉などが挙げられる。

油は、厨房が汚染源となり換気設備に付着する。業務用の厨房における油が引き起こす問題は防火ダンパの作動不良による防火的問題、換気ファン効率の低下による機能的問題、油塵の落下や臭気による環境衛生的問題、機能的問題や環境衛生的問題の 2 次的なものとして経済的問題も挙げられる。

【参考文献】

D12

5-1-5　ダクトにおける汚染評価方法

ダクトにおける汚染の評価には、「塵埃量」に関する評価方法と「衛生」に関する評価方法がある。

（1）塵埃量に関する評価方法

塵埃汚染を評価する方法は、「定性的診断法」と「定量的診断法」の大きく 2 つに分けられる。

①定性的診断法

主に、観察対象となる部位に粉塵の付着や堆積が認められるか、内貼材などのダクト周りの部材が破損し、汚染物質の発生源となっていないかを目視によって定性的に判断する方法。その手法を以下に挙げる。

a）吹き出し口汚れ観察
b）エアフィルタなどの汚れ観察
c）内視鏡によるダクト内部観察
d）点検ロボットによるダクト内部観察

②定量的診断法

定量的診断法は、「拭い取り法」が基本的な評価方法とされ、必ず実施することが注記されている。その他の方法は、「浮遊粉塵濃度測定法」と「光透過法」などがある。

a）拭い取り法

マグネットシート製の拭い取り枠（内枠寸法 100×100 ㎜）を使用し、ポリプロピレン 100%の不織布を 2 枚使用して枠内の堆積物を残らず拭い取り、その重量を電子天秤で測定する方法。
ダクト清掃時期の判断のための評価基準は、日本ダクトクリーニング協会の調査によれば、ダクト内底面の堆積粉塵量が 5.0 g/m^2 を超えると吹出し口からの粉塵の飛散が測定されるため、3.0 g/m^2 と設定されている。

b）吸引法

アメリカの NADCA が規定している手法である。ダクト面に 2cm×50cm の枠を 2 つ合計 100cm^2 の開口を持ち 0.381mm 厚のテンプレートを置き、15 リットル/分の吸引能力を持つメンブレンフィルタを装着したポンプを用いて吸引し、フィルタを秤量して粉塵量を求める。
NADCA による吸引法での評価基準は、0.75mg/100cm^2 以下となっている。

c）浮遊粉塵濃度測定法

浮遊粉塵濃度は、外気や室内空気の条件に大きく左右されるという問題点があるため、ダクト清掃効果の客観的な評価に用いる場合は、今後の更なる研究が必要であるとされている。

測定方法は、重量濃度法と個数濃度法があり、重量濃度法はビル管理法で定められた測定法であるが、この方法は主として室内空気の粉塵濃度を測定することに適しており、空調ダクトから放出する空気の粉塵濃度を測定するには、個数濃度法を使用するのが良いと判断している。

個数濃度法は、測定粒径が問題になるが、現在、一般室内環境で用いられている個数濃度計（パーティクルカウンタ）では、直径0.3～5.0μmを測定できるものが多い。(0.3、0.5、1.0、2.0、5.0μmの粒径別の同時測定)。このうち0.3 μmと0.5 μmは、ダクト内部汚染以外の変動要素が多く、5.0μmは測定値が非常に低い。これより、一般環境における空調ダクト汚染を評価するには、粒径1.0 μmまたは2.0 μmの測定値を使用するのが適切であると考えられる。

測定手順を以下に示す。

ｲ. 設備を停止状態にし、十分な時間（おおむね10分間以上）放置する。
ﾛ. 吸引用チューブは吹き出し口にセットする。
ﾊ. 空調機停止状態のまま測定を開始し、おおむね5分以上測定を行う。
ﾆ. 空調機を運転状態に切り替え、おおむね10分以上測定を行う。
ﾎ. 測定結果を1リットルあたりの個数濃度に換算する。
ﾍ. ピーク時濃度、定常運転時濃度を計算し、その日を取り発塵率を計算する。

発塵率＝起動時の最大値／定常運転時の平均値

評価判定基準として、ダクト清掃の暫定評価値として発塵率2.00が定められている。

d）光透過法

メンディングテープ（アセテートフィルム：半透明の粘着テープ）をダクト内部の測定個所に貼り付け、ローラで一定の圧力をかけた後に引き剥がし、照度計を用いた装置で光透過度を計測し、その値によりダクトクリーニング効果およびダクト内の汚染状況を評価する方法。
特徴として、現場作業のみで評価できる簡易法である点、付着・堆積塵量を重量ではなく指数で評価する点があげられる。

測定手順を以下に示す。

ｲ. メンディングテープをテープ固定版に貼り付け、光透過装置に挿入し、上部より光を当て株の症時計の測定値を読む。この作業を2枚分行い、その平均値をとり、この値を無塵テープの光透過度とする。
ﾛ. ダクト開口部よりダクト内底面の所定個所に粘着テープを貼り付け、圧着ローラでテープ上を5回往復させ、粉塵をテープに付着させる。
ﾊ. 180度引きはがし法（JIS Z 0237-1991 粘着テープ・粘着シート試験法「180度引きはがし法」））により、引き剥がしたテープをテープ固定板に貼り付け、光透過測定装置に挿入し、上部より光を当て下部の症時計の測定値を読む。この作業を2枚分行い、その平均値を取る。
ﾆ. 測定結果から次式により光透過指数を算出し、その指数によりダクト内付着・堆積塵量の評価を行う。

光透過指数＝（粉塵付着テープの光透過度／無塵テープの光透過度）×100

評価判定基準は、拭い取り法による堆積粉塵量との相関関係の調査から、光透過指数を 85%以上と定めている。

e）デジタル画像法

柳らが提唱する手法で、拭い取り法と同程度の計測精度でかつ短時間・手間のかからない計測方法であり、ダクトの形状から受ける影響が少ない利点を持つ。

測定方法は、透明な粘着テープをダクト表面に取り付けた後に引き剥がし、デジタル顕微鏡の台座に取り付け撮影を行う。その画像をパソコンにて二値処理化を行い、面積率（視野面積に対する粒子の投影面積の割合）を算出する。その面積率を用いて、付着粒子の面積率重量の関係より付着粒子重量を求める。

【参考文献】

F7, D4, D5, D6, D10, D11, D13

(2) 衛生に関する評価方法

衛生の評価には、参考文献 F5, F10 などに記述されているように培地で培養した微生物量により評価することが一般的である。点検の評価方法には、ダクト内表面の付着菌量を測定するスタンプ法と吹出し空気流の浮遊菌量を測定し、汚染度を診断するものに分けられる。

①スタンプ法

a）ダクト表面にローダックプレートを圧着させる。

b）実験施設に搬送し培地を培養し微生物量を測定する[*1]。

[*1] 国内参考文献 D8 では、培地を一般細菌は 37℃で 24 時間、真菌は 25℃で 72 時間、海外参考文献 D5 では 25℃で 4～7 日間培養すると記述されている。

②浮遊微生物濃度測定法

a）エアサンプラに培地をセットし、吹き出し空気を 200 リットル吸引する

b）実験施設に搬送し培地を培養し微生物量を測定する[*2]。

[*2] 国内参考文献 D11 では、培地を 30℃で 72 時間、海外参考文献 D5 では 25℃で 4～7 日間培養すると記述されている。

ただし、微生物量の測定結果についての具体的な評価判定基準は定められていない。提案値として、JADCA によって浮遊微生物濃度は表 3-29 に示す値が示されているほか、CIBSE によっても表 3-30 に示す値が出されている。スタンプ法による提案値は CIBSE によって表 3-31 に示す値が出されているが、国内の文献では値は示されていない。

表 3-29　浮遊微生物濃度測定法での評価判定基準（提案値）（参考文献 D11 より抜粋）

ダクト清掃の実地目安として浮遊微生物濃度	ダクト清掃後の浮遊微生物濃度
100　cfu/m^3	30cfu/m^3

表 3-30　Classification of air sampling microbial limits（参考文献 F5 より抜粋）

Category	Colony forming units per cubic meter ($cfu.m^{-3}$)
Low	<100
Medium	>= 100 but <1000
High	>= 1000

表 3-31　Classification of air sampling microbial limits（参考文献 F5 より抜粋）

Category	Colony forming units per cubic meter (cfu per 10 cm^2)
Low	<10
Medium	>= 10 but <20
High	>= 20

【参考文献】

F5, D8, D11

5-1-6　ダクト清掃方法

空気調和・換気設備の清掃は、設備全体を対象とするものであるが、特にダクトは搬送空気に接する面積が大きいため汚染物質が堆積しやすく、また両端を装置で閉じられているためアクセス方法が限られるため点検および清掃が困難である特徴がある。そのため、汚染物質の温床となりやすい個所であり、その点検と清掃の重要性が高い。以降の節に空気調和・換気設備一般におけるダクト清掃手法とその実例を示す。

(1) ダクト清掃手法

ダクト清掃手法の原理は、国内外に大きな差異は無く、主に以下の 4 つの方法がある。

①振動ではがす方法

主として、圧縮空気を利用した清掃用具を使用し、ダクト内表面をたたくことで振動させ、塵埃を落とす方法。清掃用具は、先端にゴムチューブを取り付けた形をしており、これらが圧縮空気で暴れてダクト内表面を打ちつける。

②はたく方法

はたき状の清掃用具を使用し、集塵機や送風機の気流によって動かし、ダクト内表面をはたく方法。

③こする方法

ダクト内にブラシを挿入し、ダクト内表面をこする方法。ブラシには、回転式のもの、ピストン式のもの、ロボットによるものがある。

④吹き飛ばす方法

圧縮空気を利用して、ダクト内の汚れを吹き飛ばす方法。ダクト径が小さく、上記の清掃用具が使用できない場合に用いられる。

この他に、海外では薬剤を使用した消毒や汚染物質を皮膜で包む方法も存在するが、どちらも長期的な清掃効果の持続が保証されないため推奨はされていない。

また、国内では建設省が 1985 年（昭和 60 年）8 月、「建築物の空気調和用風道の内部清掃工法の開発」の課題として、建設技術評価の一般公募を行い、厳格な審査のうえ 1987 年（昭和 62 年）8 月に以下に示す 4 工法に建設大臣がダクトクリーニングの評価書を公布した。

①D.C.C 工法

エアコンプレッサーをロボット及びテンパーホースを回して、ビーテリングノズル（高圧エアによる叩き運動を行うもの）を作動させ、ダクト内の塵埃を剥離し、空調機の送風により、吹出し口よりフィルタまたは集塵機で集塵する。

②ACVA システム工法

ACVA ポイント（室内天井に取り付けた清掃口）からエアコンプレッサーのエアを、エアランスを用いて、ダクト内の塵埃を剥離し、空調機の送風により、吹出し口に取り付けたチューブ末端のフィルタに集塵する。

③P・C・G ダクリン工法

空調機側のダクトとダクリンコレクタ（集塵機）を仮設ホースで接続し、ダクト内を吸引させながら、吹出し口及びダクト清掃口より挿入させたストリーマで、塵埃を剥離し、集塵する。

④ATM 工法

清掃ロボットに取り付けられたブラシ､及び清掃用ブラシをダクト内に挿入し､ブラシにより、剥離した塵埃を、集塵ロボット及び外部集塵機に集塵する。

【参考文献】

F5, F6, F8, D2, D3, D6, D10 D11

(2) 換気設備の清掃実施例

国内の空気調和･換気設備の清掃前後によるダクト内堆積粉塵の変化として表 3-32 のような結果が報告されている。また、浮遊微生物の清掃前後の変化は図 3-105 のようになる。

表 3-32　ダクト内堆積粉塵量（参考文献 D11 より抜粋）

建物	都市	建物経年	ダクト堆積粉塵量　g/m²		空調方式
			清掃前	清掃後	
A	堺市	15	9.00～15.00	0.45～0.60	各階ユニット
B	門真市	20	2.50～10.20	0.66～0.83	各階ユニット
C	東京都	21	7.92～20.00	0.08～0.85	中央方式
D	大阪市	25	4.50～23.50	0.25～0.83	中央方式
E	東京都	31	13.88～20.00	0.36～2.30	中央方式
F	東京都	38	28.90～49.00	1.28～3.48	各階ユニット

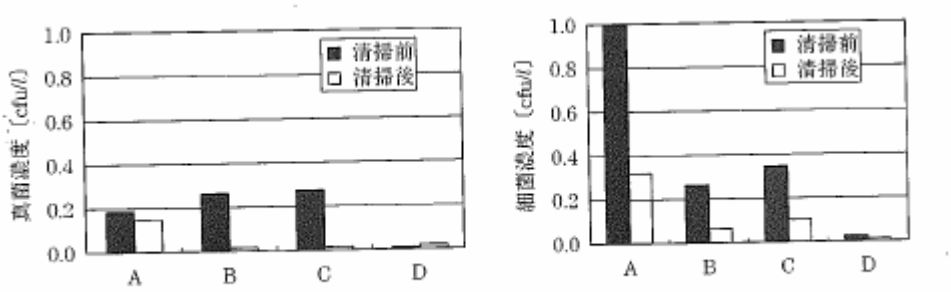


図 3-105　浮遊微生物の清掃前後の変化（参考文献 D11 より抜粋）

また、海外の空気調和・換気設備の清掃前後による微生物の清掃前後の変化として図 3-106 のような結果が報告されている。

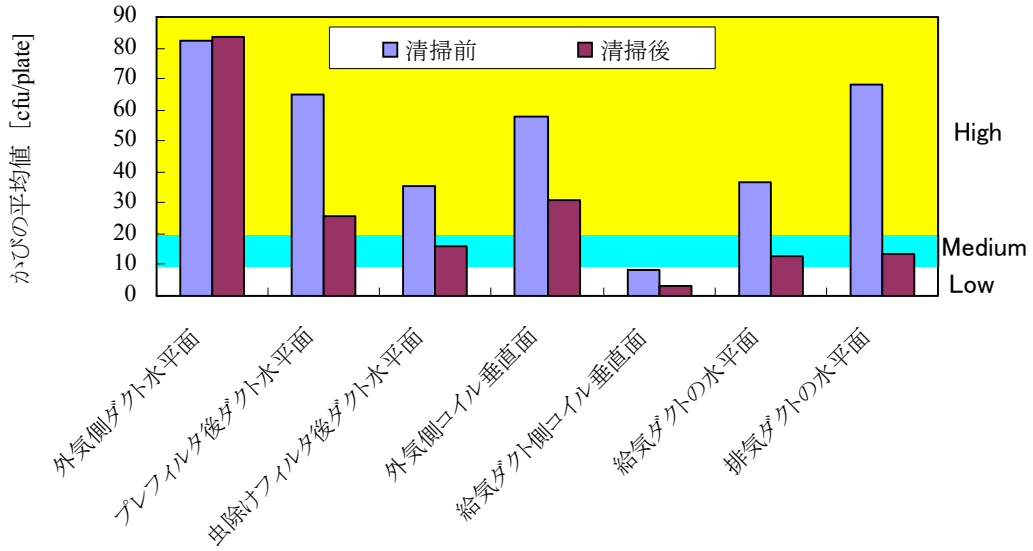


図 3-106　ダクト内面の微生物の清掃前後の変化（参考文献 F5 参照）

【参考文献】

F5, D11

5-1-7　換気設備の汚染予防

換気設備の汚染予防において最も重要なのは、空調機とダクトを性能の良いフィルタで保護し、清掃の必要性を減らすか、もしくは必要性をなくすこととされている。そのためには適切な個所に適切なフィルタを設置しなければならない。

以降の節に国内外のフィルタの分類と参考文献 F8 よりフィルタに関する日常点検に必要と思われる項目を示す。

【参考文献】

F3

(1) フィルターの分類

フィルターは、その性能によって分類をされている。対象となる部屋もしくは対象となる設備によって適切なフィルターを選択する必要がある。フィルターの分類は国内外の規格が存在し、その分類を表 3-33 と表 3-34 に示す。

表 3-33　JIS B 9908 による試験方法の種類

試験方法	試験項目	主な適用範囲
形式 1	計数法による粒子補修率（初期値） 圧力損失	極微細な粉じん用フィルターユニット
形式 2	比色法又は光散乱積算法による粒子捕集率（平均値） 粉じん保持容量 圧力損失	やや微細な粉じん用フィルターユニット
形式 3	質量法による粒子捕集率（平均値） 粉塵保持容量 圧力損失	やや粗粒な粉じん用フィルターユニット
形式 4	計数法による粒子捕集率（初期値） オゾン発生量 圧力損失	やや微細な粉じん用電気集じん器

表 3-34　Classification of air filters according to EN 779

Class	Final pressure drop Pa	Average arrestance (Am) of synthetic dust %	Average efficiency (Em) of 0.4 μm particles %
G1	250	$50 \leqq A_m < 65$	
G2	250	$65 \leqq A_m < 80$	
G3	250	$80 \leqq A_m < 90$	
G4	250	$90 \leqq A_m$	
F5	450		$40 \leqq E_m < 60$
F6	450		$60 \leqq E_m < 80$
F7	450		$80 \leqq E_m < 90$
F8	450		$90 \leqq E_m < 95$
F9	450		$95 \leqq E_m$

NOTE The characteristics of atmospheric dust vary widely in comparison with those of the synthetic loading dust used in the tests. Because of this the test results do not provide a basis for predicting either operational performance or life. Loss of media charge or shedding of particles or fibres can also adversely affect efficiency (see annexes A and B)

【参考文献】

F10, D1

(2) 日常のメンテナンス

換気設備を汚染から守るためには、日常のメンテナンスが必要になる。海外の事務所用の空気調和設備および換気設備には、5-1-8（1）に後述するように定期的な検査がリスト化されている。それらの項目から住宅用の換気設備に適用できる項目として以下のものが挙げられる。

①室内端末部材のフィルタおよび本体の点検、清掃
②屋外端末部材のフィルタおよび本体の点検、清掃
③自然給気口のフィルタおよび本体の点検、清掃

【参考文献】
F8

5-1-8　換気設備の定期検査

住宅用空気調和・換気設備の清掃と衛生に関する法規、基準、ガイドラインは本調査では確認できなかったため、空気調和・換気設備一般に関する定期検査の項目と方法を 5-1-8（1）に示す。またそれより住宅用空気調和・換気設備に適用できる項目を抜粋したものを 5-1-8（2）に示す。

（1）空気調和設備用の定期検査用チェックリスト

ドイツ技術者協会規格空気調和設備の衛生基準に記載されている空気調和設備の定期検査リストを記載する。

		項目	必要に応じた措置	1か月	3か月	6か月	12か月	24か月	衛生点検
1		外気給気口と排気口							
	1.1	汚染、損傷、腐食の点検	清掃と修復				○		
2		中央管理式空調機							
	2.1	空気圧縮機の汚染、損傷、腐食の点検	清掃と修復				○		
	2.2	水溜りの点検	清掃、原因の特定			○			
3		エアフィルター（5.2.3 項参照）							
	3.1	許容できない汚染と破損（漏れ）の点検	もし、最近フィルター交換が 6 ヶ月以内に合った場合は、不良品のフィルターを交換する。それ以外は全てのフィルターを交換する。		○				
	3.2	圧力差の点検	フィルターの交換	○					
	3.3	再生フィルターを使用していない場合は、最新のフィルターを交換する、それ以外は全て清掃する							
		1 番目のフィルター部					○		
		2 番目のフィルター部						○	
	3.4	衛生状態の点検							○
4		加湿器（5.3.4 項）							
4.1		蒸発型と循環型噴霧式加湿器							
	4.1.1	汚れ、破損、腐食の点検	清掃と修復	○					
	4.1.2	加湿水の微生物数	微生物数が１０００KBE/ml 以上の場所では、洗剤を使用して清掃し、タンクを洗い流して乾燥させる、必要であれば消毒する	２週間毎					
	4.1.3	堆積物用の噴霧ノズルの点検	清掃もしくはノズルの交換	○					
	4.1.4	Dirt trap の状態と機能の点検	清掃と修復			○			
	4.1.5	加湿器タンク底の堆積物の点検	タンクの清掃	○					

	4.1.6	循環ポンプの汚れと管内部のコーティングの点検	循環ポンプの清掃	○					
	4.1.7	吹き出し端末の機能試験の実施	吹き出し端末の再調整			○			
	4.1.8	伝導率の機能試験	修復	○					
	4.1.9	殺菌設備の機能試験	修復	○					
	4.1.10	48 時間以上停止状態が継続した場合に加湿器を清掃する	洗剤を使用して清掃、洗浄タンクを洗い流し乾燥させる	必要に応じて					
	4.1.11	衛生状態の点検							○
4.2		デミスタ							
	4.2.1	汚染、損傷、腐食の点検	機能の維持のための清掃	○					
	4.2.2	デミスタのコーティングの点検	視認できる堆積物がある場所の機能維持のための清掃	○					
	4.2.3	衛生状態の点検							○
4.3		蒸気型加湿器（5.2.4.2 項参照）							
	4.3.1	汚染、損傷、腐食の点検	清掃と修復		○				
	4.3.2	洗剤を使用した清掃、加湿チャンバーの洗い流しと乾燥、必要があれば消毒				○			
	4.3.2	加湿チャンバー内の結露水の堆積の点検	蒸気型加湿器の清掃	○（運用期間のみ）					
	4.3.3	Dirt trap の状態と機能の点検	清掃と修復			○			
	4.3.4	堆積物のためのベイバーランスの点検	清掃			○			
	4.3.5	結露水の排水の点検	清掃と修復		○				
	4.3.6	制御弁の機能テスト	修復		○				
	4.3.7	衛生状態の点検							○
5		熱交換器（5.2.5 項参照）							
	5.1	汚染、損傷、腐食の点検	清掃と修復		○				
	5.2	湿式クーラー、結露タンク、デミスタの汚染と腐食と機能の点検	修復		○				
	5.3	Siphon の機能試験	修復		○				
	5.4	湿式クーラー、デミスタ、結露タンクの清掃				○			
	5.5	衛生状態の点検							○
6		ファン							
	6.1	汚染、破損、腐食の点検	清掃と修復			○			
	6.2	空気に触れる場所のファンの部材と機能維持のための排水管の清掃					○		
7		熱回収部材							
	7.1	汚染、破損、腐食の点検	清掃と修復		○				
	7.2	給気と排気の間のシーリングの点検	修復		○				
	7.3	結露タンクと、デミスタの汚染、腐食、機能の点検	修復		○				
	7.4	Siphon の機能テスト	修復		○				
	7.5	湿式クーラーとデミスタ、結露タンクの点検				○			
	7.6	衛生点検							○

8		ダクトと消音器							
	8.1	ダクトのアクセス可能な部分の損傷の点検	修復				○		
	8.2	2,3 箇所の代表点でのダクト内表面の汚染と腐食の点検	原因の特定、ダクトの関連個所の清掃				○		
	8.3	消音器の汚染、損傷、腐食の点検	修復				○		
	8.4	代表点のダクト内の衛生状態の点検	原因の特定、ダクトの関連個所の清掃						○
9		給気口（5.2.9 項参照）							
	9.1	無作為に選んだ孔空き板、鋼線網の汚染の点検	清掃と交換				○		
	9.2	クラスによるフィルターの交換							
		フィルタークラス F9 未満					○		
		フィルタークラス F9 以上						○	
	9.3	室に供給する給気口と排気口内の固体堆積物の点検	清掃	必要に応じて					
	9.4	2 次的な気流の通る部材の清掃					○		
10		冷却塔（5.2.10 項参照）							
	10.1	損傷と腐食の点検	修復				○		
	10.2	システム全体の清掃と乾燥				年 2 回			
	10.3	吹き出し回数の点検	修復			○			
	10.4	循環水の微生物的分析	清掃と消毒			年 2 回			
11		除湿器							
	11.1	汚染、破損、腐食の点検	清掃と修復		○				
	11.2	湿式クーラー、結露タンク、デミスタの汚染、破損、腐食の点検	修復		○				
	11.3	Siphon の機能試験	修復		○				
	11.4	湿式クーラー、デミスタ、結露タンクの清掃				○			
	11.5	衛生状態の点検							○
12		端末部材							
	12.1	排気フィルターのある端末部材の汚染の点検	フィルターの交換と、装置の清掃		○				
	12.2	循環空気のある端末部材の汚染の点検	フィルターの交換と装置の清掃				○		
	12.3	フィルターの無い端末部材をもつ熱交換器の汚染の点検	清掃（吸引機）			○			
	12.4	フィルターをのぞく 2 次的な気流がとおる全ての部材の清掃					○		
	12.5	フィルターの交換						○	
13		天井放射冷房（5.2.13 項参照）							
	13.1	結露タンク、結露配水管の正常な機能と状態の点検	清掃と修復		○				
	13.2	露点温度センサ、循環パイプの制御、漏れの制御弁の点検	修復				○		
	13.3	結露タンクの清掃と消毒、結露排水管の清掃						○	

【参考文献】

F8

(2) 換気設備の定期検査方法

住宅用換気設備の定期検査方法は、前節で示した空気調和設備の定期検査方法より住宅に即した項目を抜粋すると以下の項目が挙げられる。これに各項目に対して適切な点検間隔と考えられる期間を追記したものを付録2に換気設備の定期点検調査方法リストとして記載する。

①ファンユニット本体のフィルターおよび本体の点検・清掃、ドレン系統の点検・清掃
②熱交換器の熱交換素子、本体およびフィルターの点検・清掃、ドレン系統の点検・清掃
③ダクト表面の損傷の点検
④ダクト内の点検と必要に応じた清掃
⑤ダクト内の衛生状態の点検
⑥室内端末部材のフィルターおよび本体の点検・清掃
⑦屋外端末部材のフィルターおよび本体の点検・清掃
⑧自然給気口のフィルターおよび本体の点検・清掃

【参考文献】

F8

5-1-9 おわりに

本報告書では、換気システムの清掃と衛生に関する国内外の文献の調査結果を示した。文献調査の結果より、事務所ビルなどに設置されている空気調和設備や換気設備に関する記述は見られるが、住宅用などの小規模の換気設備に対する記述は見られなかった。そのため、非住宅用の空調・換気設備の管理・清掃・修復作業をもとに住宅用の一連の作業を絞り込み、実用的な換気設備の管理・清掃・修復作業を検証していく必要がある。

■付録

□付録１　換気設備の定期点検調査方法リスト

本調査での参考文献をもとに住宅用空気調和・換気設備の定期点検調査方法のリスト案を以下に示す。

実施内容	実施期間				
1.　ファンユニット本体	1 か月	3 か月	6 か月	12 か月	24 か月
(1)本体およびフィルターの点検		○			
(2)本体およびフィルターの清掃			○		
(3)ドレン系統の点検		○			
(4)ドレン系統の清掃			○		
2.　熱交換器	1 か月	3 か月	6 か月	12 か月	24 か月
(4)熱交換素子、本体およびフィルターの点検		○			
(5)熱交換素子、本体およびフィルターの清掃			○		
(6)ドレン系統の点検		○			
(7)ドレン系統の清掃			○		
3.　ダクト	1 か月	3 か月	6 か月	12 か月	24 か月
(8)ダクト表面の損傷の点検				○	
(9)ダクト内の点検と必要に応じた清掃					○
(10)ダクト内の衛生状態の点検					○
4.　室内端末部材	1 か月	3 か月	6 か月	12 か月	24 か月
(11)本体およびフィルターの点検と必要に応じた清掃	○				
5.　屋外端末部材	1 か月	3 か月	6 か月	12 か月	24 か月
(12)本体および防鳥網の点検と必要に応じた清掃	○				
6.　自然給気口	1 か月	3 か月	6 か月	12 か月	24 か月
(13)本体およびフィルターの点検と必要に応じた清掃	○				

5-2　業務用換気設備等を対象とした清掃手法による住宅用の全般換気設備の清掃

5-2-1　目的

これまで、オフィスビルや工場、デパートなどの商業施設や、学校、病院などの公共施設においては、ダクト汚染の対策としての空調ダクトクリーニングが行われてきた。しかし、それらの施設に比較すると、住宅においてはそれほど多くの施工実績はない。

室内空気質への関心の高まりや24時間換気システム設置の義務化に伴い、今後、住宅の換気ダクトに関してもダクト清掃の需要がさらに高まることが予測される。

そのため、実際に住宅の換気ダクト清掃を行い清掃効果（清浄度、風量）、オフィスビルなどとの違い、技術上の問題点、適用可能性などについて検討することを目的とする。

5-2-2　対象建物

(1) A邸

所在地：千葉県

システム：サニタリー型第3種換気システム

(2) B邸

所在地：栃木県

システム：排気セントラル換気システム（各居室に端末部材を有するもの）、及びサニタリー型第3種換気システム

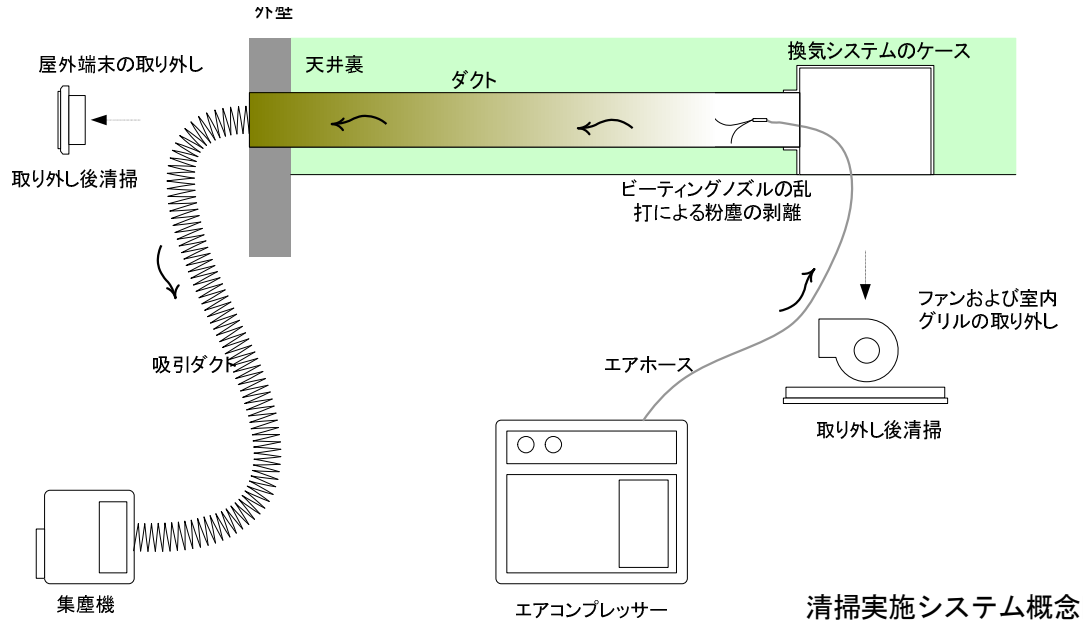
5-2-3　清掃手順

(1) 室内養生
(2) 吸い込み口・吹き出し口取り外し
(3) 集塵機設置
(4) コンプレッサー設置
(5) ダクト内清掃
(6) ファン清掃
(7) 試運転
(8) 片付け清掃

ダクト内部清掃は、乱打方式で行った。

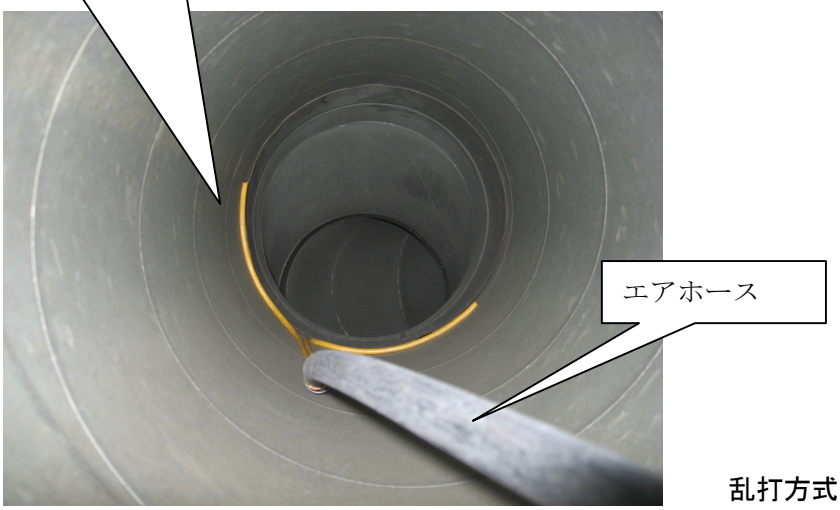
これは、チューブを取り付けたエアノズルに圧縮空気を送り込み、空気の力でチューブを激しく暴れさせてダクト内部に叩きつけることによって、ダクト内部の粉塵を剥離させる方式である。

ファン清掃は、真空掃除機を使用してバキュームクリーニングを行った。



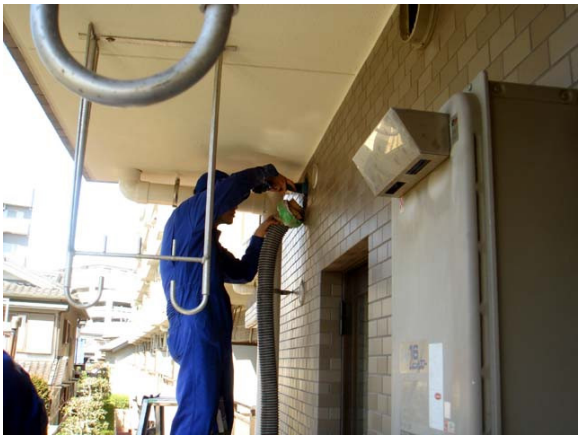
清掃実施システム概念図

コンプレッサー



乱打方式による粉塵剥離

集塵機設置



ダクト内清掃

集塵された粉塵等

5-2-4　清掃結果

(1) 風量

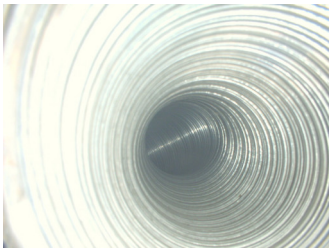
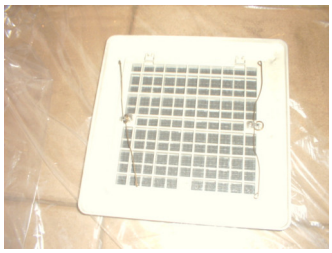
部位	清掃前 (m^3/h)	清掃後 (m^3/h)	前後比
A 邸浴室	61.3	64.1	105%
A 邸 WC	46.1	72.5	157%
B 邸排気ｾﾝﾄﾗﾙｼｽﾃﾑ	90.1	101.9	113%
B 邸ｻﾆﾀﾘｰ型換気ｼｽﾃﾑ	10.9	23.1	212%

いずれの部位においても、清掃後に風量の増加が見られた。考察は、下表にまとめる。

主な原因	影響	清掃効果
吸い込み口、吹き出し口の粉塵付着	開口面積が減少する。 （抵抗増加）	開口面積増加により風量増加。
ダクト内部の粉塵付着	ダクト断面積が減少する。	断面積増加により風量増加。
ファンの粉塵付着	ブレード外形の変形により効率が下がる。 回転数の低下。	排気効率上昇、回転数上昇により風量が増加。

粉塵の付着状況から推測すると、今回施工物件においては、ファンの風量低下の要因が一番大きいと考えられる。次いで吸い込み口吹き出し口の粉塵付着の影響が大きく、ダクト内部の粉塵付着の影響は少ないと考えられる（ダクトが塞がるほど粉塵が付着していない)。

（2）内部写真（清浄度）

部位	清掃前	清掃後
A 邸 ダクト内部		
A 邸 浴室ファン		
A 邸 浴室ファン 吸い込み口		
B 邸 サニタリー排気システムダクト内部		
B 邸 ｻサニタリー排気システムファン		
B 邸 サニタリー排気システム吸い込み口		

5-2-5　施工上の問題点

一般的なオフィスビル等商業施設での施工と住宅における施工の違い、問題点について、下表にまとめる。

項目	商業施設	住宅
作業全般 （作業日時）	管理者立会の下で、土日休日や施設の定休日に行われることが多い。	基本的には居住者立会の下で行われると思うので、作業日時が制約される。
作業全般 （作業性）	比較的スペースが取りやすい。	廊下や便所、浴室など比較的狭い場所での作業である。 清掃時に家具や置物など、周辺に十分注意する必要がある。
資材・車両置き場	資材置き場、車両置き場が確保できることが多い。	資材や車両の置き場が確保できない場合がある。
騒音	居住者がいないときに行われるので、多少の音は問題がない。 近隣も同じような状況だと考えられるため、屋外に設置したコンプレッサーなどの騒音が問題になることも比較的少ない。	居住者がいるときに行われるので、騒音の問題が発生する。 近隣に対しても同様である。
ダクト清掃	比較的サイズの大きなダクトが大きく、清掃ツールの選択度も高い。	比較的サイズの小さなダクトが多いと考えられる。 従来の清掃ツールでは清掃できない箇所もあるかもしれない。（今回の乱打方式では問題なし）

5-2-6　まとめ

一般的なオフィスビル等商業施設で施工されているダクト清掃の手法は、ほぼそのまま住宅換気ダクトにも適用可能である。ダクトサイズの問題から一部の清掃ツールは使えない可能性はあるが、多く使われている乱打方式であれば、ほぼ問題はないと考えられる。

ダクト清掃を施工することによって、ダクト内部の粉塵汚染の減少と換気風量の増加が確認できた。

今回施工に関しては、換気風量の増加の要因としては、ファン清掃による排気能力向上がもっとも大きいと考えられる。ただし、今回施工物件にはなかったが、中にはダクトが塞がってしまうほど汚れている場合もあり、そのような物件の場合には、ダクト清掃による断面積向上の影響も大きいと考えられる。

施工上の問題点としては、特に施工日時の問題と騒音の問題が考えられる。
コンプレッサーのエンジンの音、集塵機のファンの音、およびダクト清掃時の乱打音が発生する。これまでの商業地域や工場敷地内などでは問題になることは少なかったが、住宅街での施工のばあい、施工日時によっては騒音の問題が発生する場合がある。

また、周辺に駐車場設備や空きスペースなどがないばあいには、資材・車両の置き場が問題となることもある。

６．住宅用換気システムの省エネルギー計画手法

6-1 目的

24 時間 365 日稼動し続ける住宅用換気システムは、住宅のエネルギー消費のうち約 5 から 7%を占めるという試算結果があり、住宅用換気システムの省エネルギー化には一定の効果があると考えられる。本調査では、現時点で考えられる換気システムに係わる省エネルギー手法について整理を行い、取りまとめることを目的とする。

6-2 省エネルギー技術の収集と分類

平成 13 年度から 4 年間にわたって研究が行われた自立循環型住宅開発委員会では、そのとりまとめとなる「自立循環型住宅への設計ガイドライン[3]」の中で表 3-35 に示す換気設備の省エネルギー目標レベルの達成を手法の組合せで達成できると見ている。

表 3-35　自立循環型住宅開発委員会における換気設備の省エネ目標レベルと達成手法

目標レベル	削減量		手法の適用
レベル 0	換気エネルギー削減	なし	「通常の第 1 種ダクト式換気システム」
レベル 1	換気エネルギー削減率	30%程　度	「ダクト式換気システムの適正化手法」 または「換気方式の簡略化」
レベル 2	換気エネルギー削減率	40%程度	「ダクト式換気システムの適正化手法」 と、「高効率機器の導入」の組合せ
レベル 3	換気エネルギー削減率	60%程度	下記の全ての組合せ 「通常の第 1 種ダクト式換気システム」 「高効率機器の導入」 「ハイブリッド換気システムの採用」 「換気方式の簡略化」

出典：「自立循環型住宅への設計ガイドライン　エネルギー消費 50%削減を目指す住宅設計」

本報告では、表 3-35 の各手法の省エネ手法を同じ分類で調査を行い、その内容や効果を概説する。ただし、自立循環型住宅開発委員会で、「換気方式の簡略化」は第 3 種ダクト式換気方式への変更を想定しているが、本報ではこれを一歩進め、質的な劣化を少なくした「第 1 種ダクト式熱交換換気システムの夏期の片肺利用」について概説する。

3 「自立循環型住宅への設計ガイドライン　エネルギー消費 50%削減を目指す住宅設計」
財団法人建築環境・省エネルギー機構　2005 年 6 月

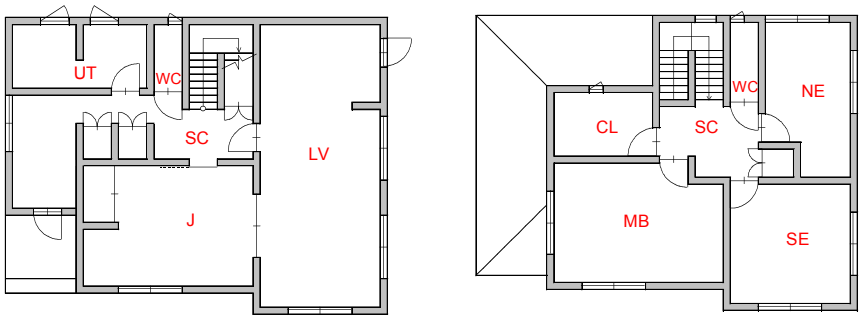
(1) ダクト式換気システムの適正化

井前、田島[4)]らは、ダクト式換気システムの適正化の効果を以下のように試算している。

①試算方法

この試算では、各システムの換気回路網計算からシステム風量を算出し、各換気ユニットの風量ー消費電力特性から消費電力を試算している。換気回路網計算は既報[5),6)]で検証した結果、不確定な要素を含んでいる実施工状態での測定結果で、室内端末側において±10%、室外側端末において±5%以内の高い精度を持っていることが確認されたものである。

この試算では図 3-107 に示すモデル住宅を用いてダクト式第 3 種換気システム 3 タイプを設定して検討を行っている。3 タイプの換気ユニットの風量ー静圧ー消費電力特性は図 3-108 に示すものである。Type A と Type B はファンの特性、ユニットサイズが異なり、設計上の仕様ポイントが違う。Type C は室外側も室内側もφ100 ダクトに対応出来る住宅に使用するシステムである。



1階平面図　　2階平面図

1F:75.4m² 2F:62.1m² 計:145.5m²
設計換気量：165m³/h(0.5回/h)

図 3-107　試算対象としたモデル住宅

4 井前、田島、澤地、瀬戸、津田　ダクト式全般換気システムの消費電力に関する試算
空気調和・衛生工学大会学術講演論文集｛2005.8.9～11（札幌）｝

5 井前他，ダクト式全般換気システムの設計に関する研究 その 2，日本建築学会大会学術講演梗概集, 2004

6 津田他, ダクト式全般換気システムの風量設計に関する研究　その 2,
空気調和衛生工学会学術講演会梗概集, 2004

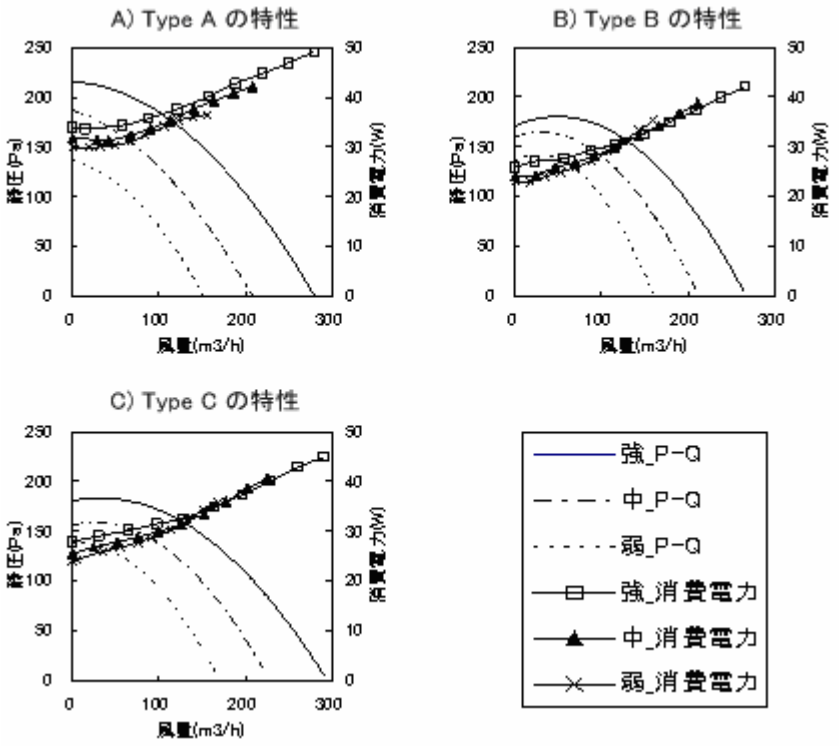


図 3-108　試算対象とした換気ユニットの特性

また、試算対象モデルにおける基本プランを表 3-36、試算概要を表 3-37、試算対象換気システムモデルプラン図 3-109 に示す。

表 3-36　試算対象の換気システムの基本プラン

換気システム	基本プラン
Type　A	室外側φ100 グラスウールダクト 2m 曲がり 0 室内側φ50 グラスウールダクト,室内端末 8 口 ①2F WC：2m 曲がり 0　②2F NE：4m 曲がり 1 ③2F SE：4m 曲がり 1　④2F MB：5m 曲がり 1 ⑤2F CL：5m 曲がり 1　⑥1F WC：7.5m 曲がり 2 ⑦1F UT：8.5m 曲がり 2　⑧1F SC：7.5m 曲がり 2
Type　B	
Type　C	室外側φ100 グラスウールダクト 2m 曲がり 0 室内側φ100 グラスウールダクト,室内端末 4 口 ①2F WC：2m 曲がり 1　②2F SC：4m 曲がり 1 ③1F WC：8.5m 曲がり 3　④1F SC：9.5m 曲がり 3

表 3-37　試算概要

項　目	概　　要
換気ユニット	表 3-36 に示すダクト径、特性の異なる 3 機種。
ダクト径	径の違うダクト(φ50、φ75、φ100、φ125)を室外側、室内側でそれぞれ変更する。
ダクト材質	基本プランのグラスウールに対して PVC 材ダクトを室外側、室内側でそれぞれ変更する。
ダクト曲げ	基本プランに対して室外側、室内側で曲げ回数を 1～3 と増やしていく。
ダクト長さ	基本プランに対して室内側でダクトを延長する。
室内端末口数変更	Type C において室内端末口数を 4 か所→2 か所にする。

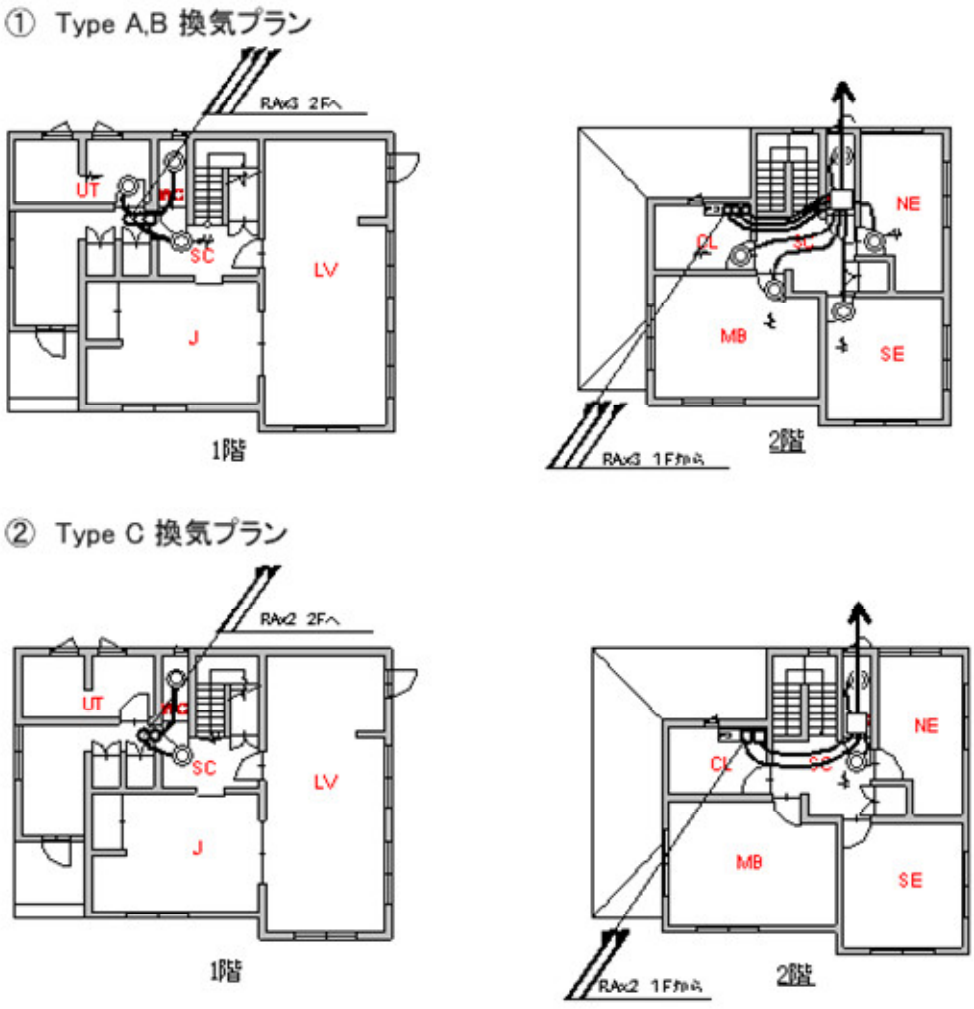


図 3-109　試算対象換気プラン

②消費電力試算結果

Type A の風量調整前の消費電力を基準とした、換気プランごとの適正化効果を試算している。

a) Type A

表 3-38 に示すように、ダクト径の変更、またはダクト材質の変更と風量調節で 6.6%の削減が可能である。

表 3-38　Type A 換気システム試算ケース及び結果

試算ケース	システム	風量調整前				風量調整後			
		運転	風量(m^3/h)	消費電力(W)	削減率(%)	運転	調整後風量	消費電力(W)	削減率(%)
基本設計ケース	室外側:φ100 GW 室内側:φ50 GW	強	192.6	**41.2**		強	165	39.6	3.9%
①ダクト径の変更	室外側:φ100 GW 室内側:φ75 GW	中	172.3	39.1	5.1%	中	165	38.5	6.6%
	室外側:φ100 GW 室内側:φ100 GW	中	175	40.1	2.7%	中	165	38.5	6.6%
	室外側:φ125 GW 室内側:φ50 GW	中	166	38.6	6.3%	中	166	38.6	6.3%
	室外側:φ125 GW 室内側:φ75 GW	中	187.7	40.4	1.9%	中	165	38.5	6.6%
	室外側:φ125 GW 室内側:φ100 GW	中	191.5	41.1	0.2%	中	165	38.5	6.6%
②ダクト材質の変更	室外側:φ100 GW 室内側:φ50 PVC	中	167	38.7	6.1%	中	165	38.5	6.6%
	室外側:φ100 PVC 室内側:φ50 GW	強	194.5	41.3	-0.2%	強	165	39.6	3.9%
	室外側:φ100 PVC 室内側:φ50 PVC	中	168.5	38.8	5.8%	中	165	38.5	6.6%
③ダクトの曲げ変更	室外側:1回 追加 室内側:各1回 追	強	175.9	40.2	2.4%	強	165	39.6	3.9%
	室外側:1回 追加 室内側:各2回 追	強	171.9	40	2.9%	強	165	39.6	3.9%
	室外側:2回 追加 室内側:変更なし	強	170.1	39.9	3.2%	強	165	39.6	3.9%
	室外側:2回 追加 室内側:各1回 追	強	166.4	39.7	3.6%	強	165	39.6	3.9%
	室外側:2回 追加 室内側:各2回 追	強 (設計値未達)	163	39.6	3.9%	-	-	-	-
④ダクトの長さ変更	室内側:室内端末ﾄﾞｱ近傍→対角へ	強	189.6	41	0.5%	強	165	39.6	3.9%

※ 削減率は、Type A の基本設計ケースの風量調整前の消費電力に対するものとする。

b) Type B

表 3-39 に示すように、ダクト径の変更、又はダクト材質の変更と風量調節で 20.4%の削減が可能である。

表 3-39　Type B 換気システム試算ケース及び結果

試算ケース	システム	風量調整前				風量調整後			
		運転	風量(m^3/h)	消費電力(W)	削減率(%)	運転	調整後風量	消費電力(W)	削減率(%)
基本設計ケース	室外側:φ100 GW 室内側:φ50 GW	強	189	36.6	11.2%	強	165	34.2	17.0%
①ダクト径の変更	室外側:φ100 GW 室内側:φ75 GW	中	180.1	33.7	18.2%	中	165	32.8	20.4%
	室外側:φ100 GW 室内側:φ100 GW	中	182.9	33.9	17.7%	中	165	32.8	20.4%
	室外側:φ125 GW 室内側:φ50 GW	中	173.9	33.3	19.2%	中	165	32.8	20.4%
	室外側:φ125 GW 室内側:φ75 GW	中	195.2	34.6	16.0%	中	165	32.8	20.4%
	室外側:φ125 GW 室内側:φ100 GW	中	198.7	34.9	15.3%	中	165	32.8	20.4%
②ダクト材質の変更	室外側:φ100 GW 室内側:φ50 PVC	中	174.9	33.4	18.9%	中	165	32.8	20.4%
	室外側:φ100 PVC 室内側:φ50 GW	強	190.8	36.8	10.7%	強	165	34.2	17.0%
	室外側:φ100 PVC 室内側:φ50 PVC	中	176.4	33.5	18.7%	中	165	32.8	20.4%
③ダクトの曲げ変更	室外側:1回 追加 室内側:各1回 追	強	172.8	34.9	15.3%	強	165	34.2	17.0%
	室外側:1回 追加 室内側:各2回 追	強	168.8	34.6	16.0%	強	165	34.2	17.0%
	室外側:2回 追加 室内側:変更なし	強	167.1	34.4	16.5%	強	165	34.2	17.0%
	室外側:2回 追加 室内側:各1回 追	強	163.3	34	17.5%	-	-	-	-
④ダクトの長さ変更	室内側:室内端末ドア近傍→対角へ	強	186.1	36.3	11.9%	強	165	34.2	17.0%

※ 削減率は、Type A の基本設計ケースの風量調整前の消費電力に対するものとする。

c) Type C

表 3-40 のように、室内端末口数の変更および風量調節によって 26.7%の削減が可能である。

表 3-40　Type C 換気システム試算ケース及び結果

試算ケース	システム	風量調整前				風量調整後			
		運転	風量(m^3/h)	消費電力(W)	削減率(%)	運転	調整後風量	消費電力(W)	削減率(%)
基本設計ケース	室外側:φ100 GW 室内側:φ100 GW	中	183.2	35.6	13.6%	中	165	34.5	16.3%
①ダクト径の変更	室外側:φ100 GW 室内側:φ125 GW	中	187.1	35.8	13.1%	中	165	34.5	16.3%
	室外側:φ125 GW 室内側:φ125 GW	中	205.6	36.9	10.4%	中	165	34.5	16.3%
②ダクト材質の変更	室外側:φ100 GW 室内側:φ100 PVC	中	184.6	35.6	13.6%	中	165	34.5	16.3%
	室外側:φ100 PVC 室内側:φ100 GW	中	185	35.7	13.3%	中	165	34.5	16.3%
	室外側:φ100 PVC 室内側:φ100 PVC	中	186.5	34.7	15.8%	中	165	34.5	16.3%
③ダクトの曲げ変更	室外側:1回 追加 室内側:各1回 追	中	169.9	34.8	15.5%	中	165	34.5	16.3%
	室外側:1回 追加 室内側:各2回 追	強	169.5	35.5	13.8%	強	165	35.1	14.8%
	室外側:2回 追加 室内側:変更なし	強	186	37.1	10.0%	強	165	35.1	14.8%
	室外側:2回 追加 室内側:各1回 追	強	185.4	37	10.2%	強	165	35.1	14.8%
	室外側:2回 追加 室内側:各2回 追	強	185	37	10.2%	強	165	35.1	14.8%
④室内端末数変更	4ヶ所⇒2ヶ所	中	168.2	30.4	26.2%	中	165	30.2	26.7%

※ 削減率は、Type A の基本設計ケースの風量調整前の消費電力に対するものとする。

③考察

○ダクト式換気システムの適正化により、Type A の換気プランでは約 7%、Type B の換気プランでは約 20%、Type C の換気プランでは約 27%の消費エネルギー削減が可能である。

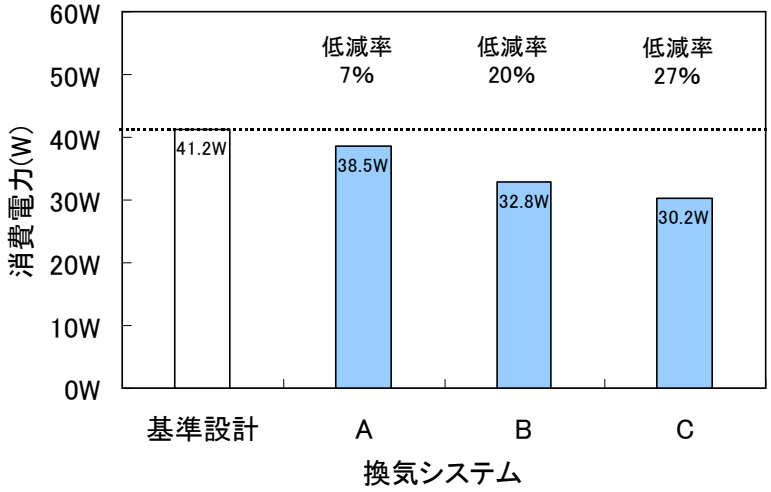


図 3-110　ダクト式換気システムの適正化による省エネ効果

○ダクトの曲がりや長さが増えると、風量低下により中運転を強運転に変えなければならない場合がある。この場合、消費電力は基本設計に対して 4%強の増加となるので、現場での施工が重要な役割を持つ。

○現場で室内端末の抵抗を変え設計値になるように風量調整する事で、3 機種とも 1～7%の消費電力の低減効果が得られる結果となった。また、換気ユニットの選定や、ダクトの径を大きくし、圧損の低い材質への変更、室内端末の数によっても、強運転を中運転に下げられる場合もあり、消費電力の低減に繋がる。

(2) 高効率モーターの省エネ性

井前、田島らは、「6-2 (1) ダクト式換気システムの適正化」に示した Type A の換気システムに高効率モーターを用いた場合の省エネ効果も試算している。

図 3-111 の特性曲線をもつ普及型と高効率型を用いた場合の消費電力低減率は表 3-41 のようになり、弱運転では 70%の省エネルギーが期待できる。

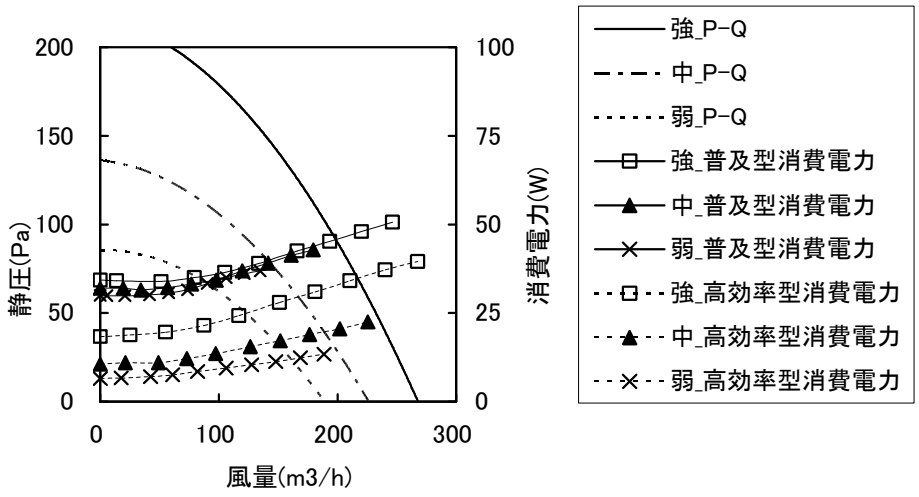


図 3-111　Type A 現行モーターと高効率モーター特性比較

表 3-41　消費電力低減率

	強運転	中運転	弱運転
設定風量	165 m^3/h	120 m^3/h	100 m^3/h
消費電力 (普及型 / 高効率型)	42W/29W	38W/16W	33W/10W
低減率	31%	58%	70%

①DC モーターの製品情報

国土交通省国土技術政策総合研究所は、4 社の換気システムメーカーのカタログ調査を行い換気システムのモーター仕様に関するデータベースを作成している。田島らはその中で、定格消費電力 W_S[W]を定格風量 Qs[m^3/h]で割った値を単位消費電力 Ws/Qs[Wh/m^3]として省エネルギー性を比較している。

図 3-112 に示す換気システム種別ごとの W_S/Q_S の分布（箱ひげ図）において、DC モーターの単位消費電力のばらつきが小さく、また値も低めになっていることがわかる。

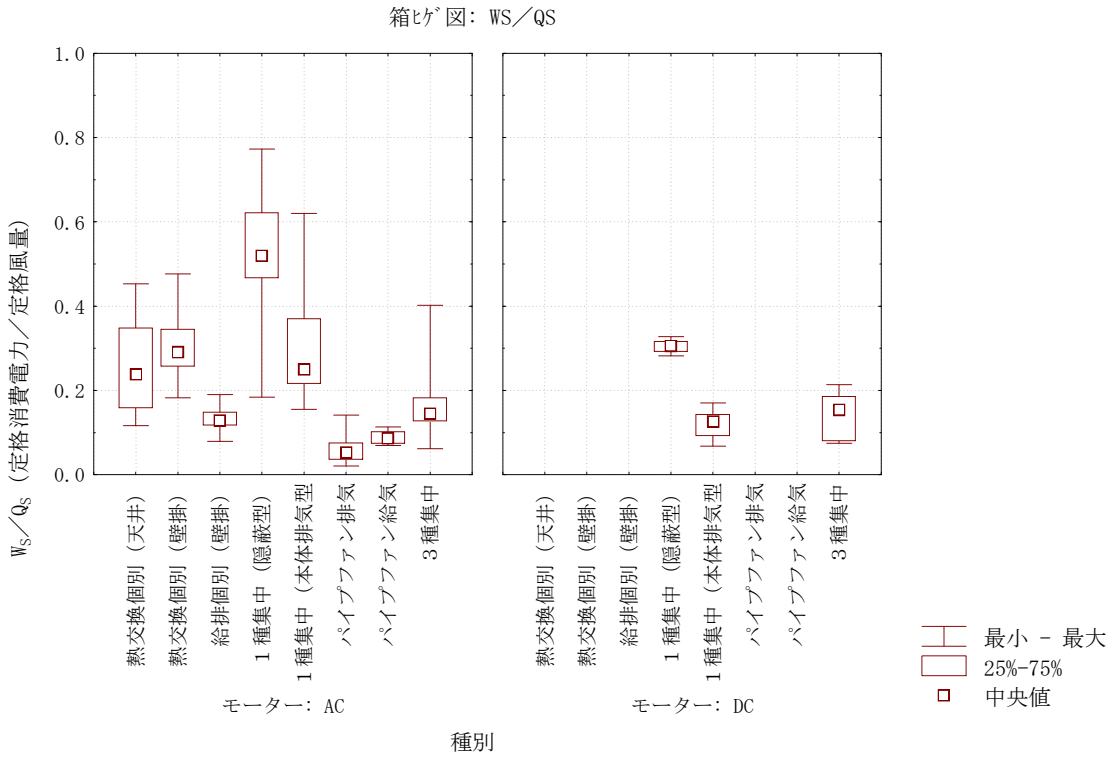


図 3-112　換気システム種別ごとの W_S/Q_S の分布

a）ダクト式第１種換気システム

ダクト１種換気システムについて、単位消費電力[Wh/m³]を比較する。DC モーターの平均単位消費電力は 0.16[Wh/m³]であり、AC モーター0.37[Wh/m³]の半分にも満たない。同じ風量であれば、57%の省エネルギーとなる。

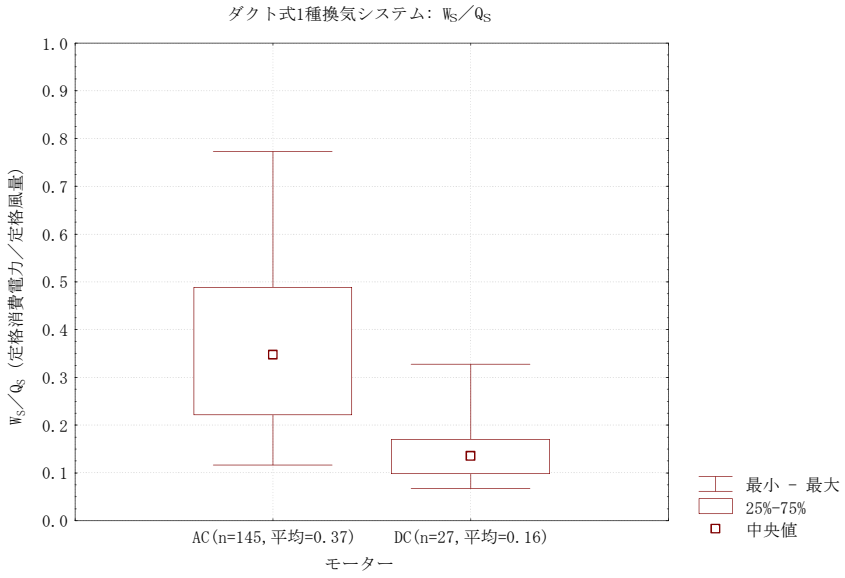


図 3-113　ダクト式第１種換気システムにおける W_S/Q_S の分布

b）ダクト式第 3 種換気システム

ダクト第 3 種換気システムについて、単位消費電力[Wh/m³]を比較する。DC モーターの平均単位消費電力は 0.14[Wh/m³]であり、AC モーター0.16[Wh/m³]とほとんど同じ程度である。AC モーターの中央値を含む 25%-75%は DC モーターのそれと同程度であり AC モーターの省エネ化が図られたとも考えられる。ただし、DC モーターを用いれば確実に Ws/Qs の上限が抑えられ、より高い省エネ性が担保できる。

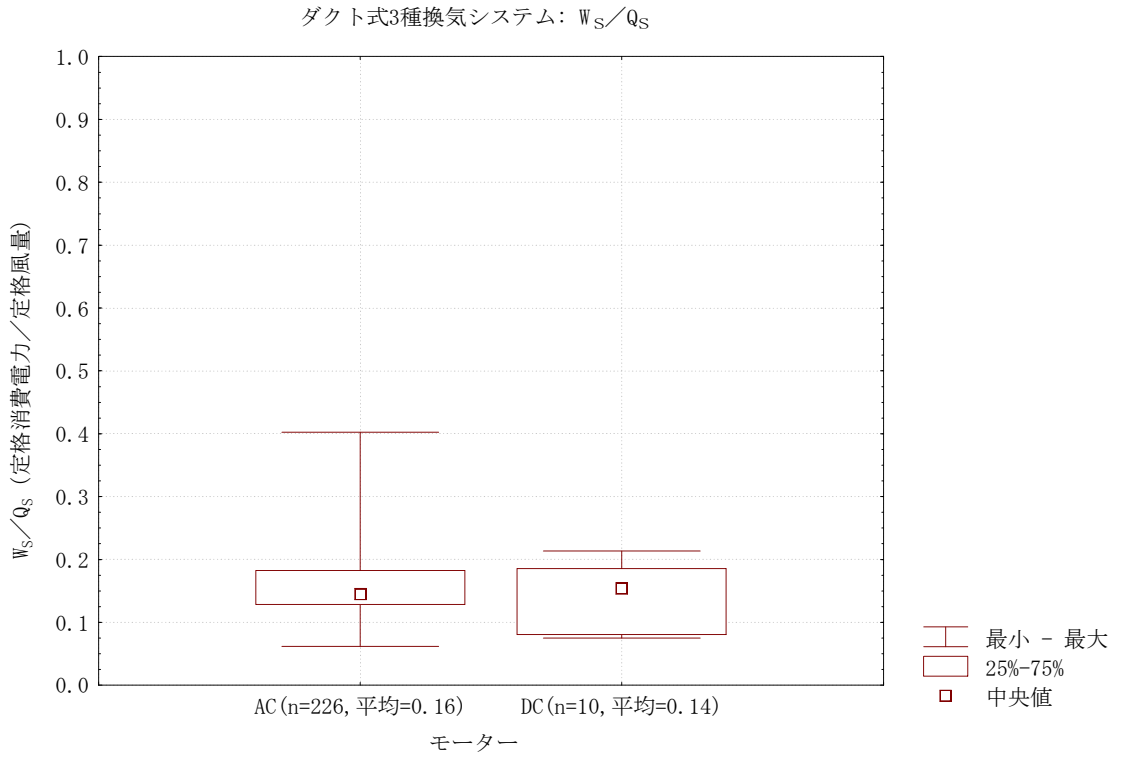


図 3-114　ダクト式第 3 種換気システムにおける W_S/Q_S の分布

（3）ハイブリッド換気システムの採用

実績の海外製のハイブリッド換気システムについて概説する。

①hr-vent　-　AERECO 社（フランス）

a）AERECO 社（フランス）

AERECO 社のハイブリット換気システムは以下のような特徴がある。温度差換気と機械換気を組み合わせたシステムはハイブリッド換気の代表的な形態であり、このシステムは多数の実住宅に設置され計測データが蓄積されている。

○室内の湿度に応じて風量を調整するハイブリッド換気システムである。
○居室の窓上部の給気口から給気し、サニタリー部に室内端末を設置し、縦ダクトを通して煙突形のファンにより排気を行う。
○居室の窓上部に設置した換気口を用いる自然換気と、端末グリルを水周り空間に設置し縦ダクトを通して排気する機械換気を両方用いて自動制御するハイブリット換気システムである。
○これらの給排気端末は湿度を検知する特徴を持つ。
○各端末で検知された温湿度は外気温湿度と共にコントロールパネルに集められる。
○送風機は超低静圧型のファンで、ダクトの上部に取り付ける。
○省エネルギー換気の代表的なシステムで、実際の住宅に設置されたシステムによる計測データには多くの蓄積がある。

図 3-115 にシステム概念図を示す。リビングルームとベットルームに換気口を設けており、送風機を設ける縦ダクトはサニタリー部に設けられる。

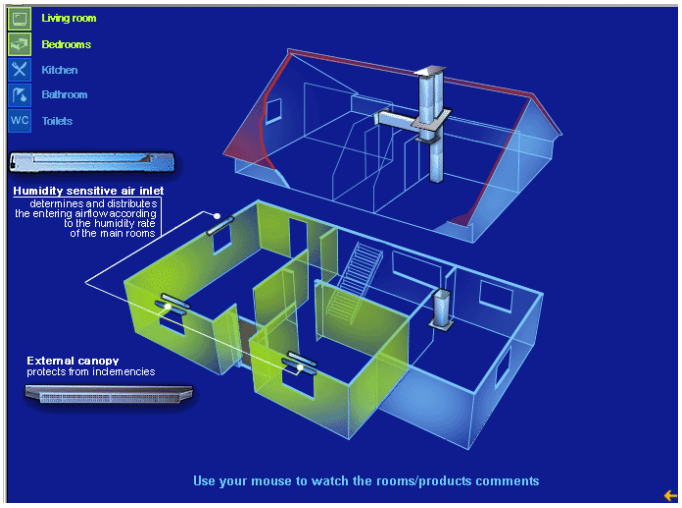


図 3-115　システム概念図（出典：http://www.aereco.com/）

図 3-116 は AERECO 社がデータ測定を行っている住宅のシステムである。集合住宅の換気システムで、各住戸のキッチン、トイレ、風呂を縦ダクトから排気している。

図 3-117 および図 3-118 は超低静圧送風機と湿度感知機能付き端末グリルの外観である。

①キッチン排気グリル
（温湿度,気圧などのセンサ付）
②温水器
③データケーブル
④データ記録装置
⑤システムの監視計器
⑥中央コントロールパネル
⑦,⑧風呂・トイレの排気グリル
（温湿度,気圧などのセンサ付）
⑨ファン
⑩気象計測器
⑪温度計

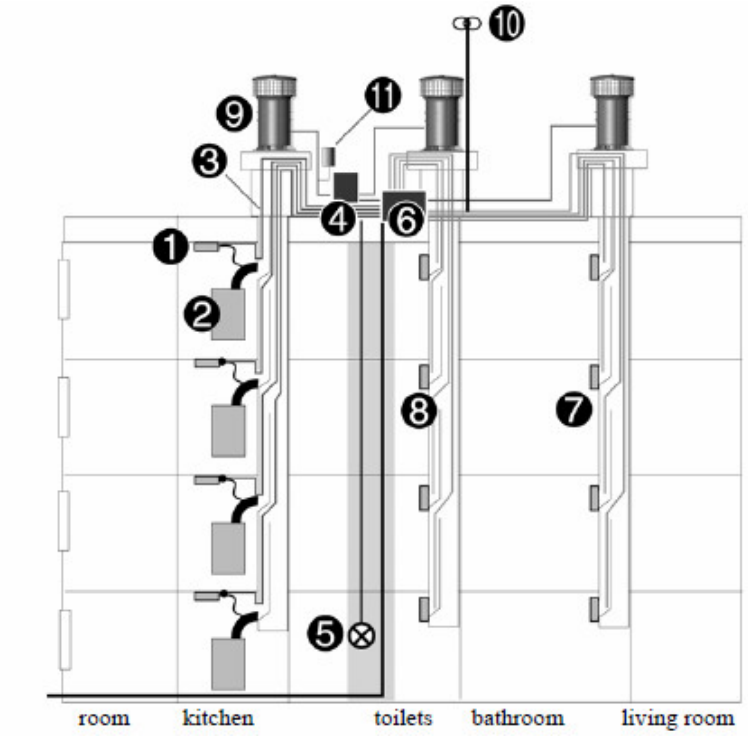


図 3-116　システム例

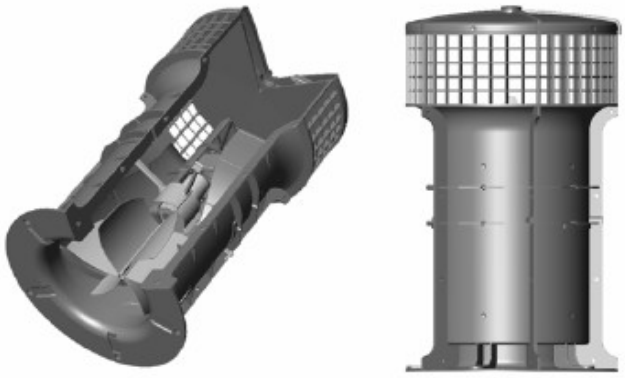


Figure 2 : Very low pressure fan VBP.

図 3-117　超低静圧送風機

図 3-118　感湿度室内端末グリル

出典：http://www.aereco.com/
IN-SITU PERFORMANCES MEASUREMENT OF AN INNOVATIVE HYBRID VENTILATION SYSTEM IN COLLECTIVE SOCIAL HOUSING RETROFITTING　J.L.Savin,M.Jardinier and F.Siret

②ORCON 社（オランダ）

ORCON 社の高効率熱交換換気システムは温湿度センサーによって運転制御を行う熱交換換気システムである。図 3-119、図 3-120 にシステム概念図、外観を示す。

この換気ユニットには以下のような特徴がある。

○ファンはあらかじめセットした一定の風量を送り続けることが出来る。例えば、部屋の換気端末の埃などによって圧力損失が起こると自動的に風量調整を行う。
○夏期の夜間は、外気冷房用バイパス運転を行う（図 3-121 参照）。取り込み空気は使用者の設定にかかわらず 14 度以下にならないようになっている。取り込まれる外気のコントロールはモーターを停止して行う。
○常時外気・室内温度、湿度を測定して、1 日の運転スケジュールを記録しプログラム運転を行う。都度の調整を行わなくても、適切な運転を行うことが出来る。
○測定された温湿度から露点温度を計算して、結露しない温度での換気を行う。

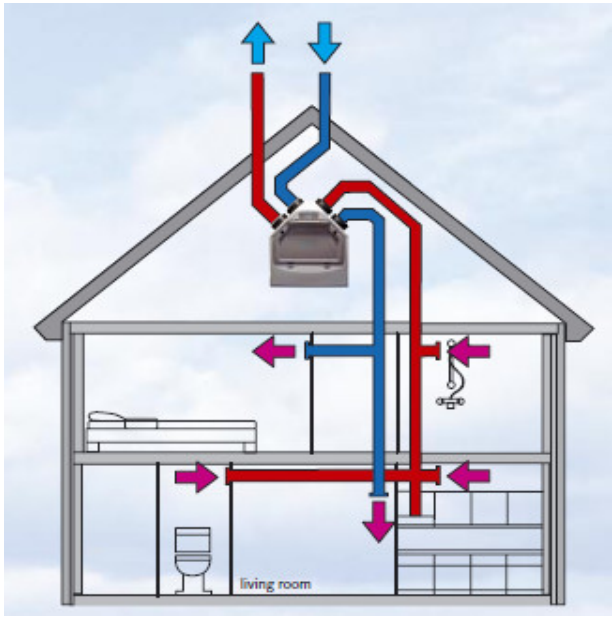


図 3-119　システム概念図

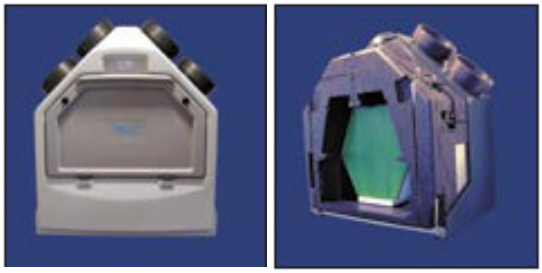
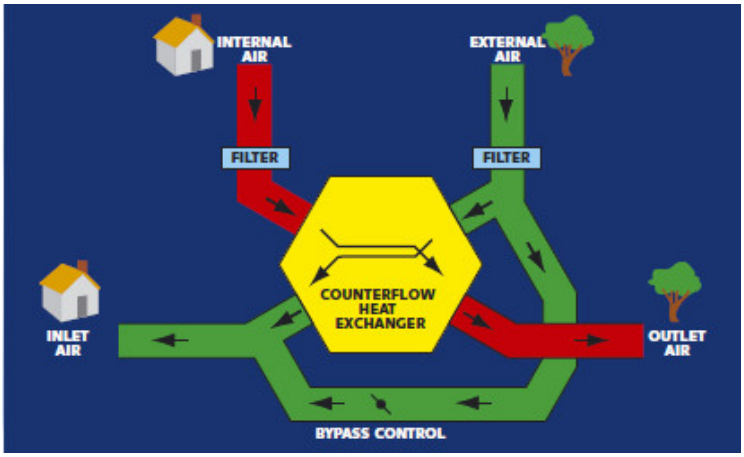


図 3-120　外形図



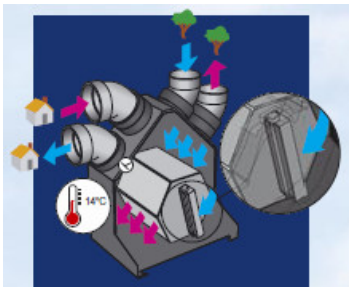


図 3-121　夏の夜間のバイパス運転

出展：ORCON 社パンフレット

（4）第 1 種ダクト式熱交換換気システムの夏季の片肺利用

2 モーター2 ファン型の第 1 種熱交換型換気システムにおいて、熱交換が必要のない時期に給気用ファンを停止して 1 モーター1（排気）ファンのみの運転モードとし、第 3 種換気システムとして稼働させることで省エネルギー効果を得ることができる。村田らは寒冷地における片肺利用の省エネ効果を試算[7) 8)] している。

①システム概要

第 1 種熱交換換気システムの場合、外気導入負荷の少ない期間（中間期や夏期）は図 3-122 のように、給気側のファンを停止して排気側ファンだけを運転する第 3 種換気システムとして利用すれば、年間のある期間についてはモーター1 個分の消費電力を削減することができる。特にこの方法は、冷房負荷が少なく、暖房負荷の大きい寒冷地でその効果を期待できる。またこのシステムは、給気側フィルターのメンテナンス低減という目的もある。埃や虫の発生が多い夏の時期に給気ファンを停止することで給気側のファンの清掃回数を減らすことができる。

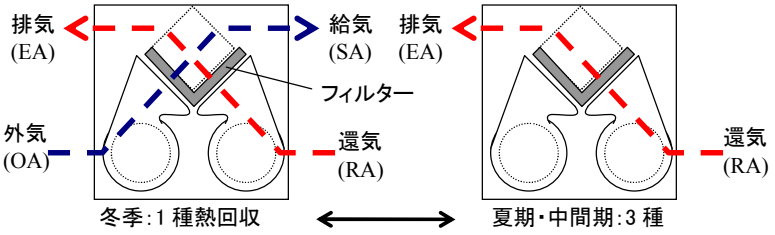


図 3-122　2 モーター2 ファンシステムにおけるファンの片肺利用

②試算例

運転条件を以下の 2 通りとして試算し比較された。

a）通年熱交換
b）暖房期間のみ熱交換

a）は給気側ファン・排気側ファンともに通年運転し熱交換を行うこととし、b）は暖房期間のみ熱交換を行い、その他は給気ファンを停止させて 3 種換気システムとして稼動させるものとする。

試算に用いた換気装置の性能を表 3-42 に、計算条件を表 3-43 に示す。

---

7 北海道立寒地住宅都市研究所：調査研究報告 No. 87-J0 集合住宅における計画換気システムの合理化手法に関する研究，1999. 3

8 村田さやか他：北海道公営住宅の換気システムの最適化に関する検討　その 1
北海道公営住宅の属性把握と共用空間温度特性　日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2、pp. 1145-1146 2004

表 3-42　計算に用いた熱交換換気装置（顕熱型）の性能

運転	温度交換効率[%]	消費電力[9] [W]	風量[10] [m³/h]
熱交換（両側利用）時	63	56	100
片側利用時	―	28[11]	

表 3-49　計算条件

項目		条件
気象条件		拡張アメダス気象データ標準年札幌[12]
暖冷房期間[13]	暖房	10/1～6/1
	冷房	7/12～8/31
温度設定	暖房	外気 18℃以下の時間に 20℃
	冷房	外気 28℃以上の時間に 26℃

※換気装置に導入される外気温度を感知して、0℃または 5℃以上で自動的に給気ファン停止を行う機種があるが、地域などによっては暖房時間に給気ファンが停止し、暖房負荷が増加する場合もあるので[1]、温度自動切り替えの採用は、別途外気導入負荷を検討する必要がある。

計算結果を図 3-123 に示す。「②暖房期間のみ熱交換」の場合「①通年熱交換」と比較すると、片側ファンのみの運転時の消費エネルギーを 1／2 とすることによって、消費エネルギーは 16%削減できる。また外気導入負荷は、(寒冷地であるゆえに) 冷房負荷は暖房負荷に比べて極めて微少な (グラフではほとんど見えないくらい小さい) ため、年間を通した外気導入負荷は①と②でほとんど等しい。すなわち、冷房負荷の小さい地域では、冷房期間は熱交換を行わずに第 3 種換気とすることにより、外気導入負荷を増加させること無くファンの消費エネルギーを削減することができる。

但し、夏の外気導入による冷房負荷が相対的に大きくなる場合は、熱交換しない場合とした場合の差が大きくなる。このことで、年間を通した外気導入負荷の差が開いてしまうため、必ずしも省エネルギーとはならないので検討時には注意が必要である。

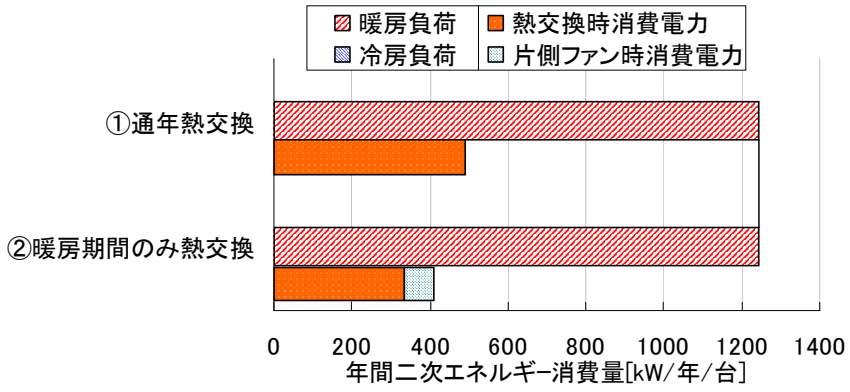


図 3-123　計算結果

9 標準機外静圧（39.2Pa）時の性能
10 標準機外静圧（39.2Pa）時の性能
11 両側運転時の半分とした
12 日本建築学会：拡張アメダス気象データ 1981-2000､鹿児島 TLO 2005
13 熱負荷計算ソフト SMASH for Windows で札幌の住宅の負荷計算を行ったときに暖房負荷が発生する期間

6-3 省エネルギー技術の効果の推定

換気設備の省エネルギー技術の効果推定を行う。ここでは、「自立循環型住宅への設計ガイドライン」による換気設備計画による省エネルギー目標レベルを、個々の住宅が達成したとして全国の効果を試算する。

(1) 目標レベル

前述した「6-2　省エネルギー技術の収集と分類」に記したように、「自立循環型住宅への設計ガイドライン」では換気設備計画による省エネルギー目標レベルと削減率を支援している。目標を達成するための手法は表 3-44 のように分類され、本報告書でも同じ分類で省エネ効果を調査した。手法 1 は「6-2 (1) ダクト式換気システムの適正化」に、手法 2 は「6-2 (2) 高効率モーターの省エネ性」にあたる。手法 3 のハイブリット換気システムでは「6-1 (3) ハイブリッド換気システムの採用」で海外の手法を紹介した。手法 4 は「6-1 (4) 第 1 種ダクト式熱交換換気システムの夏季の片肺利用」で単なる第 3 種換気システムへのグレードダウンではなく、外気導入負荷の多い期間は第 1 種熱交換を行えるファンの片肺利用について調査を行った。本調査においても、表 3-44 に示す各手法の省エネルギー性を確認しており、表 3-45 と同様な削減量を達成することは可能であると思われる。したがって、効果の推定は表 3-45 に示した削減量を目標レベルとして試算するものとする。

表 3-44　目標を達成するための手法

手法 1	:	ダクト式換気システムの適正化手法
手法 2	:	高効率機器の導入
手法 3	:	ハイブリット換気システムの採用
手法 4	:	換気方式の簡略化

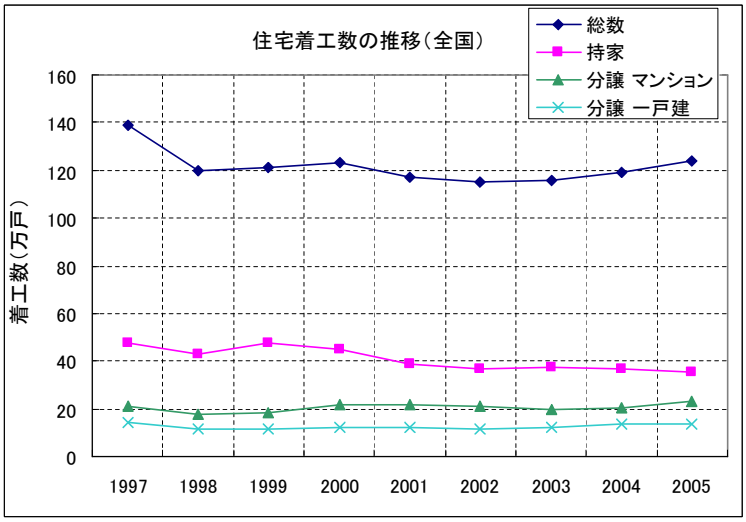
表 3-45　自立循環型住宅開発委員会における換気設備の省エネ目標レベルと達成手法

目標レベル	削減量		手法の適用
レベル 0	換気エネルギー削減	なし	「通常の第 1 種ダクト式換気システム」
レベル 1	換気エネルギー削減率	30%程度	「ダクト式換気システムの適正化手法」 または「換気方式の簡略化」
レベル 2	換気エネルギー削減率	40%程度	「ダクト式換気システムの適正化手法」 と、「高効率機器の導入」の組合せ
レベル 3	換気エネルギー削減率	60%程度	下記の全ての組み合わせ 「通常の第 1 種ダクト式換気システム」 「高効率機器の導入」 「ハイブリッド換気システムの採用」 「換気方式の簡略化」

参照：「自立循環型住宅への設計ガイドライン」（財）建築環境・省エネルギー機構

(2) 住宅着工数

図 3-124 に近年の住宅着工数を示す。最近の 5 年間（2001～2005 年）のデータの平均で一戸建ての着工数は平均で約 13 万戸である。

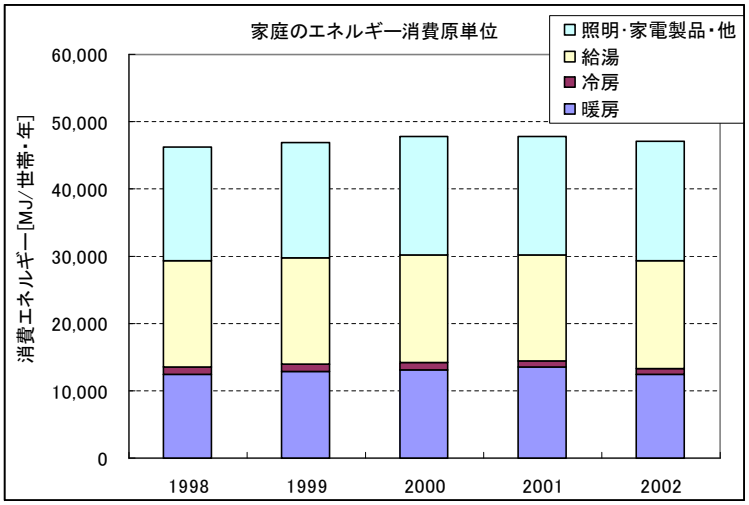


※ 統計局「着工新設住宅戸数：利用関係別・都道府県別表（平成 9～17 年）」による

図 3-124　住宅着工数推移

(3) 家庭の消費エネルギー

図 3-125 より、最近の 5 年間（1998～2002 年）のデータの平均で世帯当りのエネルギー消費量は平均で約 47,000[ＭＪ]である。



※ http://www.eccj.or.jp/　「省エネルギーセンター -省エネルギーデータ集 2004 年版 2-2 家庭部門のエネルギー消費原単位の推移」による

図 3-125　家庭のエネルギー消費原単位

(4) 効果の推定

目標レベルにしたがって、住宅着工数と家庭の消費エネルギー量から効果の推定を行う。

新築や改築される戸建て住宅の全てが第1種ダクト式換気システムを導入すると仮定し、レベル2から4の省エネルギー手法を導入して目標レベルを達成した場合の消費エネルギー量とCO_2排出量の削減量を推定した（表3-47、表3-48)。ただし、住宅の戸数と世帯は同一のものとし、また家庭の換気消費エネルギーは住宅における消費エネルギー量全体の 7%[14]とし CO_2 排出量換算における単位生産量あたりの排出量は0.000555[15][tCO_2/kWh]とした。

この試算では、1年間で2万トンから4万トンのCO2が削減可能という結果が得られた。

表3-46　戸建て住宅の換気消費エネルギー（全国計）

住宅着工数 [戸/年]	消費エネルギー [MJ /世帯･年]	換気の消費エネルギー [MJ /世帯･年]	換気の消費エネルギー（全国） [MJ/年]
130,000	47,000	3,290	4.3×10^8

表3-47　換気設備計画の省エネルギー手法による消費エネルギー削減量（全国計）

レベル	省エネルギー効果 (換気エネルギー削減率)	削減量 [MJ/年]
レベル1　：	なし	0
レベル2　：	30%程度	1.3×10^8
レベル3　：	40%程度	1.7×10^8
レベル4　：	60%程度	2.6×10^8

表3-48　換気設備計画の省エネルギー手法によるCO_2削減量（全国計）

レベル	省エネルギー効果 (換気エネルギー削減率)	削減量 [kWh]	削減量 [万 tCO2/年]
レベル1　：	なし	0	0
レベル2　：	30%程度	3.6×10^7	2.0
レベル3　：	40%程度	2.6×10^7	2.6
レベル4　：	60%程度	4.0×10^7	4.0

14 「自立循環型住宅への設計ガイドライン」(財) 建築環境・省エネルギー機構より

15 http://www.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/material/itiran.pdf
環境省・経済産業省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」より

6-4 まとめ

ダクト式換気システムの適正化　換気システムの部材や設計施工方法は多種多様であり、消費エネルギーの大小にも影響を与える。そこで、第3種ダクト式換気システムについて、ファン特性、ダクトの径・長さ・曲がり個所数・内面の圧損抵抗、風量、室内端末数を変更(適正化)することで、モデル住宅においてどの程度消費電力を削減できるかを試算している。その結果、最大 26.4%の消費電力削減効果が得られ、換気システムの選定、ダクト設計および施工の質、個々の住宅に対しての適正化を行うことで、省エネルギーに貢献できることを確認している。

高効率モーターの省エネ性　換気システムによるエネルギー消費はファンを回転させるモーターの電力消費が大半である。そこで現行モーター(AC モーター)と高効率型モーター(DC モーター)との消費電力量の比較を行い、同一システムで30(強運転時)-70(弱運転時)%の低減率を示している。また、カタログ調査から、高効率モーターを採用した機種で、現行モーターを採用した機種よりも特にダクト式第1種換気システムでは、60%弱の省エネルギー効果が期待できることを示している。

ハイブリッド換気システムの採用　ファンの運転や取り込んだ外気により増加する空調負荷に起因する消費エネルギーの増大を抑える為に、特に欧州ではハイブリッド換気システムが普及している。ここでは、温度差による自然換気を併用し、ファンの運転による電力消費を低減するシステムと、温湿度センサーを用いて温度による給気制限や熱交換の有無を選択する熱交換換気システムを紹介している。

第1種ダクト式熱交換換気システムの夏季の片肺利用　冬季のみ熱交換を行い、夏季は給気ファンを停止して、第3種換気として運転することで、ファン運転のための電力消費を低減する運転方法を提案している。
この運転方法は、北海道など、冷房負荷がほとんどない寒冷地において、夏季に熱交換を行うことによる空調負荷の低減効果よりも給気ファンを停止して電力消費を抑制する方が、省エネルギーとなることを示している。

省エネルギー技術の効果の推定　上記の通り、「自立循環型住宅への設計ガイドライン」に示された換気エネルギー削減目標達成のための手法は、目標削減量に達することが十分に可能であると考えられる。そこで、2001～2005 年の一戸建て住宅の平均着工数と 1998～2002 年の世帯あたりの平均エネルギー消費量から、換気にかかるエネルギー消費の割合を 7%、CO2 排出原単位を 0.000555[t-co2/kWh]として、各レベルでの CO2 排出量削減量を試算した。その結果、年間で 2～4 万トンの CO2 が削減可能であるという結果が得られた。

７．住宅用機械換気システム設計計算法の精度向上
（設計プロセスの信頼性向上）に係る研究

7-1 はじめに

住宅用換気システムは、ファン、端末換気口、自然換気口、分岐・合流継ぎ手、ダクト等で構成されており、その性能は、風量－静圧特性、局部圧力損失係数 ζ、摩擦係数 λ 等で示される。性能の測定方法は、JIS C9603「換気扇、付属書１　風量測定方法」に示されており、ファン以外の部品についても、この JIS に示されたチャンバーに取付けて測定が行われる。端末換気口や自然換気口の測定条件は、(財) ベターリビングが優良住宅部品の認定基準「換気ユニット」の性能試験方法書に定めている。しかし、分岐・合流継ぎ手、最近換気システムでよく使用される分岐・合流チャンバーやダクトは、測定方法や測定条件が明確に示されたものが無く、ＢＬ法に準拠した方法で測定が実施され、測定条件が明確に示されないまま、カタログ等に性能が表示されている。

また、ビル空調の設計は全圧基準で行われ、多くの文献に示されている性能も全圧基準であるのに対して、住宅用換気システムで使用される部品の性能は静圧基準で示されることが多い。したがって、住宅用換気システムに使用される部品については、測定方法を明確にし、全圧基準で示したものか、静圧基準で示したものかを明確に示す必要がある。

7-2 研究の目的と背景

シックハウス対策のために機械換気システムが設置された住宅で竣工後、換気量を測定すると、設計どおりの風量が確保されておらず問題になることがある。この原因として以下のことが考えられる。

① 施工不良による風量低下
② 機械換気システムによる換気量の測定誤差
③ 測定時の環境（屋外の風向風速、室内外温度差など）の風量への影響
④ 設計された風量の信頼性

これらの原因を解明し、機械換気システムにより得られる換気量が、確実に設計目標を達成するようにすることは重要である。

日本では、機械換気システムの施工にフレキシブルダクトが使用されることが多い。フレキシブルダクトは、施工時の自由度が大きいため、現場で、極端な曲げや変形した施工が行われる可能性が高い。このような施工は、設計時には考えないので、大きな風量低下の原因となる。施工の効率化は重要であるが、換気システムが能力低下をおこさない範囲で行う必要がある。施工不良による風量低下を防ぐためには、換気システムの施工工程をすべて洗い出し、能力低下を起さないための施工マニュアルを作成し、このマニュアルにより施工者の教育訓練を実施する必要がある。

機械換気システムの作動時に住宅全体の換気量をトレーサーガス法で測定すると比較的精度の良い結果が得られる。しかし、性能の高い高気密住宅でない限り、この方法で求められた換気量は、機械換気と自然換気の両方により得られた換気量となるため、機械換気システムの作動により得られる風量のみを検証するのには適さない。現実は、測定が比較的簡単にできる風量計が使用されることが多い。しかし、風量計は、端末の形状・大きさ、給気か排気か、吹出し方向などの要因によって誤差が非常に大きくなるものもあり、正確な風量を得るためのマニュアルもないのが現状である。現場での風量検定を簡便かつ正確に行うマニュアルの作成が必要である。

屋外の風向・風速や室内外温度差が、機械換気システム作動時の風量に、影響を与えることがある。機械換気システムの風量検定は、住宅の気密性能測定のように外部風が小さく、室内外温度差の少ない状態で行うなどの考慮が必要である。

風量の設計法は規定されているが、設計に使用する部材特性の測定方法・表記方法は、一部がJISや（財）ベターリビングが定める優良住宅部品の認定基準「換気ユニット」で示されているが、明確に規定されているとはいえない。設計では、各部材メーカーが自社で独自に測定し、カタログ等に表示したデータが使用される。前述したように、部材特性の測定方法に規格がないため、設計に使用されるデータは、誤差範囲や信頼性がどの程度であるか不明といえる。したがって、これらのデータを用いて設計された風量の信頼性には問題がある。設計風量の信頼性を高めるためには、部材特性の測定方法を規格化し、その誤差範囲や信頼性を明確にする必要がある。

このような現状では、設計風量、竣工後に測定された風量ともに信頼性に欠けるところがある。この研究は、設計風量の信頼性を高めるため、機械換気システムに使用される部材特性の測定方法作成を目的として行う。

住宅の確認申請の際、換気システムの風量計算表を提出すると、計算に使用した部材の特性値の測定方法を質問されることがある。これも、部材の測定方法を明確に規定した規格がないことが原因といえる。共通のルールで測定された部材の特性値を使用して設計を行う環境を作ることが重要である。

7-3 研究概要

換気システムの設計には静圧基準と全圧基準があるが、風速が大きく静圧再取得が無視できないビル空調などでは全圧基準が使用され、設計資料として全圧基準の圧力損失が示されている。しかし、住宅で使用される換気システムは、低風速であり、各部材の圧力損失の積上げによる設計手法では、静圧損失と全圧損失の計算結果が同じになるため、システム部材の特性の測定は静圧損失と全圧損失のどちらでも良いことが確認されている。現在行われているJISチャンバーを利用する測定方法は、基本的には静圧測定による方法である。したがって、住宅用ダクト換気システムの設計は、静圧基準の設計方法が妥当である。ただし、シミュレーション等の計算は、全圧基準で行われることがあるので、静圧基準の部材特性から全圧基準の部材特性を求める方法を定義する必要がある。

昨年度は、静圧基準での部材特性の試験法として、精密測定の①静圧分布法とその簡易版となる②ダクト圧力補正法を提案し､静圧分布法で換気システムに使用する代表的な部材の特性を測定し、その結果から試験法案の妥当性や問題点について検討した。

その結果、測定精度を向上させるためには、測定の際に使用する補助ダクトの製作精度を向上させる必要があることがわかった。

本年度は、製作精度を向上したアルミ製の補助ダクトを作成し、代表的な換気システムに使用される部材を測定し、両測定法による結果の整合性を確認した。

現在、市販されている換気システムに使用される部材は多種におよんでいるため、新しく提案した試験方法を用い既試験法で測定された部材全ての測定をやり直すのは現実的でない。しかし、既試験方法と新試験方法で測定したデータを混在して使用すると正確な設計は出来ない。そこで、既試験法で測定した結果を新試験法で測定した結果に読替える方法を提案することにした。また、新試験方法で測定した結果を用い換気システムを設計施工したとき、設計どおりの風量が得られるか

を確認するとともに、所定の換気量を得るためではなく室内環境を改善するための実用的な換気設計マニュアルの素案を作成した。

7-4 ダクト式換気システム部材の測定方法

試験方法は、JIS C 9603-1988「換気扇」の風量測定方法として付属書 1 で規定されている空気槽（以下，測定用チャンバーと称する）を含む試験装置を用いて，住宅用ダクト換気システムのシステム構成部品（送風機，室内外端末，搬送部材，分岐・合流継手等）の風量－圧力損失特性試験方法を示したものである。

試験方法は，下記の 3 編で構成されている。

Ⅰ偏　補助ダクトの静圧分布測定による静圧損失の試験方法（以下、静圧分布法と呼ぶ）

Ⅱ編　補助ダクトのダクト圧力補正による静圧損失の試験方法

Ⅲ偏　ダクトの圧力損失特性試験方法

Ⅰ編はダクトを除く部材を精密に測定するための方法で、Ⅱ編は測定のために広い場所を確保できない場合を考慮したⅠ編の簡易版といえる（以下、Ⅰ編を静圧分布法、Ⅱ編をダクト圧力補正法と呼ぶ)。

静圧分布法は、JIS C9603「換気扇、付属書 1　風量測定方法」に示された測定チャンバーに静圧タップを立てた長さ 4m の硬質補助ダクトを取付けて管内の静圧分布と風量を測定し部材の特性を求める方法である。

ダクト圧力補正法は、長さ 1m 当りの風量－静圧特性が既知の長さ 2m の硬質補助ダクトを使用して測定する方法である(静圧分布法で使用した長さ 4m のダクトが使用できない狭いスペースで測定を行う場合に行う静圧分布法の簡易版)。この方法では、長さ 2m の補助ダクト中央 1 地点の静圧を測定し、測定結果と既知の風量-静圧損失特性からダクト内の静圧分布を算出し、部材の特性を求める。

これらの測定法は、部材の風量－静圧損失特性を求めるためのものであるが、風量とダクト面積から算出した風速を用い、全圧基準の風量－圧力損失特性を求めることも出来る（既存文献に示されている局部損失係数の多くは全圧基準)。

今回の測定には、アルミ製硬質ダクト（直径 50mm と 100mm）を使用した。静圧分布法では、長さ 4m のダクト端部から 1m 間隔の 3 地点で静圧を測定しダクト内静圧分布を求めた。静圧分布法・ダクト圧力補正法とも 1 地点の静圧は、円ダクト中央点から見て 120 度間隔の円周上 3 か所の静圧平均とした。

ダクトは、前述のチャンバーに長さの異なるダクトを取付けてチャンバー内外の静圧差と風量の関係を測定し、同一風量時の静圧差からダクト長さ 1m の風量 - 静圧特性を算出する方法を用いた。

圧力測定には精密微差圧計 Baratron 220CD、風量測定には超音波気体流量計（海上電気 GF-100、検定されたノズルを使用して校正したもの）を使用した。風量は、測定結果を標準吸込み状態（温度 20℃、相対湿度 60%、絶対圧力 760mmHg）に補正した値とした。

以下に主要部材の測定法の詳細と風量－静圧損失特性算出方法、測定結果を用いて簡単に説明する。

(1) 送風機

送風機の前後に補助ダクト（静圧分布法は長さ 4m、ダクト圧力補正法は長さ 2m）を取付けてダクト内静圧と風量を測定した。

静圧分布法では静圧測定結果から回帰直線を求め、各ダクト端部（4m 地点）の静圧を算出し、その差を求める。

ダクト圧力補正法では、既知のダクト長さ 1mの風量－静圧損失特性から測定風量時の静圧損失を求め、この値を静圧分布の傾きとして 1m 地点の静圧測定結果から各ダクト端部（2m 地点）の静圧を算出し、その差を求める。

この値が、測定時の風量に対する送風機の機外静圧となる。

ダクト内静圧分布を図 3-126、風量－静圧特性を図 3-127 に示す。

同一風量時のダクト圧力補正法と静圧分布法による機外静圧差の静圧分布法による機外

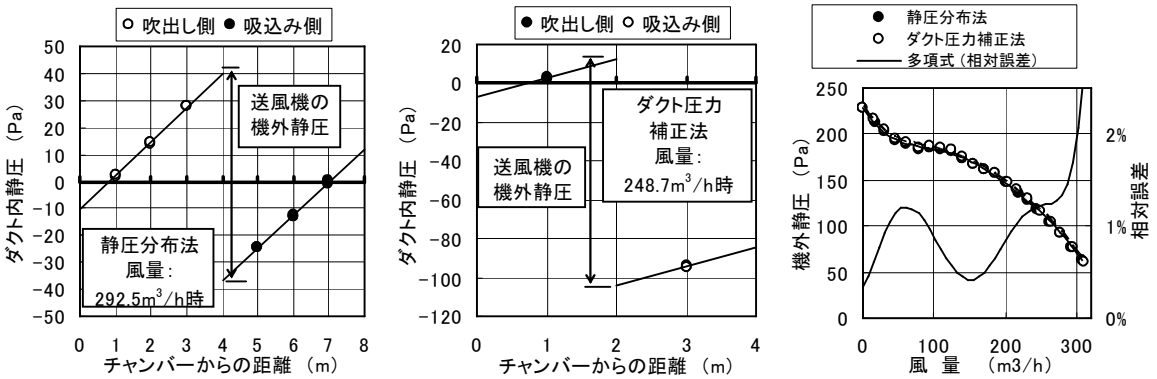


図 3-126　送風機測定時のダクト内静圧分布と機外静圧

図 3-127　送風機の風量－静圧特性

静圧に対する割合を相対誤差として図 3-127 に示した。風量が多くなり機外静圧が小さくなると相対誤差が若干大きく示された。

静圧分布法とダクト圧力補正法での硬質補助ダクトの端部の静圧算出方法、静圧分布法とダクト圧力補正法の相対誤差の算出方法は、以下の部品でも同様である。

(2) 端末換気口

直径 100㎜ の外壁用端末部品を吸込み（OA）と、吹出し（EA）に使用した時のダクト内静圧分布と静圧損失を図 3-128、風量－静圧損失特性を図 3-129 に示す。吹出しで測定した時、相対誤差が 10%近くと若干大きく示された。

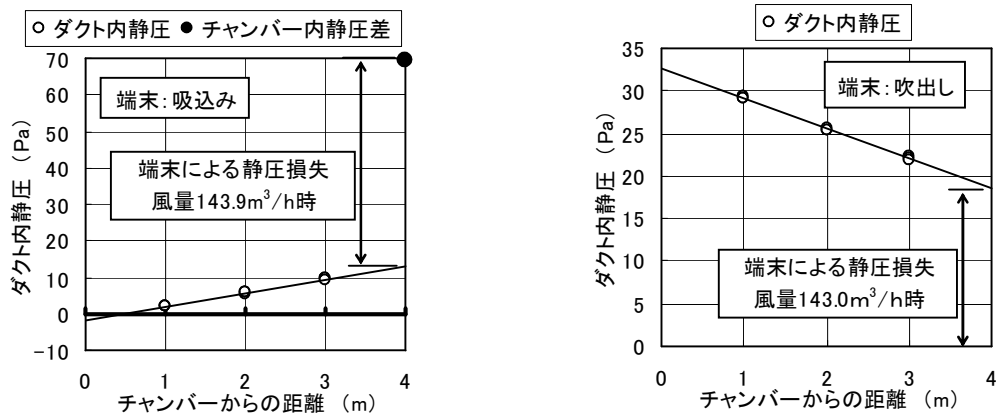


図 3-128　端末部品測定時のダクト内静圧分布と静圧損失

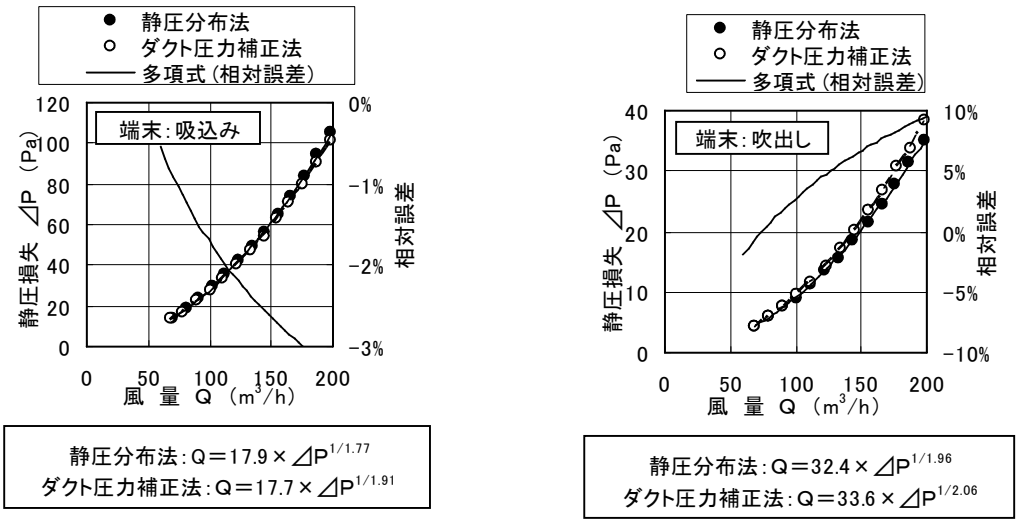


図 3-129　端末部品の風量－静圧特性と相対誤差

(3) 分岐・合流チャンバー

主管直径 100㎜、枝管直径 50㎜（5 系統）の分岐・合流チャンバー（図 3-132）を分岐チャンバーとして使用したときの主ダクトと枝ダクトの静圧分布と枝ダクトAの静圧損失を図 3-130、各枝ダクトの風量－静圧特性を図 3-131、測定法による風量－静圧損失特性の比較を図 3-133 に示す。

チャンバーを分岐と合流で使用したときともに相対誤差は小さく、ダクト圧力補正法による測定でも静圧分布法による測定結果と同等の精度が得られることが示された。

Y字・T字継ぎ手や異径継ぎ手、風量比を変化させた場合についても同様の方法で測定できる。また、この測定方法では、各枝の風量比の算出が可能であるため、全圧での風量－圧力損失特性を求めることが出来る。

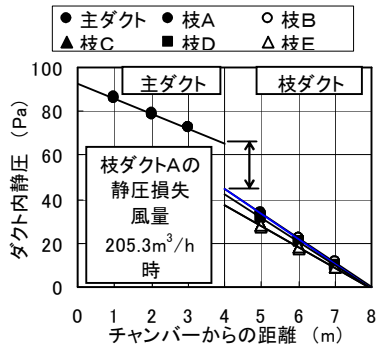


図 3-130　分岐・合流チャンバー測定時のダクト内静圧分布（分岐）

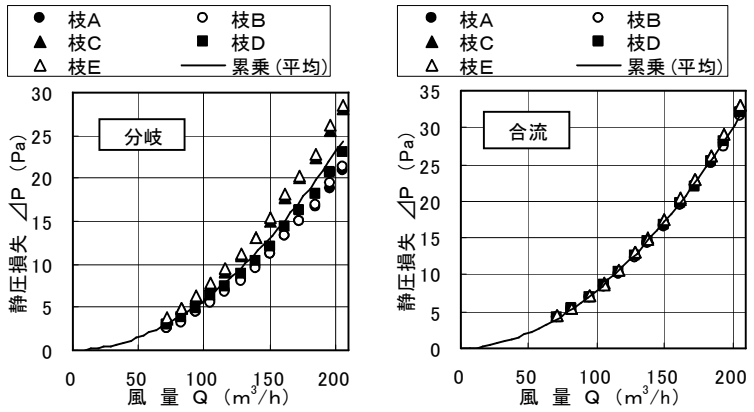


図 3-131　分岐・合流チャンバーの風量－静圧特性（各枝毎）

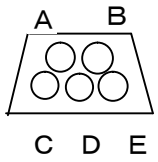


図 3-132　分岐・合流チャンバー枝ダクト位置

分岐
静圧分布法:Q=40.9×⊿P^1/1.98
ダクト圧力補正法:Q=41.1×⊿P^1/2.00

合流
静圧分布法:Q=34.4×⊿P^1/1.93
ダクト圧力補正法:Q=35.1×⊿P^1/1.94

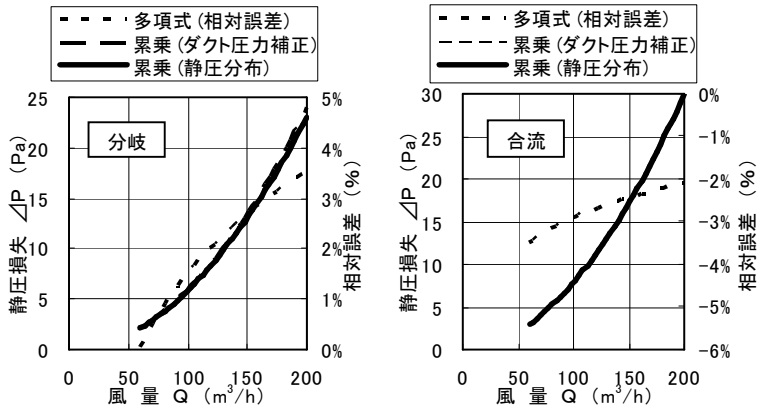


図 3-133　分岐・合流チャンバーの風量－静圧特性（平均）と相対誤差

(4) フレキシブルダクト

直径 50㎜、長さ 7、4、2m のフレキシブルダクトの風量－静圧損失特性を求め、同一風量時の静圧差からダクト長さ 1ｍの風量－静圧損失特性を算出した結果、長さ 7m のダクトを R/D＝3 で 90 度と 135 度に曲げた時と 2 種類の波曲げによる圧力損失の増分と長さ 7m のダクトの圧力損失に対する増分の割合を図 3-134、測定状況を写真 3-50 に示す。

波曲げは、フレキシブルダクトを 3 か所で吊るした場合を想定したものである。風量が 20m³/h の時、長さ 7m のダクトをまっすぐに使用すると圧力損失は 19Pa 程度であるが、波曲げ 1 では 100%増の 38Pa になる。フレキシブルダクトを使用する際の設計には注意する必要がある。

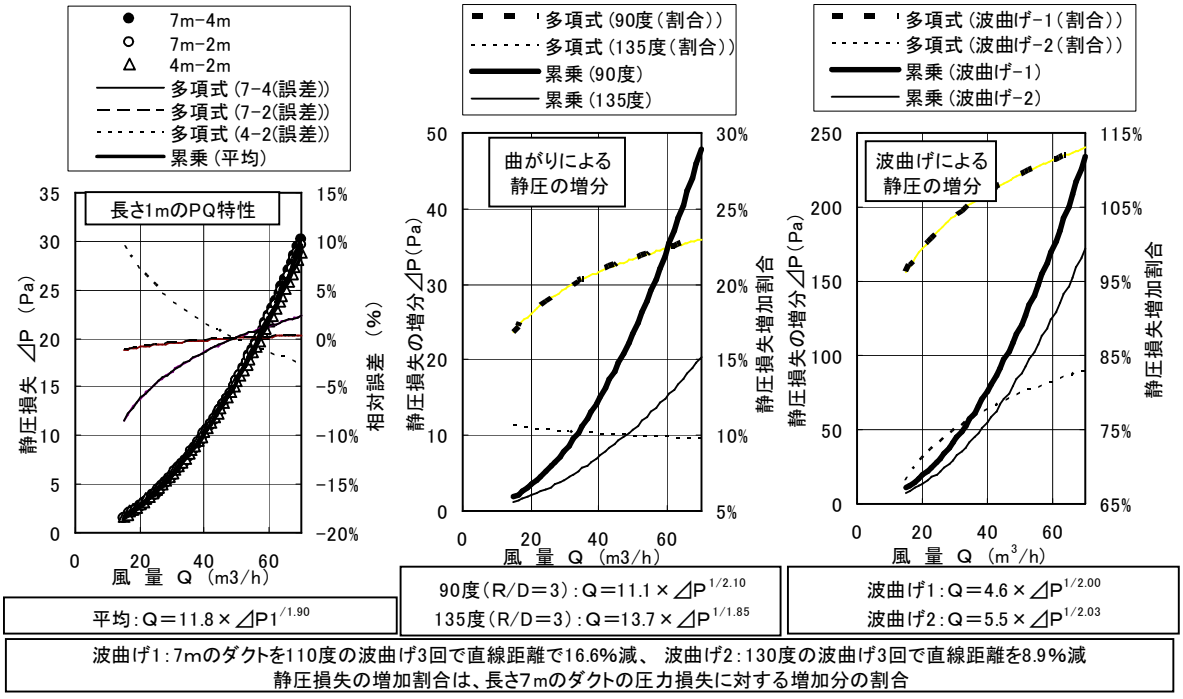
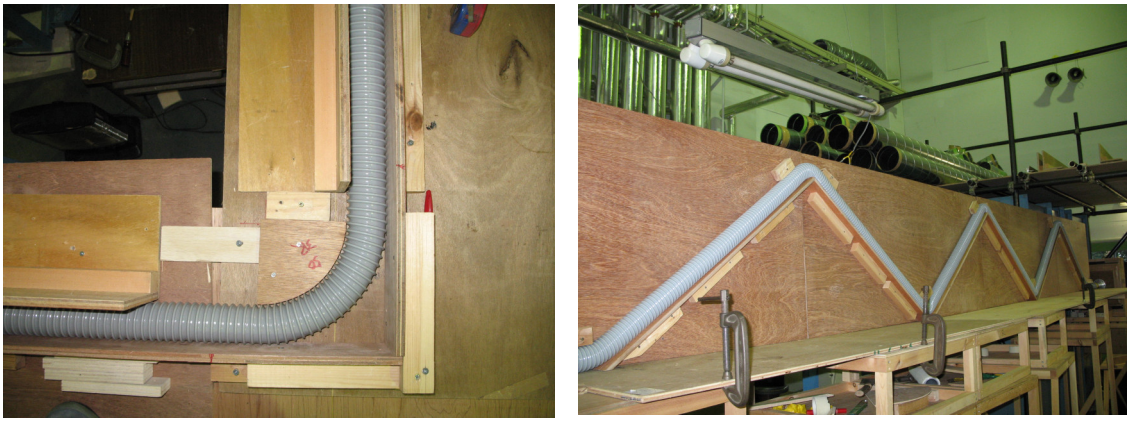


図 3-134　フレキシブルダクト（直径 50MM）の長さ 1mの風量－静圧特性と曲がりによる静圧損失の増分

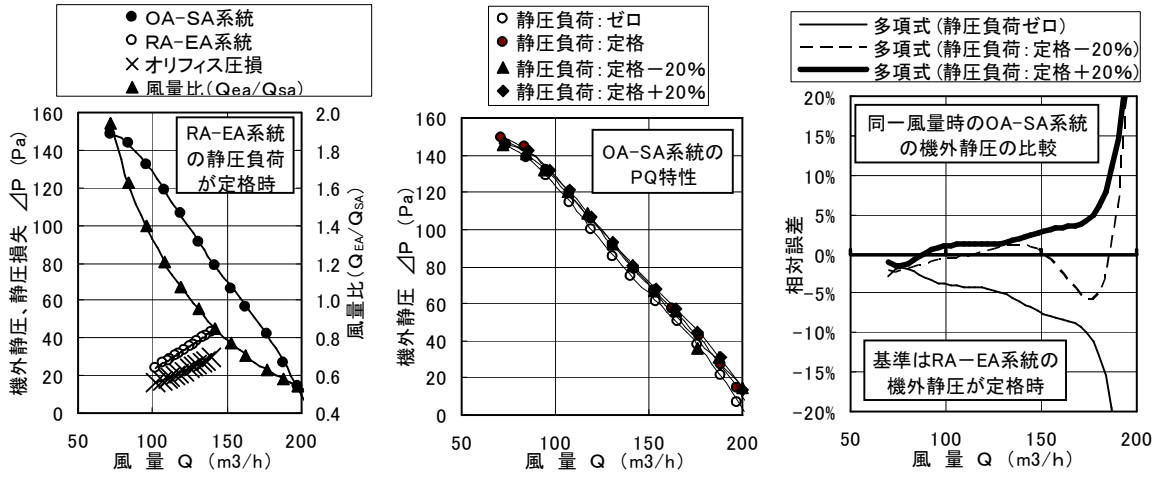


90 度（R/D＝3）　　波曲げ 1

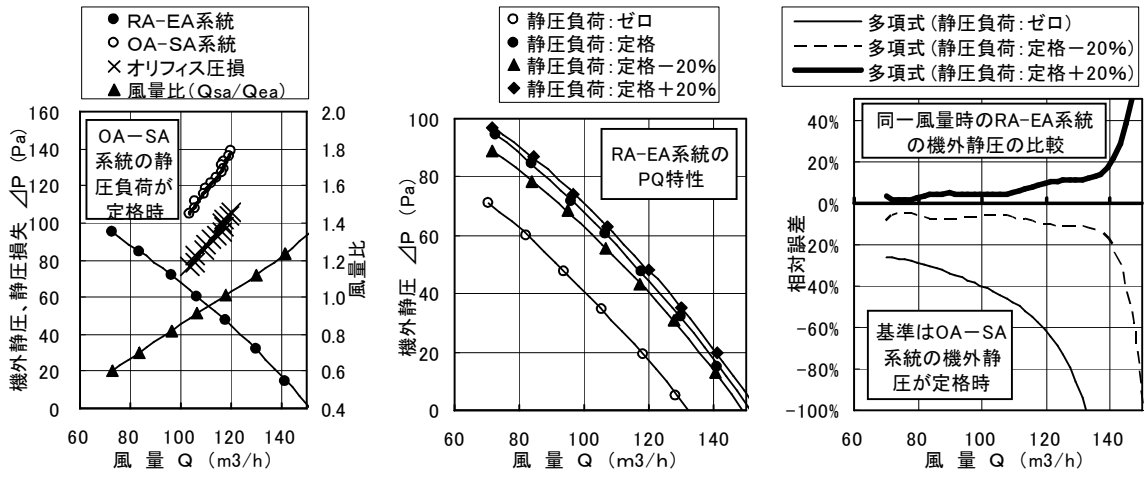
写真 3-50　フレキシブルダクト直径 50㎜　測定状況

(5) 1モーター2ファン

RAは室内空間から直接引込み、OA・SA・EAはダクト配管の熱交換機の風量静圧特性を測定した。EA－RA系統測定時は、EA・SA系統に4m、OA系統に2mの補助ダクトを設置し、OA系統のダクト先端に負荷を与えた（静圧分布法とダクト圧力補正法の併用）。OA－SA系統測定時は、EA・SA・OAに4mの補助ダクト設置し、EA系統のダクト先端に負荷を与えた。測定は、負荷無、定格負荷とその±20%の負荷を与えた時の4条件について行った。この測定方法では、OA－SA系統とRA－EA系統の風量と機外静圧を同時に測定できる。OA－SA系統はRA－EA系統の静圧負荷により大きな変化はみられなかったが、RA－EA系統はOA－SA系統の静圧負荷が大きいために差が生じた。静圧負荷を与えた系統は、静圧負荷が大きくなると風量が増加するという、通常とは逆の結果が示された。これは、系統間の漏気が原因と考えられる。



(1)**OA－SA系統**の特性(RA-EA系統に機外静圧)



(2) **RA－EA系統**の特性(OA-SA系統に機外静圧)

図3-135　1モーター2ファンの熱交換機の風量－静圧特性

7-5 新試験方法と既試験方法による測定結果の読替え方法

ここでは，慣例的に行われてきた試験方法によるデータと提案した試験方法によるデータの違いを報告し，既往データを提案する試験方法によるデータに読み替える方法について，換気部品毎に記述する。

(1) 送風機

ここで問題となるのは，ダクト換気システムに使用される送風機ユニットで吸込み，吹出しともにダクト接続される型式のものである。送風機ユニットの本体に吸込みグリルが付属し，排気にダクトが接続されるレンジフード用送風機や浴室用送風機などはデータを補正する必要はない。

①JIS B 8330-2000「送風機の試験及び検査方法」により得られた試験データ

読み替えの必要はない。

②JEM 1386-1989「特殊換気扇の風量及び騒音測定方法」

吹出し側および吸込み側に 300㎜ のダクトを接続して風量と静圧の関係を測定する。この場合，吸込み側に接続されるダクト入口の静圧損失と両側のダクトの静圧損失が送風機の静圧負荷になり，見掛け上，送風機静圧が小さく測定される。吹出しと吸い込みに接続される 300㎜ の直管ダクトの静圧損失は極めて小さいので，吸込み側に接続される直管ダクトの入口側の静圧損失を既往のデータに加えることで提案する試験方法のデータに概ね一致する。

(2) 端末換気口

端末換気口の圧力損失係数は（財）ベターリビングの「優良住宅部品認定基準　換気ユニット」に付属する「優良住宅部品性能試験方法書　換気ユニット」に規定される「通気量試験」を準用して，カタログデータとしている例が多い。この方法は，JIS C 9603「換気扇」の付属書 1 で規定される空気室（以下，測定用チャンバーと称する）を用いて，ダクト直径（D）の 5 倍の長さ（5D）を持つ補助ダクトの先端に端末換気口部品を取り付けて，換気口部品の有無による測定用チャンバー内外の静圧曲線の差から，静圧損失係数を求める方法である。

試験結果から，φ50 の端末換気口では 5D（長さ 250㎜）の補助ダクトによる前述の方法では静圧分布法及びダクト補正法との誤差が大きく，明確な補正方法は提案できない。ただし，φ50 で補助ダクトの長さが 4m の場合，両者の誤差は小さく補正が可能になる。φ100 の端末換気口の場合，5D（長さ 500㎜）の補助ダクトで得られた静圧損失曲線は，静圧分布法及びダクト補正法で得られた静圧損失曲線と概ね一致した。

これらの結果より，φ100 の端末換気口で 5D 以上の長さの補助ダクトを使用して得られた既往の静圧損失曲線は次の方法で補正を行うことができる。φ50 の端末換気口は，静圧分布法またはダクト補正法で静圧損失曲線を再測定しなければならない。

①換気口端末（吹出し）

測定用チャンバーから試験室に吹出す方向で試験を行う場合を示す。

この場合は，既往の静圧損失曲線を補正する必要はない。

②換気口端末（吸込み）

試験室から測定用チャンバーに向かう方向で試験をする場合を示す。

既往の静圧曲線に測定時に使用した補助ダクト入口の静圧損失特性を表す静圧曲線を加えて，換気口端末（吸込み）の圧力損失特性の表示値とする。

(3) 分岐・合流チャンバー（多分岐継手）

5D 補助ダクトの有無による静圧曲線の差を多分岐継手の静圧損失としている場合，次の方法でデータを補正する。ただし，枝ダクト毎の静圧損失と風量比は求めることができないので，全ての枝ダクトで同じ静圧損失特性を仮定することになる。

①測定用チャンバーから吹出しで測定した場合（分岐として使用）

a）枝ダクトに補助ダクトなし

換気口端末（吹出し）と同様に主ダクトの径がφ100 であれば，静圧損失の特性曲線として既往のデータを使用できる。

b）枝ダクトに補助ダクトあり

既往の静圧曲線から補助ダクトの静圧曲線を減じて静圧損失の特性曲線とする。

②測定用チャンバーに吹出す方向で測定した場合（合流として使用）

a）枝ダクトに補助ダクトなし

多分岐継手の枝ダクト入口の静圧損失特性が測定できないため，本提案の方法でデータを求め直す必要がある。

b）枝ダクトに補助ダクトあり

換気口端末（吸込み）で示した方法で補助ダクトの静圧損失特性を測定し，既往データから補助ダクトの静圧曲線を減じて，多分岐継手合流の静圧損失特性とする。

7-6 換気システム設計手法の検証

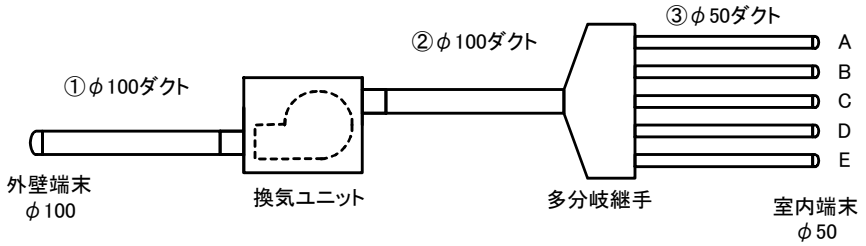
(1) 検証実験計画

アルミ補助ダクトとフレキシブルダクトを使用して、第2種換気システムと第3種換気システムを大空間に設置して無負荷の状態で、室内端末換気口と室外端末換気口の風量を測定し、各経路の最大圧力損失の計算値と送風機のPQ特性とから求めた動作点と合致するかの確認試験を行った。表3-49、図3-136に実験で使用したモデルを、実験状況を写真3-51に示す。実験に使用した換気部品は、PQ特性は「12. 部品の風量ー静圧特性測定結果一覧」にPQ特性を示したものである。検証に使用した風量計は、実験に使用した端末換気口をアルミ補助ダクト（壁相当の合板付）に設置した状態で校正した。実験時と校正時の風量計と端末換気口の位置は、同じ状態にした。人による読み取り誤差をなくすため、校正時と検証実験時の風量計の読み取りは、同じ人が行うことにした。

表3-49　検証実験モデル

モデル	①φ100ダクト	②φ100ダクト	③φ50ダクト				
			枝A	枝B	枝C	枝D	枝E
A	アルミダクト2m						
B	アルミダクト4m						
C	フレキ注) 2m		フレキ4m				
D	フレキ2m		フレキ4m	フレキ4m	フレキ4m 90°曲り	フレキ4m	フレキ4m
E	フレキ2m		フレキ4m	フレキ4m	フレキ4m 135°曲り		
F	フレキ2m		フレキ4m	フレキ4m	フレキ7m 波曲げ80%		
G	フレキ2m		フレキ4m	フレキ4m	フレキ7m 波曲げ90%		
H	フレキ2m		フレキ4m 90°曲り	フレキ2m	フレキ7m 90°曲り×2		

注) フレキ：PVCフレキシブルダクトの略、90°曲がりと135°曲がりはR/D＝3



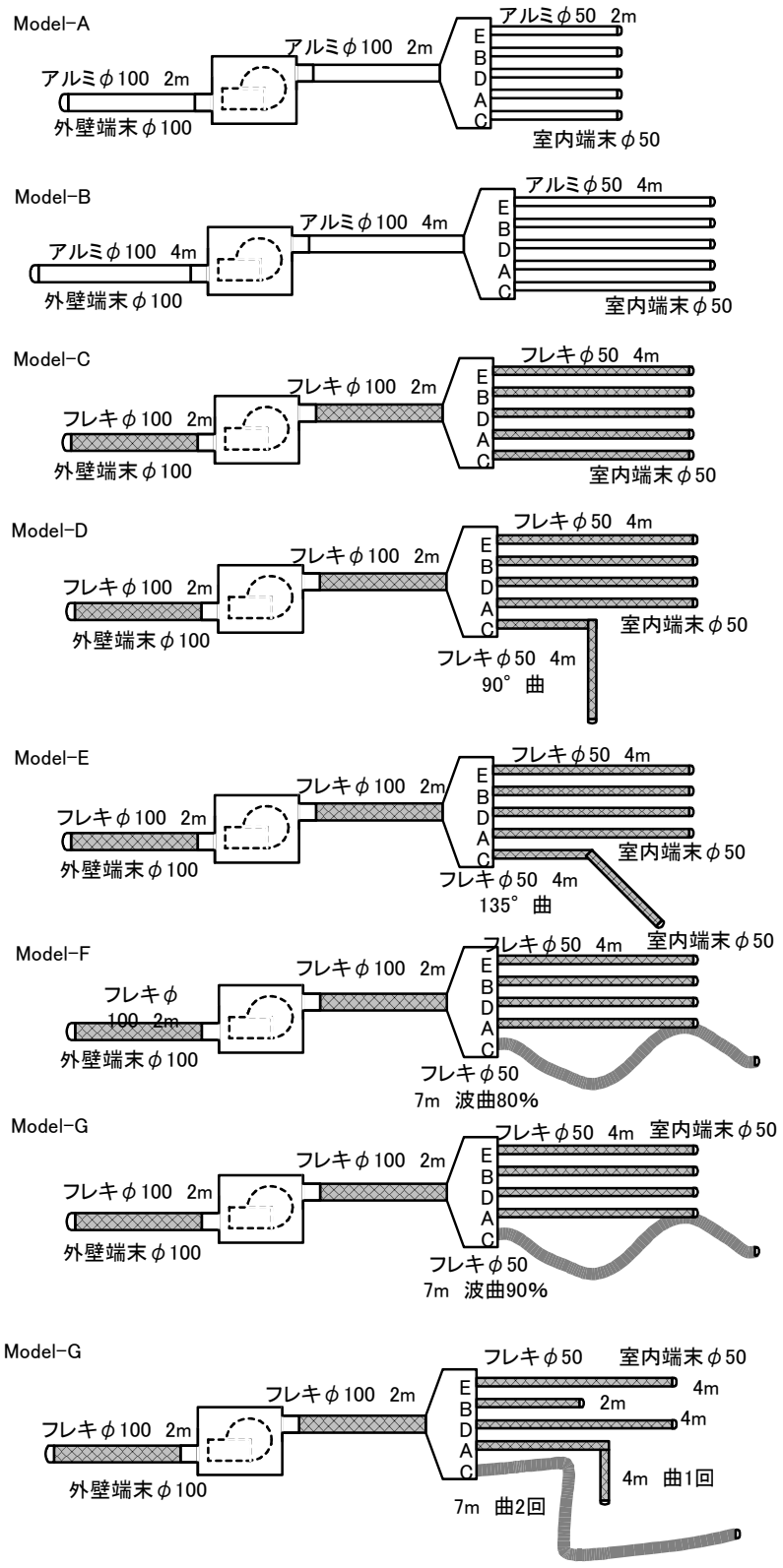
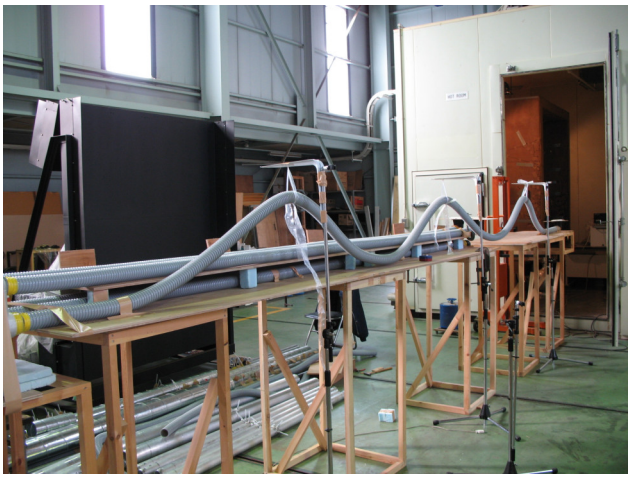


図 3-136　検証実験モデル

Model－E　R/D＝3、135 度



Model－G　波曲げ（90%）

Model－H

写真 3-51　検証実験の状況

(2) 新測定法による測定結果の精度の検証

換気部材とアルミ補助ダクトを、部材の風量－静圧損失特性と比較的再現性のある状態で設置できるModel－AとModel－Bの風量の測定結果と部材の風量－静圧損失特性（静圧分布法による測定結果)の積上げと送風機の風量－静圧特性の交点から求めた風量(設計風量)を比較する(表3-50)。

表3-50　設計風量と検証実験結果の比較

		設計風量 (m^3/h)	検証実験測定結果（風量：m^3/h、相対誤差：%）			
			主ダクト	相対誤差	枝ダクト合計	相対誤差
第２種換　気	Model－A	190.76	181.8	－4.7	174.7	－8.4
	Model－B	172.79	173.9	0.7	169.5	－1.9
第３種換　気	Model－A	146.49	193.1	－4.2	187.9	－6.8
	Model－B	180.97	184.4	1.9	190.1	5.1
相対誤差：測定風量と設計風量の差を設計風量で除したもの。						

4mアルミ補助ダクトを使用したModel－Bでは、設計風量と検証実験の結果が比較的良く合致していた。

第3種換気　Model－Aは、無負荷状態の送風機のPQ特性とModel－Aの状態で測定した送風機のPQ特性を図示し（図3-137)、無負荷状態のPQ特性とModel－Aの換気部材によるPQ特性の交差点（送風機の動作点）の風量とModel－Aの状態で測定した送風機のPQ特性0Pa時の風量が合致するかを確認した。両風量は、201.6m^3/h、200.6m^3/hとほぼ合致しており、今回の測定方法による結果から静圧損失の積上げを行う正当性が確認された。

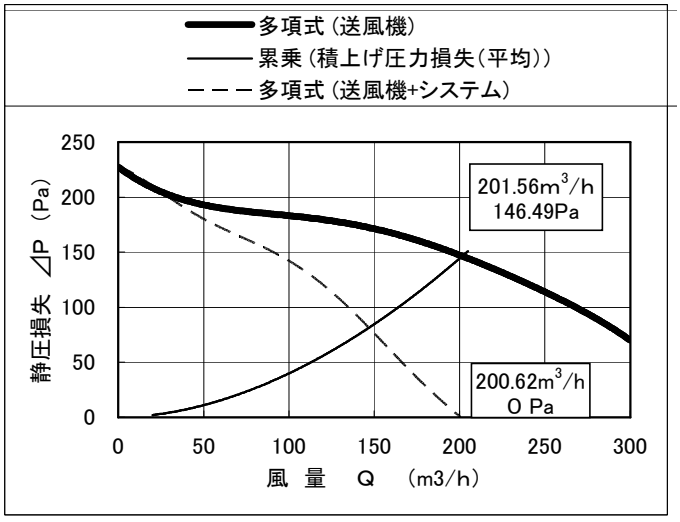


図3-137　第3種換気　Model－Aの設計風量の検証

フレキシブルダクトは、写真3-50に示すように再現性を確保するため木製の定規を使用し、硬質製直管と変わらないような状態で部材測定を行った。現実は、試験時のような状態で施工されることはない。そこで、検証実験では、写真3-51に示すように部材測定時のように木製定規を使用せずに、試験時の状態を再現して測定を行った。風量の測定結果と部材の風量－静圧損失特性（静圧分

布法による測定結果）の積上げと送風機の風量－静圧特性の交点から求めた風量（設計風量）を比較する（表 3-51）。

表 3-51　設計風量と検証実験結果の比較

		設計風量（m^3/h）	検証実験測定結果（風量：m^3/h、相対誤差：%）			
			主ダクト	相対誤差	枝ダクト合計	相対誤差
第２種換　気	Model－C	167.22	149.2	－10.8	141.7	－15.3
	Model－D	162.18	144.8	－10.7	140.1	－13.6
	Model－E	164.11	146.7	－10.5	140.9	－14.1
	Model－F	141.56	143.6	1.4	135.5	－4.3
	Model－G	145.61	143.0	－1.8	138.3	－5.0
	Model－H	151.07	147.7	－2.2	141.6	－6.2
第３種換　気	Model－C	174.23	165.8	－4.9	157.2	－9.8
	Model－D	169.42	163.7	－3.4	153.2	－9.6
	Model－E	171.64	160.6	－6.4	151.1	－12.0
	Model－F	146.41	158.1	8.0	147.0	0.4
	Model－G	150.89	158.9	5.3	148.7	－1.4
	Model－H	156.95	158.7	1.1	151.4	－3.6
相対誤差：測定風量と設計風量の差を設計風量で除したもの。						

試験時に近い状態に施工した状態ではあるが、波曲げ(Model－F、Model－G)や負荷が大きい Model－H では、設計風量と測定風量が比較的良く合致したが、負荷が小さい Model－C、Model－D、Model－E では、測定風量が設計風量を下回る傾向が示された。

(3) 換気回路網計算法による設計風量と検証実験の結果検証

検証実験で使用したものと同一の部材を①静圧分布法、②ダクト圧力補正法、③既測定法（従来法）で測定し求めた部材性能と④検証実験に使用した部材を静圧分布法で測定し求めた部材性能を用い換気回路網計算法により設計風量を計算した結果と検証実験での測定風量を比較検証する。

①合計風量の比較

図 3-138 に換気回路網で求めた各計測法と検証実験で得られた合計風量（主ダクトの風量）を示す。また、図 3-139 に検証実験で計測した検証風量を基準とする各計測法の計算風量（換気回路網計算による全圧計算で算出）の相対値を比較する。

“従来法”（カタログ値等の P-Q 特性、摩擦損失係数λを使用）による計算値以外は、検証実験の検証風量よりも多い風量が計算で求められ（ただし、分岐の Model－B では、静圧分布法、ダクト補正法で検証風量よりも約 3%少ない)、従来法では風量を過大に評価していたと言える。従来法による計算値は、特に合流（排気）時の Model－C から G のフレキシブルダクトを用いたモデルで乖離が大きい。

“検証用”を用いた計算値は、各モデルにおいて全て検証風量を上回る値となっており、6%から 20%の乖離を生じている。“検証用”は、端末部材の P-Q 特性だけを検証実験時の端末部材の状態で再測定したものなので（端末部材以外は静圧分布法）、“検証用”が最も再現性の高い条件となるはずである。しかし“検証用”では、分岐（給気）時の Model－C から G のフレキシブルダクトを用いたモデルでの乖離が 15%以上と大きい結果となった。

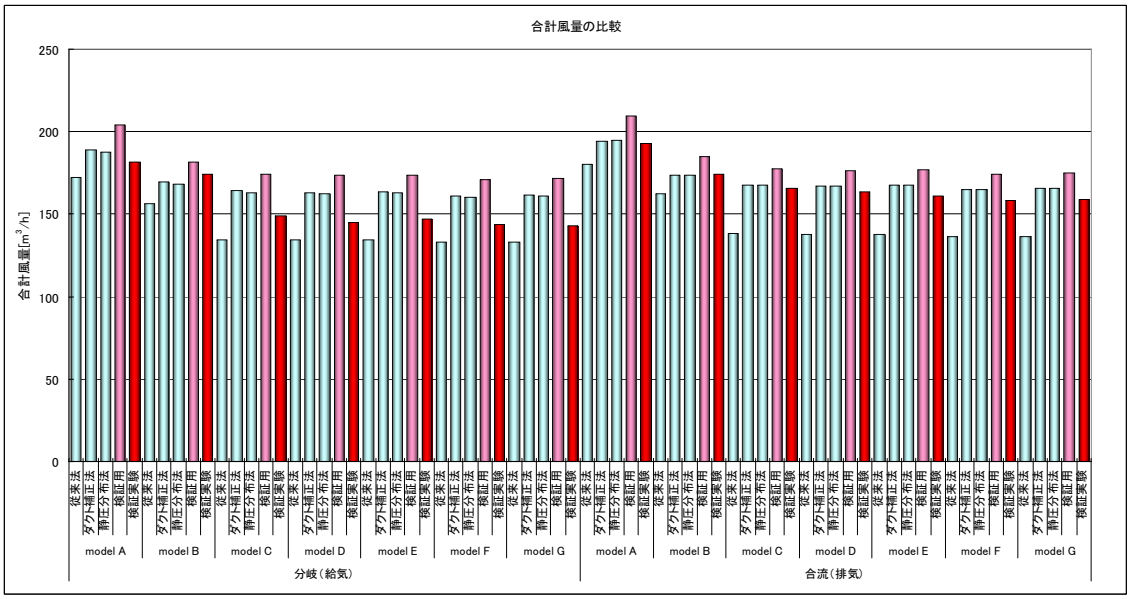


図 3-138　合計風量の比較

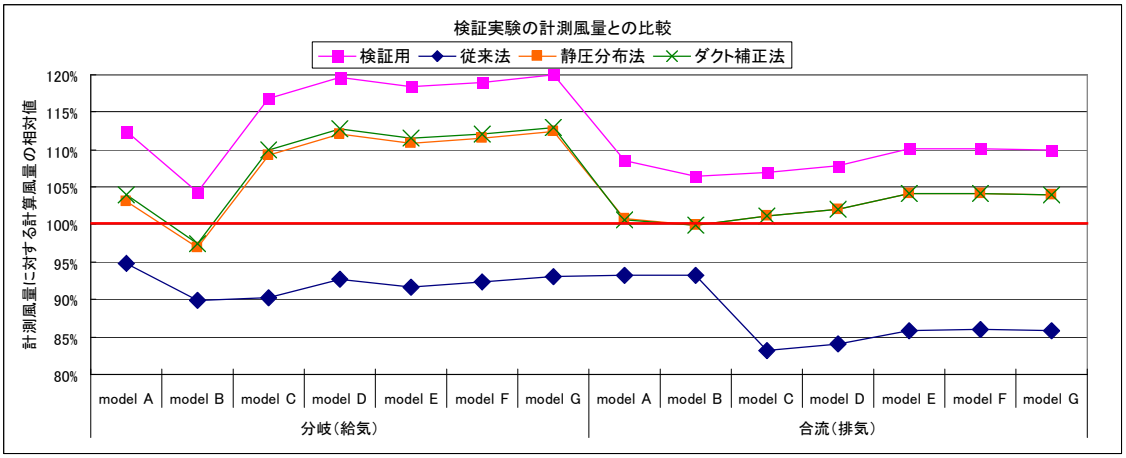


図 3-139　検証実験との比較（相対風量）

②枝風量の比較

分岐（給気）時の枝風量を図 3-140 に示す。

Model－A から Model－G の全モデルにおいて、枝 C および枝 E の風量（風量比）が少ない傾向にある。Model－F および Model－G の検証実験では、枝 C の風量減少が顕著であるが、この二つのモデルではフレキシブルダクトの波曲げを再現しているので、この波曲げの抵抗によるものに他ならない。しかし、換気回路網の計算では枝 E に波曲げの抵抗を加えており、この点で実証実験との条件違いがあるが、計算値の枝 E と実証実験の枝 C の風量は、Model－F と Model－G で概ね等しい。

また、枝C（計算では枝E）に90度の曲がりを加えたModel－Dと135度の曲がりを加えたModel－Eでは、実証実験でも枝Cの風量減少が確認できないが、計算値では枝Eの風量が減少している（実証実験における枝Cの風量よりは多いが）。このことから、実証実験では枝Cと枝Eに、90度の曲がり以上の抵抗が実験時に加わったことが考えられる（例えば、緩やかな波曲げ）。しかし、このような状況でも、計算値は実証実験の枝風量を概ね再現していると言える。

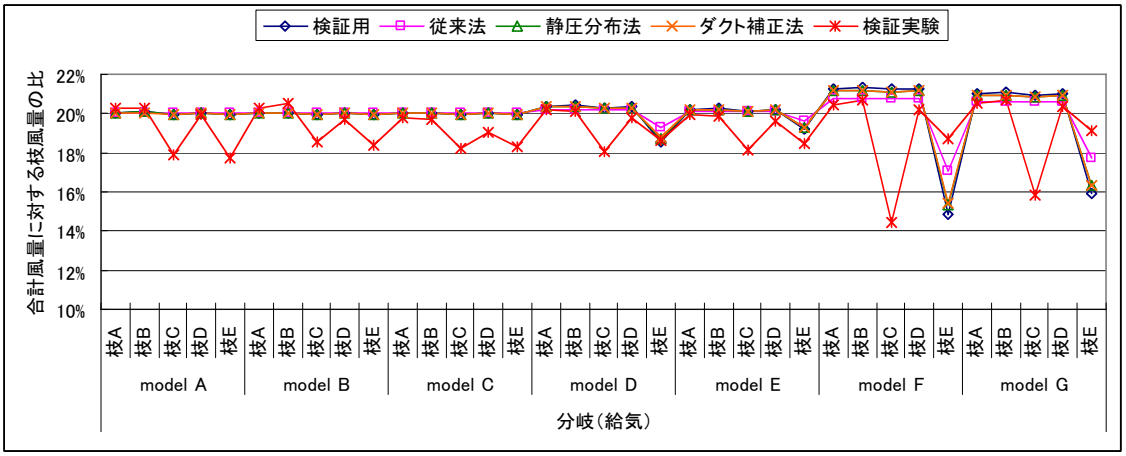


図 3-140　分岐（給気）時の枝風量の比較

合流（排気）時の枝風量を図3-141に示す。

合流時の実証実験の結果には、給気（排気）時のような枝風量の乱れが少なく、誤差も±１％程度と小さい（Model－A、B、Cの枝ダクトの風量比が19%から21%の範囲内である為）。合流（排気）時では、Model－FとModel－Gの波曲げダクト（計算値は枝E、実証実験では枝C）の風量比はほとんど一致しており、計算結果と検証実験は良く一致していると言える。

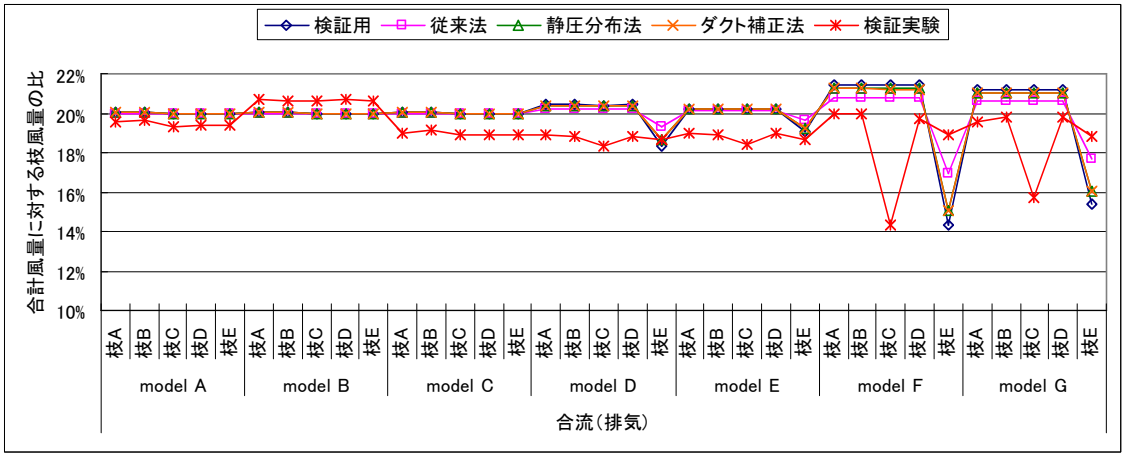


図 3-141　合流（排気）時の枝風量の比較

③静圧計算

システムの全静圧損失の計算は、主ダクトの合計風量を仮定して，多分岐継手の静圧損失と各枝の静圧損失の合計が等しくなるように枝ダクトの風量をバランスさせる計算を行い、送風機の風量静圧曲線との交点を求めた。検証モデルの主ダクト風量の測定と計算の比較を図3-142に、枝ダクトの合計風量に対する各枝の風量比の比較を図3-143と図3-144に示す。

測定結果では、枝ダクトの合計風量は主ダクトの測定風量よりも 5%程度小さくなっている。アルミダクトを使用したModel－AおよびModel－Bの計算結果は分岐、合流ともに計測結果に近いが、フレキシブルダクトを使用したモデルでは最大で 15%程度計算値が大きい。フレキシブルダクトでは直管の測定と異なる状況で設置されることが理由と考えられる。図中、チューニングはフレキシブルダクト直管部に波曲げ 90%の静圧損失増加分の 25%を付加して計算した結果であるが、分岐、合流とも 5%程度の誤差になり、フレキシブルダクトの設計上の見積もりの難しさを示し、設計手法の今後の課題である。枝ダクト風量比は最大圧損経路の圧力損失が他の経路に比べて大きくなるModel－F、G、H で計算値と計測値の差が大きくなるが、その差は 2%程度であり、静圧損失計算でも分岐、合流を評価可能である。

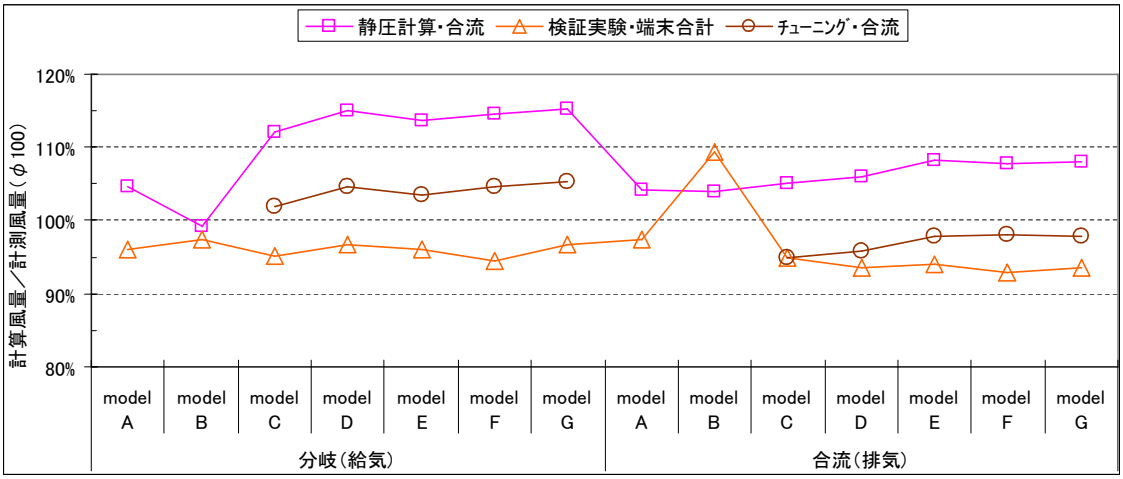


図 3-142　静圧計算によるφ100 端末風量の計測値に対する比

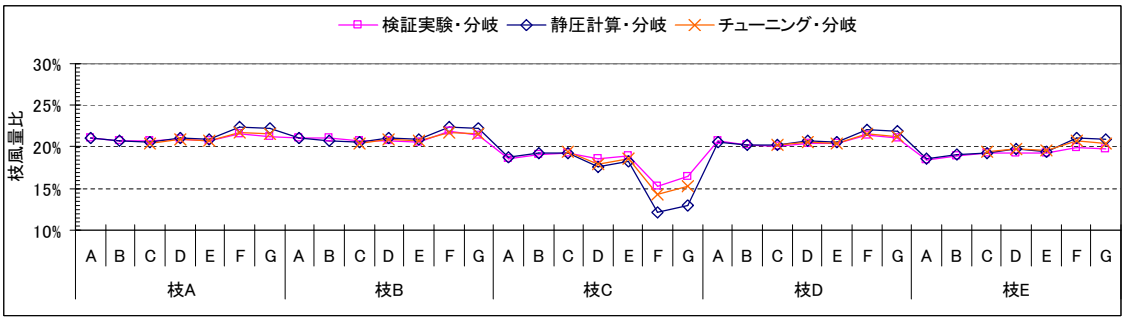


図 3-143　分岐（給気）時の検証実験と静圧計算の枝ダクト風量比の比較

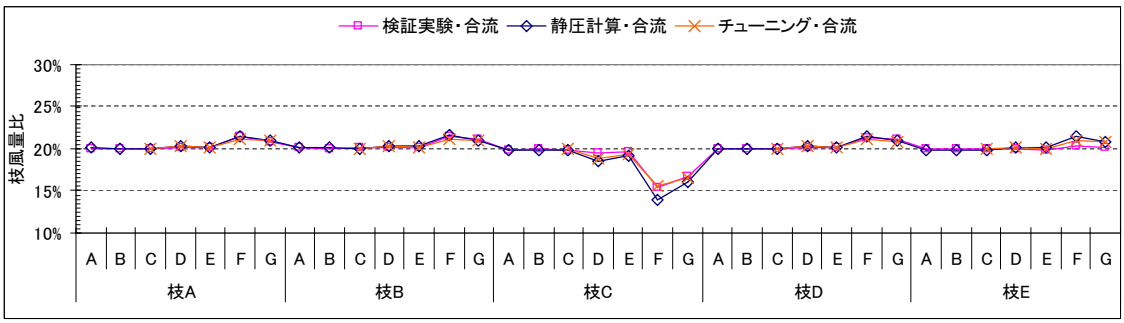


図 3-144　合流（排気）時の検証実験と静圧計算の枝ダクト風量比の比較

7-7 実用的設計マニュアル素案

分岐または合流があるダクト式換気システムでは最大圧力損失を計算し、送風機を選定する手法が一般的であるが、各枝ダクトのダクト経路や構成に差異があると実現される枝の風量は設計風量と異なることが予想される。住宅用ダクト換気システムで多分岐継手を使用する場合，各室内端末の設計風量は概ね同風量になることが期待されているものと考えられる。しかし，ダクト経路が短く曲りの少ない枝ダクトでは風量が過大になり，ダクト経路が長く曲がりが多くなる枝ダクトでは設計風量よりも少ない風量になることが予想される。ここでは，多分岐継手を持つダクト式換気システムの風量バランスを静圧損失に基づいて計算する手法を示す。

なお，計算手法の妥当性は、「7-6（3）③静圧計算」に示した。

（1）静圧に基づく多分岐継手の圧力損失計算手法

分岐または合流があるダクト換気システムでは全圧損失により最大圧力損失を計算する手法が一般的であるが，住宅用ダクト換気システムでは使用されるダクト径が小さく風量も小さいため全圧損失を直接測定することが難しい。圧力特性の測定方法として提案した静圧分布法も静圧による圧力特性を測定するものである。従って，測定結果をそのまま使用できる静圧損失により分岐，合流を評価できれば便利である。

本研究において提案した換気部材の風量静圧特性の測定方法(静圧分布法とダクト補正法)では，測定結果が換気部材の静圧損失や換気ユニットの機外静圧を風量の関数として示す。

換気部材の静圧損失の場合，式①に示す近似式を使用する。

$$\Delta P = aQ^n \quad \text{(Pa)} \qquad ①$$

ここで，a，n：近似式の係数

Q　：風量（m^3）

静圧損失による計算においても全圧計算と同様の手続きにより設計を進めることが可能である。

静圧損失の測定データを使用して最大圧力損失を示す経路の選定，換気扇ユニットの選定に至る表計算ソフトの計算例を図 3-145(a)～(d)に示す。この例では，多分岐型継手の 5 つの枝ダクトを合流で使用するシステムを想定している。継手形状の異なる場合は各シートをシステムに併せて変更する必要がある。

表計算ソフトは，静圧分布法により得られた風量静圧特性のデータの入力（図 3-145 (a)），ダクト式換気システムのダクト経路の特性入力（図 3-145（b)），室内端末毎に設定される計画(または設計)風量の入力による最大圧力損失の計算（図 3-145（c)），換気扇ユニットの風量静圧特性との比較による換気扇ユニットの選定（図 3-145（d)）の順序で行う。これらのシートは，入力すべきセルに値が入力されると自動的に計算され，値が変わる。

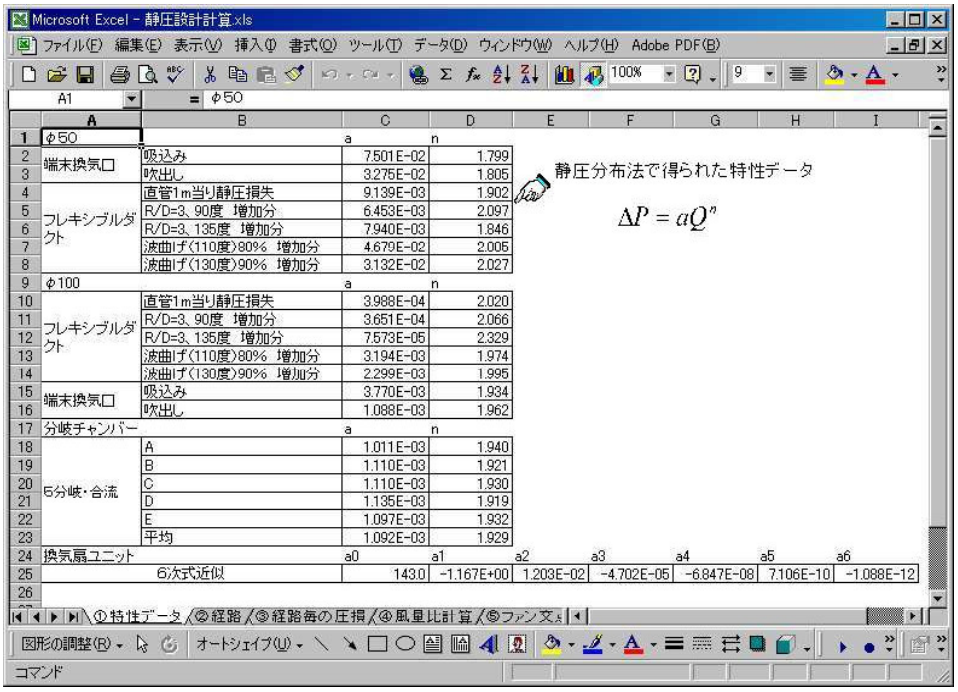


図 3-145(a) 特性データシートの例（提案した静圧分布法のデータ例）

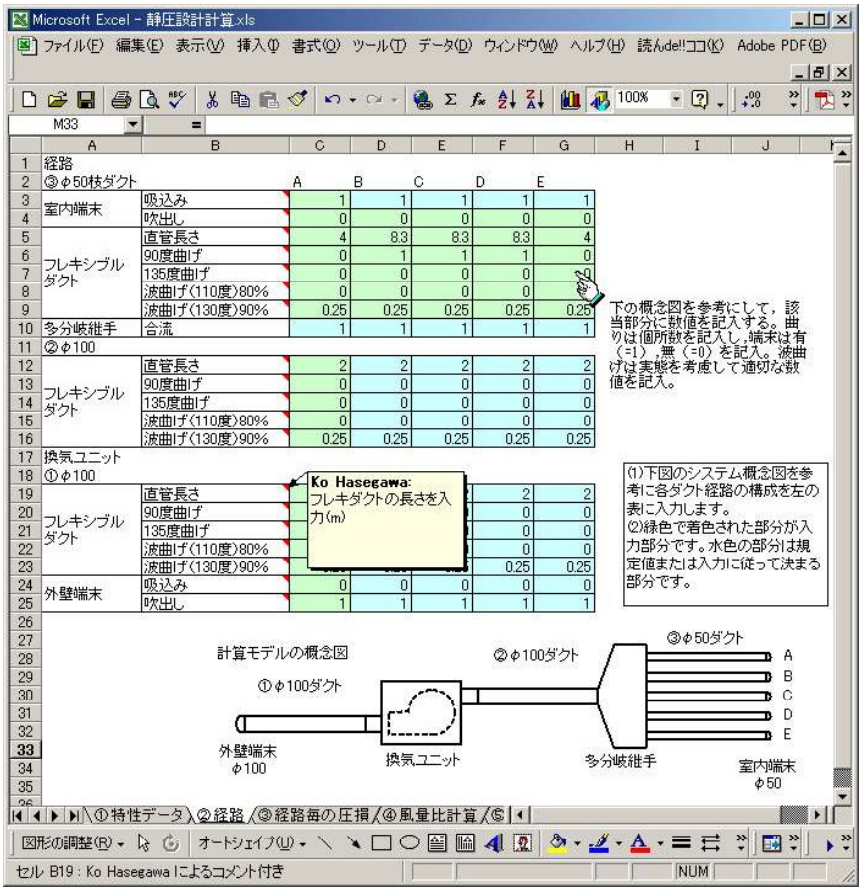


図 3-145(b) ダクト式換気システムのダクト経路の入力シート（5 分岐継手の例）

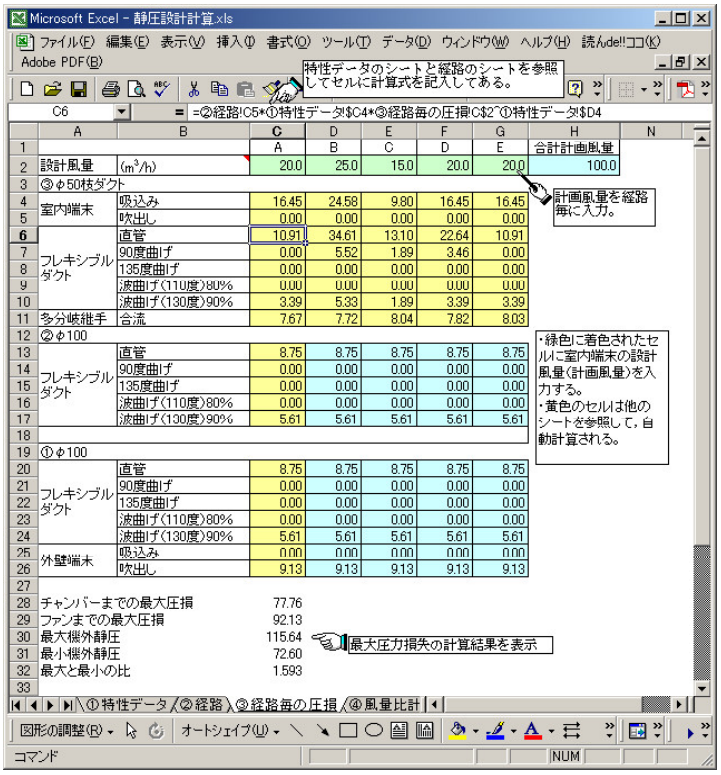


図 3-145(c) 設計風量の入力による最大圧損の計算例

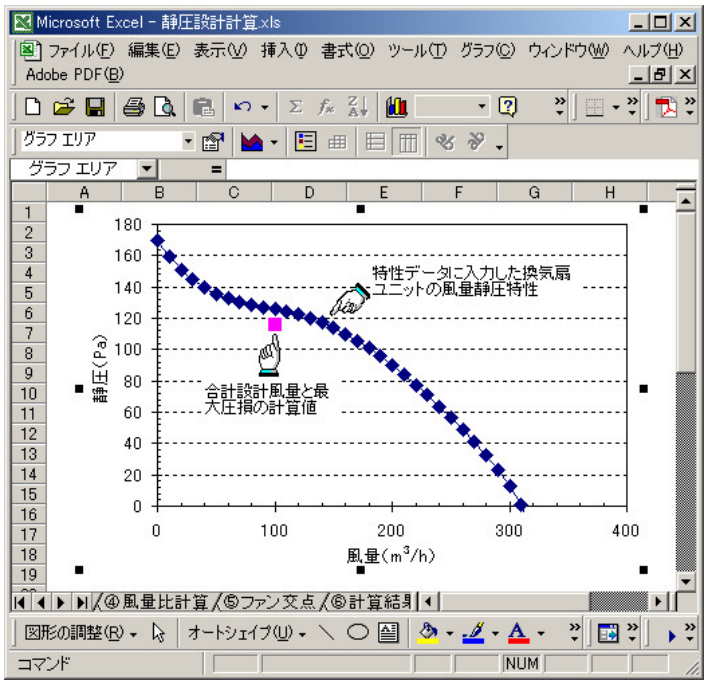


図 3-145(d) 計算結果と換気扇ユニットの比較の例

(2) 室内端末における風量バランスの計算手法

前項の計算は多分岐継手の枝毎の静圧損失を設計風量に基づいて計算し，最大静圧損失を求めたものであるが，各枝ダクトのダクト経路や構成に差異があると実現される枝の風量は設計風量と異なることが予想される。住宅用ダクト換気システムで多分岐継手を使用する場合，各室内端末の設計風量は概ね同風量になることが期待されているものと考えられる。しかし，ダクト経路が短く曲りの少ない枝ダクトでは風量が過大になり，ダクト経路が長く曲がりが多くなる枝ダクトでは設計風量よりも少ない風量になることが予想される。ここでは，前項で入力した特性データとダクト経路，換気扇ユニットの風量静圧特性を設計条件として多分岐継手を持つダクト式換気システムの風量バランスを静圧損失に基づいて，表計算ソフトに付属するマクロにより行う手法の一例を示す。

システムの全静圧損失の計算は，図 3-146 に示すように主ダクトの合計風量を仮定して，多分岐継手の静圧損失と各枝の静圧損失の合計が等しくなるように各枝ダクトの風量を反復計算により求め，送風機の風量静圧曲線との交点を反復計算により求める。

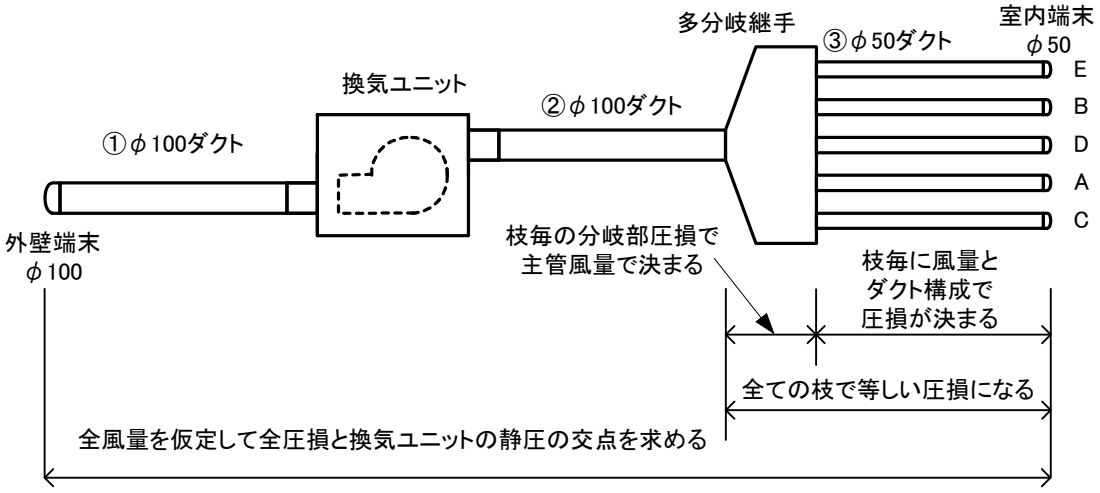


図 3-146　多分岐継手を持つ換気システムの風量バランスの計算手法

図 3-146 に示すように枝ダクト相互の風量バランスは，分岐部分の圧力損失と枝ダクトの圧力損失合計値のバランスに依存している。計画風量と枝ダクト経路の構成の的確性を評価する方法として計画風量で多分岐継手主管部分から室内端末までの反復計算を行い，全ての枝ダクト経路で圧力損失が等しくなるように枝ダクト風量を求める方法が考えられる。

図 3-145(c)に示す設計風量の入力により最大圧損を計算した後，反復計算により枝ダクトの風量バランスを計算するマクロの例を図 3-147 に示す。各室内端末の設計風量を合計した風量の下で，室内端末風量と枝ダクト構成を変えて反復計算することにより計画風量の実現の可能性を検討できる。ダクト式換気システム全体の風量は換気ユニットの風量静圧特性により決まるため，φ50 ダクトの構成部材の圧力損失特性が風量に依存することにより主管ダクト風量が異なることによる不確かさを含むことになるが，枝ダクトの風量とダクト構成の関係を適切に計画する手法として有効であると考える。

換気ユニットの風量静圧特性を考慮して換気システム全体の風量と枝ダクト風量のバランスを計算するマクロの例を図 3-148 に示す。

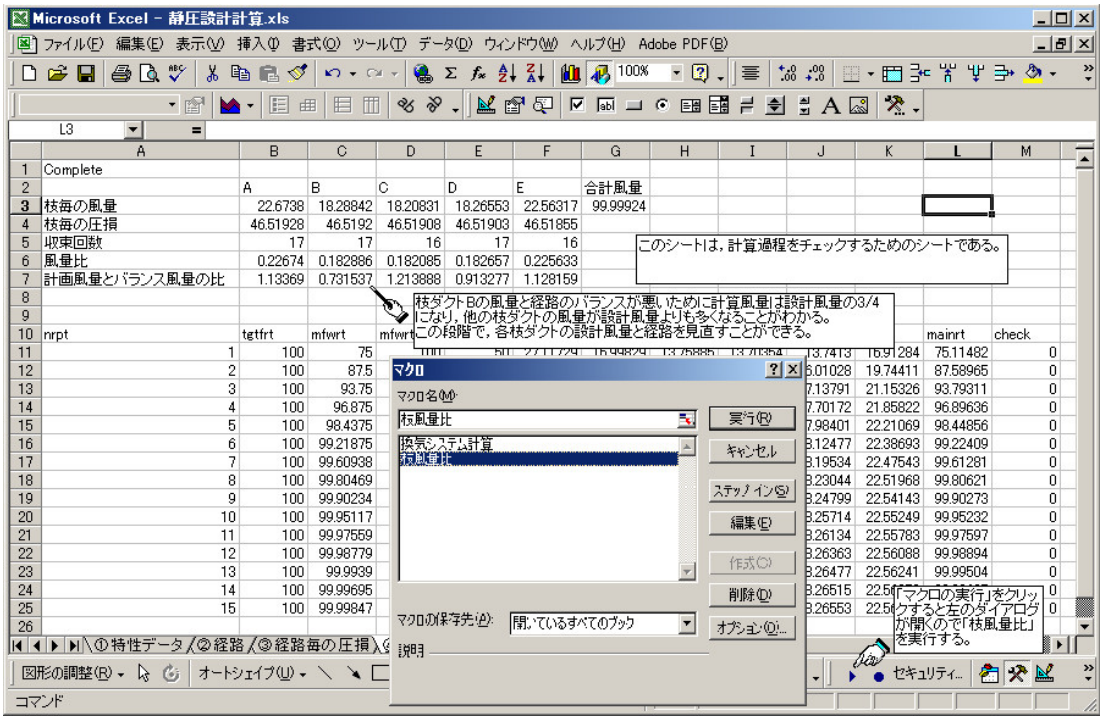


図 3-147　各枝ダクトの設計風量に対するバランス風量の風量比を計算するマクロの例

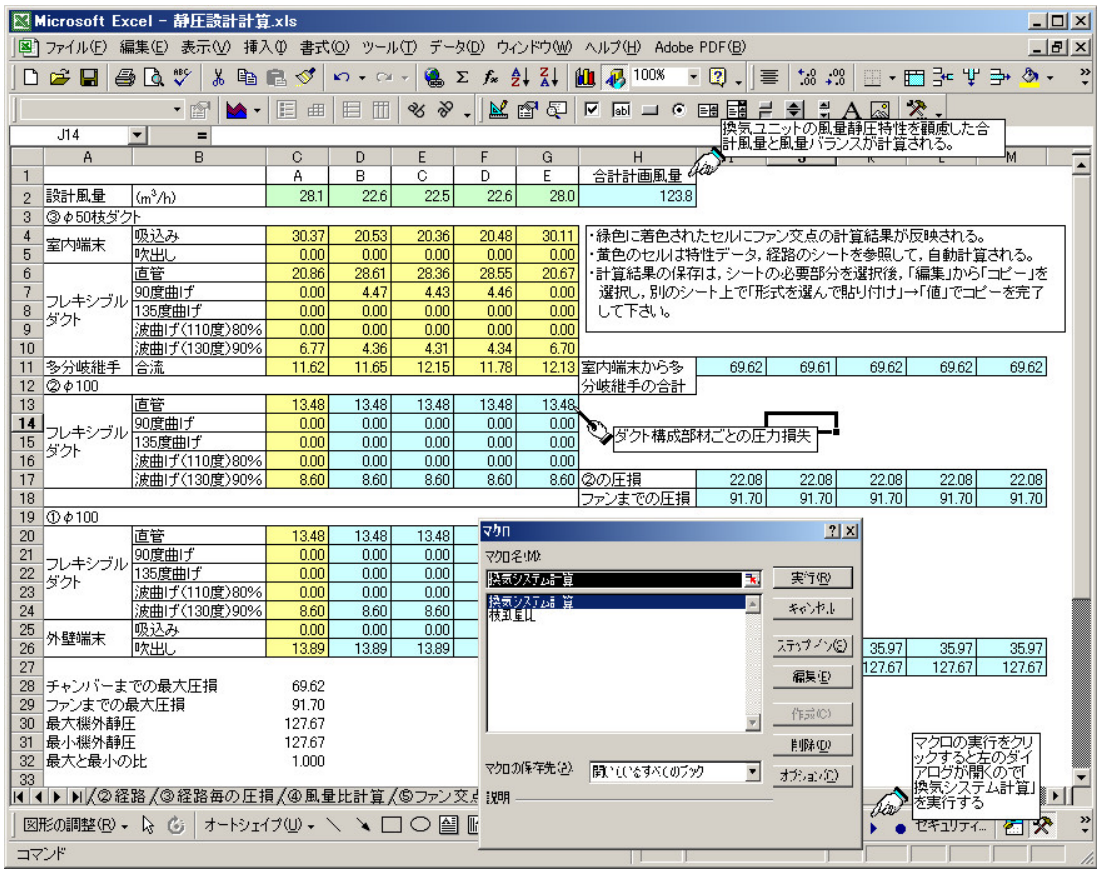


図 3-148　換気ユニットの風量静圧特性を考慮した換気システム全体を計算するマクロの例

(3) 多分岐継手の風量バランスの検討

従来の設計法に従い最大圧損経路の圧力損失の合計値から換気ユニットを選定する方法では，多分岐継手の枝ダクトの風量と経路構成のバランスが悪い場合，最大圧損経路で設計風量が確保されず，他の経路では過大風量になることが考えられる。多分岐型継手を持つダクト換気システムの静圧計算により,枝ダクトの最大圧損と最少圧損の比をパラメータとして風量バランスの検討を行う。計画風量は，各枝の設計風量を20㎥/h，合計風量を100㎥/hとする。

換気ユニットの選定により影響の程度が異なるため，ここでは設計風量（100㎥/h）の機外静圧が最大圧損よりも5～10Pa大きい送風機を想定した。計算結果を図3-149と図3-150に示す。最大圧損経路が1経路の場合，圧損比が大きくなると全体風量が大きくなり，過大風量になる傾向がある。枝ダクト風量のバランスの許容値を設計風量に対して±20%とすると枝ダクトの最大圧損と最小圧損の圧損比の許容値は20%程度になる。

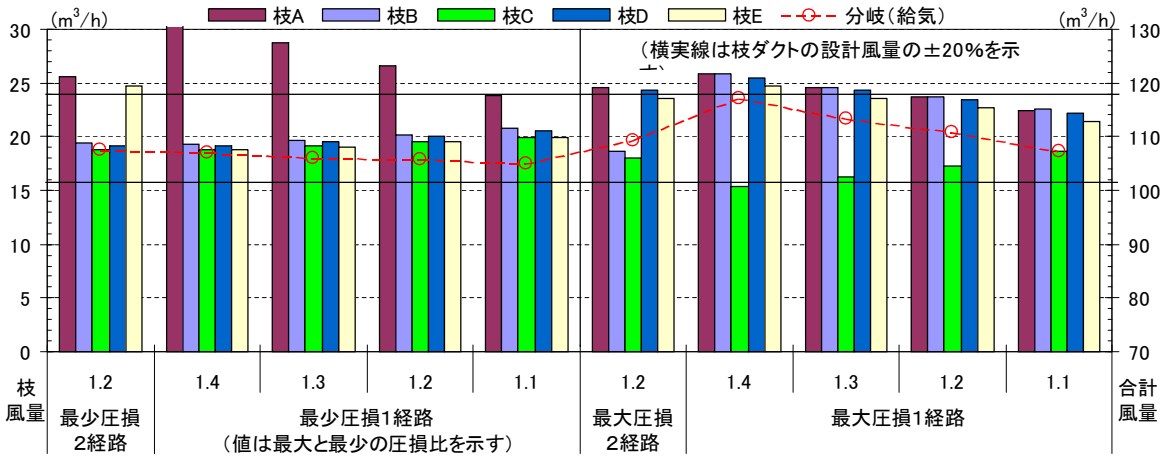


図 3-149　分岐（給気）時の最大圧損経路と最小圧損経路の圧損比による枝風量の変化

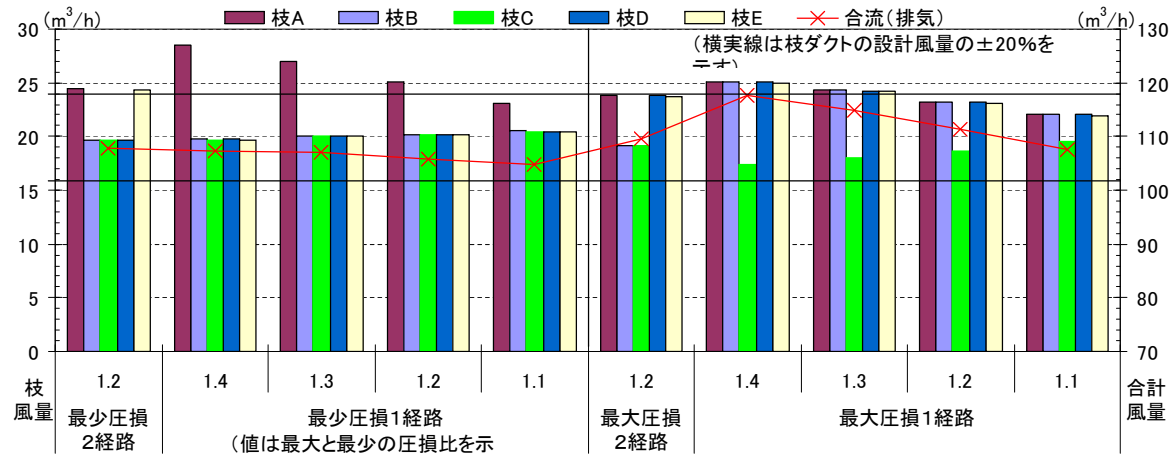


図 3-150　合流（排気）時の最大圧損経路と最小圧損経路の圧損比による枝風量の変化

(4) まとめ

住宅用ダクト換気システムに使用される多分岐継手とフレキシブルダクトの静圧損失特性の測定値を用いて，換気部品の静圧損失計算により分岐，合流を持つシステムの風量バランスを検討する手法を示し，その精度を検証した。従来の最大圧損経路の圧力損失と設計風量から換気ユニットを選定する方法では，計画通りの設計風量と枝ダクトの風量バランスを実現するためには，枝ダクトの最大と最少の圧損比は 20%程度以下にすることが望ましい。