

呼吸型ダイナミック・インシュレーションの
換気設計に関する検討

Study on Ventilation Design of the Breathing
Dynamic Insulation System

地方独立行政法人北海道立総合研究機構
建築研究本部 北方建築総合研究所

Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization
Building Research Department Northern Regional Building Research Institute

概要 Abstract

呼吸型ダイナミック・インシュレーションの換気設計に関する検討 Study on Ventilation Design of the Breathing Dynamic Insulation System

月館司¹⁾、村田さやか²⁾、下ノ菌慧³⁾、一坊寺英夫⁴⁾

Tsukasa Tsukidate¹⁾ Sayaka Murata²⁾, Kei Shimonosono³⁾, Hideo Ichiboji⁴⁾

キーワード : ダイナミック・インシュレーション、換気、熱回収

Keywords : Dynamic Insulation, Ventilation, Heat Recovery

1. 研究概要

1) 研究の背景

平成 23～25 年度共同研究「呼吸型ダイナミック・インシュレーションの壁構造と省エネ評価に関する研究」で、呼吸型ダイナミック・インシュレーション（以下、DI）の換気排熱及び貫流熱損失の回収効果があることは示された。また、給気（減圧）と排気（加圧）の切替時間が短いほど、回収効率が高いことも明らかとなっている。しかし、切替時間が短いと有効換気量率等が悪くなる（排出された汚染空気が室内に戻る）可能性等があるため、切替時間と回収効率、有効換気量率の関係から最適な切替時間と必要換気量を決定する必要がある。また、換気排熱の回収と同時に、排気に含まれる空気汚染物質（ホルムアルデヒド）等も室内に回収する恐れがあり、汚染物質の排出効果も検証する必要がある

2) 研究の目的

呼吸型 DI の実用化に向けて、換気効率の実測を行い、その結果に基づき、有効換気量とホルムアルデヒド濃度低減の観点から最適な給排気の切替時間と設計換気量についての設計資料を作成する。

2. 研究内容

1) 実証実験建物の実測による有効換気量率と切替時間の関係の明確化（H26～27 年度）

- ・ねらい：建築基準法で義務づけられている有効換気量で換気回数 0.5 回/h 相当の換気を確保できる設備としての設計資料を作成するために、給排気の切替え時間と有効換気量率の関係を明らかにする。
- ・試験項目等：有効開口面積の同定、トレーサーガスによる換気量測定、測定結果の分析

2) 模型の実測による空気汚染化学物質の再放出率の把握（H26～27 年度）

- ・ねらい：建築基準法で義務づけられている居室内のホルムアルデヒドの発生量が床面積あたり 0.04mg/m² のとき居室の濃度を 0.08ppm 以下に維持できる換気設備相当となる必要外気導入量と換気装置能力についての設計資料を作成するために、ホルムアルデヒドガスが通気型無機断熱コンクリートに吸着して室内へ再放出する率を測定する。
- ・試験項目等：ホルムアルデヒド濃度測定、測定結果の分析

3) 最適な切替時間と換気設計資料の作成（H28 年度）

- ・ねらい：1、2) の結果から、建築基準法上必要な有効換気量を確保するための最適な給排気の切替時間と設計換気量（換気装置の送風能力）についての設計資料を示す。
- ・試験項目等：最適な切替時間の検討、換気設計の検討

¹⁾ 環境研究部環境グループ研究主幹 ²⁾ 道総研法人本部（担当時：環境研究部環境グループ研究主任） ³⁾ 環境研究部環境グループ研究職員 ⁴⁾ 旭化成建材株式会社

¹⁾ Senior Research Manager of Environment Group ²⁾ Researcher of Environment Group(When in charge) ³⁾ Researcher of Environment Group ⁴⁾ Asahi Kasei Construction Materials Co.

3. 研究成果

1) 実証実験建物の実測による有効換気量率と切替時間の関係の明確化 (H26~27年度)

- ・実証実験住宅(図1)において、有効開口面積の測定を行い、上部壁面に設置した通気型無機断熱コンクリートの有効開口面積が50cm²程度、住宅の相当隙間面積が150cm²程度であることを確認した。
- ・二酸化炭素の一定濃度法による外気導入量の測定及び濃度減衰法による換気回数の測定を行い、各部屋の外気導入量などを明らかにした(図2)

2) 模型の実測による空気汚染化学物質の再放出率の把握 (H26~27年度)

- ・模型(図3)において、通気型無機断熱コンクリートに通気させた状態で、ホルムアルデヒドガスの発生及び停止を交互に繰り返し、ホルムアルデヒドガスの濃度を測定した。通気型無機断熱コンクリートへの吸着率は40~50%であり、再放出率は概ね10%であった(図4)。

3) 最適な切替時間と換気設計資料の作成 (H28年度)

- ・1)の測定から切替時間が短いほど有効換気量が小さくなる傾向が見られたが、2)の測定からは切替時間と再放出率の関係が明確ではなく、最適な切替時間を示すには至らなかった。
- ・目標とする熱回収率を得るために必要な有効開口面積を明らかにしたほか、SRF※を指標に換気経路の検討から換気ユニットと居室はガラリやダクトで直接接続することが望ましいことを示し、必要換気量を確保するためのファン選定手順を示した。

4. 今後の見通し

- ・共同研究企業により、実用化に向けた呼吸型換気システム開発のための資料として活用される。
- ・給排気の切替時間について、最適値は得られなかったが、空気質の点から15分以上とする必要があると考えられた。
- ・熱回収率は低下するが、居室には通常の換気口を設置し、ファンユニットでのみ熱回収する第2種・第3種切替換気システムとすることも考えられる。
- ・今後は、技術開発とともに有効換気量率、SRFや通気壁体の特性などの評価指標の開発が必要である。



図1 呼吸型DI実証実験建物

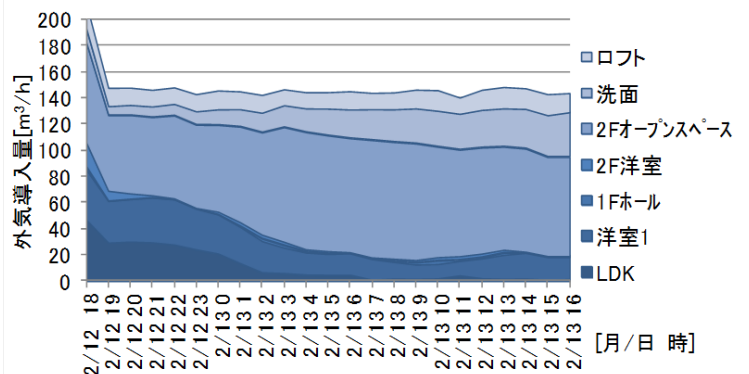


図2 直接外気導入量の実測結果

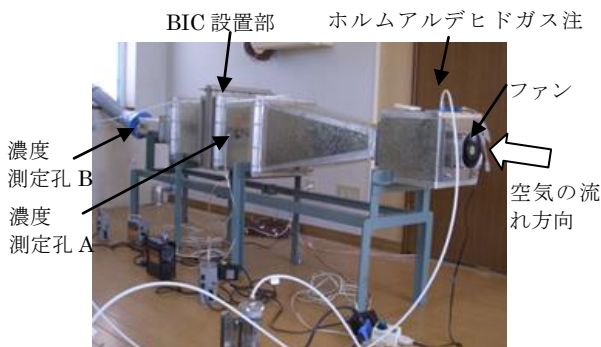


図3 吸着及び再放出測定模型

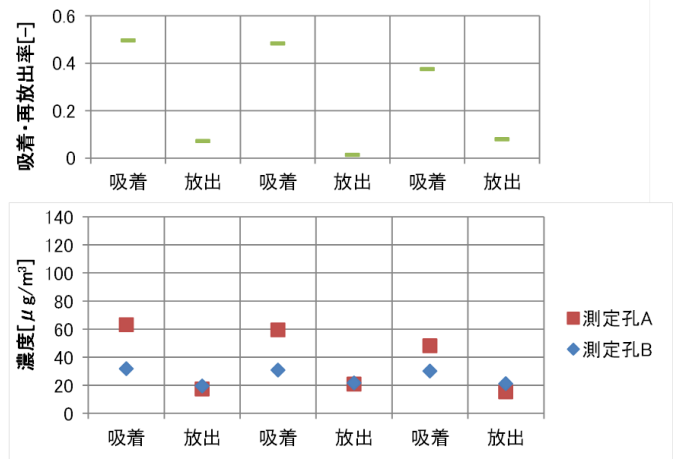


図4 ホルムアルデヒドガス再放散率

目次

1.	はじめに	
	(1) 研究の背景と目的	1
	(2) 研究概要	1
2.	実証実験棟の有効換気量測定	
	(1) 目的および検討項目	2
	(2) 対象建物	2
	(3) 有効開口面積の測定	3
	(4) 機械送風量の測定	4
	(5) 換気性能の測定	4
	(6) まとめ	8
3.	ホルムアルデヒドの吸着・再放出率の把握	
	(1) 概要	9
	(2) 測定方法	9
	(3) 測定結果と考察	11
	(4) まとめ	13
4.	換気設計手法の検討	
	(1) 実験棟における換気量の試算	14
	(2) 必要な気密性能の検討	15
	(3) 自然通気用 BIC の設置面積に関する検討	16
	(4) SRF の検討	19
	(5) まとめ	21
5.	換気設計資料	
	(1) 基本方針	22
	(2) 換気ファンの選定および換気部材の圧力損失	23
	(3) BIC の有効開口面積	24
	(4) 計算例	28
6.	まとめ	30

1. はじめに

(1) 研究の背景と目的

建物の貫流熱損失の削減手法として、外壁などの建物外皮に通気性のある断熱材を用い、そこを通じて室内に給気を取り入れることで、室内から外へ逃げる貫流熱を空気です室内に回収するダイナミックインシュレーション（以下、DI）¹⁾²⁾がある。この手法を基に、通気型無機断熱コンクリート（以下、BIC）を DI に用い、そこに給気と排気を一定時間で切り替えて交互に通す呼吸型の換気することで、排気時に壁に蓄熱される換気排熱も給気時に室内に回収する壁換気システムを考案した。平成 22 年度～23 年度研究「ダイナミックインシュレーションの高効率化の検討」³⁾、平成 24～25 年度共同研究「呼吸型ダイナミックインシュレーションの壁構造と省エネ評価に関する研究」⁴⁾において、通気型無機断熱コンクリート（以下、BIC と呼ぶ）パネルを通して給気と排気を交互に行う呼吸型の換気とする方法＝呼吸型 DI システムについて、換気排熱及び貫流熱損失の回収効果があることを示した。また、給気（減圧）と排気（加圧）の切替時間が短いほど、回収効率が高いことも明らかとなった。しかし、切替時間が短いと有効換気量率等が悪くなる（排出された汚染空気が室内に戻る）可能性等があるため、切替時間と回収効率、有効換気量率の関係から最適な切替え時間と必要換気量を決定する必要がある。また、換気排熱の回収と同時に、排気に含まれる空気汚染物質（ホルムアルデヒド）等も室内に回収する恐れがあり、汚染物質の排出効果も検証する必要がある。

本研究は、呼吸型 DI の実用化に向け、実証住宅における換気性能の実測等を行うことによって、最適な給排気の切替時間など呼吸型 DI の設計資料を作成することを目的とする。

(2) 研究概要

研究全体の構成を表 1-1 に示す。研究項目は以下のとおりである。

1) 実証実験建物の実測による有効換気量率と切替時間の関係の明確化

建築基準法で義務づけられている有効換気量で換気回数 0.5 回/h 相当の換気を確保できる設備としての設計資料を作成するために、給排気の切替え時間と有効換気量率の関係を明らかにする。

2) 模型の実測による空気汚染化学物質の再放出率の把握

排気中のホルムアルデヒドガスが BIC に吸着し、給気によって脱着して、室内へ再放出する割合を測定する。

3) 最適な切替時間と設計換気量の資料の作成

1)、2)の結果から、建築基準法上必要な有効換気量を確保するための最適な給排気の切替時間と設計換気量（＝必要外気導入量と換気装置の送風能力）についての設計資料を示す。

表 1-1 研究の内容とフロー

研究内容	H26 年度	H27 年度	H28 年度
1) 実証実験建物の実測による有効換気量率と切替時間の関係の明確化	実証実験建物の建設	有効開口面積の同定 トレーサーガスによる換気量測定 測定結果の分析	
2) 模型の実測による空気汚染化学物質の再放出率の把握	ホルムアルデヒドガス 一定発生方法の検討	模型作製 ホルムアルデヒド吸着・再放出率測定 測定結果の分析	
3) 最適な切替時間と設計換気量の資料の作成			最適な切替え時間の検討 換気量設計の検討

2. 実証実験棟の有効換気量測定

(1) 目的および検討項目

一般の住宅における全般換気設備の設計は

- ①必要換気量を算出（換気対象空間容積の0.5回/h）
- ②換気経路の設計
- ③換気経路の圧力損失の算定
- ④換気装置の選定

となる。しかし、呼吸型DIシステムにおいては、①までは同様に行うが、②～④は独自の設計指針が必要である。

本章では、実証実験棟の実測を行うことにより、呼吸型DIシステムを導入した場合の換気性状を明らかにする。

上記③の換気経路の圧力損失を算定するためには、換気経路の圧力損失曲線(または有効開口面積)が必要である。BICは、第3種換気方式の自然給気口あるいは第2種換気方式の自然排気口のような役割をし、換気経路となる。過去の測定などから、BICの通気率は $2\sim 3(\text{m}^3/\text{h})/\text{Pa}^{(1/n)}$ 程度で隙間特性値は1.0～1.3程度と推測されるが、実証実験棟に装備された状態で、有効開口面積を同定する。また、実証実験建物の有効換気量を測定する。

(2) 対象建物

測定対象の実証実験建物は、茨城県境町に建つ2階建て住宅である。図2-1に平面図を、写真2-1～2-4に外観とBICを示す。また、図2-2に、実証実験建物の呼吸型DIシステムの概念図を示す。

BICは一方が2階より上部の外壁の2面、他方が床下であり、空間を2つに分ける気密ラインは、床下のBICを含む空間と、他の床下の間およびBICを含む床下の上の床面である。

床下には、床下からその他室内へ送風する送風機とその逆向きの送風機の2台を直列にして設置する。2台の送風機をタイマーで交互に運転することにより、床下が外気に対して減圧のときその他室内は加圧、床下が加圧のときその他室内は減圧となり、それぞれの空間のBICの給気と排気が交互に起こる。送風機は、圧力変換器により風量を制御できる。

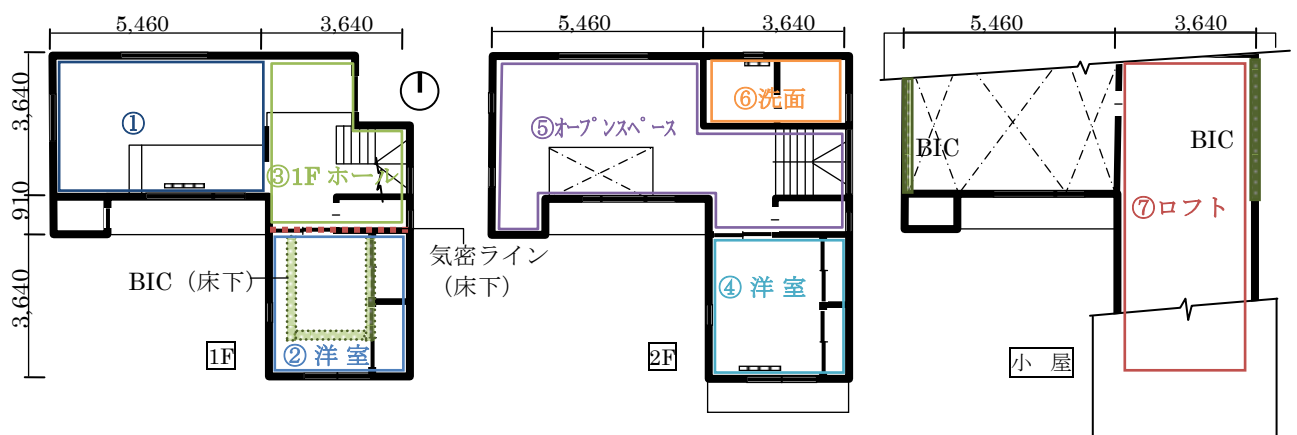


図 2-1 実証実験建物平面



写真 2-1 実験建物外観 写真 2-2 妻壁 BIC (西側) 写真 2-3 妻壁 BIC (東側) 写真 2-4 床下 BIC

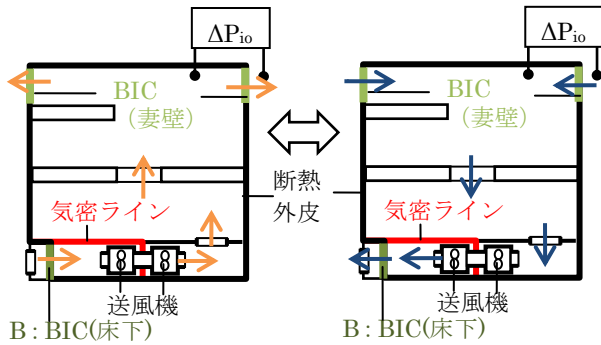


図 2-2 実証実験建物の呼吸型 DI システム

(3) 有効開口面積の測定

1) 測定方法

有効開口面積の同定には、気密測定器（コーナー札幌 KNS-4000）を用いた。図 2-3 に、測定方法を示す。BIC 以外の部位は、気密測定器を用いて、加圧法、減圧法の気密測定を行った。BIC の通気率等は、気密床の点検口を開放し、2 空間を一体の空間とした上で、BIC の目張りなしの状態と BIC を目張りした状態の気密測定を行い、風量と差圧の曲線の差を取り、BIC のみの風量と差圧の曲線を求めて、算出した。

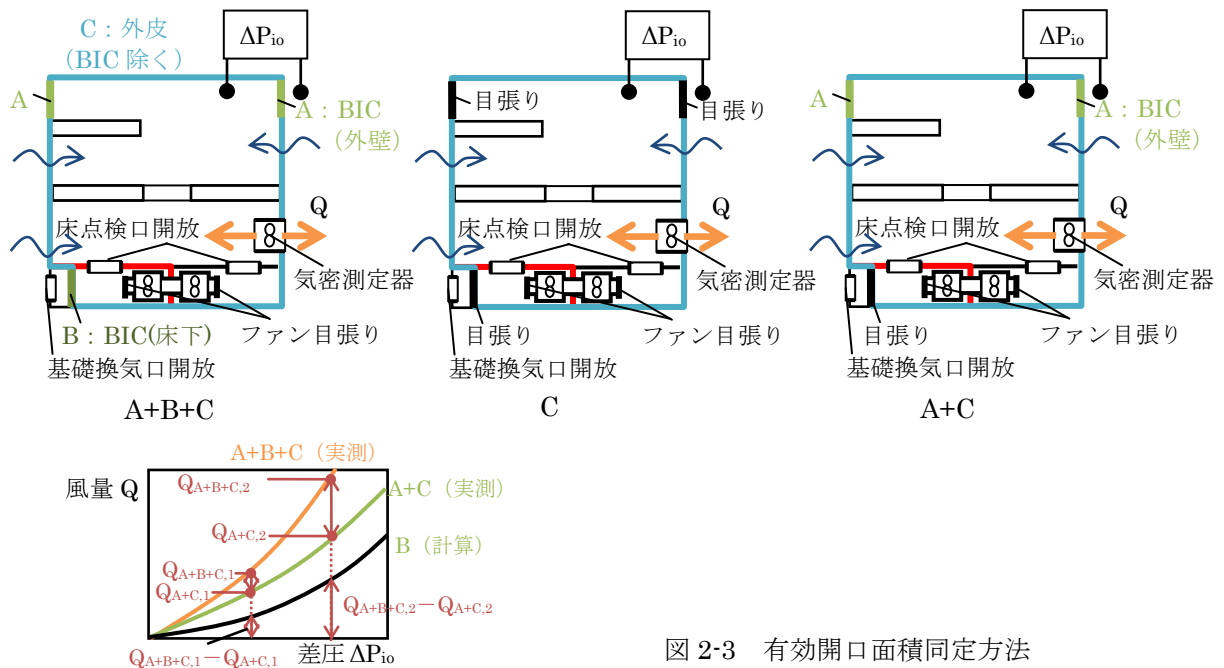


図 2-3 有効開口面積同定方法

2)測定結果

表 2-1 に、BIC 以外の部位および BIC の通気率、隙間特性値、有効開口面積を示す。なお、床下の BIC は面積が小さく、計算の誤差が大きいため参考値とする。

表 2-1 BIC および BIC 以外の部位の通気率、隙間特性値、有効開口面積

対象	測定法	通気率 a [(m ³ /h)/Pa ^{1/n}]	隙間特性値 n	有効開口面積 [cm ²]
BIC 以外の部位	加圧	39.1	1.25	166
	減圧	34.1	1.25	147
妻壁 BIC	加圧	9.6	1.2	44.3
	減圧	18	1.5	56.4
床下 BIC	加圧	5.1	0.96	38.1
	減圧	1.4	0.76	19.8

(4) 機械送風量の測定

1)測定方法

呼吸型 DI 用の 2 台の送風機のそれぞれ吸込み側で二酸化炭素ガスを一定量放出し、吹出側とガス放出点の風上側の定常濃度を測定した。測定装置は、多数室換気量測定装置（コーナー札幌 SK-001）を用いた。また、測定時の室内と屋外の静圧差も測定した。

機械送風量は、次式で算出される。

$$Q = k / (C_b - C_a) \quad \dots(1)$$

Q：機械換気量[m³/h]、k：ガス発生量[m³/h]、C_b：吹出し濃度[m³/m³]、C_a：風上濃度[m³/m³]

機械送風量測定時の差圧から、表 2-1 の通気率と n 値を用いて、次式により外気導入量を推定する。

$$Q' = a \cdot (\Delta P_{io})^{1/n} \quad \dots(2)$$

Q'：想定外気導入量[m³/h]、a：通気率[(m³/h)/Pa^{1/n}]、ΔP_{io}：差圧[Pa]、n：隙間特性値[-]

推定した外気導入量と、機械換気量が一致するかを確認する。一致する場合は、気密ラインの気密性が高く、2 空間の間での空気の循環がないことになる。一致しない場合、気密ラインの気密が低く、送風装置の送風量の一部が 2 空間の間で循環するため、送風量に対する外気導入量の割合が低くなる。

2)測定結果

表 2-2 に、測定した差圧、濃度、二酸化炭素発生量とそれから算出した送風機の送風量、推定外気導入量を示す。送風機の送風量と、外気導入量は誤差（約 2%）程度の差であることから、換気ユニットと室内との間の隙間は十分小さいと推測された。

表 2-2 送風量と外気導入量

差圧 (外気基準) [Pa]	濃度 [ppm]		発生量 [m ³ /h]	送風量 [m ³ /h]	外気導入量 [m ³ /h]
	風上	吹出			
11.8	655	1,872	0.3499	287.5	281.6
-4.8	1,023	2,382	0.1642	120.8	119.6

(5) 換気性能の測定

1)外気導入量の測定方法

二酸化炭素ガスをトレーサーガスとして、一定濃度法（約 2,500ppm）による外気導入量の測定を行った。外気導入量は次式で算出される。

$$Q = H / (C_i - C_o) \quad (3)$$

Q：換気量[m³/h]、H：発生量[m³/h]、C_i：室内濃度[m³/m³]、C_o：外気濃度[m³/m³]

測定は、前述の多数室換気量測定装置を用いた。外気導入量は、装置付属のソフトにより自動計算

される。同時に、室内と屋外の静圧差を測定した。

図 2-1 の実証実験の平面図に、測定空間のゾーニングを示した。各ゾーンに、攪拌ファンと、多数室換気測定装置に接続しているガス放出、ガス採気（濃度測定）のビニルチューブを設けた。

2) 換気回数の測定方法

前述の一定濃度法を測定後、二酸化炭素ガスボンベが空になってガスの放出が停止したところから、濃度測定を継続して、濃度減衰による各ゾーンの換気回数の測定を行った。濃度減衰による換気回数の算出は次式による。

$$N \cdot t = -\text{Log}_e(C - C_0 / C_1 - C_0) \quad \dots(4)$$

N : 換気回数、 t : 経過時間[h]、 C : t 時濃度、 C_1 : 初期濃度、 C_0 : 外気濃度

3) 測定条件

表 2-3 に、測定条件と期間を示す。測定は、給気と排気の切替え時間 15、30、10 分の条件で行った。

サンプリング間隔は、120 秒毎に測定ゾーンを切替えて、各ゾーン 20 分に 1 回とした。差圧の測定間隔は 1 分である。サンプリング間隔と切替え時間が一致しないので、1 時間平均でデータを処理する。

表 2-3 測定条件と測定期間

切替時間 間隔[分]	測定期間	
	一定濃度	濃度減衰
15	'16.2.12 18 時～	'16.2.13 17 時～
30	'16.2.16 18 時～	'16.2.17 15 時～
10	'16.3.11 18 時～	'16.3.11 19 時～

4) 測定結果

a. 15 分切替

図 2-4 に、15 分切替の各ゾーンの外気導入量を示す。測定開始直後は、濃度が不安定なため外気導入量は正確ではない。測定開始 1 時間後からは、各室の外気導入量の合計は 150m³/h 程度で安定している。ただし、2 月 13 日になると、1 階（LDK、洋室 1、1F ホール）の外気導入量が減っている一方で 2F オープンスペースの外気導入量が増え、バランスは変化している。図 2-5 に、測定時の静差圧（外気基準）を示す。測定開始から 2 月 13 日の午前 10 時ころまでは、加圧時も減圧時も ±7～8Pa であったが、その後の圧力差が異なっている。図 2-6 に、測定地に近い下妻の気象観測データの風速を示す。圧力差が異なっている時間は風が強かったことがわかる。外気導入量の変化から、この風が強いときは、外部風が上部外壁 BIC に対しては給気が増える向き、床下 BIC に対しては給気が減る向きに吹いていたと考えられる。

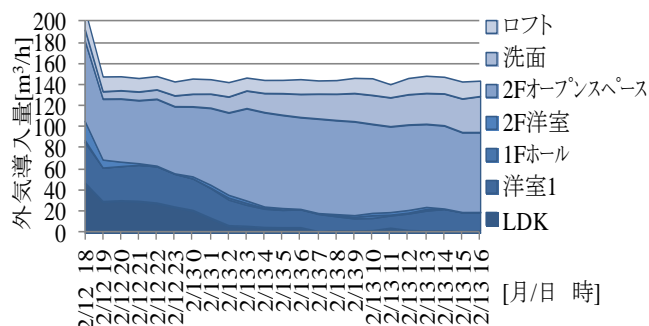


図 2-4 15 分切替測定時の外気導入量

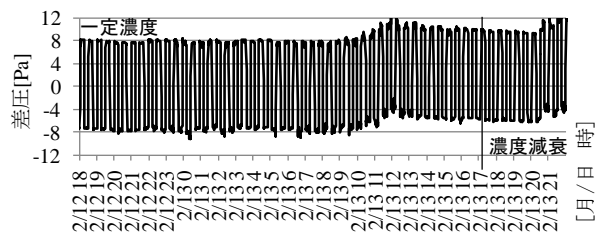


図 2-5 15 分切替測定時の差圧

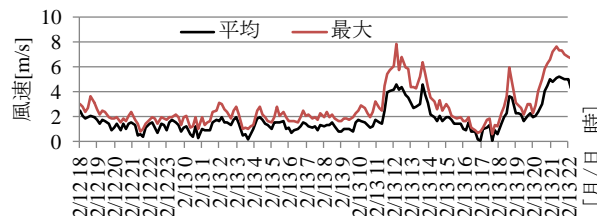


図 2-6 15 分切替測定時の風速

b. 30 分切替

図 2-7 に、30 分切替えの各ゾーンの外気導入量、図 2-8 に測定時の差圧、図 2-9 に外部風速を示す。測定開始 2 時間以降は、外気導入量の合計は概ね 160m³/h で安定している。しかし、差圧と外部風からわかるように、2 月 17 日の午前 8 時頃から外部風が強くなり、2 階の外気導入量が減り、1 階の外気導入量が増えている。このときは、15 分切替の時とは逆に、上部外壁 BIC に対しては給気が減る向き、床下 BIC に対しては給気が増える向きに風が吹いていたと考えられる。

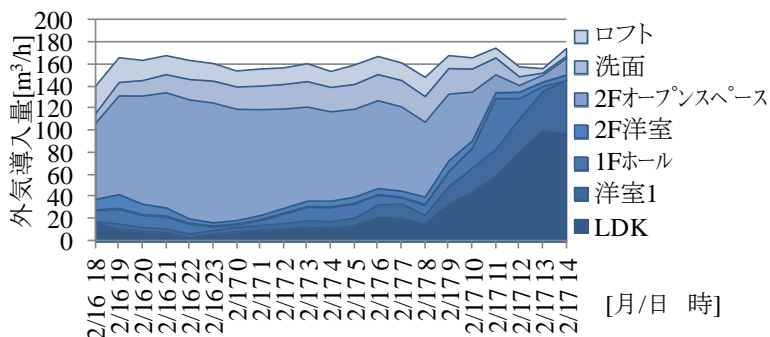


図 2-7 30 分切替測定時の外気導入量

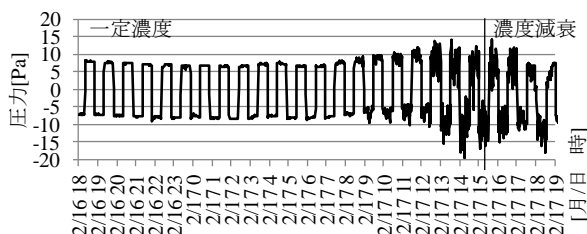


図 2-8 30 分切替測定時の差圧

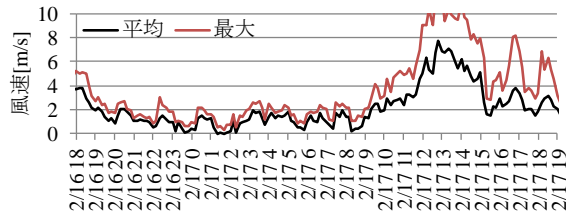


図 2-9 30 分切り替え測定時の風速

c. 10 分切替

図 2-10 に、10 分切替えの各ゾーンの外気導入量、図 2-111 に測定時の差圧、図 2-12 に外部風速を示す。測定開始 2 時間目以降、直接外気導入量は 130~160m³/h で、15 分、30 分切り替えと比べると不安定となった。差圧を見ると、3 月 12 日の 2 時から 14 時くらいまでは乱れがあるようである。

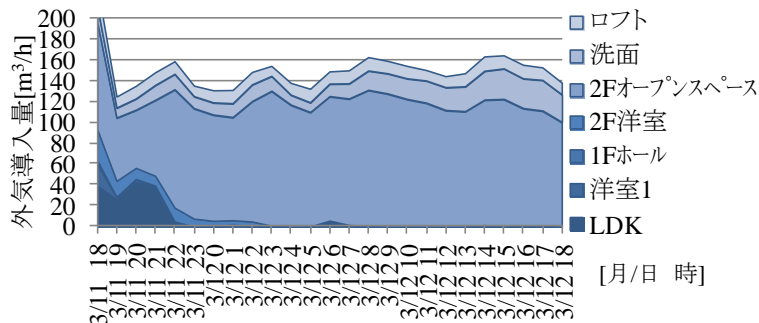


図 2-10 10 分切替測定時の外気導入量

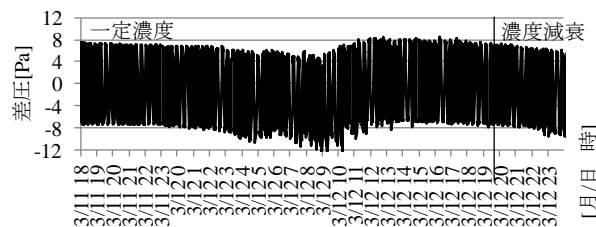


図 2-11 10 分切替測定時の差圧

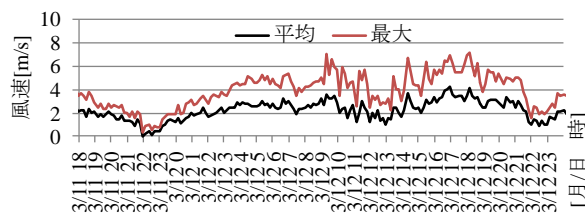


図 2-12 10 分切替測定時の風速

表 2-4 に、各切替条件の濃度減衰による換気回数を示す。換気回数は、30 分切替えでほぼ 0.5 回/h 以上、15 分切替えで 0.5 回/h 前後、10 分切替えで 0.4 回/h 前後であった。また、ゾーン間の換気回数差は大きくないが、これは、他室を経由した空気にも外気相当の新鮮空気が含まれているためと考えられる。つまり、給気の満足度 (SRF)⁶⁾ のように、他室からの空気流入も含めてその室に必要な新鮮空気量が供給されるように設計できれば、呼吸型でも各ゾーン均等にすることが可能であると言える。

表 2-4 換気回数

ゾーン名	換気回数[回/h]		
	30分切替	15分切替	10分切替
LDK	0.52	0.54	0.42
洋室1	0.48	0.51	0.40
1Fホール	0.54	0.49	0.40
2F洋室	0.54	0.47	0.41
2Fオープンスペース	0.56	0.47	0.44
洗面	0.54	0.47	0.42
ロフト	0.55	0.48	0.39

5) 有効換気量率の検討

有効換気量率は第1種熱交換気システムの場合に、換気装置内部のリークなどにより、排気の一部が給気に混入することを考慮した指標であり、本システムのような呼吸型に対しては定義が定まっていない。また、第2種および第3種換気についても定義はない。

ここでは、測定された外気導入量と有効開口面積および内外差圧から推定される風量の比として有効換気量率を試算した。

表 2-5 に、各切替え時間条件の有効換気量率を示す。風が強いときには BIC に動圧がかかり、室内外の静圧差から求める換気量と実際の換気量に大きな差が生じると考えられることから、平均風速が 1m/s 程度、最大風速 2m/s 以下の時間を抜き出したが、15 分切替えについては 1 時間平均 1m/s 以下の時間がなかったため、平均 2m/s に近い時間である。表に示すように、30 分および 10 分切替えでの有効換気量率は約 88%、15 分切替えでは約 80%であった。

有効換気量率が小さくなる原因としては、送風機の運転を切り替える際に、設定風量になるまでに時間を要すること、排気の拡散が不十分で排気の一部が給気として吸い込まれること、などが考えられる。ただし、ここでの試算は、差圧から求めた換気量の精度の問題や BIC 以外を通る換気量が含まれるなど、換気装置単体の評価方法としては不十分である。

表 2-5 有効換気量率

切替時間	対象日時	外気導入量[m ³ /h]		有効換気量率 [%]
		想定	測定	
30分	2/17 1-2時	178.4	156.7	87.8
15分	2/13 8-9時	176.6	144.2	79.9
10分	3/11 22-24時	167.2	146.5	87.6

(6) まとめ

ここでは、呼吸型 DI システムを導入した実証実験棟の実測を行い、以下のことが明らかになった。

- 1) BIC を除く外皮の有効開口面積は 150~160cm² 程度、BIC の有効開口面積は 50cm² 程度であった。
- 2) 換気ユニットの送風量は概ね外皮および BIC を通過する風量と等しく、換気ユニットと室内との間の隙間は十分小さいと推測された。
- 3) CO₂ を用いた換気量測定から各室の換気回数は 0.4~0.5 回/h となったが、切り替え時間が短いほど換気回数が小さい傾向が見られた。
- 4) CO₂ を用いた外気導入量の測定結果と外皮の気密性能と内外差圧から推測された換気量（上記 2）より換気ユニットの送風量にほぼ等しい）の比を有効換気量率とした場合、その値は 80~88% となった。

3. ホルムアルデヒドの吸着・再放出率の把握

(1) 概要

呼吸型 DI システムは、BIC を通して給排気を行うため、切り替え時間が短い場合には、排気が十分に拡散せず、給気の一部とし吸い込まれる可能性や、汚染質の種類によっては、BIC への吸着・脱着が生じ、給気時にその一部が室内に戻る可能性が否定できない。建築基準法上の機械換気による換気回数 0.5 回/h 以上は、居室内のホルムアルデヒドの発生量が床面積あたり 0.04mg/m² のとき居室の濃度を 0.08ppm 以下に維持できるとして規定されたものである。そこで、本研究項目では、ホルムアルデヒドガスをトレーサーガスとして濃度を測定し、排気に含まれるホルムアルデヒドガスが室内に戻る割合（再放出率）について検討する。

(2) 測定方法

1)ホルムアルデヒドガス発生方法

図 3-1、写真 3-1 に、発生装置を示す。活性炭素とシリカゲルを通して浄化した空気をホルムアルデヒド (HCHO) 水溶液に通してホルムアルデヒドガスを発生させる。HCHO 水溶液は、メタノールフリーの HCHO 水溶液 (パラホルムアルデヒド 16%w/v 水溶液) 10ml を 500mL に希釈したものである。空気の流量はマスフローコントローラーにより制御した。HCHO の揮発量は温度に依存するため、HCHO 水溶液の容器は水槽に入れ、水温を温度調節機能付ヒーターで 25℃に保った。バブリングタンクの容積は 700mL、タンク内の水溶液は 200mL である。流量は、最初 0.6L/min としたが、発生したガスの濃度が想定した濃度より低かったため、1.0L/min に変更した。

2)試験装置

図 3-2、写真 3-3 に、試験装置を示す。金属製の風洞で、風上側にファンを設けて加圧し、BIC に通気させる。BIC の前後の空間に差圧測定孔を内部に突起しないよう風洞の面に垂直に設け、また、BIC の風上側及び風下側に濃度測定孔 (断面中央部までの管) を設けた。ホルムアルデヒドガスは、ファン近傍の風洞内に注入できるようにし、ガスの発生を停止するときは、ガス発生装置の発生は止めずに。風洞から発生チューブを抜いて、屋外に排気した。

3)濃度測定方法

風洞の濃度測定孔 A および B の濃度測定は、測定孔からポンプで一定流量吸引して吸着させて分析する。各測定孔にポンプを 2 台、計 4 台使用し、3 方弁を用いて、HCHO ガスを風洞内に発生しているときのサンプリングと、ガスを風洞内に発生していないときのサンプリングを切り替えた。発生濃度は、DNPH-HPLC 法 (JIS A1962) により測定した。測定および分析条件を表 3-1 に示す。

4)測定条件、スケジュール

表 3-2 に測定スケジュールを示す。測定は、ホルムアルデヒドガスの風洞内への発生と停止を 15 分毎に交互に行う 15 分切替えと、30 分毎に交互に行う 30 分切替えで、1 時間ごとに捕集管を交換し、3 時間測定を継続した。つまり、1 時間に測定孔 A と B でそれぞれ吸着過程及び放出過程の濃度が 1 点ずつ測定できることになる。

風量は、BIC 前後差圧が、実際の住宅で設定する範囲である 10Pa と 25Pa とし風量が一定となるようファンで制御した。

5)結果の処理

測定した HCHO 濃度から、次式によって吸着率と再放出率を算出した。

$$A = \Delta PC / PC_A \quad \dots(3.1)$$

$$\text{ここで、} \Delta PC = PC_B - PC_A \quad \dots(3.2)$$

$$R = \Delta PR / (\Sigma \Delta PC - \Sigma \Delta PR) \quad \dots(3.3)$$

$$\text{ここで、} \Delta PR = PR_B - PR_A \quad \dots(3.4)$$

PC_A : HCHO ガス発生時の測定孔 A 濃度

PC_B : HCHO ガス発生時の測定孔 B 濃度

PR_A : HCHO ガス停止時の測定孔 A 濃度

PR_B : HCHO ガス停止時の測定孔 B 濃度

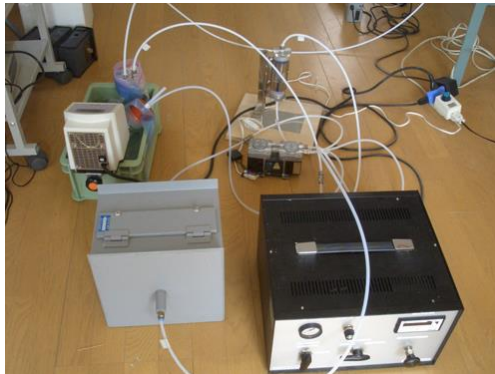


写真 3-1 HCHO 発生装置

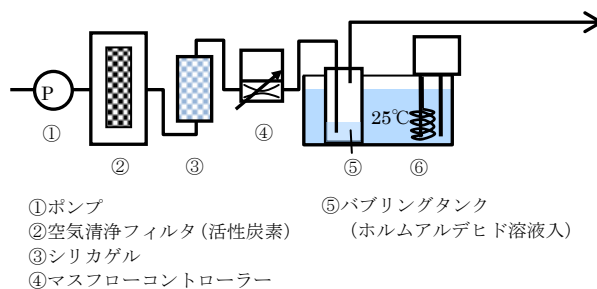


図 3-1 HCHO 発生装置概要

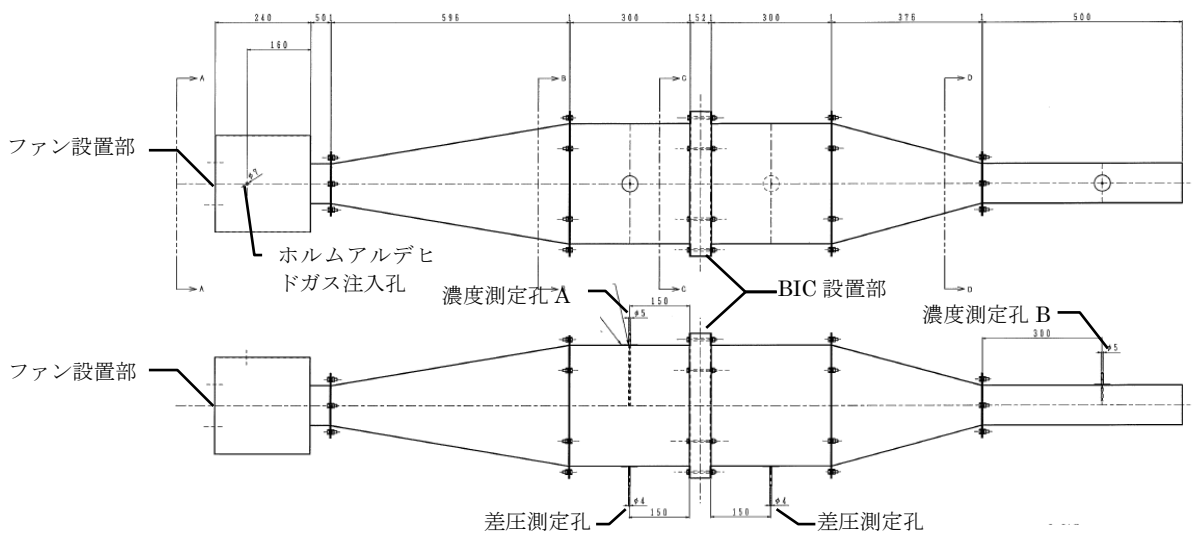


図 3-2 試験装置

表 3-1 HCHO 濃度測定、分析条件

捕集量	1.0L/min×30min=30L	
溶出量	5mℓ	
HPLC	カラム	C18 内径 4.6×150mm
	移動相	アセトニトリル：水=6：4
	流量	1.0ml/min
	試料注入量	20 μℓ
	検出器	吸光光度検出器（波長 360nm）

表 3-2 測定スケジュール（1 時間分）

a) 15 分切替

過程	測定時間	捕集管
吸着（HCHO 発生）	15 分	I
放出（HCHO 停止）	15 分	II
吸着（HCHO 発生）	15 分	I
放出（HCHO 停止）	15 分	II

b) 30 分切替

過程	測定時間	捕集管
吸着（HCHO 発生）	30 分	i
放出（HCHO 停止）	30 分	ii

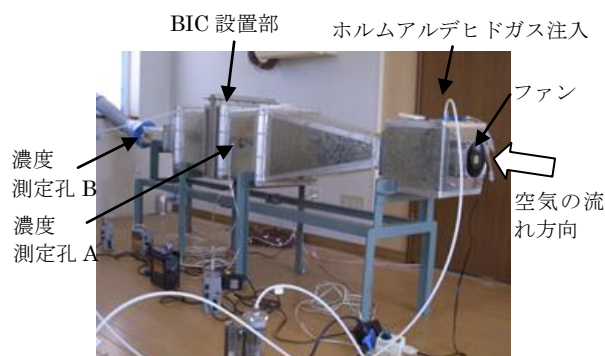


写真 3-2 試験装置

（3）測定結果と考察

1) 15 分切替、10Pa

図 3-3 に、15 分切替、BIC 前後差圧 10Pa の濃度測定結果と、算出した吸着、再放出率を示す。「吸着」が「HCHO ガスの発生があり、BIC がガスを吸着する」と考えられる時間であり、「放出」が「HCHO ガスの発生を停止し、BIC からガスの再放出がある」と考えられる時間である。図をみると、最初の 1 時間の濃度測定孔 A（BIC の風上側）の濃度が $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下と、濃度指針値よりも低い値であった。HCHO ガスの発生量が少ないと考えられることから、その後発生量を増やした。いずれの時間でも、濃度測定孔 A よりも測定孔 B の方が低い。A よりも B が低いのは、BIC を HCHO ガスが通過するときに吸着しているためである。

吸着率、再放出率をみると、吸着過程では 50%程度を吸着しているが、放出すると予測される時間も吸着をしていたため、再放出率は負となっている。

しかし、実際は、切り替え時間が 15 分と短いために、HCHO の発生を停止してもしばらくは前時間の発生していた HCHO ガスが残っていて、測定孔 A の濃度が高く出た可能性がある。いずれにしても、測定孔 B の濃度は A よりも低いので、HCHO ガスを吸着し、その後放出はほとんどしていないと考えら

れる。

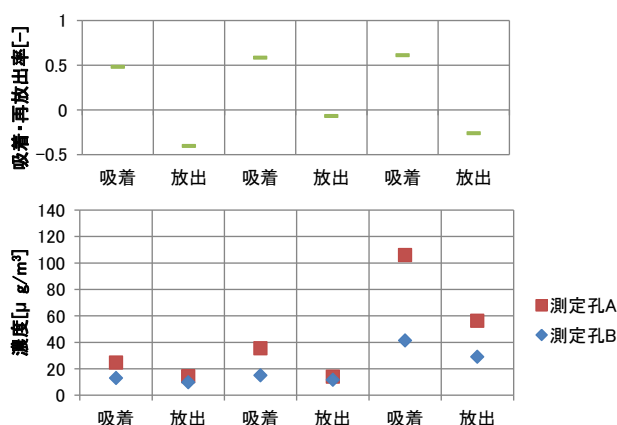


図 3-3 10Pa15 分切替

2) 30 分切替、10Pa

図 3-4 に、30 分切替、BIC 前後差圧 10Pa の濃度測定結果と、算出した吸着、再放出率を示す。吸着過程（HCHO ガス発生時）では濃度測定孔 A の濃度は B よりも高く、BIC が HCHO ガスを吸着していたことがわかる。放出過程（HCHO ガス停止時）は、濃度測定孔 B の濃度が、A の濃度とほぼ同じかやや高い程度である。つまり、ほぼ再放出していないかやや再放出していると言える。30 分切替えでは、時間間隔が長いので、前時間の発生の影響は少なく、ほぼ外気並みに測定孔 A の濃度は低下している。

吸着率は、発生ガスの濃度が低下したために計算誤差が大きい 3 時間目を除き、50%程度である。再放出率は 10%以下となったが、測定孔 A と B の濃度差は測定誤差程度である。吸着はするが、ほとんど再放出はしない結果となった。

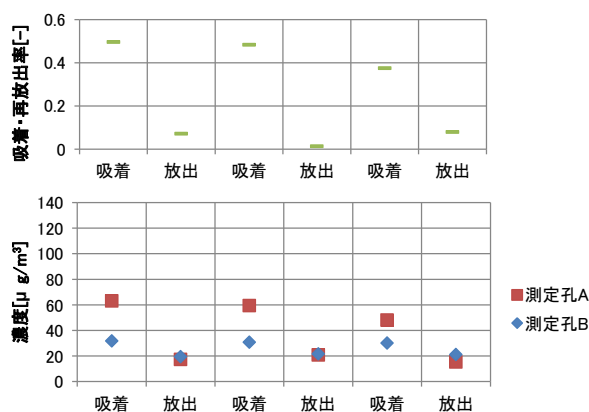


図 3-4 10Pa30 分切替

3) 30 分切替、25Pa

図 3-5 に、30 分切替、BIC 前後差圧 25Pa の濃度測定結果と、算出した吸着、再放出率を示す。吸着過程では、やはり測定孔 A よりも B の濃度が低く、吸着していることがわかる。放出過程では、2 時間目までは測定孔 A と B ではやや B の濃度が高い程度で、ほぼ再放出していないかやや再放出がある程度である。しかし、3 時間目は、測定孔 B の濃度が測定孔 A よりも明らかに高い。測定孔 A の濃度がその前の放出過程の濃度よりも低くなっているが、通常は外気の濃度の時間変動は大きくなく、放出過程の濃度はほぼ同程度になると考えられるので、測定に問題があった可能性も考えられる。

吸着率をみると、30~50%と幅がある。吸着量（濃度の差）では、どの吸着過程でも $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度

である。したがって、図 3-4 の 10Pa 差での流量では $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、25Pa 差での流量では $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ など、BIC の単位流量当たり吸着できる量に限界があり、濃度が高くなったときに、吸着量は増えないために、吸着率にすると低くなったことが考えられる。再放出率は、3 時間目を除き、10%以下で、再放出は多くないことが分かる。

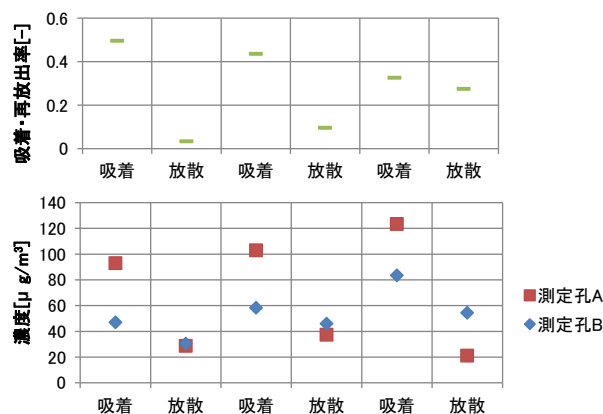


図 3-5 25Pa30 分切替

以上のように、測定誤差も考えられるので、明確には言えないが、吸着過程から放出過程に切り替わる時（実際のシステムでは排気から給気に切り替わる時）、図 3-3 の 3 回目のように、導入される空気（放出過程の測定孔 A）の濃度が、切り替わる前の排気（吸着過程の測定孔 B）の濃度より高い場合には濃度低下が生じ（BIC へ吸着した）、図 3-5 の 3 回目のように、導入される空気の濃度が、切り替わる前の排気の濃度より低い場合には濃度上昇が生じた（BIC からの放出があった）との解釈も可能である。換気においては、排気の汚染質濃度が高く、給気（外気）の汚染質濃度が低いのが一般的であるので、BIC を用いた呼吸型換気では、排気中のホルムアルデヒドの一部が室内に戻る可能性があることは否定できない。今回の実験では、1 例を除き、再放出率は 10%以下であった。

(4) まとめ

ここでは、ホルムアルデヒドガスをトレーサーガスとして、排気に含まれる汚染質が室内に戻る可能性について実験を行った。その結果、以下のことが示された。

- 1) ホルムアルデヒドガスは BIC に 40~50%程度吸着する。
- 2) 再放出率は 1 例を除き 10%以下であった。
- 3) BIC を用いた呼吸型換気では、排気中のホルムアルデヒドの一部が室内に戻る可能性があることは否定できない。

なお、給気と排気の切り替え時間の再放出率への影響は明確にはできなかった。

4. 換気設計手法の検討

(1) 実証棟における換気量の試算

実証棟の有効開口面積の実測値を参考に、妻壁に設置した BIC の有効開口面積を 50cm^2 、それを除く住宅の相当隙間面積を 150cm^2 として、換気量を試算する。住宅の隙間は外壁に一様に分布していると仮定する。また、ドアのアンダーカットなど住宅内の換気経路の開口は十分大きいと仮定し、通気抵抗は無視する。室温 20°C 、外気温 0°C 、無風、ファンによる給排気風量 $150\text{m}^3/\text{h}$ の場合の風量を図 4-1 に示す。

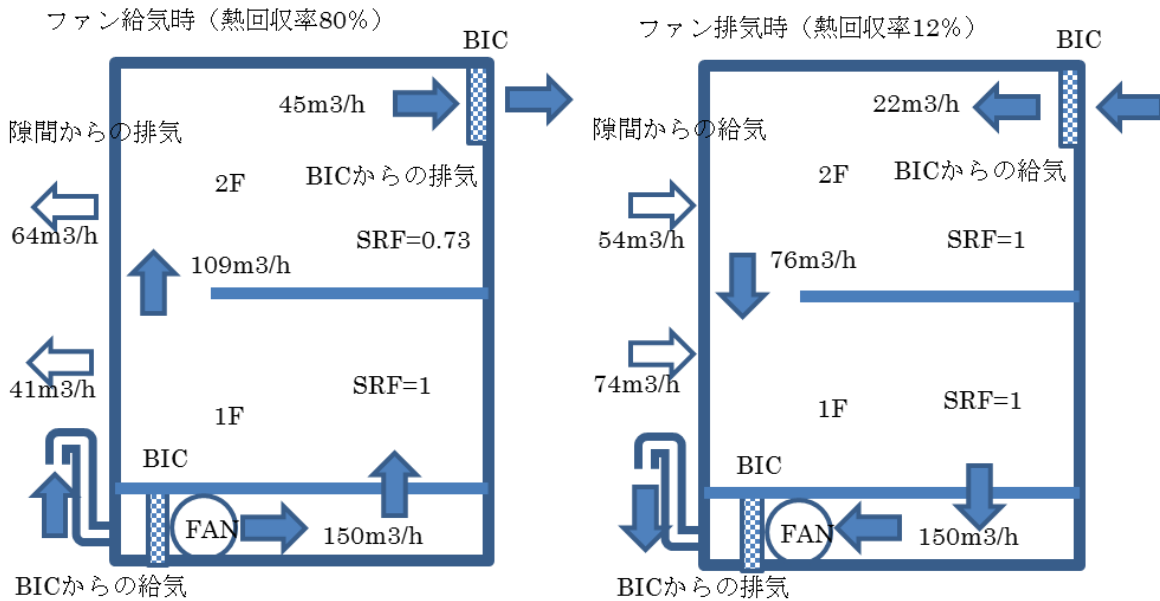


図 4-1 換気量の計算結果

ファン給気時には $45\text{m}^3/\text{h}$ が上部の BIC から排気されるが、1 階の隙間から $41\text{m}^3/\text{h}$ 、2 階の隙間から $64\text{m}^3/\text{h}$ 排気され、BIC を通る排気よりも隙間からの排気が多くなっている。一方、ファン排気時には、 $22\text{m}^3/\text{h}$ が上部の BIC から給気されるが、1 階の隙間から $74\text{m}^3/\text{h}$ 、2 階の隙間から $54\text{m}^3/\text{h}$ 給気され、ファン給気時よりも上部の BIC を通過する風量が減少している。ただし、ファン給気時には隙間からの給気はなく、ファン排気時には隙間からの排気はない。

BIC の熱回収率を既存の研究結果を参考に 80% と仮定し、給排気時の熱回収率を求めると以下のようになる。

ファン給気時：給気がすべてファンに接続している BIC を通過するので、熱回収率は 80%

ファン排気時：上部外壁に設置した BIC を通過する風量が $22\text{m}^3/\text{h}$ と全体の給気量の 15% であり、熱回収されない隙間からの給気が 85% を占めるので、熱回収率は 12%

注) 外壁上部に設置された BIC は排気量が給気量よりも多いので、BIC 単体の熱回収率は 80% より高くなる可能性があるが、 80% のままとした

$$15\% (\text{BIC 通過風量の割合}) \times 80\% (\text{熱回収率}) = 12\%$$

したがって、給気と排気で平均した熱回収率は 46% となる。熱回収率を高めるためには、住宅の気密性能を高め BIC の有効開口面積を増やす必要がある。一方、換気ユニットにのみ BIC を用い、壁面には通常の換気口を用いることも考えられる。その場合の熱回収率は 40% となる。

また、各階の必要換気量を $75\text{m}^3/\text{h}$ とし、換気量のうち汚染質除去に有効な新鮮外気量の割合を表す SRF⁶⁾ を計算すると、ファン給気時の 2 階において 0.73 となった。1 階から 2 階への風量は $109\text{m}^3/\text{h}$ であるが、すでに 1 階の汚染質除去にその半分が消費されるためである。ファン風量を増加させずに

SRF を 1 とするためには、2 階の必要換気量分の風量 75m³/h をダクトで 2 階に供給する必要がある。

上部の BIC にもファンを接続し、給排気を行った場合の結果を図 4-2 に示す。この場合、ファンの風量すべてが BIC を通過するので熱回収率は 80% である。しかし、住宅内がファンにより加圧も減圧もされないため、住宅の高さの 1/2 の位置に中性帯が生じ、24m³/h の隙間換気が生じた。これを考慮すると、熱回収率は 69% となる。

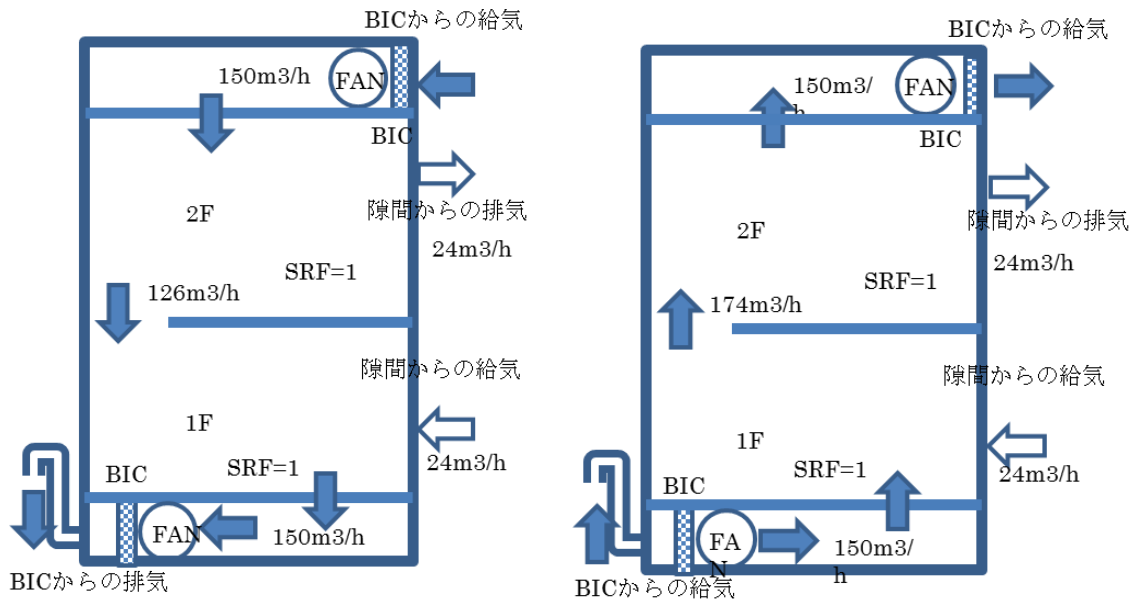


図 4-2 ファン 2 か所の場合の換気量計算結果

(2) 必要な気密性能の検討

一つの BIC をファンによる強制通気、その他の BIC を内外圧力差に基づく自然通気とする場合、住宅の気密性能が悪くと、隙間からの換気が生じるため、自然通気用の BIC を通過する風量が減少し、熱回収が十分に行えなくなる。熱回収率を高めるためには、建物全体の隙間面積に占める BIC の開口面積の割合を大きくする必要がある。また、必要以上に換気量を増大させないためには、ファン給気時にはファン以外の開口または隙間から給気が生じないように、ファン排気時にはファン以外の開口または隙間から排気が生じないようにする必要がある。

無風の場合にこの条件を満たす最低の気密性能は、中性帯が床面（または天井面）の位置にある場合である。住宅の隙間が外壁に一樣に分布すると仮定し、床から天井（または屋根）の気密層までの高さを H とすると、この条件における相当隙間面積 1cm² 当たりの換気量 q は次式で表される。

$$q = \frac{10000}{3600} \times \frac{n}{n+1} \sqrt{\frac{2 \times 9.8}{\rho}} \times (\Delta \rho H)^{\frac{1}{n}}$$

ここで、 n : 隙間特性値、 ρ : 空気の密度[kg/m³]、 H : 床から天井（または屋根）までの高さ[m]

したがって、必要換気量（ファン風量）が Q である場合に、BIC を含む住宅全体の相当隙間面積の上限は次式で表される。

$$\alpha A \leq \frac{Q}{q}$$

室温を 20℃ とすると、外気温と単位風量 q の関係は図 4-3 のように表され、ファン風量 150m³/h のときの相当隙間面積 αA の上限値は図 4-4 のように表される。高さ H が高いほど、外気温が低いほど、

相当隙間綿製は小さくする必要がある。

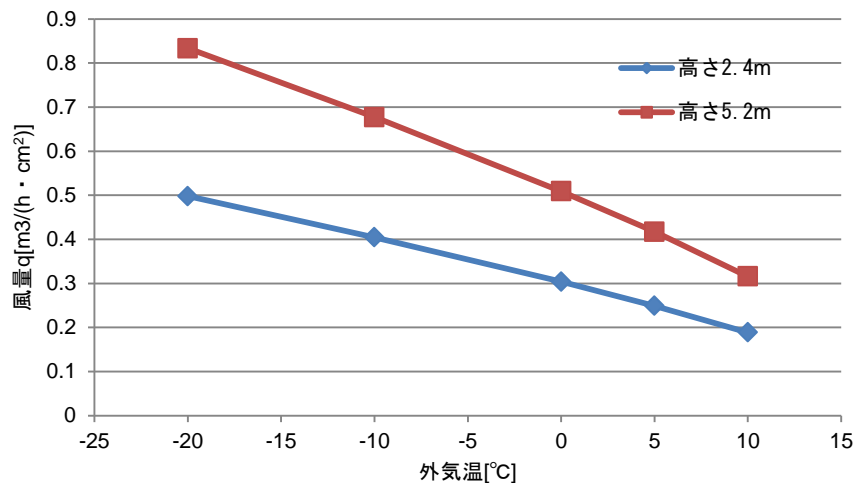


図 4-3 外気温と単位風量 q の関係

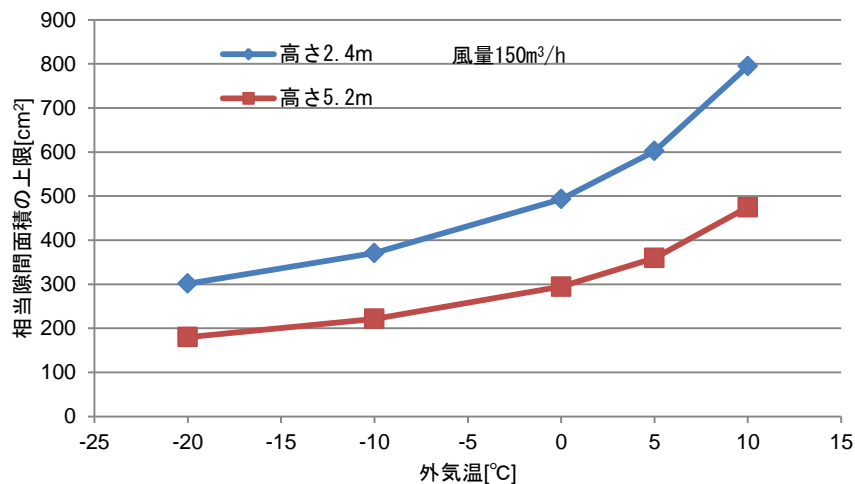


図 4-4 相当隙間面積の上限

(3) 自然通気用 BIC の設置面積に関する検討

次に、自然通気用に設置される BIC を通過する風量について検討する。住宅は 2 階建てとし、BIC を除く相当隙間面積を 100 および 150cm² とする。住宅の隙間特性値は 1.5、BIC の隙間特性値は 1.2 とし、自然通気用の BIC は各階の中央の高さにあるとする。また、ファン風量は 150m³/h とする。計算には風量収支を満足するように床面圧力を二分法により決定する方法を用いる。

隙間および BIC を通過する風量の割合を図 4-5~4-9 に示す。ここで、「ファン給気」または「ファン排気」の後の数字は、2 階および 1 階の BIC の有効開口面積を表す。これらの結果から、以下のことがわかる。

- ・ 住宅の気密性能が高いほど BIC を通過する風量の割合は高くなる
- ・ 外気温が高い（内外温度差が小さい）ほど、住宅の気密性能が高いほど、BIC を通過する風量の給気時と排気時の差は小さくなる
- ・ ファンの給気と排気、1 階と 2 階の開口面積を入れ替えた場合、入れ替える前の 1 階の排気量は入れ替えた後の 2 階の給気量と等しくなるなど、対称関係にある。

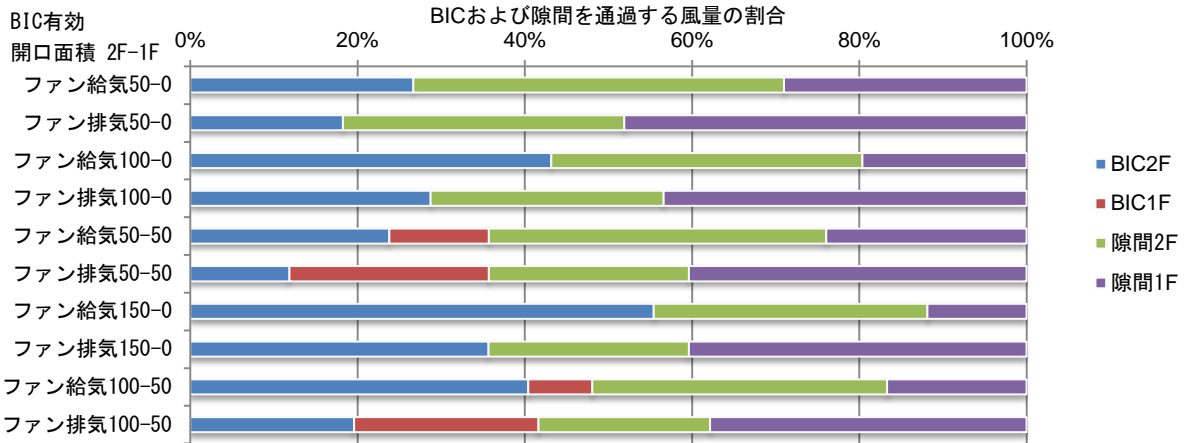


図 4-5 通過風量の割合 (BICを除く相当隙間面積 150cm²、外気温 0°C)

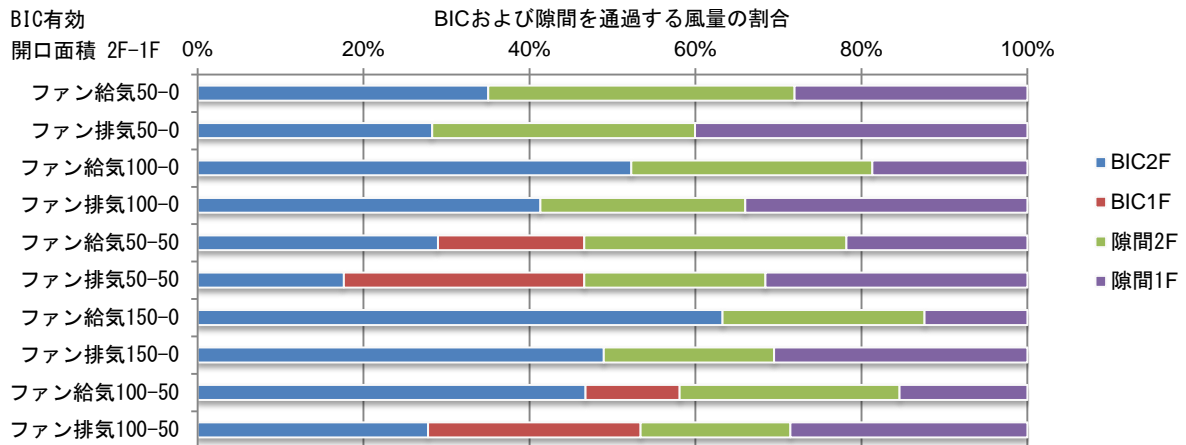


図 4-6 通過風量の割合 (BICを除く相当隙間面積 100cm²、外気温 0°C)

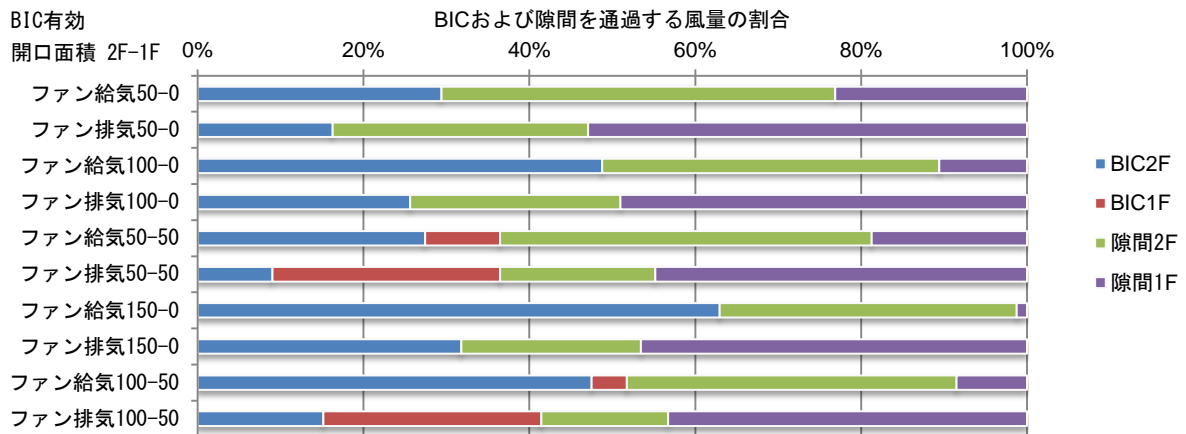


図 4-7 通過風量の割合 (BICを除く相当隙間面積 150cm²、外気温 -10°C)

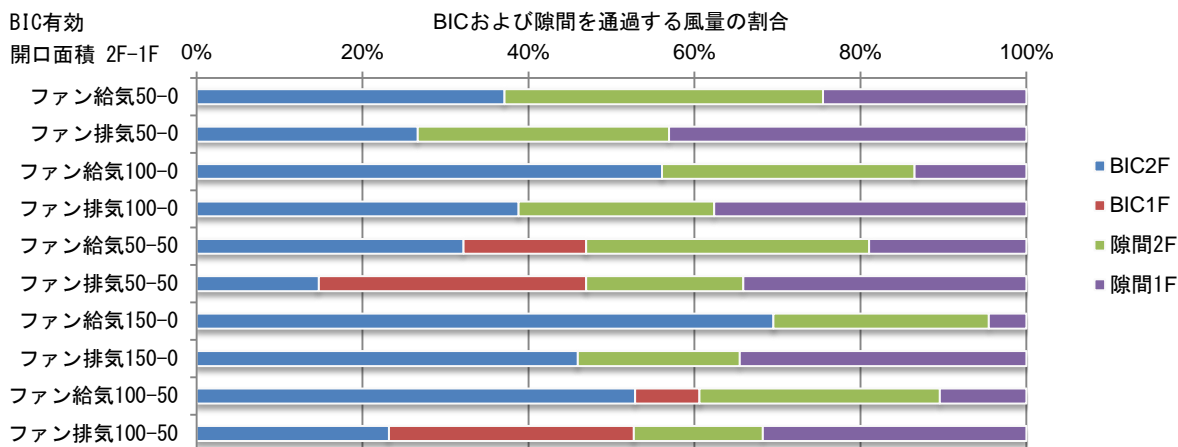


図 4-8 通過風量の割合 (BIC を除く相当隙間面積 100cm²、外気温 -10°C)

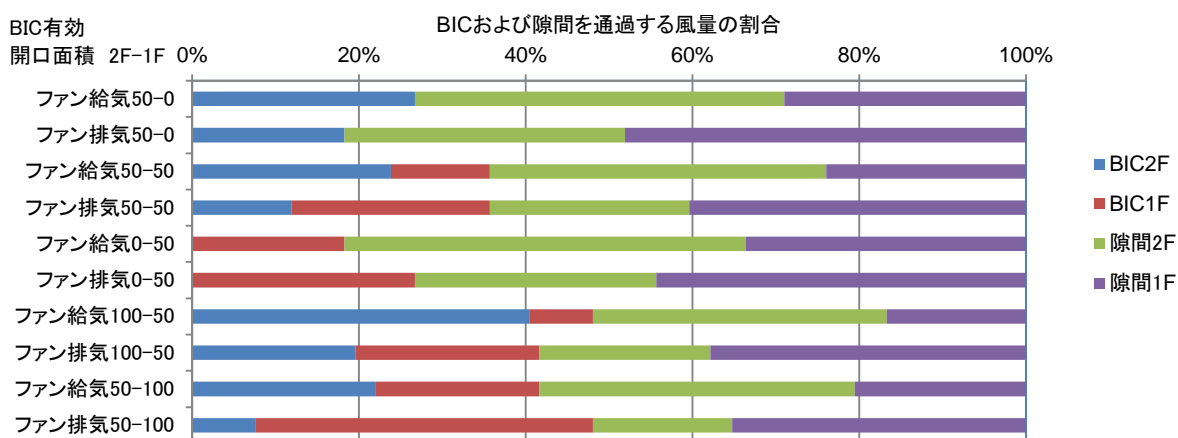


図 4-9 通過風量の割合 (BIC を除く相当隙間面積 150cm²、外気温 0°C)

BICの有効開口面積の全相当隙間面積 (BICと住宅の隙間の有効開口面積の合計) に対する割合と、BICを通過する平均換気量 (給気と排気の平均) の全換気量 (ファン風量) に対する割合の関係を図4-10に示す。図4-5~4-9に示したように、内外温度差があると給気と排気でBICを通過する風量の割合は異なるが、その平均値の全換気量に対する割合は有効開口面積の割合に比例することがわかる。なお、内外温度差がなく、隙間特性値 n がBICと隙間で等しければ、BICを通過する風量の割合は有効開口面積の割合と一致する。

壁面のBICを通過する風量と熱回収率の関係を図4-11に示す。風量の割合が0の場合は換気ユニットのBICのみが有効に機能することを示している。ここで、BICの熱回収率を80%とした。たとえば、熱回収率を60%とするためにはBICを通過する風量の割合が64%である必要があり、図4-10中の回帰式を用いると、BICの有効開口面積はBICを含む全相当隙間面積の68%である必要がある。図4-4に示したように、外気温が0°CのときBICを含む全相当隙間面積の上限は約300cm²であるので、BICの割合を68%とするには、BICの有効開口面積は204cm²、BICを除く相当隙間面積は96cm²となる。また、外気温が-10°CときのBICを含む全相当隙間面積の上限は約220cm²であるので、BICの有効開口面積は150cm²、BICを除く相当隙間面積は70cm²と、かなり高い気密性能が要求される。気密性能が高いほどBICを通過する風量の割合が高くなるので、熱回収率も高くできる。

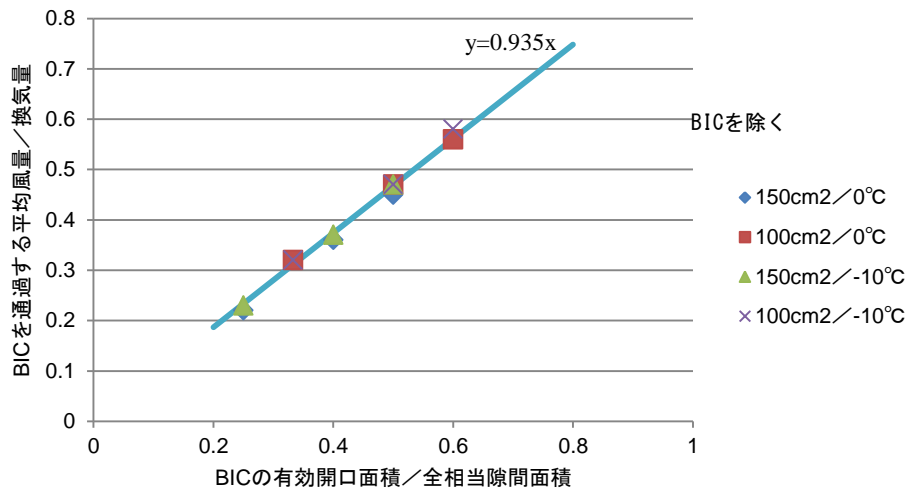


図 4-10 風量比（BIC 通過風量/換気量）と開口面積比（BIC 開口面積/全相当隙間面積）の関係

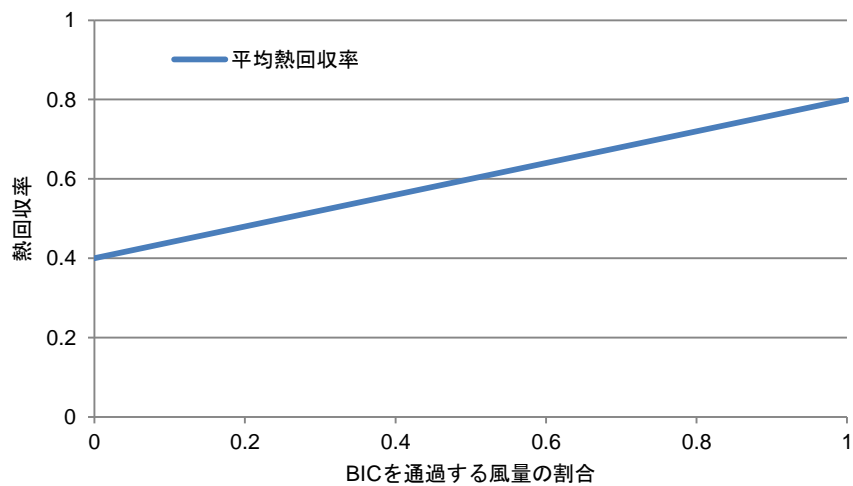


図 4-11 BIC を通過する風量と熱回収率の関係

(4) SRF の検討

実証棟に関する試算で示したように、ファンの給排気口が 1 階にある場合、2 階の SRF が 1 未満となる、すなわち、新鮮外気量が不足する場合は考えられる。同様に、ファンの給排気口が 2 階にある場合には 1 階の SRF が 1 未満となる可能性が考えられる。

開口面積を変化させた場合の SRF を図 4-12、4-13 に示す。ここで、BIC を除く相当隙間面積を 100cm²、外気温を 0°C とした。住宅モデルは 4 (1) に示したモデルである。必要換気量は 1 階・2 階とも 75m³/h とし、ファン風量を 150m³/h とした。

ファンの給排気口が 1 階にある場合、ファン給気時には計算したすべての条件で 2 階の SRF は 1 未満となった。これは、1 階の隙間などから給気の一部が流出したためである。また、ファン排気時にも 1 階に BIC がある場合には SRF が 1 未満となった。これは、1 階の外気導入量が増え、内外差圧が小さくなったことで、2 階の外気導入量が減少したためである。

ファンの給排気口が 2 階にある場合、ファン給気時には計算したすべての条件で 1 階の SRF は 1 未満となった。これは、2 階の隙間などから給気の一部が流出したためである。また、ファン排気時にも 1 階に BIC がない場合には SRF が 1 未満となった。これは、開口不足で 1 階の外気導入量が少ないためである。

ファン給気時において、ファンの給排気口が1階にある場合の2階のSRFと、ファン給排気口が2階にある場合の1階のSRFを比較すると、前者の方がSRFは大きい。これは、内外の空気の密度差に起因する内外圧力差の影響により、前者における1階の流出量が、後者における2階の流出量よりも小さくなるためである。

SRFを1とするためには、途中の流出を見込んだファン風量とするか、ダクトで直接給気する必要がある。風量を増大させる場合には換気負荷が増大し、ダクトで供給する場合には工事費が増加することになる。

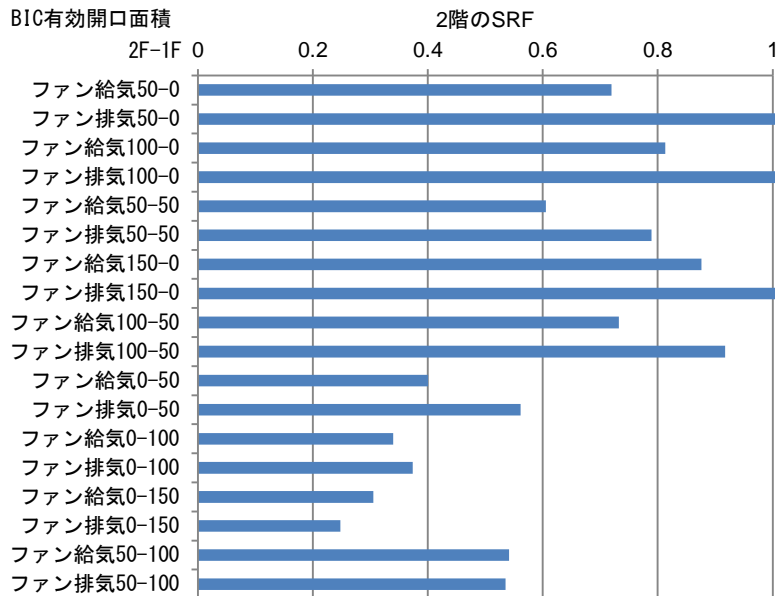


図 4-12 ファン給排気口が1階にある場合の2階のSRF (BICを除く相当隙間面積100cm²、外気温0℃)

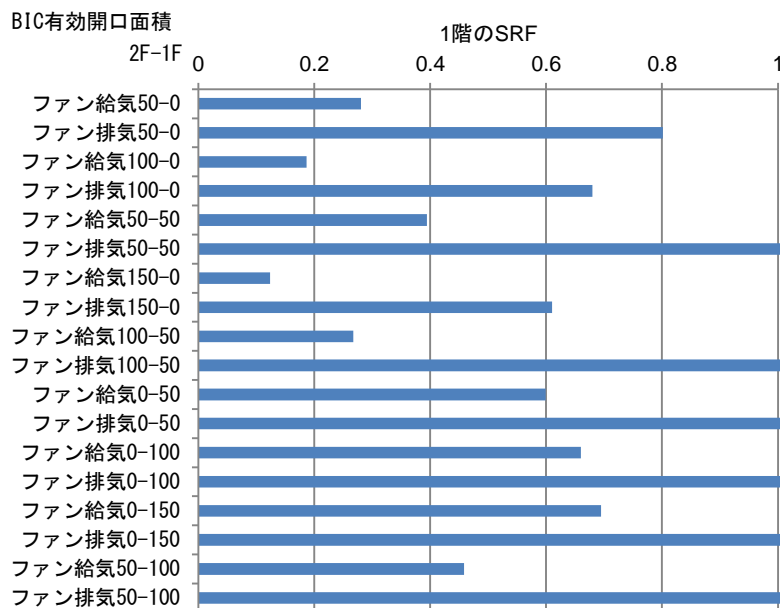


図 4-13 ファン給排気口が2階にある場合の1階のSRF (BICを除く相当隙間面積100cm²、外気温0℃)

(5) まとめ

ここでは、呼吸型 DI システムを導入する際に必要な住宅の気密性能、BIC の有効開口面積および SRF について検討し、以下の知見を得た。

- 1) 実証棟の気密性能では BIC を通過しない換気量が多く、熱回収率は 50%以下となる可能性が高い。
また、2 階ではファン給気時に SRF が 0.7 程度となる可能性がある。
- 2) 熱回収率を 60%とするためには高气密化を行ったうえで、壁面の BIC の有効開口面積を、BIC を除いた住宅の相当隙間面積の 2 倍程度確保する必要がある。
- 3) ファンの給排気口が 1 階にある場合には 2 階、2 階にある場合には 1 階の SRF が 1 未満となる可能性があり、SRF を 1 とするためには、隙間からの空気の流出を考慮して設計風量を増やすか、ダクトで直接給気する必要がある。

5. 換気設計資料

(1) 基本方針

BIC を用いた呼吸型の換気は、第 2 種換気と第 3 種換気の切り替えであるので、基本的に、それらの換気設計手法と同じである。ただし、4. に示したように、壁面に設置した BIC で熱回収を有効に行うためには、気密性能を極力高める必要がある。しかし、それでも、BIC 以外の隙間を通過する風量は少なくとも全換気量の数十パーセントあり、換気経路に影響を与えると考えられるが、設計時に隙間量とその分布を得ることは不可能であるので、隙間がないものとして換気設計を行う。

換気経路の例を図 5-1 に示す。自然通気となる壁面の BIC を各居室に設置するのが方法 a、b であり、階段室等にまとめて設置するのが方法 c である。方法 a では、1 階床下にファンを設置した場合、2 階の換気をダクトで行う方法とホール・階段室を経由して行う方法の 2 通りが考えられる。ダクトを用いれば、他スペースを経由することなく換気が行える。方法 b、c では、換気がすべてホール・階段室を経由する。

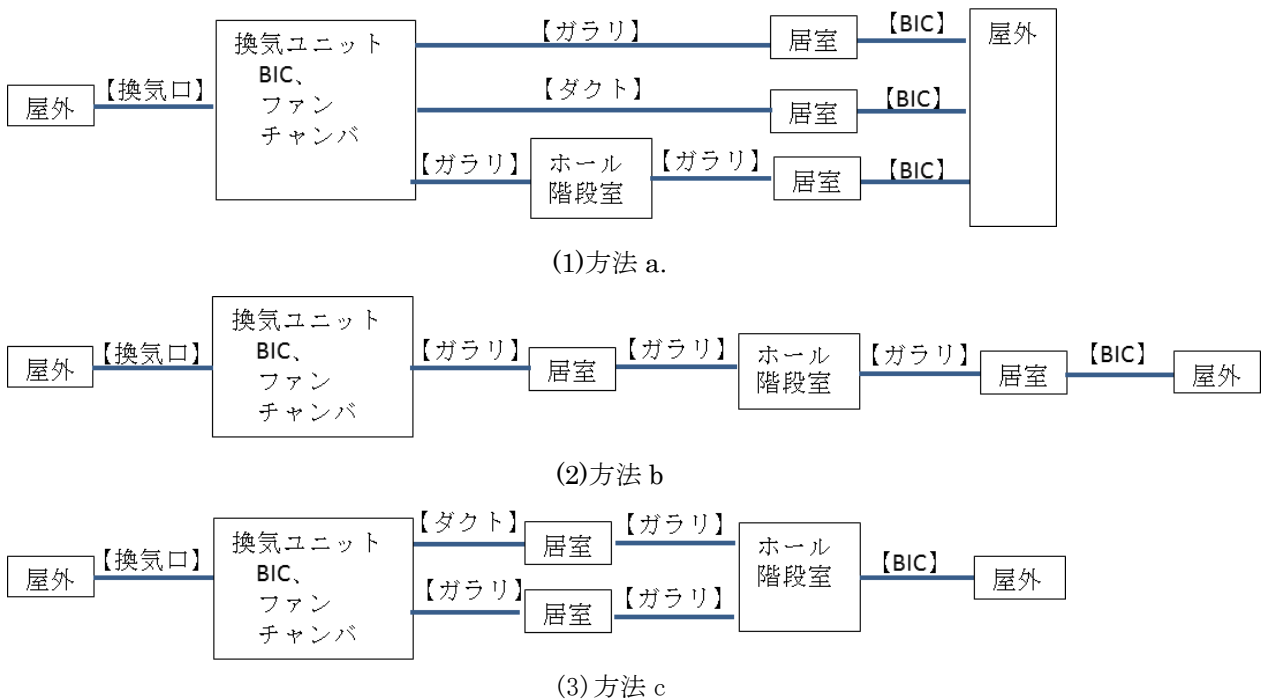


図 5-1 換気経路の例

4 (4) で述べたように、階段・ホールや他の居室を通過する換気経路の場合、それらの室にある隙間から換気用の導入外気が流出すると SRF が 1 未満となる可能性が高い。その場合、設計風量は必要換気量より多くする必要があるが、現実には、設計時に SRF を計算することは困難であり、4 の結果を参考に換気量を決めざるを得ない。換気量を増やすことは熱損失の増加となるので、他の居室を経由しない経路とすることが望ましいと考えられる。

推奨する換気経路の例を図 5-2 に示す。平屋の場合には床面に設置したガラリーなどによりすべての居室を換気ユニットと直接接続できるが、2 階建ての場合には、2 階の居室はダクトで換気ユニットと接続することが基本である。ホール・階段室を換気経路とする場合には、居室の SRF を 1 とするため、居室と換気ユニットの間ではなく、居室と屋外の間とする。ただし、階段が居間にあるなど、階段の外皮面積が小さく屋外への漏気が少ない場合には、図 5-1 の方法 a、b のように、階段をダクト相当とみなし、居室と換気ユニットの間の経路とすることも可能であろう。

BIC による熱回収を有効にするために必要な気密性能および BIC の有効開口面積は、前述の図 4-3、

4-4、4-10 に示したとおりである。

また、必要換気量は換気経路にあるすべての室の必要換気量の合計である。排気の一部あるいは排気した汚染質の一部が給気として戻る場合には有効換気量率として考慮する必要がある。本システムにおいては、3. に示したように、ホルムアルデヒドを用いた実験により、排気時に吸着したホルムアルデヒドの一部が給気時に脱着して戻る可能性のあることが示されたが、現時点では、給排気の切り替え時間との関係は明確ではなく、有効換気量率を提示することは今後の課題とする。切り替え時間は15分以上とする。

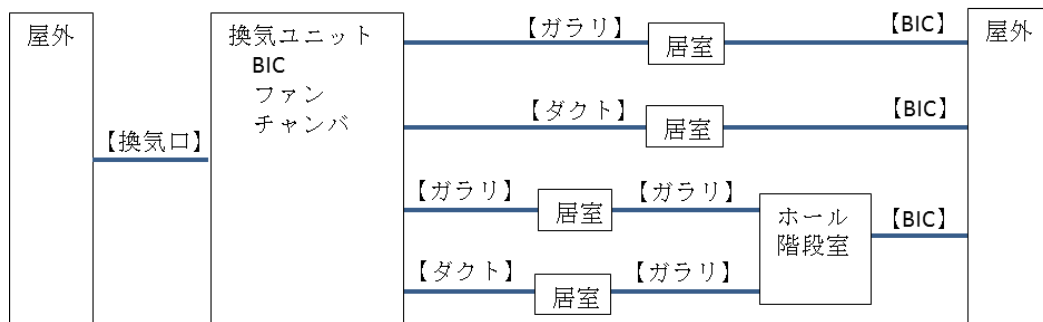


図 5-2 推奨する換気経路の例

(2) 換気ファンの選定および換気部材の圧力損失

外気の導入から屋外への排気に至る通気抵抗の和（各ガラリ、ダクトでの圧力損失の和）が最も大きくなる経路について、その圧力損失において設計風量を満たすファンを選定する。最大抵抗以外の経路については、そのままでは風量が設計値より多くなるので、開度を調整するなどにより通気抵抗を調整して、設計風量とする。

換気口やガラリなど換気部材の有効開口面積は換気部材メーカーの設計資料から得ることができる。以下に、目安として、いくつかの例を示す。

1) 換気口・ガラリの圧力損失

金属メッシュ・フラットカバー付き換気口の例を図 5-3、床ガラリ（200mm×91mm）の例を図 5-4、給気グリルの例を図 5-5 に示す。

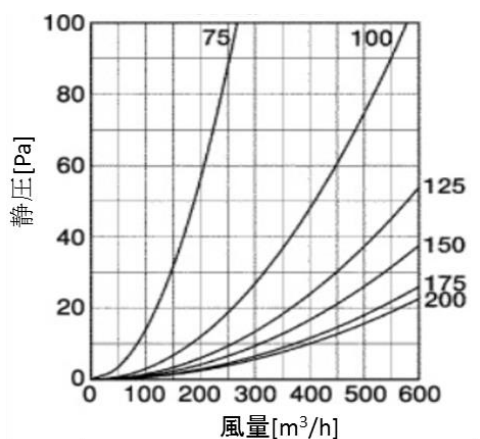


図 5-3 換気口の特性例

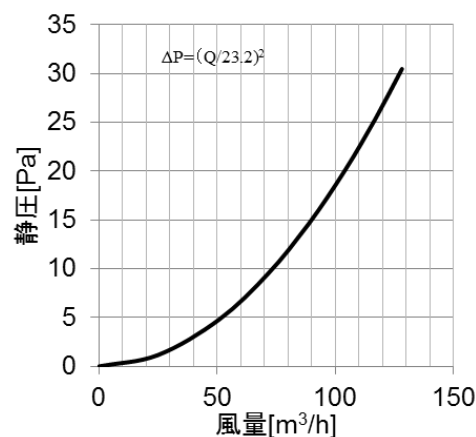


図 5-4 ガラリの特性例

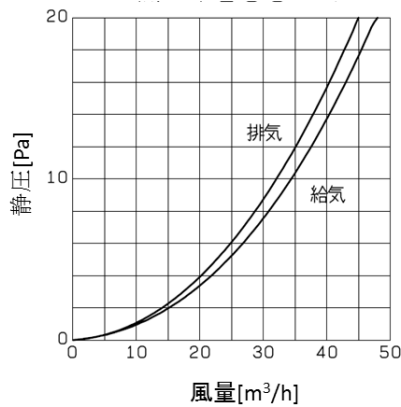


図 5-5 給気グリルの特性例

2) ダクトの圧力損失

ダクトの圧力損失は次式で表される。

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho v^2}{2} = \zeta \frac{\rho}{2} \left(\frac{4Q}{\pi D^2} \right)^2$$

Δp : 圧力損失[Pa]、 ζ : 通気抵抗係数、 ρ : 空気の密度[kg/m³]、 v : 風速[m/s]、 Q : 風量[m³/s]、 D : ダクトの直径[m]

通気抵抗係数 ζ は、直管部、曲がり部、分岐・合流部などによって異なり、それぞれの目安は以下のとおりである。

a. 直管部

$$\zeta = f \frac{L}{D}$$

L : ダクトの長さ[m]、 D : ダクトの直径[m]、 f : 抵抗係数

抵抗係数 f はダクト材料の粗度によって異なるが概ね 0.03 程度。

b. エルボ

曲がりの半径 R とダクトの直径 D の比 (R/D) により異なるが、 $R/D=1$ 前後のとき、 $\zeta=0.3$ 程度。

c. チャンバーなどでの分岐

分岐の角度やチャンバーの形状により異なるが、 $\zeta=1\sim 2$ 程度。

(3) BIC の有効開口面積

換気設計を行うために必要な BIC の有効開口面積の測定を行う。これまでも測定は行っているが、厚さなど、これまでとは異なる試験体である。

1) 測定方法

試験装置を図 5-6 に示す。図の試験体設置部に BIC パネルを設置する。試験装置のファンを運転し、空気槽内外の差圧と風量（通気量）を、風量を変えて 5 点測定する。差圧と通気量の関係は以下の式で表される。また、圧力差 1Pa のときの通気量から、圧力差 9.8Pa を基準とした有効開口面積 αA を算出する。

$$Q = a \cdot \Delta P^{1/n}$$

$$\alpha A = 2.78 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{\rho}{2}} \cdot 9.8^{\left(\frac{1}{n} - \frac{1}{2}\right)}$$

ここで

Q : 通気量 [m³/h]

a : 気密箱内外の圧力差 1.0Pa 当たりの通気量(通気率) [m³/h)/Pa^{1/n}]

n : 隙間特性値(1~2)

ΔP : 換気口前後の圧力差 [Pa]

αA : 有効開口面積[cm²]

ρ : 空気密度 ≈ 1.2 [kg/m³]

9.8: 基準圧力

2.78: 単位変換のための係数

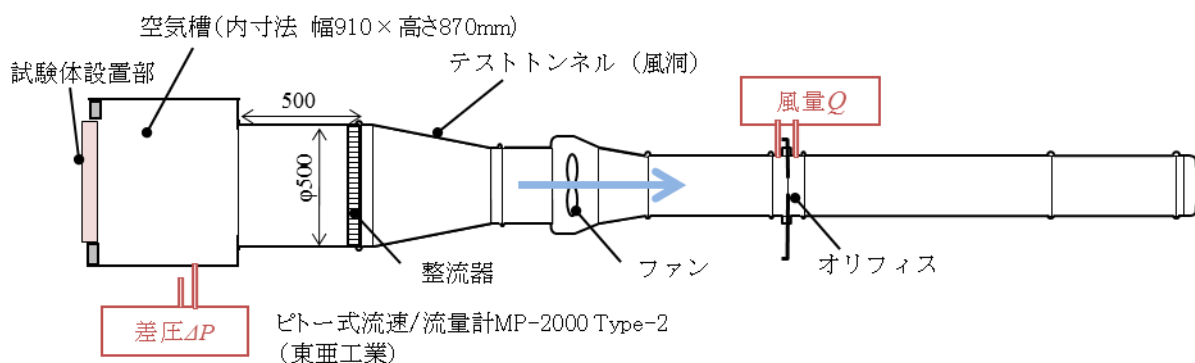


図 5-6 測定装置

2) 測定結果

a. 50mm厚試験体

差圧と通気量の関係を図 5-7 に、隙間特性値、通気率などを表 5-1 に示す。有効開口面積は 9.4cm² であり、これを通気面積で除した流量係数は 0.0032 程度となった。したがって、1 m² 当たりの有効開口面積は約 32cm² である。また、圧力差 1 Pa における 1 m² 当たりの通気量は 9.3m³/h である。

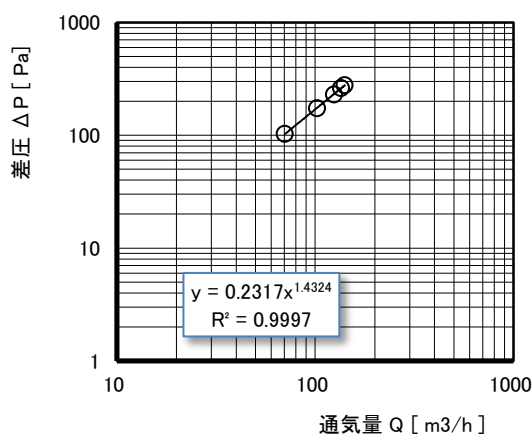


図 5-7 差圧と通気量の関係

表 5-1 測定結果

	50mm 厚
測定時温度 [°C]	18.4
隙間特性値 n	1.43
通気率 a [(m ³ /h)/Pa ^{1/n}]	2.78
有効開口面積 αA [cm ²]	9.4
通気面積[cm ²]	2993
流量係数 α	0.00315
1 m ² 当たりの有効開口面積[cm ²]	31.5
1 m ² 当たりの通気率 a [(m ³ /h)/Pa ^{1/n}]	9.30

b. 100mm 厚・旧タイプ試験体

差圧と通気量の関係を図 5-8 に、隙間特性値、通気率などを表 5-2 に示す。有効開口面積は 5.5cm² であり、これを通気面積で除した流量係数は 0.00089 程度となった。したがって、1 m²当たりの有効開口面積は約 8.89cm² である。また、圧力差 1 Pa における 1 m²当たりの通気量は 2.1m³/h である。

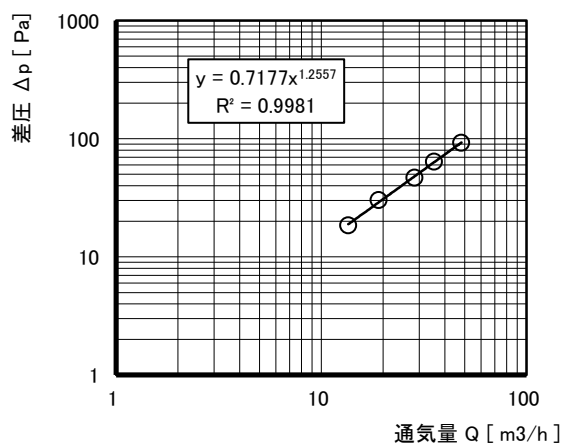


図 5-8 差圧と通気量の関係

表 5-2 測定結果

	100mm 厚・旧タイプ
測定時温度 [°C]	19.9
隙間特性値 n	1.26
通気率 a [(m ³ /h)/Pa ^{1/n}]	1.30
有効開口面積 αA [cm ²]	5.5
通気面積[cm ²]	6216
流量係数 α	0.000889
1 m ² 当たりの有効開口面積[cm ²]	8.89
1 m ² 当たりの通気率 a [(m ³ /h)/Pa ^{1/n}]	2.10

c. 100mm 厚・新タイプ試験体

差圧と通気量の関係を図 5-9 に、隙間特性値、通気率などを表 5-3 に示す。有効開口面積は 5.8cm² であり、これを通気面積で除した流量係数は 0.0009 程度となった。したがって、1 m²当たりの有効開口面積は約 9cm² である。また、圧力差 1 Pa における 1 m²当たりの通気量は 1.6m³/h である。旧タイプと比較すると、隙間特性値 n が小さくなっており、9.8Pa における有効開口面積は微増したが、1Pa における通気量は減少した。

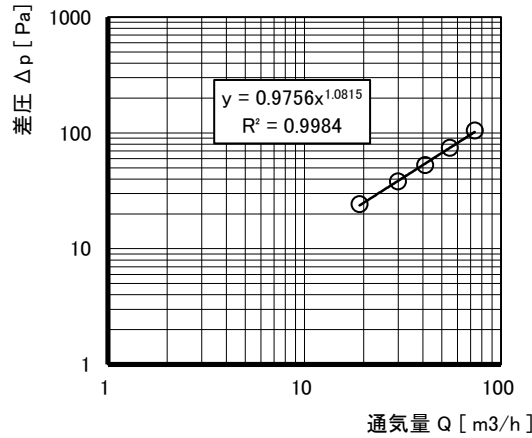


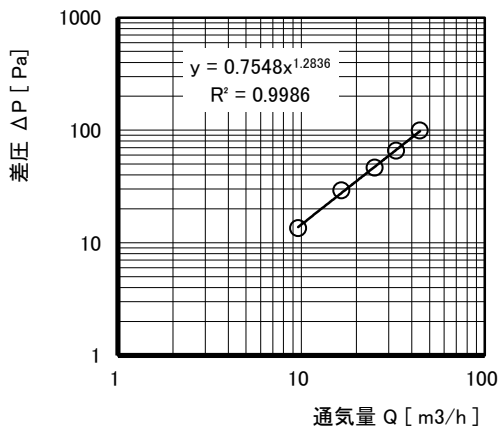
図 5-9 差圧と通気量の関係

表 5-3 測定結果

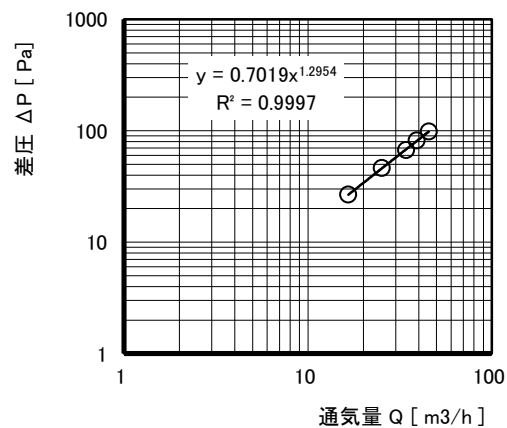
	100mm 厚・新タイプ
測定時温度 [°C]	19.9
隙間特性値 n	1.08
通気率 a [(m³/h)/Pa ^{1/n}]	1.02
有効開口面積 αA [cm²]	5.8
通気面積[cm²]	6443
流量係数 α	0.000903
1 m²当たりの有効開口面積[cm²]	9.03
1 m²当たりの通気率 a [(m³/h)/Pa ^{1/n}]	1.59

d.75mm 厚・新タイプ

差圧と通気量の間関係を図 5-10 に、隙間特性値、通気率などを表 5-4 に示す。2つの試験体を測定したが、有効開口面積は 5.1 および 5.3cm²であり、これを通気面積で除した流量係数は 0.0013 程度となった。したがって、1 m²当たりの有効開口面積は約 13cm²である。また、圧力差 1 Pa における 1 m²当たりの通気量は約 3.2m³/h である。



(試験体 1)



(試験体 2)

図 5-10 差圧と通気量の間関係

表 5-4 測定結果

	75mm 厚・新タイプ	
	試験体 1	試験体 2
測定時温度 [°C]	20.8	21.5
隙間特性値 n	1.28	1.30
通気率 a [(m ³ /h)/Pa ^{1/n}]	1.25	1.31
有効開口面積 αA [cm ²]	5.1	5.3
通気面積[cm ²]	3941	4013
流量係数 α	0.00129	0.00131
1 m ² 当たりの有効開口面積[cm ²]	12.9	13.1
1 m ² 当たりの通気率 a [(m ³ /h)/Pa ^{1/n}]	3.16	3.28

(4) 計算例

図 5-11 に示す換気経路について、計算例を示す。各居室の必要換気量は図中に示す値（居室名の下に記載）とした。2 階の居室は換気ユニットとダクトで接続され、また、壁面に設置した BIC により屋外と換気される。1F の居室は換気ユニットおよびホール・階段室と床面に設置したガラリやドアのアンダーカットでホール・階段室に接続している。ホール・階段室は壁面に設置した BIC により屋外と換気される。1F の居室はホール・階段室を通過した空気による換気となるので、ホール・階段室の必要換気量分を上乗せした風量としている。住宅全体の必要換気量は 150m³/h となる。ここでは有効換気量率は省略するが、設計風量は必要換気量を有効換気量率で除した値とする必要がある。各居室とも、換気ユニットとガラリまたはダクトで直接接続させることにより、SRF=1 となるように配慮している。

各経路の圧力損失を表 5-5 に示す。ここで、ダクトの直径は 100mm、長さ 5m とし、分岐およびエルボの抵抗係数は合計で ζ=5 とした。また、BIC の 1 m²当たりの通気率を 3[(m³/h)/Pa^{1/n}]、隙間特性値 n を 1.3 とした。

最も圧力損失が大きいのは、2 階の居室 3 を通る経路であり、107Pa である。したがって、静圧 107Pa で風量 150m³/h が得られるファンを選定することになる。また、換気ユニットに設置した BIC の圧力損失が大きいため、この BIC の面積を大きくすることがファン動力を減少させるためには有効である。通気率を大きくするように BIC を改良する場合には、熱回収効率が低下しないか確認が必要である。

また、室間のガラリやドアのアンダーカットにおける圧力損失は小さいことが望ましく、2Pa 以下にすべきと考える。圧力損失 Δ*p* は

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} \left(\frac{Q}{\alpha A} \right)^2$$

で表されるので、圧力損失 Δ*p* が 2Pa 以下となる条件は、

$$\alpha A \geq 1.5Q$$

ここで、Δ*p* : 圧力損失 [Pa]

P : 空気の密度 [kg/m³]

α*A* : ガラリ等の有効開口面積 [cm²]

Q : 通過風量 [m³/h]

たとえば、風量が 20m³/h の場合、ガラリ等の有効開口面積の目安は 30cm² 以上となる。

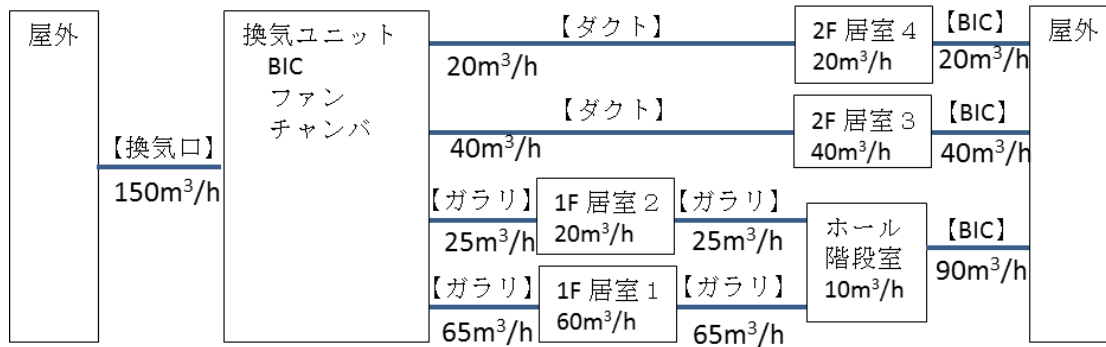


図 5-11 換気経路

表 5-5 各経路の圧力損失

経路 1				経路 2			
	風量 [m³/h]	圧力損失 [Pa]	備考		風量 [m³/h]	圧力損失 [Pa]	備考
屋外				屋外			
換気口	150	8	図 5-2	換気口	150	8	図 5-2
BIC	150	66	2 m²	BIC	150	66	2 m²
換気ユニット				換気ユニット			
ガラリ (2 個)	65	2	図 5-3	ガラリ	25	1.5	図 5-3
居室 1				居室 2			
ガラリ (2 個)	65	2	図 5-3	ガラリ	25	1.5	図 5-3
階段室				階段室			
BIC	90	10	5 m²	BIC	90	10	5 m²
屋外				屋外			
圧力損失合計		88	経路 1 全体	圧力損失合計		87	経路 2 全体

経路 3				経路 4			
	風量 [m³/h]	圧力損失 [Pa]	備考		風量 [m³/h]	圧力損失 [Pa]	備考
屋外				屋外			
換気口	150	8	図 5-2	換気口	150	8	図 5-2
BIC	150	66	2 m²	BIC	150	66	2 m²
換気ユニット				換気ユニット			
分岐・エルボ	40	4	4 か所	分岐・エルボ	20	1	4 か所
ダクト	40	2	100mm	ダクト	20	0.5	100mm
給気グリル	40	16	図 5-4	給気グリル	20	4	図 5-4
居室 3				居室 4			
BIC	40	12	2 m²	BIC	20	12	1 m²
屋外				屋外			
圧力損失合計 [Pa]		107	経路 3 全体	圧力損失合計 [Pa]		91	経路 4 全体

6. まとめ

本研究では、呼吸型DIシステムの実用化に向けて、最適な給排気の切替時間など呼吸型DIの設計資料を作成することを目的として、換気性能の実測や数値解析を行った。

2章では、呼吸型DIシステムを導入した実証実験棟の実測を行い、BICおよび外皮の有効開口面積を求めた。また、換気回数は切り替え時間が短いほど換気回数が小さい傾向があり、0.4~0.5回/hであることを示した。CO₂を用いた外気導入量の測定結果と換気ユニットの送風量の比を有効換気量率とした場合、その値は80~88%となった。

3章では、ホルムアルデヒドガスをトレーサーガスとして、排気に含まれる汚染質が室内に戻る可能性について実験を行った。ホルムアルデヒドガスはBICに40~50%程度吸着し、再放出率は1例を除き10%以下であった。BICを用いた呼吸型換気では、排気中のホルムアルデヒドの一部が室内に戻る可能性があることは否定できない結果となった。

4章では、呼吸型DIシステムを導入する際に必要な住宅の気密性能、BICの有効開口面積およびSRFについて検討した。実証棟の気密性能ではBICを通過しない換気量が多く、熱回収率は50%以下となる可能性が高かった。熱回収率を60%とするためには高气密化を行ったうえで、壁面のBICの有効開口面積を住宅の相当隙間面積（BICを除く）の2倍程度確保する必要があると考えられた。また、ファン給気時にSRFが1未満となる可能性があり、SRFを1とするためには、隙間からの空気の流出を考慮して設計風量を増やすか、ダクトで直接給気する必要がある。風量を増やすと熱損失が増加するので、各居室を換気ユニットとガラリまたはダクトで直接接続することが望ましいと考えられる。

5章では、設計のための資料として、換気経路と各部材の通気抵抗の例を示し、ファン選定のための圧力損失の計算例を示した。圧力損失を抑えるためには、BICの面積を十分大きくする必要がある。また、ガラリ等の有効開口面積[cm²]を「1.5×風量[m³/h]」以上とすれば、その圧力損失を2Pa以下にできる。

本換気システムは第2種換気と第3種換気の切り替え方式であるが、通気型無機断熱コンクリート（BIC）を通して給排気を行うため、排気中の汚染質の一部が室内に戻ることが懸念された。第1種熱交換型換気では、換気装置内のリークによる汚染質の戻りを考慮し、有効換気量率が定義されているが、本システムの呼吸型については定義がない。本研究において有効換気量率の検討を行ったが、明確にその値を示すことができず、測定方法の確立等、今後は、技術開発とともに有効換気量率、SRFや通気壁体の特性などの評価指標の開発が必要である。熱回収率は低下するが、居室には通常の換気口を設置し、ファンユニットのみで熱回収を行う第2種・第3種切替換気システムとすることも考えられる。

参考文献

- 1) Arvid Dalehaug・福島明・本間義規：Dynamic insulation in a wall, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No.66, pp.261-264, 1993.3
- 2) 河原大輔・樋山恭助・加藤信介・山本哲也・二川智吏・朝岡幸康：窓におけるダイナミックインシュレーション技術の適用, 第1報—熱箱及び実測による省エネ性能検証, 空気調和・衛生工学会論文集, No.211, 2014.10
- 3) 地方独立行政法人建築研究本部北方建築総合研究所:平成23年度調査研究報告集 調査研究報告 No.306「ダイナミックインシュレーションの高効率化の検討」、2012.3
- 4) 地方独立行政法人建築研究本部北方建築総合研究所:平成25年度調査研究報告集 調査研究報告 No.340「呼吸型ダイナミックインシュレーションの壁構造と省エネ評価に関する研究」、2014.3
- 5) S. Murata, T. Tsukidate, A. Fukushima, M. Abuku, H. Watanabe, A. Ogawa : Periodic alternation between intake and exhaust of air in dynamic insulation—Measurements of Heat and Moisture Recovery Efficiency, Proceedings of the 5th International Building Physics Conference (6thIBPC), 2015.6
- 6) 澤地孝男他：住宅用換気システムの換気性能評価に関する研究 その10 換気性能総合指標 OVRF の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.645-646, 1996.9