

住宅の局所換気技術に関する研究開発

野々村善民 田中幸彦
木村茂雄^{*1}

概 要

最近の集合住宅では各居室の気密性能が飛躍的に高まり、シックハウス症候群予防のため24時間換気量の確保が建築基準法で規定された。このような状況のもとで、必要な換気量を確保するために換気扇の能力のみを向上させた場合、室内外差圧が高くなり窓やドアの開閉に支障をきたす問題を誘起する。従って、各居室に設置する換気口の性能の向上が経済効率的な観点から有効な対策と考えられる。住宅の換気口は、屋外部、スリーブ、屋内部の3部品によって構成されている。一般に、屋内・屋外換気口部は、それぞれ独立に性能が評価されているだけで、一体化された換気口としての機能性能は評価されていないのが実状である。

本研究では、換気効率の高い換気口の開発を目的として、実際の集合住宅の1居室の気密特性を再現した換気実験装置を製作した。これに換気口を取り付けて換気量を測定することで換気口の性能を評価した。性能評価にあたっては新たに相当開口面積の指標を導入した。試験では市販の換気口に加えて、新たに設計・試作した換気口を用いた。得られた知見を以下に述べる。

1. 実際の集合住宅の居室の気密性を確保した、実空間レベルの試験装置を開発した。
2. 新たに設計・試作した換気口は、従来の換気口に比して、ほぼ同じ電力消費量の元で、最大67%近い換気量の増加が期待できる。

Research and Development for the Local-Ventilation Technology in Residential Buildings

Abstract

In recent residential buildings rooms have become relatively airtight. As a result, the installation of 24-hour ventilation systems has been regulated by the Building Standard Law of Japan in order to prevent so-called "sick house syndrome". However, where the ventilation performance of ventilation fans is only improved to secure necessary ventilation volume, issues can arise with opening and closing of doors and windows (caused by the high pressure difference between inside and outside of rooms). Consequently, improved performance of ventilation openings is economically beneficial. The openings for ventilation systems of residential buildings consist of three different parts: an outdoor part, sleeve part and indoor part. Generally, the performances of indoor and outdoor openings have been evaluated independently, and integrated evaluation has not been made.

In this development, we developed ventilation testing setup which closely models the actual airtightness characteristics of residential rooms, with the aim of developing a more efficient ventilation opening. The performance of ventilation openings was evaluated by attaching the ventilation openings to the developed equipment. In evaluating the performance, we propose a new parameter called "effective opening area". In the experiments, a newly designed and developed ventilation opening was used as well as commercially available ventilation openings. The following findings were obtained:

- 1) An experimental setup which can simulate actual room space and airtightness was developed.
- 2) The newly designed and developed ventilation opening is expected to have a ventilation volume increase of 67% compared to conventional openings with the same electricity consumption.

キーワード: 相当開口面積, 換気口,
換気実験装置

*1 神奈川工科大学 教授・工学博士

§1. はじめに

集合住宅の高気密に伴う弊害に対処するため、新築される集合住宅では 24 時間換気システムが設置されている。高いグレードの集合住宅では、アルミサッシの気密性が高まり、換気に伴う室内外差圧を解消するために、給排気連動ダンパーなどが積極的に導入されている。しかし、通常の集合住宅では、給気は換気口を通じて行われており、防音対策を講じた屋外換気口を採用した場合、換気口の抵抗(以下、 αA :相当開口面積)が大きくなる。住宅の換気口には、流量調整機能が重要であり、この機能を付加することにより、 αA が大きくなってしまふ。

換気口の構成部品は、①屋外換気口、②換気スリーブ、③室内換気口となっており、市販の各換気口の性能は、風量と静圧のグラフで示されている。屋外換気口と室内換気口は直列接続となり、その組み合わせは多数になるため、全体の換気口の αA の算出は困難になる。

文献 1)によれば、チャンバーに換気扇と換気口を設置し、風量と静圧を計測する。チャンバーのサイズは1辺の長さ換気扇の直径の 2.8 倍以上となっており、直径 30cm の場合、最低 54cm になる。実用上チャンバーの大きさは、実際の居室に比べかなり小さくなっているものと思われる。

本研究開発では実際の居室の広さと気密性を再現した換気実験装置を開発した。この換気実験装置を用いて、 αA に着目して換気口の性能を評価している。計測する αA は、厳密には隙間の影響を受けるが、換気設計を行う上で実用上差し支えないものと考えている。

本論文では、流体力学の観点から換気口の形状を検討し、換気口に要求される機能を満足させた独自の換気口を試作した。

N マンションは東京都内の超高層マンションである。レンジフードの排気量は、サーミスタ風速計を用いて、排気口近傍の風速分布を計測し、排気口面積を乗じて算出している。排気口近傍風速の測定周波数は 10Hz、測定時間は 15sec である。レンジフードの排気口(長方形、 $0.098\text{m}^2=0.07\times 0.14$)における測定点数は 32 点である。

表1 記号表

Q	: 換気量 (m^3/h)、排気量
αA	: 相当開口面積 (m^2)
α	: すきま係数
A	: 換気スリーブの断面積 (m^2) 0.0087m^2 (直径 $\phi 105\text{mm}$)
αA_o	: 隙間のみの相当開口面積 (m^2)
ΔP	: 室内外差圧 (Pa)

表2 N マンションにおける実測の概要

実測場所	東京都某区
建物規模	28階建、高さ94.473m(最高高さ) 住宅の戸数は161戸
調査住戸階数	3階、15階(基準圧測定階)、23階
調査住戸	床面積67.87 m^2 、天井高さ2.45m
構造	鉄筋コンクリート造
計測項目	室内外差圧、排気風量
計測機器	圧力計(長野計器 GC67) サーミスタ風速計(アイ電子 V-01-AND2) AD変換ボード(KEYENCE NR-250)

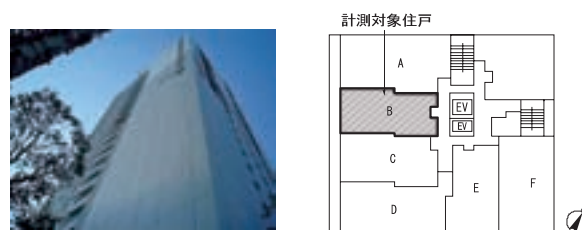


図1 N マンションの概要(基準階の平面図)

§2. 超高層集合住宅の気密性能の実測

2.1 相当開口面積

表 1 に記号表を示す。下式に αA の算出方法を示す。

実測の αA は排気量を 3 段階に変化させて算出している。後述する換気実験装置の場合では、排気量を 2 段階にして、 αA を算出している。

$$Q = \alpha A \times 3600 \times \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta P}$$

$$\alpha A = \frac{Q}{3600 \times \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta P}}$$

2.2 実測の概要

表 2 に、実測の概要を示す。図 1 および図 2 に気密性能の実測を行った建物(以下、N マンション)を示す。

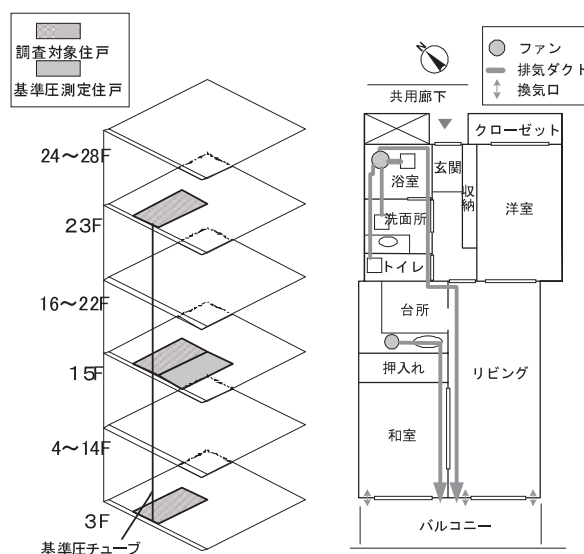


図2 調査対象住戸の配置と平面図

表3 換気設備の動作状況(室内外差圧の変動)

	No	Q (m³/h)	ΔP (Pa)	αA (m²)	α	換気扇		換気口		
						レンジフード	24時間換気システム	リビング	和室	
イ	case1	112.65	34.54	0.0042	0.48	弱	×	×	×	②
	case2	163.44	70.65	0.0042	0.49	中	×	×	×	
	case3	239.86	131.07	0.0046	0.53	強	×	×	×	
ロ	case4	131.35	10.14	0.0090	1.04	弱	×	○	○	①
	case5	205.79	24.31	0.0091	1.05	中	×	○	○	
	case6	322.47	56.73	0.0093	1.08	強	×	○	○	
ハ	case7	111.13	35.85	0.0040	0.47	弱	○	×	×	②
	case8	155.33	66.93	0.0041	0.48	中	○	×	×	
	case9	232.68	129.85	0.0044	0.51	強	○	×	×	
ニ	case10	126.64	14.67	0.0072	0.83	弱	○	○	○	①
	case11	194.71	25.61	0.0084	0.97	中	○	○	○	
	case12	312.45	54.86	0.0092	1.06	強	○	○	○	

実測実施日: 2004年11月22日

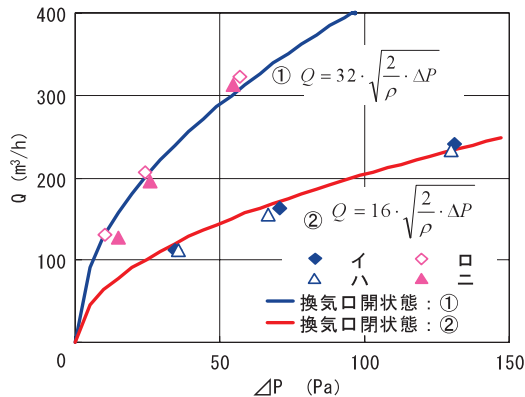
○: 開状態、オンの状態
×: 閉状態、オフの状態

図4 室内外差圧と排気量(3F)

24 時間換気の排気口(円形, $\phi 100\text{mm}$)における測定点数は4点である。図2に示すように, 測定対象住戸は3戸(3F, 15F, 23F)であり, 基準圧の計測場所は, 15Fの住戸内部である。基準圧を測定している住戸と測定対象住戸は, 長さ100mのビニールチューブで接続されている。その他の実験方法は文献1)と同じである。表3に, 換気設備の動作状況および室内用換気口の開閉による排気量の計測パターンを示す。換気扇の排気量の計測は, 3Fの測定対象住戸のみで行っている。

2.3 気密性能の実測結果

図3に表3に示す各実験ケースの室内外差圧(ΔP)と排気量(Q)を示す。実験ケースは合計12ケースがあるが, 図4と表3の左欄に示すように, ΔP と Q の傾向は大きく2つ(①:ロとニ, ②:イとハ)になる。①(ロとニ)の αA ($\times 3600$)は32になり, $\alpha A=0.0093$ になっている。②(イとハ)の αA ($\times 3600$)は16になり, $\alpha A=0.0044$ になっている。実測結果を用いて αA を算出した場合, 表3に示す24時間換気システムの排気量は無視できる量になっている。換気スリーブの直径が105mm($A=0.0087\text{m}^2$)とした場合, ①の α は1.027, ②の α は0.514になる。

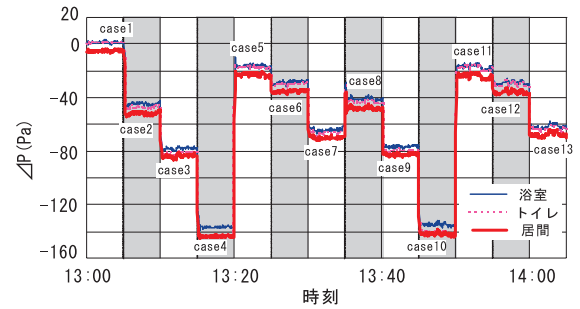


図3 室内外差圧の変動(3F)

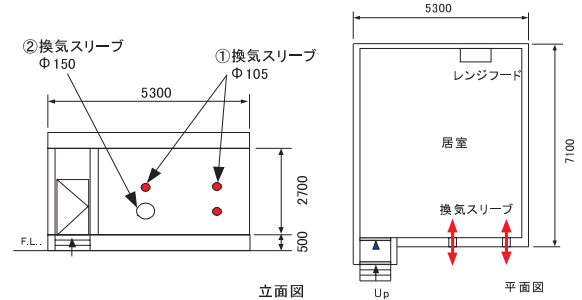


図5 換気実験装置



写真1 換気実験装置の外観

§3. 住宅換気実験装置の概要

3.1 換気実験装置の概要

実際の集合住宅の居室に相当する空間を確保した換気実験装置および容易に換気口の性能が比較できる相当開口面積に着目した試験方法を開発した。

写真1に換気実験装置の外観を示す。図5に換気実験装置の寸法を示す。換気スリーブの寸法および個数は実測の計測対象住戸と同じである。レンジフード(タカラスタンダード社, VU-90R)は計測対象住戸の場合と型番は異なるが, 同じ性能である。表4に換気実験装置に取り付けた計測機器を示す。

換気実験装置の気密性能を調整するために, 壁面に開口部(30cm $\times$ 10cm)を設けており, 引き違い戸により開口面積(以下, スリット面積)が調整できる。

3.2 実住戸の気密特性の再現

表5にNマンションで採用された換気口の型番などを示す。表5の換気口を換気実験装置の換気スリーブに取り付けた状況を写真2に示す。

表6に換気実験装置を用いてNマンションの気密特性を再現した結果を示す。レンジフードが強運転、スリット面積が 10cm^2 、室内換気口が開状態の場合、 $\alpha A = 0.0091$ になっている。室内換気口が閉状態の場合では、 $\alpha A = 0.0043$ になっている。

図6にNマンションの3F住戸の気密特性と換気実験装置の気密特性を示す。図中の2つの点線は実測結果を示す。スリット面積が 10cm^2 にした場合、実測結果と実験結果は概ね同じになり、Nマンションの一住戸における気密特性は換気実験装置において再現している。

3.3 換気実験装置の隙間の相当開口面積

換気実験装置の隙間は目視で確認できるものはコーキング材を充填し、換気実験装置の室内の壁、床および天井は水性ペンキを塗布している。

表7に換気実験装置を隙間のみの状態とした場合における排気風量、室内外差圧およびすきま係数を示す。

表4 換気実験装置に取り付けた計測機器

No.	計測機器名	メーカー名・型番
1	風量計	ウェットマスター・ニューエアロアイ AE150D
2	差圧計(風量計測用)	長野計器 GC63
3	差圧計(ダイアグラム)	MANOSTAR WO-80
4	差圧計	長野計器 GC62
5	電力計	KEYENCE NR250
6	AD変換ボード	HIOKI, 3168 CLAMP ON POWER HITESTER

表5 Nマンションの住戸の換気口(換気実験装置)

No	名称	内容
1	市販1(φ105mm) (西邦工業株式会社、SFX100S)	防風雨フード 屋外用
2	市販2(φ105mm) (西邦工業株式会社、RC100BMS)	防風雨防音フード 屋外用
3	市販3(φ105mm) (西邦工業株式会社、PRF100K)	流量調整機能付 室内用
4	市販4(φ150mm) (西邦工業株式会社、RC150BMS)	防風雨防音フード 屋外用
5	市販5(φ150mm) (西邦工業株式会社、PRF150K)	流量調整機能付 室内用



(1)市販 1



(2)市販 2



(3)市販 3, 市販 5



(4)市販 4

写真2 Nマンションの住戸の換気口(換気実験装置)

レンジフードの吸気口の面積を4段階に変化させて、排気量を調整している。スリット面積は 0cm^2 である。 αA_0 は概ね 0.0028 になっている。排気量に変化した場合でも、 αA_0 は概ね一定の値を示す。

図7に換気実験装置の隙間のみの Q と ΔP の関係を示す。換気実験装置の $\alpha A_0 (\times 3600)$ は 9.2 になっている。

表6 換気実験装置の気密特性の再現結果(Nマンション)

プロットの種類	レンジフード 運転状況	ΔP (Pa)	Q (m^3/h)	消費電力 (W)	αA (m^2)	α	スリット面積 (cm^2)	室内 換気口
◆	強	89.97	352	74.9	0.0081	0.93	0	○
◆	弱	36.79	209	45.1	0.0075	0.87	0	○
◆	中	79.72	334	73.2	0.0081	0.94	0	○
◇	強	73.46	358	76	0.0091	1.05	10	○
◇	中	69.86	346	74	0.0090	1.04	10	○
◇	弱	27.28	219	45.1	0.0091	1.05	10	○
●	強	179.82	209	65.3	0.0034	0.39	0	×
●	弱	98.78	126	42.1	0.0028	0.32	0	×
●	中	165.57	204	65.3	0.0034	0.40	0	×
○	強	158.56	248	65.3	0.0043	0.49	10	×
○	弱	78.30	160	43.8	0.0039	0.45	10	×
○	中	147.49	244	67.3	0.0044	0.50	10	×

○:開状態
×:閉状態

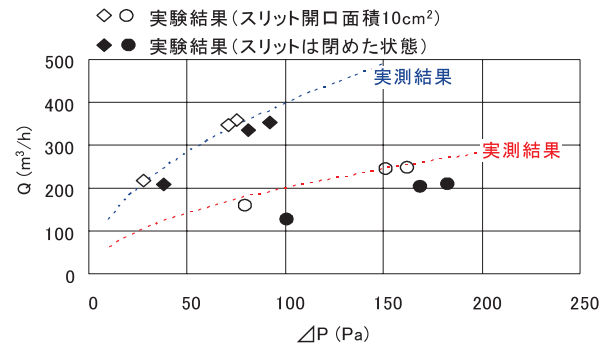


図6 換気実験装置の気密特性

表7 換気実験装置の隙間の相当開口面積

No.	レンジフード 運転状況	ΔP (Pa)	Q (m^3/h)	消費電力 (W)	レンジフード 吸気口の状態	αA_0 (m^2)
case1	強 弱	223 111	190 141	66.9 45.4	全開	0.0028 0.0029
case2	強 弱	207 108	179 141	66.9 44.9	2/3開	0.0027 0.0029
case3	強 弱	207 111	185 141	66.3 44.1	1/3開	0.0028 0.0029
case4	強 弱	202 109	179 133	66.6 43.8	全閉	0.0027 0.0028

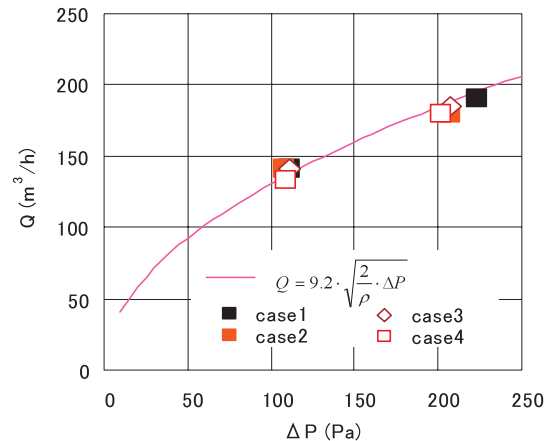


図7 換気実験装置の隙間の相当開口面積

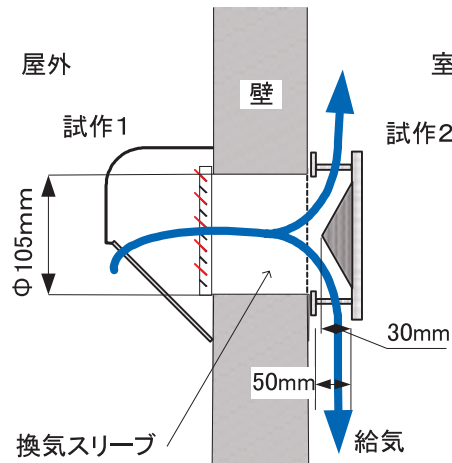
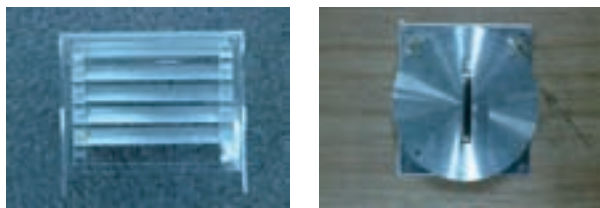


図8 試作換気口の形状



(1)試作1(屋外用) (2)試作2(室内用)
写真3 試作換気口の形状

§4. 試作換気口の開発

4.1 換気口の概要

換気口には、次に示す換気以外の流量調整、プライバシーの確保、防虫および防犯などの機能が要求されている。特に、室内側換気口では流量調整機能が必須であり、この機能を付加することにより、相当開口面積が大幅に減少している。本研究では、市販の換気口に要求される機能を満足させ、相当開口面積が大きくなるようにデザインを検討した。

図8および写真3に本研究で開発した試作換気口を示す。図中の試作1は屋外用換気口である。防犯機能として上向きのガラリが室外側換気スリーブに取り付けられている。試作2は室内用換気口である。拡風板と壁面の距離は0mm～50mmになり、流量が調整できる。

図9にらせん構造を有する換気口（以下、試作3）を示す。試作3は換気スリーブ内に挿入し、換気口のプライバシーを確保する。図10に試作3の展開図を示す。壁厚が薄い場合でも、利用できるようにらせん構造は、3重+3重になっている。

4.2 換気口の相当開口面積の比較

本研究で開発した試作換気口と§2で示すNマンションにて採用された市販換気口の換気性能の比較を行った。表8に試作換気口と市販換気口の実験ケースを示す。

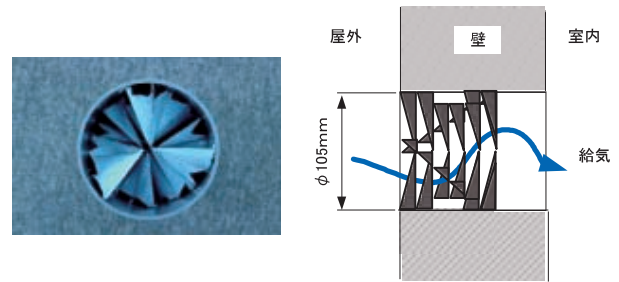


図9 試作3の形状

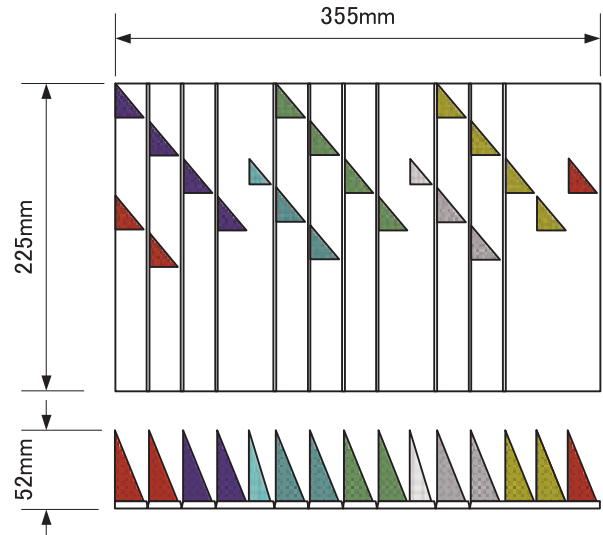


図10 試作3の展開図

表8 試作換気口と市販換気口の換気性能の比較

No.	レンジフード 運転状況	ΔP (Pa)	Q (m³/h)	消費電力 (W)	室外 換気口	室内 換気口	αA (m²)	α
case1	強	83.3	378.0	80.0	試作1	試作2	0.0090	1.040
	弱	35.2	227.0	48.4			0.0083	0.961
case2	強	99.6	355.0	77.9	試作1+3	市販3	0.0077	0.894
	弱	36.5	223.0	47.8			0.0080	0.927
case3	強	163.0	231.0	67.8	市販1	市販2	0.0039	0.454
	弱	81.0	168.0	43.6			0.0041	0.469
case4	強	177.0	213.0	66.9	市販2	市販3	0.0035	0.402
	弱	90.0	148.0	43.0			0.0034	0.392

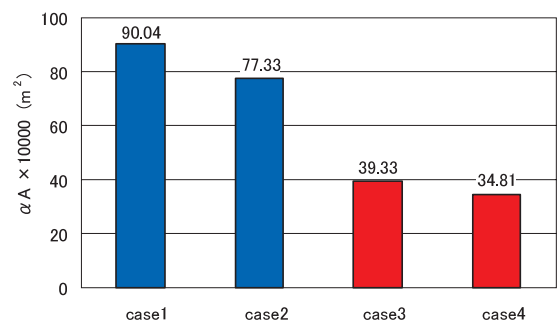


図11 試作換気口と市販換気口のαAの比較

試作換気口(case1とcase2)のαは、0.894～1.040になり、市販換気口(case3とcase4)のαは、0.392～0.469になっている。新たに設計・試作した換気口は、従来の換気口に比して、ほぼ同じ電力消費量の元で、最大67%(表8中case2/case4 強運転の場合)近い換気量の増加が期待できることがわかった。

図 11 に試作換気口と市販換気口の αA を示す。試作換気口の case2 の αA は 0.0077m^2 になり、市販換気口の case3 の場合 (0.0039m^2) に比べ概ね2倍になっている。case1 と case2 の αA の差は 0.0012m^2 になり、試作3を換気スリーブに挿入したことにより生じている。

4.3 換気量と消費電力の関係

一般のマンションのレンジフードは定格運転であるため、排気量は開口部と隙間の状況に応じて決まる。図 12 に表 8 に示す実験ケースの排気量とレンジフードの消費電力の関係を示す。

換気実験装置を集合住宅の一住戸とみなし、1 年間 (365 日) の換気に伴う消費電力量を試算した。表 9 に計算条件を示す。表 10 に、case2 と case3 を設置した場合の消費電力量 (kWh) と CO_2 排出量換算値 (kg-CO_2) を示す。文献³⁾から消費電力量からの CO_2 排出原単位は、 $0.436\text{kg-CO}_2/\text{kWh}$ (日本平均, 2003 年度) としている。一住戸あたりの換気に伴う消費電力量は僅かであるが、換気過多による空調負荷の増大になるものと思われる。集合住宅1棟または地域全体から見た場合、換気に伴う消費電力量は膨大なものとなると思われる。給気口の αA に対応した適正な換気扇の設計手法は、建築分野での CO_2 削減対策にとって重要となる。

§5. まとめ

本研究では、東京都内の超高層マンションの一住戸における換気量と室内外差圧を実測した。実測結果に基づく気密特性は換気実験装置において再現し、換気口の換気性能の試験方法について検討を行った。以下に得られた知見について示す。

- (1) 実際の集合住宅の居室の気密性を確保した、実空間レベルの試験装置を開発した。
- (2) 新たに設計・試作した換気口は、従来の換気口に比べて、ほぼ同じ電力消費量の元で、最大 67%近い換気量の増加が期待できる。

謝 辞 本研究の実施に当たり、神奈川工科大学木村研究室の山口聡氏 (2004 年度卒論生) および関野孝広氏 (2005 年度卒論生) に多大なご協力を頂きました。N マンションの実測では東京支店の皆様に多大なご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

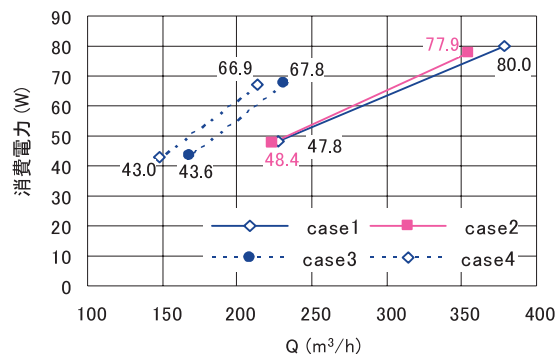


図 12 排気量と消費電力の関係

表 9 計算条件

項目	内容
換気口の個数	1 個
換気扇の強度	強運転
1 日当りの使用時間	2 時間
1 年間で窓が閉状態の日数	180 日
窓開放時の換気扇の消費電力	89W ($Q=459\text{m}^3/\text{h}$)

表 10 換気に伴う消費電力量と CO_2 排出量換算値 (1 年間)

実験ケース	消費電力量と CO_2 排出量
case2 (試作換気口)	61.0 (kWh) <26.6 (kg-CO_2)>
case3 (市販換気口)	57.3 (kWh) <25.0 (kg-CO_2)>

参考文献

- 1) 関野孝広, 野々村善民: 集合住宅における換気技術に関する研究 (その2), 換気実験装置を用いた換気口の性能比較, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.525-528, 2006 年 3 月。
- 2) 浅倉 誠, 野々村善民, 木村茂雄: 集合住宅における換気技術に関する研究 (その1), 高層集合住宅の室内外差圧の実測, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.711-712, 2005 年 8 月。
- 3) 東京電力の HP: <http://www.tepco.co.jp/eco/report/glb/01-j.html>, 2006 年 1 月



野々村 善民

ひとこと

住宅の換気は結露および化学物質過敏症などに有効な手段です。少しコストはかかりますが、フジタ独自の計画換気手法が構築できるようにしたいものです。