

#4659

1950

THE HISTORY OF THE CITY OF WASHINGTON - 1800

The city of Washington was founded in 1790 as the new capital of the United States. It was named in honor of George Washington, the first President of the United States. The city was built on a site that was chosen by the Continental Congress in 1790. The city was built on a site that was chosen by the Continental Congress in 1790. The city was built on a site that was chosen by the Continental Congress in 1790.



Fig. 1. A

The city of Washington was founded in 1790 as the new capital of the United States. It was named in honor of George Washington, the first President of the United States. The city was built on a site that was chosen by the Continental Congress in 1790. The city was built on a site that was chosen by the Continental Congress in 1790.

The city of Washington was founded in 1790 as the new capital of the United States. It was named in honor of George Washington, the first President of the United States. The city was built on a site that was chosen by the Continental Congress in 1790. The city was built on a site that was chosen by the Continental Congress in 1790.

室温・熱負荷計算における換気回路網計算法の 実測データによる検証

正会員 石 田 建 一*
正会員 宇 田 川 光 弘**

1. はじめに

近年、住宅は高断熱の傾向にあり、住宅の断熱化が進むにつれ換気が室温や暖冷房負荷に及ぼす影響は相対的に増加しつつある。そのようなことから、住宅の室温や暖冷房負荷予測のためのシミュレーションを行う場合、換気量の計算を考慮する必要がある、筆者らはこの計算に換気回路網計算を用いてきた^{1)~5)}。しかし、換気回路網計算の計算精度は十分に把握されておらず、計算精度を確める必要がある。

換気量の実測に関する研究は数多くなされているが、換気計算を実測値を用いて検証した研究は少ない。この中で、鎌田、加藤らは戸建て住宅の気密性と漏気量に関する研究⁷⁾において、建物主体の換気計算モデルを気密性と換気量の実測より検証し、Shaw の計算モデル⁸⁾の予測精度は比較的良好であることを述べている。また、吉野、長谷川らは単室の試験家屋を用いた換気実験⁹⁾から、建物全体の気密性能の測定値に基づいて周壁にすき間が一樣に分布していると仮定すれば、比較的良好な精度で換気量を予測できることを示した。これらの研究は建物全体を単室として換気量を求めることを目的としているが、室温・熱負荷計算では室別の換気量を必要とするため単室ではなく多数室の扱いとする必要がある。多数室の換気についての実測検証は浅野らにより戸建て住宅と集合住宅について行われているが^{10)~12)}、検証例が少ない。

一方、住宅のような内部建具を開けて開放的に生活することが考えられる建物では、空間換気による熱移動が建物内の室温分布や熱負荷に及ぼす影響は大きい。J. D. Balcomb, 山口により実測や模型実験等^{13)~14)}が行われているが、空間換気による熱移動量に関する研究自体が少なく、まだ十分に把握されていない面もある。

本報は室温・熱負荷計算に用いるための換気回路網計算法の計算精度を3棟の実験住宅の実測値を用いて検証したものである。検証は外気に対する換気量と室内建具

開放時の空間換気量の2つの場合に分けて行った。外気に対しては、加圧試験により実測した建物の気密性と実測風向・風速、外気、室温条件を基に換気量を計算し、CO₂トレーサースガス法による実測換気量と比較検討した。空間換気の検証は、建具の開口部の風速を熱線風速計で測定し、この風速より推定した換気量と実測条件を用いて計算した換気量を比較することにより行った。

2. 実験棟概要

実験棟⁶⁾は写真-1、図-1に示すような2"×4"工法、2階建て、延べ床面積120m²、容積約320m³の住宅である。実験棟は同一のプランで3棟並んで建てられており、西側からA, B, C棟とする。A, B棟は、断熱をグラスウール外壁150mm、屋根200mm、窓は2重カフスの高断熱で、床はRC土間床である。C棟はグラスウール50mmの一般断熱仕様で、床は木床構造で床下空間がある。小屋裏空間は3棟ともない。換気扇は実際



写真-1 実験棟

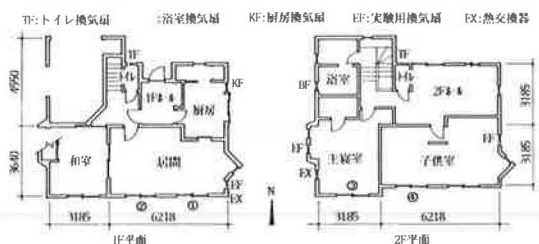


図-1 実験棟平面図

* 積水ハウス(株) 工学院大学客員研究員・工博

** 工学院大学 助教授・工博

(昭和 62 年 9 月 10 日原稿受理)

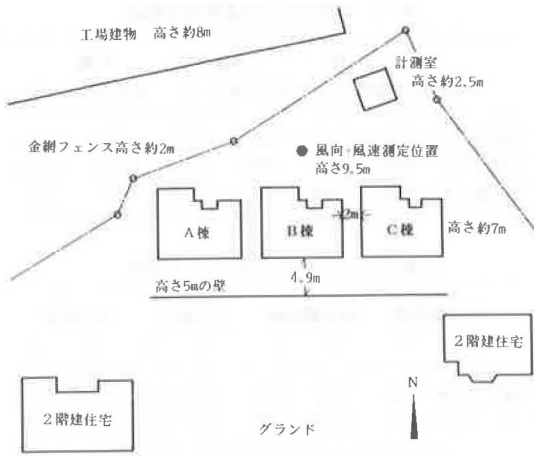


図-2 実験棟配置図

の生活に必要な厨房、トイレ、浴室に加え、居間、子供室、主寝室に実験用換気扇が取り付けられている。

実験棟は茨城県総和町（北緯 36°10′）の工場敷地内に建設されている。図-2 の配置図に示すように、建物南側はグランドとなっており南側に障害物はないが、市街地を想定した日照条件を作り出すために建物の南側 4.9 m 先に高さ 5 m の塀が設けてある。建物北側は約 15 m 離れて高さ約 8 m の工場の建物がある。また、隣棟間隔は狭く周囲には樹木もあり周辺には障害物が多い。

外部風速・風向の測定は、図-2 に示した実験棟と工場の建物の間、高さ 9.5 m のポール上で 2 次元超音波風速計により行った。外気温度はこのポールの高さ 1.5 m で通風型温度計により計測し、各室の室温は室中央床上 1.5 m の点で熱電対により計測した。

3. 換気回路網計算法

室温、外気、風向・風速が既知であり、換気系が室温・熱負荷の熱系とは別の系と考えると換気回路網計算は以下のように表される。

全室数を N_r 、計算対象室を j 室、隣室を m 室、 j 室の開口部数を N_{c_j} とし、 j 室の外気地表面を基準とする圧力を P_{r_j} [kg/m^2] とすると、開口部の圧力差 ΔP [kg/m^2] は温度差による圧力差と風力（外壁開口部）による圧力差の合成であり式（1）で定義される。

$$\Delta P_{ij} = DP_{mj} + DG_{mj} h_{ij} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{ただし、} DP_{mj} = \begin{cases} P_{r_j} - P_{w_{ij}} & (j \text{ 室, 屋外間}) \\ P_{r_j} - P_{r_m} & (j \text{ 室, } m \text{ 室間}) \end{cases}$$

$$DG_{mj} = \begin{cases} r_0 - r_j & (j \text{ 室, 屋外間}) \\ r_m - r_j & (j \text{ 室, } m \text{ 室間}) \end{cases}$$

$P_{w_{ij}}$: j 室 i 開口部における風圧 [kg/m^2]

$$P_{w_{ij}} = \psi_{ij} V_s^2 r_0 / 2g$$

ψ_{ij} : j 室 i 開口部の風圧係数

V_s : 風速 [m/s]

g : 重力加速度 [$\approx 9.8 \text{ m}/\text{s}^2$]

r_0 : 外気の比重量 [kg/m^3]

r_j : j 室空気の比重量 [kg/m^3]

ここで、正味の通過風量 Q_{ij} を上下方向の圧力分布を考慮しない水平開口部、圧力分布を考慮した垂直開口部、機械換気口の 3 種類に分類する。

1) 水平開口部

通過風量の方向として流出を正、流入を負とすれば、すき間、開口部の区別なく次式で表される。

$$Q_{ij} = \omega_{ij} (DP_{mj} + DG_{mj} h_{ij}) |DP_{mj} + DG_{mj} h_{ij}|^{1/n_{ij}-1} \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 ω_{ij} : j 室 i 開口部の流量特性を表す係数

$$\omega_{ij} = \begin{cases} 3600 A_{ij} \alpha_{ij} \sqrt{2g/\tau_m} & \dots (\text{開口}) \\ b_{ij} L_{ij} & \dots (\text{すき間}) \end{cases}$$

A_{ij} : j 室 i 開口部の開口面積 [m^2]

α_{ij} : j 室 i 開口部の流量係数

b_{ij}, n_{ij} : サッシ定数 [$\text{m}^2/\text{hmmAq}^{1/n}$]

L_{ij} : すき間長 [m]

h_{ij} : j 室 i 開口部の基準面（地表面）よりのすき間または開口部までの高さ [m]

2) 垂直開口部（圧力分布を考慮した正味の通過風量）

垂直開口部の通過風量は、温度差によって生じる高さ方向の圧力勾配によって開口部上下において流入、流出が同時に生じる場合があり、圧力勾配を考慮した正味の通過風量を求める必要がある。室温熱負荷計算では室温を仮定の 1 点で代表させているため温度差による圧力勾配は高さ方向に対し線形となるから、垂直開口部の通過風量は式（2）を高さ方向に積分した正味の通過風量の式（3）を用いる。

$$Q_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_{ij}+1} \cdot \frac{\omega_{ij}}{L_{ij} DG_{mj}} |DP_{mj} + DG_{mj}(h_{ij} + L_{ij})|^{1/n_{ij}+1} - |DP_{mj} + DG_{mj} h_{ij}|^{1/n_{ij}+1} \dots \dots \dots (3)$$

ただし、 L_{ij} : すき間長または開口部高さ [m]

h_{ij} : j 室 i 開口部の基準面（地表面）より開口部下端までの高さ [m]

3) 機械換気

厨房換気扇のような機械換気のある開口部では、ファンの静圧と風量の関係から開口部の換気量を内外差圧の関数に近似する。

$$Q_{ij} = a_{0,ij} + a_{1,ij} \Delta P_{ij} + a_{2,ij} \Delta P_{ij}^2 \dots \dots \dots (4)$$

ただし、 $a_{0,ij}, a_{1,ij}, a_{2,ij}$: 換気扇性能を表す近似関数の係数

この近似関数の次数は 2 次以上でもよいが、ファンの静圧と風量の関係はファンを排気とすれば、差圧は負、流量は正の場合のみ示されているのが一般的であり、実験等によって特にデータが得られている場合を除き、風向により逆流する場合や、追風で排気量が増加する場合のデータは得られておらず、得られるデータでそれらの場合を推定することにする。したがって、次数を増やして

も精度が上がる保証はなく、むしろ逆流や追風の場合に誤差を増す可能性があり、ここでは2次関数とする。

j室における風量収支はj室i開口部の正味の通過風量を Q_{ij} [m³/h] とすれば、各室において風量収支は0となるから

$$\sum_{i=1}^{N_{Cj}} Q_{ij} = 0 \dots \dots \dots (5)$$

式(5)に開口部の通過風量式(2)~(4)を代入すれば、空間相互換気により各室が関連付けられ、各室の室内圧力 P_r を変数とする室数の次元の非線形連立方程式となる。これをNewton-Raphson法を用いて解き、室内圧力が得られれば式(2)~(4)により開口部の通過風量を求めることができる。ここで、Newton-Raphson法は初期値が適当でなかったり、換気駆動力が偏在していた場合には収束し難い傾向があり、初期値の推定や緩和係数の適用などにより収束性を高める方法を用いた⁵⁾。

4. 外気に対する換気量の検証

4.1 気密性能の測定

ここでは換気回路網計算に用いるサッシ定数、開口部流量係数を得るために建物全体とサッシについては昭和58年11月23~25日、換気扇については昭和62年8月3~4日に気密試験を行った。

厨房サッシのガラスをダクト付きアルミ板と交換し、このダクトから送風機(1)で送風する加圧法によって気密性能を求めた。ここで、気密試験方法には室内を正圧にする加圧法と負圧にする減圧法があり、減圧法はサッシのしめ合わせ部分などが閉まる方向に力が加わるため、加圧法に比べ漏気量が減少する傾向にあるが、加藤ら¹⁵⁾は一般の戸建て住宅では両者に漏気量の差がほとんど無いことを村上¹⁶⁾も単室の場合は減圧法が加圧法に比べ漏気量は少なくなるが建物全体を対象として測定した結果では大差ないと述べており、ここでは加圧法のみとした。内外圧力差の測定は測定レンジ0~5 mmAqの微差圧計を用い、風量の測定にはJIS B 8330に準ずるオリフィスを使用して求めた。

測定は3棟それぞれについて以下の3モードを行った。

- 全閉モード) 換気扇を全てシール
- 生活モード) 一般の生活に必要な厨房、トイレ、浴室の換気扇はそのままだ、実験用換気扇をシール
- 全開モード) シールをまったく行わない

なお、気密性測定中は内部建具は全て開放とした。

測定結果を表-1に示す。ここで αA は内外差圧を1 mmAqとしたときの有効すき間面積、 n はすき間の気密特性を表すべき指数。気密性は同一プランであるがC, A, B棟の順で良い。特に全閉モードではC棟に比べ

表-1 建物全体の気密性の実測値

	A棟		B棟		C棟	
	αA (cm ²)	n	αA (cm ²)	n	αA (cm ²)	n
全閉モード	466	1.49	573	1.57	403	1.44
生活モード	660	1.54	679	1.78	619	1.68
全開モード	806	1.65	871	1.78	748	1.71

表-2 サッシの通気特性の実測値

	①居間東側		②居間西側		③主寝室		④子供室	
	b	n	b	n	b	n	b	n
A棟	4.09	1.54	4.42	1.54	2.93	1.57	2.86	1.56
C棟	2.23	1.54	3.34	1.76	3.18	1.48	2.45	1.47

※○の数字は図1中のサッシを示す

表-3 換気扇非作動時の通気特性

	αA (cm ²)	n	換気扇面積(m ²)	流量係数 α
トイレ換気扇	37.0	2.38	78.5	0.47
浴室換気扇	51.0	1.99	134.3	0.38
厨房換気扇	102.5	2.87	490.0	0.21
実験用換気扇*	(45.0)	2.0	78.5	(0.57)

*実験用換気扇は測定しなかったため全閉モードと生活モードの気密性の差より推定

A棟は16%, B棟は42% すき間が大きく、生活モードでは各棟間に差は少ないが、全開モードではC棟に比べA, B棟はそれぞれ8%, 15% すき間が大きい。

窓サッシを覆うチャンバーをビニールシートにより作成し、送風機(1)により建物全体を加圧しながらサッシを覆うチャンバー内を室内圧力と同じ圧力になるように別の送風機(2)で加圧し、そのときの内外差圧と風量からサッシのすき間特性を測定した。測定した部位は代表的な居間(東西)、主寝室、子供室のサッシであり、A, B棟は同じサッシを使用しているためA, C棟について計測した。表-2は計測結果をサッシすき間長さ当たりのサッシ定数として表したものである。主寝室、子供室のサッシについては気密性の差は少なく10%程度であるが、居間のサッシについてはA棟はC棟に比べ25~45% すき間定数が大きく気密性は良くない。これより、床下空間があるC棟が床下空間がないA, B棟に比べ気密性が良い原因は主にサッシ気密性の差であることが分かる。

建物全体の気密試験において換気扇にシールを貼り、シールを順次はがしながら気密性を測定する方法によって、換気扇の停止時の通気性を測定した。その結果を表-3に示す。換気扇面積はトイレ、実験用換気扇については取り付けダクト面積、浴室、厨房換気扇は見かけの開口部面積とした。有効すき間面積 αA と開口面積から

流量係数 α を算出すると、ガラリ等があるため流量係数 α は 0.5 以下となり、特に厨房換気扇では停止時にシャッターが閉まるため 0.2 である。

4.2 換気量測定

換気量は従来から行われているトレーサーガスに CO_2 を用いた減衰法によって測定した。実験は内部建具を全て開放し、 CO_2 を 8 台の扇風機により攪拌させながら 2% 程度になるまで建物内に放出した。扇風機を停止させた後、約 1 時間、居間、和室、子供室、主寝室、2 階ホールの 5 点で CO_2 の濃度減衰を測定した。実験は冬季、夏季ともに各棟、各モードそれぞれ 2 回ずつ計 36 回行った。夏季の実験では各室のデータを 2 分ごとにサンプリングし、加えて 5 点の混合ガスもサンプリングした。建物内濃度分布の例として B 棟生活モードの濃度減衰を図-3 に示す。各室の濃度に 0.1~0.15% の差はあるが CO_2 の減衰はほぼ同じである。換気回数の算定は、 CO_2 濃度は各点を同時に測定できないため、各点ごとに最小 2 乗法により CO_2 の減衰曲線を求め、

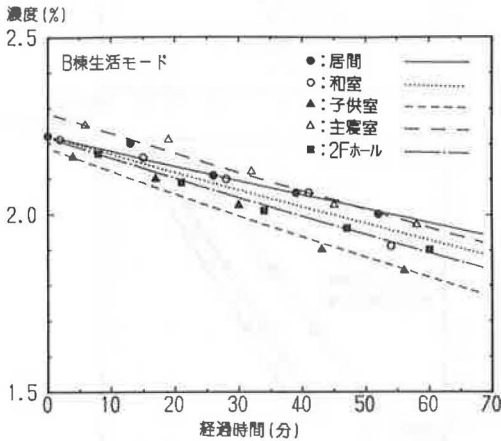


図-3 自然換気時の建物内 CO_2 濃度分布

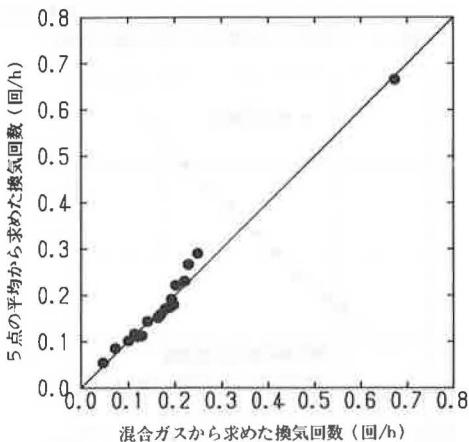


図-4 5 点の平均から求めた換気回数と混合ガスから求めた換気回数の関係

この減衰曲線から同時刻の 5 点の平均濃度を計算し、さらにこの平均濃度から最小 2 乗法により求めた換気回数を建物全体の換気回数とした。図-4 は、この 5 点から算定した換気回数と 5 点の混合から求めた換気回数の関係である。この両者に誤差は少なく、5 点の混合サンプリングにより平均のサンプリングが行えることが示されている。これより冬季実測ではサンプリングは 5 点の混合のみとした。

測定条件は風速 0.3~7.0 m/s、室内外温度差は夏季では温度差はほとんどなく 2~3°C、冬季では 10°C 程度であった。夏季、冬季の全データの風速と換気回数の関係を図-5 に示す。全体的に見ると風速の増加とともに換気量は増加する傾向にあるが、強い傾向を示してはいない。同じ風速でも換気回数が異なるのは室内外温度差および風向の影響と考えられる。

厨房換気扇作動時の換気回数の測定は内部建具を閉め、生活モード、全開モードの 2 モードを A、C 棟について計 4 回行った。測定方法は建物全体の換気回数の測定と同様である。換気量の算定は室内建具を閉めたため

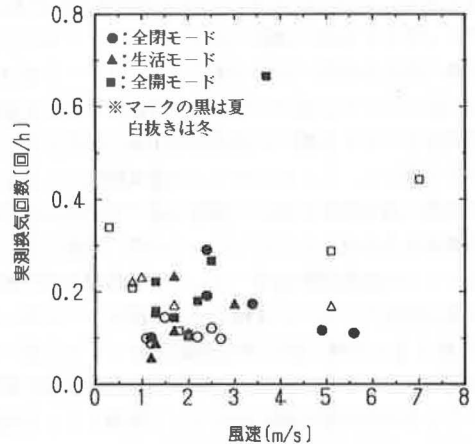


図-5 風速と実測換気回数の関係

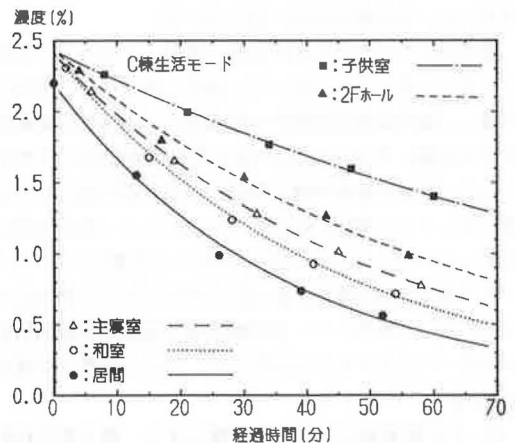


図-6 厨房換気扇作動時の建物内 CO_2 濃度分布

図-6に示すように各室の濃度差が大きく建物全体としての算定は困難であり、各測定点ごとの算定とした。室相互の換気により濃度減衰は他の室の影響を受けるため各室の濃度減衰が直接各室の換気回数とはならないが、この場合は厨房換気扇による強制換気で換気扇以外は外気を吸気側であり、換気経路が明確であるため、各測定点の濃度減衰はほぼ各室の換気回数と一致すると考えた。換気回数の全体傾向は1階の居間、和室が2階の室に比べて多く、居間、主寝室、子供室の実験用換気扇のシールをはずした全開モードではこれらの室の換気回数が増加している。

4.3 換気回路網計算結果の検討

建物の気密性のデータはサッシの通気特性の実測値を基に作成したが、サッシの通気特性の実測値をそのまま用いると、2"×4"工法による気密性の良い建物であるが壁と壁、壁と天井等のサッシ以外のすき間のために建物全体の気密性は実測値に比べて約5~20%小さくなる。これは、サッシ、出入口などのすき間のほかに、壁と壁、壁と天井等のように目に付きにくいすき間があるためである。この目に付きにくいすき間をEtheridge¹⁷⁾はサッシ等のすき間とは別に扱っているが、このすき間の分布の測定は建物の内側全体にビニールシートをすき間なく貼り付ける必要があるなど、複雑なプランを持つ実際の住宅ではすき間の分布状態を正確に把握することはかなり難しく、ここではサッシの通気特性にこのようなすき間の通気特性を含ませ建物全体で気密性の実測値と計算値を合わせるようにした。この際、建物ごとに全てのサッシの通気特性は同一とした。作動停止時の換気扇の通気特性についてはA棟のみしか測定していないがB、C棟ともにA棟と同じ換気扇を使用しており同一の値を使用した。また、寝室、居間の熱交換器形換気扇についてはその他の換気扇に含むとして無視した。気密性の実測値と計算で使用した値の関係を図-7に示す。B棟全閉モードではわずかに計算用設定値が実測値に比べ小さいが、その他はほぼ一致している。

換気回数の計算は実測の風向、風速、外気温度、室温を入力データとして計算した。風向・風速は1分間隔で計測し、風向は測定時間内の最多風向、風速は計測時間内の平均値、外気・室温は30分間隔の瞬時値の平均値とした。風速は建物周囲に障害物が多く市街地とし計測値に対して1/3乗則が成り立つものとした。風圧係数は測定していないため、周囲の状況から文献²⁰⁾の建ぺい率と風圧係数の関係を参考にHASP/ACLD用のものを1/2にして使用した。厨房換気扇の性能は性能試験図から図-8に示すものを作成した。また、計算では建物を10室として扱った。

図-9に計算値と実測値の比較を示す。換気量の比較の少ない0.1~0.2回/hの場合には、計算値は実測値の

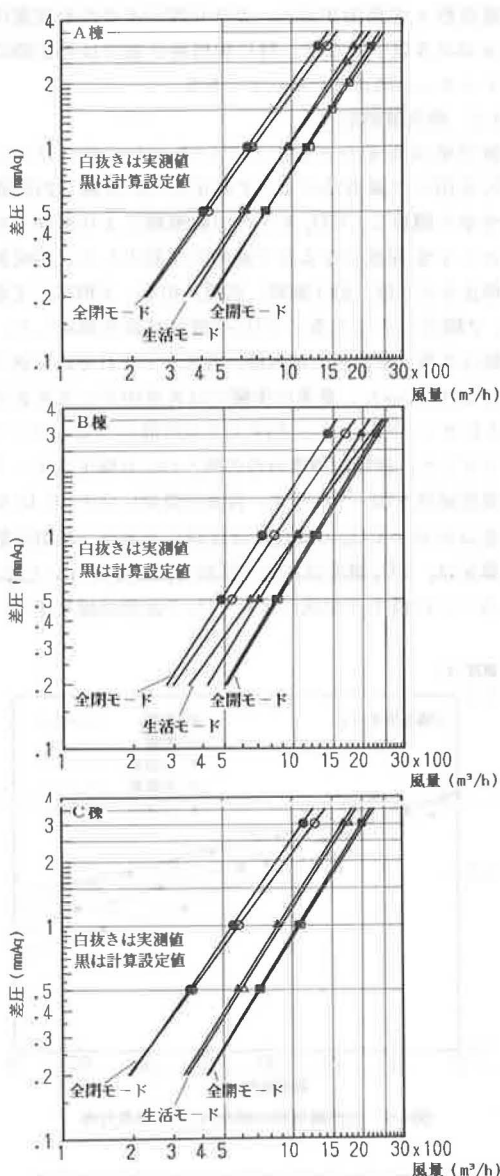


図-7 気密性の実測値と計算設定値の関係

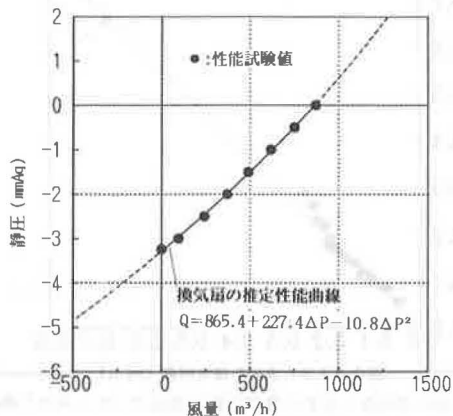
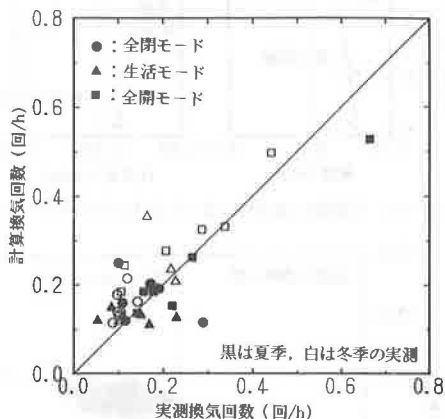


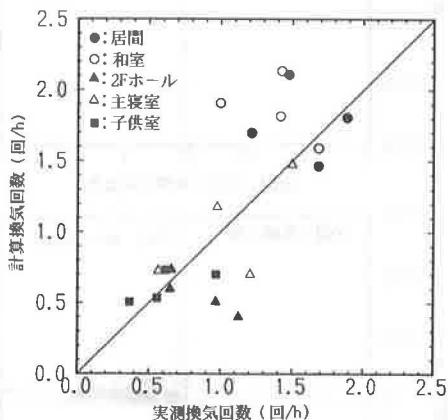
図-8 厨房換気扇の性能曲線

表—4 厨房換気扇作動時の換気回数測定結果

棟	モード	風向	風速 (m/s)	外気温 (°C)	室温 (°C)	換気回数 (回/h)				
						居間	和室	2Fホール	主寝室	子供室
A	生活	SE	0.9	11.4	21.5	1.21	1.47	0.66	0.57	0.37
A	全開	NW	1.4	10.3	18.8	1.58	0.98	0.64	1.01	0.62
C	生活	SW	2.8	13.2	21.9	1.74	1.44	0.98	1.21	0.56
C	全開	MNW	5.1	7.6	20.3	1.96	1.73	1.14	1.49	0.98



図—9 自然換気時の換気回数の実測値と計算値



図—10 厨房換気扇作動時の換気回数の実測値と計算値

1/2 や 2 倍等大きく違う場合があるが、計算値の実測値に対する大小のばらつきは平均しており全体的な傾向は良く一致している。計算の精度を比較するため、表—4 に実測値と計算値の平均値と標準偏差を示す。対象項目としては全データ、風向別、棟別、モード別、風速別とした。これより全ての項目について平均すれば標準偏差は 35 % 程度である。

図—10 に厨房換気扇作動時の各室の計算値と実測値の比較を示す。換気回数自体には 0.4 回/h 程度の誤差があるが居間、和室の換気回数が多く、子供室、主寝室が少ない全体としての傾向は良く一致している。

この結果は換気回数自体が小さく計測誤差を考慮すればほぼ満足できる結果である。

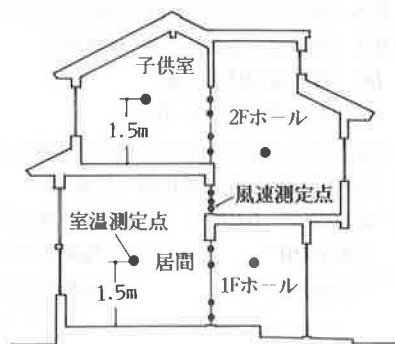
5. 空間換気量および移動熱量の検証

5.1 実験方法

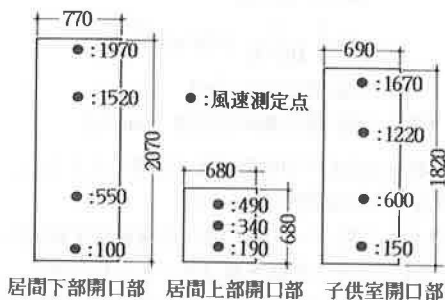
実験はA棟で行い、4 kW の電気ヒータを居間に設置し、内部建具を開放することにより居間、厨房、子供室、1, 2 階ホールの 5 室を暖房した。暖房設定条件は 20°C で終日とし、昭和 62 年 3 月 12~17 日に行った。空間換気量はそれぞれの建具の開口部で熱線風速計を用いて測定した。風速は図—11, 12 に示すように、居間と 2 階ホールの開口部では上中下の 3 点としたが、それ以外は 1 開口部当たり 4 点とした。また、風速計では風向が測定できないために、それぞれの風速測定点で流入出の方向を測定するために風向判定器を取り付けた。これは、図—13 に示すように長さ 15 cm の塩ビパイプ中央に発熱体（豆電球）を置き両端 1.5 cm の場所で熱電対により温度を計測するもので、風向きは風下側の温度が高くなることにより判定する。

5.2 実測結果

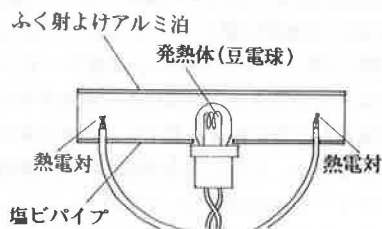
風速の測定は上下各 2 点ずつであったため、風速プロ



図—11 風速、室温測定位置



図—12 風速測定位置



図—13 風向判定器

フィールドより流入量の算定を正確に行うためには点数が不足であり、以下の方法により実測風速のプロファイルを推定し風量の算定を行った。

開口部の圧力差と風量の関係より有効面積 $\alpha A=1$ として導かれる式 (6) により開口部左右の圧力差を計算する。

$$\Delta P_k = \frac{\gamma}{2g} \cdot V_{s_k}^2 \dots \dots \dots (6)$$

ただし、 ΔP_k : 実測風速から求めた k 点の左右の圧力差 [mmAq]

γ : 開口部左右の空気の平均容積比重 [kg/m³]

V_{s_k} : k 点の実測風速 [m/s]

開口部左右の圧力差の変化は上下方向に室温分布が線形であればほぼ直線となすことができるので、最小2乗法により開口部の上下方向の圧力分布直線を推定し DPL , DG を求める。

$$DP_k = DPL + DG \cdot h_k \dots \dots \dots (7)$$

ただし、 DP_k : 推定した k 点の左右の圧力差 [mmAq]

DPL : 開口部下端の圧力差 [mmAq]

DG : 開口部の圧力勾配

h_k : k 点の計測高さ [m]

式 (7) の結果からト下方向の圧力分布を考慮した換気量計算式 (8) を用いて流入流出量を計算する。

$$Q = \phi(DPH^{1.5} - DPL^{1.5}) \quad (\text{中性帯無し})$$

$$= \begin{cases} \phi \cdot DPH^{1.5} & (\text{中性帯上部}) \\ \phi \cdot DPL^{1.5} & (\text{中性帯下部}) \end{cases} \dots \dots \dots (8)$$

ただし、 Q : 開口部の通過風量 (記号は正が流出、負が流入) [m³/h]

$$\phi = \frac{2}{3} \frac{1}{DG \cdot H} 3600 \alpha A \left(\frac{2g}{\gamma} \right)^{0.5}$$

H : 開口部の高さ [m]

DPH : 開口部上端の圧力差 [mmAq]

流量係数 α は山口¹⁴⁾の実験結果を参考に0.6とし、この通過風量 Q を実測換気量とした。

居間と1, 2階ホール間の開口部風速測定結果の一例を図-14に示す。居間室温はホールに比べ高く、空気循環は上部開口部から2階ホールへ流出し、階段室を経て居間下部開口部より流入する経路となる。風速の実測値と推定値は上部開口部においては良く一致しているが、下部開口部では床上1.5mの風速が一致していない。これは、この高さは中性帯付近で流れが少なく、低風速では風速計の測定精度が低下し、加えて風向判定が難しいためである。しかし、全体的には実測風速と推定風速プロファイルはほぼ一致している。

居間、ホール間について計測期間中の30分ごとの計測結果を図-15に示す。これより温度差1°Cの場合、

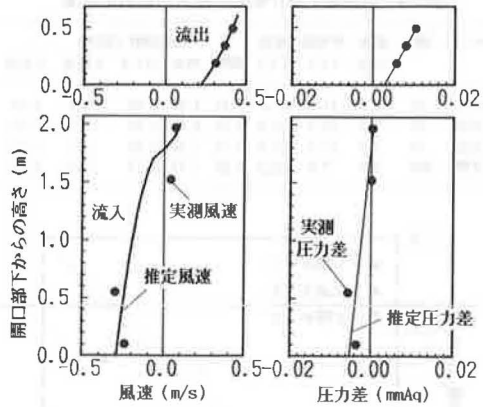


図-14 居間開口部速度分布 (3月12日8時30分)

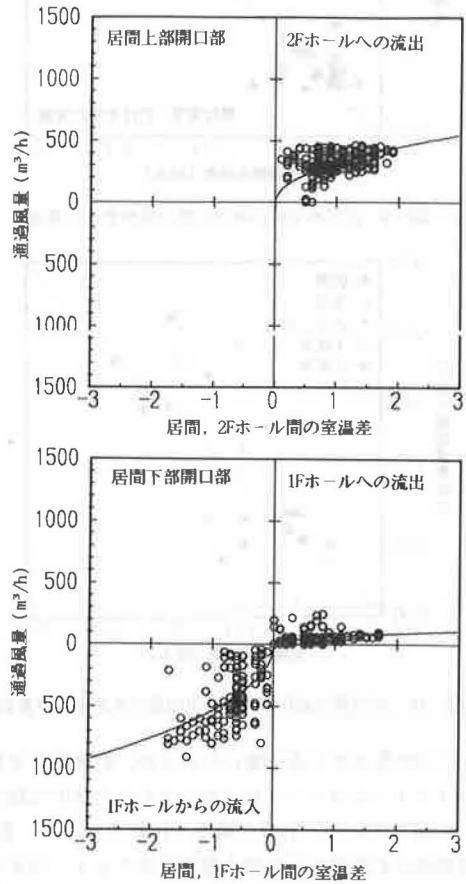


図-15 居間、ホール間換気量

居間から2階ホールへの流出量は300~500 m³/h、1階ホールからの流入量は500~800 m³/hである。また、温度差が小さい場合、計測値にばらつきが多く室温差が0°Cとなっても室間換気量は0 m³/hとはならない。これは、室温の計測高さは1.5 mであるが、計測点での温度差がなくても実際には上下温度分布が存在し室温差が発生することや流量の減少により風速が低下し風速計の計測誤差が大きくなるためである。

空間換気量と温度差から移動熱量を次式により求める。

$$q = Cpr \cdot \Delta T \cdot Q \dots \dots \dots (9)$$

ただし、 q ：移動熱量 [kcal/h]

Cpr ：空気の容積比熱 [kcal/m³°C]

ΔT ：空間温度差 [°C]

図-16に居間、ホール間の移動熱量を示す。空間換気では温度差が小さな場合にばらつきが大きかったが、熱量では温度差が小さい場合には小さくなるから、温度差に対する移動熱量の傾向は明確になる。温度差が1°Cの場合、2階ホールへの移動熱量は約100 kcal/hであり、1階ホールからの流入量は約200 kcal/hである。

5.3 換気回路網計算結果の検討

計算に使用したA棟の建物データは4. で用いた気密性を実測値と一致させたものをそのまま用いた。計算時間間隔は30分とし、外部風向15分間の最多風向、風速は15分間の平均値、外気温・室温は30分間の瞬時値を使用した。また、建具の流量係数は実験値同様0.6を用いた。

図-17は計測期間全体の移動熱量と換気回路網計算から求めた移動熱量の比較である。居間の移動熱量は実

測値が計算値に対して上部開口部で約20%、下部開口部では約25%大きい。この原因は計算では室温の上下温度分布を考慮していないが、実際には上下温度分布が存在し床上1.5mの室温を用いた温度差よりも開口部上下では温度差が大きくなる。しかし、この計算値は安全側であるとともにシミュレーションでは温度分布を考慮していない等から実用的範囲内であると考えられる。子供の建具では逆に計算値は実測値の約2倍となる。これは、図-18に示すように子供室が直接（この場合

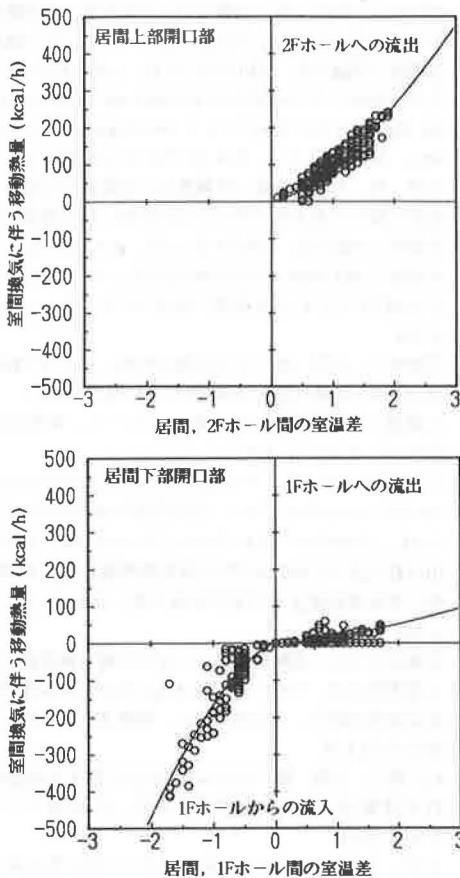


図-16 居間、ホール間空間換気に伴う移動熱量

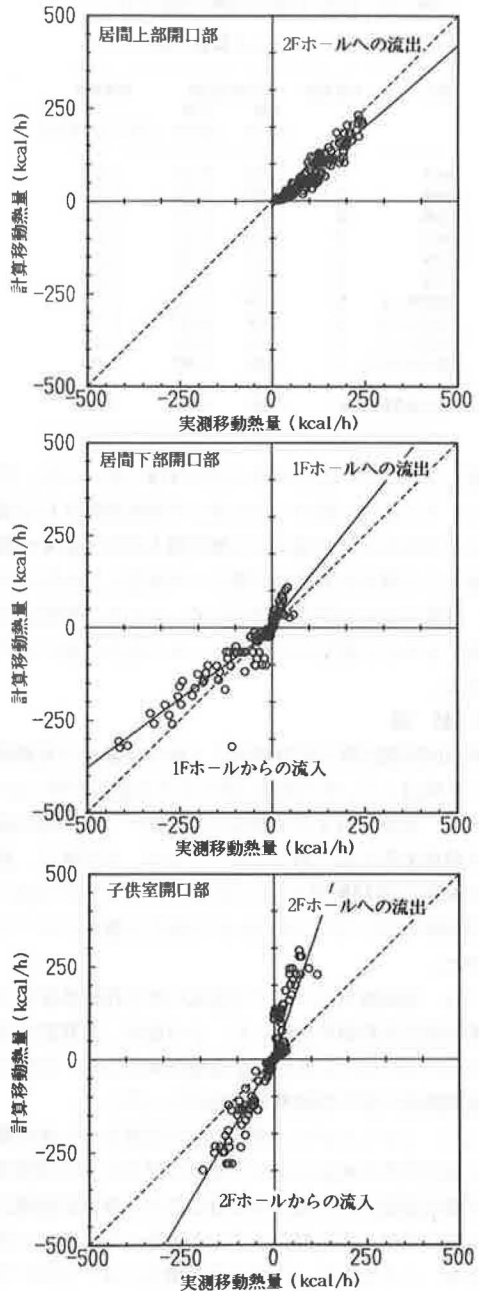
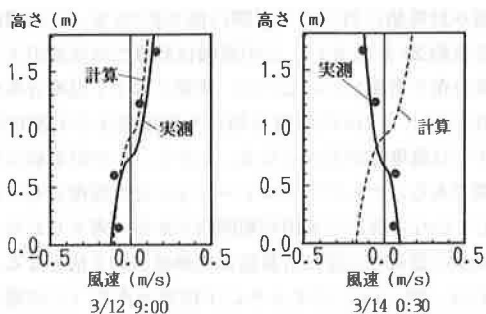


図-17 実測移動熱量と計算移動熱量の比較



図一八 実測と計算室間換気風速プロフィール

表一五 実測値と計算値の標準誤差

項目	対象個数 N	平均換気回数		標準誤差 $\sqrt{(Y_i - X_i)^2 / (N-2)}$
		実測 $\sum Y_i / N$	計算 $\sum X_i / N$	
全体	36	0.182	0.194	0.070
南風	15	0.220	0.214	0.092
北風	21	0.155	0.180	0.055
A棟	12	0.236	0.227	0.078
B棟	12	0.136	0.150	0.070
C棟	12	0.275	0.205	0.076
全閉モード	12	0.136	0.139	0.071
生活モード	12	0.146	0.167	0.079
全開モード	12	0.261	0.275	0.075
風速3m/s以上	8	0.266	0.287	0.105
換気扇作動時	20	1.101	1.166	0.432

日射) 加熱される場合は流入気はほぼ一致するが、戸間のヒータにより2階ホールを通して間接加熱される場合では、空気の上昇気流により建物最上部の子供室に暖気が流入し子供室の室温は2階ホール室温よりも高くなるが、計算では完全混合を想定しているため子供室の室温が高くなると子供室から2階ホールへ流出が起きるためである。

6. 結論

換気回路網計算の計算精度を3棟の実験棟の実測値を用いて検討した。その結果、次のような結論が得られた。

(1) 外気に対する予測値は気密性データ、風圧係数を試験結果等を基に適切な値にとれば、自然換気、換気扇作動時の強制換気ともにCO₂トレーサガス法による実測値に対し平均35~40%の誤差で推定することができた。

(2) 室間換気については換気に伴う移動熱量について実測値と計算値を比較した。その結果、計算値は実測値に比べ20~25%小さくなる傾向があるが、全体的には室間換気に伴う移動熱量の傾向は一致した。

(3) しかしながら、建物下部に設置された暖房機により建物全体を暖めるような空気の浮力により建物最上部が最も高温になる場合等に対しては、換気回路網計算では室内空気を完全混合モデルと仮定しているため表現できないこともある。このような場合には、室内の気流を考慮した別の計算モデルを考える必要があるが、同

時にこのような場合の予測誤差が室温・熱負荷にどの程度影響するか総合的に検討する必要がある。

参考文献

- 1) 宇田川光弘, 石田建一: 自然通風により室温調整のシミュレーションによる検討, 日本建築学会大会梗概集, 昭和55年9月, p. 585~p. 586
- 2) 宇田川光弘, 石田建一: 換気と自然通風を考慮した住宅の熱負荷シミュレーション, 日本建築学会大会梗概集, 昭和57年10月, p. 715~p. 716
- 3) M. Udagawa, K. Ishida: Development of a simulation program for heat loads and room temperatures of residential building, Proceedings of 4th International Symposium on The Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings, 1983. 3, p. 207~p. 212
- 4) 石田建一, 宇田川光弘: 換気を考慮した住宅用室温・熱負荷シミュレーションプログラムの検証, 日本建築学会大会梗概集, 昭和60年10月, p. 847~p. 848
- 5) 石田建一, 宇田川光弘: 換気及び室内相互ふく射を考慮した多数室室温・熱負荷法, 日本建築学会論文報告集第381号, 昭和62年11月, p. 46~p. 55
- 6) 宇田川光弘, 石田建一, 渋谷洋明: 実用プッシュソーラーハウス開発のための実大実験, その1実験棟および計測システム, 日本建築学会大会梗概集, 昭和59年10月, p. 811~p. 812
- 7) 田中昭司, 鎌田元康, 加藤信介, 戸河里敏, 吉沼敏和: 戸建て住宅の気密性と漏気量に関する研究, 日本建築学会環境工学論文集, 昭和59年11月, p. 51~p. 60
- 8) C. V. Shaw: A correlation between air infiltration and air tightness for houses in a Development residential area, ASHRAE Tra. Vol. 87 Past 2 (1981)
- 9) 吉野 博, 長谷川房雄, 内海康雄: 試験家屋を用いた自然換気量の予測手法に関する検証実験, 日本建築学会大会環境工学論文集, 昭和59年11月, p. 61~p. 68
- 10) 浅野賢二, 原口茂毅: 住宅の換気性状, その2実測と計算, 日本建築学会大会梗概集, 昭和49年10月, p. 233~p. 234
- 11) 浅野賢二, 古瀬 敏: 住宅の換気性状, その3多数室の換気実測と計算, 昭和50年10月, p. 249~p. 250
- 12) 浅野賢二: 気密型住宅の換気システム, 建築技術, 1985. 10, p. 131~p. 140
- 13) J. D. Balcomb, K. Yamaguchi: Heat distribution by natural convection, Proc. of 8th National Passive Solar Conf., American Solar Energy Society Inc. 1983
- 14) 山口賢次郎: 2室間の自然対流熱移動量に関する模型実験, 空気調和衛生工学会学術論文集, 1985. 9, p. 461~p. 464
- 15) 加藤信介ほか: 実験値に基づく住宅の漏気量評価に関する基礎的研究, その1. モデル住宅における気密性測定と漏気量測定結果, 日本建築学会, 関東支部研究報告集, 昭和56年7月
- 16) 村上周三, 吉野 博: 住宅の気密性能に関する調査研究, 日本建築学会論文報告集第325号, 昭和58年3月, p. 104~p. 114
- 17) D. W. Etheridge, D. K. Alexander: The British Gas Multi-cell Model for calculating Ventilation, AHRAE

SYNOPSIS

UDC : 697.9 : 628.86 : 697.13

VALIDATION OF THE VENTILATION NET WORK MODEL FOR THE ESTIMATION OF ROOM TEMPERATURES AND HEAT LOAD OF RESIDENTIAL BUILDINGS WITH MEASURED DATA

by Dr. **KEN-ICHI ISHIDA**, Sekisui House Ltd. and
Dr. **MITSUHIRO UDAGAWA**, Assoc. Prof. of Kogakuin
Univ., Members of A. I. J.

This paper described the validation of the ventilation net work model for the estimation of the room temperatures and heat loads of residential buildings with the results obtained by measuring the three test houses.

The air tightness of the three test houses were measured using a pressure method and the ventilation rates were measured by CO₂ tracer gas method. The ventilation rates were calculated with measured wind direction, wind speed, outdoor temperature, room temperature and air tightness. The results of comparison between the calculation and the measurement showed good agreement within allowable range of error.

Using the air flow velocity measured at the doors the room to room air flow rate were estimated and compared with calculated heat flow rates. The results showed the good agreement.

Therefore, it was concluded that the ventilation net work model could be used for the simulation of the room temperatures and heat loads of residential buildings.

