

仙台市の枠組み壁工法による戸建住宅における 温熱・空気環境およびエネルギー消費量の実態調査

正会員 吉 野 博*
 正会員 長谷川 房 雄**
 正会員 松 本 博***
 正会員 内 海 康 雄****
 正会員 赤 林 伸 一*****
 正会員 牧 田 一 志*****

1. 序

筆者等は従来より東北地方の各種住宅における冬期の温熱環境の調査を行っている^{4)~6)}が、今回、仙台市およびその近郊に建ち、東北地方では断熱気密性能の比較的高い枠組み壁工法による戸建住宅13戸(住宅メーカー3社)を対象として、気密性能、室内の温熱・空気環境およびエネルギー消費量の実態調査を行ったので、それらの結果を報告する。

2. 調査概要

2.1 対象住戸の概要

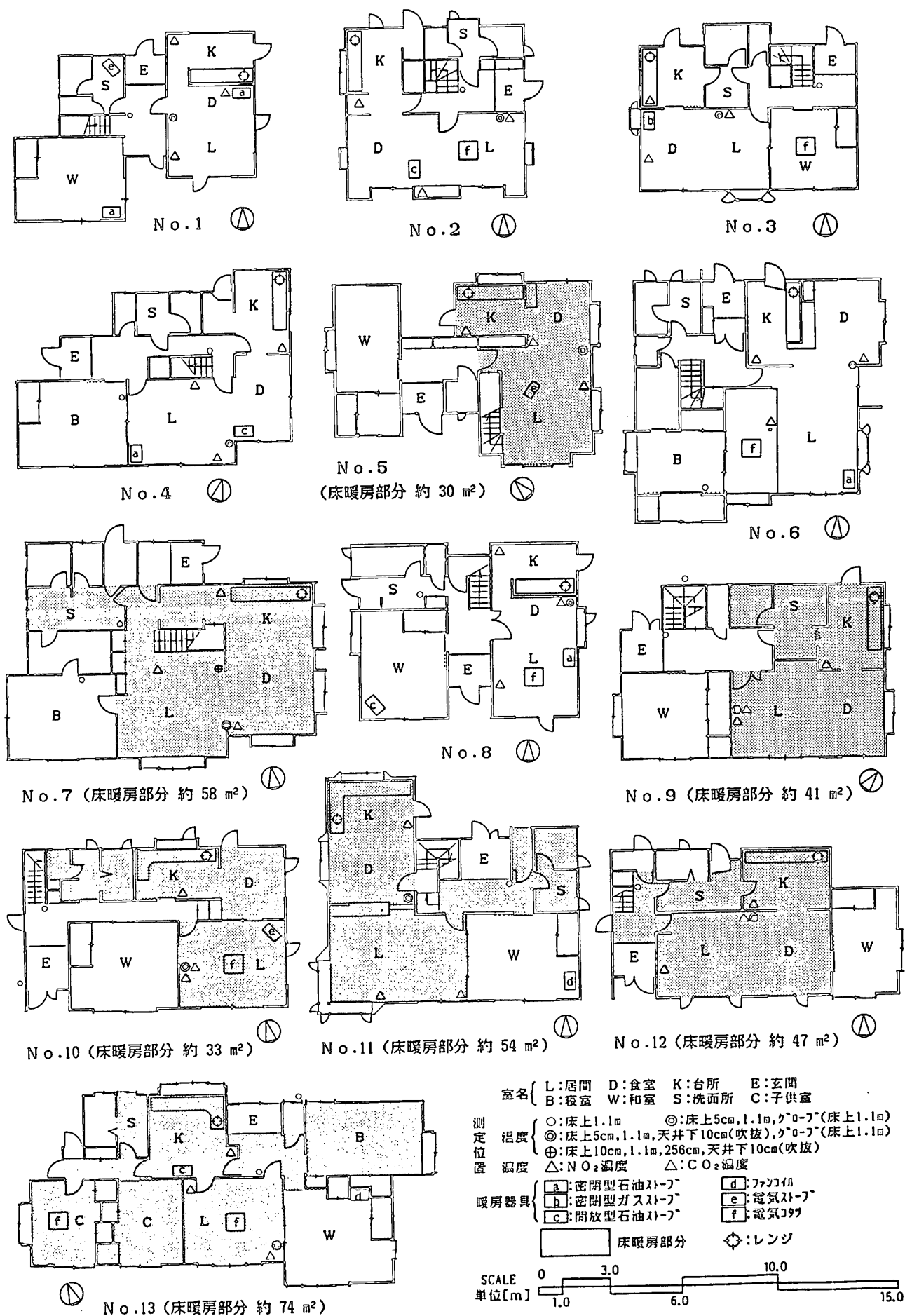
住宅の特徴を表-1に、1階部分の平面図を図-1に示す。建設時期は、昭和56~59年である。No.6は、外壁と天井に、それ以外は外壁、床、天井に断熱材が施されている。断熱材の厚さは、No.7が最も厚く、壁、天井が15cm、床が5cmである。B社、C社の住宅の1階床はコンクリートスラブで作られており、No.6以外の住戸では、床暖房が施され、スラブの下に断熱材が設置されている。そのうちNo.9, 11, 12, 13では、居

表-1 対象住戸の概要

住戸 No.	建設時期 (人居時期)	延床面積 (階数)	断熱材 厚さ (cm)	居 間 (L・LD・LDK)						居室の 暖房設備	家族 最高 年間 最低 収入	住宅 メーカー
				947* 広さ	窓の構成 (注1)	床の構成	暖房設備	暖房時間 (注4)	暖房期間			
1	昭和 58.1 (昭和59.3)	109.3 m ² (2)	壁5・床5・天井7.5	LDK 14帖 (23.1m ²)	複層ガラス 外開き式	じゅうたん	密閉型石油ストーブ	9.8 hr	実績なし	なし	4 37才 450~7才 500万円	A社
2	58. 4 (58. 4)	104.7 (2)	壁5・床5・天井7.5	LDK 20 (33.0)	二重サッシ	じゅうたん	開放型石油ストーブ こたつ	8.9	4.6ヶ月	なし	3 34才 500~5才 600	A社
3	58. 1 (58. 3)	108.5 (2)	壁5・床5・天井7.5	LD (24.8)	二重サッシ	じゅうたん	密閉型ガスストーブ (都市ガス使用)	6.5	4.6	なし	5 46才 500~11才 600	A社
4	58. 3 (59.10)	110.1 (2)	壁5・床5・天井7.5	LDK 20 (33.0)	二重サッシ	じゅうたん	密閉型石油ストーブ 開放型石油ストーブ	8.9	4.3	なし	5 44才 600~8才	A社
5	59.12 (59.12)	108.5 (2)	壁10・床2.5・天井10 (1F床 コンクリートスラブ)	LDK 18 (29.7)	サッシ + 木製ガラス戸	じゅうたん	床暖房 電気ストーブ (注2)	朝方 2 夕方 1.5	実績なし	電気 ストーブ	3 37才 350~8才 400	B社
6	59. 9 (59. 9)	141.9 (2)	壁10・天井10 (1F床 コンクリートスラブ)	LDK 29.5 (48.7)	サッシ + 木製ガラス戸	じゅうたん	密閉型石油ストーブ こたつ <F>	9.9	4.3	なし	5 45才 600~11才	B社
7	59. 9 (59. 9)	182.6 (2)	壁15・床5・天井15 (1F床 コンクリートスラブ)	LDK 30.5 (50.3)	二重サッシ	じゅうたん	床暖房 <F>	朝方 2	2.0	なし	4 42才 600~12才	B社
8	57. 1 (58. 2)	109.9 (2)	壁5・床5・天井7.5	LDK 16 (26.4)	複層ガラス 外開き式	板 + じゅうたん	密閉型石油ストーブ こたつ	10.2	4.3	なし	4 35才 350~0才 400	A社
9	59.10 (59.10)	152.4 (2)	壁5・床5・天井10 (1F床 コンクリートスラブ)	LDK 19.5 (32.2)	二重サッシ	じゅうたん	床暖房 <CH> <F> (注3)	朝方 2 夕方 2	実績なし	ファンヒーター こたつ	6 72才 450~3才 500	C社
10	58. 3 (58. 4)	147.4 (2)	壁5・床5・天井10 (1F床 コンクリートスラブ)	L 10 (16.5)	複層ガラス	じゅうたん	床暖房・こたつ 電気ストーブ	朝方 1 夕方 2.5	6.6	こたつ	4 44才 600~12才	C社
11	58. 8 (58.12)	162.7 (2)	壁5・床5・天井10 (1F床 コンクリートスラブ)	LDK 25 (41.3)	二重サッシ	じゅうたん	床暖房 <CH>	朝方 2.5 夕方 3	4.0	ファンヒーター	5 45才 600~9才	C社
12	56. 6 (56. 6)	119.5 (2)	壁5・床5・天井10 (1F床 コンクリートスラブ)	LDK 22 (36.3)	複層ガラス	じゅうたん	床暖房 <CH> <F>	朝方 2 夕方 2	3.6	ファンヒーター	4 35才 600~3才	C社
13	56. 8 (56. 8)	109.0 (1)	壁5・床5・天井10 (1F床 コンクリートスラブ)	L 9 (14.9)	複層ガラス + 障子	じゅうたん	床暖房 <CH>	朝方 0.5 夕方 1	4.0	床暖房	4 47才 500~13才 600	C社

注1) 全住戸カーテン二重。 注2) <F>: 居間に熱交換型換気扇を投函。 注3) <CH>: セントラルヒーティング。 注4) 床暖房は冬期の平均的な時間、他は調査期間平均の値。

- * 東北大学 助教授・工博
- ** 東北工業大学 教授・工博
- *** 東北大学 助手・工博
- **** 宮城工業高等専門学校 助手・工博
- ***** 東京大学 助手・工博
- ***** 積水化学工業(株) (当時東北大学 大学院生)
(昭和61年7月10日原稿受理)

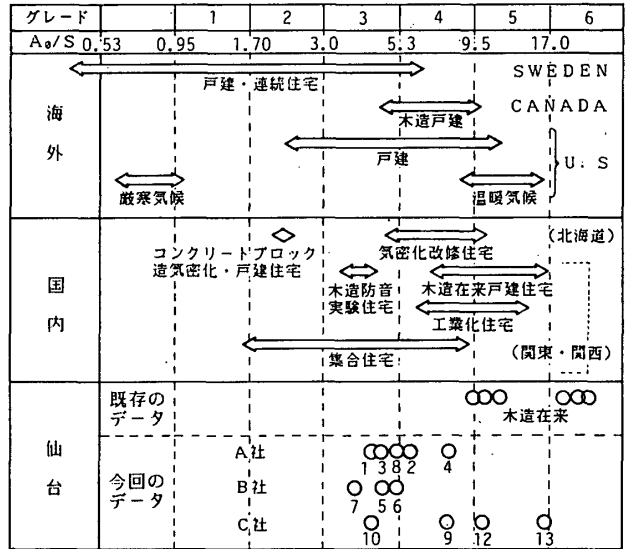


図一 対象住戸の平面図（1階部分）

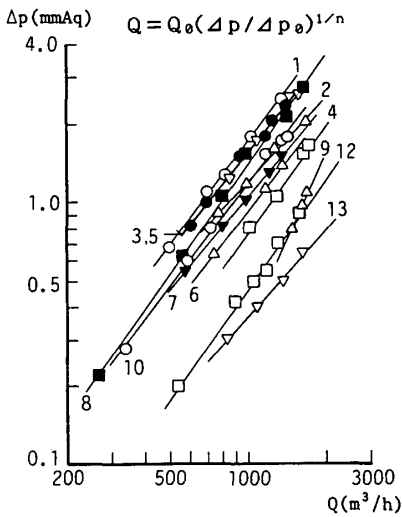
表一 各調査の調査期間

(昭和60年)

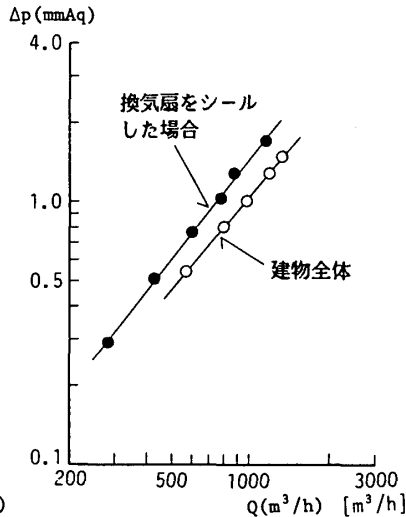
No.	気密性能	温熱環境	空気環境
1	2/8	1/25~2/3	2/1~2/2
2	2/8	1/25~2/3	2/28~3/2
3	2/8	1/25~2/3	1/29~1/30
4	2/12	1/25~2/3	1/30~1/31
5	3/2	2/5~2/12	1/31~2/1
6	2/1	1/26~2/3	2/2~2/3
7	3/2	{1/26~2/3 2/5~2/12}	2/4~2/5
8	3/8	2/6~2/12	2/6~2/7
9	1/31	2/6~2/12	2/7~2/8
10	3/8	2/6~2/12	2/7~2/8
11	2/6~2/12	2/8~2/9
12	3/13	2/6~2/12	2/9~2/10
13	3/13	2/6~2/12	2/13~2/14



図一 気密性能についての既往データとの比較



図二 気密性能の測定結果



図三 換気扇まわりの隙間の測定結果 (No.7)

表一 各住戸の気密性能

No.	Q ₀	A ₀	A ₀ /S	n
1	672	463	4.24	1.29
2	845	598	5.70	1.07
3	706	500	4.61	1.24
4	1200	851	7.73	1.37
5	706	500	4.61	1.22
6	1060	748	5.27	1.28
7	973	688	3.77	1.18
8	792	560	5.10	1.39
9	1630	1150	7.57	2.19
10	882	624	4.23	1.30
11
12	1720	1210	10.17	1.40
13	2470	1750	16.08	1.11

記号
 A₀: 隙間の相当開口面積、cm² Δp₀: 基準圧力差(ここでは1 mmAqとする)
 $A_0 = 2.78 \sqrt{\tau_r / 2g} Q_0$
 Q: 流量、m³/h n: 隙間の特性値
 Q₀: Δp = Δp₀の場合の流量、m³/h τ_r: 外気比重、kg/m³
 Δp: 室内外圧力差、mmAq g: 重力加速度、m/s²
 S: 延床面積、m²

間以外の部屋にもファンコイルが設置され、セントラル暖房を行っている。No.6ではストーブを使用している。また、ストーブ使用の住戸のうち、No.2とNo.4の食堂では開放型燃焼暖房器具を使用しており、他は密閉型燃焼暖房器具を使用している。居間の窓は複層ガラス、または二重窓である。No.1とNo.8は複層ガラスで外開き式である。また、すべての住戸において断熱材の内側にポリエチレンの防湿シートが施されている。

2.2 調査内容

(1) 気密性能

建物全体の気密性能の測定は、No.11を除く12戸を対象として、加圧法により行った。ただしNo.7については台所の換気扇、熱交換型換気扇3台、浴室および便所の換気扇の合計6台を対象にした場合についても測定した。

(2) 温熱環境

各住戸において居間を中心として、約10日間にわた

り室温の連続測定を行った。

(3) 空気環境

各住戸の居間のCO₂濃度と居間、台所のNO₂濃度について1~3日間の測定を行った。

(4) エネルギー消費量

各住戸の電気、ガス、灯油の1年間の消費量を調査し集計した。

2.3 調査時期

調査期間は、エネルギー消費量調査を除いて、昭和60年1月25日から3月13日までである。各住戸についての気密性能、温熱環境および空気環境の調査期間を表一2に示す。エネルギー消費量調査については後述する。

3. 対象住戸の気密性能

3.1 測定方法

窓に発泡スチレンをはめ込み、そこにダクトを貫通させ、室内側のダクト先端にファンを設置して室内全体を加圧した。外周の開口部は閉じ、内部の間仕切りはすべて開放した。開口部、換気扇等には特に目ばりは施していない。圧力は精密微差圧変換器により測定し、風量はダクトの中心風速を熱線風速計で測定し、断面積と補正係数を掛けて推定した。測定範囲は $\Delta p = 0.2 \sim 3.0 \text{ mmAq}$ であるが、建物の隙間が大きい場合には、 $0.2 \sim 0.7 \text{ mmAq}$ であった。

3.2 建物全体の気密性能

図一に測定結果を示す。測定値から最小自乗法で回帰直線を求め、 Q_0 と n を算出すると表一のようなになる。No. 9 の測定時は風が少し強く、 $\Delta p = 0.9 \text{ mmAq}$ 以下での測定ができなかったため、十分な精度が得られていない。そのため n の値は 2.0 を越えている。No. 9 を除くと n の値は 1.07~1.40 である。 Q_0 より A_0 、 A_0/S (単位床面積当たりの相当開口面積) を算出すると表一

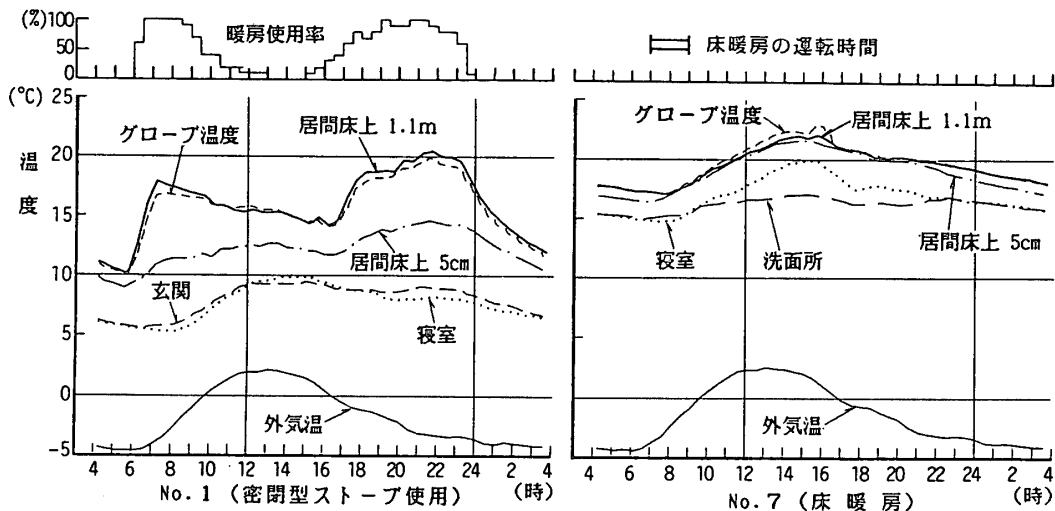
3 のようになる。 A_0/S は 3.77~16.1 の間でばらついている。

3.3 換気扇まわりの隙間について

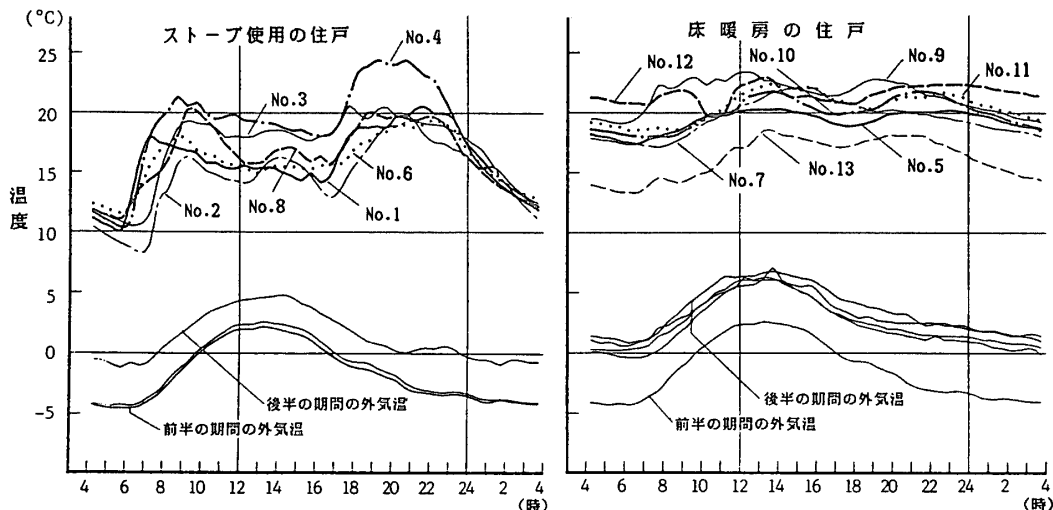
図一に No. 7 の測定結果を示す。合計 6 台の換気扇をシールした場合とはがした場合との測定結果により、 A_0 を求めると 151 cm^2 となる。これは隙間全体の 22% であり、大きな割合を占める。また、換気扇一台当たりでは 25 cm^2 の隙間があることになる。

3.4 既往データとの比較

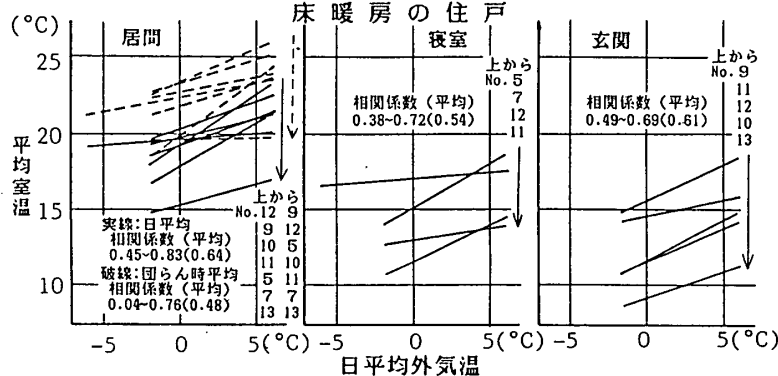
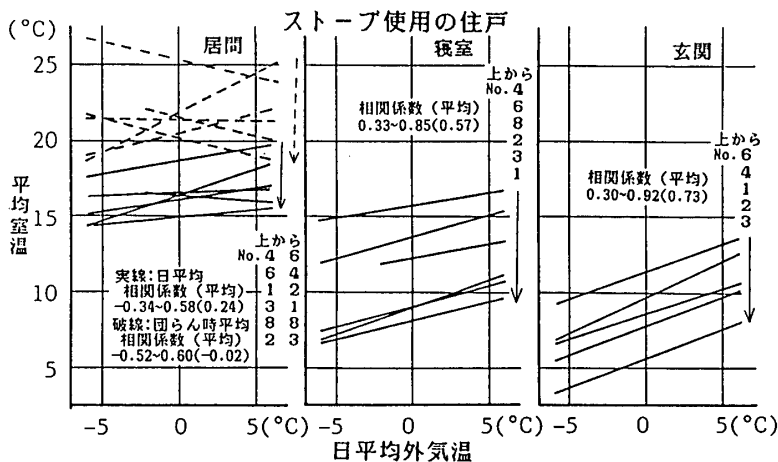
気密性能を A_0/S の値で既往データ^{7),8)}と比較して図一に示す。今回測定した住戸は 3~5 のグレード^{註1)}に入り、前回測定した仙台の住宅⁹⁾に比べて、No. 12, 13 を除き気密である。A 社のうち No. 1 の住戸が最も気密である。No. 2, 3, 4 は二重窓で引き違い式である。No. 8 は、座敷以外は外開き式であるが、気密性能は No. 1 ほど高くない。B 社は A 社に比べるとばらつきは少なく、3 社の中では全体に気密である。No. 5, 6, 7 では、居間にも換気扇(熱交換型)を設置しているが、入居者



図一 室温の平均日変化の例



図二 全住戸の居間床上 1.1 m の温度の平均日変化



図一七 日平均外気温に対する室温の回帰直線

の話によると風の強い時には運転停止時にその部分からの隙間風を感じるのとことであり、それらの換気扇には隙間がかなりあるものと推定される。C社の場合最もばらつきが大きく、No.12, 13の住宅の気密性は従来の住宅と変わらない。No.12は合成樹脂性の気密サッシを使用しているが、居間にも換気扇（熱交換型）を2台設置しているので、隙間が多いものと推定される。

4. 温熱環境調査

4.1 調査方法

測温抵抗体を用いて、約10日間の温度の連続測定を行った。測定箇所は、1戸当たり6点(居間の床上1.1m, 床上5cm, 寝室, 玄関の床上1.1mの乾球温度, 居間のグローブ温度, 外気温など)である。図一に測定位置, 暖房器具の配置を示す。No.7は測定点を換えて2回測定している。データは30分ごとに平均し、夕食後の室温の安定している時間帯を“団らん時”とした。

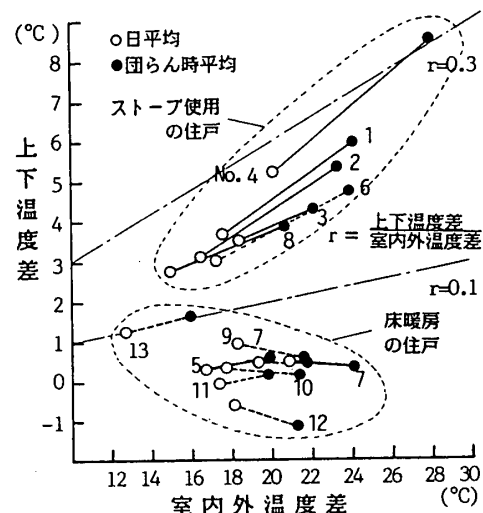
4.2 調査結果

(1) 外気温

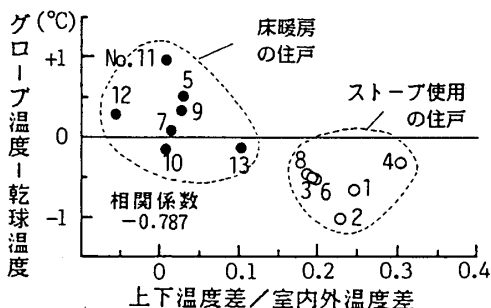
調査期間中の外気温の平均値は、前半の期間(1/25~2/3)が約 -1.6°C 、後半の期間(2/5~2/12)は約 2.3°C であった。

(2) 室温の平均日変化

図一5に、密閉型ストーブ使用の住戸(No.1)と床暖房使用の住戸(No.7)の結果を示す。No.1では居間



図一八 居間の上下温度差(床上1.1m—床上5cm)と室内外温度差の関係



図一九 居間のグローブ温度と上下温度差の関係(団らん時)

の温度は暖房使用率^(注2)の変化に伴い上下する。床上1.1mの温度は団らん時には 20°C になるが、暖房停止後急激に下降し、明け方には 10°C となる。床上5cmとの温度差は最高 6°C である。グローブ温度は乾球温度よりも暖房時に最大約 1°C 低い。玄関, 寝室の温度は変化が少なく $5^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$ の範囲にある。一方, No.7では温度の変化は少ない。床暖房の運転は朝7時~9時の2時間のみであるが、居間の床上1.1mの温度は一日中 $17^{\circ}\text{C} \sim 22^{\circ}\text{C}$ である。また、上下温度差は極めて小さく、床面からのふく射の効果によりグローブ温度は乾球温度と等しいかやや高い。寝室, 洗面所の温度は $15^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ である。

全住戸の居間床上1.1mの温度をストーブ暖房と床暖房の住戸に分けて図一6に示す。それぞれ、図一5と同様の変化を示すが、No.4は団らん時にやや高く、No.13はやや低い。

(3) 日平均外気温と室温の関係

両者の関係から求めた回帰直線を図一7に示す。相関係数の値は大幅に異なるが、おおそ居間, 寝室, 玄関の順に高くなる。外気温が 0°C の時の室温は、ストーブ暖房, 床暖房のそれぞれについて、居間日平均 16.5°C , 19.0°C , 団らん時 21.9°C , 21.9°C , 寝室 11.3°C , 14.2°C ,

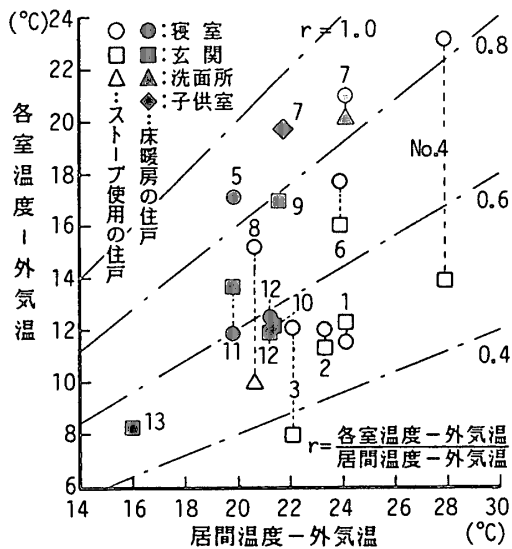


図-10 居間と他の部屋の温度の関係(団らん時)

玄関 8.6°C, 12.6°C である。仙台の公社分譲住宅を対象とした実測例¹⁰⁾では、居間の日平均が 15.1°C, 団らん時 22.0°C, 寝室 8.0°C, 廊下 6.2°C であり、居間の団らん時を除いて今回の方が温度は高い。特に、床暖房の住宅の寝室、玄関で高い。

(4) 居間の上下温度差

室内外温度差との関係を図-8 に示す。床暖房の住戸はいずれも温度差が極めて小さい。床暖房住戸の断熱・気密性能が他に比べて特に優れているということはないので、温度差が小さいことの原因は床暖房のためであると推定される。No.12 では床上 5 cm の方が逆に高い。No.5, 7 は居間に吹き抜けがあるが団らん時の温度は、No.5 では床上 5 cm が 21.2°C, 1.1 m が 21.8°C, 吹き抜け天井下 10 cm が 21.9°C, No.7 では、床上 10 cm が 22.1°C, 1.1 m が 22.6°C, 吹き抜け天井下 10 cm が 22.1°C であり、極めて温度差が小さい。これは床暖房のためだけでなく、断熱気密性能が大変高いことにも起因するものと推察される。ストーブ暖房の住宅では、上下温度差と内外温度差の比が 0.1~0.3 であり、前回の実測例¹⁰⁾では 0.3~0.5 であったのに比べて小さい。

(5) グローブ温度

グローブ温度を上下温度差との関係で見ると、団らん時のグローブ温度と乾球温度の差と、上下温度差を内外温度差で基準化した値との関係を図-9 に示す。全体に負の相関が見られる。床暖房の住戸は、床面からのふく射の効果によりグローブ温度は乾球温度よりも最大 1°C 高い。

(6) 居間と他の部屋の温度

団らん時の外気温基準の居間温度と他の部屋の温度との関係を図-10 に示す。No.3 の玄関を除き、両者の比は 0.5~0.9 であり、前回の実測例¹⁰⁾では 0.3~0.8 であったのに比べて、やや大きい。アンケート調査によれ

ば、居間と台所の温度に対してはほとんどの住戸で“ちょうど良い”と答え、寝室、玄関では約半数が“やや寒い”と答えている。

5. 空気環境調査

5.1 調査方法

CO₂ 濃度は、赤外線 CO₂ 分析計 2 台を用いて、持ち回りで居間のみについて 1~2 日間測定した。なおデータは 30 分ごとに読み取っている。NO₂ 濃度は、バッジ型 NO₂ 測定器²³⁾ を居間と台所で 3 日間暴露し、日平均の NO₂ 濃度を求めた。濃度測定位置を図-1 に示す。なお、気象台の風速データと室内外温度差の実測値によれば、濃度測定時における風力および温度差による室内外圧力差には、住戸間で大きな差はないと推定された。

表-4 CO₂ と NO₂ の日平均濃度と居間の換気回数

No	CO ₂ 濃度 (PPM)	NO ₂ 濃度 (PPB)		居間の換気回数 (1/h)
		居間	台所	
1	1980	21.82	28.56	0.07
2	4990	471.53	422.68	0.16
3	1230	10.25	17.63	0.22
4	2240	62.93	49.17	0.26
5	980	7.01	12.22	0.30
6	1720	12.85	21.40	0.12
7	1990	11.26	11.26	0.05
8	1660	30.53	60.37	0.20
9	690	9.88	11.15	0.49
10	870	19.65	29.42	0.26
11	800	10.51	9.34	0.20
12	500	8.87	11.04	0.58
13	810	4.19	24.96	0.31

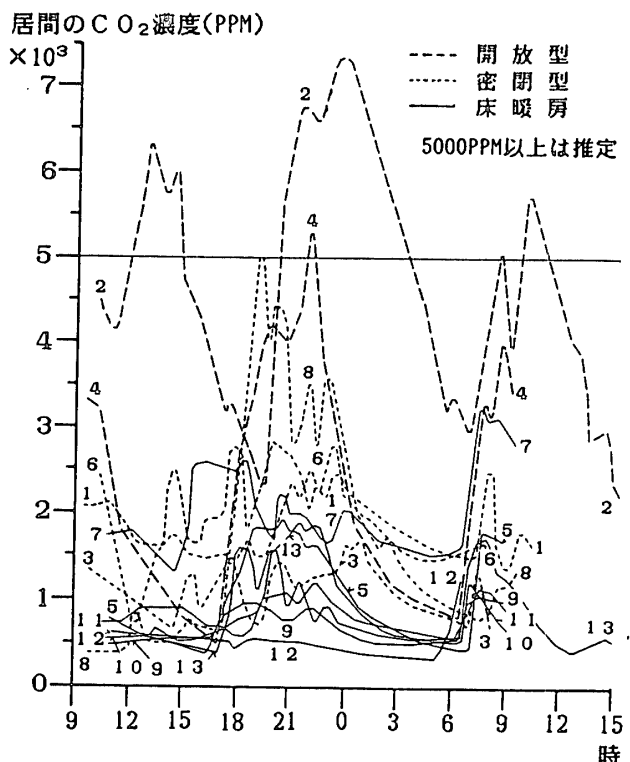


図-11 居間の CO₂ 濃度変化

5.2 CO₂濃度の測定結果

(1) 時間変化

異なる日に測定した各住戸のCO₂濃度を時刻を揃えて図-11に示す。また日平均濃度を表-4に示す。(ただし測定範囲(0~5000ppm)を越えて出力された場合には、測定範囲の特性曲線を3次式により外挿して推定した。)21時には500ppm~7000ppmの値を示すなど各住戸によるばらつきが大きい。全体に朝と夜に濃度が高くなる傾向が見られ、これは炊事と人体による影響と考えられる。なお温風式開放型ストーブ(いわゆるファンヒーター)使用のNo.2の住戸は著しく高い。

(2) 累積度数

各住戸のCO₂濃度の一日分を取り出し、その相対累

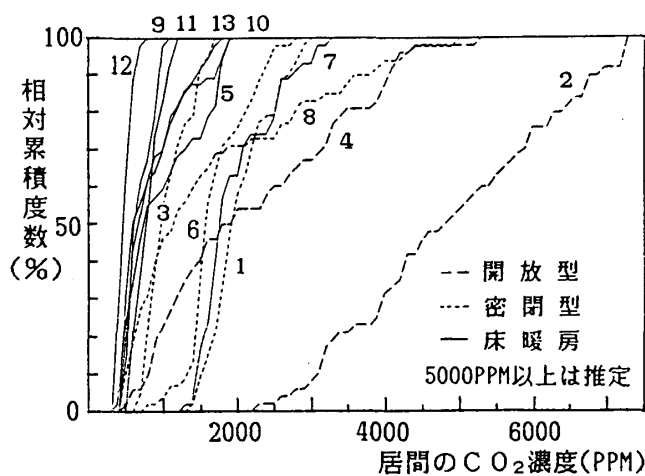


図-12 居間のCO₂濃度の相対累積度数

積度数を図-12に示す。ただし一日に満たないデータが一部ある。No.1, 2, 4, 6, 7の住戸はCO₂濃度が1000ppmを越える時間が1日の7割以上を占める。さらに終日1000ppmを越える住戸が3戸(No.1, 2, 7)見られ、特にNo.2は終日2000ppm以上である。いずれの住戸も居間と台所の間が開放されているが、No.2, 4では開放型ストーブを用いている。No.1, 7は今回の実測例の中で最も気密性能が高い。床暖房の住戸はNo.7を除いて相対的に濃度が低い。

5.3 NO₂濃度の測定結果

居間と台所の日平均NO₂濃度を表-4に示す。No.2

居間のCO₂濃度(PPM)

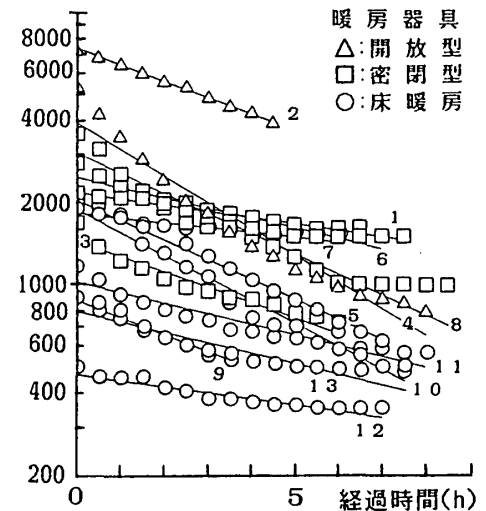


図-16 居間のCO₂濃度減衰

NO₂濃度 (PPB)

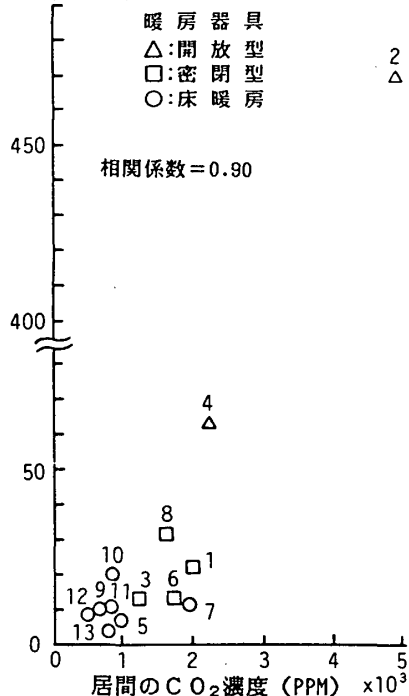


図-13 居間の日平均CO₂濃度とNO₂濃度の関係

居間のCO₂濃度 (PPM)

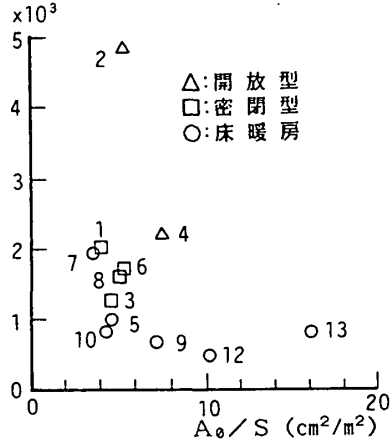


図-14 気密性能(A₀/S)と居間の日平均CO₂濃度

NO₂濃度 (PPB)

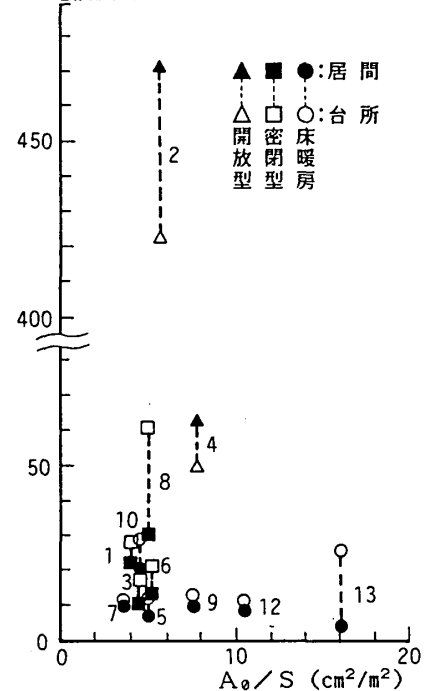


図-15 気密性能(A₀/S)と居間、台所の日平均NO₂濃度

の住戸の NO₂ 濃度が極端に高く、No. 4 が次に高い。図—13 に CO₂ 濃度と NO₂ 濃度の関係を示す。両者に正の相関が見られ、開放型ストーブを使用する住戸で NO₂ 濃度も高濃度になっている。また No. 2, 4, 11 を除き台所の濃度が居間より高いが、炊事による影響と考えられる。No. 2 は居間で開放型ストーブを用いているため、No. 4 は居間と台所の間が開放されており、かつ設置したバჯと開放型ストーブとの距離が比較的近いために逆転したものと考えられる。

5.4 気密性能と室内空気汚染濃度

(1) 気密性能と CO₂ 濃度

日平均 CO₂ 濃度と A₀/S (単位床面積当たりの相当開口面積) との関係を図—14 に示す。A₀/S が小さいほど CO₂ 濃度の高い住戸が増加する傾向があり 6 cm²/m² 以下の場合には、8 例中 6 例が 1000 ppm を越えている。

(2) 気密性能と NO₂ 濃度

日平均 NO₂ 濃度と A₀/S の関係を図—15 に示す。CO₂ 濃度と同様に A₀/S が小さいほど濃度の高い住戸が増加する傾向がある。

5.5 居間の換気回数の推定

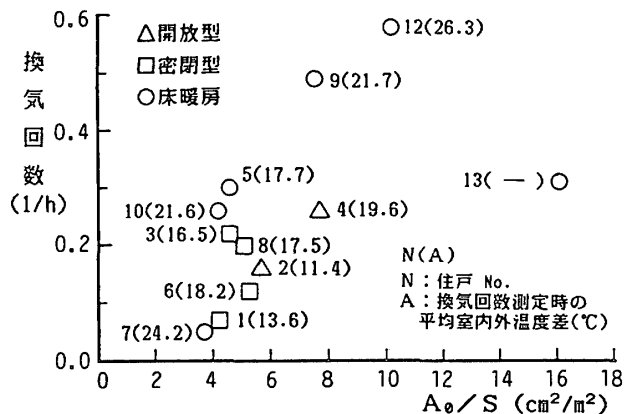
(1) 推定方法

深夜から早朝の間の CO₂ 濃度を、時刻を揃えて図—16 に示す。室内外温度差が早朝にかけて減少するために、濃度減衰が直線にならない住戸が大部分である。この間の CO₂ 発生は居間においてはほとんど無いと考えられるので、試みに 30 分間は外部風速、室内外温度差が一定と仮定して居間の換気回数を 30 分ごとに求め、全体で平均した結果を表—4 に示す。

(2) 気密性能と換気回数

A₀/S と換気回数の関係を図—17 に示す。両者には正の相関が見られるが A₀/S は建物全体を対象とした値であり、換気回数は居間のみによる値を基に算定していることに注意する必要がある。No. 9, 12, 13 の換気回数の大きい住戸は、隙間も大きく、表—4 によれば日平均の CO₂ 濃度が低いことが分かる。

6. エネルギー消費量調査

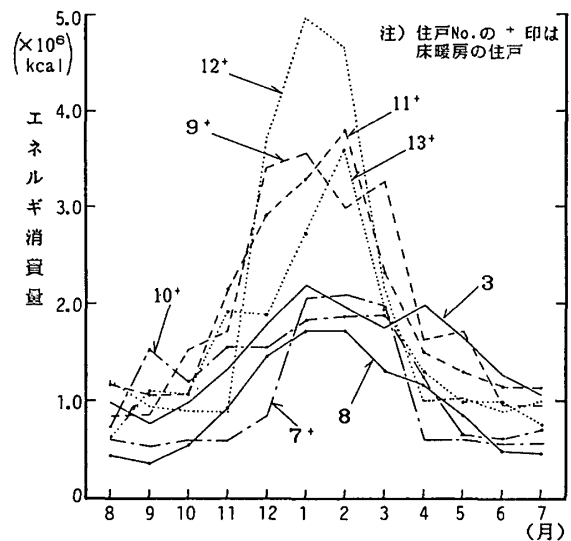


図—17 気密性能 (A₀/S) と換気回数の関係

表—5 エネルギー消費量データの期間とエネルギーの主な用途

No	データの期間 (一年間)	各エネルギーの主な用途			kcal 換算値
		電気	ガス	灯油	
1	59.10~60.9		炊事.給湯	暖房	電気: 1 kWh = 860kcal
2	59.11~60.10		炊事.給湯	暖房	都市ガス: 1 m ³ = 5,000kcal
3	59.10~60.9	*	暖房.炊事.給湯	給湯 ナシ	都市ガス: 1 m ³ = 5,000kcal
4	59.12~60.11		炊事.給湯	暖房	都市ガス: 1 m ³ = 5,000kcal
5	60.3~61.2	全住戸	炊事.給湯	暖房	都市ガス: 1 m ³ = 5,000kcal
6	59.11~60.10	照明	炊事.給湯	暖房	都市ガス: 1 m ³ = 5,000kcal
7	60.2~61.1	その他	炊事	暖房.給湯	都市ガス: 1 m ³ = 5,000kcal
8	59.12~60.11		炊事.給湯	暖房	灯油: 1 l = 8,800kcal
9	59.11~60.10		炊事	暖房.給湯	灯油: 1 l = 8,800kcal
10	59.10~60.9		炊事	暖房.給湯	灯油: 1 l = 8,800kcal
11	59.12~60.11	*	炊事.給湯	暖房	灯油: 1 l = 8,800kcal
12	59.8~60.7	*	※炊事	暖房.給湯	灯油: 1 l = 8,800kcal
13	59.10~60.9		※炊事	暖房.給湯	灯油: 1 l = 8,800kcal

(電気: *はカー有り. ガス: ※は都市ガス, その他は都市ガス使用)



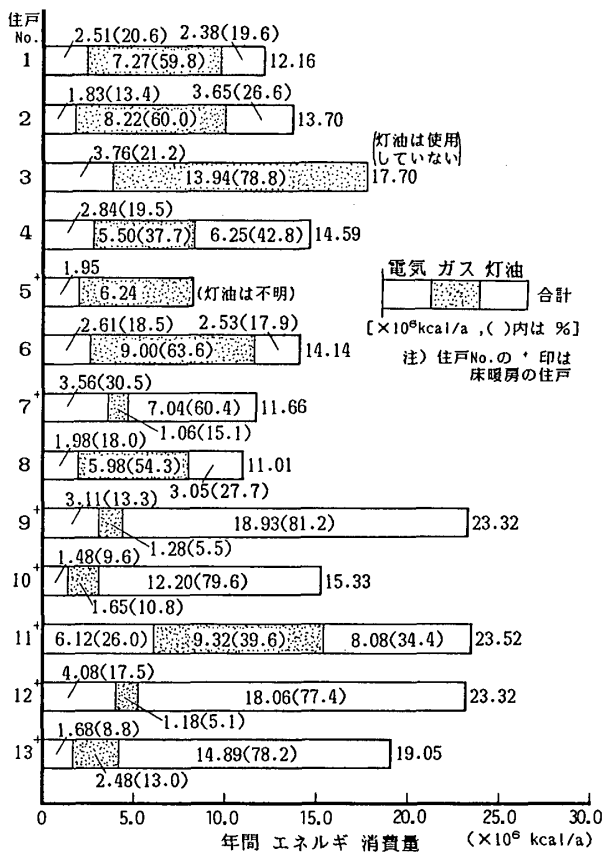
図—18 エネルギー消費量の年間の変化

6.1 調査方法

各住戸の電気、ガス、灯油の一年分の使用量を、聞き込みおよび調査用紙の郵送などにより調べ、それらを集計した。各住戸のデータの期間とエネルギーの主な用途、および各エネルギーの kcal 換算値を表—5 に示す。データは、主に家計簿や領収書などの記録に基づくが、No. 1, 2, 6 の灯油の消費量は主婦の記憶による。なお、No. 5 の灯油の消費量は不明であった。No. 3 は密閉型ガスストーブを使用しているため灯油は使用していない。床暖房の住戸のうち、No. 7, 9, 10, 12, 13 は給湯も灯油でまかなっている。

6.2 エネルギー消費量の年間の変化

電気、ガス、灯油、すべての月ごとの消費量が分かっている住戸 8 戸について、月ごとの合計値の年間の変化を図—18 に示す。どの住戸も 6 月~9 月は変動が小さいと同時に絶対量も小さく、ほぼ 0.5~1.0 Gcal の間にある。11 月~3 月は暖房のために消費量は増大するが、ストーブを使用している No. 3, 8 は比較的緩やかに増加するのに対し、床暖房の住戸は急激に増加する。消費量のピークは 1 月~2 月にあり、ストーブ使用の No. 3, 8 および床暖房の No. 7, 10 は 1.7~2.2 Gcal の間で相対



図一19 年間のエネルギー消費量

的に少ない。床暖房で居間以外の部屋にもファンコイルを設置してセントラル暖房を行っている No. 9, 11, 12, 13 では 3.0 Gcal 以上になっている。

6.3 年間のエネルギー消費量

各住戸の一年間合計の消費量を図一19に示す。各住戸の電気、ガス、灯油の合計の年間消費量は、11～24 Gcal の間にあり、全住戸の平均は 16.6 Gcal である。居間で石油ストーブを使用している住戸 (No. 1, 2, 4, 6, 8) は、11～15 Gcal の範囲にあり、平均は 13.1 Gcal である。ガスストーブ使用の No. 3 は、石油ストーブ使用の住戸に比べてやや多い。床暖房の住戸 (No. 7, 9, 10, 11, 12, 13) は 11～24 Gcal の間でばらついているが、6 戸の平均は 19.4 Gcal になり、石油ストーブの住戸に比べて約 6 Gcal 多くなっている。

No. 7 は断熱気密性能が高く、暖房時間も朝 2 時間だけで済んでいるが、年間のエネルギー消費量は No. 9, 11, 12 の約半分でストーブ使用の住戸と同レベルである。No. 9, 11, 12, 13 のセントラル暖房の住戸は他と比べて年間消費量が非常に大きく 19～24 Gcal である。気密性能が低いことも一因であると推定される。

次に、灯油を暖房のみに使用している住戸 (No. 1, 2, 4, 6, 8, 11) の年間灯油消費量を見ると、2.3～8.1 Gcal の間にあり平均は 4.3 Gcal になる。床暖房の No. 11 が最も大きく、その他のストーブ使用の住戸では、居間で石油ストーブ 2 台を使用している No. 4 の消費量

が最も多くなっていた。

7. まとめ

(1) 気密性能

今回測定した住宅の気密性能は、2 戸を除きグレード 4 以上であった。

(2) 温熱環境

床暖房の住宅では、コンクリートスラブの蓄熱効果もあって一日の温度変化は小さい。また、上下の温度差は極めて小さく、グローブ温度は乾球温度よりも団らん時の最大で 1°C 高い。

ストーブ暖房の住宅では、前回の公社分譲住宅の実測例¹⁰⁾と傾向は似ているが、全般に上下温度差、室間の温度差等で示される温熱環境は向上している。

(3) 空気環境

開放型ストーブを使用する住戸では、CO₂ と NO₂ 濃度の両方が高く、開放型ストーブ使用の No. 2 では CO₂ 濃度が 5 000 ppm を越えた。また両方の濃度の間には正の相関が見られた。

A₀/S が 6 cm²/m² 以下になると、CO₂、NO₂ の濃度の高い住戸が増加し、日平均 CO₂ 濃度では 8 例中 6 例が 1 000 ppm を越えた。

(4) エネルギー消費量

石油ストーブ使用住戸の年間エネルギー消費量は 11～15 Gcal、床暖房の住戸は 11～24 Gcal であった。

断熱気密性能が高く温熱環境の良好な No. 7 の住戸は、床暖房であるが年間エネルギー消費量はストーブ使用の住戸と同程度であった。

謝 辞

調査を実施するに当たっては、三菱地所(株)仙台支店、秋田工業(株)仙台支店、ならびに(株)北洲ハウジング仙台支店より便宜を計って頂きました。また、国立公衆衛生院技官 小峯裕己氏、三井建設(株)技術研究所 大山信一氏には種々の面でご協力頂きました。さらに、調査対象住戸の居住者の方々には、多大なご協力を頂きました。御世話になった方々に、心から謝意を表します。

注

- 1) 気密性能グレードは、A₀/S の測定値が 1～6 段階の間で適度にばらつき、また各国の水準や、戸建住宅、集合住宅の差などがグレードの各段階に対応するように、工業標準数を基にして設定されている⁷⁾。
- 2) 各時刻ごとに、居間で暖房しているか否かを判定し、暖房している日数を調査期間日数に対する割合で表したものの。
- 3) パッジは、試薬(トリエタノールアミン)を含浸させたろ紙からなっており、一定期間空气中に暴露する。回収された後、発色液を加えて、吸光分析計により吸光度を測定し、測定期間内の NO₂ 濃度を算出する。詳細は文献¹¹⁾を参照のこと。

本論文に関連する既発表論文

- 1) 牧田一志, 長谷川房雄, 吉野 博, 赤林伸一: 仙台市の断熱気密性能の高い戸建住宅における熱・空気環境の実測調査 その1 調査概要と温熱環境の調査結果: 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和60年10月
- 2) 大山信一, 長谷川房雄, 吉野 博, 内海康雄, 赤林伸一, 牧田一志: 仙台市の断熱気密性能の高い戸建住宅における熱・空気環境の実測調査 その2 気密性能及び湿度の測定結果: 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和60年10月
- 3) 内海康雄, 長谷川房雄, 吉野 博, 松本 博, 赤林伸一, 小峯裕己: 仙台市の断熱気密性能の高い戸建住宅における熱・空気環境の実測調査 その3 室内空気環境の調査報告: 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和60年10月
- 6) 牧田一志, 長谷川房雄, 吉野 博, 赤林伸一, 菊田道宣: 東北地方の住宅における温熱環境調査 その18 岩手県郡部(沢内村)の木造住宅を対象とした冬季の室温に関する調査結果, および既往の調査結果との比較: 日本建築学会東北支部研究報告集, 第46号, 昭和60年11月
- 7) 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
- 8) 佐々木 隆, 木造在来構法の改良に関する研究委員会: 北海道における各種構法住宅の気密性能の現状について, 寒地住宅としての木造在来構法の改良に関する研究 その4: 日本建築学会北海道支部, 昭和59年3月
- 9) 吉野 博, 長谷川房雄, 内海康雄: 在来構法の木造戸建て住宅における気密性能の実測結果と既往データとの比較: 日本建築学会東北支部研究報告集, 昭和56年11月
- 10) 長谷川房雄, 吉野 博, 赤林伸一: 東北地方の住宅における温熱環境調査 その4 仙台市と酒田市の木造独立住宅における冬季の温湿度について: 日本建築学会東北支部研究報告集, 昭和55年1月
- 11) 柳沢幸雄, 西村 肇: 生活環境中濃度測定用 NO_x パーソナルサンプラー: 大気汚染学会誌, 第15巻第8号, 1980

参考文献

- 4) 長谷川房雄, 吉野 博, 赤林伸一: 東北地方都市部の木造独立住宅における冬季の温熱環境に関する調査研究: 日本建築学会論文報告集, 第326号, 昭和58年4月
- 5) 長谷川房雄, 吉野 博, 新井宏朋, 岩崎 清, 赤林伸一, 菊田道宣: 脳卒中の発症と住環境との関係についての山形県郡部を対象とした調査研究: 日本公衆衛生雑誌, 第32巻第4号, 昭和60年4月

SYNOPSIS

UDC : 697.11 : 697.003.1 : 728.011

INVESTIGATION OF INDOOR THERMAL ENVIRONMENT, AIR QUALITY AND ENERGY CONSUMPTION IN DETACHED HOUSES OF WOOD-FRAME CONSTRUCTION IN SENDAI CITY

by Dr. HIROSHI YOSHINO, Associate Prof. of Tohoku Univ., Dr. FUSAO HASEGAWA, Prof. of Tohoku Institute of Technology, Dr. HIROSHI MATSUMOTO, Research Associate of Tohoku Univ., Dr. YASUO UTSUMI, Research Associate of Miyagi National College of Technology, Dr. SHIN-ICHI AKABAYASHI, Research Associate of University of Tokyo, and KAZUSHI MAKITA, Sekisui Chemical Co., Ltd. Members of A. I. J.

The air-tightness, indoor thermal environment, air quality and energy consumption in 13 units of highly insulated detached houses of wood-frame construction in and around Sendai city were investigated during winter of 1985. The results of this investigation are as follows :

(1) Air-tightness

The equivalent leakage area per unit floor area of investigated houses except for 2 houses was less than 8 cm^2/m^2 .

(2) Indoor thermal environment

In the houses with a floor heating system, the room temperature was stable due to the heat storage effect of floor concrete slab, the vertical temperature gradient in the living room was small, and the globe temperature in the living room during the heating time after supper was 1.0°C higher at the maximum than air temperature.

In the houses with an oil heater, the air temperature at the point of 110 cm above the floor level in the living room was about 20°C during the heating time after supper and was about 10°C in the early morning. The vertical temperature difference between the points of 110 cm and 5 cm above the floor level in the living room was 4 to 8°C during the heating time after the supper. The ratio of the temperature difference between the heated living room and the other unheated rooms to the indoor and outdoor temperature difference was scattered in the range of 0.4 to 0.8.

(3) Indoor air quality

The concentrations of CO_2 and NO_2 in indoor air of houses with unvented oil heater were high. In the houses with high CO_2 concentration, the concentration of NO_2 was also high. In some houses, the equivalent leakage area per unit floor area of which was less than 6 cm^2/m^2 , the concentrations of CO_2 and NO_2 were so high.

(4) Energy consumption

The quantity of energy consumption for all uses in the houses with an oil heater was 11 to 15 Gcal per year and that in the houses with a floor heating system was 11 to 24 Gcal per year.