

新潟市に建設された住宅における室内温熱環境と エネルギー消費量に関する実測調査

全電化・高気密・高断熱住宅を対象として

INVESTIGATION FOR THE INDOOR THERMAL ENVIRONMENT AND ENERGY CONSUMPTION IN AIR-TIGHT HOUSE IN NIIGATA-CITY

坂口 淳*, 赤林伸一**, 山口 一***

Jun SAKAGUCHI, Shin-ichi AKABA YASHI and Hajime YAMAGUCHI

The investigation for indoor thermal environment and energy consumption in air-tight house was carried out.

The results are as follows,

- (1) The thermal environment in summer and winter season, the temperature of the living room is varied from 20°C to 28°C.
- (2) In summer, electric energy consumption of the air conditioner and the hot water is about 30% respectively, the refrigerator is about 11%, lighting is about 3%, the mechanical ventilation is about 7% and the electromagnetic cooking heater is about 4%.
- (3) In winter, electric energy consumption of the floor heating is about 44%, the hot water is about 23%, the lighting and the electromagnetic cooking heater is 1% respectively, the refrigerator is about 3% and the mechanical ventilation is 2%.

Keyword : Energy Consumption , Thermal Environment , Air-tight

エネルギー消費量、温熱環境、高気密・高断熱

1. はじめに

近年、温熱・空気環境に対する快適性や利便性、安全性などの観点から主に寒冷地を中心に高気密・高断熱住宅が建設されている。高気密・高断熱住宅は室内に形成される温熱環境の快適性や省エネルギーを主目的としているが、高気密・高断熱住宅における温湿度の年変化や、用途別の詳細なエネルギー消費の実態には不明な点が多い。又、一般の住宅ではガスや電気、灯油など様々な種類のエネルギーを消費しているため1日のエネルギー消費の変化を正確に捉えることは困難である。本報で対象としている住宅では供給されるエネルギー源は全て電力であり、この時間変化を詳細に測定することにより調理などの短時間に消費されるエネルギーを精度よく捉えることができる。吉野¹⁾らは、全電化パッシブ住宅を対象に3年間の実測を行っている。しかしながら、エネルギー消費量に関しては月積算値のみの調査である。また、銚井⁶⁾、山下^{7) 8)}らも高気密・高断熱住宅を対象として、室内温熱環境とエネルギー消費量の実態調査を行っているが、長期間にわたる室内環境の実測や詳細なエネルギー消費量との関係等は明らかにはしていない。

本研究では、新潟市に建設された深夜電力を主に使用する全電化高気密・高断熱住宅を対象に、1年間の室内温熱環境及び給湯、調理、照明、冷暖房、換気などに使用される電力エネルギー消費量の

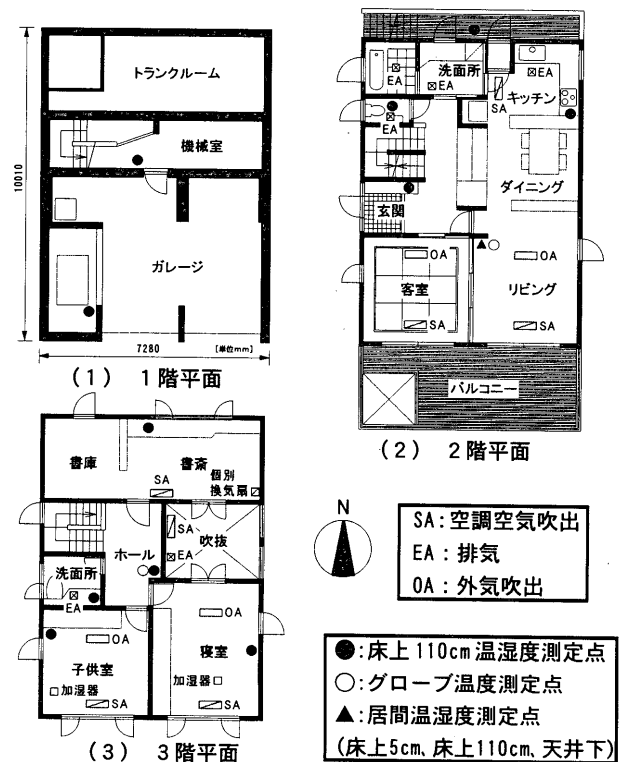


図1 対象住宅の平面と温湿度測定点

* 県立新潟女子短期大学生生活科学科 講師・博士(工学)

** 新潟大学大学院自然科学研究科 助教授・工博

*** 新潟大学大学院自然科学研究科 大学院生・修士(工学)

Lecturer, Dept. of Human Life and Environmental Science, Niigata Women's College, Dr. Eng.
Assoc. Prof., Dept. of Graduate School of Science and Technology, Niigata Univ., Dr. Eng.
Graduate Student, Dept. of Graduate School of Science and Technology, Niigata Univ., M. Eng.

10分間の平均値を用途別に測定し、室内温湿度、冷暖房設備、シェクター性能、外界気候とエネルギー消費量の関係を明らかにすることを目的とする。

2. 室内温熱環境調査の概要

2.1 対象住宅 (図1、表1)

新潟市に建設された3階建て全電化高気密・高断熱住宅を対象とする。対象住宅の概要を表1に平面を図1に示す。

2.2 換気・冷暖房方式

対象住宅では2台の全熱交換型換気扇を使用して常時換気を行っている。浴室、洗面所、トイレ、台所、吹抜上部から熱交換型換気扇を経由して屋外に排気し、2階の居間、客室及び3階の子供室、寝室に外気を供給する。冷暖房はヒートポンプ、潜熱蓄熱式電気床暖房及び蓄熱式暖房器が設置されている。

2.3 測定方法と内容

温湿度の測定点を図1に示す。温度はサーミスタ、湿度は高分子膜センサーを使用し、室内で温湿度を15ヶ所、更に外気の温湿度を測定する。データはメモリを有する温湿度記憶計で10分毎に収録する。

2.4 実験条件と測定期間

対象住宅には夫婦と子供1人(小学生)の3人が居住しており、特に冷暖房の運転方法等の住まい方は指定せず、日常生活状態での温湿度、エネルギー消費量を測定する。測定期間は1997年5月13日～1998年5月13日までの1年間である。

3. エネルギー消費量調査の概要

3.1 エネルギー用途 (図2、表2)

対象住宅では、図2に示す用途別(合計10系統)に電気系統を分け、それぞれの用途毎の消費電力を測定することが可能である。対象住宅に設置された主要な電気機器を表2に示す。対象住宅の電

表1 対象住宅の概要

| | |
|---|--------------|
| 延床面積：190m ² (居住面積：150m ²) | 建設時期：1996年9月 |
| 建築場所：新潟市 | |
| 工法：2×4外断熱工法 | |
| 断熱材：外壁・屋根 押し出し発泡ポリスチレンフォーム80mm | |
| 基礎・土間 押し出し発泡ポリスチレンフォーム100mm | |
| 熱損失係数：1.40W/m ² ・℃ | |
| 気密性能：隙間の有効開口面積(αA') 0.77cm ² /m ² | |
| サッシ性能：木製サッシとLow-eペアガラス | |
| 空調設備：セントラル冷暖房設備(能力 冷房7.8kW 暖房9.5kW) | |
| 暖房設備：潜熱蓄熱式電気床暖房11kW、蓄熱式暖房器2kW×3 | |
| 換気設備：全熱交換型換気扇2台(各風量 強120m ³ /h 弱80m ³ /h) | |
| 供給エネルギー：電気(全電化住宅) | |

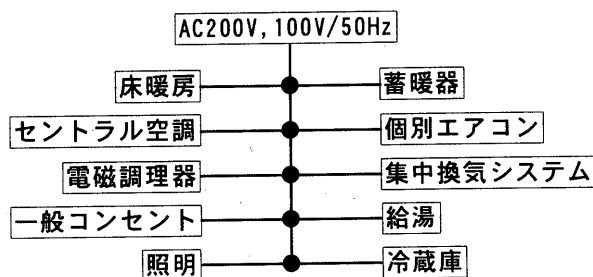


図2 対象住宅の用途別電気系統

気の契約種別は、夜23時から朝7時までの夜間と朝7時から夜23時までの昼間の電気料金が変化する時間帯別電灯契約である。

3.2 測定方法

消費電力量の測定は、用途別電気系統毎に電力トランジェータとパーソナルコンピュータによって1秒毎にサンプリングし、測定データの10分毎の積算値をハードディスクに出力する。

4. 温湿度の測定結果

4.1 2階室温の平均日変化 (図3)

(1) 夏季の平均日変化 (7月1日～8月31日の平均)

外気温は明け方に22℃、正午から午後2時の間に最高の28℃と変化するが2階室温は約26℃で安定している。明け方は外気温より室温の方が高く、正午を境に外気温が室温より高くなる。夕方4時頃から外気は室温より低くなる。

(2) 冬季の平均日変化 (1月1日～2月28日の平均)

外気は2℃～4℃の範囲に入るが、2階室温は1日を通じ20℃～25℃の範囲で安定している。居間グローブ温度が約26℃で最も高く、2階トイレが約20℃で最も低い。

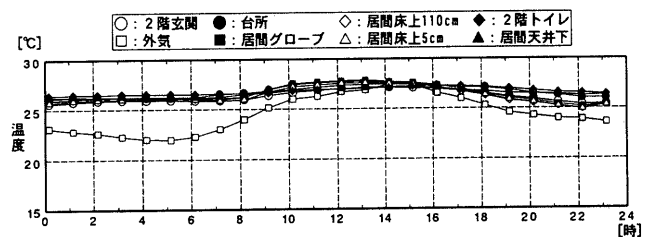
4.2 湿度の平均日変化 (図4)

夏季の室内の相対湿度は、1日を通じて約60%で安定しており若干高めである。絶対湿度は外気が約15g/kg'、室内が約13g/kg'で安定している。

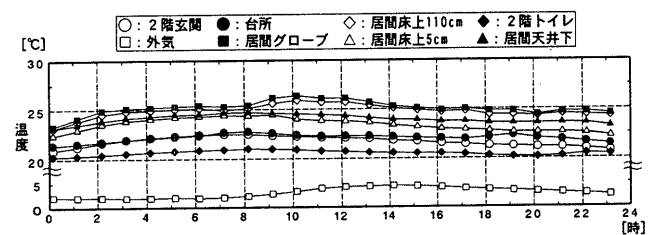
冬季の室内の相対湿度は、約30%～50%の範囲内で安定しており3階書斎が若干高めである。絶対湿度は外気が約4g/kg'、室内が

表2 主な電気機器と消費電力量

| 電気機器(最大消費電力 kW) | 備考 |
|---------------------|------------|
| 床暖房(11.05kW) | 潜熱蓄熱式電気床暖房 |
| 蓄暖器(2kW×3台、5時間深夜) | 顕熱蓄熱式電気暖房 |
| セントラルエアコン(3.8kW) | 冷房能力は7.8kW |
| 全熱交換型換気扇(65W×2台) | 常時弱運転 |
| 電磁調理器(2kW×2台、1.2kW) | 熱効率82% |
| 電気温水器(8.4kW、5時間深夜) | 温水容量460% |
| 冷蔵庫(定格118W) | 全容積401% |



(1) 夏季における2階室温の平均日変化



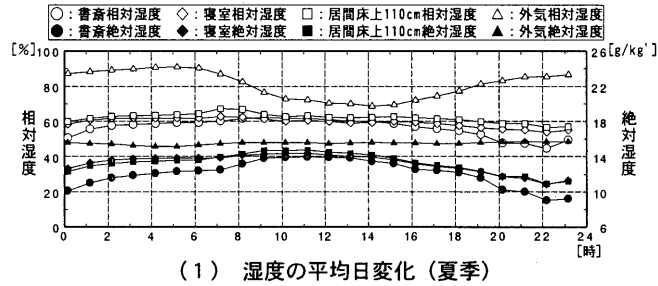
(2) 冬季における2階室温の平均日変化

図3 温度の平均日変化

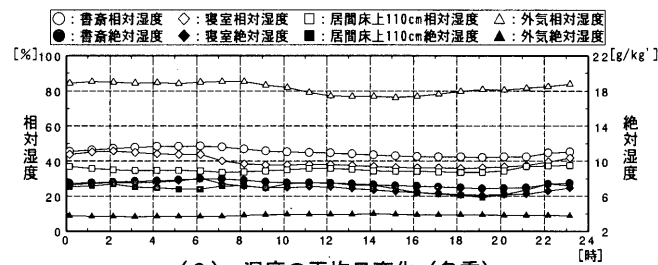
約7g/kg'である。絶対湿度が7g/kg'の時の露点温度は約9℃である。

4.3 温度の年間変化 (図5)

夏季の外気温は25℃以上で、室内の温度は外気温よりも高くなっている。一方、冬季は外気温が0℃前後であるのに比べ、室内の温度は20℃~25℃の範囲で安定している。冬季の暖房は、潜熱蓄熱式電気床暖房及び蓄熱式暖房器で行っており、このような冬季の室内温熱環境は高い断熱・気密性の効果などによるものと思われる。



(1) 湿度の平均日変化 (夏季)



(2) 湿度の平均日変化 (冬季)

図4 相対湿度と絶対湿度の平均日変化

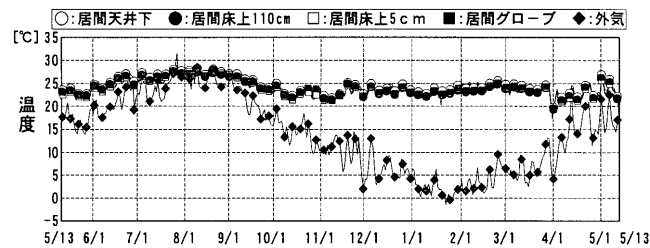


図5 2階居間の室温の年間変化

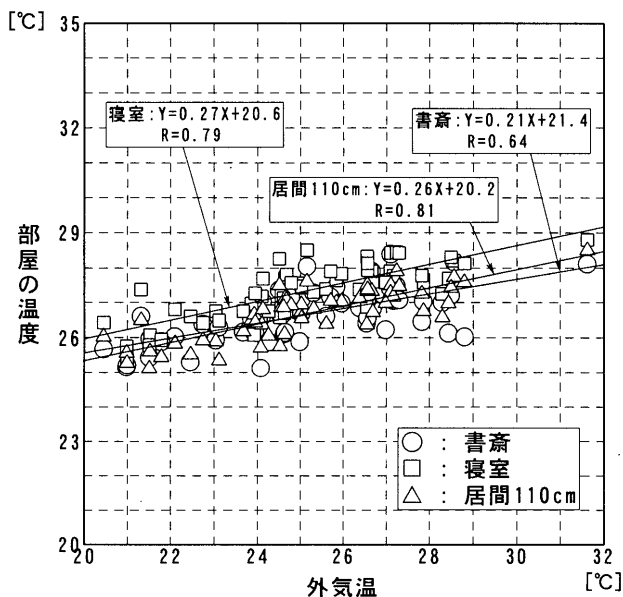


図6 日平均外気温と室温の関係 (夏季)

4.4 日平均外気温と室温の関係 (図6、図7)

(1) 夏季の日平均外気温と室温の関係

日平均室温は、居間では25.1℃~28.5℃、書斎では25.1℃~28.4℃、寝室では25.4℃~28.8℃の範囲に入る。書斎は居間と比べて温度のばらつきが大きく、3階寝室は1℃程度居間の室温より高い。居間と寝室は外気温が1℃上昇すると約0.3℃室温が上昇す

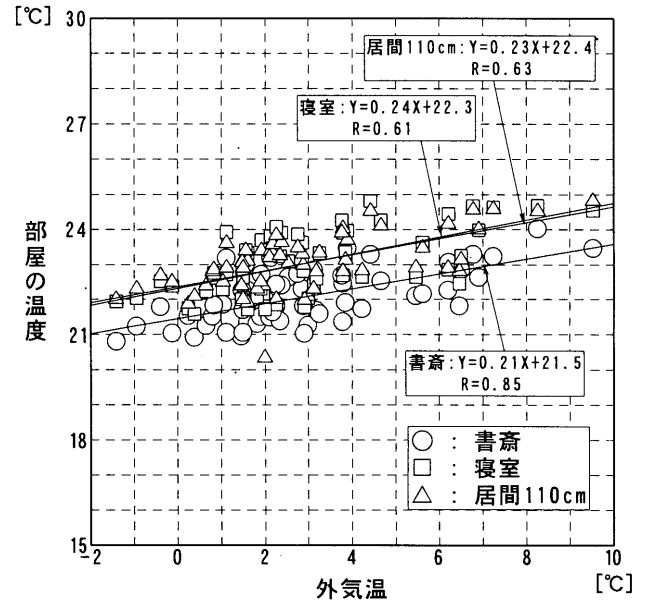


図7 日平均外気温と室温の関係 (冬季)

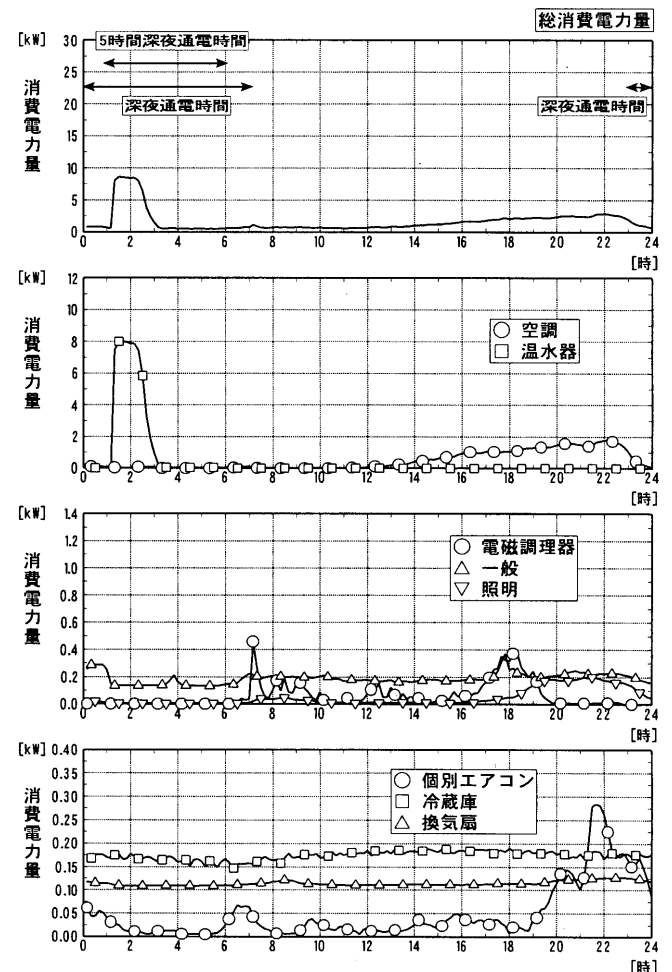


図8 夏季における消費電力の平均日変化

る。書斎は外気温が1℃上昇すると約0.2℃室温が上昇する。

(2) 冬季の日平均外気温と室温の関係

日平均室温は、夏季と比べるとばらつきが大きく、居間では20.4℃～24.8℃、書斎では20.8℃～24.0℃、寝室では21.6℃～24.8℃の範囲に入る。寝室は居間と比べて温度のばらつきが大きく、書斎は1℃程度居間の室温より低い。外気温が1℃下降すると居間は0.23℃、書斎は0.21℃、寝室は0.24℃室温がそれぞれ下降する。

5. 電力消費量の測定結果

5.1 夏季における電力消費量の平均日変化 (図8)

図8に夏季における電力消費量の平均日変化(7月1日～8月31日)を示す。冷房用セントラルエアコンの消費電力は昼の12時から増加し始め、午後6時に最高2.5kWを消費する。また、寝室に設

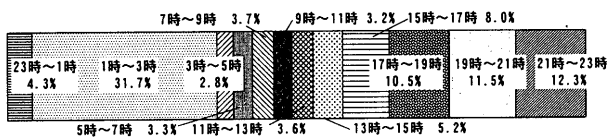


図9 消費電力の時間帯別割合 (夏季)

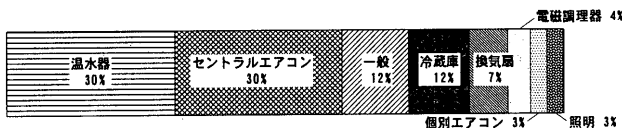


図10 消費電力の用途別割合 (夏季)

置された個別エアコンは朝7時、昼の1時頃、夜の8時から深夜12時まで電力を消費し、ピークは夜10時に約400Wである。温水器は午前1時から3時まで通電し、ピークは温水器の定格電力の8.4kWである。換気扇は一日中安定し、約130Wの電力を消費している。コンセントによる一般の消費電力は、130W～400Wの範囲で変動する。照明は午後5時から深夜0時まで最大約210W程度の消費電力である。冷蔵庫は130W～210Wの範囲で変動する。住宅全体の電力消費量のピークは電気温水器による午前1時から午前3時に生じ、夕方6時に電磁調理器や空調設備などの使用によるピークがある。対象住宅の1日の平均電力消費量は52.0kWhである。図9に時間帯別の電力消費量の割合を示す。

5.2 夏季における用途別電力消費量 (図10)

冷房用電力が最も多く、書斎に設置した個別エアコン(3%)を含めて全体の33%である。次に電気温水器の電力消費量が30%である。コンセントによる一般の消費電力は12%、冷蔵庫は11%、換気扇7%、電磁調理器4%、照明が3%の割合となっている。

5.3 冬季における電力消費量の平均日変化 (図11)

図11に冬季における電力消費量の平均日変化(1月1日～2月28日)を示す。床暖房は夜間時間帯の夜11時から朝7時まで通電し、最高11.4kWの電力を消費する。蓄暖器は、夜1時から朝6時20分

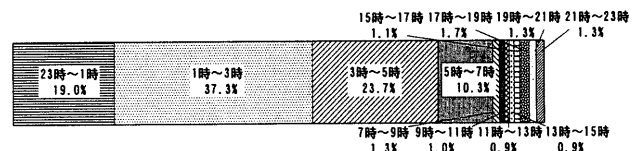


図12 消費電力の時間帯別割合 (冬季)

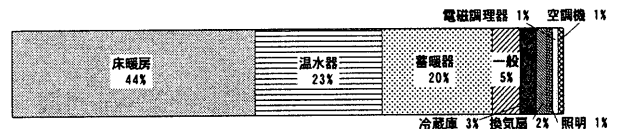


図13 消費電力の用途別割合 (冬季)

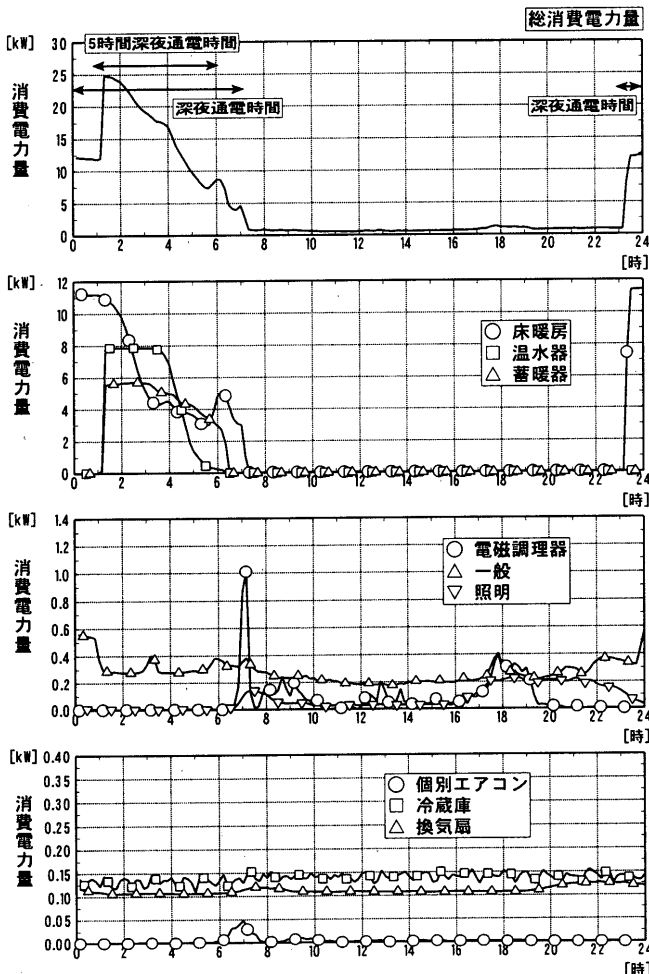


図11 冬季における消費電力の平均日変化

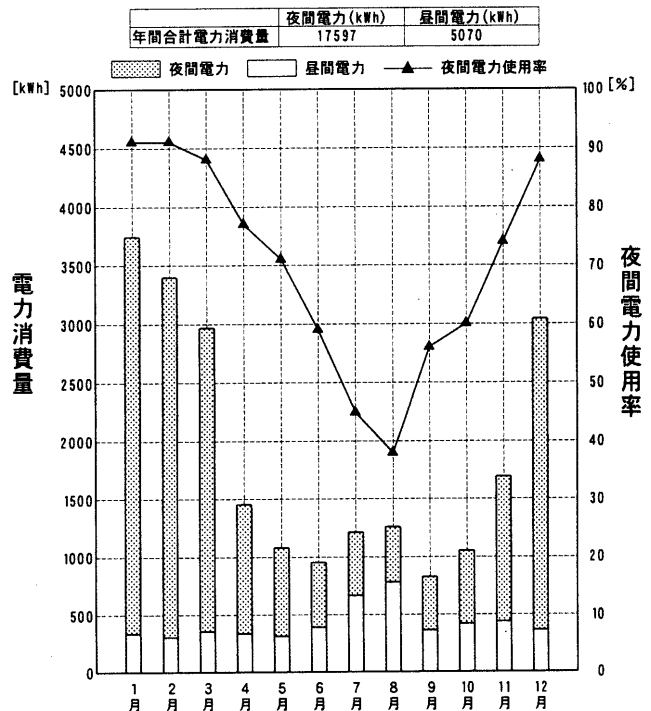


図14 年間の月積算電力消費量の変化

まで通電し、最高5.8kWである。温水器は毎夜1時から4時20分頃まで通電している。換気扇は夏季と同様に一日中安定し約130Wの電力を消費している。コンセントによる一般の消費電力は、150W～570Wの範囲で変動する。照明は午後4時から深夜0時まで最大約260W程度の消費電力である。冷蔵庫は70W～170Wの範囲で変動し、夏季よりも約60W消費電力が減少する。住宅全体の電力消費量のピークは給湯、潜熱蓄熱式電気床暖房、蓄暖器の運転による午前1時から午前3時にあり最高25.6kWである。対象住宅の冬季の1日あたりの電力消費量合計は132.9kWhであり、夏季の消費電力量の約2.6倍である。図12に時間帯別の電力消費量の割合を示す。夜23時から朝7時までの電力消費量は全体の90.3%であり、消費する電力の殆どを安価な夜間時間帯に費やしている。

5.4 冬季における用途別電力消費量 (図13)

冬季における用途別電力消費量を図13に示す。夏季と同様に暖房にかかる電力が最も多く、床暖房が全体の44%、蓄暖器が20%の電力を消費している。次に電気温水器の電力消費量が23%を占める。コンセントによる一般の電力消費量は5%、冷蔵庫は3%、換気扇2%、電磁調理器は1%、照明が1%の割合となっている。

5.5 年間の月積算電力消費量の変化 (図14)

年間の月積算電力消費量の変化を図14に示す。最も電力消費量が多かった月は1月で3740kWhの電力を消費しており、これは一般

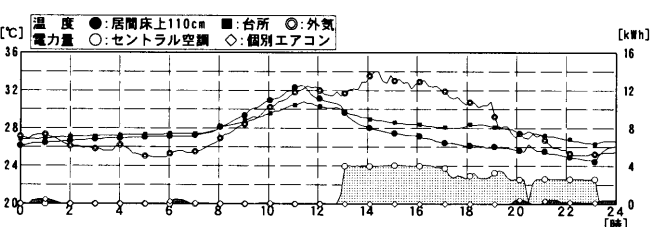
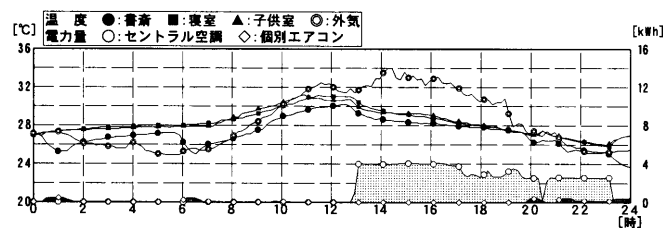


図15 夏季における典型的な1日の温度・電力消費量の日変化 (8月12日)

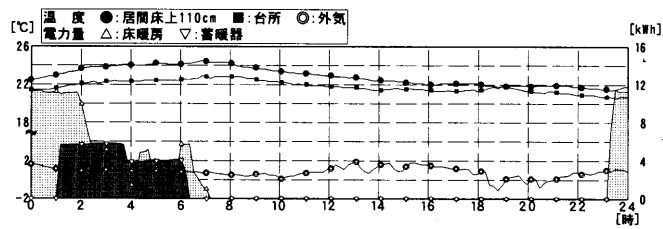
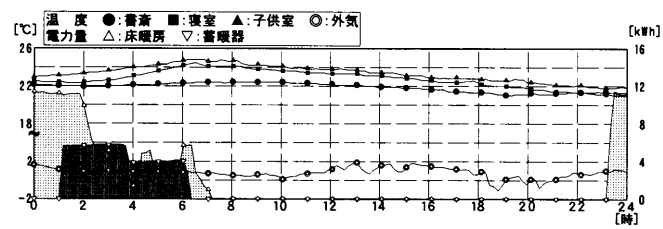


図16 冬季における典型的な1日の温度・電力消費量の日変化 (2月10日)

住宅のほぼ1年間の電力消費量にあたる。12月から3月にかけては2500kWhを越えており、特に電力消費量が多くなっている。これは冬季における潜熱蓄熱式電気床暖房と蓄暖器の使用による暖房のためであると考えられる。しかしながら、その殆どが安価な夜間電力を経済的に使用している。夏季の7月、8月は夜間電力と昼間電力が逆転し、昼間電力の方が夜間電力よりも多くなる。これは、夕方から夜にかけての冷房用セントラルエアコンの運転によるものである。夜間電力使用率は、冬季の1月、2月で91%と最も割合が高く、8月で38%となっている。年間の合計積算電力量は22667kWhである。

6. 室内温熱環境とエネルギー消費量の関係

6.1 夏季・冬季における典型的な1日の

温度・電力消費量の日変化 (図15、図16)

夏季における典型的な1日の温度・電力消費量の日変化を図15に示す。夏季の代表日8月12日は、午後1時頃外気温の上昇とともに冷房用セントラルエアコンが使用される。午前11時頃居間の室温は32℃を越えているが、冷房の使用に伴い室温は徐々に下がり、夜の11時頃には約24℃になる。この日の冷房用セントラルエアコンと個別エアコンの電力消費量の合計は34.8kWhである。居間の日平均温度は27.4℃である。

冬季における典型的な1日の温度・電力消費量の日変化を図16に示す。冬季の代表日2月10日は、夜11時から朝7時まで潜熱蓄熱式電気床暖房が、夜1時から朝6時頃まで蓄暖器がそれぞれ使用されている。そのため外気温が2℃前後であるにもかかわらず、各部屋の室温は20℃以上に保たれている。床暖房の1日の電力消費量の合計は48.0kWhである。

6.2 外気温と総エネルギー消費量の関係 (夏季、図17)

一般的な調査例との整合性やエネルギー消費量の簡便な予測方法を示すために、夏季における1日の総電力消費量と外気温の関係を解析し、図17に示す。外気温は20℃～32℃の範囲で分布している。外気温が1℃上昇するとともに1日の総電力消費量は3.33kWh増加

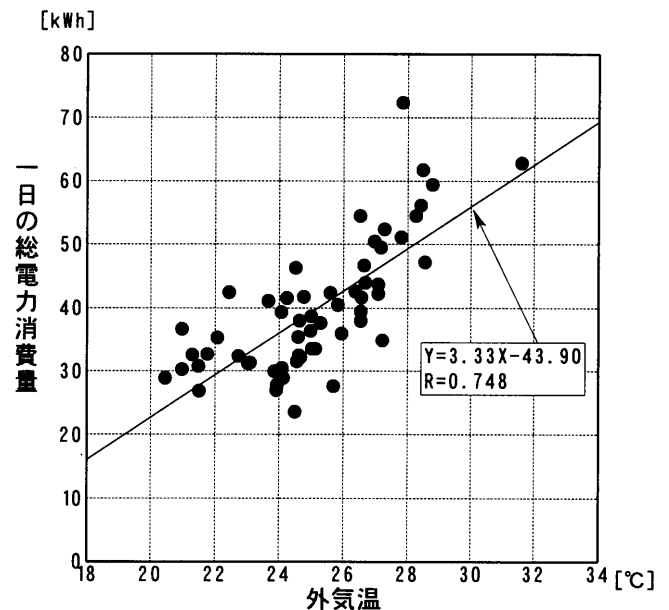


図17 夏季における1日の総電力消費量と外気温の関係 (7月、8月)

する。

6.3 内外温度差と冷房消費電力の関係 (夏季、図18)

1日の空調電力消費量と日平均室内外温度差(室温-外気温)の関係を図18に示す。垂水⁴⁾らは、室内外温度差が1℃変化すると冷房用電力が約2.4kWh増減すると報告している。しかしながら対象住宅では、室内外温度差が1℃変化すると空調の消費電力は1日あたり4.7kWh増減する。この相違の理由は、シェルター性能の違い、空調機のCOPの違い、窓の開放条件等が考えられる他、対象住宅では夏季の特に夜間において室温と外気温が逆転し、熱の排出の困難さが指摘される。そのため、日平均外気温が日平均室温より低い日でも、冷房を行っている場合が全体の2/3となっている。内外温度差が1℃の時の居住床面積当たりの電力消費量は1.31W/m²・h⁺℃である。

6.4 外気温と総エネルギー消費量の関係 (冬季、図19)

冬季における1日の総電力消費量と外気温の関係を図19に示す。

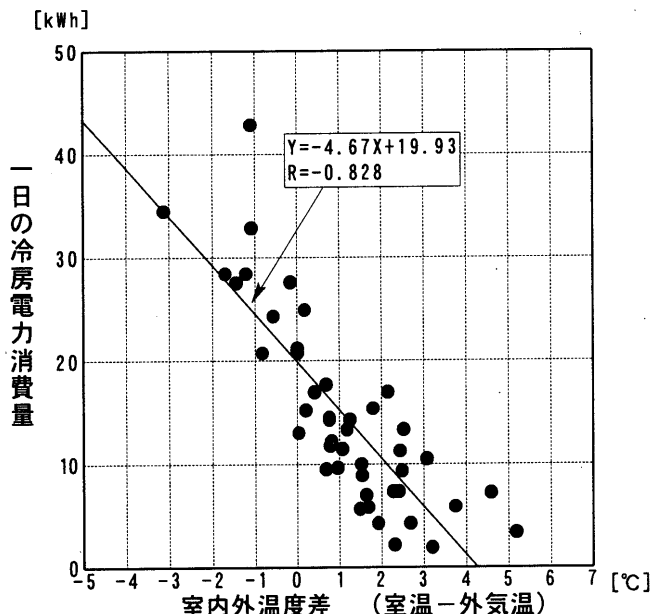


図18 内外温度差と空調消費電力の関係 (夏季)

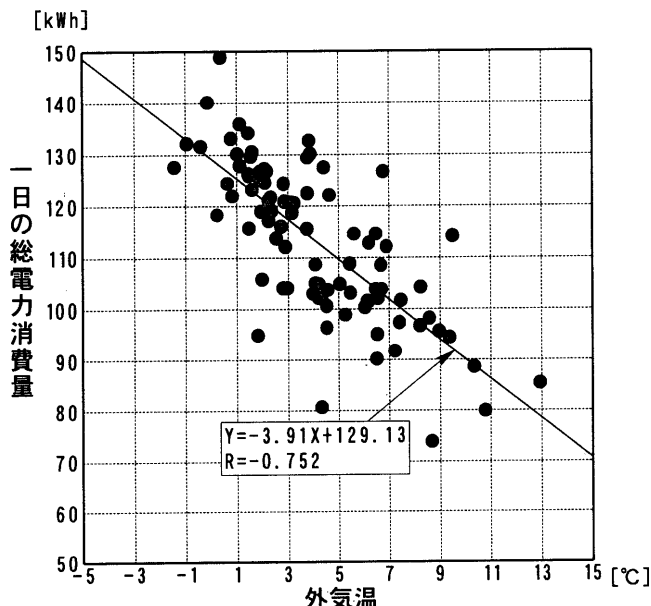


図19 冬季における1日の総電力消費量と外気温の関係 (12月、1月、2月)

外気温は、-2℃~13℃の範囲で分布している。外気温が1℃下がるとともに1日の総電力消費量は3.91kWh増加する。

6.5 内外温度差と暖房電力消費量の関係 (冬季、図20)

住宅で消費されるエネルギーの内、給湯用以外はほぼ暖房に寄ると仮定し、内外温度差と給湯を除いた電力消費量の関係を図20に示す。居間の温度は22℃~25℃の範囲でほぼ安定しており、内外温度差が1℃変化すると約3.84kWh電力消費量が増減する。回帰直線の傾きを対象住宅の居住面積と1日24時間で割ると1.07W/m²・℃となり、設計図書から算出した熱損失係数1.40W/m²・℃よりも小さい値となる。これは居住者人体からの発熱と熱交換型換気扇で回収できたエネルギーのためであると考えられる。

7. まとめ

本論文で対象とした住宅では、

- ①夏季の室内温熱環境は温度が約25℃~28℃、相対湿度が約50%~70%、絶対湿度が13g/kg'で1日を通じて安定しており快適であると考えられる。冬季の室内温熱環境は温度が約20℃~25℃、相対湿度が約20%~40%、絶対湿度が7g/kg'であり湿度がやや低めではあるが快適であると考えられる。また、室温は冷暖房を行っているため外気温の影響が少なく、外気温が1℃上昇しても室温は0.2℃程度の上昇にとどまる。
- ②夏季の電力消費量のピークは給湯による午前1時から午前3時にあり、1日の電力消費量の合計は52.0kWhである。夜間使用率(夜23時から朝7時までの電力使用率)は42.1%である。
- ③冬季の電力消費量のピークは、給湯、潜熱蓄熱式電気床暖房、蓄暖器の運転による午前1時から午前3時にあり最高25.6kWhである。1日の電力消費量の合計は132.9kWhであり夏季の消費電力量の2.6倍である。夜間使用率は90.3%と極めて高く、安価な夜間時間帯の電力を経済的に使用している。
- ④内外温度差が1℃変化すると空調(冷房)の消費電力は1日当たり約4.7kWh増減する。
- ⑤冬季の給湯を除いた1日の電力消費量は、内外温度差が1℃変化すると約3.8kWh増減する。

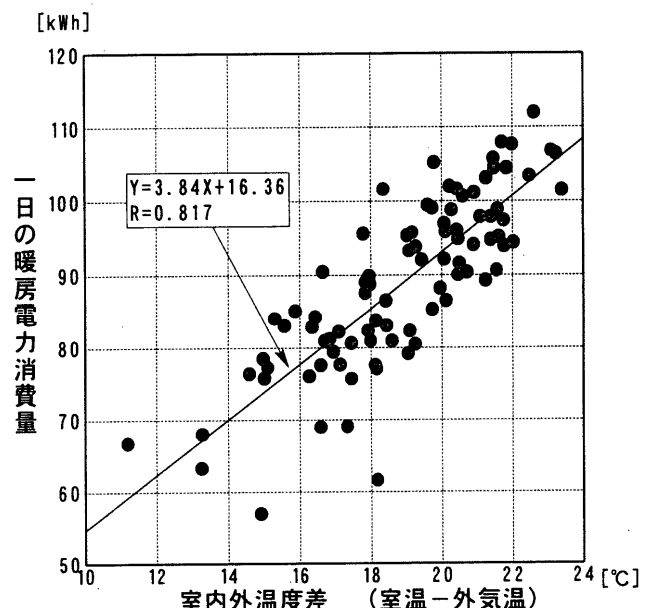


図20 給湯を除いた電力消費量と内外温度差の関係 (冬季)

【参考文献】

- 1) 石川, 吉野, 佐々木: 仙台市に建設された全電化パッシブ住宅の室内熱環境とエネルギー性能に関する長期実測, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp117 ~ 120, 1997. 9
- 2) 吉野, 長友, 石川ら: カナダR2000仕様に基づいて建設された高断熱高気密住宅の熱空気環境に関する長期測定, 日本建築学会計画系論文集, No471, pp19 ~ 28, 1995. 5
- 3) 佐々木, 石川, 吉野: 自然エネルギー利用を考慮した断熱気密住宅における室内熱環境とエネルギー性能の実測 その5 入居後2年間の室内熱環境とエネルギー消費量, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp471 ~ 472, 1996. 9
- 4) 白庄司, 宮村, 垂水: 富山に立地する高断熱高気密モデル住宅に関する温熱環境とエネルギー消費の解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp53 ~ 54, 1997. 9
- 5) 吉野, 長谷川: 東北地方を中心とした高断熱高気密住宅のエネルギー消費量に関する実態調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp79 ~ 80, 1997. 9
- 6) 伊藤, 鋒井, 前田ら: 関西地区における高断熱高気密住宅の室内環境と消費エネルギーの実態調査 その1 室内温熱環境とエネルギー消費量の測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp215 ~ 216, 1998. 9
- 7) 黒柳, 山下, 長谷川ら: 長野県に建設された断熱気密住宅のエネルギー消費量に関する研究 その1 室内温熱環境およびエネルギー消費量に関する調査結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp223 ~ 224, 1998. 9
- 8) 吉竹, 山下, 長谷川ら: 長野県に建設された断熱気密住宅のエネルギー消費量に関する研究 その2 断熱気密住宅3棟を対象とした実測調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp225 ~ 226, 1998. 9
- 9) 坊垣, 澤地, 吉野ら: 夏期および冬期の居住室温とその地域性に関する研究 -全国的調査に基づく住宅のエネルギー消費とライフスタイルに関する研究- 第2報, 日本建築学会計画系論文集, No505, pp23 ~ 30, 1998. 3
- 10) 坊垣, 澤地, 吉野ら: 全国的調査に基づく住宅の暖冷房時間および暖冷房期間に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No509, pp41 ~ 47, 1998. 7
- 11) 赤林, 坂口, 山口: 全電化住宅の居住環境とエネルギー消費量に関する研究 その1 対象住宅の概要と夏季・冬季における室内温熱環境, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp227 ~ 228, 1998. 9
- 12) 山口, 赤林, 坂口: 全電化住宅の居住環境とエネルギー消費量に関する研究 その2 夏季・冬季におけるエネルギー消費量の測定結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp229 ~ 230, 1998. 9
- 13) 赤林, 坂口, 船山ら: 全電化住宅の居住環境とエネルギー消費量に関する研究 その3 年間を通じた室内温熱環境と空調電力消費量の関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp197 ~ 198, 1999. 9

(2000年5月10日原稿受理, 2001年1月12日採用決定)