

太陽エネルギー利用住宅の負荷平準化およびエネルギー削減効果のシミュレーションによる検討

Simulation Study on Reduction of Peak Power Demand and Energy Consumption in Residential Houses with Solar Thermal and PV Systems

遠藤 拓也*¹
Takuya ENDO

宇田川 光弘*²
Mitsuhiro UDAGAWA

Abstract

In order to examine the effects on the reduction of peak power demand and energy consumption of the model residential houses with solar thermal and PV systems, a series of the year-round simulation was carried out for the eighteen cases. The simulation cases were conducted with the combinations of solarthermal and PV systems, heat capacity and thermal insulation of the houses and the operation methods of space heating and cooling systems. As the results of the simulation using the standard hourly weather data of Tokyo, the followings were found. 1) Thermal insulation of building envelopes and the use of a solar hot water heating system considerably contribute to reduce the total heat load of the house. 2) The combined use of a solar hot water heating system and a PV system is more effective to reduce the purchased energy in comparison with a PV system alone. 3) In addition to the use of a PV system, the continuous operation of a space heating system is effective to reduce the total electric peak demand.

Key words: Simulation, Energy consumption, Peak power demand, Residential house, Thermal insulation, Heat capacity, PV system, Solar hot water heating

1. はじめに

わが国の住宅のエネルギー消費量は生活水準の向上に伴い増加傾向にあることが指摘されており、快適な居住環境をできるだけ少ないエネルギー消費で実現するため、太陽エネルギーの利用は益々重要になってきた。

住宅の二次エネルギー消費は全国平均で12MWh/年戸⁽¹⁾、また関東地方のみでは新築の戸建て工業化住宅では14.5MWh/年戸⁽²⁾、分譲郊外住戸で13.8MWh/年戸⁽³⁾と推定されている。エネルギー消費量の内訳は、概略、暖房、給湯がそれぞれ約三分の一ずつを占め、残りが家電機器、照明、調理、冷房などである。冷房は現状では消費の5%以下であり少ないが、今後の増加が予想される。最近の調査では給湯用エネルギーは住宅のエネルギー消費の1/3~1/2にも達する報告がなされており、住宅のエネルギーシステムを考える上で特に重要な要素である。

本研究ではこれらの住宅のエネルギー消費に係わる全ての要素を対象として、今後の居住環境水準の向上を考

慮したモデル住宅によるシミュレーションにより、住宅における太陽光発電システム、太陽熱利用システムの有効性の検討を行った。また、太陽エネルギー利用システムの効果に加え、建築躯体の蓄熱効果や暖・冷房運転方式によるエネルギー負荷の平準化効果についても検討対象に含めた。なお、本研究の一部は研究発表会で発表済であるが⁽⁴⁾、ここではシミュレーション条件を整理し、より多くの事例について検討した結果を報告する。

2. 住宅および生活モデル

温熱環境および太陽熱給湯暖房システムのシミュレーションには建物および太陽熱利用システム各要素における熱平衡式を基礎とする汎用プログラムEESLISM⁽⁵⁾⁽⁶⁾を用いた。気象データには東京の標準気象データであるHASP用気象データを使用した。

想定した建物モデルは4人家族が生活する延べ床面積125m²の東京の戸建て住宅とした⁽⁹⁾。モデル住宅の平面図、立断面図をそれぞれ図1、図2に示した。本研究では建物の熱容量による負荷変動への影響など住宅そのものの特性を考慮するため、建物構造は木造とRC造の二種類を設定した。モデル住宅は太陽エネルギー利用を活

* 原稿受付 平成7年5月12日

*1 横浜市役所、横浜市中区港町1丁目1番地

*2 工学院大学工学部建築学科、新宿区西新宿1-24-2

用する前提として、暖房負荷を軽減させるべきであることから基本的に高断熱住宅としたが、比較のために関東地域における標準断熱仕様住宅⁽¹⁰⁾も想定した。図3に示すように、高断熱仕様では断熱材の仕様は木造、RC造ともに外壁150mm、天井300mm、床100mmとした。窓は全て複層ガラスとし、冬期の夜間には断熱厚30mmの断熱戸を居間と和室、主寝室、子供室、予備室の窓に用いることとした。標準断熱仕様住宅の断熱仕様は「住宅の新省エネルギー基準と指針」を参考にして木造は外壁35mm、天井55mm、床20mmとし、RC造は外壁35mm、天井45mm、床20mmとした。標準断熱仕様では窓は単層ガラスとして、断熱戸は使用しないこととした。居間、和室、主寝室、子供室1の窓上部には高断熱仕様、標準断熱仕様ともに庇が取り付けられてあるとした。

小屋裏は1室として扱い小屋裏の空気温度を計算しています。土間床については1次元非定常計算モデルで地

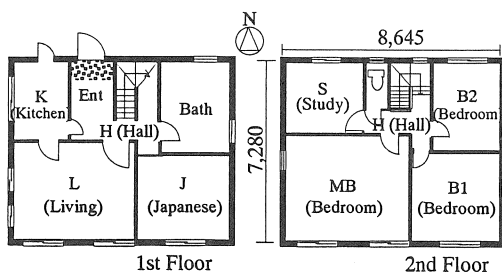


図1 モデル住宅平面図

中1mの温度を境界条件として与えた。

延べ床面積1m²当たりの熱損失係数は木造では高断熱仕様が1.3 [W/ (°C・m²)], 標準断熱仕様が3.3 [W/ (°C・m²)]である。RC造では高断熱仕様高断熱仕様が1.2 [W/ (°C・m²)], 標準断熱仕様が3.2 [W/ (°C・m²)]である。

在室人数スケジュール

モデル住宅には夫婦と子供二人の四大家族が生活することを想定して図4のように1階、2階各室の在室人数のスケジュールを作成した。このスケジュールにより冷暖房スケジュールを設定した。

換気スケジュール

台所排気以外の換気・すきま風量は全室とも常時0.5回/hとした。台所排気については厨房換気量として調理時に160m³/hを設定した。

断熱戸スケジュール

断熱戸は熱貫流率が0.90 [W/ (m²・K)]であるものと

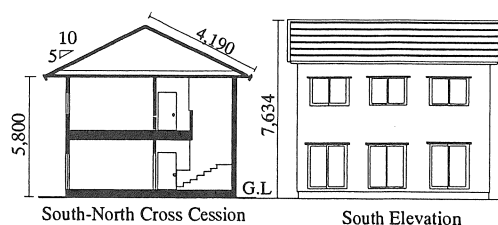


図2 モデル住宅立面図

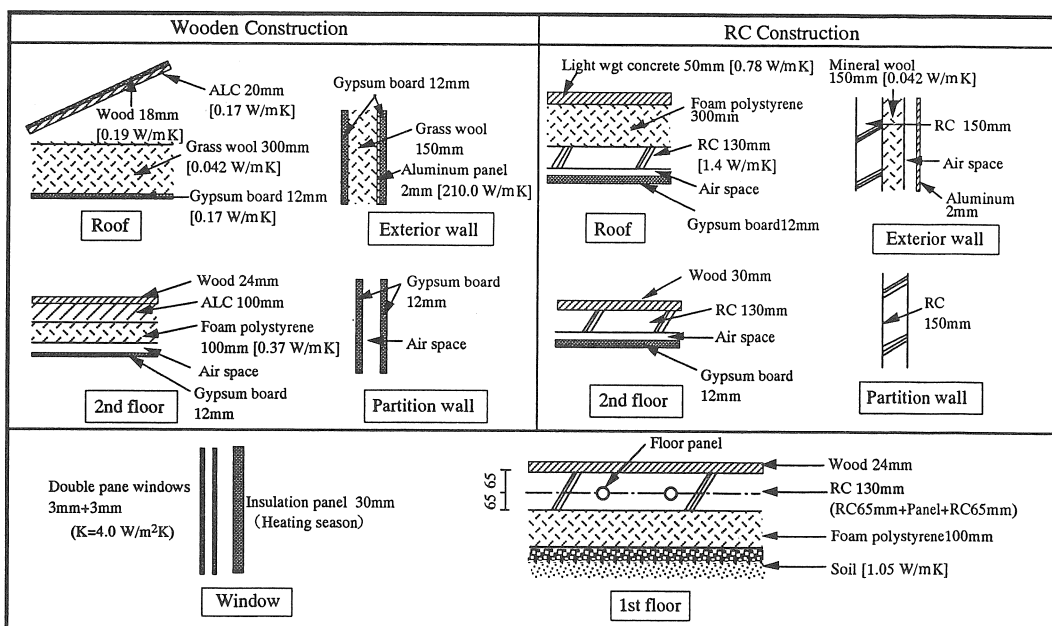


図3 高断熱仕様モデル住宅壁体構成

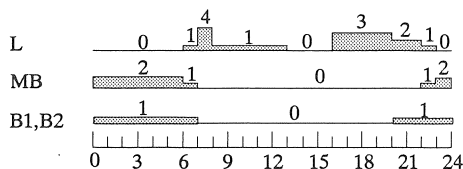


図4 モデル住宅 在室人数スケジュール

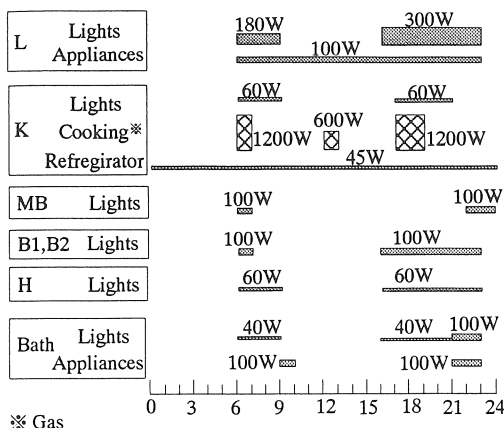


図5 モデル住宅 家庭用機器スケジュール

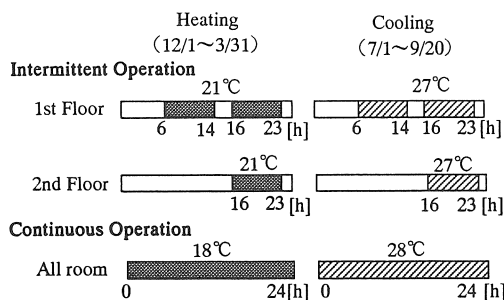


図6 ファンコイル運転スケジュール

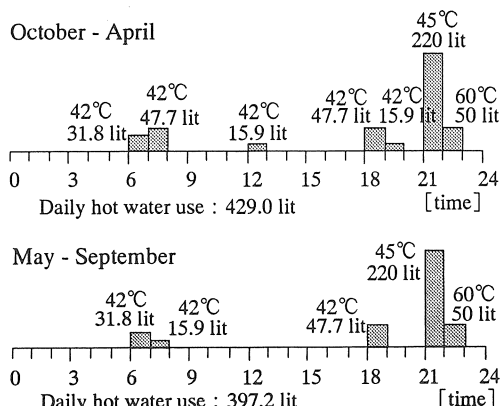


図7 給湯スケジュール

し、居間と和室、主寝室、子供室、予備室の窓に17時～6時の間に用いることとした。

家庭用機器スケジュール

住宅用エネルギー消費量実態調査⁽²⁾を参考に1日15.25kWh、年間で5.6MWhとなるよう図5に示す時間単位のスケジュールを作成した。図5のスケジュールは家庭用機器エネルギー消費量の算定とともに空調負荷・室温シミュレーションにおける室内発熱にも用いられる。なお、調理用エネルギーについては厨房からの直接排気を考慮し、図5の値の50%を室内発熱とした。

暖冷房運転スケジュール

暖冷房の室温は図6に示すように在室人数スケジュールに応じた間欠暖・冷房と全室終日暖・冷房を行う連続暖・冷房の二種類を設定した。間欠暖・冷房と連続暖・冷房で設定室温が異なるのは、室内表面温度が間欠暖・冷房時と連続暖・冷房時で異なるため、室内空気温度と室内平均表面温度の平均値である作用温度がほぼ同一となるように考慮したためである。

給湯スケジュール

給湯スケジュールは、太陽熱給湯のシミュレーションによる評価のために設定されたスケジュールを使用した。毎時の給湯量、給湯温度は図7に示すとおりである。この給湯スケジュールの1日あたりの給湯量は10月1日～4月30日では429 lit/日であり、10月1日～4月30日では397 lit/日である。この結果、年間の給湯負荷は5.1MWhとなる⁽¹¹⁾。

3. 太陽エネルギー利用システム

基準システム (Case1, Case2)

木造、RC造のモデル住宅それぞれには、表2に示す5種類の方式を想定した。Case1は標準断熱住宅で太陽エネルギー利用システムを設置しない方式である。Case2～5は全て高断熱住宅で、このうちCase3～5には太陽エネルギー利用システムが設置されているものとした。

冷暖房システムは全ての場合について空気熱源ヒートポンプによる冷温水方式とし、各室にファンコイルユニットが取り付けられているものとした。表2に示すように間欠暖・冷房を (a)、連続暖・冷房を (b) とした。

太陽熱利用システムを使用しないCase1, 2では、給湯は瞬間加熱式ガスボイラによる方式とした。太陽エネルギー利用システムでは、屋根面に設置するパネル面積を20m²に一定とし、太陽熱利用システム、太陽光発電システムの併用の場合には太陽電池と集熱器の面積比率を変

表2 ケーススタディのシステム別構成要素

	Thermal insulation of house	PV array	DHW	Heating/Cooling system	Heating/Cooling operation	System diagram
Case 1	Standard	—	Gas boiler	Heat pump	Intermittent only	—
Case 2a、2b	Well insulated	—	Gas boiler		Intermittent 2a Continuous 2b	—
Case 3a、3b		20m ²	Elec.		Intermittent 3a Continuous 3b	—
Case 4a、4b		14m ²	Solar(6m ²) + Gas boiler		Intermittent 4a Continuous 4b	Fig.8
Case 5a、5b		10m ²	Solar(10m ²) + Heat pump + Gas boiler		Intermittent 5a Continuous 5b	Fig.9

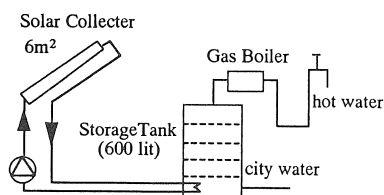


図8 太陽熱給湯システム系統図

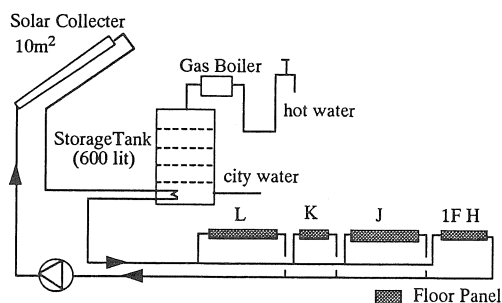


図9 太陽熱暖房給湯システム系統図

表3 太陽エネルギー利用システム機器仕様

PV module*	Single crystal silicon cell with module conversion efficiency 12%
Inverter	efficiency 0.9
Solar Collector*	Flat plate with single glazing and selective absorber
Storage Tank	600 liters insulation Grass wool 50[mm] K=0.73 [W/(m ² ・K)]

*Tilted angle 30 degrees, faced to south

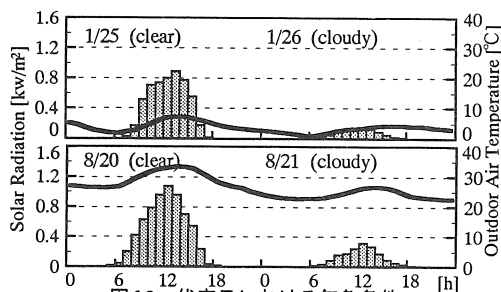


図10 代表日における気象条件

えた。太陽電池と太陽熱集熱器ともに傾斜角度を35°、方位を南とした。太陽光発電システムはCase3, 4, 5に設置することとした。太陽光発電システムの太陽電池は単結晶シリコン型とし、逆流流を行う系統連携方式とした。表3に太陽エネルギー機器仕様を示した。

太陽光発電システム (Case3)

太陽エネルギー利用システムとして、太陽光発電システムのみを利用することとし、太陽電池の面積を20m²とした。給湯は能力4.4kWのヒーター、容量600 litの深夜電力電気温水器を用いる。深夜電力の通電時間帯は23時～6時とした。

太陽熱給湯システム+太陽光発電システム (Case4)

太陽電池の面積は14m²、太陽熱集熱器の面積は6m²、蓄熱槽は600 litとした。太陽熱集熱器は給湯加熱のみに用い、給湯用補助熱源として瞬間加熱式ガスボイラを用いることとした。

太陽熱暖房給湯システム+太陽光発電システム (Case5)

太陽電池および太陽熱集熱器の面積はそれぞれ10m²とした。太陽熱集熱器は図9に示すように冬期には給湯と暖房の加熱に用いた。太陽熱暖房は1階の居間、台所、和室、1階ホールのコンクリート床を加熱する床パネル方式であり、コンクリート床に蓄熱効果も期待している。蓄熱槽は給湯のみに用い、補助熱源はファンコイルユニットである。2階はファンコイルユニットのみにより暖房される。夏期および中間期においては太陽熱システムは給湯加熱のみに使用される。

4. 室内熱環境・暖冷房変動

暖冷房システムのシミュレーション結果は冬期はCase2～4、夏期はCase2～5が同じである。シミュレーション結果として冬期、夏期、それぞれの代表日における居間の室内熱環境および空調負荷を図11～図18に示した。代表

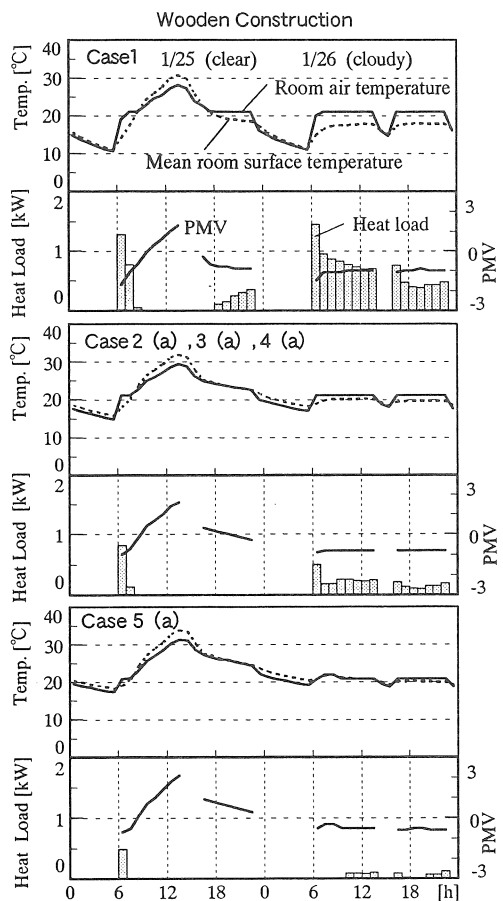


図11 木造の居間における間欠暖房での室内環境 (冬期)

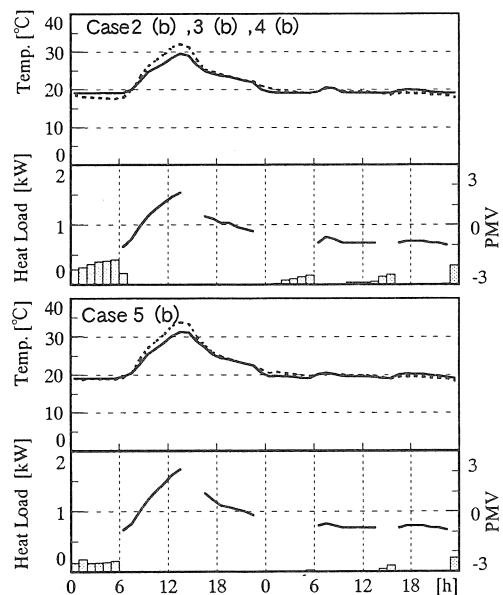


図12 木造の居間における連続暖房での室内環境 (冬期)

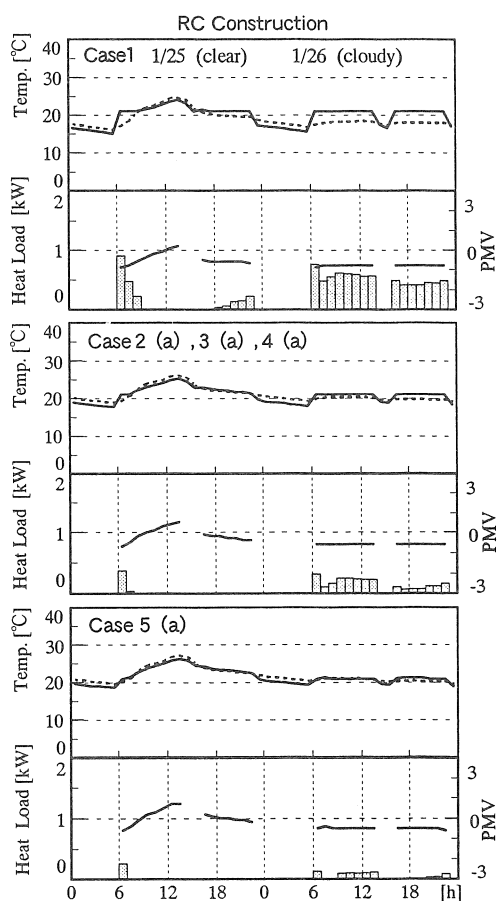


図13 RC造の居間における間欠暖房での室内環境 (冬期)

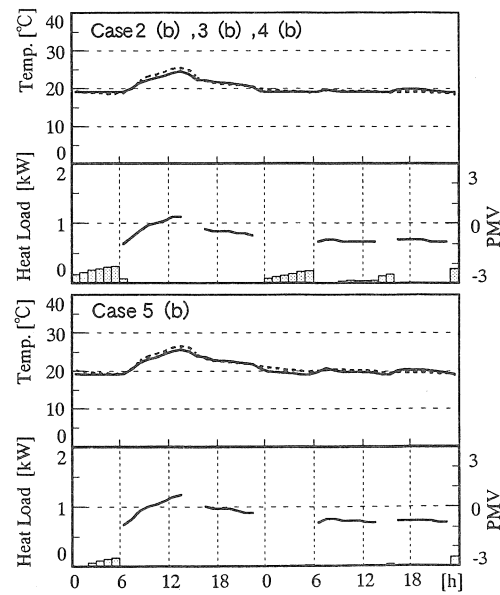


図14 RC造の居間における連続暖房での室内環境 (冬期)

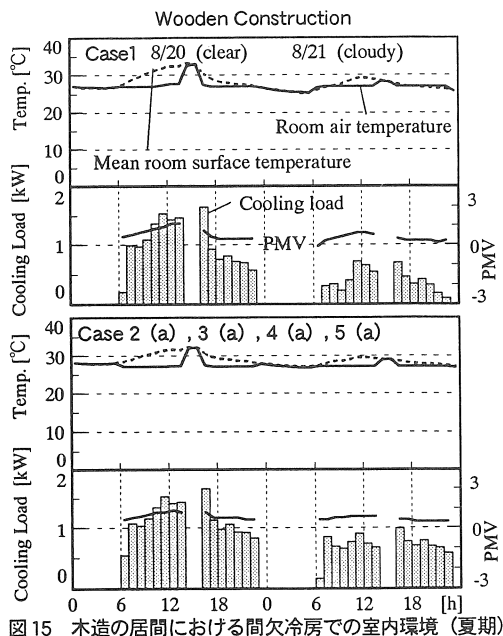


図15 木造の居間における間欠冷房での室内環境 (夏期)

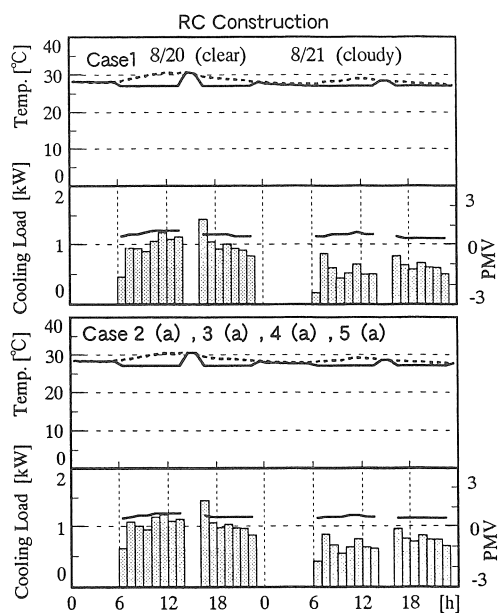


図17 RC造の居間における間欠冷房での室内環境 (夏期)

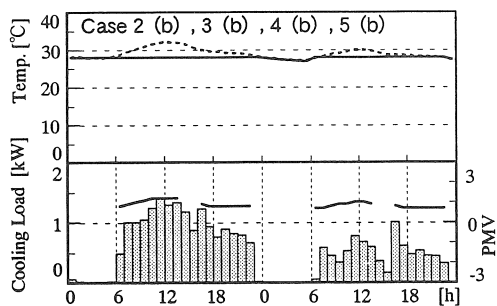


図16 木造の居間における連続冷房での室内環境 (夏期)

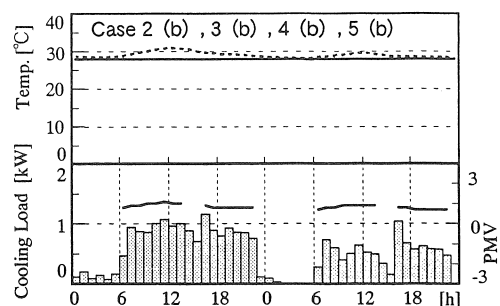


図18 RC造の居間における連続冷房での室内環境 (夏期)

日は晴天日、曇天日の連続する二日間を選定し、冬期では1月25、26日とし、夏期においては8月20、21日とした。代表日における日射量と外気温度を図11に示す。

図11のCase1に示すように標準断熱の木造の居間における間欠暖房での暖房負荷は暖房開始時の6時に1.2kWのピークが生じている。晴天日である1月25日の日中は日射により暖房は不要となっている。1月26日では14時～16時の暖房間欠時に室内空気温度が21℃から14.7℃まで低下するため室内の温熱環境指標であるPMV⁽¹²⁾が-0.5～0.5の許容範囲になるのは18時以降となった。16時以降は全室で暖房を行うため居間の暖房負荷は6時～14時よりも小さくなっている。高断熱仕様である図11のCase2(a)～4(a)では周壁平均温度が室内空気温度とほとんど同じ値であり、また室内空気温度が著しく低下し

ないため、PMVは立ち上がり時でも0.4であり許容域に入っている。暖房負荷の朝6時のピークは1月25日では0.9kW、1月26日では0.5kWと小さい。1月26日でも朝6時以外に0.4kWを越えることはない。図11のCase5(a)に示す太陽熱床暖房設置モデルではコンクリート床の蓄熱効果により1月25日の5時の室内空気温度は最低でも17.2℃であり、暖房負荷の6時のピークは0.48kWとなった。1月26日は暖房負荷は太陽熱床暖房によりほとんどなく、PMVは立ち上がり時から許容域に入っている。

図12に示す連続暖房では夜間での室内空気温度の低下がないため、Case2(b)～4(b)ではピーク時である6時の暖房負荷は0.25kWとなった。室内空気温度の設定は間欠暖房より2℃低い19℃であるが周壁平均温度が高いため6時のPMVは間欠暖房を0.1上回った。太陽熱床暖房

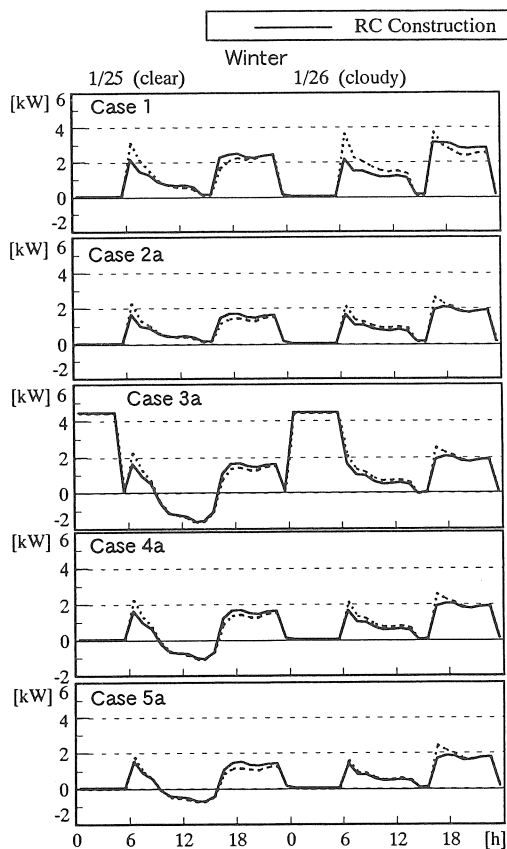


図19 各 Case の間欠暖房での買電力量 (冬期)

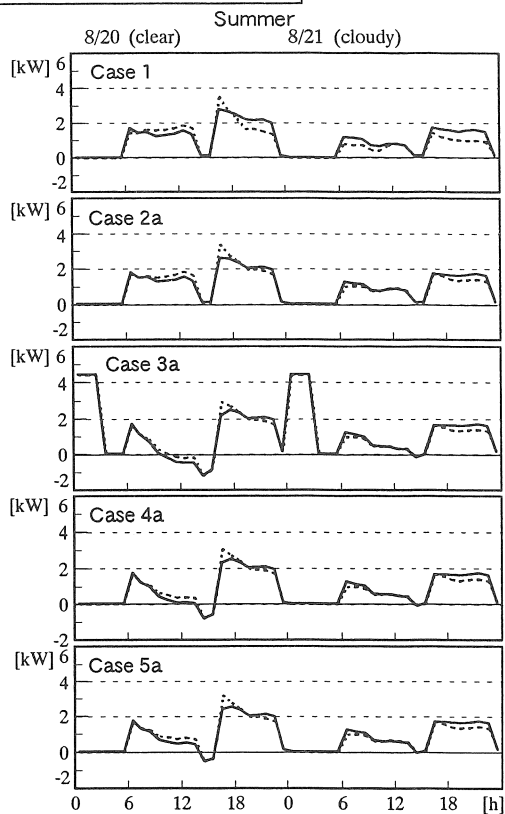


図21 各 Case の間欠冷房での買電力量 (夏期)

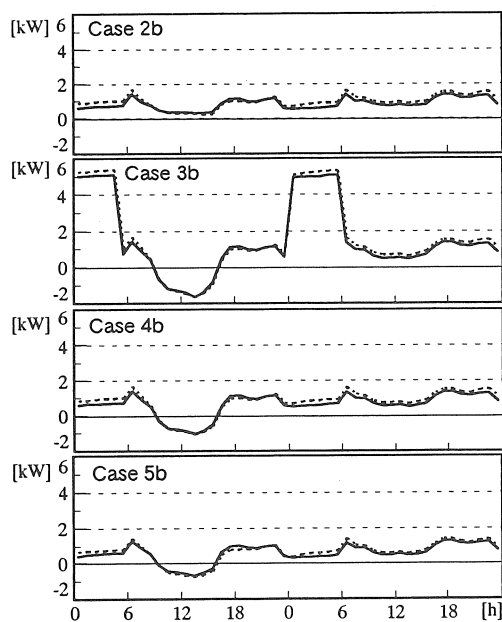


図20 各 Case の連続暖房での買電力量 (冬期)

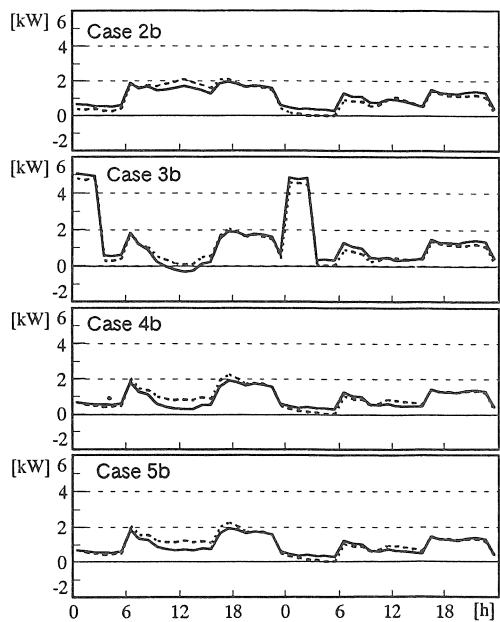


図22 各 Case の連続冷房での買電力量 (夏期)

のCase5 (b) では暖房負荷に目立ったピークはない。このときのPMVは間欠暖房と比べて0.1低いが、間欠暖房時、連続暖房時のPMVの差は僅かであり、在室時の室内熱環境は暖房運転方式によらずほぼ一定であったといえる。

図13、図14に示すCase1のようにRC造の標準断熱仕様では室内空気温度は夜間においてもほとんど低下しないため、木造に見られたような暖房負荷のピークは見られない。高断熱仕様のCase2 (a) ~5 (a) でも木造に見られたような暖房負荷のピークはなく、立ち上がり時における暖房負荷は木造の65%程度となった。このようにRC造では間欠暖房においても室内環境は安定おり、Case2 (b) ~5 (b) の連続暖房と室内環境に関して大きな差はなかった。

図15~19に示すように夏期では16時にピークが生じる傾向があった。Case1の標準断熱仕様では高断熱仕様と比べて外界の環境に影響を受けやすく、外気温度の低下する曇天日には高断熱使用より負荷は小さい。

図16に示す連続冷房では夜間の冷房負荷が0であることが多く、間欠冷房とほとんど同じ変動となった。

図17に示すRC造ではCase2 (a) ~5 (a) では14時~16時までの空調間欠時における室内空気温度が木造ほど上昇しないため16時における冷房負荷は木造の85%である。図18の連続冷房は木造と同様の傾向が見られた。間欠冷房での居間における在室時間帯 (6:00~14:00, 16:00~23:00) での期間平均PMVは木造、RC造それぞれ0.48, 0.45, 連続冷房では0.82, 0.82であり連続冷房の方が多少暑い室内熱環境となった。これは連続冷房の室内表面温度冷却効果を期待して、設定室温を間欠冷房時27℃, 連続冷房時28℃としたが、冷房時間の違いにより、室内表面温度にほとんど差がなかったことによる。

5. 電力負荷変動

住宅全体での電力負荷の日変動の例を図19~23に示した。家庭用機器の電力消費は全ての場合に同じであるので電力負荷の違いは暖・冷房負荷および給湯負荷の違いによるものである。図19~23から電力負荷は夕方ピークが生じる傾向があることが分かる。冬期においては図19、図20に示すように6時に暖房開始による電力ピーク負荷が生じた。図19に示すように木造のCase1では6時に4kWの電力ピーク負荷が生じるが、Case2 (a) では断熱材の効果により50%の2kWとなった。Case3では0時~5時までの6時間にわたり電気温水器の電気ヒーターが作動するため深夜電力使用量が増加している。

Case4 (a) では14m²の太陽電池により1月25日の日中は最高1kWの逆潮流が生じた。Case5 (a) はCase4 (a) とあまり変わらないが太陽熱床暖房と10m²の太陽電池により買電力はCase4 (a) の85%となった。冬期では電力負荷のピーク時と太陽電池の発電の時間帯が一致しないため太陽電池の効果は買電力の削減に見られる結果となった。図20に示す連続暖房の平準化効果が大きく、木造のCase2 (b) においては6時の買電力1.8kWであり、16時以降は1kW程度となり2kW程のCase2 (a) を約50%下回った。冬期のRC造の買電力の変動は木造と大差ないが、RC造は木造より電力ピーク負荷が少なく、連続暖房とした場合でもエネルギー消費量は間欠暖房とほぼ同じであった。

夏期の間欠冷房では図21に示すように全室の冷房が開始され、16時に電力ピーク負荷が生じる傾向が見られる。8月20日のCase3 (a) では20m²の太陽電池により10時~15時では逆潮流が生じている。深夜以外のCase3~5の負荷変動の相違は太陽電池の面積差である。太陽電池10m²のCase5 (a) でも日中の買電力は太陽電池を用いないCase2 (a) の60%に軽減している。図19に示す連続冷房は、夏期では夜間の負荷は少ないため電力ピーク負荷は冬期ほど大きな差は見られないが、16時以降での買電力は間欠冷房時より小さくなっている。

電力負荷平準化効果では連続暖房による効果が顕著であった。

6. エネルギー削減効果

図23、図24に木造とRC造の年間の暖・冷房負荷、給湯負荷を図25、図26に木造とRC造の年間二次エネルギー消費量を示した。年間二次エネルギー消費量は調理用ガス、給湯用エネルギー、暖房用電力量、冷房用電力量、家庭用電力量に分類した。図25、図26ではモデル住宅で購入されたエネルギー量を正、太陽光発電システムの逆潮流による売電力量を負で表示した。木造、RC造それぞれについてCase2aの間欠空調を100としたときの他のケースの相対値についても示した。

暖房用エネルギー

Case2~4は同じ暖房システムであるので暖房用エネルギーはCase1、Case2~4、Case5の三種類である。図23、図24からもわかるとおり暖房負荷は木造、RC造ともに断熱材の効果は高く、木造におけるCase1の暖房負荷はCase2 (a) ~4 (a) の2.3倍にあたる4.4MWhであり、RC造においてもCase2 (a) ~4 (a) の2.3倍にあたる4.6MWh

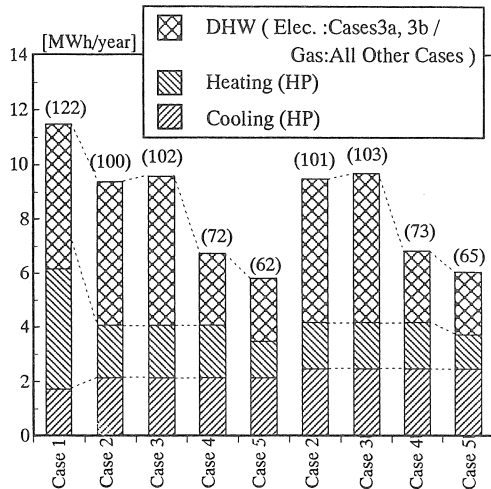


図 23 暖冷房・給湯年間負荷 (木造)

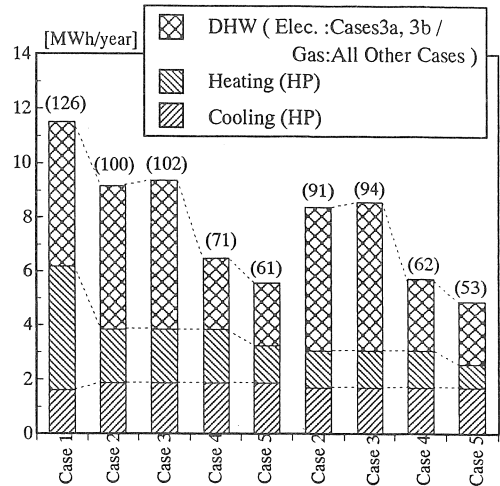


図 24 暖冷房・給湯年間負荷 (RC造)

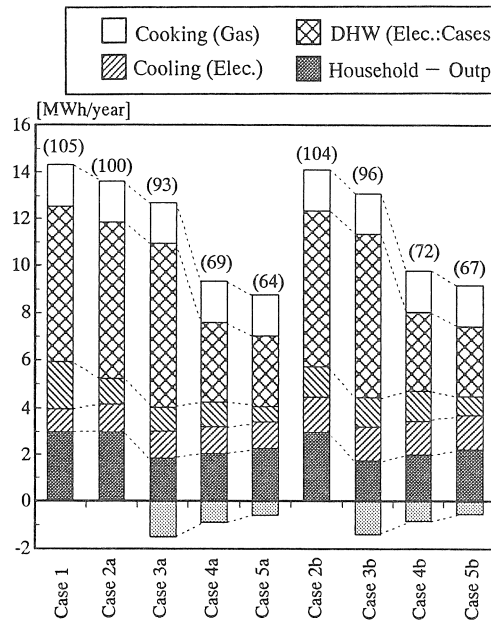


図 25 年間二次エネルギー消費量 (木造)

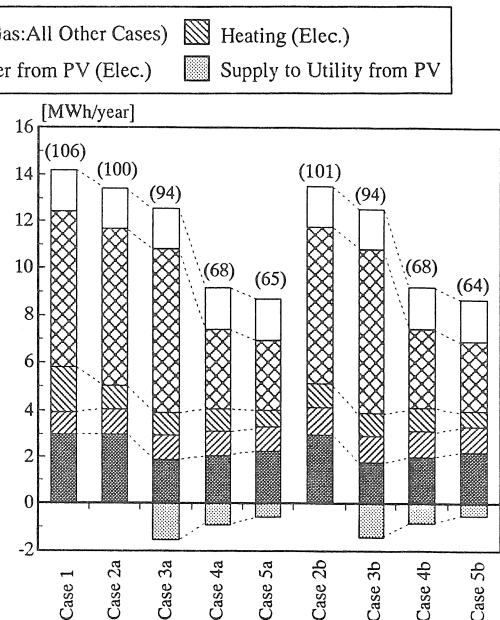


図 26 年間二次エネルギー消費量 (RC造)

となった。暖房用電力量では、木造の Case2 (a) ~4 (a) は Case1 の 53% にあたる 1.04MWh であった。太陽熱床暖房を採用した Case5 (a) の暖房用電力量は Case2 (a) では 0.67MWh であり、太陽熱により暖房用電力の 27% が削減効果された。連続暖房とした Case2 (b) ~Case5 (b) では暖房用電力量は間欠暖房のときより 20% 程度増加したのみである。RC 造では図 26 に示すように木造に比べ、躯体の蓄熱効果が大きく連続暖房時の暖房用電力量は Case2 (b) ~5 (b) については間欠暖房時とほぼ同じ

であったが、太陽熱床暖房を行った場合のエネルギー削減効果は間欠暖房より顕著であった。

冷房用エネルギー

冷房用エネルギーは Case2 ~5 が同じ冷房システムであるため Case1, Case2 ~5 の二種類である。冷房用電力量は木造においては Case2 (a) ~5 (a) は Case1 を 15% 程度上回り、断熱のよい方が年間冷房負荷、電力量が大きい結果となった。これは夏期においては断熱材により、晴天日の夜間や曇天日に外気温度が室温より低くなると

きに放熱が妨げられるためである。このような傾向を防ぐためには、高断熱仕様モデルでは夜間の換気量を増やす対策が考えられる。Case2 (b) ~ Case5 (b) の連続冷房では間欠冷房より20%電力量が増大したが、RC造では間欠冷房と連続冷房にほとんど差はなかった。

給湯用エネルギー

太陽熱給湯システム設置モデルのCase4~5では給湯用エネルギーをそれぞれCase2のエネルギーを50%、56%削減しており効果が高かった。Case3の電気温水器による給湯用エネルギーはCase1の瞬間加熱式ガスボイラとほとんど変わらなかった。

家庭用機器エネルギー

家庭用機器の消費エネルギーは家庭用機器の電力負荷から太陽電池供給電力量を減じた値とし、Case1、Case2は同値であり3.0MWhである。家庭用機器エネルギーは20m²の太陽電池を設置するCase3が最も少なく、逆潮流と考慮しなくてもCase2の65%であった。逆潮流を考慮するとCase3は0.3MWhとなりCase1~2の10%であった。Case3の太陽電池の面積はCase5の2倍であるが、Case3の逆潮流はCase5の2.3倍発生した。太陽電池は面積を増加させるほど供給電力量より逆潮流が生じる傾向があった。

逆潮流による電力量の売却分を考慮するとCase5a、Case5bの太陽熱床暖房設置モデルで60%となり、太陽エネルギー利用システムの高いエネルギー削減効果が示された。

7. 結論

モデル住宅を想定し、建物仕様、暖冷房運転方式、太陽エネルギー方式の組み合わせを18種類想定し年間シミュレーションを行った。これより以下の結論を得た。

- 1) 高断熱および太陽熱給湯により大幅にエネルギーが削減された。太陽光発電システムとの併用としたCase4、5では年間消費エネルギー消費量は8.7~9.7MWhとなった。逆潮流を考慮しても太陽発電のみとしたCase3より小さな値であり、太陽電池のみ設置するよりも太陽熱利用システムと併用の方が二次エネルギーの削減効果は大きかった。
- 2) 太陽熱暖房は暖房用エネルギーの36%を削減したが、エネルギー消費量としては年間0.4MWhであり、給湯の太陽熱利用より削減効果はかなり小さい。
- 3) 太陽光発電システムはCase3のような20m²のシステムでは逆潮流分も含めて2.7MWhの電力を削減しているが、電力負荷のピークが夕方にあることからCase5のような小面積のシステムに比べると自家用電力の平準化より

も日中の逆潮流電力の供給効果の方が顕著に表れている。

4) 高断熱住宅を前提とするとRC造は木造よりエネルギー消費量の削減効果は大きい。電力負荷全体の変動に大差はなく、平準化効果にほとんど差は見られなかった。

5) 今回検討したシステムでは暖冷房負荷が電力負荷に大きく影響するため、暖房運転方式として連続暖房は電力負荷の平準化効果があった。連続運転による暖房用エネルギーの増加は木造で20%程度であったが、RC造ではほとんど差がなかった。

【参考文献】

- (1) 住環境計画研究所, 家庭用エネルギー統計年報 (1990).
- (2) 石田・太田・小坂・木村, 住宅用エネルギー消費量実態調査 (その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集D (1992).
- (3) 澤池・坊垣, 住宅における用途別エネルギー消費量の推定その6 全国8都市域における住宅のエネルギー消費とライフスタイル, 日本建築学会大会学術講演梗概集D (1994).
- (4) 宇田川・遠藤, ソーラーハウスの負荷平準化とエネルギー削減効果に関する研究, 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集 (1994)・
- (5) 宇田川, 住宅の室内熱環境と空調用エネルギー消費量のシミュレーション (その1シミュレーション手法), 日本建築学会大会学術講演梗概集D (1990).
- (6) M. Udagawa, Simulation of Room Thermal Environment and Energy Use of Residential Buildings, Proceedings of International CIB W67 Symposium on Energy, Moisture and Climate in Buildings Vol.1 (1990) ,P.2.13.
- (7) M. Udagawa, Linear Simulation Model of Active Solar Space Heating Systems, ASME, Solar Engineering (1990) , 489-495.
- (8) 宇田川, 太陽熱床暖房のシミュレーションモデル, 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集 (1988)・
- (9) 宇田川, 標準問題の提案 住宅用標準問題, 日本建築学会第15回熱シンポジウムテキスト (1985).
- (10) 住宅・建築省エネルギー機構, 太陽熱給湯システムの性能評価のためのシミュレーションプログラム開発検討 (1983)・
- (11) 住宅・建築省エネルギー機構, 住宅の新省エネルギー基準と指針 (1992)・
- (12) ISO, Moderate Thermal Environments-Determination of The PMV and PPD Indices and Specification of The Condition for Thermal Comfort, ISO 7730.