

## 特集

## 建築とライフスタイル

## 住宅における電力負荷平準化

Cut down the Peak Daytime Demand for Electricity at the Residence

石原 修\*

Osamu Ishihara

## 1. はじめに

戦後50年、私たちの暮らしは大きく変化してきた。特に近年のライフスタイルの変化やアメニティの向上に伴い、住宅やオフィスにおける民生用エネルギー消費量は着実に伸びてきている。更に、電力負荷の変動幅も大きくなってきている。平成7年度における九州電力管内での電力需要の年間変動を見ると、夏季のピーク時には1,530万kWであるのに対し、春や秋には930万kWで夏季ピーク時の約6割となっている。また、夏季一日での変動では、早朝のボトム時にはピーク時の半以下以下の750万kW弱になっている。電力負荷平準化はこのようなピークをカットするばかりではなく、ボトムを上げる効果があり、電力の安定供給やエネルギー効率の向上、更には発電コストの低減へつながり、環境負荷の軽減にも役立つものである。

図-1に、住宅での家庭用電化製品の最近20年間の台数普及率の推移を示す。カラーテレビは一家に2台、ルームエアコンは1.5台、ファンヒーターは0.8台など

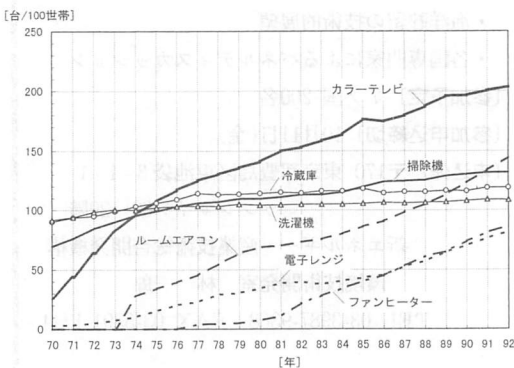


図-1 住宅での家庭用電化製品の台数普及率の推移

\* 熊本大学工学部環境システム工学科教授

と普及してきている。更には、テレビの画面や冷蔵庫は大型化が進み、同機種種では省エネ化が図られてはいるものの、結局は大型化に伴う消費電力の増加は避けられない状況である。

このような背景を受けて、大型建築物では夜間電力利用の蓄熱システムが普及してきており、各種の割引料金体系も整備されてきた。しかし中小規模の建築物や住宅では、蓄熱槽設置に伴うスペースやイニシャルコストの増大やメンテナンス等の面で、普及するには至っていない。

一方、太陽光発電システムの一般建築物への普及状況は、1990年からの一連の法制度の整備と共に推移してきた。すなわち、1990年の電気事業法改正により、大型発電所並であった各種の規制が緩和され、電気主任技術者不選任と電気保安協会への委託が可能となった。次いで、1992年4月から電力会社による余剰電力受給制度の中に太陽光自家発電設備からの受給も認められ、1993年4月からソーラーインバータの認証制度が発足した。更に1994年からは通産省による「住宅用光発電システムモニター事業」の公募による個人住宅用システム支援制度も導入され、国が設置費用の半分の補助を行うことになった。これからの一層の普及が期待される場所である。

本報ではこのような背景を基に、小規模建築物や住宅における電力負荷平準化を目的として、太陽光発電システムと夜間電力利用による土壌蓄熱システムとの併用による電力負荷軽減効果について、実験住宅による計測結果を基に検討する。

## 2. 創・省エネルギー住宅太陽光発電システム

## 2.1 太陽光発電システム概要

太陽電池モジュール120枚を屋根面に設置した実験住宅（以下、創・省エネルギー住宅と称す）を建設し、商用電源との逆流系統連係を行って、種々の計測・解析を行っている。

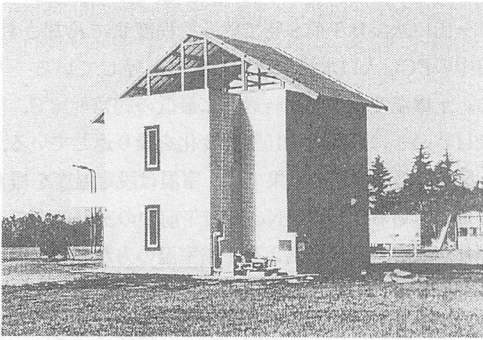
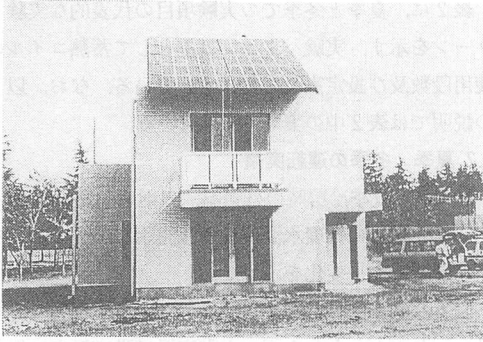


図-2 創・省エネルギー住宅概観

表1 太陽電池モジュールの諸特性

モジュール種類	アモルファス	多結晶
最大出力	23.0W	52.0W
最大動作電流	0.88A	2.60V
最大動作電圧	26.1V	20.0V
モジュール寸法	1,216×406mm	1,216×440mm
モジュール重量	7.8kg	7.2kg
製造年月	1985年10月	1986年1月

(但し、特性値はAM-1.5、1.0kW/m<sup>2</sup>、25°C)

太陽光発電システムとしては、多結晶シリコン太陽電池100枚とアモルファスシリコン太陽電池20枚を屋根面に設置している。それらのうち、多結晶シリコン太陽電池96枚(最大出力約5kW)を、インバーター等の周辺機器を介して、商用電源との逆潮流系統連係で運転している。システムは1995年4月に完成し、種々の手続きを終えて8月1日から系統連係が開始された。

図-2に、創・省エネルギー住宅の概観を示す。更に、表1に、使用している太陽電池モジュールの諸特性値を示す。多結晶シリコン太陽電池4枚とアモルファスシリコン太陽電池4枚をそれぞれ南北2枚づつ使用して、I-Vカーブトレーサーによって発電効率の長期

計測も実施している。また、系統連係システムでは、インバーター入出力、買電量・売電量等を計測している。

2.2 外界影響因子による重回帰式と発電量の予測

日射量、外気温及び風速等の外界気象要素と発電効率の計測結果から、太陽電池モジュールの発電量予測のための重回帰式を求めた。得られた重回帰式を用いて、創・省エネルギー住宅での年間発電量の推定を行った。気象データは熊本標準気象データを使用した。結果を図-3に示す。南面では年間を通して250~300kWh/月の発電量が得られるが、北面では夏季・冬季での変動が大きい。しかし、昼間の電力需要の多い夏季には南面とほぼ等しい発電量が得られている。なお、年間総発電量は約5,500kWhとなっている。

電力需給バランスの推定結果を図-4に示す。電力需要量は、暖・冷房共にヒートポンプルームエアコン(3台)を使用している、熊本市内の4人家族の戸建て住宅の月別消費量である。厳寒期には需要量の方が多くなっているが、夏季のピーク電力負荷時には効果があることが分かる。

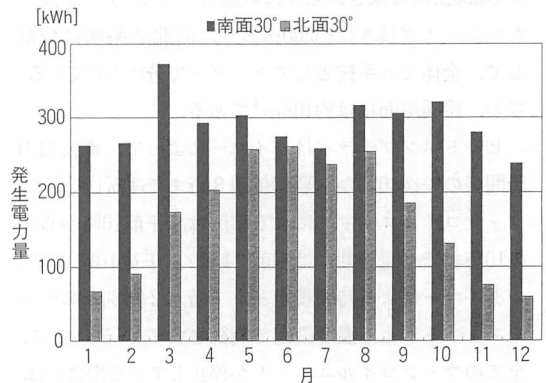


図-3 発生電力量の月別推定値

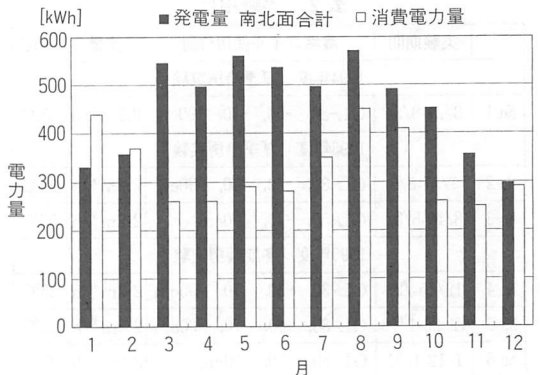


図-4 年間電力需給バランス推定結果

### 3. 夜間電力利用による土壌蓄熱システム

#### 3.1 土壌蓄熱システム概要

ここでは、暖・冷房期の電力負荷平準化を目的として、夜間電力利用による土壌蓄熱システムの小規模建築物への適用を検討する。従来の夜間電力蓄熱システムは水蓄熱や氷蓄熱を対象として特別料金体系が設けられており、大型建築物で普及してきている。筆者らは、熱伝導率は小さいものの、大きな熱容量をもつ土壌への蓄熱を試み、夜間電力利用による蓄・放熱効率の検討を行った。

前章で述べた、創・省エネルギー住宅の床下土壌部分に冷温水循環用の配管（架橋ポリエチレンパイプ）を埋設し、空冷式ヒートポンプチラーを夜間電力時間帯のみ運転して、昼間のファンコイルユニットへの冷・温熱源として利用している。

土壌蓄熱部分としては、住宅の外周基礎部の地中に15mmのコンパネと50mmの発泡ウレタンで断熱を施し、その内側の床下土壌部分に配管を埋設した。パイプ埋設間隔は上下、左右それぞれ200mmとし、GLから300mmの深さから4段埋設されている。1段当たりのパイプ長さは約200mあり、南北2系統に分割して、全体で8系統としてヘッダーで分けられている。なお、冷暖房面積は約108m<sup>2</sup>である。

ヒートポンプチラーはタイマーによって、深夜電力時間帯の午後10時から翌朝午前8時まで運転している。ファンコイルユニットによる冷房は、午前10時から午後10時まで（暖房期には午前8時から午後10時まで）のタイマーによる時間設定と、1階、2階別々のサーモスタットによる温度設定で制御されている。更に、全てのファンコイルユニットが停止している場合には、冷温水循環ポンプも停止するように制御されている。

表2 実験項目

	実験期間	蓄熱コイル使用位置	流量	設定
1994年度 夏季冷房実験				
№1	8/21-8/31	GL-30, -50, -70, -90cm	2.2m <sup>3</sup> /h	27°C
1995年度 夏季冷房実験				
№2	7/27-8/9	GL-30, -50, -70, -90cm	2.2m <sup>3</sup> /h	26°C
№3	8/11-8/22	GL-50, -70, -90cm	2.2m <sup>3</sup> /h	26°C
1995年度 冬季暖房実験				
№4	12/15-2/3	GL-30, -50, -70, -90cm	2.2m <sup>3</sup> /h	25°C
№5	12/26-1/10	GL-30, -50, -70, -90cm	2.2m <sup>3</sup> /h	22°C
№6	1/12-1/31	GL-50, -70, -90cm	2.2m <sup>3</sup> /h	22°C

表2に、夏季と冬季での実験項目の代表的な実験パターンを示す。実験パターンは主として蓄熱コイルの使用段数及び設定室温を変化させている。なお、以下の説明では表2中の実験No.を用いる。

#### 3.2 夏季・冬季の運転実績

図-5に、夏季冷房時の外気温、日射量、室温変動とヘッダー廻りの循環水温の日変化を示し、図-6には冬季暖房時での日変化を示す。

図-5の夏季冷房実験の結果では、いずれも快晴日で暑かったにもかかわらず、1階室温は設定温度に保たれており、2階ではやや高めの室温となっている。チラー出口水温は午前8時で約6°C程度まで冷却され、日中のFCU入口水温は約18°Cまで上昇している。なお、土壌温度は午前10時過ぎに最低の約12~13°C、午後11時過ぎに最高の約15°Cの変化を繰り返している。

図-6の暖房実験の結果では、室温は設定温度を概ね満足しているが、実験No.6で午前中の室温の立ち上がりが悪い。2階室温より1階室温の方が早朝の温度低下が小さいのは、1階床が接地床であることと、1階の方が外気に接する壁面が少ないためである。早朝のヒートポンプチラー出口水温は、実験No.5とNo.6では外気温が氷点下まで低下したため、最高でも約

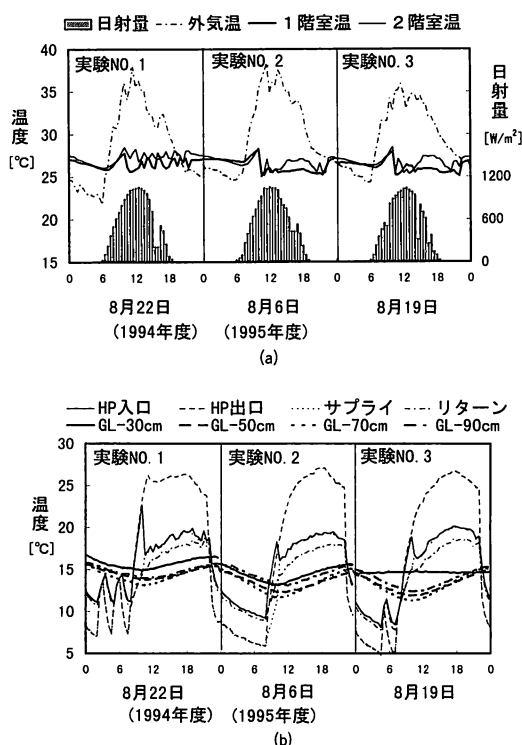


図-5 夏季冷房実験における各部温度の日変化

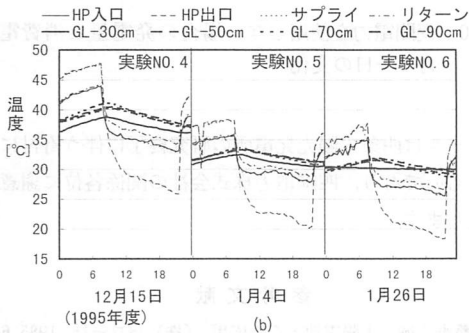
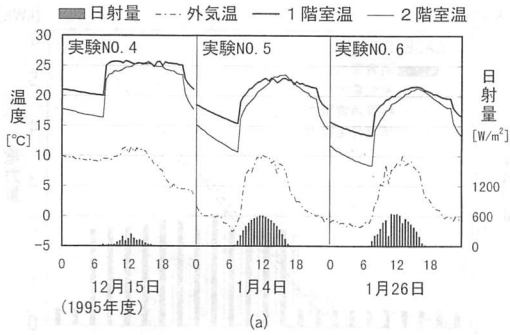


図-6 冬期暖房実験における各部温度の日変化

37°Cとなっている。

3.3 夏季・冬季のシステム効率

図-7と図-8に、冷房時と暖房時での土壌蓄熱システムの運転実績を示す。

図-7に示す夏季の結果では、いずれのパターンでも蓄熱効率(土壌蓄熱/チラー生産熱量)は約90%となっている。土壌放熱効率(土壌放熱/土壌蓄熱)は65~70%程度となっている。一方、FCU利用効率(FCU利用熱/土壌放熱)は何れも80~90%となっている。システムCOP(FCU利用熱/チラー消費電力)は約1.4前後である。

図-8の冬季の結果では、夏季に比較して蓄熱効率は下がっているが、土壌放熱効率やFCU利用効率は上がっている。一方、システムCOPは1.6程度となっており、夏季よりも良い結果が得られている。

4. 太陽光発電と夜間電力利用によるピークカット

前章まで、太陽光発電システムと夜間電力利用土壌蓄熱システムについて、それぞれ単独に評価してきた。ここでは、これらの手法を採用した場合の電力負荷のピークカットについて検討する。

図-9に、1995年8月16日の創・省エネルギー住宅に

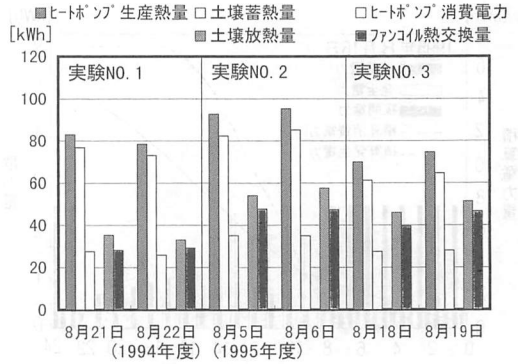


図-7 夏季冷房実験におけるシステム効率

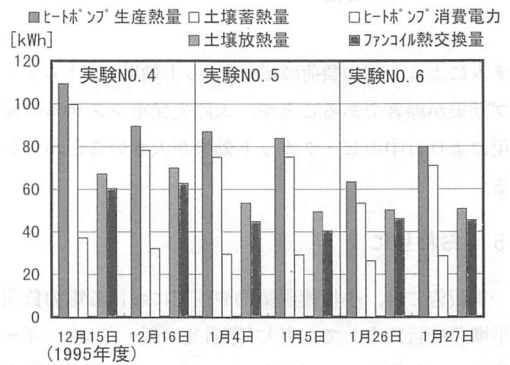


図-8 冬季暖房実験におけるシステム効率

における電力需給の日変化を示す。夜間電力使用量(動力200V)約25kWh、一般電力使用量(100V)約14.5kWh、太陽電池からの発生電力量約17.5kWhとなっている。(差引、一般電力の買電量6.5kWh、売電量9.5kWhとなる。)

冷房面積108m<sup>2</sup>を12時間連続冷房の状態、一般電力(100V)の買電量より売電量の方が多く、しかも電力単価の安い夜間電力で冷房負荷を賄っており、日中のピークカット効果が大いことが分かる。一日分の電力料金では、夜間電力料金が約200円、一般電力買電料金約90円、売電料金が約170円となる。

次に、夜間電力利用蓄熱システムがない状態のケーススタディを行う。冷房時間帯に直接チラーを運転した場合の消費電力を土壌蓄熱システムCOPと直接運転時のCOPを基に計算すると約1.5kW必要となり、その結果を図-10に示す。日積算電力消費量は約28.5kWhで電力料金は約530円/日となる。一方、太陽光発電システムからの電力はこのケースでは15時までは電力消費量をカバー出来ていることが分かる。

以上の結果より、夜間電力利用による土壌蓄熱シス

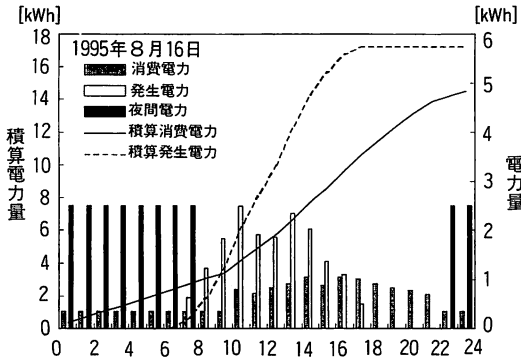


図-9 創・省エネルギー住宅での発電量と消費電力量の一日の変化

テムにより、電力負荷のピークカット効果とボトムアップ効果が顕著であることや、太陽光発電システムの採用により日中のピークカット効果が大きいことが分かる。

## 5. おわりに

本報告では、小規模建築物や住宅における電力負荷平準化を目的として、実大実験住宅(創・省エネルギー住宅)を建設し、太陽光発電システムや夜間電力利用による土壌蓄熱システムのシステム効率や温熱性能について検討した。得られた結果を要約すると次のようになる。

- ① 夜間電力利用による土壌蓄熱システムの小規模建築物への適用を検討し、実大規模の住宅での実験の結果、夏季・冬季共に実用化できることを明らかにした。
- ② 電力需給の計測結果を基に、太陽光発電システムと夜間電力利用蓄熱システムの利用による夏季電力負荷のピークカットの効果を検討し、有用性が明らかになった。

なお本研究において、夜間電力利用による土壌蓄熱システムに関する研究は九州電力株式会社営業開発室との共同研究によるものである。九州電力(株)営業開発室長黒川恵児氏をはじめ関係各位に記して謝意を表します。更に、創・省エネルギー住宅の太陽電池モ

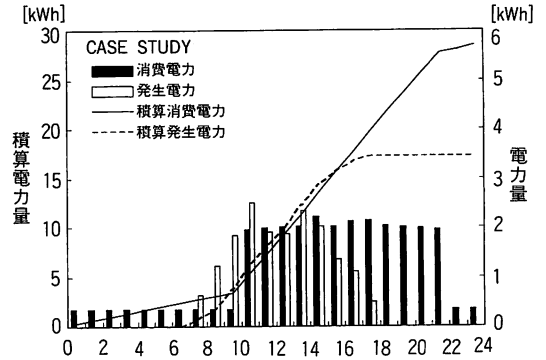


図-10 夜間電力を使用しない場合の発電量と消費電力の一日の変化

ジュールは西条太陽光発電所の研究終了に伴う寄付によるものであり、四国電力株式会社の関係各位に謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 桑野幸徳：太陽電池とその応用、(株)パワー社、1985.6
- 2) 上妻信一、松山隆、石原修：ニューラルネットワークを用いた太陽電池モジュールの最大出力の推定、平成5年電気学会全国大会講演論文集 [12] p.206
- 3) 上妻信一、松山隆、石原修：最大出力動作電圧に注目した太陽電池モジュールの年間出力特性解析、「太陽エネルギー」Vol.21, No.2, pp.26-32, 1995, 日本太陽エネルギー学会
- 4) 石原修、他：太陽光発電システムの発電効率と影響因子に関する計測解析(その1)～(その3)、平成4年度～平成6年度日本太陽エネルギー学会・風力エネルギー協会合同研究発表会、講演論文集
- 5) 石原修、他：創・省エネルギー住宅の温熱性能とエネルギー性能に関する研究(その1)～(その2)、日本建築学会九州支部研究報告環境系、第35号・2, pp.153-164, 1995年3月
- 6) 石原修、他：太陽光発電システムの住宅への応用に関する研究(その1)～(その3)、日本建築学会九州支部研究報告環境系、1994年3月、1995年3月及び1996年3月
- 7) 石原修、他：深夜電力利用による土壌蓄熱システムに関する実験的研究(その1)～(その4)、日本建築学会九州支部研究報告環境系、1994年3月、1995年3月及び1996年3月