

福祉コミュニティに適した太陽光・熱／風力 ハイブリッドシステムの運用とその規模

Operation and Size of Photovoltaic/Solar-Heat/Wind
Hybrid System Suitable for a Welfare Community

見 目 喜 重^{*1}

野 村 雅 彦^{*1}

榎 原 建 樹^{*1}

Yoshishige KEMMOKU

Masahiko NOMURA

Tateki SAKAKIBARA

Abstract

From a view point of synthetic utilization of solar and wind energies, a hybrid generating system consisting of a photovoltaic array / a solar-heat collector / a wind turbine is estimated in this paper. A welfare community (an old people's home) is adopted as the model where the system is installed. Operation and sizes of the system are obtained by computer simulation using data on insolation, wind speed, atmospheric temperature, electric load and hot-water consumption over a year.

Simulation results show that the reasonable sizes of areas of photovoltaic array, solar-heat collector, battery capacity, and rated output of wind turbine are 400m², 300m², 300kWh, and 10kW_p, respectively. And it is found that the photovoltaic array and the solar-heat collector as well as the wind turbine are effective in reducing peak kW and total kWh of purchased electricity, respectively.

Key Words :Solar energy, Wind energy, Hybrid system, Simulation, Operation, Reasonable size, Reduction of electric charge

1. はじめに

太陽エネルギーをはじめとする自然エネルギーが、将来の有望なエネルギー源として注目を集めて以来、その有効利用について数多くの研究がなされてきた。にもかかわらず、自然エネルギー利用の普及は当初の予想より大幅に遅れている。その理由として、太陽電池をはじめとする自然エネルギー変換デバイスのコストダウンが進んでいないことが挙げられる。一方、エネルギー需要の多様化に伴い、民生用コジェネレーションシステムが、急速に普及しつつあり、病院やホテルといった熱需要の大きな施設に導入されている⁽¹⁾。

本研究では、年間を通して季節的な相補性が期待できる太陽エネルギーと風力エネルギーとを組み合わせ

て⁽²⁾、電力供給と給湯を賄う「太陽光・熱／風力ハイブリッドシステム」を提案し、コミュニティ負荷を対象としたシステム構成、システム規模および電気料金低減効果について検討する。

本システムの評価を行うに当たっては、ケーススタディとして実際の老人ホームを設置対象に取り挙げた。シミュレーションプログラムは、パソコン上で動作させ、システム構成やシステムパラメータの設定に対して、柔軟に対応できるプログラム構造を実現した。

2. 日射量および風速

シミュレーションには、日射量、風速、気温および水道水温度の時系列データが必要である。このうち日射量および風速についての月ごとの平均値を図1に示す。これは深夜を問わず5分毎に測定し、24時間に亘って平均し、得られた値を更に1ヶ月に亘って平均したものである。シミュレーションの計算間隔は1時間

* 原稿受付：平成4年5月2日

*1 豊橋技術科学大学工学部

とし、そのために気象データは、実際には5分毎に測定した値を1時間に亘って平均した値、すなわち、1時間平均値を使用した。なお、日射量については、IEA法によって全天日射量を35°の傾斜面日射量に変換した値を用いた。1987年の豊橋地区の日射量は4月から8月にかけて多く、11月と12月は少ない。風は、1、2、3月が強く、6、7、8月が弱い。これらのことから、日射量と風速とは1年を通じてみれば、ほぼ、季節的相補性の関係にあることがわかる。

年間の気温変化は8月に27℃と最高になり、1月に4℃と最低になる正弦波的形状を示し、水道水温度の変化もほぼ気温変化に追従している傾向を示している。

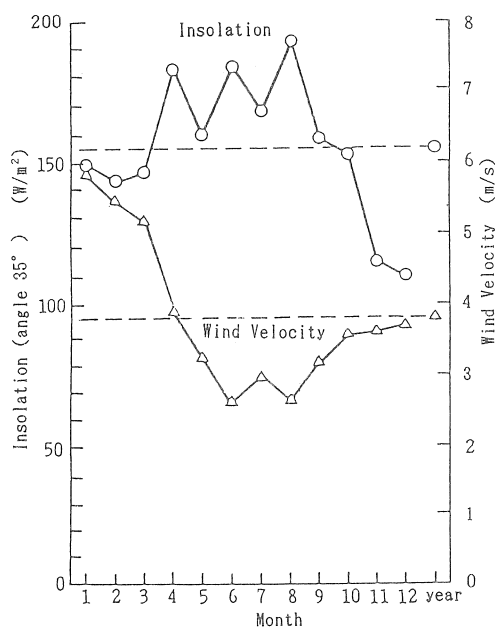


図1 使用した日射量および風速の年間データ
(1987年、豊橋市)

3. 電力負荷および給湯負荷

電力負荷として、1年間の1ヶ月毎の負荷を示す「年間負荷曲線」と、日間の1時間毎の負荷を示す「日負荷曲線」とを組み合わせてることによって、1時間毎の1年分の電力負荷データを作成した。このうち、「年間負荷曲線」を図2に示す。この図の縦軸の値は、1ヶ月間の負荷電力量をその月の時間数で割って求めた月別平均電力である。これを見ると、2月と8月にピークがあり、特に8月のピークは突出している。図3で示す「日負荷曲線」の縦軸の値は1日の消費電力

量で規格化したものである。その形状は9時から20時までは高く、22時から5時までは低い台形状であり、いわゆる「老人ホーム」特有のパターンを呈している。日負荷曲線の形自体は日によって変化しないものとしたが、値自体は図2に従って月毎に変化させた。なお、年間負荷電力量は219MWhである。

100人の老人が1年間毎日入浴するものとして、それに必要な浴用水量を見積もったところ、1日当たり10m³という値を得た。また、給湯温度に関しては、それほど高い温度に設定する必要のないことや、実際に導入されているヒートポンプ給湯システムの設定給湯温度を参考に50℃とした。この給湯エネルギーをすべて電気温水器によって賄うものとして算定した電力、すなわち、年間給湯負荷を図4に示す。同図の縦軸が示す電力とは、入浴のために、例えば1月の場合20kW

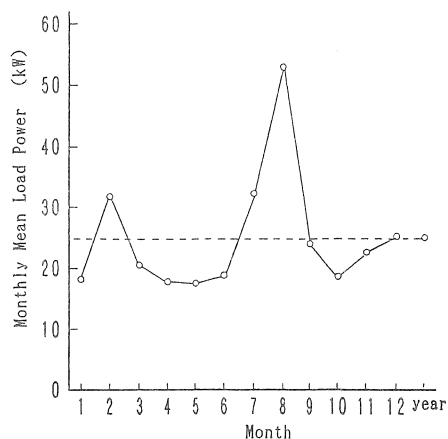


図2 対象としたコミュニティの年間負荷曲線

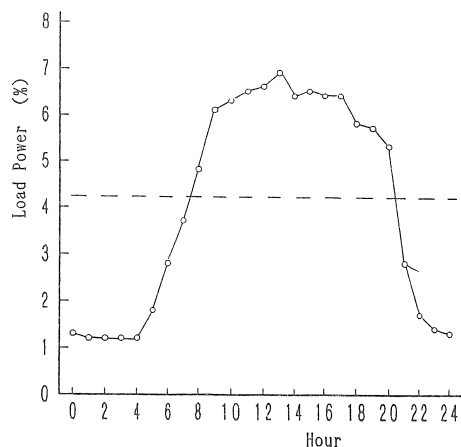


図3 対象としたコミュニティの日負荷曲線

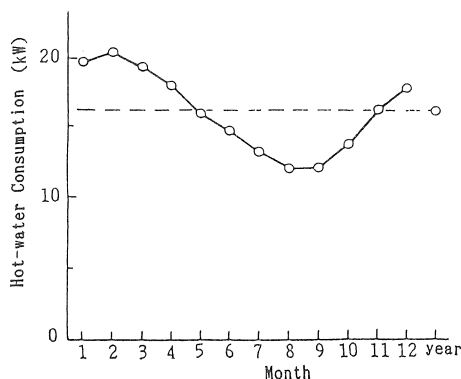


図4 対象としたコミュニティの年間給湯負荷曲線

の電力をその月の期間中消費し続けるという意味である。計算では、集熱器および蓄熱槽において、それぞれの温度と気温との差に比例する熱損失が発生するとし、さらに、蓄熱槽で水道水を加熱するのに必要となるエネルギーの計算では、水道水温度を使用した。気温および水道水温度との関係で給湯電力は2月が最大で、8月が最小となっている。

4. システム構成

太陽光・熱／風力ハイブリッド利用システムの構成を図5に示す。これはハード的構造よりもエネルギーの流れを主眼に描いたものである。太陽電池と風力発

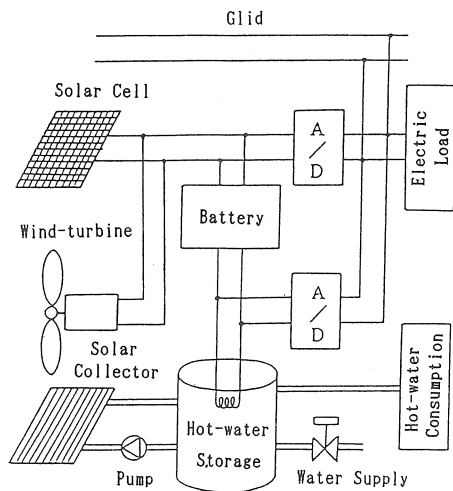


図5 太陽光・熱／風力ハイブリッドシステムの構成

電機からの出力は主に電力負荷に供給され、もし余剰が発生するようであれば、その余剰分は蓄電池を充電し、それでもなお余剰が出るようであれば、その分は蓄熱槽に送られる。集熱器からのエネルギーは、もっぱら蓄熱槽を加熱するために使用される。

太陽電池の出力は、日射量に比例するものとし、その変換効率は10%とした。風力発電機の出力－風速特性は、始動風速 3 m/s、定格風速 7 m/sとし、始動風速から定格風速の間では、風速に対して直線的に出力が増大するものとした。蓄電池の充放電効率は70%とし、直交変換器の効率は100%とした。また、集熱器および蓄熱槽を中心とした「熱系統」については、等価電気回路⁽³⁾に置き換えてエネルギーの流れを解析した。集熱器の変換効率は、そのときの集熱器温度と気温との温度差などによるが、40～80%程度となった。

5. 運用アルゴリズム

5.1 電力負荷に対する運用アルゴリズム

電力負荷に対する運用アルゴリズムには、いわゆる「ピーク負荷軽減法」⁽⁴⁾を用いる。この運用法では、まず、購入電力の最大値のレベル（カットレベル）を設定する。負荷電力がこのカットレベル以下である場合には、太陽電池／風力発電機出力は、できる限り蓄電池に貯蔵し、蓄電池の充電率が100%の状態であるならば、負荷に回し、負荷の残りの電力を商用系統から供給する。太陽電池／風力発電機出力を蓄電池の充電に回し、かつ電力負荷に供給しても余る場合には、その余剰分は蓄熱槽の水を加熱するために用いる。また、蓄電池の充電率が100%未満である場合には、購入電力がカットレベルを超えない条件で、負荷電力を上回る電力を系統から購入して蓄電池を充電する。

また、負荷電力がカットレベルを超える場合には、太陽電池／風力発電機出力および蓄電池の放電電力によって負荷に電力を供給し、購入電力をカットレベル以下に抑制する。

5.2 給湯負荷に対する運用アルゴリズム

給湯負荷に対する運用アルゴリズムには、いわゆる「一定加熱運用法」を用いる。すなわち、毎日18時に出湯することとし、前回の出湯から次回の出湯までの期間、一定に加熱することによって、購入ピーク電力を抑える。具体的なアルゴリズムは次の通りである。

蓄熱槽の水温をある時点での温度から50℃までに上げるのに必要なエネルギーを求める。これを次の給湯までの残りの時間で割れば、1時間毎の必要エネル

ギーを得る。しかし、放熱による損失があるため、その分を加えた量が正味の必要エネルギーとなる。こうして求めた必要エネルギーを、太陽光・熱/風力エネルギーから得るのであるが、それらの和が必要エネルギーに達しない場合には、商用系統からの電力で賄う。

6. 最適システム規模の決定

図5に示したシステムの各構成要素の規模を、前章で述べた運用アルゴリズムを組み込んだ計算機シミュレーションを用いて決定する。この際の実験方法としては、太陽電池・風力発電機の導入は、電力負荷にかかる電気料金を低減することが主目的であることから、電力負荷分で消費される購入ピーク電力と購入平均電力との2つを評価量とし、各システム規模の増大に伴い、両者が減少する度合いを検討することによって決定する。また、集熱器は給湯負荷の減少が目的であるので、給湯のための購入平均電力を評価量とし、システム規模の増大によるその減少を評価量とした。

6.1 太陽電池面積

太陽電池面積 A_s を増やしていったとき、購入電力のうち電力負荷に回される電力の平均値 P_E がどのように減少するかを図6に示す。同図から、 A_s の増大に伴って P_E が減少していくが、 A_s が約 400m^2 以上になると、減少度合いが鈍くなることがわかる。これ

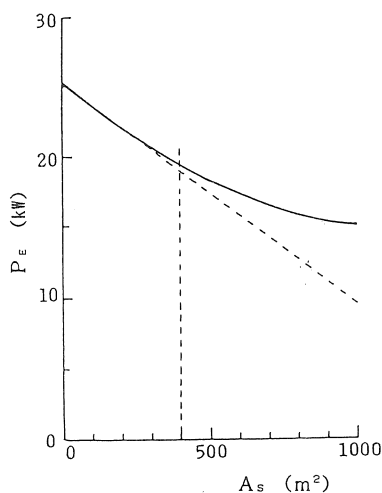


図6 購入電力のうち電力負荷に回される電力の平均値 P_E と太陽電池面積 A_s との関係

(蓄電池容量: 300kWh , 蓄熱槽容量: 10m^3)

は、太陽電池面積 400m^2 を超えると、太陽電池出力が負荷電力を超え余剰となり、この余剰分は負荷電力の減少に貢献しなくなるからである。ここでは、この 400m^2 の値をもって太陽電池面積の適切規模とする。なお、パラメータとして、蓄電池容量を種々変えてシミュレーションを実行したが、このような傾向はほとんど変わらなかった。

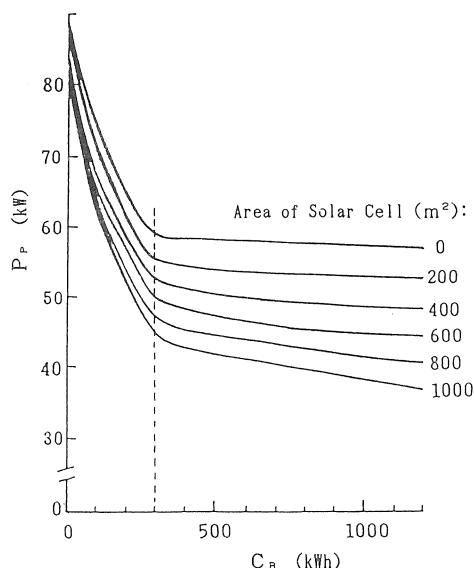


図7 購入電力のうち電力負荷に回される電力のピーク値 P_p と蓄電池容量 C_B との関係

(蓄熱槽容量: 10m^3)

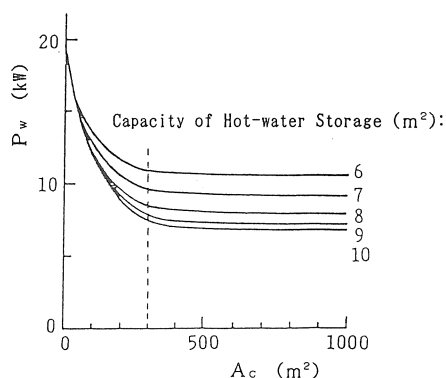


図8 購入電力のうち給湯負荷に回される電力の平均値 P_w と集熱器面積 A_c との関係

(太陽電池面積: 400m^2 , 蓄電池容量: 300kWh)

6.2 蓄電池容量

購入電力のうち電力負荷に回される電力のピーク値 P_P と、蓄電池容量 C_B との関係を図7に示す。 C_B の増加に伴い、 P_P は減少しているが、太陽電池面積がどのようであっても、 $C_B = 300\text{kWh}$ を境にして、その減少度合が鈍くなっている。このような現象がみられるのは、日負荷曲線において、カットレベルを超える超過電力量とカットレベル以下で負荷電力以上の電力量（充電可能電力量）とを比較したとき、これらが等しくなる電力量分以上に蓄電池容量を増やしても、その分は充電が行われない。すなわち、充電可能電力量を超える容量を有する蓄電池を設置しても、その分は過剰容量となるためである。図7の結果は、 300kWh 以上の蓄電池容量は過剰容量となることを意味している。そこで、この 300kWh の値をもって、蓄電池容量の適切規模とする。

6.3 集熱器面積

購入電力のうち給湯負荷に回される電力の平均値 P_M と集熱器面積 A_c との関係を図8に示す。 A_c の増大に伴って P_M は減少しているが、 A_c のある値を境にして、 P_M はほとんど減少していない。本シミュレーションでは、給湯負荷を太陽熱と系統電力とから毎日得ることを前提としている。蓄熱槽容量には限界があるので、1年のうち、日射量が少ない日は電力系統から電力を購入して給湯負荷を賄わざるを得ない。従って、購入電力のうち、給湯負荷に回される電力の平均値は、零にはならない。また、集熱器面積をある程度以上大きくしても、蓄熱槽容量は一定であるので P_M は減少しない。この境となる P_M の値は、蓄熱槽容量によらず約 300m^2 である。そこで、この値を集熱器面積の適切規模とする。

表1 システム構成要素の適切規模

Components	Suitable Size
Area of Solar Cell	400 m^2
Area of Solar Collector	300 m^2
Rated Output of Wind Turbine	10 kWp
Capacity of Battery	300 kWh
Capacity of Hot-water Storage	10 m^3

その他、風力発電機定格および蓄熱槽容量に関しても、購入平均電力の減少の飽和傾向、必要な給湯量などを考慮することによって適切規模を決定できる。これらの結果をまとめると、表1となる。

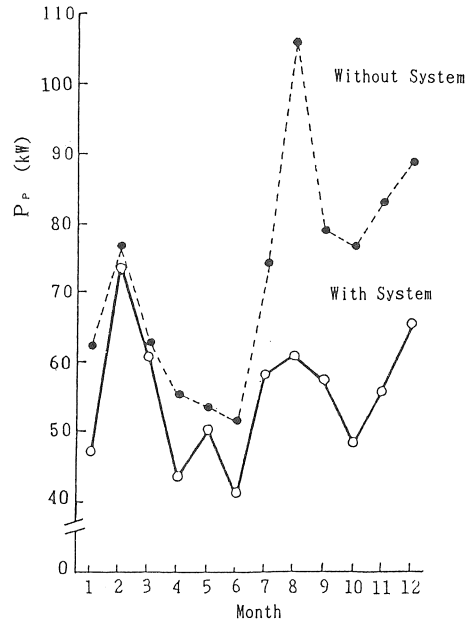
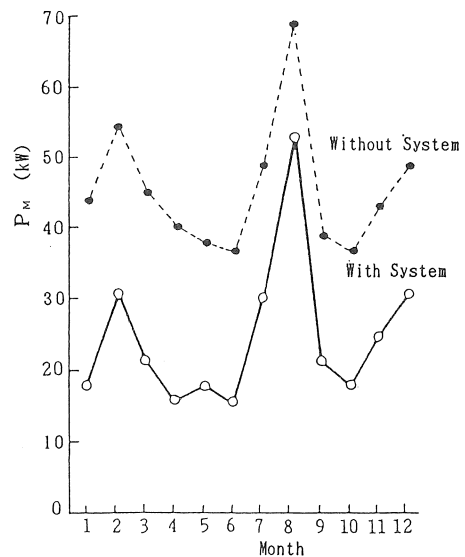

 図9 ハイブリッドシステム導入による購入ピーク電力 P_P の低減効果

 図10 ハイブリッドシステム導入による購入平均電力 P_M の低減効果

表2 システム導入前後の電気料金の比較

	Without System	With Photovoltaic System	With Hybrid System
Contract Charge	24.2%	17.1%	16.9%
Electric Energy Charge Item of E.E.C.	75.8	66.0	41.7
for Electric Load	(42.3)	(32.6)	(32.6)
for Hot-water Consumption	(33.5)	(33.4)	(9.1)
Electric Charge	100.0	83.1	58.6

7. システム導入による購入電力の低減効果

表1に示すシステム規模を有する太陽光・熱／風力ハイブリッドシステムに、第5章で示した運用アルゴリズムを適用したときのシミュレーション結果について述べる。

システム導入前の月毎の購入ピーク電力 P_p とシステム導入後のそれとを図9に示す。 P_p の減少が最も大きいのは8月であり、システム導入前の57%に減少している。減少が最も小さいのは2月と3月とである。一方、購入平均電力 P_m に関するものを図10に示す。この P_m の減少はどの月でもほぼ等しいが、中でも1月が最も大きく、システム導入前の42%に減少している。

8. システム導入による電気料金の低減

現行の電気料金は、契約電力（ここでは購入ピーク電力に対応）に比例した「基本料金」と、購入電力量（購入平均電力×時間）に比例した「電力量料金」との和である。このような電気料金体系に基づいて、購入ピーク電力と購入平均電力とから計算した電気料金を表2に示す。システム導入前の電気料金を100%（853万円）とし、それに対するハイブリッドシステム導入時の電気料金およびその内訳を示す。比較のために、ハイブリッドシステムと同規模の太陽電池と蓄電池のみから成るシステムを設置したときの電気料金も併記した。

表2から、太陽電池システム導入により「基本料金」と「電力量料金」とは同程度に低減することができ、

更に風力発電機と太陽熱集熱器とを設置することにより、「電力量料金」を66%から42%に低減することができ、電気料金全体でも83%から59%と大幅に低減できることがわかる。

9. 時系列結果の例

本システムの導入によって、購入ピーク電力が最も減少するのは図9に示すように8月である。この8月のシミュレーション結果の時系列のうち1週間分を図11に示す。同図から、この時季においては集熱器から

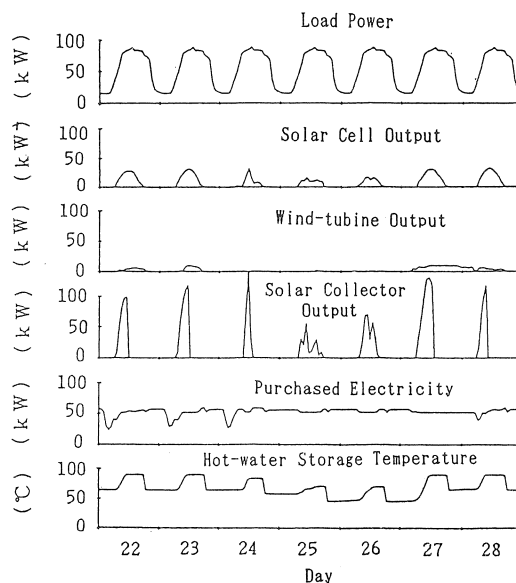


図11 シミュレーションの時系列結果の一部
（システム導入時、1987年8月）

の出力が多いが、風力発電機からの出力がほとんどないこと、ピークが 100kW 近くあった購入電力が、カットレベル 50kW 程度に抑えられていることがわかる。なお、蓄熱槽温度は設定温度 50℃ を超えている。このことは、8 月には水温自体が高く、かつ、集熱器出力が大きいので、給湯エネルギーが過剰になることを意味している。

10. まとめ

福祉コミュニティ（老人ホーム）における電力負荷および給湯負荷を「太陽光・熱／風力ハイブリッドシステム」で代替させることを提案し、電気料金低減の観点から、その運用法、システム構成およびシステム規模について検討した。その結果、対象としたコミュニティの負荷に適合した、適切な規模の太陽電池面積、集熱器面積および風力発電機定格などがあることが判明した。また、太陽電池の設置により、電気料金のうち「基本料金」と「電力量料金」とが減少し、風力発電機と太陽熱温水器との設置により「電力量料金」が大幅に減少することがわかった。

文 献

- (1) 江越：「コージェネレーションシステムの導入状況と法規制」，OHM，76，5，25（平1）
- (2) 金子他：「離島型電力負荷に適した太陽光・風力ハイブリッド発電システムの構成と自然エネルギー浸透」，電学論D，112，3，270（平4）
- (3) 榊原他：「風力・太陽熱ハイブリッド利用暖房システムのシミュレーション」，電学論B，105，9，786（昭60）
- (4) 小池他：「需要家のための太陽光・風力ハイブリッド発電システムの基本的運用法」，電学論B，107，1，41（昭62）

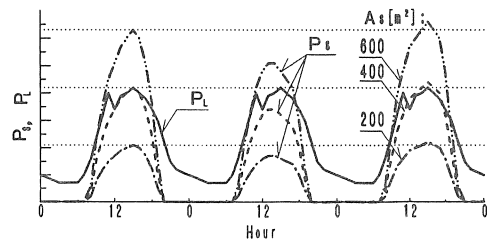
付 録

(1) 図6に関する追加説明

図6において A_s 値が 400m² 以上で P_E 値の減少が鈍る原因は次のようである。いま、例として蓄電池がない場合の太陽電池出力と負荷電力との様相を付図1に示す。この図において、負荷電力の積分値から太陽電池出力の積分値を引いた値を全時間で除した値が P_E 値となる。 A_s 値が 400m² までは、 A_s 値が増大するにつれて P_E 値は直線的に減少することが分かる。ところが A_s 値が 400m² を超えると、太陽電池出力が負荷電力をオーバーし、余剰となる。この余剰分は負荷電力の減少に貢献できず、従って P_E 値を減少させ

ることができなくなる。

実際には、日負荷曲線、日射量および蓄電池容量などが複雑に関係してくるが、 P_E 値の減少が鈍る原因の第一義的なものはこのような現象である。

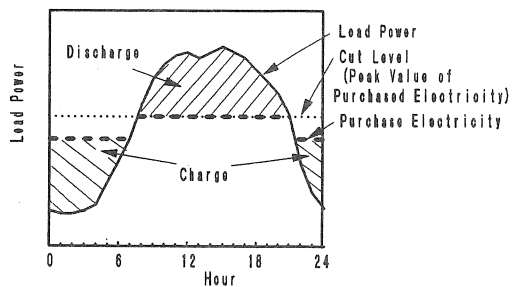


付図1 太陽電池面積 A_s パラメータとしたときの太陽電池出力 P_s と負荷電力 P_L の様相

(2) 図7に関する追加説明

本シミュレーションで採用した「ピーク負荷軽減法」は、付図2に示すように、夜間はカットレベルを超えない範囲内で負荷電力以上の電力を購入し、蓄電池の充電を行い、負荷電力がカットレベルを超えときには蓄電池の放電を行い、購入電力をカットレベル以下に抑制する運用法である。従って、この運用法では蓄電池の充電は蓄電池の容量以上には行えず、しかも、負荷電力がカットレベル以下となる時間帯の（（カットレベル）－（負荷電力））の合計電力量分（充電可能電力量）しか充電は行えない。そのため、蓄電池容量がある値よりも小さいときには充電電力は蓄電池容量で規制され、蓄電池容量がある値よりも大きいときにはこの充電可能電力量によって規制される。後者の場合には、充電可能電力量を超える容量を有する蓄電池を設置してもその分無駄となり、減少しなくなる。

今回のシミュレーションの結果では、蓄電池容量のこのある値は約300kWhになることを示している。



付図2 負荷電力、カットレベルおよび購入電力の説明