

新しい地域連系型太陽光発電システムの導入効果

Introduction Effect of the New Grid-connected PV Systems in the Community Area

車 孝軒^{*1}
CHE Xiao Xuan

藤澤 徹^{*2}
Toru FUJISAWA

稻葉 次紀^{*3}
Tsuginori INABA

谷 辰夫^{*4}
Tatsuo TANI

Abstract

We have proposed a new Grid-connected system in the community area with Photovoltaic (PV) power plant and a power storage system to utilize efficiently electric power generated by PV power plant in the community area. The characteristics of new Grid-connected system in the community area, capacity of battery are studied by simulating in this paper.

The results show that the utilization of electric energy and the utilization ratio of electric energy system with power storage systems are higher than without power storage systems in the grid-connected systems in the community area.

The design method of the battery capacity is studied and the battery capacity is decided by surplus power of Grid-connected system in the community area. It is expected that a Grid-connected system in the community area with PV power plant and a power storage system will be used with technical advance of the battery and application of PV systems in the future.

キーワード：地域連系型 PV システム、太陽光発電所、電力貯蔵システム

Keywords: grid-connected PV systems in the community area, photovoltaic power plant, power storage system

1. はじめに

太陽光発電は本格的な普及に伴って、太陽光発電の設置が可能と思われる施設が個人住宅に限らず、共同住宅、学校などの公共施設、ビルの外壁、駅の屋根、遊休地、高速道路の防音壁などを利用することができます。文献により、個人住宅を除いた太陽電池の設置可能量は8700万kWと言われている⁽¹⁾。筆者らが提案した地域連系型太陽光発電システム⁽²⁾（以下太陽光発電システムをPVシステムという）を用いて、あるコミュニティにおいて、第三セクターにより、住宅の屋根、公共施設、遊休地、ビルの外壁などに太陽光発電所を設置し、その地域内の住宅負荷および公共負荷に電力を供給する太陽光発電所を用いた地域連系方式⁽³⁾を提案した。

提案した太陽光発電所を設置した地域連系方式において、太陽光発電所での発生電力が地域内の負荷に供給されても余剰電力がまだ残っていることが分った。PVシステムにより商用電力系統の電圧上昇問題を解決するため、余剰電力を地域内でさらに利用することが必要である。また、商用電力系統に事故があった場合、逆充電の防止や地域内の電力供給確保のため、蓄電池による電力貯蔵システムを導入した新しい地域連系方式を提案した⁽⁴⁾。

*1 東京理科大学（〒162-8601 東京都新宿区神楽坂1-3）

*2 神奈川工科大学

*3 中央大学

*4 諏訪東京理科大学

（原稿受付：2004年6月14日）

本研究は、シミュレーションにより、電力需給の面から、まず、電力貯蔵システムを導入した地域連系型 PV システムを電力貯蔵システムを導入していない地域連系型 PV システム連系システムと比較、検討した。つぎに、電力貯蔵システムに用いた蓄電池の容量の決定法、必要な蓄電池容量なども検討し、その結果を報告する。

2. PV システムの構成

図1に太陽光発電所を導入した地域連系型 PV システム（電力貯蔵システムなし）（連系システムI）を、図2に電力貯蔵システムを導入した地域連系型 PV システム（連系システムII）を示している。各地域連系型 PV システムの構成、特徴を以下に示す。

2.1 太陽光発電所を導入した地域連系型 PV システム（電力貯蔵システムなし）（連系システムI）の構成

太陽光発電所を導入した地域連系型 PV システム（電力貯蔵システムなし）は、図1に示すように、太陽光発電所、各負荷を第三セクターによる地域配電線に接続し、商用電力系統と原則的に一ヵ所で連系するシステムである。この連系方式では地域内の負荷に太陽光発電所から地域配電線を経由して直接電力を供給する。太陽光発電所に余剰電力がある場合には、商用電力系統へ逆潮流する。また、太陽光発電所の発生電力が負荷電力に対して不足する場合にのみ、商用電力系統から受電する。

ここで、太陽光発電所というのは、第三セクターにより、太陽電池パネルを住宅の屋根を含む、公共施設、遊休地、ビルの外壁などに設置した発電所である。この発電所は需要家設置タイプの集合群である。

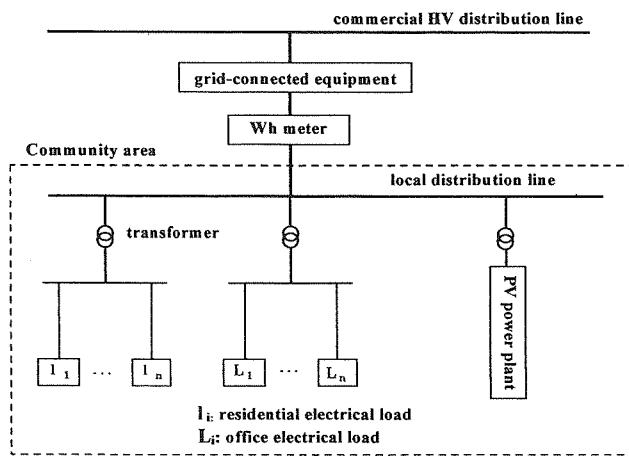


Fig.1 PV systems without Power Storage Systems
(PV systems I)

2.2 電力貯蔵システムを導入した地域連系型PVシステム（連系システムII）の構成

図2に示す連系システムIIは、電力貯蔵システム、太陽光発電所および各負荷を地域配電線に接続し、商用電力系統と原則的に一ヵ所で連系するシステムである。そのシステムの特徴は次である。

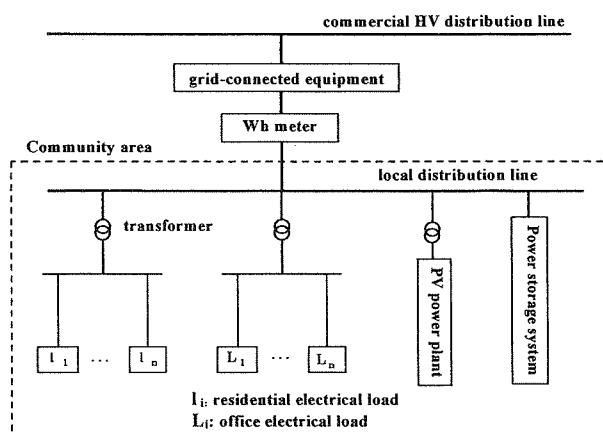


Fig.2 PV systems with Power Storage Systems
(PV systems II)

- (1) この連系方式は地域内の負荷に太陽光発電所から地域配電線を経由して直接電力を供給する。太陽光発電所に余剰電力がある場合には、まず、蓄電池に充電され、蓄電池の容量を超えた場合、余剰電力として商用電力系統へ逆潮流する。太陽光発電所の発電力が負荷電力に対して不足の場合、蓄電池が放電することにより、負荷へ電力が供給され、さらに不足のとき、商用電力系統から受電する。

- (2) 商用電力系統で事故があった場合、電力貯蔵システムから地域内の負荷へ電力を供給するため、電力貯蔵容量の範囲内で地域内の負荷は停電しない。
- (3) 商用電力系統で事故があった場合、系統連系装置によりPVシステムと商用電力系統の分離が可能なので、逆充電を避けることができる。
- (4) 電力貯蔵システムを設置することにより、商用電力系統への潮流が低減できるので、商用電力系統の電圧上昇問題を解決することができる。

太陽光発電所の発生電力が地域内の負荷へ供給されるとき、余剰電力がある場合、その余剰電力を再び負荷へ供給するための蓄電池に貯えるのが電力貯蔵システムである。シミュレーションでは、安全性などに優れ、放電寿命3000cyc以上の鉛蓄電池を用い、蓄電池の充放電効率は90%とした。蓄電池の容量については後で述べる。なお、本研究では、蓄電池の容量が余剰電力を全て吸収できるものとしてシミュレーションを行った。また、蓄電池充放電用双方向電力変換装置を用い、それぞれの変換効率を市販品性能にちなみ96%とした。

3. シミュレーション用データ

図1、2に示すように、シミュレーションに用いるシステム構成は主に太陽光発電所、商用配電線、地域配電線、電力貯蔵システムおよび負荷などから成り立っている。シミュレーションで用いる各要素について以下に記述する。

3.1 環境データ

環境データは東京年平均気象データ(HASP)（全天日射強度、外気温度など）を用いて、太陽光発電所に設置された太陽電池アレイの入力データとした。シミュレーションでは1時間ごとに連続して計算した。なお、太陽光発電所設置地域全体に対して日射条件は同じと仮定している。

3.2 太陽電池アレイ出力及びインバータ

太陽電池は多結晶シリコン太陽電池とし、セル温度が25°C、日射強度が1.0kW/m²のとき、太陽電池の変換効率は11%とした。PVシステムの年間発生電力量P₀を太陽電池アレイの出力から、次のように求めた⁽⁵⁾。

$$P_0 = \sum_{i=0}^{8760} S\Phi(i)\eta(i)[1 - 0.005(T + \Delta T(i) - 25)]\eta\Delta t \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、S: 太陽電池アレイ面積、Φ(i): 太陽電池モジュールの傾斜面全天日射強度(傾斜角35.5度、南向きに設置)、η(i): 太陽電池モジュール変換効率、T: 外気温度、ΔT(i): 太陽電池セルと外気温度との温度差、η: インバータ変換効率(96%一定とした)、Δt: 時間間隔(1時間)。

3.3 負荷データ

負荷データは、住宅負荷データ⁽⁶⁾と公共負荷データ⁽⁷⁾に分かれている。文献(6)に10種類の住宅負荷データがあるが、本研究ではそのうちの生活パターンが異なる4種

類のパターンを用いた。パターン1は在宅型、パターン2、3は一般型、パターン4は働き型である。ここで、ある地域をモデルとして、一軒の住宅の家族構成を3~4人と想定し、年間消費電力量はおよそ4200 kWhとした。地域内の住宅軒数は100軒を想定し、年間負荷電力量Rは420MWhとした。図3に住宅負荷の日負荷パターン例を示す。

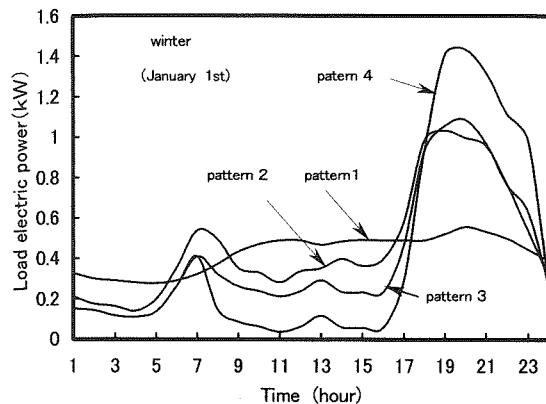


Fig.3 Daily residential load pattern

公共負荷は、事務所、病院および店舗などの負荷から構成し、図4に示す日負荷パターンは事務所、病院および店舗の夏期の日負荷パターンとそれらを合成した公共負荷の日負荷パターンであり、縦軸は当日の電力の最大値で規格化したものである。

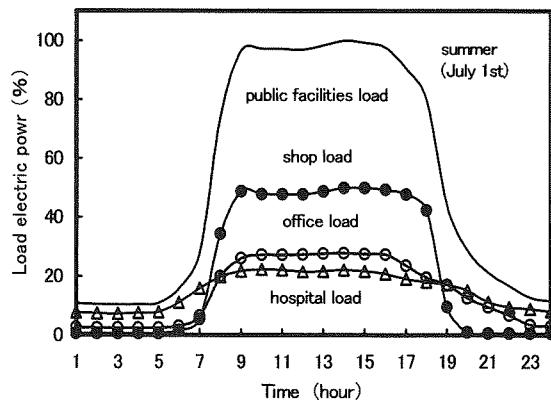


Fig.4 Daily public facilities load pattern

3.4 計算条件

住宅負荷パターンとそれらに対応する住宅軒数の関係を検討したが、研究結果⁽⁸⁾により、各負荷パターンに対応する住宅軒数は発生電力利用量に対して影響が小さいので、本研究では、表1に異なる4種類の住宅負荷パターンとそれらに対応する住宅軒数について検討した。

Table 1. Residential load patterns

load pattern	1	2	3	4
residential number	40	10	10	40

本研究ではシミュレーションにより電力需給の面から連

系システムI、IIの諸特性を調べるため、次のように定義された式を用いた。以下の諸量の単位は年間である。

P: 太陽光発電所の年間発生電力量(MWh/y)

R: 住宅負荷の年間負荷電力量(MWh/y)(=420MWh)

B: 公共負荷の年間負荷電力量(MWh/y)

P/R: 住宅に対する発電所の供給比率

B/R: 住宅に対する公共の負荷比率

ここで、P/R、B/Rを変化させて、1時間ごとに8760時間連続して繰り返しシミュレーションを行う。

4. シミュレーション結果

ここで、図2に示す電力貯蔵システムを導入した地域連系型PVシステム(連系システムII)について、シミュレーションにより、電力需給の面から図1の地域連系型PVシステム(連系システムI)との諸特性を比較、検討する。

シミュレーションでは、供給比率P/Rを0.2~3.0、負荷比率B/Rを0.0(純住宅地区)~3.0(公共地区)に変化させて、季節別各電力と蓄電池貯蔵電力量の関係、発電力利用量とその差、発生電力利用率とその差、蓄電池の容量などを検討し、次の結果を得た。

4.1 季節別各電力と蓄電池貯蔵量との関係

図5にシステムIIにおける冬季(1月1日)の各電力と蓄電池の貯蔵量の時間的変化を示す。蓄電池の初期貯蔵量は0として、太陽光発電所の発生電力が地域内の負荷へ供給され、余剰電力を蓄電池へ充電することを示している。図から見ると、朝7時から充電を始め、午後3時ごろ蓄電池の貯蔵量は最大0.94MWhになった。その後、太陽光発電所の出力の減少と負荷の増加のため、蓄電池が放電を始め、地域内の負荷に給電できた。このケースのP/Rは1.0、B/Rは0.0であった。

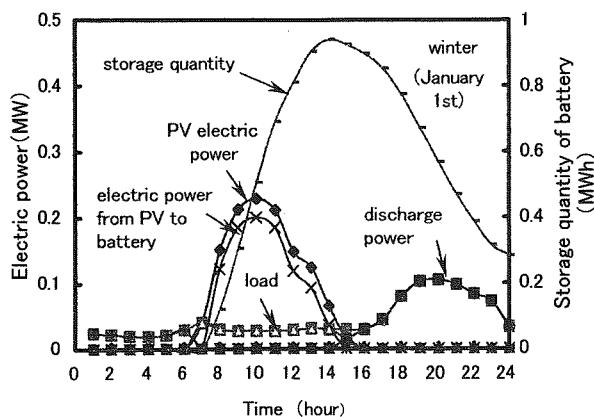


Fig.5 Electric power and storage quantity in inter
(PV system II)

図6は同じく夏季(7月1日)の各電力と蓄電池貯蔵量の関係を示している。早朝は太陽光発電所から電力を負荷に供給できないため、蓄電池はそれ以前に貯えた電力を負荷に供給し始め、午前5時ごろから充電が始まり、最大

貯蔵量は25.88MWhに達して、午後2時からまた放電を始めたことがわかる。このケースのP/Rは1.0、B/Rは0.0であった。

また、電力貯蔵システムを導入することによって、余剰電力を全く系統へ送り出すことなく、地域内の負荷で消費し、提案した地域連系型PVシステムによる商用電力系統の電圧上昇抑制対策にもつながる。

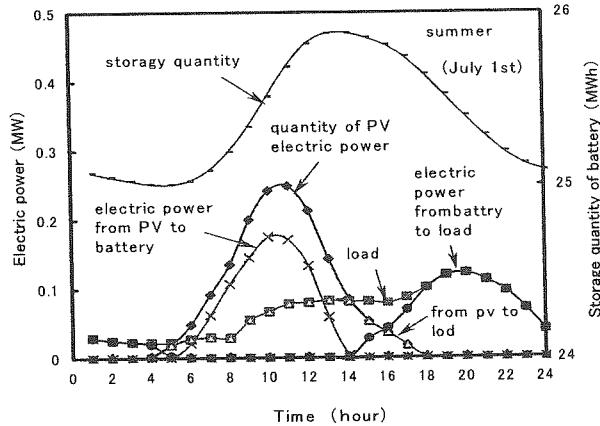


Fig.6 Electric power and storage capacity in Summer
(PV system II)

4.2 発生電力利用量

発生電力利用量とは、太陽光発電所(蓄電池も含む)から直接負荷に供給する年間電力量である。連系システムIIと連系システムIにおいて、両連系システムの電力利用量を比較するため、供給比率P/Rを0.2~3.0、負荷比率B/Rを0.0~3.0に変化させて、シミュレーションを行い、その結果を図7に示す。

図7は連系システムIと連系システムIIの発生電力利用量を示している(点線で連系システムI、実線で連系システムIIを示す)。図より連系システムIIの発生電力利用量は連系システムIより大きいことが分かる。連系システムIIにおいて、P/Rが1以下の場合、電力貯蔵システムを導入することにより発生電力利用量を地域内で利用したことを見ている。また、P/R、B/Rが大きいほど発生電力利用量は増えることが分かる。例えば、P/R=3.0、B/R=3.0の

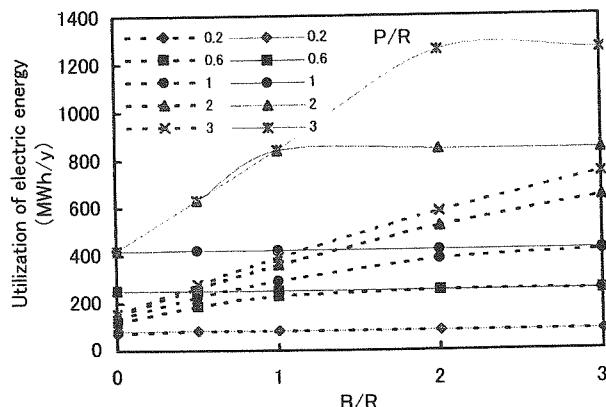


Fig.7 Utilization of electric energy of system I and II

とき、発生電力利用量は連系システムIの場合が740.8MWhで、連系システムIIの場合が1258.6MWhであった。

なお、図7から、連系システムIIにおいて、P/Rが2または3の場合、各々、B/Rが1または2以上で発生電力利用量は飽和しているが、その理由は住宅負荷や公共負荷が太陽光発電所の発生電力を全て利用したからである。

4.3 発生電力利用量の差

発生電力利用量の差とは、連系システムIIの発生電力利用量から連系システムIの発生電力利用量を引いた値である。両連系システムの電力利用量の差を比較するため、P/Rを0.2~3.0、B/Rを0.0~3.0に変化させて、シミュレーションを行い、その結果を図8に示す。

図より、P/Rが0.2~1.0の間で、電力利用量の差はB/Rが0.0のとき最大値を示している。例えば、P/Rが1.0(発生電力量=住宅負荷量)、B/Rが0.0(純住宅地区)の場合、その差が284.2MWhである。その最大電力利用量の差は蓄電池を導入して、負荷へ供給した電力量であり、電力貯蔵システムを導入した効果を示している。

P/Rが2.0、3.0の場合、蓄電池に貯蔵した電力を負荷へ供給するため、最大電力利用量の差はさらに増し、P/Rが2.0、B/Rが1.0; P/Rが3.0、B/Rが2.0のとき、それぞれ最大値477MWh、675MWhであり、その後、電力利用量の差は減っていく。これは連系システムIにおいて、蓄電池がないため、B/Rの増加に伴って電力利用量が増加したのである。

連系システムIIにおいて、地域内に太陽光発電所の発生電力が地域配電線を通じて他の負荷に融通することで商用電力系統からの売買電力量が減少し、太陽光発電所の発生電力を地域内に効率的に利用できることが分かる。

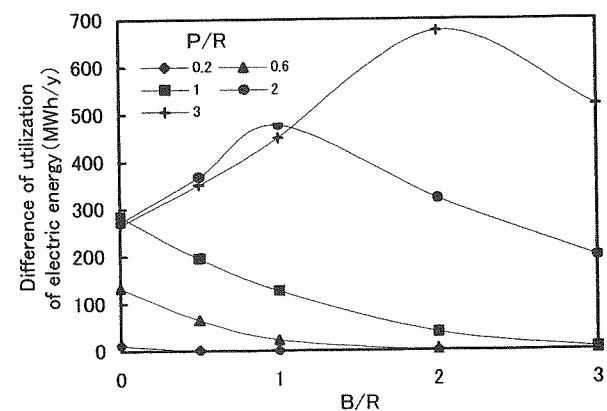


Fig.8 Difference of utilization of electric energy

4.4 発生電力利用率

発生電力利用率とは、太陽光発電所の発生電力量に対して、負荷がその発生電力を直接利用した年間電力量の割合である。この割合が大きいほど太陽光発電所の発生電力を地域内の負荷が多く利用することを意味してい

る。

発生電力利用率は図8より求められ、その結果を図9に示した。図からB/Rにより両連系システムの発生電力利用率は大きく異なることが分かる。一例として、P/Rが1.0、B/Rが0のとき、両連系システムを比較すると連系システムIIの方が連系システムIよりおよそ67.7%高率であった。連系システムIIのP/R=0.2、0.6、1.0のとき、住宅負荷や公共負荷が太陽光発電所の発生電力を全て利用したため、発生電力利用率は100%一定で重なっていることが分る。

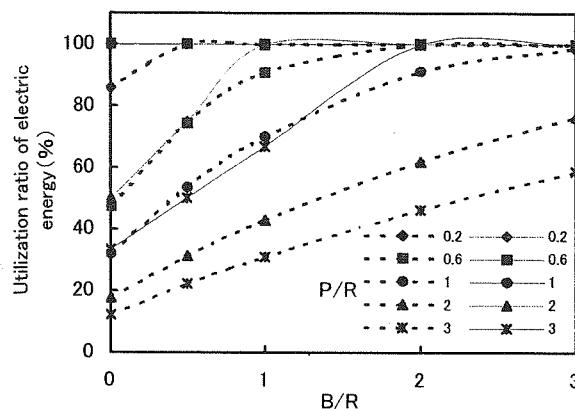


Fig.9 Utilization ratio of electric energy

4.5 発生電力利用率の差

発生電力利用率の差とは、連系システムIIの発生電力利用率から連系システムIの発生電力利用率を引いた値である。連系システムI、IIにおいて、P/Rを0.2~3.0、B/Rを0.0~3.0に変化させて発生電力利用率の差を検討し、その結果を図10に示した。

発生電力利用率の差はP/Rが0.2~1.0の間で、B/Rが0.0のとき最大になる。P/Rが1.0の場合、その差が67.7%であり、P/Rが2.0、3.0の場合、発生電力量が多く、B/Rが0.0のとき、発生電力利用率が少ないため、電力利用率の差が低くなる。B/Rが増えるにつれて、例えば、P/Rが2.0、B/Rが1.0の場合、発生電力利用率の差は最大56.8%になる。P/Rが3.0、B/Rが2.0の場合、発生

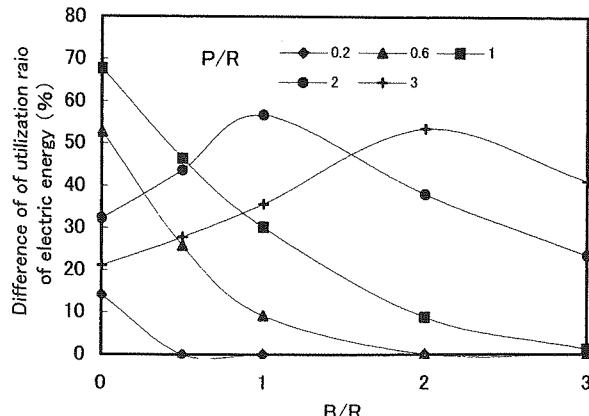


Fig.10 Difference of utilization ratio of electric energy

電力利用率の差は最大53.6%になる。

以上から連系システムIIにおいて、太陽光発電所の発生電力量が地域内の負荷に多く利用されるため、発生電力利用率の差は大きくなることが分かり、蓄電池を導入した場合の方がメリット大きいことを示している。

4.6 蓄電池の必要容量の決定

蓄電池容量の決定法において、年間を通じて、蓄電池は地域内の余剰電力を全て吸収できるものとした。すなわち、年間を通じて、余剰電力を一切系統に逆潮流させないことを条件とした。

蓄電池の必要容量の決定法は次の通りである。図2に示す電力貯蔵システムを導入した地域連系型PVシステム(連系システムII)において、異なるP/RとB/Rに対してシミュレーションを行い、太陽光発電所が電力を地域内の負荷に供給した後の余剰電力を計算し、余剰電力を全て吸収できる蓄電池の必要容量を求めた。

蓄電池の必要容量は各P/R、B/Rとの関係を図11、12に示す。蓄電池の必要容量はP/Rの値により大きく変わるので、同じ図で表示することが見にくいため、二つ図で表示している。図11はP/Rが0.1、0.2、0.4、0.6の場合、図12はP/Rが0.8、1.0、2.0、3.0の場合蓄電池の必要容量を示す。図からB/Rが0.0の場合、すなわち公共負荷がない

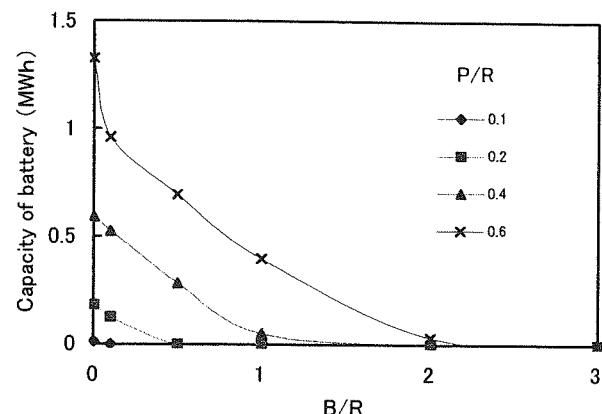


Fig.11 Capacity of battery (P/R=0.1, 0.2, 0.4, 0.6)

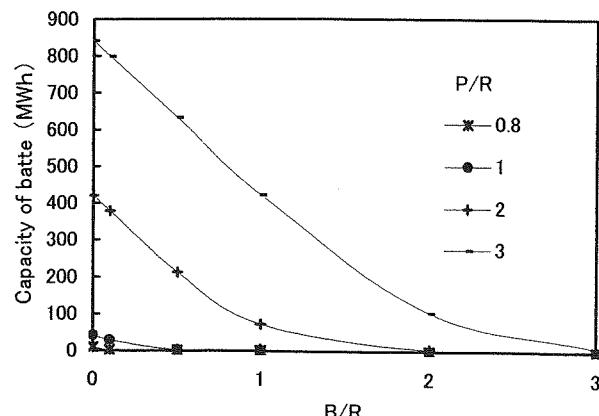


Fig.12 Capacity of battery (P/R=0.8, 1, 2, 3)

とき、余剰電力があるため、蓄電池の容量は最大値になる。公共負荷の増加と共に余剰電力が減少するので、蓄電池の必要容量が減っていくことを示している。

蓄電池の必要容量においては、P/R、B/R が分かれれば、図11または図12により蓄電池の必要容量を決定することができる。たとえば、B/R=1.0、P/R=0.8 の場合、蓄電池の必要容量を 0.81MWh 決定すれば良い。

5. おわりに

本論文は、電力貯蔵システムを導入していない地域連系型 PV システム(連系システム I)と電力貯蔵システムを導入した地域連系型 PV システム(連系システム II)について、発生電力利用量とその差、発生電力利用率とその差、蓄電池の必要容量の決定法、蓄電池の必要容量の決定などを検討したものである。検討した結果、次のことが明らかになった。

発生電力利用量とその差、発生電力利用率とその差から、電力貯蔵システムを導入していない地域連系型 PV システムに比べて、電力貯蔵システムを導入した地域連系型 PV システムは余剰電力を地域内の負荷に全て供給し、効果的に利用することができる。

電力貯蔵システムを導入した地域連系型 PV システムにおいて、異なる供給比率、負荷比率に対して、蓄電池の必要容量の決定法を検討し、その方法により蓄電池の必要容量を決定することができた。

P/R、B/R、発生電力利用率の差および蓄電池容量の範囲において、検討したケースから、P/R 値は 0.6~1.0 において、B/R=0.0~1.0 の範囲で、発生電力利用率の差は 67.6%~9.23% であり、蓄電池併設のメリットが大きく、その場合の蓄電池容量の範囲は 0.4~41.4MWh であった。P/R 値は 1.0 より大きい場合、たとえば、P/R=2.0、3.0、B/R=0.0~1.0 の範囲で、発生電力利用率の差はそれぞれ 32.2%~56.8%、21.1%~35.7% の範囲であり、その場合の蓄電池容量の範囲はそれぞれ 420.0~72.8MWh、840.0~420.0MWh であった。

新たに提案した電力貯蔵システムを導入した地域連系型 PV システムにおいて、商用電力系統と原則的に一ヶ所で連系するため、管理面が簡単であり、電圧上昇や逆充電問題の対処が容易になり、電気事業者・需要家の双方にメリットがある。また、電力貯蔵システムを導入することにより、電力設備容量の低減や電力負荷平準化などの効果も持たせることができるため、本提案方式が PV システムの利用・普及に役立つ可能性が十分にあると言える。

文 献

- (1) 小長井 誠: 「薄膜太陽電池の基礎と応用」 太陽光発電技術研究組合 2001 年 1 月 pp.3~4.
- (2) 車 孝軒・谷 辰夫・中村 福三: 「地域形太陽光発電システムの構成方法」 電学論 B、120 卷 2 号 平成 12 年

pp.187~188

- (3) 車 孝軒・谷 辰夫・中村 福三: 「太陽光発電所を設置した地域連系方式の特性」 太陽／風力エネルギー講演論文集 (2001) pp.1~3
- (4) 車 孝軒・稻葉 次紀・谷 辰夫: 「電力貯蔵システムを導入した地域連系太陽光発電システムの検討」 太陽／風力エネルギー講演論文集 (2002) pp.139~141
- (5) 関口 直俊・谷 辰夫: 「太陽光発電・燃料電池ハイブリッドシステムの特性」(負荷形状率による影響) 電学論 B、114 卷 4 号 平成 6 年 pp.404~406
- (6) エネルギー総合開発機構(委託先 財團法人 電力中央研究所) 「太陽光発電の価値評価に関する研究(II)」 昭和 61 年 3 月
- (7) 財團法人 空気調和・衛生工学会: 「都市ガスによるコーディエネーションシステム計画・設計と評価」 平成 6 年 6 月 pp.137~142
- (8) 車 孝軒・谷 辰夫・中村 福三: 「太陽光発電システムの地域利用形態の一考察」 日本太陽エネルギー学会誌 Vol.26, No.2 p.40