

太陽光発電設備および蓄電設備の有効活用に関する研究

A Study on Effective Use of Solar Power Generation and Storage Facilities

茂木正史* 岩下将也*

要 旨

太陽光発電設備及び蓄電設備を設置し、その活用実績のデータを収集している。定格発電能力 43kW（面積 300m²）の太陽光発電設備の約 6 か月間の運転における発電実績は、計画時に標準的な予測方法（JIS）で求めた発電量を 14%上回っている。また、太陽光パネルを散水冷却することにより、太陽光発電設備の発電効率が 5.4%向上し、パネルを設置した屋根の下部に位置する部屋の空調の熱処理量（電力量）が 37%減少することを確認した。定格蓄電能力 24kWh の蓄電池の実建物からの充電、建物への給電の実績において、充給電における電力損失は 8.8%であった。また、「最大需要電力（電力料金算定の根拠）」の削減量を最大にするための蓄電設備の運転方法を導き、これを適用した場合の削減量を明らかにした。

キーワード：創エネルギー、再生可能エネルギー、太陽光発電、蓄電池

1. まえがき

地球環境を保護するために、再生可能エネルギーの活用を促進する動きが加速している。しかし、我が国の 2010 年の発電電力量のうち、水力発電を除く再生可能エネルギーによる発電電力量は約 1.2%にとどまり¹⁾、経済産業省は、調達価格と調達期間を優遇する固定買取制度を定め、再生可能エネルギーの導入拡大を図っている。

一方、創エネルギー技術を高効率化する取り組みにも力が注がれている。経済産業省が提唱している、「建築物における年間での一次エネルギー消費量が正味（ネット）でゼロまたは概ねゼロとなる建築物」である ZEB²⁾（ネット・ゼロエネルギービル）の実現のためには、省エネルギー技術に加えて創エネルギー技術の高効率化が必須である。

また、次世代の電力網として期待される「スマートグリッド」は、情報通信技術を活用しながら電力システムを安定的かつ高効率・経済的に運用することを目的としている。その実現には、自然由来であるが故の創エネルギーによる発電電力量の変動への対処や建物内で部位ごとに異なる需要電力を平準化する仕組みが必要であり、太陽光パネルなどの発電設備と、蓄電池などのエネルギー貯蔵設備を利用し、建物内、建物間でエネルギーを融通する技術の高度化が求められている。

太陽光パネルは本体温度に比例して発電量が低下する特性を有しており、本体温度の上昇を抑えれば発電量の低下を防げると想定されるので、パネル数枚を使った散

水冷却による効率低下を抑制する効果を実験的に調査した事例はあるが³⁾、実規模大での効果を検証した事例は報告されていない。また、屋根に設置した太陽光パネルによる下階への日射遮蔽効果、散水冷却することによる下階への遮熱効果が期待されるが、これを評価した例もない。

そこで、本研究では創エネルギー設備を実建物に適用し、実績データの収集や評価を行っている。具体的には、再生可能エネルギーの固定買取制度を利用して技術研究所の実験施設に太陽光発電設備を設置し、発電事業の成立性の評価や、太陽光パネルの冷却による発電効率の向上、パネルの設置、およびその冷却による屋根下部の部屋への冷房負荷低減効果を確認する試験を実施している。

スマートグリッドに関しては、蓄電池を中核としたシステムを構築し、太陽光発電設備と連携した蓄電池の放充電の推移を測定した事例⁴⁾はすでにあるが、さらなるデータの蓄積が必要である。そこで、技術研究所の研究施設に蓄電システムを導入して充放電実験を行い、蓄電池の充放電性能に関するデータ収集や、太陽光発電設備との連携について調査した。

本報告では、上に述べた太陽光発電設備と蓄電設備に関する実験的研究の結果とその有効活用について述べる。

表-1 太陽光パネルの仕様

型式	SPR-210N-WHT-J
セル種類	多結晶シリコン
公称最大出力	240W
最大変換効率	14.60%
外形寸法	1,652 × 999 × 45mm
重量	20kg
温度損失	-0.38%/K 25°Cで0%

* 技術研究所

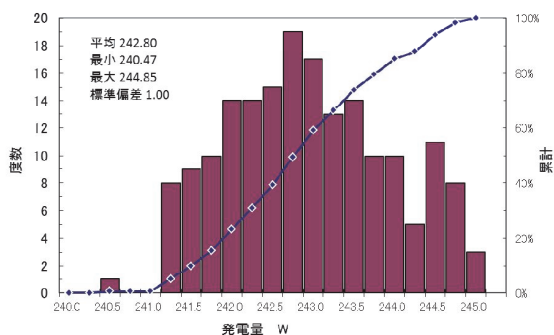


図-1 太陽光パネルの発電性能ヒストグラム



写真-1 太陽光発電パネルの設置状況

2. 太陽光発電設備の検討

2.1 太陽光発電設備の設置

a. 太陽光パネルの仕様

太陽光パネルに使用されている主な材料は、シリコン半導体と化合物半導体であり、シリコン系は多結晶、単結晶、アモルファスに分類され、この順に変換効率とコストが高くなる。表-1に今回使用した太陽光パネルの仕様を示す。また、製品検査結果データから作成した各パネルの発電性能ヒストグラムを図-1に示す。同図中には、平均値等の統計値も掲載している。定格出力240Wに対して平均値は242.8Wで、定格値の1.3%増となっている。

b. 太陽光パネルの設置

太陽光パネルを技術研究所の実験施設の屋根に設置した。設置状況を図-2、写真-1に示す。また、太陽光パネル設置条件を表-2に示す。なお、図-2に示すように散水冷却実験用に発電容量を10kWにまとめたグ

表-2 太陽光パネル設置条件

設置場所	東経140.04°、北緯34.04°
方位角度	北東22°
傾斜角度	3°(屋根勾配)
パネル枚数	180枚
パネル面積	300m ²
定格出力	43.2kW

ループを2つつくり、散水冷却を行わないAグループ、散水冷却を行うBグループとして両者の発電電力量を比較した。

2.2 発電量の予測と実績

太陽光発電設備の発電量の予測は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の日射量データベースMONSOLA-11を用い、解析方法はJIS C 8907「太陽光発電システムの発電電力推定方法」を使うのが一般的であり、この方法で算出された発電量をもとに事業計画が立てられる。JISの月間発電量の予測式を以下に示す。

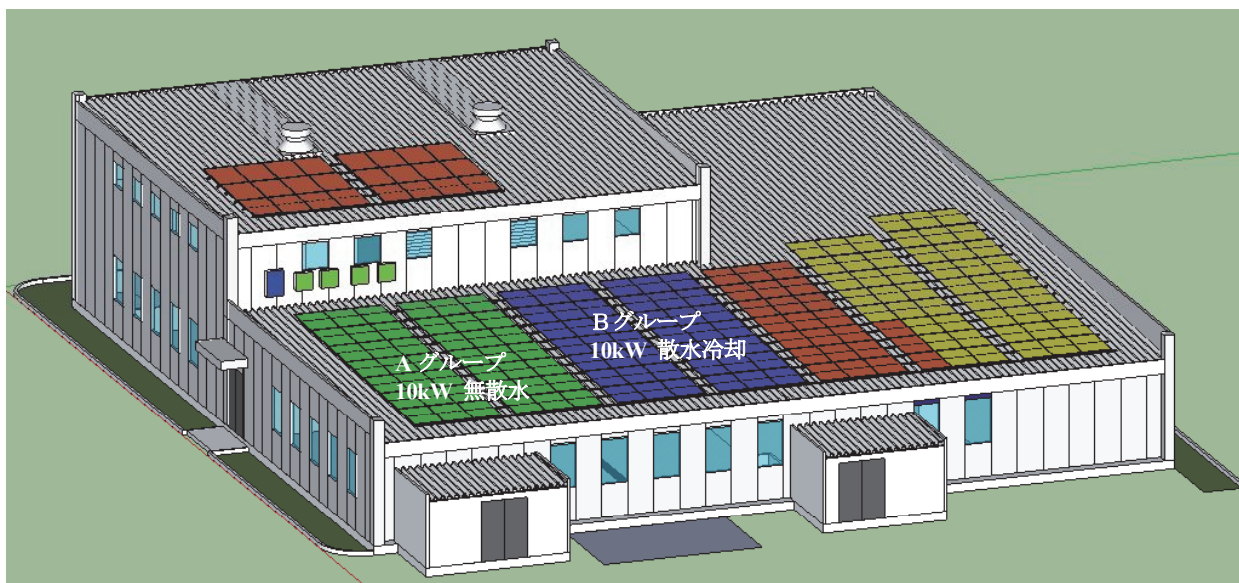


図-2 太陽光パネルの設置状況

$$E_{pm} = K' \times K_{pt} \times P_{as} \times H_{am} / G_s$$

ここで、 E_{pm} ：月間発電量[kWh]

K' ：設計係数（付帯機器の特性を評価）

K_{pt} ：温度補正係数

P_{as} ：アレイ（全パネル）定格出力[kW]=43.2

H_{am} ：月積算傾斜面日射量[kWh]

G_s ：基準日射強度[kW/m²]=1.0

図-3 に日射量データベース MONSOLA-11（つくばのデータ）を用い、JIS C 8907 の方法で予測した発電量、測定した発電量の実績値、日射量の測定値を用い、JIS の方法で予測した発電量を示す。データは 2013 年 6 月 7 日から 11 月 30 日までのものである。実績値（総発電 22,096kWh）は日射データベースによる予測値（19,394kWh）を 14%上回り、測定日射量による予測値（20,777kWh）を 6%上回っている。日射量の実績値がデータベースより多かったことが JIS 予測値と実績の差異の主要因であるが、機器の損失係数や温度損失係数が定数として設定されていることも予測精度に影響していると推測できる。計画段階において、当システムは 8.5 年で初期投資費用を回収できると予想したが、これまでの実績ではほぼ予測通りの発電結果が得られている。今回は 1 年に満たない期間での結果であり、さらに計測を続けて検証データを蓄積する予定である。

2.3 散水冷却による発電効率向上と室内熱負荷軽減

a. 実験概要

図-2 に示す定格発電量の等しい A グループと B グループの太陽光パネルを計測対象とし、B グループのパネルを散水冷却した。気象データとしては、日射量と気温を測定した。また、太陽光パネルの表面温度、太陽光パネル下部の折板表面温度、太陽光パネルが設置されていない部分の折板表面温度を測定した。図-4 に表面温度測定部位を、図-5 に散水設備の概要を示す。散水は 8:00～17:00 の時間帯に 1 分散水、2 分休止のスケジュールで実施した。散水スケジュールは、分単位での発停制御を行うこととし、水道圧による散水で散水時にパネル全面が濡れ、停止時に乾燥しない条件から設定した。また、太陽光パネルの発電効率は表面温度を下げるほどが高くなるが、日射量の少ない曇天時の散水を避けるために表面温度が 30℃以上で散水するように給水を制御した。散水冷却実験を行ったのは、6 月 7 日から 7 月 12 日までである。実験の進行に伴って水道水中の水溶物質（消毒剤等）が太陽光パネルのガラス面に付着することが判明した。別途試験中の勾配 10° のパネルに散水する場合には水溶物質の残留はなく、当設備の勾配 3° においては水溶物質を含んだ水道水が散水時間以外の時間帯にパネル面で完全蒸発するために成分が残留したと考えられる。

b. 散水による発電効率向上

図-6 に 7 月 1 日から 20 日までの A グループ（散水無し）と B グループ（散水有り）の発電量およびパネル温度の推移を示す。散水によって、B グループは A グループに比べて最大 15℃程度パネル表面温度が下がり、発電量が増加している。散水期間（36 日間）の総発電量は B グループが 1,249kWh で、A グループは 1,186kWh であり、散水によって発電量が 5.4%向上した。

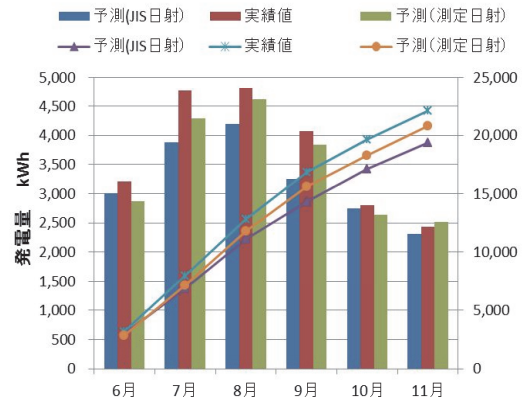


図-3 発電量の予測値と実績値

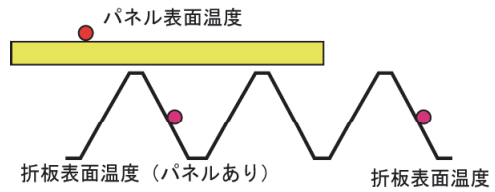


図-4 表面温度測定部位

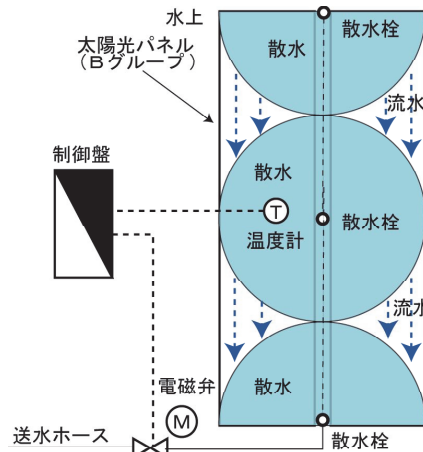


図-5 散水設備の概要

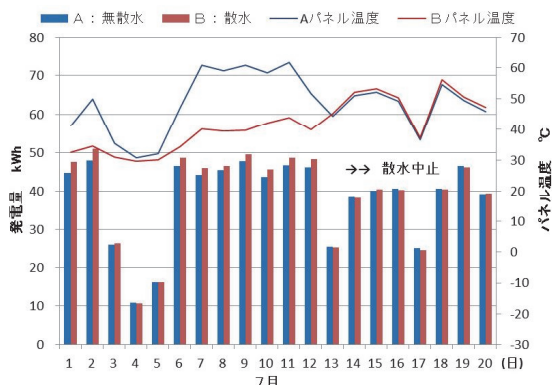


図-6 発電量、およびパネル温度の推移

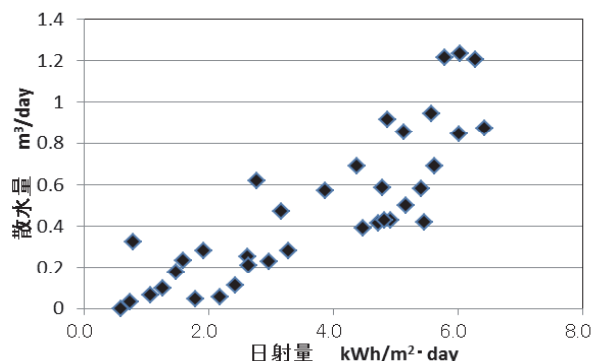


図-7 散水期間における日射量と散水量の関係

図-7に、散水期間における日射量と散水量の関係を示す。曇天時の散水を避けるためにパネル表面温度が30℃以上で散水するように制御したので、散水量は積算日射量の増加に応じて増えている。なお、散水した35日間の総散水量は17.3m³であり、屋根の単位面積、単位時間当たり0.844L/(m²・h)である。その一部が気化熱、その他が熱伝導によりパネルを冷却する。なお、折板屋根に散水して熱負荷を軽減した事例での給水量は2.19L/(m²・h)と報告されており⁵⁾、曇天時の散水中止する制御の有無によって両者の差が生じたものと考えられる。

2.4 室内熱負荷の低減

太陽光パネルを敷設してある屋根の下部にコンクリート実験室(107m²)があり(図-2)、設定温度20℃で24時間運転している。実測データをもとに、太陽光パネルの設置やパネルに散水することによる、実験室の空調電力低減効果を算出した。表-3は実験室屋根部材の熱特性である。図-8に、パネル下部で散水の有り無し、またパネル無しの部分の屋根表面温度の比較を示す。日射の無い日は3者が同程度の温度となっているが、日射の有る日は、パネル無し、パネル(無散水)、パネル(散水)の順に表面温度が低くなっている。図-9に、パネル、および散水の有無と屋根からの熱浸入量を示す。熱浸入量は屋根表面温度と室内温度の差に熱貫流率を乗じて求めた。太陽光パネルを設置して散水しない場合の屋根からの熱浸入量は、パネル無しの場合の24%減、パネルに散水した場合は散水しない場合の37%減、パネルを設置しない場合の53%減となった。したがって、空調の電気量も熱浸入量とほぼ同率で減少すると考えられる。

表-3 実験室屋根部材の熱特性

構成材及び部位	厚さ mm	熱伝導率 W/mK	熱抵抗 m²K/W
外部熱伝達部	—	—	—
折板(鋼材)	0.8	53	1.51E-05
ペフ(折板に貼付)	4	0.031	0.13
空気層	500	—	0.09
グラスウール	50	0.038	1.32
ジブーン	9	0.22	0.04
内部熱伝達部	—	—	0.11
熱貫流率(W/m²K)			1.69

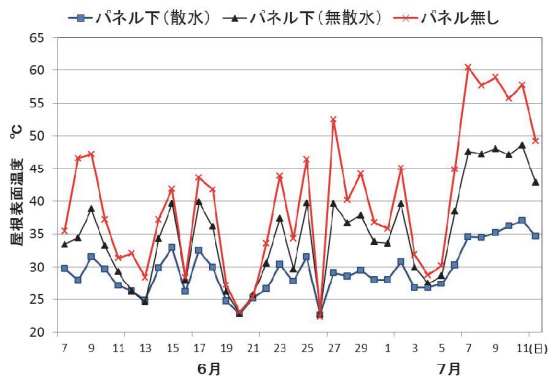


図-8 パネル及び散水の有無と表面温度の推移

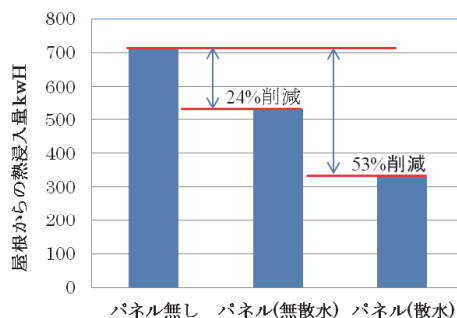


図-9 パネルおよび散水の有無と熱浸入量

3. 蓄電設備の検討

3.1 蓄電設備システムの概要

研究棟に導入した蓄電システムを図-10に示す。実験用蓄電池として電気自動車に搭載されたリチウムイオン

電池を利用した。また、同建物には定格発電能力4.4kWの太陽光パネルが設置され、その発電電力は建物全体に供給されている。蓄電池は「パワーステーション

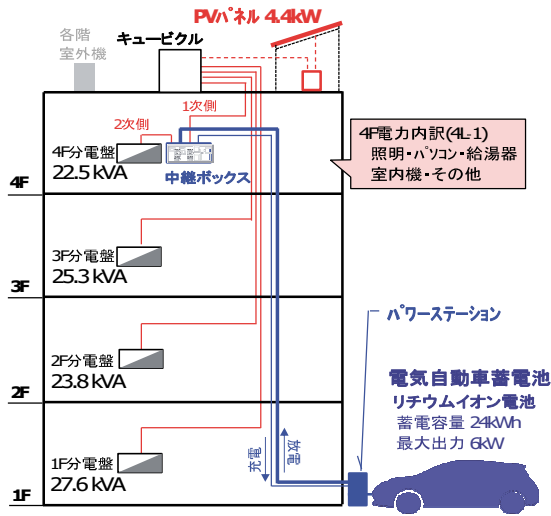


図-10 導入した蓄電システム

表-4 蓄電池の仕様

電池種類	リチウムイオン電池
構成	48モジュール
定格電圧	360V
蓄電量	24kWh
最大出力	6kVA(2×3kVA)

ン、「中継ボックス」を介して4Fの分電盤に接続されている。パワーステーションが、蓄電池の充電量を管理し、設定したスケジュールに従って充放電の制御を行う。電力会社からの給電系統と蓄電池系統の切り替えは、中継ボックス内の開閉器の操作によって行われる。蓄電池の仕様を表-4に示す。最大出力3kVAの系統が2系統あり、どちらかの系統の負荷が最大出力を超えると、瞬時に電力会社の系統に切り換わる仕組みとなっている。系統切替時間は10ms以内の仕様であるが、瞬時停電は電気機器によっては対策が必要である。

3.2 充放電性能

電力量メーターを中継ボックス内に取り付け、夜間に充電、昼間に放電するスケジュール設定のもと、蓄電池の充電量と放電量を測定した。測定結果を図-11に示す。本実験中は、スケジュール通りに充放電が行われたが、放電量は充電量よりも少なく、充放電時に8.8%の電力損失があることを確認した。一般的なりチウムイオン電池の損失は10~20%であり、概ね一致している。

3.3 太陽光発電との連携

昼間の太陽光発電電力を蓄電池に貯めて夜間に使用する方法の動作を評価する実験を行った。図-12に太陽光パネルと蓄電池の連携を示す。晴れの日9時より蓄電を開始すると、太陽光発電の発電能力より蓄電池の充電能力の方が大きいので発電電力をすべて充電できた。夜間は、電力需要が蓄電池の放電能力（最大6.0kW）を越えない19時以降に蓄電池より4Fに放電し、深夜の

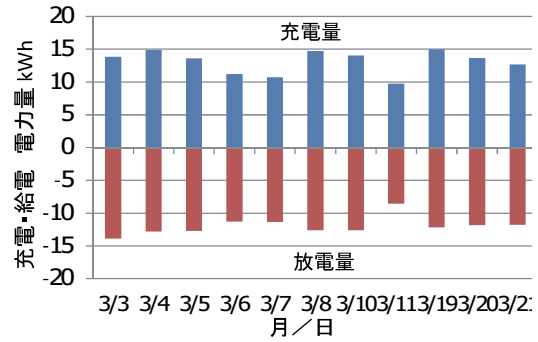


図-11 充放電試験結果

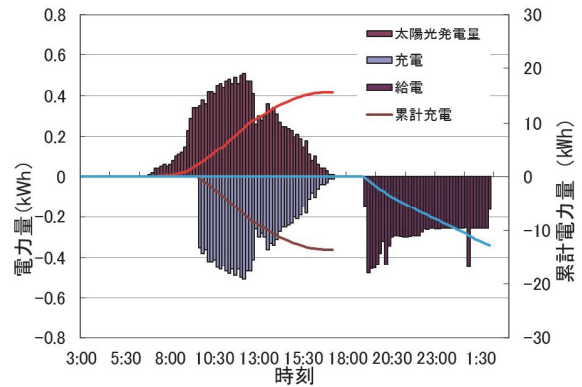


図-12 太陽光パネルと蓄電池の連携

電力需要を賄った。さらに、天候が晴れの場合には、太陽光による発電電力の全量を蓄電し、それをすべて夜間に消費する動作を確認した。

3.4 年間最大需要電力（デマンド）の削減

電力需要の少ない夜間に電力を貯めて、電力需要のピークカットに使えばデマンドを削減でき、電力料金の値下げに繋がる。そこで、本システムの蓄電池を夜間に充電し、昼間に放電した場合のデマンド削減効果を予測した。

a. 蓄電池によるデマンド削減の考え方

図-13に、蓄電池を用いた場合のデマンド削減の考え方を示す。蓄電池を深夜に充電し、昼間に放電する場合、デマンド削減値は、日中の建物の需要電力の推移カーブに対する、蓄電池の容量、蓄電池の最大出力によって決まる。図中の①のように、短時間に大きなデマンドが発生する場合には、蓄電池の最大出力によってデマンドの削減値が決まる。図中の②のように、デマンドと同程度の需要電力が長時間続く場合には、蓄電池の容量によってデマンドの削減値が決まる。当実験施設は①に該当するが、デマンド削減のために蓄電池の運用方法を定めるには、建物の電力量消費の特徴を把握する必要がある。

b. 実験対象施設の電力量消費の特徴

図-14に、研究棟の平成24年度の需要電力の需要

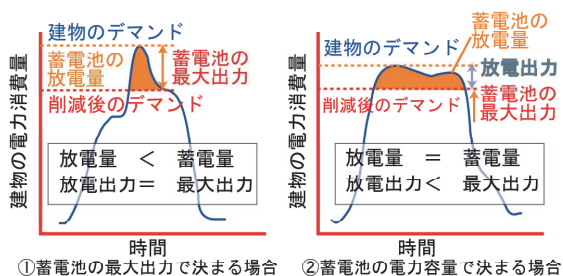


図-13 蓄電池を用いた場合のデマンド削減

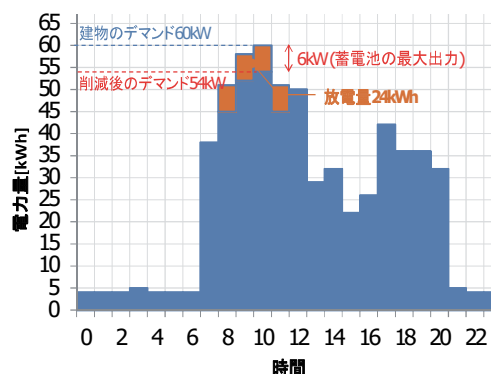


図-15 デマンド観測日の電力量推移(1月4日)

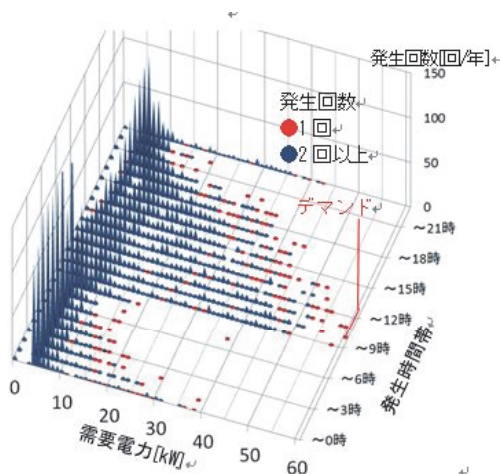


図-14 需要電力の需要別・時間帯別頻度 (研究棟)

別・時間帯別頻度を示す。デマンドは60kWであり9時～10時に1回発生している。また、デマンド値に近い55～58kWの需要電力も午前中に各1回発生している。この時間帯に蓄電池を利用することで、デマンドの削減が期待できる。

図-15に、デマンドを観測した日の需要電力量の推移を示す。発生日は1月4日であり、8～9時に58kW、9～10時に60kWの需要電力量が発生している。一般的にデマンドは長期間建物を使わなかった後などの特殊日に発生する。最大需要電力の発生状況に対応して、8時から4時間、最大出力で蓄電池を放電することで、54kWまでデマンドを落とせる。しかし、より効果的な運用をするには、時々刻々と変わる需要電力の予測と、蓄電池の制御が必要となる。特に、需要電力の予測精度の向上は課題であり、天気予報を用いる方法や、実績データに基づく統計的予測方法の採用などが有効と考えられる。

4. まとめ

これまでの気象の下で、太陽光発電設備の発電実績は設備の計画時に予測した値を上回り、事業計画が成立する結果となっている。また、パネルに散水することによ

る発電効率の向上とパネル下部の空調電力削減効果の実績値が得られた。これらの結果より、周辺技術によって発電効率の向上が可能であること、太陽光パネルを設置することで下室の冷房負荷を下げる遮熱効果が得られることが明らかになった。なお、水道水で冷却した場合にパネルに付着する成分についての検討が今後の課題である。

また、蓄電設備の放電性能や太陽光発電設備との連携動作について実建物でのデータを取得した。引き続き、発電できない場合や非常時などの種々の状況に応じて、再生可能エネルギーの活用を高めることができる制御方法の研究を進めていきたい。

5. あとがき

創エネルギー技術の代表として、太陽光発電設備と蓄電設備を実建物に適用して活用方法を研究している。更に、設備の劣化等にも着目した計測を続け、創エネルギー技術の普及に貢献したい。

【参考文献】

- 1) 資源エネルギー庁、「平成24年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書2013)」、2014
- 2) 経済産業省、「ZEBの実現と展開に関する研究会報告書」、2009.11
- 3) 坂本他、「太陽光発電モジュールの散水冷却による発電効率向上にかかわる実験」、日本建築学会大会学術梗概集、2005.9
- 4) 青木他、「建築設備への分散型エネルギーシステムの導入に関する研究」、日本建築学会大会学術講演梗概集、2010.9
- 5) 島田他、「折板屋根大規模建築物の温熱環境改善に関する研究 その6 高発熱を有する工場への屋根散水の適用事例」、日本建築学会大会学術講演梗概集、2002.8