街区地区レベルでの太陽電池・蓄電池を用いた 電力負荷平準化による 費用効果算定モデルの構築

森川 雄貴¹・野田 圭祐²・盛岡 通³・尾崎 平⁴

¹非会員関西大学大学院理工学研究科修士課程(〒564-8680大阪府吹田市山手町3丁目3-35)

²非会員関西大学大学院理工学研究科修士課程(〒564-8680大阪府吹田市山手町3丁目3-35)

E-mail:k209877@kansai-u.ac.jp

³正会員関西大学環境都市工学部教授(〒564-8680大阪府吹田市山手町3丁目3-35)

E-mail:tmorioka@kansai-u.ac.jp

⁴正会員関西大学環境都市工学部助教(〒564-8680大阪府吹田市山手町3丁目3-35)

E-mail:ozaki_t@kansai-u.ac.jp.

本研究では、街区・地区レベルでのPV-BTシステム導入による費用効果を算定するモデルを構築し、街区・地区レベルの電力需給マネジメントの単位(空間と用途)を変えることによる負荷平準化効果の違いを定量化することを目的とした。神戸市旧居留地区を対象に検討した結果、以下の4点の結論を得た。1)PV-BTを $0.17[\text{kW}/100\text{m}^2]$ 導入し、地区全体で電力マネジメントを実施することによる最大電力負荷の低減効果は、導入前に対して1.2%程度であった。この低減効果はPV-BT導入量に関わるため、評価尺度をPV-BT導入量に対する削減率で表現すると70%程度と大きな効果が見られた。2)PV-BT導入量を変化させた場合の年間純便益は、地区へのPV-BT合計導入量が単位面積当たり $0.25[\text{kW}/100\text{m}^2]$ 程度で最大となり、それ以上は低下する。3)用途混合度が異なる街区別のピーク負荷低減効果を明らかにしたところ、住居系の混合割合が高い場合、住居系のピーク生起時刻が事務所系・商業系と離れているためにPV-BTによるピーク負荷低減効果が相対的に小さくなる。4)事務所系と商業系のみが混合している街区では、電力需要が標準偏差分だけ大きくなる方に変移した場合、BTによるピーク負荷低減効果は相対的に高くなる。

Key Words :photovoltaics, electricity storage battery, load leveling, peak shaving, cost benefit performance, CEMS, city block and district

1. 研究の背景・位置づけ・目的

建物のエネルギー合理化としての確かなエネルギー需給は、①省エネの推進及び再エネの導入、さらに、②ピーク負荷率の低減・抑制、③需給応答を含めたスマート化によって達成される。そこで、山口らの前報¹⁾では、そのうち、③を太陽光発電(photovoltaics 以降PV)・蓄電池(electricity storage battery 以降BT)システムの導入によって達成しうる程度を評価した。

前報¹⁾では、建物単体(単一事業者)へ PV-BT 導入容量設計を考える際の全体的な費用効果の傾向を把握するためのモデル開発を試みた。その際、電力需要と PV 発電電力の2変動を同時に考慮する必要があると考え、需給の双方の変動を考慮した費用効果算定モデルを構築した。さらに、構築したモデルを用いて産業工場にシステムを導入したことを想定し、負荷平準化効果を算定した。

他方で、街区・地区レベルでエネルギーの需給効率を高めるCEMS(Community Energy Management System)等の取り組みは、未だ北九州市、横浜市等での実証実験(モデル事業)の段階である。本研究の位置づけとして、アメリカではニューメキシコを事例にPV-BTを用いた電力負荷削減の研究は存在する²⁾。日本ではこの効果について算定した研究は存在しない^{3,4)}。

前報¹⁾のモデルでは、建物単体(単一事業者)へのPV-BTシステム導入による効果を算定できるものの、建物用途が複数混在する街区・地区レベルでのPV-BTシステム導入効果を算定できないという課題があった。それは、前報¹⁾のモデルでは、建物用途別の電力負荷の再現及び、街区・地区レベルのような電力負荷ピーク時刻の異なる複数の施設が混在する場合を評価するためのピーク発生時刻の変動の再現に至らなかったためである。

本研究では、街区・地区レベルにPV-BTシステムを導入した場合、電力需給のマネジメントの単位を変えることによる負荷平準化効果の違いを定量的に得ることを目的とし、建物用途別に①電力負荷、②日最大電力負荷発生時刻、③PV発電電力の3変動を同時に考慮した費用効果算定モデルの構築を試みた。今回は、前報¹⁾で考慮した2変動に加え、電力負荷のピークが発生する時刻の変動も考慮した。これは、電力負荷ピーク発生時刻の異なる複数の施設混在による負荷平準化を考慮するためである。さらに、構築したモデルを神戸市旧居留地に適用し、街区・地区レベルへのPV-BTシステム導入による費用効果とピーク電力負荷削減量の算定を行った。

本研究と前報¹⁾との本質的な違いは2つある。1つは、複数の用途の複数の建物のマネジメントの単位によって効果が異なることを明らかにし、空間的な評価を行った点。2つ目は、結果を期待値だけで示すのではなく、電力需要が期待値から標準偏差分だけ大きく変移した時(需要がタイトな時)の評価も行っている点である。

2. 街区・地区レベルにおけるPV-BTシステム導入による費用効果算定モデルの構築

街区・地区レベルにおけるPV-BTシステムの費用効果算定モデルは、①街区内の活動量を推定する活動量推定モデル、②電力需要の変動を再現する電力負荷パターンモデル、③気象状況によるPV出力の変動を再現するPV出力パターンモデル、④BT運用モデル、⑤費用効果の算定モデルによって構成される(図-1)。

(1) 都市建築活動量推定モデル

本研究では、延床面積に基づいて建物の電力負荷パターンモデルを構築するため、延床面積推計を用いて算定する。電力負荷パターンは建物用途によって異なるため、東京都の地球温暖化対策の建築物の特定区分⁹⁾を参考に建物用途を事務所系、商業系、住居系の3つの用途に分類した(表-1)。

図-1 モデルの全体構造

表-1 エネルギー消費を特徴づける建物用途分類

建物用途 大分類	建物用途 小分類	産業分類
事務所	事務所	建設業、製造業、電気・ガス・熱供給・水道業、情報通信業、運輸業、金融・保険業、不動産業、医療業(一般診療所、歯科、療術)、公務(市役所等)、学習支援業(図書館、学習塾、博物館)
	公共施設・学校	幼稚園・保育園、小・中・高校、大学・専門学校
	商業施設・物販店	卸売業・小売業(コンビニ、食品スーパー除く)、生活関連サービス業(洗濯・美容・美容)
商業	コンビニ	
	食品スーパー	
	飲食店	飲食サービス業
	集会所	娯楽業(パチンコ、ゲームセンター、劇場、映画館、ボーリング場等)
住居	住宅	戸建、集合住宅
	宿泊施設	宿泊業(ホテル・旅館)
	病院・医院	病院、障害者福祉、老人福祉(老人ホーム)

今回は神戸市旧居留地を対象地域とし、シミュレーションを実施するため、対象地域(26街区)に存在する建物それぞれの延床面積を街区ごとに推計し、表-1に示す3つの建物用途別に延床面積を集計した。なお、今回は神戸市旧居留地を事例に構築したシステムの詳細を述べるが、本システムは他の都市部への汎用性を考慮している。

延床面積推計は、まず、ウェブ検索で得られた対象施設の延床面積のデータはそのまま採用した。得られなかったものについては、GISにより建築面積を推定し、その推計値に階数を乗じて延床面積を推計した。なお、GISやウェブから得られなかった階数の情報に関しては現地調査により得た。

さらに、推計した対象地域内の建物用途別延床面積を神戸市の都市計画基礎調査に記載されている町丁目単位の建物用途別延床面積と照合し整合性をとった。

(2) 電力負荷パターンモデル

前報¹⁾では建物単体(単一事業者)を対象とし、昼間平均電力を基本として、そこから一定割合増しの契約電力を設定し、それを超える需要に対してBTの放電効果を確かめるというモデルを構築した。

本研究は、複数の建物用途と複数施設を対象とし、事務所系、商業系、住居系の3用途別に、日間平均電力負荷[kW](以降、日間平均)、用途別の活動が活発になる時間帯(活動期)とそれ以外の時間帯(非活動期)の平均電力負荷[kW](以降、活動期平均、非活動期平均)、30分最大電力負荷[kW]を表現することを試みた。また、30分最大電力負荷値を下回る契約電力を設定することによって生じる危険、すなわち契約電力を超えることにより発生する超過金の支払いと契約電力を下げることによる効果を比較検討できる電力負荷パターンモデルを設定した。

3用途別に日間平均、活動期平均、非活動期平均、30分最大電力負荷を設定した。今回は、日間平均、活動期平均、非活動期平均を固定値として扱い、30分最大電力負荷に関しては、①30分最大電力負荷と②その発生時刻を確率的に発生させ分布モデルを作成し、確率的に変動させた。事務所系は8:00-19:00、商業系は10:00-21:00、住居系は0:00-17:30、23:30-0:00を活動期と設定し、それ以外の時間帯を非活動期と設定した。

制御方式は前報¹⁾に基づいて設定した。一定値制御(想

定した水準を超えると放電する)という簡易なルールを採用して、最も控えめな効果算定を行うものとした。

(3) PV出力パターンモデル

モデルの設定は以下のとおりである。前報¹⁾に基づいて、過去の気象観測データから、電力負荷最大月(冷房によるピークのある温暖な気候の地域なら7月、8月)を想定した。晴・曇・雨の天気別に日射量を確率分布で与え発生させた。ただし、今回は、生起する規則的關係として、空調需要が日射量により増大するというモデルの内部構造を表現した。

(4) BT運用モデル

本モデルでは、BTを使うことの効用を最大電力負荷削減におき、夜間電力からのみBTへの充電を行うという制限つきで運用した。この部分については、PVからの充電も行う場合への変更も可能なモデルとなっている。また、放電運転では、PV出力は昼間時の電力負荷を実質的に削減するとし、設定値を超えてBTの容量がある限り放電を行うと設定した。

(5) PV-BTシステム導入による年間純便益と最大30分電力負荷における削減量の算定

本研究では電力負荷平準化効果を定量的に算定することを目的とし、PV-BTシステム導入による30分最大電力負荷から定まる基本料金の12か月分と従量電力料金の和の増減から年間純便益を算定した。

前報¹⁾に基づいて、年間純便益を計算する際の便益はシステム導入による契約電力[kW]料金の削減及び、PV出力電力量[kWh]による購買電力量[kWh]の削減を考慮した。

一方、費用に関しても前報¹⁾と同様にシステム導入にかかる年間償却費用及び、最大購買電力[kW]が契約電力[kW]を超えた時に発生する契約電力超過金を計上した。

ただし、今回は街区・地区レベルでのシミュレーションのため、契約電力の概念は、仮想ではあるが、街区レベルで電力一括契約した場合や地区レベル(街区が複数存在)で電力一括契約した場合を想定する。

30分最大電力負荷から算定される基本料金12か月分の差を年間基本料金の削減量とする。

3. 電力負荷パターンモデルの条件設定

電力負荷パターンを操作するにあたり、事務所・商業・住居系の3つの建築床の用途ごとに、年間最大電力負荷日の電力負荷パターンを再現する。電力負荷パターンは日間平均、活動期平均、非活動期平均、30分最大電

力負荷を与えることで再現を試みた。

(1) 都市建築活動量の推定

本研究では、延床面積に基づいて建物の電力負荷パターンモデルを構築する。今回、街区・地区レベルのシミュレーションを行ううえで、ケーススタディとして対象地域の神戸市旧居留地内26街区に存在する建物の延床面積を2.(1)に示したように3用途に分類し推計した。

(2) 単位面積あたりの日間平均電力負荷の設定

電力負荷パターンでは、まず日間平均を設定し、次に活動が活発になる時間帯(活動期)とそれ以外の時間帯(非活動期)を設定し算出する。まず、日間平均は建築物の用途、規模、竣工年等によって異なる。本研究では建物用途と規模を考慮して、DECCのデータ⁶⁾から用途・規模別で夏期(7-9月)単位面積あたりの日間平均[kW/m²]の分布を作成し、各々の中央値(事務所系0.024kW/m²、商業系0.044kW/m²、住居系0.026kW/m²)を単位面積あたりの日間平均として用いた。

今回は中央値を用いるが、非超過確率による分布量としての扱いができ、 $(m \pm \sigma)$ に対応したオプションの積算が可能である。

(3) 平均電力負荷比の設定

平均電力負荷比は電力負荷平準化に取り組む経済産業省などの補助事業の事例^{7,8,9,10,11)}とヒアリング調査(事務所系36、商業系19、住居系380サンプル)より集計した事例を用いた。すべてのサンプルの30分値最大電力負荷の最大値が1となるように正規化した。用途別の活動が活発になる時間帯(活動期)とそれ以外の時間帯(非活動期)を設定した。事務所系は8:00-19:00、商業系は10:00-21:00、住居系は0:00-17:30、23:30-0:00を活動期と設定し、それ以外の時間帯をそれ以外の時間帯(非活動期)と設定した。

事務所系は正規化したサンプルを用いて夏期(7-9月)の任意の日における活動期平均電力/非活動期平均電力という平均電力負荷比を求めた。分布を作成し、各々の中央値(事務所系4.06、商業系2.47、住居系1.92)を平均電力負荷比として用いた。今回は中央値を用いたが、オプションとして非超過確率による分布量としての扱いが可能である。

(4) 負荷変動率分布モデル

用途別に一日の電力負荷を再現するモデルである。30分値最大電力負荷をPV・BTを用いて削減する。30分最大電力負荷を示す値が確率分布に従うとし、前報¹⁾の手法で確率分布モデルを用いて式(1)のように負荷変動を表現することに試みた。

図-2 事務所系の30分最大電力負荷増分率の分布

図-3 事務所系の30分最大電力負荷発生確率分布

前報¹⁾では対象は施設1つのみだったが、対象を街区レベルにしたことで個々の需要家別に導入しているPV-BT容量を街区全体での最大電力負荷削減に利用可能とみなして評価を試みた。そこで今回は、平均電力負荷比の設定に用いた事務所系36、商業系19、住居系380サンプルの事例から、夏期代表日の時刻別電力負荷を参照し、3用途別に30分最大電力負荷増分率(式(1))を算出した。

$$r_{load} = \frac{D_{dmax} - D_{mean}}{D_{mean}} \quad (1)$$

r_{load} : 夏期代表日の30分ピーク負荷増分率

D_{dmax} : 夏期代表日の30分最大電力負荷[kW]

D_{mean} : 夏期代表日の活動期平均電力負荷[kW]

その算出データよりパラメータ推計を行い、推計値より得られた正規分布関数を用いて、3つの用途のユーザー(建築床利用者)の30分最大電力負荷増分率の分布を用途別に作成した。例として事務所系の分布を図-2に示す。

(5) 日最大電力負荷の発生時刻分布モデル

最大電力負荷が発生する時刻は確率分布に従うとし、確率分布モデルを用いて表すことを試みた。

例として図-3に事務所系の事例を示す。通常は午後にはピークが発生する割合が高いが、少なからず午前にもピークを持つ事例がある。本研究では、空調負荷が高くなり節電対策が必要な午後のピークのみを対象とした。

4. 街区・地区レベルにおけるPV-BTシステムの費用効果算定モデルの条件設定

(1) PV出力パターンモデルの条件設定

PV出力電力量を太陽光発電ガイドライン¹²⁾に示される

推定式を用いて算出する。その推定式を利用するには、説明変数として、日射量と気温のデータが必要である。

過去の気象観測データ(2002～2011)を毎年毎日時刻別に参照した。本研究では、神戸市旧居留地を対象として考察するので、観測データが公表され取得できる地点のうち、神戸市に最も近い大阪市の気象観測データを用いる。なお、PV出力電力量算出手順の詳細は前報¹⁾の4.を参照されたい。

a) 日射量分布モデル

日射量は太陽の日の出・日の入りの影響を受け、気象(晴・曇・雨)の影響も受ける。本研究でも、前報¹⁾と同様に、最大電力負荷発生時の日射量の値とその発生確率を確率分布モデルで表した。本研究では、事務所、商業系の30分最大電力負荷発生確率が最も高い14時(3. (4)の結果)に対応する確率分布モデルを作成した。14時以外の時間帯の日射量の推定には、晴・曇・雨の気象区分に振り分けた各時刻の平均日射量と14時の平均値との比から算定する方法を用いた。

b) 単位セル容量あたりの時刻別PV出力の算定

ある時刻の日射量とその同時刻の平均気温から単位時間単位セル容量あたりのPV出力量を推定し、その0.5倍(1時間値出力から30分出力への換算)を単位セル容量あたりの30分PV出力値として算定した。

(2) BT運用モデルの条件設定

BT運用方法は前報¹⁾と基本的には同じ方式を採用し“当該時刻の電力負荷—当該時刻のPV出力”が契約電力を超える状況設定の場合のみ放電運転を行う。その契約電力を決定するにあたり、年間30分最大電力負荷×0.98(以降×0.98)を契約電力と設定した。また、BT充放電効率を97%、SOC(State Of Charge)を75%¹³⁾とし、容量[kWh]は最大出力[kW]を1時間放電できるものとして設定した。

(3) PV-BTシステム導入による年間純便益算定手順

PV-BTシステム導入による年間純便益を計算する際の便益は、契約電力削減料金及びPV出力量による年間購買電力削減料金とした。費用は、契約電力を超過した場合の課金及びPV-BTシステムの年間償却費用とした。なお、PV-BTシステムの年間純便益算定は前報¹⁾と同様に算定した。式(2)より算定した。

$$C_{yred} = D_{red} \cdot C_b \cdot 12(\text{month}) \quad (2)$$

$$D_{red} = D_{30max} - U_{30max}$$

C_{yred} : 契約電力料金に起因する基本料金の年間値[円/年]

D_{red} : 契約電力削減量[kW] C_b : 基本料金[円/kW・月]

D_{30max} : 30分最大電力負荷[kW]

U_{30max} : 30分最大購買電力[kW]

最大購買電力[kW]が契約電力[kW]を超えた時に発生する契約超過料金は式(3)より算定する。最大電力負荷[kW]

発生時に、PVの出力が不足し、BT放電電力[kW]が契約電力を超過する可能性のある増加分[kW]を吸収できなかった時などに発生する賦課金である。

$$C_p = D_p \cdot C_b \cdot 1.5 \quad (3)$$

$$D_p = D_{30max} - D$$

C_p : 契約超過料金[円/年] D_p : 契約電力超過量[kW]

D : 契約電力[kW] 1.5: 契約電力超過による契約電力超過金係数

今回、PV及びBT導入費用は次のように推定した。

PV導入費用については、IEAが各国で調査¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾しているものを著者らがプロットして推定した。プロットした点から学習曲線(技術と市場効果で価格低下が起こる経験則)を用いて、将来の価格低下を推定した。

なお、システム価格は日本における10年後の2022年を想定しており、high, middle, lowの3つの場合で推定した(図-4)。以下に3つの場合の推定方法を示す。

- ・high[36万円/kW]: 日本国内での現状値から世界の学習曲線を使って変化する場合
- ・middle[22万円/kW]: 日本国内での現状値から、日本国内での急激な低下の曲線を延長した場合
- ・low[12.5万円/kW]: 現時点の価格水準に国内価格がなった場合

BT導入費用については、製品カタログやコンサルタント会社のレポート¹⁷⁾の情報を参考に、PV同様学習曲線に当てはめ、将来価格の推定を試みた。なお、PV導入価格と同様に、BT導入価格は日本における10年後の2022

図-4 PVシステムの価格推移

図-5 BTシステムの価格推移

年を想定しており、high, middle, lowの3つの場合で推定した(図-5)。以下に3つの場合の推定方法を示す。

- ・high[16.6万円/kW]: 日本国内での現状値から世界の価格推移を使って変化する場合
- ・middle[10万円/kWh]: 日本国内での現状値から、日本国内での価格推移を延長した場合
- ・low[6.3万円/kW]: 現時点の価格水準に国内価格がなった場合

また、PVの耐用年数を20年¹⁸⁾、BTの耐用年数10年¹⁹⁾と設定し、費用から耐用年数を除することで、PV及びBTシステム導入費用を年間償却費用として計上している。

5. 神戸市旧居留地を想定したシミュレーション

(1) 対象地域の選定理由及び特性

対象地域を神戸市旧居留地とした理由は①神戸市環境未来都市構想において、低炭素街づくりを推進するパイロットとして旧居留地を含む中心市街地が街区として選ばれている。②神戸市のマスタープランが郊外開発の再整備という側面より、中心市街地の活性化や整備へ力点を移し替えようとしている。③北九州市東田地区(モデル事業)のように新しい市街地でなく、既存の市街地を変えていこうとしており、本研究のように街区の特性を考察する上で妥当である。以上のことから、中心市街地の在り方を議論する方向付けに沿って検討する場合の核心的な場所が旧居留地であると考えた。

神戸市旧居留地(26街区)の建物用途別延床面積の現状は、事務所系66万m²(66%)、商業系19.5万m²(19%)、住居系15万m²(15%)である。

(2) シミュレーションの前提条件

本研究では、気象状況が電力負荷に与える影響を考慮し、日射が強いときは気温が上がり空調負荷が高くなることを想定して最大電力負荷も高くなるとした。今回のシミュレーションでは、やや便宜的だが、日射量が強くなる時間帯に、最大電力負荷が発生する事務所、商業系に対して、晴天時日射量分布上位10%と負荷変動率分布上位10%を連動させた。なお、この設定は結果に大きく影響を及ぼすと考えられ、いわゆる相関関係のエビデンスに基づいた設定と感度解析が必要だが、今回は便宜的に設定した上位10%の場合のみの考察にとどめた。

地区全体へのPV-BT導入量は、次節のa)~d)のシミュレーションの内、a),c)及びd)では、第一段階として日本国内で最もPV-BTシステム導入密度が高いレベルをリファレンスするという目的で、スマートコミュニティモデル事業である北九州市東田地区の単位床面積あたりのPV-BTの出力[kW]を標準水準として対応させ、PV-BT合計

1,700kWとし、PV:BT=1:1の割合(PV850kW, BT850kW)で設定した。b)についてはPV-BT導入量を変化させた。次に、各街区へのPV-BT導入量はa)~d)すべてにおいて、地区全体に導入するPV-BT導入量を各街区の延床面積の割合で割り当てた。最後に、各街区の3用途にはa)~d)すべてで、各用途の日間平均の割合で割り当てた。

受電する電気料金の設定では、関西電力の特別高圧電力A(70,000V)の契約を想定し、基本料金を1601.25[円/kW]、従量料金を夏期13.69[円/kWh]、その他期12.79[円/kWh]で算定した。また、住居系に関しても、対象地域に存在する住居は集合住宅であるため、電力一括購入を想定し、特別高圧電力契約を適応できるとした。

以上の条件を踏まえ、シミュレーションは3. で作成した①電力負荷②日最大電力負荷発生時刻③PV発電電力の確率分布を基に乱数を1万回発生させ、いわゆるモンテカルロ・シミュレーションの様式で行った。

(3) 負荷平準化効果算定結果と考察

a) 建物のマネジメント単位別の結果

ここでは4つのケースで比較した。

case0: PV-BT導入なし(街区内の各用途で電力一括契約)

case1: PV-BTを導入し、BTを建物用途3群で群別利用(街区内の各用途で電力一括契約)

case2: PV-BTを導入し、街区単位でBTを建物用途3群で

図-6 BT利用方法別年間純便益と年間30分最大電力負荷

図-7 PV-BT導入量を変化させた場合の年間純便益と年間30分最大電力負荷削減量の変化

群統合別利用(街区単位で電力一括契約)

case3: PV-BTを導入し、地区単位でBTを建物用途3群で群統合別利用(居住地全体で電力一括契約)

case1ではBTを各街区内の各用途個々で、case2では街区単位でBTを共用し、case3では地区単位でBTを共有し運用することとした。

なお、電気事業法から見れば、見直しが必要ではあるが、どの単位でBTを運用すれば効果が大きいかわかりませんが、以上を明らかにすることが課題であると考え、以上のケース分けを行い、仮想的な状態でシミュレーションを行った。

各ケースの年間30分最大電力負荷と年間純便益の結果を図-6に示し、以下に結果を述べる。

年間30分最大電力負荷を見ると、PV-BTの導入レベルを東田クラス(PV850kW, BT850kW)にしたとき、昼間平均に対する30分ピーク値の増分が10%程度の緩やかな変動に限定したとすると、導入なしに比べてcase3で1.2%の低減が得られ、case1(0.96%低減)、case2(0.99%低減)よりも効果が見られた。全体に対する比率で表現するとその効果はわずかに感じるが、PV-BT導入量が最大電力のわずか2%足らずであることから、1.2%の低減効果は、導入量比で見ると7割弱の効果とみなせるため、その効果は高いと判断できる。

年間純便益を見ると、case1で最も高く年間約1,200万円、case2は年間約1,000万円、これに対してcase3では年間300万円と最少となった。また、システム価格が高い場合(PV36万円/kW, BT16.6万円/kW)の場合、case2や3でマイナスとなることも観察された。これはBTの電力調整の効果を30分値ピーク電力の削減に求めても、現行の高圧受電の契約電力制度の制度下では、個々の需要家の金銭的便益はそれほど大きいものではなく、むしろ地域の最大需要に対応する最大出力対応の系統電力側の機会費用を下げることの便益がより大きいことを示している。

b) PV-BT導入量を変化させた場合の結果

地区内へのPV-BT導入量を変化させた場合の費用効果算定結果を図-7に示す。

ここでは、a)で設定したcase3(地区単位でBTを共有し運用)の条件でシミュレーションを行った。また、契約電力を×0.98の場合に加え、×0.97の場合の様子も示す。なお、システム導入による年間純便益、年間30分最大負荷削減量及び、PV-BT導入量を延床面積で除すことで単位面積当たりで表し、一般化指標として用いている。

年間30分最大電力負荷削減量を見ると、契約電力が×0.98の場合、PV-BT合計導入量が0.25[kW/100m²]程度に達するまで非線形で増加し、それ以降はほぼ線形で増加する結果となった。×0.97の場合、PV-BT合計導入量が0.40[kW/100m²]程度に達するまで非線形で増加し、それ以降はほぼ線形で増加する結果となった。これは、年間

図-8 街区別単位面積当たりの年間30分最大電力削減量

30分最大電力負荷削減量が線形で増加し始め以降は、BTによる効果は飽和状態となり、PV容量増加分のみ効果があると考察できる。

年間純便益を見ると、 $\times 0.98$ の場合、PV-BT合計導入量が $0.25[\text{kW}/100\text{m}^2]$ 程度(東田クラス $0.17[\text{kW}/100\text{m}^2]$ の1.5倍)に達するまで非線形で増加し、この地点で最大($537[\text{円}/100\text{m}^2]$)となり、それ以降は低下する結果となった。 $\times 0.97$ の場合、PV-BT合計導入量が $0.40[\text{kW}/100\text{m}^2]$ 程度に達するまで非線形で増加し、この地点で最大($589[\text{円}/100\text{m}^2]$)となる。

c) 建物用途混合度が異なる街区別の結果

ここでは、対象地域の26街区別の単位面積当たりの年間30分最大負荷削減量を示し、用途混合度が異なる街区別のPV-BT導入効果を明らかにした。尚、a)で設定したcase2(街区単位でBTを共有し運用)の条件でシミュレーションを行った。結果を図-8に示す。

結果より、商業系の割合が多い街区へのPV-BT導入による負荷平準化効果が相対的に大きくなることが観察された。一方で、住居系が混合している街区での効果は相対的に小さくなることが観察された。これは、30分ピーク負荷が発生する時刻が接近している事務所系と商業系を混合するほうが単独のピーク時よりピークが分散されるが、2つの用途とピーク発生時刻が大きく異なる住居系を混合させても、ピークカットにはならず、PV-BT導入による、契約電力を下げることによる費用効果への貢献程度は低くなるからであると考察できる。

d) 建物用途混合度が異なる街区の期待値(m)と電力需要がタイトなケース(m+σ)が発生した場合の比較

ここでは、対象地域の26街区において、電力需要がタイトなケース(m+σ)が発生した場合の年間30分最大負荷削減率を期待値(m)の場合の年間30分最大負荷削減率で除すことで、それぞれの違いを示した。尚、a)で設定したcase2(街区単位でBTを共有し運用)の条件でシミュレーションを行った。結果を図-9に示す。

※円の大きさは30分ピーク負荷がm+σ以上になる場合の30分ピーク削減率[%]($P_{m+\sigma}$)を、30分ピーク負荷がm(期待値)の場合の30分ピーク削減率[%](P_m)で除したものの大きさを示す。

図-9 期待値(m)と電力需要がタイトなケース(m+σ)が発生した場合の街区別単位面積当たり年間30分最大電力削減量の違い

結果より、事務所系と商業系のみが混合している街区では、電力需要がタイトなケース(m+σ)が発生した場合、ピーク削減率は期待値(m)の場合より大きくなる。一方、住居系の混合割合が大きくなる街区においては、電力需要がタイトなケース(m+σ)が発生した場合、ピーク削減率は期待値(m)の場合より小さくなる。このことから、事務所系と商業系が混合している街区では、電力需要が標準偏差分だけ大きくなる方に変移した時(m+σ)、BTによるピーク負荷低減効果は相対的に高くなる。

6. 結論

本研究では、街区地区レベルのPV-BTによる負荷平準化効果の定量的な見通しを得ることを目的として、建物用途別に①電力負荷、②日最大電力負荷発生時刻、③PV発電電力の3変動を同時に考慮した費用効果算定モデルを構築した。また、構築したモデルを神戸市旧居留地区に適用し、効果を観察した。その結果、主として以下の4点の結論として得ることができた。

- 1) PV-BTを最大電力負荷の2%弱導入した場合、広く地区全体で統合的に利用することにより最大電力負荷を1.2%低減でき、PV-BTを用途群にまとめて運用するケースや街区単位でまとめてPV-BTを統合利用するよりも効果が見られた。削減量をPV-BT導入量比で評価すると7割近い効果が得られたことになりその意味は大きい。
- 2) PV-BT導入量を変化させた場合の年間純便益は、地区へのPV-BT合計導入量が単位面積当たり $0.25[\text{kW}/100\text{m}^2]$ 程度で最大となり、それ以上は低下する。
- 3) 用途混合度が異なる街区別のピーク負荷低減効果を明らかにしたところ、住居系の混合割合が高い場合、住居系のピーク発生時刻が事務所系・商業系と離れているためにPV-BTによるピーク負荷低減効果が相対的に小さ

くなる。

4) 事務所系と商業系のみが混合している街区では、電力需要が標準偏差分だけ大きくなるほうに変移した時(m+σ)には、BTによるピーク負荷低減効果は相対的に高くなる。

謝辞：本研究は環境研究総合推進費（1E-1202，研究代表者：北詰恵一）の助成を得て行った研究の一部であり、関西大学 先端科学技術推進機構 健康まちづくりのためのソーシャルデザイン研究グループの活動の一環である。

参考文献

- 1) 山口徹也，森川雄貴，盛岡通，尾崎平：事業所の購買電力抑制と電力負荷平準化を目的とした太陽電池・蓄電池組合せシステムの費用効果算定モデルの構築，土木学会論文集 G，Vol.68，No.6，pp.229-236，2012.
- 2) O. Lavrova，F. Cheng，Sh. Abdollahy，H. Barsun，A. Mammoli，D. Dreisigmayer，S. Willard，B. Arellano，C. van Zeyl: Analysis of Battery Storage Utilization for Load Shifting and Peak Smoothing on a Distribution Feeder in New Mexico，Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)，2012 IEEE PES，pp.1-6，2011.
- 3) 藤田壮，中村真紀，谷口知史，北澤聡宏，戸川卓哉：環境都市の計画を支援する地区・街区エネルギーマネジメント評価システム，環境研究 2012，NO.167，2012.
- 4) 町田定之，谷辰夫：太陽電池・蓄電池を利用した負荷平準化システムの導入効果，電気学会論文集 B，Vol.123，No.1，pp.37-46，2003.
- 5) 東京都環境局：特定地球温暖化対策事業所における事業所の区分の決定要綱
- 6) (社)日本サステナブル建築協会：DECC 非住宅建築物の環境関連データベース
<http://www.jsbc.or.jp/decc_download/index.html>
- 7) (株)三菱総合研究所：平成 15 年度～平成 19 年度成果報告書新エネルギー等地域集中実証研究八戸市水の流れを電気で返すプロジェクト，2008.3.
- 8) (社)日本エネルギー学会：天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2008，2008.4.
- 9) 省エネルギーセンターweb ページ>工場・ビル等産業の省エネ>工場・ビル省エネルギー実施事例
<<http://www.eccj.or.jp/succase/all/index.html>>
- 10) ヒートポンプ・蓄熱センター：「平成 22 年度電力負荷平準化対策推進事業」先導的負荷平準化機器導入普及モデルに係る調査報告書，2011.2.
- 11) (社)日本建築学会：住宅内のエネルギー消費量に関する調査研究委員会 web ページ>住宅におけるエネルギー消費量データベース
<<http://tkkankyo.eng.niigata-u.ac.jp/HP/HP/database/japan2/index.htm>>
- 12) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構：太陽光発電フィールドテスト事業に関するガイドライン設計施工・システム編-太陽光発電の効果的な導入のために-，pp.58-60，2010.
- 13) NTT BTI：小型リチウムイオン電池の寿命特性，pp.5-7，2005.
<http://www.ntt-fsoken.co.jp/research/pdf/2005_ichi.pdf>
- 14) IPCC：Renewable Energy Sources and Climate，Special Report of the Intergovernmental，pp.333-400，2011.
- 15) BMU：National Survey Report of PV Power Applications in Germany，pp.20-30，2011.
- 16) NEDO：National Survey Report of PV Power Applications in Japan，pp.17-34，2011.
- 17) ALT Energy Stocks，
<http://www.altenergystocks.com/archives/2012/07/demystifying_energy_storage_system_costs_1.html>
- 18) 調達価格等算定委員会：平成 24 年度調達価格及び調達期間に関する意見，pp.4-8，2012.4.
- 19) 経済産業省：蓄電池戦略，pp.9-15，2012.7.

(2013. 7. 30 受付)

COST-BENEFIT PERFORMANCE OF PHOTOVOLTAICS AND ELECTRICITY STORAGE BATTERY SYSTEM TO SECURE LOAD LEVELING AND PEAK SHAVING IN COMMUNITIES

Yuki MORIKAWA, Keisuke NODA, Tohru MORIOKA and Taira OZAKI

This paper built the simple simulation model of electricity demand and solar energy supply demonstrates monetary benefit derived from peak shaving and load leveling in operation of battery charging / discharging with photovoltaics in city blocks and communities.

As a result, we were able to get the conclusion of the following four points mainly. 1) The increment of the peak value 30 minutes for the average day and was limited to changes in gradual of about 10%, but it only obtained to reduce the 1.2% if you use an integrated manner across the district widely BT, case or, to operate together in a group applications BT, a significant reduction was obtained from BT users to combine together in a block unit. 2) Introduction to the total amount of PV-BT is the largest district in about 0.25 [kW/100m²] per unit area, the annual net benefits when changing the amount of introduction PV-BT is further reduced. 3) clarifying the effect of reducing peak load of distinction city that degree of mixing applications, possible to reduce peak by mixing the system residence, in order to away system and commercial system office time occurrence peak the results showed a quantitative reduction peak is low. 4) In block the system only commercial system and office are mixed, when shifted toward the power demand increases only the standard deviation, the effect of reducing peak load by BT is relatively high.