

業務中心都市の ゼロエミッション化に関する研究

加藤 純大¹・川崎 直哉²・室町 泰徳³

¹ 学生非会員 東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系
(〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259 G3-5)

E-mail:kato.j.am@m.titech.ac.jp

² 非会員 元東京工業大学環境・社会理工学院

³ 正会員 東京工業大学准教授 環境・社会理工学院 土木・環境工学系
(〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259 G3-5)

E-mail:muromachi.y.aa@m.titech.ac.jp

パリ協定を契機に世界的に CO₂ 排出量の削減が求められている。日本では依然として民生部門及び運輸部門の CO₂ 排出量が微減傾向にあり、これらのさらなる削減が課題となっている。特に業務ビルではネット・ゼロ・エネルギービル(ZEB)の導入等での実質的な脱炭素が進められている。

そこで、本研究では電気自動車 (EV) の充放電制御を活用したうえで、太陽光発電 (PV) などの再生可能エネルギーとその変動性を緩和する蓄電池システムを用いて業務ビルを ZEB 化、加えて業務関連運輸部門と周辺の家庭部門の電力需要もこれによって賄うことで業務中心都市をゼロエミッション化する手法を費用最小化問題として定式化し、その可能性の検討を行った。

その結果、必要となる PV と蓄電池システムの設備導入容量から推計される電気料金は現在のものと比較すると非常に高額となり、業務中心都市のゼロエミッション化が非常に困難であることが確認できた。

Key Words: CO₂, ZEB, EV, Battery system

1. はじめに

(1) 背景と目的

2016年に京都議定書以来の気候変動に関する国際的な枠組みとしてパリ協定が発効した。これにより世界は、今後の気温上昇を 2°C よりも十分低く保持し、これを 1.5°C に抑えるための努力に取り組むこととなった。日本では 2030 年までに 2013 年度比-26%の温室効果ガスの削減目標を掲げ、民生部門(業務、家庭からなる)では約 4割のエネルギー起源 CO₂ の排出量削減を目標とした¹⁾。その後の 2020 年には 2050 年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする脱炭素社会の実現を目指すことを宣言した²⁾。加えて、2021 年の気候サミット³⁾では上記のパリ協定発効時に設定した目標を上回る 2013 年度比-46%の温室効果ガス削減目標を設定している。

こうした、脱炭素化を目指す社会に対して、日本のエネルギー消費実態として、その半分を運輸部門と業務・家庭からなる民生部門が占めている³⁾。また 2019 年度の運輸・民生部門におけるエネルギー消費量は 1973 年度比で運輸部門が 1.7 倍、家庭部門が 1.8 倍、業務部門が

2.1 倍といったように、ほぼ増加の一途をたどっている。特に、その需要の多くを事業用電源から賄っている業務部門の増加率は非常に高く、エネルギー消費量の削減が喫緊の課題である。

国は建築物の省エネルギー性能を高めることによって上記の課題を解決すべく、建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律⁴⁾を施行した。これによって住宅・非住宅に関わらず、一定規模以上の建築物は定められた基準に達成しない限り、その新築や改築が認められなくなった。また、東京都では温室効果ガスの総排出量を定め、個々の事業所に排出枠として配分し、事業所間での排出枠の移転(または獲得)を認める制度として総量削減義務⁵⁾を施行し、これを都内の大規模事業所に対して課している。2010年に始まったこの制度は5年毎にその計画期間を定めている。2021年現在では第三計画に移行しており、過去の温室効果ガス排出量実績を基準とした基準排出量に対して 25~27%の削減を各事業所に求めている。

このように建物の消費エネルギー量の削減を目指す社会において、建物に付帯する機能としてその消費エネル

ギー量を減らし、それに加えてエネルギーを生み出す（創エネ）建築物であるネット・ゼロ・エネルギービル（ZEB）⁶が近年、注目を集めている。ZEB はその省エネルギー性能によって種類が細分化されており、創エネの寄与が小さく、そのエネルギー削減率が 100%に満たない Nearly ZEB や ZEB Ready の普及率は年々増加傾向にある。しかしながら、再生可能エネルギー等による創エネを十分に活用することでエネルギー削減率を 100%以上とする ZEB の普及率は低く、ZEB ロードマップフォローアップ委員会のとりまとめ⁷によれば、2019 年度における ZEB の普及率は延べ床面積 10,000 m²以上の大規模建築物において 0%となっている。年間の新着工建築物をエネルギー消費ベースの割合でみたとき、大規模建築物はその 36%を占めていることから、その ZEB 化が強く求められているのに対し、この普及率の低さは無視できない。

ZEB の普及のためには再生可能エネルギーの利用が必要不可欠である。資源エネルギー庁が公表しているエネルギー基本計画（素案）⁸では、2030 年度の日本の電源構成のうちその約 4 割を再生可能エネルギーが担うことを目標としているように、今後再生可能エネルギーが大量導入されることが予想される。その一方で、再生可能エネルギーが持つ問題について無視することもできない。代表的な再生可能エネルギーである太陽光発電（PV）は天候による影響を大きく受けるため、変動性が大きく単体で稼働した場合、電力需給にミスマッチが生じてしまう。このような PV の問題点を補填する技術として、蓄電池システムやコージェネレーションシステムがある。蓄電池システムに関しては定置用の蓄電池に加え、近年では電気自動車（EV）のバッテリーを系統に接続して利用する Vehicle-to-Grid（V2G）が注目されており、様々な実証事業が行われている。また、個別分散型電源であるコージェネレーションシステムは、バイオマス燃料や水素を燃料として用いることで、カーボンオフセット電力を系統とは別の電力源として利用することが可能であり、PV の変動性を抑制することができる。

このような背景から本研究では、再生可能エネルギーや EV が大量導入された将来を想定し、大規模な業務ビルが多く集約する東京都区部の“業務中心都市”のゼロエミッション化について検討する。

(2) 既往研究のレビューと本研究の位置づけ

再生可能エネルギーや蓄電池システムを都市や建築物に対して導入することを検討する際に数多く議論されるのが、それらの最適設備導入容量と導入効果についてである。

矢野ら⁹は再生可能エネルギーや蓄電池システムを備える自律分散型スマートグリッドに関して既存電力シス

テムの運用コストと同等の経済性で運用する“グリッドパリティ”の実現性について評価した。グリッドパリティの達成に必要な太陽光パネルと蓄電池の設備単価を分析した結果、2020 年当時の両設備単価ではその達成が不可能であることを考察した。瀬川ら¹⁰は PV と需給のミスマッチによる余剰電力を貯蔵する蓄電設備の役割を明らかにするために、蓄電システム導入コストと買電コストからなるエネルギーコスト（EC）を目的関数に線形計画問題を解いた。その結果、蓄電システムの導入価格の低下に伴い、EC 最小化に寄与する蓄電システムによる電源ピークカットが選択されることが分かった。また、ZEB 達成率が 90%を超えた場合、必要となる蓄電システムの容量が膨大になり、EC の値が ZEB 達成率の増加に伴い急激に増大することを明らかにした。

Kobashi *et al.*¹¹は、2030 年において、PV と EV を住宅に接続する V2H を活用したシステムの技術経済分析を行った。これによって PV+蓄電池システムに経済的メリットがないことや、PV+EV システムが最も経済的メリットが大きく、このような技術の組み合わせが再生可能エネルギーの普及を促進する可能性を示唆している。また、Kobashi *et al.*¹²は、さらに、PV と EV を組み合わせることで PV による電力需要の緩和と CO₂フリーの運輸を可能とする点に着目し、PV+EV システムを日本の 9 都市について当てはめ、その技術経済分析を行っている。PV のみと PV+EV の 2 つのパターンで 2030 年における技術経済分析を行った結果として、最大で都市の 95%での電力を賄い、95%の CO₂排出量を削減できることを明らかにしている。

ZEB の導入に関して着目した須永ら¹³は北海道都心部にて今後予想される建物更新における ZEB の導入と面的エネルギーの導入が環境性・防災性の観点でどのような効果を発揮するのかを評価している。将来の CO₂排出量を推計した結果、新築、既存共に ZEB 化を進めるとしても 2030 年度には現況比で 87%と都心エネルギーマスタープラン水準には届かないことを明らかにしており、ZEB のみの運用ではなくバイオマスやコージェネレーションシステムからなる面的エネルギーへの接続することがその達成に必要であると述べている。

これらの研究では、EV、PV、定置用蓄電システムといった技術を包括的に都市に導入した場合を対象にしていない。したがって、東京都心といったような大規模な業務ビルが集中する都市を対象にゼロエミッション化の可能性を検討する研究はあまり見られない。

そこで、本研究では PV、定置用蓄電池システム、EV 等の技術を包括的に利用し、東京都区部でも特に業務部門の建築物が集約する業務中心都市に関してそのゼロエミッション化の可能性を検討している。具体的には、東京都中央区を対象にその 1 年間の電力需要を PV 発電量

と EV と定置用蓄電池からなる蓄電池システムの充放電のみで賄う、すなわち都市をゼロエミッション化するために必要な設備の導入と、それを 25 年間運用するための費用を目的関数とした、費用最小化問題として定式化し、それら設備の最適な導入容量について推計した。

2. 研究手法

(1) 研究手法の概要

本研究は大きく入力データの推計とゼロエミッション化の分析の 2 つのパートに分けられる。入力データとしては、EV のトリップデータ、業務・家庭両部門の電力需要、PV による発電量を用いている。これらの入力データをもとに、ゼロエミッション化の分析をシステムの構築運用費に関する 25 年間の費用最小化問題として定式化することで行っている。

(2) EV トリップデータの抽出

平成 17 年度の道路交通センサスオーナーインタビュー調査¹⁴⁾より、本研究にて運用を行う EV として転用可能な車両を抽出している。抽出の際に対象とする車種は軽乗用車、乗用車、軽貨物車、小型貨物車とし、各車種で EV として転用した場合の電費とバッテリー容量、航続距離を設定している(表-1)。道路交通センサスにおいて実際の走行距離が各車種の航続距離よりも小さい車両を EV に転用できる車両として抽出した。また、本研究では EV を電力網へと接続することのできる充電ステーションが任意の駐車場に整備されているものと想定し、対象地としている中央区内に駐車されているときに車両はその充放電が可能であると仮定している。なお、この充電ステーションの整備運用費用については本研究では考慮していない。

(3) 電力需要の推計

業務・家庭の両部門について電力需要の推計を行い、これらの合計値を都市の電力需要として取り扱っている。電力需要の推計は需要家分布と単位面積あたりの電力消費パターンを組み合わせることによって行っている。

表-1 EV 車両の車種別設定値

車種	電費 [km/kWh]	バッテリー容量 [kWh]	航続距離 [km]
軽乗用車	9.00	15.0	135
乗用車	7.00	60.0	420
軽貨物車	8.00	15.0	120
小型貨物車	5.00	40.0	200

業務部門の需要家分布は経済センサス基礎調査の都道府県別総従業員数¹⁵⁾と法人建物調査の都道府県別総延床面積¹⁶⁾より産業別の従業員一人当たり延床面積を算出しこれと経済センサス基礎調査の産業別従業員数¹⁷⁾から推計した。単位面積あたりの電力消費パターンは平成 23 年度エネルギー管理システム導入促進事業費補助金(BEMS)において計測された事業所の時刻別電力消費量データ¹⁸⁾を用いた。このデータは、エネルギー管理システム促進事業費補助金(BEMS)において、対象となった日本全国の中小ビル等の電力需要家において計測された 1 時間毎のデータである。本データに含まれる内容として、事業所の所在地、業種、延床面積、竣工年、建築区分、各種燃料や用途別のエネルギー使用量等のデータがある。本推計においては業種別の総電力使用量のデータを用いている。これらのデータのうち、他データとの利用可能性等を考慮して、対象地域を関東とし、2014 年度の計測データを用いて産業分類別の平均的な電力消費パターンを作成した。

家庭部門の需要家分布は国勢調査の建て方別世帯数¹⁹⁾と住宅・土地統計の建て方別平均延べ床面積²⁰⁾を用いて推計した。電力需要パターンについては、HEMS(Home Energy Management System)が導入された GfK 社のモニター世帯から計測された、住居の 30 分毎の電力消費量計測データを用いて推計した。このデータには建物全体・各家電の電力消費量、PV 発電量、売電量の計測データ、家電のメーカー型番、所在地、形態、築年、構造、電力契約等の住居属性、世帯人数や性別、生年、職業等の世帯属性の情報が含まれている。本研究では、建物全体の電力消費量を使用し、対象とした世帯は東京都に所在する 2014 年度に計測された世帯としている。他データとの整合性を取るために 30 分ごとの計測データを 1 時間毎に変換し、これから平均的な住宅の単位面積当たり電力消費パターンを作成した。

(4) PV 発電量の推計

PV 発電量は複数の段階に分けて推定を行う。

まず、アメダスデータから 1 時間毎の日照時間、降水量データを取得する。本研究では東京都心から半径 100km 以内に存在するアメダス観測点(離島を除く)からデータを取得し、これをもとに板垣²¹⁾の手法を用いて以下のように全天日射量 I_G を計算した。

$$I_G = K_t \cdot I_0 \quad (1)$$

ここに、 K_t : 晴天指数

晴天指数は日照時間 n 、エアマス m 、降水量によって場合分けして求められる値である。

・日照時

$m < 4$ のとき

$$K_t = 0.353 - 0.0189m + (0.441 - 0.447m)(n - 0.1) \quad (2)$$

$m \geq 4$ のとき

$$K_t = 0.277 + 0.263(n - 0.1) \quad (3)$$

・不日照時

・無降水時

$m < 3.5$ のとき

$$K_t = 0.223 - 0.0155m \quad (4)$$

$m \geq 3.5$ のとき

$$K_t = 0.169 \quad (5)$$

・降水時

$$K_t = 0.100 - 0.006m \quad (6)$$

9~15 時の不日照時で前後の 1 時間が共に日照ありの場合は、(2.7)式のように修正する。

$$I_G = 1.47 \cdot K_t \cdot I_0 \quad (7)$$

PV パネルは傾斜を持たせて設置するため、斜面日射量を推定する必要がある。斜面日射量は太陽から斜面に直接入射する直達成分と、天空で散乱した日射による散乱成分、地表面等で反射した日射による反射成分に分けることができる。水平面全天日射量を直達成分と散乱成分に分ける直散分離を Erbs ら²⁾のモデルを用いて行えば、全天日射量の散乱成分 I_d は以下のように表される。

・ $K_t \leq 0.22$ のとき、

$$I_d = (1.0 - 0.09K_t) \cdot I_G \quad (8)$$

・ $0.22 < K_t \leq 0.80$ のとき、

$$I_d = (0.9511 - 0.1604K_t + 4.388K_t^2 - 16.638K_t^3 + 12.336K_t^4) \cdot I_G \quad (9)$$

・ $K_t > 0.80$ のとき

$$I_d = 0.165I_G \quad (10)$$

また、ここから直達成分 I_b は

$$I_b = I_G - I_d \quad (11)$$

と計算できる。次に、これらの値から斜面日射量を構成する三成分を計算する。

・斜面日射量の直達成分 $I_{T,b}$

直達成分は想定する斜面角度に対して角度変換を行うことで求めた。

$$I_{T,b} = I_b \cdot \frac{\cos \theta}{\cos Z} \quad (12)$$

ここで、 θ : 直達光の入射角, Z : 太陽天頂角

・斜面日射量の散乱成分 $I_{T,d}$

散乱成分は、実際の天空放射輝度を考慮することでその精度を高めている Perez ら²⁾の anisotropic モデルを用いた。

$$I_{T,d} = I_d \cdot \left\{ (1 - F_1) \cdot \frac{1 + \cos \theta}{2} + F_1 \cdot \frac{a}{b} + F_2 \cdot \sin \beta \right\} \quad (13)$$

$$a = \max(0, \cos \theta), b = \max(0.087, \cos Z) \quad (14)$$

ここで、

F_1 : 準直達日射係数, F_2 : 地平線散乱日射係数

β : PV パネル傾斜角(=30°)

・斜面日射量の反射成分 $I_{T,r}$

斜面前面の地物で反射した後に完全拡散反射するものと仮定して、

$$I_{T,r} = I_G \cdot \rho \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (15)$$

ここで、 ρ : アルベド(=0.2)

以上から斜面日射量 I_T は各成分の合成から、

$$I_T = I_{T,b} + I_{T,d} + I_{T,r} \quad (16)$$

とした。この斜面日射量から岸田ら²⁾による手法を参考にして、時刻 t における PV 発電量 $E(t)$ を求めた。

$$E(t) = I_T(t) / G_S \cdot P_{AS} \cdot K_{pt}(t) \cdot K' \quad (17)$$

ここで、

$I_T(t)$: 時刻 t における斜面日射量

G_S : 標準試験条件における日射強度 (=1.0) [kW/m²]

P_{AS} : PV の定格出力[kW]

$K_{pt}(t)$: 時刻 t における温度補正係数

K' : その他システム補正係数(=0.8)

上記の方法で2014年の単位容量当たりのPV発電量を推計した(図-1)。

(5) ゼロエミッション化の分析

本研究で考慮しているゼロエミッション化では、代表的な再生可能エネルギーであるPVと、定置用蓄電システム、EVの蓄電池を活用することによって、都市で発生する電力需要を賄うことを目指している。なお、PV等の設備の生産・廃棄時に発生するCO₂は考慮しないものとする。

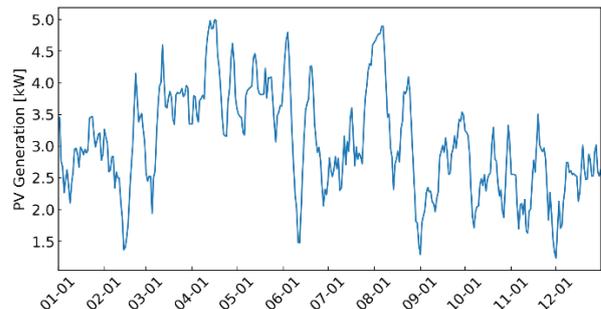


図-1 単位容量当たりのPV発電量 (2014年)

PV 導入容量や EV や定置用蓄電システムの充放電量を
変数として費用最小化問題として定式化し、総費用や設
備導入量を推計した。なお、定置用蓄電システムの容量
については、変数とすると問題が非線形となり計算が複
雑化するため、予め離散的に値を設定している。

上記設備の構築・運用に必要となる総費用を目的関数
とした。運用費は 1 年分の運用費を計算し、社会的割引
率 r を用いて 25 年分の計算を行っている。

$$\text{minimize: } C_{total} = IC + \sum_{y=1}^{25[\text{years}]} \frac{OC}{(1+r)^{y-1}} \quad (18)$$

ここで、

IC : 設備導入費

OC : 運用・維持管理費

であり、

$$IC = cp_{PV} \cdot ic_{PV} + cp_{BT} \cdot ic_{BT} \quad (19)$$

$$OC = cp_{PV} \cdot oc_{PV} + cp_{BT} \cdot oc_{BT} \quad (20)$$

である。ここで、

e : 設備 (PV : PV, BT : 定置用蓄電システム, EV : EV)

cp_e : 設備 e の導入容量

ic_e : 設備 e の設備導入費単価

oc_e : 設備 e の運用維持管理費単価

E_t : 時刻 t の単位 PV 発電量

D_t : 時刻 t の電力需要

である。

次に、制約条件としては、EV と定置用蓄電システム
の最大充放電出力に関する制約式

$$-\sum_{i=1}^{N_{EV}} p_{EV,dis} \cdot trip_{t,i} \leq l_{EV,t} \leq \sum_{i=1}^{N_{EV}} p_{EV,ch} \cdot trip_{t,i} \quad (21)$$

$$-cp_{BT} \cdot p_{BT,dis} \leq l_{BT,t} \leq cp_{BT} \cdot p_{BT,ch} \quad (22)$$

EV と定置用蓄電システムの充電量 (SoC: State of Charge)
の上限制約式

$$\sum_{k=1}^t l_{EV,k} \cdot ef \leq cons_t \quad (23)$$

$$\sum_{k=1}^t l_{BT,k} \cdot ef \leq 0 \quad (24)$$

EV と定置用蓄電システムの充電量 (SoC: State of Charge)
の下限制約式

$$-\sum_{k=1}^t l_{EV,k} \cdot ef \leq \sum_{i=1}^{N_{EV}} bt_{EV,i} - cons_t \quad (25)$$

$$-\sum_{k=1}^t l_{BT,k} \cdot ef \leq cp_{BT} \quad (26)$$

年末の EV と定置用蓄電システムの総充電量に関する制

約式

$$\sum_{t=1}^{365 \cdot 24} l_{EV,t} \cdot ef = \sum_{t=1}^{365 \cdot 24} cons_t \quad (27)$$

$$\sum_{t=1}^{365 \cdot 24} l_{BT,t} \cdot ef = 0 \quad (28)$$

電力需要と供給のバランスに関する制約式

$$l_{EV,t} + l_{BT,t} + D_t - E_t \cdot cp_{PV} \leq 0 \quad (29)$$

がある。ここで

N_{EV} : EV 総数、

$l_{e,t}$: 設備 e の時刻 t における充放電量

$p_{e,dis}$: 設備 e の放電出力、

$p_{e,ch}$: 設備 e の充電出力、

$trip_{t,i}$: 車両 i 時刻 t の運行状況 (走行: 0, 駐車: 1),

ef : 充放電効率、

$cons_t$: 全 EV の時刻 t までの走行による消費電力、

$bt_{EV,i}$: 車両 i のバッテリー容量、

なお、EV や定置用蓄電システムは計算の都合上、一台
または一箇所を集約して時刻ごとに計算を行っている。

3. 分析結果と考察

(1) 最適設備導入容量と総費用

東京都中央区に対して、離散的に設定した定置用蓄電
システム容量を用いて、総費用を最小化する PV の設備
導入容量を推計した (図-2)。図における各プロットは
設定した定置用蓄電システムの導入容量における費用最
小化計算の結果を示している。

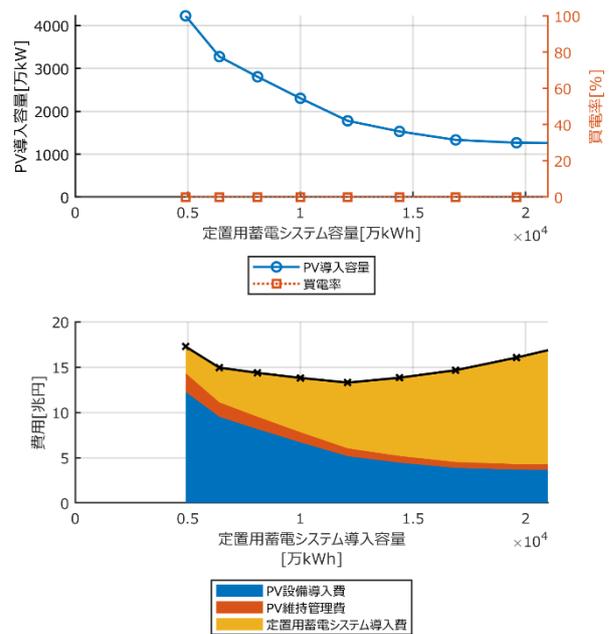


図-2 各設定値に対する PV 導入容量と総費用

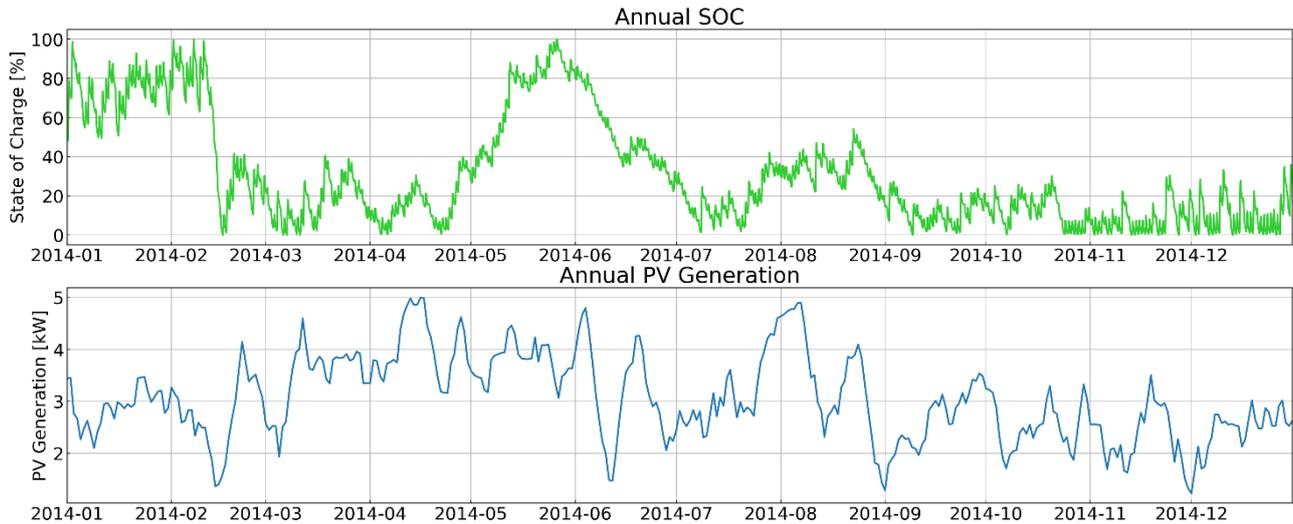


図3 蓄電システム全体の通年 SoC と PV 発電量

なお、定置用蓄電システムの導入容量が少ない場合には、実行可能解を見つけることができない場合があり、図-2でもプロットが存在していない。図に示す結果ではゼロエミッション化を達成するためには4900万kWhの蓄電システムの容量が必要であることを示している。

定置用蓄電システムの容量が増加するにつれて、ゼロエミッション化に必要なPVの導入容量が減少していく傾向があることがわかった。つまり、定置用蓄電システムがPVの持つ変動性を補填しており、PVと蓄電池の併用が効果を発揮していると言えるであろう。

総費用が最小となるケースは1億2100万kWhの定置用蓄電システムを導入し、PVを1778万kW程度導入した場合である。このときの総費用は13.3兆円程度となっており、電力単価にすると約75.2円程度である。これは2021年現在における業務用電力の電力単価²⁾と比較して約3倍程度の値段であり、経済性という観点ではこれらの設備の導入は非常に困難であることが予見される。

(2) 通年 SoC

次に、整備されているEV・定置用蓄電池システムが通年でどのように運用されているのかを明らかにするために、それらのSoCを通年で図化した(図-3)。図中上段はSoC、下段は参考として年間の単位容量当たりのPV発電量を示している。なお、このSoCはEVの蓄電池と定置用蓄電システム両者の合計としている。図を見ると、蓄電池の充放電はPVの発電量に大きく影響していることがわかる。PVの発電量が急激に下落する時期にはSoCも減少傾向を示しており、逆にPVの発電量が大きい時期にはSoCが増加する傾向があることがわかる。特に、日射量が多く気温が高くなりすぎない春から初夏にかけてPVの発電量が大きくなっており、この時期に蓄電池のSoCも0%から100%まで上昇していることが

わかる。

また、蓄電池が100%まで充電されるのは年間でも数回であり、多くの期間で蓄電池容量に余裕があることがわかる。そのため、蓄電池が100%まで充電されている期間付近での買電を考慮することによって、必要となる定置用蓄電システムの容量が減少し、電力単価も減少することが想定される。

4. おわりに

本研究ではPVとEV、定置用蓄電システムを用いて大規模な業務ビルが集約する業務中心都市をゼロエミッション化することの可能性について、それらの設備の導入費用と運用費用を目的関数とする費用最小化問題として定式化し、検討した。

定置用蓄電システムの容量を離散的に設定し、各値に対して最適化計算を行った結果、PVと定置用蓄電システムの導入容量はトレード・オフの関係にあり、定置用蓄電システムの導入容量が増加するとPVの導入容量が減少していることがわかった。また、費用が最小となるケースにおける電力単価は現在の業務用電源の価格と比較すると、3倍程度でありその実現が困難であることが示唆された。

しかしながら、蓄電システム全体の通年のSoCから定置用蓄電システムの容量は過剰である時期が多く、一部外部からの買電を考慮することによって総費用を削減できる可能性もある。これらを踏まえ、今後の展望として、システムにおける電力の売買や、系統とは別の電源を導入した場合での総費用について推計し、複数のシナリオでゼロエミッション化の可能性の検討を行う必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 環境省：気候変動の国際交渉,
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/cop/shiryo.html#03>, 2016
- 2) 外務省：日本の排出削減目標,
https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w_000121.html, 2021
- 3) 資源エネルギー庁：令和 2 年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書 2021）,
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/>, 2020
- 4) 国土交通省：建物省エネ法のページ,
https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/jutakuken-tiku_house_ik4_000103.html, 2021
- 5) 東京都環境局：大規模事業所における対策,
https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/large_scale/index.html, 2021
- 6) 環境省：ZEB PORTAL- ネット・ゼロ・エネルギー・ビル（ゼブ）ポータル,
<http://www.env.go.jp/earth/zeb/index.html>, 2021
- 7) 資源エネルギー庁：ZEB ロードマップフォローアップ委員会とりまとめ,
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/enterprise/support/pdf/2004_followup_summary.pdf, 2020
- 8) 資源エネルギー庁：エネルギー基本計画(素案)の概要,
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/046/046_004.pdf, 2021
- 9) 矢野 史朗, 谷衛, 谷口 忠大:再生可能エネルギーと小型蓄電池を用いた自律分散型スマートグリッドの費用便益分析, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), vol.134 No.12 pp.1925-1933,2014.
- 10) 瀬川 裕太, 沼田 茂生, 下田 英介, 遠藤 成輝, 前田 哲彦:建物ゼロエミッション化に資する再エネ水素利用システムの役割と導入設備容量に関する評価,電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌), vol.141 No.2 pp.88-96,2021.
- 11) Takuro Kobashi, Takahiro Yoshida, Yoshiki Yamagata, Katsuhiko Naito, Stefan Pfenninger, Kelvin Say, Yasuhiro Takeda, Amanda Ahl, Masaru Yarime, Kei shiroHara: On the potential of “Photovoltaics + Electric vehicles” for deep decarbonization of Kyoto’s power systems: Techno-economic-social considerations, Applied Energy, Vol.275, 115419, 2020.
- 12) T Kobashi, P Jittrapirom, T Yoshida, Y Hirano, Y Yamagata: SolarEV City concept: building the next urban power and mobility systems, Environmental Research Letters, 16, 024042, 2021
- 13) 須永 大介, 村木 美貴: 市街地更新を契機とした ZEB と面的エネルギーの導入による温室効果ガス排出量削減方策に関する研究, 都市計画論文集, 55 巻, 3 号, pp.939-946, 2020.
- 14) 国土交通省：平成 17 年度全国道路・街路交通情勢調査自動車起終点調査, 2005
- 15) 総務省 統計局：経済センサス - 基礎調査 平成 21 年経済センサス-基礎調査 事業所に関する集計,
<https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003032532>, 2011
- 16) 総務省 統計局：法人建物調査 平成 20 年法人建物調査 都道府県編 報告書掲載表,
<https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003189613>, 2020
- 17) 総務省 統計局：経済センサス - 基礎調査 平成 21 年経済センサス-基礎調査 事業所に関する集計,
<https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003032559>, 2011
- 18) 環境共創イニシアチブ: SII エネマネオープンデータ,
<https://www.ems-opendata.jp/>, 2018
- 19) 38) 総務省 統計局: 国勢調査 平成 22 年国勢調査 人口等基本集計 (男女・年齢・配偶関係, 世帯の構成, 住居の状態など),
<https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003038611>, 2011
- 20) 総務省 統計局：住宅・土地統計調査 平成 25 年住宅・土地統計調査 確報集計,
<https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003105175>, 2015
- 21) 板垣 昭彦, 岡村 晴美, 飯田 秀重, 山田 雅信, 佐々木 律子: 日照時間を用いた時間積算日射量推定モデルの開発, 太陽エネルギー, vol.32, no.5, pp.61-67, 2006.
- 22) D.G.Erbs, S.A.Klein, J.A.Duffie: Estimation of the Diffuse Radiation Fraction for Hourly, Daily and Monthly-Average Global Radiation, Solar Energy, Vol. 28, Issue4, pp. 293-302, 1982.
- 23) R. Perez, P. Ineichen, R. Seals, J. Michalsky, R. Stewart: Modeling Daylight Availability and Irradiance from Direct and Global Irradiance, Solar Energy, Volume 44, No. 5, pp. 271-289, 1990.
- 24) 岸田 真一, 三浦 尚志, 西澤 繁毅: 太陽光発電設備の年間発電量の推計方法に関する調査, 建築研究資料 No.188 号, 国立研究開発法人建築研究所, 2018.
- 25) 東京電力エナジーパートナー株式会社: 業務用電力 (契約電力 500kW 以上)
https://www.tepco.co.jp/ep/corporate/plan_h/plan04.html, 2019