

# 市場価格連動契約における電気バスの V2G を活用した デマンドレスポンスの事業性評価

## Feasibility study of demand response using electric bus V2G in market price-linked contract

阿部 圭佑 \*・前 匡 鴻 \*・松橋隆治\*

Keisuke Abe Masahiro Mae Ryuji Matsuhashi

### Abstract

Along with the electrification of vehicles, the sector coupling of electricity and transportation is progressing and demand response using electric vehicles is becoming more important for further effective use of renewable energy. The aim of this study is to analyze feasibility of demand response using electric bus in market price-linked contract, as most of the previous studies on demand response using electric vehicles have focused on consumers, and there have been few studies on buses, which are considered to have less uncertainty and easier to manage. To analyze the effectiveness of market-linked electricity contracts for promoting demand response in electric bus operations, we compared the operation, annual costs for the bus operator, and revenues of the retailer for the conventional fixed pricing case and the market-linked pricing case. The results show that the market-linked contract is more effective in promoting demand response and make profitability of retailers more stable. This paper shows some possibility for electric buses to join demand response programs in the future.

**Key words** : electric buses, V2G, demand response, market-linked electricity contracts

## 1. 背景

### 1.1 交通車両の電動化と自立分散型エネルギーシステム

カーボンニュートラル社会の実現のために、交通分野においても社会的な変革が求められてきている。IEA によると、2021 年の全二酸化炭素排出量のうち、20%以上が交通分野からの排出であったという<sup>1)</sup>。そして、この排出を削減するために、将来的には車両の電動化が進むことが見込まれている。電動車両の特徴として、さまざまな場所に分散したエネルギー貯蔵リソースとして活用できるという点がある。このような特徴は、現在普及が進む太陽光発電や燃料電池のような分散型電源とも相性が良いと考えられる。それらの分散するエネルギーリソースを結びつけるものとして、環境省では自立分散型エネルギーシステムが提唱されている<sup>2)</sup>。そのような社会では、車両の電動化によってこれまであまり結びつきが深くなかった電力と運輸の結びつきが強くなり、セクターカップリングが進むと言われている。そこで使用される車両は移動用だけでなく、再生可能電源の調整用のリソースとして活用され、エネルギー自給率の向上に貢献できる上、災害時にも電源として機能することができると言われている<sup>3)</sup>。このようなシステムは、エネルギー自給率やレジリエンスといった観点からも望ましいと考えられ、政府が策定した「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略<sup>4)</sup>」においても国の成長戦略として言及されている。そして、そのような役割は地域社会を担う公共交通事業においても期待されていると考え



図 1 可部循環<sup>5)</sup>

られる。

実際にここ数年では交通車両の電動化に伴い、電気バスの普及も各地で進みつつある。例えば、広島県広島市では、2022 年 11 月より、EV バス 2 台が運行を開始した<sup>5)</sup>。参考までに、EV バスが導入されている循環を図 1 に示す。一周 4.5km ほどであることがわかる。車体は BYD 社の J6 で航続距離は 200km ほどである(電池容量は 105.6kWh)。持続可能な社会に向けて、今後電動化するバスを上手に活用していくことが期待されている。

### 1.2 再生可能電源の普及拡大とデマンドレスポンス

交通車両の電動化から翻り、電力の発電側について目を向けてみると、太陽光発電のような変動型電源の普及に伴い、発電と需要を一致させることがこれまで以上に難しいものとなってきつつある。図 2 は、カリフォルニア州における電力市場の価格(上)と再生可能エネルギーによる発電量を除いた正味の需要(下)を示したものである<sup>6)</sup>。この二

E-mail : [abe@enesys.t.u-tokyo.ac.jp](mailto:abe@enesys.t.u-tokyo.ac.jp)

\*東京大学大学院工学研究科電気系工学専攻  
〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

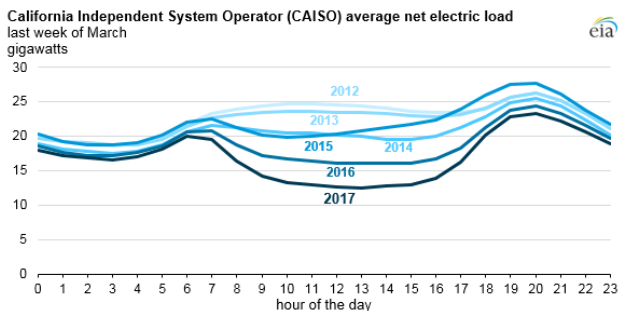
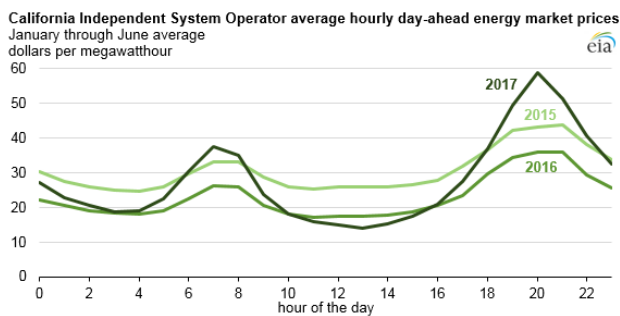


図2 電力市場価格(上)と正味需要(下)の推移<sup>6)</sup>

つの曲線には相関があり、特に太陽光発電が立ち上がる、または立ち下がる早朝と夕方の時間に正味の需要も大きなコブができ、価格が高くなっていることがわかる。逆に昼間において太陽光発電の割合が多くなっているときは、価格が安くなっていることがわかる。このような特徴は、年を経て太陽光発電の普及が進むにつれて顕著になっている。特に太陽光発電の出力抑制が働いている際、この傾向がよく見られると言われている<sup>7)</sup>。この場合、夕方と早朝の時間は系統が厳しい状況にあるため、その時間における需要を太陽光発電の電力が余っている昼間にシフトすることで、系統の安定化に貢献し、再生可能エネルギーの有効利用率も上げることができる。このようにデマンドレスポンスにより需要のシフトを促していくことで、再生可能エネルギーをより有効に活用でき、系統の安定化にも貢献することができるようになる。

デマンドレスポンスを促進する方法の一つとして、小売価格を卸電力市場の価格に連動させることで、需要家側に価格が高い時間帯にはなるべく電気を使わないようにしてもらうという方法がある。このような契約体形は小売事業者にとってもメリットのある契約である。図3に電力の流れと、小売事業者が電力を仕入れる卸電力市場の特徴を示す。現状では小売価格が固定である契約がメインであるが、そのような契約体系では、卸市場の変動する価格のリスクを小売事業者側が受け持っている形となるため、小売事業者の収益のばらつきが大きくなるという問題がある。さらに、需要家側にとってはどの時間帯に電力を消費しても価格が同じであるため、需要家側にデマンドレスポンスを促しにくい状態になってしまっている。一方、市場価格連動

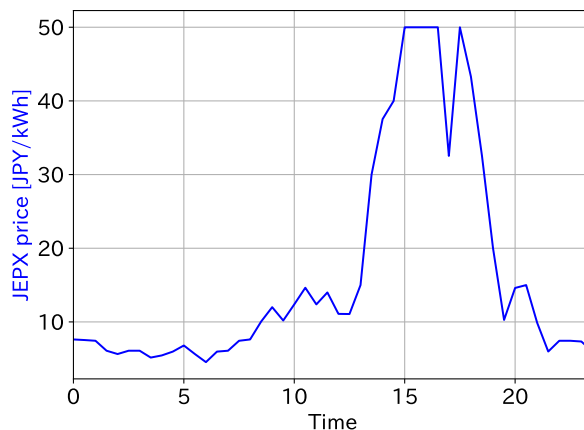
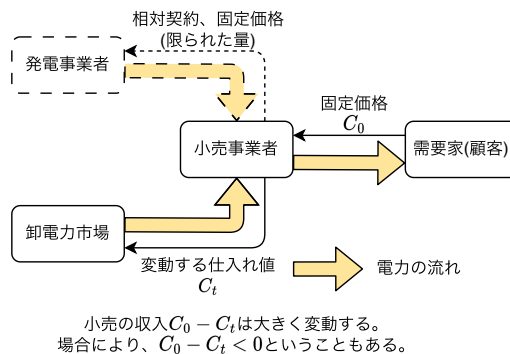


図3 固定価格電力契約における電力とお金の流れ(上)と卸電力価格の特徴(下) (2020年9月3日の例)

であれば、卸市場の価格変動のリスクを小売事業者は背負わずに済む上、デマンドレスポンスを直接促しやすくなると思われる。このようなことから、今後は市場価格連動契約を増やすことによって小売側・需要家側双方にとってメリットがあるようにしつつ、需要家側にも柔軟性を持たせ、再生可能エネルギーを有効に活用していくことが望ましいと考えられる。

### 1.3 既往研究と本論文の目的

この節では、デマンドレスポンスのために電動車両を活用している従来の研究と本論文の目的について述べる。

これまで電動車両によるデマンドレスポンスは、居住区における一般の電気自動車を活用したものが多かった。例えば、レビュー文献<sup>8)</sup>を参照すると、電気自動車を活用した需要側機器制御について分析した論文が多数取り上げられているが、その多くは一般の電気自動車について分析したものであった<sup>9),10)</sup>。例えば文献<sup>11)</sup>では、複数の家の需要と電気自動車を絡めてデマンドレスポンスを行った際のモデルを考えていた。しかし、実際に一般の車両を活用するに当たっては、車両の稼働の不確実性を加味しながらデマンドレスポンスの計画を立てなければならないことが予想される。その点において、電気バスは時刻表があるため、より不確かさが小さく運用がしやすいと考えられるのにも

関わらず、分析があまりなされてこなかったと言える。

また、文献<sup>12)</sup>においては、学校のバスの充電の群制御に関して、学校の通学用のバスを大量に電動化した際、電力需要が集中しないように分散させる充電計画手法について考察していたが、放電による建物への電力供給までは行っていないかった。

文献<sup>13)</sup>においては、地域における太陽光発電の余剰を減らすためにバスの最適な充電タイミングを決定するための最適化手法が提案されていた。その中で、電力の流れは充電という一方向のみに限られていた。しかし、放電も行うことでより多くの余剰な電力を吸収し、デマンドレスポンスにより貢献できるようになると考えられる。そこで、本研究ではバスの事業所自体の需要の一部を、バスからの放電によって賄うことを考える。その際、需要家と小売事業者側双方にとってメリットのある契約体系を打ち出す必要がある。今回はそのような契約体系の比較のため、太陽光発電を仮定せず単純な電力調達のみによる形態を考えることにする。

以上のことから、本研究においては、市場価格連動契約によって電気バスでのデマンドレスポンスを促進した際の、小売側と需要家側のメリットについて分析することにする。そのような分析を行うため、EVバスについて以下二通りの場合についてシミュレーションを行い、それぞれの場合の小売側・需要家側のコストや収益を比較する。

まず一つ目としては固定価格契約を行い、需給状況はあまり勘案せずEVバスを充電した場合についてである。そして二つ目は、市場価格連動契約を行い、市場の価格を気にしながらEVバスの充放電によるデマンドレスポンスを行った場合である。

本論文の貢献は以下の点にある。

- ・電気バスの交通インフラと太陽光発電などの電力インフラをセクターブリッジしたディマンドレスポンス
- ・小売事業者と需要家双方に着目した事業性評価
- ・実際の電気バスの運用に基づいた時系列電力解析

電気バスによる交通インフラに着目した理由としては、以下のような点が挙げられる。まず、電気バスには時刻表があるため、充放電を行うにあたっての不確実性が少なく、予定を立てやすいと考えたからである。また、前述のように既往研究では一般の電気自動車についての研究が多く、電気バスを用いたものは少なかった。故にシステムとして検討する価値があると考えた。その他、一般の車両と比較し、バスは一つの交通事業者がまとまった台数を保有していることが多く、複数のバスを束ねて制御しやすいとい

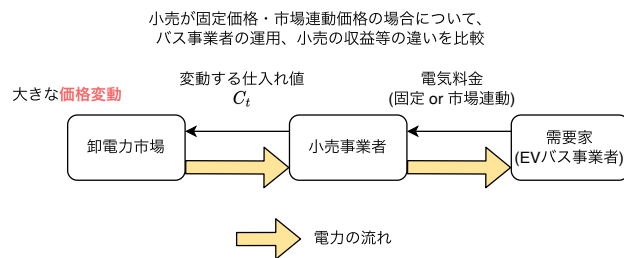


図4 電力調達モデル

う利点があると考えられる点や、バス事業と電気事業はともに公共性の高い事業であり、将来的な連携の可能性が高いと考えられる点なども踏まえ、バス会社に注目した。

本論文の概要は以下のようなになる。今回は電気バス2台を巡回に利用するバス事業者を仮定し、電力市場や施設の需要を加味したモデルを作成する。そして、その電力契約の形態を固定価格による契約と市場価格連動という二通りの場合に分けて需要家側の運用の最適化を行い、それぞれの需要家側の運用や電力コスト、小売事業者の収益の違いを比較する。

章ごとの概要は以下のとおりとなる。2章において設定した問題やモデルについての説明をし、3章でその評価を行う。そして4章で結論と今後の展望を述べる。

## 2. 問題設定・手法

この章では、今回分析したモデルの詳細について以下の項目に沿って説明する。

- ・モデルの内容
- ・各種パラメータ
- ・市場連動価格について
- ・今回の分析で用意したデータ
- ・最適化モデルの目的関数、制約条件について

### 2.1 モデルの内容

今回検討したモデルの内容を説明する。前述の広島市の例を参考にしつつ、2台の電気バスを導入したバス会社がバスの運行を正常に維持しながら、バスの事業所の需要も賄うために小売電気事業者から電力を調達するモデルを作成した(図4)。バス事業所の需要の一部は車庫に戻ってきたバスからの放電によっても賄われるものとする。また、バスの放電の際、系統への逆潮流は行わないものとした。そして、仮定したバス循環における電気バスの充放電のタイミングと、そのタイミングにおける電力市場の価格をモデルの中に入れ、混合整数計画による運用の最適化を行なった。このモデルに対し、小売事業者との契約をCase 1 固定価格にした時の運用、Case 2 市場連動価格にした時の

表 1 バスの時刻表

時	分
8	15, 45
9	15, 45
10	30, 45
11	15, 30, 45
12	
13	15, 30, 45
14	45
15	0, 15, 45
16	30
17	0, 30
18	0

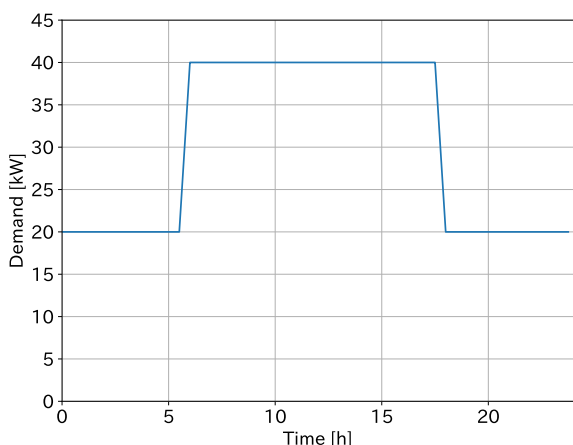


図 5 電力需要のモデル

運用、の 2 パターンで充放電計画を最適化し、それぞれの長所と短所を比較する。モデルの中身を列挙すると、以下のようになる。

- ・ 電気バスのモデル
- ・ 事業所の需要モデル
- ・ 小売価格のモデル

この後の節で、それぞれの詳細について説明する。なお、計算の期間は 2017 年～2022 年とし、卸電力市場のデータはその期間の実際のものを使用した。

## 2.2 電気バスのモデル

シミュレーション上の電気バスの挙動を作るために時刻表のデータと車両の性能データを用意し、その動きを模擬した。それぞれについて、詳細を説明する。

- ・ 時刻表のデータ

前述の広島市におけるバスの時刻表を参考にし、実際のバス運行に近い時刻表を仮定した。具体的には、表 1 のよう

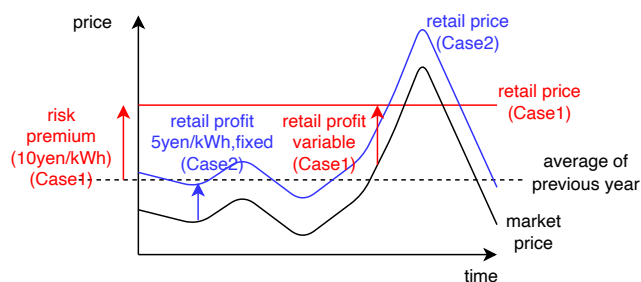


図 6 小売価格(託送料金以外)の決まり方(Case 1, 2)

に、一日 20 回の巡回で回っており、それぞれ一周 15 分で回ると仮定した。なお、二台のバスがあるため、それぞれ交互に運行するという仮定のもとで計算を行った。

- ・ EV バスの性能

BYD 社の製品紹介<sup>14)</sup>を参考にし、電費:1.9km/kWh, 電池容量:105.6kWh, 充放電出力は 30kW と仮定した。

## 2.3 事業所の需要モデル

電力契約の一長一短を比較するため、事業所における電力需要を図 5 のように仮定した。朝 6 時までは 20kW であり、朝 6 時から午後 6 時までは 40kW、午後 6 時以降は 20kW に戻るといった需要である。より現実に近いデータを用いたものは今後の課題としたい。

## 2.4 小売価格のモデル

小売価格の仮定として、固定価格での場合と、市場価格連動の場合の二通りを設けた。図 6 に、価格の決められ方の概要を示す。それぞれ、以下のように価格が決まるものと仮定する。

### Case 1 固定価格におけるモデル

需要家側における従量料金の単価はどの時刻においても一定の価格であるとする。この固定価格は毎年更新するものとし、その値としては、前年度の市場平均価格にリスクプレミアと託送等その他の料金を加えたものとする。このリスクプレミアの部分は、固定価格によって小売事業者がリスクを背負っていることになるため、それを価格に転嫁したものである。今回のモデルでは、この価格を 7 円/kWh とおいた。

### Case 2 市場連動価格におけるモデル

このケースにおいて、小売価格は卸市場の価格に小売の取り分と託送等その他の料金を上乗せした価格であるとした。今回は年別の比較のため、2017 年度から 2022 年度までのデータ<sup>15)</sup>を用意した。

## 2.5 一日のバスの運行イメージ

ここで、一日のバスの運行のイメージを掴むため、ある一日の運行による車両の充電率(SOC)の変化(目盛は右軸)と、市場価格の推移(目盛は左軸)を図 7 に示す。バスの巡



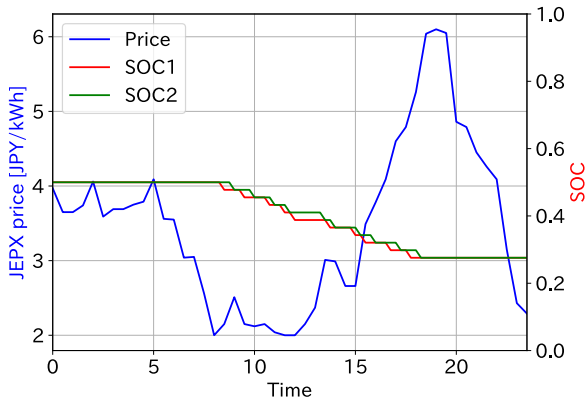


図7 バスのSOCと市場価格の推移  
(2020年8月1日の例)

回は一周約4kmであり、これは充電率(SOC)にすると2%ほどの減少ということになる。バスは交互に回ると仮定したため、一つのバスにつき一日10回の巡回をすることになる。そのため、SOCに換算した場合の一日の消費率は25%ほどとなる。また、今回仮定した時刻表において、12時ごろには昼休みに入っており、バスが出ることはない。

市場価格について見てみると、発電限界費用の安い太陽光発電が多く発電している昼間には市場価格が比較的安くなり、太陽が沈んだ夕方から夜にかけて価格が比較的高くなるという、典型的な価格推移になっていることがわかる。図7を見るとわかるとおり、バスの営業終了時間は市場価格が比較的高い時間と被っている。そのため、市場価格連動で電力を調達する際は、なるべく営業時間終了直後の充電を控え、価格の安い早朝に充電をするということになる。夕方から夜までの価格の高い時間は、安い時間に貯めておいた電力を放電し、なるべく市場から調達する電力を少なくする時間になると考えられる。

## 2.6 各種パラメータ

今回の設定における各種パラメータを表2に示す。施設における需要を考えた際、昼間に仮定した需要の大きさが40kWであり、二台の電気バスの充電出力は合計で60kWとなる。

表2 シミュレーションでの各種パラメータ

エリア	中国地方
バスの電池容量	105.6 kWh
バスの巡回距離	一周4.5 km
バスの電費	1.9 km/kWh
充放電出力	±30 kW
市場価格連動での小売の取り分	5 円/kWh
固定価格の場合の電力料金設定	(前年度平均価格) + (リスクプレミアム)
リスクプレミアム	7 円/kWh

## 2.7 最適化における目的関数

今回の目的関数は、式(1)のようにバス事業者の電力仕入れコストとした。この中で、市場由来の電力 $P_t$ に対するコスト $C_t$ がケースによって異なる。それぞれの場合の $C_t$ を式(2)と式(3)に示す。

$$\min. \sum_t (P_t \times C_t) \quad (1)$$

$$\text{Case1. } C_t = C_{ave} + C_{premiere} + C_{misc} \text{ (固定料金)} \quad (2)$$

$$\text{Case2. } C_t = C_{market} + C_{retail} + C_{misc} \text{ (市場連動)} \quad (3)$$

各変数の意味は以下の通りである。

$P_t$  : ステップ $t$ で電力市場から調達する電力量[kWh]

$C_t$  : 需要家が小売事業者側に支払う電力料金[円/kWh]

$C_{ave}$  : その年の前年度における平均市場価格[円/kWh]

$C_{premiere}$  : 固定価格契約でのリスクプレミアム[円/kWh]

$C_{misc}$  :  $C_t$ のうち、託送などのその他料金(7円/kWh)

$C_{market}$  : そのステップにおける卸電力市場価格[円/kWh]

$C_{retail}$  : 市場価格連動において、小売に渡る料金[円/kWh]

なお、最適化で意思決定をする時間幅は1ステップ15分であるとする。また、小売側の収益をまとめたものを式(4)と式(5)に示す。

$$\text{Case1 } C_{ave} + C_{premiere} - C_{market} \text{ (時間変動)} \quad (4)$$

$$\text{Case2 } C_{retail} \text{ (一定料金)} \quad (5)$$

Case 1 固定価格では、小売価格を固定料金にしているため、単位電力量あたりの小売の収入は一定であるが、支出は市場価格となるため、収益としては時間的に変動することになる。一方、Case 2 市場連動価格においては小売の収益部分が固定化されることになる。

## 2.8 制約条件

最適化問題を解くにあたっての制約条件を以下に示す。

### EV 制約

$$0.1 \leq S_{ev,t} \leq 0.9 \quad (\forall ev, \forall t) \quad (6)$$

$$\beta_{ev,t} = 0 \text{ (discharging) or } 1 \text{ (charging)} \quad (\forall ev, \forall t) \quad (7)$$

$$0 \leq \rho_{ev,t} \leq \beta_{ev,t} \cdot 30, 0 \leq \delta_{ev,t} \leq (1 - \beta_{ev,t}) \cdot 30 \quad (\forall ev, \forall t) \quad (8)$$

$$\rho_{ev,t} = \delta_{ev,t} = 0 \quad (\forall ev, \forall t \in T_{ev}) \quad (9)$$

$$S_{ev,t+1} = S_{ev,t} - C/E/B \quad (\forall ev, \forall t \in T_{ev}) \quad (10)$$

$$S_{ev,t+1} = S_{ev,t} + (\rho_{ev,t} \cdot \varepsilon_c - \delta_{ev,t}/\varepsilon_d)/4/B \quad (\forall ev, \forall t \notin T_{ev}) \quad (11)$$

ただし、 $S_{ev,t}$ は各EVについての、ステップ $t$ における充電率、 $\rho_{ev,t}$ は各EVについての、ステップ $t$ における充放電出力(放電の場合はマイナス)、 $T_{ev}$ はバスが時刻表において巡回しているステップの集合(EVごとに設定)とする。それ以外のステップにおいては、バスは充電、あるいは放電する(あるいは何もしない)ものとし、そのSOCの変化を式(9)

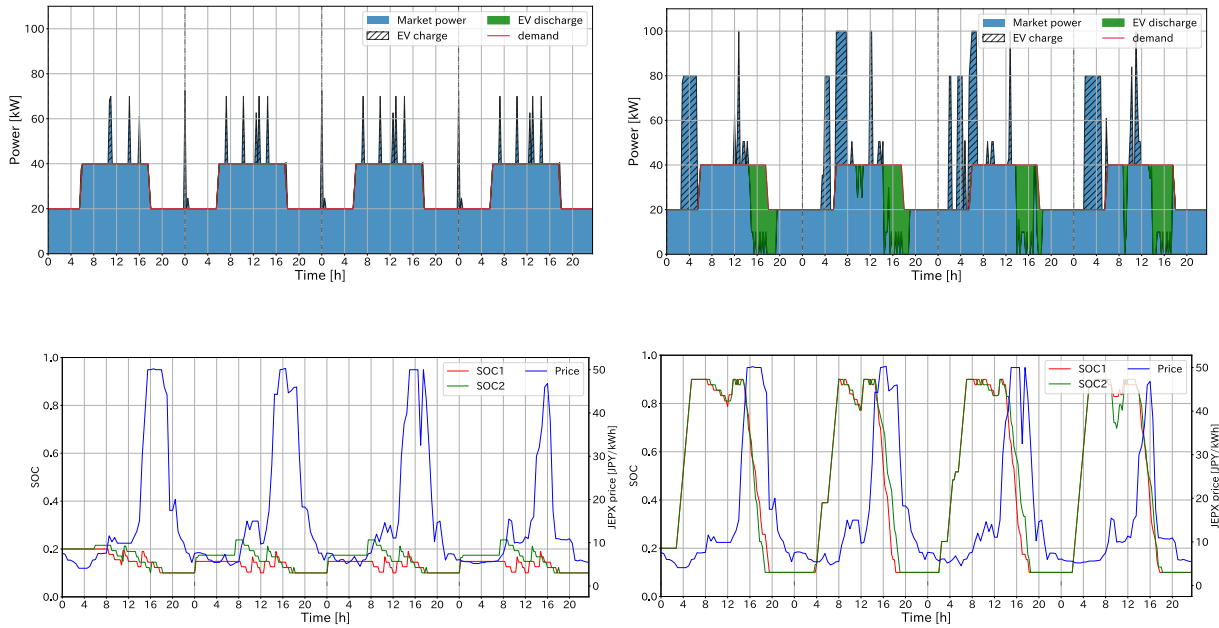


図8 電力の内訳(上段)とSOC推移(下段) (期間は2020年9月1日~9月4日)  
それぞれ、左がCase 1 固定価格、右がCase 2 市場連動価格

にて表している。また、 $\delta$  は一巡回における走行距離、 $E$  は電費、 $B$  はバッテリー容量を表している。

なお、式(11)において、1ステップ15分であるため、kWからkWhへの変換の際に変化する電力を4で割っている(以下の式を参照)。  
(15分で変化する電力量)[kWh] = (電力)[kW] × 15[min]/60[min]

充放電時のロスを加味し、充放電状態を表すバイナリ( $\beta_{ev,t}$ )を設けたため、この問題は混合整数計画となる。

### 需給バランス制約

$$P_t = D_t + \sum_{ev} (\rho_{ev,t} - \delta_{ev,t}) \quad (\forall t) \quad (12)$$

$D_t$ はステップ $t$ における建物の需要とする。  
建物の需要の一部はバスからの放電で賄われることもある。

## 2.9 計算のパターン

Case 1 固定価格による電力契約の場合

Case 2 市場連動価格での電力契約の場合

のそれぞれの場合について運用を最適化した。年度による変化を見るため、2017年度から2022年度までについてそれぞれ計算を行った。

## 3. 評価

### 3.1 それぞれの運用の違い

まずは、それぞれの運用の違いを、4日間の運用に着目して比較する。図8に、固定価格の場合と市場価格連動の

場合のそれぞれの運用の様子を示す(日付は2020年9月1日から9月4日までの4日間についてのものである)。キャプションにもある通り、上段が電力の内訳で、下段が市場価格と各EVのSOCの推移である。また、それぞれについて左がCase 1 固定価格の場合で、右がCase 2 市場連動価格の場合を示している。上段の図において、斜線になっている部分がEVを充電している部分である。また、青色がシステムから仕入れてくる電力、緑色が電気バスの放電によって建物の需要を賄った分を表している。

Case 1 固定価格においては、どの時刻に電力を調達しても価格は一定のため、電気バスは昼休みのまとまった時間等に充電し、わざわざ施設の需要を賄うために放電を行うということはない。一方Case 2 市場連動価格の場合、価格の安い早朝にもシステムから電力を購入することで充電を行っていることがわかる。そして、価格の高い夕方以降はなるべくシステムから電力を買わないように、電気バスから放電していることがわかる。下段のSOCの推移と市場価格の様子を見るとわかる通り、Case 1 固定価格では運行に最低限必要なSOCの変化しかない(走行時のSOCの減少と充電時のSOCの上昇のみ)。Case 2 市場連動価格においては、市場の価格が安い時にSOCが大きく上昇し、逆に市場の価格が高い時にSOCが大きく減少していることがわかる。

このような結果から、市場連動価格にすることで効果的に需要家にデマンドレスポンスを促せることがわかる。ただし、SOCの変動が大きくなることで電池の寿命に影響が及ぶと考えられるが、その影響を踏まえた分析は今後の課

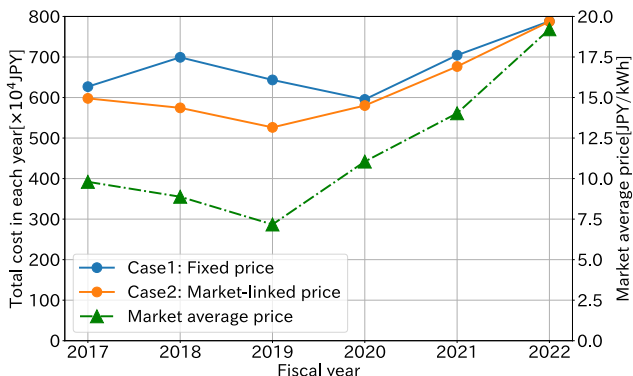


図9 各契約パターンにおける需要家のコストの比較とその年の市場平均価格

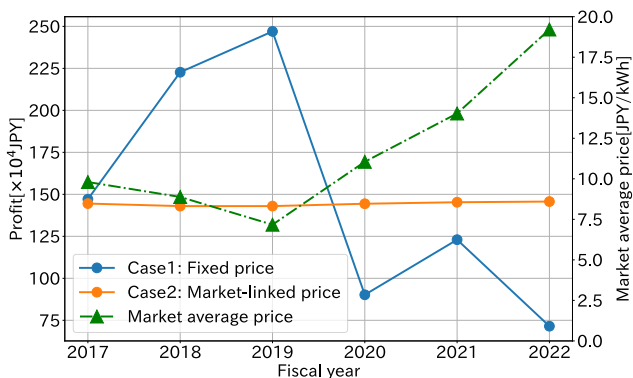


図10 各契約パターンにおける小売の収益性の比較とその年の市場平均価格

題としたい。

### 3.2 年間の電力コスト、小売収益の違い

続いて、このシミュレーションを年別に一年ずつ動かした。それぞれの場合における需要家側の年別コストを図9に、小売側の年別収益を図10に示す。また、それぞれの図において、参考までにその年の平均市場価格も合わせてプロットした。

まず、コストや収益に影響を及ぼすと考えられる市場価格の動向について確認する。傾向として、2017年度から2019年度は比較的市場が安価であった。一方2020年度以降については、市場の価格が上昇傾向にあるということがわかる。これを元に図9の需要家側のコスト推移を見ると、Case 1 固定価格とCase 2 市場連動価格のどちらも2020年以降は増加傾向にあるという大まかな推移は同じであることがわかる。ただし、Case 2 市場連動価格の方が、Case 1 固定価格による契約よりも電力コストが安い傾向にある。これは前述のデマンドレスポンスによって安い時間の電気を効果的に使うことができたことによるものだと考えられる。

また、図10に小売事業者側の収益の推移を示した。この図を見ると、Case 1 固定価格の場合は収益が大きく上下

しているが、Case 2 市場連動価格の場合はほぼ横ばいで推移していることが分かる。これは、固定価格契約では市場価格が安くなった際には大きく利鞘を取ることができるが、その反面市場価格が高くなったときには収益性が悪化することによるものだと考えられる。図8の左側のグラフのように、固定価格のケースの際、価格の高い時間に市場由来の電力を抑制できなかったこととも関わりが深いと考えられる。

以上の考察より、Case 1 固定価格においては、小売事業者のためにリスクプレミア(固定価格において、前年の市場平均価格に対しての7円/kWhのプラス分)があったが、そのようなプレミアは事業を安定化させる上ではあまり効果的ではなく、需要家と市場価格連動の契約を結ぶ方がより効果的であると言える。

年別の収益についてさらに注目すると、固定価格の場合、前年の平均価格をベースに価格を設定したため、平均価格が上昇傾向にある期間の際は、収益が悪化する傾向にあることがわかる。一方、価格が下降傾向にある期間については収益が改善している。しかし、次の年の平均価格がどうなるかについては固定価格を設定する際に見通すことは容易ではなく、市場価格連動にした方が収益性が見通しが良くなると言える。

## 4. まとめと今後の展望

本論文では、電気バスをデマンドレスポンスに活用する際の市場価格連動契約の有効性を検証した。結果として、市場価格連動契約にすることでデマンドレスポンスが適切に促進され、バス事業者の電力コストの削減や、小売事業者の収益性の改善がなされた。

今後の展望として、電気バスと再生可能エネルギーのさらなる活用のため、電気バスが多数ある場合や、電気バスの充電拠点に再生可能エネルギーがある際の自家消費最大化をする場合について電気バスの活用の有効性についての分析が望まれると考えられる。

## 5. 謝辞

電気バスの運用の実情について、現地調査や意見交換に協力して下さった広島交通様に、この場をお借りしまして感謝の意を表します。

## 6. 参考文献

- 1) International Energy Agency: Greenhouse Gas Emissions from Energy Data Explorer(2021), <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/greenhouse-gas-emissions-from-energy-data-explorer>

- 2) 環境省:脱炭素イノベーションによる地域循環共生圏構築事業(2019),  
[https://rcespa.jp/wordpress/wp-content/uploads/H31\\_datsutanso-innov\\_setumeiponchie.pdf](https://rcespa.jp/wordpress/wp-content/uploads/H31_datsutanso-innov_setumeiponchie.pdf).
- 3) Corchero, C. and Sanmarti, M.: Vehicle- to- Everything (V2X): Benefits and Barriers, in *2018 15th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, pp. 1-4 (2018).
- 4) 内閣官房:2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2021),  
[https://rcespa.jp/wordpress/wp-content/uploads/H31\\_datsutanso-innov\\_setumeiponchie.pdf](https://rcespa.jp/wordpress/wp-content/uploads/H31_datsutanso-innov_setumeiponchie.pdf).
- 5) 広島交通:電気バス導入のお知らせ(2022)  
<https://www.hiroko-group.co.jp/kotsu/evbus.html>
- 6) Energy Information Administration: EIA Data Reveals California's Real and Growing Duck Curve (2017),  
<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=32172>.
- 7) Klinge Jacobsen, H. and Schröder, S. T.: Curtailment of renewable generation: Economic optimality and incentives, *Energy Policy*, Vol. 49, pp. 663-675 (2012), Special Section: Fuel Poverty Comes of Age: Commemorating 21 Years of Research and Policy.
- 8) Sarthak Mohanty, Subhasis Panda, Shubhranshu Mohan Parida, et al.: Demand side management of electric vehicles in smart grids: A survey on strategies, challenges, modeling, and optimization, *Energy Reports*, Volume 8, 2022,
- 9) Upadhaya, B., Feng, D., Zhou, Y., Gui, Q., Zhao, X., Wu, D., 2019. Optimal decision making model of battery energy storage-assisted electric vehicle charging station considering incentive demand response. In: 8th Renewable Power Generation Conference (RPG 2019). IET, pp. 1-8
- 10) Zheng, Y., Yu, H., Shao, Z., Jian, L., 2020. Day-ahead bidding strategy for electric vehicle aggregator enabling multiple agent modes in uncertain electricity markets. *Appl. Energy* 280, 115977.
- 11) X. Luo, X. Zhu, E. Lim and W. Kellerer, "Electric Vehicles Assisted Multi-Household Cooperative Demand Response Strategy," 2019 IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring), Kuala Lumpur, Malaysia, 2019,
- 12) Elliott, M. and Kittner, N.: Operational grid and environmental impacts for a V2G-enabled electric school bus fleet using DC fast chargers, *Sustainable Production and Consumption*, Vol. 30, pp. 316-330 (2022).
- 13) 富澤 勇輝, 井原 雄人, 児玉 安広, 飯野 穰, 林 泰弘, 池田 欧世, 吉永 淳, バスの段階的な電動化を考慮した充電スケジュール最適化によるPV地産地消能力の評価, *電気学会論文誌B(電力・エネルギー部門誌)*, 2022, 142巻, 2号, p. 67-76,
- 14) BYD: 小型電気(EV)バス J6 (2023), (<https://byd.co.jp/products/j6/>).
- 15) 日本卸電力市場:取引市場データ(2023), <https://www.jepx.jp/electricpower/market-data/spot/>