

電気の売買を含めたオークションによる駐車場予約システムの提案と評価

Proposal and Evaluation of Parking Reservation System with Auction Including Electric Trade

橋本 創*1
So Hashimoto

金森 亮*2
Ryo Kanamori

伊藤 孝行*2
Takayuki Ito

*1名古屋工業大学大学院工学研究科創成シミュレーション工学専攻
Department of Scientific and Engineering Simulation, Nagoya Institute of Technology

*2名古屋工業大学大学院工学研究科産業戦略工学専攻
Master Course of Techno-Business Administration, Nagoya Institute of Technology

In this study, some auction systems are applied to the parking reservation system which would exert an important role in the next generation traffic systems. As an introduction evaluation of the auction systems for the parking reservation, we compare the results in the case of a simultaneous auction and sequential one, and examine the influences of the strategy. Although the limited numerical experiment under the assumption that the number of parking lot is only three, time period is three, and also the total number of bidders are 25, the following results are obtained; 1) both the parking manager and users 2) the average of the parking revenues would be the highest when the reservation price is a little higher than the expectation bidding price.

1. はじめに

低炭素社会のモデルにスマートコミュニティが提案され、その中で、電気自動車の蓄電池機能を活かし、電気自動車による住宅と事業所等の異なる電力需要を調整するVehicle-to-Gridも考えられている。一方、目的地までの移動にかかる時間において、自動車のナビゲーションシステムの発展により目的地周辺までの到達時間が改善され、駐車場探しの為のうろつきや入庫待ちによって消費される時間の割合が増えてきている。これらを背景として、本研究では、電気の売買を含めたオークションによる駐車場予約システムの提案を行い、簡単な数値実験による評価を行う。

2. 関連研究

電気自動車の普及による、電気自動車の充電が電力網に与える影響が高まってきており、限られた電力供給能力をどのように電気自動車に割り当てるかという研究が行われており[Valentin 11], 真実申告優位性や計算量の上限を証明した割当手法が提案され、充電速度が異なる複数の電気自動車が電力割当の効率に与える影響についても検証されている。

このような従来研究では、電気自動車の充電における電力割当に主眼がおかれていたが、本研究では、電気自動車に蓄えられている電気を運転手が利用できる資源と捉え、駐車場利用料の割引の為に利用することを想定し、数値実験による検証を行う。

3. 電気の売買を含めたオークションによる駐車場予約システムの概要

本研究では、電気の売買を含めたオークションによる駐車場予約システムを提案する。オークションを用いて、動的に

連絡先: 橋本創, 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学大学院工学研究科創成シミュレーション工学専攻, hashimoto@itolab.nitech.ac.jp

駐車場の価格を決定することにより、従来の固定価格とは異なり、それぞれの運転手の特性に基づいた柔軟な価格設定ができると期待できる。ここでは、運転手の特性を、電気自動車保有の有無や駐車場に対する価値の差異のこととしている。提案するシステムでは、駐車場の各利用時間帯の60分前まで入札を受け付け、複数回に渡りオークションを行い落札者を更新していく。また、電気自動車の保有者は入札時に電気の売却量を申告することができ、落札時には電気を売却した分だけ安い料金を駐車場を利用できるものとする。ただし、連続する時間帯の利用を希望し、単位時間あたりの入札額が最低落札価格(留保価格)未満の入札、及びオークション開始時に既に駐車場の利用が開始している時間帯を希望している入札は除外する。駐車スペースの割り当ては、経営者の収入が最大となるような組み合わせとする。ここでは、経営者が利用者から電気を買い取り、より高く売却することができると仮定しているため、低い入札額でも電気の売却量により落札する場合も存在する。提案手法の疑似アルゴリズムをアルゴリズム1に示す。

また、本研究で導入評価する駐車予約システムは、複数の駐車スペースに対して、複数の時間帯にまたがって提供するものとし、一部の駐車スペースでは、電気自動車と電気のやり取りが行えるものとする。駐車場の予約の割り当ては前述の提案手法を用いて決定する。ただし、利用者は希望する組合せ以外は興味がなく、入札額は他の利用者の影響を受けないものとする。また、複数の利用時間帯を希望する場合は連続したもののみを対象とする。

4. 数値実験の設定

4.1 駐車場の設定

駐車予約システムの導入評価として、駐車スペース3台分、利用可能な時間帯を3つの駐車場を設定する。駐車スペース3台分のうち1台分は電気自動車との電気のやり取りができるものとする。イメージ図を図1に示す。

アルゴリズム 1 駐車スペースの割り当て決定方法

```

Require: auctionTimes ← オークション開始時刻列,
reservationPrice ← 単位時間あたりの留保価格
Ensure: 経営者収入最大の割り当ての組み合わせ
1: bids = {}
2: for all auctionTime in auctionTimes do
3:   while currentTime < auctionTime do
4:     if (bid.price > reservationPrice
or isSingle(bid))
and isAvailableService(bid) then
5:       bids.add(bid)
6:     end if
7:   end while
8:   allocation = bestCombination(bids)
9:   updateAvailableService(allocation)
10: end for
11: return allocation
    
```

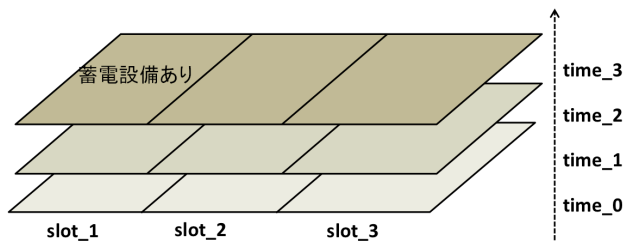


図 1: 駐車場の設定(3台×3時間)

4.2 駐車場利用者の設定

駐車場利用者はそれぞれ希望する時間帯と駐車箇所を1つ入札すると仮定している。25人の駐車場利用者がいると設定し、それぞれの入札申告額は100~300円の範囲で一様に設定した。一部の利用者は電気自動車を保有し電気を売ることができ、売却量を1~10の範囲で一様に設定した。入札を行う時間は平均1.0のポアソン分布を用い、1.5以上は利用開始の時間帯3枠前、1.0~1.5は2枠前、1.0以下は1枠前とした。また、希望する駐車場の利用時間帯は、それぞれの時間帯ごとに0~1の範囲の一様の乱数を発生させ、0.5以上の値が出た時間帯を希望するとした。ただし、連続する時間帯以外で複数の時間帯に0.5以上の値が出た場合には、より大きな値が出た時間帯を希望するものとした。利用時間帯決定の例を表1に示す。表1中の実数値は乱数の値である。

4.3 オークションの設定

本研究では、提案手法による予約の決定を、25人の駐車場利用者に対して、前述の通りにパラメータを設定し、電気自動車保有者の割合や留保価格を変化させ、それぞれ100回の試行を行った。今回の実験では、利用者からの電気の単位量当たりの買い取り価格を10円に設定し、経営者の電

表 1: 利用時間帯決定の例

	時間帯1	時間帯2	時間帯3	希望時間帯
ケース1	0.3	0.7	0.1	時間帯2
ケース2	0.6	0.8	0.3	時間帯1, 2
ケース3	0.7	0.4	0.6	時間帯1

気の単位量当たりの収入を20円とした。また、以降で示す結果の値は100回の試行の平均値である。さらに、現実世界において、電気の売却による割引を受けられるものとして、入札時に本来の価値よりも上乗せして入札することが考えられるため、入札パターンを変化させた場合の実験も行い、それぞれの結果を比較した。

4.4 比較する入札パターン

4.4.1 基本型

利用者は入札額として駐車場利用の支払い意思額をそのまま申告する。電気自動車の保有者が蓄電設備有りのスペースに駐車できる場合、駐車場利用料の割引を受けるとみなされるだけ、余分に効用を得ることができる。

4.4.2 リスク軽視型

電気自動車の保有者は、電気が売れたときの駐車場利用料の割引を当てにして、入札額として支払い意思額より駐車場利用料の割引分だけ高く申告する。電気を売ることができない駐車スペースに割り当てられた場合でも、入札額を支払わなければならない為、効用が負の値になる場合がある。

4.4.3 状況対応型

電気自動車の保有者は、支払い意思額が留保価格付近の場合には、入札額として支払い意思額より駐車場利用料の割引分だけ高く申告し、それ以外の場合には支払い意思額をそのまま申告する。留保価格を入札可能かどうかの境界線と捉え、支払い意思額が留保価格付近の場合には、多少のリスクを負ってでも入札の可能性を高める戦略である。ここでは以下の式が成り立つときを留保価格付近とする。ただし、Vは支払い意思額、RPは留保価格、Dは電気売却時の割引額とする。

$$|V - RP| \leq \frac{D}{2}$$

5. 数値実験結果と考察

5.1 電気自動車の保有割合と留保価格の変化による比較

図2および図3に、入札パターンが基本型の場合における、電気自動車の保有割合を変化させた結果を示す。

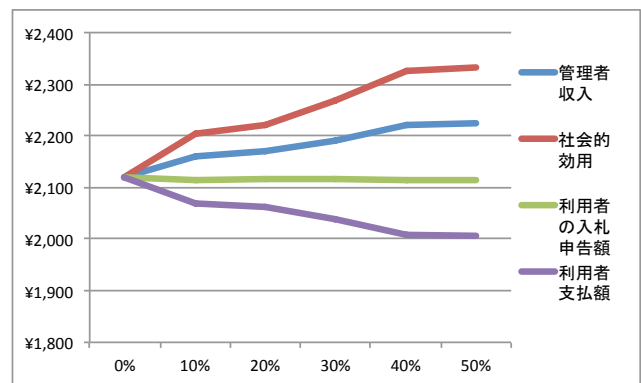


図 2: 電気自動車の保有割合ごとの結果(留保価格200円)

駐車利用額を200円と固定にした場合と想定すると、経営者の収入は最大1800円だが、オークション導入時には1800円以上の収入を得ることができる。また、電気自動車の保有割合が増えるほど、電気の取引量が増え、経営者の収入が増

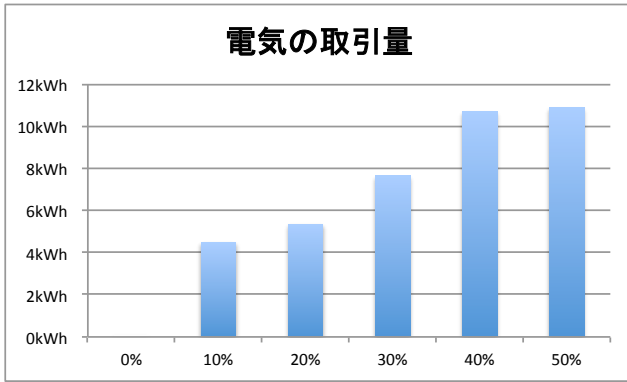


図 3: 電気の取引量の変化(留保価格200円)

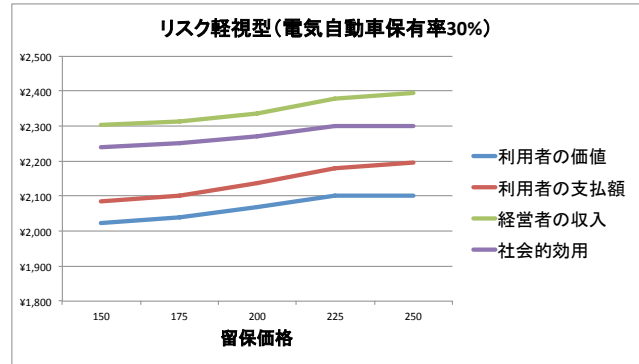


図 5: リスク軽視型の結果(電気自動車保有割合30%)

加し、利用者の支払額が減少し、社会的効用が増加していることがわかる。ここで、社会的効用とは経営者の収入と利用者の入札申告額の和から利用者の支払額を引いたものである。ただし、電気自動車の保有割合が40%から50%に増加した場合には、結果にほとんど差が見られない。電気のやり取りを行うことができる駐車スペースが1台分しかない為、利用者の電気自動車が増加しても、駐車場と利用者で電気のやり取りを行うことができなくなった為である。

図4に電気自動車の保有割合ごとの留保価格による経営者の収入の変化を示す。

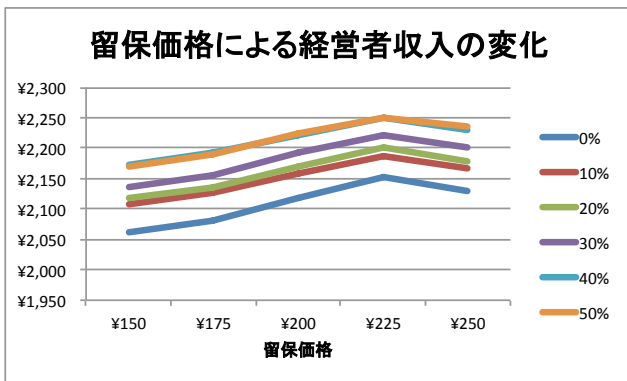


図 4: 留保価格による経営者の収入の変化

また、留保価格を変化させると、225円までは経営者の収入が増加したが、250円になると減少した。電気自動車の保有割合に限らず、全ての場合において、留保価格が225円の場合に経営者の収入が最大となった。留保価格を低く設定してしまうと、入札額が低いものが落札されてしまい収入が減少する。しかし、留保価格をあまりに高く設定してしまうと、経営者に有利な入札であっても、落札されない場合があり、収入が減少する。今回の結果によれば、留保価格を期待入札価格から若干高めに設定することで、経営者の収入を最大にすることができる。

5.2 入札パターンによる変化

図5にリスク軽視型での、電気自動車保有割合30%での結果を示す。

リスク軽視型では、経営者の収入は基本型よりも増加(平均で約166円増加)したが、利用者の価値よりも、利用者の

支払額が上回っており、利用者の得られる効用はマイナスとなる。利用者が電気を売却不可能な駐車スペースに割り当てられるリスクを軽視しすぎた為に、利用者の効用が下がってしまっている。しかし、電気自動車が放電スペースを落札する割合は入札額を高く申告するため基本型に比べて増加している(図6)。

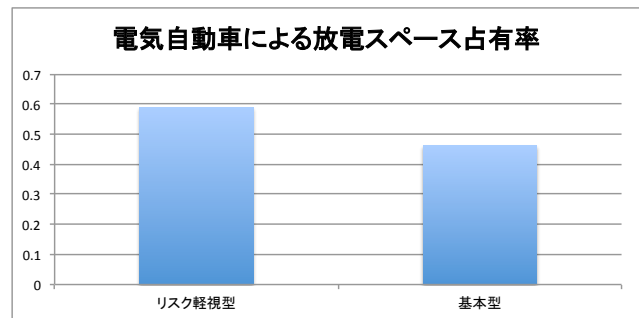


図 6: 電気自動車による放電スペース占有率

リスク軽視型では、入札額を上乘せするため、放電スペースを落札しやすくなったが、その放電ができないスペースを落札する場合も増加し、損をってしまう可能性も増加してしまう。そのため、リスクを管理しつつ、より放電スペースを落札できるような戦略を利用者は取ろうとする可能性がある。

次に、状況対応型での、電気自動車保有割合30%での結果を示す。

リスク軽視型では、留保価格によらず、利用者の価値を、利用者の支払額を上回っていたが、状況対応型では、留保価格が225円以上にならない限り、利用者の価値を、利用者の支払額が上回ることとはなく、オークションに参加した為に損をってしまった利用者の数も大幅に減少した(表2, 表3)。

また、状況対応型での電気自動車による放電スペース占有率は約53%であり、リスク軽視型の約58%には及ばないものの基本型の約46%よりは高い値を示している。そのため、状況に応じて、電気自動車の電気の売却分を利用者の真の駐車利用に対する価値に上乘せすることで、損をしてしまうリスクを軽減しつつ、駐車スペースを確保できる確率を上げることができることを確認した。しかし、留保価格が225円以上の場合では、利用者の価値を、利用者の支払額が上回ってしまっており、電気自動車の保有割合が増加するほど損を

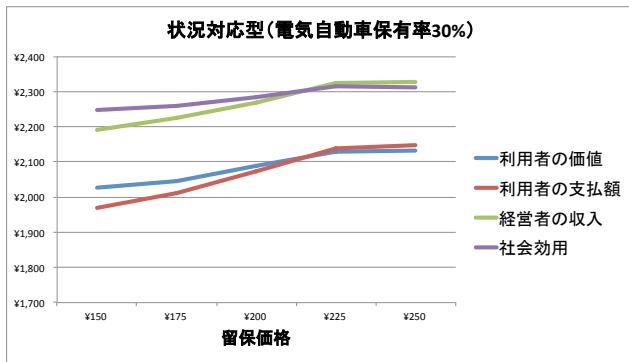


図 7: 状況対応型の結果(電気自動車保有割合30%)

表 2: 状況対応型での損をした利用者数(1回の試行25人*100回)

EV割合 \ 留保価格	150	175	200	225	250
10%	15	18	14	17	24
20%	13	22	35	37	38
30%	24	38	50	61	61
40%	42	48	62	95	90
50%	44	59	80	104	119

表 3: リスク軽視型での損をした利用者数(1回の試行25人*100回)

EV割合 \ 留保価格	150	175	200	225	250
10%	43	44	46	56	50
20%	72	73	80	102	102
30%	119	120	127	144	166
40%	180	176	193	224	245
50%	230	230	243	261	293

する利用者も増加している。期待入札価格よりも高い価格付近での申告額の上乗せを行ったため、上乗せしなくても落札できる可能性が高いにも関わらず、上乗せを行いリスクが増大してしまったからだと考えられる。また、電気自動車の保有割合が増加するほど、放電スペースへの競争が激しくなり、失敗してしまう可能性が増え、損をする利用者が増加したと考えられる。

入札パターンの変化による比較により、利用者の戦略として、リスクを管理しながら、放電スペース落札の可能性を高くすることができることを確認した。しかし、現在のオークション理論では、駐車スペースを落札して、駐車スペースの価値分を支払った場合と 駐車スペースを落札できず、料金を支払うことがなかった場合で得られる効用値は同等となっている。だが、オークション参加者である利用者は全員が、必ず目的地周辺に駐車をする必要があり、落札できなかった場合に再び別の駐車場を探す手間や 駐車場探しの為のうろつきにより消費される時間を考慮すると、落札できなかった場合は負の効用値を得る。今後は、このような参加社の落札できなかった場合の追加コストを事前に加味した予約システムを検討する必要がある。

6. おわりに

本研究では、電気の売買を含めたオークションによる駐車場予約システムを提案し、数値実験によって、電気自動車の保有の割合や留保価格の設定を変化させた場合での比較や、入札パターンを変化させた場合での比較を行った。小規模の駐車場を想定した限られた組み合わせオークションの結果ではあるが、電気自動車との電気のやり取りを行うことで、経営者、利用者双方に利益があるという結果を示した。また、留保価格は期待入札価格よりも若干高めに設定したときが経営者の収入が最大となることを示した。さらに、損をするリスクを減らしながら、放電スペースの落札可能性を高める利用者の現実的な戦略の導入評価を行った。

今後の課題としては、財を獲得できなかった際の追加コストの考慮や複数の駐車場が存在したときの予約システムの仕組みについて明らかにしていきたい。

参考文献

- [Valentin 11] Valentin Robu, Sebastian Stein, Enrico H. Gerding, David C. Parkes, Alex Rogers and Nicholas R. Jennings : An Online Mechanism for Multi-Speed Electric Vehicle Charging, The Second Conference on Auctions, Market Mechanisms and Their Applications (2011)
- [Cramton 06] Cramton, P. Shoham, Y. and Steinberg, R. : Combinatorial Auctions, MIT Press (2006)
- [横尾 06] 横尾真: オークション理論の基礎, 東京電機大学出版局 (2006)
- [小野 04] 小野智弘, 西山智, 堀内浩規: 会議室予約システムのための組合せオークション方式, 情報処理学会論文誌, Vol.45, pp.565-574 (2004)