

オンライン・メカニズムを利用した 駐車場予約システム

金森 亮¹・伊藤孝行²

¹正会員 名古屋工業大学 特任准教授 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)
E-mail: kanamori.ryo@nitech.ac.jp

²非会員 名古屋工業大学 准教授 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)
E-mail: ito.takayuki@nitech.ac.jp

低炭素社会の実現に向けて電気自動車など次世代自動車が増えつつあり、航続距離への不安感解消や蓄電機能を活かすために充放電を行う場所となる 駐車場予約を効率的に運用していく必要性が高まっている。オンライン・メカニズムは動的環境下の問題を効率的に解決する手法の1つとして注目されており、本研究では既存の電気自動車の充電機会割当に適用した既存研究を紹介するとともに、駐車場予約システムへの適用可能性を議論する。

Key Words : parking reservation, simultaneous auction, sequential auction, reservation price

1. はじめに

太陽光や風力などの再生可能エネルギーの導入、走行時の CO₂ 排出量が少ない電気自動車など次世代自動車の普及促進、電力に加えて熱エネルギーも含めたエネルギーの最適化を目指した環境配慮型都市（スマートコミュニティ）が低炭素社会のモデル都市として提案されている。ここでは太陽光発電による不安定な供給量を電気自動車や蓄電池による調整、夜間電力の蓄電による昼間の電力需要の平準化など、スマートグリッドと連携したエネルギーマネジメントシステムの導入が不可欠となる。さらに電気自動車の蓄電池機能を最大限生かして送電網との電力融通を行い、住宅と事業所との異なる電力需要を調整するシステム Vehicle-to-Grid (V2G) も考えられている¹⁾。一方、ICT（情報通信技術）や ITS（高度道路交通システム）の進展により、自動車のナビゲーションシステムの情報精度は向上しており、より正確な位置情報提供や目的地到着時間推計が可能となりつつある。そのため、駐車場の利用予約システムと組み合わせることで、電気自動車の充放電の機会を管理でき、より効率的な地域エネルギーマネジメントが可能となろう。

以上のエネルギー関連の最近の動向を踏まえ、本研究では、駐車場の利用権をオークションにて割り当てる次世代の駐車予約システムの導入評価を行う。想定する駐車予約システムは、ある1つの時間貸しの駐車場が複数の駐車スペースを複数時間帯に提供するサービスに対す

る組合せオークション^{2) 3)}となる。また、前日までに予約を締め切る「一括型（同時型）」、利用開始時間直前に予約を締め切る「逐次型」を基本とし、駐車場管理者の割当戦略に応じた収入の比較を行い、最適な予約システムについて若干の考察を行う。

類似の既往研究としては、電気自動車の充電施設の利用割当てを扱ったものがある^{4) 5)}。これらの研究では動的環境下におけるメカニズムとしてオンライン・メカニズムが適用されている^{6) 7)}。また、駐車場に関連するオークションとして、賛否両論あるようであるが、路上駐車場の利用権を個人間でデポジットをやり取りするサービスも提供されている⁸⁾。

2. 駐車予約システムの概要

本研究で導入評価する駐車予約システムは前述した通り、複数の駐車スペースを複数時間帯提供し、合計販売価格（収入）が最大となるような割当を行うものである。ここで、予約に係る設定について簡単に説明する。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。利用者の決定方法としては理論的に優れている VCG（Vickrey-Clarke-Groves）メカニズムや第二価格秘密入札を拡張した一般化第二価格入札、レベル付き分割セットプロトコル³⁾などが提案されているが、今回は最も単純である入札額をそのまま支払う第一価格秘密入札とし

た。架空名義入札などに配慮したシステムの適用は今後の課題である。

(1) 一括型と逐次型

例えば前日の指定時刻までに駐車利用希望を取りまとめ、サービス提供の全対象時間帯の開始前に全ての割当を決定する予約システムが一括型（同時型）である。一方、各時間帯のサービス提供の開始直前まで入札を受け付け、複数回に渡って割当を決定する予約システムが逐次型である。

(2) 利用者の希望（利用時間帯・駐車箇所の指定と利用時間帯のみの指定）

通常の駐車希望者は自身の活動を行うために必要となる駐車場の利用時間帯のみ予約を行うであろうが、さらに目的地への利便性（アクセス距離の長さ）や、例えば電気自動車による充放電装置の有無などを考慮して駐車箇所も指定する場合も検討する。

(3) 駐車場管理者の割当戦略

駐車場管理者の収入最大化を目的とした場合、逐次型予約システムでは限られた入札状況下で割当を決定する必要があり、事後的により高値の入札がある可能性や、現時点よりも望ましい入札は無い可能性があるなど不確実性を伴う。そのため、管理者の割当戦略として、長時間の利用希望者を優先的に割り当てる戦略、単位時間当たりの留保価格を設定してそれ以下の場合は割当を先送りする戦略をそれぞれ実行し、収入の大小を比較する。

(4) 比較する駐車予約システム

適切な駐車予約システムの検討として駐車場管理者の収入を比較する。本研究で比較対象となる予約システムは次の通りである。

- 1) **一括型_スペース**：利用者が希望時間帯に加えて駐車箇所も指定する一括型オークション
- 2) **一括型_利用時間**：利用者が希望時間帯のみ指定する一括型オークション
- 3) **逐次型_スペース**：利用者が希望時間帯に加えて駐車箇所も指定する逐次型オークション
- 4) **逐次型_利用時間**：利用者が希望時間帯のみ指定する逐次型オークション
- 5) **逐次型 [留保価格]**：利用者は希望時間帯のみ指定し、管理者は単位時間当たりの留保価格よりも高い利用者を割当てる逐次型オークション（ただし、留保価格以下であっても次の時間帯の割当に影響がない（単位時間のみ入札）場合、割当を行った方が収入は大きくなるため、該当時間帯に割当てる）
- 6) **逐次型_束 [留保価格]**：利用者は希望時間帯のみ指定し、管理者は単位時間当たりの留保価格よりも高く、複数時間帯を希望する利用者を優先的に割当

てる逐次型オークション

3. 数値実験

複数の駐車予約システムについて、小規模な駐車場を対象として駐車場管理者の収入を比較し、システムについて考察を行う。

(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。イメージ図は以下の通りである。

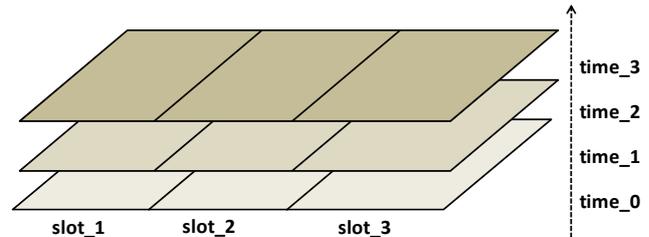


図1 駐車場の設定（3台×3時間帯）

(2) 駐車利用者の設定

駐車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。入札者数はそれぞれの駐車スペースに対して 6 つの希望パターン（時間帯 1 のみ、時間帯 2 のみ、時間帯 3 のみ、時間帯 1~2、時間帯 2~3、時間帯 1~3）を設定し、さらに同一駐車スペースで競合するよう 3 つの希望パターン（時間帯 2 のみ、時間帯 3 のみ、時間帯 2~3）を追加した 21 人とした。本来はそれぞれの希望パターンの入札頻度を確率的に扱い、複数パターンを対象にすることが望ましいが、本研究では初期的分析として、1 つの希望パターンのみを分析対象としている。さらに、駐車予約システムごとに利用者の希望状況が異なると、利用者の希望のバラツキとシステムの違いによる影響を判別することができないため、本研究では、比較対象の予約システムによって利用者の希望状況は変わらないように設定した。つまり、21 人の希望する駐車スペースと利用時間帯に加えて、入札時刻（入札順序）、入札価格を事前に設定し、固定する。ここで、入札価格は 1 つの時間帯当たり 100 円~400 円までの一様乱数にて設定し、1 人 50 ケースを与えている（平均：250 円/時間帯）。

本研究で設定した 21 人の駐車利用希望状況（駐車スペース：slot、時間帯：1~3）と入札順序は図 2 の通りである。例えば、入札者番号 1 は時間帯 1~2 に slot_1 の利用を希望しており、時間帯 0（全サービス開始前）に入札していることを示す。

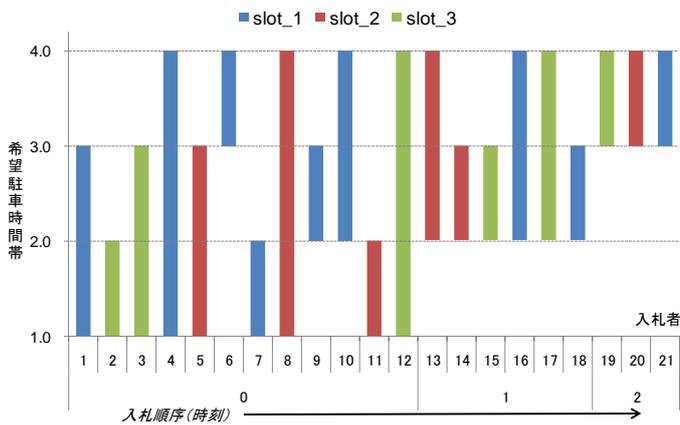


図2 駐車利用希望状況

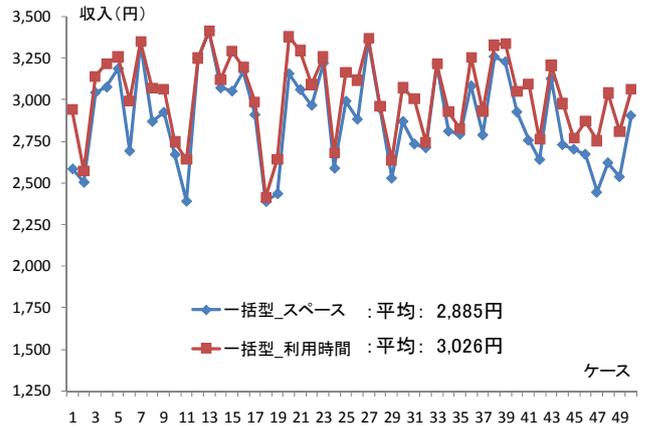


図3 ケース別駐車場収入 (その1)

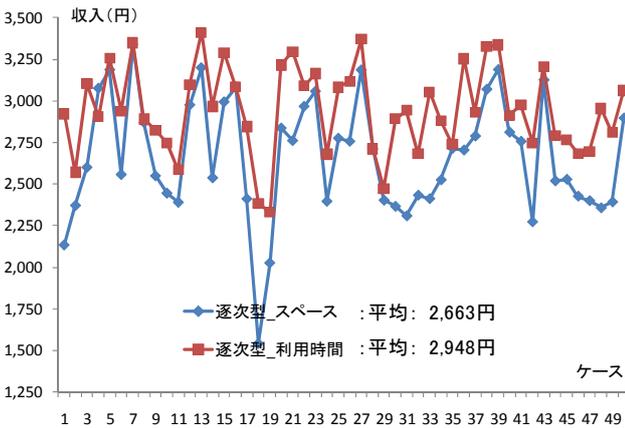


図4 ケース別駐車場収入 (その2)

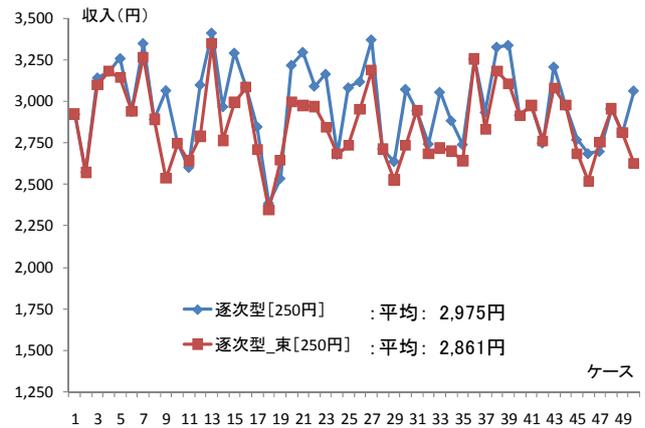


図5 ケース別駐車場収入 (その3)

(3) 駐車予約システムの導入評価

駐車予約システムの導入評価として、駐車場収入の平均値と各ケース別の結果を比較する。

a) 一括型_スペース vs. 一括型_利用時間

一括型オークションにて、利用者の希望をどこまで指定するか（駐車箇所指定の有無）による収入の差異をみると、図3の通り、利用時間帯のみ指定をする一括型_利用時間の方が平均値で141円収入が高くなる。本研究では駐車箇所を指定した場合の競合入札数が相対的に少なくなるため、一般的な傾向とは言えないが、時間貸し駐車場の利用者に駐車箇所まで指定することは負担にもなり、効率性も低いことから駐車予約システムとしては利用時間帯の指定のみで良さそうである。

b) 逐次型_スペース vs. 逐次型_利用時間

逐次型は時間帯1~3のサービス開始前の3回オークションを実施している。一括型と同様、逐次型でも利用時間帯のみを指定の方が収入は285円高くなる(図4)。また、一括型と比べて競合入札が少なくなることから、収入差が大きくなる。

c) 一括型_利用時間 vs. 逐次型_利用時間

利用者の希望を利用駐車時間帯のみとした場合、一括型と逐次型の違いをみると、平均収入は一括型:3,026円、逐次型:2,948円であり、一括型の方が78円高くな

る。また、50ケース中差異がみられたのは32ケースであり、最大313円の収入差があった。今後は、過去の駐車利用需要から入札可能性が算出できれば、期待価格(入札価格×入札確率)による判断も有効といえる。

d) 逐次型 [250円] vs. 逐次型_束 [250円]

本研究での平均入札額は250円/時間帯であり、従来の予約制ではなく早いもの勝ちであれば、2250円(250円×9枠)の収入が得られる。図5より、逐次型オークションによる予約制度を導入すると収入は2,975円と725円増加する。また、駐車場管理者のリスク分散の戦略として利用時間帯が長い入札者に優先的に割当てると収入は2,861円となり、611円増加する。従って、オークションによる駐車予約システムを導入することは管理者にとって効率的であるといえる(ただし、導入費用は無視している)。一方、駐車場管理者が心理的に利用者確保に急ぐとは尤もであろうが、本研究のケースではその様な戦略を行うことで逆に収入減少がもたらされている。

e) 逐次型 [留保価格: 150~400円]

利用時間帯のみを指定した逐次型オークションにて、留保価格の設定額(150~400円)による収入の変化をみる。図6から、本研究のケースでは留保価格が290円の場合に最大値:2,986円となるが、150円~300円の間で

はほとんど変化が無いことが分かる。入札額の平均値は250円であり、留保価格を50円程度高く設定しても逐次型オークションの結果には大きく影響しないといえる。また、留保価格を高く設定し過ぎると、相対的に入札額が高い利用者にも割当てることができないため、収入が減少することを改めて確認できた。

f) 逐次型_束 [留保価格：150～400円]

利用時間帯のみを指定した逐次型オークションに、希望時間帯がより長い入札者に優先的に割当てられる場合、留保価格の設定は結果に影響を及ぼすことが確認できる(図6)。留保価格が300円の時に最大値：2,868円となり、入札額の平均値である250円から300円まで高くすることで収入は92円増加する結果となった。本研究のケースでは、留保価格の設定を適切に決める必要があることが分かった。

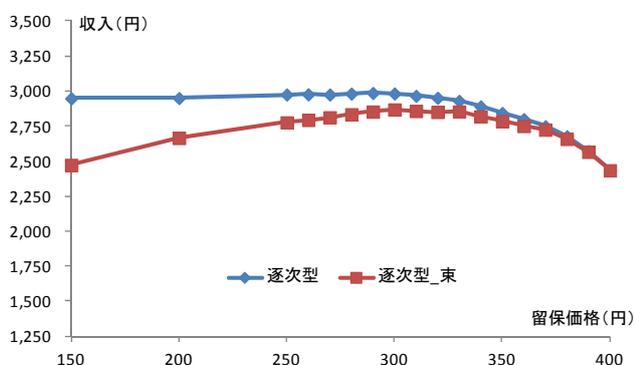


図6 留保価格別駐車場収入 (逐次型 vs.逐次型_束)

4. おわりに

本研究では、オークションを利用した駐車予約システムの導入評価として、一括型と逐次型のオークションの比較、逐次型オークションにおける希望時間帯が長い入札者を優先的に割当てられる戦略や留保価格の設定の影響について分析した。駐車スペース3台の3時間帯の駐車場にて21人の入札者と限定された組合せオークションの

結果ではあるが、1) 入札条件としては利用時間帯のみ指定した方が競合する可能性が高くなり、より収入大となること、2) 一括型と逐次型ではやはり一括型の方が効率的な割当てが可能であるが、収入差は最大で1割程度であること、3) 駐車場管理者としては長時間の利用者確保に急ぐことは不効率であり、留保価格の設定の影響もより大きいこと、を確認した。

今後は、より現実的な設定での導入評価を行うことが必要であり、オンライン・メカニズムの先行検討事例である文献5)の手法の適用を考えている。発表時には文献5)の概説に加えて、数値実験にて駐車場予約システムへの適用時の課題などを整理する予定である。

参考文献

- 1) Green, R.C., Wang, L., Alam, M. : The impact of plug-in hybrid electric vehicles on distribution networks: A review and outlook, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, pp.544-553, 2011.
- 2) Cramton, P., Shoham, Y. and Steinberg, R. : *Combinatorial Auctions*, MIT Press, 2006.
- 3) 横尾真：オークション理論の基礎，東京電機大学出版局，2006.
- 4) Gerding, E.H., Robu, V., Stein, S., Parkes, D.C., Rogers, A. and Jennings, N.R. : Online mechanism design for electric vehicle charging, *Proc. of the Tenth Intl. Joint Conf. on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS2011)*, pp.811-818, 2011.
- 5) Robu, V., Stein, S., Gerding, E., Parkes, D., Rogers, A. and Jennings, N. : An Online Mechanism for Multi-Speed Electric Vehicle Charging, *Second International Conference on Auctions, Market Mechanisms and Their Applications (AMMA'11)*, 2011.
- 6) Nisan, N., Roughgarden, T., Tardos, E., and Vazirani, V. V. : *Algorithmic Game Theory*, Cambridge University Press, 2007.
- 7) 伊藤孝行：計算論的メカニズムデザイン，コンピュータソフトウェア，Vol.25 No.4, pp.20-32, 2008.
- 8) ParkingAuction (<https://parkingauction.com/>)

(2012.5.7 受付)