

# 容量市場オークションを考慮した発電事業者の設備投資戦略

鈴木 幹<sup>a</sup> 後藤 允<sup>b</sup>

<sup>a</sup> 東京理科大学 大学院創域理工学研究科 経営システム工学専攻

<sup>b</sup> 東京理科大学 創域理工学部 経営システム工学科

## Abstract:

### 1. はじめに

本研究では、容量市場オークションを考慮した発電事業者の設備拡大投資戦略について分析する。近年、再生可能エネルギーによる電力供給力の不安定さから、電力の安定供給について懸念されている。そこで、発電事業者は調整力としての発電容量の保有が求められる。こういった発電容量の確保を目的として開設されたのが容量市場である。本研究では、容量市場におけるオークションを考慮した設備拡大投資の最適タイミング、最適入札価格について分析する。関連する研究として、Ito et al. [1] は、容量市場を考慮した発電事業者の設備投資について、電力価格と容量市場価格が不確実性を持つとして最適投資タイミングを分析している。辻村ら [2] は、電力市場と容量市場における価格のジャンプリスクを考慮している。このように、容量市場に関する先行研究はいくつかなされているものの、容量市場におけるオークションによる価格決定を考慮した分析はほとんど行われていない。

### 2. モデル

まず、ある発電事業者  $M$  が存在する。オークションには発電事業者  $M$  を含めて  $n + 1$  人の参加者が参加し、売却する容量(MW)と単位当たりの売却額(円/MW)を決定し、入札する。入札はこの 1 回のみ可能であり、入札を更新することはできない。落札者の決定方法は、入札を低い価格順に並べ、それらの容量があらかじめ設定され、参加者に知らされている需要関数と交わったとき、その交わった入札までが落札となり、その価格が 1MW あたりの約定価格 $p_c$ となる。そして、各落札された容量は、一律で MW 当たり約定価格で売却される。本研究では、簡単のため、各入札者の売却容量をとる。図 2 参加者が 3 人の場合のオークションのイメージである。横軸に容量、縦軸に価格をとり、入札価格の最小値 $\underline{p}$ と最大値 $\bar{p}$ 、需要関数 $Q = a - bp$  (赤線) が設定されている。各入札者の売却容量が等しいため、約定価格 $p_c$ として決まる価格の範囲と落札可能な最大人数の関係が求まる。例えば、図 2 中の  $[p, pb1)$  の範囲で約定価格が決定した場合、最大落札可能人数 $k$ は 3 人になる。この約定価格 $p_c$ と最大落札可能

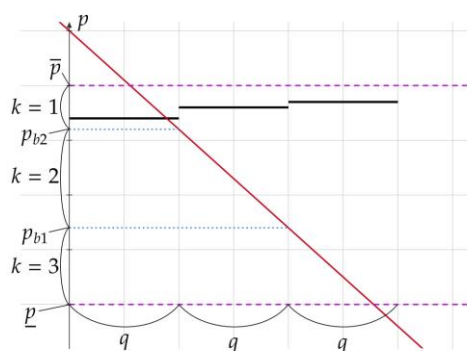


図1 オークションイメージ

人数 $k$ の関係を用いて発電事業者  $M$  の入札について分析する．また，オークションにおいて，他の参加者のコスト構造や，入札価格の決定方法に関する情報は知り得ないものとする．そのため，他の参加者の入札価格を分布関数  $G(p)$  を用いて予測する．ここで  $G(p) = 0, G(p) = 1$  とする．そして，発電事業者  $M$  の入札価格  $p_M$  とそれに対応する落札確率を導出する．発電事業者  $M$  が一部容量市場への売却を前提として，発電容量を  $Q_0$  から  $Q_1$  とする設備拡大投資を計画しているものとする．そして，拡大した後の容量  $Q_1$  の内  $q$  を容量市場で売却することを考えている．現在 ( $t = 0$ ) は，オークション開催直前であり，間もなく入札を行う．落札した権利は，実需給年度までに行使可能とする．権利が失効した場合，あらかじめ設定されている罰則金  $D$  を主催者に支払わなくてはならない．発電事業者  $M$  は，売却しない容量が生み出す電力を電力市場で売却する．電力価格  $X_t$  は平均回帰過程

$$dX_t = \eta(m - X_t)dt + \sigma dX_t dW_t$$

に従うとする．ここで，オークションで容量売却の権利を落札したと仮定する．投資する時点を  $\tau$  として， $\tau$ 以降  $Q_1 - Q_0$  分の容量が増加する．そして，拡大分の容量に比例して投資コスト  $\xi(Q_1 - Q_0)$  がかかる．この容量から発電された電力単位当たり  $X_t$  で売却，燃料やメンテナンスなどの費用  $C$  がかかる．そして，投資をした後，実需給年度，すなわち権利の満期で容量  $q$  を売却する．それ以降の売電による収益とコストを含むキャッシュフローを手放して，対価として容量分の約定価格  $qp_c$  を得る．したがって，プロジェクトの NPV (正味現在価値)  $V$  が求まるが，紙面の都合上省略する．オプション価値は，常に投資するか待つかの選択肢を持つため

$$J(x, t, p_M) = \mathbb{E}_t[e^{-\rho(\tau-t)} \sum_{\text{場合分け}} \int f_{p_c} V(x, \tau, p_M) dp_c]$$

と表せる．また， $V$  はオークションで落札したことを前提としているため，オプション価値は落札確率を含むことになる．落札できるパターンが複数場合があるため，それらを足し合わせた形で表される．電力価値を観察しながら最適な投資タイミング  $\tau^*$  で行うため，戦略価値は

$$F(x, \tau) = \sup_{\tau \in \mathcal{T}} J(x, t, p_M)$$

のように，最適停止問題で表される．ここで， $\mathcal{T}$  は許容される停止時刻全体を表す．これを解くことは，HJB 方程式

$$\max\{\mathcal{L}F, V - F\} = 0$$

を解くことと等しい．この数値解を有限差分法により求める．結果は紙面の都合上省略する．

### 3. おわりに

本研究では，オークションによる価格決定と落札確率を考慮した発電事業者の設備投資戦略について，最適な投資タイミングや入札価格を分析した．本研究は発電事業者および容量市場の制度設計に有用な示唆を与える．

## 参考文献

- [1] Ito, K., Takano, Y., and Takashima, R. Investment Decisions under Capacity Mechanism: Impacts of Capacity Factor and Market Journal of Real Options and Strategy 15: 17–38, 2023.
- [2] 辻村元男・吉岡秀和・高嶋隆太・後藤允．電力市場と容量市場における価格のジャンプリスクを考慮した発電容量への投資価値評価について(ファイナンスの数理解析とその応用)．数理解析研究所講究録 2237, 104–115, 2023.