

1 日前電力市場の市場支配力がリベート型デマンドレスポンスに与える影響

○庫川幸秀*・田中誠**

1. はじめに

本研究では1日前市場の市場構造が、リベート型デマンドレスポンス (DR) による需給調整のコストに与える影響を理論的に分析した。リベート型の DR を扱った理論分析として Chao and DePillis (2013) では市場価格を外生的に与えた場合の消費者行動に焦点を当てた分析を行っているが、供給側の市場構造の影響に焦点を当てた研究は見当たらない。リベート型 DR における節電の限界費用は、節電によって失われるエネルギーサービスの限界便益に相当する。1日前市場でベースラインとなる取引量と市場価格の計画値が決まる状況と考えた場合、リベート型 DR における節電の限界費用は1日前市場価格が低い(高い)ほど、低く(高く)なる。電力の供給不足に対応する主な手段として、火力発電による供給増とリベート型 DR による節電を考えた場合、(1日前市場の寡占による歪みにより)節電コストが過大になれば火力電源への依存度が高まることになる。1日前市場をクールノー寡占市場として定式化して分析した結果、寡占による市場の歪みがリベート型 DR の節電コストの増大を招き、需給調整の局面においても追加的な社会的費用を生じさせる構造が成り立つことが示された。さらに、調整力として(火力)電源を保有する企業が、1日前市場の取引から得られる利潤と需給調整で得られる利潤の合計(統合利潤)を最大にしようとする場合、寡占に起因する歪みがさらに増大することが明らかになった。

2. 分析方法

1日前市場を同質な企業(企業数 m)から成るクールノー寡占市場と考える。市場逆需要関数を $p_e(Q) = a - bQ$ 、限界費用(一定)を c 、外生的に決まる再生可能エネルギー発電量を q_R として、クールノー均衡における市場価格 $p_e^*(m)$ と総供給量 $Q^*(m)$ が得られる。

消費者の節電量を q_n 、節電のベースラインを1日前市場の均衡価格(取引量)とする。節電コスト C_n は電力消費の削減で失われる便益に相当するため、次式のように節電量と企業数の関数として表すことができる。

$$C_n(q_n; m) = \int_{Q^* - q_n}^{Q^*} p_e(q) dq = p_e^*(m)q_n + \frac{b}{2}q_n^2$$

節電のリベートが r (円/kWh)のときの節電量 $q_n(r)$ は、節電により節約できる支出額、得られる報酬額、エネルギーサービスの便益の損失を考慮して次式により決まる。

$$q_n(r) = \arg \max_{q_n \geq 0} \left[\left(\int_0^{Q^*} p_e(q) dq - p_e^* Q^* \right) - C_n(q_n) + (p_e^* + r)q_n \right]$$

* 金沢星稜大学経済学部 E-mail: kurakawa@seiryu-u.ac.jp

** 政策研究大学院大学

1 日前市場の均衡取引量（計画）から ΔQ の供給不足が生じた場合、需給バランスの調整が必要になる。需給調整の局面ではシステム・オペレータが調整に伴う社会的コストが最小になるように節電量 q_n と火力発電量 q_f の最適な配分を決める。

$$\min_{q_f, q_n} C_f(q_f) + C_n(q_n), \quad \text{s.t. } q_f + q_n = \Delta Q,$$

需給調整における火力発電の費用を $C_f(q_f) = cq_f + b_f q_f^2/2$ とする。この問題は端点解となる場合もあるが、ここでは内点解のケースに絞って説明する。節電の限界費用が 1 日前市場の均衡価格 $p_e^*(m)$ に依存するので、トータルの調整コストが最小になるような節電量 $q_n^*(m)$ と火力発電量 $q_f^*(m)$ 、リベート $r^*(m)$ 、火力電力の価格 $p_f^*(m)$ はいずれも企業数 m の関数になる。したがって、最小化された調整コストも m の関数として $TC_A(m) \equiv C_n(p_e^*(m), q_n^*(m)) + C_f(q_f^*(m))$ と表すことができる。

次に、1 日前市場と火力発電による需給調整の両方から利益を得られる事業者が存在する状況を考える。調整局面で火力発電から得られる利益を $\pi_f^A \equiv p_f q_f - C_f(q_f)$ とする。調整局面における火力発電量 q_f^* と価格 p_f^* はどちらも 1 日前市場の価格 $p_e(Q)$ に依存するので、火力発電による利益は Q の関数として $\pi_f^A(Q) \equiv \pi_f^A(p_e(Q))$ と表すことができる。企業 i ($i = 1, \dots, m$) の利潤は 1 日前市場の利潤と火力発電による需給調整から得られる利潤の合計（統合利潤）として $\pi_i = \{p_e(Q)q_i - cq_i\} + w_i \pi_f^A(Q)$ になる。ここでは企業 1 が需給調整にも参加し、それ以外の企業は 1 日前市場だけに参加すると想定して $w_1 = 1$, $w_{i \neq 1} = 0$ とする。各企業の利潤最大化の 1 階条件から均衡条件が以下のように得られる。

$$m(a - c) + bq_R - (m + 1)bQ = -\frac{\partial \pi_f^A(Q)}{\partial q_1}$$

3. 分析結果

主な計算結果を以下に示す。

$$\frac{dq_n^*(m)}{dm} = \frac{-1}{b + b_f} \frac{dp_e^*(m)}{dm} > 0 \quad \frac{dTC_A}{dm} = -\frac{a - c - bq_R}{(m + 1)^2} q_n^*(m) < 0 \quad \frac{\partial \pi_f^A(Q)}{\partial q_1} = \frac{-bb_f}{b + b_f} q_f < 0$$

m が大きい（小さい）程、需給調整のための節電量が増加（減少）して火力発電への依存度が低減（増大）する。また、トータルの調整コストも小さく（大きく）なる。統合利潤を最大化する企業がある場合は、1 日前市場価格が上昇、節電量が減少して、需給調整における火力発電量とトータルの調整コストがいずれも増大する。

4. 結論

本研究ではオーソドックスなマイクロ経済モデルにより、1 日前市場の歪みが需給調整の局面にも波及して追加的な費用を生み出す構造が成り立つことを示した。デマンドレスポンスの利用拡大と火力発電への依存の軽減、需給調整コストの低下を実現させるうえで、電力市場における競争環境の整備が有効な施策であることが示唆される。（※本研究は JSPS 科研費基盤研究(C) (21K01493) の助成を受けている。）