

再生可能エネルギーを考慮した電力市場モデルの解析

48096203 岩上 顕夫

指導教員 鈴木 秀幸 准教授

1 はじめに

1990年代,各先進国は電力の自由化を始め,電力の売買を行う市場が発生した.また,近年,再生可能エネルギーに注目が集まっている.再生可能エネルギーは燃料費がかからず,なくなることがないという長所を持つが,建設費が高く,風力や太陽光エネルギーは出力が変動するという欠点がある.

本研究の目的は再生可能エネルギーを導入した際,電力市場に与える影響を,エージェントベースモデルの数値計算により解析する.

2 電力市場のエージェントベースモデル

本研究における電力市場のエージェントベースモデルには,発電事業者,発電所,電力市場,需要家の4つのエージェントが存在する.発電事業者は発電所を持ち,市場に電力を入札する.発電事業者は機械学習によって入札価格を決め,利益を最大化しようとする.需要家とは電力を消費するエージェントで,本研究では需要は決められた値をとるものとする.

発電所では発電容量 C と発電手法をモデル化する.本研究では石炭,石油,天然ガス,水力,原子力,風力,太陽光の7種類の発電手法を用いる.発電手法によって燃料費 c_f と運転維持費 c_m が異なる.風力発電,太陽光発電は出力が変動し,発電量は自動的に決まる.他の発電では C だけ発電しようとする.電力市場により決まる電力の価格 p と量 q によって利益を

$$R = pq - Cc_m - qc_f \quad (1)$$

と表す.

本研究では電力市場の決済方法として,統一価格オークション,提示価格オークション,Vickrey オークシ

ョンを用いる.各発電事業者からの入札を価格が低い順に並べる.その入札の取引量を累積していき,需要量に達するまで発電量を割り当てる.統一価格オークションでは,需要量に達したときの入札価格が決済価格となる.提示価格オークションでは,入札価格がそのまま決済価格となる.Vickrey オークションでは,事業者自身の入札価格の次に高い入札価格が決済価格となる.

機械学習ではQ学習を用いる.状態 s を需要量,行動 a を入札価格に対応させる.行動価値関数を $Q(s, a)$ とする.状態 s のときに選択できる行動の集合を A_s とすると,行動 a を選ぶ確率 $\pi(s, a)$ は

$$\pi(s, a) = \frac{\exp(Q(s, a)/T)}{\sum_{b \in A_s} \exp(Q(s, b)/T)} \quad (2)$$

となる.ここで T はボルツマン温度である.式(1)における報酬 R を得たとき,行動価値関数の更新を

$$Q(s, a) \leftarrow \alpha Q(s, a) + (1 - \alpha)R \quad (3)$$

とする.ここで α は学習率である.

3 再生可能エネルギーの発電モデル

本研究ではカットイン風速から定格風速までの風速において,発電量は風速に比例するとする.カットイン風速を v_{min} , 定格風速を v_C , カットアウト風速を v_{max} と定める.このとき,風速を v , 定格出力を C とすると,発電量は

$$q(v) = \begin{cases} 0, & v \leq v_{min}, v \geq v_{max} \\ \frac{C}{v_C - v_{min}}(v - v_{min}), & v_{min} \leq v \leq v_C \\ C, & v_C \leq v \leq v_{max} \end{cases} \quad (4)$$

と表せる.

風速はワイブル分布

$$f(x) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k} \quad (5)$$

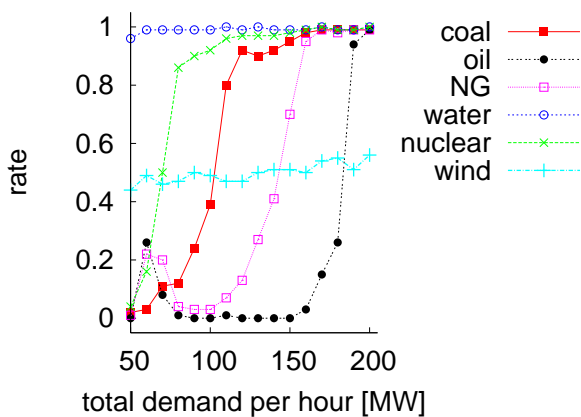


図 1: 石炭 (coal), 石油 (oil), 天然ガス (NG), 水力 (water), 原子力 (nuclear), 風力 (wind) の発電所を持つ発電事業者の落札率．横軸に 1 時間ごとの需要量, 縦軸に割合を表す．

に従うとする．ここで k は形状パラメータ, λ は尺度パラメータである．

太陽光発電の出力は日射量によって決まる．太陽光発電の出力 q は

$$q = C I l \quad (6)$$

と表すことができる．ここで I は日射量, C は発電所の容量, l はハードウェアの特性によってきまる損失効率である．

日射量について, 本研究では 2010 年 4 月, 2008 年 8 月, 2008 年 12 月の日射量データを用いる．あらかじめ何月のデータを使用するかを決め, その月の中からある 1 日をランダムに選び, その日の 1 時間ごとの日射量を用いる．

4 数値シミュレーションの結果

各発電事業者の落札率の値を図 1 に表す．燃料費が低い水力発電所は落札率がほぼ 1 であり, 確実に落札している．原子力発電所, 石炭の火力発電所は需要が大きくなるにつれて落札率が大きくなっている．この 2 つの発電所は需要が大きくなるにつれて落札率が 1 に近づく．石油, 天然ガスの 2 つの発電所は需要が小さい時に小さなピークがあるが, 需要が増えてくると必ず落札できるようになる．風力発電所は需要によらず一定割合の落札をしている．

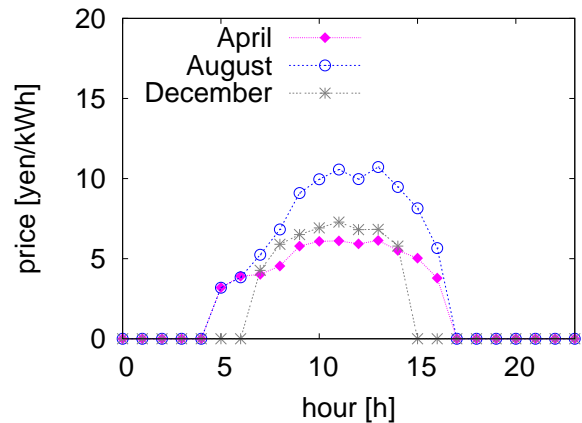


図 2: 4 月 (April), 8 月 (August), 12 月 (December) における太陽光発電所の決済価格．

太陽光発電導入時における, 各月の決済価格の比較を図 2 に表す．図 2 では日射量に応じて決済価格が決まっているといえる．すなわち, 日射量の大きい 8 月に決済価格は大きくなり, 昼の長さが短い 12 月には発電できる期間が短くなっている．しかし, 日射量の小さい 12 月でも昼間では 4 月のときよりも価格が高くなっている．このことから, 決済価格は需要にも関連していることが考えられる．

5 おわりに

本研究では電力市場において, 再生可能エネルギーを考慮した場合について, エージェントベースモデルによる数値計算で解析を行った．その結果, 風力発電は電力市場では安定して需要の大小にかかわらず落札できるものの, 落札率が小さいことがわかった．これは風速が小さくて入札できないことがあるからであり, 風力発電においては発電効率を上げることが重要となる．また, 太陽光発電において, 日射量に応じて決済価格, 入札価格, 決済率が変動する．発電量に応じた戦略を取ったと思われる．

今後の課題として, 蓄電池の導入, スポット市場と先渡し市場の導入, 学習方法の改良などがあげられる．