

一般化加法モデルと勾配ブースティング木による インバランス料金単価の推定

Analyzing and Forecasting Imbalance Unit Price using Generalized Additive Models (GAM) and Gradient Boosting Trees (GBT)

堀井博夫¹ 小畑崇弘¹ 瀬之口潤輔² 倉橋節也¹

Hiroo Horii¹, Takahiro Obata¹, Junsuke Senoguchi² and Setsuya Kurahashi¹

¹筑波大学ビジネス科学研究群

¹University of Tsukuba

²東京工科大学コンピュータサイエンス学部

²Tokyo University of Technology

Abstract: Since the Japanese electricity retail market's liberalization started in 2016, the numbers of power generation companies and retailers joining the market are increasing. Power generation companies and retailers must pay imbalance charges, which depend on the amount of error between planned supply and demand volume and real supply and demand volume. Imbalance unit prices are calculated from spot prices and day-ahead market prices in Japan and volatile because imbalance unit prices are influenced by many parameters like the imbalance between supply and demand, climate changes, etc. Forecasting imbalance unit prices are essential for risk management. Analyzing and forecasting imbalance unit prices using generalized additive models (GAM) and future work to improve the price forecasting estimation are shown in this study.

1 研究の背景と目的

2016年の電力小売りの全面自由化以降、電力取引市場に参画する発電事業者や小売り事業者が増加している。電力システムの安定的な運用を目的として、電力需要量と供給量を一致させるために、30分計画値の同時同量制度が導入されているが、発電事業者や小売り事業者は、それぞれ30分単位の発電計画および需要計画と実供給量および実需要量が一致しなかった場合には、図1に示すように、送電事業者との間で、需要と供給の誤差量にインバランス料金単価を乗じたインバランス料金支払いや受取りが発生する。

現在の日本におけるインバランス料金単価は、

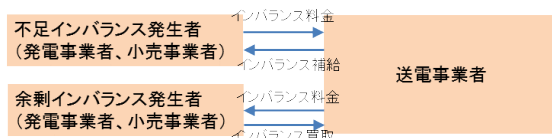


図1 インバランス料金の支払いと受取り

2021年度の需給調整市場の開設までの過渡的措置として、スポット市場価格と時間前市場価格の30分毎の加重平均値に需給一致を促すインセンティブ定数を加味し算出されている[1]。スポット市場、時間前市場及び需給調整市場の関係を図2に示す。

インバランス精算単価は、系統全体の需給状況等に応じて変動するため予測が困難であるが、インバランス料金単価の推定は、発電事業者や小売り事業者の事業運営上のリスク管理や、将来開設が予定されている需給調整市場における取引を行っていく上で有用であると考えられる。そこで、本稿では、線形モデルや一般化加法モデル(GAM)を活用したインバランス料金単価の推定手法について検討し、今後の検討課題を示す。

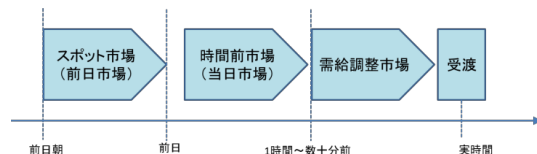


図2 日本の電力取引市場の構造[2]

2 関連研究

日本卸電力取引所 (JEPX) で取引されている時間帯ごとのスポット価格データに GAM を当てはめ、スポット価格の周期性と曜日・休日特性を抽出後、GAM の残差の多変量系列に対して VAR モデルを適用し、条件付き期待値を用いた将来価格予測について分析がなされている [3].

日本の電力取引市場を対象とした既存研究ではスポット価格データの予測が主であるが、インバランス料金単価の予測は数が多くない。

欧州では、balancing市場における電力価格について、機械学習の手法を用いた予測がされている [4].

3 分析手法と結果

本稿では研究の端緒として、インバランス料金単価の推定を、線形モデルおよび GAM により行う。推定にあたり、インバランス料金単価は東京電力パワーグリッド株式会社より公開されている 2016 年 4 月～2020 年 12 月の確報値を使用した。

インバランス料金単価および JEPX より公開されているシステムプライスは、それぞれ図 3 および図 4 に示される。まず同日同時刻におけるインバランス料金単価とシステムプライスとの関係を見るため、目的変数をインバランス料金単価、説明変数をスポット市場価格とする単回帰を行った (式(1))。その結果、決定係数は 0.69 と高い数値を示し、同日同時刻のデータについては、インバランス料金単価はシステムプライスにより説明される部分が多い事が示された。

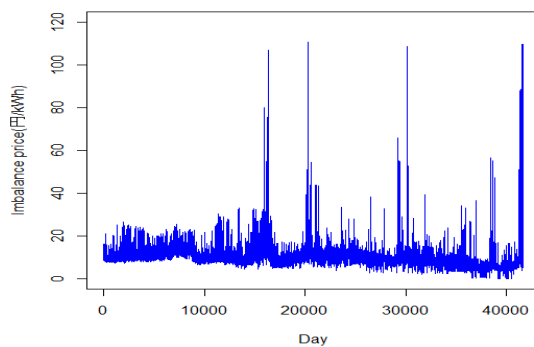


図 3 インバランス料金単価
(2016 年 4 月～2020 年 12 月)

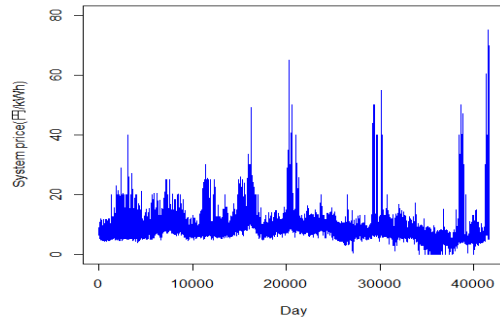


図 4 システムプライス
(2016 年 4 月～2020 年 12 月)

$$P_{t_imbalance} = \beta_{hp} P_{t_system} + c_p + \varepsilon_{p,t} \quad (1)$$

$P_{t_imbalance}$: インバランス料金単価 (毎時)

P_{t_system} : システムプライス (毎時)

ただし、 β_{hp} は回帰係数、 c_p は定数項、 $\varepsilon_{p,t}$ は残差項である。

系統全体の需給状況に応じてインバランス料金単価は変動すると推定されるが、需給のインバランスが発生しやすいのは、電力の負荷が比較的小さく、かつ変動の小さい夜間の時間帯よりは、電力の負荷変動が大きい昼間の時間帯であると考えられる。インバランス精算単価の夜間および昼間の時間帯別の具体例を図 5、図 6 に示す。実際に、図 7 に示す時間帯別のインバランス料金の標準偏差を見ると、昼間の方が夜間よりインバランス料金の変動が比較的大きくなっている事が観察される。

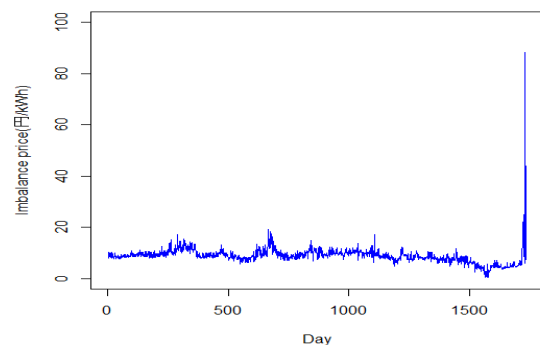


図 5 インバランス料金単価
(2016 年 4 月～2020 年 12 月の毎日 0 時)

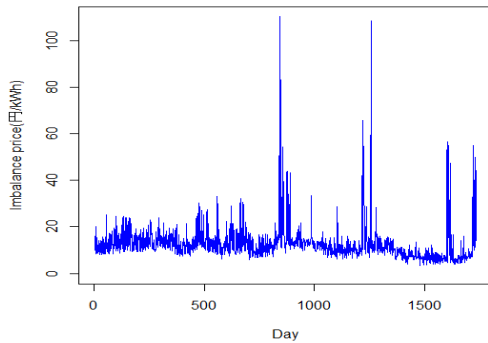


図6 インバランス料金単価
 (2016年4月～2020年12月の毎日16時)

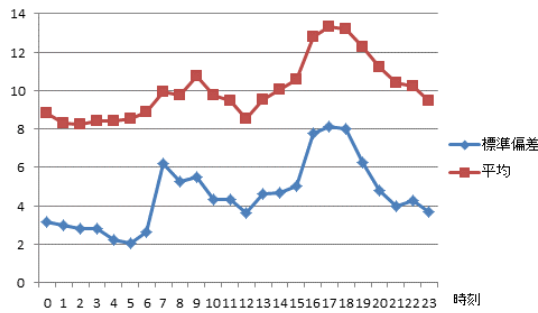


図7 インバランス料金単価の平均値と標準誤差

このように、インバランス料金単価は時間帯別でその変動幅が大きく異なる事が観測される。そのため、時間帯別にインバランス価格の推定モデルを構築する事が必要であると考えられる。

次に、インバランス料金単価を推定するためのモデルを式(2)および式(3)に示す。インバランス料金単価を目的変数とし、説明変数として、インバランス料金単価と同日同時刻のシステムプライス、買入札総量、売り入札総量および、気象庁が公開している24時間前の気温を用い、(1)式の線形モデルの分析モデルと(2)式のGAMの分析モデルを構築し、比較を行った。

$$P_{t_imbalance} = \beta_{hp}\bar{V}_{B,t} + \beta_{kp}\bar{V}_{S,t} + \beta_{up}T_{t-24} + \beta_{vp}P_{t_system} + c_p + \varepsilon_{p,t} \quad (2)$$

$$P_{t_imbalance} = h_p(\bar{V}_{B,t}) + k_p(\bar{V}_{S,t}) + u_p(T_{t-24}) + v_p(P_{t_system}) + \varepsilon_{p,t} \quad (3)$$

$\bar{V}_{B,t}$: 買入札総量

$\bar{V}_{S,t}$: 売り入札総量

T_t : 時間帯ごとの東京における気温

ただし、 h_p, k_p, u_p, v_p は平滑化スプライン関数、

$\beta_{hp}, \beta_{kp}, \beta_{up}, \beta_{vp}$ は回帰係数である。

式(2)および式(3)に従って推定した結果の決定係数を図8に示す。すべての時間帯について、非線形な平滑化スプライン関数を用いることにより、線形回帰の推定結果より推定精度が改善されている。また、時間帯別には、夜間の方が比較的変動が小さい事もあり、昼間に比べて推定精度が高くなる傾向が見られた。

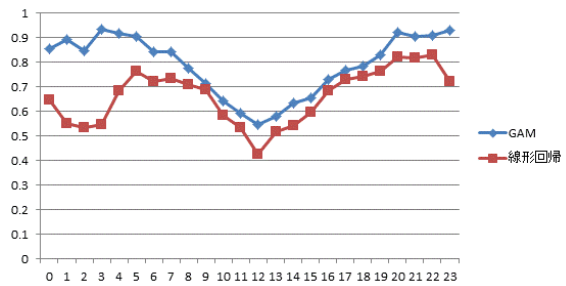


図8 推定結果の決定係数(線形回帰とGAM)

4 今後の検討課題

線形モデルおよびGAMを用いてインバランス料金単価の推定を行ったが、本稿で使用した説明変数やモデルでは説明しきれない残差項が存在する。インバランス料金単価に影響を及ぼす項目は様々な変数があると想定されるが、今後は、インバランス料金単価の推定に有用と想定される予備率やLNG価格等の各種説明変数を追加し、また、株価の予測等に有効と考えられるXGBoost等の勾配ブースティング木の各種のモデルを用いる事で[5]、本稿のモデルで算出されたインバランス料金単価の推定結果の残差項目の推定を行い、インバランス料金単価の推定精度の向上を図る。

5 参考文献

- [1] 長山:再生可能エネルギー主力電源化と電力システム改革の政治経済学 (2020)
- [2] 安田:世界の再生可能エネルギーと電力システム [電力市場編] (2020)
- [3] 山田, 牧本, 高嶋: 一般化加法モデルを用いた JEPX 時間帯価格予測と入札量-価格関数の推定, ジャフイージャーナル: 金融工学と市場計量分析, Vol.14, pp. 8-39, (2015)

- [4] Alexandre Lucas, Konstantinos Pegios, Evangelos Kotsakis and Dan Clarke: Price Forecasting for the Balancing Energy Market Using Machine-Learning Regression, *Energies* 2020, Vol. 13, pp. 5420, (2020)
- [5] 瀬之口潤輔, 小畑崇弘, 酒本隆太, 倉橋節也: 多重解像度解析を用いた株式市場の将来予想と構造解明, *現代ファイナンス*, No.42, pp.71-89