

デマンドレスポンスのための JEPX スポット 価格予測における収益性に基づく評価指標

蔡 思楠, 前 匡鴻, 松橋 隆治 (東京大学)

Profit-oriented Criterion of JEPX Spot Price Forecast for Demand-side Responses
Sinan Cai, Masahiro Mae, Ryuji Matsushashi (The University of Tokyo)

1. はじめに

現在, 日本卸電力取引所 (JEPX) のスポット市場のような競争市場環境では, 発電側と需要側の双方が取引プールに対して電力の売買入札を提出することができ, 市場運営者によって市場がクリアされる際にスポット価格が決定される。

JEPX 価格の予測は, 入札戦略の最適化や運用スケジューリングなど, 市場参加者のビジネス戦略プロセスにおいて不可欠である。予測結果の評価には, 従来, 平均二乗誤差 (MSE) や決定係数などの誤差値に基づく指標が使用されている。しかし, MSE や決定係数の値が良好である予測結果が, 必ずしもデマンドレスポンス (DR) にとって経済的に有利であるとは限らない。本稿では, 複数地域の JEPX スポット価格予測の評価に収益性に基づく評価指標を用いることで, 複数の予測結果の中で DR の経済性が最も向上する予測手法を特定することを目的とする。

2. 収益性に基づく評価指標

従来の誤差値に基づく指標は非常に直感的でわかりやすい。優れた予測結果は実際の値にできるだけ近いことが期待されるため, これは市場価格の予測にも当てはまる。市場参加者は, 各時間ステップの価格を逐次把握することで, より良い入札戦略を採用しようとする動機を持っている。例えば, 発電事業者や電力小売事業者は, 電力卸売市場価格の予測に基づいて, 翌日の発電計画や電力の購入・販売計画を立てる。この計画は 1 日全体をカバーするため, 各時間ステップにおける精度の高い予測が求められる。

しかし, DR の場合は状況が異なる。主に 2 つの理由がある。第一に, DR は長時間にわたって市場に参加する可能性が低い。典型的な DR は, 給湯ヒートポンプや電気自動車, エアコンなどの家庭用機器である。これらの機器は独自の目的を持っており, 常にシステムの需要に応じることができるわけではない。系統用蓄電池システムでさえ, 充放電の時間は数時間しか続かない。第二に, DR の容量は市場内の他のリソースと比較して非常に小さい。たとえアグリゲートされたとしても, 大規模な発電や需要側リソースのように市場価格に直接影響を与えることはほとんどなく, 多

くの場合, 市場ではプライステイカーとして行動することになる。

収益性の観点から見ると, DR にとって最も重要なのは市場価格の山と谷のタイミングである。なぜなら, これらのタイミングに DR を行うことで最も収益を得ることができるからである。したがって, DR はこれらの瞬間を活用するように運用スケジュールを組むべきである。このように, 価格のピークと谷のタイミングを正確に特定することが, 予測評価において重要な要素となる。この点を解決するために, 著者らは JEPX スポット価格予測の性能を評価するために, 極値タイミング精度 (Extreme Timing Accuracy, ETA) を使用することを提案した⁽¹⁾。

$$ETA = \frac{\sum_{i \in Lmax^Y} T(i) - \sum_{i \in Lmin^Y} T(i)}{\sum_{i \in Lmax^T} T(i) - \sum_{i \in Lmin^T} T(i)} \quad (1)$$

$Lmax$ と $Lmin$ はそれぞれ極大値と極小値のインデックスであり, Y と T はそれぞれ予測結果と実際の価格を時系列で表したものである。決定係数と同様に, ETA は 0 から 1 の範囲で規格化された値であり, 1 は最高の収益性を示し, 0 は収益性がないことを示す。なお, 評価には式(1)の分子部分のみを使用することもできる。分母部分は ETA を規格化された値にスケールングするために用いられている。

ETA の適用例を下記の通りに示す。図 1 は 2 つの予測結果を比較している。一見すると, 予測 2 は決定係数が 0.87 であり, 予測 1 の 0.19 に比べて優れているように見える。しかし, 予測 2 は極大値と極小値のタイミングが大きくズレた予測結果になっている。市場価格が安い時間帯に市場から買電し, 高い時間帯に売電する蓄電池システムにおいて, このズレにより収益はわずか 0.62 にとどまる。一方, 予測 1 は価格の極大値と極小値のタイミングを正確に特定し, 最大限の収益を得られる。予測 1 と予測 2 の ETA 値はそれぞれ 1 と 0.3 であり, 収益結果と一致している。DR 収益計算と ETA 計算の詳細を表 1 と表 2 にそれぞれ示す。

3. シミュレーション

<3.1>DR モデル 本稿のシミュレーションの対象となる DR は, JEPX スポット市場から充電電力を購入し, 放電によって市場に売電することで利益を得る需要側の蓄電池システムである。この DR の毎日運用スケジュールは, 式

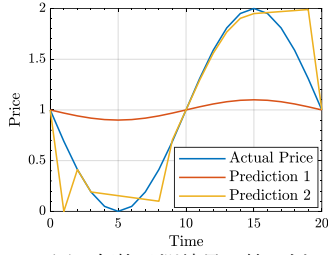


図1 価格予測結果比較の例
Fig.1. Example of price forecast result comparison

表1 DR 収益計算の例
Table 1. Example of DR profit calculation

	Charge Time	Discharge Time	Profit	R ²
Actual	5	15	2	1
Prediction 1	5	15	2	0.19
Prediction 2	1	19	0.62	0.87

表2 ETA 計算の例
Table 2. Example of ETA calculation

	Lmax	T(i)	Lmin	T(i)	ETA
Prediction 1	15	2	5	0	1
Prediction 2	2	0.4	1	0.7	0.3
	19	1.3	8	0.4	

表3 JEPX スポット価格予測結果
Table 3. JEPX spot price forecast result

		Yesterday	SARIMA	LSTM
Kyushu	R ²	0.4668	0.5900	0.6246
	ETA	0.6050	0.7123	0.6541
Tohoku	R ²	0.3209	0.4744	0.4964
	ETA	0.5303	0.6201	0.5300
Tokyo	R ²	0.4119	0.4772	0.5700
	ETA	0.5648	0.6034	0.5323

(2) で示す最適化問題として定式化される。

$$\text{maximize} \quad P_{\max} \sum_{t=1}^{48} Y(t) \text{State}(t) \quad (2a)$$

$$\text{subject to} \quad SOC(t) = SOC_{\text{initial}} - P_{\max} \Delta t \sum_{t=1}^{48} \text{State}(t) \quad (2b)$$

$$0 \leq SOC(t) \leq 1 \quad (2c)$$

$$-\sum_t \text{State}(t) \leq k \quad \text{if } \text{State}(t) < 0 \quad (2d)$$

DR は目的関数 (2a) と与えられた予測結果Yを用いて、1日あたりの利益を最大化することを目指す。P_{max}はDRの最大出力を表し、State(t) ∈ [-1,1]は最適化対象となる充放電スケジュールを示す。充電状態SOCは制約 (2b) で計算され、制約 (2c) によって制限される。蓄電池の劣化を防ぐため、毎日充電サイクルの回数は制約 (2d) で制限されており、kは1日あたりの許容される最大充電サイクル数である。Δtは市場の時間ステップの長さを表している。

<3・2>シミュレーション結果 2023年4月から2024年3月までの期間において、3つの手法で九州、東北、東京のJEPX スポット価格を予測した。予測結果は図2および表3に示されている。DRの容量は10MWhであり、最大出力は充電時間に応じて変化する。DRの収益は図3に示されている。

予測結果によると、LSTMの予測値は決定係数が最も高く、従来の評価指標では3つの手法の中で最も良いと判断される。しかし、LSTMの予測値におけるETAはSARIMA

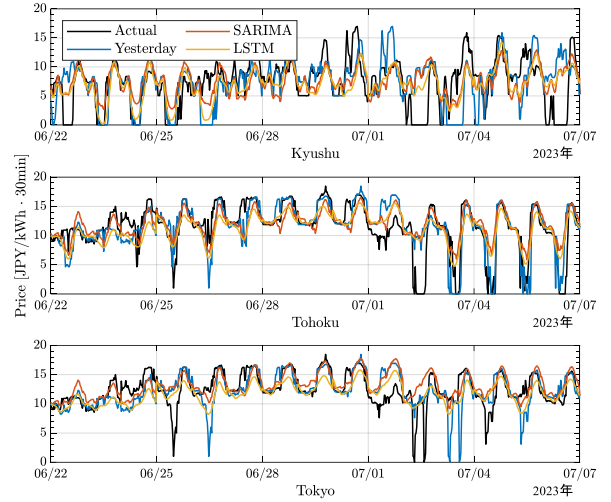


図2 JEPX スポット価格予測結果
Fig.2. JEPX spot price forecast result

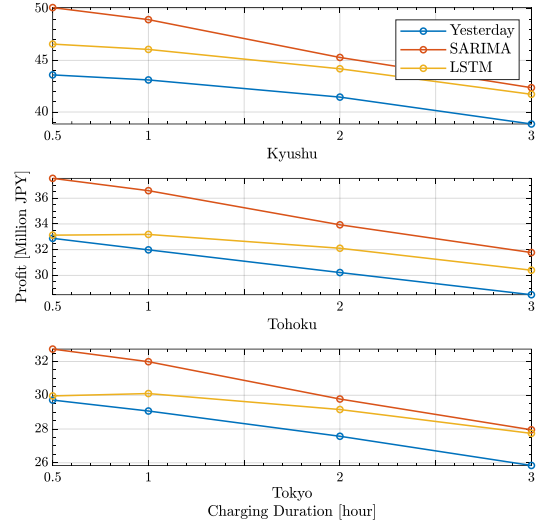


図3 DRの収益
Fig.3. DR's profit

の予測値を下回っている。実際の収益の検証により、SARIMAを用いた予測が確かにDRにとって最も収益性の高い予測であることが確認できる。

4. まとめ

本稿では、JEPX スポット価格予測に対する評価指標を検討した。従来の評価指標より、ETAのような収益性を考慮した指標が、DRの視点から予測結果を評価する上で重要であることが示された。

本研究は社会連携研究部門「電力システムイノベーションの実現」(富士電機・東京大学エネルギー総合学連携機構)において実施した。

文 献

- (1) Cai, Sinan, Masahiro Mae, and Ryuji Matsuhashi. "A Novel Criterion of Electricity Price Forecast for Demand-Side Responses Participating in the Electricity Market." 2024 20th International Conference on the European Energy Market (EEM). IEEE, 2024.