

収益性評価指標を用いたアンサンブル学習によるスポット市場価格予測と収益性評価

増田 達矢*, 石橋 直人, 飯坂 達也(富士電機)
蔡 思楠, 前 匡鴻, 松橋 隆治 (東京大学)

Day-ahead Market Price Forecasting and Profitability Evaluation Using Ensemble Learning with Profitability Evaluation Metrics
Tatsuya Masuda, Naoto Ishibashi, Tatsuya Iizaka (Fuji Electric Co., Ltd.)
Sinan Cai, Masahiro Mae, Ryuji Matsuhashi (The University of Tokyo)

1. はじめに

近年、電力市場を活用した系統用蓄電池による市場取引のビジネスモデルが注目されている。このビジネスモデルは、電力価格の時間帯ごとの変動を利用した裁定取引により収益を得るものであり、再生可能エネルギーの普及や電力需給の変動に伴い、その重要性は一層高まっている。このような市場取引を実現するためには、将来の電力価格を予測し、その結果に基づいて最適な充放電計画を立案することが不可欠である。これまで、複数の予測モデルの予測結果を予測精度指標に基づいて統合するアンサンブル学習の検討を行ってきた⁽¹⁾。裁定取引では、電力価格の極値(局所的な最大値や最小値)が重要であるが、従来の予測精度指標では、電力価格の極値の予測精度を評価することが難しい。

本研究では、日本卸電力取引所(JEPX)のスポット市場を対象に、電力価格の極値の予測精度を評価することが可能な極値タイミング精度⁽²⁾(Extremum Timing Accuracy, ETA)を適用したアンサンブル学習による収益性向上の可能性を検証する。

2. アンサンブル学習

電力市場価格は、年度や季節によって傾向が変化するため、市場の複雑な変動を単一のモデルで予測することは難しい。そのため、複数の予測モデルを統合するアンサンブル学習が有効である。本研究では、複数の予測結果の傾向に依存しないアンサンブル手法である近傍加重平均を採用する。

近傍加重平均は、複数のモデルの予測性能を動的に評価し、重み付けを行うことで、予測性能の低いモデルの影響を抑え、予測性能が高いモデルを重視する。これにより、モデル間の多様性を活かしつつ、予測精度を向上させる効果が期待できる。具体的には、図1に示すように各モデルの直近の予測値と実績値を比較し、その予測性能を算出した上で、最も性能が高いモデル(最良予測モデル)と、その性能に近いモデル(近傍予測モデル)を選択する。その後、両者の予測性能に基づいて重みを決定し、加重平均によって統合予測を行う手法である。これまで、予測モデルの重み付け

は、平均絶対誤差(MAE)などの予測モデルを評価するような予測精度指標を基準としてきた。このような予測精度指標は、どれだけ実績に対して正確に予測ができているかを評価する指標であり、電力市場の裁定取引において重要な電力価格の極値の予測精度を評価するには不十分である。そこで本研究では、近傍加重平均の重み付けに予測値が実績値の極値タイミングをどの程度正しく捉えているかの評価が可能なETAの適用を提案する。

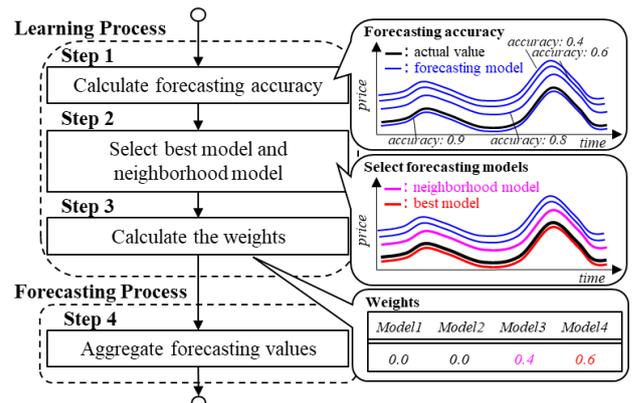


図1 近傍加重平均によるアンサンブル学習
Fig. 1. Neighborhood Weighted Average Ensemble Method

ETAは、実績値と予測値における極値タイミングの差分比率を算出する指標であり、極大値と極小値の発生時刻を定量的に評価するため、裁定取引の収益性に直結する予測精度を適切に評価可能となる。式(2)の L_{max} および L_{min} はそれぞれ極大値と極小値のインデックスを表す。 \bar{T} と \bar{Y} はそれぞれ実際の価格と予測結果に対して移動平均を適用した値である。この移動平均は充放電時間に対応しており、例えば充放電時間が1時間(30分×2コマ)の場合、ウィンドウ数は2となる。これにより、充放電時間が長い場合には微細な変動を除去するフィルタとして機能する⁽³⁾。ETAは値が1であれば収益性が最良であることを示す。

$$ETA = \frac{\sum_{i \in L_{max}} \bar{Y}(t) - \sum_{i \in L_{min}} \bar{Y}(t)}{\sum_{i \in L_{max}} \bar{T}(t) - \sum_{i \in L_{min}} \bar{T}(t)} \quad (2)$$

3. シミュレーション

<3・1>シミュレーション条件 本稿では、JEPX スポット市場の九州エリアプライスをシミュレーション対象とする。対象期間は2023年4月1日～2024年3月31日の1年間とし、提案法であるETAを基準としたアンサンブル学習と、従来法であるMAEを基準としたアンサンブル学習を適用した結果を比較する。なお、得られた予測結果を基に、蓄電池の運用条件を考慮した最適化モデル⁽⁴⁾による電力取引計画を立案し、収益を試算することで評価する。収益の試算は、予測値に基づいて立案した取引計画を実際の市場価格に適用した場合に得られる収益を算出する。具体的なシミュレーション条件は表1に示す。

表1 シミュレーション条件
Table.1 Simulation Conditions

Items	Conditions
Ensemble	
Method	Neighborhood Weighted Avg.
Weighting	MAE or ETA
Coefficient	0.3
Input Models	JIT, PLS, SVR
Training Data	Latest 7 days
Forecast Period	Next day (48 points, 30min intervals)
Battery (Optimization)	
Output	10MW
Capacity	10MWh, 42MWh, 75MWh
SOC range	10~90%
Efficiency	81%(Charging:90%, Discharging:90%)
SOC Initial/Final	Initial 10% / Final 10%

<3・2>シミュレーション結果 表2にシミュレーション結果を示す。蓄電池容量が10MWhでは、ETAを基準としたアンサンブルはMAEを基準としたアンサンブルをよりも収益が良い結果であった。一方で、蓄電池容量42MWh, 75MWhでは、どちらのアンサンブル学習でも同様の収益になることが示された。図2には、蓄電池容量10MWhにおけるシミュレーション結果の一例を示す。MAEを基準としたアンサンブル学習では、実績値の極小値の7時30分時点ではなく、少しずれた6時30分に極小値を予測しているため、安くない時刻で買電していた。一方で、ETAを基準としたアンサンブル学習では、7時30分に極小値を予測しているために、安い時刻で買電することができ、収益につながる取引ができたとみられる。ETAは極値のタイミングを重視する特性を持つため、10MWhのように充放電時間が短いケースでは、充放電の最適なタイミングを捉えることで収益が向上する一方で、42MWhや75MWhのような充放電時間が長いケースでは、1日の極値を捉えても短期間の充放電はできないために、収益差がみられなかったと考えられる。

以上の結果から、提案法であるETAを基準としたアンサンブル学習は今回の蓄電池容量10MWhのように充放電時間が短いケースでは収益性向上に有効な手法であることが明らかとなった。

表2 シミュレーション結果
Table.2 Simulation Results

Method	Profit (million JPY/ year)		
	10MWh	42MWh	75MWh
Ensemble(MAE)	28.4	103.2	152.5
Ensemble(ETA)	28.5	103.2	152.5

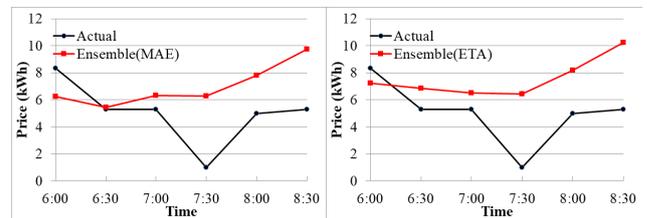


図2 シミュレーション結果の抜粋 (蓄電池容量10MWh)
Fig. 2. Excerpt of Simulation Results (Capacity:10MWh)

4. まとめ

本稿では、JEPXのスポット市場を対象として、近傍加重平均によるアンサンブル学習における重み算出方法を検討した。シミュレーションの結果、蓄電池出力10MWhのとき、蓄電池容量10MWh等の充放電時間が短い場合に、ETAを基準としたアンサンブル学習が収益性の面で有効であることを確認した。これにより、ETAを適用したアンサンブル学習が、系統用蓄電池を活用した市場取引における収益性向上に資する可能性を示した。今後は、アンサンブル学習のさらなる改良と、他市場への適用検討を進めていく。

本研究は、国立大学法人東京大学 エネルギー総合学連携研究機構と共同で開設した社会連携研究部門「電力システムイノベーションの実現」による成果である。

文献

- (1)石橋直人・増田達矢・池川聖悟・飯坂達也：令和7年電気学会全国大会，No.6-098，2025
- (2)蔡思楠・前匡鴻・松橋隆治：令和7年電気学会全国大会，No.6-099，2025
- (3)S. Cai, M. Mae, R. Matsuhashi, T. Masuda, N. Ishibashi, and S. Ikekawa：2025 21th International Conference on the European Energy Market (EEM). IEEE, 2025
- (4)林巨己・新井馨・石橋直人・岡林弘樹・飯坂達也：令和7年電気学会全国大会，No.6-182，2025