

# 電力小売事業者の調達計画作成支援システムの開発

47-176697 宇野 健介  
指導教員 稗方 和夫 准教授

An information system to support electricity trading process by electric power retailers was developed. In more detail, the system forecasts future electric demand and price, and evaluates a user's procurement plan on the basis of the forecast. By repeating the loop of the user's input and the system's evaluation, the system supports the user's decision making to make the procurement plan. As for the evaluation index, the system provides average and deviation of the procurement cost. In case study, the basic function to forecast future's electric demand and price is validated, and simple demonstration shows how the system works to support the user's decision making.

Key words: Electricity Trading, Decision Support System, Machine Learning

## 1 緒言

電力小売全面自由化が行われ、発電・送電設備を持つ電気会社だけでなく、一般の企業も電力取引が可能となり、電力小売事業者の小売電力市場でのシェアは増え続けている。電力小売全面自由化と同時に計画値同時同量制度が導入された。電力小売事業者の業務サポートとして、電力需要予測や電力市場価格予測など、様々な情報システムの導入が検討されており、個々の情報システムの性能改善の研究が進められている。一方で、個々の情報システムの電力取引の支援への貢献度合いを考慮して、支援システムを開発することが重要である。

本研究では、電力小売事業者の電力取引を支援するシステムの開発を行った。具体的には、調達が必要な電力量と電力取引価格の予測を行い、ユーザーが入力する調達計画案を、1kWh当たりの電力調達コストの平均および変動幅で評価することで、電力調達計画作成を支援するシステムを開発する。ケーススタディでは、開発システムの基本的な機能の検証を行った後に、そのシステムが電力小売事業者の意思決定支援に有効であることを示す。

## 2 提案する支援システム

### 2.1 対象とする業務プロセス

電力取引全体のアクティビティ図を Fig. 1 に示す。

Fig. 1 に示す通り、電力調達計画の作成には、実需要の数ヶ月前のもの、実需要直前のものの 2 種類が存在する。実需要の数ヶ月前の電力調達計画を作成する段階では、月別電力需要予測の精度が低いため、調達量不足にならないように、一定量の電力を調達するための電力調達計画を作成する。この段階では、調達コストの安定化等は考慮されない。一方、実需要直前の電力調達計画作成では、電力需要の予測精度が高まるため、スポット価格の予測と合わせることで、安い取引先から安定的に電力を調達することが可能になり、調達コストの安定化に繋がる。以上より、本研究では、電力取引プロセスのうち、実需要直前の電力調達計画作成に着目し、支援することを考える。

### 2.2 提案システム概要

提案する支援システムを Fig. 2 に示す。提案システムは、JEPX スポット市場価格の予測システム、電力需要量の予測システム、電力調達計画作成支援システムの 3 つから構成される。スポット価格の予測システムでは、過去のスポット価格、過去の気象データ、および燃料価格をもとに、スポット価格の予測モデルを作成する。

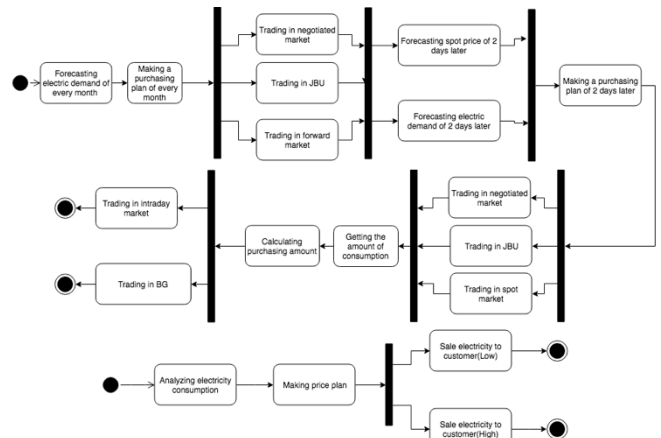


Fig. 1 Activity diagram of electricity trading

作成した予測モデルに、予測対象日の気象予報データと燃料価格データを入力すると、スポット価格の予測値が出力される。また、電力需要の予測システムでは、過去の電力需要量および過去の気象データをもとに電力需要量の予測モデルを作成する。作成した予測モデルに、予測対象日の気象予報データを入力すると、対象日の電力需要量の予測値が出力される。

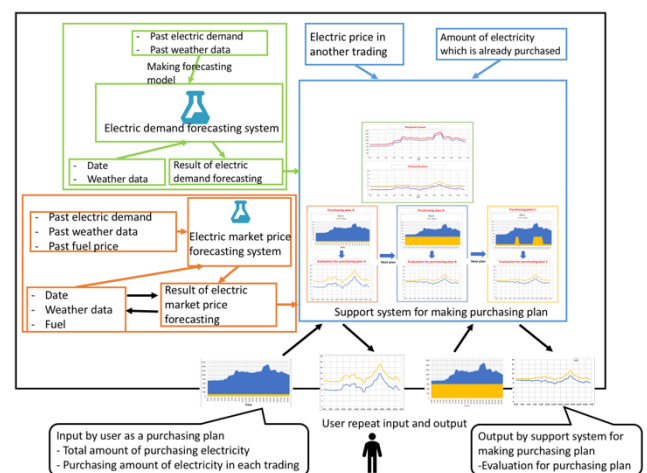


Fig. 2 Overview of proposed support system

電力調達計画作成支援システムでは、電力需要予測値、スポット価格予測値から、調達に必要な電力量と各取引での電力価格を視覚化する。ユーザーは、視覚化された情報をもとに、調達計画量と、各取引での調達割合を調達計画

案としてシステムに入力する。システムでは、入力された調達計画案に対して、1kWhあたりの調達コスト、調達コストの平均、調達コストの変動幅を設計案に対する評価として出力する。出力結果をもとに、ユーザーは再度入力値を決め、その出力を確認する。この作業を繰り返すことで、ユーザーは最終的な調達計画を決定する。

## 2.3 電力需要・電力市場価格の予測

### 2.3.1 使用するデータ

電力需要量と気温、湿度、天候などの気象情報の間には強い相関がある<sup>1)</sup>ことから、気象情報は電力需要量を予測する際に頻繁に用いられる。そこで、気象情報を電力需要予測に用いる入力変数とする。また、電力市場価格の予測には電力需要量と燃料価格が重要な変数であるとされている<sup>2)</sup>。電力市場価格の予測には、需要量予測の際に用いる気象データに加え、発電に必要な燃料の価格を用いる。

### 2.3.2 使用するアルゴリズム

決定木回帰をベースとした、弱学習器を逐次的に構築していく勾配ブースティング決定木回帰<sup>3)</sup>を用いて電力需要・電力市場価格の予測を行う。

### 2.3.3 データの整形

周期性のあるデータの特徴を決定木に学習させるために、1日の時刻のラベルと1年間の日付のラベルを、正弦、余弦関数を用いて、周期性のある実数値として表現する。具体的には、以下の式(1)や(2)のように表す。(1)式に1日の時刻、(2)式に1年間の日付ラベルの生成方法を示す。

$$\left( \sin\left(\frac{2\pi i}{48}\right), \cos\left(\frac{2\pi i}{48}\right) \right)_{i=1}^{48} \quad (1)$$

$$\left( \sin\left(\frac{2\pi j}{365}\right), \cos\left(\frac{2\pi j}{365}\right) \right)_{j=1}^{365} \quad (2)$$

## 2.4 電力調達計画支援システム

### 2.4.1 調達が必要な電力量の出力

タイムステップ $n$ での電力需要量予測値を $D_{n\_forecast}$ 、電力需要量予測のRMSEを $\sigma_d$ とする。 $D_{n\_forecast}$ に $\sigma_d$ を加えたものを需要量最大値 $D_{n\_max}$ と表現し、 $D_{n\_forecast}$ から $\sigma_d$ を引いたものを $D_{n\_min}$ と表現する。また、既に調達済みの電力量を $P_{n\_past}$ とする。ユーザーは事前に、既に調達済みの電力量 $P_{n\_past}$ を入力する必要がある。調達が必要な電力量最大値は $D_{n\_max}$ から $P_{n\_past}$ を引いたものとして表現することができ、調達が必要な電力量最小値は $D_{n\_min}$ から $P_{n\_past}$ を引いたものとして表現することができる。 $P_{n\_max}$ と $P_{n\_min}$ を調達が必要な電力量として出力する。

### 2.4.2 各取引での電力価格の出力

タイムステップ $n$ でのスポット市場価格予測値を $S_{n\_forecast}$ 、スポット価格市場予測でのRMSEを $\sigma_s$ とする。 $S_{n\_forecast}$ に $\sigma_s$ を加えたものをスポット価格予測最大値 $S_{n\_max}$ と表現し、 $S_{n\_forecast}$ から $\sigma_s$ を引いたものをスポット価格予測最小値 $S_{n\_min}$ と表現する。相対取引での電力価格を $A_n$ と表現し、常時バックアップでの電力価格を $J_n$ と表現する。ユーザーは事前に、相対取引での電力価格と常時バックアップでの電力価格を入力する必要がある。各取引での電力価格として、 $S_{n\_max}$ 、 $S_{n\_min}$ 、 $A_n$ 、 $J_n$ を出力する。

## 2.4.3 調達計画案の評価

調達計画量を $x_n$ と表現する。また常時バックアップでの購入量を $j_n$ と表現し、相対取引での購入量を $a_n$ と表現する。これらの変数はユーザーが自分で変更可能な値であり、これを入力として、1kWhあたりの調達コストの平均および変動幅を算出する。ユーザーは、調達が必要な電力量と、各取引での電力価格を参考にしながら、入力を変化させ、算出される1kWhあたりの調達コストの平均および変動幅を見ながら、自身の調達計画を作成する。

## 2.5 Microsoft Azure を利用したプロトタイプ開発

本研究では、研究と開発を同じプラットフォームで行うことが可能であり、様々な機械学習アルゴリズムのモジュールが用意されているMicrosoft Azure(以下、Azure)を用いてプロトタイプの開発を行った。AzureのMachine Learning Studioを使い、電力需要量予測システム、電力価格予測システムの機能を実装した。モジュールのうち、本研究ではBoosted Decision Tree Regressionを用いた。

## 3 ケーススタディ

ケーススタディでは、支援システムの有効性の検証を行う。具体的には、電力需要予測、スポット市場価格予測の精度を検証したのち、開発システムが電力調達計画の作成支援に有効であることを示す。電力需要予測システムの精度については、過去の気象データを用いて、Nested cross validationすることで評価する。電力価格予測システムの精度についても、過去の気象データと燃料価格データを用いてNested cross validationを行って評価する。開発した電力調達計画支援システムについては、実際の過去の日付けに対して適用を行い、開発システムによって、どのように電力調達計画案の作成が支援されるかを確認する。

### 3.1 電力需要・電力市場価格予測の精度の検証

このケースでは、2016/4/1~2018/3/31の2年間のデータを用いて、電力需要およびスポット市場価格の予測精度をNested cross validationで評価する。学習率や葉ノード数などハイパーパラメータについては、Root Mean Squared Errorを最小にするように行なった。

最適化後の電力需要量予測の精度検証結果をTable 1に、スポット市場価格予測の精度検証結果をTable 2に示す。

Table 1 Evaluation result of electric forecasting

Parameter	Result
Average RMSE	129
Maximum RMSE	155
Minimum RMSE	119

Table 2 Evaluation result of JEPX spot price forecasting

Parameter	Result
Average RMSE	3.14
Maximum RMSE	3.73
Minimum RMSE	2.61

### 3.2 電力調達計画支援システムの検証

開発した電力調達計画支援システムの有効性の検証を行う。開発システムを過去の日付に適用し、その機能によって、ユーザーの意思決定が支援されることを示す。対象とする日付は、2018年11月のある1日とし、その対象日の2日前に計画案を作成するケースを考える。支援システムには、事前インプットとして、調達済み電力量と、他取引での電力価格が必要である。調達済み電力量は、前年の同じ日の需要量実績値のうち7割の量、と仮定する。他取引での電力価格は、常時BU価格と相対取引価格を12[yen/kWh]で一定とする。常時BUおよび相対取引での調達量合計値は、100[kWh]から600[kWh]の間でユーザーが変更することができるものとする。時間前市場価格は、常にスポット価格+2円で値動きすると仮定し、時間前市場価格の最大値を $S_{n,max}+2$ と仮定する。電力需要量予測の精度の幅として $\sigma_d$ を155[kW]と設定する。スポット価格予測の精度の幅として $\sigma_s$ を3.73[yen/kWh]と設定する。

電力需要量とJEPXスポット市場価格の予測値をもとに、支援システムは、調達が必要な電力量、各取引での電力価格を視覚化する。ユーザーは視覚化した情報をもとに、調達計画 $x_n$ と、常時BU、相対取引の調達量合計値 $j_n + a_n$ をシステムに入力する。入力された調達計画案を、支援システムは、1kWhあたりの調達コスト、調達コストの平均およびその変動幅の2項目で評価する。本ケースにおける、システムが出力した調達が必要な電力量を、Fig. 3に示す。

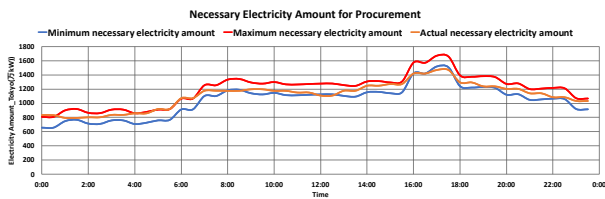


Fig. 3 Necessary electricity amount for procurement

Fig. 3から夕方時間に、特に電力調達が必要になることが分かる。調達コストを安定させるためには、各タイムステップで予測最大分まで購入して、不足分が発生しないように購入する必要がある。安い調達コストでの購入を目指す場合、必要最低限の電力を調達し、需要量が上回った分だけ時間前市場で調達するという戦略も可能となる。

同様に、システムが出力した取引での市場価格をFig. 4に示す。

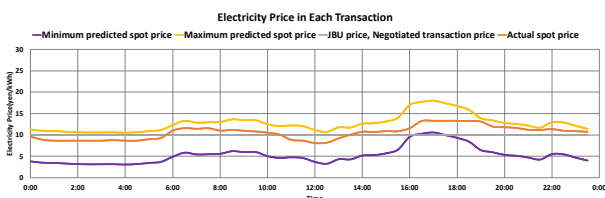


Fig. 4 Electricity price in each transaction

0:00~6:00、10:00~14:00の時間帯は、スポット価格予測の最大値が常時BU、相対取引での価格に非常に近い値にある。6:00~10:00、14:00~16:00では、スポット価格の予測最大値が常時BU、相対取引での価格を大きく上回っている。また、16:30~18:00ではスポット価格の予測最小

値よりも常時BU、相対取引での価格の方が安くなる。この時間帯では、常時BU、相対取引で購入すると安く購入することができる。ユーザーは、システムが出力した結果からこれらの情報を読み取り、電力調達計画案を作成する。結果的に、以下のFig. 5に示されるような、5つの電力調達計画案を作成したものとする。

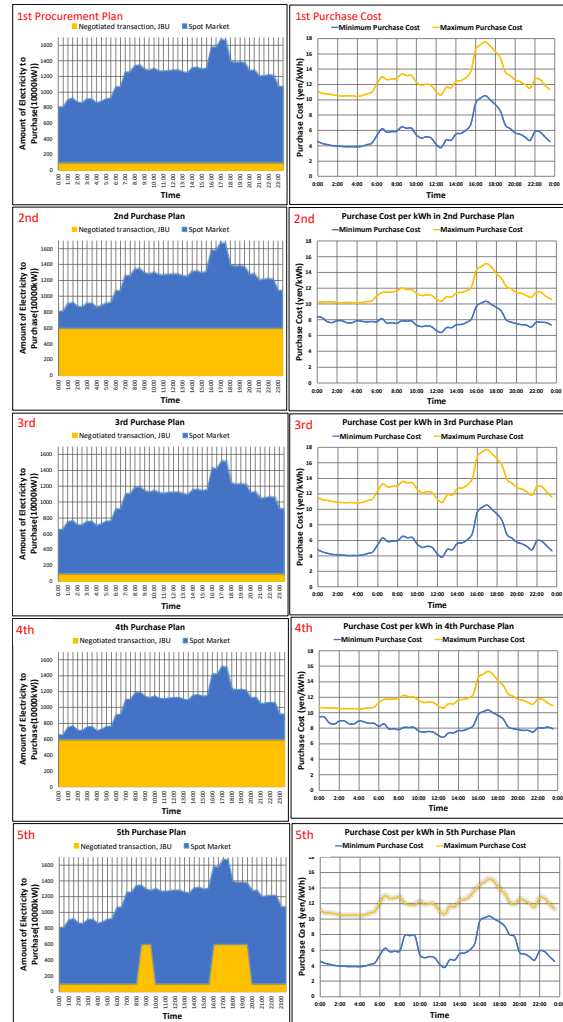


Fig. 5 5 candidates of procurement plan

Fig. 5では、左側のグラフは調達案としてユーザーが入力した、相対取引・常時バックアップでの調達量を黄色で示し、JEPXスポット市場での調達量を青色で示している。右側のグラフはユーザーが入力した各調達計画案に対して、支援システムが出力した、1kWhあたりの調達コスト、調達コストの平均、調達コストの変動幅を示している。1回目に作成した調達計画案と、2回目に作成した調達計画案を比較すると、2回目に作成した調達計画案の方が、調達コスト変動幅が3.11[yen/kWh]小さくなっている一方で、調達コスト平均は2回目の方が0.42[yen/kWh]高くなっていることが分かる。常時バックアップ、相対取引での調達割合を増やしたため、価格の安定が増した一方で、コストの平均は上昇したと考えられる。

続いて、2回目に作成した調達計画案と、3回目に作成した調達計画案を比較する。3回目に作成した調達計画案の方は、調達コストの変動幅が3.27[yen/kWh]大きくなっている一方で、調達コストの平均は3回目の方が

0.24[yen/kWh]低くなっている。再び、常時バックアップおよび相対取引での調達割合を減らしたため、安定性が減った一方で、平均コストは低くなっていると考えられる。

3 回目に作成した調達計画案と、4 回目に作成した調達計画案を比較する。4 回目に作成した調達計画案は、調達コストの変動幅が 3.41[yen/kWh]小さくなっている一方で、調達コストの平均は 4 回目の方が 0.57[yen/kWh]高くなっている。常時バックアップ、相対取引での調達割合を増やしたため、価格の安定が増した一方で、コストの平均は上昇したと考えられる。

最後に、4 回目に作成した調達計画案と、5 回目に作成した調達計画案を比較する。5 回目に作成した調達計画案の方は、調達コスト幅が 2.54[yen/ kWh]小さくなっている一方で、調達コスト平均は 5 回目の方が 0.92[yen/ kWh]高くなっている。5 回目では、スポット価格が常時バックアップおよび相対取引より高い時には、常時バックアップおよび相対取引で購入し、それ以外ではスポット市場で購入している。よって、調達コスト平均が他のどの調達計画案より安くなっている。

これらの調達計画案における調達コストの変動幅と平均値をプロットしたグラフを、Fig. 6 に示す。

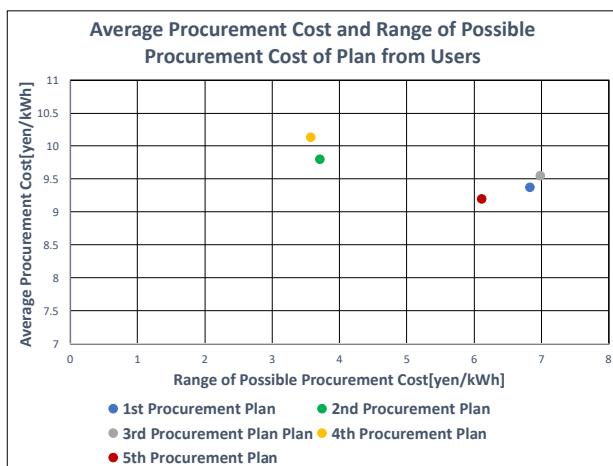


Fig. 6 Average and range of possible procurement costs

2 回目、4 回目に作成した調達計画案では、調達コストの変動幅が小さくなっているのが分かる。2 回目、4 回目では、価格変動のない安定した取引から最大限電力を調達しており、その影響が表れていると考えられる。一方で、1 回目、3 回目、5 回目に作成した調達計画案では、調達コスト平均が小さくなっている。これは、相対取引、常時バックアップから調達量を抑え、安い価格で調達できる可能性のある、スポット市場での調達割合が大きいためだと考えられる。5 回目に作成した調達計画案では、基本的には価格の安いスポット市場での電力調達を優先しながらも、価格が高騰すると予測される時間帯には、相対取引、常時バックアップからの調達を増やしている。この方針では、1 回目、3 回目に作成した計画案より、調達コスト平均が低く、調達コスト幅が小さい調達計画案となっている。また全体で見ても、調達コスト平均が最も低い調達計画案であることが分かる。1kWh 当たりの調達コストの低さを重視し、調達コストの変動幅をあまり重視しないユーザーであれば、1kWh 当たりの調達コストが最も低い 5 番目の調達計画案を採用すると考えられる。

ここまで見てきたとおり、調達計画量と常時 BU、相対取引での調達量を入力にして、1kWh 当たりの調達コスト、調達コスト平均、調達コスト幅を出力することで、ユーザーは、複数の調達計画案の比較検討をすることが可能であり開発したシステムが、電力調達計画作成支援に有効であることを示した。

## 4 考察

本研究における電力需要および電力価格予測については、既存の研究をもとに入力のデータを定めたが、実際に、どのデータが予測に寄与しているかを調べるための要因分析を行った。開発システムでは、決定木を用いて予測を行っており、決定木においては、上位の葉ノードに割り当てられた分岐条件がより重要な要素である。システムが構築した決定木を調べたところ、時刻と気温のデータでの分岐が上位の葉ノードに割り当てられており、特に予測において重要な要因であることが示された。

本研究のケーススタディでは、過去の日付に対して、システムを適用し、ユーザーが意思決定するまでの流れを示すことで、定性的な有効性の検証を行った。定量的なシステムの有効性を検証するためには、開発システムを実際の運用に取り入れ、その前後で 1 kWh 当たりの調達コストや、電力小売り業者の利益の変化を評価する必要がある。

## 5 結論

本研究では、電力小売事業者の電力取引を支援するシステムの開発を行った。具体的には、調達が必要な電力量と電力取引価格の提示を行い、ユーザーが入力する調達計画案を電力調達コストで評価することで、電力調達計画作成を支援する。

ケーススタディでは、支援システムの基本的な機能の検証として、電力需要、スポット価格の予測精度の評価を行った。また、開発支援システムを過去の実際の日付に適用し、ユーザーの意思決定の流れを示すことで、開発システムが、電力調達計画作成支援に有効であることを示した。開発システムによって、1 kWh 当たりの調達コストの平均と変動幅を算出することで、ユーザーが自身の持つ複数の計画案を比較検討できることを示した。

## 文献

- 1) Esteves, G. R. T., Bastos, B. Q., Cyrino, F. L., Calili, R.F. and Souza, R. C.: Long Term Electricity Forecast: A Systematic Review, *Procedia Computer Science*, Vol. 55, pp. 549-558, 2015.
- 2) González, C., Mira-McWilliams, J., and Juárez, I.: Important Variable Assessment and Electricity Price Forecasting Based on Regression Tree Models: Classification and Regression Trees, Bagging and Random Forests. *IET Generation, Transmission & Distribution*, Vol. 9, No. 11, pp. 1120-1128, 2015.
- 3) Wang, Y., Zhang, N., Tan, Y., Hong, T., Kirschen, D. S., and Kang, C.: Combining Probabilistic Load Forecasts, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2018.