

電力調達業務に有用な知識の抽出とシミュレーションによる評価

Mining Useful Knowledge for Power Procurement and Evaluation by Simulation

穂方和夫¹ 城野裕大¹ 野村雅浩² 石蔵康介²

Kazuo Hiekata¹, Yuta Shirono¹, Masahiro Nomura², Kosuke Ishikura²

¹ 東京大学

² 東洋システム開発株式会社

¹The University of Tokyo

²Toyo Systems Development Co.,Ltd.

Abstract: The power procurement in electric power retailing is a difficult decision-making process due to the uncertainty of power demand and the diversity of suppliers. This study proposes a mining method as a useful knowledge rule and a visualization system to support the understanding of the mechanism of the effectiveness of the rule in supporting electricity procurement operations. The effectiveness of the rules and the proposed method/system was confirmed by the simulation case studies, which yielded several rules that can create a Pareto-optimal procurement plan in terms of cost and variability.

1 緒言

日本では2016年から電力小売自由化が行われ、従来の発電・送電設備を持つ電力会社だけでなく、一般の企業も電力小売事業者として電力取引が可能となった。電力は貯蔵が困難であることから、無駄な発電を抑制するために同時刻の需要と供給を一致させることが求められている。そのため電力小売自由化制度下では小売事業者は送電事業者・広域的運営推進機関に事前に電力の調達計画を提出せねばならず、実需給時の実績量と計画量の差をインバランスとして精算しなければならない。

電力の購入方法は複数あり、小売事業者はそれらを組み合わせて電力調達計画を作成している。インバランスは小売事業者に不利なように設定されており、実績量と計画量の差が大きいと調達の際の電力単価が上昇してしまう。電力調達はコストの低さのみならず、安定化が重要であるとされている^[1]。一方、電力需要量は不確実性が高いため、電力調達計画作成業務は意思決定の難易度が高く、電力調達コストに大きく影響を与えている。

このような問題を踏まえて、本研究では過去の実績データの分析により電力調達計画作成業務を支援する上で有用な知識をルールとして抽出する。また、抽出したルールの有効性を確認するためのシミュレーションによる評価と、ルールの効果の直観的な理解が可能な可視化システムとしてのWeb Applicationの提案と開発を行う。

2 提案手法

2.1 提案手法概要

Fig.1 に本研究で提案する電力調達ルールマイニングのフローチャートを示す。電力調達ルールマイニングでは2.3項で述べるシミュレータを用いて、最適な電力調達の年間購入方針の探索を行う。シミュレータに全パターンの電力調達ルールを入力を行い、出力された年間電力調達コスト平均値と標準偏差を集計することで、最も安くかつ安定した電力調達が可能な年間購入方針の発見を目的とする。

Fig.2 にシミュレータの概要を示す。このシミュレータでは、電力調達に関する年間購入方針を入力とし、その方針にのっとり1年間取引を行った場合のシミュレーションを行い、その結果としてばらつきを含む年間電力調達コストを出力する。出力されたばらつきを含む年間電力調達コストを比較することで入力された年間購入方針を評価し、電力調達計画作成業務を支援することを目的とする。

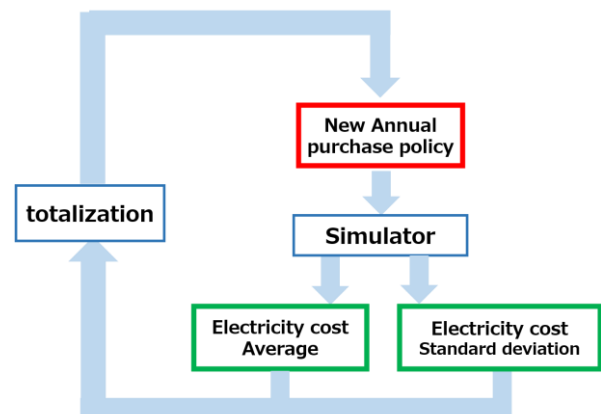


Fig.1 Flow chart of rule mining

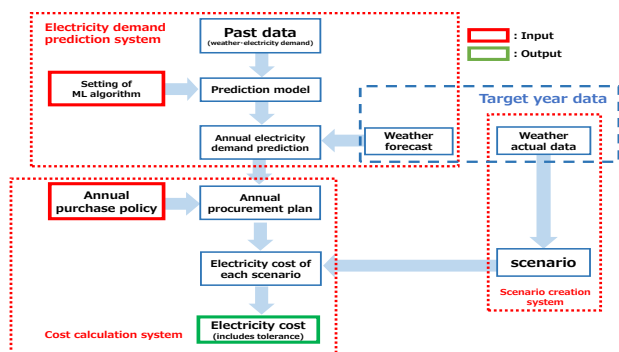


Fig.2 Overview of simulator

2.2 電力調達ルールのマイニング

本研究における電力調達ルールとは、1年間のある一定の区切られた期間ごとに全需要予測量の何%を相対取引(固定価格による取引)によって調達するかを定めたものである。ルールの探索は区切られた期間ごとの相対取引比率の組み合わせ最適化問題とみなすことができる。この問題は(1)の式において (y_1, y_2) が最小になるような (x_1, x_2, x_3, \dots) の組み合わせを求めることに等しい。 (y_1, y_2) は年間電力調達コスト平均値と標準偏差の2軸を持つため、複数の最適なルールが発見されると考えられる。

$$(1) \quad (y_1, y_2) = F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

$(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$: 一定期間ごとの相対取引比率

(y_1, y_2) : 年間電力調達コスト平均値と標準偏差

$F(x)$: 年間の電力調達シミュレーション

また、最適なルールだけでなく各期間の電力コストへの感度の解析を行う。ルール内のどの期間が最も年間電力調達コストの平均値と標準偏差に影響を与えるかを分析することで、より抽象的なルールを発見し意思決定を支援する。この分析は(2)の式において G が最大となる n を求めることに等しい

$$(2) \quad G(n) = d \frac{F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)}{xn}$$

2.3 シミュレータ

2.3.1 シミュレータ概要

提案するシミュレータはFig1にあるように機械学習による電力需要量の予測システム、シナリオ作成システム、コスト計算システムによって構成される。

電力需要量の予測システムでは機械学習による電力需要量予測モデルの学習を行い、そのモデルを用いてユーザーが設定した年(対象年)の電力需要量の予測を行う。

シナリオ作成システムでは購買案評価用に年間シ

ナリオを複数作成する。このシナリオには年間のデータとして天気実績値、電力需要量、スポット価格が含まれる。

コスト計算システムはユーザーの入力した年間購入方針と、予測された電力需要量により年間調達計画を作成する。この年間調達計画に対して購買案評価用に作成したシナリオを適用してシミュレーションを行い、ばらつきを含む調達コストとして、電力の年間平均調達価格を出力する。

2.3.2 電力需要量予測システム

電力需要量予測システムでは過去の電力需要量や気象実績データをもとに、入力されたアルゴリズム設定に応じて予測モデルを学習させる。得られた予測モデルを用いて対象年の天気予報から対象年の年間電力需要量を予測する。本研究では気象実績データとして東京電力管内の1時間ごとの気温、湿度、降水量、降雪量の気象情報を用いる。これは、電力需要量と気温、湿度などの気象情報は相関が強いことから、気象情報は電力需要量を予測する際によく使われる^[2]ためである。予測対象の電力需要量については各電力会社の発表している1時間ごとの電力需要量を用いる。設定するアルゴリズムは決定木、ニューラルネットワーク、時系列解析の3種類からユーザーが選択する。訓練データの期間は2週間、2か月、半年、1年の4種類からユーザーが選択する。このサブシステム内のパラメータをTable 1に示す。

Table 1 Parameter of electricity demand prediction system

パラメータ	説明	type
アルゴリズム	機械学習のアルゴリズム	Input
訓練データの期間	機械学習の訓練データの期間	Input
天気(対象年)	対象年の天気(30分ごと) 気温、湿度、降雨量、日照量	Input
過去の電力需要量	過去の電力需要量(30分ごと)	Input
天気(過去)	過去の天気(30分ごと)	Input
電力需要予測量(対象年)	対象年の電力需要量(30分ごと)	Output

2.3.3 シナリオ作成システム

シナリオ作成システムでは購買案評価用に年間シナリオを作成する。ここでは対象年の各1日についてその日と気象データの類似した日を探して365日分つなげたものをシナリオと称する。

まず天気予報、天気実績値を含む対象年のデータから、1日ごとの天気実績値に対し、類似した天気実績値を持つ日(類似日)をデータベースの中から規定個数算出する。類似日のスポット価格、電力需要量を1日単位のシナリオとし、対象年の各1日に対応する類似日をランダムにつなぎ合わせることで規定個数の年間シナリオを作成する。データベースには

2016年4月1日～2018年の12月31日のデータが格納されている。規定個数は複数を想定する。このサブシステム内のパラメータを Table 2 に示す。

Table 2 Parameter of scenario creation system

パラメータ	説明	type
天気(過去)	過去の天気(30分ごと) (気温、降雨量、湿度、日照量)	Input
天気(対象年)	対象年の天気(30分ごと)	Input
シナリオ(複数個)	対象年の各日に天気の似た日を過去のデータから集めて、365日分繋げたもの	Output

2.3.4 コスト計算システム

コスト計算システムでは、まずユーザーは年間購入計画として各月ごとに相対取引・常時バックアップにより購入する割合を入力する。この年間購入方針を 2.2 の電力需要量予測システムにより予測された対象年の年間電力需要量予測に適用し、年間電力調達計画を作成する。作成の手順は以下である。

1. 予測された需要量に対してユーザーに入力された購入計画に沿って相対取引での購入量を決定する。
2. 1. で足りない分をスポット取引で購入する

作成した電力調達計画と 2.3 の購買案の評価システムにより作成された規定個数のシナリオから各シナリオの年間を通した 1kwh 当たりの電力コストを算出し、平均と標準偏差をばらつきを含む電力コストとして出力する。ただし、本研究では実需要 2 日前に作成する調達計画を対象とする。このサブシステム内のパラメータを Table 3 に示す。

Table 3 Parameter of cost calculation system

パラメータ	説明	type
年間電力調達方針	電力需要予測量に対して、相対取引で調達する割合（各月、昼夜毎）	Input
電力需要予測量(対象年)	対象年の電力需要量(30分ごと)	Input
シナリオ(複数個)	対象年の各日に天気の似た日を過去のデータから集めて、365日分繋げたもの	Output
年間電力コスト平均	複数の年間電力コストから算出される平均値	Output
年間電力コスト標準偏差	複数の年間電力コストから算出される標準偏差	Output

2.4 可視化システム

マイニングされたルールへのユーザーの理解を深める意思決定支援のためのツールとして可視化システムを開発する。ユーザーのルールへの理解を深めるためにシミュレーションの可視化として、中間出力である月ごと、日ごとの電力コスト、インバランスによる損失額も出力する。

また、可視化システムはユーザーのアクセシビリティの高い Web Application として開発を行う。

3 ケーススタディ

3.1 概要

本ケースでは電力調達のルールマイニングと Web Application 形式の可視化システムによる得られたルールの可視化を行った。各ルールの評価指標はコストの年間平均値、年間標準偏差であり、この二つはトレードオフの関係にあると考えられるため、適切なルールとしてパレート最適上の複数のルールが発見されると予想される。可視化については Web Application 形式の可視化システムで中間結果を含む結果が出力されることを確認する。

3.2 検証するケース

ルールマイニングについて以下のケースで検証を行った。

- ・対象年：2019年
- ・予測アルゴリズム：勾配ブースティング決定木
- ・訓練データの期間：1年間

以上の条件のもと、年間購入方針のルールとして 1-3月,4-6月,7-9月,10-12月の3か月ごとの、電力調達予定量における相対取引による調達割合を決めたものをを入力するルールとした。また、調達割合は 25%刻み(0%,25%,50%,75%,100%)とし、625通りのパターンを入力について全探索を行った。ルールの例を Table 4 に示す。

Table 4 Rule example

	1-3月	4-6月	7-9月	10-12月
ルールNo.1	25	50	75	100
ルールNo.2	0	0	50	100

3.3 結果

ルールマイニングの結果を Fig.3 に示す。赤色にプロットされた結果がパレート最適上にある結果であり、複数あることが確認された。

パレート最適上にあるルールの表を Table 5 に示す。Table 5 の表に示されたルールが、本ケースにおける適切な電力購入方針のルールであり、コストの年間平均値、年間標準偏差をトレードオフとしたパレート最適上の複数のルールが発見された。

JEPX による調達が電力需要に占めるシェアは 30%程度である^[3]ため、一般的な電力調達計画では相対取引による調達は 70%程度であると仮定する。Fig.3 の黄色のプロットは全期間で相対取引の比率を 70%として取引した際のシミュレーションの結果を示している。ルールマイニングで発見された各ル

ールの評価として、各ルールのシミュレーションの結果と全期間で相対取引の比率を70%として取引した際のシミュレーションの結果との差を Table 6 に示す。この結果からルールマイニングにより得られたルールに従って電力を調達した場合、一般的な調達計画に比べてコストの平均値、標準偏差とも下がるため、ルールが有効であることが分かった。

また、各期間の電力コストへの感度の解析を行った結果を Table 7 に示す。この結果から7-9月の期間が最も年間電力調達コストの平均値と標準偏差に影響を与えることが分かった。

実際に動作した Web Application 形式の可視化システムの様子を Fig.4 に示す。可視化システムが UI を持つ Web Application として動作していること、ルールマイニングにより得られたルールを入力して中間出力を含めた結果が可視化されることを確認した。

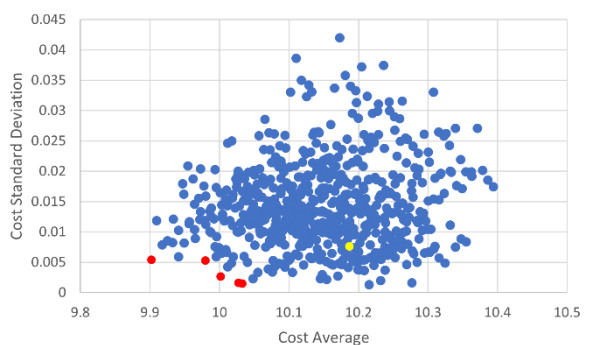


Fig.3 Result of case study

Table 5 optimal rules

	1-3月	4-6月	7-9月	10-12月	平均コスト	コストの標準偏差
No.21	0	0	100	0	9.90	0.00538
No.11	0	0	50	0	9.98	0.00529
No.422	75	25	100	25	10.00	0.00266
No.524	100	0	100	75	10.02	0.00162
No.292	50	25	75	25	10.03	0.00149

Table 6 Rule evaluation

	年間電力コスト 平均値	年間電力コスト 標準偏差
No.21	-0.29087	-0.00197
No.11	-0.21317	-0.00207
No.422	-0.19161	-0.0047
No.524	-0.16577	-0.00574
No.292	-0.16039	-0.00587

Table 7 Sensitivity analysis

	1-3月	4-6月	7-9月	10-12月
G(n)	0.89	1.18	2.31	0.69

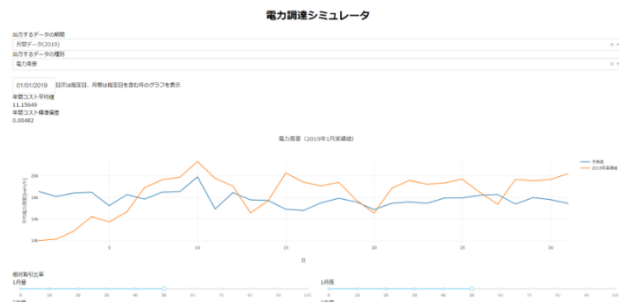


Fig.4 UI of Web Application

3.4 まとめ

本章では、ルールの探索と Web Application 形式のシミュレータによる得られたルールの可視化を行った。ルールマイニングの結果、コストの年間平均値、年間標準偏差をトレードオフとしたパレート最適上の複数のルールが発見された。シミュレーションによる評価からルールマイニングで発見された各ルールが有効であることが分かった。また、7-9月の期間が最も年間電力調達コストの平均値と標準偏差に影響を与えることが分かった。また、Web Application によりマイニングで得られたルールが可視化されることが確認された。

4 結言

本研究では過去の実績データの分析による電力調達計画作成を支援する上で有用な知識のルールとしての抽出、また、シミュレーションによる抽出されたルールの有効性の確認、ルールの効果の直観的な理解が可能な可視化システムの提案と開発を行った。ケーススタディではルールマイニングで複数のパレート最適上の電力調達におけるルールを発見した。シミュレーションによる評価から提案手法のルールマイニングは有効であることが分かった。また、可視化システムにより抽出したルールを用いたシミュレーション結果の中間出力を含めた出力が可視化されることを確認した。

5 参考文献：

- [1] 宇野健介：電力小売事業者の調達計画作成支援システムの開発，修士論文，2019
- [2] 原亮一：電力システムの需給運用に関わる時系列データの解析、予測技術(2014)，電気学会論文誌 B(電力・エネルギー部門誌) Vol.134 No.4 pp.276-279
- [3] 経済産業省 電力ガス取引監視等委員会：第39回 制度設計専門会合 事務局提出資料