

産業都市の最適電源構成を検討するための電力需給モデルの構築

北九州市立大学 学生会員 安部美怜

北九州市立大学 正会員 藤山淳史

北九州市立大学 正会員 松本 亨

1. 研究背景と目的

北九州市では、2013 年より、「北九州市地域エネルギー拠化推進事業」が推進されている。これは、低炭素で安定・安価なエネルギーを供給することを目指すものであり、地域エネルギー拠点の形成は市の成長を支える基盤として位置付けられている。また、2015 年 12 月に地域エネルギー会社である北九州パワーが設立された。地域エネルギー会社によるエネルギーマネジメントには、安価な電力供給の他、地域資源の活用による地域への経済効果や雇用創出、再生可能エネルギーの導入促進、需要側管理等の効果が期待されている。

しかし、現実のエネルギーマネジメントでは、需要データをもとにした電源選択に対して多くの部分を経験に基づいた運用がなされており、今後の供給量拡大に伴うエネルギーマネジメントの構築や脱炭素への貢献に対して、システム化のニーズが極めて大きい。

著者らのグループでは、松崎ら¹⁾が北九州市を対象に、年間の再生可能エネルギーの最大供給可能量と民生部門・産業部門（特に、製造業）のエネルギー需要量から、CO₂ 排出量、総コストそれぞれが最小となる電源構成の最適化モデルを構築し、再生可能エネルギーの導入ポテンシャルを推計した。そこで本研究では、先行研究において構築したモデルをベースに、電力需給調整機能としての蓄電システムを付加したモデルへ拡張することで、再生可能エネルギーの導入最大化を検討することを目的とする。

2. エネルギー需要量と供給可能量の推計

本研究では、図 1 に示す電力需給モデルについて、線形計画法により、総コストを最小化させた場合と、CO₂ 排出量を最小化させた場合の 2 つのケースについて解いた。

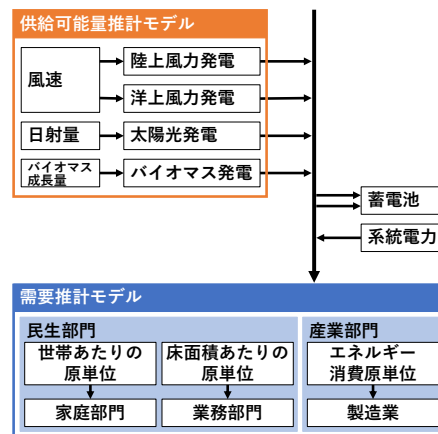


図 1 電力需給モデルの構成

2-1. 民生部門のエネルギー需要量

民生部門（家庭・業務部門）のエネルギー需要量について、家庭部門は世帯あたり原単位²⁾、業務部門は床面積あたり原単位³⁾を用いて、年間のエネルギー需要量を推計した。それに対し月別・時間別の比率⁴⁾を用いることで、1時間ごとの需要量に按分した。

2-2. 産業部門のエネルギー需要量

産業部門については、製造部門のみを対象とした。製造業におけるエネルギー需要量は、製造品出荷額等⁵⁾にエネルギー消費原単位⁶⁾を乗じることで、年間のエネルギー需要量を推計した。年間のエネルギー需要量を時間別の需要量に按分するため、本研究では北九州市内の製造事業者にアンケート調査を実施し、工場の稼働時間と電力需要の変動の関係を以下の区分で把握し、適用した。

- 4月の電力需要量に対する各月（5月～翌年3月）の電力需要量の変動幅（±〇%）
- 工場操業日日中の電力需要量に対する夜間の電力需要量の変動幅（±〇%）
- 各月の工場操業日日中の電力需要量に対する休日日中の電力需要量の変動幅（±〇%）
- 各月の休日日中の電力需要量に対する夜間の電力

需要量の変動幅 (±〇%)

2-3. 再生可能エネルギーの最大供給可能量

各再生可能エネルギーの供給可能量の推計方法を以下に示す。

- ・陸上風力⁹⁾：「高度 90m の風速が 5.5m/s 以上」に該当するメッシュ 1 つにつき、4,000kW の風車を 1 基設置するとして算出。
- ・洋上風力^{10), 11)}：九州全体の発電ポテンシャルに、九州と北九州市の設備容量ポテンシャルの比を乗じることで算出。
- ・太陽光¹²⁾：北九州市の建物、土地の面積に平均日射量と設置密度、発電量係数を乗じることで算出。
- ・バイオマス¹³⁾：木質バイオマスの燃料用材としての使用可能量について、木材の成長量にチップ材と用材不適木の利用量を考慮し、算出。

なお、風力発電、太陽光発電は天候や時間帯による時間変動を考慮するため、1 時間ごとの風速⁷⁾または日射量⁸⁾のデータを用いて、1 時間ごとの供給可能量を推計した。

3. エネルギーシステムの最適化

前述の通り、CO₂ 排出量を最小化させた場合と、総コストを最小化させた場合の 2 つのケースについて目的関数を設定し、線形計画問題を解いた。CO₂ 排出量最小化の場合の目的関数を式(1)に、総コスト最小化の場合の目的関数を式(2)に示す。また、エネルギーの需給バランスと資源賦存量についての制約条件を式(3)～(5)に示す。

$$\text{Min } CO_2 \text{ emission} = \sum_i \sum_t \text{Input}_{t,i} \cdot ef_i \quad (1)$$

$$\text{Min } C_{total} = C_{capital} + C_{o\&m} + C_{fuel} \quad (2)$$

$$\text{Subject to } \sum_t \text{Input}_{t,i} = D_t \quad (3)$$

$$P_{t,i} \geq \text{Input}_{t,i} \quad (4)$$

$$P_i \geq \sum_t \text{Input}_{t,i} \quad (5)$$

ここで、 $CO_2 \text{ emission}$ は CO₂ 排出量[t]、 i は資源としてのエネルギー種別、 t は時間、 Input はエネルギー供給量[GJ]、 ef は CO₂ 排出係数[t-CO₂/GJ]、 C_{total} は総コスト[円]、 $C_{capital}$ は初期設置費[円]、 $C_{o\&m}$ は運転維持費[円]、 C_{fuel} は燃料費[円]、 D はエネルギー需要量[GJ]、 P は最大供給可能量[GJ]を示す。なお、陸上風力と洋上風力、太陽光は 1 時間ごとに、バイオマスは 1 年間の

合計で供給可能量の制約条件を設定した。

CO₂ 排出量最小化と総コスト最小化を行った際の、エネルギー源別の供給構成の推計結果を図 2 に示す。

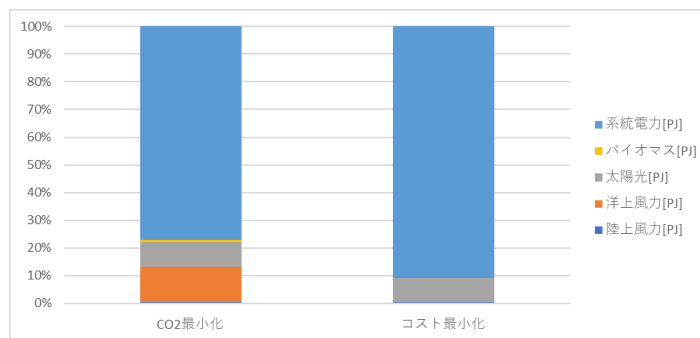


図 2 エネルギー源別供給構成の推計結果

4. まとめと今後の課題

本研究では、著者らのグループで構築してきた最適電源構成モデルに電力需給調整機能としての蓄電システムを付加したモデルへ拡張を行い、産業都市へ適用した。今後は、蓄電システムの規模や技術の違いを表現するより精緻なパラメータを導入した解析へ展開すること、多様性や安定性などの指標を導入したより多面的な評価へ展開していくことが課題である。

参考文献

- 1) 松崎耀, 藤山淳史, 松本亨: 産業都市のエネルギーマネジメントのための最適電源構成モデルの構築, 土木学会論文集 G (環境), Vol.76, No.6, II_189-II_197, 2020
- 2) 住環境計画研究所: 家庭用エネルギー統計年報, 2016
- 3) 資源エネルギー庁: エネルギー白書, 2022
- 4) 都市エネルギー協会: 地域冷暖房技術手引書改訂第 4 版, 2013
- 5) 北九州市工業統計調査, 2020
- 6) 環境省: 「平成 13 年石油等消費構造統計表 (商工業)」経済産業省、「工業統計表 (産業編)」を元に推計
- 7) 日本気象協会: アメダス (八幡), 2011
- 8) NEDO: 日射量データベース (八幡), 2011
- 9) 環境省: 陸上風力発電の導入ポテンシャル (令和 3 年度推計)
- 10) 環境省: 洋上風力発電の導入ポテンシャル (令和元年度推計)
- 11) 海上保安庁: 海洋情報部「海しる (海洋状況表示システム)」
- 12) 環境省: 太陽光発電の導入ポテンシャル (令和 3 年度推計)
- 13) 福島県林業振興課: 福島県木質バイオマス安定供給の手引き