

都市レベルエネルギーマネジメントのための最適化モデルの構築と北九州市への適用

北九州市立大学 学生会員 松崎 耀

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. 研究背景と研究目的

東日本大震災において大規模集中型エネルギーシステムの脆弱性が露呈し、それ以降、再生可能エネルギー等の活用を中心とした分散型エネルギーの導入に向けた動きが加速している。これはリスク分散とともに、二酸化炭素 (CO₂) 排出量の削減という点からも大きな意義がある。

このような社会背景のもと、北九州市は 2013 年より、「北九州市地域エネルギー拠点推進事業」に取り組んでいる。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、北九州市では、2015 年 12 月に(株)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、需要側管理の促進等の効果が期待されている。しかし、現実のマネジメントでは、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に際しては、システム化のニーズが極めて大きいものとなっている。

先行研究として、井上ら¹⁾は北九州市を対象に、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のエネルギー需要量から、CO₂、コストを考慮したエネルギー供給の最適化モデルを構築し、導入ポテンシャルを推計している。そこで本研究では、より北九州市の実態を反映した解析にするため、産業部門、特に製造業のエネルギー需要量を追加し、北九州市の再生可能エネルギーの導入ポテンシャルを推計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

北九州市内のエネルギー需要量と地域資源を最大限

に活用した再生可能エネルギー供給可能量を推計する。対象としたエネルギー需要は、民生部門(家庭・業務部門)と産業部門(製造部門)の電力である。地域に賦存する再生可能エネルギーとしては陸上風力、洋上風力、太陽光エネルギー、バイオマスを対象とする。

2-1. 民生部門のエネルギー需要量の推計

民生部門(家庭・業務部門)のエネルギー需要量については、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。また、月別・時間別の比率⁴⁾を用いて時間別需要量を推計した。

2-2. 産業部門のエネルギー需要量の推計

本研究では産業部門の中でも製造部門のみを対象とし、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⁾を乗じて年間のエネルギー需要量を推計した。また、時間別需要量を推計する際は、各製造業の操業日・操業時間帯の特性を踏まえ、以下の3パターンとした。

- ・ 365 日 24 時間操業：パルプ・紙・紙加工品製造業、化学工業、石油石炭製品製造業、プラスチック製品製造業、ゴム製品製造業、窯業土石製品製造業、鉄鋼業、非鉄金属製造業、電子部品・デバイス・電子回路製造業、食料品製造業、印刷・同関連業
- ・ 平日のみ 24 時間操業：飲料・タバコ・飼料製造業、繊維工業
- ・ 平日昼間(9時から17時の8時間)のみ操業：木材・木製品製造業、金属製品製造業、はん用機械器具製造業、生産用機械器具製造業、業務用機械器具製造業、電気機械器具製造業、輸送用機械器具製造業、その他の製造業

2-3. 再生可能エネルギーの最大供給量

各エネルギーの供給可能量の推計方法を以下に示す。なお、風力、太陽光は天候や時間帯による時間変動性を踏まえ、1時間ごとの風速および日射量データを用いて、時間別供給可能量を1時間毎に推計した。

- ・陸上風力⁷⁾：NEDO 風況マップ⁸⁾より「地上高 70m の平均風速が 6.5m～8m」に該当するメッシュ 1 つにつき、2,000kW の風車を 1 基設置するとして算出。
- ・洋上風力^{9), 10)}：九州と北九州市の設備容量ポテンシャルの比を求め、九州全体の発電ポテンシャルに乗じることで算出。
- ・太陽光：北九州の住宅の敷地面積¹¹⁾に平均日射量と発電効率、設備稼働率(10%と仮定)を乗じることで算出。
- ・バイオマス¹²⁾：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。

3. エネルギーシステムの最適化

推計した需要を満たすエネルギー供給構成について、CO₂ 排出量最小化を目的関数とする場合と、総コスト最小化を目的関数とする場合の 2 つのケースについて線形計画問題を解くことにより、決定する。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、CO₂emission 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]を示している。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ている。

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 1 に示す。

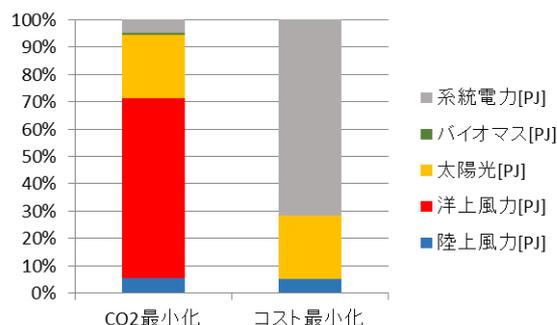


図 1 エネルギー源別供給構成の推計結果

4. まとめと今後の課題

今回、先行研究に産業部門（製造部門）のエネルギー需要量を推計した結果を追加するとともに、CO₂ 排出量、コストを考慮したエネルギー供給の最適化モデルを構築した上で、北九州市における再生可能エネルギーの導入ポテンシャルを試算した。CO₂ 排出量最小化では、洋上風力の割合が最も大きい結果となり、総コスト最小化では、系統電力の割合が最も大きい結果となった。今後は、電力供給の安定性をモデルに組み込むこと、エネルギー需要の部門を拡大することが課題である。

参考文献

- 1) 井上琴美・松本亨・藤山淳史：都市のエネルギー・マネジメントのための最適化モデルの構築，土木学会西部支部，2019
- 2) 住環境計画研究所：家庭用エネルギー統計年報，1999
- 3) 日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット編：EDMC/エネルギー・経済統計要覧 2012
- 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) 産業経済局：北九州市経済・産業データ集
- 6) 資源エネルギー庁：平成 29 年度エネルギー消費統計調査
- 7) 再生可能エネルギー賦存量・利用可能量の推計
- 8) NEDO：局所風況マップ（八幡）
- 9) 環境省：風力発電の賦存量および導入ポテンシャル
- 10) 環境省：再生可能エネルギー導入ポテンシャルマップ 平成 28 年度更新版
- 11) 北九州市統計年鑑 平成 14 年版
- 12) 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