

再生可能エネルギー導入と送電容量の経済分析

—コネクト&マネージの影響—

東京理科大学
05000319 東京理科大学
01308970 東京理科大学
政策研究大学院大学

*寺尾蒼大 TERAO Sota
伊藤真理 ITO Mari
高嶋隆太 TAKASHIMA Ryuta
田中誠 TANAKA Makoto

1. はじめに

近年、温室効果ガス排出削減の政策目標により再生可能エネルギー電源の発電容量の大幅な増加が期待されている。他方において、系統制約が再生可能エネルギーの拡大に向けた課題となっている。現在の日本では、新しく電源を系統に接続する場合、系統の空き容量の範囲内で先着順に受け入れを行い、空き容量を超えた場合には系統を増強して追加の受け入れを行っている。そのため、将来、再生可能エネルギー電源の発電量をさらに拡大することが予想される一方で、系統の空き容量が存在せず、新規電源を接続することが困難となることが懸念される。

そこで、効率的に再生可能エネルギー電源の発電量を拡大するためには、既存系統を最大限活用していくことが重要となる。その代表的な施策として、コネクト&マネージが提案されている。本研究では、日本版コネクト&マネージの中のノンファーム型接続に着目する。本施策は、優先権のない（ノンファーム型）電源が空き容量のある時間帯にのみ送電可能となる手法である。これにより、送電線を増強せず既存のものを最大限に活用でき、再生可能エネルギー電源の接続量の増加、送配電事業者の設備投資の削減などの効果が期待できる。

欧米においては、再生可能エネルギー電源の普及と効率的な送電利用の両立を目指したさまざまな政策について議論がなされており、先行研究においても送電容量と市場均衡、政策・制度について分析が行われている [1]。その一方で、コネクト&マネージやノンファーム型接続の効率性を証明する理論的な研究は不十分であり、均衡モデルに関する分析も多くは見受けられない。

そこで、本研究では、送電容量の制約を考慮したコネクト&マネージの評価モデルを構築し、再

生可能エネルギー電源の発電量拡大に伴う送電容量の拡大投資とノンファーム型接続の比較を行い、それぞれの施策に関する社会的余剰への影響の分析を行う。

2. 2ノードモデル

本研究では、地域1と地域2があり、地域2の需要を満たす生産限界費用の異なる3社からなる市場を考える（図1）。地域1の発電事業者1と地域2の発電事業者2は火力発電事業者、地域1の発電事業者3は再生可能エネルギー発電事業者である。地域1の発電事業者1,3は送電容量 K を満たすように送電を行う。各事業者はノード i を用いて $i = 1, 2, 3$ と表す。各事業者の発電量を q_{it} 、発電にかかる費用係数を c_i で表すものとする。発電費用は、二次関数 $c_i(q_{it}) = \frac{1}{2}c_i q_{it}^2$ で表される。電力市場における電力価格 P_t は、逆需要関数を用いて、 $P_t = a_t - b_t \sum q_{it}$ で与えられる。ここで t はピーク時間を表しており、オフピーク時を $t = 1$ 、オンピーク時を $t = 2$ で示す。このとき逆需要関数の係数 a_t, b_t は $a_2 > a_1$, $\frac{a_2}{b_2} > \frac{a_1}{b_1}$ とする。各事業者の発電量は、社会的余剰を最大にするように決定される。

コネクト&マネージは、2段階の意思決定過程と表され、火力電源の発電量 q_{1t}, q_{2t} を決定した後、再生可能エネルギー電源の発電量 q_{3t} を決定する。送電容量を K とすると、地域1での発電量と送電

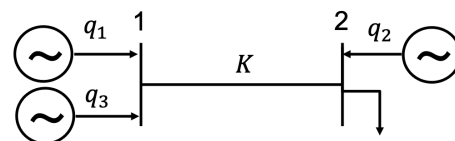


図 1: 本研究の2ノードモデル

容量 K の関係により、各段階で場合分けが行われる。第1段階では火力電源1の発電量 q_{1t} と送電容量 K に応じて、次の2ケースが考えられる。

(i) $q_{1t} \geq K$ のとき, $q_{1t} = K$

(ii) $q_{1t} < K$ のとき, $q_{1t} = q_{1t}^*$

また、第2段階では第1段階で決定した火力と再生可能エネルギーの発電量と送電容量の残量との関係に応じて、次の3ケースが考えられる。

(i) $q_{1t} \geq K$ のとき, $q_{3t} = 0$

(ii)-1 $q_{1t} < K, q_{3t} \geq K - q_{1t}^*$ のとき,

$$q_{3t} = K - q_{1t}^*$$

(ii)-2 $q_{1t} < K, q_{3t} < K - q_{1t}^*$ のとき, $q_{3t} = q_{3t}^*$
本問題は以下のとおり、社会的余剰を最大化することにより、各発電量が決定される。

$$\max_{q_{it} \geq 0} a_t \sum_i q_{it} + \frac{1}{2} b_t \left(\sum_i q_{it} \right)^2 - \frac{1}{2} \sum_i c_i q_{it}^2$$

第1段階での意思決定は、第2段階でのものに依存するため、この社会的余剰最大化問題を解く際は、第2段階の再生可能エネルギー電源発電量の決定から解を求める。

2.1. 再エネ電源発電量の決定（第2段階）

以上の設定を踏まえ、第2段階の再生可能エネルギー電源発電量の決定は、第1段階に火力電源において決定された発電量のもと、社会的余剰を最大化する問題として解くことができる。

KKT条件により、再生可能エネルギー発電事業者の最適発電量 q_{3t} は、火力発電事業者の発電量 q_{1t}, q_{2t} の関数として表すことができる。

(ii)-1 $q_{3t} \geq K - q_{1t}^*$ のとき

$$q_{3t} = K - q_{1t}$$

(ii)-2 $q_{3t} < K - q_{1t}^*$ のとき

$$q_{3t} = \frac{a_t + b_t(q_{1t} + q_{2t})}{c_3 - b_t}$$

2.2. 火力電源の発電量の決定（第1段階）

各火力発電事業者の発電量は、火力電源1の発電量 q_{1t} と送電容量 K に応じて次のように最適解が求められる。

(i) $q_{1t} \geq K$ のとき

$$q_{1t} = K, \quad q_{2t} = \frac{a_t + b_t K}{c_2 - b_t}$$

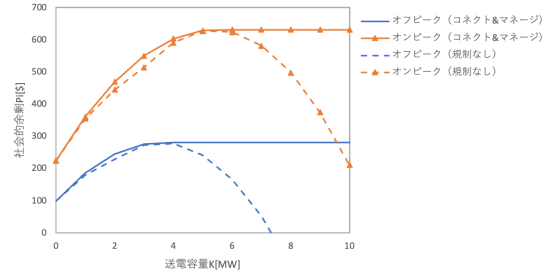


図 2: 送電容量と社会的余剰の関係

(ii) $q_{1t} < K$ のとき

(ii)-1 $q_{3t} = K - q_{1t}^*$ のとき

$$q_{1t} = \frac{c_3 K}{c_1 + c_3}, \quad q_{1t} = \frac{a_t + b_t K}{c_2 - b_t}$$

(ii)-2 $q_{3t} < K - q_{1t}^*$ のとき

$$q_{1t} = \frac{a_t}{c_1 b_t \left(\frac{1}{b_t} - \frac{1}{c_3} - \frac{1}{c_2} - \frac{1}{c_1} \right)}$$

$$q_{2t} = \frac{a_t}{c_2 b_t \left(\frac{1}{b_t} - \frac{1}{c_3} - \frac{1}{c_2} - \frac{1}{c_1} \right)}$$

3. 分析結果

社会的余剰最大化の同時最適化を行う規制なしモデルとコネクト&マネージモデルにおいて、送電容量 K の影響について分析を行った。社会的余剰の変化を表したものが図2である。規制なしモデルとコネクト&マネージモデルを比較すると、コネクト&マネージモデルの方が常に社会的余剰が大きいことがわかる。これは、コネクト&マネージにより送電容量制約の下で各事業者の最適発電量を決定したためであると考えられ、本分析では、コネクト&マネージモデルの方がより効率的に送電設備を利用して電力を供給できるといえる。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費助成事業基盤研究(B) (課題番号: 19H02380) を受けて実施したものである。

参考文献

[1] Afzal S. Siddiqui, Makoto Tanaka, & Yihsu Chen.: Sustainable transmission planning in imperfectly competitive electricity industries: Balancing economic and environmental outcomes, *European Journal of Operational Research*, **275**, 208–223, 2019.