

不確実な再生可能電源に対する送電計画の検討

A Study on Transmission Line Planing for Uncertain Renewable Energy Sources

城山 智吉

指導教員 伊庭 健二

明星大学理工学部 総合理工学科 電気電子工学系 伊庭研究室

要旨：太陽光発電や風力発電はMWを超える大規模な発電所が建設されており、国内の再生可能エネルギーの普及促進に貢献している。しかし、これらの電源は需要の少ない地域に適地に広く分散しているうえ、電力自由化に伴う発送分離政策により送電線の長期建設計画が難しくなっている。本稿では列挙法を用いて接続可能なすべての送電網を多様な目的関数を用いて評価して、広範囲に分散した再生可能エネルギー電源を結ぶ送電網計画の基礎的研究を行った。

キーワード：再生可能エネルギー，送電線計画，多目的計画，総当たり法

1. はじめに

近年、風力発電や太陽光発電などの再生可能エネルギーの普及促進が求められている。しかし、再生可能エネルギーの適地は過疎地が多く、送電線経路の確保が問題となっている。発電所計画と送電線計画の連携も電力自由化の観点や発送分離によって難しくなっており、旧来とは異なるアプローチが必要である。また、送電線路の計画も年次を追って開発が進む電源に対して過不足なく建設する必要がある。そこで、本研究では長期間にわたり過不足なく無駄のない連続性のある送電網計画の基本的な検討を行った。ここでは送電線の亘長を元に算出した建設コストや送電損失、送電線のルート断事故に対する信頼性の評価等を定量的に評価し建設計画の不確実な風力発電所を結ぶ送電線を計画することを目的とした。

2. 対象とするモデル系統

本研究ではウインドファーム(WF)の建設候補地を仮想したものをモデルとする。本研究では総当たり法で想定しうるすべての送電網の特徴をもれなく分析するため、表1に示す位置データと需給データを用い、図1に示す5ノード系統を対象モデルとした。なお、ここで、No.4母線を電力の集約点とし他の母線をWFとした。送電線の本数は最小で4本、最大で ${}_5C_2=10$ の10本である。この10本の候補の選択するしないの組み合わせの総数は連結グラフとならないケースを含め、 $2^{10}=1024$ となる。

表1 需給データ

母線 NO.	X 軸 [km]	Y 軸 [km]	電力量 [pu]
1	14.6	22.1	0.37
2	15.7	24.6	0.24
3	11.7	14.0	0.47
4	26.9	11.8	-1.48
5	24.9	22.7	0.4

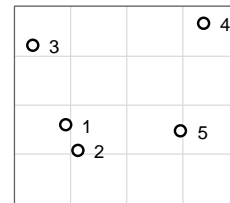


図1 5ノードモデル系統

3. 列挙法による系統の評価

列挙法を用いて全てのブランチの組み合わせの送電網を生成した。このとき系統が分断されているものやすべての母線を含んでいないものは除き、連結グラフになるものだけを選ぶと1024のうち729ケースが検討対象となった。この対象系統に対して簡易的な潮流計算法であるDCflow法を用いて潮流計算を行ない、各ノードの位相角と線路潮流を求めた。さらに各対象系統の建設コスト、送電損失コスト、送電線事故時(ルート断時)に供給できなくなる電力量の平均値を以下の式を用いて求めた。

$$C_{Const} = \sum_{i \in \text{selected}} \text{Length}_i \quad (\text{線路総亘長}) \quad \dots (1)$$

$$C_{Loss} = \sum_{i \in \text{selected}} R_i \times P_{Flow i}^2 \quad (\text{線路抵抗} \times \text{潮流の二乗}) \quad \dots (2)$$

このように、ブランチ数（線路数）の少ない系統から、非常に密に接続された系統まで、すべての組み合わせの系統に対して、その評価を行い各目的関数（コスト、損失、重みづけ和）の小さいもののベスト3を記録した。

4. 各目的関数による系統の評価

連結グラフとなる729通りの対象系統のうち線路が交差するものを除いた156通りを評価対象とし列挙法（総当たり法）で3種類の目的関数を評価し、ベスト3の系統を求めた。

建設コスト最小を目的関数とした場合の結果を図2に示す。この目的関数では送電線の総互長を最小化しているため、最小の系統は最小全域木（Minimum Spanning Tree）となっている。この結果はプリム法で求めた最適解と同じことを確認している。

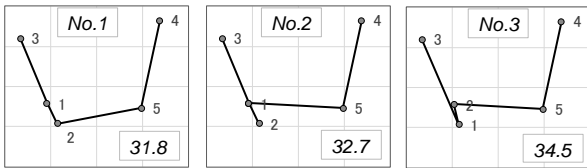


図2 建設コスト最小のベスト3

送電損失最小を目的関数とした場合の結果を図3に示す。この目的関数では送電線で発生する損失を簡易計算しその総和（総損失）を最小化している。この送電網計画ではループ系統を構成することも含めて検討しているため、ループ系統を選んでいる。また、No.4母線は集約母線なので、これに直接各WFの電力を供給するような系統も第3位に選ばれている。

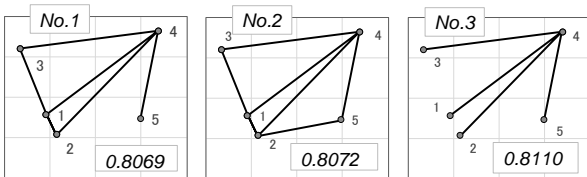


図3 送電損失最小のベスト3

送電線に事故が発生しルート断に至ると、WFの発電した電力が集約点のNo.4母線に送り出すことができなくなることが想定される。そこで、このような事故時に供給できなくなる電力の平均値を目的関数とした場合の結果を図4に示す。ループ系統ではループを構成する送電線の事故時にも電力供給できるので信頼度は高くなる。送電網の計画にはこのような供給信頼度に関わる観点からも検討が必要であると思われる。

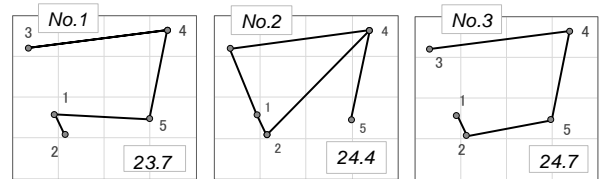


図4 線路事故時の電力喪失最小のベスト3

5. まとめ

5母線系統を用いてWFを結ぶ送電網の計画問題を検討した。列挙法を用いて想定しうるすべての系統候補に対して、送電建設コスト、送電損失、線路事故時の電力喪失の3つの評価関数を用いて評価した。今後はより精度を高めて内容を吟味するとともに、潮流計算を精度の高い潮流計算手法に変更し、送電線網の各母線の電圧分布や無効電力損失を算出する他、より大規模な問題への適用方法を検討したい。

参考文献

- [1] 中西要祐、伊庭健二：「潜在的な大容量風力発電の導入に向けた送電線計画」日本風力協会会誌 jwpa.jp/2013_pdf/88-27tokushu.pdf
- [2] 小林 良、伊庭健二、中西要祐「クラスタリングを利用した風力発電所内配電線ネットワークのコスト最小化問題」電気学会全国大会富山大学、6-250, 2017. 3. 16