

既設送電設備の有効活用を実現する センサーレスのダイナミックラインレーティング

Dynamic Line Rating Technology without Use of Sensors for Effective Utilization of Existing Transmission Lines

大成 高顕 OHNARI Takaaki 下尾 高廣 SHIMOO Takahiro 上田 隆司 UEDA Takashi

データセンターや生成AI活用などの増加に伴い、増大する電力輸送への対応が求められている。電力系統設備の増強には時間・コストが掛かるため、既設送電設備の送電可能容量を環境条件に合わせて変化させるダイナミックラインレーティング(DLR)の適用が期待されている。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、センサーレスのDLR技術を開発している。このDLRは、気象予測と地形を考慮した風況解析技術を組み合わせ、送電線のボトルネックとなる地点を確認して計算することで、センサーを使用せず、送電可能容量の限界値を動的に計算する。実用化に向けて、風況推定手法の検証を行ったところ、実際の観測値の傾向を精度良く捉えられることを確認した。DLRの適用拡大で、既設送電設備の有効活用につなげていく。

In recent years, the expansion of data centers associated with the explosive growth of generative artificial intelligence (AI) has given rise to the need for higher power transmission capacity. Because construction of new facilities for this purpose entails considerable time and cost, application of dynamic line rating (DLR) technologies is attracting attention, as they can accommodate a wide variety of environmental conditions at existing facilities by changing the power transmission capacity.

To make more effective use of existing facilities, Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation is developing DLR technology to dynamically calculate transmission capacity limits by identifying bottlenecks in transmission lines using meteorological forecasting and wind resource analysis taking into consideration the terrain without the use of sensors. Verification tests on estimating wind conditions with the goal of practical application of the DLR technology confirm that predicted wind conditions generally agree with actual trends.

1. まえがき

カーボンニュートラル実現のために、今後電力系統は再生可能エネルギーの接続量が大幅に増加することが予想されている。また最近、巨大なデータセンターの設置が加速しており、電力需要の増加も見込まれている。これらの変化は急速であり、増大する電力輸送への対応を、系統の大規模な増強の完成まで待つことは難しい。

このような状況への対策として、環境条件に合わせて送電線の送電可能容量を動的に変化させるDLRという技術がある⁽¹⁾。従来は、想定される気象条件(日射・風速・外気温)の中で厳しいものを固定条件として、送電可能容量を事前に計算し設定する(SLR: Static Line Rating)保守的な手法を取っていた。これに対しDLRは、近年のデジタル技術を駆使し、時々刻々と変化する送電線付近の気象条件や導体温度などを推定し、動的に送電可能容量を計算する。これにより、既設設備のまま多くの電流を送ることが可能になるため、短期間・低コストで対応できる。従来のDLR技術は、センサーを用いる方式であり、直接設備に接触して計測した物理パラメーターから計算する接触型と、遠

隔から設備の物理パラメーターを計測して計算する非接触型がある。

一方、東芝エネルギーシステムズ(株)は、気象モデルから送電可能容量を推定するセンサーレスのDLR技術を開発しており、我が国での実用化を目指して風況推定手法を検証中である。DLRの系統運用への適用は、「日本版コネクト&マネジメントシステム⁽²⁾」(以下、コネマネシステムと略記)と組み合わせることで、運用負担の増加を最小限にできる。

ここでは、当社技術の特長であるセンサーを使用しないDLR技術と、系統運用への導入について述べる。

2. DLRの時間的・空間的予測手法

系統運用では、前日の段階で翌日の送電可能容量を考慮した運用計画を策定する。また、前日に決めた運用計画を、当日30分おきに見直す。4章で後述するように、系統運用でDLRを利用するためには、送電可能容量増分を予測する必要がある。DLRの計算には気象情報を使用しているため、DLRの予測精度は将来時間断面の気象情報の予測(以下、時間的予測と呼ぶ)の精度に影響を受ける。また、送電線

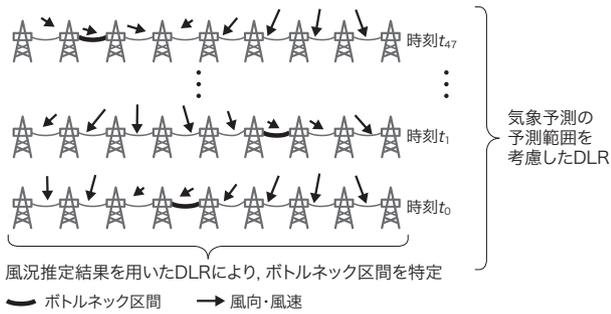


図1. DLRの予測の概要

気象予報のデータを基に算出した風況解析を活用し、DLRを空間的に高解像度化する。

Conceptual diagram of new DLR technology with meteorological forecasting and wind resource analysis

の亘長(こうちょう)は一般的に数~数十kmあり、風の吹き方は場所によって異なることも多い。そこで、空間的な気象情報のばらつきを考慮し、風による冷却効果が最も得にくく導体温度が上昇しやすい箇所、すなわちDLRで計算された送電可能容量が最低値となり、送電可能容量決定の律速となる箇所(以下、ボトルネック区間と呼ぶ)を予測(以下、空間的予測と呼ぶ)することが重要である。

DLRによる送電可能容量の過大予測は、最終的に送電線の劣化や破損を招くおそれがあるため、DLRの時間的・空間的予測をうまく組み合わせ、過大予測を回避する必要がある。

当社は、DLRの時間的・空間的予測手法を開発している(図1)。以下、時間的予測手法と空間的予測手法の概要について述べる。

2.1 時間的予測手法

時間的予測手法では、気象情報の不確実性(予測範囲)を考慮し、DLRの過大予測を抑制する保守的な予測を行う。DLRの計算に使用する気温・日射量・風速・風向の気象予測情報に関して、気象庁が提供する格子点上の気象要素の値(GPV: Grid Point Value)を基に、その予測値の範囲を考慮して、例えば風速であれば最も低い値、気温であれば最も高い値を用いて、保守的なDLRを計算する。気象予測情報の予測範囲を取得する方法として、気象庁のメソアンサンブル予報システム(MEPS: Meso-Scale Ensemble Prediction System)の活用を検討している。MEPSは、1点の予報値に僅かな摂動を加えることで、不確実性を考慮した合計21の気象予測のパターンを生成する(図2)。21のパターンそれぞれに対してDLRを計算し、DLRが最低となる気象パターンを採用することで、気象予測の外れが生じた場合のDLRの過大予測を回避する。

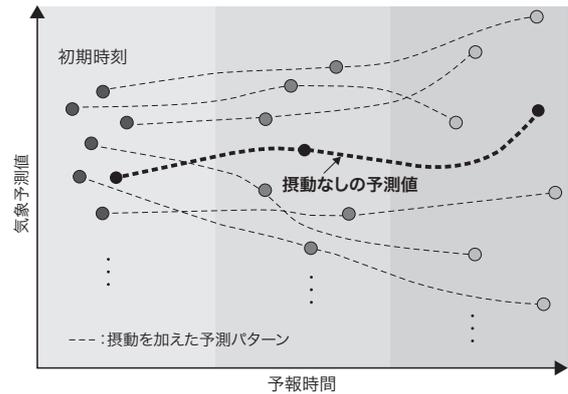


図2. MEPSの概念

MEPSは、1点の予報値に摂動を加え、不確実性を考慮した合計21の気象予測のパターンを生成する。

Meteorological forecasting using meso-scale ensemble prediction system (MEPS) developed by Japan Meteorological Agency

実在する特別高圧送電線に関して、近傍のAMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System) 地点の気象計測情報を正解の気象情報とし、そのAMeDAS地点と最も近い格子点のMEPSの気象予測値を用いて、正解の気象情報を用いた正解相当のDLRに対して、DLRの予測値が過大予測となる割合(過大予測率)を評価した。例として39時間先予測を用いた結果を示す摂動なしの1点予測では、過大予測率が56%となったのに対して、MEPSによるDLR予測値の最低値を用いることで17%まで低減される結果を得た。更に、計算に使用する風速値に上限を設けることで、過大予測率をほぼゼロまで抑制し、この条件で、SLRによる送電可能容量より平均28%大きい値を得た。

2.2 空間的予測手法

空間的予測手法では、DLRに特に影響度の高い風況に着目し、時間的予測で用いた風況の予測値を、3章で詳述する手法を用いて送電線の鉄塔区間以下まで空間的に高解像度化する。空間的に高解像度化した風況予測値を用いて、鉄塔区間ごとのDLRを評価し、最も低い値の箇所をボトルネック区間として特定する。

時間的予測手法と空間的予測手法を組み合わせることで、気象予測の誤差に起因するDLRの過大予測を回避し、より安全にDLRを系統運用に取り入れることが可能となる。

3. 送電線沿線の風況推定手法

3.1 風力発電向け風況解析技術

送電線沿線の風況推定手法には、CFD(数値流体解析)に分類される風況解析技術を用いる。この技術は、特定の地域や地点における地形形状を正確に捉えて数m程度まで

高解像度化し、風の特性を評価・解析して数秒から数分程度の現象を捉える。風力発電向けに、発電所の建設予定地内に設置した観測マストで計測した風向・風速情報を基に、風車最適配置検討や風車健全性評価を行っている。点で取得した風況観測データを面に展開することが特長である。

風車のハブ高さや送電線の地表面からの高さが同等である点に着目し、風力向け風況解析技術を送電線沿線の風況推定手法に展開した。

3.2 送電線沿線の風速推定手法とその検証

送電線沿線の風速推定手法では、評価対象送電線エリアにおいて地形形状を考慮した風況解析を風向ごとに行い、気象庁が2 km又は5 km間隔の水平解像度で提供するGPVを入力として、送電線沿線の風況を面的に評価することで、鉄塔付近の風速及び風向を推定する。図3に評価対象送電線エリアにおける風況解析結果の例を示す。地形の起伏によって送電線間での風速分布が異なることが確認

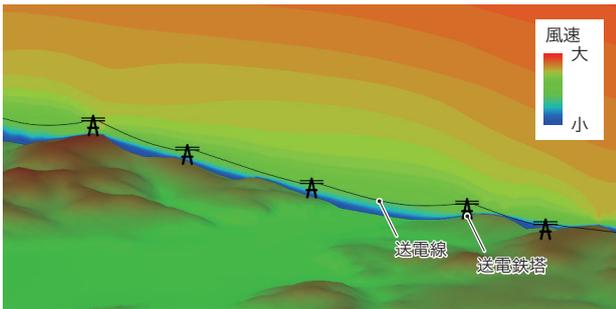


図3. 風況解析結果の例

評価対象送電線エリアの地形形状を考慮して、風況解析を行うことで、地形の起伏によって風速分布が異なる結果が得られる。

Example of distributions of wind speed in area surrounding transmission lines obtained by wind resource analysis

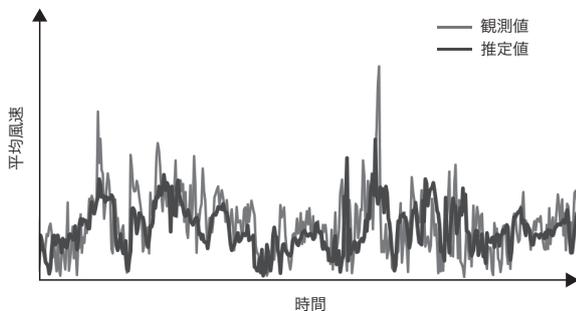


図4. 平均風速の観測値と推定値の比較

気象情報と風況解析を組み合わせた風速推定手法により、観測値を良く再現できることを確認した。

Comparison of measurement data and estimation results of average wind speed

できる。風況解析を用いることで、送電線間の風速をより詳細に推定し、センサーレスでも送電線間のボトルネック位置を適切に特定して、DLRの過大評価を抑制できる。

図4は、風況推定手法の妥当性検証のため、風速予報データと風況解析結果を組み合わせることにより、送電線間を25 m間隔まで空間的に高解像度化し、鉄塔設置の気象観測地点における平均風速を推定した結果である。平均風速の推定値は、実際の観測値の傾向を精度良く捉えており、この手法の有用性を確認できた。

4. 系統運用へのDLRの導入

4章では、一般送配電事業者の系統運用における、送電線の熱容量によって決まる送電可能容量の限界（以下、熱容量限度と呼ぶ）の利用シーンを整理し、系統運用者にとって負担の少ないDLRシステムの導入について述べる。

4.1 現在の系統運用とDLR適用後の課題

一般送配電事業者は一般に、前日及び当日に、図5の中央の列に示すようなステップでエリア需給計画を策定し、出力制御を行う⁽³⁾。

前日計画では、翌日の24時間のエリア需給計画策定として、主に次に示す二つの作業を実施する。

- (1) 混雑予想の計算 発電事業者から提出された翌

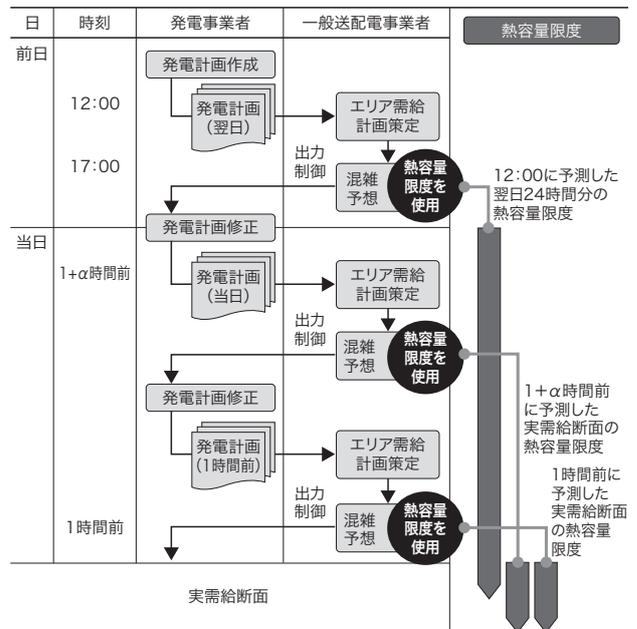


図5. 需給計画の策定で用いる将来の熱容量限度

一般送配電事業者は、エリア需給計画策定の各タイミングで、将来の熱容量限度を算出する。

Limits of future transmission capacity for planning electricity supply and demand

日の発電計画と需要予測を基に、送電可能容量を用いた送電網の混雑予想を行う。

- (2) 初期出力制御値の通知 混雑が予想される場合、発電事業者に対して発電計画の修正のための出力制御値を通知する。

当日計画では、当日の実需給の1+ α 時間前に、再度混雑予想を行い、必要に応じて出力制御値を更新する。また、実需給の1時間前に最終的な発電計画を確定し、出力制御値を更新する。

ノンファーム型接続における需給計画策定を支えるシステムの一つとして、コネマネシステムがある。また、給電制御を支援する給電制御システムも、活用されている。

DLR適用後は、需給計画の混雑予想に使用する熱容量限度が、DLRが提供する値に変わる。当日の需給計画の更新は30分間隔であるため、30分間隔で最新の熱容量限度に更新することが望ましいが、これを手動で行うことは系統運用者の負担が大きい。また、当日の運用では、需給計画で作成した計画に応じて、リアルタイムに需給バランスを監視する。それと同時に、給電制御システムでは潮流が熱容量限度を超えていないかの確認（潮流監視）など系統内の異常を迅速に検知する。DLR適用後は、4.2節に述べるようにコネマネシステムと給電制御システムで同じ熱容量限度を使う必要がある。

4.2 系統運用へのDLRの適用

系統運用にDLRを適用する際に、需給計画の各ステップで必要な熱容量限度について、図5の右側に示す。

前日計画では、翌日の混雑予想を行うために、12:00の段階で翌日の24時間（30分を1コマとして48コマ分）の熱容量限度を、DLRが提供する。

当日計画では、当日の実需給の1+ α 時間前及び1時間前に、再度混雑予想を行うため、この段階でアップデートされた気象データなどを基にDLRで熱容量限度を計算する。

DLRを系統運用にスムーズに導入するために、図6に示す三つの仕組みを用意する。

- (1) 熱容量限度算出に必要な気象条件を予測して、将来の熱容量限度を提供する仕組み
- (2) コネマネシステムや給電制御システムといった複数のシステムで熱容量限度を共有する仕組み
- (3) 各システムの熱容量限度を自動で更新する仕組み

この三つの仕組みにより、系統運用者の手を介することなくDLR演算で更新された熱容量限度がコネマネシステムや給電制御システムに共通に反映されるため、系統運用者は30分おきに变化する熱容量限度を意識せず、これまでどおりの運用が可能となる。

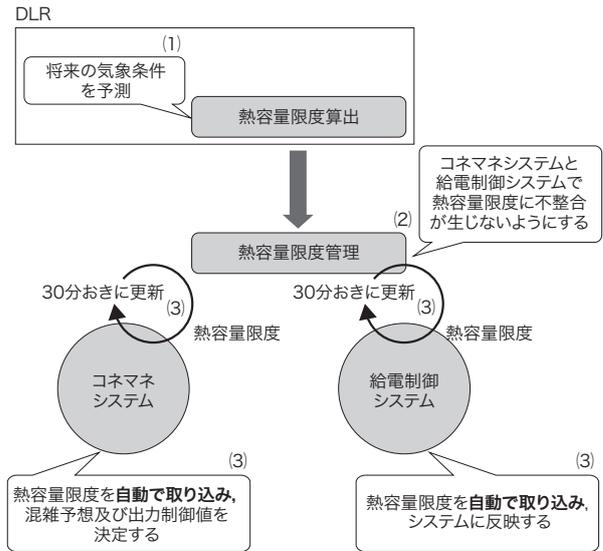


図6. DLR導入をスムーズにするための仕組み

熱容量限度を、コネマネシステム・給電制御システムに自動的に共有できるため、系統運用者は30分おきに变化する熱容量限度を意識せず系統運用できる。

Mechanism for facilitating introduction of new DLR technology

5. あとがき

ここでは、当社が実用化を目指して開発しているセンサーレスのDLRについて述べた。気象予測、風況解析の技術を活用することでセンサーを不要にできること、及び空間的・時間的なボトルネックを予測することで送電可能容量の過大予測を回避できることを示した。また、今後導入が進められるコネマネシステムと組み合わせることで、系統運用者への負担の増加を最小にできることを示した。

DLRの活用を広げることで、既存の送電設備を有効活用でき、カーボンニュートラル実現とコスト負担最小化の両立を実現できる。DLRの活用範囲が徐々に広がることや、気象予測技術が日々進化していくことなどを考えた場合、例えばクラウドシステムなどによるサービス型でのDLRを提供すると、フレキシブルに活用できると考えられる。

当社は、変圧器のダイナミックレーティング(DTR: Dynamic Transformer Rating)を実用化済みであり⁽⁴⁾、DLRとDTRを組み合わせることで、一層広範囲に既存設備の有効活用が可能になる。

文献

- (1) 下尾高廣, ほか, “ダイナミックラインレーティングの適用効果の試算”, 令和4年 電気学会 電力・エネルギー部門大会論文集, 福井, 2022-09, 2022, 論文No.188.
- (2) 東京電力パワーグリッド, 日本版コネクト&マネージを実現する制御シ

- システムの開発プロジェクト推進状況(ご紹介). <第54回 広域系統整備委員会 資料3, 2021, 16p. <https://www.occto.or.jp/iinkai/kouikikeitouseibi/2021/files/seibi_54_03_01.pdf>, (参照 2025-02-05).
- (3) 電力広域的運営推進機関, 系統の接続および利用ルールについて ～ノンファーム型接続～, 2024, 67p. <https://www.occto.or.jp/grid/business/documents/NF_setsuzokuriyou_20240902.pdf>, (参照 2025-02-05).
- (4) 安田忠彰, ほか, “変圧器ダイナミックレギュレーション装置の開発”, 平成29年電気学会全国大会論文集, 富山, 2017-03, 6-322.



大成 高顕 OHNARI Takaaki
東芝エネルギーシステムズ(株)
グリッド・ソリューション事業部 グリッドサービス事業推進部
電気学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



下尾 高廣 SHIMOO Takahiro
東芝エネルギーシステムズ(株)
エネルギーシステム技術開発センター システム制御技術開発部
電気学会・エネルギー・資源学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



上田 隆司 UEDA Takashi
東芝エネルギーシステムズ(株)
エネルギーシステム技術開発センター 機械技術開発部
電気学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.