

GIS を用いた柱上変圧器の負荷推計モデルの構築

蓮井 久美子 中島 健二 園山 実 石田 雅宏

Construction of pole transformers load estimate model using GIS

Kumiko HASUI Kenji NAKAJIMA Minoru SONOYAMA Masahiro ISHIDA

Abstract: An estimation model of power load according to the practical utilization is needed because the total amount of the power loss of pole transformers, while that of each transformer is small, would be significant. The load of transformer is affected by the power consumption of consumers, which is affected by terms of the contract, temperature and/or the sunup-to-sundown time. We report the analysis of the influence such as the climatic condition based on load measurement data and the construction of the estimation model using them.

Keywords: 柱上変圧器 (Pole Transformer) 負荷 (Load) 損失 (Loss) 負荷推計モデル (Load Estimation Model)

1. はじめに

電力会社の配電設備には電柱や柱上変圧器(以下、変圧器という。)などがあり、膨大な数量の設備が面的な広がりをしている。このような状況において、地理情報システムは単に設備管理をするだけでなく、地域特性に関わる傾向分析を行い、その対策の検討や投資方針の決定などを補足するツールとして期待できる。

そこで我々は、蓮井・中島・園山・石田(2007)において、環境面を考慮した変圧器設置の指標設定を目標とし、変圧器で生じる損失に着目した実測負荷電流データの分析により、契約条件から負荷変動パターン推計するモデルを構築した。しかし、この推計モデルは気象条件や地域特性などの空間的要因を考慮しておらず、設置指標設定ツールとして使用するためにはモデルの精緻化が必要であることを指摘していた。

そこで、本研究では、変圧器の効果的な管理・運用・選定のための手法の確立に向けて、変圧器内の契約内容や地域特性などの情報をもとにデータ分析を行い、空間的要因を考慮した変圧器の負荷パターンと変圧器で生じる損失の予測モデルを構築した。

2. 対象地域と使用データ

本研究の検討対象地域は、中部電力管内の営業所のうち、名古屋支店A営業所と長野支店B営業所とし、使用するデータの諸元は下記の通りである。

(1) 実測負荷電流データ

中部電力管内の全域より選定した 47 箇所の電灯専用変圧器で測定した負荷電流データ(表1)。

表1 実測負荷電流データの諸元

	データ内容
測定期間	H16.8.1-H17.7.31
データ内容	2 分平均電流値
設備・負荷情報	変圧器容量・種類・利用率

(2) 負荷管理データ

A 営業所と B 営業所における各変圧器内の契約負荷情報(表2)。

表2 負荷管理データの諸元

	A 営業所管内		B 営業所管内	
	H16 年	H18 年	H16 年	H18 年
変圧器数	11,727	11,775	17,156	17,336
データ	変圧器容量・種類		契約種別口数 契約種別容量	

(3) 管理区メッシュデータ

中部電力が設備所在地を管理するために設定しているメッシュに関する地図データ。

A 営業所; 500m(一部 1km)メッシュ

B 営業所; 1km(一部 2km)メッシュ

3. 実測負荷電流データの分析

3.1 基本となる考え方

これまでの研究により、変圧器の負荷は1年を通じておおむね図1に示すような典型的な日変動パターンを示すことがわかっている(蓮井ら、2007)。そこで、典型的な日変動パターンは、朝・昼・夜の各ピークの電流値・時刻・持続時間、および深夜時間帯の電流の累計値・ピーク時刻・ピーク持続時間から構成されると仮定し、各項目の季節変動および週変動について分析を行う。ただし、以降は、7:00 前後のピークをP1、12:30 前後のピークをP2、21:00 前後のピークをP3と記す。

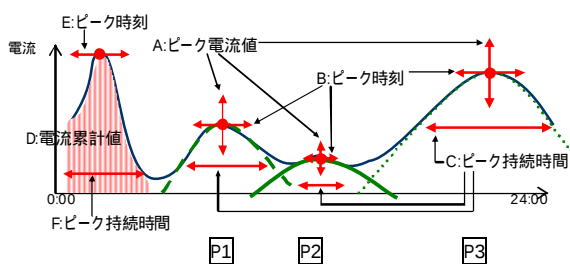


図1 基本となる考え方

なお、実測負荷電流データの推移は滑らかではなく、また、一時的な電気使用の集中などで局所的に極大値を示すこともしばしばあるため、ピークは上に凸の一つの放物線を描くとは限らない。そこで、ピーク時間帯(P1:7:00-10:30、P2:11:00-14:00、P3:15:00-23:00)における最小電流値と最大電流値の差の75%以上を示す時間をピーク持続時間、ピークの開始時刻と終了時刻の真ん中の時間をピーク時刻と定義した。

3.2 ピーク電流値の分析

ピーク電流値(ピーク時間帯における最大電流値)は気温20前後を境として、これよりも気温が高くて低くても値が大きくなる(図2・3・4)。また、一般的に、P1は週末より平日、P2は平日より週末に電流値が高くなり、P3では平日と週末で差はない。

そこで、ピーク別・平日週末別に20前後で現れるカーブの底に対して左右別に二次曲線($y=ax^2+bx+c$)にあてはめ、各係数と契約容量の回帰分析を実施した。その結果、平日および週末のP2・P3(週末の場合で、底の左側の係数aを除く)において5%水準で有意であり、決定係数も0.42から0.86と比較的高い値を示した(図5)。

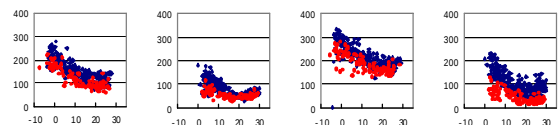


図2 P1の気温とピーク電流値の関係(抜粋、青:平日、赤:週末、横軸:気温(℃)、縦軸:電流(A))

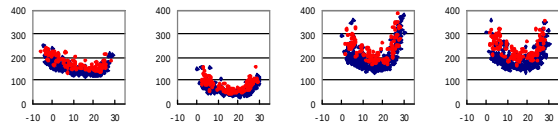


図3 P2の気温とピーク電流値の関係(抜粋、青:平日、赤:週末、横軸:気温(℃)、縦軸:電流(A))

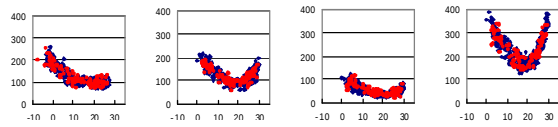


図4 P3の気温とピーク電流値の関係(抜粋、青:平日、赤:週末、横軸:気温(℃)、縦軸:電流(A))

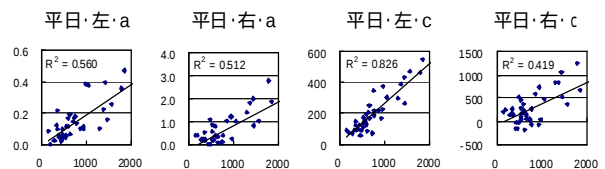


図5 気温・ピーク電流値曲線と契約容量の関係(抜粋、横軸:契約容量(A)、縦軸:係数の値)

3.3 ピーク時刻の分析

ピーク時刻には、気温や日中時間の変化などの季節変動と、需要家が在宅か否か等による週変動とが想定される。そこで、ピーク時刻を被説明変数とし、気温および日中時間を説明変数とする単回帰分析を行ったところ、特にP3で気温・日中時間ともに値が大きくなるほどピーク時刻が遅くなる傾向がみられた(図6参照)。ただし、決定係数に着目すると、P1では気温と、P3では日中時間との間で決定係数が高い変圧器が多かった。

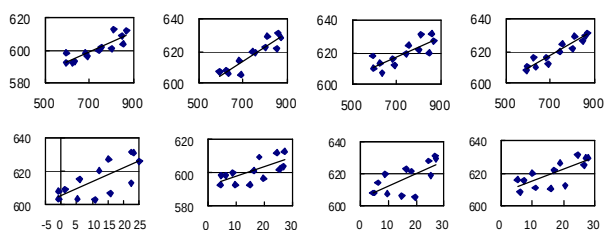


図6 P3の気温・日中時間とピーク時刻の関係(抜粋、上段 横軸:日中時間(分) 縦軸:ピーク時刻(観測時点)、下段 横軸:気温(℃) 縦軸:ピーク時刻(観測時点))

3.4 ピーク持続時間の分析

また、ピーク持続時間にも、気温や日中時間の変化などの季節変動と、需要家が在宅か否か等による週変動とがあることが想定される。そこで、ピーク時刻を被説明変数とし、気温および日中時間を説明変数とする単回帰分析を行ったところ、特に P3 で気温・日中時間ともに値が大きくなるほどピーク持続時間が短くなる傾向が確認できた(図7参照)。ただし、決定係数に着目すると日中時間との間で決定係数が高い変圧器が多く、また、P1・P2 では総じて値の変動は小さかった。

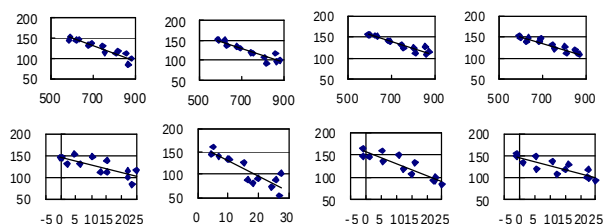


図7 気温とピーク時刻の関係(抜粋)

上段 横軸:日中時間(分) 縦軸:ピーク持続時間(観測時点)
下段 横軸:気温() 縦軸:ピーク持続時間(観測時点))

3.5 深夜時間帯(23:00-7:00) 負荷の分析

深夜時間帯の需要家による電気使用は、深夜電気温水器(以下、温水器という。)の有無に左右される部分が大きく、温水器を使用している場合は、温水の使用量が同じであれば水温が下がる冬季に電気の使用量が增大する。しやがって、深夜時間帯の実測負荷電流データは、温水器の稼働状況によって傾向が異なり、温水器を使用しない場合の電流値は昼間時間帯同様の傾向を示すが、温水器関連の契約容量が大きい場合には気温が低くなるほど深夜時間帯の累積電流値が大きくなる傾向がある(図8)。

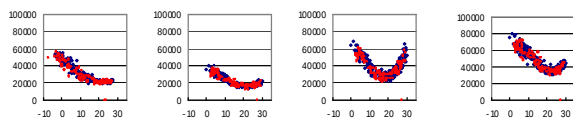


図8 気温と深夜累計電流値の関係(抜粋、青:平日、赤:週末、横軸:気温()、縦軸:累計電流値(A))

そこで、平日・週末別に 20 前後で現れるカーブの底に対して左右別に二次曲線($y=ax^2+bx+c$)にあてはめ、各係数と電灯契約容量および温水器関連契約容量との重回帰分析を実施した結果、週末の左側の係数 a を除いては5%水準で有意な値が得られ、決定係数も 0.42 から 0.86 であった。

4. 変圧器負荷予測モデルの構築

4.1 モデル全体像

以上の分析結果をもとに、変圧器負荷予測モデルを構築した。モデルの全体像および各変数の決定モデルの概要は図9の通りである。

4.2 各変数決定モデル

3.2 節から 3.5 節で行った回帰分析の結果を、各変数の決定モデルとして採用した。ただし、図9に示した通り、決定係数が低かった変数については、分析結果およびこれまでの知見をもとに変数を固定とした。

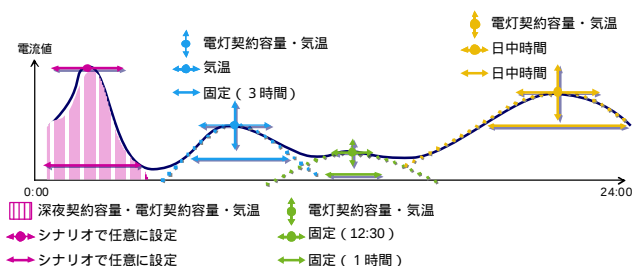


図9 モデルの概要

4.3 推計モデルの検証

前節で構築した変圧器負荷予測モデルを負荷管理データに適用し(図10)、この結果と実測負荷電流データとの間の相関係数と累積誤差を算出した(図11・12)。

図11に示すように、蓮井ら(2007)で作成したモデルでは、実測負荷電流データから移動平均により年間を通じて共通の日変動モデルを作成して、これに年変動モデルによる各月の係数を一律でかけている。このため、相関係数では非常に高い値を示しているが、ピーク毎の季節変動の特徴などを表現することができないため、累積誤差は大きい。一方、本研究で作成したモデルは、この欠点を解消するためにピーク毎の季節変動の特徴を表すモデルとして構築しており、相関係数では若干当てはまりが悪いものの、図12に示すように累積誤差は小さくすることができた。

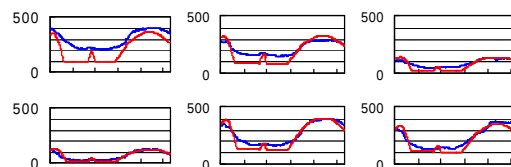


図10 推計結果と実測負荷電流(抜粋、青:実測負荷電流、赤:推計電流、横軸:7:00-23:00、縦軸:電流(A))

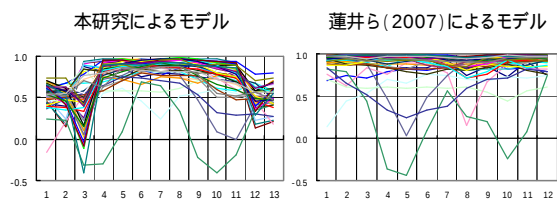


図 11 相関係数によるモデル検証結果
(X 軸: 左はクール(=4週間)、右は月 Y 軸: 相関係数)

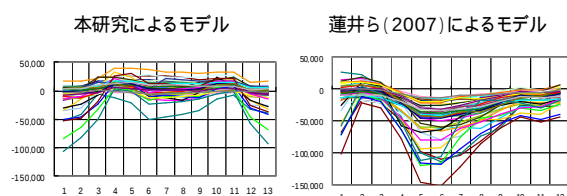


図 12 累積誤差によるモデル検証結果
(X 軸: 左はクール(=4週間)、右は月 Y 軸: 累積誤差(A))

5. シミュレーション

5.1 損失のシミュレーション

前節で構築した変圧器負荷予測モデルを用いて、下式により損失を推計した。

$$\text{変圧器の全損失}_{[W]} = \text{無負荷損}_{[W]} + \text{負荷損}_{[W]} \times \text{利用率}^2$$

また、変圧器の利用率は、

$$\text{利用率}[\%] = \frac{\text{負荷電流値}_{[A]} \times \text{平均電圧}_{[V]}}{\text{定格容量}_{[VA]}} \times 100$$

により求める。なお、本研究では平均電圧を一律 105V とした。

5.2 シナリオ適用時の損失のシミュレーション

さらに、低損失型変圧器への設備更新や変圧器負荷の平準化による効果など、各種シナリオ（表 3）を設定して変圧器負荷予測モデルによるシミュレーションを実施し、シナリオごとに時間帯別の電流値と変圧器利用率を推計した（図 13 参照）。

表 3 シミュレーションシナリオ

シナリオ	内 容
0 標準ケース	現状
1 旧型一般用変圧器の設備更新	旧型の一般用変圧器を損失の小さい新型の一般用変圧器に更新
2 変圧器容量の見直し	変圧器容量を 1.5 倍の変圧器に変更して、利用率を低減させる
3 アモルファス変圧器へ変更	一般用変圧器（新型・旧型とも）をアモルファス変圧器に取替
4 深夜負荷の平準化	標準ケースに対して、深夜時間帯の負荷を平準化

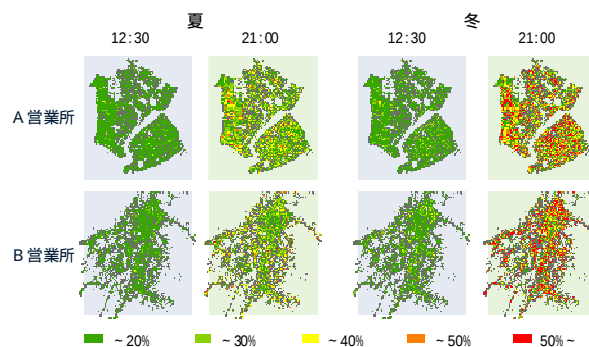


図 13 管理メッシュ毎の変圧器平均利用率の推計結果

6. おわりに

本研究では、変圧器の効果的な管理・運用・選定のための手法確立を目的として、契約内容や空間的要因が負荷パターンに与える影響を分析し、朝・昼・夜の各ピーク時における電流値・ピーク時刻・ピーク持続時間および深夜時間帯の電流の累計値・ピーク時刻・ピーク持続時間の各推計モデルから構成される変圧器負荷予測モデルを構築した。この予測モデルの当てはまり検証結果からは、昨年度の予測精度を大きく上回ることが確認された。

また、これらの結果から、予測モデルに対して低損失変圧器への設備更新や負荷平準化などのシナリオを設定し、変圧器使用時における損失低減効果を推計した。

本研究において作成したモデルについては一定の妥当性は確認されたと考える。しかし、一方で実測データと大きな乖離が認められる変圧器も存在するため、現場での使用にはあともう一步の精緻化が必要である。

今後は、本モデルを改良しつつ、近年急速に普及している太陽光発電設備を考慮したモデルへと拡張し、太陽光発電の出力変動を鑑みた変圧器の設置や負荷管理に利用可能なツールへと成長させていきたい。

注：
無負荷損：通電している場合に、負荷の大きさに関係なく生じる損失。
負荷損：負荷の変動に比例して発生する損失。

文献：
蓮井久美子・中島健二・園山実・石田雅宏（2007）「LCA による柱上変圧器の環境影響評価の試み」地理情報システム学会講演論文集 vol.16