

# GI おすすめ研究紹介

2022年度版



# TOPICS

- 社会・産業構造を反映した地域電力需要分析の数理的手法を開発 ..... p.3  
ENIC研究部門 上席研究員 鶴見 剛也
- EV普及促進のための高効率な熱効交換システムの開発 ..... p.4  
ENIC研究部門 上席研究員 張 莉
- 住宅のレジリエンス向上に資する技術の開発  
—電力ひっ迫時等にエアコンを利用可能にする外部制御装置の試作— ..... p.5  
ENIC研究部門 上席研究員 上野 剛
- インバータ連系電源の導入拡大が系統保護へ及ぼす影響の評価 ..... p.6  
ネットワーク技術研究部門 主任研究員 会田 峻介
- IEC 61850プロセスバスを適用した保護リレーシステムの高速・高精度な不稼働率計算法 ..... p.7  
ネットワーク技術研究部門 主任研究員 田中 彰浩
- 温度履歴解析に基づく電力用油入変圧器の絶縁紙劣化評価手法の構築 ..... p.8  
ファシリティ技術研究部門 上席研究員 宮寄 悟  
上席研究員 水谷 嘉伸
- 送電線、発電所および地中送電線、配電線の耐雷設計ガイドの改訂 ..... p.9  
ファシリティ技術研究部門 上席研究員 三木 貫  
主任研究員 松本 洋和  
主任研究員 石本 和之

# 社会・産業構造を反映した地域電力需要分析の数理的手法を開発

ENIC研究部門 上席研究員 鶴見 剛也

## ➤ 数理技術により合理的な電力設備投資に貢献

### 背景（必要性・研究の狙い）

- ◆ 地域グリッドの最適化を目的として合理的に設備投資を進めるためには、将来の需要想定が不可欠になります。一方、需要に影響を与える人口や産業構造などの変化には不確実性があるため、各地域における将来の需要想定が難しくなっています。このとき、各地域特有の社会・産業構造や気象特性等と電力需要の構造との関係が明らかになれば、将来の需要想定を限られたデータから分析できるようになります。

※この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP22003）の結果得られたものです。

### 成果の活用先・事例

- ◆ 開発手法により、過去の電力需要データを用いて、将来の社会・産業構造の変化に対する日負荷曲線の分析を行うことが可能になります。今後、デジタル化技術により過去の多量な需要データから特徴的なパターンを抽出するとともに、再生可能エネルギーの出力予測も組み合わせた電力需要の推定と分析を可能とし、将来の電力系統やマイクログリッドの合理的な設備投資に貢献します。

参考：鶴見、野田 電力中央研究所 GD22025 (2023)



## 成果の概要

### ◆ 都道府県単位の将来の電力需要を分析するための数理的手法を開発

公開されている電力需要および人口や産業などに関する統計データを用いて、都道府県など任意の地域を単位とする将来の電力需要を分析する数理的手法を開発しました（図1）。具体的には、各電力エリアの電力需要データ（日負荷曲線）から特徴的なパターンを抽出（特異値分解）し、人口、産業構造、気温を考慮して、対象とする時間や場所における日負荷曲線の分析を可能としました。東京電力エリアおよび四国電力エリアを対象として日負荷曲線の実績値と推定値とを比較した結果、両者は精度よく一致し、開発手法の妥当性が検証されました。

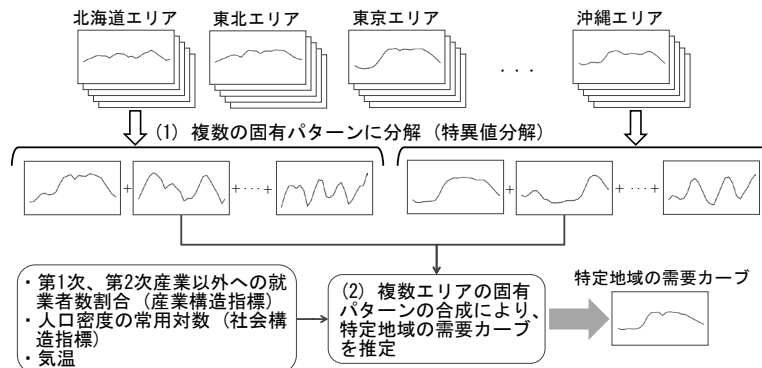
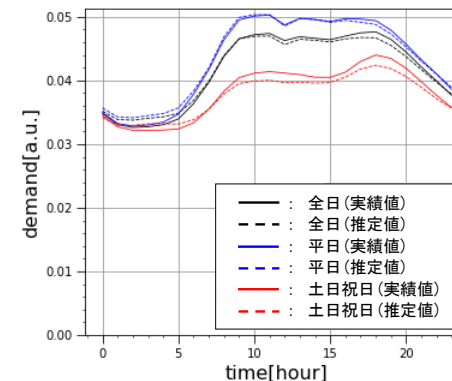


図1 開発手法による日負荷曲線の推定方法



←日負荷曲線の実績値と推定値の比較  
都道府県単位の日負荷曲線は公開されていないため、東京電力エリアの実績値と、本手法で得られた推定値とを比較し、開発手法の妥当性を確認できました。

**日負荷曲線**：1日の電力需要の時間変化をグラフにしたもの。

**特異値分解**：機械学習で広く使用されるアルゴリズムで、高次元データの特徴を保持したまま低次元のデータに変換する手法の一つ。多くのデータから特徴的な要素を抽出する際などに利用されている。

# EV普及促進のための高効率な熱管理システムの開発

ENIC研究部門 上席研究員 張 莉

➤ 省電力暖房による航続距離の延伸や、温度管理によるバッテリーの寿命延長に貢献し、EVの商品価値の向上、ひいては電化促進に寄与する。

## 背景（必要性・研究の狙い）

- ◆ 熱管理はEVの航続距離、長寿命、安全性にとって不可欠である。
  - ◆ 車室暖房やガラス防曇のための電力消費による航続距離の短縮や、高低温時のバッテリーの性能低下がEV熱管理が解決すべき課題である。
- ⇒ヒートポンプ（HP）等を利用した熱管理システムを開発し、省電力で熱管理ができ、EVの商品価値を高め、普及促進に貢献する。

## 成果の概要

- ◆ 温度帯が近いグループ別に熱管理する：(1)車室、バッテリー→冷媒回路（HP）、(2)インバータ、モータ→クーラント回路（図1）。
- ◆ 冷房時に発生した凝縮水が、高分子塗布熱交換器(PCHE)で蒸発する時に得られる冷却効果でバッテリーを省電力に冷却する。
- ◆ 暖房時の増エネ要因であるガラス防曇のための外気導入を、吸着剤塗布熱交換器(DCHE)で削減、さらにバッテリー・モータ・インバータの発熱を回収し、省電力で車室を暖房する。

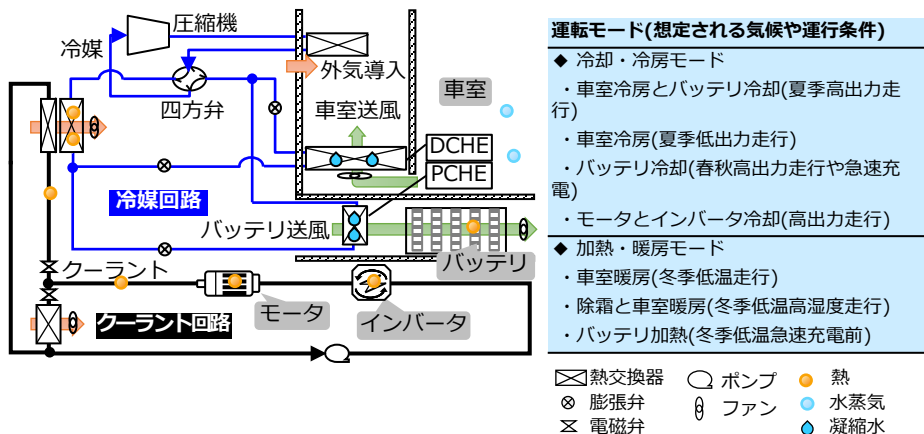


図1 EV熱管理システムの概略図と運転モードの概要

- ◆ シミュレーションにより、夏季外気温35℃で車室を25℃、バッテリーを32℃、インバータとモータを45℃に冷却でき、冬季外気温0℃でガラス防曇しつつ車室を25℃に暖房できる性能であることを確認（図2）。従来HPに比で圧縮機消費電力の10%（冷房）、20%（暖房）削減が期待できる。

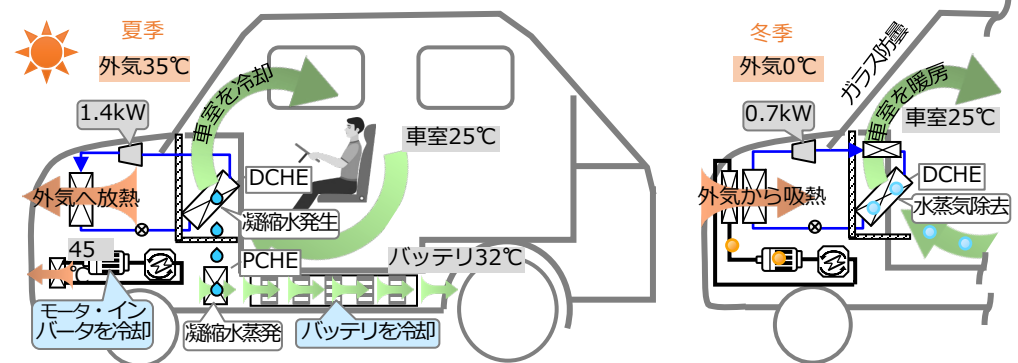
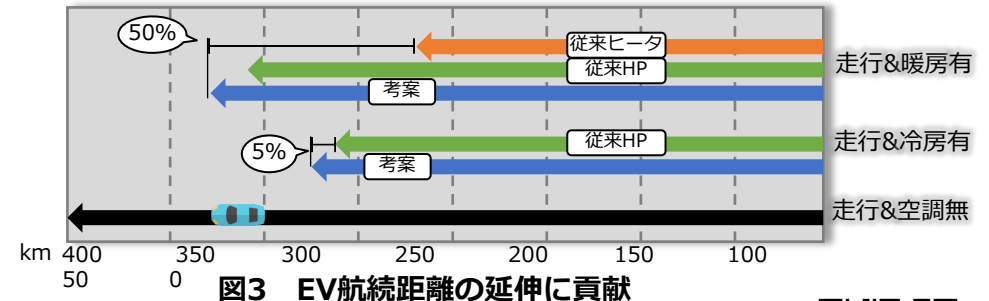


図2 開発システム搭載EVの熱管理のイメージ（夏季と冬季）

## 成果の活用先・事例

- ◆ EVの航続距離延伸に貢献、暖房時最大50%の延伸が期待できる（図3）。
- ◆ 2035年に国内乗用車100%EV化の場合、年間省電力効果は10億kWh。



# 住宅のレジリエンス向上に資する技術の開発

## —電力ひっ迫時等にエアコンを利用可能にする外部制御装置の試作—

ENIC研究本部 上席研究員 上野 剛

- 災害時等の電力需給ひっ迫や停電を回避するために、対策の一つとして需要家の消費電力の一時的な上限設定が検討されている。
- エアコンを外部から簡易に制御し、消費電力を設定値以下に抑える装置を試作し、試験住宅で空調の機器特性などを評価した。
- 試作装置により、安定運転時や負荷の変動が小さい場合には、電流目標値以下に概ね収まる制御が行えることが分かった。
- 電流目標値以下に抑えた場合でも、住宅の断熱性能が高ければ室温は適切にコントロールできる。

### 背景（必要性・研究の狙い）

- ◆ 寒波襲来時や災害時の電力需給ひっ迫や停電を回避するために、エネルギーに関する住宅のレジリエンス性向上が求められており、次世代スマートメータでは遠隔からの電流値上限の変更によって消費電力の一時的な上限設定を行う機能の搭載が検討されている。
  - ◆ エアコンの消費電力は負荷に追従するため、対策が必要である。
- ⇒**エアコンを外部から簡易に制御して、消費電力を設定値以下に抑える装置を試作し、制御に対する空調機器の動きや、室内温度の変化を試験住宅での試験により把握する。**

### 成果の活用先・事例

- ◆ 本手法の発展により、電力制約時でも、平常時の快適な温熱環境は得られないまでも、エアコンを完全に止めるのではなく、最低限の安全性や健康を確保できるようにエアコンを稼働できる。
- ◆ 住宅のレジリエンス向上や停電回避によって、電化促進、またそれに伴うカーボンニュートラルの実現に資することが可能となる。

参考：上野ほか 電力中央研究所 GD22011（2023）



### 成果の概要

- ◆ エアコンの消費電流及びエアコン吸込口近くの空気温度の測定値に応じてエアコンの設定温度を変更し、エアコンの電流を目標値以下に抑えるための制御装置を構築した（図1）。同装置は安価な市販品のみを組み合わせしており、またエアコンを外部から制御する方式のため、エアコン自体の改造が不要で、汎用性・拡張性に優れるという特長を持つ。
- ◆ 装置利用によって、電流の目標値(上限値)以下に概ね収まるように制御が可能である(図2)。断熱性能の高い住宅では同じ消費電力(電流)でも室温が異なる。

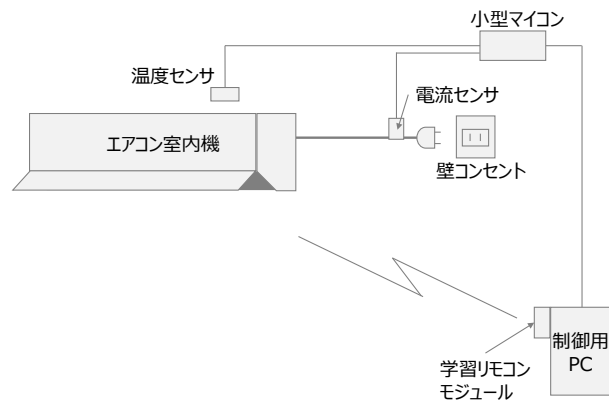


図1 エアコン簡易制御装置の概要

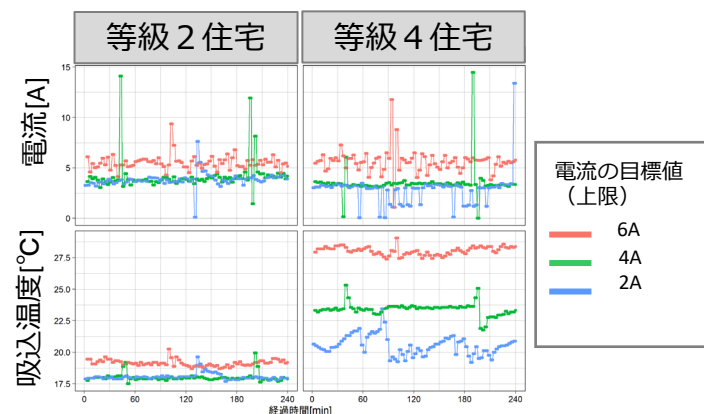


図2 エアコン簡易制御装置利用時の電流値と吸込み温度

# インバータ連系電源の導入拡大が系統保護へ及ぼす影響の評価

ネットワーク技術研究部門 主任研究員 会田 峻介

## ➤ 再エネ導入拡大時の保護リレーの整定検討等に貢献

### 背景（必要性・研究の狙い）

◆ 近年、太陽光発電（PV）を中心にインバータを介して系統に接続する電源（インバータ連系電源）が大量に導入されており、住宅向けPVとして単相インバータが配電系統に多く連系されています。インバータ連系電源が増加すると、短絡事故が発生した場合に流れる電流が減少し、保護リレーによる事故の検出感度が低下することが懸念されますが、インバータ連系電源の導入拡大による系統保護への影響はまだ十分に評価されていません。当所では系統事故時の故障電流を計算するシミュレーションプログラム（F法）を用いて、インバータ連系電源の導入が拡大する将来系統の保護リレーシステムに関する課題の検討に取り組んでいます。

### 成果の活用先・事例

◆ PVをはじめとする再生可能エネルギーの導入が拡大する将来の電力系統において、保護リレーシステムに関連する新たな課題・対策の検討等に活用できます。また、インバータ連系電源の事故時の供給電流を考慮した保護リレーの整定検討、および、グリッドコードの策定に貢献する事故電流の定量的な評価が可能となります。

参考：会田 電力中央研究所 GD22017（2023発行予定）

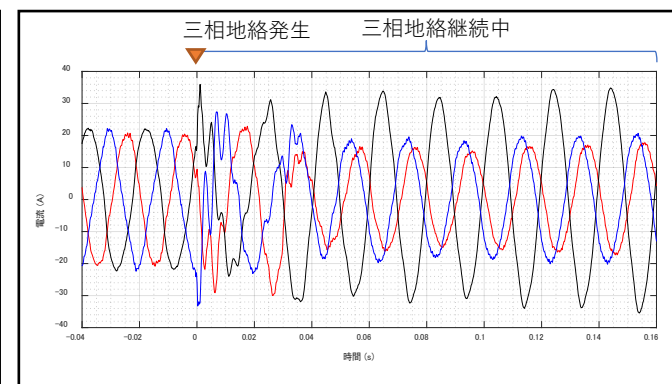
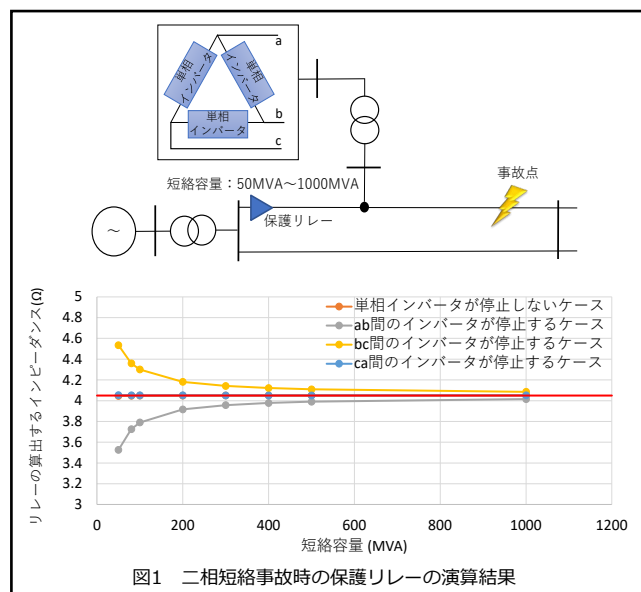
## 成果の概要

### ◆ 故障計算用単相インバータモデルを開発

当所が保有する「電力系統シミュレータ」での試験により、単相インバータが事故時に供給する電流の特性を把握しました。この結果を基に、F法用の単相インバータモデルを開発しました。

### ◆ 単相インバータ導入拡大時の保護リレーシステムへの影響を評価

地域供給系統で広く用いられている保護リレーを対象に、開発モデルを用いたシミュレーションを行い、単相インバータの導入拡大による保護リレーシステムへの影響を評価しました。その結果、短絡容量が減少するにつれて、保護リレーが算出するインピーダンスと実際のインピーダンスに誤差が生じ、保護リレーが誤動作、あるいは誤不動作する恐れがあることを明らかにしました（図1）。



↑電力系統シミュレータでの単相インバータ供給電流波形例  
三相地絡事故中に単相インバータが停止した場合、系統側から見た三相不平衡である電流が供給されます。

←二相短絡事故時に、ある線間の単相インバータが停止する場合、事故相のリレーが算出するインピーダンスと実際のインピーダンスの差は短絡容量が減少するにつれて大きくなる場合があります。

**保護リレー**：電力系統の設備に事故が発生した場合に、事故箇所を迅速に切り離し、電力系統の健全性を確保する設備。動作値や動作時間などの応動の基準値を選定することを「整定」という。

**F法**：多相架故障計算プログラム。電力系統の任意の地点・任意の種別（地絡・短絡・断線）の組合せ故障計算を行うことができる。

# IEC 61850プロセスバスを適用した保護リレーシステムの 高速・高精度な不稼働率計算法

ネットワーク技術研究部門 主任研究員 田中 彰浩

- IEC 61850プロセスバスを適用した保護リレーシステム（以下、プロセスバス適用システム）の導入に不可欠な不稼働率の評価を、高速かつ厳密に行う計算方法を開発
- 提案手法を用いることで、プロセスバス適用システムの構成に対する不稼働率面からの比較検討業務の省力化に寄与する

## 背景（必要性・研究の狙い）

- ◆ 制御ケーブルの敷設工事削減や設備停止期間の短縮を目的に、IEC 61850プロセスバスを適用した保護リレーシステム（以下、プロセスバス適用システム）の導入が期待されている。
- ◆ プロセスバス適用システムでは、従来の保護リレー装置の計測機能をMUに、演算機能をIEDに搭載しているため、システムを構成する装置の台数が増加し、従来の方法では不稼働率計算が困難になる。  
⇒プロセスバス適用システムの高速・高精度な不稼働率計算法を開発する。

## 成果の活用先・事例

- ◆ 提案手法を用いることで、従来手法と比較し高速かつ厳密にプロセスバス適用システムの不稼働率を算出することが可能になる（表1）。これにより、複数のシステム構成に対する不稼働率の比較評価が容易になり、業務効率化が期待できる。
  - ◆ 提案手法によりプロセスバス適用システムの導入に寄与する。プロセスバス適用システムが導入されることで、現状の保護リレーシステムと比較し、制御ケーブルの敷設工事削減や、設備停止期間の短縮が期待できる。
- 参考：田中、大場 電力中央研究所 GD22021（2023発行予定）

## 成果の概要

- ◆ プロセスバス適用システムの各階層（主機器側、中継区間、制御室内）が他の階層と通信可能となる確率の計算式を導出した（図1）。
- ◆ さらにシステム全体が稼働状態となるための各階層の状態を列挙して不稼働率を算出する手法を提案した。

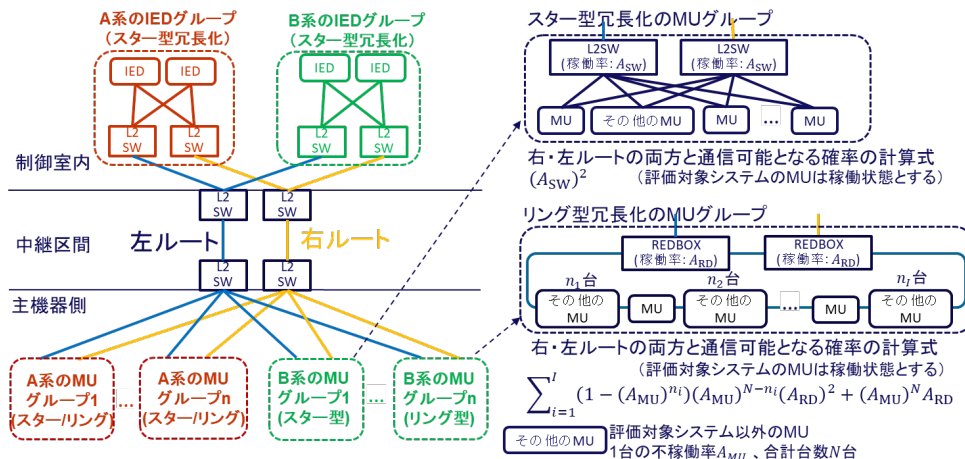


図1. プロセスバス適用システムの例と提案手法における計算式導出例

| MUグループの構成 | MUグループ数 | 計算時間(秒) |      | 不稼働率                  |                       |       |                       |
|-----------|---------|---------|------|-----------------------|-----------------------|-------|-----------------------|
|           |         | 従来手法    | 提案手法 | 従来手法                  |                       |       | 提案手法                  |
|           |         |         |      | 上界                    | 下界                    | 誤差(%) |                       |
| 全てスター型冗長化 | 1       | 2       | <1   | $9.37 \times 10^{-8}$ | $9.36 \times 10^{-8}$ | <0.1  | $9.37 \times 10^{-8}$ |
|           | 10      | 20      | <1   | $9.60 \times 10^{-8}$ | $9.54 \times 10^{-8}$ | 0.6   | $9.56 \times 10^{-8}$ |
|           | 31      | 223     | <1   | $1.05 \times 10^{-7}$ | $9.96 \times 10^{-8}$ | 5.2   | $9.99 \times 10^{-8}$ |
| 全てリング型冗長化 | 1       | 18      | <1   | $9.48 \times 10^{-8}$ | $9.35 \times 10^{-8}$ | 1.4   | $9.38 \times 10^{-8}$ |
|           | 10      | 184     | <1   | $9.97 \times 10^{-8}$ | $9.53 \times 10^{-8}$ | 4.7   | $9.56 \times 10^{-8}$ |
|           | 31      | 2732    | <1   | $1.25 \times 10^{-7}$ | $9.94 \times 10^{-8}$ | 25.9  | $9.99 \times 10^{-8}$ |

表1. MU/IEDが2系のプロセスバス適用システムの不稼働率計算結果

# 温度履歴解析に基づく電力用油入変圧器の絶縁紙劣化評価手法を構築

ファシリティ技術研究部門 上席研究員 宮崎 悟、上席研究員 水谷嘉伸

## ➤ 耐熱紙を使用した変圧器の寿命見極めに貢献

### 背景（必要性・研究の狙い）

◆ 電力用油入変圧器では、巻線の絶縁紙の熱劣化が寿命を決める一つの要因とされています。その巻線絶縁紙にはクラフト紙（普通紙）と耐熱紙があり、耐熱紙は普通紙に比べて熱劣化速度が遅いため、近年導入が拡大しつつあります。絶縁紙の熱劣化は平均重合度で評価しており、電力広域的運営推進機関の「高経年化設備更新ガイドライン」においては、変圧器の故障リスクを算出するための劣化状態を示す指標（ヘルススコア）の導出にあたり、その推定が必要となっています。このため、当所では変圧器内部の温度履歴を計算し、絶縁紙の熱劣化特性から平均重合度を推定する手法と、その手法を用いて劣化度合いや余寿命を評価できるプログラムの開発を行っています。

### 成果の活用先・事例

◆ 変圧器の規格（JEC-2200-2014）では、耐熱紙を使用することで、より高温での変圧器運転が許容されており、冷却器の小型化による変圧器のコンパクト化や、同じ設計で定格電流を大きくする変圧器の増容量化が可能となります。高温運転が寿命へ与える影響を考慮した上で、これらの便益を定量的に評価することが可能となります。

参考：宮崎、水谷 電力中央研究所 GD22007 (2023)



## 成果の概要

### ◆ 耐熱紙の熱劣化特性を取得

電力用変圧器を模擬した雰囲気中で耐熱紙の熱加速劣化試験を行い、平均重合度が半減する時間の温度特性を取得しました（図1）。また、熱劣化した耐熱紙の平均重合度と引張強さを測定し、その相関関係から耐熱紙の寿命レベルとなる平均重合度を普通紙よりも引き下げられる可能性を確認しました。

### ◆ 変圧器の余寿命を評価するプログラムに耐熱紙の熱劣化特性を実装

取得した熱劣化特性をプログラムに実装し、耐熱紙も含めた絶縁紙の劣化評価を行えるようにしました（図2）。これにより、これまで熱劣化評価手法がなかった耐熱紙も含めた変圧器の寿命限界の見極めが可能となりました。

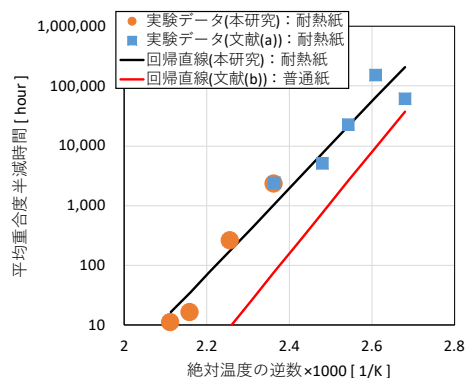


図1 耐熱紙の熱劣化特性  
(平均重合度半減時間と加熱温度の関係)  
加熱温度によらず平均重合度半減時間は耐熱紙の方が普通紙より長く、耐熱紙の方が熱劣化しにくいことが確認されました。

(a) 中嶋他, 第42回絶縁油分科会研究発表会, NO.2  
(b) 水谷他, 電力中央研究所研究報告, H11026

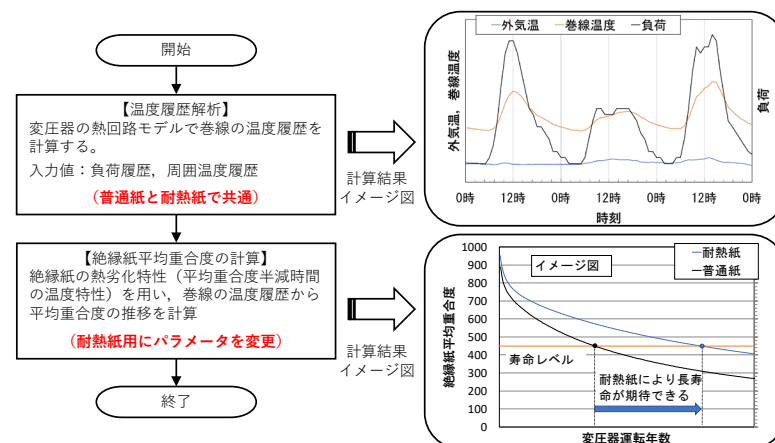


図2 変圧器の余寿命を評価するプログラムによる絶縁紙平均重合度計算のフロー

# 送電線、発電電所および地中送電線、配電線の耐雷設計ガイドを改訂

ファシリティ技術研究部門 上席研究員 三木 貴  
主任研究員 松本 洋和  
主任研究員 石本 和之

## ➤ 耐雷設計の技術的な理解の促進と関連規格・基準の取りまとめに寄与

### 背景（必要性・研究の狙い）

- ◆ 一般送配電事業者にレベニューキャップ制度が導入され、電力流通設備の運用管理・保守には更なる合理化が求められています。また、送変電設備の新設機会は減少しつつあり、新設設備の耐雷設計だけでなく既設設備の雷害対策や事後保全の重要性が増しています。当所では、耐雷設計の思想や理論的・技術的背景の理解と継承ができるように、一般送配電事業者とともに共通的な技術理解を促進する技術解説書としての耐雷設計ガイドの継続的な更新に取り組んでいます。

### 成果の適用先、適用事例、適用による効果

- ◆ 改訂版のガイドは、電力流通分野における耐雷設計・雷害対策の技術的理解のための実用書として広く現場で活用されます。また、本ガイドの内容は様々な規格・基準に反映されており、今回取りまとめた新たな知見によってこれらの更新が見込まれます。



参考：三木ほか 電力中央研究所 GD21026 (2023) ⇒  
←松本ほか 電力中央研究所 H20014 (2022)  
石本ほか 電力中央研究所 GD22016 (2023発行予定)



### 成果の概要

#### ◆ 「送電線耐雷設計ガイド」を改訂

東京電力UHV送電線や東京スカイツリーの雷観測（図1）に基づき、雷性状に関する最新知見を新たに記載するとともに、落雷位置標定システム（LLS）の性能向上や、当所で開発中の新型LLSであるLENTRAについても最新動向を記載しました。また、近年の雷による設備被害、避雷装置の適用実績、設備補修の取り組み実態について調査し、雷事故と設備被害の関係性の分析や設備の補修方法とその効果の取りまとめを行いました。

#### ◆ 「発電電所および地中送電線の耐雷設計ガイド」を改訂

雷観測に基づく雷性状の最新知見に基づき、発電電所の確定論的耐雷設計で用いる雷パラメータの値を更新しました。また、発電電所における雷過電圧の解析事例や耐雷設計の最新動向等を記載しました。

#### ◆ 「配電線耐雷設計ガイド」を改訂

LLSデータ、雷観測結果、配電設備構成から配電線雷事故の地域特性を示すとともに（図2）、主要な配電機器の雷被害メカニズムや効果的な雷害対策手法を最新知見に基づき体系的に整理しました。

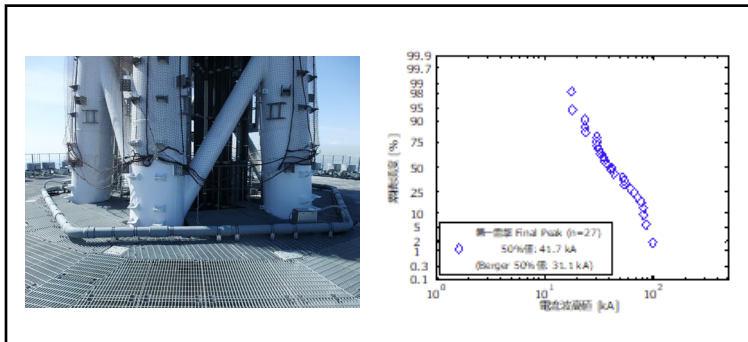


図1 東京スカイツリーにおける雷観測

左：東京スカイツリーへの落雷の電流波形を計測する装置（ロゴスキークoil）、右：東京スカイツリーでの雷撃電流波高値の累積頻度分布

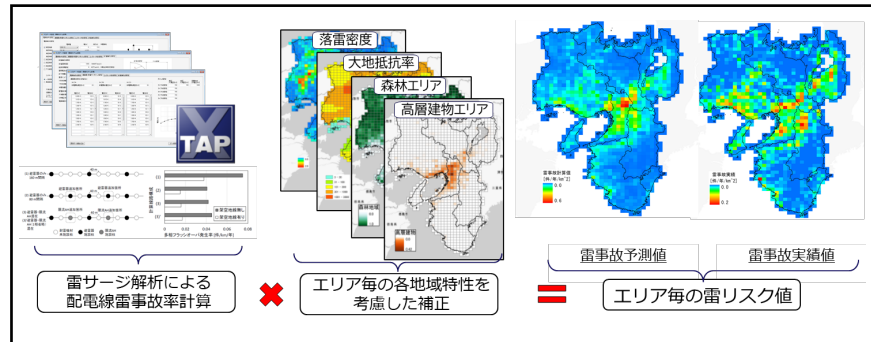


図2 地域特性を考慮した配電線雷リスク評価

←雷サージ解析による配電線の雷事故率の計算結果に対して、各エリアの特性を踏まえた補正を行うことで、各エリアの雷リスクを評価します。

