

一般論文

関連するSDGs



特別高圧(66kV)から低圧電力を直接取得可能な大容量PVTを活用したマイクロ変電所

Large-Capacity PVT Utilization for a Micro Substation Capable of Directly Obtaining Low-Voltage Power from Special High Voltage (66 kV)

岡 賢太郎
Oka Kentaro

高橋 良宗
Takahashi Yoshimune

牧 尚子
Maki Naoko

村井 正樹
Murai Masaki

平本 学
Hiramoto Gaku

水野 聡
Mizuno Satoshi

概要

新興国においては、未だ配電網が脆弱な地域が数多く存在し、安定した電力供給が課題となっている。そこで、そうした地域においても送電線が存在するエリアが多いことに着目し、送電線から電源供給用に大容量化した電源用計器用変圧器 (Power Voltage Transformer (PVT))^{*1}を用いて直接低圧電力を供給可能なマイクロ変電所を有効な対策として開発を進めてきた。2025年6月、PVTを用いたマイクロ変電所をインドに導入し、実証試験を開始したので紹介する。

なお、本活動は、NEDO (国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構) の国際実証事業 (JPNP 93050) として実施したものである。

Synopsis

In developing countries, many areas still exist where the distribution network is weak, making stable power supply a challenge. Therefore, focusing on the fact that transmission lines exist even in many such regions, we have been developing a micro-substation capable of directly supplying low-voltage power using a large-capacity Power Voltage Transformer (PVT)^{*1}. In June 2025, we began demonstration tests of the micro-substation introduced in India.

This project was conducted as an international demonstration project (JPNP 93050) under the auspices of the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO).

キーワード: PVT、Power Voltage Transformer、電源用計器用変圧器、マイクロ変電所

1. はじめに

新興国では未だ配電網が脆弱な地域が数多く存在し安定した電力供給が課題となっているが、そういった地域においても送電線については整備されているケースが少なくない。

そのような地域では、送電線からPVTを用いて直接低圧の電力を供給するマイクロ変電所が有効な対策となり

得ると考え、主要な新興国の一つであるインドの電力会社に本技術を提案したところ、高い評価を得た。

本稿は、配電用変電所を介することなく特別高圧^{*2}送電線から小規模な需要家集落へ低圧電力を供給することのできる“PVTマイクロ変電所”^{*3}の有効性について、市場ニーズが見込まれるインドにて実施中の実証試験をもとに紹介する。

2. マイクロ変電所のコンセプト

2.1 概要

配電網が脆弱かつ、小規模な需要家への電力供給手段として、従来型変電所の建設、ディーゼル発電機導入が挙げられる。しかし、従来型変電所の建設には、広大な設置スペースが必要なことに加え、多大な設備コストが必要となる。またディーゼル発電は、燃料の輸送や定期的な保守が発生するため運用コストが大きくなる。加えて、二酸化炭素(CO₂)の排出量も多い。

そこで当社は66kV以上の特別高圧送電線から電圧を測定する計器用変圧器^{*4}の技術を応用し電力供給用に大容量化を実現したPVTを用いて、100kVA程度の電力を需要家(低圧)へ供給するための変電所を提案する。図1は、マイクロ変電所による電力供給イメージを示しており、点線で囲まれたシステム(避雷器、保護装置/開閉装置、PVT、配電盤)をマイクロ変電所と称する。

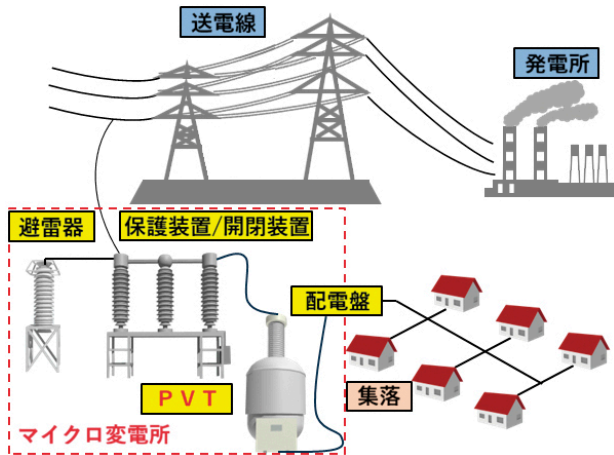


図1 マイクロ変電所による電力供給イメージ

表1 配電網未整備地域向け電力供給システムの特性比較

	マイクロ変電所	従来型変電所	ディーゼル発電
設備コスト	○(中)	△(高)	◎(低)
運用コスト	◎(低)	◎(低)	△(高)
設置スペース	◎(小)	△(大)	◎(小)
CO ₂ 排出量*	192ton-CO ₂ /年		569ton-CO ₂ /年
出力容量	△(100kVA)	◎(20MVA)	○(数百kVA)

※100kVA設備での比較

最大負荷100kW、平均負荷50kWの電力を365日24時間供給した場合の年間CO₂排出量で評価したもの

※電力系統のCO₂排出原単位:0.439kg-CO₂/kWh

(出展 電力65社からなる「電気事業低炭素社会協議会」2020年度CO₂排出実績(速報値)発表値)

※100kWクラスのディーゼル発電機のCO₂排出原単位:1.30kg-CO₂/kWh

(出典 Indicative simplified baseline and monitoring methodologies)

2.2 マイクロ変電所の特長

配電網未整備地域への電力供給手段としてのマイクロ変電所は、従来型変電所やディーゼル発電機による電力供給システムに比べて、コストとスペース、CO₂排出量で利点がある。表1に、配電網未整備地域への電力供給を想定したシステムにおける特性比較を示す。

(1) 低コスト

従来型変電所の設備コストに比べ、マイクロ変電所の目標設備コストは約1/3未満と利点がある。

ディーゼル発電機への燃料補給や頻繁なメンテナンスが不要なため運用コストを抑制可能。

(2) 省スペース

マイクロ変電所はシンプルなシステム構成となり、その設置スペースは8m×10mで、一般的な66kV従来型変電所の最小設置スペース50m×50mと比較してコンパクトであることから、スペースの確保が容易である。

(3) 低環境負荷

100kVA程度の小型ディーゼル発電と比べて約70%のCO₂削減が可能である。

マイクロ変電所は、出力容量が100kVAであることより、送電線が整備されている地域において配電網が十分整備されていない小規模集落への電力供給に適していると判断する。

3. マイクロ変電所システムの基本設計

3.1 マイクロ変電所 実証試験システムの基本設計

本システムは100kVA PVT1台を66kV送電線(1相)に接続したシンプルな電気設備で、需要家へ単相240Vを供給する。従来型変電所と同様に、PVT一次側・二次側および負荷側の各所において事故が発生した場合に備えた各装置(遮断器: Molded Case Circuit Breaker (MCCB)、過電流継電器: Over Current Relay (OCR)など)の保護協調をとり、事故時に電力系統運用や需要家(負荷)への影響を最小限に抑える構成とする。

3.2 システム基本設計での留意点

本実証試験システムは、国際規格IEC(International Electrotechnical Commission)ならびにインドの電力規格(IS規格: Indian Standard)に準拠したシステム設計を採用した。IS規格への準拠については、当社は経験が不足していたため、TATA Power-Delhi Distribution Limited(以下、TATA Power-

DDL)との協議を通し対応した。また、保安対策のため、一部TATA Power-DDLの社内規定に則っている。

近年インドでは50℃に達する猛暑を記録しているため、このような厳しい気象条件にもシステムを適合させる必要があった。

以下に、システムの基本設計時に留意した点を説明する。

(1) 保護協調

マイクロ変電所における事故発生時に送電線側へ影響を及ぼさないようにするため、送電線側保護リレー検出時間および、PVT二次側MCCB 動作、ガス遮断器 (GCB)、過電流継電器 (OCR) による遮断特性等の保護協調を確立した。

(2) 保安対策

TATA Power-DDLからの要求に則り、断路器 (DS) をGCB の一次側と二次側の両方に取付けた二重化構造とした。これによりGCBのメンテナンスなど、より安全性の高いシステム保安対策を実現した。

(3) 電力品質対策

PVTは、通常の変圧器と異なり電圧調整用のタップを有していないため、電圧変動対策として負荷側に電圧調整装置 (Voltage Stabilizer) を設置した。

(4) 遠隔監視システム

実証試験システムでは、データロガや電力品質アナライザにて電圧・電流・電力量・周波数など常時計測を行っている。各測定器はネットワークで接続され、インターネット回線を経由して日本側にて状態監視ならびに計測データをダウンロードすることができる。インターネット環境のセキュリティを確保するため、多要素認証、TLS暗号化通信を行い、安全な通信を確立している。

上記を踏まえて設計した実証試験システム構成図を図2に示す。

3.3 機器選定

(1) 実証試験用PVTの開発

PVTは、特別高圧から低圧へ直接変換し電圧を計測する計器用変圧器の技術がベースとなっている。本機器は、当社が計器用変圧器で培った信頼性の高い絶縁技術をベースに100kVA まで電力を供給できるように大容量化したものである。

構造は、アルミニウム製の容器に鉄心とコイルを収納しており、各気密部の保持にはOリングガスケットを使用している。

本実証試験システム向けに開発したPVTを図3に示

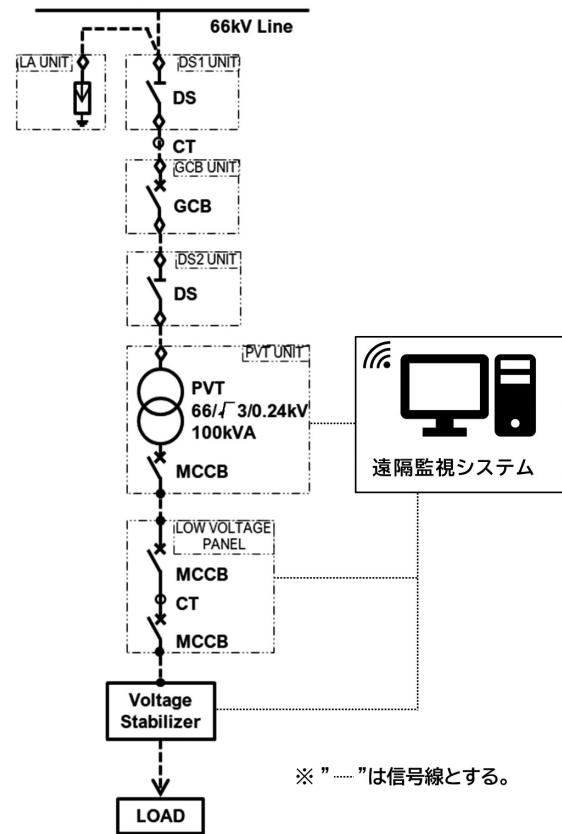


図2 実証試験システム構成図

す。PVT二次側コイルには、主に大型変圧器で使用される転位電線を採用した。当社は、転位電線の巻線作業における、高い技術を有しており、これを活用し大容量化を実現した。

以下に、実証試験用PVTを開発する際に留意した点を説明する。

① 大容量化

大容量化するためPVT 二次コイルは転位電線を複数条並列にしたコイルとした。これは当社が保有する転位電線の巻線技術を活かしている。



図3 実証試験用PVT (66kV, 100kVA)

- ② 冷却構造
放熱効率を上げるため容器体を冷却フィンとした。インドの過酷な気温(約50℃)においても問題なく稼働できる設計としている。
- ③ 損失低減
PVT 二次コイルに転位電線を採用し、電流を均等に流して循環電流の発生を低減することで損失を低減し、効率を向上させる。

上記を踏まえて開発された実証試験用PVTの仕様を表2に示す。

表2 実証試験用のPVT仕様

送電線電圧	66kV
定格一次電圧	$66/\sqrt{3}$ kV
二次電圧	240V
定格容量	100kVA
効率	97.1% (負荷25kVA時)
周波数	50Hz
周囲温度	-25~50℃
外形寸法	$\phi 1,285\text{mm} \times \text{H}3,010\text{mm}$
質量	3,500kg

(2) PVT以外の主要機器

PVTを除くと、マイクロ変電所は次の主要機器で構成されている。

- ・避雷器 (Lightning Arrester (LA))
- ・断路器 (Disconnect Switch (DS))
- ・遮断器 (Gas Circuit Breaker (GCB))
- ・低電圧配電盤 (Low Voltage Panel)
- ・電力調整装置 (Voltage Stabilizer)

今回の実証試験では、TATA Power-DDLの要望によりPVT以外の受変電設備を現地のインドメーカー機器にて取り揃えた。GCB以外については、メーカー標準品を採用した。GCBについては、通常、三相遮断器が主流であることより、単相遮断器の取扱いメーカーがなかったことから、十分な品質を確保できるGCBメーカーを二社選定し交渉を行い、当該技術がインドの課題である電力の安定供給に効果があることをご理解いただけたため、単相遮断器製作の実現に至った。

4. インドにおける実証試験の構築

本実証事業は、NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)の国際実証事業として行うものである。2024年度に国際実証事業の体制構築を行い、システム設計ならびに機器仕様の選定・調達を実施。2025年度よりマイクロ変電所の建設工事に着手。

工事完了後、実証試験を開始しデータの計測、分析・評価という計画で進めた。

2025年6月にTATA Power-DDLが保有するデリー郊外の変電所にマイクロ変電所を構築し、運転開始式を開催した。運転開始後は、実証データを測定し、分析・評価することでシステムの有効性を確認している。

4.1 建設工事

TATA Power-DDLの所掌の下に、2025年4月より基礎工事を開始し、2025年6月に機器の据付工事を完了した。

建設地であるインド・デリーは、気温50℃に及ぶ猛暑により工事の作業時間が十分に確保できず、遅延が発生したものの、その後、現地の関係者と高頻度に打合せを行い、工程の綿密な見直しを行った。5月下旬には、当社より熟練の現場作業員を派遣して工事を進めることで作業工程をリカバリーし、2025年6月にマイクロ変電所の実証試験システム建設を完了した。図4は、完成した実証試験システムとなる。

4.2 運転開始式

2025年6月18日にPVT マイクロ変電所の運転開始式を、TATA Power-DDLのSmart Grid Lab および、マイクロ変電所建設地で開催した。

当社、TATA Power-DDL 側の挨拶を行った後、主要ゲストより挨拶を頂戴し、マイクロ変電所を視察いただいた。図5に運転開始式の様子を示す。



図4 実証試験システム外観



図5 運転開始式の様子

5. 実証試験データ分析・評価

本実証試験の目的は、PVTマイクロ変電所から需要家へ安全・安定した電力を供給できることを確認することである。そのため、本実証試験システムの常時運用データを計測し、これらのデータをもとに供給している電力について分析・評価を行った。本章では、その詳細を説明する。

5.1 供給電力の状況

2025年6月から運転を開始した実証試験は、当初、システムの信頼性を確認するために需要家を2世帯に限定し、システム動作確認からスタートした。その後、安定した電力供給状況を確認できたため、9月17日より需要家15世帯での運用を開始している。本節では、需要家数を拡大した2025年9月17日～10月21日（5週間）の計測データ分析結果について報告する。

表3、表4に、9月下旬と10月中旬の1週間における需要家の消費電力（供給電力）ならびに気温に注目し、負荷特性について比較分析した結果を示す。主な負荷は照明・エアコンである。

9月は1週間（休日／平日）を通してほぼ同様の消費電力を示している。消費電力のピークは、日中（16時頃）だけでなく深夜（24時）に現れる特性を示している。一方、10月は1週間を通してほぼ同様の傾向を示しているものの、気温の低下により需要家の消費電力は1日を通して平準化してきた。エアコンの利用頻度が下がったことが推測できる。

この分析から、実証試験システムは、気温約40℃となる過酷な環境下においても負荷変動に応じて安定して電力を供給していることが確認できた。

表3 9月の消費電力・気温の特性

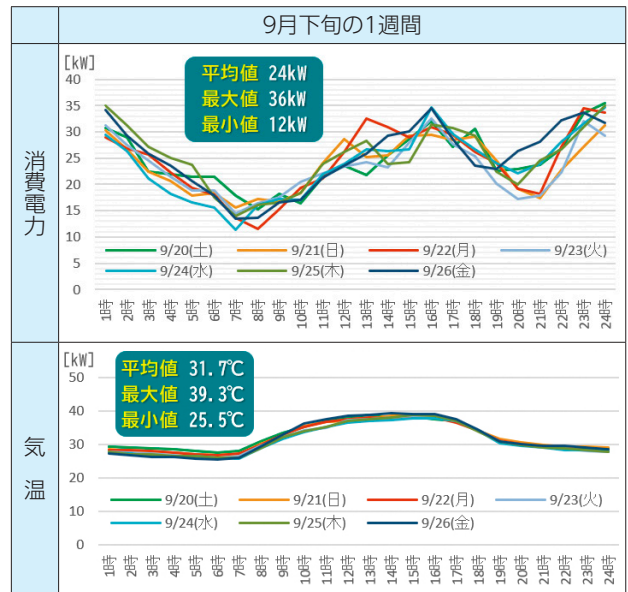
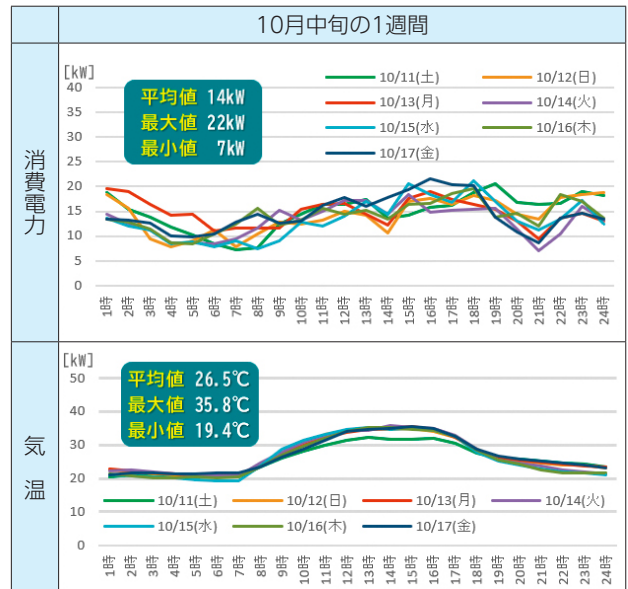


表4 10月の消費電力・気温の特性



5.2 供給電圧の規定電圧値240V±6%範囲における時間滞在率：供給電力の信頼性

インドにおける需要家への供給電圧（240V）は、規定値240V±6%（254.4～225.6V）範囲内での運用が求められている。本実証試験では、この条件を満たす運用が実現されているかを検証する。

2025年6月の運転開始から、インド電力系統（PVT一次側）の停電はなく、常時、安定した電力をマイクロ変電所へ送電している。一方、マイクロ変電所では対象期間（2025年9月17日～10月21日）の9月19日（金）に約2時間の作業停電を行った。そのため、この作業停電の期間データを分析・評価の対象外とした。

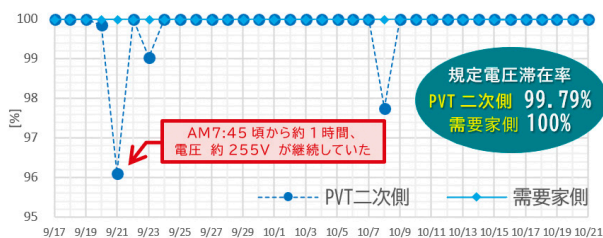


図6 電圧規定値240V±6%範囲の時間滞在率

図6は供給電圧が、PVT二次側と需要家側の2カ所の計測地点において、規定値240V±6% (254.4～225.6V) の範囲におさまる時間滞在率を示している。

本システムには、PVT二次側～需要家間に電圧調整装置を設置している。図6の結果から、PVT二次側の電圧は規定値240V±6% (254.4～225.6V) から多少逸脱しているものの規定電圧滞在率は99.79%であり、需要家側の電圧は電圧調整により規定値から逸脱はみられず、電力が安定供給されていることがわかる。

5. 3 供給電力の状況：システム効率

システム効率は、“PVT 効率”ならびに“送電効率”にて算出する。また、本システムには電圧調整装置を導入しているため“電圧調整装置の効率”を考慮する必要がある。ここで、PVT効率は工場試験成績書から97.1% (負荷25kVA時) を採用した。

計測データから、実証試験システム効率は90.1%であることを確認した。参考までに、インドの発電所から需要家までの電力損失 (AT&C Losses) は2023年に17%であり、運用効率として83%となる。この指標と比較すると実証試験システムの効率 (90.1%) は高く、効率的な運用ができていますと評価できる。

なお、本システムには電圧調整装置が導入されており、この装置の効率は95% (メーカー仕様値) である。この電圧調整装置を設置しない場合、システム効率は90.1%から94.8% へ向上することになり、より効果的な運用ならびに導入コストの削減が実現できる。

今後、装置の必要性について現地と議論していきたい。

5. 4 評価結果

運転開始以降、インド電力系統 (PVT一次側) は標準電圧範囲内66kV±10%で運用され、電力系統側の停電は確認されておらず、特高送電線からPVTマイクロ変電所を経由して直接、低圧需要家へ安全・安定した電力を供給できることを確認した。

6. おわりに

2025年6月から開始したインドにおける電源用計器用変圧器 (PVT) を用いたマイクロ変電所の実証試験について紹介した。

引き続き、実証試験を継続して知見を深めていくとともに、今後、インドだけでなく世界中の配電網未整備地域へ電力を供給すべく、マイクロ変電所の普及展開に努めていく所存である。

用語集

- ※1 電源用計器用変圧器 (PVT)
Power Voltage Transformerの略で、交流高電圧を測定するために特別高圧を低圧に変換する変成器の技術を応用し、特別高圧から直接低圧に変換して電力を供給できるよう大容量化した計器用変圧器。
- ※2 特別高圧
7kV (7,000V) を超える電圧のこと。高圧は直流で750V～7000V以下、交流で600～7000V以下、低圧は直流で750V以下、交流で600V以下を指す。
- ※3 PVTマイクロ変電所
66kV以上の特別高圧送電線から、電圧を測定する変成器の技術を応用し電力供給用に大容量化を実現したPVTを用いて、10kVA ～100kVA 程度の低圧電力を直接取得するための変電所のこと。
- ※4 計器用変圧器
交流高電圧を測定するために特別高圧を低圧に変換する機器。

参考文献

- (1) 「電源供給用に大容量化した計器用変圧器を用いたマイクロ変電所の基本設計」、日新電機技報 (2020年12月)
Available : <https://nissin.jp/technical/technicalreport/pdf/2020-154/2020-154-07.pdf>
- (2) 「100kVA電源用PVTの開発」、日新電機技報 (2020年12月)
Available : <https://nissin.jp/technical/technicalreport/pdf/2020-154/2020-154-06.pdf>
- (3) ANNUAL REPORT 2024-25 (Ministry of Power, Government of India)
- (4) Indicative simplified baseline and monitoring methodologies
Available : https://cdm.unfccc.int/Panels/ssc_wg/meetings/036/ssc_036_an03.pdf

執筆者紹介



岡 賢太郎 Oka Kentaro
住友電気工業株式会社
送配電機器・エネルギーソリューション事業本部
日新住電エネルギーシステム開発センター
システム技術開発部 主任



高橋 良宗 Takahashi Yoshimune
電力・環境システム事業本部
電力機器事業部



牧 尚子 Maki Naoko
住友電気工業株式会社
送配電機器・エネルギーソリューション事業本部
日新住電エネルギーシステム開発センター
電力技術開発部



村井 正樹 Murai Masaki
電力・環境システム事業本部
システムエンジニアリング事業部
グループ長



平本 学 Hiramoto Gaku
電力・環境システム事業本部
工事業部 グループ長



水野 聡 Mizuno Satoshi
株式会社NHVコーポレーション
営業部長