

特 集 論 文

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

The Basic Design of Micro Substation with Power Voltage Transformer which can Supply Low Voltage Power Directly from Extra High Voltage Transmission Line

井 筒 達 也 T. Izutsu	村 井 正 樹 M. Murai
高 橋 利 明 T. Takahashi	芝 崎 将 之 M. Shibazaki
黒 田 和 宏 K. Kuroda	牧 尚 子 N. Maki
笹 島 慎 一 S. Sasajima	水 野 聡 S. Mizuno

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、そのような地域においても送電線が存在するエリアが少なくないことに着目し、送電線から電源供給用に大容量化した計器用変圧器（Power Voltage Transformer（PVT））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提案する。本論文では、電力需要の高まるインドの規制等の条件を踏まえたマイクロ変電所の基本設計について紹介する。

なお、本検討は、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）の委託業務として実施したものである。

Synopsis

In developing countries, there are still many areas where stable power supply is an issue because of weak distribution networks. Therefore, focusing on the fact that there are many cases where transmission lines exist even in such areas, we have designed a micro substation based on the conditions in India that can supply low voltage power with Power Voltage Transformer (PVT) directly from the transmission lines.

This study is carried out as a survey project commissioned by the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO).

1. はじめに

当社では、計器用変成器技術を応用し電源供給用に大容量化した計器用変圧器（Power Voltage Transformer（PVT））を開発し、受変電設備等の制御電源用途として販売している。

一方、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における電力会社にコンセプト提案を実施したところ、高い評価を得た。本論文は、インドにおけるPVTを用いたマイクロ変電所について、具体的なモデルケースを設定し、基本設計を行ったものである。

2. PVTを活用したマイクロ変電所のコンセプト

PVTを活用したマイクロ変電所による電力供給のイメージを図1に示す。なお、本論文では図1の点線で囲まれたPVT、保護装置／開閉装置、避雷器、配電盤の範囲をマイクロ変電所と称することとする。

このマイクロ変電所は、電力供給用に開発したPVTにより送電線から直接低圧電力を得ることができるため、従来型の変電所またはディーゼル発電機による電力供給システムに比べて、以下の利点がある。

(1) シンプルかつ高信頼性

PVTによる送電線からの直接電力供給

(2) 低ランニングコスト

発電機への燃料補給や頻繁なメンテナンスが不要

(3) 低環境負荷

ディーゼル発電機に比べCO₂削減が可能

ルーラルエリアへの電力供給を想定したシステム比較を表1に示す。

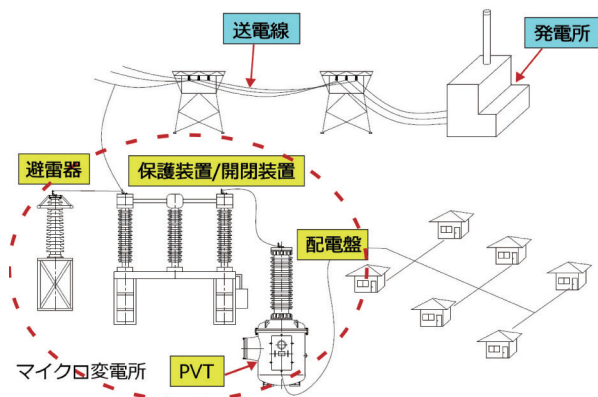


図1 マイクロ変電所による電力供給イメージ

表1 システム比較

	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)
スペース	◎ (小)	△ (大)	◎ (小)
環境負荷	◎ (小)	◎ (小)	△ (大)

3. インドにおけるマイクロ変電所の市場ニーズ

インドの関係機関（政府系機関、電力会社）へのヒアリングにより、現地におけるマイクロ変電所に対するニーズの調査を実施した。

3.1 期待される用途

インドでは2019年3月末までにすべての世帯が電力系統に接続された一方で、都市部での停電発生やルーラルエリアにおける配電網の強化が大きな課題とし

て残っていることが明らかとなり、マイクロ変電所に対して主に下記の用途で期待するとのヒアリング結果が得られた。

用途1：配電網が脆弱な地域における安定電力供給

用途2：ディーゼル発電ミニグリッドからの電源転換による環境負荷低減

3.2 市場規模の想定

次に、インドにおける用途1, 2の具体的な市場規模について、現地コンサルティング会社に委託し、主要な州送配電会社へのヒアリングによる調査を行った。

その結果、特に北部・北東部において、送電線は敷設されているが配電線が十分に整備されていない地域が多く存在し、その集落数はインド全土で約2.7万か所にも及ぶことを確認した。今後、特にニーズが多いと想定される北部・北東部地域への訪問調査等を行い、市場開拓に向けた市場調査精度を上げていく所存である。

4. マイクロ変電所構築上の制約条件

前章のとおり、マイクロ変電所に対するニーズが大きいことを確認したが、インド国内でのマイクロ変電所の事例はないことが明らかとなった。そのため、同国での有効性を証明するためには、マイクロ変電所を構築する上で考慮すべき同国の電力系統管理等の各種制約条件に基づいた設計検討が必要であり、基本設計を行う上での制約条件について調査を実施した。

4.1 インドの電気事業体制

本調査を実施する上で調査対象を明確にするため、電気事業体制と各所管について確認した結果を表2に示す。

なお、次節以下に紹介するマイクロ変電所構築上の設計条件・制約条件の調査は、表2の下線で示した関係機関とのヒアリングにより確認を行ったものである。

表2 インドにおける電気事業体制、関係機関

	【中央政府】	【州政府】	【民間】	
政府機関	・電力省(MOP) ・中央電力庁(CEA) ・中央電力規制委員会(CERC)	・各州エネルギー省 ・各州電力規制委員会(SERC)		
発電	[中央政府系発電会社] ・火力発電公社(NTPC) ・水力発電公社(NHPC)	[州政府系発電会社] ・各州営発電会社	・独立系発電会社(IPP)	
送電	【国营送電会社】 ・国营送電公社(PGCIL)	【州営送電会社】 ・各州営送電会社		
配電・小売		・各州営配電会社(DISCOM)	・各民間配電会社	・ミニグリッド配電会社

4. 2 基本設計における制約条件

マイクロ変電所を構築する上で考慮すべき事項として、インドにおける電力系統の基本事項（設置環境条件、準拠規格、接地方式）、電力品質管理及び送電線に接続する上での制約条件について確認を行った。

4. 2. 1 設置環境条件

電力設備の設置環境条件について確認した。日本と大きく異なる部分は、外気温として最大50℃の考慮が必要な点であった。PVTについては問題ないことを確認済みであるが、その他の機器についても、環境条件を考慮の上、機器選定を行う必要がある。

4. 2. 2 準拠規格

インドにおける電力設備は、基本的にIECなどの国際規格に準拠が必要であり、更に普及段階ではIS (Indian Standard) に準拠する必要があることを確認した。

なお、実証検証目的で設置するようなケースであれば、IECに準拠していれば問題ないとのことである。

4. 2. 3 電力系統側の中性点接地方式について

66kV以上の電圧階級における中性点接地方式は直接接地であることを確認した。本条件に基づき、想定される事故事象時の電圧変動などへの影響を評価し、電力供給上の留意点について確認を行った。

4. 2. 4 電力品質管理

電力品質については、基本的に供給電圧のみを管理していることを確認した。

表3 電力品質管理項目と管理値

管理項目	管理値
送配電電圧（高圧）	定格電圧 ± 10%
配電電圧（低圧）	定格電圧 ± 6%

4. 2. 5 適用可能な電力系統側の電圧クラス

送電線とマイクロ変電所の接続方法についてはクランプによる分岐が有効であり、本方式の場合、適用可能な電圧クラスは上限電圧220kVまでとの見解を得た。従い、インドにおいてマイクロ変電所の適用可能な電圧クラスは、66kV、132kV、220kVとなる。本論文では、66kV送電線への接続を前提として基本設計を実施した。

4. 2. 6 短絡事故時の解列時間

マイクロ変電所での短絡事故時には、送電線側の保護動作時間を考慮した保護（送電線保護リレー検出時間以内の解列）が必要となることを確認した。

5. マイクロ変電所の基本設計

4章の調査結果を基に、マイクロ変電所の基本設計を行った。まず当社のPVTの基本仕様について確認した上で、「システム保護」、「電圧変動対策」、「盗電も考慮した安全面への対応」、「システム損失の評価を踏まえた環境効果」及び「機器レイアウト」について検討を行った。

これらの検討により得られた、インドでのマイクロ変電所の基本構成（実証検証向け）を図2に示す。

本章では基本設計において考慮した技術的ポイントの一部を紹介する。

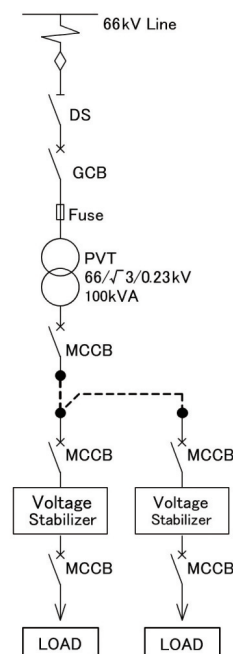


図2 マイクロ変電所の基本構成 (66kV/230V, 100kVA)

5. 1 PVTの基本仕様

4.2.5項に示したとおり、インドにおいて送電線からクランプによる分岐が可能な電圧クラス66kV、132kV、220kVにおいて、PVTに求められる仕様を確認した。

表4のとおり、いずれの電圧でも当社PVTの適用は可能である。なお、PVTの外観、構造などの詳細は本誌掲載の特集論文「100kVA電源用PVTの開発」を参照頂きたい。

表4 適用可能な電圧クラスとPVT概略仕様

送電線電圧 (kV)	66	132	220
一次電圧 (kV)	$66/\sqrt{3}$	$132/\sqrt{3}$	$220/\sqrt{3}$
二次電圧 (V)	200V系、400V系に対応 (インドの標準は230V)		
出力容量 (kVA)	25~100		
周波数 (Hz)	50		
周囲温度 (°C)	-30~55		

5. 2 システム保護

マイクロ変電所の一次側・二次側及び負荷側の各所において事故等が発生した場合に、特に送電線側に影響を及ぼさないことが重要である。そのため、4.2.6項で確認した内容に基づき、システム保護の考え方について検討を行った。

5. 2. 1 事故点と解列ポイント

システム保護の考え方に基づき、想定事象（事故点と解列箇所）についてまとめると表5のようになる。なお、PVT一次側の解列をヒューズのみで対応可能かという点についてインド側と調整を行った結果、実証段階では保護の確実性を高めるため、遮断器を具備することとした。

表5 事故点と解列箇所の考え方

事故点	マイクロ変電所 解列箇所	備考
責任分界点より 送電線側	—	送電線保護 範囲
引込点～ PVT一次	ヒューズ、 遮断器 (PVT一次)	送電線保護動作 までに解列要
PVT二次～ 配電盤	MCCB (PVT二次)	
配電盤二次より 負荷側	MCCB (配電盤内)	

5. 2. 2 短絡事故時の保護協調

4.2.6項で示したように、マイクロ変電所の故障による短絡事故を想定した場合、送電線側への影響を回避するため、保護動作時間（保護リレーの検出時間）を考慮した保護が必要となる。具体的には、PVT二次側MCCB動作、ヒューズ特性、OCリレーによる遮断特性及び送電線側保護リレー検出時間等の協調が要求される。

図3に保護協調のイメージを示す。

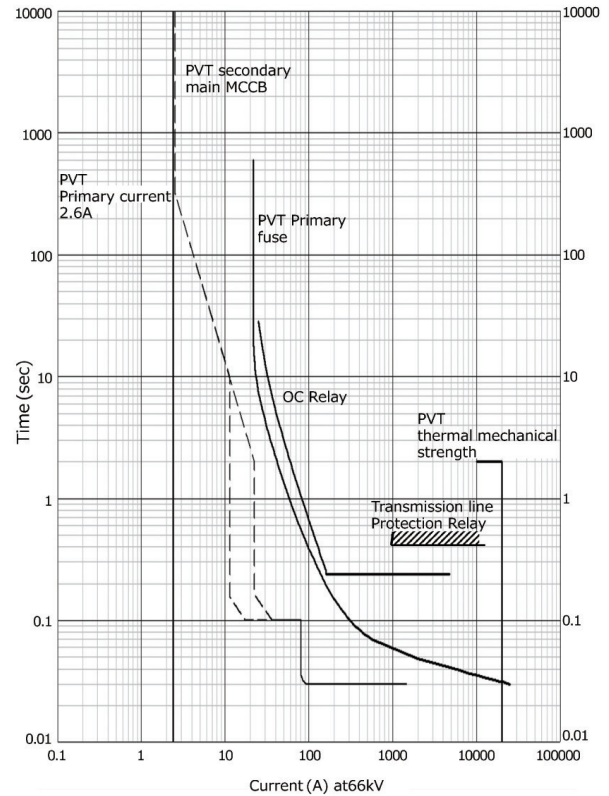


図3 マイクロ変電所における保護協調のイメージ

5. 3 電圧変動対策

インドの電力品質は、4.2.4項のとおり電圧で管理されている。一方、マイクロ変電所の主要機器であるPVTは、通常の変圧器とは異なり、電圧調整用のタップを有していない。そのため、電圧変動範囲を規定値以内に調整するために、負荷側に電圧調整器を設置することとした。

5. 4 機器レイアウト

前節までの基本設計を基に、66kV/230Vマイクロ変電所のレイアウトを図4に示す。マイクロ変電所は、5m×8mのスペースで設置が可能であることが分かる。

なお、インドにおける66kV変電所は一般的に50m四方以上のスペースを必要とすることから、設置面積を1/10以下に縮小できることが分かる。

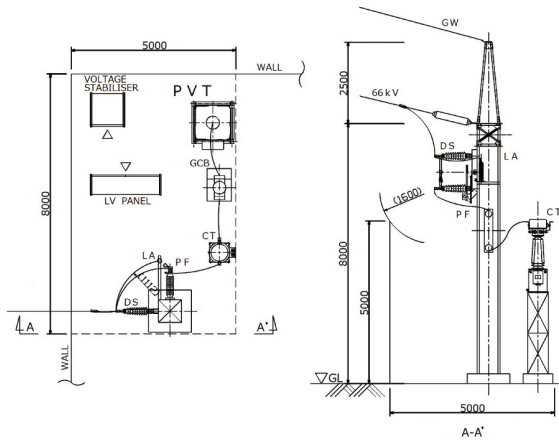


図4 66kV/230Vマイクロ変電所レイアウト

6. まとめ

PVTを用いたマイクロ変電所は、ルーラルエリアの村落電化において省スペース化に加え、配電損失の低減、設備コストの削減、更には環境負荷の低減など、多くの観点で優れている。

基本設計によりインドの各種規制に対応したシステム構築が可能となったことから、今後、現地の電力会社と協力し、実証システムによる有効性の検証を行い、普及拡大に向けて取り組んでいく所存である。

7. おわりに

本論文に示した検討は、NEDOが推進するエネルギー消費の効率化等に資する我が国技術の国際実証事業における実証要件適合性等調査「配電網未整備地域における高効率な電力供給を実現するためのマイクロ変電所の実証研究（インド）」に係る委託業務を通じて実施したものである。

執筆者紹介



井筒 達也 Tatsuya Izutsu
企画開発部
技術開発部長



村井 正樹 Masaki Murai
電力・環境システム事業本部
システムエンジニアリング部
産業設計部 グループ長



高橋 利明 Toshiaki Takahashi
電力・環境システム事業本部
システムエンジニアリング部
海外技術部 主任



芝崎 将之 Masayuki Shibasaki
電力・環境システム事業本部
電力機器事業部 開発部



黒田 和宏 Kazuhiro Kuroda
研究開発本部
電力技術開発研究所 主幹



牧 尚子 Naoko Maki
研究開発本部
電力技術開発研究所



笹島 慎一 Shinichi Sasajima
電力・環境システム事業本部
安全・品質管理部 グループ長



水野 聡 Satoshi Mizuno
企画開発部 主幹