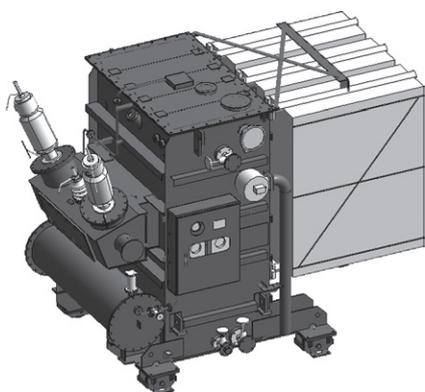


インド高速鉄道向け単巻変圧器 (AT)

望月丈義 Takeyoshi Mochizuki
宮内武彦 Takehiko Miyauchi

キーワード インド高速鉄道, 単巻変圧器, プライム明電

概要

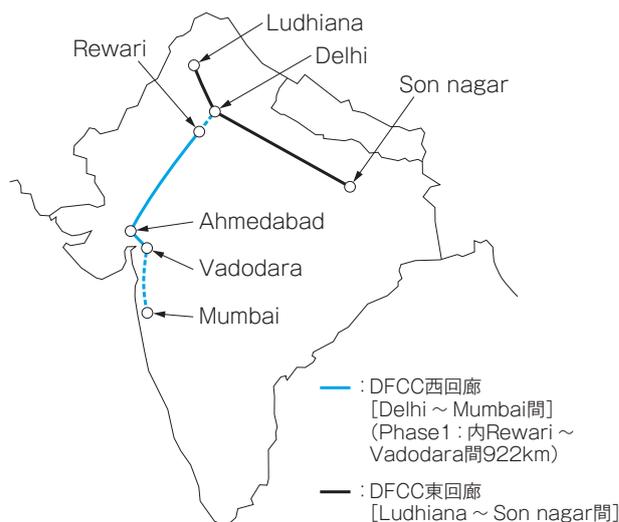


AT

当社はインドのPRIME MEIDEN LTD. (PML) と共同で、インド貨物専用公社 西回廊フェーズ1工期に8MVA及び12.3MVAの単巻変圧器(AT)を192台納入予定である。インドでは、短絡事故が頻繁に発生し電力の供給が不安定なことから、製品の仕様には多くの短絡強度に関する特殊仕様が含まれている。特殊仕様へ対応した実器に短絡電流を流す短絡試験を経て初号器を完成し、現在量産を進めている。本製品を設計するにあたり、メンテナンス上優位性のある窒素密封方式の採用、インド部材の採用や製品の高さを抑えた輸送上優位性のある全装可搬対応のコンパクト化を実現した。また、半数を製造するPMLの製品品質を向上するため、設備の増強や当社技術者を派遣して技能の向上に取り組んだ。

1 まえがき

インドでは急速な経済発展に伴い、鉄道の貨物輸送量が急激に増加し、貨物新線の整備・強化が課題となっている。インド貨物専用鉄道公社 (Dedicated Freight Corridor Corporation of India Limited (DFCCIL)) は、インド国内を縦横断する貨物専用鉄道として、特に輸送量の多い「デリー～ムンバイ間を結ぶ西回廊」と「ルディアナ～ソンナガル間を結ぶ東回廊」の合計約2800kmを結ぶ2路線の建設を進めている。第1図にプロジェクトの概要を示す。当社はPRIME MEIDEN LTD. (PML) と共同で、双日株とラーセン・アンド・トゥプロ社との共同事業体であるレワリ～バドダラ間全長922kmを対象とする西回廊フェーズ1工期に、定格電圧55/27.5kV線路容量8MVA及び12.3MVAの単巻変圧器(AT)192台を納入予定である。日系電機メー



第1図 プロジェクト概要

インド高速鉄道の全体図を示す。

カとして、インドの鉄道1路線の変電設備に変圧器192台を納入するのは過去最大となる。当社が本変

第 1 表 ATの主な仕様

8MVAと12.3MVA ATの基本仕様を示す。IEC 60076を超える厳しい短絡強度が要求されている。

項目	仕様	
機種	8MVA AT	12.3MVA AT
適用規格	IEC 60076	
相数	1	
周波数	50Hz	
定格容量	線路容量	8MVA / 12.3MVA
	自己容量	4MVA / 6.15MVA
短絡強度	短絡電流	7.27kA (定格電流の25倍) / 12kA (定格電流の26.83倍)
	継続時間 (機械的)	0.5s (IEC : 0.25s)
	継続時間 (熱的)	5s (IEC : 2s)
運転定格	100%連続, 150% 15min, 200% 5min	
定格電圧	一次 55kV / 二次 27.5kV	
冷却方式	油入自冷式	
短絡インピーダンス	二次側からみて0.45Ω以下	
温度上昇限度	油 45K / 巻線 50K	
騒音レベル	NEMA 68dB(A)	NEMA 69dB(A)

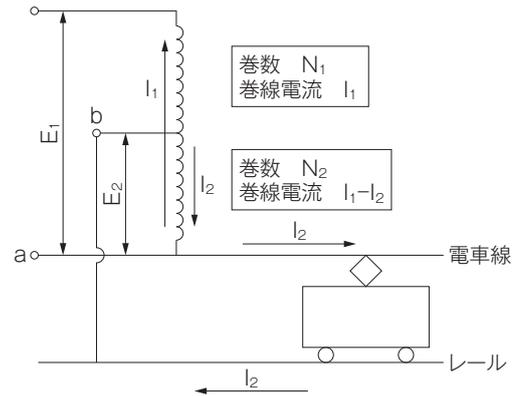
圧器の設計を進めるにあたり、PMLとの設計・製造・部材の共通化が課題となった。本稿では、課題の対策を含め納入するATを紹介する。

2 機器仕様

第 1 表に当社が納入するATの主な仕様を示す。仕様では、変圧器国際規格IEC 60076の要求を上回る短絡強度（継続時間）を指定され、特殊試験である短絡試験実施の要求がある。また、短絡強度仕様には外部短絡時に巻線に発生する電磁機械力を抑制するための巻線配置や締め付け構造などの指定がある。これはインドで頻繁に短絡事故が発生し、電力の供給が不安定なことが背景にある。

3 AT

第 2 図に概念図を示す。巻線の一部を電源側と負荷側で共用するATは、巻線の漏れインピーダンスを無視した理想変圧器と考えた場合、a-b間に負荷を接続すると $I_1(N_1 + N_2) = I_2N_2$ の関係を満足す



第 2 図 ATの概念図

ATの電気的な概念図を示す。

る電流 I_1 が電源から流入する。電圧・電流の関係は一般の2巻線の変圧器と同様であるが、構造上巻線の一部を共有するa-b部分には電源側と負荷側電流の差 ($I_1 - I_2$) のみが流れるため、同じ負荷容量の2巻線変圧器に比べて小形となる利点がある。ただし、電源側と負荷側が絶縁されていないため、高压側に発生したサージはそのまま低压側へ移行し、一般に絶縁協調の面で注意を要する。しかし、ATき電回路で使用する場合には巻線中央部をレールに接続した中点低抵抗接地となり、絶縁協調上安定した変圧器となる。本交流き電方式は日本国内でも採用され、当社はこれまで新幹線設備向けなどに同様のATを約400台納入している。

4 製品の特長

本製品の主な特長は、以下のとおりである。

4.1 短絡強度に関する特殊仕様への対応

今回、特殊試験である短絡試験の要求があり、実器に短絡電流を流す試験を行った。第 3 図に短絡試験の状況を示す。

4.2 窒素密封方式の採用

インドでは油の温度変化による膨張をゴムの隔膜で吸収する隔膜式が主流だが、本器ではタンク上部に窒素空間を作ることで油の膨張を吸収する窒素



第3図 短絡試験状況

製品の特長の一つである短絡試験の状況を示す。

密封式を採用した。窒素密封式は隔膜式に比べ構造が単純で、隔膜などの部品が不要となるためメンテナンスが容易である。

4.3 全装可搬

現地工事の簡略化のため、日本から現地まで完成状態で輸送できるようにコンパクトに設計した。

- (1) 輸送高さを低減するため、ブッシングをタンク横から出す構造とした。
- (2) タンクの高さを低減するため、窒素タンクをブッシングポケットの下に配置し、設置面積を縮小化した。

5 PMLについて

PMLは、2014年3月に当社がPrime Electric Limitedに出資し、Prime Meiden Limited (PML) に社名を変更したインドの変圧器製造メーカーである。当社の技術者を派遣して技術力の向上を図るとともに、インド国内外での受注拡大に努めている。また本案件の機器銘板は、英語とヒンディー語での表記が指定された。第4図にPMLと共同作業を行った一例であるヒンディー語の銘板図抜粋を、第5図にPML工場の外観を示す。

MEIDEN		
आटो ट्रांसफार्मर		
लाइन क्षमता	12300 KVA	IEC80076
स्व क्षमता	8150 KVA	निर्धारण आवृत्ति 50 Hz
शौतलन का प्रकार	ONAN	प्रकार N O R G - Y
फेज	1	डिजाइन शून्यक डिग्री
तापमान्द चिह्न		पूर्ण शून्यक
निर्धारण वोल्टता	प्राथमिक	वीडिंग 50K तेल 45K
	माध्यमिक	(1A,1B-n) 55 kV
		(1A,1B-n) 27.5 kV
निर्धारण धारा	प्राथमिक	(1A,1B) 224 A
	माध्यमिक	(1A,1B-n) 447 A
विद्युत रोधन स्तर	लाइन टर्मिनल	LI 250 AC 95 kV
	तरुख टर्मिनल	LI 75 AC 28 kV
शार्ट सर्किट प्रतिबाधा 75 °C पर लाइन क्षमता के आधार पर		%
शार्ट सर्किट धारा (सममितीय)		28.83 बार निर्धारण धारा
कुल द्रव्यमान		kg
तेल का द्रव्यमान		kg
परिवहन द्रव्यमान		kg
अणुकिंग द्रव्यमान		kg
बिना तेल द्रव्यमान		kg
कुल तेल		l

第4図 ヒンディー語の銘板図抜粋

英語とヒンディー語での表記が指定され、ヒンディー語の銘板はPMLの協力で作成した。



第5図 PML工場

PML工場の外観を示す。

6 当社とPMLの共通設計と製品化

今回の契約では、同一設計の製品を日本（当社）とインド（PML）でそれぞれ半数を製作する。変圧器の設計は、使用する部材、製造設備及び作業者の技能に直接関係し、当社とPMLで同一設計・同一品質の製品を製作する上で、部材・設備・技能のいずれも欠かすことができない要素である。

6.1 部材の共通化

本変圧器には納入後のメンテナンス優位性から、多くのインド国内調達部材を採用した。品質を確保するために、既にPMLで採用されている部材も含め当社で検証試験を行った。また、当社の設計・品質保証部署から派遣チームを組織し、現地サプライヤ



第 6 図 インド部品検証の様子

品質確保のためインド部品は当社で検証試験を実施した。

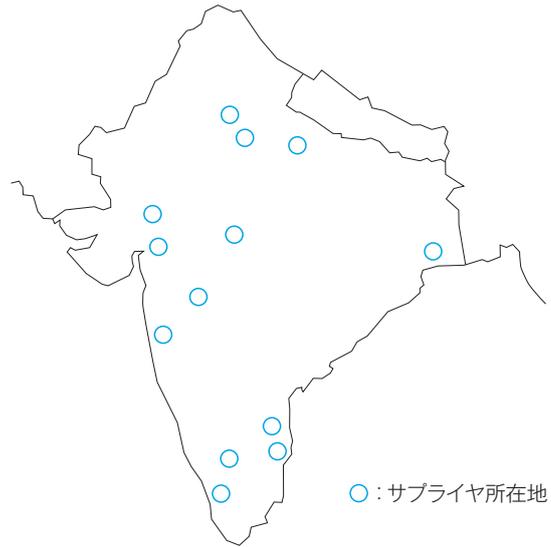
の監査及び技術面の詳細を打ち合わせることで要求仕様及び品質を確保した。第 6 図に検証の様子を、第 7 図に監査を実施したインド国内サプライヤ所在地の概要を示す。

6.2 設備面の対応

同一設計を実現するためには、同等の製造設備が必要となる。PML 設立当初から設備の増強を計画し、既に今回の AT を製造する上で必要となる巻線特殊工程用の設備増強は完了している。今後更なる同一設計機種拡大に向けて設備の増強を進めている。

6.3 作業技能

変圧器の製造、特に巻線工程では高い技能を要する作業が多く存在しているが、当社から PML へ技術者を派遣し、作業者の技能向上及び品質に対する意識の向上を図ることで品質を確保した。



○：サプライヤ所在地

第 7 図 サプライヤ所在地概要

インド国内サプライヤ所在地の概要を示す。インド全土から部品を調達している。

7 むすび

インド高速貨物鉄道は、インドの主要物流インフラとして重要な位置付けにある。当社はお客様と繰り返し打ち合わせし、お客様の要望を製品に反映させると同時に、PML やインド部材メーカーとともに信頼性の高い製品を実現した。今後、今回得られた経験を基に、インフラ事業への更なる貢献に努めていく。

最後に、本案件の受注と製品化にあたり、ご指導・ご協力いただいた関係者の皆様に深く感謝の意を表する次第である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



望月 丈義
Takeyoshi Mochizuki
変電機器工場
変圧器の設計に従事



宮内 武彦
Takehiko Miyauchi
変電機器工場
変圧器の電気設計に従事