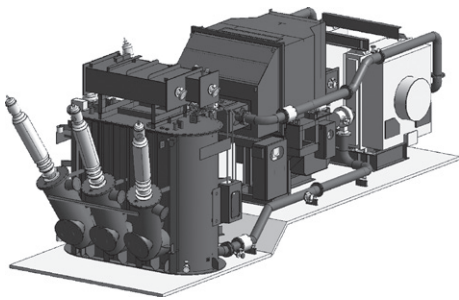


最近の移動用変圧器

佐野貴弘 Takahiro Sano
森健太郎 Kentaro Mori

キーワード 移動用変圧器, 移動式変電所

概要



移動用変圧器

大規模災害への備えとして、移動用変圧器及び移動用変電所の需要が高まっている。さらに、機動性確保及び運用開始までの作業時間短縮のため、軽量化・大容量化・多機能化・汎用化などが要求されている。これらの要求に対応するため、耐熱材料を採用したハイブリッド絶縁⁽¹⁾の採用・三次元CADの活用・強度解析による最適構造設計を実施してきた⁽²⁾。今回、絶縁距離の縮小による巻線と鉄心のコンパクト化を行い、更なる軽量化を実現した。また、変圧器と同一車両にガス絶縁開閉装置(C-GIS)を搭載して管路で直結する構造や、油浸形避雷器を変圧器へ内蔵する構造を初めて採用した。

1 まえがき

移動用変圧器（以下、移動変）は、変圧器が故障した場合や計画的なリプレースの場合に仮設設備として使用するものである。当社では、1958年に中部電力(株)に納入した70kV 3000kVAの移動変を皮切りとして、現在までに高電圧化・大容量化・低騒音化・多機能化の要求に応じてきた。

一方、車両の排出ガス規制が年々厳しくなるにつれ、車両質量が増加していることや、特殊車両通行申請が不要なトラック適用への要求が高まっていることから、変圧器の小形軽量化が求められている。

また、阪神・淡路大震災、東日本大震災の二つの大きな地震以降、事業継続計画（BCP：Business Continuity Planning）対策としての移動用変電設備の必要性が見直され、お客様の多様な要求に対応した移動変を製作している。本稿では、絶縁距離縮小

などの最新技術を適用して小形軽量化を図り、中部電力(株)と国内電力会社に納入した移動変、及び今後製作する予定の移動変の概要を紹介する。

2 小形軽量化の取り組み

従来、移動変の小形軽量化のために、以下に示す技術を採用してきた。

- (1) 巻線に耐熱絶縁紙（アミン添加紙）を採用し、温度上昇限度を格上げして電線を細線化
- (2) 鉄心材料に高磁束密度電磁鋼板を採用、及びステップラップ接合の採用による低損失化と低騒音化で、鉄心断面積を縮小
- (3) 高圧側のブッシングに軽量のポリマーがい管を適用したSiR（Silicone Rubber）モールド樹脂含浸ブッシングを採用
- (4) 低比重絶縁油を採用

- (5) アルミ合金製タンクを採用
- (6) タンクとコンサベータを一体構造化
- (7) 中身形状に合わせたタンク構造とし、油量を低減
- (8) アルミクーラを採用
- (9) 制御盤の筐体にアルミ合金を採用

また、近年では以下に示す技術を採用している。

- (1) 巻線にアラミド紙を、巻線支持スペーサ材料にアラミドボードを適用したハイブリッド絶縁を採用して温度上昇限度を更に格上げし、電線を細線化
- (2) 軽量なドイツMR社製負荷時タップ切換装置(IEC規格)を採用
- (3) 三次元CAD設計を有効活用し、部品単位での質量管理を強化
- (4) 耐真空強度や輸送強度の解析による最適タンク構造を採用

更なる小形軽量化の要求に対応するため、今回は以下に示す技術を採用した。

- (1) 絶縁構成を見直して絶縁距離を縮小することで、巻線と鉄心をコンパクト化

3 最近の製作実績

3.1 中部電力(株)納入移動式変電所

中部電力(株)では開閉器車や発電機車など機器単体の移動用設備を保有しているが、配電用変電所全体が被災した場合には複数の移動用設備が必要で、各設備の運搬・設置、ケーブル類の敷設接続、各種試験に時間を要するといった課題があった。今回、復旧作業時間を大幅に短縮するため、移動用変圧器車(以下、Tr車)と移動用キュービクル車(以下、Cub車)の2台を1組とした移動式変電所を開発し、2組を納入した。車両は総質量20tのトラックで、Tr車には特高変圧器と特高遮断器など、Cub車には高圧キュービクル・保護制御装置・遠隔監視制御装置などを搭載している。特長は、以下のとおりである。

- (1) 現地作業時間の短縮 今回の車両構成の採用や車両間接続にコネクタケーブルやLANを採用したことで、従来の単体移動用設備による現地作業時間を半分程度に短縮した。

- (2) 機動性の確保 迅速復旧の観点から、けん引車両が不要なトラック車載式を採用し、一般車両と同様に特殊車両通行許可申請を不要とした。

- (3) 既設機器との互換性 IPネットワークLAN接続及び制御ケーブルで既設機器と接続できる。また、Tr車・Cub車はそれぞれ単独でも既設機器と接続して使用できる構成とした。

第1表にTr車の仕様を、第1図に外観を示す。ハイブリッド絶縁の採用及び巻線間絶縁距離8%縮小などによる軽量化と、変圧器と遮断器を三相一括スペーサによる管路接続とすることで、省スペース化を図っている。

3.2 国内電力会社納入Tr車

従来のお客様仕様では20MVA Tr車を25tトラックに積載していたが、排出ガス規制対応のためトラックの車両質量が増加し、従来と同形の変圧器を

第1表 中部電力(株)納入Tr車の仕様

Tr車の寸法と質量、及び変圧器の主な仕様を示す。

項目	仕様
寸法	W2480×H3480×L9305mm
質量	総質量19.85t(うち変圧器本体8.87t)
相数	3
周波数	60Hz
定格容量	10MVA
定格電圧	一次78.75kV(19タップ)/二次6.75kV
結線	一次星形/二次星形
冷却方式	導油風冷式
短絡インピーダンス	15%
温度上昇限度	油60K/巻線95K
騒音レベル	50dB



第1図 中部電力(株)納入Tr車

20tトラックに10MVA変圧器やガス遮断器などを搭載している。

積載できなくなり、近年ではトレーラに積載していた。しかし、機動性が高いトラック積載形の要望があり、今回、仕様緩和を含めた設計変更で軽量化し、22tトラック積載形Tr車を開発した。

第2表に従来と今回のTr車の仕様比較を、**第2図**にTr車の外観を示す。22tトラックに特高

第2表 国内電力会社納入Tr車の仕様比較

変圧器質量を3.1t低減し、22tトラックへの搭載を可能としている。

項目	従来又は標準の仕様	今回の仕様	
車両	25tトラック	22tトラック	
寸法	W	2490mm	2480mm
	H	3655mm	3770mm
	L	8745mm	9075mm
質量	総質量23.8t (うち変圧器本体14.7t)	総質量21.6t (うち変圧器本体11.6t)	
相数	3		
周波数	50Hz		
定格容量	20MVA		
定格電圧	一次 67.5kV (11タップ) / 二次 6.9kV		
結線	一次 星形 / 二次 星形		
冷却方式	導油風冷式		
短絡インピーダンス	17%		
温度上昇限度	油 55K / 巻線 70K	油 60K / 巻線 95K	
騒音レベル	50dB	52dB	
一次ブッシング	磁器がい管	ポリマーがい管	
負荷時タップ切換装置	JEC規格	IEC規格	
変流器の過電流定数	n > 20	n > 10	
制限速度	40km/時	20km/時	



第2図 国内電力会社納入Tr車

22tトラックへ20MVA変圧器・制御盤・所内用変圧器を搭載している。

変圧器のほか、制御盤・所内用変圧器などの付属機器を搭載することで、変圧器使用時の制御配線敷設などの作業を不要とした。また、二次ダクトのケーブル接続用ハンドホールを脱着式から開閉式に変更することで、現地作業時間を短縮した。さらにケーブルヘッド架台を搭載し、一次側を架線接続だけでなくケーブル接続もできるようにした。

変圧器の軽量化施策として、巻線間絶縁距離を従来に比べて15%縮小したほか、三次元CADを活用して絶縁油を徹底的に排斥した。

4 今後の展開

4.1 北陸電力(株)向け移動式変電所

従来、北陸電力(株)ではTr車として、変圧器のみを車両に搭載していたが、今回、配電用変電所全体が被災した場合に迅速に復旧できるTr車とCub車の2台構成の移動式変電所が新たに計画され、当社はTr車を受注して現在製作中である。

Tr車には、25tトレーラに特高変圧器・制御盤・一次中性点避雷器・所内用変圧器・活線浄油機・キュービクル形ガス絶縁開閉装置(C-GIS)などを搭載する。従来は制御盤・一次中性点避雷器・所内用変圧器などを別車両で運搬していたが、一次中性点避雷器は高性能の油浸形避雷器を変圧器に内蔵し、制御盤・所内用変圧器なども同一車両に搭載することで、機器使用時に機器間接続及び制御線接続などの作業が不要となり、現地作業時間が短縮できる。

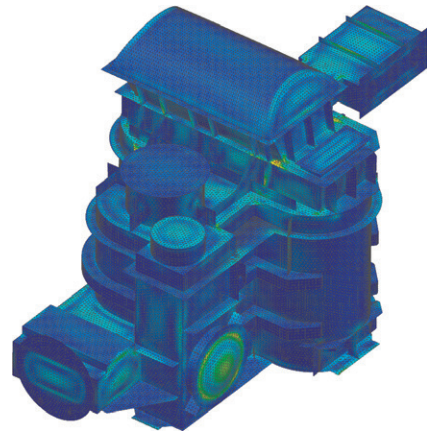
また、北陸電力(株)の送電系統には66kV系統と77kV系統があり、従来は66kV用と77kV用にそれぞれの変圧器を配備していたが、今回は両系統に対応する変圧器とし、タップ範囲を84~57kVとした。

第3表に従来器との仕様比較を、**第3図**にTr車の外観を三次元CADで示す。C-GISと変圧器を管路で直結し、一次中性点避雷器を変圧器に内蔵する構造を、移動変としては初めて採用した。このため、CAE解析によってタンク強度を検証し、問題ないことを確認している。**第4図**にCAEによるタンク強度の解析例を示す。

第3表 北陸電力株向けTr車の仕様比較

変圧器制御盤・一次中性点避雷器・所内用変圧器などを1台に搭載している。

項目	従来の仕様	今回の仕様	
車両	20tトラック	25tトレーラ	
寸法	W	2480mm	2490mm
	H	3380mm	3365mm
	L	9305mm	10,080mm
質量	総質量 19.1t (うち変圧器本体 11.85t)	総質量 24.05t (うち内蔵避雷器を含む変圧器本体 11.85t)	
相数	3		
周波数	60Hz		
定格容量	15MVA		
定格電圧	一次	75.25kV (17タップ) 又は 66.35kV (17タップ)	70.5kV (27タップ)
	二次	6.9kV	
結線	一次 星形 / 二次 星形		
冷却方式	導油風冷式		
短絡インピーダンス	14.5% (75.25kV) 又は 13.5% (66.35kV)	15%	
温度上昇限度	油 60K / 巻線 95K		
騒音レベル	55dB		
別送付属品	制御盤・一次中性点避雷器・所内用変圧器・活線浄油機・中継端子箱・排油タンク	なし	



第4図 CAEによるタンク強度解析例

最大発生応力が許容値以下であることを確認した。

(1) 復旧時間の短縮

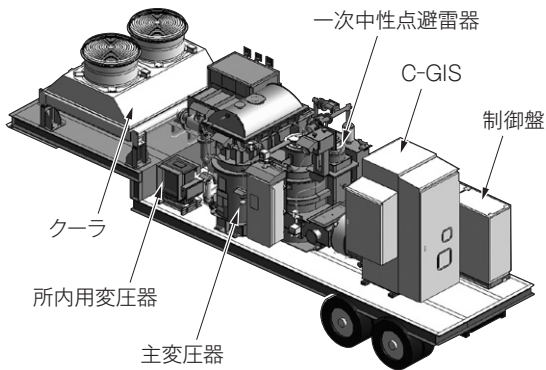
- (a) 主回路接続に昭和電線ケーブルシステム(株)製プラグイン方式の電力ケーブル端末を採用し、仕様を統一することで、各機器間の接続作業の時間を短縮した。
- (b) プラグイン方式電力ケーブルの採用で、充電部が隠蔽されることから、狭あいなスペースでも自由に機器を配置できる。また、充電部が露出していないため暴風などの影響を受けにくくなることから、長期に使用できる。
- (c) 制御回路のコネクタ化で、接続作業時間の短縮を図った。

(2) 機動性の向上

- (a) 特高変圧器・特高開閉器・高圧キュービクル・電力ケーブルを個別にトラックに積載し、それぞれ単独で使用できる構成とした。
- (b) 変圧器を車両へ固定積載せず、可搬性を持たせることで、変圧器設置場所の制約を少なくした。また同車両を使用し、他の移動用機器を運搬した。
- (c) 変圧器の定格容量を6000kVAとし、コンパクト化及び軽量化することで、特殊車両通行許可申請を不要とした。

(3) 設備の合理化

- (a) 一次電圧を110kVと66kVで共用化し、1台で110kV変電所と66kV変電所の両方を同一機器で対応した。



第3図 北陸電力株向けTr車

主変圧器のほか、C-GIS・制御盤・一次中性点避雷器を同一車両に搭載している。

4.2 中国電力(株)向け可搬式変圧器

大規模災害発生時の瓦礫堆積や道路損壊を想定した上で、復旧時間短縮・機動性の向上・コスト低減を目的に、移動式変電所の仕様を変更し、現在製作している。主な特長は、以下のとおりである。

第4表 中国電力(株)向け可搬式変圧器の仕様

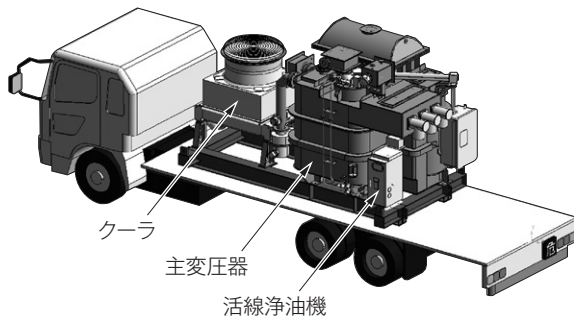
一次電圧を110kV系統と66kV系統で切り替える。

項目	仕様
寸法	W2480×H3780×L9305mm
質量	総質量20t(うち変圧器本体12.5t)
相数	3
周波数	60Hz
定格容量	6000kVA
定格電圧	一次108.5kV-64.9kV(各11タップ)/ 二次6.9kV
結線	一次星形/二次星形
冷却方式	導油風冷式
短絡インピーダンス	12～15%
温度上昇限度	油60K/巻線95K
騒音レベル	55dB

第5表 イラク電力省向け移動用変圧器の仕様比較

25MVAから31.5MVAへ増容量している。

項目	従来の仕様		今回の仕様
寸法(変圧器)	W	3300mm	3300mm
	H	3380mm	3530mm
	L	9250mm	9350mm
質量(変圧器)	37.2t		40.5t
相数	3		
周波数	50Hz		
定格容量	25MVA	31.5MVA	
定格電圧	一次132kV(17タップ)/二次33kV		
結線	一次星形/二次三角形		
冷却方式	導油風冷式		
短絡インピーダンス	12%		
温度上昇限度	油45K/巻線55K		
騒音レベル	80dB		



第5図 中国電力(株)向け可搬式変圧器

搭載物を一体でつり上げられる構造としている。



第6図 イラク電力省向け移動式変電設備³⁾

25MVA変圧器を搭載した移動式変電設備を示す。変圧器を31.5MVAに増容量する。

第4表に可搬式変圧器の仕様を、第5図に外観を三次元CADで示す。

4.3 イラク電力省向け移動式変電設備

当社では1970年代後半から、定格容量25MVA・15MVA・10MVAの変圧器を搭載した移動式変電設備をイラク電力省に納入してきた。イラクでは、一日平均7～8時間の停電が発生するなど電力の供給不足が常態化し、電気の供給拡大及び安定供給のため、発電所の新設・改修が進められている。また、発電量の増加に合わせた変電設備の増設も急務となっている³⁾。最近では移動変1台当たりの変圧器容量を増やしたいという意向が強く、当社ではこの大容量化の要望に応えるため、製作容量を拡大している。トレーラ台車の寸法はW3400×H4500×

L20,000mで、変圧器などの機器を搭載する。

今回、定格容量を31.5MVAに増加させた移動式変電設備12台を受注し、2017年度中に製作する予定である。第5表に従来の25MVA変圧器と今回製作する31.5MVA変圧器の仕様比較を、第6図に25MVAの変圧器を搭載した移動式変電設備を示す。

5 むすび

移動変に対しては、お客様ごとに異なるコンセプトがあるが、要求は軽量化・大容量化・多機能化・汎用化に集約される。多数の移動変製作実績を基盤とし、最新の技術を融合させることで、これらの要

求に対応してきた。また、お客様と詳細に打ち合わせを重ね、お客様のコンセプトと最新の設計技術及び製作技術を融合した機器仕様とすることで、お客様により一層満足していただける製品を納入してきた。

当社では20MVA 配電用変圧器の全装輸送化のため、中身・タンクの軽量化、三次元磁界解析による損失低減、構造・音響の連成解析による騒音低減を行っている。これらの技術を移動変にも適用し、お客様の要求に対応したより良い製品を製作していく所存である。

・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。

《参考文献》

- (1) International Electrotechnical Commission: 「IEC 60076-14 Power transformers-Part 14: Liquid-immersed power transformers using high-temperature insulation materials」, 2013
- (2) 榎木一寿・望月丈義・神尾幸嗣: 「最近の移動用変圧器車技術」, 明電時報340号, 2013/No.3, pp.58-62
- (3) 「イラク電力省向け移動変電所12式内示受領」, 明電舎ニュースリリース, http://www.meidensha.co.jp/news/news_03/news_03_01/1223303_2469.html

《執筆者紹介》



佐野 貴弘
Takahiro Sano
変電機器工場
変圧器の電気設計に従事



森 健太郎
Kentaro Mori
変電機器工場
変圧器の構造設計に従事