

# 大形変圧器の現地改修

On-Site Refurbishment of Power Transformer

伊串 和晃<sup>※1</sup> Kazuteru Igushi  
 高橋 誠<sup>※1</sup> Makoto Takahashi  
 水野 康宏<sup>※1</sup> Yasuhiro Mizuno  
 佐藤 一彦<sup>※2</sup> Kazuhiko Sato  
 西岡 孝則<sup>※3</sup> Takanori Nishioka  
 緒方 研介<sup>※3</sup> Kensuke Ogata  
 高橋 一嘉<sup>※3</sup> Kazuyoshi Takahashi

## 1. はじめに

変電所(以下、現地)で運転中の大形変圧器(以下、変圧器)において、巻線や鉄心などに故障が発生した場合(以下、内部故障)、変圧器の改修には、改修規模と品質担保の観点から工場への引取りが必要であった。工場への輸送は、一般道では輸送制限があるため、鉄道などの輸送手段を用いる。そのため、変圧器復旧期間の長期化とコストの増加につながっている。

また近年、変圧器の鉄道による輸送は、鉄道ダイヤの過密化、貨車(シキ車)や側線の減少などにより、許可申請が従来に比べ長期化する傾向にあり、変圧器復旧までの期間が従来に比べ長くなる場合がある。

変圧器復旧が長期化すると、電力の安定供給に支障をきたすため、復旧の迅速化が課題となっている。

復旧までの期間短縮とコスト削減の方法の1つとしては、現地での改修が考えられ、分解輸送変圧器の技術を活用した現地改修の技術確立が期待されている<sup>(1)</sup>。また、故障以外にも巻線の劣化更新時の早期復旧ならびに改修コスト削減の観点からも現地改修の実現が期待されている。

そこで、分解輸送技術を活用した現地改修技術の検討を行うとともに、実規模大の試作機を製作して実際に現地改修作業を検証し、現地改修技術を構築した。

本稿では、改修工程の概略、開発した現地改修技術および試作機による現地改修作業の検証結果について述べる。

約9か月と想定され、期間とコストの削減が期待できる。ただし、鉄心を持ち帰らないため工場における巻線単体(空芯)の試験方法を新たに確立する必要がある。また、現地における中身分解から組立までの作業方法、品質管理も確立しなければならない。

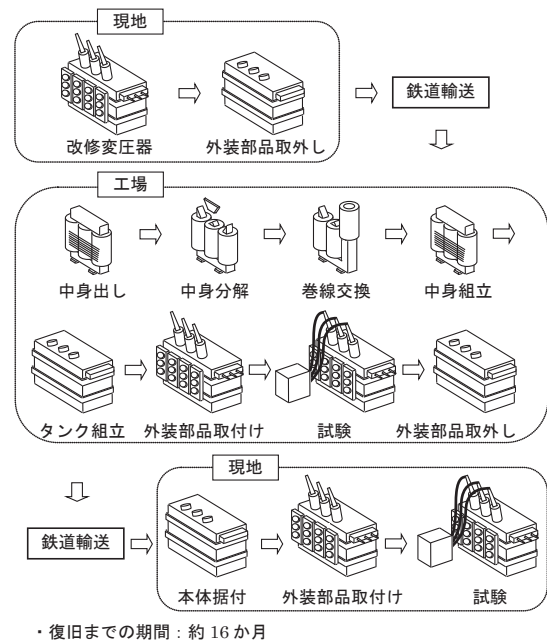


図1 工場に引取った場合の改修工程

## 2. 改修工程の概略

巻線の改修を例に、これまでの工場に引取った場合の改修工程を図1に、現地での分解輸送技術による改修工程を図2に示す。なお、改修対象は154kV 200MVAクラスの変圧器とする。

図1では、変圧器タンクを分解せずに輸送するのでその寸法と質量による輸送制限から鉄道輸送が必要となる場合があり、輸送は現地から工場、工場から現地へ2回行うことになる。鉄道輸送は、許可申請に長期間を要するため、内部故障発生から復旧まで約16か月の期間を必要とする。ただし、中身出しから中身組立は、工場で実施するため、新規製作品と同等な作業方法と作業環境の改修が可能となる。

図2では、巻線のみを輸送するのでトラック輸送(鉄心の場合はトレーラ輸送)が可能となり、復旧までの期間は

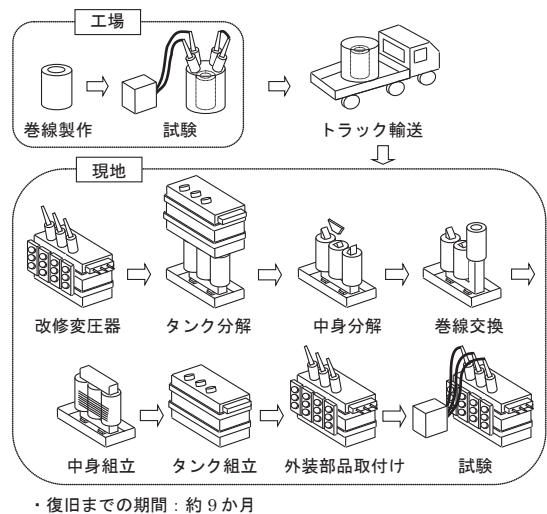


図2 現地での分解輸送技術による改修工程

※1 電力事業部 変圧器技術部 大形技術G  
 ※2 電力事業部 品質管理部  
 ※3 中部電力株式会社 工務技術センター 技術グループ

### 3. 現地改修の課題

分解輸送技術による現地改修を実現するための主な課題を以下に示す。

#### 3.1 内部故障箇所の特定

変圧器の内部故障箇所の特定は、油中ガス分析と電気試験で異常の有無を確認した後、目視により特定する。目視による特定は、現地ではハンドホールから行うため、巻線表面などでハンドホールから確認できない箇所がある。

現地改修の実施を判断するためには、現地で内部故障箇所を特定し、現地改修の実施可否を決定する必要がある。このため、現地で目視点検できる範囲を、現状に比べて拡大することが課題となる。

#### 3.2 中身の露出方法

中身を改修する場合、タンクから中身を取り出す必要があり、一般的には中身をクレーンで吊上げタンクから取出す。現地では、機材の配置スペースの関係からラフテレーンクレーン(以下、クレーン)が65ton級以下に制約されるため、約90ton(容量200MVAの場合)の中身を吊上げることは不可能である。このことから、中身を吊上げることなく中身を露出できるタンク構造とすることが課題となる。

#### 3.3 鉄心改修方法

鉄心の質量は60ton(容量200MVAの場合)を超過するため、これまでの作業方法では、クレーンのブーム長を考慮すると200ton級のクレーンが必要であった。そのため、65ton級以下のクレーンで改修可能な作業方法の確立が課題となる。これまでの鉄心転倒・起立作業の概略を図3に示す。

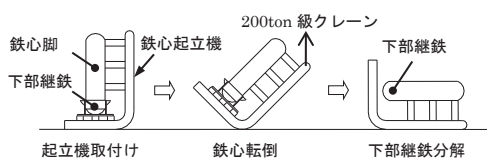


図3 これまでの鉄心転倒・起立作業の概略図

#### 3.4 吸湿・塵埃対策

##### (1) クリーンハウス

現地改修では、巻線や鉄心を大気中に暴露するため、吸湿と塵埃に対する品質管理を目的に現地作業用のクリーンハウスが必要となる。変電所によっては、変圧器設置位置を別に確保できない場合がある。このため変圧器基礎上で改修に

必要な作業スペースを確保し、変圧器架線引留用鉄構ポスト間に収まるクリーンハウス構造と寸法の確定が課題となる。

##### (2) 巻線

巻線は工場での試験完了後、乾燥処理を行い現地に輸送される。改修作業に当たっては、巻線絶縁物の吸湿と塵埃混入の防止対策の確立が課題となる。

### 3.5 巻線試験方法

巻線を現地改修する場合、工場で新規に巻線を製作して現地にて故障巻線と交換する。そのため、工場においては巻線単体(空心)で品質確認の試験を実施する。

新規に製作する巻線は交換前の巻線と同一設計であり、試験の目的は製造上の品質確認となる。このため、空心での試験は表1の項目があげられる。この中で、巻線抵抗測定、絶縁抵抗測定、誘電体損失角測定は、鉄心の有無による影響を受けないため、空心での試験が可能である。

一方、短絡インピーダンス測定は空心では困難である。短絡インピーダンスは、インダクタンス分が支配的であり、高・低圧巻線が密結合の場合、漏れ磁束が少なく鉄心の影響がほとんどなくなるので、空心のインダクタンス測定が有効であると考えられる。短絡インピーダンス測定の代わりに空心のインダクタンス測定により、品質を確認できるかが課題となる。また、雷インパルス耐電圧試験においては、鉄心の有無による影響を受けないと考えられるが、鉄心の有無による巻線内の電位振動を確認することが課題となる。

表1 空心での主な試験項目

試験項目	
巻線抵抗測定	
絶縁抵抗測定	
誘電体損失角測定	
短絡インピーダンス測定(インダクタンス測定)	
耐電圧試験	加圧試験
	誘導試験(閉開インパルスで代行)
	雷インパルス耐電圧試験
□ 空心で課題となる試験項目	

### 4. 現地改修方法の検討結果

現地改修の実現に向け、各課題に対する検討結果を以下に示す。

#### 4.1 内部故障箇所の特定

対策を検討するため、過去の内部故障事例において、故障箇所を特定した目視点検の状況を表2の通り整理した。

工場での目視点検のうち「中身吊上げ」「巻線吊上げ」は、現地点検にてファイバースコープを用いることで代用できる可能性がある。従って、ファイバースコープ用の点検口

表2 内部故障箇所を特定した目視点検の状況

点検場所	現地		工場	
	点検方法	中身吊上げ	巻線吊上げ	巻線分解
特定件数の割合	24%	35%	6%	35%

を、予め変圧器タンクの適切な位置に設置することで確認範囲が拡大できると考えた。確認範囲が拡大できれば、内部故障全件数に対する現地における故障箇所の特定点数の割合が24%から65%となり、現地改修の実現可能性が高くなる。点検口の取付け位置と内部確認可能な範囲の想定を図4に示す。

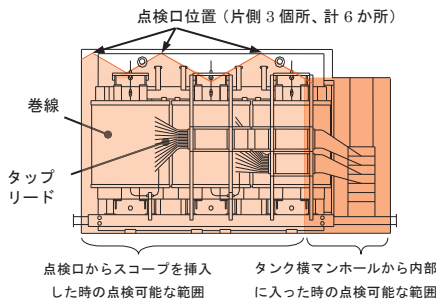


図4 内部確認可能な範囲の想定図

## 4.2 中身の露出方法

タンク下部に分割部を追加し、中タンクと上タンクを一体(約18ton)で吊上げることにより中身を露出させる。これにより、現地改修しやすい構造とした。その概略構造を図5に示す。

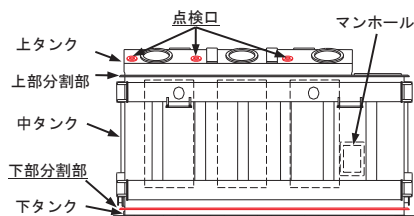


図5 タンクの概略構造図

なお、65tonクレーンを使用し改修する場合、変圧器タンクまでの距離は約8mとなり、吊上げ可能な質量は22tonとなる。現地のクレーン配置を図6に示す。

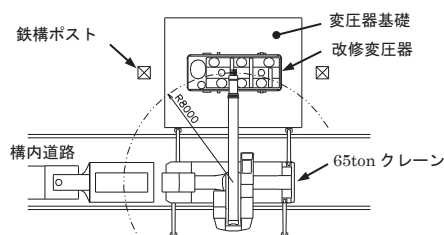


図6 現地のクレーン配置図

## 4.3 鉄心改修方法

鉄心をクレーンなしで回転させる装置(以下、鉄心回転機)を開発(特許出願中)し、大形クレーンを使用することなく鉄心の転倒・起立作業を可能とした。吊上げ質量は、最も重い鉄心脚+輸送タンクで21.5tonとなる。その概略イメージを図7に示す。

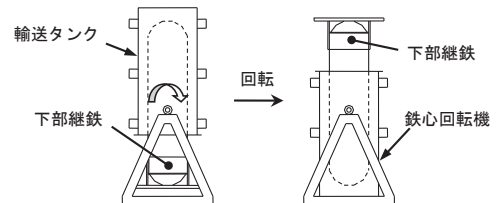


図7 鉄心回転機(特許出願中)の概略イメージ

## 4.4 吸湿・塵埃対策

### (1) クリーンハウス

クリーンハウスの構造はジャバラ形テント式とし、開閉方向は変圧器基礎の奥行方向とし、鉄構ポスト間に収まる寸法とした。

また、クレーン作業時にクリーンハウスを開口するため、開口時の塵埃対策として、防塵ネットを設置することとした。その概略構造を図8に示す。

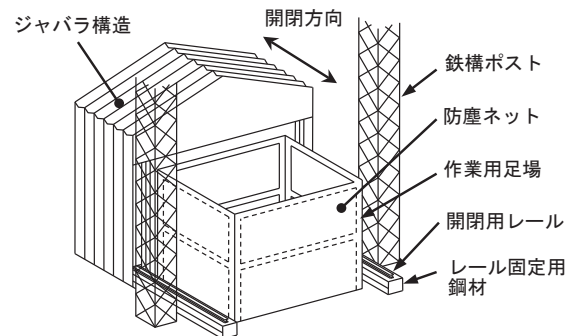


図8 クリーンハウス概略構造図(開口時)

### (2) 巻線

分解輸送時と同様に、巻線にフィルムパックを施し、その内部に乾燥空気を吹き流すことにより吸湿と塵埃混入の防止対策をすることとした。なお、タンク分解直後の巻線は、鉄心に組み込まれタップリード等が接続されているため、袋状のフィルムを上部から被せることは困難である。そのため、シート状のフィルムを巻線周囲に巻付けフィルムパックする構造とした。概略図を図9に示す。

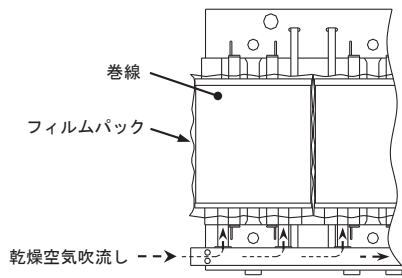


図9 巻線の吸湿と塵埃混入の防止対策の概略図

## 4.5 巻線試験方法

### (1) インダクタンス測定

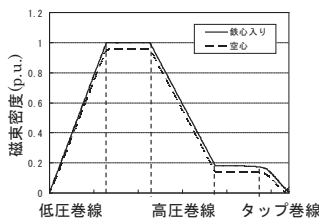
空心と鉄心入りにおけるインダクタンスの比較計算を行った。インダクタンスの計算結果を表3に示す。

インダクタンスの計算に重要な磁界の計算結果を図10に示す。巻線内の磁束密度を見ると(図10(a))、空心の場合、鉄心入りに比べ低い値となっており、これが空心と鉄心入りのインダクタンスの違いとして現れる。これは図10(b)、(c)に示すように、鉄心の有無により磁界の分布が変わることによる。

空心インダクタンスの計算値と測定値の整合が確認できれば、空心インダクタンス測定により巻線の巻数異常や形状変化など製造上の品質面を確認できる。

表3 インダクタンスの計算結果(タップ13)

項目	空心	鉄心入り
インダクタンス(mH)	25.3	27.2(測定値: 27.6)



(a) 巻線内の磁束密度 ((b)(c) 破線部の軸方向)

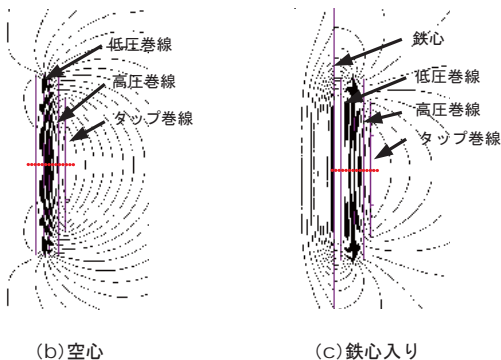


図10 磁界の計算結果

### (2) 雷インパルス耐電圧試験

空心での雷インパルス試験の検討は、図11に示すように同型機の空心と鉄心入りのセクション間分担電圧の電位振動を測定し確認した。測定の結果、空心と鉄心入りの電位振動に差異がないため、空心でも鉄心入りと同様に雷インパルス試験による品質の確認が可能である。

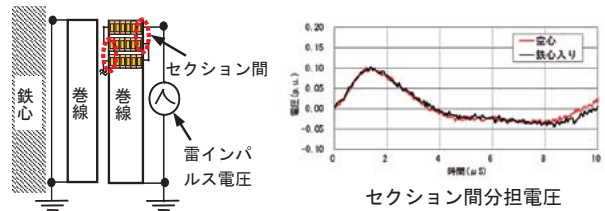


図11 空心と鉄心入りの電位振動

## 5. 試作機による検証

これまでの検討結果を検証するため、試作機により巻線交換と鉄心交換の現地作業を実施した。巻線については空心時の試験も実施した。

### (1) 試作機の詳細

試作機は「154/77kV、200/3MVA、単相機」とした。試作機の概略構造を図12に示す。

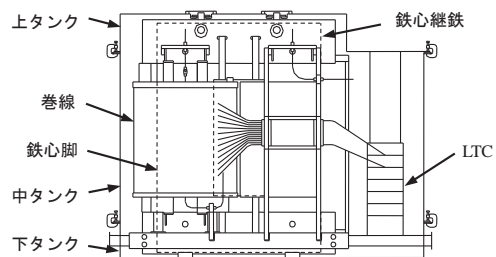


図12 試作機の概略構造図

### (2) 現地機材配置

現地での機材配置を模擬し検証を行った。機材配置を図13に示す。

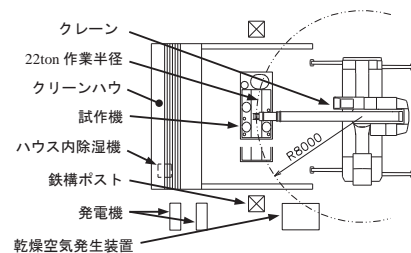


図13 現地機材配置平面図



## 5.1 内部故障箇所の特定

ファイバースコープで撮影可能な範囲を検証した結果、図4で想定した範囲の目視確認が可能であることを確認した。

また、シリンダー表面やセクション間スペーサなど、細部についても目視可能となった。ファイバースコープの検証風景と画像を図14に示す。

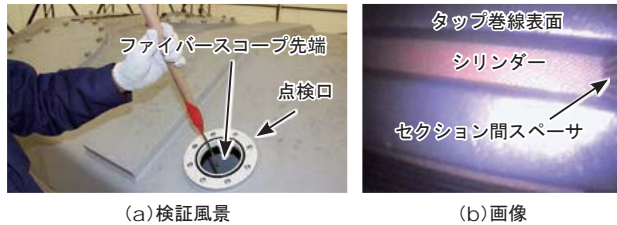


図14 ファイバースコープによる検証

## 5.2 中身の露出

65tonクレーンにて上・中タンクを吊上げ、中身を吊上げることなく中身を露出し、改修作業が可能であることを確認した。タンク分解作業の状況を図15に示す。

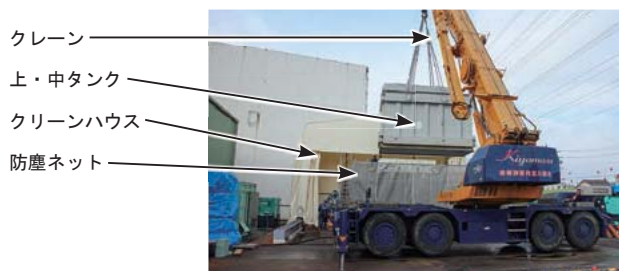


図15 タンク分解作業

## 5.3 鉄心改修

鉄心回転機を使用し、65tonクレーンにて鉄心の分解・組立作業が可能であることを確認した。回転機の据付状態と回転時の状況を図16に示す。

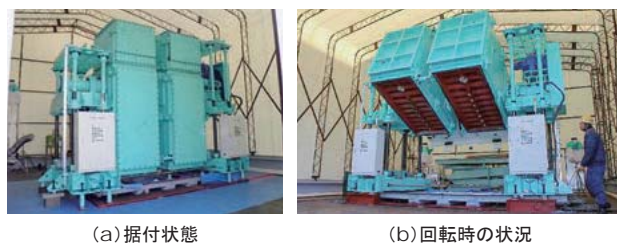


図16 鉄心回転機

## 5.4 吸湿・塵埃対策

### (1) クリーンハウス

クリーンハウス内にて中身の改修作業が可能であることを確認した。また、クリーンハウス内の環境が、工場内と同等な環境(湿度50%以下、漂遊塵埃20CPM以下)で管理可能なことも確認した。クリーンハウスの全景と開口部の状況を図17に示す。



図17 クリーンハウス

### (2) 巻線

巻線をフィルムパックし乾燥空気を吹き流すことにより、改修作業完了まで絶縁物中の水分量を2%・wt以下に管理できることを確認した。巻線の現地改修風景を図18に示す。



図18 巻線の現地改修風景

## 5.5 巻線試験

### (1) インダクタンス測定

空心でインダクタンス測定を実施した結果、計算値と測定値がほぼ同じ値となり、インダクタンス測定により製造上の品質に問題がないことを確認した。計算値と測定値の比較を表4に示す。

このように、空心のインダクタンス値を計算により事前に把握しておけば、インダクタンス測定にて品質確認が可能となる。なお、短絡インピーダンスは、巻線の改修作業完了後に低電圧短絡インピーダンス測定にて確認する。

表4 空心のインダクタンス値の計算値と測定値の比較

tap No.	計算値(mH) : A	測定値(mH) : B	B / A
1	39.1	39.5	1.01
7	31.6	31.8	1.01
13	25.3	25.7	1.02

## (2) 雷インパルス耐電圧試験

空心と鉄心入りの電位振動に差異がないことを確認し(図11)、空心で雷インパルス耐電圧試験を実施した。結果、電圧波形と電流波形はそれぞれ低減波と全波が相似で変歪のない(規格の判定基準を満足している)ことから、空心での試験が有効なことを確認した。

## 6. あとがき

現地改修の実現に向け、変圧器基礎上において巻線と鉄心を改修する技術を確認した。

試作機による現地改修作業を検証した結果、今回確立した技術を適用することにより、品質を確保したうえで現地改修可能であることを確認した。

また、検証により作業性の改善など新たな課題も判明した。実機では、これらの課題を解決し、更なる作業性と品質の向上を図っていく。

## 参考文献

- (1) 電気協同研究会:「高経年期を迎える電力流通設備の円滑な取替えに備えて」、電気協同研究、第63巻 第5号 pp.36-37(2008)
- (2) 西岡孝則・菊地学・高橋一嘉・伊串和晃・高橋誠・佐藤一彦:平成24年電気学会電力・エネルギー部門大会、No346
- (3) 西岡孝則・緒方研介・高橋一嘉・小島幸治・伊串和晃・高橋誠・佐藤一彦:平成25年電気学会全国大会、No5-198
- (4) 西岡孝則・緒方研介・高橋一嘉・小島幸治・伊串和晃・高橋誠・佐藤一彦:平成25年電気学会全国大会、No5-199
- (5) 伊串和晃・小島幸治・高橋誠・佐藤一彦・西岡孝則・緒方研介・高橋一嘉:平成25年電気学会電力・エネルギー部門大会、No.410