

第二次判断基準に対応した

## トッランナー変圧器2014(油入, モールド)

石島 節男  
Setsuo Ishijima望月 佑起  
Yuki Mochizuki岡田 重紀  
Shigenori Okada中西 高章  
Takaaki Nakanishi

## 1. はじめに

2003年4月に「エネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネ法）」が改正施行され、高圧受配電用変圧器（油入変圧器、モールド変圧器）が特定機器<sup>注1)</sup>に指定された。

2006年度から油入変圧器、2007年度からモールド変圧器が第一次判断基準に適合し、これを「トッランナー変圧器」と称している。

2012年に第二次判断基準（経済産業省告示71号）が告示され、2014年4月出荷分から第二次判断基準に適合した変圧器となり、これを「トッランナー変圧器2014」と称する。

特定機器の適用範囲と除外機種を表1に示す。特殊用途に使用される変圧器や市場割合が小さい変圧器などを除き、高圧配電に使用する変圧器の98.6%が対象となる<sup>(1)</sup>。なお、対象範囲は現在のトッランナー変圧器と変更はない。

表1 特定機器の適用範囲と除外機種

|      |                                                                                                           |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 適用範囲 | 機種：油入変圧器，モールド変圧器<br>容量：単相 10 kVA～500 kVA<br>三相 20 kVA～2,000 kVA<br>一次電圧：6 kV 級，3 kV 級<br>二次電圧：100 V～600 V |
| 除外機種 | ガス絶縁変圧器<br>H 種乾式変圧器<br>スコット結線変圧器<br>3 巻線以上の多巻線変圧器<br>モールド灯動変圧器<br>冷却方式が風冷式または水冷式の変圧器<br>電力会社向けの柱上変圧器など    |

第二次判断基準が告示されたことにより、日本工業規格（JIS）が改訂され、また、一般社団法人 日本電機工業会としてエネルギー消費効率に関する規格（JEM 規格）が制定された。今回開発したトッランナー変圧器2014はJISおよびJEM規格に適合したものとなる。

新規格のJISおよびJEM規格を次に示す。

- ・ JIS C 4304：2013 配電用 6 kV 油入変圧器
- ・ JIS C 4306：2013 配電用 6 kV モールド変圧器
- ・ JEM 1500：2012 特定機器対応の油入変圧器における基準エネルギー消費効率
- ・ JEM 1501：2012 特定機器対応のモールド変圧器における基準エネルギー消費効率

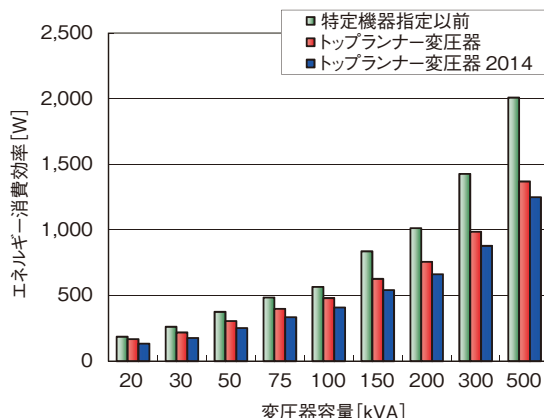
判断の基準にはエネルギー消費効率が用いられる。エネルギー消費効率は無負荷損<sup>注2)</sup>と基準負荷率時の負荷損<sup>注3)</sup>を合わせたもので次式により算出する。

$$\text{エネルギー消費効率} = \text{無負荷損} + (m/100)^2 \times \text{負荷損}$$

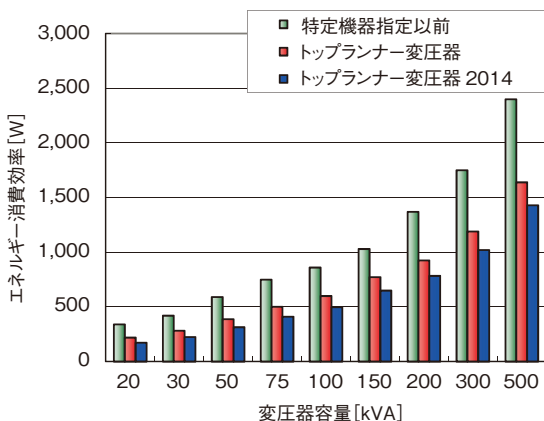
m：基準負荷率 500 kVA 以下 40%  
500 kVA 超過 50%

従来のトッランナー変圧器とトッランナー変圧器2014の基準エネルギー消費効率、および特定機器指定以前の変圧器のエネルギー消費効率について、三相 50 Hz（JIS C 4304, JIS C 4306 規格品）での比較を図1に示す。

エネルギー消費効率は、トッランナー変圧器2014では、特定機器指定以前の変圧器と比較し 40% 程度、



(a) 油入変圧器



(b) モールド変圧器

図1 エネルギー消費効率の比較（三相 50Hz）

従来のトッランナー変圧器との比較では10%程度改善される。

エネルギー消費効率の改善により, 省エネルギー効果からの電気料金の削減, CO<sub>2</sub> 排出量の削減が図れる<sup>(2)</sup>。

なお, トッランナー変圧器 2014 の識別のため, 新しい統一デザインのロゴマークを変圧器本体, カタログに貼り付けることになっている。そのロゴマークを図2に示す。



図2 トッランナー変圧器 2014 ロゴマーク

## 2. 油入変圧器

### 2.1 開発の概要

第二次判断基準に適合した油入変圧器は, JIS および JEM 規格の改正を踏まえ, 以下のコンセプトにて開発を行った。

- (1) エネルギー消費効率の向上
- (2) 変圧器外形寸法の最適化
- (3) メンテナンス性の向上
- (4) 耐震性の向上

図3にトッランナー変圧器 2014 (油入) を示す。



図3 トッランナー変圧器 2014 (油入)  
三相 50 Hz 300 kVA

### 2.2 エネルギー消費効率の向上

エネルギー消費効率の向上には, 鉄心に使用する電磁鋼板の特性, 鉄心断面積, 鉄心質量, 巻線に使用する導体特性, 巻線断面積, 巻線の大きさなどの各パラメータから適切な設計を行った。主な特長は次のとおりである。

#### (1) 電磁鋼板へ磁区制御材の採用

鉄心の電磁鋼板に磁区制御材を採用したことにより, 従来のトッランナー変圧器に採用している電磁鋼板より規定磁束密度での損失特性が5%程度向上し, 無負荷損が低減される。

#### (2) 鉄心の低磁束密度化

無負荷損は, 鉄心の断面積を大きくし低磁束密度化すると低減することができる。しかし, 過度の低磁束密度化は巻線線長の増加による負荷損の増加に繋がるため, 最適な磁束密度にて設計を行った。

また, 鉄心の低磁束密度化により無負荷損の低減だけでなく低騒音化も期待できる。

#### (3) 巻線の絶縁紙へ耐熱紙を採用

JIS が改正され, 油入変圧器の絶縁に耐熱紙が追加された。従来の変圧器に使用されている普通紙の場合, 温度上昇限度は絶縁油が 50 K, 巻線は 55 K であるが, 耐熱紙を採用した場合, 絶縁油が 60 K, 巻線は 65 K まで温度上昇が許容される。温度上昇限度の格上げにより, 巻線の冷却などに使用していたスペースが削減され巻線が小型化するため, 負荷損が低減できる。

### 2.3 変圧器外形の最適化

無負荷損を低減するために鉄心断面積を大きくし, 負荷損を低減するために巻線断面積を大きくした場合は変圧器も大きくなる。このため, 高効率化と変圧器外形の縮小は相容れないものとなる。

前項の磁区制御材と耐熱紙の採用は変圧器外形寸法の増加を抑制する目的も兼ねている。磁区制御材の採用により磁束密度を大幅に低減しない場合においても無負荷損が低減されるため鉄心は小型となり, 耐熱紙の採用による許容温度上昇限度の上昇により巻線は小型化される。

また, 第二次判断基準への適合により損失が低減され, 変圧器の発熱が減少する。これにより変圧器タンクに設けている波形冷却片が現行より小型化が可能となり, 床面積比で旧 JIS 品 (JIS C 1977) より 64%~94% までコンパクト化した。

三相 500 kVA でのトッランナー変圧器 2014 と特定機器指定以前の旧 JIS 品の比較を図4に示す。トッランナー変圧器 2014 の値は旧 JIS 品を 1 とした場合の相対値とする。

### 2.4 メンテナンス性の向上

変圧器容量 75 kVA 以上の油入変圧器は, 排油装置と温度計が付属となる。現行では 75 kVA, 100 kVA は温度計を付属していなかったが今回から標準付属となり,

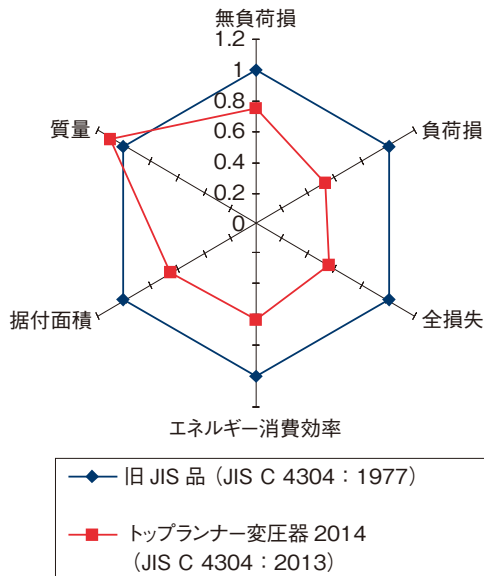


図4 旧 JIS 品とトッランナー変圧器 2014 の比較

また 75 kVA 以上では排油装置が排油弁となる。このため油の劣化診断時の採油などのメンテナンス作業が効率化される。

### 3. モールド変圧器

#### 3.1 開発の概要

モールド変圧器は、長年にわたる独自の樹脂配合技術により開発した電氣的・機械的・耐クラック性・耐熱性に優れたエポキシモールド樹脂を主絶縁材料として適用している。また、巻線部分を金型によってエポキシモールド樹脂で真空注型法により成形した固体絶縁方式を採用しているため、絶縁信頼性が高く、難燃・自己消火性に富み、防災上の安全性が高く保守点検が容易、短絡強度・短時間過負荷耐量が大いなど優れた特性を有している。

モールド変圧器としてこれらの優れた特性を保持しながら、長年培ってきたモールド変圧器の設計・製造技術をもとに、第二次判断基準となるエネルギー消費効率を満足できるモールド変圧器を開発した。

図5にトッランナー変圧器 2014 (モールド) を示す。

#### 3.2 エネルギー消費効率の向上

エネルギー消費効率の向上は、油入変圧器と同様の方策となる無負荷損低減を目的とした鉄心材である電磁鋼板の高グレード化、および巻線材質・断面積の見直しによる負荷損の低減、そして磁束密度と導体巻数との最適設計による低損失化等で実現した。

トッランナーモールド変圧器の耐熱クラスは「F」が一般的であり、その巻線平均温度上昇限度は 95 K となっている。今回の JIS 改正ではモールド変圧器については温度上昇限度の格上げはないため、この温度上昇限

図5 トッランナー変圧器 2014 (モールド)  
三相 50 Hz 100 kVA

度とエネルギー消費効率を満足し、かつ従来のトッランナーモールド変圧器とほぼ同等な外形寸法・質量となる設計とした。

#### 3.3 モールド変圧器の多様化

モールド変圧器は多様な用途で適用されており、最近では太陽光発電システムの系統連系用設備である昇圧変圧器、また励磁突入電流の抑制機能を付加させた変圧器としても使用されている。これらのモールド変圧器はトッランナー変圧器の除外機種であるが、第二次判断基準のエネルギー消費効率を満足させた設計対応によりトッランナー変圧器 2014 基準に適合<sup>(3)</sup>した省エネタイプのモールド変圧器として今後とも広く採用されていくと思われる。

### 4. 耐震性の向上

東日本大震災での高圧受配電用変圧器の被害から、一般社団法人日本電機工業会が JEM-TR252 : 2013「配電用変圧器の変位量抑制指針」を制定した。

この指針は、接続する配線の余長や配線の可とう性の確保など、盤設計および施工に配慮を促すことを目的としており、変圧器の端子部の変位量を次のように規定している。

#### (1) 耐震標準

防振ゴム付属で設計用標準震度 1.0 (耐震クラス 1.0) を適用し、変圧器端子部における前後左右上下の片側あたりの変位が表 2 を満足する。(定格容量 1,000 kVA 以下)

#### (2) 耐震強化

防振ゴムなしで設計用標準震度 1.5 または 2.0 (耐震クラス 1.5 または 2.0) を適用し、変圧器端子部における前後左右上下の片側あたりの変位が表 2 を満足する。(定格容量 1,000 kVA 以下)

表2 端子部の変位量

| 変圧器の種類  | 端子部の変位量 |
|---------|---------|
| 油入変圧器   | 30mm 以下 |
| モールド変圧器 | 50mm 以下 |

端子部の変位量は，変圧器タンクの強度や変圧器中身の固定方法などに影響される。規定の変位量を満足できるよう構造設計し，評価のための転倒試験を行い，変位量を確認している。

## 5. おわりに

以上，トッランナー変圧器 2014 の概要および特長を紹介した。トッランナー変圧器 2014 は 2014 年 4 月から適用され，年数を重ねた変圧器をリプレースする場合，エネルギー消費量，CO<sub>2</sub> 排出量を大きく低減できる。

環境やランニングコストの面から省エネに対する関心は強いいため更なる高効率化に関する技術開発に努め，設置スペースや耐震性，騒音の低減など市場のニーズに応える製品開発を行っていききたい。

## ■参考文献

- (1) 日本電機工業会：「トッランナー変圧器第二次判断基準スタート」，P.19（2013）
- (2) 石島：「配電用 6 kV 油入変圧器の低ロス化の動向」，高岳レビュー Vol.57，No.1，P.12（2012）
- (3) 岡田，中西，座馬他：「トッランナー変圧器 2014 に適合した励磁突入電流抑制モールド変圧器」，電気設備学会全国大会，E-9（2013）

## ■語句説明

注 1) 特定機器：二酸化炭素排出量を抑えるため，エネルギーの使用の合理化を図ることが特に必要な機器。

注 2) 無負荷損：負荷がない場合でも発生する損失。変圧器の巻線に電圧が印加され，鉄心に発生する磁束により発生する。

注 3) 負荷損：負荷により発生する損失。負荷電流と巻線の抵抗により発生する。



石島 節男  
電力機器事業本部  
小型変圧器製造部 設計グループ 所属  
変圧器の開発，設計に従事



望月 佑起  
電力機器事業本部  
小型変圧器製造部 設計グループ 所属  
変圧器の開発，設計に従事



岡田 重紀  
タカオカ化成工業株式会社  
開発本部 電源装置開発部 所属  
モールド変圧器，エポキシモールド樹脂の開発に従事  
電気学会，電気設備学会，日本化学学会会員



中西 高章  
タカオカ化成工業株式会社  
開発本部 電源装置開発部 所属  
モールド変圧器の開発，設計に従事