

# 新基準のエネルギー消費効率に対応した トップランナー変圧器 2014

Top Runner Transformers 2014 Compliant with New Criteria for Energy Consumption Efficiency

松岡 泰弘

久保田 正治

■ MATSUOKA Yasuhiro

■ KUBOTA Masaharu

省エネ法で特定機器に指定されている変圧器のエネルギー消費効率に対し、2012年4月に第二次判断基準（以下、新基準と呼ぶ）が告示され、2014年4月からは、この新基準に適合したトップランナー変圧器（以下、トップランナー変圧器 2014と呼ぶ）の出荷が義務付けられた。トップランナー変圧器 2014には、現行品より更なるエネルギー消費効率の向上が求められている。

東芝は、今回、新基準のエネルギー消費効率に適合するとともに、コンパクト化により省スペース化を実現するトップランナー変圧器 2014を開発した。この変圧器は、2011年3月に発生した東日本大震災における配電用変圧器の被災状況などを踏まえて耐震性も強化しており、社会的ニーズが高まっている環境保護と電源供給の信頼性向上の両方に寄与する。

The Top Runner program has been introduced in Japan to advance the energy efficiency of machinery and equipment. Under the notification of the Second Evaluation Standard of the Law Concerning the Rational Use of Energy for designated machineries including transformers, transformers shipped from April 2014 onward must be compliant with the new criteria for energy consumption efficiency, or so-called "Top Runner transformers 2014." Top Runner transformers 2014 are required to have higher energy consumption efficiency than existing Top Runner transformers.

To contribute to environmental protection and improvement of the reliability of electric power supplies, Toshiba has developed a lineup of Top Runner transformers 2014. These transformers achieve space saving due to miniaturization balanced with energy consumption efficiency, as well as enhanced aseismic performance in consideration of the damage caused by the Great East Japan Earthquake.

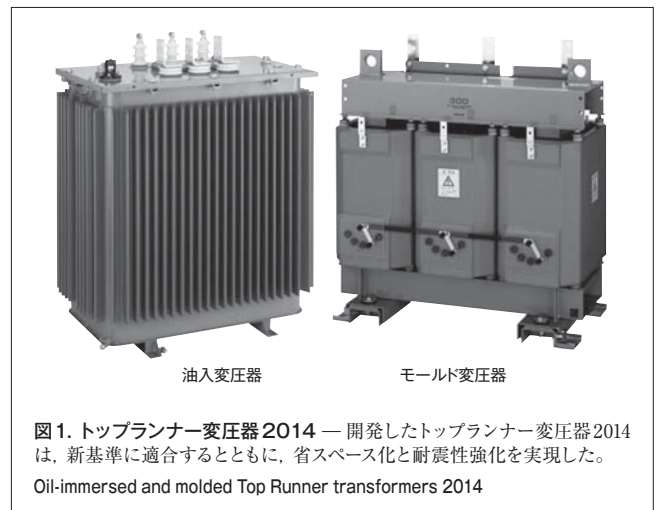
## 1 まえがき

1999年に「エネルギーの使用の合理化に関する法律」（省エネ法）が改正され、トップランナー方式による特定機器制度が導入された。省エネ法で指定された特定機器は、トップランナー方式で設定されたエネルギー消費効率の基準値を達成することが義務付けられた。

配電用変圧器は、2002年12月に特定機器品目に追加され、「変圧器の性能の向上に関する製造事業者等の判断基準等」（平成14年 経済産業省告示 438号）の告示により、エネルギー消費効率が基準値以上を達成することが義務付けられた。油入変圧器は2006年度から、モールド変圧器は2007年度からトップランナー方式による基準値が適用され、これを達成した変圧器をトップランナー変圧器と呼んでいる。

今回、2012年4月に、特定機器である変圧器のエネルギー消費効率に対する第二次判断基準（経済産業省告示 71号）が告示され、2014年4月の出荷分からは新基準への適合が義務付けられた。

これを受け、2012年8月に一般社団法人 日本電機工業会（JEMA）により、新基準に適合する基準エネルギー消費効率を定めた規格が制定され、続いて2013年5月に、日本工業規格（JIS）の配電用変圧器の規格が改正された。



ここでは、東芝が開発した、新基準によるJEM規格（日本電機工業会規格）及びJISに適合した、トップランナーの油入変圧器及びモールド変圧器（図1）についてその概要を述べる。

- 新基準に関係するJEM規格及びJISには次のものがある。
- (1) 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
  - (2) 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

- (3) JIS C 4304 : 2013 配電用6 kV油入変圧器
- (4) JIS C 4306 : 2013 配電用6 kVモールド変圧器

## 2 トップランナー変圧器2014の新技术

### 2.1 開発コンセプト

新基準に適合したJEM規格及びJISの適用と東日本大震災における配電用変圧器の被災状況を踏まえて、次のコンセプトに基づいて開発を行った。

- (1) 低損失化 新基準に定められたエネルギー消費効率の達成
- (2) コンパクト化 既設品の更新を考慮した小型化
- (3) 耐震性の強化 地震における端子の変位量の抑制

以下に、各コンセプトに対応する新技术について概要を述べる。

### 2.2 低損失化

トップランナー変圧器2014、現行のトップランナー変圧器、及びトップランナー方式適用以前の変圧器につき、エネルギー消費効率の比較を図2に示す。トップランナー変圧器2014

は、トップランナー方式適用以前の変圧器と比べ50%近い損失低減が見込まれ、古い変圧器を更新することで省エネが期待される。

次に、新基準のエネルギー消費効率を達成するための変圧器の低損失化技術について述べる。変圧器の損失は、無負荷損と負荷損の2種類に大別される。無負荷損は、電源に変圧器が接続されると無負荷状態においても発生する損失で、主に励磁された鉄心内で発生する損失であることから鉄損とも呼ばれる。負荷損は、負荷電流によって主にコイルに発生する損失で、変圧器内の導体に通電したときに発生する損失であることから銅損とも呼ばれる。無負荷損と負荷損は、一般に、鉄心や導体の特性や断面積などの関係を式(1)及び(2)で表すことができる。

$$\text{無負荷損} \propto (\text{鉄心の特性}) \times \frac{(\text{鉄心の質量})}{(\text{鉄心の断面積})} \quad (1)$$

$$\text{負荷損} \propto (\text{導体の特性}) \times \frac{(\text{導体の長さ})}{(\text{導体の断面積})} \quad (2)$$

∞ : 比例関係

低損失化するためには、鉄心や導体の特性、断面積、及び線路長などのバランスが取れた設計が必要で、今回開発したトップランナー変圧器2014は、次の低損失化技術を採用した。

- (1) 高特性電磁鋼板の採用 現行より更に特性の良い電磁鋼板を鉄心材料に採用し、無負荷損の低減を実現した。
- (2) 耐熱絶縁紙の採用と巻線の高密度化 油入変圧器において巻線間の絶縁紙に耐熱紙を使用する場合、JIS C 4304では、絶縁油及び巻線に対して、従来の普通紙を使用する場合より10 K高い温度上昇限度(絶縁油: 60 K, 巻線: 65 K)の適用が認められる。今回、耐熱性の優れた絶縁紙を採用し、高い温度上昇限度を適用したことで、巻線の高密度化により導体長を短縮でき、負荷損の低減を実現できた。

### 2.3 コンパクト化

既設の配電用変圧器を更新するとき、変圧器を配電盤に収納する場合と単独で設置する場合がある。いずれの場合も、同じ配電盤又は同じ設置場所で変圧器本体だけを更新するケースが多いことから、更新後の変圧器の据付面積は、既設の変圧器以下であることが求められる。

前節で低損失化について述べたが、低損失化とコンパクト化は相反する関係にあり、バランスの取れた設計が必要である。今回、油入変圧器は、巻線の温度上昇限度65 Kの適用と、低損失化による発熱量の改善により、放熱器の小型化を実現した。また、モールド変圧器は、巻線の寸法精度の向上による巻き膨らみの抑制と巻線方式の改良により、モールドコイルの小型化を実現した。

今回開発したトップランナー変圧器2014と現行トップラン

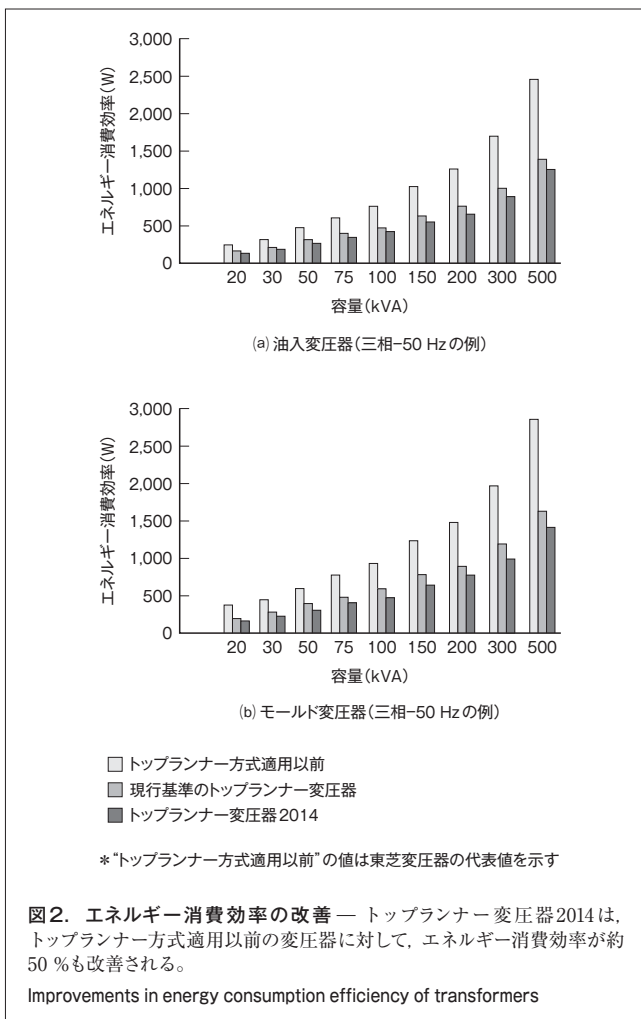
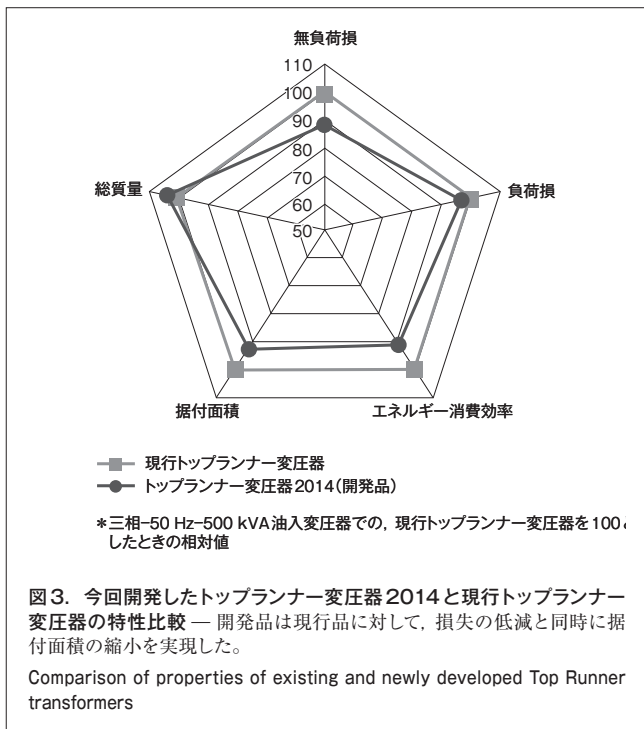


図2. エネルギー消費効率の改善 — トップランナー変圧器2014は、トップランナー方式適用以前の変圧器に対して、エネルギー消費効率がおおよそ50%も改善される。

Improvements in energy consumption efficiency of transformers



ナー変圧器に対し、三相-50 Hz-500 kVAの油入変圧器において特性を比較した結果を図3に示す。開発したトップランナー変圧器2014は、現行トップランナー変圧器に対して無負荷損及び負荷損を低減し、同時に据付面積の縮小も実現した。

## 2.4 耐震性の強化

### 2.4.1 JEMA耐震仕様への対応

東日本大震災で配電用変圧器に発生した被害として、配電用変圧器の高圧側では圧着端子部の破断や端子の変形が、低圧側では銅バー固定座の破損による地絡・短絡事故などが報告されている。これは、地震による振動で変圧器端子部の振れ幅が大きくなったことが要因の一つであると分析されている。これを受けJEMAは、配電用変圧器の耐震仕様の考え方を以下のように見直した<sup>(1)</sup>。

(1) 耐震標準：設計用標準震度1.0（耐震クラス1.0）

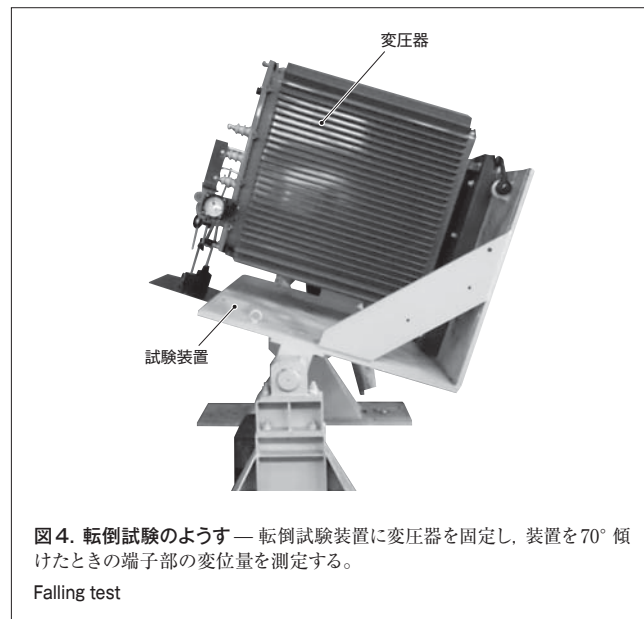
防振ゴムありで、端子片側最大変位量（高低圧端子の前後左右方向）は次の仕様を満足するものとする

- (a) 油入変圧器（容量1,000 kVA以下） 30 mm以下
- (b) モールド変圧器（容量1,000 kVA以下） 50 mm以下

(2) 耐震強化：設計用標準震度1.5以上（耐震クラス1.5, 2.0） 防振ゴムなしで、端子片側最大変位量（高低圧端子の前後左右方向）は次の仕様を満足するものとする。

- (a) 油入変圧器（容量1,000 kVA以下） 30 mm以下
- (b) モールド変圧器（容量1,000 kVA以下） 50 mm以下

当社は、このJEMAの耐震仕様の考え方に従い、端子の変位量を抑制するために変圧器構造の強化に取り組んだ。変圧器下部の数mmの変位量が上部の端子では数倍の変位量と



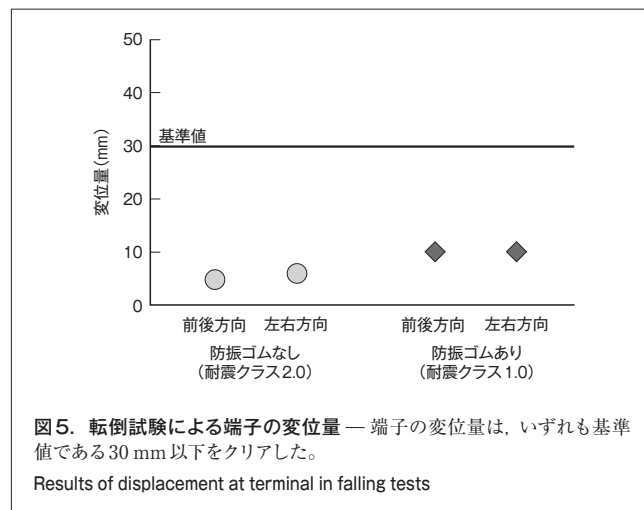
なって現われるため、変圧器上部の端子の変位量を抑制するには、変圧器下部の変位量の抑制がポイントとなる。この変位量を抑制するために、クランプ構造やコイル支持構造の強化及び固定ベースの構造強化などの耐震性強化対策を行った。

### 2.4.2 耐震性の評価

静的な転倒試験と動的な加振試験を実施し、JEMAの耐震仕様に対する適合性を評価した。ここでは、油入変圧器の評価結果について述べる。

(1) 転倒試験 三相-50 Hz-500 kVAの油入変圧器に対する転倒試験のようすを図4に示す。転倒試験装置に油入変圧器を固定し、転倒試験装置を70°傾けた（耐震クラス1.0相当）ときの、油入変圧器の端子の変位量を測定した。

転倒試験の結果を図5に示す。JEMAの耐震標準（設計用標準震度1.0）仕様に対し、防振ゴムありの条件で変位量30 mm以下を満足した。また、耐震強化（設計



用標準震度1.5以上)仕様に対しては耐震クラス2.0で評価を行い、防振ゴムなしの条件で変位量30 mm以下を満足した。

(2) 加振試験 動的な試験として加振試験を実施し、地震波に対する耐震性の評価を行った。

加振試験のようすを図6に示す。加振装置の振動台に変圧器を固定し、次の試験条件で実施した。

- (a) 試験体 油入変圧器 (三相-60 Hz-500 kVA)
- (b) 加振波 共振3波
- (c) 防振ゴム ありとなしの2パターン

共振3波試験として、変圧器の固有振動周波数の正弦波を連続3波印加し、端子部の振れ幅を測定した。この試験での端子変位量の測定結果を図7に示す。

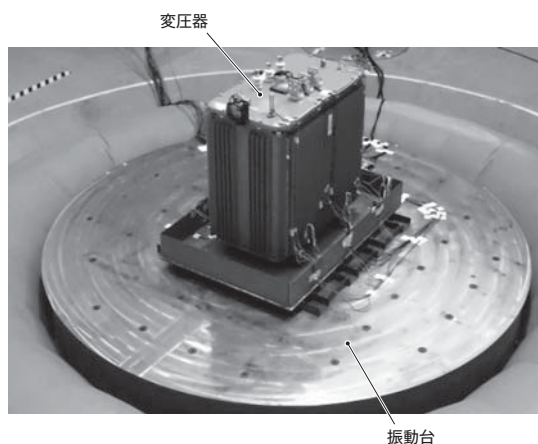


図6. 加振試験のようす— 振動台に変圧器を固定し、変圧器の固有振動周波数の正弦波を連続3波印加し、端子の変位量を測定する。

Vibration test

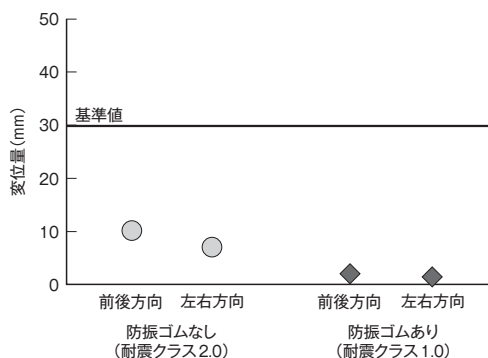


図7. 加振試験による端子の変位量— 端子の変位は、いずれも基準値である30 mm以下をクリアした。

Results of displacement at terminal in vibration tests

JEMAの耐震標準(設計用標準震度1.0)仕様に対し、防振ゴムありの条件で変位量30 mm以下を満足し、また、耐震強化(設計用標準震度1.5以上)仕様に対しては、耐震クラス2.0を印加し、防振ゴムなしの条件で変位量30 mm以下を満足した。

### 3 あとがき

2014年4月から適用される新基準のエネルギー消費効率に適合したトッランナー変圧器2014を開発した。

今回開発したトッランナー変圧器2014は、2014年4月からの新基準適用に先駆けて、2013年10月から納入を開始する計画である。

更なる省エネ化と限られた設置スペースを考慮したコンパクト化を実現するとともに、耐震性も強化するなど市場ニーズに応えた製品であり、環境保護と電源供給の信頼性向上に寄与するものと期待される。

### 文献

- (1) 日本電機工業会. トッランナー変圧器2014 (パンフレット). 8p.



松岡 泰弘 MATSUOKA Yasuhiro

社会インフラシステム社 電力流通システム事業部 配電システムソリューション技術部主務。受配電設備のエンジニアリング業務に従事。電気設備学会会員。Transmission & Distribution Systems Div.



久保田 正治 KUBOTA Masaharu

スマートコミュニティ事業統括部 スマートファシリティ技術部参事。受配電設備のエンジニアリング業務に従事。Smart Community Div.