

# 海外向け電気機関車用大容量・内鉄形主変圧器

Large-Capacity Core-Type Main Transformer for Overseas Electric Locomotives

真屋 岳良      竹岡 敬晃      宮西 努

■ MAYA Takeyoshi      ■ TAKEOKA Takaaki      ■ MIYANISHI Tsutomu

海外では輸送需要が拡大しており、輸送効率向上のため、電気機関車のけん引量の増加や走行速度の向上などが要求され、電気機関車も大型化の傾向にある。交流電気機関車システムの主要構成部品である主変圧器も、大容量化が必要となっている。

東芝は、このようなニーズに対応するため、交流電気機関車用の大容量・内鉄形主変圧器を開発した。この主変圧器は、路線条件や運用条件など、ユーザーの様々な仕様や要求に対応している。車載機器での設置スペース制限から小型・軽量化を図っており、油劣化防止のため窒素密封方式を採用してメンテナンスが容易になるよう配慮している。

Due to the global expansion of freight transport demand in recent years, it is essential to realize both the enhancement of traction ability and higher running speeds for AC electric locomotives in order to improve transport efficiency. This has resulted in the size of AC electric locomotives becoming larger, which in turn requires the main transformer of the locomotive system to have a larger capacity.

Toshiba has developed a core-type main transformer for large AC electric locomotives. This new transformer makes it possible to meet the various specifications and requirements of railway track conditions, operating conditions, and so on. Space-saving is achieved by the smaller size and lighter weight of the transformer, and the tank is sealed with nitrogen gas to prevent oil degradation, thus offering easy maintenance.

## 1 まえがき

交流電気機関車において、主変圧器は、パンタグラフから受電した高電圧を適切な電圧に変圧し、主変換装置や補助電源装置に電力を供給している。車載機器のため、設置スペースの制約から小型・軽量化が必要で、国内では外鉄形が採用されている。

一方、海外では、鉄道貨物輸送において大容量輸送のニーズが高く、機関車も大型化の傾向にある。車載機器の制約条件や大出力システムであることを考慮した場合、内鉄形に有利な点が多い。今回、海外向け電気機関車用として、外鉄形の利点も取り入れながら、最適な大容量・内鉄形主変圧器を開発した。

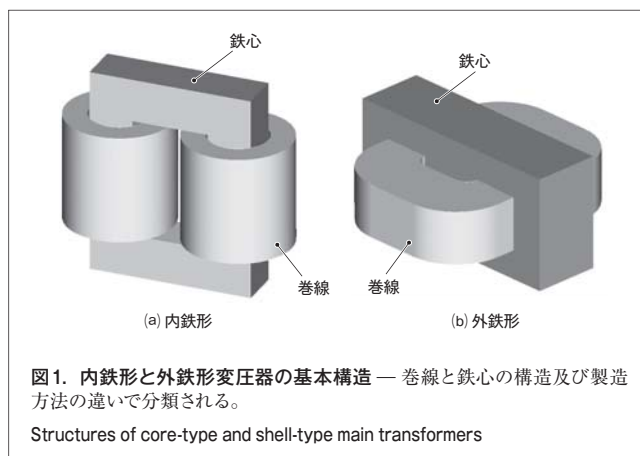
ここでは、電気機関車用の内鉄形主変圧器の概要と、開発した製品の特長について述べる。

## 2 概要

### 2.1 基本構造

内鉄形と外鉄形の主変圧器の基本構造は、キーコンポーネントである巻線と鉄心の構造及び製造方法の違いで分類される。

内鉄形は、同心円状に配置された高圧及び低圧巻線を、あらかじめ積み上げられた鉄心と組み合わせて作られる。一方、外鉄形は、交互に配置された円板状の高圧及び低圧巻線の周りに鉄心を積み上げて作られる(図1)。



電力・配電用の変圧器は内鉄形が一般的であり、欧州メーカーは、電気機関車用の主変圧器も内鉄形で製作しているが、国内では外鉄形が採用されている。

### 2.2 コンセプト

電気機関車用の主変圧器は、設置スペースの制限から小型・軽量化を図り、また、システム協調の関係から高インピーダンス化や多分割された二次巻線の相互干渉の低減などに配慮が必要である。その詳細は次のとおりである。

- (1) 低床化された床下への取付けを考慮し、鉄心及び巻線を横倒しに配置する(図2)。
- (2) 絶縁油の劣化を防ぎ、メンテナンスフリーとするため、窒素密封方式を採用する(図3)。

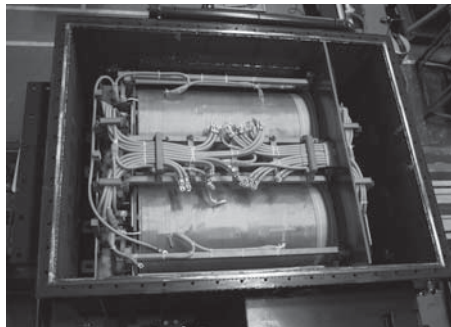


図2. 電気機関車用の内鉄形主変圧器の内部 — 床下への取付けを考慮し、鉄心及び巻線を横倒しに配置する。

Interior of core-type main transformer

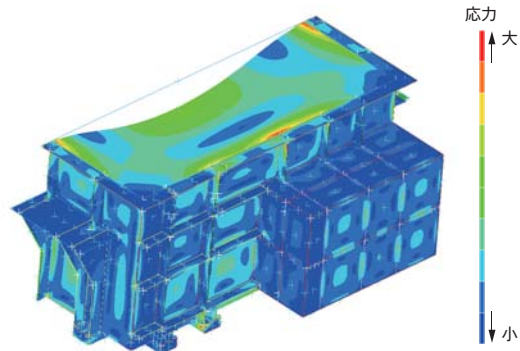


図4. タンクの応力解析結果例 — 使用時の様々な力に耐えられるよう、主変圧器のタンクの形状をCAE解析で最適化している。

Result of stress analysis of tank

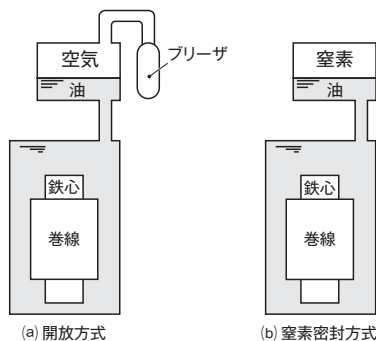


図3. 油入変圧器における油の劣化防止方式 — 窒素密封方式は油が直接外気に接していないので、劣化を防ぐことができる。

Method of preventing oil degradation in oil transformer

(3) 二次巻線の相互干渉を少なくするため、同心円配置の多分割巻線を使用する。

### 3 特長

内鉄形の主変圧器は、欧州メーカーでは一般的であるが、国内メーカーでは実績が少ないため、CAE (Computer Aided Engineering) 解析や試作評価で設計の最適化を図っている。

#### 3.1 タンクの強度

主変圧器タンクの強度を評価する際に考慮すべき応力としては、窒素密封方式での注油時のタンク内真空圧力、実使用時のタンク内圧、つり下げ時の自重、及びそれらが重畳したものなどが挙げられる。これらの応力に耐えうるタンク形状を決定するため、主変圧器のCAE応力解析を実施した(図4)。使用時の様々な力に耐えられるよう、主変圧器のタンクの形状をCAE解析で最適化している。

#### 3.2 耐振動・衝撃性

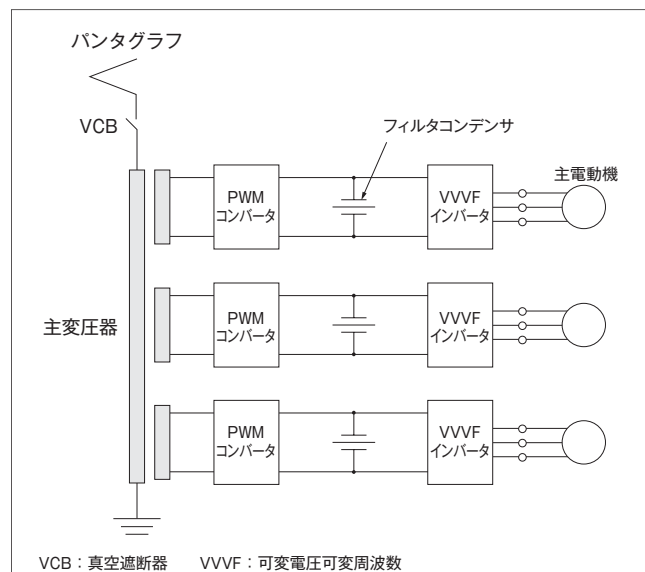
車載の主変圧器は、運転時の長期間の振動や車両連結時の衝撃などを受けるため、一般用の変圧器より厳しい耐振動・

衝撃性が求められる。海外では、国際電気標準会議規格 IEC61373に準拠した試験を要求される。

振動・衝撃試験では、車体への取付けを模擬した加振台に主変圧器を設置し、IEC61373の鉄道規格に準拠した加振力と衝撃力を与える。共振試験、耐久試験、及び衝撃試験を実施したが、共振や変形は見られず良好な結果となった。

#### 3.3 リアクタンス特性

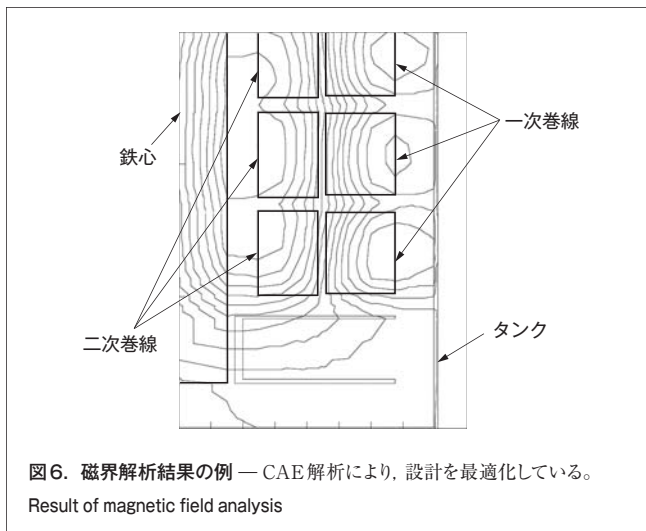
主変圧器では、高調波抑制のための高インピーダンス化とともに、主変圧器につながる複数のPWM (Pulse Width Modulation) コンバータが相互に干渉を受けないように、巻線間の疎結合性が要求される。また、電気機関車用の主変圧器では二次巻線が多分割となることが多く、各二次巻線に対向する一次巻線は並列に接続されている。このような巻線配置



VCB : 真空遮断器 VVVF : 可変電圧可変周波数

図5. 主回路システムの構成 — 主変圧器につながる複数のPWMコンバータが相互に干渉を受けないように、巻線間の疎結合性が要求される。

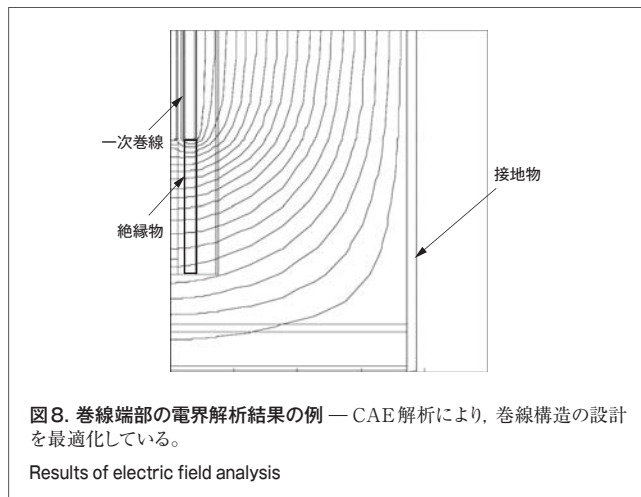
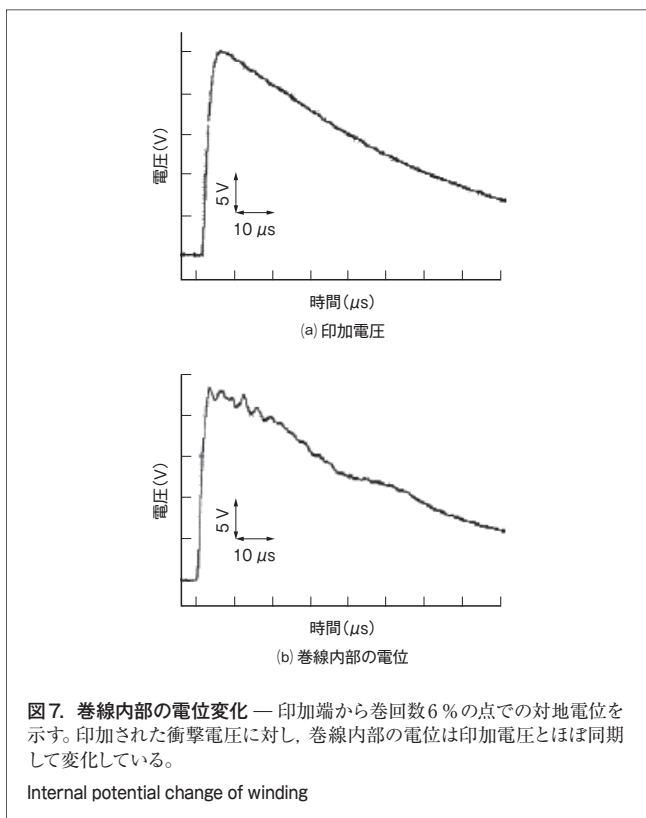
Configuration of main circuit system



の変圧器のリアクタンス計算は、相互の干渉があり極めて複雑となる。今回は、各巻線間個々のリアクタンスを有限要素法の磁界解析から求め、一次巻線が並列に接続される影響については関係式を導き出し計算する方法を用いた。主回路システムの構成を図5に、磁界解析の結果を図6に示す。CAE解析により、主変圧器の設計を最適化した。

### 3.4 絶縁性

今回開発した主変圧器の巻線構造は、衝撃電圧に対する電位変化特性と工作性に優れた、多重円筒巻線を採用した。試



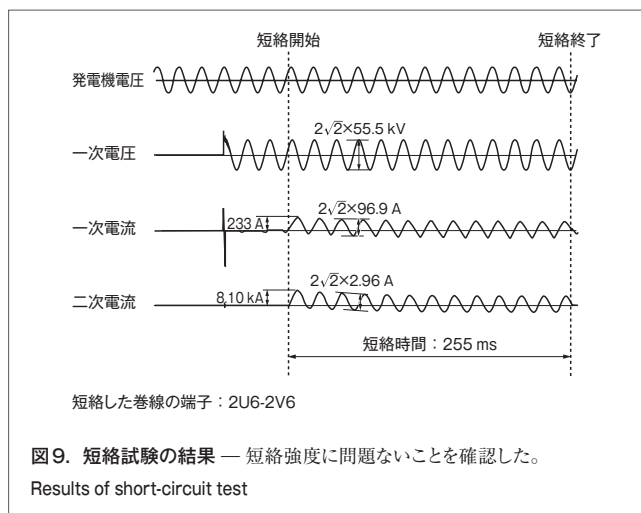
作変圧器で測定した巻線内部の電位変化を図7に示す。

また、主変圧器の外形を小型化するため、電界解析を行い絶縁寸法を最適化した(図8)。

### 3.5 短絡機械力

一次巻線が並列接続される巻線構成のために、短絡巻線に対向している一次巻線以外にも短絡電流が分流する。そのため、短絡電流による電磁機械力は、半径方向だけではなく軸方向にも発生する。巻線の軸方向の支持構造は、この軸方向の機械力に耐えるように、発生する機械力を有限要素法による磁界解析で計算して設計した。

また、試作変圧器による短絡試験を実施し、短絡強度を検証した。試験波形を図9に示す。試験前後のインピーダンスの変化率は、許容値に対して問題ないことを確認した。



## 4 開発品の適用例

### 4.1 中国鉄道部向けHXD3形電気機関車用主変圧器

主要幹線の大型貨物輸送用として開発された、出力7,200 kW

の6軸電気機関車用の主変圧器で、主変圧器本体は床下、油冷却器は床上に別々に配置される(図10)。

通常、別置き構成では、床上に油面調整用のタンクが別途設置されるが、この製品では本体と一体化して取扱いを容易にしている。主な仕様は、次のとおりである。

- (1) 架線電圧 交流 25 kV
- (2) 周波数 50 Hz
- (3) 変圧器容量 9,006 kVA



#### 4.2 南アフリカ共和国トランスネット社向け 19E形電気機関車用主変圧器

石炭運搬用として石炭線向けに開発された、出力3,000 kWの4軸電気機関車用の主変圧器である(図11)。

油冷却器が一体となったオールインワン構成で、取扱いが容易である。主な仕様は、次のとおりである。

- (1) 架線電圧 交流 25 kV
- (2) 周波数 50 Hz
- (3) 変圧器容量 3,700 kVA



#### 4.3 南アフリカ共和国トランスネット社向け 15E形電気機関車用主変圧器

鉄鉱石運搬用として鉄鉱石線専用開発された、出力4,500 kWの6軸電気機関車用の主変圧器で、世界でも例のない交流50 kVの架線電圧に対応した製品である(図12)。主

な仕様は、次のとおりである。

- (1) 架線電圧 交流 50 kV
- (2) 周波数 50 Hz
- (3) 変圧器容量 5,682 kVA



## 5 あとがき

海外向けの電気機関車用大容量・内鉄形主変圧器の概要と特長及び、路線条件や運用条件などユーザーの様々な要求に応えた主変圧器の開発について述べた。

これらの主変圧器は、油劣化防止のため窒素密封方式とすることで、ユーザーのメンテナンスが容易になるよう配慮した。

今後も最新の技術を適用することにより、ユーザーの様々な要求に応えた、最適な主変圧器を提供していく。

## 文献

- (1) 山本城二, ほか. 近代的な物流を支える機関車及び貨物電車システム. 東芝レビュー. 61, 9, 2006, p.15 - 19.



真屋 岳良 MAYA Takeyoshi

電力流通・産業システム社 三重工場 静止器・コントロールセンタ部主査。鉄道車両用主変圧器の開発・設計に従事。  
Mie Operations



竹岡 敬晃 TAKEOKA Takaaki

東芝産業機器製造(株) 配電機器事業部 静止器開発・設計担当主務。鉄道車両用主変圧器の開発・設計に従事。  
Toshiba Industrial Products Manufacturing Corp.



宮西 努 MIYANISHI Tsutomu

電力流通・産業システム社 三重工場 静止器・コントロールセンタ部主務。鉄道車両用主変圧器の開発・設計に従事。  
Mie Operations