

# 高生分解性を持つ植物基材の絶縁油を使用した変圧器

西村亮岐\* 近藤大輔\*  
西村 豪\*  
中山孝一\*

Transformer Using Vegetable - oil - based Dielectric Fluid Having High Biodegradable

Ryoki Nishimura, Takeshi Nishimura, Koichi Nakayama, Daisuke Kondo

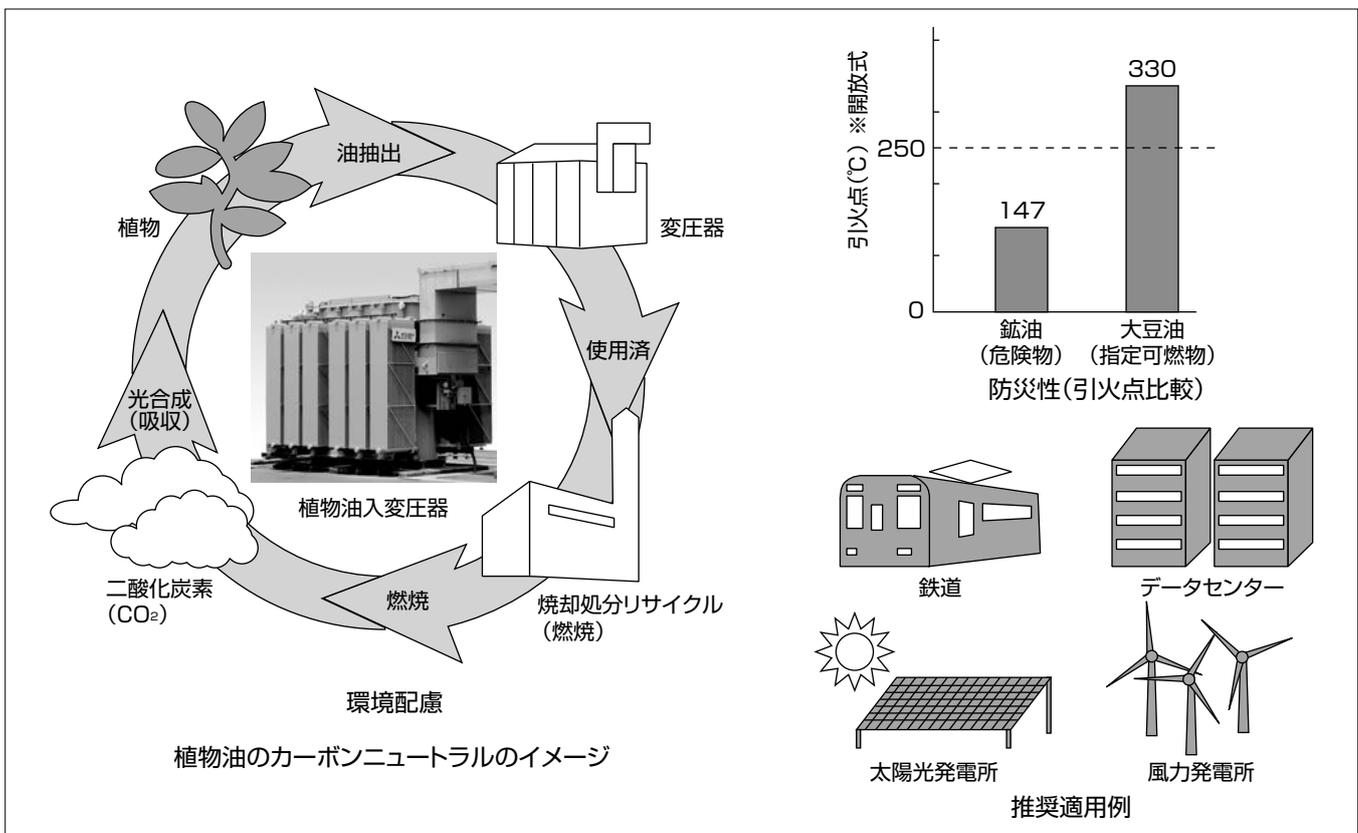
## 要 旨

電力用変圧器は、電力会社の変電所、工場、ビル、鉄道用変電所など様々な場所に設置されており、電力流通で重要な役割を担っている。従来、変圧器内部の絶縁油としては主に石油由来の鉱油が使用されているが、近年、環境配慮及び防災性の観点から、植物を基材とした絶縁油(以下“植物油”という。)を変圧器に使用する動きが進んでいる。特に海外では、植物油を使用した変圧器(以下“植物油入変圧器”という。)の納入台数が100万台を超えており、今後更なる増加が見込まれる。

三菱電機では、大豆を基材とした絶縁油(以下“大豆油”という。)を使用した変圧器を2017年5月に市場投入して以来、環境配慮及び防災性といった市場ニーズに対応している。

一方、開発当初は、鉱油に比べ粘度の高い大豆油では、冷却性能が低下し、変圧器が大型化することが懸念された。当社では、大豆油の使用に合わせて、絶縁、冷却設計を見直すことで、変圧器据付面積を従来の鉱油入変圧器と同等とすることに成功した。製造面でも、大豆油専用の注油設備を整備するなど、増産に向けた体制を整えている。なお、変圧器の輸送方法は全装輸送だけでなく、変圧器容量が大きい場合や輸送制限がある場合には、変圧器の解体輸送も可能である。

今後も更に幅広いニーズに応えるため、長期信頼性検証など、環境負荷低減と安定した電力供給を両立させる植物油入変圧器の開発に取り組んでいく。



## 三菱植物油入変圧器の特長

2017年に当社は変圧器の絶縁油に植物油を使用した“植物油入変圧器”の市場投入を開始した。当社の植物油入変圧器は、絶縁油がライフサイクル全体としてカーボンニュートラルの特長を持っており、持続可能な社会実現に貢献している。また、絶縁油の高い引火点の特長から、変圧器の火災発生リスク低減が期待でき、環境配慮及び防災性の観点から、様々な用途での導入が進んでいる。

### 1. ま え が き

電力用変圧器は、電圧を変換する機能を持つ機器で、発電所から需要家までの電力系統に設置されており、送電効率の向上や地絡事故電流の抑制など、電力流通で重要な役割を担っている。

従来の電力用変圧器では、変圧器内部の絶縁油として主に石油由来の鉱油を使用しているが、石油は将来的に枯渇することが懸念されている。これに対し、持続可能な材料を使用するという観点、さらには高い防災性の観点から、植物油を変圧器に使用する動きが国内外で進んでいる(図1)<sup>(1)</sup>。

当社でも、植物油を使用した変圧器の開発を2016年に完了し、植物油入変圧器をラインアップ化した。

本稿では、三菱植物油入変圧器の特長を含め、開発の経緯について述べる。

### 2. 三菱植物油入変圧器の特長

#### 2.1 環境配慮

三菱植物油入変圧器では、大豆油を使用している。大豆油はライフサイクル全体でのカーボンニュートラル(図2)の特長を持っており、持続可能な材料として、地球環境保全に貢献する。また、大豆油の生分解度は鉱油に比べ約4倍であり、万が一土壌に漏えいした場合でも、微生物によって速やかに分解される(図3(a))。

#### 2.2 防災性

三菱植物油入変圧器は、使用する大豆油が高い引火点を持っており、鉱油に比べ、変圧器の火災リスク低減を期待できる。鉱油と大豆油の引火点の比較を図3(b)に示す。消防法でも、鉱油が危険物に分類されるのに対し、大豆油は指定可燃物に分類されるため、油保管条件の緩和、設備工事の申請を簡略化できる場合がある。また、一部海外の保険会社では、大豆油を使用した変圧器を導入した施設では、火災リスクが低いことから、施設の保険料率が下がるといった事例もある。

### 3. 三菱植物油入変圧器の技術開発

#### 3.1 絶縁・冷却設計手法構築

変圧器に用いる絶縁油は、内部の電氣的な絶縁に加えて、コイルや電磁鋼板といった発熱体を冷却する役割を担っている。鉱油と大豆油は、絶縁・冷却の特性が大きく異なっていることから、植物油入変圧器を開発する中で、各特性を明確化して設計手法を確立する必要があった。

絶縁設計基準を決定する上で、当社では変圧器内部を模擬した様々なモデル試験を実施し、電界解析との突き合わせを行うことで各部位の設計電界を一つ一つ精査した(図4)。これによって、各部位に応じた大豆油用の絶縁設計基準を

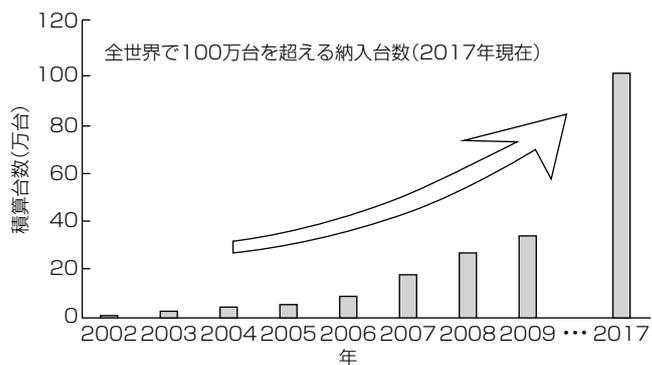


図1. 植物油入変圧器の納入積算台数<sup>(1)</sup>

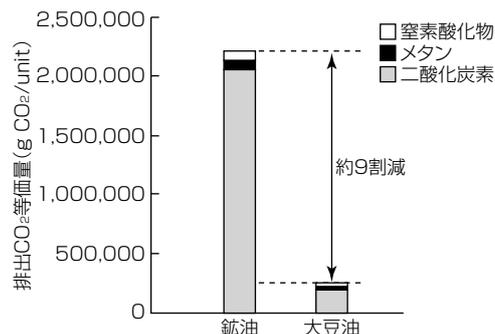


図2. ライフサイクルでの排出CO<sub>2</sub>等価量

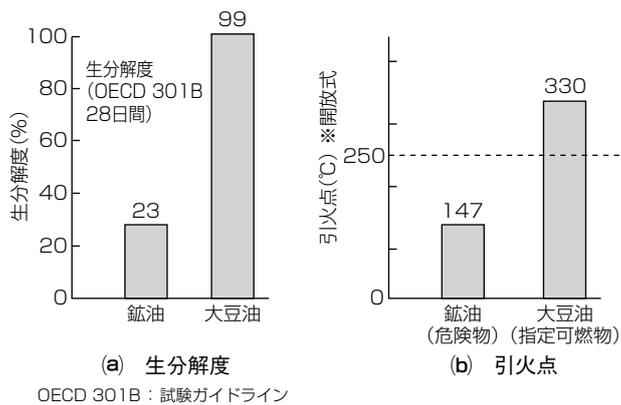


図3. 鉱油と大豆油の特性比較

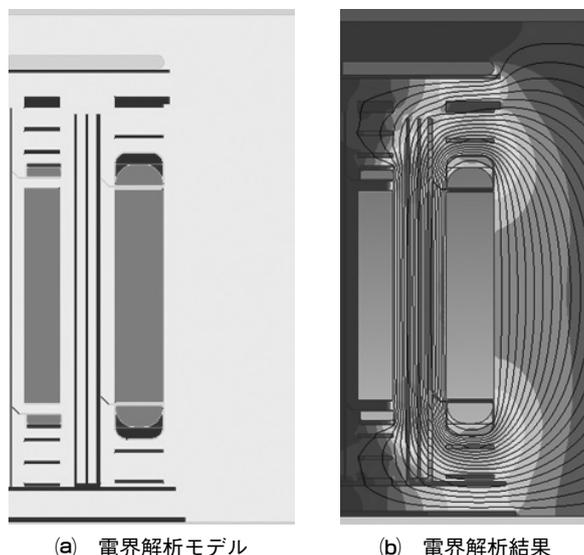


図4. 電界解析例

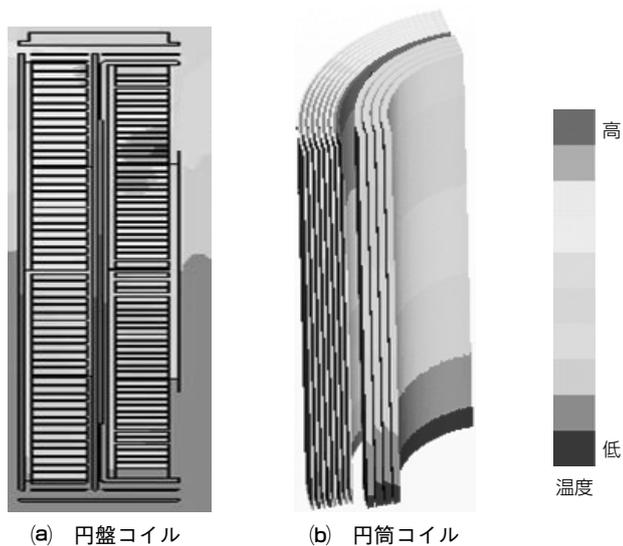


図5. 熱流体解析例

決定した。また、一般に、絶縁油中の水分量と絶縁強度の間には相関があり、水分量が多くなると絶縁強度は低下する。特に大豆油では鉱油に比べ、油中に水分を吸収しやすい特性を持つ。当社では、植物油入変圧器製造時に、適切な乾燥工程を実施することで、油中水分量をコントロールし、絶縁信頼性を確保している。

また、大豆油を用いた際の冷却設計手法を検討する必要があった。当社では、熱流体解析(図5)を活用することによって、変圧器内部での油の流れを詳細にモデル化し、油の流れを適正化することで、従来の鉱油入変圧器に比べて冷却特性の10%改善を達成した。

これらを踏まえて、絶縁・冷却設計手法を構築し、植物油入変圧器の設計基準を確立し、据付面積を従来の鉱油入変圧器と同等にすることに成功した。

### 3.2 長期信頼性検証

電力用変圧器は数十年にわたって運用され続ける。この間に外部機器の定期点検や、変圧器内部の絶縁油を採取し、油中ガス分析による変圧器の異常診断が実施されている。一方で、変圧器内部の詳細な点検を実施することはほとんどなく、事前に長期信頼性の検証が重要である。

当社では植物油入変圧器の構成材料である、大豆油、絶縁紙、パッキン、銅、電磁鋼板等の共存状態で、変圧器運用を模擬した加速試験を実施することで、長期劣化特性を調査し、長期運用に対する健全性を確認している。

また、先に述べた油中ガス分析技術に関しても、鉱油入変圧器に関しては世界的に実績が豊富であるが、植物油入変圧器については知見が少ない。当社ではこの点に対し、植物油入変圧器の異常時での発生ガスパターンを調査して植



図6. 植物油入変圧器の初号器  
(3相 60Hz 20MVA 77kV/6.6kV)

物油入変圧器の異常診断技術確立に取り組んでおり、電力の安定供給に対し、より一層の信頼性向上を図っている<sup>(2)</sup>(今特集号の論文“油入変圧器の異常診断技術の高度化”参照)。

## 4. 三菱植物油入変圧器の展開

### 4.1 納入実績と今後の取組み

上記の検証試験を2016年までに完了し、植物油入変圧器の初号器を2017年5月に納入した(図6)。また、環境配慮の点で評価を受け、鉄道会社を始め、公共施設などへの継続的な納入を計画している。

当社では、植物油入変圧器の製造に特化した生産設備の導入も完了しており、今後見込まれる需要拡大に対応している。

## 5. む す び

環境に対する配慮が各所で求められている昨今、電力用変圧器でも持続可能な植物油を使用した植物油入変圧器の特長について述べた。ユーザーからの需要も増えてきており、今後もより広い領域で、環境負荷低減と安定した電力供給を両立させる植物油入変圧器開発に取り組んでいく。

## 参 考 文 献

- (1) CIGRE A2-35 : Experiences in Service with New Insulating Liquids, Final Report, Brochure 436 (2010)
- (2) Kuriyama, R., et al. : Investigation of Indicator Gas for Internal Fault on Ester Oil-immersed Transformer, International Conference on Condition Monitoring, Diagnosis and Maintenance 2017, #123 (2017)