

持続可能な社会に向けた 電力用変圧器への植物油適用

西村亮岐*
Ryoki Nishimura
岩本直樹†
Naoki Iwamoto
吉田成是†
Shigeyoshi Yoshida

加藤福太郎*
Fukutaro Kato

Application of Vegetable Oil to Electric Power Transformers for Sustainable Society

1. ま え が き

近年、国連のSDGs(Sustainable Development Goals)に代表されるように、各所で持続可能性に対する関心が高まっている。その中で、三菱電機では多種多様な電力機器を製造しており、エネルギー分野でも持続可能な社会に向けて電力流通システムの開発に取り組んでいる。

従来の電力用変圧器では、内部の絶縁油として、有限な資源である石油由来の鉱油が主に使用されてきた。一方、世界的に、環境配慮及び防災性の観点から、植物を基材にした絶縁油(以下“植物油”という)の適用が進んでいる。当社では、植物油を使用した三菱植物油入変圧器“MELCORE-NEO”を2016年に開発し、次世代の変圧器として公共施設、産業、交通分野への市場投入を進めている。

本稿では、MELCORE-NEOの特長、最新の技術動向及び適用事例について述べる。

2. 絶縁油の特性

2.1 植 物 油

植物油は、植物の実又は種子から抽出・精製することで作られており、抽出された後の粕(かす)は飼料として有効に用いられている。表1に植物油と鉱油の物性値を示す。

それぞれの項目で鉱油とは異なる特性を示しており、これらの特性の違いから、従来の鉱油入変圧器とは異なる設計・保守管理基準が必要になる。例えば、絶縁面では、比誘電率が高いことで、絶縁油側の電界集中が抑制でき、絶縁紙を含めた複合絶縁全体の耐電圧は高くなる。当社では、

表1. 植物油と鉱油の物性値

項目	植物油	鉱油	条件
密度(g/mm ³)	0.92	0.88	@15°C
動粘度(mm ² /s)	34	8	@40°C
引火点(°C)	>320	152	開放式
生分解度(%)	99	23	OECD301b
比誘電率	2.9	2.2	@80°C

これらの特性について解析や試験等を実施することで、変圧器設計基準を策定している。

2.2 カーボンニュートラル

植物油は、基材となる植物の発育時にCO₂(二酸化炭素)を大気から吸収するため、ライフサイクル全体の排出CO₂等価量が約90%削減される試算が示されている(図1)(注1)。特に、当社が適用している植物基材の絶縁油は、カーボンニュートラル(BEES(Building for Environmental and Economic Sustainability)4.0)の特長を持っている(図2)。

(注1) NIST : Determining the Environmental Preferability of a Biobased oil(2002)

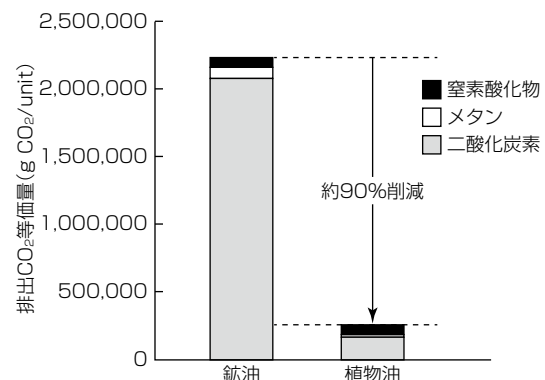


図1. 排出CO₂等価量比較

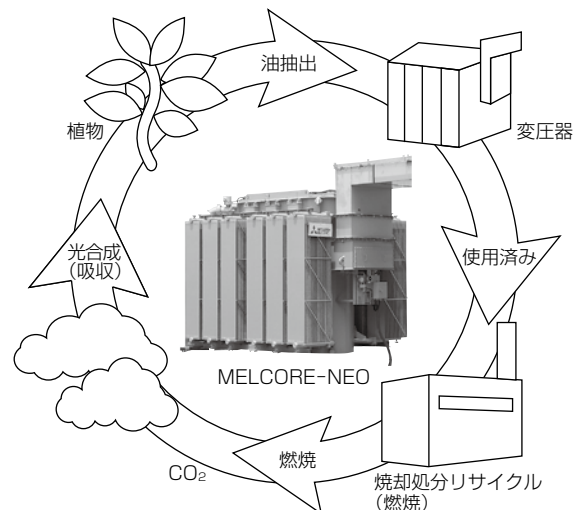


図2. 植物油のカーボンニュートラル(イメージ)

2.3 生分解性

表1から、植物油の生分解度は鉱油に比べて約4倍と、万が一土壌に漏洩(ろうえい)した場合でも、速やかに分解される特長を持っており、環境リスクを低減できる。また、水生生物に対する影響度を検証する魚類急性毒性試験(OECD(Organisation for Economic Co-operation and Development)203)でも、エコマーク認定基準をクリアしている。

2.4 防災性

表1から、植物油は引火点が鉱油に比べ非常に高いことから、火災のリスクを低減する。この安全性が一部の企業向け保険会社に認められ、植物油入変圧器を使用する工場の保険料を割安にするといった事例もある。変圧器は、市街地やビル内に設置されることも多く、居住環境への配慮という面からも、植物油入変圧器は優れた特長を持つ。

3. 技術動向

変圧器に用いる絶縁油は、電気的な絶縁の役割、並びにコイルといった発熱体に対する冷却の役割を担っている。また、変圧器運転時の異常を診断する上で、絶縁油を採油・分析する方法が一般的であり、これらの技術を発展させることが高品質な変圧器を提供する上で重要であり、当社では日々技術の蓄積を行っている。次に取組み内容について述べる。

3.1 絶縁特性

絶縁油と絶縁紙で構成された、変圧器を模擬した複合絶縁モデルでインパルス絶縁試験を行うことによって、絶縁に対する検証試験を実施した⁽¹⁾。絶縁試験モデルを図3、試験結果を図4に示す。図4から、植物油の部分放電発生電圧(Partial Discharge Inception Voltage : PDIV)は鉱油に比べて約20%高い値であることが分かる。これは2.1節で述べたとおり、絶縁油と絶縁紙の比誘電率が植物油では高く、絶縁油の電界集中が抑制されたためと考えられる。このような検証試験を積み重ね、さらに電界解析手法を用いて、絶縁に関する設計手法を確立している。

3.2 冷却特性

鉱油に比べ、冷却に関わる密度、動粘度、比熱が異なり、これらを考慮した設計を行う必要がある。この点に対し、図5に示すような変圧器を模擬したモデルを構築し、検証試験及び解析(図6)との評価を行うことで、植物油の冷却特性把握を実施した。これらの要素モデルで得られた

知見を基に、変圧器内部での油の流れを詳細にモデル化し、油の流路を適正化することで、従来に比べて冷却特性の10%改善を達成した。

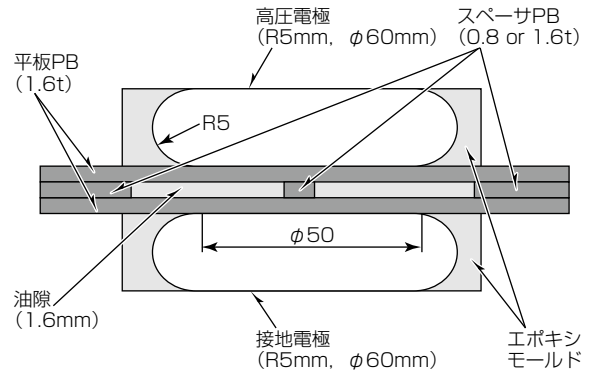


図3. 絶縁試験モデル

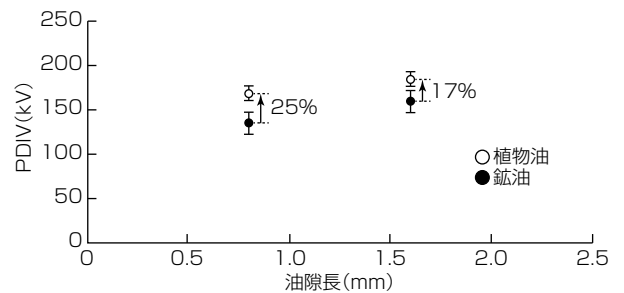


図4. 部分放電特性の比較

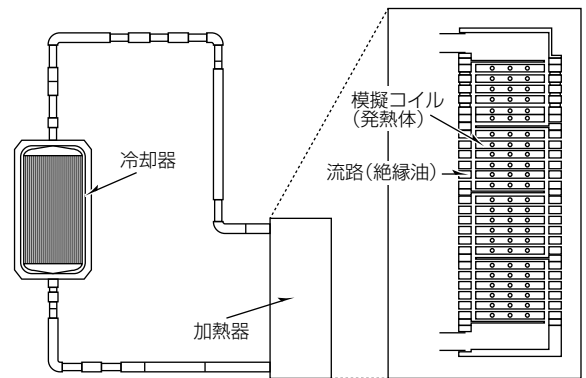


図5. 冷却試験モデル

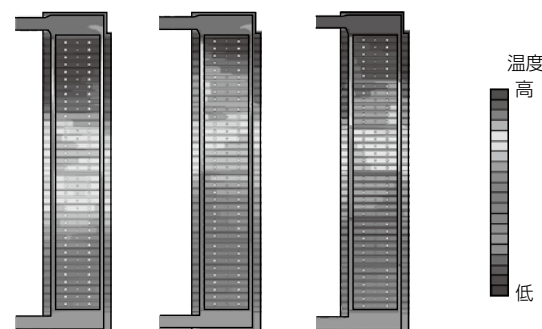


図6. 熱流体解析結果例(異なる流路による温度分布)

ライフ

インダストリー

インフラ

モビリティ

共通領域

3.3 診断技術

変圧器は期待寿命が30年であり、非常に長期間使用されることを想定している。また、一度使用されると内部の確認は容易ではなく、外部からの限られた方法で状態監視を行う必要がある。このような状況で、鉱油入変圧器では状態監視方法として、絶縁油中のガス分析が一般的に用いられており、変圧器の保守・更新の指針として用いられている。

変圧器内部で異常(放電、過熱)が発生した場合、変圧器を構成する絶縁物及び絶縁油などが分解することによってガスが発生し、絶縁油中に溶解する。鉱油と植物油では組成が異なるため、植物油を使用する場合、従来の鉱油の診断指針ではなく、植物油入変圧器に対応した植物油のガス発生特性を把握する必要がある。当社では、製品納入後の運用を見据え、植物油入変圧器の異常診断技術確立にも取り組んでいる⁽²⁾。

図7に、異常時での2種類のガス発生の組成比からなる、異常診断図の一例を示す。フィールドの変圧器の場合、経年劣化など異常以外の要因で発生するガスは異常診断の妨害要因になる。これらの妨害要因の影響低減のため、2種類のガスの組成比からなる異常診断図を構築することで、高精度に異常診断が可能になった。

また、当社ではこのガス分析をリアルタイムで監視するため、IoT(Internet of Things)技術を活用した、無線通信方式でのオンライン油中ガス分析装置のシステムを提案

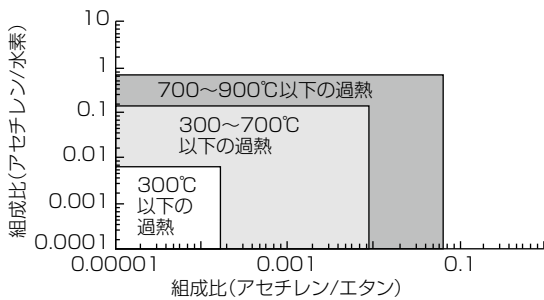


図7. 異常診断図の例

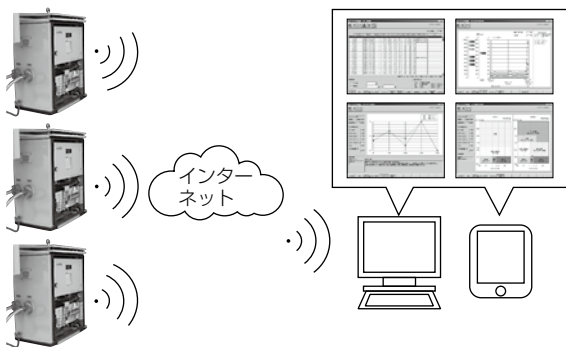


図8. オンライン油中ガス分析装置のシステム構成例

表2. 納入実績

納入年(年)	2017	2018	2019	2020
納入台数(台)	2	9	8	10(見込み値)



図9. 植物油入変圧器(3相 60Hz 20MVA 77kV/6.6kV)

しており、その構成例を図8に示す。変圧器内部の絶縁油を常時監視するため、停電、採油の手間がなく、信頼度の高い診断を実現できる。このシステムはMELCORE-NEOにも適用可能である。

4. 納入実績

当社では、MELCORE-NEOの開発が2016年に完了後、2017年5月に初号器を納入し、その後も環境配慮の点で評価され、鉄道、空港、産業施設など、納入実績を重ねている(表2, 図9)。このような需要拡大に応えるため、MELCORE-NEOの製造に特化した生産設備の導入を進めており、無圧密封式コンサベータ及び負荷時タップ切替え器等、対応できる仕様範囲を広げることで、顧客ニーズに応える体制を整えている。

5. むすび

鉱油を用いた変圧器は100年以上の歴史があるが、現在はまさに転換期になっている。SDGsに代表されるように持続可能性や環境配慮の観点から、植物油の需要は高まっており、植物油を使用した変圧器は既に世界で100万台以上導入されている。今後もこの需要は拡大していく見込みであり、当社では、より広い領域で植物油入変圧器の開発・製造と診断技術の確立に取り組み、環境配慮と安定した電力供給の両立を実現する。

参考文献

- (1) Yamada, T., et al.: Discharge Characteristics with Impulse Voltage Application in Ester Oil/Pressboard Composite Insulation System, IEEE 20th International Conference on Dielectric Liquids, S8-4 (2019)
- (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)