

真空バルブ式 大容量負荷時タップ切換器

Vacuum Interrupter Type On-Load Tap Changer for Large-Capacity Transformers

木暮 洋介 江口 直紀 篠田 昌幸

■ KOGURE Yosuke ■ EGUCHI Naoki ■ SHINODA Masayuki

負荷時タップ切換器 (LTC : on-Load Tap Changer) は、運転状態の変圧器において電圧調整のために巻線接続 (タップ) を切り換える装置である。従来用いられている油中アーク切換式 LTC は、タップ切換時に絶縁油中でアークが発生するために切換接点が消耗するので、定期的に保守点検を行う必要がある。また、油中アークによって発生するスラッジをろ過除去するために活線浄油機が必要になる。一方、真空バルブ式 LTC (VI-LTC) は、絶縁油中にアークが発生しないため、切換接点の消耗が非常に少なく、絶縁油を汚染しないことから、保守インターバルの延伸と機器の長寿命化が可能であり、近年注目が高まっている。

今回東芝は、1,000 MVA クラスの大容量 VI-LTC である T 形の開発を完了し、2000 年に製品化した 30 MVA クラスの小容量器 S 形、及び 2012 年に製品化した 100 MVA クラスの中容量器 M 形と合わせてフルラインアップ化を完了した。T 形 VI-LTC は 2016 年 4 月に既設器のカセット交換 (レトロフィット交換) として納入済みであり、また 2016 年 7 月には新規に製作した変圧器に実装した製品としての初号器を出荷した。

On-load tap changers (OLTCs) are used to change the tap of a transformer as a means of adjusting the operating voltage when it is in an energized condition. In the case of diverter switches employed in conventional OLTCs for oil-immersed transformers, arc interruption in the oil during tap changing operations leads to the need for regular maintenance and inspection work due to wear of the contacts, as well as the need for a hot-line oil purifier to remove sludge. Diverter switches used in vacuum interrupter type OLTCs (VI-LTCs), on the other hand, can provide a longer maintenance interval and longer lifetime because no arc interruption takes place in the oil. VI-LTCs have therefore been attracting considerable attention in recent years.

Toshiba has now developed the T-type, a VI-LTC for 1,000 MVA-class large-capacity transformers, as an addition to its lineup of VI-LTCs consisting of the S-type for 30 MVA-class transformers, which was released in 2000, and the M-type for 100 MVA-class transformers, which was released in 2012. The first retrofit unit of the newly developed T-type was applied to the replacement of a diverter switch in an existing transformer in April 2016, and the T-type was installed in a new transformer for the first time in July 2016.

1 まえがき

負荷時タップ切換器 (LTC : on-Load Tap Changer) は、運転状態で変圧器の巻数比 (変圧比) を変えることにより電圧を調整する装置であり、一般に、変圧器タップ巻線のうち運転するタップを選択するタップ選択器と、選ばれたタップに通電状態で回路を切り換える切換開閉器とから構成される。現在数多く使われている油中アーク切換式 LTC の切換開閉器は、変圧器本体とは別の絶縁油入容器内に設置されており、通電している接点が開離したときに発生するアークを遮断しながら別の接点に回路を切り換える。このため、切換接点が消耗し、定期的に保守交換が必要だけでなく、油中アークにより発生するカーボンスラッジをろ過除去するために、LTC の外部に活線浄油機が必要である。

近年、電力機器を取り巻く環境として、保守インターバルの延伸化や機器長寿命化の動きがある。そこで、切換開閉器に真空バルブを用いた VI-LTC (Vacuum Interrupter LTC) への注目が高まっている。

東芝は、30 MVA クラスの変圧器に適用できる小容量の S 形

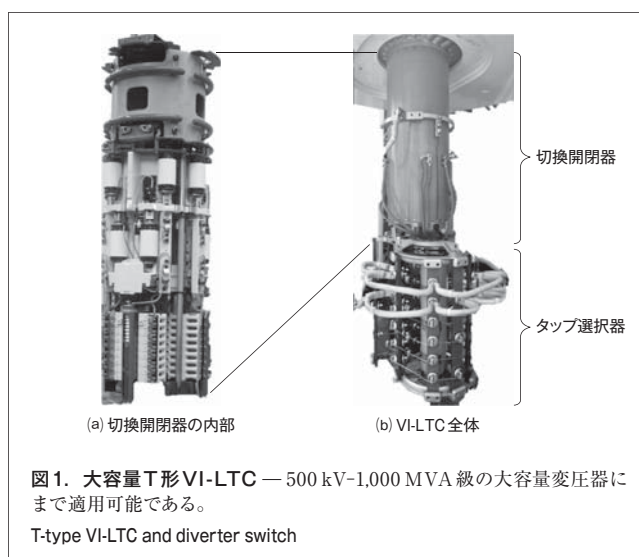


図1. 大容量 T 形 VI-LTC — 500 kV-1,000 MVA 級の大容量変圧器にまで適用可能である。

T-type VI-LTC and diverter switch

VI-LTC を 2000 年に⁽¹⁾、100 MVA クラスの変圧器に適用できる中容量の M 形 VI-LTC を 2012 年に⁽²⁾、それぞれ製品化してきた。今回、1,000 MVA クラスの変圧器に適用できる大容量の T 形 VI-LTC (図 1) の開発を完了したので、以下にその概

要について述べる。

2 VI-LTCの特長

従来の油中アーク切換式LTCが油中でアーク遮断を行うのに対して、VI-LTCは、真空バルブで電流を遮断する。このため、1章で述べたカーボンラッジが発生しないのに加えて、接点消耗が少なく接点自体が長寿命であるというメリットがある。更に、接点間のアンバランス消耗による早期メンテナンスの必要がない点もメリットである。アンバランス消耗とは、LTC内に設置される2組の接点である主接点と抵抗接点それぞれの消耗量に差が生じる現象である。ここで、主接点は負荷電流を開閉するもので、一方抵抗接点は巻線タップ間の循環電流を開閉するものである(3.2節参照)。変圧器が軽負荷で運転される場合、負荷電流は小さいのに対して、循環電流は一定の大電流であるためにアンバランス消耗が発生する。これが発生すると、接点の切換シーケンス(順序)に不具合を生じることがあり、最悪の場合にはタップ間短絡に発展する可能性がある。真空バルブ式の場合は、接点の消耗が極めて少ないことからアンバランス消耗による不具合が生じない。

これらをまとめると、VI-LTCは次のようなメリットを持っていると言える。

- (1) 接点消耗が少なく、接点を交換するためのメンテナンスが不要である。
- (2) アンバランス消耗による不具合が発生しない。
- (3) 絶縁油中のカーボンラッジをろ過する活線浄油機を省略できる。
- (4) 点検周期を3～4倍に延伸できる。
- (5) 定期点検時のつり上げ点検の際に、切換開閉器及び油槽の清掃を省略できる。
- (6) 点検周期を延伸できるため、点検による油槽内絶縁油交換回数を減らすことができ、絶縁油の総使用量を約1/3に低減できる。

3 大容量VI-LTCの開発コンセプト

大容量VI-LTCの開発にあたっては、保守インターバルの延伸と機器の長寿命化を主目的として、開発コンセプトを次のとおりとした。

- (1) 小容量VI-LTCで実績のある当社製小型真空バルブを使用(図2)
- (2) バルブ切換の機械的責務を低減するため、2抵抗4バルブ方式を採用(図3)
- (3) 既設の切換開閉器からカセット交換できるようにし、省メンテナンス性を向上

3.1 東芝製小型真空バルブ適用

今回開発したVI-LTCには、小容量VI-LTCで実績のある当社製小型真空バルブを使用した。この真空バルブは、1965年の生産開始から2015年度末までの累計で約368万本の生産実績のある開閉装置用の当社製真空バルブの技術をベースにした、LTC専用設計のものである。開閉装置より多数回の電流開閉を行うLTC用として、真空バルブ内のシールド構造を最適化し、遮断時に発生する金属蒸気によって生じる真空バルブ内の汚染を抑制している。

3.2 東芝固有の切換方式

バルブ切換の機械的責務を低減するため、当社独自の2抵抗

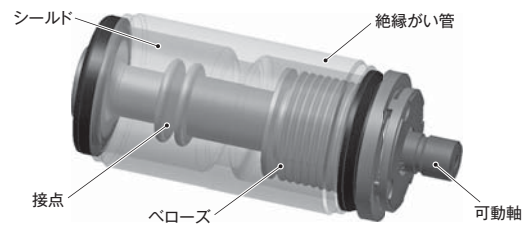
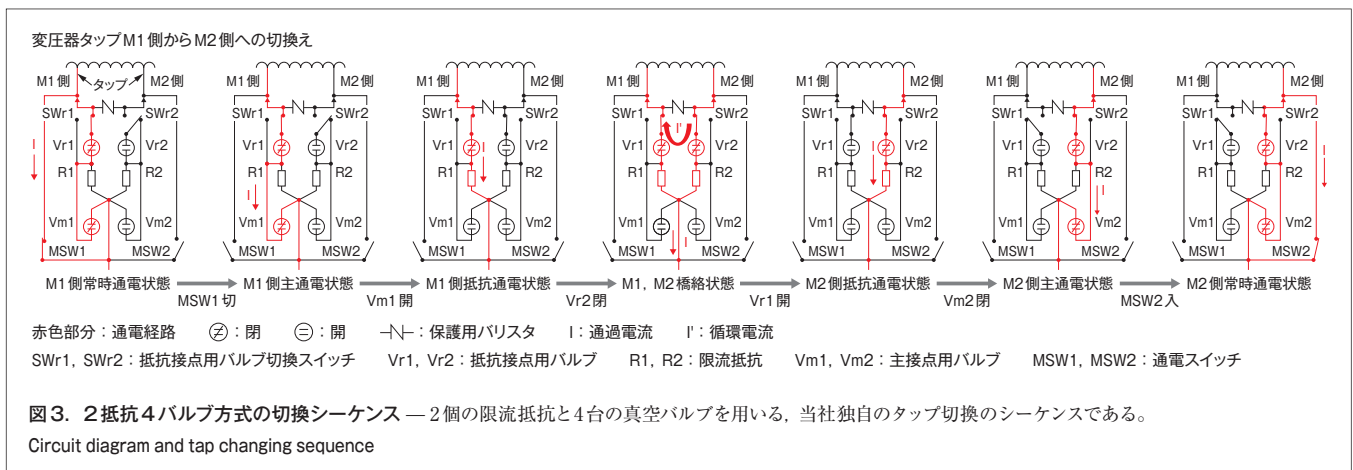


図2. 東芝製小型真空バルブー多くの実績がある開閉装置用真空バルブの技術をベースに、電流開閉の回数が開閉装置より多くなるLTC用として専用設計した。

Toshiba small-size vacuum interrupter



抗4バルブ方式を採用した。

- (1) 図3に示すように、1相に主接点用バルブと抵抗接点用バルブをそれぞれ二つ配置することで、小容量器の1抵抗2バルブ方式の回路と比べて一つのバルブでの遮断回数を減らし、より多くの遮断回数とより大きな遮断電流に対応可能とした。
- (2) 主接点用バルブと抵抗接点用バルブを直列に接続し、かつ主接点用バルブと並列に抵抗を接続することで、主接点用と抵抗接点用の二つのバルブが同時に遮断不能にならない限り極間短絡に至らない構成とし、不具合リスクを低減した。
- (3) 回路に直流電流が重畳して電流零点が現れない場合への対策として、主接点用バルブ開極後に循環電流を強制的に流すことで電流零点を確保し、遮断信頼性を向上させた。

3.3 切換開閉器のカセット交換対応

T形 VI-LTCでは、表1の油中アーク切換式LTCとの諸元比較に示すように、各項目で同定格以上の仕様とし、かつ図4に示すように切換開閉器の寸法を油中アーク切換式LTCと同じにすることで現行器と互換性を持たせ、切換開閉器を既設器からカセット交換（レトロフィット交換）できるようにした。点検周期は油中アーク切換式LTCの5万回ごとから30万回ごとに延伸を図った。更に、接点消耗の少ない真空バルブ式を用い、限流抵抗値を最適化することで、ステップ容量^(注1)を2,800 kVA から3,000 kVAに増やし、適用範囲を拡大した。

表1. T形VI-LTCと油中アーク切換式LTCの主な仕様
Comparison of ratings of VI-LTC and conventional OLTC

項目	T形VI-LTC	油中アーク切換式LTC
開閉器部構成	2抵抗4バルブ式	4抵抗4接点式
耐電圧 (kV)	雷インパルス	550
	商用周波数	230
最大ステップ電圧 (V)	4,000	4,000
通過電流 (A)	1,200	1,120
ステップ容量 (kVA)	3,000	2,800
タップ点数 (点)	最大35	最大35
電氣的耐用切換回数 (万回)	30	20
機械的耐用切換回数 (万回)	90	80
点検周期	30万回ごと	以下の切換回数ごと、又は切換回数に関係なく5年を超過したとき ・活線浄油機を使用し1日1回、1時間程度ろ過しているとき 10万回ごと ・活線浄油機を使用していないとき — 運転中ろ過しないとき： 7万回ごと — 2万回ごとろ過しているとき： 10万回ごと
総質量 (kg)	700	650
切換開閉器中身つり上げ質量 (kg)	175	135
絶縁油量 (切換開閉器油槽) (L)	170	180

(注1) 変圧器のタップを1区間切り換える際に遮断する容量。

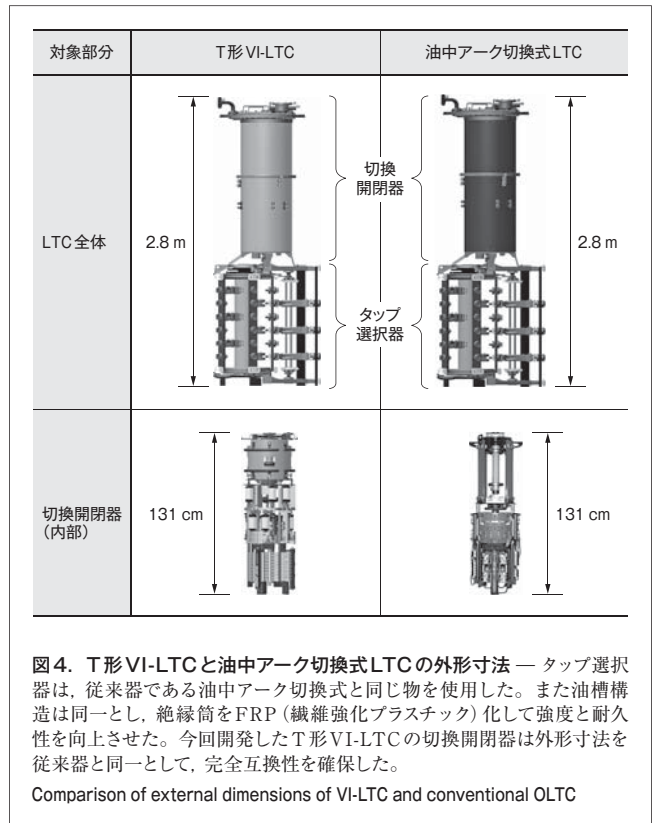


図4. T形VI-LTCと油中アーク切換式LTCの外形寸法 — タップ選択器は、従来器である油中アーク切換式と同じ物を使用した。また油槽構造は同一とし、絶縁筒をFRP（繊維強化プラスチック）化して強度と耐久性を向上させた。今回開発したT形VI-LTCの切換開閉器は外形寸法を従来器と同一として、完全互換性を確保した。

Comparison of external dimensions of VI-LTC and conventional OLTC

4 形式・検証試験結果

開発器の性能確認のため、JEC-2220-2007（電気学会 電気規格調査会標準規格2220-2007）で定められている形式試験及び検証試験を実施した。

4.1 形式試験

VI-LTCの保守インターバルを、油中アーク切換式LTCの20年から30年に延伸するため、電氣的耐用切換試験は従来の20万回から30万回に増やして実施した。また、切換開閉器のカセット交換時はタップ選択器及び油槽は継続して使用するため、切換回数はカセット交換対応3回分で90万回となることを考慮し、機械的耐用切換試験は油中アーク切換式LTCの80万回から90万回に増やして実施した。これらの耐用切換試験後にJEC-2220-2007に規定される事後電氣的試験を実施し、所定の性能を満足していることを確認した（表2）。

4.2 検証試験

- (1) 機械的耐用切換限界試験 機械的耐用裕度の確認として、形式試験で実施した90万回の機械的耐用切換試験に加えて、30万回の試験を実施し、120万回の機械的耐用切換性能が確保されていることを確認した。
- (2) 電氣的耐用切換限界試験 電氣的耐用裕度の確認として、形式試験で実施した30万回の電氣的耐用切換試験に加えて10万回の試験を実施し、40万回の電氣的耐用切換性能が確保されていることを確認した。

表2. T形VI-LTCの形式試験項目

Test items in T-type model test

試験項目	検証条件	
機械的耐用切換	90万回	
電氣的耐用切換	30万回	
耐電圧	対地	雷インパルス 550 kV
		商用周波数 230 kV
	極間	雷インパルス 90 kV
		商用周波数 20 kV
定格電流切換	限流抵抗器の温度上昇 200 K以下 (ステップ容量 3,000 kVAの条件において)	
過電流切換	最大通過電流 1,200 A × 1.5	
短時間耐電流	最大通過電流 1,200 A × 25.5 (初期波高値)	
温度上昇	通電接触子 20 K以下 (最大通過電流 1,200 A × 1.2の条件において)	

- (3) 耐圧力限界試験 LTC用コンサベータから真空バルブに加わる外圧に対しての動作信頼性の確認として、油槽内に0.1 MPa-gageを上限として圧力を印加し、切換開閉器のシーケンス時間に有意な変化がないことを確認した。
- (4) 低温限界試験 JEC-2220-2007で規定される-20℃を下回る温度での切換動作試験を行い、油槽内の絶縁油温度を5℃ずつ下げ、-35℃での切換動作が可能なことを確認した。
- (5) レトロフィット検証試験 レトロフィット対応における信頼性確認のため、油中アーク切換式LTCの油槽に、真空バルブ式の切換開閉器を挿入して、レトロフィット適用条件下で各性能を評価した。
- (a) 機械的耐用切換限界試験 上記レトロフィット適用条件下で120万回の機械的耐用切換限界試験を行い、一連の切換シーケンスを行うときの切換開閉器の動作時間が形式試験の規格値を満足していることを確認した。また、油槽や切換開閉器に部品脱落、損傷、及び外観上の変化がないことを確認した。
- (b) 温度上昇試験 (a)で述べた120万回の機械的耐用切換限界試験後に、油中アーク切換式LTC最大通過電流(1,120 A)の1.2倍の電流を通電し、通電接触子の温度上昇値がJEC-2220-2007に規定された許容範囲内であることを確認した。

5 VI-LTCのラインアップ拡張と初号器の適用予定

今回開発した大容量のT形VI-LTCは、2016年2月に形式試験を終了した。この結果、当社のLTCは1,000 MVAクラスの大容量器までの製品ラインアップがそろい、大容量変圧器まで適用できるようになった(図5)。2016年4月にはレトロフィット交換として納入済みで、2016年7月には新たに製作した変圧器に実装した製品としての初号器を出荷した。

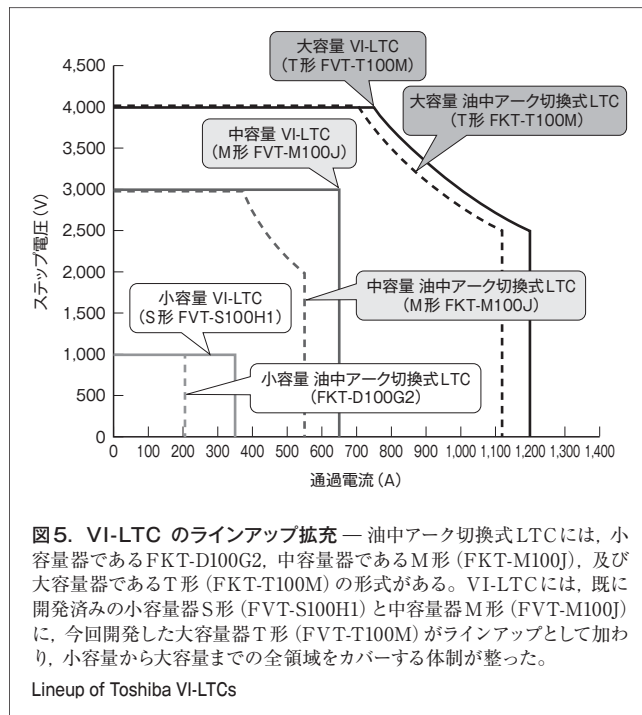


図5. VI-LTCのラインアップ拡充 — 油中アーク切換式LTCには、小容量器であるFKT-D100G2、中容量器であるM形(FKT-M100J)、及び大容量器であるT形(FKT-T100M)の形式がある。VI-LTCには、既に開発済みの小容量器S形(FVT-S100H1)と中容量器M形(FVT-M100J)に、今回開発した大容量器T形(FVT-T100M)がラインアップとして加わり、小容量から大容量までの全領域をカバーする体制が整った。

Lineup of Toshiba VI-LTCs

6 あとがき

当社の油中アーク切換式LTCの技術を継承しつつ、真空バルブの技術を組み合わせることで、優れた性能と高い信頼性を兼ね備えたVI-LTCの大容量機種としてT形を開発し、適用範囲を拡張した。

保守インターバルの延伸と長寿命化をより広範囲に実現でき、ユーザーニーズに応える製品である。

文献

- 瀧口幸延 他. 油入変圧器用真空バルブ式負荷時タップ切換器. 東芝レビュー. 56, 10, 2001, p.52-55.
- 杉山裕紀 他. 真空バルブ式 負荷時タップ切換器. 東芝レビュー. 67, 1, 2012, p.54-57.



木暮 洋介 KOGURE Yosuke

エネルギーシステムソリューション社 電力流通システム事業部 電力変電技術部. 変電設備のエンジニアリング業務に従事。Transmission & Distribution Systems Div.



江口 直紀 EGUCHI Naoki

エネルギーシステムソリューション社 浜川崎工場 変圧器部. 負荷時タップ切換器の開発・設計に従事。Hamakawasaki Operations



篠田 昌幸 SHINODA Masayuki

エネルギーシステムソリューション社 浜川崎工場 変圧器部 参事. 負荷時タップ切換器の開発・設計に従事。Hamakawasaki Operations