

創立100周年記念論文

変成器事業のあゆみ

History of Instrument Transformer

小林賢司* 片岡芳行*
K. Kobayashi Y. Kataoka

概要

計器用変成器は発送電の発足と共に電力システムの計測、制御、保護システムの一端を担い、経済の発展による電力システムの高電圧化、情報化に伴って発展を続けている。

当社の計器用変成器も国内、海外の電力システムの成長と共に歩み続けており、多数の納入実績と技術革新を継続し現在に至っている。ここでは変成器事業として独立してから現在までの60余年の歴史について述べる。

Synopsis

From the beginning of electric power system, Instrument Transformer has been used for measurement, control and protection system, and has continued to develop along with the increase of system voltage and apply of information system with economic development.

Nissin Electric Co., Ltd. also has been continued the Instrument Transformer business with growth of domestic and overseas electric power system, with many technical improvement and supply records. This paper describes the history of more than 60 years from standing on the Instrument Transformer business.

■ 1. はじめに

計器用変成器は、電力システム全体において、系統の計測、制御、保護用機器に系統電圧と系統電流を取扱いしやすい低電圧、小電流に変換して供給する機器である。経済の発展や社会の変化と共に、電力システムも大容量化、高電圧化、情報化、分散化、と様々に変化し、変成器もそれに対応して重要な責務を担っている。

現在当社の計器用変成器は油絶縁方式とガス絶縁方式による電圧変成器、電流変成器で構成されている。主な機種として電圧変成器のコンデンサ型計器用変圧器(CVT)、ガス絶縁計器用変圧器(ガスVT)、電流変成器の変流器(CT)、および電圧と電流を組み合わせた電力需給用計器用変圧変流器(VCT)を製造しており、図1に当社変成器の年代別の生産拠点と高電圧化への対応状況を示す。

本稿はこの中から主だった機器、出来事を抽出して変成器の歴史を振り返る。

■ 2. 変成器事業の源流

～コンデンサ型計器用変圧器 (CVT)

当社は以前より変圧器事業の一環として電圧の低いクラスでの乾式、油絶縁の変成器を製造していたが、現在の変成器事業の形を成す碍子型の油絶縁計器用変成器の歴史は、1950年のコンデンサ型計器用変圧器の開発から始まった。

(注) コンデンサ型計器用変圧器の略称は当時PDと呼ばれていたが、本稿ではJEC 1201で推奨される「CVT」の表記で統一する。

*電力システム事業本部

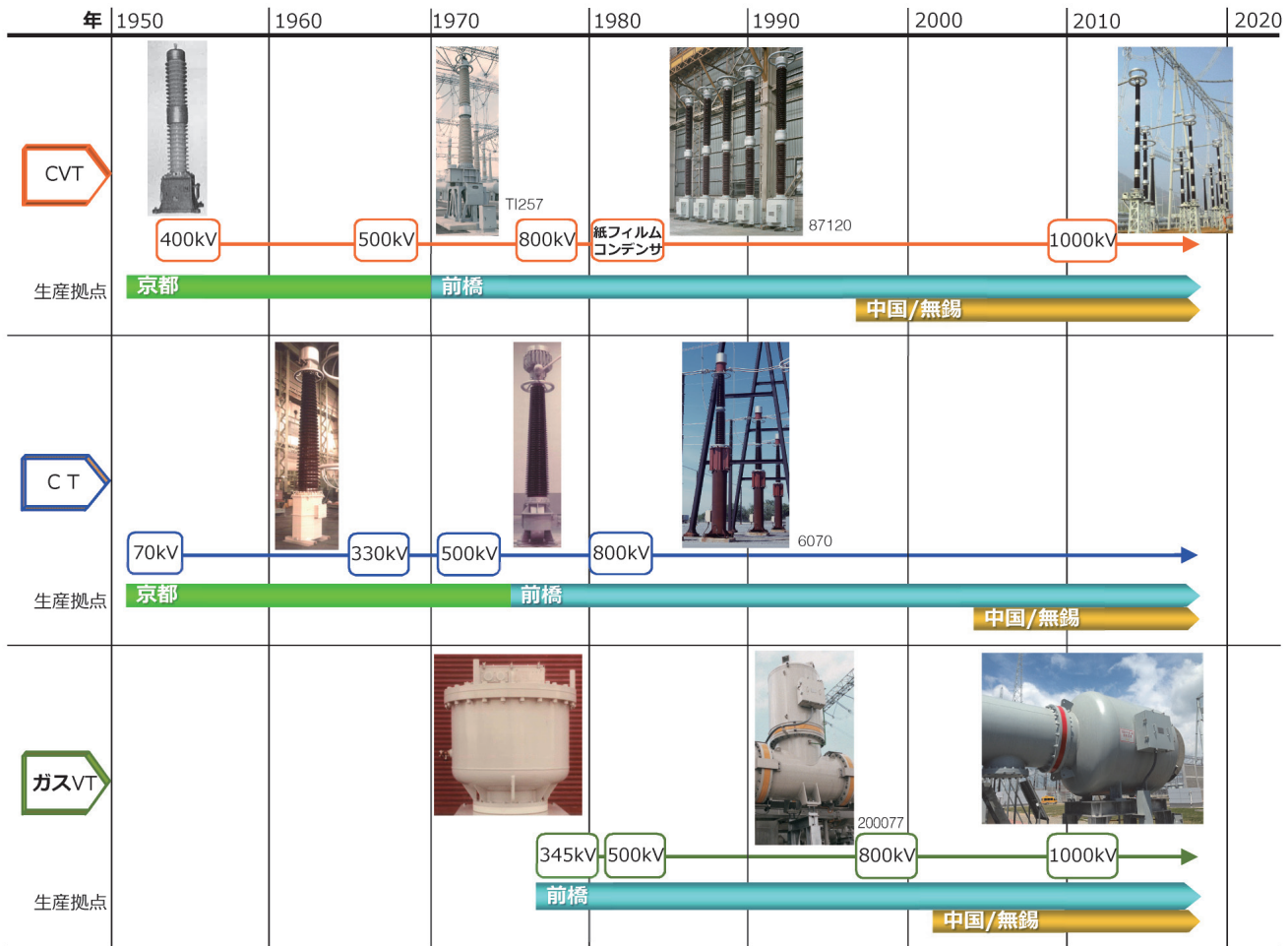


図1 変成器事業のあゆみ

2. 1 結合コンデンサと電圧変成器の組合せ

当時、日本国内の発送電において、電力線を利用した変電所間の通信が行われており、電力線から通信の高調波成分を取り出すのに結合コンデンサが使用されていた。この機器は電力線搬送用結合コンデンサ (CC) と呼ばれ、当社でも当時コンデンサ部門で生産されていた。

1950年、日本発送電株式会社東北支社（現、東北電力株式会社）よりCCを利用して電源が取れないか、と問合せがあり、当社の植田久一（後の社長）が海外文献で紹介されていたCVTの記事を思い出し、この原理を適用すれば対応は可能である、との判断からCVTの開発がスタートした。

当時、植田はテブナンの定理をCVTに適用して設計計算を簡易化し、高調波の数値的検討を定量的に示し、更には実試験でも回路に系統電圧を印加することなく数千Vの分圧電圧での試験が可能な等価試験法を確立して開発を進めた。また、これらを特許権化したことにより、他社の追随を許さずにCVTの先駆者として製品

化に繋げて行った。

2. 2 電圧変成器の信頼性向上

当時の発送電では、66kVクラス以上でも電圧変成器は巻線型の計器用変圧器 (VT) が主に使用されていたが、当時の絶縁設計、材料の技術では信頼性が低く、このVTが度々故障していた。計器用変成器は電力系統を制御、監視するリレー類に電圧、電流を供給する機器であるため、VTの故障は各電力会社において懸案となっていた。

一方でCVTの技術自体は以前より海外で実績があり、国内でも他社が海外の技術をそのまま適用した例があったが、海外のCVTは負担によって変動する誤差特性を外部タップで切り替える方式であり、調整作業に多大な手間がかかっていたほとんど使用されていなかった。

これに対して、当社が前述の電源用CVTを各電力会社に技術PRを実施していたことから、当時巻線型に変わる信頼性の高い電圧変成器を作って欲しいとの要望があった。

2. 3 CVT初号機納入

このような電力会社からの強い要望に対して、電源用CVTをベースに本格的な計測・保護用CVTが開発され、1952年に東京電力株式会社の技術指導の下日本初の154kV CVTを商品化し、同東千葉変電所に初号機が納入された。(図2)

これは当時極めて高い信頼性を得ていた結合コンデンサと、取り扱い従来の巻線型VTと変わらない変圧器部を組み合わせ、電力会社の要望に合致させた製品として世に送り出され、現在の変成器事業の源流となった。

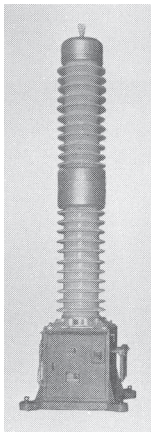


図2 開発当初のCVT

フランスのマラン・ジェラン社より技術導入して製作した空気遮断器と組み合わせて納入されたものである。

しかしながら、CVTを多数納入していた系統保護用については、従来から遮断器と同一メーカーにCTが発注されることが多く、当社としては台数が伸び悩んでいた。

3. 2 海外への展開

CTは以前より台湾電力、フィリピン等、東南アジア向けのCTを単独受注しており、海外への輸出を重ねていたが、世界にCTメーカーは多数有り他の巨大マーケット(南北アメリカ、中近東、アフリカ等)への参入には価格がネックとなっていた。

国内、輸出とも台数が伸び悩む状況を打破すべく、1967年頃より大幅なCRと550kVクラスへの電圧定格拡大を目指し、コンデンサコーン絶縁構成を主とした開発を進め、1969年には高電圧CTの主絶縁を多層コンデンサコーンタイプに全面変更した。その結果コンデンサコーン絶縁と高絶縁耐力クレープテープの開発、それに伴う碍管寸法の縮小により低価格化を達成した。これにより海外に向けての価格競争力が高まり、輸出案件のCT単独受注を積み重ねることとなった。

まずは362kVクラスを開発し、カナダBC Hydro社、ブラジルCEMIG社、ブラジルFURNAS社に納入した。次

3. 碍子型変流器 (CT)

計器用変成器で電流を変成する機器が変流器 (CT) であり、当社ではCVTの開発と共にCTの信頼性向上にも努め、80.5kVクラスの完全油密封方式CTを1954年に商品化した。

これは当時、当社製コンデンサで適用されていた金属ベロー (Feeding Tank : FT) を使用して機器内部を油で密封する構造であり、従来の開放型、窒素封入型に比べて絶縁信頼性を向上させたものである。

CVTは日本国内の電力会社と共に発展し、国内シェア100%となった機器であるが、CTはCVTとは別な発展を遂げる事となる。

3. 1 CTを取り巻く状況

完全油密封構造の80.5kV CT商品化以降、1961年から1967年頃にかけて、115kV、161kV、287.5kVと電圧定格を順次拡大した。CTの納入はCVTと組み合わせた電力需給用、或いは遮断器と組み合わせた納入が主であった。

電力需給用は当時建設が増加していた大型工場が主幹電力系統から直接電力供給を受けるケースが増えていたものであり、遮断器との組み合わせは当時当社が

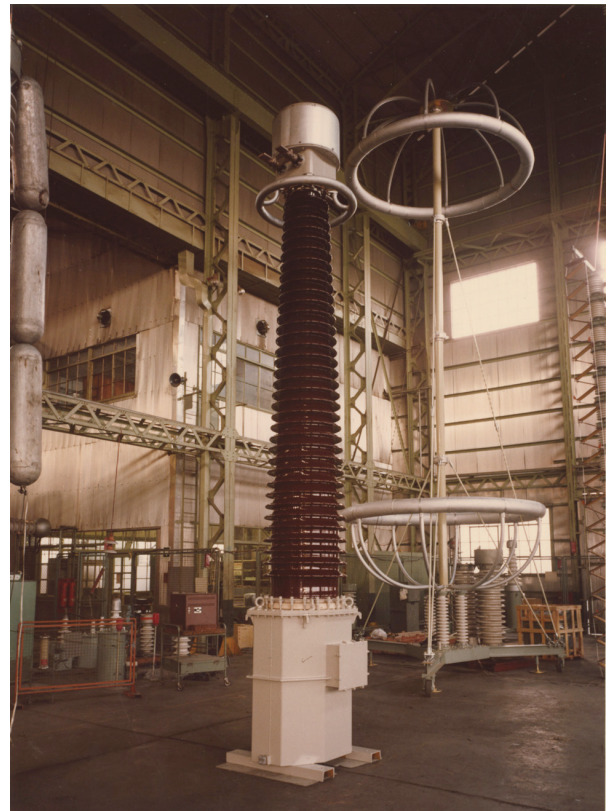


図3 初期の420kV海外向けCT

いでアメリカBPA社に500kV初回品6台を納入し、以降の超高圧CTの海外市場への本格参入の足掛かりとなった。(図3)

4. 生産拠点の移管～前橋製作所

CVT、CTを中心とした変成器事業が順調に成長していた当時、変成器事業に一大転機が訪れる。それが1969年に立案された変成器事業の当社前橋製作所への移管である。

4. 1 500kV CVT生産と超高圧試験場

当時の変成器事業は、具体化を控えていた日本国内の500kV送電に用いられる電圧変成器(500kV CVT)の生産が必要であった。しかしながら高さ9mを超える500kV CVTを製作するための乾燥炉、組立台等の建屋、設備を京都本社で準備することは困難であり、1963年に開設した前橋製作所に変成器事業を移転することが決まった。

変成器の新工場は立案と同年の1969年12月に完成し、翌1970年1月より生産が開始された。当初はCVTを月産120台で検討が進められたが、工場建設当時は構造不況から景気が回復してきた時期であり、1年で3回もの増強による計画見直しを実施して最終的には当初の1.5倍、月産180台規模の工場となった。

同時に500kV CVTの検査を実施するための試験場も建設を進め、1971年9月に超高圧試験所が完成する。この試験場は当時大幅に増加していた輸出向け超高圧CTの試験にも対応できるように設計され、日本の電力会社より要望のあったノイズ遮蔽による精密な部分放電測定と、当時世界最高系統電圧であった海外向け800kVの耐電圧試験を組み合わせた、当時日本屈指の試験場であった。

4. 2 前橋製作所での変成器事業

当初はCVTのみで生産が開始され、5年後の1975年にCTも前橋製作所に移管し、変成器事業は前橋において本格的に稼働することとなる。

前橋でのCVT生産は500kV CVTが新工場と共にスタートし、1970年には東京電力株式会社向け懸垂型500kV CVTの試作を行い、翌1971年には同房総変電所、新古河変電所に懸垂型500kV CVTを合計30台納入した。更に翌1972年には関西電力株式会社、能勢変電所向けに自立型500kV CVTを納入している。(図4)

また、CTは引き続き輸出向け超高圧CTが好調であり、前橋移管時には予想を大幅に上回る台数を受注し、過渡特性を含む500kV CT 137台を受注し新工場で作ることとなった。CTの過渡特性は、超高圧システムの保護が高速化、高感度化してきたことに応じた要求であり、故障時の過渡期の直流分を含んだ電流に対しての誤差

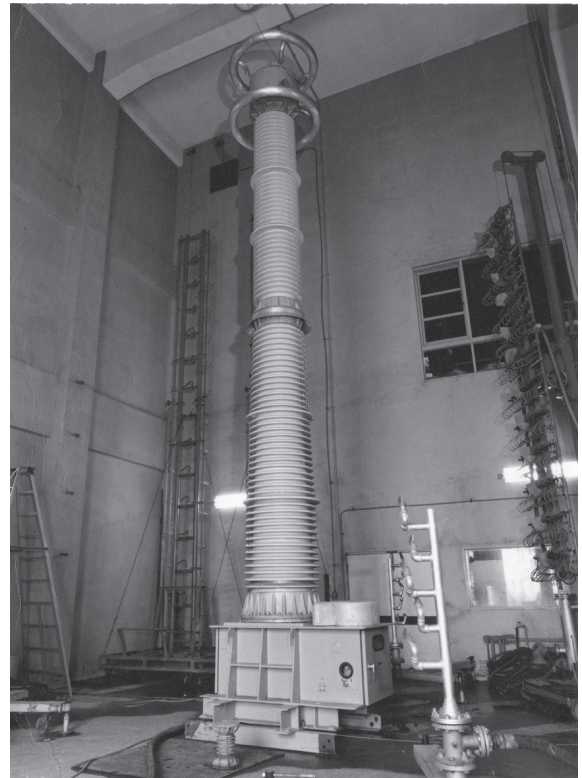


図4 自立型500kV CVT

規定である。この時の過渡特性付500kV CTは当社としては初めての過渡特性対応であり、工場移管直後の開発は相当な苦労があった。

5. ガス絶縁計器用変圧器(ガスVT)

前橋工場でCVTとCTを柱とした変成器事業が順調に推移していた1970年代後半、社会の趨勢により現在の変成器事業の柱の一つであるガスVTの生産が始まることとなる。

ガスVTはガス絶縁開閉装置(GIS)用の電圧変成器であるが、当初GISにガスVTは使用されていなかった。GISは1970年代より日本でも適用され、変電所の敷地面積の縮小化、耐震、安全性など日本国内のニーズに合致し急速に普及するが、当時の電圧変成器にはモールド型、増幅型、GIS用CVTなどが使用されていた。

モールド型は高圧のGISには適用できず絶縁性能も低い、増幅型は別電源が必要で経済的に不利、GIS用CVTは体格が大きく油絶縁である、等それぞれにデメリットがある中、ヨーロッパでは1973年に西ドイツ(当時)のメスバンドラバウ社(以下、MWB社)が巻線型VTの一次コイル絶縁にプラスチックフィルムを用いたガスVTを商品化した。

国内のGISメーカーはこれに着目し、当社としても今後はGIS用の電圧変成器はガスVTが必要となるとの判断を

下し、ガスVTの生産に着手した。

5. 1 MWB社との技術提携

MWB社は世界で初めてガスVTを開発した後、日本のメーカーと技術提携先を探しており、当社としても変電所のGIS化に伴いGIS用CVTに代わる電圧変成器としてガスVTの技術導入を希望していたことから、1976年11月にMWB社との提携契約を調印した。

調印後、翌1977年にはガス機器の設計、製造、検査に関する技術習得のため変成器部門より4名の技術者をMWB社に派遣し、社内にもガスVT専用のクリーンルームを完成させ、本格的にGIS用ガスVTの生産に着手した。生産開始時のラインナップは単相形が66/77kV、154kV、275kV、三相一括形が66/77kVの4種類であり、1978年に154kV単相形の初号機が電源開発株式会社、手取川第一発電所に納入された。(図5)



図5 ガスVT初号機 (154kV単相形)

5. 2 ガスVTの成長

初号機納入以降、2年後の1980年には400kVクラス、更に2年後の1982年に500kVクラスを納入し、国内外のGISの高電圧化に合わせてガスVTもその定格を拡大して行った。更にガスVTはGISの技術の進歩と共に客先の要求仕様が多様化し、三相一括形の電圧定格拡大、GIS縮小化による寸法制約、輸出案件の特殊対応等に対して、解析計算、実験などで最適なガスVTを開発し、対応して来た。

特にガスVTは一次コイルの層間絶縁にプラスチックフィルムを使用しているため、フィルム間の摩擦が少なくなり構造上コイル軸方向の機械的強度が弱点となっていた。そのため輸送、据え付け等で過大な衝撃によ

りコイルが変形する不具合や、系統の線路の電荷が放電される電流によって生じる電磁力でコイルが移動する不具合等が発生していた。

これに対して、フィルムに熱硬化性の接着剤を塗布することによりコイル軸方向の強度を飛躍的に向上させ、今までのガスVTから種々改良が可能となり大幅な縮小化を図る事ができた。(図6) この新フィルム適用のガスVTは1995年(平成7)から製品化され、今日に至っている。

	初期型	現在
容器径	100%	60%
高さ	100%	60%
重量	100%	40%
外形 (同一縮尺)		

図6 154kV三相一括形ガスVTの変遷

6. 海外拠点展開

変成器はメーカーによる据付け調整等の工事をほとんど必要としない単体機器であるため、輸出案件にも継続して注力しており、当社の中では比較的海外との関わりが深い事業であった。CVT、CT、ガスVT何れも世界各国に納入されており、今までの納入先は60か国を超えている。納入先との仕様確認、固有の現象に対する検討など現地対応も多岐に亘って対応して来た。図7に当社の変成器の納入国を示す。



図7 変成器の納入先

6. 1 初の海外生産拠点 ～CVT工場の設立

1990年代、海外市場において中国が変成器の巨大マーケットと見込まれる中、当社は中国企業との合弁検討を進め、1995年、中国江蘇省無錫市に変成器初の海外生産拠点となる「無錫日新電機有限公司（WNEC）」を設立した。（図8）



図8 設立当時のWNEC

これは現地国有企業「無錫電力電容器廠（コンデンサメーカー）」との合弁会社で、当社ではタイ、台湾に次いで3番目となる海外拠点であった。

製品は中国国内向けのCVTであり、当初は中国の今までのCVTをOEM生産しながら日新の技術と中国の材料を融合した新型中国産のCVTを設計し、1997年に初号機を納入した。その後順次新型CVTへの切り替えを行い、1999年には完全に日新製CVTへ移行すると共に工場の管理システムも日本式管理を本格適用した。

現在では無錫市は中国でも有数の日本企業進出都市となっているが、当時はまだ進出している海外企業は僅かであり、インフラや環境は今と比較できない程の不便さであった。そのような中で当社の中国進出のパイオニアとなり後の中国との関係を築いた当時の関係者の功績は極めて大きいと言える。

6. 2 中国での事業展開

6. 2. 1 ガスVT工場の設立

当時の中国の旺盛な電力需要はGISにもおよび、2000年以前からガスVTも中国のGISメーカーへ直接納入する案件に対応して来た。変成器としては順調に納入実績を伸ばしているWNECの成功を基に、今後更なる需要が見込まれる中国のガスVT事業にも対応すべく同じ無錫市にガスVT専用工場を設立した。

2002年、変成器の工場としては中国で2番目となる「日新（無錫）機電有限公司（NEW）」の工場が完成し、同年110kVクラスの三相一括形ガスVT初号機を納入して

いる。（図9）NEWの特徴としては当社独資による工場であり中国側の合弁会社不在であったことである。

これはWNECの設立、運営、客先との取引で得られたノウハウを適用したもので、独資であることから工場設立時より管理者、執務系、作業員など全ての従業員に新人を採用したことにより日本式管理を定着させることができた。

勿論新人に一から日本式の方法を教育しても文化の相違から全てが日本と同じにできた訳ではなく、設立に関わった関係者の苦労は相当なものであった。



図9 設立当時のNEW

6. 2. 2 中国での変成器事業の発展

NEW設立当時は沿岸部を中心とした電力需要の急激な伸びにより、CVT工場、ガスVT工場共に右肩上がりの成長を遂げる。

WNECは同じく無錫市に進出していた当社コンデンサ事業と統合し、新たに「日新電機（無錫）有限公司（NW）」を設立、当初年間500台程度であった生産台数が2004年には8倍の4000台を超え、敷地内では対応できない状況となっていた。NWのCVT事業は2005年にNEWの敷地内にCVT専用工場を設立し、全面移転して増産体制を整えた。移転後のピーク時には年間6000台近くまでの生産に対応し、特に重要な500kV系統のCVTは長らく50%のシェアを有していた。

更に中国では国家プロジェクトとして世界最高電圧となる1100kV送電（UHV）の計画が進められ、UHV用CVTも2009年に開発された。UHV送電の実系統は2012年に運開され、NW製CVTも納入、稼働している。（図10）

NEWのガスVTも日本式管理の基で生産される高品質の製品、前橋で蓄積された鉄共振現象抑制対策等の技術対応により順調にシェアを伸ばしていった。その後GISの高電圧化が一気に加速し、330kV、500kVのガスVTをNEWにて国産化し、2003年に年間生産台数100台超でスタートしたNEWの工場は、ピーク時年間2500台を超える規模へと成長して行った。

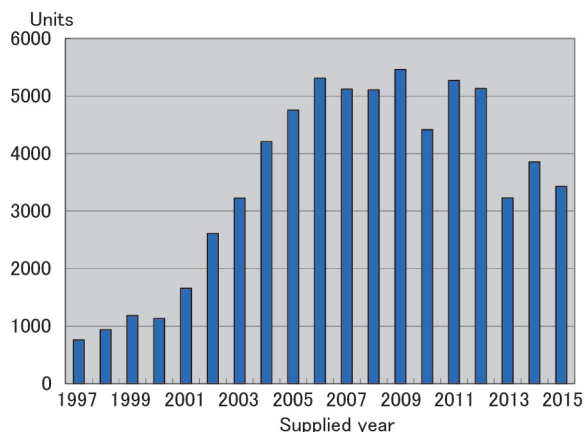


図10 CVT/CCの生産台数推移とUHV用CVT

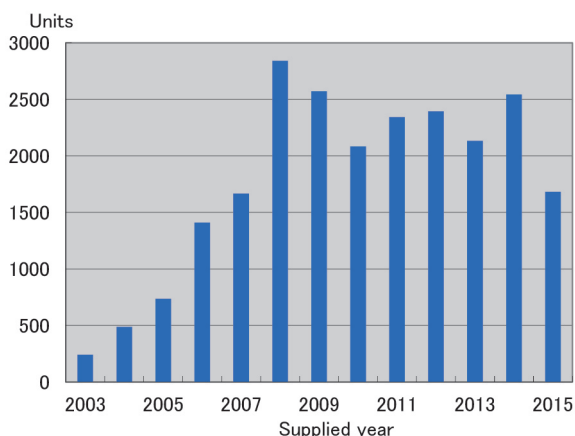


図11 ガスVTの生産台数推移とUHV用ガスVT

前述のUHVに関して、ガスVTも中国国家電網の要請を受け、UHV用ガスVTを2010年に開発した。このVTは中国の国家認証試験場で型式試験を実施、合格して世界初の1100kVクラスの高圧ガスVTとなった。UHV用ガスVTも2012年の運用開始から納入され、運転が続いている。(図11)

7. むすび

当社の変成器は60余年前のCVT開発から、常に電力需要の伸びに対応した機器の開発、改良を重ねてきた。現在は日本国内、海外とも送電に関わる状況が様々に変化していく中で、高度化する顧客の要求仕様への対応、設計検討の合理化、最適化、製造設備と検査設備の改良による更なる品質の安定化を図り、安定した電力供給に貢献する所存である。

参考文献

- (1) 植田 他：「計器用変成器最近の傾向と当社製品について」、日新電機技報、No.11、pp.3-17 (1960.1)
- (2) 「変成器特集号」、日新電機技報、Vol.24 No.2、(1979.4)
- (3) 「変成器特集号」、日新電機技報、Vol.30 No.4、(1985.11)
- (4) 狩野 他：「当社の変成器事業の歩みとグローバル展開」、日新電機技報、Vol.56, No.2 pp.3-16、(2011.11)

執筆紹介



小林 賢司 Kenji Kobayashi

電力システム事業本部
変成器事業部長



片岡 芳行 Yoshiyuki Kataoka

電力システム事業本部 変成器事業部
設計部 グループ長