

**特 集 論 文** [ 技術解説 ]

# 当社の変成器事業の歩みと グローバル展開

Business operation and Global development of Instrument  
Transformers in NISSIN

狩野 敬治\* 川淵 芳樹\*  
K. Kano Y. Kawabuchi  
小林 賢司\*  
K. Kobayashi

## 概 要

当社の変成器事業は、1952年にコンデンサ形計器用変圧器（CVT）を商品化したのを最初に1954年に碍子形変流器（CT）、1978年にGIS用ガス絶縁計器用変圧器（ガスVT）の商品化を行い、この3機種が変成器事業の3本柱になっている。国内での需要が減少したことで、海外生産を目指し、1995年中国でCVTの生産を開始、その後2002年に中国でガスVT、2004年にCTの生産を行い、2011年初めよりスペインでガスVTの生産を開始して現在に至っている。

ここでは、変成器事業の歴史と今後の展開について述べる。

## Synopsis

Nissin Electric Co. (Nissin) started its instrument transformer business in 1952, with the commercialization of capacitor voltage transformers (CVT). We subsequently commercialized current transformers (CT) in 1954 and gas-insulated voltage transformers (gas VT) for GIS in 1978. These three types of instrument transformers comprise the mainstream of current transformers business.

In accordance with the decrease of domestic instrument market in Japan, we shifted to overseas manufacture. At first CVTs joint venture business more started in China in 1995. Next Gas-VTs business for GIS more established as independent capital in 2002. Finally CTs business more established in 2004.

This paper describes the history and future prospects of our instrument transformer business.

## 1. はじめに

電力システム（発電、送電、配電）は経済の発展と生活の利便性を充足する為、大規模、複雑化し広範囲に分散した変電所の制御・保護には高度な情報伝達が必要である。電力システムを支障なく運転し、高品質の電力を維持するには、計測・制御・保護システムに高精度の電圧・電流の情報を提供する計器用変成器の役割が重要になっている。

当社はこの計器用変成器に関して、22kVから1100kVの電圧範囲のCVT、ガスVT、CTなどを製造し、世界の55カ国に納入してきた。

生産拠点として、日本、中国、スペインの3ヶ所があり、これらの地点を有効に活用して最適地生産と部材の最適地

調達による変成器事業を行っている。表1に当社の変成器の商品化と生産拠点の歩みを、表2に納入実績を示す。

## 2. コンデンサ形計器用変圧器（CVT）

当社の変成器事業の中で、最も歴史が古く納入数量の多いのはCVTである。CVTはコンデンサ分圧を利用した電圧を変成する機器で、絶縁信頼性が高く、電圧が高くなると巻線型のVTに比べ経済的に有利になるため、110kV以上のオープンタイプの変電所ではCVTが採用されることが多い。

当社では1952年に154kVのCVTを商品化して以来、各種の特性改善や価格の低減に注力し、その普及に貢献してきた。

\*電力機器事業本部

表1 変成器事業の歩みと生産拠点の推移

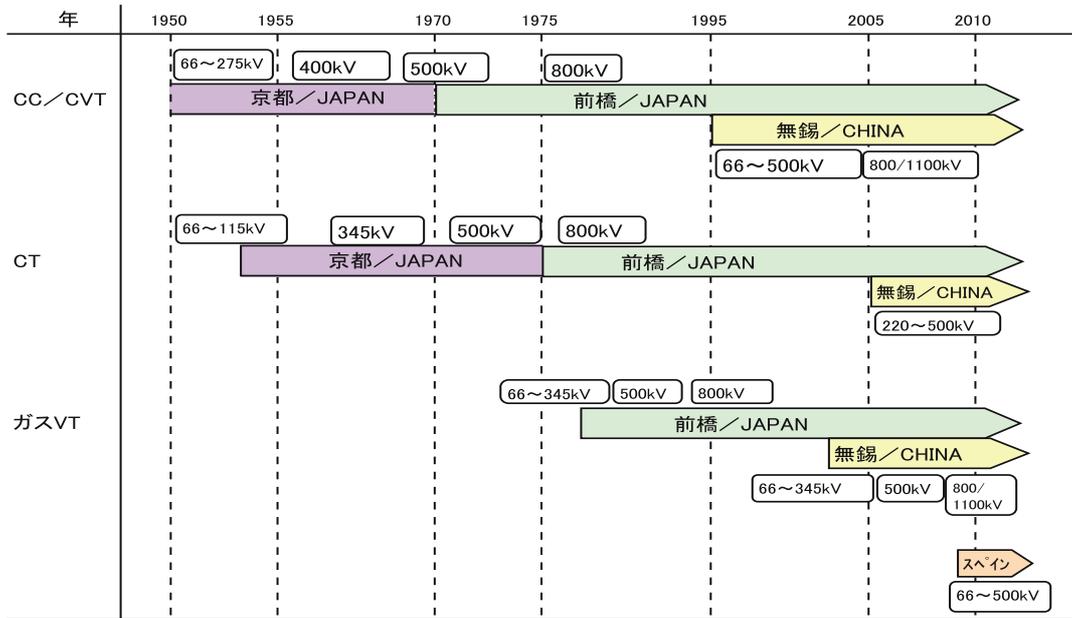


表2 変成器の納入実績

機種	生産地	電圧 [kV]	～1990	1991～1995	1996～2000	2001～2005	2006～2010	合計	総計
CVT	日本	33以下	1,875	84	40	51	22	3,947	57,841
		66～138	25,520	2,342	1,515	915	1,029	31,321	
		154～275	16,399	1,205	953	840	773	20,170	
		330～420	917	0	19	42	31	1,009	
		500以上	1,208	36	86	14	50	1,394	
CT	中国	66以下			23	722	2,003	2,748	44,778
		110			1,042	7,645	11,986	20,673	
		220			883	5,684	8,429	14,996	
		330			0	78	302	380	
		500以上			65	1,996	3,920	5,981	
ガスVT	日本	33以下	10,069	441	666	288	439	11,903	32,364
		66～138	10,278	456	833	236	346	12,328	
		154～275	4,639	773	539	445	338	6,734	
		330～420	697	11	3	49	79	839	
		500以上	241	58	93	141	27	560	
ガスVT	中国	110以下				0	15	15	268
		220/230				0	18	18	
		330/420				0	116	116	
		500以上				45	88	133	
		33以下	35	11	14	27	10	97	
	66～138	2,571	2,515	2,394	1,381	2,237	11,098		
	154～275	375	124	228	277	709	1,713		
	330～420	271	266	517	757	915	2,726		
	500以上	77	156	147	74	112	566		
	ガスVT	中国	33以下	30	152	339	204	221	946
66～187			1,325	1,002	1,015	1,065	1,931	6,348	
220～275			8	35	17	12	1	73	
66～110						350	2,825	3,175	
220						792	5,868	6,660	
ガスVT	中国	330				18	243	261	10,344
		500以上				8	240	248	
		66～110				379	2,859	3,238	
		3相							

当初は世界的には電圧の有無を検出する目的で使用されてきたCVTであったが、当社の技術開発により、CVTの欠点であった周波数特性、過渡特性（Memory Action）、鉄共振現象、碍管表面汚損時の誤差変動などを独自の技術で克服し、碍管汚損時の耐電圧向上、耐震性能の向上などを行い、さらには二次短絡保護方式や継電器誤動作防止装置など日本国内の需要家のニーズに合わせた技術開発の成果として、継電器用や電力需給用にもCVTが適用できるようになり、1970年には国内でほぼ独占の商品となった。

日本において1971年に500kVの送電が開始された時には、当社のCVTが全電力会社に採用され、これに対応するため1970年に前橋に専用の工場を建設し、併せて800kV級の機器の耐電圧試験と外部のノイズの影響を全く受けずに部分放電試験が可能な超高压試験所も建設した。

CVTはシステムの電圧を絶縁しているコンデンサ部と中圧クラスのコンデンサの分圧電圧を規定の二次電圧に変成する変圧器と、特性改善のためのリアクトルよりなる変成装置部に大別される。

変成装置部は大きな変化は無いが、コンデンサの絶縁は大きく変化してきた。国内向けは、1952年の商品化当初から2006年までは、クラフト紙(60 $\mu$ )と鉱物油を組み合わせた誘電体を用いていたが、2007年からはAll Filmと合成油を用いた誘電体構成に変更した。一方海外向けは1967年から1980年まではクラフト紙(25 $\mu$ )と鉱物油の誘電体としていたが、1980年からクラフト紙とポリプロピレンフィルムに合成油を組み合わせた構成のものを納入してきた。

当社のCVTは国内電力会社のニーズに対応して、諸外国のCVTと比べ独特の特徴を備えている。以下に代表的な事例を述べる。

## 2.1 CVTの諸特性

### 2.1.1 汚損時の誤差低減

CVTのコンデンサ部は磁器製の碍管に収納されており、図1に示すように、高電圧になると碍管を多段積にするが、普通構造では碍管の表面が汚損湿潤状態になると、漏洩電流がコンデンサ内部に流入/流出し、この漏洩電流の影響で誤差特性が悪化する。そこで当社では、碍管を多段積する際に、中間の金属金具と碍管内部のコンデンサ素子間を絶縁した、直結構造とすることで、碍管外部の漏洩電流がコンデンサ素子間に流入/流出することを防止して誤差特性を改善し、碍管表面の汚損湿潤時の計器指示、継電器の誤動作や、電力計の精度の改善を行っている。この構造を採用することで、日本国内では電力取引用の特別精密電力量計の電圧源として、110kV以上ではCVTが採用されている。

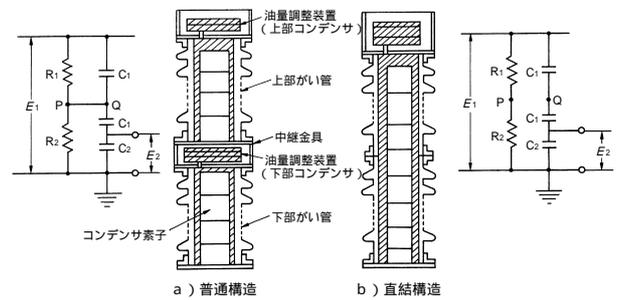


図1 がい管多段積みの構造

### 2.1.2 共振形二次短絡保護装置

CVTの特性改善のためCVTの変成装置にはリアクトルが用いられているが、CVTで二次短絡が発生すると、リアクトルにも過大な電流が流れ、過電圧が発生する。一般のCVTでは、このリアクトルの端子間に過電圧の保護のため、気中にギャップを設けることや、油中に避雷器を設けるなどの対策を行っている。当社は図2のようにリアクトルの誘導性インピーダンスと同じ値の容量性インピーダンスのコンデンサを気中ギャップを介して並列に接続して、二次短絡が発生しリアクトルの端子電圧が上昇しギャップが放電すると、並列共振回路を形成し、短絡電流を大幅に低減する。リアクトル及びコンデンサの端子電圧はCVTの分圧電圧まで上昇し、この電圧で安定する。

通常は電圧変成器の二次短絡が発生すると即刻二次短絡を除去するため、一次側のシステムを切り離す必要が生じるが、本方式を採用することでCVTの熱的な限界は30分から最大2時間に設計できるので、二次短絡が発生してもこの時間以内にシステムの切り替え操作などを行うことができ、安定化に寄与できる。

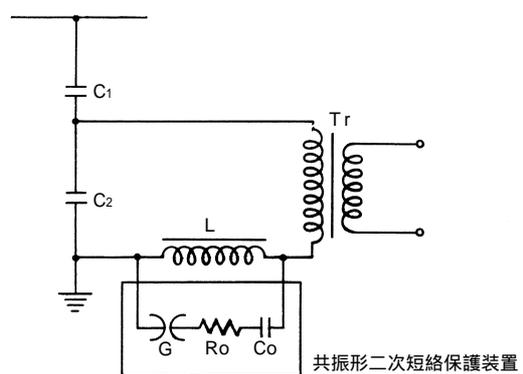


図2 共振形二次短絡保護装置

### 2.1.3 継電器誤動作防止装置(副変成器付CVT)

上記共振形二次短絡保護装置はCVTに二次短絡が発生しても、分圧電圧は殆ど変化しないことを利用して、一つのCVTから二つの独立した二次回路を持つCVTを発明した。

図3に示すようにコンデンサの分圧回路を共通としているA方式と分圧コンデンサを直列に2つ接続したB方式がある。

このようにして1台のCVTで2つの二次電圧を取り出すことで、CVTの二次側で短絡や断線などが発生し、一方の電圧が消滅した場合でも2つのCVTの二次電圧を電圧平衡継電器を使用して、システムの継電器が動作する前に、これをロックすることでシステムのミストリップを防止することができる。

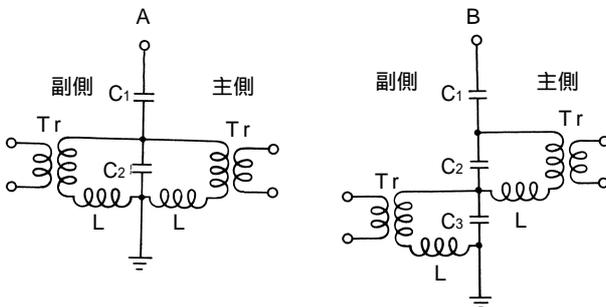


図3 副変成器付きCVTの回路構成

### 2.1.4 鉄共振抑制装置

CVTはコンデンサと鉄心を使用した変圧器が直列に接続されているため、鉄心の非線形インダクタンスの影響で直列鉄共振が発生することがある。鉄共振が発生すると過電圧による絶縁破壊、過電流による変圧器コイルや二次回路に接続されている計器や継電器の焼損、振動や唸り音の発生などがあり問題となる。

この抑制方法としては、種々の対策が試みられている。一般的に用いられるのは変圧器鉄心の磁束密度を低く(0.3~0.5テスラ)設計し、二次回路に並列に抵抗器の接続を併用する方式があるが、二次回路に定格負担と同等の抵抗器を接続するのは、CVTの構成上寸法・質量が大きくなり、経済的に不利になる。当社では世界に先駆け、図4の回路のようにCVTの二次側に可飽和リアクトルと抵抗器を直列に接続した鉄共振抑制装置を開発し、図5の如く可飽和リアクトルの飽和電圧と抵抗器の値を適切に選ぶことで、CVTの鉄共振を確実に、経済的に抑制することに成功した。

この可飽和リアクトルと抵抗器を用いた鉄共振抑

制装置の技術は、別の論文に示すガスVTの鉄共振の抑制にも応用されている。

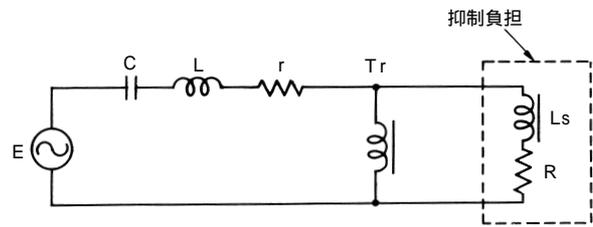


図4 CVTに接続された抑制負担

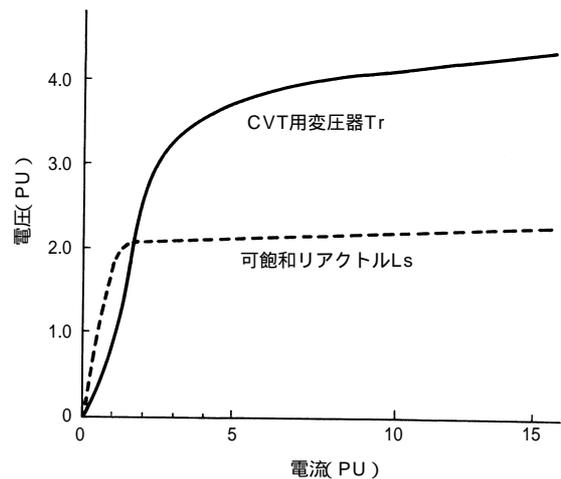


図5 CVT用変圧器および可飽和リアクトルの電圧電流特性

### 2.2 CVTの耐震性能

わが国は有数の地震国であるため耐震性能は重要であり、1960年代までは電力機器の耐震性能は当時の建築構造物の基準に倣い、重心位置に0.5G(質量の0.5倍)の水平力を加え、安全率を2.5倍以上とする静的計算を実施してきたが、1960年代後半に、次期送電電圧として500kVが計画されると、より精度を上げるため、共振周波数、減衰を考慮した応答倍数による動的耐震設計が行われるようになった。長大な碍管を使用する500kV用CVTの動的耐震性能を経済的に満足できる方法として、過酷な耐震仕様に対しては、図6のような画期的な懸垂形のCVTを開発し、モデルによる実加震試験と解析計算により実用化した。又、耐震仕様が通常な地域向けとしては図7の自立形の500kV CVTを引き続き開発し1972年より納入を開始した。

1978年6月に東北地方の電気設備に大きな被害をもたらした、「宮城県沖地震」を契機に275kV以下の電気設備に対しても、動的耐震設計の考え方が適用され、

CVTも設計の見直しと、代表的な機種について実際  
の加震試験を実施した。設計の基準となった0.3Gの共振  
周波数の正弦波を3波加える方法は、実際に観測され  
た地震の波形を加える場合に比べ過酷な条件であり、  
これが日本の電気設備の耐震条件となって現在に至っ  
ている。

### 2.3 CVTの耐汚損特性

日本の火力、原子力発電所は海岸近くに設置される  
ため、これに隣接する変電設備は塩分による汚損で、  
碍管の耐電圧が低下して外部閃絡の恐れがある。

電気協同研究第35巻第3号に碍管類は平均直径と等  
価塩分付着密度による汚損耐電圧の基準が定められ、

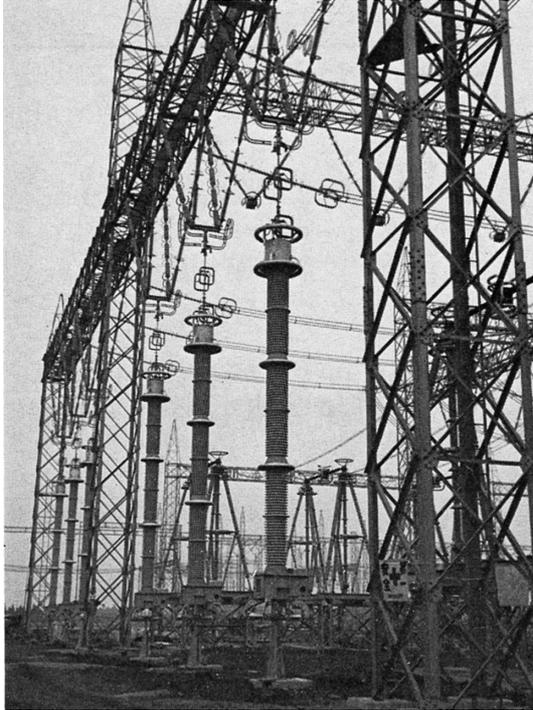


図6 500kV汚損地域懸垂形CVT

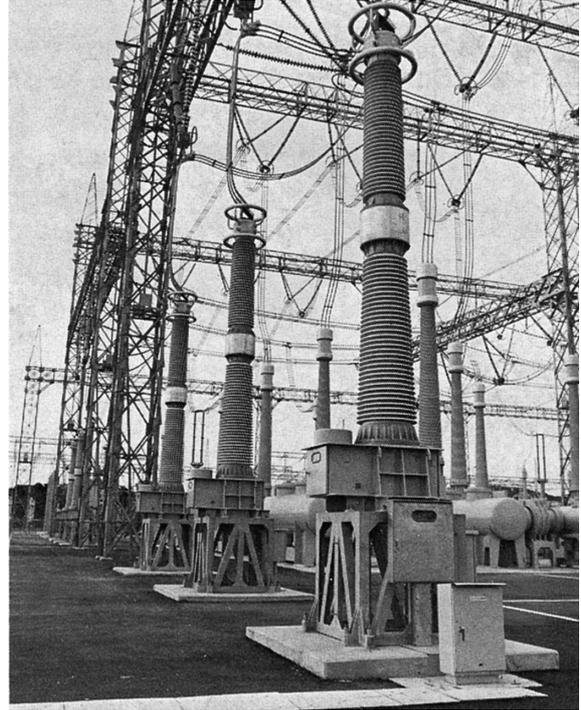
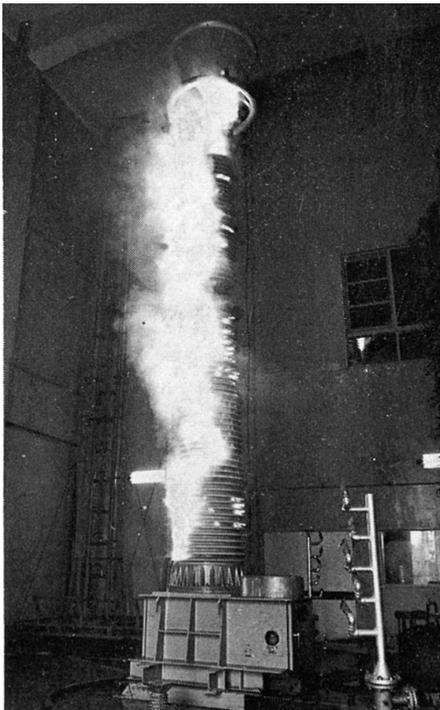


図7 500kV一般地域用自立形CVT



a) 等価霧中耐電圧試験



b) 洗浄耐電圧試験

図8 500kV CVTの汚損試験状況

当社のCVTもこれにより耐汚損設計を行っている。但し、CVTは碍管内部にコンデンサ素子が収納され、高さ方向にほぼ均等に電圧分担されるため、実際の汚損閃絡電圧は向上する。汚損が少ない程この傾向は顕著で、例えば等価塩分付着密度 $0.02\text{mg}/\text{Cm}^2$ では約30%、 $0.03\text{mg}/\text{Cm}^2$ で約20%、 $0.12\text{mg}/\text{Cm}^2$ で約10% コンデンサが収納されていない場合に比べ、向上するという実験結果を得ている。図8は汚損閃絡試験の状況である。

## 2.4 その他特殊CVT

### 2.4.1 電源用逆CVT

直列コンデンサの制御電源を、高電圧の絶縁架台上で得るための装置としては、光電変換を応用して光ファイバー方式も適用された例も有るが、経年変化で特性が悪化する難点があり、安定した電源として、当社は逆CVTを採用した。これは分圧コンデンサを高圧側に設けていることが特徴である。

### 2.4.2 増幅形CVT (アンプPD)

500kVのGIS用として開発したもので、GISのガスパ管路中に設けた分圧電極の電圧を電子式の増幅器を用いて規定の特性を得るものである。当社はGISに特有の高周波サージに対して、増幅器を保護するため、表3のBのように中間にサージを遮蔽する絶縁変圧器を設ける方式を採用し、実用化した。本装置は1978年より実系統で約30年の実績があるが、その後、ガスVTがGIS用電圧変成器の主流となり、多くの変電所で採用されるには至らなかった。但し、110kV以下のGISでは、検圧用の小型のアンプCVTとして、表3のAのような方式が多く使用されている。

## 3. 碍子形変流器 (CT)

当社の碍子形変流器は1954年に77kV用を商品化したことでスタートし、その後順次電圧や電流の定格を拡大し、1983年に800kV、4000Aの輸出用を納入するまでに発展してきた。碍子形変流器の構造は3種類に大別され、電圧、電流の定格において信頼性と経済性を考慮して、適用を区分している。表4に変流器 (CT) の構造区分と特徴を、図9から図11に代表例の写真を示す。

### 3.1 CTの特性

#### 3.1.1 定常誤差

CTの誤差特性を考える場合の等価回路は図12で示される。

図の回路においてCTの誤差は、使用している鉄心の励磁インピーダンス $Z_0$ に流れる電流 $I_0$ によるもので、二次電流 $I_2$ との比  $I_0 / I_2$  または、各分路のインピーダンス比  $(Z_2 + Z_b) / Z_0$  が絶対誤差で、この実効分が比誤差、無効分が位相角誤差となる。従ってCTの誤差特性を良好にするには、磁化特性の良い鉄心を使用して、励磁電流の少ない低磁束密度に設計する。

#### 3.1.2 過電流特性

保護継電器用CTの使用領域は、系統故障時の過電流が流れたときに対応するため、この時の誤差を表すものとして、過電流定数  $n$  が定義されている。通常のCTの規格では  $n$  の値は10または20でそれぞれ定格電流に対する倍数となり、定格負担が接続された状態で、この時の誤差は5%又は10%以下になるように決められている。図13に過電流特性の例を示す。

表3 電圧変成方法による比較

	構成	長所	短所
A		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 構成が簡単。</li> <li>2. 過渡特性、周波数特性がすぐれている。</li> <li>3. 小形である。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 高圧側と増幅器が絶縁されておらず、安全上問題があり、かつサージ、ノイズの影響を受けやすい。</li> <li>2. ケーブルの漂遊容量が<math>C_2</math>と並列に入り誤差に影響を与える。</li> </ol>
B		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 高圧側と増幅器は絶縁され安全であり、かつサージの影響を受けにくい。</li> <li>2. ケーブルの漂遊容量の影響はほとんどない。</li> <li>3. 増幅器は低入カインピーダンスでノイズの影響を受けにくい。</li> <li>4. 従来のCVTの技術が適用できる。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 過渡特性 周波数特性がCVT特性に制限される。</li> <li>2. <math>C_1</math>がAの方式にくらべ比較的大きな容量を必要とする。</li> <li>3. CVTの部分だけ大形となる。</li> </ol>

表4 CTの構造区分による適用・構造・特徴比較

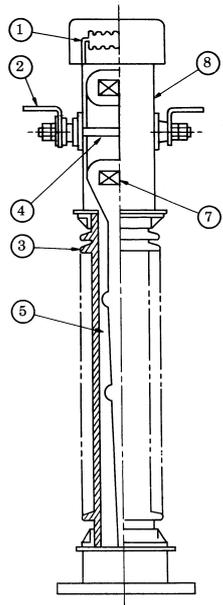
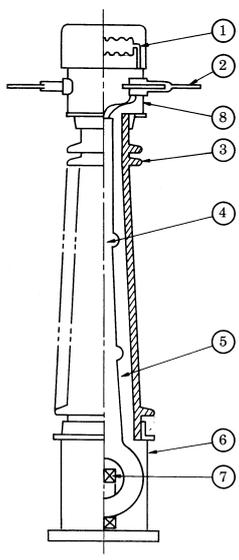
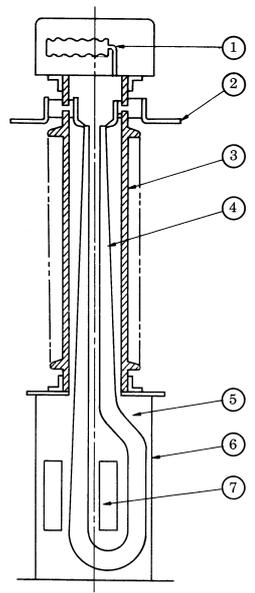
構造区分 項目	倒立形CT	アイボルト形CT	ヘアピン形CT
電圧階級	66～550kV	66～800kV	66～550kV
一次電流範囲	大電流域に適す(2,000～5,000A)	全電流域に適す(50～5,000A)	中電流域に適す(300～3,000A)
鉄心・二次コイル位置	充電部上部タンク内	下部タンク内(接地電位)	下部タンク内(接地電位)
機械的強度	鉄心、二次コイル、一次導体、絶縁物などほとんどが上部タンク内に収納されるため、CTの重量ががい管頭部に集中して重心が高く、厳しい耐震仕様を要求された場合には不利な構造である。	一次導体・絶縁物の大半と、鉄心、二次コイルが下部タンク内に収納されるため、CTの重量ががい管下部に集中して重心位置が低くなり、厳しい耐震仕様を要求された場合にも適した構造である。	アイボルト形CTと同様に、厳しい耐震仕様を要求された場合にも適した構造である。
構造図			
構造図説明	金属ペロー (油量調整装置) 一次端子台 がい管 一次導体 絶縁油 下部タンク 鉄心・二次コイル 上部タンク		



図9 115kV倒立形CT 58-5



図10 800kVアイボルト形CT 60-70

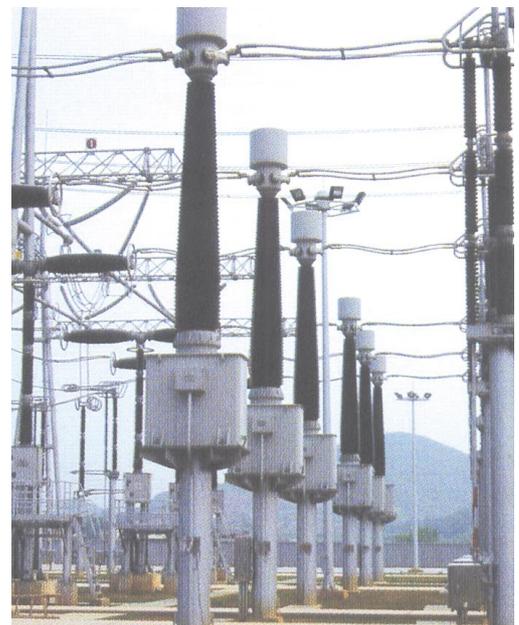
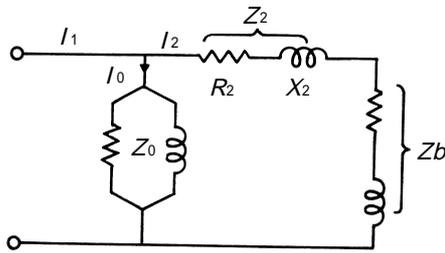


図11 500kVヘアピン形CT



- $I_1$  : 一次電流 (A)
- $I_2$  : 二次電流 (A)
- $I_0$  : 励磁電流 (A)
- $Z_0$  : 励磁インピーダンス ( )
- $Z_2$  : 二次漏れインピーダンス ( )
- $Z_b$  : 二次負担 ( )

図12 CTの等価回路

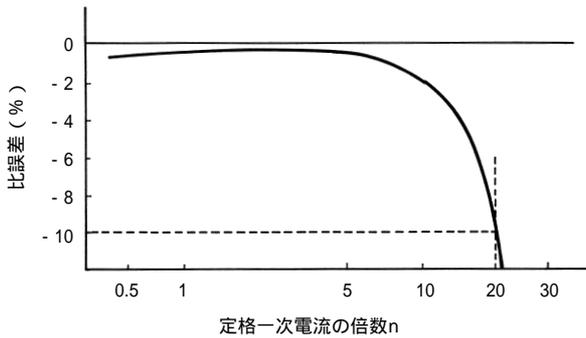


図13 過電流特性 (n > 20の場合)

### 3.1.3 過渡特性

超高压以上の系統の保護は高速化、高感度化が進んでおり、CTの特性もこれに対応したものが求められるようになり、故障時の過渡期の直流分を含んだ電流に対しても高精度に変成する必要がでてきた。

図14は系統故障時に見られる100%の直流分が重畳した電流波形で、この電流が流れると鉄心の磁束は図15のように、直流分により非常に大きくなり、励磁電流が増加してCTの誤差特性を悪化させる。従って、故障発生時保護継電器が動作するまでの時間内は鉄心が飽和しないよう、鉄心の断面積を大きくする必要がある。また、故障電流が遮断された後には、CTの鉄心中心に残留磁束が残り、極短時間に再開路が行われ、再度同極性の故障電流が流れると、鉄心は容易に飽和して二次電流は大きな誤差を生じる。この残留磁束を低減するために、鉄心内に磁気回路に対する適当な空隙を設ける対策が採られる。図16に空隙の有無による磁化特性の差を示す。CTの過渡特性はIEC60044-6に定義され、最も厳しいTPY仕様では、以下の項目が示される。

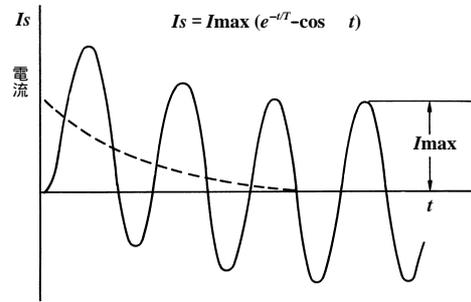


図14 故障電流

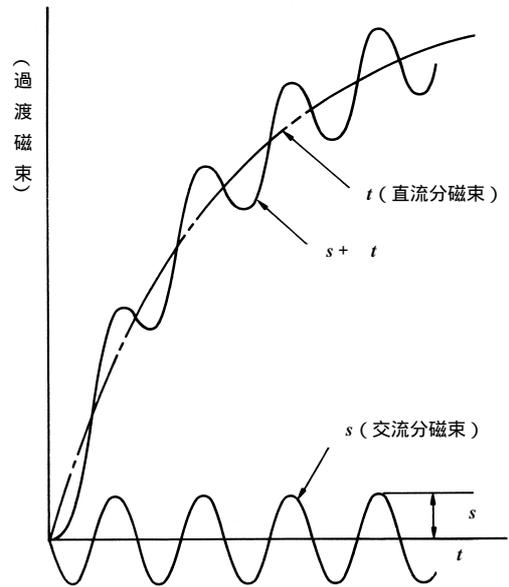


図15 過渡磁束

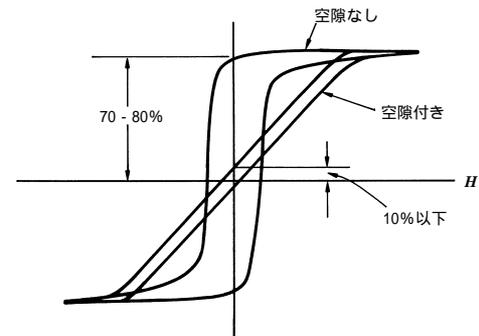


図16 磁化特性

一次回路時定数、再開路の回数 (C-O-C-O)、  
1回目の通電時間、1回目の誤差規定時間、再開路のインターバル、2回目の通電時間、2回目の誤差規定時間

図17は 100ms、C-O-C-O、100ms、40ms、400ms、100ms、40msの条件で試験をした結果の波形である。

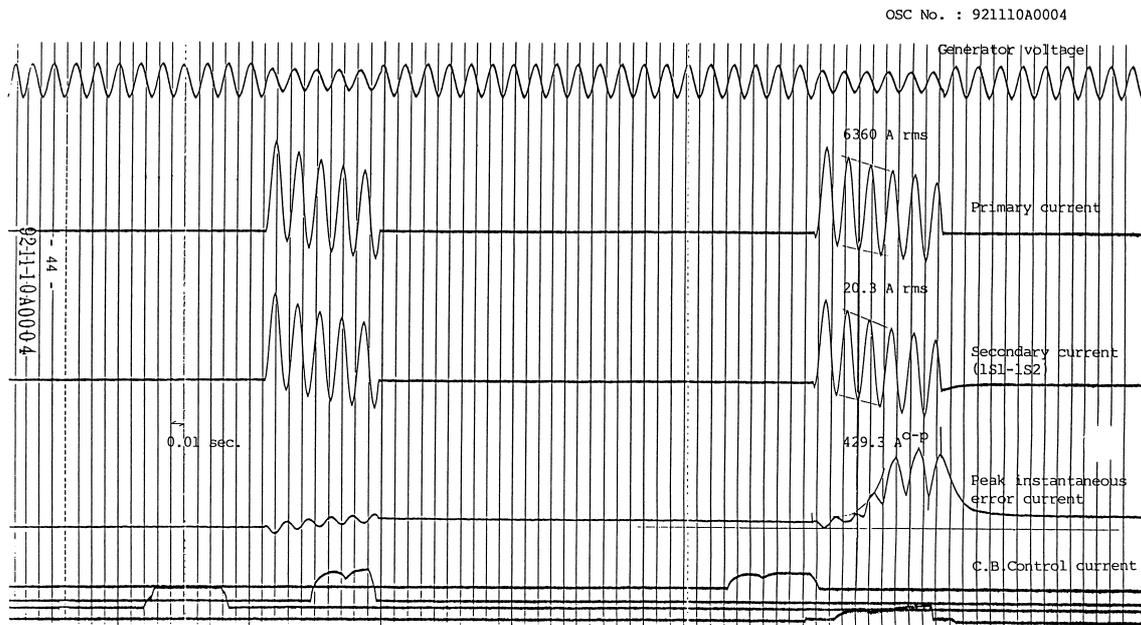


図17 TPY仕様の試験結果

### 3.2 温度上昇

CTには系統の電流が直接流れ、この電流による抵抗損と電磁誘導で起こる漂遊損により温度上昇が生じ、CTにおいては重要な要素になる。設計時に温度上昇値を正確に求めることは従来は困難であったが、最近では解析技術の進歩により、かなりの精度で、設計段階で把握が可能になった。

### 3.3 多頻度サージ試験

CTにおいては開閉サージや雷サージが多数印加される事により、絶縁性能が低下し油中分解ガスの発生や閃絡事故を起こす事例が海外において散見され、IEC規格に裁断波を規定の回数印加する試験が加えられた。

当社のCTはコンデンサコーンにより電界の集中を避けた電極構成と、高感度で部分放電を測定できる試験設備を備え、実系統で重大な事故を起こしたことは皆無であるが、超高压以上のCTにおいては型式試験としてこの試験を行い、試験後油中の分解ガスが発生しないことを確認している。

## 4. ガス絶縁計器用変圧器（ガスVT）

ガス絶縁開閉装置（GIS）が1970年代より使用され、わが国においては変電所の敷地面積の大幅な縮小、耐震性能、対塩害性能および保守の簡略化などで急速に普及してきた。

GIS用の電圧変成器として、国内では、当初は電圧の低いクラスではモールドVTが、高いクラスでは増幅形CVTが、全電圧クラスにGIS用の油入CVTが使用されていたが、モールドVTはボイドやクラックなどを生じ絶

縁信頼性が乏しく、増幅形CVTはサージに対する対策が困難なことで、別に安定した電源が必要で66kV～220kVの電圧では経済的にメリットが無い欠点があった。またGIS用に開発されたCVTは絶縁信頼性には問題ないものの、寸法・質量が大きくまた油を使用しているため、不燃性を特徴としているGISに適合していない欠点があった。一方当時ヨーロッパでは1975年頃よりガスVTが使用され始め、国内のGISメーカ各社がこれに着目してきたことで、当社はこのガスVTの先駆メーカである西独（当時）のメスバンドラバウ（MWB）社と技術提携を行い、1977年よりガスVTの生産を開始した。

1987年にMWB社との技術提携が終了すると、その後独自の技術開発を行い、1998年韓国の800kV GIS用ガスVT（図18）の納入、2011年に中国の（UHV）1100kV用（図19）の初号器への採用などで現在に至っている。



図18 800kV ガスVT 2000-77



図19 1100kV ガスVT 試験状況

ガスVTは従来の油入VTのコイルの層間絶縁物を絶縁紙からプラスチックフィルムに替えSF<sub>6</sub>ガスを封入したもので、GISと同じく絶縁の協調が図れることや、寸法・質量がCVTに比べ大幅に縮小できるメリットがある。図20に単相形の概略構造を、図21に三相一括形の概略構造を示す。

ガスVTを使用していく過程でいくつかの問題があったが、現在はこれらを全て解決し非常に信頼性の高い機器となっている。現在までに生じた問題と解決策の例を以下に紹介する。

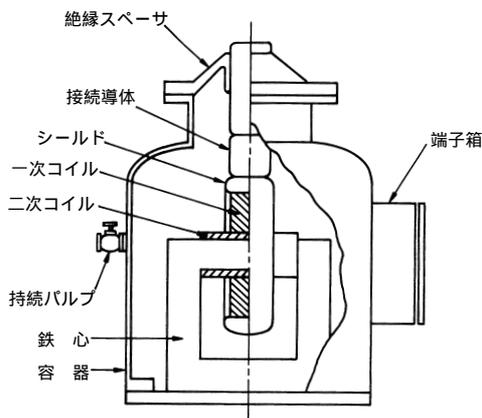


図20 単相形内部構造図

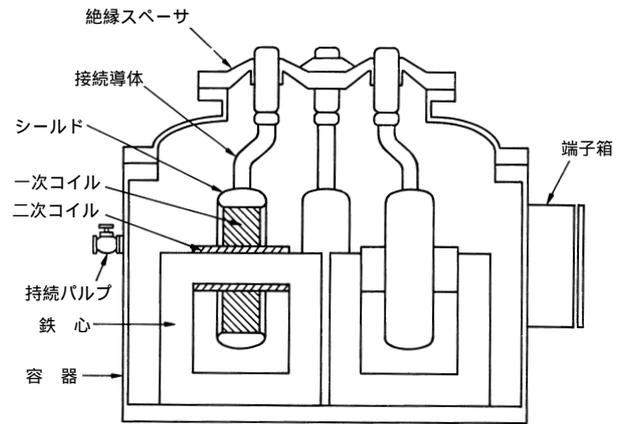


図21 三相一括形内部構造図

#### 4.1 コイルの機械的強度

ガスVTは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摩擦が少なく滑り易い。過去には輸送中や据付工事中の過大な衝撃力により、コイルが移動する不具合を生じた例と、三相一括形のVTにおいては、線路電荷の放電時の電流による電磁力でコイルが移動する不具合があった。これを解決するため、フィルムにエポキシ系の接着剤を塗布して、コイルの滑りに対する強度を格段に向上させた。

#### 4.2 線路電荷放電に対する対策

GISの線路側に設置されるガスVTは、線路遮断器を開放すると線路に蓄えられていた電荷は、VTの一次コイルを通して放電される。特に系統がケーブル系の場合や高電圧の長距離線路の場合は、放電されるエネルギーは非常に大きく、VTの鉄心は電荷放電時に飽和して、一次コイルに流れる電流は非常に大きくなる。非常に大きなアンペア回数により、コイルの内部や、三相器では他相との間に大きな電磁力が作用する。また大電流が一次コイルに流れることで、巻線の温度は異常に上昇する事になる。従って、VTの仕様や電荷放電の条件は必ず確認する必要がある。

又、架空線路が日本の冬季雷の様に非常に長い時間の雷放電の直撃を受けた場合は、VTの一次コイルに流れる電流はさらに大きくなり、電磁力によるコイルの異常も発生することがあるので、注意が必要である。当社がガスVTはこのような条件でも問題ない対策も考慮している。

#### 4.3 ガスVTの鉄共振対策

ガスVTは系統の条件でコンデンサ分圧が形成されると、CVTと同様な回路となり鉄共振が発生することがある。

線路用のVTは異なる電圧の送電線が平行(上下)して設置される、いわゆる併架系の場合上位系統の送電

線とVTが接続された下位系統の送電線との間で $C_1$ ができ下位系統の送電線と大地の間で $C_2$ が形成され、図22及び図23に示すようにCVTと同様の電気回路になる。

母線用のVTにおいては、遮断器の極間にコンデンサを設けたもの（多点切CBのイコライザコンデンサ又はSLF改善用コンデンサ）を開放時電源側との間に $C_1$ が、母線と接地電位の管路との間に $C_2$ が形成され、図24及び図25のようにCVTと同様な回路が形成される。

この鉄共振の対策については、別の論文で詳しく述べる。

#### 4.4 二次移行サージの低減

GISの断路器を開閉する際には、非常に高い周波数のサージが発生し、ガスVTの二次側に移行して、VTの二次回路や接続されている計器や継電器に障害を与えることが発生した。この対策として、遮蔽板の設置やガス中の二次側の電線に工夫を施すなどで、問題を解決し、IEC規格にも適合している。又、非常に高い周波数の電圧を測定する方法についても実験を重ねてこれを確立している。

#### 4.5 切離し装置付ガスVT

GISの現地試験で交流の高電圧を印加する場合、ガスVTの鉄心が飽和して電圧を印加できないケースがあり、これを切り離すには特別な処理を行う必要が有るため、顧客やGISメーカーから対策を要求され、VT内

部に切離し装置を設けたガスVTを開発した。詳細内容は別の論文で述べる。

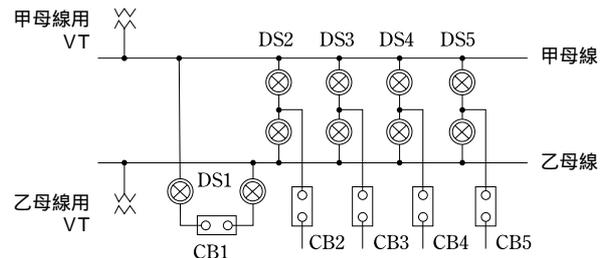
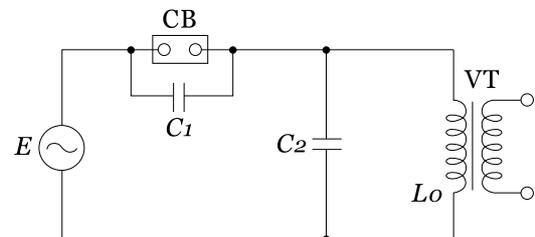
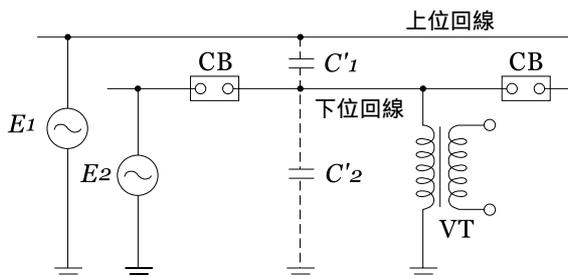


図24 母線構成図



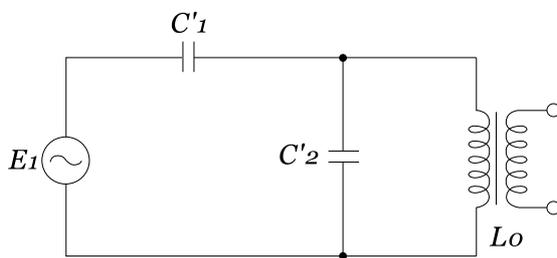
E : 電源電圧  
CB : 遮断器  
C<sub>1</sub> : 遮断器の極間静電容量  
C<sub>2</sub> : 母線の対地間静電容量  
VT : ガス絶縁VT  
L<sub>0</sub> : VTの励磁インダクタンス

図25 等価回路



C<sub>1</sub> : 上位～下位回線間の静電容量  
C<sub>2</sub> : 下位回線～大地間の静電容量  
E<sub>1</sub> : 上位回線電源  
E<sub>2</sub> : 下位回線電源

図22 併架送電系統概念図



L<sub>0</sub> : VTの励磁インダクタンス

図23 等価回路

## 5. グローバル事業展開

### 5.1 中国展開

#### 5.1.1 CVT

当社の変成器の海外生産は、1995年に中国無錫市の国有企業である「無錫電力電容器廠」と合併会社「無錫日新電機有限公司」を設立しCVTを生産したのが最初であった。海外生産拠点はタイ、台湾に次いで3番目であり、当時中国へ生産拠点をすることは社内でも賛否両論があり、FS（可行性研究）時点では政治は共産主義、経済は資本主義の入り口の状態、合併会社設立交渉は困難を極めたが、中国の電力の伸びを考えると非常にタイムリーな進出であったと考えられる。合併会社の出資比率は双方マジョリティを主張したので50% / 50%で決着し、董事長は中方、総経理は日方で運営するものとした。当初は中国の今までの製品をOEM生産しながら、日新の技術を取り入れ中国の材料を採用した新型のCVTを設計し、中国の型式認証を取得後1997年より新型CVTを納入開始して順次切り替えを行い、1999年には完全に日新電機設計のCVTに移行し、併せて

工場の管理システムも国有企業体質を払拭して、日本式の管理に移行した。

表2に中国工場でのCVTの生産台数の推移を示す。

設立当初は500台/年程度であった生産台数は、2000年には1500台/年となり合弁会社の敷地内に工場を増設した。2003年以降は中国国内のシェアは約40%となり2004年に4000台/年まで生産台数は増加し、さらに受注の増加が見込まれたため、無錫市新区の工業開発区の2002年に新たに設立したガスVT用の工場敷地内に、CVT用の工場を建設し、そちらに移転した。新工場では2005年以降5000台/年超の生産を行えるようになった。

この間中国の送電電圧の高電圧化に対応し2004年には750kV用CVT(図26)を開発し、2009年にはUHV(1100kV)用(図27)も順次開発した。これらの開発は日本人の駐在員も参画したが、殆どはこの間育成してきた中国人のスタッフにより行われた。



図26 750kV CVT



図27 1100kV CVT

### 5.1.2 ガスVT

当社は2000年以前より中国のGISメーカーに110kV、220kVのガスVTを輸出していたが、中国でもGISの需要が急増することと、CVTの事業が奇跡的に成功を収めたことを踏まえて、2002年4月に無錫市国家工業開発区に独资でガスVTの生産を行う「日新(無錫)機電有限公司」(NEW)を設立した。

2002年当時は中国国内には、安定してGIS用ガスVTを供給できるメーカーは外資系の1社のみであったため、今まで当社製のガスVTを採用して頂いていたGISメーカーに限らず、中国の全GISメーカーに歓迎して頂き、受注は好調にスタートできた。

生産設備、検査設備は当初は日本より持ち込み、主要な材料は日本製として、日本製と全く同品質の商品により国家型式試験に合格後、中国での本格生産を2003年より開始した。表2に中国でのガスVTの生産台数を示す。

当初は110kV/220kV用が主であったが、以降中国製GISの高電圧化が進むのに合わせて330kV、500kV、800kVを生産し、2010年には図28に示すUHV(1100kV)用まで順調に拡大してきた。又、800kV、1100kV級は従来の工場では製作が困難なため、2010年に同じ敷地内に図29の超高压ガスVT専用の工場を新設した。

設立当初の顧客は国内の大手国営GISメーカーと中国の日系GISメーカーの6社であったが、現在はGISメーカーが年々増加し15社程度にガスVTを供給するに至っている。又、ガスVTメーカーも2003年には当社を含めた外資系2社が90%程度のシェアであったが、純国産のメーカーの台頭やGISメーカー自身がガスVTを内作するようになり、ガスVT市場の地図は大きく塗り替えられている。



図28 1100kV ガスVT



図29 超高压ガスVT工場

### 5.1.3 CT

当社は中国に500kVのCTを中心に2004年まで輸出を続けてきたが、ガスVTが軌道に乗ってきた2004年に、CTも中国で生産することを検討した。CTは容易に系統から切り離すことが出来ない直列機器であり、又、欧米や中国において多くの当社製以外のCTが爆発する事故を経験している事もあり、信頼性の確保に留意した。CTにおいて最も絶縁信頼性に重要なのは、高電圧が加わる一次導体の絶縁であり500kVCTについてはこれを日本で製作し、真空包装して専用コンテナで輸送して、中国で生産のその他の部位と組み合わせる方法で、中国生産に踏み切った。2005年から2010年の間に表2の通り268台を製作し納入した。

最近は大高の影響を受けて、最重要の一次導体を日本より輸入するとコストが上昇し、受注が困難な状況にある。CTはCVT、ガスVTと異なり中国に数100社を超えるメーカーがあり、競争が熾烈なことから、220kV以下では品質より価格が優先される傾向があるため、中国国内の販売でなく従来日本で生産していた、アセアン諸国向けのCTを中国で生産する方向で考えている。

### 5.2 欧州（スペイン）展開

欧州、特にEU諸国の変成器メーカーは大手電機グループ傘下に多く、当社の変成器は殆ど納入されていない状況である。スペインの中堅変成器メーカーのArteche社は油絶縁のCT、CVT、VTやモールド変成器を多数生産しているが、GIS用のガスVTを生産していないため当社とガスVTの合資会社（Arteche Nissin SL）を2010年に設立し、今後、EU諸国やロシアなど欧州のGISメーカーに500kV以下のガスVTを販売していく。

2011年初めに工場が完成し、ガスVTの生産を開始した。



図30 スペインANSL工場



図31 ANSL工場内部

## 6. あとがき

当社は高電圧の変成器（CVT、CT、ガスVT）に関して、常に世界の系統の最高電圧までの開発・納入を目指し、設計能力、生産設備、検証設備の向上に努めてきた。

設計では電界解析、耐震強度、熱流解析など各種の解析技術を駆使し、合理的な検討を実施している。生産設備および検査設備は自動化、省エネルギー、Man - Machineの最適化を行い、安定した品質の製品を生産できるようにしている。又、品質保証体制をより強固なものにするため、日本の試験場は国際的に認められたSTL認証の取得を2011年中に行うよう進めている。

今後、日本（群馬県前橋市）、中国（江蘇省無錫市）、スペイン（ピトリア市）の3箇所の生産拠点にて、グローバルに事業を展開していく所存である。

執筆者紹介

---



**狩野敬治** Keiji Kano  
電力機器事業本部  
変成器事業部  
技師長



**川淵芳樹** Yoshiki Kawabuchi  
電力機器事業本部  
変成器事業部  
副事業部長（スペイン駐在）



**小林賢司** Kenji Kobayashi  
電力機器事業本部  
変成器事業部長