

# ガス絶縁開閉装置（GIS）用避雷器

戸田成是 Nariyoshi Toda

キーワード GIS用避雷器, 高抵抗酸化亜鉛素子, 小形・軽量化

## 概要



日本初の500kV系統用GIS用避雷器の課電試験風景

ガス絶縁変電所用の避雷器ユニットは、1990年中頃までは3柱並列構造で、導通経路は直列となる設計で小形化を実現し製品化してきた。その後、高抵抗酸化亜鉛素子（以下、高抵抗素子）の開発によって簡易でコンパクトな構造を実現した。

酸化亜鉛素子を生産しているメーカーは世界中に多数存在しているが、避雷器ユニットの小形・軽量化に欠かすことのできない高抵抗素子を生産できるメーカーは数社しか存在していない。

当社はこの高抵抗素子を使用した避雷器ユニットと、これらを組み込んだGIS用避雷器を生産・販売しており、避雷器ユニットは国内外へ20,000相以上納入している。

## 1 まえがき

避雷器は、電力系統で発生する過電圧から変圧器・開閉器などの電力機器を保護し、電力供給に支障をきたさないようにする重要な役割を担っている。

現在、世界の電力用避雷器の主流となっている酸化亜鉛形ギャップレス避雷器（以下、酸化亜鉛形避雷器）を、当社が世界に先駆けて開発・実用化した。酸化亜鉛形避雷器は特性要素に酸化亜鉛素子を用いた避雷器で、非常に優れた非直線な電圧－電流（V-I）特性を有している。

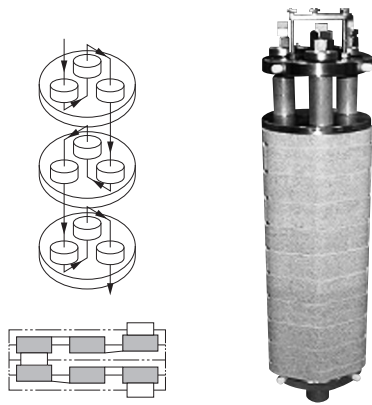
この酸化亜鉛形避雷器の出現で、雷などによる過電圧を原因とする停電事故が大幅に減少した。また優れた非直線V-I特性によって過電圧が低減できるため、電力系統の絶縁設計レベルをより低く設定できるようになった。これにより変電機器の小形化が実現し、大きな経済的効果をもたらしている。

一方、近年では気中変電所よりも縮小化して運用できるガス絶縁変電所が普及拡大しているが、GISは温暖化係数がCO<sub>2</sub>の23,900倍の六フッ化硫黄（SF<sub>6</sub>）ガスを使用しているため、環境への配慮などから更なる縮小化が進められている。本稿では、近年普及拡大し変電所のコンパクト化に貢献しているGIS用避雷器を紹介する。

## 2 当社製GIS用避雷器の歴史

当社は、1975年に世界で初めて磁器がいし形の酸化亜鉛形避雷器を製品化し、GIS用避雷器をその1年後に製品化して販売を開始した。1979年には日本で初めて500kV系統用のGIS用避雷器を開発し、納入した。

当初、GIS用避雷器ユニットは単柱構造だったが、定格電圧が高くなると全長が長くなるため、小



第1図 3柱構造の導通経路と外観

3柱構造で導通経路は単柱と同様な構造とし、GIS用避雷器ユニットを小形化した。

形化が急務であった。そこで3柱並列構造で導通経路は直列となる設計を採用し、GIS用避雷器の小形化を実現した。第1図に3柱構造の導通経路と外観を示す。

しかし、この3柱構造は長さを短くできるが単柱構造と比較して構造が複雑で、避雷器ユニット組み立ての作業性が悪く、外径が大きくなってしまふ欠点があった。その対策として、当社では高抵抗酸化亜鉛素子（以下、高抵抗素子）の開発に着手した。

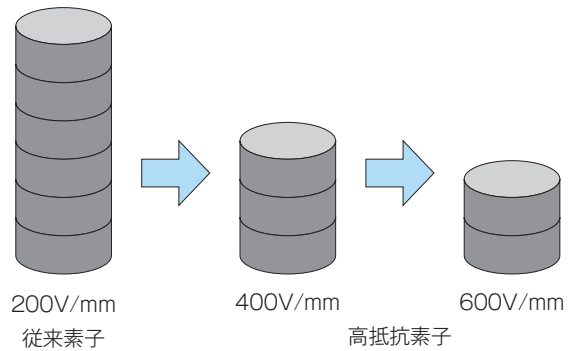
### 3 高抵抗素子の開発

高抵抗素子は、単位長さ当たりの動作開始電圧が高い。このため、高抵抗化によって規定の動作開始電圧を得るために必要な素子数を減らすことができ、避雷器の小形化を実現できる。第2図に従来素子と高抵抗素子の素子使用数量のイメージを示す。

酸化亜鉛素子は、 $10\mu$ 程度のZnO粒子とその粒子を取り囲む粒界層で構成されている。素子の動作開始電圧は、素子の上下にある電極間の粒界層の数に比例する。このため素子を高抵抗化するには、ZnO粒子を小さくし、粒界層の数を増やす必要がある。第3図に従来素子と高抵抗素子の微細化モデルを示す。

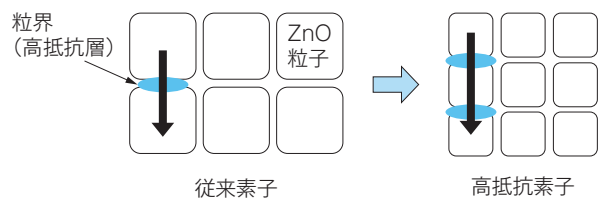
当社は素子を高抵抗化するため、配合及び焼成の工程で以下の改善を行った。

(1) 配合 原料の選定・配合の最適化



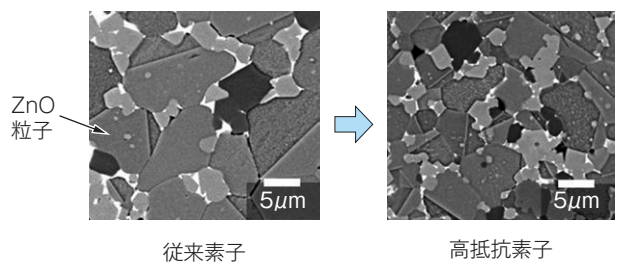
第2図 従来素子と高抵抗素子の素子使用数量のイメージ

従来素子（200V/mm）に対して、高抵抗素子を使用すると素子数を400V/mmで1/2に、600V/mmで1/3にすることができる。



第3図 従来素子と高抵抗素子の微細化モデル

ZnO粒子を微細化すると粒界の数が増えるため、素子を高抵抗化できる。



第4図 従来素子と高抵抗素子の微細構造

従来素子に比べて高抵抗素子のZnO粒子が微細化されていることが分かる。

(2) 焼成 粒成長の抑制・粒界層の制御

またエネルギー耐量を向上させるため、破壊モードの解析を行い、側面絶縁などを改善した。

このような改善によって、ZnO粒子を微細化した信頼性の高い高抵抗素子を開発した。第4図に従来素子と高抵抗素子の微細構造を示す。

酸化亜鉛素子を生産しているメーカーは全世界に多数存在しているが、その大部分は従来素子しか生産していない。高抵抗素子を開発するには、粒成長の抑制や粒界層の高度な制御及びエネルギー耐量の向上、側面絶縁強化の技術が必要となる。このため、

**第 1 表 従来素子と高抵抗素子の避雷器ユニット比較**

500kV 系統用に従来素子を使用した 3 柱構造と、高抵抗素子を使用した単柱構造の GIS ユニットの比較を示す。高抵抗素子を使用すると素子枚数が 50%、質量が 70%減少している。

		ZSE-C3FT (従来素子)	ZSE-G4FT (高抵抗素子)
素子枚数 (枚)		138	69 (50%減)
素子 ユニット	ユニット全長 (mm)	2000	1830 (10%減)
	ユニット質量 (kg)	390	130 (70%減)
素子ユニット構造		3 柱構造	単柱構造
ユニット外観			

高抵抗素子を生産できるメーカーは全世界に数社しか存在していない。

第 1 表に 500kV 系統用に従来素子を使用した 3 柱構造と、高抵抗素子を使用した単柱構造の避雷器ユニットの比較を示す。高抵抗素子の適用で素子数量は 50%減となり、構造の簡素化及び部品点数の削減で質量は約 70%低減した。

## 4 当社製 GIS 用避雷器の紹介

当社の GIS 用避雷器は、当社の変電機器工場及び中国の明電舎 (鄭州) 電気工程有限公司 (MEIDEN ZHENGZHOU ELECTRIC CO., LTD. (MZE)) で生産・販売している。

### 4.1 当社で生産する国内向け GIS 用避雷器

第 2 表に日本国内向けに販売している ZS-D シリーズの主要定格を示す。このシリーズは高抵抗素子を使用した単柱構造の避雷器ユニットで定格電圧 280kV (系統電圧 275kV) までシリーズ化し、当社製開閉器への組み込み用のほか、各 GIS メーカーへ販

**第 2 表 ZS-D シリーズの主要定格**

ZS-D シリーズは高抵抗素子を使用した単柱構造の避雷器ユニットで、定格電圧 280kV までシリーズ化して販売している。

避雷器の種類	標準特性	高性能	高性能	高性能
定格電圧 (kV)	28 ~ 42	84 ~ 140	84 ~ 196	182 ~ 280
公称放電電流 (KA)	10			
開閉サージ放電耐量クラス	D	C	BB	B
放電耐量 (雷インパルス)	65kA, 2 回 (4/10 $\mu$ s波)			

**第 3 表 海外向け GIS 避雷器ユニットの主要定格**

定格電圧 60kV ~ 468kV までの GIS 避雷器ユニットをシリーズ化して販売している。

Type of SORESTER	ZSE-G2FT	ZSE-G3FT	ZSE-G4FT
Rated voltage : Ur (kV)	60 ~ 288	90 ~ 216	360 ~ 468
Max. continuous operating voltage : MCOV (kV)	0.8Ur	0.8Ur	0.8Ur
Nominal discharge current (kA)	10	20	20
Line discharge class	3	4	5
Discharge current withstand capability (kA)	100	100	100
Energy absorption capability (kJ/KV- arrester rating, Within one minute)	7.9	13	16.5

売している。また、現地での耐電圧試験時に避雷器ユニットを系統から切り離すことができるように、断路機構付きの避雷器ユニットも販売している。このシリーズは、1998 年の販売開始から 4000 相以上の納入実績がある。

### 4.2 当社で生産する海外向け GIS 用避雷器

海外向けは、IEC 60099-4 (2009) に準拠した定格電圧 60 ~ 468kV までの避雷器ユニットをシリーズ化している。第 3 表に海外向け GIS 避雷器ユニットの主要定格を示す。この ZSE-G シリーズは国内向けに使用している素子を更に高抵抗化し、2011 年の販売開始から 1000 相以上の納入実績がある。

また、MZE は高抵抗素子を中国でいち早く生産



第5図 500kV系統用のGIS用避雷器

MZEで生産している500kV系統用（単相形）のGIS用避雷器を示す。

.....



(a) 220kV



(b) 110kV

第6図 220kV・110kV系統用のGIS用避雷器

MZEで生産している220kV系統用（単相形）・110kV系統用（三相一括形）のGIS用避雷器を示す。

し、小形・軽量化を図ったコンパクトタイプのIEC規格・GB規格に準拠したタンク形GIS用避雷器を開発した。

第5図にMZEで生産している500kV系統用のGIS用避雷器を、第6図に220kV・110kV系統用のGIS用避雷器を、第7図に今年開発した150kV系統用のGIS用避雷器を示す。納入実績は、500kV



第7図 150kV系統用のGIS用避雷器

今年開発した150kV系統用（三相一括形）のGIS用避雷器を示す。

系統用で37台、220kV系統用で4400台、110kV系統用で3500台（避雷器ユニット10,500相）である。

## 5 むすび

当社製GIS用避雷器の歴史、高抵抗素子及び小形・軽量化を実現したGIS用避雷器を紹介した。

今後、GISは環境への配慮から更に小形化が求められるため、素子の更なる高抵抗化を実現し、GIS用避雷器の小形化を進めていく。

またGIS用避雷器に限らず、磁器がいし形やポリマーがいし形の避雷器も小形化し、コンパクトな避雷器を国内外へ幅広く提供することで電力設備の安定化及び地球環境の保全に貢献していく。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

### 《執筆者紹介》



戸田 成是  
Nariyoshi Toda

変電機器工場  
避雷器の開発に従事