

# 300 kV 複合碍管ガスブッシング

300 kV Composite Insulator Gas Bushing

緒志 哲郎  
T. Oshi

東 誠司  
S. Higashi

松本 聡  
S. Matsumoto

尾形 和俊  
K. Ogata

単体形ガス遮断器 (GCB) やガス絶縁開閉装置 (GIS) の気中側接続部には、従来から磁器碍(がい)管を用いたブッシングが使用されてきたが、近年、FRP (繊維強化プラスチック) の絶縁筒にシリコンゴムなど有機絶縁物を笠(かさ)材として用いた複合碍管ブッシングが注目されるようになってきた。複合碍管ブッシングは、機器の軽量化とこれに伴う耐震性の向上、および防爆性能の向上を図れるとともに、特に高電圧クラスでは、磁器碍管ブッシングに比べコストダウンも見込まれている。当社はすでに 300 kV-4 kA 級の複合碍管ガスブッシングで一連の開発試験を完了し、このクラスでわが国初の製品を東京電力㈱西毛変電所に納入した。

Toshiba has developed a 300 kV-4 kA composite insulator gas bushing, which has been in commercial use for a dead tank type gas circuit breaker in The Tokyo Electric Power Co., Inc. (TEPCO) since November 1996 as the first application of this type of bushing in Japan. The mechanical and dielectric performance of the new bushing were verified in development tests. To verify the dielectric strength in polluted condition, a wet contaminant flashover test and a clean fog test under a constant voltage were carried out.

## 1 まえがき

単体形 GCB や GIS などの高電圧機器と架空線との接続に用いられるブッシングは、現在、日本電気工業会規格 (JEM 規格) に定められた磁器碍管を用いている。この磁器ブッシングは、長年の技術的蓄積を基に安定した性能をもつ一方で、重量が重く機器の耐震設計の制約となることが多い。また、内部に絶縁性ガスを高圧で封入したガスブッシングのような場合、万一衝撃荷重を受けると、磁器部分がぜい性破壊し内部ガス圧力により碍管が破壊するなど設計に配慮すべき点があった。一方、近年欧米を中心として、シリコンゴムなどの絶縁物の笠カバーと FRP の筒から作られた複合碍管を使ったブッシングが注目されている<sup>(1)</sup>。この複合碍管ブッシングは、磁器ブッシングにおける設計上の制約を軽減するものと期待され、わが国でも今後適用拡大が見込まれている。

ここでは、複合碍管の技術的特長と開発のポイントおよび今回開発を完了した 300 kV-4 kA 級の複合碍管ブッシングの各種検証状況を中心に紹介する。

## 2 複合碍管ブッシングの構造と特長

図 1 に当社がわが国で初めて製品化した 300 kV-4 kA 級の複合碍管ブッシングを採用した GCB を示す。従来のブッシングと比較して複合碍管ブッシングは大幅な軽量化が実現されている。以下に構造と特長を説明する。

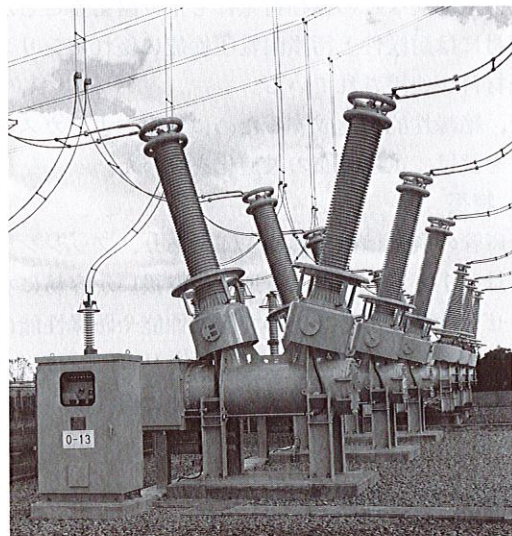


図 1. わが国初の 300 kV 複合碍管ブッシングを採用した GCB 複合碍管ブッシングを使うことにより耐震性、防爆性が向上する。  
Japan's first 300 kV gas circuit breaker incorporating composite insulator bushings

### 2.1 構造

複合碍管ブッシングは、図 2 に示すように高圧導体を絶縁支持していた磁器碍管に代わり複合碍管で絶縁支持するものである。

複合碍管は FRP 製の内部筒とこれを被覆するゴム製笠カバーの二種類から成る絶縁部品から構成され、両者は強固



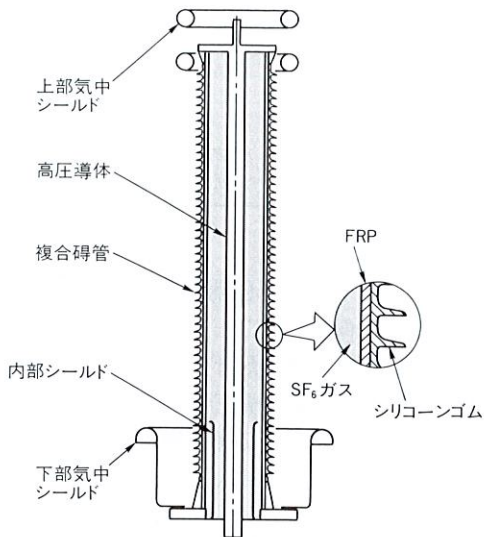


図2. 複合碍管ガスブッシングの構造 FRP製の筒とシリコーンゴム製のカバーから構成された複合碍管の採用により、大幅な軽量化を達成した。

Structure of composite insulator gas bushing

に接着されている。筒部のFRP材は軽量で、しかも機械的な強度が優れているため、内部に封入されたSF<sub>6</sub>ガスによる内部圧力や地震などの振動荷重にも十分耐えることができる。笠材には耐候性と汚損耐電圧性能に優れたシリコーンゴム系材料が使用されている。

また、絶縁性能を達成するために気中およびガス中にシールドを設けて電位分布の最適化を図った。

## 2.2 特長

複合碍管の質量は磁器の約1/4であり、ブッシングとしての質量は1/2以下となり、運搬や取扱いが容易になる。また、ぜい性破壊をしないので耐震性能や防爆性能に優れている。また、笠材として使用したシリコーンゴムは表面の高い撥(はっ)水性により耐汚損性能に優れている<sup>(2)</sup>。

## 3 開発仕様と設計コンセプト

### 3.1 開発仕様

今回開発した300kV複合碍管ブッシングの基本仕様を表1に示す。また、適用した複合碍管の寸法諸元を磁器碍管のものと比較して表2に示す。

### 3.2 設計コンセプト

複合碍管は有機絶縁材料で構成されるため、材料の長期使用による劣化、特に絶縁性能の低下に対する配慮が必要である。このため、絶縁設計として以下の点を考慮した。

一般に複合碍管は撥水性をもつため所要漏れ距離は磁器碍管の2/3でよいと言われており、漏れ距離を短くできる可能性があるが、実フィールドにおける長期的な表面の劣化特性に関する報告はまだ少ないため、諸外国の例と同様

表1. 300kV複合碍管ブッシングの基本仕様

Basic specifications of 300 kV composite insulator bushing

定格電圧 (kV)	300
定格電流 (A)	2,000/4,000
定格周波数 (Hz)	50
定格ガス圧力 (MPa)	0.6
定格耐電圧値 (kV)	雷インパルス 1,050
	商用周波 460
定格短時間耐電流 (kA)	50 (2秒)
汚損仕様	汚損区分 軽汚損 (塩分付着密度 0.01 mg/cm <sup>2</sup> )
	汚損耐電圧目標値 208 kV

表2. 碍管の諸元比較

Comparison of insulator dimensions

	複合碍管	磁器碍管 (PC-220FV)
全長 (mm)	2,630	2,509
有効長 (mm)	2,400	2,200
笠枚数	52	30
平均直径 (mm)	415	450
漏れ距離 (mm)	5,900	5,580
質量 (kg)	約115	約440

に磁器碍管と同等の漏れ距離を選んだ。

また、笠材は使用実績の多いRTV (Room Temperature Vulcanizing) シリコーンゴムを採用した。

## 4 信頼性検証

### 4.1 検証のポイント

複合碍管ブッシングを初めて製品に採用するにあたり電氣的、機械的信頼性を種々の観点から十分に検証する必要がある。所定の性能を確認するため次の点に注目して検証した。

- (1) ブッシングの機械強度を支えるFRP筒の根本部分の機械的強度が十分にあること。これを検証するため、耐震試験時の振動荷重により発生する応力と、短時間耐電流試験時の電磁力により発生する応力が、FRP素材の許容応力に対して十分な安全率をもつことを確認する。
- (2) 笠材として使われているシリコーンゴムの撥水性が汚損耐電圧試験の過程でどのように変化し、また汚損耐電圧性能にどのような影響を与えるかを調べ、複合碍管ブッシングが実使用に十分に耐えることを確認する。

### 4.2 検証結果

製品形状での信頼性を確認するため、300kVガス遮断器に取り付けて耐震試験、短時間耐電流試験を行った。



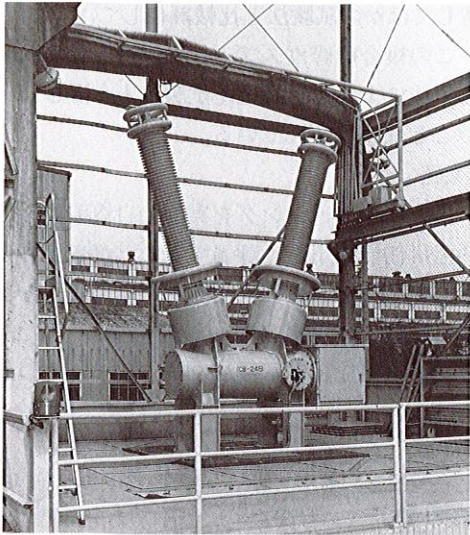


図3. 耐震試験状況 GCBに複合碍管ブッシングを取付けた試験を行い、ブッシング根元が十分な耐震強度をもっていることを確認した。  
View of seismic testing

図3に耐震試験状況を示す。0.3 G共振正弦3波を突印し、複合碍管ブッシング各部に発生する応力が許容値以内であることを確認した。FRP筒の根本の発生応力は、複合碍管の曲げ試験で得た許容応力に対して小さく、十分な安全率を確保できることを確認した。また、短時間耐電流試験を50 kA-2 sの通電条件で行った結果、電磁力により発生するFRP筒の根本応力は十分小さいことを確認した。

なお、今回開発した300 kV複合碍管ブッシングはブッシングの規格(JEC-183)に定められたすべての試験項目に問題なく合格した。

また、複合碍管ブッシングの信頼性を確認するため、多方面から検証を進めており現在も継続中である。その一つとして笠材料の自然屋外暴露試験や、サンシャイン方式による促進耐候性試験を行い、材料の劣化特性を調査している。また、複合碍管ブッシングの長期的な電気性能を調べるため、屋外に設置して通常の運転電圧よりも高い電圧を印加する、加速長期課電試験も実施中である。

## 5 汚損耐電圧試験

複合碍管に対する人口汚損試験方法は、撥水性の取扱いが難しく、どのような方法・手順で行うべきか世界的に見てもまだ確立されていないのが現状である。

そこで今回は、磁器碍管の汚損耐電圧試験方法として広く普及している、簡便な等価霧中法による汚損耐電圧試験を適用した。この試験の過程でブッシングの絶縁破壊電圧、撥水性の状態、碍管表面の漏れ電流、絶縁抵抗、汚損物付着量を調査し、300 kV複合碍管ブッシングの汚損耐電圧特

性を調べた。

### 5.1 試験方法

規格に定められた方法に従って、複合碍管ブッシングの表面に汚損液をかけ、10回のフラッシュオーバー試験を行った。

10回のフラッシュオーバー試験が終了した後、さらに試験を続けて汚損耐電圧性能がどう変化するかを調べた。

なお、実際のフィールドにおける複合碍管に対する汚損物の付着量が現在明確になっていないので、磁器碍管を汚損させたときに等価塩分付着密度が0.01 mg/cm<sup>2</sup>となる汚損液を使って複合碍管表面を汚損させた。この場合複合碍管表面の撥水性が試験の過程で変化し、同一濃度の汚損液を使っても必ずしも汚損度(等価塩分付着密度)が一定とならない可能性があるが、そのまま使用することとした。

### 5.2 試験結果

試験は2日間にわたり行われ、1日目に10回まで、2日目に11回目から26回目までの多数回試験を行った。

図4に等価霧中法による試験結果を示す。等価霧中法の評価の対象となる試験回数10回までの試験では、試験電圧の上限値(460 kV)において一度もフラッシュオーバーせず、開発仕様の汚損耐電圧目標値(208 kV)に対して、2倍以上の十分な汚損耐電圧性能をもつことを確認した。試験回数11回目以降の試験では試験回数が増えるにしたがって、絶縁破壊電圧が低下していく傾向を示すが、汚損耐電圧目標に近い値に落ち着き、磁器碍管と同等以上の耐電圧性能をもつことを確認した。

図5に試験過程で測定された絶縁抵抗の変化を示す。絶縁抵抗は試験回数が6回目から低下し、その後試験回数が増えるにしたがって低下し続け、絶縁破壊電圧と同様の傾向を示すことがわかった。

また、試験回数が増えるにつれ、当初碍管表面で水滴状に弾かれていた汚損液が、撥水性の低下により徐々に表面

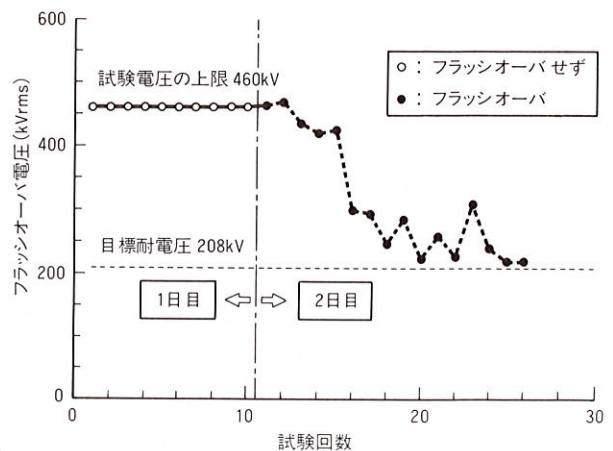


図4. 等価霧中試験結果 強制的にフラッシュオーバーを繰り返し起こさせた後でも、磁器碍管と同等の耐電圧値をもつことを確認した。

Result of wet contaminant flashover test



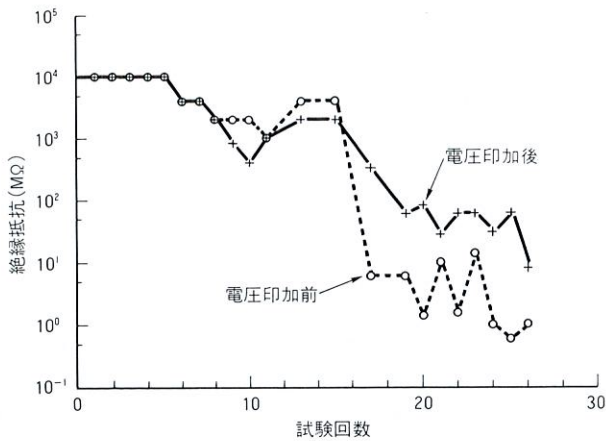


図5. 絶縁抵抗の変化 図4の絶縁破壊電圧と強い相関関係を示す。

Insulation resistance of composite insulator

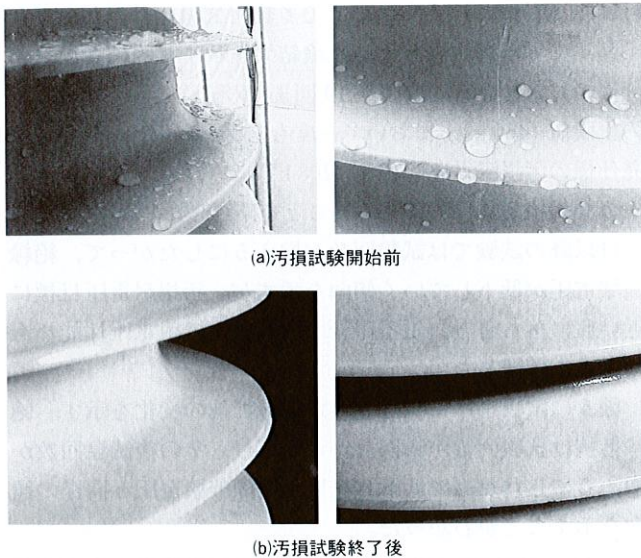


図6. 汚損耐電圧試験前後の撥水性 繰り返しのフラッシュオーバー試験により撥水性が低下する。

Hydrophobicity before and after test

に膜状に付着する状態となることが観測された(図6)。

以上の結果から、複合碍管ブッシングの汚損耐電圧は、撥水効果により初期状態では非常に高い値を示すが、試験回数を繰り返して強制的に撥水性を低下させていくと汚損耐電圧は低下し、やがて撥水性が完全に失われると、耐電圧目標値近くに安定することがわかった。

今回行った等価霧中法による汚損耐電圧試験は、連続したフラッシュオーバー試験を繰り返し行うことから、複合碍管ブッシングにとっては、撥水性の回復時間が与えられず過酷になりすぎていると考えられるため、今後実際の使用状

態を考慮してほかの試験法と比較評価していく必要がある。

なお、この複合碍管ガスブッシングは、別の試験法である定印霧中法による汚損耐電圧試験にも合格し、十分な性能をもつことが確認されている。

### 5.3 課題

今後、複合碍管ブッシングを実際の自然環境下に適用して、長期汚損性能を正しく評価することが必要である。このために、実フィールドでの表面撥水性の長期的な変化や、汚損物の付着状況に関するデータを蓄積し、また、複合碍管に適した汚損性能評価試験法を確立していくつもりである。

## 6 あとがき

軽量で耐震性能や防爆性能に優れた複合碍管を使った 300 kV-4 kA 級のガスブッシングを開発した。

この複合碍管ブッシングは、300 kV 級としてはわが国で初めて東京電力(株)西毛変電所向け GCB に適用され、1996 年 11 月に運転を開始した。今後、国内外でさらに複合碍管ブッシングの適用が進んでいくものと考えられる。

## 文 献

- (1) H. M. Schneider, et al: Non-Ceramic Insulators for Transmission Lines, IEEE Trans. Power Delivery, 4, 4, pp.2214-2221 (1989)
- (2) R. S. Gorur, et al: Evaluation of Polymeric Materials for HV Outdoor Insulation, Paper15-107, CIGRE (1994)



緒志 哲郎 Tetuo Oshi

東京電力(株)工務部変電課副長。  
変電設備の運転保守、建設、機器開発に従事。  
The Tokyo Electric Power Co., Inc.



東 誠司 Seiji Higashi

浜川崎工場開閉装置部主務。  
電力用ガス遮断器、ガスブッシングの開発に従事。  
Hamakawasaki Works



松本 聡 Satoshi Matsumoto, D.Eng.

重電技術研究所電力技術開発部主査、工博。  
ガス絶縁開閉装置およびガスブッシングの研究・開発に従事。  
Heavy Apparatus Engineering Lab.



尾形 和俊 Kazutoshi Ogata

電力事業部電力変電技術部。  
電力用変電機器のシステムエンジニアリングと開発に従事。  
Power Systems Div.