

# 桜ヶ丘線架空送電線用新機能製品の開発

## Development of New Functional Products for the Sakuragaoka Transmission Line

天沼成一\*  
Shigekazu Amanuma

菊池直志\*  
Naoshi Kikuchi

渡邊友行\*  
Tomoyuki Watanabe

藤原裕士\*  
Yuji Fujihara

松崎豊\*  
Yutaka Matsuzaki

福田望\*  
Nozomu Fukuda

金子隆雄\*  
Takao Kaneko

概要 平成16年6月に新設された古河日光発電(株) 66 kV桜ヶ丘線, 11 kV細尾線向けに, 送電線の環境対策, 設備対策, 送電信頼性の向上に寄与する各種新製品を開発, 納入した。これらの製品は, 電線への着雪対策・風圧荷重対策, 電線の景観対策, ギャロッピング対策, 雷撃時の地絡対策, がいし軽量化と省メンテナンス, 鉄塔コンパクト化などの機能を持つもので, これらを使用した上記送電線は高い信頼性を有する送電線となっている。この送電線には, 鉄塔鋼材を除くすべての製品において当社製品が使用されている。

### 1. はじめに

近年, IT化の進展や電力自由化に伴ない, 電力の利用は広範囲に浸透しているので, 安定して送電することの重要性が一層高まっている。

送電線は雪, 雷, 風等各種の厳しい自然条件にさらされており, 時に停電を伴う損傷を受けることがある。送電線の事故としては, 着雪, 落雪などの雪害事故, ギャロッピング短絡事故, 落雷による地絡事故などが発生する。一方, 送電線建設に当たっては, 山岳地, 国立公園, 農地, 住宅地など様々な地域に建設されるため, それぞれの環境に適用できる製品, 建設コスト削減に寄与する製品や使用される電線, 付属品等のメンテナンス性の良さなどが求められる。

古河日光発電(株) 66 kV桜ヶ丘線及び11 kV細尾線の新設に当たり, 上記の様々な使用条件に応えることのできる各種新機能製品を採用していただいた。これらの送電線は, 鉄塔材を除くすべての製品が当社製品であることが特徴であり, 様々な機能を持った製品を採用されたことで安定的に電力を供給できる信頼性の高い送電線となっている。本報では, 新規に開発した低風圧電線(CF-ACSR160 mm<sup>2</sup>)や低責務型避雷装置(製品名:SRホーン), 軽量・コンパクトなSRがいしなど, 各種の新機能製品を紹介する。

### 2. 桜ヶ丘線の概要

66 kV桜ヶ丘線及び11 kV細尾線は, 栃木県日光市に位置し, 送電ルートは, 桜ヶ丘線が細尾発電所から古河電工桜ヶ丘変電

所に至る古河スカイへの供給線, 細尾線が細尾発電所と上の代発電所とを結ぶ連系線となっている。これらの発電所は, いずれも利根川水系大谷川を利用した水力発電方式である。表1にその概要を示す。

表1 桜ヶ丘線および細尾線の概要  
Outline of Sakuragaoka and Hosoo transmission line.

送電線名	桜ヶ丘線	細尾線
発電方式	水力発電	
河川	利根川水系 大谷川	
送電電圧	66 kV	11 kV
送電方式/回線数	交流3相/2回線	交流3相/1回線
亘長	2.5 km	3.1 km
鉄塔基数	12基(新設9基)	23基(新設6基)
区間	(自) 古河日光発電(株) 細尾発電所	古河日光発電(株) 細尾発電所
	(至) 古河電工 桜ヶ丘変電所	古河日光発電(株) 上の代発電所
発電所の出力	15700 kW(細尾)	5800 kW(上の代)

これらの送電線は日光国立公園内を経過するため, 景観対策が重要であるとともに, 当地域は落雷が多く避雷対策についても強い要求があった。各電力会社での採用実績の多い難着雪対策も実施した。桜ヶ丘線および細尾線に採用された新機能製品を表2に示す。これらは, 厳しい自然環境下での送電線に求められる数多くの対策に対応する製品群である。

\* エネルギー・産業機材カンパニー 導電材事業部技術部

表2 桜ヶ丘線および細尾線に採用された新機能製品  
New functional products for Sakuragaoka and Hosoo lines.

機能	製品名
1.雪害防止	難着雪電線／ねじれ防止ダンパ
2.環境調和	低反射電線，低明度電線
3.鉄塔荷重軽減	低風圧電線
4.光伝送網構築	光ファイバ複合架空地線
5.停電防止	低責務型避雷装置 (SR ホーン)
6.ギャロッピング防止	SR 相間スパーサ
7.がいし軽量化	SR がいし／SR 支持がいし
8.電線微風振動防止	バイブレスダンパ
9.引留工法省力化	くさび形引留クランプ (MAT 形)

### 3. 各種電線

#### 3.1 低風圧電線

低風圧電線は、設計風速域で空気抵抗の低い電線であるため電気設備基準の運用上甲種設計時の風荷重を低く見積もることができ、支持物を設計するうえで有利である。特に冬季の着雪を考慮する必要が無いケースにおいては低風圧効果を最大限利用できるため、常時弛度を小さく抑えることができ弛度制限からくる諸所の問題を解決することができる。即ち、低コストでの電流容量増・横振れ低減・支持物のコンパクト化などがその一部として挙げられる。

低風圧化の手法は、電線表面の形状を整えることにより、電線表面における気流を整え空気抵抗を小さくしているものであり、大サイズから小サイズまで適用できる。

##### 3.1.1 形状と特性

今回、桜ヶ丘線に採用された ACSR160 mm<sup>2</sup> と同等の電気性能を持つ CF-ACSR160 mm<sup>2</sup> 低風圧型の断面形状・外観・特性を図 1～3 に示す。

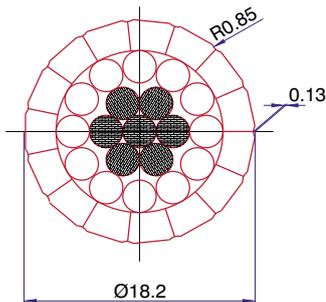


図1 CF-ACSR160 mm<sup>2</sup>の断面形状  
Cross-sectional view of CF-ACSR160 mm<sup>2</sup>.



図2 CF-ACSR160 mm<sup>2</sup>の外観  
Side view of CF-ACSR160 mm<sup>2</sup>.

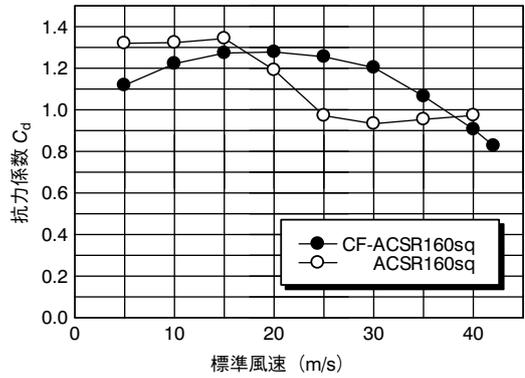
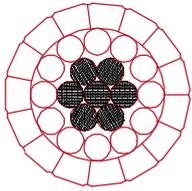


図3 CF-ACSR160 mm<sup>2</sup>と ACSR160 mm<sup>2</sup>の抗力特性  
Drag coefficient curves of CF-ACSR160 mm<sup>2</sup> and ACSR160 mm<sup>2</sup>.

断面形状は多角形をベースに開発した形状で、各頂点に小さな溝を持つ形状である。最外層素線のよりピッチに関しては従来の電線設計手法を踏襲している。図1に示すように、断面の異形状性は無く、最外層素線もすべて共通の形状であり、製造に関して難点の少ない形状になっている。また、外表面の異形状が無いため、電線延線緊線においても従来の電線と同様な工具で対応できる。なお、付属品の適用は、外径差が無いため現行仕様品で対応することができる。

CF-ACSR160 mm<sup>2</sup>の電線仕様を表3に示す。電線は、付属品適応性を考慮し、ACSR160 mm<sup>2</sup>と同じ18.2 mm φとして設計してある。

表3 CF-ACSR160 mm<sup>2</sup>の電線仕様  
Specifications of CF-ACSR160 mm<sup>2</sup>.

構造		
	より線構成 (本/mm)	圧縮型硬アルミ
計算断面積 (mm <sup>2</sup> )	硬アルミ	12/2.6
	亜鉛メッキ鋼	7/2.6
	合計	209.7
外径 (mm)	硬アルミ	18.2
	亜鉛メッキ鋼	9.6
引張荷重 (kN)		69.8
質量 (kg/km)		769.4
電気抵抗 (Ω/km)		0.168
弾性係数 (GPa)		87.3
線膨張係数 (×10 <sup>-6</sup> /°C)		18.2
成形アルミ占積率 (%)		86

#### 3.1.2 抗力特性

今回採用されたCF-ACSR160 mm<sup>2</sup>低風圧型電線の抗力特性は、図3に示すとおり、38 m/sより抗力係数が従来線を下回り、設計風速40 m/s時では電気設備基準値のC<sub>d</sub> = 1.0に対しC<sub>d</sub> =

0.91となり9%の風圧荷重減の性能を示している。また、より高い強風域に対してもマージンを大きくする方向の特性を持っていることが示されている。

今回のCF-ACSR160 mm<sup>2</sup>低風圧型電線は本体にシリコンラバーの難着雪リング(電線製造時にSRリングと同等の難着雪性能を持つリング)が付加されているが、抗力係数特性においては、一般的にSRリングの取り付け効果は抗力係数を増加させないことが風洞実験で確認されている。

### 3.2 環境調和電線

桜ヶ丘線は男体山を望む景観地域に架線されることから、環境調和電線を採用している。環境調和電線は低反射電線・低明度電線・低コロナ騒音電線の3種類があるが、桜ヶ丘線では、電線をよりあわせた後にサンドブラスト処理で表面反射率を低減させた低反射電線と、サンドブラスト処理後に低明度処理を施した低明度電線を採用している。環境調和電線の特性を表4に示す。

表4 環境調和電線の特性  
Characteristics of various conductors for environment harmonization.

	低反射電線	低明度電線	低コロナ電線
目的	環境調和对策：電線表面の反射光を低減する	環境調和对策：背景の明度に合わせて目立たなくする	コロナ騒音対策：降雨時のコロナ音を低減する
処理	素線をより合わせた後、外周表面にサンドブラスト処理を施す	より線の外周にサンドブラスト処理を施した後、低明度処理を施す	より線の外周にサンドブラスト処理を施した後、親水化処理を施す
電線仕様	無処理電線と同じ	無処理電線と同じ	無処理電線と同じ
特殊仕様	電線表面の反射率：30%以下	電線表面の明度：4.5±1	コロナ騒音：自然エイジング電線と同等

### 3.3 OPGW (光ファイバ複合架空地線)

OPGWは架空送電線路に架線してある架空地線の中心に光ファイバを収納したものである。このため、従来の架空地線としての機能に加え、光ファイバの持つ高品位、大容量伝送の特長を生かし、既存の送電線網を利用して長距離かつ広範囲な電力通信システムを合理的に構築できることから、国内外の電力会社に広く採用されている。

OPGWの構造は中心部の光ファイバ収納部にアルミ覆鋼線やアルミ合金線をより合わせたもので、収納部の構造により、固定型と非固定型に分類される。桜ヶ丘線で採用したOPGWは非固定型であり、ステンレス管内に光ファイバ素線と充填剤を収納したものを光ファイバ収納部としている。

### 3.4 難着雪電線 (SL電線) 2)

現在、電力の利用は国内の広範囲に浸透しており、IT化の発展により、従来以上に安定した送電の重要性は高まっている。送電線は広範囲にわたり建設されており、各種の厳しい自然条件にさらされることから、冬季には雪害事故により鉄塔が倒壊することも発生している。

送電線に着雪した雪は、外層のよりに沿って進み、回転成長

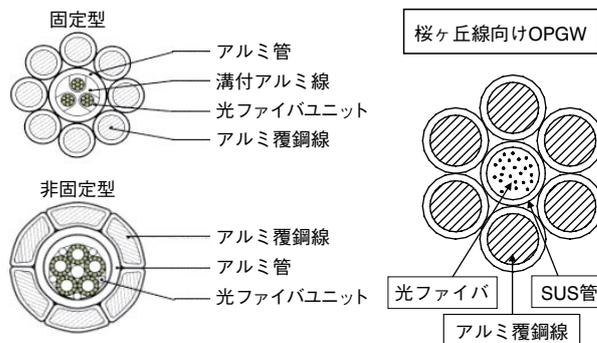


図4 OPGWの構造  
Cross-sectional view of OPGWs.

し筒状に発達する。この筒雪による異常荷重や筒雪が落下する時に生じるスリットジャンプにより、地絡・相間短絡や電線・付属品・鉄塔の損傷に至る事故が多く発生しており、現在では様々な送電線の雪害対策が開発されてきている。

SL電線は雪害対策として採用されており、国内の広範囲において採用され、今回の桜ヶ丘線でも採用している。SL電線の難着雪の原理は図5のように、樹脂製リングを取り付けることにより、外層のよりに沿って進んだ雪はせき止められ、自重により落下する。このため、リングを一定の間隔で取り付けることにより、着雪が筒雪に発達することを防止できる。

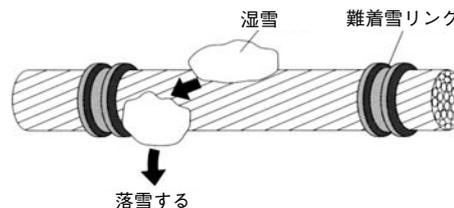


図5 SL電線の原理  
Principle of SL conductor.

## 4. 各種付属品

### 4.1 ボルトレス型ねじれ防止ダンパ2)

着雪が大きく発達する形態は、外層のよりに沿った雪が筒状になることであり、SRリングを一定の間隔で取り付けることにより着雪が筒雪に発達することを防止できるが、単導体においては、SRリングで雪をせき止めても雪の重みにより電線に捻回モーメントが発生するため、電線自体が回転し筒雪に発達する現象が生じる。このため、ねじれ防止ダンパを取り付け電線の回転を抑止し、雪害を防止している。

桜ヶ丘線で採用したボルトレス型ねじれ防止ダンパは、クランプ部がボルトレスとなっており従来品と比較し施工性が向上していることに加え、コイルスプリングでプレフォームドアーマローッドを巻き付けた電線を把持させる方式を採用しているため、長期にわたり把持力が安定している特長がある。

### 4.2 くさび形クランプ

電線及び架空地線を引き留めるクランプには大きく分けて圧縮クランプとくさび形クランプの2種類に大別される。桜ヶ丘線では、電線の切断と圧縮が不要で、比較的容易に架線工事が実施できるくさび形クランプが採用された。特にOPGW用に

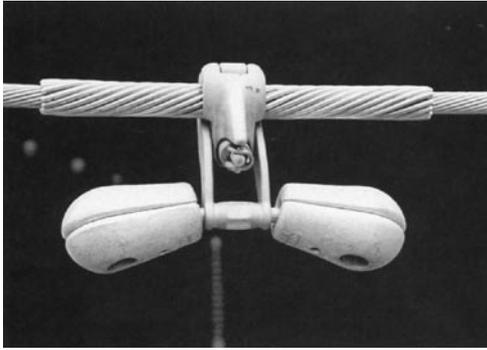


写真1 ボルトレス型ねじれ防止ダンパ  
N.B.D. damper.



写真2 くさび形クランプ  
Tension clamp of MAT type.

は、両側からくさびを押し込むことにより、OPGWに損傷を与えない構造とした両くさび形のクランプを採用している。

#### 4.3 SRがいし・支持SRがいし

シリコンゴムを外被とした複合がいし（商品名：SRがいし）が、従来の磁器製に代わるがいしとして注目されている。海外では割れにくいことから普及が相当進んでいる。国内でも年々使用が増大している。

構造は、高い引張強度を有するガラス繊維強化プラスチック（GFRP）をコア材にし、その両端に長期間安定した引張強度を保證する圧縮型端末金具を取り付け、耐候性に優れたシリコンゴムを外被材として、GFRPロッドと端末金具上からシリコンゴムを笠状に被覆する。がいし内部への水分の浸入を防止するため、圧縮型端末金具とシリコンゴムの接合部はハーメチック構造としている。また、笠と胴は一体成形を採用している。ポリマがいしにはシリコンの外被が水をはじくことによる撥水性がある。この撥水性は磁器がいしに比べ優れている。

外被が軽量のシリコンゴムであるため、同スペックの磁器がいしに比べて質量は1/2～1/5となり、運搬や鉄塔取り付け作業時の作業性が良い。磁器がいしは衝撃を加えると割れやすいが、シリコンゴムは弾力性があり割れにくいため取り扱いやすい。磁器がいしは汚損時に湿潤すると耐電圧特性が落ちてくるため、定期的な洗浄が必要となる。一方、ポリマがいしの場合には、外被が汚損しても汚損物上にシリコンがにじみ出し汚損物上に撥水性が生じるため、水をはじき耐電圧特性が低下しないことから、保守が容易となる。更に、磁器がいしに比べ、笠の外径を小さくすることができるため、形状をコンパクトにできる。

桜ヶ丘線には、当社のジャンパ線を支持するための支持がいし（写真3）と、従来の懸垂磁器がいしに代えて、SRがいし（写真4）を取り付けた。

支持がいしは、ジャンパ線の振れ止め（鉄塔とのジャンパ線の離隔確保）対策として、2種類の電圧階級のがいしを納入し



写真3 支持がいし  
Suspension insulator.

た。仕様値は、機械的性能として引張破壊強度が118 kN以上、破壊時の曲げ応力294 MPa以上、電気性能として塩分付着密度0.50 mg/cm<sup>2</sup>相当の汚損に対して耐電圧は66 kV用が69 kV以上、11 kV用が12 kV以上、雷インパルス耐電圧は66 kV用が400 kV以上、11 kV用が195 kV以上である。

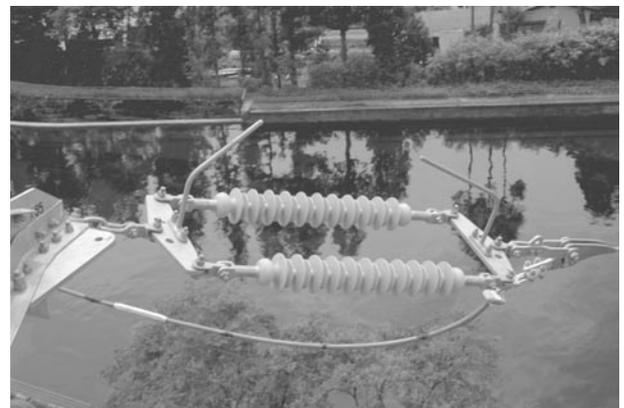


写真4 SRがいし  
SR insulator.

SRがいしは、送電用・変電用懸垂/長幹がいしとして使用される。支持がいしと同様、同線路に2種類の電圧階級のものを納入した。仕様値は、機械的性能として引張破壊強度が120 kN以上、電気性能として塩分付着密度0.50 mg/cm<sup>2</sup>相当の汚損に対して耐電圧が66 kV用が69 kV、11 kV用が12 kV以上、雷インパルス耐電圧は66 kV用が475 kV以上、11 kV用が317 kV以上、商用周波注水耐電圧は66 kV用が170 kV以上、11 kV用が105 kV以上である。

#### 4.4 SR相間スペーサ

SR相間スペーサ（図6）もポリマがいしを使った製品であり、電線に強風が当たることにより生じる振動（ギャロッピング）や、付着した氷雪が脱落して生じる電線跳ね上がり（スリートジャンプ）対策用として用いる付属品であり、電線-電線間に取り付けて相間距離が変化しないように働き、相間短絡事故を防ぐことを目的としている<sup>3)</sup>。国内各電力会社に22 kV～275 kVの電圧階級で約3,000本の納入実績がある。

絶縁部にSRがいしを使用したため、軽量で、鉄塔や電線への負荷が少なく、小サイズ電線や地上クリアランスの少ない径間へも適用ができ、現地への運搬、組み立てが容易である。電線クランプはボルトレス構造となっており、施工性が良好である。コイルスプリングにより電線を把持させる方式で、長期に

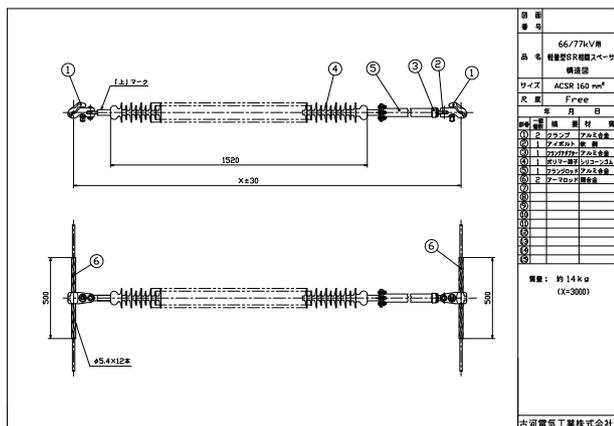


図6 SR相間スペーサ  
SR inter-phase spacer.

わたり把持力が安定しており、メンテナンスが不要である。ヒレ付き電線や小サイズ電線などの特殊電線へも適用可能であり、相間スペーサの全長Lは取り付け位置における相間距離の約96%としており、長さ調整用のロッド(フランジロッド)で調整できる。

桜ヶ丘線に納入したSR相間スペーサ(写真5)は、仕様値で最小引張強度49 kN以上、雷インパルス電圧680 kV以上、商用周波注水耐電圧80 kV以上である。



写真5 桜ヶ丘線取り付け状況  
SR inter-phase spacer in Sakuragaoka line.

#### 4.5 SRホーン

停電事故の中で雷によるものは大多数を占めており、今日の情報化社会において停電防止対策はますます重要な課題となっている。架空送電用アレスタ(避雷器)は1985年頃より、送電線の落雷時瞬時停電対策として使用されており、確実な効果が認められている。落雷時にがいし連の外側に取り付けられたアークホーン間に雷電流を通過(写真6)させて、がいし連の破壊を防ぐが、アークホーン間に地絡電流が流れ続けてしまう。そのため、避雷器はアークホーン間に取り付けられ、放電時の放電電圧を制限して、アークホーン間に流れる続流を遮断し(エネルギーを処理)瞬時停電を防止する。

従来のアレスタは、十数個積み重ねた酸化亜鉛素子を確実に固定するために、古くは磁器がい管で、また近年ではFRP製の筒の中に収納する構造であったため、高価で重く、鉄塔アーム先への取り付けにも鉄塔を改造するなど、多くの費用と労力

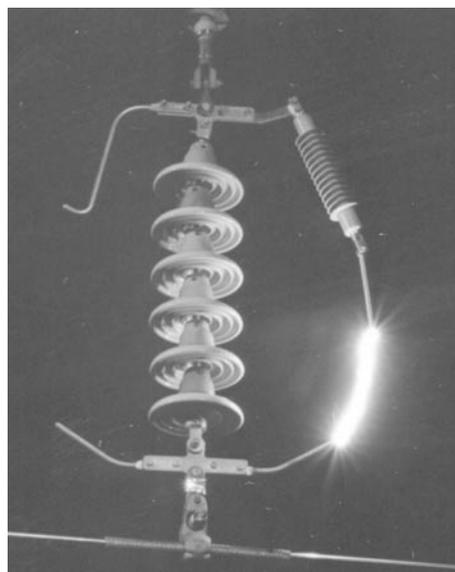


写真6 SRホーン  
SR horn.

が必要であった。一方で一層の情報化により、停電事故被害は甚大となることから、瞬時停電防止のためコストダウン型アレスタのニーズが増大してきた。

また、多くの鉄塔雷撃電流測定結果から、従来使われてきた酸化亜鉛素子の雷撃電流処理エネルギー値を見直して、小さくすることが可能との知見が得られるようになってきた。このような背景から、酸化亜鉛素子を小型化し、かつシリコンゴムを素子に直接モールドして、FRP筒を使わない新しい構造を採用することで、がいし連アークホーン部分に取り付けられる、これまでの送電用アレスタより安価で軽量の小型軽量ホーン取付型シリコンモールド避雷器「SRホーン」(図7)を開発した。

SRホーンは、送電用の小型の酸化亜鉛素子(大きな比直線抵抗を持ち、微小電圧では絶縁体となり、高電圧では導体となる)を採用し、素子の外周にFRPの補強材を配置した構造であり、安価で組み立てが容易となる。端末固定はSRがいしの端末圧縮技術を応用し、機械的強度に信頼性を持たせている。外被はシリコンゴムを素子に直接被覆する構造である(図8)。

そのため、許容雷撃以上の落雷が生じた場合、大電流がアレスタに流れ素子の温度が上昇し内部から爆発するように破損した場合においても、シリコンゴムが裂けるのみで飛散しない構造となっている。他社品に見られるような放圧制御機構が不要となる。また、外被SR相間スペーサで実績のあるシリコンゴムを使っているため、耐候性、耐汚損特性に優れている。

小型軽量化したSRホーンは、鉄塔腕金への重量負担低減、取り付け金具軽量化、施工費用軽減が可能となり、総合的な面でも低コストな避雷器となった。特徴として、従来の避雷器に対して体積1/5、重量1/6で、小型軽量である。地線・鉄塔雷撃で生じる逆フラッシュオーバーが原因の地絡事故を99.9%の確率で防止する(従来の避雷器は99.99%)。工上加わる荷重や設置後の風圧荷重に対して十分な機械的強度を有する。表5にSRホーン仕様を示す。

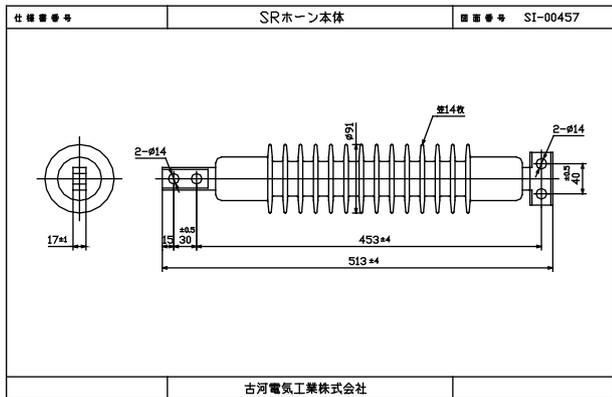


図7 SRホーンの寸法  
Dimensions of SR horn.

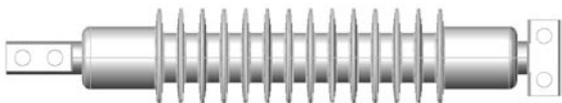


図8 外被被覆後  
Appearance of SR horn after molding.

表5 SRホーン仕様  
Specification of SR horn.

項目	従来品	SRホーン
適用電圧	66 kV	66 kV/77 kV
重量	19.0 kg	2.9 kg/3.4 kg
全長	924 mm	514 mm/593 mm
定格放電電流	15 kA	10 kA
最大放電電流	45 kA	15 kA
引張強度	3920 N	735 N
曲げ強度	3920 N	490 N
電撃阻止率	99.99%	99.9%
処理エネルギー	600 kJ	100 kJ

SRホーンはアークホーン間に決められたギャップ長を保持して取り付けられないと、避雷器としての役割を果たせない(図9)。

そのため、ギャップ長を塔上にて容易に調整できることが必要となる。そこで部品点数を抑えた回転可動部を設けた取り付け金具(写真7)を開発した。更に、所定のギャップ長に調整されたかどうかを塔上で確認できるゲージを開発し、桜ヶ丘線に納入した。写真8は桜ヶ丘線への施工例である。

### 5. おわりに

この度、架空送電線に求められる様々な機能に対応する製品を開発し、桜ヶ丘線/細尾線に納入した。これらの製品群は送電線の障害を克服できるものであり、そのすべてを網羅した桜ヶ丘線/細尾線は、送電支障の少ない信頼性の高い送電線となった。低責務型避雷装置は、今夏の落雷で、これを採用していない他の送電線では地絡事故が発生した中、この桜ヶ丘線は地絡が無く、供給支障が発生していないことが報告され、早速、効果が確認されている。今回開発した各製品は、送電線にとって多くの利点を持つものであり、今後広く使われることを期待する。

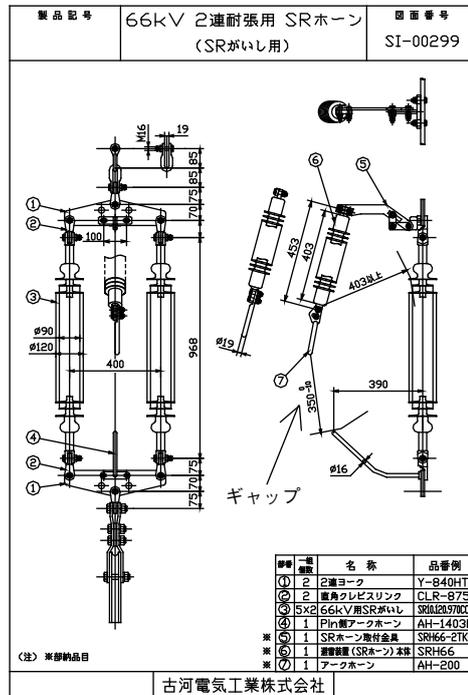
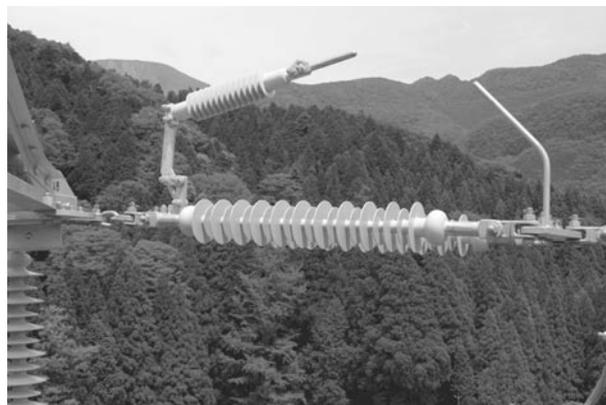
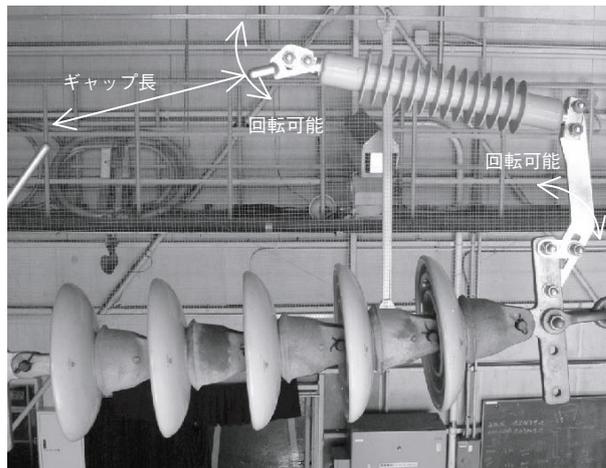


図9 SRホーン装置図  
Structure of SR horn.



当該製品の施工にご協力いただいた古河日光発電(株), エンジニアリング開発第一部, 工務課, 送電部の関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) 吉田, 木股, 泉村, 高橋:「最近のOPGW技術」, 古河電工時報, No.80, (1987), 65.
- 2) 三入, 加藤, 柳沢, 小口:「難着雪電線について」, 古河電工時報, No.73, (1981), 41.
- 3) 「SR相間スペーサ」, 古河電工時報, No.88, (1991), 145.