

電力ケーブル機器 SICONEX[®]技術の概要

Overview of Power Cable Termination SICONEX[®] Technology

瀬間 信幸
Nobuyuki SEMA

SICONEX (Smart Intelligent Connector) はこれまでの一般的な電力ケーブルの機器の設計を更に進化させ、製品自体の性能の向上にとどまらず、これを適用した変電機器などの性能の向上、および変電所建設にかかわる経済性、作業性にも大きく寄与してきた。本稿では、SICONEX を支えるいくつかのユニークな設計技術について紹介する。

The power cable termination SICONEX(Smart Intelligent Connector) has greatly evolved the design of conventional power cable termination and has not only improved the performance of the product itself, but has also made a significant contribution to the performance of the substation equipment to which it is applied, as well as the economy and workability of substation construction. This paper presents some of the unique design technologies underpinning SICONEX.

1. はじめに

電気の供給が途絶えることで、暮らしや産業に及ぼす影響は計り知れない。国や地方自治体は、電気を供給し続ける環境対応を含めた強い電力インフラの構築を急務と考え、幅広い分野の知見を結集し課題に取り組んでいる。特に、電力ケーブルとこれを接続する電力ケーブル機器に対しては、省力化、効率化、コスト低減が求められ、以前にも増して、電力インフラとしての信頼性と強靱さが求められている。

SICONEX (Smart Intelligent Connector) はこれまでの一般的な電力ケーブルの機器の設計を更に進化させ、製品自体の性能の向上にとどまらず、これを適用した変電機器などの性能の向上、および変電所建設にかかわる経済性、作業性にも大きく寄与してきた。今後も更なる“強い電力インフラ”を支える重要なポジションを担っていきたいと考える。

SICONEX 製品を支える要素としては、緻密なマーケット戦略、工業製品としての高性能な材料設計、シミュレーション技術、そしてユニークな設計技術が挙げられる。今回は、世界の電力機器部品にも例をみない、SICONEX を支える基本的ないくつかのユニークな設計技術についてスポットを当ててみる。

2. 電力ケーブル機器 SICONEX[®]の誕生

1970年代に高電圧 CV ケーブルが誕生してから、CV ケーブルを接続する電力機器は、電力会社を中心とした製品

開発が進められてきた。1990年代まで、電力ケーブル機器は、各電力会社の購入規格に構造や形状が定められており、全メーカーが形式に沿って同等な製品を供給する状況であった。当時の電力マーケットにおいて、コストダウンや効率化は重要な要素ではなく、安定性と品質を求めるがゆえに実績が重視されており、今日のようなイノベーションを起こしづらい環境であったといえる。

SICONEX はこれらの電力規格品の設計に対する疑問から始まっている。これらの規格品の形状は、全て同等な構造で 66 kV, 154 kV, 275 kV と電圧階級が上がるにつれて相似形状でサイズのみがアップする設計であった。

ケーブルは導体を中心とした同心円状構造であり、絶縁部は架橋ポリエチレンという単一な材料でできている。したがって、使用電圧が上がれば絶縁が厚くなり、外径が相似形状で太くなっていくことは容易に理解できる。しかしながら、電力ケーブル機器は、エポキシ樹脂、ゴム、ケーブルの架橋ポリエチレン材料とともにそれらが接触する界面が存在し、更に使用される環境によってガス、油、空気などが絡み合う複合絶縁で構成される。そのため、それぞれの材料・部位が有する絶縁耐力に準じた効率的な設計ができれば、大幅なサイズダウンが可能になる。

橋梁の設計に例えるならば、橋梁に加わる荷重の大きさに応じて鋼材を太くするよりも、力のかかり方や方向性を制御し、それぞれの応力に応じた最適形状に設計すれば強度を維持したまま、橋梁部の形は美しいアーチ形となる。

電力機器についても同様な設計コンセプトを適用し、電界のかかり方や方向性をコントロールし最適な構造設計を

することで、コンパクト化、効率化、省力化、コストダウンを実現できる。「機能を追求すればそこに美が生まれる」まさにこのコンセプトがSICONEXの誕生のきっかけとなっている。

3. SICONEX®を支える主な要素技術

3.1 平等電界設計

構造物の機械的破壊は、耐力の弱いところから起こる。それゆえ弱点部分を強化することで、構造物の性能を引き上げることが可能である。但し、いたずらに強化すれば、構造物そのものが巨大化し、重量がかさみ、コスト高となることから製品価値を落とす結果となる。見方を変えると、弱点部分はその構造物の性能を左右するならば、性能に寄与しない他の部位を弱点部分と同等の耐力まで下げて効率化を図っても性能は変わらない。

SICONEXは設計コンセプトに平等電界技術を導入した。一般的に電界ストレスがその部位の絶縁耐力を超えると放電が生じ絶縁破壊に至る。そこで、各部位の絶縁強度を正確に把握し、エポキシの界面の形状、高圧導体および遮蔽金具の形状と配置、ストレスコーンの配置、絶縁厚等を細かく検討し、各部位に対して破壊のポテンシャルに合わせた平等電界設計を行う(図1)ことで、SICONEX製品は絶縁性能を維持したまま大幅なサイズダウンを実現している。

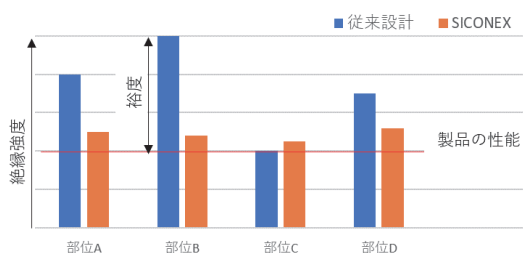


図1 SICONEX®の平等電界設計

3.2 界面の電界ストレスに応じた面圧設計

固体絶縁同士をつなげる電力機器にはストレスコーン(ゴム部)とエポキシ樹脂やストレスコーン(ゴム部)とCVケーブルの界面が存在する。これらの界面の絶縁設計には電界ストレスの最適化設計とともに、それぞれの界面をフィットさせる界面面圧設計が加わる。

界面の面圧が不足すれば、そこには微小ボイドが残留し絶縁破壊に至る。一方、面圧を大きく上げれば、微小ボイドは抑制できるが、熱応力によりストレスコーンやケーブル絶縁体の変形などが生じ、これが原因で絶縁破壊が生じる可能性が出てくる。

このため、従来の電力ケーブル機器の界面面圧設計は、外部環境変化と通電のヒートサイクルを考慮した上で、要求される電圧で破壊しない必要最低面圧が界面全体にわたり加わるように設計を行っている。その結果、電界ストレスの低い界面の部位に対しても必要以上の荷重が加わる非効率な界面面圧設計となってしまう。

SICONEXの主力製品であるT形終端接続部には、機器の耐電圧試験や緊急送電などのために課電口を設けている。この課電口には、SICONEXならではの次の特長をもった絶縁栓を設けている。

- 過度な荷重を必要とせず、試験毎に取り外し取り付けを繰り返すことが可能(回数制限あり)
- 容易に破壊せず、高い耐電圧にも耐えることが可能
- 簡易な構造かつコンパクトであり、高度な組立技術がなくても取り扱いが可能

これらの特長を実現した絶縁栓は、必要最低面圧が界面全体に維持する従来設計と異なり、世界で初めて、電界ストレスの大きさに応じた面圧設計を適用した。簡単なモデルでいえば、界面の電界ストレス(kV/mm)／界面の面圧(Pa・G)比が界面全体においてほぼ一定となるよう設計されている(図2)。これらの絶縁栓は電気的および機械的シミュレーションと試作品による実験を繰り返しながら絶縁栓内部の電極形状とその配置を決定しており、理想的な界面絶縁構造を実現している。

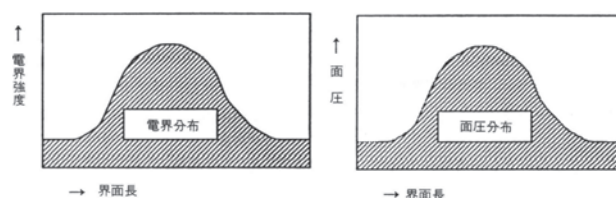


図2 界面絶縁設計の概要図

3.3 マルチラムバンド付ボールロックプラグ

本体(メス側)は予め機器工場で機器に取り付け、現場でのケーブル接続時は機器のガス処理や油処理を必要とせず、プラグインでケーブルを接続可能にするスリップオン式終端接続部が採用されている。

従来のスリップオン式の通電接点は、一部の断路器で使用されていたチューリップコンタクトを流用しており、先端の接点部には数本のフィンガーと呼ばれる通電片(当社は8本)を配置し、これにスプリングによる圧力を加え点接触での通電構造としている。また、挿入後は先端に設けた円周上の凸部が引っ掛かることで引き抜けを防止する機構となっていた。ただし、この構造は、ケーブルの繰り返しの挿抜を考慮しておらず、無理にケーブルを抜くと先端の凸部とフィンガーの擦れが生じて、接点部分の通電機能の低下を招くほか、コンタクトが機械的に破壊するケースもあった。そのため、ケーブルの引き抜き作業は、本体含めてすべて新規材料に交換する制約があった。

超高压クラスを含めた最新のSICONEX製品には、チューリップコンタクト方式とは異なるマルチラムバンド付きボールロック構造のコンタクト方式を適用している。

通電機能に採用したマルチラムバンドは数十点の多接点ルーバーにより大電流の通電が可能であり、数万回の挿抜を行っても通電機能が低下することはない。さらに、ケーブルの引き抜け防止部は、マルチラムバンド接点通電部と

はセパレートになっており、引き抜き応力が通電部に影響を及ぼさない構造となっている。引き抜け防止部に採用したボールロック構造はケーブルを挿入しストレスコーンをセットするだけで、数トン力でケーブルを引き留め、抜く場合はストレスコーンを引き下げることで簡単に引き抜くことができるうえ、繰り返しの挿抜が可能となる。

この構造は、家庭用ガス機器につなぐガスホースのワンタッチ接続構造をイメージすると解りやすい (図3)。

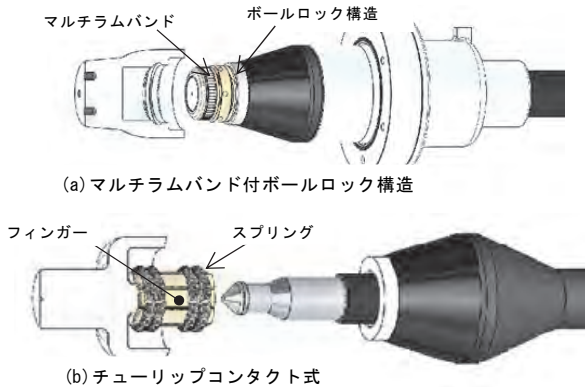


図3 通電部の比較図

3.4 酸化亜鉛素子 (ZnO) による平等電界設計

SICONEX を代表する製品のひとつにダイレクトモールド製品がある。エポキシブッシングの表面にシリコーンゴムを直接モールドした完全乾式の固体絶縁構造で、内部の絶縁に絶縁油を使用しない環境調和型製品として、需要が伸びている。66/77 kV のダイレクトモールド製品はエポキシ内部に埋め込まれた遮へい金具の形状や位置による幾何学的な電界緩和設計を適用し、電界ストレスが放電開始電圧を超えないレベルとなるよう設計している。

しかしながら、154 kV の超高压クラスになると気中絶縁部の電界ストレスが高くなり、遮へい金具の位置や形状による幾何学的な電界緩和設計だけではサイズアップになってしまう。超高压の気中絶縁の電界抑制 (平等電界設計) にはコンデンサを使った分圧設計を用いる方法もあるが、完全固体絶縁構造のダイレクトモールド製品にコンデンサを内蔵することは構造を複雑化し、経済的にも不利になる。

そこで、154 kV ダイレクトモールド気中絶縁設計には、避雷器 (アレスタ) で使用している非線形材料 (酸化亜鉛: ZnO) による電界緩和層を設けることで、気中部の電界ストレスの平等電界化を実現させた。通常運転時は、内部導体と遮へい金具の位置・形状、ブッシング外径の最適化により表面放電を抑制しているが、異常時の過大な電圧 (過電圧時や雷サージ進入時など) がブッシングに印加された場合には、酸化亜鉛のバリスタ効果が高電界部分の電圧上昇を制限することで、ブッシングの閃絡性能を向上させ、コンデンサを使用した従来の製品と比較し大幅なサイズダウンを実現させた (図4)。

3.5 軽量化による優れた耐震設計

ダイレクトモールドブッシングは動的耐震設計にて耐震

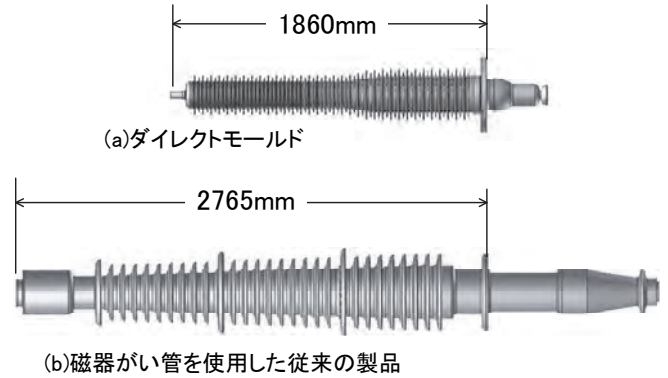


図4 従来製品との比較図

性を検証している。また、大幅な軽量化の結果、154 kV 級変圧器に搭載する場合においても共振周波数特性は「変電所等における電気設備の耐震設計指針 (JEAG 5003)」に規定されている卓越振動数範囲 0.5 ~ 10 Hz を回避する。実際に「東日本大震災」で生じた地表面波形を加えても健全性を維持し優れた耐震特性を有することを確認している。

4. SICONEX[®]から SICOPLUS[®]へ

SICONEX の更なる拡大と市場価値の向上を目指していくために、単なる部材メーカーに留まらず、部材と施工を併せて提供するシステムソリューション SICOPLUS を拡大していく。

SICONEX 接続工事においては、熟練技能者の高齢化や、若年労働人口の減少に対し、施工能力の維持・強化が喫緊の課題となっている。そこで、施工する優秀な人材の確保を旨とする SICOPLUS 接続技能士教育プログラムでは、これまでの現場 OJT (On the Job Training) が教育の主流であったプログラムを、DX 教材の活用等により優秀な施工員を短期で育成できる仕組みを構築し大きな効果を出している。

5. おわりに

今回は技術的な観点で設計技術をクローズアップした。電力事業のマーケットシェア獲得と拡大は、SICONEX の独自で優れた技術だけではなく、これを支える製造、営業、技術が ONE チームで取り組んできた大きな功績といえる。

SICONEX は電力インフラの強靱化や高電圧化などのニーズの高まりに伴い、現状に留まることなく進化を続けていく。

※ SICONEX および SICOPLUS は SWCC 株式会社の登録商標です。

SWCC (株)

瀬間 信幸 (せま のぶゆき)

執行役員 Smart Stream 戦略、電力システム戦略 担当

☆☆ SICONEX ブランドの立上げ・構築に携わる