

JEC-2374：2020規格対応 ポリマー形避雷器検証試験結果

戸田成是 Nariyoshi Toda
市川真吾 Shingo Ichikawa
小松龍矢 Tatsuya Komatsu

キーワード ポリマー形避雷器、ギャップレス、JEC-2374：2020

概要



66/77kV系統用ポリマー形避雷器

ポリマー形避雷器は、磁器がいし形避雷器に比べ小形・軽量化されているため、取り扱い性や耐震性能が向上している。また、外被材料に撥水性を有するシリコンゴムが使用されているため、耐汚損性能の向上も期待されている。このような理由から、国内ではポリマー形避雷器の適用が拡大している。

海外では40年以上前からポリマー形避雷器が適用され、IEC 60099-4：2001で初めてポリマー形避雷器が規格化されている。一方、国内ではポリマー形避雷器に関するテクニカルレポートが2008年に発行され、今回改正された酸化亜鉛形避雷器規格JEC-2374：2020で初めて規格化された。

当社は66/77kV系統に使用されているポリマー形避雷器を新規に開発し、JEC-2374：2020に規定されている形式試験を実施して、全ての試験で規格を満足していることを確認した。

1 まえがき

ポリマー形避雷器は、2008年にJECテクニカルレポートJEC-TR-23002-2008（以下、テクニカルレポート）が発行され、ポリマーに関する項目はこのテクニカルレポートに準拠し開発してきた。しかし、ポリマー外被のかさ形状・構造・材料評価などの設計基準がなかった。

海外ではIEC 60099-4：2001にポリマー形避雷器が初めて規格化され、その後ポリマー形避雷器特有の試験方法が検討・適用されている。国内では2017年に電気協同研究第72巻第4号『ポリマーがい管の設計基準・試験法の標準化』（以下、電気協同研究）がとりまとめられ、ポリマー外被の設計・試験に関する技術的知見が示された。

避雷器の規格はJEC-2374が2020年に改正され、ポリマー形避雷器もIEC規格及び前述の電気協同研

究を参考にして新たに規格化された。この規格ではポリマー形避雷器のかさ形状の設計基準が追加され、ポリマーがい管の所要表面漏れ距離は、電気協同研究で検討された近似式が採用されている。

このような状況から、当社は現設計から最適化を図りJEC-2374：2020に準拠した66/77kV系統用のポリマー形避雷器を新たに開発した。本稿では、新たに開発したポリマー形避雷器で実施したJEC-2374：2020の形式試験結果の一部と試験のポイントを紹介する。

2 製品仕様

第1表に開発した66/77kV系統用ポリマー形避雷器（形式：ZS-G1PK(X)-R）の製品仕様を示す。かさ設計や所要表面漏れ距離は、JEC-2374：2020を満足するように設計している。

第 1 表 66/77kV 系統用ポリマー形避雷器製品仕様

66/77kV 系統用ポリマー形避雷器の仕様を示す。最大塩分付着密度は 0.35mg/cm² であるが、実力値は 0.5mg/cm² を確保している。

項目		仕様	
形式		ZS-G1PK(X)-R	
定格電圧		84kV	98kV
公称電圧		66kV	77kV
避雷器の種類		高性能形避雷器	
公称放電電流		10kA	
連続使用電圧		69/√3kV	80.5/√3kV
開閉サージ放電耐量クラス		C	
制限電圧	急しゅん雷インパルス (於 10kA)	296kV	345kV
	雷インパルス (於 10kA)	269kV	314kV
	開閉インパルス (於 1kA)	240kV	281kV
定格放電電流		40kA	
耐汚損区分 (塩分付着密度)		標準形 : 0.01mg/cm ² 耐汚損形 : 0.03 ~ 0.35mg/cm ²	

3 形式試験

汚損試験及び放電試験は、ポリマー形避雷器特有の試験方法が規定され、磁器がいし形避雷器と試験方法が一部異なっている。

また、ポリマー形避雷器固有の試験として、曲げモーメント試験・耐候性試験・ポリマー外被材料評価試験が規定された。これらの試験は磁器がいし形避雷器では規定されていない。

3.1 汚損試験

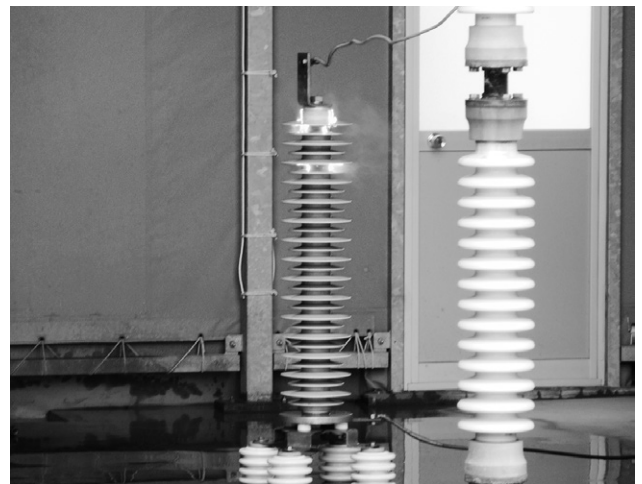
ポリマー形避雷器の汚損試験は、電気協同研究を参考にポリマー形避雷器特有の撥水性を除去する方法や、不溶性物質付着密度 (NSDD) は 0.3mg/cm² で実施 (磁器がいし形は 0.1mg/cm² で実施) することなどが追加された。

第 1 図に供試器汚損時の外被表面状態を示す。汚損試験は、撥水性を除去した状態で実施している。第 2 図に汚損試験状況を示す。規格には等価塩分付着密度 (ESDD) が 0.35mg/cm² までしか規定されていないが、当社製のポリマー形避雷器は 0.5mg/cm² 以上の ESDD でもフラッシュオーバーすることなく、所定の汚損性能を満足する結果が得られた。



第 1 図 供試器汚損時の外被表面状態

汚損試験は撥水性を除去した状態で実施し、万が一撥水性が消失しても所定の汚損性能を満足することを確認している。



第 2 図 汚損試験状況

定格電圧 98kV の供試器で最大塩分付着密度 0.5mg/cm² で汚損試験を実施し、フラッシュオーバーすることなく汚損試験を満足する結果が得られた。

3.2 放電試験

ポリマー形避雷器は、構造の違いから A 形避雷器と B 形避雷器に分類される。第 2 表にポリマー形避雷器の構造分類を示す。今回試験を実施した当社製のポリマー形避雷器は、B 形避雷器である。B 形避雷器の放電試験では、供試器への配線を線路側と接地側は逆方向にすることが追加された。

第 3 図に大電流放電試験状況を、第 4 図に小電流放電試験状況を示す。当社製のポリマー形避雷器は大電流試験及び小電流試験で、爆発飛散や燃焼の継続をすることなく合格した。なお B 形避雷器のた

第2表 ポリマー形避雷器の構造分類

ポリマー形避雷器はがい管内部にある気相の割合でA形避雷器とB形避雷器に分類される。

分類	分類条件
A形避雷器	<ul style="list-style-type: none"> 避雷器の内部に気相があり、酸化亜鉛素子以外の領域でその気相部分の容積が50%以上を占めるポリマー形避雷器 内部短絡事故時に気相部分で破壊が発生する確率が高い
B形避雷器	<ul style="list-style-type: none"> A形避雷器以外のポリマー形避雷器で、外被を直接モールドするポリマー形避雷器 内部短絡事故時に酸化亜鉛素子部で破壊が発生する確率が高い



第3図 大電流放電試験状況

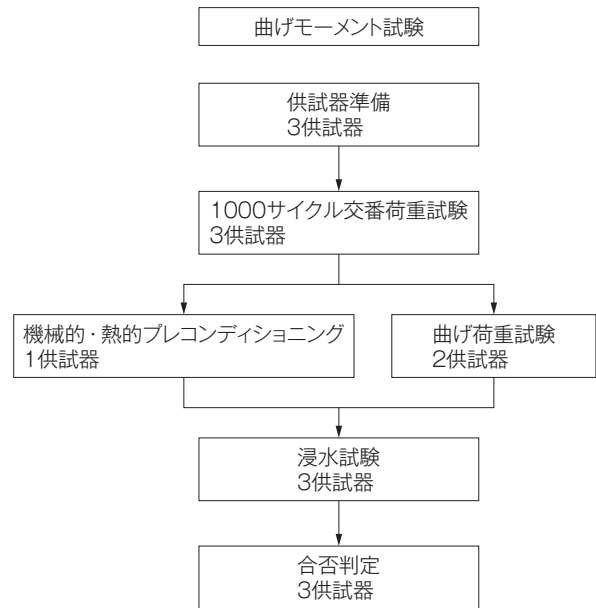
放電電流40kA-0.2秒通電しても爆発飛散せず、燃焼も継続しなかった。



第4図 小電流放電試験状況

放電電流300A-2秒通電しても爆発飛散せず、燃焼も継続しなかった。

め、酸化亜鉛素子は商用周波過電圧法で破壊後に放電試験を実施した。配線の引き回しを規定することで、がいしの外に出たアークがポリマー外被と絡み、燃焼しやすくなった状況でも、燃焼は継続することなく自己消火することを確認した。



第5図 曲げモーメント試験の試験手順

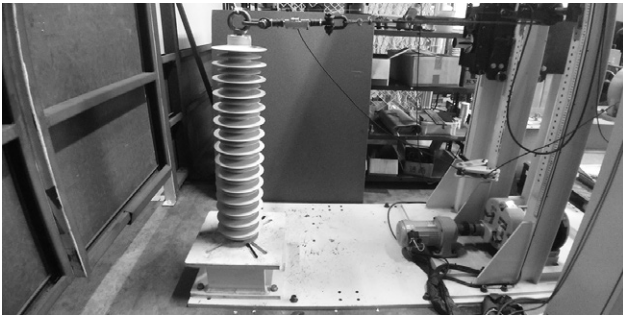
JEC-2374：2020ではIEC規格を参考にして曲げモーメント試験が追加された。

3.3 曲げモーメント試験

曲げモーメント試験は、今回新たに追加された形式試験項目で、IEC規格で審議された内容を踏襲し規定されている。第5図に66kV以上の系統に使用されるポリマー形避雷器の曲げモーメント試験の試験手順を示す。

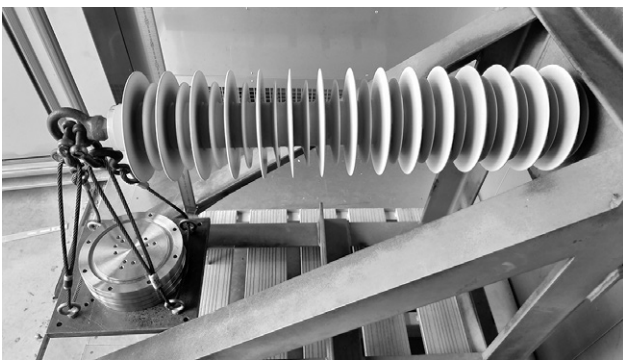
今まで適用されてきたテクニカルレポートでは、機械的・熱的プレコンディショニング及び浸水試験を実施して評価していたが、JEC-2374：2020では風圧荷重を考慮した1000サイクルの交番荷重及び短時間荷重（短絡時の電磁力荷重や台風時の風圧荷重等）も考慮された検証内容である。

第6図に曲げ荷重試験状況を、第7図に機械的・熱的プレコンディショニング試験状況を示す。当社製のポリマー形避雷器は、これらの曲げモーメント試験を実施し、試験中に破壊することなく、試験前後での電気的な特性に変化はなかった。これより曲げモーメントに対する十分な強度と、各種の機械的・熱的ストレスを印加してもポリマー外被材料と支持部材で使用されている繊維強化プラスチック（FRP）材及び電極との接合の信頼性も確認できた。



第 6 図 曲げ荷重試験状況

短時間耐荷重を印加して 60～90 秒間保持し、最大たわみ量を測定する。また、荷重解放後に残留たわみ量を測定する。



第 7 図 機械的・熱的プレコンディショニング試験状況

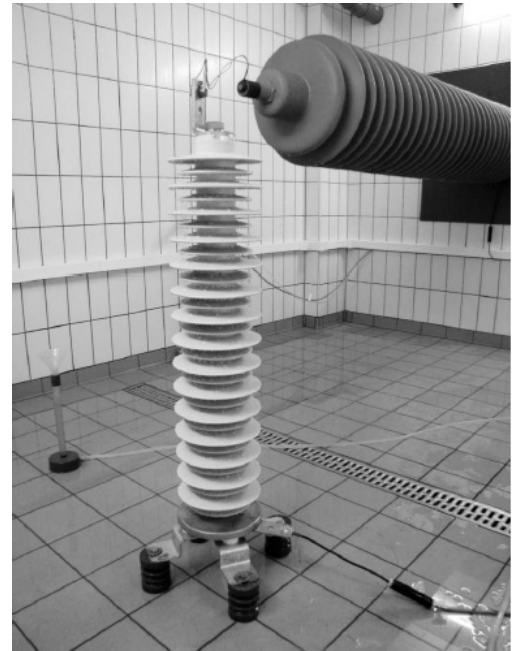
24 時間ごとの冷熱サイクルによるストレスと長時間耐荷重を 4 方向に変えながら印加する。冷熱サイクルは 60℃、-25℃、45℃、-40℃の順で変化させる。

3.4 耐候性試験

JEC-2374：2020では、耐候性試験として塩霧に対する避雷器の暴露の影響を評価する塩霧試験と紫外線（UV）に対する外被材料の暴露の影響を評価する紫外線照射試験が規定されている。IECの考え方を踏襲し、テクニカルレポートで規定されていた5000時間複合ストレス試験は削除された。

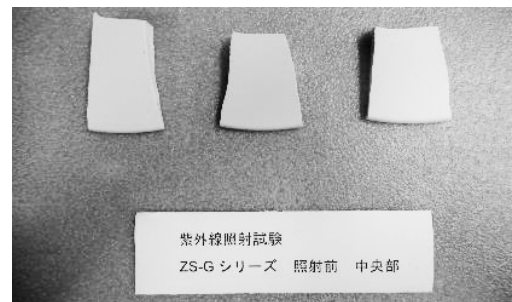
第 8 図に 1000 時間塩霧試験状況を示す。当社製のポリマー形避雷器は、1000 時間塩霧試験前後で電気的な特性に変化はなく、塩霧に対する耐候性に問題ない結果が得られた。試験後にポリマー外被の表面観察を行ったが、トラッキングや下地が見えるエロージョンはなく、かさや容器の貫通破壊がないことを確認した。

第 9 図に紫外線照射試験前後の供試器を示す。紫外線を 1000 時間照射した後の外被材料には、ク

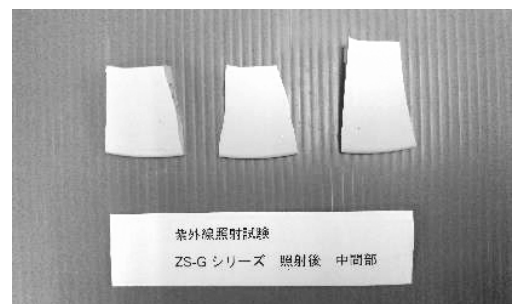


第 8 図 1000 時間塩霧試験状況

1000 時間塩霧試験前後でも電気的な特性に変化はなかった。



(a) 試験前



(b) 試験後

第 9 図 紫外線照射試験前後の供試器

紫外線を 1000 時間照射した後の外被材の表面粗さ及びショア硬度に実質的な変化は認められなかった。

ラックなどの異常は認められなかった。試験後の表面粗さ及びショア硬度も実質的な変化は認められず、耐紫外線に対しても良好な結果が得られた。

第3表 ポリマー外被材料評価試験項目

JEC-2374：2020ではポリマー外被材料評価試験が追加された。

ポリマー材料の硬度試験	【規定】
ポリマー材料の燃焼試験	【規定】
傾斜平板法耐トラッキング性及び耐浸食性試験	【参考】
耐アーク性試験	【参考】
接触角測定試験	【参考】
撥水性回復特性試験	【参考】
ピール試験	【参考】

【規定】：合否判定が規定されている。

【参考】：合否判定が規定されていないが、将来に向けたデータ取得のために実施が推奨されている。

3.5 ポリマー外被材料評価

ポリマー形避雷器の外被材料に関する試験として、JEC-2374：2020では付属書D（規定）及び付属書E（参考）に新たな検証試験が規定された。付属書D（規定）は合否判定が規定され、付属書E（参考）は合否判定が規定されていないが、将来に向けたデータ取得のために実施が推奨されている。

第3表にポリマー外被材料評価試験項目を示す。

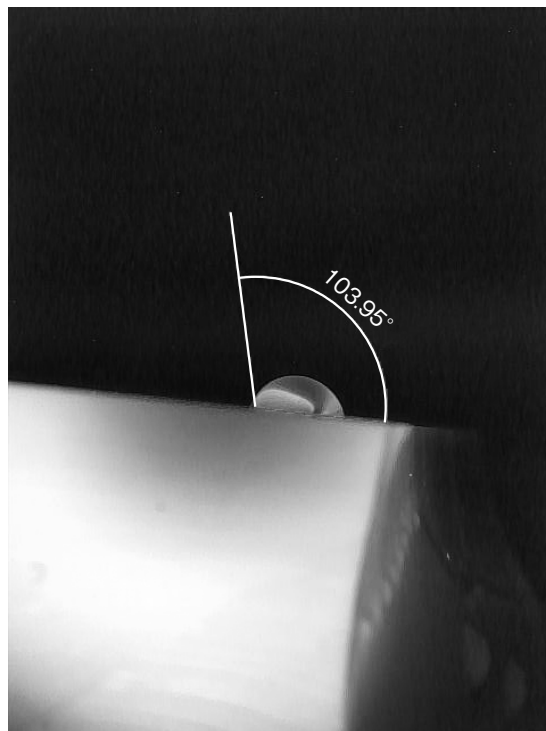
当社製のポリマー形避雷器で使用しているシリコンゴムで、付属書D（規定）の評価試験を実施した。硬度試験の結果は試験前後で硬度の変化はなく、燃焼試験の結果はV-0で規格の判定基準を満足している。

また、当社製のポリマー形避雷器で使用しているシリコンゴムで、付属書E（参考）全ての評価試験を実施した。一例として第10図に接触角測定試験時の水滴の状況を、第11図に撥水性回復特性試験でアルコール拭き取り前後の撥水性状況を示す。これらのデータは外被材料の初期データとなるため、経年によるポリマー外被材料の劣化調査時に役立てていく。

3.6 耐震性能評価

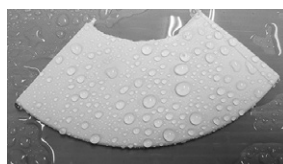
耐震性能に関してJEC-2374：2020では、水平加速度 3m/s^2 の共振正弦三波を対象とし、改正作業中であったJEAG5003-2019の加速度応答スペクトルでの評価は規定されていない。

当社製のポリマー形避雷器では、水平加速度 3m/s^2 の共振正弦三波だけではなく、新規に制定さ



第10図 接触角測定試験時の水滴状況

ポリマー外被に水滴を落とすと、外被表面が撥水性を有するため水滴が丸まったままの状態になる。



(a) 拭き取り前



(b) 拭き取り後

第11図 撥水性回復特性試験の撥水性状況

アルコール拭き取り前後での撥水性に変化はなくHC1レベルであり、ポリマー外被材料の撥水性は良好であることが確認できた。

れたJEAG5003-2019の加速度応答スペクトルでの評価も実施した。評価方法は時刻歴（モーダル）解析で実施し、前述の二種類の解析結果は安全率がともに2以上あり、東北地方太平洋沖地震の知見を基に新たに検討された条件に対しても十分な耐震の安全率を有することを確認した。

4 むすび

ポリマー形避雷器は、磁器がいし形避雷器に比べ軽量化され、シリコンゴム特有の継続する撥水性

によって耐汚損性能が向上すると期待されている。
また、耐震性能や取り扱い性も優れているため、今後避雷器の主流になると考えられている。

当社はこれまでに培ってきた避雷器製造技術やポリマー成形技術を用いて、高品質なポリマー形避雷器をお客様へ提供し、信頼性が高いインフラ設備の提供をしていく所存である。

- ・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
ソレスターユニット
避雷器の開発業務に従事



市川 真吾
Shingo Ichikawa
ソレスターユニット
避雷器の開発業務に従事



小松 龍矢
Tatsuya Komatsu
ソレスターユニット
避雷器の開発業務に従事
