

電子機器・設備保護のための低圧用避雷器の適用技術

Low-voltage Surge Protective Device Application Techniques for Protection of Electronic Devices and Equipment

石川 雅英 Masahide Ishikawa

雷害の増大、避雷器のJIS制定などで雷保護意識が高まり、避雷器の需要が拡大している。富士電機はこの需要に応える電源用や通信・信号用の低圧用避雷器の製品開発・シリーズ化に取り組んできた。電源用避雷器は被保護機器の電源線と接地端子の間に設置する。計装システムなどでは、信号用避雷器をセンサ側と監視室側の被保護機器のそばに設置することが望ましい。SPD（避雷器）分離器用として配線用遮断器の雷サージ電流耐量試験結果に基づいた不要動作が発生しない、接点溶着などの不具合現象を生じない配線用遮断器の機種選定ができるようにした。

Demand for surge protective devices (SPDs) has grown and awareness of the need for lightning protection has risen as a result of an increase in lightning hazards and the effect of establishing a JIS for SPDs. To meet this demand, Fuji Electric has worked to develop products and to enrich its product series of low-voltage SPDs for power supplies and for communications and signals. A power supply SPD is installed between the power line and ground terminal of the device to be protected. For instrumentation systems and the like, signal SPDs are desirably installed near the devices to be protected on the sensor-side and on the monitoring room side. For SPD disconnecter use, molded case circuit breaker models can be selected such that, based on the experimental results of the lightning surge current tolerance of molded-case circuit breakers, unwanted behavior and failures such as fusing of the contacts do not occur.

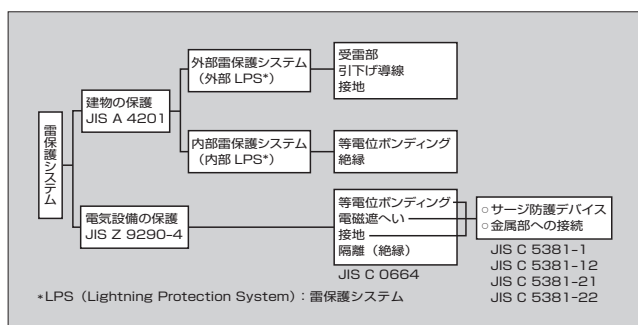
1 まえがき

近年、企業の事業継続マネジメント（BCM）が注目され、地震や台風などによる自然災害に対しても、企業の社会的責任がより強く求められている。電源給電の信頼性を高めることも事業継続を達成する上で重要な解決策である。雷害から給電システム、各種電気設備・機器を守るための雷保護対策の必要性も認識されている。

電気学会技術報告“高度情報社会の雷害問題の実情と研究課題”第902号（2002年）によれば二次災害を含めた年間の雷被害総額は1,000億円から2,000億円と推定されている。これは電子化・ネットワーク化された高度情報化社会の進展とともに、機器の省電力化、低電圧化、小型化が進み、雷サージ電圧・電流の影響による雷害が増大したことが大きな要因である。巨大な雷エネルギーから脆弱（ぜいじゃく）な機器を守り、システムやネットワークを正しく安全に機能させる雷保護システムの構築が急がれている。

このような状況下、図1に示すように雷保護システムの保護体系と関連JISとして、①建築物の雷保護に関する

図1 雷保護システムの保護体系と関連JIS



“外部雷保護システム”“内部雷保護システム”と②建築物内の電気設備の雷保護が規格化された。

外部雷保護システムは、受雷部（避雷針）で捕捉した雷電流を引き下げ、導体や接地システムで速やかに大地に放流することなどである。内部雷保護システムは、この雷電流により建物内部の金属部分（鉄骨）に発生する過電圧を抑制するための電位ボンディングや安全隔離距離の確保などをいう。本稿では、②電気設備の雷保護の機能を果たすサージ防護デバイス（以下、避雷器）の種類、動作原理、使用回路例をもとに、雷サージから機器・設備の保護のための適用技術について概説する。

2 雷保護の考え方

2.1 雷の種類と保護

雷の種類は、直撃雷、誘導雷に大別され、雷の種類に応じた避雷対策が重要である。

直撃雷は一般的な落雷で、雷放電が人、建築物や送電線などに直接落雷するものである。その時に流れる雷電流は200kAを超えるような大きな電流であり、人命を奪う、建物を破壊する、爆発、火災を起こすなど大きな被害を引き起こす。この直撃雷に対しては、建築物に外部雷保護システムや内部雷保護システムを設けて保護するのが一般的である。また、山頂の無線中継局においては、配電線に放流された雷電流が近隣に悪影響を及ぼさないなどの条件を満たす場合は直撃雷用の避雷器の設置で保護する。

誘導雷は、直撃雷が建築物や配電線のそばの樹木などに

〈注〉サージ防護デバイス：JIS C 5381-1:2004では“SPD：Surge protective devices”と呼称、アレスタとも称する。

落ちた際に流れる雷電流からの電磁誘導によって、配電線、信号線、金属構造物に発生する過電圧である。この過電圧は建物内に設置された電気設備・機器の電源と大地間の絶縁破壊を起し、ノイズによる機器の誤動作を引き起こす。この誘導雷に対しては電磁遮蔽（しゃへい）、等電位ボンディング、配線工事の工夫などで雷サージの影響を低減させることが重要である。最終的には避雷器を設置して雷電流を大地に放流させ、機器の絶縁破壊電圧以下に電圧を抑制することで保護する。

2.2 誘導雷の侵入経路とその対策

図2に誘導雷サージの侵入経路を示す。配電線・通信・信号線を通じて侵入する雷サージ、建物または避雷設備などに落雷して、建物鉄筋、鉄骨などから誘導される雷サージ、地中に埋設されている接地システム（接地線）より侵入する雷サージが考えられる。この雷サージから電気設備・機器を保護するためには、雷サージの侵入口に避雷器を設置し、避雷器を通して雷サージ電流を大地に放流するとともに、避雷器と設備・機器の接地を共通化し、被保護機器に過電圧が印加しないようにする。図3に避雷器の設置場所を示す。電源用避雷器、信号回路用避雷器など、被保護機器に見合った性能・仕様を持つ避雷器を適切に設置し、設備・機器を保護する必要がある。

図2 誘導雷の侵入経路

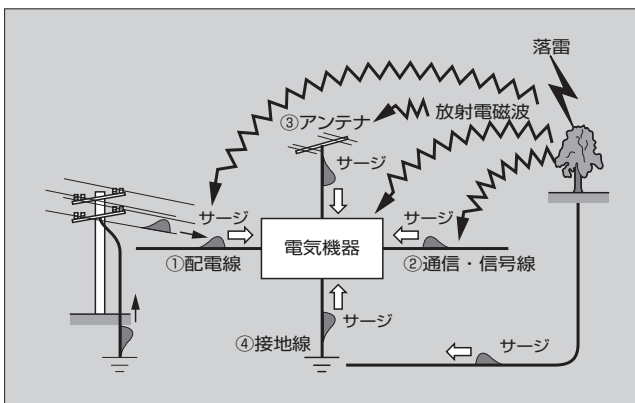
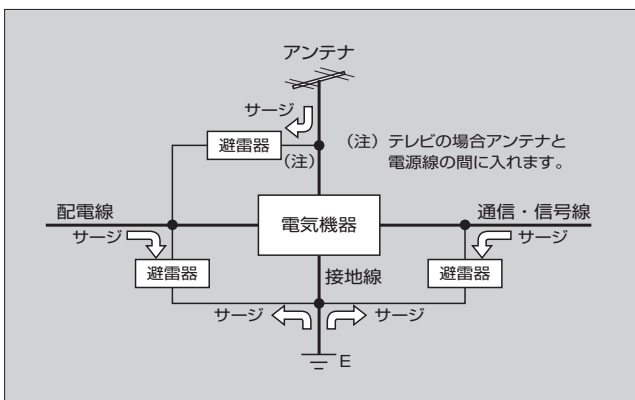


図3 避雷器の設置場所



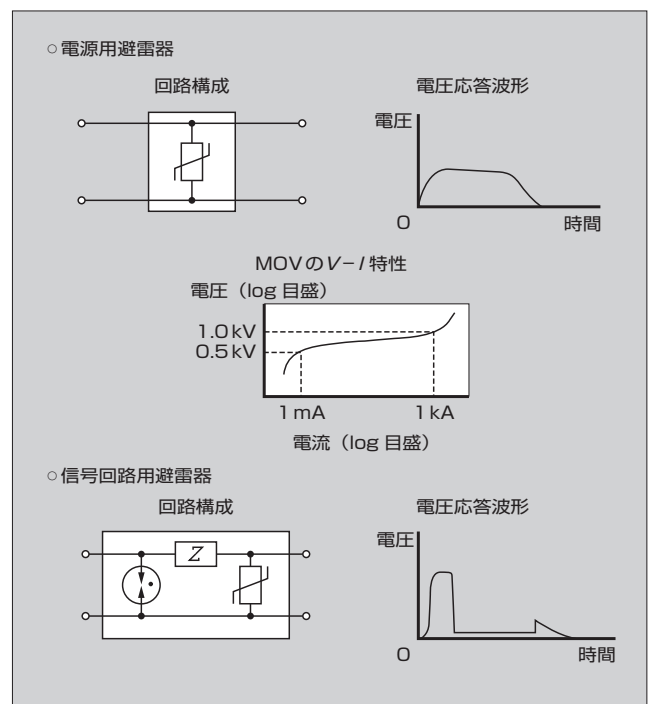
3 避雷器の種類と動作原理

JISには低圧配電システムに接続する避雷器、通信および信号回路に接続する避雷器の所要性能と試験方法が規定されている。ここでは電源用避雷器と信号回路用避雷器の動作原理について記述する。図4にそれぞれの避雷器の動作原理図を示す。

電源用避雷器には一般的に1ポート電圧制限型避雷素子を使用する例が多い。この避雷素子には金属酸化物バリスタ(MOV)、特に酸化亜鉛(ZnO)バリスタが主流である。MOVはサージ電流耐量が大きく、かつ放電後の続流がないため電源線と大地間に接続される電源用避雷器に適した素子である。MOVのV-I特性に示すように平常時は高インピーダンスであるのに対して、雷サージ侵入時にはサージ電流および電圧の増加に従い連続的にインピーダンスが減少し、機器の絶縁耐電圧以下に電圧を抑え、機器の電源-大地間の絶縁破壊を抑止する。

信号回路用避雷器は電圧制限形素子と電圧スイッチング形素子を組み合わせ、2ポート・複合型避雷器が一般的である。サージ抑圧特性とサージ応答特性に優れた電圧制限形素子(アバランシェブレークダウンダイオード: ABD)とサージ耐量の大きい電圧スイッチング型素子(ガス入り放電管: GDT)の組合せでサージ耐量が低い電子機器の保護を万全にしている。平常時はダイオード、放電管ともに高インピーダンスで、雷サージ侵入時には、まずダイオードにサージ電流が分流し、電圧をクランプする。サージ電流通過で放電管端子電圧が上昇し、放電管の放電により端子電圧を数V程度に制限して機器の対地間絶縁破壊を抑止する。

図4 避雷器の動作原理図



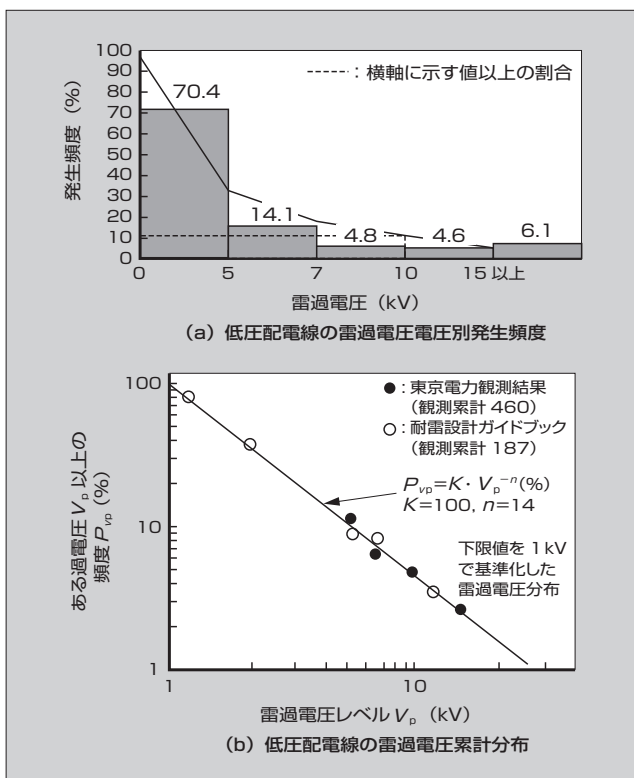
4 避雷器の選定と設置方法

4.1 避雷器の選定

避雷器の選定においては配電線に発生する誘導雷サージ電圧の大きさの把握が重要である。図5に低圧配電線に発生する誘導雷過電圧の観測例を示す。このデータは柱上に取り付けたサージカウンタにより過電圧波高値の発生頻度を測定したものである。雷過電圧の発生割合は、観測例の70%が2～5kVの範囲内にあり、10kV程度の雷過電圧も10%程度あることが確認できる。ほかのデータを加味した雷過電圧の累積分布によれば、低圧配電回路の雷過電圧は3～30kVであると想定される。この過電圧が機器・設備に印加され接地抵抗を通して大地に放流される。接地抵抗を10～100Ωとすれば、雷サージ電流は接地抵抗を低めに想定しても3kA程度である。この雷サージ電流から設備・機器を保護するため、富士電機の電源用避雷器の最大放電電流 I_{max} は10kAと20kAのシリーズをそろえている。

そのほか、電源用避雷器の選定においては避雷器の電圧防護レベル、適用回路の定格電圧、相数に従って機種選定を行う。通信・信号回路に適用される避雷器に関しては、接続される装置・機器の多種多様な仕様や用途に適した機種の選定が重要である。さらに、被保護機器の充電部-接地間の絶縁耐力(耐電圧)に適合した避雷器の選定のほか、信号電圧・電流、伝送特性(周波数帯域、挿入損失、伝送速度)、配線心線数などを考慮した選定が必要である。表1に避雷器の代表的な種類と仕様を示す。

図5 雷サージ電圧の観測例



4.2 避雷器の設置方法

電源用避雷器は、被保護機器の電源線と接地端子の間に設置することが基本である。避雷器は雷サージ侵入口である幹線用の配線用遮断器(MCCB)の負荷側に後述するSPB分離器とともに配置する。避雷器は、通常絶縁物として作用し、サージ侵入時には一種の短絡状態になり接地電位と等電位化を図り、機器に過電圧が印加されることを防ぐ。この雷サージが通過したときの避雷器端子間の制限電圧が機器を絶縁破壊から守る。そのため機器の接地と避雷器の接地の等電位化が重要である。図6に示すように避雷器の接地端子と被保護機器の接地端子を接続し、避雷器の接地端子から盤または装置の接地端子に最短距離で接続する必要がある。なお、同一盤内で、同一電源に配線されている多数の被保護機器に対しては、基本的に電源入口に設置した一台の避雷器ですべての機器を保護する。しかし避雷器の設置位置から10m以上離れた位置に被保護機器がある場合は、避雷器以降の配線の条件によっては、避雷器の制限電圧以上の電圧になる恐れがあるので機器直前にも避雷器の設置が推奨されている。

計装システムなどは、センサ(熱電対、流量計など)を設置している現場と、計器などを設置している監視室が離れているのが一般的で、センサと監視室をつなぐ信号線・通信線に誘導雷サージが誘起される。したがって避雷器はセンサ側と監視室側の被保護機器のそばに設置するのが機器保護上望ましい。PLCやリモートターミナルなどのネットワーク機器の信号伝送回路もマスタ(CPUモジュール)とスレーブ(入出力モジュール、通信モジュール)間の通信線に誘導雷サージが誘起される。同様に避雷器を被保護機器であるマスタおよびスレーブのそばに設置するのが望ましい。図7は信号回路用避雷器の設置例を示す。なお、被保護機器の電源回路の保護に関しては、電源用避雷器を必ず併用することが重要である。また、信号線・通信線を外部に敷設する場合は、金属管ダクトに収納するなどして誘導による過電圧の侵入を防止することが大切である。

5 SPD分離器としての配線用遮断器

避雷器の分離器をJISでは“SPD分離器:SPD disconnecter”と呼称し、JIS C 5381-1, JIS C 5381-12では“避雷器が故障した場合に、避雷器を系統から切り離す装置。系統の持続的な故障を防ぎ、避雷器の故障を表示するものである。”と定義している。SPD分離器の役割は、①避雷器が破損または劣化したときに他の回路への波及事故を防ぐためのバックアップ遮断を行う、②設備、装置の耐圧試験または絶縁抵抗試験を行うときおよび避雷器を交換するときに回路を断路することである。富士電機はSPD分離器として高遮断容量の栓形ヒューズを接続することを推奨している。さらなる取扱いの利便性を考慮して、避雷器と組み合わせ使用できるように配線用遮断器の試験検証を行い、その選定をまとめたので説明する。

配線用遮断器のJISで規定されている雷サージに対する試験項目はインパルス耐電圧試験の規定があるのみである。雷サージ電流耐量に関する規定はなく、SPD分離器とし

ての検証は不十分である。SPD分離器として配線用遮断器を適用するためには、避雷器設置場所での想定短絡電流に対応した遮断容量を持つ機種を選定するのはもちろんで

表1 避雷器の種類と主な仕様

(1) 電源用避雷器

形式	CN23211	CN23212	CN23232		CN2324E	CN2324L	CN23311	CN23312	CN23332		CN2334E
適用回路 定格電圧 (最大連続使用電圧) Uc (50/60Hz)	1φ2W 120V	1φ2W 240V	1φ3W 100/200V	3φ3W 240V	3φ3W 440V (対地間用)	3φ3W 440V (線間用)	1φ2W 120V	1φ2W 240V	1φ3W 100/200V	3φ3W 240V	3φ3W 440V (対地間用)
試験クラス (JIS C 5381-1)	クラスII										
最大放電電流 I _{max} (8/20μs)	対地間	10kA	10kA	10kA	10kA	—	20kA	20kA	20kA	20kA	20kA
	線間	5kA	5kA	5kA	—	5kA	5kA	5kA	5kA	—	—
公称放電電流 I _n (8/20μs)	対地間	5kA	5kA	5kA	5kA	—	5kA	5kA	5kA	5kA	5kA
	線間	1.5kA	1.5kA	1.5kA	—	1.5kA	1.5kA	1.5kA	1.5kA	—	—
放電開始電圧 V _{1mA}	対地間	420~520V	610~750V	610~750V	990~1,210V	—	420~520V	610~750V	610~750V	850~1,100V	
	線間	240~310V	420~520V	420~520V	—	800~1,100V	240~310V	420~520V	420~520V	—	
電圧防護 レベル Up	対地間	1,100V以下	1,500V以下	1,500V以下	2,500V以下	—	1,100V以下	1,500V以下	1,500V以下	2,500V以下	
	線間	700V以下	1,100V以下	1,100V以下	—	2,000V以下	700V以下	1,100V以下	1,100V以下	—	

(2) 通信・信号用避雷器

形式	CN227-RS42	CN227-RS44	CN227-RS44A	CN227-350S	CN227-SD	CN227-UCP	CN227-NT	CN227-TV
用途	RS-485, PLC(Tリンク), リモーターミナル DC60V以下の信号回路		RS-485, リモーターミナル, DC24V以下の信号回路	放送スピーカ回路 AC100/200V 接点信号回路	一般電話回線用	一般電話回線用 (モジュール形)	ITV・監視カメラ用	BS/CS デジタルTV用
	2線式	4線式	小静電容量形, 4線式	4線式	2線式	2線式		
最大連続使用電圧 U _c	DC60V		DC27V	AC275V/DC350V	DC180V	DC170V	DC30V	DC60V
定格電流	500mA		100mA	2A	120mA	130mA	250mA	500mA
伝送周波数帯域	DC~2MHz		DC~500kHz	DC~100kHz	DC~5MHz	DC~10MHz	DC~10MHz	DC~2.2GHz
挿入損失	1dB以下		1dB以下	1dB以下	1.5dB以下	1dB以下	1.5dB以下	0.5dB以下
直流抵抗	0.1Ω以下		5Ω±10% (1線)	0.5Ω以下	20Ω以下 (1線)	13Ω以下 (1線)	4Ω以下	—
直流動作電圧 V _{1mA}	線間	DC82V±10%		—	—	—	—	—
	対地間	—		1,2,3,4-5,8間: DC33V±10%	1,2,3,4-5,8間: DC470V±10%	—	—	—
直流放電開始電圧 (100V/s)	DC90V±20%		5,8-6,7間: DC90V±20%	5,8-6,7間: DC90V±20%	DC230V±20%	DC175~275V	DC90V±20%	DC90V±20%
電圧防護レベル (インパルス制限電圧 U _p)	線間	400V以下		A,B,C,D相互間: 100V以下	A,B,C,D相互間: 1,300V以下	400V以下	300V以下	250V以下
	対地間	400V以下		A,B,C,D-E,H間: 100V以下 E,H-F, G間: 600V以下	A,B,C,D-E,H間: 1,300V以下 E,H-F,G間: 600V以下	400V以下	300V以下	250V以下 600V以下 (中心導体~外部導体間)
インパルス耐性	カテゴリ C2 (8/20μs)	10kA		10kA	10kA	10kA	10kA	10kA
	カテゴリ D1 (8/350μs)	2.5kA		2.5kA	0.5kA	5kA	2.5kA	2.5kA

あり、雷サージ電流通過時の配線用遮断器の性能検証が必要である。

富士電機が提供する電源用アレスタの最大放電電流値（試験クラスⅡ 8/20 μ s）に見合った雷サージ耐量試験を富士配線用遮断器 EA30～50, SA30～50 シリーズで試験検証をした。表2は試験結果の代表例である。表3に電源用避雷器とSPD分離器の選定表を示す。

5.1 導電部の過電流耐量（熱的損傷）

配線用遮断器に雷サージ電流が流れた場合、雷サージ電

図6 電源用避雷器の設置例

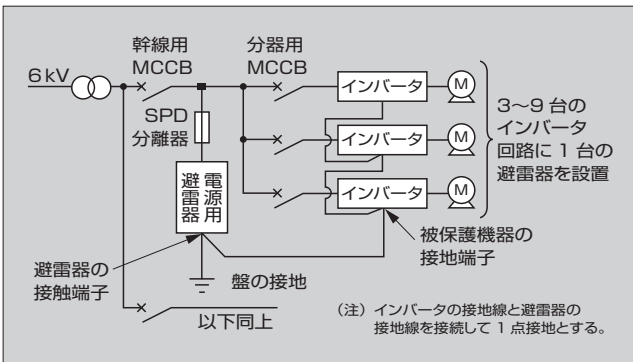


図7 通信・信号用避雷器の設置例

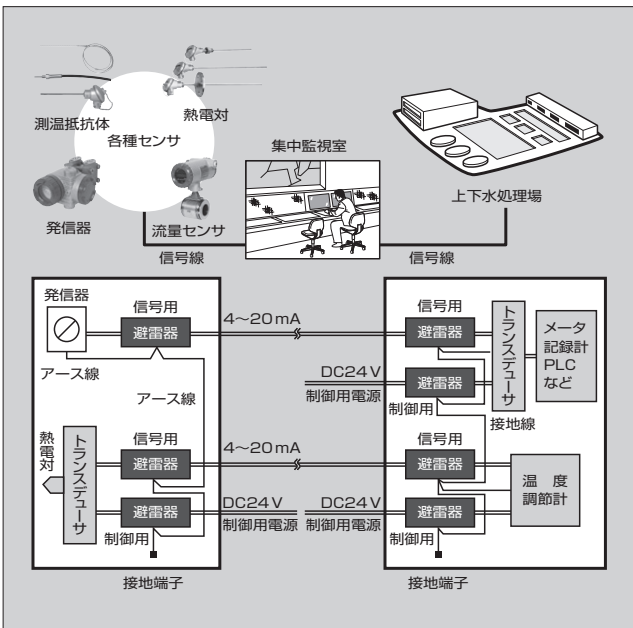


表3 電源用避雷器とSPD分離器選定表

避雷器形式		CN232 シリーズ				CN233 シリーズ			
最大放電電流		(8/20 μ s) 10kA				(8/20 μ s) 20kA			
SPD分離器	配線用遮断器形式	EA33AC/30	SA33C/30	SA53C/30	SA53RC/30	EA53AC/50	EA53C/50	SA53C/50	SA53RC/50
		AC230V (kA)	2.5	5	10	25	2.5	5	10
	AC440V (kA)	1.5	2.5	7.5	10	1.5	2.5	7.5	10

流が通過したときの電流二乗時間積 I^2t が短絡遮断試験時の全遮断 I^2t より大きいと、導電部の溶断や電磁コイルの損傷が発生する恐れがある。試験検証済みの栓形ヒューズの容量を基にして、30 A 定格品は 10kA, 50 A 定格品は 20kA の雷サージ電流通過で異常が生じないことを確認した。

5.2 電磁コイルの絶縁破壊、機械的損傷

完全電磁式の配線用遮断器は、過電流を検出するために電磁コイルを使用している。この電磁コイルのリアクトル成分のため、雷サージ電流の影響で過電圧が発生する。この電圧がコイルの絶縁破壊電圧を超えると閃絡（せんらく）を生じる。30 A 定格品は 10kA, 50 A 定格品は 20kA の雷サージ電流で確認したところ電磁コイルの不具合現象は発生しなかった。

5.3 瞬時引外し機構の不要動作

電源用避雷器の最大放電電流値は配線用遮断器の瞬時引き外し電流よりはるかに大きく、瞬時引外し機構が働き配線用遮断器の不要動作が懸念された。しかしサージ電流の通過時間が極めて短時間のため瞬時引外し機構が応答せず、不要動作（誤動作）の現象は発生しなかった。

5.4 接点の溶着現象

配線用遮断器に雷サージ電流のような大きな電流が流れた場合、可動-固定接点部間の電磁反発力で、瞬間的に接点が浮上り再接触時に溶着を生じる可能性がある。試験結果では 10kA の雷サージ電流では接点の浮上り現象は

表2 雷サージ電流耐量試験例

供試品形式	EA33AC 30A 定格		EA53AC 50A 定格	
	試験電流 (8/20 μ s)		試験電流 (8/20 μ s)	
試験検証項目	5kA	10kA	15kA	20kA
不要動作	無	無	無	無
接点の浮上り現象	無	無	有	有
接点溶着	無	無	無	無
導電部の損傷	無	無	無	無
電磁コイルの損傷	無	無	無	無
試験後の動作 (200% 過電流引外し動作試験)	良	良	良	良

発生しなかったが、15～20 kA では接点の浮上り現象が見られた。しかし接点の浮き上りで微小の発弧現象は認められたものの接点溶着に結びつく不具合は発生しなかった。

6 あとがき

雷保護対策の考え方を基に、避雷器の種類と動作原理、機種選定、SPD 分離器の選定などについて概説した。雷保護関連の JIS が整備され、雷保護システムに関する関心が高まっている。今後ともお客さまのご批判を仰ぎ、避雷器の適用技術のよりいっそうの充実と多様な要求に応える商品化を図っていく所存である。

また、SPD 分離器としての配線用遮断器の適用検討においては試験設備を使用させていただいた株式会社昭電殿に感謝を申しあげる次第である。

参考文献

- (1) “2.2 雷サージ防護デバイス (SPD) の種類と特徴 (構造, 機能)”. 最新の雷サージ 防護システム設計. 日本規格協会. 電子情報技術協会雷サージ防護システム設計委員会. 2006.
- (2) “第3章 建造物に侵入する雷サージ様相”. 雷と高度情報化社会. 電気設備学会. 1999.



石川 雅英

低圧回路遮断器、電磁開閉器、制御リレーなどの汎用電気機器の設計・開発企画に従事。現在、富士電機テクニカ株式会社営業本部営業企画室。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。