

論文

直撃雷用 SPD 分離器構成方法の検討

黒澤 大樹*¹⁾

A study of the SPD separator configuration method for direct lightning strikes

Taiju Kurosawa*¹⁾

A SPD (Surge Protective Device) is used to protect a low voltage power supply circuit against lightning. However, it may fail in a short circuited state due to deterioration of the SPD caused by repeated surges etc. Under the Japanese Industrial Standards JISC5381, the installation of a SPD separator such as a circuit breaker or fuse etc. to separate the SPD from the power supply system when the SPD is short circuited is stipulated. The role of the SPD separator is to ensure the lightning current does not cause any damage. In the event that the SPD is degraded and a short circuit current flows from the power supply line to the ground, it will quickly isolate the short circuit current. However, there is no ideal SPD separator for direct lightning strikes at the present moment. In this study, by connecting a link fuse in series with the SPD separator, we aimed to resolve the problems faced by a SPD separator for direct lightning strikes.

キーワード : SPD, MCCB, ヒューズ, 雷インパルス電流

Keywords : SPD, MCCB, Fuse, Impulse current

1. はじめに

低圧電源回路の雷保護には、サージ防護デバイス (SPD : Surge protective device) を使用する。一般的な電源用 SPD には、金属酸化バリスタ (MOV : Metal oxide varistor) を使用している。MOV は繰り返しのサージなどにより劣化が進み、短絡状態で故障する場合がある。このため、日本工業規格 JIS C5381-11:2014, -12:2014^{(1), (2)}では、SPD の短絡時に SPD を電源系統から切り離すために必要な装置として、SPD 分離器 (配線用遮断器やヒューズ等) の設置を規定している。図 1 に SPD と SPD 分離器の関係について示す。

雷電流が電源線に重畳してきた場合には、SPD と SPD 分

離器の役割は、雷電流で破壊することなく雷電流を確実に大地に逃がし、SPD 分離器の役割は SPD が劣化し短絡電流が流れた場合には、速やかに短絡電流を遮断し火災などの被害を防ぐことである。SPD 分離器は、雷インパルス電流耐量が SPD と同等以上の性能を有し、SPD が故障して短絡した際には、速やかに短絡電流を遮断できることが理想である。また、誘導雷用の SPD 分離器は、十分な性能を持った SPD 分離器用の SPD ヒューズ⁽³⁾ が市販されている。しかし、直撃雷用は、理想的な SPD 分離器が存在しない。雷インパルス電流耐量を考慮して SPD 分離器を選定すると、定格電流が大きくなり、短絡電流を遮断できない。または、遮断するまでに数十秒かかってしまう領域 (以下、遮断不可領域) が存在してしまうことが課題となる。

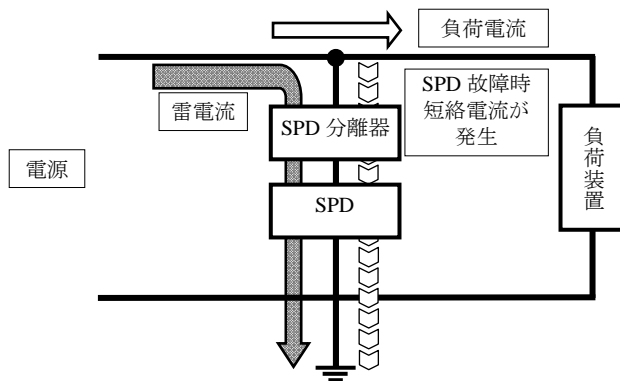


図 1. SPD と SPD 分離器

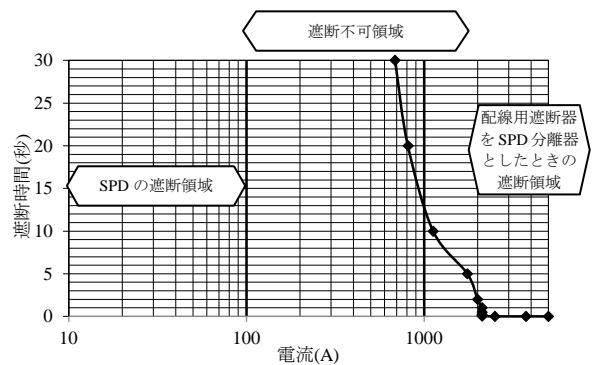


図 2. SPD と SPD 分離器の遮断領域の例

事業名 平成 26 年度 基盤研究 B
*¹⁾ 電気電子技術グループ

例えば、SPD 分離器として、250 アンペアフレーム、定格

電流 125 A の配線用遮断器を今回の実験で使用する SPD 分離器の 1 つとして選んだ場合の SPD 分離器の遮断領域を図 2 に示す。SPD 本体に電流遮断性能を備えた製品も市販されている。しかし、SPD では 100 A を超えるような短絡電流が遮断できないため⁽⁴⁾、図 2 に示す SPD の遮断領域を除いた 100 A～2000 A の遮断不可領域が存在してしまう。

本研究では、図 2 で示す遮断不可領域を解決するために、配線用遮断器と協調の取れた配線用つめ付きヒューズ⁽⁵⁾（以下、つめ付きヒューズ）を直列に接続した直撃雷用 SPD 分離器について検討した。

2. 実験

2.1 ヒューズの雷インパルス電流耐量 複数のヒューズについて雷インパルス電流耐量の実験を行った。実験には直撃雷を想定し、JIS 規格で規定しているクラス I⁽¹⁾（10/350 μs の電流波形）の電流発生装置を用いた。電流波形を図 3 に示す。

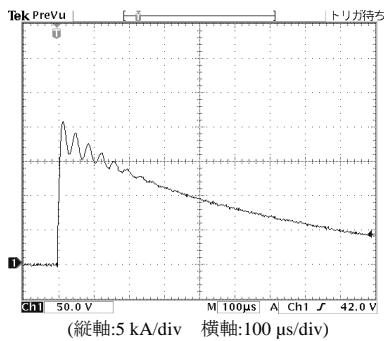
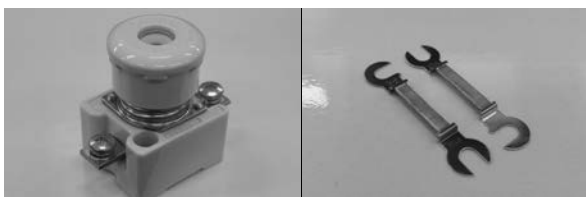


図 3. 20 kA 雷インパルス電流波形

(1) 実験試料 使用した試料①～⑥を表 1、試料の外観を図 4 に示す。実験は定格電流の異なる栓型ヒューズ⁽⁶⁾とつめ付きヒューズに対して行った。

表 1. ヒューズの実験試料

試料番号	種類	定格電流(A)
①	栓型	60
②	栓型	100
③	つめ付き	30
④	つめ付き	50
⑤	つめ付き	60
⑥	つめ付き	100



(左) 栓型ヒューズ (右) つめ付きヒューズ
図 4. 実験試料

(2) 実験条件 実験条件を表 2、実験回路を図 5 に示

す。新品のヒューズに対し、それぞれ雷インパルス電流を 1 回通電しヒューズエレメントの状態を確認した。ヒューズエレメントが切れなかった最大の電流をそのヒューズの雷インパルス電流耐量（1 回）とした。

表 2. ヒューズの雷インパルス電流耐量の実験条件

電流波形	クラス I (10/350 μs)
通電電流 (kA)	5, 7.5, 10, 12.5, 15, 17.5, 20
通電回数	1 回（新品状態の試料に通電）

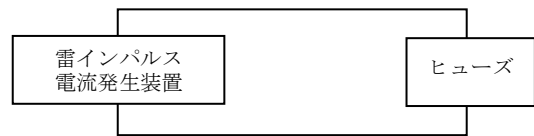


図 5. ヒューズの雷インパルス電流耐量の実験回路

2.2 交流電流に対する遮断特性 SPD が短絡したとき、連続して流れる電流を短絡電流とする。実験では、想定する短絡電流を安定的に通電するため、交流定電流電源を使用する。

(1) 実験試料 表 3 に示す試料③～⑥について実験を行った。

表 3. 交流電流に対する遮断特性の実験試料と実験条件

試料番号	種類（定格電流）	交流電流 (A)
③	つめ付き(30 A)	65, 70, 80, 100
④	つめ付き(50 A)	100, 110, 120, 130
⑤	つめ付き(60 A)	125, 150, 170, 200
⑥	つめ付き(100 A)	250, 270, 300, 350

(2) 実験条件 実験は交流定電流電源装置（株式会社 YAMABISHI 型番 MTS-15HRCX）を使用した。実験条件として交流電流を表 3、実験回路を図 6 に示す。試料③～⑥に対し、表 3 に示した交流電流を通電し、遮断するまでの時間を測定した。



図 6. 交流電流に対する遮断特性の実験回路

2.3 提案する SPD 分離器の実験 配線用遮断器単体を直撃雷用 SPD 分離器として使用すると図 2 の遮断不可領域が課題となる。一方、つめ付きヒューズ単体で直撃雷用 SPD 分離器として使用するには、短絡電流の遮断性能が不十分である。そのため、配線用遮断器とつめ付きヒューズの特徴を組み合わせ、より信頼性の高い SPD 分離器を検討した。

(1) 提案する SPD 分離器の構成 提案する SPD 分離器の目標とした仕様を表 4、外観を図 7 に示す。定格遮断容量は、市販品である誘導雷用 SPD 分離器の SPD ヒューズ⁽³⁾

と同等の 10 kA とした。今回の実験では、250 アンペアフレームで定格電流 125 A の配線用遮断器を選定したため、定格遮断容量の目標は満たすことができた。

表 4. SPD 分離器の仕様

雷インパルス電流耐量	定格遮断容量	交流 100 A
10 kA 以上	10 kA 以上	5 秒以内に遮断

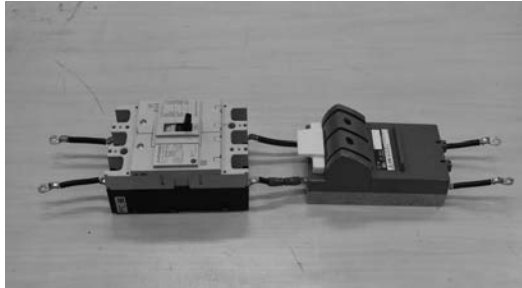


図 7. 提案する SPD 分離器

(2) 雷インパルス電流耐量 提案する SPD 分離器の雷インパルス電流耐量について実験を行った。実験条件を表 5, 実験回路を図 8 に示す。

表 5. 雷インパルス電流耐量の実験条件

電流波形	クラス I (10/350 μs)
通電電流	20 kA 1 回
通電方法	2 極一括 (u, w 極一括)
通電後の確認方法	配線用遮断器のトリップボタンによる確認。目視による外観確認。

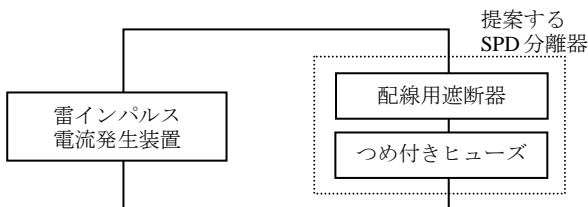


図 8. 提案する SPD 分離器の雷インパルス電流耐量の実験回路

(3) 電流遮断性能 提案する SPD 分離器の電流遮断性能について実験を行った。実験回路を図 9 に示す。短絡電流を模擬した 100 A を u, w 極について 1 極ごとに通電し遮断時間を測定した。

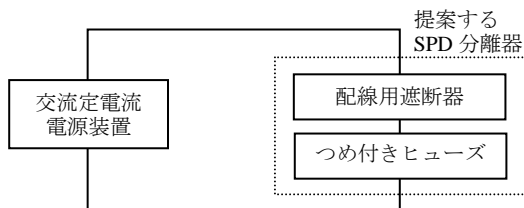


図 9. 提案する SPD 分離器の電流遮断性能の実験回路

3. 結果

3.1 ヒューズの雷インパルス電流耐量 試料①～⑥の雷インパルス電流耐量の測定結果を表 6 に示す。

表 6. 雷インパルス電流耐量 (10/350μs)の測定結果

試料番号	種類	電流耐量(kA)
①	栓型(60 A)	5
②	栓型(100 A)	10
③	つめ付き(30 A)	5
④	つめ付き(50 A)	12.5
⑤	つめ付き(60 A)	17.5
⑥	つめ付き(100 A)	20

例えば、定格電流 60 A の栓型ヒューズとつめ付きヒューズを比較すると、つめ付きヒューズの方が約 3 倍程度の雷インパルス電流耐量を有している。

表 6 から、つめ付きヒューズの雷インパルス電流耐量は、定格電流の同じ栓型ヒューズと比較すると、つめ付きヒューズの方が大きな雷インパルス電流耐量を有していることがわかる。

3.2 交流電流に対する遮断特性 つめ付きヒューズの遮断特性の測定結果を表 7 および図 10 に示す。図 10 から、100 A の電流を定格電流 30 A のつめ付きヒューズは 0.9 秒、定格電流 50 A のつめ付きヒューズは 12 秒で遮断した。

表 7. つめ付きヒューズの交流電流に対する遮断特性の結果

定格電流	交流電流(A)	66	71	82	102
		遮断時間(s)	遮断時間(s)	遮断時間(s)	遮断時間(s)
定格電流 30 A	交流電流(A)	66	71	82	102
	遮断時間(s)	5.9	4.7	3	0.9
定格電流 50 A	交流電流(A)	100	113	123	133
	遮断時間(s)	12	8.2	6.2	5
定格電流 60 A	交流電流(A)	125	149	169	199
	遮断時間(s)	13.2	6.9	4.8	3.2
定格電流 100 A	交流電流(A)	248	271	299	350
	遮断時間(s)	6.6	5	3.9	2.7

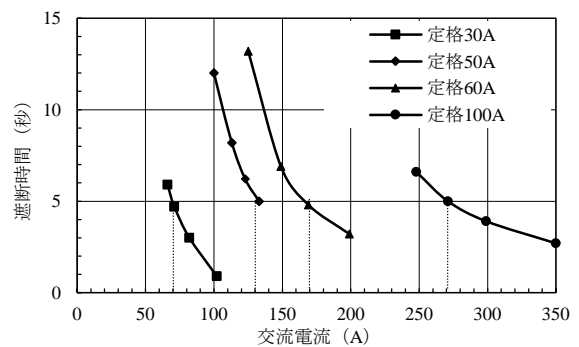


図 10. つめ付きヒューズの交流電流に対する遮断特性の結果

3.3 提案する SPD 分離器の結果 3.2 交流電流に対する遮断特性結果から、提案する SPD 分離器のつめ付きヒューズは定格電流 50 A とした。雷インパルス電流耐量と電流遮断特性を表 8 に示す。雷インパルス電流耐量は 1 極あたり

10 kA であった。雷インパルス電流通電後の配線用遮断器の動作確認および目視による外観検査において、特に異状は認められなかった。

交流電流 100 A の遮断時間は u, w 極ともに 11.2 秒であった。提案する SPD 分離器の遮断特性を図 11 に示す。図 11 から、配線用遮断器に定格電流 50 A のつめ付きヒューズを直列接続すると、100 A～200 A では 10 秒前後、200 A～2000 A では 5 秒以下で遮断できることがわかる。

表 8. 提案する SPD 分離器の雷インパルス電流耐量と遮断特性の結果

配線用遮断器	つめ付きヒューズ	電流耐量 (1 回)	電流遮断性能
AF 250/125 A	定格電流 50 A	10 kA (1 極毎)	11.2 秒遮断

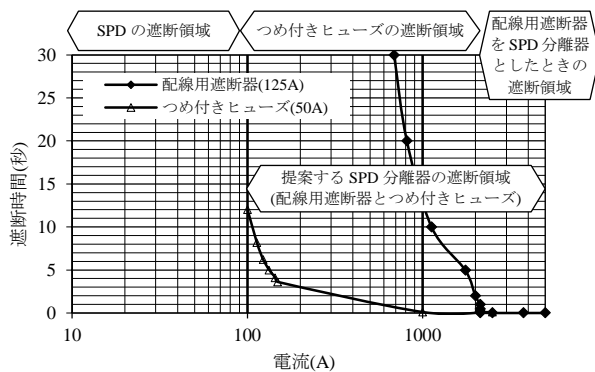


図 11. 提案する SPD 分離器の遮断特性

4. 考察

①ヒューズの雷インパルス電流耐量の結果から、栓型ヒューズとつめ付きヒューズの雷インパルス電流耐量を比較すると、つめ付きヒューズは定格遮断電流 2.5 kA でエレメントは棒状 (図 4)、栓型ヒューズは定格遮断電流 100 kA でエレメントはハニカム状である。図 12 に雷インパルス電流で溶断した栓型ヒューズのエレメントを示す。図 12 のように、栓型ヒューズのエレメントはハニカム状の細くなっている部分で溶断していた。これは栓型ヒューズの遮断性能が雷インパルス電流に対しても応答したためである。その結果、表 6 に示すように栓型ヒューズとつめ付きヒューズの雷インパルス電流耐量の違いが表れたと考えられる。

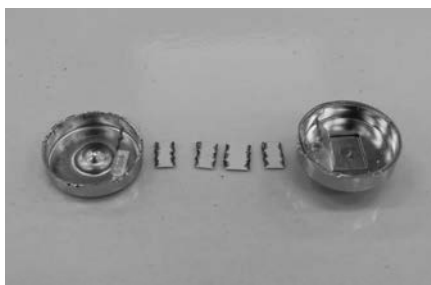


図 12. 溶断したヒューズエレメント

②交流電流に対する遮断特性の結果から、提案の SPD 分離器の表 4 の仕様を満たすようなつめ付きヒューズは存在

しなかった。表 4 の仕様が一番近いつめ付きヒューズは定格電流 50 A のつめ付きヒューズであった。図 10 から、定格電流 50 A のつめ付きヒューズが 5 秒で遮断することができる電流の境界は約 140 A であることがわかる。例えば、SPD の遮断性能が 100 A から 150 A へ向上すると、定格電流 50 A のつめ付きヒューズで表 4 に示す SPD 分離器が構成できる。

③提案する SPD 分離器の実験結果から、図 2 に示す 100 A～2000 A までの遮断不可領域の短絡電流は、つめ付きヒューズで遮断することができた。このように協調の取れたつめ付きヒューズを選定することで、配線用遮断器とつめ付きヒューズで構成した SPD 分離器の信頼性の向上が可能である。

5. まとめ

配線用遮断器やつめ付きヒューズを単体で SPD 分離器として使用するには遮断不可領域の存在が課題となる。今回、配線用遮断器と協調の取れたつめ付きヒューズを直列に接続することで、図 11 に示すように遮断不可領域を解決した。この組み合わせにより、信頼性の高い SPD 分離器を構成することができた。

今後 SPD の性能が向上すると、図 2 に示す SPD の遮断領域が広がり、遮断不可領域が狭くなる。例えば、SPD 単体で 200 A の短絡電流を遮断できれば、定格電流 60 A のつめ付きヒューズを選定する。このときの配線用遮断器とつめ付きヒューズを組み合わせた SPD 分離器の性能は、雷インパルス電流耐量が 15 kA 1 回、短絡電流は 200 A～2000 A の範囲で 5 秒以内に遮断でき、より信頼性の高い SPD 分離器が構成できることになる。

今回 100 A の電流を 5 秒以内に遮断する SPD 分離器は実現できなかったが、従来にない 100 A～200 A の短絡電流を 10 秒前後、200 A～2000 A までの短絡電流を 5 秒以内に遮断する SPD 分離器が構成できた。直撃雷用 SPD 分離器における課題解決の 1 つとして、配線用遮断器とつめ付きヒューズを接続した SPD 分離器を提案する。今後も継続して SPD と SPD 分離器の関係を検討していく。

(平成 28 年 7 月 11 日受付, 平成 28 年 7 月 26 日再受付)

文 献

- (1) JIS C 5381-11²⁰¹⁴ 低圧配電システムに接続する低圧サージ防護デバイスの要求性能及び試験方法
- (2) JIS C 5381-12²⁰¹⁴ 低圧配電システムに接続するサージ防護デバイスの選定及び適用基準
- (3) 株式会社サンコーシャ ホームページ サンコーシャ安心・安全な社会インフラ構築へ新技術による SPD と SPD 分離器 http://www.sankosha.co.jp/products/lightning/spd_power/BF3_p_20150319.pdf 2016.6.22 閲覧
- (4) 電子情報技術産業協会規格 RC-4502 低圧サージ防護デバイス用分離器 SPD 分離器ヒューズ(SFD)の選定及び適用基準 2013 年 12 月
- (5) JIS C 8313²⁰¹⁶ 配線用つめ付きヒューズ
- (6) JIS C 8319²⁰¹⁶ 配線用栓型ヒューズ