

Invitation To Railway Technology

フォトダイオードを用いた直流高速遮断器用アーク検知器の開発

1. はじめに

直流き電用変電所には、事故電流を遮断する直流高速空気中遮断器（以下 HSCB）が設置されています。変電所直近で事故が発生して過大な事故電流が流れた場合、HSCB が電流を遮断できない（接点を物理的に引き離れたにもかかわらず、アークで電流が流れ続ける状態）恐れがあります。そこで、アーク検知器でこれを検知し、変電所の上流の交流遮断器で電流を遮断することによって変電所の火災を防止しています。HSCB とアーク検知器の整備構成は図1のようになっています。このアーク検知器の受光素子には、セレン光電池や紫外光を検出する光電管が適用されています。近年では半導体に関する開発が進み、一般的な光検知器としてフォトダイオードが用いられるようになってきました。そのうち、ガリウム砒素（以下、GaP）と、シリコンカーバイド（以下、SiC）の2つの半導体材料は紫外光領域に感度を有することから、現行品の代替品としての適用が期待されます。ここでは、フォトダイオードを用いたアーク検知器を試作し、その性能を検証した結果を紹介します。

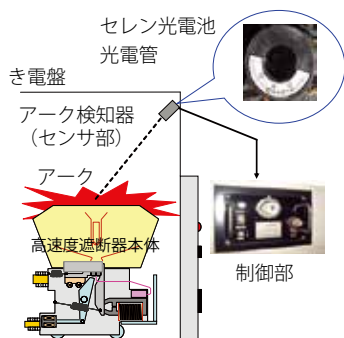


図1：アーク検知器の動作

2. 試作

(1) アーク光スペクトル分析

アーク検知器は、HSCB の電流遮断時に発生するアーク光を検出する必要があるため、受光素子に必要な波長感度領域を特定するために、アーク光に含まれるスペクトル分布を測定しました。測定結果を図2に示します。継続時間8.3sのアークのスペクトルを測定した結果です。顕著なスペクトルは200から250nmの範囲に多数、328nm、338nm、521nm、546nmです。

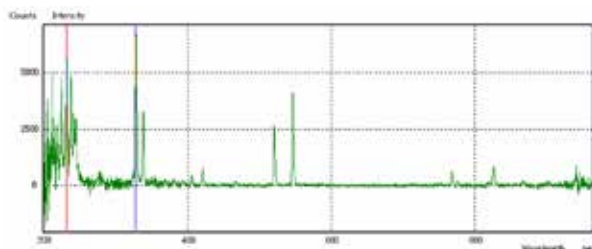


図2：アーク光スペクトル分布

(2) 検討・考察

空気中の放電では、Cu は337.7nm、Ag は328.1nm の強いスペクトルを持ちます。JR西日本で導入している全てのHSCBの接点材料はCuやAg、またはこれらを含む合金が使用されています。200~250nmに多数のスペクトルが観察されていますが、この波長域の紫外光は空気伝播中の減衰が大きく、アークから離れた位置での測定には不向きであると推定されます。550nmは可視光であり、この波長域を検出対象とすると、太陽光や照明などで誤検知する恐れがあります。したがって、330nm帯に感度を持つフォトダイオードを使用すれば、JR西日本で使用している全てのHSCBの遮断失敗によるアークを検出できると期待できます。

3. 遮断アーク検出特性試験

(1) 実験装置

短絡事故が発生した際の電流をHSCBで遮断し、アークシュート（遮断時に発生するアークの熱エネルギーを吸収して消弧する装置）からはみ出るようなアークを発生させ、試作したアーク検知器の動作特性を確認しました。実験装置の模式図を図3に示します。実際のき電キュービクル（機器が収まっている金属箱）を模擬したコンパート盤（間仕切り）を作成し、標準的な取り付け位置である2300mmの高さ位置にアーク検知器を設置しました。アークシュートの真上、斜め上方向の2箇所の特徴を確認できるようにしました。今回の試験ではありませんが、HSCBが大電流を遮断した際には、図4のようなアークが発生します。

試験回路を図5に示します。RとLはある距離での短絡事故を模擬した表1のような組み合わせになるよう設定しておきます。HSCBは投入状態としておき、投入器を入とすることで電源から供給される直流1500Vの電圧、設定したRとLに応じた電流が流れ始めます。その数十ms後にHSCBを遮断させることで、短絡事故を模擬したアークを発生させます。HSCBはアークシュートの構造が異なる2種類のものを使用しました。

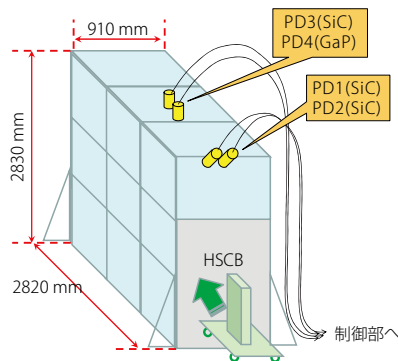


図3：遮断アーク実験装置



図4：遮断アークの様子

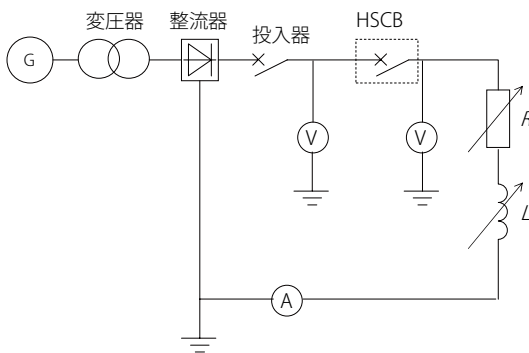


図5：遮断アーク試験回路

表1：試験条件

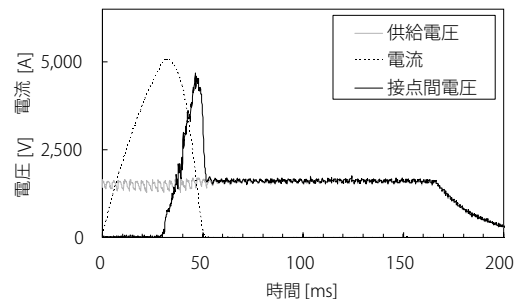
試番	L [mH]	R [Ω]	HSCBの種類	変電所から地絡点までの距離 [km]
1	5	0.15	A	5
2	10	0.30	A	10
3	15	0.45	A	15
4	20	0.60	A	20
5	5	0.15	B	5
6	10	0.30	B	10
7	15	0.45	B	15
8	20	0.60	B	20

(2) 測定結果

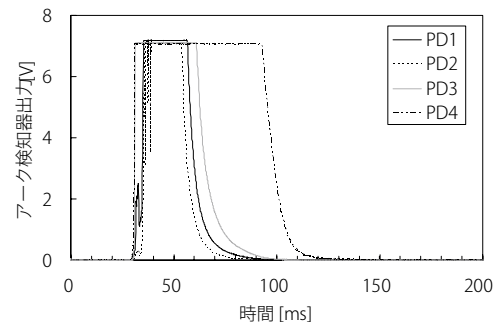
$R = 0.15 \Omega$ 、 $L = 5 \text{ mH}$ 、HSCB A のときの測定結果を図6に示します。これは変電所から5 kmの地点で短絡事故が発生した場合を想定した条件です。0 msで、投入器の動作により電流が流れ始め、30ms後にHSCBの開放動作を開始し、アークが発生します。この時点以降のHSCB接点間電圧は、アーク電圧を表しています。その後、60msの時点で電流が0 Aとなりアークが終了し、同時にHSCBの接点間電圧は電源電圧の1500Vとなります。この例では、アークは30msから60msま

での間、継続しています。ただし、この間のアークがアークシュートからはみ出ている時間は判別できません。いずれのフォトダイオードもHSCB開放動作とともに信号を出力し、アーク終了に伴って、信号出力がなくなっています。各フォトダイオードの出力が7Vで飽和しているのは、演算増幅器のバイアス電圧によるものです。

その他の各条件でも試験した結果、期待通りの信号が検出されることが確認されました。



(a) アーク電圧・電流



(b) フォトダイオード出力

図6：アーク電圧・電流とフォトダイオード出力（試番1）

4. まとめ

フォトダイオードを用いたアーク検知器を試作し、性能確認試験を行いました。その結果、実現可能であることが確認できました。その後、既設運用設備に併設してフィールド試験を行い、適切な検出動作をすること、不要動作（アークが発生していないのに検知）しないことが確認できました。