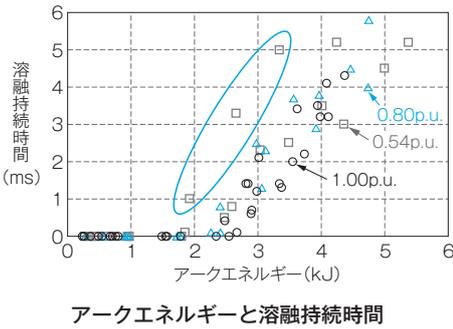


アーク観測技術紹介

長 輝通 Terumichi Cho
山村健太 Kenta Yamamura

キーワード 高電圧・大容量化, VCB, VI, 縦磁界電極

概要



真空遮断器 (VCB) の高電圧・大容量化を実現するために、真空インタラプタ (VI) の電極材料物性評価、真空チャンバ内に縦磁界電極を配置したアーク観測、短絡試験での性能比較を行ってきた。更なるVI高性能化のためには、遮断現象の定量評価が必要であり、アーク観測設備に二色放射温度計を新たに導入した。これにより、電流零点以降の電極表面温度測定ができるようになり、縦磁界電極の磁界強度とアークエネルギー及び電極表面溶融状態の関係が明らかとなった。電流遮断時の溶融状態を低減させるためには、磁界強度によってアークを安定かつ均一に広げることが重要である。

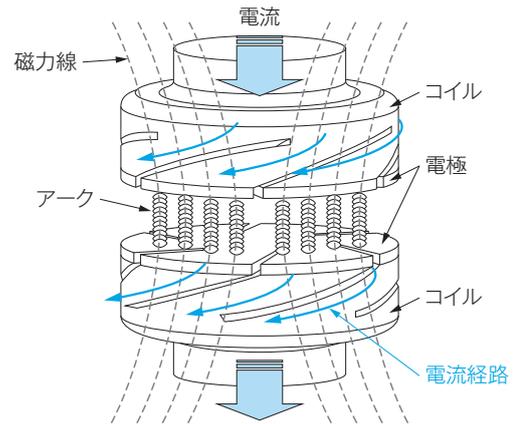
1 まえがき

真空遮断器 (VCB) の高電圧・大容量化に向け、縦磁界電極の基礎的なデータ取得を進めている。縦磁界電極における磁界強度は、大電流遮断性能を決定する要因の一つで、その特性を定量評価することが重要となる。

そこで、従来のアーク観測設備に二色放射温度計を導入し、発生磁界強度の異なる縦磁界電極を用いて、大電流遮断時のアークエネルギー及び電極表面温度を測定した。本稿では、比較した特性を紹介する。

2 縦磁界電極

第1図に縦磁界電極の遮断原理を示す。縦磁界電極は電流を遮断する際、電極構造によって電極間



第1図 縦磁界電極の遮断原理

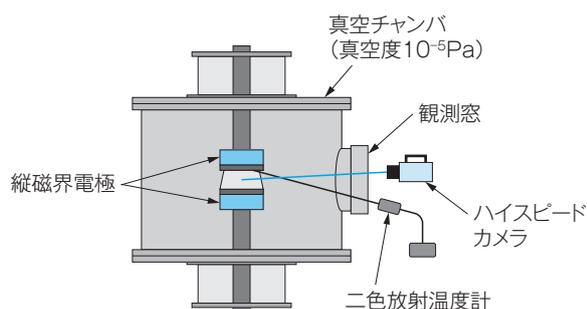
縦磁界電極の概略構造と原理を示す。

にアークと平行な磁界が発生する。磁力線に電子及びイオンが拘束されるため、アークが均一に拡散し電極局部加熱を低減する。この原理によって、大電流遮断を実現している。

3 試験条件

第2図にアーク観測装置を示す。真空度を約 10^{-5} Paに維持した真空チャンバ内に銅クロム材料を採用した縦磁界電極を配置している。縦磁界電極は観測窓を通して確認でき、ハイスピードカメラと二色放射温度計でアーク発生時と電流零点以降の電極表面温度を測定できる。第1表にハイスピードカメラ、第2表に二色温度計の測定性能を示す。

第3図に試験回路を、第4図に電流通電波形及び遮断器の開極ストロークを示す。試験はR投入器(MRSW)を投入することで小電流を通電し、供試器(TO)を開極動作させ、完全開極状態となった時点でL投入器(MLSW)を投入して50Hzの交流半波電流を通電する。遮断電流はコンデンサの充



第2図 アーク観測装置

真空チャンバ及び測定機の概略を示す。

第1表 ハイスピードカメラ性能

試験に使用したハイスピードカメラの性能を示す。

項目	仕様
撮影速度	210,000fps
シャッター速度	1/316,984s
解像度	384 × 160px

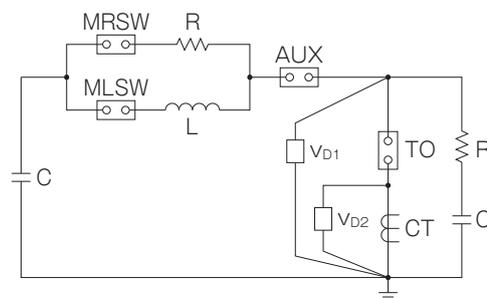
第2表 二色温度計性能

試験に使用した二色温度計の性能を示す。

項目	仕様
温度範囲	650 ~ 1800℃
応答速度	0.12ms
波長帯域	1.65 ~ 1.75 μm 1.75 ~ 2.00 μm
検出素子	InGaAs

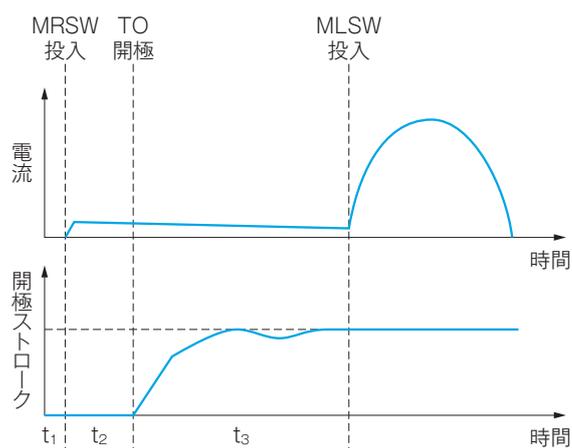
電圧で調整する。

第5図に試験に用いた縦磁界電極を、第3表に条件を示す。縦磁界電極は、直径40mmの銅クロム電極にコイル(銅)とリード(銅)を銀系ロウ材でロウ付けして作成した。電極とコイルには3等配の



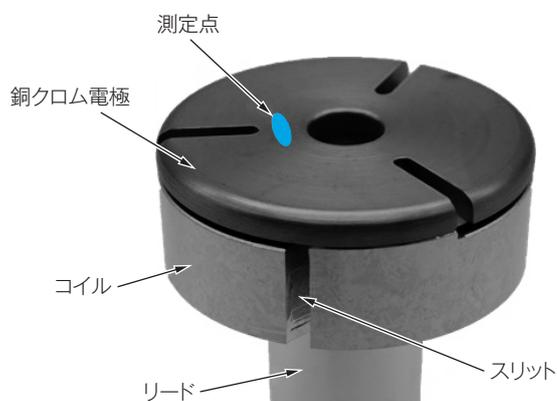
第3図 試験回路

アーク観測装置の試験回路を示す。



第4図 電流通電波形及び遮断器開閉ストローク

電流通電波形(上段)及び遮断器の開極ストローク波形(下段)を示す。



第5図 縦磁界電極

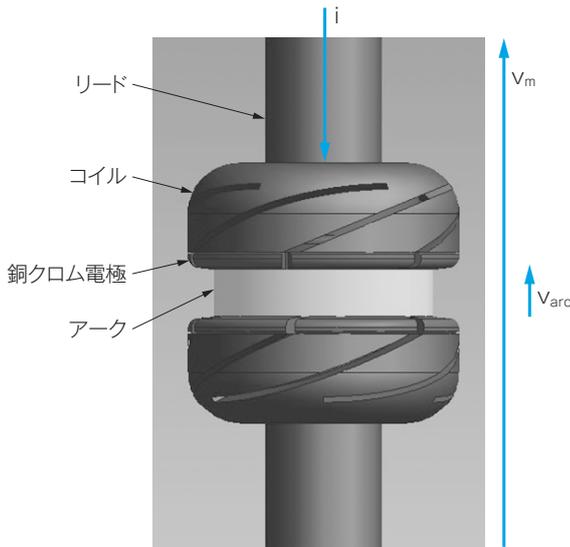
試験に用いた縦磁界電極を示す。

第3表 縦磁界電極条件

試験に用いた縦磁界電極の条件を示す。

項目	仕様
電極径	φ40
電極材料	CuCr
スリット本数	3 (等配)
磁界強度 (3種類)	0.54p.u. 0.80p.u. 1.00p.u.

.....



第6図 アークエネルギー算出パラメータ

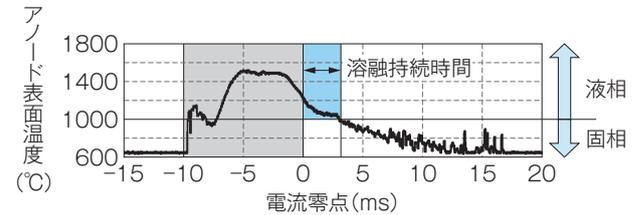
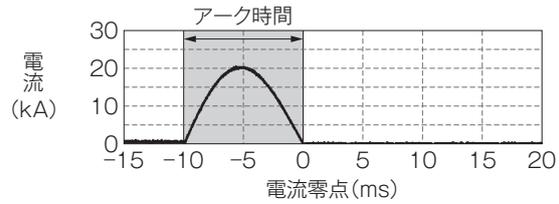
アークエネルギー算出に用いたパラメータを示す。

スリットを加工している。縦磁界強度は、スリット長を変更することで0.54, 0.80, 1.00p.u.とした。磁界強度は、磁界解析で算出した。二色放射温度計は、**第5図**に示す点で測定している。磁界解析で磁界強度が最も強い領域である。

4 アークエネルギー算出方法

第6図にアークエネルギー算出パラメータを示す。アークエネルギー W の算出方法は式(1)とした。

v_{arc} : アーク電圧, i : 電流, t_{arc} : 交流アーク時間である。 v_{arc} は式(2)に示すように、測定電圧 v_m から供試器の抵抗分電圧及び誘導電圧を差し引いた値とした。また v_m は、供試器の高圧側測定電圧 v_{D1} 及び低圧側測定電圧 v_{D2} から式(3)で算出した。



第7図 溶融持続時間定義

溶融持続時間の定義を示す。

$$W = \int_{t_{arc}} i(t) \times v_{arc}(t) dt \dots\dots\dots(1)$$

$$v_{arc}(t) = v_m(t) - R_{TO} i(t) - L_{TO} \frac{di(t)}{dt} \dots\dots\dots(2)$$

$$v_m(t) = v_{D1}(t) - v_{D2}(t) \dots\dots\dots(3)$$

5 溶融持続時間の定義

第7図に溶融持続時間の定義を示す。電流零点時刻からアノード表面温度が銅融点相当の1000°Cまで下がる時間を溶融持続時間とし、試験結果を比較した。

なお、電流零点時刻より前はアークが発生しており、温度を正確に測定できない。

6 試験結果

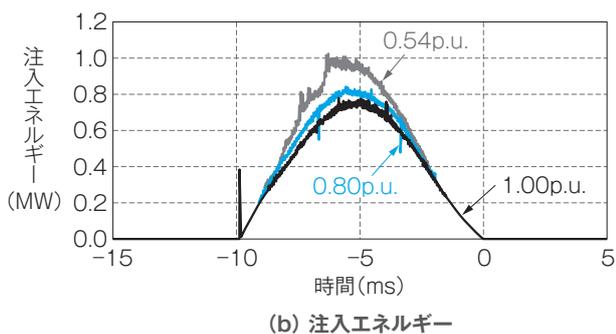
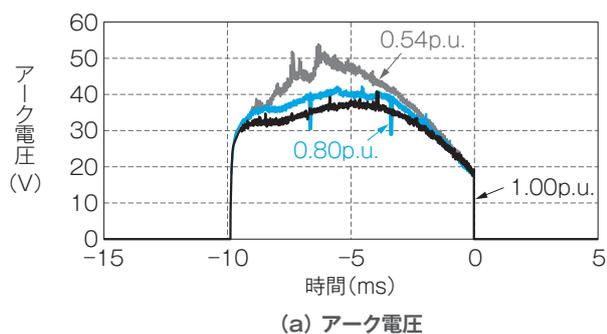
6.1 測定

第8図に測定した波形例を示す。

6.2 アークエネルギー測定比較

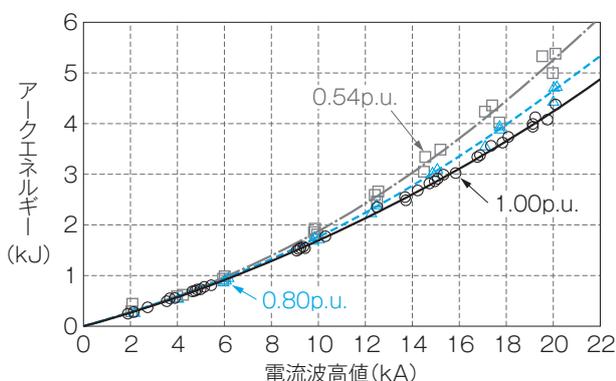
第9図に電流波高値とアークエネルギーの関係を示す。第4表にアークエネルギー近似式の比較を、**第10図**に電流波高値のアーク画像比較を示す。

第9図及び**第4表**から、磁界強度が増加するにつれて、アークエネルギーが減少することが分か



第 8 図 測定波形例

(a) アーク電圧と (b) 注入エネルギーの測定例を示す。(遮断電流 20kApeak)



第 9 図 電流波高値とアークエネルギーの関係

電流波高値とアークエネルギーの試験結果を示す。

る。これは第 10 図のアーク画像比較から、磁界が強いほどアーク形態が安定するためと考える。

6.3 溶融持続時間測定結果

第 11 図に磁界強度を変更した各縦磁界電極の溶融持続時間測定結果を、第 12 図に磁界強度 0.54p.u.の電流波高値アーク画像比較を示す。

第 11 図に示すように、アークエネルギーが増加すると溶融持続時間は長くなるが、0.54p.u.の条件で

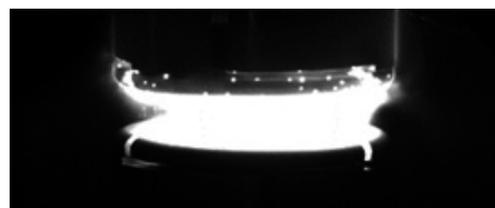
第 4 表 アークエネルギー近似式の比較

試験結果からアークエネルギー近似式を算出した。

磁界強度 (p.u.)	アークエネルギー近似式 $W = A I_{\text{peak}}^2 + B I_{\text{peak}}$	
	A	B
0.54	6.442×10^{-6}	0.1259
0.80	5.215×10^{-6}	0.1243
1.00	4.461×10^{-6}	0.1240



(a) 0.54p.u.



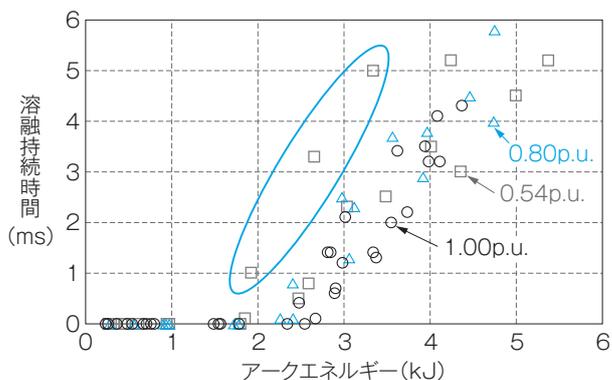
(b) 0.80p.u.



(c) 1.00p.u.

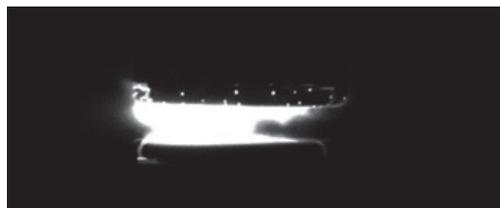
第 10 図 電流波高値 アーク画像比較

遮断電流 20kApeak のアーク画像比較を示す。

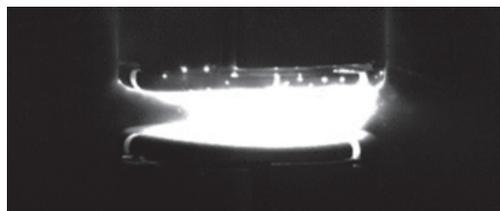


第 11 図 溶融持続時間測定結果

アークエネルギーと溶融持続時間の測定結果を示す。



(a) アークが偏った場合



(b) アークが広がった場合

第12図 磁界強度0.54p.u.の電流波高値アーク画像比較

磁界強度0.54p.u.のアーク画像比較を示す。

は、溶融持続時間が傾向から外れ、長くなる結果を測定した。アーク画像を比較したところ、**第12図**に示すように溶融時間がほかよりも長くなる場合は、アークが偏り、局所的に集中していることが分かった。

7 むすび

磁界強度の異なる縦磁界電極を用いて、磁界強度とアークエネルギーの関係を定量評価した。

また、アーク観測と電流零点後の電極表面温度から、アークエネルギーと溶融持続時間は相関関係にあるが、アークが均一に広がらない場合は電極溶融時間が増加することを明らかにした。電極溶融時間の増加は電流遮断性能及び耐電圧性能の低下を引き起こすこととなる。

今後は、電流零点後に電圧を印加することで絶縁回復特性を把握し、熱的遮断限界を明らかにしていく。

・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》



長 輝通
Terumichi Cho
先進技術研究所
真空遮断器の基礎研究に従事



山村 健太
Kenta Yamamura
製品技術研究所
真空遮断器の製品研究に従事