

太陽光発電が連系する変圧器のPCヒューズ溶断事象の解明

太陽光発電の出力特性によるPCヒューズ溶断事象の解明

Incidents of melted primary cutout fuses of transformers connected to photovoltaic power generation systems explained
Incidents of melted primary cutout fuses explained by output characteristics of photovoltaic power generation

(エネルギー応用研究所 ネットワークG 配電T)

(Distribution Team, Network Group, Energy Applications Research and Development Center)

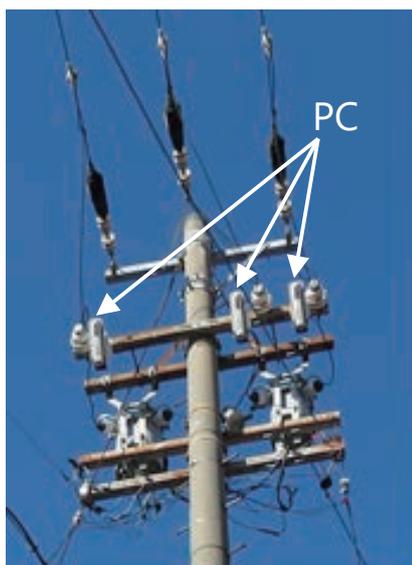
太陽光発電が連系する変圧器のPCヒューズが、施設後、2年程度で溶断する事象が確認されたため、太陽光発電の出力特性を模擬した試験にて、太陽光発電の出力変動により不溶断領域の電流でもPCヒューズが溶断することを明らかにした。

Incidents of primary cutout fuses of transformers connected to photovoltaic power generation systems melting about two years after installation were observed. For this reason, we performed experiments simulating the output characteristics of photovoltaic power generation and made clear that the fluctuation of power output by photovoltaic power generation melts primary cutout fuses, even in the ranges of current considered non-melting.

1 はじめに

高圧カットアウトスイッチ（以下、PC）（第1図）に装着されるヒューズ（以下、PCヒューズ）（第2図）は、変圧器の過負荷や短絡を保護するために用いられている。

太陽光発電が連系される変圧器においてPCヒューズが施設後2年程度で溶断する事象が確認されており、いずれも不溶断領域の電流での溶断であった。このため、従来の負荷とは異なる太陽光発電の出力特性がPCヒューズの劣化を加速させていると推定し、太陽光発電の出力特性を模擬した試験により、PCヒューズ溶断事象について調査を実施した。



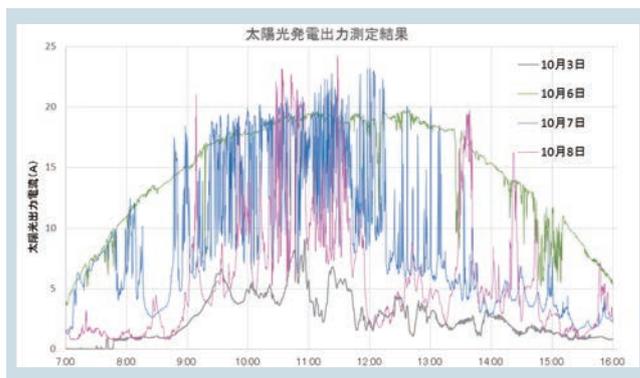
第1図 装柱図



第2図 PCヒューズ外観(50kVA以上用)

2 太陽光発電の出力特性調査

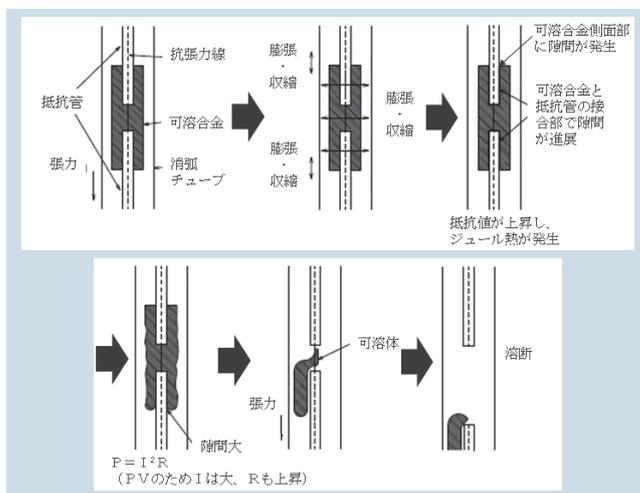
太陽光発電の出力特性は、自然エネルギーゆえに季節、時刻および天候に左右され、天候においては、晴れ時々曇りの時が最も大きく変動する。このため、管内に施設されている太陽光発電の出力を計測し、出力特性を分析した。この結果、太陽光発電の出力が短い時間で大きく変動していることを確認した（第3図）。



第3図 太陽光発電出力特性

3 劣化溶断メカニズムの推定

溶断事象が発生したPCヒューズと太陽光発電の出力特性調査の解析結果から、劣化溶断メカニズムを推定した（第4図）。太陽光発電の出力変動に伴い抵抗管に発熱変動が発生し、抵抗管と可溶合金では熱容量および線膨張係数が違うため応力が発生する。これが繰り返されることによって抵抗管と可溶合金の接合部に隙間が発生する。この隙間が進行し、電気抵抗 (R) の上昇と共に発熱が大きくなり、不溶断領域においても溶断に至ると推定した。



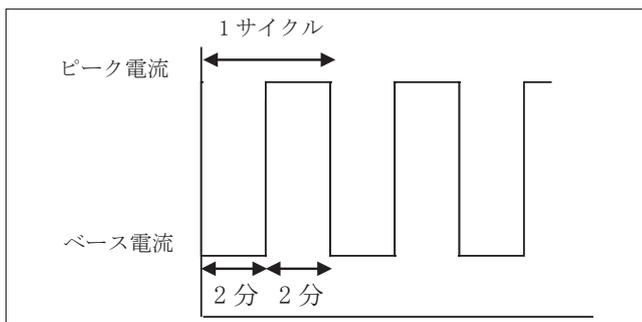
第4図 太陽光出力変動による劣化溶断メカニズム

4 劣化評価試験

太陽光発電の出力特性を模擬したヒートサイクル試験により、劣化評価を行うこととした。これは、一定サイクルで電流を変動させることで、ヒューズの温度を変動させ評価する試験である。

試料は、PCヒューズ切れ事象すべてが50kVA以上用ヒューズで発生していることと、2016年度の仕様変更（品質向上）を踏まえ、50kVA以上用の旧仕様と新仕様のヒューズを中心とした。

第3図の出力変動を解析すると約4分間（ピーク電流2分・ベース電流2分）に1サイクルの変動が確認されたこと、また、可溶合金の連続通電試験により、通電特性は通電開始から2分間で温度が最大上昇値の76%まで到達し、通電を停止すると2分間で28%まで下降し、その後は緩やかな温度変化になることから、ヒートサイクル試験条件は、ピーク電流2分間、ベース電流2分間を1サイクルとした（第5図）。



第5図 ヒートサイクル試験電流イメージ

5 劣化評価試験結果

(1) ヒートサイクル試験結果

ヒートサイクル試験を実施した結果、連続通電ではPCヒューズが溶断しない不溶断領域での電流（負荷率^{*1}155%まで）であっても50kVA以上用のPCヒューズが溶断する事を確認した（第1表）。これにより、太陽光発電の出力変動がヒューズを劣化させる原因であることを確認した。なお、20・30kVA用PCヒューズは負荷率100%で溶断しなかったが、50kVA以上用ヒューズと比較して定格電流が小さいため、温度上昇が小さいことが考えられる。

また、旧仕様50kVA以上用のPCヒューズの試料で一番早く溶断したものは、約1,100回（負荷率115%）であったのに対して、新仕様で一番早く溶断した試料は、約20,000回（負荷率115%）であり、20倍近くの差を確認した。これは、鋳造方式の変更により抵抗管との接合状態が安定し、可溶合金と抵抗管の接合強度が向上したためと考えられる。

*1 定格電流に対する通電電流の割合

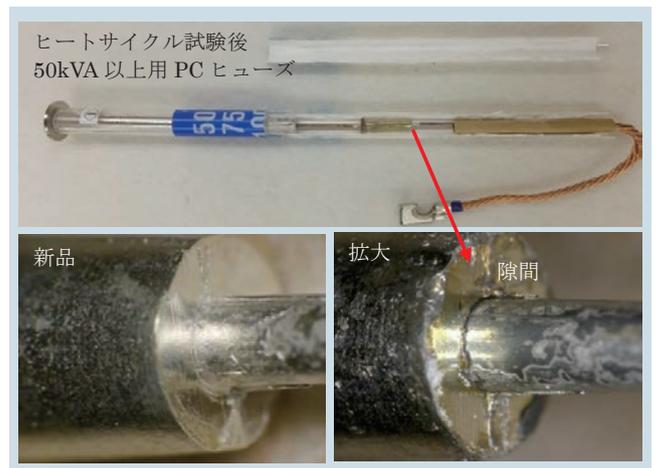
第1表 ヒートサイクル試験結果

| 試料 | 旧仕様 | | 新仕様 | | 旧仕様 |
|-----------------------|----------|-------|--------|--------|-----------|
| | 50kVA以上用 | | | | 20・30kVA用 |
| NO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 負荷率 | 115% | 100% | 115% | 100% | 100% |
| 破断サイクル数 ^{*2} | 1,114 | 5,070 | 20,032 | 56,546 | 不溶断 |

*2 n=10の内一番早く破断したサイクル

(2) 断面観察

PCヒューズの劣化様相を確認するため、一定のヒートサイクル試験数を経過した可溶合金内部の断面観察を行った。この結果、抵抗管と可溶合金側面部から隙間が発生していることを確認した（第6図）。これにより、推定した劣化溶断メカニズムのとおり、抵抗管と可溶合金では、熱容量および線膨張係数が違うため応力が発生し、これが繰り返されることによって抵抗管と可溶合金の接合部に隙間が発生することを明らかにした。



第6図 可溶合金の剥離

6 まとめ

太陽光発電の出力特性を模擬したヒートサイクル試験にて、太陽光発電の出力変動がPCヒューズを劣化させ、不溶断領域での電流においても溶断することを確認した。

推定した劣化溶断メカニズムのとおり、ヒートサイクル後の断面観察結果にて、抵抗管と可溶合金の間に隙間を確認した。また、電流と温度上昇の関係および鋳造方法の違いにより、旧仕様の50kVA以上用ヒューズは太陽光の出力変動の影響を受けやすいことを確認し、太陽光発電が連系する変圧器のPCヒューズ溶断事象の原因を明らかにした。

今後も不具合事象を解明する際には、仮説、検証および実証のPDCAサイクルを回すことで早期・確実な解明に努めていきたい。



執筆者 / 杉下裕司