

HEAF (DG) 対策として迫設する 50 保護リレーの試験・検査方法について

1. 概 要

本資料は、今回 HEAF 対策として迫設する 50 保護リレーの試験・検査方法について補足説明するものである。

2. 迫設する 50 保護リレーの試験・検査方法について

HEAF (DG) 対策による健全性及び能力の確認は、保護リレー動作～遮断器解放までの時間計測についても範囲に含まれることから、「健全性及び能力を確認するために、発電用原子炉の運転中または停止中に必要な箇所の保守点検（試験及び検査を含む。）が可能な構造であり、かつ、そのために必要な配置、空間及びアクセス性を備えた設計」とし、それらの試験及び検査の方法について以下に記載する。

メタクラ母線フィーダー遮断器で HEAF 発生を想定した場合（メタクラ受電遮断器を開放）の試験・検査イメージを図 1 に、メタクラ受電遮断器で HEAF 発生を想定した場合（非常用ディーゼル発電機を停止）の試験・検査イメージを図 2 に示す。これらの試験・検査は、使用前事業者検査及び定期事業者検査として実施する。

図 1 のケースでは、①、②の範囲について、①では保護リレー単体試験で動作確認、動作時間計測を行ない、②では模擬信号を入力することにより補助リレー等の動作ならびに遮断器解放動作、動作時間計測を行なうことによって健全性や能力を確認する。

図 2 のケースでは、①、②の範囲については、図 1 のケースと同様にそれぞれの動作確認、動作時間計測によって保護リレー等の動作ならびに消磁コンタクトの動作、動作時間計測を行なうことによって健全性や能力を確認する。③の消磁コンタクト ON から非常用ディーゼル発電機停止までの間については、実電流測定ができないことからメーカーの解析結果を用いる代替記録による検査をすることによって保護リレー等の健全性や能力を確認する。

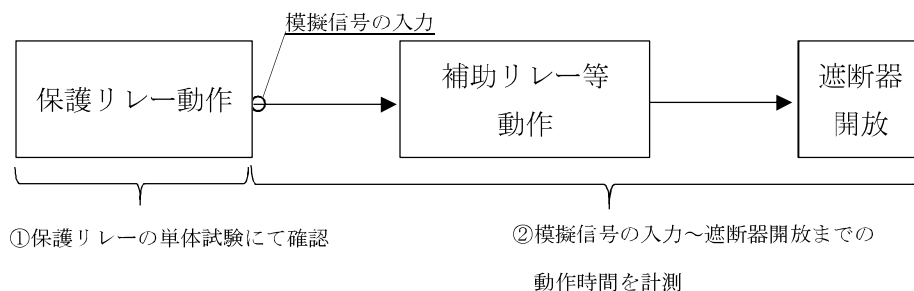


図 1 試験・検査イメージ図（メタクラ受電遮断器開放まで）

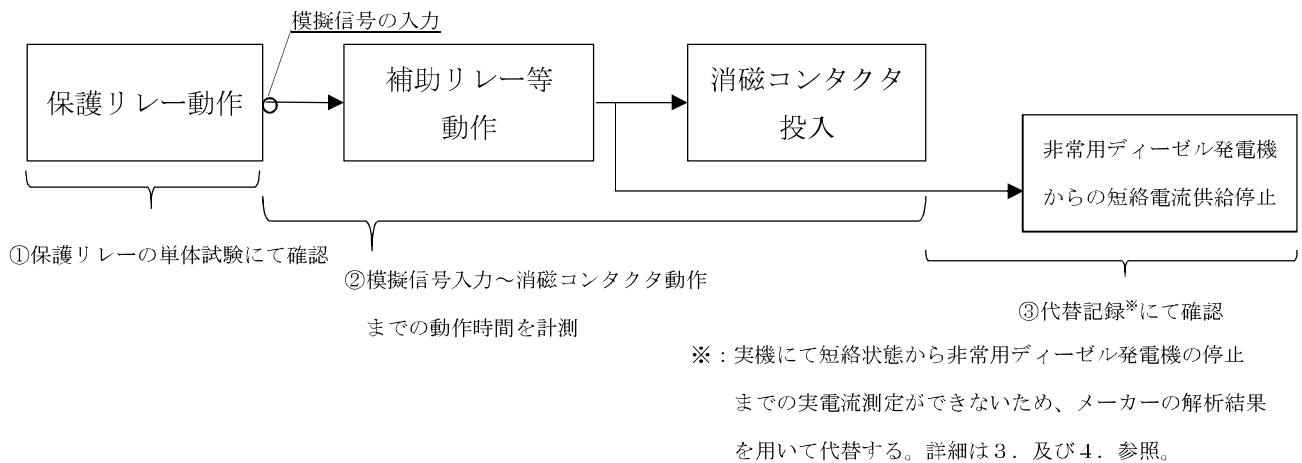


図2 試験・検査イメージ図（非常用ディーゼル発電機の短絡電流供給停止まで）

3. 代替記録による検査が必要となる理由、検査の妥当性

(1) 実機での短絡電流供給停止までの時間計測可否

非常用ディーゼル発電機受電遮断器で HEAF が発生した場合、HEAF 保護完了は遮断器開放でなく、図2に示す通り非常用ディーゼル発電機からの短絡電流供給停止となる。

電流供給停止となる時間を測定する場合は、非常用ディーゼル発電機が出力する電流がほぼ0（メーカー解析結果では定格の0.01PU）となる時間を計測すればよいが、電流を計測するためには非常用ディーゼル発電機を出力運転状態とする必要がある。すなわち、非常用ディーゼル発電機が非常用の負荷に給電している状態から消磁コンタクタを投入することが必要であるが、実機で非常用ディーゼル発電機が短絡電流を供給する状態を模擬する場合、非常用ディーゼル発電機が短絡電流を供給する状態となる。これにより、機械的には短絡電流により発生する大きな回転トルクが主要部材（コイル固定部等）に過度のストレスを与え、損傷の可能性を招く。また、電気（熱）的には温度上昇による絶縁部の劣化を招くことになり、絶縁劣化進展による非常用ディーゼル発電機自体の短絡事故（内部故障）を誘発することになるため、非常用ディーゼル発電機の短絡電流供給状態模擬は、プラントの安全性低下を招く可能性がある。そのため、短絡電流供給停止までの時間を実機で計測することは困難である。

(2) 検査方法の検討

(1) より、消磁コンタクタ投入後から非常用ディーゼル発電機からの短絡電流供給停止までの時間（図2の③）については、代替記録による必要があり、その方法を以下2ケースで検討した。

ケース1：非常用ディーゼル発電機無負荷運転中から消磁コンタクタ投入し、電流供給停止となる時間を計測

ケース2：メーカーの解析結果を用いた代替記録の確認

ケース1について、実機での模擬を実施する場合は、非常用ディーゼル発電機無負荷運転中（非常用ディーゼル発電機受電遮断器は開放状態）から消磁コンタクタを投入し、非常用ディーゼル発電機の電圧がほぼ0となる時間を計測することで、非常用ディーゼル発電機の短絡電流供給停止までの時間を代替確認する方法が考えられる。

消磁コンタクタ投入後に供給される電流の値は消磁後の非常用ディーゼル発電機残留電圧に依存するため、非常用ディーゼル発電機無負荷運転中に消磁コンタクタを動作させた後の非常用ディーゼル発電機電圧減衰挙動は、非常用ディーゼル発電機短絡電流供給中に消磁コンタクタを動作させた後の電流挙動に近い挙動を示すと考える。但し、机上の評価では、メーカー解析結果による電流供給停止（定格の0.01PU）となる時間と実機で電圧がほぼ0（例えば定格の0.01PU）となる時間が完全に一致するとは言えず、電圧がほぼ0となる時間の明確な管理値を設けることは困難である。

プラントの安全性及び上記の観点より、消磁コンタクタ投入後から非常用ディーゼル発電機の短絡電流供給停止までの時間（図2の③）計測については、ケース2のメーカーの解析結果を用いた代替記録の確認により実施する。

4. メーカーの解析結果を用いた代替記録について

美浜3号機及び高浜1/2号機における短絡電流減衰曲線を図3、4に示す。図3、4における③の区間（消磁コンタクタ動作から電流供給停止までの時間）は、前述の通り代替記録の確認を行う必要があるため、数値計算にて算出することとする。

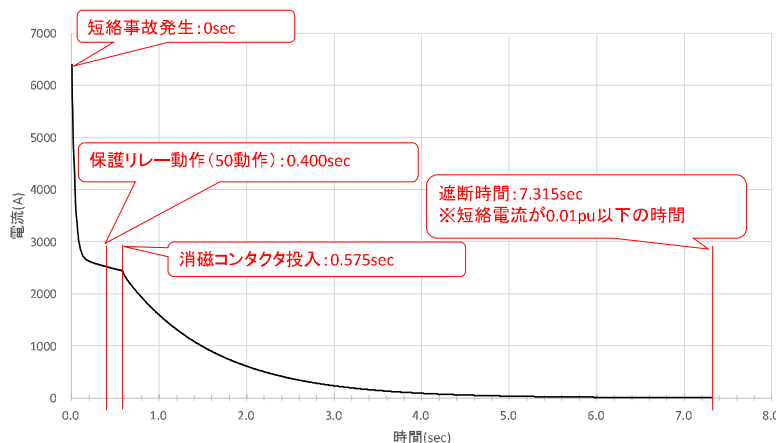


図3 非常用ディーゼル発電機短絡電流減衰曲線(美浜3号機の場合)

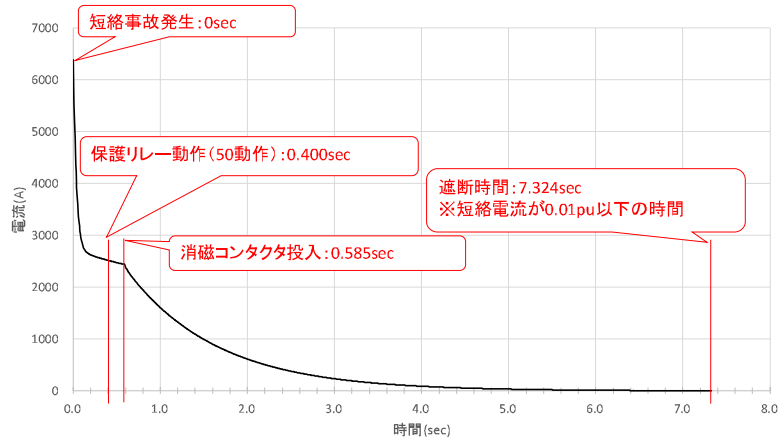


図4 非常用ディーゼル発電機短絡電流減衰曲線(高浜 1/2 号機の場合)

一般的に、非常用ディーゼル発電機給電時における短絡電流の減衰は、以下の算出式及び表 1 に示す定数によって評価することができる[1]。そこで、消磁コンタクタ動作から非常用ディーゼル発電機の短絡電流供給停止となる時間(定格の0.01PU以下となる時間と定義)は、表 1 を用いた数値計算にて算出する。

なお、メーカーによる解析とは、表 1 を用いた短絡電流算出式は参考文献に基づく一般的な算出式[1]を用いて計算しているものである。ただし、永久短絡電流を求める際の計算に用いられる励磁特性に関する係数については、実際の非常用ディーゼル発電機に即したメーカー知見による係数を採用している。

①の算出式は、消磁コンタクタが投入されるより前の短絡電流の計算式であり、消磁コンタクタの投入により消磁された後は、②の式のとおり短絡回路の時定数によって電流が減衰する。

① 消磁前(持続短絡電流がある場合)の三相突発短絡電流

$$I_{rms1} = \sqrt{I_{ac1}^2 + I_{dc1}^2}$$

$$I_{ac1} = I_d + (I_d' - I_d)e^{-\frac{t}{\tau_d'}} + (I_d'' - I_d')e^{-\frac{t}{\tau_d''}}$$

$$I_{dc1} = -\sqrt{2}I'' \cos \alpha \times e^{-\frac{t}{\tau_{dc}}}$$

② 消磁後(持続短絡電流がない場合)の三相突発短絡電流

$$I_{rms2} = \sqrt{I_{ac2}^2 + I_{dc2}^2}$$

$$I_{ac2} = I_d' e^{-\frac{t}{\tau_d'}} + (I_d'' - I_d') e^{-\frac{t}{\tau_d''}}$$

$$I_{dc2} = -\sqrt{2}I'' \cos \alpha \times e^{-\frac{t}{\tau_{dc}}}$$

[1]参考文献：新田目 倅造『電力系統技術計算の応用』(1981)、P. 84～P. 88

表 1 短絡電流算出式に用いた記号一覧

記号	説明
I_{rms}	短絡電流の実効値
I_{ac}	短絡電流の交流分の瞬時値
I_{dc}	短絡電流の直流分の瞬時値
I_d	短絡電流持続電流
I_d'	短絡電流交流分の過渡電流
I_d''	短絡電流交流分の初期過渡電流
T_d'	短絡電流交流分の過渡時定数
T_d''	短絡電流交流分の初期過渡時定数
T_{dc}	短絡電流直流分の時定数
α	短絡瞬時の電圧の位相角

上記に基づき、非常用ディーゼル発電機の短絡電流供給停止に至るまでの時間を算出した結果は表 2 の通りとなる。

表 2 非常用ディーゼル発電機の短絡電流供給停止に至るまでの時間

プラント	①保護リレー 動作時間	②補助リレー及び 消磁コンタクタ 動作時間	③電流供給停止時間 (定格の 0.01PU 以下となる時間)
美浜 3 号機	0.400s	0.575s	7.315s
高浜 1 号機	0.400s	0.585s	7.324s
高浜 2 号機	0.400s	0.585s	7.324s

5. まとめ

HEAF (DG) 対策として追設する 50 保護リレーについては、上述の方法で試験・検査を実施することにより使用前事業者検査及び定期事業者検査にて保護リレーの健全性及び能力を確認する。

以上