

美浜3号機、高浜1, 2号機  
高エネルギーアーク損傷対策に係る工認申請の  
設計変更について

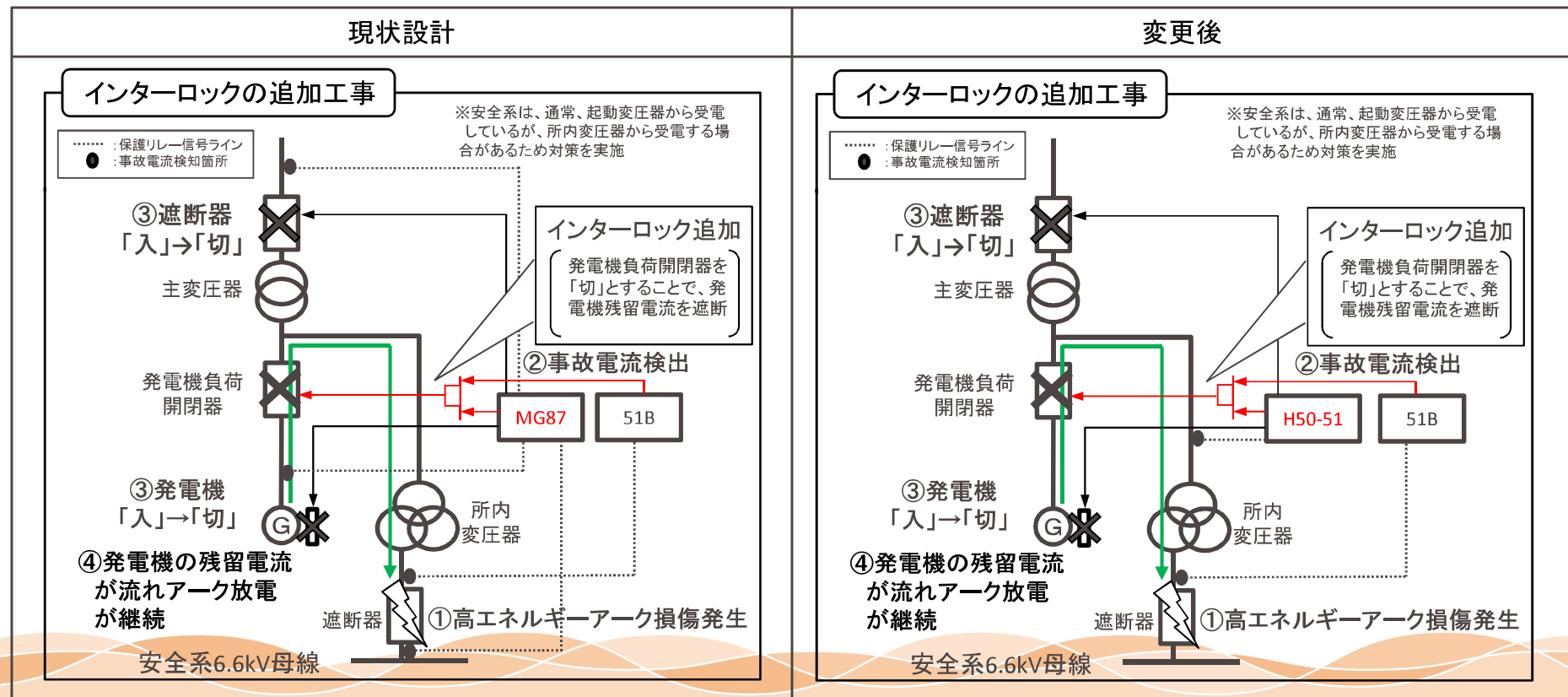
2019年12月17日

関西電力株式会社



# 1. 概要

- ✓ 2018年10月19日に工事計画認可申請し、2019年4月26日に認可いただいた「美浜3号機、高浜1号機、高浜2号機 高エネルギーアーク損傷対策に係る工事計画」において、所変受電時の所変受電遮断器へのHEAF対策に関して「2. 設計変更理由」により、保護リレーの動作確実性を考慮し、以下の図に示すとおり、保護ロジックの設計変更を実施する。
- ✓ 保護ロジックの設計変更とは、所変受電遮断器でのHEAF想定において、MG87保護リレーと51B保護リレーのアンドロジックにて、発電機負荷開閉器（美浜3号機の場合：G30）を開放する設計としていたものを、H50-51保護リレーと51B保護リレーのアンドロジックに変更するものである。（大飯3,4号機同様設計）※詳細な回路系統図は「7. 参考」参照。

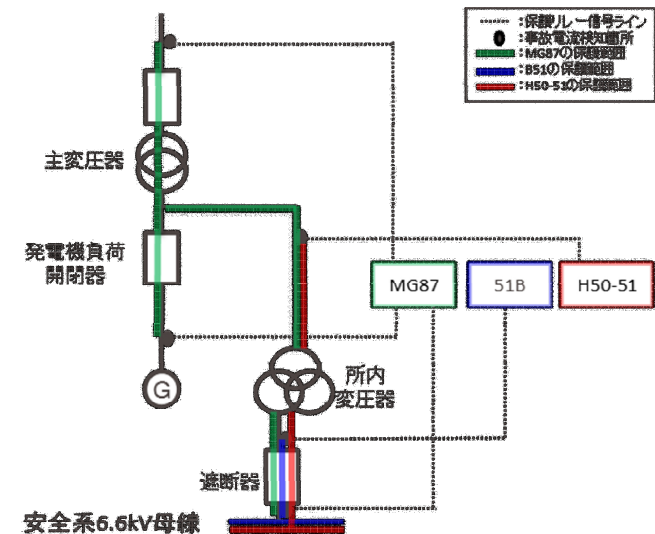


## 2. 設計変更理由

- ✓ 高浜1, 2号機及び美浜3号機で建設時より採用されているMG87保護リレーは、主変を含む発電機主回路から所変回路までが保護範囲（図の緑範囲）であり、可能な限り広い範囲を保護するという設計思想より採用されたものである。また、所変回路の保護にはもともとH50-51保護リレー（図の赤範囲）も設置されている。
- ✓ 美浜3号機及び高浜1, 2号機のHEAF対策としては、51B保護リレー（図の青範囲）との保護協調を考慮する必要がないこと、動作時間がH50-51保護リレーよりも動作時間が早いことから、MG87保護リレーと51B保護リレーとのアンドロジック設計で進め工認申請した。
- ✓ しかしながら、工事計画認可後にプラントメーカーにて詳細設計を進めたところ、51B保護リレーとのアンドロジックは、MG87保護リレーよりもH50-51保護リレーを採用する方が、以下の観点から現設計より信頼性あるHEAF対策となることが判明した。
  - ① MG87は主に所変1次側(主変～発電機主回路)の電気事故を検出するための保護リレーである。保護範囲としてHEAF事故点として想定する所変2次側も含まれるが、所変2次側へ供給される電流は1次側と比べ非常に小さく、相対的に所変2次側事故時の検出感度は下がる方向となる。
  - ② プラント建設時の設計思想では所変回路の保護はH50-51保護リレーを期待しており設計思想を踏まえたHEAF対策となる。

MG87保護リレー：広範囲保護（発電機～主変圧器～所内変圧器）、H50-51保護リレー：狭範囲保護（所内変圧器1次側から2次側）

- ✓ なお、これらの設計変更は、これまで工認申請でご説明した基本設計方針等を変更するものではなく、また、設計変更後の遮断時間から算出されるアークエネルギーについては、誤差を考慮しても閾値内に収まることは確認済である。



## 4. 工認計画認可申請書への影響

- ✓ 保護ロジックの設計変更に伴い工事計画認可申請書への影響については、添付資料内（非常用発電装置の出力の決定に関する説明書）の数値変更のみであり、本文記載には影響がないものである。

工事計画認可申請書	申請書への影響有無
本文	影響なし
添付資料	影響あり
補足説明資料【参考】	影響あり

- ✓ 変更箇所の一例（美浜3号機のメタクラC系の例）として以下に示す。  
（詳細については、添付資料1参照。）

アーク放電発生箇所		アーク放電を遮断するために開放する遮断器	変更前		変更後		しきい値
機器名称	遮断器名称		遮断時間 (s)	アークエネルギー (MJ)	遮断時間 (s)	アークエネルギー (MJ)	
メタクラッド開閉装置	4-3C (M/C受電遮断器 (HTr側))	130 (主変遮断器)	<u>0.110</u>	<u>3.38</u>	<u>0.650</u>	<u>19.95</u>	25MJ
		G30 (発電機負荷開閉器)	<u>0.750</u>	<u>23.02</u>	<u>0.694</u>	<u>21.30</u>	



設計変更前後のロジック図比較

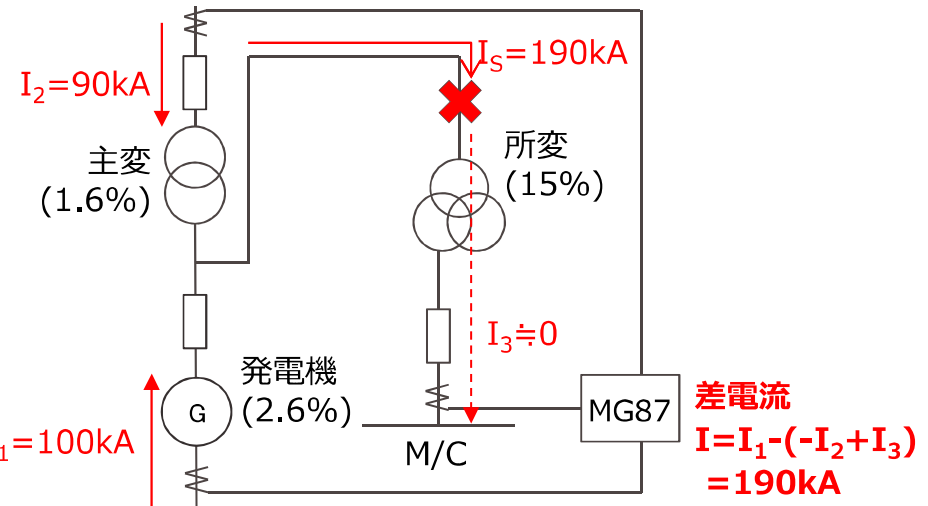
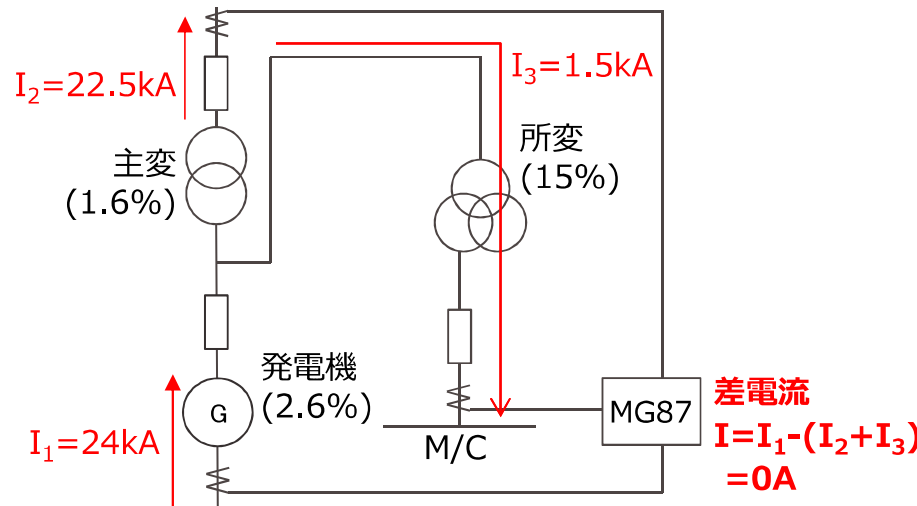


## 5. 適合性確認検査のスケジュール

工認	工程		
	2018年	2019年	2020年
美浜3号機 主要工程		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">           美浜3号機 25回定検         </div>	8/E (並列) ▽
美浜3号機 HEAF対策工事	工認申請 10/19 ▽	工認補正 2/15 ▽	工認認可 4/26 ▽
			<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">           2/B ▽ 工事着手         </div> <div style="text-align: center;">           6/E ▽ 工事完了         </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">           2/M ★ 適合性確認検査※ (D安全系母線、主変圧器、起動変圧器)         </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; font-size: small;">           ※：使用前検査については、美浜3号機は変更認可申請のため、全体の基本設計方針検査の中で確認する。         </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">           4/M ★ 適合性確認検査※ (予備変圧器)         </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">           6/E ★ 適合性確認検査※ (C安全系母線)         </div> </div>

## 6. 設計変更理由補足説明 (1/3)

- ✓ 現場工事を実施するにあたり2019年4月26日に認可後に詳細解析を実施した結果、保護を期待する保護リレー (MG87) の設計変更 (MG87 (差電流動作) → H50-51 (過電流動作) : 大飯34号機同様設計) を実施することにより、動作信頼性をより確実なものとする必要があることから保護ロジックについて設計変更するものである。
- ✓ 美浜3号機及び高浜1, 2号機の当初設計としては、保護リレー (51B) との保護協調を考慮する必要がないこと、動作時間がH50-51よりも早い (MG87動作時間: 0.060s) ことを考慮し、MG87を採用し設計を進めていた。
- ✓ しかし、詳細解析を実施したところ、図1~3に示す通り所変2次側事故(所変受電遮断器HEAF)の場合、MG87の動作判定条件となる差電流が小さくなり、HEAF時の動作点が保護境界近傍 (動作域側) となることが判明した。(図4参照)
  - ・通常は、図1に示す電流の流れとなり差電流Iは0となりMG87は動作しない。
  - ・MG87の主な保護範囲となる所変1次側事故では、図2の通り事故点に対して発電機側及び系統(主変)側から事故電流が供給され、所変2次側の入力ほぼ0のため差電流Iは190kAとなりMG87は動作する。



※ : ()内の数値は100MVAベースの%インピーダンスを示す

## 6. 設計変更理由補足説明 (2/3)

- ✓ 一方で、HEAF事故として想定している所変 2 次側事故では、所変のインピーダンス(抵抗)が発電機や主変と比べ大きいため、図 3 の通り系統(主変)側からの電流供給がほとんどなく、MG87が検出する差電流Iは非常に小さいものとなる。
- ✓ 差電流 I が非常に小さくなることで、図 4 の通りMG87の不動作域に入る可能性がある。従い、動作信頼性としてより確実に H E A F 保護が可能となるH50-51保護リレーを採用する。  
⇒H50-51は、MG87とは異なり、回路抵抗より一定値で求まる短絡電流を検出して動作するため、系統やプラントの状態によらず確実に動作し、HEAF保護すること可能となる。

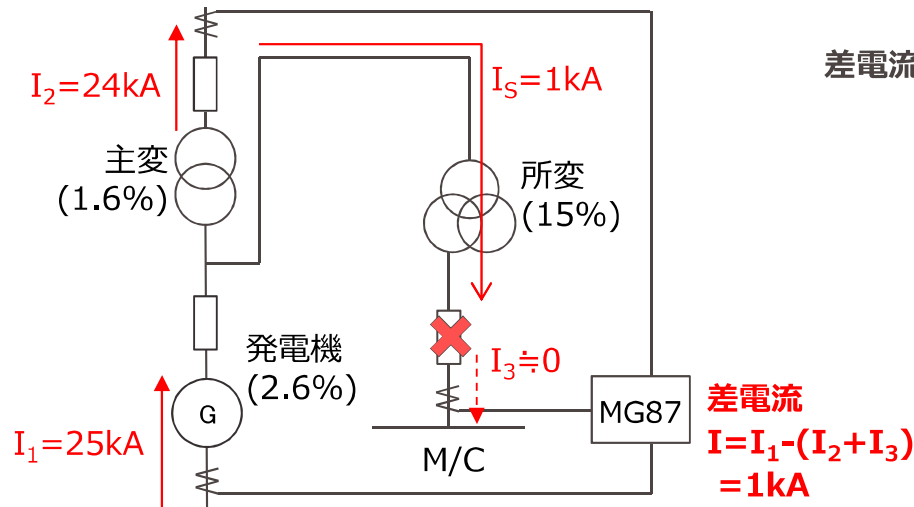


図 3 MG87保護回路イメージ  
(所変 2 次側事故時)

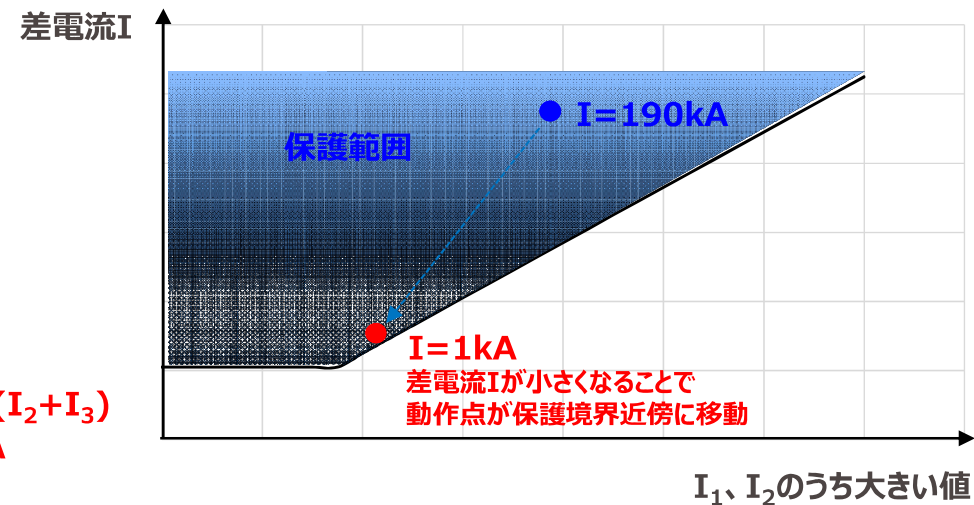


図 4 MG87動作曲線イメージ

※ : ()内の数値は100MVAベースの%インピーダンスを示す

## 6. 設計変更理由補足説明 (3/3)

- ✓ なお、設計変更後の主変遮断器（美浜の場合：130）の開放時間から算出されるアークエネルギーについては、誤差等を考慮したとしてもアークエネルギー閾値（25MJ）内に収まることは確認済である。
- ✓ さらに図5の通りH50-51保護リレーを採用した場合においても保護協調に設計余裕をとっており、図6の短絡事故においてH50-51が51Bよりも先に動作(協調逆転)することは無いことも確認済である。

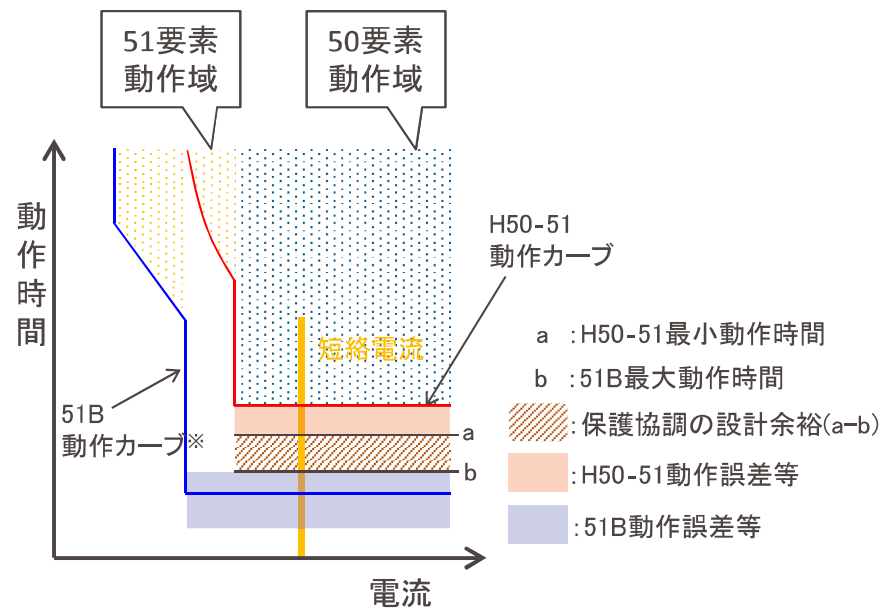


図5 保護協調カーブ

※51B保護リレーもH50-51保護リレーと同様に50要素は含まれているため、H50-51保護リレーと同様の50要素動作域を持っている。(51B動作カーブの横線より上側)

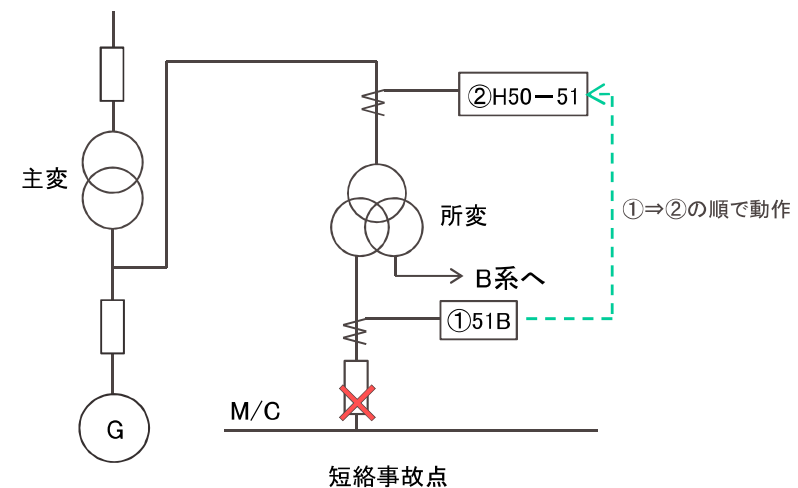
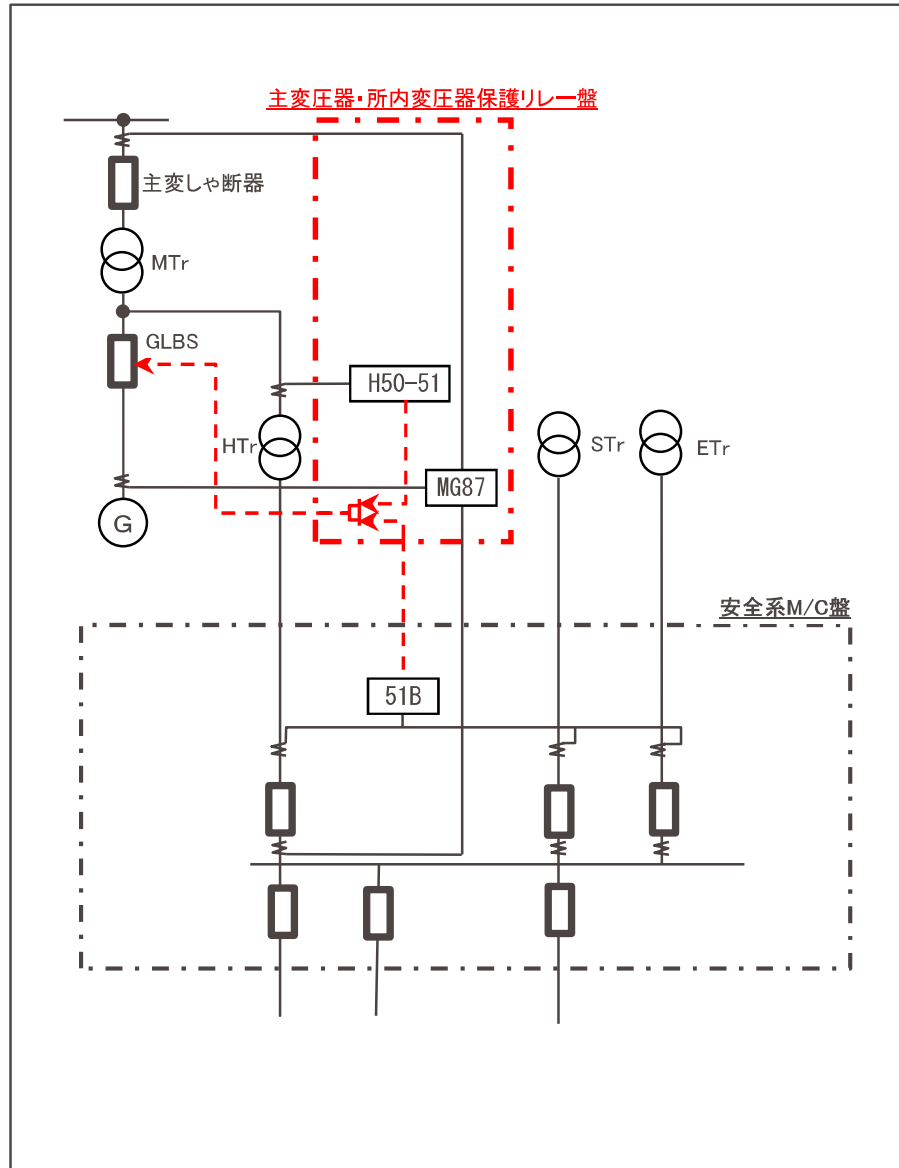


図6 保護協調イメージ



設計変更後の回路系統図

設計変更前後整理表

	変更前	変更後
保護リレー名称	MG87	H50-51
動作方式 (要素)	比率差動方式 (87)	過電流 瞬時動作方式 (50) ※1 過電流 限時動作方式 (51)
既設保護リレー 設置位置 (盤の設置場所) ※2	主変圧器・所内変圧 器保護リレー盤内 (3号機送電系 リレー室)	主変圧器・所内変圧 器保護リレー盤内 (3号機送電系 リレー室)
新設有無	なし	なし

※1：H E A F時は50要素で作動する

※2：美浜3号機の一例として記載

<頭文字の補足説明>

- B51のBは「Bus」の頭文字
- H50-51のHは「House Transformer」の頭文字
- MG87のMGは「Main Transformer」と「Generator」の頭文字

2018年10月19日に工事計画認可申請し、2019年4月26日に認可いただいた  
「美浜3号機 高エネルギーアーク損傷対策に係る工事計画」抜粋

資料40 非常用発電装置の出力の決定に関する説明書



物件の機能に電氣的又は磁氣的な障害を与えない設計とする。

(4) 供給支障の防止

発電設備の損傷による供給支障の防止のため、過電流を生じた場合、保護継電器にて検知し、遮断器を開放して自動的に発電機を電路から遮断する設計とする。発電機は、短絡電流及び非常调速装置が動作して達する回転速度に対して、十分な機械的強度を有する設計とし、三相短絡試験により異常のないことを確認する。発電所構内には、発電機の運転に必要な知識及び技能を有する者が常時駐在することにより、常時監視しない発電所は施設しない設計とする。

2.1.3 遮断器

遮断器は、原子力発電工作物に係る電気設備の技術基準を準用し、以下の設計とする。

(1) 感電、火災等の防止

遮断器は、感電防止のため接地し、また、充電部分に容易に接触できない設計とする。電路は大地から絶縁する設計とし、絶縁抵抗測定により異常のないことを確認する。電線の接続箇所は、端子台等により接続することで電気抵抗を増加させないとともに、絶縁性能の低下及び通常の使用状態において断線のおそれがない設計とする。遮断器は、JESC E7002に基づき、通常の使用状態において発生する熱に耐える設計とし、火災防止のため、閉鎖された金属製の外箱に収納し、隔離する設計とする。遮断器は、適切な接地工事を施し、鉄台及び金属性の外箱には、A種接地工事を施す設計とする。取扱者以外の者の立入を防止するため発電所には、人が容易に構内に立ち入るおそれがないようフェンスを設置する設計とする。

(2) 異常の予防及び保護対策

異常の予防及び保護対策のため、高圧電路に施設する過電流遮断器は、施設する箇所を通過する短絡電流を遮断する能力を有し、その作動に伴いその開閉状態を表示する装置を有する設計とする。

重要安全施設（「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」第2条第2項第9号に規定する重要安全施設をいう。以下同じ。）へ電力供給に係る電気盤及び当該電気盤に影響を与えるおそれのある電気盤のうち非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤以外の電気盤（安全施設（重要安全施設を除く。）への電力供給に係るものに限る。）（以下「HEAF対策対象盤」という。）について、アーク火災が発生しないアークエネルギーの閾値（M/C25MJ、P/C18MJ、C/C4.4MJ）を超えない時間でアーク放電が発生した遮断器の上流の遮断器を開放し、アーク放電の継続を防止することでアーク火災を防止し、電気盤の損壊

アークエネルギー  
しきい値記載箇所

の拡大を防止することができる設計とする。

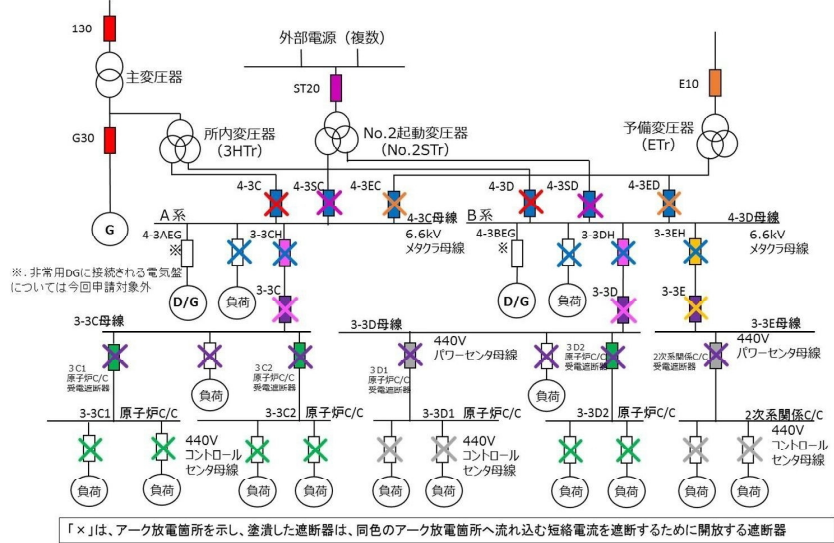
なお、HEAF対策対象盤は、「高エネルギーアーク損傷（HEAF）に係る電気盤の設計に関するガイド」を踏まえ、アーク放電を発生させる試験、アーク火災発生の評価を実施し、高エネルギーアーク損傷に係る対策の判断基準を設定する。

発生するアークエネルギーは、次式により求め、各遮断器の遮断時間を第2-1表に示す。

$$E_{3\phi} = V_{arc} \times I_{arc} \times t_{arc}$$

$E_{3\phi}$ : 三相のアークエネルギー  
 $V_{arc}$ : HEAF試験の結果から得られたアーク電圧  
 $I_{arc}$ : 三相短絡電流の平均値  
 $t_{arc}$ : アーク発生時の遮断器の遮断時間

第2-1図に示した各母線に接続されるすべての遮断器（ディーゼル発電機に係る部分を除く。）をアーク放電発生箇所とし、各アーク放電発生箇所の上流の遮断器を開放することによりアーク放電を遮断する。



第2-1図 アーク放電発生箇所とアーク放電を遮断する遮断器

(3) 電氣的、磁氣的障害の防止

遮断器は、閉鎖構造（金属製の筐体）及び接地の実施により、電氣的又は磁氣的な障害を与えない設計とする。

(4) 供給支障の防止

発電設備の損傷による供給支障の防止のため、過電流を生じた場合、保護継電器にて検知し、遮断器を開放して自動的に発電機を電路から遮断する設計とする。

発電所構内には、遮断器の運転に必要な知識及び技能を有する者が常時駐在し、常時監視しない発電所は施設しない設計とする。

：要修正箇所を示す

第2-1表 各遮断器の遮断時間 (1/2)

機器名称	アーク放電発生箇所		アーク放電を遮断するために開放する遮断器	遮断時間 (s)	アークエネルギー (MJ)
	遮断器名称				
メ タ ル ク ラ フ ツ ド 開 閉 装 置	4-3C		130	0.110 ⇒ 0.650	3.38 ⇒ 19.95
	(4-3CM/C 受電遮断器 (HT r 側))		G30	0.750 ⇒ 0.694	23.02 ⇒ 21.30
	4-3SC		ST20	0.110	3.23
	(4-3CM/C 受電遮断器 (ST r 側))		E10	0.126	3.22
	4-3EC		4-3C	0.700 ⇒ 0.500	21.48 ⇒ 15.35
	(4-3CM/C 受電遮断器 (ET r 側))		4-3SC	0.700 ⇒ 0.500	20.52 ⇒ 14.66
	4-3D		4-3EC	0.700 ⇒ 0.500	17.86 ⇒ 12.76
	(4-3DM/C 受電遮断器 (HT r 側))		130	0.110 ⇒ 0.650	3.37 ⇒ 19.90
	4-3SD		G30	0.750 ⇒ 0.694	22.96 ⇒ 21.25
	(4-3DM/C 受電遮断器 (ST r 側))		ST20	0.110	2.99
	4-3ED		E10	0.126	3.22
	(4-3DM/C 受電遮断器 (ET r 側))		4-3D	0.700 ⇒ 0.500	21.43 ⇒ 15.31
4-3E		4-3SD	0.700 ⇒ 0.500	18.98 ⇒ 13.56	
(4-3D, 4-3SD, 4-3ED, 4-3BEG を除く)		4-3ED	0.700 ⇒ 0.500	17.86 ⇒ 12.76	

第2-1表 各遮断器の遮断時間 (2/2)

：要修正箇所を示す

機器名称	アーク放電発生箇所		アーク放電を遮断するため に開放する遮断器	遮断時間 (s)	アークエネルギー (MJ)
	遮断器名称				
パワーセンター	3-3C (3-3C P/C 受電遮断器(動変2次側))		3-3CH	0.384 ⇒ 0.284	4.96 ⇒ 3.67
	3-3C 母線に接続される遮断器 (3-3Cを除く)		3-3C	0.366 ⇒ 0.266	4.73 ⇒ 3.44
	3-3D (3-3D P/C 受電遮断器(動変2次側))		3-3DH	0.384 ⇒ 0.284	4.96 ⇒ 3.67
	3-3D 母線に接続される遮断器 (3-3Dを除く)		3-3D	0.366 ⇒ 0.266	4.73 ⇒ 3.44
	3-3E (3-3E P/C 受電遮断器(動変2次側))		3-3EH	0.384 ⇒ 0.284	4.95 ⇒ 3.67
	3-3E 母線に接続される遮断器 (3-3Eを除く)		3-3E	0.366 ⇒ 0.266	4.72 ⇒ 3.43
	3C1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3C1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)		3C1 原子炉 C/C 受電遮断器	0.120	1.41
	3C2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3C2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)		3C2 原子炉 C/C 受電遮断器	0.120	1.14
	3D1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3D1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)		3D1 原子炉 C/C 受電遮断器	0.120	1.58
	3D2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3D2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)		3D2 原子炉 C/C 受電遮断器	0.120	1.28

参考

2018年10月19日に工事計画認可申請し、2019年4月26日に認可いただいた  
「美浜3号機 高エネルギーアーク損傷対策に係る工事計画」補足説明資料 抜粋

美浜発電所3号機  
工事計画認可申請書 補足説明資料

平成31年2月  
関西電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は、商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。

(1) 遮断器の遮断時間の設定

実用発電用原子炉施設の保安電源設備のうち、重要安全施設への電力供給に係る電気盤及び当該電気盤に影響を与えるおそれのある電気盤に発生するアークエネルギーが、「4.2 アーク火災が発生しないアークエネルギーのしきい値に係る評価」にて評価したアークエネルギーのしきい値以下となるよう、遮断器の遮断時間を設定する。

電気盤に発生するアークエネルギーは、電気盤に発生する三相短絡電流及び HEAF 試験の結果から得られたアーク電圧の積により算出したアークパワーを遮断器の遮断時間で積分した値としており、以下の式にて算出した。

$$E_{3\phi} = V_{\text{arc}} \times I_{\text{arc}} \times t_{\text{arc}}$$

$$= 0.9 \times V_{\text{arc}} \times I_{\text{rms}} \times t_{\text{arc}}$$

$E_{3\phi}$  : 三相のアークエネルギー

$V_{\text{arc}}$  : HEAF 試験の結果から得られたアーク電圧

$I_{\text{arc}}$  : 三相短絡電流の平均値

$I_{\text{rms}}$  : 三相短絡電流の実効値

$t_{\text{arc}}$  : アーク発生時の遮断器の遮断時間

a. HEAF 試験の結果から得られたアーク電圧について

アークエネルギーの算出時に使用するアーク電圧は、HEAF 試験の結果から表 6.2 に示すアーク電圧を用いた。

b. 各電気盤に発生する三相短絡電流について

アークエネルギーの算出時に使用する三相短絡電流は、実機で発生する三相短絡電流値に近い値を算出するため、電源から短絡箇所までの電路インピーダンス %Z (ケーブル、発電機、変圧器含む) を用いて、以下の式にて算出した。

$$\text{短絡電流 (A)} = \frac{\text{基準容量 (VA)}}{\sqrt{3} \times \text{基準電圧 (V)}} \times \frac{100}{\%Z}$$



c. 遮断器の遮断時間について

アークエネルギーの算出時に使用する遮断器の遮断時間は、保護継電器及び補助リレーの動作時間並びに遮断器の開極時間等を積み上げた値を設定し、さらに保護継電器等の誤差を考慮した遮断器の遮断時間によるアークエネルギーがアークエネルギーのしきい値以下となるよう設計している。(図 6.1)

なお、工事計画(変更)認可申請書に記載している遮断器の遮断時間については、表 6.2 に示すとおり誤差を考慮しない遮断器の遮断時間を記している。

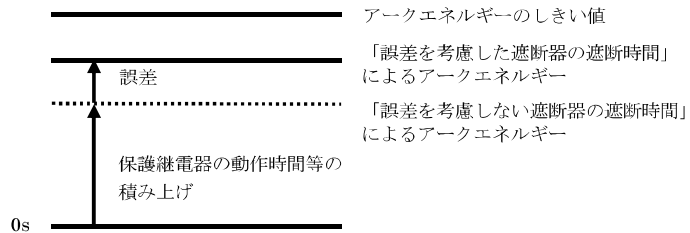


図 6.1 遮断器の遮断時間の考え方

遮断器の遮断時間に含まれる誤差の考え方を図 6.2 に示し、考慮した誤差について表 6.1 に示す。

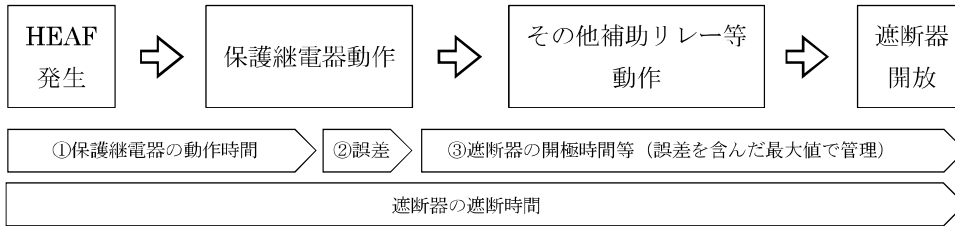


図 6.2 遮断器の遮断時間に含まれる誤差の考え方

表 6.1 遮断器の遮断時間に関する誤差

誤差パターン	使用する保護継電器		誤差	備考
	機種	保護要素		
1	製品 A	51(過電流継電器)	+7%	
2		50(短絡継電器)	+0.025s	動作設定域：0.1 秒～0.4 秒
3			+5%	動作設定域：0.5 秒～1.0 秒
4	製品 B	51(過電流継電器)	+12%	
5		50(短絡継電器)	—*	誤差無し(下記以外の場合)
6			+0.01s	誤差有り(ソフトウェアタイマを使用する場合)
7		87(比率差動継電器)	—*	
8	製品 C	50(短絡継電器)	—*	

※保護継電器の設定値に対するプラス誤差 0 秒。

電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間について、表 6.2 に示す。

**変更なし**

また、実機プラント全ての電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間について、添付資料－４に示す。なお、遮断器の遮断時間の設定に当たっては、上流及び下流の遮断器の遮断時間の協調を考慮することにより、故障による影響範囲を局所化する設計とする。

：要修正箇所を示す

表 4.7 電気盤のアーケエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧 (美浜 3号機)

機器名称	アーケ放電発生箇所		アーケ放電を遮断するために開放する遮断器	①保護継電器の動作時間 (sec)	②誤差 (sec)	③遮断器の開極時間等 (sec)	誤差を考慮しない場合		誤差を考慮した場合		三相短絡電流(A)	アーケ電圧(kV)	考慮している誤差パターン
	①+③ (sec) ※	①+③+⑥ (sec) ※					アーケエネルギー (MJ) ※	アーケエネルギー (MJ) ※					
メタルクランプ開閉装置	4*3C		130	0.600	0.060	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	25.44	1.34	7-5
	(4*3CM/C 受電遮断器(HT r 側))		G-30	0.600	0.060	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	25.44		3-5
	4*3SC		ST20	0.060	—	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	24.30		7
	(4*3CM/C 受電遮断器(ST r 側))		E10	0.060	—	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	21.15		7
	4*3EC		E10	0.060	—	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	21.15		7
	(4*3CM/C 受電遮断器(ET r 側))		4*3C	0.400	0.060	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	25.44		3-2
	4*3C 母線に接続される遮断器		4*3SC	0.400	0.060	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	24.30		3-2
	(4*3C, 4*3SC, 4*3EC, 4*3AEG を除く)		4*3EC	0.400	0.060	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	21.15		3-2
	4*3D		130	0.600	0.060	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	25.38		7-5
	(4*3DM/C 受電遮断器(HT r 側))		G30	0.600	0.060	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	25.38		3-5
	4*3SD		ST20	0.060	—	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	22.48		7
	(4*3DM/C 受電遮断器(ST r 側))		E10	0.060	—	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	21.15		7
4*3ED		E10	0.060	—	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	21.15		7	
(4*3DM/C 受電遮断器(ET r 側))		4*3D	0.400	0.060	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	25.38		3-2	
4*3D 母線に接続される遮断器		4*3SD	0.400	0.060	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	22.48		3-2	
(4*3D, 4*3SD, 4*3ED, 4*3BEG を除く)		4*3ED	0.400	0.060	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	21.15		3-2	
3*3C		3*3CH	0.200	0.025	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	30.73		2	
(3*3C P/C 受電遮断器(動変 2 次側))		3*3C	0.200	0.025	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	30.73		2	
3*3C 母線に接続される遮断器		3*3DH	0.200	0.025	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	30.70		2	
(3*3C を除く)		3*3D	0.200	0.025	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	30.70		2	
3*3D 母線に接続される遮断器		3*3EH	0.200	0.025	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	30.67		2	
(3*3D を除く)		3*3E	0.200	0.025	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	30.67		2	
3*3E 母線に接続される遮断器		3*3E	0.200	0.025	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	30.67		2	
(3*3E を除く)													

※ 工認申請には、本内容を記載

添付 4-14

変更なし

機器名称	アーク放電発生箇所		アーク放電を遮断するために開放する遮断器	①保護継電器の動作時間 (sec)	②脱差 (sec)	③遮断器の開極時間等 (sec)	脱差を考慮しない場合		脱差を考慮した場合		三相短絡電流(A)	アーク電圧(kV)	考慮している脱差パターン
	遮断器名称						①+③ 遮断時間 (sec) ※	アークエネルギー (MJ) ※	①+②+③ 遮断時間 (sec)	アークエネルギー (MJ)			
コントロールセンタ	3C1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3C1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)		3C1 原子炉 C/C 受電遮断器	0.100	—	0.020	0.120	1.41	0.120	1.41	19.22	0.675	8
	3C2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3C2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)		3C2 原子炉 C/C 受電遮断器	0.100	—	0.020	0.120	1.14	0.120	1.14	15.55		8
	3D1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3D1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)		3D1 原子炉 C/C 受電遮断器	0.100	—	0.020	0.120	1.58	0.120	1.58	21.59		8
	3D2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3D2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)		3D2 原子炉 C/C 受電遮断器	0.100	—	0.020	0.120	1.28	0.120	1.28	17.46		8

※ 工認申請には、本内容を記載

2018年10月19日に工事計画認可申請し、2019年4月26日に認可いただいた  
「高浜1号機 高エネルギーアーク損傷対策に係る工事計画」抜粋

資料40 非常用発電装置の出力の決定に関する説明書

(4) 供給支障の防止

発電設備の損傷による供給支障の防止のため、過電流を生じた場合、保護継電器にて検知し、遮断器を開放して自動的に発電機を電路から遮断する設計とする。発電機は、短絡電流及び非常調速装置が動作して達する回転速度に対して、十分な機械的強度を有する設計とし、三相短絡試験により異常のないことを確認する。発電所構内には、発電機の運転に必要な知識及び技能を有する者が常時駐在することにより、常時監視しない発電所は施設しない設計とする。

2.1.3 遮断器

遮断器は、原子力発電工作物に係る電気設備の技術基準を準用し、以下の設計とする。

(1) 感電、火災等の防止

遮断器は、感電防止のため接地し、また、充電部分に容易に接触できない設計とする。電路は大地から絶縁する設計とし、絶縁抵抗測定により異常のないことを確認する。電線の接続箇所は、端子台等により接続することで電気抵抗を増加させないとともに、絶縁性能の低下及び通常の使用状態において断線のおそれがない設計とする。遮断器は、JESC E7002に基づき、通常の使用状態において発生する熱に耐える設計とし、火災防止のため、閉鎖された金属製の外箱に収納し、隔離する設計とする。遮断器は、適切な接地工事を施し、鉄台及び金属性の外箱には、A種接地工事を施す設計とする。取扱者以外の者の立入を防止するため発電所には、人が容易に構内に立ち入るおそれがないようフェンスを設置する設計とする。

(2) 異常の予防及び保護対策

異常の予防及び保護対策のため、高圧電路に施設する過電流遮断器は、施設する箇所を通過する短絡電流を遮断する能力を有し、その作動に伴いその開閉状態を表示する装置を有する設計とする。

重要安全施設（「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」第2条第2項第9号に規定する重要安全施設をいう。以下同じ。）へ電力供給に係る電気盤及び当該電気盤に影響を与えるおそれのある電気盤のうち非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤以外の電気盤（安全施設（重要安全施設を除く。）への電力供給に係るものに限る。）（以下「HEAF対策対象盤」という。）について、

アーク火災が発生しないアークエネルギーの閾値（M/C25MJ、P/C18MJ、C/C4.4MJ）を超えない時間でアーク放電が発生した遮断器の上流の遮断器を開放し、アーク放電の継続を防止することでアーク火災を防止し、電気盤の損壊の拡大を防止することができる設計とする。

アークエネルギー  
しきい値記載箇所



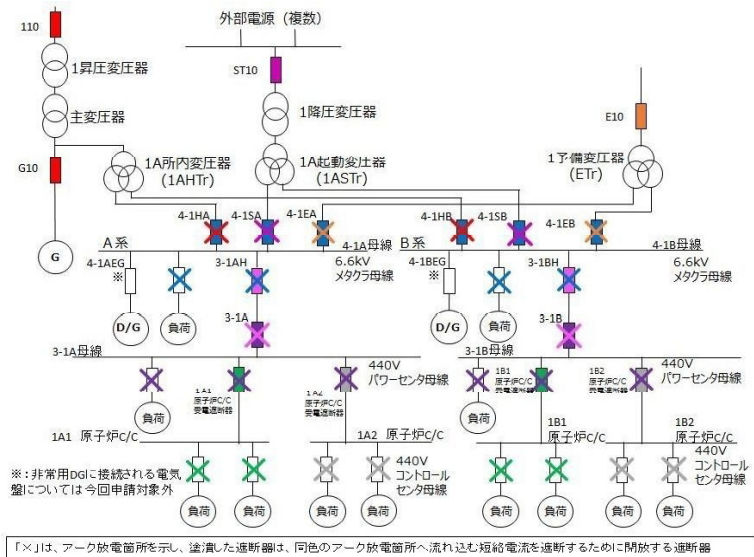
なお、HEAF対策対象盤は、「高エネルギーアーク損傷（HEAF）に係る電気盤の設計に関するガイド」を踏まえ、アーク放電を発生させる試験、アーク火災発生の評価を実施し、高エネルギーアーク損傷に係る対策の判断基準を設定する。

発生するアークエネルギーは、次式により求め、各遮断器の遮断時間を第2-1表に示す。

$$E_{3\phi} = V_{arc} \times I_{arc} \times t_{arc}$$

$E_{3\phi}$ : 三相のアークエネルギー  
 $V_{arc}$ : HEAF試験の結果から得られたアーク電圧  
 $I_{arc}$ : 三相短絡電流の平均値  
 $t_{arc}$ : アーク発生時の遮断器の遮断時間

第2-1図に示した各母線に接続されるすべての遮断器（ディーゼル発電機に係る部分を除く。）をアーク放電発生箇所とし、各アーク放電発生箇所の上流の遮断器を開放することによりアーク放電を遮断する。



第2-1図 アーク放電発生箇所とアーク放電を遮断する遮断器

(3) 電氣的、磁氣的障害の防止

遮断器は、閉鎖構造（金属製の筐体）及び接地の実施により、電氣的又は磁氣的な障害を与えない設計とする。

(4) 供給支障の防止

発電設備の損傷による供給支障の防止のため、過電流を生じた場合、保護継電器にて検知し、遮断器を開放して自動的に発電機を電路から遮断する設計とする。

発電所構内には、遮断器の運転に必要な知識及び技能を有する者が常時駐在し、常時監視しない発電所は施設しない設計とする。

第2-1表 各遮断器の遮断時間 (1 / 2)

：要修正箇所を示す

アーク放電発生箇所		アーク放電を遮断するため に開放する遮断器	遮断時間 (s)	アークエネルギー (MJ)	
機器 名称	遮断器名称				
メ タ ル ク ラ ッ ド 開 閉 装 置	4-1HA (4-1AM/C 受電遮断器 (1AHT r 側))	110	0.110 ⇒ 0.750	3.07 ⇒ 20.93	
	4-1SA (4-1AM/C 受電遮断器 (1AST r 側))	G10	0.550 ⇒ 0.794	15.35 ⇒ 22.15	
	4-1EA (4-1AM/C 受電遮断器 (ET r 側))	ST10	0.110	3.26	
	4-1A 母線に接続される遮断器 (4-1HA, 4-1SA, 4-1EA, 4-1AEG を除く)	4-1HA	E10	0.126	5.45
		4-1SA	4-1HA	0.500	13.95
		4-1EA	4-1SA	0.500	14.78
	4-1HB (4-1BM/C 受電遮断器 (1AHT r 側))	4-1HB	4-1EA	0.500	21.62
		4-1SB (4-1BM/C 受電遮断器 (1AST r 側))	110	0.110 ⇒ 0.750	3.06 ⇒ 20.83
		4-1EB (4-1BM/C 受電遮断器 (ET r 側))	G10	0.550 ⇒ 0.794	15.27 ⇒ 22.05
	4-1IB (4-1BM/C 受電遮断器 (1AHT r 側))	4-1IB (4-1BM/C 受電遮断器 (1AST r 側))	ST10	0.110	3.27
		4-1EB	E10	0.126	5.40
		4-1IB 母線に接続される遮断器 (4-1HB, 4-1SB, 4-1EB, 4-1BEG を除く)	4-1HB	4-1HB	0.500
	4-1SB		4-1SB	0.500	14.85
	4-1EB		4-1EB	0.500	21.42

変更なし

第2-1表 各遮断器の遮断時間 (2/2)

アーク放電発生箇所		アーク放電を遮断するため に開放する遮断器	遮断時間 (s)	アークエネルギー (MJ)
機器 名称	遮断器名称			
パ ワ ー セ ン タ	3-1A (3-1A P/C 受電遮断器 (動変2次側))	3-1AH	1.230	16.25
	3-1A 母線に接続される遮断器 (3-1Aを除く)	3-1A	0.466	6.16
	3-1B (3-1B P/C 受電遮断器 (動変2次側))	3-1BH	1.232	16.25
	3-1B 母線に接続される遮断器 (3-1Bを除く)	3-1B	0.466	6.15
	1A1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (1A1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	1A1 原子炉 C/C 受電遮断器	0.120	1.46
コ ン ト ロ ー ル セ ン タ	1A2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (1A2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	1A2 原子炉 C/C 受電遮断器	0.120	1.19
	1B1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (1B1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	1B1 原子炉 C/C 受電遮断器	0.120	1.64
	1B2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (1B2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	1B2 原子炉 C/C 受電遮断器	0.120	1.31

参考

2018年10月19日に工事計画認可申請し、2019年4月26日に認可いただいた  
「高浜1号機 高エネルギーアーク損傷対策に係る工事計画」補足説明資料 抜粋

高浜発電所1号機

工事計画認可申請書 補足説明資料

平成31年2月

関西電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は、商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。

(1) 遮断器の遮断時間の設定

実用発電用原子炉施設の保安電源設備のうち、重要安全施設への電力供給に係る電気盤及び当該電気盤に影響を与えるおそれのある電気盤に発生するアークエネルギーが、「4.2 アーク火災が発生しないアークエネルギーのしきい値に係る評価」にて評価したアークエネルギーのしきい値以下となるよう、遮断器の遮断時間を設定する。

電気盤に発生するアークエネルギーは、電気盤に発生する三相短絡電流及び HEAF 試験の結果から得られたアーク電圧の積により算出したアークパワーを遮断器の遮断時間で積分した値としており、以下の式にて算出した。

$$E_{3\phi} = V_{\text{arc}} \times I_{\text{arc}} \times t_{\text{arc}}$$

$$= 0.9 \times V_{\text{arc}} \times I_{\text{rms}} \times t_{\text{arc}}$$

- $E_{3\phi}$  : 三相のアークエネルギー
- $V_{\text{arc}}$  : HEAF 試験の結果から得られたアーク電圧
- $I_{\text{arc}}$  : 三相短絡電流の平均値
- $I_{\text{rms}}$  : 三相短絡電流の実効値
- $t_{\text{arc}}$  : アーク発生時の遮断器の遮断時間

a. HEAF 試験の結果から得られたアーク電圧について

アークエネルギーの算出時に使用するアーク電圧は、HEAF 試験の結果から表 6.2 に示すアーク電圧を用いた。

b. 各電気盤に発生する三相短絡電流について

アークエネルギーの算出時に使用する三相短絡電流は、実機で発生する三相短絡電流値に近い値を算出するため、電源から短絡箇所までの電路インピーダンス %Z (ケーブル、発電機、変圧器含む) を用いて、以下の式にて算出した。

$$\text{短絡電流 (A)} = \frac{\text{基準容量 (VA)}}{\sqrt{3} \times \text{基準電圧 (V)}} \times \frac{100}{\%Z}$$

c. 遮断器の遮断時間について

アークエネルギーの算出時に使用する遮断器の遮断時間は、保護継電器及び補助リレーの動作時間並びに遮断器の開極時間等を積み上げた値を設定し、さらに保護継電器等の誤差を考慮した遮断器の遮断時間によるアークエネルギーがアークエネルギーのしきい値以下となるよう設計している。(図 6.1)

なお、工事計画(変更)認可申請書に記載している遮断器の遮断時間については、表 6.2 に示すとおり誤差を考慮しない遮断器の遮断時間を記している。

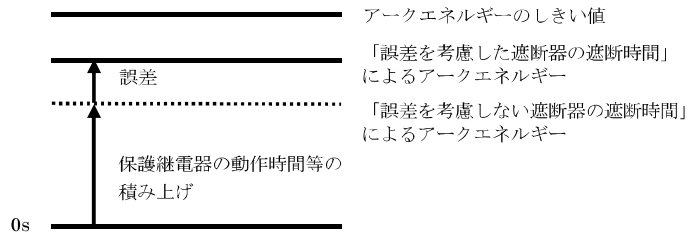


図 6.1 遮断器の遮断時間の考え方

遮断器の遮断時間に含まれる誤差の考え方を図 6.2 に示し、考慮した誤差について表 6.1 に示す。

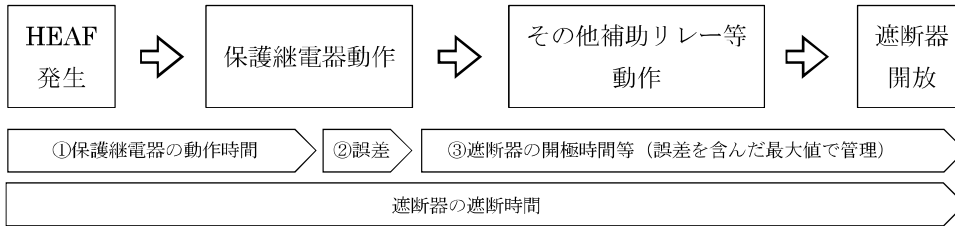


図 6.2 遮断器の遮断時間に含まれる誤差の考え方

表 6.1 遮断器の遮断時間に関する誤差

誤差パターン	使用する保護継電器		誤差	備考
	機種	保護要素		
1	製品 A	51(過電流継電器)	+7%	
2		50(短絡継電器)	+0.025s	動作設定域：0.1 秒～0.4 秒
3			+5%	動作設定域：0.5 秒～1.0 秒
4	製品 B	51(過電流継電器)	+12%	
5		50(短絡継電器)	—*	誤差無し(下記以外の場合)
6			+0.01s	誤差有り(ソフトウェアタイマを使用する場合)
7		87(比率差動継電器)	—*	
8	製品 C	50(短絡継電器)	—*	

※保護継電器の設定値に対するプラス誤差 0 秒。

電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間について、表 6.2 に示す。



**変更なし**

また、実機プラント全ての電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間について、添付資料－４に示す。なお、遮断器の遮断時間の設定に当たっては、上流及び下流の遮断器の遮断時間の協調を考慮することにより、故障による影響範囲を局所化する設計とする。

表 4.3 電気盤のアーケエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧 (高浜 1 号機)

要修正箇所を示す

機器名称	アーケ放電発生箇所 遮断器名称	アーケ放電を遮断するために開放する遮断器	①保護継電器の動作時間 (sec)	②誤差 (sec)	③遮断器の開極時間等 (sec)	誤差を考慮しない場合		誤差を考慮した場合		三相短絡電流 (kA)	アーケ電圧 (kV)	考慮している誤差パターン
						①+③ 遮断時間 (sec)	アーケエネルギー (MJ)	①+②+③ 遮断時間 (sec)	アーケエネルギー (MJ)			
メ タ ル ク ラ ン ド 開 閉 装 置	4-1HA (4-1AM/C 受電遮断器(IAHT r 側))	110	0.700 <del>0.060</del>	—	0.050 <del>0.094</del>	0.790 <del>0.110</del>	20.93 <del>3.07</del>	0.790 <del>0.110</del>	20.93 <del>3.07</del>	23.13	1.34	7-5
		G10	0.700 <del>0.400</del>	0.025 <del>0.025</del>	0.094 <del>0.150</del>	0.794 <del>0.550</del>	22.15 <del>15.97</del>	0.794 <del>0.550</del>	22.15 <del>15.97</del>	23.13		2-5
	4-1SA (4-1AM/C 受電遮断器(IAST r 側))	ST10	0.060	—	0.050	0.110	3.26	3.26	3.26	24.51	7	
		E10	0.060	—	0.066	0.126	5.45	5.45	5.45	35.84	7	
	4-1A 母線に接続される遮断器	4-1HA	0.400	0.025	0.100	0.500	13.95	14.65	14.65	23.13	2	
		4-1SA	0.400	0.025	0.100	0.500	14.78	15.52	15.52	24.51	2	
	4-1HB (4-1BM/C 受電遮断器(IAHT r 側))	4-1EA	0.700 <del>0.400</del>	0.025	0.100	0.504 <del>0.525</del>	21.62 <del>22.70</del>	21.62 <del>22.70</del>	21.62 <del>22.70</del>	35.84	2	
		110	0.700 <del>0.060</del>	—	0.050 <del>0.094</del>	0.790 <del>0.110</del>	20.93 <del>3.07</del>	0.790 <del>0.110</del>	20.93 <del>3.07</del>	23.02	7-5	
	4-1SB (4-1BM/C 受電遮断器(IAST r 側))	G10	0.700 <del>0.400</del>	0.025 <del>0.025</del>	0.094 <del>0.150</del>	0.794 <del>0.550</del>	22.15 <del>15.97</del>	0.794 <del>0.550</del>	22.15 <del>15.97</del>	23.02	2-5	
		ST10	0.060	—	0.050	0.110	3.27	3.27	3.27	24.62	7	
	4-1EB (4-1BM/C 受電遮断器(ET r 側))	E10	0.060	—	0.066	0.126	5.40	5.40	5.40	35.52	7	
		4-1HB	0.400	0.025	0.100	0.500	13.89	14.58	14.58	23.02	2	
4-1IB 母線に接続される遮断器	4-1SB	0.400	0.025	0.100	0.500	14.85	15.59	15.59	24.62	2		
	4-1EB	0.400	0.025	0.100	0.500	21.42	22.49	22.49	35.52	2		
パ ワ ー レ ン タ	3-1A (3-1A P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	3-1AH	1.146	0.081	0.084	1.230	16.25	1.311	17.32	31.42	0.467	1
	3-1A 母線に接続される遮断器 (3-1A を除く)	3-1A	0.400	0.025	0.066	0.466	6.16	0.491	6.49	31.42		2
3-1B (3-1B P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	3-1BH	1.148	0.081	0.084	1.232	16.25	1.313	17.32	31.38	1		
	3-1B 母線に接続される遮断器 (3-1B を除く)	3-1B	0.400	0.025	0.066	0.466	6.15	0.491	6.48	31.38	2	

-添付 4-6-

※ 工認申請には、本内容を記載

変更なし

アーク放電発生箇所		アーク放電を遮断するための開放する遮断器	①保護継電器の動作時間(sec)	②誤差(sec)	③遮断器の開極時間等(sec)	誤差を考慮しない場合		誤差を考慮した場合		三相短絡電流(kA)	アーク電圧(kV)	考慮している誤差パターン
機器名称	遮断器名称					①+③遮断時間(sec) ※	アークエネルギー(MJ) ※	①+②+③遮断時間(sec)	アークエネルギー(MJ)			
コントロールセンター	1A1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (1A1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	1A1 原子炉 C/C 受電遮断器	0.100	—	0.020	0.120	1.46	0.120	1.46	19.93	0.675	8
	1A2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (1A2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	1A2 原子炉 C/C 受電遮断器	0.100	—	0.020	0.120	1.19	0.120	1.19	16.30		8
	1B1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (1B1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	1B1 原子炉 C/C 受電遮断器	0.100	—	0.020	0.120	1.64	0.120	1.64	22.36		8
	1B2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (1B2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	1B2 原子炉 C/C 受電遮断器	0.100	—	0.020	0.120	1.31	0.120	1.31	17.93		8

※ 工認申請には、本内容を記載

-添付 4-7-

2018年10月19日に工事計画認可申請し、2019年4月26日に認可いただいた  
「高浜2号機 高エネルギーアーク損傷対策に係る工事計画」抜粋

資料40 非常用発電装置の出力の決定に関する説明書

(4) 供給支障の防止

発電設備の損傷による供給支障の防止のため、過電流を生じた場合、保護継電器にて検知し、遮断器を開放して自動的に発電機を電路から遮断する設計とする。発電機は、短絡電流及び非常調速装置が動作して達する回転速度に対して、十分な機械的強度を有する設計とし、三相短絡試験により異常のないことを確認する。発電所構内には、発電機の運転に必要な知識及び技能を有する者が常時駐在することにより、常時監視しない発電所は施設しない設計とする。

2.1.3 遮断器

遮断器は、原子力発電工作物に係る電気設備の技術基準を準用し、以下の設計とする。

(1) 感電、火災等の防止

遮断器は、感電防止のため接地し、また、充電部分に容易に接触できない設計とする。電路は大地から絶縁する設計とし、絶縁抵抗測定により異常のないことを確認する。電線の接続箇所は、端子台等により接続することで電気抵抗を増加させないとともに、絶縁性能の低下及び通常の使用状態において断線のおそれがない設計とする。遮断器は、JESC E7002に基づき、通常の使用状態において発生する熱に耐える設計とし、火災防止のため、閉鎖された金属製の外箱に収納し、隔離する設計とする。遮断器は、適切な接地工事を施し、鉄台及び金属性の外箱には、A種接地工事を施す設計とする。取扱者以外の者の立入を防止するため発電所には、人が容易に構内に立ち入るおそれがないようフェンスを設置する設計とする。

(2) 異常の予防及び保護対策

異常の予防及び保護対策のため、高圧電路に施設する過電流遮断器は、施設する箇所を通過する短絡電流を遮断する能力を有し、その作動に伴いその開閉状態を表示する装置を有する設計とする。

重要安全施設（「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」第2条第2項第9号に規定する重要安全施設をいう。以下同じ。）へ電力供給に係る電気盤及び当該電気盤に影響を与えるおそれのある電気盤のうち非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤以外の電気盤（安全施設（重要安全施設を除く。）への電力供給に係るものに限る。）（以下「HEAF対策対象盤」という。）について、

アーク火災が発生しないアークエネルギーの閾値（M/C25MJ、P/C18MJ、C/C4.4MJ）を超えない時間でアーク放電が発生した遮断器の上流の遮断器を開放し、アーク放電の継続を防止することでアーク火災を防止し、電気盤の損壊の拡大を防止することができる設計とする。

アークエネルギー  
しきい値記載箇所

変更なし

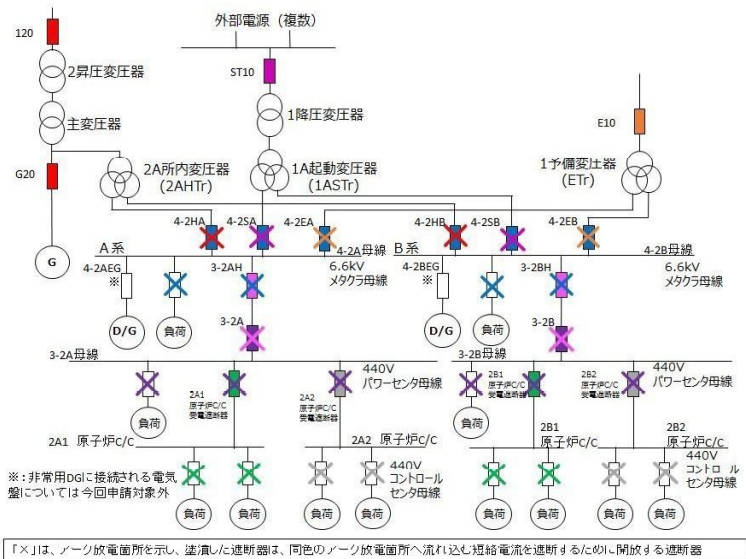
なお、HEAF対策対象盤は、「高エネルギーアーク損傷（HEAF）に係る電気盤の設計に関するガイド」を踏まえ、アーク放電を発生させる試験、アーク火災発生の評価を実施し、高エネルギーアーク損傷に係る対策の判断基準を設定する。

発生するアークエネルギーは、次式により求め、各遮断器の遮断時間を第2-1表に示す。

$$E_{3\phi} = V_{arc} \times I_{arc} \times t_{arc}$$

$E_{3\phi}$ : 三相のアークエネルギー  
 $V_{arc}$ : HEAF試験の結果から得られたアーク電圧  
 $I_{arc}$ : 三相短絡電流の平均値  
 $t_{arc}$ : アーク発生時の遮断器の遮断時間

第2-1図に示した各母線に接続されるすべての遮断器（ディーゼル発電機に係る部分を除く。）をアーク放電発生箇所とし、各アーク放電発生箇所の上流の遮断器を開放することによりアーク放電を遮断する。



第2-1図 アーク放電発生箇所とアーク放電を遮断する遮断器

(3) 電氣的、磁氣的障害の防止

遮断器は、閉鎖構造（金属製の筐体）及び接地の実施により、電氣的又は磁氣的な障害を与えない設計とする。

(4) 供給支障の防止

発電設備の損傷による供給支障の防止のため、過電流を生じた場合、保護継電器にて検知し、遮断器を開放して自動的に発電機を電路から遮断する設計とする。

発電所構内には、遮断器の運転に必要な知識及び技能を有する者が常時駐在し、常時監視しない発電所は施設しない設計とする。

第2-1表 各遮断器の遮断時間 (1/2)

：要修正箇所を示す

機器 名称	アーク放電発生箇所		アーク放電を遮断するため に開放する遮断器	遮断時間 (s)	アークエネルギー (MJ)	
	遮断器名称					
メ タ ル ク ラ ッ ド 開 閉 装 置	4-2HA (4-2AM/C 受電遮断器 (2AHT r 側))		120	0.110 ⇒ 0.750	3.18 ⇒ 21.63	
	4-2SA (4-2AM/C 受電遮断器 (1AST r 側))		G20	0.550 ⇒ 0.794	15.86 ⇒ 22.90	
	4-2EA (4-2AM/C 受電遮断器 (ET r 側))		ST10	0.110	3.22	
	4-2A 母線に接続される遮断器 (4-2HA, 4-2SA, 4-2EA, 4-2AEG を除く)	4-2HA		E10	0.126	5.43
		4-2SA		4-2HA	0.500	14.42
		4-2EA		4-2SA	0.500	14.61
	4-2HB (4-2BM/C 受電遮断器 (2AHT r 側))			4-2EA	0.500	21.53
				120	0.110 ⇒ 0.750	3.15 ⇒ 21.46
	4-2SB (4-2BM/C 受電遮断器 (1AST r 側))			G20	0.550 ⇒ 0.794	15.74 ⇒ 22.72
				ST10	0.110	3.25
	4-2EB (4-2BM/C 受電遮断器 (ET r 側))			E10	0.126	5.46
		4-2B 母線に接続される遮断器 (4-2HB, 4-2SB, 4-2EB, 4-2BEG を除く)		4-2HB	0.500	14.31
			4-2SB	0.500	14.75	
			4-2EB	0.500	21.63	

変更なし

第2-1表 各遮断器の遮断時間 (2 / 2)

アーク放電発生箇所		アーク放電を遮断するため に開放する遮断器	遮断時間 (s)	アークエネルギー (MJ)
機器 名称	遮断器名称			
パ ワ ー セ ン タ	3-2A (3-2A P/C 受電遮断器(動変2次側))	3-2AH	1.231	16.25
	3-2A 母線に接続される遮断器 (3-2Aを除く)	3-2A	0.466	6.15
	3-2B (3-2B P/C 受電遮断器(動変2次側))	3-2BH	1.230	16.25
	3-2B 母線に接続される遮断器 (3-2Bを除く)	3-2B	0.466	6.16
	2A1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (2A1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	2A1 原子炉 C/C 受電遮断器	0.120	1.16
コ ン ト ロ ー ル セ ン タ	2A2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (2A2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	2A2 原子炉 C/C 受電遮断器	0.120	0.64
	2B1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (2B1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	2B1 原子炉 C/C 受電遮断器	0.120	0.81
	2B2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (2B2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	2B2 原子炉 C/C 受電遮断器	0.120	1.33



参考

2018年10月19日に工事計画認可申請し、2019年4月26日に認可いただいた  
「高浜2号機 高エネルギーアーク損傷対策に係る工事計画」補足説明資料 抜粋

高浜発電所2号機  
工事計画認可申請書 補足説明資料

平成31年2月  
関西電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は、商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。

(1) 遮断器の遮断時間の設定

実用発電用原子炉施設の保安電源設備のうち、重要安全施設への電力供給に係る電気盤及び当該電気盤に影響を与えるおそれのある電気盤に発生するアークエネルギーが、「4.2 アーク火災が発生しないアークエネルギーのしきい値に係る評価」にて評価したアークエネルギーのしきい値以下となるよう、遮断器の遮断時間を設定する。

電気盤に発生するアークエネルギーは、電気盤に発生する三相短絡電流及び HEAF 試験の結果から得られたアーク電圧の積により算出したアークパワーを遮断器の遮断時間で積分した値としており、以下の式にて算出した。

$$E_{3\phi} = V_{\text{arc}} \times I_{\text{arc}} \times t_{\text{arc}}$$

$$= 0.9 \times V_{\text{arc}} \times I_{\text{rms}} \times t_{\text{arc}}$$

- $E_{3\phi}$  : 三相のアークエネルギー
- $V_{\text{arc}}$  : HEAF 試験の結果から得られたアーク電圧
- $I_{\text{arc}}$  : 三相短絡電流の平均値
- $I_{\text{rms}}$  : 三相短絡電流の実効値
- $t_{\text{arc}}$  : アーク発生時の遮断器の遮断時間

a. HEAF 試験の結果から得られたアーク電圧について

アークエネルギーの算出時に使用するアーク電圧は、HEAF 試験の結果から表 6.2 に示すアーク電圧を用いた。

b. 各電気盤に発生する三相短絡電流について

アークエネルギーの算出時に使用する三相短絡電流は、実機で発生する三相短絡電流値に近い値を算出するため、電源から短絡箇所までの電路インピーダンス %Z (ケーブル、発電機、変圧器含む) を用いて、以下の式にて算出した。

$$\text{短絡電流 (A)} = \frac{\text{基準容量 (VA)}}{\sqrt{3} \times \text{基準電圧 (V)}} \times \frac{100}{\%Z}$$

c. 遮断器の遮断時間について

アークエネルギーの算出時に使用する遮断器の遮断時間は、保護継電器及び補助リレーの動作時間並びに遮断器の開極時間等を積み上げた値を設定し、さらに保護継電器等の誤差を考慮した遮断器の遮断時間によるアークエネルギーがアークエネルギーのしきい値以下となるよう設計している。(図 6.1)

なお、工事計画(変更)認可申請書に記載している遮断器の遮断時間については、表 6.2 に示すとおり誤差を考慮しない遮断器の遮断時間を記している。

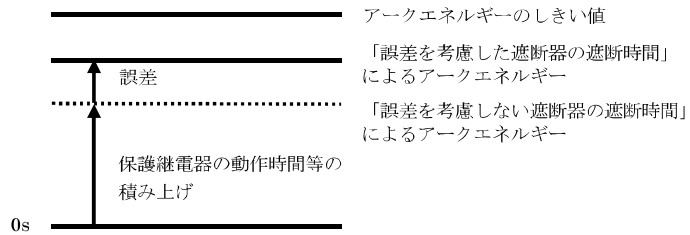


図 6.1 遮断器の遮断時間の考え方

遮断器の遮断時間に含まれる誤差の考え方を図 6.2 に示し、考慮した誤差について表 6.1 に示す。

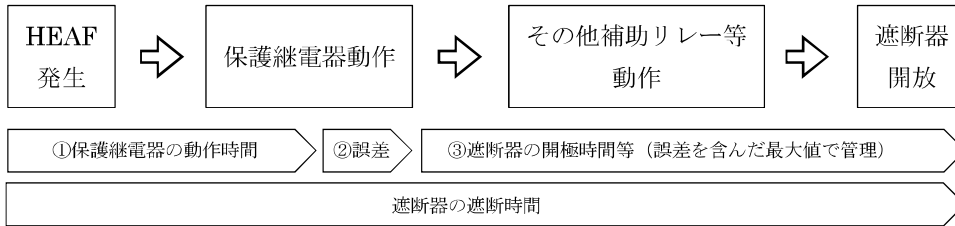


図 6.2 遮断器の遮断時間に含まれる誤差の考え方

表 6.1 遮断器の遮断時間に関する誤差

誤差パターン	使用する保護継電器		誤差	備考
	機種	保護要素		
1	製品 A	51(過電流継電器)	+7%	
2		50(短絡継電器)	+0.025s	動作設定域：0.1 秒～0.4 秒
3			+5%	動作設定域：0.5 秒～1.0 秒
4	製品 B	51(過電流継電器)	+12%	
5		50(短絡継電器)	—*	誤差無し(下記以外の場合)
6			+0.01s	誤差有り(ソフトウェアタイマを使用する場合)
7		87(比率差動継電器)	—*	
8	製品 C	50(短絡継電器)	—*	

※保護継電器の設定値に対するプラス誤差 0 秒。

電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間について、表 6.2 に示す。

**変更なし**

また、実機プラント全ての電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間について、添付資料－４に示す。なお、遮断器の遮断時間の設定に当たっては、上流及び下流の遮断器の遮断時間の協調を考慮することにより、故障による影響範囲を局所化する設計とする。

表 4.4 電気盤のアーケエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧 (高浜2号機) : 要修正箇所を示す

機器名称	アーケ放電発生箇所 遮断器名称	①保護継電器の動作時間 (sec)		②誤差 (sec)	③遮断器の開極時間等 (sec)	誤差を考慮しない場合		誤差を考慮した場合		三相短絡電流 (kA)	アーケ電圧 (kV)	考慮している誤差パターン
		①保継 0.700 0.700 0.400	①保継 0.000 0.400 0.400			①+③ 遮断時間 (sec)※ 0.750 0.794 0.750	アーケエネルギー (MJ)※ 21.63 22.90 21.63	①+②+③ 遮断時間 (sec) 0.750 0.794 0.750	アーケエネルギー (MJ) 21.63 22.90 21.63			
メタルクラフド 開閉装置	4-2HA (4-2AM/C 受電遮断器(2AHT r 側))	120	0.050 0.094 0.110	—	0.750 0.794 0.750	21.63 22.90 21.63	0.750 0.794 0.750	21.63 22.90 21.63	23.91 23.91 24.22	1.34	7 5 2 5 7	
	4-2SA (4-2AM/C 受電遮断器(LAST r 側))	ST10	0.050	—	0.750	21.63	0.750	21.63	24.22		7	
	4-2EA (4-2AM/C 受電遮断器(ET r 側))	E10	0.060	—	0.750	21.63	0.750	21.63	35.70		7	
	4-2HA	4-2HA	0.400	0.025	0.100	14.42	0.525	15.14	23.91		2	
	4-2SA	4-2SA	0.400	0.025	0.100	14.61	0.525	15.34	24.22		2	
	4-2EA	4-2EA	0.400	0.025	0.100	21.63 21.46	0.525 0.750	22.61 21.46	35.70		2	
	4-2HB (4-2B/M/C 受電遮断器(2AHT r 側))	120	0.700 0.700 0.400	—	0.050 0.094 0.110	0.750 0.794 0.750	21.63 22.90 21.63	0.750 0.794 0.750	23.72 23.72 23.72	1.34	7 5 2 5 7	
	4-2SB (4-2B/M/C 受電遮断器(LAST r 側))	G20	0.700 0.700 0.400	—	0.050 0.094 0.110	0.750 0.794 0.750	21.63 22.90 21.63	0.750 0.794 0.750	23.72		7	
	4-2EB (4-2B/M/C 受電遮断器(ET r 側))	ST10	0.060	—	0.050	3.25	0.110	3.25	24.46		7	
	4-2EB (4-2B/M/C 受電遮断器(ET r 側))	E10	0.060	—	0.066	5.46	0.126	5.46	35.87		7	
	4-2B (4-2B/M/C 受電遮断器(ET r 側))	4-2HB	0.400	0.025	0.100	14.31	0.525	15.02	23.72		2	
	パ ワ ー セ ン タ	4-2B (4-2B/M/C 受電遮断器(ET r 側))	4-2SB	0.400	0.025	0.100	14.75	0.525	15.49	24.46		2
4-2EB (4-2B/M/C 受電遮断器(ET r 側))		4-2EB	0.400	0.025	0.100	21.63	0.525	22.72	35.87		2	
3-2A (3-2A P/C 受電遮断器(動変2次側))		3-2AH	1.147	0.081	0.084	16.25	1.312	17.32	31.40		1	
3-2A (3-2A P/C 受電遮断器(動変2次側))		3-2A	0.400	0.025	0.066	6.15	0.491	6.48	31.40	0.467	2	
3-2B (3-2B P/C 受電遮断器(動変2次側))		3-2BH	1.146	0.081	0.084	16.25	1.311	17.32	31.42		1	
3-2B (3-2B P/C 受電遮断器(動変2次側))		3-2B	0.400	0.025	0.066	6.16	0.491	6.49	31.42		2	

※ 工認申請には、本内容を記載

変更なし

アーク放電発生箇所		③遮断器の開極時間等(sec)	誤差を考慮しない場合		誤差を考慮した場合		三相短絡電流(kA)	アーク電圧(kV)	考慮している誤差パターン
機器名称	遮断器名称		①+③遮断時間(sec) ※	アークエネルギー(MJ) ※	①+②+③遮断時間(sec)	アークエネルギー(MJ)			
コントロールセンタ	2A1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (2A1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	0.020	1.16	0.120	1.16	15.82	0.675	8	
	2A2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (2A2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	0.020	0.64	0.120	0.64	8.73			
	2B1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (2B1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	0.020	0.81	0.120	0.81	11.10			
	2B2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (2B2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	0.020	1.33	0.120	1.33	18.14			

※ 工認申請には、本内容を記載

-添付 4-9-