

大飯発電所3・4号機
高浜発電所3・4号機
工事計画認可申請書 補足説明資料

2020年7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. 概 要	3
2. 基本方針	4
3. 技術基準規則への適合が必要な電気盤	5
4. アーク放電を発生させる試験	14
4.1 電気盤の選定	14
4.2 短絡電流の目標値	27
4.3 HEAF 試験に用いる電気回路	46
4.4 測定項目	48
4.5 アーク放電の発生方法	49
4.6 アーク放電の継続時間	52
4.7 HEAF 試験の実施	53
4.8 アークエネルギーの計算	58
5. アーク火災発生の評価	61
5.1 アーク火災発生の評価の概要	61
5.2 評価に用いる必要なデータ	61
5.3 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	62
5.4 しきい値に係る解析による評価	65
6. HEAF に係る対策の判断基準	66

添付資料－1：同等性に影響を与える恐れのあるパラメータの整理に関する補足について

添付資料－2：火災感知設備及び消火設備の配置について

添付資料－3：HEAF 試験時における短絡電流の目標値について

添付資料－4：電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧について

添付資料－5：非常用 DG 保護ロジックへの 50 保護リレー追加に関わる既存設備への影響について

添付資料－6：HEAF 対策として追加設置する 50 保護リレーの試験・検査方法について

添付資料－7：圧力波形の考察について

添付資料－8：保護リレーに対する重要度分類の考え方について

添付資料－9：HEAF 対策として設置する 50 保護リレーの要目表記載要否について

参考資料－1：設計及び工事計画認可申請書に添付する書類の整理について

参考資料－2：設計及び工事計画認可申請に該当する技術基準規則の条文整理表

参考資料－3：非常用 DG 給電時の HEAF 事象への発電所内事故対応に係る運用について

参考資料－4：「工事の方法」の該当箇所について

参考資料－5：50 保護リレーの「準用」要求に対する考え方について

1. 概 要

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（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。）電気盤について、技術基準規則に基づき、遮断器の遮断時間の適切な設定等により、高エネルギーのアーク放電によるこれらの電気盤の損壊の拡大を防止することができる設計としている。

本資料では、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を整理し、試験体電気盤に対する電気盤設計の妥当性及び遮断時間の適切な設定等により、高エネルギーのアーク放電によるこれらの電気盤の損壊の拡大を防止することができることを補足説明するものである。

なお、今回の申請対象は非常用ディーゼル発電機に接続する電気盤に対する HEAF 対策であるが、本資料では前回の HEAF 対策（外部電源又は主発電機からの給電時における非常用所内電源系統の電気盤に対する HEAF 対策）に今回の HEAF 対策の内容を追記することで、HEAF 対策の全貌が把握できるように資料を構成している。

2. 基本方針

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ついて、アーク火災による電気盤の損壊の拡大を防止することができるよう、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審査ガイド（以下、「審査ガイド」という。）に基づき、上流の遮断器によりアーク放電を遮断することとし、遮断器の遮断時間の適切な設定等により、アーク放電の遮断時間を設定する。

設定した遮断時間と短絡電流等により求められるアークエネルギーが、試験により求められたしきい値を超えないことを評価することにより、HEAF 対策が適切に実施されていることを説明する。

3. 技術基準規則への適合が必要な電気盤

HEAF 対策が必要な電気盤は、技術基準規則の解釈第 45 条第 4 項にて「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」と定められている。

「重要安全施設」は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第 12 条第 6 項に記載され、解釈第 11 項において重要度分類 MS-1 に分類される構築物等が対象と定義されている。

上記を基に、図 3.1 のフローにて HEAF 対策が必要な電気盤を整理した。整理した結果を表 3.1 に示し、また、具体的に系統図を図 3.2 に示す。

なお、大飯発電所 3, 4 号機における「4-3E2CD（常用系メタクラ分離遮断器）」及び「4-4E2CD（常用系メタクラ分離遮断器）」については、重要安全施設への電力供給に係る電気盤に影響を与えるおそれのある電気盤として HEAF 対策を実施する。また、高浜 3, 4 号機については重要安全施設への電力供給に係る電気盤に影響を与えるおそれのある電気盤は存在しない。

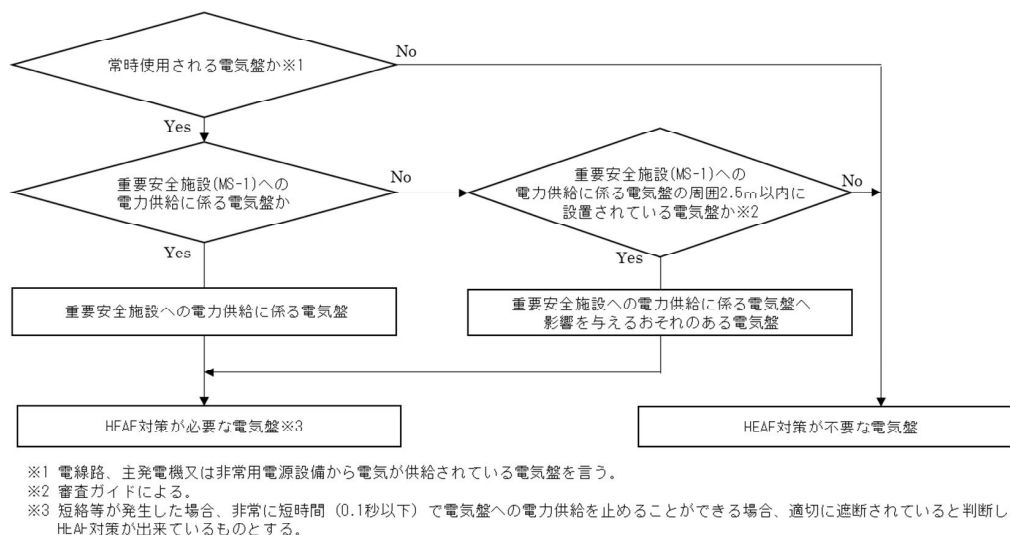


図 3.1 HEAF 対策が必要な電気盤フロー図

表 3.1 HEAF 対策が必要な電気盤の抽出結果 (1/4)
(大飯 3 号機)

給電条件	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 (非常用ディーゼル発電機停止含む)	
	機器名称	遮断器名称		
外部電源又は主発電機からの給電時	メタルクラッド開閉装置	4-3HA (4-3AM/C 受電遮断器(3HT r 側))	130 G30	
		4-3E1A (4-3AM/C 受電遮断器(No.1ET r 側))	E10	
		4-3E2A (4-3AM/C 受電遮断器(No.2ET r 側))	E20	
		4-3E2CD (常用系メタクラ分離遮断器) ※		
		4-3A 母線に接続される遮断器 (4-3HA,4-3E1A,4-3E2A,4-3AEG を除く)	4-3HA 4-3E1A 4-3E2A	
		4-3HB (4-3BM/C 受電遮断器(3HT r 側))	130 G30	
		4-3E1B (4-3BM/C 受電遮断器(No.1ET r 側))	E10	
		4-3E2B (4-3BM/C 受電遮断器(No.2ET r 側))	E20	
		4-3B 母線に接続される遮断器 (4-3HB,4-3E1B,4-3E2B,4-3BEG を除く)	4-3HB 4-3E1B 4-3E2B	
		パワーセンタ	3-3A1 (3-3A1 P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	4-3A1H
			3-3A1 母線に接続される遮断器 (3-3A1 を除く)	3-3A1
			3-3A2 (3-3A2 P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	4-3A2H
			3-3A2 母線に接続される遮断器 (3-3A2 を除く)	3-3A2
			3-3B1 (3-3B1 P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	4-3B1H
	3-3B1 母線に接続される遮断器 (3-3B1 を除く)		3-3B1	
	3-3B2 (3-3B2 P/C 受電遮断器(動変 2 次側))		4-3B2H	
	3-3B2 母線に接続される遮断器 (3-3B2 を除く)		3-3B2	
	コントロールセンタ	3A1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3A1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	3A1 原子炉 C/C 受電遮断器	
		3A2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3A2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	3A2 原子炉 C/C 受電遮断器	
		3B1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3B1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	3B1 原子炉 C/C 受電遮断器	
		3B2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3B2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	3B2 原子炉 C/C 受電遮断器	
	非常用ディーゼル発電機からの給電時	メタルクラッド開閉装置	4-3AEG (非常用ディーゼル発電機受電遮断器)	3A 非常用ディーゼル発電機停止
			4-3A 母線に接続される遮断器 (4-3AEG を除く)	4-3AEG
			4-3BEG (非常用ディーゼル発電機受電遮断器)	3B 非常用ディーゼル発電機停止
			4-3B 母線に接続される遮断器 (4-3BEG を除く)	4-3BEG

※：重要安全施設への電力供給に係る電気盤に影響を与えるおそれのある電気盤

表 3.1 HEAF 対策が必要な電気盤の抽出結果 (2/4)
(大飯 4 号機)

給電条件	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 (非常用ディーゼル発電機停止含む)	
	機器名称	遮断器名称		
外部電源又は主発電機からの給電時	メタルクラッド開閉装置	4-4HA (4-4AM/C 受電遮断器(4HT r 側))	140 G40	
		4-4E1A (4-4AM/C 受電遮断器(No.1ET r 側))	E10	
		4-4E2A (4-4AM/C 受電遮断器(No.2ET r 側))	E20	
		4-4A 母線に接続される遮断器 (4-4HA,4-4E1A,4-4E2A,4-4AEG を除く)	4-4HA 4-4E1A 4-4E2A	
		4-4HB (4-4BM/C 受電遮断器(4HT r 側))	140 G40	
		4-4E1B (4-4BM/C 受電遮断器(No.1ET r 側))	E10	
		4-4E2B (4-4BM/C 受電遮断器(No.2ET r 側))	E20	
		4-4B 母線に接続される遮断器 (4-4HB,4-4E1B,4-4E2B,4-4BEG を除く)	4-4HB 4-4E1B 4-4E2B	
		4-4E2CD (常用系メタクラ分離遮断器) ※	E20	
		4-4B 母線に接続される遮断器 (3-4A2 を除く)	3-4A2	
	パワーセンタ	3-4A1 (3-4A1 P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	4-4A1H	
		3-4A1 母線に接続される遮断器 (3-4A1 を除く)	3-4A1	
		3-4A2 (3-4A2 P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	4-4A2H	
		3-4A2 母線に接続される遮断器 (3-4A2 を除く)	3-4A2	
		3-4B1 (3-4B1 P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	4-4B1H	
		3-4B1 母線に接続される遮断器 (3-4B1 を除く)	3-4B1	
		3-4B2 (3-4B2 P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	4-4B2H	
		3-4B2 母線に接続される遮断器 (3-4B2 を除く)	3-4B2	
	コントロールセンタ	4A1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (4A1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	4A1 原子炉 C/C 受電遮断器	
		4A2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (4A2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	4A2 原子炉 C/C 受電遮断器	
		4B1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (4B1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	4B1 原子炉 C/C 受電遮断器	
		4B2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (4B2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	4B2 原子炉 C/C 受電遮断器	
	非常用ディーゼル発電機からの給電時	メタルクラッド開閉装置	4-4AEG (非常用ディーゼル発電機受電遮断器)	4A 非常用ディーゼル発電機停止
		4-4A 母線に接続される遮断器 (4-4AEG を除く)	4-4AEG	
		4-4BEG (非常用ディーゼル発電機受電遮断器)	4B 非常用ディーゼル発電機停止	
		4-4B 母線に接続される遮断器 (4-4BEG を除く)	4-4BEG	

※：重要安全施設への電力供給に係る電気盤に影響を与えるおそれのある電気盤

表 3.1 HEAF 対策が必要な電気盤の抽出結果 (3/4)
(高浜 3 号機)

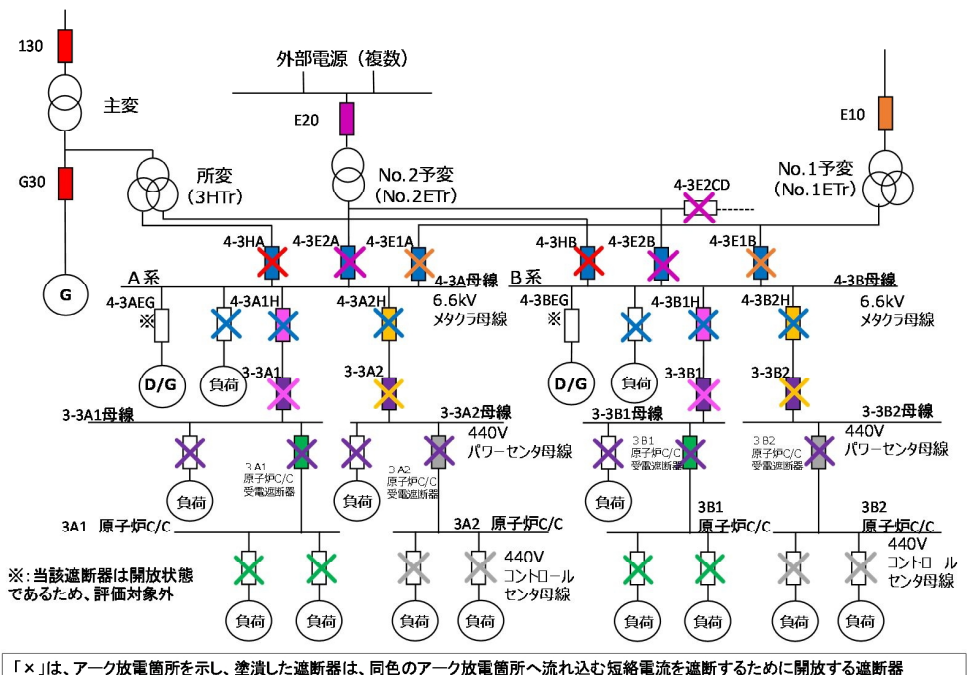
給電条件	アーク放電発生箇所		アーク放電を遮断するために開放する遮断器 (非常用ディーゼル発電機停止含む)
	機器名称	遮断器名称	
外部電源又は主発電機からの給電時	メタルクラッド開閉装置	4-3HA (4-3AM/C 受電遮断器(3HT r 側))	130 G30
		4-3SA (4-3AM/C 受電遮断器(3ST r 側))	St30
		4-3EA (4-3AM/C 受電遮断器(ET r 側))	E10
		4-3A 母線に接続される遮断器 (4-3HA,4-3SA,4-3EA,4-3AEG を除く)	4-3HA 4-3SA 4-3EA
		4-3HB (4-3BM/C 受電遮断器(3HT r 側))	130 G30
		4-3SB (4-3BM/C 受電遮断器(3ST r 側))	St30
		4-3EB (4-3BM/C 受電遮断器(ET r 側))	E10
		4-3B 母線に接続される遮断器 (4-3HB,4-3SB,4-3EB,4-3BEG を除く)	4-3HB 4-3SB 4-3EB
	パワーセンタ	3-3A (3-3A P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	3-3AH
		3-3A 母線に接続される遮断器 (3-3A を除く)	3-3A
		3-3B (3-3B P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	3-3BH
		3-3B 母線に接続される遮断器 (3-3B を除く)	3-3B
	コントロールセンタ	3A1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3A1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	3A1 原子炉 C/C 受電遮断器
		3A2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3A2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	3A2 原子炉 C/C 受電遮断器
		3B1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3B1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	3B1 原子炉 C/C 受電遮断器
		3B2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3B2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	3B2 原子炉 C/C 受電遮断器
	非常用ディーゼル発電機からの給電時	4-3AEG (非常用ディーゼル発電機受電遮断器)	3A 非常用ディーゼル発電機停止
		4-3A 母線に接続される遮断器 (4-3AEG を除く)	4-3AEG
		4-3BEG (非常用ディーゼル発電機受電遮断器)	3B 非常用ディーゼル発電機停止
		4-3B 母線に接続される遮断器 (4-3BEG を除く)	4-3BEG

重要安全施設への電力供給に係る電気盤に影響を与えるおそれのある電気盤は存在しない。

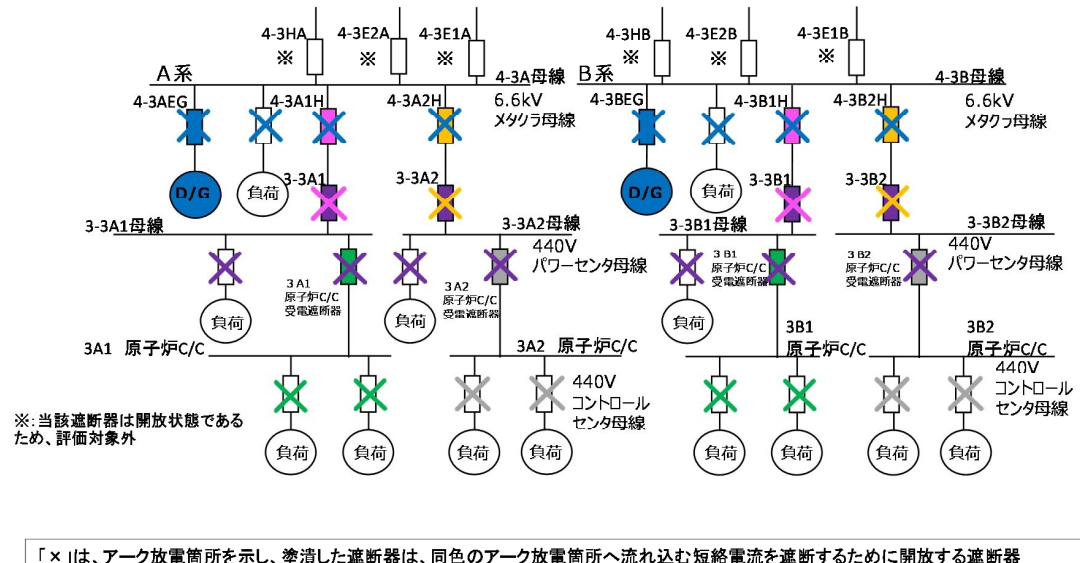
表 3.1 HEAF 対策が必要な電気盤の抽出結果 (4/4)
(高浜 4 号機)

給電条件	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 (非常用ディーゼル発電機停止含む)
	機器名称	遮断器名称	
外部電源又は主発電機からの給電時	メタルクラッド開閉装置	4-4HA (4-4AM/C 受電遮断器(4HT r 側))	140 G40
		4-4SA (4-4AM/C 受電遮断器(4ST r 側))	St30
		4-4EA (4-4AM/C 受電遮断器(ET r 側))	E10
		4-4A 母線に接続される遮断器 (4-4HA,4-4SA,4-4EA,4-4AEG を除く)	4-4HA 4-4SA 4-4EA
		4-4HB (4-4BM/C 受電遮断器(4HT r 側))	140 G40
		4-4SB (4-4BM/C 受電遮断器(4ST r 側))	St30
		4-4EB (4-4BM/C 受電遮断器(ET r 側))	E10
		4-4B 母線に接続される遮断器 (4-4HB,4-4SB,4-4EB,4-4BEG を除く)	4-4HB 4-4SB 4-4EB
	パワーセンタ	3-4A (3-4A P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	3-4AH
		3-4A 母線に接続される遮断器 (3-4A を除く)	3-4A
		3-4B (3-4B P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	3-4BH
		3-4B 母線に接続される遮断器 (3-4B を除く)	3-4B
	コントロールセンタ	4A1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (4A1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	4A1 原子炉 C/C 受電遮断器
		4A2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (4A2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	4A2 原子炉 C/C 受電遮断器
		4B1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (4B1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	4B1 原子炉 C/C 受電遮断器
		4B2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (4B2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	4B2 原子炉 C/C 受電遮断器
	非常用ディーゼル発電機からの給電時	4-4AEG (非常用ディーゼル発電機受電遮断器)	4A 非常用ディーゼル発電機停止
		4-4A 母線に接続される遮断器 (4-4AEG を除く)	4-4AEG
		4-4BEG (非常用ディーゼル発電機受電遮断器)	4B 非常用ディーゼル発電機停止
		4-4B 母線に接続される遮断器 (4-4BEG を除く)	4-4BEG

重要安全施設への電力供給に係る電気盤に影響を与えるおそれのある電気盤は存在しない。

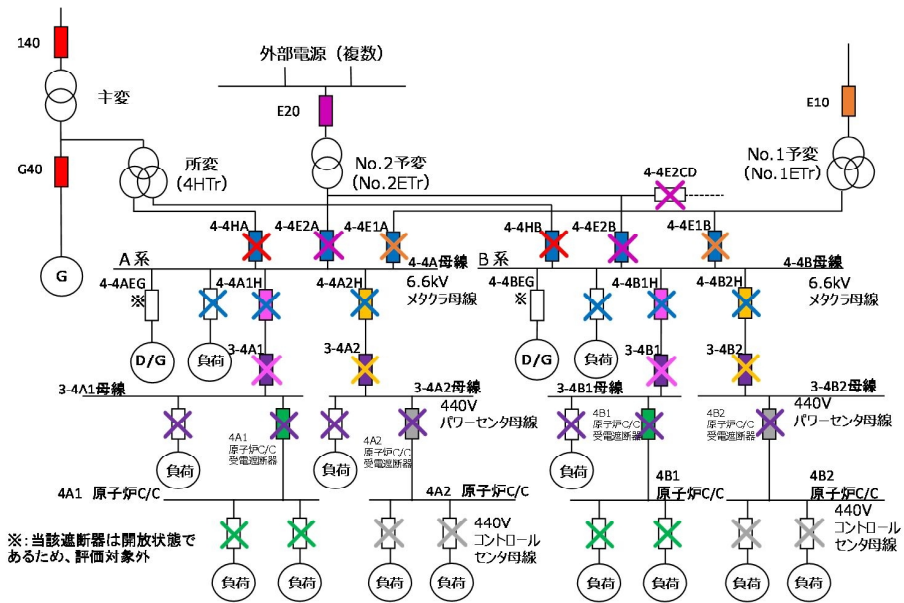


(外部電源又は主発電機からの給電時)



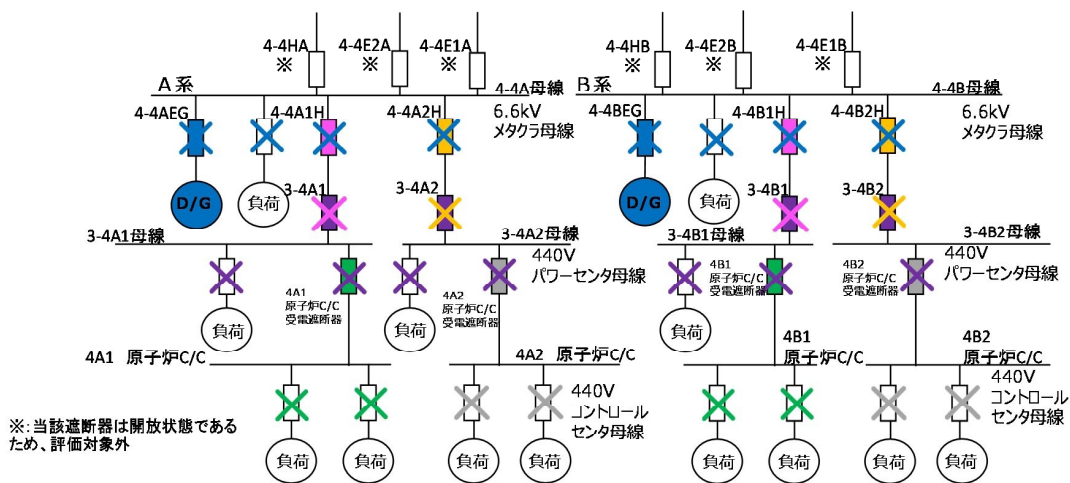
(非常用ディーゼル発電機からの給電時)

図 3.2 HEAF 対策が必要な電気盤系統図 (1/4) (大飯 3 号機)



「x」は、アーク放電箇所を示し、塗潰した遮断器は、同色のアーク放電箇所へ流れ込む短絡電流を遮断するために開放する遮断器

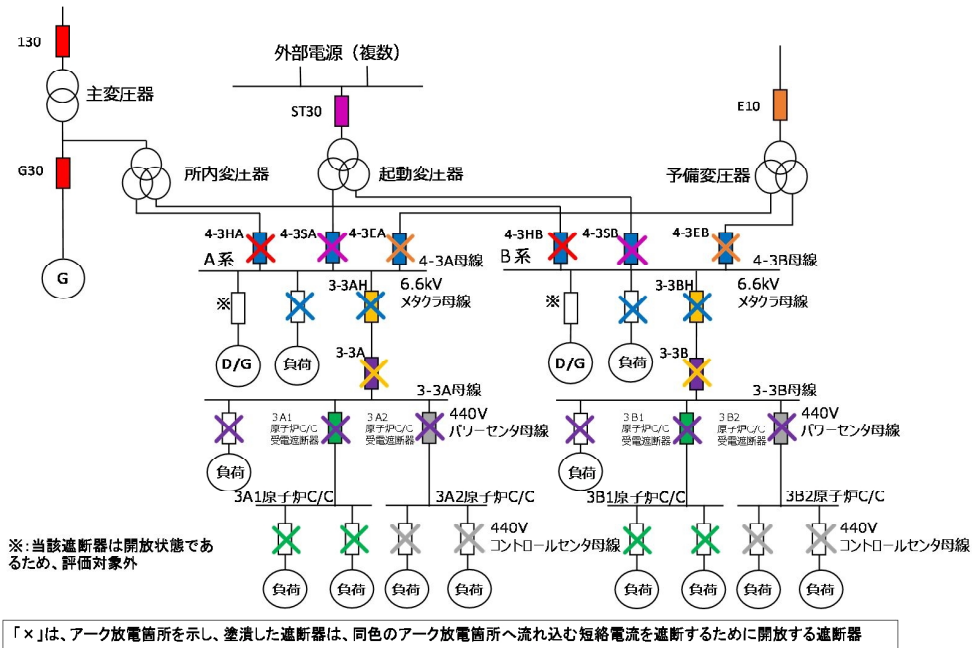
(外部電源又は主発電機からの給電時)



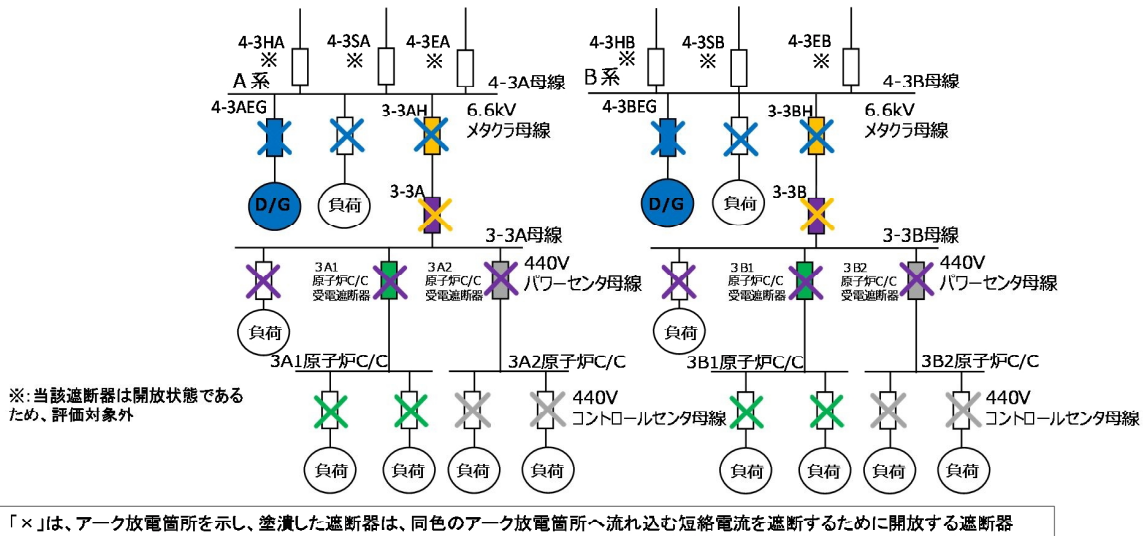
「x」は、アーク放電箇所を示し、塗潰した遮断器は、同色のアーク放電箇所へ流れ込む短絡電流を遮断するために開放する遮断器

(非常用ディーゼル発電機からの給電時)

図 3.2 HEAF 対策が必要な電気盤系統図 (2/4) (大飯 4 号機)

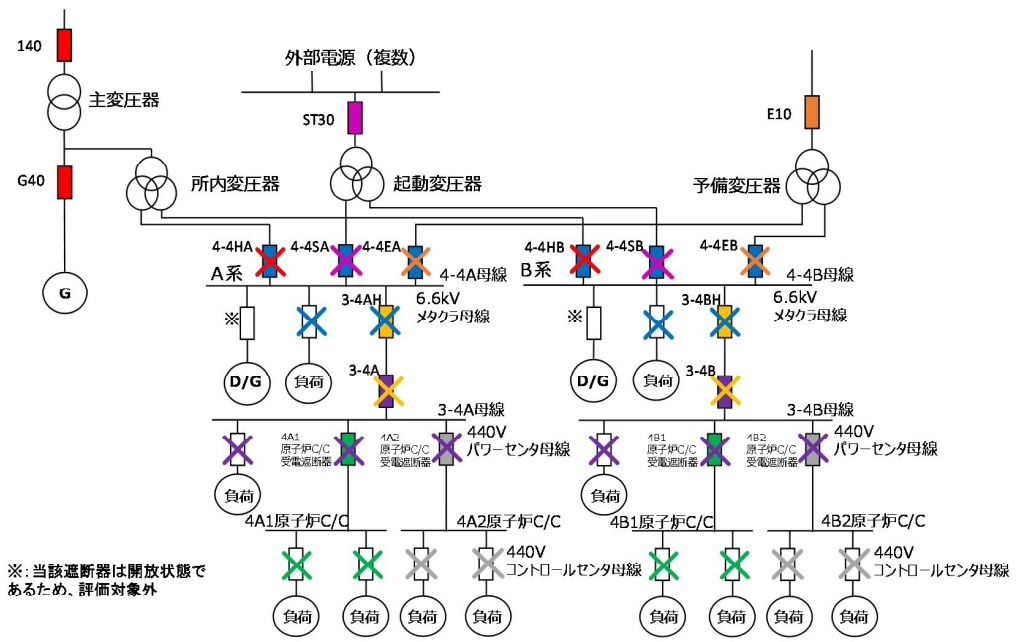


(外部電源又は主発電機からの給電時)



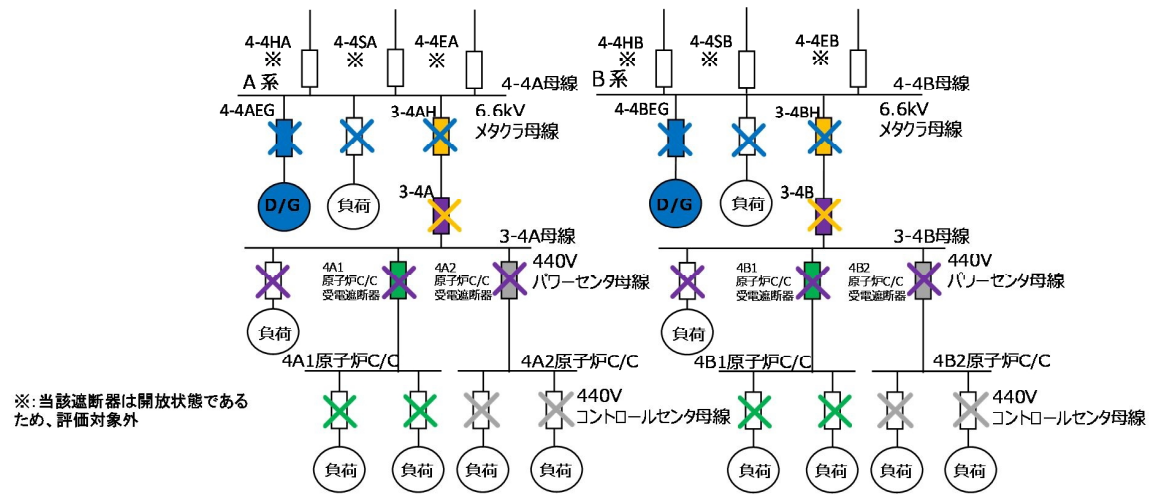
(非常用ディーゼル発電機からの給電時)

図 3.2 HEAF 対策が必要な電気盤系統図 (3/4) (高浜 3 号機)



「x」は、アーク放電箇所を示し、塗潰した遮断器は、同色のアーク放電箇所へ流れ込む短絡電流を遮断するために開放する遮断器

(外部電源又は主発電機からの給電時)



「x」は、アーク放電箇所を示し、塗潰した遮断器は、同色のアーク放電箇所へ流れ込む短絡電流を遮断するために開放する遮断器

(非常用ディーゼル発電機からの給電時)

図 3.2 HEAF 対策が必要な電気盤系統図 (4/4) (高浜 4 号機)

4. アーク放電を発生させる試験

メタルクラッド開閉装置、パワーセンタ及びコントロールセンタ(以下、それぞれ「M/C」、「P/C」、「C/C」という。また、メタルクラッド開閉装置のうち非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤については、「M/C (DG)」という。)においてアーク放電が発生した際にアーク火災が発生するアークエネルギーのしきい値を求めることを目的とし、アーク放電を発生させる試験(以下、「HEAF 試験」という。)を実施した。

4.1 電気盤の選定

(審査ガイド抜粋【2.1 電気盤の選定】)

実用発電用原子炉施設内の電気は、原子炉運転中においては主発電機からの電力の一部が変圧器によって降圧された後、高圧電気盤及び低圧電気盤を介してモータ等に供給されている。HEAF試験に用いられる電気盤は、実際に所内で使用されているものと同等の高圧電気盤及び低圧電気盤が選定されていることを確認する。

アーク火災は、添付資料-1に示すメカニズムにより発生することから、アーク火災発生の有無は、①非密閉性の程度、②高温ガスの滞留場所、③可燃物及び④アークエネルギーによるものと考えられる。試験に用いられる電気盤については、これら4つのパラメータを踏まえて、実際に所内で使用されているもの(以下、「実機」という。)と同等の高圧電気盤及び低圧電気盤を選定した。なお、M/C (DG) 試験と M/C (DG) 以外の先行 M/C 試験(以下、「先行 M/C 試験」という。)で用いられる電気盤は、JEM-1425 及び JEC-2300 に基づき製造された同等の高圧電気盤である。

表 4.1.1 試験で用いた電気盤のスペック一覧表 (1/4)



種類	電気盤	試験で用いた電気盤のスペック		電気盤の概況
M/C	試験体①	遮断方式	VCB (真空遮断器)	
		系統	定格電圧：7.2kV 定格周波数：50Hz 定格短絡時間電流：40kA/2 秒	
		概略寸法	高さ 2.8m (含上部ダクト 0.4m) × 幅 1.0m × 奥行き 2.6m	
	試験体②	遮断方式	VCB (真空遮断器)	
		系統	定格電圧：7.2kV 定格周波数：50Hz 定格短絡時間電流：63kA/2 秒	
		概略寸法	高さ 2.6m (含上部ダクト 0.3m) × 幅 1.0m × 奥行き 2.5m	

表 4.1.1 試験で用いた電気盤のスペック一覧表 (2/4)





種類	電気盤	試験で用いた電気盤のスペック		電気盤の概況
P/C	試験体③	遮断方式	ACB (気中遮断器)	
		系統	定格使用電圧：AC480V 定格周波数：50Hz 定格短絡時間耐電流：50kA/1 秒	
		概略寸法	高さ 2.6m (含制御ダクト 0.3m) × 幅 0.65m × 奥行き 1.8m	
	試験体④	遮断方式	ACB (気中遮断器)	
		系統	定格使用電圧：AC480 V 定格周波数：50 Hz 定格短時間耐電流：50 kA/0.5 秒	
		概略寸法	【受電盤】高さ 2.3m × 幅 0.8m × 奥行き 2.0m 【フィーダー盤】高さ 2.3m × 幅 0.6m × 奥行き 2.0m	
	試験体⑤	遮断方式	ACB (気中遮断器)	
		系統	定格使用電圧：AC420V 定格周波数：50Hz 定格短時間耐電流：40kA/1 秒	
		概略寸法	【受電盤】高さ 2.3m × 幅 0.8m × 奥行き 2.2m 【フィーダー盤】高さ 2.3m × 幅 0.7m × 奥行き 2.2m	

表 4.1.1 試験で用いた電気盤のスペック一覧表 (3/4)

種類	電気盤	試験で用いた電気盤のスペック		電気盤の概況
C/C	試験体⑥	遮断方式	MCB(配線用遮断器)	
		系統	定格使用電圧：AC460V 定格周波数：50Hz 定格遮断電流：50kA	
		概略寸法	高さ 2.3m×幅 0.60m×奥行き 0.573m	

表 4.1.1 試験で用いた電気盤のスペック一覧表 (4/4)
 (非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

種類	電気盤	試験で用いた電気盤のスペック		電気盤の概況
M/C (DG)	試験体⑦	遮断方式	VCB (真空遮断器)	
		系統	定格電圧：7.2kV 定格周波数：50Hz 定格短絡時間電流：40kA/1 秒	
		概略寸法	高さ 2.3m×幅 1.0m×奥行き 2.5m (天井に換気口あり)	

1. 同等性に影響を与える恐れのあるパラメータについて

①非密閉性の程度、②高温ガスの滞留場所、③可燃物及び④アークエネルギーの4つのパラメータについて、電気盤選定の同等性に影響を与えるおそれのあるパラメータを整理すると以下のとおりである。よって、③高温ガスの滞留場所、④可燃物に対する電気盤選定の同等性について検証する。

表 4.1.2 同等性に影響を与える恐れのあるパラメータの整理

主要パラメータ	影響の有無	電気盤選定の同等性に関する考察
①非密閉性の程度	無	<p>HEAF 試験の結果や、添付資料-1 のとおり、電気盤は密閉構造ではなく開口部を有する構造であり、電気盤の開口部や盤内仕切板の変形により高温ガスは電気盤外に抜けることから、電気盤選定の同等性に影響を与えるおそれはない。</p> <p>なお、M/C (DG) 試験に用いる電気盤は、先行 M/C 試験で用いた電気盤と同様の構造であることから密閉構造ではなく開口部を有する。したがって、M/C (DG) 試験と先行 M/C 試験では、ピーク圧力に違いはあるものの同様の波形形状を示しており開口部から高温ガスが電気盤外に抜けている。このことより先行 M/C 試験と同様であり電気盤選定の同等性に影響を与えるおそれはない。</p> <p>試験結果を比較するとピーク圧力に差がみられることについては、M/C (DG) 試験の方が電流値の試験条件が小さくアークパワーに差があるためである。詳細は、添付資料 1 参照。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ M/C (DG) 試験：ピーク圧力 2.98kPa ・ 先行 M/C 試験：ピーク圧力 62.5kPa <p>更に、規格類 (JEM-1425 等) に基づき、遮断器、母線、ケーブルをそれぞれ区分したコンパートメントに収納する構造となっている。また、JEM-1425 には換気に対する規定もありコンパートメント構造というものの開口部があってもいいとされていることから、換気のための開口や隙間は存在する。</p>

②高温ガスの滞留場所	有	<p>HEAF 試験の結果や、添付資料-1 のとおり、盤の構造等により電気盤選定の同等性に影響を与える恐れがある。</p> <p>また、アーク放電の発生方法については、審査ガイド 2.5 章に沿って、遮断器の受電側及び配電側で銅線をワイヤリングすることによって HEAF 試験を実施している。</p> <p>なお、M/C(DG)試験に用いた電気盤は、先行 M/C 試験で用いた電気盤と同様の構造である。</p>
③可燃物	有	<p>HEAF 試験の結果や、添付資料-1 のとおり、高温ガスの滞留場所の可燃物が主要な燃焼物となっていることから、可燃物の種類の差異により電気盤選定の同等性に影響を与える恐れがある。</p> <p>なお、M/C(DG)試験に用いた電気盤は、先行 M/C 試験で用いた電気盤と同様の構造である。</p>
④アークエネルギー	無	<p>アークエネルギーについては、審査ガイド 2.6 章に沿って、アーク放電の継続時間を段階的に変化させて HEAF 試験を実施しているものである。このパラメータは、同等性を有する電気盤に対する試験条件であることから、電気盤選定の同等性に影響をあたえるおそれはない。</p>

②高温ガスの滞留場所に対する同等性

高温ガスの滞留場所は、電気盤の構造及び盤サイズに左右される。盤サイズについては、定格電圧が決まれば、概略の盤サイズが決定されることを踏まえ、実機と同等の盤構造及び定格電圧の電気盤を試験体として選定した。

a. M/C

実機の盤については、JEM-1425（日本電機工業会規格 金属閉鎖形スイッチギヤ及びコントロールギヤ）に基づき製造されており、盤構造は「分類」のうちメタルクラッド形スイッチギヤ（遮断器、母線、ケーブルをそれぞれ区分したコンパートメントに収納する構造）を採用している。また、定格電圧は、「定格」のうち 7.2kV を採用している。さらに、「設計及び構造」の要求事項を満足するような構造となるように設計している。（表 4.1.3 参照）

また、実機の遮断器については、JEC-2300（電気学会 電気規格調査会標準規格 交流遮断器）に基づき製造されており、定格電圧は「定格」のうち 7.2kV を採用し、「一般構造」の要求事項を満足する設計としている。（表 4.1.4 参照）

このため、試験体についても JEM-1425 及び JEC-2300 に基づき製造され、盤構造がメタルクラッド型スイッチギヤとなっており、定格電圧が 7.2kV の電気盤を採用した。

表 4.1.11 に示すとおり、実機及び試験体の盤構造は、遮断器、母線、ケーブルをそれぞれ区分したコンパートメントに収納する構造となっており、盤サイズも同等となっている。

なお、M/C (DG) 試験の試験体についても前述と同様に JEM-1425 及び JEC-2300 に基づき製造されたものであることから同等である。

また、コンパートメントに収納する構造であることから、隣接した盤からのアーク放電の影響を受けにくい構造となっている。

表 4.1.3 JEM-1425 における試験体と実機の電気盤との比較・評価

JEM-1425 の主要な項目		比較・評価
4.分類	<ul style="list-style-type: none"> ・メタルクラッド形スイッチギヤ ・コンパートメント形スイッチギヤ ・キュービクル形スイッチギヤ 	実機、試験体の電気盤ともに、メタルクラッド形スイッチギヤを使用している
6.定格	定格電圧 3.6kV、7.2kV、12kV、17.5kV、24kV、36kV	実機、試験体の電気盤ともに、7.2kVの定格電圧である
7.設計及び構造	スイッチギヤは、平常運転及び保守点検作業が安全にできるように設計されていないといけない。(以下略)	実機、試験体の電気盤ともに、本要求に基づき設計されている。

表 4.1.4 JEC-2300 における試験体、実機の電気盤との比較・評価

JEC-2300 の主要な項目		比較・評価
4.定格	4.2 定格電圧 3.6kV、7.2kV、12kV、24kV、36kV、72kV、84kV、120kV……	実機、試験体の電気盤ともに、7.2kVの定格電圧である。
5.動作責務と構造	5.5 一般構造 5.5.1 遮断器の構造は、電気的および機械的に十分な耐久性を有し、操作は円滑確実に衝撃が少なく、保守点検は、安全かつ容易にできるよう、製作されなければならない。(以下略)	実機、試験体の電気盤ともに、本要求に基づき設計された構造となっている。

b. P/C

実機の盤については、JEM-1265（日本電機工業会規格 低圧金属閉鎖形スイッチギヤ及びコントロールギヤ）に基づき製造されており、盤構造は、「低圧スイッチギヤの形」のうち、接地された金属閉鎖箱内に装置が一括して収納された構造（以下、「金属閉鎖形構造」という。）を採用している。また、定格電圧は、「定格」のうち 600V を採用している。さらに、「閉鎖箱」の要求事項を満足するような構造となるように設計している。（表 4.1.5 参照）

また、実機の遮断器については、JEC-160（電気学会 電気規格調査会標準規格 交流遮断器）に基づき製造されており、定格絶縁電圧は「定格」のうち 600V を採用し、「構造及び性能」の要求事項を満足する設計としている。（表 4.1.6 参照）

このため、試験体についても、JEM-1265 及び JEC-160 に基づき製造され、盤構造が金属閉鎖形構造となっており、定格絶縁電圧が 600V の電気盤を採用した。

表 4.1.11 に示すとおり、実機及び試験体の盤構造は、金属閉鎖形構造となっており、盤サイズも同等となっている。

表 4.1.5 JEM-1265 における試験体と実機の電気盤との比較・評価

JEM-1265 の主要な項目		比較・評価
5. 定格	定格絶縁電圧 250V、500V、600V	実機、試験体の電気盤ともに、600V の定格絶縁電圧である。
6.9 低圧スイッチギヤの形	接地された金属閉鎖箱内に装置が一括して収納されているもの。	実機、試験体の電気盤ともに、接地された金属閉鎖箱内に装置が一括して収納されている。
6.5 閉鎖箱	閉鎖箱は、金属製とする。(略) 低圧スイッチギヤは、通常の使用状態で起こり得る機械的、電氣的及び熱的応力に耐え、同時に温度変化にも耐え得る材料だけで構成しなければならない。(以下略)	実機、試験体の電気盤ともに、本要求に基づき設計された構造となっている。

表 4.1.6 JEC-160 における試験体、実機の電気盤との比較・評価

JEC-160 の主要な項目		比較・評価
4. 定格	定格絶縁電圧 600V	実機、試験体の電気盤ともに、600V の定格絶縁電圧である。
6. 構造及び性能	6.1 構造 6.1.1 構造一般 遮断器は、良質の材料を用いて丈夫に作られ、操作は安全・円滑・確実で、保守点検は安全・容易にでき、取替えを必要とする部品は互換性を有し、できるだけ簡単に取替えられなければならない。(以下略)	実機、試験体の電気盤ともに、本要求に基づき設計されている。

c. C/C

実機については、JEM-1195（日本電機工業会規格 コントロールセンタ）に基づき製造されており、C/Cとは、「主回路開閉器・保護装置及び監視・制御器具などを単位回路ごとにまとめた単位装置を、閉鎖した外箱に集合的に組み込んだ装置」と定義されていることから、盤構造は、JEM-1195 に基づき製造されたC/Cであれば同様である。また、定格絶縁電圧は、「定格」のうち600Vを採用している。さらに、「構造」の要求事項を満足するような構造となるように設計している。(表 4.1.7 参照)

このため、試験体についても、JEM-1195 に基づき製造されたC/Cであり、定格絶縁電圧が600Vの電気盤を採用した。

表 4.1.11 に示すとおり、実機及び試験体の盤構造及び盤サイズは、同等となっている。

表 4.1.7 JEM-1195 における試験体と実機の電気盤との比較・評価

JEM-1195 の主要な項目		比較・評価
5.定格	定格絶縁電圧 250V、600V	実機、試験体の電気盤ともに、600Vの定格絶縁電圧である。
8.構造	8.1 構造一般 a) 外箱は堅ろうな金属製とし、収納機器の重量、動作による衝撃などに十分耐える構造でなければならない。(以下略)	実機、試験体の電気盤ともに、本要求に基づき設計されている。

以上のとおり、選定した試験体の高温ガスの滞留場所については、実機に対して同等性を有している。

③可燃物に対する同等性

高温ガスの滞留場所にある可燃物は、主に通電部まわりの絶縁物である。当該箇所を使用される絶縁物の種類は、JEC 等^{*1}で規定される耐熱クラスに応じて決定されることから、通電部まわりの絶縁物の耐熱クラスが、実機と同等の電気盤を試験体として選定した。(表 4.1.8～表 4.1.10)

具体的には、実機は耐熱クラス B の絶縁物を使用していることから、M/C 及び P/C については、耐熱クラス B の絶縁物を使用している電気盤を試験体として採用し、C/C については、保守的に、実機より最高使用温度が低い耐熱クラス E の絶縁物を使用している電気盤を試験体として採用した。

このため、選定した試験体の可燃物は、実機に対して同等性を有している。なお、M/C (DG) 試験の試験体も前述と同様に耐熱クラス B の絶縁物を使用しており同等である。

※1 : M/C は JEC-2300、P/C は JEC-160、C/C は JEM-1195 による。

表 4.1.8 JEC-2300 における試験体、実機の電気盤との比較・評価

JEC-2300 の主要な項目		比較・評価
4.定格	4.4 定格電流 遮断器の定格電流は、定格電圧および定格周波数のもとに、表 4 に示す温度上昇の限度および最高許容温度を超えないで、その遮断器に連続して通じうる電流の限度をいい、表 20 の値を標準とする。	実機、試験体ともに、主な絶縁物は、耐熱クラス B 種が使用されている。

表 4.1.9 JEC-160 における試験体、実機の電気盤との比較・評価

JEC-160 の主要な項目		比較・評価
6.構造	6.2.1 温度上昇の限度 7.2.3 に規定する試験方法によって測定された遮断器の各部の温度上昇は、表 5 の値を超えてはいけない。	実機、試験体ともに、主な絶縁物は、耐熱クラス B 種が使用されている。

表 4.1.10 JEM-1195 における試験体、実機の電気盤との比較・評価

JEM-1195 の主要な項目		比較・評価
5.性能	5.3 温度上昇 9.5 によって試験したとき、各部の温度上昇は、表 9 に示す値以下でなければならない。	実機の主な絶縁物は、耐熱クラス B 種であり、試験体は耐熱クラス B よりも低い耐熱クラス E 種が使用されている。

2. まとめ

アーク火災発生の有無は、①非密閉性の程度、②高温ガスの滞留場所、③可燃物及び④アークエネルギーによるが、試験に用いられる電気盤については、これら4つのパラメータの内、②、③が実際に所内で使用されているものとの同等性に影響を与えるおそれがあることから、②、③の観点で実機と同等の電気盤を試験体として選定した。

このため、試験に用いられる電気盤と実際に所内で使用されているものとは同等性がある。

なお、M/C(DG)試験においても、先行 M/C 試験と同様の考え方で電気盤を選定したものであることから同等である。

電気盤構造を分類した結果について以下の表に示す。

表 4.1.11 HEAF 試験に使用した電気盤及び 実機で使用している電気盤構造の分類 (1/10)

種類	電気盤	盤構造
M/C	試験体①	
M/C	試験体②	

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。

表 4.1.11 HEAF 試験に使用した電気盤及び実機で使用している電気盤構造の分類 (2/10)

種類	電気盤	盤構造
M/C	実機①	
M/C	実機②	

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。

表 4.1.11 HEAF 試験に使用した電気盤及び実機で使用している電気盤構造の分類 (3/10)

種類	電気盤	盤構造
P/C	試験体③	
P/C	試験体④	

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。

表 4.1.11 HEAF 試験に使用した電気盤及び実機で使用している電気盤構造の分類 (4/10)

種類	電気盤	盤構造
P/C	試験体⑤	

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。

表 4.1.11 HEAF 試験に使用した電気盤及び実機で使用している電気盤構造の分類 (5/10)

種類	電気盤	盤構造
P/C	実機①	

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。

表 4.1.11 HEAF 試験に使用した電気盤及び実機で使用している電気盤構造の分類 (6/10)

種類	電気盤	盤構造
C/C	試験体⑥	

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。

表 4.1.11 HEAF 試験に使用した電気盤及び実機で使用している電気盤構造の分類 (7/10)

種類	電気盤	盤構造
C/C	実機①	

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。

表 4.1.11 HEAF 試験に使用した電気盤及び実機で使用している電気盤構造の分類 (8/10)

種類	電気盤	盤構造
C/C	実機②	

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。

表 4.1.11 HEAF 試験に使用した電気盤及び 実機で使用している電気盤構造の分類 (9/10)
 (非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

種類	電気盤	盤構造
M/C (DG)	試験体⑦	


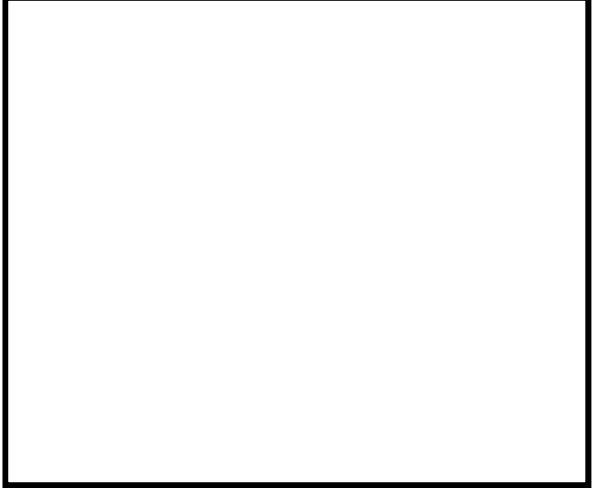
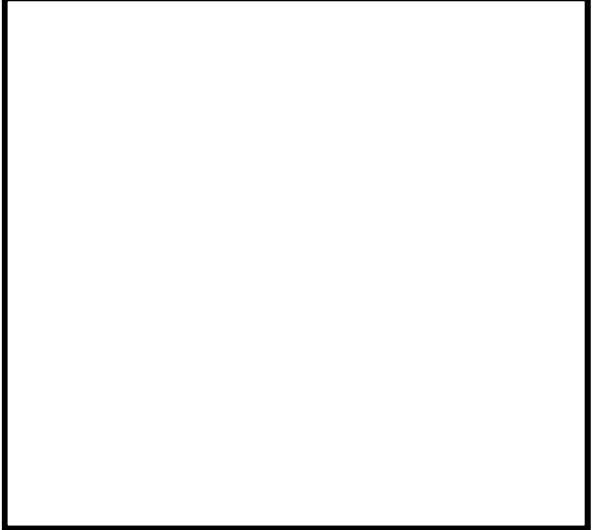
本資料のうち、枠囲みの内容は、商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。

表 4.1.11 HEAF 試験に使用した電気盤及び 実機で使用している電気盤構造の分類 (10/10)
 (非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

種類	電気盤	盤構造
M/C	実機①	
M/C	実機②	


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。

表 4.1.12 試験体と実機の可燃物に対する同等性 (1/7)

種類	遮断器	遮断器に使用されている 主な絶縁物	外径図
M/C	試験体①	耐熱クラス B (不飽和ポリエステル樹脂) ▶ モールドフレーム	
M/C	試験体②	耐熱クラス B (エポキシ樹脂) ▶ ブッシング	
M/C	実機①	耐熱クラス B (エポキシ樹脂) ▶ ブッシング	



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。

表 4.1.12 試験体と実機の可燃物に対する同等性 (2/7)

種類	遮断器	遮断器に使用されている 主な絶縁物	外径図
M/C	実機②	耐熱クラス B (エポキシ樹脂) ▶ プッシング	



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。

表 4.1.12 試験体と実機の可燃物に対する同等性 (3/7)

種類	遮断器	遮断器に使用されている 主な絶縁物	外径図
P/C	試験体③	耐熱クラス B (エポキシ樹脂) ▶ アークシュート (不飽和ポリエステル樹脂) ▶ 絶縁ベース	
P/C	試験体④	耐熱クラス B (不飽和ポリエステル樹脂) ▶ モールドベース	

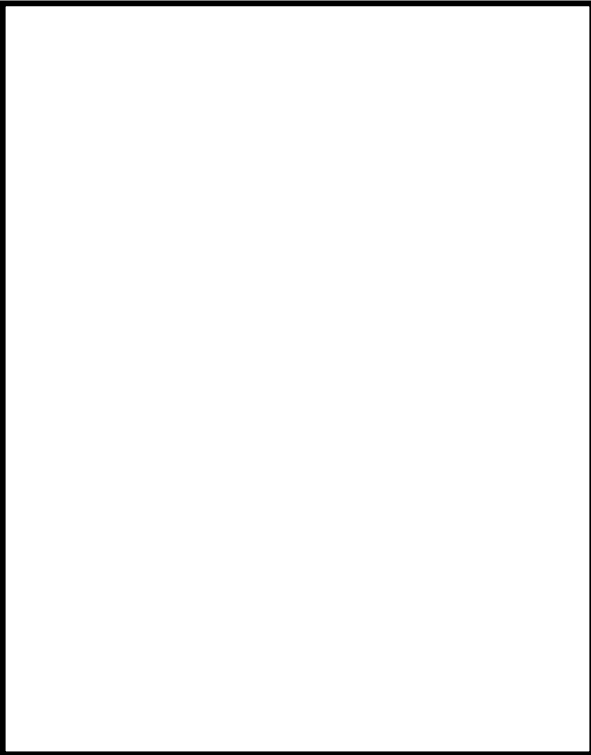
本資料のうち、枠囲みの内容は、商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。

表 4.1.12 試験体と実機の可燃物に対する同等性 (4/7)

種類	遮断器	遮断器に使用されている 主な絶縁物	外径図
P/C	試験体⑤	耐熱クラス B (フェノール樹脂) ➤ 断路部	
P/C	実機①	耐熱クラス B (不飽和ポリエステル樹脂) ➤ モールドフレーム	

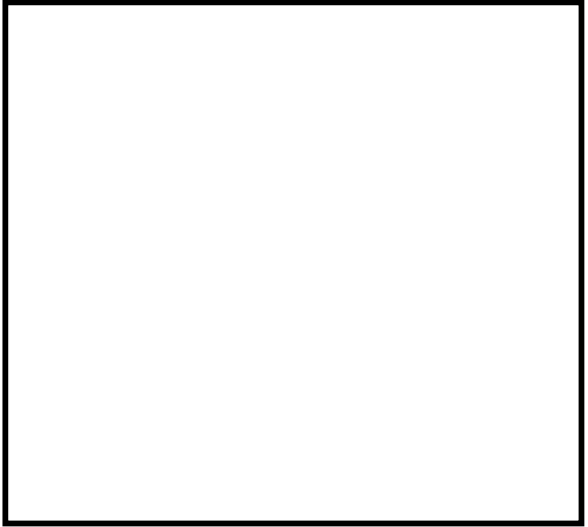
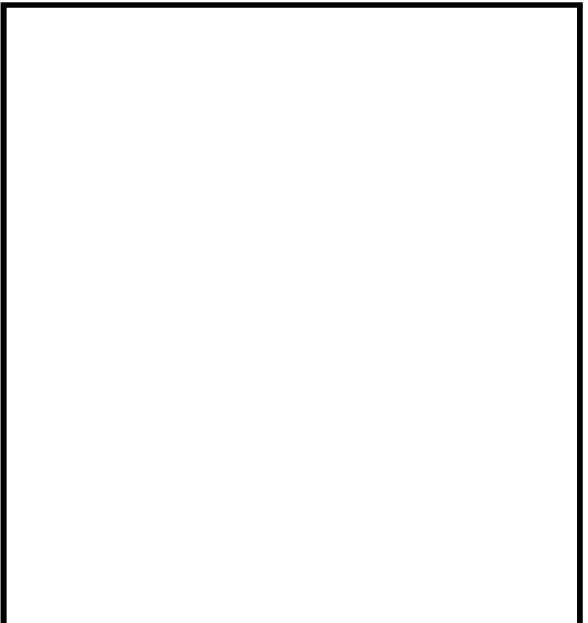
本資料のうち、枠囲みの内容は、商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。

表 4.1.12 試験体と実機の可燃物に対する同等性 (5/7)

種類	遮断器	遮断器に使用されている 主な絶縁物	外径図
P/C	実機②	耐熱クラス B (不飽和ポリエステル樹脂) ➤ モールドフレーム	


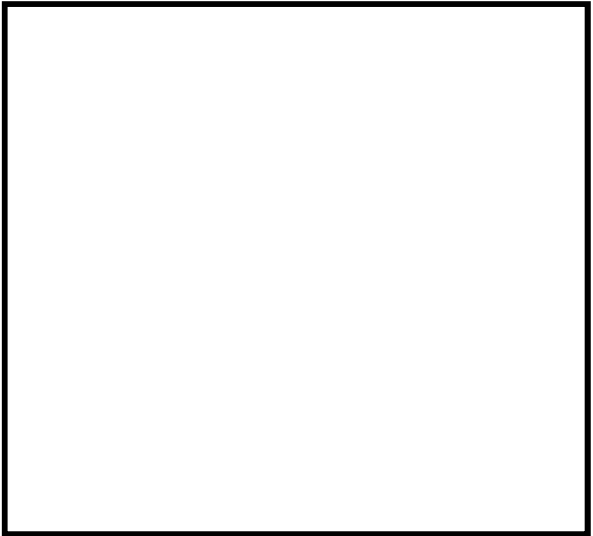

本資料のうち、枠囲みの内容は、商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。

表 4.1.12 試験体と実機の可燃物に対する同等性 (6/7)

種類	遮断器	遮断器に使用されている 主な絶縁物	外径図
C/C	試験体⑥	耐熱クラス E (変性ポリフェニレンエーテル) ▶ 母線絶縁カバー	
C/C	実機①	耐熱クラス B (不飽和ポリエステル樹脂) ▶ 母線絶縁カバー	

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。

表 4.1.12 試験体と実機の可燃物に対する同等性 (7/7)
 (非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

種類	遮断器	遮断器に使用されている 主な絶縁物	外径図
M/C	試験体⑦	耐熱クラス B (不飽和ポリエステル樹脂) ➤ モールドフレーム	
M/C	実機①	耐熱クラス B (エポキシ樹脂) ➤ ブッシング	
M/C	実機②	耐熱クラス B (エポキシ樹脂) ➤ ブッシング	

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。

4.2 短絡電流の目標値

(審査ガイド抜粋【2.2 短絡電流の目標値】)

HEAF 試験において電気盤にアーク放電を発生させる電流の目標値として、短絡電流値を設定する必要がある。各電気盤の短絡電流値は、電気系統の設計時に設定されている値を踏まえて、設定されていることを確認する。(解説－2)

なお、HEAF 試験に用いる電気盤の受電側に印加する電圧については、電気盤の実使用条件である定格電圧値を踏まえて、初期の印可電圧を設定していることを確認する。

(解説－2) 一般的な電気盤における短絡電流値の算出方法について

短絡電流値は、評価対象とする電気盤の受電側に接続している変圧器の二次側定格電流と当該変圧器の短絡インピーダンスによって算出される。

まず、変圧器二次側の定格電流 I_0 は、三相短絡容量 W 及び定格電圧 V_0 から次のように求められる。

$$I_0 = W / (\sqrt{3} \times V_0) \quad \text{式 (1)}$$

I_0 : 変圧器二次側の定格電流[A]、 W : 三相短絡容量[VA]、 V_0 : 定格電圧[V]

また、計算上最大の三相の短絡電流 I_b は、短絡インピーダンス Z 及び定格電流 I_0 から次のように求められる。

$$I_b = I_0 \times 100 / Z \quad \text{式 (2)}$$

I_b : 三相の短絡電流[A]、 I_0 : 定格電流[A]、 Z : 短絡インピーダンス[%]

ここで、短絡インピーダンスとは、変圧器の二次側を短絡させた状態で一次側に電圧を印加し、二次側の電流が定格電流になった時の一次側の電圧と二次側の定格電圧との比を百分率で表したもので、短絡電流の計算に使用されるものである。

HEAF 試験における短絡電流値の目標値は、実機プラントにて使用している電気盤の三相短絡電流値もしくは、試験に使用する電気盤の定格遮断電流に基づき表 4.2.1 のとおり設定した。

なお、実機プラント全ての短絡電流値について、添付資料－3に示す。

表 4.2.1 HEAF 試験時における短絡電流の目標値

電気盤	短絡電流目標値	【参考】大飯3号機の短絡電流値
M/C	18.9 kAまたは 40.0 kA	約 24.5 kA～約 43.1 kA
P/C	45.0 kA	約 28.0kA～約 29.9 kA
C/C	45.0 kA	約 24.1 kA～約 28.5 kA
M/C (D/G)	5kA	約 5.3kA [※]

※：「第3回新規制要件に関する事業者意見の聴取に係る会合（2018年10月15日）」での試験条件設定の考え方詳細（補6）に示す通り、M/C (DG) 試験については、低電流が長時間流れる領域である初期ピーク後の低電流・長時間電流領域を短絡電流値とする。

また、HEAF 試験における初期の印可電圧は、大飯 3 号機において使用している電気盤の定格電圧値を踏まえて表 4.2.2 のとおり設定した。

表 4.2.2 HEAF 試験時における試験初期の印可電圧

電気盤	試験初期の印可電圧	【参考】大飯 3 号機の電気盤の定格電圧
M/C	6.9kV または 8.0kV	6.9kV
P/C	504V	460V
C/C	504V	440V
M/C (D/G)	6.9kV	6.9kV

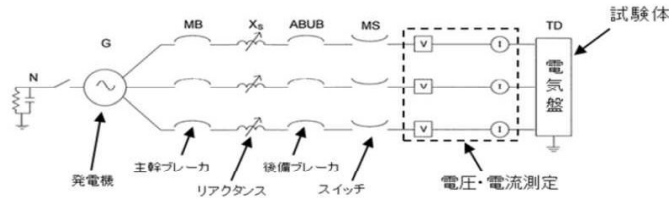
なお、アーク火災発生の有無は、電流及び電圧の積をアーク放電の継続時間で積分して算出されるアークエネルギーの値に依存しており（「4. アーク火災発生の評価」参照）、短絡電流値及び印可電圧の実機との違いは、試験結果に影響を及ぼすものではない。

4.3 HEAF 試験に用いる電気回路

(審査ガイド抜粋【2.3 HEAF 試験に用いる電気回路】)

HEAF 試験に用いる電気回路は、付録 A に示す電気回路又は同等の電気回路を用いていることを確認する。

付録 A HEAF 試験に用いる電気回路の一例



HEAF 試験に用いる電気回路は、短絡発電機、主遮断器、投入器、限流リアクトル、計器用変圧器、変流器等で構成されており、審査ガイドに示されているものと同等であるといえる。メタクラ、パワーセンタ、コントロールセンタそれぞれについて電気回路を以下に示す。

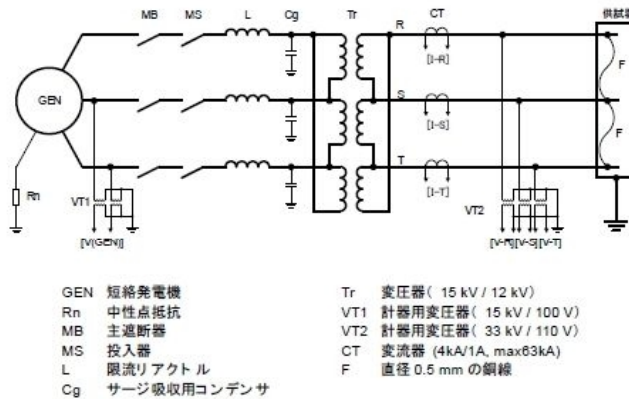


図 4.3.1 メタクラ試験回路

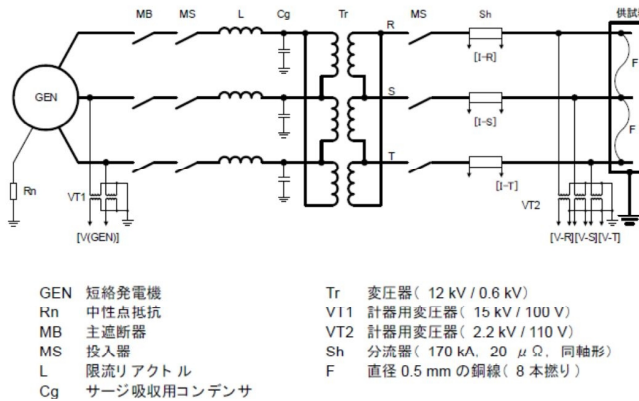
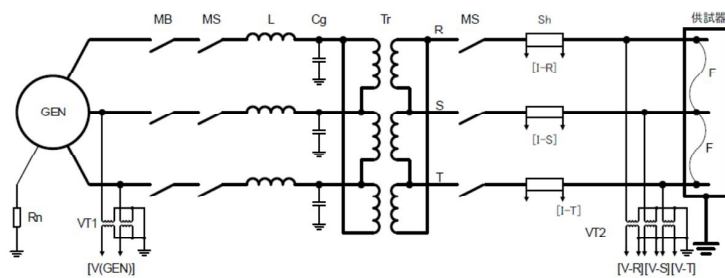
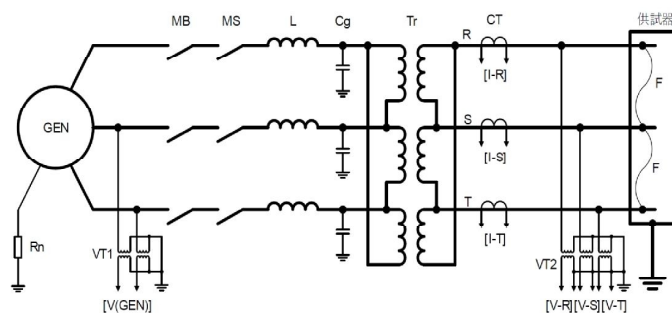


図 4.3.2 パワーセンタ回路



- | | | | |
|-----|-------------|-----|------------------------------------|
| GEN | 短絡発電機 | Tr | 変圧器 (12 kV / 0.6 kV) |
| Rn | 中性点抵抗 | VT1 | 計器用変圧器 (15 kV / 100 V) |
| MB | 主遮断器 | VT2 | 計器用変圧器 (2.2 kV / 110 V) |
| MS | 投入器 | Sh | 分流器 (170 kA, 20 $\mu\Omega$, 同軸形) |
| L | 限流リアクトル | F | 直径 0.5 mm の銅線 (8 本撚り) |
| Cg | サージ吸収用コンデンサ | | |

図 4.3.3 コントロールセンタ試験回路



- | | | | |
|-----|-------------|--------|-----------------------------|
| GEN | 短絡発電機 | Tr | 変圧器 (15 kV / 24 kV) |
| Rn | 中性点抵抗 | VT1 | 計器用変圧器 (15 kV / 100 V) |
| MB | 主遮断器 | VT2 | 計器用変圧器 (33 kV / 110 V) |
| MS | 投入器 | CT1, 2 | 変流器 (4 kA / 1 A, max 63 kA) |
| L | 限流リアクトル | F | 直径 0.5 mm の銅線 |
| Cg | サージ吸収用コンデンサ | | |

図 4.3.4 メタクラ試験回路

(非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

4.4 測定項目

(審査ガイド抜粋【2.4 測定項目】)

HEAF 試験において電圧電流波形が測定されていることを確認する。具体的な測定項目、測定目的及び測定方法を表 1 に示す。(参考-1)

表 1 HEAF 試験の測定項目等

測定項目	測定目的	測定方法
電圧電流波形	アークパワー及びアークエネルギーを計算する。	電圧及び電流の波形を記録する。

(参考-1) その他の測定項目

本ガイドの適用範囲である、遮断器の遮断時間の設計に用いるものではないが、HEAF 試験において、火災の影響と同時に爆発の影響も評価する場合には、表 1 の測定項目のほか、HEAF を詳細に把握するため、電気盤周囲の熱流束 (NUREG/CR-685011 に規定される ZOI12 (電気盤の上部では 1.5m、前面及び側面では 0.9m 離れた位置 (付録 B 参照)) の境界線上を含む複数箇所に熱流束計を設置して測定する。)、電気盤内圧力、電極の損耗量 (例えば、電極の重量減)、衝撃波 (例えば、電気盤内の圧力及び電気盤外の音圧)、電磁力、電気盤内温度、赤外線カメラや高速度カメラによる動画等のデータも同時に取得していることが望ましい。

HEAF 試験時の測定項目を表 4.4.1 に示す。試験では、「4.3 HEAF 試験に用いる電気回路」に示す変流器 (CT) 又は分流器 (Sh) により電流波形を、計器用変圧器 (VT2) により電圧波形を測定した。

なお、審査ガイドの「(参考-1) その他の測定項目」に記載されている電気盤周囲の熱流束及び電気盤内圧力の測定ならびに高速度カメラによる動画撮影等についても実施した。

表 4.4.1 HEAF 試験時の測定項目

電気盤	測定項目
M/C	電圧波形、電流波形、電気盤内圧力、高速度カメラによる動画撮影
P/C	電圧波形、電流波形、電気盤内圧力、電気盤周囲の熱流束、高速度カメラによる動画撮影
C/C	電圧波形、電流波形、電気盤内圧力、電気盤周囲の熱流束、高速度カメラによる動画撮影
M/C (D/G)	電圧波形、電流波形、電気盤内圧力、電気盤周囲の熱流束、高速度カメラによる動画撮影

4.5 アーク放電の発生方法

(審査ガイド抜粋【2.5 アーク放電の発生方法】)

アーク放電を発生させる試験が、電気盤の遮断器の受電側及び配電側で実施されていることを確認する。アーク放電は、IEEE C37.20.7-2007 等に基づき、母線に導電性針金をワイヤリングした後、2.2から2.4の試験条件で大電流を流し三相短絡させて発生させていることを確認する。

電気盤の遮断器の受電側及び配電側でアーク放電を発生させて試験を実施している。(図 4.5.1～図 4.5.4 参照) なお、C/Cについては、遮断器の配電側でアーク放電を発生させた場合、当該遮断器によって0.1秒以下で遮断され、審査ガイドに基づき適切にHEAF対策ができていないものと判断されることから、配電側でアーク放電を発生させて試験は実施していない。



図 4.5.1 遮断器の短絡箇所 (M/C試験時)

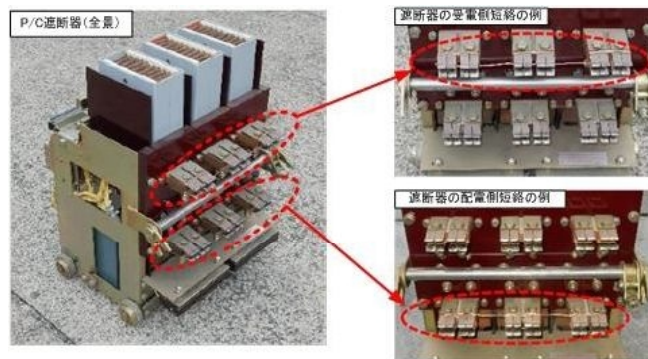


図 4.5.2 遮断器の短絡箇所 (P/C試験時)



図 4.5.3 遮断器の短絡箇所 (C/C試験時)

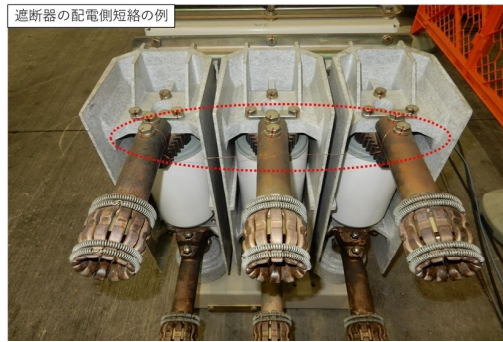
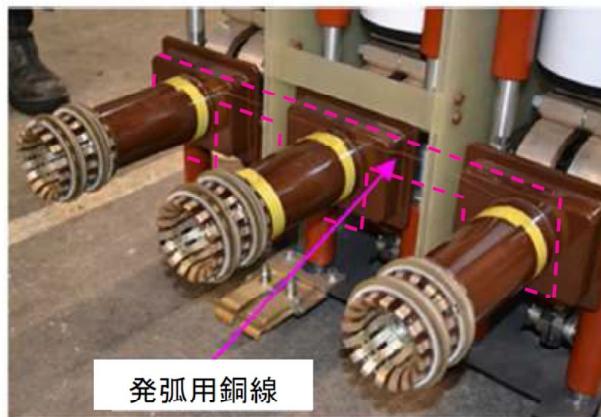


図 4.5.4 遮断器の短絡箇所 (M/C (D/G) 試験時)
(非常用発電機に接続される電気盤)

ワイヤリングは、直径 0.5mm の銅線 (M/C : 1 本燃り、P/C、C/C : 8 本) を張り、試験電流を
通電することで溶断発弧させた。銅線の選定は以下の国際規格を参考に決定した。

- ・ M/C . . . JEM1425(2011)、IEC62271-200(2011)
- ・ P/C、C/C . . . IEC /TR61641(2008)



発弧線の設置状況(遮断器2次側端子)

・ IEEE C37.20.7-2007 の抜粋

5.3 Arc initiation

For equipment defined by IEEE Std C37.20.1-2002: The arc shall be initiated by means of a metal wire 2.6 mm in diameter or 10 AWG.

For equipment defined by IEEE Std C37.20.2-1999 and IEEE Std C37.20.3-2001: The arc shall be initiated by means of a metal wire 0.5 mm in diameter or 24 AWG.

IEEE C37.20.1-2002 (Low-voltage switchgear AC254V~635V) で定義されている装置に関して、アークは直径 2.6mm または 10AWG の金属線によって発弧されなければならない。

IEEE C37.20.2-1999 (metal-clad switchgear AC5kV~35kV) で定義されている装置に関して、アークは直径 0.5mm または 24AWG の金属線によって発弧されなければならない。

・ JEM1425(2011)の抜粋

アークは、直径約 0.5mm の金属線によって相間（相分割導体の場合は、一相と接地との間）で点弧することが望ましい。

・ IEC62271-200(2011)の抜粋

The arc shall be initiated between all the phases under test by means of a metal wire of about 0.5mm in diameter...

(アークは、直径約 0.5mm の金属線によって試験対象となる全ての相間で点弧するものとする。)

・ IEC /TR61641(2008)の抜粋

The arc is initiated between the phases without connection to earth by means of a bare copper ignition wire connecting the adjacent conductors across the shortest distance, and connected to three phases.

(裸銅線によって隣接導体を最短距離で接続することにより、接地されていない相間にアークを点弧させる。)

With regard to the test current, the sizes of the copper ignition wire given in Table1 should be used.

(試験電流に関しては、表 1 に示される銅線のサイズを使用すべき。)

Table1 – Sizes of the copper ignition wire without current limiting protection device

Test current (rms value) kA	Wire size mm ²
≤25	0.75
>25 ≤40	1.0
>40	1.5

(※P/C の試験電流は 45kA なので、銅線の太さは 1.5mm²となる。直径 0.5mm の銅線を使用した場合、1.5mm²を確保するために 8 本撚りとしている。(0.5×0.5×π÷4×8 本=1.57mm²))

4.6 アーク放電の継続時間

(審査ガイド抜粋【2.6 アーク放電の継続時間】)

アーク放電の継続時間を設定する際には、所内で実際に使用している継電器の設定時間を踏まえ、目標とするアークエネルギーの値が得られるよう、設定されていることを確認する。また、HEAF 試験により得られた電圧電流波形から、アーク放電の継続時間を求めていることを確認する。

HEAF 試験の実施にあたり、大飯3号機の保護継電器動作時間を踏まえ、実機で発生し得るアークエネルギーの最大値（目標とするアークエネルギーの値）が得られるよう、必要な試験条件を表 4.6.1 に整理した。

表 4.6.1 アークエネルギーしきい値設定に必要な HEAF 試験条件一覧表

種類	電気盤	試験初期の 印可電圧	試験初期の 印可電流	目標とする アークエネルギー	【参考】 電中研 試験番号
M/C	耐震盤	8.0kV	40.0kA	24.72MJ	5-3
P/C	耐震盤	504V	45.0kA	15.68MJ	7-5
C/C	非耐震盤	504V	45.0kA	3.74MJ	10-3
M/C (D/G)	非耐震盤	6.9kV	5kA	8.88MJ	9-2

各試験で得られた電圧電流波形からアーク放電の継続時間を求め、表 4.6.1 において目標とするアークエネルギーが得られていることを確認した。

4.7 HEAF 試験の実施

(審査ガイド抜粋【2.7 HEAF 試験の実施】)

HEAF 試験は 2. 1 で選定した電気盤を用いて実施されていることを確認する。初期の電圧及び電流値として 2. 2 で設定した値が用いられていることを確認する。また、HEAF 試験時の電圧及び電流値は電気盤よりも受電側で測定されていることを確認する。アーク放電の継続時間を変化させ、アーク火災が発生する場合としない場合の、それぞれのアーク放電の継続時間が得られていることを確認する。

HEAF 試験は、「4.1 電気盤の選定」にて選定した電気盤に対して、「4.2 短絡電流の目標値」で設定した初期印可電圧及び電流を用いて実施した。

また、試験時の初期の電圧及び電流値は、「4.3 HEAF 試験に用いる電気回路」の図 4.3.1～図 4.3.4 に示すとおり、HEAF 試験時の電圧及び電流値は、電気盤よりも受電側の電圧計（図中の V T 2）及び電流計（図中の S h）で測定している。

試験では、保護継電器の動作時間を段階的に調整し、各試験で得られた電圧電流波形から、3 相短絡が継続している時間をアーク放電の継続時間（ t_1 ）として求め、同時にアーク火災発生有無についても確認した。

HEAF 試験結果は表 4.7.1 に示す通り、M/C、P/C、C/C 及び M/C (D/G) に対して、アーク火災が発生する場合としない場合のアーク放電継続時間が得られており、電圧電流波形についても図 4.7.1～図 4.7.4 のとおり採取している。

表 4.7.1 HEAF 試験条件及び試験結果 (1/2)

種類	電気盤	試験初期の印可電圧	試験初期の印可電流	アーク放電の継続時間 (sec)		アークエネルギー (MJ)	アーク火災 有無	目標とするアークエネルギー (大飯3号機の最大値) (MJ)	【参考】 電中研 試験番号
				設定値	実測値				
M/C	試験体 ①	6.9kV	18.9 kA	0.1	0.103	3.09	無	24.72	1-1
				0.3	0.302	8.17	無		1-2
				0.5	0.527	12.9	無		2-1
				0.5	0.526	10.4	無		2-2
				1.0	1.23	24.7	無		3-1
				1.0	1.23	20.3	無		3-2
				1.0	1.23	27.6	有		3-3
				2.0	2.18	41.8	有		3-4
				2.0	2.39	44.6	有		4-1
	1.0	1.23	17.7	無	4-2				
	試験体 ②	8.0 kV	40.0 kA	0.2	0.22	12.8	無	5-1	
				0.2	0.21	8.68	無	5-2	
				0.6	0.63	25.3	無	5-3	
	P/C	試験体 ③	504V	45kA	0.2	0.20	2.49	無	15.68
0.5					0.51	6.34	無	6-2	
1.5					1.53	19.8	有	6-3	
1.0					0.18	2.91	無	6-4	
1.3					0.43	5.76	無	7-1	
1.3					0.06	0.88	無	7-2	
試験体 ④		504V	45kA	45kA	1.3	0.02	0.34	無	7-3
					1.3	1.32	18.5	無	7-4
					1.4	1.43	18.9	無	7-5
					1.3	1.32	17.4	無	8-1
試験体 ⑤		504V	45kA	45kA	1.3	1.32	17.3	無	8-2
					1.4	1.44	18.7	無	8-3
					0.1	0.064	0.9	無	10-1
C/C	試験体 ⑥	504V	45kA	0.5	0.522	7.56	有	3.74	10-2
				0.3	0.319	4.49	無		10-3
				0.21	0.066	1.02	無		11-1
				0.28	0.153	2.24	無		11-2
				0.28	0.052	0.80	無		11-3
				0.28	0.281	3.94	無		11-4

□ : 火災が発生した最小のアークエネルギー

□ : 火災が発生しない最大のアークエネルギー

表 4.7.1 HEAF 試験条件及び試験結果 (2/2)
(非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

種類	電気盤	試験初期の印可電圧	試験初期の印可電流	アーク放電の継続時間 (sec)		アークエネルギー (MJ)	アーク火災の有無	目標とするアークエネルギー (大阪3号機の最大値) (MJ)	【参考】電中研試験番号
				設定値	実測値				
M/C (DG)	試験体 ⑦	6.9kV	5 kA	2.65	2.69	14.7	無	8.88	9-1
				3.00	3.05	16.6	無		9-2
				6.10	6.27	32.3	有		9-3

 : 火災が発生した最小のアークエネルギー
 : 火災が発生しない最大のアークエネルギー

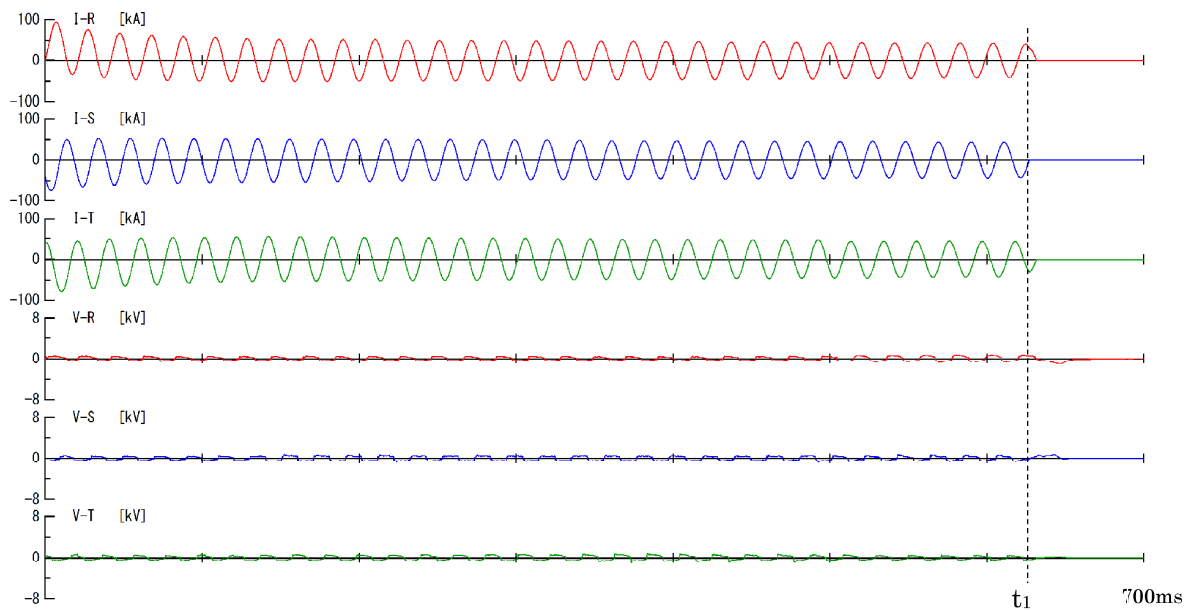


図 4.7.1 HEAF 試験時の電圧・電流波形 (M/C)

=630ms

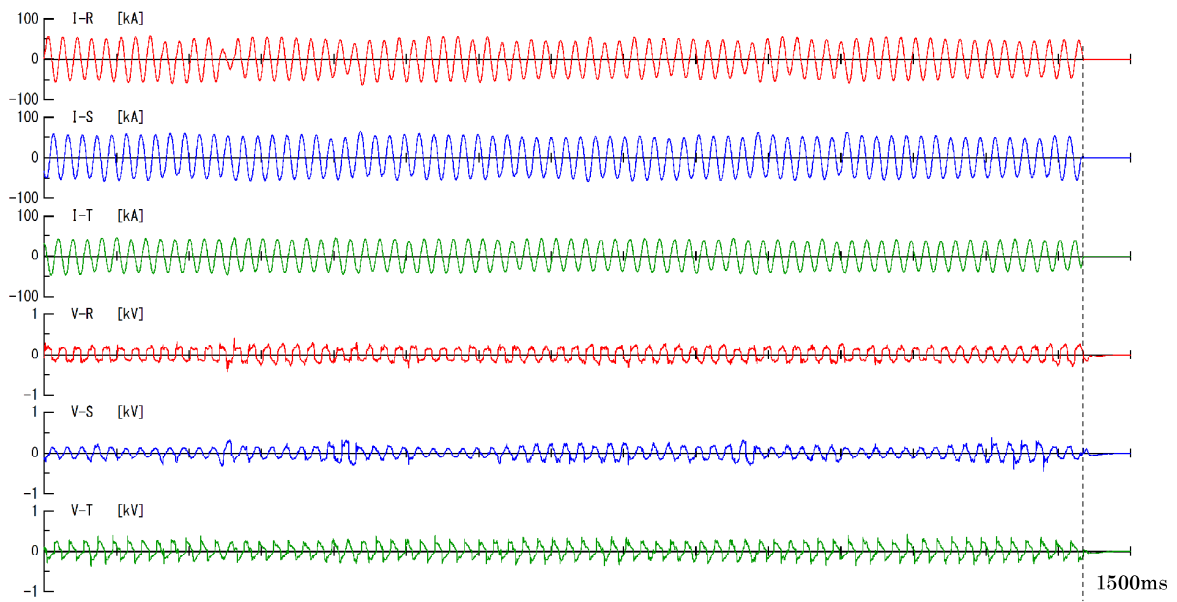


図 4.7.2 HEAF 試験時の電圧・電流波形 (P/C)

t_1
=1,430ms

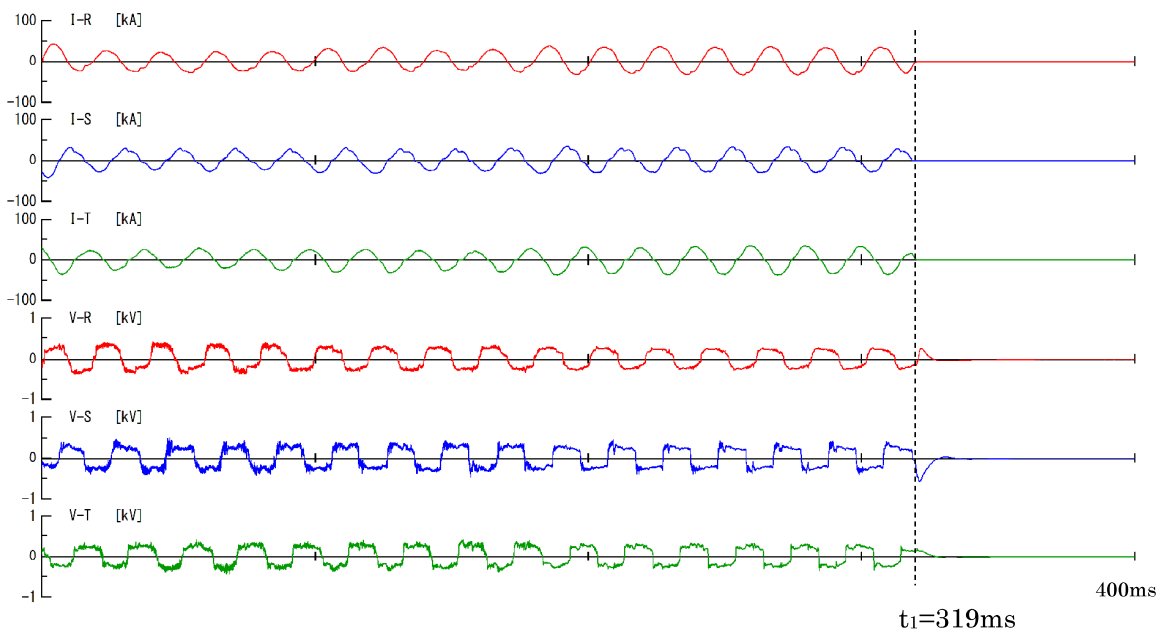


図 4.7.3 HEAF 試験時の電圧・電流波形 (C/C)

$t_1=319ms$

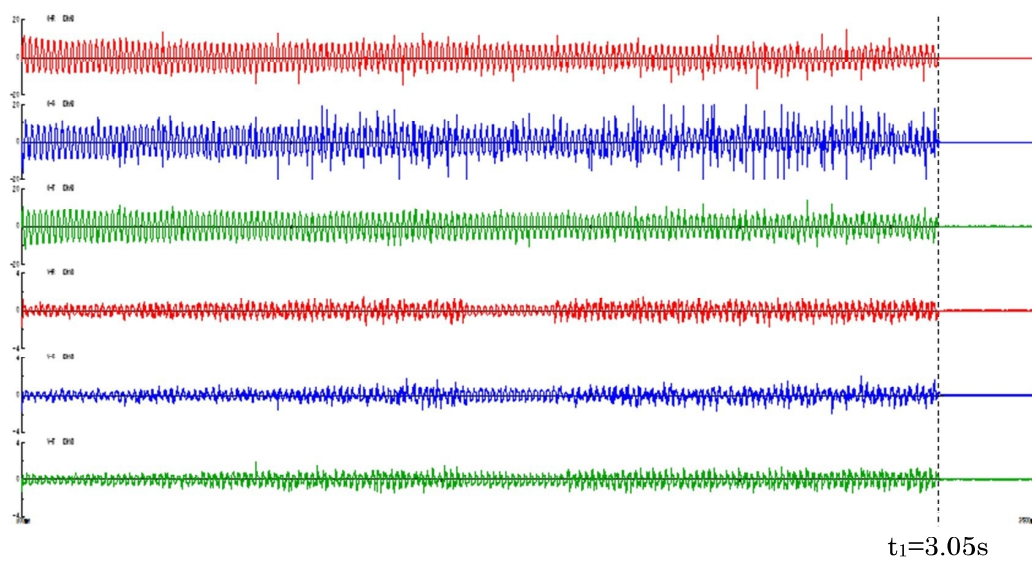


図 4.7.4 HEAF 試験時の電圧・電流波形 (M/C (D/G))
 (非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

4.8 アークエネルギーの計算

(審査ガイド抜粋【2.8 アークエネルギーの計算】)

HEAF 試験におけるアークエネルギー (J) は、アークパワー (W) をアーク放電の継続時間 (s) で積分した値としていることを確認する。

HEAF 試験におけるアークエネルギーは、アークパワーをアーク放電の継続時間で積分した値としており、以下の式にて算出している。

$$E_1 = \int_0^{t_1} W_1 dt$$

E_1 : 三相のアークエネルギー W_1 : アークパワー t_1 : アーク放電の継続時間

しきい値の決定に係る HEAF 試験のアークパワー、アークエネルギーの算出結果 (M/C、P/C、C/C、M/C (DG)) を表 4.8.1～表 4.8.4 に示す。

表 4.8.1 電力中央研究所 HEAF 試験結果 (M/C の一例)

耐震/高圧電源盤・内部アーク試験結果詳細データ一覧

試験番号	発弧箇所	試験電圧 ¹⁾ (kV)	相別	試験電流					通電時間 (s)	最大アークパワー (MW)	全アークエネルギー (MJ)	内部圧力			破損状況
				最大波高値 (kA)	初期3半端実効値 (kA)	最終実効値 (kA)	AC成分の時間積分値 (kA・s)	投入位相 ²⁾ (deg)				測定箇所	最大値 (kPa)	到達時間 ³⁾ (ms)	
5-1	盤I上段 VCB二次側端子 ⁴⁾	8.25	R	86.6	42.0	35.6	7.23	318	0.22	157	12.8	盤I上段ケーブル室	89.3	9.0	<ul style="list-style-type: none"> ・天板一部外れ (M10ボルト3箇所破断) ・背面扉開放 (M16ボルト2箇所破断) ・側板変形 ・母線室とVCB室の仕切り板2枚外れ ・燃焼継続せず
			S	74.9	42.8	36.2	7.69	267							
			T	75.9	41.6	36.3	7.70	267							
5-2	盤I下段 VCB室内ターミナル部 ⁵⁾	8.24	R	94.1	41.9	35.3	7.18	318	0.21	84.9	8.68	盤I下段ケーブル室	58.9	8.6	<ul style="list-style-type: none"> ・天板変形 (M10ボルト破断無) ・背面扉開放無 ・正面下扉変形 ・母線室とVCB室の仕切り板2枚変形 ・燃焼継続せず
			S	77.7	42.9	36.7	7.35	267							
			T	78.8	42.2	36.4	7.74	267							
5-3	盤J下段 VCB室内ターミナル部 ⁶⁾	8.23	R	94.0	42.2	29.4	19.0	318	0.63	87.4	25.3	盤J上段VCBケーブル室	62.5	14.5	<ul style="list-style-type: none"> ・天板変形 (M10ボルト2箇所破断) ・背面扉開放無 ・正面下扉変形 ・母線室とVCB室の仕切り板2枚変形 ・燃焼継続せず
			S	76.3	42.7	30.9	19.3	266							
			T	80.3	42.0	30.1	19.7	266							

- 備考
- 1) 発電機電圧より換算した値(参考値)
 - 2) 発電機電圧(S-T相)を基準とした位相角
 - 3) 内部圧力上昇値が、通電開始から最大値に達するまでの時間(100Hzのローパスフィルターを適用)
 - 4) 全ての VCB 投入状態
 - 5) 盤I上段 VCBを除く他の VCB 投入状態
 - 6) 盤J下段 VCBのみ VCB投入状態(盤Iと盤Jの間の母線を切断)

表 4.8.2 電力中央研究所 HEAF 試験結果 (P/C の一例)

非耐震/高岳製作所製 低圧電気盤の試験結果詳細データ一覧 (2/2)

試験番号	発弧箇所	試験電圧 ¹⁾ (V)	相別	試験電流					通電時間 (s)	最大アークパワー (MW)	全アークエネルギー (MJ)	内部圧力			破損状況
				最大波高値 (kA)	初期3半端実効値 (kA)	最終実効値 (kA)	AC成分の時間積分値 (kA・s)	投入位相 ²⁾ (deg)				測定箇所	最大値 (kPa)	到達時間 ³⁾ (ms)	
7-4	ファイダ盤O下段 ACB室内一次側端子 ⁴⁾	504	R	60.2	37.3	24.5	38.4	133	1.32	25.3	18.5	ファイダ盤O下段正面	1.68	4.71	<ul style="list-style-type: none"> ・燃焼継続せず ・盤Oと盤Mの下段ACB室の裏側の一次側端子がアークにより溶断
			S	60.8	38.0	30.9	41.9	87							
			T	51.1	29.0	28.9	32.6	87							
7-5	ファイダ盤P上段 ACB室内一次側端子 ⁵⁾	504	R	62.2	38.7	32.8	43.7	133	1.43	20.3	18.9	ファイダ盤P上段正面	1.27	4.04	<ul style="list-style-type: none"> ・燃焼継続せず ・盤Pの上,中,下段ACB室の裏側の一次側端子がアークにより溶断
			S	65.6	38.2	37.3	46.5	89							
			T	47.3	31.3	25.6	35.5	89							

- 備考
- 1) 発電機電圧より換算した値(参考値)
 - 2) 発電機電圧(S-T相)を基準とした位相角
 - 3) 内部圧力上昇値が、通電開始から最大値に達するまでの時間(100Hzのローパスフィルターを適用)
 - 4) ファイダ盤O下段ACBと受電盤M中段ACB投入、ファイダ盤O上・中段ACBと受電盤M下段ACB開放
 - 5) ファイダ盤P上段ACBと受電盤M中段ACB投入、ファイダ盤P中・下段ACBと受電盤M下段ACB開放

試験実施日、温度、湿度
 試験 7-4 : 2017/8/8、32℃、54%
 試験 7-5 : 2017/8/10、30℃、64%

表 4.8.3 電力中央研究所 HEAF 試験結果 (C/C の一例)

試験結果詳細データ一覧 (1/2)

温度：34~40℃、湿度：50~58%

試験番号	発弧箇所	試験電圧 ¹⁾ (V)	相別	試験電流					通電時間 ²⁾ (s)	最大アークパワー (MW)	全アークエネルギー ³⁾ (MJ)	内部圧力			備考
				最大波高値 (kA)	初期3半端実効値 (kA)	最終実効値 (kA)	AC成分の時間積分値 (kA·s)	投入位相 ⁴⁾ (deg)				測定箇所	最大値 (kPa)	到達時間 ⁵⁾ (ms)	
10-1	盤Z 2段目 MCCB 一次側	507	R	47.4	29.0	14.1	1.55	143	0.06	30.3	0.90	盤Z 正面	26.0	3.10	<ul style="list-style-type: none"> ・0.06 s で消弧 ・正面と背面扉が開放 ・火災の発生なし ・2段目 MCCB 一次側ケーブルが溶断し、5段目 MCCB 一次側が溶損
			S	54.6	30.9	15.0	1.66	84							
			T	42.5	26.1	9.38	1.37	84							
10-2	盤Y 7段目 MCCBユニット と母線の接続 箇所	515	R	53.2	23.9	21.4	11.19	128	0.52	28.0	7.56	盤Y 正面	19.5	2.42	<ul style="list-style-type: none"> ・正面と背面扉が開放 ・火災の発生あり ・通電開始から7分10秒で消火 ・1~7段目 MCCB 一次側ケーブルが溶断 ・垂直母線の下部が溶損
			S	62.8	23.7	20.6	10.61	69							
			T	50.3	21.6	20.8	10.22	69							
10-3	盤Z 4段目 MCCBユニット と母線の接続 箇所 ⁴⁾	515	R	42.8	21.0	23.7	6.46	140	0.32	23.1	4.49	盤Z 正面	16.7	2.82	<ul style="list-style-type: none"> ・正面と背面扉が開放 ・火災の発生なし ・4段目 MCCB 一次側ケーブルが溶断 ・垂直母線の下部が溶損
			S	42.0	24.5	21.0	6.29	82							
			T	37.3	21.6	23.5	5.93	82							

備考

- 1) 発電機電圧より換算した値(参考値)
- 2) 発電機電圧(S-T相)を基準とした位相角
- 3) 内部圧力上昇値が、第一相の通電開始から最大値に達するまでの時間(500Hzのローパスフィルターを適用)
- 4) 試験番号10-1で使用した盤Zを清掃し、相間および対地間の絶縁性能を回復させた。なお、5段目のMCCBユニットと母線を接続する部品については、確実に絶縁回復させるために取り外した。

表 4.8.4 電力中央研究所 HEAF 試験結果 (M/C (D/G) の一例)

(非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

試験結果詳細データ一覧

温度：20~23℃、湿度：78~84%

試験番号	発弧箇所	試験電圧 ¹⁾ (kV)	相別	試験電流					通電時間 ²⁾ (s)	最大アークパワー (MW)	全アークエネルギー ³⁾ (MJ)	内部圧力			破損状況
				最大波高値 (kA)	初期3半端実効値 (kA)	最終実効値 (kA)	AC成分の時間積分値 (kA·s)	投入位相 ⁴⁾ (deg)				測定箇所	最大値 (kPa)	到達時間 ⁵⁾ (ms)	
9-1	ファイダ盤V 上段 VCB室内 二次側端子 ⁴⁾	6.96	R	11.7	6.82	4.32	12.54	164	2.69	17.2	14.7	ファイダ 盤V 上段 正面	4.24	8.33	<ul style="list-style-type: none"> ・火災の発生なし ・発弧箇所のVCB室以外に損傷なし
			S	10.2	6.77	3.95	12.43	93							
			T	10.8	6.62	3.88	12.11	93							
9-2	ファイダ盤W 上段 VCB室内 二次側端子 ⁵⁾	6.97	R	11.6	7.02	4.16	13.98	164	3.05	14.9	16.6	ファイダ 盤W 上段 正面	2.98	8.24	<ul style="list-style-type: none"> ・火災の発生なし ・発弧箇所のVCB室以外に損傷なし
			S	10.3	6.79	4.16	13.87	91							
			T	10.7	6.63	3.75	13.34	91							
9-3	受電盤U 下段 VCB室内 二次側端子 ⁶⁾	6.96	R	11.7	6.84	3.31	24.17	163	6.27	14.4	32.3	受電 盤U 下段 正面	2.70	6.41	<ul style="list-style-type: none"> ・火災の発生あり ・試験開始から44分で消火活動開始 ・VCB室と母線室間のパンチングが溶損 ・母線の溶損なし
			S	9.91	6.79	2.83	24.05	95							
			T	11.1	6.66	2.85	22.67	95							

備考

- 1) 発電機電圧より換算した値(参考値)
- 2) 発電機電圧(S-T相)を基準とした位相角
- 3) 内部圧力上昇値が、三相の通電開始から最大値に達するまでの時間(500Hzのローパスフィルターを適用)
- 4) ファイダ盤V上段VCBと受電盤U下段VCB投入、ファイダ盤V下段断路器を開放
- 5) ファイダ盤W上段VCBと受電盤U下段VCB投入、ファイダ盤W下段VCBを開放
- 6) 受電盤U下段VCB投入、受電盤Uとファイダ盤Wの接続母線をファイダ盤W側において切断

5. アーク火災発生の評価

5.1 アーク火災発生の評価の概要

電気盤においてアーク火災が発生する場合には、アーク放電発生の数秒から数分後に目視により確認できる。また、電気盤周囲の熱流束を測定することによってもアーク火災の発生を確認できる。

アーク火災発生の有無とアークエネルギーの関係を評価することにより、アーク火災が発生する場合の電気盤固有のアークエネルギーのしきい値を求めることができる。

5.2 評価に用いる必要なデータ

(審査ガイド抜粋【3.2 評価に用いる必要なデータ】)

アーク火災評価には、アークエネルギー [J] 及びアーク放電の継続時間 [s] を用いる。なお、これらのデータについては、信頼性のある試験（事業者自らが直接行った試験に限らない。）に基づくものであることを確認すること。（解説－1）

HEAF 試験は、電力中央研究所に委託して実施しており、試験を実施した大電力試験所は、ISO/IEC17025 (JIS Q 17025) (校正機関および試験所能力に関する一般要求事項) に適合する試験所として、公益財団法人 日本適合性認定協会から「試験所認定」を取得していることから、評価に用いたデータは、信頼性のある試験に基づくものである。

【参考】電力中央研究所ホームページより抜粋 (<https://criepi.denken.or.jp/jp/hptl/quality.html>)



トップマネジメントによる品質方針と目標

「常に信頼性の高い試験結果を提供することにより、依頼者の満足を得るとともに、電気事業、引いては社会の発展に寄与する」ため、『JIS Q 17025』および公益財団法人 日本適合性認定協会が発行する『試験所及び校正機関 認定基準』に適合した試験所システムを構築・運用するとともに、運用に必要な経営資源の適正化を図ることを、品質方針とする。

大電力試験所の経営管理に当たっては、この品質方針のもと、下記を目標とする。

1. 品質目標を適切に設定し、品質確保に努める。
2. 大電力試験所の全ての職員に、品質方針を周知励行させる。
3. 大電力試験所の全ての職員が、品質規程に精通し、かつ、方針および手順を遵守して業務を遂行する。
4. マネジメントシステムの構築および実施、ならびに継続的改善に万全を期す。
5. マネジメントシステムの適切性および有効性を確認するため、毎年 1 回、見直しを行う。
6. 大電力試験所の全ての職員も、横須賀運営センター環境マネジメントシステムの『環境方針』を遵守し、関連業務を遂行する。

5.3 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

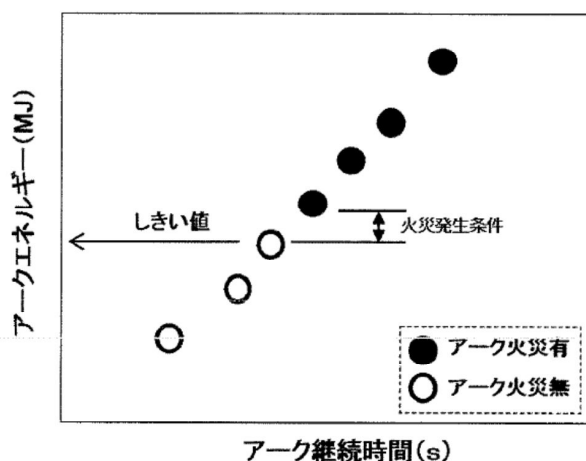
(審査ガイド抜粋【3.3 アーク火災が発生しないアークエネルギーのしきい値に係る評価】)

電気盤においてアーク火災が発生しないアークエネルギーのしきい値（以下単に「しきい値」という。（解説—3））を求める際には、アーク火災発生の有無とその時のアークエネルギーとの関係进行评估する。しきい値が、HEAF 試験においてアーク火災が発生しなかった場合の最大のアークエネルギー値となっていること及びアーク火災が発生した全てのアークエネルギー値を下回っていることを確認する。ただし、HEAF 試験の結果、火災の発生に至らないと判断された場合は、しきい値の算定は不要である。（解説—4）

(解説—3) しきい値

アーク火災が発生する場合の電気盤固有の真のしきい値（実際に火災が発生するしきい値）は、アーク火災が発生した時の値と発生しなかった時の値の間に存在する。（付録 D 参照）

付録 D 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の例



(解説—4) 火災の発生に至らないと判断された場合について

HEAF 試験の結果、アーク火災の発生に至らない場合がある（例えば、小型の電気盤などにおいて内部の構成部品が吹き飛び、通電できなくなることでアークエネルギーが比較的小さい値になる等）。この様な場合には、しきい値が存在しないことから、その算定は不要とする。

HEAF 試験により M/C、P/C、C/C、M/C (D/G) の電気盤において、それぞれ図 5.3.1～図 5.3.4 に示す試験結果が得られ、しきい値の設定については、それぞれの測定誤差を保守的に考慮した上で、さらに端数を切り捨てて、それぞれの電気盤においてしきい値（M/C 25MJ、P/C 18MJ、C/C 4.4MJ、M/C (D/G) 16MJ）を決定した。（表 5.3.1 参照）

また、しきい値が、HEAF 試験においてアーク火災が発生しなかった場合の最大のアークエネルギー値となっていること及びアーク火災が発生した全てのアークエネルギー値を下回っていることを確認した。

なお、アーク火災発生判定については、以下の方法により実施した。

- アーク放電後、電気盤の盤外に対する炎の有無を目視により確認
- 盤外に炎が見られない時は
 - (1) 盤の扉を開けて内部を目視にて直接確認
 - ⇒M/C、P/C耐震盤
 - (2) 電気盤の発熱速度（HRR）の測定により、発熱速度の継続的な上昇の有無を確認
 - ⇒（1）以外

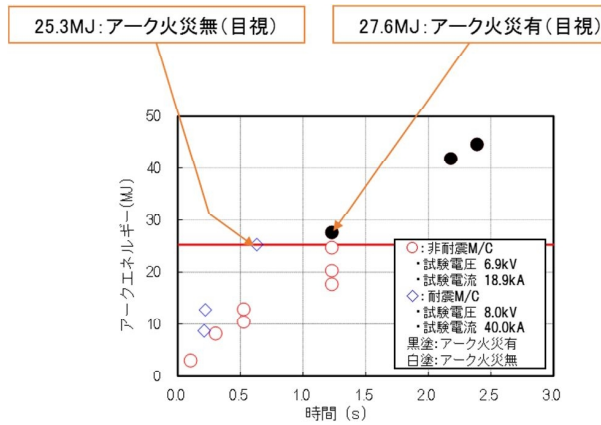


図 5.3.1 M/C 試験結果

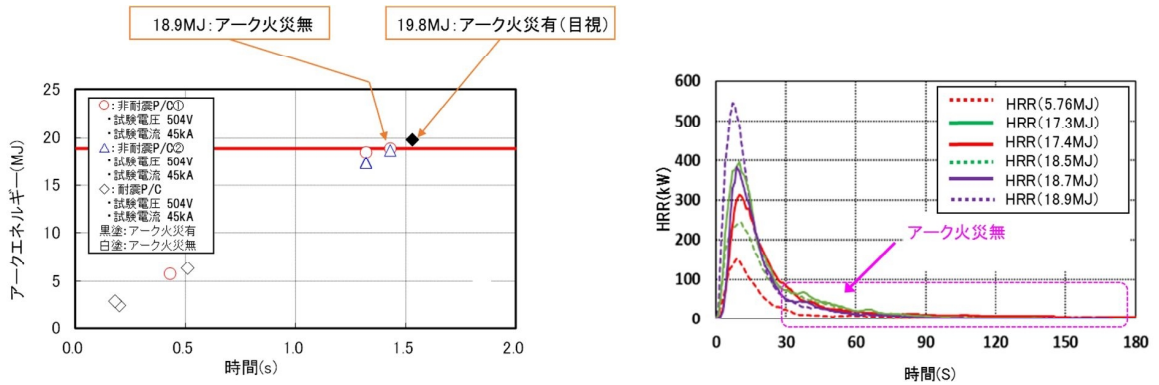


図 5.3.2 P/C 試験結果

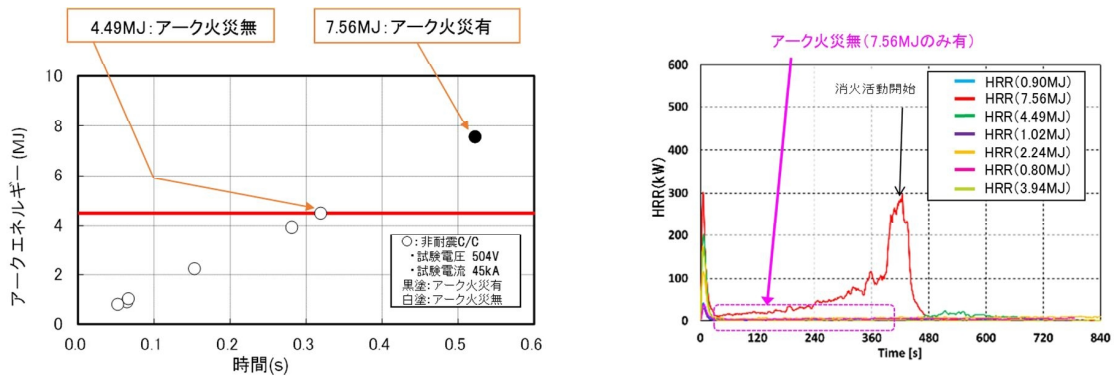


図 5.3.3 C/C 試験結果

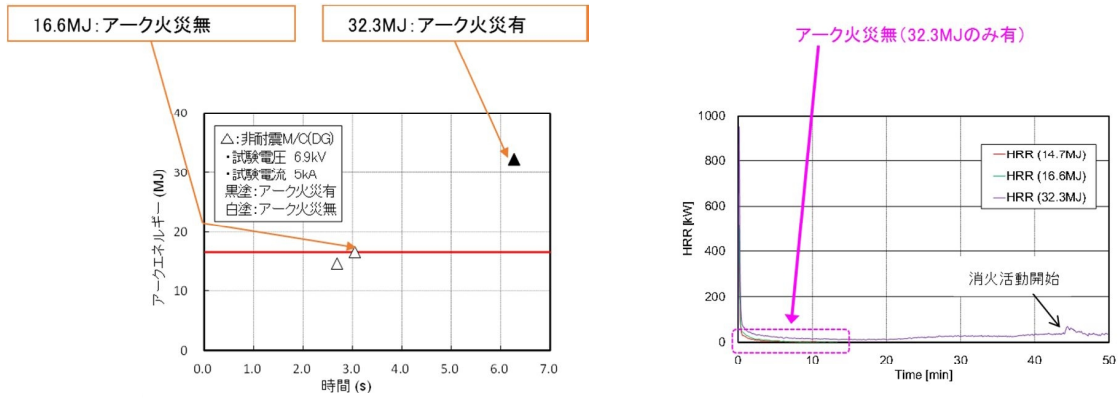


図 5.3.4 M/C (D/G) 試験結果
(非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

表 5.3.1 測定誤差を考慮したしきい値の設定

	①アーク火災が発生しなかった最大のアークエネルギー (MJ)	測定誤差 (%)	測定誤差を含む①の値 (MJ)	しきい値 (MJ)
M/C	25.3	0.8	25.09	25
P/C	18.9	0.6	18.78	18
C/C	4.49	0.6	4.46	4.4
M/C (D/G)	16.6	0.8	16.46	16

5.4 しきい値に係る解析による評価

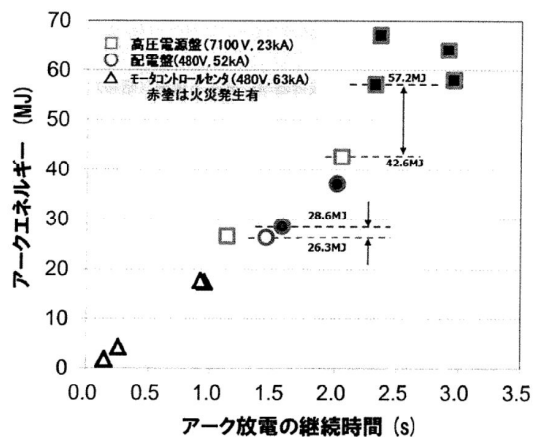
(審査ガイド抜粋【3.4 しきい値に係る解析による評価】)

しきい値については、HEAF 試験の結果に基づく解析によって評価してもよい。その際には、電気盤内の空間容積や密閉性、定格電圧や短絡電流値の大小等を考慮した条件設定が行われていることを確認する。(解説—5)

(解説—5) 空間容積や密閉性の考慮の必要性

過去に原子力規制庁が実施した HEAF 試験において、電気盤内の空間容積や密閉性によって、アーク火災の発生に必要なアークエネルギーが大きく異なることが示された。これにより、アーク火災の発生に必要なアークエネルギーは、電気盤内の空間容積の大小や密閉性の高低と関係するといえる。(付録 E 参照)

付録 E 原子力規制庁の HEAF 試験結果の一例



しきい値については、解析による評価は用いず、HEAF 試験の結果により評価し決定した。

なお、解説—5「空間容積や密閉性の考慮の必要性」については、M/C、P/C、C/C のそれぞれにおいて電気盤内の空間容積や密閉性の差があることから、それぞれ HEAF 試験を実施し、その結果より評価しアークエネルギーのしきい値を決定した。

また、M/C (DG) 試験についても、「4.1 電気盤の選定」の記載の通り、電気盤内の空間容積や密閉性において、M/C (DG) 試験と先行 M/C 試験で明確な差はなくアークメカニズムも同様であることから、先行 M/C 試験と同様に解析による評価は用いず、HEAF 試験の結果により評価しアークエネルギーのしきい値を決定した。

6. HEAFに係る対策の判断基準

(審査ガイド抜粋【4. HEAFに係る対策の判断基準】)

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（例えば、2.5m 以内にあるもの（解説－6））の遮断器の遮断時間が、3. 3又は3. 4において評価したしきい値に対応するアーク放電の継続時間と比べ、小さい値となっていることを確認する。

ただし、短絡等が起きたとしても非常に短時間（例えば、0.1 秒以下）で電気盤への電力供給を止めることができる場合（例えば、受電側に短絡継電器が設置されている等）や、火災の発生に至らないと判断された場合は、適切に遮断されていると判断してもよい。（解説－4）

(解説－4) 火災の発生に至らないと判断された場合について

HEAF 試験の結果、アーク火災の発生に至らない場合がある（例えば、小型の電気盤などにおいて内部の構成部品が吹き飛び、通電できなくなることでアークエネルギーが比較的小さい値になる等）。このような場合には、しきい値が存在しないことから、その算定は不要とする。

(解説－6) 電気盤に影響を与えるおそれのある範囲について

米国においては、火災防護の要求として、ケーブル処理室でのケーブルトレイの水平距離を0.9m 以上離すとしている¹⁵。また、平成23年の東北地方太平洋沖地震の際に女川原子力発電所において発生したアーク火災において、水平距離2.5mより離れた電気盤にはHEAFの影響が及んでいなかったことを踏まえ、影響を与えるおそれのある範囲の目安として、2.5m以内にあるものとした。ただし、実験等によりアーク火災の影響範囲が特定できる場合は、その結果を考慮する必要がある。また、その際に、当該電気盤内の遮断器だけでなく、当該電気盤の受電側の遮断器についても、同様にその他必要な対策（参考－2）を含め、確認する。

(参考－2) 火災感知設備及び消火設備

火災防護審査基準は、

- ・火災感知設備について、取付面高さ、温度、湿度、空気流等の環境条件や予想される火災の性質を考慮して型式を選定し、早期に火災を感知できる場所に設置すること
- ・消火設備について、火災の火炎、熱による直接的な影響のみならず、煙、流出流体、断線、爆発等による二次的影響が安全機能を有する構築物、系統及び機器に悪影響を及ぼさないように設置すること

を求めている。火災感知設備及び消火設備については、HEAFが発生した場合を配慮して配置されていることを確認する必要がある。

(1) アーク放電の遮断時間の設定

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適切に設定し、アーク放電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アーク放電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。

$$\begin{aligned} E_{3\phi} &= V_{\text{arc}} \times I_{\text{arc}} \times t_{\text{arc}} \\ &= 0.9 \times V_{\text{arc}} \times I_{\text{rms}} \times t_{\text{arc}} \end{aligned}$$

$E_{3\phi}$: 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

I_{rms} : 三相短絡電流の実効値

t_{arc} : アーク発生時のアーク放電遮断時間

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回路インピーダンス %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. アーク放電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アーク放電の遮断時間は、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てアーク放電遮断時間までに発生す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)

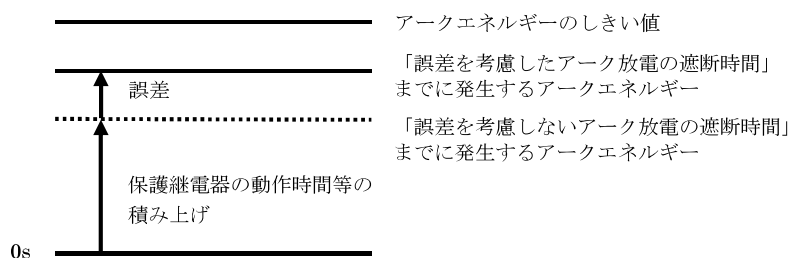


図 6.1 アーク放電遮断時間の考え方

また、非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤については、当該遮断器と非常用ディーゼル発電機の間には遮断器がないことから、HEAF発生時には非常用ディーゼル発電機を停止することにより非常用ディーゼル発電機から供給され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。

なお、工事計画認可申請書に記載しているアーク放電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ていない遮断時間を記している。

アーク放電の遮断時間 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。

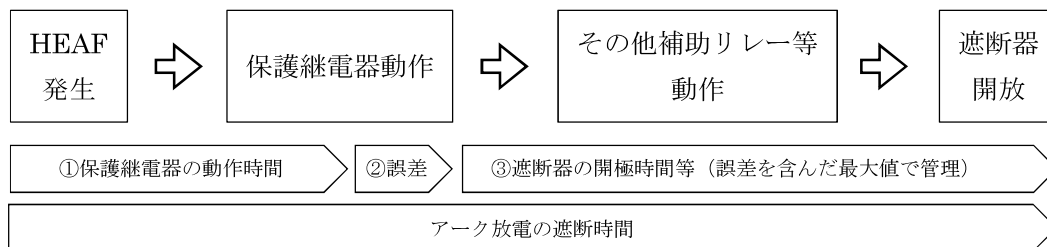


図 6.2 アーク放電の遮断時間に含まれる誤差の考え方 (1/2)

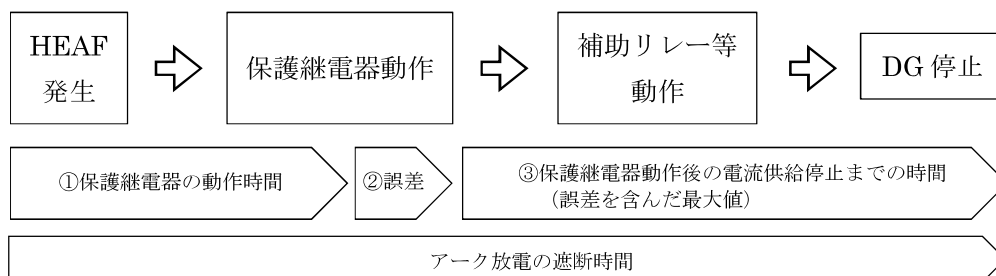


図 6.2 アーク放電の遮断時間に含まれる誤差の考え方 (2/2)
(非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

表 6.1 アーク放電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。

各電気盤のアーク放電遮断時間及びアークエネルギーの一覧（大飯 3 号機）を表 6.2 に示す。

また、実機プラント全ての電気盤のアーク放電遮断時間及びアークエネルギーの一覧を添付資料-4 に示す。なお、アーク放電の遮断時間を設定する際に実施する保護継電器の動作時間の設定については、上流及び下流の保護継電器の動作時間と協調を図ることで、電気事故による影響範囲を局所化する設計とする。

表 6.2 各電気盤のアーカ放電遮断時間及びアーカエネルギーの一覧 (大飯 3 号機) (1/3)

機器 名称	アーカ放電発生箇所 遮断器名称	アーカ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)	アーカ電圧(kV)	考慮している誤差パターン
						①+③遮断時間(sec) ※	アーカエネルギー(MJ) ※	①+②+③遮断時間(sec)	アーカエネルギー(MJ)			
メタルクラッド開閉装置	4-3HA (4-3AM/C 受電遮断器(3HT r 側))	130	0.490	—	0.050	0.540	21.91	0.540	21.91	33.64	1.34	5
		G30	0.490	—	0.094	0.584	23.70	0.584	23.70	33.64		5
	4-3E1A (4-3AM/C 受電遮断器(No.1ET r 側))	E10	0.400	—	0.066	0.466	24.20	0.466	24.20	43.05		5
	4-3E2A (4-3AM/C 受電遮断器(No.2ET r 側))	E20	0.700	0.010	0.050	0.750	22.19	0.760	22.49	24.53		6
			4-3E2CD (常用系メタクラ分離遮断器)	0.700	0.010	0.050	0.750	22.74	0.760	23.04		25.13
	4-3A 母線に接続される遮断器 (4-3HA,4-3E1A,4-3E2A,4-3AEG を除く)	4-3HA	0.200	0.025	0.100	0.300	12.18	0.325	13.19	33.64		2
		4-3E1A	0.200	0.025	0.100	0.300	15.58	0.325	16.88	43.05		2
		4-3E2A	0.200	0.025	0.100	0.300	8.88	0.325	9.62	24.53		2
	4-3HB (4-3BM/C 受電遮断器(3HT r 側))	130	0.490	—	0.050	0.540	22.77	0.540	22.77	34.96		5
		G30	0.490	—	0.094	0.584	24.63	0.584	24.63	34.96		5
	4-3E1B (4-3BM/C 受電遮断器(No.1ET r 側))	E10	0.400	—	0.066	0.466	23.95	0.466	23.95	42.61		5
	4-3E2B (4-3BM/C 受電遮断器(No.2ET r 側))	E20	0.700	0.010	0.050	0.750	22.74	0.760	23.04	25.13		6
	4-3B 母線に接続される遮断器 (4-3HB,4-3E1B,4-3E2B,4-3BEG を除く)	4-3HB	0.200	0.025	0.100	0.300	12.65	0.325	13.71	34.96		2
		4-3E1B	0.200	0.025	0.100	0.300	15.42	0.325	16.71	42.61		2
4-3E2B		0.200	0.025	0.100	0.300	9.10	0.325	9.85	25.13	2		
パワーセンタ	3-3A1 (3-3A1 P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	4-3A1H	1.200	0.084	0.084	1.284	15.63	1.368	16.66	28.96	0.467	1
	3-3A1 母線に接続される遮断器 (3-3A1 を除く)	3-3A1	0.400	0.025	0.066	0.466	5.68	0.491	5.98	28.96		2
	3-3A2 (3-3A2 P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	4-3A2H	1.180	0.083	0.084	1.264	15.67	1.347	16.70	29.49		1

※ 工認申請には、本内容を記載

表 6.2 各電気盤のアーカ放電遮断時間及びアーカエネルギーの一覧 (大飯 3 号機) (2/3)

アーカ放電発生箇所		アーカ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)	アーカ電圧(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) ※	アーカエネルギー(MJ) ※	①+②+③遮断時間(sec)	アーカエネルギー(MJ)			
パワーセンタ	3-3A2 母線に接続される遮断器 (3-3A2 を除く)	3-3A2	0.400	0.025	0.066	0.466	5.86	0.491	6.17	29.87	0.467	2
	3-3B1 (3-3B1 P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	4-3B1H	1.200	0.084	0.084	1.284	15.62	1.368	16.64	28.94		1
	3-3B1 母線に接続される遮断器 (3-3B1 を除く)	3-3B1	0.400	0.025	0.066	0.466	5.67	0.491	5.98	28.94		2
	3-3B2 (3-3B2 P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	4-3B2H	1.160	0.082	0.084	1.244	15.62	1.326	16.65	29.87		1
	3-3B2 母線に接続される遮断器 (3-3B2 を除く)	3-3B2	0.400	0.025	0.066	0.466	5.86	0.491	6.17	29.87		2
コントロールセンタ	3A1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3A1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	3A1 原子炉 C/C 受電遮断器	0.180	—	0.020	0.200	3.02	0.200	3.02	24.85	0.675	8
	3A2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3A2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	3A2 原子炉 C/C 受電遮断器	0.180	—	0.020	0.200	3.47	0.200	3.47	28.48		8
	3B1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3B1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	3B1 原子炉 C/C 受電遮断器	0.180	—	0.020	0.200	3.04	0.200	3.04	24.94		8
	3B2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3B2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	3B2 原子炉 C/C 受電遮断器	0.180	—	0.020	0.200	3.40	0.200	3.40	27.93		8

※ 工認申請には、本内容を記載

表 6.2 各電気盤のアーカ放電遮断時間及びアーカエネルギーの一覧（大飯 3 号機）（3/3）

（非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤）

アーカ放電発生箇所		アーカ放電を遮断するために開放する遮断器等	①保護継電器の動作時間 (sec)	②誤差 (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)	アーカ電圧(kV)	考慮している誤差パターン
機器名称	遮断器名称				③継電器動作後の電流供給停止までの時間 (sec)	①+③遮断時間 (sec) *1	アーカエネルギー (MJ) *1	③'継電器動作後の電流供給停止までの時間 (sec)	①+②+③'遮断時間 (sec)	アーカエネルギー(MJ)			
メタルクラッド開閉装置	4-3AEG (非常用ディーゼル発電機受電遮断器)	3A 非常用ディーゼル発電機停止	0.200	0.025	5.318	5.518	6.93	5.703	5.928	8.88	5.3	1.33	2
	4-3A 母線に接続される遮断器 (4-3AEG を除く)	4-3AEG	0.200	0.025	0.140*2	0.340	2.69	0.184	0.409	3.04			
	4-3BEG (非常用ディーゼル発電機受電遮断器)	3B 非常用ディーゼル発電機停止	0.200	0.025	5.318	5.518	6.93	5.703	5.928	8.88			
	4-3B 母線に接続される遮断器 (4-3BEG を除く)	4-3BEG	0.200	0.025	0.140*2	0.340	2.69	0.184	0.409	3.04			

※ 1：工認申請には、本内容を記載

※ 2：非常用ディーゼル発電機受電遮断器が開放するまでの時間

(2) 火災感知設備及び消火設備の配置

a. HEAF による火災影響の範囲

火災感知設備及び消火設備（以下、「火災感知設備等」という。）について、HEAF による火災影響の範囲（Zone of Influence. 以下、「ZOI」という。）を HEAF 試験により確認した。

(a) HEAF 試験による評価対象設備の選定

HEAF 試験にあたって、図 6.2 に示すフローを用いて HEAF による火災の影響評価が必要な設備（以下、「評価対象設備」という。）の選定を行った。評価対象設備を抽出した結果、火災感知器が評価対象設備として選定された。（表 6.3、図 6.3 参照）

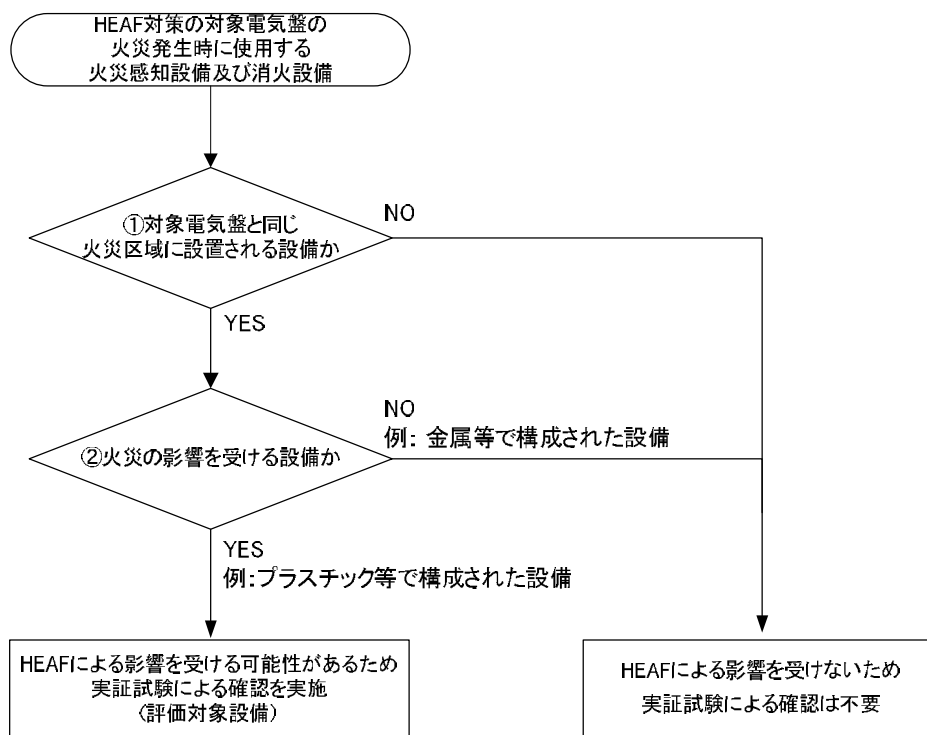


図 6.2 評価対象設備の選定フロー

表 6.3 評価対象設備の選定結果

HEAF 対策の対象電気盤の火災発生時に使用する 火災感知設備及び消火設備		①対象電気盤と同じ火災区域に設置 される設備か 〔 ○ : YES × : NO 〕	②火災の影響を受 ける設備か 〔 ○ : YES × : NO 〕	評価対象 設備 〔 ○ : 対象 × : 対象外 〕
火災感知 設備	火災感知器	○	○	○
	火災受信機盤	×	—	×
消火設備	火災感知器	○	○	○
	ハロンボンベ	×	—	×
	選択弁	×	—	×
	容器弁	×	—	×
	制御盤	×	—	×
	ガス供給配管	○	×	×

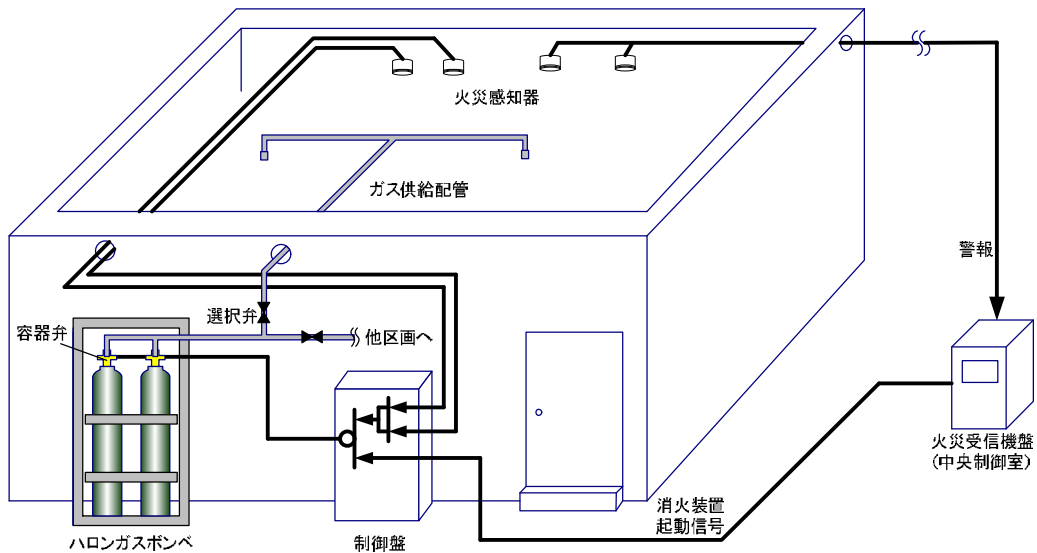


図 6.3 火災感知設備及び消火設備のシステム構成概要図

(b) 評価方法

NUREG/CR-6850 (火災 PRA 評価手法)・付属書 M (以下、「NUREG」という。)において、HEAF による ZOI は、電気盤の上方 1.5m としていることから、HEAF 試験においては、電気盤の上方 1.5m に火災感知器を設置し、HEAF 発生後に機能喪失しないことを確認する。なお、NUREG においては、水平方向の ZOI は 0.9m と規定されているが、火災感知器は電気盤の水平方向に設置されないことから、鉛直方向のみの ZOI の確認を行った。

(c) 評価結果

HEAF 試験において、M/C、P/C、C/C ともに、HEAF 発生後も火災感知器の機能喪失はなかった。このため、NUREG で示された ZOI (鉛直方向) を適用する。

b. 火災感知設備等の配置の確認

HEAF 発生防止対策を実施する電気盤は、火災防護審査基準に基づき、火災防護対策を実施する機器として選定し、火災区域を設定して火災防護対策を実施している。

HEAF 発生防止対策を実施する電気盤の火災感知設備及び消火設備について、「審査ガイド」に基づき、HEAF が発生した場合を配慮して配置されていることを確認する。

なお、火災が発生した場合の影響を考慮しても、多重化されたそれぞれの系統が同時に機能を失うことなく、原子炉を高温停止及び低温停止できる設計としている。

「a. HEAF による火災影響の範囲」の評価結果に基づき、火災感知器が NUREG に示された図 6.4 の ZOI の範囲内に設置されていないことを確認する。

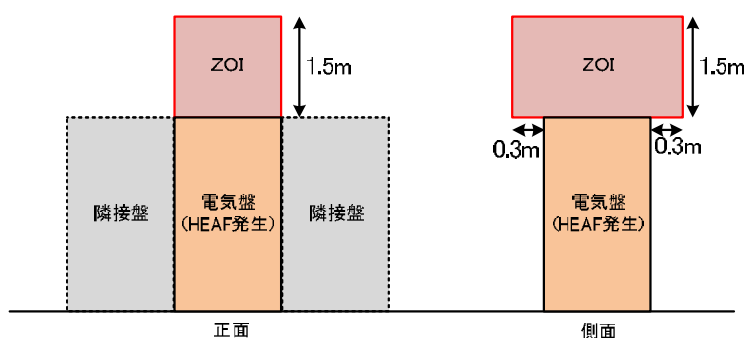


図 6.4 火災感知器に対する HEAF の ZOI

c. 確認結果

確認の結果、HEAF 対策の対象電気盤の ZOI 範囲内に火災感知器はないことから、火災感知設備等は、HEAF を配慮して配置されている。確認の結果について、添付資料-2 に示す。