

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-012 改 02
提出年月日	2022年3月7日

工事計画に係る補足説明資料

(その他発電用原子炉の附属施設のうち非常用電源設備)

2022年3月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

添付書類の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

資料 No.	添付書類名	補足説明資料（内容）	備考
1	非常用発電装置の出力の決定に関する説明書	非常用発電装置の供給負荷について	
2		発電用火力設備に関する技術基準を定める省令及び原子力発電工作物に係る電気設備に関する技術基準を定める命令の各条文に対する個別設備の逐条評価について	
3		非常用ディーゼル発電機の出力の決定に関する説明について	
4		可搬型重大事故等対処設備のうち一部常設箇所を有する設備に関する説明について（緊急時対策所用発電機関係）	
5		技術的能力の各手順におけるガスタービン発電機からの給電を期待する負荷の整理について	
6		高エネルギーアーク損傷（HEAF）対策に係る電気盤の設計について	今回提出

別紙 工認添付書類と設置許可まとめ資料との関係

工認添付書類と設置許可まとめ資料との関係

(工事計画に係る説明資料 (その他発電用原子炉の附属施設のうち非常用電源設備))

工認添付資料	設置許可まとめ資料			引用内容
非常用発電装置 の出力の決定に 関する説明書	有効性 評価	添付資料 2.3.1.8	2.3.1.8 常設代替交流電源設備 の負荷 (全交流動力電源喪失 (長 期TB))	資料の一部を引用
	SA	57-9	1.1 重大事故等対処設備による 代替電源 (交流) の供給	資料の一部を引用

高エネルギーアーク損傷（HEAF）対策に係る
電気盤の設計について

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
3. 技術基準規則への適合が必要な電気盤	3
4. アーク放電を発生させる試験	13
4.1 電気盤の選定	13
4.1.1 同等性に影響を与えるおそれのあるパラメータについて	18
4.1.2 まとめ	24
4.2 短絡電流の目標値	35
4.3 HEAF 試験に用いる電気回路	37
4.4 測定項目	39
4.5 アーク放電の発生方法	45
4.6 アーク放電の継続時間	49
4.7 HEAF 試験の実施	52
4.8 アークエネルギーの計算	55
5. アーク火災発生の評価	56
5.1 アーク火災発生の評価の概要	56
5.2 評価に用いる必要なデータ	56
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	57
5.4 しきい値に係る解析による評価	60
6. HEAF に係る対策の判断基準	61

添付資料 1：同等性に影響を与えるおそ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：非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機保護ロジック
へのインターロック追加に関わる既存設備への影響について

添付資料 4：HEAF 対策として追加設置するインターロックの試験・検査方法について

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（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第 5 号）」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。）について、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第 6 号）」（以下「技術基準規則」という。）に基づき、遮断器の遮断時間の適切な設定及び非常用ディーゼル発電機（以下「D/G」という。）の停止により、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。

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（平成 29 年 7 月 19 日原規技発第 1707196 号）」（以下「審査ガイド」という。）に基づき、上流の遮断器等によりアーク放電を遮断することとし、アーク放電の遮断時間を適切に設定するなどの対策を行う。

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

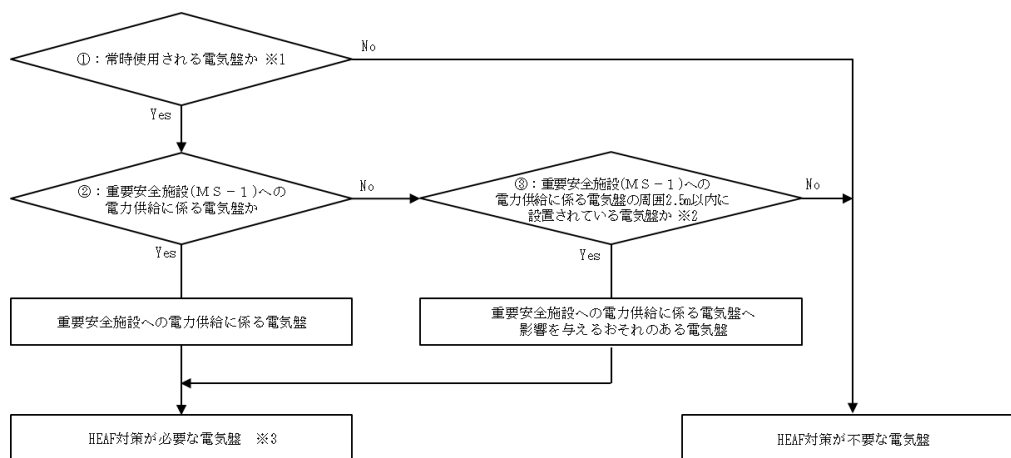
HEAF 対策が必要な電気盤は、技術基準規則の解釈第 45 条第 4 項にて「重要安全施設への電力供給に係る電気盤及び当該電気盤に影響を与えるおそれのある電気盤」と定められている。

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（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第 5 号）」第 12 条第 6 項に記載され、「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（平成 25 年 6 月 19 日原規技発第 1306193 号）」第 12 条第 11 項において重要度分類 MS-1 に分類される下記の機能を有する構築物等が対象と定義されている。

- ・ 原子炉の緊急停止機能
- ・ 未臨界維持機能
- ・ 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能
- ・ 原子炉停止後の除熱機能
- ・ 炉心冷却機能
- ・ 放射性物質の閉じ込め機能並びに放射線の遮蔽及び放出低減機能
- ・ 工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能
- ・ 安全上特に重要な関連機能

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、その結果を表 3-1 に示す。図 3-2 に電気盤系統図における HEAF 対策が必要な電気盤を示す。

また、HEAF 対策の具体的な対策内容を表 3-2 に示し、その系統図を図 3-3 に示す。



※1 電線路、主発電機又は非常用電源設備から電気が供給されている電気盤をいう。
 ※2 審査ガイドによる。
 ※3 短絡等が発生した場合、非常に短時間（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、適切に遮断されていると判断し、HEAF対策が出来ているものとする（審査ガイドによる）。

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フロー結果

【凡例】○：対象 ×：対象外

島根原子力発電所第2号機 電気盤*1	①：常時使用される電気盤か*2	②：重要安全施設 (MS-1) への電力供給に係る電気盤か	③：重要安全施設 (MS-1) への電力供給に係る電気盤の周囲 2.5m 以内に設置されている電気盤か*3	HEAF 対策が必要な電気盤
非常用高圧母線 (メタルクラッド開閉装置) (2C-M/C, 2D-M/C, 2HPCS-M/C)	○	○		○
非常用低圧母線 (ロードセンタ) (2C-L/C, 2D-L/C)	○	○		○
非常用低圧母線 (コントロールセンタ) (2C1-R/B-C/C, 2C2-R/B-C/C, 2C3-R/B-C/C, 2A-D/G-C/C, 2A-計装-C/C, 2D1-R/B-C/C, 2D2-R/B-C/C, 2D3-R/B-C/C, 2B-D/G-C/C, 2B-計装-C/C, 2HPCS-C/C)	○	○		○
非常用低圧母線 (コントロールセンタ) (2S-R/B-C/C)	○	×	○ (2C2-R/B-C/C との盤間距離 1.6m のため*5)	○
非常用低圧母線 (コントロールセンタ) (2C-T/B-C/C, 2D-T/B-C/C, 2S-T/B-C/C)	○	×	×	×
常用高圧母線 (メタルクラッド開閉装置), 常用低圧母線 (ロードセンタ, コントロールセンタ)	○	×	×	×
SA 用高圧母線 (メタルクラッド開閉装置), SA 用低圧母線 (ロードセンタ, コントロールセンタ) (緊急用 M/C, 2SA-L/C, 2SA1-C/C, 2SA2-C/C)	○	×	×	×

注記*1：電気盤は高圧電源盤 (メタルクラッド開閉装置をいう。) 及び低圧電源盤 (ロードセンタ及びコントロールセンタをいう。) をいう (審査ガイドによる)。

*2：電線路, 主発電機又は非常用電源設備から電気が供給されている電気盤をいう。

*3：審査ガイドによる。

*4：重要安全施設 (MS-1) への電力供給に係る電気盤と 2.5m 以上離れた別区画に設置している。

*5：2S-R/B-C/C と 2C2-R/B-C/C の盤配置については添付資料2 図1 (2/9) 参照。

表 3-2 HEAF 対策が必要な電気盤の抽出結果 (1/5)

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
	電気盤名称	遮断器名称	
非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機からの給電時以外	2C-M/C	2C-M/C-2B* ¹ (2C-M/C 受電遮断器)	2A-M/C-2B* ¹ (2A-M/C 受電遮断器(予備変圧器))
			2A-M/C-4B* ¹ (2A-M/C 受電遮断器(起動変圧器))
			2A-M/C-5B* ¹ (2A-M/C 受電遮断器(所内変圧器))
	メタルクラッド開閉装置(非常用)	2C-M/C に接続される遮断器* ¹ (2C-M/C-2B(2C-M/C 受電遮断器), 2C-M/C-8B(2A-D/G 受電遮断器)を除く)	2C-M/C-2B* ¹ (2C-M/C 受電遮断器)
			2D-M/C-2B* ¹ (2D-M/C 受電遮断器)
			2D-M/C-4B* ¹ (2D-M/C 受電遮断器(所内変圧器))
2D-M/C	2D-M/C に接続される遮断器* ¹ (2D-M/C-2B(2D-M/C 受電遮断器), 2D-M/C-8B(2B-D/G 受電遮断器)を除く)	2D-M/C-2B* ¹ (2D-M/C 受電遮断器)	

注記*1：遮断器の種類は真空遮断器である。

表 3-2 HEAF 対策が必要な電気盤の抽出結果 (2/5)

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
	電気盤名称	遮断器名称	
非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機からの給電時以外	メタルクラッド開閉装置 (高圧炉心スプレイ系用)	2HPCS-M/C-2B*1 (2HPCS-M/C 受電遮断器)	2A-M/C-2B*1 (2A-M/C 受電遮断器(予備変圧器))
			2A-M/C-4B*1 (2A-M/C 受電遮断器(起動変圧器))
			2A-M/C-5B*1 (2A-M/C 受電遮断器(所内変圧器))
		2HPCS-M/C	2HPCS-M/C に接続される遮断器*1 (2HPCS-M/C-2B (2HPCS-M/C 受電遮断器), 2HPCS-M/C-4B (2HPCS-D/G 受電遮断器)を除く)

注記*1：遮断器の種類は真空遮断器である。

表 3-2 HEAF 対策が必要な電気盤の抽出結果 (3/5)

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
	電気盤名称	遮断器名称	
非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機からの給電時以外	ロードセンタ (非常用)	2C-L/C-3B* ² (2C-L/C 受電遮断器)	2C-M/C-8A* ¹ (2C-動力変圧器遮断器)
		2C-L/C に接続される遮断器* ² (2C-L/C-3B(2C-L/C 受電遮断器)を除く)	2C-L/C-3B* ² (2C-L/C 受電遮断器)
	2D-L/C	2D-L/C-3B* ² (2D-L/C 受電遮断器)	2D-M/C-8A* ¹ (2D-動力変圧器遮断器)
		2D-L/C に接続される遮断器* ² (2D-L/C-3B(2D-L/C 受電遮断器)を除く)	2D-L/C-3B* ² (2D-L/C 受電遮断器)

注記*1：遮断器の種類は真空遮断器である。

*2：遮断器の種類は気中遮断器である。

表 3-2 HEAF 対策が必要な電気盤の抽出結果 (4/5)

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	
	電気盤名称	遮断器名称		
非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機からの給電時以外	コントロールセンタ (非常用)	C 系-C/C	2C1-R/B-C/C に接続される遮断器*3	2C-L/C-5A*2 (2C1-R/B-C/C 遮断器)
			2C2-R/B-C/C に接続される遮断器*3	2C-L/C-5B*2 (2C2-R/B-C/C 遮断器)
			2C3-R/B-C/C に接続される遮断器*3	2C-L/C-5C*2 (2C3-R/B-C/C 遮断器)
			2A-D/G-C/C に接続される遮断器*3	2C-L/C-10B*2 (2A-D/G-C/C 遮断器)
			2A-計装-C/C に接続される遮断器*3	2C-L/C-10A*2 (2A-計装-C/C 遮断器)
		D 系-C/C	2D1-R/B-C/C に接続される遮断器*3	2D-L/C-5A*2 (2D1-R/B-C/C 遮断器)
			2D2-R/B-C/C に接続される遮断器*3	2D-L/C-5B*2 (2D2-R/B-C/C 遮断器)
			2D3-R/B-C/C に接続される遮断器*3	2D-L/C-5C*2 (2D3-R/B-C/C 遮断器)
			2B-D/G-C/C に接続される遮断器*3	2D-L/C-9B*2 (2B-D/G-C/C 遮断器)
			2B-計装-C/C に接続される遮断器*3	2D-L/C-9A*2 (2B-計装-C/C 遮断器)
	その他-C/C	2S-R/B-C/C に接続される遮断器*3	2C-L/C-7A*2 (2S-R/B-C/C (常用) 遮断器)	
			2D-L/C-7A*2 (2S-R/B-C/C (非常用) 遮断器)	
	(高圧炉心スプレイ系用)	HPCS 系-C/C	2HPCS-C/C に接続される遮断器*3	2HPCS-M/C-3A*1 (2HPCS-動力変圧器遮断器)

注記*1：遮断器の種類は真空遮断器である。

*2：遮断器の種類は気中遮断器である。

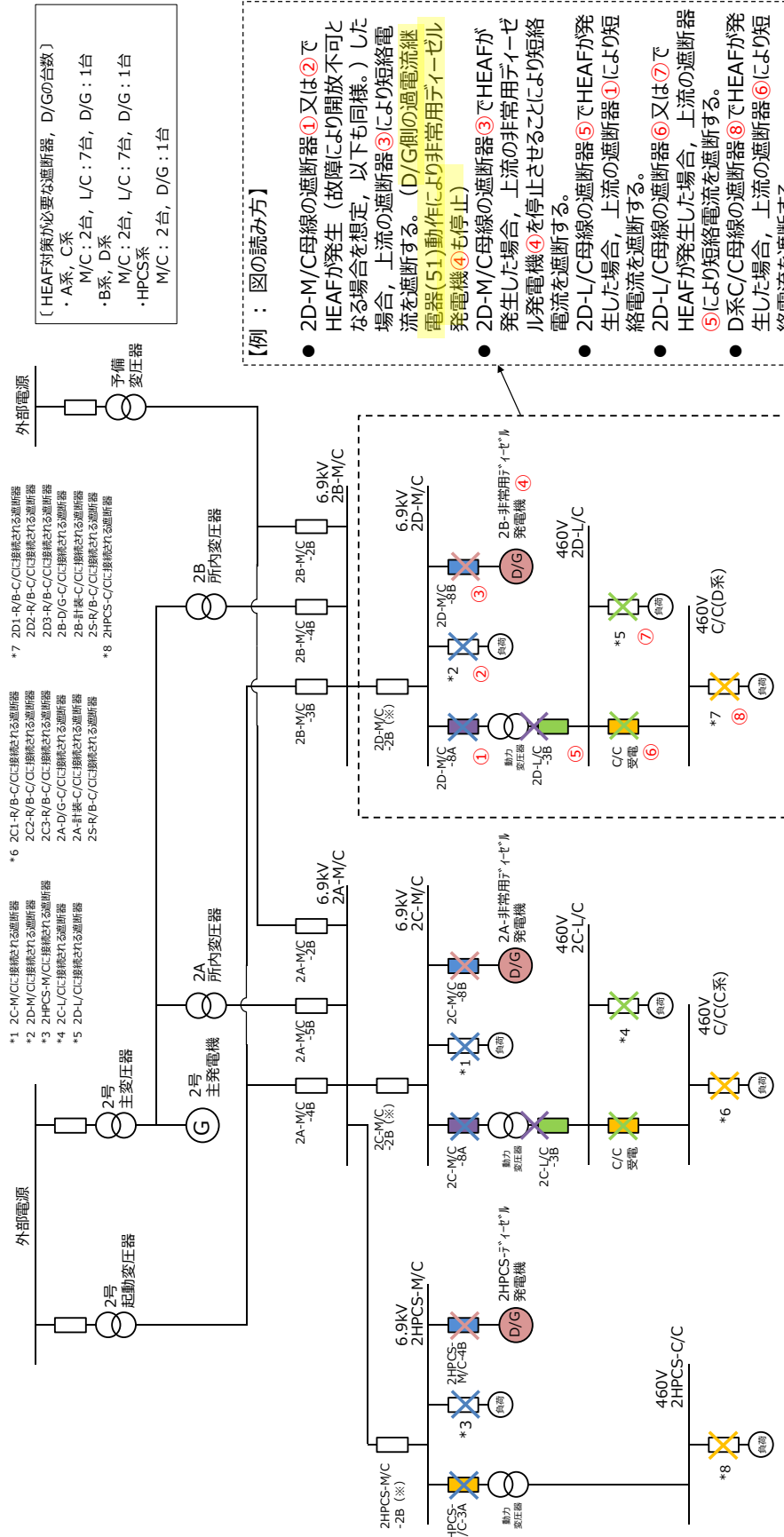
*3：遮断器の種類は配線用遮断器である。

表 3-2 HEAF 対策が必要な電気盤の抽出結果 (5/5)

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	
	電気盤名称	遮断器名称		
非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系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 (非常用)	2C-M/C	2C-M/C-8B* ¹ (2A-D/G 受電遮断器)	— * ²
			2C-M/C に接続される遮断器* ¹ (2C-M/C-8B (2A-D/G 受電遮断器) を除く)	2C-M/C-8B* ¹ (2A-D/G 受電遮断器)
		2D-M/C	2D-M/C-8B* ¹ (2B-D/G 受電遮断器)	— * ²
			2D-M/C に接続される遮断器* ¹ (2D-M/C-8B (2B-D/G 受電遮断器) を除く)	2D-M/C-8B* ¹ (2B-D/G 受電遮断器)
	(高圧炉心スプレイ系用) メタルクラッド開閉装置	2HPCS-M/C	2HPCS-M/C-4B* ¹ (2HPCS-D/G 受電遮断器)	— * ²
			2HPCS-M/C に接続される遮断器* ¹ (2HPCS-M/C-4B (2HPCS-D/G 受電遮断器) を除く)	2HPCS-M/C-4B* ¹ (2HPCS-D/G 受電遮断器)

注記*1：遮断器の種類は真空遮断器である。

*2：メタルクラッド開閉装置におけるアーク放電を遮断するため、非常用ディーゼル発電機又は高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を停止する。



【HEAF対策が必要な遮断器，D/Gの台数】

- ・A系，C系
M/C：2台，L/C：7台，D/G：1台
- ・B系，D系
M/C：2台，L/C：7台，D/G：1台
- ・HPCS系
M/C：2台，D/G：1台

【例：図の読み方】

- 2D-M/C母線の遮断器①又は②でHEAFが発生（故障により開放不可）なる場合を想定，以下も同様。）した場合，上流の遮断器③により短絡電流を遮断する。（D/G側の過電流継電器（51）動作により非常用ディーゼル発電機④も停止）
- 2D-M/C母線の遮断器③でHEAFが発生した場合，上流の非常用ディーゼル発電機④を停止させることにより短絡電流を遮断する。
- 2D-L/C母線の遮断器⑤でHEAFが発生した場合，上流の遮断器①により短絡電流を遮断する。
- 2D-L/C母線の遮断器⑥又は⑦でHEAFが発生した場合，上流の遮断器⑤により短絡電流を遮断する。
- D系C/C母線の遮断器⑧でHEAFが発生した場合，上流の遮断器⑥により短絡電流を遮断する。

「×」はアーク放電箇所を示し，塗りつぶした遮断器は，同色のアーク放電箇所へ流入込む短絡電流を遮断するために開放する遮断器（D/G受電遮断器はD/G停止により短絡電流を遮断）
※ D/G給電時には，当該遮断器は開放状態のため評価対象外

凡例
M/C：メタリックラッド開閉装置
L/C：ロードセンタ
C/C：コントロールセンタ
D/G：非常用ディーゼル発電機又は高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機

図 3-3 HEAF 対策が必要な電気盤系統図 (2/2)
(非常用ディーゼル発電機又は高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機からの給電時)

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，ロードセンタ及びコントロールセンタ（以下それぞれ「M/C」，「L/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又は高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機（以下「D/G」という。）に接続される電気盤については「M/C(D/G)」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。

M/C と M/C(D/G)のそれぞれの短絡電流領域によるアーク火災のアークエネルギーのしきい値を求めるため，M/C の HEAF 試験では，アーク放電が発生した直後の高電流・短時間電流領域の短絡電流のアーク火災を確認し，M/C(D/G)の HEAF 試験では，アーク放電が発生した際の低電流・長時間電流領域の短絡電流によるアーク火災を確認した。

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、高圧電源盤及び低圧電源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源盤及び低圧電源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（表 4-1-1 参照）。

なお，M/C(D/G)試験と M/C(D/G)以外の試験（以下「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及び実機の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及び実機の電気盤のスペック		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 2.7m(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	
実機 (参考)		遮断方式	VCB (真空遮断器)	
		系統	定格電圧：7.2kV 定格周波数：60Hz 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 2.7m	

表 4-1-1 試験で用いた電気盤及び実機の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及び実機の電気盤のスペック		電気盤の概況
L/C	試験体 ③	遮断方式	ACB (気中遮断器)	
		系統	定格電圧：AC480V 定格周波数：50Hz 定格短絡時間電流：50kA/1 秒	
		概略寸法	高さ 2.6m (含上部ダクト 0.3m) ×幅 0.65m×奥行き 1.8m	
L/C	試験体 ④	遮断方式	ACB (気中遮断器)	
		系統	定格電圧：AC480V 定格周波数：50Hz 定格短絡時間電流：50kA/0.5 秒	
		概略寸法	【受電盤】高さ 2.3m×幅 0.8m ×奥行き 2.0m 【フィーダ盤】高さ 2.3m×幅 0.6m×奥行き 2.0m	
L/C	試験体 ⑤	遮断方式	ACB (気中遮断器)	
		系統	定格電圧：AC420V 定格周波数：50Hz 定格短絡時間電流：40kA/1 秒	
		概略寸法	【受電盤】高さ 2.3m×幅 0.8m ×奥行き 2.2m 【フィーダ盤】高さ 2.3m×幅 0.7m×奥行き 2.2m	
L/C	実機 (参考)	遮断方式	ACB (気中遮断器)	
		系統	定格電圧：AC460V 定格周波数：60Hz 定格短絡時間電流：50kA/1 秒	
		概略寸法	高さ 2.5m×幅 0.8m×奥行き 2.1m	

表 4-1-1 試験で用いた電気盤及び実機の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及び実機の電気盤のスペック		電気盤の概況
C/C	試験体 ⑥	遮断方式	MCCB (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 0.6m×奥行き 0.6m	
	実機 (参考)	遮断方式	MCCB (配線用遮断器)	
		系統	定格使用電圧：AC460V 定格周波数：60Hz 定格遮断電流：15kA, 50kA	
		概略寸法	高さ 2.5m×幅 0.6m×奥行き 0.7m	

表 4-1-1 試験で用いた電気盤及び実機の電気盤のスペック一覧表 (4/4)

種類	電気盤	試験で用いた電気盤及び実機の電気盤のスペック		電気盤の概況
M/C (D/G)	試験体 ⑦	遮断方式	VCB (真空遮断器)	
		系統	定格電圧：6.9kV 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)	
	実機 (参考)	遮断方式	VCB (真空遮断器)	
		系統	定格電圧：7.2kV 定格周波数：60Hz 定格短時間電流：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 2.7m	

4.1.1 同等性に影響を与えるおそ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，②高温ガスの滞留場所及び③可燃物に対する電気盤選定の同等性について検証する。

なお，同等性の検証にあたっては，「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」にて設定したしきい値以上のアークエネルギーで，アーク火災が発生しなかった試験体（M/C：試験体②，L/C：試験体⑤，C/C：試験体⑥，M/C(D/G)：試験体⑦）を代表として比較・評価を行う。

表 4-1-2 同等性に影響を与えるおそ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>また，M/C(D/G)試験に用いる電気盤は，M/C試験で用いた電気盤と同等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(D/G)試験と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>なお，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(D/G)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。</p> <p>詳細は，添付資料 1 参照。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・M/C(D/G)試験：ピーク圧力 2.98kPa ・M/C試験：ピーク圧力 62.5kPa <p>さらに，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ため，電気盤選定の同等性に影響を与えるおそれはない。</p>

<p>②高温ガスの滞留場所</p>	<p>有</p>	<p>HEAF 試験時は審査ガイド 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アーク放電を発生させるため、発生した高温ガスは遮断器付近に滞留し易くなる。</p> <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、盤の構造等の差異により電気盤選定の同等性に影響を与えるおそれがある。なお、M/C(D/G)試験に用いた電気盤は、M/C 試験で用いた電気盤と同様の構造である。</p>
<p>③可燃物</p>	<p>有</p>	<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おそれがある。</p> <p>なお、M/C(D/G)試験に用いた電気盤は、M/C 試験で用いた電気盤と同様の構造である。</p>
<p>④アークエネルギー</p>	<p>無</p>	<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与えるおそれはない。</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、母線及び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形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4-1-12に示すとおり、実機及び試験体の盤構造は、遮断器、母線及び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(D/G)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における実機及び試験体の電気盤との比較・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 	実機及び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	実機及び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、通常運転、保守点検作業及び主回路の無電圧確認が安全にできるように設計しなければならない。（以下略）	実機及び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 J E C - 2 3 0 0における実機及び試験体の電気盤との比較・評価

J E C - 2 3 0 0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・・・	実機及び試験体の電気盤 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)	実機及び試験体の電気盤 ともに, 本要求に基づき設 計された構造となってい る。

b. L/C

実機の盤については, J E M - 1 2 6 5 (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, 定格絶縁電圧は, 「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, J E C - 1 6 0 (電気学会 電気規格調査会標準規格 気中しゃ断器) 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, J E M - 1 2 6 5 及び J E C - 1 6 0 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 4-1-12 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 J E M - 1 2 6 5における実機及び試験体の電気盤との比較・評価

J E M - 1 2 6 5の主要な項目		比較・評価
5. 定格	定格絶縁電圧 250V, 500V, 600V	実機及び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なければ ならない。	実機及び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)	実機及び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 J E C - 1 6 0 における実機及び試験体の電気盤との比較・評価

J E C - 1 6 0 の主要な項目		比較・評価
4. 定格	定格絶縁電圧 600V	実機及び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、J E M - 1 1 9 5 (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、J E M - 1 1 9 5 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、J E M - 1 1 9 5 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 4-1-12 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 J E M - 1 1 9 5 における実機及び試験体の電気盤との比較・評価

J E M - 1 1 9 5 の主要な項目		比較・評価
5. 定格	定格絶縁電圧 250V, 600V	実機及び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)	実機及び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。当該箇所に使用される絶縁物の材料の耐熱温度が、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 4-1-11 参照)

具体的には、M/C 及び M/C(D/G)については、実機と同じ絶縁物の材料を使用している電気盤を採用し、L/C 及び C/C については、実機と同じ絶縁物の材料及び、保守的に、実機より耐熱温度の低い絶縁物の材料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。

表 4-1-8 M/C における実機及び試験体の絶縁物の材料の比較・評価

M/C の絶縁物の材料		比較・評価
試験体	エポキシ樹脂 (耐熱温度: 150~200℃) ・ブッシング	実機及び試験体ともに、絶縁物は、エポキシ樹脂が使用されている。
実機	エポキシ樹脂 (耐熱温度: 150~200℃) ・モールドフレーム (実機①) ・ブッシング (実機①) ・支持サポート (実機①)	

表 4-1-9 L/C における実機及び試験体の絶縁物の材料の比較・評価

L/C の絶縁物の材料		比較・評価
試験体	フェノール樹脂 (耐熱温度: 150℃) ・支持サポート	試験体の絶縁物は、耐熱温度 150℃の材料であり、実機の絶縁物は、試験体と同等以上の耐熱温度 150℃及び 150~200℃の材料が使用されている。
実機	エポキシ樹脂 (耐熱温度: 150~200℃) ・支持サポート (実機①) フェノール樹脂 (耐熱温度: 150℃) ・支持サポート (実機②, ③)	

表 4-1-10 C/C における実機及び試験体の絶縁物の材料の比較・評価

C/C の絶縁物の材料		比較・評価
試験体	変性ポリフェニレンエーテル (耐熱温度: 90~105℃) ・母線絶縁カバー	試験体の絶縁物は、耐熱温度 90~105℃の材料であり、実機の絶縁物は、試験体と同等以上の耐熱温度 120~130℃の材料が使用されている。
実機	ポリカーボネイト (耐熱温度: 120~130℃) ・母線絶縁カバー (実機①)	

表 4-1-11 M/C(D/G) における実機及び試験体の絶縁物の材料の比較・評価

M/C(D/G) の絶縁物の材料		比較・評価
試験体	不飽和ポリエステル樹脂 (耐熱温度: 130~150℃) ・モールドフレーム	試験体の絶縁物は、耐熱温度 130~150℃の材料であり、実機の絶縁物は、試験体と同等以上の耐熱温度 150~200℃の材料が使用されている。
実機	エポキシ樹脂 (耐熱温度: 150~200℃) ・モールドフレーム (実機①) ・ブッシング (実機①) ・支持サポート (実機①)	

4.1.2 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及び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及び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。

電気盤構造を分類した結果について、以下の表に示す。

表 4-1-12 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 (1/5)

種類	電気盤	盤構造*
M/C	試験体 ②	
	実機①	

*盤を側面から見た図

表 4-1-12 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 (2/5)

種類	電気盤	盤構造*
L/C	試験体 ⑤	

*盤を側面から見た図

表 4-1-12 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 (3/5)

種類	電気盤	盤構造*
L/C	実機①	
	実機②	

*盤を側面から見た図

表 4-1-12 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 (4/5)

種類	電気盤	盤構造*
C/C	試験体 ⑥	
	実機①	

*盤を側面から見た図

表 4-1-12 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 (5/5)

種類	電気盤	盤構造*
M/C (D/G)	試験体 ⑦	
	実機①	

*盤を側面から見た図

表 4-1-13 実機及び試験体の可燃物に対する同等性 (1/5)

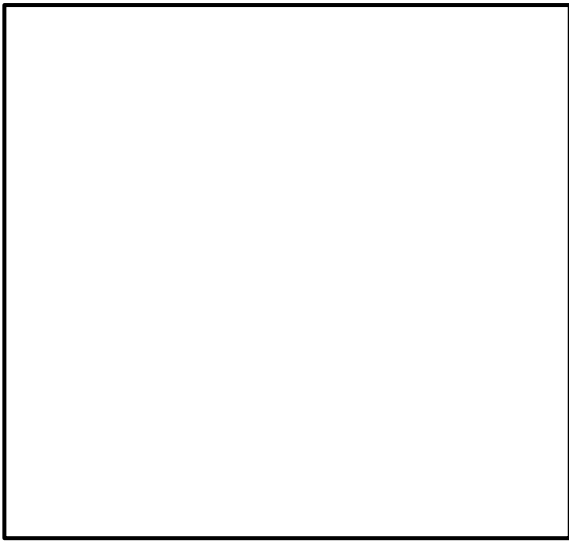
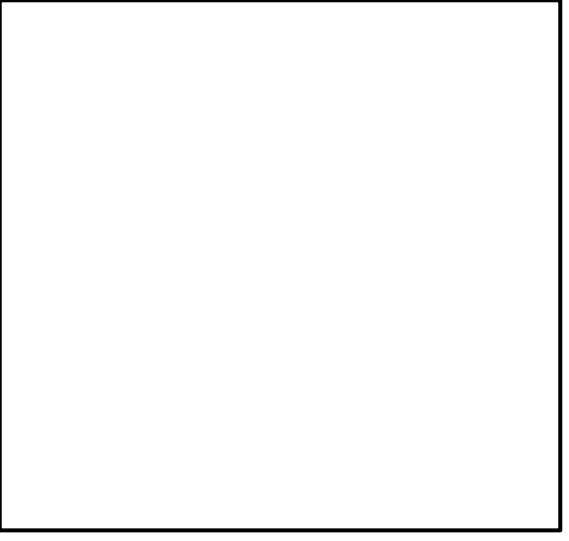
種類	遮断器	遮断器に使用されている 主な絶縁物	外形図
M/C	試験体 ②	エポキシ樹脂 (耐熱温度: 150~200℃) ・ブッシング	
	実機①	エポキシ樹脂 (耐熱温度: 150~200℃) ・モールドフレーム ・ブッシング ・支持サポート	

表 4-1-13 実機及び試験体の可燃物に対する同等性 (2/5)

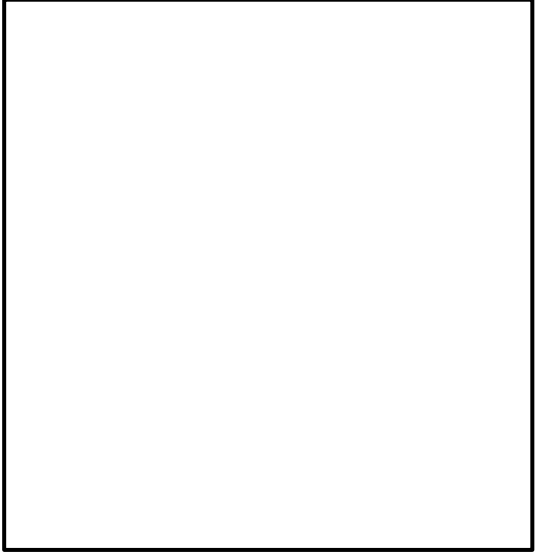
種類	遮断器	遮断器に使用されている 主な絶縁物	外形図
L/C	試験体 ⑤	フェノール樹脂 (耐熱温度：150℃) ・支持サポート	

表 4-1-13 実機及び試験体の可燃物に対する同等性 (3/5)

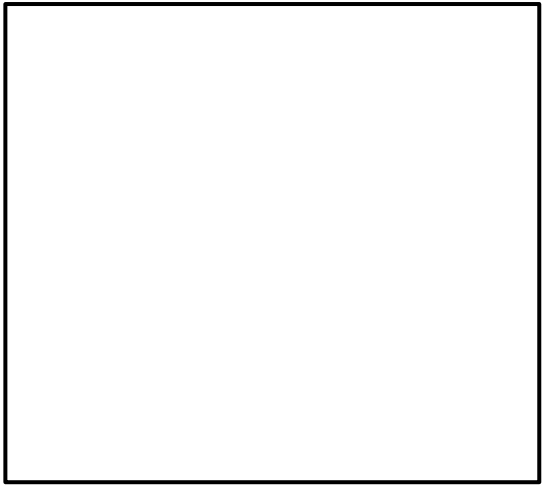
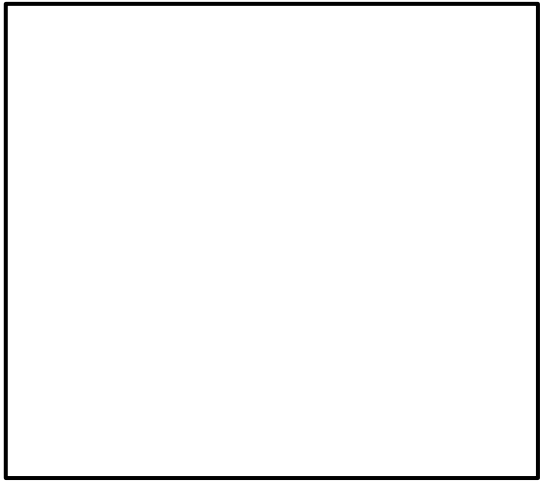
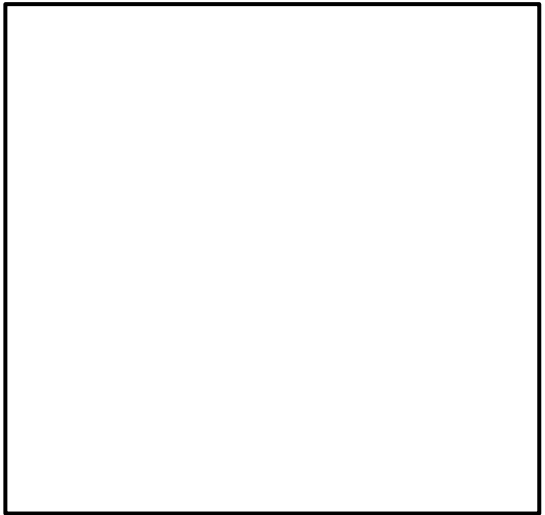
種類	遮断器	遮断器に使用されている 主な絶縁物	外形図
L/C	実機①	エポキシ樹脂 (耐熱温度:150~200℃) ・支持サポート	
	実機②	フェノール樹脂 (耐熱温度:150℃) ・支持サポート	
	実機③	フェノール樹脂 (耐熱温度:150℃) ・支持サポート	

表 4-1-13 実機及び試験体の可燃物に対する同等性 (4/5)

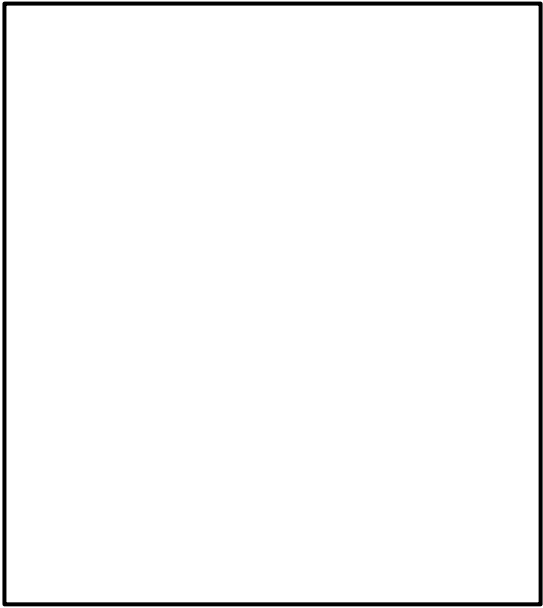
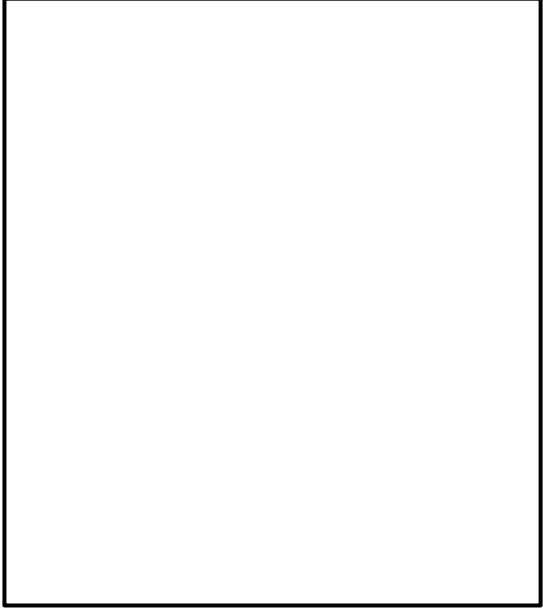

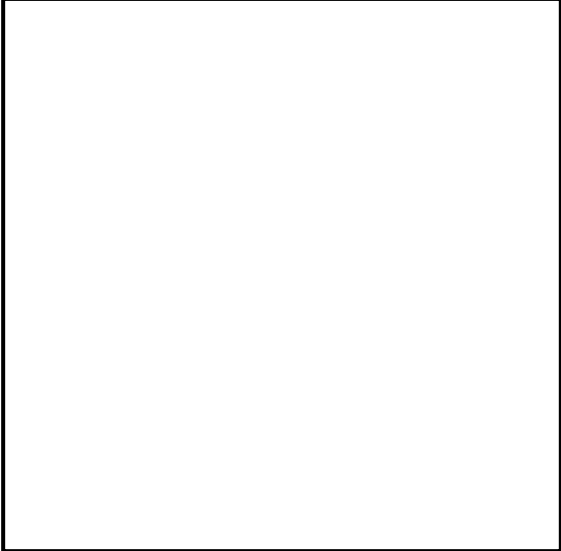
種類	遮断器	遮断器に使用されている 主な絶縁物	外形図
C/C	試験体 ⑥	変性ポリフェニレンエー テル (耐熱温度：90～105℃) ・母線絶縁カバー	
	実機①	ポリカーボネイト (耐熱温度：120～130℃) ・母線絶縁カバー	

表 4-1-13 実機及び試験体の可燃物に対する同等性 (5/5)

種類	遮断器	遮断器に使用されている 主な絶縁物	外形図
M/C (D/G)	試験体 ⑦	不飽和ポリエステル樹脂 (耐熱温度:130~150℃) ・モールドフレーム	
	実機①	エポキシ樹脂 (耐熱温度:150~200℃) ・モールドフレーム ・ブッシング ・支持サポート	

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、初期の印加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を踏まえて、表 4-2-1 のとおり設定している。

なお、各電気盤の短絡電流を求めるための三相短絡容量及び短絡インピーダンスについては、表 6-3 に示す。

D/G 給電時の短絡電流については、6. (1).c に示す算出式より算出した。

表 4-2-1 HEAF 試験時における短絡電流値の目標値

電気盤	短絡電流目標値	【参考】島根原子力発電所第2号機の HEAF 対策対象の電気盤の短絡電流値
M/C	18.9kA 又は 40.0kA ^{*1}	32.2kA, 38.6kA, 41.3kA ^{*2}
L/C	45.0kA	35.2kA ^{*3}
C/C	45.0kA	12.6kA 又は 15.0kA ^{*4}
M/C(D/G)	5kA ^{*5}	2.89kA(A 及び B-D/G) 4.82kA(HPCS-D/G)

注記 *1 : 短絡電流の違いによる傾向を確認するため 2 パターン設定して試験を実施した。

*2 : C, D 及び HPCS-M/C で発生する短絡電流値を記載。

(予備変圧器からの給電時：32.2kA，所内変圧器からの給電時：38.6kA，起動変圧器からの給電時：41.3kA)

- *3 : C 及び D-L/C で発生する短絡電流値を記載。
- *4 : C 系, D 系及び HPCS-C/C で発生する短絡電流値を記載。
(C 系及び D 系-C/C への給電時：15.0kA，HPCS-C/C への給電時：12.6kA)
- *5 : 「第 3 回新規規制要件に関する事業者意見の聴取に係る会(2018 年 10 月 15 日)」での試験条件設定の考え方詳細(補 6)に示すとおり, M/C(D/G) 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とする (図 4-2-1 参照)。

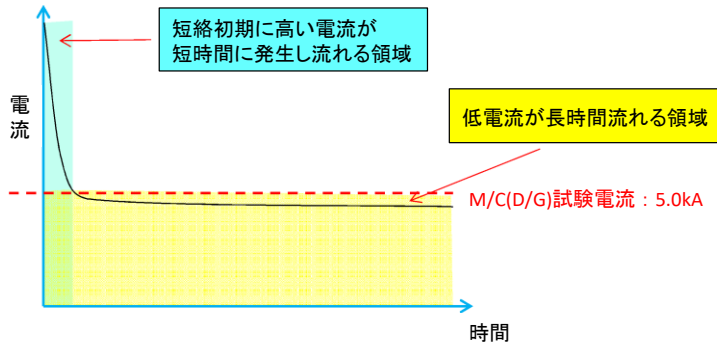


図 4-2-1 M/C(D/G)の短絡電流特性イメージ図

また, HEAF 試験における初期の印加電圧は, 島根原子力発電所第 2 号機において使用している電気盤の定格使用電圧値を踏まえて表 4-2-2 のとおり設定している。

表 4-2-2 HEAF 試験時における試験初期の印加電圧

電気盤	試験初期の印加電圧	【参考】島根原子力発電所第 2 号機の HEAF 対策対象の電気盤の定格使用電圧
M/C	6.9kV 又は 8.0kV ^{*1}	6.9kV ^{*2}
L/C	504V	460V ^{*3}
C/C	504V	460V ^{*4}
M/C(D/G)	6.9kV	6.9kV ^{*5}

注記*1 : 試験設備の都合により, 短絡電流目標値 18.9kA に対しては 6.9kV で実施し, 40kA に対しては 8.0kV で実施した。

*2 : C, D 及び HPCS-M/C の定格使用電圧を記載。

*3 : C 及び D-L/C の定格使用電圧を記載。

*4 : C 系, D 系及び HPCS-C/C の定格使用電圧を記載。

*5 : M/C(D/G) の定格使用電圧を記載。

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するアークエネルギーに依存しており (「5. アーク火災発生の評価」参照), 短絡電流値及び印加電圧の違いは, 試験結果に影響を及ぼすものではない。

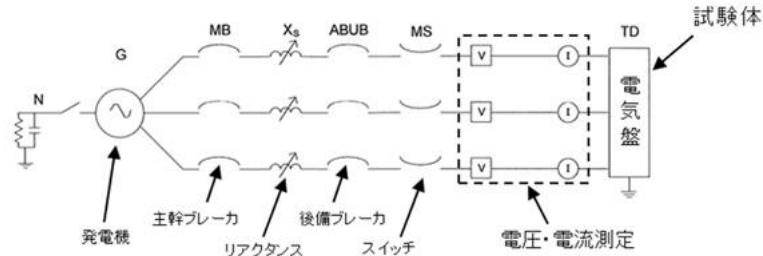
このことから, 実機プラント相当の短絡電流値及び定格使用電圧を用いて, アーク放電の継続時間を変えることで, 火災が発生するアークエネルギーのしきい値を求める試験を実施した。

4.3 HEAF 試験に用いる電気回路

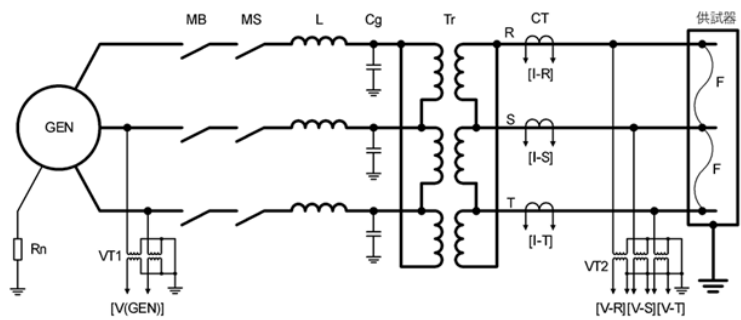
(審査ガイド抜粋【2.3 HEAF試験に用いる電気回路】)

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

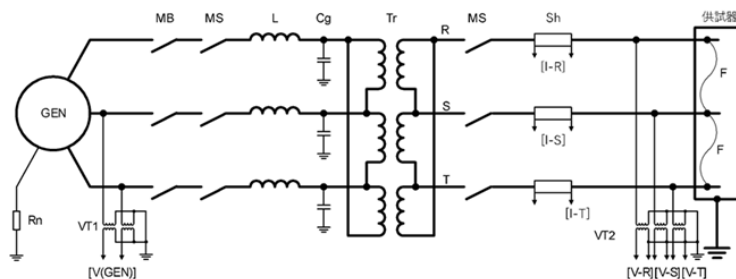


HEAF 試験に用いる電気回路は、短絡発電機、主遮断器、投入器、限流リアクトル、計器用変圧器及び変流器等で構成されており、審査ガイドに示されているものと同様である。M/C、L/C、C/C及びM/C(D/G)それぞれについて電気回路を以下に示す。



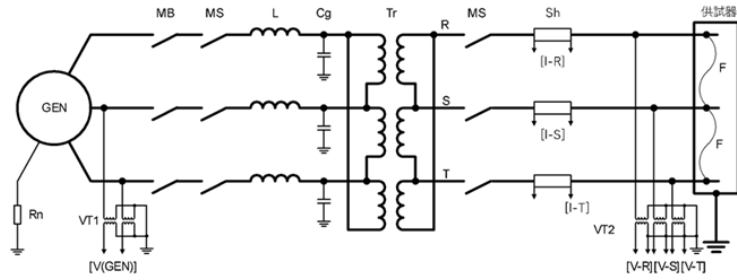
- | | |
|----------------|-----------------------------|
| GEN 短絡発電機 | Tr 変圧器 (15kV / 12kV) |
| Rn 中性点抵抗 | VT1 計器用変圧器 (15kV / 100V) |
| MB 主遮断器 | VT2 計器用変圧器 (33kV / 110V) |
| MS 投入器 | CT 変流器 (4kA / 1A, max 63kA) |
| L 限流リアクトル | F 直径0.5mmの銅線 |
| Cg サージ吸収用コンデンサ | |

図 4-3-1 M/C 試験回路



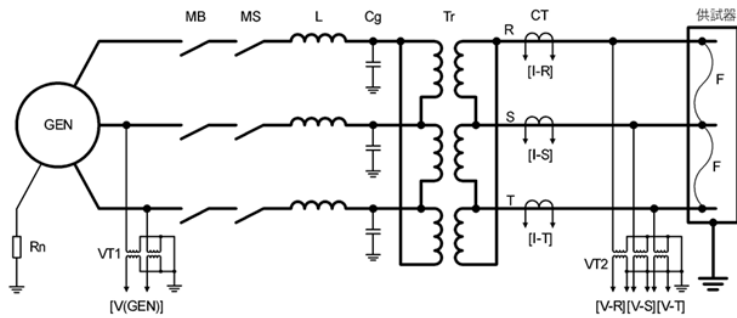
- | | |
|----------------|---------------------------|
| GEN 短絡発電機 | Tr 変圧器 (12kV / 0.6kV) |
| Rn 中性点抵抗 | VT1 計器用変圧器 (15kV / 100V) |
| MB 主遮断器 | VT2 計器用変圧器 (2.2kV / 110V) |
| MS 投入器 | Sh 変流器 (170kA, 20μΩ, 同軸形) |
| L 限流リアクトル | F 直径0.5mmの銅線 (8本撚り) |
| Cg サージ吸収用コンデンサ | |

図 4-3-2 L/C 試験回路



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

図 4-3-3 C/C 試験回路



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

図 4-3-4 M/C(D/G) 試験回路

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-6850 に規定されるZOI (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 試験においては、「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) により電流波形を測定し、計器用変圧器 (VT2) により電圧波形を測定している。

アークエネルギーのしきい値の評価に使用した試験について表 4-4-1 にまとめ、測定した電流及び電圧波形を図 4-4-1～図 4-4-4 に示す。電流波形については、アーク放電の発生直後、設定位相による直流成分が加わる (図 4-4-1～図 4-4-4 ①参照) が、時間経過とともに短絡電流目標値に近い値となっている (図 4-4-1～図 4-4-4 ②参照)。電圧波形については、アーク放電による短絡状態であり、三相合計値*で M/C: 約 1.3kV, L/C: 約 0.5kV, C/C: 約 0.7kV, M/C(D/G): 約 1.3kV 程度で推移している (図 4-4-1～図 4-4-4 ③参照)。これら電圧と電流の積 (アークパワー) をアーク放電の継続時間で積分し、アークエネルギーを算出している (「4.8 アークエネルギー計算」参照)。

また、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を実施している。

HEAF 試験時の測定項目について、表 4-4-2 に示す。

注記*: アークエネルギーの算出は三相合計値を用いることから、三相合計値を説明。

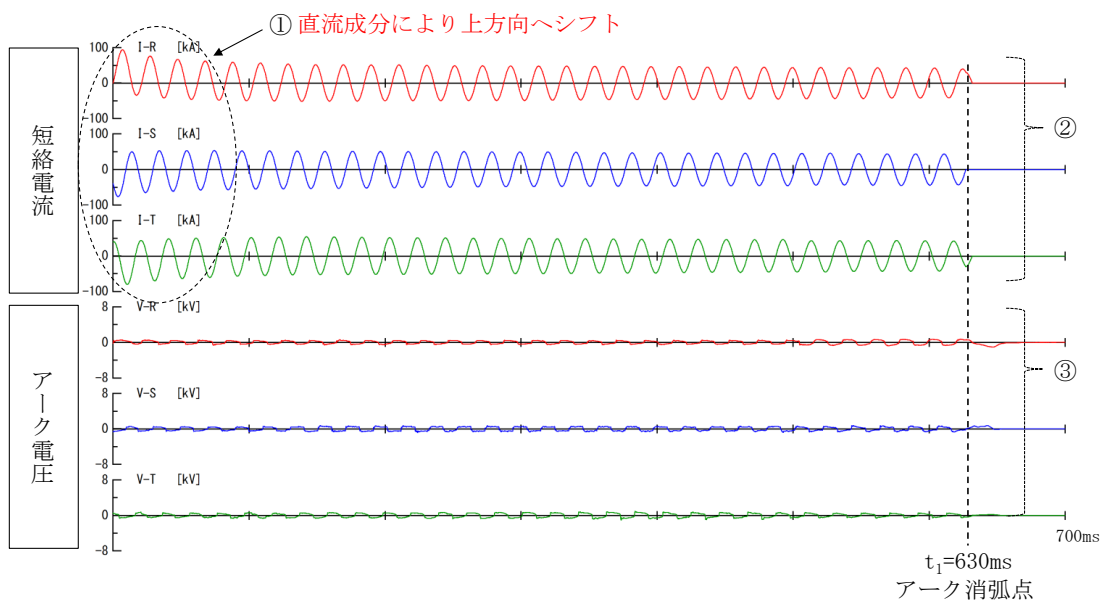
表 4-4-1 しきい値に係る HEAF 試験一覧表

種類	試験条件		試験結果		【参考】 電中研 試験番号
	試験初期の 印加電圧	短絡電流 目標値	アーク エネルギー	測定波形	
M/C	8.0kV	40.0kA	25.3MJ	図 4-4-1	5-3*
L/C	504V	45.0kA	18.9MJ	図 4-4-2	7-5*
C/C	504V	45.0kA	4.49MJ	図 4-4-3	10-3*
M/C(D/G)	6.9kV	5.0kA	16.6MJ	図 4-4-4	9-2*

注記*：火災が発生しない最大のアークエネルギーが得られた HEAF 試験

表 4-4-2 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
L/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



- ① : アーク放電の発生直後, 設定位相による直流成分が加わる。
- ② : 時間経過とともに短絡電流目標値に近い値となっている。
- ③ : アーク放電による短絡状態であり, 三相合計値で約 1.3kV 程度で推移している。

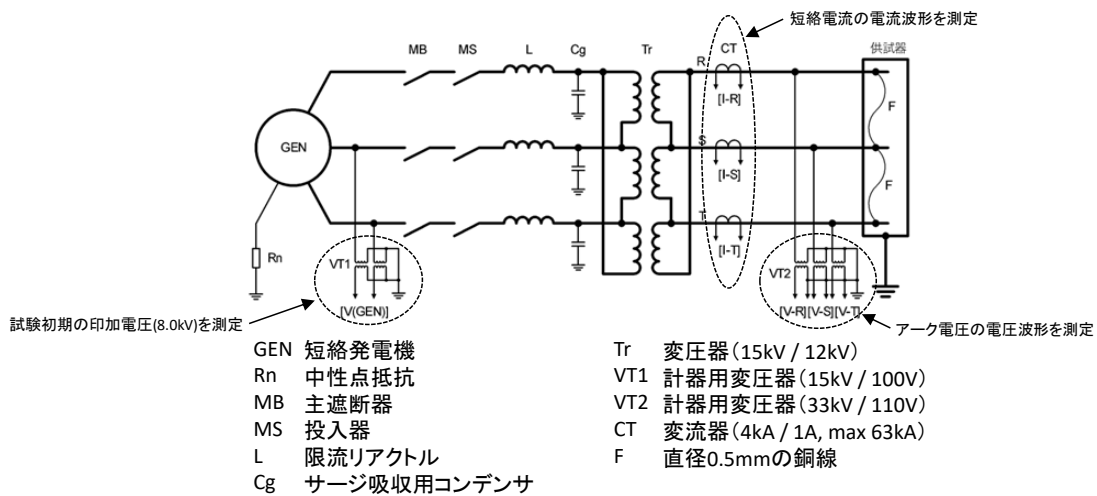
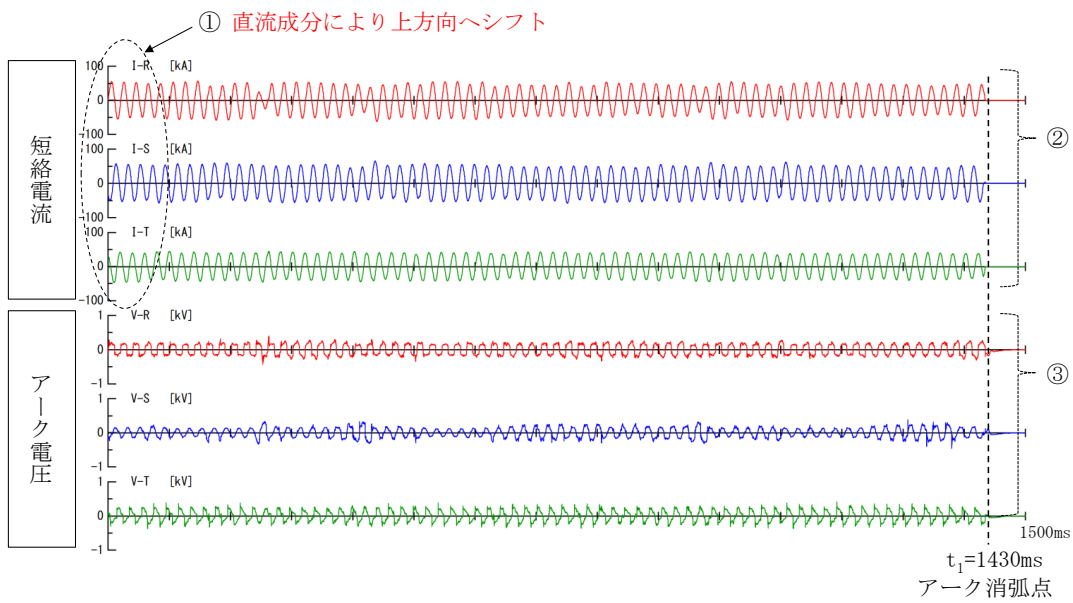


図 4-4-1 HEAF 試験時の電圧・電流波形 (M/C)



- ① : アーク放電の発生直後, 設定位相による直流成分が加わる。
- ② : 時間経過とともに短絡電流目標値に近い値となっている。
- ③ : アーク放電による短絡状態であり, 三相合計値で約 0.5kV 程度で推移している。

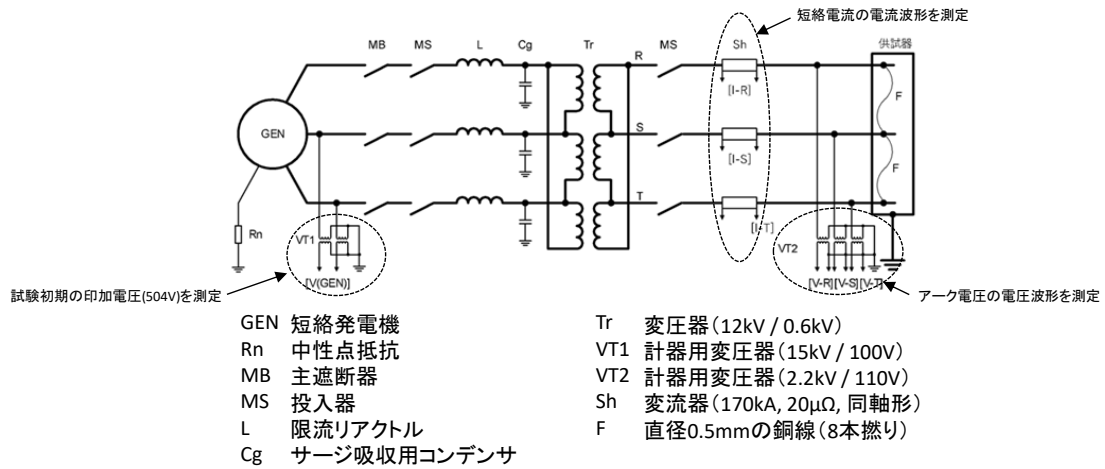
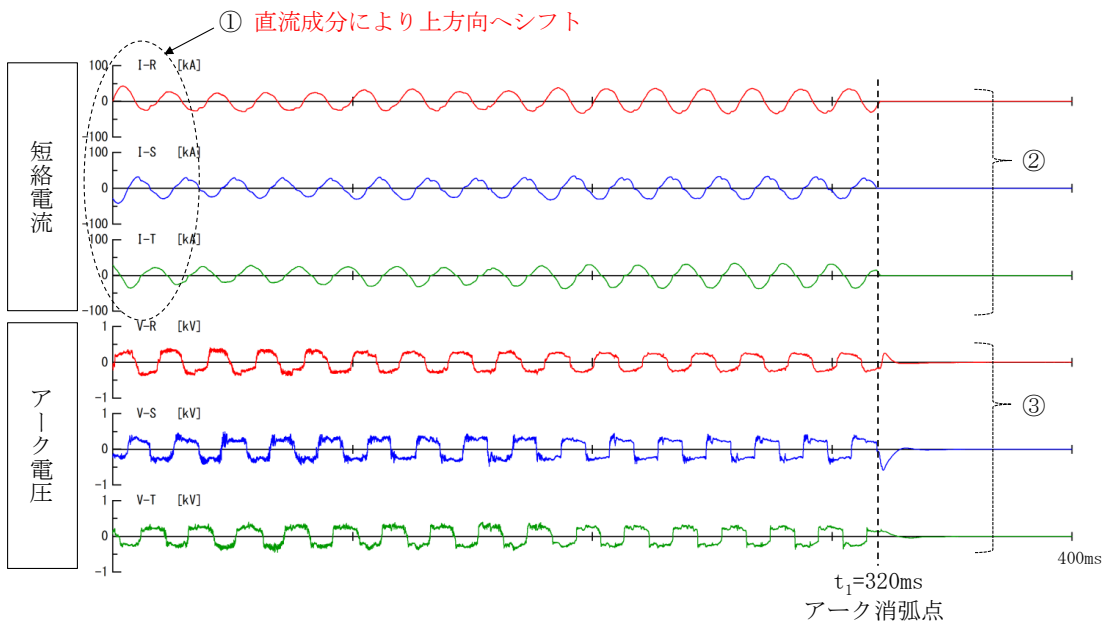


図 4-4-2 HEAF 試験時の電圧・電流波形 (L/C)



- ① : アーク放電の発生直後, 設定位相による直流成分が加わる。
- ② : 時間経過とともに短絡電流目標値に近い値となっている。
- ③ : アーク放電による短絡状態であり, 三相合計値で約 0.7kV 程度で推移している。

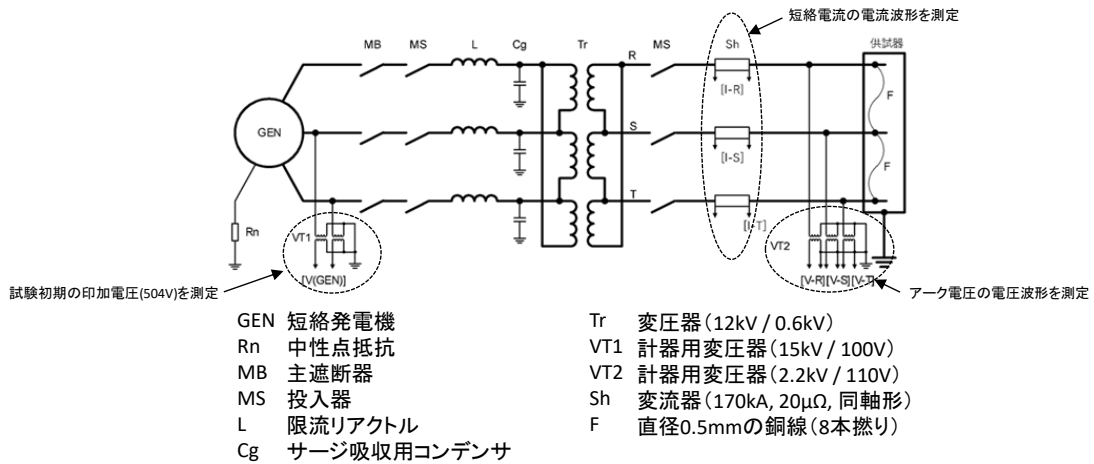
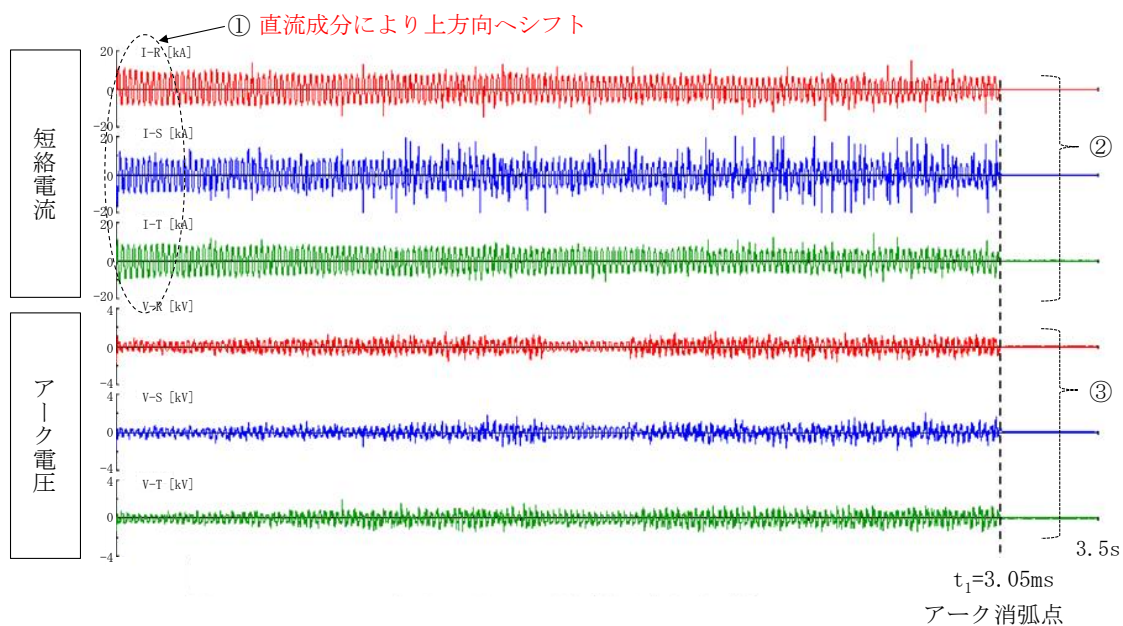


図 4-4-3 HEAF 試験時の電圧・電流波形 (C/C)



- ① : アーク放電の発生直後，設定位相による直流成分が加わる。
- ② : 時間経過とともに短絡電流目標値に近い値となっている。
- ③ : アーク放電による短絡状態であり，三相合計値で約 1.3kV 程度で推移している。

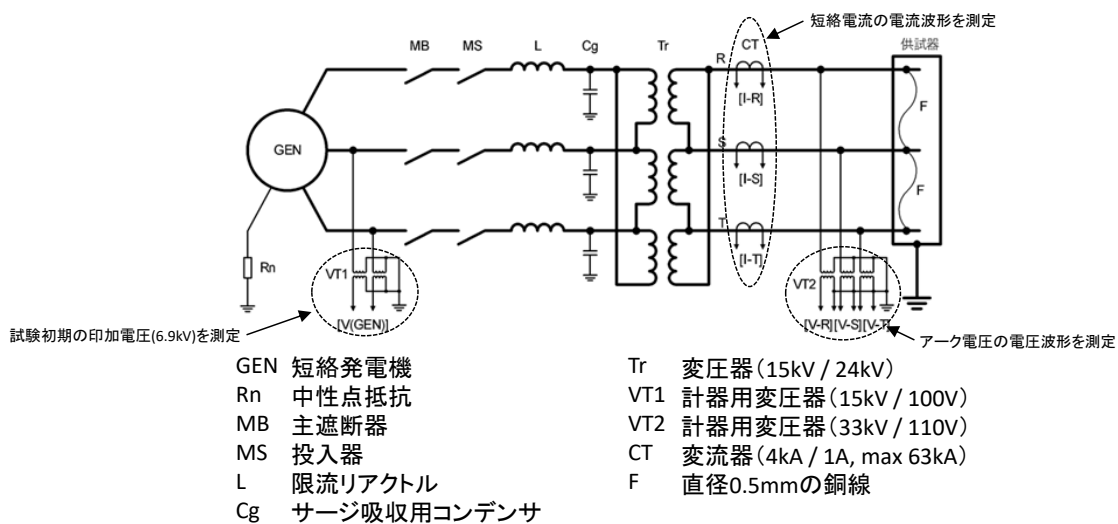


図 4-4-4 HEAF 試験時の電圧・電流波形 (M/C(D/G))

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。

参考：IEEE C37.20.7-2007の該当箇所抜粋

5.3 Arc initiation

For equipment defined by IEEE Std C37.20.1-2002: The arc shall be initiated by means 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又は24AWGの金属線によって発弧されなければならない。

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対策ができている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の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)

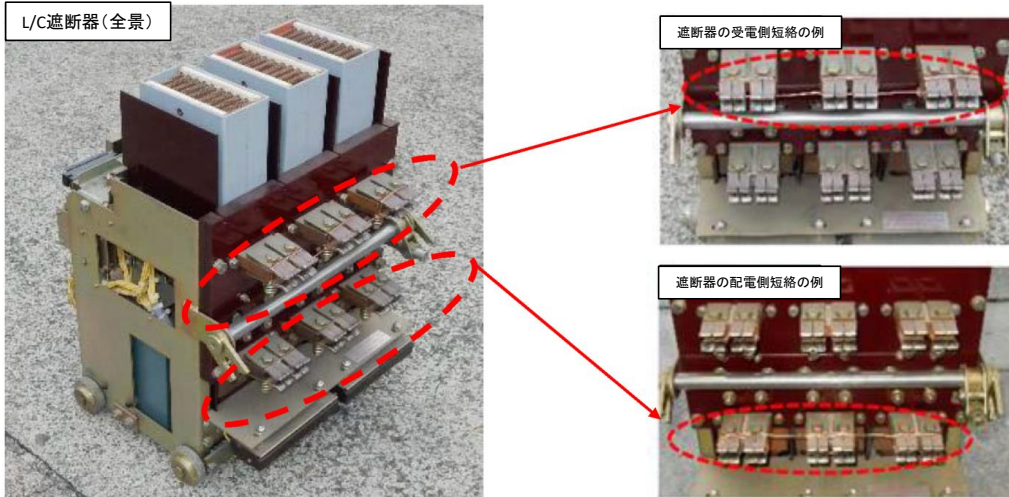


図 4-5-2 遮断器の短絡箇所 (L/C 試験時)



図 4-5-3 遮断器の短絡箇所 (C/C 試験時)

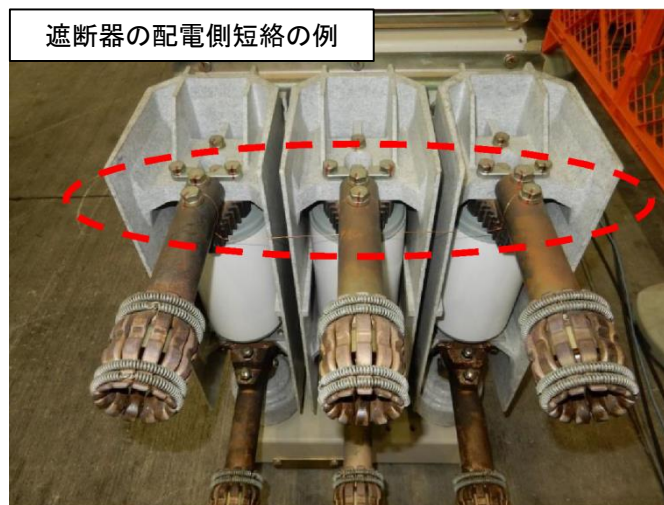


図 4-5-4 遮断器の短絡箇所 (M/C(D/G) 試験時)

ワイヤリングは、直径 0.5mm の銅線 (M/C 及び M/C(D/G) : 1 本撚り, L/C 及び C/C : 8 本撚り) 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規格を参考に決定した。

- ・ M/C 及び M/C(D/G) . . . J E M - 1 4 2 5 (2 0 1 1),
I E C 6 2 2 7 1 - 2 0 0 (2 0 1 1)
- ・ L/C 及び C/C I E C / T R 6 1 6 4 1 (2 0 0 8)

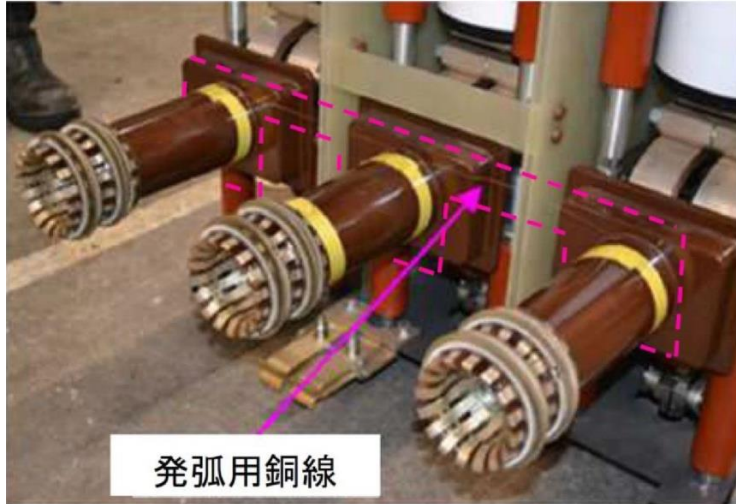


図 4-5-5 発弧線の設置状況 (遮断器 2 次側端子)

・ J E M - 1 4 2 5 (2 0 1 1) の該当箇所抜粋

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。

・ I E C 6 2 2 7 1 - 2 0 0 (2 0 1 1) の該当箇所抜粋

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。)

・ I E C / T R 6 1 6 4 1 (2 0 0 8) の該当箇所抜粋

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 cooper 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

(*L/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。

($0.5 \times 0.5 \times \pi \div 4 \times 8 \text{本} = 1.57\text{mm}^2$)

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。

アーク放電の継続時間については、島根原子力発電所第2号機で使用している保護継電器の対策後の設定値を踏まえた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）以上のアークエネルギーが得られるよう、段階的にアーク放電の継続時間を設定している。(表 4-6-1 参照)

また、HEAF 試験で得られた電圧電流波形から、三相短絡が継続している間をアーク放電の継続時間 (t_1) として求めている。(図 4-4-1～図 4-4-4 参照)

表 4-6-1 HEAF 試験条件及び試験結果 (1/2)

種類	電気盤	試験初期の印加電圧	試験初期の印加電流	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 (島根原子力発電所第2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	18.9kA	0.1	0.103	3.09	無	24	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	8.0kV	40.0kA	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	
	L/C	試験体③	504V	45kA	0.2	0.20	2.49	無	11
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	
試験体④		504V	45kA	45kA	1.3	0.06	0.88	無	7-2
					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
試験体⑤		504V	45kA	45kA	1.3	1.32	17.4	無	8-1
					1.3	1.32	17.3	無	8-2
					1.4	1.44	18.7	無	8-3
					0.1	0.06	0.9	無	10-1
C/C	試験体⑥	504V	45kA	0.5	0.52	7.56	有	4.1	10-2
				0.3	0.32	4.49	無		10-3
				0.21	0.07	1.02	無		11-1
				0.28	0.15	2.24	無		11-2
				0.28	0.05	0.80	無		11-3
				0.28	0.28	3.94	無		11-4

* : 表 6-3 の誤差を考慮した場合における最大のアークエネルギー値を記載。

 : 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 4-6-1 HEAF 試験条件及び試験結果 (2/2)

種類	電気盤	試験初期の印加電圧	試験初期の印加電流	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(島根原子力発電所第2号機の最大値) (MJ) *	【参考】電中研試験番号
				設定値	実測値				
M/C (D/G)	試験体 ⑦	6.9kV	5kA	2.65	2.69	14.7	無	15.4 (A及びB-D/G)	9-1
				3.00	3.05	16.6	無		9-2
				6.10	6.27	32.3	有	15.3 (HPCS-D/G)	9-3

* : 表 6-3 の誤差を考慮した場合における最大のアークエネルギー値を記載。

6.10 : 火災が発生した最小のアークエネルギー

3.00 : 火災が発生しない最大のアークエネルギー

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。さらに、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を用いて実施した。

HEAF 試験の初期の電圧及び電流値として「4.2 短絡電流の目標値」にて設定した値を用いて、以下のとおり試験を実施した。

表 4-7-1 電力中央研究所 HEAF 試験結果 (M/C の一例)

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	・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	・天板変形 (M10 ボルト破断無) ・背面扉開放無 ・正面前扉変形 ・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 D 上段 VCB 室	62.5	14.5	・天板変形 (M10 ボルト 2 箇所破断) ・背面扉開放無 ・正面前扉変形 ・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)

: 火災が発生しない最大のアークエネルギーが得られた HEAF 試験

表 4-7-2 電力中央研究所 HEAF 試験結果 (L/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	フィーダ盤 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	フィーダ盤 O 下段正面	1.68	4.71	・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	フィーダ盤 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	フィーダ盤 P 上段正面	1.27	4.04	・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) フィーダ盤 O 下段 ACB と受電盤 M 中段 ACB 投入、フィーダ盤 O 上・中段 ACB と受電盤 M 下段 ACB 開放
 5) フィーダ盤 P 上段 ACB と受電盤 M 中段 ACB 投入、フィーダ盤 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%

7-5 : 火災が発生しない最大のアークエネルギーが得られた HEAF 試験

表 4-7-3 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 (s)	最大アークパワー (MW)	全アークエネルギー (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 ²⁾ (deg)				測定箇所	最大値 (kPa)	到達時間 ³⁾ (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	・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	・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	・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(500 Hz 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。

10-3 : 火災が発生しない最大のアークエネルギーが得られた HEAF 試験

表 4-7-4 電力中央研究所 HEAF 試験結果 (M/C(D/G) の一例)

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 (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)
9-1	フィーダ盤 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	フィーダ盤 V 上段正面	4.24	8.33	・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	フィーダ盤 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	フィーダ盤 W 上段正面	2.98	8.24	・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	・火災の発生あり ・試験開始から 44 分で消火活動開始。 ・VCB 室と母線室間のベンチマークが溶損 ・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) フィーダ盤 V 上段 VCB と受電盤 U 下段 VCB 投入、フィーダ盤 V 下段断路器を開放
- 5) フィーダ盤 W 上段 VCB と受電盤 U 下段 VCB 投入、フィーダ盤 W 下段 VCB を開放
- 6) 受電盤 U 下段 VCB 投入、受電盤 U とフィーダ盤 W の接続母線をフィーダ盤 W 側において切断

9-2 : 火災が発生しない最大のアークエネルギーが得られた HEAF 試験

また、図 4-4-1～図 4-4-4 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 VT2) 及び電流計 (図中の CT 又は Sh) で測定している。

さらに、表 4-6-1 に示すとおり、M/C、L/C、C/C 及び M/C(D/G) のそれぞれに対して、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。

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。

$$E_0 = \int_0^{t_0} W_0 dt$$

E_0 : 三相のアークエネルギー W_0 : アークパワー t_0 : 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, L/C, C/C 及び M/C(D/G)) を表 4-7-1～表 4-7-4 に示す。

アークエネルギーの算出過程について、M/C を例に以下に示す。

図 4-8-1 に M/C の HEAF 試験の電圧・電流波形とアークパワー、アークエネルギーの波形を示しており、アークパワーは電圧・電流波形の積により算出している。

さらに、アークパワーをアーク放電の継続時間で積分し、アークエネルギーを算出している。M/C のアークエネルギー E_1 の算出式は以下のとおりである。

$$E_1 = \int_0^{t_1} W_1 dt = \int_0^{t_1} (V_1 \cdot I_1) dt = 25.3 \text{ [MJ]}$$

W_1 : アークパワー

I_1 : アーク電流

V_1 : アーク電圧

t_1 : アーク放電の継続時間 (630ms)

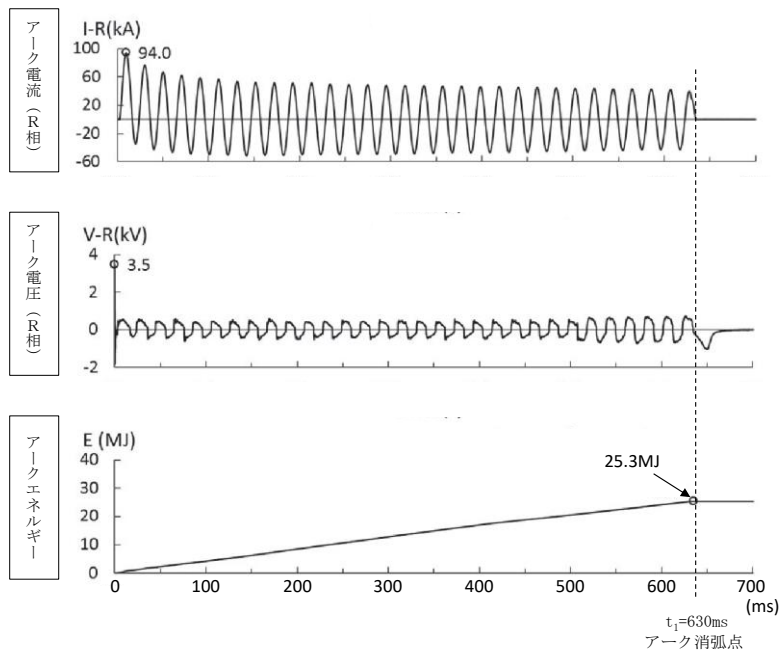


図 4-8-1 M/C のアークエネルギー算定例

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 of 数十秒から数分後に目視によりアーク火災発生状況を確認できる。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/IEC 17025 (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、品質方針を周知徹底させる。
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、構築済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

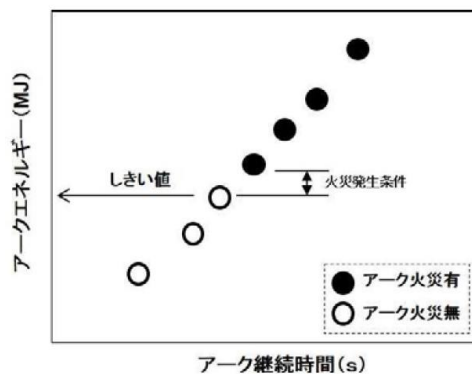
(審査ガイド抜粋【3.3 アーク火災が発生しないアークエネルギーのしきい値に係る評価】)

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性を評価する。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。

HEAF 試験により、M/C、L/C、C/C 及び 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, L/C:18MJ, C/C:4.4MJ 及び 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より保守的な値となっていること (表 5-3-1②及び③参照) 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 (表 5-3-1①及び③参照) を確認した (HEAF 試験によって得られた全てのアークエネルギー及び火災の発生有無については、表 4-6-1 参照)。

なお、アーク火災発生の判定については、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, L/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

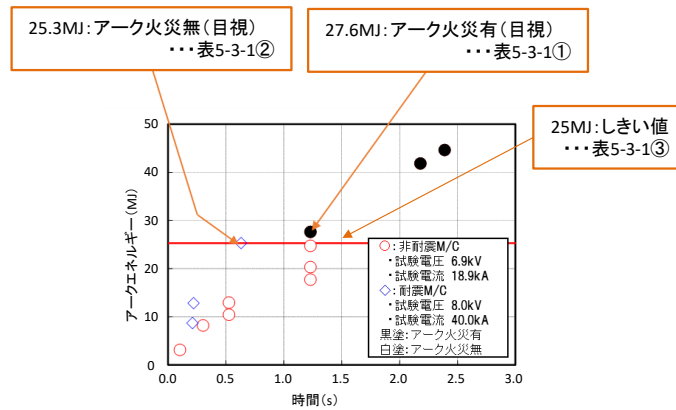


図 5-3-1 M/C 試験結果

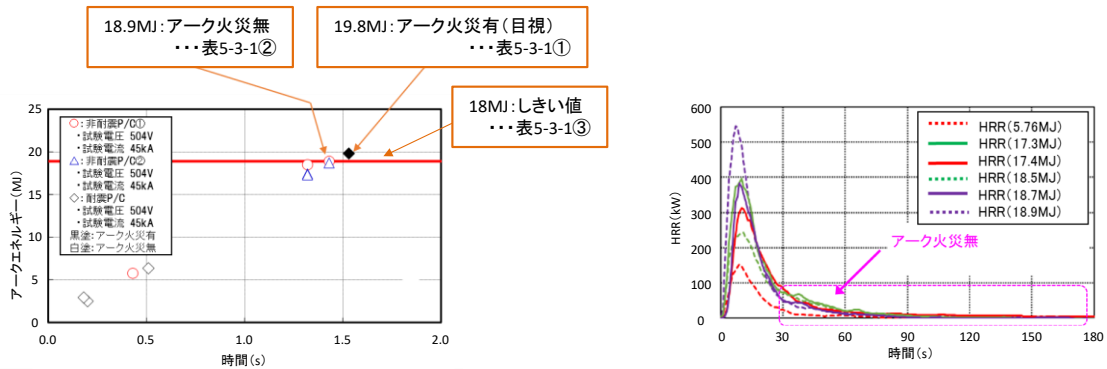


図 5-3-2 L/C 試験結果

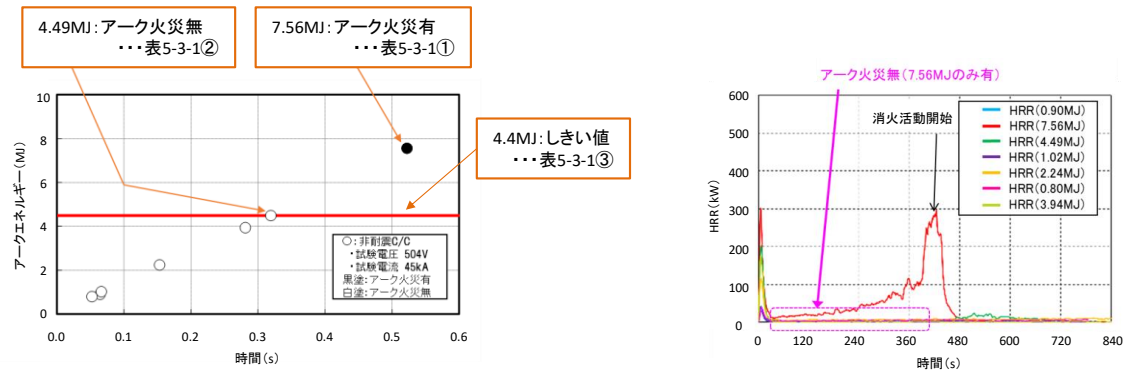


図 5-3-3 C/C 試験結果

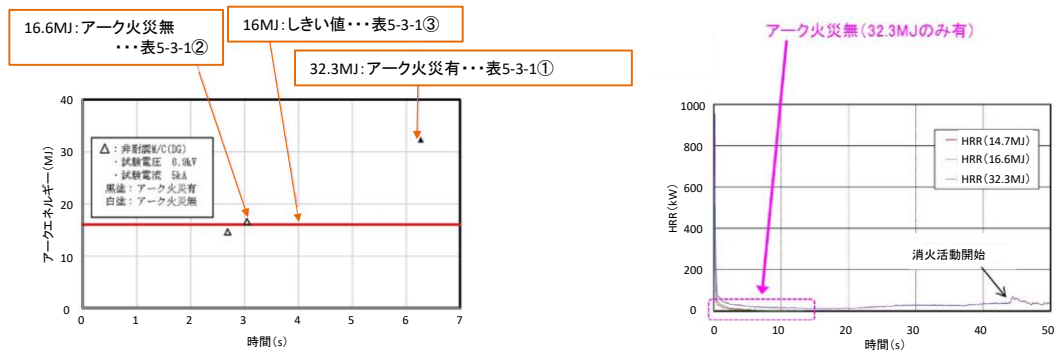


図 5-3-4 M/C(D/G)試験結果

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た最小のアークエネルギー (MJ)	②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②の値 (MJ)	③しきい値 (MJ)
M/C*1	27.6	25.3	0.8	25.09	25
L/C*2	19.8	18.9	0.6	18.78	18
C/C*3	7.56	4.49	0.6	4.46	4.4
M/C(D/G)*4	32.3	16.6	0.8	16.46	16

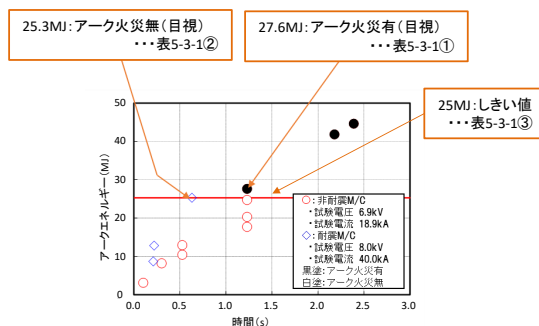
注記*1 : ①, ②及び③の図示については図 5-3-1 参照。

*2 : ①, ②及び③の図示については図 5-3-2 参照。

*3 : ①, ②及び③の図示については図 5-3-3 参照。

*4 : ①, ②及び③の図示については図 5-3-4 参照。

《しきい値設定の例示 (M/C)》



- しきい値【表 5-3-1③】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【表 5-3-1②】より保守的な値となっている。

$$25.3\text{MJ} \times (1 - 0.008) = 25.09\text{MJ} \div 25\text{MJ}$$

$$25\text{MJ} \text{【表 5-3-1③】} < 25.3\text{MJ} \text{【表 5-3-1②】}$$

- しきい値【表 5-3-1③】が、アーク火災が発生した全てのアークエネルギー値（最小値は【表 5-3-1①】）を下回っている。

$$25\text{MJ} \text{【表 5-3-1③】} < 27.6\text{MJ} \text{【表 5-3-1①】}$$

5.4 しきい値に係る解析による評価

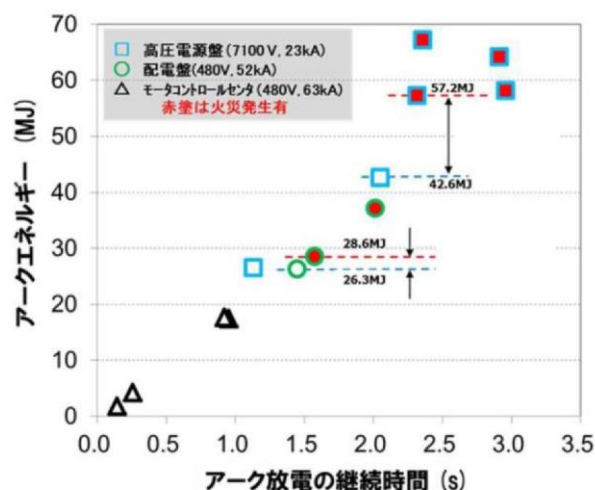
(審査ガイド抜粋【3.4 しきい値に係る解析による評価】)

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、L/C 及び 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(D/G)試験についても、「4.1 電気盤の選定」の記載のとおり、電気盤内の空間容積や密閉性において、M/C(D/G)試験と 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、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）

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。

(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。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。

(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。

(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、「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」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、アーク放電の遮断時間を設定する（図6-1（1/2）参照）。

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。

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

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

- $E_{3\phi}$: 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
- 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の遮断時間

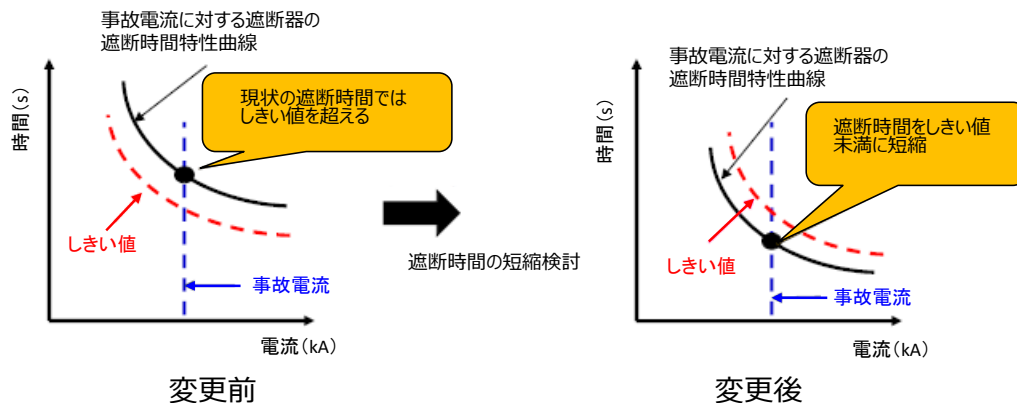


図 6-1 アーク放電の遮断時間イメージ図 (1/2)

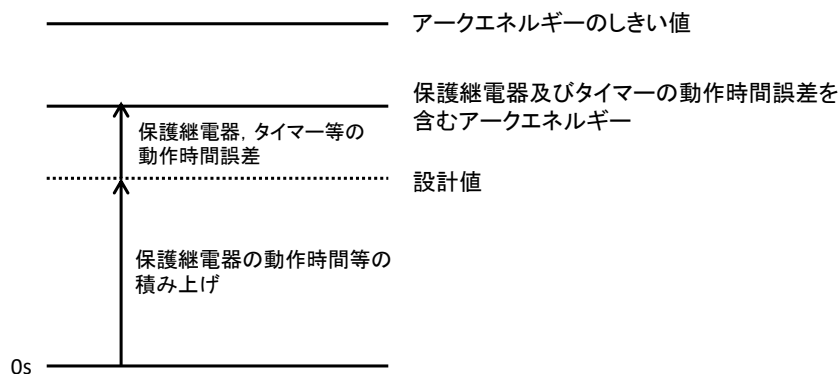


図 6-1 アーク放電の遮断時間イメージ図 (2/2)

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 6-3 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 (発電機, 変圧器含む) を用いて、以下の式にて算出した。なお, %Z には保守性を考慮し, ケーブルは含まない。

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

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なら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 (2/2) 参照)

なお、設計および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 6-3 に示すとおり誤差を考慮しないアーク放電の遮断時間を記載している。

また、M/C(D/G)については、D/G から非常用母線へ給電中に D/G 受電遮断器で HEAF が発生した場合、D/G 受電遮断器と D/G の間にアーク放電を遮断するための遮断器がないことから、HEAF 発生時には D/G の保護継電器により D/G の発電を停止し、D/G からの給電が停止するまでの期間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 6-2 参照)。

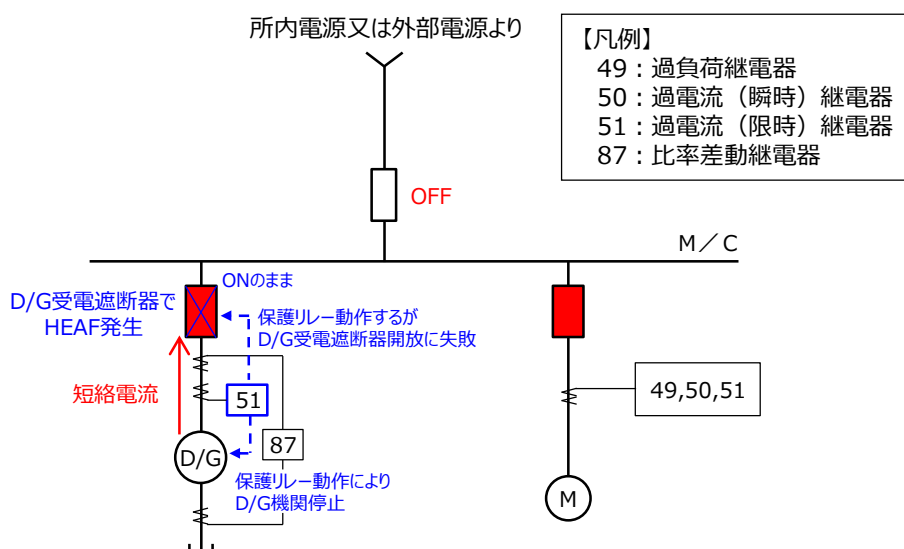


図 6-2 D/G 受電遮断器で HEAF が発生した場合のイメージ図

D/Gの短絡電流（発電機停止による電流減衰過程含む）は、文献[1]に基づく一般的な以下の①及びメーカー知見に基づく以下の②の算出式を用いて計算した。ただし、過渡段階以降の同期インピーダンスにより算出される短絡電流（以下「持続短絡電流」という。）を求める際の励磁特性に関する係数については、実際のD/Gに則したメーカー知見による係数を採用している。

この式に用いた定数は表6-1に、計算結果を表6-3(5/5)、図6-7に示す。

①の算出式は、界磁開閉器（消磁コンタクタと同じ機能を持つ機器であり、界磁開閉器を投入することにより界磁回路が短絡され、発電機の励磁が停止する。）が投入されるより前の短絡電流の計算式であり、界磁開閉器（消磁コンタクタ）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

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

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

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

②消磁後（持続短絡電流がない場合）の三相突発短絡電流

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

$$I_{ac2} = (I_d + (I'_d - I_d)e^{-\frac{t}{T'_d}} + (I''_d - I'_d)e^{-\frac{t}{T''_d}})e^{-\frac{t}{T_{d1}}}$$

$$I_{dc2} = (-\sqrt{2}I'' \cos \alpha \times e^{-\frac{t}{T_{dc}}})e^{-\frac{t}{T_{d1}}}$$

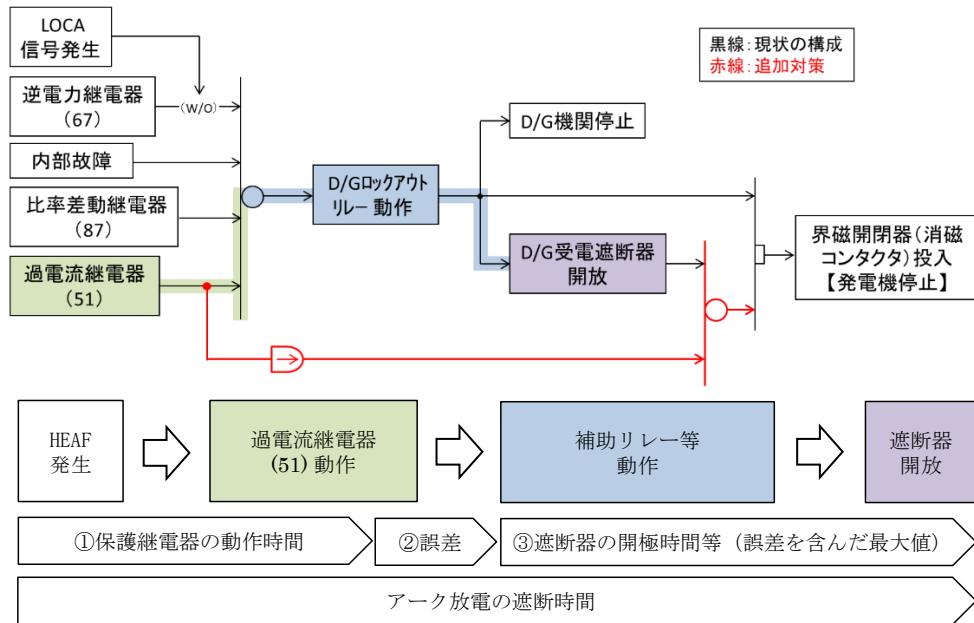
T_{d1} は界磁開閉器（消磁コンタクタ）投入後の減衰時間

[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 6-1 短絡電流算出式定数一覧

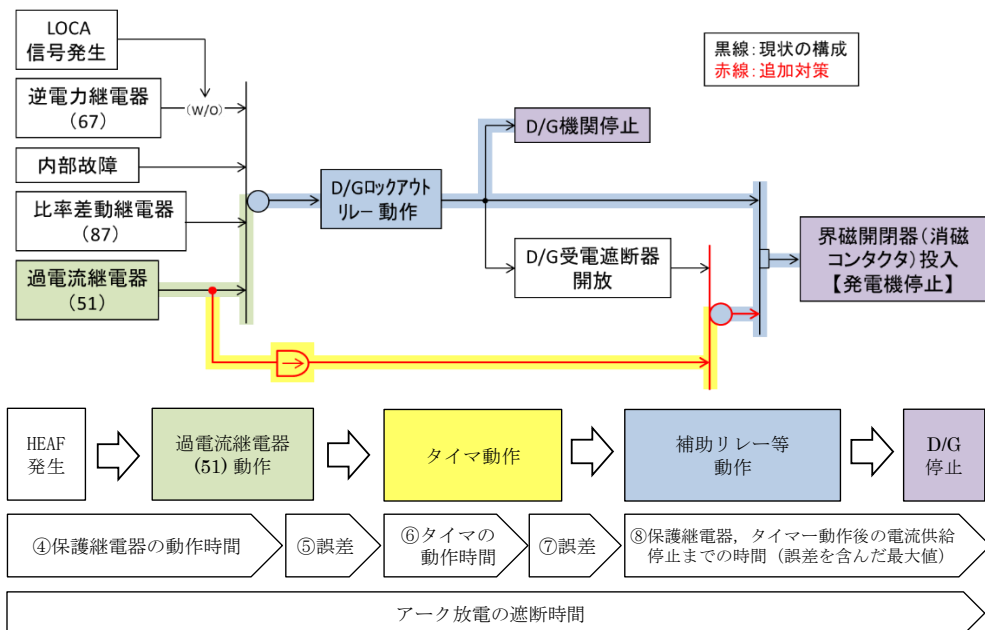
記号	定数
I_{rms}	短絡電流の実効値
I_{ac}	短絡電流の交流分の実効値
I_{dc}	短絡電流の直流分
I_d	短絡電流持続電流
I'_d	短絡電流交流分の過渡電流
I''_d	短絡電流交流分の初期過渡電流
T'_d	短絡電流の過渡時定数
T''_d	短絡電流の初期過渡時定数
T_{dc}	短絡電流直流分の時定数
α	短絡瞬時の電圧の位相角

アーク放電の遮断時間に含まれる誤差の考え方を図 6-3 に、考慮した誤差について表 6-2 に示す。



*図6-5, 図6-6と同色の箇所は同じ機器であることを示している。

図 6-3 アーク放電の遮断時間に含まれる誤差の考え方 (1/2)
(遮断器開放によるアーク放電遮断時)



*図6-5, 図6-6と同色の箇所は同じ機器であることを示している。

図 6-3 アーク放電の遮断時間に含まれる誤差の考え方 (2/2)
(D/G 停止によるアーク放電遮断時)

図 6-3 に示す時間の考え方については以下のとおり。

- ①過電流継電器(51)の動作時間
(HEAF 発生から過電流継電器(51)が過電流を検知し, 信号を発するまでの時間)
- ②誤差
(過電流継電器(51)の動作時間に対する誤差)
- ③過電流継電器(51)動作後の電流供給停止までの時間
(誤差を含んだ最大値)

- ④過電流継電器(51)の動作時間
(HEAF 発生から過電流継電器(51)が過電流を検知し, 信号を発するまでの時間)
- ⑤誤差
(過電流継電器(51)の動作時間に対する誤差)
- ⑥タイマの動作時間
(過電流継電器(51)から信号を受けて, タイマが信号を発するまでの時間)
- ⑦誤差
(タイマの動作時間に対する誤差)
- ⑧過電流継電器(51), タイマ動作後の電流供給停止までの時間
(誤差を含んだ最大値)

表 6-2 アーク放電の遮断時間に関する誤差

(1) 保護継電器に関する誤差

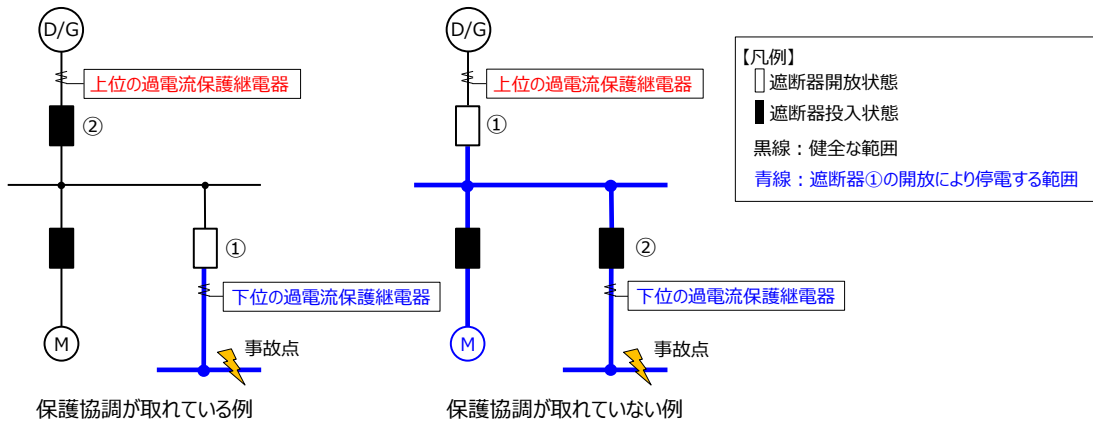
誤差 パターン	使用する保護継電器		誤差	備考
	機種	保護要素		
1	製品 A	51 (過電流継電器)	□	
2	製品 B	51 (過電流継電器)		
3	製品 C	タイマ	□ [sec]	

(2) その他機器に関する誤差

使用する機器	誤差の考え方	誤差を含んだ最大値		備考
補助リレーA	誤差を含んだ 最大値で設計	動作時間 :	□	[sec]
補助リレーB		動作時間 :		[sec]
補助リレーC		動作時間 :		[sec]
D/G ロックアウトリレー		動作時間 :		[sec]
D/G 受電遮断器		開放時間 :		[sec]
界磁開閉器 (消磁コンタクタ)		動作時間 :		[sec]

各電気盤のアーク放電の遮断時間及びアークエネルギーの一覧を表 6-3 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。具体的には、事故点に最も近い過電流保護継電器が上位の過電流保護継電器よりも先に動作する設計とする(図 6-4 参照(1/2))。



※数字は遮断器が開放する順番を示す。

但し、①の遮断器開放により、短絡電流が除去された場合、②の遮断器は開放しない。

図 6-4 保護継電器の動作イメージ (1/2)

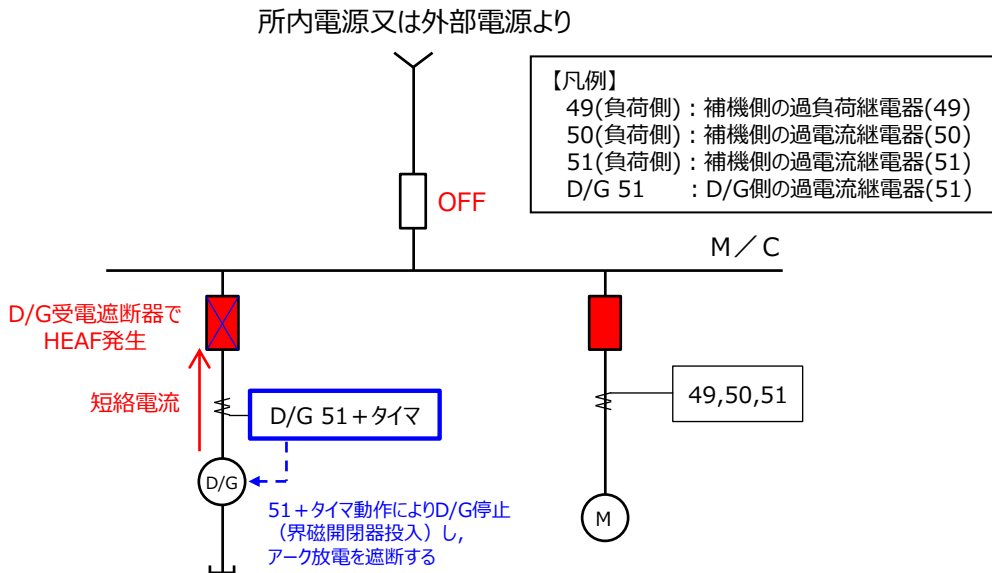


図 6-4 保護継電器の動作イメージ (2/2)
(HEAF 対策時)

d. D/G からの給電時における HEAF 対策

D/G の給電回路に設置されている過電流保護継電器の考え方は、補機側の過電流保護継電器が D/G 側の過電流保護継電器よりも先に動作する設定としている。この保護協調が適切でない場合、補機側の電気事故により、D/G 機関停止及び D/G 受電遮断器が開放してしまい、D/G からの電源給電が遮断されることとなる。これは事故点への電源給電が遮断されるが、同時に他の健全な補機への電源給電も遮断されるため、本事象は避ける必要がある。

したがって、補機側の短絡事故に対しては、瞬時に動作する過電流継電器 (50) 及び過電流継電器 (50) よりも時限をもって動作する過電流継電器 (51) を組み合わせることで保護協調を実現する。

D/G 側の過電流継電器 (50) (以下「D/G 50」という。) を追加する場合、既存の補機側の過電流継電器 (50) (以下「50 (負荷側)」という。) の保護協調について留意する必要がある。そこで、補機側の短絡事故に対しては、瞬時に動作する 50 (負荷側) 及び時限をもって動作する D/G 側の過電流継電器 (51) (以下「D/G 51」という。) を組み合わせることで保護協調を維持し、D/G 側の短絡事故に対しては、既存の D/G 51 の回路に、さらに時限をもって動作させるタイマを追加し、D/G 停止とする回路に変更することにより HEAF 対策を行うものとする (図 6-4 (2/2) 参照)。

なお、タイマは、D/G の外部故障時にはタイマ設定値以内に D/G 受電遮断器を開放し短絡電流を遮断するとともに、D/G 受電遮断器にて HEAF が発生した場合には D/G 受電遮断器が不動作となることから、HEAF 火災発生までに D/G を停止させるよう、タイマの時間を設定する必要がある。

タイマの最小設定時間は、D/G 51 動作により D/G 受電遮断器が開放した場合にはタイマが動作しないようにするため、補助リレー動作時間、D/G 受電遮断器開放時間、D/G 51 復帰時間を考慮すると、A 及び B-D/G (以下「A 系及び B 系」という。)、HPCS-D/G (以下「HPCS 系」という。) とともにタイマ誤差 [] [sec] を考慮し [] [sec] 以上としなければいけない (図 6-5 参照)。

タイマの最大設定時間は、HEAF 火災しきい値 (短絡発生から [] [sec] (A 系及び B 系) 又は [] [sec] (HPCS 系)) から D/G 51、補助リレー、界磁開閉器 (消磁コンタクト) の動作時間及び短絡電流減衰時間を除いた [] [sec] (A 系及び B 系) 又は [] [sec] (HPCS 系) 以下としなければいけない (図 6-6、図 6-7 参照)。

以上より、追加するタイマの時間は、[] [sec] から [] [sec] (A 系及び B 系) 及び [] [sec] から [] [sec] (HPCS 系) の範囲から、タイマ誤差 [] [sec] を考慮し、[] [sec] (A 系及び B 系)、[] [sec] (HPCS 系) を選定する。

上記の検討結果より、誤差を考慮した遮断時間によるアークエネルギーは「表 6-3 電気盤のアークエネルギー及びアーク放電の遮断時間一覧 (5/5)」のとおり、最大で [] MJ であり、しきい値である 16MJ 以下である。

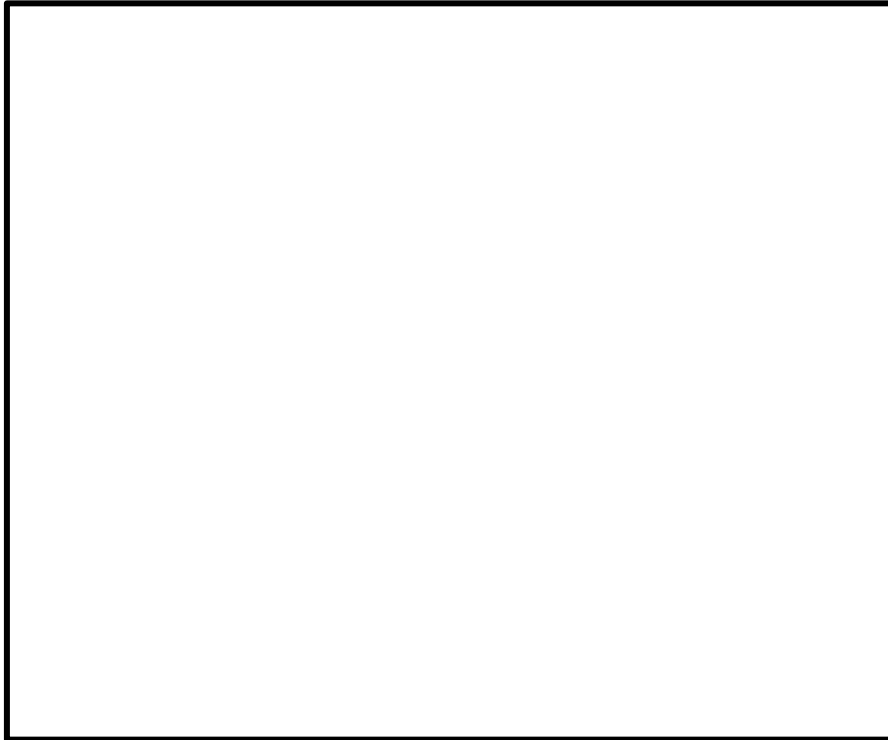


図 6-5 タイマ最小設定時間 (A, B 及び HPCS-D/G)

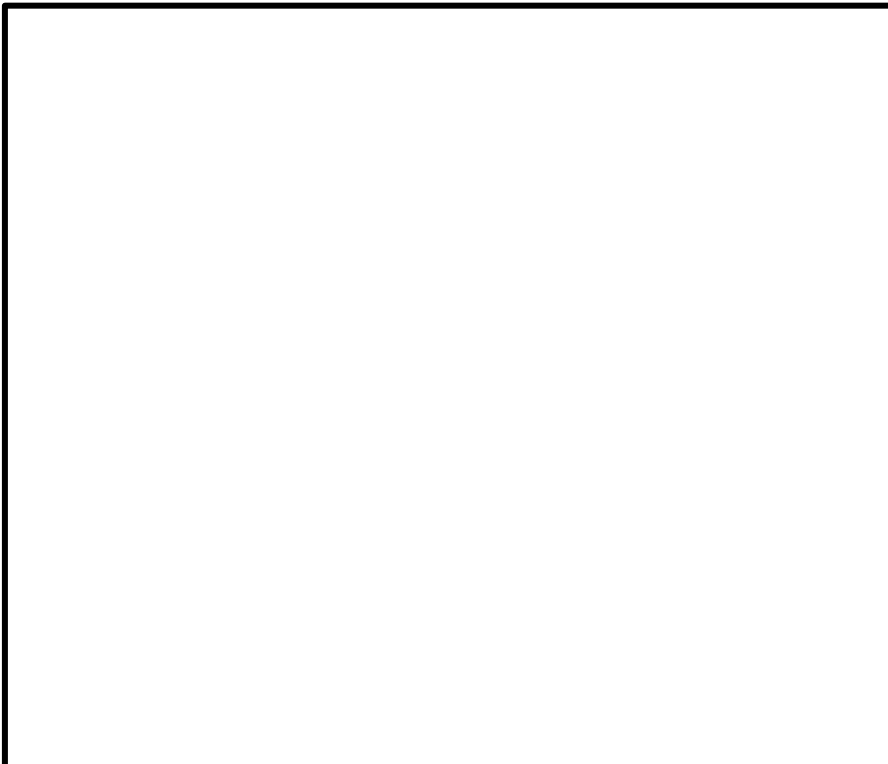


図 6-6 タイマ最大設定時間 (A 及び B-D/G) (1/2)

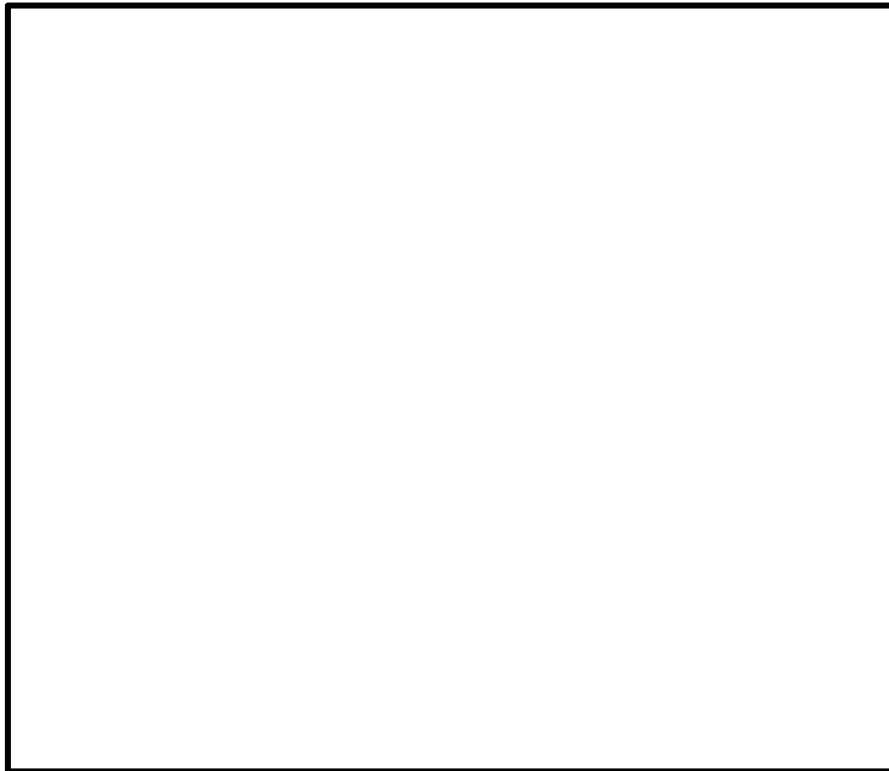


図 6-6 タイマ最大設定時間 (HPCS-D/G) (2/2)

また、M/C(D/G)について、表 6-3 に示す遮断時間の考え方は、以下のとおり。

- D/G 51 の動作時間は短絡電流の大きさと D/G 51 の動作特性より [] [sec] (A 系及び B 系) 又は [] [sec] (HPCS 系) となる。
- D/G 51 の動作時間により、表 6-2 の誤差 [] に該当する [] [sec] (A 系及び B 系) 又は [] [sec] (HPCS 系) の測定誤差を考慮した結果、D/G 51 の動作時間を [] [sec] 又は [] [sec] とした。

D/G (A 系及び B 系) の D/G 51 の動作時間

[]

D/G (HPCS 系) の D/G 51 の動作時間

[]

- アーク放電を D/G 受電遮断器で遮断する場合の時間は、補助リレーの動作時間と D/G 受電遮断器の仕様（遮断器の開放時間）で決定した。
- 補助リレーの動作時間： [] [sec]
- D/G 受電遮断器開放時間： [] [sec]
- アーク放電を D/G の停止により遮断する場合は、D/G の短絡電流の式により遮断時間を算出した。

電気盤のアークエネルギー及びアーク放電の遮断時間について、表 6-3 に示す。

表 6-3 電気盤のアーケエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧 (1/5)
(D/G からの給電時以外)

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*1		誤差を考慮した場合		基準容量 (kVA)	%Z	三相短絡電流 (kA) *2	アーケ電圧 (kV)	考慮している誤差パターン *3
						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 ト 開 閉 装 置	2C-M/C-2B (2C-M/C 受電遮断器)	2A-M/C-2B	0.48			0.48	19	0.48	19			1.34	1	
		2A-M/C-4B	0.45			0.45	23	0.45	23				1	
		2A-M/C-5B	0.46			0.46	22	0.46	22				1	
	2C-M/C に接続される遮断器 (2C-M/C-2B 除く)	2C-M/C-2B	0.39			0.39	16	0.39	16					1
		2C-M/C-2B	0.38			0.38	19	0.38	19					1
		2C-M/C-2B	0.38			0.38	18	0.38	18					1
	2D-M/C-2B (2D-M/C 受電遮断器)	2B-M/C-2B	0.48			0.48	19	0.48	19					1
		2B-M/C-3B	0.45			0.45	23	0.45	23					1
		2B-M/C-4B	0.46			0.46	22	0.46	22					1
	2D-M/C に接続される遮断器 (2D-M/C-2B 除く)	2D-M/C-2B	0.39			0.39	16	0.39	16					1
		2D-M/C-2B	0.38			0.38	19	0.38	19					1
		2D-M/C-2B	0.38			0.38	18	0.38	18					1
2HPCS-M/C-2B (2HPCS-M/C 受電遮断器)	2A-M/C-2B	0.48			0.48	19	0.48	19				1		
	2A-M/C-4B	0.45			0.45	23	0.45	23				1		
	2A-M/C-5B	0.46			0.46	22	0.46	22				1		
2HPCS-M/C に接続される遮断器 (2HPCS-M/C-2B 除く)	2HPCS-M/C-2B	0.39			0.39	16	0.39	16				1		
	2HPCS-M/C-2B	0.38			0.38	19	0.38	19				1		
	2HPCS-M/C-2B	0.38			0.38	18	0.38	18				1		

*1: 工認申請には、本内容を記載

*2: 予備変圧器より受電時: 32.2kA, 起動変圧器より受電時: 41.3kA, 所内変圧器より受電時: 38.6kA

*3: 表 6-2 の誤差パターンを記載

表 6-3 電気盤のアーケ放電発生箇所及び遮断器の遮断時間一覧 (2/5)
(D/Gからの給電時以外)

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*1		誤差を考慮した場合		基準容量 (kVA)	%	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 *2
						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)					
ロードセンタ	2C-L/C-3B (2C-L/C受電遮断器 (動力変圧器二次側))	2C-M/C-8A	0.66	9.8	0.66	9.8							0.467	1
	2C-L/Cに接続される遮断器 (2C-L/C-3Bを除く)	2C-L/C-3B	0.37	5.5	0.37	5.5								2
	2D-L/C-3B (2D-L/C受電遮断器 (動力変圧器二次側))	2D-M/C-8A	0.66	9.8	0.66	9.8								1
	2D-L/Cに接続される遮断器 (2D-L/C-3Bを除く)	2D-L/C-3B	0.37	5.5	0.37	5.5								2

*1：工認申請には、本内容を記載

*2：表 6-2 の誤差パターンを記載

表 6-3 電気盤のアーケエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧 (3/5)
(D/G からの給電時以外)

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*1		誤差を考慮した場合		基準容量 (kVA)	%Z	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*3
						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)					
コントロールセンタ	2C1-R/B-C/C に接続される遮断器 (2C-L/C-5A を除く)	2C-L/C-5A				0.16	1.5						0.675	2
	2C2-R/B-C/C に接続される遮断器 (2C-L/C-5B, 2SA-L/C-5B を除く)	2C-L/C-5B				0.16	1.5							2
	2C3-R/B-C/C に接続される遮断器 (2C-L/C-5C を除く)	2C-L/C-5C				0.16	1.5							2
	2D1-R/B-C/C に接続される遮断器 (2D-L/C-5A を除く)	2D-L/C-5A				0.16	1.5							2
	2D2-R/B-C/C に接続される遮断器 (2D-L/C-5B を除く)	2D-L/C-5B				0.16	1.5							2
	2D3-R/B-C/C に接続される遮断器 (2D-L/C-5C を除く)	2D-L/C-5C				0.16	1.5							2
	2A-D/G-C/C に接続される遮断器 (2C-L/C-10B を除く)	2C-L/C-10B				0.16	1.5							2
	2B-D/G-C/C に接続される遮断器 (2D-L/C-9B を除く)	2D-L/C-9B				0.16	1.5							2

*1: 工認申請には、本内容を記載

*2: 限流リアクトルにより短絡電流を 15.0kA 以下に抑制

*3: 表 6-2 の誤差パターンを記載

表 6-3 電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧 (4/5)
(D/G からの給電時以外)

機器名称	アーク放電発生箇所 遮断器名称	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誤差 (sec)	③遮断器の開極時間等 (sec)	誤差を考慮しない場合*1		誤差を考慮した場合		基準容量 (kVA)	%Z	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*3
						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	2A-計装-C/Cに接続される遮断器 (2C-L/C-10Aを除く)	2C-L/C-10A	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	0.16	1.5	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	0.675	2
		2D-L/C-9A				0.17	1.6							
	2HPCS-C/Cに接続される遮断器 (2HPCS-M/C-3Aを除く)	2HPCS-M/C-3A				0.50	3.9							1
		2C-L/C-7A				0.16	1.5							2
	2S-R/B-C/Cに接続される遮断器 (2C-L/C-7A, 2D-L/C-7Aを除く)	2D-L/C-7A				0.16	1.5							2

*1：工認申請には、本内容を記載

*2：限流リアクトルにより短絡電流を 15.0kA 以下に抑制

*3：表 6-2 の誤差パターンを記載

表 6-3 電気盤のアーケエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧 (5/5)

(D/Gからの給電時)

アーケ放電発生箇所 機器名称	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タイムの動作時間 (sec)	④タイムの誤差 (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)	アーケ電圧 (kV)	考慮している誤差パターン *4	
						⑤継電器、タイム動作後の電流供給停止までの時間 (sec)	①+③+⑤ 遮断時間 (sec) *1	アーケエネルギー (MJ) *1	⑤' 継電器、タイム動作後の電流供給停止までの時間 (sec)	①+②+③+④+⑤' 遮断時間 (sec)	アーケエネルギー (MJ)				
メタルクラッド開閉装置 (D/G)	2C-M/C-8B (2A-ディゼール発電機用受電遮断器)	— *2				5.60	8.40	14.5					1.33	1, 3	
	2C-M/Cに接続される遮断器 (2C-M/C-8Bを除く)	2C-M/C-8B				0.146 *3	1.946	7.8							1
	2D-M/C-8B (2B-ディゼール発電機用受電遮断器)	— *2				5.60	8.40	14.5							1, 3
	2D-M/Cに接続される遮断器 (2D-M/C-8Bを除く)	2D-M/C-8B				0.146 *3	1.946	7.8							1
	2HPCS-M/C-4B (2HPCS-ディゼール発電機用受電遮断器)	— *2				4.83	6.38	14.3							1, 3
	2HPCS-M/Cに接続される遮断器 (2HPCS-M/C-4Bを除く)	2HPCS-M/C-4B				0.146 *3	0.896	5.8							1

*1: 工認申請には、本内容を記載

*2: メタルクラッド開閉装置におけるアーケ放電を遮断するため、非常用ディゼール発電機又は高圧炉心スプレイスレイ系ディゼール発電機を停止する。

*3: D/G受電遮断器が開放するまでの時間

*4: 表 6-2 の誤差パターンを記載

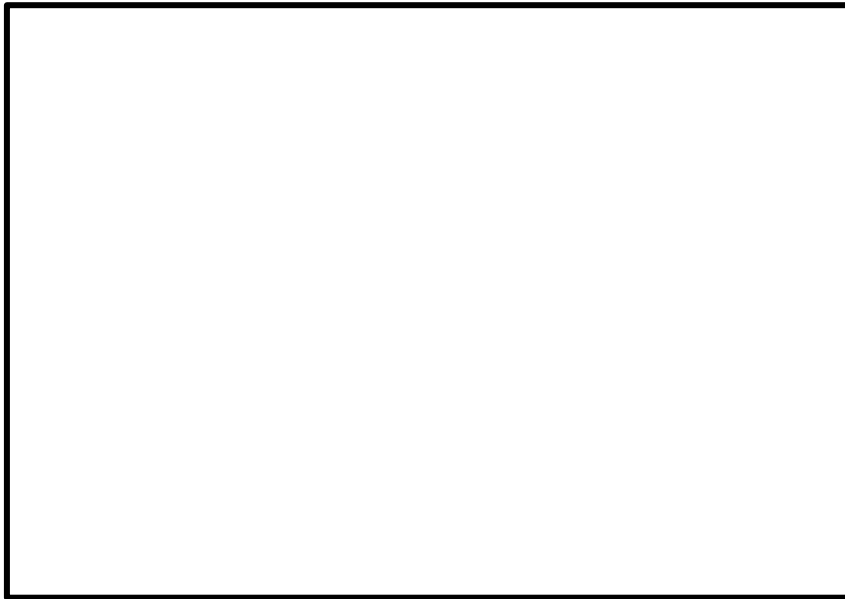


図 6-7 短絡電流の減衰（島根原子力発電所第 2 号機）（1/2）
 (D/G (A 系及び B 系) においてタイマ設定値を 秒としたとき)



図 6-7 短絡電流の減衰（島根原子力発電所第 2 号機）（2/2）
 (D/G (HPCS 系) においてタイマ設定値を 秒としたとき)

表 6-4 D/G の短絡電流供給停止までの時間

	D/G 51 動作 時間【①】	補助リレー、タイマ及び 界磁開閉器（消磁コンタ クタ）動作時間【②】	電流供給停止時間 （定格の 0.01PU 以 下となる時間）【③】	合計時間 【①+②+③】
D/G (A 系及び B 系)				
D/G (HPCS 系)				

e. D/G 停止のための保護継電器追加における回路構成について

D/G 停止回路の既設のインターロック回路を図 6-8 (1/2) に示す。

既設のインターロックにおいて、D/G 受電遮断器で HEAF が発生した場合は、D/G 51 からの信号により D/G 停止のインターロックは成立するが、HEAF 発生により D/G 受電遮断器が「開」動作せず、界磁開閉器（消磁コンタクト）の動作のインターロックが成立しないおそれがあり、短絡電流が継続することとなるため、HEAF 火災の発生を防止することができない可能性がある。

D/G 受電遮断器で HEAF が発生した場合、HEAF 発生に起因した短絡電流を早期に検出し D/G を停止するため、D/G 制御盤内の既存 D/G 51 の動作により D/G ロックアウトリレー及び界磁開閉器（消磁コンタクト）動作とするインターロックを追加する。今回のインターロック追加ロジック、回路構成の概略を図 6-8 (2/2) に示す。

インターロック追加は既設の保護ロジック回路構成を変更するものではなく、既存 D/G 51 にタイマを追加することにより、D/G 受電遮断器での HEAF 発生を検知し、D/G の界磁開閉器（消磁コンタクト）投入のインターロックを追加するものである。追加するタイマの外観図を図 6-9 に示す。

なお、追加するインターロック回路は既存の D/G 制御盤内に追加し、地震、溢水影響等のない設計する。

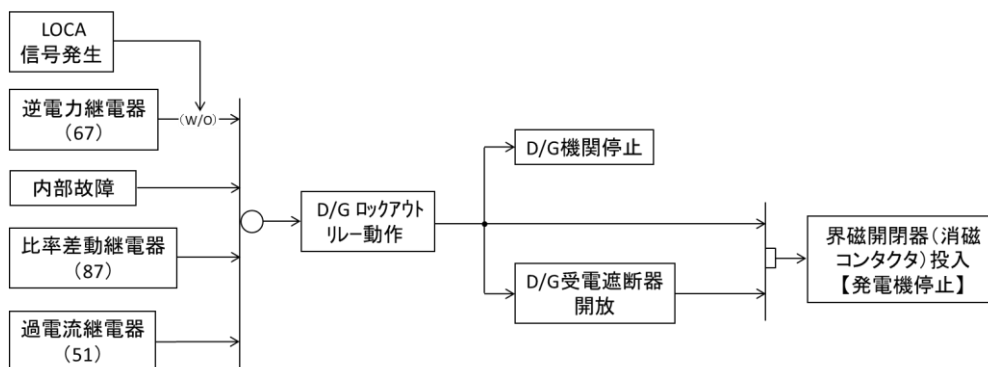


図 6-8 インターロック図（概要）(1/2)
(既設)

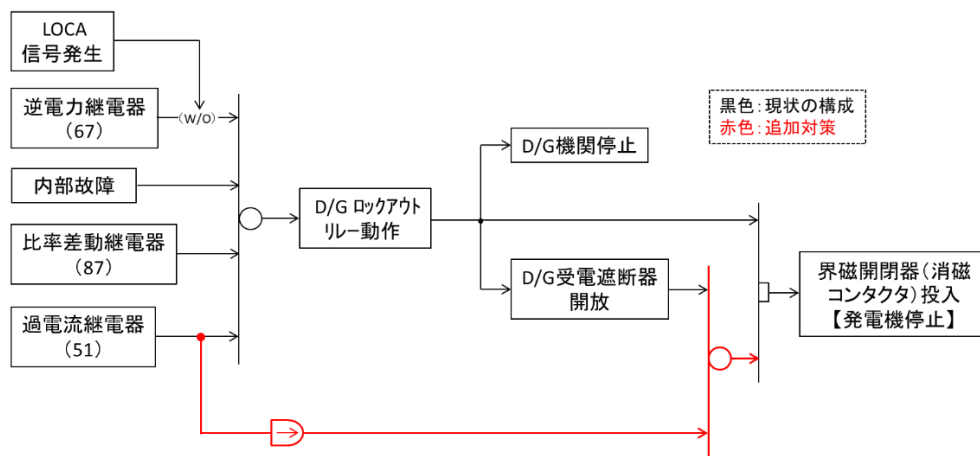


図 6-8 インターロック図（概要）(2/2)
(HEAF 対策後)



図 6-9 HEAF 対策で追加するタイマ (例)

界磁開閉器 (消磁コンタクタ) の構成及び動作原理については以下のとおりである。

- ・界磁開閉器 (消磁コンタクタ) は投入コイル, 投入固定コア, 投入可動コアで構成される電磁石と負荷電流を入・切 (ON・OFF) するための固定接点, 可動接点などの主要部品で構成されている。(図 6-10 参照)。

<界磁開閉器 (消磁コンタクタ) の動作原理>

- ・投入コイルOFF (無励磁) 状態では引外しコイル, 引外し固定コア, 引外し可動コアにより固定接点と可動接点は開離しており (OFF), 電流が負荷に流れない状態となっている。
- ・投入コイルを励磁 (電圧印可) すると, 可動コアが吸引され, これに連結した可動接点が固定接点に接触して回路が閉じ, ON (励磁) 状態となる。

<消磁動作の説明>

- ・上記の原理にて, 界磁開閉器 (消磁コンタクタ) がON (励磁) して界磁回路を短絡すると, 発電機の励磁が停止する (表 6-5 参照)。

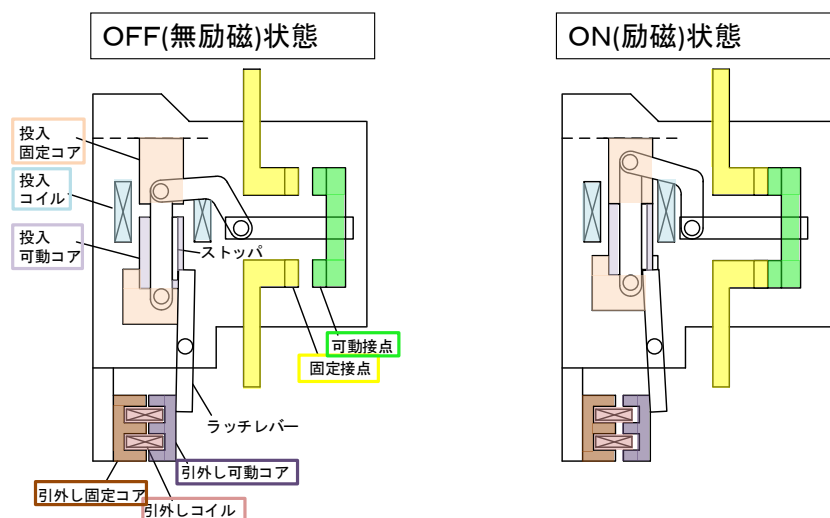


図 6-10 界磁開閉器 (消磁コンタクタ) 構成図

表 6-5 界磁閉閉器（消磁コンタクタ）回路図

黒線：停電部 赤線：充電部	
D/G 起動時	
D/G 運転中	
界磁閉閉器（消磁コンタクタ）投入時	
回路図	
動作概要	<ul style="list-style-type: none"> • D/G 起動時は DC115V 電源から発電機界磁巻線に電流供給する。 • D/G が起動完了すると初期励磁用開閉器が開放し、DC115V 電源からの供給は停止し、発電機から電流供給する。 • 界磁閉閉器（消磁コンタクタ）が投入されると、シリコン整流器入力側の三相回路が短絡され、その短絡部に電流が流れ込むため、発電機界磁巻線への電流供給が停止し、発電機の回転磁界が減衰する。従って、D/G 機停止とともに界磁閉閉器（消磁コンタクタ）が投入されれば、短絡電流は急速に減衰する。

(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 6-11 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 6-6、図 6-12 参照）

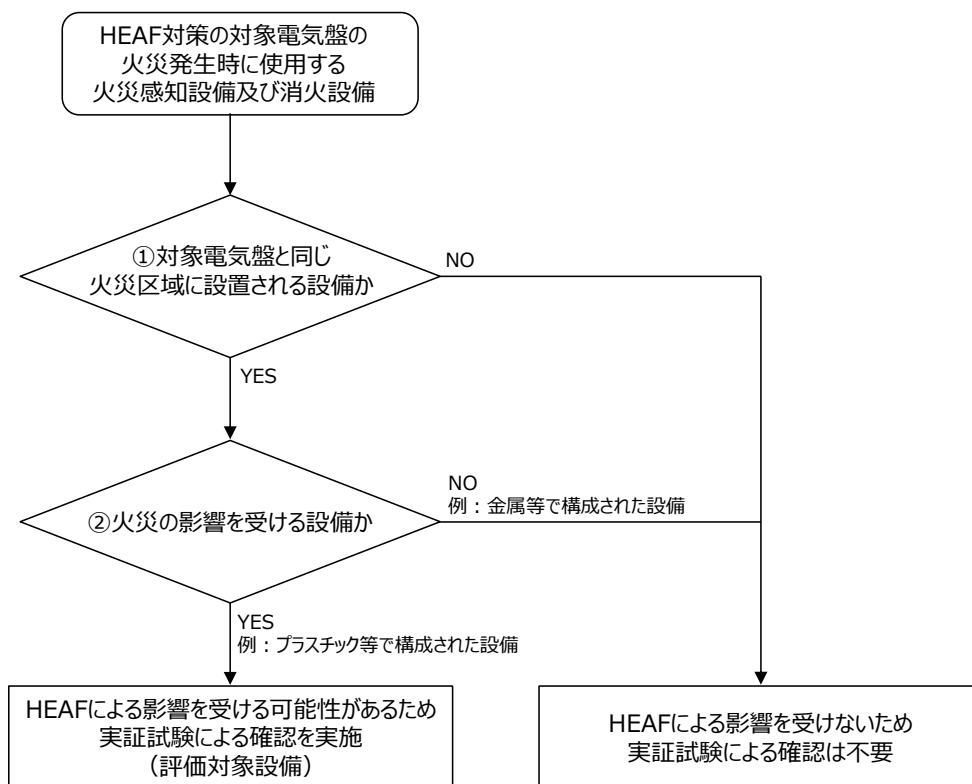


図 6-11 評価対象設備の選定フロー

表 6-6 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 × : N O 〕	②火災の影響を 受ける設備か 〔 ○ : YES × : N O 〕	評価対象 設備 〔 ○ : 対 象 × : 対象外 〕
火災感知 設備	感知器	○	○	○
消火設備	全域ガス消火 設備制御盤	×	—	×
	ガスボンベ	○	× (金属のみで構成)	×
	噴射ヘッド	○	× (金属のみで構成)	×

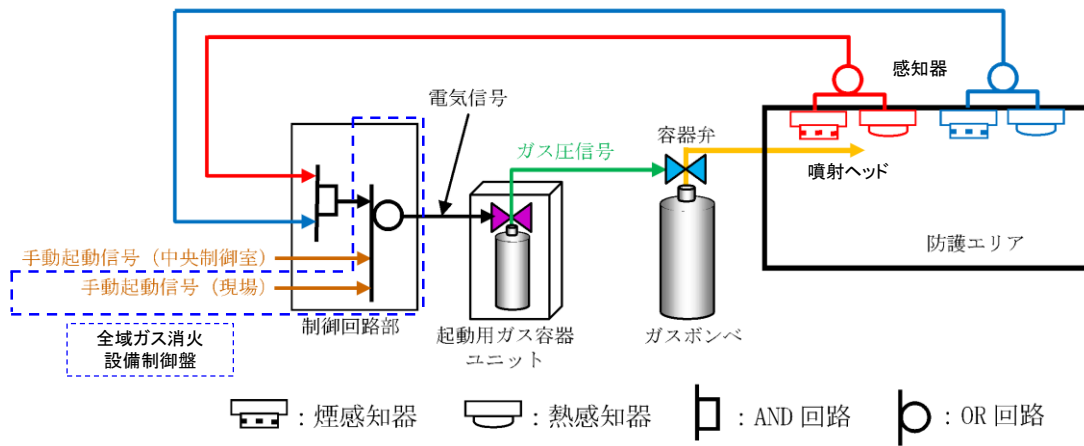


図 6-12 火災感知設備及び消火設備のシステム構成概要図

(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、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、L/C、C/C 及び M/C(D/G) 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 6-13 の ZOI の範囲内に設置されていないことを確認する。

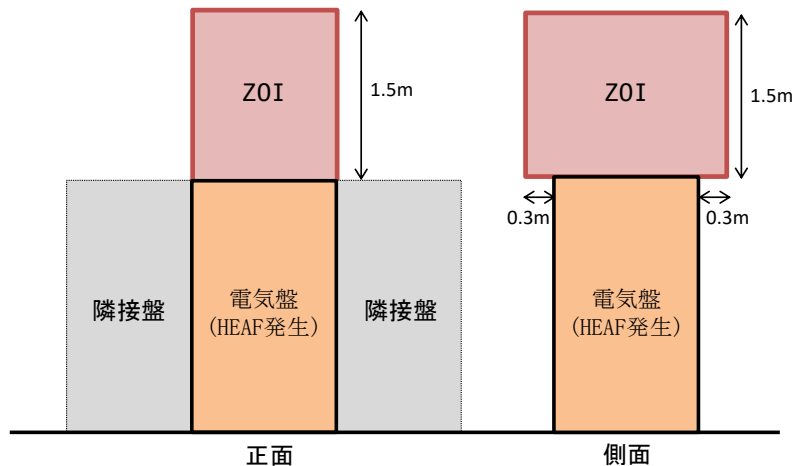


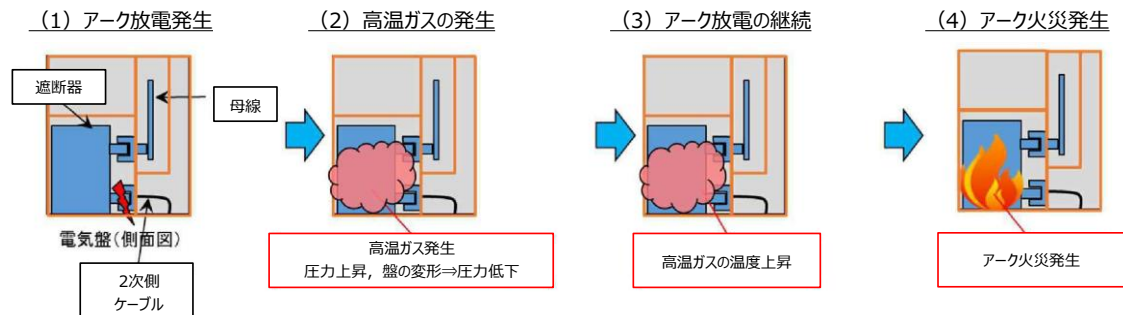
図 6-13 火災感知器に対する HEAF の ZOI

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。

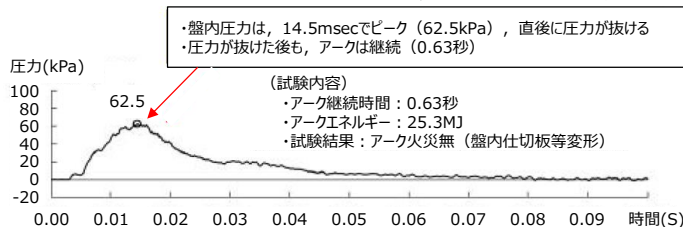
同等性に影響を与えるおそれのあるパラメータの整理に関する補足について

1. アーク火災発生メカニズムについて

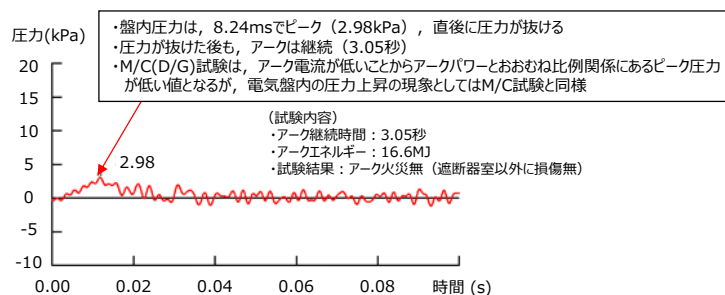


(1) 電気盤遮断器室内の遮断器の1次側（又は2次側）に銅線で三相短絡し、短絡電流を流すことによりアーク放電を発生させると、金属ヒュームを含んだ高温ガスが発生する。この高温ガスによる爆発現象は、音速で伝播することから、0.01秒で約3m伝播する（音速 $340\text{m/s} \times 0.01\text{秒} \approx 3.4\text{m}$ ）

(2) 電気盤の寸法は、高さ約3m×幅約1m×奥行き約3mであることから、以下のグラフのとおり、0.01秒～0.02秒後に圧力上昇はピークとなり、その後電気盤の開口部や盤内仕切板の変形（M/C(D/G)試験ではアークパワーが小さいことから仕切板の変形には至らない）により高温ガスは電気盤外に抜け、盤内圧力は減少傾向になる。なお、密閉容器であれば、圧力が上昇すれば温度も上昇するが、図1,2に示すとおり、電気盤は密閉構造ではなく開口部を有する構造であることから、圧力の上昇に伴い盤内の温度が上昇するものではない。



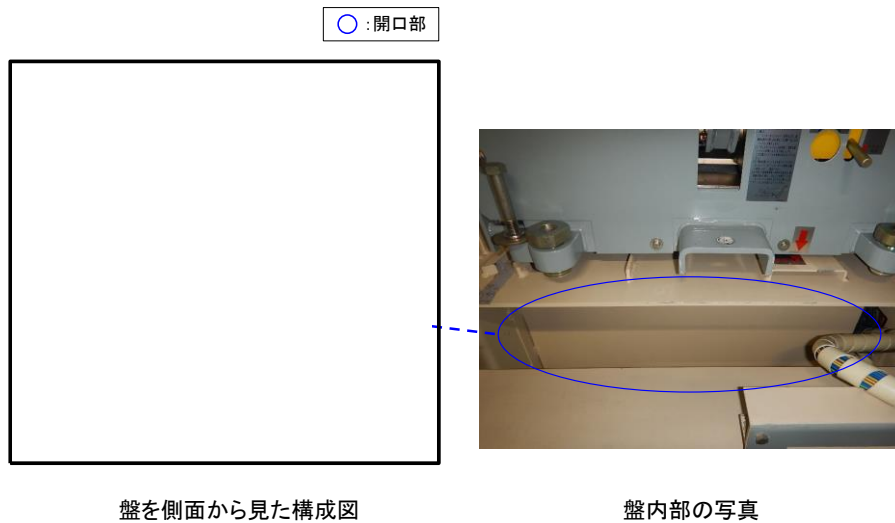
盤内仕切板の状態 (母線室-遮断器室間)



(3, 4) 短時間で大部分の高温ガスは電気盤外に放出されるが、一部はアーク放電の発生箇所である遮断器近傍に滞留することから、高温ガスから可燃物にエネルギーが伝搬し、あるしきい値以上のエネルギーが印加されるとアーク火災となる。試験体系上、アークを発生させた銅線をワイヤリングした箇所である遮断器近傍に最も高温ガスが滞留しやすいことから、遮断器室内の可燃物が主要な燃焼物であり、試験の結果とも一致している。



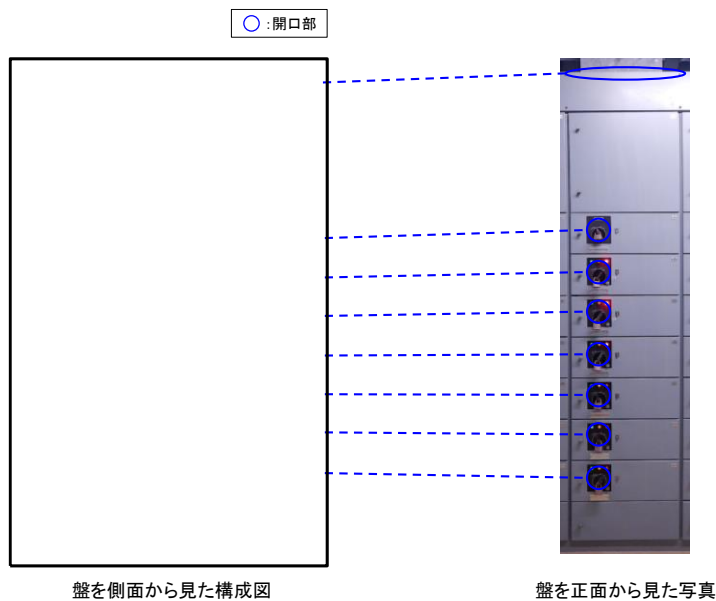
遮断器室アーク発生、アーク火災有、消火後の遮断器の様子



盤を側面から見た構成図

盤内部の写真

図1 実機の電気盤の開口部 (M/C)



盤を側面から見た構成図

盤を正面から見た写真

図2 実機の電気盤の開口部 (C/C)

2. M/C(D/G)試験と M/C 試験との圧力上昇の相違点について

第3回新規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日開催）「資料3-2 高エネルギーアーク損傷(HEAF)に伴う火災対策に係る事業者の取り組み状況について」5頁（別紙2参照）に試験体選定時の考え方を記載しており、HEAF発生時の圧力上昇は、盤の変形や開口部から圧力が抜けるため HEAF 発生直後の盤内温度上昇に盤内容積の大小は直接寄与しない旨説明している。

事業者意見の聴取に係る会合では、試験時に確認された電気盤の内圧は M/C 試験を代表として記載しているが、HEAF 発生直後の最大圧力値は約 62.5kPa（火災が発生しない最大アークエネルギー）であった。それに比べて、M/C(D/G)試験は約 2.98kPa(火災が発生しない最大アークエネルギー)であった（別紙3参照）。

M/C 試験と同様にアーク火災を防止するためにはアーク火災となるアークエネルギー（しきい値）以内に抑える設計とすることについて、前述の M/C(D/G)試験、M/C 試験の HEAF 発生直後の最大圧力の違いを踏まえてもアーク火災発生メカニズムとして同等であることについて補足説明する。

(1) M/C(D/G)試験と M/C 試験で用いた試験体、試験条件等の相違点

M/C(D/G)試験と M/C 試験で用いた試験体、試験条件等について纏めた結果は表1のとおりである（詳細は別紙4参照）。

試験条件のうち試験電流については、M/C(D/G)試験は M/C 試験の 1/4 程度の試験電流値である。それ以外（試験体、計測方法等）については明確な差はなく同等である。

表 1 M/C(D/G)試験-M/C試験の比較について

	M/C(D/G)試験	M/C試験	比較・評価
試験体	規格： JEM-1425， JEC-2300 に基づき製造 開口面積：約 0.48m ²	規格： JEM-1425, JEC-2300 に基 づき製造 開口面積：約 0.07m ²	同一の規格で製造されており形状，盤容積（遮断器室），絶縁物の種別，開口部の大きさなどに明確な差はない
試験条件	試験電圧：6.9kV 試験電流：5.0kA	試験電圧：6.9～8.0kV 試験電流：18.9～40.0kA	試験電圧は同等であるが試験電流については M/C(D/G)試験は D/G 給電時の 3 相短絡電流を模擬しており M/C試験時の約 13～25%程度の大きさ
計測方法	圧力センサ（共和電業製・ひずみゲージ式・200kPa）	同左	センサ・測定箇所，測定方法ともに同等である

(2) 試験電流値の差による影響について

アークエネルギーはアークパワーとアーク時間の積分値であるがアーク時間は可変パラメータであることから，HEAF 発生直後の現象の違いはアークパワー（アーク電圧とアーク電流の積）の差として現れる。

図 3 に HEAF 試験で得られた全ての M/C の最大アークパワー（アーク電圧とアーク電流の積）と圧力上昇最大値の関係を示すと概ね比例関係にあることがわかる。M/C(D/G)試験における，最大アークパワーは 14.4～17.2MW であり，M/C試験時における値（非耐震：33.6～68.3MW，耐震：84.9～156.9MW）と比べて小さい理由は，前述のとおり試験条件における電流値が小さいからである（M/C(D/G) 5kA, M/C(D/G)以外の非耐震：18.9kA，耐震：40kA）。

このことから，電気盤内の圧力上昇の現象としては，M/C(D/G)試験および M/C試験の試験電流値の差によるものであり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，試験状況からも開口部から高温ガスが電気盤外に抜けていることは明らかであることから，圧力上昇の現象としては同様であると考えられる（開放系アーク放電と試験データの比較については別紙 1 参照）。

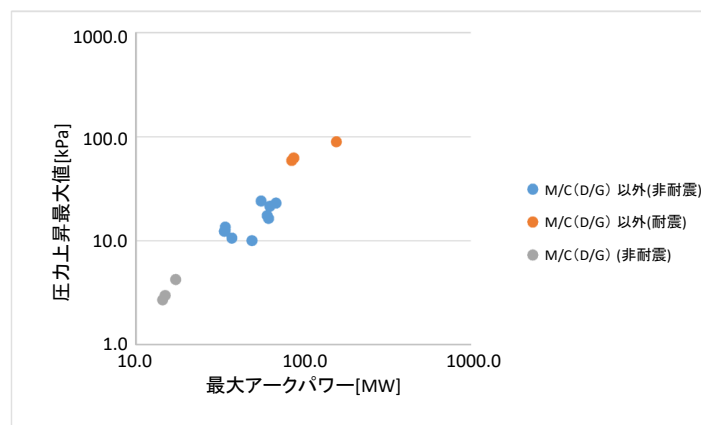


図 3 最大アークパワーと圧力上昇最大値の関係

(3) まとめ

今回の HEAF 試験では、図 3 のとおりアークパワーと圧力上昇値は比例関係にあることから、HEAF 発生直後の圧力上昇という現象は、外部電源受電時と D/G 給電時に違いはなく同様のメカニズムであると考えられる。

よって、アーク火災発生メカニズムである以下の①及び②について、D/G 給電時においても①については本考察のとおり外部電源受電時と同等のメカニズムであると考えられることができる。

①HEAF 発生直後の短時間で大部分の高温ガスは電気盤外に放出される

②一部の高温ガスは、アーク放電の発生箇所である遮断器近傍に滞留することから、高温ガスから可燃物にエネルギーが伝搬し、あるしきい値以上のエネルギーが印可されるとアーク火災となる。

また、②については第 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 日開催）「資料 3-2 高エネルギーアーク損傷（HEAF）に伴う火災対策に係る事業者の取り組み状況について」補 10 頁（別紙 2 参照）に記載のとおり M/C についてはアークエネルギーが約 25MJ 以上となれば火災となり、アーク継続時間とアークエネルギーは基準電流 20kA で換算すると外部電源受電時、D/G 給電時に違いはなく概ね比例関係にあることから同等のメカニズムと考えることができる。

以上

開放系アーク放電と試験データの比較について

開放系アーク放電に関する Babrauskas 博士の論文^[1]によると図 1-1 のとおりアークパワー（横軸）は、発生圧力×隔離距離（アーク発生箇所と圧力測定箇所との間の距離）の積（縦軸）で整理できる。今回の電気盤寸法は、高さ 2.3m×幅 1m×奥行き 2.5m であり、電気盤の正面で測定した圧力が最大値を示したため隔離距離を 0.5m とした。試験時の条件を下表に整理し図 1-1 黄色プロットで示すと概ね Baker's theory と示された赤線付近にあることから開放系の論文データと符合する。これより、アーク発生時の電気盤内圧力は、開放系のアークパワーと隔離距離の物理指標で整理できる。

また、試験状況ビデオからも高温ガスが開口部等から抜けることは明らかである。このことから M/C(D/G)試験と M/C 試験で使用した電気盤は開口部を有する構造であり、圧力上昇によって盤内の仕切板の変形が発生する可能性がある構造であることから、境界条件が開放系に近い同等の電気盤として扱うことができると推察する。

表 1-1 アーク発生時の電気盤内圧力に関連する物理量

物理量	M/C(D/G)試験時	M/C 試験時
アークパワー (横軸)	$2\pi fVI$ $= 2 * \pi * 100\text{Hz} * 1.33\text{kV} * 5\text{kA}$ $\approx 4 * 10^9$ (9 乗オーダー) W/s	$2\pi fVI$ $= 2 * \pi * 100\text{Hz} * 1.34\text{kV} * 40\text{kA}$ $\approx 3.3 * 10^{10}$ (10 乗オーダー) W/s
圧力×隔離距離 (縦軸)	$2.98\text{kPa} * 0.5\text{m}$ $\approx 1.5 * 10^3$ Pa・m	$62.5\text{kPa} * 0.5\text{m}$ $\approx 3.1 * 10^4$ Pa・m

注) f : 周波数 (全波整流波形となることから $50 * 2 = 100\text{Hz}$)

V : アーク電圧, I : 試験電流

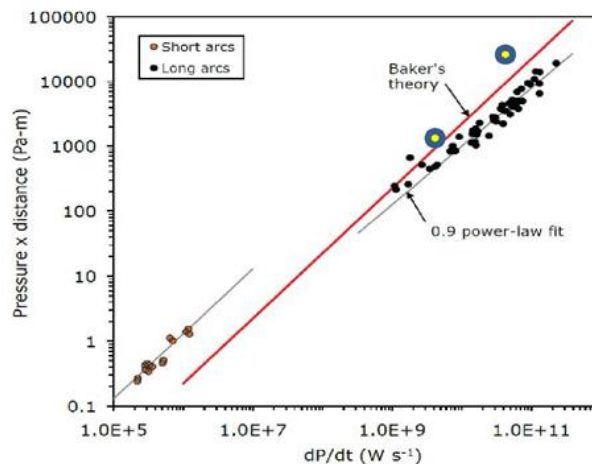


Figure 5 The results of Drouet and Nadeau for short (8 mm) and long (many meters) arcs

図 1-1 開放空間におけるアークパワーと圧力上昇の関係

出典 [1]V. Babrauskas, "Electric Arc Explosions", Proc. 12th Intl. Conf. Interflam, pp. 1283-1296, 2010

以上

資料 3-2 高エネルギーアーク損傷 (HEAF) に伴う火災対策に係る
事業者の取り組み状況について (抜粋)

5

I-3. 試験条件(1/2) 図・写真: 出典(2)

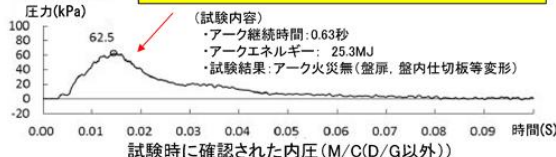
・ 試験方法は、「高エネルギーアーク損傷(HEAF)に係る電気盤の設計に関する審査ガイド」(以下、「審査ガイド」)を参照し、試験内容の妥当性を確認。(試験用電源盤の代表性、試験条件、アーク火災判定方法等)

・ 主な試験条件を以下に示す。【審査ガイドの各項目適合状況:「Ⅲ 補足資料」参照】

(1) 試験体の選定


同種類の電源盤単位(M/C・P/C・C/C毎)の場合は同等と扱い試験を実施

- アーク火災は、アーク放電エネルギーにより盤内で発生する高温ガスによる熱的影響により当該部位の可燃物が加熱され、アーク火災に至る。
 - ・ 盤内圧力は、14.5msecでピーク(62.5kPa)、直後に圧力が抜ける
 - ・ 圧力が抜けた後も、アークは継続(0.63秒)
- HEAF第一段階で盤内に発生した高温ガスによる盤内圧力上昇は、約0.01秒後にピークとなり約0.02秒後には圧力が抜ける。ボイル・シャルルの法則では、体積が一定の場合、圧力と温度は比例するが、電気盤は、盤の変形や開口部から圧力が抜けるため、盤内温度上昇に盤内容積の大小は直接寄与しない。また、盤内リレー・ケーブル等の可燃物は、同種類の電源盤(M/C・P/C・C/C)であれば、製造メーカーによらず、同程度であることを踏まえ、試験体を選定。




(試験内容)
・アーク継続時間: 0.63秒
・アークエネルギー: 25.3MJ
・試験結果: アーク火災無(盤扉、盤内仕切板等変形)

試験時に確認された内圧(M/C(D/G以外))



盤内仕切板の状態(母線室一遮断器室間)



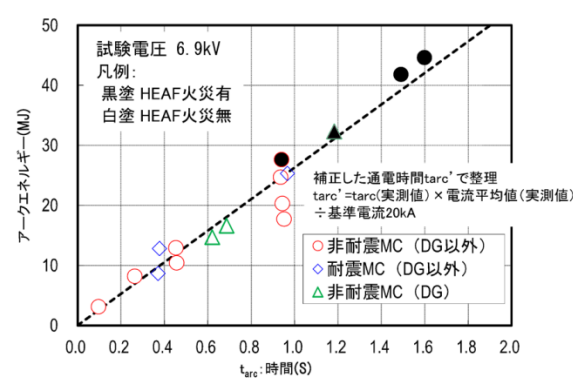
試験後の盤正面の状態

補 10

補足1. 試験条件設定の考え方詳細
(3) 短絡電流の目標値(5/5)

○保護継電器の整定

- 試験毎に実測アーク電流は異なるものの基準試験電流20kAでアーク継続時間を補正した場合のアーク継続時間とアークエネルギーは比例関係を示すことから、保護継電器の設計においては、プラント電源盤固有の短絡電流値からアーク継続時間を換算し、換算したアーク継続時間以内に保護継電器の動作時間を設定する。



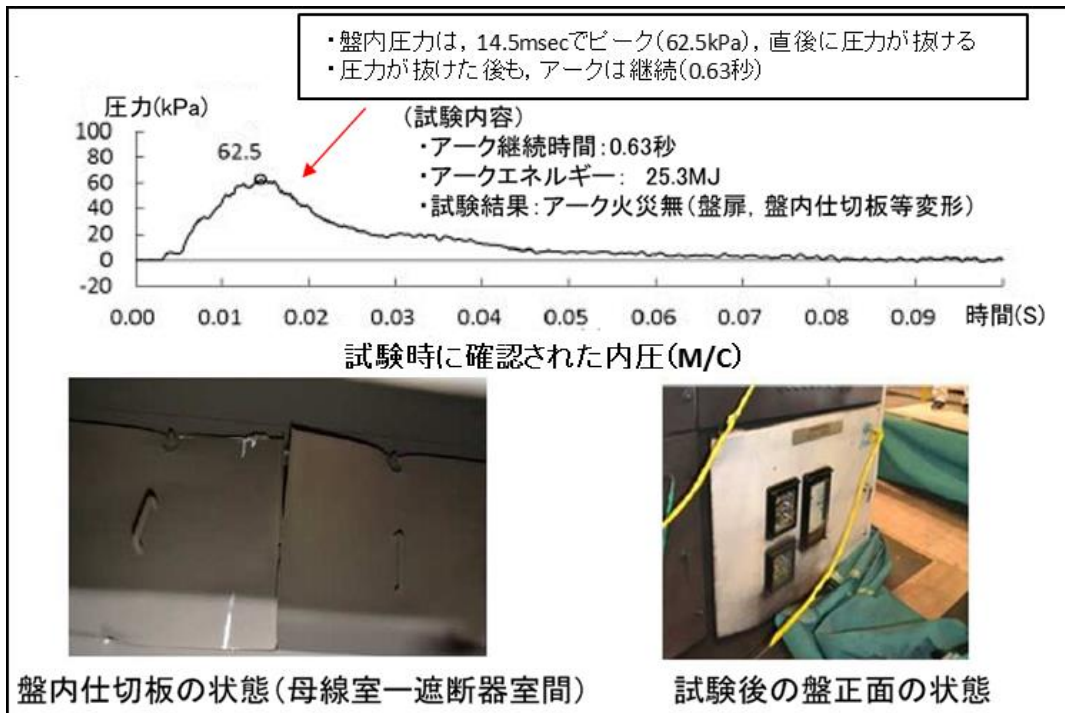
試験電圧 6.9kV
凡例:
黒塗 HEAF火災有
白塗 HEAF火災無

補正した通電時間tarc'で整理
tarc' = tarc(実測値) × 電流平均値(実測値) ÷ 基準電流20kA

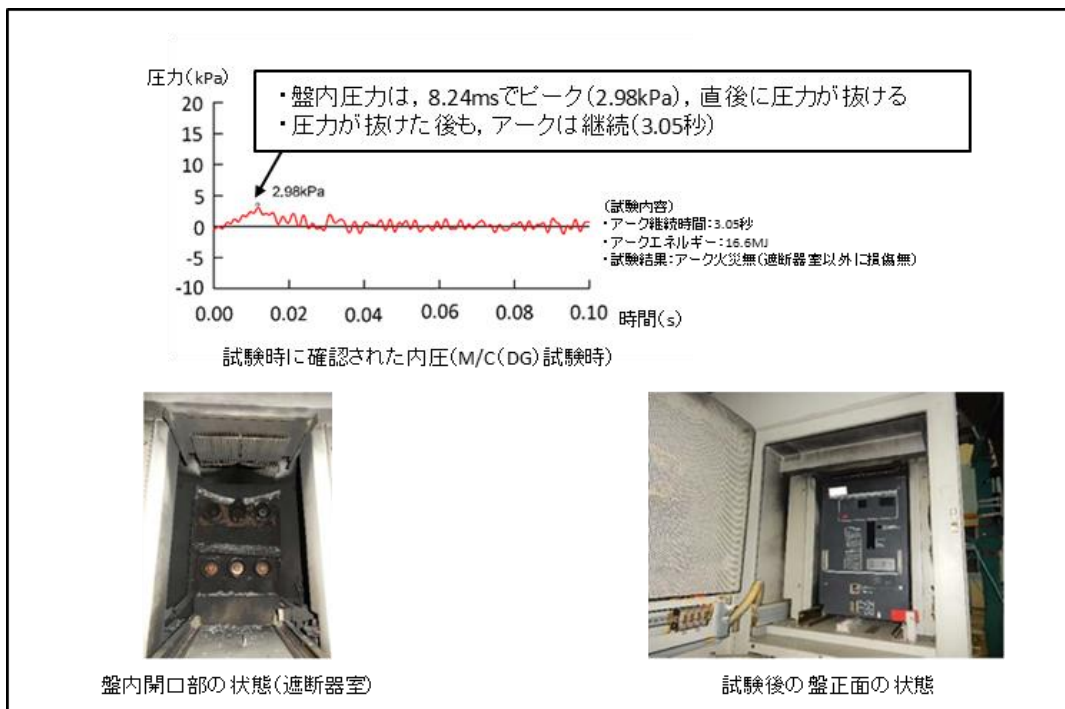
○ 非耐震MC (DG以外)
◇ 耐震MC (DG以外)
△ 非耐震MC (DG)

アーク継続時間—アークエネルギーの関係(基準電流20kA補正)

(1)M/C 試験の電気盤内圧



(2)M/C(D/G) 試験の電気盤内圧



別表 1 M/C(D/G)試験と M/C 試験の相違点について (1/3)

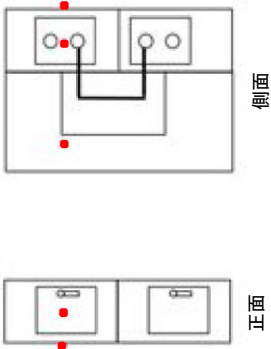
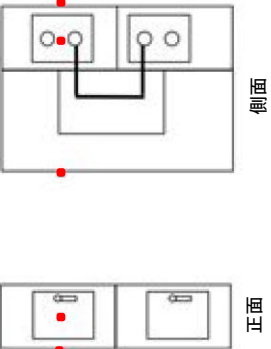
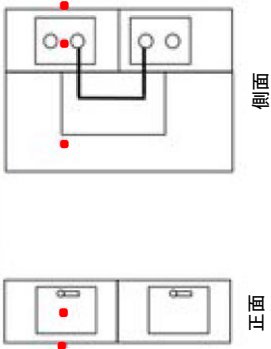
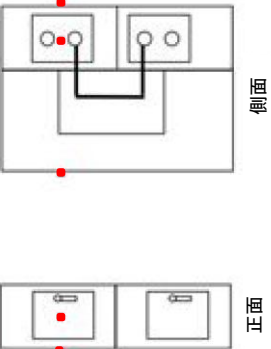
試験盤	M/C(D/G)試験		M/C試験	
	試験盤⑦	試験盤①	試験盤②	
対象機器	非耐震7.2kV 	非耐震7.2kV 	耐震7.2kV 	
相数	三相			
試験周波数	50 Hz			
試験電圧	6.9 kV	6.9 kV	8.0 kV	
試験電流	5.0 kA	18.9 kA	40.0 kA	
発弧箇所	遮断器室	ケーブル室または遮断器室		

別表 1 M/C(D/G)試験と M/C試験の相違点について (2/3)

試験盤	M/C(D/G)試験		M/C試験	
	試験盤⑦	試験盤①	試験盤②	試験盤②
遮断器室内※1	<p>拡大</p>  <p>仕切り板 (メッシュ板) (試験前)</p>		<p>拡大</p>  <p>仕切り板の外れ (試験後)</p>	<p>拡大</p> 
開口部等による高温ガスの 主な放出経路※1	<p>通気口</p> <p>遮断器室-母線室間の仕切り板の隙間 (盤の変形はほとんど見られず)</p> 	<p>盤と筐体間との隙間</p> <p>上下段遮断器室間の仕切り板の隙間</p> <p>外れた天板, 変形した扉・側板</p> 	<p>天板(ケーブル引込口部)</p> <p>上下段遮断器室間の仕切り板の隙間</p> <p>外れた天板, 外れた仕切り板, 変形した扉・側板</p> 	<p>天板(ケーブル引込口部)</p> <p>上下段遮断器室間の仕切り板の隙間</p> <p>外れた天板, 外れた仕切り板, 変形した扉・側板</p> 
電気盤内の主な 圧力測定箇所※2	<p>発弧箇所を有する 電気盤の正面扉, 側板</p>	<p>発弧箇所を有する 電気盤の正面扉, 側板, 背面</p>		
圧力測定器		 <p>電気盤前部に 取付した圧力計</p> <p>※絶縁アタッチメントについては、電気盤内の側板, 正面扉に取り付けており、筐体内部の圧力が測定できるよう側板面からねじ込み取り付けている。</p>		
	<p>ひずみゲージ方式, 定格容量: 200kPa(精度: ±1.5%RO以内※3) サンプリング時間 : 20μs以上</p>			

※1,2 開口部箇所(高温ガス放出経路含む), 圧力測定箇所については次頁参照。
 ※3 センサーメーカーカタログ値では、±1.5%RO以内となっているものの、M/C(D/G)試験データにおいて、公開文献「公益財団法人日本適合性認定協会「JAB NOTE4 不確かさの求め方(電気試験/大電力試験分野)JAB RL504:2013」」に基づき不確かさを算出したところ、3%程度であり、2.98~3.07の間に真値が存在する。

別表 1 M/C(D/G)試験と M/C試験の相違点について (3/3)




試験盤	M/C(D/G)試験	M/C試験
	試験盤⑦	試験盤②
<p>開口箇所 (イメージ図)</p>	 <p>● 圧力測定箇所(正面, 側面)</p>	 <p>● 圧力測定箇所(正面, 側面, 背面)</p>
<p>電気盤内の主な 圧力測定箇所 (イメージ図)</p>	 <p>● 圧力測定箇所(正面, 側面)</p> <p>※ 発弧位置が正面左上段の遮断器の場合</p>	 <p>● 圧力測定箇所(正面, 側面, 背面)</p> <p>※ 発弧位置が正面左上段の遮断器の場合</p>




火災感知設備及び消火設備の配置について

島根原子力発電所第2号機の HEAF 対策対象電気盤が設置されているエリアの火災感知設備及び消火設備の配置について以降に示す。なお、配置図の凡例については、下記に記載のとおりとする。

なお、図面に記載されている寸法の単位についてはミリメートルとする。


【凡例】


感知器（断面図）	
	煙感知器
	熱感知器
	垂直方向の ZOI 影響範囲（*）

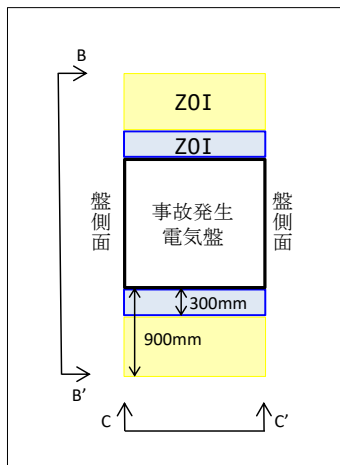
感知器（平面図）	
	煙感知器
	熱感知器
	垂直方向の ZOI 影響範囲（*）

*ZOI (Zone Of Influence) とは

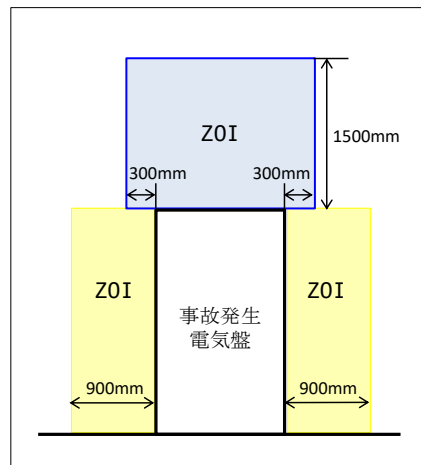
電気盤内で発生したアーク放電の盤外への影響範囲のこと。詳細については下図参照。

 : 垂直方向への影響範囲

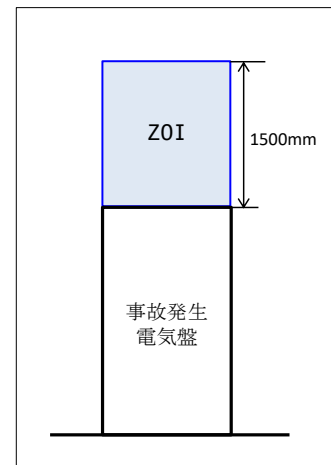
 : 水平方向への影響範囲



平面図



B - B' 断面図

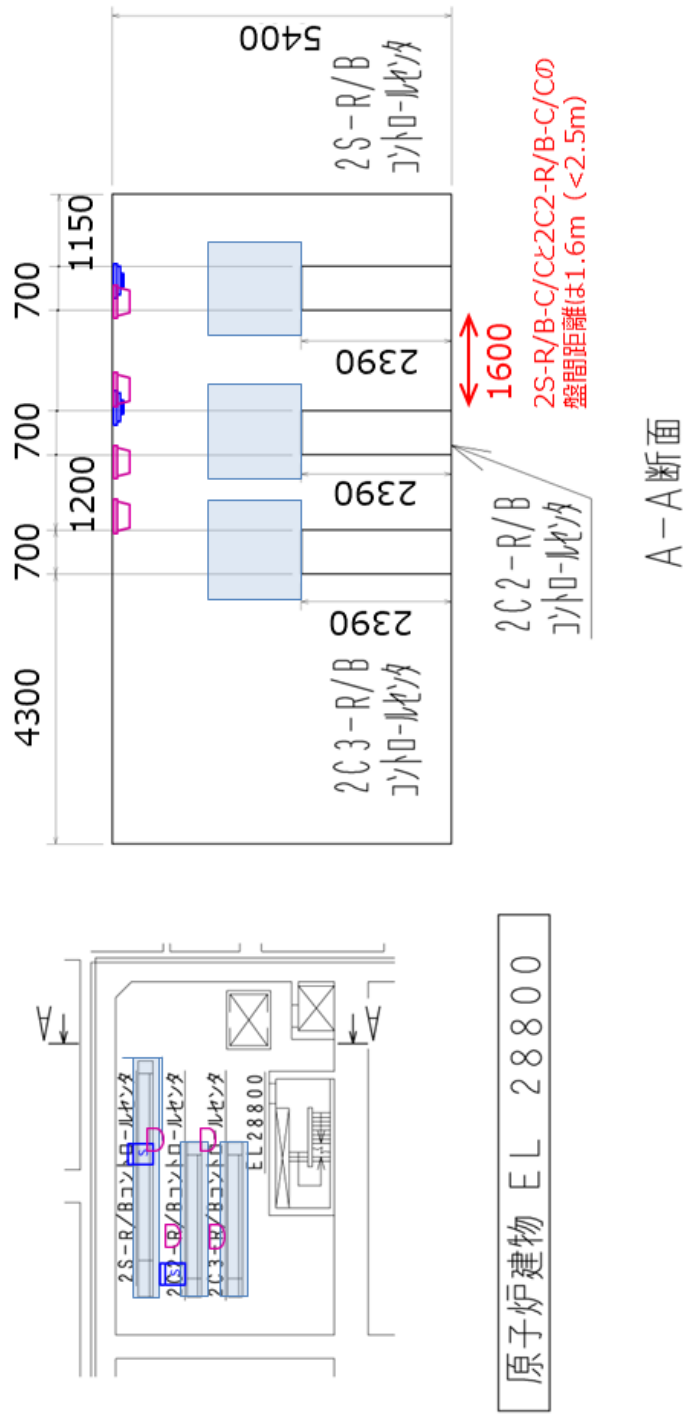


C - C' 断面図



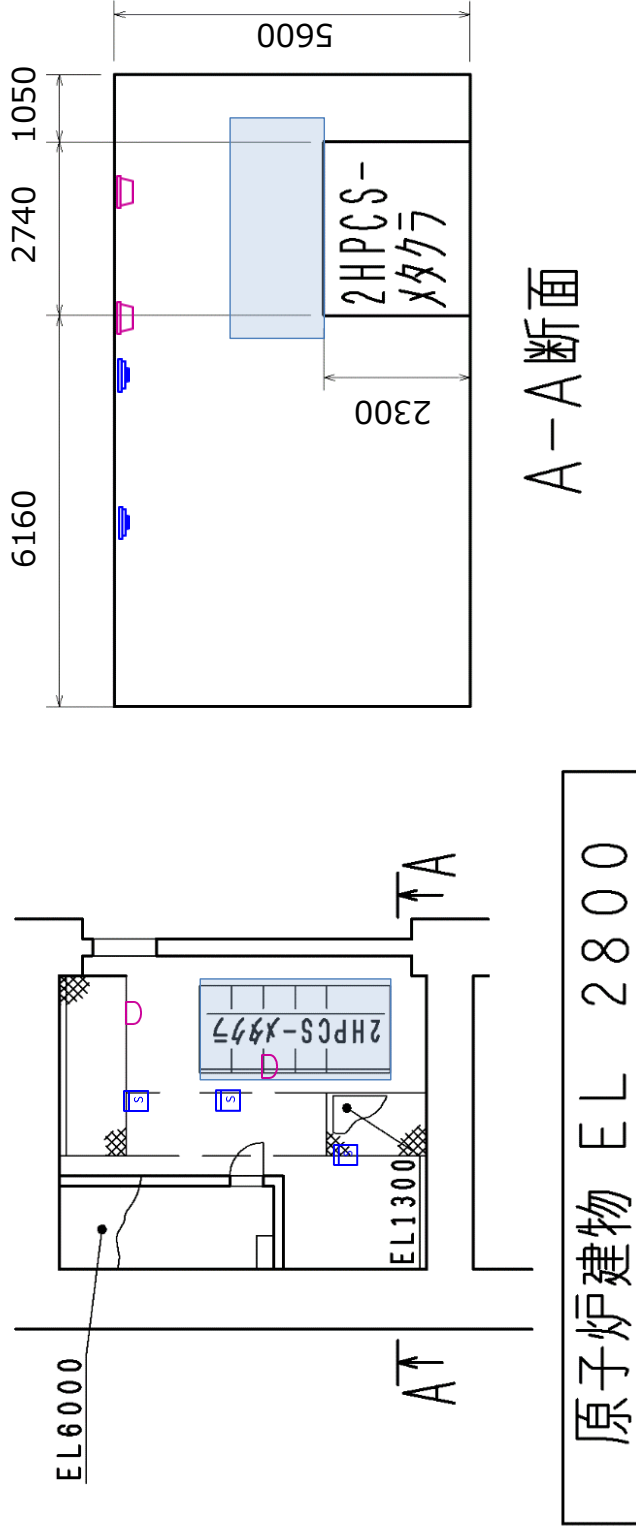
*煙感知器, 熱感知器については全て天井付近に取り付けられているため記載について簡略化する。

図1 火災感知設備及び消火設備の配置図 (1/9)



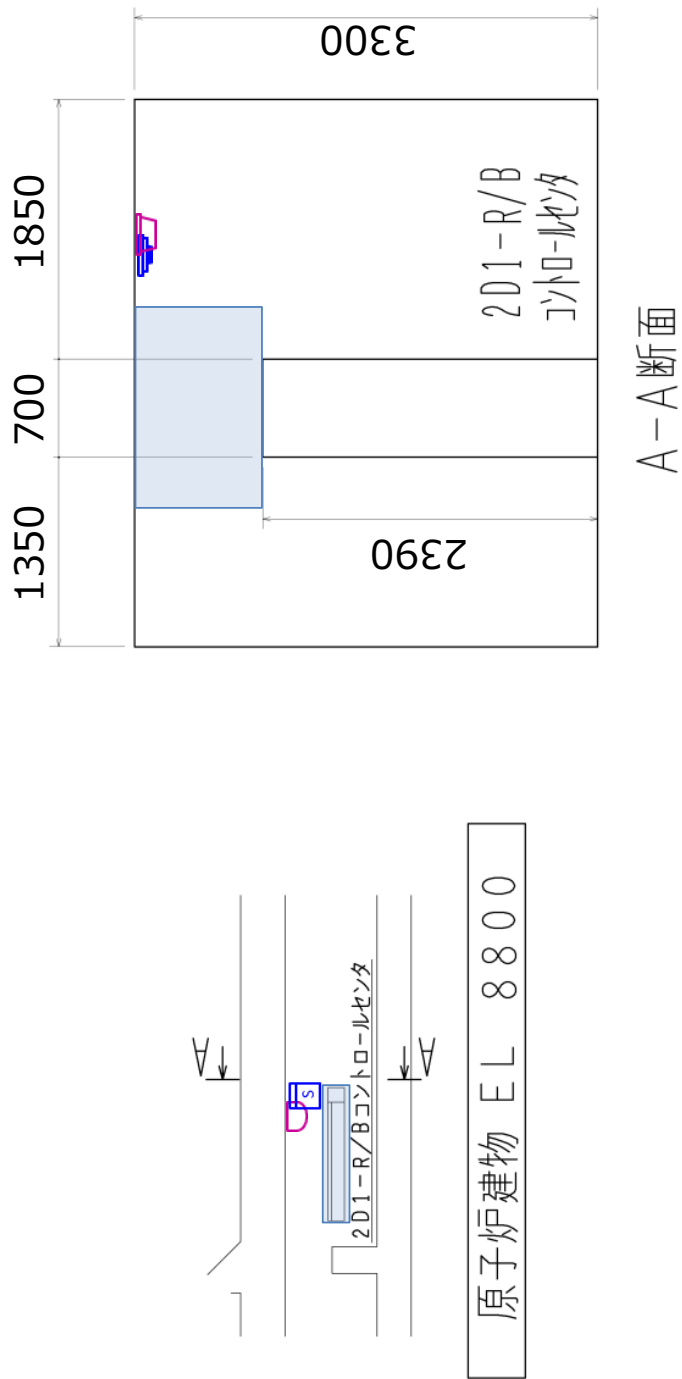
原子炉建屋 中2階 (北東)

図1 火災感知設備及び消火設備の配置図 (2/9)



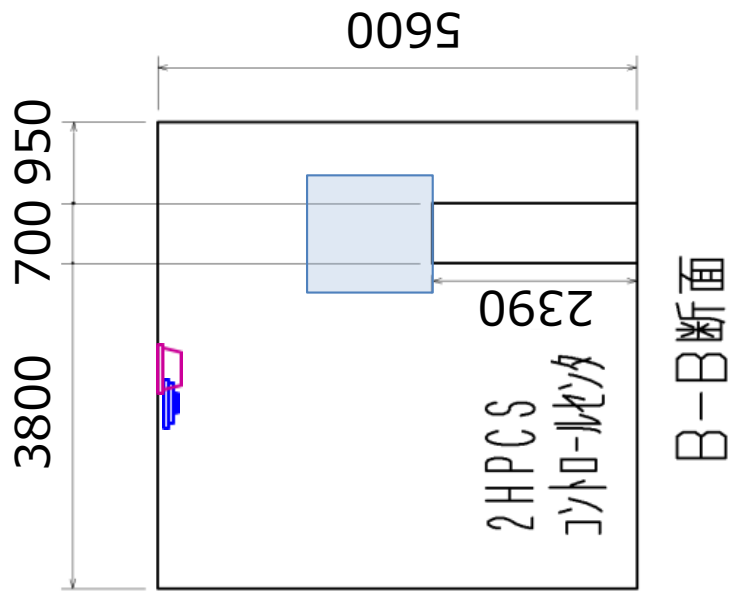
原子炉建屋 地下2階HPCS電気室

図1 火災感知設備及び消火設備の配置図 (3/9)



原子炉建屋 中地下1階

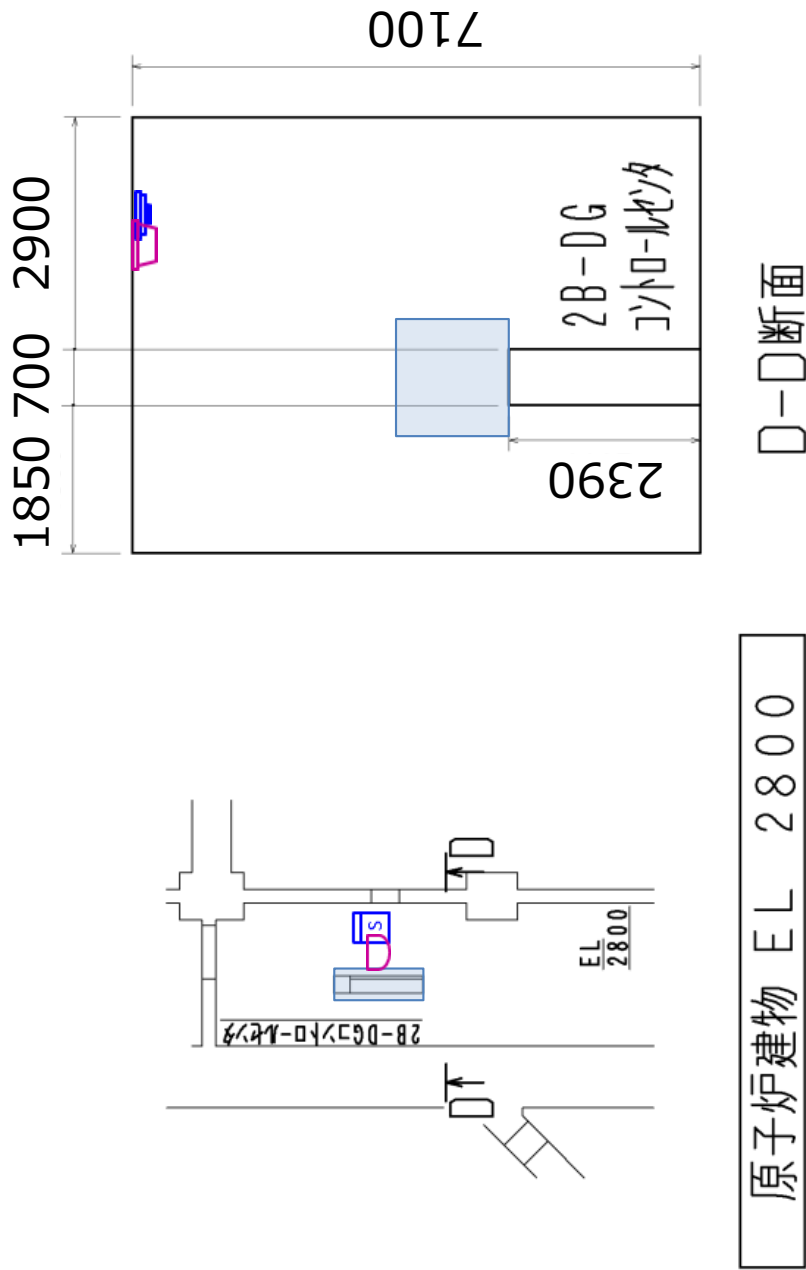
図1 火災感知設備及び消火設備の配置図 (4/9)



原子炉建物 EL 2800

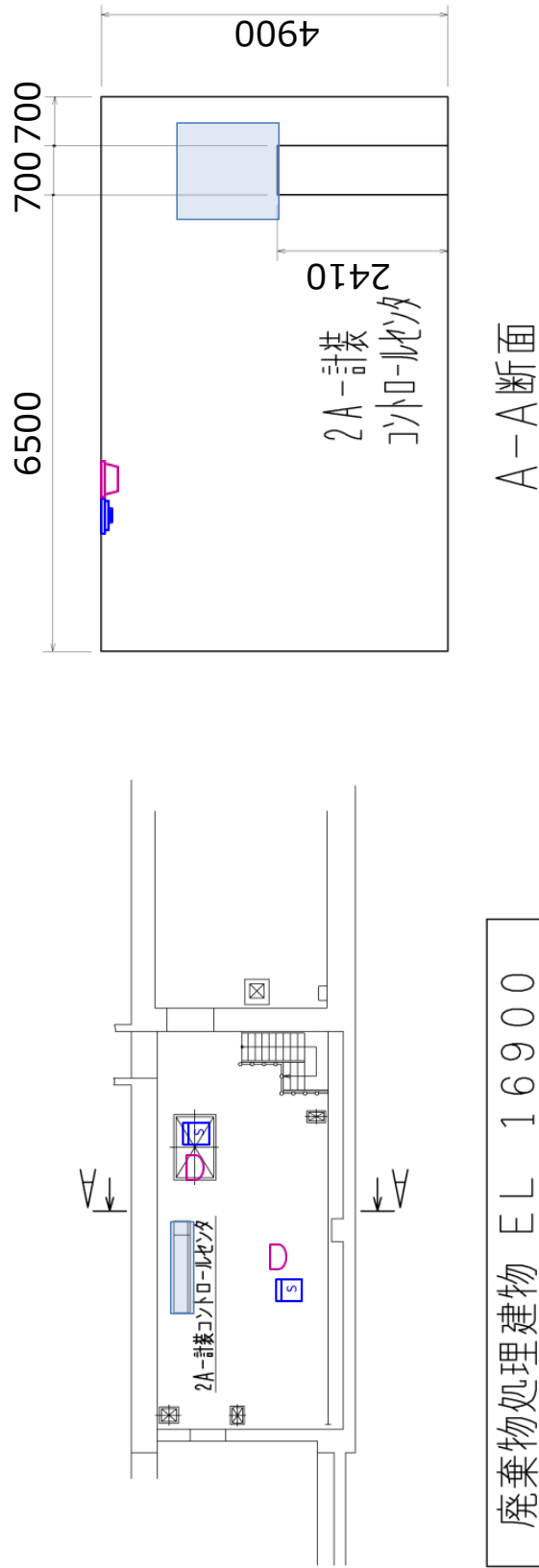
原子炉建屋 地下2階 (西側)

図1 火災感知設備及び消火設備の配置図 (5/9)



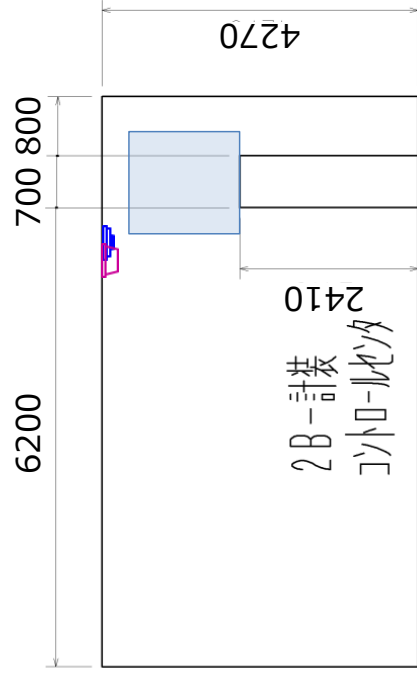
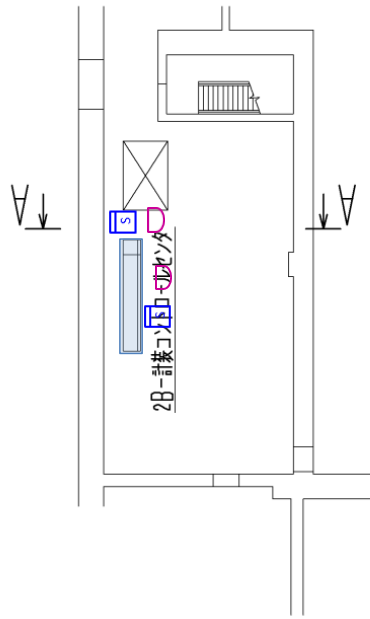
原子炉建物 地下2階（東側）

図1 火災感知設備及び消火設備の配置図（7/9）



廃棄物処理建物 1階

図1 火災感知設備及び消火設備の配置図 (8/9)



A-A断面

廃棄物処理建物 EL 12300

廃棄物処理建物 中地下1階

図1 火災感知設備及び消火設備の配置図 (9/9)

非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機
保護ロジックへのインターロック追加に関わる既存設備への影響について

1. はじめに

非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機(以下「D/G」という。)の保護ロジックへのインターロック追加において、既存設備への影響確認を実施するものである。

2. インターロック追加における回路構成について

(1) 既設のインターロックについて

既設のインターロックを図 2-1 に示す。

既設のインターロックにおいて、D/G 受電遮断器で HEAF が発生した場合は、D/G 51 から
の信号により D/G 機関停止のインターロックは成立するが、HEAF により D/G 受電遮断器が
「開」動作せず、界磁開閉器（消磁コンタクト）の動作のインターロックが成立しないおそ
れがあり、短絡電流が継続することとなるため、HEAF 火災の発生を防止することができな
い可能性がある。

補機の遮断器で HEAF が発生した場合は、D/G 51 の信号により D/G 受電遮断器が「開」と
なり、短絡電流が遮断され、HEAF 火災の発生防止を図ることができる。

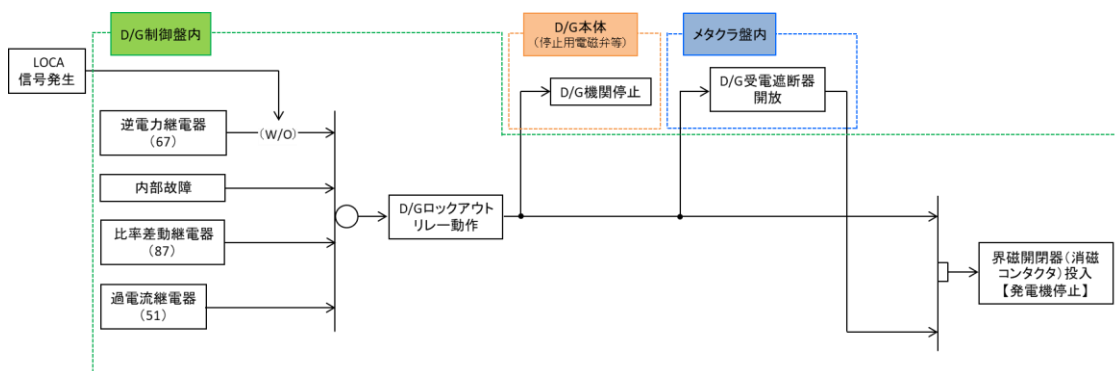


図 2-1 既設インターロック

(2) 追加するインターロックについて

上記のとおり、既設のインターロックにおいて、D/G 受電遮断器で HEAF が発生した場合、HEAF 火災に対する保護ができないため、D/G 51 動作後に一定時間が経過しても D/G 受電遮断器が「開」動作しないことをもって、D/G 受電遮断器で HEAF が発生したことを判断し、アーク放電を遮断するインターロック回路を追加することで、HEAF 火災の発生防止を図る。

図 2-2、表 2-1 に示すとおり、このインターロックは既設の保護ロジック回路構成を変更するものではなく、D/G 51 にタイマを追加することにより、界磁開閉器（消磁コンタクト）投入のインターロックを追加するものであるため、既許可の設計を変更するものではない。

なお、既設の D/G 制御盤内に回路を追加し、地震、溢水影響等のないよう設計する。

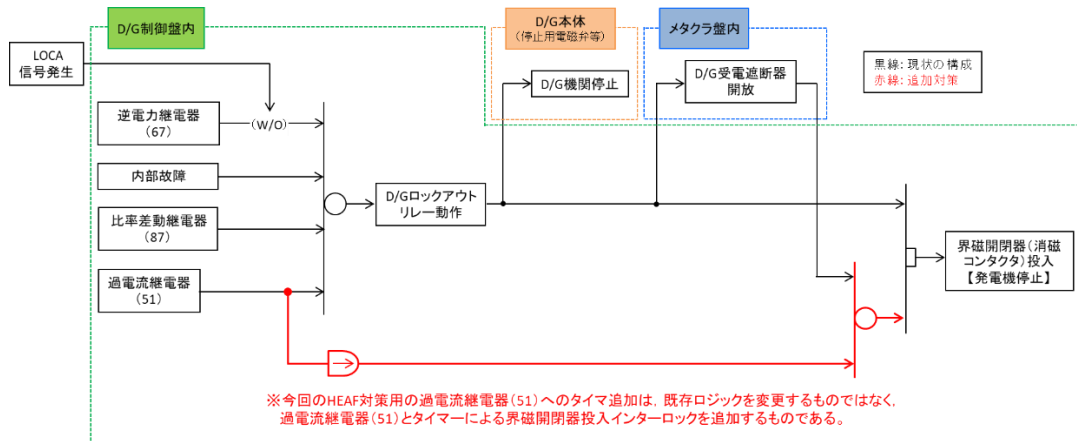


表 2-1 HEAF 対策によるインターロック追加箇所

	事故点	事故検出	インターロック動作			備考
			D/G 受電遮断器	D/G 機関	界磁開閉器 (消磁コンタクタ)	
既設	1	D/G 51 動作	開	停止	動作	
	2		動作不可*	停止	不動作	HEAF 火災の発生防止不可
HEAF 対策後	1	D/G 51 動作	開	停止	動作	既設インターロックから変更なし
	2	D/G 51+ タイマ動作	動作不可*	停止	動作	HEAF 対策としてタイマ追加

事故点 1：補機用の遮断器で HEAF が発生

事故点 2：D/G 受電遮断器で HEAF が発生

*HEAF により D/G 受電遮断器が「開」動作しないおそれがあり、短絡電流が継続することになるため、HEAF 火災の発生を防止することができない可能性がある。

【インターロック追加設計の考え方】

- a. D/G 受電遮断器での HEAF 発生に起因した短絡電流を、アーク火災に至る前に遮断することを目的としている。
- b. D/G による給電時においても、HEAF による電気盤の損壊の拡大を防ぐため、アーク放電継続時は、D/G 機関を停止するとともに、アークエネルギー抑制の観点から、速やかに HEAF 発生点である D/G 受電遮断器への短絡電流供給を停止する必要があるため、アーク放電継続時は D/G の界磁開閉器 (消磁コンタクタ) を投入することで、短絡電流を減衰させる。

3. 保護ロジックにおける設計思想について

今回追加する D/G を停止するインターロックは、HEAF 火災を発生させないことを目的に設置するものであるが、図 3-1 に示すとおり、発電機比率差動継電器 (87)、発電機逆電力継電器 (67) と同じ設計思想 (1/1 ロジックで動作) とするのが妥当である。また、この設計思想については、M/C の保護リレーの設計思想 (1/1 ロジックで動作) とも整合している。

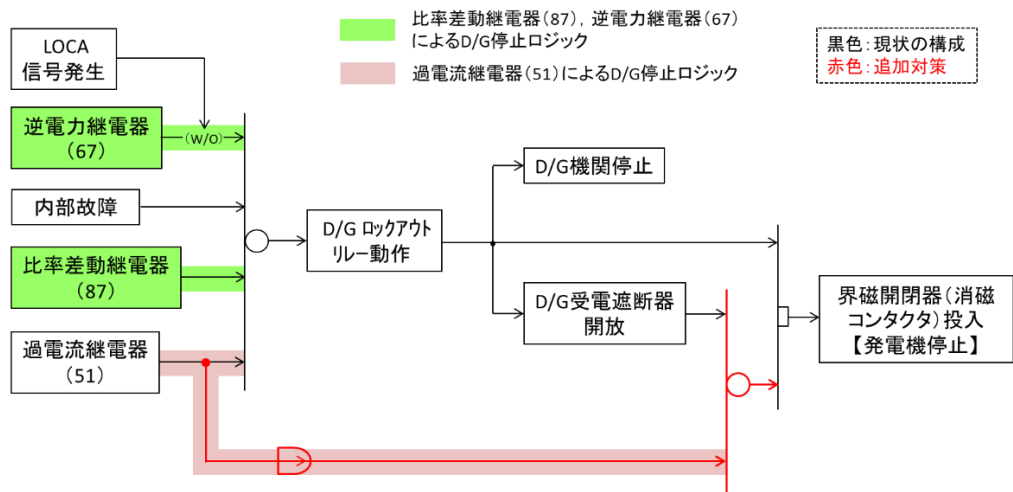


図 3-1 D/G 停止インターロック

4. インターロック追加による D/G への悪影響を防止するための設計上の考慮について

(1) 追加するインターロック回路の故障による悪影響に対する設計上の考慮

追加するインターロック回路については、設置許可基準規則第 12 条第 1 項及びその解釈、設置許可添付書類八の設計方針に基づき、D/G と分離及び隔離する必要がある。

【設置許可基準規則 第12条第1項】

安全施設は、その安全機能の重要度に応じて、安全機能が確保されたものでなければならない。

【設置許可基準規則の解釈 第12条】

第1項に規定する「安全機能の重要度に応じて、安全機能が確保されたもの」については、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」による。ここで、当該指針における「安全機能を有する構築物、系統及び機器」は本規定の「安全施設」に読み替える。

【発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針】

IV. 分類の適用の原則

3. 分離および隔離の原則

安全機能を有する構築物、系統又は機器は、これら二つ以上のもの間において、又は安全機能を有しないものとの間において、その一方の運転又は故障等により、同位ないし上位の重要度を有する他方に期待される安全機能が阻害され、もって原子炉施設の安全が損なわれることのないように、機能的隔離及び物理的分離を適切に考慮しなければならない。

【設置許可 添付書類八】

1.3 安全機能の重要度分類

1.3.2 分類の適用の原則

(3) 安全機能を有する構築物、系統又は機器は、これら二つ以上のもの間において、又は安全機能を有しないものとの間において、その一方の運転又は故障等により、同位ないし上位の重要度を有する他方に期待される安全機能が阻害され、もって原子炉施設の安全が損なわれることのないように、機能的隔離及び物理的分離を適切に考慮する。

(4) 重要度の異なる構築物、系統又は機器を接続するときは、下位の重要度のものに上位の重要度のものと同等の設計上の要求を課すか、又は上位の重要度のものと同等の隔離装置等によって、下位の重要度のものの故障等により上位の重要度のものの安全機能が損なわれないように、適切な機能的隔離が行われるよう考慮する。

ただし、本申請では HEAF 対策を目的としてインターロック回路と D/G を相互接続する必要があるため、故障によって D/G の安全機能が阻害されることがないように、以下の運転管理・施設管理による対応を行うものとする。

なお、これらは保安規定に定める運転管理、施設管理に従い実施するものであり、インターロック追加に伴い保安規定を変更するものではない。

①運転管理による対応

D/G 51 は、島根原子力発電所原子炉施設保安規定の第 12 条（運転管理業務）の 2(1)(3)、第 13 条（巡視点検）第 1 項、第 14 条（規定類の作成）による運転管理の対象として、発電部（運転員）が運転監視、巡視点検、運転操作、警報発信時の対応、故障時の対応、定期的な試験・確認等を実施することとなる。

具体的には、当該継電器の異常有無は巡視点検時に目視にて確認する。さらに、定期的な D/G サーベイランス時にも、当該継電器に異常がないことを目視にて確認する。

警報発信時の対応については予め手順書に定めて運用し、運転員が当該継電器の故障を発見した場合には直ちに保修部に点検・復旧を依頼する。

なお、D/G 運転中に万一当該継電器が故障した場合、機関の停止回路が動作し、或いは D/G 受電遮断器が開放され、D/G からの給電が停止する可能性が考えられる。ただし、非常用電源系統は、1 つの非常用電源母線で原子炉を安全停止することができよう多重性・独立性を有する設計となっていることから、1 つの当該継電器が故障したとしても、健全側の D/G にて事故の収束は可能である。D/G 待機中に万一当該継電器が故障し、誤動作して D/G 停止信号を発信した場合、又は復旧作業のために電源隔離を行う場合、D/G が待機除外となるため、プラント運転中であれば島根原子力発電所原子炉施設保安規定第 59 条（非常用ディーゼル発電機その 1）で定められている AOT10 日以内（動作可能な外部電源が 1 回線である場合は 12 時間以内）に復旧できなければプラント停止が必要となる。

②施設管理による対応

保修部は、当該継電器の点検計画を策定し、計画的に点検を実施することで設備の健全性を維持する。

また、発電部から当該継電器の点検・復旧依頼があった場合は、可及的速やかに復旧作業を開始する。

当該継電器の復旧は、リレープラグを引き抜くことで継電器単独で取り替えが可能である。以下の手順により約 10 時間で復旧可能と考えている。復旧後は、D/G 停止信号をリセットし、D/G を再起動することができる。

- ・作業準備 : 約 1 時間
- ・取替品の運搬 : 約 1.5 時間
- ・作業員の確保 : 約 6.5 時間
- ・取替作業 : 約 1 時間

上記の運転管理及び施設管理に係る業務は、島根原子力発電所原子炉施設保安規定第 3 条（品質マネジメント計画）に基づき実施することで、当該継電器の健全性を維持するとともに、異常の早期発見及び早期復旧に努め、偶発故障（悪影響）に対応する。

島根原子力発電所原子炉施設保安規定第 59 条 (非常用ディーゼル発電機その 1)

(抜粋) [参考]

〔保安規定第 59 条〕

(非常用ディーゼル発電機その 1)

第 59 条 原子炉の状態が運転、起動および高温停止において、非常用ディーゼル発電機は、表 59-1 に定める事項を運転上の制限とする。

2. 非常用ディーゼル発電機が、前項に定める運転上の制限を満足していることを確認するため、次の各号を実施する。
 - (1) 課長(発電)は、定事検停止時に、非常用ディーゼル発電機が模擬信号で作動することを確認する。
 - (2) 当直長は、原子炉の状態が運転、起動および高温停止において、次の事項を確認する。
 - a. 非常用ディーゼル発電機を待機状態から始動し、無負荷運転時の電圧および周波数が表 59-2 に定める値であることを、ならびに引き続き非常用交流高圧電源母線に並列して定格出力で運転可能であることを 1 箇月に 1 回確認する。
 - b. デイタンクレベルが表 59-2 に定める値であることを 1 箇月に 1 回確認する。ただし、非常用ディーゼル発電機が運転中および運転終了後 2 日間を除く。
3. 当直長は、非常用ディーゼル発電機が、第 1 項に定める運転上の制限を満足していないと判断した場合は、表 59-3 の措置を講じる。

表 59-1

1. 2号炉

項 目	運転上の制限
非常用ディーゼル発電機	3台 ^{*1} の非常用ディーゼル発電機が動作可能であること

2. 3号炉

項 目	運転上の制限
非常用ディーゼル発電機	3台 ^{*2} の非常用ディーゼル発電機が動作可能であること

※1：3台とは、A系、B系および高圧炉心スプレイ系のディーゼル発電機をいう。

※2：3台とは、A系、B系およびC系のディーゼル発電機をいう。

表 59-2

1. 2号炉

非常用ディーゼル発電機	判定値		
	電圧	周波数	デイタンクレベル
A系およびB系	6.9±0.345kV 以内	60±1.2Hz 以内	13.45 m ³ 以上
高圧炉心スプレイ系	6.9±0.345kV 以内	60±1.2Hz 以内	7.7 m ³ 以上

2. 3号炉

非常用ディーゼル発電機	判定値		
	電圧	周波数	デイタンクレベル
A系、B系およびC系	6.9±0.345kV 以内	60±1.2Hz 以内	1,960mm 以上

表59-3

1. 2号炉

条 件	要求される措置	完了時間
A. 非常用ディーゼル発電機1台が動作不能の場合	A1. 非常用ディーゼル発電機を動作可能な状態に復旧する。 および A2. 残り2台の非常用ディーゼル発電機について動作可能であることを確認する。 および A3. 原子炉隔離時冷却系 ^{※3} について動作可能であることを確認する。	10日間 速やかに 速やかに
B. 条件AのA1の措置（非常用ディーゼル発電機の復旧）が完了時間内に達成できない場合	B1. 残り2台の非常用ディーゼル発電機を運転状態とする。 および B2. 非常用ディーゼル発電機を動作可能な状態に復旧する。	速やかに 30日間
C. 非常用ディーゼル発電機1台が動作不能の場合（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を除く。） および 外部電源が1系列しか動作可能でない場合（高圧炉心スプレイ系母線を除く。）	C1. 当該非常用ディーゼル発電機を動作可能な状態に復旧する。 または C2. 外部電源を2系列動作可能な状態に復旧する。	12時間 12時間
D. 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機が動作不能の場合 および 高圧炉心スプレイ系母線に対し動作可能である外部電源が1系列以下の場合	D1. 1. 当該非常用ディーゼル発電機を動作可能な状態に復旧する。 または D1. 2. 外部電源を2系列動作可能な状態に復旧する。 および D2. 自動減圧系（原子炉圧力が0.78MPa[gage]以上の場合）の窒素ガス供給圧力が表39-2に定める値であることを確認する。 および D3. 原子炉隔離時冷却系 ^{※3} について動作可能であることを確認する。	10日間 10日間 速やかに 速やかに
E. 条件A(A1の措置を除く。), B, CまたはDで要求される措置を完了時間内に達成できない場合 または 非常用ディーゼル発電機2台以上が動作不能の場合	E1. 高温停止にする。 および E2. 冷温停止にする。	24時間 36時間

※3：原子炉圧力が0.98MPa[gage]以上の場合に実施する。

(参考) D/G 51 及びタイマのプラント信頼性評価への影響

現在プラントの信頼性評価では、NUCIA データ『原子力発電所に関する確率論的安全評価用の機器故障率の算出（1982年度～1997年度 16カ年 49基データ改訂版）』（別添-2 参照）で定義されている機器バウンダリに基づき実施している。

当該継電器及びタイマ誤動作による D/G 機関の停止については、” D/G の計測制御回路” として当該継電器及びタイマを D/G のバウンダリに含めて取り扱っている*1。

すなわち、D/G の故障率には当該継電器及びタイマの要因による故障率も含まれているため、当該継電器及びタイマ設置によるプラントの信頼性評価への影響はない*2。

注記*1：PRA で使用している NUCIA の故障率データは、国内プラント全体の過去の故障実績を集計して統計的に算出された値を使用している。その故障実績の集計に際して、機器ごとに機器バウンダリが定められている。機器バウンダリ内の故障要因により当該機器が機能喪失した実績は、当該機器の故障実績としてカウントされる。そのため、当該機器の故障率に含まれる。一方、機器バウンダリ外の故障

原因により当該機器が機能喪失した実績は、当該機器の故障実績としてカウントされない。そのため当該機器の故障率には含まれない。また、NUCIA 資料『原子力発電所に関する確率論的安全評価用の機器故障率の算出（1982 年度～1997 年度 16 ヶ年 49 基データ改訂版）』の 68 頁に D/G のバウンダリの説明の図と表があり、この表の中でバウンダリ内の「計測制御装置」の設備として、「冷却水流量、潤滑油圧力、機関速度等に係る検出器・変圧器・保護リレー、その他」が挙げられる。「冷却水流量、潤滑油圧力、機関速度等」といった故障要素は D/G 故障ロックアウトリレーを動作させ機関を直接停止させるものである。当該 51 保護リレー及びタイマについても電気系の保護信号ではあるものの、先の保護信号と並列なインターロック回路を構成し D/G 故障ロックアウトリレーを動作させることから、当該 51 保護リレー及びタイマについても先の保護信号用の保護リレーと同様に D/G バウンダリ内の設備として整理されたと考える。

*2：PRA で使用している NUCIA の故障率データは、各プラントの各機器の詳細な設計情報を分析して算出されたものではなく、国内プラント全体の過去の故障実績を集計して統計的に算出された値を使用している。よって、過去の実績に基づくものであり、現在の機器の設計が変更となっても即座に故障率に影響することはない。一方で、機器の設計が変更となった後は、その設計での故障実績が積みあがっていくので、将来的には故障率に影響が出てくる可能性はある。

なお、仮に D/G の故障率とは別に当該継電器及びタイマの故障率を取り扱った場合でも、現在プラントの信頼性評価で使用している NUCIA データ「故障件数の不確実さを考慮した国内一般機器故障率の推定(1982 年度～2010 年度 29 ヶ年 56 基データ)」(別添-3 参照)によれば、” D/G の運転継続失敗” の時間故障率 ($3.3 \times 10^{-4}/\text{hr}$) に対し、継電器誤動作の時間故障率 ($3.0 \times 10^{-9}/\text{hr}$)、タイマ誤動作の時間故障率 ($6.8 \times 10^{-9}/\text{hr}$) は十分に小さいものであり、D/G の信頼性に有意な影響を与えることはないと考えられる。

(2) 自然現象等を起因とした悪影響に対する設計上の考慮

今回のインターロック追加は、自然現象等を起因とした悪影響に対する基準適合性に影響を与えないよう以下のとおり設計する（図 4-1 参照）。

- ・「地震」に対しては、追加するインターロック回路（タイマ等）は D/G 制御盤内に設置し、耐震 S クラスの構造強度を有する設計とする。具体的には、D/G 制御盤内の既設器具と同じ方法で盤内に取付け、固定することで、地震時に落下・脱落しない設計とする。また、追設するタイマ等の機能確認済加速度は、D/G 制御盤内の機能確認済加速度よりも大きく、かつ盤設置レベルの機能維持評価用加速度よりも大きくなる設計とする。地震によってタイマ等が故障（機能喪失）することはない。
- ・「津波、外部衝撃、火災及び蒸気タービン・発電機等の損壊に伴う飛散物」に対しては、タイマ等を D/G 制御盤内に設置することで、悪影響を及ぼさない設計とする。
- ・「溢水」に対しては、タイマ等を D/G 制御盤内の溢水防護上配慮が必要な高さ以上に

配置することで、悪影響を及ぼさない設計とする。

また、「電気系統」の観点で今回のタイマ追設がD/Gに悪影響を及ぼさないように、タイマは非常用電源系から受電し、タイマ等は単独でも施設管理が可能な状態とする。

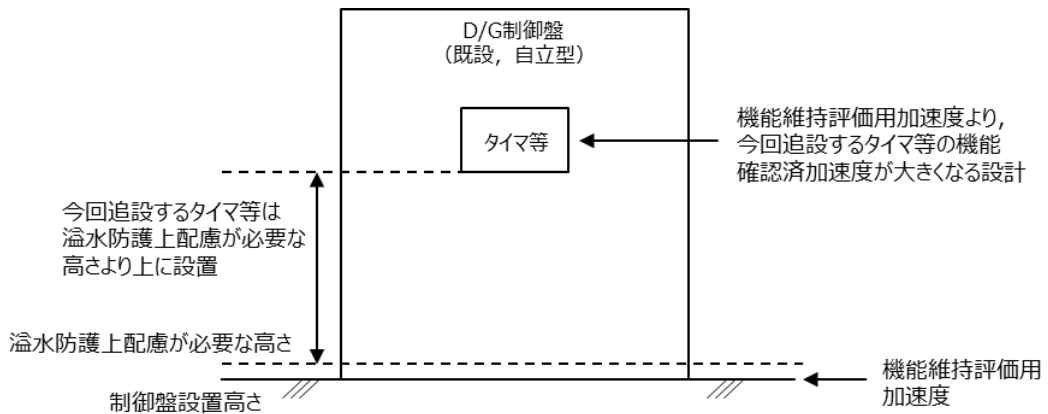


図 4-1 D/G 制御盤内のタイマ等設置イメージ

表 4-1 機能確認済加速度と機能維持評価用加速度の比較 (D/G 制御盤)
(9.8m/s^2)

	機能維持評価用 加速度	機能確認済加速度	
		タイマ等	盤
水平方向	1.29		
鉛直方向	0.96		

表 4-2 制御盤設置高さと溢水による溢水防護上配慮が必要な高さの比較
(単位: m)

	制御盤設置高さ	溢水防護上配慮が 必要な高さ
2A- D/G 制御盤	EL 2.80	
2B- D/G 制御盤	EL 2.80	
2HPCS-D/G 制御盤	EL 2.80	

5. 先行審査プラントとの HEAF 対策比較

(1) 先行審査プラント (PWR)

先行審査プラント (PWR) の HEAF 対策は、新たに追加した過電流継電器 (50) の動作により D/G を停止および消磁コンタクタ投入のインターロックを追加するものである (表 5-1 参照)。

先行審査プラント (PWR) において、既存の過電流継電器 (51) を使用して D/G を停止させる場合、既存の設計思想^{*1}を変更する必要があるため、HEAF 発生時以外は既存の設計思想を変更しない対策として、過電流継電器 (50) を追加する HEAF 対策を実施している。

(2) 先行審査プラント (BWR)

先行審査プラント (BWR) の HEAF 対策は、既存の設計思想^{*2}を変更することなく、既存の過電流継電器 (51) を使用して HEAF 対策を実施している。

(3) 先行審査プラントとの比較

島根 2 号機は、既存の設計思想^{*3}を変更することなく、既存の過電流継電器 (51) を使用して HEAF 対策が可能であるため、先行審査プラント (PWR) とは異なり、先行審査プラント (BWR) と同様の対策となる。ただし、既設の D/G のインターロックの設計思想は先行審査プラント (BWR) と異なる。

注記*1：先行審査プラント (PWR) において、過電流継電器 (51) が動作した場合、SI 信号挿入状態時は D/G が停止せず、D/G 受電遮断器が「開」とならない。

*2：先行審査プラント (BWR) においては、過電流継電器 (51) が動作した場合、LOCA 発生の有無により D/G 機関を停止するプラント、LOCA 発生の有無に関わらず、D/G 受電遮断器のみ「開」とするプラントがある。

*3：島根 2 号機において過電流継電器 (51) が動作した場合、LOCA 発生の有無に関わらず D/G 機関を停止し、D/G 受電遮断器開放後に界磁開閉器 (消磁コンタクタ) を投入する。

表 5-1 先行審査プラントとの HEAF 対策比較 (D/G からの給電時)

	島根 2 号機	先行審査プラント (BWR)	先行審査プラント (PWR)
ブロック図			
単線結線図			
HEAF 対策	<p>既設の過電流継電器 (51) にタイマを追加し、タイマが一定時間動作継続した場合、D/G 受電遮断器で HEAF が発生していると捉え、D/G 停止及び消磁コンタクタ (消磁コンタクタ) 投入のインターロックを動作させることで、HEAF 火災への進展を防止する。</p> <p>島根 2 号機の場合は、既設の過電流継電器 (51) を流用することで、設計思想*を変更せずに対策が可能である。</p> <p>注記*: 過電流継電器 (51) が動作した場合、LOCA 発生有無に関わらず D/G 機関を停止し、D/G 受電遮断器開放後に消磁コンタクタ (消磁コンタクタ) を投入する。</p>	<p>既設の過電流継電器 (51) にタイマを追加し、タイマが一定時間動作継続した場合、D/G 受電遮断器で HEAF が発生していると捉え、D/G 停止及び消磁コンタクタ (消磁コンタクタ) 投入のインターロックを動作させることで、HEAF 火災への進展を防止する。</p> <p>先行審査プラント (BWR) の場合は、既設の過電流継電器 (51) を流用することで、設計思想*を変更せずに対策が可能である。</p> <p>注記*: 過電流継電器 (51) が動作した場合、LOCA 発生有無に関わらず D/G 受電遮断器のみ「開」とするプラント (上記例) や、LOCA 発生有無により D/G 機関を停止するプラントがある。</p>	<p>過電流継電器 (50) を追加し、過電流継電器 (50) 動作した場合には、D/G 受電遮断器で HEAF が発生していると捉え、D/G 停止及び消磁コンタクタ (消磁コンタクタ) 投入のインターロックを動作させることで、HEAF 火災への進展を防止する。</p> <p>先行審査プラント (PWR) の場合は、既設の過電流継電器 (51) を使用するためには、設計思想*を変更する必要がある。</p> <p>注記*: 過電流継電器 (51) が動作した場合、SI 信号挿入状態においては、D/G が停止せず、D/G 受電遮断器が「開」とならない</p>

6. まとめ

今回のインターロック追加は、D/G 受電遮断器での HEAF 発生に起因した短絡電流をアーク火災に至る前に遮断することを目的に設置していることから、D/G の保護継電器設計と整合した考え方（A 系 1 台、B 系 1 台及び HPCS 系 1 台）で設計している。

また、インターロックは HEAF 対策を目的として、D/G の機関停止を実施することとなるが、既存の D/G の保護ロジック回路の構成を変更するものではなく、D/G 制御盤内にタイマ等を設置することで D/G の自然現象等に対する基準適合性に影響がないように設計しており、運転管理面及び施設管理面の対応により、保護継電器の健全性を維持するとともに、異常の早期発見及び早期復旧に努め、偶発故障（悪影響）の防止を図る方針としている。

以上のとおり、今回追加するインターロックが D/G に悪影響を及ぼさないように設計上の考慮を行っている。

非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機給電時の
HEAF 火災対策の検討について

1. はじめに

非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機(以下「D/G」という。)からの給電時において HEAF が発生した場合の HEAF 火災対策案を比較検討する。

2. HEAF 発生条件

図 2-1 に D/G から M/C に給電する場合の概略電源構成を示す。HEAF は、D/G からの給電中における短絡事故に起因して発生するものとし、想定しうる事故点は図 2-1 に示す事故点 1 及び 2 とする。

事故点 1 : 補機フィーダ遮断器での短絡事故

事故点 2 : D/G 受電遮断器での短絡事故

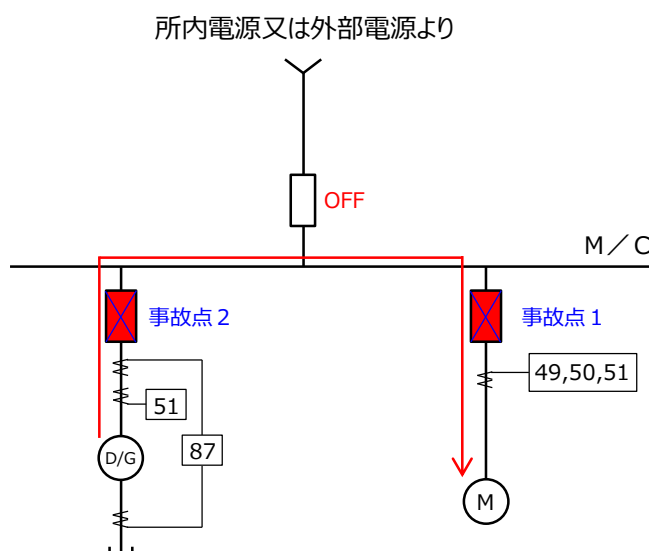


図 2-1 M/C への D/G 給電時概略電源構成

3. 通常保護の考え方

図 2-1 に示す事故点 1 及び 2 にて HEAF が発生した場合に、D/G 給電中における通常保護の考え方は以下のとおりとする。

事故点 1 :

D/G 給電時に補機フィーダ遮断器にて事故が発生した場合、補機フィーダ遮断器の開放による短絡電流の遮断は基本的に不可となる。そのため、図 3-1 に示すとおり D/G 用の過電流継電器 (51) (以下「D/G 51」という。)にて短絡電流を検知し、D/G 受電遮断器を開放し短絡電流を遮断する。

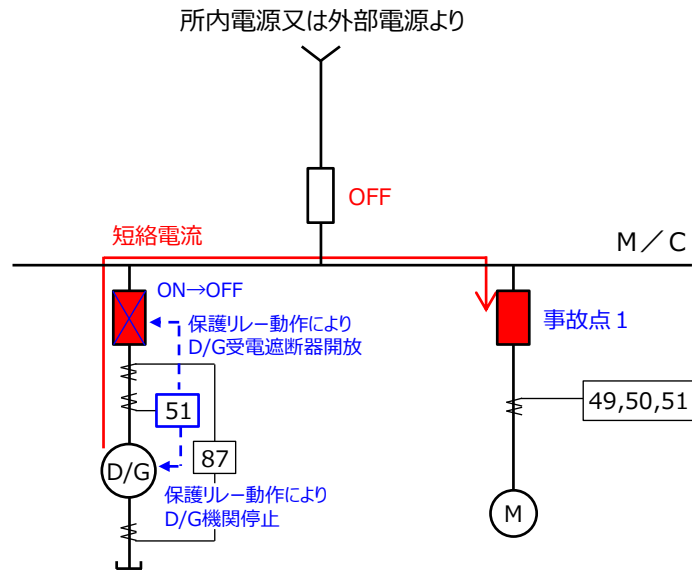


図 3-1 補機フィーダ遮断器での短絡時（事故点 1）における HEAF 火災からの保護

事故点 2 :

D/G から給電中に D/G 受電遮断器にて事故が発生した場合、図 3-2 に示すとおり D/G 51 にて短絡電流を検知することとなるが、D/G 受電遮断器は故障していることを想定する。本事故点での HEAF 発生時には短絡電流を遮断器開放により遮断することができないため、D/G 機関の停止後の短絡電流減衰による HEAF 火災抑制に期待することとなる。

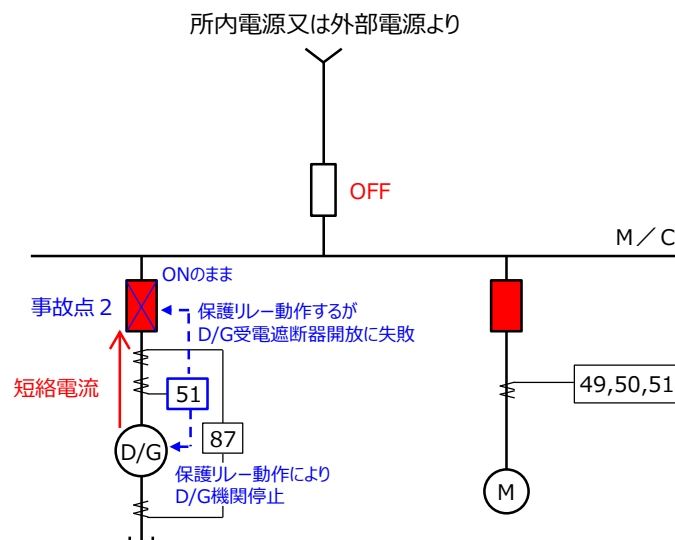


図 3-2 D/G 受電遮断器での短絡時（事故点 2）における HEAF 火災からの保護

4. HEAF 対策の検討

3. 通常保護の考え方にて検討した通常保護方法と現状での HEAF 保護可否を表 4-1 のとおり纏める。

表 4-1 事故点ごとにおける通常保護方法と HEAF 保護可否

事故点	通常保護方法	HEAF 火災からの保護可否	課題
1	D/G 51 にて保護	○	なし
2	保護なし	×	D/G 51 動作による D/G 機関の停止インターロックは成立するが、界磁開閉器（消磁コンタクタ）の動作インターロックが存在しないため、保護不可。

○：現状の保護構成で HEAF 火災から保護可

×：現状の保護構成で HEAF 火災から保護不可

表 4-1 に示すとおり、事故点 1 では HEAF 保護可能であるが、事故点 2 において HEAF が発生した場合、D/G 51 からの信号により D/G 機関停止のインターロックは成立するが、HEAF により D/G 受電遮断器が「開」動作せず、界磁開閉器（消磁コンタクタ）動作のインターロックが成立しないおそれがあり、D/G 発電機からの短絡電流が継続することになるため、HEAF 火災の発生を防止することができない可能性がある。

以上の結果により、HEAF 火災からの保護が可能となる対策案を表 4-2 のとおり検討した。各対策案の詳細は次の 5.1 項以降に記載する。なお、各対策案の評価については、規格基準の適合性及び改造物量も含めて考慮して総合的に行った。

表 4-2 D/G 給電中における HEAF 対策概要案

対策案	対策概要	備考	
1	50 要素を D/G 停止インターロックに追加	<ul style="list-style-type: none"> 保護要素に 50 要素を追加し、短絡事故早期検知し、HEAF 火災を抑制 50 動作で D/G の停止 	5.1 項
2	51 要素を D/G 停止インターロックに追加	<ul style="list-style-type: none"> 51 動作で D/G の停止 	5.2 項
3	27 要素を D/G 停止インターロックに追加	<ul style="list-style-type: none"> 保護要素に 27 要素を追加し、短絡事故早期検知し、HEAF 火災を抑制 27 動作で D/G の機関停止、D/G 受電遮断器開放 	5.3 項
4	51 要素+限時要素を D/G 停止インターロックに追加	<ul style="list-style-type: none"> 51 動作+タイマ動作で D/G の停止 	5.4 項

《参考》

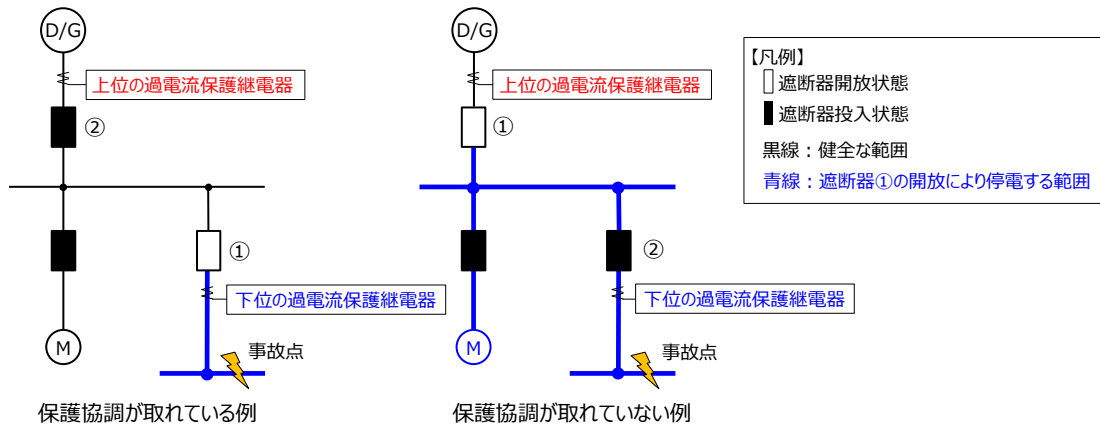
- ・ 27 要素：不足電圧検知
- ・ 50 要素：過電流（瞬時）検知
- ・ 51 要素：過電流（限時）検知

5. HEAF 保護が可能となる対策案

5.1 対策案 1：50 要素を D/G 停止インターロックに追加

所内電気盤の過電流継電器（50（瞬時過電流）及び 51（限時過電流））は、短絡等の電気事故発生時に遮断器等の開放による事故除去及び事故影響範囲の極小化を図るため、保護協調を考慮した設計としている。

具体的には、事故点に最も近い過電流継電器が上位の過電流継電器よりも先に動作する設定としている。



※数字は遮断器が開放する順番を示す。

但し、①の遮断器開放により、短絡電流が除去された場合、②の遮断器は開放しない。

図 5-1 保護協調のイメージ

D/G の給電回路に設置されている D/G 51 の考え方は、補機側の過電流継電器（50）が D/G 51 よりも先に動作する設定としている。この保護協調が適切でない場合、補機側の電気事故により、D/G 機関停止及び D/G 受電遮断器が開放してしまい、D/G からの電源給電が遮断されることとなり、本事象は避ける必要がある。

従って、補機側の短絡事故に対しては、瞬時に動作する過電流継電器（50）及び過電流継電器（50）よりも時限をもって動作する D/G 51 を組み合わせて適用することで保護協調を実現している。

対策案 1 は、過電流継電器（50）を追加し、本要素により D/G の機関を停止させることにより、D/G 受電遮断器で HEAF が発生した場合の保護をできるようにするものである。

また、同時に D/G の界磁開閉器（消磁コンタクタ）も投入されるインターロックとすることで、D/G 受電遮断器の開放に失敗した場合に D/G の機関停止に併せて D/G の励磁を断ち、より早期な短絡電流の減衰を図る。

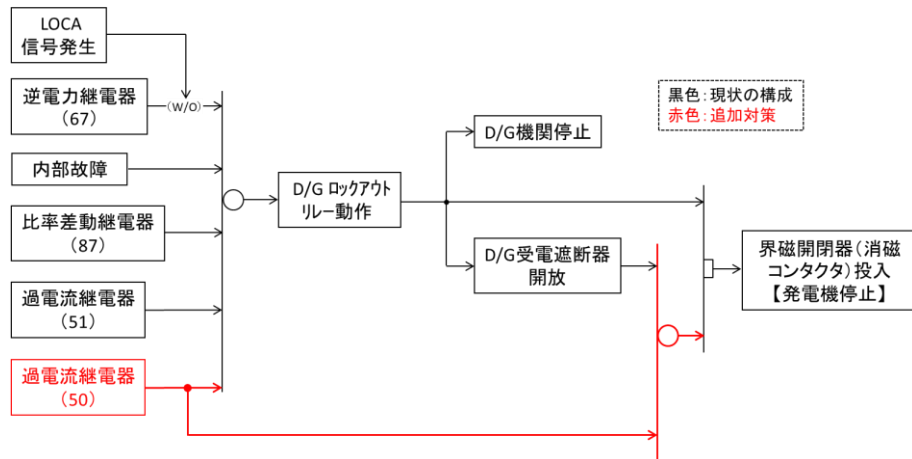


図 5-2 50 要素を D/G 停止インターロックに追加した場合のインターロックイメージ

本対策案は、追加する過電流継電器 (50) と既存の補機側過電流継電器 (50) の保護協調について留意する必要がある。過電流継電器 (50) は設定値以上の電流が流れると瞬時に動作する。50 要素を D/G 停止インターロックに追加とした場合、保護協調が実現できず補機側の電気事故で D/G が停止する可能性があるため、適用は困難である。

5.2 対策案 2 : 51 要素を D/G 停止インターロックに追加

対策案 2 は、現状設置されている D/G 51 の動作により、D/G 受電遮断器開放に失敗した場合であっても、D/G の界磁開閉器 (消磁コンタクタ) を投入し、D/G の機関停止と併せて D/G の励磁を断ち、より早期な短絡電流の減衰を図る。

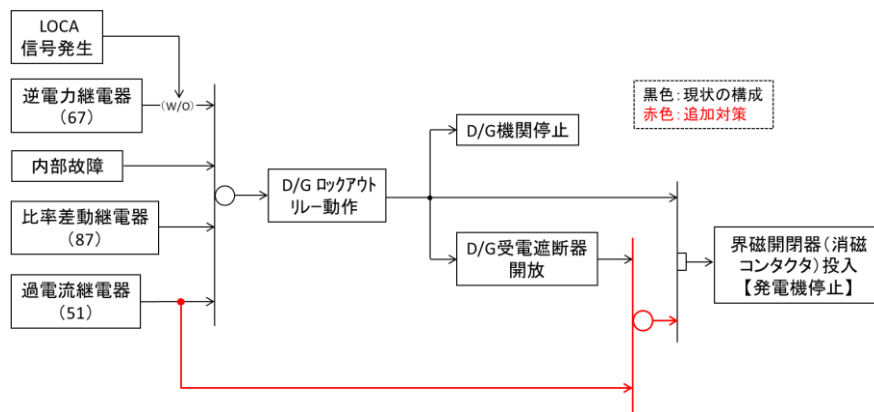


図 5-3 51 要素を D/G 停止インターロックに追加した場合のインターロックイメージ

本対策案では、D/G が系統と並列運転している時に非常用 D/G 至近端で短絡事故が発生すると、事故点に向かって系統からの短絡電流が流入し、この状態で界磁開閉器 (消磁コンタクタ) を投入すると界磁開閉器 (消磁コンタクタ) に大きな電流が流れ損傷してしまう可能性があるため、適用は困難である。

5.3 対策案3：27要素をD/G停止インターロックに追加

対策案3は、発電機低電圧継電器（27）を追加し、本要素によりD/Gの機関を停止させることによって、D/G受電遮断器でHEAFが発生した場合の保護ができるようにするものである。

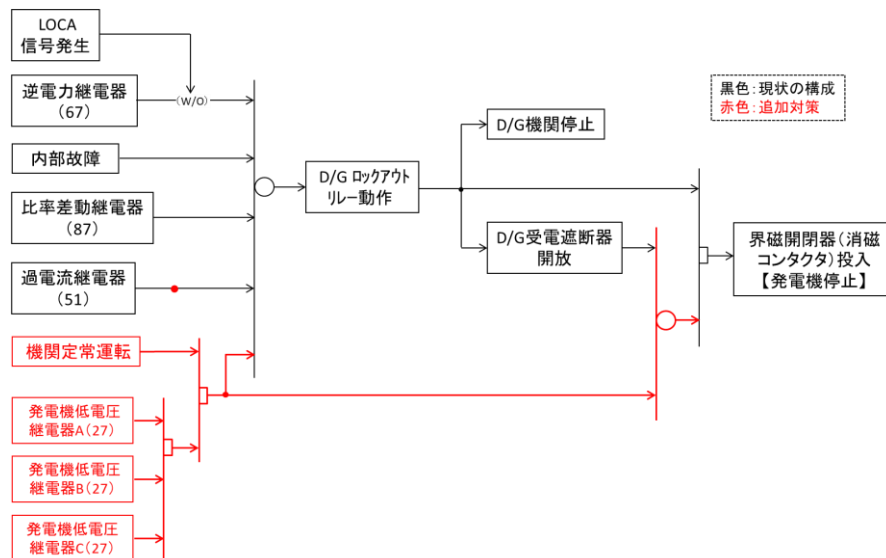


図 5-4 27要素をD/G停止インターロックに追加した場合のインターロックイメージ

本対策案は、母線などの低電圧継電器（27）と使用用途が異なる点について留意する必要がある。例えば、D/G給電時にL/C母線で短絡事故が発生した場合、L/C母線の過電流継電器よりも先に低電圧継電器（27）が短絡時の電圧低下を検出し、健全なM/C補機への給電までできなくなることが考えられる。母線の低電圧継電器（27）では通常考慮していない過電流継電器との保護協調まで十分検討する必要があることを意味する。

また、D/G給電時での最大負荷投入時における瞬時電圧低下で動作しないよう、動作電圧値についても十分検討する必要がある。

以上のことから、本対策案では、発電機低電圧継電器(27)を追加するための十分な検討が必要であり、保護協調の実現や動作電圧値の設定において既設設備へ影響を及ぼす可能性があるため、本対策案の適用は困難である。

5.4 対策案4：51要素+限時要素をD/G停止インターロックに追加

対策案4は、既存のD/G 51の動作にタイマ動作を追加するものである。

既存のインターロックにおいて、D/G 51動作によるD/G機関の停止ロジックは存在するが、D/G受電遮断器が開放できない場合の界磁開閉器（消磁コンタクタ）動作ロジックは存在せず、短絡電流を速やかに遮断することが出来ず、HEAFが発生した場合の保護は不可となる。

そこで、D/G 51の動作にタイマの動作を追加し、本要素によりD/G 51動作が一定時間継続した場合には、D/G受電遮断器でHEAFが発生していると捉え、D/G機関を停止させる

とともに界磁開閉器（消磁コンタクタ）投入信号を発信し、より早期の短絡電流減衰を図る。

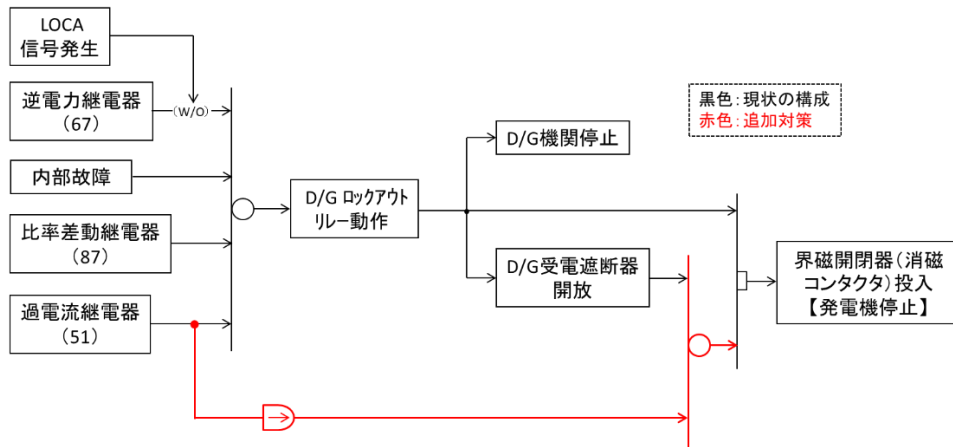


図 5-5 51 要素+限時要素を D/G 停止インターロックに追加した場合のインターロックイメージ

本対策案の特徴として、既存の D/G 51 動作ロジックは変更がないため、LOCA 発生有無に関わらず、D/G 51 が動作した場合には D/G 機関を停止し、D/G 受電遮断器開放後に界磁開閉器（消磁コンタクタ）を投入するという設計思想を変更ことなく対策できるものである。

6. HEAF 対策の検討結果

対策案 1～4 について、従来の設計思想を維持しつつ、HEAF 火災対策が可能である対策案 4（51 要素+限時要素を D/G 停止インターロックに追加）を採用する。

対策案 4 で追加するタイマは、既設設計思想に影響を与えないようにするため、HEAF 以外の事故時（母線や負荷回路等の D/G 受電遮断器より負荷側で短絡が発生時）には動作させず、かつ、HEAF 火災に至る前に D/G 機関停止及び界磁開閉器（消磁コンタクタ）投入が完了するように、時間を設定する必要がある。

タイマ最小設定時間は、D/G 51 動作により D/G 受電遮断器が開放した場合にはタイマが動作しないようにするため、D/G ロックアウトリレー、補助リレー動作時間、D/G 受電遮断器開放時間、D/G 51 復帰時間を考慮すると、A 及び B-D/G（以下「A 系及び B 系」という。）、HPCS-D/G（以下「HPCS 系」という。）ともにタイマ誤差 [sec] を考慮し、 [sec] 以上としなければならない。

また、タイマの最大設定時間は、HEAF 火災に至る前に界磁開閉器（消磁コンタクタ）を投入する時間から D/G 51、補助リレー及び界磁開閉器（消磁コンタクタ）の動作時間を除いた [sec]（A 系及び B 系）又は [sec]（HPCS 系）以下としなければならない。

以上より、追加するタイマの時間は、 [sec] から [sec]（A 系及び B 系）及び [sec] から [sec]（HPCS 系）の範囲から、タイマ誤差 [sec] を考慮し、 [sec]（A 系及び B 系）、 [sec]（HPCS 系）を選定する。

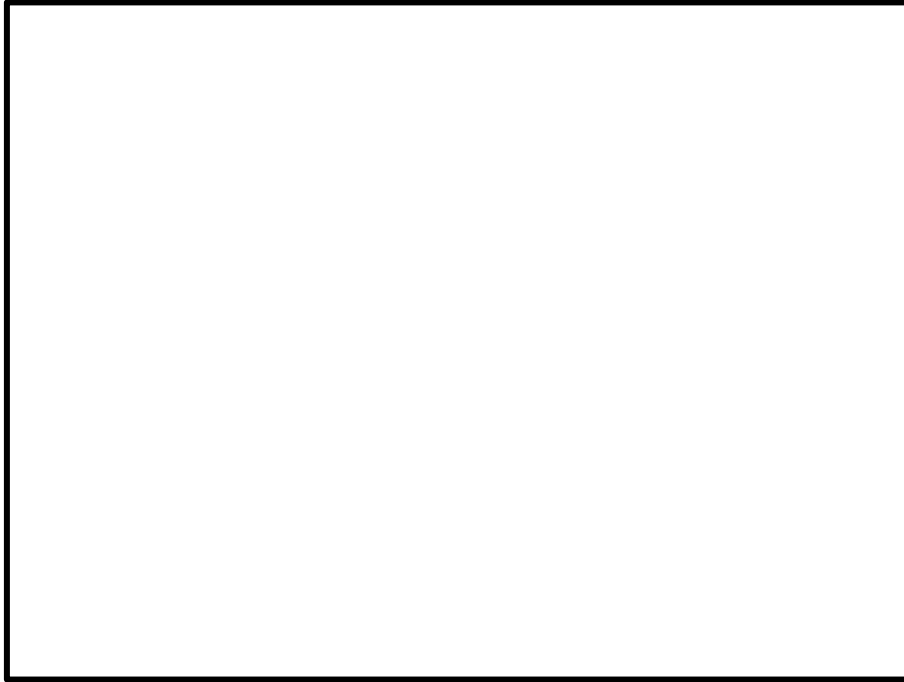


図 6-1 タイマ最小設定時間 (A, B 及び HPCS-D/G)

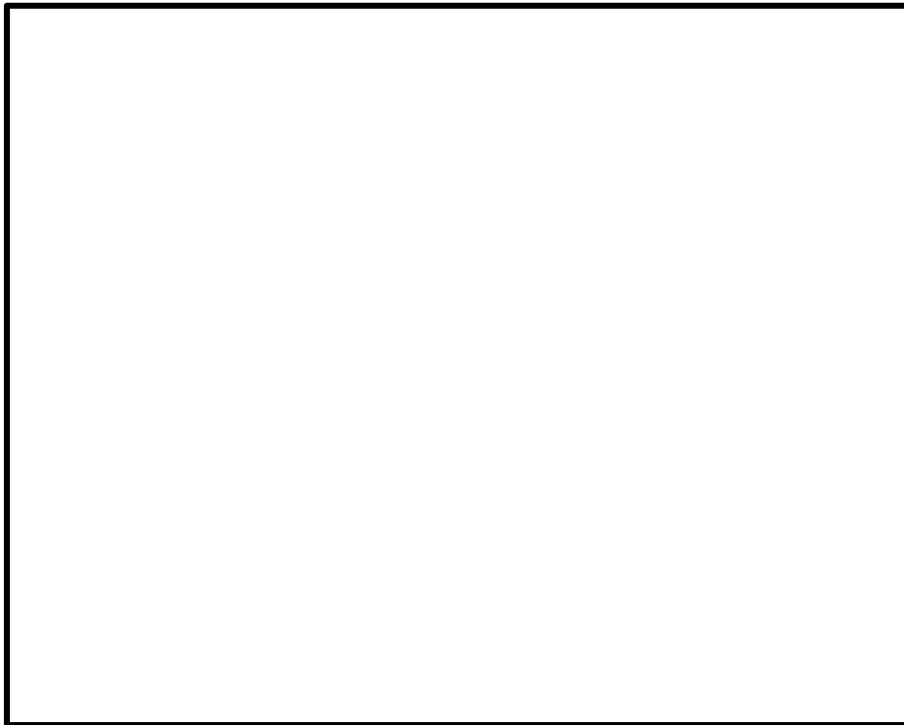


図 6-2 タイマ最大設定時間 (A 及び B-D/G) (1/2)

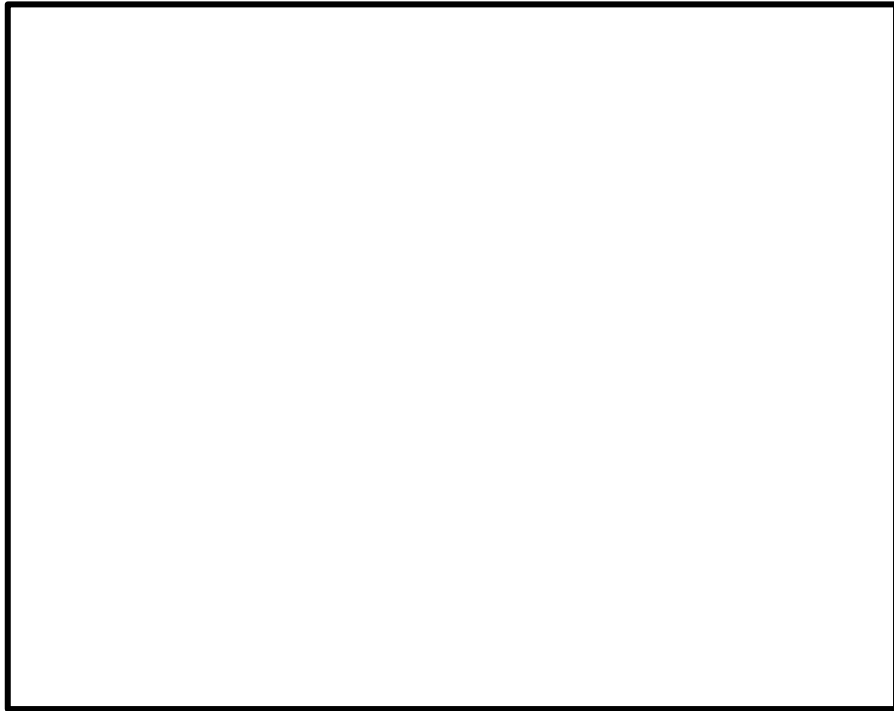


図 6-2 タイマ最大設定時間 (HPCS-D/G) (2/2)

原子力発電所に関する確率論的安全評価用の
機器故障率の算出
(1982年度～1997年度16カ年49基データ 改訂版)

桐本順広^{*1} 松崎章弘^{*1} 佐々木亨^{*2}

キーワード: 機器故障率
原子力発電所
確率論的安全評価
信頼性

Keywords: Component Failure Rate
Nuclear Power Plant
Probabilistic Safety Analysis (PSA)
Reliability

Estimation of Component Failure Rates for PSA on Nuclear Power Plants 1982 - 1997

by Y.Kirimoto, A.Matsuzaki and A.Sasaki

Abstract

Probabilistic safety assessment (PSA) on nuclear power plants has been studied for many years by the Japanese industry. The PSA methodology has been improved so that PSAs for all commercial LWRs were performed and used to examine for accident management. On the other hand, most data of component failure rates in these PSAs were acquired from U.S. databases. Nuclear Information Center (NIC) of Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI) serves utilities by providing safety-, and reliability-related information on operation and maintenance of the nuclear power plants, and by evaluating the plant performance and incident trends.

So, NIC started a research study on estimating the major component failure rates at the request of the utilities in 1988. As a result, we estimated the hourly-failure rates of 47 component types and the demand-failure rates of 15 component types. The set of domestic component reliability data from 1982 to 1991 for 34 LWRs has been evaluated by a group of PSA experts in Japan at the Nuclear Safety Research Association (NSRA) in 1995 and 1996, and the evaluation report was issued in March 1997.

This document describes the revised component failure rate calculated by our re-estimation on 49 Japanese LWRs from 1982 to 1997.

(Nuclear Information Center, Rep.No. P00001)

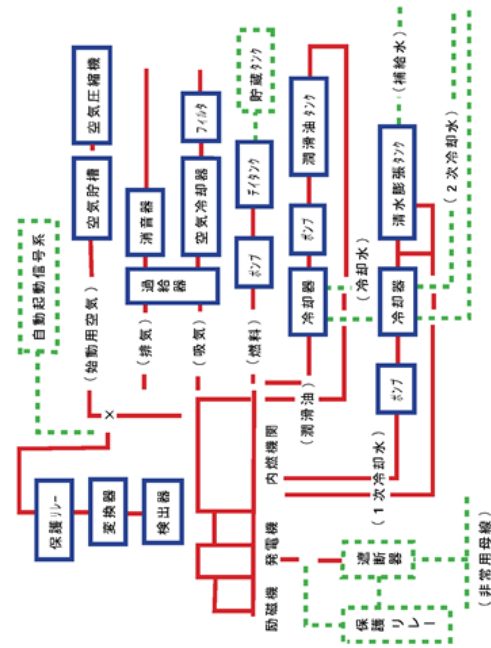
(平成13年2月14日承認)

*1 原子力情報センター 主任研究員

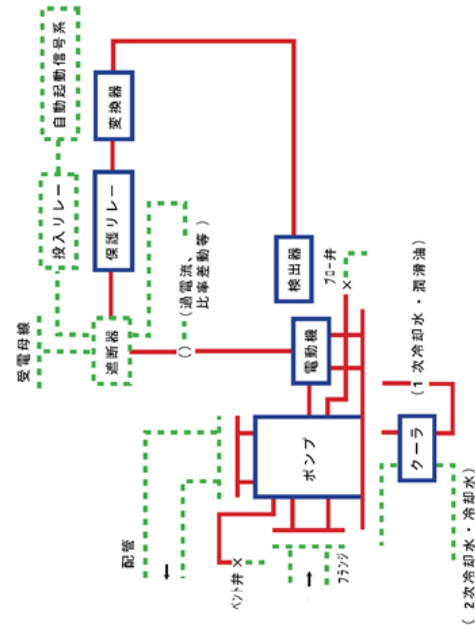
*2 原子力情報センター 研究員

項目	ハウンドタリ内	ハウンドタリ外
機器本体	ディーゼル機関、発電機、励磁機、その他	-
潤滑油系	潤滑油タンク、冷却器、ポンプ、その他 (機関待機時使用のヒーター、ポンプも含む)	-
燃料系	ダイヤタンク、ポンプ、その他	貯蔵タンク
機器冷却水系	清水膨張タンク、冷却器、ポンプ (機関待機時使用のヒーター、ポンプも含む)	2次冷却水系、補給水系
給排気装置	フィルタ、過給器、消音器、空気冷却器、その他	-
始動用空気系	空気圧縮機、空気貯槽、電磁弁	-
計測制御装置	冷却水流量、潤滑油圧力、機関速度等に依る検出器・変圧器・保護リレー、その他	電流、電圧に依る検出器・変換器・保護リレー、自動起動信号系
サポート類	支持脚、アンカー等	-
母線・ケーブルとの接続	ケーブル	母線、送電遮断器

項目	ハウンドタリ内	ハウンドタリ外
機器本体	ポンプ、電動機、カップリング、フランジ、ケーブル、その他	フィルタ、受電遮断器、受電母線
計測制御装置	冷却水流量、潤滑油圧力等に依る検出器・変換器・保護リレー、その他	自動起動信号系、投入リレー、受電開運計測制御(電圧、電流動)、電圧、電流等に依る検出器・保護リレー
機器冷却水系	1次冷却水系	2次冷却水系
潤滑油系	潤滑油系	冷却水系
密封装置	自給水系	他給水系
サポート類	支持脚、アンカー等	配管のハンガール等
配管・ダイヤフラム等	機器側フランジ	配管側フランジ、バツキン、ボルト、その他
接続	熱影響部(機器側)	溶接部及び熱影響部
付属品	機器本体に接続されたプロー井、ベント井等、及びそこまでの接続配管	-

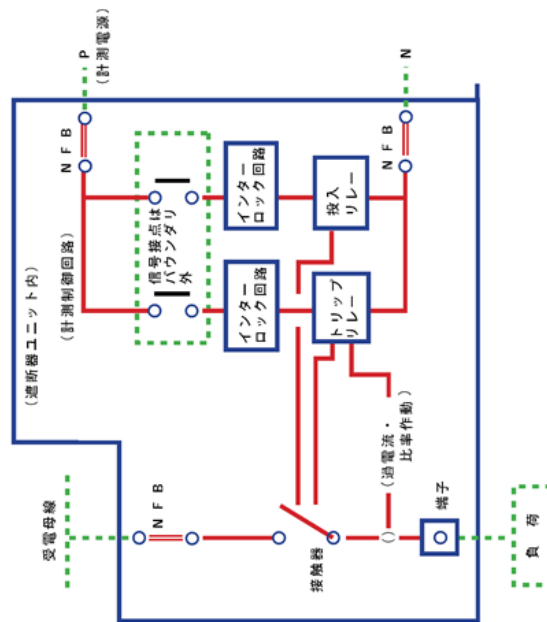


1. 非常用ディーゼル発電機



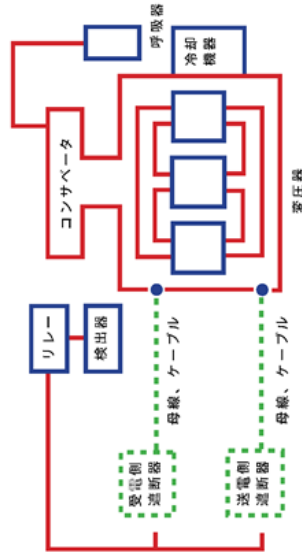
2. 電動ポンプ

項目	バウンダリ内	バウンダリ外
機器本体	遮断器機構部、接触器、投入及びトリップ回路のリレー、インターロック回路(信号接点を除く)	投入及びトリップ回路の信号接点
計測制御装置	負荷電流・電圧・位相に係わる検出器・変換器・保護リレー	警報、指示用検出器
サポート類	支持脚、アンカー等	-
母線・ケーブルとの接続部	接続部	ケーブル、母線



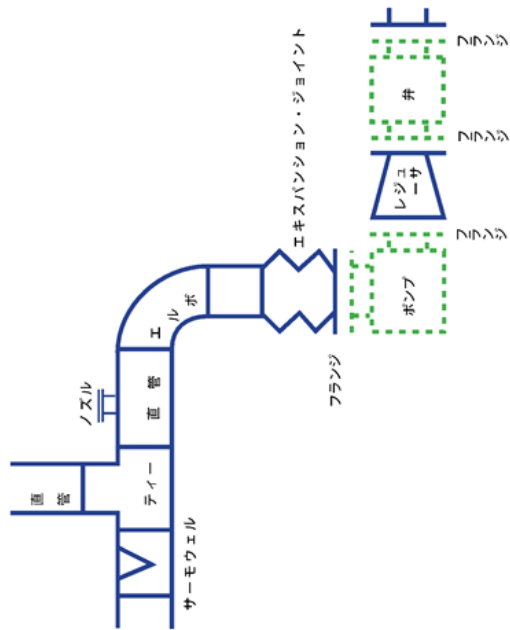
23. 遮断器

項目	バウンダリ内	バウンダリ外
機器本体	タンク、巻線、タップリード線、負荷時タップ切替装置(タップ選択器、切替閉閉器)、冷却機器、その他	-
計測制御装置	電流・電圧に係わる検出器・保護リレー、機械的溫度・圧力検出器・保護リレー	受電・送電両測計測制御(電圧・電流等)
サポート類	支持脚、アンカー等	-
母線・ケーブルとの接続部	接続部	ケーブル、母線、遮断器



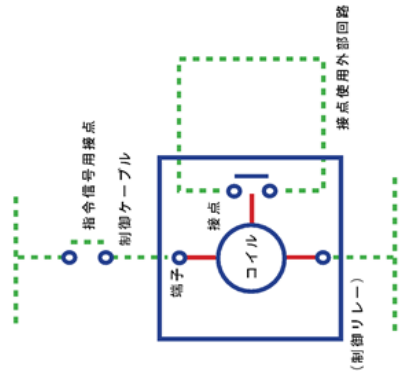
24. 変圧器

項目	バウンダリ内	バウンダリ外
機器本体	直管、エルボ、ティール、レジューサ、サーモウェル、ノズル、エキスパンション・ジョイント、その他	オリフェイス、ベネトレーション
サポート類	-	ハンガ、サポート、メカスナアンカー等
機器との接続	配管側フランジ、ハッキン、ボルト、その他	機器側フランジ
溶接部	溶接部及び熱影響部	熱影響部(機器側)



29. 配管

項目	バウンダリ内	バウンダリ外
機器本体	リレー本体 (コイル、接点、構造材)	制御電源、信号指令接点(スイッチ接点等)、外部回路
制御ケーブルとの接続	接続端子	制御ケーブル



30. リレー

故障件数の不確実さを考慮した 国内一般機器故障率の推定

(1982年度～2010年度 29カ年 56基データ)

2016年6月

一般社団法人 原子力安全推進協会

表 A-1 (1/3) 国内一般時間故障率比較表

機種	故障モード	29ヵ年データ (本報告書推定結果)				平均値比		EF比		21ヵ年データ報告書				26ヵ年データ報告書				
		観測された故障件数(件)	遅延時間[h]	平均値 ²⁾ [1/h]	EF ³⁾	29ヵ年/21ヵ年	29ヵ年/26ヵ年	29ヵ年/21ヵ年	29ヵ年/26ヵ年	観測された故障件数(件)	遅延時間[h]	平均値[1/h]	EF ⁴⁾ (近似)	観測された故障件数(件)	遅延時間[h]	平均値[1/h]	EF ⁴⁾ (近似)	
非常用ディーゼル発電機	起動失敗	55	1.9E+07	4.0E+06	2.0	176%	100%	31%	78%	19	1.3E+07	9.5E+05	6.5	46	1.8E+07	7.3E+06	2.5	
	継続運転失敗(24時間平均) ⁴⁾	-	-	3.3E+04	1.7	350%	143%	71%	98%	-	-	-	2.2	-	-	2.3E+04	1.7	
電動ポンプ(非常用停機、純水)	継続運転失敗(72時間平均) ⁴⁾	-	-	2.9E+04	1.8	-	147%	-	98%	-	-	-	-	-	-	1.9E+04	1.8	
	起動失敗	5	9.0E+07	1.3E+06	2.2	146%	89%	13%	22%	2	6.2E+07	1.3E+07	17.3	4	8.0E+07	2.2E+07	10.2	
	継続運転失敗	33	1.1E+08	3.5E+06	8.1E+07	2.5	76%	97%	21%	38%	24	7.7E+07	1.1E+06	11.8	29	9.8E+07	8.4E+07	6.5
	起動失敗	3	5.3E+07	1.9E+06	2.4E+07	2.3	95%	127%	12%	22%	2	3.7E+07	2.6E+07	19.2	2	4.7E+07	1.9E+07	10.7
	継続運転失敗	2	2.6E+07	1.9E+06	3.7E+07	2.6	130%	105%	16%	32%	1	1.8E+07	2.8E+07	16.4	1	2.3E+07	3.5E+07	8.3
	起動失敗	2	1.6E+07	3.9E+06	6.0E+07	2.5	78%	82%	9%	21%	2	9.7E+06	7.7E+07	27.3	2	1.4E+07	7.4E+07	11.9
	継続運転失敗	1	3.9E+06	1.9E+06	1.1E+06	3.4	72%	14%	13%	7%	1	3.1E+06	1.6E+06	27.4	7	3.6E+06	7.8E+06	51.3
	起動失敗	29	9.7E+06	9.0E+06	7.5E+06	2.3	185%	83%	5%	27%	6	6.8E+06	4.1E+06	47.3	22	8.7E+06	9.1E+06	8.6
	継続運転失敗	12	1.2E+07	1.0E+03	4.0E+06	1.9	136%	138%	43%	40%	8	7.5E+06	2.9E+06	4.3	10	1.0E+07	2.9E+06	4.5
	タービン駆動ポンプ	起動失敗 ⁴⁾	4	1.8E+05	7.1E+06	2.8	92%	77%	64%	81%	2	1.3E+05	4.5E+05	4.3	3	1.7E+05	5.4E+05	3.4
ディーゼル駆動ポンプ	継続運転失敗 ⁴⁾	-	-	-	30.0	45%	56%	100%	100%	-	-	-	-	-	-	2.1E+03	30.0	
	電動ポンプ(純水)	31	1.3E+09	1.3E+06	6.9E+08	5.9	137%	57%	10%	21%	9	9.1E+08	4.8E+08	60.0	25	1.2E+09	1.2E+07	27.6
	継続運転失敗	0	1.3E+09	3.4E+08	4.2E+09	2.9	166%	139%	31%	51%	0	9.1E+08	2.5E+09	9.4	0	1.2E+09	3.1E+09	5.7
	閉塞又は詰り	2	1.3E+09	1.9E+06	1.3E+08	2.1	138%	162%	13%	23%	2	9.1E+08	9.7E+09	15.8	2	1.2E+09	8.3E+09	8.9
	外部リーク	1	1.3E+09	3.9E+08	5.9E+09	2.7	216%	74%	29%	37%	0	9.1E+08	4.1E+09	9.4	1	1.2E+09	7.4E+09	7.3
	内部リーク	2	1.3E+09	1.0E+07	8.7E+09	2.4	209%	112%	18%	26%	1	9.1E+08	4.1E+09	13.3	2	1.2E+09	7.7E+09	9.2
	電動ポンプ(海水)	3	4.9E+07	1.9E+06	2.9E+07	2.4	306%	25%	32%	11%	0	3.4E+07	8.0E+08	7.6	2	4.4E+07	9.9E+07	22.4
	閉塞又は詰り	0	4.9E+07	3.9E+08	2.7E+08	4.6	34%	43%	61%	46%	0	3.4E+07	8.0E+08	7.6	0	4.4E+07	6.4E+08	10.1
	外部リーク	0	4.9E+07	3.9E+08	2.7E+08	4.7	34%	42%	62%	46%	0	3.4E+07	8.0E+08	7.6	0	4.4E+07	6.4E+08	10.1
	内部リーク	0	4.9E+07	1.0E+07	4.9E+08	3.8	61%	76%	51%	38%	0	3.4E+07	8.0E+08	7.6	0	4.4E+07	6.4E+08	10.1
空気作動弁	作動失敗	21	7.2E+08	1.3E+06	6.9E+08	1.9	79%	94%	30%	47%	18	4.9E+08	1.1E+07	6.3	21	6.3E+08	9.1E+08	4.0
	閉塞又は詰り	3	7.2E+08	1.3E+07	1.8E+08	2.6	67%	59%	7%	17%	3	4.9E+08	2.7E+08	37.1	3	6.3E+08	3.0E+08	15.2
	閉塞	1	7.2E+08	1.9E+06	2.0E+08	2.2	191%	192%	10%	35%	1	4.9E+08	1.0E+08	21.8	1	6.3E+08	1.0E+08	6.4
	外部リーク	1	7.2E+08	5.5E+08	1.0E+08	2.8	95%	96%	13%	43%	1	4.9E+08	1.0E+08	21.8	1	6.3E+08	1.0E+08	6.4
	内部リーク	3	7.2E+08	9.7E+08	1.7E+08	2.9	86%	43%	7%	13%	2	4.9E+08	2.0E+08	39.1	3	6.3E+08	4.0E+08	21.4
	作動失敗	16	1.4E+08	1.7E+06	3.2E+07	2.8	71%	68%	16%	21%	12	1.0E+08	4.5E+07	17.3	15	1.3E+08	4.7E+07	12.9
	閉塞又は詰り	4	1.4E+08	2.0E+07	8.0E+08	2.5	78%	74%	14%	19%	3	1.0E+08	1.1E+07	17.6	3	1.3E+08	1.2E+07	13.2
	閉塞	0	1.4E+08	1.9E+06	6.2E+08	2.5	285%	215%	25%	40%	0	1.0E+08	2.2E+08	10.1	0	1.3E+08	2.9E+08	6.3
	外部リーク	1	1.4E+08	2.2E+07	4.7E+08	2.8	217%	164%	28%	45%	0	1.0E+08	2.2E+08	10.1	0	1.3E+08	2.9E+08	6.3
	内部リーク	3	9.5E+08	1.9E+08	1.9E+08	3.9	71%	54%	39%	63%	0	1.0E+08	2.2E+08	10.1	0	1.3E+08	2.9E+08	6.3
遮断弁	閉塞	17	9.5E+08	3.3E+07	6.7E+08	14.5	196%	28%	42%	16%	4	6.5E+08	3.4E+08	34.4	13	8.4E+08	2.4E+07	90.0
	外部リーク	0	9.5E+08	1.1E+08	3.4E+09	3.5	123%	69%	32%	52%	0	6.5E+08	2.8E+09	10.7	0	8.4E+08	5.0E+09	6.6
	内部リーク	6	2.1E+09	2.7E+07	1.1E+08	2.0	132%	146%	12%	25%	3	1.5E+09	8.3E+09	16.4	4	1.9E+09	9.0E+09	37.3
	閉塞	4	2.1E+09	1.9E+06	1.1E+08	2.0	127%	136%	7%	18%	4	1.5E+09	8.5E+09	27.0	4	1.9E+09	8.0E+09	11.3
	外部リーク	0	2.1E+09	2.6E+07	4.9E+08	2.4	279%	206%	20%	50%	0	1.5E+09	1.7E+09	12.2	0	1.9E+09	2.3E+09	4.7
	内部リーク	1	2.1E+09	1.9E+07	5.1E+09	2.4	138%	162%	14%	41%	1	1.5E+09	3.7E+09	17.3	1	1.9E+09	3.2E+09	5.8
	閉塞	0	2.6E+08	5.9E+07	3.1E+08	2.6	219%	163%	32%	51%	0	1.7E+08	1.4E+03	8.3	0	2.2E+08	1.9E+08	5.1
	外部リーク	1	2.6E+08	2.8E+07	3.3E+08	2.6	232%	113%	32%	42%	0	1.7E+08	1.4E+03	8.3	1	2.2E+08	2.9E+08	6.2
	詰り	0	2.5E+08	7.0E+08	1.9E+08	3.2	116%	86%	39%	63%	0	1.7E+08	1.4E+03	8.3	0	2.2E+08	1.9E+08	5.1
	外部リーク	0	2.5E+08	2.0E+08	1.1E+08	3.7	80%	60%	44%	72%	0	1.7E+08	1.4E+03	8.3	0	2.2E+08	1.9E+08	5.1
内部リーク	5	2.5E+08	9.0E+08	5.7E+08	2.6	204%	46%	13%	18%	1	1.7E+08	2.2E+08	20.8	4	2.2E+08	1.2E+07	14.7	

表 A-1 (2/3) 国内一般時間故障率比較表

機種	故障モード	29ヵ年データ (本報告書特定結果)				平均値比				21ヵ年データ報告書				26ヵ年データ報告書				
		観測され た故障件 数(件)	延べ運転 時間[1/10]	平均値* [1/10]	EF ³⁾	20ヵ年 /21ヵ年	20ヵ年 /25ヵ年	20ヵ年 /26ヵ年	EF ⁴⁾ (%)	観測され た故障件 数(件)	延べ運転 時間[10]	平均値 [1/10]	EF ⁴⁾ (%)	観測され た故障件 数(件)	延べ運転 時間[10]	平均値 [1/10]	EF ⁴⁾ (%)	
送がし安全弁 (BR)	閉込致	0	5.4E+07	3.9E-06	1.6E-07	2.6	279%	153%	16%	24%	0	3.6E+07	5.6E-08	15.8	0	4.8E+07	1.0E-07	10.7
	閉込致	0	5.4E+07	1.2E-06	1.2E-07	2.8	266%	113%	18%	26%	0	3.6E+07	5.6E-08	15.8	0	4.8E+07	1.0E-07	10.7
	閉込	0	5.4E+07	2.4E-07	6.8E-08	3.4	122%	67%	21%	31%	0	3.6E+07	5.6E-08	15.8	0	4.8E+07	1.0E-07	10.7
	外部リーク	0	5.4E+07	2.4E-08	2.2E-08	4.9	39%	21%	31%	46%	0	3.6E+07	5.6E-08	15.8	0	4.8E+07	1.0E-07	10.7
	内部リーク	0	5.4E+07	4.2E-07	8.3E-08	3.1	148%	81%	20%	29%	0	3.6E+07	5.6E-08	15.8	0	4.8E+07	1.0E-07	10.7
	作動失敗	0	3.1E+07	7.7E-06	2.9E-07	2.7	333%	36%	18%	16%	0	2.2E+07	8.6E-08	14.8	0	2.8E+07	8.1E-07	16.7
	作動失敗	7	1.8E+09	1.7E-06	1.6E-08	2.0	102%	101%	12%	15%	6	1.3E+09	1.6E-08	16.1	6	1.6E+09	4.1E-09	6.9
	誤開又は誤閉	1	1.8E+09	3.4E-08	4.4E-09	2.7	123%	107%	12%	39%	0	1.3E+09	2.1E-09	21.4	1	1.6E+09	4.1E-09	6.9
	閉塞	0	1.8E+09	1.9E-07	5.1E-09	2.5	249%	102%	29%	40%	0	1.3E+09	2.1E-09	21.4	0	1.6E+09	4.1E-09	6.9
	外部リーク	1	1.8E+09	3.4E-08	4.4E-09	2.6	109%	123%	22%	43%	1	1.3E+09	4.0E-09	12.0	1	1.6E+09	3.6E-09	6.1
ファン/ブロー	内部リーク	1	1.8E+09	1.8E-07	6.2E-09	2.3	194%	173%	19%	38%	1	1.3E+09	4.0E-09	12.0	1	1.6E+09	3.6E-09	6.1
	起動失敗	1	5.1E+07	9.9E-07	1.5E-07	2.7	116%	110%	16%	31%	1	3.4E+07	1.3E-07	16.5	1	4.5E+07	1.3E-07	8.7
	駆動運転失敗	8	8.8E+07	5.9E-06	3.2E-07	2.2	53%	37%	7%	7%	7	6.0E+07	6.0E-07	31.2	8	1.3E+08	8.7E-07	30.2
	駆動運転失敗*	-	-	-	-	30.0	284%	466%	96%	99%	-	-	-	-	-	-	-	-
	作動失敗	7	5.7E+08	8.1E-07	4.6E-08	2.3	423%	27%	17%	10%	1	3.9E+08	1.1E-08	13.3	6	5.0E+08	1.7E-07	23.6
	作動失敗	0	5.7E+08	6.1E-07	1.7E-08	2.5	239%	210%	28%	45%	0	3.9E+08	5.5E-09	8.7	0	5.0E+08	1.7E-07	23.6
	閉塞	0	5.7E+08	1.9E-06	2.4E-08	2.2	439%	144%	26%	30%	0	3.9E+08	5.5E-09	8.7	1	5.0E+08	1.7E-07	23.6
	外部リーク	0	5.7E+08	2.9E-07	1.4E-08	2.6	251%	177%	30%	48%	0	3.9E+08	5.5E-09	8.7	0	5.0E+08	1.7E-07	23.6
	内部リーク	0	5.7E+08	1.4E-07	1.2E-08	2.8	209%	147%	32%	51%	0	3.9E+08	5.5E-09	8.7	0	5.0E+08	1.7E-07	23.6
	伝送管故障	1	2.3E+08	3.8E-07	3.7E-08	2.6	145%	124%	21%	38%	1	1.6E+08	2.6E-08	12.3	1	2.1E+08	2.8E-08	6.5
タンク	内部リーク	3	2.8E+08	1.9E-06	6.9E-08	2.3	97%	107%	8%	15%	2	1.6E+08	7.1E-08	29.3	2	2.1E+08	6.8E-08	15.1
	伝送管故障	0	2.8E+08	3.8E-07	3.7E-08	2.6	318%	115%	15%	53%	0	1.6E+08	8.8E-09	18.6	0	2.1E+08	2.4E-08	6.2
	作動失敗	0	9.6E+07	1.9E-06	5.2E-08	3.0	163%	107%	24%	61%	0	6.5E+07	3.2E-08	12.5	0	8.5E+07	5.1E-08	4.9
	伝送管故障	0	9.6E+07	1.9E-06	5.2E-08	2.5	263%	165%	21%	53%	0	6.5E+07	3.2E-08	12.5	0	8.5E+07	5.1E-08	4.9
	外部リーク	1	8.0E+08	2.9E-07	1.3E-08	2.4	417%	151%	20%	40%	0	5.4E+08	3.2E-09	12.2	1	7.0E+08	8.8E-09	6.0
	内部故障	1	8.0E+08	2.9E-07	1.3E-08	2.4	413%	207%	20%	52%	0	5.4E+08	3.2E-09	12.2	0	7.0E+08	6.4E-09	4.7
	閉塞	2	8.0E+08	1.0E-06	2.0E-08	2.5	618%	369%	21%	54%	0	5.4E+08	3.2E-09	12.2	0	7.0E+08	6.4E-09	4.7
	外部リーク	1	2.8E+08	8.6E-07	3.8E-08	2.4	388%	151%	20%	40%	0	1.9E+08	9.9E-09	12.0	1	2.9E+08	2.9E-08	6.0
	内部故障	0	2.8E+08	2.8E-07	2.4E-08	2.7	238%	133%	23%	57%	0	1.9E+08	9.9E-09	12.0	0	2.9E+08	1.8E-08	4.8
	閉塞	0	2.8E+08	2.3E-07	2.2E-08	2.8	227%	127%	23%	58%	0	1.9E+08	9.9E-09	12.0	0	2.9E+08	1.8E-08	4.8
ストレーナ/フィルタ	外部リーク	1	3.6E+07	8.6E-07	1.9E-07	2.8	195%	152%	22%	38%	0	2.4E+07	9.5E-08	13.1	0	3.2E+07	1.7E-07	10.2
	内部故障	1	3.6E+07	2.8E-07	1.3E-07	3.2	136%	79%	24%	31%	0	2.4E+07	9.5E-08	13.1	1	3.2E+07	1.7E-07	10.2
	閉塞	2	3.6E+07	2.3E-06	2.9E-07	2.5	104%	80%	13%	19%	2	2.4E+07	2.8E-07	19.5	2	3.2E+07	3.6E-07	13.1
	侵入失敗	6	6.5E+08	9.9E-08	3.0E-08	4.8	455%	17%	35%	7%	0	4.4E+08	6.5E-09	13.9	6	5.8E+08	1.7E-07	69.3
	侵入失敗	1	1.7E+08	9.9E-08	3.0E-08	3.1	204%	18%	19%	9%	0	1.2E+08	1.6E-08	16.3	1	1.5E+08	1.9E-07	32.5
	PLR セット (BR ¹⁾)	15	6.6E+06	2.1E-06	5.2E-06	2.0	52%	65%	33%	44%	0	1.3E+07	8.4E-06	6.2	14	6.0E+06	7.7E-06	4.6
	機能喪失	0	1.9E+07	2.1E-06	2.8E-07	2.9	176%	126%	28%	29%	0	1.3E+07	1.6E-07	10.5	0	1.7E+07	2.2E-07	10.0
	機能喪失	5	3.3E+06	5.6E-06	4.6E-06	2.6	13%	15%	12%	12%	2	6.7E+05	3.4E-05	23.6	3	2.6E+06	3.1E-05	23.6
	機能喪失	1	3.0E+07	5.6E-06	3.3E-07	2.5	87%	104%	16%	18%	1	1.9E+07	3.8E-07	15.6	1	2.6E+07	3.2E-07	14.2
	誤閉	13	1.0E+09	3.3E-06	4.3E-08	2.1	89%	45%	8%	10%	0	7.1E+08	4.8E-08	25.2	13	9.2E+08	8.6E-08	20.3
変圧器	誤閉	2	1.0E+09	2.1E-07	3.8E-08	2.0	82%	85%	37%	33%	12	7.1E+08	4.7E-08	5.5	14	9.2E+08	4.5E-08	6.1
	誤閉	2	1.0E+09	2.1E-07	1.2E-08	2.3	137%	119%	13%	20%	1	7.1E+08	8.7E-09	17.9	2	9.2E+08	1.0E-08	11.4
	機能喪失	6	9.2E+07	9.4E-07	2.1E-07	2.2	81%	165%	18%	21%	2	6.2E+07	2.6E-07	11.9	6	8.2E+07	3.0E-07	10.7
	機能喪失	0	5.2E+07	5.9E-07	9.5E-08	3.0	169%	148%	30%	30%	0	3.4E+07	5.7E-08	10.1	0	4.6E+07	6.4E-08	10.0
	機能喪失	3	5.3E+07	2.7E-06	2.6E-07	2.3	200%	179%	14%	10%	1	3.4E+07	1.3E-07	16.0	2	4.6E+07	3.3E-07	23.2
	機能喪失	5	5.3E+08	1.4E-06	4.1E-08	2.0	131%	103%	11%	19%	3	3.6E+08	3.1E-08	17.9	4	4.7E+08	3.8E-08	11.1
	機能喪失	0	2.2E+10	2.1E-08	4.4E-10	2.4	334%	236%	24%	40%	0	1.5E+10	1.3E-10	10.2	0	2.0E+10	1.9E-10	6.1
	短絡	3	2.2E+10	2.1E-07	9.6E-10	2.0	354%	139%	12%	17%	1	1.5E+10	2.7E-10	16.2	3	2.0E+10	6.8E-10	11.7
	断線	3	2.2E+10	2.1E-07	9.6E-10	2.0	126%	130%	12%	17%	3	1.5E+10	7.6E-10	16.0	3	2.0E+10	7.3E-10	11.5

表 A-1 (3/3) 国内一般時間故障率比較表

機種	故障モード	29ヵ年データ (本報告書推定結果)		平均値比		EF比		21ヵ年データ報告書		26ヵ年データ報告書						
		観測され 故障件数 [件]	平均値 ²⁾ [1/h]	29ヵ年 /21ヵ年	29ヵ年 /26ヵ年	観測され 故障件数 [件]	平均値 [1/h]	EF ⁴⁾ (仮)	観測され 故障件数 [件]	平均値 [1/h]	EF ⁴⁾ (仮)					
配管 3インチ未満 ¹⁾	リーク	0	3.4E+09	4.0	56%	34%	84%	0	3.7E+09	6.6E+10	11.7	0	4.7E+09	8.8E+10	4.8	
	閉塞	1	5.4E+09	2.2	35%	19%	35%	1	3.7E+09	6.8E+10	11.7	1	4.7E+09	1.0E+09	6.4	
配管 3インチ以上 ¹⁾	リーク	4	1.2E+10	2.8	80%	15%	27%	2	3.3E+09	1.0E+09	18.5	4	1.1E+10	1.0E+09	10.3	
	閉塞	8	1.9E+08	2.5	22%	185%	29%	49%	8.3E+09	3.2E+10	8.6	0	1.1E+10	3.7E+10	5.1	
リレー	不動作	1	3.4E+09	3.1	143%	7%	6%	3	8.1E+09	1.5E+09	45.4	8	1.1E+10	7.0E+09	50.9	
	誤動作	9	1.3E+10	1.9	102%	5%	7%	4	8.1E+09	3.0E+09	34.4	6	1.1E+10	5.8E+09	28.8	
遠隔リレー	不動作	0	9.9E+08	2.8	145%	146%	36%	41%	0	6.9E+08	4.7E+09	7.8	0	8.8E+08	4.7E+09	6.8
	誤動作	0	6.3E+08	2.8	145%	146%	36%	41%	0	4.4E+08	5.8E+09	8.7	0	8.8E+08	4.7E+09	6.8
演算器	不動作	8	3.6E+08	2.6	214%	132%	18%	10%	3	4.4E+08	2.1E+08	14.5	5	5.6E+08	3.5E+08	8.6
	高出力/低出力	0	3.6E+08	2.6	333%	84%	10%	12%	0	2.4E+08	6.1E+09	25.7	0	3.2E+08	3.0E+08	21.5
カード (半導体ロジック回路)	誤動作	6	3.6E+08	2.4	54%	9%	9%	5%	4	2.4E+08	9.2E+09	25.4	4	3.2E+08	5.4E+07	50.7
	高出力/低出力	0	1.9E+09	2.6	180%	216%	20%	33%	0	1.3E+09	9.2E+09	12.7	0	1.7E+09	1.9E+09	7.8
集積回路	誤動作	3	1.9E+09	2.1	107%	66%	11%	10%	3	1.3E+09	9.5E+09	19.6	3	1.7E+09	1.9E+09	21.8
	高出力/低出力	3	3.9E+08	2.0	118%	141%	11%	17%	3	2.4E+09	5.9E+09	18.2	3	3.1E+09	4.0E+09	11.8
温度トランスミッタ	不動作	7	8.7E+08	2.2	411%	51%	13%	7%	1	5.9E+08	7.8E+09	16.8	7	7.7E+08	6.1E+08	33.0
	高出力/低出力	21	1.7E+08	5.5	359%	35%	45%	13%	4	9.9E+08	2.0E+09	12.2	19	7.7E+08	2.0E+07	42.4
圧カトランスミッタ	不動作	1	1.1E+09	2.2	435%	84%	21%	22%	0	7.5E+08	2.9E+09	10.9	1	9.6E+08	1.9E+09	10.4
	高出力/低出力	15	1.1E+09	1.9	118%	85%	23%	31%	8	7.5E+08	3.5E+08	8.5	15	9.6E+08	4.9E+09	6.3
水位トランスミッタ	不動作	1	4.5E+08	2.3	202%	290%	23%	39%	0	3.0E+08	1.4E+09	9.9	0	4.0E+08	9.4E+09	5.9
	高出力/低出力	2	4.5E+08	2.2	138%	140%	13%	24%	2	3.0E+08	2.2E+09	16.7	2	4.0E+08	2.2E+09	9.4
温度検出器	不動作	1	2.9E+09	2.3	300%	286%	22%	38%	0	2.0E+09	1.1E+09	10.6	0	2.6E+09	1.4E+09	6.1
	高出力/低出力	5	2.9E+09	2.0	68%	13%	10%	10%	5	2.0E+09	1.3E+08	23.7	5	2.6E+09	1.4E+09	20.2
放射線検出器	不動作	0	8.3E+07	2.8	276%	137%	54%	54%	0	5.6E+07	3.4E+08	12.2	0	7.3E+07	5.6E+08	5.2
	高出力/低出力	4	8.3E+07	2.6	239%	78%	12%	30%	1	5.6E+07	7.1E+08	21.8	2	7.3E+07	2.2E+07	8.7
流量スイッチ	不動作	0	5.3E+08	2.4	268%	209%	24%	44%	0	3.6E+08	7.1E+09	9.5	0	4.7E+08	9.1E+09	5.6
	誤動作	2	5.3E+08	2.3	379%	185%	24%	20%	1	3.6E+08	5.0E+09	13.9	1	4.7E+08	1.4E+08	7.9
圧カスイッチ	不動作	1	1.4E+09	2.4	157%	165%	17%	33%	0	9.9E+08	1.5E+09	43.0	7	1.3E+09	3.1E+09	29.7
	誤動作	7	1.4E+09	2.5	321%	322%	53%	61%	6	9.9E+08	2.0E+09	43.0	7	1.3E+09	3.1E+09	29.7
水位スイッチ	不動作	2	1.0E+09	2.3	170%	92%	5%	13%	2	7.1E+08	8.2E+09	14.8	6	9.0E+08	5.0E+08	43.0
	誤動作	0	4.9E+08	2.5	169%	141%	25%	42%	0	3.4E+08	1.1E+09	44.9	2	9.0E+08	1.7E+08	17.1
温度スイッチ	不動作	2	3.2E+09	2.4	111%	113%	6%	18%	2	3.4E+08	2.5E+08	37.9	2	4.4E+08	1.4E+08	5.9
	誤動作	7	3.2E+09	2.0	169%	84%	12%	20%	3	2.2E+09	5.5E+09	16.3	6	2.8E+09	1.9E+09	9.9
リミットスイッチ	不動作	2	3.2E+09	2.1	181%	258%	14%	26%	1	2.2E+09	3.1E+09	15.1	1	2.8E+09	2.2E+09	8.1
	誤動作	2	5.1E+09	2.2	160%	162%	16%	30%	2	3.5E+09	1.9E+09	13.5	2	4.5E+09	1.9E+09	7.3
手動スイッチ	不動作	1	5.1E+09	2.4	222%	227%	27%	45%	0	3.5E+09	1.4E+09	8.8	0	4.5E+09	1.0E+09	5.3
	誤動作	1	6.2E+08	2.3	499%	354%	17%	28%	0	4.3E+08	4.0E+09	13.3	0	5.5E+08	5.6E+08	17.2
コントローラ	高出力/低出力	4	6.2E+08	2.3	212%	95%	12%	13%	1	4.3E+08	1.4E+09	20.1	2	5.5E+08	3.2E+08	17.2
	短絡 ⁷⁾	-	-	3.0E+09	104%	515%	100%	100%	-	-	3.1E+10	30.0	-	-	6.3E+10	30.0
配線/電線	短絡 ⁷⁾	-	-	7.4E+09	30.0	1254%	408%	100%	-	-	5.9E+10	30.0	-	-	1.9E+09	30.0
	断線 ⁷⁾	-	-	7.4E+09	30.0	348%	408%	100%	-	-	2.1E+09	30.0	-	-	1.9E+09	30.0
ブレーカー	断線 ⁷⁾	-	-	5.0E+08	30.0	383%	424%	100%	-	-	1.3E+09	30.0	-	-	1.2E+08	30.0
	断線 ⁷⁾	-	-	3.0E+08	30.0	958%	562%	100%	-	-	3.1E+09	30.0	-	-	5.3E+09	30.0

注釈 * 1. ハイパー事前分布のパラメータの中央値の算出に利用した。
 * 2. 事後分布を正規分布にフィットして求めた。
 * 3. *2で求めた故障率分布の95%ile値、中央値を用いて評価した (EF=95%ile値/中央値)。
 * 4. 事後分布の95%ile値、5%ile値を用いて評価した (EF²⁾(仮) =95%ile値/5%ile値)。
 * 5. 特殊な故障率としてベイズ手法によるワイブル分布を提案した。
 * 6. 簡易手法で評価した。
 * 7. 特殊な故障率として工学的判断により算出した。
 * 8. 機器1台当たりの故障率。
 * 9. ABBの改良型制御機軸設置を含む。
 * 10. ABBを除いた従来の機器。
 * 11. 機器間の1セクション (3相) 当たりの故障率。
 * 12. 機器間を1機器として算出した故障率。
 * 13. 機器、材質変更箇所や分岐によって区分される1セクション間当たりの故障率。

HEAF 対策として追加設置するインターロックの試験・検査方法について

1. はじめに

本資料は、今回 HEAF 対策として追加設置するインターロックの試験・検査方法について補足説明するものである。

2. 追加設置するインターロックの試験・検査方法について

HEAF 対策による健全性及び能力の確認は、保護リレー動作から遮断器開放等までの時間計測についても範囲に含まれることから、それらの試験及び検査の方法について以下に記載する。

M/C に接続される遮断器 (D/G 受電遮断器以外) での HEAF 発生を想定した場合 (パターン 1) の試験・検査イメージを図 1 に、D/G 受電遮断器での HEAF 発生を想定した場合 (パターン 2) の試験・検査イメージを図 2 に示す。

パターン 1 については、既工認と同様の検査方法であり、実測にて①, ②, ③を測定する。

パターン 2 については、①, ②の範囲については実測できるが、③についてはプラント安全上の観点から実測できないため、メーカーの解析結果を用いて代替する。

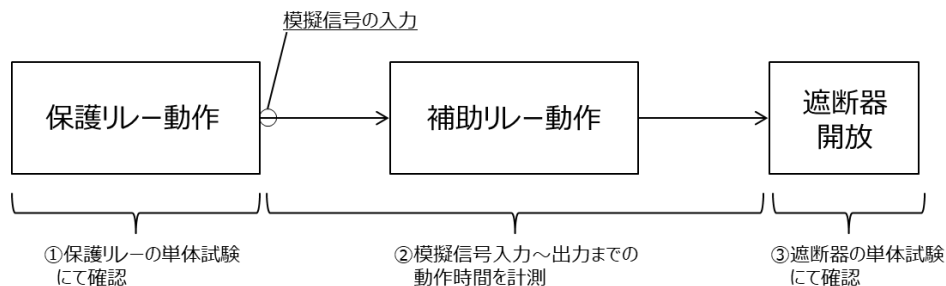
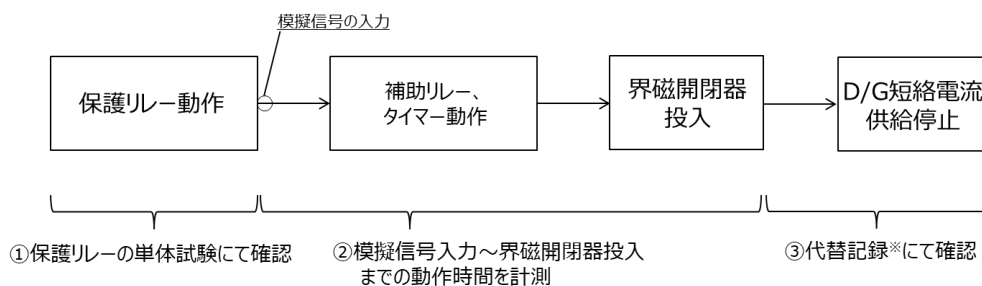


図 1 パターン 1 (M/C に接続される遮断器 (D/G 受電遮断器以外) での HEAF 時)



※実機にて短絡状態からD/G停止までの実電流測定ができないため、メーカーの解析結果を用いて代替する。

図 2 パターン 2 (D/G 受電遮断器での HEAF 時)