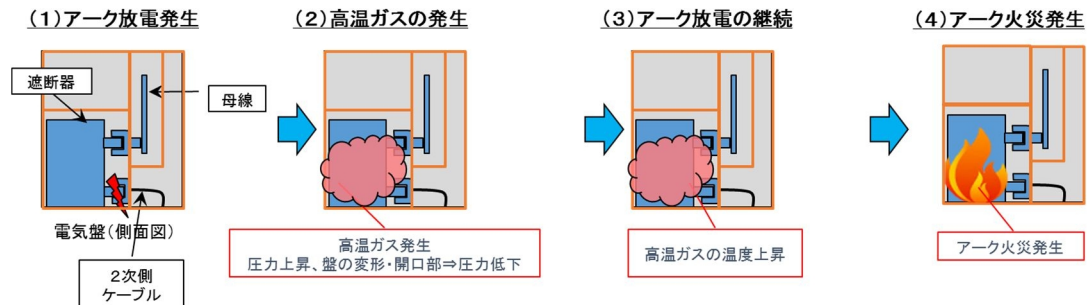
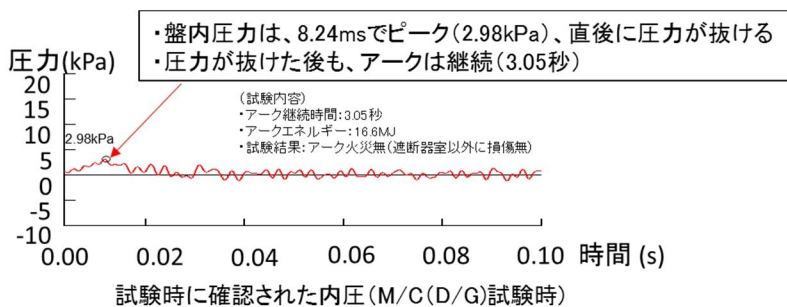


同等性に影響を与える恐れのあるパラメータの整理に関する補足について

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、音速で伝播すると考えると、0.01秒で約3m伝播する（音速 $340\text{ m/s} \times 0.01\text{ s} \div 3.4\text{ m}$ ）。
- (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（M/C(DG)試験は約0.01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(DG)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、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。



盤内開口部の状態(遮断器室)

- (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播し、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

2. M/C (DG) 試験と先行 M/C 試験との圧力上昇の相違点について

第3回新規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（別添1参照）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先行 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 (DG) 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（別添2参照）。

先行 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 (DG) 試験、先行 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 (DG) 試験と先行 M/C 試験で用いた試験体、試験条件等の相違点

M/C (DG) 試験と先行 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（詳細は別添3参照）。

試験条件のうち試験電流については、M/C (DG) 試験は先行 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 (DG) 試験 - 先行 M/C 試験の比較について

	M/C (DG) 試験	先行 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(DG)試験は非常用 DG 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1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 (DG) 試験における、最大アークパワーは 14.4~17.2MW であり、先行 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 (DG) 5kA、M/C (DG) 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 (DG) 試験および先行 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）

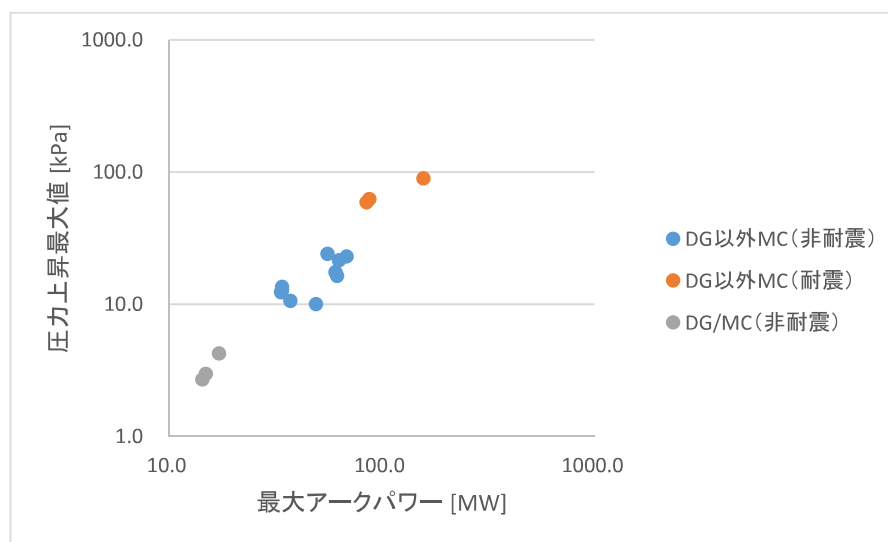


図1 最大アークパワーと圧力上昇最大値の関係

(3) まとめ

今回の HEAF 試験では、図1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、外部電源受電時と非常用ディーゼル発電機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、②について、非常用ディーゼル発電機給電時においても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。

- 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播し、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。

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（添付1参照）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 25kA で換算すると外部電源受電時、非常用ディーゼル発電機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×離隔距離（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離隔距離を 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離隔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 (DG) 試験と先行 M/C 試験で使用した電気盤は盤内仕切り板変形や開口部を有す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かと推察する。

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 (DG) 試験時	先行 M/C 試験時
アークパワー (横軸)	$2\pi fVI$ $= 2 * \pi * 100\text{Hz} * 1.33\text{kV} * 5\text{kA}$ $\doteq 4 * 10^9$ (9 乗オーダー) W/s	$2\pi fVI$ $= 2 * \pi * 100\text{Hz} * 1.34\text{kV} * 40\text{kA}$ $\doteq 3.3 * 10^{10}$ (10 乗オーダー)W/s
圧力×離隔距離 (縦軸)	$2.98\text{kPa} \times 0.5\text{ m}$ $\doteq 1.5 * 10^3\text{ Pa} \cdot \text{m}$	$62.5\text{kPa} \times 0.5\text{ m}$ $\doteq 3.1 * 10^4\text{ Pa} \cdot \text{m}$

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

V : アーク電圧、I : 試験電流

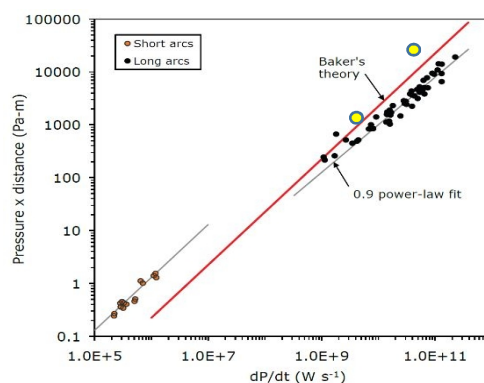


Figure 5 The results of Drouet and Nadeau for short (8 mm) and long (many meters) arcs

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)

I-3. 試験条件(1/2)
5

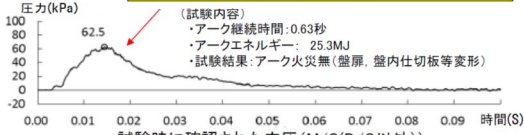
図・写真・出典(2)

- 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(盤厚、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))



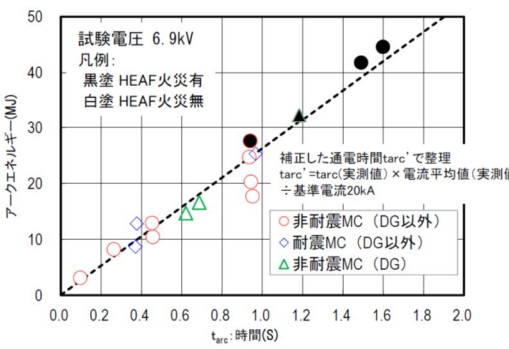
盤内仕切板の状態(母線室-遮断器室間) 試験後の盤正面の状態

補足1. 試験条件設定の考え方詳細
補 10

(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。



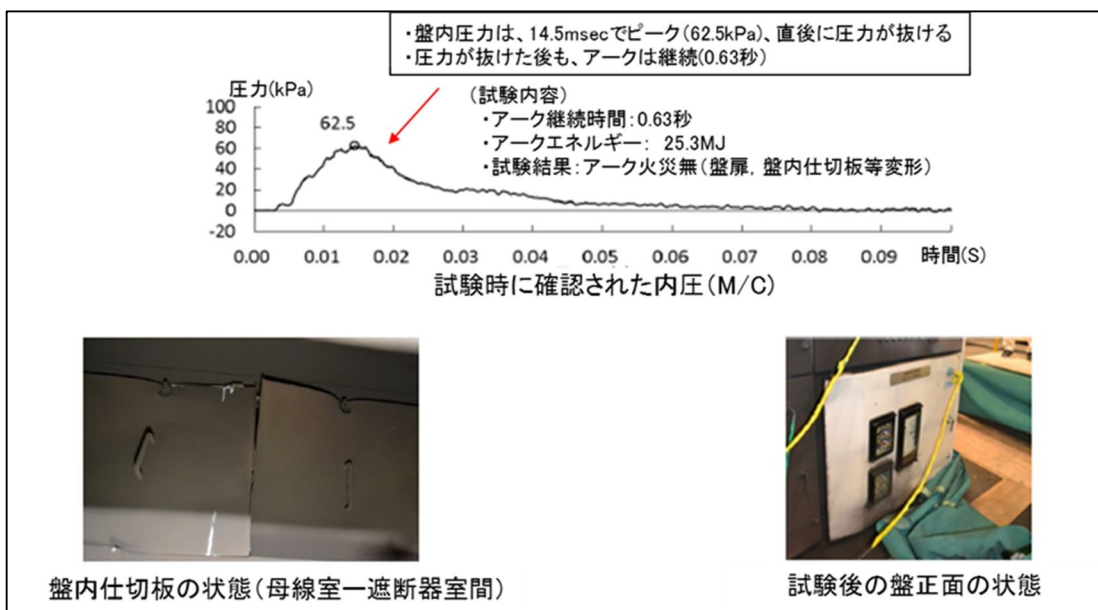
試験電圧 6.9kV
 凡例:
 黒塗 HEAF火災有
 白塗 HEAF火災無

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

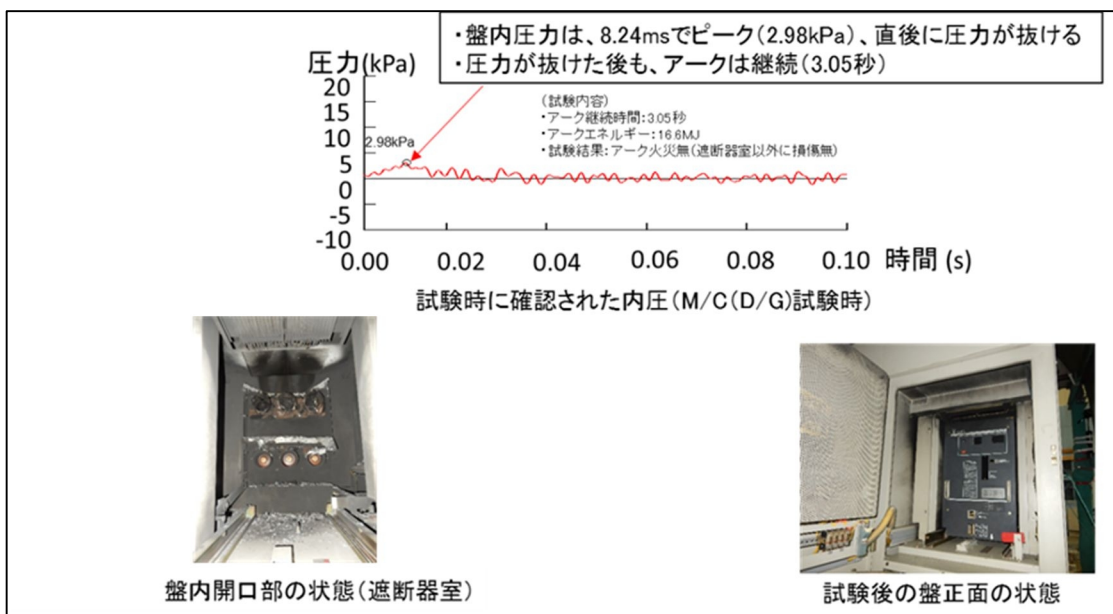
○ 非耐震MC (DG以外)
 ◇ 耐震MC (DG以外)
 △ 非耐震MC (DG)

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)

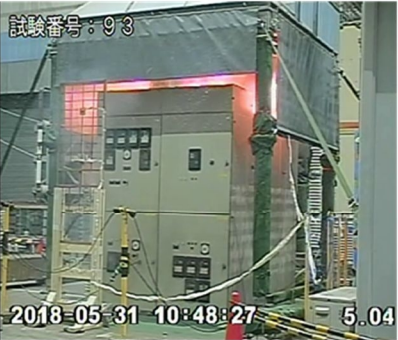


(1) 先行 M/C 試験の電気盤内圧



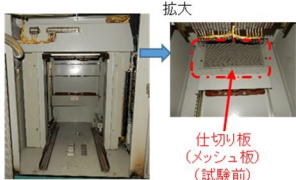





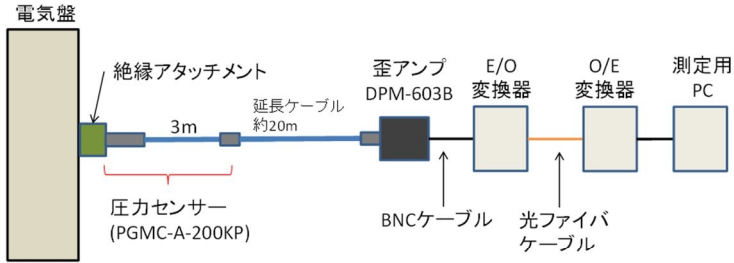

(2) M/C (DG) 試験の電気盤内圧



別表 1 M/C (DG) 試験と先行 M/C 試験の相違点について (1/3)

試験盤	M/C(DG)試験	先行M/C試験	
	試験盤③	試験盤①	試験盤②
	非耐震 6.9 kV	非耐震 7.2kV	耐震 7.2kV
対象機器			
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	

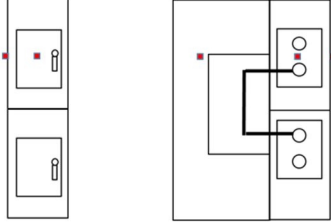
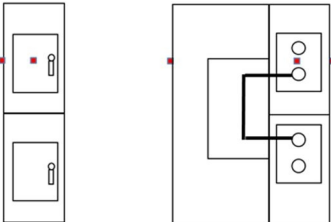
別表1 M/C (DG) 試験と先行M/C試験の相違点について (2/3)

試験盤	M/C(DG)試験	先行M/C試験		
	試験盤③	試験盤①	試験盤②	
遮断器室内 ^{※1}	 <p>拡大 仕切り板 (メッシュ板) (試験前)</p>		 <p>拡大 仕切り板の外れ (試験後)</p>	
開口部等による高温ガスの主な放出経路 ^{※1}	<ul style="list-style-type: none"> ・通気口 ・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) 	<ul style="list-style-type: none"> ・扉と盤筐体との隙間 ・上下段遮断器室間の仕切り板の隙間 ・外れた天板、変形した扉・側板 	<ul style="list-style-type: none"> ・天板(ケーブル引込口部) ・上下段遮断器室間の仕切り板の隙間 ・外れた天板、外れた仕切り板、変形した扉・側板 	
電気盤内の主な圧力測定箇所 ^{※2}	発弧箇所を有する電気盤の正面扉、側面	発弧箇所を有する電気盤の正面扉、側面、背面		
圧力測定器	 <p>電気盤 絶縁アタッチメント 延長ケーブル 約20m 歪アンプ DPM-603B E/O変換器 O/E変換器 測定用PC 圧力センサー (PGMC-A-200KP) BNCケーブル 光ファイバケーブル</p>			 <p>電気盤側面に取付けた圧力計</p> <p>※絶縁アタッチメントについては、電源盤内の側板、正面扉に取り付けており、盤内部の圧力が測定できるよう盤表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: 20 μs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項参照。

※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(DG)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 NOTE 4 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、2.89~3.07の間に真値が存在する。

別表1 M/C (DG) 試験と先行 M/C 試験の相違点について (3/3)










試験盤	M/C(DG)試験	先行M/C試験	
	試験盤③	試験盤①	試験盤②
開口箇所 (イメージ図)			
電気盤内の主な圧力測定箇所 (イメージ図)	<p>▪ 圧力測定箇所(正面、側面)</p>  <p>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>正面 側面</p> <p>※発弧位置が正面左上段の遮断器の場合</p>	

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

火災感知設備及び消火設備の配置について

大飯 3・4 号機、高浜 3・4 号機の火災感知機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（1）に記載の通りとする。

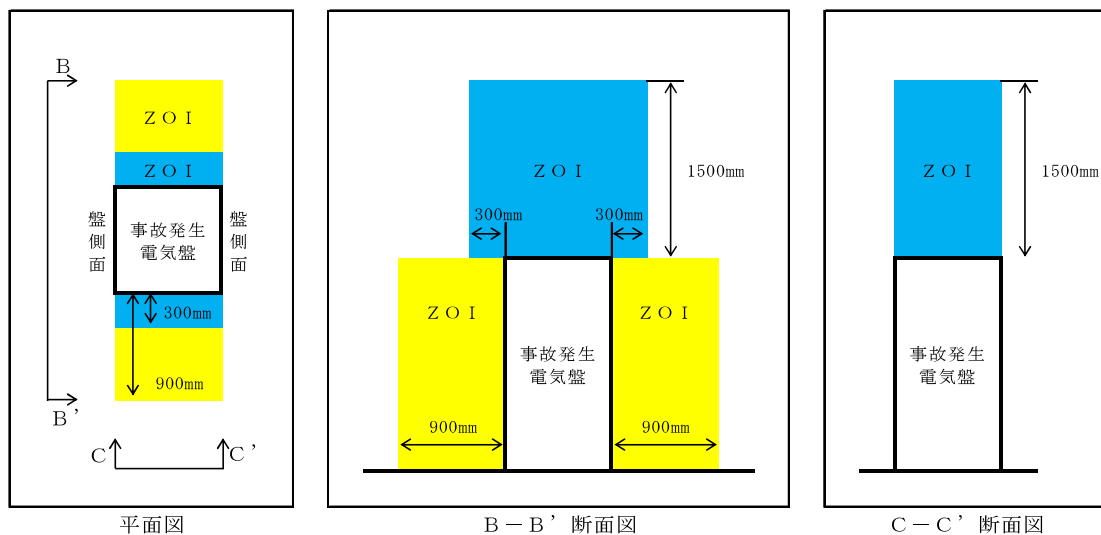
(1) 凡例

-  (平面図)  (断面図) : 炎感知器
-  (平面図)  (断面図) : 煙感知器
-  (平面図)  (断面図) : 熱感知器
-  : 全域ハロン消火装置配管
-  : 全域ハロン消火装置ノズル
-  Z O I (※)

※ Z O I (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



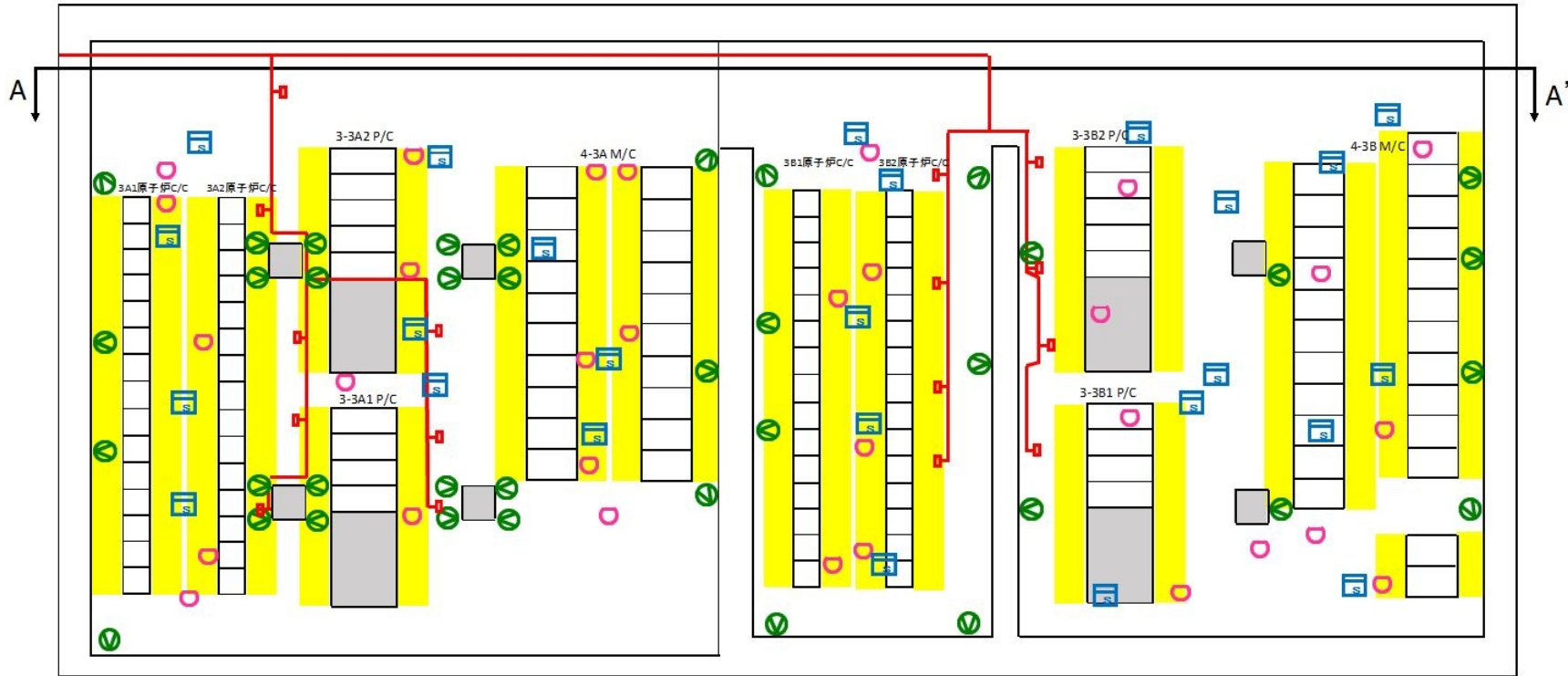
(2) 火災感知設備及び消火設備の配置図

各ユニットの火災感知設備及び消火設備の配置図について、以下のページに示す。

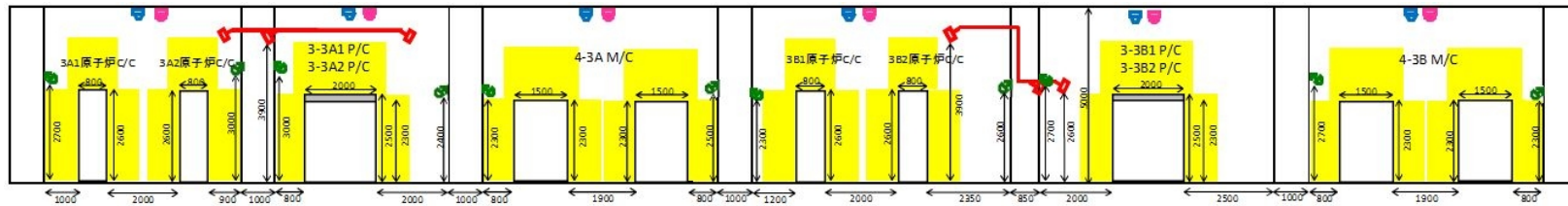
なお、図内に記載されている寸法の単位についてはミリメートルとする。

- a. 大飯 3 号機 . . . 2 ページ
- b. 大飯 4 号機 . . . 3 ページ
- c. 高浜 3 号機 . . . 4 ページ
- d. 高浜 4 号機 . . . 5 ページ

a. 大飯3号機



大飯発電所3号機 メタクラ室平面図 (E L 15. 8 M)

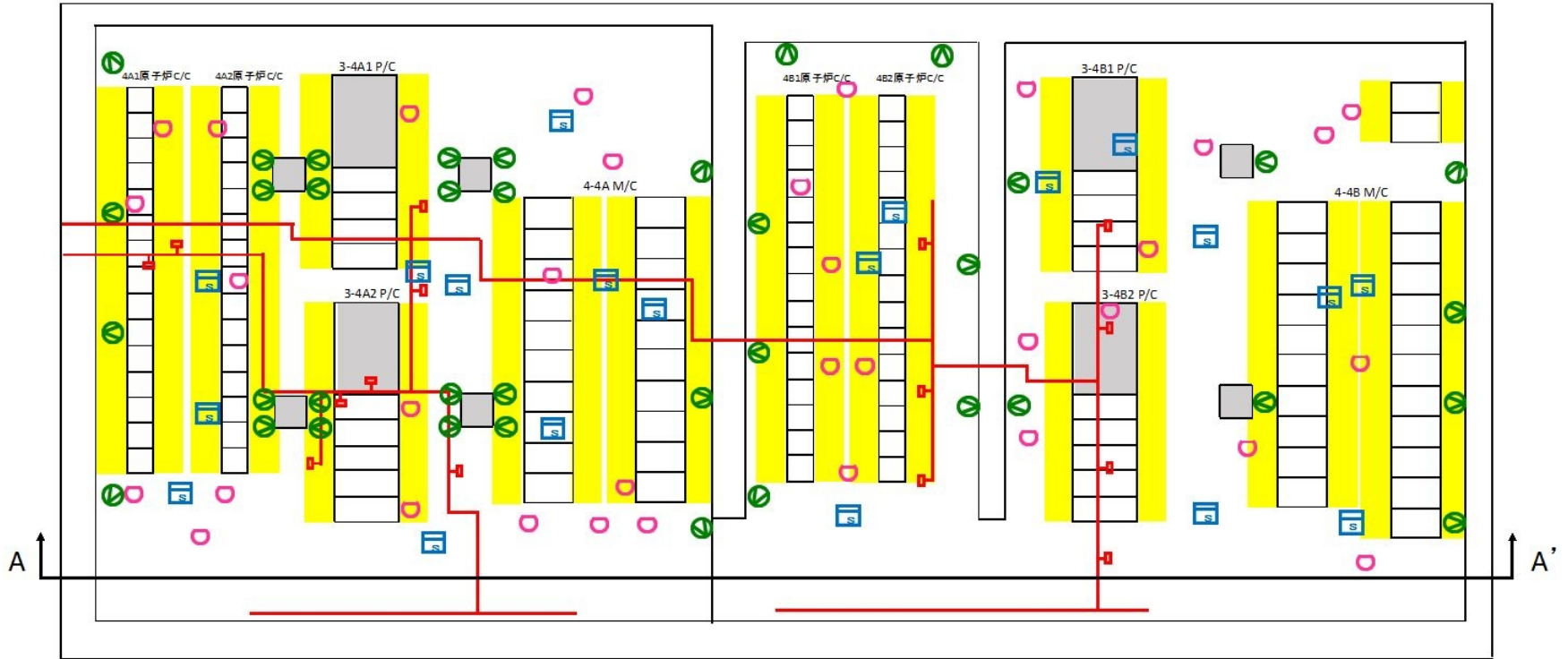


A-A' 断面 (※)

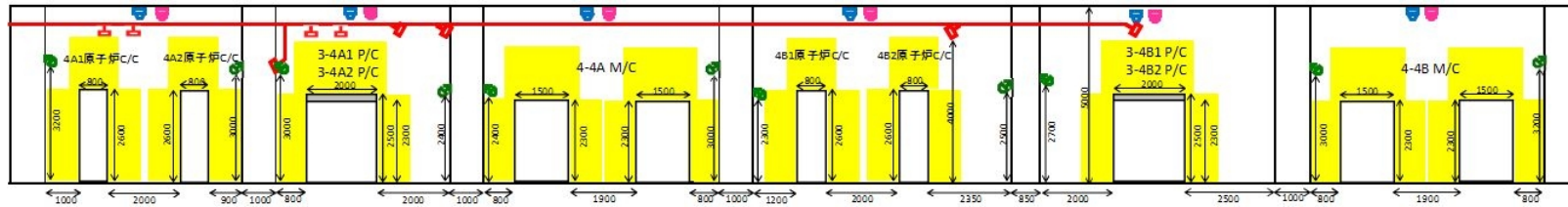
※煙感知器、熱感知器については全て天井 (5000mm) 付近に取り付けられているため記載について簡略化する。

b. 大飯4号機

-添付 2-3-



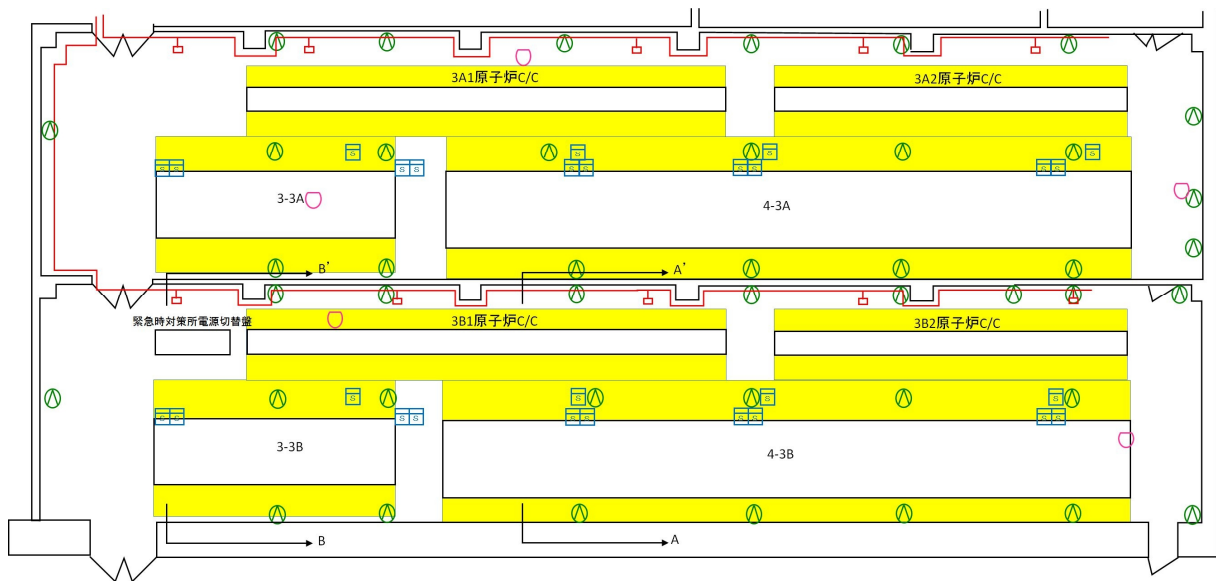
大飯発電所4号機 メタクラ室平面図 (E L 15.8M)



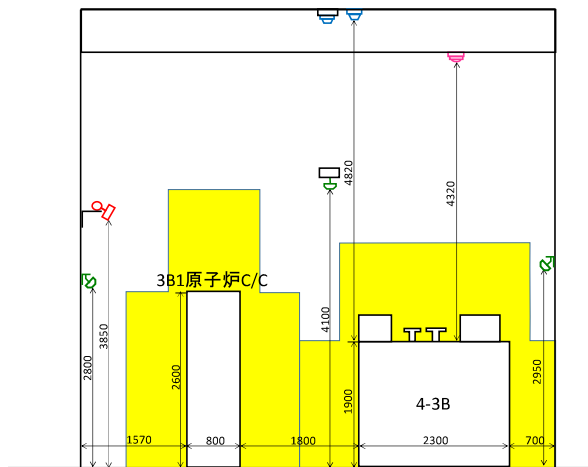
A-A' 断面 (※)

※炎感知器、煙感知器については全て天井 (5000mm) 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。

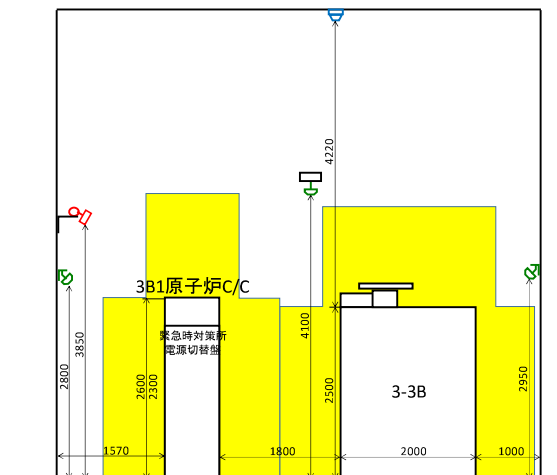
c. 高浜 3 号機



高浜発電所 3 号機 メタクラ室平面図 (E L 10.50M)



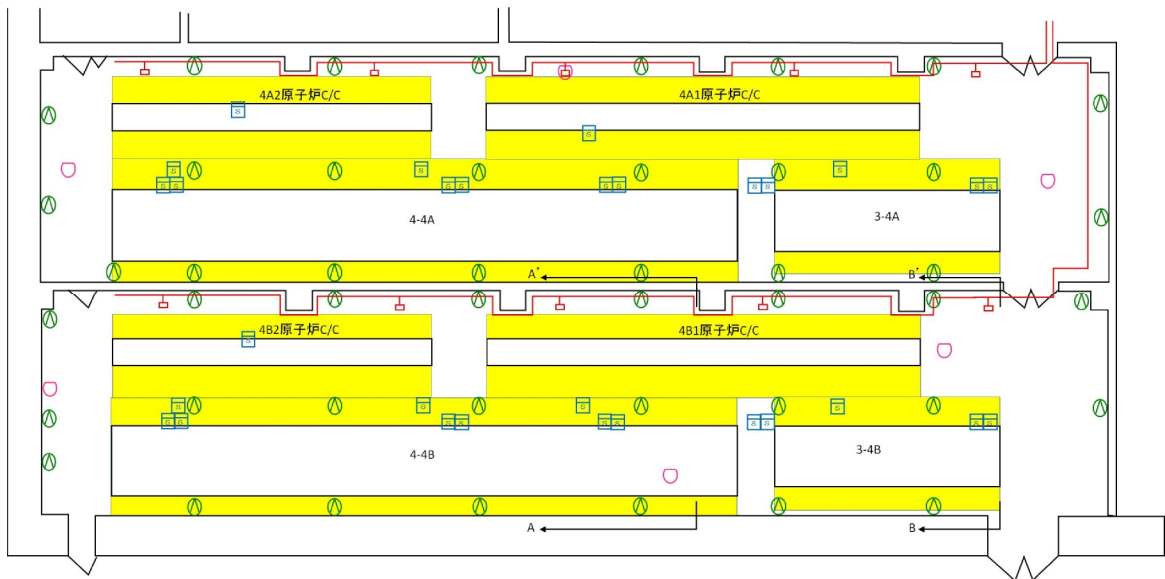
A-A' 断面



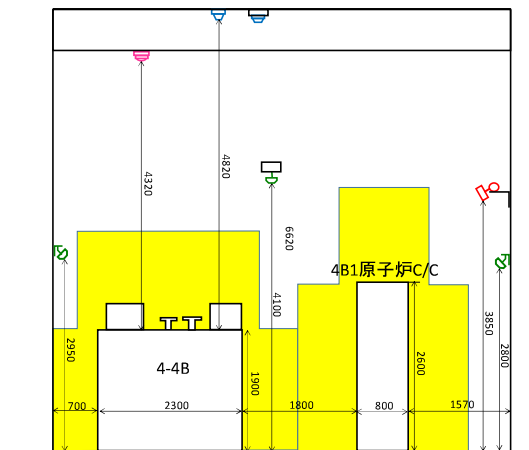
B-B' 断面

・添付 2・4・

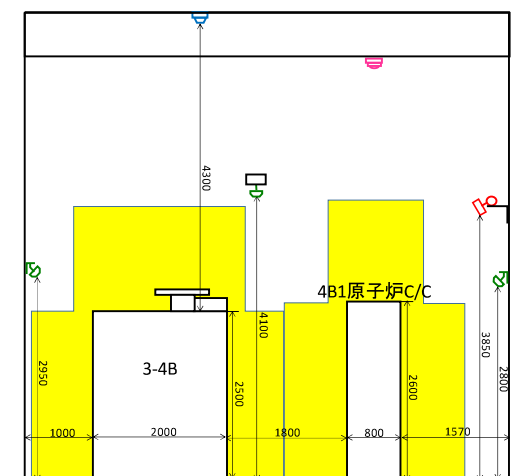
d. 高浜 4号機



高浜発電所 4号機 メタクラ室平面図 (E L 10.50M)



A-A' 断面



B-B' 断面

HEAF 試験時における短絡電流の目標値について

「4.2 短絡電流の目標値」で整理した表 4.2.1 について実機プラント全ての短絡電流値について表 3.1～3.8 に示す。

表 3.1 HEAF 試験時における短絡電流の目標値(大飯 3 号)

電気盤	短絡電流目標値	【参考】大飯 3 号機の短絡電流値
M/C	18.9 kA または 40.0 kA	約 24.5 kA～約 43.1 kA
P/C	45.0 kA	約 28.0kA～約 29.9 kA
C/C	45.0 kA	約 24.1 kA～約 28.5 kA

表 3.2 HEAF 試験時における短絡電流の目標値(大飯 4 号)

電気盤	短絡電流目標値	【参考】大飯 4 号機の短絡電流値
M/C	18.9 kA または 40.0 kA	約 24.2 kA～約 41.7 kA
P/C	45.0 kA	約 27.9 kA～約 29.9 kA
C/C	45.0 kA	約 24.0 kA～約 28.5 kA

表 3.3 HEAF 試験時における短絡電流の目標値(高浜 3 号)

電気盤	短絡電流目標値	【参考】高浜 3 号機の短絡電流値
M/C	18.9 kA または 40.0 kA	約 23.7 kA～約 28.5 kA
P/C	45.0 kA	約 29.3 kA～約 29.8 kA
C/C	45.0 kA	約 26.5 kA～約 28.8 kA

表 3.4 HEAF 試験時における短絡電流の目標値(高浜 4 号)

電気盤	短絡電流目標値	【参考】高浜 4 号機の短絡電流値
M/C	18.9 kA または 40.0 kA	約 23.9 kA～約 28.5 kA
P/C	45.0 kA	約 29.3 kA～約 29.8 kA
C/C	45.0 kA	約 24.2 kA～約 26.2 kA

表 3.5 HEAF 試験時における短絡電流の目標値(大飯 3 号)

電気盤	短絡電流目標値	【参考】大飯 3 号機の短絡電流値
M/C(DG)	5 kA	約 5.3kA

表 3.6 HEAF 試験時における短絡電流の目標値(大飯 4 号)

電気盤	短絡電流目標値	【参考】大飯 4 号機の短絡電流値
M/C(DG)	5 kA	約 5.3kA

表 3.7 HEAF 試験時における短絡電流の目標値(高浜 3 号)

電気盤	短絡電流目標値	【参考】高浜 3 号機の短絡電流値
M/C(DG)	5 kA	約 4.0kA

表 3.8 HEAF 試験時における短絡電流の目標値(高浜 4 号)

電気盤	短絡電流目標値	【参考】高浜 4 号機の短絡電流値
M/C(DG)	5 kA	約 4.0kA

添付資料－４

電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧について

「6. HEAFに係る対策の判断基準」で整理した表 6.2 について、実機プラント全ての電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧を表 4.1～4.4 に示す。

表 4.1 電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧（大飯 3 号機）(1/3)

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		誤差を考慮した場合		三相短絡電流(kA)	アーク電圧(kV)	考慮している誤差パターン
						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)			
メタルクラッド開閉装置	4-3HA (4-3AM/C 受電遮断器(3HT r 側))	130	0.490	—	0.050	0.540	21.91	0.540	21.91	33.64	1.34	5
		G30	0.490	—	0.094	0.584	23.70	0.584	23.70	33.64		5
	4-3E1A (4-3AM/C 受電遮断器(No.1ET r 側))	E10	0.400	—	0.066	0.466	24.20	0.466	24.20	43.05		5
	4-3E2A (4-3AM/C 受電遮断器(No.2ET r 側))	E20	0.700	0.010	0.050	0.750	22.19	0.760	22.49	24.53		6
			4-3E2CD (常用系メタクラ分離遮断器)	0.700	0.010	0.050	0.750	22.74	0.760	23.04		25.13
	4-3A 母線に接続される遮断器 (4-3HA,4-3E1A,4-3E2A,4-3AEG を除く)	4-3HA	0.200	0.025	0.100	0.300	12.18	0.325	13.19	33.64		2
		4-3E1A	0.200	0.025	0.100	0.300	15.58	0.325	16.88	43.05		2
		4-3E2A	0.200	0.025	0.100	0.300	8.88	0.325	9.62	24.53		2
	4-3HB (4-3BM/C 受電遮断器(3HT r 側))	130	0.490	—	0.050	0.540	22.77	0.540	22.77	34.96		5
		G30	0.490	—	0.094	0.584	24.63	0.584	24.63	34.96		5
	4-3E1B (4-3BM/C 受電遮断器(No.1ET r 側))	E10	0.400	—	0.066	0.466	23.95	0.466	23.95	42.61		5
	4-3E2B (4-3BM/C 受電遮断器(No.2ET r 側))	E20	0.700	0.010	0.050	0.750	22.74	0.760	23.04	25.13		6
	4-3B 母線に接続される遮断器 (4-3HB,4-3E1B,4-3E2B,4-3BEG を除く)	4-3HB	0.200	0.025	0.100	0.300	12.65	0.325	13.71	34.96		2
		4-3E1B	0.200	0.025	0.100	0.300	15.42	0.325	16.71	42.61		2
		4-3E2B	0.200	0.025	0.100	0.300	9.10	0.325	9.85	25.13		2
パワーセンタ	3-3A1 (3-3A1 P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	4-3A1H	1.200	0.084	0.084	1.284	15.63	1.368	16.66	28.96	0.467	1
	3-3A1 母線に接続される遮断器 (3-3A1 を除く)	3-3A1	0.400	0.025	0.066	0.466	5.68	0.491	5.98	28.96		2
	3-3A2 (3-3A2 P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	4-3A2H	1.180	0.083	0.084	1.264	15.67	1.347	16.70	29.49		1

※ 工認申請には、本内容を記載

-添付 4-2-

表 4.1 電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧（大飯 3 号機）(2/3)

機器名称	アーク放電発生箇所		①保護継電器の動作時間(sec)	②誤差(sec)	③遮断器の開極時間等(sec)	誤差を考慮しない場合		誤差を考慮した場合		三相短絡電流(kA)	アーク電圧(kV)	考慮している誤差パターン
	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+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)			
パワーセンタ	3-3A2 母線に接続される遮断器 (3-3A2 を除く)	3-3A2	0.400	0.025	0.066	0.466	5.86	0.491	6.17	29.87	0.467	2
	3-3B1 (3-3B1 P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	4-3B1H	1.200	0.084	0.084	1.284	15.62	1.368	16.64	28.94		1
	3-3B1 母線に接続される遮断器 (3-3B1 を除く)	3-3B1	0.400	0.025	0.066	0.466	5.67	0.491	5.98	28.94		2
	3-3B2 (3-3B2 P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	4-3B2H	1.160	0.082	0.084	1.244	15.62	1.326	16.65	29.87		1
	3-3B2 母線に接続される遮断器 (3-3B2 を除く)	3-3B2	0.400	0.025	0.066	0.466	5.86	0.491	6.17	29.87		2
コントロールセンタ	3A1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3A1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	3A1 原子炉 C/C 受電遮断器	0.180	—	0.020	0.200	3.02	0.200	3.02	24.85	0.675	8
	3A2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3A2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	3A2 原子炉 C/C 受電遮断器	0.180	—	0.020	0.200	3.47	0.200	3.47	28.48		8
	3B1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3B1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	3B1 原子炉 C/C 受電遮断器	0.180	—	0.020	0.200	3.04	0.200	3.04	24.94		8
	3B2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3B2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	3B2 原子炉 C/C 受電遮断器	0.180	—	0.020	0.200	3.40	0.200	3.40	27.93		8

※ 工認申請には、本内容を記載

表 4.1 電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧（大飯 3 号機）(3/3)

(非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

アーク放電発生箇所		アーク放電を遮断するために開放する遮断器等	①保護継電器の動作時間 (sec)	②誤差 (sec)	誤差を考慮しない場合			誤差を考慮した場合			三相短絡電流(kA)	アーク電圧(kV)	考慮している誤差パターン
機器名称	遮断器名称				③継電器動作後の電流供給停止までの時間 (sec)	①+③遮断時間 (sec) ※	アークエネルギー (MJ) ※	③'継電器動作後の電流供給停止までの時間 (sec)	①+②+③'遮断時間 (sec)	アークエネルギー(MJ)			
メタルクラッド開閉装置	4-3AEG (非常用ディーゼル発電機受電遮断器)	3A 非常用ディーゼル発電機停止	0.200	0.025	5.318	5.518	6.93	5.703	5.928	8.88	5.3	1.33	2
	4-3A 母線に接続される遮断器 (4-3AEG を除く)	4-3AEG	0.200	0.025	0.140	0.340	2.69	0.184	0.409	3.04			
	4-3BEG (非常用ディーゼル発電機受電遮断器)	3B 非常用ディーゼル発電機停止	0.200	0.025	5.318	5.518	6.93	5.703	5.928	8.88			
	4-3B 母線に接続される遮断器 (4-3BEG を除く)	4-3BEG	0.200	0.025	0.140	0.340	2.69	0.184	0.409	3.04			

※ 工認申請には、本内容を記載

表 4.2 電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧（大飯 4 号機）(1/3)

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		誤差を考慮した場合		三相短絡電流(kA)	アーク電圧(kV)	考慮している誤差パターン
						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)			
メタルクラッド開閉装置	4-4HA (4-4AM/C 受電遮断器(4HT r 側))	140	0.400	—	0.050	0.450	21.46	0.450	21.46	39.53	1.34	5
		G40	0.400	—	0.094	0.494	23.56	0.494	23.56	39.53		5
	4-4E1A (4-4AM/C 受電遮断器(No.1ET r 側))	E10	0.400	—	0.066	0.466	23.43	0.466	23.43	41.68		5
	4-4E2A (4-4AM/C 受電遮断器(No.2ET r 側))	E20	0.700	0.010	0.050	0.750	21.89	0.760	22.19	24.20		6
	4-4A 母線に接続される遮断器 (4-4HA,4-4E1A,4-4E2A,4-4AEG を除く)	4-4HA	0.200	0.025	0.100	0.300	14.31	0.326	15.50	39.53		2
		4-4E1A	0.200	0.025	0.100	0.300	15.08	0.325	16.34	41.68		2
		4-4E2A	0.200	0.025	0.100	0.300	8.76	0.325	9.49	24.20		2
	4-4HB (4-4BM/C 受電遮断器(4HT r 側))	140	0.400	—	0.050	0.450	22.48	0.450	22.48	41.41		5
		G40	0.400	—	0.094	0.494	24.68	0.494	24.68	41.41		5
	4-4E1B (4-4BM/C 受電遮断器(No.1ET r 側))	E10	0.400	—	0.066	0.466	23.32	0.466	23.32	41.49		5
	4-4E2B (4-4BM/C 受電遮断器(No.2ET r 側))	E20	0.700	0.010	0.050	0.750	22.43	0.760	22.73	24.79		6
	4-4B 母線に接続される遮断器 (4-4HB,4-4E1B,4-4E2B,4-4BEG を除く)	4-4HB	0.200	0.025	0.100	0.300	14.99	0.325	16.24	41.41		2
		4-4E1B	0.200	0.025	0.100	0.300	15.02	0.325	16.27	41.49		2
		4-4E2B	0.200	0.025	0.100	0.300	8.97	0.325	9.72	24.79		2
4-4E2CD (常用系メタクラ分離遮断器)	E20	0.700	0.010	0.050	0.750	22.43	0.760	22.73	24.79	6		
パワーセンタ	3-4A1 (3-4A1 P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	4-4A1H	1.200	0.084	0.084	1.284	15.61	1.368	16.63	28.92	0.467	1
	3-4A1 母線に接続される遮断器 (3-4A1 を除く)	3-4A1	0.400	0.025	0.066	0.466	5.67	0.491	5.97	28.92		2
	3-4A2 (3-4A2 P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	4-4A2H	1.170	0.082	0.084	1.254	15.68	1.336	16.71	29.75		1

※ 工認申請には、本内容を記載

表 4.2 電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧（大飯 4 号機）(2/3)

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		誤差を考慮した場合		三相短絡電流(kA)	アーク電圧(kV)	考慮している誤差パターン
						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)			
パワーセンタ	3-4A2 母線に接続される遮断器 (3-4A2 を除く)	3-4A2	0.400	0.025	0.066	0.466	5.85	0.491	6.16	29.82	0.467	2
	3-4B1 (3-4B1 P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	4-4B1H	1.200	0.084	0.084	1.284	15.61	1.368	16.63	28.91		1
	3-4B1 母線に接続される遮断器 (3-4B1 を除く)	3-4B1	0.400	0.025	0.066	0.466	5.67	0.491	5.97	28.91		2
	3-4B2 (3-4B2 P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	4-4B2H	1.160	0.082	0.084	1.244	15.60	1.326	16.63	29.83		1
	3-4B2 母線に接続される遮断器 (3-4B2 を除く)	3-4B2	0.400	0.025	0.066	0.466	5.85	0.491	6.16	29.83		2
コントロールセンタ	4A1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (4A1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	4A1 原子炉 C/C 受電遮断器	0.180	—	0.020	0.200	3.01	0.200	3.01	24.71	0.675	8
	4A2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (4A2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	4A2 原子炉 C/C 受電遮断器	0.180	—	0.020	0.200	3.46	0.200	3.46	28.44		8
	4B1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (4B1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	4B1 原子炉 C/C 受電遮断器	0.180	—	0.020	0.200	3.03	0.200	3.03	24.92		8
	4B2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (4B2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	4B2 原子炉 C/C 受電遮断器	0.180	—	0.020	0.200	3.44	0.200	3.44	28.30		8

※ 工認申請には、本内容を記載

表 4.2 電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧（大飯 4 号機）(3/3)

(非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

アーク放電発生箇所		アーク放電を遮断するために開放する遮断器等	①保護継電器の動作時間 (sec)	②誤差 (sec)	誤差を考慮しない場合			誤差を考慮した場合			三相短絡電流(kA)	アーク電圧(kV)	考慮している誤差パターン
機器名称	遮断器名称				③継電器動作後の電流供給停止までの時間 (sec)	①+③遮断時間 (sec) ※	アークエネルギー (MJ) ※	③'継電器動作後の電流供給停止までの時間 (sec)	①+②+③'遮断時間 (sec)	アークエネルギー(MJ)			
メタルクラッド開閉装置	4-4AEG (非常用ディーゼル発電機受電遮断器)	4A 非常用ディーゼル発電機停止	0.200	0.025	5.318	5.518	6.93	5.703	5.928	8.88	5.3	1.33	2
	4-4A 母線に接続される遮断器 (4-4AEG を除く)	4-4AEG	0.200	0.025	0.140	0.340	2.69	0.184	0.409	3.04	5.3		2
	4-4BEG (非常用ディーゼル発電機受電遮断器)	4B 非常用ディーゼル発電機停止	0.200	0.025	5.318	5.518	6.93	5.703	5.928	8.88	5.3		2
	4-4B 母線に接続される遮断器 (4-4BEG を除く)	4-4BEG	0.200	0.025	0.140	0.340	2.69	0.184	0.409	3.04	5.3		2

※ 工認申請には、本内容を記載

表 4.3 電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧（高浜 3 号機）(1/3)

アーク放電発生箇所		アーク放電を遮断するために開放する遮断器	①保護継電器の動作時間(sec)	②誤差(sec)	③遮断器の開極時間等(sec)	誤差を考慮しない場合		誤差を考慮した場合		三相短絡電流(kA)	アーク電圧(kV)	考慮している誤差パターン
機器名称	遮断器名称					①+③遮断時間(sec) ※	アークエネルギー(MJ) ※	①+②+③遮断時間(sec)	アークエネルギー(MJ)			
メタルクラッド開閉装置	4-3HA (4-3AM/C 受電遮断器(3HT r 側))	130	0.060	—	0.050	0.110	3.15	0.110	3.15	23.73	1.34	7
		G30	0.300	0.025	0.150	0.450	12.88	0.475	13.60	23.73		2
	4-3SA (4-3AM/C 受電遮断器(3ST r 側))	St30	0.530	0.064	0.050	0.580	17.37	0.644	19.28	24.82		4
	4-3EA (4-3AM/C 受電遮断器(ET r 側))	E10	0.060	—	0.066	0.126	4.33	0.126	4.33	28.44		7
	4-3A 母線に接続される遮断器 (4-3HA,4-3SA,4-3EA,4-3AEG を除く)	4-3HA	0.300	0.025	0.100	0.400	11.45	0.425	12.17	23.73		2
		4-3SA	0.300	0.025	0.100	0.400	11.98	0.425	12.73	24.82		2
		4-3EA	0.300	0.025	0.100	0.400	13.72	0.425	14.58	28.44		2
	4-3HB (4-3BM/C 受電遮断器(3HT r 側))	130	0.060	—	0.050	0.110	3.18	0.110	3.18	23.97		7
		G30	0.300	0.025	0.150	0.450	13.01	0.475	13.74	23.97		2
	4-3SB (4-3BM/C 受電遮断器(3ST r 側))	St30	0.530	0.064	0.050	0.580	17.29	0.644	19.20	24.71		4
	4-3EB (4-3BM/C 受電遮断器(ET r 側))	E10	0.060	—	0.066	0.126	4.33	0.126	4.33	28.44		7
	4-3B 母線に接続される遮断器 (4-3HB,4-3SB,4-3EB,4-3BEG を除く)	4-3HB	0.300	0.025	0.100	0.400	11.57	0.425	12.29	23.97		2
		4-3SB	0.300	0.025	0.100	0.400	11.93	0.425	12.67	24.71		2
4-3EB		0.300	0.025	0.100	0.400	13.72	0.425	14.58	28.44	2		
パワーセンタ	3-3A (3-3A P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	3-3AH	1.162	0.082	0.084	1.246	15.59	1.328	16.62	29.76	0.467	1
	3-3A 母線に接続される遮断器 (3-3A を除く)	3-3A	0.400	0.025	0.066	0.466	5.83	0.491	6.15	29.76		2
	3-3B (3-3B P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	3-3BH	1.162	0.082	0.084	1.246	15.59	1.328	16.62	29.76		1
	3-3B 母線に接続される遮断器 (3-3B を除く)	3-3B	0.400	0.025	0.066	0.466	5.83	0.491	6.15	29.76		2

※ 工認申請には、本内容を記載

表 4.3 電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧（高浜 3 号機）(2/3)

アーク放電発生箇所		アーク放電を遮断するために開放する遮断器	①保護継電器の動作時間(sec)	②誤差(sec)	③遮断器の開極時間等(sec)	誤差を考慮しない場合		誤差を考慮した場合		三相短絡電流(kA)	アーク電圧(kV)	考慮している誤差パターン
機器名称	遮断器名称					①+③遮断時間(sec) ※	アークエネルギー(MJ) ※	①+②+③遮断時間(sec)	アークエネルギー(MJ)			
コントロールセンタ	3A1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3A1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	3A1 原子炉 C/C 受電遮断器	0.180	—	0.020	0.200	3.50	0.200	3.50	28.80	0.675	8
	3A2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3A2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	3A2 原子炉 C/C 受電遮断器	0.180	—	0.020	0.200	3.26	0.200	3.26	26.81		8
	3B1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3B1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	3B1 原子炉 C/C 受電遮断器	0.180	—	0.020	0.200	3.50	0.200	3.50	28.80		8
	3B2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (3B2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	3B2 原子炉 C/C 受電遮断器	0.180	—	0.020	0.200	3.26	0.200	3.26	26.81		8

※ 工認申請には、本内容を記載

表 4.3 電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧（高浜 3 号機）(3/3)

(非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

アーク放電発生箇所		アーク放電を遮断するために開放する遮断器等	①保護継電器の動作時間(sec)	②誤差(sec)	誤差を考慮しない場合			誤差を考慮した場合			三相短絡電流(kA)	アーク電圧(kV)	考慮している誤差パターン
機器名称	遮断器名称				③継電器動作後の電流供給停止までの時間(sec)	①+③遮断時間(sec) ※	アークエネルギー(MJ) ※	③'継電器動作後の電流供給停止までの時間(sec)	①+②+③'遮断時間(sec)	アークエネルギー(MJ)			
メタルクラッド開閉装置	4-3AEG (非常用ディーゼル発電機受電遮断器)	3A 非常用ディーゼル発電機停止	0.300	0.025	5.349	5.649	5.65	5.718	6.043	7.08	4.0	1.33	2
	4-3A 母線に接続される遮断器 (4-3AEG を除く)	4-3AEG	0.300	0.025	0.140	0.440	2.40	0.184	0.509	2.66	4.0		2
	4-3BEG (非常用ディーゼル発電機受電遮断器)	3B 非常用ディーゼル発電機停止	0.300	0.025	5.349	5.649	5.65	5.718	6.043	7.08	4.0		2
	4-3B 母線に接続される遮断器 (4-3BEG を除く)	4-3BEG	0.300	0.025	0.140	0.440	2.40	0.184	0.509	2.66	4.0		2

※ 工認申請には、本内容を記載

表 4.4 電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧（高浜 4 号機）(1/3)

アーク放電発生箇所		アーク放電を遮断するために開放する遮断器	①保護継電器の動作時間(sec)	②誤差(sec)	③遮断器の開極時間等(sec)	誤差を考慮しない場合		誤差を考慮した場合		三相短絡電流(kA)	アーク電圧(kV)	考慮している誤差パターン
機器名称	遮断器名称					①+③遮断時間(sec) ※	アークエネルギー(MJ) ※	①+②+③遮断時間(sec)	アークエネルギー(MJ)			
メタルクラッド開閉装置	4-4HA (4-4AM/C 受電遮断器(4HT r 側))	140	0.060	—	0.050	0.110	3.18	0.110	3.18	23.95	1.34	7
		G40	0.300	0.025	0.150	0.450	13.00	0.475	13.72	23.95		2
	4-4SA (4-4AM/C 受電遮断器(4ST r 側))	St30	0.530	0.064	0.050	0.580	17.37	0.644	19.28	24.82		4
	4-4EA (4-4AM/C 受電遮断器(ET r 側))	E10	0.060	—	0.066	0.126	4.33	0.126	4.33	28.44		7
	4-4A 母線に接続される遮断器 (4-4HA,4-4SA,4-4EA,4-4AEG を除く)	4-4HA	0.300	0.025	0.100	0.400	11.56	0.425	12.28	23.95		2
		4-4SA	0.300	0.025	0.100	0.400	11.98	0.425	12.73	24.82		2
		4-4EA	0.300	0.025	0.100	0.400	13.72	0.425	14.58	28.44		2
	4-4HB (4-4BM/C 受電遮断器(4HT r 側))	140	0.060	—	0.050	0.110	3.19	0.110	3.19	23.99		7
		G40	0.300	0.025	0.150	0.450	13.02	0.475	13.75	23.99		2
	4-4SB (4-4BM/C 受電遮断器(4ST r 側))	St30	0.530	0.064	0.050	0.580	17.30	0.644	19.20	24.72		4
	4-4EB (4-4BM/C 受電遮断器(ET r 側))	E10	0.060	—	0.066	0.126	4.33	0.126	4.33	28.44		7
	4-4B 母線に接続される遮断器 (4-4HB,4-4SB,4-4EB,4-4BEG を除く)	4-4HB	0.300	0.025	0.100	0.400	11.58	0.425	12.30	23.99		2
4-4SB		0.300	0.025	0.100	0.400	11.93	0.425	12.68	24.72	2		
4-4EB		0.300	0.025	0.100	0.400	13.72	0.425	14.58	28.44	2		
パワーセンタ	3-4A (3-4A P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	3-4AH	1.163	0.082	0.084	1.247	15.59	1.329	16.61	29.73	0.467	1
	3-4A 母線に接続される遮断器 (3-4A を除く)	3-4A	0.400	0.025	0.066	0.466	5.83	0.491	6.14	29.73		2
	3-4B (3-4B P/C 受電遮断器(動変 2 次側))	3-4BH	1.163	0.082	0.084	1.247	15.59	1.329	16.61	29.73		1
	3-4B 母線に接続される遮断器 (3-4B を除く)	3-4B	0.400	0.025	0.066	0.466	5.83	0.491	6.14	29.73		2

※ 工認申請には、本内容を記載

表 4.4 電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧（高浜 4 号機）（2/3）

アーク放電発生箇所		アーク放電を遮断するために開放する遮断器	①保護継電器の動作時間(sec)	②誤差(sec)	③遮断器の開極時間等(sec)	誤差を考慮しない場合		誤差を考慮した場合		三相短絡電流(kA)	アーク電圧(kV)	考慮している誤差パターン
機器名称	遮断器名称					①+③遮断時間(sec) ※	アークエネルギー(MJ) ※	①+②+③遮断時間(sec)	アークエネルギー(MJ)			
コントロールセンタ	4A1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (4A1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	4A1 原子炉 C/C 受電遮断器	0.180	—	0.020	0.200	3.19	0.200	3.19	26.19	0.675	8
	4A2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (4A2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	4A2 原子炉 C/C 受電遮断器	0.180	—	0.020	0.200	2.99	0.200	2.99	24.53		8
	4B1 原子炉 C/C に接続される遮断器 (4B1 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	4B1 原子炉 C/C 受電遮断器	0.180	—	0.020	0.200	3.19	0.200	3.19	26.19		8
	4B2 原子炉 C/C に接続される遮断器 (4B2 原子炉 C/C 受電遮断器を除く)	4B2 原子炉 C/C 受電遮断器	0.180	—	0.020	0.200	2.99	0.200	2.99	24.53		8

※ 工認申請には、本内容を記載

表 4.4 電気盤のアークエネルギー及び遮断器の遮断時間一覧（高浜 4 号機）(3/3)

(非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

アーク放電発生箇所		アーク放電を遮断するために開放する遮断器等	①保護継電器の動作時間 (sec)	②誤差 (sec)	誤差を考慮しない場合			誤差を考慮した場合			三相短絡電流(kA)	アーク電圧(kV)	考慮している誤差パターン	
機器名称	遮断器名称				③継電器動作後の電流供給停止までの時間 (sec)	①+③遮断時間 (sec) ※	アークエネルギー (MJ) ※	③'継電器動作後の電流供給停止までの時間 (sec)	①+②+③'遮断時間 (sec)	アークエネルギー(MJ)				
メタルクラッド開閉装置	4-4AEG (非常用ディーゼル発電機受電遮断器)	4A 非常用ディーゼル発電機停止	0.300	0.025	5.349	5.649	5.65	5.718	6.043	7.08	4.0	1.33	2	
	4-4A 母線に接続される遮断器 (4-4AEG を除く)	4-4AEG	0.300	0.025	0.140	0.440	2.40	0.184	0.509	2.66			4.0	2
	4-4BEG (非常用ディーゼル発電機受電遮断器)	4B 非常用ディーゼル発電機停止	0.300	0.025	5.349	5.649	5.65	5.718	6.043	7.08			4.0	2
	4-4B 母線に接続される遮断器 (4-4BEG を除く)	4-4BEG	0.300	0.025	0.140	0.440	2.40	0.184	0.509	2.66			4.0	2

※ 工認申請には、本内容を記載

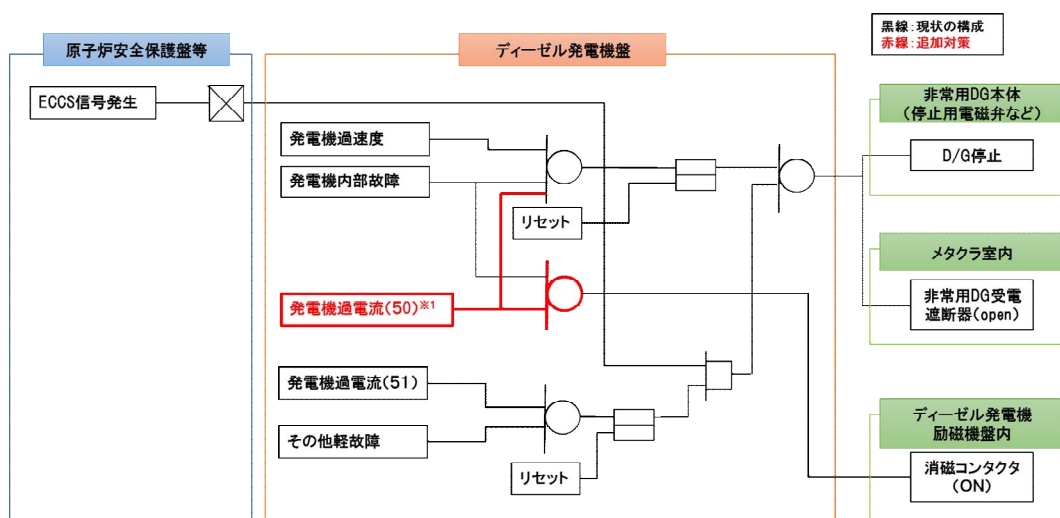
非常用 DG 保護ロジックへの 50 保護リレー追加に関わる既存設備への影響について

1. はじめに

非常用 DG 保護ロジックへの 50 保護リレーの追加において、既存設備への影響確認を実施するものである。

2. 50 保護リレー追加における回路構成について

今回の当該保護リレーにおける追加ロジック、回路構成の概略イメージについて高浜3, 4号機を一例として図1の通り示す。(盤名称の違い等はあるが、大飯3, 4号機についても同様の回路構成である。)



※1: 今回のHEAF対策用の50保護リレー追加については、原子炉安全保護盤、安全保護系シーケンスキャビネット及び安全保護系ストラック内のSI信号既存ロジックを変更するものではなく、ディーゼル発電機盤内の保護リレー追加ならびに非常用DG側の保護ロジックに重複障扱いとして50保護リレーのロジック追加をするものである。

図1 回路構成概略図(イメージ)

図1に示す通り、当該保護リレー追加は SI 信号ロジックを変更するものではなく、ディーゼル発電機盤内に 50 保護リレーを追加し、非常用 DG 側のロジック回路を一部追加するものである。

なお、既存のディーゼル発電機盤内に追加し、耐震、溢水影響等については既評価から変更が無いよう設計する。また、本ロジックについては、既許可の設計を変更するものでもない。

【50 保護リレーロジック追加設計の考え方】

1. 非常用 DG 受電遮断器での HEAF 発生に起因した短絡電流を早期に検出することを目的としている。
2. 追加する 50 保護リレーについては、SI 時においても HEAF による電気盤の損壊の拡大

防止を優先する必要があるため、現状の 51 保護リレー(発電機過電流要素)とは別に保護リレーをディーゼル発電機盤内に追加し、重故障扱いとする。

⇒従い、50 保護リレー動作で非常用 DG 受電遮断器開放、非常用 DG 機関の停止となる。

3. 上記に加え、アークエネルギー抑制の観点から、非常用 DG 機関の停止後速やかに HEAF 発生点である非常用 DG 受電遮断器への電流供給を停止する必要があることから、50 保護リレー動作で非常用 DG の消磁コンタクトを投入する。

なお、非常用 DG 用の具体的な HEAF 対策検討については、添付1参照。

3. HEAF 対策用に追加した当該リレーにおける非常用 DG 受電遮断器誤開或いは非常用 DG 誤トリップへの影響について

非常用 DG 運転中に万一当該リレーの誤動作が発生した場合、機関の停止回路が動作し、或いは非常用 DG 遮断器が開放され、非常用 DG からの給電が停止する可能性が考えられる。

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)』(添付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。

当該リレー誤動作による機関の停止については、“非常用ディーゼル発電機の計測制御回路”として当該リレーを非常用 DG のバウンダリに含めて取り扱っている※1。すなわち、非常用 DG の故障率には、当該リレーの要因による故障率も含まれているため、当該リレー設置によるプラントの信頼性評価への影響はない※2。

※1 PRA で使用している NUCIA の故障率データは、国内 PWR 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ます。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ます。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ます。そのため、当該機器の故障率に含まれます。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ません。そのため当該機器の故障率には含まれません。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 カ年 49 基データ 改訂版)』の 68 頁に非常用 DG 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」が挙げられています。「冷却水流量、潤滑油圧力、機関速度等」といった故障要素は非常用 DG 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す。当該 50 リレ

ーにつきまし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非常用 DG 故障ロックアウトリレーを動作させることから、当該 50 リレーについても先の保護信号用の保護リレーと同様に非常用 DG バウンダリ内の設備と整理され则认为します。

※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 PWR 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ます。よって、過去の実績に基づくものなので、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ありません。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ります。

なお、仮に非常用 DG の故障率とは別に当該リレー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『故障件数の不確か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)』(添付3参照。)によれば、“非常用ディーゼル発電機の運転継続失敗”の発生頻度($3.3 \times 10^{-4}/\text{hr}$)に対し、リレー誤動作の発生頻度($3.0 \times 10^{-9}/\text{hr}$)は十分に小さいものであり、非常用 DG の信頼性に有意な影響を与えることはないと考えます。

さらに、当該リレーの誤動作により、非常用 DG 遮断器の誤開によって間接的に非常用 DG の給電失敗に至るシーケンスも考えられるが、この場合も当該リレーは信頼性評価上、遮断器のバウンダリに含まれることから、当該リレーの設置が信頼性評価に影響することはない。前述と同様に仮に遮断器の故障率とは別に当該リレー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前述の NUCIA データでの遮断器誤開の発生頻度($3.8 \times 10^{-8}/\text{hr}$)に対し、リレー誤動作の発生頻度($3.0 \times 10^{-9}/\text{hr}$)は一桁小さいものであり、この観点からも当該リレーの追加は非常用 DG の機能に対し、信頼性の面では有意な影響を与えることはないと考えます。

4. 保護リレー故障による非常用DGへの設計上の考慮について

プラント事故時に非常用 DG にて給電している際において、万が一保護リレーの故障によって非常用 DG 機関が停止した場合には、安全系電源系統は、1つの非常用母線で原子炉を安全停止することができるよう多重性・独立性を有する設計となっていることから、当該片系の保護リレーが故障したとしても、健全側の非常用 DG にて事故の収束は可能である。

また、プラント運転時の際に非常用 DG に関わる当該保護リレーが万が一故障した場合においては、保安規定上の制限(高浜発電所保安規定第 74 条)により10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)での復旧が必要となる。

当該保護リレーの故障については、自己診断機能が備わっており、故障警報を発信する

設計となっており、措置としては、リレーケースを引抜するためのスイッチを設けており、本スイッチにより CT 回路を短絡させ、保護リレーを単独で交換できる。

保護リレー故障時の取替期間については、以下の内訳の通り、作業準備、予備品の運搬にかかる時間、作業員の要請にかかる時間、取替作業時間等を考慮し、約 10 時間程度で取替が可能であるとする。

- ・作業準備：1 時間
- ・予備品の運搬：1. 5 時間
- ・作業員の要請：6. 5 時間
- ・取替作業：1 時間

なお、運転中に定期的実施する非常用ディーゼル発電機の無負荷試験の際に保護リレー故障に伴う誤動作で非常用 DG 機関の停止となった場合には、当該保護リレーの交換とともに、停止信号をリセット後、非常用 DG を再起動できる。

◇高浜発電所 保安規定(抜粋)(大飯発電所も同様記載)

[保安規定第 74 条](大飯発電所については、79 条)	
(ディーゼル発電機 モード 1、2、3 および 4)	
第 74 条 モード 1、2、3 および 4 において、ディーゼル発電機は、表 7 4 - 1 で定める事項を運転上の制限とする。	
2. ディーゼル発電機が前項で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) 発電室長は、定期検査時に、次の事項を確認する。	
(a) 模擬信号によりディーゼル発電機が起動し、10 秒以内にディーゼル発電機の電圧が確立すること。	
(b) ディーゼル発電機に電源を求める機器が、母線電圧確立から所定の時間内に所定のシーケンスに従って順次負荷をとることができること。	
(c) (b)における所定負荷のもとにおいて、ディーゼル発電機が電圧 6,900±345 V および周波数 60±3 Hz で運転可能であること。	
(2) 当直課長は、モード 1、2、3 および 4 において、1 ヶ月に 1 回、2 基のディーゼル発電機について、待機状態から起動し、無負荷運転時の電圧が 6,900±345 V および周波数が 60±3 Hz であることならびに引き続き非常用高圧母線に並列して定格出力で運転可能であることを確認する。	
(3) 当直課長は、モード 1、2、3 および 4 において、1 ヶ月に 1 回、燃料油サービスタンク貯油量を確認する。	
3. 当直課長は、ディーゼル発電機が第 1 項で定める運転上の制限を満足していないと判断した場合、表 7 4 - 3 の措置を講じる。	
表 7 4 - 1	
項 目	運転上の制限
ディーゼル発電機 ^{※1}	(1) ディーゼル発電機 2 基が動作可能であること ^{※2} (2) 燃料油サービスタンクの貯油量が表 7 4 - 2 に定める制限値内にあること ^{※3}

- ※1：3号炉および4号炉のディーゼル発電機は、重大事故等対処設備を兼ねる。
3号炉または4号炉のディーゼル発電機が動作不能時は、第85条
(表85-15)の運転上の制限も確認する。
- ※2：予備潤滑運転(ターニング、エアラン)を行う場合、運転上の制限を適用しない。
- ※3：ディーゼル発電機が運転中および運転終了後の24時間は、運転上の制限を適用しない。

表74-2

項目	制限値	
	1号炉および2号炉	3号炉および4号炉
燃料油サービスタンク貯油量 (保有油量)	0.60 m ³ 以上	1.10 m ³ 以上

表74-3

条件	要求される措置	完了時間
A. ディーゼル発電機 1基が動作不能 ^{※4} である場合	A.1 当直課長は、当該ディーゼル発電機を 動作可能な状態に復旧する。 および A.2 当直課長は、残りのディーゼル発電機 を起動(無負荷運転)し、動作可能で あることを確認する。	10日 4時間 その後の1日 に1回
B. 条件Aの措置を完了 時間内に達成でき ない場合	B.1 当直課長は、残りのディーゼル発電機 を運転状態(負荷運転)にする。 および B.2 当直課長は、当該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
C. ディーゼル発電機 1基が動作不能で ある場合 および 動作可能な外部電 源が1回線である 場合	C.1 当直課長は、動作不能となっているデ ィーゼル発電機1基または外部電源1 回線を復旧する。	12時間
D. 条件BまたはCの 措置を完了時間内 に達成できない場 合	D.1 当直課長は、モード3にする。 および D.2 当直課長は、モード5にする。	12時間 56時間

- ※4：燃料油サービスタンクの貯油量(保有油量)が制限値を満足していない場合を含む(以下、本条において同じ)。

5. まとめ

今回の 50 保護リレー追加は、HEAF 対策用に重故障扱いとして非常用 DG の停止を実施するものであり、また当該リレーについては、非常用 DG 盤内に設置することから、既存の SI 信号ロジック等の回路構成を変更するものではなく、耐震や溢水影響についても問題はない。

加えて、既存の信頼性評価上への影響については、既に非常用 DG、遮断器のバウンダリに含まれるので、故障率を加算する必要はなく当該リレーの追加は非常用 DG の機能に対し、信頼性の面では有意な影響を与えることはない。(非常用 DG、遮断器の故障率は国内 PWR プラント全体の故障実績に基づいて算出されたものを適用しているため、個々のプラントにおいて非常用 DG、遮断器のバウンダリ内の部品構成/台数に変更があった場合でも、非常用 DG、遮断器の故障率には影響はない)。

なお、既存の信頼性評価上の扱いは上述のとおりですが、当該リレーを追設したことで現実的にどの程度のリスクがあるのかを推定するために、あえて当該リレーをバウンダリ内に含めず保守的に加算するのであれば、以下のとおり単純な加算となるがリレー誤動作の発生頻度($3.0 \times 10^{-9}/\text{hr}$)は一桁小さいものであり、非常用 DG の機能に対し、信頼性の面では有意な影響を与えることはない。

・遮断器の例: $3.8 \times 10^{-8}/\text{hr} + 3.0 \times 10^{-9}/\text{hr}(=0.3 \times 10^{-8}/\text{hr}) = 4.1 \times 10^{-8}/\text{hr}$

以上

非常用 DG 給電時の HEAF 火災対策の検討について

1. はじめに

非常用 DG 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1に非常用 DG から安全系母線に給電する場合の概略電源構成を示す。HEAF は、非常用 DG 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 1 に示す事故点 1, 2となる。

事故点1:補機フィーダ遮断器での短絡事故

事故点2:非常用 DG 受電遮断器での短絡事故

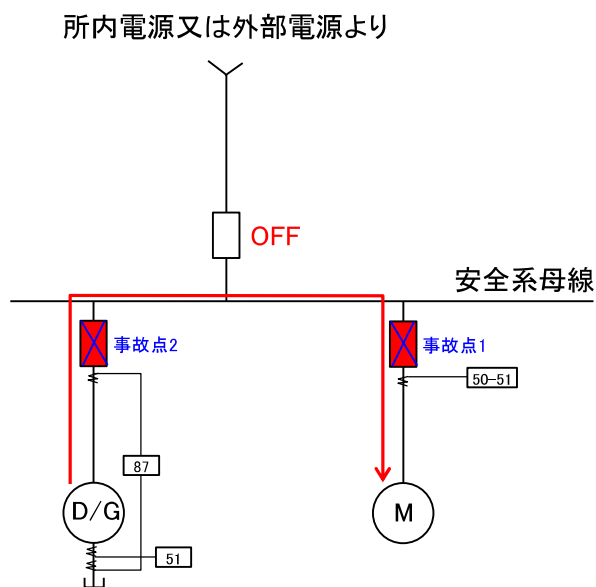


図 1 安全系母線への非常用 DG 給電時概略電源構成

3. 通常保護の考え方

図 1 に示す事故点 1, 2 にて HEAF が発生した場合に、非常用 DG 給電中における通常保護の考え方は以下の通りとする。

なお、非常用 DG 給電時においては、SI 信号が同時に発信していることが考えられ、SI 信号発信時には保護のインターロックが異なるケースがあることから、SI 信号発信有無に分けて保護方法を検討する。

事故点1:

非常用 DG 給電時に補機フィーダ遮断器にて事故が発生した場合、フィーダー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。従い、図2に示す通り非常用 DG 用の過電流保護 51 リレーにて短絡電流を検知し、非常用 DG 受電遮断器を開放し短絡電流を遮断することで、HEAF からの保護を行う。

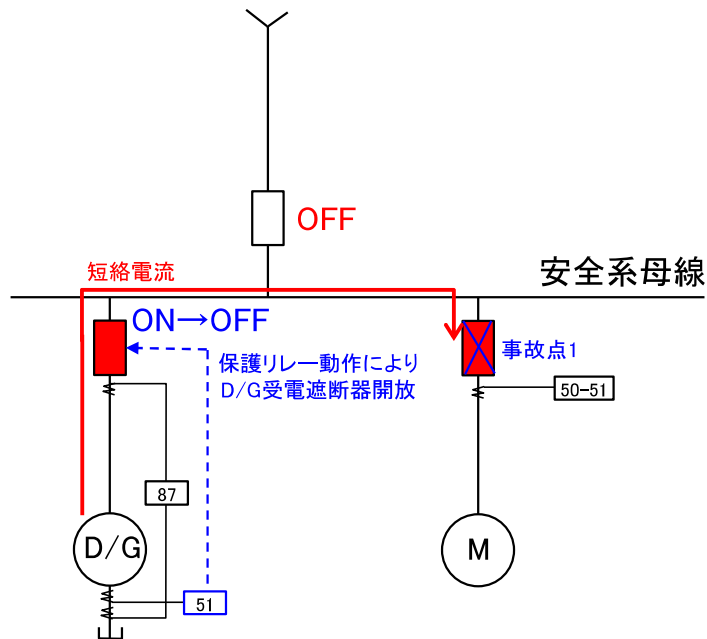


図 2 補機フィーダ遮断器での短絡時(事故点 1)における HEAF 保護

<SI 信号発信無し>

非常用 DG 用の過電流保護 51 リレーには 50(瞬時)要素がなく、短絡電流(HEAF)保護は 51 要素にて行う。プラント毎の整定値によるが現状の 51 要素の動作時間では HEAF 保護ができない可能性がある。

<SI 信号発信有り>

SI 信号発信時には非常用 DG 用の過電流保護 51 リレー動作による非常用 DG 受電遮断器開放はブロックされるため、SI 時には短絡電流は供給され続けることとなり、HEAF 保護は不可となる。

事故点2:

非常用 DG から給電中に非常用 DG 受電遮断器にて事故が発生した場合、図 3 に示す通り非常用 DG 用過電流保護 51 リレーにて短絡電流を検知することとなるが、非常用 DG 受電遮断器は故障していることを想定する。従い、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、非常用 DG 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。

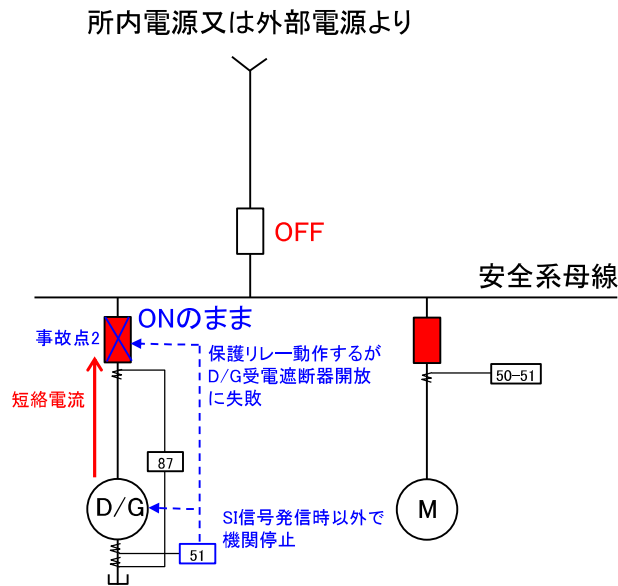


図 3 非常用 DG 受電遮断器での短絡時(事故点 2)における HEAF 保護

<SI 信号発信無し>

短絡電流は事故点に向かって供給され続けることになるが、非常用 DG 用過電流保護 51 リレー動作により、非常用 DG 機関の停止信号が発信されることにより、非常用 DG 機関の停止に伴い短絡電流の供給はなくなるが、短絡電流の減衰時間によっては HEAF の保護が出来ない可能性がある。

<SI 信号発信有り>

非常用 DG 用過電流保護 51 リレー動作による非常用 DG 機関の停止信号は、SI 信号発信時にはブロックされるため、SI 時には短絡電流は供給され続けることとなり、HEAF の保護は不可となる。

4. HEAF 対策の検討

3 項にて検討した通常の保護の考え方と現状での HEAF 保護可否を表1の通りまとめる。

表1 事故点毎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 保護可否		課題
		SI無	SI有	
1	非常用D/G用過電流保護51リレーにて保護	△	×	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用DG用過電流保護51リレーの動作時間整定値によりアークエネルギーがHEAF火災発生閾値を超える場合は保護不可 ・SI信号発信時はDG受電遮断器開放とならないため保護不可
2	同上	△	×	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用DG機関停止信号発信後の短絡電流減衰挙動及びDG用過電流保護51リレーの動作時間整定値によりアークエネルギーがHEAF火災発生閾値を超える場合は保護不可 ・SI信号発信時はDG機関停止とならないため保護不可

△：構成上の保護は可能であるがアークエネルギーの評価が必要

×：現状の保護構成でHEAF保護不可

表1に示す通り、事故点1における HEAF 発生においては、各プラントでの非常用 DG 給電時の短絡電流値及び非常用 DG 用の過電流保護 51 リレーの動作時間を確認し、アークエネルギーを算出することで詳細に HEAF 保護可否を調査する必要があるが、SI 信号発信無しであれば必要に応じ動作時間を変更する等で HEAF 保護は可能である。一方で、SI 発信時には過電流保護 51 リレー動作による非常用 DG 受電遮断器開放はブロックされるため、HEAF 保護は不可となる。

事故点2における HEAF 発生においては、事故点への短絡電流の供給を停止することができないため、SI 信号発信無しの条件で非常用 DG 機関の停止がなされたとしても短絡電流の減衰時間を考慮すると HEAF 保護ができない可能性がある。更に、SI 信号発信時には非常用 DG 用の過電流保護 51 リレーが動作した場合でも非常用 DG 機関の停止がブロックされるため、HEAF 保護は不可となる。

以上の結果により、HEAF 保護が可能となる対策案を表2の通り検討した。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2 非常用D/G給電中におけるHEAF対策案概要

対策案		対策概要	備考
1	D/G50 要素追加	<ul style="list-style-type: none"> ・保護要素に50(瞬時)要素を追加し、短絡事故早期検知し、HEAF 火災を抑制 ・重故障扱いとし、50 動作で機関の停止、非常用 DG 受電遮断器開放、非常用 DG 消磁コンタクタ ON 	5.3.1項
2	D/G51 動作 時間短縮	<ul style="list-style-type: none"> ・51(限時)要素の動作時間を短縮し、短絡事故早期検知し、HEAF 火災を抑制 ・重故障扱いとし、51 動作で機関停止、受電遮断器開放、DG 消磁コンタクタ ON 	5.3.2項
3	D/G27 トリップ 回路追加	<ul style="list-style-type: none"> ・警報のみである D/G27(低電圧)を重故障扱いとし、27 動作で機関停止、受電遮断器開放、DG 消磁コンタクタ ON 	5.3.3項

5. HEAF 保護が可能となる対策案

5.1 対策案1: 非常用 DG50 保護リレーの追加

対策案1は、既存の 51 保護リレーに加えて HEAF 対策として、非常用 DG 用の過電流保護リレーに瞬時要素である 50 要素を追加するものである。

非常用 DG の短絡電流は、非常用 DG の内部リアクタンスが初期過渡リアクタンス→過渡リアクタンス→同期リアクタンスと移行していくに伴い、時間とともに減衰していく。初期過渡及び過渡リアクタンスの段階では、短絡電流は大きく、51 保護リレーの動作時間が遅い場合には、アークエネルギーの火災発生閾値を考慮すると HEAF 火災に至り、保護できないこととなる。

そこで、安全系母線における HEAF 対策と同様に瞬時要素 50 保護リレーを追加することを検討する。動作時間については、下位リレーとなる補機用の 50 保護リレーの動作時間 40msec との保護協調を考慮し、0.3sec 以上で整定することとする。

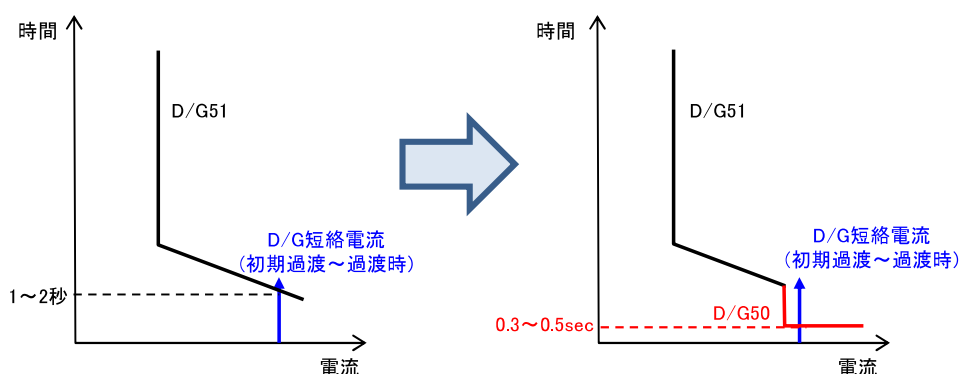


図4 非常用DG50要素追加時の保護リレー整定曲線イメージ

なお、過電流保護 51 リレー動作は非常用 DG 軽故障扱いであり、SI 信号発信時は非常用 DG 受電遮断器開放及び非常用 DG 機関の停止がブロックされるため、SI 時には非常用 DG 受電遮断器における HEAF 発生時の保護が不可であったが、50 保護リレーの動作は 87 保護リレー(非常用 DG の電氣的内部故障)と同様に重故障として扱うことにより、SI 信号発信時においても非常用 DG 機関の停止信号が発信されるため、非常用 DG 受電遮断器にて HEAF が発生した場合の保護も可能となる。

また、同時に非常用 DG の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、非常用 DG 受電遮断器の開放に失敗した場合に非常用 DG 機関の停止に併せて非常用 DG の励磁を断ち、より早期な短絡電流の減衰を図る。

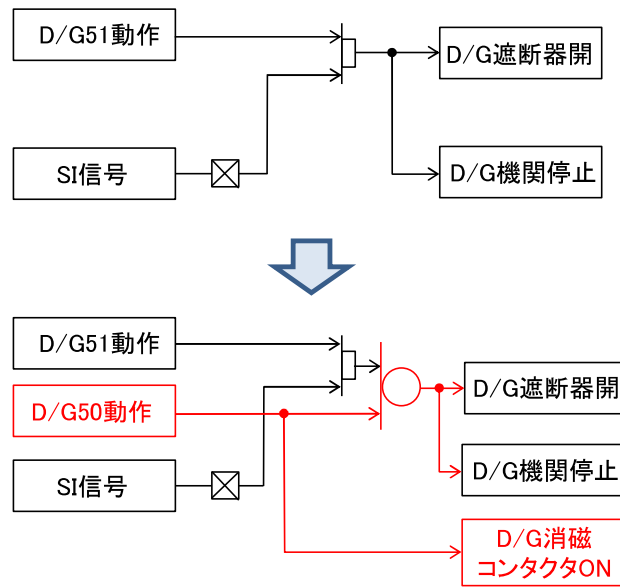


図5 非常用DG50要素追加した場合のD/G過電流保護インターロックイメージ

本対策案の特徴として、SI 信号発信時における 51 保護リレーブロックのインターロックは現状のままとしているため、SI 信号発信中の過負荷時(51 保護リレーでの保護)には非常用 DG からの給電を継続させるという設計思想は変更することなく対策できるものである。

5.2 対策案2:非常用 DG51 動作時間の短縮

対策案2は、現状設置されている 51 保護リレーの動作時間整定値を短縮することで早期に短絡電流を検知し、HEAF 保護を行うものである。

対策案1と基本的な考え方は同様であり、初期過渡及び過渡リアクタンスとの段階の短絡電流値に対して、現状の動作時間を下位リレーとなる補機用の 50 保護リレー動作時間 40msec との时限協調を考慮して 0.3sec 以上で整定する。

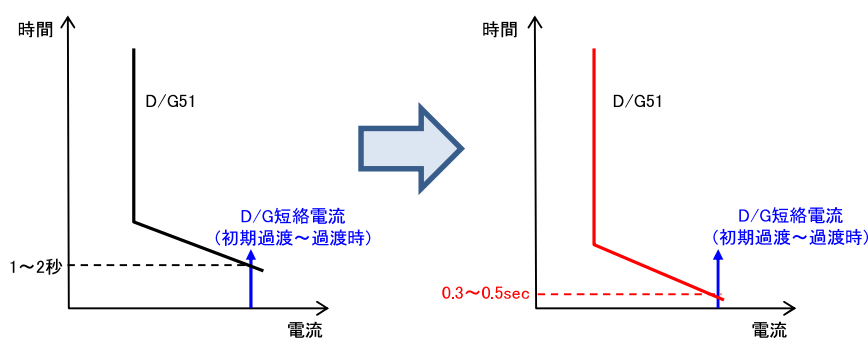


図6 非常用DG51動作時間短縮時の保護リレー整定曲線イメージ

SI 信号発信時には過電流保護 51 リレー動作がした場合でも非常用 DG 機関の停止ブロックとなることから、SI 信号発信時の機関の停止ブロックインターロックを削除する。(非常用 DG51 保護リレー動作を重故障として扱う。)

更に、非常用 DG51 保護リレー動作で非常用 DG 重故障扱いとすることから、非常用 DG の消磁コンタクトもこのとき投入することで非常用 DG 受電遮断器開放に失敗した場合に非常用 DG 機関の停止と併せて非常用 DG の励磁を断ち、より早期な短絡電流の減衰を図る。

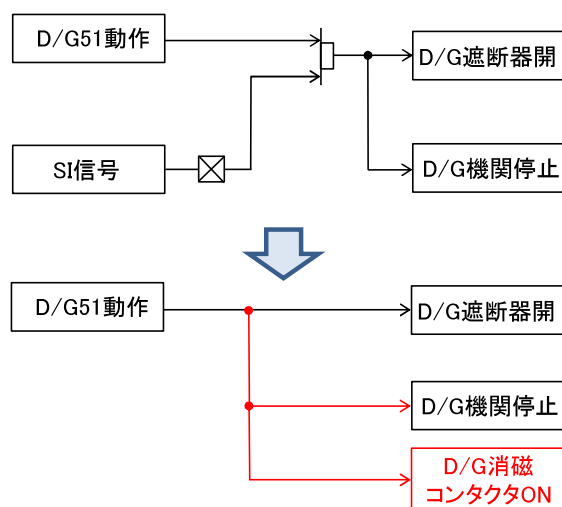


図7 非常用DG51を重故障としたD/G過電流保護インターロックイメージ

本対策案の特徴として、SI 信号発信時における 51 保護リレーブロックのインターロックは削除し、非常用 DG 内部故障と同様に過負荷 (51 保護リレー動作) を重故障とするインターロックの改造とすることにより、SI 信号発信中の過負荷時に非常用 DG からの給電を継続させる設計思想を変える対策となる。また、下位リレーとなる最大補機用の 50-51 保護リレーとの協調を考慮すると、51 保護リレー動作特性上、51 保護リレーのみでは HEAF 保護ができるだけの動作時間短縮が困難な可能性がある。

5.3 対策案3: 非常用 DG27トリップ回路の追加

対策案3は、現状設置されている 27 保護リレー(低電圧)要素に重故障回路を追加することで、短絡時の電圧低下を検出して非常用 DG 受電遮断器開放、非常用 DG 機関の停止及び非常用 DG 消磁コンタクタ投入信号を発信し、短絡電流をより早急に減衰させ、HEAF 保護を行うものである。

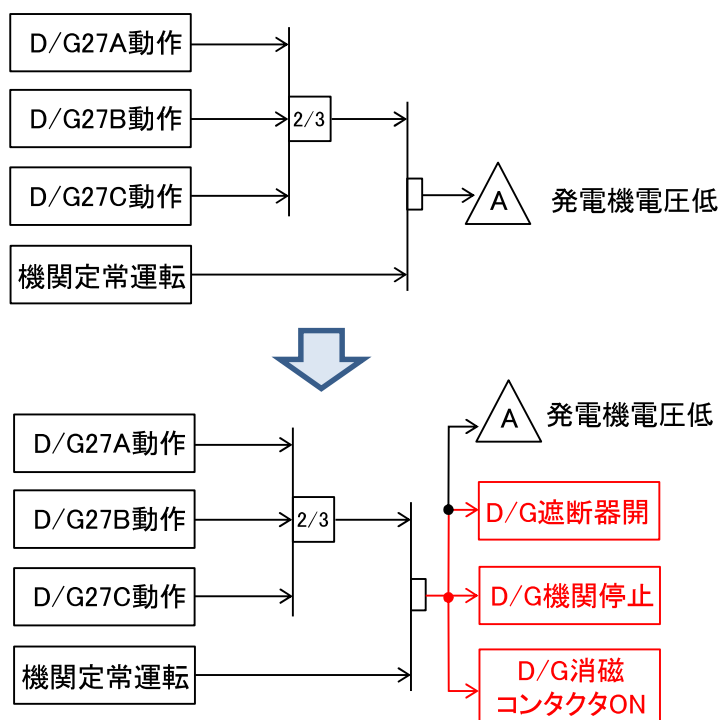


図8 非常用DG27にトリップ(重故障)回路としたD/Gインターロックイメージ

本対策案は、母線などの 27 保護リレー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、非常用 DG 給電時に PC 母線で短絡事故が発生した場合、PC 母線の母線過電流リレーよりも先に非常用 DG27 保護リレーが短絡時の電圧低下を検出し、健全な MC 補機への給電までできなくなることが考えられる。母線 27 保護リレーでは通常考慮していない過電流保護リレー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、非常用 DG 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。

6. HEAF 対策の検討結果

対策案1～3について、改造物量等を考慮した上での検討結果、各対策案における改造物量は、ハードの改造物量に差はないため、設計思想への干渉及び保護協調上の課題がない対策案1(50 保護リレーの追加)を採用する。

原子力情報センター

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)

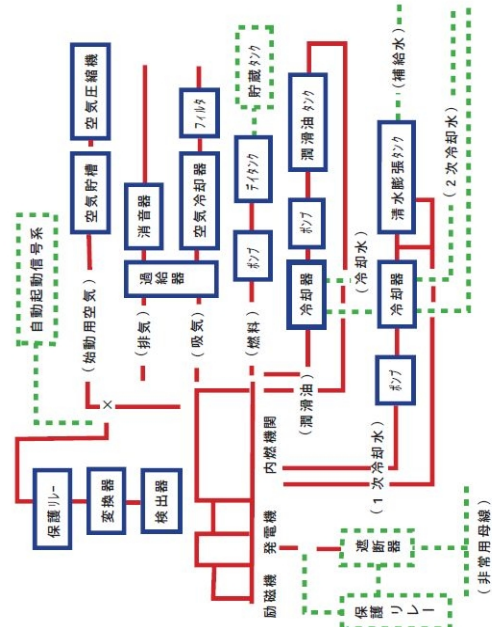
(平成 13 年 2 月 14 日承認)

*1 原子力情報センター 主任研究員

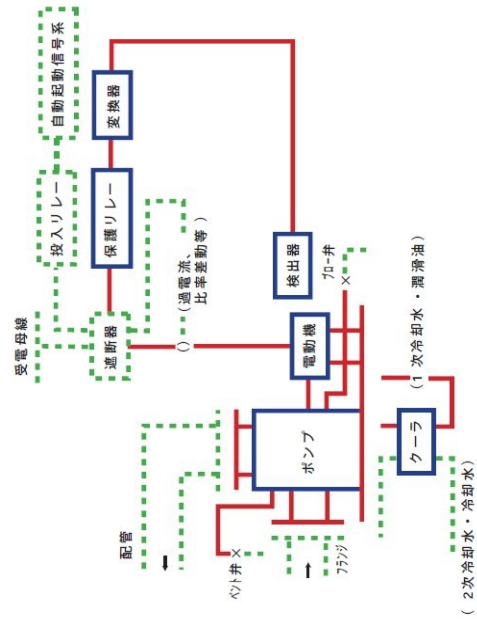
*2 原子力情報センター 研究員

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	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、通給器、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、送電遮断器、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、受電開閉計測制御電圧、電流等、電圧、電流等に依る検出器・保護リレー
機器冷却装置	1次冷却水系	2次冷却水系
潤滑油装置	潤滑油系	冷却水系
軸封装置	自給水系	他給水系
サポート類	支持脚、アンカー等	配管のハンガー等
配管・フランジ等	機器側フランジ	配管側フランジ、ハッキン、ボルト、その他
接続部	熱影響部(機器側)	溶接部及び熱影響部
付属弁	機器本体に接続されたフロー弁、ベント弁等、及びそこまでの接続配管	-



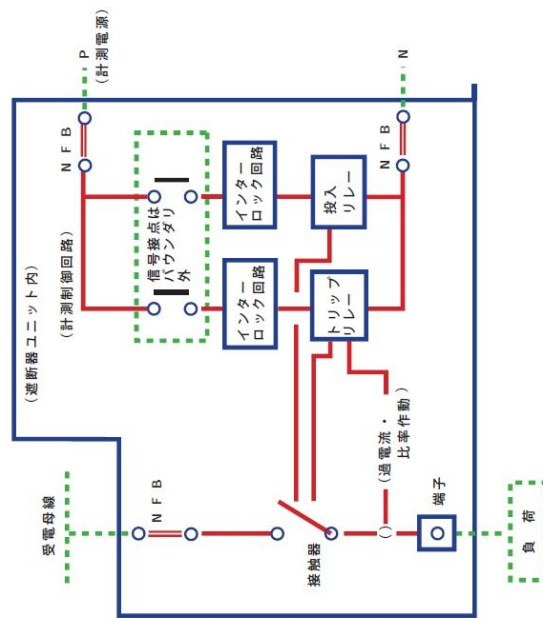
1. 非常用ディーゼル発電機



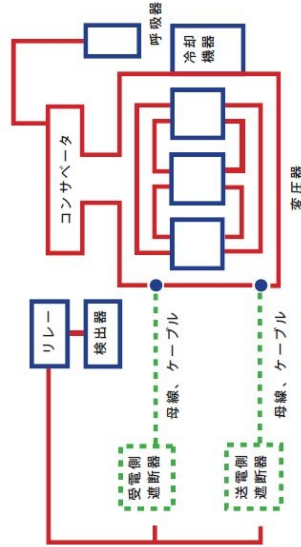
2. 電動ポンプ

項目	ハウンドリ内	ハウンドリ外
機器本体	遮断器機構部、接触線、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・位相に依る検出器・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	接続部	ケーブル、母線

項目	ハウンドリ内	ハウンドリ外
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・電圧に依る検出器・保護リレー、機械的(温度・圧力)検出器・保護リレー	受電・送電開運計測制御(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	接続部	ケーブル、母線、遮断器



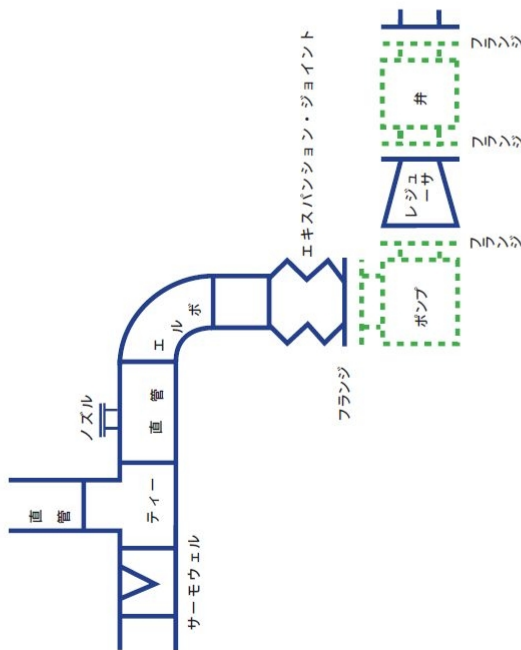
23. 遮断器



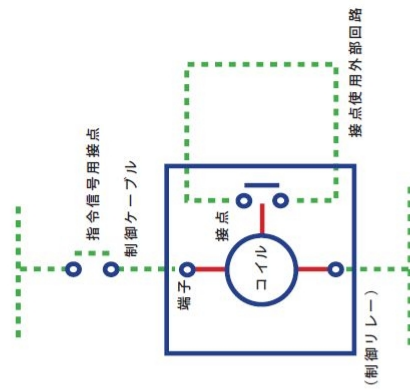
24. 変圧器

項目	ハウンドリ内	ハウンドリ外
機器本体	直管、エルボ、ティー、レジュマ、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
サブポート類	-	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、バッキン、ボルト、その他	機器側フランジ
	溶接部	熱影響部(機器側)

項目	ハウンドリ内	ハウンドリ外
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	制御ケーブル 接続端子	制御ケーブル



29. 配管



30. リレー

JANSI-CFR-02

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 ヲ年 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カ年データ (本報告書推定結果)		平均値比		EF比		21カ年データ報告書		26カ年データ報告書									
		観測された故障件数[件]	延べ運転時間[h]	29カ年/21カ年	29カ年/26カ年	観測された故障件数[件]	延べ運転時間[h]	平均値	EF ⁴ (近似)	観測された故障件数[件]	延べ運転時間[h]	平均値	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	7.0E+06	2.0	176%	103%	31%	78%	19	1.3E+07	4.3E+06	6.5	46	1.6E+07	7.3E+06	2.5	
	継続運転失敗(24時間平均) ^{4,5}	-	-	3.3E+04	1.7	350%	143%	77%	98%	-	-	-	9.5E+05	2.2	-	-	2.3E+04	1.7	
	継続運転失敗(36時間平均) ^{4,5}	-	-	2.9E+04	1.8	-	147%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9E+04	1.8	
	継続運転失敗(72時間平均) ^{4,5}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4E+04	2.0
	電動ポンプ(非常用待機、給水)	5	9.0E+07	1.3E+06	2.2	146%	89%	13%	22%	22%	22%	2	6.2E+07	1.3E+07	17.3	4	8.0E+07	2.2E+07	10.2
	電動ポンプ(常用待機、給水)	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	
	電動ポンプ(非常用待機、給水)	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	
	電動ポンプ(非常用待機、給水)	2	2.0E+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	
	電動ポンプ(非常用待機、給水)	2	1.0E+07	3.5E+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	
	タービン駆動ポンプ	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	1	3.6E+06	7.8E+06	51.3	
ディーゼル駆動ポンプ	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	4.9E+06	1.9	136%	130%	43%	42%	8	7.5E+06	2.9E+06	4.3	10	1.0E+07	2.9E+06	4.5	
	起動失敗 ⁶	4	1.8E+06	7.1E+06	4.2E+05	2.8	92%	77%	64%	81%	2	1.3E+05	4.9E+05	4.3	3	1.7E+05	5.4E+05	3.4	
	継続運転失敗 ⁷	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.1E+03	30.0
	電動ポンプ(給水)	31	1.3E+09	1.3E+06	6.0E+08	5.9	137%	57%	10%	21%	9	9.1E+08	4.8E+08	66.0	25	1.2E+09	1.2E+07	27.6	
	電動ポンプ(常用待機)	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	
	電動ポンプ(非常用待機)	2	1.3E+09	1.9E+06	1.3E+09	2.1	138%	162%	13%	23%	2	9.1E+08	9.7E+09	15.8	2	1.2E+09	8.3E+09	8.9	
	電動ポンプ(非常用待機)	1	1.3E+09	3.9E+08	5.9E+09	2.7	216%	74%	29%	37%	0	1.1E+08	2.5E+09	9.4	1	1.2E+09	7.4E+09	7.3	
	電動ポンプ(非常用待機)	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(非常用待機)	3	4.9E+07	1.3E+06	2.9E+07	2.4	300%	25%	32%	11%	0	3.4E+07	8.0E+08	7.6	11	2.4E+07	9.9E+07	22.4	
電動ポンプ(給水)	動作又は監視閉	0	4.9E+07	3.4E+08	2.8E+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	
	電動ポンプ(給水)	0	4.9E+07	1.9E+06	1.4E+07	2.7	173%	215%	36%	27%	0	3.4E+07	8.0E+08	7.6	0	4.4E+07	6.4E+08	10.1	
	電動ポンプ(給水)	0	4.9E+07	1.9E+06	1.4E+07	2.7	173%	215%	36%	27%	0	3.4E+07	8.0E+08	7.6	0	4.4E+07	6.4E+08	10.1	
	電動ポンプ(給水)	0	4.9E+07	1.9E+06	1.4E+07	2.7	173%	215%	36%	27%	0	3.4E+07	8.0E+08	7.6	0	4.4E+07	6.4E+08	10.1	
	電動ポンプ(給水)	21	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	3	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
油圧電動ポンプ	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
逆止弁	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
手動弁	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
安全弁	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+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	
	電動ポンプ(給水)	1	7.2E+08	1.3E+06	8.0E+08	1.9	79%	94%	30%	47%	18	4.9E+08	1.1E						

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 (本報告書決定結果)		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]	観測され た故障件 数[件]	29ヵ年 /21ヵ年	29ヵ年 /26ヵ年	観測され た故障件 数[件]	平均値 [1/年]	EF ⁴⁾ (近似的)	観測され た故障件 数[件]	平均値 [1/年]	EF ⁴⁾ (近似的)	観測され た故障件 数[件]	平均値 [1/年]	EF ⁴⁾ (近似的)				
遠がし安全弁 (DR)	閉失敗	0	3.9E+07	2.6	279%	153%	24%	0	3.8E+07	5.6E+08	15.8	0	4.8E+07	1.0E+07	10.7			
	閉失敗	0	5.4E+07	3.4	206%	113%	26%	0	3.8E+07	5.6E+08	15.8	0	4.8E+07	1.0E+07	10.7			
	閉失敗	0	5.4E+07	2.4E+07	2.8	206%	67%	21%	0	3.8E+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	4.9	39%	21%	31%	0	3.8E+07	5.6E+08	15.8	0	4.8E+07	1.0E+07	10.7		
	内部リーク	0	4.2E+07	8.2E+08	3.1	149%	81%	20%	0	3.8E+07	5.6E+08	15.8	0	4.8E+07	1.0E+07	10.7		
	作動失敗	0	7.7E+07	2.9E+07	2.7	333%	36%	19%	16%	0	2.2E+07	8.1E+07	14.8	0	2.8E+07	8.1E+07	16.7	
	異常がし弁 (SR)	7	1.8E+09	1.7E+06	2.0	102%	101%	12%	15%	6	1.3E+09	1.6E+09	16.1	6	1.6E+09	1.6E+09	13.1	
	電磁弁	1	1.8E+09	3.4E+08	4.4E+09	2.7	123%	107%	39%	21.4	1.3E+09	3.6E+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%	192%	29%	49%	0	1.3E+09	2.1E+09	8.6	0	1.6E+09	2.7E+09	5.0
	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	154%	173%	19%	39%	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	1.3E+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
	縦横運転失敗	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
	縦横運転失敗 ^{*)} (異常時)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	作動失敗	7	5.7E+08	8.1E+07	4.6E+08	2.3	433%	27%	17%	10%	1	3.9E+08	1.1E+09	13.3	6	5.0E+08	1.7E+07	23.6
	閉塞又は閉閉	0	5.7E+08	6.1E+07	1.7E+08	2.5	299%	210%	29%	45%	0	3.9E+08	5.5E+09	8.7	0	5.0E+08	7.9E+09	5.4
	閉塞	1	5.7E+08	1.9E+06	2.4E+08	2.2	439%	144%	26%	30%	0	3.9E+08	5.5E+09	8.7	0	5.0E+08	1.7E+08	7.6
	外部リーク	0	5.7E+08	2.9E+07	1.4E+08	2.6	253%	177%	30%	48%	0	3.9E+08	5.5E+09	8.7	0	5.0E+08	7.9E+09	5.4
	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	7.9E+09	5.4
	伝熱管破損	1	2.3E+08	3.8E+07	3.7E+08	2.6	145%	134%	21%	39%	1	1.6E+08	2.6E+08	12.3	0	2.1E+08	2.8E+08	6.5
熱交換器 ^{*)}	外部リーク	0	2.2E+08	3.3E+07	2.8E+08	2.7	318%	115%	15%	53%	0	1.6E+08	8.9E+09	18.6	0	2.1E+08	2.4E+08	5.2
	伝熱管閉塞	3	2.3E+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	6.5E+08	15.1
	破損	0	9.6E+07	3.3E+07	5.2E+08	3.0	163%	102%	24%	61%	0	6.5E+07	3.2E+08	12.5	0	8.5E+07	5.1E+08	4.9
	閉塞	1	8.9E+08	2.9E+07	1.3E+08	2.4	417%	151%	20%	40%	0	5.4E+08	3.2E+09	12.2	0	7.0E+08	8.8E+09	6.0
	外部リーク	1	8.9E+08	2.9E+07	1.3E+08	2.4	417%	151%	20%	40%	0	5.4E+08	3.2E+09	12.2	0	7.0E+08	8.8E+09	6.0
	内部破損	2	8.9E+08	1.0E+06	2.0E+08	2.5	619%	309%	21%	54%	0	5.4E+08	3.2E+09	12.2	0	7.0E+08	6.4E+09	4.7
	閉塞	1	2.8E+08	8.6E+07	3.8E+08	2.4	389%	151%	20%	40%	0	1.9E+08	9.9E+09	12.0	0	2.5E+08	2.5E+08	6.0
	外部リーク	1	2.8E+08	2.8E+07	2.4E+08	2.7	239%	133%	23%	57%	0	1.9E+08	9.9E+09	12.0	0	2.5E+08	1.8E+08	4.8
	内部破損	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	2.5E+08	1.8E+08	4.8
	閉塞	0	3.8E+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	1.2E+07	7.5
ストレナ/フィルタ	海水)	1	3.8E+07	2.6E+07	1.3E+07	3.2	138%	79%	24%	31%	0	2.4E+07	9.5E+08	13.1	1	3.2E+07	1.7E+07	10.2
	閉塞	2	3.8E+07	2.3E+06	2.9E+07	2.5	104%	80%	13%	19%	2	2.4E+07	2.9E+07	19.5	2	3.2E+07	3.6E+07	13.1
	制御機駆動装置 ^{*)} (DR)	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
	制御機駆動装置 (SR)	1	1.7E+08	9.9E+08	3.3E+08	3.1	204%	18%	19%	9%	0	1.2E+08	1.6E+09	16.3	1	1.5E+08	1.9E+07	32.5
	FLR, MS, セット (DR ^{*)} , RFS, CRDM, MS, セット	15	6.6E+06	2.1E+06	5.2E+06	2.0	62%	68%	33%	44%	13	5.1E+06	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%	29%	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	2.8	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	13	1.9E+07	5.6E+06	3.3E+07	2.5	87%	104%	16%	19%	1	1.3E+07	3.8E+07	15.6	1	1.7E+07	3.2E+07	14.2
	作動失敗	13	1.9E+09	3.3E+06	4.3E+08	2.1	89%	49%	8%	10%	9	7.1E+08	4.8E+08	25.2	13	9.2E+08	8.6E+08	20.3
	異常	14	1.9E+09	2.1E+07	3.3E+08	2.0	82%	85%	37%	33%	12	7.1E+08	4.7E+09	5.5	14	9.2E+08	4.5E+08	6.1
高圧湯	閉塞	2	1.9E+09	9.4E+07	2.1E+07	2.2	81%	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	9.7E+07	9.4E+07	2.1E+07	2.2	81%	66%	18%	21%	5	6.2E+07	2.6E+07	11.9	6	8.2E+07	3.0E+07	10.7
	異常	0	5.2E+07	5.9E+07	9.5E+08	3.0	195%	148%	30%	30%	0	3.4E+07	5.7E+08	16.0	0	4.6E+07	6.4E+08	10.0
	異常	3	5.2E+07	2.7E+06	2.6E+07	2.3	200%	79%	14%	10%	1	3.4E+07	1.3E+07	10.1	2	4.6E+07	3.3E+07	23.2
	異常	5	5.2E+08	1.4E+06	4.1E+08	2.0	131%	109%	11%	19%	3	3.6E+08	3.1E+08	17.9	4	4.7E+08	3.8E+08	11.1
	異常	0	2.2E+10	2.1E+08	4.4E+10	2.4	334%	235%	24%	40%	0	1.5E+10	1.3E+10	10.2	0	2.0E+10	1.9E+10	6.1
	異常	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	6.9E+10	11.7
	異常	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 (本報告書推奨結果)		平均値比		29ヵ年 / 26ヵ年		29ヵ年 / 21ヵ年		21ヵ年データ報告書		26ヵ年データ報告書						
		機軸または故障件数(件)	延長運転時間(h)	機軸または故障件数(件)	延長運転時間(h)	機軸または故障件数(件)	延長運転時間(h)	機軸または故障件数(件)	延長運転時間(h)	機軸または故障件数(件)	延長運転時間(h)	機軸または故障件数(件)	延長運転時間(h)					
配置 3インチ未満 ¹⁾	リーク	0	5.4E+09	6.9E+10	3.9E+10	4.0	59%	44%	34%	84%	0	3.7E+09	6.6E+10	11.7	0	4.7E+09	8.8E+10	4.8
	閉塞	1	1.9E+07	2.5E+09	1.61%	385%	2.2	385%	161%	19%	33%	1	1.9E+07	2.5E+09	11.7	1	4.7E+09	1.6E+09
配置 3インチ以上 ¹⁾	リーク	4	1.2E+10	8.1E+10	2.8	80%	52%	15%	27%	15%	2	8.3E+09	1.0E+09	18.5	4	1.1E+10	1.6E+09	10.3
	閉塞	0	1.2E+10	1.9E+08	7.0E+10	2.5	221%	183%	29%	48%	0	8.3E+09	3.2E+10	8.6	0	1.1E+10	3.7E+10	5.1
リレー	閉塞	8	1.3E+10	3.4E+08	2.9E+09	3.1	143%	31%	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	8.4E+07	3.6E+09	1.9	102%	52%	5%	7%	4	8.1E+09	3.0E+09	34.4	6	1.1E+10	5.9E+09	28.8
運転リレー	不動作	0	9.9E+08	8.4E+08	6.9E+09	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	9.9E+08	8.4E+08	6.9E+09	2.8	145%	146%	36%	41%	0	6.9E+08	4.7E+09	7.8	0	8.8E+08	4.7E+09	6.8
演算器	不動作	0	6.3E+08	8.4E+07	1.9E+08	2.4	292%	216%	23%	46%	0	4.4E+08	5.8E+09	8.7	0	5.6E+08	7.5E+09	5.2
	高出力/低出力	8	3.6E+08	8.4E+07	4.9E+08	2.6	214%	132%	18%	30%	3	4.4E+08	2.1E+08	14.5	5	5.6E+08	3.5E+08	8.6
カード (半導体ロジック回路)	不動作	0	3.6E+08	8.4E+07	2.5E+08	2.6	383%	84%	10%	12%	0	2.4E+08	6.6E+09	25.7	0	3.2E+08	3.0E+08	21.5
	誤動作	6	3.6E+08	8.4E+07	5.9E+08	2.4	54%	9%	9%	5%	4	2.4E+08	9.2E+08	25.4	4	3.2E+08	5.4E+07	50.7
警報装置	不動作	0	1.9E+09	8.4E+08	4.9E+09	2.6	180%	216%	20%	33%	0	1.3E+09	2.3E+09	12.7	0	1.7E+09	1.9E+09	7.8
	誤動作	3	1.9E+09	8.4E+07	1.0E+08	2.1	107%	66%	11%	10%	3	1.3E+09	9.5E+09	19.6	3	1.7E+09	1.5E+09	21.8
ヒューズ	閉断線	3	3.9E+09	2.1E+06	6.9E+09	2.0	118%	141%	11%	17%	3	2.4E+09	5.5E+09	18.2	3	3.1E+09	4.6E+09	11.8
	不動作	7	8.7E+08	1.2E+06	3.1E+08	2.2	411%	51%	13%	7%	1	5.9E+08	7.6E+09	16.8	7	7.7E+08	6.1E+08	33.0
流量トランスミッタ	高出力/低出力	21	8.7E+08	9.9E+07	7.2E+08	5.5	359%	35%	45%	13%	4	5.9E+08	2.0E+08	12.2	19	7.7E+08	2.0E+07	42.4
	不動作	1	1.1E+09	9.9E+07	1.3E+08	2.2	435%	84%	21%	22%	0	7.5E+08	3.9E+09	10.9	1	9.6E+08	1.5E+08	10.4
圧カトランスミッタ	高出力/低出力	15	1.1E+09	8.4E+07	4.9E+08	1.9	118%	86%	22%	31%	8	7.5E+08	2.5E+08	8.5	15	9.6E+08	4.9E+08	6.3
	不動作	1	4.5E+08	1.9E+06	2.7E+08	2.3	202%	290%	23%	30%	0	3.0E+08	1.4E+08	9.9	0	4.0E+08	9.4E+09	5.9
水位トランスミッタ	高出力/低出力	2	4.5E+08	8.4E+07	3.0E+08	2.2	138%	140%	13%	24%	2	3.0E+08	2.2E+08	16.7	2	4.0E+08	2.2E+08	9.4
	不動作	1	2.9E+09	1.4E+07	4.1E+09	2.3	380%	266%	22%	38%	0	2.0E+09	1.1E+09	10.6	0	2.6E+09	1.4E+09	6.1
温度検出器	高出力/低出力	5	2.9E+09	8.4E+07	8.5E+09	2.0	68%	73%	9%	10%	5	2.0E+09	1.3E+08	23.7	5	2.6E+09	1.2E+08	20.2
	不動作	0	8.3E+07	8.4E+07	7.8E+08	2.8	226%	137%	23%	54%	0	5.6E+07	3.4E+08	12.2	0	7.3E+07	5.6E+08	5.2
放射線検出器	高出力/低出力	4	8.3E+07	1.7E+07	2.6	239%	78%	12%	30%	1	5.6E+07	7.3E+08	21.8	2	7.3E+07	2.2E+07	8.7	
	不動作	0	5.3E+08	8.4E+07	1.9E+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
流量スイッチ	誤動作	2	5.3E+08	8.4E+07	2.7E+08	2.3	379%	185%	24%	20%	0	3.6E+08	7.1E+09	9.5	1	4.7E+08	1.4E+08	7.9
	不動作	1	1.4E+09	2.2E+07	7.9E+08	2.4	157%	165%	17%	33%	1	9.9E+08	5.0E+09	13.9	1	1.3E+09	4.8E+09	7.2
圧カスイッチ	誤動作	7	1.4E+09	8.4E+07	1.9E+08	2.5	93%	61%	6%	8%	6	9.9E+08	2.0E+08	45.0	7	1.3E+09	3.1E+08	29.7
	不動作	7	1.0E+09	8.4E+07	2.7E+08	2.5	332%	55%	17%	6%	1	7.1E+08	8.2E+09	14.8	6	9.0E+08	5.0E+08	43.0
水位スイッチ	誤動作	2	1.0E+09	8.4E+07	1.5E+08	2.3	170%	92%	5%	13%	2	7.1E+08	9.0E+09	44.9	2	9.0E+08	1.7E+08	17.1
	不動作	0	4.9E+08	7.0E+07	1.9E+08	2.5	168%	141%	25%	42%	0	3.4E+08	1.1E+08	9.9	0	4.4E+08	1.4E+08	5.9
温度スイッチ	誤動作	2	4.9E+08	8.4E+07	2.9E+08	2.4	111%	113%	6%	18%	2	3.4E+08	2.5E+08	37.9	2	4.4E+08	2.5E+08	13.4
	不動作	3	2.2E+09	8.4E+07	9.9E+09	2.0	169%	84%	12%	20%	3	2.2E+09	5.5E+09	16.3	6	2.9E+09	1.1E+08	9.9
リミットスイッチ	誤動作	2	3.2E+09	8.4E+07	5.0E+09	2.1	161%	258%	14%	20%	1	2.2E+09	3.1E+09	15.1	1	2.8E+09	2.2E+09	8.1
	不動作	2	5.1E+09	1.8E+07	3.1E+08	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	誤動作	1	6.1E+09	8.4E+08	2.4E+09	2.4	222%	227%	27%	45%	0	3.5E+09	1.1E+09	8.8	0	4.5E+09	1.0E+09	5.3
	不動作	1	6.2E+09	8.4E+07	2.0E+08	2.3	489%	354%	17%	28%	0	4.3E+09	4.0E+09	13.3	0	5.5E+09	5.6E+09	8.1
コントローラ	高出力/低出力	4	6.2E+08	3.1E+08	3.1E+08	2.3	212%	96%	12%	13%	1	4.3E+08	1.4E+08	20.1	2	5.5E+08	3.2E+08	17.2
	短絡 ^{*)}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
地絡 ^{*)}	地絡 ^{*)}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	閉塞 ^{*)}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ヒューズ	閉塞 ^{*)}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	機能喪失 ^{*)}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
アナウンサー	機能喪失 ^{*)}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	機能喪失 ^{*)}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

注釈*1. ハイバースタート時のパラメータRの中負荷の算出に利用した。
 *2. 事後分布を対数正規分布にフィッティングして算出した。
 *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 (E^F=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 (E^F(近接)=95%ile値、5%ile値)。
 *5. 特殊な故障率としてベイズ手法によるファイル評価を実施した。
 *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. 80%の改良型制御機軸装置を含む。
 *10. ADRを無いに仮定するDRM。
 *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、材質変更面許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。

50 保護リレー追加ロジックによる技術基準規則第十五条第二項に対する整理について

1. はじめに

本資料は、今回 HEAF 対策として 50 保護リレー、ロジックを追加設置する工事計画に対して、技術基準規則第十五条第二項の適用を受けるか否かについて補足説明するものである。

2. 技術基準規則第十五条第二項について

技術基準規則第十五条第二項の要求については、以下の通りである。

(設計基準対象施設の機能) 第十五条第二項

設計基準対象施設は、その健全性及び能力を確認するため、発電用原子炉の運転中又は停止中に必要な箇所の保守点検（試験及び検査を含む。）ができるよう、施設しなければならない。

技術基準規則第十五条第二項の要求は、設計基準対象施設の機能に関する要求であることから、3. において、当該追加保護リレーが設計基準対処施設に該当するかどうかを整理する。

なお、許可記載については参考に別紙として添付する。

3. 当該保護リレーの設計基準対象施設への適用について

設置許可基準規則、技術基準規則で定められた設計基準対処施設の定義は、以下のとおり「発電用原子炉施設のうち、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の発生を防止し、又はこれらの拡大を防止するために必要となるもの」である。

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

(定義) 第二条第二項 (抜粋)

- 三 「運転時の異常な過渡変化」とは、通常運転時に予想される機械又は器具の単一の故障若しくはその誤作動又は運転員の単一の誤操作及びこれらと類似の頻度で発生すると予想される外乱によって発生する異常な状態であって、当該状態が継続した場合には発電用原子炉の炉心（以下単に「炉心」という。）又は原子炉冷却材圧力バウンダリの著しい損傷が生ずるおそれがあるものとして安全設計上想定すべきものをいう。
- 四 「設計基準事故」とは、発生頻度が運転時の異常な過渡変化より低い異常な状態であって、当該状態が発生した場合には発電用原子炉施設から多量の放射性物質が放出するおそれがあるものとして安全設計上想定すべきものをいう。
- 七 「設計基準対象施設」とは、発電用原子炉施設のうち、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の発生を防止し、又はこれらの拡大を防止するために必要となるものをいう。

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

(定義) 第二条第二項 (抜粋)

- 三 「運転時の異常な過渡変化」とは、設置許可基準規則第二条第二項第三号に規定する運転時の異常な過渡変化をいう。

- 四 「設計基準事故」とは、設置許可基準規則第二条第二項第四号に規定する設計基準事故をいう。
- 五 「設計基準対象施設」とは、設置許可基準規則第二条第二項第七号に規定する設計基準対象施設をいう。

今回、HEAF対策として設置する50保護リレーは、非常用所内電源系の配電設備であるメタルクラッド開閉装置の直接関連系に該当する。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（平成2年8月30日 原子力安全委員会決定）によると、非常用所内電源系は重要度分類ではMS-1に該当する。また、安全機能を有する電気・機械装置の重要度分類指針（JEAG4612-2010）を参照しても、非常用所内電源系（非常用DGならびに非常用DGから非常用負荷までの配電設備及び電路が該当）はMS-1である。

したがって、直接関連系である当該保護リレーは、MS-1であることから設計基準対処施設に整理することが妥当であり、技術基準規則第十五条第二項の要求を受けることとなる。

なお、50保護リレーについては、要目表及び基本設計方針対象設備ではないため、工事計画認可申請書内に追記するものではなく、本資料にて技術基準規則第十五条第二項への適合性について説明する。

3. 技術基準規則第十五条第二項への適合性について

技術基準第十五条第二項の要求は、「設計基準対象施設は、その健全性及び能力を確認するため、発電用原子炉の運転中又は停止中に必要な箇所の保守点検（試験及び検査を含む。）ができるよう、施設しなければならない。」というものである。

保護リレーの保守点検については、当該保護リレー以外の保護リレーと同様に単体試験（整定値確認、構造点検、特性試験）による保守点検が可能な設計としており定期検査中において定期的に検査をしているが、HEAF対策による健全性及び能力の確認は、保護リレー動作～遮断器解放までの時間計測についても範囲に含まれることから、それらの試験及び検査に係る基準適合性について、以下に記載する。

メタクラ母線フィーダー遮断器でHEAF発生を想定した場合（メタクラ受電遮断器を開放）の試験・検査イメージを図1にメタクラ受電遮断器でHEAF発生を想定した場合（非常用DGを停止）の試験・検査イメージを図2に示す。また、これらの試験・検査は、適合性確認検査として実施する。

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

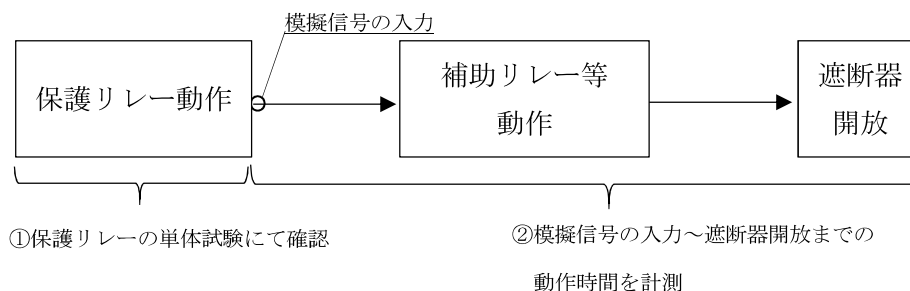


図1 試験・検査イメージ図（メタクラ受電遮断器開放まで）

図2のケースでは、①、②の範囲については、図1のケースと同様にそれぞれの動作確認、動作時間計測によって保護リレー等の健全性や能力を確認することができる。また、③の消磁コンタクタONからDG停止までの実電流測定ができないことからメーカーの解析結果を用いる代替記録による検査をすることによって保護リレー等の健全性や能力を確認することができる。

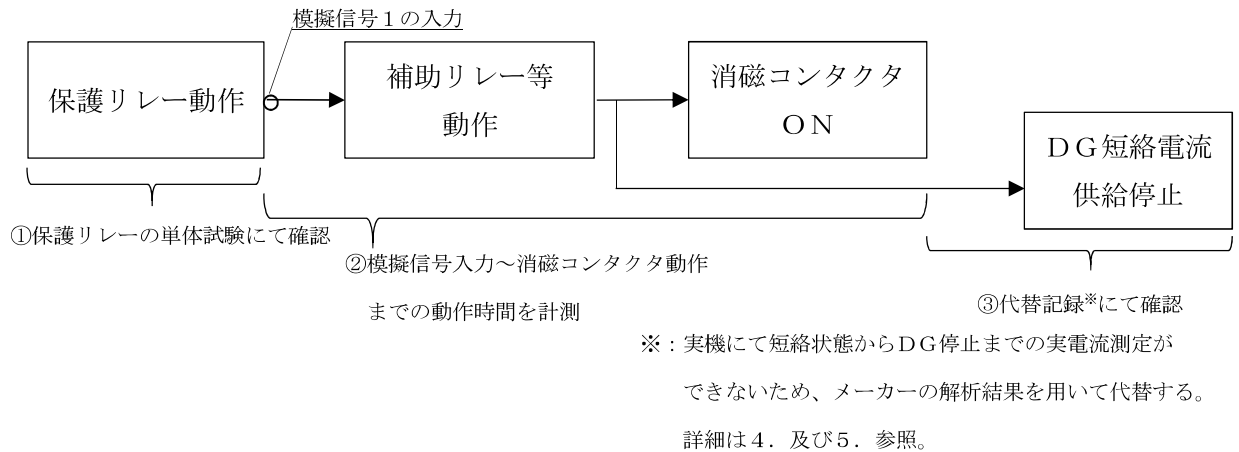


図2 試験・検査イメージ図（非常用DGの短絡電流供給停止まで）

4. 代替記録による検査が必要となる理由、検査の妥当性

(1) 実機での短絡電流供給停止までの時間計測可否

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

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

(2) 検査方法の検討

(1)より、消磁コンタクタ動作後からDG短絡電流供給停止までの時間(図2の③)については、代替記録による必要があり、その方法を以下2ケースで検討した。

ケース1：DG無負荷運転中から消磁コンタクタONし、電流供給停止となる時間を計測

ケース2：メーカーの解析結果を用いた代替記録の確認

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

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

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

5. メーカーの解析結果を用いた代替記録について

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

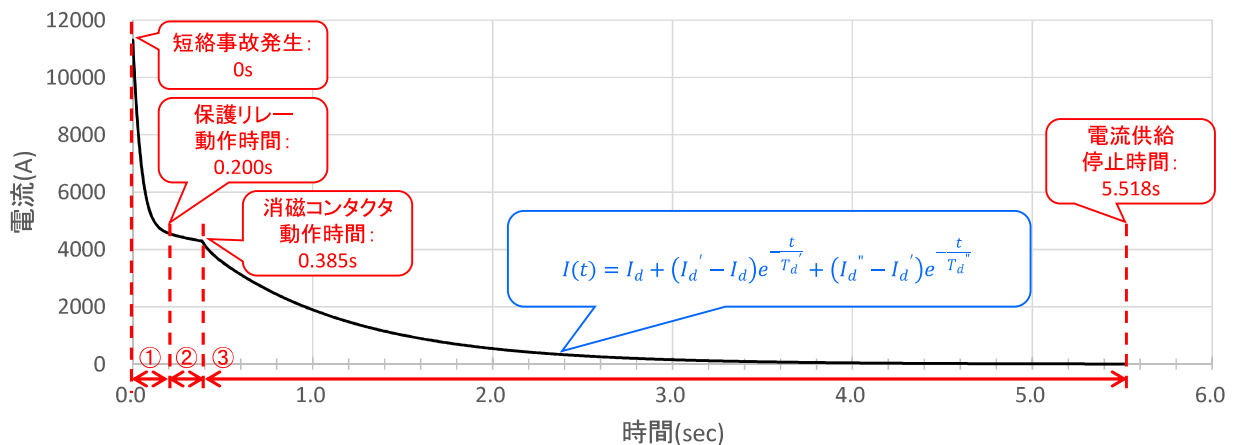


図3 非常用DG短絡電流減衰曲線(大飯3/4号機の場合)

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

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

[1]参考文献：新田目 倅造『電力系統技術計算の応用』（1981）、P84～P88

表 1 短絡電流算出式及び定数一覧表

短絡電流算出式	
$I(t) = I_d + (I_d' - I_d)e^{-\frac{t}{T_d'}} + (I_d'' - I_d')e^{-\frac{t}{T_d''}}$	
記号	定数
$I(t)$	時刻:t(s)における短絡電流
I_d	永久短絡電流
I_d'	過渡短絡電流
I_d''	初期過渡短絡電流
T_d'	過渡短絡時定数
T_d''	初期過渡短絡時定数

上記に基づき、高浜 3/4 号機を含む非常用DGの短絡電流供給停止に至るまでの時間を算出した結果は表 2 の通りとなる。

表 2 非常用DGの短絡電流供給停止に至るまでの時間

プラント	①保護リレー 動作時間	②補助リレー及び 消磁コンタクタ 動作時間	③電流供給停止時間 (定格の0.01PU 以下となる時間)
大飯 34 号	0.200s	0.185s	5.133s
高浜 34 号	0.300s	0.185s	5.164s

6. まとめ

追加する保護リレーについては、設計基準対処施設に該当し、技術基準規則第十五条第二項の要求について整理した結果、上述のとおり適合性確認検査、定期検査にて保護リレーの健全性及び能力を確認できる。

以上

第十二条 安全施設

- 1 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。
- 2 安全機能を有する系統のうち、安全機能の重要度が特に高い安全機能を有するものは、当該系統を構成する機械又は器具の単一故障（単一の原因によって一つの機械又は器具が所定の安全機能を失うこと（従属要因による多重故障を含む。）をいう。以下同じ。）が発生した場合であって、外部電源が利用できない場合においても機能できるよう、当該系統を構成する機械又は器具の機能、構造及び動作原理を考慮して、多重性又は多様性を確保し、及び独立性を確保するものでなければならない。
- 3 安全施設は、設計基準事故時及び設計基準事故に至るまでの間に想定される全ての環境条件において、その機能を発揮することができるものでなければならない。
- 4 安全施設は、その健全性及び能力を確認するため、その安全機能の重要度に応じ、発電用原子炉の運転中又は停止中に試験又は検査ができるものでなければならない。
- 5 安全施設は、蒸気タービン、ポンプその他の機器又は配管の損壊に伴う飛散物により、安全性を損なわないものでなければならない。
- 6 重要安全施設は、二以上の発電用原子炉施設において共用し、又は相互に接続するものであってはならない。ただし、二以上の発電用原子炉施設と共用し、又は相互に接続することによって当該二以上の発電用原子炉施設の安全性が向上する場合は、この限りでない。
- 7 安全施設（重要安全施設を除く。）は、二以上の発電用原子炉施設と共用し、又は相互に接続する場合には、発電用原子炉施設の安全性を損なわないものでなければならない。

適合のための設計方針

第1項について

安全施設は、「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

炉冷却材喪失時に必要なものは設計基準事故時の環境条件に適合する設計とする。

第4項について

安全施設は、それらの健全性及び能力を確認するため、その安全機能の重要度に応じ、必要性及びプラントに与える影響を考慮して原子炉の運転中又は停止中に試験又は検査ができる設計とする。

試験又は検査が可能な設計とする対象設備を表に示す。

8-1-83

表 試験又は検査が可能な設計とする対象設備

構築物、系統及び機器	設計上の考慮
反応度制御系、原子炉停止系統	試験のできる設計とする。
原子炉冷却材圧力バウンダリ	原子炉の供用期間中に試験及び検査ができる設計とする。
残留熱を除去する系統	試験のできる設計とする。
非常用炉心冷却系統	定期的に試験及び検査できるとともに、その健全性及び多重性の維持を確認するため、独立に各系の試験及び検査ができる設計とする。
最終的な熱の逃がし場へ熱を輸送する系統	試験のできる設計とする。
原子炉格納容器	定期的に、所定の圧力により原子炉格納容器全体の漏えい率測定ができる設計とする。 電線、配管等の貫通部及び出入口の重要な部分の漏えい試験ができる設計とする。
隔離弁	隔離弁は定期的な動作試験が可能であり、かつ、重要な弁については漏えい試験ができる設計とする。
原子炉格納容器熱除去系	試験のできる設計とする。
原子炉格納施設雰囲気制御する系統	試験のできる設計とする。
安全保護系	原則として原子炉の運転中に、定期的に試験ができるとともに、その健全性及び多重性の維持を確認するため、各チャンネルが独立に試験できる設計とする。
電気系統	重要度の高い安全機能に関連する電気系統は、系統の重要な部分の適切な定期的試験及び検査が可能な設計とする。
燃料の貯蔵設備及び取扱設備	安全機能を有する構築物、系統及び機器は、適切な定期的試験及び検査ができる設計とする。

8-1-84

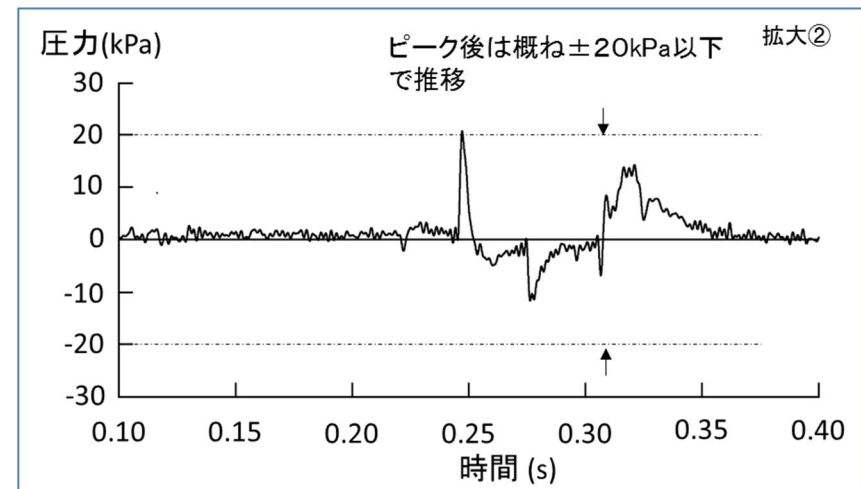
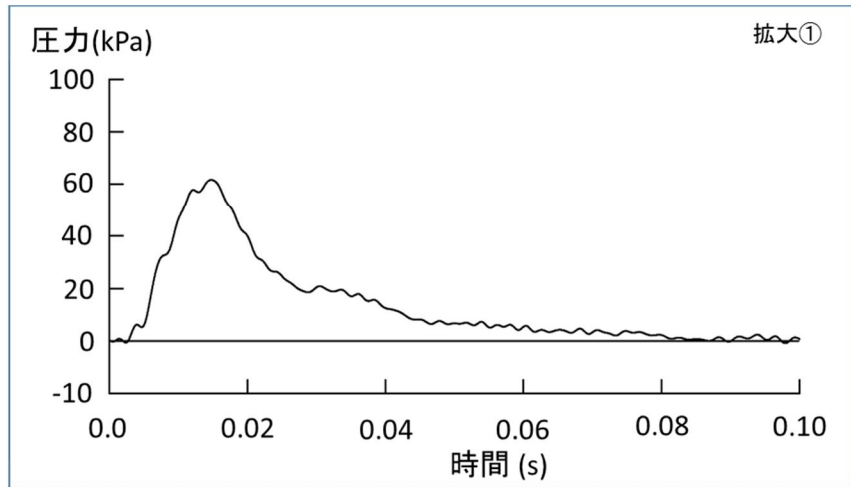
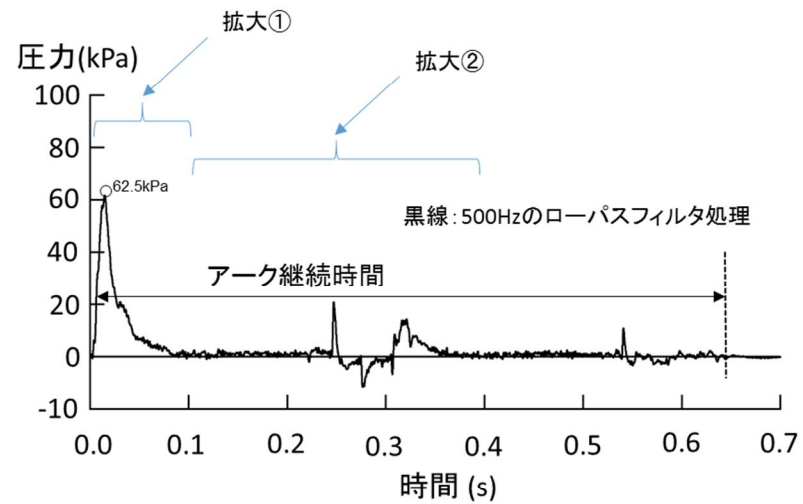
圧力波形の考察について

- M/C (DG) 試験と先行 M/C 試験の圧力波形データをもとに以下の通り考察する。
- 先行 M/C 試験において、圧力ピークが 62.5kPa、13.5kPa のデータをそれぞれ 2、3 頁に示している。
- M/C (DG) 試験で得られた圧力ピークが 2.98kPa のデータを 4 頁に示している。
- どのデータにおいても 0.01 秒～0.02 秒後において圧力上昇はピークとなり、その後～0.1 秒までには圧力は 0kPa 近傍まで減少している。
- 0kPa 近傍まで減少後、アーク継続時間中においては、アークパワーの大きさに概ね比例し約ピーク値の±30%以下の振幅で振動している。
- テイル部分の振幅については、若干ノイズが含まれていると考えられるものの、アーク継続時間中に発生しているものであり、盤内でのアークに伴う影響と推察される。

先行M/C試験データ

(試験内容)

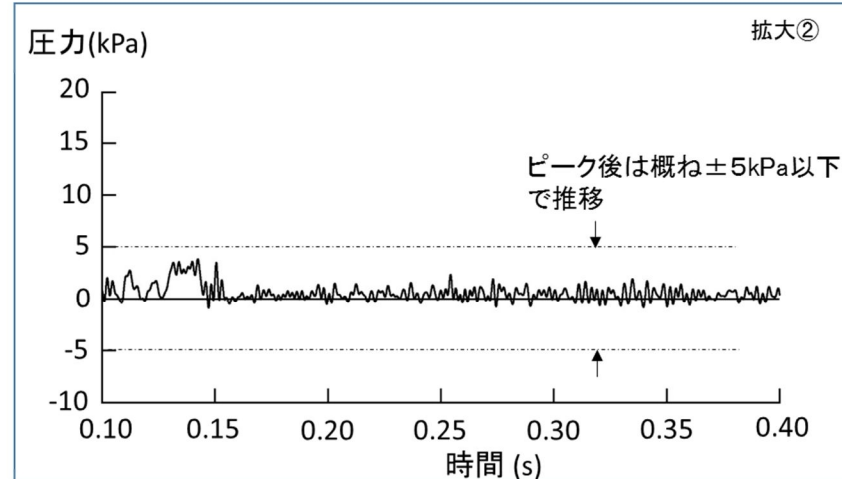
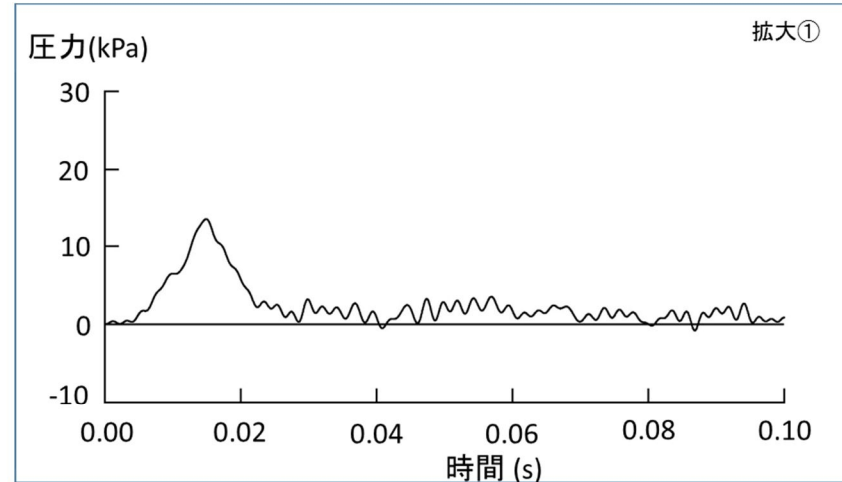
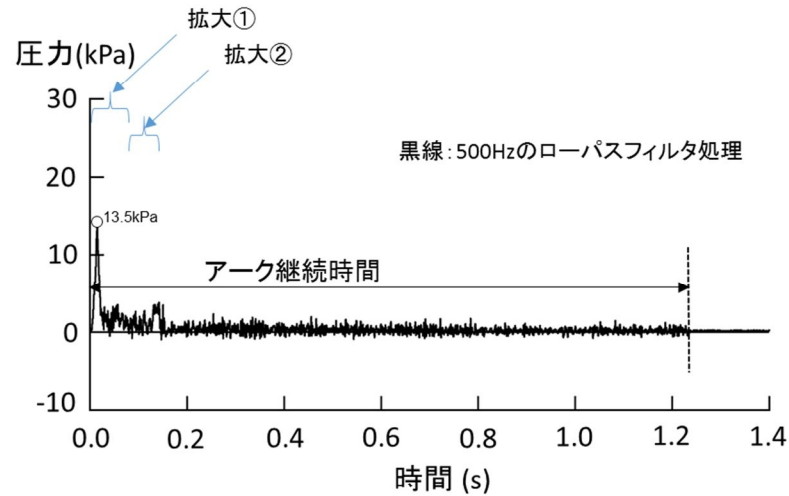
- ・アーク継続時間: 0.63秒
- ・アークエネルギー: 25.3MJ
- ・最大アークパワー: 87.4MW
- ・平均アークパワー: 40.2MW
- ・試験結果: アーク火災無



先行M/C試験データ

(試験内容)

- ・アーク継続時間: 1.23秒
- ・アークエネルギー: 17.7MJ
- ・最大アークパワー: 34.0MW
- ・平均アークパワー: 14.4MW
- ・試験結果: アーク火災無



M/C(DG)試験データ

(試験内容)

- ・アーク継続時間: 3.05秒
- ・アークエネルギー: 16.6MJ
- ・最大アークパワー: 14.4MW
- ・平均アークパワー: 5.4MW
- ・試験結果: アーク火災無

