

2.7.5 構造等に関する先行炉との比較

(1) 比較の観点

島根原子力発電所の抑止杭の設計において留意すべき事項を整理するため、島根原子力発電所と先行炉（関西電力(株)高浜発電所）の抑止杭との構造等を比較する。

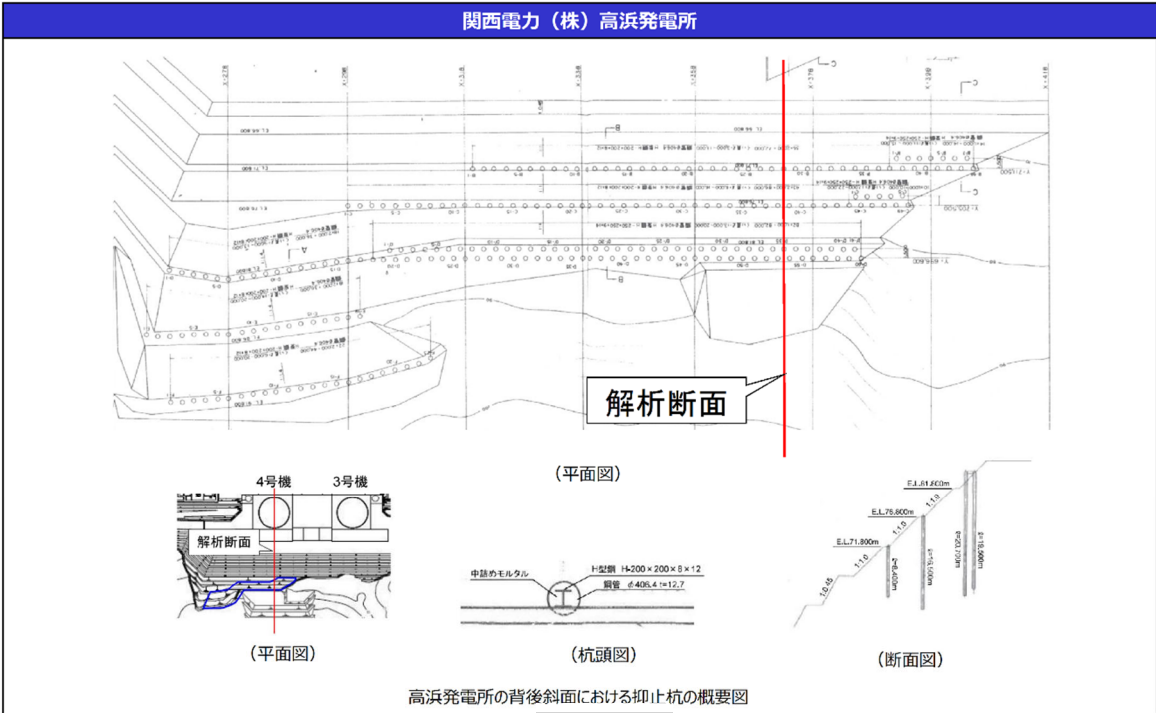
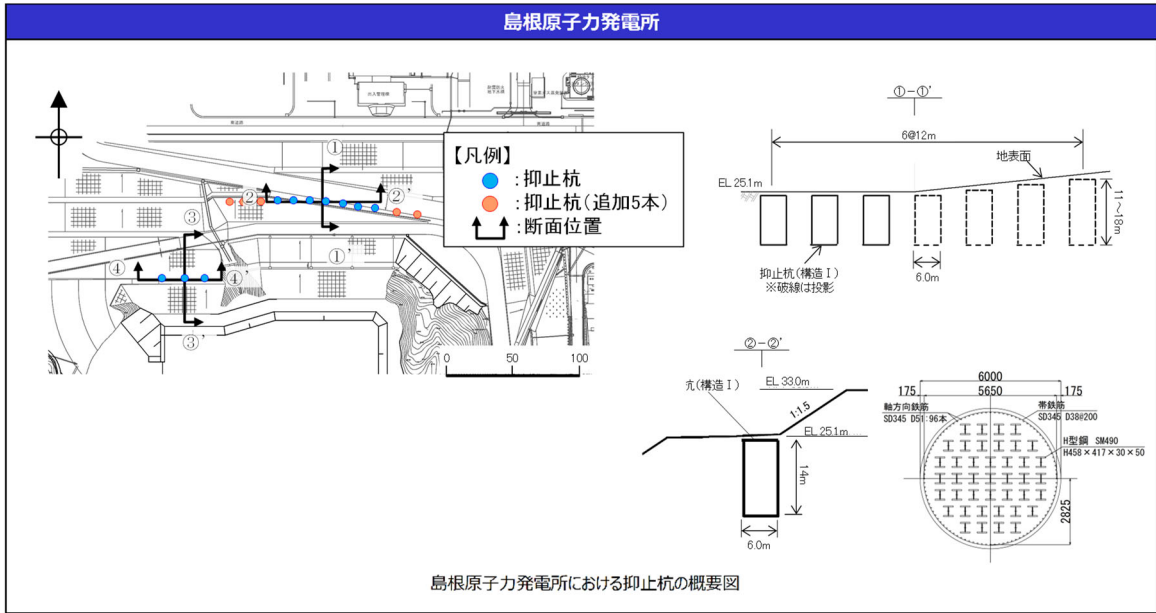
また、先行炉との比較を踏まえ、先行炉実績との類似点を踏まえた設計方針の適用性及び先行炉実績との相違点を踏まえた設計への反映事項を示す。

(2) 先行炉との比較

島根原子力発電所の抑止杭は、深礎杭にH鋼でせん断補強を行っていることから、類似の先行炉における抑止杭として、関西電力(株)高浜発電所における鋼管杭を選定する。それぞれの構造概要を図2.7.5-1に示す。

島根原子力発電所の抑止杭の構造等に関する特徴及び参照している基準類を示すとともに、高浜発電所の抑止杭との比較を行い、類似点及び相違点を抽出した。類似点についてはその適用性を、相違点についてはそれを踏まえた設計への反映事項を整理した。構造等に関する比較結果を表2.7.5-1に、参照している基準類に関する比較結果を表2.7.5-2に示す。

高浜発電所は鋼管杭であるが、島根原子力発電所と同じH鋼でせん断補強した抑止杭であり、同様の設計方法により設計を行っていることを確認した。



注: 先行刊の情報に係る記載内容については、会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

図 2.7.5-1 構造図の比較

表 2.7.5-1 抑止杭の構造等に関する先行炉との比較

評価項目	島根原子力発電所 抑止杭の構造等	先行炉の構造等*		島根原子力発電所と先行炉との比較		先行炉実績との類似点を 踏まえた設計方針の 適用性	先行炉実績との相違点を 踏まえた設計への 反映事項
		関西電力㈱ 高浜発電所 抑止杭	類似点	相違点	相違点		
抑止杭の 構造	・C ₁ ～C ₂ 級岩盤内のシームすべりを抑止するため、岩盤に設置する。	・D級岩盤内のすべりを抑止するため、岩盤内に設置する。	・抑止杭を岩盤に設置。	・岩級の違い。 ・シームすべりと岩盤すべりの違い。	・同様の設置状況である。	・シームすべりによる移動層及び不動層を特定し、文献調査に基づき、所定の深さの根入れを確実にする。	
	・シームすべりに伴うせん断力が大きいこと、対象斜面が堅硬な岩盤内で構成されることから、抑止力の大きな深礎杭を採用する。	・鋼管杭を採用する。	・抑止杭を採用。	・抑止杭の構造の違い。	・抑止杭として、最新斜面・土留め技術総覧(1991年8月、以下「技術総覧」)に基づいて設計する。	・深礎杭の一般産業施設の施工事例等を確認した結果、同様の構造を確認したことから、技術総覧に基づいて設計する。	
	・堅硬な岩盤内に設置する大口径(φ6m)の深礎杭であり、掘削時における隣接杭周辺の岩盤の緩みを避けるため、杭間隔を2D以上(12～17.5m)とする。	・D級岩盤内に設置する小口径(φ約0.4m)の鋼管杭であり、中抜け現象を抑止するため、杭間隔を2mとし、3段で配置する。一部は、千鳥配置(杭間隔1m)とする。	・各種文献に記載の杭間隔8D以内を満足する。	・抑止杭径の違い ・杭間距離の違い(島根:12～17.5m、高浜:2m・千鳥)	・8D以内を満足することから、技術総覧に基づいて設計を行う。	・大口径の掘削であることから、掘削時の配慮を行う。(2.7.2(5)参照) ・文献調査に基づき、中抜け現象の発生に係る判定基準を設定し、3次元解析により、杭間及び杭周辺の岩盤の評価を行う。	
	・H鋼を複数本挿入し、せん断補強を行う。	・H鋼を単数挿入し、せん断補強を行う。	・H鋼でせん断補強。	・H鋼の挿入本数の違い。	・同様のせん断補強を行っているため、先行炉のH鋼によるせん断補強の設計方針が適用可能である。	・H鋼の挿入本数のみの違いであるため、先行炉のH鋼によるせん断補強の設計方針が適用可能である。 ・H鋼を複数本挿入している一般産業施設の施工事例等を確認した結果、同様の構造を確認したことから、技術総覧に基づいて設計する。	
設計方法	・すべり安全率算定に用いる抑止杭のせん断抵抗力: (コンクリート)短期許容応力度(H鋼)短期許容応力度(帯鉄筋)短期許容応力度	・すべり安全率算定に用いる抑止杭のせん断抵抗力: (鋼管)短期許容応力度(H鋼)短期許容応力度	・抑止杭のせん断抵抗力の設定は許容応力度法に基づく。 ・材料(H鋼)	・材料の違い(コンクリート、帯鉄筋)	・H鋼のせん断抵抗力について、許容応力度法により、同様の基準類(道路橋示方書・同解説(平成14年3月))に基づいて設定する。	・コンクリート及び帯鉄筋のせん断抵抗力について、許容応力度法により、コンクリート標準示方書(構造性能照査編)(2002年)に基づいて設定する。	

注記*：先行炉の情報に係る記載内容については、会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

表 2.7.5-2 抑止杭の参照している基準類に関する先行炉との比較

評価項目	参照している基準類 (【】内は適用範囲、工認ガイド等に記載されている基準類に下線)		先行炉との類似点を踏まえた適用性/ 相違点を踏まえた設計への反映事項
	島根原子力発電所	関西電力(株) 高浜発電所	
設計方法	最新斜面・土留め技術総覧(1991年)【杭工】	最新斜面・土留め技術総覧(1991年)【杭工】	・深礎杭は杭工であるため、適用可能。
抑止杭の せん断抵抗 力	H鋼	道路橋示方書 II 鋼橋編(2002年)【許容応力度】	・許容応力度法により設計しており、適用可能。
	コンクリート・鉄筋	コンクリート標準示方書【構造性能照査編】(2002年)【許容応力度】	・工認ガイド等に記載の基準類を参照し、許容応力度法により設計する。
	鋼管	—	—

注：先行炉の情報に係る記載内容については、会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

(3) 施工実績（一般産業施設における類似構造の設計・施工事例）

島根原子力発電所の抑止杭の特徴は「岩盤内に設置された深礎杭」であることから、この特徴に類似する一般産業施設の設計・施行例を調査した。調査結果を表 2.7.5-3 に示す。

また、各事例の概要を(a)～(d)に示す。

一般産業施設における類似構造の設計・施工事例が複数あることを確認した。

表 2.7.5-3 類似する一般産業施設の設計・施行例

特徴	設計・施行例		
	施設・工事名称	施設の概要	概要頁
H鋼をせん断補強材として複数本挿入	北陸自動車道地蔵トンネル地すべり対策工事	<ul style="list-style-type: none"> ・北陸自動車道地蔵トンネル西坑口付近に広く分布する地すべりの安定性を確保するため、径2.5mの深礎杭を7.5mの間隔で24本、径2.0mの深礎を6.0mの間隔で5本施工している。 ・せん断抵抗材として深礎杭内にH鋼を環状に挿入している。 	事例①
	地附山地すべり対策工事	<ul style="list-style-type: none"> ・長野県地附山地すべりの安定性を確保するため、径5.1m、長さ33～61mの大口径鉄筋コンクリート杭を10m、15mの間隔で29本施工している。 ・効率的な配筋とするため、主筋に51mmの太鉄筋を用い、せん断補強としてH鋼を複数本挿入している。 	事例②
深礎杭	山際地区すべり対策工事	<ul style="list-style-type: none"> ・大分県山際地区地すべり(幅約45m、奥行き約300m、推定すべり面層厚70m前後の尾根型岩盤すべり)の安定性を確保するため、径5.5m、長さ30～97mの深礎杭を16本施工している。 ・軸方向鉄筋及び帯鉄筋を円周状に4重に配置し、最大曲げモーメント発生位置付近に、D51のせん断補強筋を複数本挿入している。 	事例③
	北神線建設工事及び有馬線谷上駅移設工事のうち谷上第1工区土木工事	<ul style="list-style-type: none"> ・六甲山周辺地域にて地すべりの安定性を確保するため、径3.5m、長さ33～35mの深礎杭を17本施工している。 ・主筋はD51を2段配筋としている。 	事例④

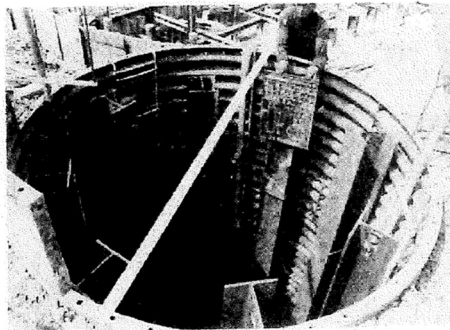
注：設計・施行例の情報に係る記載内容については、公開情報をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

(a) 事例① 北陸自動車道地蔵トンネル地すべり対策工事

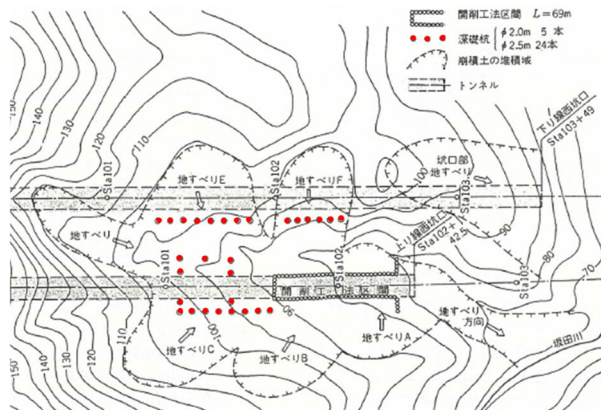
北陸自動車道地蔵トンネル地すべり対策工事の施工事例を図 2.7.5-2 に示す。

北陸自動車道地蔵トンネル西坑口付近に広く分布する地すべりの安定性を確保するため、径2.5mの深礎杭を7.5mの間隔で24本、径2.0mの深礎を6.0mの間隔で5本施工している。

せん断抵抗材として深礎杭内にH鋼を環状に挿入している。



高松眞・内橋初義・宮崎晃：地すべり地帯の坑口施工 北陸自動車道地蔵トンネル，1979年



竹林亜夫・上野将司：地すべり地におけるトンネル掘削時の諸問題に関する地質工学的考察，2004年（一部加筆）

注：設計・施行例の情報に係る記載内容については、公開情報をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

図 2.7.5-2 北陸自動車道地蔵トンネル地すべり対策工事の施工事例

(b) 事例② 地附山地すべり対策工事

地附山地すべり対策工事の施工事例を図 2.7.5-3 に示す。

長野県地附山地すべり（幅約 500m，奥行き約 700m，推定すべり面層厚 60m 前後）の安定性を確保するため，径 5.1m，長さ 33～61m の大口径鉄筋コンクリート杭を 10m，15m の間隔で 29 本施工している。

効率的な配筋とするため，主筋に 51mm の太鉄筋を用い，せん断補強として H 鋼を複数本挿入している。

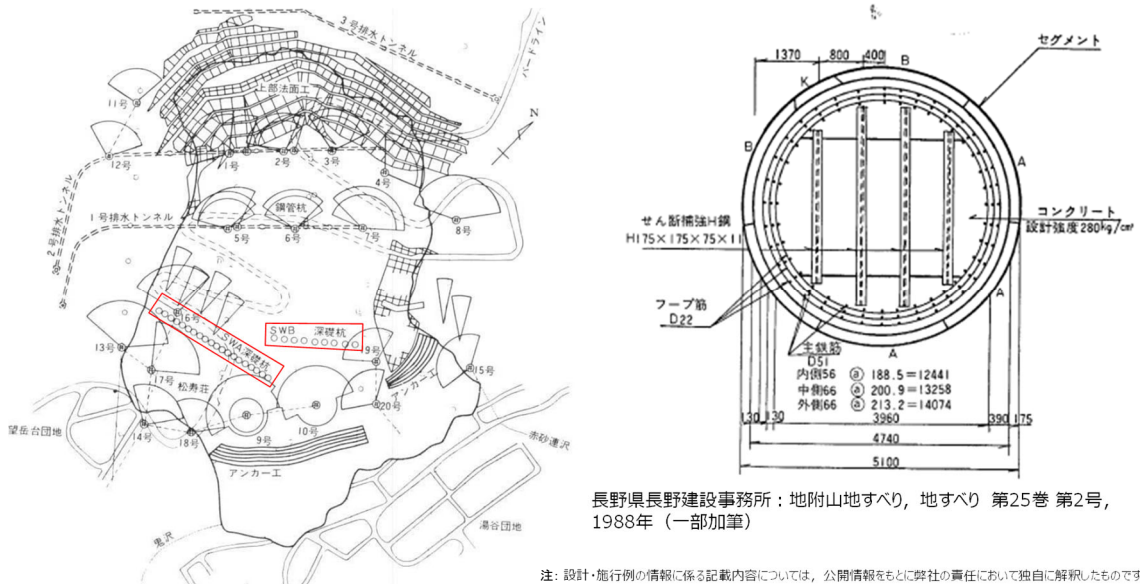


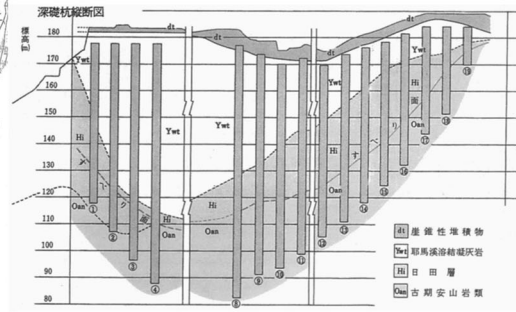
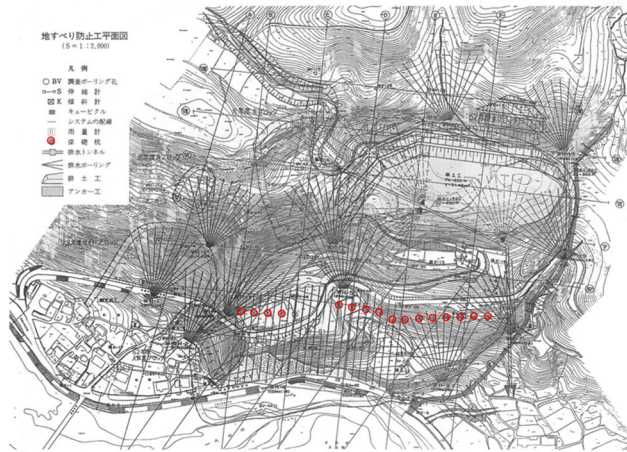
図 2.7.5-3 地附山地すべり対策工事の施工事例

(c) 事例③ 山際地区地すべり対策工事

山際地区地すべり対策工事の施工事例を図 2.7.5-4 に示す。

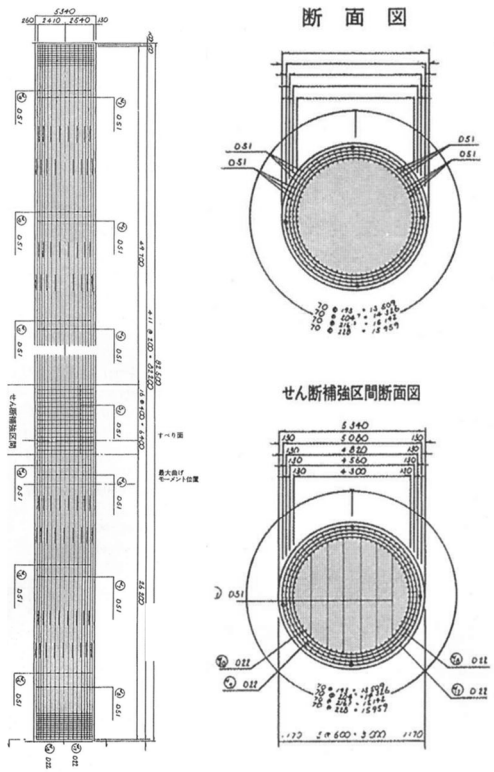
大分県山際地区地すべり（幅約 450m，奥行き約 300m，推定すべり面層厚 70m 前後の尾根型岩盤すべり）の安定性を確保するため，径 5.5m，長さ 30～97m の深礎杭を 16 本施工している。

軸方向鉄筋及び帯鉄筋を円周状に 4 重に配置し，最大曲げモーメント発生位置付近に，D51 のせん断補強筋を複数本挿入している。



大分県土木建築部砂防課 大分県日田土木事務所：山際地区すべり 大分県大山町 ～大規模な岩すべりとその対策～、地すべり 第34巻 第3号、1997年（一部加筆）

注：設計・施行例の情報の係る記載内容については、公開情報をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。



大分県土木建築部砂防課 大分県日田土木事務所：山際地区地すべり 大分県大山町 ～大規模な岩すべりとその対策～、地すべり 第34巻 第3号、1997年

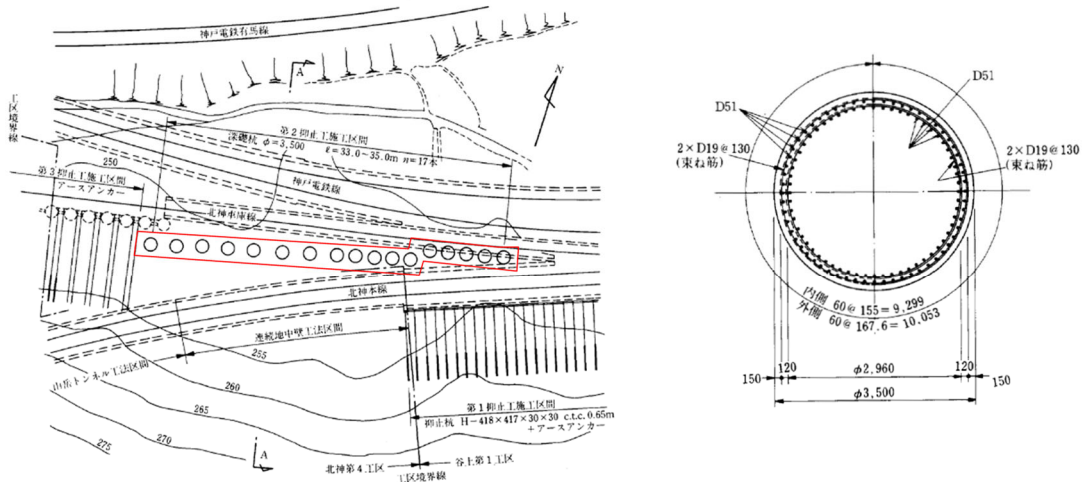
(社) 斜面防災対策技術協会HP
https://www.jasdim.or.jp/gijutsu/jisuberi_joho/sekkei/syafktui/syftkui.html

注：設計・施行例の情報の係る記載内容については、公開情報をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

図 2.7.5-4 山際地区地すべり対策工事の施工事例

(d) 事例④ 北神線建設工事及び有馬線谷上駅移設工事のうち谷上第1工区土木工事
 北神線建設工事及び有馬線谷上駅移設工事のうち谷上第1工区土木工事の施工事例を図
 2.7.5-5に示す。

六甲山周辺地域にて地すべりの安定性を確保するため、径3.5m、長さ33~35mの深礎杭
 を17本施工している。主筋はD51を2段配筋としている。



堀紘成・吉田利三・丹内正利・石橋貢；地すべり対策工としての深礎杭の計画と施工，1987年（一部加筆）

注：設計・施行例の情報に係る記載内容については、公開情報をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

図 2.7.5-5 北神線建設工事及び有馬線谷上駅移設工事のうち谷上第1工区土木工事の施工事例

(4) 島根サイトの深礎杭の工事概要

島根サイトの①-①'断面及び②-②'断面における深礎杭は、図2.7.5-6及び図2.7.5-7のフローで施工している。

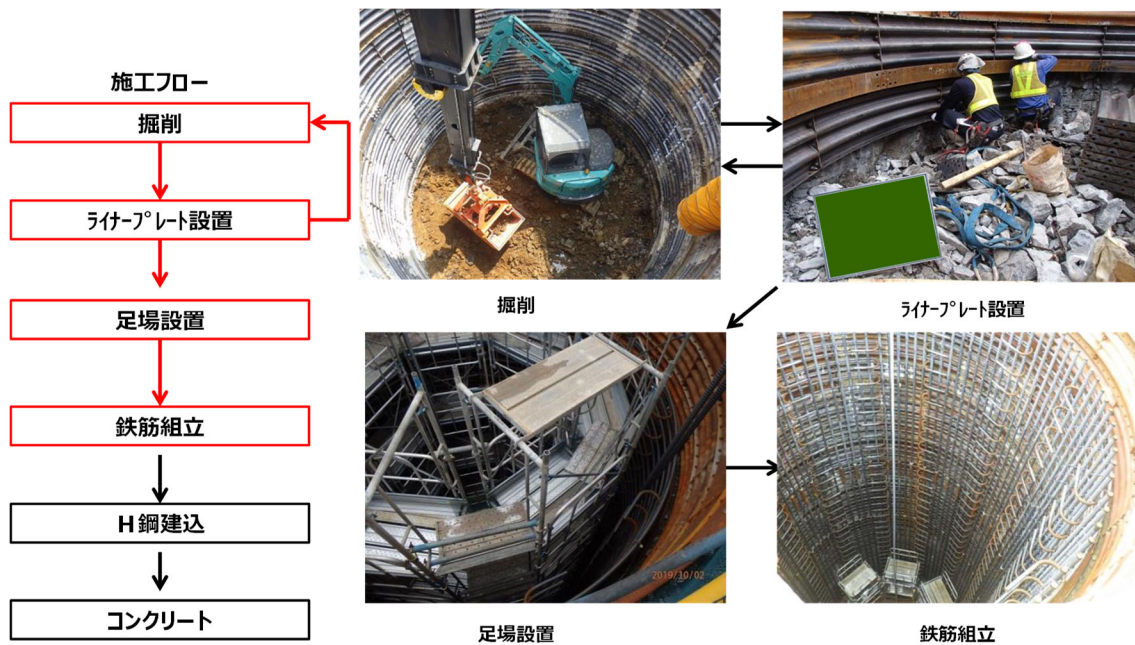


図 2.7.5-6 施工フロー図 (1/2)

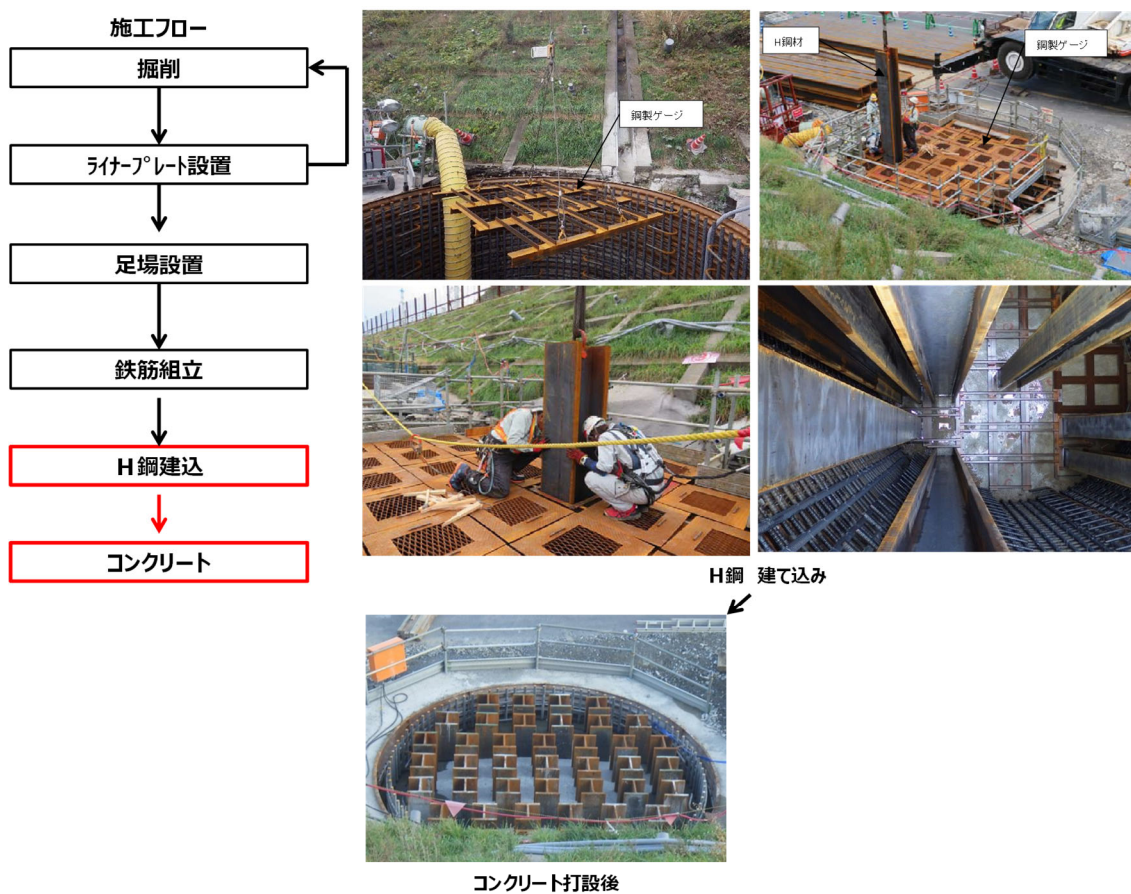


図 2.7.5-7 施工フロー図 (2/2)

(5) まとめ

島根サイトの①-①'断面及び②-②'断面における深礎杭は、先行炉実績と比較した結果、同様の設計方針であることを確認した。

また、一般産業施設における類似構造の設計・施工事例が複数あることを確認した。

2.7.6 対策工（抑止杭）を設置した斜面の抑止杭間の岩盤の健全性

2.7.6.1 概要

島根原子力発電所の対策工（抑止杭）を設置した斜面について、2次元FEM解析では杭間の岩盤の応力状態が把握できないことから、杭間の岩盤をモデル化した3次元静的FEM解析により抑止杭間の岩盤の健全性を確認する。

2.7.6.2 基本方針

(1) 対象斜面位置及び構造概要

評価対象斜面の位置、抑止杭の配置及び抑止杭の構造概要を図2.7.6.2-1に示す。

区間Ⅰには12本の抑止杭を設置する。12本のうち西側から10本は杭中心間隔12m、東側の2本は杭中心間隔17.5mで設置する。

区間Ⅱには3本の抑止杭を杭中心間隔16mで設置する。

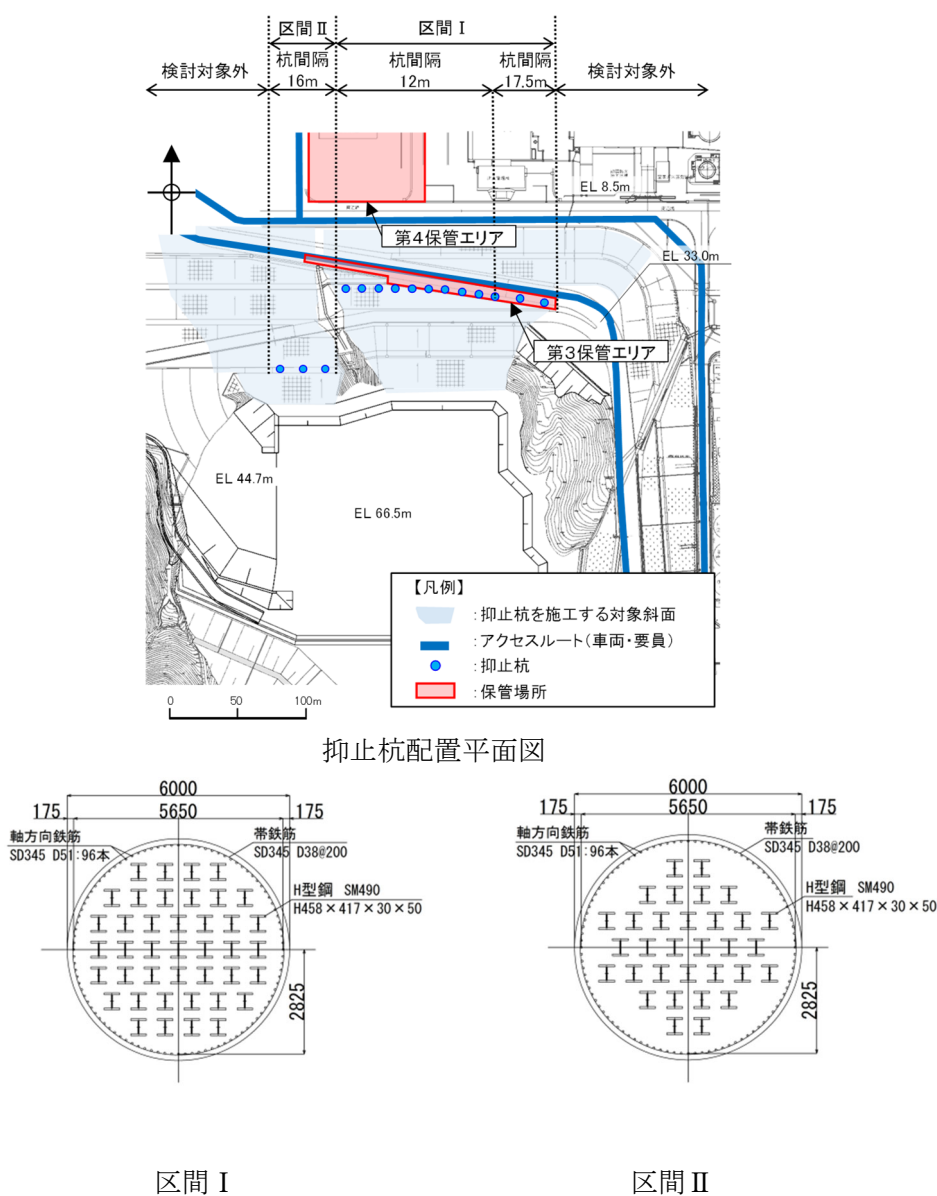
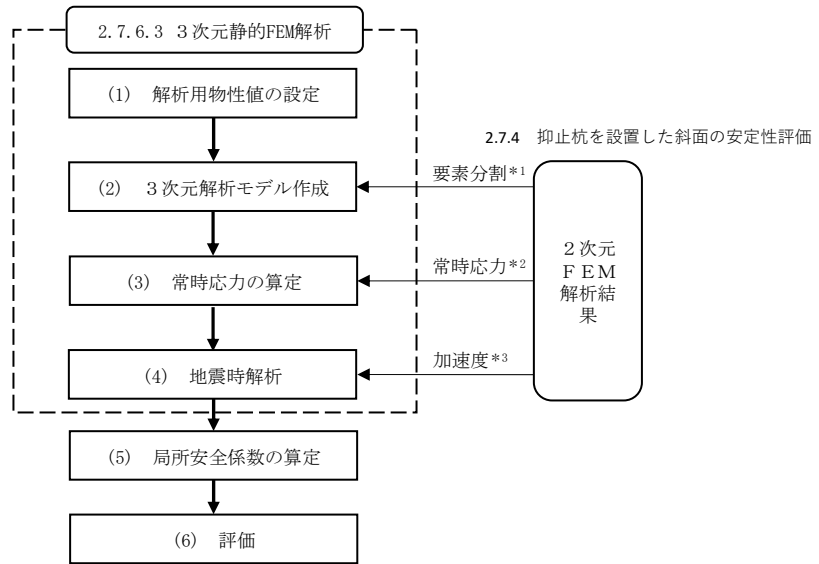


図2.7.6.2-1 対象斜面位置及び抑止杭構造概要図

(2) 評価フロー

杭間の岩盤の健全性の評価は「2.7.4 抑止杭を設置した斜面の安定性評価」の2次元動的FEM解析より得られた応答値を用いて3次元静的FEM解析を実施し、得られる岩盤要素の局所安全係数から杭間の岩盤の健全性を確認する。

3次元静的FEM解析による評価フローを図2.7.6.2-2に示す。



- 注記*1：2次元FEMモデルを基に要素分割を作成
*2：2次元常時応力解析により算定した常時応力を3次元場に展開
*3：2次元動的FEM解析から抽出した加速度より、静的震度を求め、接点荷重として入力

図2.7.6.2-2 3次元静的FEM解析の評価フロー

2.7.6.3 3次元静的FEM解析

(1) 解析用物性値の設定

使用材料及び材料の解析用物性値は、「2.6.2.3 解析用物性値」及び「2.7.3 抑止杭の耐震評価」に基づく。

(2) 3次元解析モデル作成

a. 解析領域の設定

2次元FEM解析の加速度等を精緻に3次元FEMモデルに展開するため、3次元FEMモデルの南北方向のモデル化範囲及び要素分割は、2次元動的FEM解析のモデルに整合させる。

モデル化範囲を図2.7.6.3-1に示す。

東西方向のモデル化範囲は、杭間の岩盤の応力状態が厳しくなるように、斜面高さが相対的に高く、すべり土塊量が大きくなる範囲とする。区間I範囲内のすべり土塊量の比較を図2.7.6.3-2に示す。

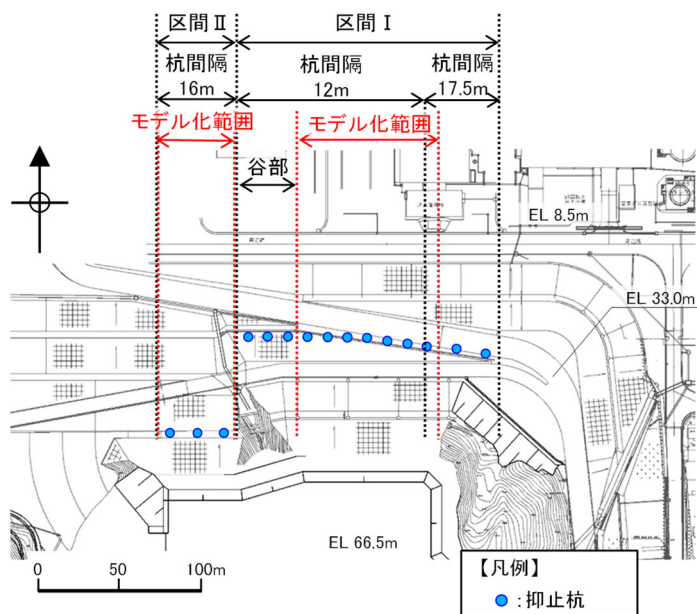
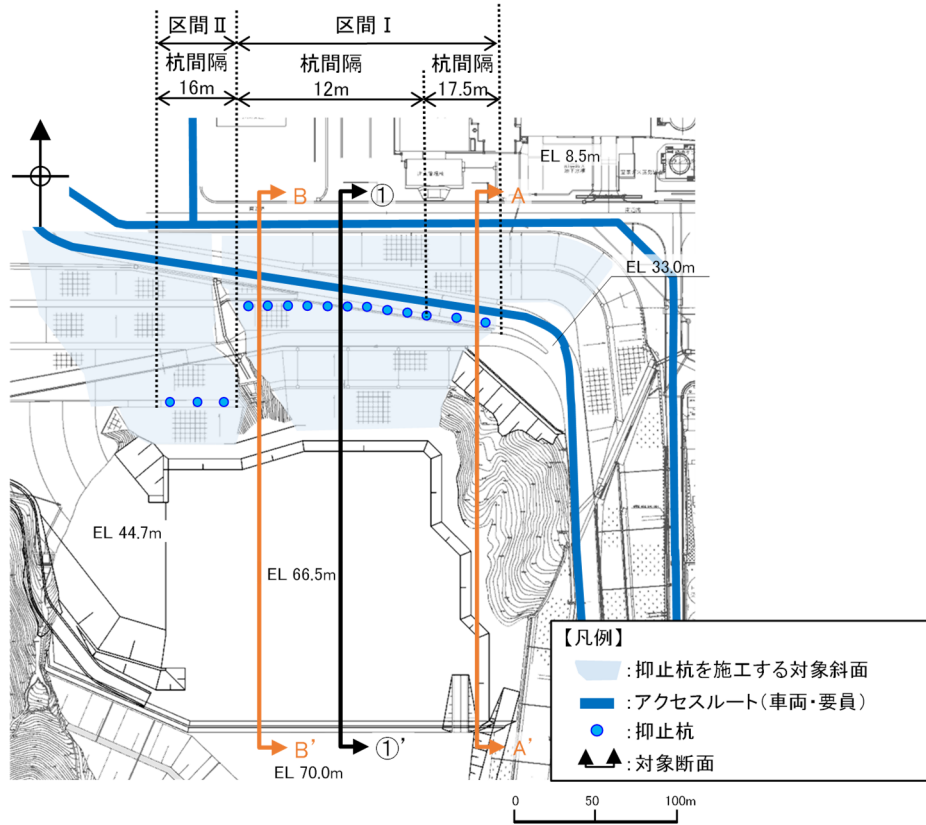
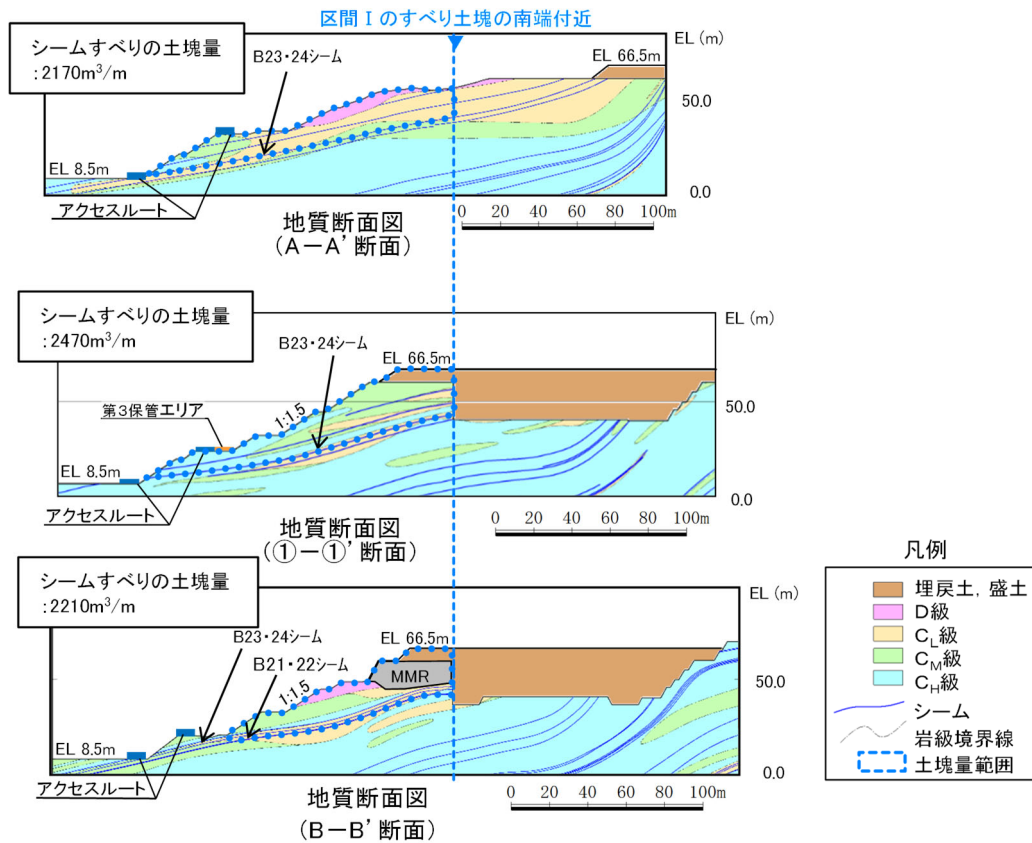


図 2.7.6.3-1 モデル化範囲



すべり土塊量比較対象断面位置



比較対象断面のすべり土塊量

図 2.7.6.3-2 区間 I のすべり土塊量の比較

b. 境界条件

側方境界条件は、以下のとおりとする。モデルの境界を図 2.7.6.3—3 に示す。

(a) YZ 平面

常時応力解析：X 軸方向固定 YZ 軸方向自由（面内自由）

地震時解析：XYZ 軸方向自由

(b) XZ 平面

常時応力解析：Y 軸方向固定 XZ 軸方向自由（面内自由）

地震時解析：Y 軸方向固定 XZ 軸方向自由（面内自由）

(c) 底面

底面境界は固定とする。

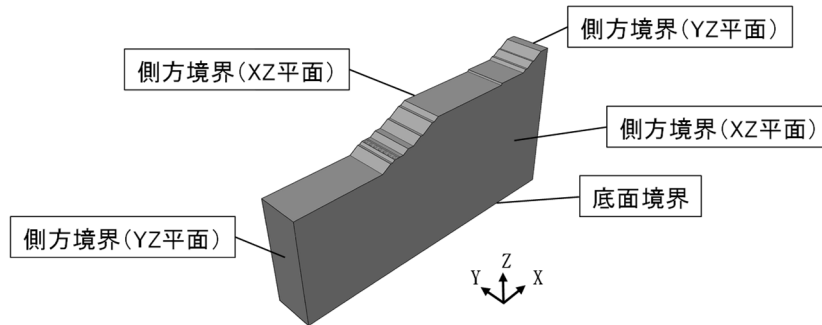


図 2.7.6.3—3 モデルの境界

c. 抑止杭のモデル化

区間Ⅰは抑止杭直径 6m，杭中心間隔 12m でモデル化を行い，区間Ⅱは抑止杭直径 6m，杭中心間隔 16m でモデル化を行う。

抑止杭は 8 節点 6 面体要素を適用し，線形材料としてモデル化する。

抑止杭と地盤の接合面にはジョイント要素を設定し，接合面における剥離及びすべりを考慮する。ジョイント要素は，抑止杭と地盤の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。図 2.7.6.3—4 にジョイント要素の力学特性，表 2.7.6.3—1 にジョイント要素のせん断強度を示す。

法線方向のジョイント要素のばね定数は，解析上不安定な挙動を起こさないよう十分大きな値を設定する。ジョイント要素のばね定数を表 2.7.6.3—2 に示す。

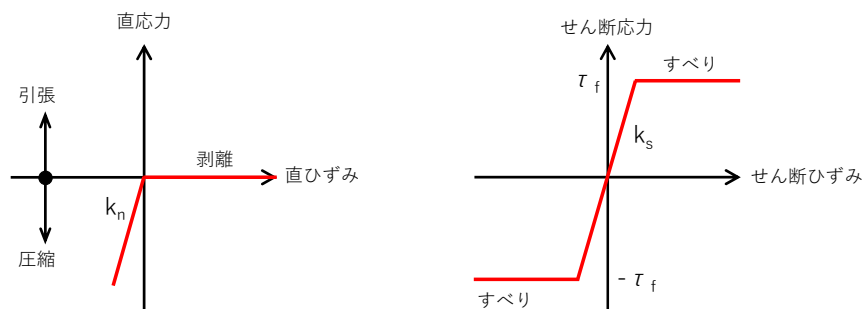


図 2.7.6.3—4 ジョイント要素の力学特性

表 2.7.6.3—1 抑止杭—地盤間のジョイント要素のせん断強度*

摩擦係数 $\tan \phi$	粘着力 (kN)
0.600	0

注記* : (社) 日本道路協会「道路橋示方書・同解説IV下部構造編 H14」 P281

表 2.7.6.3—2 抑止杭—地盤間のジョイント要素のばね定数

せん断剛性 k_s (kN/m ³)	圧縮剛性 k_n (kN/m ³)
1.0×10^8	1.0×10^8

d. 地盤のモデル化

地盤は 8 節点 6 面体要素でモデル化する。

要素分割については 2 次元動的 FEM 解析で使用した南北断面のモデルを基に作成し、東西水平成層であることから東西方向に一様に延伸したモデルとする。

シームは、2 次元動的 FEM 解析のモデルにおいて、抑止杭に接しているシームを対象とし、ジョイント要素でモデル化する。

区間 I 及び区間 II のモデル化したシームを図 2.7.6.3—5、図 2.7.6.3—6 にそれぞれ示す。

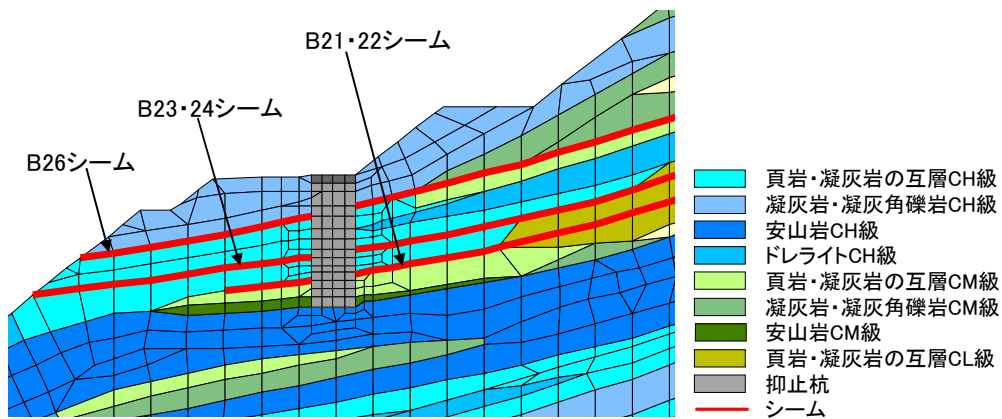


図 2.7.6.3—5 モデル化したシーム (区間 I)

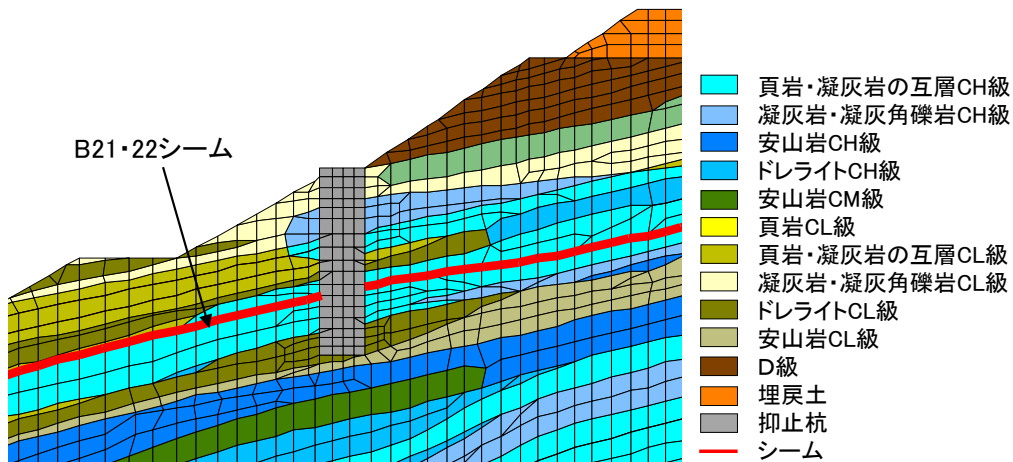


図 2.7.6.3—6 モデル化したシーム (区間 II)

e. 3次元解析モデル

(a) 区間 I

区間 I に設置されている 12 本の杭のうち、2次元 FEM 解析のモデルと造成形状が同じ中央の 7 本の抑止杭の範囲をモデル化する。そのため東西方向は 84m (12m×7 区間分) をモデル化し、南北方向は 2次元解析モデルの領域とする。区間 I の解析モデルを図 2.7.6.3-7 に示す。

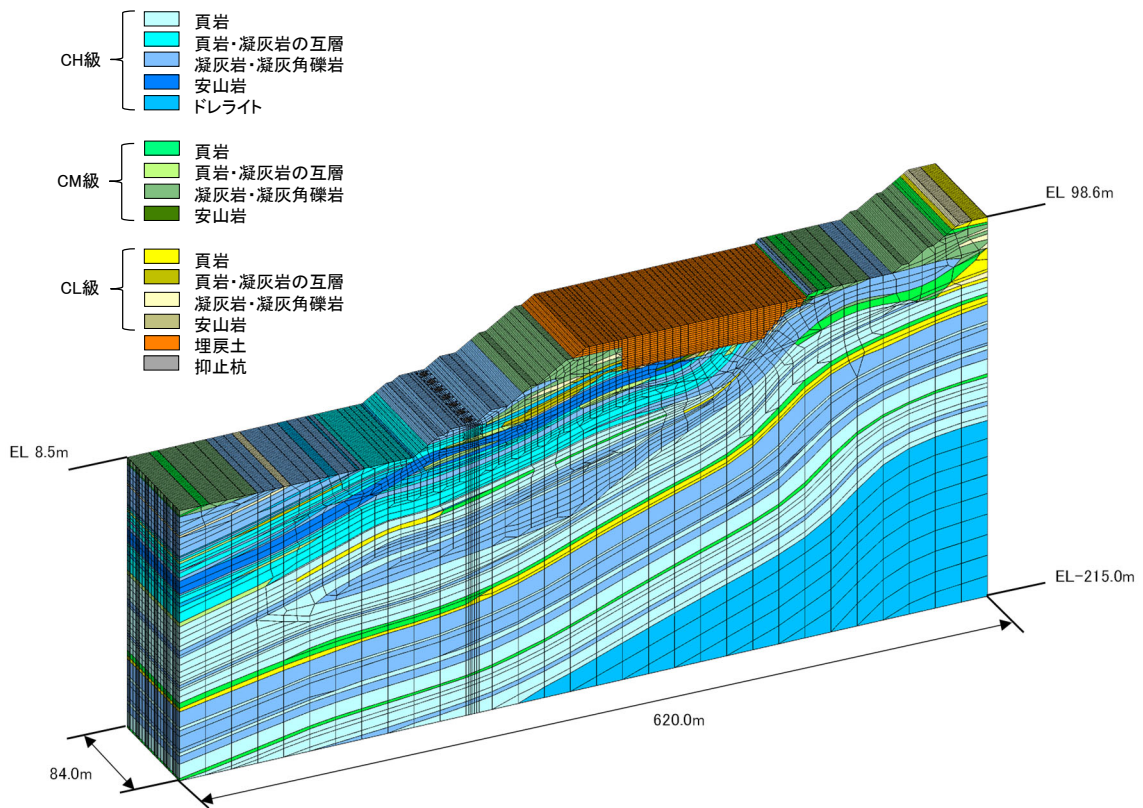


図 2.7.6.3-7(1) 区間 I 解析モデル

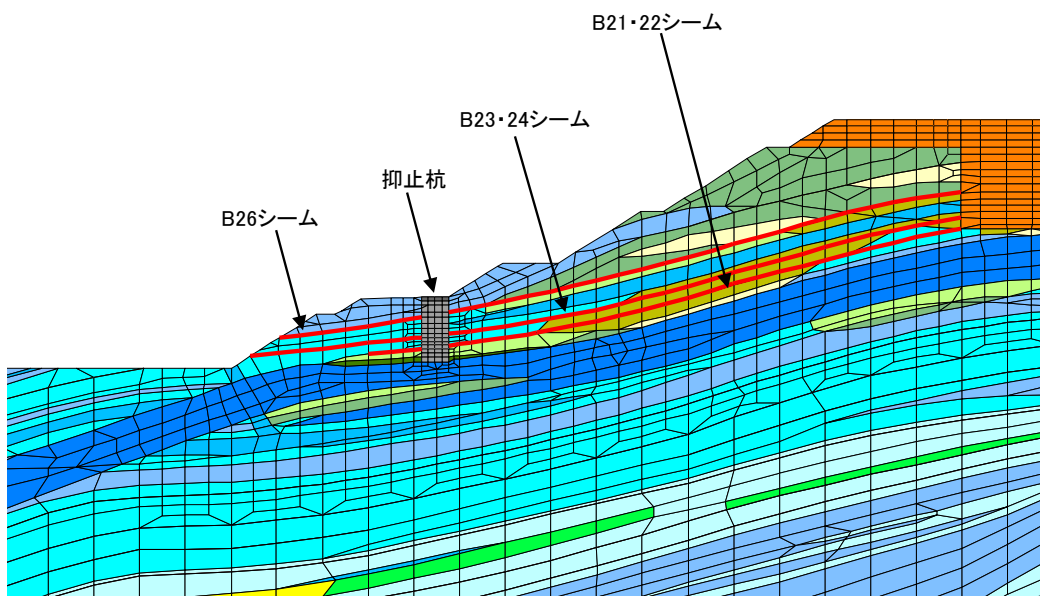


図 2.7.6.3-7(2) 区間 I 解析モデル (抑止杭及びシーム拡大)

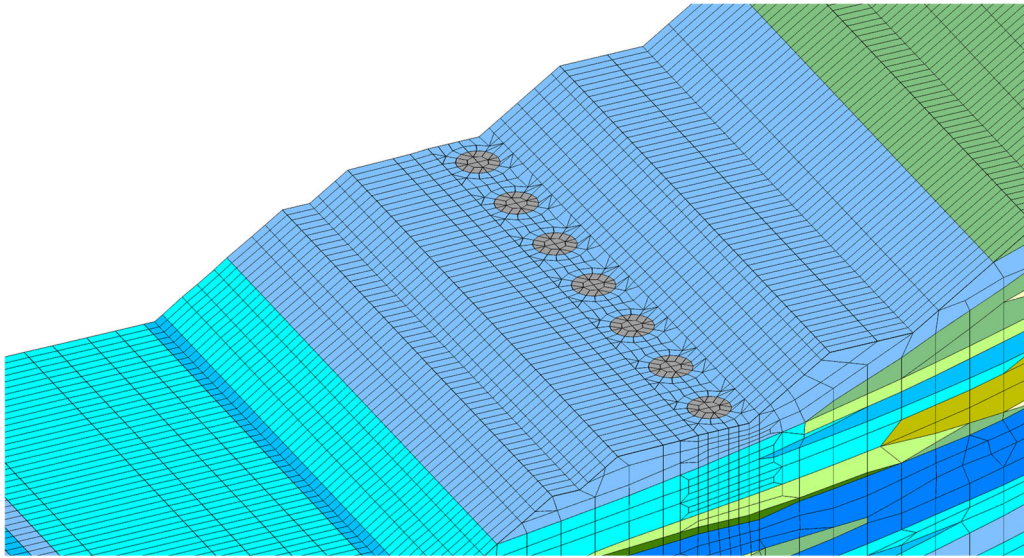


図 2.7.6.3-7(3) 区間 I 解析モデル (杭周辺拡大)

(b) 区間Ⅱ

区間Ⅱに設置されている抑止杭3本の範囲をモデル化する。そのため東西方向は48m (16m×3区間分) をモデル化し、南北方向は2次元解析モデルの領域とする。区間Ⅱの解析モデルを図2.7.6.3-8に示す。

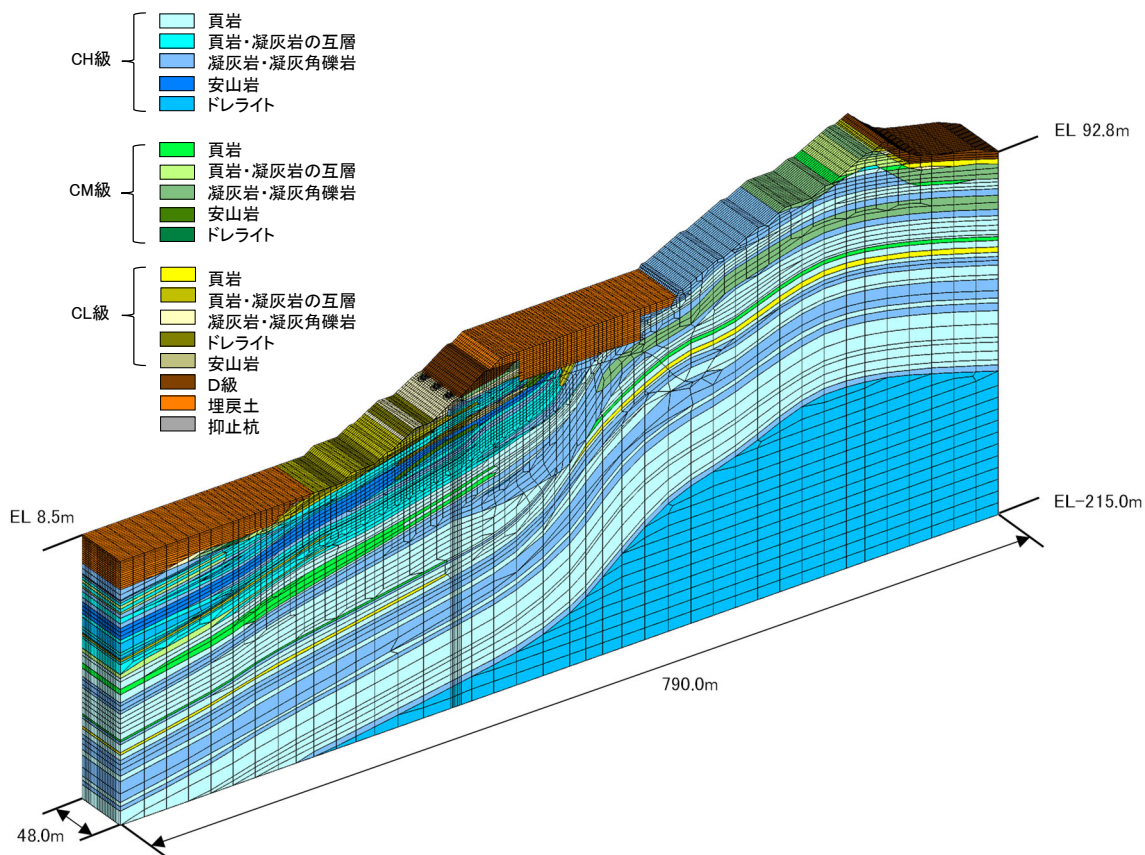


図 2.7.6.3-8(1) 区間Ⅱ解析モデル

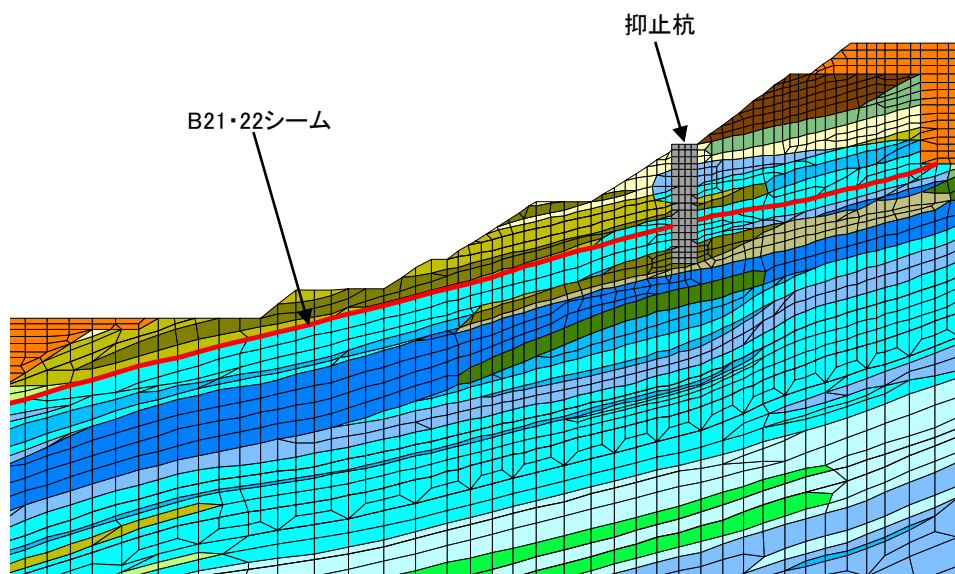


図 2.7.6.3-8(2) 区間Ⅱ解析モデル (抑止杭及びシーム拡大)

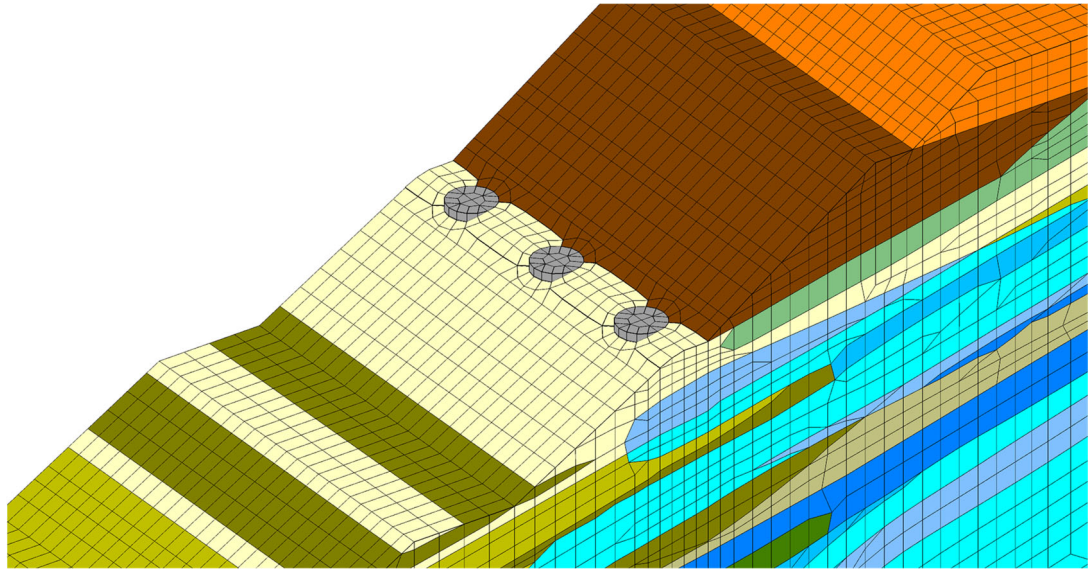


図 2.7.6.3-8(3) 区間Ⅱ解析モデル (杭周辺拡大)

(3) 常時応力の算定

常時応力は2次元常時応力解析から得られる常時応力を、2次元場から3次元場に以下の一般式を用いて展開し、算定する。

$$\sigma_y = \nu_s (\sigma_x + \sigma_z) \dots\dots\dots (*)$$

式(*)は「弾性・破壊・流動論-工学および地球科学への応用-((社)日本材料協会, 1968年)」に基づき以下から導かれる。3次元モデルにおける軸方向を図2.7.6.3-9に示す。

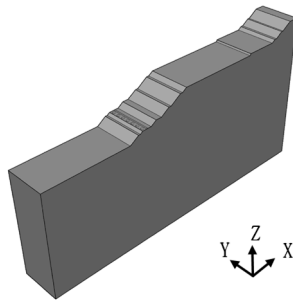


図 2.7.6.3-9 3次元モデルにおける軸方向

各軸方向に負荷応力が作用した場合、各軸方向に生じるひずみは表2.7.6.3-3のとおりとなる。

表 2.7.6.3-3 各軸方向に生じるひずみ

負荷応力	負荷応力に対応するひずみ		
	x軸方向	y軸方向	z軸方向
σ_x	$\frac{\sigma_x}{E}$	$-\frac{\nu}{E} \sigma_x$	$-\frac{\nu}{E} \sigma_x$
σ_y	$-\frac{\nu}{E} \sigma_y$	$\frac{\sigma_y}{E}$	$-\frac{\nu}{E} \sigma_y$
σ_z	$-\frac{\nu}{E} \sigma_z$	$-\frac{\nu}{E} \sigma_z$	$\frac{\sigma_z}{E}$

各軸方向の負荷応力により生じたひずみをそれぞれ整理すると、以下のとおりとなる。

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \frac{\nu}{E} (\sigma_y + \sigma_z) \dots\dots\dots (1)$$

$$\epsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \frac{\nu}{E} (\sigma_x + \sigma_z) \dots\dots\dots (2)$$

$$\epsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} - \frac{\nu}{E} (\sigma_x + \sigma_y) \dots\dots\dots (3)$$

これらの式を各応力について解くと、

$$\sigma_x = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \{(1-\nu)\varepsilon_x + \nu(\varepsilon_y + \varepsilon_z)\} \dots\dots\dots (4)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \{(1-\nu)\varepsilon_y + \nu(\varepsilon_z + \varepsilon_x)\} \dots\dots\dots (5)$$

$$\sigma_z = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \{(1-\nu)\varepsilon_z + \nu(\varepsilon_x + \varepsilon_y)\} \dots\dots\dots (6)$$

式(4)～(6)を弾性定数の関係式 $\lambda + 2G = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}$ を用いて整理すると、

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 及び $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ は、主軸に関する応力-ひずみ関係として次のように仮定される。

$$\sigma_x = (\lambda + 2G)\varepsilon_x + \lambda\varepsilon_z + \lambda\varepsilon_y \dots\dots\dots (7)$$

$$\sigma_y = \lambda\varepsilon_x + (\lambda + 2G)\varepsilon_y + \lambda\varepsilon_z \dots\dots\dots (8)$$

$$\sigma_z = \lambda\varepsilon_x + \lambda\varepsilon_y + (\lambda + 2G)\varepsilon_z \dots\dots\dots (9)$$

ここで λ, G は、以下のとおり。

λ : ラメ定数

G : せん断弾性係数

2次元場から3次元場に応力を展開するため、XZ平面において平面ひずみ状態を仮定 ($\varepsilon_x \neq 0, \varepsilon_z \neq 0, \varepsilon_y = 0$) した場合、式(7)～(9)により以下の式が導かれる。

$$\sigma_x = (\lambda + 2G)\varepsilon_x + \lambda\varepsilon_z, \quad \sigma_z = (\lambda + 2G)\varepsilon_z + \lambda\varepsilon_x \dots\dots\dots (10)$$

式(10)の両式を足し合わせ、 λ と ν, G の関係式 $\nu = \frac{\lambda}{2(\lambda + G)}$ を用いて以下の式が導かれる。

$$\sigma_y = \lambda(\varepsilon_x + \varepsilon_z) = \nu_s(\sigma_x + \sigma_z)$$

(4) 地震時解析

地震力は図 2.7.6.3-10 に示す「J E A G 4 6 0 1 -2015 原子力発電所耐震設計技術指針」を参考に 2 次元動的 FEM 解析における最小すべり安全率発生時刻の加速度を抽出し、静的震度として解析モデルに入力する。ただし、正確に杭間の岩盤の応力状態を把握するため、「J E A G 4 6 0 1 -2015 原子力発電所耐震設計技術指針」に記載の等価震度ではなく、要素毎に静的震度を求めて入力する。区間Ⅰ，区間Ⅱの加速度を抽出したケースを図 2.7.6.3-11，図 2.7.6.3-12 にそれぞれ示す。

地震時解析には、解析コード「T D A P Ⅲ」を使用する。なお、解析コードの検証，妥当性確認等の概要については、参考資料 3 に示す。

3.2.5.2 入力地震力

静的非線形解析に用いる地震力は、動的解析（周波数応答解析）における最小すべり安全率発生時刻の等価震度を用いる。

【解説】

等価震度を求める方法としては、動的解析の加速度応答値から求める方法と、最大せん断応力分布から求める方法の2つがある。

加速度応答値から求める等価震度は、式(解 3.2.5.2-1)で定める最小すべり安全率発生時刻の加速度を等価震度に換算した値と定義される。

$$K_H = \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot m_i / \sum_{i=1}^N m_i g \quad \text{.....(解 3.2.5.2-1)}$$

K_H : 等価震度

α_i : すべると仮定した地盤要素 i の応答加速度

m_i : すべると仮定した地盤要素 i の質量

g : 重力加速度

一方、最大せん断応力分布から求める等価震度は、式(解 3.2.5.2-2)で定義される。

$$K_{Hi} = 2(|\tau_i|_{\max} - |\tau_{i-1}|_{\max}) / (h_i \cdot w_i + h_{i-1} \cdot w_{i-1}) \quad \text{.....(解 3.2.5.2-2)}$$

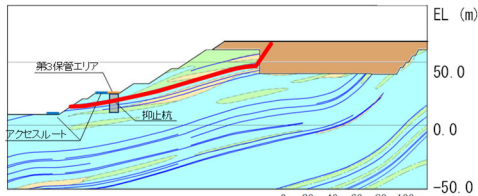
K_{Hi} : i 層における震度

$|\tau_i|$: i 層のせん断応力

w_i : i 層の単位体積重量

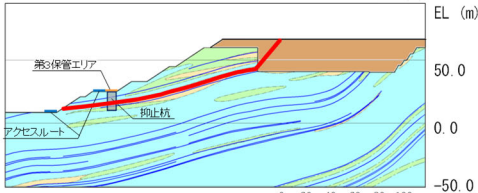
h_i : i 層の層厚

図 2.7.6.3-10 「J E A G 4 6 0 1 -2015 原子力発電所耐震設計技術指針」記載の震度の求め方



【B26シームを通るすべり面】

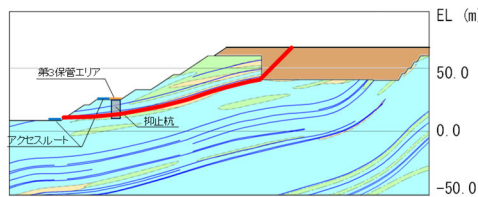
基準地震動 S _s	すべり安全率	【参考】 変更前 (抑止杭7本)
S _s -D	1.99	1.71
S _s -N ₁	2.36	2.03
S _s -N ₂	2.45	2.11



【B23・24シームを通るすべり面】

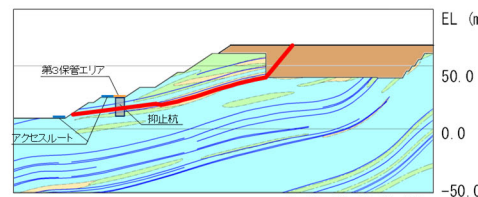
基準地震動 S _s	すべり安全率 (内はばらつき強度のすべり安全率)	【参考】 変更前 (抑止杭7本)
S _s -D	1.56 (1.39)	1.37 (1.21)
S _s -N ₁	1.79	1.57
S _s -N ₂	1.92	1.69

S_s-D(+,-)8.96秒



【B21・22シームを通るすべり面】

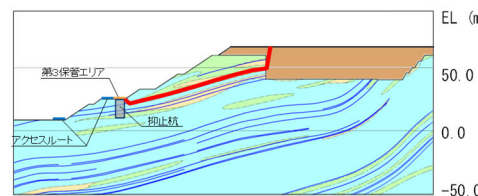
基準地震動 S _s	すべり安全率	【参考】 変更前 (抑止杭7本)
S _s -D	1.96	1.80
S _s -N ₁	2.17	1.99
S _s -N ₂	2.38	2.18



【B21・22シーム、法尻近傍のC_v級岩盤及び
B23・24シームを通過して法尻に抜けるすべり面】

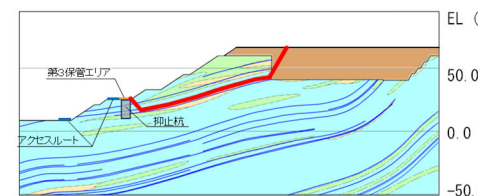
基準地震動 S _s	すべり安全率 (内はばらつき強度のすべり安全率)	【参考】 変更前 (抑止杭7本)
S _s -D	1.54 (1.39)	1.37 (1.22)
S _s -N ₁	1.76	1.56
S _s -N ₂	1.88	1.67

S_s-D(+,-)8.96秒



【B26シームを通過して抑止杭背後で切り上がるすべり面】

基準地震動 S _s	すべり安全率 (内はばらつき強度のすべり安全率)	【参考】 変更前 (抑止杭7本)
S _s -D	1.48 (1.26)	1.48 (1.26)
S _s -N ₁	1.71	1.71
S _s -N ₂	1.86	1.86



【B23・24シームを通過して抑止杭背後で切り上がるすべり面】

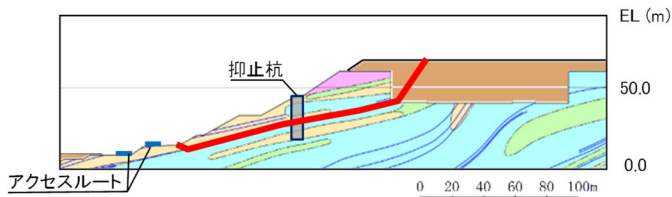
基準地震動 S _s	すべり安全率	【参考】 変更前 (抑止杭7本)
S _s -D	1.60	1.60
S _s -N ₁	1.81	1.81
S _s -N ₂	1.97	1.97

【凡例】

- : C_v級岩盤
- : C_v級岩盤
- : C_v級岩盤
- : 埋戻土、盛土
- : 抑止杭
- : シーム
- : 最小すべり安全率のすべり面

 : 加速度を抽出したケース

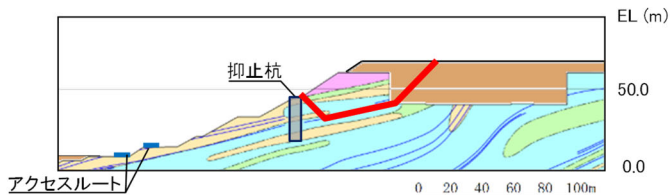
図 2.7.6.3-11 加速度を抽出したケース (区間 I)



【B21・22シームを通るすべり面】

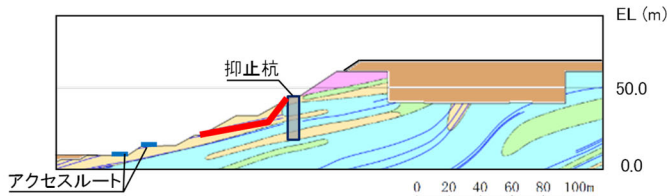
基準地震動 S _s	すべり安全率 ()内はばらつき強 度のすべり安全率
S _s -D	1.66 (1.49)
S _s -N ₁	2.10
S _s -N ₂	2.08

S_s-D(+, +)8.58秒



【B21・22シームを通過して抑止杭背後で切り上がるすべり面】

基準地震動 S _s	すべり安全率
S _s -D	2.34
S _s -N ₁	2.51
S _s -N ₂	3.12



【B23シームを通過して法面に抜けるすべり面】

基準地震動 S _s	すべり安全率
S _s -D	2.28
S _s -N ₁	2.64
S _s -N ₂	3.02

【凡例】		
■ : C _v 級 岩盤	■ : C _m 級 岩盤	■ : C _o 級 岩盤
■ : D級 岩盤	■ : 抑止杭	
■ : シーム	■ : 最小すべり安全率のすべり面	

□ : 加速度を抽出したケース

図 2.7.6.3-12 加速度を抽出したケース (区間Ⅱ)

(5) 局所安全係数の算定

杭間の岩盤の中抜けに対する安定性は、杭周辺の岩盤、シーム、及び杭-岩盤間のジョイント要素における局所安全係数により評価する。

局所安全係数は、「J E A G 4 6 0 1 - 2008 原子力発電所耐震設計技術指針」に基づき、要素毎に図 2.7.6.3-13, 図 2.7.6.3-14 に示す考え方で算出する。

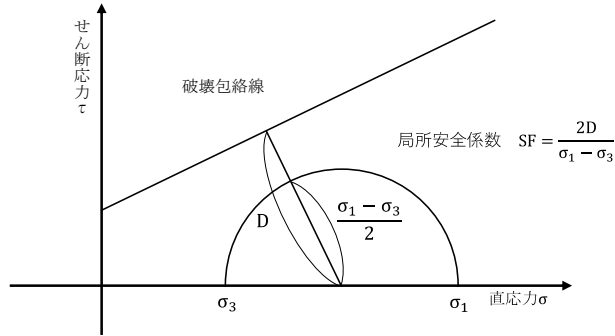


図 2.7.6.3-13 岩盤の局所安全係数の考え方

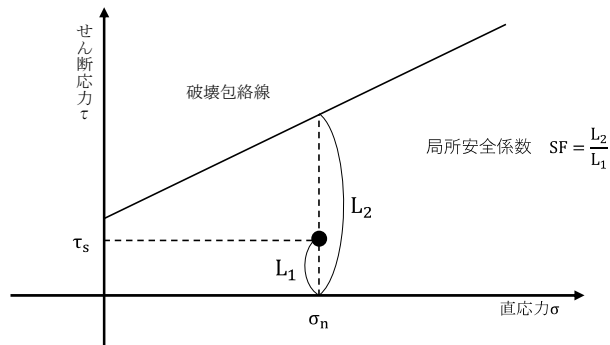


図 2.7.6.3-14 シーム及び杭-岩盤間のジョイント要素の局所安全係数の考え方

(6) 評価結果

図 2.7.6.3-15 に示す抑止杭周辺の断面の局所安全係数を以下に示す。

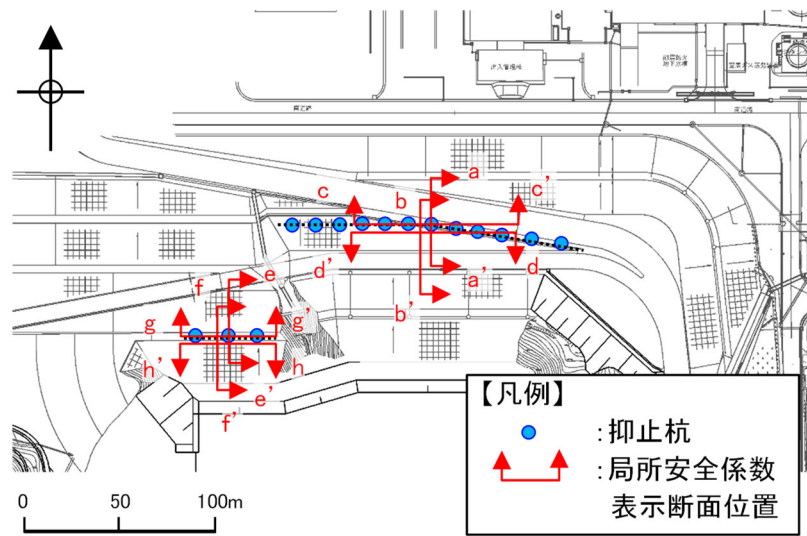


図 2.7.6.3-15 局所安全係数表示断面位置図

a. 区間 I 評価結果

(a) 岩盤の評価

「2.7.2(5)杭間隔の考え方」の判定基準に基づき、杭間及び杭背後の岩盤の健全性を確認した。

区間 I の杭周辺の岩盤の局所安全係数を図 2.7.6.3-16 に示す。

また、図 2.7.6.3-16 では、引張応力が発生した要素が杭周辺の岩盤に認められるため、「2.7.4(11)b.引張強度の設定」で設定した引張強度 0.13N/mm^2 を用い、引張強度の詳細評価を行う。

杭間及び杭背後の岩盤には、引張強度及びせん断強度に達した要素は発生していないことを確認した。

以上のことから、杭間及び杭背後の岩盤は健全であると評価した。

なお、直応力が引張となる方向は水平から反時計回りに約 55° であり、地質の傾斜 $5^\circ \sim 15^\circ$ と斜交していること、引張応力が発生した要素の構成岩種は凝灰岩及び頁岩と凝灰岩の互層であることから、保守的な評価となっていると考えられる。

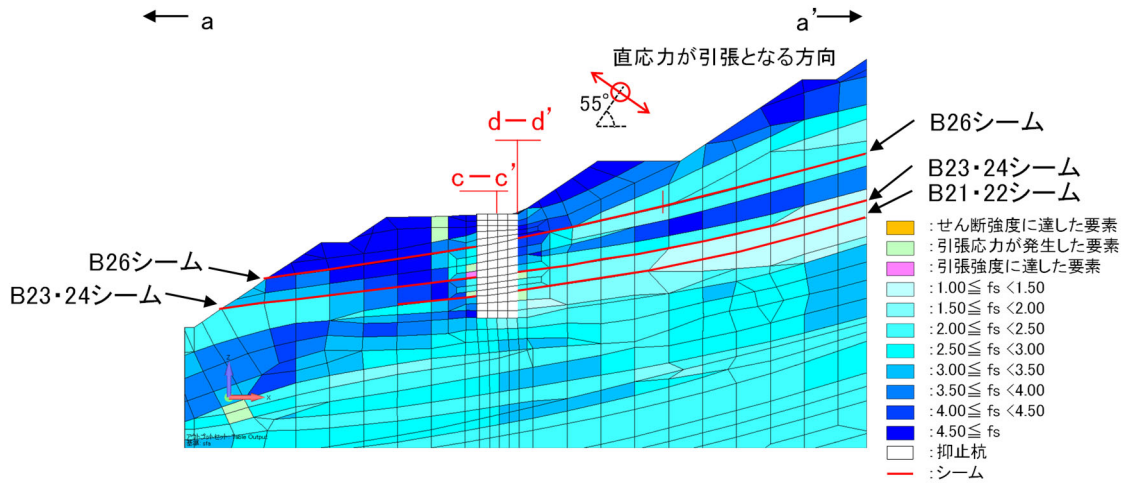


図 2.7.6.3-16(1) 抑止杭周辺の岩盤の局所安全係数 (a-a' 断面)

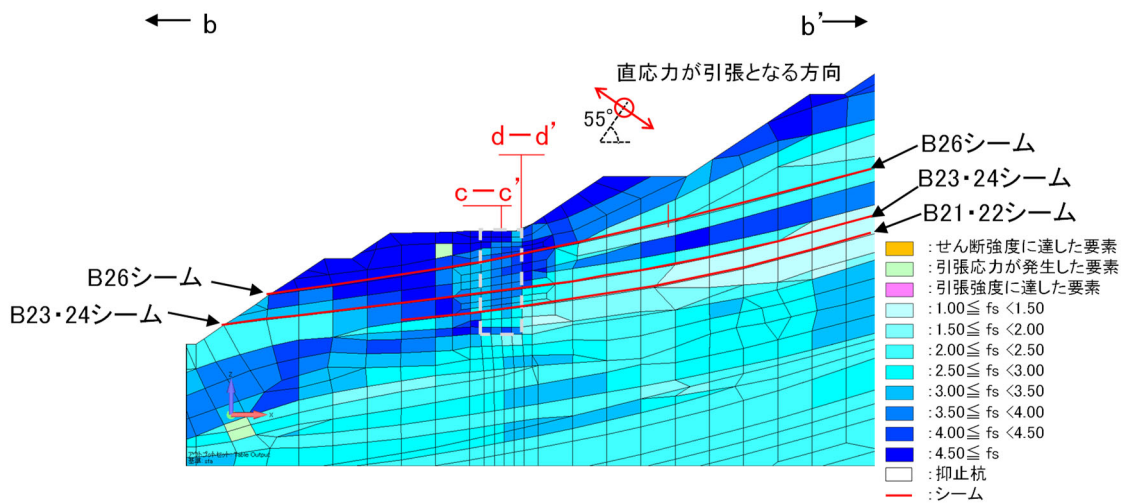


図 2.7.6.3-16(2) 抑止杭間の岩盤の局所安全係数 (b-b' 断面)

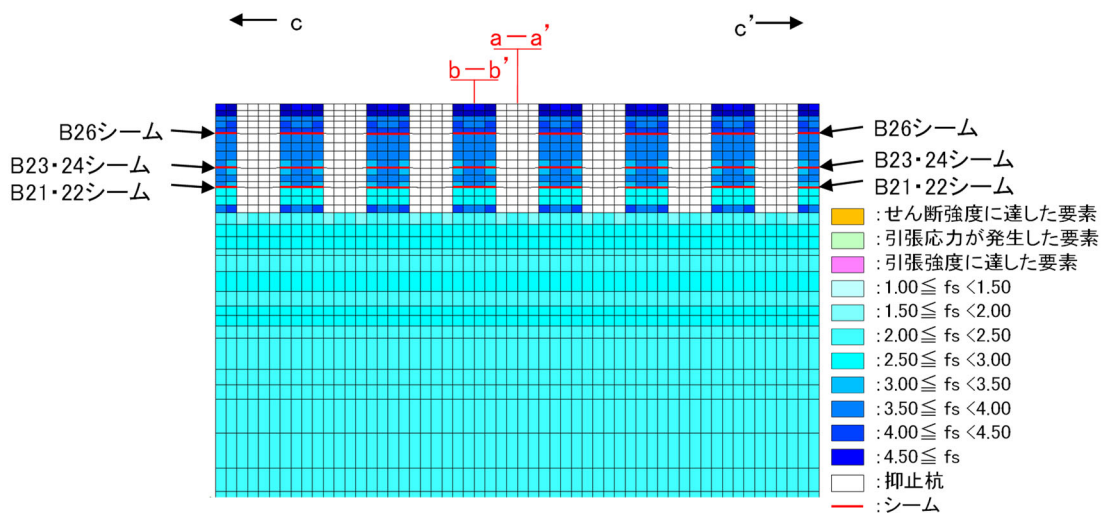


図 2.7.6.3-16(3) 抑止杭周辺の岩盤の局所安全係数 (c-c' 断面)

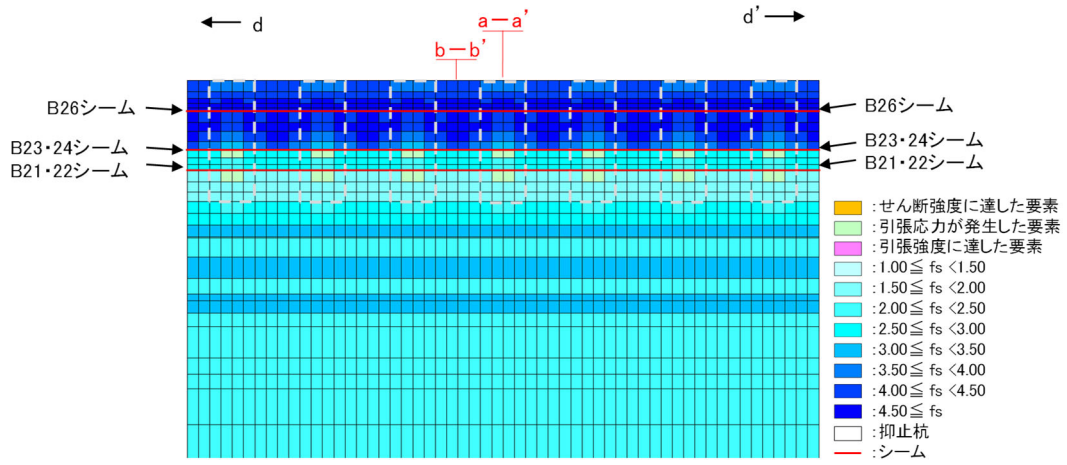


図 2.7.6.3-16(4) 抑止杭周辺の岩盤の局所安全係数 (d-d' 断面)

図 2.7.6.3-17 に区間 I の抑止杭周辺の最大せん断応力図及び最大圧縮応力図を示す。杭上流側に着目すると、杭間位置に応力の大きな箇所がアーチ状に分布していることが分かる。「2.7.2(5) 杭間隔の考え方」の文献④で示されるとおり、上流側からの応力が集中し、杭間に作用する応力が小さく**なっていることが確認できる**。

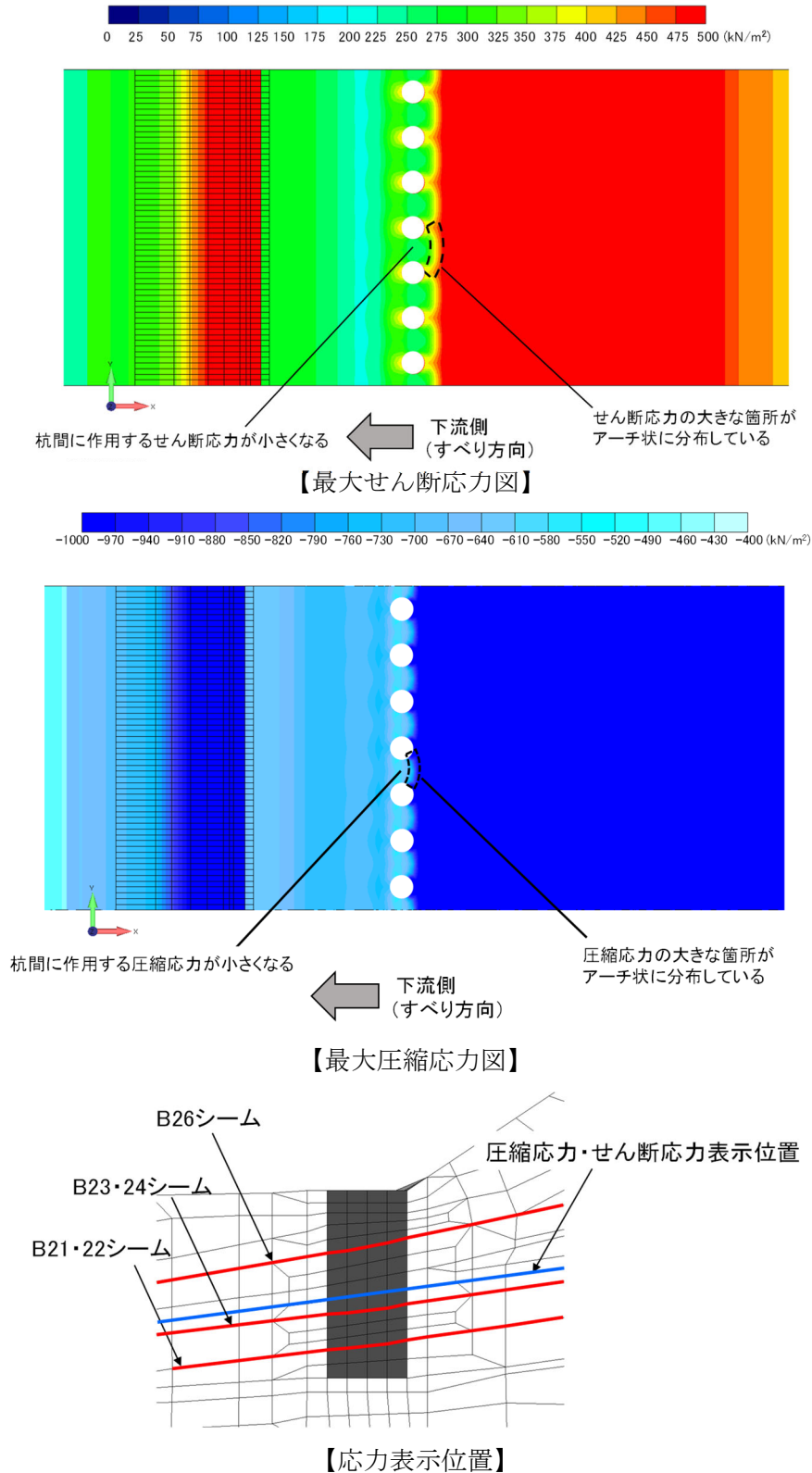


図 2.7.6.3-17 区間 I における抑止杭周辺の応力

(b) シームの評価

区間 I の杭周辺のシーム（せん断方向）の局所安全係数を図 2.7.6.3-18 に示す。

抑止杭より上流側の要素の局所安全係数が 1.0 を下回っているが、杭間及び抑止杭より下流側の要素は 1.0 を上回り、杭間にはせん断破壊している要素はないことを確認した。

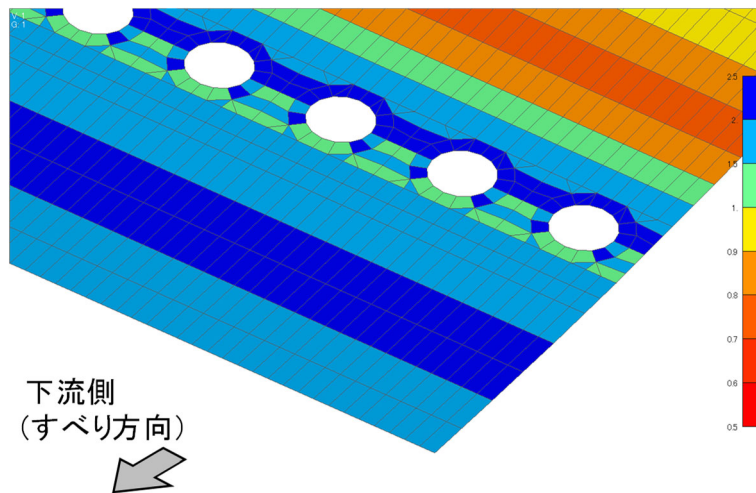


図 2.7.6.3-18(1) 抑止杭周辺のシームの局所安全係数 (B26 シーム)

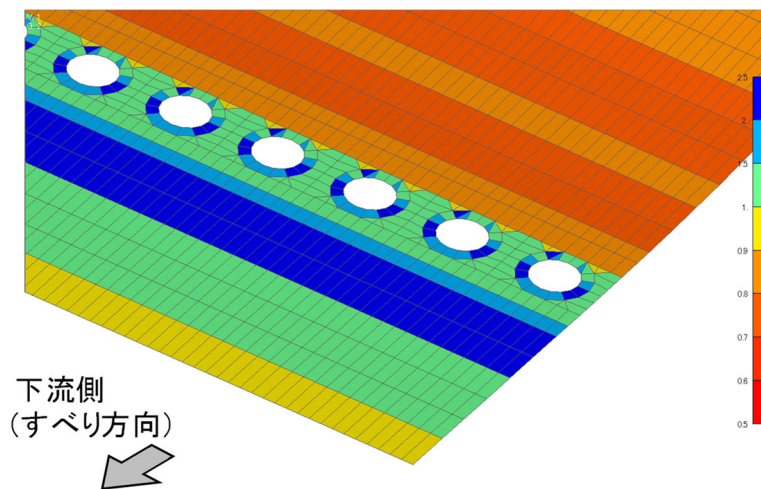


図 2.7.6.3-18(2) 抑止杭周辺のシームの局所安全係数 (B23・24 シーム)

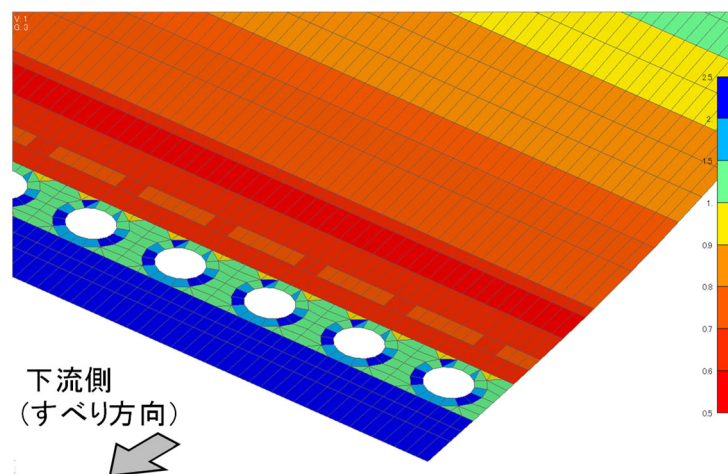


図 2.7.6.3-18(3) 抑止杭周辺の岩盤の局所安全係数 (B21・22 シーム)

(c) 杭-岩盤境界部の評価

区間 I の杭岩盤間のジョイント要素（せん断方向）の局所安全係数を図 2.7.6.3-19 に示す。

区間 I における杭岩盤間のジョイント要素は、部分的に局所安全係数 1.0 を下回っているが、大部分はせん断強度に達しておらず、せん断方向にすべりが生じていないことを確認した。

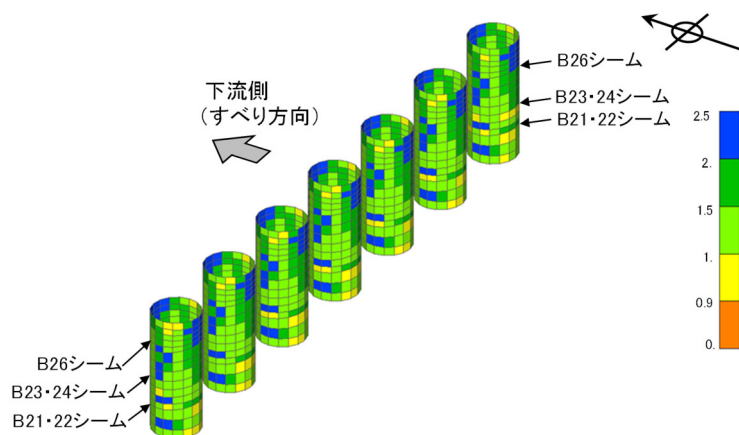


図 2.7.6.3-19(1) 区間 I の杭-岩盤間ジョイント要素の局所安全係数(1/2)

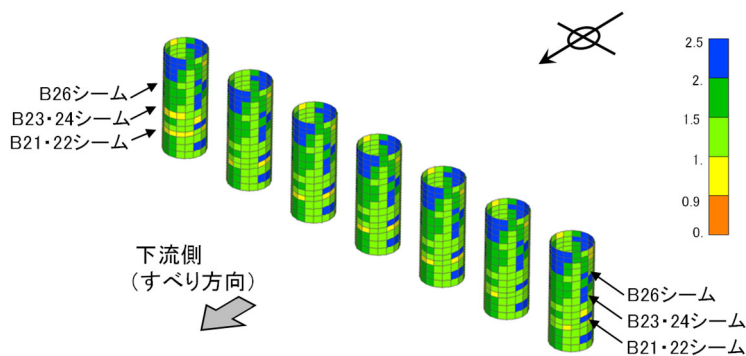


図 2.7.6.3-19(2) 区間 I の杭-岩盤間ジョイント要素の局所安全係数(2/2)

(d) 区間 I の評価結果まとめ

3次元静的 FEM 解析の結果，表 2.7.6.3-4 のとおり，杭間及び杭背後の岩盤は健全であることから，中抜け現象の発生に係る判定基準を満たすことを確認した。

以上のことから，区間 I は抑止杭の杭間を中抜けするおそれはないと評価する。

なお，区間 I のうち杭間隔 17.5m の範囲は 3次元静的 FEM 解析モデルには含まれていないが，3次元静的 FEM 解析の結果，すべりに対して十分な裕度を有していること，及びモデル化している範囲に比べて杭間隔 17.5m の範囲の方がすべり土塊量が小さいことを踏まえると，杭間隔 17.5m の範囲についても杭間を中抜けするおそれはないと評価する。

表 2.7.6.3-4 区間 I の文献④を踏まえた中抜け現象の発生に係る判定基準及び判定結果

判定基準	判定結果
<ul style="list-style-type: none">杭背後の岩盤が杭間から中抜けしないことを確認するため，杭背後の岩盤において，局所安全係数分布図によりせん断強度及び引張強度に達した要素がないことを確認する。杭背後では，隣同士の杭を結ぶようにアーチ状に応力が集中すると考えられ，当該範囲の応力状態が厳しいと考えられることから，当該範囲に着目して確認を行う。杭間の岩盤が中抜けしないことを確認するため，杭間の岩盤において，同様の確認を行う。	杭間及び杭背後の岩盤には，せん断強度及び引張強度に達した要素は認められず，健全であることを確認した。

b. 区間Ⅱ評価結果

(a) 岩盤の評価

図 2.7.6.3-20 では、引張応力が発生した要素が杭間の下部及び抑止杭より上流側の岩盤に認められるため、区間Ⅰと同様に、引張強度 0.13N/mm^2 を用い、引張強度の詳細評価を行う。

区間Ⅱの杭周辺の引張強度を反映した岩盤の局所安全係数を図 2.7.6.3-20 に示す。

中抜け現象の対象となる移動層のうち、杭間及び杭背後の岩盤には、引張強度及びせん断強度に達した要素は発生していない。また、抑止杭より上流側の岩盤に引張強度に達している要素が発生しているが、その分布も局所的かつ散在的である。

以上のことから、杭間及び杭背後の岩盤は健全であることを確認した。

なお、直応力が引張となる方向は水平から反時計回りに約 70° であり、地質の傾斜 $5^\circ \sim 15^\circ$ と斜交していること、引張応力が発生した要素の構成岩種は凝灰岩及び頁岩と凝灰岩の互層であることから、保守的な評価となっていると考えられる。

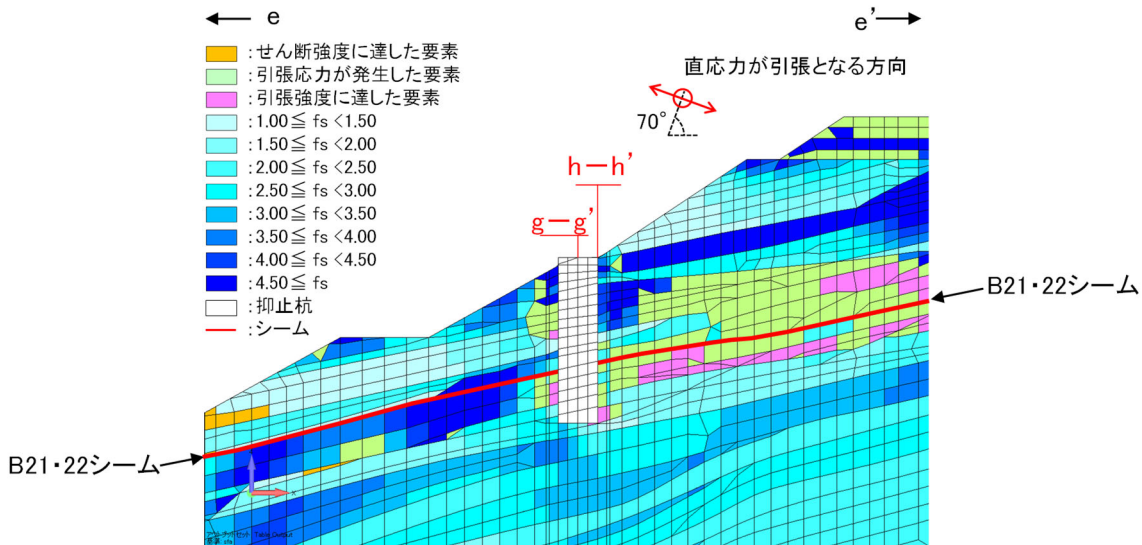


図 2.7.6.3-20(1) 抑止杭周辺の岩盤の局所安全係数 (e-e' 南北断面)

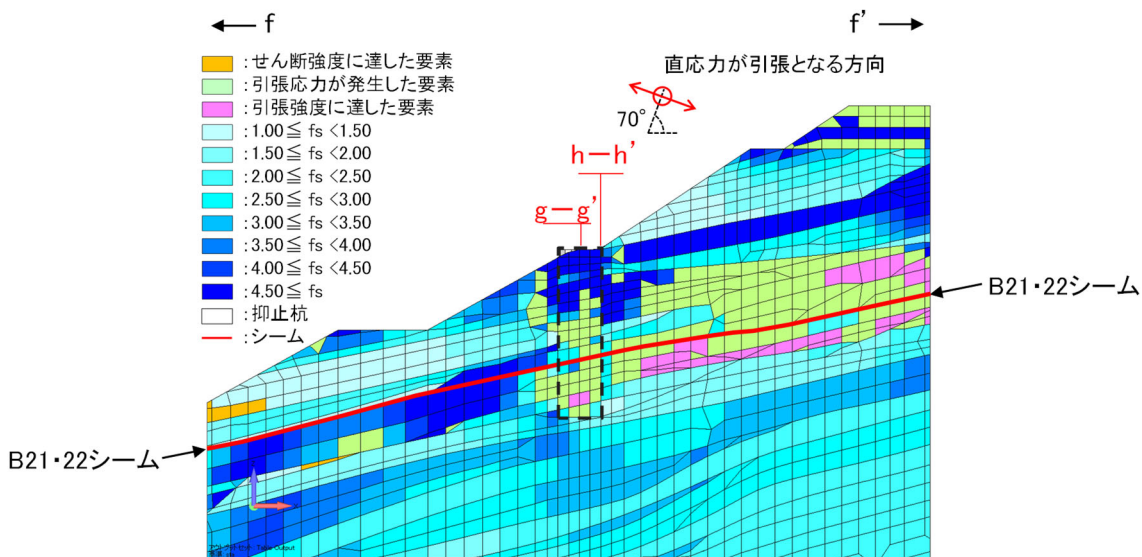


図 2.7.6.3-20(2) 抑止杭間の岩盤の局所安全係数 (f-f' 断面)

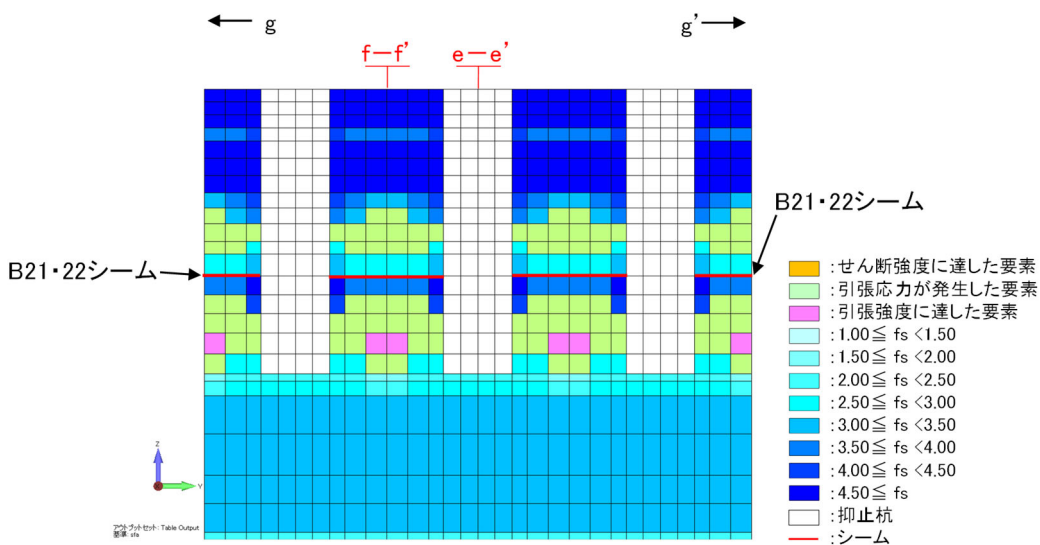


図 2.7.6.3-20(3) 抑止杭周辺の岩盤の局所安全係数 (g-g' 断面)

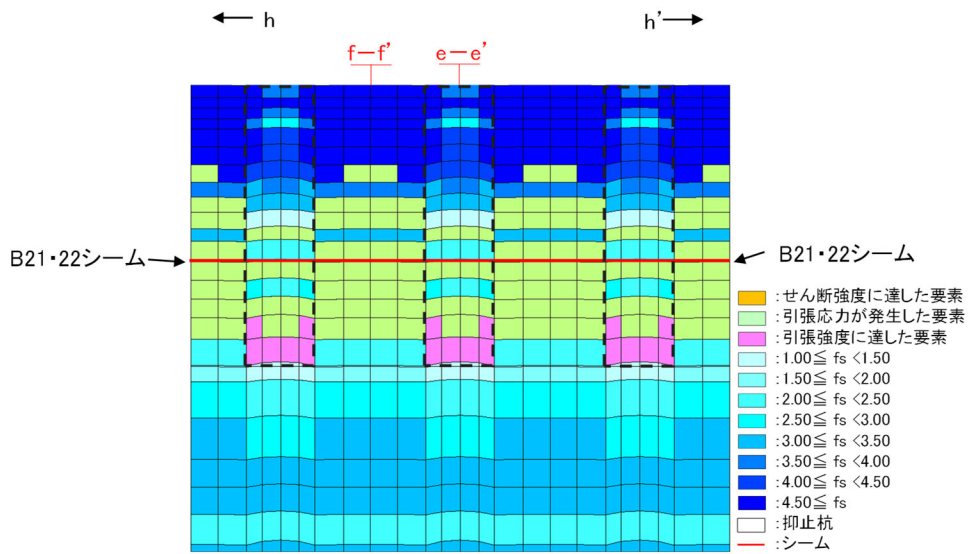


図 2.7.6.3-20(4) 抑止杭周辺の岩盤の局所安全係数 (h-h' 断面)

図 2.7.6.3-21 に区間Ⅱの抑止杭周辺の最大せん断応力図及び最大圧縮応力図を示す。杭上流側に着目すると、杭間位置に応力の大きな箇所がアーチ状に分布していることが分かる。「2.7.2(5) 杭間隔の考え方」の文献④で示されるとおり、上流側からの応力が集中し、杭間に作用する応力が小さく**なっていることが確認できる。**

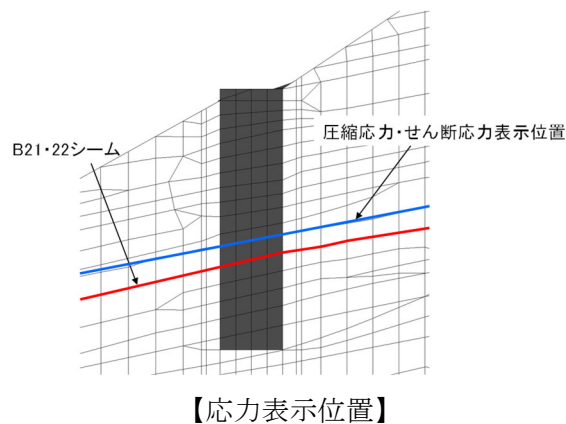
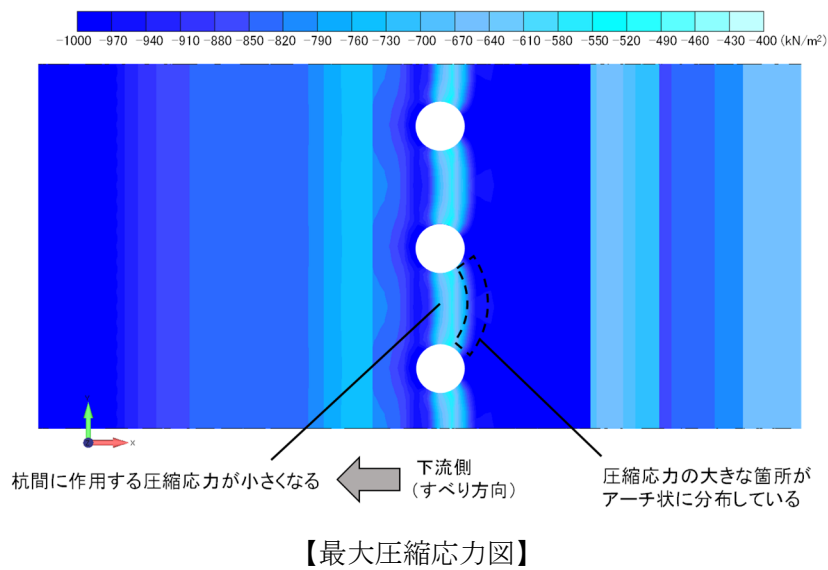
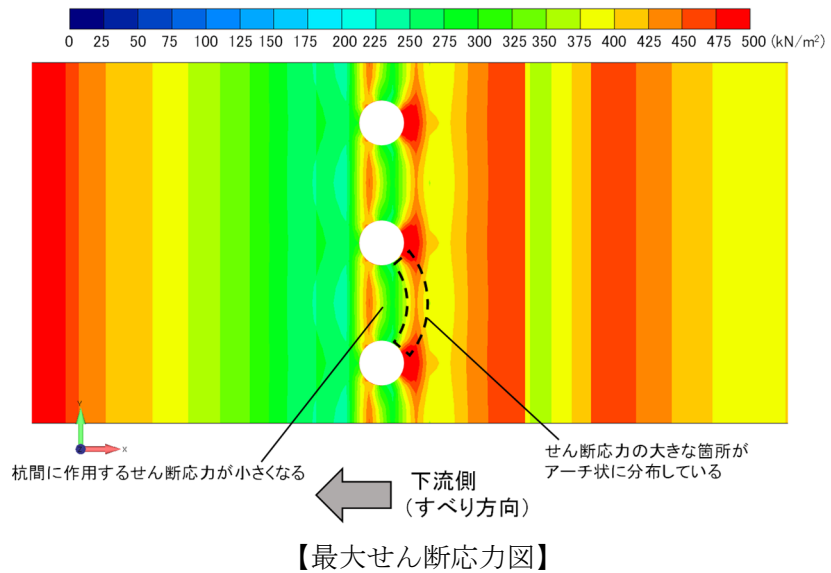


図 2.7.6.3-21 区間Ⅱにおける抑止杭周辺の応力

(b) シームの評価

区間Ⅱの杭周辺のシーム（せん断方向）の局所安全係数を図 2.7.6.3-22 に示す。

斜面の抑止杭より上流側及び杭間の要素の局所安全係数が 1.0 を下回っているが、部分的であり、抑止杭と岩盤の境界付近は局所安全係数 1.0 を上回っている。なお、抑止杭より下流側の要素は 1.0 を上回り、せん断破壊している要素はないことを確認した。

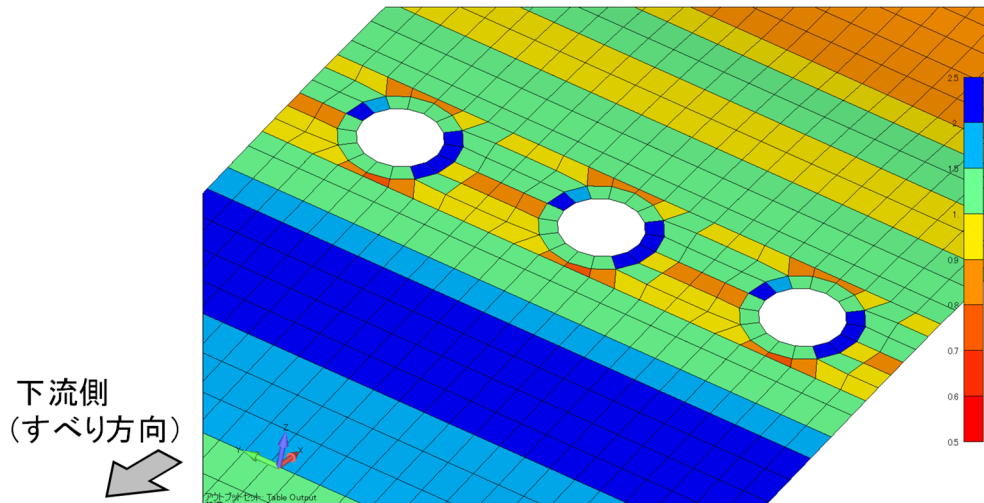


図 2.7.6.3-22 抑止杭周辺のシームの局所安全係数 (B21・22 シーム)

図 2.7.6.3-23 に杭間断面における水平方向加速度の分布図を示す。

区間Ⅰでは杭間と周辺で加速度の大きな違いはないものの、区間Ⅱでは杭頭付近を中心に杭周辺よりも加速度が大きく、 800cm/s^2 以上となっている。このことから、区間Ⅱは、杭間直上の土塊に大きな慣性力が作用し、杭間のシームの局所安全係数が低下していると考えられる。

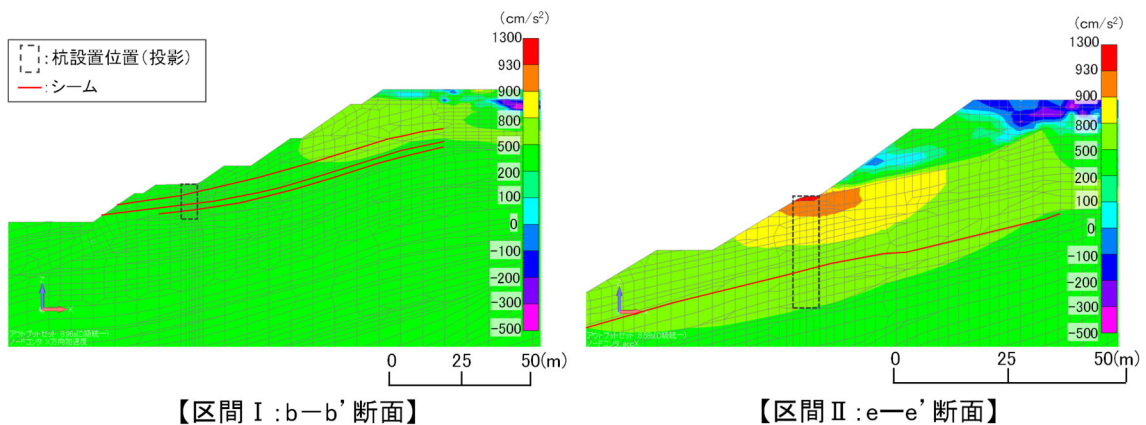


図 2.7.6.3-23 杭間断面における水平方向加速度の分布図

(c) 杭-岩盤境界部の評価

区間Ⅱの杭岩盤間のジョイント要素（せん断方向）の局所安全係数を図 2.7.6.3-24 に示す。

区間Ⅱにおける杭岩盤間のジョイント要素は、部分的に局所安全係数 1.0 を下回っているが、杭の大部分はせん断強度に達しておらず、せん断方向にすべりが生じていないことを確認した。

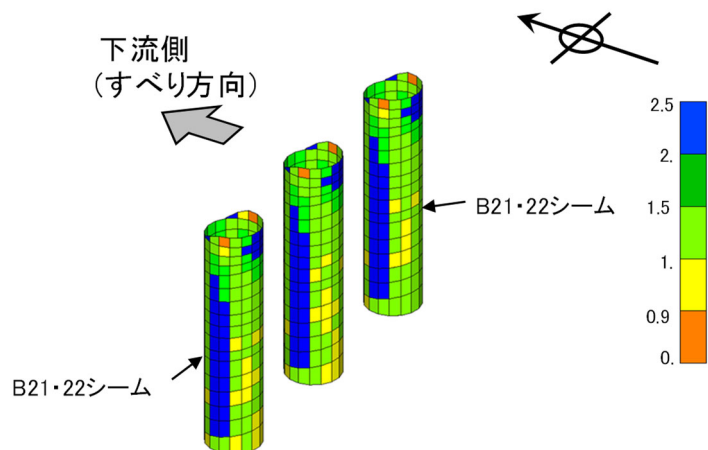


図 2.7.6.3-24(1) 区間Ⅱの杭-岩盤間ジョイント要素の局所安全係数(1/2)

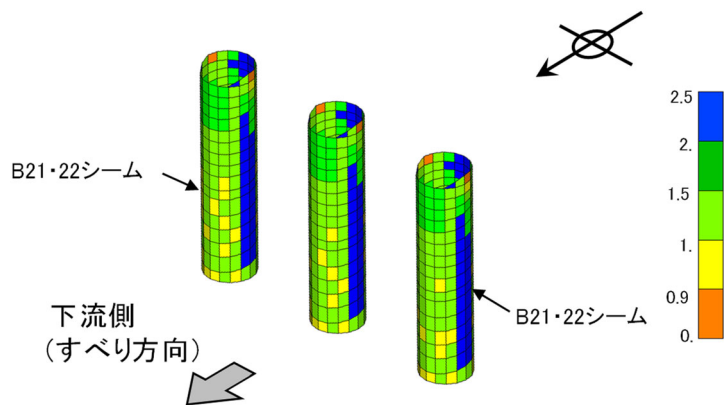


図 2.7.6.3-24(2) 区間Ⅱの杭-岩盤間ジョイント要素の局所安全係数(2/2)

(d) 区間Ⅱの評価結果まとめ

3次元静的FEM解析の結果、表2.7.6.3-5のとおり、杭間及び杭背後の岩盤は健全であり、中抜け現象の発生に係る判定基準を満たすことを確認した。

以上のことから、区間Ⅱは抑止杭の杭間を中抜けするおそれはないと評価する。

表 2.7.6.3-5 区間Ⅰの文献④を踏まえた中抜け現象の発生に係る判定基準及び判定結果

判定基準	判定結果
<ul style="list-style-type: none">杭背後の岩盤が杭間から中抜けしないことを確認するため、杭背後の岩盤において、局所安全係数分布図によりせん断強度及び引張強度に達した要素がないことを確認する。杭背後では、隣同士の杭を結ぶようにアーチ状に応力が集中すると考えられ、当該範囲の応力状態が厳しいと考えられることから、当該範囲に着目して確認を行う。杭間の岩盤が中抜けしないことを確認するため、杭間の岩盤において、同様の確認を行う。	杭間及び杭背後の岩盤には、せん断強度及び引張強度に達した要素は認められず、健全であることを確認した。

なお、杭間のシームに局所安全係数が1.0を下回る要素が認められるものの、中抜け現象の対象となる移動層のうち、杭間の岩盤には引張強度及びせん断強度に達した要素は認められず、上記のとおり抑止杭のアーチ効果によって中抜け現象は抑止されることが考えられることから、中抜けするおそれはないと評価する。

ブローアウトパネル関連設備の設計方針に係る補足説明資料

ブローアウトパネル関連設備の要求機能について

1. はじめに

ブローアウトパネル関連設備（原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル（以下「オペフロBOP」という。）、原子炉建物主蒸気管トンネル室ブローアウトパネル（以下「MSトンネル室BOP」という。）、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP閉止装置」という。）及び原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル強制開放装置（以下「オペフロBOP強制開放装置」という。））について、技術基準上の主な要求事項を整理した。

2. オペフロBOPの要求事項

(1) 開放機能

オペフロBOPは、主蒸気管破断（以下「MSLBA」という。）を想定した場合の放出蒸気による圧力から原子炉建物や原子炉格納容器等を防護するため、放出蒸気を建物外に放出することを目的に設置されている。このため、建物の内外差圧により自動的に開放する機能が必要である。（技術基準規則 第12条 溢水等による損傷の防止）

設計基準対象施設であるオペフロBOPは、待機状態（閉状態）にて、基準地震動 S_s により開放機能を損なわないようにする必要があるため、基準地震動 S_s に対する耐震健全性（建物躯体の健全性）を確保する設計とする。また、設計竜巻により開放機能を損なわないようにする必要があるが、設計竜巻は、その発生頻度が非常に小さく、設計基準事故との重畳は、判断基準の目安となる 10^{-7} 回/年を下回り十分小さいこと、プラント運転中又は停止中の設計竜巻を想定してもプラント停止及び冷却に必要な設備は確保でき原子炉安全に影響しないことから、安全上支障のない期間に補修が可能な設計とすることで安全機能を損なわない設計とする。

重大事故等対処設備であるオペフロBOPは、格納容器バイパス（以下「ISLOCA」という。）発生を想定した場合の発生箇所を隔離するための操作等の活動ができるよう、所定の時間内に原子炉建物原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）の圧力及び温度を低下させるため、確実に開放する必要がある。（技術基準規則 第61条 原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備）

ISLOCA発生時においては、原子炉格納容器外かつ原子炉棟で低圧設計部が破断することを想定しているため、原子炉棟で瞬時に減圧沸騰して大量の水蒸気が発生する。このため、原子炉棟の圧力が急上昇するが、外気との差圧（設計圧力6.9kPa以下）で原子炉建物燃料取替階に設置したオペフロBOPが自動的に開放し、原子炉棟内を減圧する設計とする。

また、開放したオペフロBOPの開口面（全面）を経由して外気と熱交換が行われることにより原子炉棟内でも人力でISLOCA発生箇所を隔離するための隔離弁が操作可能となる。なお、

ISLOCA発生時には、基本的に中央制御室で隔離弁を閉操作するが、万が一中央制御室から操作できない場合には、現場で隔離弁を操作することとしている。

重大事故等対処設備であるオペフロBOPは、待機状態（閉状態）にて、基準地震動 S_s により開放機能を損なわないようにする必要があるため、基準地震動 S_s に対する耐震健全性（建物躯体の健全性）を確保する設計とする。

(2) 二次格納施設のバウンダリ機能

オペフロBOPは、上記(1)の開放機能を満足させるため、原子炉棟外壁に設置されており、原子炉棟の壁の一部となることから、二次格納施設のバウンダリとしての機能維持が必要である。（技術基準規則 第38条 原子炉制御室等及び第44条 原子炉格納施設）

このため、設計基準対象施設であるオペフロBOPは、待機状態（閉状態）にて、基準地震動 S_s により二次格納施設としてのバウンダリ機能を損なわないようにする必要があるが、その一方で、地震動により開放しないように設計する場合、本来の差圧による開放機能を阻害する可能性がある。この2つの要求機能を考慮した結果、二次格納施設のバウンダリ機能維持に対しては、オペフロBOPの設置目的である差圧による開放機能を阻害しない範囲で耐震性を確保する設計とする。具体的には原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）によれば、基準地震動 S_2 （ S_s 相当）と運転状態IV（設計基準事故）の組合せは不要であるが、基準地震動 S_1 （ S_d 相当）と運転状態IV（設計基準事故）の荷重の組合せは必要とされていることを踏まえ、オペフロBOPは二次格納施設としてのバウンダリ機能を有することから、長期にわたり事象が継続した場合も考慮し、弾性設計用地震動 S_d で開放しない設計とする。設計竜巻については、その最大気圧低下量がオペフロBOP開放の設計差圧より大きく、設計竜巻の気圧差により開放の可能性を否定できないが、設計竜巻の発生頻度は非常に小さく、設計基準事故との重畳は、判断基準の目安となる 10^{-7} 回/年を下回り十分小さいこと、プラント運転中又は停止中の設計竜巻を想定してもプラント停止及び冷却に必要な設備は確保でき原子炉安全に影響しない。このため、万一、地震や竜巻により開放し、安全上支障のない期間に復旧できず、二次格納施設としてのバウンダリ機能が維持できない場合には、安全な状態に移行（運転中は冷温停止へ移行、停止中は炉心変更時又は原子炉棟で照射された燃料に係る作業の停止）することを保安規定に定める。

3. MSトンネル室BOPの要求事項

(1) 開放機能

MSトンネル室BOPは、MSLBAを想定した場合の放出蒸気による圧力から原子炉建物や原子炉格納容器等を防護するため、放出蒸気を建物外に放出することを目的に設置されている。このため、主蒸気管トンネル室（以下「MSトンネル室」という。）内外の差圧（設計圧力12.26kPa以

下)により自動的に開放する機能が必要である。(技術基準規則 第12条 溢水等による損傷の防止)

設計基準対象施設であるMSトンネル室BOPは、待機状態(閉状態)にて、基準地震動 S_s により開放機能を損なわないようにする必要があるため、基準地震動 S_s に対する耐震健全性(建物躯体の健全性)を確保する設計とする。

(2) 二次格納施設のバウンダリ機能

MSトンネル室BOPは、上記(1)の開放機能を満足させるため、原子炉棟のMSトンネル室に設置されており、原子炉棟の壁の一部となるMSトンネル室BOPについては、二次格納施設のバウンダリとしての機能維持が必要である。(技術基準規則 第38条 原子炉制御室等、第44条 原子炉格納施設及び第74条 運転員が原子炉制御室にとどまるための設備)

このため、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備であるMSトンネル室BOPは、待機状態(閉状態)にて、基準地震動 S_s により二次格納施設としてのバウンダリ機能を損なわないようにする必要があるが、その一方で、地震動により開放しないように設計する場合、本来の差圧による開放機能を阻害する可能性がある。この2つの要求機能を考慮した結果、二次格納施設のバウンダリ機能維持に対しては、MSトンネル室BOPの設置目的である差圧による開放機能を阻害しない範囲で耐震性を確保する設計とする。具体的には原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編(JEAG4601・補-1984)によれば、基準地震動 S_2 (S_s 相当)と運転状態IV(設計基準事故)の組合せは不要であるが、基準地震動 S_1 (S_d 相当)と運転状態IV(設計基準事故)の荷重の組合せは必要とされていることを踏まえ、MSトンネル室BOPは二次格納施設としてのバウンダリ機能を有することから、長期にわたり事象が継続した場合も考慮し、弾性設計用地震動 S_d で開放しない設計とする。

4. BOP閉止装置の要求事項

(1) 閉止機能

技術基準第74条(運転員が原子炉制御室にとどまるための設備)の解釈では、「原子炉制御室の居住性を確保するために原子炉建屋に設置されたブローアウトパネルを閉止する必要がある場合は、容易かつ確実に閉止操作ができること。また、ブローアウトパネルは、現場において人力による操作が可能なものとする。」が要求されている。

島根原子力発電所第2号機のオペフロBOPは、開放後、炉心損傷に至る事故が発生した場合には、作業員の被ばく防止の観点から再開止操作を行うことが困難であるため、技術基準第74条要求に適合させるためにBOP閉止装置を設置する。

このため、重大事故等対処設備であるBOP閉止装置は、待機状態(開状態)にて、基準地震動 S_s により閉止機能を損なわないようにする必要があるため、基準地震動 S_s に対する耐震健

全性を確保することが必要である。

(2) 二次格納施設のバウンダリ機能

BOP閉止装置は、オペフロBOPに代わって原子炉棟の壁の一部となることから、二次格納施設のバウンダリとしての機能（原子炉棟の気密性能確保）が必要である。

一方、BOP閉止装置の閉機能維持が必要な状況とは、基準地震動 S_s によりオペフロBOPが開放し、更に重大事故に至った場合である。技術基準第74条（運転員が原子炉制御室にとどまるための設備）では、7日間で100mSvを超えないことが要求されており、7日間で想定する地震動は、設置許可基準規則第39条（地震による損傷の防止）で整理するSA発生後の最大荷重の組合せの考え方を踏まえ、BOP閉止装置が閉状態で組み合わせるべき地震動は弾性設計用地震動 S_d であるが、長期の閉止機能維持を考慮して基準地震動 S_s とする。

5. オペフロBOP強制開放装置（自主対策設備）への要求事項

オペフロBOP強制開放装置は、仮に、重大事故等時に静的触媒式水素処理装置、格納容器フィルタベント系により原子炉建物内の水素濃度が低下しなかった場合に、原子炉建物内の水素濃度低減を目的にブローアウトパネルを強制的に開放する必要が発生した場合に用いる自主対策設備であるため、強制開放装置の損傷が安全上重要な他設備に波及的影響を及ぼさないようにする必要がある。

6. ブローアウトパネル関連設備の要求機能

表6にブローアウトパネル関連設備に要求される機能の整理を示す。

7. ブローアウトパネル閉止装置の要否

表7にブローアウトパネル開放要因を踏まえBOP閉止装置の設置要否を整理した結果を示す。

オペフロBOPについては、弾性設計用地震動 S_d を超える地震動で開放の可能性があることから、BOP閉止装置を設置する。MSトンネル室BOPは、基準地震動 S_s では開放しない設計とするため、重大事故等時において開放することがないことからBOP閉止装置は設置しない。

表6 ブローアウトパネル関連設備に要求される機能の整理

ブローアウト パネル 関連設備	要求機能	設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
		5条 地震	7条 竜巻 (差圧)	7条 竜巻 (飛来物)	50条 地震	54条 竜巻 (差圧)	54条 竜巻 (飛来物)
オペフロ BOP	開放機能 (MSLBA) (12条)	○ (S s)	○ プラント停 止にて対応	○ 竜巻防護ネ ットで対応	—	—	—
	開放機能 (ISLOCA) (12条)	—	—	—	○ (S s)	—	—
	バウンダリ機能 (建物気密性) (38条, 44条)	○ (S d)	○ プラント停 止にて対応	○ 竜巻防護ネ ットで対応	—	—	—
MS トンネル室 BOP	開放機能 (MSLBA) (12条)	○ (S s)	—	—	—	—	—
	バウンダリ機能 (建物気密性) (38条, 44条)	○ (S d)	—	—	○*1 (S d)	—	—
BOP 閉止装置 (SA 緩和設備)	閉止機能 (74条)	—	—	—	○ (S s)	○ (影響なし)	—*2
	バウンダリ機能 (74条)	—	—	—	○ (S s)	—*3	—*3

注記 *1: MSトンネル室BOPは、基準地震動 S s でも閉維持が可能な設計とした場合でも、開放機能として規定の開放圧力で開放できる構造であることから、基準地震動 S s で閉維持可能な設計とする。

*2: BOP閉止装置は、SA緩和設備であるため共通要因故障としての考慮は不要

*3: SA後の閉止状態での設計竜巻は、事象の重ね合わせの頻度から組み合わせ不要

表7 ブローアウトパネルの開放要因及び閉止の必要性検討

開放箇所	開放要因		開放可能性	閉止の必要性検討*	閉止装置の要否	
オペフロ BOP	自然現象	地震	有 (S _d を超える地震動で開放)	S _s 相当までの本震による全炉心損傷頻度の累積は 3.3×10^{-7} /炉年であり、地震によるオペフロ BOP の開放が考えられることから閉止する設計とする。	要	
		竜巻	有 (設計竜巻の差圧以下で開放)	外部電源喪失が考えられる竜巻の年超過発生頻度(約 10^{-4} /年)及び外部電源喪失が発生した場合の条件付炉心損傷確率(7.8×10^{-7})が極めて低いことから、開放しても原子炉制御室の居住性を確保するためにオペフロ BOP の閉止が必要となる可能性は極めて低い。	否	
		上記以外	無	津波及び地滑り・土石流に対し、影響を受けない場所に設置している。 風(台風)については、荷重として作用するものの開放には至らない。 積雪、火山の影響に対し、荷重を受けにくい構造である。 凍結、降水、落雷、生物学的事象、森林火災は、荷重として作用する事象ではない。	否	
	運転時の異常な過渡事象		無	建物内圧力が上昇しない	否	
	設計基準事故	主蒸気管破断	有 (設計で考慮)	主蒸気管破断については、レベル1 P S A 学会標準に基づき、発生頻度、プラントの影響等の観点から、リスク評価上の重要性は低いと考え、炉心損傷へ至る可能性のある評価対象から除外する。	否	
		上記以外	無	建物内圧力が上昇しない	否	
	重大事故等	ISLOCA	有 (設計で考慮)	ISLOCA の炉心損傷頻度(3.3×10^{-9} /炉年)は十分低いことから、原子炉制御室の居住性を確保するためにオペフロ BOP の閉止が必要となる可能性は極めて低い。	否	
		上記以外	無	建物内圧力が上昇しない	否	
	MS トンネル室 BOP	自然現象	地震	無	S _s 機能維持であるため開放しない	否
			上記以外	無	建物内に設置されているため影響は受けない	否
運転時の異常な過渡事象		無	建物内圧力が上昇しない	否		
設計基準事故		主蒸気管破断	有 (設計で考慮)	主蒸気管破断については、レベル1 P S A 学会標準に基づき、発生頻度、プラントの影響等の観点から、リスク評価上の重要性は低いと考え、炉心損傷へ至る可能性のある評価対象から除外する。	否	
		上記以外	無	建物内圧力が上昇しない	否	
重大事故等		ISLOCA	無	ISLOCA 時の流路にならない	否	
		上記以外	無	建物内圧力が上昇しない	否	

※閉止必要性検討にあたっては、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編(J E A G 4601・補-1984)」のスクリーニング基準である 10^{-7} /炉年を参考にした。

注記* : 設置許可審査時の補足説明資料「EP-060(補)改90 重大事故等対処設備について」及び設工認補足説明資料「NS2 補足-023-6 工事計画に係る補足説明資料(重大事故等対処施設の耐震設計における重大事故と地震の組合せについて)」による。

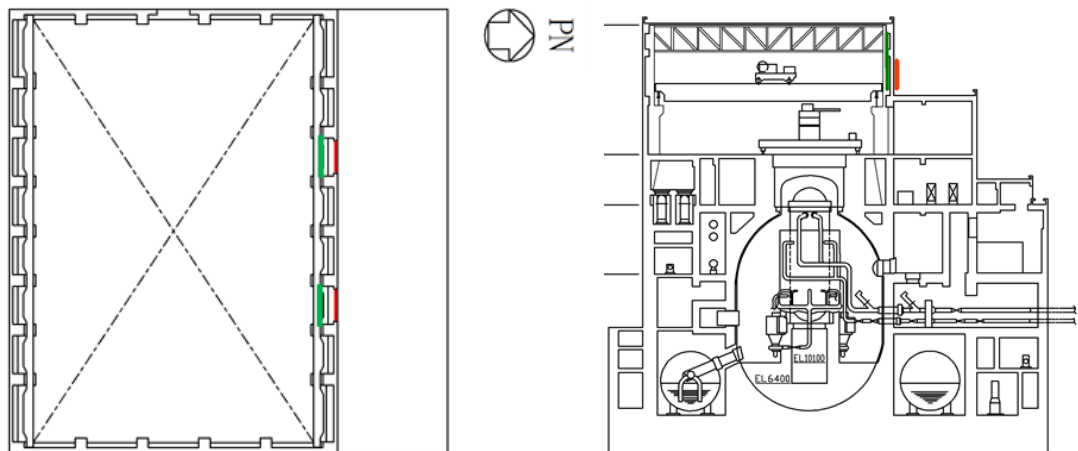
原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置の配置と構造について

1. 概要

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP閉止装置」という。）は、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及び規則の解釈の第74条で要求される設備であり、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネルが開放した状態において、炉心の著しい損傷が発生した場合に中央制御室にとどまる運転員を過度の被ばくから防護するため、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネルが開放した後の躯体の開口部を閉止し、原子炉建物原子炉棟の放射性物質の閉じ込め機能を確保するために設置する。

2. 設置位置及び個数

BOP閉止装置は、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル開口部2箇所に対して原子炉建物原子炉棟4階内壁面に計48台（1箇所あたりダンパ24台）設置する。概略平面図を図2-1に示す。



原子炉建物地上4階中間床 概略平面図

原子炉建物原子炉棟断面図

■ : (オペフロ BOP2 箇所)

■ : (BOP 閉止装置 2 箇所)

図2-1 原子炉建物原子炉棟地上4階 概略平面図

3. BOP閉止装置の構造

BOP閉止装置は、アクチュエータの回転をシャフトに伝達することで羽根の開閉が可能な構造としており、リミットスイッチにより羽根の開閉状態を中央制御室にて確認できる構造としている。

羽根は、補強リブにてシャフトとボルト締結された構造としており、閉止状態においては、羽根に取り付けられているパッキンをケーシングに押し付けることにより高い気密性を確保する構造としている。

なお、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネルが開放する際に、BOP閉止装置は干渉しない構造とする。

図3-1にBOP閉止装置の構造概要図（2連ダンパを例とする）を、図3-2に駆動概要図を、図3-3にBOP閉止装置を含めた関連設備の設置概要図を示す。

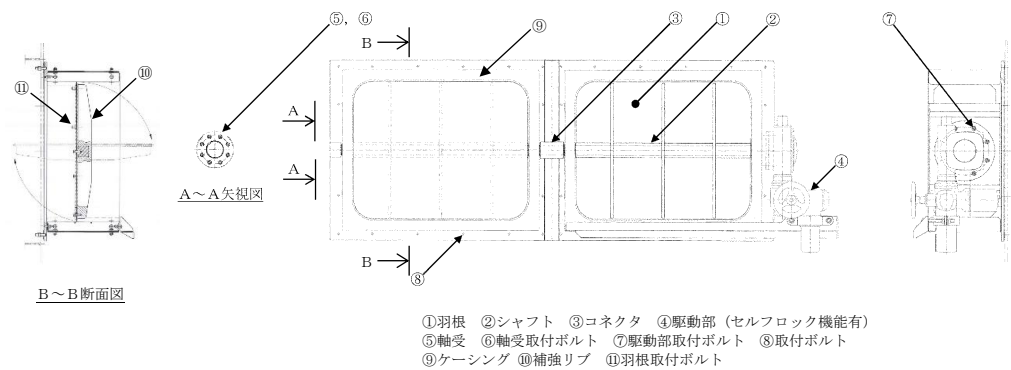


図3-1 BOP閉止装置（2連ダンパ）の構造概要図



図3-2 BOP閉止装置の駆動概要図（左：閉止，右：開放）

○駆動機構について

- ・羽根の動作は，シャフトに接続されているアクチュエータが駆動することで閉止又は開放する。

○手動操作について

- ・アクチュエータに取付けられている手動ハンドルを操作することで，シャフトを人力で回転させ開閉動作が可能。

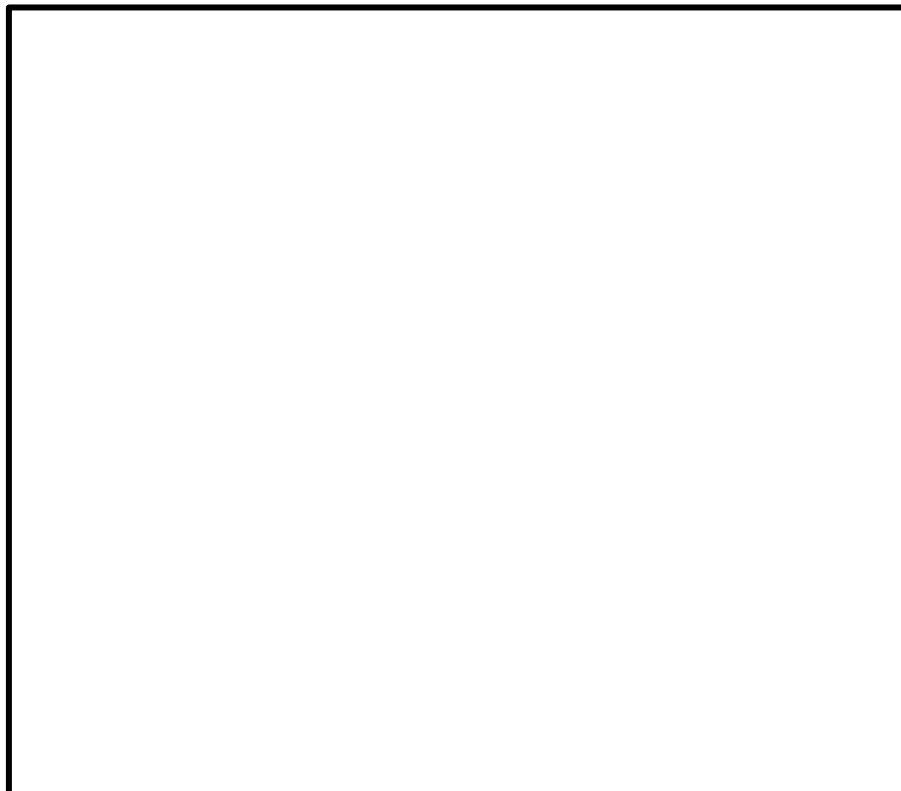


図3-3 BOP閉止装置の設置概要図

原子炉建物内の圧力解析について

1. はじめに

島根原子力発電所第2号機の原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP閉止装置」という。）は、原子炉建物原子炉棟内の原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル（以下「オペフロBOP」という。）への蒸气流路上に設置する。このため、待機時の羽根開状態において、主蒸気管破断等が発生した際に、オペフロBOPの開放機能に影響を及ぼさないよう、蒸気を建物外へ放出するために必要な流路を確保する必要がある。

上記を踏まえ、主蒸気管破断事故時における原子炉建物内圧力解析を実施し、原子炉格納容器の設計外圧未満となることを確認することで、BOP閉止装置の設置が、オペフロBOPの開放機能に影響を及ぼさないことを確認する。

なお、重大事故等対策の有効性評価において、インターフェイスシステムLOCAとして残留熱除去系熱交換器フランジ部及び残留熱除去系計器の破断を想定しているが、破断面積は主蒸気管破断事故と比較し非常に小さく、主蒸気管破断事故に評価は包絡される。また、BOP閉止装置の設置による重大事故等時の原子炉建物内の設備の環境条件へ影響はない。

2. 解析方法

(1) 解析コード

汎用熱流動解析コードGOTHIC (Ver. 8.1)

(2) 想定事象

主蒸気管破断事故 (MSLBA)

(3) 解析条件・解析モデル

解析条件：事故時の冷却材流出量については、設置許可申請書添付書類十主蒸気管破断事故解析結果を包絡する条件を用いる。その他の解析条件は表2-1のとおり。

解析モデル：図2-1のとおり。流路圧損について、区画間の流路圧損に加え、BOP閉止装置による圧損を考慮したモデルとした。

表2-1 解析条件

No.	項目	解析条件	備考
1	初期条件 (1)温度 (2)圧力 (3)湿度	10℃ 大気圧 相対湿度 100%	通常運転時の環境使用温度の最低値を設定
2	空間容積	原子炉建物地上 4 階 : 41300m ³ 原子炉建物地上 3 階 : 5920m ³ 原子炉建物地上 2 階 : 5190m ³ 原子炉建物地上 1 階 : 8240m ³ 原子炉建物地下 1 階・地下 2 階 (トールラス室) : 4410m ³ MS トンネル室 : 2682m ³ ペントハウス : 3223m ³ T/B : 24580m ³ PCV シェルギヤップ : 41m ³	空間容積は、躯体分、機器配管分を差し引いた値
3	流路面積 (1)BOP (2)区画間面積	オペフロ BOP : 20.97m ² (13.98m ² × 2 枚を保守的に 1.5 枚の面積として評価) MS トンネル室 BOP1 : 20.58m ² MS トンネル室 BOP2 : 20.58m ² MS トンネル室 BOP3 : 14.21m ² ペントハウス BOP : 30.02m ² タービン建物 BOP : 40.365m ² 原子炉建物地上 4 階-3 階 : 39m ² 原子炉建物地上 3 階-2 階 : 39m ² 原子炉建物地上 2 階-1 階 : 39m ² 原子炉建物地上 1 階-地下 1 階・地下 2 階 : 3.24m ² MS トンネル室 2 階-1 階 : 27m ² ペントハウス 3 階-2 階 : 20.24m ² PCV シェルギヤップ [°] -地上 2 階 : 0.173m ² PCV シェルギヤップ [°] -地上 1 階 : 1.912m ² PCV シェルギヤップ [°] -地下 1 階 : 0.749m ² T/B 地下 1 階~2 階-吹き抜け : 71.02m ²	BOP 閉止装置による圧損はオペフロ BOP 開口部で考慮
4	BOP 開放圧力 (差圧)	オペフロ BOP : 6.9kPa MS トンネル室 BOP1 : 12.26kPa MS トンネル室 BOP2 : 12.26kPa MS トンネル室 BOP3 : 12.26kPa ペントハウス BOP : 3.5kPa タービン建物 BOP : 3.5kPa	ISLOCA 時及び MSLBA 時等に屋外へ開放 MSLBA 時に原子炉建物地上 1 階側へ開放 MSLBA 時にペントハウス側へ開放 MSLBA 時にタービン建物側へ開放 MSLBA 時に屋外へ開放 MSLBA 時に屋外へ開放

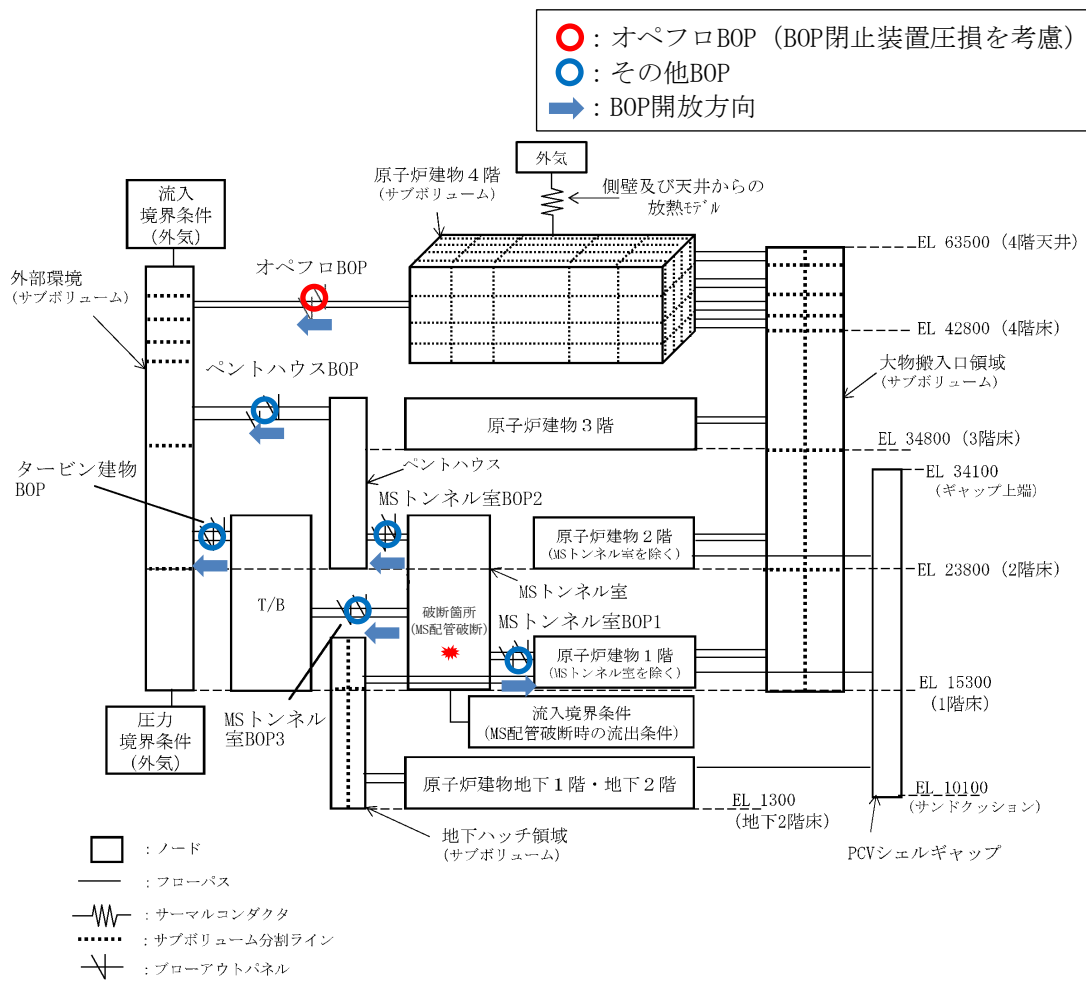


図2-1 解析モデル

3. 解析結果

解析結果を図3-1に示す。主蒸気管破断事故時において、原子炉格納容器外側に作用する圧力の最大値は13.5kPa[gage]となり、原子炉格納容器の設計外圧（13.7kPa[gage]）以下であることを確認した。この結果より、BOP閉止装置の設置が、オペフロBOPの開放機能に影響を及ぼさないことを確認した。

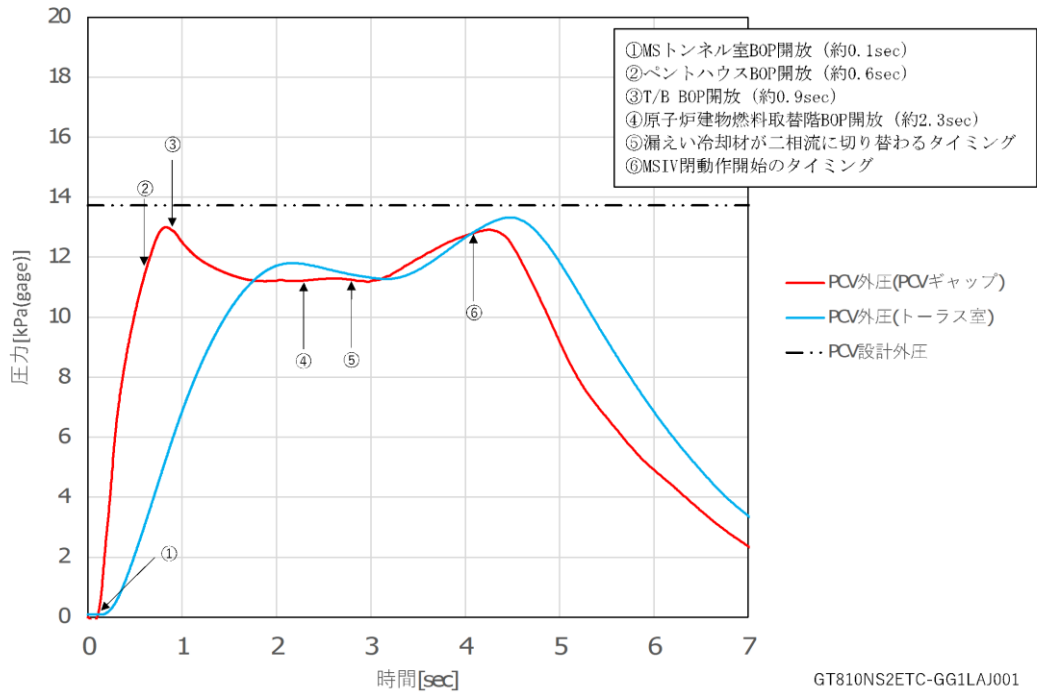


図3-1 主蒸気管破断時に原子炉格納容器外側に作用する圧力

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置の技術基準規則第五十四条への
適合性について

1. 技術基準規則第五十四条への適合性について

(1) 環境条件（技術基準規則第五十四条第一項第一号）

a. 要求事項

想定される重大事故等が発生した場合における温度，放射線，荷重その他の使用条件において，重大事故等に対処するために必要な機能を有効に発揮するものであること。

b. 適合性

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP閉止装置」という。）は，屋内に設置するが，重大事故等時に原子炉建物原子炉棟内の気密性を確保するために閉止する設備であることから，その機能を期待される重大事故等時における屋外又は原子炉建物原子炉棟内の環境条件を考慮している。

(2) 操作性（技術基準規則第五十四条第一項第二号）

a. 要求事項

想定される重大事故等が発生した場合において確実に操作できるものであること。

b. 適合性

BOP閉止装置は，中央制御室の操作盤のスイッチで遠隔による開閉が可能な設計とするとともに，現場においても人力により開閉操作が可能な設計としている。

(3) 試験検査（技術基準規則第五十四条第一項第三号）

a. 要求事項

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試験又は検査ができるものであること。

b. 適合性

BOP閉止装置は，原子炉の運転中又は停止中に構造健全性のため外観検査が可能な設計としている。また，BOP閉止装置は，原子炉の停止中に機能・性能検査として動作状態の確認が可能な設計としている。

試験検査内容を表1-1示す。

表1-1 BOP閉止装置の試験検査内容

必要な機能	検査内容
気密性能	パッキンの外観点検により気密性能に影響を及ぼす劣化がないことを確認する。
動作性能	BOP閉止装置を電動による遠隔操作及び現場での手動操作により開閉が可能なことを確認する。
構造健全性	外観目視検査によるBOP閉止装置構成部品の健全性を確認する。

(4) 切替えの容易性（技術基準規則第五十四条第一項第四号）

a. 要求事項

本来の用途以外の用途として重大事故等に対処するために使用する設備にあつては、通常時に使用する系統から速やかに切り替えられる機能を備えるものであること。

b. 適合性

BOP閉止装置は、本来の用途以外の用途として使用しない設計としている。

(5) 悪影響の防止（技術基準規則第五十四条第一項第五号）

a. 要求事項

工場等内の他の設備に対して悪影響を及ぼさないものであること。

b. 適合性

BOP閉止装置は、他の設備から独立して使用が可能であり、他の設備に悪影響を及ぼさない設計としている。また、BOP閉止装置の開閉動作が他の設備に悪影響を及ぼさない設計としている。

(6) 設置場所（技術基準規則第五十四条第一項第六号）

a. 要求事項

想定される重大事故等が発生した場合において重大事故等対処設備の操作及び復旧作業を行うことができるよう、放射線量が高くなるおそれが少ない設置場所の選定、設置場所への遮蔽物の設置その他の適切な措置を講じたものであること。

b. 適合性

BOP閉止装置は、原子炉建物原子炉棟の壁面（屋内）に設置し、重大事故等時において放射線量が高くなるおそれの少ない中央制御室から操作が可能な設計としている。

(7) 容量（技術基準規則第五十四条第二項第一号）

a. 要求事項

想定される重大事故等の収束に必要な容量を有するものであること。

b. 適合性

BOP閉止装置は、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル開口部2箇所に対して原子炉建物原子炉棟4階内壁面に計48台（開口部1箇所あたりダンパ24台）設置する。なお、

BOP閉止装置は、重大事故等時において中央制御室の運転員の居住性を確保するために必要な気密性能を有していること。

(8) 共用の禁止（技術基準規則第五十四条第二項第二号）

a. 要求事項

二以上の発電用原子炉施設において共用するものでないこと。ただし、二以上の発電用原子炉施設と共用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であって、同一の工場等内の他の発電用原子炉施設に対して悪影響を及ぼさない場合は、この限りでない。

b. 適合性

BOP閉止装置は二以上の発電用原子炉施設において共用しない設計としている。

(9) 設計基準事故対処設備との多様性（技術基準規則第五十四条第二項第三号）

a. 要求事項

常設重大事故防止設備は、共通要因によって設計基準事故対処設備の安全機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講じたものであること。

b. 適合性

BOP閉止装置は、常設重大事故緩和設備であるため、多様性を考慮する必要はない。

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置の保安全管理について

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP閉止装置」という。）の保全内容（案）は表1-1のとおり。なお、点検周期については、今後、試験や産業界実績を踏まえ決定し、保全計画に反映していく。

表1-1 BOP閉止装置の保安全管理（案）

区分	必要な機能	目的	管理項目	実施内容
保安全管理	動作性能	羽根の開閉機能確保	動作試験	・あらかじめ定めた施設定期検査時に、羽根の開閉試験（電動及び手動）にて確認
	気密性能	シール健全性確保	気密性能試験（建物）	・あらかじめ定めた施設定期検査時に、BOP閉止装置を閉状態とし、原子炉建物原子炉棟気密性能検査と同様の手法で気密性能試験を実施
			外観目視（シール部）	・構造健全性確認検査として、シール部に異常がないことを目視にて確認
			パッキン取替	・定期的な交換
構造健全性	構造健全性確認	外観目視試験	・構造・機能に影響を及ぼすような損傷、異常のないことを目視にて確認	

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験要領について

1. 目的

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP閉止装置」という。）に要求される機能を確認するため、実機規模の試験体を用いた加振試験を行い、重大事故等時におけるBOP閉止装置の機能維持確認を実施する。

2. 試験場所

場 所：鹿島建設株式会社 技術研究所 西調布実験場

3. 試験項目

3.1 BOP閉止装置に要求される機能について

BOP閉止装置は、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル（以下「オペフロBOP」という。）が開放状態で炉心損傷が発生した場合に、運転員等の中央制御室での居住性確保のため、オペフロBOPの開放部を速やかに閉止し、原子炉建物気密性を維持することが求められる。具体的には下記の機能が求められる。

- ・ 地震後においても、容易かつ確実に閉止でき、また現場において人力による操作できる動作性を確保し、原子炉建物原子炉棟を負圧に維持できる気密性を確保していること。
- ・ 開放したオペフロBOPを復旧するまでの期間においてBOP閉止装置を使用するため、重大事故後、一定期間内に想定される地震が発生した場合においても、原子炉建物原子炉棟を負圧に維持できる気密性を確保していること。

3.2 加振条件

- (1) 基準適合性を確認するための加振（基準地震動 S_s に基づき設定した加振波による加振）

BOP閉止装置の設置位置（最も高所の設置位置）における基準地震動 S_s^* に対する設計用震度を上回るように設定された加振波を用いて加振を行う。

注記*：閉止状態のBOP閉止装置は、オペフロBOPと同等の弾性設計用地震動 S_d による荷重が作用した場合の気密性確保が求められるが、耐震裕度を確保するため、基準地震動 S_s に基づき設定した加振波を用いて加振を行う。

(2) BOP閉止装置の耐震裕度を確認するための加振（振動台性能限界加振波による加振）

BOP閉止装置の耐震裕度を確認するため、振動台の性能限界（基準地震動 S_s の α 倍相当*）での加振波を用いて加振を行う。

注記*：振動台を動かす油量等の制限により数値が上下する可能性がある。

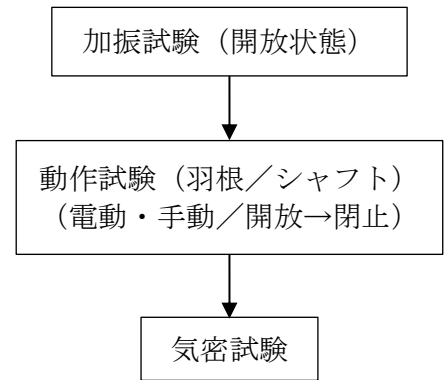
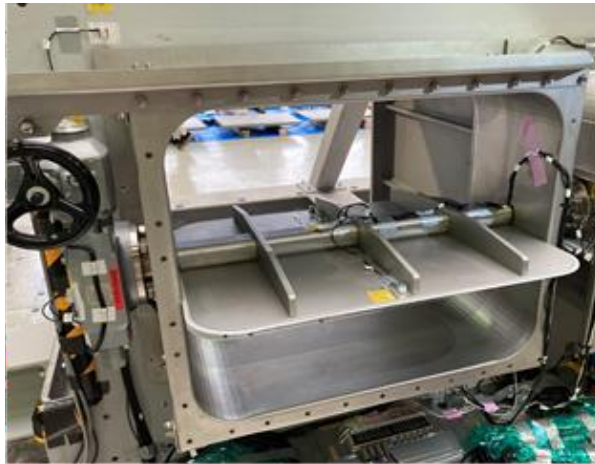
3.3 試験項目

基準地震動 S_s に基づき設定した加振波及び振動台性能限界加振波による加振を行い、BOP閉止装置に要求される機能が確保されていることを確認する。

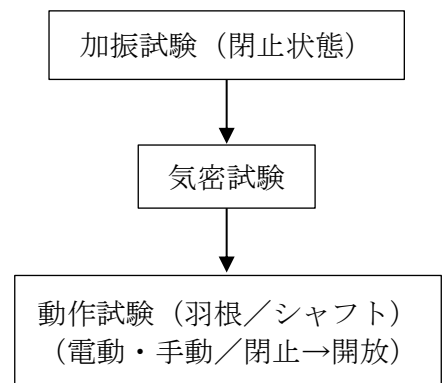
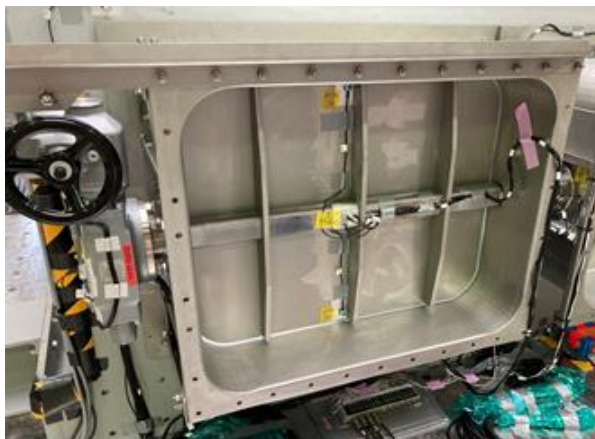
- ・加振後の動作確認 : BOP閉止装置が開放状態又は閉止状態において、加振後の羽根本体およびシャフトの作動性が確保されていることを確認する。
- ・加振後の気密性能試験 : BOP閉止装置が開放状態又は閉止状態において、加振後の気密性を確保していることを確認する。

図3-1に試験治具概念図を示す。

【羽根開放状態】



【羽根閉止状態】



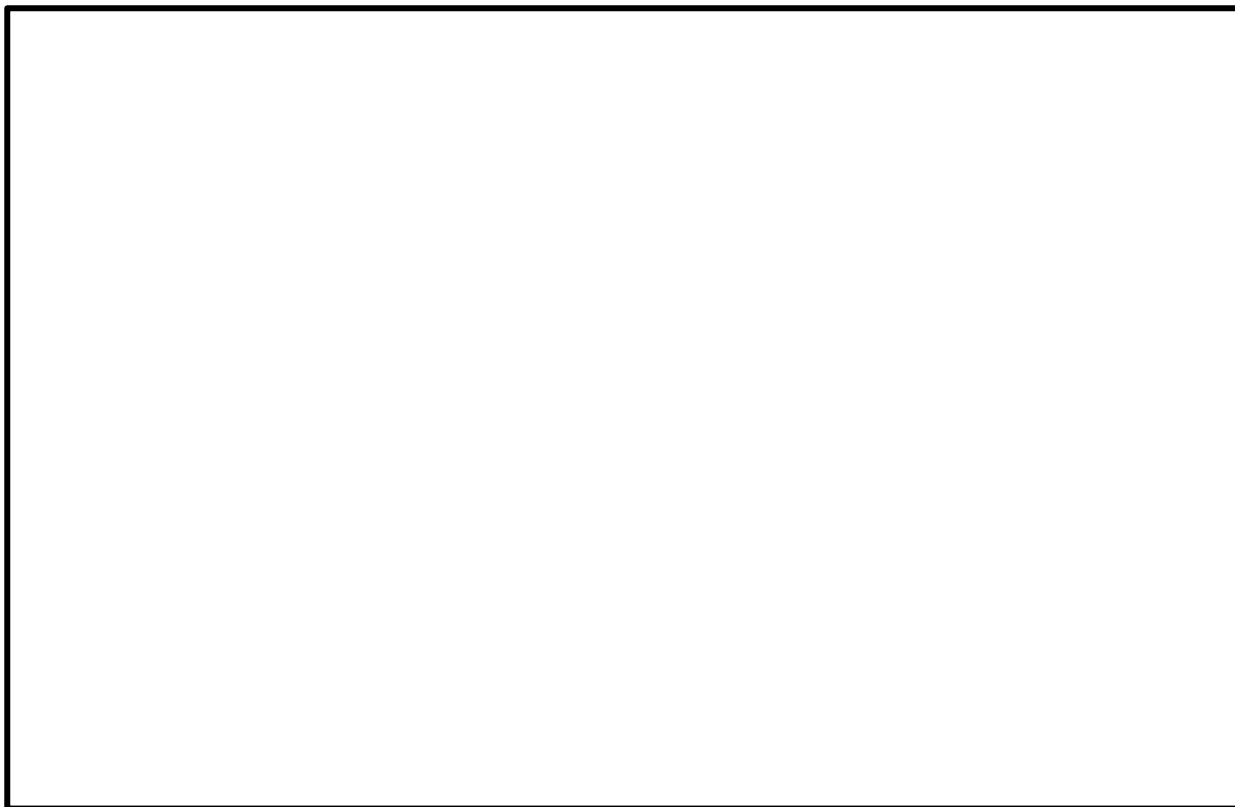


図3-1 試験治具概念図

4 加振試験

4.1 加振装置（三次元振動台）の概要

(1) 鹿島建設株式会社 技術研究所 西調布実験場

振動台の上に試験体を設置し，X, Y, Z方向の単軸加振を実施する。表4-1に振動台の仕様，図4-1に三次元振動台の概要図を示す。

表4-1 三次元振動台の仕様

テーブル	大きさ	5 m × 7 m
	重量	380 kN
搭載荷重	定格	600 kN
	最大	1000 kN
加振力	水平	2171 kN
	上下	3880 kN
最大加速度 (定格搭載時)	水平	± 2 g
	上下	± 2 g
最大速度	水平	± 2.0 m/s
	上下	± 1.0 m/s
最大変位	水平	X ± 0.5 m
		Y ± 0.7 m
	上下	Z ± 0.3 m
加振振動数範囲	DC ~ 50 Hz	
加振方式	電気・油圧サーボ方式	
制御方式	デジタル TVC 方式	

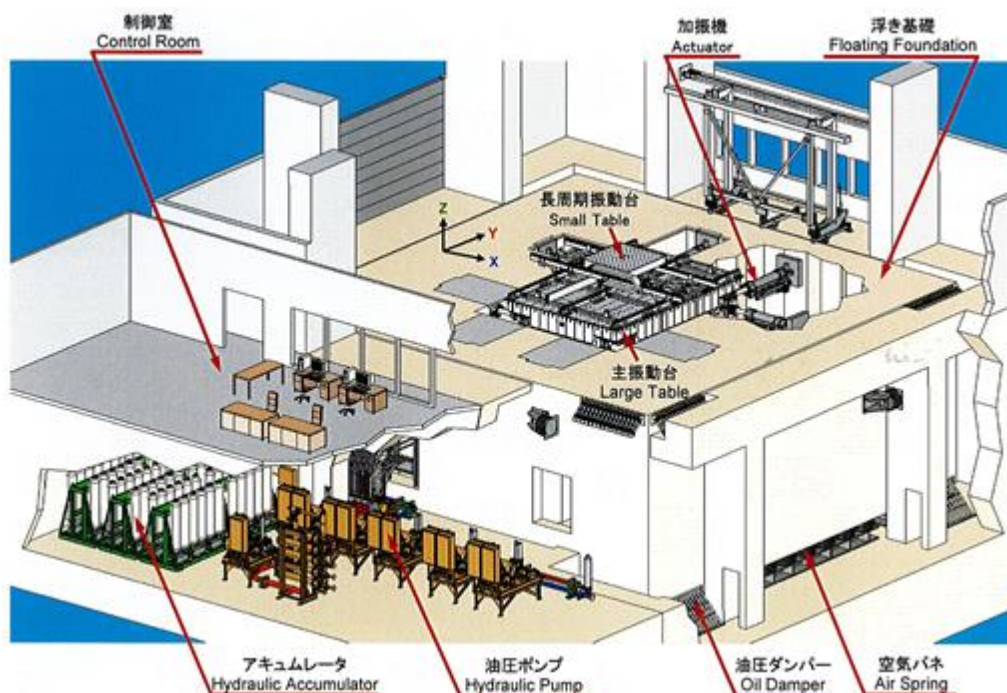


図4-1 三次元振動台の概要図（出典元：鹿島建設（株）技術研究所パンフレット）

4.2 加振波

加振試験用の模擬地震波は以下のとおりとする。VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき作成した設計用床応答スペクトル I を包絡する模擬地震波の時刻歴波形を図4-2、応答スペクトルを図4-3に示す。

- ・最大加速度及び応答スペクトルはBOP閉止装置の設置高さより上方の原子炉建物 EL. 63.5 mの床応答に基づき設定
- ・応答スペクトルは、基準地震動 S_s の設計用床応答スペクトル I を上回るように設定



図4-2 模擬地震波の時刻歴波形

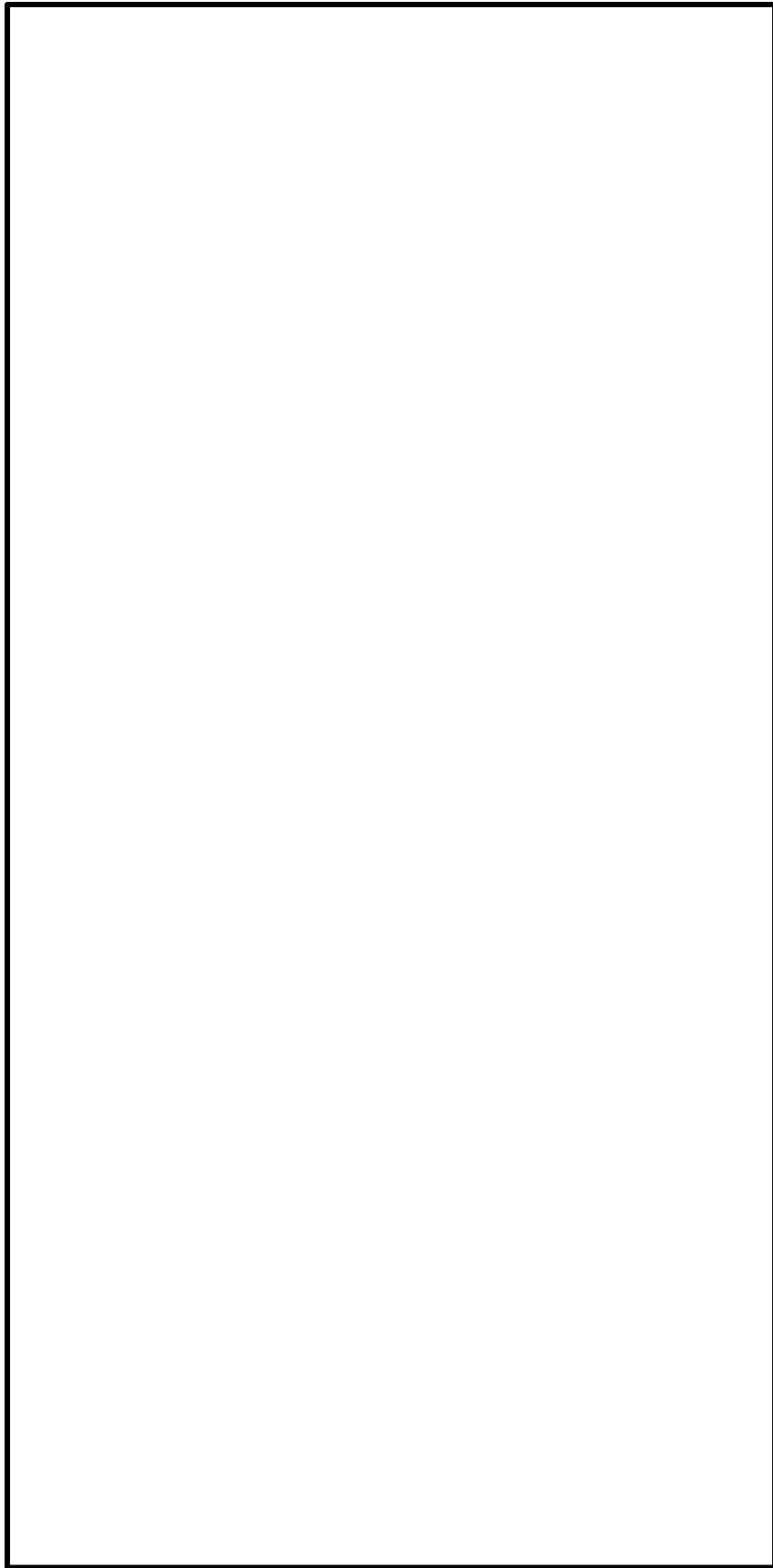


図4-3 模擬地震波の応答スペクトル

4.3 加振試験項目及び内容

加振試験の項目，概要は以下の通りである。各試験項目，加振波等を表4-2に示す。

(1) 計測系確認試験

計測機器の動作確認を行うために，入力加速度 2m/s^2 の正弦波により各方向の単軸加振を行う。

(2) 振動特性把握試験

試験体の共振振動数を確認するため， \square Hz \sim \square Hzの振動数範囲でフーリエスペクトル一定となるランダム波を用いて，各方向の単軸加振を行う。

(3) 地震波加振試験

「4.2 加振波」にて設定した模擬地震波を用いて，X, Y, Z方向の単軸加振にて，地震波加振試験を実施する。島根2号機は，目標とする加振レベルが高いこと及び試験装置の加振限界から3方向（X, Y, Z）各方向の単軸加振試験を実施する。地震波加振試験の入力レベルは，図4-2及び図4-3に示す模擬地震波の0.5倍，1.0倍及び α 倍（振動台の加振限界）とする。振動台の加振限界における加振波の入力倍率（ α ）については，模擬地震波の入力レベル1.0倍の振動台応答の実績から，X(NS)=1.15倍，Y(EW)=1.20倍，Z(UD)=1.25倍とする。また，BOP閉止装置の3次元応答の確認を目的として，模擬地震波の0.5倍でのX, Y, Z方向の単軸加振及び3方向（X, Y, Z）同時の3次元加振試験を実施し，単軸加振試験の妥当性を確認する。

表4-2 2連ダンパ（開） 試験項目一覧（1/4）

No.	試験項目	入力波	加振方向	入力加速度 入力倍率
1	計測系確認試験	正弦波（ <input type="text"/> Hz）	X	2m/s ²
2			Y	
3			Z	
4	振動特性把握試験	ランダム波*1	X	6m/s ²
5			Y	
6			Z	
7	地震波加振試験 （3次元応答確認）	模擬地震波 NS*2	X	0.50 倍
8		模擬地震波 EW*2	Y	0.50 倍
9		模擬地震波 UD*2	Z	0.50 倍
10		模擬地震波 NS, EW, UD*2	X, Y, Z	0.50 倍
11	地震波加振試験 （基準適合性，耐震裕度確認）	模擬地震波 NS*2	X	1.00 倍 1.15 倍
12		模擬地震波 EW*2	Y	1.00 倍 1.20 倍
13		模擬地震波 UD*2	Z	1.00 倍 1.25 倍

*1： Hzの振動数範囲でフーリエスペクトル一定となるランダム波

*2： 水平，鉛直方向毎に基準地震動 S s の設計用床応答スペクトル I を包絡する模擬地震波を作成して加振。

表4-2 2連ダンパ（閉） 試験項目一覧（2/4）

No.	試験項目	入力波	加振方向	入力加速度 入力倍率
1	計測系確認試験	正弦波（ <input type="text"/> Hz）	X	2m/s ²
2			Y	
3			Z	
4	振動特性把握試験	ランダム波*1	X	6m/s ²
5			Y	
6			Z	
7	地震波加振試験 (3次元応答確認)	模擬地震波 NS*2	X	0.50 倍
8		模擬地震波 EW*2	Y	0.50 倍
9		模擬地震波 UD*2	Z	0.50 倍
10		模擬地震波 NS, EW, UD*2	X, Y, Z	0.50 倍
11	地震波加振試験 (基準適合性, 耐震裕度確認)	模擬地震波 NS*2	X	1.00 倍 1.15 倍
12		模擬地震波 EW*2	Y	1.00 倍 1.20 倍
13		模擬地震波 UD*2	Z	1.00 倍 1.25 倍

*1 : Hzの振動数範囲でフーリエスペクトル一定となるランダム波

*2 : 水平, 鉛直方向毎に基準地震動 S s の設計用床応答スペクトル I を包絡する模擬地震波を作成して加振。

表4-2 3連ダンパ（開） 試験項目一覧（3/4）

No.	試験項目	入力波	加振方向	入力加速度 入力倍率
1	計測系確認試験	正弦波（ <input type="text"/> Hz）	X	2m/s ²
2			Y	
3			Z	
4	振動特性把握試験	ランダム波*1	X	6m/s ²
5			Y	
6			Z	
7	地震波加振試験 (3次元応答確認)	模擬地震波 NS*2	X	0.50 倍
8		模擬地震波 EW*2	Y	0.50 倍
9		模擬地震波 UD*2	Z	0.50 倍
10		模擬地震波 NS, EW, UD*2	X, Y, Z	0.50 倍
11	地震波加振試験 (基準適合性, 耐震裕度確認)	模擬地震波 NS*2	X	1.00 倍 1.15 倍
12		模擬地震波 EW*2	Y	1.00 倍 1.20 倍
13		模擬地震波 UD*2	Z	1.00 倍 1.25 倍

*1 : Hzの振動数範囲でフーリエスペクトル一定となるランダム波

*2 : 水平, 鉛直方向毎に基準地震動 S s の設計用床応答スペクトル I を包絡する模擬地震波を作成して加振。

表4-2 3連ダンパ（閉） 試験項目一覧（4/4）

No.	試験項目	入力波	加振方向	入力加速度 入力倍率
1	計測系確認試験	正弦波（ <input type="text"/> Hz）	X	2m/s ²
2			Y	
3			Z	
4	振動特性把握試験	ランダム波*1	X	6m/s ²
5			Y	
6			Z	
7	地震波加振試験 (3次元応答確認)	模擬地震波 NS*2	X	0.50 倍
8		模擬地震波 EW*2	Y	0.50 倍
9		模擬地震波 UD*2	Z	0.50 倍
10		模擬地震波 NS, EW, UD*2	X, Y, Z	0.50 倍
11	地震波加振試験 (基準適合性, 耐震裕度確認)	模擬地震波 NS*2	X	1.00 倍 1.15 倍
12		模擬地震波 EW*2	Y	1.00 倍 1.20 倍
13		模擬地震波 UD*2	Z	1.00 倍 1.25 倍

*1 : Hzの振動数範囲でフーリエスペクトル一定となるランダム波

*2 : 水平, 鉛直方向毎に基準地震動 S s の設計用床応答スペクトル I を包絡する模擬地震波を作成して加振。

4.4 計測要領

(1) 計測項目

試験体の主要な挙動を評価するための項目を計測する。計測項目を表4-3に示す。

表4-3 計測項目

項目	計測点
加速度	<ul style="list-style-type: none">・振動台・支持架台・羽根・ケーシング・ギアボックス・アクチュエータ・リミットスイッチ・羽根回転軸・羽根回転軸継手
ひずみ	<ul style="list-style-type: none">・ケーシング・羽根・羽根回転軸・羽根回転軸継手

(2) 計測位置

計測点は、試験体の主要な挙動を評価できる位置に設置する。表4-4に計測項目の一覧表を示す。なお、振動台座標系 (X, Y, Z) と計測座標系 (X, Y, Z) は、羽根開、閉のいずれの状態においても一致している。

① 加速度

図4-4から図4-6に加速度計の設置位置を示す。

② ひずみ

図4-7, 図4-8にひずみゲージの設置位置を示す。

(3) 測定計器

試験に使用する測定計器を表4-5に示す。

表4-4 2連ダンパ 計測項目の一覧表 (1/2)

No.	項目	記号	計測位置	備考
1	加速度	A1X	振動台 (中央)	<ul style="list-style-type: none"> 振動台上加速度を計測 設計用床応答スペクトルI以上で加振試験が実施されたことの確認が目的
2		A1Y		
3		A1Z		
4		A2Y	振動台 (搬入口側)	
5		A2Z		
6		A3X	振動台 (制御室側)	
7		A3Z		
8	A5X	ダンパ支持架台 中央 下端	<ul style="list-style-type: none"> ダンパ支持架上加速度を計測 ダンパ支持架台の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
9	A5Y			
10	A5Z	ダンパ支持架台 アクチュエータ側 中央高さ	<ul style="list-style-type: none"> ダンパ支持架上加速度を計測 ダンパ支持架台の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
11	A6X			
12	A6Y	ダンパ支持架台 アクチュエータの反対側 中央高さ	<ul style="list-style-type: none"> ダンパ支持架上加速度を計測 ダンパ支持架台の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
13	A6Z			
14	A7X	ダンパ支持架台 アクチュエータ側 上端	<ul style="list-style-type: none"> ダンパ支持架上加速度を計測 ダンパ支持架台の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
15	A7Y			
16	A7Z	ダンパ支持架台 中央 上端	<ul style="list-style-type: none"> ダンパ支持架上加速度を計測 ダンパ支持架台の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
17	A8X			
18	A9X	ダンパ支持架台 中央 上端	<ul style="list-style-type: none"> ダンパ支持架上加速度を計測 ダンパ支持架台の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
19	A9Y			
20	A9Z	ダンパ支持架台 アクチュエータの反対側 上端	<ul style="list-style-type: none"> ダンパ支持架上加速度を計測 ダンパ支持架台の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
21	A10X			
22	A11X	ダンパケーシング 羽根端部	<ul style="list-style-type: none"> ダンパケーシングの振動特性, 地震応答の確認が目的 	
23	A11Y			
24	A11Z	ダンパケーシング (シャフト高さ)	<ul style="list-style-type: none"> ダンパケーシングの振動特性, 地震応答の確認が目的 	
25	A12X			
26	A12Y	ギアボックス	<ul style="list-style-type: none"> 駆動装置および付属機器の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
27	A12Z			
28	A13X	アクチュエータ中間部	<ul style="list-style-type: none"> 駆動装置および付属機器の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
29	A13Y			
30	A13Z	モーター	<ul style="list-style-type: none"> 駆動装置および付属機器の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
31	A14X			
32	A14Y	アクチュエータ頂部	<ul style="list-style-type: none"> 駆動装置および付属機器の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
33	A14Z			
34	A15X	リミットスイッチ	<ul style="list-style-type: none"> 駆動装置および付属機器の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
35	A15Y			
36	A15Z			
37	A16X			
38	A16Y			
39	A16Z			
40	A17X			
41	A17Y			
42	A17Z			

表4-4 3連ダンパ 計測項目の一覧表 (2/2)

No.	項目	記号	計測位置	備考
43	加速度	A18X	羽根回転軸継手部 (第1/第2羽根)	・羽根回転軸の振動特性、地震応答の確認が目的
44		A18Y		
45		A18Z		
46		A19X	羽根回転軸継手部 (第2/第3羽根)	
47		A19Y		
48		A19Z		
49		A20X	羽根回転軸先端	
50		A20Y		
51		A20Z		
52		A21X	第1羽根 (弁体) 中央リブ付根	
53		A21Y		
54		A21Z		
55		A22X	第1羽根 (弁体) 中央上端部・補強リブ付根	
56		A22Y		
57	A22Z			
58	A23X	第2羽根 (弁体) 中央リブ付根		
59	A23Y			
60	A23Z			
61	A24X	第2羽根 (弁体) 中央上端部・補強リブ付根		
62	A24Y			
63	A24Z			
64	A25X	第2羽根 (弁体) 中央上端部・補強リブ付根		
65	A25Y			
66	A25Z			
67	A26X	第3羽根 (弁体) 中央リブ付根		
68	A26Y			
69	A26Z			
70	A27X	第3羽根 (弁体) 中央上端部・補強リブ付根		
71	A27Y			
72	A27Z			
73	A28X	第3羽根 (弁体) 中央上端部・補強リブ付根		
74	A28Y			
75	A28Z			
76	A29X	第3羽根 (弁体) 中央上端部・補強リブ付根		
77	A29Y			
78	A29Z			
79	A30Z	ダンパケーシング 上端	・第1羽根の振動特性、地震応答の確認が目的	
80	S1	第1羽根 ダンパケーシング 固定部	ひずみ	
81	S2	第2羽根 ダンパケーシング 固定部		
82	S3	第3羽根 ダンパケーシング 固定部		
83	S4	第2羽根端部 補強リブ中間		
84	S5	羽根回転軸継手部 (第1/第2羽根)		
85	S6	羽根回転軸継手部 (第2/第3羽根)		
86	S7	第2羽根シャフト近傍		
87	S8	第3羽根 ダンパケーシング回転軸近傍		

No.	項目	記号	計測位置	備考
1	加速度	A1X	振動台 (中央)	・振動台上加速度を計測 ・設計用床応答スペクトル I 以上で 加振試験が実施されたことの確認が 目的
2		A1Y		
3		A1Z		
4		A2X	振動台 (縦入口側)	
5		A2Z		
6		A3X	振動台 (制御室側)	
7		A3Z		
8		A5X	ダンパ支持架台 中央 下端	
9		A5Y		
10		A5Z		
11		A6X	ダンパ支持架台 アクチュエータ側 中央高さ	
12		A6Z		
13		A7X	ダンパ支持架台 アクチュエータの反対側 中央高さ	
14		A7Y		
15		A7Z		
16		A8X	ダンパ支持架台 アクチュエータ側 上端	
17		A8Y		
18	A9X	ダンパ支持架台 中央 上端		
19	A9Y			
20	A9Z			
21	A10X	アクチュエータの反対側 上端		
22	A11X	ダンパケーシング (シャフト高さ)		
23	A11Y			
24	A11Z			
25	A12X	ダンパケーシング 上端		
26	A12Y			
27	A12Z			
28	A13X	ギアボックス		
29	A13Y			
30	A13Z			
31	A14X	アクチュエータ中間部		
32	A14Y			
33	A14Z			
34	A15X	モーター		
35	A15Y			
36	A15Z			
37	A16X	アクチュエータ頂部		
38	A16Y			
39	A16Z			
40	A17X	リミットスイッチ		
41	A17Y			
42	A17Z			

表4-5 測定計測器一覧表

No.	用途	計測器名称	メーカー (型式)	仕様
1	動作確認 (変圧器電圧値測定)	デジタルクラ ンプメータ		
2	動作確認 (開閉試験, 気密試験 保持時間測定)	ストップウォ ッチ		
3		面積流量計		
4	気密試験	バージメータ		
5		質量流量計		
6	加振試験	加速度計		
7		ひずみゲージ		

注記* :

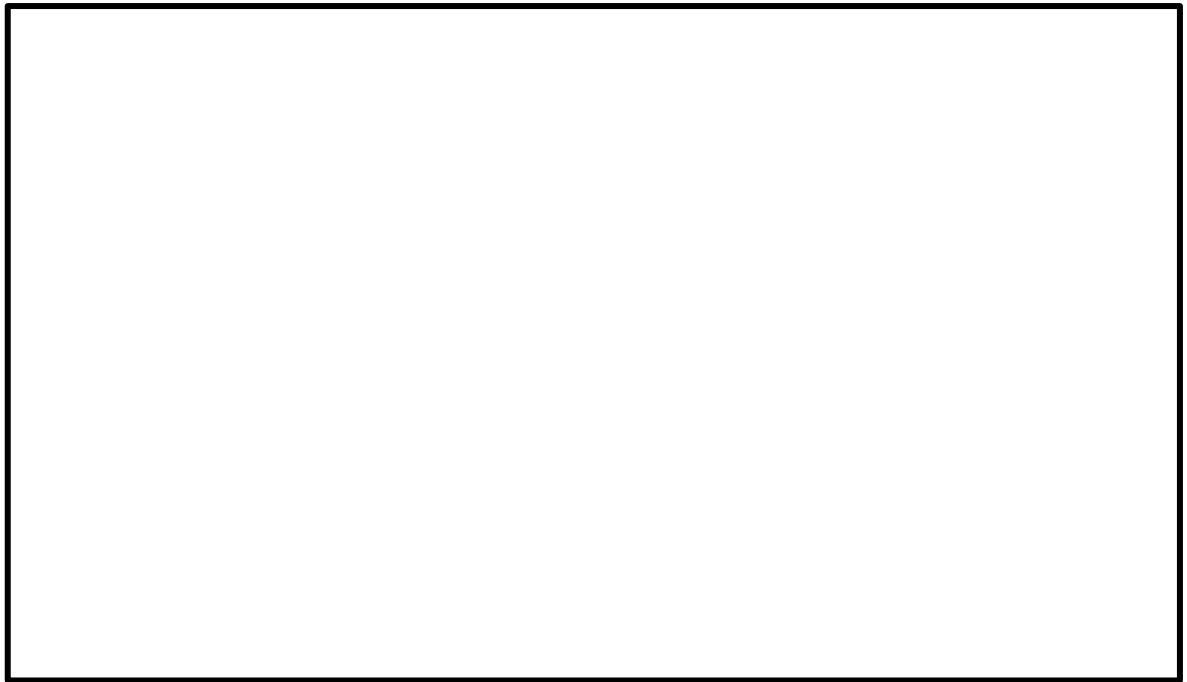


図4-4 加速度計の設置位置（振動台，支持架台）

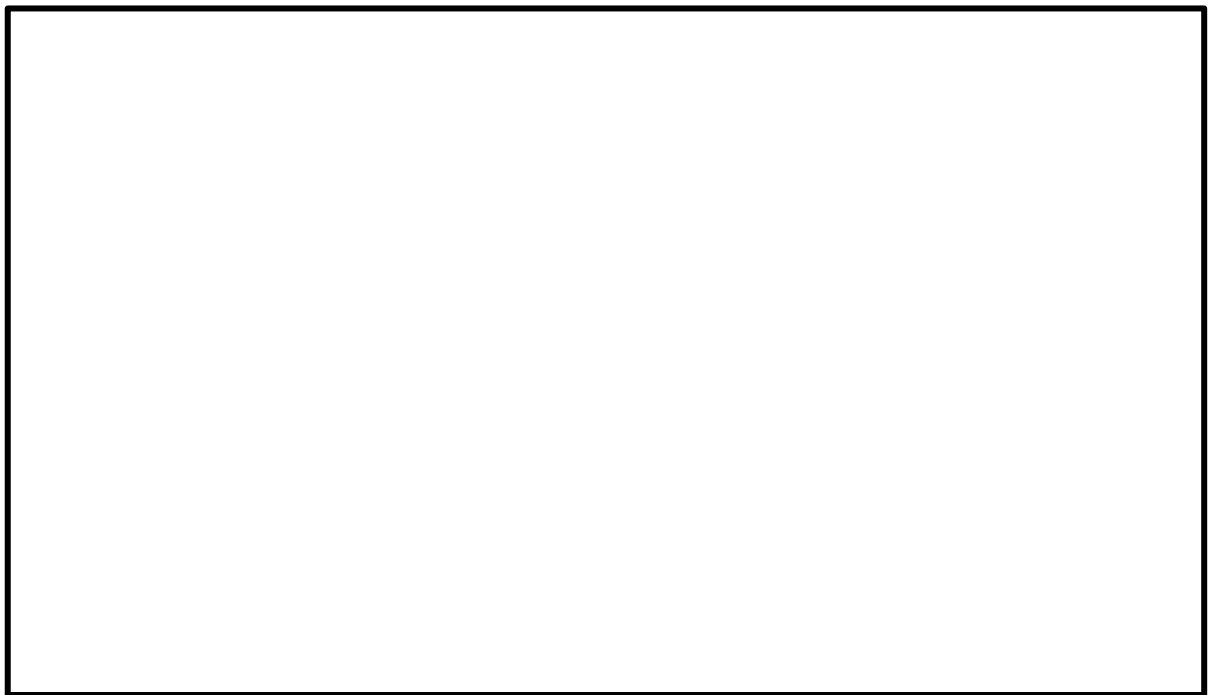


図4-5 加速度計の設置位置（2連ダンパ）

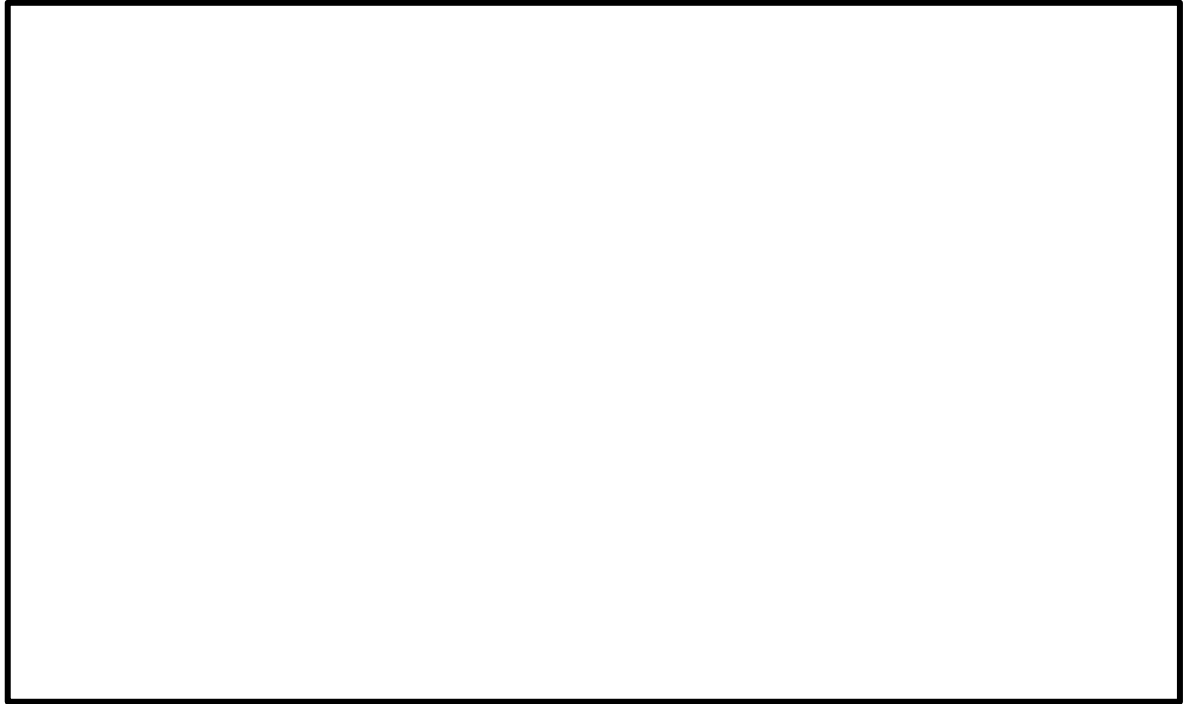


図4-6 加速度計の設置位置 (3連ダンパ)

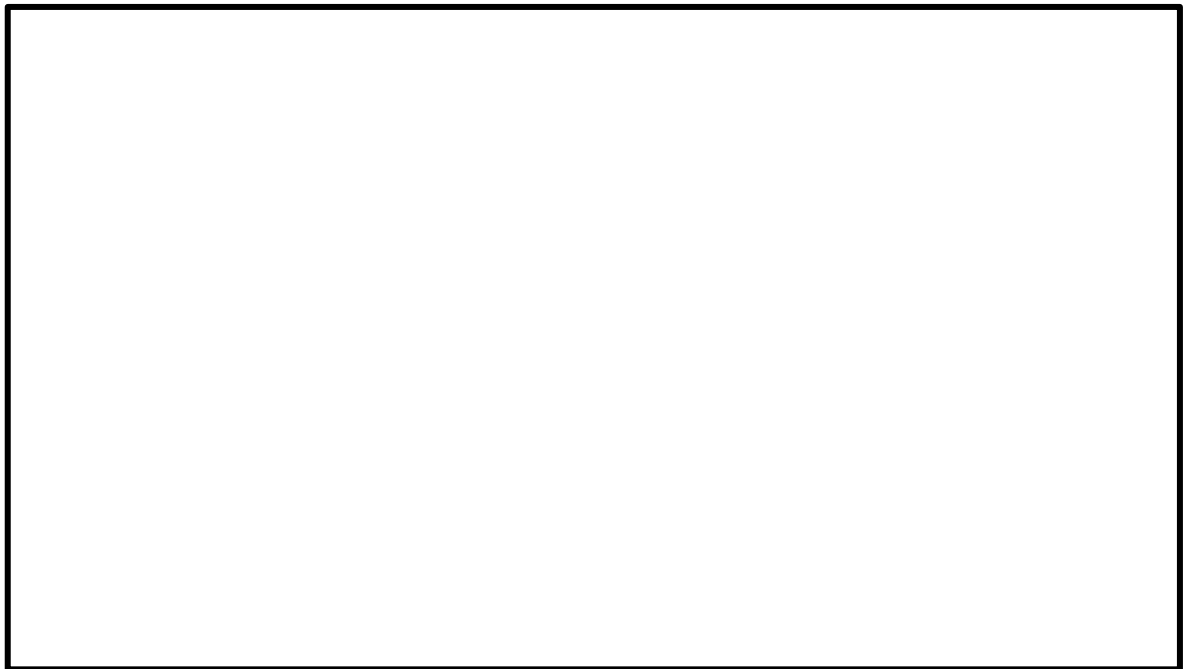


図4-7 ひずみゲージの設置位置 (2連ダンパ)

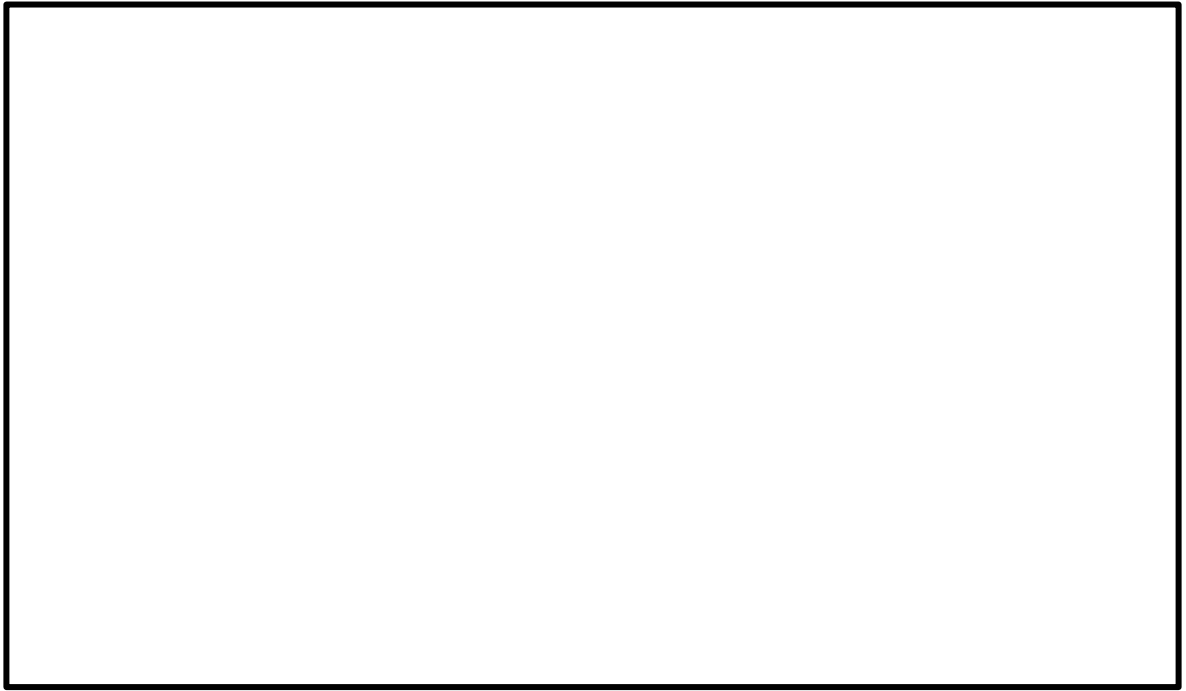


図4-8 ひずみゲージの設置位置 (3連ダンパ)

5 試験要領

5.1 試験手順

試験体を振動台に搭載し、下記の手順で加振及び加振後の動作試験、気密性能試験を実施する。

【BOP閉止装置の羽根開放状態における加振試験（2連，3連ダンパ）】

- (1) 加振試験の準備として、センサ（加速度計及びひずみゲージ）が所定の位置に設置されていることを確認する。また、測定計器の仕様が適切であることを確認する。
- (2) 計測系確認試験を以下の手順で実施する。
 - ① BOP閉止装置の羽根が開放状態であることを確認する。
 - ② 試験体の共振振動数より十分に離れた低振動数（ Hz）にて、加速度振幅 2m/s^2 の連続正弦波でX, Y, Z方向の単軸加振を行う。
 - ③ 各加速度計の振幅レベルと位相関係から、極性の確認とセンサ出力の異常の有無を確認する。
- (3) 振動特性把握試験を以下の手順で実施する。
 - ① BOP閉止装置の羽根が開放状態であることを確認する。
 - ② Hz～ Hzの振動数範囲でフーリエスペクトル一定となるランダム波を用いて、ランダム波の継続時間は約64秒、最大入力加速度は 6m/s^2 とし、X, Y, Z方向の単軸加振を行う。
 - ③ 試験体の固有振動数を測定し、入力波の主要な振動数成分の範囲における固有振動数の有無を確認する。
- (4) 地震波加振試験（0.5倍及び1.0倍）を以下の手順で実施する。
 - ① BOP閉止装置の羽根が開放状態であることを確認する。
 - ② 模擬地震波にて、入力レベル0.5倍及び1.0倍でX, Y, Z方向の単軸加振を行う。
 - ③ 加振後、採取データを確認する。
 - ④ 取付及び外観確認を実施する。
- (5) 地震波加振試験（ α 倍）を以下の手順で実施する。
 - (4) ①～④と同じ。ただし、下記に読み替える。
 - ・入力レベルをX(NS)=1.15倍, Y(EW)=1.20倍, Z(UD)=1.25倍

【BOP閉止装置の羽根閉止状態における加振試験（2連，3連ダンパ）】

BOP閉止装置の羽根を閉止状態とし、加振試験を実施する。試験内容については、5.1

(1)～(5)と同様である。

5.2 気密性能試験について

(1) 気密性能試験

A S T M E 283-4 (Standard Test Method for Determining Rate of Air Leakage Through Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors Under Specified Pressure Differences Across the Specimen) に準じた装置を用いて実施する。送風機により試験容器内へ空気を給気することにより試験体前後に圧力差を生じさせ、試験体のシーリング部から試験容器へ流入する通気量を測定する。

図5-1に気密性能試験装置図を示す。

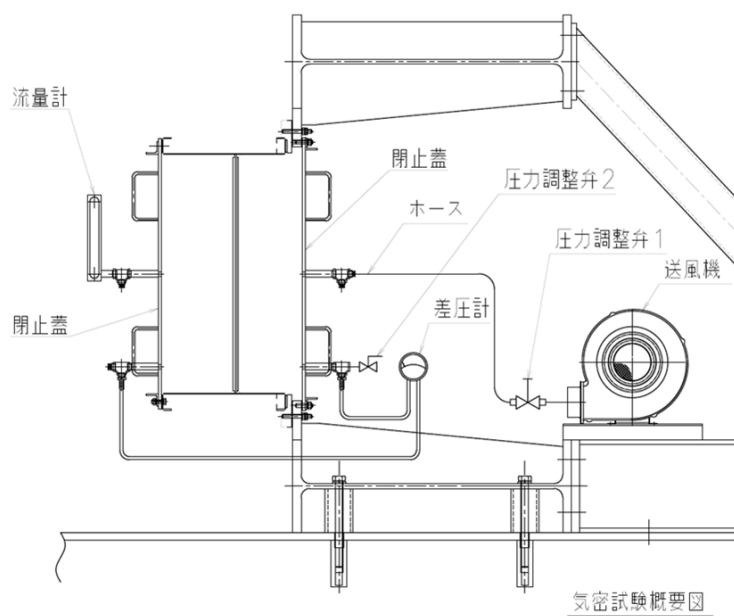


図5-1 気密性能試験装置図

試験手順は、「J I S A 1516 (建具の気密性試験方法) 6.3 試験手順」に準じて (ただし、予備加圧後の開閉確認は省略する。), 予備加圧を圧力500Pa×3回実施し、圧力差 Pa, Pa, Pa, Pa, Pa, Pa, Paと上げ, Pa, Pa, Pa, Paと下げていく (保持時間2分)。通気方向は1方向 (加圧) とする。(図5-2 差圧試験線図)



図5-2 差圧試験線図

試験により得られた試験体を通過した空気量 Q (m^3/h) を、標準状態 (20°C , 1013hPa) に換算し、ダンパの流路面積 (m^2) で除すことにより、単位面積当たり、1時間当たりの通気量 ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$) として算出する。

$$q = Q' / A$$

ここで、

q : 通気量 ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$)

A : ダンパの流路面積 (m^2)

Q' : 通過した空気量 (20°C , 1013hPa) (m^3/h)

$$Q' = Q \times \frac{P}{1013} \times \frac{273 + 20}{273 + T}$$

P : 試験容器内の気圧 (hPa)

T : 試験時の空気温度 ($^\circ\text{C}$)

(2) 判定基準

差圧 63 Pa 時の漏えい量が、許容漏えい量 ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$) 以下であること。ダンパ寸法と流路面積を図5-3に示す。

なお、流量計単位 L/min から $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ への換算は以下による。

[単位換算式] $X = V \div A \times 60 \div 1000$

X : 漏えい量 ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$)

V : 流量計読み値 (L/min)

1 [h] = 60 (min)

1 [m^3] = 1000 (L)

A : ダンパの流路面積 (=) (m^2)

ダンパの流路面積Aの算出方法を以下に示す。上記 [単位換算式] より、流路面積Aが小さくなった場合に漏えい量Xが大きい値として算出され、判定をする上で保守的となることから、流路面積Aは小数点第二位以下を切り捨てて算出した。

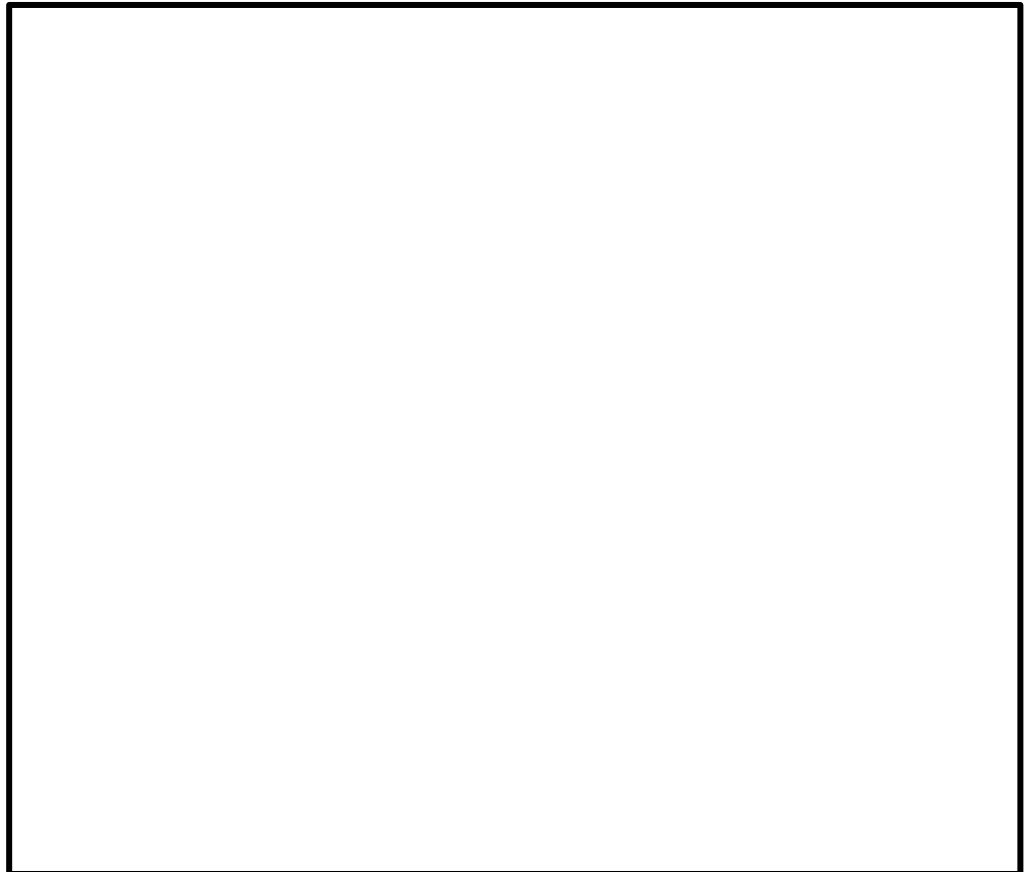


図5-3 ダンパ寸法と流路面積



5.3 動作試験について

(1) 動作試験

【電動動作確認】

操作箱のスイッチで全閉操作・全開操作を行い，リミットスイッチにて羽根が全閉位置・全開位置で自動停止することを確認する。なお，開閉の動作時間は，操作箱のスイッチ操作から，羽根が全開位置・全閉位置となるまでの時間とする。併せて仮設電源盤の電圧値および参考として開動作・閉動作の時間，電流値を測定する。

【手動動作確認】

ハンドルを回し，開閉がスムーズに行えることを確認し，ハンドルが回らなくなったときに羽根が全閉位置・全開位置にあることを確認する。図5-4に手動操作の概念図を示す。



図5-4 手動操作の概念図

(2) 判定基準

【電動動作確認】

- ・電動駆動により開閉できること。
- ・リミットスイッチにて羽根が全閉位置・全開位置にて自動停止すること。
- ・変圧器出口側の電圧を測定し，定格電圧値440V以下であること。

(動作試験時の動作時間および電流値は，動作不具合が発生した場合に，原因特定するための参考情報として取得する。)

【手動動作確認】

- ・開閉時に引っ掛かりがなく，スムーズに行えること。

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験結果について

1. 試験結果

「試験要領」に基づき実施した試験結果概要を以下の表1-1に示す。

表1-1 試験結果概要 (1/2)

No.	試験項目	試験体状態	目的	結果
1	計測系確認試験	2連ダンパ (開)	計測機器の動作確認	異常なし
2		2連ダンパ (閉)		異常なし
3		3連ダンパ (開)		異常なし
4		3連ダンパ (閉)		異常なし
5	振動特性把握試験	2連ダンパ (開)	試験体の共振振動数確認	共振点なし
6		2連ダンパ (閉)		共振点なし
7		3連ダンパ (開)		共振点なし
8		3連ダンパ (閉)		共振点なし

表1-1 試験結果概要 (2/2)

No.	試験項目	試験体状態	目的	結果
9	地震波加振試験 (入力レベル 1.0 倍)	2 連ダンパ (開)	基準適合性確認	異常なし
10		2 連ダンパ (閉)		異常なし
11		3 連ダンパ (開)		異常なし
12		3 連ダンパ (閉)		異常なし
13	地震波加振試験 (入力レベル α 倍)	2 連ダンパ (開)	耐震裕度確認	異常なし
14		2 連ダンパ (閉)		異常なし
15		3 連ダンパ (開)		異常なし
16		3 連ダンパ (閉)		異常なし
17	気密性能試験	2 連ダンパ (開)	機能維持確認 (加振後の気密性能確認)	異常なし
18		2 連ダンパ (閉)		異常なし
19		3 連ダンパ (開)		異常なし
20		3 連ダンパ (閉)		異常なし
21	動作試験	2 連ダンパ (開)	機能維持確認 (電動及び手動での羽 根開閉確認)	異常なし
22		2 連ダンパ (閉)		異常なし
23		3 連ダンパ (開)		異常なし
24		3 連ダンパ (閉)		異常なし

2. 計測系確認試験結果（2連ダンパ，3連ダンパ）

2連ダンパ，3連ダンパ共に，計測機器の動作確認のため，試験体の共振振動数より十分に離れた低振動数（ Hz）にて，加速度振幅 2m/s^2 の連続正弦波でX, Y, Z方向の単軸加振を行った。各加速度計の振幅レベルと位相関係から，極性の確認を行うとともに，センサ出力の異常が無いことを確認した。

3. 振動特性把握試験結果（2連ダンパ，3連ダンパ）

主要な加速度計測点として，2連ダンパについては第1羽根（弁体）中央リブ付根（記号：A21），3連ダンパについては第2羽根（弁体）中央リブ付根（記号：A24）の振動台（中央）（記号：A1）に対する伝達関数を図3-1～3-2に示す。2連ダンパ，3連ダンパ共に，各方向においてランダム波の入力振動数範囲である Hzまで緩やかに応答倍率が増加するものの，明確な共振点は確認されなかった。

本結果から，2，3連ダンパの固有振動数は Hz以上であり，十分剛な構造であることを確認した。

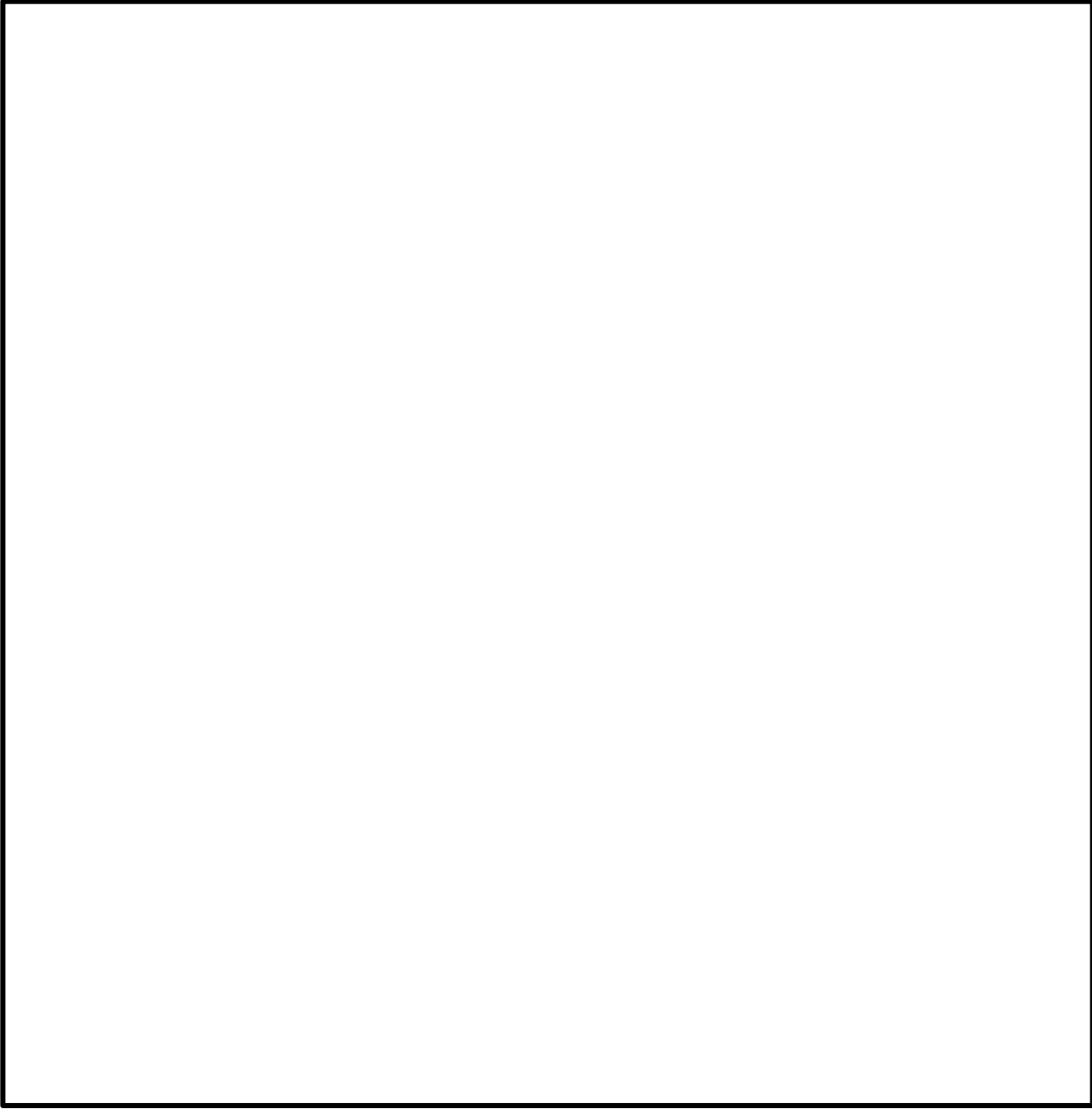


図3-1 振動特性把握試験結果 2連ダンパ

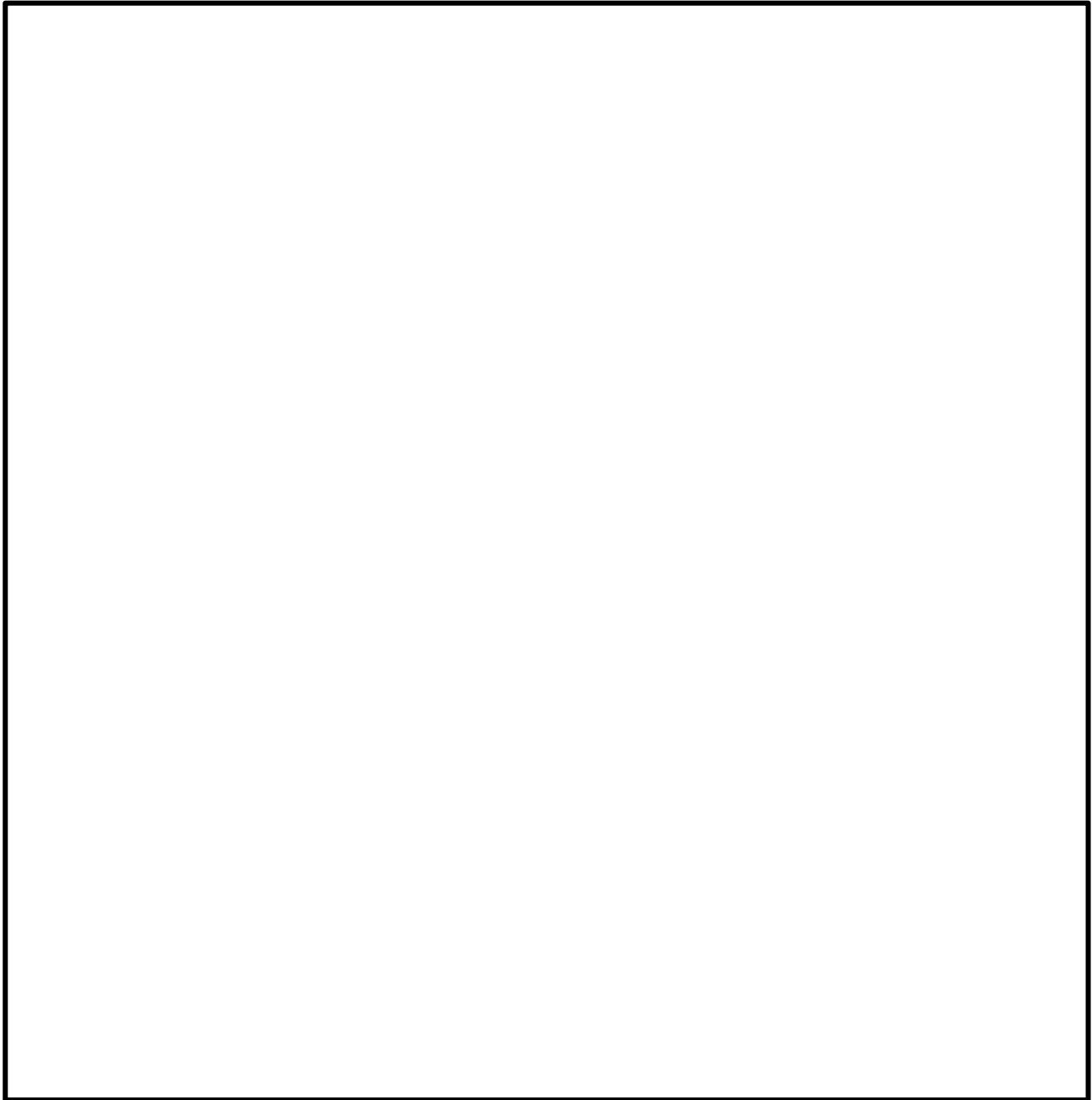


図3-2 振動特性把握試験結果 3連ダンパ

4. 地震波加振試験結果（2連ダンパ，3連ダンパ）

2連ダンパについて，振動台限界となる α 倍地震波加振時の最大加速度及び加速度応答スペクトルと設計用震度 I 及び設計用床応答スペクトル I の比較を実施した結果，加振実績の振動台最大加速度は設計用震度 I を上回った。また，加振実績はほぼ全ての振動数域で設計用床応答スペクトル I を上回ることを確認した。

3連ダンパについて，振動台限界となる α 倍地震波加振時の最大加速度及び加速度応答スペクトルと設計用震度 I 及び設計用床応答スペクトル I の比較を実施した結果，加振実績の振動台最大加速度は設計用震度 I を上回った。また，加振実績はほぼ全ての振動数域で設計用床応答スペクトル I を上回ることを確認した。

最大加速度の比較を表4-1，応答スペクトルの比較を図4-1~4-4に示す。

表4-1 地震波加振試験結果（2連ダンパ，3連ダンパ）

試験対象	開閉状態	方向	設計用震度 I ($\times 9.8\text{m/s}^2$) (基準地震動 S_s)	加振実績 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	判定結果
2連ダンパ	開	X			○
		Y			○
		Z			○
	閉	X			○
		Y			○
		Z			○
3連ダンパ	開	X			○
		Y			○
		Z			○
	閉	X	○		
		Y	○		
		Z	○		

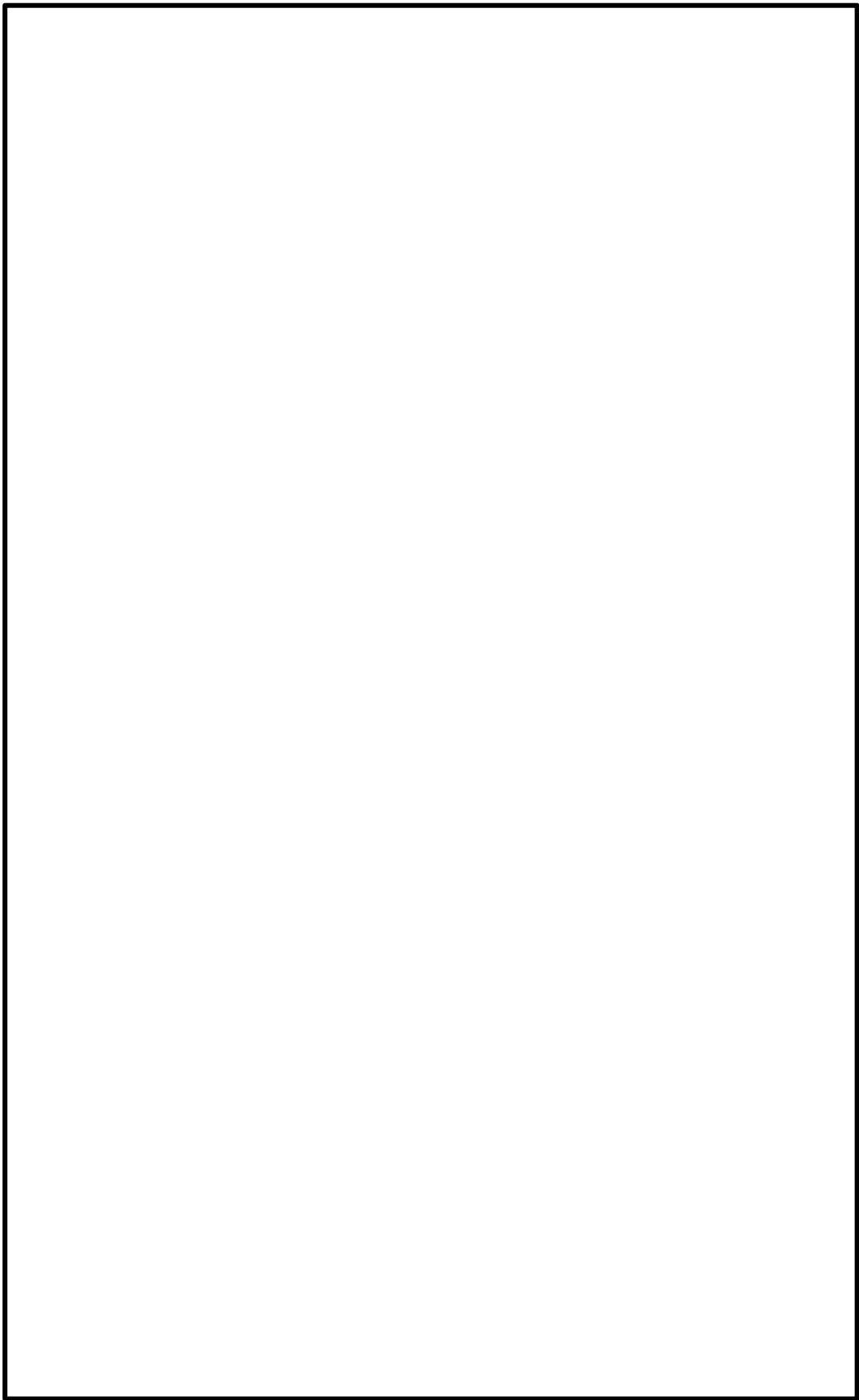


図4-1 地震波加振試験結果（2連ダンパ（開）） 加速度応答スペクトルの比較

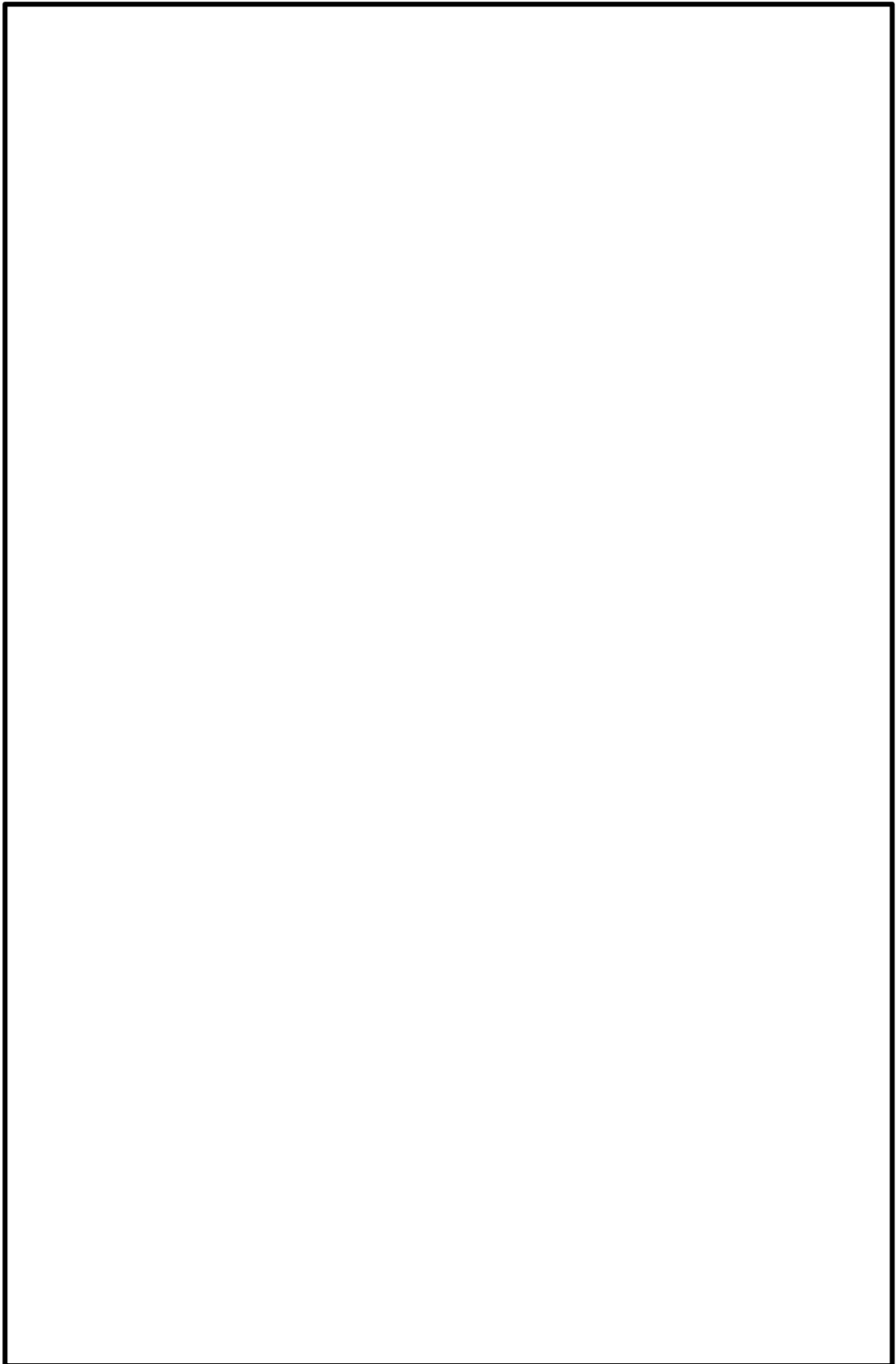


図4-2 地震波加振試験結果（2連ダンパ（閉）） 加速度応答スペクトルの比較

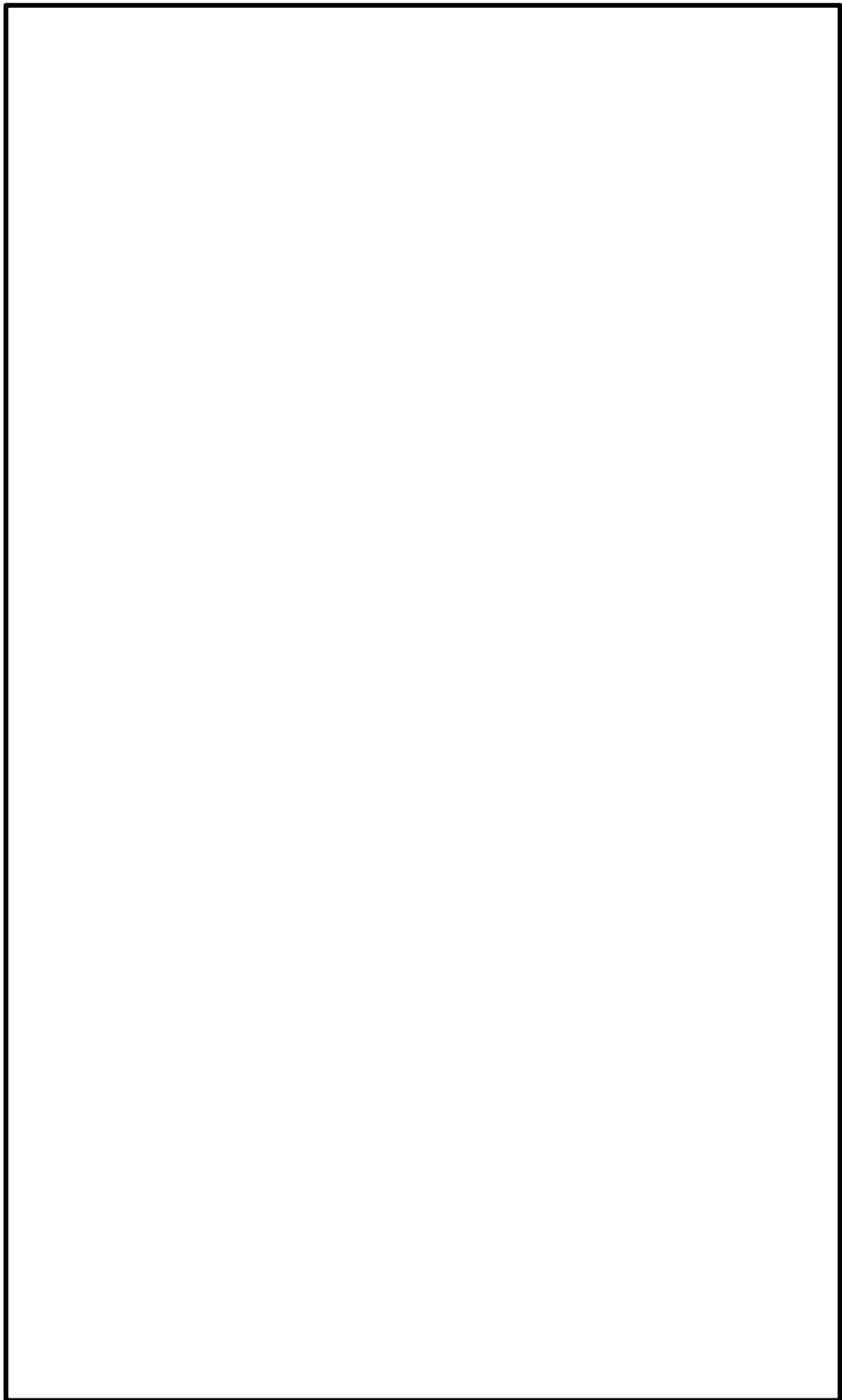


図4-3 地震波加振試験結果 (3連ダンパ (開)) 加速度応答スペクトルの比較

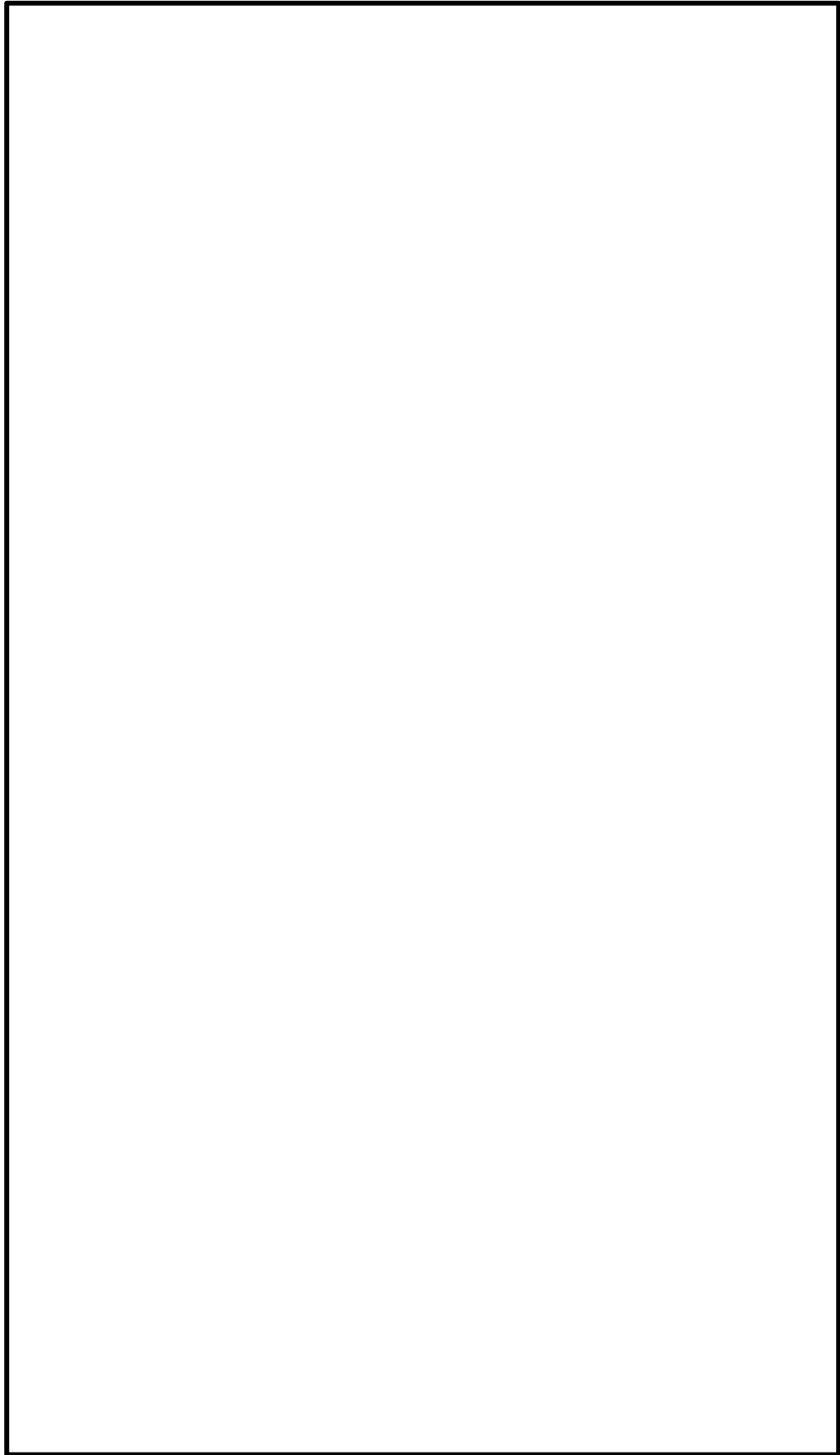


図4-4 地震波加振試験結果 (3連ダンパ (閉)) 加速度応答スペクトルの比較

主要な加速度計測点として、2連ダンパについては第1羽根（弁体）中央リブ付根（記号：A21）、3連ダンパについては第2羽根（弁体）中央リブ付根（記号：A24）の最大加速度と振動台（中央）（記号：A1）の最大加速度の関係を図4-5～図4-8に示す。加振方向以外の応答が小さく応答軸が明確であることが確認された。また、入力レベル0.50倍の3方向（X, Y, Z）同時の3軸加振試験結果からも単軸加振と3方向（X, Y, Z）同時の3次元加振試験での顕著な差がないことが確認された。本結果から、3次元加振試験と単軸加振試験は同等な試験方法であり、島根2号機BOP閉止装置の加振試験として、単軸で加振試験を実施することは妥当であることを確認した。

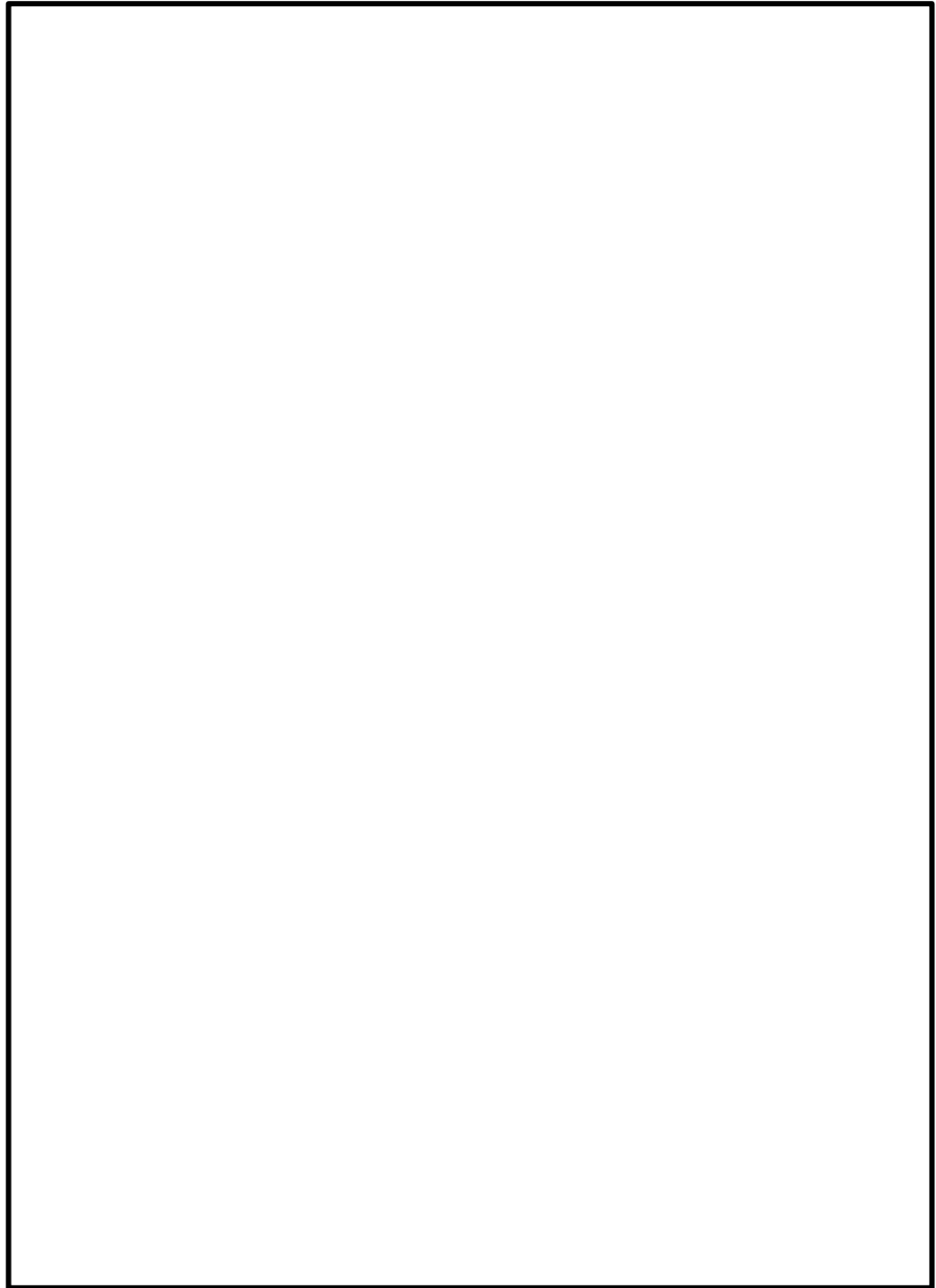


図4-5 2連ダンパ（開）地震波加振時の代表点最大加速度

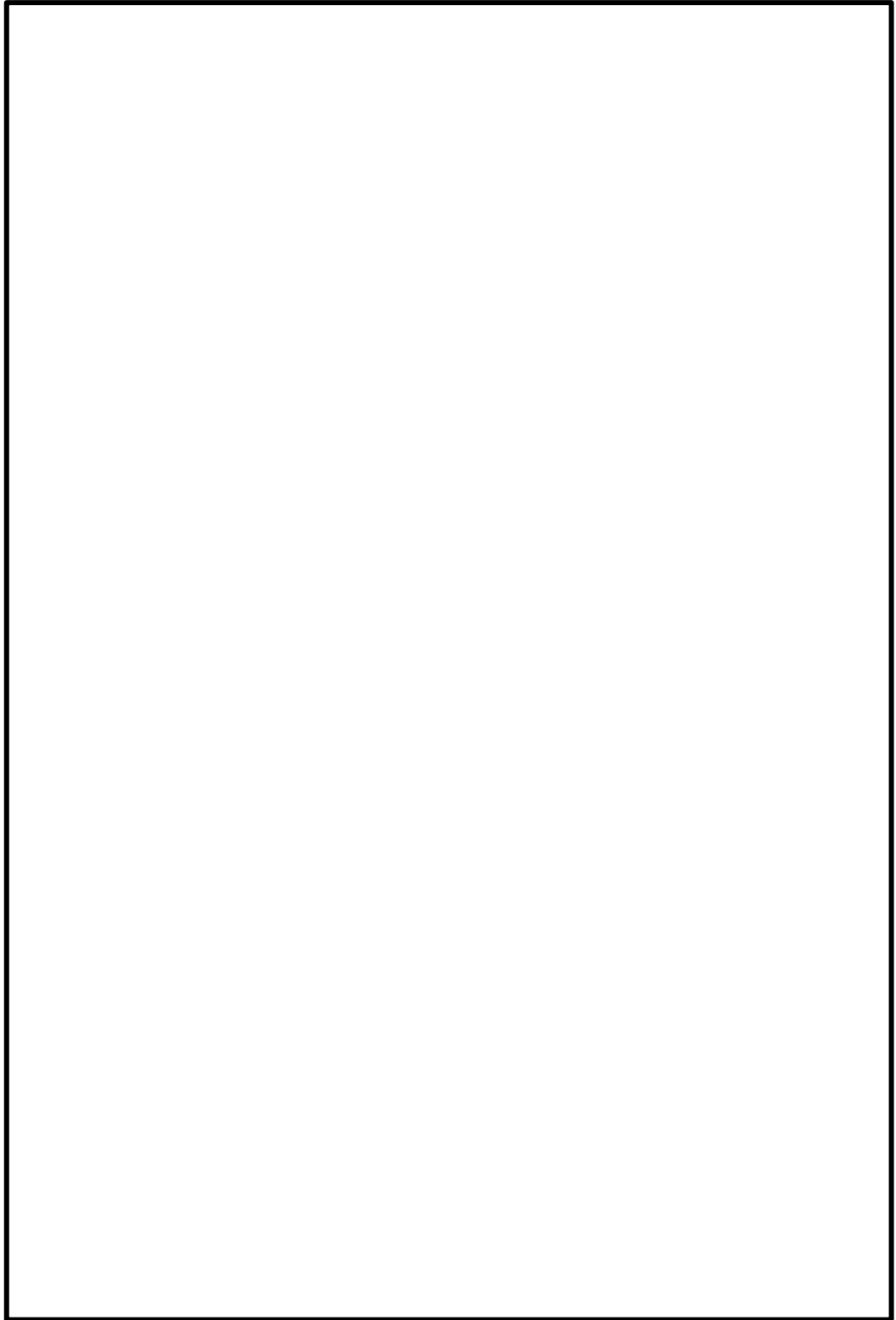


図4-6 2連ダンパ（閉）地震波加振時の代表点最大加速度

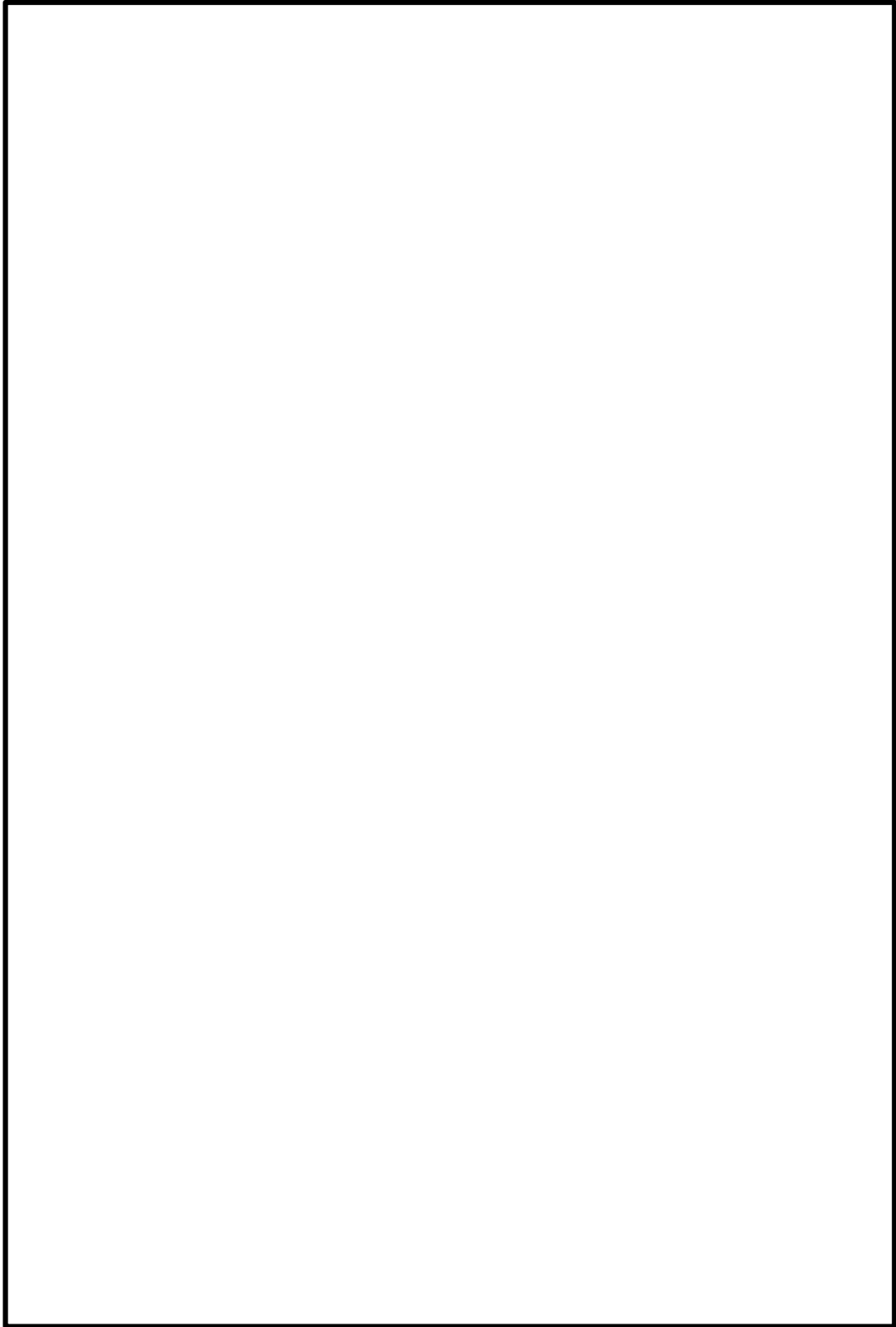


図4-7 3連ダンパ（開）地震波加振時の代表点最大加速度

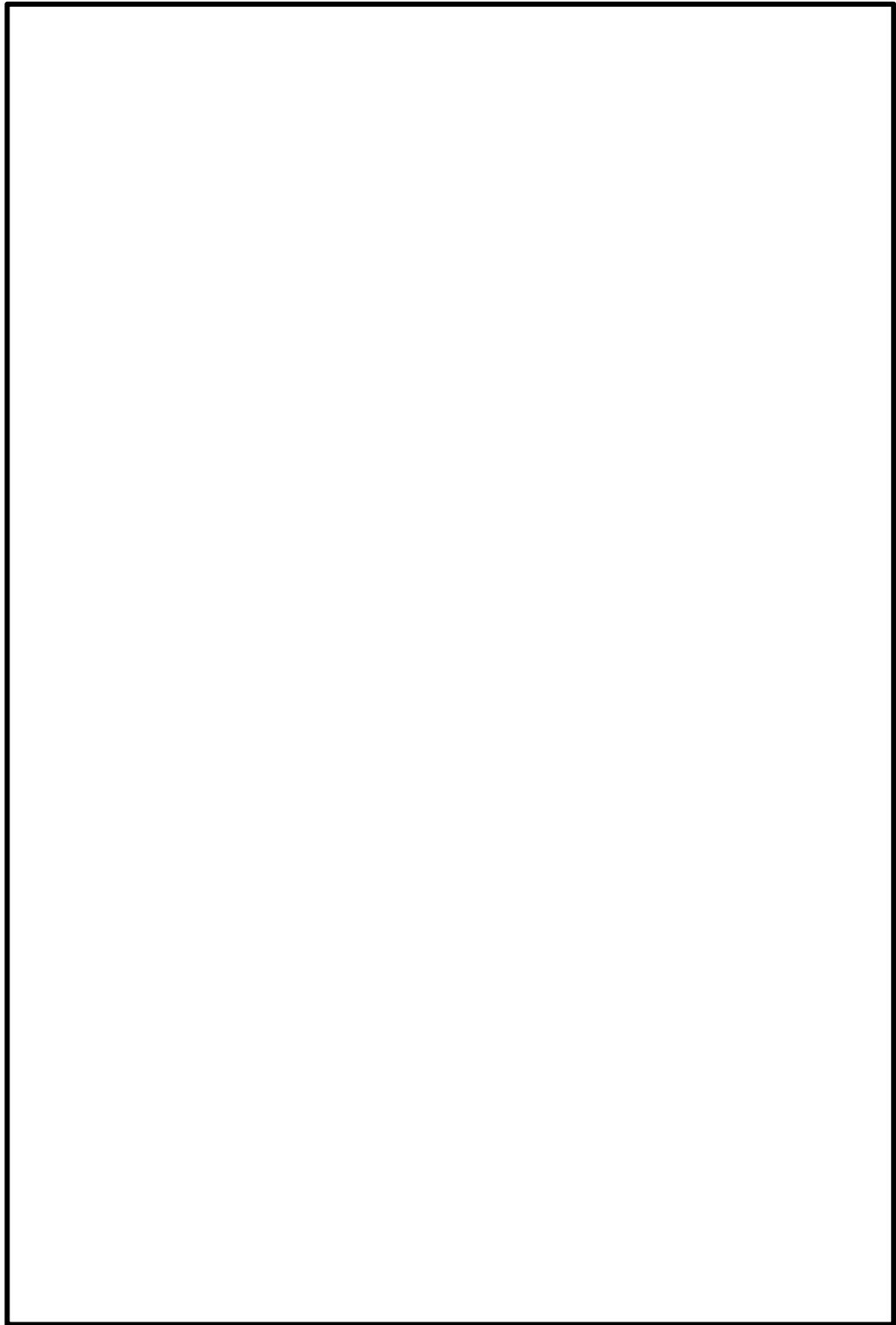


図4-8 3連ダンパ（閉）地震波加振時の代表点最大加速度

5. 健全性確認結果

5.1 気密性能試験結果

気密性能試験の初期状態及び加振後については表5-1に示す。加振後の漏えい量も十分に小さく、原子炉建物燃料取替階のブローアウトパネル部に適用し、既設原子炉建物のインリーク量を考慮した場合でも、原子炉建物としての気密性能（負圧）は十分に確保できることを確認した。ここで、漏えい量についてはダンパ1台毎に確認しており \square $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ 未満～ \square $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ とばらつきがあるが、加振後の漏えい量は加振前の漏えい量と比較して増加あるいは減少しているもの（例：ダンパ2Bでは、加振倍率1.0倍及び羽根開状態で加振した場合の漏えい量が増加していたが、加振倍率 α 倍及び羽根開状態で加振した場合の漏えい量は減少していた。）が混在しており、一定の傾向は確認できない事から、漏えい量のばらつきは加振に起因するものではなく、加振前又は気密性能試験前に行う開閉動作によって、パッキンの圧着状態が変わるために発生したものとする。なお、許容漏えい量（ \square $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ ）に対して非常に少ない範囲でのばらつきであり問題はないと考える。シール方法の概要については図5-1に示す。

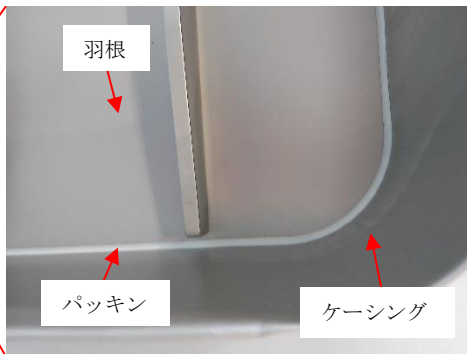
表5-1 加振後の気密性能試験

試験対象	加振倍率	加振時の羽根開閉状態	ダンパ*2	通気量@63Pa ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$)	加振による通気量の増減	備考	
2連ダンパ 事前確認	—	—	2A		—	加振前に羽根を閉止して試験	
			2B		—		
2連ダンパ	1.0倍	開	2A		変化なし	加振後に羽根を閉止し試験	
			2B		通気量増加		
		閉	2A		変化なし	羽根閉止状態での加振後に試験	
			2B		通気量増加		
	α 倍*1	開	2A		通気量増加	加振後に羽根を閉止し試験	
			2B		通気量減少		
		閉	2A		変化なし	羽根閉止状態での加振後に試験	
			2B		通気量増加		
3連ダンパ 事前確認	—	—	3A			—	加振前に羽根を閉止して試験
			3B			—	
			3C	—			
3連ダンパ	1.0倍	開	3A	変化なし		加振後に羽根を閉止し試験	
			3B	通気量増加			
			3C	通気量増加			
		閉	3A	変化なし		羽根閉止状態での加振後に試験	
			3B	通気量減少			
			3C	通気量増加			
	α 倍*1	開	3A	変化なし	加振後に羽根を閉止し試験		
			3B	変化なし			
			3C	通気量増加			
		閉	3A	変化なし	羽根閉止状態での加振後に試験		
			3B	通気量減少			
			3C	通気量増加			

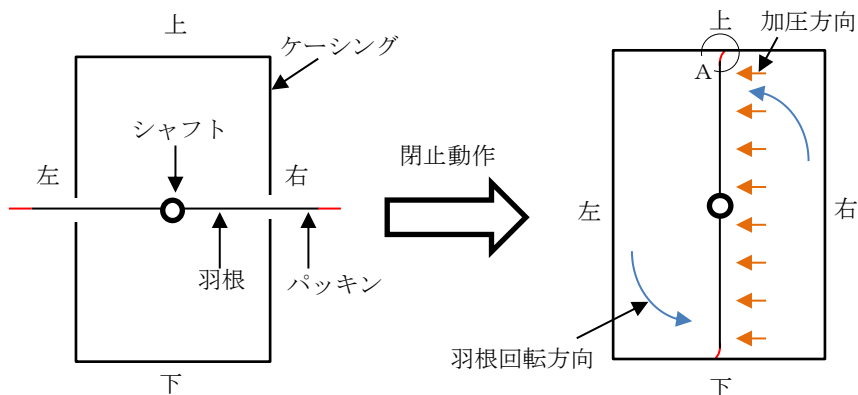
注記*1：入力倍率(α)については、模擬地震波の入力レベル1.0倍の振動台応答の実績から、X(NS)=1.15倍、Y(EW)=1.20倍、Z(UD)=1.25倍
 *2：ダンパ1台毎に漏えい量を確認しているため、表中は2連ダンパは2A/2B、3連ダンパは3A/3B/3Cとダンパ1台毎の表記とする。
 *3：流量計の検出限界未満の漏えい量



(ダンパ閉止時断面概要の「左」からみた写真)



羽根の淵に取り付けられたパッキン（シリコンタイプ）が、羽根を閉めることでケーシングに押し付けられる構造。パッキンは柔軟性があり、閉止の都度、同じようにはケーシングに圧着されず、漏えい量にばらつきはあるものの、許容漏れ量に比べれば非常に小さく問題はない。



ダンパ開放時断面概要

ダンパ閉止時断面概要

左：建物屋内側
右：建物屋外側（加圧側）

羽根の回転により閉止してシールするため、上下のパッキンでケーシングへの押し付けられ方が対称関係となるが、左右は全面開口の構造であり、上下どちらかだけに圧力が加わることはなく、ダンパの加圧側の全面に均一に圧力が加わるため、気密性に影響はない。



A部拡大図

ケーシングと羽根のクリアランス \square mm に対して羽根以降のパッキン長さは \square mm となっているため、 \square mm 分の潰れ代を有しており、ケーシングと面タッチする構造となっている。
また、左記の構造で気密試験を実施し、過度な漏えいが発生しないことを確認している。

羽根高さ： \square mm
ケーシング開口高さ： \square mm
パッキン高さ： \square mm

図5-1 シール方法の概要

<原子炉建物としての負圧達成について>

今回の BOP 閉止装置（ダンパ）単体での気密性能試験結果から、本装置を原子炉建物燃料取替階のブローアウトパネル部に設置した場合の原子炉建物の負圧達成可否について評価した結果、非常用ガス処理系定格容量（4400m³/h/台）は、推定インリーク量 [] m³/h を十分に上回るため、非常用ガス処理系にて 63Pa 以上の負圧達成可能である。

・既設原子炉建物原子炉棟の推定インリーク量：約 2035m³/h（63Pa 時の漏えい量）

・BOP 閉止装置（ダンパ）の合計台数：48 台

・BOP 閉止装置（ダンパ）48 台設置時の推定インリーク量：

[] m²×48 台×[] m³/h・m²≒[] m³/h（63Pa 時の漏えい量）

・非常用ガス処理系定格容量：4400m³/h/台（63Pa 時の通気量）

・BOP 閉止装置設置を含めた原子炉建物原子炉棟の推定漏えい量：2035m³/h + [] m³/h = [] m³/h（63Pa 時の漏えい量） < 4400m³/h/台（63Pa 時の通気量）（非常用ガス処理系定格容量）

仮に気密性能試験上の判定基準としている許容漏えい量 [] m³/h・m² がダンパ 1 台あたりから漏えいした場合を想定しても、[] m²×48 台×[] m³/h・m²≒[] m³/h（63Pa 時の漏えい量）となり、原子炉建物原子炉棟の推定漏えい量 2035m³/h と足し合わせても [] m³/h であり、非常用ガス処理系定格風量 4400m³/h/台（63Pa 時の通気量）を大きく下回っており、原子炉建物原子炉棟は負圧に保たれることから余裕のある許容漏えい量を設定している。

5.2 動作試験結果

動作試験の結果を表5-2、表5-3に示す。操作箱のスイッチで全閉操作・全開操作を行い、リミットスイッチにて羽根が全閉位置・全開位置で問題なく自動停止することを確認した。

表5-2 加振後の動作試験（開閉動作）

試験対象	加振倍率	開閉状態	試験結果		判定
			手動操作	電動操作	
事前確認	—	開放→閉止 閉止→開放	異常なし	異常なし	合格
2連ダンパ	1.0倍	開放→閉止	異常なし	異常なし	合格
		閉止→開放	異常なし	異常なし	合格
	α 倍*	開放→閉止	異常なし	異常なし	合格
		閉止→開放	異常なし	異常なし	合格
事前確認	—	開放→閉止 閉止→開放	異常なし	異常なし	合格
3連ダンパ	1.0倍	開放→閉止	異常なし	異常なし	合格
		閉止→開放	異常なし	異常なし	合格
	α 倍*	開放→閉止	異常なし	異常なし	合格
		閉止→開放	異常なし	異常なし	合格

注記*：入力倍率（ α ）については、模擬地震波の入力レベル1.0倍の振動台応答の実績から、X(NS)=1.15倍、Y(EW)=1.20倍、Z(UD)=1.25倍

表5-3 加振後の動作試験（動作時間および電流値）

試験対象	加振倍率	開閉状態	電動操作（参考値）*2	
			時間（秒）	電流値（A）
事前確認	—	開放→閉止	45.53	0.7
2連ダンパ	1.0倍	開放→閉止	45.36	0.7
		閉止→開放	45.28	0.7
	α 倍*1	開放→閉止	45.30	0.7
		閉止→開放	45.36	0.7
事前確認	—	開放→閉止	47.21	0.7
3連ダンパ	1.0倍	開放→閉止	46.96	0.7
		閉止→開放	47.19	0.7
	α 倍*1	開放→閉止	47.05	0.7
		閉止→開放	46.96	0.7

注記*1：入力倍率（ α ）については、模擬地震波の入力レベル1.0倍の振動台応答の実績から、X(NS)=1.15倍、Y(EW)=1.20倍、Z(UD)=1.25倍

注記*2：動作試験時の動作時間および電流値は、動作不具合が発生した場合に原因特定するための参考情報として取得した。

5.3 外観目視点検結果

実施した加振試験後の点検結果を表5-4に示す。基準地震動 S_s を包絡する加振でも設備に損傷はなく、ひずみ測定による有意なひずみも確認されなかったことから、健全であることを確認した。

表 5-4 BOP 閉止装置加振試験後の外観点検結果

試験条件		外観目視点検結果			
加振条件	開閉状態	羽根 (パッキン含む)	シャフト	ケーシング	その他
S_s 包絡波	開	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
	閉	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし

ブローアウトパネル関連設備の先行電力との差異について

1. 概要

ブローアウトパネル（以下「BOP」という。）関連設備の先行電力との差異について説明する。

2. BOP 関連設備の構成比較

BOP 関連設備の構成比較について表 2-1 に示す。

表 2-1 BOP 関連設備の構成比較

東海第二	柏崎 7 号	女川 2 号	島根 2 号	差異の有無
原子炉建屋外側 BOP	燃料取替床 BOP	原子炉建屋 BOP	原子炉建物燃料取替階 BOP	無
—	主蒸気配管トンネル室 BOP	—	原子炉建物主蒸気管トンネル室 BOP	有
BOP 閉止装置	燃料取替床 BOP 閉止装置	原子炉建屋 BOP 閉止装置	原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置	無
BOP 強制開放装置（自主対策設備）	燃料取替床 BOP 強制開放装置（自主対策設備）	—	原子炉建物燃料取替階 BOP 強制開放装置（自主対策設備）*	有

注記 *：重大事故等時に静的触媒式水素処理装置、格納容器フィルタベント系により原子炉建物内の水素濃度が低下しなかった場合に、強制的に開放する設備（「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」第 68 条「原子炉建屋等の水素爆発を防止するための設備」）である。

2.1 差異箇所の詳細について










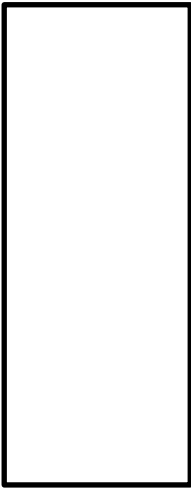
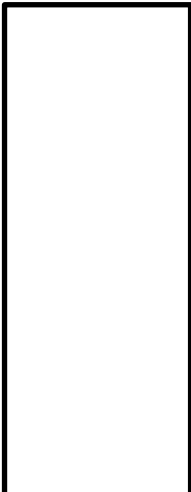


柏崎刈羽 7 号機及び島根 2 号機には主蒸気管トンネル室に BOP が設置されているが、東海第二及び女川 2 号機には設置されていない。東海第二と女川 2 号機では、主蒸気管破断事故時に発生する蒸気を全て原子炉建物から屋外へ通ずる BOP により、原子炉建物外へ逃がす設計としているが、柏崎刈羽 7 号機と島根 2 号機は原子炉建物燃料取替階から屋外へ通ずる BOP に加えて主蒸気管トンネル室からタービン建物等へ通ずる BOP により、主蒸気管破断事故時に発生する蒸気を原子炉建物外へ逃がす設計としていることから、相違しているものである。

また、島根 2 号機の原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置は、屋内に設置されており、原子炉建物燃料取替階 BOP の開放状態によらず閉止動作が可能な設計のため、東海第二および柏崎刈羽 7 号機と同じ目的での強制開放装置は設置していない。

3. 原子炉建物燃料取替階 BOP の詳細設計に関する比較

先行電力で設置されている原子炉建屋 BOP 等と島根 2 号機で設置する原子炉建物燃料取替階 BOP の設備詳細比較を表 3-1 に示す。

表 3-1 原子炉建物燃料取替階 BOP の詳細設備比較

項目	東海第二	柏崎 7 号	女川 2 号	島根 2 号	差異の有無
パネル枚数				2 枚	有
設計差圧				6.9kPa	有
材料				SS400, SUS304	有
作動方式				クリップ式 個数：16 個 (幅約 140 mm ／パネル) 材質：SUS304 幅：約 140 mm 厚さ：約  mm	有
すべり台, 車輪	無	すべり台	車輪	すべり台	有
コーキング 有無	パネル 4 辺を シール材によ りコーキング	パネル上部及 び左右に水切 り板を設置 し、その周辺 3 辺をコーキ ング	パネル上下部 及び左右に水 切り板を設置 し、コーキン グはしない	パネル上下部 及び左右に水 切り板を設置 し、コーキン グはしない。	有

3.1 差異箇所の詳細について

(1) パネル枚数及び設計差圧について

パネルの枚数及び設計差圧については、主蒸気管破断事故等が発生した際に、原子炉格納容器の外側に作用する圧力が設計外圧以下となるよう、プラント毎に設定しているため、相違しているものである。

(2) 作動方式について

□では□としているが、島根2号機では□及び□と同様にクリップ式としている。

クリップの個数については、弾性設計用地震動による地震力や設計差圧を考慮してクリップを左右対称に上部□個（幅約140mm）、下部□個（幅約140mm）としている。

クリップ材質については□では材質を□としているが、耐食性の向上を目的として島根2号機では□と同様にSUS304としている。

(3) すべり台、車輪について

パネルと躯体の摩擦力を低減させるため、柏崎刈羽7号機と同様にパネル及び躯体にステンレス製のすべり台を設置している。

(4) コーキングについて

パネル周囲と躯体との隙間の雨水浸入の防止処置について東海第二及び柏崎刈羽7号機では、シール材によるコーキングとしているが、島根2号機ではコーキングに変えて女川2号機と同様に水切り板を設置することとしている。なお、水切り板はパネルと躯体とを接着等でつなぐものではなく、開放時、付着や摩擦による抗力は発生せずパネルの開放挙動に影響するものではない。また、パネルと枠との隙間には気密性を確保するためパッキンを設置しているが、パッキンは枠側のみ接着固定されるため、開放時、付着や摩擦による抗力は発生せずパネルの開放挙動への影響はない。

4. クリップ引張試験に関する比較

先行電力で実施されているクリップ引張試験等と島根2号機で実施しているクリップ引張試験の比較を表4-1に示す。

表4-1 クリップ引張試験等の比較

項目	東海第二	柏崎7号	女川2号*	島根2号	差異の有無
試験方法	オートグラフ試験機 変位制御（引張速度 1 mm/min） 変位：変位計にて測定 ひずみ：ひずみゲージにて測定	オートグラフ試験機 変位制御（引張速度 2 mm/min） 変位：変位計にて測定 ひずみ：ひずみゲージにて測定	定速型万能試験機 変位制御（載荷速度 5 mm/min） 変位：変位計にて測定	オートグラフ試験機 変位制御（引張速度 2mm/min） クリップ変位：変位計にて測定	有
試験体数	30 体	幅約 75 mm:3 体 幅約 37.5 mm:3 体	15 体	30 体	有

注記*：女川2号機は、

4.1 差異箇所の詳細について

(1) 試験方法について

であるため曲げ試験を実施しているが、島根2号機はと同じクリップ式であるため引張試験を実施している。

(2) 試験体数について

試験体数は島根2号機では、ばらつきを考慮して30体としている。

5. 原子炉建物燃料取替階 BOP の試験に関する比較

先行電力で実施されている BOP の開放確認試験と島根 2 号機で実施した原子炉建物燃料取替階 BOP の開放確認試験に関する比較を表 5-1 に示す。

表 5-1 原子炉建物燃料取替階 BOP の開放確認試験比較

項目	東海第二	柏崎 7 号	女川 2 号	島根 2 号	差異の有無
試験装置	油圧ジャッキ 4 体にて加力	油圧ジャッキ 4 体にて加力	油圧ジャッキ 4 体にて加力	油圧ジャッキ 4 体にて加力	無
試験回数	2 回	3 回	3 回	3 回	有
試験体数	3 体	3 体	3 体	3 体	無
試験用パネル	実機に設置されているパネルのうち、最大の物と同一	実機と同一	実機と同一	実機と同一	有
動作確認	目視にて開放を確認	目視にて開放を確認	目視にて開放を確認	目視にて開放を確認	無

5.1 差異箇所の詳細について

(1) 試験回数について

東海第二では、開放試験の 1 回とその再現性を確認するための 1 回の合計 2 回としている。島根 2 号機では柏崎刈羽 7 号機及び女川 2 号機と同様に 3 回の試験を実施している。

(2) 試験用パネルについて

東海第二では、実機に設置されているパネルサイズが数種類あり、そのうちの最大のものを採用しているのに対して、島根 2 号機ではパネルサイズが 1 種類であることから実機と同一としている。

6. 原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の設計に関する比較

先行電力で設置されている BOP 閉止装置と島根 2 号機で設置する原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の設計比較を表 6-1 に示す。

表 6-1 原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の設備設計比較

項目	東海第二	柏崎 7 号	女川 2 号	島根 2 号	差異の有無
方式	スライド扉方式		扉方式	ダンパ方式	有
設置場所	屋外		屋内	屋内	有
閉維持機構	門			ウォームギアによるセルフロック	有
作動方式	電動 (手動)			電動 (手動)	無
手動操作方式	ワイヤー	クランクハンドル	レンチ	ハンドル	有

6.1 差異箇所の詳細について

(1) 方式及び設置場所について

東海第二及び柏崎 7 号機では屋外にスライド扉方式の BOP 閉止装置を設置するが、島根 2 号機は女川 2 号機と同様に原子炉建物原子炉棟内の BOP への蒸气流路上に設置する。設置にあたっては、BOP の開放機能へ悪影響を及ぼさないよう、蒸气流路の確保に対する考慮に加え、欧州の原子力発電所 (EPR) にて原子炉格納容器のバウンダリに使用されているダンパをベースとしたダンパ方式の BOP 閉止装置とした。

EPR では LOCA 等の事故時においてダンパを開放させることに対し、BOP 閉止装置は SA 時にダンパを閉止させるため開閉動作方向に相違はあるものの、事故時環境において動作機能を期待しているという共通点から、当該ダンパを BOP 閉止装置設計のベースとすることは妥当と考えており、BOP 閉止装置として、島根 2 号機における事故時環境にて閉止動作及び気密性能が維持されるよう設計している。島根 2 号機の原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の概要を図 6-1 に示す。

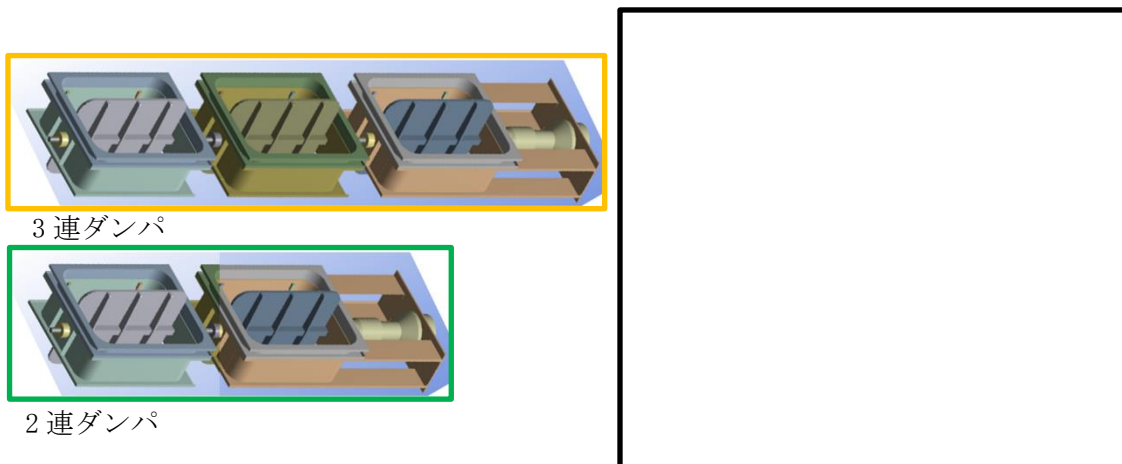


図 6-1 原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の概要図

(2) 閉維持機構について

先行電力では、BOP 閉止装置を閉止後に扉に対して門を挿入することにより、閉状態を維持する設計としている。一方で、島根2号機の原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置は、駆動機構にあるウォームギアによりセルフロックがかかる設計となっている。構造の概要を図6-2に示す。

島根2号機の基準地震動 S_s 相当による加振試験の際も、このセルフロックによって加振中にダンパが開方向へ動くことなく、閉維持されていたことを目視で確認している。

ウォームギアの構造について

ネジ型の歯があるウォームが回転することで、かみ合っているウォームホイールが従動する仕組み。

逆にウォームホイールから駆動させてウォームを従動させることは、摩擦の関係により出来ない構造となる（セルフロック）。

島根2号のBOP閉止装置の場合、ウォームが電動又は手動により回転させる軸で、ウォームホイール側がダンパの軸となる。このため、地震等でダンパへ開方向の力が加わったとしてもセルフロックにより開放しない。

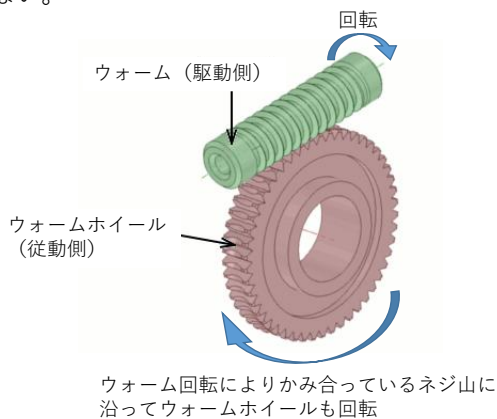


図1 ウォームギア通常動作

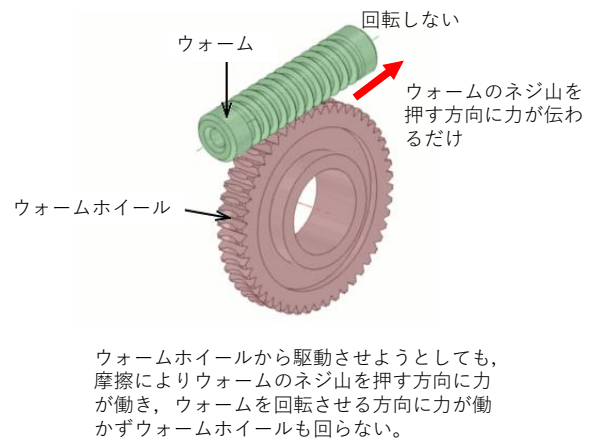


図2 セルフロック状態

図6-2 ウォームギアによるセルフロックの概要

(3) 手動操作方式について

東海第二ではBOP 閉止装置近傍にアクセスが難しいことからワイヤーを用いた遠隔操作による手動操作方式としているが、島根2号機は柏崎7号機及び女川2号機と同様に、BOP 閉止装置の近傍へアクセスし、アクチュエータ（以下「駆動部」という。）に設置されたハンドルにて操作する手動操作方式としている。BOP 閉止装置のハンドル設置箇所を図6-3に示す。



図 6-3 BOP 閉止装置のハンドルの設置位置

ハンドルを使用した手動による閉止操作時間は駆動部 1 つあたり約 2 分/人で実施可能な設計としている。オペフロ BOP1 箇所あたりに取り付けられる BOP 閉止装置のハンドルは 10 個（2 連ダンパ 6 台及び 3 連ダンパ 4 台の駆動部毎に設置）であることから、想定される手動操作時間は約 20 分/人となる。

BOP 閉止装置の手動による閉止操作は、現場へのアクセス 1 時間を含め、オペフロ BOP1 箇所あたり緊急時対策要員 2 名で 2 時間以内に対応することとしており、オペフロ BOP 1 箇所あたりの閉操作に約 20 分/人を要しても問題ない。

オペフロ BOP1 箇所あたりの BOP 閉止装置手動操作による閉止時間を図 6-4 に示す。

必要な要員と作業項目		経過時間 (分)												備考	
		20	40	60	80	100	120	140	180	200	220	240	260		
手順の項目	要員(数)	120分 原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル部の閉止完了 (1箇所あたり)													
原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル部の閉止手順 (現場での原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル部の閉止)	緊急時対策要員	2	移動			▽									
			原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置操作												

図 6-4 オペフロ BOP1 箇所あたりの BOP 閉止装置手動操作による閉止時間

7. 原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の加振試験・気密性能試験に関する比較

先行電力で実施されている BOP 閉止装置の加振試験及び気密性能試験と島根 2 号機で実施した原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の加振試験及び気密性能試験に関する比較を表 7-1 に示す。

表 7-1 原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の加振試験・気密性能試験比較

項目	東海第二 柏崎 7 号	女川 2 号	島根 2 号	差異の 有無
試験装置	3 次元振動台 (兵庫耐震工学研究センター)	3 次元振動台 (清水建設株式会社 技術研究所 先端耐震防災研究棟)	3 次元振動台 (鹿島建設株式会社 技術研究所 西調布実験場)	有
加振波	①BOP 閉止装置設置高さより上方の床応答 ②建屋影響等のばらつきを包絡	①最大加速度は BOP 閉止装置と同程度の設置高さ, 床応答スペクトルは BOP 閉止装置設置高さより上方の床応答 ②建屋影響評価等のばらつきを包絡	①BOP 閉止装置設置高さより上方の床応答 ②建物影響評価等のばらつきを包絡	有
振動特性把握試験	実施	実施	実施	無
加振試験方法 (開状態)	【3 次元加振】 ①扉開状態加振後に扉閉動作 ②扉閉状態で気密性能試験 ③扉開動作・閉動作	【3 次元加振】 ①扉開状態加振後に扉閉動作 ②扉閉状態で気密性能試験 ③扉開動作・閉動作	【単軸加振】 ①羽根開状態加振後に羽根閉動作 ②羽根閉状態で気密性能試験 ③羽根開動作・閉動作	有
加振試験方法 (閉状態)	【3 次元加振】 ①扉閉状態加振 ②気密性能試験 ③扉開動作・閉動作	【3 次元加振】 ①扉閉状態加振 ②気密性能試験 ③扉開動作・閉動作	【単軸加振】 ①羽根閉状態加振 ②気密性能試験 ③羽根開動作・閉動作	有
加速度測定箇所	①振動台 ②支持架台 ③扉 ④駆動装置	①振動台 ②支持架台 ③扉 ④駆動装置	①振動台 ②支持架台 ③ダンパ ④駆動装置	無
ひずみ測定箇所	①プッシュローラ ②レール ③チェーン ④門周辺	—	①ダンパケーシング ②羽根 ③ダンパ連結継手	有

項目	東海第二 柏崎7号	女川2号	島根2号	差異の 有無
加振後の 作動確認 (電動)	・扉の開閉, 門の引抜/挿入を確認 ・電動機の電流値, 扉及び門の動作時間を測定	・扉の開閉, 門の引抜/挿入を確認 ・電動機の電流値, 扉及び門の動作時間を測定	・ダンパの開閉を確認 ・電動機の電流値, ダンパ動作時間を測定	有
加振後の 作動確認 (手動)	・扉の開閉, 門の引抜/挿入を確認	・扉の開閉, 門の引抜/挿入を確認	・ダンパの開閉を確認	有
加振後の 気密性能 試験方法	・ASTM E283-4 に準じた装置を用いる。 ・排風機により試験容器内の空気を排出することにより試験体前後に圧力差を生じさせ, 試験体のシール部から試験容器へ流入する通気量を測定する。	・ASTM E283-4 に準じた装置を用いる。 ・排風機により試験容器内の空気を排出することにより試験体前後に圧力差を生じさせ, 試験体のシール部から試験容器へ流入する通気量を測定する。	・ASTM E283-4 に準じた装置を用いる。 ・送風機により設置架台とダンパ間の空間を加圧することによりダンパ前後に圧力差を生じさせ, ダンパのシール部から漏えいする通気量を測定する。	有

7.1 差異箇所の詳細について

(1) 試験装置について

島根2号機は試験体重量等を考慮した結果, 先行電力と異なる鹿島建設株式会社 技術研究所 西調布実験場の試験装置を用いて加振試験を実施している。

(2) 加振波について

東海第二, 柏崎7号機及び島根2号機はBOP閉止装置の設置高さより上方の床応答を目標として設定している。女川2号機のBOP閉止装置は設置高さより上方の床応答を目標とした場合, 振動台性能の制約から加振試験が不可能であったことから, 支持架台の応答増幅を考慮して設計用震度を超えるように加振波を設定している。

(3) 加振試験方法について

東海第二, 柏崎7号機及び女川2号機は, 3方向(X, Y, Z)同時の3次元加振試験を実施している。島根2号機は, 目標とする加振レベルが高いこと及び試験装置の加振限界から3方向(X, Y, Z)各方向の単軸加振試験を実施している。BOP閉止装置の機能確認試験結果に示すとおり, 島根2号機のBOP閉止装置は剛構造であり, かつ応答軸が明確であることから, 3次元加振試験と単軸加振試験は同等な試験方法である。

(4) ひずみ測定箇所について

6.1 項で先述のとおり，BOP 閉止装置の方式が異なり，島根 2 号機の原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の構造上，ひずみの発生が考えられる位置にひずみゲージを設置している。

(5) 加振後の作動確認について

6.1 項で先述のとおり，島根 2 号機は原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の閉維持機構に門を用いていないため，ダンパの作動確認に関するもののみとなる。

(6) 加振後の気密性能試験方法について

先行電力の排風機によって試験装置内を負圧とする方法と異なり，島根 2 号機は「J I S A 1516 (建具の気密性試験方法)」に示されている試験構成が加圧式であることに倣い，試験装置内を送風機によって加圧する方法を採用している。なお，図 7-1 に示すとおり，当該試験は試験体前後に発生させた圧力差による漏えい量を測定するものであり，試験体に対して加圧する方向（現場取付状態で屋外から屋内方向）及び試験圧力を試験体前後の差圧で管理することに先行電力との相違はなく，試験結果の妥当性に影響を与えるものではない。

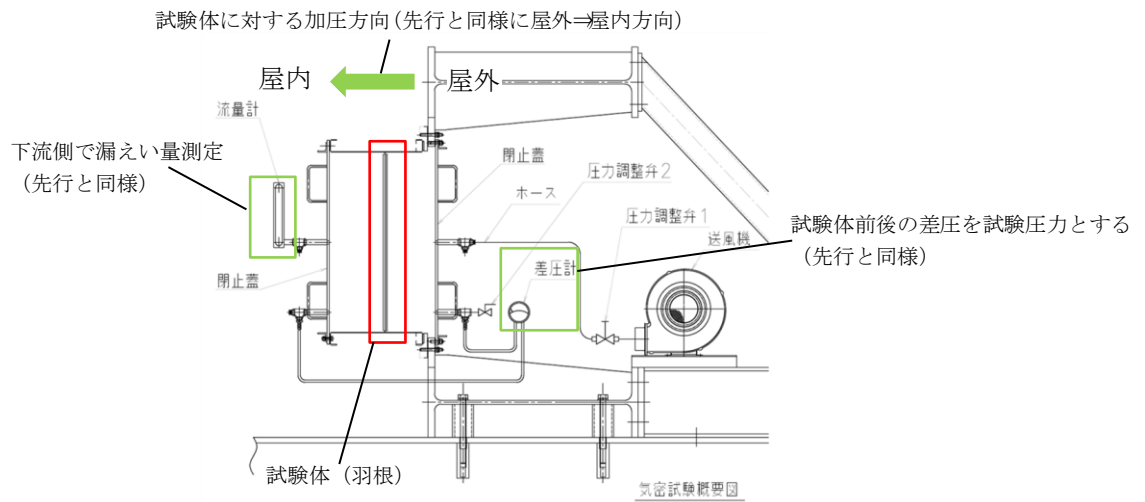


図 7-1 気密性能試験装置図

8. 原子炉建物燃料取替階 BOP 強制開放装置（自主対策設備）に関する比較

先行電力で実施されている BOP 強制開放装置と島根 2 号機で設置されている原子炉建物燃料取替階 BOP 強制開放装置に関する比較を表 8-1 に示す。

表 8-1 強制開放装置の仕様比較

項目	東海第二	柏崎 7 号	女川 2 号	島根 2 号	差異の有無
作動方式	油圧	電動駆動	—	手動	有
設置場所	屋内	屋外	—	屋外	有

8.1 差異箇所の詳細について

(1) 作動方式について

島根 2 号機は、全交流動力電源喪失時に操作ができ、かつ、通常時の誤動作防止を考慮し、レバースロック及びワイヤーロープ等の開放治具を用いた手動方式による設計としている。

なお、本装置は、重大事故等対処設備である静的触媒式水素処理装置及び格納容器ベントにより水素の処理又は排出を行っても原子炉建物内の水素濃度が低下しない場合に、オペフロ BOP を開放し、原子炉建物内の水素を排出することを目的として設置している。

(2) 設置場所について

島根 2 号機の開放治具は、通常時は原子炉建物屋外外壁の保管箱に収納する設計としている。

非常用ガス処理系吸込口の位置変更について

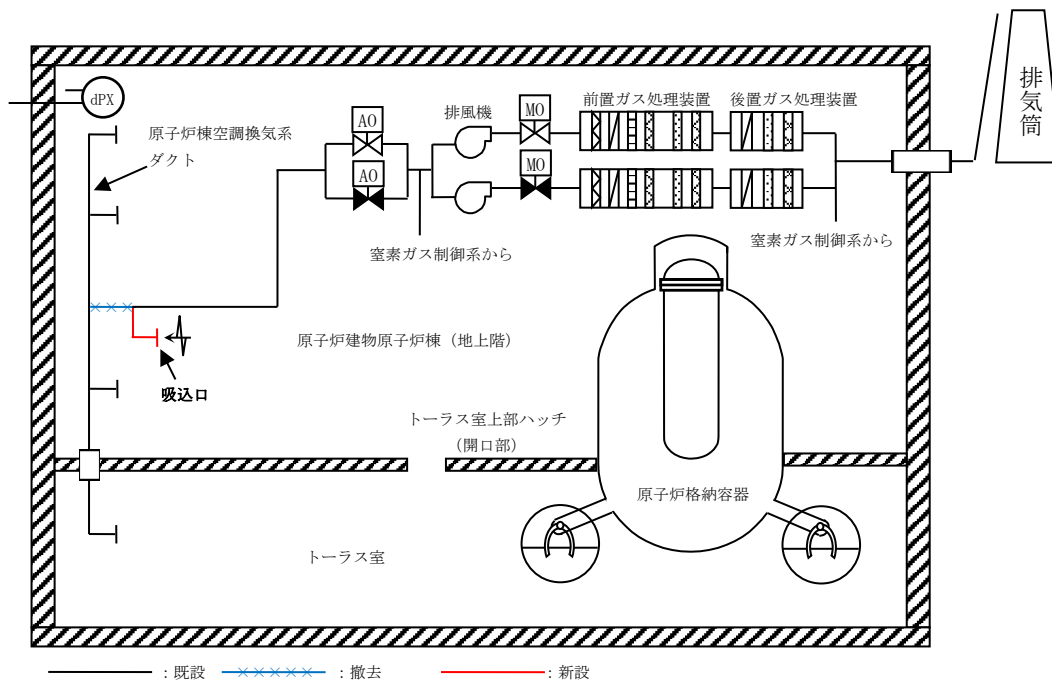
1. はじめに

島根原子力発電所第2号機の非常用ガス処理系は、よう素用チャコールフィルタ等を含む非常用ガス処理系前置ガス処理装置フィルタ及び非常用ガス処理系後置ガス処理装置フィルタ並びに非常用ガス処理系排風機等から構成される。放射性物質の放出を伴う設計基準事故時には、非常用ガス処理系で原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）内を負圧（約6mmAq）に保ちながら、原子炉格納容器から漏えいした放射性物質をガス処理装置フィルタに通して除去・低減した後、排気筒（非常用ガス処理系用）より放出できる設計としている。また、重大事故等時には、非常用ガス処理系排風機により原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）内を負圧（約6mmAq）に維持するとともに、原子炉格納容器から原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）内に漏えいした放射性物質を含む気体を排気筒（非常用ガス処理系用）から排気し、原子炉格納容器から漏えいした空気中の放射性物質の濃度を低減させることで、中央制御室にとどまる運転員の被ばくを低減することができる設計としている。

そのうち、非常用ガス処理系の吸込口については、空気の流れを適切に保ち原子炉建物原子炉棟内の汚染拡大を防止する観点から、原子炉棟空調換気系排気ダクトに接続し、原子炉建物原子炉棟全体から空気を吸引する構成としていたが、重大事故等時にトーラス室が100℃以上の高温となった場合*、内部流体温度が非常用ガス処理系の設計温度（66℃）を超える可能性があることから、吸込口を当該ダクトから切り離し、トーラス室の高温の空気を直接吸引しないよう変更することとした。非常用ガス処理系の系統概要図を図1に、差圧計の検出点配置を図2に示す。

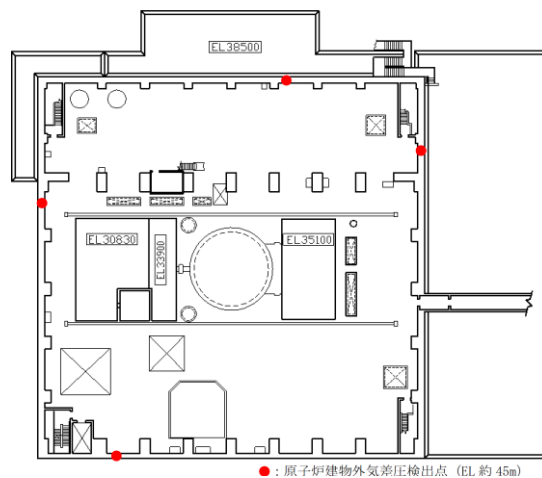
吸込口を原子炉棟空調換気系排気ダクトから切り離す変更により、非常用ガス処理系の系統機能に影響がないことを以下に示す。

注記*：重大事故等時の温度については「VI-1-1-7 安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」にて説明



注：差圧計は原子炉建物原子炉棟4階と大気との差圧を監視するものであり、4個設置している。

図1 非常用ガス処理系系統概要図



原子炉建物4階

図2 原子炉建物原子炉棟-大気間の差圧計検出点 配置概要図

2. 変更概要

非常用ガス処理系の吸込口は、原子炉建物原子炉棟2階（周回通路）にある原子炉棟空調換気系排気ダクトに接続していたが、当該ダクトから切り離し、原子炉建物原子炉棟2階（周回通路）天井付近（設置レベルは原子炉建物原子炉棟中2階）から直接吸引する構成に変更した。見直し前後の吸込口の構造を図3に示す。

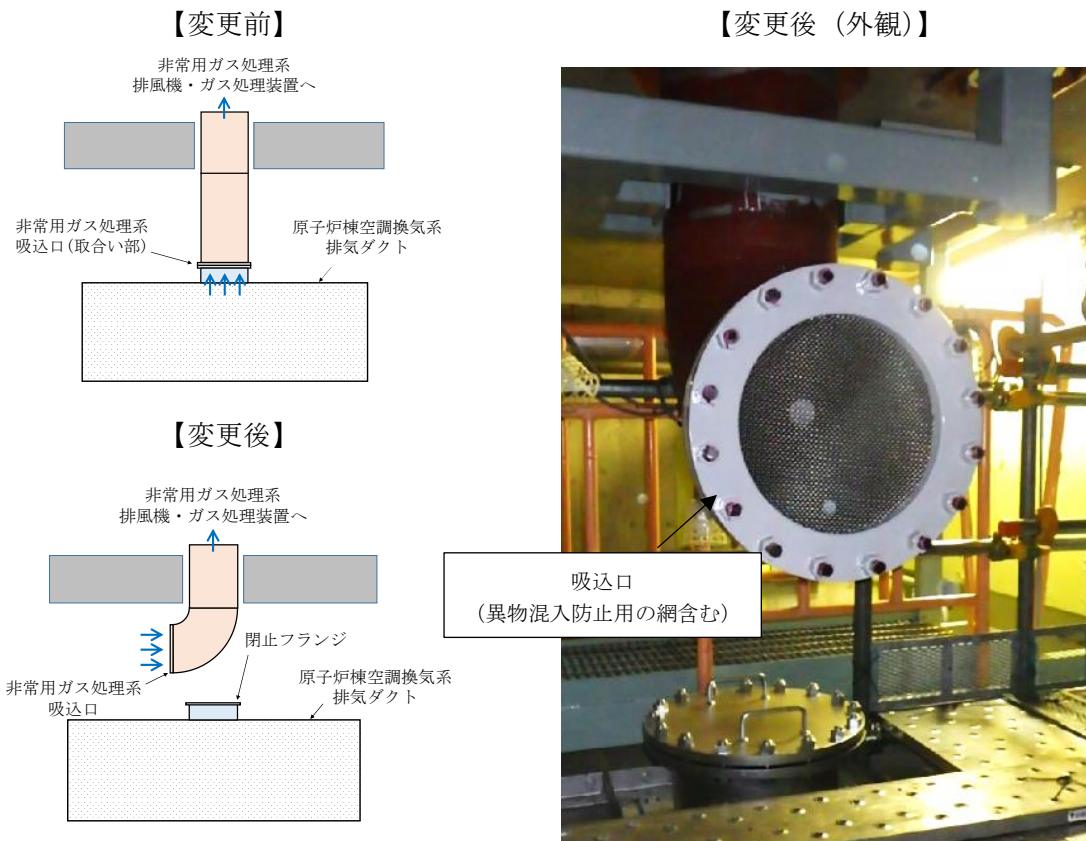


図3 非常用ガス処理系吸込口の位置変更前後の構造及び外観

3. 系統機能の整理

技術基準規則第26条（燃料取扱設備及び燃料貯蔵設備）、44条（原子炉格納施設）及び74条（運転員が原子炉制御室にとどまるための設備）において、非常用ガス処理系に要求される系統機能を表1に示す。

表1 非常用ガス処理系の系統機能

系統機能	
①原子炉建物原子炉棟内の負圧維持機能	原子炉冷却材喪失事故時等に、原子炉建物原子炉棟内の圧力を規定の負圧（約6mmAq）に維持する。
②放出放射能低減機能	原子炉冷却材喪失事故時等に、原子炉棟からの放出空気中に含まれる放射性物質を除去*し、環境への放出放射能を低減する。

注記*：重大事故等時においては、高所放出による大気拡散効果のみを期待している。

4. 系統機能への影響

吸込口の位置変更に伴う各系統機能への影響について、以下のとおり評価した。

① 原子炉建物原子炉棟内の負圧維持

吸込口の位置変更前における原子炉建物原子炉棟内の負圧維持については、原子炉建物原子炉棟内の空気を原子炉棟空調換気系排気ダクト及びトールラス室上部ハッチ等を経由し、非常用ガス処理系により排出することで原子炉建物原子炉棟内は規定負圧を達成する。

規定負圧達成後については、排出された空気に相当するインリークが躯体開口部（大物搬入口扉等）の隙間から発生し、排出量とインリーク量のバランスにより、原子炉建物原子炉棟全体の負圧が一定範囲に維持される。

図4に示すとおり、原子炉建物原子炉棟2階は大物搬入口へ向かう周回通路で構成され、大物搬入口は原子炉建物原子炉棟1階から4階（燃料取替階）までの吹き抜け構造であり、原子炉建物原子炉棟1階と原子炉建物原子炉棟地下階は開口部であるトールス室上部ハッチで連絡されている（図5、6参照）。

このため、原子炉棟空調換気系排気ダクトから切り離し、原子炉建物原子炉棟2階（周回通路）に吸込口の位置を変更した場合においても、原子炉建物原子炉棟地上階の空気は周回通路及び大物搬入口を経由し、地下階の空気はトールス室上部ハッチ（図5参照）、周回通路及び大物搬入口を経由することにより、原子炉建物原子炉棟全体の空気を排出でき、吸込口の位置変更前と同様に原子炉建物原子炉棟の負圧化及び負圧維持可能である。

ここで、原子炉棟空調換気系排気ダクトからの切り離しに伴い、地下階から地上階への開口総面積としては、原子炉棟空調換気系排気ダクトの面積分小さくなることで、規定負圧達成時間及び規定負圧達成後の負圧維持への影響が考えられる。

非常用ガス処理系起動による規定負圧達成時間については、机上評価では起動後約250秒と評価しているのに対して、実機においては、吸込口の位置変更によらず約5分であり、影響がないことを確認しており（図7参照）、吸込口の位置変更前後で、圧力挙動に大きな差がないことから、開口総面積減少による規定負圧達成時間への影響はない。規定負圧達成後の負圧維持についても、図7に示すとおり、吸込口位置変更前後で規定負圧達成後の圧力挙動に大きな差がなく、また、非常用ガス処理系排風機は十分な容量を有しており、必要に応じて電動弁により流量調整ができることから、開口総面積減少による負圧維持への影響はない。なお、図7の圧力挙動は、原子炉建物原子炉棟4階と外気の差圧を示しているが、原子炉建物原子炉棟地上階（1階から4階）は大物搬入口で、地上階と地下階はトールス室上部ハッチで連絡されており、原子炉建物原子炉棟内で生じた圧力変動はトールス室上部ハッチ等を介し遅滞なく均圧されるため、検出位置によらず、原子炉建物原子炉棟全体と外気との差圧を確認することができることから、原子炉建物原子炉棟地下階の圧力挙動も図7で示す挙動と同様であると考えられる。

以上より、吸込口の位置変更による原子炉建物原子炉棟内の負圧維持機能への影響はない。

なお、非常用ガス処理系排風機が2台起動した場合であっても、原子炉建物原子炉棟2階（周回通路）の大物搬入口へ向かう通路の最も狭隘な箇所（図4参照）に発生する気流は風速0.5m/s未満*であり、設備へ影響を与えることはない。

注記*：「建築物における衛生的環境の確保に関する法律施行令」の居室における気流の基準値

《気流の評価》

- ・狭隘部の開口面積 8.1(m²) (=幅3.0(m)×高さ2.7(m))
- ・非常用ガス処理系排風機流量 (2台起動時) 8,800(m³/h)
8,800(m³/h) ÷ 8.1(m²) ÷ 3600(s/h) ≒ 0.3(m/s) < 0.5(m/s)

② 放出放射能低減

非常用ガス処理系は、原子炉建物原子炉棟内の空気を吸込口から吸引したのち、排風機、ガス処理装置フィルタ及び排気管を経由し放出する系統構成のため、吸込口を原子炉棟空調換気系排気ダクトから切り離しても系統構成の変更はないため、放出放射能の低減機能に影響を与えることはない。

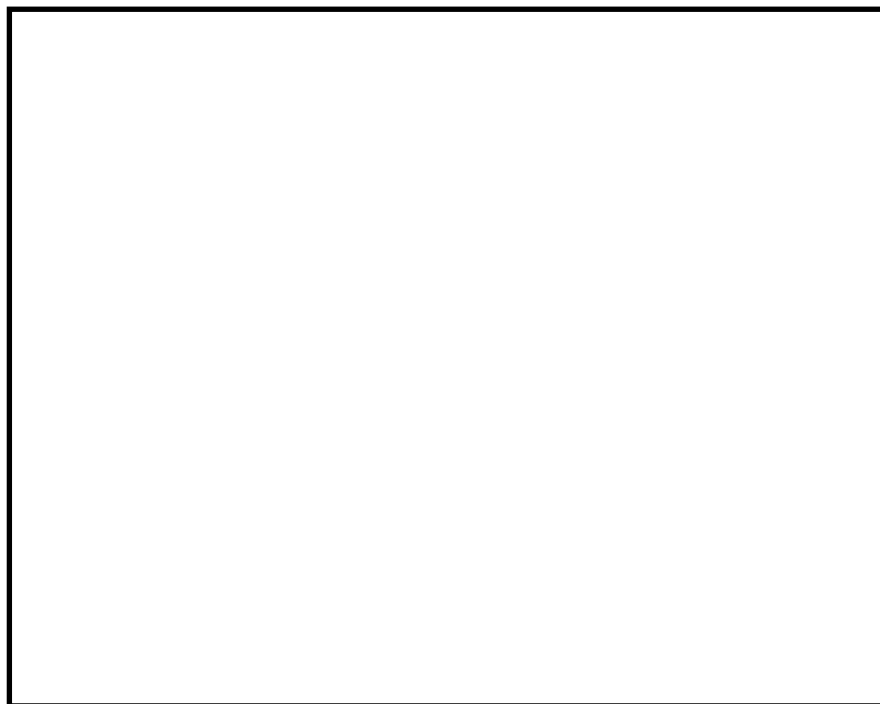


図4 原子炉建物2階 配置図

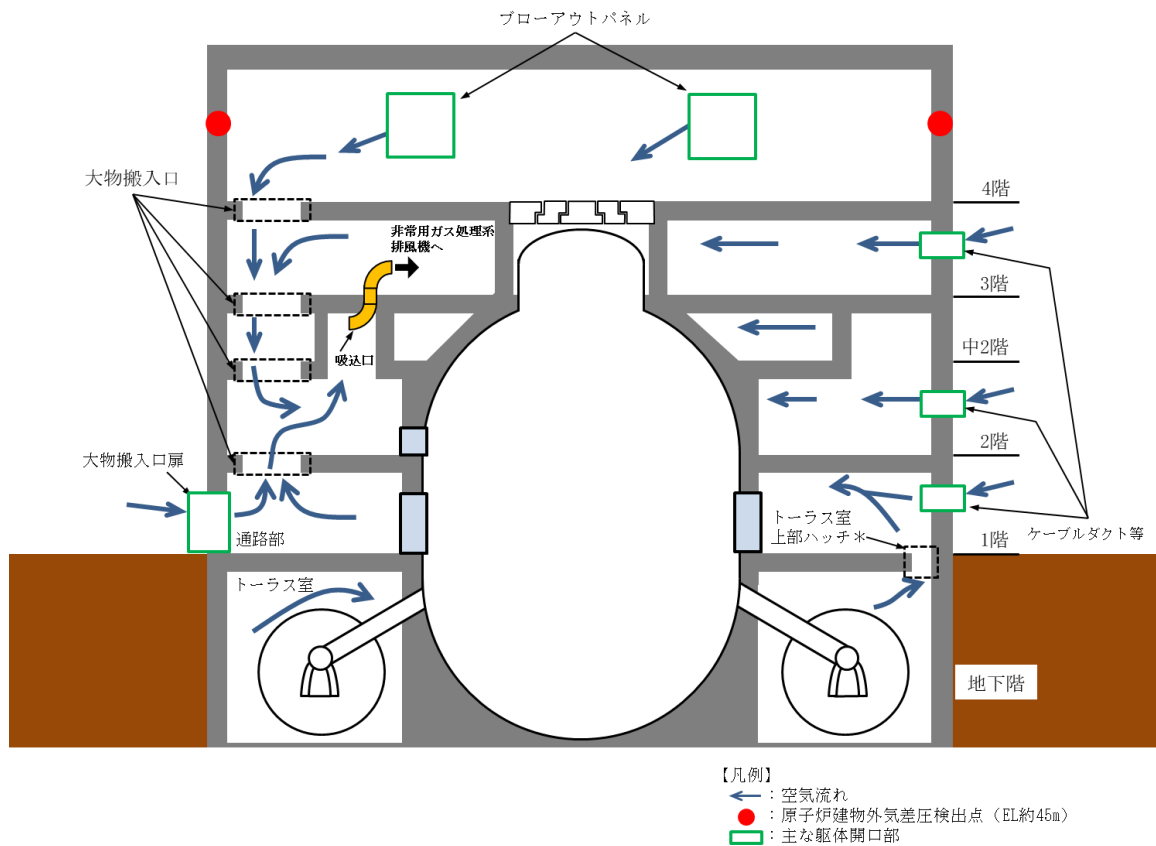


大物搬入口開口面積：約 39m²

トールラス室上部ハッチ開口面積：約 3.24m²

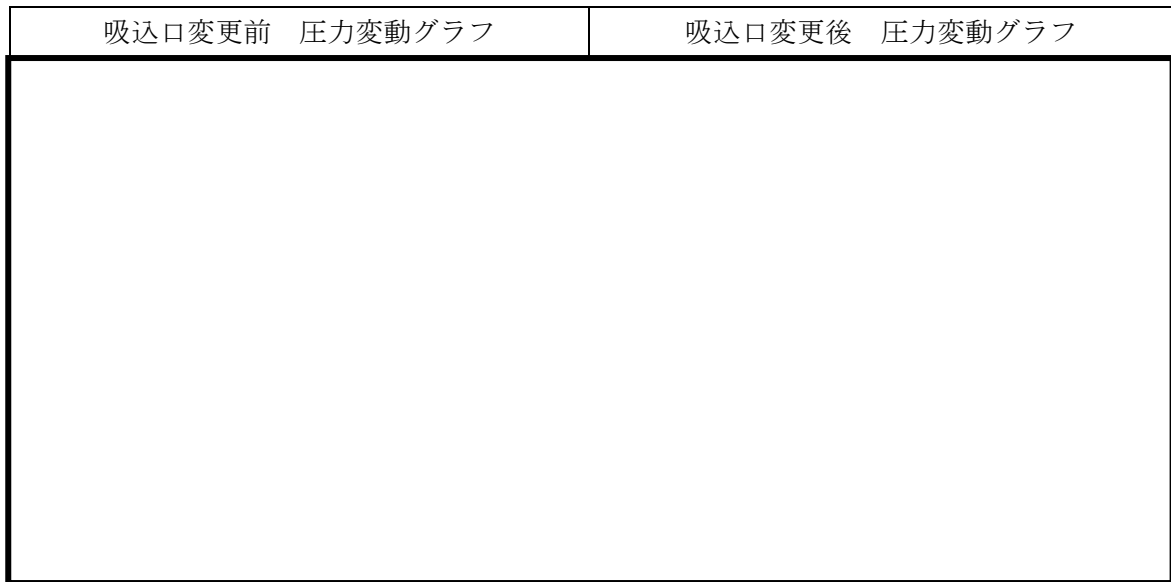
原子炉棟空調換気系排気ダクト流路面積：約 1.02m²

図5 原子炉建物1階 配置図



注記* : トーラス室上部ハッチは、機器搬入を目的に設置したグレーチングハッチであり、コンクリートハッチ等により閉止することはない。

図6 原子炉建物原子炉棟 断面図



注 : 原子炉棟空調換気系 (HVR) 停止から非常用ガス処理系 (SGTS) 起動までの操作時間が異なるため、圧力挙動に多少の相違はあるものの、変動傾向は同様であり吸込口変更による影響はない

図7 非常用ガス処理系の吸込口変更前後の圧力挙動比較

5. 構造健全性への影響

吸込口は非常用ガス処理系の主配管の一部であり、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての機能を有する。

表2に示すとおり、それぞれの設備分類や評価条件を踏まえ、吸込口の構造強度に影響がないことを、耐震計算書及び強度計算書にて示すこととしている。

表2 非常用ガス処理系吸込口（主配管）の設備区分

設計基準対象施設		重大事故等対処設備	
耐震重要度分類	機器クラス	設備分類	重大事故等 機器クラス
Sクラス	クラス4管	常設重大事故緩和設備	重大事故等クラス2管

6. 添付資料

(1) 非常用ガス処理系の吸引温度について

非常用ガス処理系の吸引温度について

非常用ガス処理系の吸込口については、空気の流れを適切に保ち原子炉建物原子炉棟内の汚染拡大を防止する観点から、原子炉棟空調換気系排気ダクトに接続し、原子炉建物原子炉棟全体から空気を吸引する構成としていたが、重大事故等時にトーラス室が100℃以上の高温となった場合、内部流体温度が非常用ガス処理系の設計温度（66℃）を超える可能性があることから、吸込口を当該ダクトから切り離し、トーラス室の高温の空気を直接吸引しないよう変更することとした。

そのため、吸込口位置変更後に非常用ガス処理系が吸引する温度について、以下のとおり確認した。

1. 重大事故等時における原子炉建物原子炉棟内の環境条件（温度）の設定について

1.1 環境条件（温度）の設定の考え方

重大事故等時における原子炉建物原子炉棟内（原子炉格納容器内を除く）の環境条件（温度）は、代表的な事故シナリオにおける環境評価結果（汎用熱流体解析コード（GOTHIC）による温度評価）を包絡する条件を設定している。なお、発熱体があるエリアについては、熱収支による重大事故等時の温度を確認し、一律の環境条件または個別の環境条件を設定している。

1.2 想定するシナリオについて

環境評価における代表的な事故シナリオは、最も過酷な環境が想定される事故として「高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱」を選定している。

なお、格納容器バイパス（インターフェイスシステム LOCA）時、使用済燃料プールにおける事故時及び主蒸気破断事故起因の重大事故等時に使用する設備の環境条件については、それぞれの事故シナリオにおける環境評価結果を実施し、この結果を包絡する条件を設定している。

1.3 環境条件（温度）の設定

環境評価結果を図1、原子炉建物原子炉棟内（原子炉格納容器内を除く）の環境条件（温度）を表1に示す。

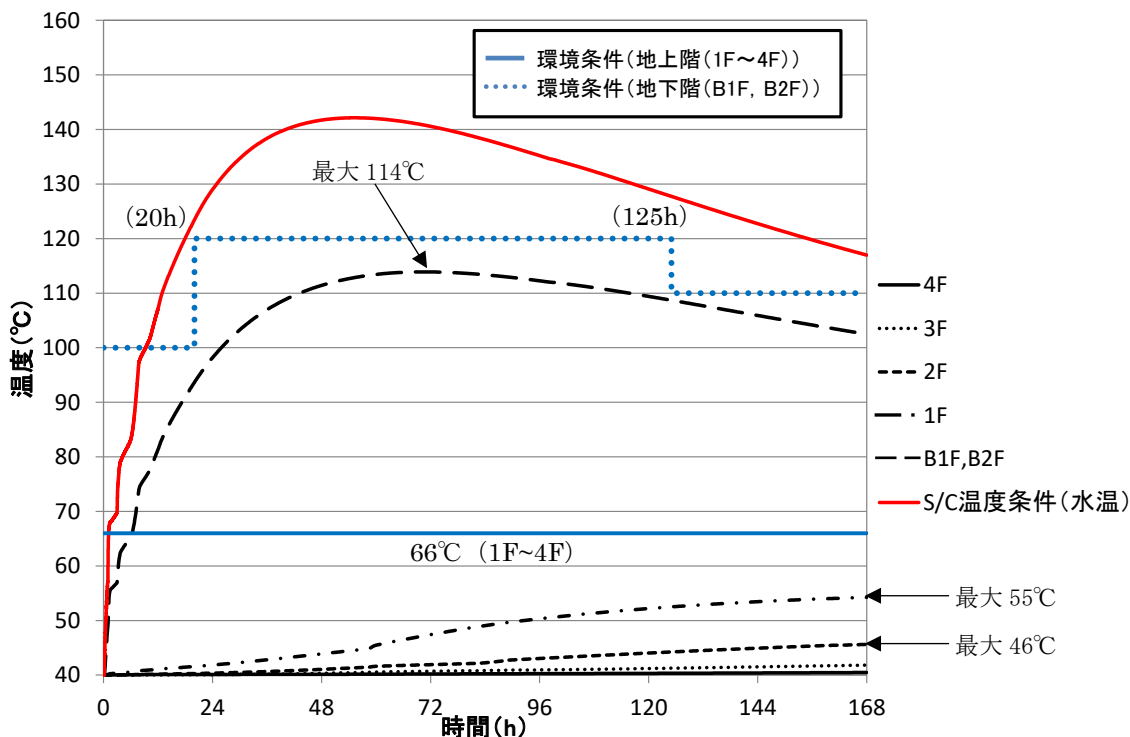


図1 環境評価結果（高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱）

表1 原子炉建物原子炉棟内の環境条件（温度）

重大事故等対処設備の設置エリア	環境条件
原子炉建物原子炉棟地上階（1～4階）	66°C
原子炉建物原子炉棟地下階（トールラス室）	100°C (最高 120°C)

2. 非常用ガス処理系吸引温度について

非常用ガス処理系吸引口は、原子炉建物原子炉棟2階に位置変更することとしており、原子炉建物原子炉棟地上階（1～4階）の環境温度は66°Cと設定していることから、非常用ガス処理系の設計温度（66°C）を超える空気を吸引することない。

なお、重大事故等時における非常用ガス処理系は、炉心の著しい損傷が発生した場合において、運転員の被ばくを低減するために使用するものであり、炉心損傷事象ではない格納容器バイパス時等の環境条件は考慮不要である。

また、1.3項に示す環境評価結果及び一律の環境条件（温度）は、非常用ガス処理系による換気機能に期待しない条件での保守的な結果であり、非常用ガス処理系起動により排出された空気に相当する外気のインリークにより冷却され、環境温度は低下傾向となることから、非常用ガス処理系起動に伴う環境条件（温度）への影響はない。

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

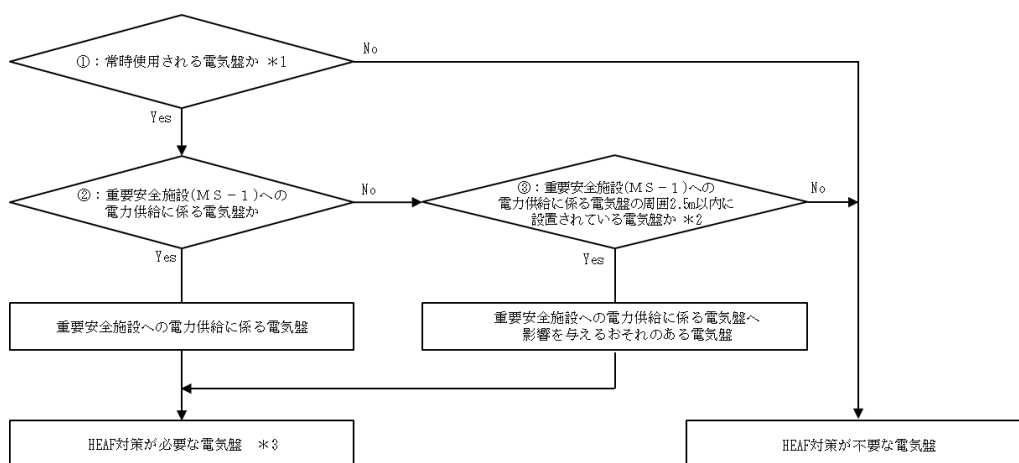
HEAF 対策が必要な電気盤は、技術基準規則の解釈第 45 条第 4 項にて「重要安全施設への電力供給に係る電気盤及び当該電気盤に影響を与えるおそれのある電気盤」と定められている。

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-3B* ¹ (2D-M/C 受電遮断器(起動変圧器))
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)	2B-M/C-2B* ¹ (2B-M/C 受電遮断器(予備変圧器))	
		2B-M/C-4B* ¹ (2B-M/C 受電遮断器(所内変圧器))	
		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。

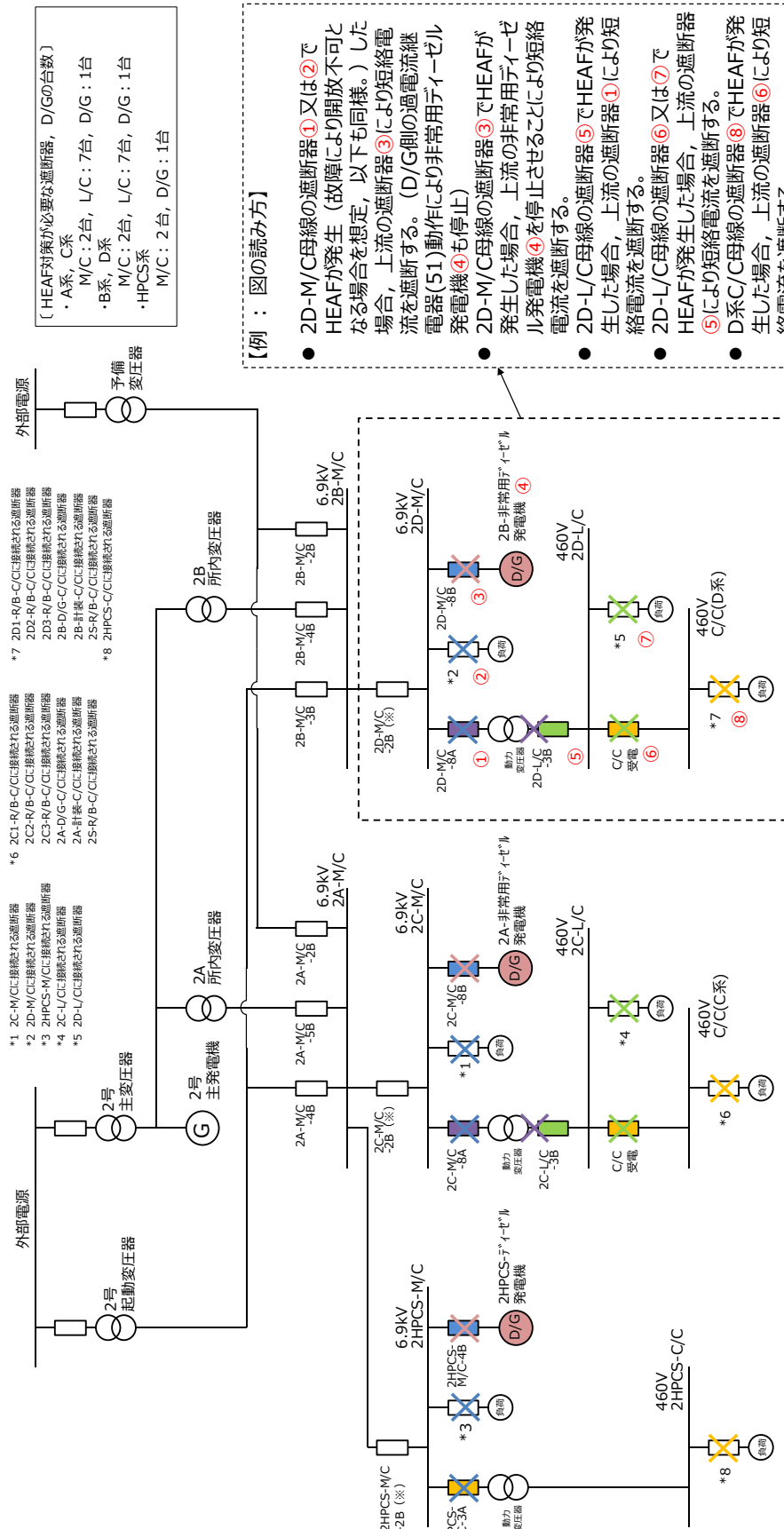
*3：遮断器の種類は配線用遮断器である。

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>

②高温ガスの滞留場所	有	<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>
③可燃物	有	<p>HEAF 試験の結果や、添付資料 1 のとおり、高温ガスの滞留場所の可燃物が主要な燃焼物となっていることから、可燃物の種類の差異により電気盤選定の同等性に影響を与えるおそれがある。</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>
④アークエネルギー	無	<p>アークエネルギーについては、審査ガイド 2.6 章に沿って、アーク放電の継続時間を段階的に変化させて HEAF 試験を実施しているものである。このパラメータは、同等性を有する電気盤に対する試験条件であることから、電気盤選定の同等性に影響を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)

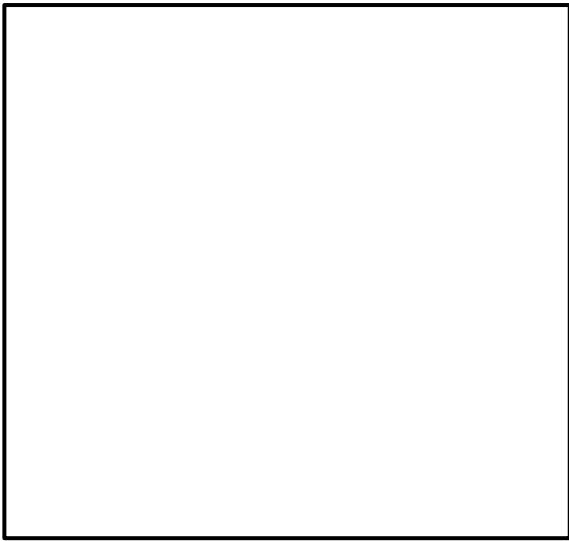
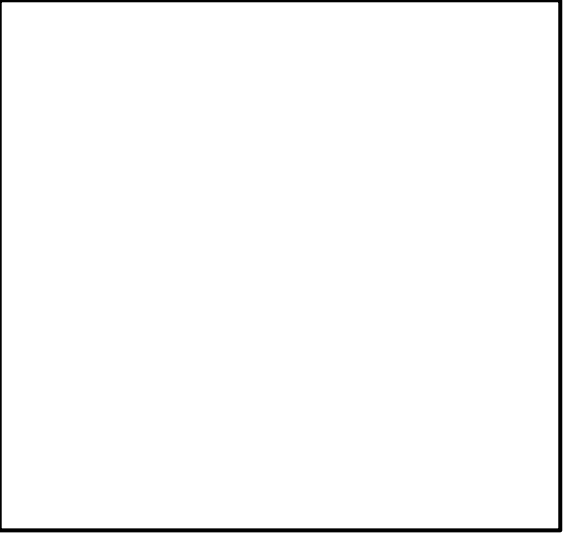
種類	遮断器	遮断器に使用されている 主な絶縁物	外形図
M/C	試験体 ②	エポキシ樹脂 (耐熱温度: 150~200℃) ・ブッシング	
	実機①	エポキシ樹脂 (耐熱温度: 150~200℃) ・モールドフレーム ・ブッシング ・支持サポート	

表 4-1-13 実機及び試験体の可燃物に対する同等性 (2/5)

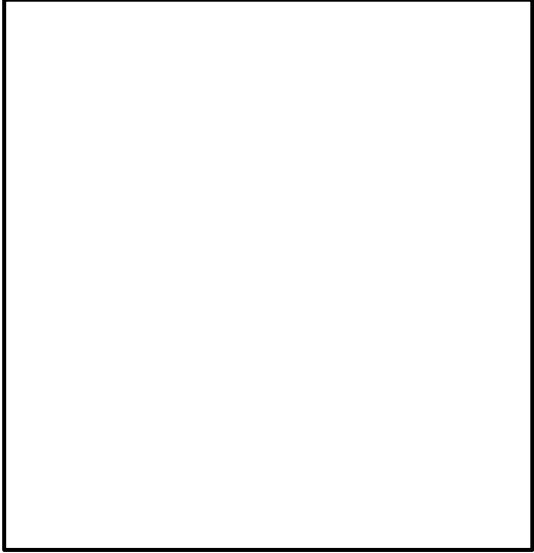
種類	遮断器	遮断器に使用されている 主な絶縁物	外形図
L/C	試験体 ⑤	フェノール樹脂 (耐熱温度：150℃) ・支持サポート	

表 4-1-13 実機及び試験体の可燃物に対する同等性 (3/5)

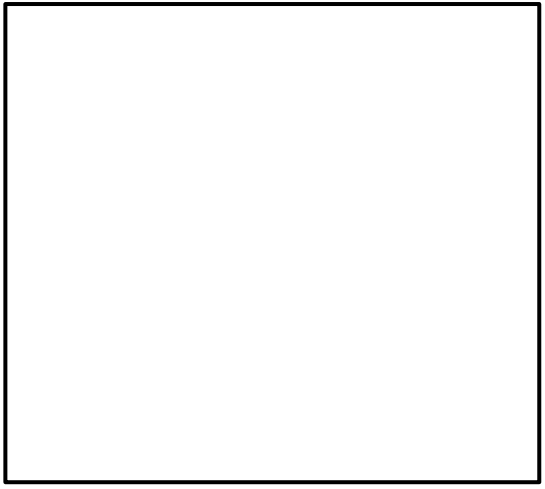
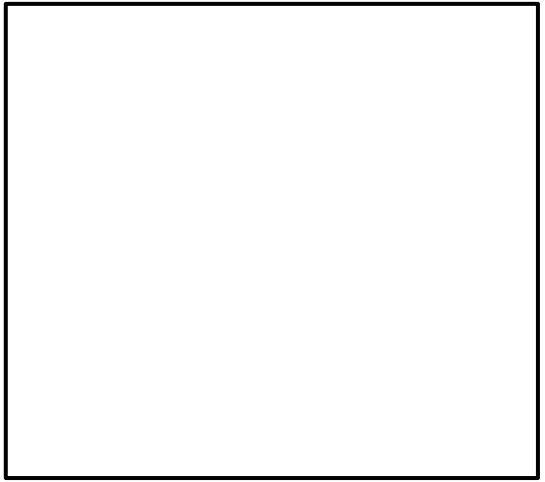
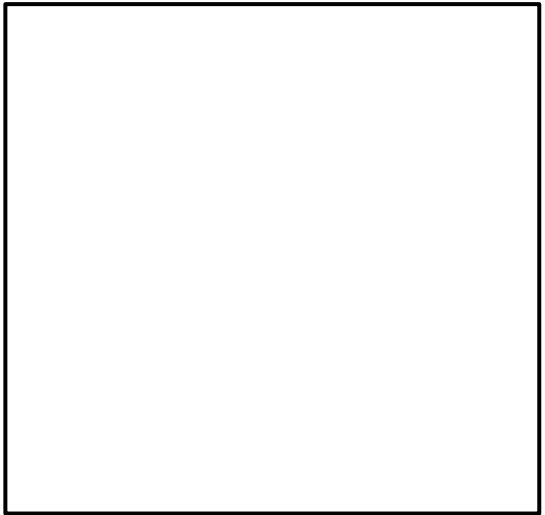
種類	遮断器	遮断器に使用されている 主な絶縁物	外形図
L/C	実機①	エポキシ樹脂 (耐熱温度:150~200℃) ・支持サポート	
	実機②	フェノール樹脂 (耐熱温度:150℃) ・支持サポート	
	実機③	フェノール樹脂 (耐熱温度:150℃) ・支持サポート	

表 4-1-13 実機及び試験体の可燃物に対する同等性 (4/5)

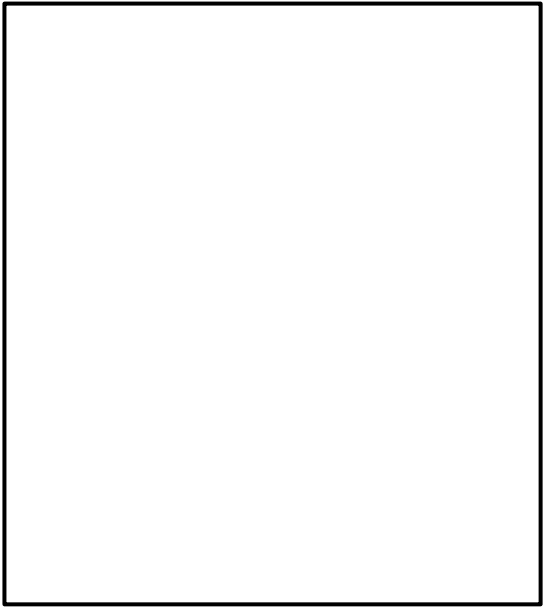
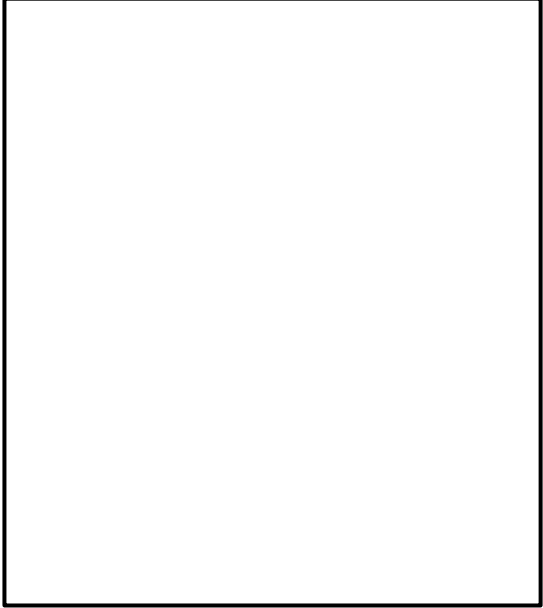

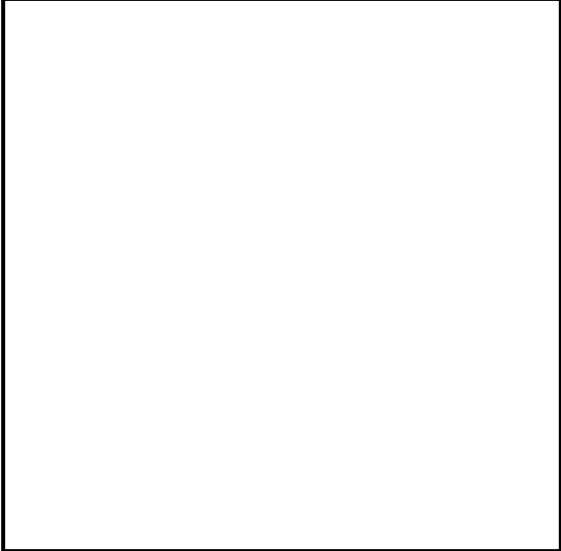
種類	遮断器	遮断器に使用されている 主な絶縁物	外形図
C/C	試験体 ⑥	変性ポリフェニレンエー テル (耐熱温度：90～105℃) ・母線絶縁カバー	
	実機①	ポリカーボネイト (耐熱温度：120～130℃) ・母線絶縁カバー	

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)。

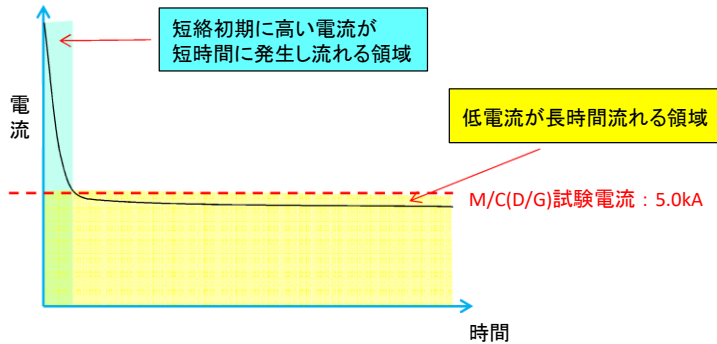


図 4-2-1 M/C(D/G)の短絡電流特性イメージ図

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。

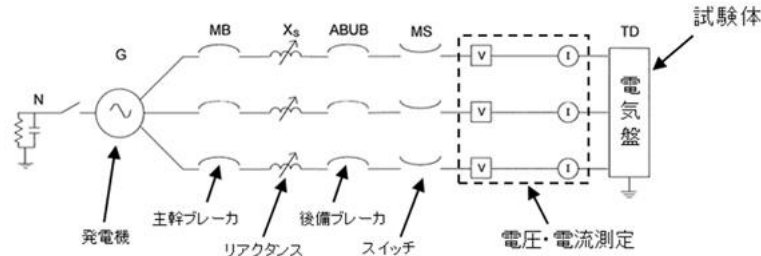
このことから, 実機プラント相当の短絡電流値及び定格使用電圧を用いて, アーク放電の継続時間を変えることで, 火災が発生するアークエネルギーのしきい値を求める試験を実施した。

4.3 HEAF 試験に用いる電気回路

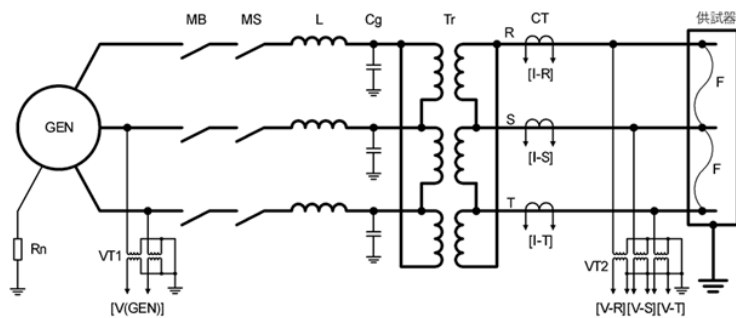
(審査ガイド抜粋【2.3 HEAF試験に用いる電気回路】)

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

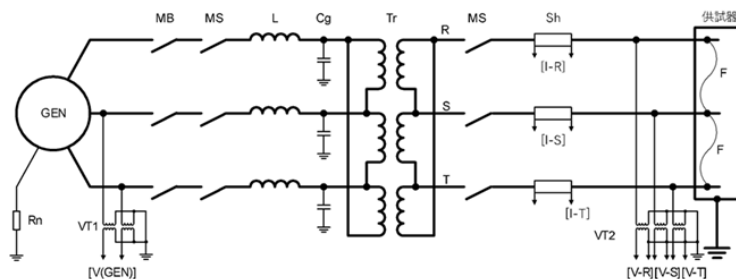


HEAF 試験に用いる電気回路は、短絡発電機、主遮断器、投入器、限流リアクトル、計器用変圧器及び変流器等で構成されており、審査ガイドに示されているものと同等である。M/C、L/C、C/C及びM/C(D/G)それぞれについて電気回路を以下に示す。



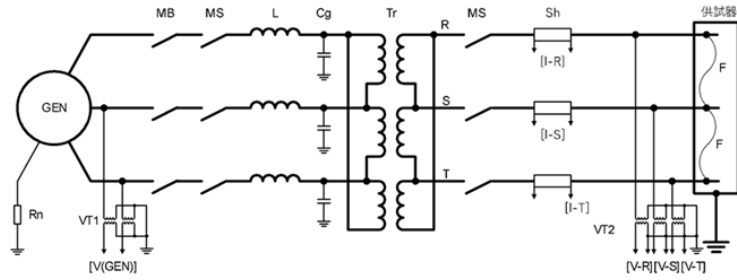
- | | |
|----------------|-----------------------------|
| GEN 短絡発電機 | Tr 変圧器 (15kV / 12kV) |
| Rn 中性点抵抗 | VT1 計器用変圧器 (15kV / 100V) |
| MB 主遮断器 | VT2 計器用変圧器 (33kV / 110V) |
| MS 投入器 | CT 変流器 (4kA / 1A, max 63kA) |
| L 限流リアクトル | F 直径0.5mmの銅線 |
| Cg サージ吸収用コンデンサ | |

図 4-3-1 M/C 試験回路



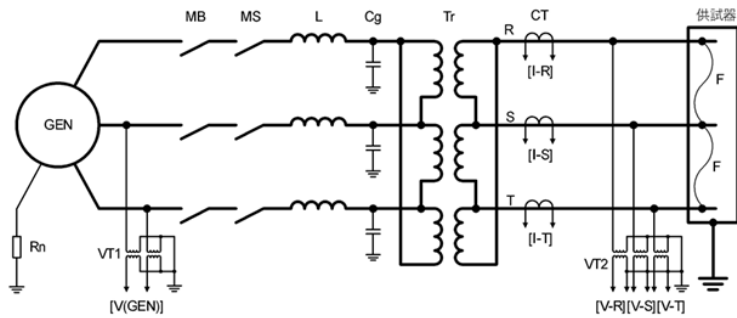
- | | |
|----------------|---------------------------|
| GEN 短絡発電機 | Tr 変圧器 (12kV / 0.6kV) |
| Rn 中性点抵抗 | VT1 計器用変圧器 (15kV / 100V) |
| MB 主遮断器 | VT2 計器用変圧器 (2.2kV / 110V) |
| MS 投入器 | Sh 変流器 (170kA, 20μΩ, 同軸形) |
| L 限流リアクトル | F 直径0.5mmの銅線 (8本撚り) |
| Cg サージ吸収用コンデンサ | |

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。

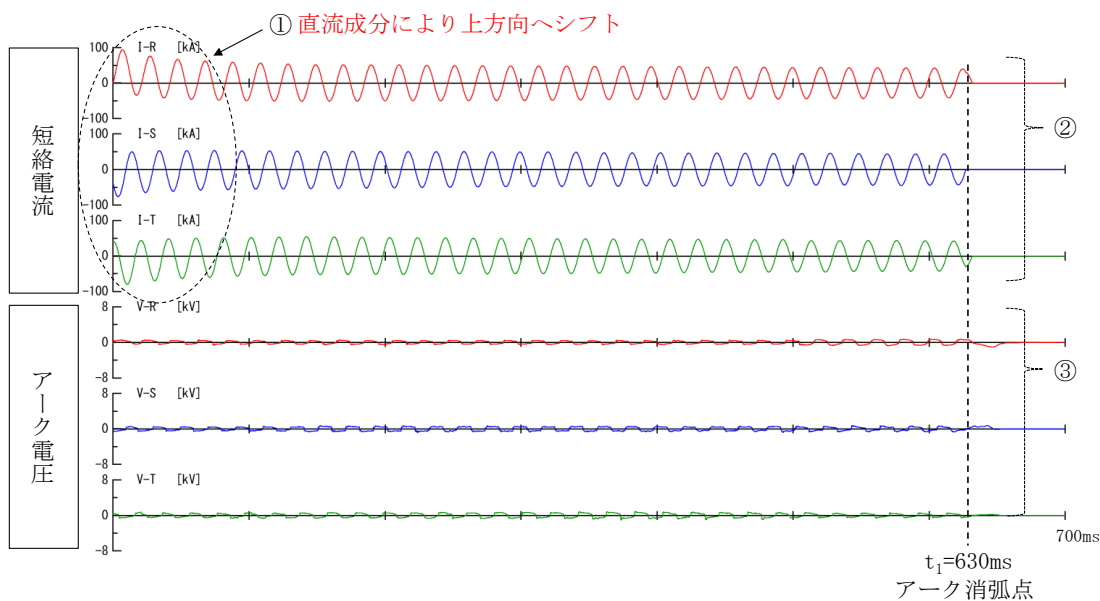
表 4-4-1 しきい値に係る HEAF 試験一覧表

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。

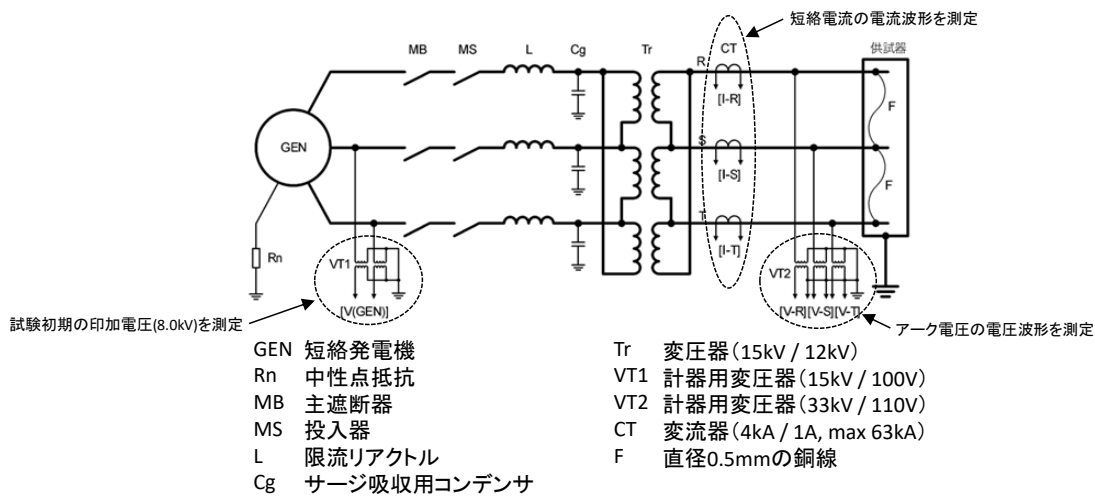
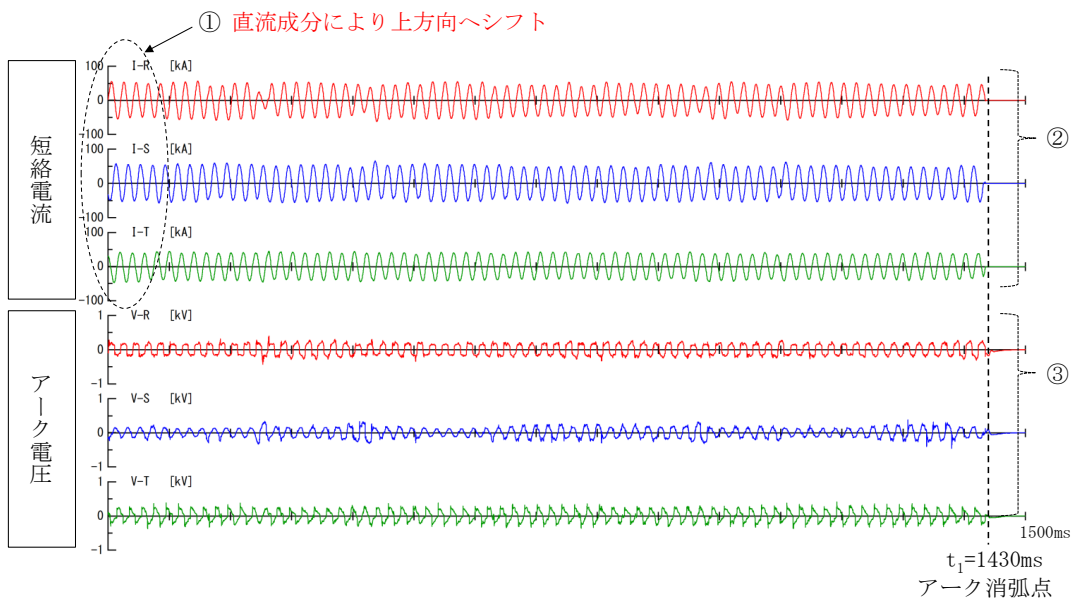


図 4-4-1 HEAF 試験時の電圧・電流波形 (M/C)



- 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。

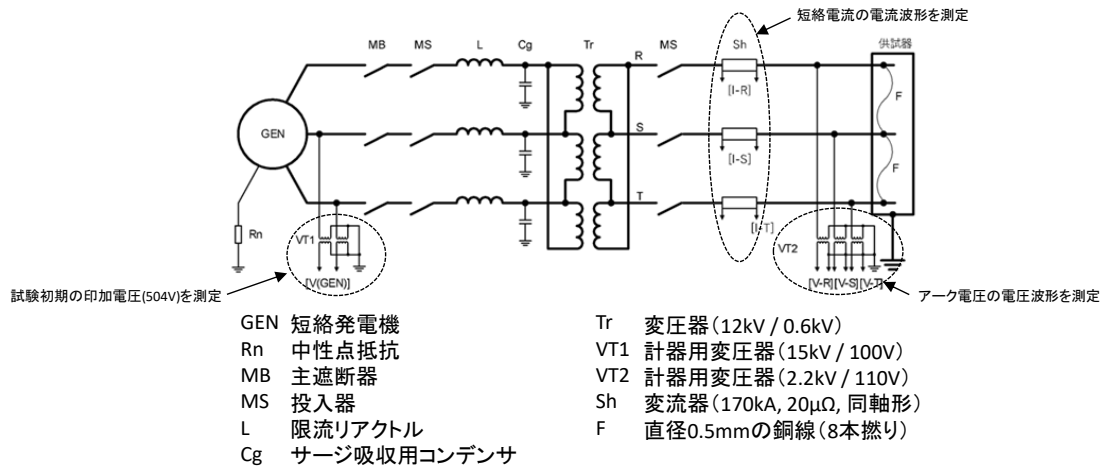
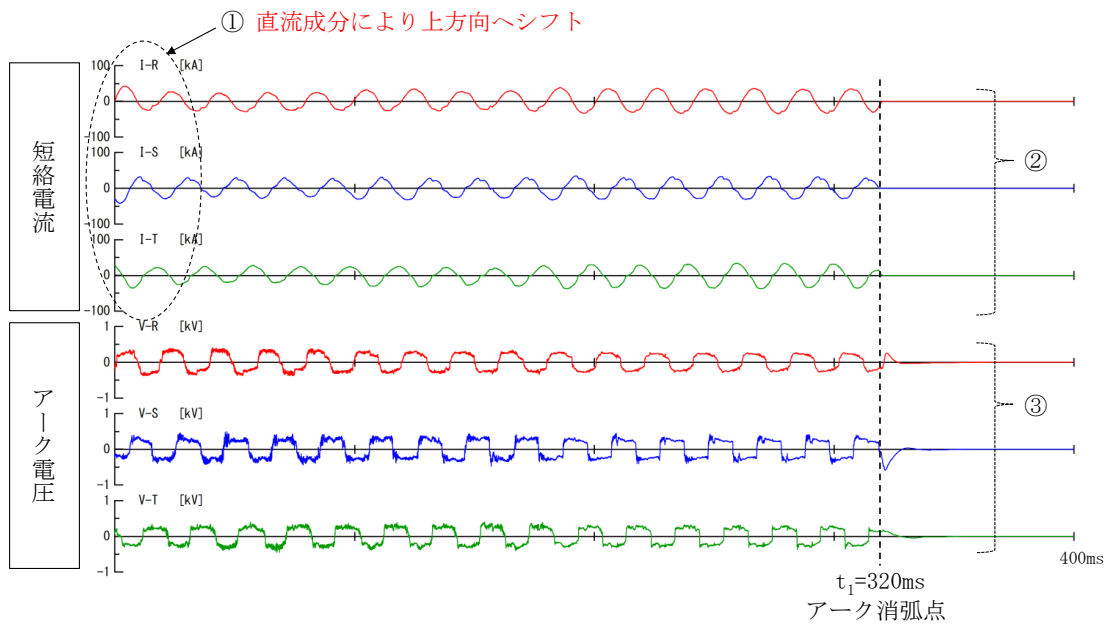


図 4-4-2 HEAF 試験時の電圧・電流波形 (L/C)



- 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。

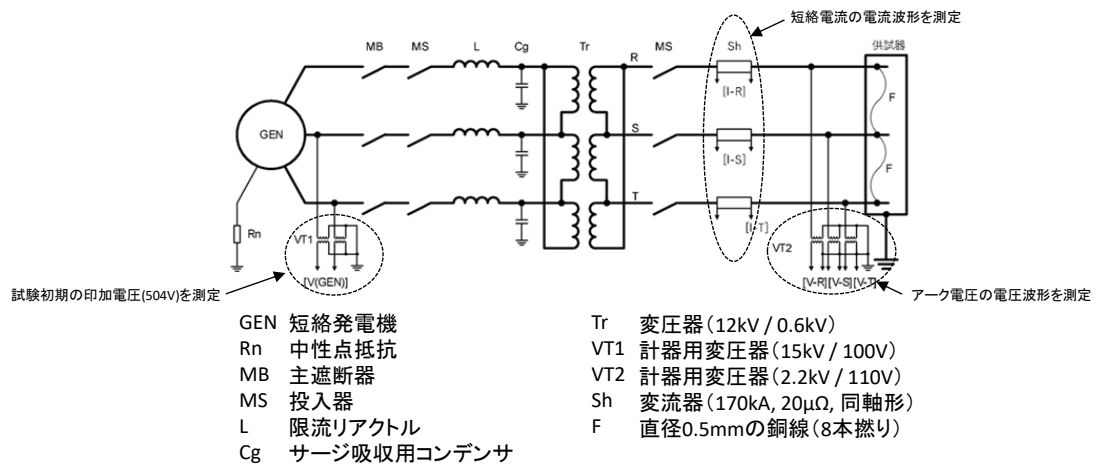
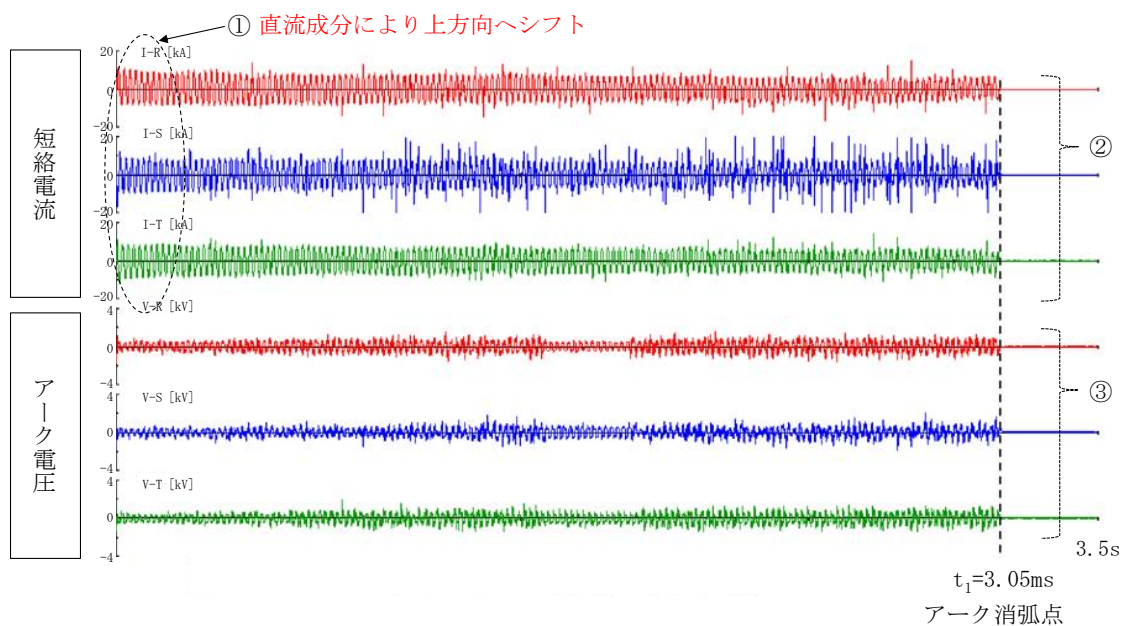


図 4-4-3 HEAF 試験時の電圧・電流波形 (C/C)



- 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。

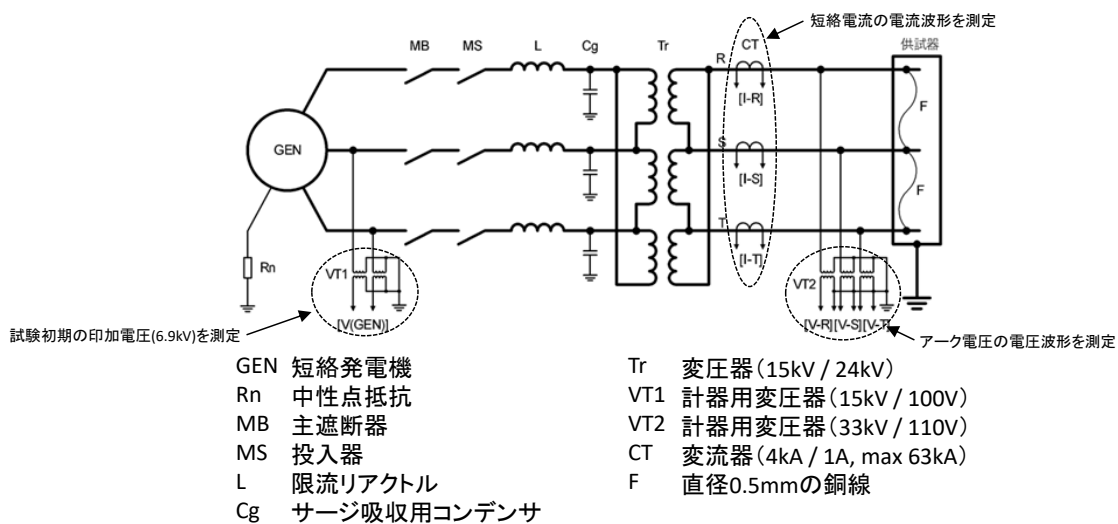


図 4-4-4 HEAF 試験時の電圧・電流波形 (M/C(D/G))

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。

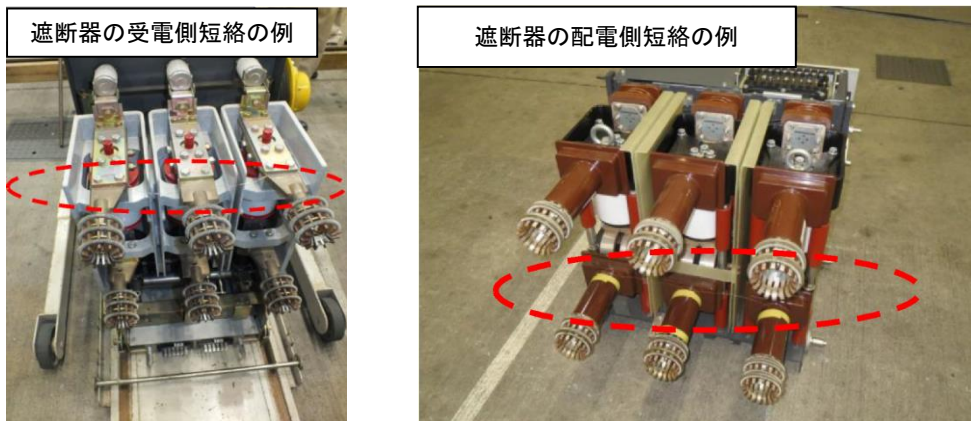


図4-5-1 遮断器の短絡箇所 (M/C試験時)

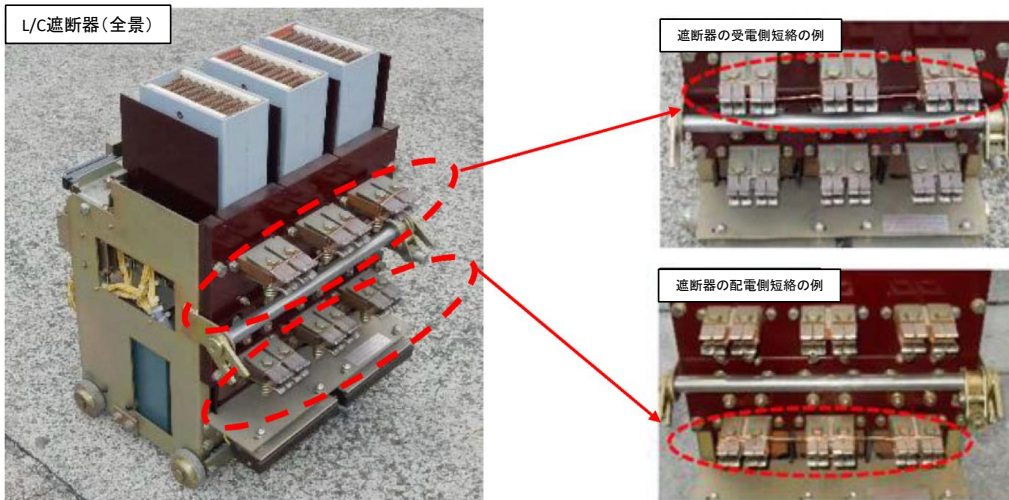


図 4-5-2 遮断器の短絡箇所 (L/C 試験時)



図 4-5-3 遮断器の短絡箇所 (C/C 試験時)

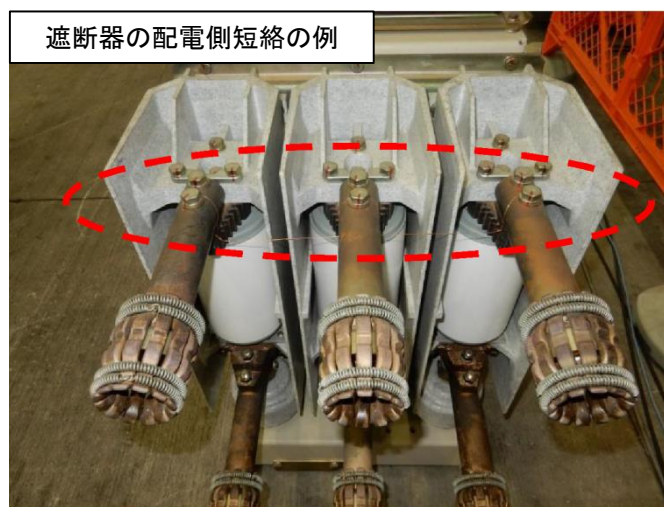


図 4-5-4 遮断器の短絡箇所 (M/C(D/G) 試験時)

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)

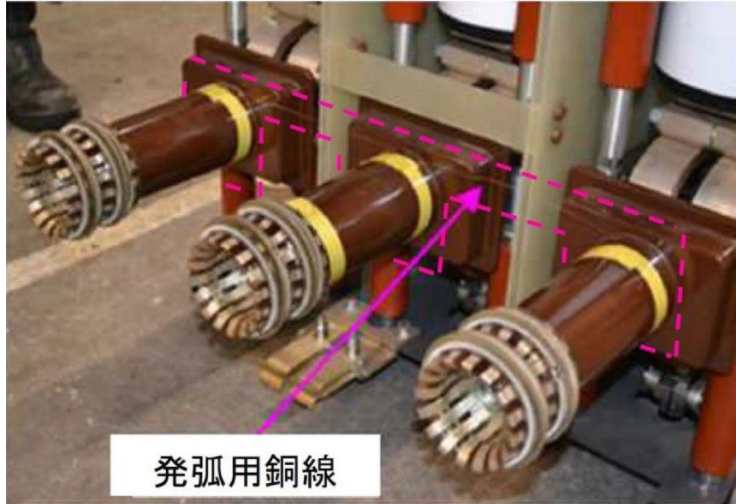


図 4-5-5 発弧線の設置状況 (遮断器 2 次側端子)

・ 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	
試験体④		504V	45kA	45kA	1.3	0.43	5.76	無	7-1
					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
C/C		試験体⑥	504V	45kA	0.1	0.06	0.9	無	4.1
	0.5				0.52	7.56	有	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%

 : 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、相间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。

 : 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

 : 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)

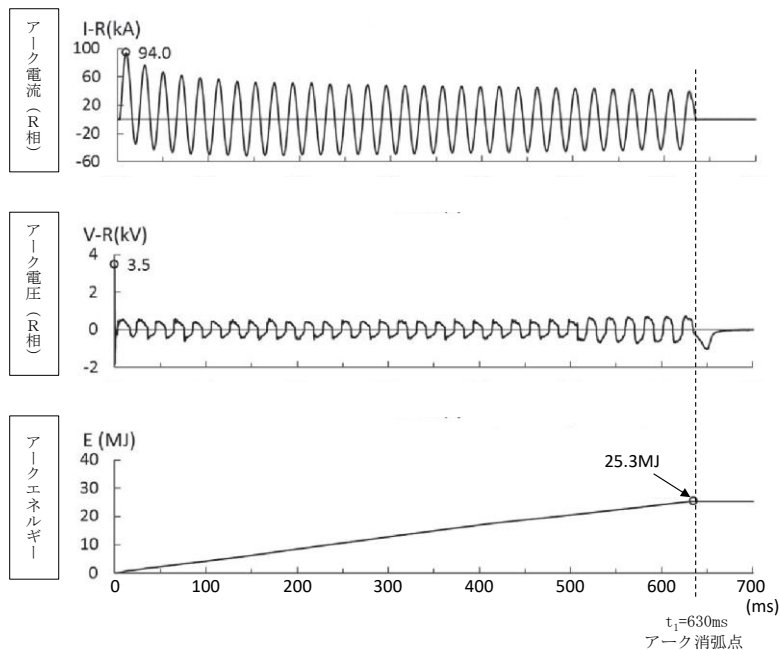


図 4-8-1 M/C のアークエネルギー算定例

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、アーク放電発生の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、横須賀運営センター環境マネジメントシステムの『環境方針』を遵守し、関連業務を遂行する。

5.3 アーク火災が発生しないアークエネルギーのしきい値に係る評価

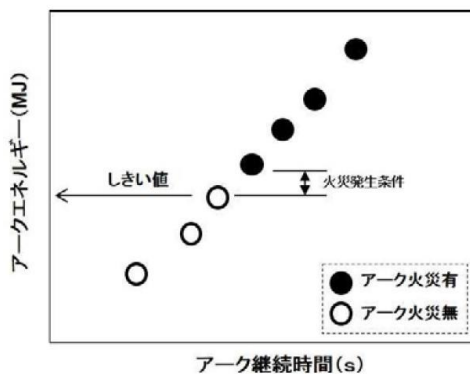
(審査ガイド抜粋【3.3 アーク火災が発生しないアークエネルギーのしきい値に係る評価】)

電気盤においてアーク火災が発生しないアークエネルギーのしきい値（以下単に「しきい値」という。（解説-3）を求める際には、アーク火災発生の有無とその時のアークエネルギーとの関係性を評価する。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

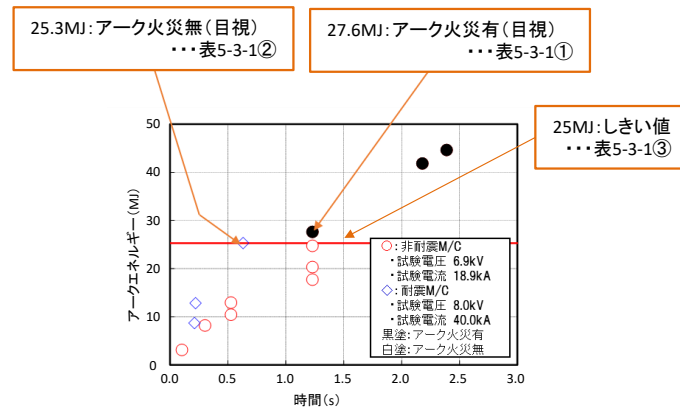


図 5-3-1 M/C 試験結果

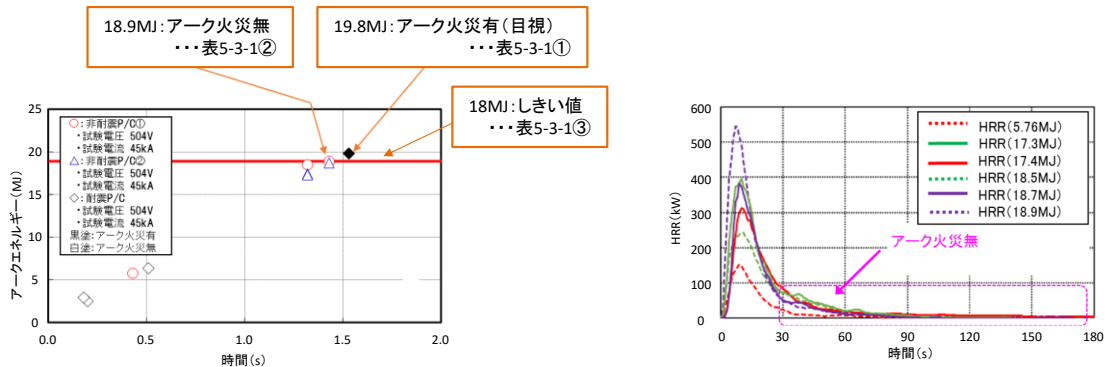


図 5-3-2 L/C 試験結果

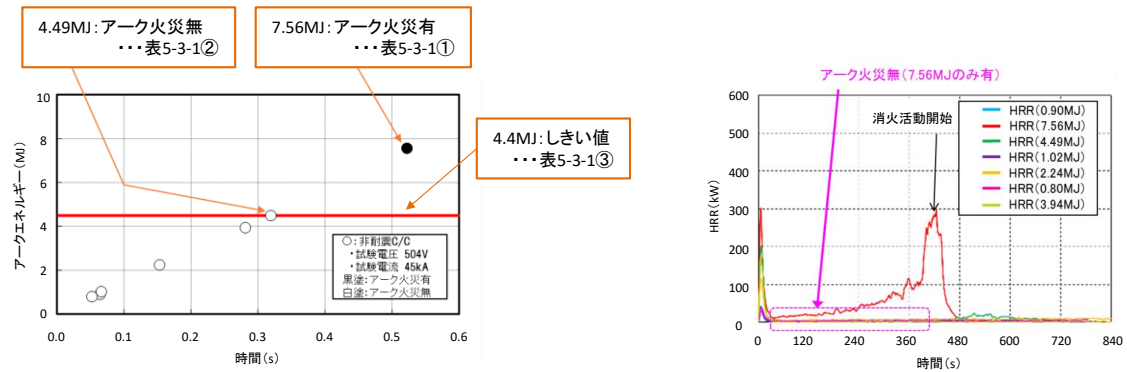


図 5-3-3 C/C 試験結果

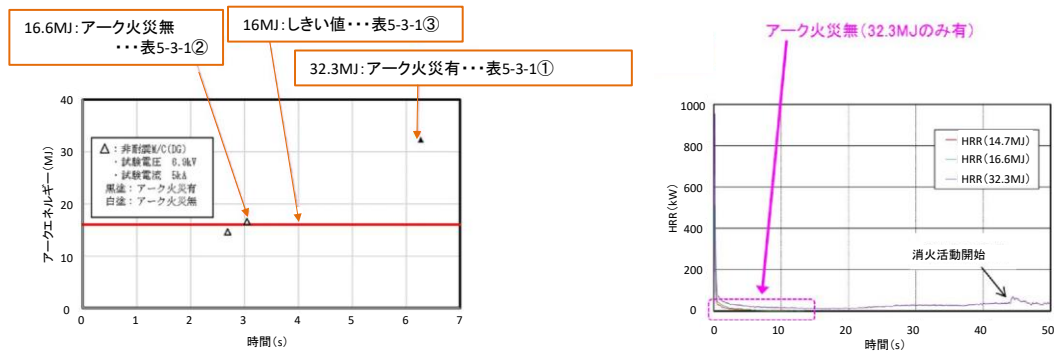


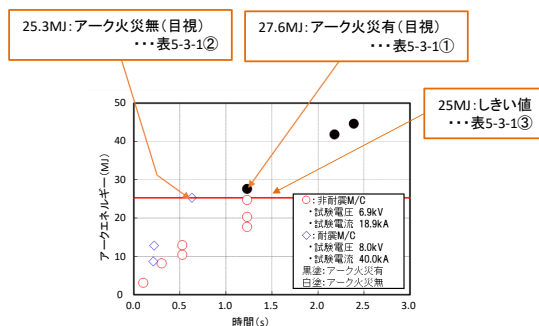
図 5-3-4 M/C(D/G) 試験結果

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

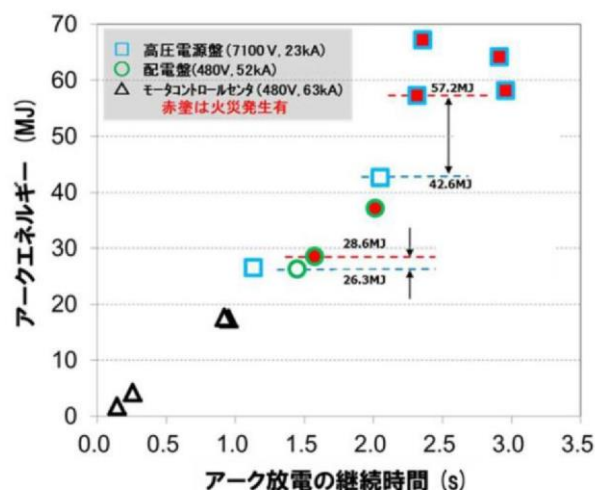
(審査ガイド抜粋【3.4 しきい値に係る解析による評価】)

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

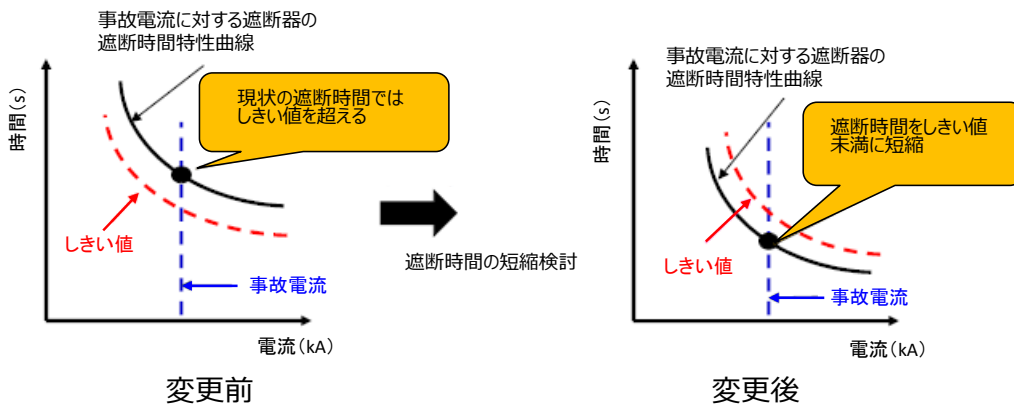


図 6-1 アーク放電の遮断時間イメージ図 (1/2)

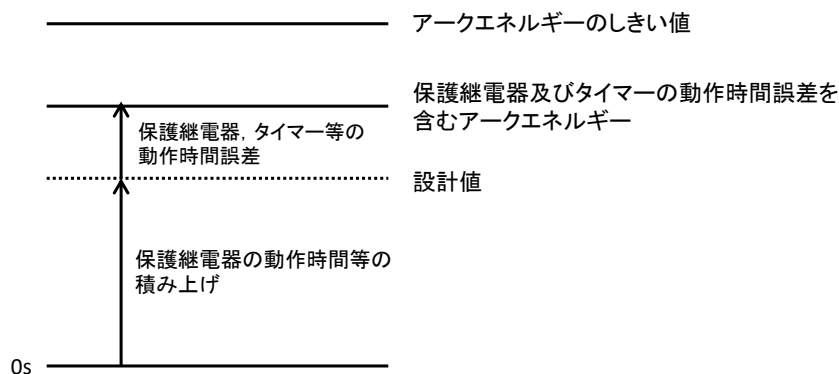


図 6-1 アーク放電の遮断時間イメージ図 (2/2)

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)。

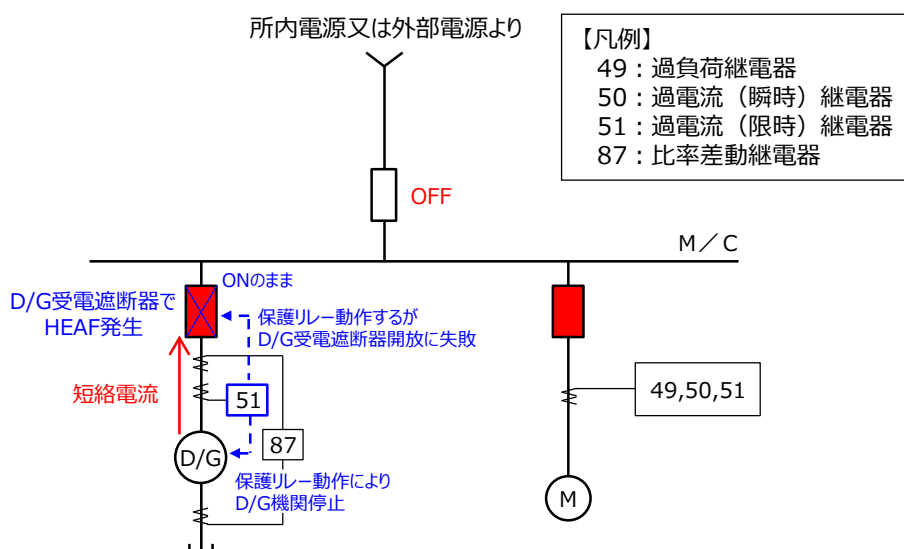


図 6-2 D/G 受電遮断器で HEAF が発生した場合のイメージ図

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

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

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

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

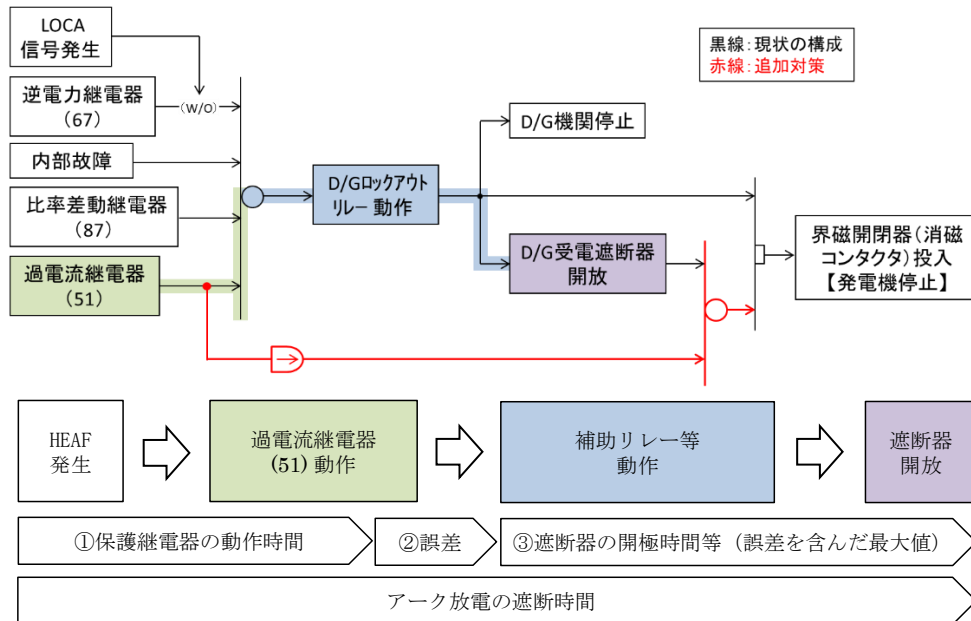
T_{d1} は界磁開閉器（消磁コンタクタ）投入後の減衰時間

[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

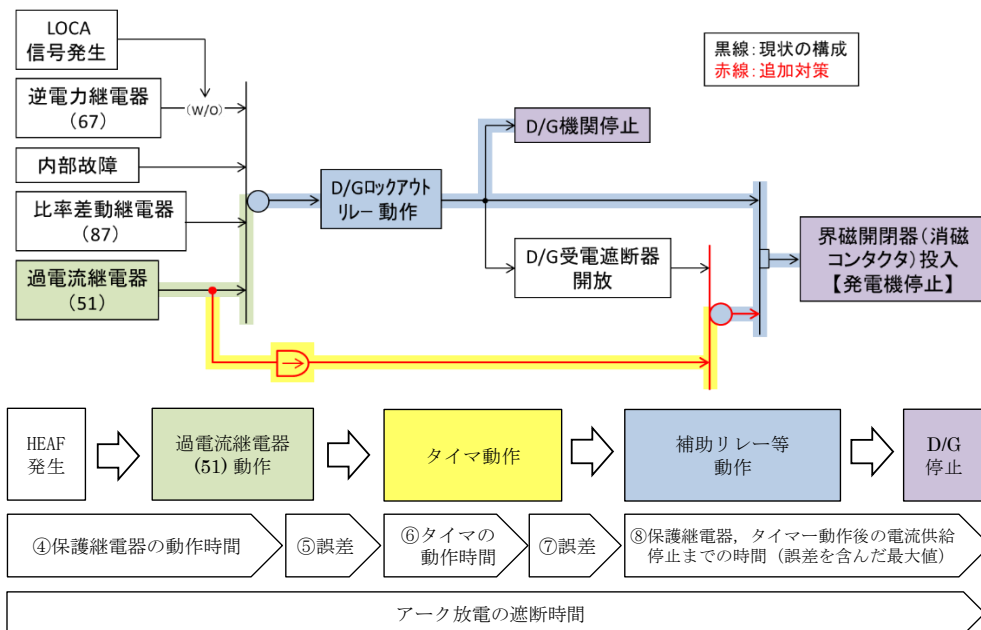
記号	定数
I_{rms}	短絡電流の実効値
I_{ac}	短絡電流の交流分の実効値
I_{dc}	短絡電流の直流分
I_d	短絡電流持続電流
I'_d	短絡電流交流分の過渡電流
I''_d	短絡電流交流分の初期過渡電流
T'_d	短絡電流の過渡時定数
T''_d	短絡電流の初期過渡時定数
T_{dc}	短絡電流直流分の時定数
α	短絡瞬時の電圧の位相角

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

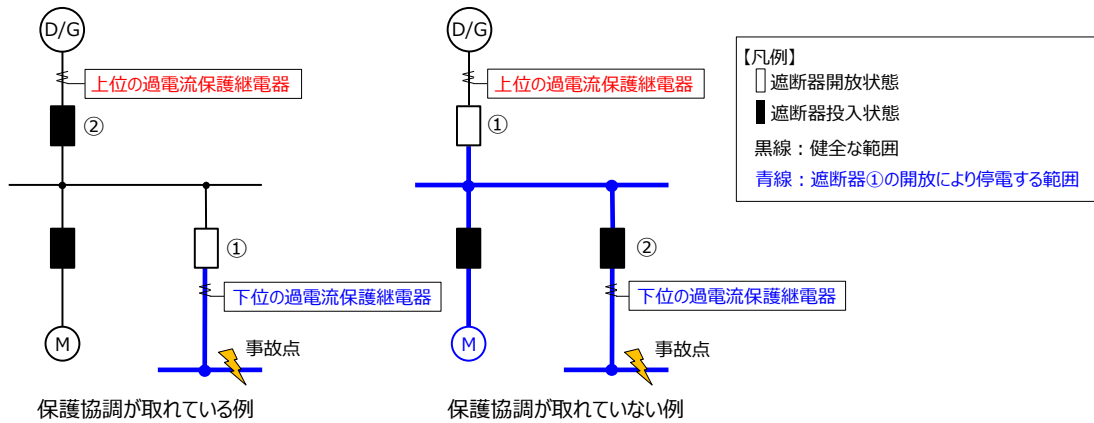
誤差 パターン	使用する保護継電器		誤差	備考
	機種	保護要素		
1	製品 A	51 (過電流継電器)	□	
2	製品 B	51 (過電流継電器)		
3	製品 C	タイマ	□ [sec]	

(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)

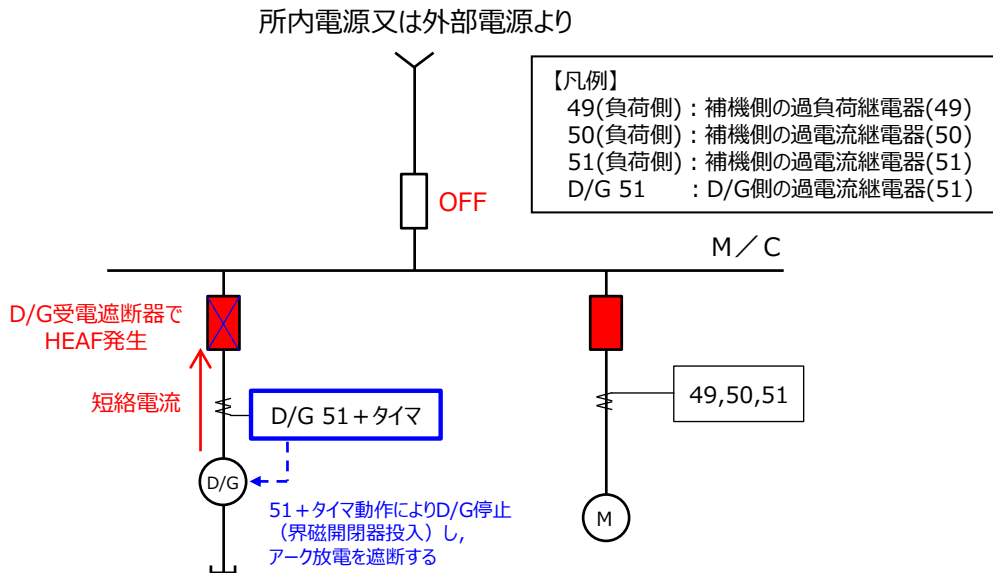


図 6-4 保護継電器の動作イメージ (2/2)
 (HEAF 対策時)

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 (消磁コンタクタ) 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。

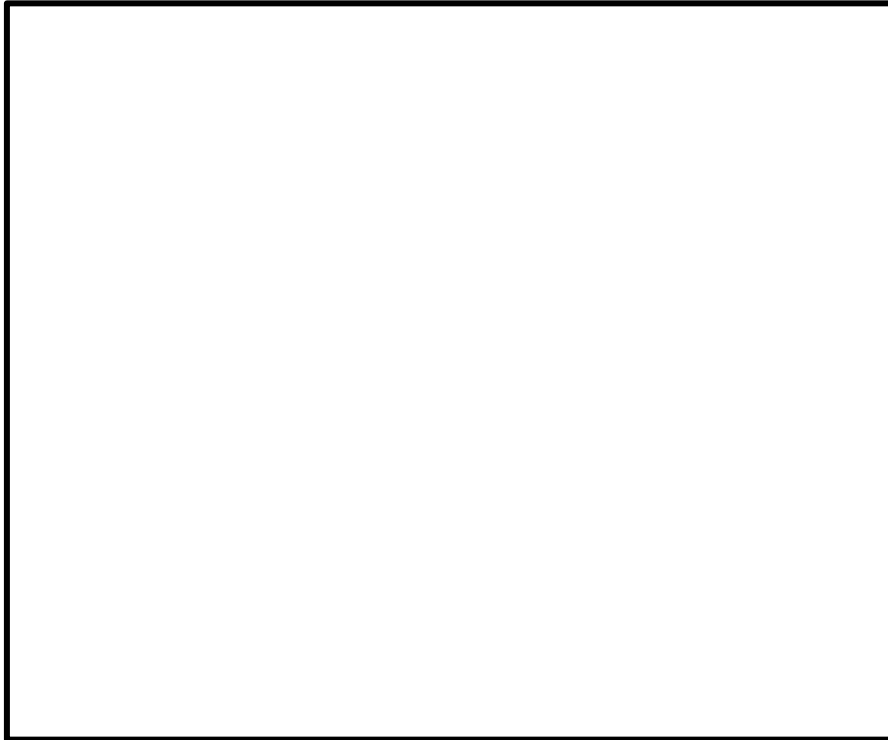


図 6-5 タイマ最小設定時間 (A, B 及び HPCS-D/G)



図 6-6 タイマ最大設定時間 (A 及び B-D/G) (1/2)

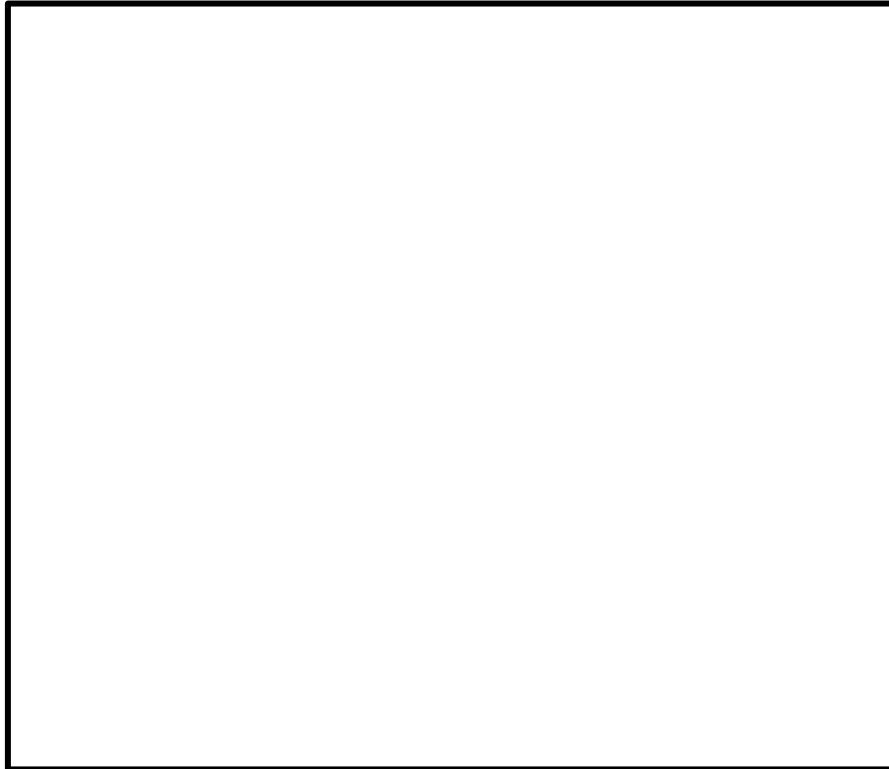


図 6-6 タイマ最大設定時間 (HPCS-D/G) (2/2)

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 フ ト 開 閉 装 置	2C-M/C-2B (2C-M/C受電遮断器)	2A-M/C-2B	0.48		[Redacted]	0.48	19	0.48	19	[Redacted]	[Redacted]	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: 工設申請には、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

*4: 5.3 項で設定したアーケエネルギーのしきい値 (25MJ) を超えない値となるよう変更した保護継電器の動作時間を示す。

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 (2/5)
(D/Gからの給電時以外)

機器名称	アーク放電発生箇所	アーク放電を遮断するために開放する遮断器	①保護継電器の動作時間 (sec)	②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)	アーク電圧 (kV)	考慮している誤差パターン *2
						①+③ 遮断時間 (sec)	アークエネルギー (MJ)	①+②+③ 遮断時間 (sec)	アークエネルギー (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	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	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 電気盤のアーク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	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						0.675	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						0.675	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						0.675	2
	2D2-R/B-C/C に接続される遮断器 (2D-L/C-5B, 2SA-L/C-5C を除く)	2D-L/C-5B				0.16	1.5						0.675	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						0.675	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						0.675	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						0.675	2
							0.16	1.5						0.675

*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 (4/5)
(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	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	0.16			0.16	1.5						0.675	2	
		2D-L/C-9A	0.17			0.17	1.6								2
	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			0.50	3.9							1	
		2C-L/C-7A	0.16			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			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

*4：5.3 項で設定したアーケエネルギーのしきい値 (4.4MJ) を超えない値となるよう変更した保護継電器の動作時間を示す。

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 (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ー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

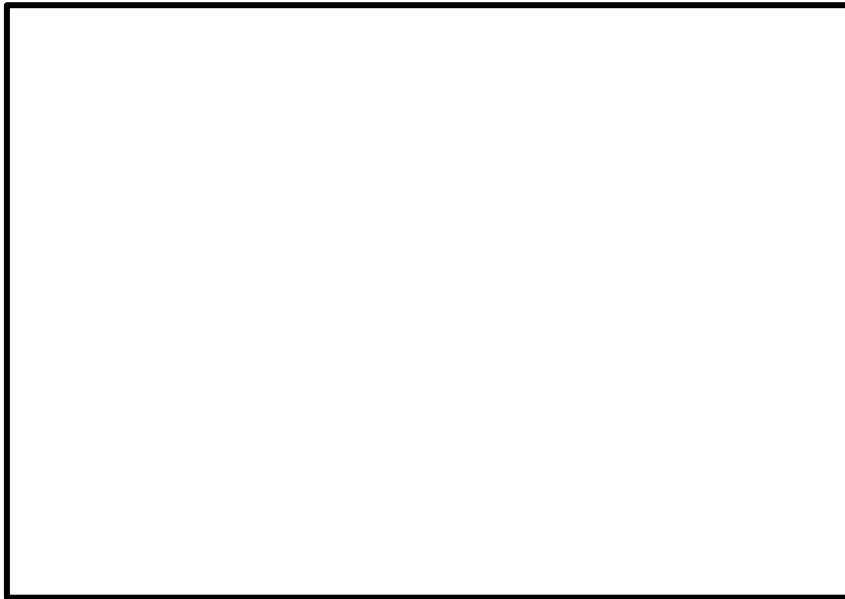


図 6-7 短絡電流の減衰（島根原子力発電所第 2 号機）（1/2）
 (D/G (A 系及び B 系) においてタイマ設定値を 秒としたとき)



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。

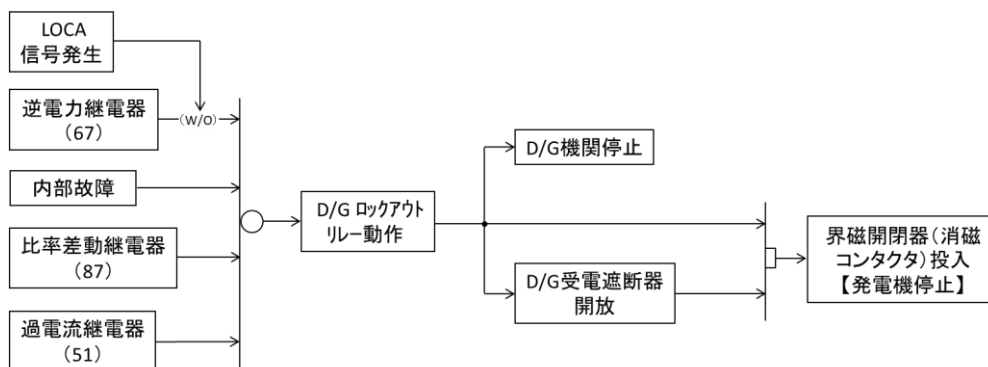


図 6-8 インターロック図（概要）(1/2)
(既設)

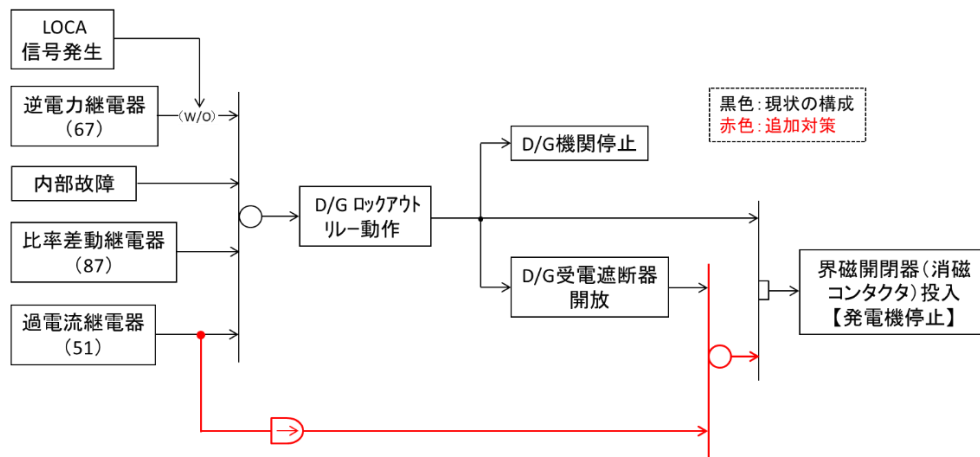


図 6-8 インターロック図（概要）(2/2)
(HEAF 対策後)



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)。

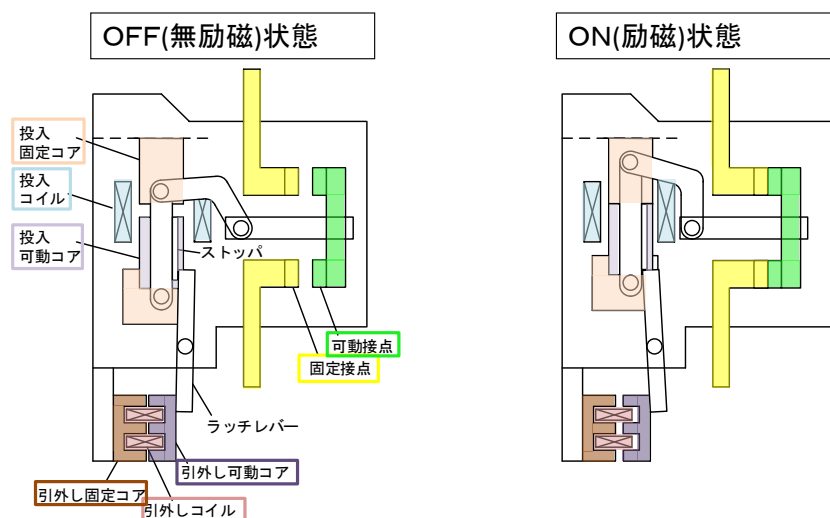


図 6-10 界磁開閉器 (消磁コンタクタ) 構成図

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

回路図	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
<p>動作概要</p>	<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。 	<ul style="list-style-type: none"> D/G が起動完了すると初期励磁用閉閉器が開放し、DC115V 電源からの供給は停止し、発電機から電流供給する。 	<ul style="list-style-type: none"> 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 機関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）

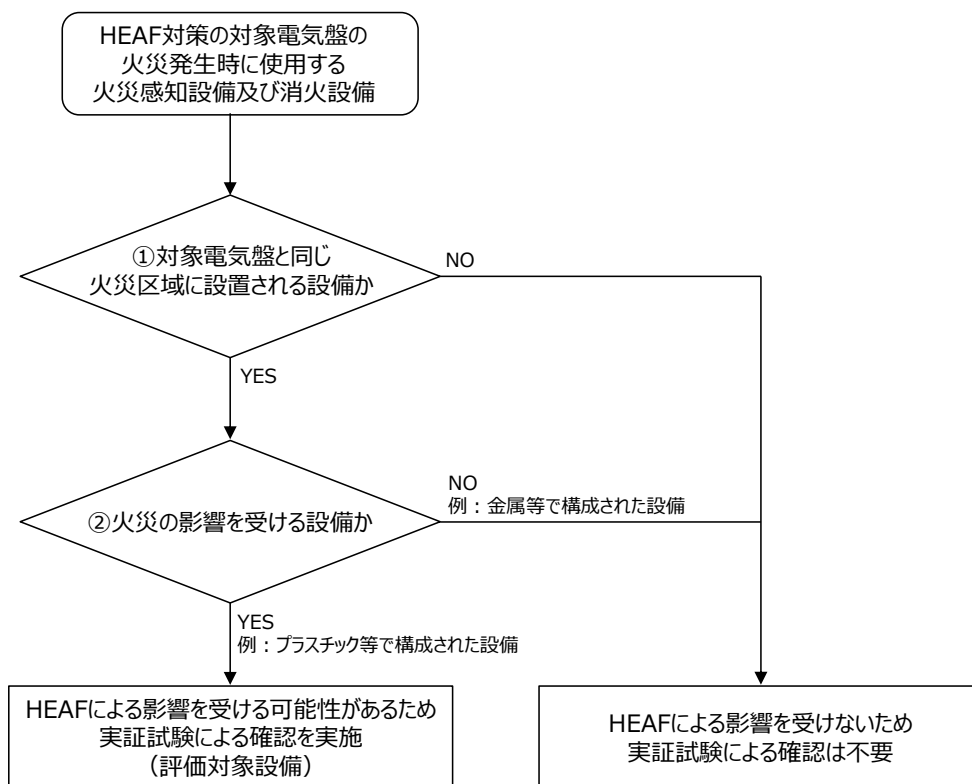


図 6-11 評価対象設備の選定フロー

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)	×

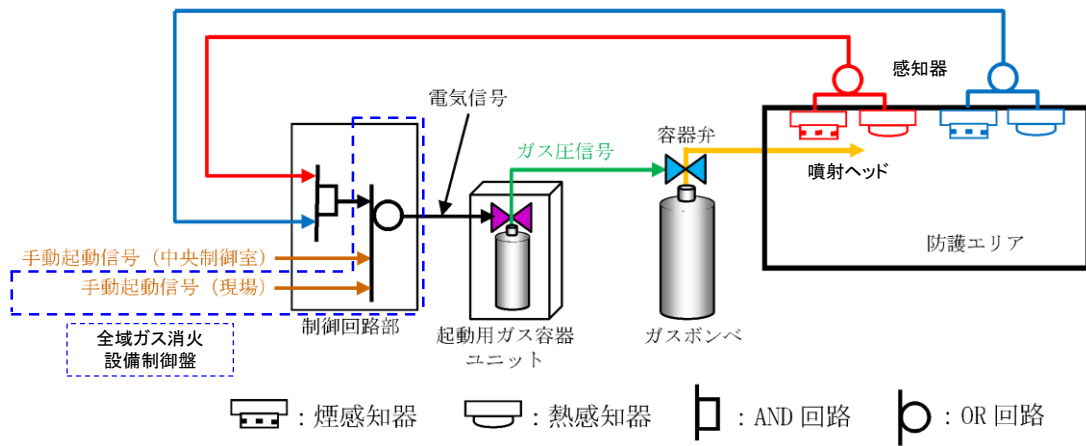


図 6-12 火災感知設備及び消火設備のシステム構成概要図

(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。

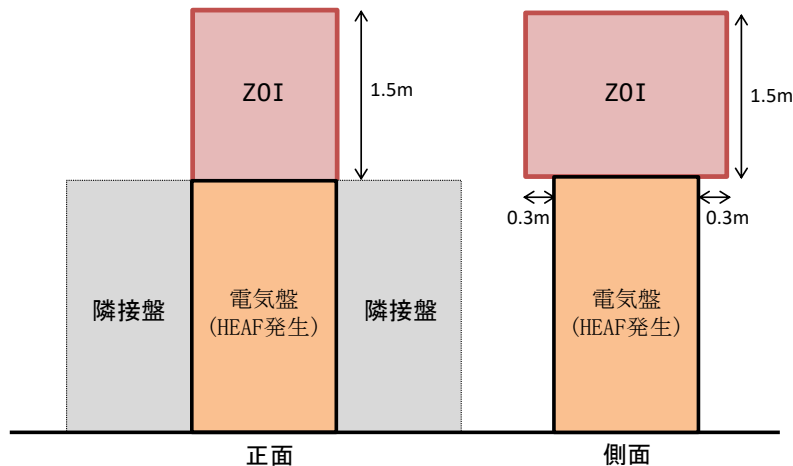


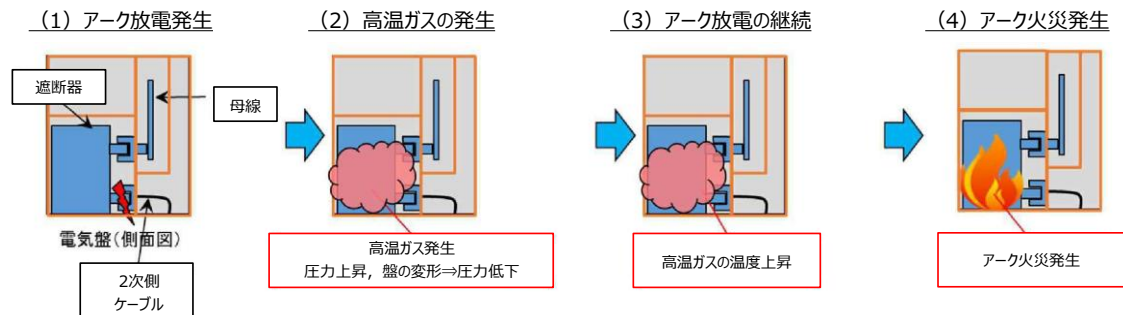
図 6-13 火災感知器に対する HEAF の ZOI

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。

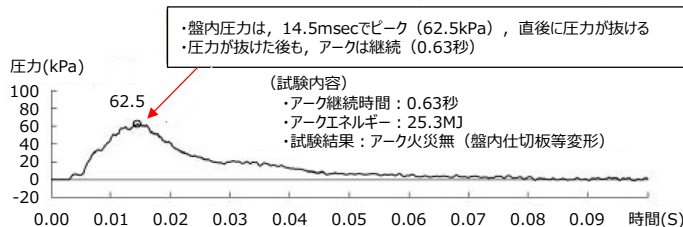
同等性に影響を与えるおそれのあるパラメータの整理に関する補足について

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 $340\text{m/s} \times 0.01\text{秒} \approx 3.4\text{m}$)

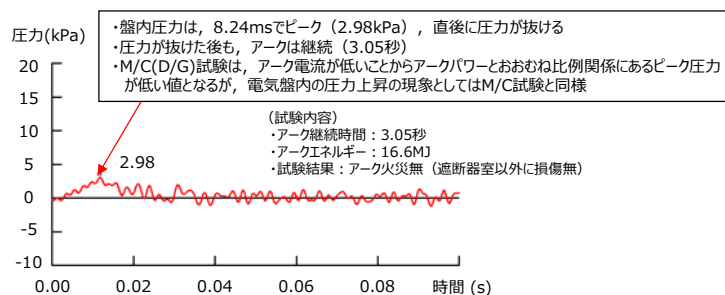
(2) 電気盤の寸法は、高さ約3m×幅約1m×奥行き約3mであることから、以下のグラフのとおり、0.01秒~0.02秒後に圧力上昇はピークとなり、その後電気盤の開口部や盤内仕切板の変形(M/C(D/G)試験ではアークパワーが小さいことから仕切板の変形には至らない)により高温ガスは電気盤外に抜け、盤内圧力は減少傾向になる。なお、密閉容器であれば、圧力が上昇すれば温度も上昇するが、図1,2に示すとおり、電気盤は密閉構造ではなく開口部を有する構造であることから、圧力の上昇に伴い盤内の温度が上昇するものではない。



試験時に確認された内圧 (M/C試験時)



盤内仕切板の状態 (母線室-遮断器室間)

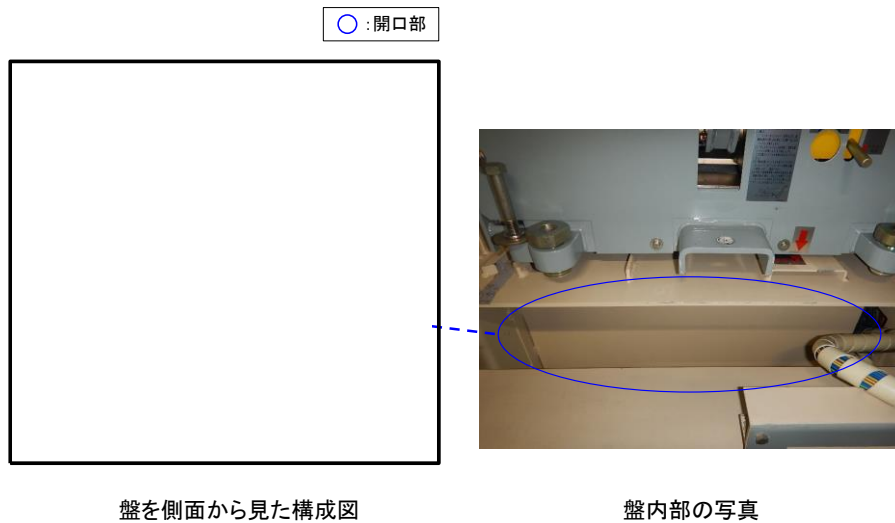


試験時に確認された内圧 (M/C(D/G)試験時)

(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。



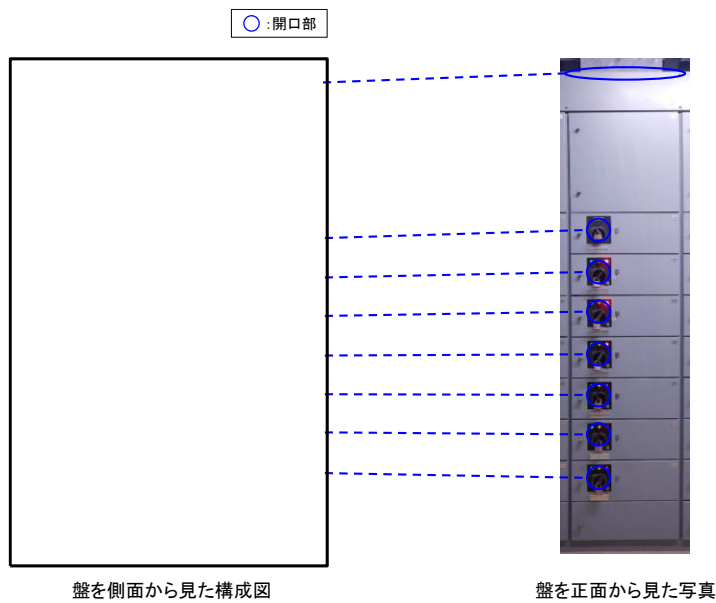
遮断器室アーク発生、アーク火災有、消火後の遮断器の様子



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）。

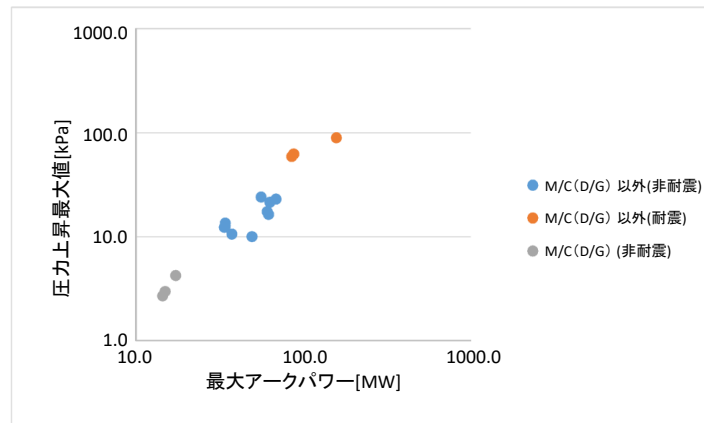


図 3 最大アークパワーと圧力上昇最大値の関係

(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ることができる。

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

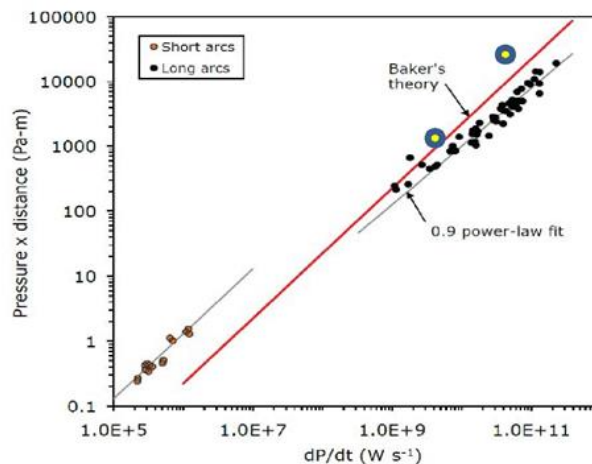


Figure 5 The results of Drouet and Nadeau for short (8 mm) and long (many meters) arcs

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。

試験時に確認された内圧 (M/C(D/G以外))

(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)

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

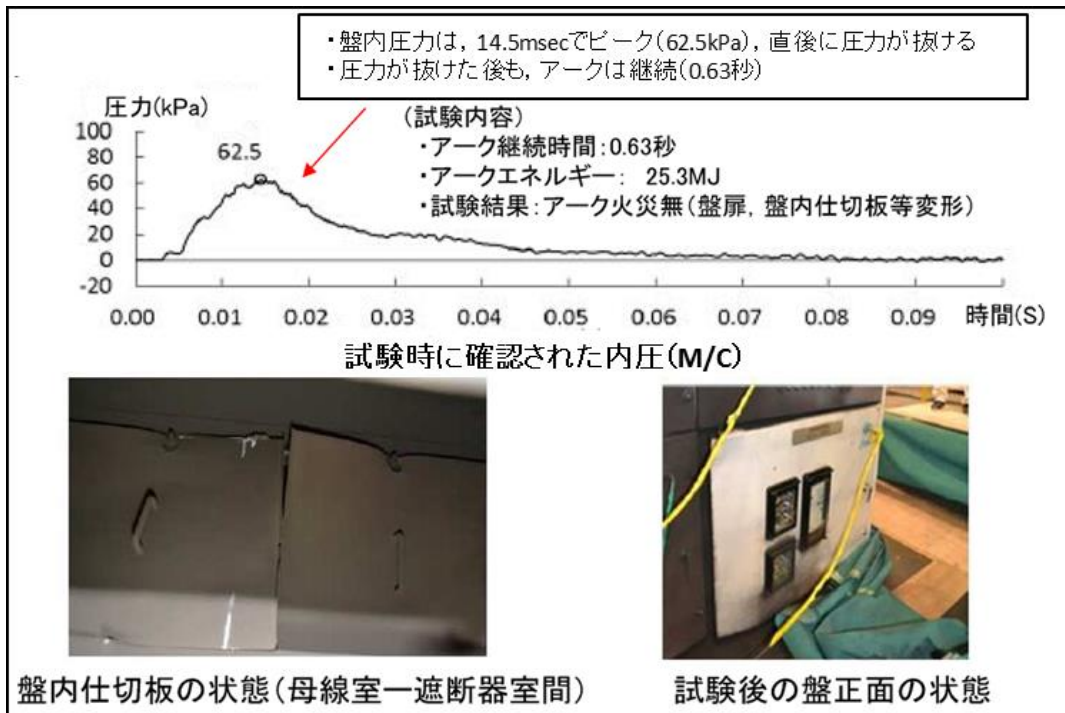
- 試験毎に実測アーク電流は異なるものの基準試験電流20kAでアーク継続時間を補正した場合のアーク継続時間とアークエネルギーは比例関係を示すことから、保護継電器の設計においては、プラント電源盤固有の短絡電流値からアーク継続時間を換算し、換算したアーク継続時間以内に保護継電器の動作時間を設定する。

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 t_{arc}' で整理
 $t_{arc}' = t_{arc}(実測値) \times 電流平均値(実測値) \div 基準電流20kA$

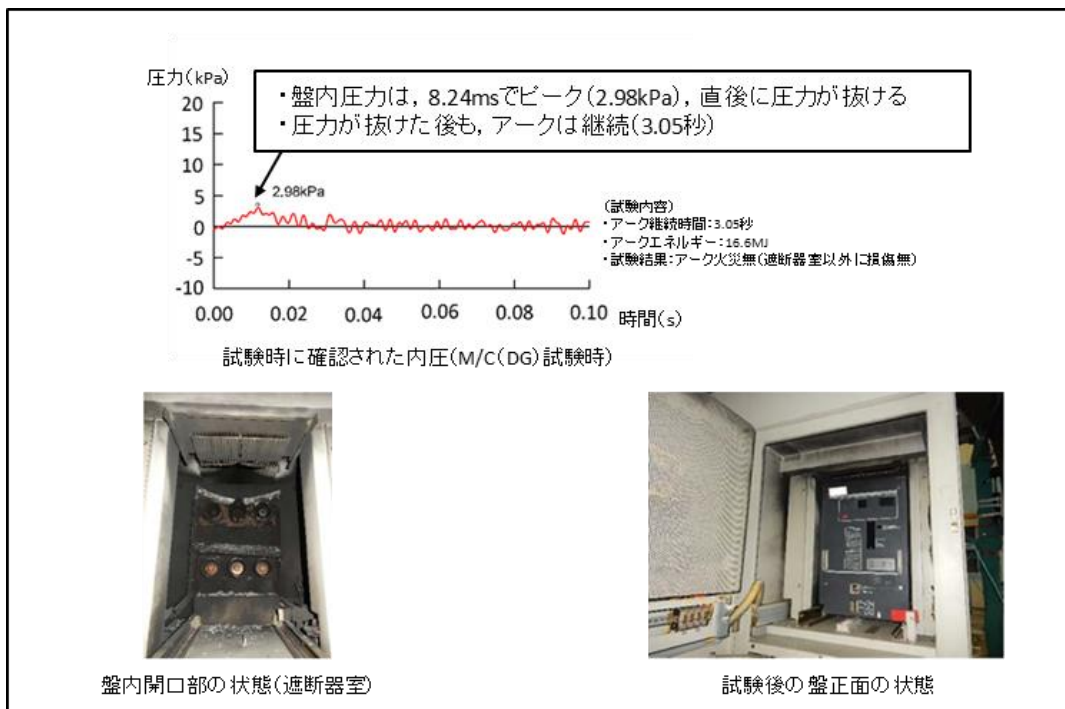
- 非耐震MC (DG以外)
- ◇ 耐震MC (DG以外)
- △ 非耐震MC (DG)

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



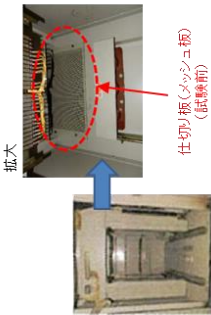





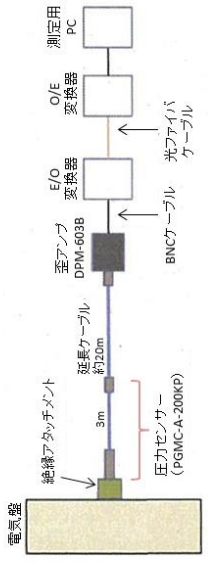

(2)M/C(D/G) 試験の電気盤内圧



別表 1 M/C(D/G)試験と M/C 試験の相違点について (1/3)

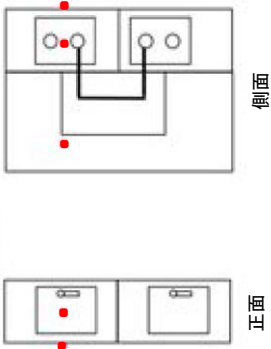
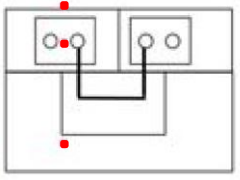
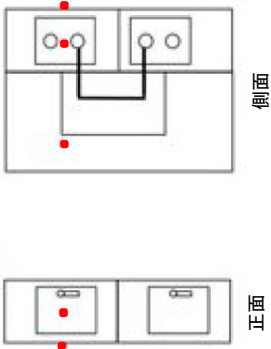
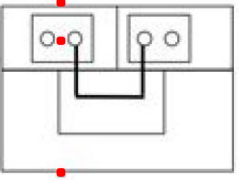
試験盤	M/C(D/G)試験		M/C試験	
	試験盤⑦	試験盤①	試験盤②	
対象機器	非耐震7.2kV	非耐震7.2kV	耐震7.2kV	
				
相数	三相			
試験周波数	50 Hz			
試験電圧	6.9 kV	6.9 kV	8.0 kV	
試験電流	5.0 kA	18.9 kA	40.0 kA	
発弧箇所	遮断器室	ケーブル室または遮断器室		

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	
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</p>	 <p>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 (盤の歪形はほとんど見られず) 	<ul style="list-style-type: none"> ・盤と筐体間との隙間 ・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(ケーブル引込み口部) ・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	<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 絶縁アタッチメント 延長ケーブル 約120m 3m 圧力センサー (PGMC-A-200kPa) BNCケーブル 光ファイバ ケーブル E/O 変換器 DPM-6038 O/E 変換器 測定用 PC</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, 盤内部の圧力が測定できるよう蓋表面かられ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, 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（*）

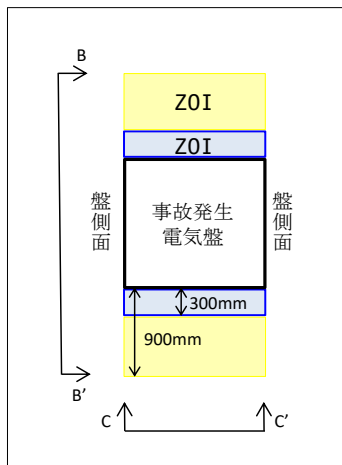
感知器（平面図）	
	煙感知器
	熱感知器
	垂直方向の ZOI 影響範囲（*）

*ZOI (Zone Of Influence) とは

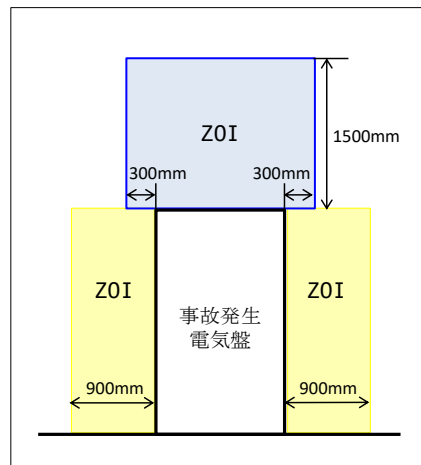
電気盤内で発生したアーク放電の盤外への影響範囲のこと。詳細については下図参照。

 : 垂直方向への影響範囲

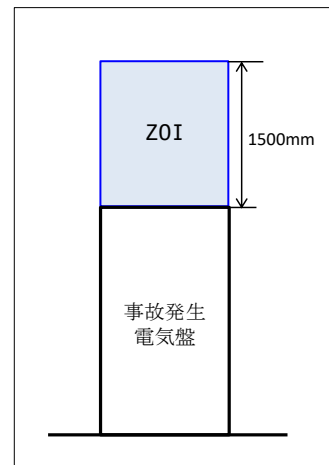
 : 水平方向への影響範囲



平面図



B - B' 断面図

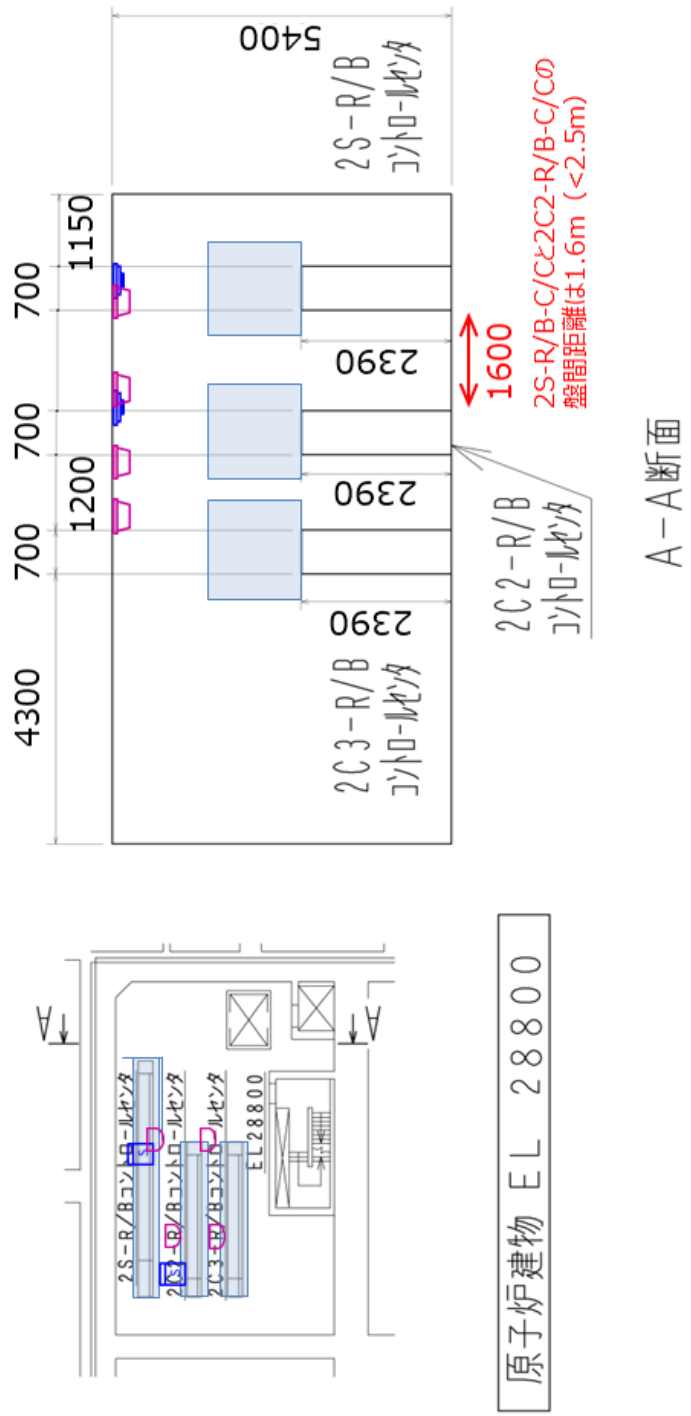


C - C' 断面図



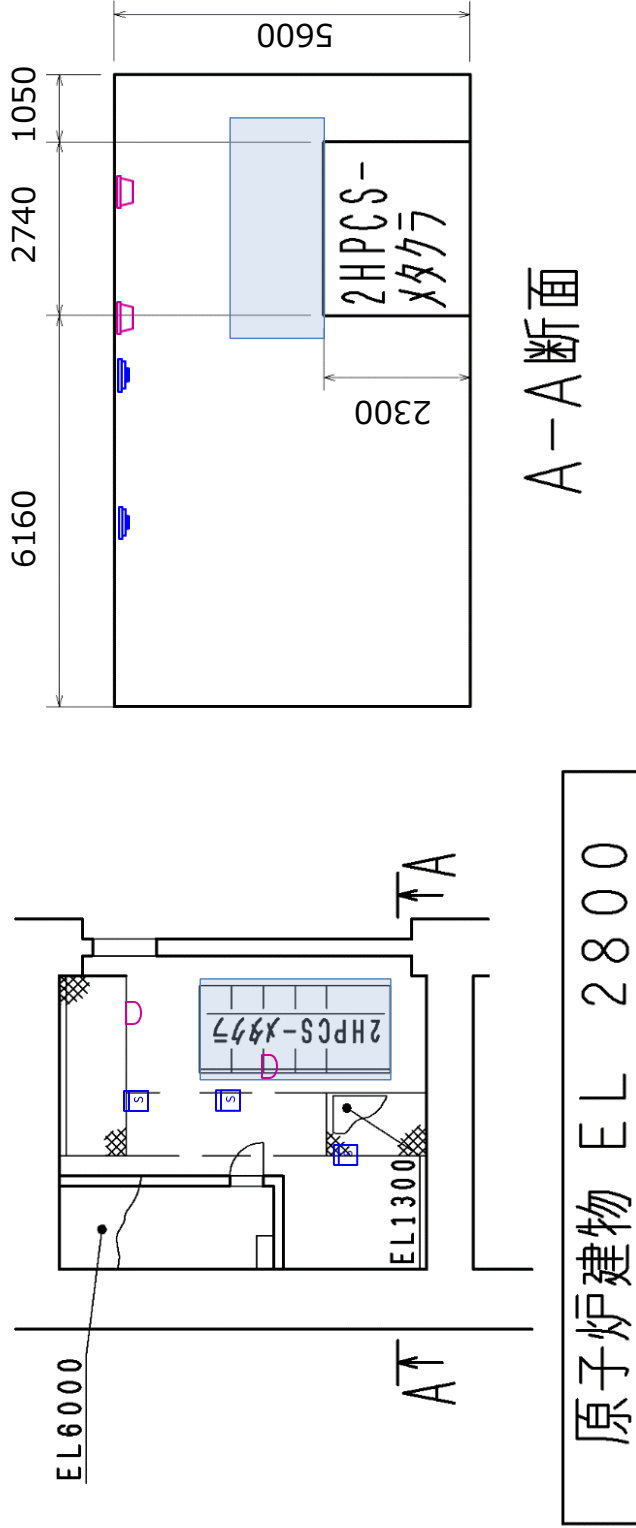
*煙感知器, 熱感知器については全て天井付近に取り付けられているため記載について簡略化する。

図1 火災感知設備及び消火設備の配置図 (1/9)



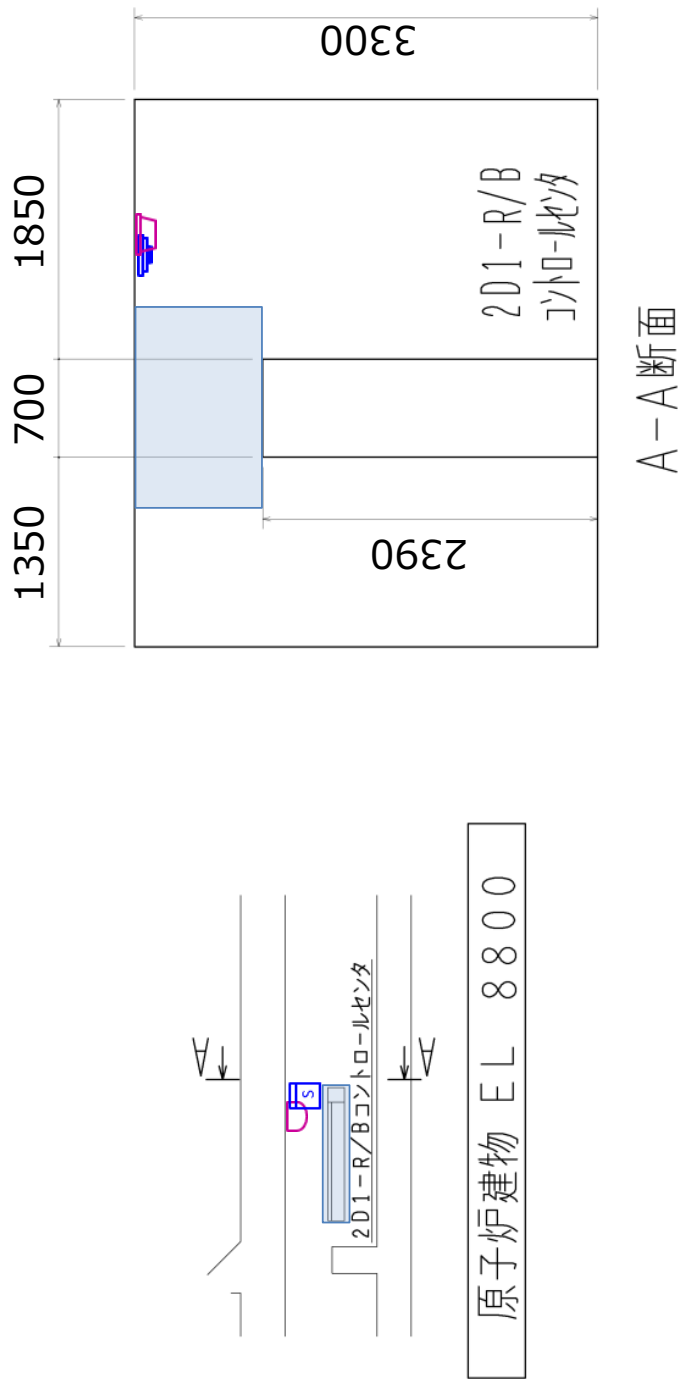
原子炉建屋 中2階 (北東)

図1 火災感知設備及び消火設備の配置図 (2/9)



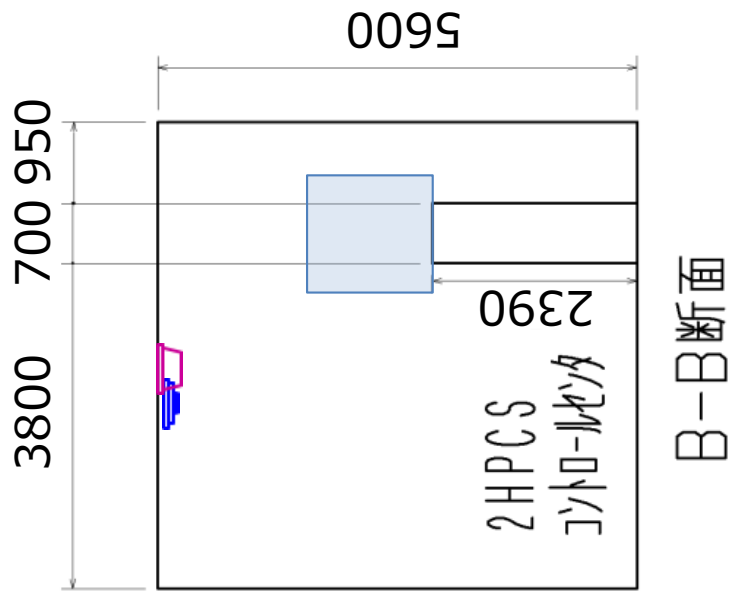
原子炉建屋 地下2階HPCS電気室

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

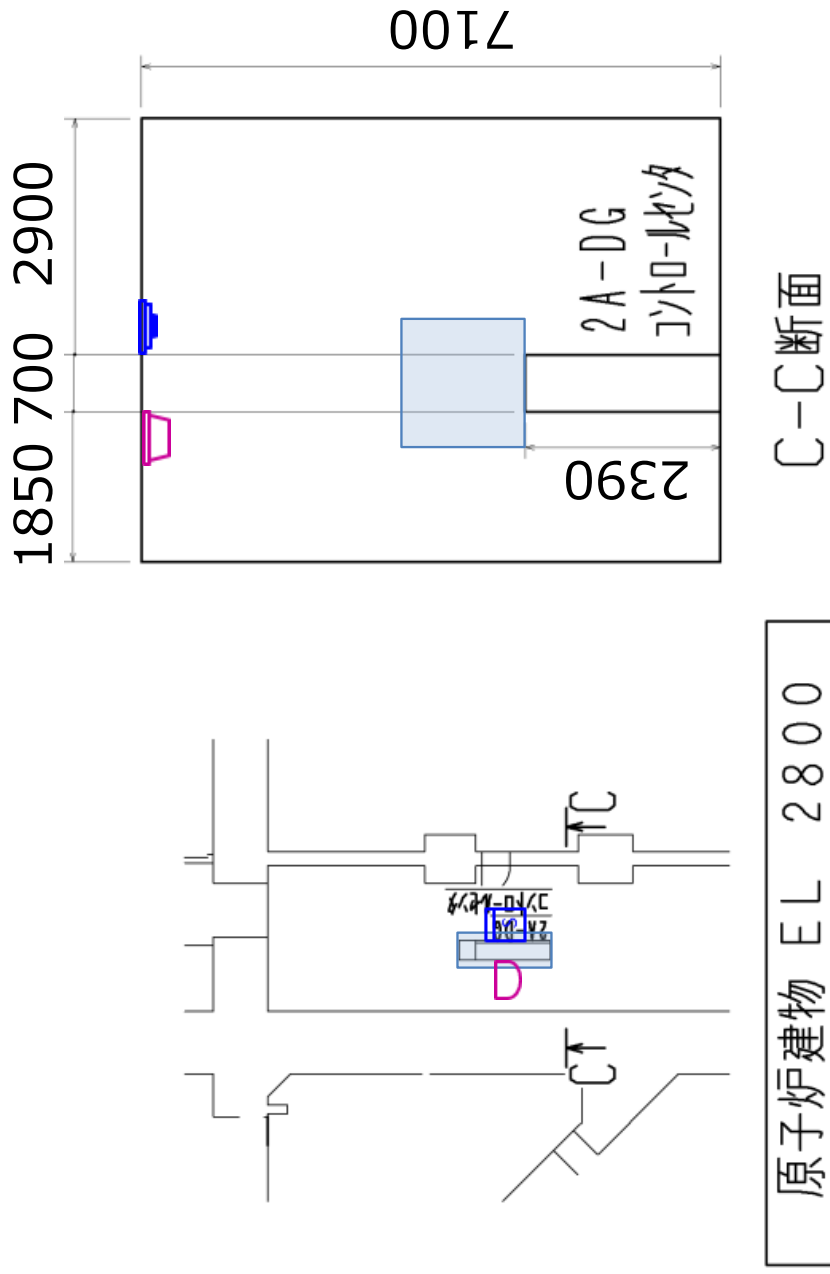
図1 火災感知設備及び消火設備の配置図 (4/9)



原子炉建物 EL 2800

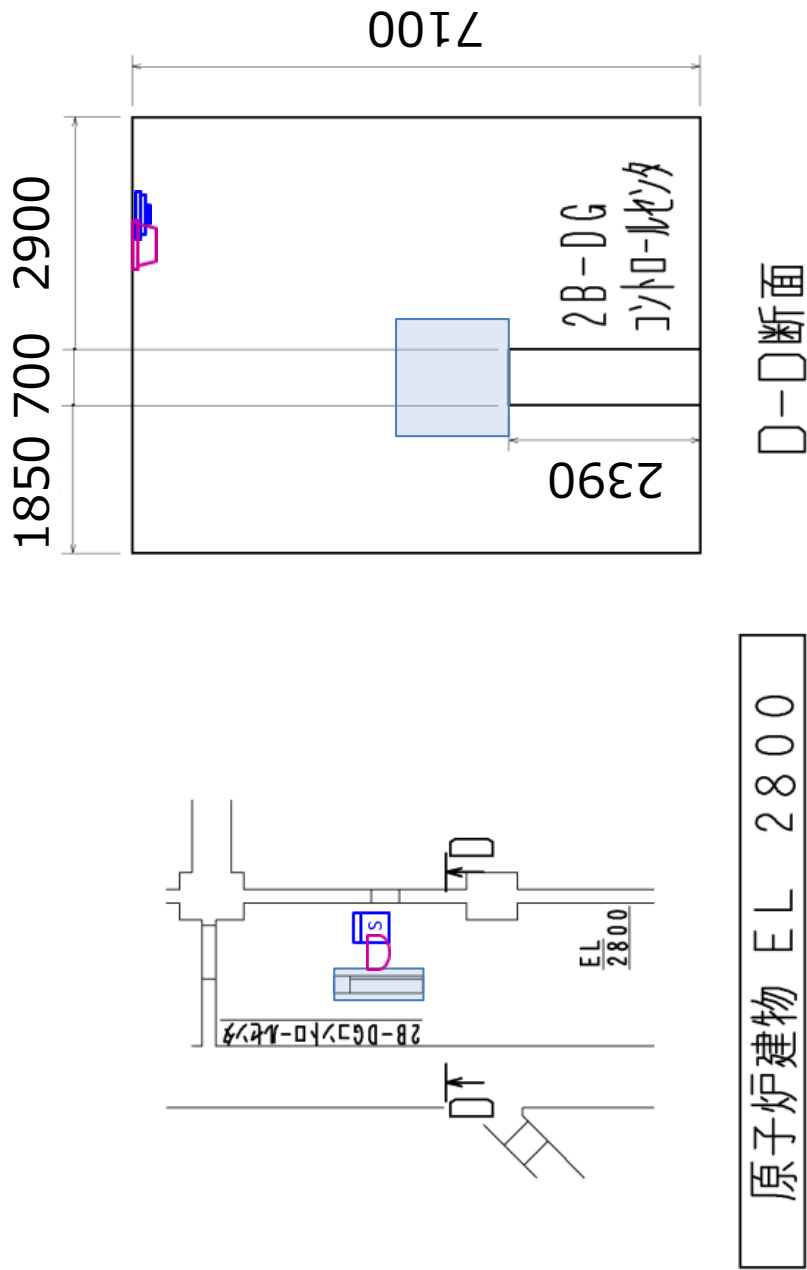
原子炉建屋 地下2階 (西側)

図1 火災感知設備及び消火設備の配置図 (5/9)



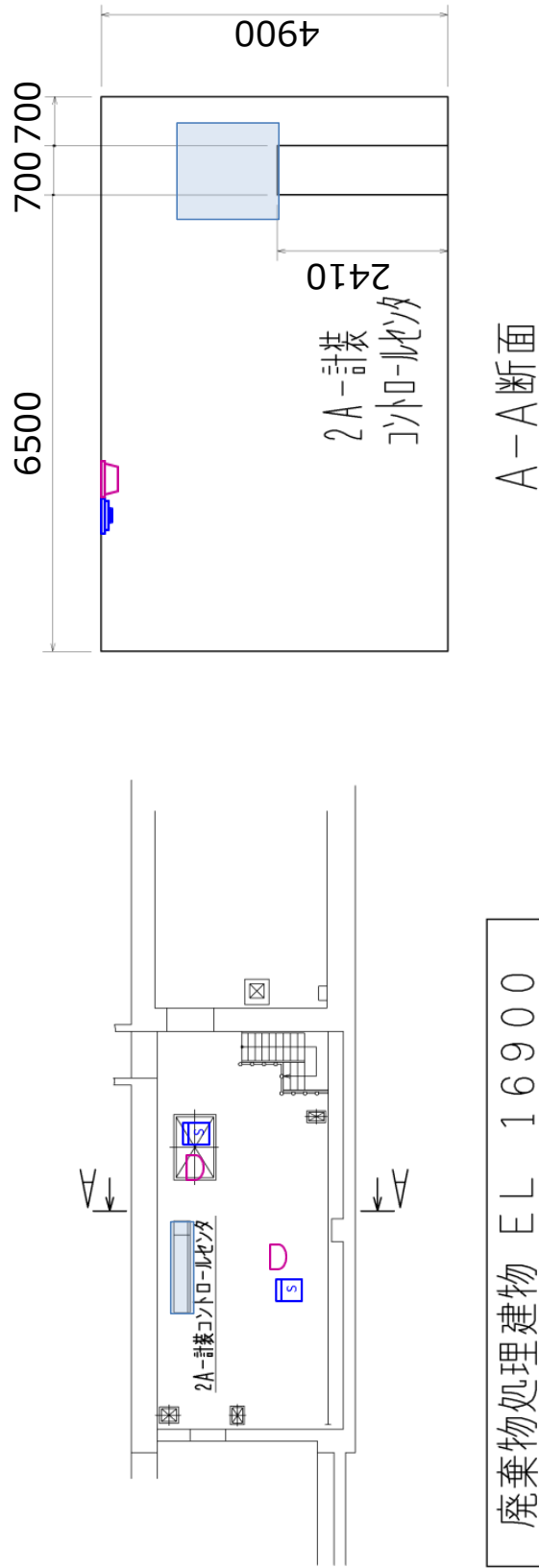
原子炉建屋 地下2階 (東側)

図1 火災感知設備及び消火設備の配置図 (6/9)



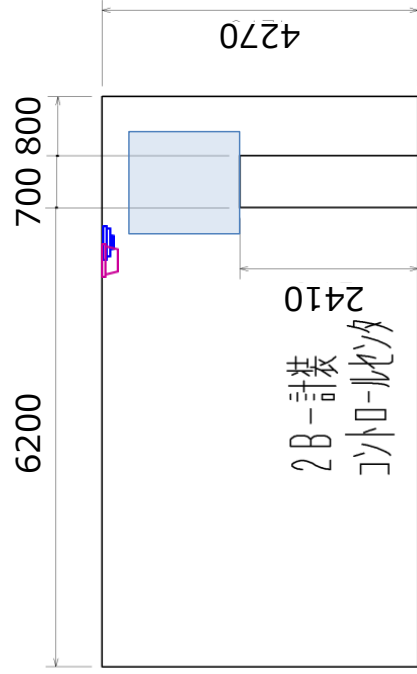
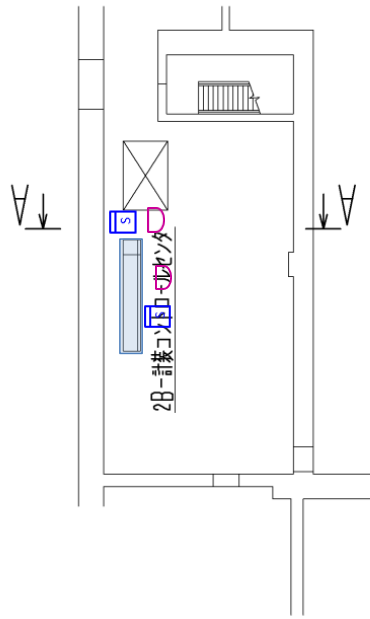
原子炉建物 地下2階（東側）

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(消磁コンタクタ)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。

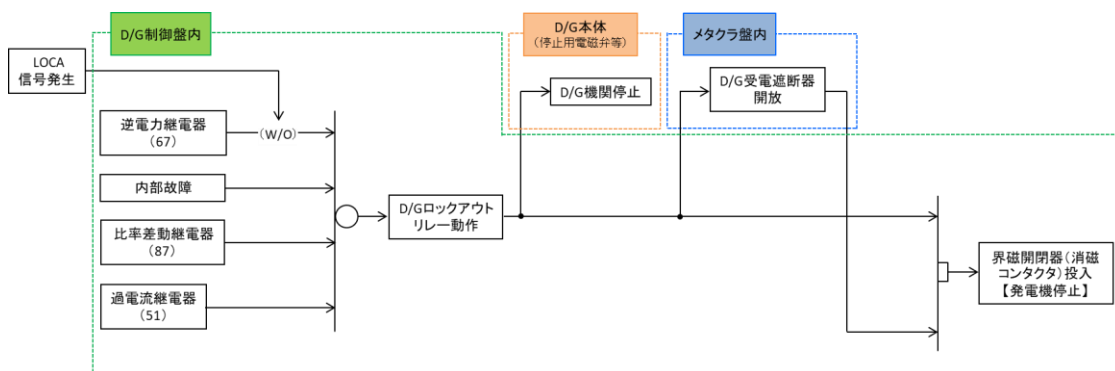


図 2-1 既設インターロック

(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(消磁コンタクタ)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。

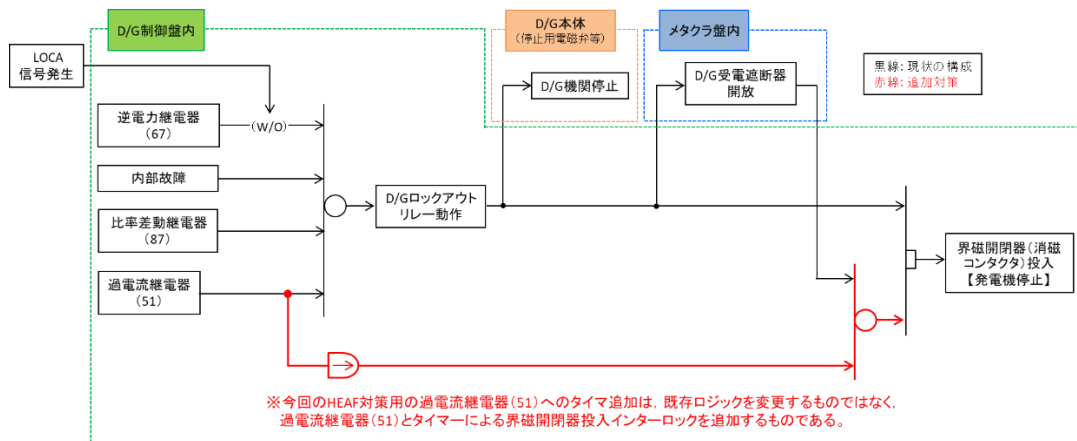


図 2-2 回路構成概略図 (イメージ)

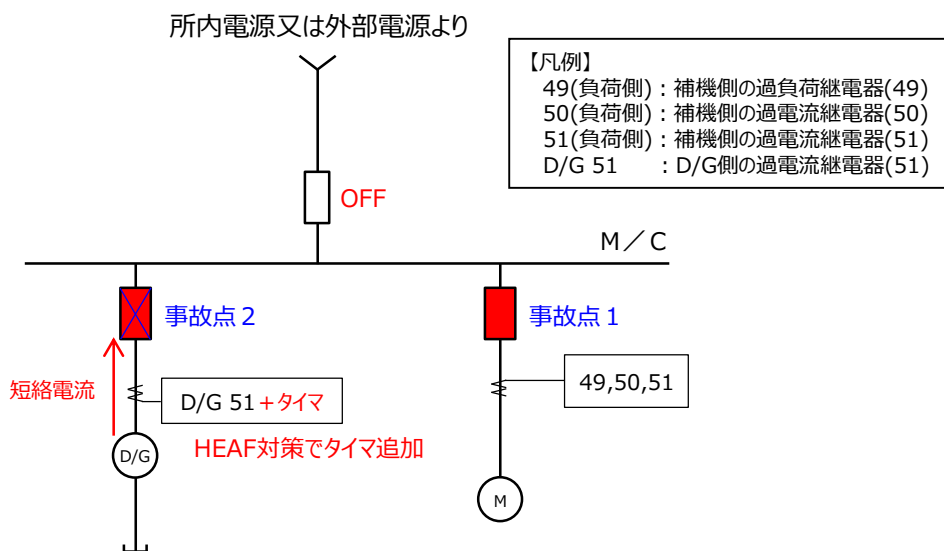


図 2-3 M/C への D/G 給電時の電源構成 (HEAF 対策後)

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。

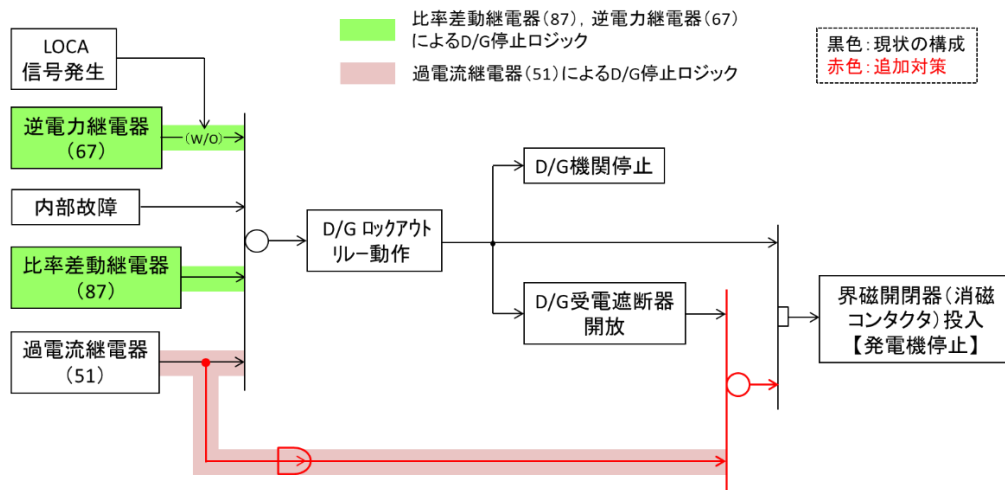


図 3-1 D/G 停止インターロック

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、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ヵ年 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。

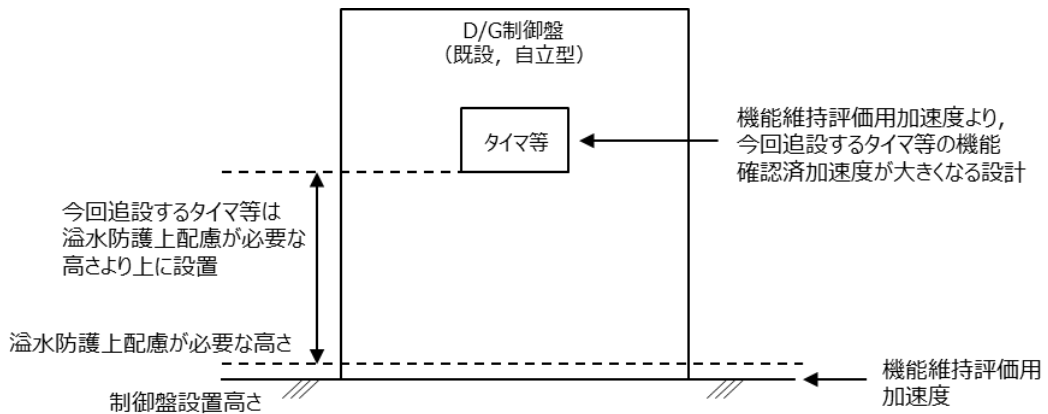


図 4-1 D/G 制御盤内のタイマ等設置イメージ

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	<p>LOCA 番号発生 逆電力検出器 (G7) 内部故障 比率差動継電器 (G7) 過電流継電器 (S1)</p> <p>D/G 停止 (1) D/G 受電遮断器開放 (2) D/G 受電遮断器閉鎖 (3) 消磁コネクタ投入 (4)</p> <p>タイマー (新設)</p>	<p>LOCA 番号発生 逆電力検出器 比率差動継電器 過電流継電器</p> <p>D/G 停止 (1) D/G 受電遮断器開放 (2) 消磁コネクタ投入 (3)</p> <p>タイマー (新設)</p>	<p>新設過電流継電器 シグナル発生 比率差動継電器 (S1) その他継電器</p> <p>D/G 停止 (1) D/G 受電遮断器開放 (2) 消磁コネクタ投入 (3)</p> <p>新設：現状の構成 赤線：追加対策</p>
単線結線図	<p>D/G 受電遮断器で HEAF 発生 (開放不可)</p> <p>② D/G 受電遮断器開放</p> <p>① D/G 機停止 (新設) ② D/G 機停止 (新設) 消磁コネクタ投入</p> <p>③ 消磁コネクタ投入</p> <p>M/C 母線</p> <p>負荷</p>	<p>D/G 受電遮断器で HEAF 発生 (開放不可)</p> <p>① D/G 受電遮断器開放</p> <p>② D/G 機停止 (新設) ③ D/G 機停止 (新設) 消磁コネクタ投入</p> <p>④ タイマ</p> <p>M/C 母線</p> <p>負荷</p>	<p>D/G 受電遮断器で HEAF 発生 (開放不可)</p> <p>① D/G 機停止 D/G 受電遮断器開放</p> <p>② D/G 機停止 (新設) ③ D/G 機停止 (新設) 消磁コネクタ投入</p> <p>M/C 母線</p> <p>負荷</p>
HEAF 対策	<p>既設の過電流継電器 (S1) 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 停止及び消磁コネクタ投入の進捗を防止する。</p> <p>島根 2 号機の場合は、既設の過電流継電器 (S1) を流用することで、設計思想*を変更することが可能である。</p> <p>注記*：過電流継電器 (S1) が動作した場合、LOCA 発生有無に関わらず D/G 機を停止し、D/G 受電遮断器開放後に消磁コネクタ投入 (消磁コネクタ) を投入する。</p>	<p>既設の過電流継電器 (S1) 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 停止及び消磁コネクタ投入の進捗を防止する。</p> <p>先行審査プラント (BWR) の場合は、既設の過電流継電器 (S1) 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 (S1) 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 機を停止するプラントがある。</p>	<p>過電流継電器 (S50) を追加し、過電流継電器 (S50) 動作した場合、D/G 受電遮断器で HEAF が発生していると捉え、D/G 停止及び消磁コネクタ投入 (消磁コネクタ) の進捗を防止する。</p> <p>先行審査プラント (PWR) の場合は、既設の過電流継電器 (S51) を流用するために、設計思想*を変更する必要がある。</p> <p>注記*：過電流継電器 (S51) が動作した場合、SI 信号投入状態においては、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

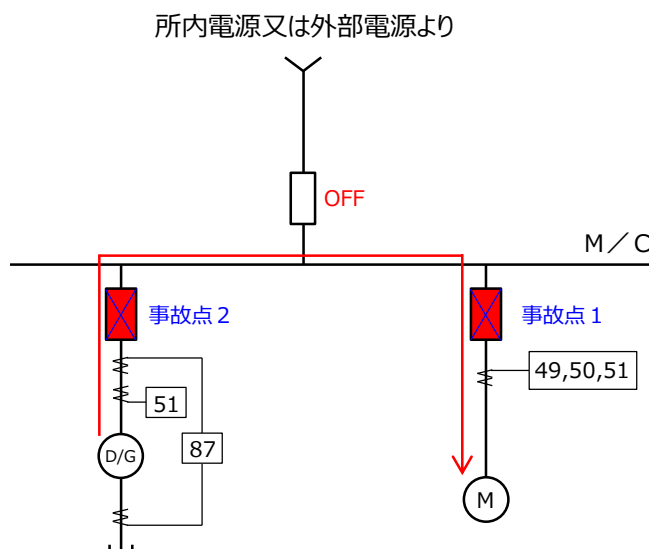


図 2-1 M/C への D/G 給電時概略電源構成

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。

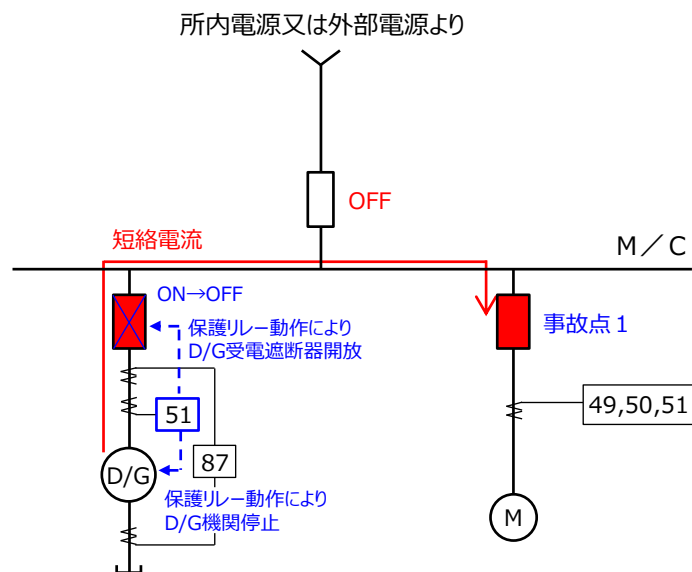


図 3-1 補機フィーダ遮断器での短絡時（事故点 1）における HEAF 火災からの保護

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。

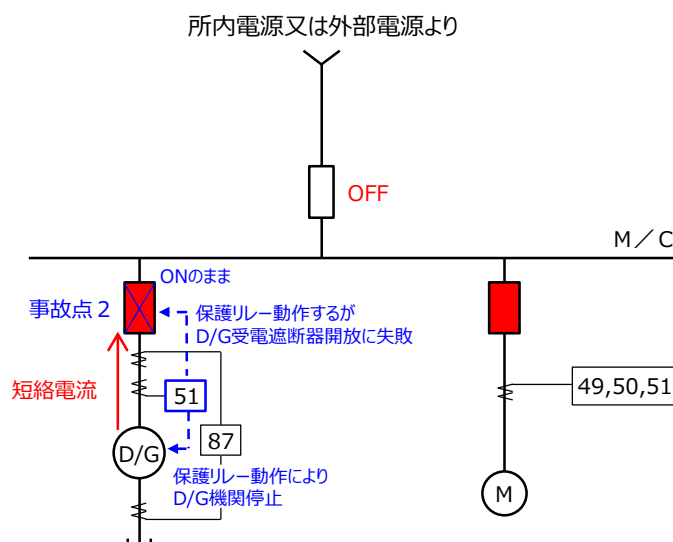


図 3-2 D/G 受電遮断器での短絡時（事故点 2）における HEAF 火災からの保護

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》

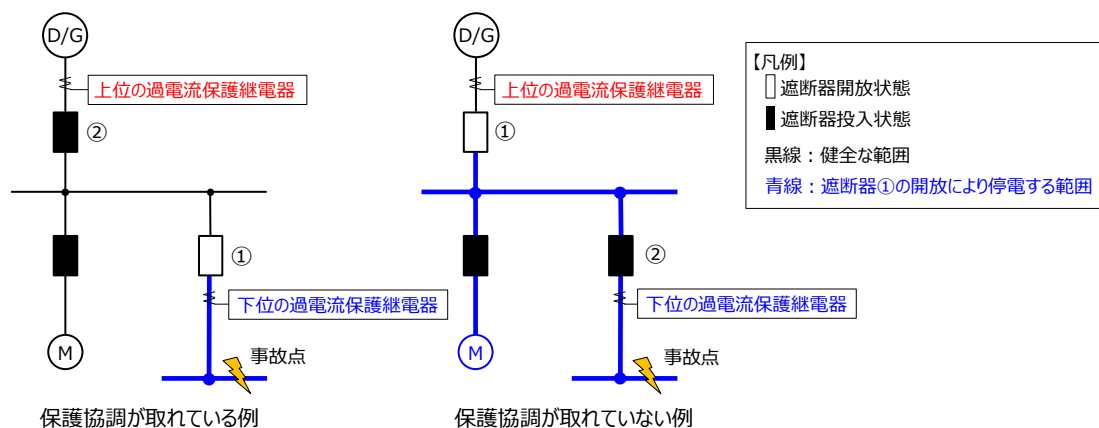
- ・ 27 要素：不足電圧検知
- ・ 50 要素：過電流（瞬時）検知
- ・ 51 要素：過電流（限時）検知

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。

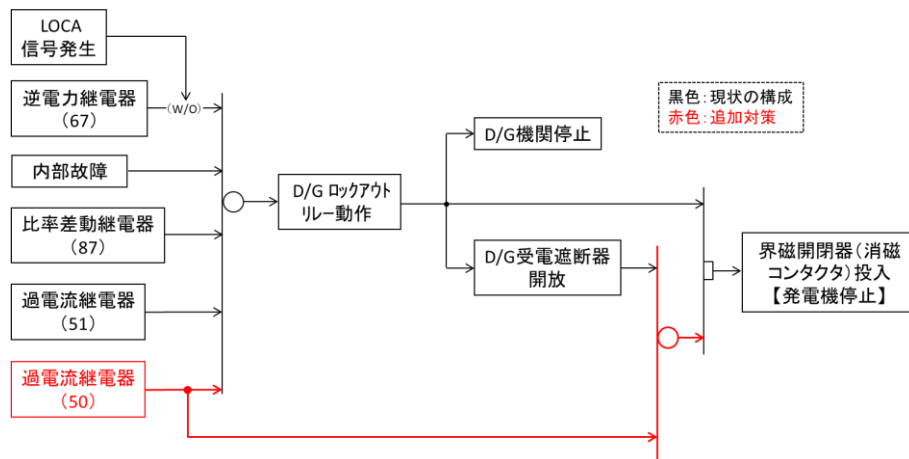


図 5-2 50 要素を D/G 停止インターロックに追加した場合のインターロックイメージ

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（消磁コンタクト）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。

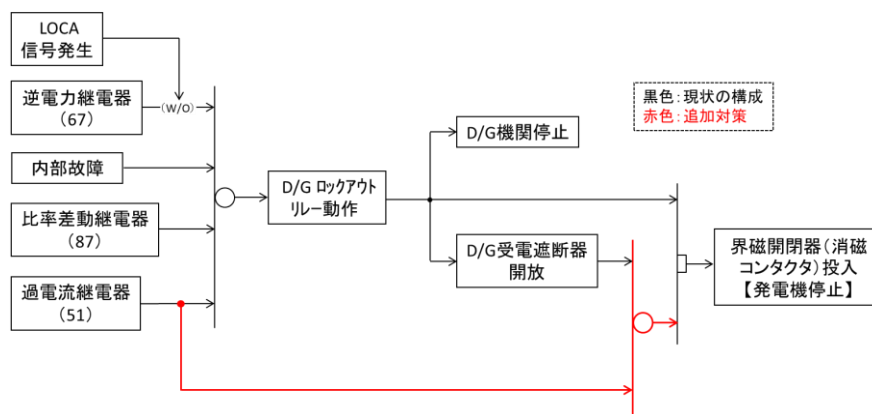


図 5-3 51 要素を D/G 停止インターロックに追加した場合のインターロックイメージ

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（消磁コンタクト）を投入すると界磁開閉器（消磁コンタクト）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なるものである。

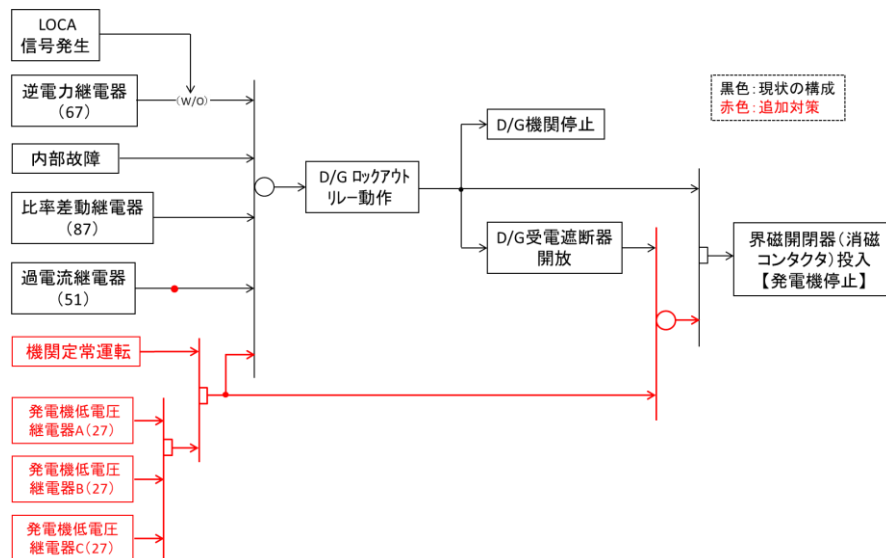


図5-4 27要素をD/G停止インターロックに追加した場合のインターロックイメージ

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/G51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/G51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（消磁コンタクト）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/G51の動作にタイマの動作を追加し、本要素によりD/G51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。

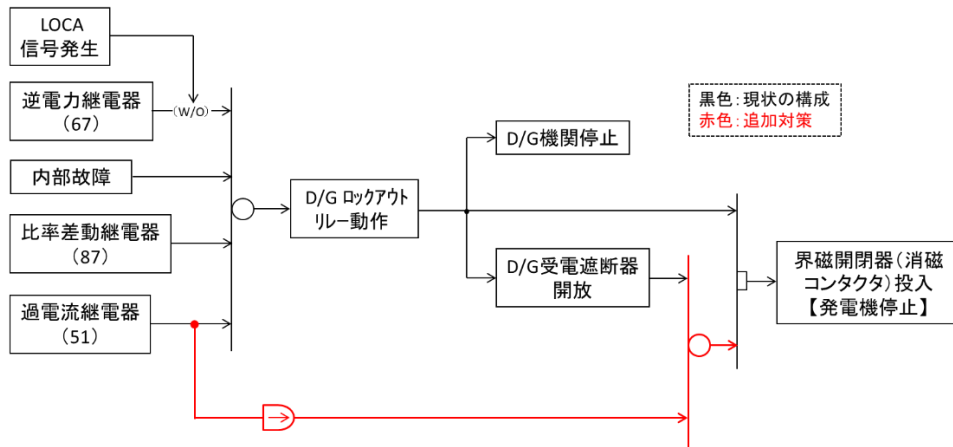


図 5-5 51 要素+限時要素を D/G 停止インターロックに追加した場合のインターロックイメージ

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必要があるため、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。

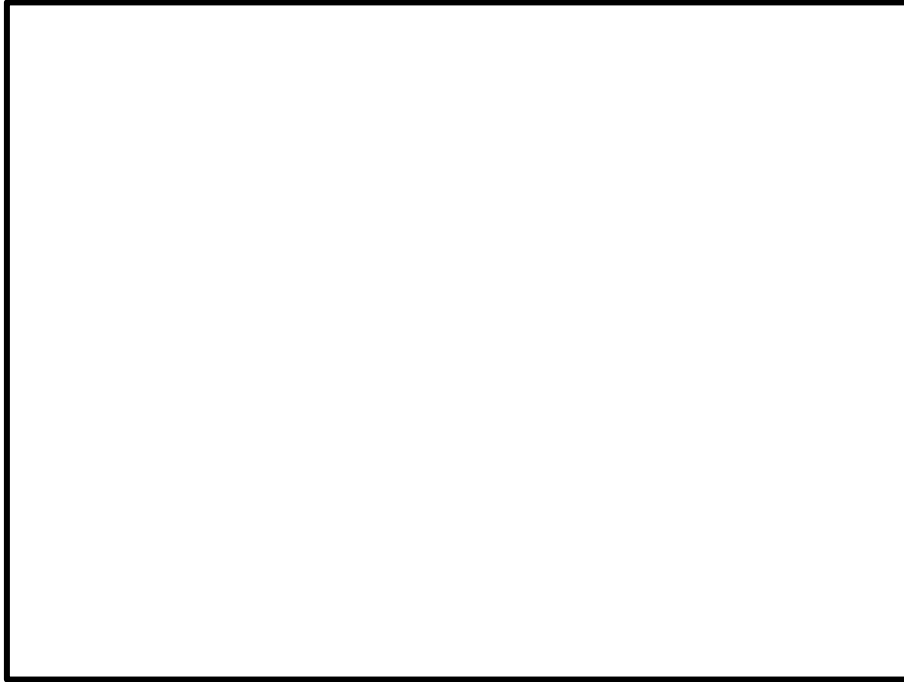


図 6-1 タイマ最小設定時間 (A, B 及び HPCS-D/G)

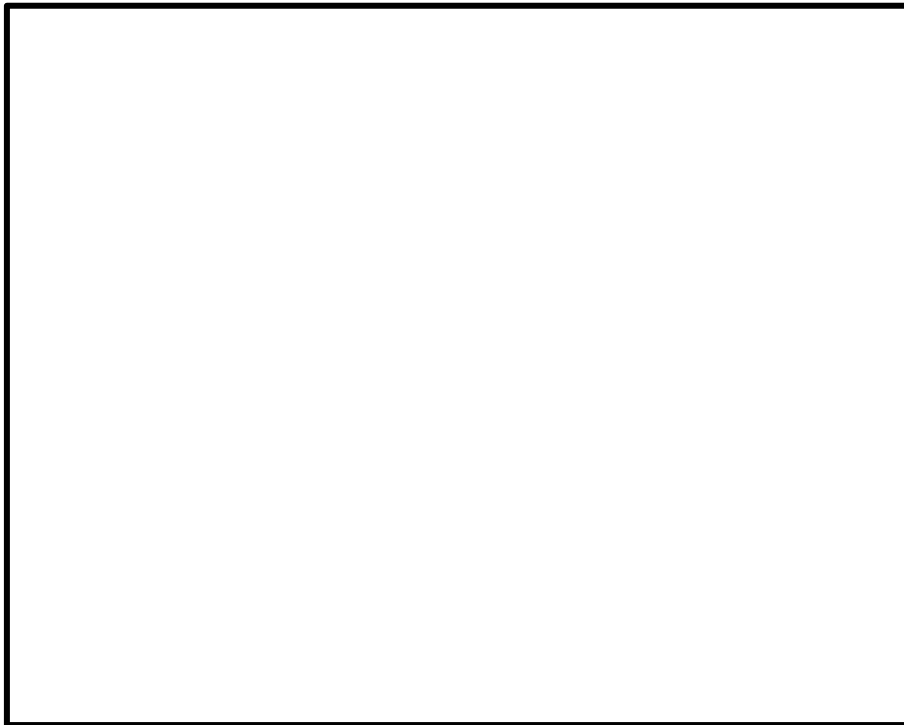


図 6-2 タイマ最大設定時間 (A 及び B-D/G) (1/2)

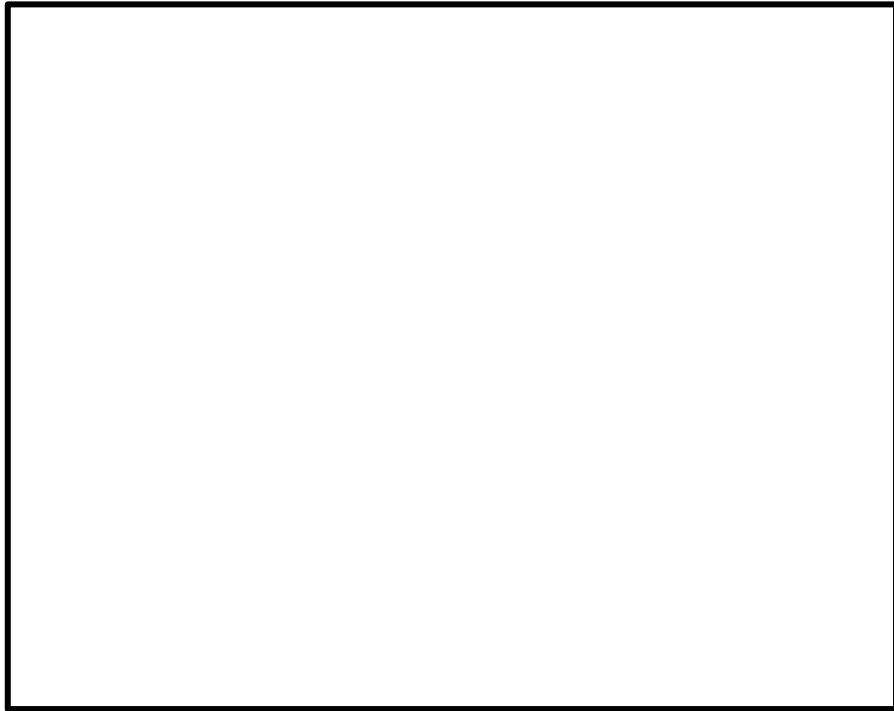


図 6-2 タイマ最大設定時間 (HPCS-D/G) (2/2)

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)

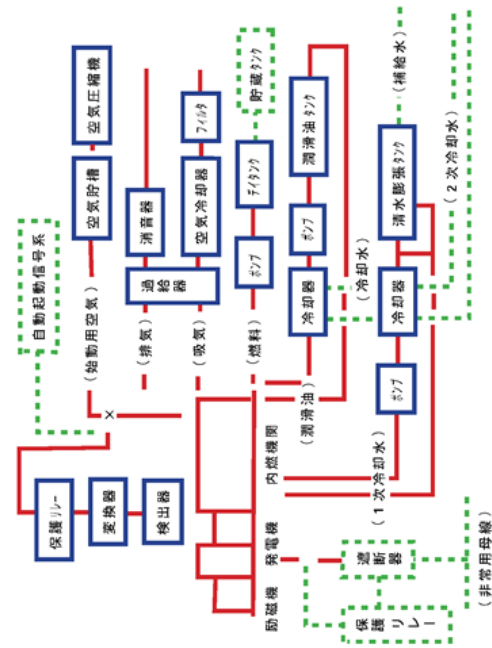
(平成13年2月14日承認)

*1 原子力情報センター 主任研究員

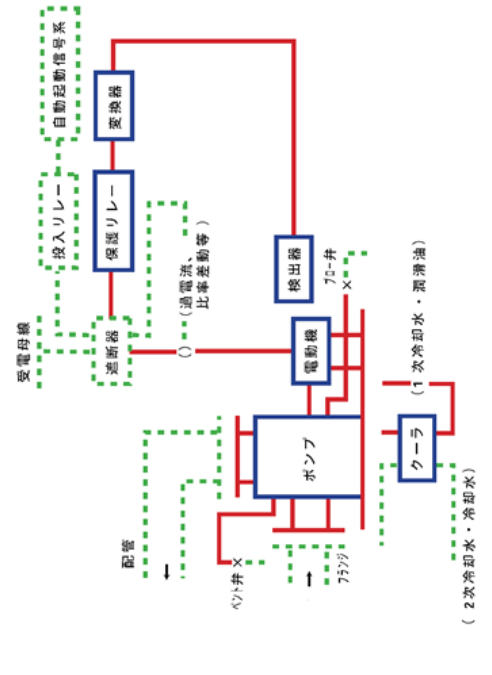
*2 原子力情報センター 研究員

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、電圧、電圧、電圧)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	配管のハンガー等
配管・ダクト類	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	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	-



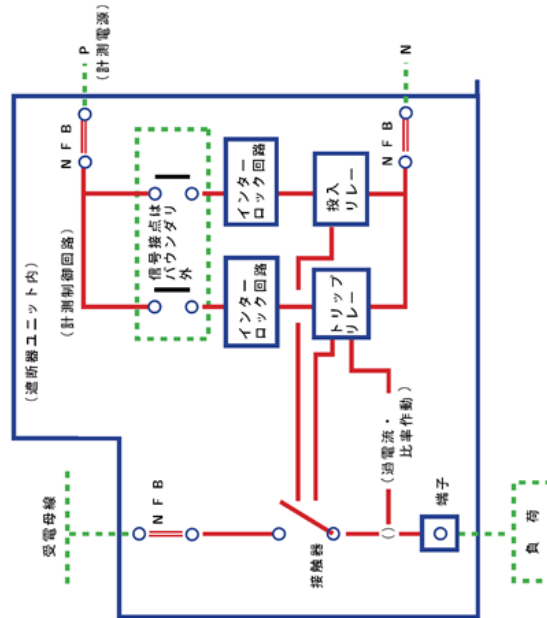
1. 非常用ディーゼル発電機



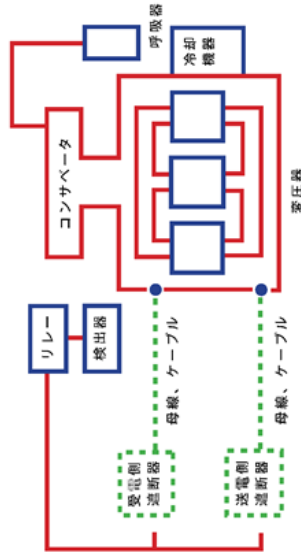
2. 電動ポンプ

項目	パウンダリ内	パウンダリ外
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

項目	パウンダリ内	パウンダリ外
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

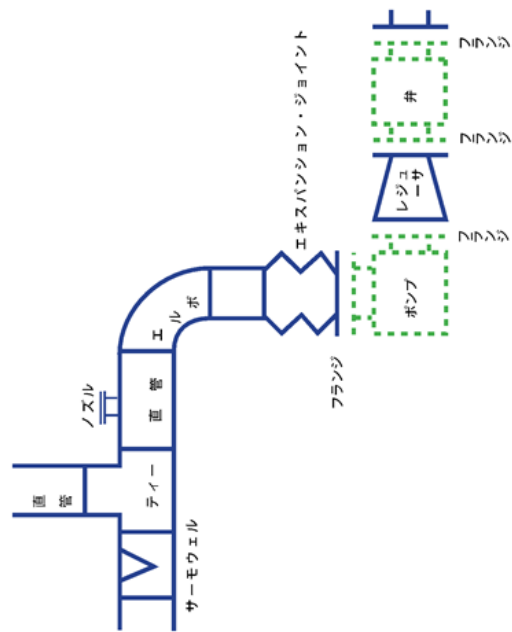


23. 遮断器



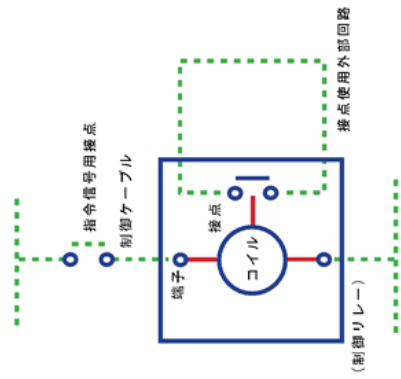
24. 変圧器

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か年データ (本報告書推定結果)			平均値比			EF比			21か年データ報告書			26か年データ報告書				
		観測された故障件数(件)	平均値 ¹⁾ [1/h]	平均値 ²⁾ [1/h]	EF ³⁾	29か年/21か年	29か年/26か年	29か年/26か年	観測された故障件数(件)	平均値 [1/h]	EF ⁴⁾ (近似)	観測された故障件数(件)	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	4.0E+06	7.8E+06	2.0	176%	103%	31%	78%	19	1.3E+07	4.3E+06	6.5	1.8E+07	7.3E+06	2.5		
	継続運転失敗 (24時間平均) ⁴⁾	-	3.3E+04	3.3E+04	1.7	350%	143%	71%	98%	-	-	-	2.2	-	-	1.7		
電動ポンプ (非常用待機, 純水)	継続運転失敗 (72時間平均) ⁴⁾	-	2.9E+04	2.9E+04	1.8	-	147%	-	98%	-	-	-	-	-	-	1.8		
	起動失敗	5	1.3E+07	2.0E+07	2.2	146%	89%	13%	22%	2	6.2E+07	1.3E+07	17.3	4	8.0E+07	2.2E+07	10.2	
電動ポンプ (常用運転, 純水)	継続運転失敗	33	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	1.9E+07	2.4E+07	2.3	95%	127%	13%	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, 海水)	起動失敗	2	1.9E+06	3.7E+07	2.6	130%	103%	16%	32%	1	1.8E+07	2.8E+07	16.4	1	2.3E+07	3.5E+07	8.3	
	継続運転失敗	2	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	
電動ポンプ (常用待機, 海水)	起動失敗	1	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	
	継続運転失敗	29	9.7E+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	
タービン駆動ポンプ	起動失敗	12	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	
	継続運転失敗	4	1.9E+06	4.2E+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⁾	-	-	1.2E+03	30.0	45%	56%	100%	100%	-	-	-	-	-	-	30.0		
	起動失敗	31	1.3E+09	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	21.6	
電動弁 (純水)	閉塞又は開閉	0	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	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
電動弁 (海水)	外部リーク	1	1.3E+09	3.9E+08	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
電動弁 (海水)	作動失敗	3	4.9E+07	2.3E+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	
	閉塞又は開閉	0	4.9E+07	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	
空気作動弁	外部リーク	0	4.9E+07	3.3E+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
	作動失敗	21	7.2E+08	1.3E+06	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
油圧作動弁	閉塞又は開閉	3	7.2E+08	1.8E+08	2.6	67%	59%	7%	17%	18	4.9E+08	1.7E+07	6.3	21	6.3E+08	9.1E+08	4.0	
	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	3.0E+08	15.2
逆止弁	外部リーク	3	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	3.0E+08	6.4
	作動失敗	16	1.4E+08	1.7E+06	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
手動弁	閉塞又は開閉	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
安全弁	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
	閉塞	3	9.5E+08	1.9E+08	9.4E+09	2.7	132%	45%	16%	23%	1	6.5E+08	7.1E+09	16.8	3	8.4E+08	2.1E+08	11.9
電動ポンプ (非常用待機, 純水)	閉塞	17	9.5E+08	3.3E+07	6.7E+08	14.5	196%	28%	42%	16%	4	6.5E+08	3.4E+09	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
電動ポンプ (常用待機, 海水)	閉塞	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	7.5E+09	37.3
	外部リーク	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
電動ポンプ (常用待機, 海水)	閉塞	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
	外部リーク	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
電動ポンプ (非常用待機, 純水)	閉塞	0	2.5E+08	5.9E+07	3.1E+08	2.6	219%	163%	32%	51%	0	1.7E+08	1.4E+08	8.3	0	2.2E+08	1.9E+08	5.1
	外部リーク	1	2.5E+08	2.8E+07	3.3E+08	2.6	232%	113%	32%	42%	0	1.7E+08	1.4E+08	8.3	1	2.2E+08	2.9E+08	6.2
電動ポンプ (非常用待機, 海水)	閉塞	0	2.5E+08	7.0E+08	1.9E+08	3.2	116%	86%	39%	63%	0	1.7E+08	1.4E+08	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+08	8.3	0	2.2E+08	1.9E+08	5.1
電動ポンプ (常用待機, 海水)	閉塞	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
	外部リーク	0	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				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 [1/年]	平均遅延 時間 ⁽¹⁾ [1/年]	EF ⁽²⁾	20ヵ年 /21ヵ年	20ヵ年 /26ヵ年	観測され た故障件 数(件)	遅延時間 [1/年]	平均値 [1/年]	EF ⁽³⁾	観測され た故障件 数(件)	遅延時間 [1/年]	平均値 [1/年]	遅延時間 [1/年]	遅延時間 [1/年]	観測され た故障件 数(件)	遅延時間 [1/年]	平均値 [1/年]	遅延時間 [1/年]	EF ⁽⁴⁾						
																						20ヵ年 /21ヵ年	20ヵ年 /26ヵ年	20ヵ年 /21ヵ年	20ヵ年 /26ヵ年		
送がし安全弁 (BR)	閉込	0	5.4E+07	3.9E-06	2.6	279%	153%	16%	24%	0	3.6E+07	5.6E-08	15.8	0	4.8E+07	1.0E-07	10.7	0	4.8E+07	1.0E-07	10.7	0	4.8E+07	1.0E-07	10.7		
		0	5.4E+07	1.2E-06	2.8	266%	113%	18%	26%	0	3.6E+07	5.6E-08	15.8	0	4.8E+07	1.0E-07	10.7	0	4.8E+07	1.0E-07	10.7	0	4.8E+07	1.0E-07	10.7		
		0	5.4E+07	2.4E-07	3.4	122%	67%	21%	31%	0	3.6E+07	5.6E-08	15.8	0	4.8E+07	1.0E-07	10.7	0	4.8E+07	1.0E-07	10.7	0	4.8E+07	1.0E-07	10.7		
		0	5.4E+07	2.4E-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	0	4.8E+07	1.0E-07	10.7	0	4.8E+07	1.0E-07	10.7		
		0	5.4E+07	4.2E-07	3.1	148%	81%	20%	29%	0	3.6E+07	5.6E-08	15.8	0	4.8E+07	1.0E-07	10.7	0	4.8E+07	1.0E-07	10.7	0	4.8E+07	1.0E-07	10.7		
		0	3.1E+07	7.7E-06	2.7	333%	36%	18%	16%	0	2.7E+07	8.6E-08	14.8	0	2.8E+07	8.1E-07	16.7	0	2.8E+07	8.1E-07	16.7	0	2.8E+07	8.1E-07	16.7		
		7	1.8E+09	1.7E-06	2.0	102%	101%	12%	15%	6	1.3E+09	1.6E-08	16.1	6	1.6E+09	4.1E-09	6.9	6	1.6E+09	4.1E-09	6.9	6	1.6E+09	4.1E-09	6.9		
		1	1.8E+09	3.4E-08	4.4E-09	2.7	123%	107%	12%	39%	0	1.3E+09	3.6E-09	21.4	0	1.6E+09	2.7E-09	5.0	0	1.6E+09	2.7E-09	5.0	0	1.6E+09	2.7E-09	5.0	
		1	1.8E+09	3.4E-08	4.4E-09	2.5	249%	102%	29%	40%	0	1.3E+09	2.1E-09	8.6	0	1.6E+09	2.7E-09	5.0	0	1.6E+09	2.7E-09	5.0	0	1.6E+09	2.7E-09	5.0	
		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	1	1.6E+09	3.6E-09	6.1	1	1.6E+09	3.6E-09	6.1	
ファン/ブロー	起動失敗	1	5.1E+07	9.9E-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	1	4.5E+07	1.3E-07	8.7	1	4.5E+07	1.3E-07	8.7		
		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	8	1.3E+08	8.7E-07	30.2	8	1.3E+08	8.7E-07	30.2	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		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	6	5.0E+08	1.7E-07	23.6	6	5.0E+08	1.7E-07	23.6	
		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	0	5.0E+08	1.7E-07	23.6	0	5.0E+08	1.7E-07	23.6	
		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	0	5.0E+08	1.7E-07	23.6	0	5.0E+08	1.7E-07	23.6	0	5.0E+08	1.7E-07	23.6	
		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	0	5.0E+08	1.7E-07	23.6	0	5.0E+08	1.7E-07	23.6	
		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	0	5.0E+08	1.7E-07	23.6	0	5.0E+08	1.7E-07	23.6	
		1	2.3E+08	3.8E-07	3.7E-08	2.5	145%	124%	21%	38%	1	1.6E+08	2.6E-08	12.3	1	2.1E+08	2.8E-08	6.2	1	2.1E+08	2.8E-08	6.2	1	2.1E+08	2.8E-08	6.2	
		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	6.8E-08	15.1	2	2.1E+08	6.8E-08	15.1	2	2.1E+08	6.8E-08	15.1	
タンク	破損	0	9.6E+07	1.9E-06	2.5	263%	165%	21%	53%	0	6.5E+07	3.2E-08	12.5	0	8.5E+07	5.1E-08	4.9	0	8.5E+07	5.1E-08	4.9	0	8.5E+07	5.1E-08	4.9		
		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	1	7.0E+08	8.8E-09	6.0					
		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	8.8E-09	6.0	0	7.0E+08	8.8E-09	6.0					
		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	8.8E-09	6.0	0	7.0E+08	8.8E-09	6.0					
		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	0	2.9E+08	1.8E-08	4.8	0	2.9E+08	1.8E-08	4.8					
		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	0	2.9E+08	1.8E-08	4.8					
		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	0	2.9E+08	1.8E-08	4.8					
		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	0	3.2E+07	1.7E-07	10.2					
		0	9.6E+07	1.9E-06	8.4E-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	0	8.5E+07	5.1E-08	4.9					
		0	9.6E+07	1.9E-06	8.4E-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	0	8.5E+07	5.1E-08	4.9					
オリフィス	内部破損	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	1	7.0E+08	8.8E-09	6.0					
		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	8.8E-09	6.0	0	7.0E+08	8.8E-09	6.0					
		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	8.8E-09	6.0	0	7.0E+08	8.8E-09	6.0					
		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	0	2.9E+08	1.8E-08	4.8	0	2.9E+08	1.8E-08	4.8					
		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	0	2.9E+08	1.8E-08	4.8					
		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	0	2.9E+08	1.8E-08	4.8					
		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	0	3.2E+07	1.7E-07	10.2					
		0	9.6E+07	1.9E-06	8.4E-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	0	8.5E+07	5.1E-08	4.9					
		0	9.6E+07	1.9E-06	8.4E-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	0	8.5E+07	5.1E-08	4.9					
		0	9.6E+07	1.9E-06	8.4E-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	0	8.5E+07	5.1E-08	4.9					
ストレーナ/フィルタ	吸入失敗	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	6	5.8E+08	1.7E-07	69.3					
		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	1	1.5E+08	1.9E-07	32.5					
		15	6.6E+06	2.1E-06	5.2E-06	2.0	52%	65%	33%	44%	13	5.1E+06	8.4E-06	6.2	14	6.0E+06	7.7E-06	4.6	14	6.0E+06	7.7E-06	4.6					
		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	0	1.7E+07	2.2E-07	10.0					
		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	3	2.6E+06	3.1E-05	23.6					
		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	1	2.6E+07	3.2E-07	14.2					
		13	1.0E+09	3.3E-06	4.3E-06	2.1	89%	45%	8%	10%	9	7.1E+08	4.8E-08	25.2	13	9.2E+08	8.6E-08	20.3	13	9.2E+08	8.6E-08	20.3					
		14	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	8.6E-08	6.1	14	9.2E+08	8.6E-08	6.1					
		2	1.0E+09	2.1E-07	1.2E-08	2.3	137%	119%	13%	20%	7	1.1E+08	8.7E-09	17.9	2	9.2E+08	1.0E-08	11.4	2	9.							

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年データ (本報告書推定結果)		平均値比		EF比		21年データ報告書		26年データ報告書		
		観測され 故障件数 [件]	平均値 ²⁾ [1/h]	29年 /21年	29年 /26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	
	閉塞	1	4.4E+09	2.2	35%	19%	35%	0	3.7E+09	6.6E+10	11.7	
配管 3インチ以上 ¹⁾	リーク	4	1.2E+10	2.8	80%	15%	27%	2	8.3E+09	1.0E+09	18.5	
	閉塞	8	1.9E+08	2.5	22%	185%	29%	4	8.3E+09	3.2E+10	8.6	
リレー	不動作	1	3.4E+09	3.1	143%	7%	6%	3	8.1E+09	1.5E+09	45.4	
	誤動作	9	1.3E+10	1.9	102%	5%	7%	4	8.1E+09	3.0E+09	34.4	
遠隔リレー	不動作	0	9.9E+08	2.8	145%	146%	41%	0	6.9E+08	4.7E+09	7.8	
	誤動作	0	6.3E+08	2.8	145%	146%	36%	0	4.4E+08	5.8E+09	7.8	
演算器	不動作	8	3.6E+08	2.6	282%	132%	18%	3	4.4E+08	2.1E+08	14.5	
	高出力/低出力	0	3.6E+08	2.6	282%	132%	18%	0	2.4E+08	6.1E+08	25.7	
カード (半導体ロジック回路)	不動作	6	3.6E+08	2.4	54%	9%	5%	4	2.4E+08	9.2E+08	12.4	
	誤動作	0	1.9E+09	2.6	180%	216%	20%	0	1.3E+09	9.2E+08	12.4	
集積回路	不動作	3	1.9E+09	2.1	102%	66%	11%	3	1.3E+09	9.5E+08	19.6	
	誤動作	3	3.9E+08	2.0	168%	141%	17%	3	2.4E+09	5.9E+08	18.2	
温度トランスミッタ	不動作	7	8.7E+08	2.2	41%	51%	13%	7	1.9E+09	7.8E+08	16.8	
	高出力/低出力	21	1.7E+08	5.5	359%	35%	45%	13	4.9E+08	2.0E+08	12.2	
圧カトランスミッタ	不動作	15	1.1E+09	2.2	435%	84%	21%	22	7.5E+08	2.9E+08	10.9	
	高出力/低出力	1	4.5E+08	1.9	118%	85%	23%	31%	8	7.5E+08	3.5E+08	8.5
水位トランスミッタ	不動作	1	2.9E+09	2.3	202%	290%	23%	39%	0	3.0E+08	1.4E+08	9.9
	高出力/低出力	4	5.5E+08	2.2	138%	140%	13%	24%	2	3.0E+08	2.2E+08	16.7
温度検出器	不動作	5	2.9E+09	2.3	300%	286%	23%	38%	0	2.0E+09	1.1E+09	10.6
	高出力/低出力	0	8.3E+07	2.0	68%	13%	9%	10%	5	2.0E+09	1.3E+08	23.7
放射線検出器	不動作	4	8.3E+07	2.6	239%	78%	12%	30%	1	5.6E+07	7.3E+08	21.8
	高出力/低出力	0	5.3E+08	2.4	268%	209%	24%	44%	0	3.6E+08	7.1E+08	9.5
流量スイッチ	不動作	2	5.3E+08	2.3	370%	185%	24%	20%	0	3.6E+08	1.5E+09	9.5
	誤動作	1	1.4E+09	2.4	157%	165%	17%	33%	1	9.9E+08	5.0E+08	13.9
圧カスイッチ	不動作	7	1.4E+09	2.5	32%	91%	6%	8%	6	9.9E+08	2.0E+08	43.0
	水位スイッチ	7	1.0E+09	2.5	32%	55%	17%	6%	1	7.1E+08	8.2E+09	14.8
温度スイッチ	不動作	2	1.0E+09	2.3	170%	92%	5%	13%	2	7.1E+08	9.0E+09	44.9
	誤動作	0	4.9E+08	2.5	169%	141%	6%	18%	0	3.4E+08	1.1E+08	9.9
リミットスイッチ	不動作	2	3.2E+09	2.0	169%	84%	12%	20%	3	2.2E+09	5.5E+09	16.3
	誤動作	2	3.2E+09	2.0	181%	258%	14%	26%	1	2.2E+09	3.1E+09	15.1
手動スイッチ	不動作	2	5.1E+09	2.2	160%	162%	16%	30%	2	3.5E+09	1.9E+09	13.5
	誤動作	1	5.1E+09	2.4	222%	277%	27%	45%	0	3.5E+09	1.4E+09	8.8
コントローラ	不動作	1	6.2E+08	2.3	499%	354%	17%	28%	0	4.3E+08	4.0E+08	13.3
	高出力/低出力	4	6.2E+08	2.3	212%	95%	12%	13%	1	4.3E+08	1.4E+08	20.1
配線/電線	短絡 ⁷⁾	-	-	30.0	104%	515%	100%	-	-	3.1E+10	30.0	
	断線 ⁷⁾	-	-	30.0	1254%	408%	100%	-	-	5.9E+10	30.0	
ブレーカー	断線 ⁷⁾	-	-	30.0	348%	408%	100%	-	-	2.1E+09	30.0	
	機能喪失 ⁷⁾	-	-	30.0	383%	424%	100%	-	-	1.3E+08	30.0	
ファンシスター	機能喪失 ⁷⁾	-	-	30.0	958%	562%	100%	-	-	1.3E+08	30.0	
	機能喪失 ⁷⁾	-	-	30.0	958%	562%	100%	-	-	1.3E+08	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. ABBの電圧制御用保護装置を含む。
 * 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。

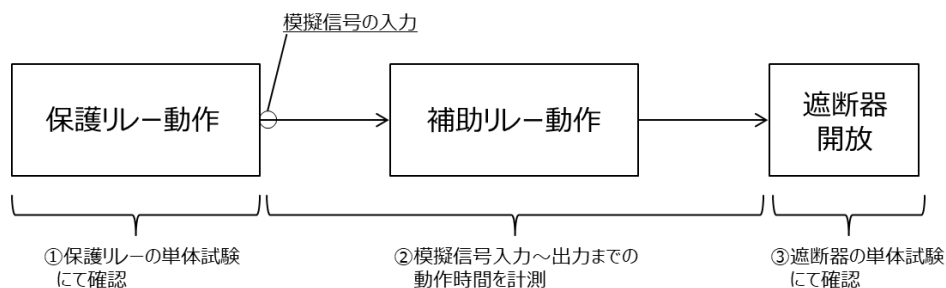


図 1 パターン 1 (M/C に接続される遮断器 (D/G 受電遮断器以外) での HEAF 時)

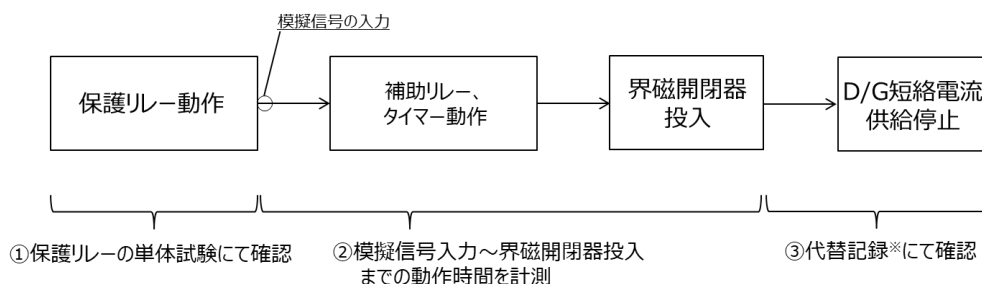


図 2 パターン 2 (D/G 受電遮断器での HEAF 時)