

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

| | |
|-----------------------|-------------------|
| 女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料 | |
| 資料番号 | O2-他-F-09-0001_改0 |
| 提出年月日 | 2021年5月27日 |

女川原子力発電所第2号機 高エネルギーアーク損傷対策の概要について

2021年●月●日
東北電力株式会社

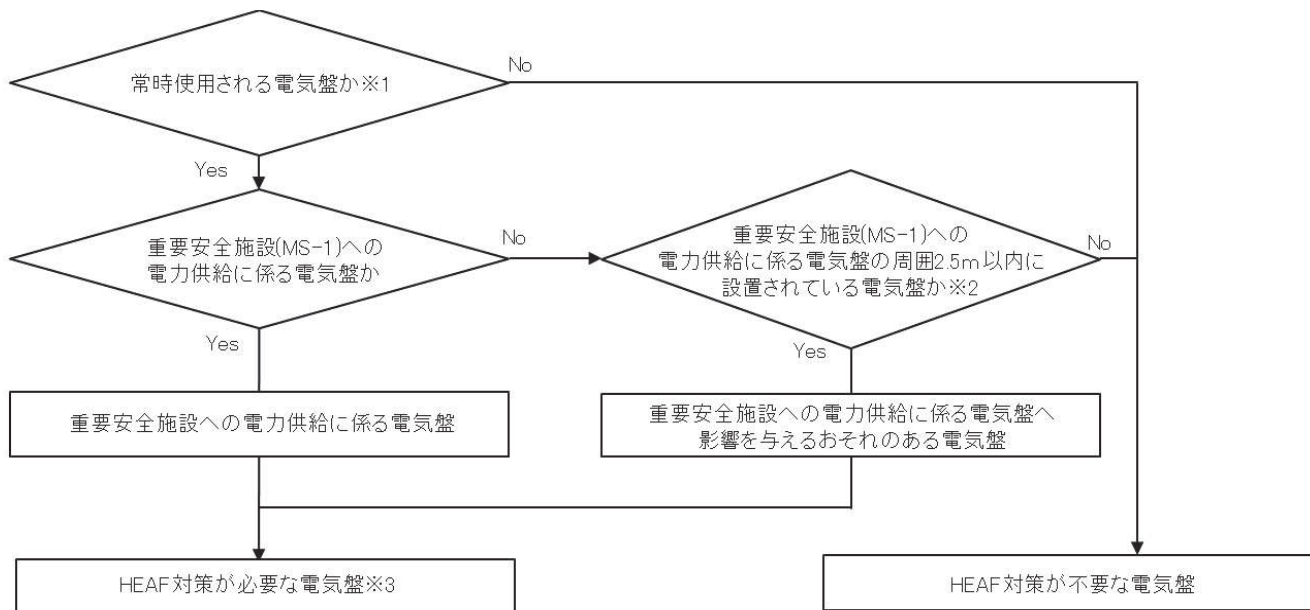
【3-1】高エネルギーアーク損傷対策の概要について(1/4)

1. 概要

・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傷の拡大を防止することができるよう、「高エネルギーアーク損傷(HEAF)に係る電気盤の設計に関する審査ガイド」(以下「審査ガイド」という。)に基づき、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、電源盤燃焼試験から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確認する。

2. HEAF対策が必要な電気盤の選定

・以下のフローにてHEAF対策が必要な電気盤を整理した。



※1 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状態をいう。

※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)。

【3-1】高エネルギーアーク損傷対策の概要について(2/4)

3. HEAF対策が必要な電気盤

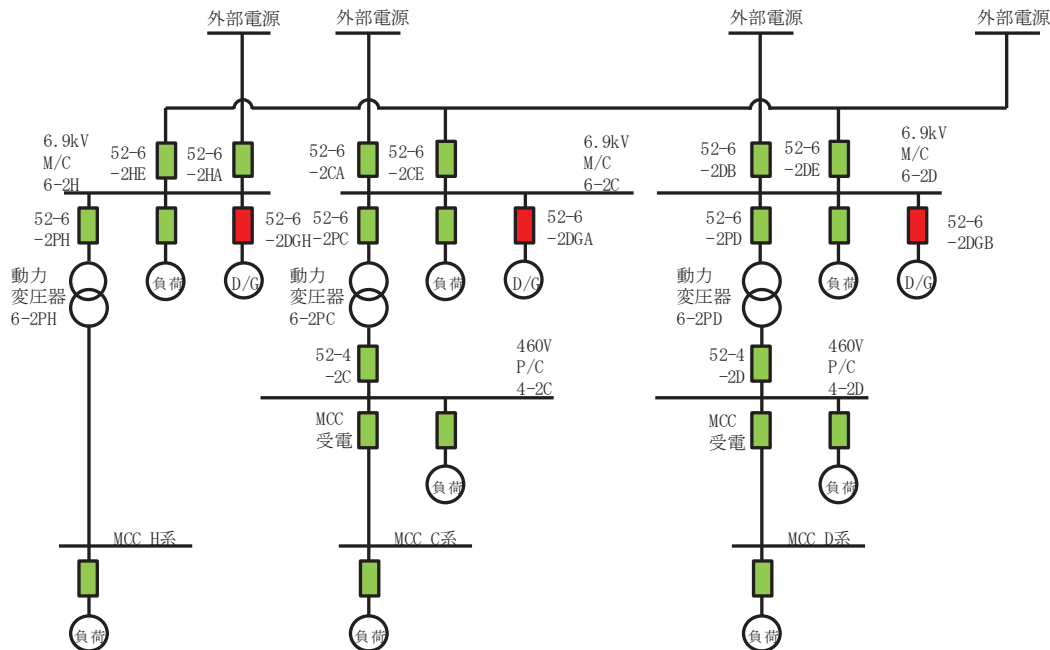
・HEAF対策が必要な電気盤を右図に示す。

- : 重要安全施設への電力供給に係る電気盤 (C,D,E系)
- : 重要安全施設への電力供給に係る電気盤のうち、D/Gに接続される電気盤

【凡例】

- M/C : メタルクラッドスイッチギア
- P/C : パワーセンタ
- MCC : モータ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

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



女川原子力発電所第2号機 所内電気系統 概要図

4. 各電気盤のアーク火災発生防止のしきい値

・審査ガイドに基づきHEAF試験を実施し、試験によって得られた各電気盤のアークエネルギーのしきい値を右表に示す。

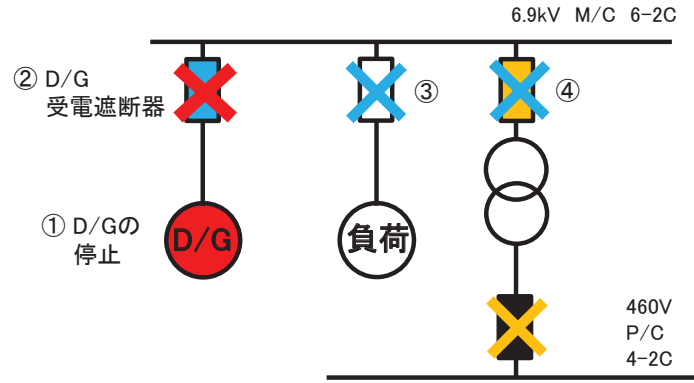
表 各電気盤のアーク火災発生防止のしきい値

| | アーク火災発生防止しきい値(MJ) | 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) |
|-----------|-------------------|------------------------------|
| M/C | 25 | 25.3 |
| P/C | 18 | 18.9 |
| MCC | 4.4 | 4.49 |
| M/C (D/G) | 16 | 16.6 |

【3-1】高エネルギーアーク損傷対策の概要について(3/4)

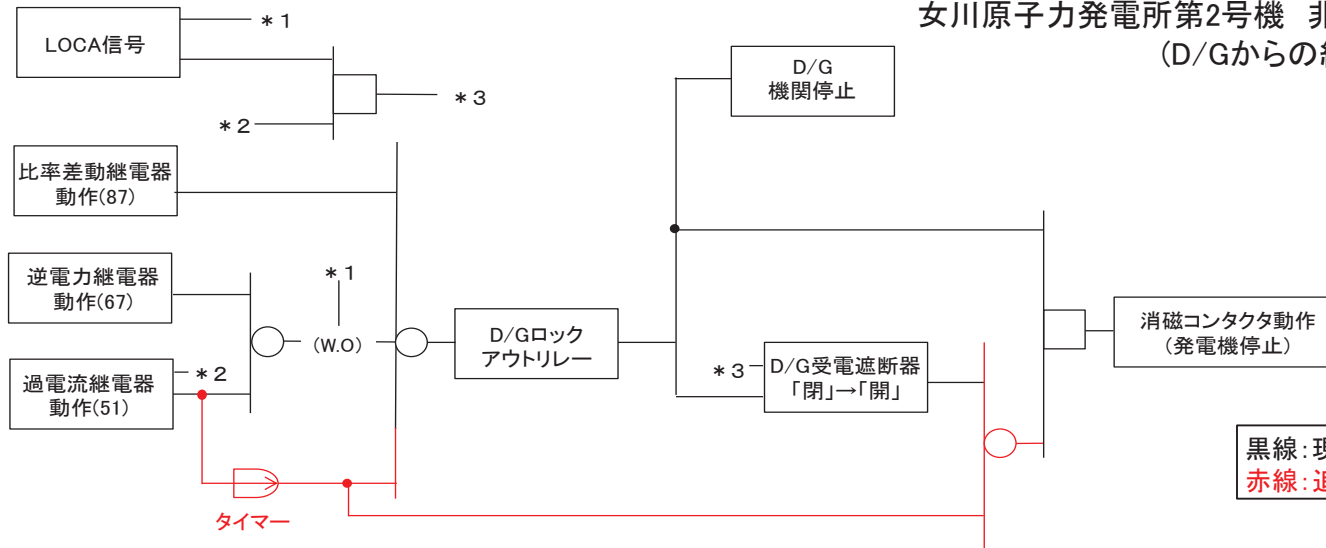
5. 各電気盤のHEAF対策

- ・右図の③及び④の6.9kV M/Cに接続される遮断器でHEAFが発生した場合、上流にある②D/G受電遮断器により、短絡電流を遮断する。
- ・右図の②D/G受電遮断器でHEAFが発生した場合、上流にある①D/Gの停止により、短絡電流を遮断する。
- ・①D/Gの停止時間は、遮断時間等に含まれる誤差を考慮した上でM/C(D/G)のしきい値(16MJ)を下回るように設計する。
- ・D/G受電遮断器でHEAFが発生した場合、D/Gを停止するため「過電流継電器(51)」及びタイマーのインターロックを追加する(下図参照)。



凡例
M/C:メタルクラッドスイッチギア
P/C:パワーセンタ
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

女川原子力発電所第2号機 非常用電源C系統 概要図 (D/Gからの給電時)



黒線:現状の構成
赤線:追加対策

女川原子力発電所第2号機 D/Gインターロック 概要図

【3-1】高エネルギーアーク損傷対策の概要について(4/4)

6. 各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

・下表に示した遮断時間にて設計することにより、アークエネルギーをしきい値以下に設計することができる。

| 電気盤 | | アーク放電発生箇所 | アーク放電を遮断するために開放する遮断器 | アーク放電の遮断時間(sec) | アークエネルギー(MJ) | しきい値(MJ) |
|-------------------------------|----------------------------|---|--------------------------------|---------------------|------------------|----------|
| 電気盤 | | 遮断器名称 | | | | |
| メタルクラッドスイッチギア (非常用) | M/C 6-2C | 母線連絡遮断器52-6-2CA | 母線連絡遮断器52-6-2AC | 0.4 | 22.56 | 25 |
| | | 母線連絡遮断器52-6-2CE | 母線連絡遮断器52-6-E2 | 0.513 | 18.5 | |
| | | M/C 6-2Cに接続される遮断器 (母線連絡遮断器 52-6-2CA, 母線連絡遮断器 52-6-2CE及び非常用ディーゼル発電機(A)受電遮断器 52-6-2DGAを除く。) | 母線連絡遮断器52-6-2CA | 0.374 | 21.09 | |
| | M/C 6-2D | 母線連絡遮断器52-6-2DB | 母線連絡遮断器52-6-2BD | 0.4 | 22.56 | |
| | | 母線連絡遮断器52-6-2DE | 母線連絡遮断器52-6-E2 | 0.513 | 18.5 | |
| | | M/C 6-2Dに接続される遮断器 (母線連絡遮断器 52-6-2DB, 母線連絡遮断器 52-6-2DE及び非常用ディーゼル発電機(B)受電遮断器52-6-2DGBを除く。) | 母線連絡遮断器52-6-2DB | 0.374 | 21.09 | |
| メタルクラッドスイッチギア (高圧炉心スプレイ系用) | M/C 6-2H | 母線連絡遮断器52-6-2HA | 母線連絡遮断器52-6-2AH | 0.37 | 20.86 | |
| | | 母線連絡遮断器52-6-2HE | 母線連絡遮断器52-6-E2 | 0.513 | 18.5 | |
| | | M/C 6-2Hに接続される遮断器 (母線連絡遮断器 52-6-2HA, 母線連絡遮断器52-6-2HE及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機受電遮断器52-6-2DGHを除く。) | 母線連絡遮断器52-6-2HA | 0.345 | 19.46 | |
| パワーセンタ (非常用) | P/C 4-2C P/C 4-2D | 受電遮断器52-4-2C | 動力変圧器遮断器52-6-2PC | 0.996 | 15.67 | 18 |
| | | P/C 4-2Cに接続される遮断器(受電遮断器 52-4-2Cを除く。) | 受電遮断器52-4-2C | 0.67 | 10.54 | |
| | | 受電遮断器52-4-2D | 動力変圧器遮断器52-6-2PD | 0.996 | 15.67 | |
| モータコントロールセンタ (非常用) | MCC C系 | C/B MCC 2C-1に接続される遮断器 | C/B MCC 2C-1受電遮断器 | 0.17 | 3.87 | 4.4 |
| | | C/B MCC 2C-2に接続される遮断器 | C/B MCC 2C-2受電遮断器 | 0.17 | 3.87 | |
| | | R/B MCC 2C-1に接続される遮断器 | R/B MCC 2C-1受電遮断器 | 0.17 | 3.87 | |
| | | R/B MCC 2C-2に接続される遮断器 | R/B MCC 2C-2受電遮断器 | 0.17 | 3.87 | |
| | | R/B MCC 2C-3に接続される遮断器 | R/B MCC 2C-3受電遮断器 | 0.17 | 3.87 | |
| | MCC D系 | R/B MCC 2C-4に接続される遮断器 | R/B MCC 2C-4受電遮断器 | 0.17 | 3.87 | |
| | | R/B MCC 2C-5に接続される遮断器 | R/B MCC 2C-5受電遮断器 | 0.17 | 3.87 | |
| | | C/B MCC 2D-1に接続される遮断器 | C/B MCC 2D-1受電遮断器 | 0.17 | 3.87 | |
| | | C/B MCC 2D-2に接続される遮断器 | C/B MCC 2D-2受電遮断器 | 0.17 | 3.87 | |
| | | R/B MCC 2D-1に接続される遮断器 | R/B MCC 2D-1受電遮断器 | 0.17 | 3.87 | |
| | | R/B MCC 2D-2に接続される遮断器 | R/B MCC 2D-2受電遮断器 | 0.17 | 3.87 | |
| | | R/B MCC 2D-3に接続される遮断器 | R/B MCC 2D-3受電遮断器 | 0.17 | 3.87 | |
| | | R/B MCC 2D-4に接続される遮断器 | R/B MCC 2D-4受電遮断器 | 0.17 | 3.87 | |
| | | R/B MCC 2D-5に接続される遮断器 | R/B MCC 2D-5受電遮断器 | 0.17 | 3.87 | |
| | | モータコントロールセンタ (高圧炉心スプレイ系用) | MCC H系 | R/B MCC 2Hに接続される遮断器 | 動力変圧器遮断器52-6-2PH | |
| メタルクラッドスイッチギア (非常用) | M/C 6-2C | 非常用ディーゼル発電機(A)受電遮断器52-6-2DGA | — * | 7.077 | 10.44 | 16 |
| | | M/C 6-2Cに接続される遮断器 (非常用ディーゼル発電機(A)受電遮断器52-6-2DGAを除く。) | 非常用ディーゼル発電機(A)受電遮断器52-6-2DGA | 2.485 | 6.95 | |
| | M/C 6-2D | 非常用ディーゼル発電機(B)受電遮断器52-6-2DGB | — * | 7.077 | 10.44 | |
| メタルクラッドスイッチギア (高圧炉心スプレイ系用) | M/C 6-2H | M/C 6-2Dに接続される遮断器 (非常用ディーゼル発電機(B)受電遮断器52-6-2DGBを除く。) | 非常用ディーゼル発電機(B)受電遮断器52-6-2DGB | 2.485 | 6.95 | |
| | | 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機受電遮断器52-6-2DGH | — * | 6.834 | 12.99 | |
| | | M/C 6-2Hに接続される遮断器 (高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機受電遮断器52-6-2DGHを除く。) | 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機受電遮断器52-6-2DG | 1.702 | 7.56 | |

7. 説明図書

・「VI-1-9-1-1 非常用発電装置の出力の決定に関する説明書」及びその補足説明資料「補足380-5 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」

以下，參考資料
(詳細說明版)

女川原子力発電所第2号機 高エネルギーアーク損傷対策の概要について

2021年●月●日
東北電力株式会社

目次

| | |
|---|---|
| 1. 高エネルギーアーク損傷対策に係る技術基準規則等の改正内容と対応方針..... | 2 |
| 2. 高エネルギーアーク損傷対策の概要..... | 6 |

参考1 アーク火災発生のメカニズムについて

参考2 「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」への対応

参考3 試験体とプラント実機の同等性について

参考4 試験結果を踏まえた火災発生防止のしきい値の保守性について

参考5 遮断器の遮断時間の設定における保護継電器等の動作時間の誤差の考え方

参考6 D/G機関の停止による短絡電流供給停止までの代替検査について

参考7 消磁コンタクタ構造, 動作原理について

1. 高エネルギーアーク損傷対策に係る技術基準規則等の改正内容と対応方針(1/4)

- ▶ 平成29年(2017年)8月8日に「实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」(以下「技術基準規則」という。)及びその解釈が改正され、高エネルギーアーク損傷による電気盤の損傷の拡大防止(以下「HEAF対策」という。)が要求された。
- ▶ また、ガイドラインとして、「高エネルギーアーク損傷(HEAF)に係る電気盤の設計に関する審査ガイド」(以下「審査ガイド」という。)が制定された。

(1)技術基準規則(下線は改正部分)

| 改正後 | 改正前 | 対応方針 |
|---|---|--|
| <p>(保安電源設備) 第四十五条 [略] 2 [略] 3 保安電源設備(安全施設へ電力を供給するための設備をいう。)には、第1項の電線路、当該発電用原子炉施設において常時使用される発電機及び非常用電源設備から発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な装置への電力の供給が停止することがないよう、次に掲げる措置を講じなければならない。</p> <p>一 <u>高エネルギーのアーク放電による電気盤の損壊の拡大を防止するために必要な措置</u></p> <p>二 <u>前号に掲げるもののほか、機器の損壊、故障その他の異常を検知し、及びその拡大を防止するために必要な措置</u></p> <p>4~8 [略]</p> | <p>(保安電源設備) 第四十五条 [略] 2 [略] 3 保安電源設備(安全施設へ電力を供給するための設備をいう。)には、第1項の電線路、当該発電用原子炉施設において常時使用される発電機及び非常用電源設備から発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な装置への電力の供給が停止することがないよう、<u>機器の損壊、故障その他の異常を検知するとともに、その拡大を防止するために必要な措置を講じなければならない。</u></p> <p>(号を加える)</p> <p>(号を加える)</p> <p>4~8 [略]</p> | <p>新たに制定された審査ガイドを踏まえ、実証試験により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「しきい値」という。)を求め、実機においてHEAF対策が必要なものについて対策を実施する。</p> |

1. 高エネルギーアーク損傷対策に係る技術基準規則等の改正内容と対応方針(2/4)

(2)技術基準規則の解釈(下線は改正部分)

| 改正後 | 改正前 | 対応方針 |
|--|--|---|
| 第45条(保安電源設備) 1～3 (略) <u>4 第3項第1号に規定する「高エネルギーの アーク放電による電気盤の損壊の拡大を防止 するために必要な措置」とは、重要安全施設 (設置許可基準規則第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、遮断器の遮断時間 の適切な設定等により、高エネルギーのアー ク放電によるこれらの電気盤の損壊の拡大を 防止することができることをいう。</u> 5～10 (略) | 第45条(保安電源設備) 1～3 (略) (新設) 4～8 (略) | 新たに制定された審査ガイドを踏まえ、実証 試験によりしきい値を求め、実機において HEAF対策が必要なものについて対策を実施 する。 |

(3)審査ガイド(新設)

| 改正後 | 改正前 | 対応方針 |
|---|------|---|
| <u>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</u> | (新設) | HEAF対策の評価に用いるデータや設備対策 が審査ガイドを踏まえたものであることを確認 する。 |

1. 高エネルギーアーク損傷対策に係る技術基準規則等の改正内容と対応方針(3/4)

(4)経過措置

平成29年(2017年)8月8日の技術基準規則改正後の第45条第3項の規定については、技術基準規則の附則により、非常用発電機に接続される電気盤に関する措置に係る部分を除いて、平成31年(2019年)8月1日以降の施設定期検査を終了した日までの経過措置が設けられている。また、非常用発電機に接続される電気盤に関する措置に係る部分については、同附則により、平成33年(2021年)8月1日以降の施設定期検査を終了した日までの経過措置が設けられている。

| 技術基準規則(抜粋) | 対応方針 |
|--|---------------------------------------|
| <p>附 則 (平成29年8月8日原子力規制委員会規則第12号) (経過措置) 第二条 (略)</p> <p>3 <u>この規則の施行の際現に設置され又は設置に着手されている発電用原子炉施設(法第43条の3の5第2項第5号に規定する発電用原子炉施設をいう。以下同じ。)</u>に対する第1条の規定による改正後の<u>实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(以下「新实用炉規則」という。)</u>第45条第3項(非常用発電機に接続される電気盤に関する措置に係る部分を除く。以下この項において同じ。)<u>及び第1条の規定による改正後の研究開発段階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(以下「新研開炉規則」という。)</u>第44条第3項(非常用発電機に接続される電気盤に関する措置に係る部分を除く。以下この項において同じ。)<u>の規定の適用については、平成31年8月1日以後最初に当該発電用原子炉施設に係る法第43条の3の15の検査を終了した日又は平成31年8月1日以後に発電用原子炉(法第2条第5項に規定する発電用原子炉をいう。次項において同じ。)</u>の運転を開始する日の前日のいずれか早い日までの間(以下この項において「経過措置期間」という。)<u>は、なお従前の例による。ただし、次に掲げるものについては、この限りでない。</u> (略)</p> <p>4 <u>この規則の施行の際現に設置され又は設置に着手されている発電用原子炉施設に対する新实用炉規則第45条第3項(非常用発電機に接続される電気盤に関する措置に係る部分に限る。)</u>及び<u>新研開炉規則第44条第3項(非常用発電機に接続される電気盤に関する措置に係る部分に限る。)</u><u>の規定の適用については、平成33年8月1日以後最初に当該発電用原子炉施設に係る法第43条の3の15の検査を終了した日又は平成33年8月1日以後に発電用原子炉の運転を開始する日の前日のいずれか早い日までの間(以下この項において「経過措置期間」という。)</u><u>は、なお従前の例による。ただし、次に掲げるものについては、この限りでない。</u> (略)</p> | <p>経過措置期間内に基準に適合できるようHEAF対策を実施する。</p> |

1. 高エネルギーアーク損傷対策に係る技術基準規則等の改正内容と対応方針(4/4)

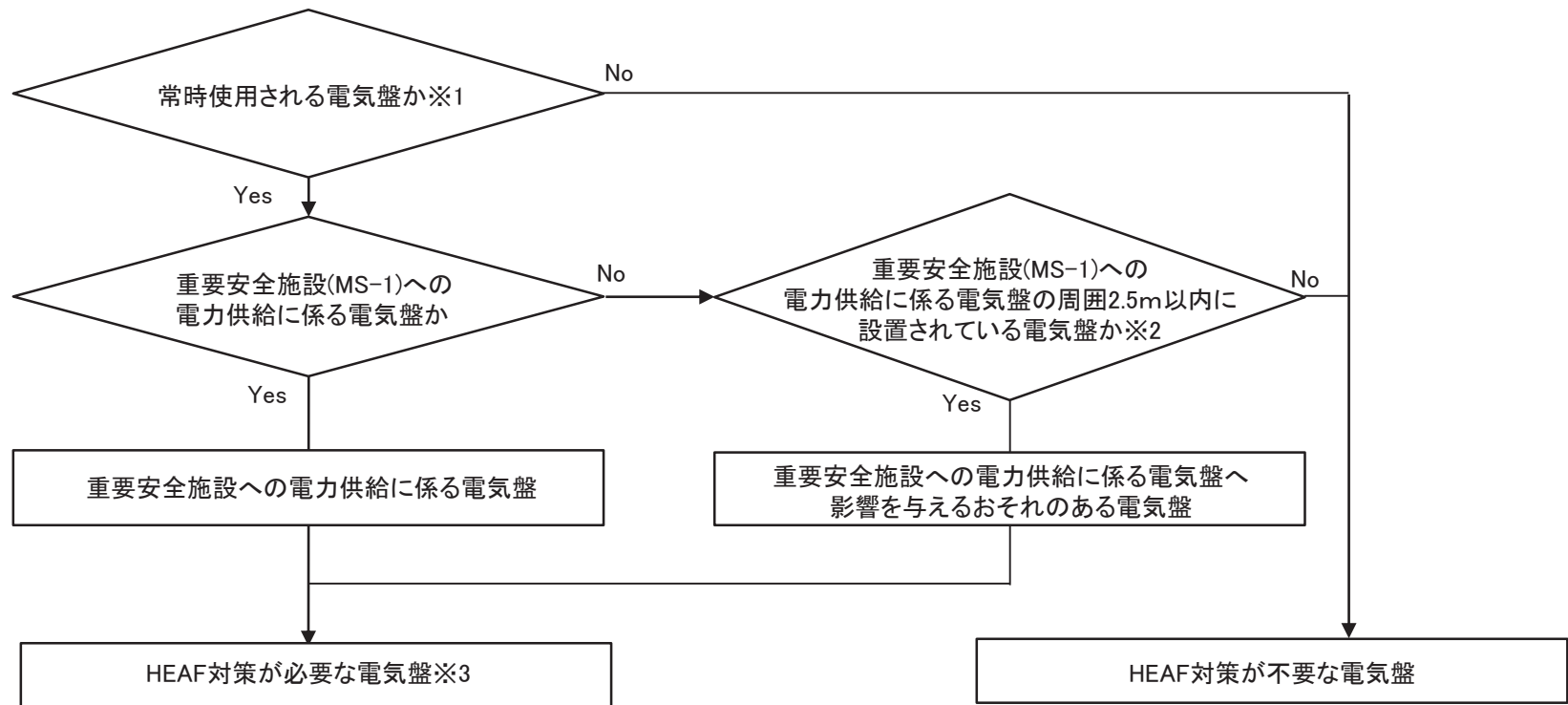
(5)高エネルギーアーク損傷対策に係る技術基準規則等の改正への対応方針

| 対応方針 | 頁 |
|---|-------------------------------|
| ▶ 技術基準規則第45条第3項第1号にて要求されている電気盤についてHEAF対策を実施する。 対象となる電気盤の抽出フローを示す。 | 6~7 |
| ▶ 審査ガイドに示されている以下の3つの観点にて実証試験を実施し、上記により抽出された電気盤に対し、必要なHEAF対策を実施する。 <ul style="list-style-type: none"> a.アーク放電を発生させる試験……………試験方法, 試験体の選定 b.アーク火災発生の評価……………アーク火災が発生しないしきい値に関する評価方法, 試験結果 c.HEAFに係る対策の判断基準……………判断基準, 遮断時間の設定等 | 8~9 10~14 15~24 |

2. 高エネルギーアーク損傷対策の概要

2.1 技術基準規則への適合が必要な電気盤(1/2)

- HEAF対策が必要な電気盤は、技術基準規則の解釈第45条第4項にて「重要安全施設への電力供給に係る電気盤及び当該電気盤に影響を与えるおそれのある電気盤」と定められている。
- 「重要安全施設」は実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第12条第6項に記載され、解釈第11項において重要度分類MS-1に分類される構築物等が対象と定義されている。
- 上記を基に、以下のフローにてHEAF対策が必要な電気盤を整理した。



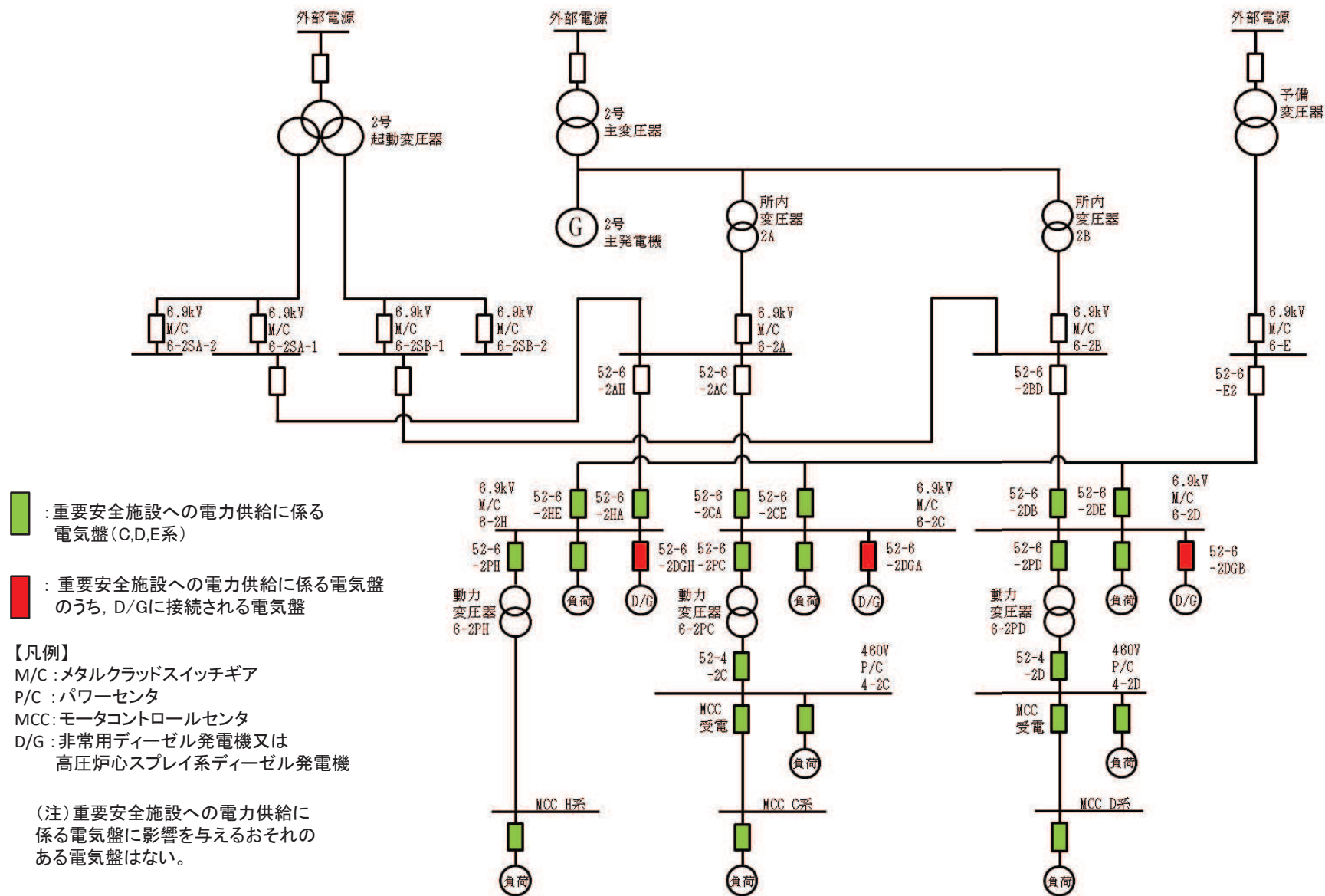
※1 主発電機又は非常用電源設備から電気が供給されている状態をいう。

※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対策が出来るものとする(審査ガイドによる)。

2. 高エネルギーアーク損傷対策の概要

2.1 技術基準規則への適合が必要な電気盤(2/2)



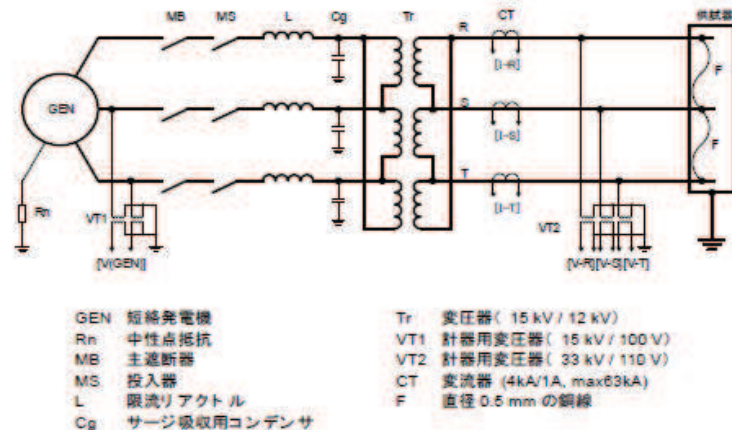
女川原子力発電所第2号機 所内電気系統 概要図

2. 高エネルギーアーク損傷対策の概要

2.2 アーク放電を発生させる試験(試験方法)

- 試験は、電力中央研究所(横須賀地区大電力試験所)にて実施。
- 各電気盤の短絡電流値及び印加電圧は、電気系統の設計時に設定されている値を踏まえて設定。
- 審査ガイドの付録Aに示される電気回路と同等の電気回路を用いて試験を実施。
- アーク放電を発生させる試験は、電気盤の遮断器の受電側及び配電側で実施。
- アーク放電の継続時間については、試験で目標とするアークエネルギーの値が得られるよう設定。
- 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)で積分した値とする。
- HEAFが発生しても感知・消火設備が機能喪失しないことを確認するため、電気盤直上1.5m×1に煙感知器を設置し影響を確認(M/C(D/G), P/C, MCCの試験にて実施)。

※1 煙感知器の設置位置は、NUREG/CR6850 Appendix MのZOI(Zone of influence)の範囲を参考に設定。



- ・計器用変圧器、変流器を介して電圧電流波形を測定する。
- ・アーク放電は、IEEE C37.20.7-00713等に基づき、母線に導電性針金をワイヤリングする。

試験状況及び試験回路(M/C試験時)

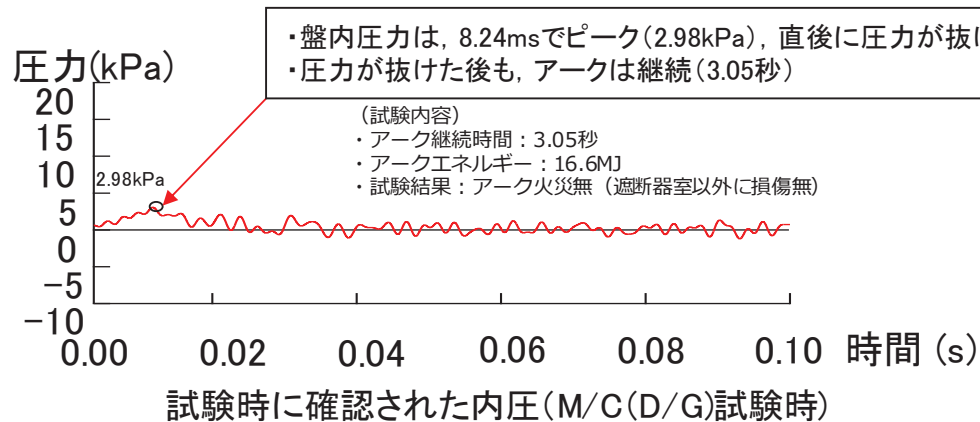
2. 高エネルギーアーク損傷対策の概要

2.3 アーク放電を発生させる試験(試験体の選定)

- ・ 同種類の電気盤単位(M/C(D/G含む), P/C, MCC毎)の場合は同等と扱い試験を実施。

(理由)

- 同種類の電気盤であっても盤内容積の大小はあるが、金属ヒューム等の発生により上昇した圧力が短時間で盤の変形部や開口部から抜けるため、盤内温度上昇に盤内容積の大小は直接寄与しない。
- 盤内リレー・ケーブル等の可燃物は、同種類の電気盤(M/C(D/G含む), P/C, MCC)であれば、製造メーカーによらず、同程度であること。



盤内開放部の状態
(M/C(D/G)遮断器室)



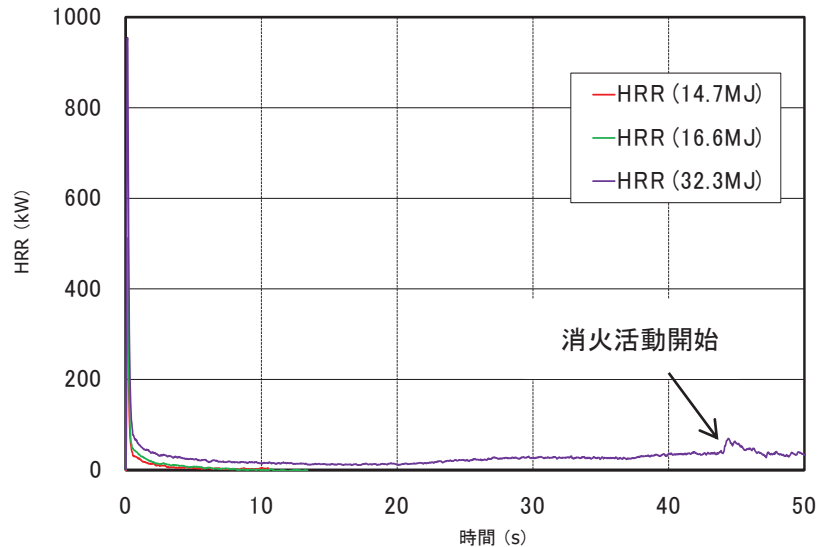
試験後の盤正面の状態
(M/C(D/G))

2. 高エネルギーアーク損傷対策の概要

2.4 アーク火災発生の評価(1/5)

- 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。
 - (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(M/C(D/G), P/C, MCCの試験にて実施)。

● 電気盤の発熱速度(HRR)の測定



発熱速度(HRR)測定結果
(M/C(D/G)試験時)



試験状況
(M/C(D/G)試験時)

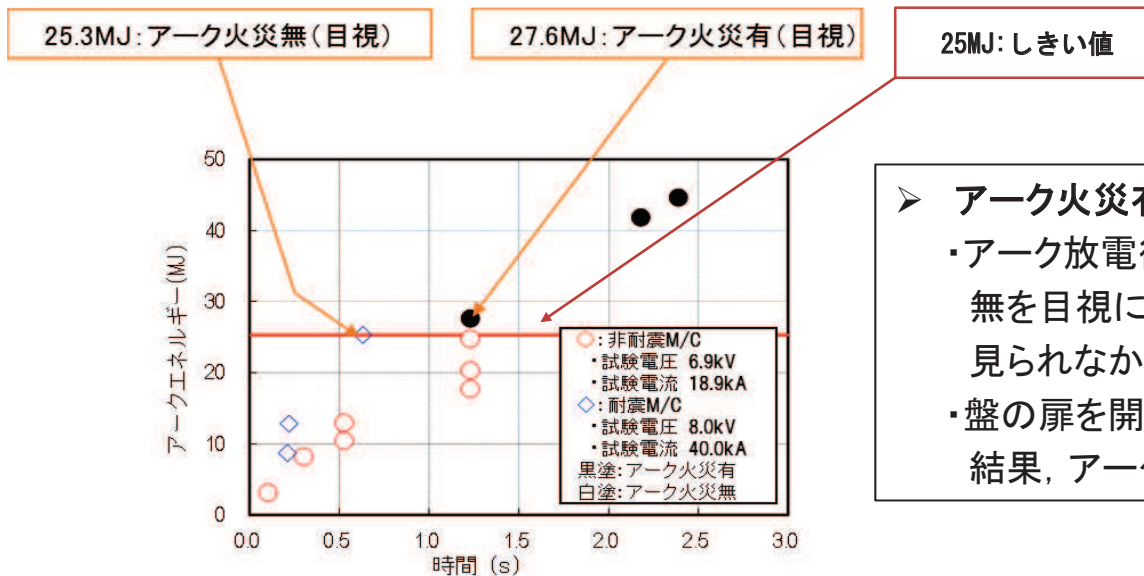
2. 高エネルギーアーク損傷対策の概要

2.4 アーク火災発生の評価(2/5)

- ・審査ガイドを踏まえ、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。

試験結果 M/C

- 25.3MJ以下ではアーク火災が起きないことを確認。
- 本結果を踏まえ、アーク火災発生防止のしきい値を25MJとする。



➤ アーク火災有無の判定

- ・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した結果、盤外には炎は見られなかった。
- ・盤の扉を開けて内部を目視にて直接確認した結果、アーク火災は発生していなかった。

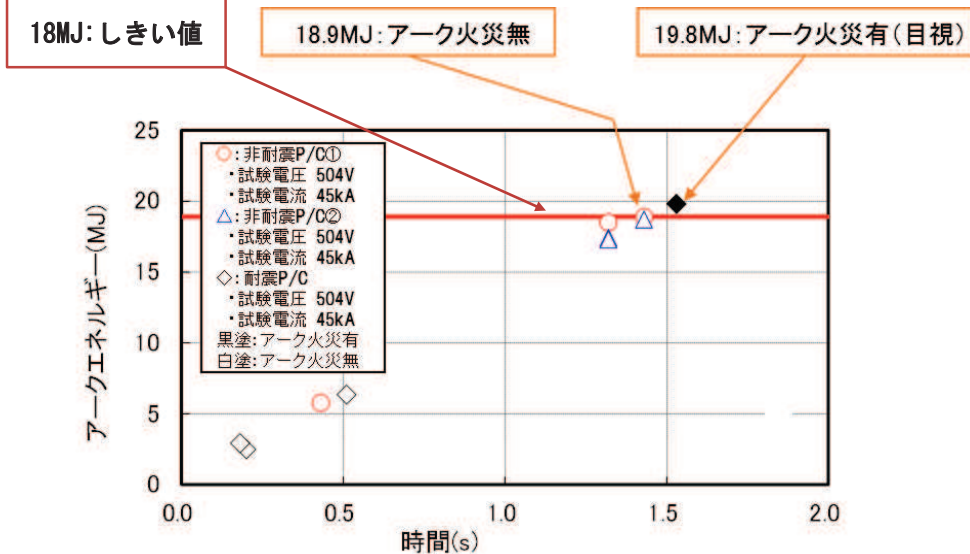
試験結果(アーク火災発生状況)

2. 高エネルギーアーク損傷対策の概要

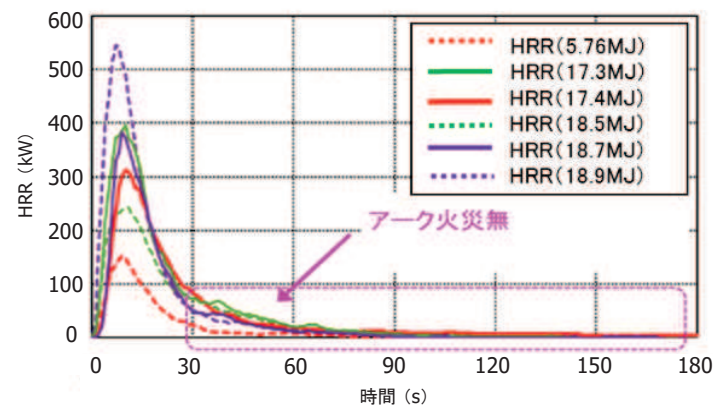
2.4 アーク火災発生の評価(3/5)

試験結果 P/C

- 18.9MJ以下ではアーク火災が起きないことを確認。
- 本結果を踏まえ、アーク火災発生防止のしきい値を18MJとする。



試験結果(アーク火災発生状況)



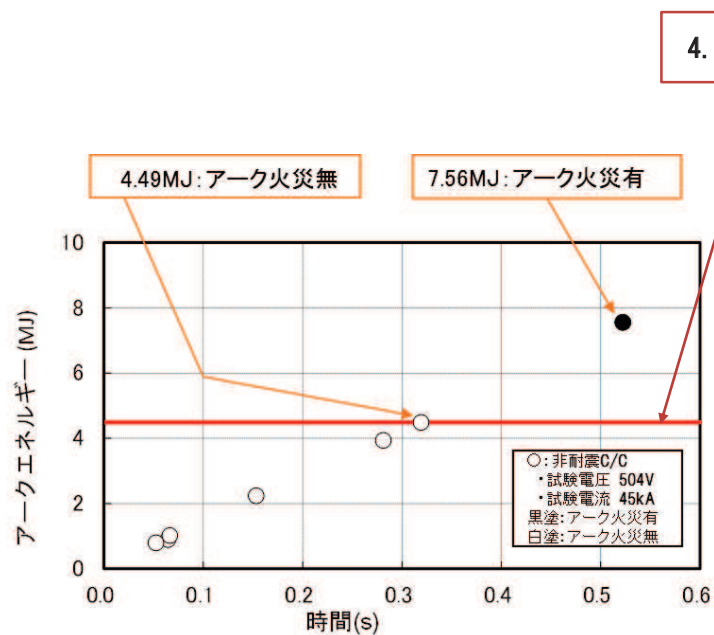
発熱速度(HRR)測定結果(P/C試験時)

2. 高エネルギーアーク損傷対策の概要

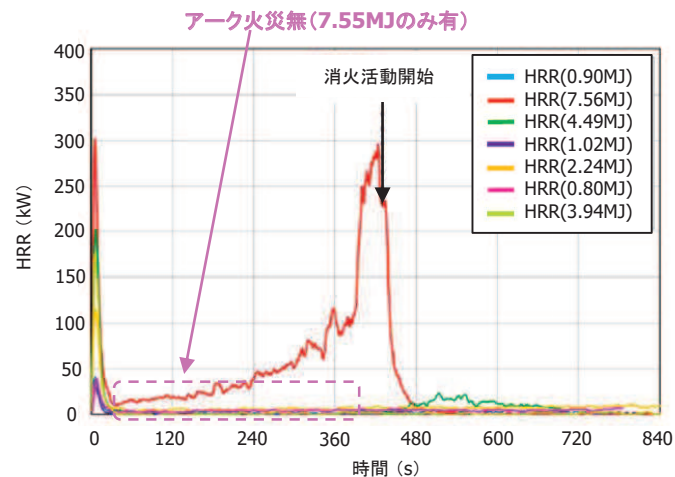
2.4 アーク火災発生の評価(4/5)

試験結果 MCC

- 4.49MJ以下ではアーク火災が起きないことを確認。
- 本結果を踏まえ、アーク火災発生防止のしきい値を4.4MJとする。



試験結果(アーク火災発生状況)



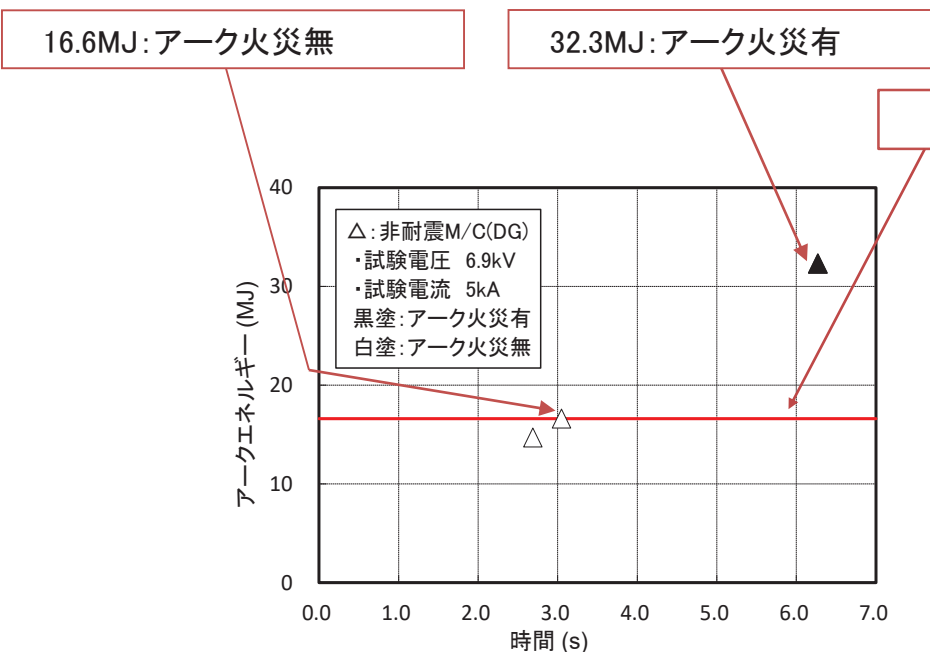
発熱速度(HRR)測定結果(MCC試験時)

2. 高エネルギーアーク損傷対策の概要

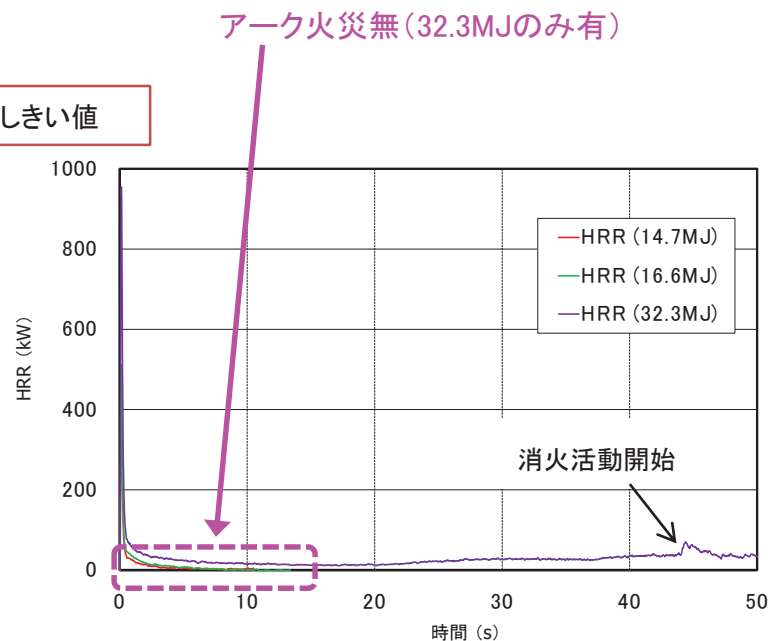
2.4 アーク火災発生の評価(5/5)

試験結果 M/C(D/G)

- 16.6MJ以下ではアーク火災が起きないことを確認。
- 本結果を踏まえ、アーク火災発生防止のしきい値を16MJとする。



試験結果(アーク火災発生状況)



発熱速度(HRR)測定結果(M/C(D/G)試験時)

2. 高エネルギーアーク損傷対策の概要

2.5 HEAFに係る対策の判断基準(1/10)

・各電気盤のアーク火災発生防止のしきい値

- 実証試験によって得られた各電気盤のアークエネルギーのしきい値を下表に示す。

表 各電気盤のアーク火災発生防止のしきい値

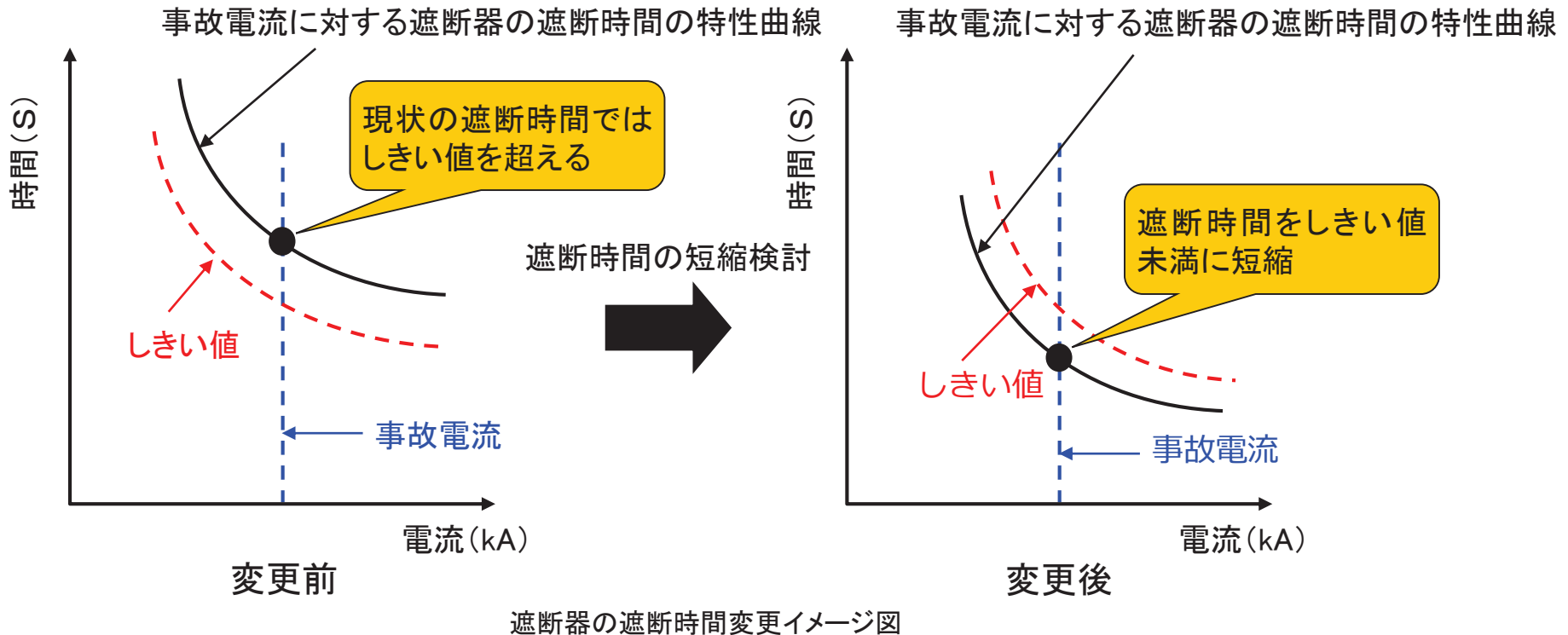
| | アーク火災発生防止 しきい値(MJ) | アーク火災が発生しなかった 最大のアークエネルギー(MJ) |
|--------------|-----------------------|----------------------------------|
| M/C | 25 | 25.3 |
| P/C | 18 | 18.9 |
| MCC | 4.4 | 4.49 |
| M/C (D/G) | 16 | 16.6 |

2. 高エネルギーアーク損傷対策の概要

2.5 HEAFに係る対策の判断基準(2/10)

・遮断器の遮断時間について

- 遮断器の遮断時間が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。
- 遮断器の遮断時間が大きい場合は、当該遮断器の遮断時間の短縮を行う。

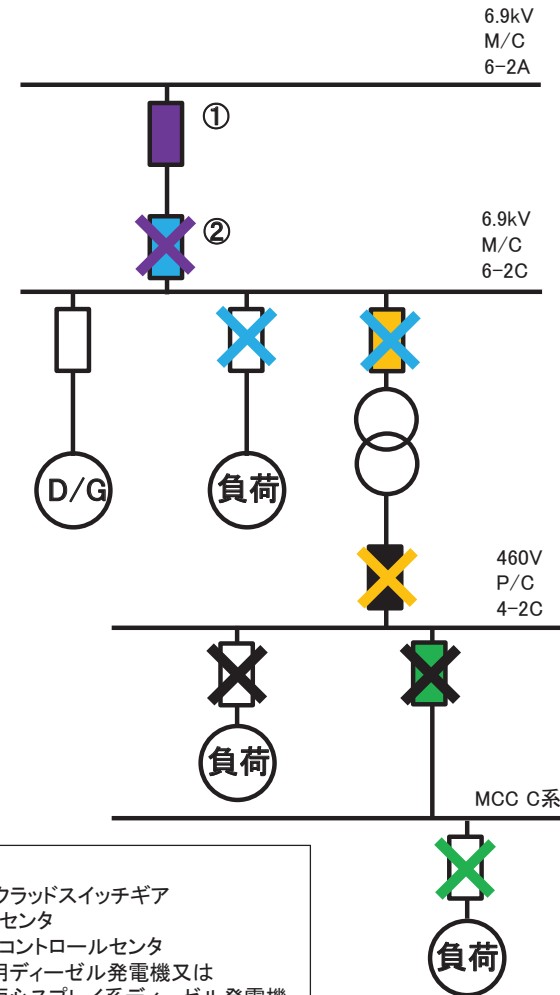


2. 高エネルギーアーク損傷対策の概要

2.5 HEAFに係る対策の判断基準(3/10)

・D/Gからの給電時以外のHEAF対策

- 右図のM/C 6-2C母線に接続される②遮断器でHEAFが発生した場合、上流にある①遮断器により短絡電流を遮断する。
- ①遮断器の遮断時間は、遮断器の遮断時間に含まれる誤差を考慮したうえでメタルクラッドスイッチギアのしきい値(25MJ)を下回るように設計する。
- その他の遮断器に関しても、上流の遮断器により短絡電流を適切な遮断時間にて遮断することにより、アーク火災発生防止のしきい値を下回るように設計する。
- なお、遮断器の遮断時間の設定に当たっては、上流及び下流の遮断器の遮断時間の協調を考慮することにより、故障による影響範囲を局所化する設計とする。



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

女川原子力発電所第2号機 非常用電源C系統 概要図
(D/Gからの給電時以外)

2. 高エネルギーアーク損傷対策の概要

2.5 HEAFに係る対策の判断基準(4/10)

・D/Gからの給電時のHEAF対策(1/2)

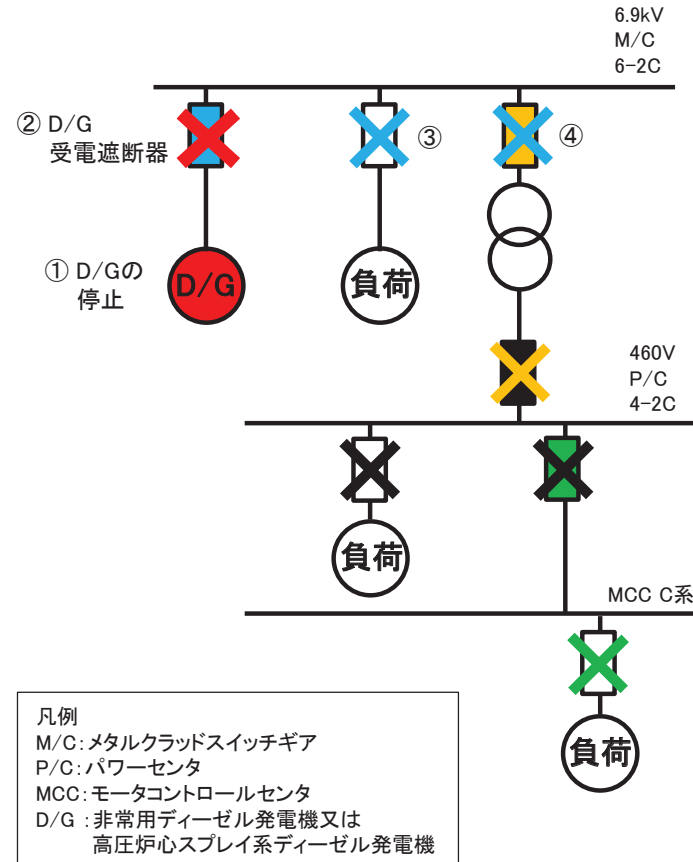
➤右図の②D/G受電遮断器でHEAFが発生した場合、上流にある①D/Gの停止により、短絡電流を遮断する。(詳細については、P19参照)

➤①D/Gの停止時間は、遮断時間等に含まれる誤差を考慮した上でM/C(D/G)のしきい値(16MJ)を下回るように設計する。

➤③及び④の6.9kV M/Cに接続される遮断器でHEAFが発生した場合、上流にある②D/G受電遮断器により、短絡電流を遮断する。

➤その他の遮断器に関しても、上流の遮断器により短絡電流を適切な遮断時間にて遮断することにより、アーク火災発生防止のしきい値を下回るように設計する。

➤なお、遮断器の遮断時間の設定に当たっては、上流及び下流の遮断器の遮断時間の協調を考慮することにより、故障による影響範囲を局所化する設計とする。



「×」はアーク放電箇所を示し、塗潰した遮断器は下流にある同色のアーク放電箇所へ流れ込む短絡電流を遮断するために開放する遮断器(DG受電遮断器はDG停止により短絡電流を遮断)

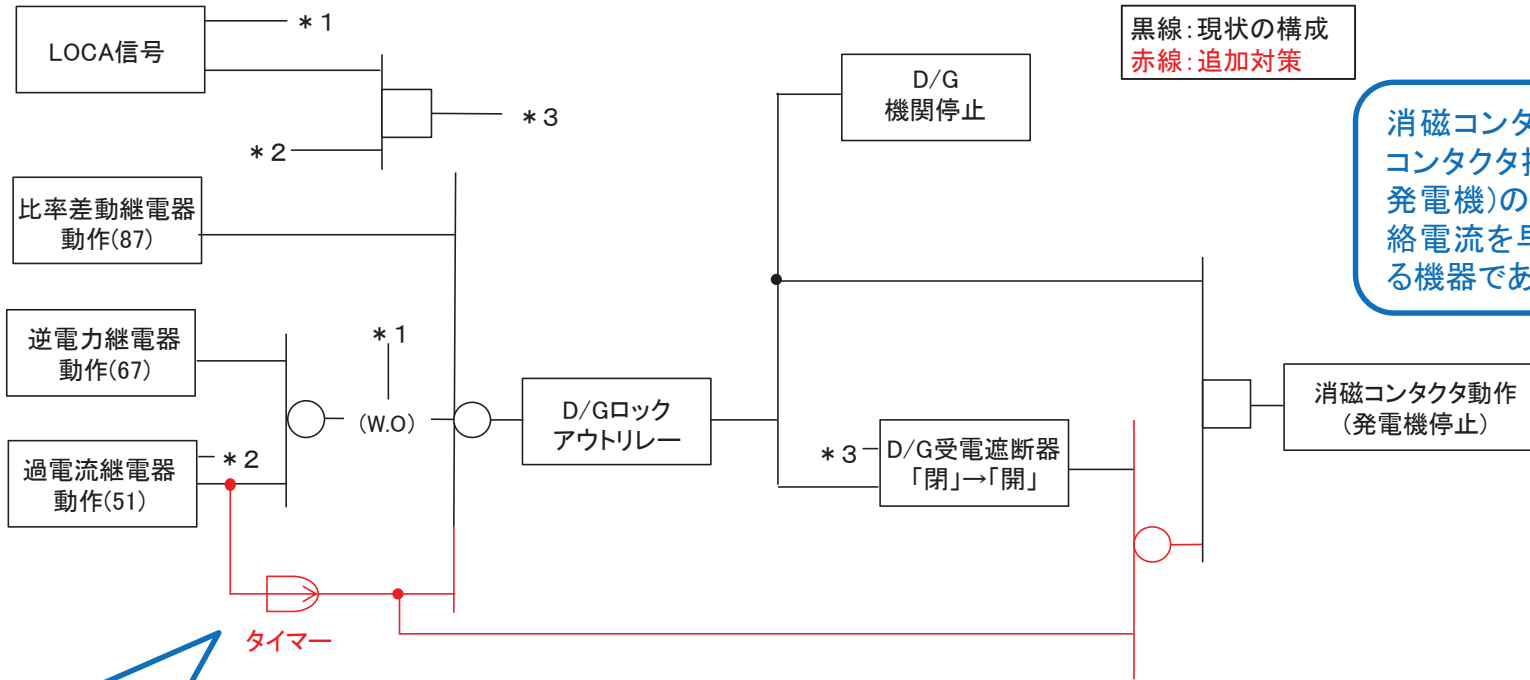
女川原子力発電所第2号機 非常用電源C系統 概要図
(D/Gからの給電時)

2. 高エネルギーアーク損傷対策の概要

2.5 HEAFに係る対策の判断基準(5/10)

・D/Gからの給電時のHEAF対策(2/2)

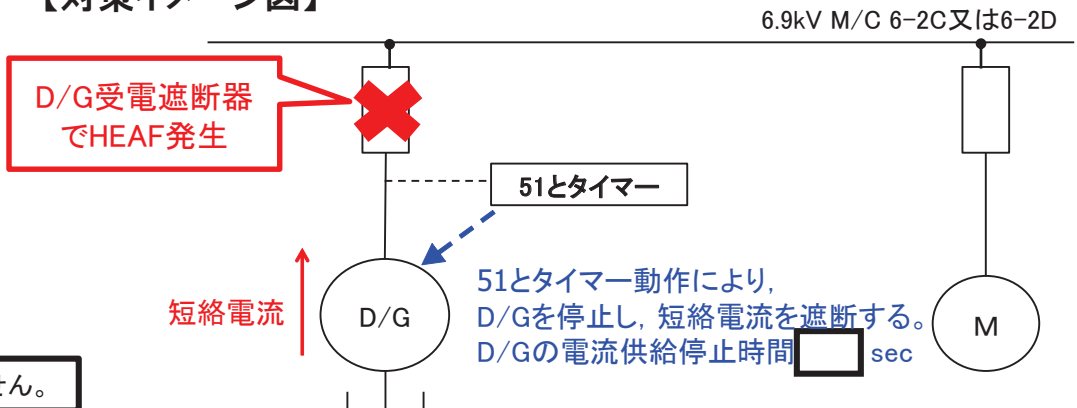
- D/G受電遮断器でHEAFが発生した場合、D/Gを停止するため「過電流継電器(51)」及びタイマーのインターロックを追加する。



消磁コンタクタとは、消磁コンタクタ投入によりD/G(発電機)の励磁を切り、短絡電流を早急に減衰させる機器である。

D/G受電遮断器でHEAFが発生した場合は、過電流継電器(51)及びタイマーの動作により、D/Gの停止及び消磁コンタクタの動作を実施し、HEAF火災の発生を防ぐ。

【対策イメージ図】



2. 高エネルギーアーク損傷対策の概要

2.5 HEAFに係る対策の判断基準(6/10)

・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

➤ 変更する過電流継電器(51)による影響を踏まえ、関連するD/Gの基準適合性に対して、悪影響を及ぼすことがないよう、以下を考慮する。

○「多重性、多様性及び位置的分散」、**「悪影響防止」**について

・D/Gに対する、多重性及び独立性をもつ設計、機器等の破断・損壊に伴う飛散物により安全性を損なうことのない設計に、変更する過電流継電器(51)が影響を及ぼさないよう、既存の保護継電器と同様にD/G制御盤内に設置する。

・過電流継電器(51)の故障によってD/Gの安全機能の遂行が阻害されることがないよう、運転管理による監視、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、保守管理による計画的な点検及び故障時の早期復旧作業が可能となるよう考慮する。

○「環境条件等」について

・過電流継電器(51)の変更によっても、地震、火災、溢水及びその他の自然現象並びに外部人為事象による他設備からの悪影響により、D/Gの安全機能を損なわせることがない設計とする。

2. 高エネルギーアーク損傷対策の概要

2.5 HEAFに係る対策の判断基準(7/10)

・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(1/4) (D/Gからの給電時以外)

➤ 下表に示した遮断時間にて設計することにより、アークエネルギーをしきい値以下に設計することができる。

| 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 | アーク放電の遮断時間(sec) | アークエネルギー(MJ) | しきい値(MJ) |
|--------------------|----------|--|---------------------|--------------|----------|
| 電気盤 | 遮断器名称 | | | | |
| メタルクラッドスイッチギア(非常用) | M/C 6-2C | 母線連絡遮断器 52-6-2CA | 母線連絡遮断器 52-6-2AC | 0.400 | 22.56 |
| | | 母線連絡遮断器 52-6-2CE | 母線連絡遮断器 52-6-E2 | 0.513 | 18.50 |
| | | M/C 6-2Cに接続される遮断器 (母線連絡遮断器 52-6-2CA, 母線連絡遮断器 52-6-2CE及び 非常用ディーゼル発電機(A)受電遮断器 52-6-2DGAを除く。) | 母線連絡遮断器 52-6-2CA | 0.374 | 21.09 |
| | | | 母線連絡遮断器 52-6-2CE | 0.286 | 10.31 |
| | M/C 6-2D | 母線連絡遮断器 52-6-2DB | 母線連絡遮断器 52-6-2BD | 0.400 | 22.56 |
| | | 母線連絡遮断器 52-6-2DE | 母線連絡遮断器 52-6-E2 | 0.513 | 18.50 |
| | | M/C 6-2Dに接続される遮断器 (母線連絡遮断器 52-6-2DB, 母線連絡遮断器 52-6-2DE及び 非常用ディーゼル発電機(B)受電遮断器 52-6-2DGBを除く。) | 母線連絡遮断器 52-6-2DB | 0.374 | 21.09 |
| | | | 母線連絡遮断器 52-6-2DE | 0.286 | 10.31 |

25

2. 高エネルギーアーク損傷対策の概要

2.5 HEAFに係る対策の判断基準(8/10)

・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(2/4) (D/Gからの給電時以外)

| 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 | アーク放電の遮断時間(sec) | アークエネルギー(MJ) | しきい値(MJ) | |
|-------------------------------|-------------|--|----------------------|--------------|----------|-------|
| 電気盤 | 遮断器名称 | | | | | |
| メタルクラッドスイッチギア (高圧炉心スプレイ系用) | M/C 6-2H | 母線連絡遮断器 52-6-2HA | 母線連絡遮断器 52-6-2AH | 0.370 | 25 | |
| | | 母線連絡遮断器 52-6-2HE | 母線連絡遮断器 52-6-E2 | 0.513 | | |
| | | M/C 6-2Hに接続される遮断器 (母線連絡遮断器 52-6-2HA, 母線連絡遮断器52-6-2HE及び 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 受電遮断器52-6-2DGHを除く。) | 母線連絡遮断器 52-6-2HA | 0.345 | | 19.46 |
| | | | 母線連絡遮断器 52-6-2HE | 0.286 | | 10.31 |
| パワーセンタ(非常用) | P/C 4-2C | 受電遮断器 52-4-2C | 動力変圧器遮断器 52-6-2PC | 0.996 | 18 | |
| | | P/C 4-2Cに接続される遮断器 (受電遮断器 52-4-2Cを除く。) | 受電遮断器 52-4-2C | 0.670 | | 10.54 |
| | P/C 4-2D | 受電遮断器 52-4-2D | 動力変圧器遮断器 52-6-2PD | 0.996 | | 15.67 |
| | | P/C 4-2Dに接続される遮断器 (受電遮断器 52-4-2Dを除く。) | 受電遮断器 52-4-2D | 0.670 | | 10.54 |

2. 高エネルギーアーク損傷対策の概要

2.5 HEAFに係る対策の判断基準(9/10)

・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(3/4) (D/Gからの給電時以外)

| 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 | アーク放電の 遮断時間 (sec) | アーク エネルギー (MJ) | しきい値 (MJ) |
|------------------------------|-----------|------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------|
| 電気盤 | 遮断器名称 | | | | |
| モータコントロールセンタ(非常用) | MCC C系 | C/B MCC 2C-1に接続される遮断器 | C/B MCC 2C-1受電遮断器 | 0.170 | 3.87 |
| | | C/B MCC 2C-2に接続される遮断器 | C/B MCC 2C-2受電遮断器 | 0.170 | 3.87 |
| | | R/B MCC 2C-1に接続される遮断器 | R/B MCC 2C-1受電遮断器 | 0.170 | 3.87 |
| | | R/B MCC 2C-2に接続される遮断器 | R/B MCC 2C-2受電遮断器 | 0.170 | 3.87 |
| | | R/B MCC 2C-3に接続される遮断器 | R/B MCC 2C-3受電遮断器 | 0.170 | 3.87 |
| | | R/B MCC 2C-4に接続される遮断器 | R/B MCC 2C-4受電遮断器 | 0.170 | 3.87 |
| | | R/B MCC 2C-5に接続される遮断器 | R/B MCC 2C-5受電遮断器 | 0.170 | 3.87 |
| | MCC D系 | C/B MCC 2D-1に接続される遮断器 | C/B MCC 2D-1受電遮断器 | 0.170 | 3.87 |
| | | C/B MCC 2D-2に接続される遮断器 | C/B MCC 2D-2受電遮断器 | 0.170 | 3.87 |
| | | R/B MCC 2D-1に接続される遮断器 | R/B MCC 2D-1受電遮断器 | 0.170 | 3.87 |
| | | R/B MCC 2D-2に接続される遮断器 | R/B MCC 2D-2受電遮断器 | 0.170 | 3.87 |
| | | R/B MCC 2D-3に接続される遮断器 | R/B MCC 2D-3受電遮断器 | 0.170 | 3.87 |
| | | R/B MCC 2D-4に接続される遮断器 | R/B MCC 2D-4受電遮断器 | 0.170 | 3.87 |
| | | R/B MCC 2D-5に接続される遮断器 | R/B MCC 2D-5受電遮断器 | 0.170 | 3.87 |
| モータコントロールセンタ (高圧炉心スプレイ系用) | MCC H系 | R/B MCC 2HIに接続される遮断器 | 動力変圧器遮断器 52-6-2PH | 0.318 | 3.71 |

4.4

2. 高エネルギーアーク損傷対策の概要

2.5 HEAFに係る対策の判断基準(10/10)

・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(4/4) (D/Gからの給電時)

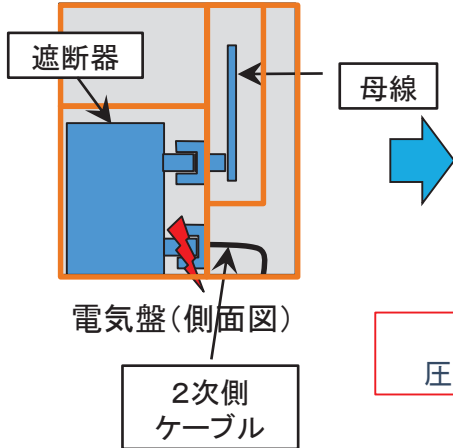
| 電気盤 | | アーク放電発生箇所 | アーク放電を遮断するために開放する遮断器 | アーク放電の遮断時間(sec) | アークエネルギー(MJ) | しきい値(MJ) |
|-------------------------------|-------------|--|--|-----------------|--------------|----------|
| 電気盤 | | 遮断器名称 | | | | |
| メタルクラッドスイッチギア (非常用) | M/C 6-2C | 非常用ディーゼル発電機(A)受電遮断器 52-6-2DGA | —* | 7.077 | 10.44 | 16 |
| | | M/C 6-2Cに接続される遮断器 (非常用ディーゼル発電機(A)受電遮断器 52-6-2DGAを除く。) | 非常用ディーゼル 発電機(A)受電遮断器 52-6-2DGA | 2.485 | 6.95 | |
| | M/C 6-2D | 非常用ディーゼル発電機(B)受電遮断器 52-6-2DGB | —* | 7.077 | 10.44 | |
| | | M/C 6-2Dに接続される遮断器 (非常用ディーゼル発電機(B)受電遮断器 52-6-2DGBを除く。) | 非常用ディーゼル 発電機(B)受電遮断器 52-6-2DGB | 2.485 | 6.95 | |
| メタルクラッドスイッチギア (高圧炉心スプレイ系用) | M/C 6-2H | 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 受電遮断器 52-6-2DGH | —* | 6.834 | 12.99 | |
| | | M/C 6-2Hに接続される遮断器 (高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 受電遮断器52-6-2DGHを除く。) | 高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機 受電遮断器 52-6-2DG | 1.702 | 7.56 | |

注記 * :メタルクラッドスイッチギア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。

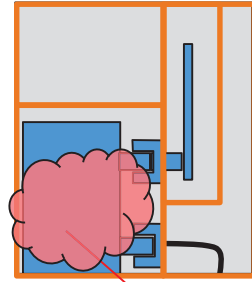
以下，參考資料

参考1 アーク火災発生のメカニズムについて

(1) アーク放電発生

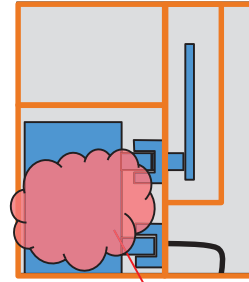


(2) 高温ガスの発生



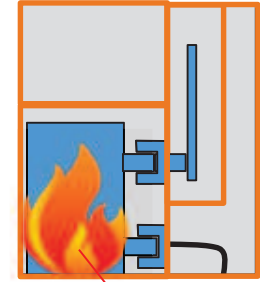
高温ガス発生
圧力上昇、盤の変形・開口部⇒圧力低下

(3) アーク放電の継続



高温ガスの温度
上昇

(4) アーク火災発生



アーク火災発生

- ・ 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。
- ・ 短時間で大部分の高温ガスは電気盤外に放出されるが、一部はアーク放電の発生箇所である遮断器近傍に滞留することから、高温ガスから可燃物にエネルギーが伝播し、あるしきい値以上のエネルギーが印加されるとアーク火災となる。



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

アーク放電を発生させる試験

- 審査ガイドを踏まえて、以下の通り試験を実施した。

| 審査ガイド | 対応内容 |
|--------------------|--|
| 2. アーク放電を発生させる試験 | 実際に発電所内で使用されているものと同等の電気盤を選定した。 |
| 2.1 電気盤の選定 | ⇒同等性について「参考3」で説明する。 |
| 2.2 短絡電流の目標値 | 試験時の短絡電流値, 印加電圧は, 実機プラントで使用している電気盤の三相短絡電流値, 定格電圧値を踏まえて設定した。 |
| 2.3 HEAF試験に用いる電気回路 | HEAF試験は, 審査ガイドの付録Aの電気回路と同等の試験回路で実施した。 |
| 2.4 測定項目 | HEAF試験時に電圧電流波形を測定した。 |
| 2.5 アーク放電の発生方法 | アーク放電を発生するための導電性針金のワイヤリングを, 適切な国際規格に基づき電気盤の遮断器の受電側及び配電側に施し試験を実施した。 |
| 2.6 アーク放電の継続時間 | アーク放電の継続時間は, アークエネルギーのしきい値を得るために段階的に設定した。 |
| 2.7 HEAF試験の実施 | 2.1~2.6の対応を行い試験を実施した。 |
| 2.8 アークエネルギーの計算 | アークエネルギーは試験で測定した電流・電圧から求めた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いる。 |

- 審査ガイドを踏まえて、しきい値の評価を実施した。

| 審査ガイド | 対応内容 |
|------------------------------------|---|
| 3. アーク火災発生の評価 3.1 アーク火災発生の評価の概要 | 電気盤の目視又は測定した電気盤周囲の熱流束から火災発生を確認している。 |
| 3.2 評価に用いる必要データ | 試験を実施した電力中央研究所は、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。 |
| 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 | アーク火災が発生しないアークエネルギーのしきい値は、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に保守性を考慮して設定した。このアークエネルギー値は、アーク火災が発生したアークエネルギー値を下回っている。 |
| 3.4 しきい値に係る解析による評価 | しきい値は試験結果から求めており、解析による評価は用いていない。 |

- 審査ガイドを踏まえて、HEAF対策として対象電気盤のアーク発生時のエネルギーが、HEAF試験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に、遮断器の遮断時間を設定する。

| 審査ガイド | 対応内容 |
|-------------------|--|
| 4. HEAFに係る対策の判断基準 | 電気盤に発生するアークエネルギーは、アークパワー(三相短絡電流と試験結果を踏まえたアーク電圧の積)、遮断器の遮断時間から算出している。 |
| | 電気盤に発生する三相短絡電流は、実機の電源から短絡箇所までの電路インピーダンス%Z(発電機、変圧器含む)を用いて算出した。 |
| | アークエネルギー算出時に使用する遮断器の遮断時間は、保護継電器動作の誤差を考慮した遮断時間を用いた。 <u>⇒誤差の考慮について「参考4」で説明する。</u> |

参考3 試験体とプラント実機の同等性について(1/3)



- HEAF試験に用いた電気盤については、アーク火災発生の有無に影響を与える以下の4つのパラメータのうち、電気盤の同等性に影響を与えるおそれのある「②高温ガスの滞留場所」及び「③可燃物」の観点で、実際に所内で使用されているもの(以下「実機」という。)と同等の電気盤を選定しており、実機と試験体は同等性を有している。
- ① 非密閉性の程度: 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、電気盤選定の同等性に影響を与えるおそれはない。
 - ② 高温ガスの滞留場所: HEAF試験の結果や、アーク火災メカニズムを考慮すると、盤の構造等の差異が電気盤選定の同等性に影響を与えるおそれがある。
 - ③ 可燃物: HEAF試験の結果や、アーク火災メカニズムを考慮すると、高温ガスの滞留場所にある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が電気盤選定の同等性に影響を与えるおそれがある。
 - ④ アークエネルギー: 審査ガイドを踏まえ、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。

参考3 試験体とプラント実機の同等性について(2/3)

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。実機と試験体の電気盤は、日本電機工業会規格(以下「JEM」という。)及び電気規格調査会標準規格(以下「JEC」という。)に基づき製造されており、実機と同等の盤構造を有する電気盤を試験体として選定した。このため、高温ガスの滞留場所について、実機と試験体は同等性を有している。

表1 実機と試験体の電気盤との比較(M/C(D/G)の場合)

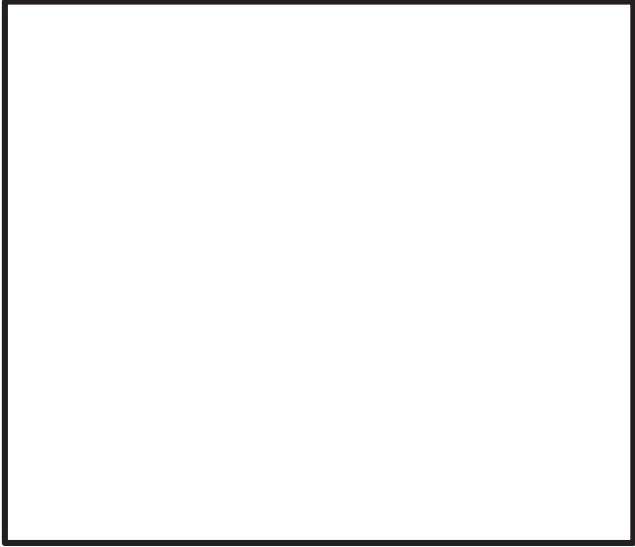

| | 実機 | 試験体 |
|--------------------|---|--|
| 規格類 | 盤:JEM-1425 遮断器:JEC-2300 | 同左 |
| 盤構造(JEM-1425「分類」) | コンパートメント型構造 (遮断器, 母線, ケーブルをそれぞれ区分したコンパートメントに収納する構造) | |
| 定格電圧(JEC-2300「定格」) | 7.2kV | |
| 外径寸法 |  |  |

参考3 試験体とプラント実機の同等性について(3/3)

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が、実機と同等又は同等の耐熱クラス※の電気盤を試験体として選定した。
- 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2 実機と試験体の電気盤との比較(M/C(D/G)の場合)

| | 実機 | 試験体 |
|--------|---|--|
| 絶縁物の材料 | エポキシ樹脂(耐熱温度:150℃~200℃) ・ブッシング | 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 |
| 外形図 |  |  |

※ 耐熱クラスはJIS C4003(電気絶縁-熱的耐久性評価及び呼び方)に基づく階級であり、耐熱クラスE(最高使用温度120℃)、耐熱クラスB(最高使用温度130℃)、耐熱クラスF(最高使用温度155℃)のようなクラス分けとなる。

枠囲みの内容は、商業機密の観点から公開できません。

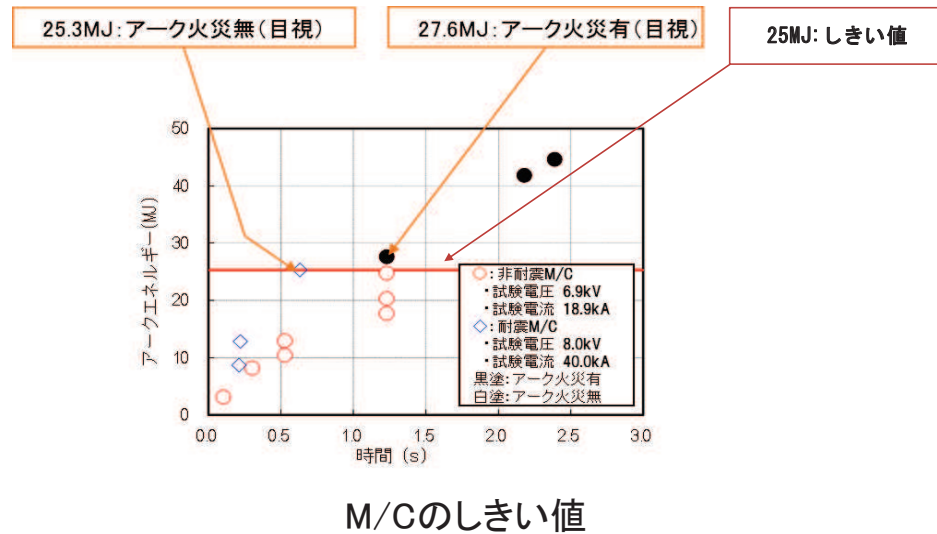
- HEAF火災発生メカニズムを踏まえると、火災発生の有無は、アークエネルギー、開口、高温ガスの滞留場所及び可燃物によるが、前述したとおり、開口、高温ガスの滞留場所、可燃物については、試験毎に変わるものではないことから、試験結果は、アークエネルギーのみに依存すると考えている。
- 試験においては、アーク放電時間を変えることでアークエネルギーを変えて、火災の発生の有無について確認している。試験の結果、電流値、電圧値が同じでも時間を変えてアークエネルギーを上げると火災が発生していることから、アークエネルギーのみに依存している。
- このため、火災発生防止のしきい値の設定に当たっては、保守性として以下の3つの要素を考慮しており、詳細を以降に示す。
 - ① アーク火災発生の評価に含まれる誤差
 - ② アークエネルギーの測定誤差
 - ③ 保護継電器、遮断器の動作時間の誤差

参考4 試験結果を踏まえた火災発生防止のしきい値の保守性について(2/3)

①アーク火災発生の評価に含まれる誤差

「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。」(審査ガイドより抜粋)ことから, 火災が発生しなかった最大のアークエネルギーは, 真のしきい値に対して保守性を有している。

また, 試験にて火災が発生した最小のアークエネルギーでは, いずれも盤内での火災にとどまっておらず, 隣接盤へ延焼しておらず, 電気盤の損傷の拡大の観点では, 保守的な判定をしている。



②アークエネルギーの測定誤差

下表の通り最大のアークエネルギーに対して, 保守性としてそれぞれの測定誤差を考慮した上で, さらに端数を切り捨てて, しきい値を設定している。

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

③保護継電器, 遮断器の動作時間の誤差

| HEAF発生箇所(例) | | 保護継電器の動作誤差(sec) | タイマーの動作誤差(sec) | 保護継電器及びタイマーの動作時間誤差を含むエネルギー(MJ)※ | しきい値(MJ) |
|--------------|--------------------------------------|-----------------|----------------|---------------------------------|----------|
| M/C | 52-6-2CA (母線連絡遮断器) | | | | 25 |
| | 52-6-2CE (母線連絡遮断器) | | | | |
| P/C | 52-4-2C (受電遮断器) | | | | 18 |
| | P/C 4-2Cに接続される遮断器 (52-4-2Cを除く。) | | | | |
| MCC | C/B MCC 2C-1に接続される遮断器 | | | | 4.4 |
| | C/B MCC 2C-2に接続される遮断器 | | | | |
| M/C (D/G) | 52-6-2DGA (D/G(A)受電遮断器) | | | | 16 |
| | M/C 6-2Cに接続される遮断器 (52-6-2DGAを除く。) | | | | |

➤ 使用する保護継電器及びタイマーの動作誤差を考慮し、HEAF発生時のアークエネルギーがしきい値未滿となることを確認している。

※: 動作誤差を含まないエネルギー値を工事計画認可申請書の添付書類に記載している。

➤ HEAF発生から電流供給停止までの一連の動作の例(D/G)を図1及び図2に示す。

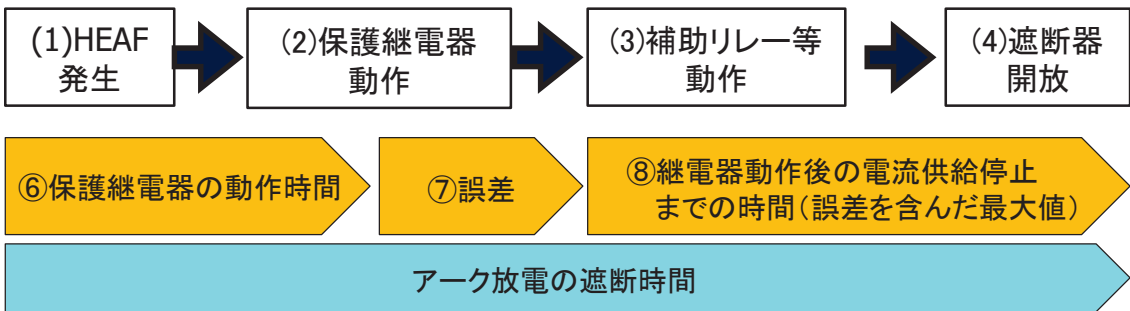
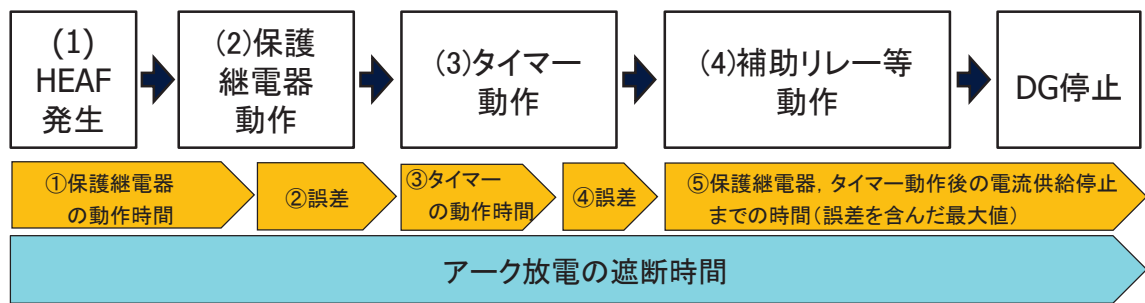


図1 電流供給停止時間に含まれる誤差の考え方

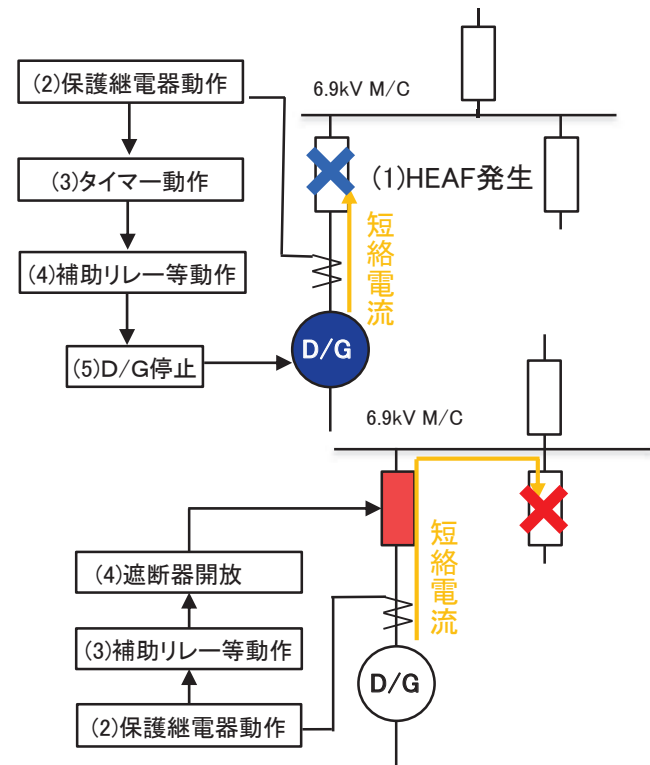
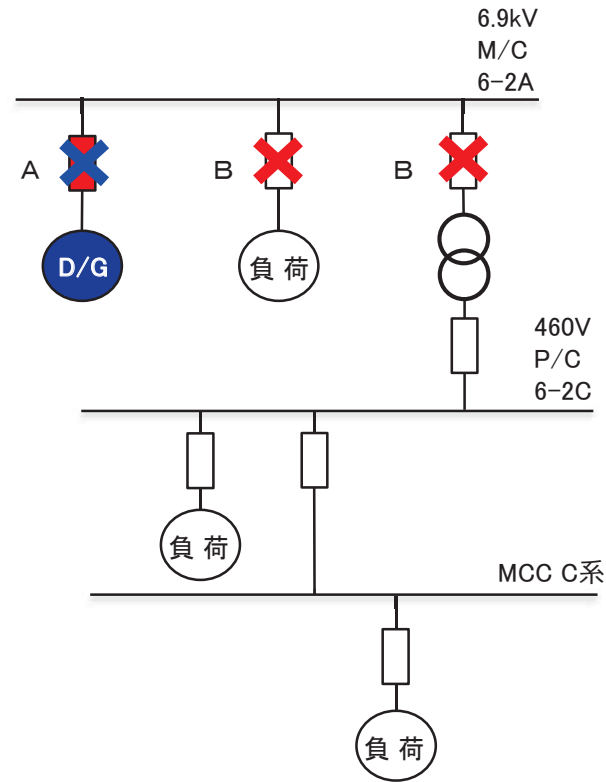


図2 電流供給停止までの流れ

参考5 遮断器の遮断時間の設定における保護継電器等の動作時間の誤差の考え方(2/2)

◆ 保護継電器、遮断器の動作時間の誤差(女川原子力発電所第2号機(C系)の例)

| HEAF 発生 箇所 | ① 保護 継電器の 動作時間 (sec) | ② 誤差 (sec) | ③-1 | ③-2 | ③-3 | ①+②+③ 電流の 遮断時間 (sec) | アーク エネルギー (MJ) | アーク エネルギーの しきい値 (MJ) | |
|------------------|----------------------------------|------------------|--------------------------------------|-------------|--|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|--|
| | | | タイマー の動作 時間 (sec) | 誤差 (sec) | タイマー動 作後の電 流供給停 止までの 時間 (sec) | | | | |
| | | | ③ 継電器動作後の電流供給停止 までの時間 (sec) | | | | | | |
| M/C (D/G) | A | 16 | | | | | | | |
| | B | | | | | | | | |



A: 非常用ディーゼル発電機(A)受電遮断器52-6-2DGA
 B: M/C 6-2Cに接続される遮断器
 (非常用ディーゼル発電機(A)受電遮断器52-6-2DGA を除く。)

女川原子力発電所第2号機 非常用電源C系統(概要図)
 (D/Gからの給電時)

- 保護継電器の動作時間の誤差を考慮した電流の遮断時間(①+②+③)において、アークエネルギーがしきい値未満となるように設計している。
- 動作誤差を含まないアークエネルギー値を工事計画認可申請書の添付書類に記載している。

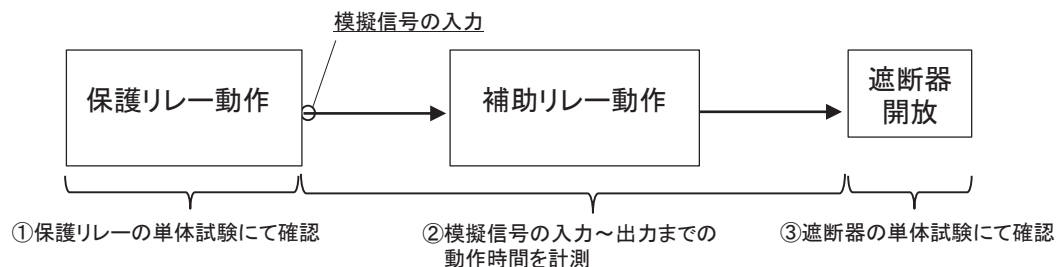
「×」はアーク放電箇所を示し、塗潰した遮断器は下流にある同色のアーク放電箇所へ流れ込む短絡電流を遮断するために開放する遮断器(DG受電遮断器はDG停止により短絡電流を遮断)

- 技術基準規則第15条第2項への適合に対する設計の考え方については以下のとおり。

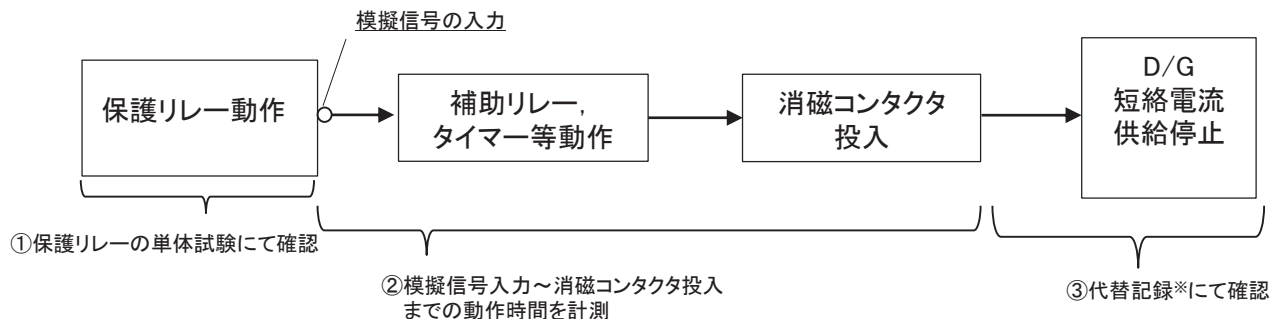
【参考】技術基準規則第15条第2項

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

➤ **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）

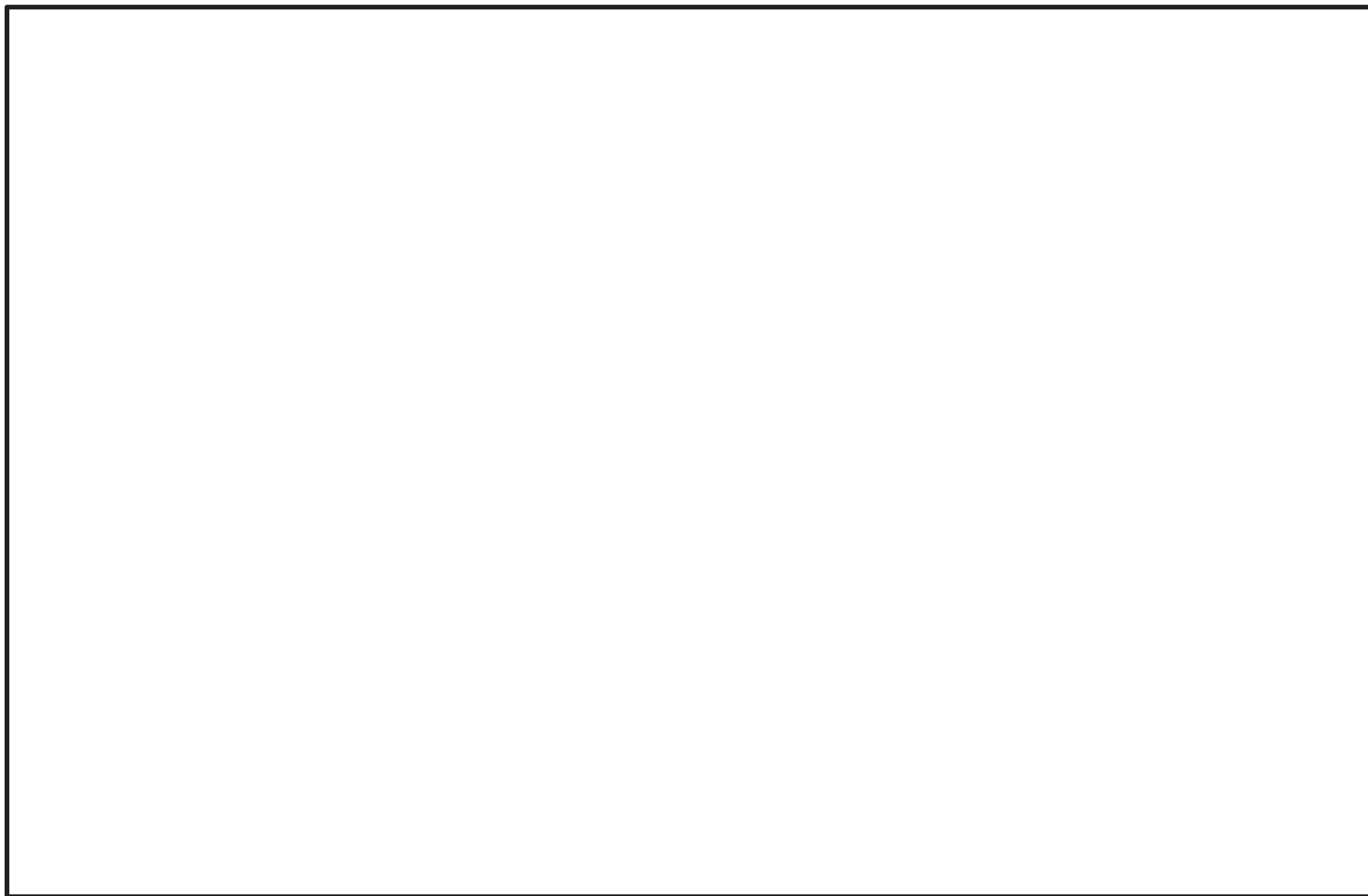


➤ **パターン2**（D/G受電遮断器でのHEAF時）



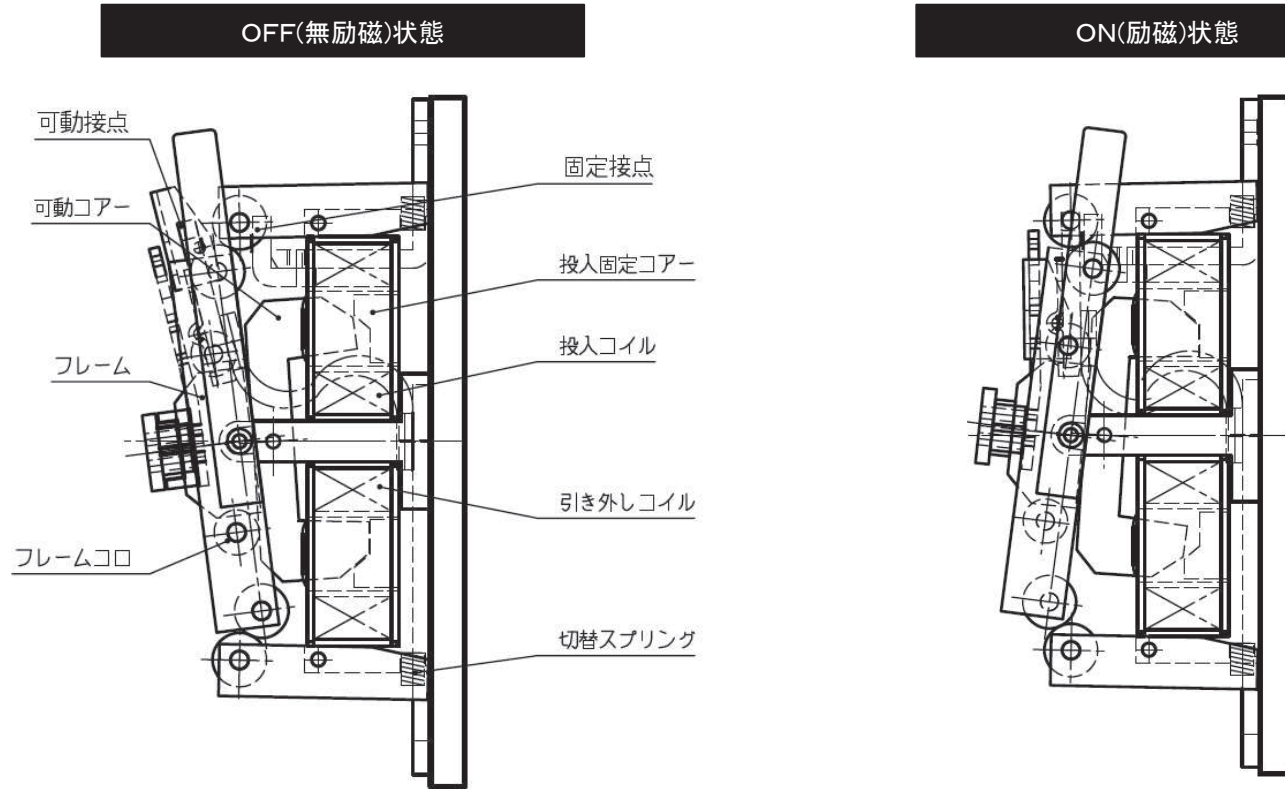
※:実機にて短絡状態からD/G停止までの実電流測定ができないため、メーカーの解析結果を用いて代替する。

- 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。
→解析結果の概略については、次頁参照。



D/G(A)短絡電流減衰曲線

参考7 消磁コンタクタの構造, 動作原理について



<消磁コンタクタの動作原理>

- 消磁コンタクタは投入コイル, 投入固定コア, 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。
- OFF(無励磁)状態では引き外しコイル等により固定接点と可動接点は開離しており, 電流が負荷に流れない状態となっている。
- 投入コイルを励磁すると, 可動コアが投入固定コアに吸引され, 可動コアがフレームコロとフレーム押し上げる。そして, フレーム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, 消磁コンタクタがONして界磁回路を短絡すると, 発電機の励磁が停止する。