

令和2年10月9日  
四国電力株式会社

伊方発電所第3号機  
非常用ディーゼル発電機に関する高エネルギーアーク損傷  
対策に係る設計及び工事計画認可申請書の補足説明資料

## 1. 概要

本資料は、非情報ディーゼル発電機に接続される電気盤の高エネルギーアーク損傷に係る対策工事（以下「H E A F対策工事」という。）に係る設計及び工事計画認可申請書について、「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」の要求に関する整理及び設計及び工事計画認可申請書に添付する書類に係る整理並びに設計及び工事計画認可申請書の記載事項について補足説明するものである。

## 2. 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の要求に関する整理

H E A F対策工事に係る設計及び工事計画認可申請書における「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」の要求についての検討結果を別紙1に示す。

## 3. 設計及び工事計画変更認可申請書に添付する書類

設計及び工事計画認可申請書に添付する書類は、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則別表第2」にて要求されている。

H E A F対策工事に係る設計及び工事計画認可申請書における添付書類の要否の検討結果を別紙2に示す。

## 4. 設計及び工事計画変更認可申請書の工事の方法の該当箇所

工事の方法は、工事手順、使用前事業者検査の方法、工事上の留意事項を、それぞれ施設、主要な耐圧部の溶接部、燃料体に区分し定めており、これら工事手順及び使用前事業者検査の方法は、「設計及び工事に係る品質マネジメントシステム」に定めたプロセス等に基づいたものとしている。

また、工事の方法は、すべての施設を網羅するものとして作成しており、それを原子炉本体に記載し、その他施設については該当箇所を呼び込むことにしている。工事の方法のうち当該工事に該当する箇所を別紙3に示す。

## 5. 設計及び工事計画認可申請書の記載事項についての補足

設計及び工事計画認可申請書の記載事項のうちH E A F対策に係る電気盤の設計について、補足説明を別紙4に示す。

伊方3号機 設計及び工事計画認可申請に該当する技術基準規則の条文整理表(設計基準対象施設)

○:対象となる条文  
×:対象外の条文

技術基準規則	適用条文	不工事の内容に 関係するもの	審査対象条文	理由
「第六条」 設計基準対象施設の位置	○	×	×	設計基準対象施設の位置については、平成28年3月23日付行政指導第1603231号にて「認可の工事計画(以下、「工事計画」という。)において技術基準への適合性が確認されている。今回の工事は、DG HAF対策の対象となる安全系の電気設備及びHAF対策に係る機器等を追加するDG対策(以下、「対策」という。)の設置場所を変更するものではなく、設計基準対象施設の位置に影響を及ぼすものではないことから、審査対象外となる。
「第五十条」 地震による崩壊の防止	○	×	×	地震による崩壊の防止については、工事計画において技術基準への適合性が確認されている。今回の工事は、対象電気設備の新設に係る影響を及ぼす事なく、地震による崩壊の防止に係る設計に影響を及ぼすものではないことから、審査対象外となる。
「第六条」 津波による崩壊の防止	○	×	×	津波による崩壊の防止については、工事計画において技術基準への適合性が確認されている。今回の工事は、対象電気設備の設置場所の変更や津波防護設備等を変更するものではなく、津波による崩壊の防止に係る設計に影響を及ぼすものではないことから、審査対象外となる。
「第七条」 圧力容器の設置による崩壊の防止	○	×	×	圧力容器の設置による崩壊の防止については、工事計画において技術基準への適合性が確認されている。今回の工事は、対象電気設備の設置場所を変更するものではなく、圧力容器の設置による崩壊の防止に係る設計に影響を及ぼすものではないことから、審査対象外となる。
「第八条」 立ち入りの防止	○	×	×	立ち入りの防止については、工事計画において技術基準への適合性が確認されている。今回の工事は、対象電気設備の設置場所を変更するものではなく、立ち入りの防止に係る設計に影響を及ぼすものではないことから、審査対象外となる。
「第六条」 発電用原子炉施設への人の不正な侵入等の防止	○	×	×	発電用原子炉施設への人の不正な侵入等の防止については、工事計画において技術基準への適合性が確認されている。今回の工事は、対象電気設備の設置場所を変更するものではなく、発電用原子炉施設への人の不正な侵入等の防止に係る設計に影響を及ぼすものではないことから、審査対象外となる。
「第十條」 放射線照射の防止	×	×	×	伊方発電所において放射線照射危険区域に指定された箇所はないため、審査対象外となる。
「第十一條」 火災による崩壊の防止	○	×	×	火災による崩壊の防止については、工事計画において適合性が確認されている。今回の工事は、対象電気設備の設置場所や設備を及ぼすものではなく、火災による崩壊の防止に係る設計に影響を及ぼすものではないことから、審査対象外となる。
「第十二條」 発電用原子炉施設内における加水等による崩壊の防止	○	×	×	発電用原子炉施設内における加水等による崩壊の防止については、工事計画において適合性が確認されている。今回の工事は、対象電気設備の設置場所や設備を及ぼすものではなく、発電用原子炉施設内における加水等による崩壊の防止に係る設計に影響を及ぼすものではないことから、審査対象外となる。
「第十三條」 安全避難経路等	○	×	×	安全避難経路等については、工事計画において適合性が確認されている。今回の工事は、対象電気設備の設置場所を変更するものではなく、安全避難経路等に係る設計に影響を及ぼすものではないことから、審査対象外となる。
「第十四條」 安全設備	○	○	○	安全設備については、工事計画において適合性が確認されている。今回の工事は、重要安全設備への電力供給に係る電気設備の設置場所を当該するものであり、技術基準への適合性を確認する必要があるため、審査対象外となる。
「第十五條」 設計基準対象施設の機能	○	○	○	設計基準対象施設の機能については、工事計画において適合性が確認されている。今回の工事は、重要安全設備への電力供給に係る電気設備の設置場所を当該するものであり、技術基準への適合性を確認する必要があるため、審査対象外となる。
「第十六條」 全交直換流器電圧変動対策	×	×	×	全交直換流器電圧変動対策に関する要求であり、対象電気設備は、全交直換流器電圧変動対策に該当しないため、審査対象外となる。
「第十七條」 材料及び構造	×	×	×	設計基準対象施設に属する容器、管、ポンプ、弁等の材料及び構造に関する要求であり、対象電気設備は、設計基準対象施設に属する容器、管、ポンプ、弁等に該当しないため、審査対象外となる。
「第十八條」 使用中の電圧等による破壊の防止	×	×	×	クラス機器等の使用中の電圧等による破壊の防止に関する要求であり、対象電気設備は、クラス機器等に該当しないため、審査対象外となる。
「第十九條」 液体容器等による崩壊の防止	×	×	×	燃料油、冷却水の液体容器等による崩壊の防止に関する要求であり、対象電気設備は、燃料油及び冷却水に貯蔵する容器、管、ポンプ及び弁等に該当しないため、審査対象外となる。
「第二十條」 安全弁等	×	×	×	安全弁等に関する要求であり、対象電気設備は、安全弁等に該当しないため、審査対象外となる。
「第二十一條」 耐圧試験等	×	×	×	クラス機器及び原子炉格納容器の耐圧試験等に関する要求であり、対象電気設備は、クラス機器及び原子炉格納容器に該当しないため、審査対象外となる。
「第二十二條」 監視試験片	×	×	×	容器の中圧試験片による劣化を監視する監視試験片に関する要求であり、対象電気設備は、監視試験片に該当しないため、審査対象外となる。
「第二十三條」 炉心等	×	×	×	炉心等に関する要求であり、対象電気設備は、炉心等に該当しないため、審査対象外となる。
「第二十四條」 燃焼燃料	×	×	×	燃焼燃料に関する要求であり、対象電気設備は、燃焼燃料に該当しないため、審査対象外となる。
「第二十五條」 1次冷却材	×	×	×	1次冷却材に関する要求であり、対象電気設備は、1次冷却材に該当しないため、審査対象外となる。
「第二十六條」 燃料棒等の取扱施設及び貯蔵施設	×	×	×	燃料棒等の取扱施設及び貯蔵施設に関する要求であり、対象電気設備は、燃料棒等の取扱施設及び貯蔵施設に該当しないため、審査対象外となる。
「第二十七條」 原子炉冷却材圧力パワングリ	×	×	×	原子炉冷却材圧力パワングリに関する要求であり、対象電気設備は、原子炉冷却材圧力パワングリに該当しないため、審査対象外となる。
「第二十八條」 原子炉冷却材圧力パワングリの隔離装置等	×	×	×	原子炉冷却材圧力パワングリの隔離装置・検出装置に関する要求であり、対象電気設備は、原子炉冷却材圧力パワングリの隔離装置・検出装置に該当しないため、審査対象外となる。
「第二十九條」 1次冷却材処理装置	×	×	×	1次冷却材処理装置に関する要求であり、対象電気設備は、1次冷却材処理装置に該当しないため、審査対象外となる。
「第三十條」 遮断弁	×	×	×	遮断弁に関する要求であり、対象電気設備は、遮断弁に該当しないため、審査対象外となる。
「第三十一條」 蒸気タービン	×	×	×	蒸気タービンに関する要求であり、対象電気設備は、蒸気タービンに該当しないため、審査対象外となる。
「第三十二條」 非常用炉心冷却設備	×	×	×	非常用炉心冷却設備に関する要求であり、対象電気設備は、非常用炉心冷却設備に該当しないため、審査対象外となる。
「第三十三條」 有線設備等	×	×	×	有線設備等に関する要求であり、対象電気設備は、有線設備等に該当しないため、審査対象外となる。
「第三十四條」 計測装置	×	×	×	計測装置に関する要求であり、対象電気設備は、計測装置に該当しないため、審査対象外となる。
「第三十五條」 安全保護装置	×	×	×	安全保護装置に関する要求であり、対象電気設備は、安全保護装置に該当しないため、審査対象外となる。
「第三十六條」 反応度制御系統及び原子炉停止系統	×	×	×	反応度制御系統及び原子炉停止系統に関する要求であり、対象電気設備は、反応度制御系統及び原子炉停止系統に該当しないため、審査対象外となる。
「第三十七條」 制御系統監視装置	×	×	×	制御系統監視装置に関する要求であり、対象電気設備は、制御系統監視装置に該当しないため、審査対象外となる。
「第三十八條」 原子炉制御室等	×	×	×	原子炉制御室等に関する要求であり、対象電気設備は、原子炉制御室等に該当しないため、審査対象外となる。
「第三十九條」 異常物処理設備等	×	×	×	異常物処理設備等に関する要求であり、対象電気設備は、異常物処理設備等に該当しないため、審査対象外となる。
「第四十條」 異常物貯蔵設備等	×	×	×	異常物貯蔵設備等に関する要求であり、対象電気設備は、異常物貯蔵設備等に該当しないため、審査対象外となる。
「第四十一條」 放射性物質による汚染の防止	×	×	×	放射性物質による汚染の防止に関する要求であり、対象電気設備は、放射性物質による汚染の防止に該当しないため、審査対象外となる。
「第四十二條」 生体保護等	×	×	×	生体保護等に関する要求であり、対象電気設備は、生体保護等に該当しないため、審査対象外となる。
「第四十三條」 換気設備	×	×	×	換気設備に関する要求であり、対象電気設備は、換気設備に該当しないため、審査対象外となる。
「第四十四條」 原子炉格納容器	×	×	×	原子炉格納容器に関する要求であり、対象電気設備は、原子炉格納容器に該当しないため、審査対象外となる。
「第四十五條」 保安電源設備	○	○	○	保安電源設備は、重要安全設備への電力供給に係る電気設備の設置場所を当該するものであり、技術基準への適合性を確認する必要があるため、工事計画の内容(本申請内容)に開示し、審査対象外となる。
「第四十六條」 緊急時対策所	×	×	×	緊急時対策所に関する要求であり、対象電気設備は、緊急時対策所に該当しないため、審査対象外となる。
「第四十七條」 監視装置等	×	×	×	監視装置等に関する要求であり、対象電気設備は、監視装置等に該当しないため、審査対象外となる。
「第四十八條」 炉心	○	○	○	原子炉冷却材圧力パワングリに属する技術基準(電圧降下)等の適用について、今回の工事は、重要安全設備への電力供給に係る電気設備の設置場所を当該するものであり、技術基準への適合性を確認する必要があるため、審査対象外となる。

伊方3号機 設計及び工事計画認可申請に該当する技術基準規則の条文整理表(重大事故等対応設備)

○:対象となる条文  
×:対象外の条文

技術基準規則	適用条文	変更の工事の内容に 該当するもの	審査対象条文	理由
(第五十六條) 重大事故等対応施設の設置	○	×	×	重大事故等対応施設の設置については、既工事計画において適合性が確認されている。今回の工事は、対象電機設備の設置場所を変更するものではなく、地震に係る設計に影響を及ぼすものではないことから、審査対象条文とならない。
(第五十條) 地震による損傷の防止	○	×	×	重大事故等対応施設の地震による損傷の防止については、既工事計画において適合性が確認されている。今回の工事は、対象電機設備の設置場所に影響を及ぼすものではなく、地震による損傷の防止に係る設計に影響を及ぼすものではないことから、審査対象条文とならない。
(第五十一條) 浸水による損傷の防止	○	×	×	重大事故等対応施設の浸水による損傷の防止については、既工事計画において適合性が確認されている。今回の工事は、対象電機設備の設置場所の変更や浸水防護設備を変更するものではなく、浸水による損傷の防止に係る設計に影響を及ぼすものではないことから、審査対象条文とならない。
(第五十二條) 火災による損傷の防止	○	×	×	重大事故等対応施設の火災による損傷の防止については、既工事計画において適合性が確認されている。今回の工事は、対象電機設備の設置場所や設備を行うものではなく、火災による損傷の防止に係る設計に影響を及ぼすものではないことから、審査対象条文とならない。
(第五十三條) 特定重大事故等対応施設	×	×	×	特定重大事故等対応施設に対する要求であり、対象電機設備は、特定重大事故等対応施設に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第五十四條) 重大事故等対応設備	○	○	○	重大事故等対応設備については、既工事計画において適合性が確認されている。今回の工事は、重大事故等対応設備である非常用ディーゼル発電機へ保護継電器を添設するものであり、技術基準への適合性を確認する必要があるため、審査対象条文である。
(第五十五條) 材料及び構造	×	×	×	重大事故等対応設備に属する留置、管、ポンプ、弁等の材料及び構造に対する要求であり、対象電機設備は、重大事故等対応設備に属する留置、管、ポンプ、弁等に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第五十六條) 使用中の亀裂等による破損の防止	×	×	×	クラスII設備等使用中の亀裂等による破損の防止に対する要求であり、対象電機設備は、クラスII設備等に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第五十七條) 安全弁等	×	×	×	安全弁等に対する要求であり、対象電機設備は、安全弁等に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第五十八條) 耐圧試験等	×	×	×	クラスII設備の耐圧試験等に対する要求であり、対象電機設備は、クラスII設備等に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第五十九條) 緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界にするための設備	×	×	×	緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界にするための設備に対する要求であり、対象電機設備は、緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界にするための設備に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第六十條) 原子炉冷却炉圧力パワントリ高圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	×	×	×	原子炉冷却炉圧力パワントリ高圧時に発電用原子炉を冷却するための設備に対する要求であり、対象電機設備は、原子炉冷却炉圧力パワントリ高圧時に発電用原子炉を冷却するための設備に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第六十一條) 原子炉冷却炉圧力パワントリを減圧するための設備	×	×	×	原子炉冷却炉圧力パワントリを減圧するための設備に対する要求であり、対象電機設備は、原子炉冷却炉圧力パワントリを減圧するための設備に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第六十二條) 原子炉冷却炉圧力パワントリ高圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	×	×	×	原子炉冷却炉圧力パワントリ高圧時に発電用原子炉を冷却するための設備に対する要求であり、対象電機設備は、原子炉冷却炉圧力パワントリ高圧時に発電用原子炉を冷却するための設備に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第六十三條) 蒸気ヒートシンクへ熱を搬送するための設備	×	×	×	蒸気ヒートシンクへ熱を搬送するための設備に対する要求であり、対象電機設備は、蒸気ヒートシンクへ熱を搬送するための設備に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第六十四條) 原子炉格納容器内の冷却等のための設備	×	×	×	原子炉格納容器内の冷却等のための設備に対する要求であり、対象電機設備は、原子炉格納容器内の冷却等のための設備に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第六十五條) 原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備	×	×	×	原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備に対する要求であり、対象電機設備は、原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第六十六條) 原子炉格納容器下部の溶融炉心を冷却するための設備	×	×	×	原子炉格納容器下部の溶融炉心を冷却するための設備に対する要求であり、対象電機設備は、原子炉格納容器下部の溶融炉心を冷却するための設備に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第六十七條) 水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備	×	×	×	水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備に対する要求であり、対象電機設備は、水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第六十八條) 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備	×	×	×	水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備に対する要求であり、対象電機設備は、水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第六十九條) 使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備	×	×	×	使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備に対する要求であり、対象電機設備は、使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第七十條) 工場昇への放射性物質の拡散を抑制するための設備	×	×	×	工場昇への放射性物質の拡散を抑制するための設備に対する要求であり、対象電機設備は、工場昇への放射性物質の拡散を抑制するための設備に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第七十一條) 重大事故等の収束に必要な水の供給設備	×	×	×	重大事故等の収束に必要な水の供給設備に対する要求であり、対象電機設備は、重大事故等の収束に必要な水の供給設備に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第七十二條) 電源設備	○	×	×	電源設備については、既工事計画において適合性が確認されている。今回の工事は、対象電機設備の電源設備としての基本設計に変更は無く、既工事計画の許容結果に影響を及ぼすものではないことから、審査対象条文とならない。
(第七十三條) 計装装置	×	×	×	計装装置に対する要求であり、対象電機設備は、計装装置に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第七十四條) 原子炉制御室等	×	×	×	原子炉制御室等に対する要求であり、対象電機設備は、原子炉制御室等に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第七十五條) 監視測定設備	×	×	×	監視測定設備に対する要求であり、対象電機設備は、監視測定設備に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第七十六條) 緊急時対策所	×	×	×	緊急時対策所に対する要求であり、対象電機設備は、緊急時対策所に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第七十七條) 通信連絡を行うための必要な設備	×	×	×	通信連絡を行うための必要な設備に対する要求であり、対象電機設備は、通信連絡を行うための必要な設備に該当しないため、審査対象条文とならない。
(第七十八條) 運用	○	×	×	原子力発電工事に係る電機設備に関する技術基準(電機法)等の適用については、既工事計画において適合性が確認されている。今回の工事は、対象電機設備の原電技術に係る設計を変更するものではなく、既工事計画の許容結果に影響を及ぼすものではないことから、審査対象条文とならない。

## 伊方 3 号機 設計及び工事計画認可申請書

## 添付書類及び本設計及び工事計画における添付の要否の検討結果

実用発電用原子炉の設置、 運転等に関する規則 別表第二添付書類	添付の要否 (○・×)	理 由
各発電用原子炉施設に共通		
送電関係一覧図	×	本設計及び工事計画では、送電線に関する説明は不要であることから、対象外。
急傾斜地崩壊危険区域内において行う制限工事に係る場合は、当該区域内の急傾斜地の崩壊の防止措置に関する説明書	×	技術基準規則 10 条（急傾斜地の崩壊の防止）は審査対象条文ではなく、急傾斜地崩壊危険区域の設定はないため対象外。
工場又は事業所の概要を明示した地形図	×	本設計及び工事計画では、地形に関する説明は不要であることから、対象外。
主要設備の配置の状況を明示した平面図及び断面図	×	本設計及び工事計画では、主要設備の配置に関する説明は不要であることから、対象外。
単線結線図	○ (第 1 図)	本設計及び工事計画では、単線結線図が変更となるため、添付する。
新技術の内容を十分に説明した書類	×	本設計及び工事計画では、新技術に該当しないため対象外。
発電用原子炉施設の熱精算図	×	本設計及び工事計画では、熱精算に関する説明は不要であることから、対象外。
熱出力計算書	×	本設計及び工事計画では、熱出力に関する説明は不要であることから、対象外。
発電用原子炉の設置の許可との整合性に関する説明書	○ (資料 1)	本設計及び工事計画の内容について、設置許可との整合性に影響がないことを説明するため添付する。
排気中及び排水中の放射性物質の濃度に関する説明書	×	本設計及び工事計画では、排気中及び排水中の放射性物質の濃度に関する説明は不要であることから、対象外。
人が常時勤務し、又は頻繁に出入する工場又は事業所内の場所における線量に関する説明書	×	本設計及び工事計画では、線量に関する説明は不要であることから、対象外。
発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書	×	本設計及び工事計画では、耐震設計上重要な設備を設置する施設に関する説明は不要であることから、対象外。
排水監視設備及び放射性物質を含む排水を安全に処理する設備の配置の概要を明示した図面	×	本設計及び工事計画では、排水監視設備及び放射性物質を含む排水を安全に処理する設備に関する説明は不要であることから、対象外。
取水口及び放水口に関する説明書	×	本設計及び工事計画では、取水口及び放水口に関する説明は不要であることから、対象外。
設備別記載事項の設定根拠に関する説明書	×	本設計及び工事計画では、要目表はなく、設備別記載事項がないことから、対象外。
環境測定装置の構造図及び取付箇所を明示した図面	×	本設計及び工事計画では、環境測定装置の構造等に関する説明は不要であることから、対象外。
クラス 1 機器及び炉心支持構造物の応力腐食割れ対策に関する説明書	×	本設計及び工事計画では、クラス 1 機器及び炉心支持構造物の応力腐食割れ対策に関する説明は不要であることから、対象外。
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	○ (添付 2)	本設計及び工事計画では、安全設備及び重大事故等対処設備である既設の非常用ディーゼル発電機に過電流継電器を追加することによる影響を踏まえ、既設の非常用ディーゼル発電機に対して「多重性、多様性及び位置的分散」、「悪影響防止」、「環境条件等」の設計上の考慮について説明するため添付する

実用発電用原子炉の設置、 運転等に関する規則 別表第二添付書類	添付の要否 (○・×)	理 由
発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書	○ (資料3)	本設計及び工事計画では、既工事計画の火災防護に関する設計を変更するものではないが、「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」に基づき、火災感知設備及び消火設備の配置の適合性を説明する必要があることから添付する。
発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書	×	技術基準規則 12 条(溢水等による損傷の防止)及び 54 条(重大事故等対処設備)は審査対象条文ではなく、溢水防護に関する説明は不要であることから、対象外。
発電用原子炉施設の蒸気タービン、ポンプ等の損壊に伴う飛散物による損傷防護に関する説明書	×	技術基準規則 15 条(設計基準対象施設の機能)は審査対象条文ではなく、飛散物による損傷防護に関する説明は不要であることから、対象外。
通信連絡設備に関する説明書	×	技術基準規則 47 条(警報装置等)及び 77 条(通信連絡を行うために必要な設備)は審査対象条文ではなく、通信連絡設備に関する説明は不要であることから、対象外。
通信連絡設備の取付箇所を明示した図面	×	技術基準規則 47 条(警報装置等)及び 77 条(通信連絡を行うために必要な設備)は審査対象条文ではなく、通信連絡設備に関する説明は不要であることから、対象外。
安全避難通路に関する説明書	×	技術基準規則 13 条(安全避難通路等)は審査対象条文ではなく、安全避難通路に関する説明は不要であることから、対象外。
安全避難通路を明示した図面	×	技術基準規則 13 条(安全避難通路等)は審査対象条文ではなく、安全避難通路に関する説明は不要であることから、対象外。
非常用照明に関する説明書	×	技術基準規則 13 条(安全避難通路等)は審査対象条文ではなく、非常用照明に関する説明は不要であることから、対象外。
非常用照明の取付箇所を明示した図面	×	技術基準規則 13 条(安全避難通路等)は審査対象条文ではなく、非常用照明に関する説明は不要であることから、対象外。
その他発電用原子炉の附属施設 非常用電源設備		
非常用電源設備に係る機器の配置を明示した図面	×	本設計及び工事計画では、非常用電源設備に係る機器の配置に関する説明は不要であることから、対象外。
非常用電源設備に係る機器の配置を明示した系統図	×	本設計及び工事計画では、非常用電源設備に係る機器の配置に関する説明は不要であることから、対象外。
非常用発電装置の出力の決定に関する説明書	○ (資料4)	本設計及び工事計画では、対象電気盤のHEAFによる損傷の拡大の防止が適切に図られていることを説明するために添付する。
燃料系統図	×	本設計及び工事計画では、燃料系統に関する説明は不要であることから、対象外。
耐震性に関する説明書	×	本設計及び工事計画では、耐震性に関する説明は不要であることから、対象外。
強度に関する説明書	×	本設計及び工事計画では、強度に関する説明は不要であることから、対象外。
構造図	×	本設計及び工事計画では、構造に関する説明は不要であることから、対象外。
安全弁の吹出量計算書	×	本設計及び工事計画では、安全弁の吹出量に関する説明は不要であることから、対象外。

その他、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第9条第3項に基づき、「発電用原子炉施設の設計及び工事の計画に係る手続ガイド」にて要求のある「設計及び工事に係る品質マネジメントシステムに関する説明書」(資料5)を添付する。

伊方3号機 HEAF 対策工事 設計及び工事計画認可申請書  
 における「工事の方法」の該当箇所について

項目	対象要否	該当箇所の補足説明
1. 工事の手順		
図1 (設置又は変更の工事における工事の手順と検査)	○	今回のHEAF対策工事については、全ての検査は発電所で実施する検査となる。 今回の申請対象機器に関して、技術上の基準※に適合しているか確認するため、「構造、強度又は漏えいに係る検査」と「機能又は性能に係る検査」を実施する。 ※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
図2 (主要な耐圧部の溶接に係る工事の手順と検査)	—	主要な耐圧部の溶接に係る検査が発生しないため対象外。
図3 (燃料体に係る工事の手順と検査)	—	燃料体に係る工事が発生しないため対象外。
2. 使用前事業者検査の方法		
2.1.1 構造、強度又は漏えいに係る検査		
材料検査	—	材料、寸法に係る検査が発生しないため対象外。
寸法検査	—	
外観検査	○	50保護リレーに係る検査が該当する。
組立て及び据付け状態を確認する検査(据付検査)	○	
状態確認検査	—	状態確認、耐圧、漏えいに係る検査が発生しないため対象外。
耐圧検査	—	
漏えい検査	—	
原子炉格納施設が直接設置される基盤の状態を確認する検査	—	CV施設が直接設置される対象がないため対象外。
建物・構築物の構造を確認する検査	—	建物・構築物の構造を確認する検査が発生しないため対象外。
2.1.2 主要な耐圧部の溶接部に係る検査	—	主要な耐圧部の溶接に係る検査が発生しないため対象外。
2.1.3 燃料体に係る検査	—	燃料体に係る検査が発生しないため対象外。
2.2 機能又は性能に係る検査		
2.2.1 燃料体を挿入できる段階の検査	—	当該段階に係る検査が発生しないため対象外。
2.2.2 臨界反応操作を開始できる段階の検査	—	当該段階に係る検査が発生しないため対象外。
2.2.3 工事完了時の検査	○	非常用ディーゼル発電機受電遮断器でのHEAF対策として、短絡電流の遮断時間がHEAF火災のしきい値以下となっていることを確認する検査が該当する。
2.3 基本設計方針検査	—	基本設計方針のうち表1、表5、表6、表7で確認できない事項はないため対象外。
2.4 品質マネジメントシステムに係る検査	○	「設計及び工事に係る品質マネジメントシステム」及び「工事の方法」のとおりにより工事管理が行われていることを確認することから、該当する。

3. 工事上の留意事項		
3.1 設置又は変更の工事に係る工事上の留意事項		
a. 設置又は変更の工事を行う発電用原子炉施設の機器等について、周辺資機材、他の発電用原子炉施設及び環境条件からの悪影響や劣化等を受けないよう、隔離、作業環境維持、異物侵入防止対策等の必要な措置を講じる。	○	工事における一般的な留意事項であるため、該当する。
b. 工事にあたっては、既設の安全上重要な機器等へ悪影響を与えないよう、現場状況、作業環境及び作業条件を把握し、作業に潜在する危険性又は有害性や工事用資機材から想定される影響を確認するとともに、隔離、火災防護、溢水防護、異物侵入防止対策、作業管理等の必要な措置を講じる。	○	
c. 設置又は変更の工事を行う発電用原子炉施設の機器等について、必要に応じて、供用後の施設管理のための重要なデータを採取する。	○	
d. プラントの状況に応じて、検査・試験、試運転等の各段階における工程を管理する。	○	
e. 設置又は変更の工事を行う発電用原子炉施設の機器等について、供用開始後に必要な機能性能を発揮できるように製造から供用開始までの間、維持する。	○	
f. 放射性廃棄物の発生量低減に努めるとともに、その種類に応じて保管及び処理を行う。	—	管理区域内での工事はないため、該当しない。
g. 現場状況、作業環境及び作業条件を把握し、放射線業務従事者に対して防護具の着用や作業時間管理等適切な被ばく低減措置と、被ばく線量管理を行う。また、公衆の放射線防護のため、気体及び液体廃棄物の放出管理については、周辺管理区域外の空気中・水中の放射性物質濃度が「線量限度等を定める告示」に定める値を超えないようにするとともに、放出管理目標値を超えないように努める。	—	
h. 修理の方法は、基本的に「図1 工事の手順と使用前事業者検査のフロー（燃料体を除く）」の手順により行うこととし、機器等の全部又は一部について、撤去、切断、切削又は取外しを行い、据付、溶接又は取付け、若しくは同等の方法により、同等仕様又は性能・強度が改善されたものに取替を行う等、機器等の機能維持又は回復を行う。また、機器等の一部撤去、一部撤去の既設端部について閉止板の取付け、蒸気発生器、熱交換器又は冷却器の伝熱管への閉止栓取付け若しくは同等の方法により適切な処置を実施する。	—	修理は実施しないため、該当しない。
i. 特別な工法を採用する場合の施工方法は、技術基準に適合するよう、安全性及び信頼性について必要に応じ検証等により十分確認された方法により実施する。	—	特別な工法は採用しないため、該当しない。
3.2 燃料体の加工に係る工事上の留意事項	—	燃料体の加工に係る作業がないため対象外。



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

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

# 目次

目次 .....	2
1. 概 要 .....	3
2. 基本方針 .....	4
3. 技術基準規則への適合が必要な電気盤 .....	5
4. アーク放電を発生させる試験 .....	7
4.1 電気盤の選定 .....	7
4.2 短絡電流の目標値 .....	29
4.3 HEAF 試験に用いる電気回路 .....	31
4.4 測定項目 .....	33
4.5 アーク放電の発生方法 .....	34
4.6 アーク放電の継続時間 .....	37
4.7 HEAF 試験の実施 .....	38
4.8 アークエネルギーの計算 .....	43
5. アーク火災発生の評価 .....	46
5.1 アーク火災発生の評価の概要 .....	46
5.2 評価に用いる必要なデータ .....	46
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 .....	47
5.4 しきい値に係る解析による評価 .....	50
6. HEAF 対策に係る対策の判断基準 .....	51

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

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 : 50 保護リレー追加を踏まえた非常用ディーゼル発電機の設計上の考慮について

添付資料－ 4 : 50 保護リレーに対する安全重要度分類の考え方について

## 1. 概 要

重要安全施設（「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」第2条第2項第9号に規定する重要安全施設をいう。以下同じ。）への電力供給に係る電気盤及び当該電気盤に影響を与えるおそれのある電気盤（安全施設（重要安全施設を除く。）への電力供給に係るものに限る。）について、技術基準規則に基づき、遮断器の遮断時間の適切な設定及び非常用ディーゼル発電機の停止等により、高エネルギーのアーク放電によるこれらの電気盤の損壊の拡大を防止することができる設計としている。

本資料では、重要安全施設への電力供給に係る電気盤及び当該電気盤に影響を与えるおそれのある電気盤を整理し、試験体電気盤に対する電気盤設計の妥当性及び遮断時間の適切な設計により、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（以下、「審査ガイド」という。）に基づき、非常用ディーゼル発電機の停止または上流の遮断器によりアーク放電を遮断することとし、遮断器の遮断時間を適切に設定する。

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

### 3. 技術基準規則への適合が必要な電気盤

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

「重要安全施設」は実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第 12 条第 6 項に記載され、解釈第 11 項において重要度分類 MS-1 に分類される構築物等が対象と定義されている。

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

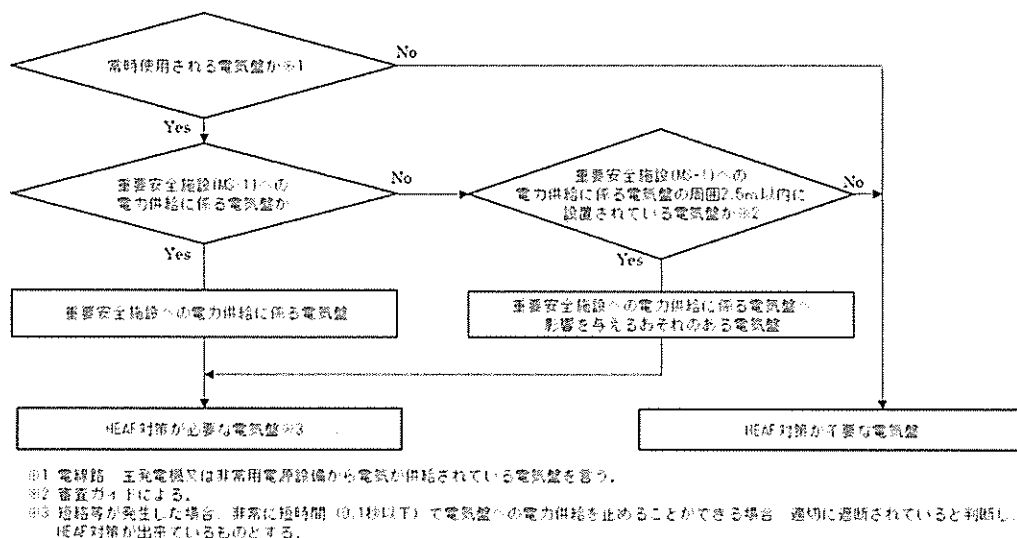
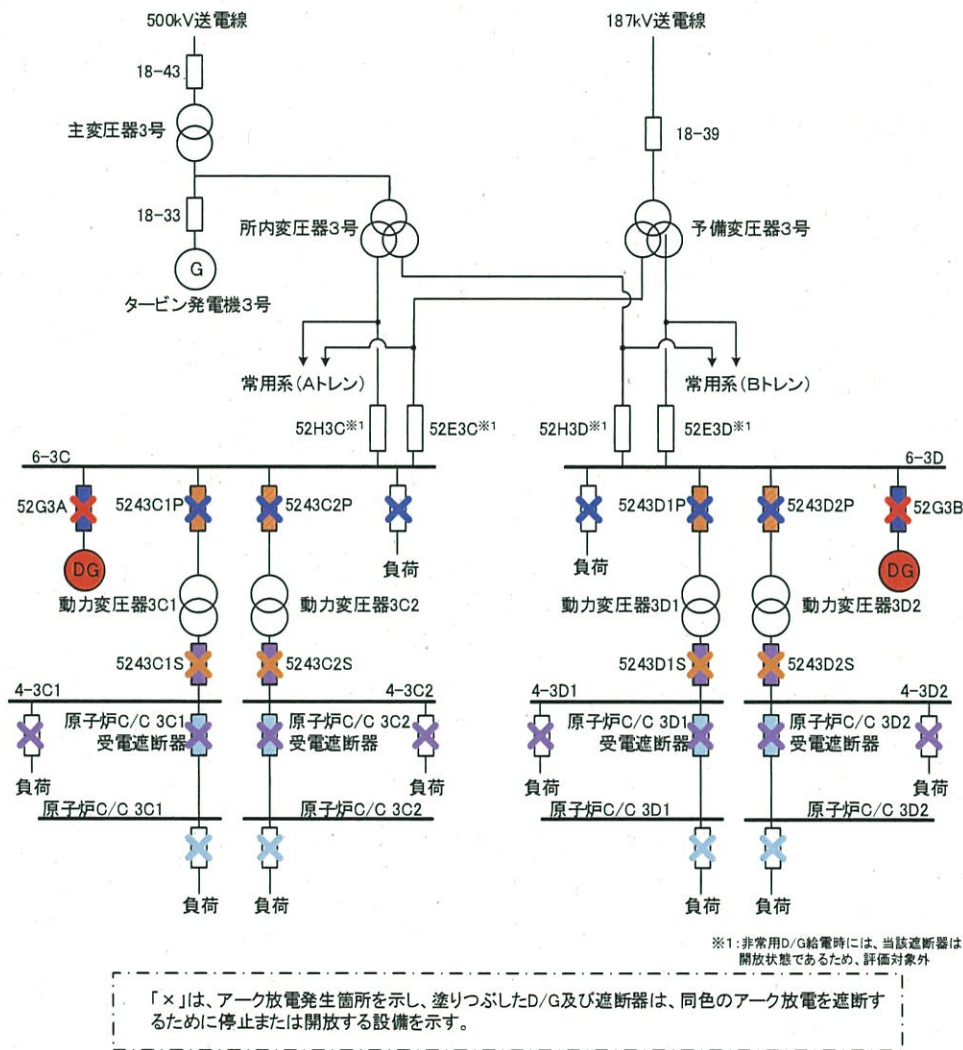


図 3.1 HEAF 対策が必要な電気盤フロー図

表 3.1 HEAF 対策が必要な電気盤の抽出結果 (非常用ディーゼル発電機からの給電時)

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ための措置
メタルクラッド開閉装置	52G3A (非常用ディーゼル発電機受電遮断器 3A)	非常用ディーゼル発電機 3A 停止
	6-3C 母線に接続される遮断器 (52H3C,52E3C,52G3A を除く)	52G3A 開放
	52G3B (非常用ディーゼル発電機受電遮断器 3B)	非常用ディーゼル発電機 3B 停止
	6-3D 母線に接続される遮断器 (52H3D,52E3D,52G3B を除く)	52G3B 開放



※1 非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤以外の電気盤におけるアーク放電の遮断時間については、平成 31 年 4 月 26 日付け原規規発第 1904269 号にて認可された工事計画による。

図 3.2 HEAF 対策が必要な電気盤系統図 (非常用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、パワーセンタ及びコントロールセンタ（以下、それぞれ「M/C」、「P/C」、「C/C」という。また、メタルクラッド開閉装置のうち非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤については、「M/C (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。

##### 4.1 電気盤の選定

（審査ガイド抜粋【2.1 電気盤の選定】）

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

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

なお、M/C (D/G)試験とM/C(D/G)以外の先行M/C試験（以下、「先行M/C試験」という。）で用いられる電気盤は、JEM-1425及びJEC-2300に基づき製造された同等の高圧電気盤である。

表 4.1.1 試験で用いた電気盤のスペック一覧表 (1/4)



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



表 4.1.1 試験で用いた電気盤のスペック一覧表 (2/4)




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

表 4.1.1 試験で用いた電気盤のスペック一覧表 (3/4)


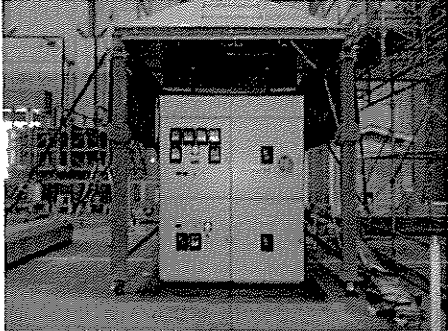
種類	電気盤	試験で用いた電気盤のスペック		電気盤の概況
C/C	試験体⑥	遮断方式	配線用遮断器	
		系統	定格使用電圧 : AC460V 定格周波数 : 50Hz 定格遮断電流 : 50kA	
		概略寸法	高さ 2.3m × 幅 0.60m × 奥行き 0.573m	

表 4.1.1 試験で用いた電気盤のスペック一覧表 (4/4)

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

(1) 同等性に影響を与える恐れのあるパラメータについて

①非密閉性の程度、②高温ガスの滞留場所、③可燃物及び④アークエネルギーの4つのパラメータについて、電気盤選定の同等性に影響を与えるおそれのあるパラメータを整理すると以下のとおりである。よって、③高温ガスの滞留場所及び④可燃物について、実機と同等であるものを試験体として選定した。

表 4.1.2 同等性に影響を与える恐れのあるパラメータの整理

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

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

## ②高温ガスの滞留場所に対する同等性

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

### a. M/C

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

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

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

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

なお、M/C (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 における試験体と実機の電気盤との比較・評価

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

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

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

b. P/C

実機の盤については、JEM-1265（日本電機工業会規格 低圧金属閉鎖形スイッチギヤ及びコントロールギヤ）に基づき製造されており、盤構造は、「低圧スイッチギヤの形」のうち、接地された金属閉鎖箱内に装置が一括して収納された構造（以下、「金属閉鎖形構造」という。）を採用している。また、定格絶縁電圧は、「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、JEC-160（電気学会 電気規格調査会標準規格 交流遮断器）に基づき製造されており、定格絶縁電圧は「定格」のうち 600V を採用し、「構造及び性能」の要求事項を満足する設計としている。（表 4.1.6 参照）

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

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

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

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

表 4.1.6 JEC-160 における試験体、実機の電気盤との比較・評価

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

c. C/C

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

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

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

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

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

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



### ③可燃物に対する同等性

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

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

このため、選定した試験体の可燃物は、実機に対して同等性を有している。

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

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

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

表 4.1.9 JEC-160 における試験体、実機の電気盤との比較・評価

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

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

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

(2) まとめ

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

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

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

電気盤構造を分類した結果について以下の表に示す。

表 4.1.11 HEAF 試験に使用した電気盤及び実機で使用している電気盤構造の分類 (1/6)

種類	電気盤	盤構造
M/C	試験体①	
M/C	試験体②	

表 4.1.11 HEAF 試験に使用した電気盤及び実機で使用している電気盤構造の分類 (2/6)

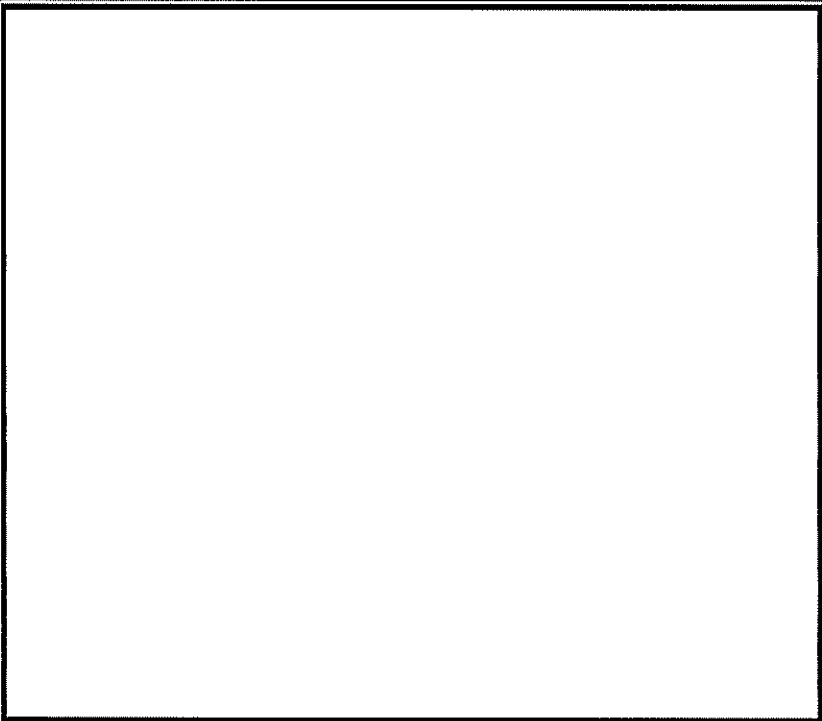
種類	電気盤	盤構造
M/C	実機	

表 4.1.11 HEAF 試験に使用した電気盤及び実機で使用している電気盤構造の分類 (3/6)

種類	電気盤	盤構造
P/C	試験体③	
P/C	試験体④	

表 4.1.11 HEAF 試験に使用した電気盤及び実機で使用している電気盤構造の分類 (4/6)

種類	電気盤	盤構造
P/C	試験体⑤	
P/C	実機	

表 4.1.11 HEAF 試験に使用した電気盤及び実機で使用している電気盤構造の分類 (5/6)

種類	電気盤	盤構造
C/C	試験体⑥	
C/C	実機	

表 4.1.11 HEAF 試験に使用した電気盤及び実機で使用している電気盤構造の分類 (6/6)  
 (非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

種類	電気盤	盤構造
M/C (D/G)	試験体 ⑦	
M/C	実機	



表 4.1.12 試験体と実機の可燃物に対する同等性(1/4)


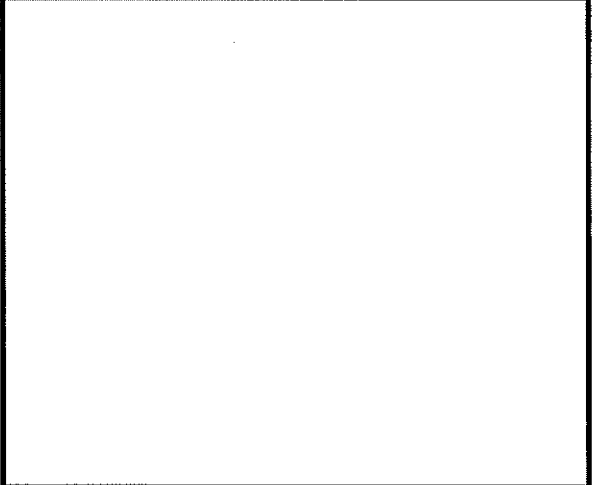
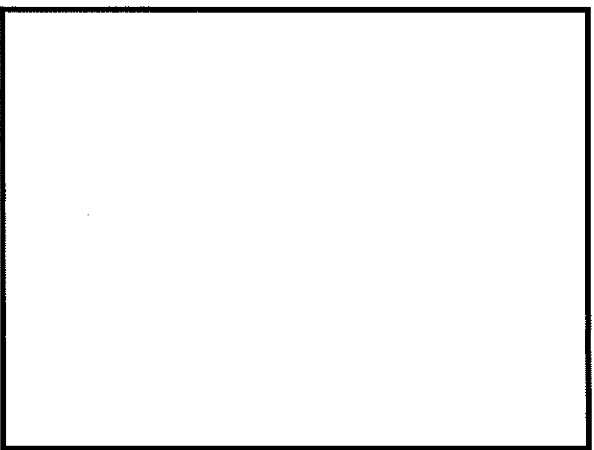
種類	遮断器	遮断器に使用されている 主な絶縁物	外形図
M/C	試験体①	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 不飽和ポリエステル樹脂 (耐熱クラス B)</li> <li>  &gt; モールドフレーム</li> </ul>	
M/C	試験体②	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ エポキシ樹脂 (耐熱クラス B)</li> <li>  &gt; ブッシング</li> </ul>	
M/C	実機	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ エポキシ樹脂 (耐熱クラス B)</li> <li>  &gt; ブッシング</li> </ul>	

表 4.1.12 試験体と実機の可燃物に対する同等性 (2/4)

種類	遮断器	遮断器に使用されている 主な絶縁物	外形図
P/C	試験体③	耐熱クラス B (エポキシ樹脂) > アークシュート  (不飽和ポリエステル樹脂) > 絶縁ベース	
P/C	試験体④	耐熱クラス B (不飽和ポリエステル樹脂) > モールドベース	
P/C	試験体⑤	耐熱クラス B (フェノール樹脂) > 断路部	
P/C	実機	耐熱クラス B (不飽和ポリエステル樹脂) > モールドフレーム	

表 4.1.12 試験体と実機の可燃物に対する同等性 (3/4)

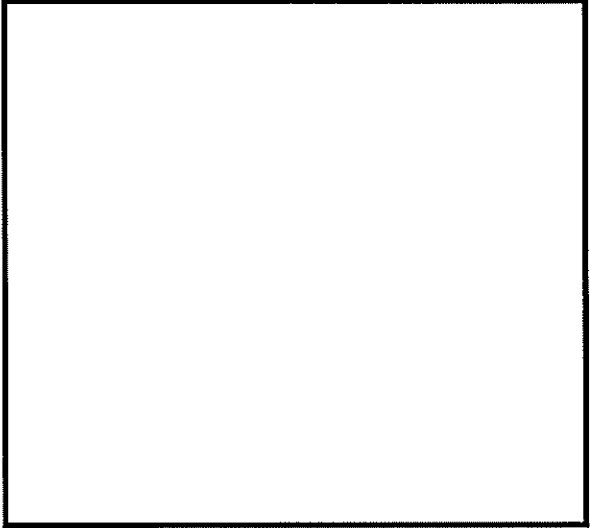
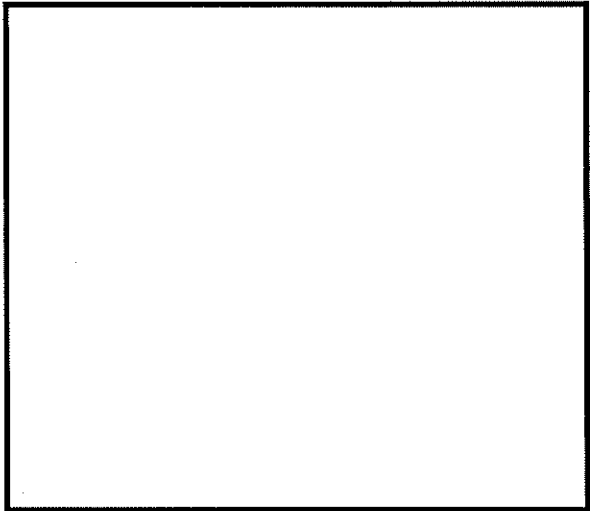

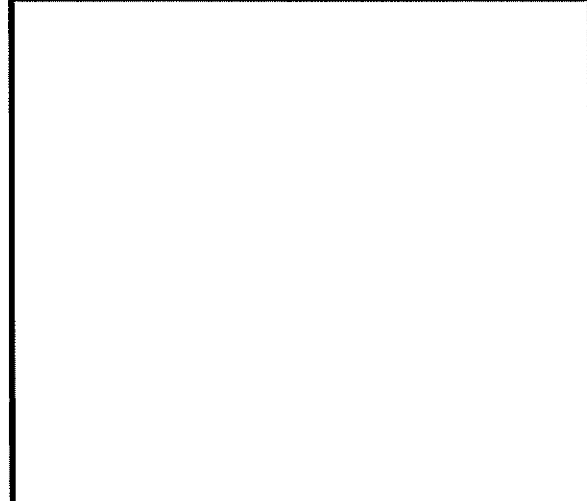
種類	遮断器	遮断器に使用されている 主な絶縁物	外形図
C/C	試験体⑥	耐熱クラス E (変性ポリフェニレンエーテル) > 母線絶縁カバー	
C/C	実機	耐熱クラス B (不飽和ポリエステル樹脂) > 母線絶縁カバー	

表 4.1.12 試験体と実機の可燃物に対する同等性 (4/4)  
 (非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

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

#### 4.2 短絡電流の目標値

(審査ガイド抜粋【2.2 短絡電流の目標値】)

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

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

(解説－2) 一般的な電気盤における短絡電流値の算出方法について

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

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

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

$I_b$ : 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設定している。

表 4.2.1 HEAF 試験時における短絡電流の目標値

電気盤	短絡電流目標値	【参考】伊方 3 号機の短絡電流値
M/C	18.9 kA または 40.0 kA	約 35.1 kA
P/C	45.0 kA	約 32.7 kA
C/C	45.0 kA	約 31.6 kA
M/C (D/G)	5 kA	約 4.7 kA <sup>**</sup>

※: 「第 3 回新規制要件に関する事業者意見の聴取に係る会(2018 年 10 月 15 日)」での試験条件設定の考え方詳細(補 6)に示す通り、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値とする。

また、HEAF 試験における初期の印加電圧は、伊方 3 号機において使用している電気盤の定格電圧値を踏まえて設定している。

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】伊方 3 号機の電気盤の定格電圧
M/C	6.9kV または 8.0kV	6.9kV
P/C	504V	460V
C/C	504V	440V
M/C (D/G)	6.9kV	6.9kV

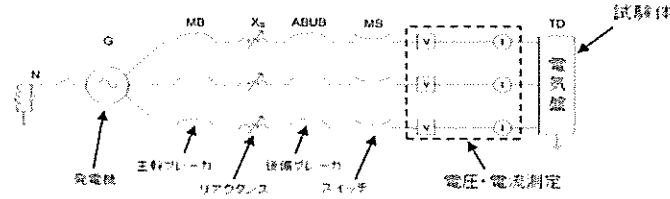
なお、アーク火災発生の有無は、電流及び電圧の積をアーク放電の継続時間で積分して算出するアークエネルギーに依存しており（「4. アーク火災発生の評価」参照）、短絡電流値及び印加電圧の違いは、試験結果に影響を及ぼすものではない。

### 4.3 HEAF 試験に用いる電気回路

(審査ガイド抜粋【2.3 HEAF 試験に用いる電気回路】)

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

付録 A HEAF 試験に用いる電気回路の一例



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

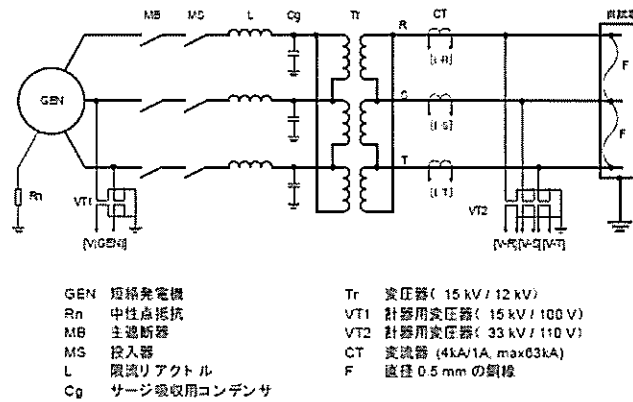


図 4.3.1 メタクラ試験回路

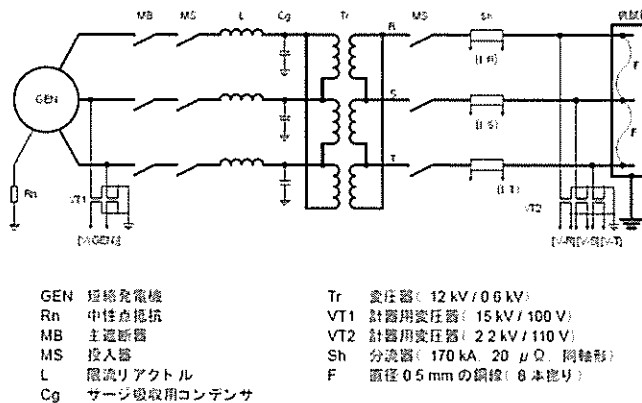
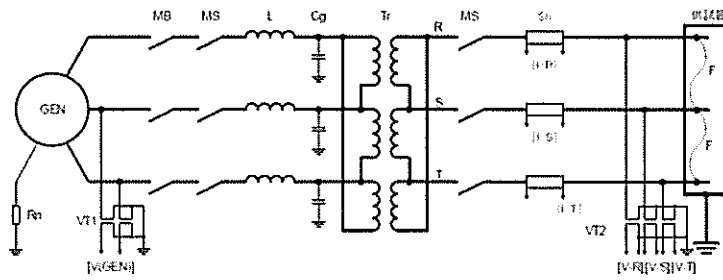
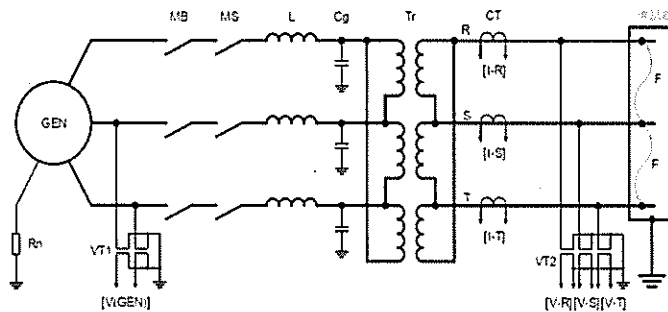


図 4.3.2 パワーセンタ回路



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

図 4.3.3 コントロールセンタ試験回路



- |     |             |        |                            |
|-----|-------------|--------|----------------------------|
| GEN | 短絡発電機       | Tr     | 変圧器 (15 kV / 24 kV)        |
| Rn  | 中性点抵抗       | VT1    | 計器用変圧器 (15 kV / 100 V)     |
| MB  | 主遮断器        | VT2    | 計器用変圧器 (3.3 kV / 110 V)    |
| MS  | 投入器         | CT1, 2 | 電流器 (4 kA, 1 A, max 65 kA) |
| L   | 限流リアクトル     | F      | 直径 0.5 mm の鋼線              |
| Cg  | サージ吸収用コンデンサ |        |                            |

図 4.3.4 メタクラ試験回路

(非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)



#### 4.4 測定項目

(審査ガイド抜粋【2.4 測定項目】)

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

表1 HEAF 試験の測定項目等

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

(参考-1) その他の測定項目

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

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

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

表 4.4.1 HEAF 試験時の測定項目

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

#### 4.5 アーク放電の発生方法

(審査ガイド抜粋【2.5 アーク放電の発生方法】)

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

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

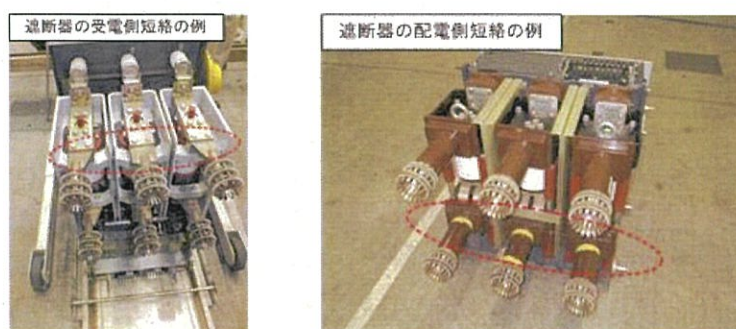


図 4.5.1 遮断器の短絡箇所 (M/C 試験時)

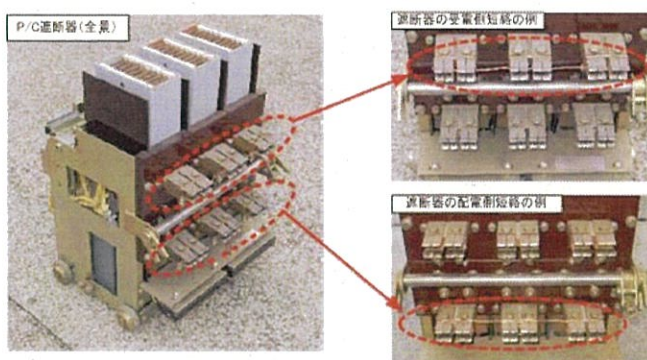


図 4.5.2 遮断器の短絡箇所 (P/C 試験時)



図 4.5.3 遮断器の短絡箇所 (C/C 試験時)

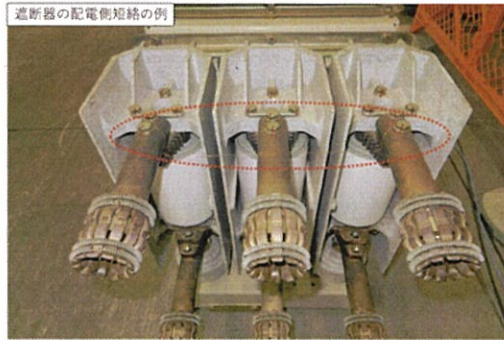


図 4.5.4 遮断器の短絡箇所 (M/C (D/G) 試験時)  
(非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

ワイヤリングは、直径 0.5mm の銅線 (M/C : 1 本撚り、P/C、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国際規格を参考に決定した。

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



発弧線の設置状況 (遮断器 2 次側端子)

・ IEEE C37.20.7-2007 の抜粋

**5.3 Arc initiation**

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

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

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

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

・ JEM1425(2011)の抜粋

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

・ IEC62271-200(2011)の抜粋

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

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

・ IEC/TR61641(2008)の抜粋

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

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

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

(試験電流に関しては、表 1 に示される銅線のサイズを使用すべき。)

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

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

(※P/C の試験電流は 45kA なので、銅線の太さは 1.5mm<sup>2</sup> となる。直径 0.5mm の銅線を使用した場合、1.5mm<sup>2</sup> を確保するために 8 本撚りとしている。(0.5×0.5×π÷4×8 本=1.57mm<sup>2</sup>)

#### 4.6 アーク放電の継続時間

(審査ガイド抜粋【2.6 アーク放電の継続時間】)

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

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

表 4.6.1 しきい値に係る HEAF 試験一覧表

種類	電気盤	試験初期の 印加電圧	試験初期の 印加電流	アークエネルギー	【参考】 電中研 試験番号
M/C	耐震盤	8.0 kV	40.0 kA	25.3MJ	5-3
P/C	耐震盤	504V	45.0 kA	18.9MJ	7-5
C/C	非耐震盤	504V	45.0 kA	4.49MJ	10-3
M/C(D//G)	非耐震盤	6.9kV	5 kA	16.6MJ	9-2

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

#### 4.7 HEAF 試験の実施

(審査ガイド抜粋【2.7 HEAF 試験の実施】)

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

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

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

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

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

表 4.7.1 HEAF 試験条件及び試験結果 (1/2)

種類	電気盤	試験初期の印加電圧	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 (伊方3号機の最大値) (MJ)	【参考】電中研試験番号
				設定値	実測値				
M/C	試験体 ①	6.9kV	18.9kA	0.1	0.103	3.09	無	24.9	1-1
				0.3	0.302	8.17	無		1-2
				0.5	0.527	12.9	無		2-1
				0.5	0.526	10.4	無		2-2
				1.0	1.23	24.7	無		3-1
				1.0	1.23	20.3	無		3-2
				1.0	1.23	27.6	有		3-3
				2.0	2.18	41.8	有		3-4
				2.0	2.39	44.6	有		4-1
	1.0	1.23	17.7	無	4-2				
	試験体 ②	8.0 kV	40.0 kA	0.2	0.22	12.8	無	5-1	
				0.2	0.21	8.68	無	5-2	
				0.6	0.63	25.3	無	5-3	
	P/C	試験体 ③	504V	45kA	0.2	0.20	2.49	無	17.7
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
					0.1	0.064	0.9	無	10-1
C/C	試験体 ⑥	504V	45kA	0.5	0.522	7.56	有	3.8	10-2
				0.3	0.319	4.49	無		10-3
				0.21	0.066	1.02	無		11-1
				0.28	0.153	2.24	無		11-2
				0.28	0.052	0.80	無		11-3
				0.28	0.281	3.94	無		11-4

☐ : 火災が発生した最小のアークエネルギー

☐ : 火災が発生しない最大のアークエネルギー

表 4.7.1 HEAF 試験条件及び試験結果 (2/2)

(非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

種類	電気盤	試験初期の印加電圧	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)	アーク火災の有無	目標とするアークエネルギー (伊方3号機の最大値) (MJ)	【参考】電中研試験番号
				設定値	実測値				
M/C	試験体	6.9kV	5 kA	2.65	2.69	14.7	無	11.17	9-1
(D/G)	⑦			3.00	3.05	16.6	無		9-2
				6.10	6.27	32.3	有		9-3

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

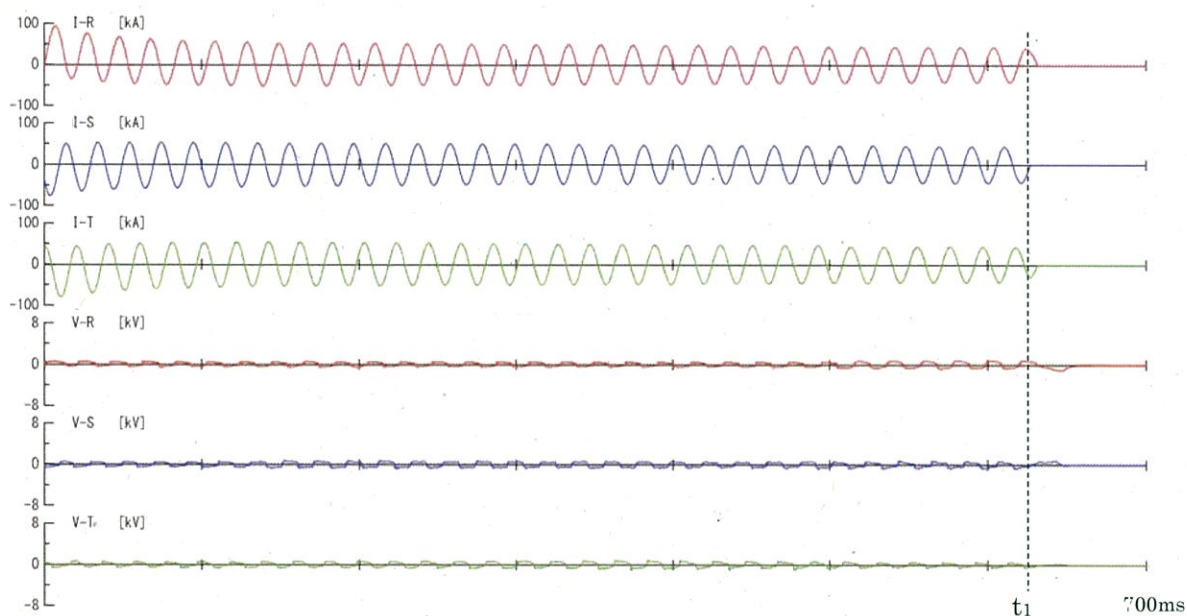


図 4.7.1 HEAF 試験時の電圧・電流波形 (M/C)

$t_1 = 630\text{ms}$



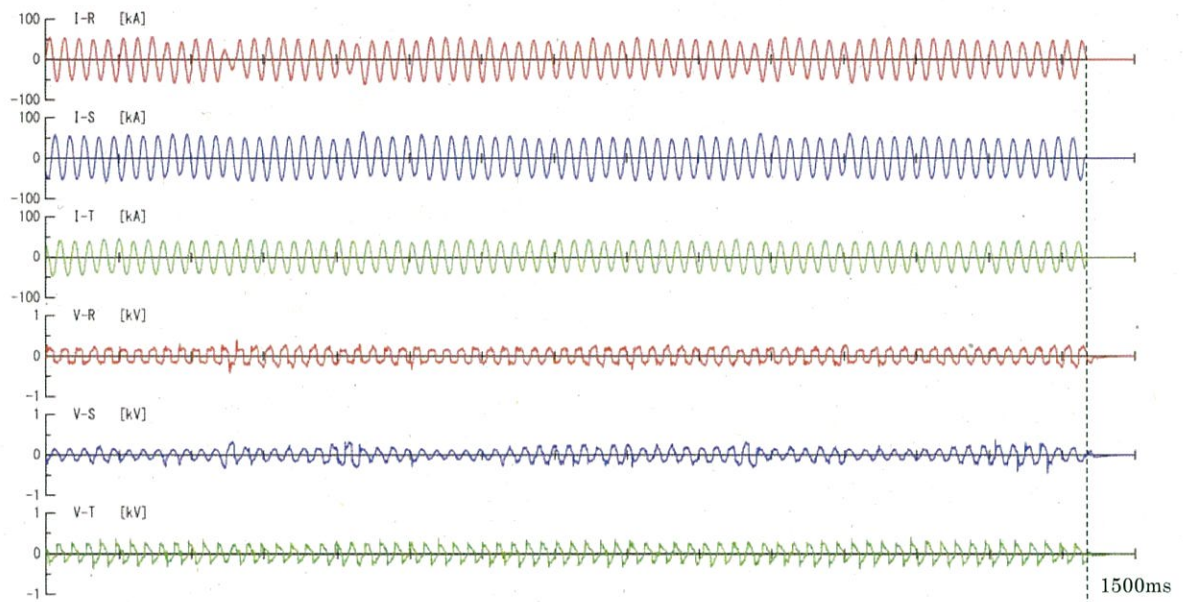


図 4.7.2 HEAF 試験時の電圧・電流波形 (P/C)

$t_1$   
=1,430ms

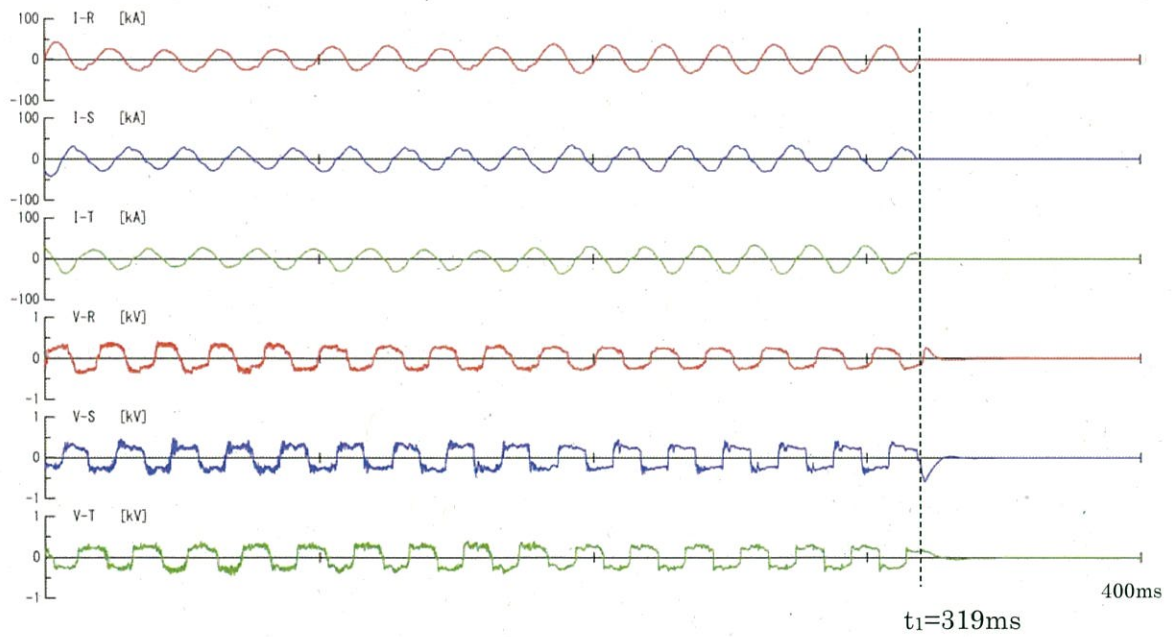


図 4.7.3 HEAF 試験時の電圧・電流波形 (C/C)

$t_1=319ms$

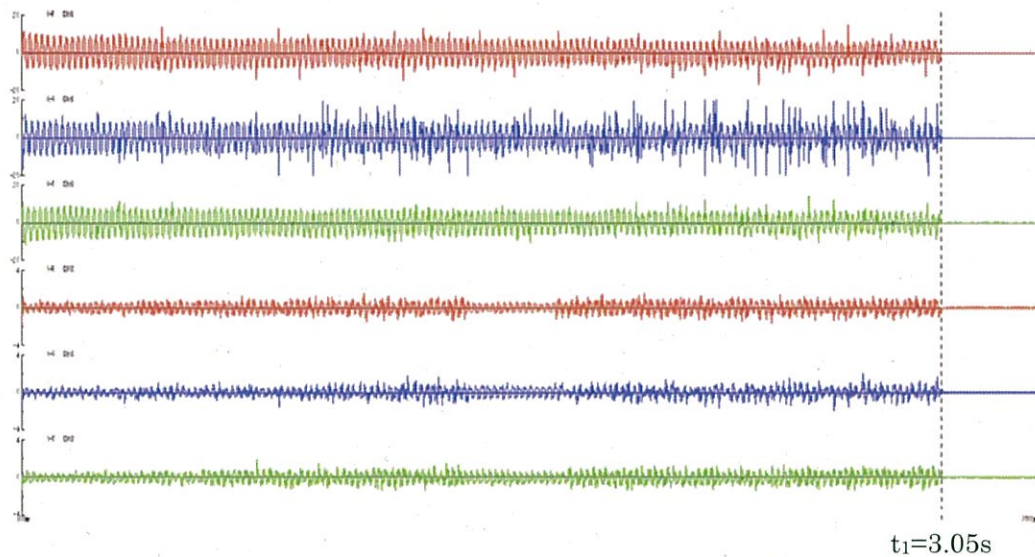


図 4.7.4 HEAF 試験時の電圧・電流波形 (M/C (D/G))  
 (非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

#### 4.8 アークエネルギーの計算

(審査ガイド抜粋【2.8 アークエネルギーの計算】)

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

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

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

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

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

表 4.8.1 電力中央研究所 HEAF 試験結果 (M/C の一例)

耐震/高圧電源盤・内部アーク試験結果詳細データ一覧

試験番号	発弧箇所	試験電圧 <sup>1)</sup> (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 <sup>2)</sup> (deg)				測定箇所	最大値 (kPa)	到達時間 <sup>3)</sup> (ms)	
5-1	盤 I 上段 VCB 次側端子 <sup>4)</sup>	8.25	R	86.6	42.0	35.6	7.23	318	0.22	157	12.8	盤 I 上段ケーブル室	89.3	9.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>天板一部外れ (M10ボルト3箇所破断)</li> <li>背面扉開放 (M16ボルト2箇所破断)</li> <li>側板変形</li> <li>母線室と VCB 室の仕切り板 2枚外れ</li> <li>燃焼継続せず</li> </ul>
			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 <sup>5)</sup>	8.24	R	94.1	41.9	35.3	7.18	318	0.21	84.9	8.68	盤 I 下段ケーブル室	58.9	8.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>天板変形 (M10ボルト破断無)</li> <li>背面扉開放無</li> <li>正面下扉変形</li> <li>母線室と VCB 室の仕切り板 2枚変形</li> <li>燃焼継続せず</li> </ul>
			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 <sup>6)</sup>	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>天板変形 (M10ボルト2箇所破断)</li> <li>背面扉開放無</li> <li>正面下扉変形</li> <li>母線室と VCB 室の仕切り板 2枚変形</li> <li>燃焼継続せず</li> </ul>
			S	76.3	42.7	30.9	19.3	266							
			T	80.3	42.0	30.1	19.7	266							

備考

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

表 4.8.2 電力中央研究所 HEAF 試験結果 (P/C の一例)

非耐震/高岳製作所製 低圧電気盤の試験結果詳細データ一覧 (2/2)

試験番号	発弧箇所	試験電圧 <sup>1)</sup> (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 <sup>2)</sup> (deg)				測定箇所	最大値 (kPa)	到達時間 <sup>3)</sup> (ms)	
7-4	ファイダ盤 O 下段 ACB 室内一次側端子 <sup>4)</sup>	504	R	60.2	37.3	24.5	38.4	133	1.32	25.3	18.5	ファイダ盤 O 下段正面	1.68	4.71	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃焼継続せず</li> <li>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</li> </ul>
			S	60.8	38.0	30.9	41.9	87							
			T	51.1	29.0	28.9	32.6	87							
7-5	ファイダ盤 P 上段 ACB 室内一次側端子 <sup>5)</sup>	504	R	62.2	38.7	32.8	43.7	133	1.43	20.3	18.9	ファイダ盤 P 上段正面	1.27	4.04	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃焼継続せず</li> <li>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</li> </ul>
			S	65.6	38.2	37.3	46.5	89							
			T	47.3	31.3	25.6	35.5	89							

備考

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

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

表 4.8.3 電力中央研究所 HEAF 試験結果 (C/C の一例)

試験結果詳細データ一覧 (1/2)

温度: 34~40 °C、湿度: 50~58 %

試験番号	発弧箇所	試験電圧 <sup>1)</sup> (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			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 <sup>2)</sup> (deg)				測定箇所	最大値 (kPa)	到達時間 <sup>3)</sup> (ms)	
10-1	盤 Z 2 段目 MCCB 一次側	507	R	47.4	29.0	14.1	1.55	143	0.06	30.3	0.90	盤 Z 正面	26.0	3.10	<ul style="list-style-type: none"> <li>・0.06 s で消弧</li> <li>・正面と背面扉が開放</li> <li>・火災の発生なし</li> <li>・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</li> </ul>
			S	54.6	30.9	15.0	1.66	84							
			T	42.5	26.1	9.38	1.37	84							
10-2	盤 Y 7 段目 MCCB ユニット と母線の接続 箇所	515	R	53.2	23.9	21.4	11.19	128	0.52	28.0	7.56	盤 Y 正面	19.5	2.42	<ul style="list-style-type: none"> <li>・正面と背面扉が開放</li> <li>・火災の発生あり</li> <li>・通電開始から 7 分 10 秒で消火</li> <li>・1-7 段目 MCCB 一次側ケーブルが溶断</li> <li>・垂直母線の下部が溶損</li> </ul>
			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 <sup>4)</sup>	515	R	42.8	21.0	23.7	6.46	140	0.32	23.1	4.49	盤 Z 正面	16.7	2.82	<ul style="list-style-type: none"> <li>・正面と背面扉が開放</li> <li>・火災の発生なし</li> <li>・4 段目 MCCB 一次側ケーブルが溶断</li> <li>・垂直母線の下部が溶損</li> </ul>
			S	42.0	24.5	21.0	6.29	82							
			T	37.3	21.6	23.5	5.93	82							

備考

1) 発電機電圧より換算した値(参考値)

2) 発電機電圧(S-T 相)を基準とした位相角

3) 内部圧力上昇値が、第一相の通電開始から最大値に達するまでの時間(500 Hz のローパスフィルターを適用)

4) 試験番号 10-1 で使用した盤 Z を清掃し、相間および対地間の絶縁性能を回復させた。なお、5 段目の MCCB ユニットと母線を接続する部品については、確実に絶縁回復させるために取り外した。

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

(非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

試験結果詳細データ一覧

温度: 20~23°C、湿度: 78~84%

試験番号	発弧箇所	試験電圧 <sup>1)</sup> (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 <sup>2)</sup> (deg)				測定箇所	最大値 (kPa)	到達時間 <sup>3)</sup> (ms)	
9-1	フィーダ盤 V 上段 VCB 室内 二次側端子 <sup>4)</sup>	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・火災の発生なし</li> <li>・発弧箇所の VCB 室以外に損傷なし</li> </ul>
			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 <sup>5)</sup>	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・火災の発生なし</li> <li>・発弧箇所の VCB 室以外に損傷なし</li> </ul>
			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 <sup>6)</sup>	6.96	R	11.7	6.84	3.31	24.17	163	6.27	14.4	32.3	受電 盤 U 下段 正面	2.70	6.41	<ul style="list-style-type: none"> <li>・火災の発生あり</li> <li>・試験開始から 44 分で消火活動開始。</li> <li>・VCB 室と母線室間のハンチングバルが溶損</li> <li>・母線の溶損なし</li> </ul>
			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

## 5. アーク火災発生の評価

### 5.1 アーク火災発生の評価の概要

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

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

### 5.2 評価に用いる必要なデータ

(審査ガイド抜粋【3.2 評価に用いる必要なデータ】)

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

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

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

**電力中央研究所**  
電力技術研究所 大電力試験所

最終更新日 2018 年 5 月 28 日

トップ | 品質方針 | 試験業務 | 試験設備 | 組織 | アクセス |パンフレット | English |



### 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。

一般財団法人 電力中央研究所  
電力技術研究所長

### 5.3 アーク火災が発生しないアークエネルギーのしきい値に係る評価

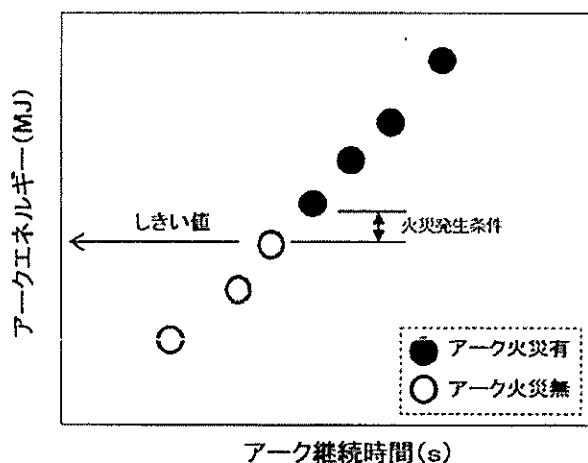
(審査ガイド抜粋【3.3 アーク火災が発生しないアークエネルギーのしきい値に係る評価】)

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

(解説—3) しきい値

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

付録 D アーク火災が発生しないアークエネルギーのしきい値に係る評価の例



(解説—4) 火災の発生に至らないと判断された場合について

HEAF 試験の結果、アーク火災の発生に至らない場合がある（例えば、小型の電気盤などにおいて内部の構成部品が吹き飛び、通電できなくなることでアークエネルギーが比較的小さい値になる等）。このような場合には、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、P/C、C/C、M/C (D/G) の電気盤において、それぞれ図 5.3.1～図 5.3.4 に示す試験結果が得られ、しきい値の設定については、それぞれの測定誤差を保守的に考慮した上で、さらに端数を切り捨てて、それぞれの電気盤においてしきい値（M/C 25MJ、P/C 18MJ、C/C 4.4MJ、M/C (D/G) 16MJ）を決定した。（表 5.3.1 参照）

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

なお、アーク火災発生判定については、以下の方法により実施した。

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

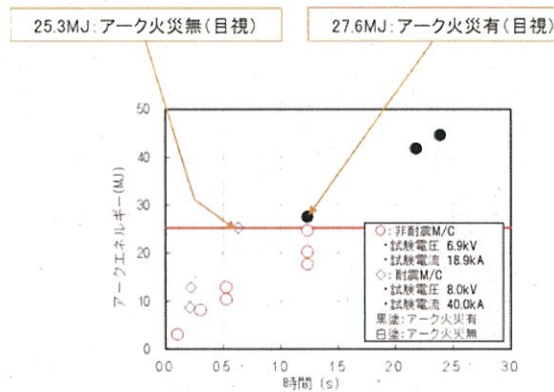


図 5.3.1 M/C 試験結果

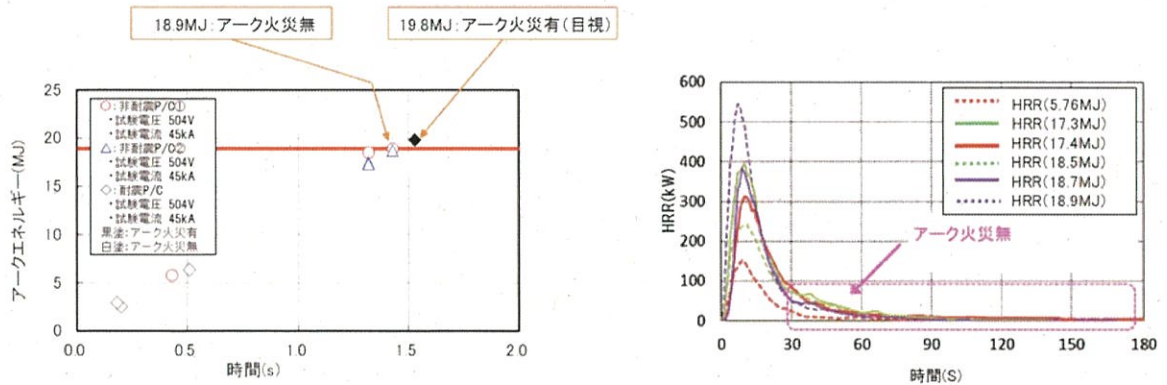


図 5.3.2 P/C 試験結果

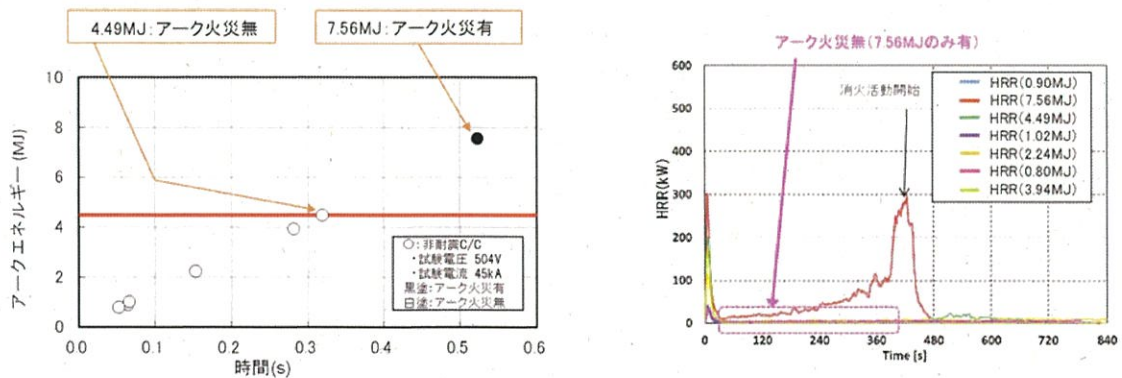


図 5.3.3 C/C 試験結果



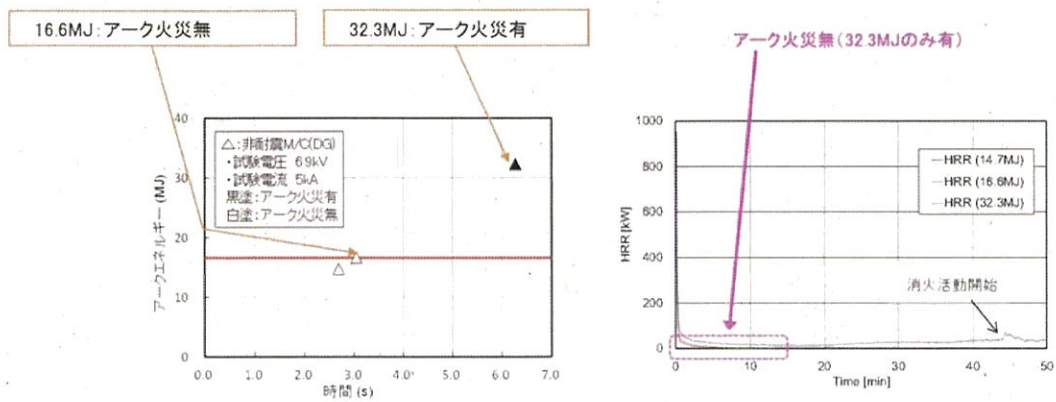


図 5.3.4 M/C (D/G) 試験結果  
(非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

表 5.3.1 測定誤差を考慮したしきい値の設定

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

#### 5.4 しきい値に係る解析による評価

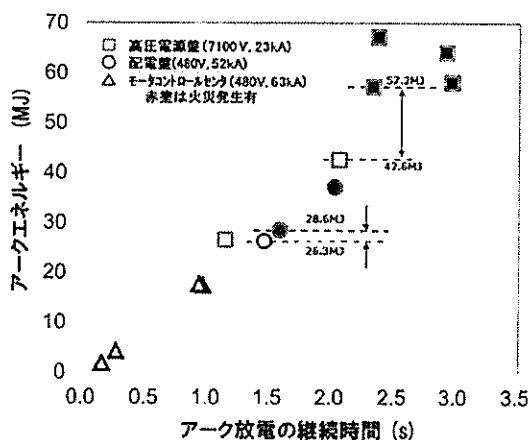
(審査ガイド抜粋【3.4 しきい値に係る解析による評価】)

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

(解説—5) 空間容積や密閉性の考慮の必要性

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

付録 E 原子力規制庁の HEAF 試験結果の一例



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

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

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

## 6. HEAF 対策に係る対策の判断基準

(審査ガイド抜粋【4. HEAF 対策に係る対策の判断基準】)

実用発電用原子炉施設の保安電源設備のうち、重要安全施設への電力供給に係る電気盤及び当該電気盤に影響を与えるおそれのある電気盤（例えば、2.5m 以内にあるもの（解説－6））の遮断器の遮断時間が、3. 3又は3. 4において評価したしきい値に対応するアーク放電の継続時間と比べ、小さい値となっていることを確認する。

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

(解説－4) 火災の発生に至らないと判断された場合について

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

(解説－6) 電気盤に影響を与えるおそれのある範囲について

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

(参考－2) 火災感知設備及び消火設備

火災防護審査基準は、

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

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

(1) 遮断器の遮断時間の設定

実用発電用原子炉施設の保安電源設備のうち、重要安全施設への電力供給に係る電気盤及び当該電気盤に影響を与えるおそれのある電気盤に発生するアークエネルギーが、「4.2 アーク火災が発生しないアークエネルギーのしきい値に係る評価」にて評価したアークエネルギーのしきい値以下となるよう、遮断器の遮断時間を設定する。

電気盤に発生するアークエネルギーは、電気盤に発生する三相短絡電流及び HEAF 試験の結果から得られたアーク電圧の積により算出したアークパワーを遮断器の遮断時間で積分した値としており、以下の式にて算出した。

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

- $E_{3\phi}$ : 三相のアークエネルギー
- $V_{arc}$ : HEAF試験の結果から得られたアーク電圧
- $I_{arc}$ : 三相短絡電流の平均値
- $I_{rms}$ : 三相短絡電流の実効値
- $t_{arc}$ : アーク発生時の遮断器の遮断時間

a. HEAF 試験の結果から得られたアーク電圧について

アークエネルギーの算出時に使用するアーク電圧は、HEAF 試験の結果から表 6.3 に示すとおり、非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤の場合 1.33kV とする。

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電路インピーダンス%Z(ケーブル、発電機、変圧器含む)を用いて、以下の式にて算出した。

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

c. アーク放電の遮断時間について

アークエネルギーの算出時に使用するアーク放電の遮断時間は、保護継電器及び補助リレーの動作時間、遮断器の開極時間等並びに保護継電器等の誤差を考慮した合計値について、設計としてとりうる最大値（以下、「設計確認値」という。）を設定し、設計確認値によ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)。なお、実機に設定する電流供給停止時間は、今後の具体的な設計段階において、保護継電器等の誤差を考慮したうえで設計確認値以下の範囲内で決定する。

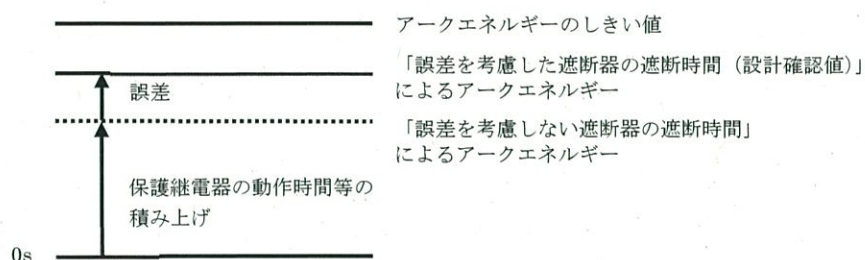


図 6.1 遮断器の遮断時間の考え方

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

非常用ディーゼル発電機の短絡電流(発電機停止による電流減衰過程含む)は、教科書に基づく一般的な以下の算出式[1]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、実際の非常用ディーゼル発電機に即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 のとおり。計算結果を表 6.3 及び図 6.4 に示す。

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

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

$$I_{ac2} = I_d' e^{-\frac{t}{T_d'}} + (I_d'' - I_d') e^{-\frac{t}{T_d''}}$$

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

[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瞬時値
$I_{dc}$	短絡電流の直流分の瞬時値
$I_d$	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
$T_d'$	短絡電流交流分の過渡時定数
$T_d''$	短絡電流交流分の初期過渡時定数
$T_{dc}$	短絡電流直流分の時定数
$\alpha$	短絡瞬時の電圧の位相角

なお、アーク放電の遮断時間に含まれる誤差の考え方を図 6.2.1 及び図 6.2.2 に示し、考慮した誤差について表 6.2 に示す。

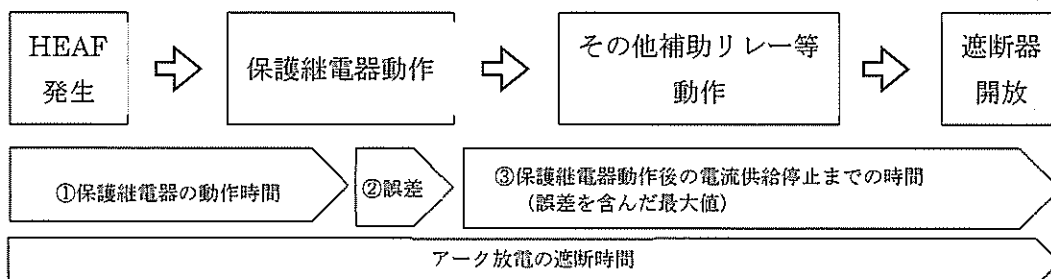


図 6.2.1 遮断器の遮断時間に含まれる誤差の考え方

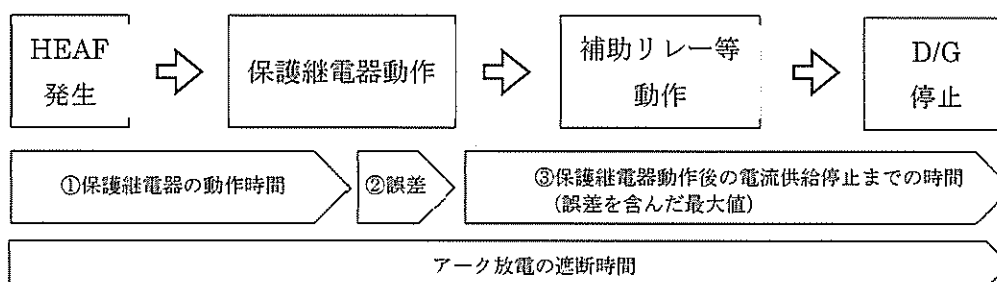


図 6.2.2 電流の供給停止時間に含まれる誤差の考え方  
(非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

表 6.2 遮断器の遮断時間に関する誤差

誤差 パターン	使用する保護継電器		誤差	
	機種	保護要素		
a	製品 A	51(過電流継電器)	+7%	
b		50(短絡継電器)	+0.025s	動作設定域 : 0.1 秒~0.4 秒
c			+5%	動作設定域 : 0.5 秒~1.0 秒
d	製品 B	50(短絡継電器)	—※	
e	製品 C	50(短絡継電器)	—※	

※保護継電器の動作時間の設定値に対するプラス誤差 0 秒。

各電気盤のアーク放電遮断時間及びアークエネルギーの一覧を表 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。非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤の場合、設計確認値のうち追設する 50 保護リレーの動作時間は、50 保護リレーの動作設定域の最大値に設定する。実機に設定する 50 保護リレーの動作時間は、今後の具体的な設計段階において、メタクラの負荷や下流の保護リレーと保護協調を取ったうえで設計確認値以下の範囲内に設定する。この 50 保護リレーの追設による保護リレー整定のイメージを図 6.3 に示す。

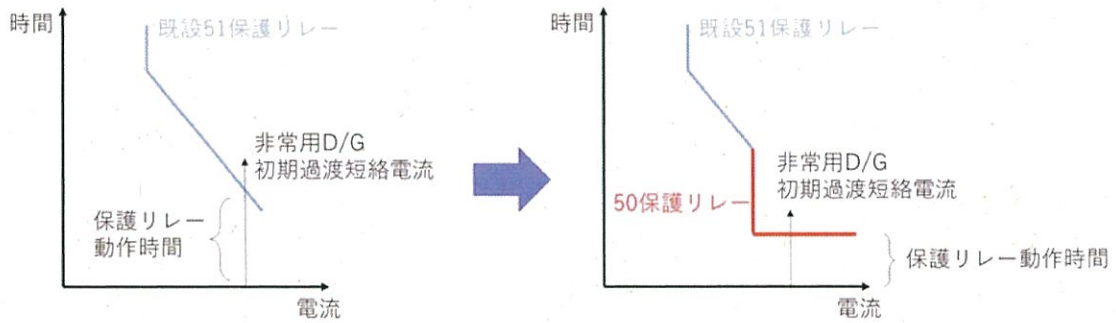


図 6.3 非常用ディーゼル発電機 50 保護リレー追設による保護リレー整定イメージ



表 6.3 各電気盤のアーケ放電遮断時間及びアーケエネルギーの一覧 (1/2)

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 <sup>#1</sup> (sec)	②誤差 (sec)	③遮断器 の開極時 間等 (sec)	「②誤差」を考慮しない場 合		「②誤差」を考慮した場合		三相短絡 電流 (kA)	アーケ 電圧 (kV)	アーケエ ネルギー のしきい 値 (MJ)	考慮して いる誤差 パターン				
						①+③ 遮断時間 <sup>#1</sup> (sec)	アーケエネ ルギー <sup>#1</sup> (MJ)	①+②+③ 遮断時間 <sup>#2</sup> (sec)	アーケエネ ルギー <sup>#2</sup> (MJ)								
メ タ ル ク ラ ン ド 開 閉 装 置	52H3C(所内変圧器受電3C)	18-43(主変遮断器)	0.190	—	0.094	0.584	24.8	0.584	24.8	35.1	1.34	25	d				
	52H3D(所内変圧器受電3D)	18-33 (発電機負荷開閉器)	0.520	—	0.066	0.586	24.9	0.586	24.9	35.1							
	52E3C(予備変圧器受電3C)	18-39 (予備遮断器)	0.200	0.025	0.100	0.300	12.7	0.325	13.8	35.1							
	52E3D(予備変圧器受電3D)	52H3C(所内変圧器受電3C)	0.200	0.025	0.100	0.300	12.7	0.325	13.8	35.1							
	6-3C母線に接続される遮断器	52H3D(所内変圧器受電3D)	0.200	0.025	0.100	0.300	12.7	0.325	13.8	35.1							
	6-3D母線に接続される遮断器	52E3D(予備変圧器受電3D)	0.200	0.025	0.100	0.300	12.7	0.325	13.8	35.1							
	5243C1S(動変受電3C1)	5243C1P (動力変圧器3C1受電遮断器)	1.123	0.079	0.084	1.207	16.6	1.286	17.7	32.7							
	5243C2S(動変受電3C2)	5243C2P (動力変圧器3C2受電遮断器)	1.123	0.079	0.084	1.207	16.6	1.286	17.7	32.7							
	5243D1S(動変受電3D1)	5243D1P (動力変圧器3D1受電遮断器)	1.123	0.079	0.084	1.207	16.6	1.286	17.7	32.7							
	5243D2S(動変受電3D2)	5243D2P (動力変圧器3D2受電遮断器)	1.123	0.079	0.084	1.207	16.6	1.286	17.7	32.7							
パ ワ ー セ ン タ	4-3C1母線に接続される遮断器 (5243C1Sを除く)	5243C1S(動変受電3C1)	0.800	0.040	0.083	0.883	12.2	0.923	12.7	32.7	0.467	18	a				
	4-3C2母線に接続される遮断器 (5243C2Sを除く)	5243C2S(動変受電3C2)	0.800	0.040	0.083	0.883	12.2	0.923	12.7	32.7							
	4-3D1母線に接続される遮断器 (5243D1Sを除く)	5243D1S(動変受電3D1)	0.800	0.040	0.083	0.883	12.2	0.923	12.7	32.7							
	4-3D2母線に接続される遮断器 (5243D2Sを除く)	5243D2S(動変受電3D2)	0.800	0.040	0.083	0.883	12.2	0.923	12.7	32.7							
	原子炉 C/C 3C1 に接続される 遮断器	原子炉 C/C 3C1 受電遮断器	0.180	—	0.017	0.197	3.79	0.197	3.79	31.6							
	原子炉 C/C 3C2 に接続される 遮断器	原子炉 C/C 3C2 受電遮断器	0.180	—	0.017	0.197	3.79	0.197	3.79	31.6							
	原子炉 C/C 3D1 に接続される 遮断器	原子炉 C/C 3D1 受電遮断器	0.180	—	0.017	0.197	3.79	0.197	3.79	31.6							
	原子炉 C/C 3D2 に接続される 遮断器	原子炉 C/C 3D2 受電遮断器	0.180	—	0.017	0.197	3.79	0.197	3.79	31.6							
	コ ン ト ロ ー ル セ ン タ	原子炉 C/C 3C1 に接続される 遮断器	原子炉 C/C 3C1 受電遮断器	0.180	—	0.017	0.197	3.79	0.197	3.79				31.6	0.675	4.4	e
		原子炉 C/C 3C2 に接続される 遮断器	原子炉 C/C 3C2 受電遮断器	0.180	—	0.017	0.197	3.79	0.197	3.79				31.6			
原子炉 C/C 3D1 に接続される 遮断器		原子炉 C/C 3D1 受電遮断器	0.180	—	0.017	0.197	3.79	0.197	3.79	31.6							
原子炉 C/C 3D2 に接続される 遮断器		原子炉 C/C 3D2 受電遮断器	0.180	—	0.017	0.197	3.79	0.197	3.79	31.6							

※1 今後の具体的な設計段階で、本数値以下となるよう設計する。

※2 設計申請書には、設計確認値として本数値を記載している。

表 6.3 各電気盤のアーク放電遮断時間及びアークエネルギーの一覧 (2/2)  
(非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤)

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ための措置	①保護継電器の動作時間 <sup>※1</sup> (sec)	「②誤差」を考慮しない場合		「②誤差」を考慮した場合			アークエネルギーのしきい値 (MJ)	アーク電圧 (kV)	三相短絡電流 (kA)	考慮している誤差パターン
				②誤差 (sec)	③継電器動作後の電流供給停止までの時間 (sec)	①+③ 遮断時間 <sup>※1</sup> (sec)	アークエネルギー <sup>※1</sup> (MJ)	③継電器動作後の電流供給停止までの時間 (sec)				
メタルクラフト開閉装置	52G3A (非常用ディーゼル発電機受電遮断器)	非常用ディーゼル発電機 3A 停止	1.000	0.050	5.763	6.763	10.92	5.734	6.784	11.11	4.7	c
	6-3C 母線に接続される遮断器 (52H3C, 52E3C, 52G3A を除く)	52G3A 開放	1.000	0.050	0.184	1.184	6.04	0.184	1.234	6.24	4.7	c
	52G3B (非常用ディーゼル発電機受電遮断器)	非常用ディーゼル発電機 3B 停止	1.000	0.050	5.863	6.863	10.99	5.861	6.911	11.17	4.7	c
	6-3D 母線に接続される遮断器 (52H3D, 52E3D, 52G3B を除く)	52G3B 開放	1.000	0.050	0.184	1.184	6.03	0.184	1.234	6.23	4.7	c

※1 今後の具体的な設計段階で、本数値以下となるよう設計する。

※2 設工認申請書には、設計確認値として本数値を記載している。

【非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤について、プラント毎に遮断時間が異なる理由】

- ・「①保護継電器の動作時間」は、短絡保護に加え既設設備との保護協調を考慮し設定するため、プラント毎に異なる場合がある。
- ・「②誤差」は、50 保護リレーの仕様により「①保護継電器の動作時間」によって決まるため、プラント毎に異なる場合がある。
- ・「③継電器動作後の電流供給停止までの時間」は、非常用ディーゼル発電機の種類、遮断器の仕様等により決まるため、プラント毎に異なる場合がある。

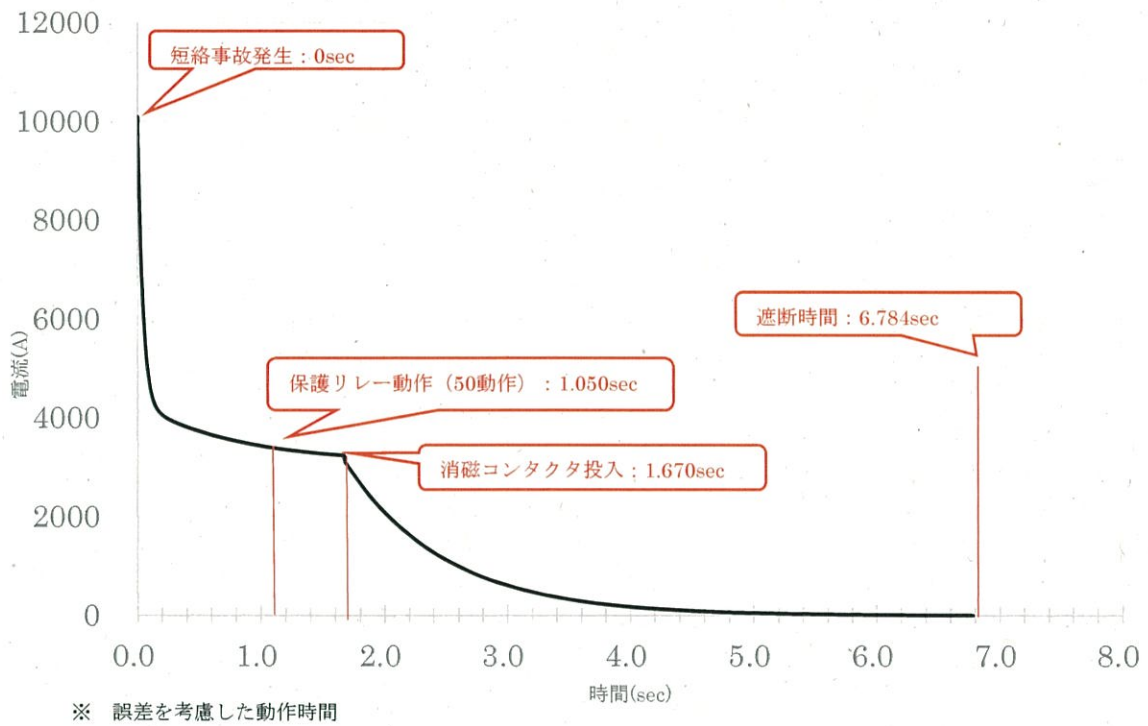


図 6.4 アーク電流の減衰 (伊方 3 号機)

d. 非常用ディーゼル発電機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

非常用ディーゼル発電機受電遮断器でアーク放電が発生した場合、HEAF 発生に起因した短絡電流を早期に検出し非常用ディーゼル発電機を停止するため、既存のディーゼル発電機制御盤内に過電流継電器（以下「50 保護リレー」という。）を追加する。今回の 50 保護リレー追加における追加ロジック、回路構成のインターロック図の概略を図 6.5 に示す。

追加する 50 保護リレーについては、SI 信号発信時においても HEAF による電気盤の損壊の拡大防止を優先する必要があるため、現状の 51 保護リレー（発電機過電流要素）とは別に保護リレーをディーゼル発電機盤内に追加し、重故障扱いとする。

また、アークエネルギー抑制の観点から、非常用ディーゼル発電機機関の停止後速やかに HEAF 発生点である非常用ディーゼル発電機受電遮断器への電流供給を停止する必要があることから、50 保護リレー動作で非常用ディーゼル発電機の消磁コンタクトを投入する。

なお、50 保護リレーは既存のディーゼル発電機制御盤内に追加し、耐震、溢水影響等については既評価から変更が無いよう設計する。

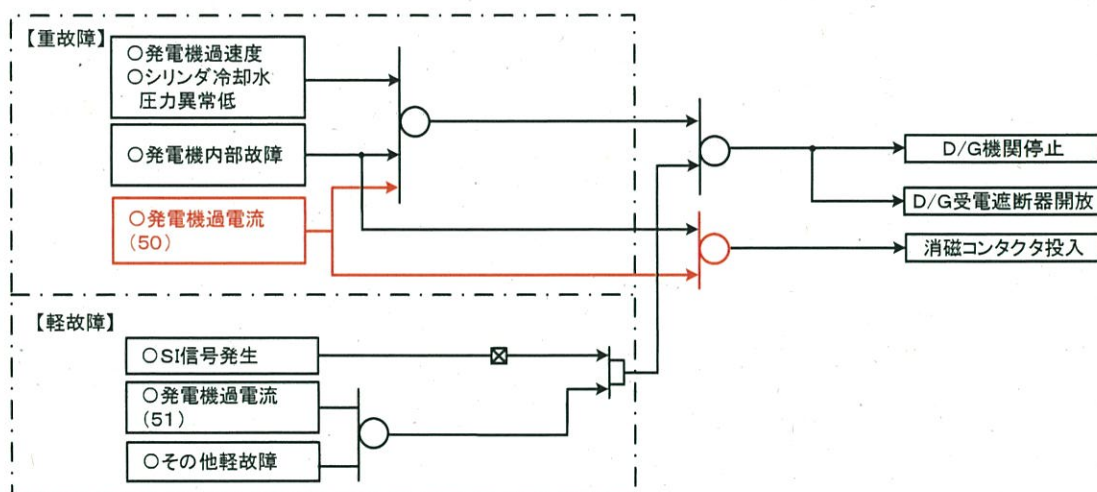


図 6.5 インターロック図（概要）

(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 6.6 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 6.4、図 6.7 参照）

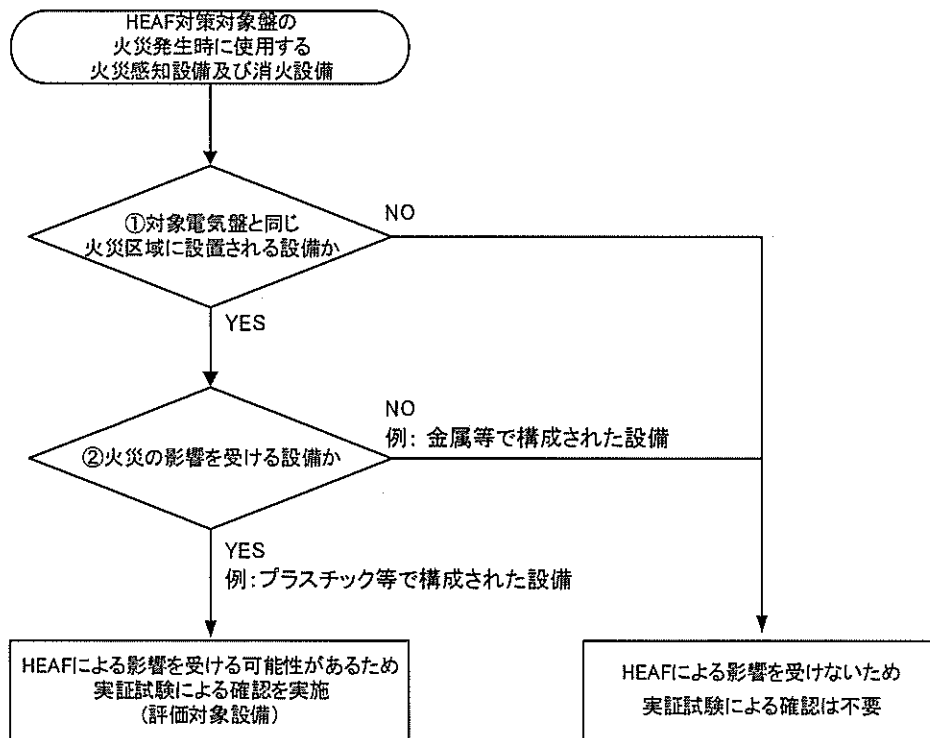


図 6.6 評価対象設備の選定フロー

表 6.4 評価対象設備の選定結果

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

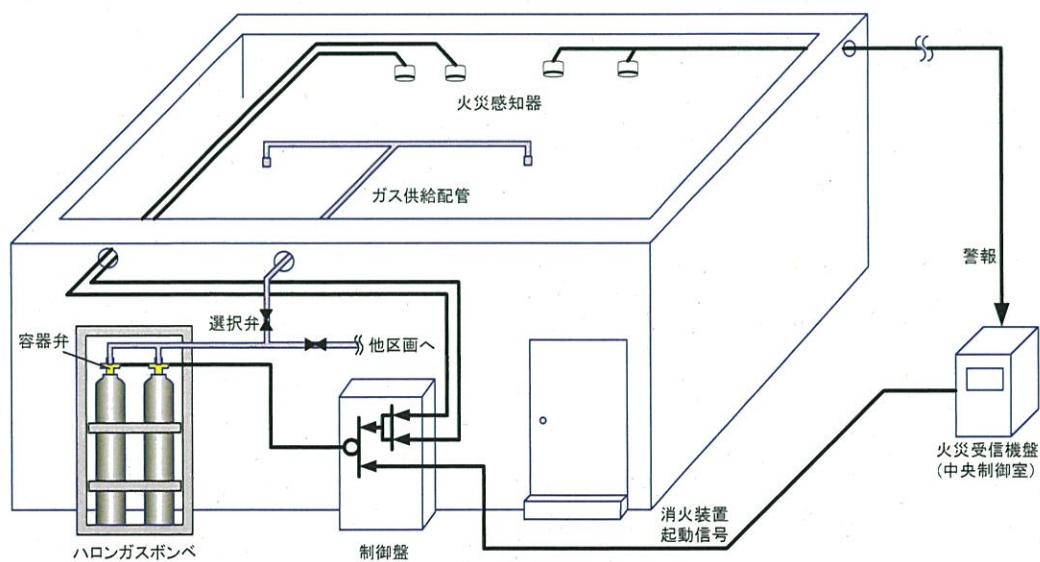


図 6.7 火災感知設備及び消火設備のシステム構成概要図

(b) 評価方法

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

(c) 評価結果

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

b. 火災感知設備等の配置の確認

重要安全施設(「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」第 2 条第 2 項第 9 号に規定する重要安全施設をいう。以下同じ。)へ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。)のうち非常用ディーゼル発電機に接続される電気盤(以下「HEAF 対策対象盤」という。)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 対策対象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 6.8 の ZOI の範囲内に設置されていないことを確認する。

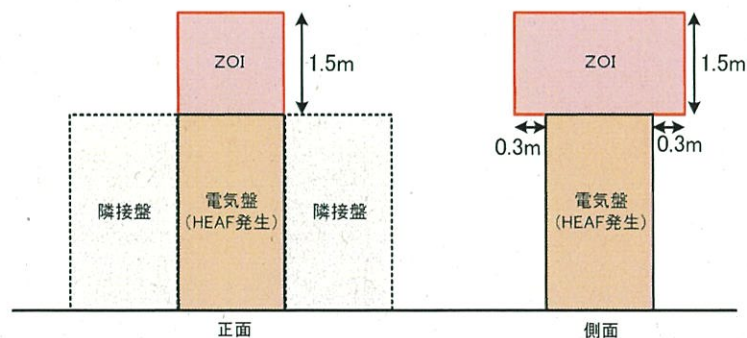


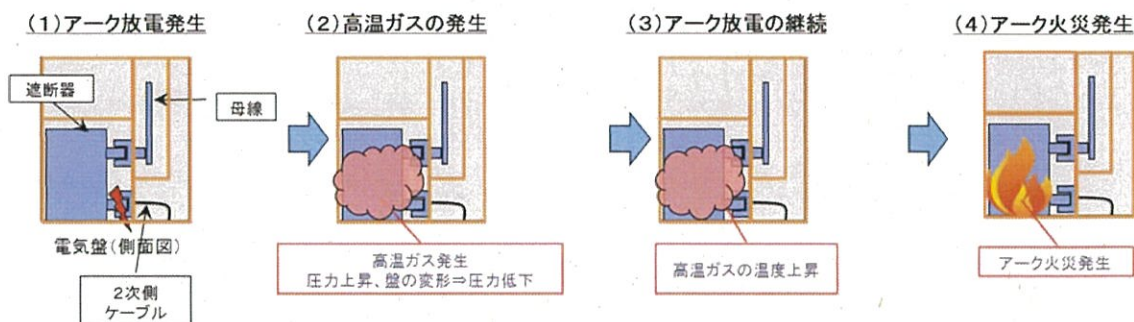
図 6.8 火災感知器に対する HEAF の ZOI

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。

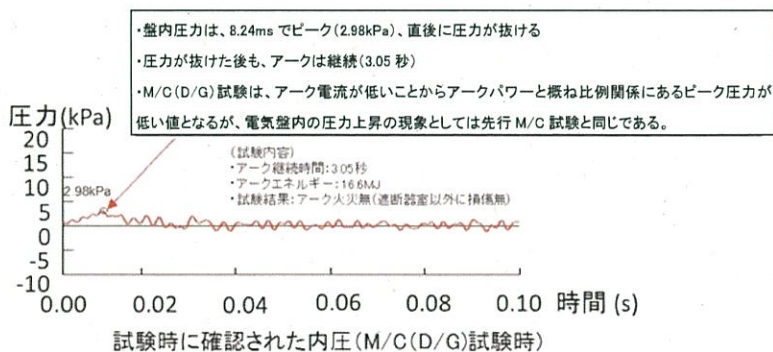
同等性に影響を与える恐れのあるパラメータの整理に関する補足

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。

(2) 電気盤は、金属ヒュームを含んだ高温ガス等の要因により、以下のグラフのとおり、0.01秒～0.02秒後（M/C(D/G)試験は約0.01秒後）に圧力上昇はピークとなり、その後電気盤の開口部や盤内仕切板の変形（M/C(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、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。



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





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

第3回新規要件に関する事業者意見の聴取に係る会合（2018年10月15日開催）「資料3-2 高エネルギーアーク損傷（HEAF）に伴う火災対策に係る事業者の取り組み状況について」5頁（別添1参照）に試験体選定時の考え方を記載しており、HEAF発生時の圧力上昇は、盤の変形や開口部から圧力が抜けるため HEAF 発生直後の盤内温度上昇に盤内容積の大小は直接寄与しない旨説明している。

事業者意見の聴取に係る会合では、試験時に確認された電気盤の内圧は先行 M/C 試験を代表として記載しているが、HEAF 発生直後の最大圧力値は約 62.5kPa（火災が発生しない最大アークエネルギー）であった。それに比べて、M/C (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（別添2参照）。

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

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

M/C (D/G) 試験と先行 M/C 試験で用いた試験体、試験条件等についてまとめた結果は表1のとおりである（詳細は別添3参照）。

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

表1 M/C (D/G) 試験 - 先行 M/C 試験の比較について

	M/C (D/G) 試験	先行 M/C 試験	比較・評価
試験体	規格： JEM-1425、JEC-2300 に基づき製造 開口面積：約 0.48m <sup>2</sup>	規格： JEM-1425、JEC-2300 に 基づき製造 開口面積：約 0.07m <sup>2</sup>	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)試験は非常用 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1に HEAF 試験で得られた全ての M/C の最大アークパワー（アーク電圧とアーク電流の積）と圧力上昇最大値の関係を示すと概ね比例関係にあることがわかる。M/C (D/G) 試験における、最大アークパワーは 14.4~17.2MW であり、先行 M/C 試験時における値（非耐震：33.6~68.3MW, 耐震：84.9~156.9MW）と比べて小さい理由は、前述のとおり試験条件における電流値が小さいからである（M/C (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) 試験および先行 M/C 試験の試験電流値の差によるものでありピーク圧力に違いはあるものの同様の波形形状を示しており試験状況からも開口部から高温ガスが電気盤外に抜けていることは明らかであることから圧力上昇の現象としては同様であると考えられる。（開放系アーク放電と試験データの比較については別紙1参照）

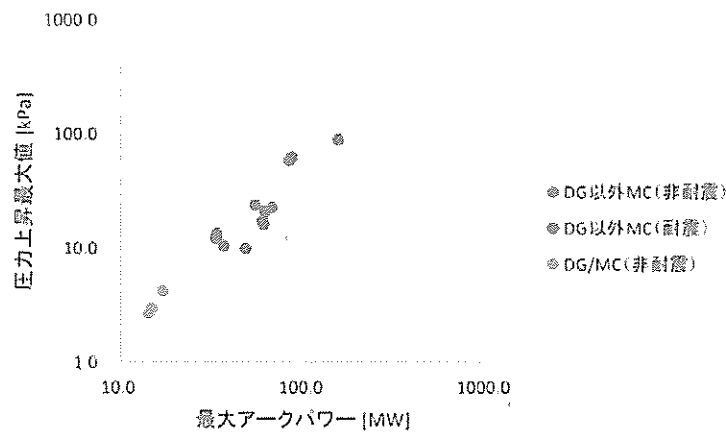


図1 最大アークパワーと圧力上昇最大値の関係

## (3) まとめ

今回の HEAF 試験では、図1のとおりアークパワーと圧力上昇値は比例関係にあることから、HEAF 発生直後の圧力上昇という現象は、外部電源受電時と非常用ディーゼル発電機給電時に違いはなく同様のメカニズムであると考えられる。

よって、アーク火災発生のメカニズムである以下の①、②について、非常用ディーゼル発電機給電時においても①については本考察のとおり外部電源受電時と同等のメカニズムであると考えられる。

- ①HEAF 発生直後の短時間で大部分の高温ガスは電気盤外に放出される
- ②一部の高温ガスは、アーク放電の発生箇所である遮断器近傍に滞留することから、高温ガスから可燃物にエネルギーが伝播し、あるしきい値以上のエネルギーが印加されるとアーク火災となる。

また、②については第3回新規制要件に関する事業者意見の聴取に係る会合（2018年10月15日開催）「資料3-2 高エネルギーアーク損傷（HEAF）に伴う火災対策に係る事業者の取り組み状況について」補10頁（添付1参照）に記載のとおり M/C についてはアークエネルギーが約 25MJ 以上となれば火災となり、アーク継続時間とアークエネルギーは基準電流 25kA で換算すると外部電源受電時、非常用ディーゼル発電機給電時に違いはなく概ね比例関係にあることから同等のメカニズムと考えることができる。

以 上

開放系アーク放電と試験データの比較について

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

また、試験状況ビデオからも高温ガスが開口部等から抜けることは明らかである。このことから M/C (D/G) 試験と先行 M/C 試験で使用した電気盤は盤内仕切り板変形や開口部を有する構造であることから、境界条件が開放系に近い同等の電気盤として扱うことができると推察する。

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

物理量	M/C (D/G) 試験時	先行 M/V 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×離隔距離 (縦軸)	$2.98\text{kPa} * 0.5\text{m}$ $\approx 1.5 * 10^3 \text{Pa} \cdot \text{m}$	$62.5\text{kPa} * 0.5\text{m}$ $\approx 3.1 * 10^4 \text{Pa} \cdot \text{m}$

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

V : アーク電圧、I : 試験電流

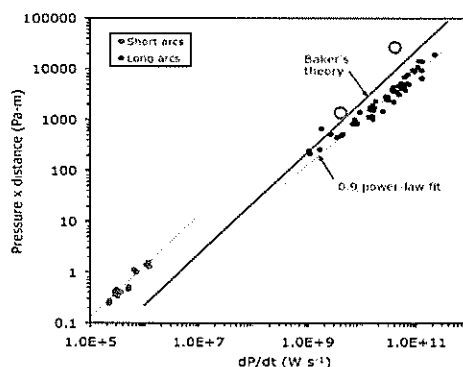


Figure 5 The results of Drouot and Nadeau for short (8 mm) and long (twenty meters) arcs

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

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

I-3. 試験条件(1/2)
5

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。
- 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)

盤内仕切板の状態(母線室-遮断器室間)

試験後の盤正面の状態

補足1. 試験条件設定の考え方詳細
補 10

(3) 短絡電流の目標値(5/5)

○保護継電器の整定

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

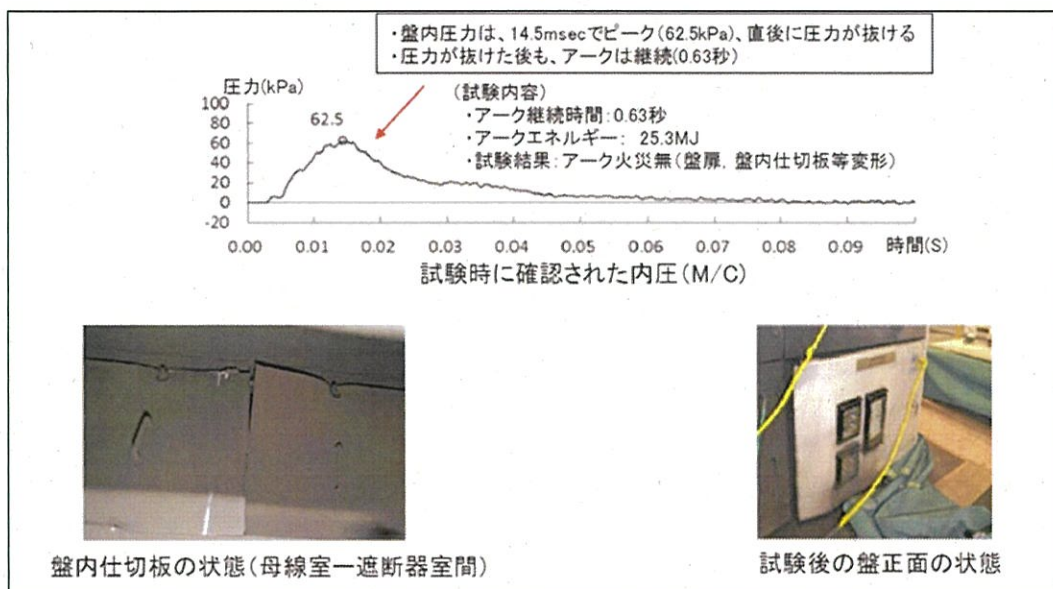
試験電圧 6.9kV  
凡例  
黒塗 HEAF火災有  
白塗 HEAF火災無

補正した通電時間 $t_{arc}$ で整理  
 $t_{arc} = t_{arc}(実測値) \times \text{電流平均値}(実測値) \div \text{基準電流}20kA$

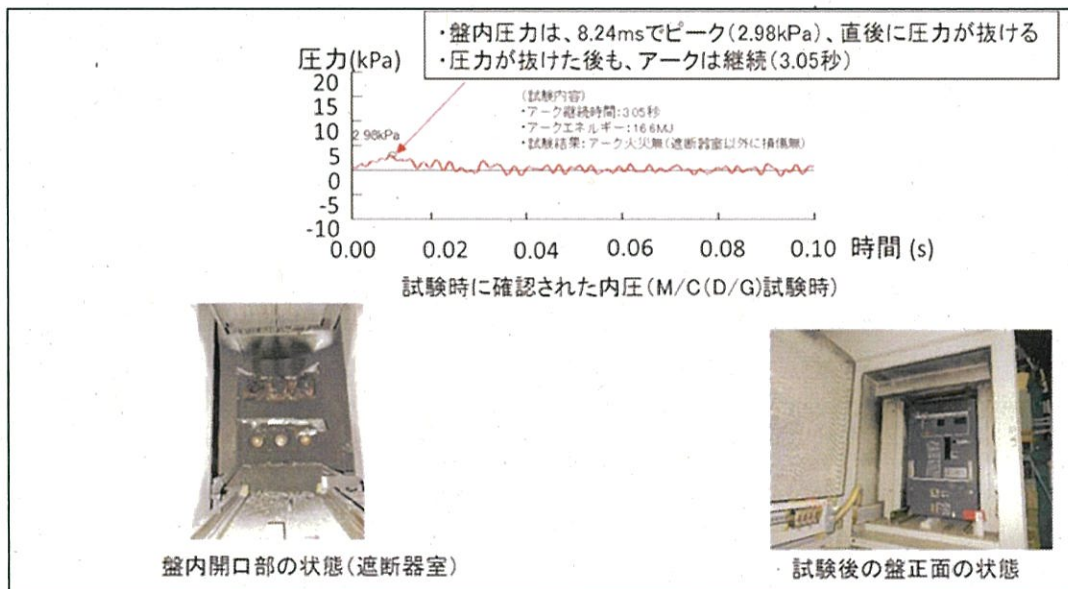
○非耐震MC (DG以外)  
○耐震MC (DG以外)  
△非耐震MC (DG)

アーク継続時間—アークエネルギーの関係(基準電流20kA補正)

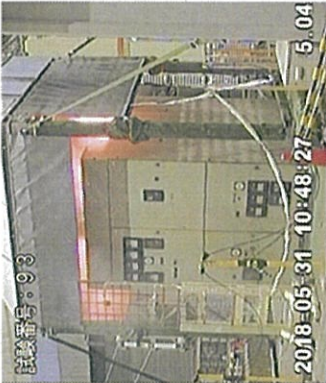

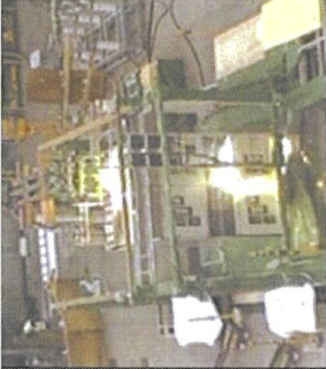
(1) 先行 M/C 試験の電気盤内圧



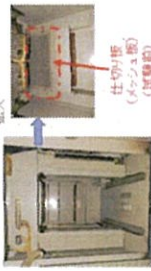

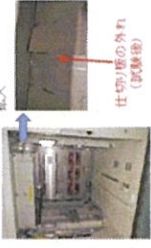



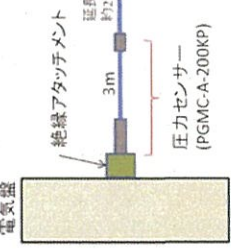
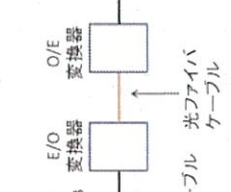

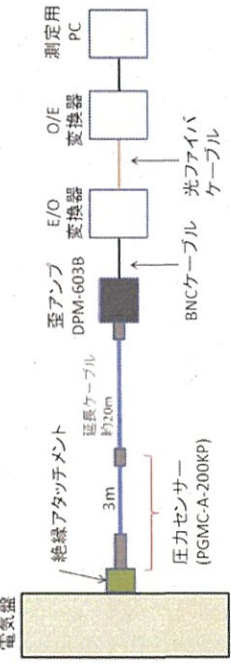
(2) M/C (D/G) 試験の電気盤内圧



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

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

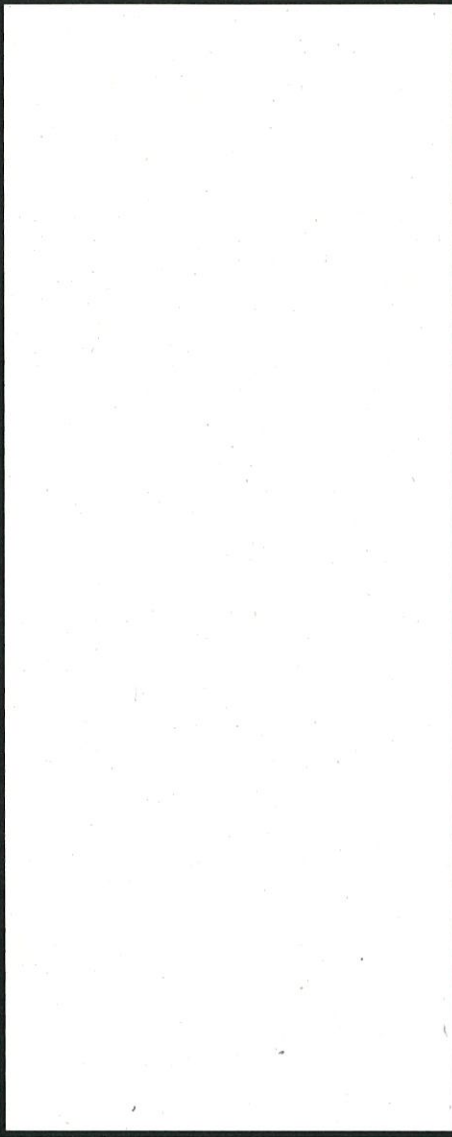
別表1 M/C (DG) 試験と先行 M/C 試験の相違点について (2/3)

試験盤	先行M/C試験		
	M/C(DG)試験 試験盤③	試験盤①	試験盤②
遮断器室内※1	 <p>拡大 仕切り板 (主母線間) (試験前)</p>		 <p>拡大 仕切り板の外れ (試験後)</p>
開口部等による高温ガスの主な放出経路※1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・通気口</li> <li>・遮断器室-母線室間の仕切り板の隙間 (盤の変形はほとんど見られず)</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・扉と盤筐体との隙間</li> <li>・上下段遮断器室間の仕切り板の隙間</li> <li>・外れた天板、変形した扉・側板</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・天板(ケーブル引込口部)</li> <li>・上下段遮断器室間の仕切り板の隙間</li> <li>・外れた天板、外れた仕切り板、変形した扉・側板</li> </ul> 
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、側面</p> 	<p>発弧箇所を有する電気盤の正面扉、側面、背面</p> 	
圧力測定器	 <p>絶縁アタッチメント 延長ケーブル φ20mm 3m 圧力センサー (PGMC-A-200KP) 至アンプ DPM-603B E/O 変換器 O/E 変換器 測定用 PC BNCケーブル 光ファイバケーブル</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>	<p>※総線アタッチメントについては、電気盤内の扉板、正面扉に取り付けてあり、扉内部の圧力が測定できるよう扉表面からわずかに取り付けている。</p>

※1, 2: 開口部箇所(高温ガス放出経路含む)、圧力測定箇所については次項参照。  
 ※3: センサーメーカーカタログ値では、±1.5%RO以内となっているもの、M/C(DG)試験データにおいて、公開文献「公益財団法人日本適合性認定協会「JAB NOTE 4 不確かさの求め方(電気試験/大電力試験分野)JAB RL504:2013」に基づき不確かさを算出したところ、3%程度であり、2.89~3.07の間に真値が存在する。



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

試験盤	M/C (DG) 試験		先行M/C試験	
	試験盤③	試験盤①	試験盤②	試験盤②
開口箇所 (イメージ図)				
電気盤内の主な圧力測定箇所 (イメージ図)				

火災感知設備及び消火設備の配置について

伊方3号機の HEAF 対策対象盤が設置される安全補機開閉器室の火災感知設備及び消火設備の配置（断面図）の概要を図1に示す。安全補機開閉器室は、床面から天井までの高さが6.0mであり、M/Cの高さは2.1m、P/Cの高さは2.3m、C/Cの高さは2.6mであることに対して、火災感知器は天井に設置されることから、最短でも3.4mの離隔距離がある。このため、NUREGに記載されたZOIである鉛直方向1.5mの範囲内に火災感知器はない。

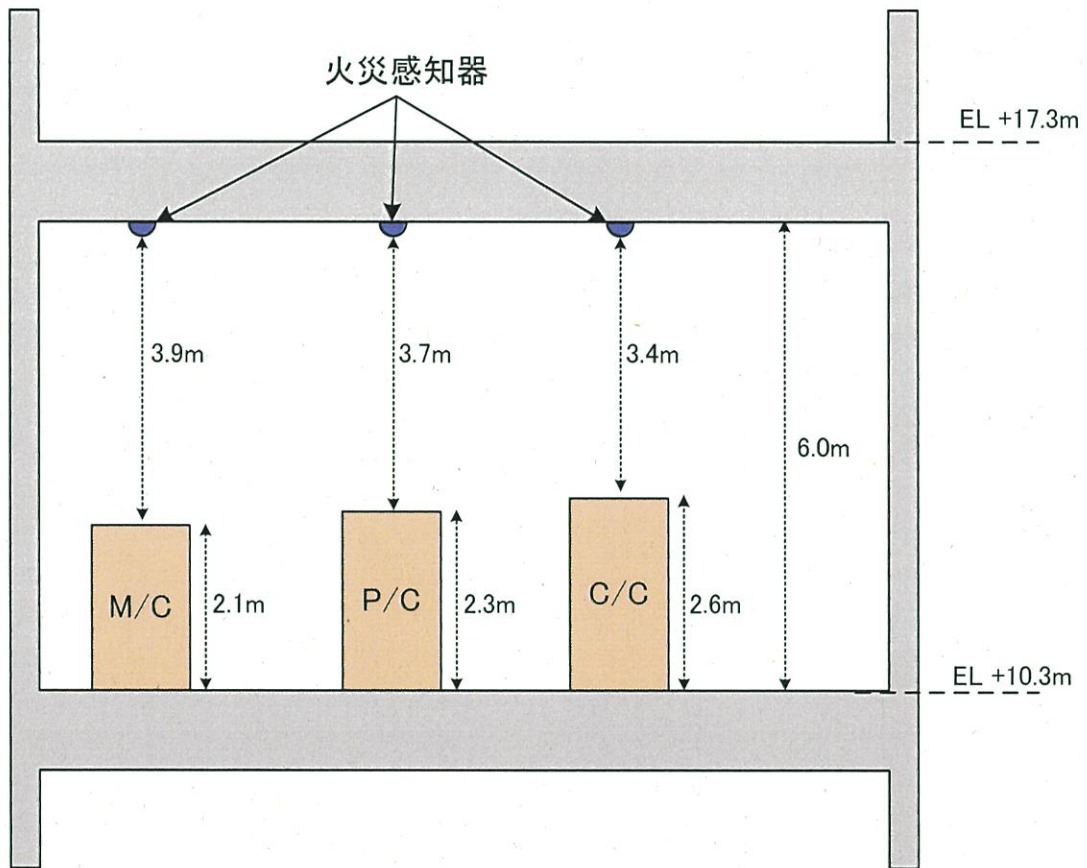


図1 伊方3号機 火災感知設備及び消火設備の配置（断面図）の概要図

## 50 保護リレー追加を踏まえた非常用ディーゼル発電機の設計上の考慮について

## 1. 概要

非常用ディーゼル発電機は、技術基準規則の第 14 条及び 15 条で要求される「多重性、多様性及び位置的分散」、「悪影響防止」、「環境条件等」に関する基準に適合した設計となっている。

今回の 50 保護リレー追設については、上記の非常用ディーゼル発電機の基準適合性に影響を及ぼさない設計とする。

## 2. 非常用ディーゼル発電機に対する設計上の考慮について

## (1) 非常用ディーゼル発電機に対する設計

非常用ディーゼル発電機は、技術基準規則の第 14 条及び 15 条で要求される「多重性、多様性及び位置的分散」、「悪影響防止」及び「環境条件等」を踏まえ、以下のとおりの設計としている。

- ・ 十分高い信頼性を確保し、かつ維持しうる設計とする。また、当該系統を構成する機器に短期間では動的機器の単一故障、長期間では動的機器の単一故障又は想定される静的機器の単一故障のいずれかが発生した場合で、外部電源が利用できない場合においても、その系統の安全機能を達成できるよう、多重性及び独立性を持つ設計とする。
- ・ 他の設備から悪影響を受け、安全性を損なわないよう、配置上の考慮及び多重性を考慮する設計とする。
- ・ 付属する設備は、蒸気タービン、発電機及び内部発生エネルギーの高い流体を内蔵する弁及び配管の破断、高速回転機器の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とする。
- ・ 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、非常用ディーゼル発電機の安全機能が損なわれないよう措置を講じた設計とする。

## (2) 50 保護リレー追設についての設計上の考慮について

今回の 50 保護リレー追設は、既工認で認可された (1) の設計に係る非常用ディーゼル発電機 (MS-1) の基準適合性に影響を与えない設計とする。

具体的には、50 保護リレーが非常用ディーゼル発電機に波及的影響を及ぼさないように、50 保護リレーについて以下のとおり設計する。

- ・ 非常用ディーゼル発電機の高多重性及び独立性に影響を及ぼさないように、50 保護リレーは既設の保護リレーと同様に、ディーゼル発電機制御盤内に設置する。
- ・ 「地震」に対しては、50 保護リレーをディーゼル発電機制御盤内に設置し、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、今回設置する 50 保護リレーは、耐震 S クラスである既

設の安全系メタクラ盤及びディーゼル発電機制御盤の既設の保護リレーと同じ方法で盤内に取り付け固定することで、50 保護リレーが地震時に落下・脱落しない設計とする。また、ディーゼル発電機制御盤の評価用加速度は、既設安全系メタクラ盤に設置された 50 保護リレーと同型式の既設保護リレーの機能確認済加速度以下となるため、安全系メタクラ盤の既設保護リレーと同様に地震によって 50 保護リレーが機能喪失することはない。

- ・「津波、外部衝撃、火災、蒸気タービン・発電機等の損壊に伴う飛散物」に対しては、50 保護リレーを既工認において基準適合性が確認されているディーゼル発電機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、50 保護リレーをディーゼル発電機盤内の溢水による機能喪失高さより上に配置することで、悪影響を及ぼさない設計とする。
- ・「電気系統」の観点で 50 保護リレー追設が非常用ディーゼル発電機に悪影響を及ぼさないように、50 保護リレーは非常用電源系から受電し、保護リレー単独でも保守管理が可能な設計とする。

### (3) 50 保護リレー故障による悪影響に対する設計上の考慮

50 保護リレーは、非常用ディーゼル発電機の保護を目的としており、常に非常用ディーゼル発電機と接続している必要があるため、50 保護リレーの故障によって非常用ディーゼル発電機の安全機能の遂行が阻害されることがないように、以下の運転管理、保守管理による対応を行うものとする。

#### ① 運転管理による対応

当該保護リレーは、運転員が監視、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。

また、運転員が警報発信等により、当該保護リレーの点検、復旧が必要な状態を発見した場合は、速やかに設備主管箇所へ連絡する。

#### ② 保守管理による対応

設備主管箇所は、当該保護リレー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、運転員から当該保護リレーの点検、復旧依頼があった場合は、速やかに復旧作業を開始する。当該保護リレーの復旧は、CT 回路を短絡させ、リレーケースを引き抜くことで保護リレー単独で取替えることができる。復旧後は、非常用ディーゼル発電機停止信号をリセットし、非常用ディーゼル発電機を再起動することができる。

上記の運転管理及び保守管理に係る業務は、保安規定第 3 条の品質保証計画に基づく社内標準にしたがって実施することで、今回追設する 50 保護リレー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。

### 3. まとめ

50 保護リレーはディーゼル発電機制御盤内に設置することで非常用ディーゼル発電機の悪影響防止、環境条件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、運転管理面及び保守管理面の対応により、50 保護リレーの故障（悪影響）によって非常用ディーゼル発電機の安全機能の遂行が阻害されることがない設計としている。

50 保護リレーに対する安全重要度分類の考え方について

1. 概要

今回追加する 50 保護リレーに対する安全重要度分類上の安全機能を有する設備であるかを整理した。

2. 安全機能の有無について

「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針（平成 2 年 8 月 30 日原子力安全委員会決定）」（以下、「重要度分類指針」という。）によると、表 1 に示すとおり、非常用所内電源系の重要度は MS-1 と整理されている。

表 1 重要度分類指針 付表（抜粋）

分類	定義	機能	異常影響緩和系			備考
			構築物、系統又は機器 (PWR)	特記すべき関連系 (PWR)	構築物、系統又は機器 (BWR)	
MS-1		5) 炉心冷却機能	非常用炉心冷却系 (低圧注入系、高圧注入系、蓄圧注入系)		非常用炉心冷却系 (低圧炉心スプレイ系、低圧注入水系、高圧炉心スプレイ系、自動減圧系)	
		6) 放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器、アニュラス、原子炉格納容器隔離弁、原子炉格納容器スプレイ系、アニュラス空気再循環設備、安全補機室空気浄化系、可燃性ガス濃度制御系	原子炉格納容器排気筒	原子炉格納容器、原子炉格納容器隔離弁、原子炉格納容器スプレイ冷却系、原子炉建屋、非常用ガス処理系、非常用再循環ガス処理系、可燃性ガス濃度制御系	排気筒 (非常用ガス処理系排気管の支持機能)
	2) 安全上必須なその他の構築物、系統及び機器	1) 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	安全保護系		安全保護系	
	2) 安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系、制御室及びその遮へい・換気空調系・原子炉補機冷却水系、原子炉補機冷却海水系、直流電源系、制御用圧縮空気設備 (いずれも、MS-1 関連のもの)	ディーゼル発電機燃料輸送系、ディーゼル冷却系、取水設備 (屋外トレンチを含む。)	非常用所内電源系、制御室及びその遮へい・非常用換気空調系、非常用補機冷却水系、直流電源系 (いずれも、MS-1 関連のもの)	ディーゼル発電機燃料輸送系、ディーゼル冷却系、取水設備 (屋外トレンチを含む。)	

今回追加する 50 保護リレーは、非常用ディーゼル発電機の過電流等を検出する既設の保護リレーと同様に、非常用所内電源系に附属する設備である。

ここで、「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」（以下、「設置許可基準規則」という。）第二条第1項第五号によると、「安全機能」とは、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能であって、次に掲げるものとある。

- (1) その機能の喪失により発電用原子炉施設に運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生し、これにより公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがある機能
- (2) 発電用原子炉施設の運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の拡大を防止し、又は速やかにその事故を収束させることにより、公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止し、及び放射性物質が発電用原子炉を設置する工場又は事業所外へ放出されることを抑制し、又は防止する機能

また、設置許可基準規則第十二条（安全施設）の解釈によると、「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」によるとある。

重要度分類指針の解説では、以下のとおり整理されている。

（重要度分類指針抜粋）

しかしながら、所要の安全機能は、当該系のみで単独に果たせるとは限らない。ECCSの場合には、起動信号を発生する安全保護系、<sup>①</sup>動力を供給する電源系（非常用所内電源系を含む）、機器を冷却する補機冷却系等を始めとし、その信頼性を担保し、監視するための計装、試験用設備、機器の据付けの基礎、支持物、系統を収容する建屋とその換気空調系等が、程度の差はあっても必要である。このように、当該系が機能を果たすのに直接、間接に必要な構築物、系統及び機器を、本指針においては「関連系」と呼んでいる。

なお、上記の定義により、本来関連系として位置付けられるべきものであっても、その支援対象が広いものについては、それ自身を当該系と位置付ける。例えば、本指針第2表のMS-1の「安全上必須なその他の構築物、手続及び機器」がその例である。

<sup>②</sup>これ以外の関連系は、2種に大別して、当該系の機能遂行に直接必要となる関連系及びそれ以外の関連系とし、前者については当該系と同位の重要度を有するものとみなし、また、後者については当該系より下位の重要度を有するものとみなすこととする。ただし、後者の関連系で当該系がクラス3のものは、安全に関連する機能を有することから、クラス3であるとみなすこととする。

上記文中実線下線部①の記載から、「安全上必須なその他の構築物、系統及び機器」である非常用所内電源系は当該系ではなく本来は関連系である。また、同文中破線下線部②の記載から、それ以外の関連系は直接関連系または間接関連系と整理される。

この整理を踏まえると、非常用所内電源系の附属設備としての50保護リレーは、電気事故による過電流を検出し、電気事故範囲を限定するために遮断器を開放するなどの安全性を確保するための設備であるが、非常用所内電源系の機能遂行または機能維持に不可欠なものではないことから、非常用所内電源系には含まれず、直接関連系、間接関連系のいずれにも該当しない。

したがって、HEAF対策として今回追加する50保護リレーは、安全機能を有していない機器として整理する。

以上