

高エネルギーアーク火災に関する面談 (H28/8/1)  
における質問回答について

平成28年8月1日、標記に関する面談において、「高エネルギーアーク火災に関する質問事項について」回答するよう求められた。

今回、質問事項についての回答を以下に示すものである。

なお、検討にあたっては、一般社団法人電力中央研究所殿（以下「電中研」という）が実施された研究成果の情報開示を受けたものを用いている。

質問①

保安電源設備のメタクラ若しくはパワーセンタで高エネルギーアーク損傷 (HEAF) 現象が発生した場合に、HEAF 発生個所を隔離する遮断器の保護リレーの現状整定値。

【回答】

原子炉施設の安全施設に電力を供給する範囲における保護継電器の整定値における動作時間については、3相短絡電流値から保護継電器の動作時間を求めるものである。3相短絡発生時における現状の保護継電器の整定値を、添付資料-1に示す。

質問②

現状の保護リレーの整定値で、HEAF による3相短絡発生時に想定される電気エネルギーの値。また、何に基づいてその値を算出したか。

【回答】

HEAF による3相短絡発生時に想定される電気エネルギーの値を、添付資料-1に示す。尚、この電気エネルギーの値については、電中研の研究成果に基づき算出している。

質問③

当該電気盤で想定されるアーク火災発生エネルギー値 (しきい値)。何に基づいてその値を算出したか。また、その値と②で想定した電気エネルギーの比較によるアーク火災発生の可能性。

【回答】

電中研の研究成果から、アーク火災発生エネルギー値 (しきい値) は25MJと考えられる。しきい値の検討結果について、添付資料-2に示す。

現状の保護継電器整定値において、3相短絡発生時に想定される電気エネルギーがアーク火災発生の可能性のある「しきい値25MJ」を超える保護継電器について調査した結果、非常用メタクラの外部電源系用起動変圧器の過電流継電器1台が、しきい値を満足しないことを確認した。

質問④

上記③でアーク火災発生の可能性有の場合、保護リレーの整定値を短くして HEAF による 3 相短絡発生時に想定される電気エネルギーの値をしきい値以内とすることが可能か。

【回答】

アーク火災発生の可能性のある「しきい値 2.5MJ」を超える保護継電器について、本継電器のリレー整定変更（整定見直し）又は取り替えを行うことによって、HEAF による 3 相短絡発生時に想定される電気エネルギーの値をしきい値以内とすることが可能である。

質問⑤

上記④でしきい値以内とすることが不可能である場合、隣接盤への影響緩和措置としては何を考えているか。

【回答】

しきい値を超える保護継電器については、リレー整定変更によりしきい値以内とすることが可能であることから、電源盤本体の加工等による隣接盤への影響緩和措置は不要である。

質問⑥

上記④、⑤の措置が完了するまでに要する期間。

【回答】

質問④の措置（本継電器のリレー整定変更又は取り替え）が完了するまでに要する期間については、現段階においておよそ 3 年と想定している。

質問⑤に関わる措置については、本継電器のリレー整定変更又は取り替えによってしきい値以内とすることが不可能なものはないことから不要である。

質問⑦

メタクラ若しくはパワーセンタで HEAF 現象が発生した場合の現状の火災防護対策。また、HEAF 発生時でも火災検出器は壊れない場所についているか。

【回答】

1. 火災の発生防止

(1) 地震時による火災発生防止

高速増殖原型炉もんじゅにおいて、原子炉施設の安全施設に電力を供給するための保安電源設備の範囲であるメタクラ等の電源盤は耐震クラス A s（新耐震クラスでは S）である。

また、過去東日本大震災時に東北電力殿女川 1 号機にて、アーク火災を発生した電源盤に使用されていた吊り下げ式遮断器は高速増殖原型炉もんじゅのメタクラ、パワーセンタ等には使用しておらず、同様な事象は発生し難い構造となっている。

(2) 保護継電器による対応

アーク事象発生時には大電流が流れるため、保護協調を考慮した上で各負荷及び母線には保護継電器を設け、事故範囲を限定し速やかに事故部分を切り離す設計としている。

(3) メタクラの内部故障の発生低減のための対応

高速増殖原型炉もんじゅに使用しているメタクラ等の配電盤は「JEM 1153-1974 閉鎖配電盤(現在は廃止)」に準拠し、内部事故発生防止を図る設計となっている。

具体的には、メタクラ主回路母線、接続導体及び接続部に絶縁被覆を施し固形異物の瞬間的な接触による内部事故の発生を防止している。その他高圧充電部等の危険部位への接近防止、小動物侵入防止等に対しても対策を講じる設計とし、内部事故の発生低減を図っている。

2. 火災発生時の感知・消火

現状、高速増殖原型炉もんじゅの原子炉施設内の保安電源設備の電源盤を設置した部屋には、火災発生の早期感知の観点から火災検知器(煙感知器)を設けている。

また、消火設備については、電源盤を設置した部屋外又は部屋内に屋内消火栓、ABC粉末消火器(20型)、二酸化炭素消火器(15型)、大型粉末消火器(50型)を常備し必要時に消火活動が速やかに行える設計としている。

なお、HEAF発生時の火災検出器への影響については、米国NRCの火災防護に関する規制基準(NUREG/CR-6850)に示す、アーク火災発生時の波及影響範囲であるZOI(上部1.5m、横方向0.9m)の範囲外に火災検出器があるかを確認した。

確認の結果、火災検出器はZOIの範囲外に設置され、アーク火災発生時の波及影響を受けない場所に設けられている。(電源盤に最も近い箇所で上部およそ4m、影響範囲内上部1.5m以上あり、影響範囲外にある。)

質問⑧

母線の材質(銅、アルミニウム等)

【回答】

高速増殖原型炉もんじゅに使用しているメタクラの高圧配電盤の母線材質は、アルミ合金導体(JIS H4180(現在は廃止))で、導体全て難燃性絶縁処理(FBC[流動浸漬塗装法]処理)がなされている。なお、主回路断路部(遮断器と母線の連結(接続)部)の材質は銅が用いられている。

- ・添付資料-1 HEAFに関する質問事項回答一覧表
- ・添付資料-2 アーク火災発生エネルギー値(しきい値)について

以上

HEAFに関する質問事項回答一覧表（１／２）

【高速増殖原型炉もんじゅ】

| No. | プラント名       | 機器番号<br>(リレー・バース<br>No) | 機器名称、リレー名称                           | 3相短絡<br>電流<br>[kA]<br>*1 | 現状の整定値<br>[秒] *2 | 現状の整定値に<br>おける電気<br>エネルギー<br>[MJ] *3 | アーク火災発生<br>の可能性<br>なし(25MJ未満)：○<br>あり(25MJ以上)：× | 整定値調整により<br>しきい値以内とす<br>ることの成立性<br>成立性あり：○<br>成立性なし：× | 影響緩和措置  | 措置完了までに<br>要する期間 | HEAF現象が発生した場合の<br>現状の火災防護対策   | 火災検出器の設置<br>場所がZOI（上部<br>1.5m、横方向0.9m）<br>の範囲外か<br>範囲外：○<br>範囲内：× | 母線の材質                    |
|-----|-------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------------|--------------------------------------|---|---|---|------------------|---|---|--------------------------|
|     |             |                         |                                      |                          | (質問事項1)          | (質問事項2)                              | (質問事項3)   | (質問事項4)   |   |                  | (質問事項5)   | (質問事項6)   | (質問事項7)                  |
| ①   | 高速増殖原型炉もんじゅ | 51MA                    | 非常用1Aメタクラ<br>1A起変受電、予変連絡母線<br>過電流継電器 | 31.00                    | 0.23             | 8.60                                 | ○   | —   | 左記(質問事項3)<br>より、しきい値<br>(25MJ)を超える<br>保護継電器はないことから、電源<br>盤本体の加工等<br>による隣接盤への<br>影響緩和措置は<br>不要 | —                | 1. 火災の発生防止<br>(1)地震時による火災発生防止<br>高速増殖原型炉もんじゅにおいて、原子炉施設の安全施設に<br>電力を供給するための保安電源設備の範囲であるメタクラ等の<br>電源盤は耐震クラスAs(新耐震クラスではS)である。<br>また、過去東日本大震災時に東北電力殿女川1号機にて、<br>アーク火災が発生した電源盤に使用されていた吊り下げ式遮<br>断器は高速増殖原型炉もんじゅのメタクラ、パワーセンタ等には<br>使用しておらず、同様な事象は発生し難い構造となっている。<br>(2)保護継電器による対応<br>アーク事象発生時には大電流が流れるため、保護協調を考慮<br>した上で各負荷及び母線には保護継電器を設け、事故範囲を<br>限定し速やかに事故部分を切り離す設計としている。<br>(3)メタクラ、パワーセンタの内部故障の発生低減のための対<br>応<br>高速増殖原型炉もんじゅに使用しているメタクラ等の配電盤は<br>「JEM 1153-1974閉鎖配電盤」に準拠し、内部事故発生防止を<br>図る設計となっている。<br>具体的には、メタクラ主回路母線、接続導体及び接続部に絶縁<br>被覆を施し固形異物の瞬間的な接触による内部事故の発生を<br>防止している。その他高圧充電部等の危険部位への接近防<br>止、小動物侵入防止等に対しても対策を講じる設計とし、内部<br>事故の発生低減を図っている。 | ○<br>(1Aメタクラ)   | 1Aメタクラの<br>母線材質<br>アルミ合金 |
| ②   |             | 51MB                    | 非常用1Bメタクラ<br>1A起変受電、予変連絡母線<br>過電流継電器 | 33.59                    | 0.22             | 8.55                                 | ○   | —   |   |                  | ○<br>(1Bメタクラ)   | 1Bメタクラの<br>母線材質<br>アルミ合金  |                          |
| ③   |             | 51MC                    | 非常用1Cメタクラ<br>1B起変受電、予変連絡母線<br>過電流継電器 | 28.48                    | 0.23             | 7.90                                 | ○   | —   |   |                  | ○<br>(1Cメタクラ)   | 1Cメタクラの<br>母線材質<br>アルミ合金  |                          |

注) 予備電源用1Qメタクラについては、原子炉施設の安全施設に電力を供給する保安電源設備に直接該当するものではなく、保安電源設備の外部電源系として設備を形成するものであることから、HEAFに関する検討の対象外とした。

- \* 1 当電気系統において最大の電源容量を考慮し、当該非常用母線短絡事故時の故障電流を算出して記載した。
- \* 2 電気エネルギー算出に用いるアーク継続時間は、リレー動作(応動)時間+遮断動作時間(0.1s)を考慮した。  
なお、リレー動作(応動)時間は安全側に小数点第3位を切上げた。
- \* 3 短絡事故点における電気エネルギーを算出したものである。  
電力中央研究所の「アークエネルギーの算出について(2016年9月6日)」を根拠に計算したものである。  
$$E_{\phi s} = (VR+VS+VT) \times (I_{rms} \times 0.9) \times t \quad (E_{\phi s} : \text{三相のアークエネルギー} [\text{MJ}])$$

## HEAFに関する質問事項回答一覧表 (2 / 2)

【高速増殖原型炉もんじゅ】

| No. | プラント名       | 機器番号<br>(リレーバイス<br>No) | 機器名称、リレー名称                   | 3相短絡<br>電流<br>[kA]<br>*1 | 現状の整定値<br>[秒] *2 | 現状の整定値に<br>おける電気<br>エネルギー<br>[MJ] *3 | アーク火災発生<br>の可能性<br>なし(25MJ未満) : ○<br>あり(25MJ以上) : × | 整定値調整により<br>しきい値以内とす<br>ることの成立性<br>成立性あり : ○<br>成立性なし : × | 影響緩和措置  | 措置完了までに<br>要する期間 | 保護リレーの設置場所               | 保護リレー設置場所が<br>非常用メタクラ室外か<br><br>非常用メタクラ室外 : ○<br>非常用メタクラ室内 : × |
|-----|-------------|------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------|--------------------------------------|---|---|---|------------------|--------------------------|--|
|     |             |                        |                              |                          | (質問事項1)          | (質問事項2)                              | (質問事項3)   | (質問事項4)   |   |                  |                          |  |
| ④   | 高速増殖原型炉もんじゅ | 51SA                   | 1A起動変圧器 過電流継電器               | 33.59                    | 0.98             | 39.70                                | ×   | ○   | 左記(質問事項4)より、リレー整定変更によりしきい値以内とすることが可能のため影響緩和措置は不要。                 | およそ3年            | 所変・起変保護継電器盤<br>(保護継電器盤室) | ○  |
| ⑤   |             | 51SB                   | 1B起動変圧器 過電流継電器               | 28.48                    | 0.41             | 14.09                                | ○   | —   | 左記(質問事項3)より、しきい値(25MJ)を超える保護継電器はないことから、電源盤本体の加工等による隣接盤への影響緩和措置は不要 | —                | 所変・起変保護継電器盤<br>(保護継電器盤室) | ○  |
| ⑥   |             | 52/1QS<br>50-51        | 予備電源用1Qメタクラ<br>予変連絡母線 過電流継電器 | 11.34                    | 0.13             | 1.78                                 | ○   | —   | —   | —                | 予変1Qメタクラ<br>(開閉所電気室)     | ○  |

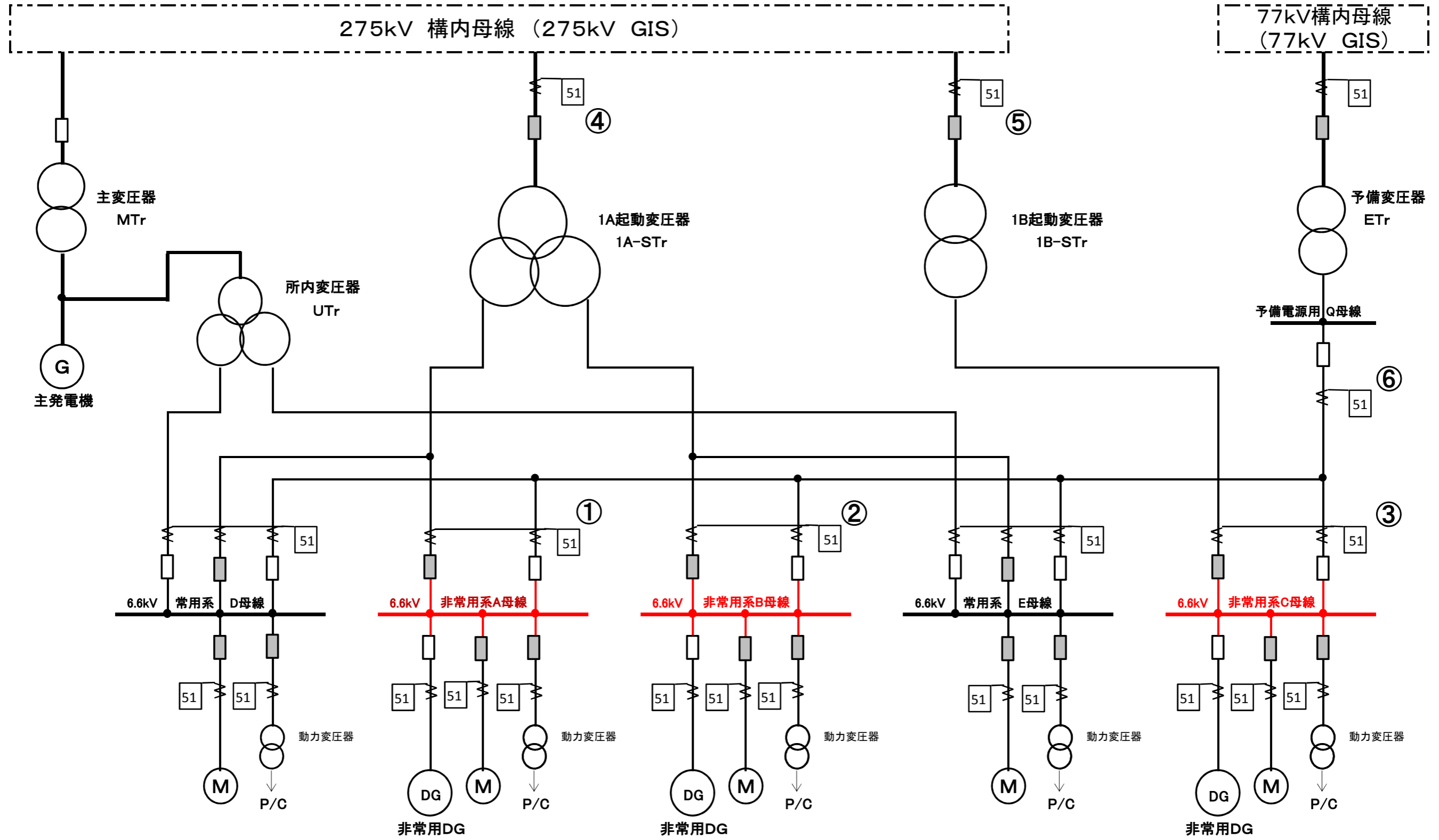
注) 非常用メタクラ受電遮断器自身にアーク火災が発生した場合、上流側で遮断する保護リレーを対象とした。

\*1 当電気系統において最大の電源容量を考慮し、当該非常用母線短絡事故時の故障電流を算出して記載した。

\*2 電気エネルギー算出に用いるアーク継続時間は、リレー動作(応動)時間+遮断動作時間(0.1s)を考慮した。  
なお、リレー動作(応動)時間は安全側に小数点第3位を切上げた。

\*3 短絡事故点における電気エネルギーを算出したものである。  
電力中央研究所の「アークエネルギーの算出について(2016年9月6日)」を根拠に計算したものである。

$$E_{\phi s} = (VR+VS+VT) \times (I_{rms} \times 0.9) \times t \quad (E_{\phi s} : \text{三相のアークエネルギー} [\text{MJ}])$$



注) 過電流に関するものを記載。  
保護継電器は全て示していない。



高速増殖原型炉もんじゅ 所内概略単線結線図 (起動変圧器受電状態を示す)

図中の丸数字①～⑥は検討対象の保護継電器を指す。  
尚、HEAFに関する質問事項回答一覧表の左列No.に対比する。

## アーク火災発生エネルギー値（しきい値）について

## 1. 概要

本資料は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が標記の検討を実施するに当たり、一般財団法人電力中央研究所（以下「電中研」という）が実施したアーク火災試験（電気事業連合会要請研究「原子力発電所用電源盤内アーク火災評価技術の開発」で実施）の成果について、電気事業連合会から情報開示を受けて作成したものである。

## 2. 検討結果

## (1) アーク火災発生エネルギーしきい値について

電中研のアーク火災試験結果では、アークエネルギー27.6MJにて消火活動が不要な程度の火災（自己鎮火・延焼無）が発生している。

また、25.3MJにて火災が発生していない結果が得られている。

前述の試験結果から、火災が発生しているが隣接盤に影響を及ぼさない程度の火災であることが確認できていることから、アークエネルギー27MJを下回れば火災の影響は局所的と考えられるが、HEAF火災の発生防止の観点から、対策検討用としてのしきい値は25MJとする。

表1 高圧電源盤アーク試験時のアーク電圧

| 試験番号 | 電源盤<br>(注1) | アーク発生箇所       | 電流交流成分<br>の時間積分値<br>(注2) | 通電<br>時間 | アーク<br>エネルギー | アーク<br>電圧<br>(注3) | 火災<br>発生<br>(注4) |
|------|-------------|---------------|--------------------------|----------|--------------|-------------------|------------------|
|      |             |               | [kA*s]                   | [s]      | [MJ]         | [kV]              |                  |
| 1    | A           | Secondary bus | 1.95                     | 0.10     | 3.09         | 1.59              | ×                |
| 2    | B           | Secondary bus | 5.27                     | 0.30     | 8.17         | 1.55              | ×                |
| 3    | C           | Secondary bus | 9.07                     | 0.53     | 12.90        | 1.42              | ×                |
| 4    | D           | VCB terminal  | 9.13                     | 0.53     | 10.40        | 1.14              | ×                |
| 5    | E           | Secondary bus | 18.70                    | 1.23     | 24.70        | 1.32              | ×                |
| 6    | F           | VCB terminal  | 18.87                    | 1.23     | 20.30        | 1.08              | ×                |
| 7    | E           | Secondary bus | 18.80                    | 1.23     | 27.60        | 1.47              | △                |
| 8    | F           | VCB terminal  | 29.80                    | 2.18     | 41.80        | 1.40              | ○                |
| 9    | A           | VCB terminal  | 32.00                    | 2.39     | 44.60        | 1.39              | ○                |
| 10   | B           | VCB terminal  | 19.03                    | 1.23     | 17.70        | 0.93              | ×                |
| 11   | I           | Secondary bus | 7.54                     | 0.22     | 12.80        | 1.70              | ×                |
| 12   | I           | VCB terminal  | 7.42                     | 0.21     | 8.68         | 1.17              | ×                |
| 13   | J           | VCB terminal  | 19.33                    | 0.63     | 25.30        | 1.31              | ×                |
| 平均   |             |               |                          |          |              | 1.34              |                  |

(注1) A～F：A社製 I, J：B社製

(注2) アークエネルギー  $E_{3\phi} = (V_R + V_S + V_T) \times (I_{rms} \times 0.9) \times t$  の「 $(I_{rms} \times 0.9) \times t$ 」に相当

(注3) 三相のアーク電圧の合計  $(V_R + V_S + V_T)$

(注4) ×：火災発生無 △：火災発生有（自己鎮火・延焼無） ○：火災発生有（消火実施）

(2) 電源盤容積について

電中研がアーク火災試験に用いた試験体ともんじゅに設置されている非常用メタクラの寸法は以下のとおり。

表2 試験体ともんじゅ非常用メタクラ寸法の比較

| 試験体 メタクラ                           | もんじゅ非常用メタクラ                          |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| (H2. 6m <sup>*1</sup> ×W1m×D2. 5m) | (H2. 75m <sup>*2</sup> ×W1m×D2. 54m) |

\*1 試験体のH2. 6mは上部ダケ外を含んだ寸法 (2. 3m+上部ダケ外高さ0. 3m)

\*2 もんじゅ非常用メタクラのH2. 75mは上部ダケ外を含んだ寸法 (2. 3m+上部ダケ外高さ0. 45m)

もんじゅに設置されている非常用メタクラは、電中研にて使用した試験体と比較し概略寸法はほぼ同等であり、しきい値へ影響を与えるものではないと考えられる。