

# 工事計画届出書

(高浜発電所第4号機の変更の工事)

関原発第415号

2023年11月6日

経済産業大臣

西村 康稔 殿

原子力規制委員会 殿

大阪市北区中之島3丁目6番16号

関西電力株式会社

執行役社長 森 望

電気事業法第48条第1項の規定により別紙工事計画書のとおり工事の計画を  
届け出ます。

本資料のうち枠囲みの内容は、  
テロ等対策における機密に係る事項又は商業  
機密に係る事項であるため公開できません。

高 浜 発 電 所 第 4 号 機

工 事 計 画 届 出 書

本 文 及 び 添 付 書 類

関 西 電 力 株 式 会 社

## 目 次

	頁
I. 工事計画書 .....	1
II. 工事工程表 .....	5
III. 変更を必要とする理由を記載した書類 .....	6
IV. 核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律第43条の3の10第1項の 届出をした年月日を記載した書類 .....	7
V. 添付書類 .....	8

## I. 工事計画書

### 一 発電所

#### 1. 発電所の名称及び位置

名称	高浜発電所
位置	福井県大飯郡高浜町田ノ浦

#### 2. 発電所の出力及び周波数

出力	3,392,000 kW
第1号機	826,000 kW
第2号機	826,000 kW
第3号機	870,000 kW
第4号機	870,000 kW (今回届出分)
周波数	60 Hz

【届出範囲】（変更の工事に該当するものに限る）

（二）電気設備

2. 変圧器

2. 1 変圧器

2. 2 保護継電装置

(二) 電気設備

今回の変更工事のみ記載する。

2. 変圧器

2. 1 種類、容量、電圧、相、周波数、結線法、冷却法並びに電気事業の用に供するものにあつては、常用及び予備の別

				変 更 前	変 更 後
名 称				主変圧器	
種	類	—		屋外無圧密封式	
容	量	kVA		930,000	
電 圧	一	次	kV	23	
	二	次	kV	509.375±40.625 (負荷時電圧調整器付27タップ)	
	三	次	kV	—	
相			—	3	
周	波	数	Hz	60	
結 線 法	一	次	—	三角形	
	二	次	—	星形	
	三	次	—	—	
冷	却	法	—	送油風冷式	
個 数	常	用	—	1	
	予	備	—	0	
				同左	
				導油風冷式 <sup>(注1)</sup>	
				同左	

(注1) 規格の改正による記載の適正化(同一機能の冷却方式を示す用語の変更)であり、機能・性能上の変更はない。

2. 2 保護継電装置の種類

a 自動しゃ断用

		変更前	変更後
名称		主変圧器	同左
種類		比率差動継電器	変更なし
		地絡過電流継電器	
		異常内圧継電器	衝撃油圧継電器 <sup>(注1)</sup>
		電流平衡継電器	—

b 警報用

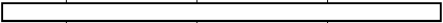
		変更前	変更後
名称		主変圧器	同左
種類		温度継電器	

(注1) 規格に基づいた名称に見直すものであり、機能・性能上の変更はない。



## II. 工事工程表

今回の工事の工程は次のとおりである。

項目		年	2024年			
		月	12月	1月	2月	3月
電気設備 変圧器	現地工事期間					
	検査可能時期 工事の計画に係る全ての工事が完了した時					◇

※核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第43条の3の10第1項の規定による工事工程表の記載

### Ⅲ. 変更を必要とする理由を記載した書類

#### 変更を必要とする理由

高浜発電所第4号機主変圧器において、巻線の絶縁性能が経年劣化の傾向にあるため、予防保全対策として主変圧器一式の取替えを行う。

IV. 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第43条の3の10第1項の届出をした年月日を記載した書類

当該事業用電気工作物に係る核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第43条の3の10第1項の届出をした年月日は以下のとおり。

高浜発電所第4号機

設計及び工事計画届出書番号

関原発第414号（2023年11月6日）

## V. 添付書類

### 1. 添付資料

資料1 事業用電気工作物が電気の円滑な供給を確保するため技術上適切なものであることの説明書

資料2 短絡強度計算書

### 2. 添付図面

第1図 主要設備の配置の状況を明示した平面図（主変圧器）

第2図 主要設備の配置の状況を明示した断面図（主変圧器）

第3図 単線結線図

# 1. 添 付 資 料

## 目 次

- 資料 1 事業用電気工作物が電気の円滑な供給を確保するため技術上適切なものであることの説明書
- 資料 2 短絡強度計算書

資料 1 事業用電気工作物が電気の円滑な供給を確保するため  
技術上適切なものであることの説明書

目 次

	頁
1. 事業用電気工作物が電気の円滑な供給を確保するため 技術上適切なものであることの説明 .....	T4-添 1-1



1. 事業用電気工作物が電気の円滑な供給を確保するため技術上適切なものであることの説明

地絡事故及び短絡事故等の異常時において、地絡保護継電器及び短絡保護継電器等の保護継電装置により異常を検出し、電力系統から事故点を切り離すような機能を有するよう設計している。

なお、今回の主変圧器取替えにおいては、上記記載事項（機能および設備）の変更はない。

## 資料 2 短絡強度計算書

## 目 次

	頁
1. 概要 .....	T4-添2-1
2. 基本方針 .....	T4-添2-1
3. インピーダンスマップ .....	T4-添2-2
4. 応力計算結果 .....	T4-添2-4
4.1 短絡時の各巻線電流 .....	T4-添2-4
4.2 コイル導体の曲げ応力計算 .....	T4-添2-5
5. 巻線最高温度計算結果 .....	T4-添2-8
5.1 短絡時の各巻線電流 .....	T4-添2-8
5.2 巻線最高温度計算 .....	T4-添2-8
6. 評価 .....	T4-添2-9

## 1. 概要

本資料は、「原子力発電工作物に係る電気設備に関する技術基準を定める命令」（以下「技術基準」という。）第31条第1項に基づき、外部短絡発生時の短絡電流によって主変圧器に生じる電磁力に対して、主変圧器が十分な機械的強度を有していることを説明するものである。

## 2. 基本方針

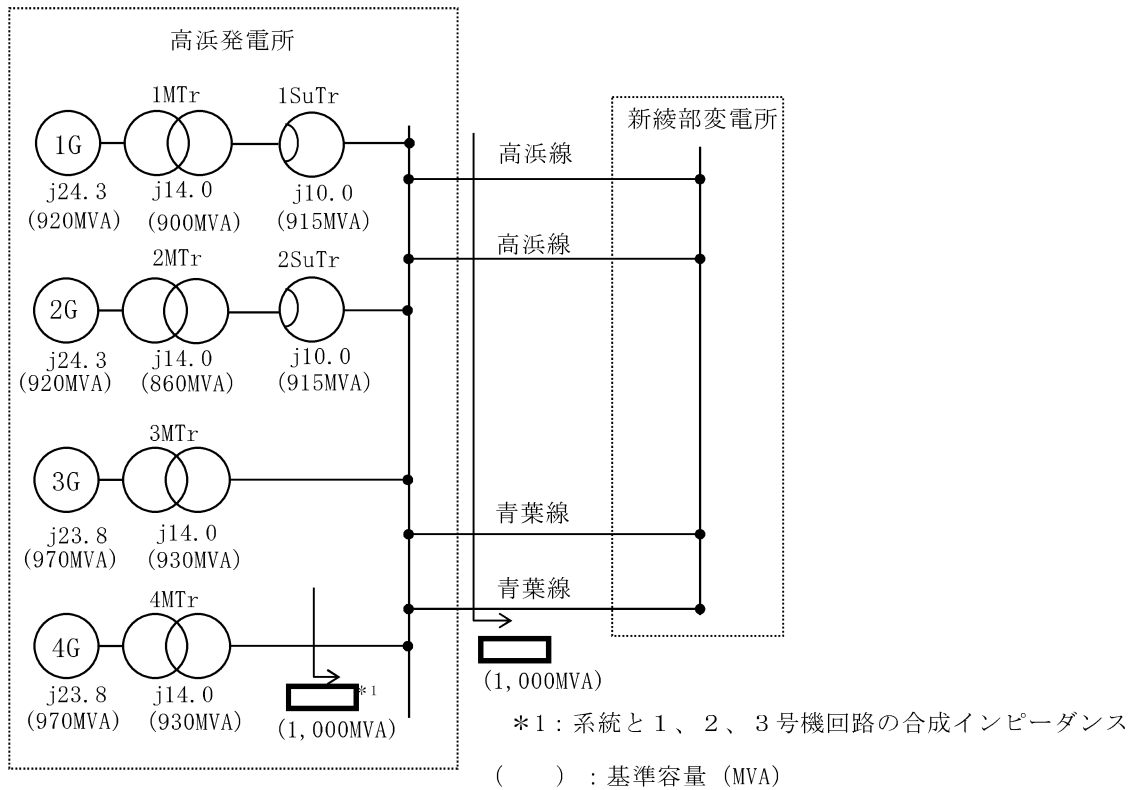
短絡強度計算は、「電気学会 電気規格調査会標準規格 変圧器JEC-2200-2014」（以下「JEC-2200」という。）に基づき、主変圧器の機械的強度及び熱的強度について確認する。

なお、短絡電流による巻線の機械的強度の計算は、電気学会技術報告（I部）第89号「短絡時における変圧器巻線の機械的強度について」（昭和44年5月）（電気学会）を準用し、コイル導体の最大曲げ応力が許容値以下であることを確認する。

また、主変圧器の付属品であるタップ切換器及びブッシングの短絡強度については、「電気学会 電気規格調査会標準規格 負荷時タップ切換装置JEC-2220-2007」及び「電気学会 電気規格調査会標準規格 ブッシングJEC-5202-2007」に準拠したものを使用する。

### 3. インピーダンスマップ

本計算に用いるインピーダンスマップを第1図に示す。



- |             |                |                  |
|-------------|----------------|------------------|
| 1G : 1号機発電機 | 1MTr : 1号機主変圧器 | 1SuTr : 1号機昇圧変圧器 |
| 2G : 2号機発電機 | 2MTr : 2号機主変圧器 | 2SuTr : 2号機昇圧変圧器 |
| 3G : 3号機発電機 | 3MTr : 3号機主変圧器 |                  |
| 4G : 4号機発電機 | 4MTr : 4号機主変圧器 |                  |

(条件)

- ①インピーダンスの単位 : %
- ②基準電圧 : 高圧側 509.375kV [定格タップ電圧]  
 低圧側 23kV

第1図 インピーダンスマップ

インピーダンス (Z) は次式により算出される。

$$Z = \frac{\text{インピーダンス}(\%) \times (\text{基準電圧}(\text{kV}))^2}{100 \times \text{基準容量}(\text{MVA})} \quad (\Omega)$$

主変圧器インピーダンス、主変圧器から見た系統側インピーダンスは次の通りである。

①主変圧器インピーダンス ( $Z_T$ )

$$\begin{aligned} \text{高圧側基準 } Z_T &= \frac{14.0 \times 509.375^2}{100 \times 930} \\ &= 39.05 \quad (\Omega/\text{相}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{低圧側基準 } Z_T &= \frac{14.0 \times 23^2}{100 \times 930} \\ &= 0.07963 \quad (\Omega/\text{相}) \end{aligned}$$

②系統側インピーダンス ( $Z_S$ )

$$\begin{aligned} \text{高圧側基準 } Z_S &= \frac{\square \times 509.375^2}{100 \times 1000} \\ &= \square \quad (\Omega/\text{相}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{低圧側基準 } Z_S &= \frac{\square \times 23^2}{100 \times 1000} \\ &= \square \quad (\Omega/\text{相}) \end{aligned}$$

#### 4. 応力計算結果

##### 4.1 短絡時の各巻線電流

主変圧器各巻線に流れる短絡電流 ( $I_{3\phi S}$ ) は、主変圧器インピーダンス ( $Z_T$ )、主変圧器から見た系統側インピーダンス ( $Z_s$ ) から次式のとおり計算される。

$$\begin{aligned} \text{星形結線時} : I_{3\phi S} (\text{相電流}) &= \text{線電流} \\ &= \frac{\text{基準電圧 (kV)}}{(Z_T + Z_s) \times \sqrt{3}} \quad (\text{kA}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{三角形結線時} : I_{3\phi S} (\text{相電流}) &= \text{線電流} / \sqrt{3} \\ &= \frac{\text{基準電圧 (kV)}}{(Z_T + Z_s) \times \sqrt{3}} / \sqrt{3} \quad (\text{kA}) \\ &= \frac{\text{基準電圧 (kV)}}{(Z_T + Z_s) \times 3} \quad (\text{kA}) \end{aligned}$$

外部短絡事故時、主変圧器各巻線に流れる短絡電流は次のとおりである。

##### ① 高圧巻線 (星形結線)

$$\begin{aligned} \text{交流分実効値} &= \frac{509.375}{(39.05 + \boxed{\phantom{00}}) \times \sqrt{3}} \\ &= \boxed{\phantom{00}} \text{ (kA)} \end{aligned}$$

$$\text{最大瞬時値} = K \times \text{交流分実効値}$$

$$= 2.55 \times \boxed{\phantom{00}}$$

$$= \boxed{\phantom{00}} \text{ (kA)}$$

##### ② 低圧巻線 (三角形結線)

$$\begin{aligned} \text{交流分実効値} &= \frac{23}{(0.07963 + \boxed{\phantom{00}}) \times 3} \\ &= \boxed{\phantom{00}} \text{ (kA)} \end{aligned}$$

$$\text{最大瞬時値} = K \times \text{交流分実効値}$$

$$= 2.55 \times \boxed{\phantom{00}}$$

$$= \boxed{\phantom{00}} \text{ (kA)}$$

ここで、K : 短絡電流波高値を求めるための係数 (=2.55、JEC-2200による)

#### 4.2 コイル導体の曲げ応力計算

##### (1) 漏れ磁束密度の最大値

第2図のとおり、径方向の漏れ磁束密度は各コイル群端において最大値  $B_{am}$  となる。

径方向の漏れ磁束密度の最大値  $B_{am}$  は、次式にて計算する。

$$B_{am} = 4 \times \pi \times 10^{-7} \times \frac{w \times I_m \times 10^3}{h_1 / k_a \times 10^{-3}} \quad (\text{T})$$

$$h_1 / k_a = \frac{a_1 + a_2 + d}{3} + \frac{2 \times h_1 \times h_2}{h_1 + h_2} \quad (\text{mm})$$

$$k_a = \frac{1}{\frac{a_1 + a_2 + d}{3 \times h_1} + \frac{2 \times h_2}{h_1 + h_2}}$$

ここで、 $h_1 / k_a$  : 径方向等価漏れ磁路長 (mm)

$k_a$  : 巻線構成による係数

$a_1$ 、 $a_2$  : 各コイル群の軸方向長さ (mm)

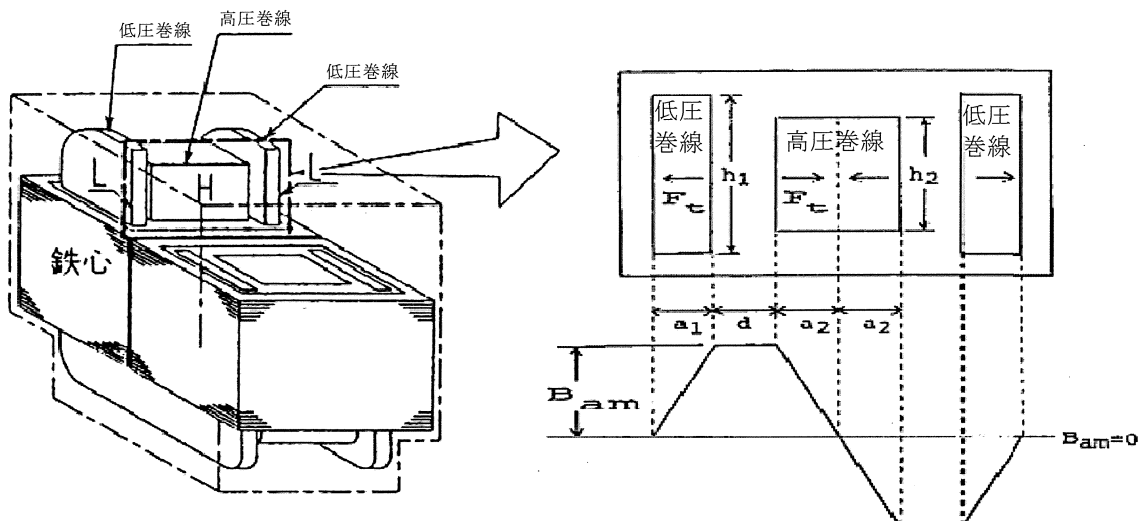
$h_1$ 、 $h_2$  : 各コイル群の径方向長さ (mm)

$d$  : コイル群間の長さ (主ギャップ) (mm)

$w \times I_m$  : コイル1群当たりの起磁力 (kA・ターン)

$I_m$  : 短絡電流瞬時値 (kA)

$w$  : コイル1群当たりの巻数 (ターン)



第2図 変圧器の構造と漏れ磁束密度分布図



(2) 主方向電磁力

主方向電磁力  $F_t$  については、次式にて計算する。

$$F_t = \frac{1}{2} \times B_{am} \times w \times I_m \times L_m \quad (\text{N})$$

ここで、 $L_m$  : 巻線の等価平均周長 (mm)

(3) コイルに加わるコイル力の最大値

コイル群内の各コイルに加わるコイル力の最大値  $F_w$  は、主ギャップに隣接するコイルに生じ、そのコイル力  $F_w$  は次式にて計算する。

$$F_w = k_f \times F_t \quad (\text{N})$$

$$k_f = \frac{\text{主ギャップに隣接するコイルに働くコイル力}}{\text{各コイル群の主方向電磁力}} \\ = \frac{2m-1}{m}$$

ここで、 $m$  : 一群の等価コイル数

(4) コイル導体の最大曲げ応力

コイル導体の曲げ応力の最大値  $S_w$  は、次式にて計算する。

$$S_w = \frac{F_w \times L_p^2}{4 \times n_b \times n_t \times L_m \times b \times t^2} \quad (\text{MPa})$$

ここで、 $L_p$  : 間隔片 (コイル導体の支持物) の間隔 (mm)

$n_b$ 、 $n_t$  : 径方向、軸方向に並ぶ導体の数

$b$ 、 $t$  : 導体厚さ、導体幅 (mm)

(5) コイル導体の最大曲げ応力の計算

主変圧器のコイル導体の最大曲げ応力について計算した結果を以下に示す。

	単位	高圧巻線	低圧巻線
短絡電流瞬時最大値： $I_m$	kA	<input type="text"/>	<input type="text"/>
起磁力： $w \times I_m$	kA・ターン	1,390	1,390
径方向等価漏れ磁路長： $h_l / k_a$	mm	830	830
漏れ磁束密度最大値： $B_{am}$	T	2.11	2.11
巻線の等価平均周長： $L_m$	mm	7,785	7,785
主方向電磁力： $F_t$	N	$11.5 \times 10^6$	$11.5 \times 10^6$
一群の等価コイル数： $m$	—	6.52	4.44
コイル力最大値： $F_w$	N	$3.26 \times 10^6$	$4.60 \times 10^6$
間隔片の間隔： $L_p$	mm	92	92
導体総数： $n_b \times n_t$	—	424	810
導体厚さ： $b$	mm	4.5	5.1
導体幅： $t$	mm	2.4	1.9
最大曲げ応力： $S_w$	MPa	$80.7 \leq 117$	$83.9 \leq 117$

## 5. 巻線最高温度計算結果

### 5.1 短絡時の各巻線電流

主変圧器各巻線に流れる短絡電流（交流分実効値）は、4.1項より次のとおりである。

① 高圧巻線（星形結線）： (kA)

② 低圧巻線（三角形結線）： (kA)

### 5.2 巻線最高温度計算

短絡後の巻線最高温度  $\theta$  は、次式にて計算する。

銅の場合

$$\theta = \theta_0 + \frac{2 \times (\theta_0 + 235)}{\frac{101000}{J^2 \times t} - 1} \quad (^\circ\text{C})$$

ここで、 $\theta$ ：最終温度 ( $^\circ\text{C}$ )

$\theta_0$ ：始発温度 ( $105^\circ\text{C}$ 、JEC-2200表 II-3の耐熱クラス A より)

J：短絡電流（交流分実効値）に対する電流密度  
（短絡電流 / 巻線断面積、 $\text{A}/\text{mm}^2$ ）

なお、高圧巻線断面積： $330\text{mm}^2$ 、低圧巻線断面積： $5,060\text{mm}^2$

t：短絡時間（2秒、JEC-2200より）

主変圧器の巻線最高温度について計算した結果を以下に示す。

$$\begin{aligned} \text{高圧巻線 } \theta_{(H)} &= 105 + \frac{2 \times (105 + 235)}{\frac{101000}{(\text{}/330)^2 \times 2} - 1 \\ &= \text{} (^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{低圧巻線 } \theta_{(L)} &= 105 + \frac{2 \times (105 + 235)}{\frac{101000}{(\text{}/5060)^2 \times 2} - 1 \\ &= \text{} (^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

## 6. 評価

軟銅線導体の許容応力は電気学会技術報告（I部）第89号「短絡時における変圧器巻線の機械的強度について」（昭和44年5月）より117MPaである。

短絡時のコイル導体の最大曲げ応力 $S_w$ は、高圧側80.7MPa、低圧側83.9MPaであり、許容値である117MPa以下であることから、主変圧器巻線は短絡電流に対し十分な機械的強度を有している。

また、巻線最高温度許容値は、JEC-2200第IV編より250℃である。

短絡時の巻線温度 $\theta$ は、高圧側□℃、低圧側□℃であり、許容値である250℃以下であることから、主変圧器巻線は短絡電流に対し十分な熱的強度を有している。

## 2. 添 付 図 面

## 目 次

第 1 図 主要設備の配置の状況を明示した平面図（主変圧器）

第 2 図 主要設備の配置の状況を明示した断面図（主変圧器）

第 3 図 単線結線図

工事計画届出

第1図

高 浜 発 電 所 第 4 号 機

主要設備の配置の状況を明示した  
平面図(主変圧器)

関 西 電 力 株 式 会 社

工事計画届出

第2図

高 浜 発 電 所 第 4 号 機

主要設備の配置の状況を明示した  
断面図(主変圧器)

関 西 電 力 株 式 会 社



工事計画届出

第3図

高 浜 発 電 所 第 4 号 機

単線結線図

関 西 電 力 株 式 会 社