

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。	柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
	資料番号	KK7補足-04 r1
	提出年月日	2022年 4月 21日

柏崎刈羽原子力発電所7号機

設計及び工事計画届出書

指摘事項に対する回答

2022年 4月

東京電力ホールディングス株式会社

No.	指摘事項	回答	記載箇所
1	<p>(2) 振動調整方法 a. 試験の種類及びその概要の マスキング箇所において、今回 [] [] とあるが、[] [] が測定項目となっており、[] [] で良いのか確認する。</p>	<p>[] を使用するため必要 に応じ測定することとしております。 建設時工認から表現は変わっていますが、測定項目と方法 に変更はないため、添付資料では記載の適正化をおこなって います。</p>	<p>VI-9 蒸気ター ビンの振動管理に 関する説明書 P. 5</p>
2	<p>b. 振動管理目標値に危険速度域、定格回転速度域、 過速度域とあるが、各速度の説明を補足的に記載す る。 また、建設時の記載との変更点を説明資料にまとめ る。</p>	<p>各速度の補足を追加致します。建設時は危険速度域と過速度 域の振動 []</p>	<p>VI-9 蒸気ター ビンの振動管理に 関する説明書 P. 6</p>
3	<p>7.1 軸受諸元における []</p>		<p>VI-9 蒸気ター ビンの振動管理に 関する説明書 P. 14</p>

No.	指摘事項	回答	記載箇所
4	<p>7.2 (1)の危険速度について、建設時との値の違いは取替後のタービンの固有振動特性によるものであるか、要因として支配的なものは何かを確認し、「～なので、危険速度が変化する。」と理由を記載する。</p> <p>危険速度の算出方法を明示して、既設からどのパラメータがどう変化したかを示して危険速度変化の理由を記載すること。</p>	<p>危険速度が変化しています。</p> <p>危険速度の算出方法については補足説明資料 13 にて説明します。</p>	<p>VI-9 蒸気タービンの振動管理に関する説明書</p> <p>P. 15</p>
5	<p>7.7でカバーセグメント・ラグスリーブとあるが、タービン取替により変わった箇所であるので、図を使用した補足資料を用意する。</p> <p>カバーセグメント・ラグスリーブの構造図について、既設との違いをより詳細に説明する記載の検討を行うこと。</p>	<p>補足資料「蒸気タービンの振動管理に関する説明書について」として準備致します</p>	<p>VI-9 蒸気タービンの振動管理に関する説明書</p> <p>P. 17</p>
追 1	<p>16 ページの接戦方向一次の固有振動数 [] 理由の説明を添付に記載すること。</p>	<p>記載の適正化を行いました。</p>	<p>VI-9 蒸気タービンの振動管理に関する説明書</p> <p>P. 16</p>
6	<p>第4図 タービン停止系統図が建設時と異なるが、変更となった経緯を明確にする。</p>		<p>VI-9 蒸気タービンの振動管理に関する説明書</p> <p>P. 20</p>

No.	指摘事項	回答	記載箇所
7			VI-9 蒸気タービンの振動管理に関する説明書 P24, 25
8	評価のまとめにおいて、(1)(2)に習うとした理由をわかりやすいように記載する。	記載の見直しを致します。 「したがって、定格熱出力一定運転の実施においては(1)～(3)の条件を満たす、電気出力 [] と記載の適正化を行います。	VI-10 常用電源設備の健全性に関する説明書 P. 3
9	[] 別紙2 P.2 2.2 評価結果におけるエネルギーについて、[]をタービン改造後の影響を明示した説明の検討を行う。	[] 別途補足資料 (KK7 補足-12) にて説明いたします。	VI-10 常用電源設備の健全性に関する説明書 別紙2 P.2
10	別紙3 1. 評価方針で電気出力(有効電力)となっているが、「有効電力」のみを明示している理由について、建設時の記載を以てではなく、詳細な理由について確認する。	当該説明書は、定格熱出力一定運転を行うことによって電気出力が増加し、「有効電力」が増加することに対する評価を実施している説明書であるため明示しています。	VI-10 常用電源設備の健全性に関する説明書 別紙3 P.1
11	第2図におけるa点は何の交点であるか、垂線は定格電気出力を表しているのか回答する。 垂線が定格電気出力を示していることを追記すること。	a点は発電機固定子コイル温度上昇限度による運転制限曲線と発電機定格容量の力率 [] の [] の交点を使用前検査評価点として示したものです。 垂線は定格電気出力 [] を明示しています。また、添付資料にその旨を追記しました。	VI-10 常用電源設備の健全性に関する説明書 別紙3 P.3

No.	指摘事項	回答	記載箇所
12	固有周期の計算方法は、水平方向のみでなく、鉛直方向についても説明する。 鉛直方向の計算が不要であることについて、添付資料の記載の見直しを検討すること。	<div style="border: 1px solid black; height: 150px; width: 100%;"></div> 添付資料に、鉛直方向の固有周期について追記しました。 また、補足資料（KK7 補足-11）に鉛直方向の固有周期の評価方法と結果をまとめました。	VI-4 蒸気タービンの耐震性に関する説明書 P. 5
追 2	2. 適用基準について、記載の検討を行う（適用基準の中に耐震重要度分類が入っている等）。	章番号の見直しを行いました。	VI-4 蒸気タービンの耐震性に関する説明書 P. 1
追 3	水平方向震動に注記で、建設時の図書を引用すること。	記載の適正化を行いました。	VI-4 蒸気タービンの耐震性に関する説明書 P. 13

No.	指摘事項	回答	記載箇所
13			VI-5 蒸気タービンの強度に関する説明書
14	と区別していないが、その理由について説明する。	強度評価結果の表でを区別していない理由は、 に つきましては として計算結果の表に記載しています。	VI-5 蒸気タービンの強度に関する説明書
15			VI-6 蒸気タービンの基礎に関する説明書
追 4	層せん断力係数について、建設時の図書を引用すること。	記載の適正化を行いました。	VI-6 蒸気タービンの基礎に関する説明書 P. 10

No.	指摘事項	回答	記載箇所
追 5	解析モデルの荷重の掛け方について、建設時と同じと思われるが、詳細を確認すること。	別途補足資料（KK7 補足-14）にて説明いたします。	VI-6 蒸気タービンの基礎に関する説明書 P. 14
追 6	解析モデルの遮蔽板（B クラス）が剛構造であるか否かを改めて確認する。	遮蔽板は独立した機器として評価することではなく、あくまでペDESTALの一部であり、剛かどうかの判断をする必要はありません。T/G架台応力の算定方針に、「床スラブ及び遮蔽板は、板要素としてモデル化する」と記載があるのは、解析モデルの中で、柱および梁の変形量及び応力を適切に評価するために、床スラブ及び遮蔽板の面内剛性を考慮するためです。	VI-6 蒸気タービンの基礎に関する説明書 P. 14
16	せん断力 α について、()内が意味するものを確認する。	α の算出方法は以下の通りになります。 $\alpha = \frac{4}{\frac{M}{Qd} + 1} \text{ かつ } 1 \leq \alpha \leq 2$ (鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説)	VI-6 蒸気タービンの基礎に関する説明書 P. 18

No.	指摘事項	回答	記載箇所
17	ドレン量を記載していた理由及び今回それを削除する理由を説明すること。 また、第1抽気～第4抽気において、ドレン量が含まれていなかった理由について説明すること。	<p>第5,6抽気については、変更前後のいずれもドレン量を含んでおりますので、記載を適正化します。</p> <p>なお、第1,2抽気は高圧タービンで仕事をしますが、湿り度は低く、ヒートバランス上、抽気ドレンは見込んでいません。</p> <p>第3,4抽気は湿分分離加熱器の2次側であり、湿っていません。下流段落の第5,6抽気は、駆動蒸気が低圧タービンで仕事をして湿り、湿り度が高く、ヒートバランス上、抽気ドレンを見込んでいます。</p>	II 工事計画 P.2
18	第3抽気の抽気圧力について、タービン取替後の数字に変更がない理由を明確にする。	<p>第3抽気は [] の境の位置にあり、取替の影響は小さい箇所となっています。そのため記載の数値に変更はありません。 []</p>	II 工事計画 P.2
19	a. 円板において、他の表と異なり注記*の記載がない理由を確認する。	<p>実用炉規則 別表第一の下欄より、事前届出を要するものとして「車室、円板又は車軸の強度の変更を伴うもの」とあり、今回の届出では円板及び車軸が該当します。</p> <p>そのため、隔板、噴口、翼については関連改造部位と注記を記載しております。</p>	II 工事計画 P.4

No.	指摘事項	回答	記載箇所
20	3.1における「～ミサイルが貫通することはない」記載の根拠を，エビデンスを用いて次回説明。	コンクリートの貫通評価式である修正 NDRC 式を用いて貫通しないことを確認しております。 資料「タービンミサイルの評価内容について」に示します。	VI-3 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 P. 2
21	3.4における「～使用済燃料プールに到達しない」記載の根拠を，エビデンスを用いて次回説明。	5～7号機低圧タービン最終段翼及び5～7号機低圧タービンC～発電機間のカップリングは，ミサイル到達確率を評価しすべてのケースで到達確率は0であることを確認しております。 資料「タービンミサイルの評価内容について」に示します。	VI-3 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 P. 3
22	3.4における「～車室内にとどまりミサイルとならない」記載の根拠を，エビデンスを用いて次回説明。 高圧ロータ及び発電機ロータの評価が不要であることの説明を，評価方法の要素に変更がないことを明らかにして説明する。	高圧ロータ及び発電機ロータについては今回取替対象ではないため，形状や質量に変更はありません。また，定格回転速度にも変更がなく，評価に用いる定格の□の回転速度も同様となります。そのため，建設時の高圧ロータ及び発電機ロータからの飛散物が車室内にとどまりミサイルとならないという評価に変更はなく，再度評価をし直す必要はありません。	VI-3 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 P. 3

No.	指摘事項	回答	記載箇所
23	3.1.1～3.1.3の記述とP.6第2図及びP.7第1表の関係を整理し、説明すること。	別途補足資料 (KK7 補足-09) にて説明いたします。	VI-11-1 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 P.4

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-05 r1
提出年月日	2022年 4月 21日

柏崎刈羽原子力発電所

第7号機

設計及び工事計画届出書本文及び添付書類

東京電力ホールディングス株式会社

柏崎刈羽原子力発電所第7号機
設計及び工事計画届出書本文及び添付書類
目 録

名称及び住所並びに代表者の氏名

工事計画

工事工程表

設計及び工事に係る品質マネジメントシステム

変更の理由

添付書類

-1 発電用原子炉の設置の許可との整合性に関する説明書

-1-1 発電用原子炉の設置の許可（本文（五号））との整合性に関する説明書

-1-2 発電用原子炉の設置の許可（本文（十一号））との整合性に関する説明書

-2 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

-3 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

-4 蒸気タービンの耐震性に関する説明書

-5 蒸気タービンの強度に関する説明書

-6 蒸気タービンの基礎に関する説明書

-7 流体振動又は温度変動による損傷の防止に関する説明書

-8 蒸気タービンの制御方法に関する説明書

-9 蒸気タービンの振動管理に関する説明書

-10 常用電源設備の健全性に関する説明書

-11 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

-11-1 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

-11-2 本設工認に係る設計の実績、工事及び検査の計画

-12 図面

第1図 発電用原子炉施設の熱精算図

第2図 蒸気タービンの構造図

第3図 蒸気タービンの構造図（低圧A円板・車軸構造図）

第4図 蒸気タービンの構造図（低圧B円板・車軸構造図）

第5図 蒸気タービンの構造図（低圧C円板・車軸構造図）

第6図 蒸気タービンの構造図（低圧隔板・噴口構造図）

第7図 蒸気タービンの構造図（低圧翼構造図）

: 今回提出範囲

II 工事計画

II 工事計画

一 発電用原子炉施設

1. 発電用原子炉を設置する事業所の名称及び所在地

名 称	柏崎刈羽原子力発電所
所 在 地	新潟県柏崎市及び刈羽郡刈羽村

2. 発電用原子炉施設の出力及び周波数

出 力	8,212,000kW
1号機	1,100,000kW
2号機	1,100,000kW
3号機	1,100,000kW
4号機	1,100,000kW
5号機	1,100,000kW
6号機	1,356,000kW
7号機	1,356,000kW (今回申請分)
周 波 数	50Hz

3. 原子炉冷却系統施設

蒸気タービンに係るものにあつては、次の事項

1 蒸気タービン本体に係る次の事項

(1) 種類，定格出力，気筒数，主蒸気止め弁の入口の圧力及び温度，組合せ中間弁入口の圧力及び温度，抽気圧力，抽気量，排気圧力，回転速度並びに被動機一体の危険速度

		単位	変 更 前	変 更 後
種	類	—	くし形6流排気再熱再生復水式	同 左
定	格 出 力	kW	1,356,000	同 左
気	筒 数	—	4気筒	同 左
圧力	主蒸気止め弁入口	—	68.2kg/cm ² *1	6.68MPa *3
	組合せ中間弁入口	—		
温度	主蒸気止め弁入口	℃	284	同 左
	組合せ中間弁入口	℃		
抽気圧力 (定格出力時)	第1抽気		—	
	第2抽気		—	
	第3抽気		—	
	第4抽気		—	
	第5抽気		—	
	第6抽気		—	
抽気量 (定格出力時)	第1抽気		kg/h	
	第2抽気		kg/h	
	第3抽気		kg/h	
	第4抽気		kg/h	
	第5抽気		kg/h	
	第6抽気		kg/h	

注記*1 : 68.1668kg/cm²を四捨五入した数値

*2 : ドレン量を含む記載となっている。

*3 : S I 単位に換算したものである。

		単 位	変 更 前	変 更 後
排 気 圧 力		—	真空度 702mmHg	-93.6 kPa*
回 転 速 度		rpm	1,500	同 左
被 動 機 一 体 の 危 険 速 度	1 次	rpm		
	2 次	rpm		
	3 次	rpm		
	4 次	rpm		
	5 次	rpm		
	6 次	rpm		

注記*：S I 単位に換算したものである。

(2) 車室, 円板, 隔板, 噴口, 翼, 車軸の主要寸法及び材料並びに管の最高使用圧力, 最高使用温度, 外径, 厚さ及び材料

a. 円板

		段落	変更前		変更後	
			外径 (mm)	材 料	外径 (mm)	材 料
低 圧 A B C	ター ビ ン 側 / 発 電 機 側	10				
		11				
		12				
		13				
		14				
		15				
		16				

K7 ① II R0

b. 隔板*

		段落	変更前		変更後	
			外径 (mm)	材 料	外径 (mm)	材 料
低 圧 A B C	ター ビン 側 / 発 電 機 側	10				
		11				
		12				
		13				
		14				
		15				
		16				

注記*：工事計画届出に伴う関連改造部位。

c. 噴口*

	段落	変更前		変更後		
		平均直径 (mm)	材 料	平均直径 (mm)	材 料	
低 圧 A	ター ビン 側	10				
		11				
		12				
		13				
		14				
		15				
		16				
	発 電 機 側	10				
		11				
		12				
		13				
		14				
		15				
		16				

注記*：工事計画届出に伴う関連改造部位。

		段落	変更前		変更後	
			平均直径 (mm)	材 料	平均直径 (mm)	材 料
低 圧 B	ター ビン 側	10				
		11				
		12				
		13				
		14				
		15				
	発 電 機 側	10				
		11				
		12				
		13				
		14				
		15				
		16				

K7 ① II R0

		段落	変更前		変更後	
			平均直径 (mm)	材 料	平均直径 (mm)	材 料
低 圧 C	ター ビン 側	10				
		11				
		12				
		13				
		14				
		15				
	発 電 機 側	10				
		11				
		12				
		13				
		14				
		15				
		16				

d. 翼*

	段落	変更前						変更後							
		有効長さ (出口側) (mm)	巾及び厚さ (mm)					材料	有効長さ (出口側) (mm)	巾及び厚さ (mm)					材料
			ϕA	a	a t	ϕB	b			b t	ϕA	a	a t	ϕB	
低 圧 A B C	ター ビン 側 ／ 発 電 機 側	10													
		11													
		12													
		13													
		14													
		15													
	16														

注記* : 工事計画届出に伴う関連改造部位。

e. 車軸

		名 称	変 更 前	変 更 後
低 圧 A	全 長 (mm)			
	直 径	最 大 (mm)		
		最 小 (mm)		
	軸受部直径 (mm)			
	軸受中心間距離 (mm)			
	材 料			
低 圧 B	全 長 (mm)			
	直 径	最 大 (mm)		
		最 小 (mm)		
	軸受部直径 (mm)			
	軸受中心間距離 (mm)			
	材 料			
低 圧 C	全 長 (mm)			
	直 径	最 大 (mm)		
		最 小 (mm)		
	軸受部直径 (mm)			
	軸受中心間距離 (mm)			
	材 料			

K7 ① II R0

蒸気タービン本体材料の機械的性質及び化学成分（規格品を除く）

部品名称	材料名	材料記号	機械的性質			化 学 成 分 %													備 考
			引張強さ MPa	降状点 (耐力) MPa	伸 び %	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Al	Sn	V	その他	
低圧円板・低圧車軸														胴部半径方向					
														胴中心部長手方向					
														胴中心部半径方向					
														端部外周部接線方向					
隔*板																			
噴*口														—					
翼*														—					
														—					

注記*：工事計画届出に伴う関連改造部位。

VI-2 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

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 悪影響の防止	2
2.2 環境条件等	2
2.3 試験・検査性	2
3. 蒸気タービンに対する設計上の考慮について	3

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」(以下「技術基準規則」という。)第14条第2項,第15条第2項及び第4項及びそれらの「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解釈」(以下「解釈」という。)に基づき,届出範囲の機器における設備が使用される条件の下における健全性について説明するものである。

今回は,健全性として,機器に要求される機能を有効に発揮するための,系統設計及び構造設計に係る事項を考慮して,「機器相互の悪影響」(以下「悪影響の防止」という。),「設備に想定される事故等の環境条件(使用条件を含む。等)における機器の健全性」(以下「環境条件等」という。)及び「要求される機能を達成するために必要な試験・検査性,保守点検性等」(以下「試験・検査性」という。)を説明する。

健全性を要求する対象設備について,技術基準規則及びその解釈を踏まえ以下のとおりとする。

「悪影響の防止」については,技術基準規則第15条第4項及びその解釈にて設計基準対象施設に属する設備に対して要求されていることから,安全設備を含めた設計基準対象施設を対象とする。

「環境条件等」については,設計が技術基準規則第14条第2項及びその解釈にて安全機能を有する構築物,系統及び機器(以下「安全施設」という。)に対して要求されているため,安全設備を含めた安全施設を対象とする。

「試験・検査性」については,技術基準規則第15条第2項及びその解釈にて設計基準対象施設に対して要求されており,安全設備を含めた設計基準対象施設を対象とする。

2. 基本方針

安全設備及び重大事故等対処設備の設計については、令和 2 年 10 月 14 日付け原規規発第 2010147 号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機の設計及び工事の計画の添付書類「-1-1-7 安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」による。以下には、本届出にて変更する蒸気タービンに係る機器による影響を踏まえ、関連する設備の設計について記載する。

2.1 悪影響の防止

- ・設計基準対象施設に属する設備は、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の破損及び配管の破断、高速回転機器の破損に伴う飛散物により安全性を損なわない設計とする。

本届出にて変更する蒸気タービンに係る機器の内部飛散物による影響の考慮については「-3 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」に示す。

2.2 環境条件等

- ・安全施設は、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故等における環境条件を考慮した設計とする。
- ・安全施設は、地震、火災、溢水及びその他の自然現象並びに人為事象による他設備からの悪影響により、発電用原子炉施設として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。

2.3 試験・検査性

- ・設計基準対象施設のうち構造・強度の確認又は内部構成部品の確認が必要な設備は、原則として分解・開放（非破壊検査を含む。）が可能な構造とし、機能・性能確認、各部の経年劣化対策及び日常点検を考慮することにより、分解・開放が不要なものについては外観の確認が可能な設計とする。

3. 蒸気タービンに対する設計上の考慮について

蒸気タービンの設計については、上述の「2.1 悪影響の防止」、「2.2 環境条件等」及び「2.3 試験・検査性」を踏まえて、本届出にて変更する蒸気タービンに係る機器が与える影響について確認した結果、適合性が確認された蒸気タービンのこれまでの設計を変更するものではない。

VI-4 蒸気タービンの耐震性に関する説明書

目 次

1.	概要	1
2.	適用基準	1
3.	耐震重要度分類	1
4.	構造計画	2
5.	耐震計算に使用する記号の説明	3
6.	固有周期の計算方法	5
7.	固有周期の評価及び結果	6
7.1	固有周期の評価	6
7.2	結果	6
8.	設計用地震力	7
9.	荷重の組合せ及び許容限界	8
10.	基礎ボルトの応力計算方法	10
10.1	引張応力	11
10.2	せん断応力	12
11.	基礎ボルトの応力の評価	12
12.	設計条件	13
13.	機器要目	13
14.	計算数値	14
15.	結論	14

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第5条及びその「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解釈」（以下「解釈」という。）に基づき、蒸気タービン設備が設計用地震力によってその安全性が損なわれるおそれがないことを説明するものである。

2. 適用基準

本評価において適用する規格、基準等を以下に示す。

- ・ 社団法人 日本電気協会 電気技術指針「原子力発電所耐震設計技術指針」（J E A G 4 6 0 1・補- 1984, J E A G 4 6 0 1- 1987)
- ・ 社団法人 日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（J S M E S N C 1 -2005/2007)

3. 耐震重要度分類

設 備 名 称	機 器 名 称	重 要 度 分 類
3. 原子炉冷却系統施設 蒸気タービンに係るものにあ っては次の事項 1 蒸気タービン本体	蒸気タービン	B

4. 構造計画

原則として、耐震上適切な剛性を有する構造とする。蒸気タービン支持構造物の配置説明図を以下に示す。

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	支持構造	主体構造		
蒸気タービン	蒸気タービンの基礎上に設置する。低圧外部車室はソールプレートを通じて基礎ボルトにて固定される。低圧内部車室は低圧外部車室支持部に固定される。	くし形 6 流排気再熱再生復水式高圧タービン 1 台, 低圧タービン 3 台, 合計 4 台より成る。車室はそれぞれ上・下半車室より成り, ボルトで取付けられている。		

5. 耐震計算に使用する記号の説明

記号 ^{*1}	記号の説明	単位
A _{bi}	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _{si}	低圧タービンの有効せん断断面積 []	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _T	タービン振動による震度	—
d _i	基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数 []	MPa
F _i	J S M E S N C 1-2005/2007 の []	MPa
F _{bi}	基礎ボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	N
f _{si}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _{ti}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{tsi}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容限界	MPa
G	せん断弾性係数 []	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H _T	タービンの基礎ボルト部における最大両振幅	mm
h _i	床から重心までの距離	mm
I _i	低圧タービンの断面二次モーメント []	mm ⁴
K _i	低圧タービンのばね定数 []	N/m
l _{1i}	重心と基礎ボルト間の水平方向距離 *2	mm
l _{2i}	重心と基礎ボルト間の水平方向距離 *2	mm
M _{Ti}	タービン回転により作用するモーメント	N・mm
m _i	運転時質量	kg
N	回転速度 (タービンの定格回転速度)	rpm
n _i	基礎ボルトの本数	—
n _{fi}	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
P _i	タービン伝達動力	kW
Q _{bi}	基礎ボルトに作用するせん断力	N
S _{ui}	J S M E S N C 1-2005/2007 []	MPa
S _{yi}	J S M E S N C 1-2005/2007 []	MPa
T _i	低圧タービンの固有周期	s
π	円周率	—

記号*1	記号の説明	単位
σ_{bi}	基礎ボルトに作用する引張応力	MPa
τ_{bi}	基礎ボルトに作用するせん断応力	MPa

注記*1 : A_{bi} , A_{si} , d_i , F_i , F_{bi} , f_{si} , f_{ti} , f_{tsi} , h_i , I_i , K_i , l_{1i} , l_{2i} , M_{ti} , m_i , n_i , n_{fi} , P_i , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , T_i , σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は以下のとおりとする。

$i = 1$: 低圧タービンA

$i = 2$: 低圧タービンB

$i = 3$: 低圧タービンC

*2 : $l_{1i} \leq l_{2i}$

6. 固有周期の計算方法

水平方向の固有周期は一般に以下の式にて計算される。

低圧タービン

$$T_i = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_i}{K_i}} \quad (i=1, 2, 3) \dots\dots\dots (5.1)$$

タービンは構造的に1個の大きなブロック状をしており、重心の位置がブロック状のほぼ中心にあり、かつ下面が基礎ボルトにて固定されている。変形によるばね定数Kは以下の式で求める。

低圧タービン

$$K_i = \frac{1000}{\frac{h_i^3}{3 \cdot E \cdot I_i} + \frac{h_i}{A_{Si} \cdot G}} \quad (i=1, 2, 3) \dots\dots\dots (5.2)$$

7. 固有周期の評価及び結果

7.1 固有周期の評価

剛構造であることを以下に示す評価式で確認する。

$$T_i \leq 0.05^* \dots\dots\dots (6.1)$$

注記* : J E A G 4 6 0 1 - 1987 6.4.3 動的地震力の概要

7.2 結果

タービン固有周期の計算結果

名称	固有周期(s)
低圧タービンA (T ₁)	
低圧タービンB (T ₂)	
低圧タービンC (T ₃)	

固有周期が 0.05 秒以下のため、全てのタービンについて剛構造と判断される。

なお、鉛直方向の固有周期についても確認し同様に剛構造であると判断される。

8. 設計用地震力

耐震 クラス	適用する地震動等		設計用地震力
	水平	鉛直	
B	静的震度*1 (1.8・C _I *2)	—	静的震度

注記*1 : 静的震度は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事の計画の「V-2-1-9 機能維持の基本方針」の設計震度を適用する。

*2 : C_Iは標準せん断力係数を0.2とし、建物・構築物の振動特性および地盤の種類等を考慮して求められる値で次式に基づく。

$$C_I = R_T \cdot A_I \cdot C_0$$

R_T : 振動特性係数 0.8

A_I : C_Iの高さ方向の分布係数

C₀ : 標準せん断力係数 0.2

ここに、C_Iは、建設時の層せん断係数とする。

9. 荷重の組合せ及び許容限界

蒸気タービン設備の耐震設計において、地震力によって、支持構造物の引張応力及びせん断応力が許容限界を超えないことを確認する。荷重の組合せ及び許容限界は以下のとおりとする。

記号の説明

[荷重]

D : 死荷重

P_d : 当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重

M_d : 当該設備に設計上定められた機械的荷重

[地震]

S_B : 耐震Bクラスの設備に適用される地震動により求まる地震力又は静的地震力

[許容応力]

f_t : 引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力

f_s : せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力

f_{ts} : 引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容限界

[応力]

σ_b : 基礎ボルトに作用する引張応力

τ_b : 基礎ボルトに作用するせん断応力

[許容応力状態]

B_{AS} : Bクラス設備の地震時の許容応力状態

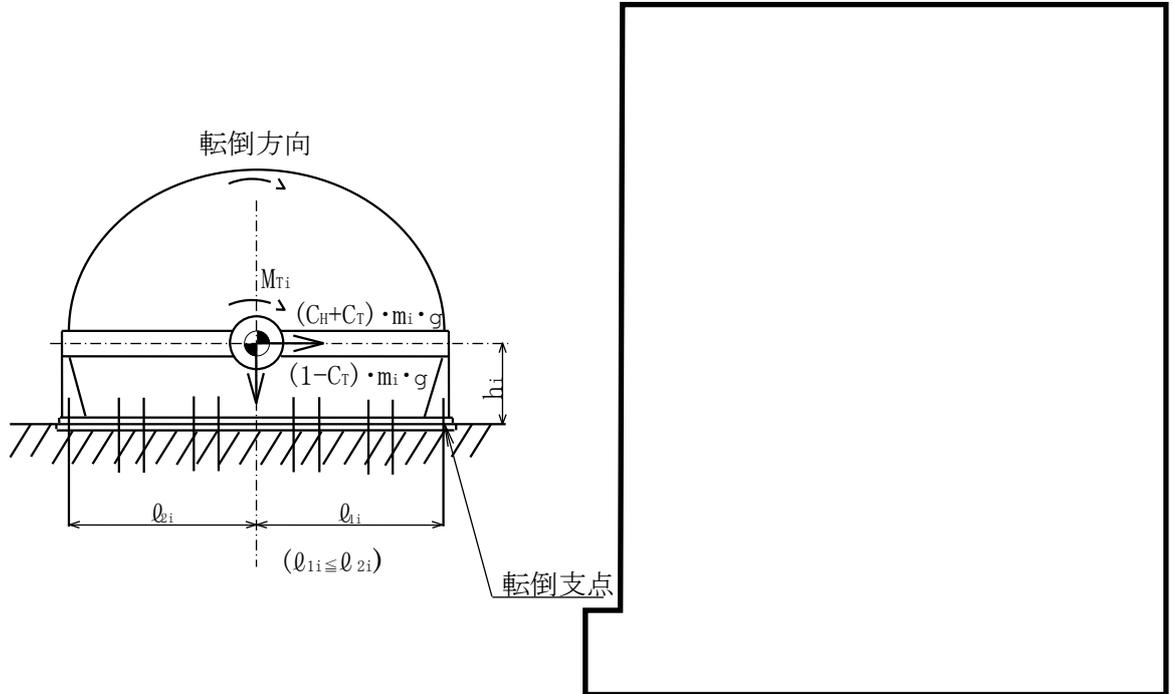
耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界（ボルト等）			適用範囲
			一次応力			
			引張り	せん断	組合せ (= f_{ts})	
B	$D+P_d+M_d+S_B$	B_{AS}	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$\text{Min}\{1.5 \cdot f_t, 1.5 \cdot 1.4 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b\}^*$	蒸気タービン 基礎ボルト

注記*: J S M E S N C 1-2005/2007

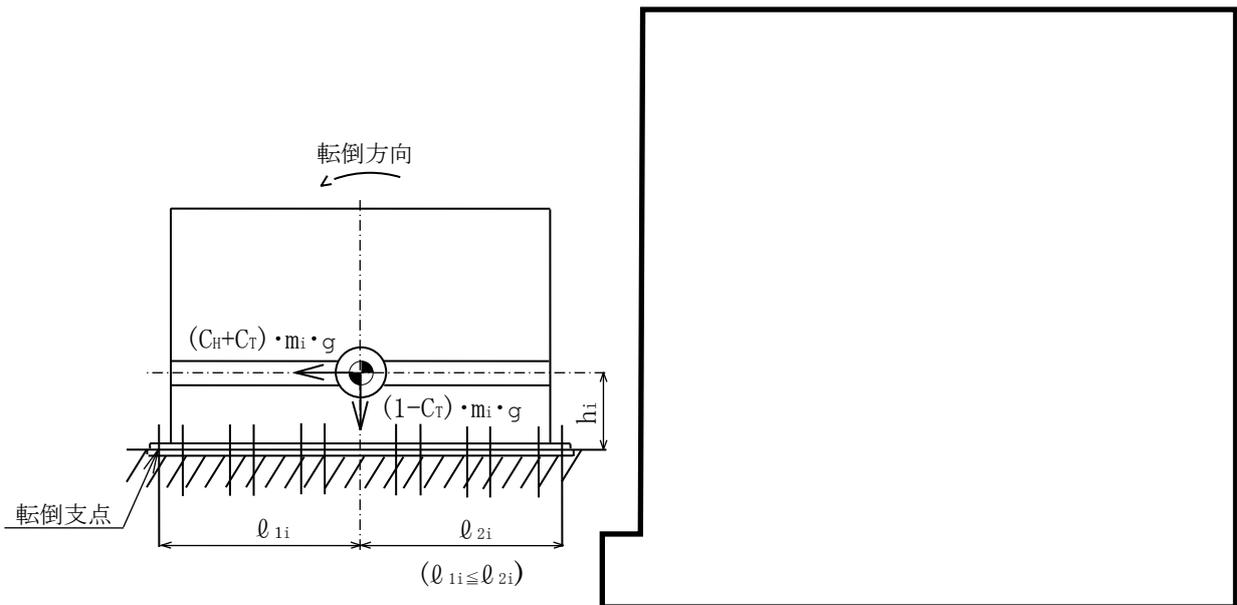


10. 基礎ボルトの応力計算方法

基礎ボルトの応力は機器の自重，地震による震度，タービン振動による震度及びタービン回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。



第1図 計算モデル（軸直角方向転倒）



第2図 計算モデル（軸方向転倒）

10.1 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、第1図及び第2図で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

タービン振動による震度

$$C_T = \frac{H_T}{2} \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \right)^2 \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{1}{1000} \dots\dots\dots (9.1)$$

タービン回転により作用するモーメント (第1図 軸直角方向転倒のみ作用)

$$M_{Ti} = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P_i \dots\dots\dots (9.2)$$

第1図の引張力 (軸直角方向転倒)

$$F_{bi} = \frac{(C_H + C_T) \cdot m_i \cdot g \cdot h_i + M_{Ti} - (1 - C_T) \cdot m_i \cdot g \cdot \ell_{1i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})} \dots\dots\dots (9.3)$$

第2図の引張力 (軸方向転倒)

$$F_{bi} = \frac{(C_H + C_T) \cdot m_i \cdot g \cdot h_i - (1 - C_T) \cdot m_i \cdot g \cdot \ell_{1i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})} \dots\dots\dots (9.4)$$

引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots\dots\dots (9.5)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積は

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (9.6)$$

ただし F_{bi} が負のとき、基礎ボルトには引張力が生じないため引張応力の評価は不要とする。

10.2 せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{bi} = (C_H + C_T) \cdot m_i \cdot g \dots\dots\dots (9.7)$$

せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_{bi}} \dots\dots\dots (9.8)$$

11. 基礎ボルトの応力の評価

応力については、以下に示す評価式を満足することを確認する。

$$f_{tsi}^* \geq \sigma_{bi} \dots\dots\dots (10.1)$$

$$1.5 \cdot f_{si} \geq \tau_{bi} \dots\dots\dots (10.2)$$

注記* : $f_{tsi} = \text{Min}\{1.5 \cdot f_{ti}, 1.5 \cdot 1.4 \cdot f_{ti} - 1.6 \cdot \tau_{bi}\}$

12. 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	タービンの定格回転速度 (rpm)	タービンの基礎ボルト部における最大両振幅 (mm)	タービン振動による震度	周囲環境温度 (°C)
蒸気タービン	B	タービン建屋 T. M. S. L. 20.4 *1	$T_{1,2,3} = \square$ *2	$C_H = 0.43$ *3	—	N = 1500	$H_T = \square$	$C_T = \square$	\square

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 固有周期が 0.05 秒以下のため剛構造と判断される。(J E A G 4 6 0 1 - 1987 6.4.3 動的地震力の概要より)

*3 : 平成 4 年 5 月 22 日付け 4 資庁第 3236 号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機の工事の計画の「IV-3-13 蒸気タービンの耐震性についての計算書」の水平方向設計震度を適用する。

13. 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ϕ_{1i} (mm)	ϕ_{2i} (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fl}	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i^{*1} (MPa)	f_{ti}^{*2} (MPa)	f_{si}^{*3} (MPa)	転倒方向	P_i (kW)	M_{Ti} (N・mm)
低圧タービンA 基礎ボルト (i=1)																
低圧タービンB 基礎ボルト (i=2)																
低圧タービンC 基礎ボルト (i=3)																

注記*1 : F_i 値は, \square

*2 : $f_{ti} = F_i / 2$

*3 : $f_{si} = F_i / 1.5\sqrt{3}$

14. 計算数値

基礎ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F _{bi}	Q _{bi}
低圧タービンA基礎ボルト (i =1)		
低圧タービンB基礎ボルト (i =2)		
低圧タービンC基礎ボルト (i =3)		

15. 結論

基礎ボルトに作用する応力の評価 (単位：MPa)

部 材	材料	応力	算出応力	許容限界
低圧タービンA基礎ボルト (i =1)		引張り	$\sigma_{b1} =$	
		せん断	$\tau_{b1} =$	
低圧タービンB基礎ボルト (i =2)		引張り	$\sigma_{b2} =$	
		せん断	$\tau_{b2} =$	
低圧タービンC基礎ボルト (i =3)		引張り	$\sigma_{b3} =$	
		せん断	$\tau_{b3} =$	

*2 : $f_{tsi} = 1.5 \cdot 1.4 \cdot f_{ti} - 1.6 \cdot \tau_{bi}$

すべて許容限界以下である。

VI-6 蒸気タービンの基礎に関する説明書

目 次

1. 概要	1
2. 使用材料及び許容応力度	8
3. 柱・はり部の構造評価	9
3.1 荷重の種類及びその組合せ	9
3.2 T/G架台応力の算定方針	13
3.3 T/G架台の断面検定結果	15
4. 基礎スラブ部の構造評価	19

1. 概要

本資料は「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第5条及びその「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解釈」に基づいて、蒸気タービンの基礎が、基準地震動による地震力に対してその安全性が損なわれるおそれがないことを示すものである。

蒸気タービンの基礎とは、タービン建屋のほぼ中央に位置するタービン発電機を支える剛性の極めて大きなはり、柱及び壁によって構成される鉄筋コンクリート造の壁付ラーメン架構（以下、T/G架台という）及びそれを支持する基礎スラブをいう。

蒸気タービン取替に伴う機器重量増加後の蒸気タービンの基礎の検討として、T/G架台及び基礎スラブの構造健全性について検討し評価を行っている。

検討方法及び評価は、建設時第1回工事計画認可申請書（3資庁第6675号平成3年8月23日認可）添付書類「IV-1-6 蒸気タービンの基礎に関する説明書」の設計荷重条件と今回変更となる機器重量条件を考慮し、柱、はりが現状の鉄筋量で問題のないことを確認している。

基礎スラブについては作用する荷重の建設時との比較によって現状の配筋で問題のない事を確認した。接地圧は許容地耐力以下であることを確認している。

また、地震荷重については、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事の計画の「V-2-9 機能維持の基本方針」に準拠し、建築基準法に示される震度をもとにした水平震度に基づき震度法により算出している。

なお、算定は「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ―許容応力度設計法―（1999）」（日本建築学会）及び「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（2005）」（日本建築学会）による。

蒸気タービンの基礎の概要を表1-1に、蒸気タービンの基礎の状況を明示した図を第1-1～1-5図に示す。

表 1-1 蒸気タービンの基礎の概要

	概 要
T / G 架台・ 基礎スラブの 構造及び主要 寸法	<ul style="list-style-type: none"> • 構造 <ul style="list-style-type: none"> 架台 鉄筋コンクリート構造 基礎スラブ 鉄筋コンクリート構造 • 架台寸法 <ul style="list-style-type: none"> 高さ <input style="width: 100px; height: 15px;" type="text"/> 長さ <input style="width: 100px; height: 15px;" type="text"/> 幅 <input style="width: 100px; height: 15px;" type="text"/> • 基礎スラブ <ul style="list-style-type: none"> 厚さ <input style="width: 100px; height: 15px;" type="text"/>
重 量	<ul style="list-style-type: none"> • T / G 架台重量 <input style="width: 100px; height: 15px;" type="text"/> • T / G 架台上機器重量 <input style="width: 100px; height: 15px;" type="text"/>

K7 ① VI-6 R0



第 1-1 図 平面図 (T. M. S. L 20, 400) (单位 : mm)

K7 ① VI-6 R0



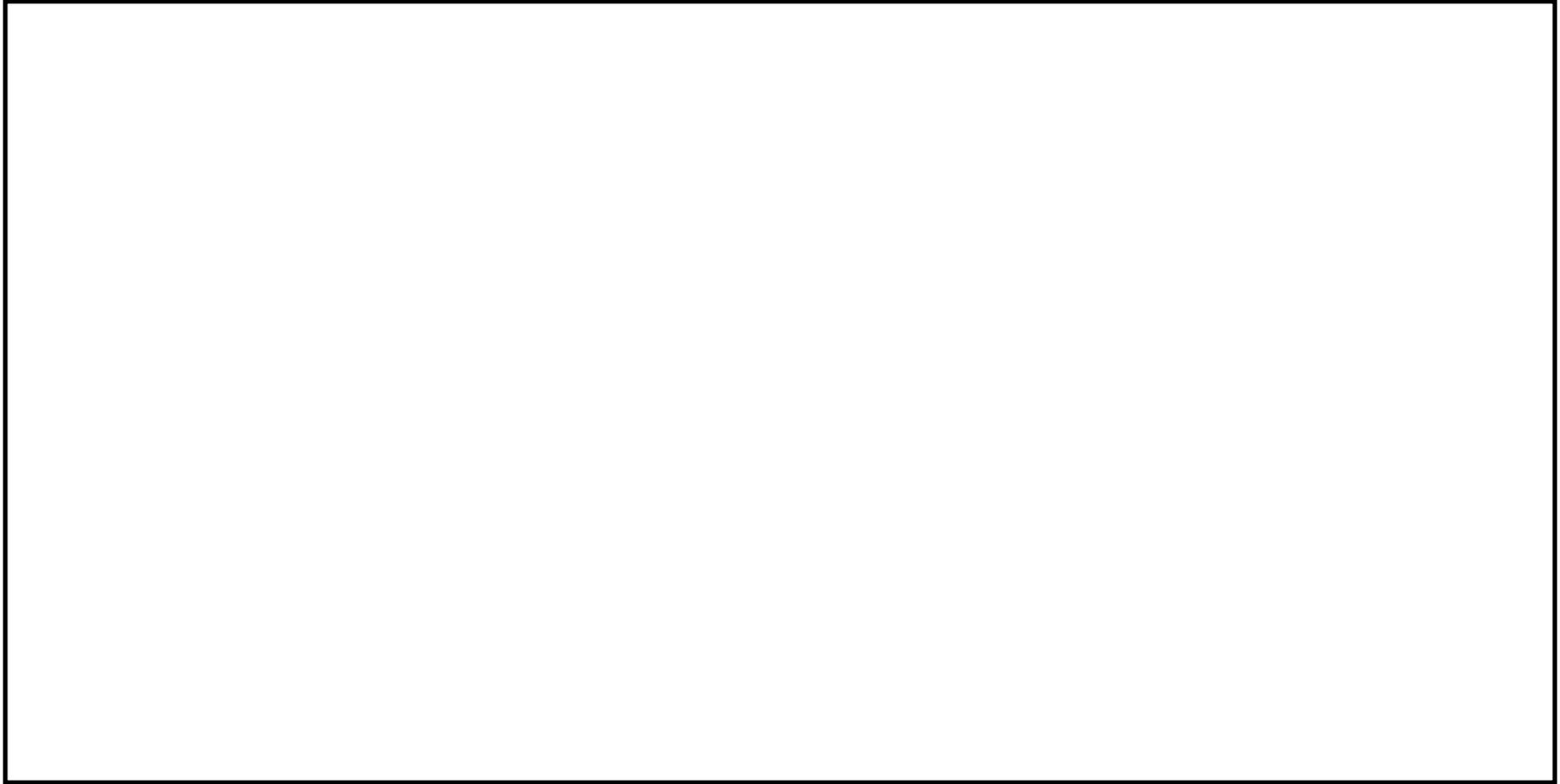
第 1-2 図 平面図 (T. M. S. L 12, 300) (单位 : mm)

K7 ① VI-6 R0



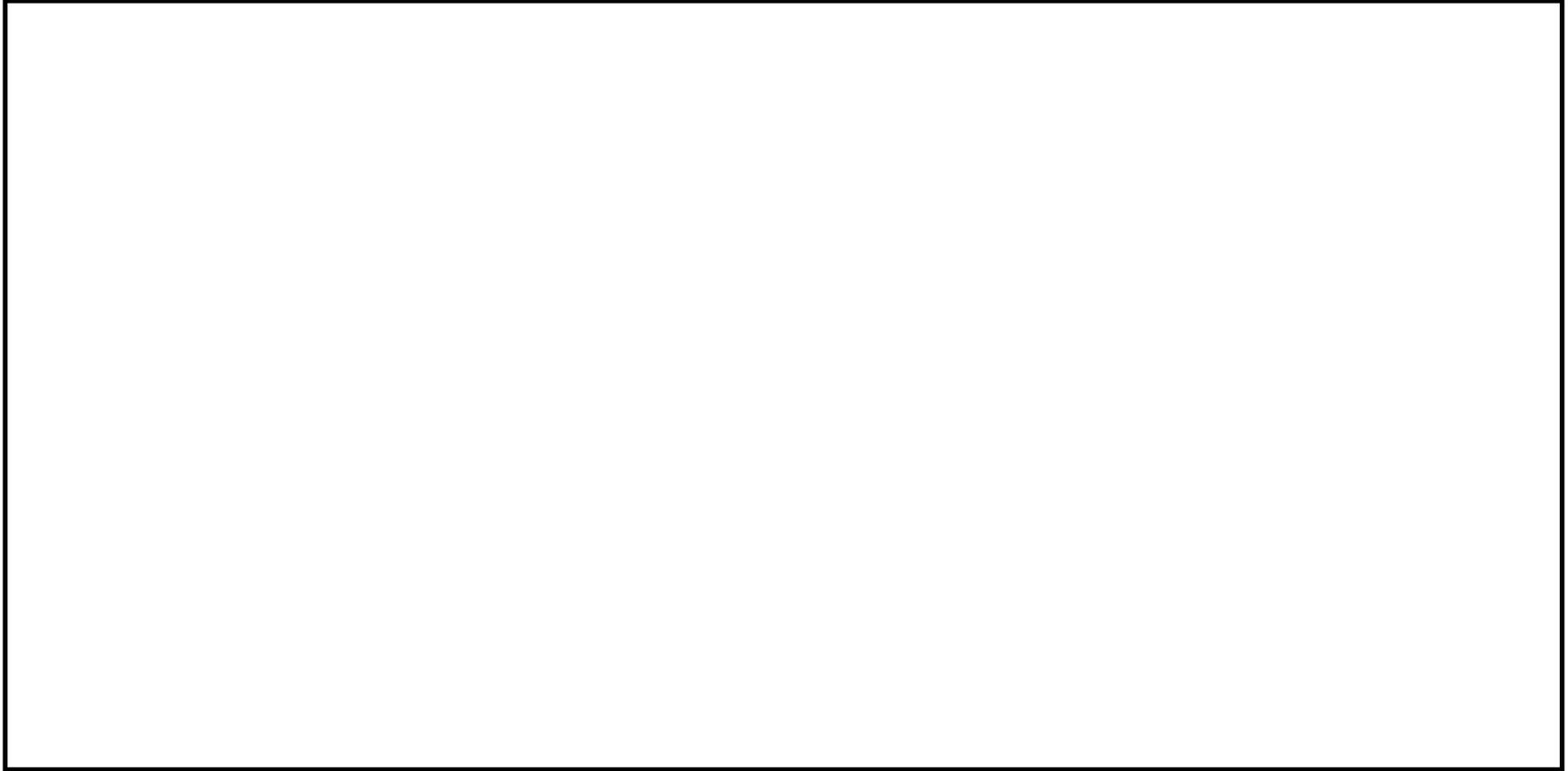
第 1-3 図 平面図 (T.M.S.L -5, 100) (単位 : mm)

K7 ① VI-6 R0



第 1-4 図 断面図 (X2 通り) (単位 : mm)

K7 ① VI-6 R0



第 1-5 图 断面图 (单位 : mm)

2. 使用材料及び許容応力度

T/G架台に使用したコンクリートの設計基準強度は 32.3MPa, 基礎スラブに使用したコンクリートの設計基準強度は 29.4MPa, 鉄筋は, いずれも J I S G 3 1 1 2 に規定される異形棒鋼で, T/G架台及び基礎スラブの主筋に使用したのは S D 345 である。コンクリート, 鉄筋の許容応力度を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

表 2-1 コンクリートの許容応力度 (単位: MPa)

	長期			短期		
	圧縮	引張り	せん断	圧縮	引張り	せん断
T/G架台 普通コンクリート	10.7	—	0.81	21.4	—	1.21
基礎スラブ 普通コンクリート	9.80	—	0.78	19.6	—	1.17

表 2-2 鉄筋の許容応力度 (単位: MPa)

	長期		短期	
	引張り及び圧縮	せん断補強	引張り及び圧縮	せん断補強
S D 345	215 195*	195	345	345

注記*: D 29 以上

なお, 地盤の長期許容地耐力は 220t/m², 短期許容地耐力は 420t/m² であり, これをそれぞれ SI 単位換算し, 長期 2,157kN/m², 短期 4,118kN/m² とする。

3. 柱・はり部の構造評価

以下の荷重条件で、構造健全性が確保されていることを以下のとおり確認している。

3.1 荷重の種類及びその組合せ

3.1.1 荷重の種類

設計として考慮する荷重の種類及びその概要を表 3.1-1 に示す。

表 3.1-1 荷重の種類

自重 (D)	D_p : T/G架台自重 W_M : 機器自重 D_l : 遮蔽板自重 P : 配管荷重
定格回転時荷重 (O)	V : 復水器真空荷重 T_t : タービントルク荷重 T_g : 発電機トルク荷重 M_e : 熱膨張反力
非常回転時荷重 (E)	G_{SC} : 発電機短絡荷重 R : ロータ偏心荷重 L : 最終段羽根飛散時荷重 B_T : 弁トリップ荷重
地震荷重 (S)	S_H : Bクラス用地震荷重

3.1.2 地震荷重の算定

地震荷重については，令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事の計画の「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に準拠し，層せん断力係数に基づき算出する。

a. 建築，構築物（架台）

Bクラス：層せん断力係数 $1.5C_I$

b. 機器，配管系（機器）

Bクラス：層せん断力係数 $1.8C_I$

ここに， C_I^* は，平成3年8月23日付け3資庁第6875号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の工事の計画の「IV-1-6 蒸気タービンの基礎に関する説明書」の層せん断力係数を適用する。

注記*：層せん断力係数を算出する際の C_I は，標準せん断力係数を0.2とし，建物・構築物の振動特性，地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

3.1.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3.1-2 に示す。

表 3.1-2 荷重の組合せ

荷重 ケース	基本の組合せ		許容限界
1	D + O		長期許容応力度
2	D + O + E + S		短期許容応力度
3			



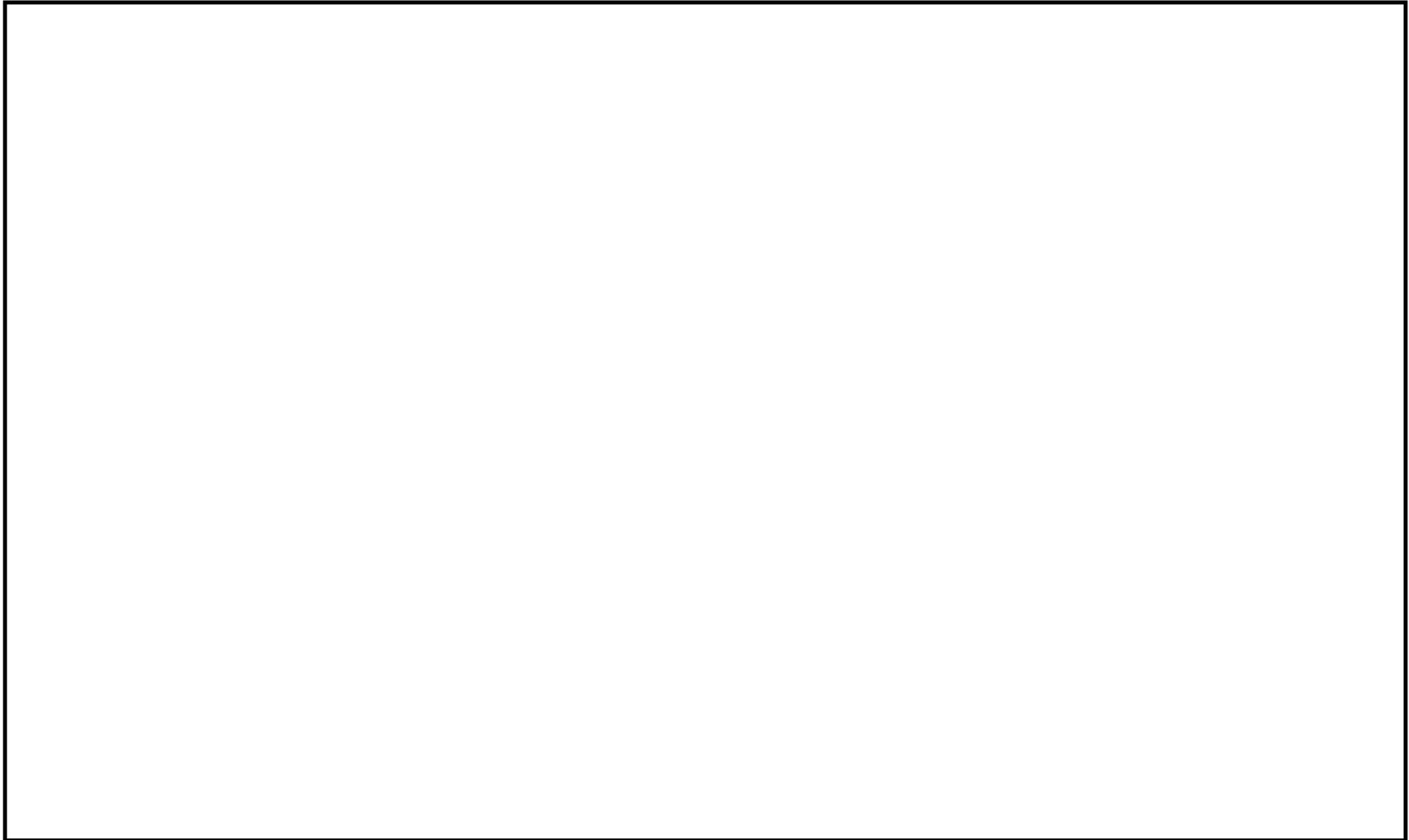
D : 自重 (D_p, W_M, D₁, P)

O : 定格回転時荷重 (V, T_t, T_g, M_e)

E : 非常回転時荷重 (G_{SC}, R, L, B_T)

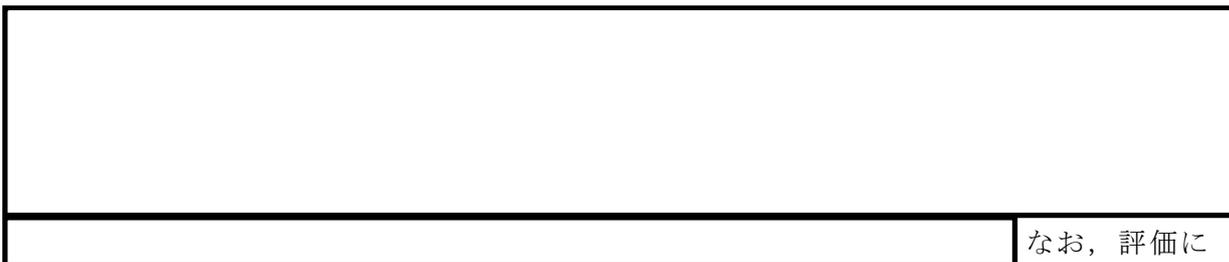
S : 地震荷重 (S_H)

なお、機器荷重条件を第 3.1-1 図に示す。



第 3.1-1 図 タービン発電機基礎 機器荷重分布図

3.2 T/G架台応力の算定方針



なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

解析に用いる材料の物性値は次のとおりである。

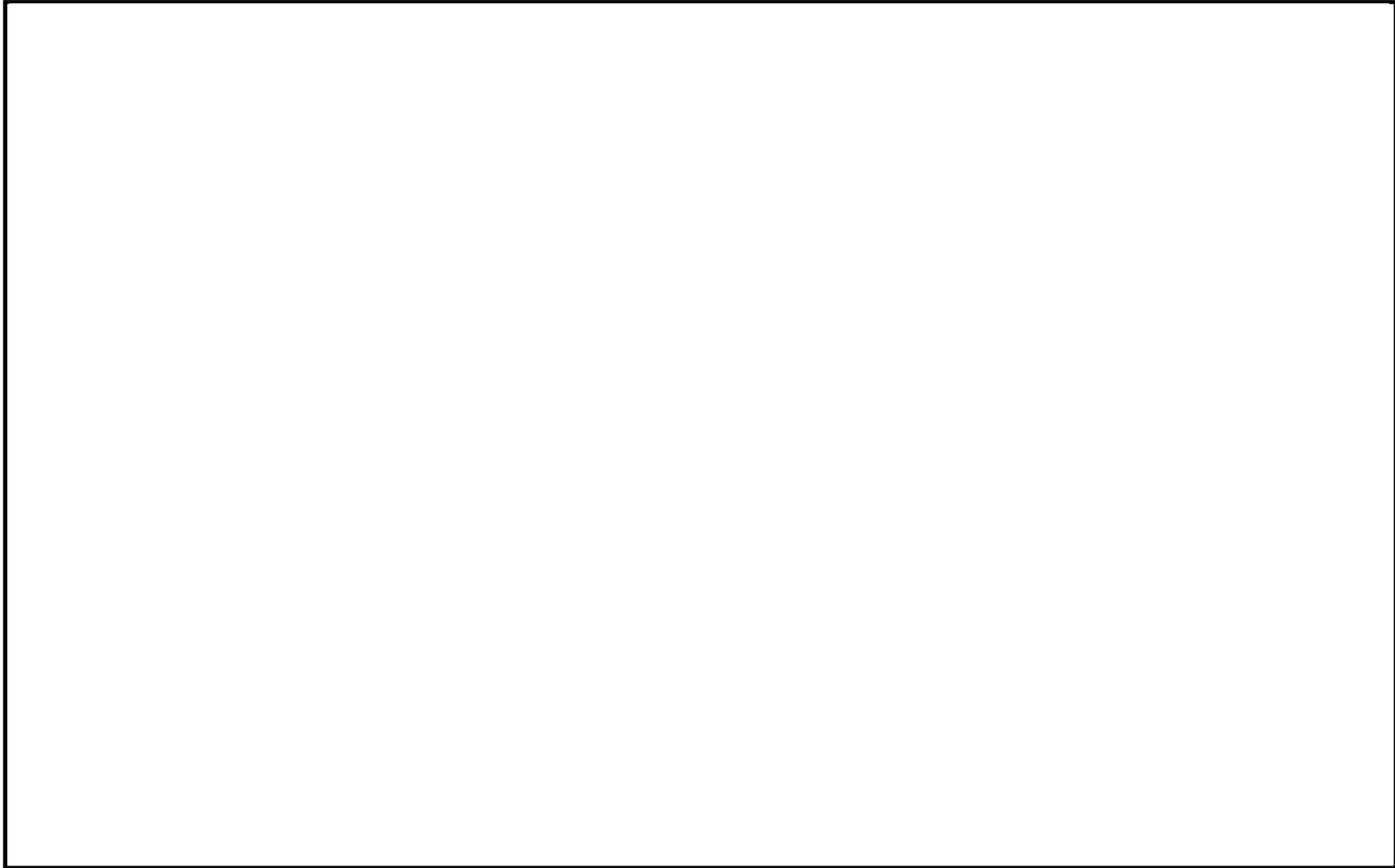
コンクリートのヤング係数 $E = 2.50 \times 10^4$ MPa

コンクリートのせん断弾性係数 $G = 1.04 \times 10^4$ MPa

コンクリートのポアソン比 0.2

鉄筋コンクリートの単位体積重量 $\gamma = 23.54$ kN/m³ (2.4t/m³をSI単位換算)

応力解析モデルを第 3.2-1 図に示す。



第 3.2-1 図 解析モデル

3.3 T/G架台の断面検定結果

各部材の断面算定は機器荷重変更後の荷重の組合せのうち最も不利な応力について行う。

(1) はり

長方形ばりとして断面算定を行う。

(2) 柱

長方形柱として断面算定を行い、コンクリートの全断面積に対する主筋全断面積の割合は、0.8%以上とする。

例としてY4通りの一層目及び二層目の柱断面 ($_1C X_1 Y_4$, $_2C X_1 Y_4$) 算定結果を表 3.3-1 及び表 3.3-2 に示す。同様に一層目及び二層目のはり断面 ($_1G Y_4$, $_2G Y_4$) 算定結果を表 3.3-3 に示す。

各表中で使用する記号は下記の通りである。

b	: 材の幅
D	: 材のせい
d	: 曲げ材の圧縮縁から引張鉄筋重心までの距離 (有効せい)
j	: 曲げ材の応力中心距離 ($7d/8$)
N	: 軸力
M	: 曲げモーメント
Q	: せん断力
N_D	: 設計用軸力
M_D	: 設計用曲げモーメント
Q_D	: 設計用せん断力
P_t	: 長方形ばり, 長方形柱の引張鉄筋比
a_t	: 引張鉄筋の断面積
f_s	: コンクリートの許容せん断応力度
α	: はり又は柱のせん断スパン比 M/Qd による割増し係数
f_t	: 鉄筋の許容引張応力度
p_w	: あばら筋比又は帯筋比

表 3.3-1 柱の断面検定結果 (部材: $1C X_1 Y_4$)

柱 記 号		$1C X_1 Y_4$				
位 置		柱 頭		柱 脚		
方 向		X	Y	X	Y	
断面形	$b \times D$ (mm)					
	j (mm)					
	$b D$ ($\times 10^6 \text{mm}^2$)					
	$b D^2$ ($\times 10^{10} \text{mm}^3$)					
長期荷重時	N ($\times 10^3 \text{N}$)					
	M ($\times 10^6 \text{N} \cdot \text{mm}$)					
	Q ($\times 10^3 \text{N}$)					
短期荷重時	N ($\times 10^3 \text{N}$)					
	M ($\times 10^6 \text{N} \cdot \text{mm}$)					
	Q ($\times 10^3 \text{N}$)					
設計応力	長期					N_D ($\times 10^3 \text{N}$)
						M_D ($\times 10^6 \text{N} \cdot \text{mm}$)
						Q_D ($\times 10^3 \text{N}$)
	短期					N_D ($\times 10^3 \text{N}$)
						M_D ($\times 10^6 \text{N} \cdot \text{mm}$)
						Q_D ($\times 10^3 \text{N}$)
長期	$N_D / b D$ (MPa)					
	$M_D / b D^2$ (MPa)					
	P_t (%)					
短期	$N_D / b D$ (MPa)					
	$M_D / b D^2$ (MPa)					
	P_t (%)					
a_t (mm^2)						
配筋設計	引張側鉄筋					
	断面積 (mm^2)					
せん断力の検討	$f_s b j$ ($\times 10^3 \text{N}$)					
	P_w (%)					
	帯筋					
	帯筋比 (%)					

--

K7 ① VI-6 R0

表 3.3-2 柱の断面検定結果 (部材: 2C X₁ Y₄)

柱 記 号		2C X ₁ Y ₄				
位 置		柱 頭		柱 脚		
方 向		X	Y	X	Y	
断面形	b × D (mm)					
	j (mm)					
	b D (× 10 ⁶ mm ²)					
	b D ² (× 10 ¹⁰ mm ³)					
長期荷重時	N (× 10 ³ N)					
	M (× 10 ⁶ N · mm)					
	Q (× 10 ³ N)					
短期荷重時	N (× 10 ³ N)					
	M (× 10 ⁶ N · mm)					
	Q (× 10 ³ N)					
設計応力	長期					N _D (× 10 ³ N)
						M _D (× 10 ⁶ N · mm)
						Q _D (× 10 ³ N)
	短期					N _D (× 10 ³ N)
						M _D (× 10 ⁶ N · mm)
						Q _D (× 10 ³ N)
長期	N _D /b D (MPa)					
	M _D /b D ² (MPa)					
	P _t (%)					
短期	N _D /b D (MPa)					
	M _D /b D ² (MPa)					
	P _t (%)					
a _t (mm ²)						
配筋設計	引張側鉄筋					
	断面積 (mm ²)					
せん断力の検討	f _s b j (× 10 ³ N)					
	P _w (%)					
	帯筋					
	帯筋比 (%)					

K7 ① VI-6 R0

表 3.3-3 はりの断面検定結果

標 高		T. M. S. L. 20,400			T. M. S. L. 7,000					
は り 記 号		2GY4			1GY4					
位 置		X1 端	中 央	X2 端	X1 端	中 央	X2 端			
断面形	b × D (mm)									
	d (mm)									
	j (mm)									
長期荷重	M (×10 ⁶ N・mm)									
	Q (×10 ³ N)									
短期荷重	M (×10 ⁶ N・mm)									
	Q (×10 ³ N)									
設計応力	長期							M _D (×10 ⁶ N・mm)	上げ	
								Q _D (×10 ³ N)	下げ	
	短期							M _D (×10 ⁶ N・mm)	上げ	
								Q _D (×10 ³ N)	下げ	
長期	M _D /f _{tj} (mm ²)							上げ		
								下げ		
短期	M _D /f _{tj} (mm ²)							上げ		
								下げ		
	a _t (mm ²)							上げ		
								下げ		
設計配筋	上げ筋									
	下げ筋									
	断面積 (mm ²)							上げ		
								下げ		
せん断力の検討	f _s b j (×10 ³ N)									
	α									
	α f _s b j (×10 ³ N)									
	P _w (%)									
	配筋							あばら筋		
								あばら筋比 (%)		

K7 ① VI-6 R0

4. 基礎スラブ部の構造評価

タービン建屋の機器，土圧等の荷重には変更がなく，タービン建屋から基礎スラブ部に作用する荷重は，地震時を含めて建設時の値を超えることはない。

T/G架台の柱脚に作用する取替後応力と建設時応力の比較を表 4-1 に示す。なお，建設時より大きくなる部位については，現状の配筋で問題ないことを確認している。

また，接地圧についても許容地耐力以下の $4,118\text{kN/m}^2$ 以下であることを確認している。

表 4-1 柱脚応力の新旧比較

(a) Y1 通り $_1C_1$

対象柱脚	Y1 通り $_1C_1$			
応力方向	X 方向柱脚応力		Y 方向柱脚応力	
応力種別	$\text{Max } N_x (\times 10^3\text{N})$	$\text{Max } M_x (\times 10^6\text{Nmm})$	$\text{Max } N_y (\times 10^3\text{N})$	$\text{Max } M_y (\times 10^6\text{Nmm})$
取替後応力				
建設時応力				
応力比 (取替後/建設時)				

(b) Y4 通り $_1C_4$

対象柱脚	Y4 通り $_1C_4$			
応力方向	X 方向柱脚応力		Y 方向柱脚応力	
応力種別	$\text{Max } N_x (\times 10^3\text{N})$	$\text{Max } M_x (\times 10^6\text{Nmm})$	$\text{Max } N_y (\times 10^3\text{N})$	$\text{Max } M_y (\times 10^6\text{Nmm})$
取替後応力				
建設時応力				
応力比 (取替後/建設時)				

(c) Y6 通り $_1C_6$

対象柱脚	Y6 通り $_1C_6$			
応力方向	X 方向柱脚応力		Y 方向柱脚応力	
応力種別	$\text{Max } N_x (\times 10^3\text{N})$	$\text{Max } M_x (\times 10^6\text{Nmm})$	$\text{Max } N_y (\times 10^3\text{N})$	$\text{Max } M_y (\times 10^6\text{Nmm})$
取替後応力				
建設時応力				
応力比 (取替後/建設時)				

VI-9 蒸気タービンの振動管理に関する説明書

目 次

1.	概要	1
2.	製造工場における振動に関する管理	1
2.1	車軸の調整方法	1
2.2	ロータの調整方法	2
3.	発電所における振動に関する管理	3
3.1	据付時の作業管理	3
3.2	定期点検時，試運転時	5
3.3	運転時	7
4.	計測装置	8
4.1	検出器	8
4.2	記録計	9
4.3	指示計	10
4.4	計測装置の使用範囲	10
4.5	精度	11
5.	警報装置	12
5.1	設定値	12
5.2	警報表示	12
5.3	検出器との関係	12
6.	停止装置	13
7.	安全性等に対する説明	14
7.1	軸受諸元	14
7.2	危険速度及び振動モード	15
7.3	翼の固有振動数	16
7.4	翼軸連成ねじり振動	17
7.5	噴口の振動	17
7.6	オイルホイップの対策	17
7.7	流体力による影響	17
8.	添付図	18

1. 概要

本資料は「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第31条及びその「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解釈」に基づき、タービンの振動管理が健全であることを説明するものである。

2. 製造工場における振動に関する管理

高速で回転する車軸が振動を発生する要因としては、

機械加工精度

車軸に翼など取付けることによるアンバランスの発生

があり、これらの要因を取り除くため、製造工場において、次のような試験調整を実施する。

2.1 車軸の調整方法

(1) 車軸振れ計測試験

機械加工後の真円性を確認するため、車軸を試験台上にてゆっくり回転させながらダイヤルゲージまたは電気式差動マイクロメータにより振れを計測する。

(2) 管理目標値

とする。

2.2 ロータの調整方法

(1) 試験の種類及び概要

タービンロータはバランス試験装置により、必要な回転試験を行い、振動振幅、振動位相、回転速度などを測定・解析しバランスウエイトの取付位置及び重量を選定して、振動振幅が管理値以下となるよう調整する。

a. 蒸気タービン

(i) 静的バランス調整

(ii) 動的バランス試験

(2) 振動管理値

危険速度域

(軸振動，両振幅)

定格回転速度域

(軸振動，両振幅)

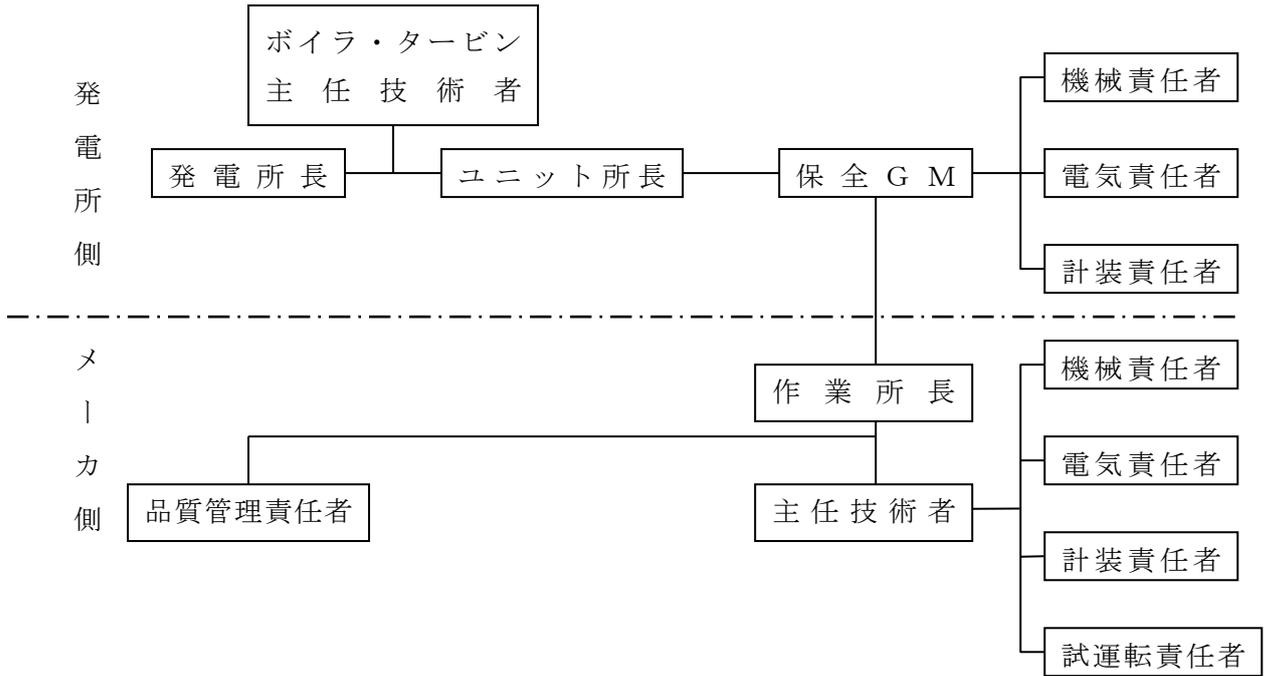
3. 発電所における振動に関する管理

3.1 据付時の作業管理

(1) 一般方針

製作工場において綿密に設計・製作・検査された部品が、発電所において計画どおりに組立・据付復元されるよう作業体制を完備し、据付要領書、管理表などに基づいて厳重に管理しながら作業を進める。

なお、据付中の指揮命令を円滑にするため、体制は次のとおりとする。



(2) 各部の計測及び調整

項目	計測及び調整				
軸受組立	<p>軸受間隙が計画値内にあること及び軸と軸受が均一に接触していることの確認を行う。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>軸受番号</th> <th>間隙値(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	軸受番号	間隙値(mm)		
軸受番号	間隙値(mm)				
アライメント					
回転部と静止部の間隙	回転部と静止部の間隙を計測し計画値内であることの確認を行う。				

(3) 点検項目・作業方法

a. 軸受の据付方法

--

軸受廻りのボルトの種類・ゆるみ止め方法

軸受番号	第 1	第 2	第 3	第 4	第 5
用 途					
ボルト サイズ ×本数					
ゆるみ 止め方法					

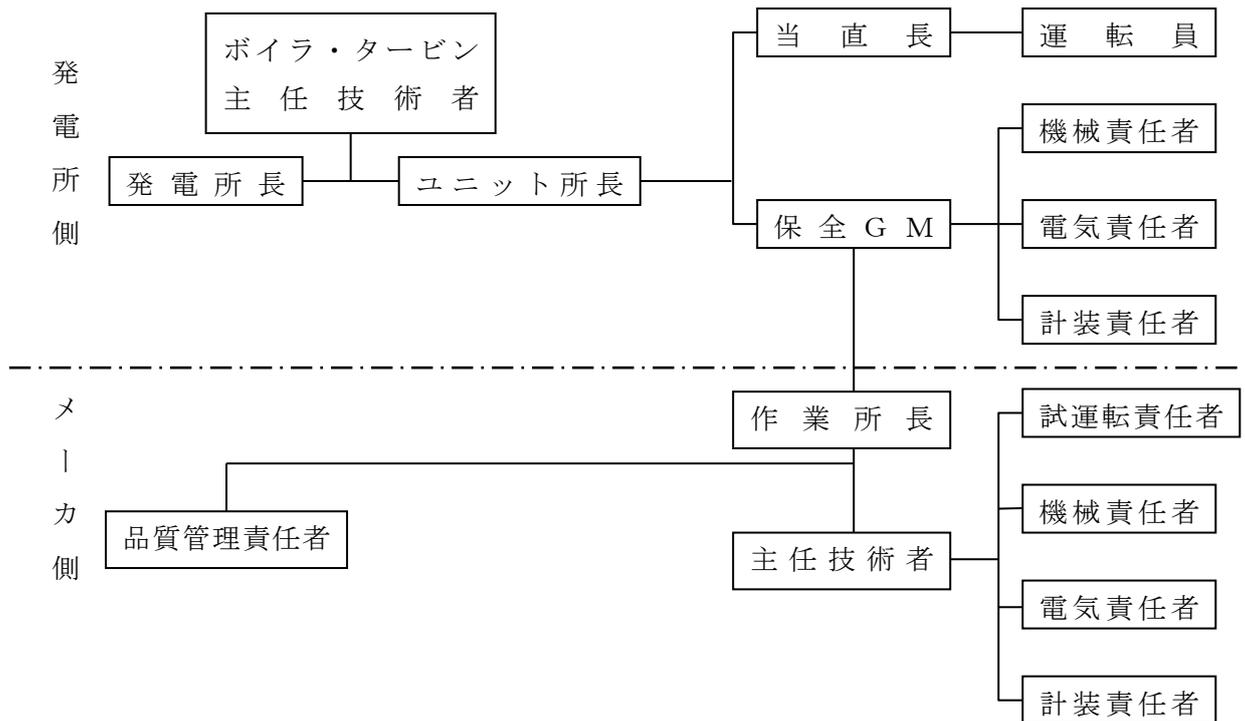
軸受番号	第 6	第 7	第 8	第 9	第 10
用 途					
ボルト サイズ ×本数					
ゆるみ 止め方法					

3.2 定期点検時，試運転時

(1) 一般方針

発電所における試運転の円滑化を図るため，指揮命令系統を整えて所定の人員を配備し，慎重に検討された試運転・調整方案に基づいて試運転を進め，重大事故の発生することのないよう十分な配慮をする。

試運転体制は次のとおりとする。



(2) 振動調整方法

a. 試験の種類及びその概要

b. 振動管理目標値

上記バランスの調整は、振動振幅が次の計画値を満足することを目標に行う。

危険速度域 (軸振動, 両振幅)

定格回転速度域 (軸振動, 両振幅)

過速度域 (軸振動, 両振幅)

(3) 異常時の対策

(4) 据付管理

組立時には、軸振動に関係する次の項目について計測及び調整を行う。

項目	計測及び調整
軸受組立	
アライメント	
回転部と静止部の間隙	

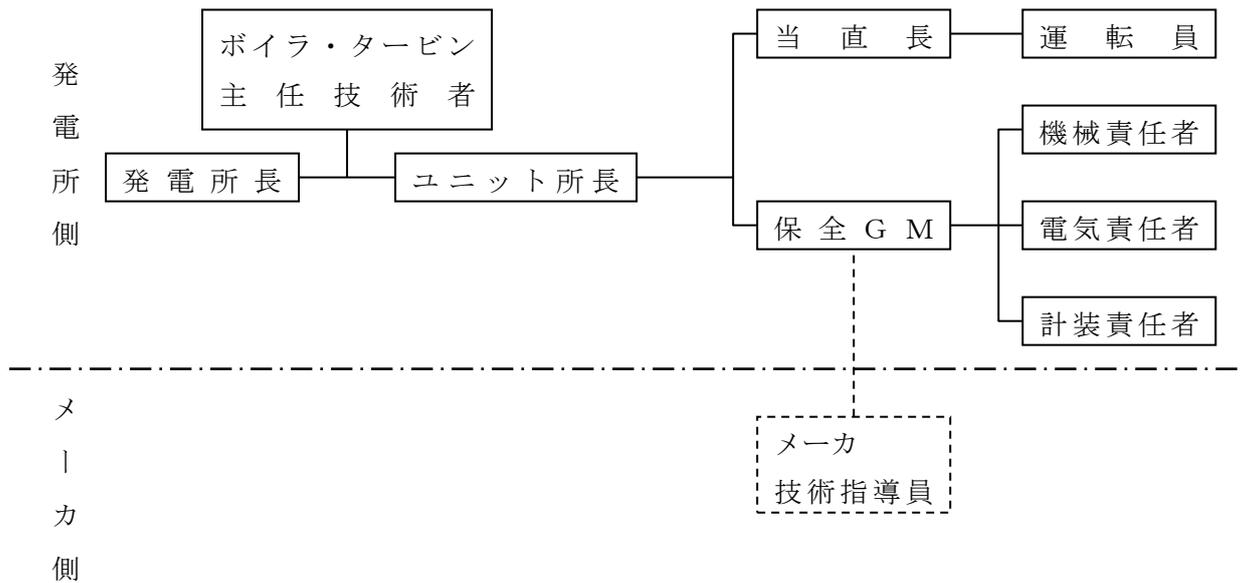
3.3 運転時

(1) 一般方針

運転時は、振動に関係ある各種計測装置に基づいて振動管理を行う。

各種計測装置は定期的に点検調整を行うと同時に、必要に応じて携帯用振動計と併用して管理を行う。

運転時の振動管理体制は次のとおりとする。



(2) 振動調整方法

3.2(2)「振動調整方法」に準じて行う。

(3) 異常時の対策

3.2(3)「異常時の対策」と同様に行う。

4. 計測装置

4.1 検出器

各検出器の形式，検出箇所，検出方向及び取付方法を下表に示す。

種類	形式	検出箇所	検出方向	取付方法	備考
振動振幅					
振動位相角					
偏 心					
回転速度					
出 力					

K7 ① VI-9 R0



4.2 記録計

各記録計の形式，走査数，走査周期，目盛幅，記録範囲及び設置場所を下表に示す。

種類	形式	走査数	走査周期	最小目盛	記録範囲	設置場所	備考
偏 心							
回 転 速 度							
蒸気加減弁 開 度							
タービン バイパス弁 開 度							
振 動 振 幅							
出 力							

4.3 指示計

各指示計の形式，個数，最小目盛，測定範囲及び設置場所を下表に示す。

種類	形式	個数	最小目盛	測定範囲	設置場所
振動位相角					
回転速度					
出力計					

4.4 計測装置の使用範囲

各計測装置の使用範囲及び使用区分を下表に示す。

種類	使用範囲	使用区分	備考
振動計測装置			
偏心計測装置			
回転速度計測装置			
蒸気加減弁開度			
タービンバイパス弁開度			

4.5 精度

各計器の精度を下表に示す。

計 器	精 度
振 動 計	
偏 心 計	
位 相 角 計	
回 転 速 度 計	

--

5. 警報装置

5.1 設定値

各軸受における軸振動振幅の警報値を下表に示す。

(単位：両振幅mm)

種類	検出箇所	
軸振動 振幅		

5.2 警報表示

タービン振動による警報の内容を下表に示す。

種類	内容	表示装置	動作時間	設置場所
注意値警報				
停止値警報				

5.3 検出器との関係

--

6. 停止装置

自動及び手動停止の内容を下表に示す。

種類	形式	使用範囲	設置場所
自動停止			
手動停止			

--

7. 安全性等に対する説明

7.1 軸受諸元

軸受の諸元を下表に、また軸受の構造を第 5-1 図～第 5-3 図に示す。

軸受 番号	軸受 型式	軸受寸法 mm		軸受 面圧 MPa	軸受 油圧 MPa*	油膜 厚さ mm	軸受油温度°C		軸との 偏心率
		直 径	幅				入 口	出 口	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

注記*：油圧はタービン前部軸受台のタービン軸芯位置における標準値を示す。

7.2 危険速度及び振動モード

(1) 危険速度

タービン及び発電機を結合した場合の危険速度は次の通りである。

各モードの危険速度は、通常使用範囲（1455～1515 rpm）から非常調速装置が作動したときに達する回転速度 までの間とならないよう、車軸径を変更することにより剛性を変えることで、危険速度の離調を図る設計としている。なお、定格負荷を遮断した場合に達する回転速度は、非常調速装置が作動する回転速度（1665 rpm）未満である。

1 次
2 次
3 次
4 次
5 次
6 次

--

(2) 危険速度の計算方法

--

(3) 振動モード

--

7.3 翼の固有振動数

--

段 落	
定 格 回 転 速 度	1500 rpm (25Hz)
固有振動数	

--

7.4 翼軸連成ねじり振動



7.5 噴口の振動

噴口については、高い剛性を保つよう、噴口の両端を円盤状の隔板（内輪・外輪）に固定した形状にするとともに、噴口形状の変更により流体励振力による非同期振動を考慮することで、強度上安全な設計としている。

7.6 オイルホイップの対策



7.7 流体力による影響

今回採用する長翼は、定格運転時、低負荷運転時および負荷変動時の蒸気流の乱れや抽気による流体加振力の影響を考慮した十分信頼性のある設計としている。

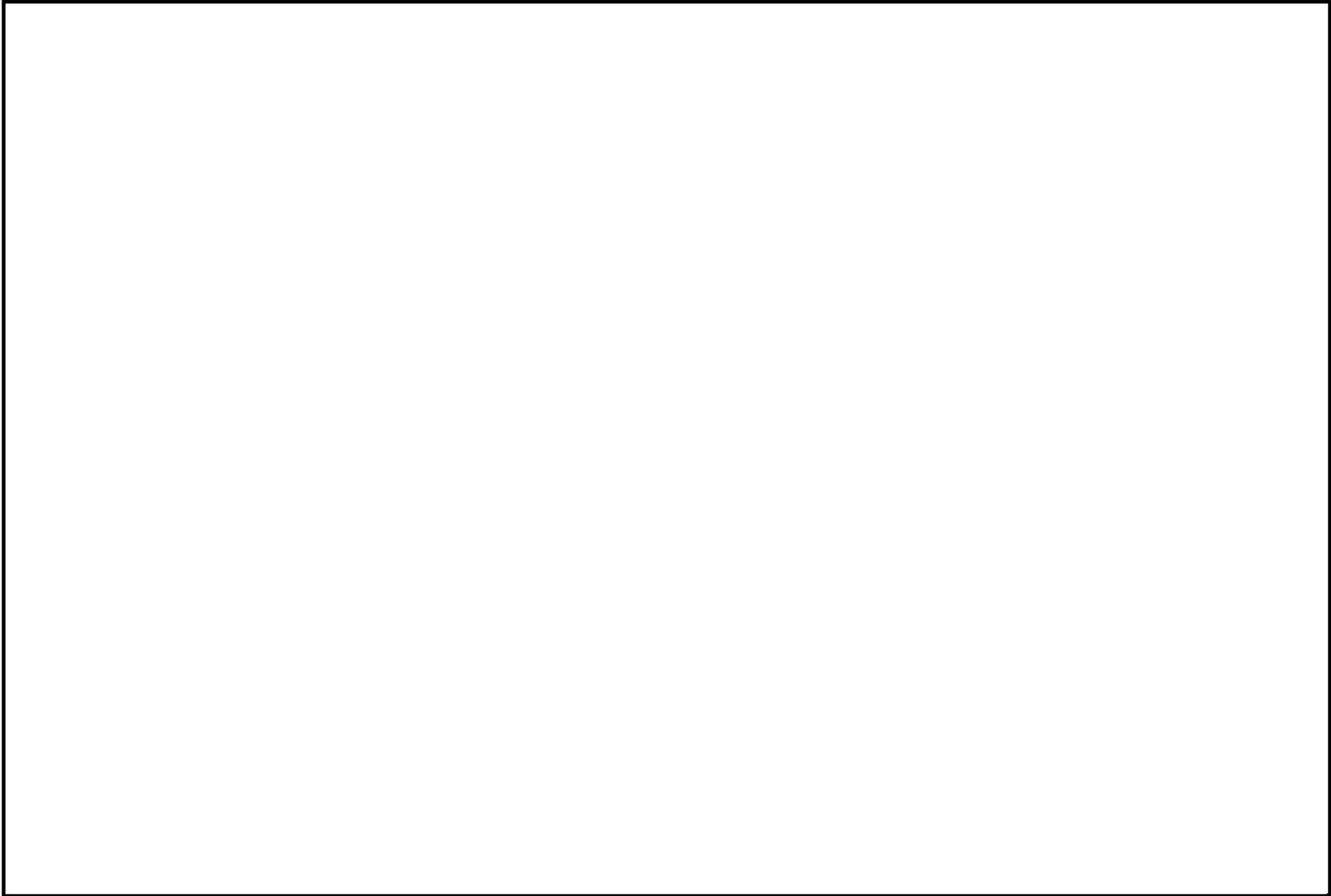


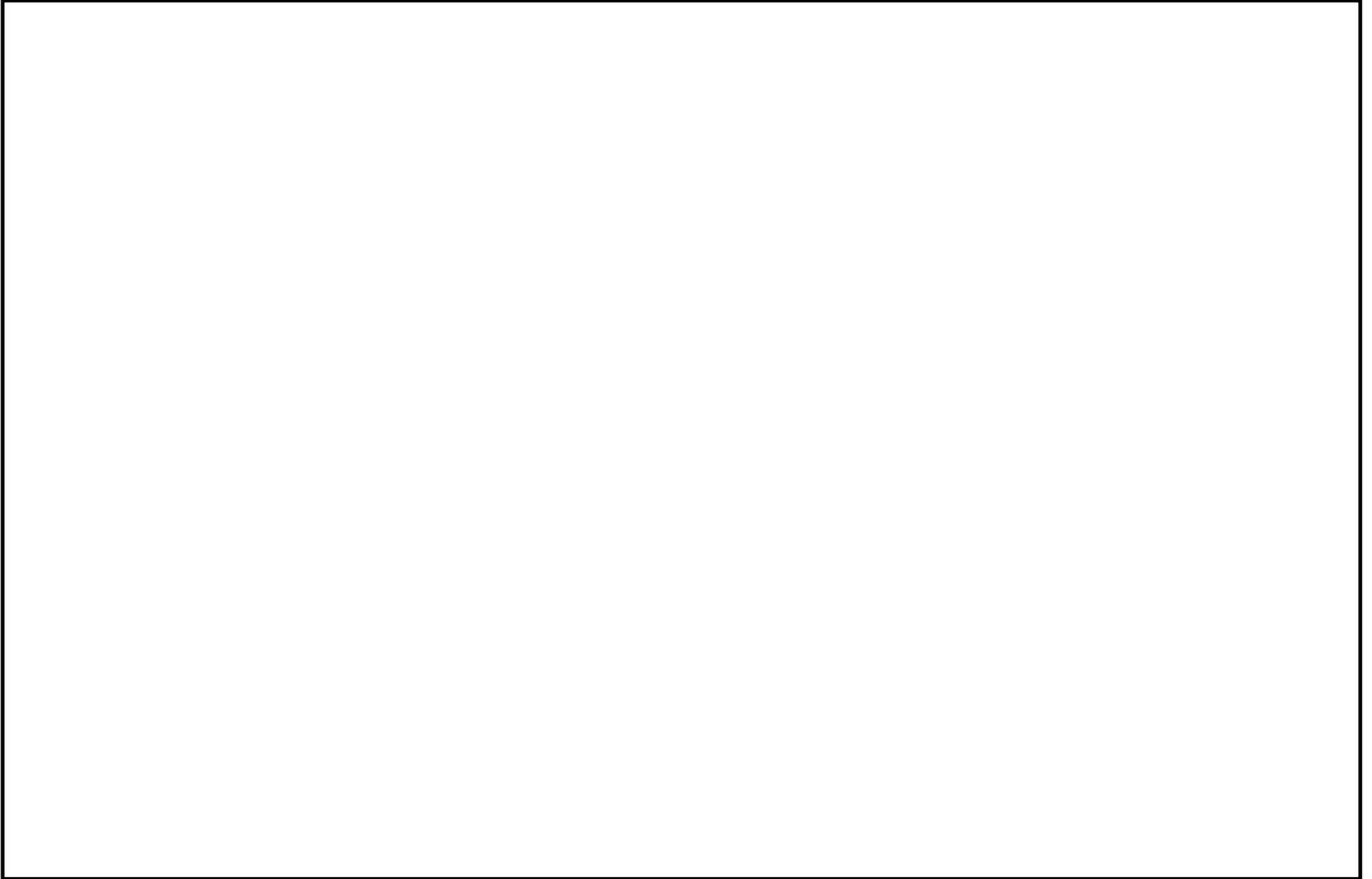
8. 添付図

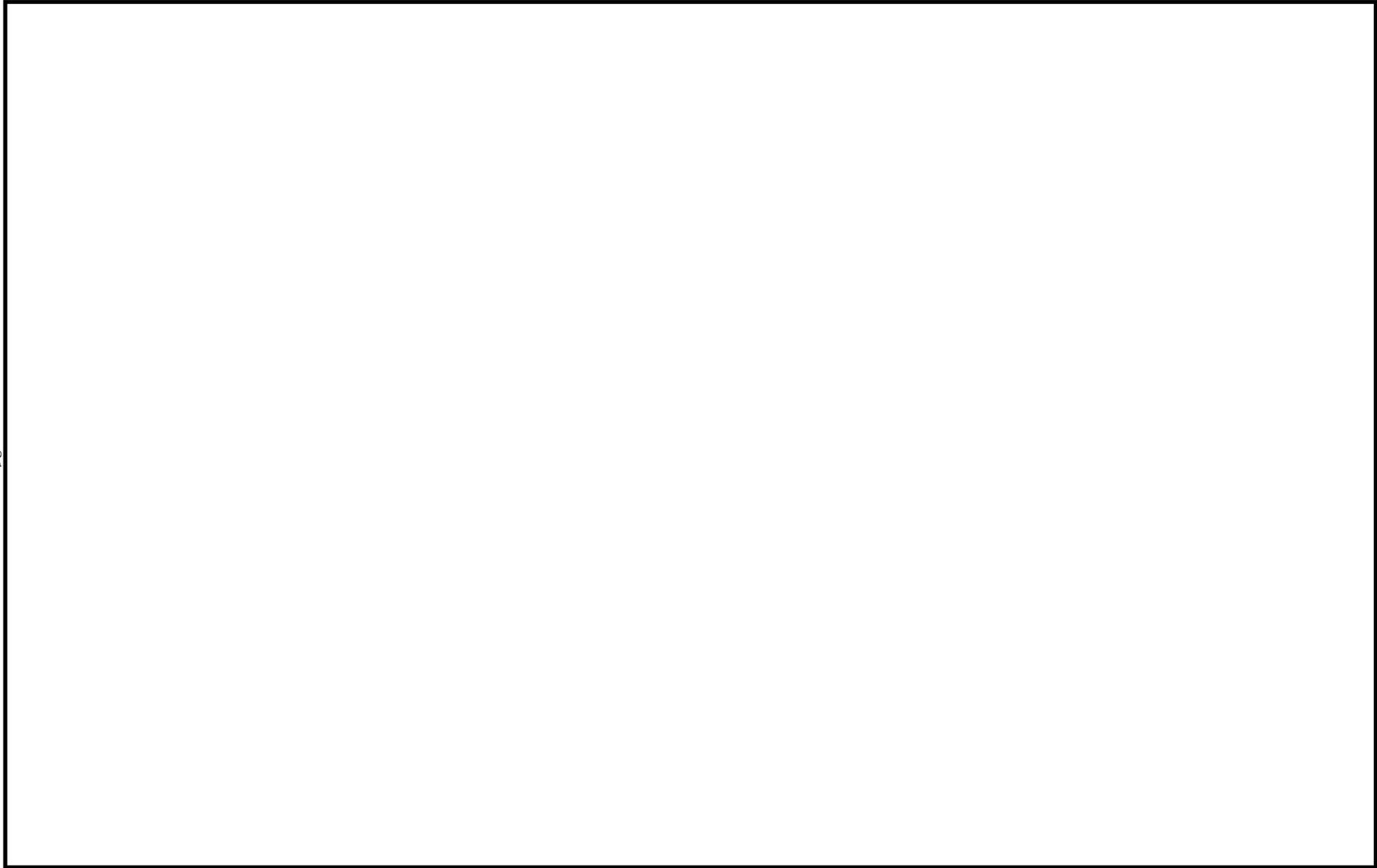


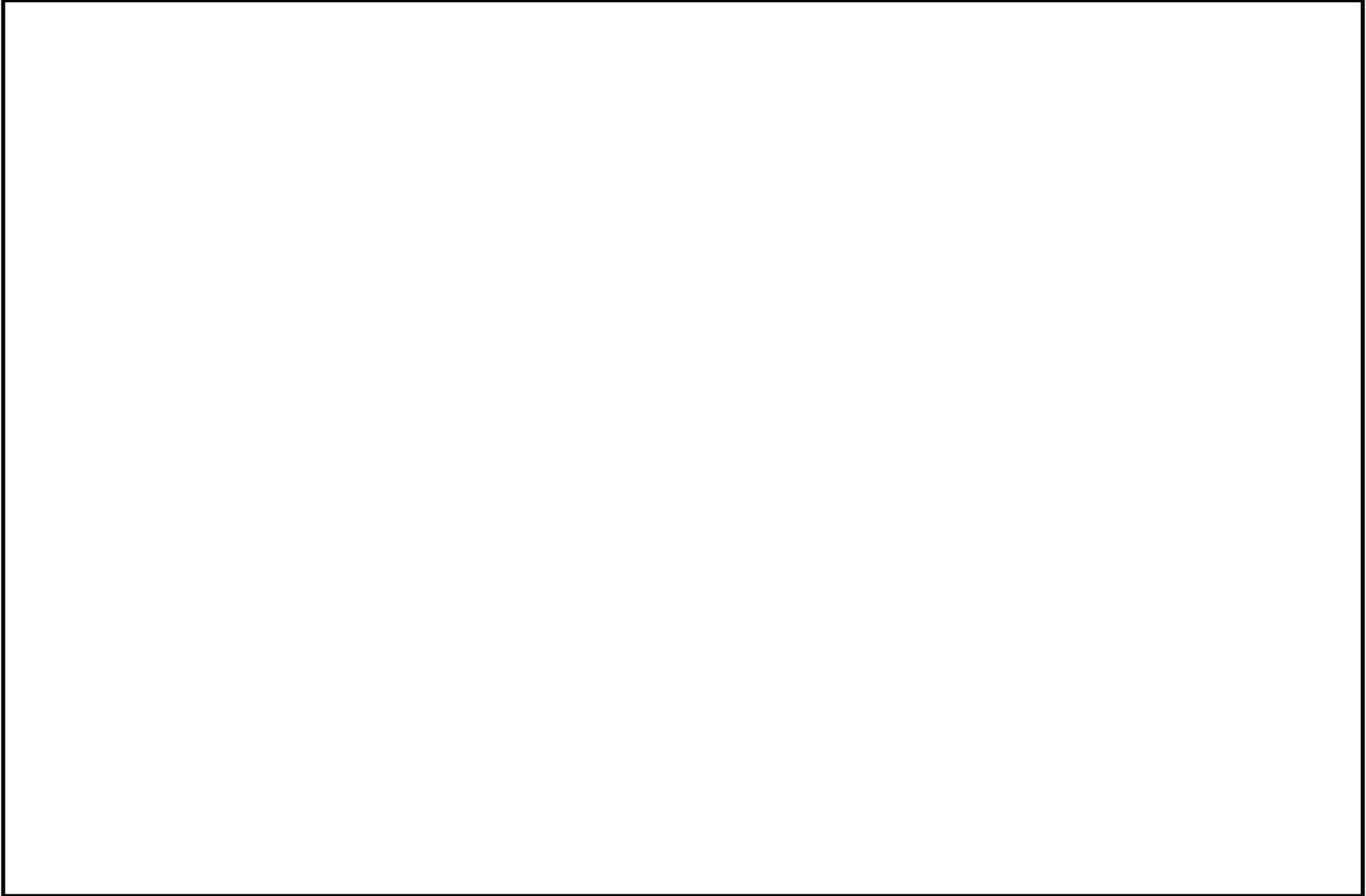
K7 ① VI-9 R0

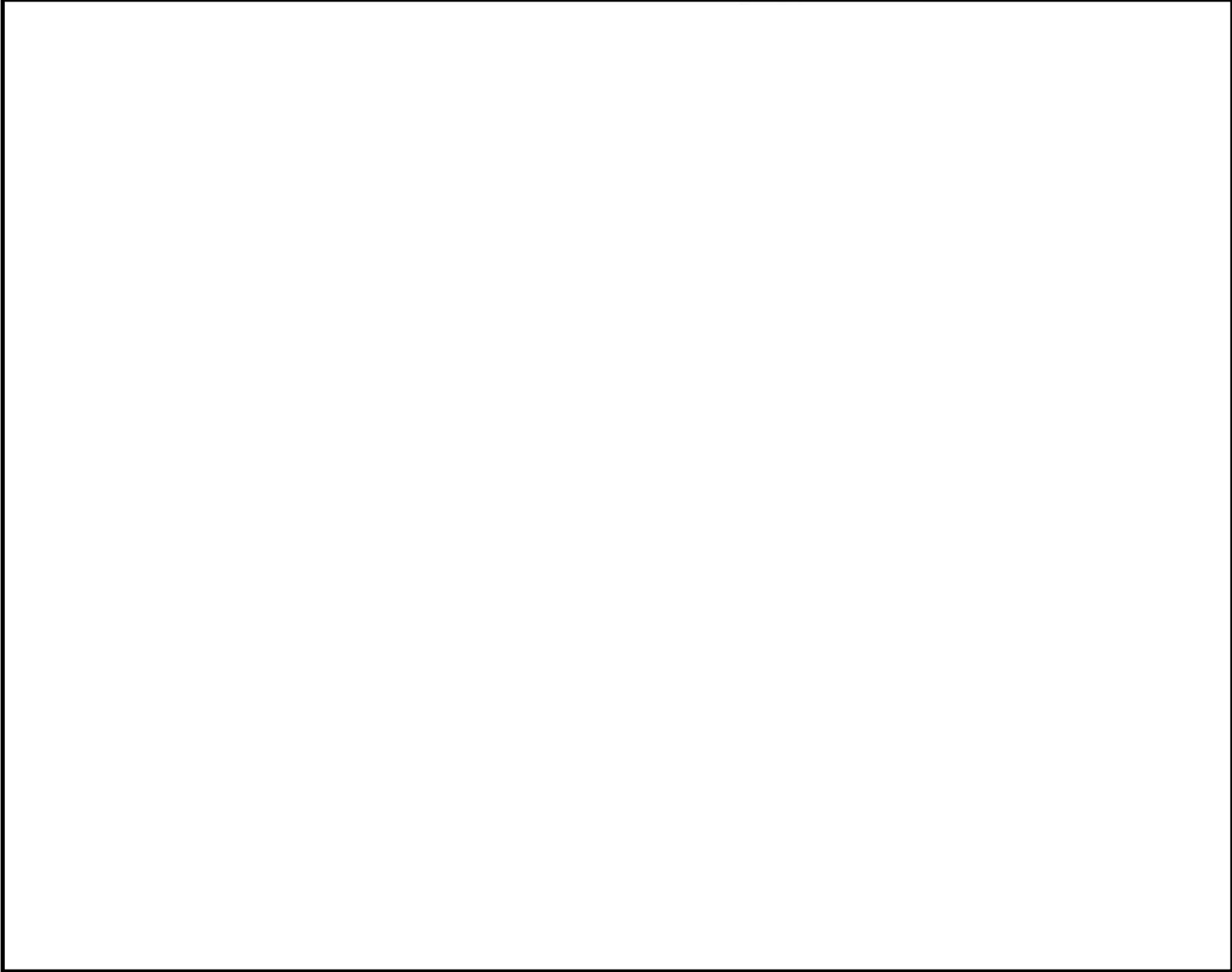


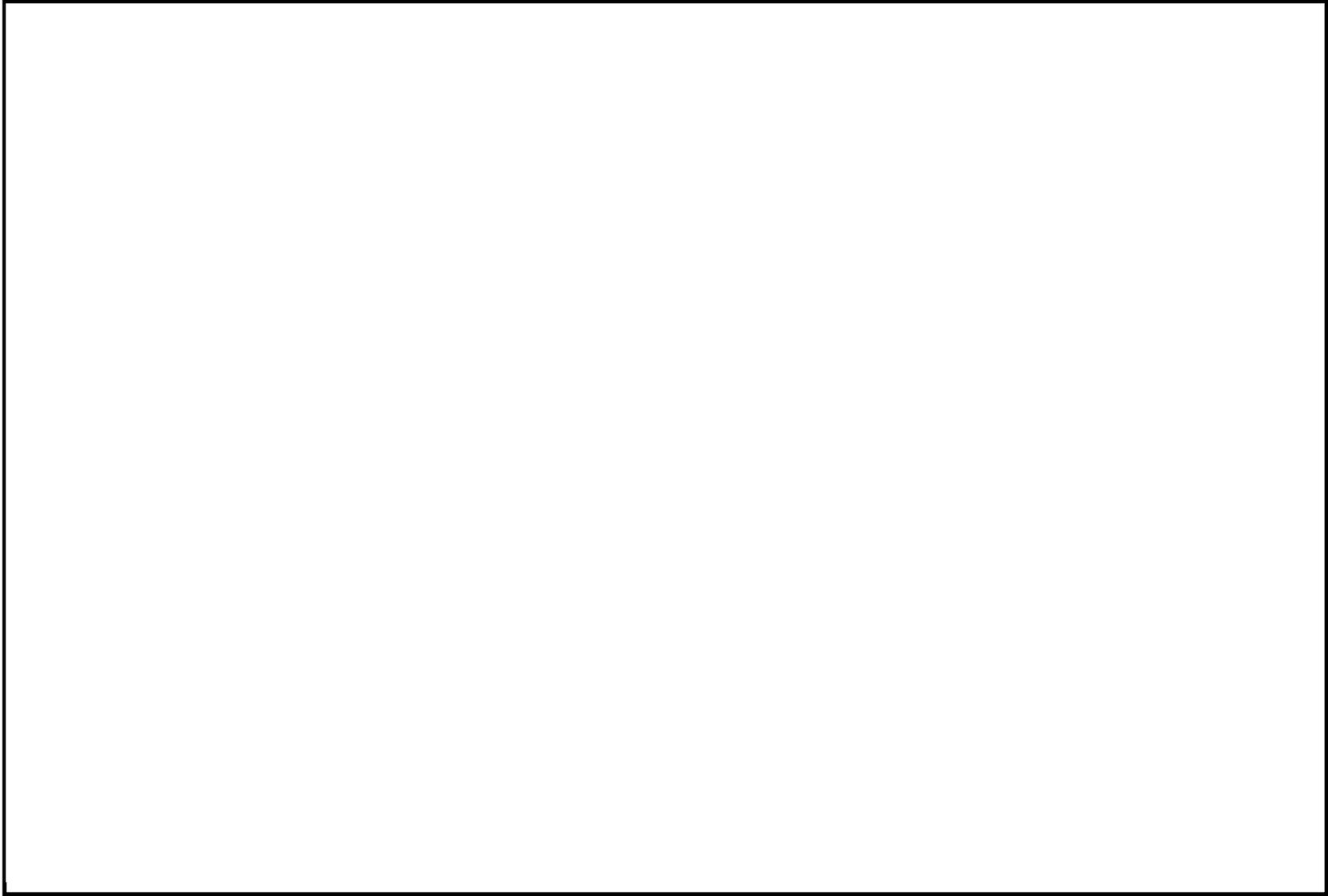




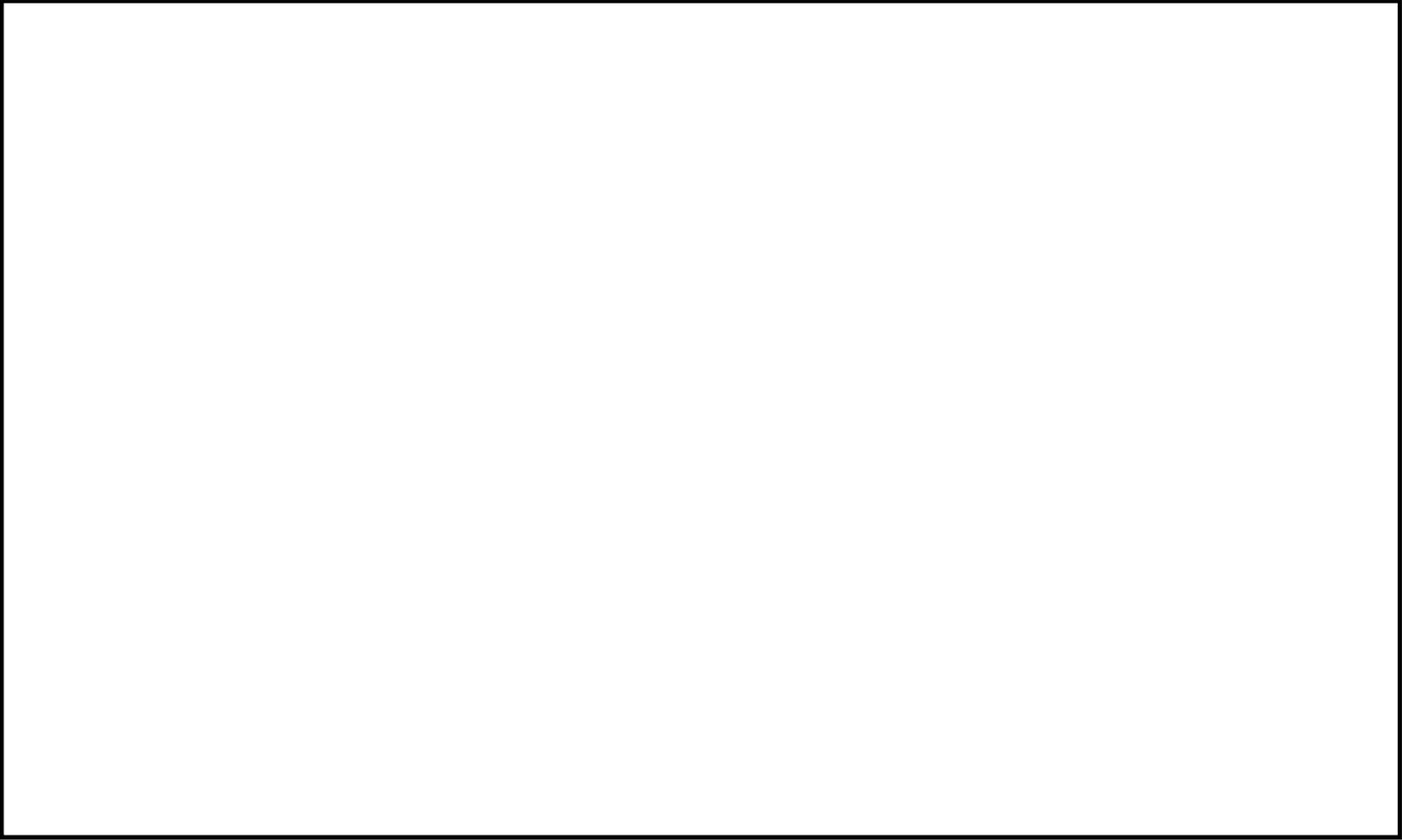








K7 ① VI-9 ROE



別紙 3 発電機運転制限範囲及び電気出力（上限値）の算出に
関する説明書

目 次

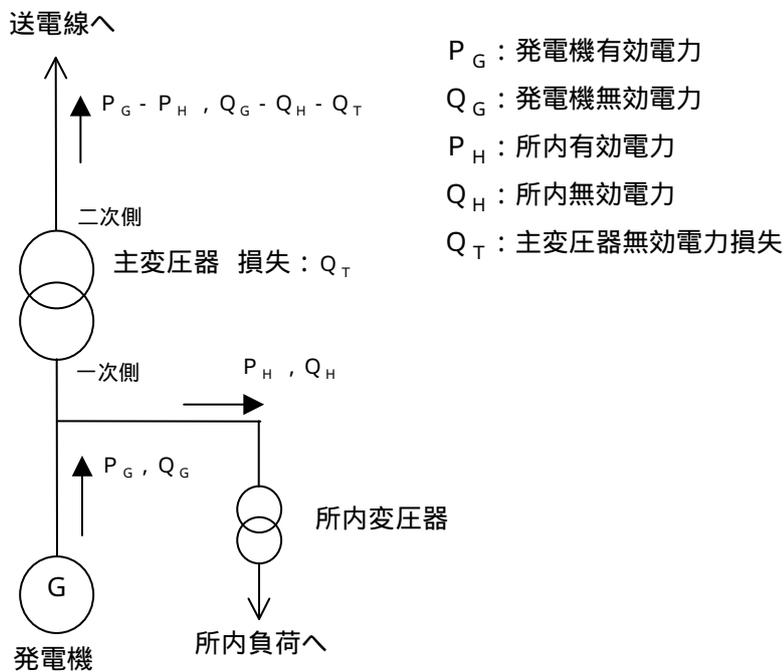
1. 評価方針	1
2. 電源構成及び定数	1
3. 発電機（固定子コイル温度上昇限度）による運転制限	2
4. 主変圧器による発電機運転制限	2
5. 発電機，主変圧器の制限による電気出力上限値の算出	2

1. 評価方針

柏崎刈羽原子力発電所第7号機の電気設備については、発電機、主変圧器の運転制限曲線をすべて満足する範囲内で発電機を運転することにより、電気設備の健全性が確保される。定格熱出力一定運転の実施により、電気出力（有効電力）が増加することから、有効電力が増加する側について発電機の運転制限範囲及び電気出力の上限値を算出する。

2. 電源構成及び定数

発電機で発生した電力は、主変圧器を経由して送電線に電力を供給するルートと、所内変圧器を経由して発電所の運転に必要な電力（所内電力）を供給するルートに分かれる。電源構成を第1図に示す。



第1図 電源構成

これらの電源設備の定数は以下のとおりである。

- | | | | |
|------------------------------|---------|---|---|
| 定格電気出力 | $P_L =$ | <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/> | MW |
| 発電機定格容量 | $X_G =$ | <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/> | MVA |
| 主変圧器定格容量 | $X_T =$ | <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/> | MVA |
| 主変圧器リアクタンス降下率（主変圧器定格容量ベース） | | $\%q_T =$ | <input style="width: 30px; height: 15px;" type="text"/> % |
| 所内率（定格電気出力ベース，所内変圧器による損失を含む） | | $r_H =$ | <input style="width: 30px; height: 15px;" type="text"/> % |
| 所内力率（所内負荷設計値 0.85 を使用） | | $\cos \theta =$ | <input style="width: 30px; height: 15px;" type="text"/> |

上記定数より，所内有効電力 P_H ，所内無効電力 Q_H ，主変圧器無効電力損失 Q_T を求めると以下のとおりとなる。

$$\text{所内有効電力 } P_H = P_L \times r_H / 100 = \boxed{} \text{ MW}$$

$$\text{所内無効電力 } Q_H = (P_H / \cos \theta_H) \times \sin \theta_H = \boxed{} \text{ Mvar}$$

$$\text{主変圧器無効電力損失 } Q_T = X_T \times \%q_T / 100 = \boxed{} \text{ Mvar}$$

3. 発電機（固定子コイル温度上昇限度）による運転制限

発電機は，構成部品各部の温度上昇限度から決められる運転制限曲線を超えない事が運転条件である。このうち，有効電力が増加する側については，固定子コイルの温度上昇限度より運転制限範囲が決められる。運転制限範囲は以下の式で表される。

$$\sqrt{P_G^2 + Q_G^2} \leq X_G \quad \dots\dots\dots (1)$$

よって，運転制限範囲を定める制限曲線は，以下のとおりとなる。

$$P_G^2 + Q_G^2 = \boxed{} \quad \dots\dots\dots (1)'$$

4. 主変圧器による発電機運転制限

主変圧器の定格容量は二次側の通過皮相電力にて定義されているため，二次側通過皮相電力が主変圧器定格容量を超えないことが運転条件である。第 1 図に示すように，二次側の通過皮相電力は，発電機出力から所内電力と主変圧器の無効電力損失を差し引いたものであるので，運転条件を数式で表現すると，

$$\sqrt{(P_G - P_H)^2 + (Q_G - Q_H - Q_T)^2} \leq X_T \quad \dots\dots\dots (2)$$

となり，発電機の出力 (P_G , Q_G) はこの範囲内で運転する必要がある。

よって，2. 項で求めた， P_H , Q_H , Q_T より，運転制限範囲を定める制限曲線は，以下のとおりとなる。

$$(P_G - \boxed{})^2 + (Q_G - \boxed{})^2 = \boxed{} \quad \dots\dots\dots (2)'$$

5. 発電機，主変圧器の制限による電気出力上限値の算出

発電機の電気出力上限値は，発電機，主変圧器による運転制限曲線それぞれの領域を満たす有効電力 P_G の最大値となる。

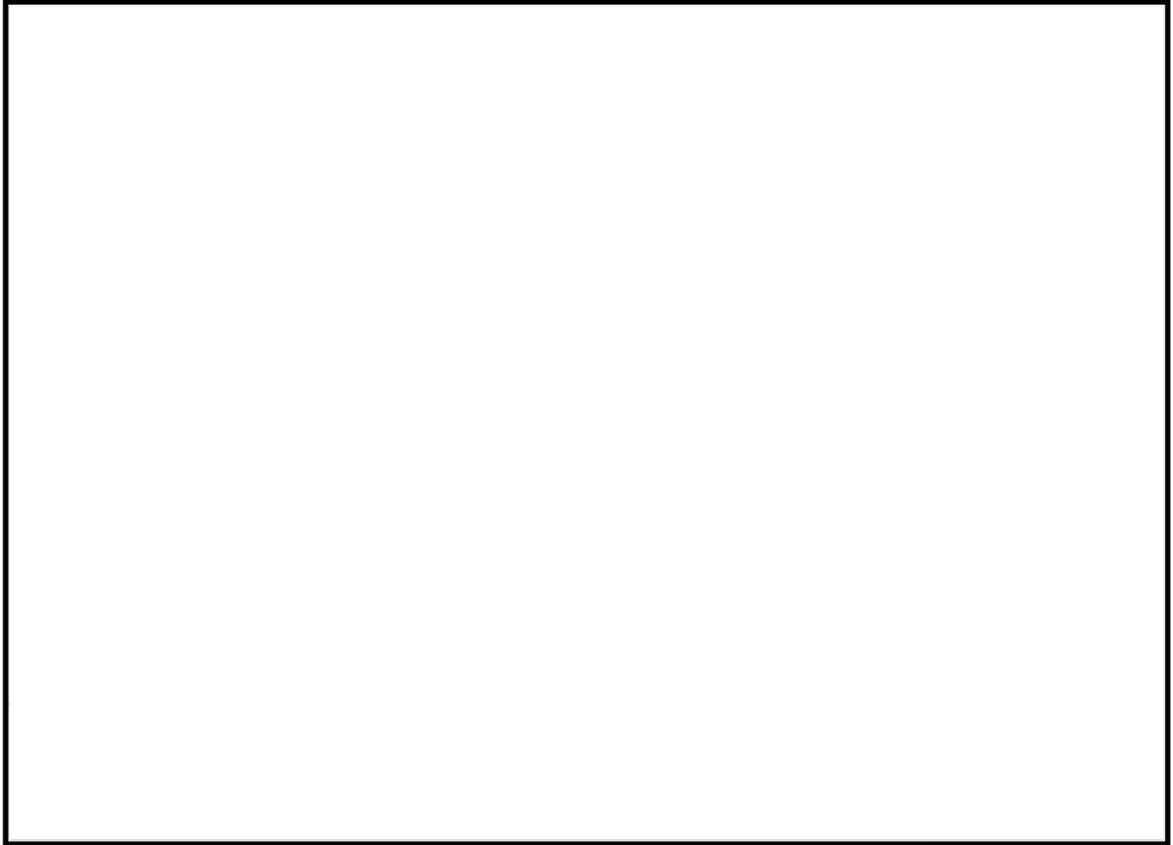
発電機及び主変圧器による運転制限曲線を第 2 図に示す。第 2 図より，曲線 (1)'，(2)' を満たし P_G が最大となる点は，曲線 (2)' の右端の点 (C 点) となり，有効電力，無効電力，力率は以下のとおりとなる。

$$P_{G(\max)} = \boxed{} \text{ MW}$$

$$Q_{G(\max)} = \boxed{} \text{ Mvar}$$

$$\text{力率} = \boxed{}$$

よって、運転制限曲線によって定まる電気出力の上限値は、 MW(定格電気出力の %), 力率 となる。



———— : 発電機固定子コイル温度上昇限度による運転制限曲線 (曲線 (1)')

..... : 主変圧器(1450.0 MVA)による運転制限曲線 (曲線 (2)')

- · - · : 発電機回転子コイル温度上昇限度による運転制限曲線

//// : 運転範囲

a点 : 使用前検査評価点 (MVA, 力率)

b点 : 力率 1 における主変圧器の出力制限点 ()

c点 : 曲線 (2)' の右端の点 ()

第2図 発電機・主変圧器による運転制限曲線

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-06 r1
提出年月日	2022年 4月 21日

設計及び工事計画に係る説明資料

(添付VI-9 蒸気タービンの振動管理に関する説明書について)

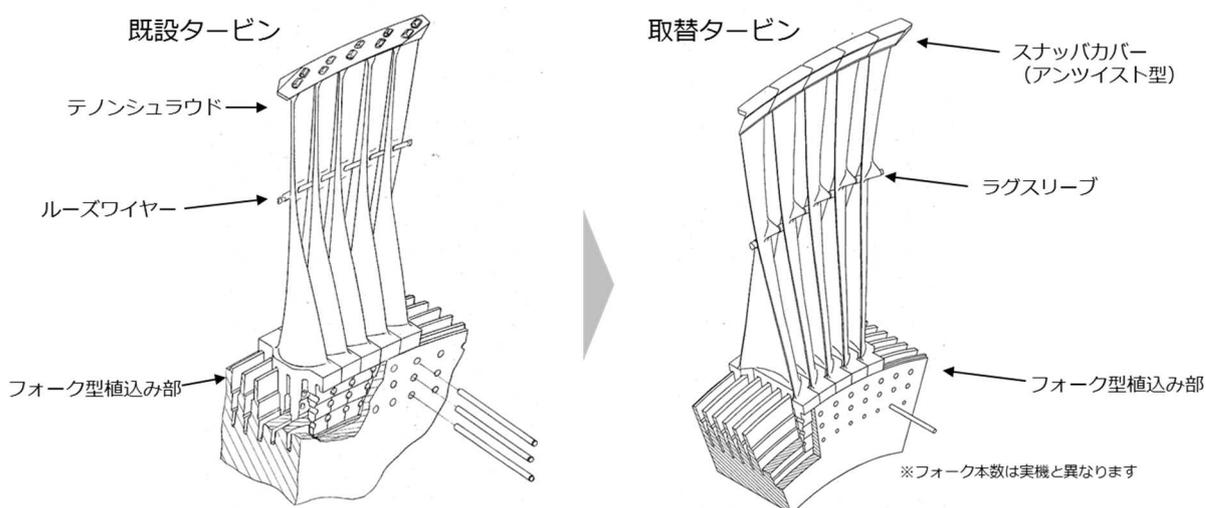
2022年 4月

東京電力ホールディングス株式会社

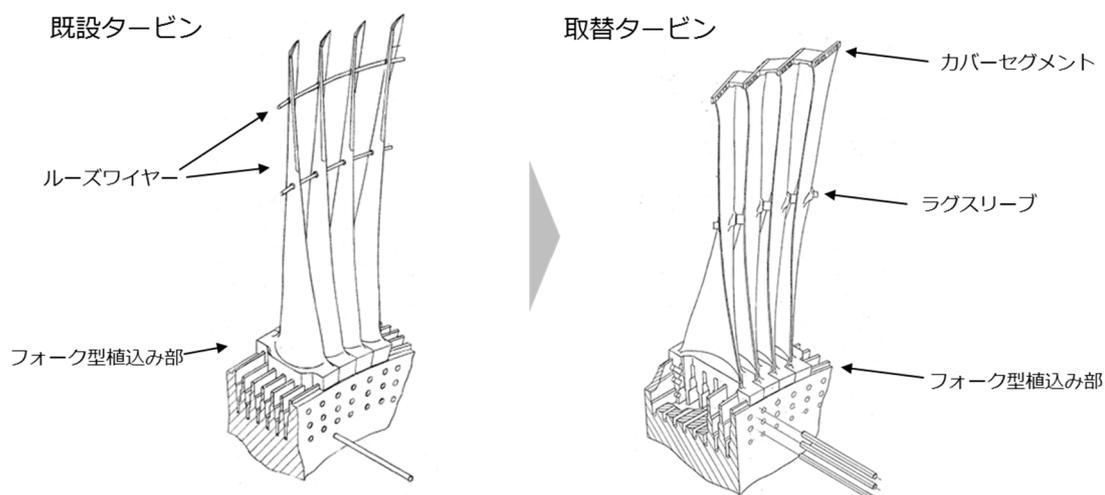
添付IV-9 蒸気タービンの振動管理に関する説明書P17 7.7流体による影響に記載しているスナップ、カバーセグメント及びラグスリーブの構造について下記図に示す。

既設タービンは翼を数枚ずつテノンシュラウド・ルーズワイヤーで拘束していたため各翼グループ個別に振動が発生する構造となっていたが、本届出による取替後のタービンについてはスナップ、カバーセグメント及びラグスリーブにより全周に亘り互いに隣の翼を拘束し全周一帯となることで、接戦方向の振動モードを抑制し翼全体の剛性を高める構造となっている。

第15段



第16段



本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-07 r1
提出年月日	2022年 4月 21日

タービンミサイルの評価内容について

2022年 4月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

本資料は、蒸気タービンの損壊に伴い想定されるタービンミサイルの評価内容についてまとめたものである。

2. ミサイル到達確率評価方法と条件

2.1 ミサイルによる防護対象の損傷頻度評価方法

ミサイルによる防護対象の損傷頻度は、「タービンミサイル評価について」(原子炉安全専門審査会 昭和 52 年 7 月 20 日)(以下、「タービンミサイル評価について」という。)に基づき、下記の式にて評価する。

$$(\text{損傷頻度}) = \sum_i (P_{1i} \times P_{2i} \times P_{3i})$$

P_1 : ミサイル発生頻度(回/炉・年)

P_2 : ミサイルの防護対象への到達確率(-)

P_3 : ミサイル到達時の防護対象の損傷確率(-)

i : ミサイル種(低圧タービン羽根, T-G カップリング, 低圧タービンディスク, その他(タービンロータ, 発電機ロータ等))

2.2 発生頻度 (P_1)

タービンミサイル発生頻度は、 5×10^{-5} (回/炉・年)とする。

2.3 ミサイル防護対象への到達確率 (P_2)

到達確率評価方法は、米国 SRP3.5.1.3 Appendix A 又は立面の効果を考慮できる同等の方法を準用するものとする。また、遮へい物貫通後のミサイル速度の評価は、鋼板は BRL 式、コンクリートは修正 NDRC 式を用いる。以下では、「タービンミサイル評価について」に従う個別の評価方法を示す。

タービン回転速度上昇事象の対策として、主調速機構にて蒸気加減弁にてタービン回転速度を制御しており、蒸気加減弁による回転速度制御が不能となり、回転速度がさらに過速した場合でも、非常用調速機が作動し、主蒸気止め弁を閉鎖することで、最悪の場合でも回転過速度は定格回転速度の 120%を超えることはないため、回転過速度の設計上限値は定格回転速度の 120%とする。

2.3.1 低圧タービン羽根ミサイル評価方法

低圧タービン羽根ミサイル評価方法(1)～(4)は、「タービンミサイル評価について」に基づく。

- (1) 低圧タービン最終段動翼(羽根植込部を含む)1枚がミサイル化する。
- (2) 低圧タービン最終段動翼は、回転過速度の設計上限値で破損し、ミサイル化する。
- (3) この破損した最終段動翼が外部ケーシングから飛び出したときに残存するエネルギー

率を2%として、ケーシング貫通後速度を決める。

- (4) ミサイルの回転面からの振れ角の確率分布は $0^{\circ} \sim 25^{\circ}$ （外側）の偏角内で一様とする。

2.3.2 T-Gカップリングミサイル評価方法

T-Gカップリングミサイル評価方法(1)～(4)は、「タービンミサイル評価について」に基づく。

- (1) T-Gカップリングはシャフトから脱落し、ミサイル化する。
- (2) T-Gカップリングは、回転過速度の設計上限値でシャフトから脱落する。
- (3) この脱落したT-Gカップリングが飛び出したときに残存するエネルギー率を4.5%として、飛び出し並進速度を決める。
- (4) ミサイルの回転面からの振れ角の確率分布は $\pm 25^{\circ}$ の偏角内で一様とする。

2.3.3 低圧タービンディスクミサイル評価方法

低圧タービンディスクミサイル評価方法(1)～(4)は、「タービンミサイル評価について」に基づく。

- (1) 低圧タービンディスクのうち1段がミサイル化したと考え、各段の到達確率を平均する。さらに、低圧タービン3台それぞれの到達確率を平均する。
- (2) ミサイルの回転面からの振れ角の確率分布は、最終段ディスクが $0^{\circ} \sim 25^{\circ}$ （外側）、中間段ディスクが $\pm 5^{\circ}$ の偏角内で一様とする。
- (3) 低圧タービンディスクは、回転過速度の設計上限値で破損しミサイル化する。
- (4) 低圧タービンディスクは4等分割し、上方2片がミサイル化する。

2.4 破損確率 (P_3)

タービンミサイルが評価対象施設に到達した際に、同施設を損傷させる確率は、保守的に100%とする。

2.5 評価条件

タービンミサイル評価の評価条件を表2.5-1に示す。各ミサイルについての諸元を表2.5-2のa～cに示す。

他号機のタービンをミサイル源とするタービンミサイル評価（以下、相互間評価）における確率計算については対象プラントに対する他プラントからのタービンミサイルの影響を考慮するため、表2.5-3に示す通り、自号機及び他号機をミサイル源とするタービンミサイルの衝突確率の総和とする。

表 2.5-1 タービンミサイル評価条件一覧

想定	評価条件
想定ミサイル	低圧タービン最終段動翼 T-G カップリング 低圧タービンディスク
低圧タービンディスクミサイル諸元	表 2.5-2a
低圧タービン羽根ミサイル諸元	表 2.5-2b ミサイルは破損時重心速度相当のエネルギーの 2% で飛び出すものとする
T-G カップリングミサイル諸元	表 2.5-2c ミサイルは脱落時角速度相当のエネルギーの 4.5% で飛び出すものとする
低圧タービン羽根ミサイル発生頻度	5.0×10^{-5} (回/炉・年)
T-G カップリングミサイル発生頻度	5.0×10^{-5} (回/炉・年)
低圧タービンディスクミサイル発生頻度	5.0×10^{-5} (回/炉・年)
低圧タービン座標 (A,B,C), T-G カップリング及びターゲット座標	表 2.5-4, 図 2.5-1 参照
タービン回転面に対するミサイル飛出し最大角度 と確率分布	低圧タービン最終段動翼 0~25 度 一様 T-G カップリング ±25 度 一様 低圧タービン最終段ディスク 0~25 度 一様 低圧タービン中間段ディスク ±5 度 一様
ミサイル発生数	低圧タービンディスク 2 個 低圧タービン最終段動翼 1 枚 T-G カップリング 1 個
コンクリート圧縮強さ	330(Kg/cm ²) (普通コンクリート) 135(Kg/cm ²) (軽量コンクリート)
鋼板 Grade 係数	1.0 ()
ターゲット	KK-5/6/7 使用済燃料プール
ターゲット面積	表 2.5-4
ミサイル到達時のターゲット損傷確率	1.0 ()

表 2.5-2a 低圧タービンディスクミサイル諸元

		ケーシング貫通後 最大速度 (m/s)	質量 (kg)	投影面積	
				最小(m ²)	最大(m ²)
最終段(L-0)					
中間 段	L-1				
	L-2				
	L-3				
	L-4				
	L-5				
	L-6				

表 2.5-2b 低圧タービン羽根ミサイル諸元

		破損時の重心速度 (m/s)	質量 (kg)	投影面積	
				最小(cm ²)	最大(cm ²)
最終段(L-0)					

表 2.5-2c T-G カップリングミサイル諸元

	慣性 モーメント (kg-m ²)	脱落時の 角速度 (rad/s)	質量 (kg)	最小投影面積 (m ²)
T-G カップリング				

表 2.5-3 相互間評価における衝突確率の算出

対象プラント ミサイル源	K-5	K-6	K-7
K-5	P_{55}	P_{56}	P_{57}
K-6	P_{65}	P_{66}	P_{67}
K-7	P_{75}	P_{76}	$P_{77} = P_{66}$
衝突確率	$P_{55} + P_{65} + P_{75}$	$P_{56} + P_{66} + P_{76}$	$P_{57} + P_{67} + P_{66}$

表 2.5-4 相互間評価における解析条件（位置関係*）

対象プラント ミサイル源	方向	KK-5	KK-6	KK-7
KK-7 (m)	X	269.5	139.0	6.0
	Y	95.8	87.6	87.6
	Z	11.23	9.93	9.93
ターゲット面積 (m ²)		118.6	120.3	120.3

注記*：KK サイトにおける位置関係については図 2.5-3 を参照。

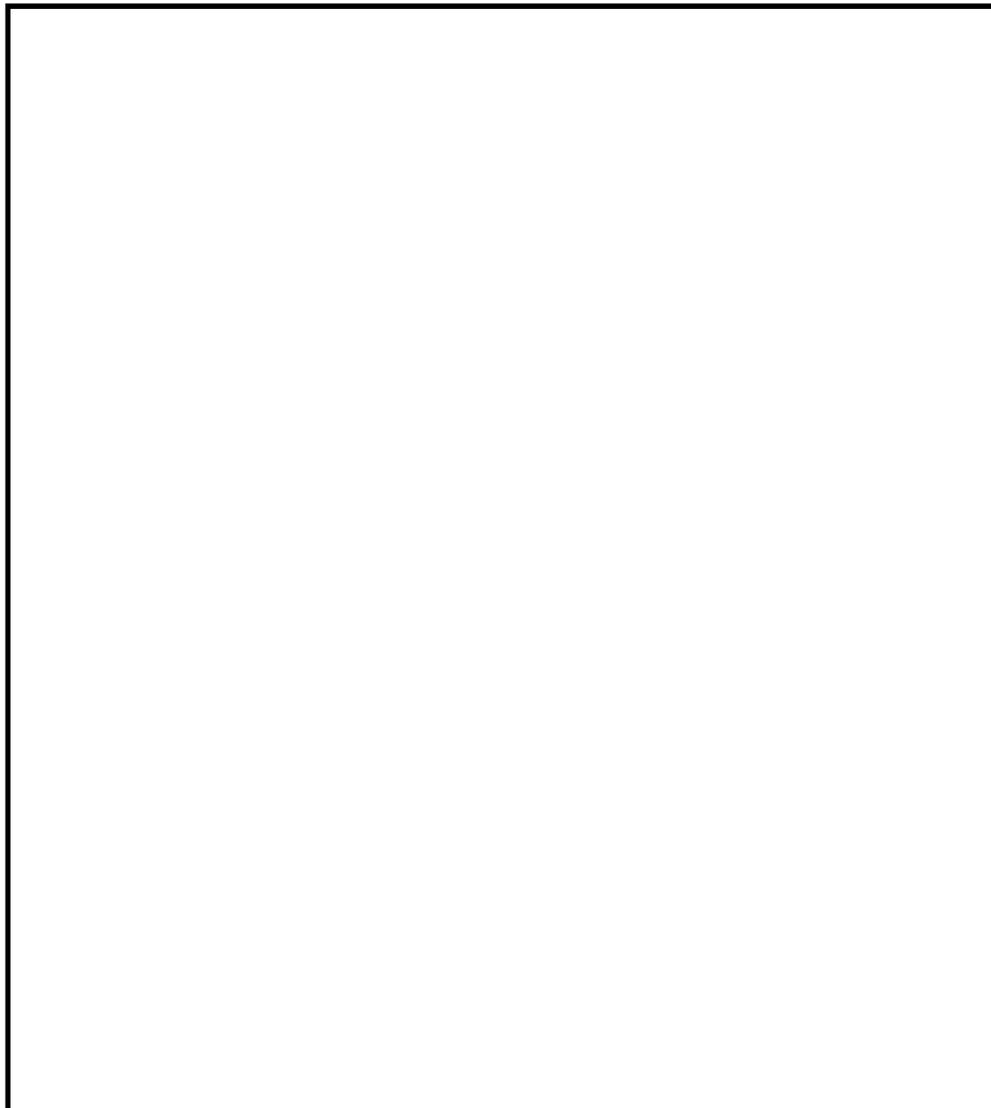


図 2.5-1 低圧タービン/T-G カップリングと使用済燃料プールの平面位置図

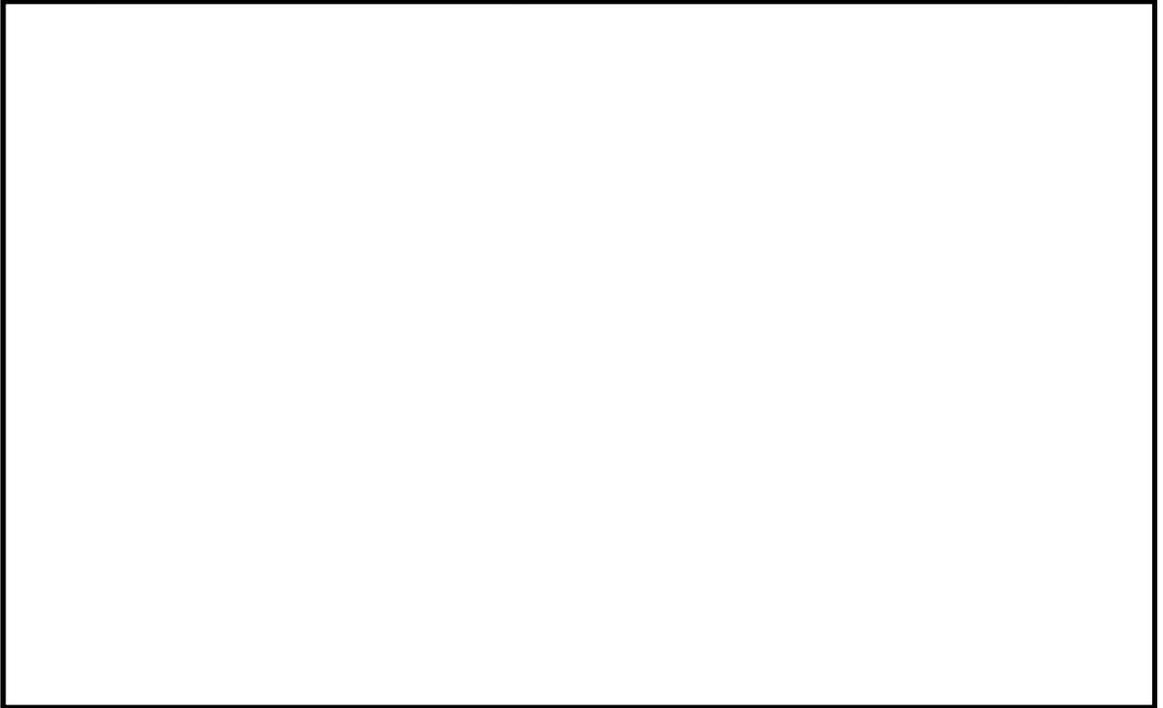


図 2.5-2 タービン周り遮へい物形状（コンクリート壁，鋼板）

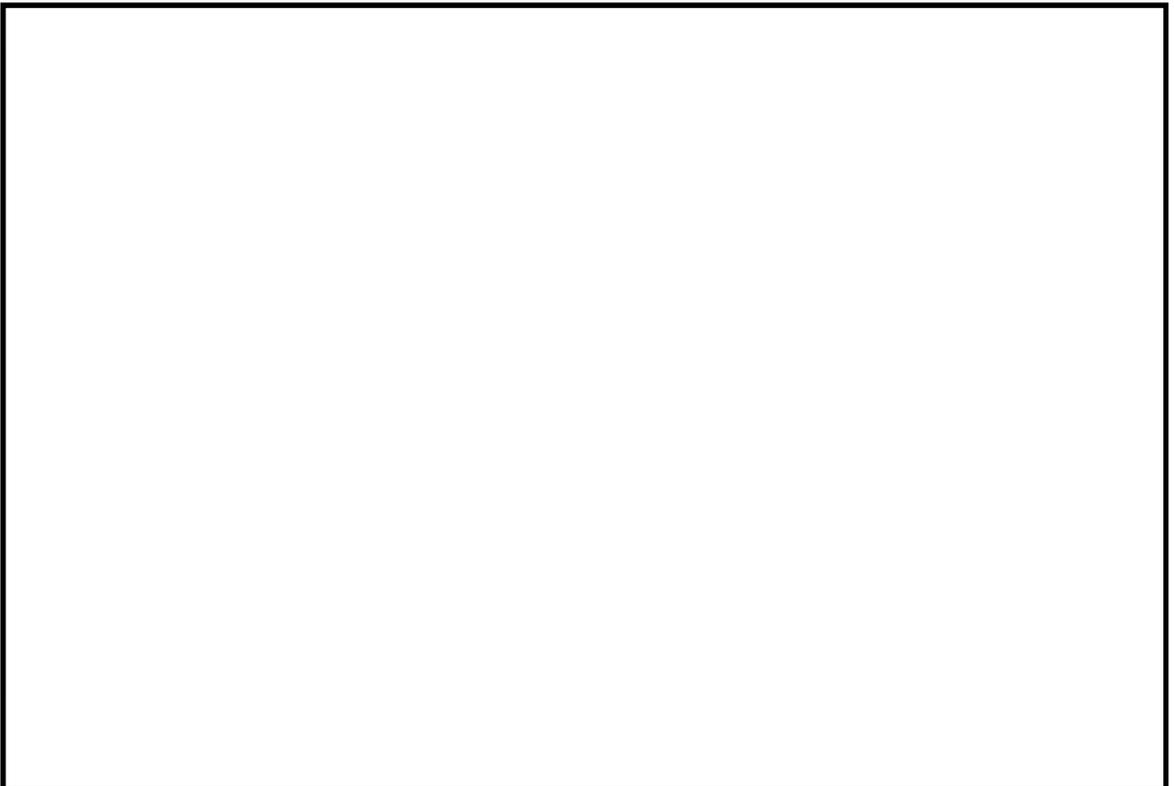


図 2.5-3 KK サイト位置関係図

3. 使用済燃料プール損傷頻度

3.1 KK-7 低圧タービン羽根ミサイルによる使用済燃料プール損傷頻度

低圧タービン羽根ミサイルは、すべてのケースにて到達確率は0であり、すなわち損傷頻度も0である。

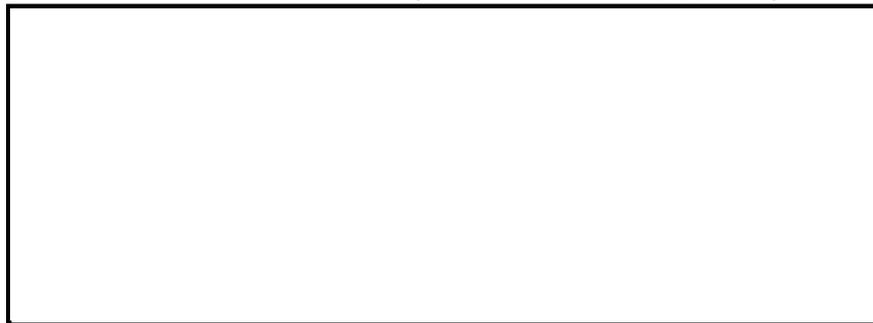
3.2 KK-7 T-G カップリングミサイルによる使用済燃料プール損傷頻度

T-G カップリングミサイルは、すべてのケースにて到達確率は0であり、すなわち損傷頻度も0である。

3.3 KK-7 低圧タービンディスクミサイルによる使用済燃料プール損傷頻度

ディスクミサイルによる使用済燃料プール損傷頻度について、表 3.1 に評価結果を示す。各使用済燃料プールへのミサイル到達確率の総和は、判断基準である 10^{-7} (回/炉・年) を下回った。

表 3.3-1 評価結果一覧 (使用済燃料プール損傷頻度)



4. まとめ

KK-5/6/7 使用済燃料プール損傷頻度を評価した。KK-5/6/7 の使用済燃料プールを損傷する頻度は、判断基準 10^{-7} (回/炉・年) を下回る結果となった。

なお、高圧ロータ及び発電機ロータについては今回取替対象ではないことから形状や質量に変更はない。また、定格回転速度にも変更がなく、評価に用いる定格の 120% の回転速度も同様である。そのため、建設時の高圧ロータ及び発電機ロータからの飛散物が車室内にとどまりミサイルとならないという評価結果に変更はない。

遮蔽物貫通後速度評価方法

ミサイルによる遮へい物貫通厚さの評価には、内規に示される修正 NDRC の式^[1]（コンクリート壁）及び BRL の式^[2]（鋼板）を用いる。

(1) 記号の定義

T : コンクリート (or 鋼板) 壁厚さ (in)

D : ミサイル直径 (in)

f : ミサイル入射角 (deg)

W : ミサイル質量 (lb)

FC : コンクリート圧縮強さ (lb/in²)

FN : NOSE PERFORMANCE FACTOR (ミサイル先端の形状係数) (-)

FS : 鋼板 grade 係数 (-)

V : 貫通前のミサイル速度 (ft/sec)

U : 貫通後のミサイル速度 (ft/sec)

: ミサイルの飛び出し方向と水平面のなす角度 (仰角)

(2) コンクリート壁に対する評価 (修正 NDRC 式)

$$R = \frac{T}{D \cdot \cos^2}$$

(i) $R < 3.0$ のとき

$$S = \frac{3.19 - \sqrt{10.1761 - 2.872 \cdot R}}{1.436}$$

$$G = \left(\frac{S}{2.0}\right)^2$$

(ii) $3.0 < R < 18$ のとき

$$S = \frac{1}{1.24}(R - 1.32)$$

$$S < 2.0 \text{ のとき } G = \left(\frac{S}{2.0}\right)^2$$

$$S \geq 2.0 \text{ のとき } G = S - 1.0$$

貫通エネルギー E は、以下ようになる。

$$E = 10^6 \cdot \left(\frac{G \cdot D^{2.8} \cdot \sqrt{FC}}{180 \cdot FN \cdot W} \right)^{\frac{2}{1.8}}$$

(3) 鋼板壁に対する評価 (BRL 式)

$$E = \frac{1119655 \cdot FS^2}{W} \cdot \left(\frac{T \cdot D}{\cos^2} \right)^{1.5}$$

(4) 遮へい物貫通後の速度評価

$$V^2 \geq E \text{ のとき } U = \sqrt{V^2 - E}$$

$$V^2 < E \text{ のとき } U = 0$$

従って

$$\frac{dU}{dV} = \frac{V}{\sqrt{V^2 - E}} = \frac{V}{U}$$

参考文献

- [1] R.P.Kennedy, "A Review of Procedures for the Analysis Design of Concrete Design Structures to Resist Missile Impact Effects," Nucl.Eng.Des., 37, pp.183 ~ 203 (1976)
- [2] Department of the Army, "Fundamentals of Protective Design," TM-5-855-1 (1965)

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-08 r1
提出年月日	2022年 4月 21日

K-7 低圧タービンの固有周期計算における断面二次モーメント及び有効せん断断面積の算出について

2022年 4月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

本資料は、VI-4 蒸気タービンの耐震性に関する説明書に記載のある低圧タービンの断面二次モーメント (I) の算出方法と、低圧タービンの有効せん断断面積 (A_s) の算出方法について説明するものである。

2. 断面二次モーメント I の算出方法

低圧外部車室脚部の最小断面二次モーメントを求める。

中立軸 (X-X) に関する断面二次モーメント

$$I_x = 2 \times \frac{1}{12} \times t_1 \times \{(Y_1 + 2t_2)^3 - Y_2^3\} + \frac{1}{12} \times X_1 \times \{(Y_1 + 2t_2)^3 - Y_1^3\}$$

中立軸 (Y-Y) に関する断面二次モーメント

$$I_y = 2 \times \frac{1}{12} \times t_2 \times X_1^3 + 2 \times \frac{1}{12} \times Y_3 \times \{(X_1 + 2t_1)^3 - X_1^3\}$$

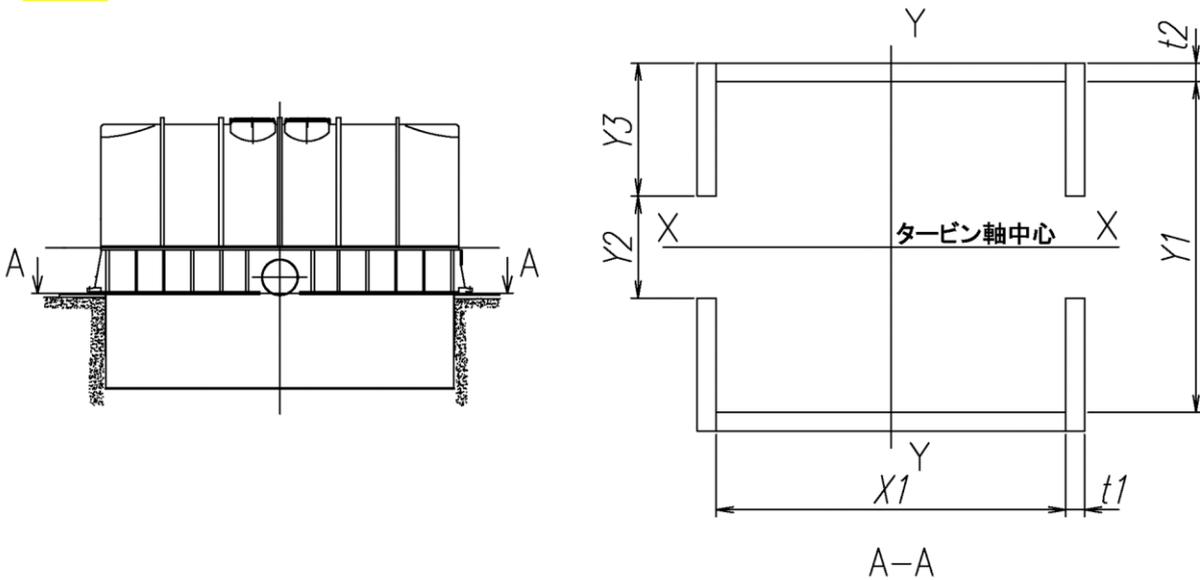
I_x, I_y を比較し、固有周期が保守側となる、値が小さい方を使用する。

3. 有効せん断断面積 A_s の算出方法

低圧外部車室脚部のせん断断面積を求める。

$$A_s = Y_3 \times t_1 \times 4 + X_1 \times t_2 \times 2$$

また使用する各種寸法は、下図の低圧タービン脚部 (A-A 断面) から参照している。本寸法は外部ケーシングの外形のみを考慮しており、他のリブ等の構造物を考慮しておらず、評価上保守的な条件である。



柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-09 r1
提出年月日	2022年 4月21日

設計及び工事計画に係る説明資料

(添付VI-11-1 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)

2022年 4月

東京電力ホールディングス株式会社

ヒアリング指摘事項一覧 (No.23) 補足説明

P.4 3.1.1～3.1.3 の記述と P.6 第 2 図及び P.7 第 1 表の関係を整理した結果を示す。

3.1.1 設計に係る組織

設工認に基づく設計は、第 2 図に示す設計を主管する箇所（以下「設計を主管する箇所」という。）が実施する。

設計を主管する箇所は、設計に必要な資料（以下「設計資料」という。）の作成を行い、「3.2 設工認における設計、工事及び検査の各段階とそのレビュー」及び「3.3 設計に係る品質管理の方法」に示すとおりの設計結果となっていることを審査・承認する。

また、・・・(中略)・・・様式-1に取りまとめる。

⇒3.1.1 は、第 2 図に示す体制で「3.2 設工認における設計、工事及び検査の各段階とそのレビュー」及び「3.3 設計に係る品質管理の方法」に示す通りの設計となっていることを審査・承認すると記載しており、第 2 図は設計及び工事認可申請（届出）の各プロセス（3.3～3.6）における承認者を明確にしている。

3.1.2 工事及び検査に係る組織

設工認に基づく工事及び検査は、第 1 表に示す工事を主管する箇所及び検査を担当する箇所で実施する。

また、・・・(中略)・・・様式-1に取りまとめる。

3.1.3 調達に係る組織

設工認に基づく調達は、第 1 表に示す本社組織及び発電所組織の調達を主管する箇所で実施する。

また、・・・(中略)・・・様式-1に取りまとめる。

⇒3.1.2 及び 3.1.3 は第 1 表に示す主たる箇所で、設工認に基づく工事及び検査・調達を実施することを記載しており、第 1 表は設計及び工事認可申請（届出）の各プロセス（3.3～3.6）を主管する箇所を示している。

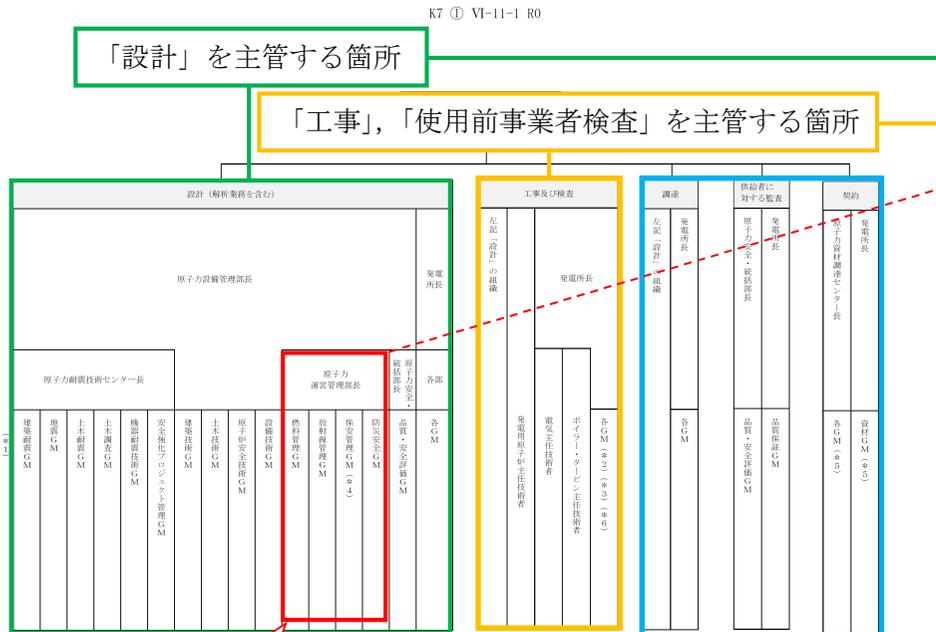
(まとめ)

第 1 表は各プロセス（3.3～3.6）を主管する箇所を示し、具体的な承認者を第 2 図で明確にしている。

(第2図と第1表との整理)

第1表 各プロセスを主管する箇所

プロセス	主管箇所	
3.3 設計に係る品質管理の方法	(本社) 原子力安全・統括部 原子力運営管理部 原子力設備管理部	(発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部
3.4 工事に係る品質管理の方法	(本社) 原子力設備管理部	(発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部
3.5 使用前事業者検査の方法		
3.6 設工認における調達管理の方法	(本社) 原子力安全・統括部 原子力運営管理部 原子力設備管理部 原子力資材調達センター	(発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部



注記※1:「GM」は「グループマネージャ」をいう。
 ※2: 検査の取りまとめを主管する箇所の長(保安部)をいう。
 ※3: 品質管理担当(発電所組織においては、保安部)をいう。
 ※4: 本社組織の保安規定の取りまとめをいう。
 ※5: 本社以外の箇所で行う契約をいう。
 ※6: 検査を担当する箇所の長(保安部)をいう。
 ※7: 4の発電所組織安全総括GMのことをいう。なお、安全総括GMは、工事を実施しない中立的立場の者である。
 ※8: 品質管理担当(保安部)をいう。
 ※9: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※10: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※11: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※12: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※13: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※14: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※15: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※16: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※17: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※18: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※19: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※20: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※21: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※22: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※23: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※24: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※25: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※26: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※27: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※28: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※29: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※30: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※31: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※32: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※33: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※34: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※35: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※36: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※37: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※38: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※39: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※40: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※41: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※42: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※43: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※44: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※45: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※46: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※47: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※48: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※49: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※50: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※51: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※52: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※53: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※54: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※55: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※56: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※57: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※58: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※59: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※60: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※61: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※62: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※63: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※64: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※65: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※66: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※67: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※68: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※69: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※70: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※71: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※72: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※73: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※74: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※75: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※76: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※77: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※78: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※79: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※80: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※81: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※82: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※83: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※84: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※85: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※86: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※87: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※88: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※89: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※90: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※91: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※92: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※93: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※94: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※95: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※96: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※97: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※98: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※99: 設工認における品質管理の方法をいう。
 ※100: 設工認における品質管理の方法をいう。

第2図 設工認の各プロセスに関する体制

第1表に示す主管する箇所の承認者を第2図で明確にしている。
 (例)
 「3.3 設計に係る品質管理の方法」の主管箇所である“原子力運営管理部”の承認者は第2図に示す各グループマネージャが該当する。

「調達」を主管する箇所

参考（前回認可版との記載の比較表）

<p>柏崎刈羽原子力発電所第7号機 【高エネルギーのアーキ放電対策】 令和3年1月20日付原管発官R2第231号 (令和3年3月5日付原管発官R2第269号をもって一部補正)</p>	<p>柏崎刈羽原子力発電所第7号機 【今回届出】 令和4年3月29日付原管発官R3第264号</p>																				
<p>組織図（前版）</p>	<p>組織図（今回届出）</p>																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>プロセス</th> <th>主管箇所</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3.3 設計に係る品質管理の方法</td> <td> (本社) 原子力安全・統括部 品質・安全評価グループ 原子力運営管理部 防災安全部 放射線安全部 燃料管理グループ 原子力設備管理部 設備技術グループ 原子炉安全技術グループ 土木技術グループ 建設技術グループ 安全部 プロジェクト管理グループ 機械部 技術グループ 土木部 土木部 地震グループ 建築部 </td> </tr> <tr> <td>3.4 工事に係る品質管理の方法</td> <td> (本社) 原子力設備管理部 (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部 </td> </tr> <tr> <td>3.5 使用前事業者検査の方法</td> <td> (本社) 原子力安全・統括部 原子力運営管理部 原子力設備管理部 原子力資材調達センター (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部 </td> </tr> <tr> <td>3.6 設工認における調達管理の方法</td> <td> (本社) 原子力安全・統括部 原子力運営管理部 原子力設備管理部 原子力資材調達センター (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部 </td> </tr> </tbody> </table>	プロセス	主管箇所	3.3 設計に係る品質管理の方法	(本社) 原子力安全・統括部 品質・安全評価グループ 原子力運営管理部 防災安全部 放射線安全部 燃料管理グループ 原子力設備管理部 設備技術グループ 原子炉安全技術グループ 土木技術グループ 建設技術グループ 安全部 プロジェクト管理グループ 機械部 技術グループ 土木部 土木部 地震グループ 建築部	3.4 工事に係る品質管理の方法	(本社) 原子力設備管理部 (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部	3.5 使用前事業者検査の方法	(本社) 原子力安全・統括部 原子力運営管理部 原子力設備管理部 原子力資材調達センター (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部	3.6 設工認における調達管理の方法	(本社) 原子力安全・統括部 原子力運営管理部 原子力設備管理部 原子力資材調達センター (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部	<table border="1"> <thead> <tr> <th>プロセス</th> <th>主管箇所</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3.3 設計に係る品質管理の方法</td> <td> (本社) 原子力安全・統括部 原子力運営管理部 原子力設備管理部 (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部 </td> </tr> <tr> <td>3.4 工事に係る品質管理の方法</td> <td> (本社) 原子力設備管理部 (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部 </td> </tr> <tr> <td>3.5 使用前事業者検査の方法</td> <td> (本社) 原子力安全・統括部 原子力運営管理部 原子力設備管理部 原子力資材調達センター (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部 </td> </tr> <tr> <td>3.6 設工認における調達管理の方法</td> <td> (本社) 原子力安全・統括部 原子力運営管理部 原子力設備管理部 原子力資材調達センター (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部 </td> </tr> </tbody> </table>	プロセス	主管箇所	3.3 設計に係る品質管理の方法	(本社) 原子力安全・統括部 原子力運営管理部 原子力設備管理部 (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部	3.4 工事に係る品質管理の方法	(本社) 原子力設備管理部 (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部	3.5 使用前事業者検査の方法	(本社) 原子力安全・統括部 原子力運営管理部 原子力設備管理部 原子力資材調達センター (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部	3.6 設工認における調達管理の方法	(本社) 原子力安全・統括部 原子力運営管理部 原子力設備管理部 原子力資材調達センター (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部
プロセス	主管箇所																				
3.3 設計に係る品質管理の方法	(本社) 原子力安全・統括部 品質・安全評価グループ 原子力運営管理部 防災安全部 放射線安全部 燃料管理グループ 原子力設備管理部 設備技術グループ 原子炉安全技術グループ 土木技術グループ 建設技術グループ 安全部 プロジェクト管理グループ 機械部 技術グループ 土木部 土木部 地震グループ 建築部																				
3.4 工事に係る品質管理の方法	(本社) 原子力設備管理部 (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部																				
3.5 使用前事業者検査の方法	(本社) 原子力安全・統括部 原子力運営管理部 原子力設備管理部 原子力資材調達センター (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部																				
3.6 設工認における調達管理の方法	(本社) 原子力安全・統括部 原子力運営管理部 原子力設備管理部 原子力資材調達センター (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部																				
プロセス	主管箇所																				
3.3 設計に係る品質管理の方法	(本社) 原子力安全・統括部 原子力運営管理部 原子力設備管理部 (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部																				
3.4 工事に係る品質管理の方法	(本社) 原子力設備管理部 (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部																				
3.5 使用前事業者検査の方法	(本社) 原子力安全・統括部 原子力運営管理部 原子力設備管理部 原子力資材調達センター (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部																				
3.6 設工認における調達管理の方法	(本社) 原子力安全・統括部 原子力運営管理部 原子力設備管理部 原子力資材調達センター (発電所) 総務部 安全総括部 防災安全部 放射線安全部 第一運転管理部 第二運転管理部 第一保全部 第二保全部																				

(補足)
 本社組織である“原子力耐震技術センター”は原子力設備管理部に所属することから、第1表上には表れない

※青：柏崎刈羽原子力発電所第7号機(令和3年1月20日)と今回届出との差異

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-10 r0
提出年月日	2022年 4月 21日

設計及び工事計画に係る説明資料

(添付VI-6 蒸気タービンの基礎に関する説明書の補足)

2022年 4月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-6 蒸気タービンの基礎に関する説明書」（以下「基礎に関する説明書」）における、評価方針についてまとめたものである。

2. 「基礎に関する説明書」における評価方針

「基礎に関する説明書」は、本届出により取り替える低圧蒸気タービンを支持する蒸気タービンの基礎が、設計用地震力に対してその安全性が損なわれるおそれがないことを示すものである。

ここで蒸気タービンの基礎は、基本設計方針より、蒸気タービンに対する間接支持構造物と定義されており、その検討用地震動はSbとしている。またJEAG4601補1984では、間接支持構造物について『安全上の機能からの耐震重要度については規定しないものとするが、被支持設備に適用される地震動を適用した場合にも、当該設備の持つ安全機能を阻害することがないことを確認する必要がある。』とある。

間接支持構造物である蒸気タービンの基礎が支持する被支持設備は本届出の対象である蒸気タービンであるが、蒸気タービンに適用する地震力は、「耐震設計に係る設工認審査ガイド」に則り、「VI-4 蒸気タービンの耐震性に関する説明書」に記載のある通り静的震度としている。

従って、「基礎に関する説明書」にて示す蒸気タービンの基礎に適用される地震力についても、同様に静的震度と整理ができる。

以上

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-11 r0
提出年月日	2022年 4月 21日

設計及び工事計画に係る説明資料

(添付VI-6 蒸気タービンの耐震性に関する説明書の補足)

2022年 4月

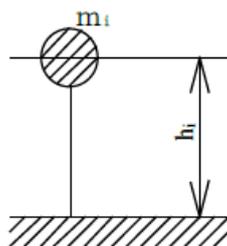
東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-5 蒸気タービンの耐震性に関する説明書」における、低圧蒸気タービンの鉛直方向の固有周期計算について、評価方法と結果をまとめたものである。

2. 評価条件

低圧タービンの鉛直方向の固有周期計算は、水平方向と同様、第1図の通り下端固定の1質点系モデルでの計算を行う。



第1図 固有周期の計算モデル

3. 評価方法

固有周期は以下の式にて計算する。

$$T_i = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_i}{K_i}} \quad \dots (1)$$

T_i : 低圧タービンの固有周期 (s)
m_i : 運転時質量 (kg)
K_i : 低圧タービンのばね定数 (N/m)

式(1)のうち、鉛直方向のばね定数 K_i は、以下の式にて計算する。

$$K_i = \frac{1000 \cdot E \cdot A_i}{h_i} \quad \dots (2)$$

E : 縦弾性係数 (MPa)
A_i : 低圧タービンの有効せん断面積 (mm^2)
h_i : 床から重心までの距離 (mm)

尚、式（2）は、部材に対して垂直方向に荷重を発生させた際の材料力学の式により、以下の通り導出した。

$$\begin{aligned}W &= \sigma \cdot A \\ &= E \cdot \varepsilon \cdot A \\ &= E \cdot \frac{\Delta L}{L} \cdot A\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K &= \frac{1000 \cdot W}{\Delta L} \\ &= \frac{1000 \cdot E \cdot \frac{\Delta L}{L} \cdot A}{\Delta L} \\ &= \frac{1000 \cdot E \cdot A}{L}\end{aligned}$$

W : 垂直荷重 (N)

σ : 応力 (MPa)

A : 部材の断面積 (mm²)

E : 縦弾性係数 (MPa)

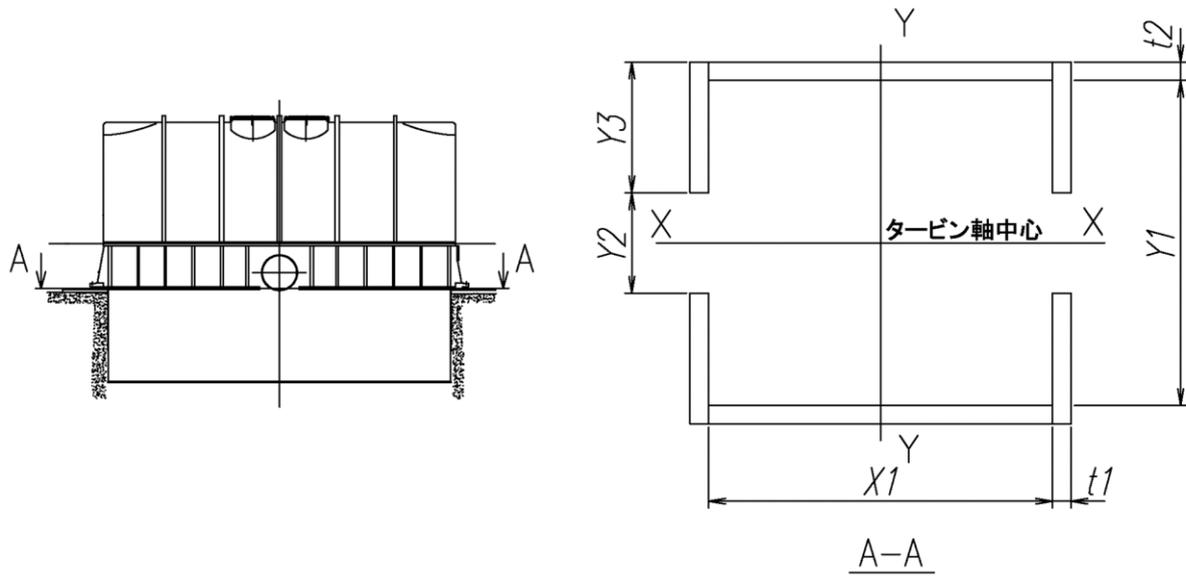
ε : ひずみ (-)

ΔL : 変位 (mm)

L : 部材の長さ (mm)

K : ばね定数 (N/m)

また式（2）に使用する各種寸法は、第2図の低圧タービン脚部（A-A 断面）から参照している。本寸法は外部ケーシングの外形のみを考慮しており、他のリブ等の構造物を考慮しておらず、評価上保守的な条件である。



第2図 寸法参照箇所

4. 評価結果

前項に記載の評価方法で計算した鉛直方向の固有周期計算結果を以下に示す。

LPA タービン : 0.014s

LPB タービン : 0.014s

LPC タービン : 0.014s

以上より、低圧タービンの鉛直方向の固有周期は0.05s未満であり、剛であると言える。

以上

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-12 r0
提出年月日	2022年 4月 21日

オーバースピードに関する ΔE について

2022年 4月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

VI-10 別紙2 タービン回転速度の評価に関する説明書に記載の蒸気エネルギー ΔE_1 , ΔE_2 , ΔE_3 について補足するものである。

負荷遮断時のタービン回転速度の評価過程を例にとり説明する。

2. 蒸気エネルギー ΔE_1 , ΔE_2 , ΔE_3 について

蒸気加減弁, インターセプト弁の作動遅れ時間に流入する流入エネルギーを ΔE_1 , 弁の閉鎖時間に流入するエネルギーを ΔE_2 , ケーシング, 配管等蒸気通路部に残留する蒸気エネルギーとその他の流入エネルギーを足し合わせたものを ΔE_3 としている。

今回の低圧タービン取替により, ΔE_1 , ΔE_2 に関しては主に高圧, 低圧タービンの出力比の変更により, 既設の評価結果から流入エネルギーの値が変化している。 ΔE_3 に関しては次ページ以降の(3)(4)に示すエネルギーの変更の影響により値が変化している。

設計最大出力時に負荷遮断した場合の最大回転速度 n_0 は以下に示す式を用いており, ΔE_1 , ΔE_2 , ΔE_3 を用いている。

$$n_0 = \sqrt{\frac{7.3 \times 10^5}{GD^2} \times (E_R + \Delta E_1 + \Delta E_2 + \Delta E_3)}$$

次ページ以降の(1)～(5)に, 負荷遮断時の最大回転速度の算出に係る要素をまとめる。

オーバースピードの算出

電気出力	N_e	kW	
負荷遮断後の瞬間最大回転速度 (IVからのリーク考慮あり)	n_0	rpm	
		rpm	
		%	
		%	
タービン・発電機回転部分の慣性モーメント	GD^2	kg・m ²	
負荷遮断時の回転エネルギー	$E_R = 1.37 \times 10^{-6} \times GD^2 \times n_R^2$	kJ	
負荷遮断時の回転速度	n_R	rpm	
高圧タービン出力比	f_{HP}	—	
低圧タービン出力比	f_{LP}	—	

(1) ΔE_1 : 負荷遮断時, 蒸気加減弁 (CV) とインタセプト弁 (IV) の作動遅れ時間によりタービンへ流入するエネルギー

負荷遮断時, 蒸気加減弁 (CV) とインタセプト弁 (IV) の 作動遅れ時間によりタービンへ流入するエネルギー	$\Delta E_1 = \Delta E_{1CV} + \Delta E_{1IV}$	kJ	
CVを通る蒸気エネルギー	$\Delta E_{1CV} = N_e \cdot f_{HP} \cdot T_{CV}$	kJ	
CV作動遅れ時間 (実作動時間)	T_{CV}	秒	
IVを通る蒸気エネルギー	$\Delta E_{1IV} = N_e \cdot f_{LP} \cdot T_{IV}$	kJ	
IV作動遅れ時間 (実作動時間)	T_{IV}	秒	

(2) ΔE_2 : 負荷遮断時, 蒸気加減弁 (CV) とインタセプト弁 (IV) の閉鎖時間よりタービンへ流入するエネルギー

負荷遮断時, 蒸気加減弁 (CV) とインタセプト弁 (IV) の閉鎖時間によりタービンへ流入するエネルギー	$\Delta E_2 = \Delta E_{2CV} + \Delta E_{2IV}$	kJ	
CVを通る蒸気エネルギー	$\Delta E_{2CV} = Ne \cdot f_{HP} \cdot \alpha_{CV} \cdot T d_{CV}$	kJ	
CV閉鎖時間 (実作動時間を 100%開度換算)	$T d_{CV}$	秒	
CV流量補正係数	α_{CV}	—	
IVを通る蒸気エネルギー	$\Delta E_{2IV} = Ne \cdot f_{LP} \cdot \alpha_{IV} \cdot T d_{IV}$	kJ	
IV閉鎖時間 (実作動時間)	$T d_{IV}$	秒	
IV流量補正係数	α_{IV}	—	

(3) ΔE_{3-1} : ケーシング, 配管等蒸気通路部に残留する蒸気エネルギー

ケーシング, 配管等蒸気通路部に残留する蒸気エネルギー	$\Delta E_{3-1} = \Delta E_{3-1①} \sim \Delta E_{3-1⑩}$ の合計	kJ	
$\Delta E_{3-1①}$: CV~HPノズルボックス		kJ	
$\Delta E_{3-1②}$:		kJ	
$\Delta E_{3-1③}$:		kJ	
$\Delta E_{3-1④}$:		kJ	
$\Delta E_{3-1⑤}$:		kJ	
$\Delta E_{3-1⑥}$:		kJ	
$\Delta E_{3-1⑦}$:		kJ	
$\Delta E_{3-1⑧}$:		kJ	
$\Delta E_{3-1⑨}$:		kJ	
$\Delta E_{3-1⑩}$:		kJ	

(4) ΔE_{3-2} : その他の流入エネルギー

	kJ	
--	----	--

(5) ΔE_3 : 高圧・低圧タービンのケーシング，配管等蒸気通路部に残留する蒸気エネルギー

残留エネルギー	$\Delta E_3 = \Delta E_{3-1} + \Delta E_{3-2}$	kJ	
---------	--	----	--

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-13 r0
提出年月日	2022年 4月 21日

危険速度の算出方法について

2022年 4月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-9 蒸気タービンの振動管理に関する説明書」における、危険速度についてまとめたものである。

2. 危険速度

2.1 危険速度の算出方法

タービンロータを下図に示す弾性ロータモデルと考え、危険速度を算出する。

第1図にて、力の釣り合いより「遠心力 (F)」と「弾性復元力 (kρ)」は、

$$F = k\rho = (\rho + \varepsilon) \cdot m\omega^2$$

ここで

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

とおくと

$$\rho = \varepsilon \cdot \frac{(\omega/\omega_n)^2}{1 - (\omega/\omega_n)^2}$$

となる。

$\omega = \omega_n$ とおけば、 $\rho = \infty$ となることから、この時の ω が「危険速度(ω_c)」となる。

以上より

$$\omega_c = \sqrt{\frac{k}{m}} \cdots (1)$$

となる。

また、「ばね定数(k)」は、ロータを“両端支持(自由端)の単純はり”と考え、そのたわみ(ρ)は

$$\rho = \frac{P \cdot \ell^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

となり、

$$k = \frac{P}{\rho} = \frac{48 \cdot E \cdot I}{\ell^3} \cdots (2)$$

(1)式に(2)式を代入すると

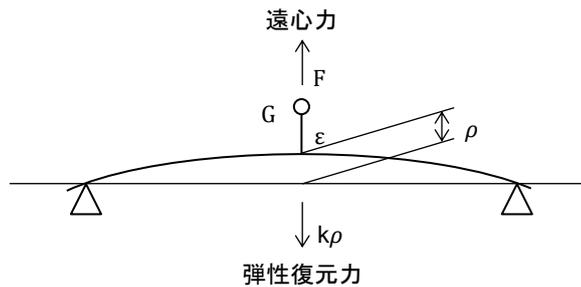
$$\omega_c = \sqrt{\frac{48 \cdot E \cdot I}{m \cdot \ell^3}}$$

$$\omega_c = \sqrt{\frac{3 \cdot E \cdot \pi \cdot d^4}{4 \cdot m \cdot \ell^3}}$$

となる。

2.2 本届出による危険速度の変化要因

前項より、本届出によるタービン取替にて危険速度が変化する要因は、「ロータ外径 (d)」と「質量 (m)」と判断できる。



<記号の定義>

k: ばね定数

ρ: 軸のたわみ

m: 質量

ε: 偏心

d: ロータ外径

E: 縦弾性係数

P: 荷重

I: 断面二次モーメント $\frac{\pi \cdot d^4}{64}$

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-14 r0
提出年月日	2022年 4月 21日

T / G 架台解析モデルへの荷重入力方法について

2022年 4月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

本資料は、添付書類「 -6 蒸気タービンの基礎に関する説明書」における、T / G 架台解析モデルへの荷重の入力方法についてまとめたものである。

2. 解析モデルへの入力方法

添付書類「 -6 蒸気タービンの基礎に関する説明書」の第3.1-1図「タービン発電機基礎 機器荷重分布図」における各部の荷重は、解析モデルの梁要素に入力している。

機器自重、定格回転時荷重及び非常回転時荷重について、一部を除き集中荷重として入力している。

分布荷重、集中荷重の解析モデルへの入力方法を図1に示す。

注記*：第3.1-1図のうち、は分布荷重として入力。

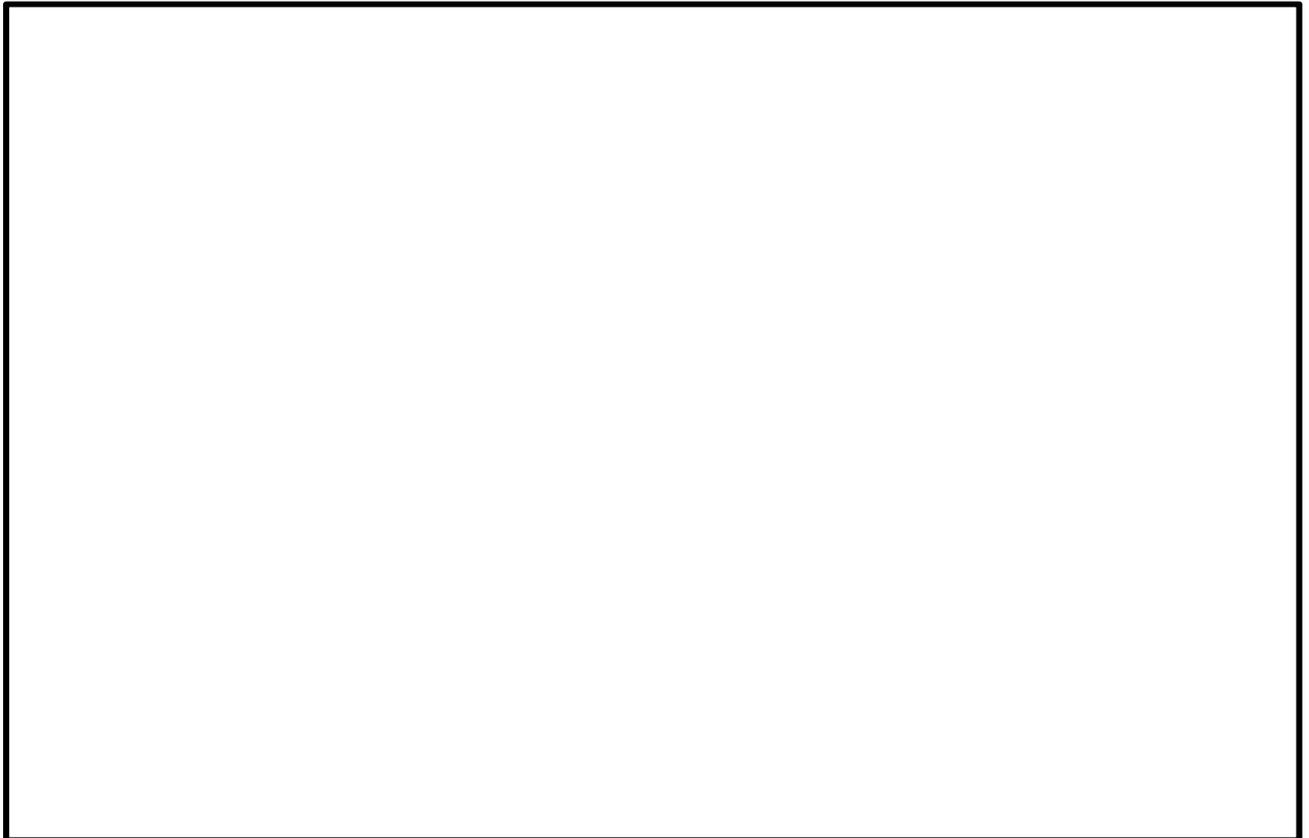


図 1 解析モデルへの入力方法