

敦賀発電所2号機 蒸気タービン取替計画について

平成18年8月31日
日本原子力発電株式会社

敦賀発電所2号機 蒸気タービン取替えにあたっての検討事項

蒸気タービンの取替えに伴い、設備の健全性を確認するため、以下を検討した。

検 討 項 目	検 討 結 果
翼の振動	共振を回避することを確認した。（別紙－１）
強度	蒸気タービンの主要部分が設計最大出力状態や定格回転速度の120%状態でも十分な強度を有することを確認した。（別紙－２）
耐震性	蒸気タービン設備の耐震設計において、地震力によって蒸気タービンが転倒しないことや、支持構造物のせん断応力が許容応力を超えないことを確認した。（別紙－３）
タービン基礎の影響評価	タービン取替後は重量が増加するが、重量増加後においても基礎構造に影響のないことを確認した。（別紙－４）
定格熱出力一定運転状態での健全性評価	翼等の内部飛来物（タービンミサイル）により、原子炉設備への影響がないことや、発電機等の電気設備は温度上昇を考慮しても影響のないことを確認した。（別紙－５）

翼の振動評価結果

○動翼の振動

低圧タービンの最終段動翼群（第14段～第16段動翼）は定格回転速度時の周波数（30Hz）の整数倍（6ハーモニクス以下）に対して共振を回避する設計としており、共振による振動応力は発生しない。

代表例として最終段動翼の定格回転数における翼の固有振動数を示す。

動翼高さ	1, 375.0 mm
定格回転数	1, 800 rpm
一次振動	7.5 Hz
二次振動	22.3 Hz

なお、第1～第13段動翼については、翼長が短いことから、共振を仮定しても十分に安全な強度を有するように設計している。

○静翼の振動

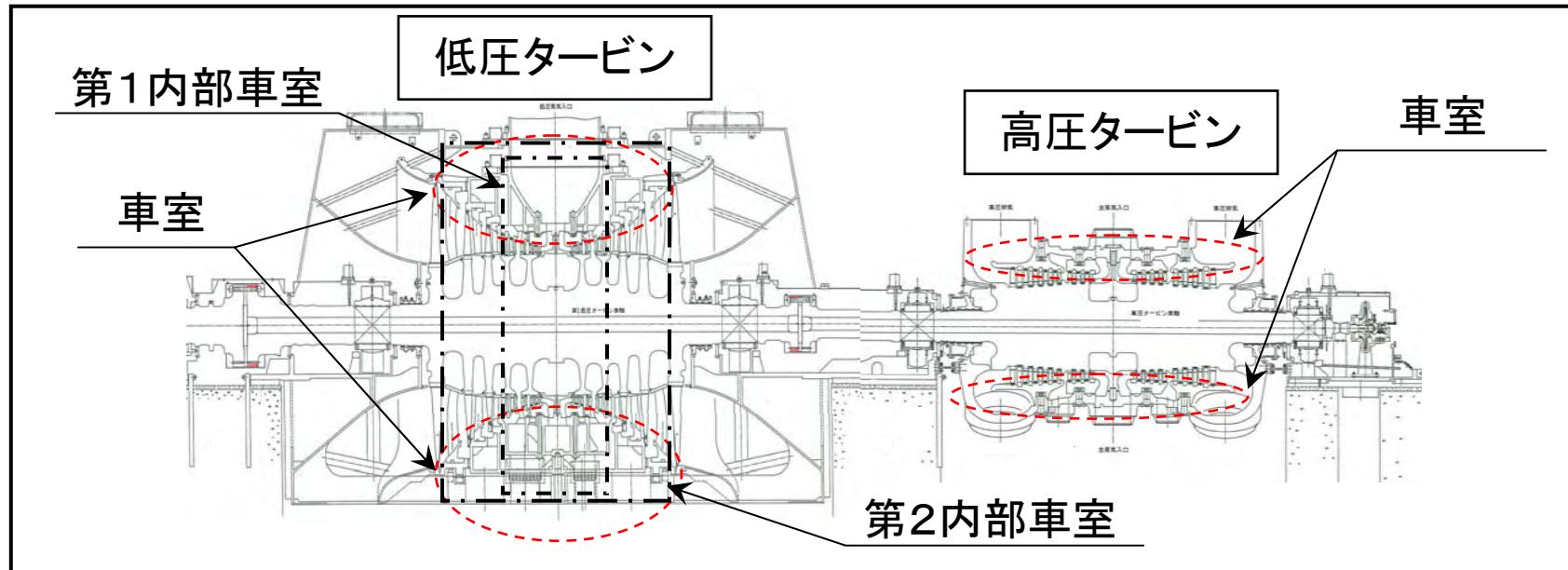
静翼については、十分な翼巾及び翼厚さを有する形状とすることにより、翼の剛性を確保し、非同期振動も含め、強度上安全な設計としている。

○ロータの共振速度

定格回転速度は1, 800 rpmであり、タービン及び発電機軸系結合状態での共振速度を回避している。

蒸気タービン主要部分の強度評価結果（その１）

１．車室



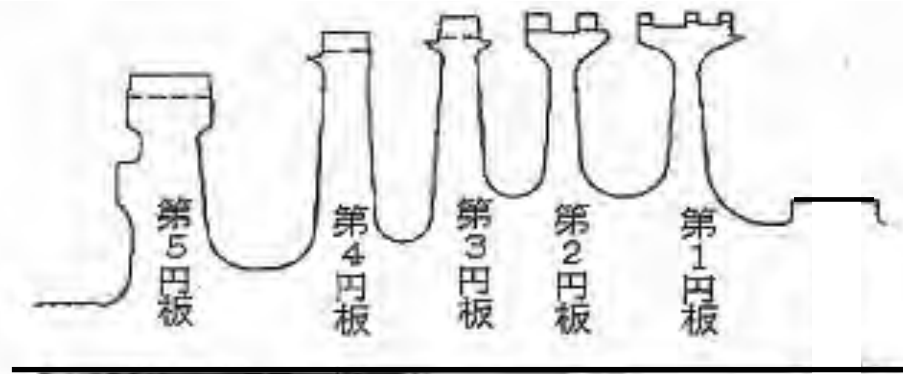
【評価結果】

代表例として車室の肉厚評価結果（内圧に対する必要最小肉厚）を示す。

部位	高圧タービン	低圧タービン 第１内部車室	低圧タービン 第２内部車室
必要最小肉厚 (mm)	6 1. 1	3 2. 5	3. 7
設計肉厚 (mm)	1 4 2	6 7	4 0

蒸気タービン主要部分の強度評価結果（その２）

２．車軸円板



低圧車軸の円板形状

【評価結果】

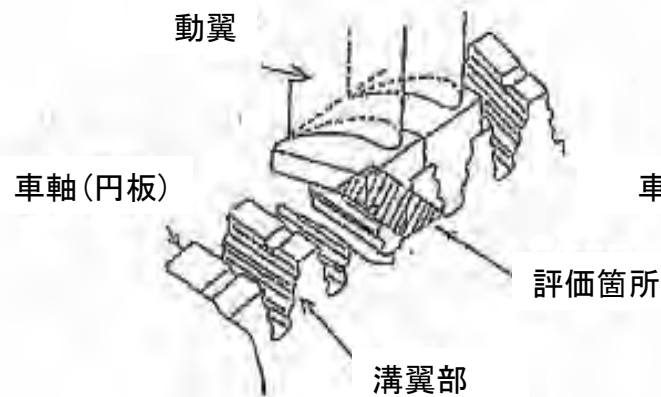
代表例として円板の強度評価結果（円板接線応力に対する強度、低圧車軸）を示す。

部位	第 1 円板	第 2 円板	第 3 円板	第 4 円板	第 5 円板
安全率	4. 5	3. 5	3. 6	3. 4	2. 9

蒸気タービン主要部分の強度評価結果（その３）

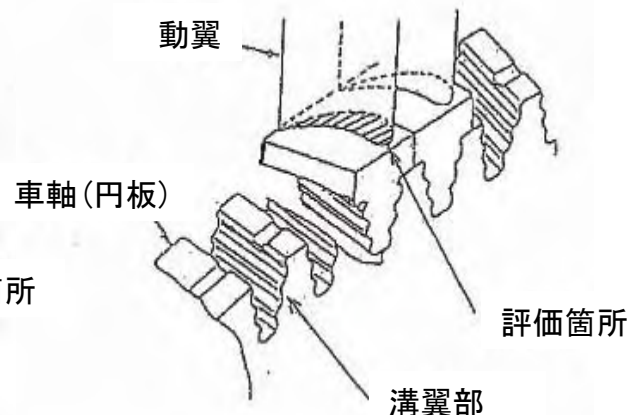
３．翼

翼溝部の形状及び評価箇所



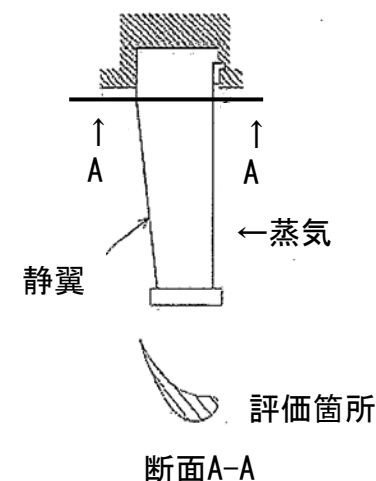
（第１段～第16段）

動翼の形状及び評価箇所



（第１段～第16段動翼）

静翼の形状及び評価箇所



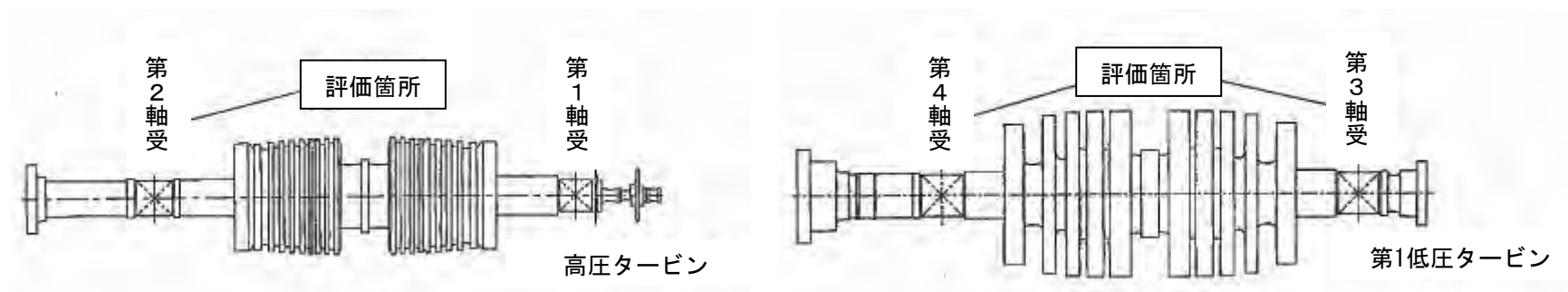
【評価結果】

代表例として低圧タービン翼の強度評価結果を示す。

段落	9	10	11	12	13	14	15	16
動翼強度	安全率 6.1	4.8	4.5	3.7	3.4	2.2	1.7	1.8
静翼強度	安全率 10.8	6.3	4.9	6.1	3.5	7.8	11.3	13.1

蒸気タービン主要部分の強度評価結果（その４）

４．車軸



車軸の形状及び評価箇所

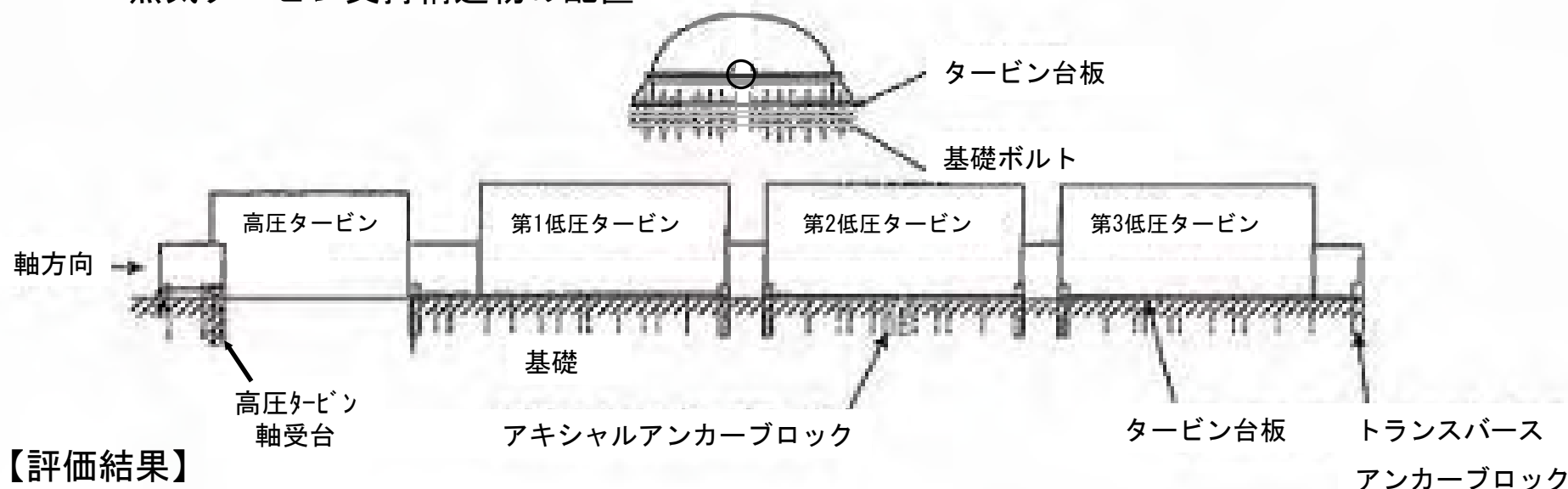
【評価結果】

代表例として車軸の強度評価結果（軸捩じり強度、設計最大出力時）を示す。

	高圧車軸	第１低圧車軸	
部位	第２軸受部	第３軸受部	第４軸受部
安全率	４．６	１１．１	６．４

蒸気タービン耐震評価結果(その1)

蒸気タービン支持構造物の配置



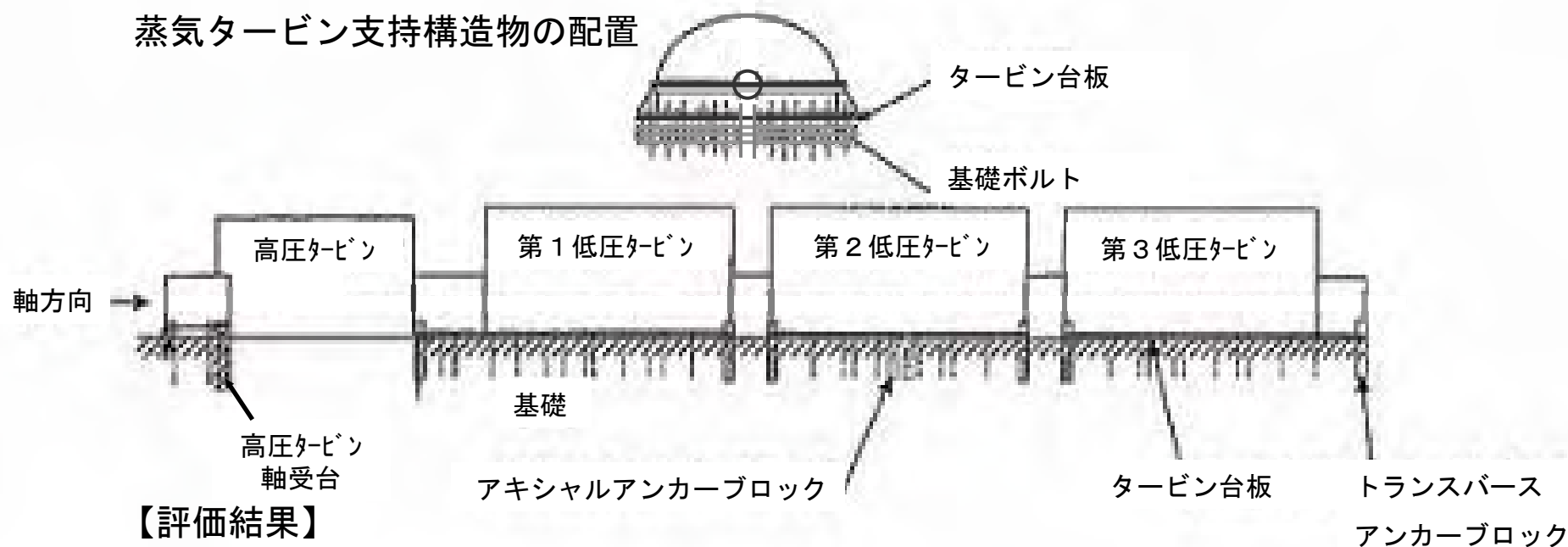
【評価結果】

蒸気タービン耐震評価結果（蒸気タービンの転倒評価）を示す。

部位	高圧タービン 軸受台	第 1 低圧 タービン	第 2 低圧 タービン	第 3 低圧 タービン
転倒モーメント M_C (N・mm)	1.61×10^9	5.01×10^9	3.49×10^9	3.48×10^9
復元モーメント M_R (N・mm)	2.32×10^9	2.58×10^{10}	2.03×10^{10}	2.06×10^{10}
M_C/M_R	0.694	0.194	0.171	0.168

蒸気タービン耐震評価結果(その２)

蒸気タービン支持構造物の配置



【評価結果】

蒸気タービン耐震評価結果（支持構造物の強度）を示す。

イ. 軸直角方向

部 位	高圧タービン軸受台	第1低圧タービン	第2低圧タービン	第3低圧タービン
トランスバースアンカーブロック又は基礎ボルトに生じるせん断応力 (N/mm ²)	18	34	29	28
許容応力	176	141	141	141

ロ. 軸方向

部 位	高圧タービン～第3低圧タービン
アキシアルアンカーブロックに生じるせん断応力 (N/mm ²)	59
許容応力	152

蒸気タービン基礎の影響評価結果

蒸気タービンの取替工事に伴う重量増加の割合は約 0.2 % とわずかであり、タービン基礎に影響はない。

取替前重量 (kN)	104, 637
取替後重量 (kN)	104, 809
増加重量 (kN)	172

定格熱出力一定運転実施に伴う発電設備の健全性評価(1／2)

○評価に用いた電気出力

仮想的に蒸気加減弁が全開した運転状態(定格蒸気流量の104%相当)での蒸気タービンの設計最大出力

電気出力で1, 265. 5MW: 定格電気出力の109. 1%
(定格電気出力1, 160MW)

○評価項目

- ・タービンミサイル評価(翼等の内部飛来物による影響評価)
- ・蒸気タービン設備の健全性評価(車室等の強度評価)
- ・電気設備の健全性評価(発電機等の温度評価)

定格熱出力一定運転実施に伴う発電設備の健全性評価(2/2)

○評価結果

電気出力1, 265. 5MW(定格電気出力の109. 1%)を上限とした運転制限曲線の範囲内で運転することにより、発電設備の健全性に問題はない。
(なお、詳細は別添参照)

評価項目	評価内容	評価結果※
タービンミサイル評価	最大回転速度が、タービンミサイル評価用回転速度以内	最大回転速度の116. 5%はタービンミサイル評価用回転速度の118%以内
蒸気タービン設備の健全性評価	①蒸気タービン構成機器の強度が許容値内 ②負荷遮断時の最大回転速度が非常调速装置の動作する回転速度未満 ③非常调速装置作動後に達する最大回転速度が強度評価用回転速度未満	①蒸気タービン構成機器の強度は全て許容値内 ②最大回転速度の105. 7%は非常调速装置の動作する回転速度の111%未満 ③最大回転速度の116. 5% は強度評価用回転速度の120%未満
電気設備の健全性評価	発電機及び主変圧器の温度上昇限度により定まる運転制限範囲の確認	電気出力の上限値1, 294. 8MW (定格電気出力の111. 6%) 内での運転により、健全性を確保。

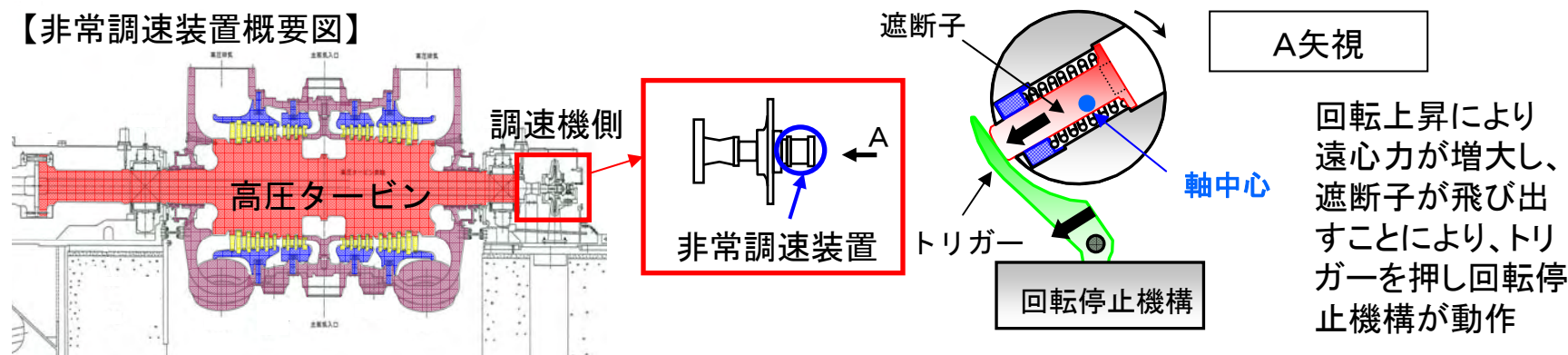
※：回転速度の%は定格回転速度に対する割合を示す。

タービンミサイル評価(1/5)

[評価内容]

○評価項目

- ・非常調速装置作動時のタービン回転速度



○評価結果

蒸気タービン設備の健全性評価から得られた非常調速装置作動時のタービン回転速度は、定格回転速度の116.5%であり、この回転速度は定格電気出力一定運転時のタービンミサイル評価に用いるタービン回転速度(定格回転速度の118%)以内である。

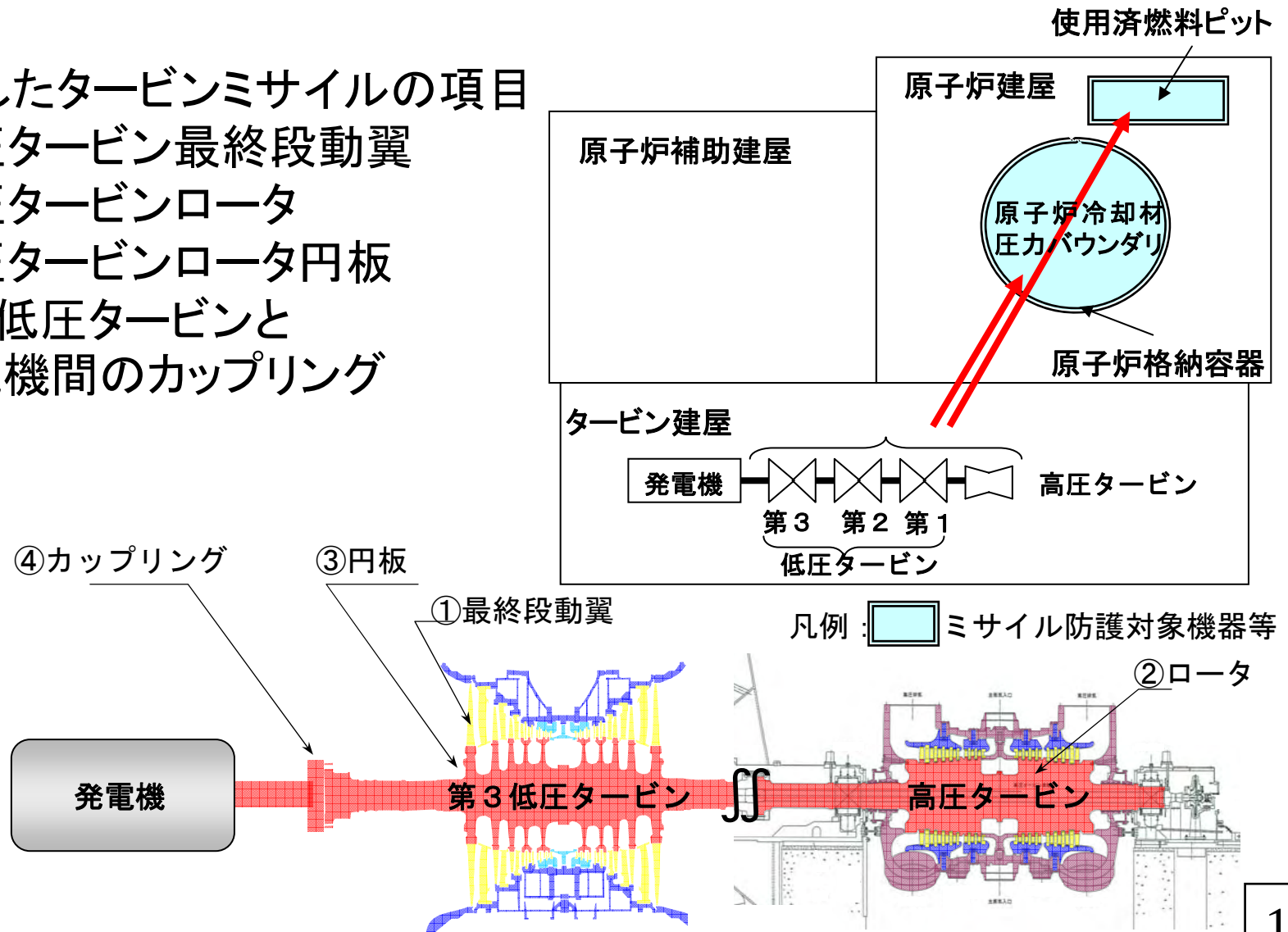
このため、タービンミサイルによる原子炉施設への影響を考慮する必要はない。

タービンミサイル評価(2/5)

仮にタービン部品がミサイル化した場合の評価を以下に記す。

○想定したタービンミサイルの項目

- ①低圧タービン最終段動翼
- ②高圧タービンロータ
- ③低圧タービンロータ円板
- ④第3低圧タービンと発電機間のカップリング



タービンミサイル評価(3/5)

○仮にタービン部品がミサイル化した場合の評価方法

①低圧タービン最終段動翼

- ・破損する回転速度とミサイル評価に用いる回転速度の比較評価
- ・仮に最終段動翼が破損し、低圧タービン外部車室から飛び出したときの影響評価

②高圧タービンロータ

- ・仮にロータが破損したときの影響評価

③低圧タービンロータ円板

- ・仮にロータ円板が破損し、ミサイル化したときの影響評価

④第3低圧タービンと発電機間のカップリング

- ・カップリングの焼きばめ部が緩む回転速度とミサイル評価に用いる回転速度の比較評価
- ・仮にカップリングが破損し、ミサイル化したときの影響評価

タービンミサイル評価(4／5)

○評価結果

- ・低圧タービン最終段動翼及び第3低圧タービンと発電機間のカップリング

タービンミサイル評価に用いるタービン回転速度では破損しない。なお、仮に破損し飛散したとしても低圧タービン最終段動翼は原子炉格納容器及び使用済燃料ピット屋根を貫通しない。また、第3低圧タービンと発電機間のカップリングは原子炉格納容器を貫通せず、使用済燃料ピットにも到達しない。

- ・高圧タービンロータ

仮に破損したとしても、車室で遮へいされるため、車室内にとどまりミサイルにならない。

タービンミサイル評価(5/5)

○評価結果

・低圧タービンローターの円板

円板の破損確率は、極めて小さいと考えられるが、仮に過去の円板の破損例から破損確率を 5×10^{-5} /年としても、円板が原子炉冷却材圧力バウンダリ及び使用済燃料ピットに到達する確率は判定基準に比べ極めて小さい。

タービンミサイル評価結果

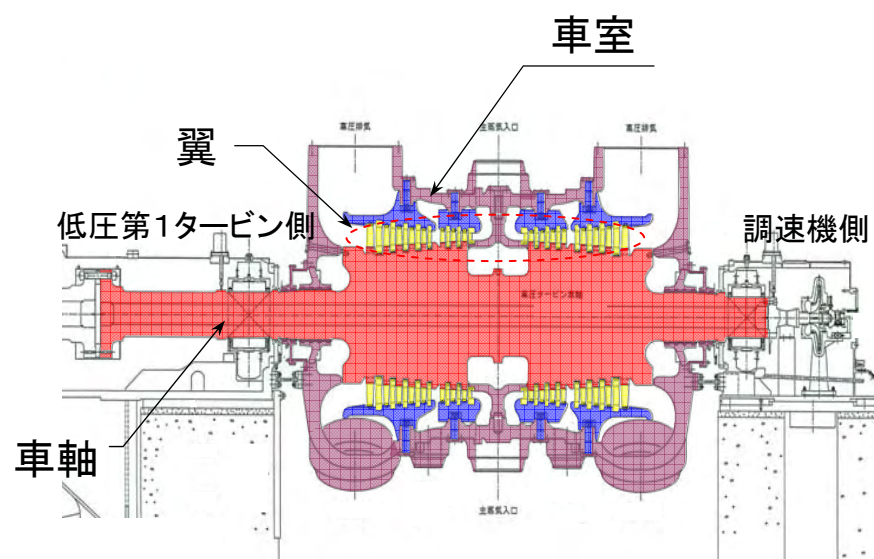
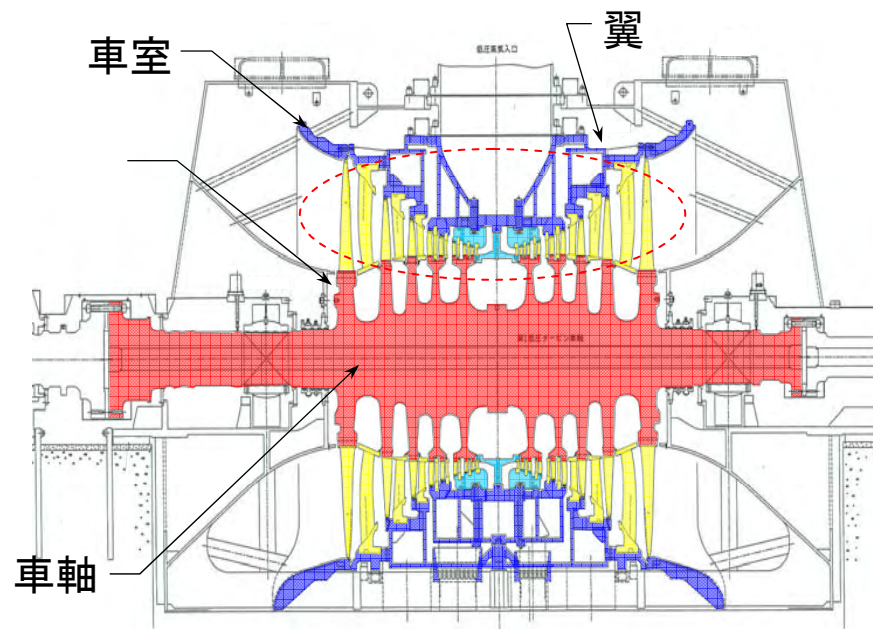
防護対象	原子炉冷却材圧力バウンダリ	使用済燃料ピット	判定基準
確率	約 3×10^{-8} /年	約 1×10^{-8} /年	10^{-7} /年

蒸気タービン設備の健全性評価(1/2)

[評価内容]

○評価項目

- ・非常調速装置作動時に達するタービン回転速度(116.5%)以上の回転速度(蒸気タービンの強度評価条件である定格回転速度の120%)における蒸気タービン構成機器の強度
『蒸気タービン構成機器:車室、円板、翼、車軸』
- ・負荷遮断時の調速装置の性能



蒸気タービン設備の健全性評価(2/2)

○評価結果

蒸気タービン構成機器の強度及び調速装置の性能は安全上問題がない。

- ・蒸気タービン構成機器の強度は、全て許容値範囲内である。
- ・負荷遮断時に達する最大回転数は、弁の応答遅れや弁の閉鎖時間を考慮しても定格回転速度の105.7%となり、非常調速装置が作動する定格回転速度の111%未満である。
- ・非常調速装置作動後に達する最大回転数は、弁の応答遅れや弁の閉鎖時間を考慮しても定格回転速度の116.5%となり、蒸気タービンの強度評価条件の定格回転速度の120%未満である。