

伊方発電所
定格熱出力一定運転の実施について

平成14年3月

四国電力株式会社

目 次

	頁
1．概 要	1
2．定格熱出力一定運転について	1
(1) 原子炉熱出力と電気出力の関係	1
(2) 現状の運転との比較	2
(3) 熱出力一定運転導入の効果	3
3．これまでの経緯	4
4．発電設備の健全性評価	4
(1) 発電設備の健全性評価	4
(2) 評価のまとめ	6
5．温排水に係る影響の評価	10
6．定格熱出力一定運転の実施に伴う対応	10
(1) 原子炉施設保安規定の変更	10
(2) 自主保安活動	10
(3) 導入予定	13

1. 概要

定格熱出力一定運転は、安全性を確保しながらより多くの電気を生み出すことができ、資源の有効活用が図れるとともにCO₂排出量削減による地球温暖化抑制に貢献できる運転方法である。

また、海外では一般に実施されており、我が国においても国により、既存の設備を変更することなく定格熱出力一定運転を安全に実施できることが確認されるとともに、定格熱出力一定運転の導入手続き等を明示した通達が出された。

これを受け、伊方発電所も、定格熱出力一定運転を導入する予定である。

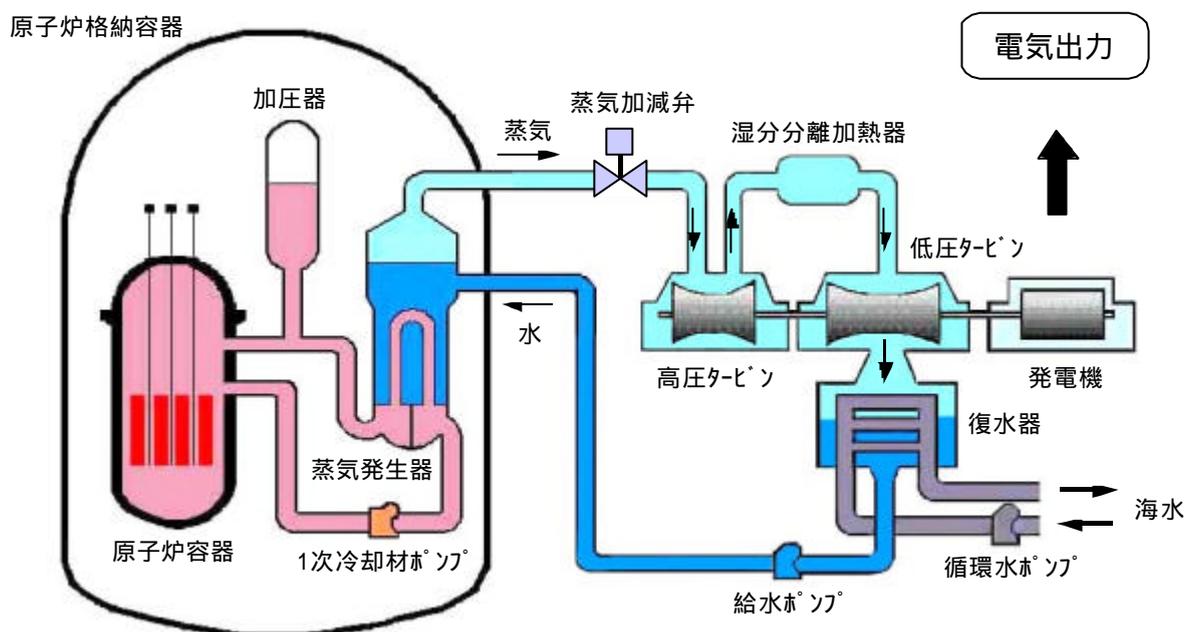
2. 定格熱出力一定運転について

(1) 原子炉熱出力と電気出力の関係

加圧水型の原子力発電所においては、原子炉で発生する熱エネルギー(原子炉熱出力)を、蒸気発生器で発生させた高圧の蒸気でタービンの羽根車を回転させ、電気エネルギーに変換している。タービンを出た蒸気は復水器に入り、ここで海水が流れる多数の細管と接触することにより冷却され凝縮し、蒸気の圧力は真空近くまで低下する。タービンの羽根車は、タービン入口と復水器内の圧力差が大きいほどより強い力で回転し、より多くの電気を生み出すことができる。

冬季は海水温度が低下するため、蒸気は海水によってより強く冷却され効率よく凝縮することから、夏季に比べ復水器内の圧力は低く(真空度が高く)なっている。タービン入口の蒸気圧力は年間を通して一定であるが、冬季は復水器の圧力が夏季に比べて低くなることから、タービン入口の圧力と復水器内の圧力差が大きくなり、同じ原子炉熱出力でも夏季に比べより大きな電気が発生する。

図2.1 原子力発電所(加圧水型)の概要



(2) 現状の運転との比較

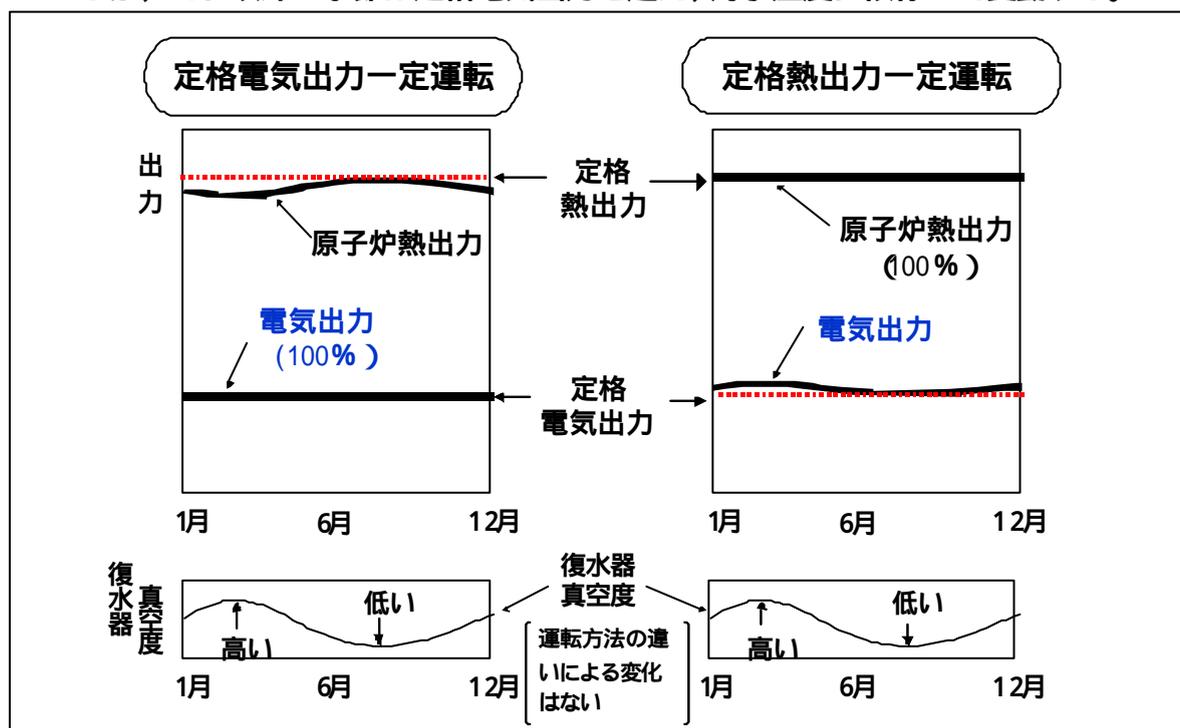
これまでは、発電所の効率が低下する夏季（海水温度が高い時期）においても発生できる電気出力を定格電気出力として運転管理上の制限値とする、いわゆる「定格電気出力一定運転」を行い、発電所の効率が良くなる冬季（海水温度が低い時期）においては、原子炉熱出力を抑えて運転してきた。

一方、諸外国の原子力発電所では、原子炉熱出力を定格熱出力に保ち、海水温度に応じた電気を発生する（定格電気出力を運転制限値としない）運転が行われている。この運転を「定格熱出力一定運転」といい、海水温度の低い時期において、より多くの電気を作ることができる。

定格熱出力一定運転を実施した場合、電気出力は海水温度に応じて変化するが、原子炉熱出力は、原子炉設置許可で認められた定格熱出力に保たれるため、原子炉側に安全上の問題は生じない。

図 2 . 2 定格電気出力一定運転と定格熱出力一定運転の比較

定格熱出力一定運転を行った場合、電気出力は夏季にほぼ定格電気出力となるが、それ以外の季節は定格電気出力を超え、海水温度に依存して変動する。



(3) 定格熱出力一定運転導入の効果

定格熱出力一定運転を導入すれば、より多くの電気を作ることができ、二酸化炭素の排出量を増やすことなく発電電力量を増やすことができることから、資源の有効活用が図れるとともにCO₂排出量削減による地球温暖化抑制に貢献できる。

伊方発電所において定格熱出力一定運転を導入した場合、年平均で約2%の電気出力の向上が見込まれる。

表2.1 定格熱出力一定運転を導入した場合の効果

ユニット	発電電力量の増加	CO ₂ 排出量の抑制
1号機	約 0.8億kWh / 年	約 6万トン / 年
2号機	約 0.8億kWh / 年	約 6万トン / 年
3号機	約 1.3億kWh / 年	約 9万トン / 年
計	約 3億kWh / 年	約 20万トン / 年

(注) 過去の運転実績に基づき、設備利用率85%として試算。
海水温度、復水器の状態等により変動する。

[参 考]

- ・ 電力量3億kWhは、約8万世帯の平均的な家庭が1年間に使用する電力量に相当し、3億kWh分石油火力発電所の運転を抑制すれば、石油約7万k $\bar{\text{L}}$ (2百 $\bar{\text{L}}$ ドラム缶に換算すると約35万本)を節約できることになる。
- ・ CO₂20万トン / 年は、当社の平成12年度におけるCO₂排出実績の約2%に相当し、同量のCO₂削減(吸収)を行うためには、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)のガイドラインに基づき試算すると、約1万ha(100km²)の植林が必要。

3. これまでの経緯

平成13年12月7日、国の総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 原子炉安全小委員会において、原子力発電所の定格熱出力一定運転について、既存の設備を変更することなく安全に実施することが可能であるとの結論が出された。

引き続き同年12月17日、経済産業省 原子力安全・保安院から定格熱出力一定運転の導入手続き等を明示した通達「定格熱出力一定運転を実施する原子力発電設備に関する保安上の取扱いについて」（平成13・12・12原院第1号）（以下、「通達」という）が出された^{注1}。

当社は、通達に基づき、伊方発電所における設備の健全性評価を行い、本年1月28日、「定格熱出力一定運転実施に伴う発電設備の健全性評価書」を経済産業省 原子力・安全保安院に提出し、3月8日、経済産業省 原子力安全・保安院による確認が終了した。

注1. 経済産業省 原子力安全・保安院長通達「定格熱出力一定運転を実施する原子力発電設備に関する保安上の取扱いについて」（平成13・12・12原院第1号 平成13年12月17日）の概要

設備の健全性評価

定格熱出力一定運転の実施に先立ち、事業者は、定格熱出力一定運転を実施する場合の最大出力で設備の健全性を評価し、その結果について経済産業省原子力安全・保安院の確認を受ける。

自主保安活動

定格熱出力一定運転の実施に伴い、事業者は運転員教育訓練などの自主保安活動を実施する。

その他

保安規定の記載の適正化、定格熱出力一定運転開始後の国による性能確認 など

4. 発電設備の健全性評価

(1) 発電設備の健全性評価

通達に基づき、伊方発電所の発電設備の健全性について、定格熱出力一定運転を実施した場合に発生し得る最大の電気出力を上回る設計最大出力で評価を行った。

表4.1 発電設備の健全性評価条件「設計最大出力」

ユニット	設計最大出力	備考
1号機	606.0MW	定格電気出力(566MW)の107.1%
2号機	606.0MW	定格電気出力(566MW)の107.1%
3号機	943.0MW	定格電気出力(890MW)の106.0%

評価結果は、次表のとおり。

表 4 . 2 発電設備の健全性評価結果

評価部位		評価項目	評価結果								
タービン・ミサイル		タービンを回転させる力が増加するため、タービン・ミサイル評価に用いるタービンの回転速度を評価した。	非常调速装置作動時のタービン回転速度は、従前の評価条件である定格回転速度の118%以下であり、タービン・ミサイル評価に用いるタービン回転速度を変更する必要はないことを確認した。 <table border="1"> <thead> <tr> <th>ユニット</th> <th>非常调速装置作動時のタービン回転速度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1号機</td> <td>117.8%</td> </tr> <tr> <td>2号機</td> <td>117.9%</td> </tr> <tr> <td>3号機</td> <td>115.3%</td> </tr> </tbody> </table>	ユニット	非常调速装置作動時のタービン回転速度	1号機	117.8%	2号機	117.9%	3号機	115.3%
ユニット	非常调速装置作動時のタービン回転速度										
1号機	117.8%										
2号機	117.9%										
3号機	115.3%										
蒸気タービン設備	車室	高圧車室 低圧内部車室	車室に作用する内圧は変わらないが、内圧に対する強度を再評価した。								
		低圧外部車室	車室に作用する外圧は変わらないが、外圧に対する強度を再評価した。								
	円板	タービンを回転させる力が増加するため、タービン回転速度が上昇した場合の遠心力に対する強度を評価した。									
	噴口	噴口に作用する内圧は変わらないが、内圧に対する強度を再評価した。									
	翼	動翼	タービンを回転させる力が増加するため、タービン回転速度が上昇した場合の遠心力に対する強度を評価した。								
		静翼 〔噴口静翼含む〕	蒸気力が増加するため、蒸気による曲げ力に対する強度を評価した。								
	車軸	タービンを回転させる力が増加するため、トルクに対する強度を評価した。									
	カップリングボルト	タービンを回転させる力が増加するため、せん断力に対する強度を評価した。									
	调速装置	タービンを回転させる力が増加するため、タービン回転速度を調整する性能について評価した。									
	電気設備	発電機	電気出力（有効電力）が増加するため、発電機及び主変圧器の構成部品各部の部材温度上昇の制限からくる運転制限曲線を全て満足する範囲内で運転されることを評価した。								
主変圧器		適時電力計及び無効電力計により監視を行い、発電機を運転制限曲線の範囲内で運転するため、発電機及び主変圧器の健全性は確保できることを確認した。なお、運転制限曲線によって定まる電気出力の上限値は下表のとおり。 <table border="1"> <thead> <tr> <th>ユニット</th> <th>運転制限曲線によって定まる電気出力の上限値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1号機</td> <td>627.6MW（力率0.996）</td> </tr> <tr> <td>2号機</td> <td>627.6MW（力率0.996）</td> </tr> <tr> <td>3号機</td> <td>976.6MW（力率0.986）</td> </tr> </tbody> </table>	ユニット	運転制限曲線によって定まる電気出力の上限値	1号機	627.6MW（力率0.996）	2号機	627.6MW（力率0.996）	3号機	976.6MW（力率0.986）	
ユニット	運転制限曲線によって定まる電気出力の上限値										
1号機	627.6MW（力率0.996）										
2号機	627.6MW（力率0.996）										
3号機	976.6MW（力率0.986）										
		非常调速装置作動時のタービン回転速度（定格回転速度の118%以下）を上回る回転速度（定格回転速度の120%）における遠心力を評価し、強度上問題ないことを確認した。									
		運転圧力を上回る設計上の最高使用圧力に対しても、強度上問題ないことを確認した。									
		設計最大出力時の蒸気流量による曲げ力を評価し、強度上問題ないことを確認した。									
		設計最大出力時の蒸気流量による曲げ力を評価し、強度上問題ないことを確認した。									
		設計最大出力時のトルクを評価し、強度上問題ないことを確認した。									
		設計最大出力時のせん断力を評価し、強度上問題ないことを確認した。									
		負荷遮断時、タービン回転速度を非常调速装置が作動するタービン回転速度（定格回転速度の111%）未満にする能力を有することを確認した。 <table border="1"> <thead> <tr> <th>ユニット</th> <th>負荷遮断時のタービン回転速度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1号機</td> <td>107.4%</td> </tr> <tr> <td>2号機</td> <td>107.6%</td> </tr> <tr> <td>3号機</td> <td>104.7%</td> </tr> </tbody> </table>	ユニット	負荷遮断時のタービン回転速度	1号機	107.4%	2号機	107.6%	3号機	104.7%	
ユニット	負荷遮断時のタービン回転速度										
1号機	107.4%										
2号機	107.6%										
3号機	104.7%										

（注）表中の用語については、次頁〔用語の説明〕参照

(2) 評価のまとめ

- a . タービン・ミサイル評価結果については、蒸気タービンの設計最大出力で運転した場合でも、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とするこれまでの評価結果を変更する必要はないことを確認した。
- b . 蒸気タービンを構成する機器の強度及び调速装置の性能については、蒸気タービンの設計最大出力で運転した場合でも安全上問題がないことを確認した。
- c . 電気設備については、運転制限曲線の範囲内で運転を行えば設備の健全性に問題がないことを確認した。

したがって、定格熱出力一定運転の実施においては、設計最大出力を上限とした運転制限曲線の範囲内で適時監視を行って運転することにより、発電設備の健全性に問題はない。

[用語の説明]

「設計最大出力」

- ・タービンの出力を調整する蒸気加減弁が全開になった場合の設計上の仮想的な蒸気流量で発生し得る出力

「タービン・ミサイル」

- ・タービンが破損し、翼などが車室（タービンを覆うカバー）を突き破ってミサイルのように飛び出す現象

「非常调速装置」

- ・タービンが回転速度超過により破損するのを防止する装置で、タービンを駆動する蒸気量を調整する弁と蒸気を遮断する弁全てを急速閉止する機能をもつ。
- ・非常调速装置の作動するタービン回転速度は、定格回転速度の111%未満に設定されている。

「调速装置」

- ・タービンの回転速度が定格回転速度（1,800rpm）になるように制御する装置
- ・调速装置については、「発電用火力設備に関する技術基準」において、負荷遮断が発生した場合にもタービン回転速度を非常调速装置が作動する回転速度（定格回転速度の111%）未満にする性能を有することが要求されている。

図 4 . 1 設計最大出力と発電実績他の関係

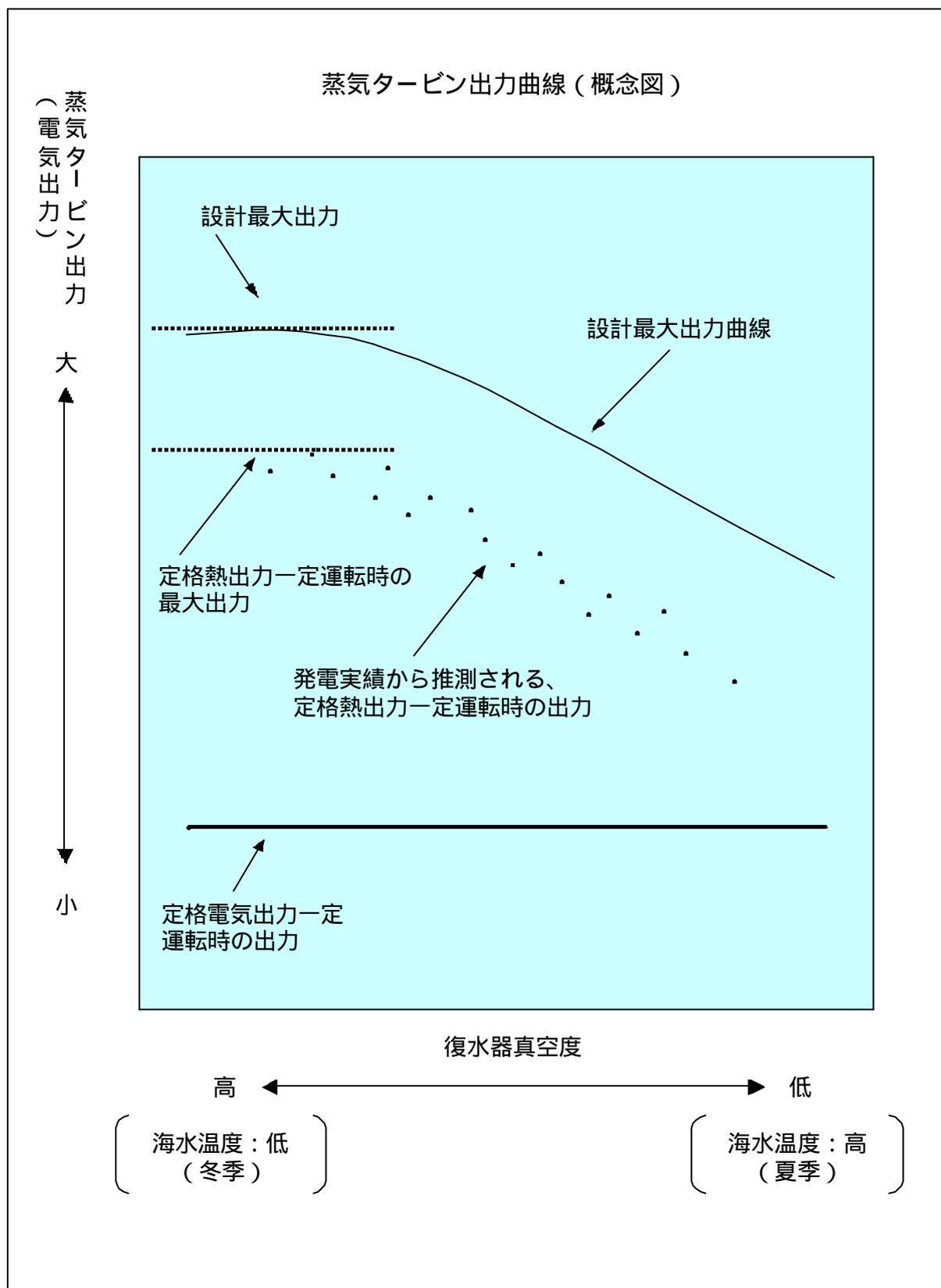


図 4 . 2 高圧タービン構造図

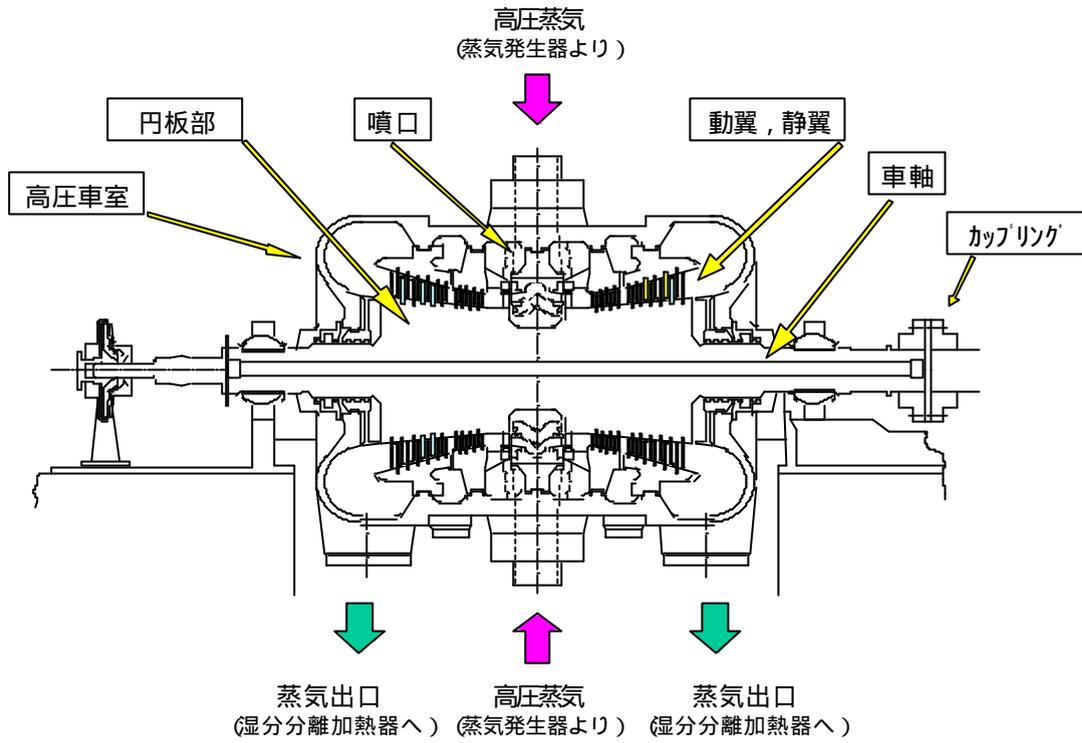


図 4 . 3 低圧タービン構造図

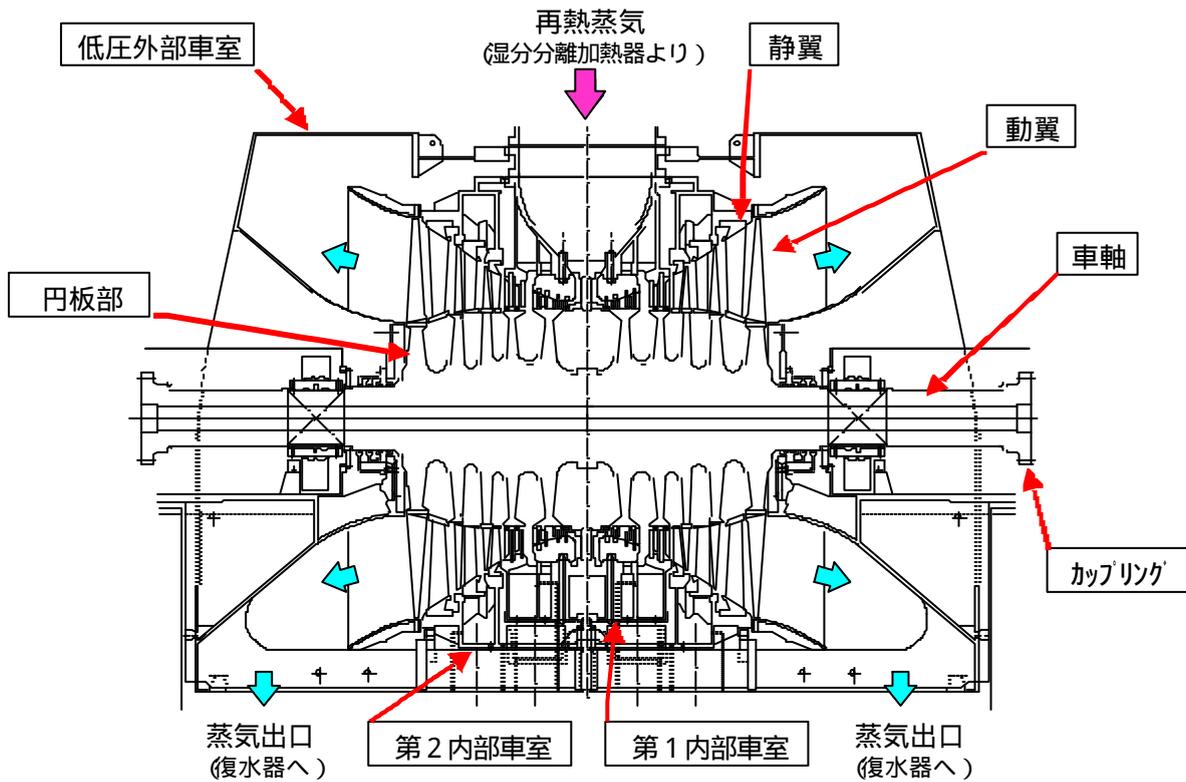
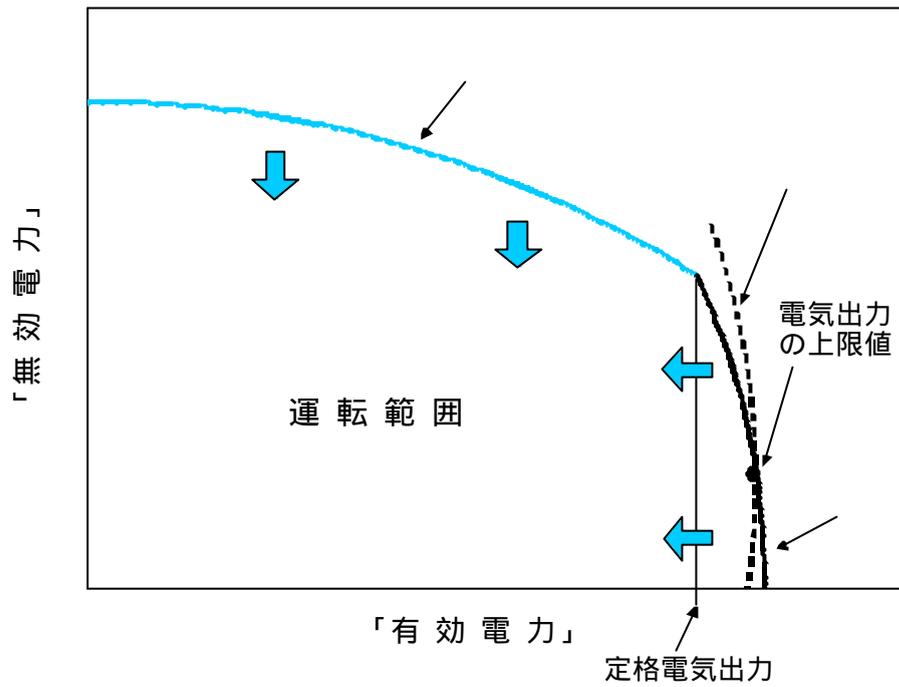


図 4 . 4 発電機及び主変圧器による運転制限曲線



： 発電機固定子コイル温度上昇限度による運転制限曲線

： 主変圧器による運転制限曲線

： 発電機回転子コイル温度上昇限度による運転制限曲線

5 . 温排水に係る影響の評価

定格熱出力一定運転に伴う温排水による環境への影響については、経済産業省 原子力安全・保安院において、環境審査顧問会 原子力部会の意見を踏まえて検討が行われ、

発電設備の設置の際に行った温排水に係る環境影響評価は、定格熱出力一定運転時の最大の温排水熱量を上回る温排水熱量を用いて評価していることから、評価結果は変わらない。

定格熱出力一定運転を行った場合の温排水熱量は、定格電気出力一定運転に比べると増加するがその量はわずかであることから、海域の環境への影響はほとんどないものと評価される。

との報告書が取りまとめられ、平成13年10月の国の原子力安全・保安部会 原子炉安全小委員会で報告されている。

6 . 定格熱出力一定運転の実施に伴う対応

定格熱出力一定運転の実施にあたって以下の対応を行う。

(1) 原子炉施設保安規定の変更

- a . 定格熱出力一定運転は年間を通じて熱出力を運転制限値近くに維持し続ける運転となるため、熱出力についての運転管理目標を定めることを記載
- b . 熱出力の1時間毎の瞬時値(1分値)と1時間平均値の双方を記録することを記載

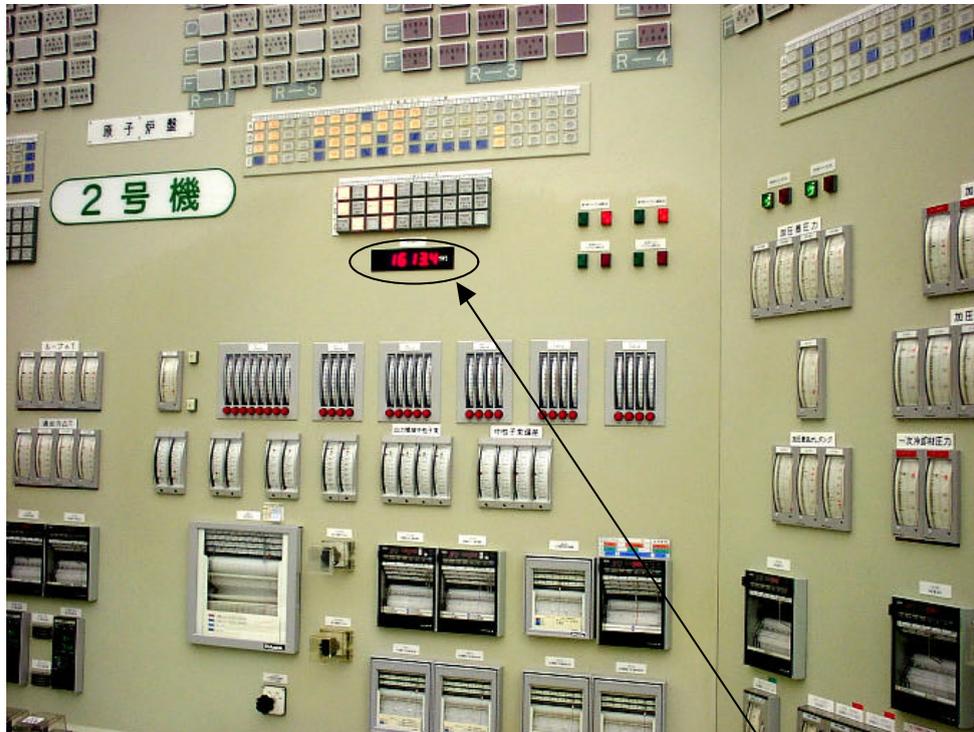
(2) 自主保安活動

- a . 経年変化や高経年化に対する対応
 - ・ 定期安全レビュー(1回/10年実施)及び高経年化対策(運転開始後30年を目処に実施)の検討や実施において、累積出力の増加等を考慮
- b . 運転マニュアル等の変更
 - ・ 運転操作内規に、定格電気出力を超えて運転する場合の運転操作に関する記載を追加
 - ・ 発電機及び主変圧器について、これらの設備の運転制限曲線に基づき、定格熱出力一定運転が制限範囲を超えない運用とする旨を、運転指令書にて規定など
- c . 運転員等への教育訓練の実施
 - ・ 運転操作内規等の変更箇所に関する机上教育の実施
 - ・ 定格電気出力を超える状態での運転操作に関するシミュレータ訓練の実施など

- d . 運転管理方法の改善へ向けた諸対策の実施
 - ・ 中央制御室における熱出力のデジタル表示器の設置
 - ・ プラント計算機における無効電力の警報の設定
- e . 社内監査の実施
 - ・ 前記 a . ~ d . の対応が現場で確実に実施されていることについて、品質保証要領に基づく社内監査による確認の実施

図 5 . 1 熱出力表示器設置写真（伊方 2 号機の例）

設置位置（ 2 号機中央制御盤）



熱出力表示器

拡大写真



(3) 導入予定

今後、原子炉施設保安規定の変更認可申請を行い、変更認可後、定格熱出力一定運転に移行する。

なお、その時点で定期検査停止中のユニットについては、発電再開時から定格熱出力一定運転を開始する。

図5.2 定格熱出力一定運転導入へ向けてのスケジュール

項目	平成14年			
	1月	2月	3月	4月～
発電設備の健全性 評価	評価書を 国へ提出 1/28		国による 確認終了 3/8	
原子炉施設保安規定 の変更			申請	認可
自主保安活動		(注1)	社内監査	(注2)
定格熱出力一定運転 の実施				

注1. 運転操作内規等の変更、教育訓練の実施、無効電力警報を設定など

注2. 経年変化等に対する対応については、定熱運転開始後も継続して行う。

以上