

参考資料

添付

**ボイラー最大連続蒸発量運転の
安全性及び環境影響について**

平成 1 5 年 5 月 7 日

原子力安全・保安院
電力安全課

目 次

はじめに	1
第1章 汽力発電設備のしくみとボイラー蒸発量一定運転の概要	
1. 汽力発電設備のしくみ	2
2. ボイラー蒸発量と電気出力の関係	3
3. 現在の運転方法	3
4. ボイラー蒸発量一定運転	4
第2章 ボイラー最大連続蒸発量運転での安全性評価	
1. 評価すべき内容と評価方法	7
2. 評価結果	7
(1) ボイラー設備	7
(2) 蒸気タービン設備	7
(3) 電気設備	12
(4) 計測制御設備と状態監視	12
第3章 ボイラー最大連続蒸発量運転での環境影響評価	
1. 大気環境影響評価	14
(1) 電気事業法関係法令に基づく変更手続きの要否	
(2) 環境影響評価におけるばい煙の拡散予測手法	
(3) ボイラー最大連続蒸発量運転に伴うばい煙による大気環境への影響	
2. 温排水影響評価	19
(1) 環境影響評価における温排水の拡散予測手法	
(2) ボイラー最大連続蒸発量運転に伴う温排水による環境への影響	
3. その他の配慮事項	23
おわりに	24

はじめに

原子力発電設備における原子炉の熱出力を定格状態に保ち海水温度変化に合わせた電気出力を得る運転方式（定格熱出力一定運転）は、資源や設備をより有効に利用する運転方式とされ、海外では一般に実施されている。原子力安全・保安院においても、「総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会」において、原子力発電所の運転効率向上にむけた検討課題の一つとして取り上げられた、これが我が国の原子力発電設備に導入された場合の安全性へ及ぼす影響について検討した報告書がとりまとめられた。

一方、火力発電設備のうち、ボイラーで発生した蒸気により蒸気タービン・発電機を回転させ発電を行う汽力発電設備は、原子力発電設備の原子炉をボイラーに置換した発電システムとも言え、原子力発電設備における定格熱出力一定運転方式と同様に、ボイラー蒸発量を一定とした運転により、設備の安全性を確保しつつ蒸気タービン・発電機の定格を超えた電気出力を得ることができる。

このボイラー蒸発量を一定とした運転（これを「ボイラー蒸発量一定運転」と言う。）方式は、電気事業者において、汽力発電設備が電力需要変動に対応するミドル供給力やピーク供給力として位置づけられており、ベース供給力を担う原子力発電設備とは異なることから、現実に採用される可能性は小さい。他方、自社で使用する電気を賄う自家用の汽力発電設備は、このような運転方式を採用する可能性もある。

このため、ボイラー蒸発量一定運転状態におけるボイラーや蒸気タービン等の機器の健全性や環境への影響について一般的な評価を行うこととした。安全性評価では、ボイラー蒸発量をボイラー最大連続蒸発量で運転を行う場合（以下「ボイラー最大蒸発量運転」と言う。）が一番厳しい運転となるため、この状態での安全性、環境影響について評価を行うこととした。

本報告書では、第1章で汽力発電設備のしくみとボイラー蒸発量一定運転の概要を説明した上で、第2章で安全評価上最も厳しいボイラー最大連続蒸発量運転の安全性について確認を行った。また、第3章でボイラー最大連続蒸発量運転による大気及び温排水に係る環境への影響について確認を行った。

第1章 汽力発電設備のしくみとボイラー蒸発量一定運転の概要

1. 汽力発電設備のしくみ

火力発電方式のうち汽力発電とは、ボイラー内で燃料を燃焼させた熱により発生した蒸気で蒸気タービンを回転させ、これと直結した発電機により電気を発生させる発電方式である。蒸気タービンを出た蒸気は復水器に入り、ここで内部に海水が流れる多数の管と接触して冷やされ凝縮して水に戻り、再びボイラーに導かれる。(図 - 1 参照)

この時、蒸気タービン入口で高圧であった蒸気は、復水器の中で真空近くまで低下する。この圧力差が大きいほど、また、蒸気量が多いほど蒸気タービンの羽根車はより強い力で回転し、より多くの電気が生み出される。

復水器で蒸気を冷却するために使用される海水は、復水器を通過する間に温度が若干上昇し、海へ放出されるときには、取水した時の水温に比べ、温度が上昇(一般に7 程度)していることから「温排水」と呼ばれる。

蒸気を発生させるボイラーでは、燃料燃焼に伴い排ガスが発生しており、これは煙突から大気へ放出されている。

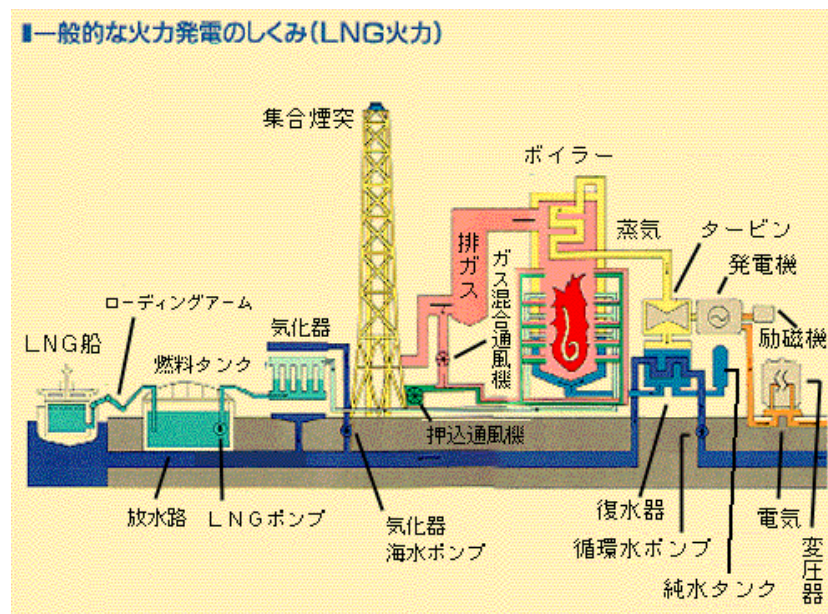


図 - 1 汽力発電のしくみ(概要)

2．ボイラー蒸発量と電気出力の関係

復水器の内圧が真空状態にどれだけ近いかを表す値を復水器真空度と呼び、この値が大きい程、真空に近いことを意味する。冬場のように海水温度が低下すると、蒸気はより低い温度で冷やされ、蒸気が効率よく水に凝縮するため、復水器内の圧力は夏場に比べ低下する。すなわち、夏場に比べ真空度が高くなる。

蒸気タービン入口の蒸気圧力が季節によって変化しないのに対し、冬季には夏季に比べ蒸気タービン出口の圧力が海水温度の低下に応じ自然に低下するため、蒸気タービン入口と出口間の圧力差が大きくなり、より多くの電気が発生する。

つまり図 - 2 のように海水温度が低下すると、復水器の真空度は自然に高くなり、ボイラー蒸発量が電気出力に変換される割合、すなわち蒸気タービンの熱効率が高くなる。

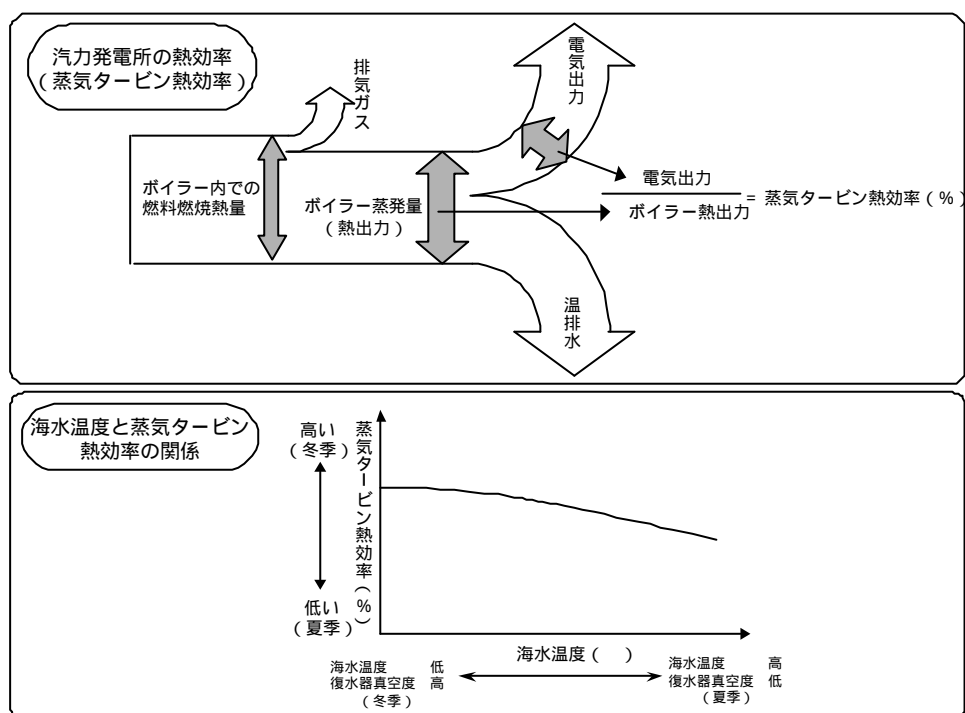


図 - 2 熱効率について (概念図)

3．現在の運転方法

我が国の汽力発電所におけるボイラー熱出力に相当するものは、電気事業法に基づく工事計画届出にて届出された「ボイラー最大蒸発量」であり、ボイラー運転の規制値となっている。

また、電気出力は、年間を通じて発生可能な最大値として、熱効率が低下する夏季においても発生し得る電気出力（以下「定格電気出力」という。）として届出されている。

こうした規制体系の下、海水温度が低下し復水器真空度が向上する冬季等には、熱効率が向上するため、この定格電気出力を超えないようにボイラーへ投入する燃料の量を調整することによりボイラーの蒸発量を調整して運転している。

一般に汽力発電設備においては、工事計画書で届出をしている「ボイラー最大蒸発量」を「ボイラー最大連続蒸発量（MCR）」（以下「MCR」とする。）といい、基準となる良好な復水器真空度において定格電気出力を得る蒸発量を「ボイラー経済的連続蒸発量（ECR）」（以下「ECR」とする。）という。従って、定格電気出力を発生させる運転を行う場合、復水器真空度が基準真空度よりも高くなる冬季にはボイラーからの蒸発量を抑えてECR以下で運転を行い、基準真空度より低くなる夏期にはボイラーからの蒸発量を多くしてECR以上かつMCR以下で運転を行っている。（図 - 3 参照）

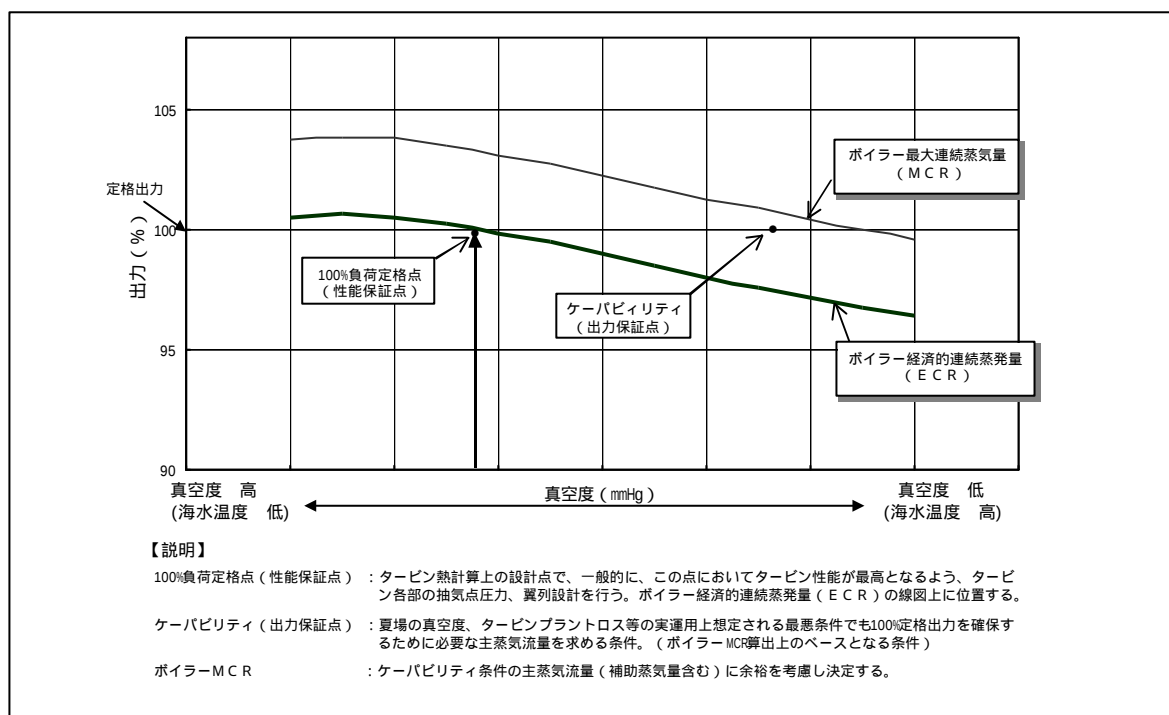


図 - 3 蒸気タービンの蒸気流量と出力の関係の例

4 . ボイラー蒸発量一定運転

ボイラーからの蒸発量を長期にわたり一定に保ち、海水温度の季節変動に応じた電気を発生する運転を行う場合、電気出力は海水温度に依存して変化し、定格電気出力を超えて発電する

ことも可能となる。このような運転を「ボイラー蒸発量一定運転」と言う。(図 - 4 参照)

汽力発電設備では、ボイラー蒸発量に合わせた量の燃料を逐次投入する必要があるため、原子力発電における熱出力を一定に保った運転(定格熱出力一定運転)と比較すると汽力発電においては「ボイラー蒸発量運転」を行うことによる経済的メリットは小さい。また、汽力発電設備は、日常的に短時間の間にその出力を変化させることができ、また、起動・停止などの運用性能が高く、日々、あるいは時々刻々と変動する電力需要に対応して、その出力を変動させる役割を担っている。

したがって、「ボイラー蒸発量一定運転」は、電気事業者にとっては一般的には実施することのない運転方式と考えられるが、他方自家用の汽力発電設備の設置者にとっては、経済的メリットが発生する場合には、この「ボイラー蒸発量一定運転」を実施する可能性もある。

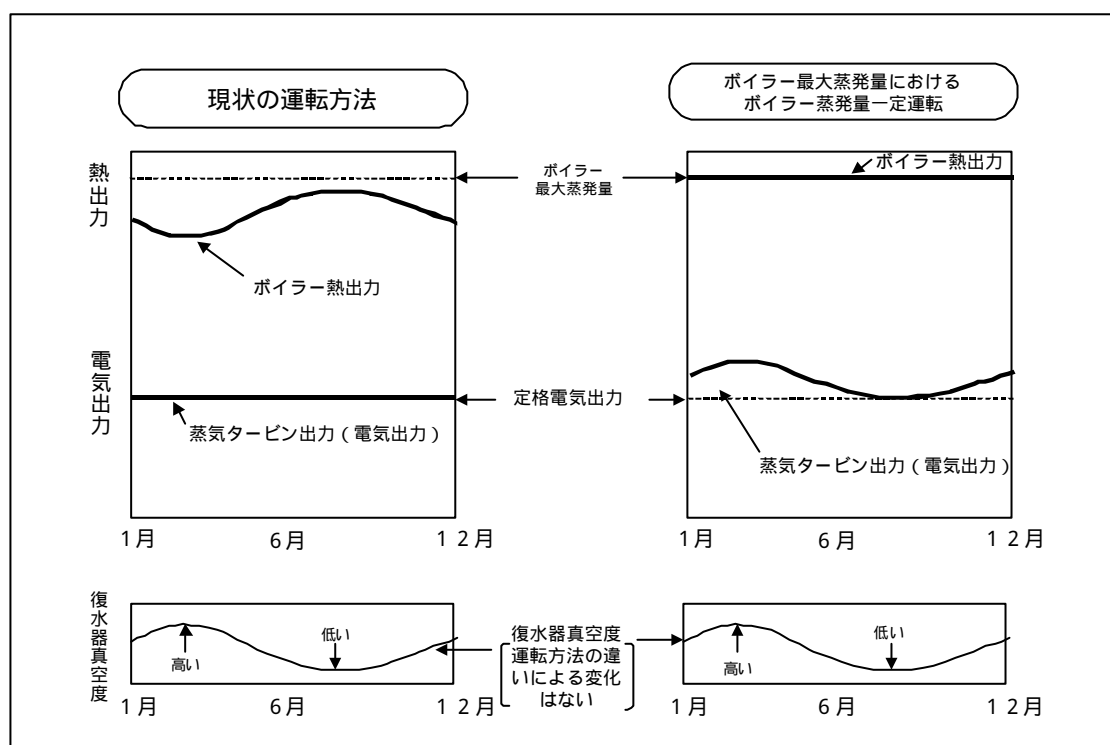


図 - 4 季節による電気出力(蒸気タービン出力)の変動概念図

第2章 ボイラー最大連続蒸発量運転での安全性評価

1. 評価すべき内容と評価方法

本章では、ボイラー蒸発量一定運転状態での汽力発電設備の安全性について詳細に確認するが、この評価条件、評価すべき内容を整理すると、以下のとおりである。

○ 評価条件：

評価は、ボイラー蒸発量一定運転のうち、ボイラー蒸発量をボイラー最大連続蒸発量（MCR）で一定運転（以下、この条件の運転状態を「ボイラー最大連続蒸発量運転」という。）で行う場合とする。

これは、MCRがボイラー運用上での制限値であり、蒸気タービンへ送られる蒸気量はMCRを超えることはなく、この条件が、蒸気タービンにとって運用上最も厳しいものであり、さらに電気設備や計測制御設備にとっても最も厳しい条件となることによる。

○ 評価内容：

- 蒸気タービンの出力が上昇することで、蒸気タービン設備の健全性に問題が生じないこと。
- 電気出力が上昇することで、電気設備（発電機、主変圧器）の健全性に問題が生じないこと。
- 電気出力の上昇状態は、十分監視かつ制御可能であること。

これらの項目について、一般的な汽力発電設備においてボイラー最大連続蒸発量運転を行うものとして検討を実施した。

2. 評価結果

(1) ボイラー設備

MCRは工事計画で届出されている最も厳しい運転状態であり、これを安定的に継続できるようボイラーは設計されている。ボイラー最大連続蒸発量運転を行うことで、このMCRが増加するものではないことから、新たに評価の対象とする必要はない。

(2) 蒸気タービン設備

ボイラー最大連続蒸発量運転を行った場合、蒸気タービン設備を構成する機器や部品に強度面で問題が生じないか検討した。

検討の対象とした機器及び部品は、車室、円板、隔板及び噴口（静翼）翼、車軸及びカップリングボルト、タービン・オーバースピード^(注)並びに復水器である。

（注）蒸気タービンの負荷が遮断された場合、蒸気加減弁などが急速に閉止し、蒸気タービンへの蒸気の供給を止めるが、負荷を失った蒸気タービンは、車室に残留した蒸気エネルギーにより一瞬定格回転数を超えることとなり、これをタービン・オーバースピードという。タービン・オーバースピードは強度評価に関連があるため評価対象とし、このオーバースピードが規定値を超えないことの確認を行った。

定格電気出力で運転した場合とボイラー最大連続蒸発量運転の場合、復水器真空度によって蒸気タービンの運転状態、蒸気タービン出力（電気出力）がどのように変化するかを概念的に示したのが図 - 5 である。

強度評価を行うには、メーカーが、図 - 5 で示した蒸気タービンの運転状態をどのように考慮し、各機器の設計条件を決め、製造しているかが重要である。この状態がボイラー最大連続蒸発量運転状態を含むものであれば、設計上の問題はない。

結果は、以下に示すとおりである。（表 - 1 参照）

イ．蒸気タービン車室は、蒸気タービンを回転させるための蒸気が流れ込む内部車室と、内部車室から排気された蒸気を内包する外部車室がある。内部車室及び外部車室は、蒸気加減弁全開（VWO）時の仮想的な最大蒸気流量状態における蒸気圧力、あるいはボイラー最大蒸発量運転状態における蒸気圧力以上を最高使用圧力として設計が行われている。ただし、低圧タービン外部車室内は復水器につながっており、同じ圧力となるため、考えられる最高の外圧（760mmHg）を考慮して設計される。ボイラ

ー最大連続蒸発量運転を行っても蒸気圧力の最大値や最高の外圧は変わらないため、強度面で問題を生じることはない。

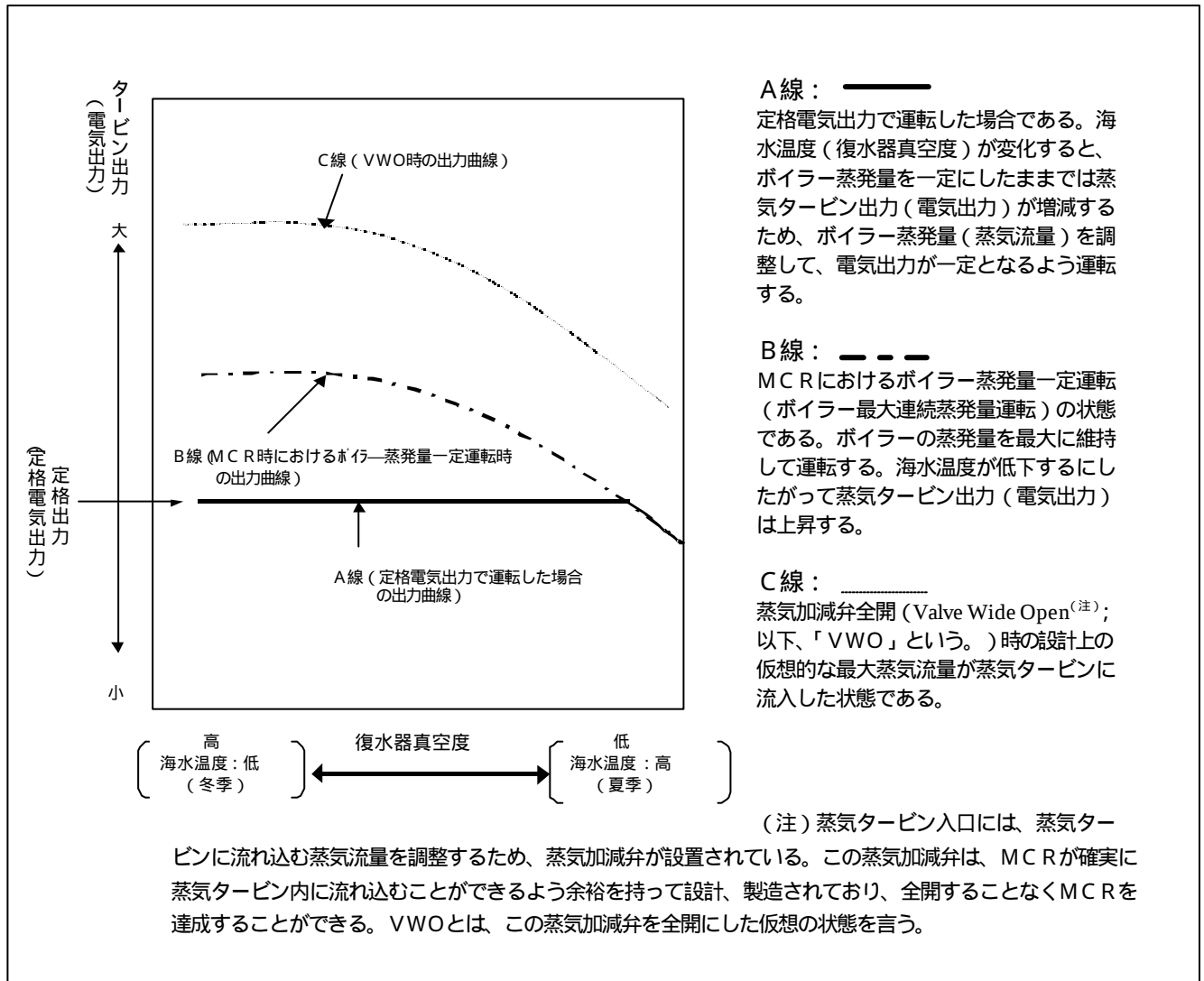


図 - 5 タービン出力曲線（概念図）

ロ．蒸気タービン車室は、蒸気タービンを回転させるための蒸気が流れ込む内部車室と、内部車室から排気された蒸気を内包する外部車室がある。内部車室及び外部車室は、蒸気加減弁全開（VWO）時の仮想的な最大蒸気流量状態における蒸気圧力、あるいはボイラー最大蒸発量運転状態における蒸気圧力以上を最高使用圧力として設計が行われている。ただし、低压タービン外部車室内は復水器につながっており、同じ圧力となるため、考えられる最高の外圧（760mmHg）を考慮して設計される。ボイラー最大連続蒸発量運転を行っても蒸気圧力の最大値や最高の外圧は変わらないため、強度面で問題を生じることはない。

ハ．蒸気タービンの円板に加わる遠心応力は、ボイラー最大連続蒸発量運転時にも定格回転速度（１分間当たりの回転数。以下「回転数」と言う。）数が変わらないことから、ボイラー最大連続蒸発量運転を行っても強度面で問題を生じることはない。

また、翼溝部の高温クリープ強度については、蒸気加減弁全開（VWO）時の仮想的な最大蒸気流量及び蒸気温度状態を条件に設計されている。ボイラー最大連続蒸発量運転を行ってもこの範囲内にあるため、強度面で問題を生じることはない。

ニ．隔板及び噴口（静翼）翼（動翼）については、蒸気加減弁全開（VWO）時の仮想的な最大蒸気流量状態を条件に設計されている。ボイラー最大連続蒸発量運転を行ってもこの範囲内にあるため、強度面で問題を生じることはない。

また、噴口（静翼）翼（動翼）の高温クリープ強度については、蒸気加減弁全開（VWO）時の仮想的な最大蒸気流量及び蒸気温度状態を条件に設計されている。ボイラー最大連続蒸発量運転を行ってもこの範囲内にあるため、強度面で問題を生じることはない。

ホ．車軸及びカップリングボルトについては、蒸気加減弁全開（VWO）時の仮想的な最大蒸気流量状態を条件に設計されている。ボイラー最大連続蒸発量運転を行ってもこの範囲内にあるため、強度面で問題を生じることはない。

ヘ．負荷遮断時（落雷による送電線事故などのため発電機を送電系統から急速に切り離した場合）に到達する蒸気タービンの最大回転数（タービン・オーバースピード）に対する制御設計は、定格電気出力で評価が行われている。ボイラー最大連続蒸発量運転時にはこれを超える場合があることから、蒸気加減弁全開（VWO）時で解析により再評価を行った。

その結果、負荷遮断時の蒸気タービン最大回転数は、「発電用火力設備に関する技術基準」に定められている非常調速装置（蒸気タービンへの蒸気供給を急速に遮断する設備）の作動速度である定格回転数の 111%を超えないことから、ボイラー最大連続蒸発量運転を行っても問題ないことを確認した。

蒸気タービンの制御設計については、技術基準（発電用火力設備に関する技術基準）第 14 条に規定があり、調速装置の能力として「定格負荷を遮断した場合に達する回転速度を非常調速装置が作動する回転速度未満にする能力」を有することを求めているが、ボイラー最大連続蒸発量運転を定常的に実施する場合は、この運転状態での調速装置の能力も規定する必要がある、「定格負荷を超える運転を行う場合はその最大の負荷においてもこの能力を有すること」を求めよう改正したところである。

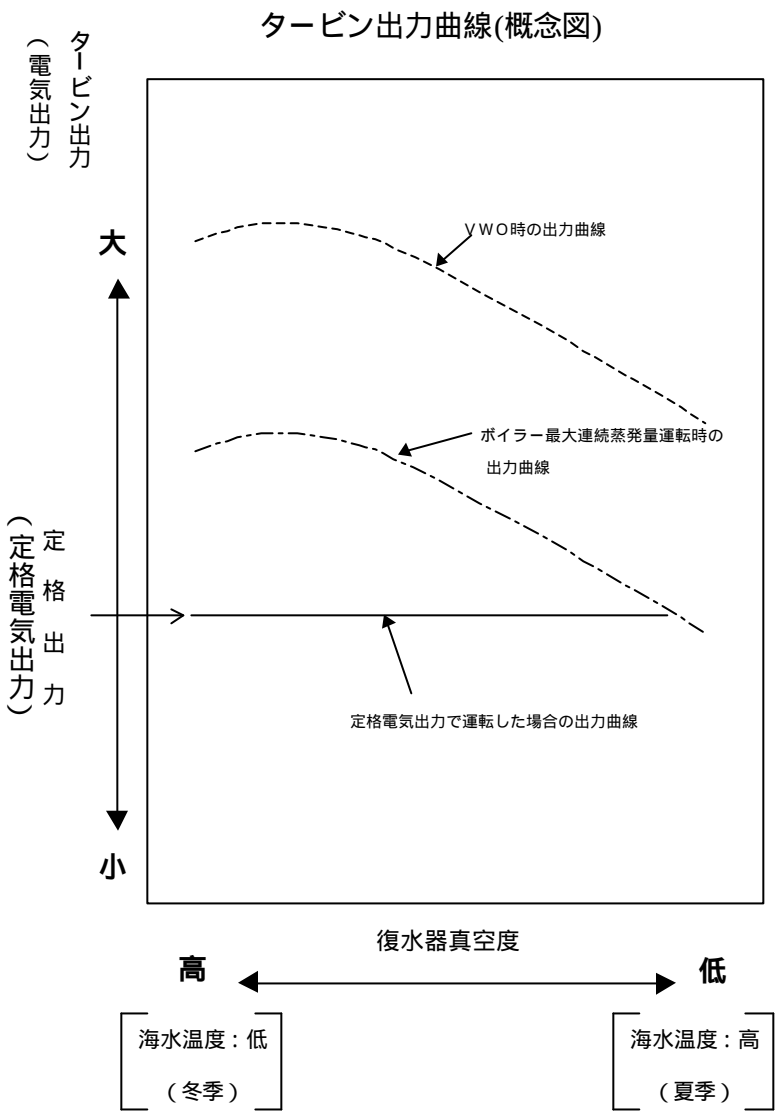
ト．復水器については、外部が大気圧で内部が真空になった状態（真空度 760mmHg）を条件として構造強度設計されている。ボイラー最大連続蒸発量運転を行ってもこの範囲内にあるため、強度面で問題を生じることはない。

一般に汽力発電設備の蒸気タービンは、これと同じ思想により設計、製作されていることを考慮すると、ボイラー最大連続蒸発量運転に移行しても蒸気タービン設備の強度については、一般的に問題がないと判断する。

なお本評価は一例であるため、個別の汽力発電設備でボイラー最大連続蒸発量運転を行う際には、設置者は、自主保安の一環として、同様の評価を行う必要がある。特に経年化した蒸気タービンにあっては、引張強度の低下を取り入れた評価を行う必要がある。

タービン設備の健全性評価（例）

評価項目		メーカーによる強度設計の考え方		ボイラー最大連続蒸発量運転(M C R 時)	評価結果	
タービン	車室	最高使用圧力（内車室） 真空度 7 6 0 mm H g （外車室）	評価応力； 内圧，外圧	最高使用圧力以下 真空度 7 6 0 mm H g 以下	メーカー強度設計点 > ボイラー M C R 運転	○
	円板	高温部・低温部 1 2 0 % 定格回転数	評価応力；遠心応力	1 0 0 % 定格回転数 （タービン回転数は変化なし）	メーカー強度設計点 > ボイラー M C R 運転	○
		高温部（クリープ強度） V W O 時の蒸気温度および発生応力	評価応力； 遠心応力	ボイラー M C R での蒸気温度 および発生応力		
	隔板及び噴口 （静翼）	低温部 V W O 時の蒸気流量（注 1 ） で静翼に生じる曲げ応力	評価応力； 曲げ応力	ボイラー M C R で静翼に生じる 曲げ応力	メーカー強度設計点 > ボイラー M C R 運転	○
		高温部（クリープ強度） V W O 時の蒸気温度および発生応力	評価応力； 曲げ応力	ボイラー M C R での蒸気温度 および発生応力		
	翼	高温部・低温部 ・ 1 2 0 % 定格回転数における遠心力 ・ V W O 時の蒸気流量で動翼に 生じる曲げ応力	評価応力； 遠心応力 曲げ応力	・ 1 0 0 % 定格回転数 ・ ボイラー M C R で動翼に生じる 曲げ応力	メーカー強度設計点 > ボイラー M C R 運転	○
		高温部（クリープ強度） V W O 時の蒸気温度および発生応力	評価応力； 遠心応力 曲げ応力	ボイラー M C R での蒸気温度 および発生応力		
	車軸及び カップリングボルト	V W O 時の蒸気流量で 発生する電気出力	評価応力； せん断応力	ボイラー M C R で発生する 電気出力	メーカー強度設計点 > ボイラー M C R 運転	○
タービンオーバー スピード		定格出力時のタービン加速エネルギー	非常調速機の作動速度 である 111% を超え ないこと	ボイラー M C R で発生する電気出力時 のタービン加速エネルギー	メーカー強度設計点 < ボイラー M C R 運転	V W O 時 () にて再 評価
復水器		真空度 7 6 0 mm H g	評価応力； 外圧	真空度 7 6 0 mm H g 以下	メーカー強度設計点 > ボイラー M C R 運転	○



（注 1 ） V W O ；バルブワイドオープン（蒸気加減弁全開状態）。この時タービンへの流入蒸気は最大となる。

(3) 電気設備

ボイラー最大連続蒸発量運転を行った場合、発電機及び主変圧器に機械的強度面及び熱的な面で問題が生じないか検討した。

イ．機械的強度評価

発電機の機械的強度評価は、主要構造物である回転子軸によって評価され、その強度設計は蒸気タービンの車軸と同様であり、ボイラー最大連続蒸発量運転を行っても問題ない。

ロ．熱的評価

電気設備は通電することなどにより発熱し、温度が上昇するため、発電機及び主変圧器の健全性が損なわれないよう、通電などによる発熱を冷却する装置を設け、構成部品各部の温度を制限値以下に抑えている。

なお、過大な通電等により構成部品各部の温度制限値を超過しないよう、電気事業者は、常に発生電力や主変圧器油温度など機器冷却媒体の温度監視を行い、発電機と主変圧器の健全性が保たれた状態で、運転がなされていることを確認している。

電気設備の健全性について評価した結果、ボイラー最大連続蒸発量運転により得られる運用上の最大電気出力は、発電機及び主変圧器の構成部品各部の温度制限値によって定まる出力より小さい値になっており、発電機及び主変圧器の健全性を損なわずに運転しうることを確認した。したがって、ボイラー最大連続蒸発量運転においても、発電機及び主変圧器の健全性に問題は生じない。

なお、今回の評価では、発電機進相運転を行う場合の温度制限値について検討を行っていない。このため、進相運転を行う場合は、進相運転時の温度制限値の妥当性等の評価を行う必要がある。

(4) 計測制御設備と状態監視

イ．計測制御設備

計測制御設備は、監視や制御の対象となっている設備の運転状態を十分監視できなければならぬ。ボイラー最大連続蒸発量運転によって定格電気出力運転時の最高値を超えるのは電気出力のみである。なお、電気出力に関連する計測制御設備は電気設備の設備容量に余裕を持って設計されているため、設備容量範囲以内での運転であれば計測制御範囲を超えることはない。

電気設備の設備容量は、発電機等における構成部品各部の温度制限値を満足しうる最大皮相電力値以下である。この温度制限値は、電気学会における標準規格で規定されており、通常、水素直接冷却発電機の固定子コイルの温度限度は 120 である。

同様に、主変圧器では絶縁油の温度上昇限度は 55 で、最高許容温度は 105 であり、基底温度 40 で算定すると、温度限度は 95 となる。

現在設置されている計測制御設備の範囲は、これら温度制限値に対して満足しうる範囲となっており、問題ないと判断する。

ロ．状態監視

火力発電所では、運転員は運転操作を行わない時にも常にプラントは正常に動いているか、何らかの異常の予兆はないか判断するために、その稼働状態を監視しておく必要がある。

ボイラー最大連続蒸発量運転の実施がこうした状態監視にどのような影響を及ぼすかについて確認を行った。

監視項目の重要度の変化

現在の定格電気出力運転では、運転員は、電気出力を定格値（100%）以下となるよう監視している。

ボイラー最大連続蒸発量運転時には、運転員は、電気出力が、発電機及び主変圧器の部品の温度制限値により定まる出力以下であることについて監視すれば良い。

ボイラー蒸発量の監視方法について

現在、ボイラー蒸発量については、貫流式ボイラーの例においては、これと等価な給水流量の瞬時値と 1 時間値（過去 1 時間の平均値）を監視しており、ボイラー最大連続蒸発量運転時にこれを変更する必要はない。

発電機及び主変圧器の監視方法について

監視項目である発電機の有効電力、無効電力の瞬時値と有効電力の積算記録（過去 1 時間の積算値）の双方を監視しており、ボイラー最大連続蒸発量運転時にこれを変更する必要はない。

以上の結果から、ボイラー最大連続蒸発量運転を実施することによって、監視項目や監視方法が従来から大きく変わることはなく、運転員に過度の負担が生じるとは考えられない。

第3章 ボイラー最大連続蒸発量運転の環境影響評価

1. 大気環境影響評価

汽力発電所のボイラーでは燃料の燃焼により排ガスが発生し、これを煙突から大気中へ放出している。煙突から放出された排ガスは、上向きの排出速度と排ガスの持つ温度によって生じる浮力の効果で上昇しながら、次第に風に流されながら拡散していく。

この排ガスの拡散による周辺の大気環境に及ぼす影響については、ばい煙の着地濃度を予測式等により計算し、周囲の環境濃度や環境基準等の基準値と比較し評価している他、特に電気出力15万kW以上の汽力発電設備を設置する場合は、あらかじめ法令等に基づく環境影響評価を行っている。

ボイラー最大連続蒸発量運転は、ボイラーからの排ガス量を最大とした継続的運転であり、この運転による大気環境への影響を評価した。

(1) ばい煙の拡散予測手法

ばい煙の拡散するしくみ

煙突から放出された排ガスは、上向きの排出速度と排ガスの持つ温度によって生じる浮力の効果で上昇しながら、次第に風に流されながら拡散していく。(図-6参照)

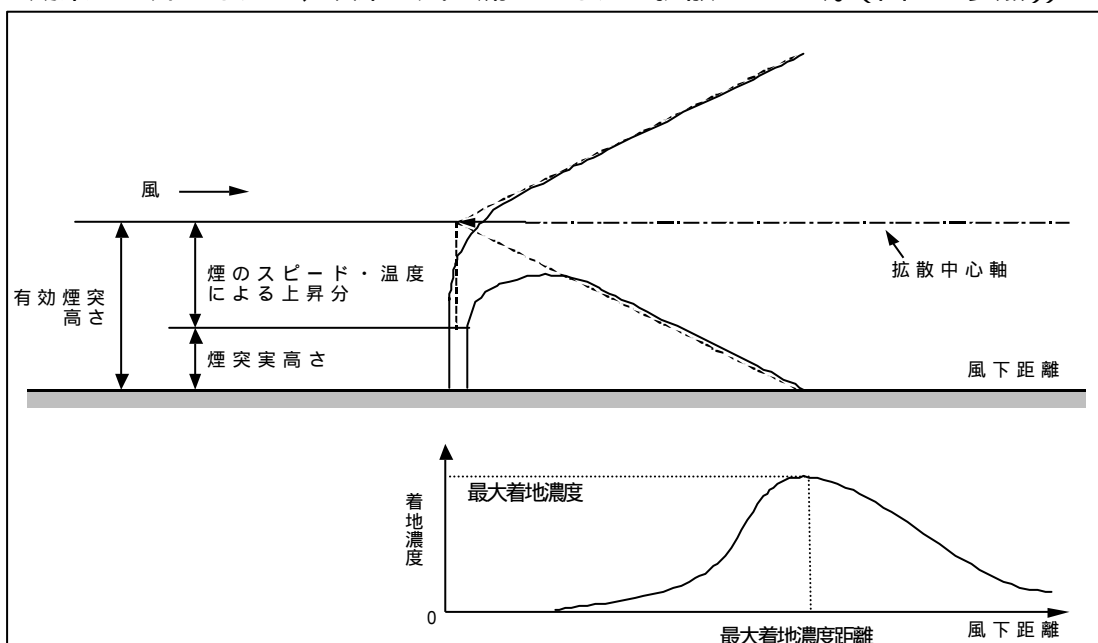


図-6 ばい煙拡散及び大気拡散予測の概念図

ここで、煙突の実高さに、排出速度と浮力による上昇高さを加えたものを有効煙突高さという。また、排ガスが地表面に到達するところの濃度（着地濃度）は、煙突に近いところではまだばい煙が地表まで十分降下していないために低く、距離が大きくなるにつれて次第に高くなり、最大着地濃度に達してから、その遠方では拡散によって次第に小さくなる。（図 - 6 参照）

排ガスの拡散予測手法

法令等に基づく環境影響評価における大気拡散予測は、1 時間、1 日間といった短期間の着地濃度を予測・評価するもの（以下「短期拡散予測」という。）と、一年間の運転状況等を考慮し、着地濃度の年間平均値として予測・評価するもの（以下「長期拡散予測」という。）がある。

拡散計算の基礎となるのは各発電所立地地点での気象条件であり、「風向」、「風速」、「大気安定度」のデータが不可欠である。これら気象条件は、「風向」がばい煙の拡散する方向、「風速」がばい煙の上昇する高さなどに影響、「大気安定度」がばい煙の拡散幅（不安定なほど拡散幅は広がる。）に影響している。

大気拡散予測の計算は、ばい煙の上昇計算と拡散計算で構成されている。上昇計算では、排煙の排出速度と温度による浮力で上昇する高さ（有効煙突高さ）を求めており、拡散計算では、有効煙突高さからある気象条件の下で拡散希釈されて、地上に到達した際のばい煙の濃度を求めている。

（２）ボイラー最大連続蒸発量運転に伴うばい煙による大気環境への影響

ばい煙に関する環境影響評価の結果とボイラー最大連続蒸発量運転による評価結果の比較

イ．短期拡散予測における影響評価

短期拡散予測は短期間に発生する最大の影響を評価するためのもので、その評価条件は以下のとおりである。

ばい煙諸元：発電所から排出されるばい煙量等は設備の最大値、つまり M C R 状態で連続運転した場合の 1 時間あたりの排出ガス量、ばい煙量、排ガス温度等の諸元（これを「ばい煙諸元」という。）を用いている。

気 象 条 件：代表的な拡散条件とするため、「風向」一定、「風速」6 m/s、「大気安定度」中立、気温 15 などの条件を用いている。

拡散予測手法：ばい煙の上昇計算はボサンケ 式など、拡散計算はサットン式などにより計算されており、最大着地濃度の 1 時間値及び 2 4 時間値が予測されている。2 4 時間値については、昭和 5 2 年に省議決定した「発電所の立地に関する環境影響調査及び環境審査の強化について」(省議アセス制度) では 1 時間値を基にして「時間修正係数」(風向変動の振れ幅を考慮した濃度比率) を用いて算出していたが、環境影響評価法の施行に伴い作成した「発電所に係る環境影響評価の手引き」(資源エネルギー庁編) では、日平均値の予測手法として、年平均値と同じ手法を用いて年間の上位 5 日間の平均濃度を求めることとしている。この場合、次の「長期拡散予測における影響評価」と同等の評価が行われることとなる。現状において本手法による事例は少ないが、環境影響評価の手続きが完了した 3 例では、いずれも M C R 計画値を用いて予測が行われていた。

ボイラー最大連続蒸発量運転を行った場合、この評価条件が変わることが無いことから、運転方式の変更が環境影響評価における短期拡散予測に与える影響はない。

ロ．長期拡散予測における影響評価

長期拡散予測は、発電所の運転に伴う 1 年間の平均的な大気環境影響を評価するもので、評価条件は以下のとおりである。

ばい煙諸元：排出ガス量としては年間の稼働パターン (利用率、負荷パターンなど) を考慮している。

この場合のばい煙諸元 (ベースとなる 1 時間値) は、M C R における計画値を用いる場合と E C R における計画値を用いる場合とがあるが、長期拡散予測が発電所の年間平均的な運転による年平均着地濃度分布を求めることにかんがみれば、平均的なボイラー運転を示す E C R におけるばい煙諸元を用いることも、最大のボイラー運転を示す M C R におけるばい煙諸元を用いることも、ともに合理性がある。

気 象 条 件：発電所周辺の年間の風向、風速、大気安定度などを実測し、1 時間毎の風向、風速、大気安定度等のデータを 1 年間分統計処理したものをを用いている。

拡散予測手法：以上の排出ガス量、風向、風速、大気安定度のデータセットから 1 時間毎の着地濃度を計算し、これらのデータの 1 年間分を加重平均した値から年平均着地濃度分布を求めている。

ボイラー最大連続蒸発量運転を行った場合、既にM C Rの計画値をばい煙諸元として長期拡散予測を行っている場合は、その結果に影響はない。他方、E C Rの計画値をばい煙諸元として長期拡散予測を行っている場合は、既存の評価結果以上の着地濃度となることが予想される。この場合、M C RとE C Rのばい煙量の差は最大数%程度であること、E C Rに比べ排ガス量が多くなるM C Rでは煙突からの排ガスの排出速度及び浮力の増加により有効煙突高さが上昇し拡散が進むことから、M C RとE C Rの着地濃度は大きくは変わらない。(図 - 7 にばい煙量及び排ガス量が増加した場合における着地濃度の変化を概念的に示す。)

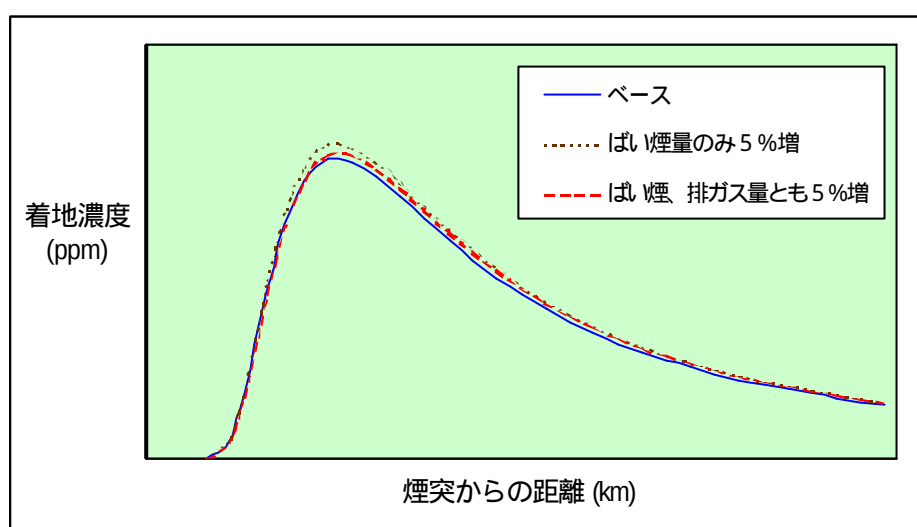


図 - 7 煙突からの距離と着地濃度の関係（概念）

（ばい煙量、排ガス量が増加した場合の着地濃度の変化）

ここで一例として、既にE C Rにて長期拡散予測を行った発電所について、M C R運転を行った場合の違いを試算したところ、表 - 2 に示すとおりM C RとE C Rの最大着地濃度の差は僅かであった。

表—2 長期拡散予測の例（A火力発電所・出力100万kW級ユニット（石炭焚）×2基）

項 目	E C R	M C R
排ガス量(1基当たり)	$3,390 \times 10^3 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{h}$	$3,560 \times 10^3 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{h}$
ばい煙量（硫黄酸化物）(＂)	$305 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{h}$	$320 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{h}$
最大着地濃度	0.00036ppm (0.000357ppm)	0.00036ppm (0.000364ppm)
最大着地濃度距離	10.0km	同左

以上の評価結果から、運転方式の変更が環境影響評価における長期拡散予測に与える影響はほとんどないものと考えられる。

ボイラー最大連続蒸発量運転に伴う大気環境への影響

ボイラー最大連続蒸発量運転を実施した場合、これまでの運転から燃料投入量を増やしMCRでの出力まで増加させることとなるため、環境への負荷は若干増大する。

特にタービン効率が高い冬季は、図 - 4 に示すとおり運転方式の変更に伴う増加幅が大きくなるが、この増加量は多くの場合最大で5 %程度と想定され、前述したとおり冬季においても短期拡散予測結果を超えることはない。また、タービン効率の悪化する夏季は、もともMCR以下の範囲でボイラー蒸発量を増やして運転していることから、運転方式の変更に伴う増加はほとんどない。

このように、年間を通してボイラー最大連続蒸発量運転を実施した場合でも、着地濃度の年間平均値等に及ぼす影響はほとんどないものと考えられる。

(3)電気事業法関係法令に基づく変更手続きの要否

ボイラーの設置や変更に際しては、電気事業法関係法令に基づき必要な届出を行っている。これらの届出では、大気汚染に関係した、排ガス量、ばい煙濃度、ばい煙量等の値は、ボイラーをMCRで運転を行った場合のものを届け出ている。

このため、MCR運転を行うこととなるボイラー最大連続蒸発量運転の実施によっても、これらの諸元が変更されるものではないことから、電気事業法関係法令に基づく使用方法の変更等の手続きは要しない。

2. 温排水影響評価

(1) 温排水の拡散予測手法

温排水の拡散するしくみ

放水口から放出された温排水は、

イ) 放水口の近くで周囲の温度の低い海水を巻き込み温度が低下する。

ロ) 海の表層を拡がりながら海域の流れ等によって周辺の海水と混じり温度が低下する。

ハ) 大気中に熱を放出して温度が低下する。

というメカニズムで環境の海水温度まで温度が低下する。(図 - 8 参照)

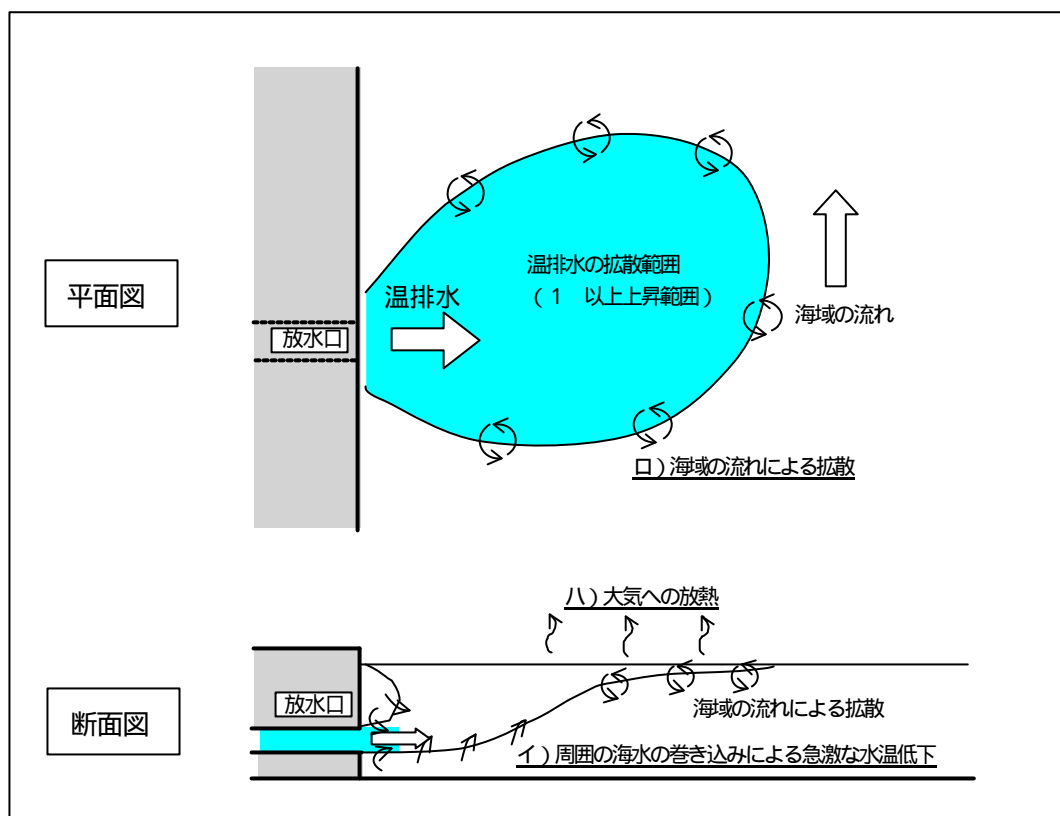


図 - 8 放水された温排水が拡がるしくみ(水中放水方式の場合の概念図)

温排水の拡がり方は、温排水排熱量、放水方式、放水口の形状・配置や周辺の海岸地形等のほか、海的环境条件や大気条件(気温、風速等)などによっても異なる。また、海域の流れにも影響されて、温排水の拡がる形や大きさは時々刻々変化する。

温排水の拡散予測

法令等に基づく環境影響評価における温排水拡散予測は、温排水が海域へ与える影響（温排水の拡散による海水温度の上昇範囲）を予測評価するもので、風向、気温等の気象条件、海流等の海象条件により変動する拡散範囲を総合的に包絡する範囲を求めている。

拡散予測の条件の基礎となるのは気象・海象条件であり、「海域の流れ」、「海水温度」、「気温、風速等」のデータが不可欠である。これらの条件は、温排水の拡散方向や大気への放熱量に影響している。また、放水口等の構築物の形状や海底地形等は、流れや温排水と環境海水との混合に影響している。

温排水拡散予測手法については、放水方式に応じた手法が用いられている。表層放水方式の場合は「数理モデルによるシミュレーション解析手法」が、水中放水方式の場合は「水理模型実験手法」が一般に用いられている。数理モデルによるシミュレーション解析手法は、運動方程式、連続方程式及び熱拡散方程式をベースに構成されている。ここで、数理モデルによるシミュレーション解析手法では、拡散範囲が最も広くなる場合を想定し、海面から大気への放熱量が最も小さくなる気象条件を採用している。

温排水排熱量は発電所の運転状態で異なるため、環境影響評価に用いる温排水排熱量は、設計上の最大の排熱量となるように、温排水の放水量には「復水器設計冷却水量」を、取水する海水と温排水の温度差には「復水器設計水温上昇値」を用いて算出している。

温排水の拡がる形や大きさは海域の流れによっても変化するので、流れの向きや速さの違う複数の流れについてそれぞれ拡散予測を行い、これらの拡散範囲を重ね合わせ、その全ての範囲を取り囲むように引いた包絡線を環境影響評価では「温排水拡散予測範囲」としている。図 - 9 に温排水拡散予測範囲（包絡線）の概念図を示すが、包絡線部分は周辺の海水よりも 1℃ 高くなると予測される範囲である。

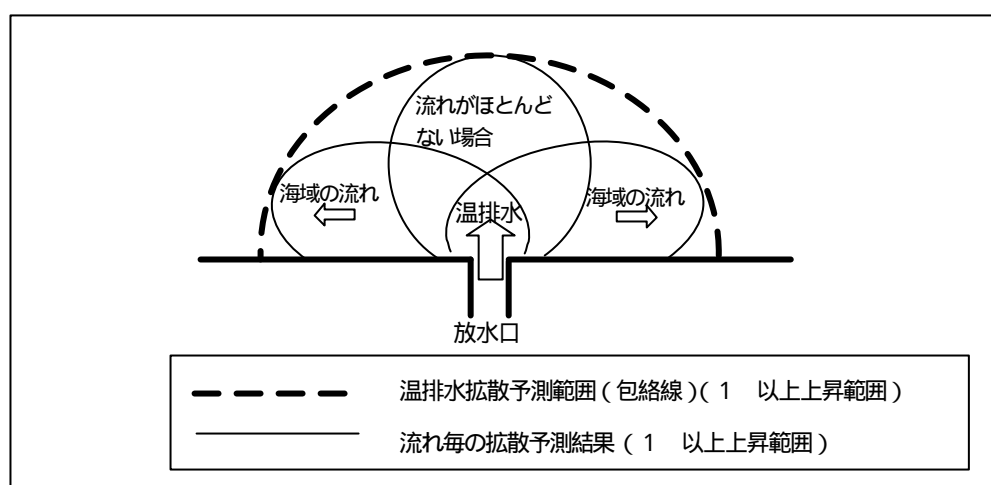


図 - 9 温排水拡散予測範囲（包絡線）の概念図

(2) ボイラー最大連続蒸発量運転に伴う温排水による環境への影響

温排水に係る環境影響評価の結果とボイラー最大連続蒸発量運転による評価結果の比較

イ．温排水拡散予測における影響評価

環境影響評価における温排水拡散予測で用いられる気象・海象条件、放水口等の構築物の形状、海底地形等の予測条件は、発電所の運転方法に依存しないので、これまでと変わらない。数理モデルによるシミュレーション解析手法では、前述のとおり拡散範囲が最も広くなる場合を想定し、海面から大気への放熱量が最も小さくなる気象条件を採用しているが、これもボイラー最大連続蒸発量運転を行っても変わらない条件である。

環境影響評価で用いる温排水排熱量は、設計上の最大温排水排熱量を基に復水器設計冷却水量と復水器設計水温上昇値から算出した値を用いている。そもそも復水器の設計においては、海水温度が一番高い夏季であっても蒸気タービンや復水器にMCRの蒸気量が流れ込んだ場合に復水器が所要の性能を発揮できるように、余裕を持って復水器設計冷却水量及び復水器設計水温上昇値が設定されているため、運転方式の変更により、環境影響評価で用いる温排水排熱量を変更する必要はない。(図 - 10 参照)

以上のとおり、ボイラー最大連続蒸発量運転を行った場合であっても、これらの評価条件が変わることがないことから、既存の環境影響評価の温排水拡散予測に与える影響はない。

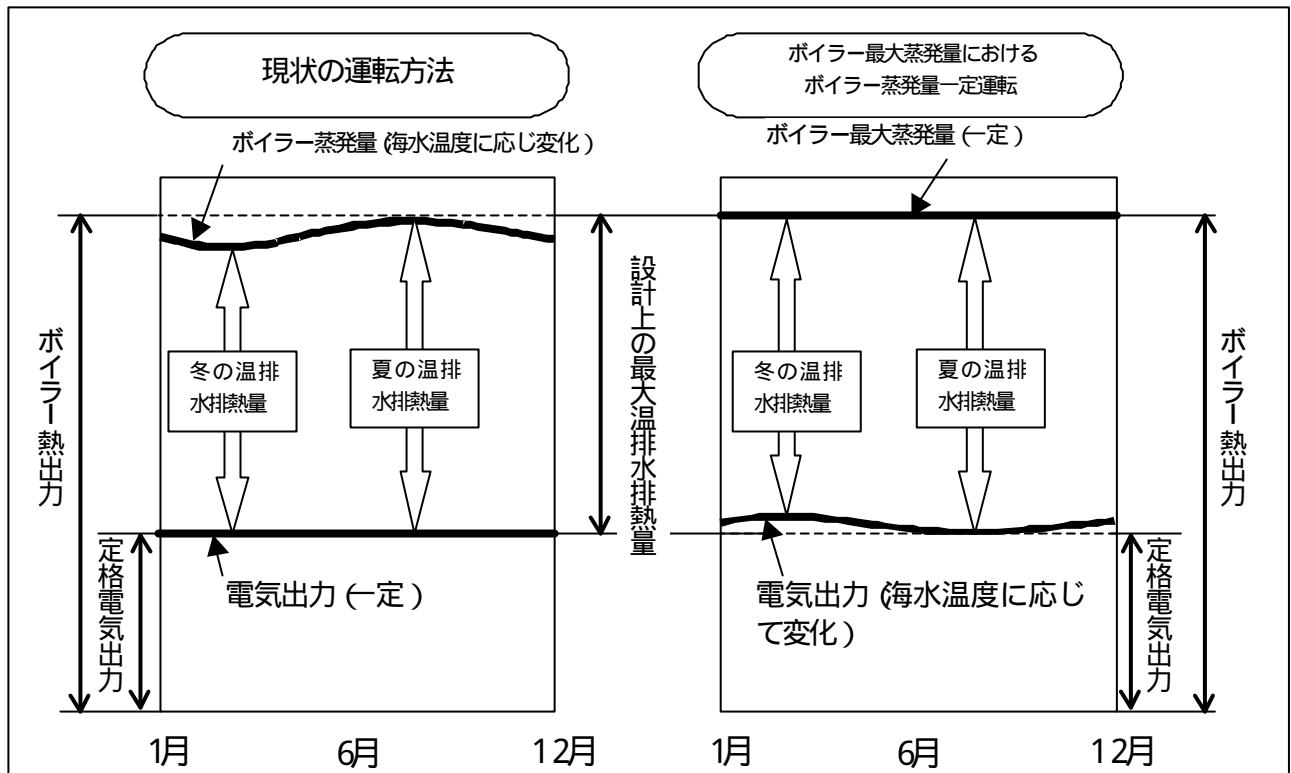


図 - 10 季節による電気出力及び温排水排熱量の変動 (概念図)

ここで一例として、環境影響評価で用いた温排水排熱量、設計上の最大温排水排熱量、M C R運転時の温排水排熱量及び現状の運転方式による温排水排熱量の関係について確認したところ、図 - 1 1 のとおりであった。

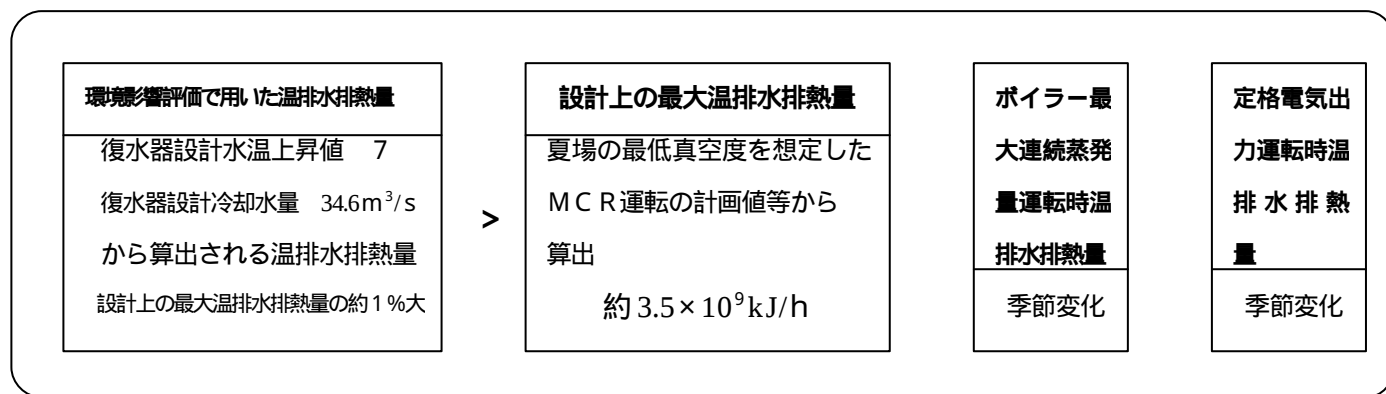


図 - 1 1 温排水排熱量の大小関係 (B 火力発電所 出力 100 万 kW 級ユニット (石炭焚) 1 基あたり)

ロ．海生生物に対する影響

ボイラー最大連続蒸発量運転は、環境影響評価における温排水拡散予測の予測条件内の運転であることから、温排水による海生生物への影響に関する環境影響評価の結果は変わらない。

また、卵・稚仔等が復水器を通過することによる影響についても、ボイラー最大連続蒸発量運転を行った場合の冷却水の取水条件 (取水量、取水流速、復水器設計水温上昇値) は環境影響評価と変わらず、また、温排水排熱量も環境影響評価の予測条件よりも小さいため、環境影響評価の結果は変わらない。

ハ．蒸気霧 (局地気象) への影響

冬の寒い朝等、気温が海水温よりも低くなる気象条件下で、海面に冷たい空気が流れ込むと、海面から蒸発した水分が冷やされ霧が発生する場合があります、これを「蒸気霧」と呼ぶ。この蒸気霧の予測評価は、温排水排熱量及び環境影響評価における温排水拡散予測範囲を踏まえて行われている。

ボイラー最大連続蒸発量運転は、温排水排熱量及び環境影響評価における温排水拡散予測の予測条件内の運転であることから、蒸気霧についての環境影響評価の結果は変わらない。

ニ．流動予測 (船舶航行等) への影響

ボイラー最大連続蒸発量運転を行った場合であっても、温排水の放水流速は環境影響評価の値と変わらないため、流動への影響はないものと考えられる。

ボイラー最大連続蒸発量運転に伴う環境への影響

ボイラー最大連続蒸発量運転を実施した場合、これまでの運転より温排水排熱量による環境負荷は若干増加する。

特にタービン効率が高い冬季は、現状より温排水排熱量が若干増加することとなるが、その量は最大でも数%程度と想定され、前述の温排水拡散予測の範囲内である。またタービン効率の悪化する夏季は、もともと温排水排熱量が設計値に近い状態で運転していることから、運転方式の変更に伴う増加はほとんどない。

このように、年間を通してボイラー最大連続蒸発量運転を実施した場合でも、環境影響評価において実施された温排水拡散予測の範囲を超えることはなく、環境への影響はほとんどないものと考えられる。

3 .その他の配慮事項

以上のように、ボイラー最大連続蒸発量運転は、法的に問題のない運用であるとともに、環境上の影響もほとんどない運用であると評価されたが、今回の検討において例として取り上げた発電所は、電気事業者が設置している一般的な発電所であり、自家用の汽力発電所などでは、復水器の冷却に冷却塔方式を採用するなど今回検討していない環境影響要因も考えられる。このため、ボイラー最大連続蒸発量運転を実施するにあたっては、事業者はあらかじめ各々の発電設備の型式に応じた環境へ及ぼす影響について検討を行うことが望ましい。

また、事業者は地方自治体と公害防止協定等を締結し対外的な約束事項を定めている場合があり、ボイラー最大連続蒸発量運転を実施することにより、それら約束事項の変更が必要となる場合も想定される。

その他、ボイラー最大連続蒸発量運転を実施するにあたっては、地域毎に配慮すべき個別事項がある場合も考えられる。

したがって、ボイラー最大連続蒸発量運転を実施しようとする場合は、必要に応じ、あらかじめ関係機関と協議を行うなど、適切な対応を実施することが必要である。

おわりに

汽力発電設備における「ボイラー蒸発量一定運転」は、一般的には実施されることの少ない運転方式と考えられる。この運転のうち、ボイラー蒸発量をボイラー最大蒸発量（MCR）で一定運転した、いわゆる「ボイラー最大連続蒸発量運転」下における蒸気タービン設備、電気設備及び計測制御設備の安全性について詳細に検討し、安全であることを確認した。

また、「ボイラー最大連続蒸発量運転」による、大気環境及び温排水への影響は、これまで行われてきた環境影響評価の予測条件内あるいは軽微な増加にとどまり、大気及び海域環境への影響はほとんどないものと評価されることを確認した。

以上の確認は、一般的な汽力発電設備の設計や設備計画を前提とした評価であるため、各プラントで実際に「ボイラー蒸発量一定運転」を実施する場合は、自主保安の観点から各発電設備設置者自ら、予想される運転状態における安全性や環境影響について評価を行うことが重要である。

以 上