

**原子炉の定格熱出力一定運転に伴う
温排水に係る影響の評価について**

平成13年10月16日

原子力安全・保安院

目次

はじめに	1
第1章 定格熱出力一定運転のしくみ	
1. 原子炉熱出力と電気出力の関係	2
2. 定格電気出力一定運転と定格熱出力一定運転の概要	3
(1) 定格電気出力一定運転	
(2) 定格熱出力一定運転	
(3) 定格電気出力一定運転から定格熱出力一定運転に移行した場合の 温排水排熱量の変化	
第2章 環境影響評価における温排水の拡散予測手法	
1. 温排水に係る環境影響評価	7
2. 温排水の拡散予測手法と拡散予測範囲	7
(1) 温排水が拡がるしくみ	
(2) 温排水の拡散予測	
第3章 定格熱出力一定運転に伴う温排水による環境への影響	
1. 温排水に係る環境影響評価の結果と定格熱出力一定運転を行った場合の 影響の比較	10
(1) 温排水拡散範囲への影響	
(2) 海生生物に対する影響	
(3) 蒸気霧(局地気象)への影響	
(4) 流動予測(船舶航行等)への影響	
2. 定格熱出力一定運転と定格電気出力一定運転の影響の比較	12
おわりに	13
添付資料	
運転中の原子力発電所における定格熱出力一定運転に係る温排水排熱量の比較	

はじめに

現在、我が国では電気出力を一定に保つ運転（以下「定格電気出力一定運転」という。）が行われている。定格電気出力一定運転では、海水温度が低下する冬季には原子炉熱出力が電気出力に変換される割合（以下、「熱効率」という。）が高くなり、原子炉熱出力を原子炉等規制法の許可を受けた最大の熱出力である定格熱出力で運転すると電気出力が定格電気出力を超えることから、原子炉熱出力を抑えて電気出力を一定に保っている。

一方、原子炉熱出力を一定として海水温度に応じた電気出力を出す運転方式（以下「定格熱出力一定運転」という。）を行った場合、原子炉熱出力を抑えないことに伴い温排水として海域に排出されるエネルギー（以下「温排水排熱量」という。）が若干増加する可能性がある。このため、原子力安全・保安院では、定格熱出力一定運転による温排水が環境に及ぼす影響について検討を行った。

なお、検討に当たっては、原子力安全・保安院長の委嘱した学識経験者等から構成される環境審査顧問会において意見を聴いた。

第1章 定格熱出力一定運転のしくみ

1. 原子炉熱出力と電気出力の関係

原子炉又は蒸気発生器で発生した蒸気は、図 - 1 に示すとおり蒸気タービンに送り込まれ、蒸気タービンの羽根車を回転させることにより電気を発生させる。その後、蒸気は蒸気タービンを出て復水器に入り、ここで内部に海水が流れる多数の管と接触することにより冷やされ凝縮して水に戻る。蒸気タービン入口で60～70気圧(6～7MPa)^(注1)、280程度あった蒸気の圧力と温度は、蒸気タービンを回転させたこと及び復水器で海水により冷やされることにより低下し、圧力は真空近くまで、また温度は30～40程度まで低下する。蒸気タービン入口と復水器の中での圧力差が大きいほど蒸気タービンの羽根車はより強い力で回転するため、より多くの電気が生み出される。

(注1) 1気圧 = 0.1013MPa

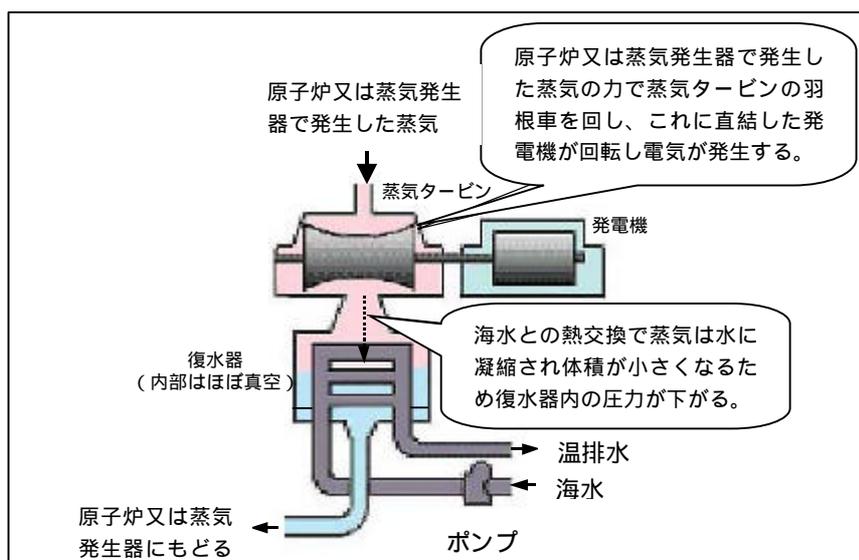


図 - 1 蒸気タービン・発電機と復水器との関係

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、蒸気が効率良く水に凝縮するため、復水器の内圧(タービン出口の圧力に等しい)は夏場の0.08気圧(真空度約702mmHg)^(注2)に比べ0.03気圧(真空度735mmHg)^(注2)程度まで低下する。すなわち、夏場に比べ真空度が高くなる。

(注2) 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。

真空度 760mmHg = 0気圧 = 0kPa、 真空度 0mmHg = 1気圧 = 101.3kPa

蒸気タービン入口の蒸気圧力が季節に関係なく一定であるのに対し、冬季には夏季に比べ復水器内の圧力が海水温度の低下に応じて低下するため、蒸気タービン入口と出口間の圧力差が大きくなることから、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、原子炉熱出力が電気出力に変換される割合、すなわち熱効率が高くなる。

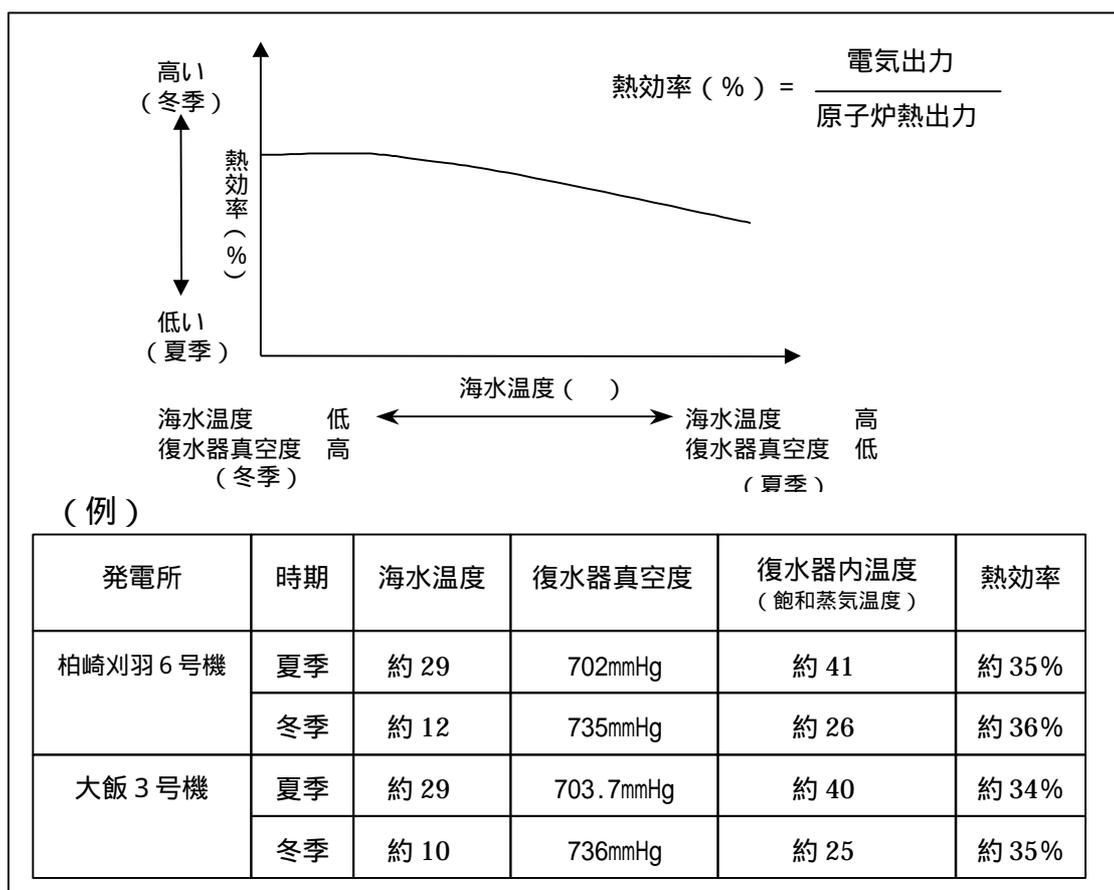


図 - 2 海水温度と熱効率の関係

2 . 定格電気出力一定運転と定格熱出力一定運転の概要

(1) 定格電気出力一定運転

現在の我が国の原子力発電所に対する規制では、原子炉の熱出力は原子炉等規制法により最大の熱出力である定格熱出力が設置許可対象となっている。

一方、原子炉で発生した熱を変換して発生させる電気出力については、電気事業法に基づき、電気事業者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定格熱出力で運転した場合に発生しうる電気出力(以

下「定格電気出力」という。)を届け出なければならない。

こうした規制体系の下、電気事業者は、冬季には自然に熱効率が高くなり定格熱出力で運転すると電気出力が定格電気出力を超えるため、図 - 3 左側に示すように、冬季には原子炉熱出力を抑えて定格電気出力に保って運転を行っている。このように、年間を通じて電気出力を定格電気出力に保ち、冬季は夏季に比べて原子炉熱出力を抑制する運転を「定格電気出力一定運転」と呼ぶ。

(2) 定格熱出力一定運転

一方、諸外国の原子力発電所では図 - 3 右側に示すように、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」と呼ぶ。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、かつ海水温度に依存して変動する。

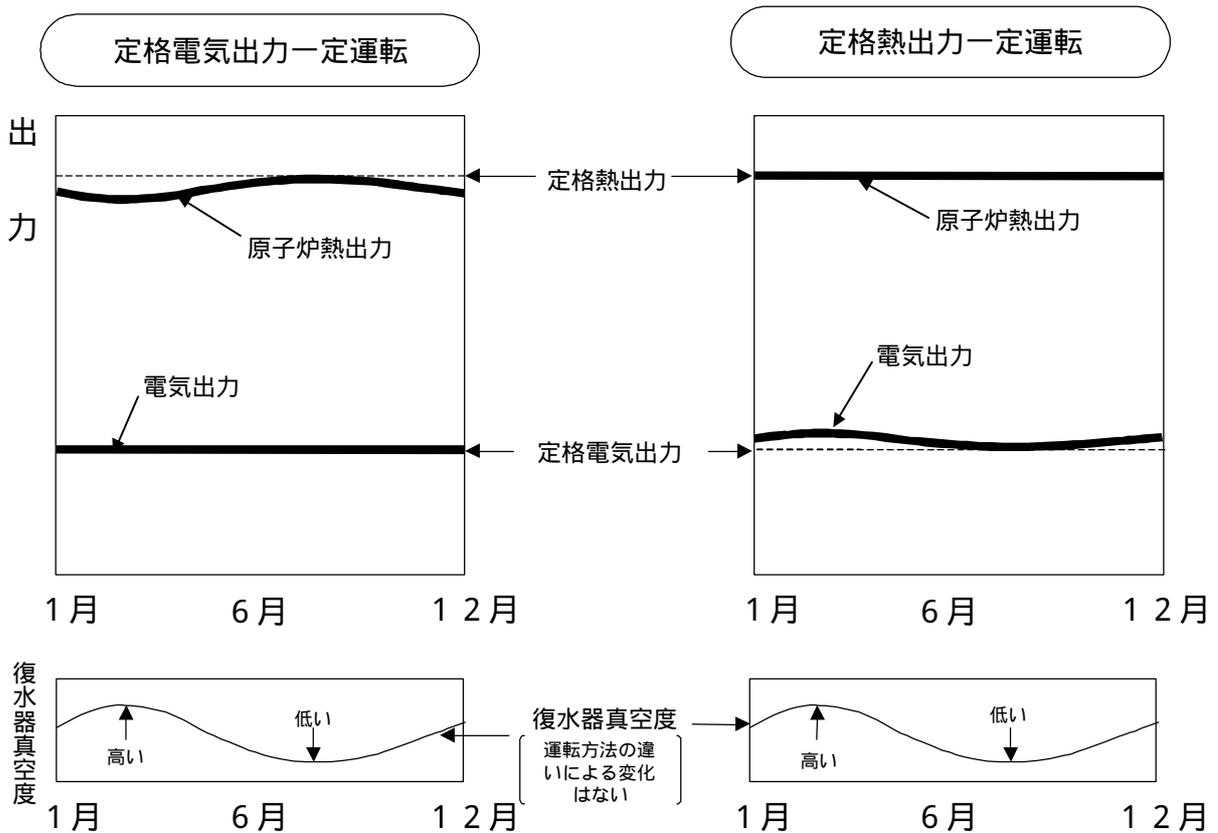


図 - 3 季節による電気出力の変動概念

(3) 定格電気出力一定運転から定格熱出力一定運転に移行した場合の温排水排熱量の変化

温排水排熱量

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。

温排水として海域に放出されるエネルギー（温排水排熱量）は、図 - 4 に示すとおり、原子炉熱出力から電気出力を差し引いた残りのエネルギーである。

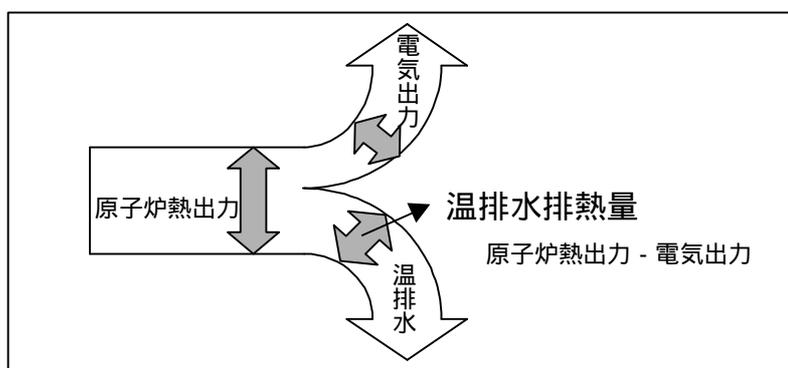


図 - 4 温排水排熱量と原子炉熱出力及び電気出力との関係

定格熱出力一定運転に伴う温排水排熱量の変化

温排水排熱量は、定格熱出力一定運転を行った場合においても定格電気出力一定運転と同様、海水温度が高く熱効率が低下する夏季に多く、海水温度が低く熱効率が高くなる冬季に少なくなるが、最大となるのは、図 - 5 に示すとおり原子炉熱出力と電気出力が共に定格値で運転される場合である（このときの温排水排熱量を以下、「最大排熱量」という）。

夏季においては、現状においても国内の多くの原子力発電所では、ほぼ定格熱出力で運転を行っているので、定格熱出力一定運転を行った場合でも、温排水排熱量は定格電気出力一定運転（現状）とほとんど変わらず、最大排熱量を超えることはない。

熱効率が高くなる冬季においては、現在は原子炉熱出力を抑えて運転しているが、定格熱出力一定運転を行った場合には、原子炉熱出力を抑えないので、その分温排水排熱量が若干増加する。しかしながら、冬季と夏季を比べると、冬季は熱効率が高いので、図 - 5 の右図に示すように、冬季の温排水排熱量は夏季の温排水排熱量より少なく、最大排熱量を超えることはない。

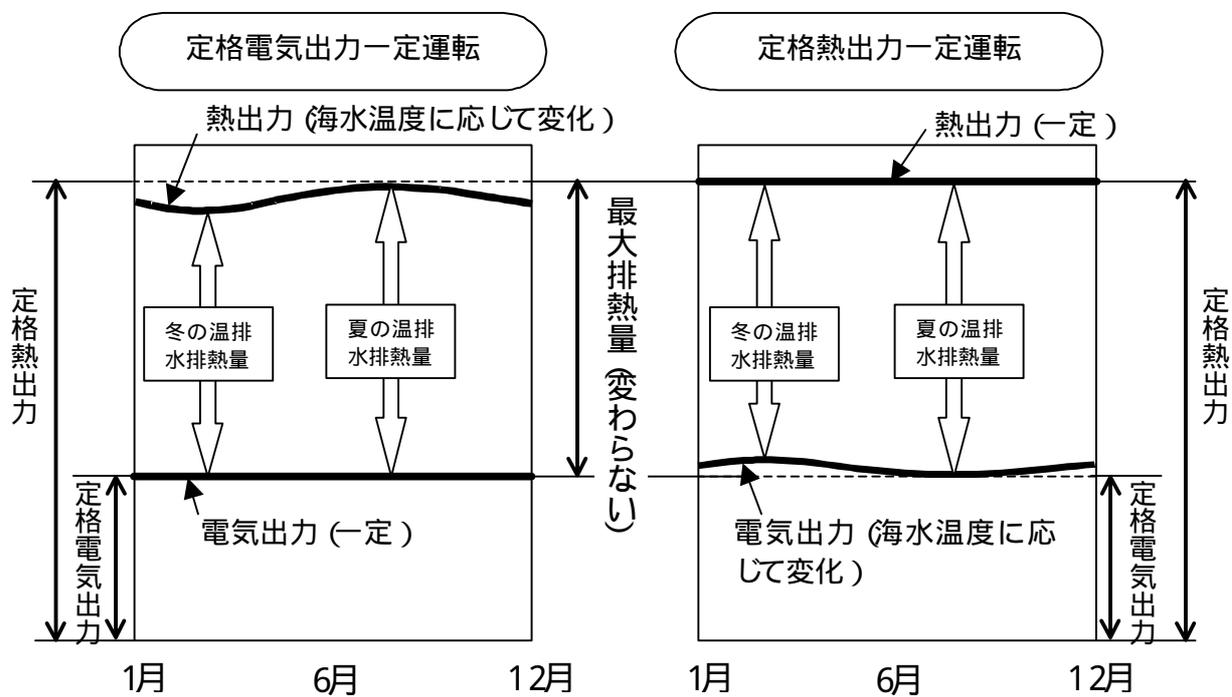


図 - 5 季節による電気出力及び温排水排熱量の変動概念

第2章 環境影響評価における温排水の拡散予測手法

1. 温排水に係る環境影響評価

環境影響評価制度については、昭和52年に「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」を省議決定し（以下、「省議アセス制度」という。）以後ほぼ現在と同様の形で温排水に係る影響評価が行われてきている。また、省議アセス制度以前に立地した原子力発電所についても、そのほとんどは増設号機の環境アセスメントの際、既設号機も含めて温排水の拡散予測が実施されている。なお、現在までに行った各原子力発電所の温排水の影響調査結果において、特に環境影響上問題となる事例はない。

2. 温排水の拡散予測手法と拡散予測範囲

(1) 温排水が拡がるしくみ

温排水の放水方式には、海の表層に放水する「表層放水方式」と、ある程度の深さの海中に放水する「水中放水方式」とがある。

表層放水方式の場合、図-6(1)に示すとおり、取水した時の水温に比べ7程度温度が上昇した温排水は放水口から流れ出て、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、また大気中に熱を放出して熱を失いながら自然の海水温度に戻る。

水中放水方式の場合は、図-6(2)に示すとおり、温排水を水中に放水するため、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急激に低下する。その後、温排水は海面に浮上し海の表層を拡がりながら、表層放水方式の場合と同様に、海域の流れ等によって周辺の海水と混じり、また大気中に熱を放出して熱を失いながら自然の海水温度に戻る。

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、海の環境条件や大気条件（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。

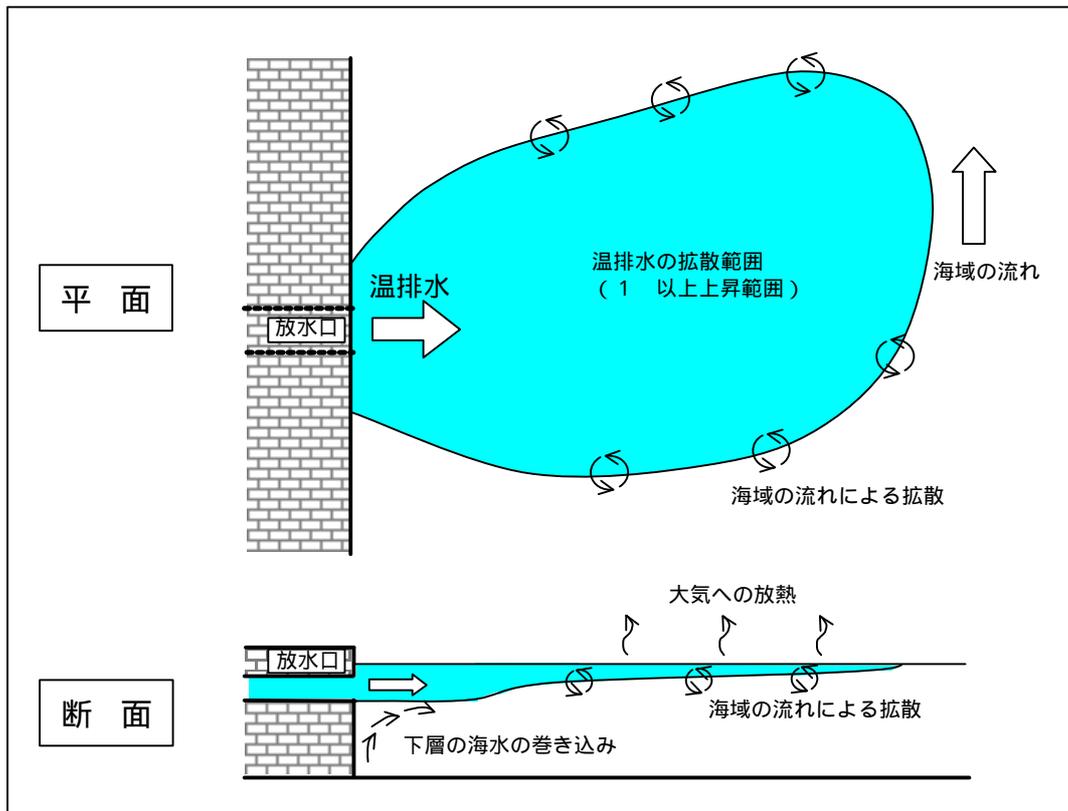


図 - 6 (1) 表層放水された温排水が拡がるしくみ (概念図)

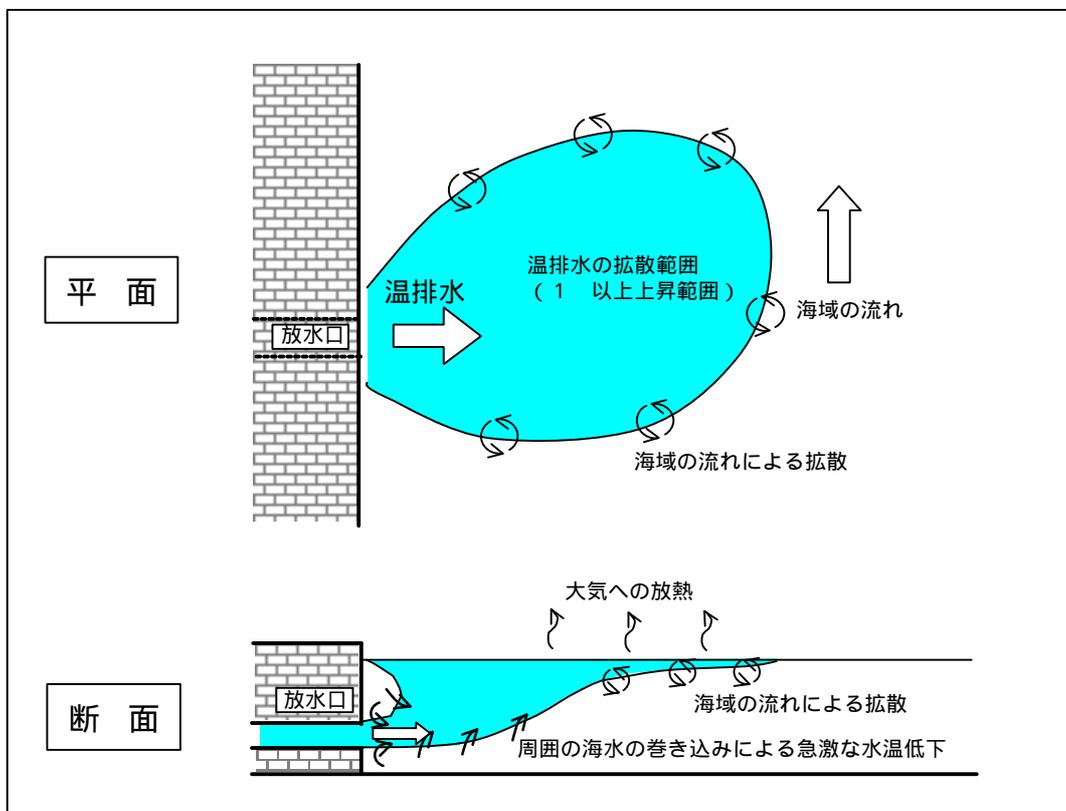


図 - 6 (2) 水中放水された温排水が拡がるしくみ (概念図)

(2) 温排水の拡散予測

温排水が海域へ与える影響を予測評価するために、環境影響評価では、温排水の拡がる範囲について予測を行っている。予測に当たっては、増設の場合や他の発電所と温排水の重畳が予測される場合は、これらを含めて温排水の拡散する範囲を予測している。

予測手法については、温排水の放水方式等に応じた予測手法を採用している。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(コンピュータによって計算する方法)」が一般に用いられている。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が、温排水の拡がる範囲が広域になる場合は、水理模型実験手法と数理モデルによるシミュレーション解析手法とを組み合わせた方法を用いる場合がある。

温排水拡散予測においては、予測の条件の一つである温排水排熱量については「温排水の放水量(=復水器設計冷却水量)」、「取水する海水と温排水の温度差の最大値(=復水器設計水温上昇値)」を用いて算出している。また、放水口の形状・配置や周辺の海岸地形等のほか、海で調べた流れの状況を詳細に統計的に解析して、予測の条件として用いている。その他、数理モデルによるシミュレーション解析手法では、温排水が拡散していくとき海面から大気に熱を放出して冷えていく様子を予測するために気象観測データも用いており、気象条件としては年間で大気への放熱量が最も小さく温排水が拡がりやすい季節を採用している。

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-7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。

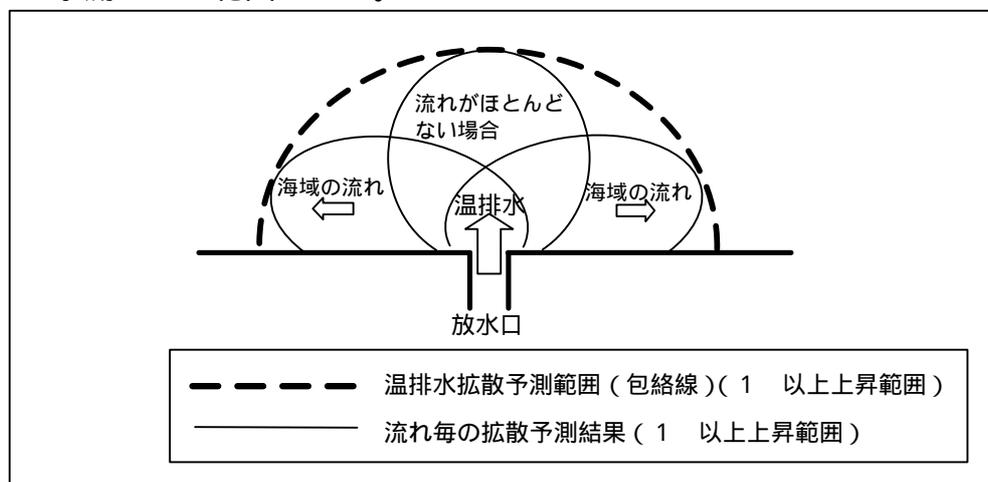


図-7 温排水拡散予測範囲(包絡線)の概念図

第3章 定格熱出力一定運転に伴う温排水による環境への影響

1. 温排水に係る環境影響評価の結果と定格熱出力一定運転を行った場合の影響の比較

(1) 温排水拡散範囲への影響

環境影響評価における温排水拡散予測では、表 - 1 に示す予測条件を用いている。

このうち、構造物及び地形、気象・海象に関する予測条件は、発電所の運転方法に依存しないので、定格熱出力一定運転を行った場合でもこれまでと変わらない。

温排水排熱量については、復水器設計冷却水量と復水器設計水温上昇値を用いて算出しているが、復水器の設計においては、「最大排熱量」の排熱が可能なように、余裕を持って復水器設計冷却水量と復水器設計水温上昇値が設定されていることから、末尾に添付した「運転中の原子力発電所における定格熱出力一定運転に係る排熱量の比較」に示すように、「環境影響評価における温排水拡散予測の温排水排熱量」は「最大排熱量」を上回る値を用いている。

また、第1章で示したように定格熱出力一定運転を行った場合にも、最大排熱量を上回る排熱量が温排水として放出されることはない。

環境影響評価における 温排水拡散予測の温排水排熱量	> 最大排熱量	定格熱出力一定運転時 の温排水排熱量
------------------------------	---------	-----------------------

原子炉熱出力及び電気出力が共に定格値で運転されているときの温排水排熱量（定格熱出力と定格電気出力の差）

したがって、定格熱出力一定運転を行った場合に放出される温排水排熱量は環境影響評価における温排水拡散予測条件内であり、環境影響評価で行った温排水拡散予測範囲は変わらない。

表 - 1 環境影響評価における温排水拡散予測の予測条件及び
定格熱出力一定運転を行った場合の予測条件の変更の必要の有無

予測条件		定格熱出力一定運転を行った場合の予測条件の変更の必要の有無
温排水排熱量	放水量 (=復水器設計冷却水量)	環境影響評価で用いている温排水排熱量は定格熱出力一定運転時の温排水排熱量を上回っており、変更の必要はない
	取放水温度差 (=復水器設計水温上昇値)	
構造物及び地形	放水口の形状・配置	運転の方法に依存しないため変更の必要はない
	海岸・海底地形及び海岸構造物の配置等 海域の流れ	
気象・海象	海水温度	
	気温、風速等	

(2) 海生生物に対する影響

定格熱出力一定運転は、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、定格熱出力一定運転の導入により冷却水の取水条件（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。

(3) 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ような場合に、水面上に冷たい空気が流れ込んでくると、水面から蒸発した水分が冷やされて霧が発生する可能性がある。これを「蒸気霧」と呼び、温排水による海域の水温上昇がその発生に及ぼす影響について、必要に応じて環境影響評価が行われている。

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。定格熱出力一定運転は、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。

(4) 流動予測（船舶航行等）への影響

定格熱出力一定運転の導入により温排水の放水流速が変わることはないため、流動への影響はないものと考えられる。

2. 定格熱出力一定運転と定格電気出力一定運転の影響の比較

末尾に添付した「運転中の原子力発電所における定格熱出力一定運転に係る排熱量の比較」に、環境影響評価における温排水拡散予測の温排水排熱量を基準（100%）として、最大排熱量、夏季及び冬季における定格電気出力一定運転時と定格熱出力一定運転時の温排水排熱量を示している。この結果を図-8に概念的に示す。

夏季においては、定格熱出力一定運転を行った場合でも、温排水排熱量は現状とほとんど変わらない。

一方、冬季においては、定格熱出力一定運転を行った場合、温排水排熱量が若干増加することとなるが、多くの発電所において3%程度であり、最大でも6%程度とわずかである。

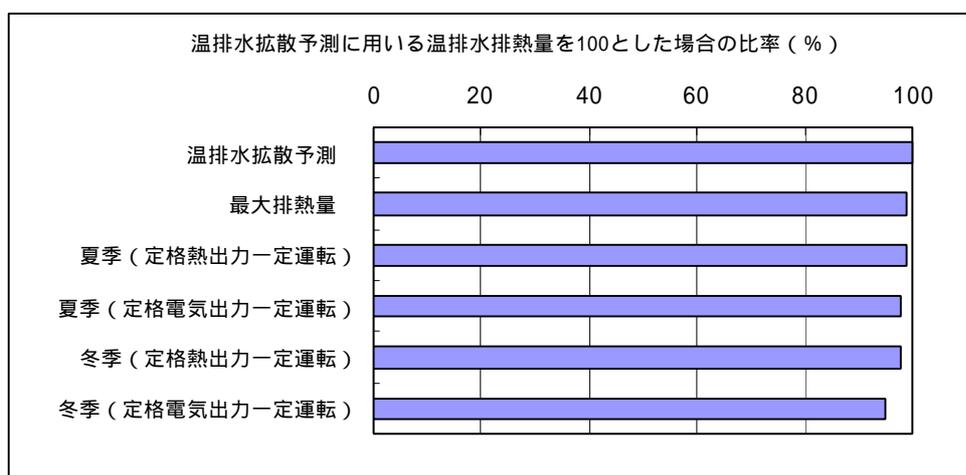


図-8 温排水排熱量の比較（概念図）

図-9は、「環境影響評価における温排水拡散予測範囲」と、「定格熱出力一定運転時の温排水拡散範囲」と「定格電気出力一定運転時の温排水拡散範囲」を概念的に示したものである。

定格電気出力一定運転と比べ、定格熱出力一定運転の導入に伴う温排水排熱量の増加はわずかであり、温排水の拡散状況は定格電気出力一定運転時とほとんど変わらないと考えられる。

また、冷却水の取水量及び取水流速は変わらず、復水器における水温上昇の増加もわずかである。

したがって、定格熱出力一定運転を行った場合と定格電気出力一定運転を比較しても、海生生物及び蒸気霧の発生への影響はほとんどないものと考えられる。

なお、定格熱出力一定運転の導入により温排水の放水流速が変わることはないため、流動への影響はないものと考えられる。

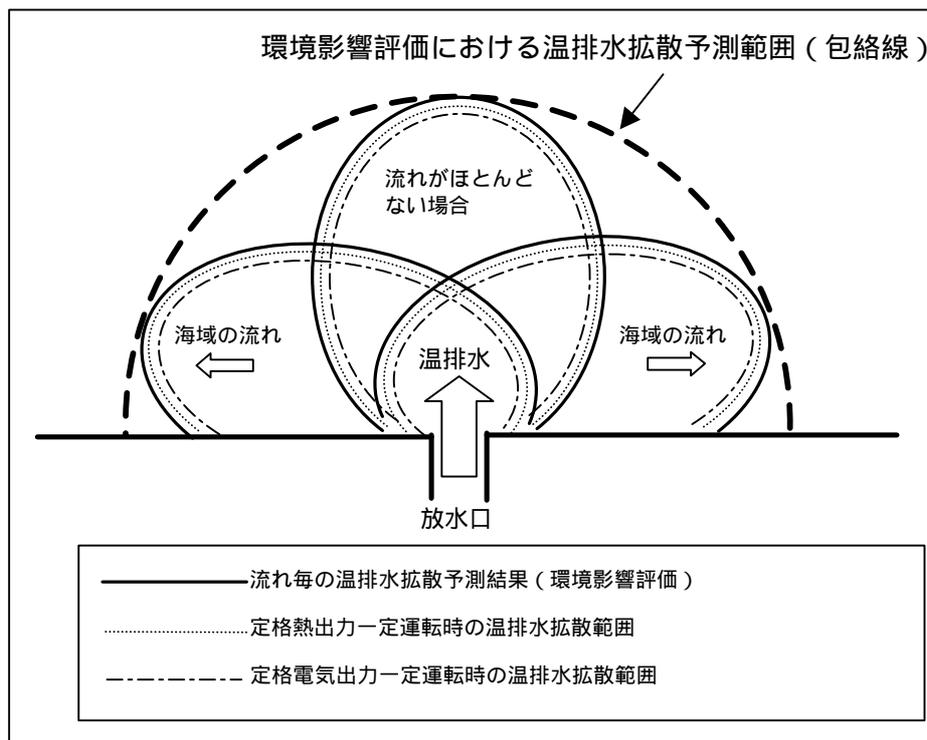


図 - 9 温排水拡散範囲の変化 (概念図)

おわりに

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排熱量を上回る温排水排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排熱量は、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。

以上

運転中の原子力発電所における定格熱出力一定運転に係る温排水排熱量の比較
(環境影響評価における温排水拡散予測の温排水排熱量を基準(100%)としている)

設置者	発電所名(号機)	炉型	環境影響評価における温排水拡散予測の温排水排熱量(単位:%)	環境影響評価における温排水拡散予測の排熱量に対する比率				
				最大排熱量(熱出力の定格値と電気出力の定格値の差)(単位:%程度)	夏季		冬季	
					定格電気出力一定運転時の温排水排熱量(実績値)(単位:%程度)	(注2)定格熱出力一定運転時の温排水排熱量(想定値)(単位:%程度)	定格電気出力一定運転時の温排水排熱量(実績値)(単位:%程度)	(注2)定格熱出力一定運転時の温排水排熱量(想定値)(単位:%程度)
日本原電(株)	東海第二	BWR	-	100(注1)	100	100	99	100
	敦賀(1号)	"	-	100(注1)	99	100	98	99
	"(2号)	PWR	100	96	94	96	92	95
北海道電力(株)	泊(1号)	"	100	94	91	92	88	92
	"(2号)	"						
東北電力(株)	女川(1号)	BWR	100	97	96	97	94	96
	"(2号)	"						
東京電力(株)	福島第一(1号)	"	100	99	99	99	96	98
	"(2号)	"						
	"(3号)	"						
	"(4号)	"						
	"(5号)	"						
	"(6号)	"						
	福島第二(1号)	"	100	99	99	99	97	98
	"(2号)	"						
	"(3号)	"						
	"(4号)	"	100	99	98	99	95	98
	柏崎刈羽(1号)	"						
	"(2号)	"						
	"(3号)	"						
"(4号)	"							
"(5号)	"							
"(6号)	ABWR							
"(7号)	"							
中部電力(株)	浜岡(1号)	BWR	100	96	95	96	93	95
	"(2号)	"						
	"(3号)	"						
	"(4号)	"						
北陸電力(株)	志賀(1号)	"	100	94	93	94	90	92
関西電力(株)	美浜(1号)	PWR	-	100(注1)	99	100	93	97
	"(2号)	"	100	98	94	96	89	95
	"(3号)	"						
	高浜(1号)	"						
	"(2号)	"						
	"(3号)	"						
	"(4号)	"						
	大飯(1号)	"	100	95	94	95	92	94
"(2号)	"							
"(3号)	"							
"(4号)	"							
中国電力(株)	島根(1号)	BWR	100	97	97	97	93	96
	"(2号)	"						
四国電力(株)	伊方(1号)	PWR	100	98	96	97	92	96
	"(2号)	"						
	"(3号)	"						
九州電力(株)	玄海(1号)	"	100	97	96	97	93	96
	"(2号)	"						
	"(3号)	"						
	"(4号)	"						
	川内(1号)	"	100	94	94	94	92	93
"(2号)	"							

(注1)省議アセス以前の発電所で、増設号機の環境アセスにおいても温排水の拡散予測が実施されていない発電所については、最大排熱量を100%として比較を行った。

(注2)定格熱出力一定運転時の温排水排熱量(想定値)=熱出力(定格値)-電気出力(定格値)× $\frac{\text{熱出力(定格値)}}{\text{熱出力(実績値)}}$

上式に示すように、定格熱出力一定運転の温排水排熱量想定値は、過去の運転実績から求めており、夏季の想定値については最大の熱出力実績から、冬季の想定値については最小の熱出力実績から算出している。