

第2章 ガスタービンコンバインドサイクル発電の概要

本章では、技術検討調査にて検討対象とする天然ガス等を燃料とするガスタービンコンバインドサイクル発電の概要について整理を行う。

2-1 ガスタービンコンバインドサイクル発電の仕組み

ガスタービンコンバインドサイクル発電とは、ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせた発電方式である。まずガスタービン等を使って発電し、タービンの排気ガス等からの排熱を利用して蒸気タービンを回し、発電する仕組みであるため、従来の発電方式に比べて熱効率が高いことが特徴である。

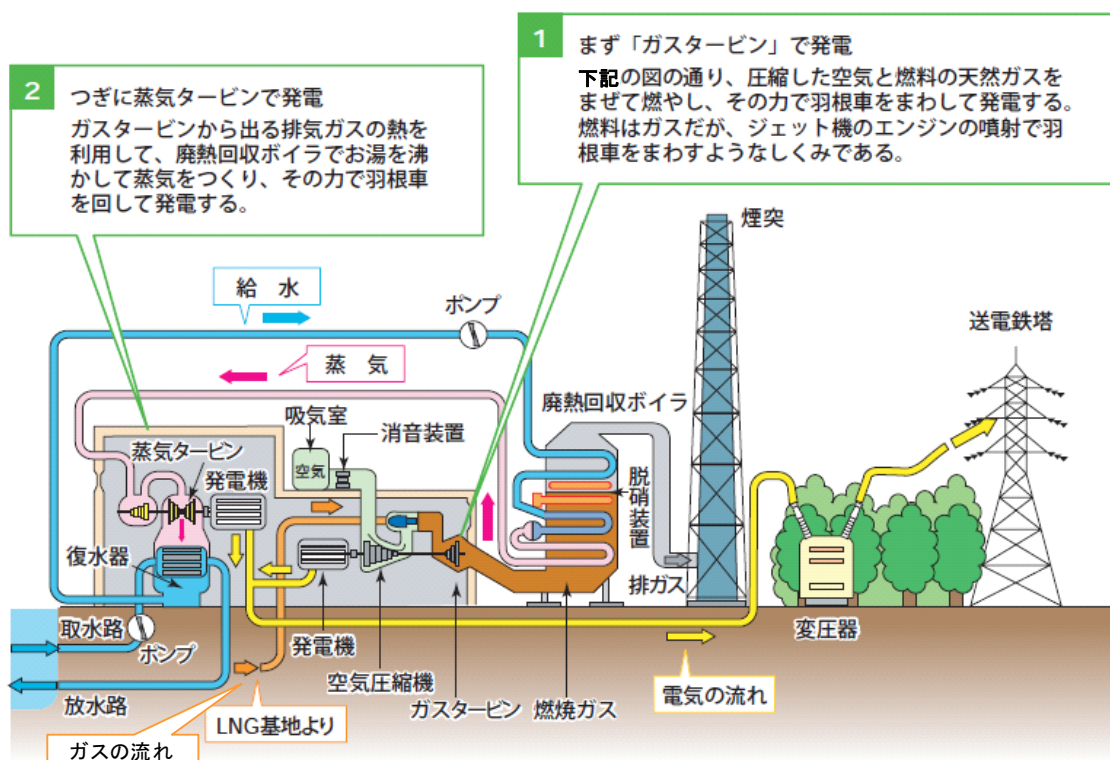


図 2-1 ガスタービンコンバインドサイクル発電の仕組み³
(水中放熱方式の例)

³ 原子力教育支援情報提供サイト「あとみん」

ガスタービンコンバインドサイクル発電を構成する主要な機器は以下の通りである。

表 2-1 ガスタービンコンバインドサイクルを構成する主要機器

主要機器	機器の役割
取水路	冷却用水（図 2-1 の場合は海水を使用）を取水する導水路
ポンプ	冷却用水を汲み上げるためのポンプと、冷却用水を循環させるためのポンプがある。
復水器	蒸気タービンを通じた蒸気を水に戻す容器
蒸気タービン	排熱回収ボイラにて生成された蒸気から動力を取り出す
排熱回収ボイラ	ガスタービンから排出された高温排気を回収し、蒸気を生成する
吸気室	ガス燃焼用の空気を吸気する
消音装置	空気圧縮時に発生する騒音を抑える装置
空気圧縮機	高温ガスの燃焼のために空気を圧縮させる
ガスタービン	高温の燃焼ガスによりタービンを回し、動力を取り出す
発電機	ガスタービン、蒸気タービンの動力により発電機のモーターを回して電力を取り出す
脱硝装置	排気ガス中に含まれる NO _x を除去する
煙突	排気ガスを上空にて排出する（結果、地表面到達時の単位面積当たり排出ガス濃度を低くすることが出来る）
変圧器	一般電気事業者の送電線に接続するために、昇圧する
放水路	冷却用水（図 2-1 の場合は海水を使用）を排水する導水路

2-2 100 万 kW 級ガスタービンコンバインドサイクルの構成

前節で述べたように、ガスタービンコンバインドサイクル発電は、ガスタービン発電にて発生した排熱を利用して蒸気を生成し、蒸気タービンを駆動させる二重の発電方式のため、従来型の発電方式に比べ熱効率を高くなる。これはすなわち、天然ガス等の燃料の使用効率が高いことを意味しており、従来技術と比べて高効率でかつ CO₂ 排出量の低い発電方式として、技術開発が進められている。

技術開発は主に①タービン入口温度の高温化（タービン入口温度のガス燃焼温度を 100℃ 上昇させると、熱効率を 2～3% 上昇させることが可能と言われている。）、②さらなる熱効率の上昇を目指した出力の大容量化の 2 点において進められてきている。

①タービン入口温度は、1980 年代には 1,100℃ 級であったが、現状では 1,500℃ 級のガスタービンをを用いたコンバインドサイクル発電が商用運転に入っており、1,600℃ 級についても 2012 年から商用運転機が登場する見込みである。現在は国家プロジェクト⁴として三菱重工にてタービン入口温度 1,700℃ 級のガスタービンの研究開発が進められている。（図 2 - 2）

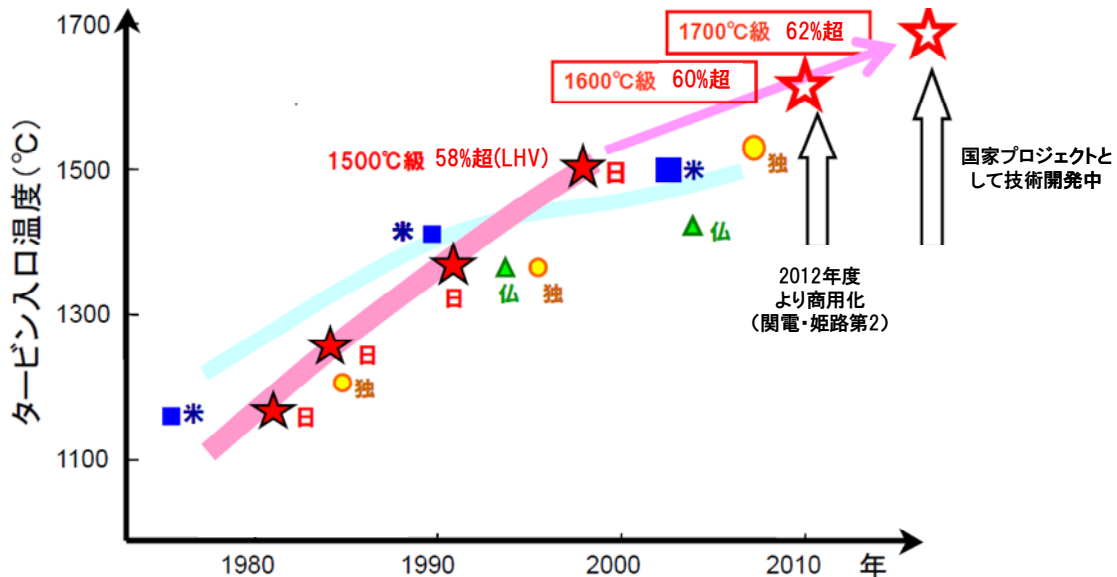


図 2-2 タービン入口温度の変遷⁵

⁴ 経済産業省では 2004 年度から電力産業用高効率ガスタービンの技術開発を進めており、1,700℃ 級ガスタービンでは 2007 年度までは要素技術、2008 年度からは実用化技術の開発をテーマに、補助事業を行っている。三菱重工は採択事業者となっており、平成 24 年度も引き続き技術開発を進めている。

⁵ 三菱重工業「1,700℃ 級ガスタービン技術に関する事業の概要について」を基に日本総研作成

高効率ガスタービンは以下のように圧縮機、燃焼器、タービンにより構成されている。

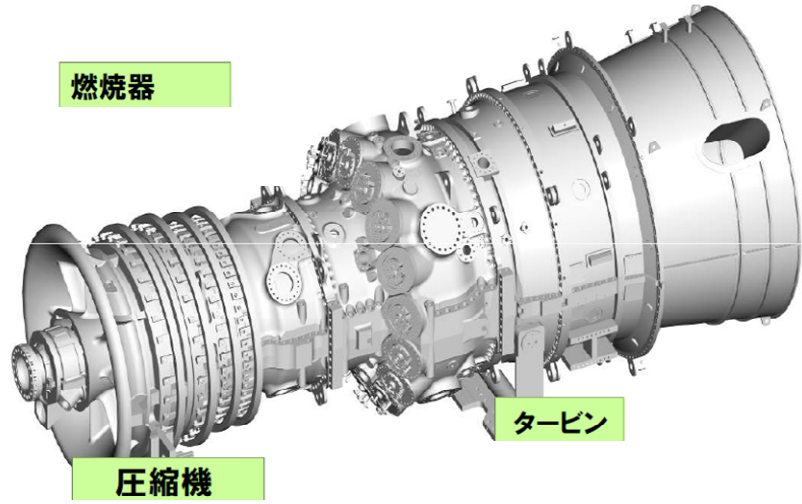


図 2-3 タービン入口温度 1,600℃級ガスタービン (概要)

メーカーの技術開発によりガスタービンコンバインドサイクルの効率、出力ともに向上している。

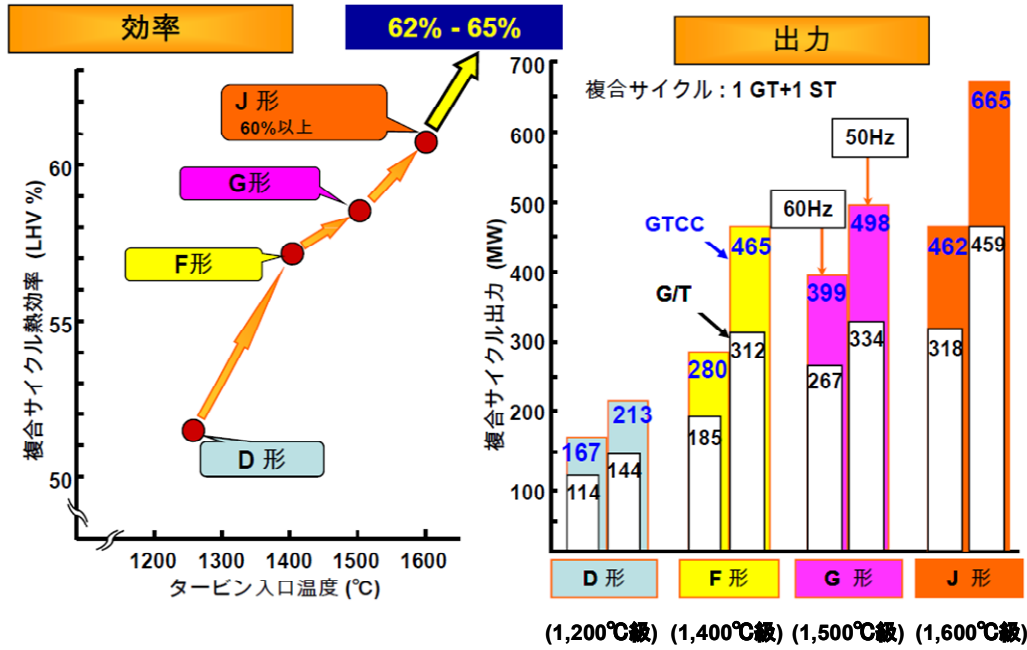


図 2-4 ガスタービンコンバインドサイクルの熱効率と出力の変遷⁶

⁶ 三菱重工業「1700℃級ガスタービン技術に関する事業の概要について」

タービン入口温度 1,600 級では熱効率は 60%以上となり、ガスタービン出力と蒸気タービン出力を合わせたプラント出力も 45～60 万 kW となっている。

以上を踏まえ、技術検討調査では、100 万 kW 級のガスタービンコンバインドサイクルの構成として、45 万～60 万 kW 級のガスタービンコンバインドサイクル発電の 2 基構成を基本的な機器構成として検討することとする。

ところで、ガスタービンと蒸気タービンを複数台組み合わせるガスタービンコンバインドサイクル発電は、ガスタービンと蒸気タービンの組み合わせ方により、一軸型と多軸型の構成が考えられる（表 2－2）。

表 2-2 一軸型と多軸型の機器構成（例）⁷

	一軸型	多軸型
機器構成		
	● ガスタービン、蒸気タービン、排熱回収ボイラが同一軸で連結する形式。これらを複数軸組み合わせて、発電ユニットを構成する。	● 複数のガスタービン、排熱回収ボイラと、単一の蒸気タービンを連結する形式。
特徴	● 各軸を独立して運用できるため、軸単位で停止することを通じて、ユニット全体としては部分負荷効率を高く保つことができる。 ● 軸単位での点検補修が容易	● 一軸型に比べて蒸気タービンの容量を大きくすることが出来るので、蒸気タービン効率は一軸型を上回る。 ● ガスタービンや蒸気タービン補修時にはユニット全体の停止や、ガスタービンの解列等が必要になり、メンテナンス性は一軸型に劣る
運用形態	● ミドル ⁷ 、ベース ⁸	● ベース ⁹

⁷ 火力発電総論 p.224、電気学会、2002 年出版

⁸ ミドルとは、主に昼間時間帯などにおいて、ベース及びピークを除く需要に応える形式で電力を出力する運転形式であり、電力の需給に応じて機動的に負荷率を調整することが求められる。

⁹ ベースとは、昼間、夜間を通して要求される一定の電力需要に応える形式で電力を出力する運転形式であり、負荷率の増減は少ない

従来では、蒸気タービンの大容量化によるプラント出力向上を目的に、多軸型のプラント構成とする例も多かった。しかし、多軸型のプラントの場合、蒸気タービンが単一のため、部分的に負荷率を調整することが難しく、ミドル運用には不向きとされてきた。

現在では、ガスタービン、蒸気タービンの単機容量が向上し、一軸型でも十分な発電出力が得られるようになってきたことから、メンテナンス容易性、部分負荷追従性などを重視し、大型の発電プラントにおいても、一軸型ガスタービンコンバインドサイクルを複数基にて構成することが一般的となっている。

技術検討調査では、実際の事業化においても、発電事業者の電源構成や発電所運用の考え方等により多様な運用形態が想定される。そのため、ベース利用、ミドル利用のいずれにおいても汎用性があり、柔軟な運用が可能な一軸型をコンバインドサイクルの基本仕様とする。

2-3 主機の性能

100 万 kW 級発電所として採用し得るガスタービンコンバインドサイクル発電としては、品川火力発電所等、多数の発電所で採用されているタービン入口温度 1,400℃級 ACC (Advanced Combined Cycle) 方式、2007 年から運転されており、東京電力の川崎火力発電所等で使用されている 1,500℃級 MACC (More Advanced Combined Cycle)、2013 年から関西電力姫路第 2 発電所にて運転開始する予定の 1,600℃級 MACC II (More Advanced Combined Cycle II) の 3 種類が挙げられる。

各方式の代表的な候補機種の発電出力、発電端効率を、表 2-3 に示す。

表 2-3 100 万 kW 級ガスタービンコンバインドサイクル発電方式の比較

項目	40 万 kW 級 ACC	50 万 kW 級 MACC	50 万 kW 超級 MACC II
タービン入口温度	1,400℃級	1,500℃級	1,600℃級
候補機種	4 機種	2 機種	2 機種
発電出力	40.4 万 kW	48.3 万 kW	48.7 万 kW
発電端効率 ¹⁰ (LHV ¹¹ ・%)	57.5%	58.4%	60.8%
運転実績	多数	2007 年から運転 (東電・川崎 1 号 等)	関電・姫路第 2 で運転開始予定 (2013 年～)

今回は、高効率の発電所を実現するとの趣旨のもと、MACC と MACC II を対象に検討を行う。

¹⁰ 15℃、1.02 気圧下での発電端効率

¹¹ LHV (低位発熱量: Lower Heating Value) とは、発電プラントの熱効率を評価する際に、発熱量から (発電に活用することが出来ない) 水蒸気の潜熱を差し引いて計算された熱量を指す。一般に水素を多く含むほど、水蒸気の線熱量が大きくなるため、天然ガス等を燃料とするガスタービンコンバインドサイクルプラントの熱効率を評価する際には、一般的に LHV が用いられている。

1,500℃級 MACC を提供する代表的なメーカーは 3 社である。各メーカーの MACC のスペックは以下の通り。

表 2-4 1,500℃級 MACC のスペック概要

項目	A 社	B 社	C 社
タービン入口温度	1,500℃級 MACC	1,500℃級 MACC	1,500℃級 MACC
機器構成	一軸型	一軸型	一軸型
プラント熱効率 (LHV・発電端)	58.0%	60.0%	59.9%
プラント出力 (発電端)	82.2 万 kW (41.1 万 kW×2 基)	101.4 万 kW (50.7 万 kW×2 基)	100.0 万 kW (50.0 万 kW×2 基)
概算コスト (基礎工事除く)	10 万円/kW	-	10 万円/kW

プラント熱効率及びプラント出力においては、ガスタービンの性能差や、組み合わせる蒸気タービンの性能の違いにより、各社間で差異がある。

さらに、今後実用化を迎える 1600℃級 MACCⅡの基本スペックは以下の通り。

表 2-5 1,600℃級 MACCⅡのスペック概要

項目	A 社	B 社
タービン入口温度	1,600℃級	1,600℃級
	MACCⅡ	MACCⅡ
機器構成	一軸型	一軸型
プラント熱効率 (LHV・発電端)	61.0%	60.8%
プラント出力	103.2 万 kW	134.4 万 kW
(発電端)	(51.6 万 kW×2 基)	(67.2 万 kW×2 基)
概算コスト (基礎工事除く)	- (商用化前につき非公開)	(数年後には) 10 万円/kW と推定

本技術検討で対象としている発電所が運転開始に至る時期には、1,600℃級・MACCⅡ方式も普及していると想定される。

1,600℃級 MACCⅡの方が、単機出力、プラント熱効率とも優れているため、本技術検討調査では、1,600℃級 MACCⅡを基本仕様とする。また、発電効率は現状の最高値である 61.0%とする。

2-4 所内回路構成

(1) 回路構成

発電所では、発電機で発生した電力が主変圧器、開閉器を通して電力系統に送り出され、一部の電力は発電機主回路に設置された所内変圧器を介して発電所の補機電源として供給される。

プラント起動前は、起動電力をプラントから供給することができないため、系統から275kVで受電し、所内変圧器を介して、所内回路に給電する（系統からの電力がないと起動できない）。

プラント起動には、ガスタービンの立ち上げが必要である。大型のガスタービンの場合は、一定の速度まで外部の動力により昇速させなければ、自力では立ち上がらないため、外部動力によりガスタービンを起動・昇速させなければならない。一軸型のガスタービンコンバインドサイクル発電の場合は、ガスタービン、蒸気タービン、発電機が一系列につながっている構造のため、発電機をモーターとして利用し、ガスタービンを起動・昇速させる「サイリスタ起動方式」が一般的である。本方式では、励磁用変圧器から供給される電力をサイリスタ整流器によって制御し、発電機に送り込み、モーターとして駆動させる。

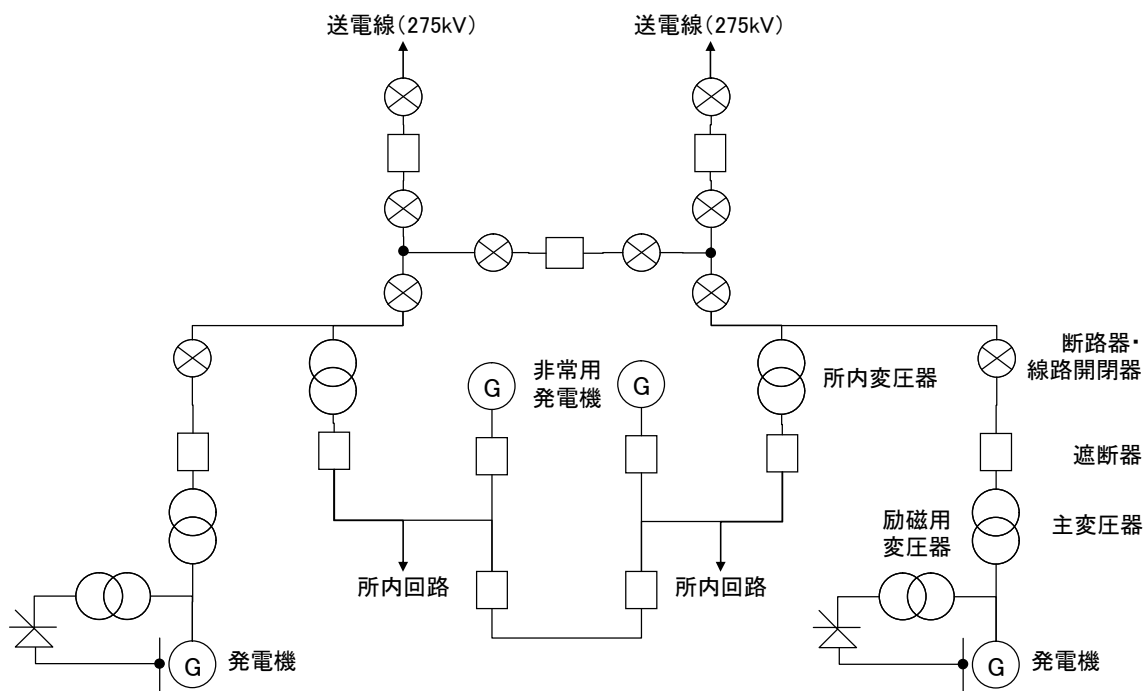


図 2-5 発電所の所内回路構成

主な構成機器の設置目的は以下の通り。

①主変圧器

発電機の端子電圧は 10 数 kV から 20 数 kV であり、一方、発電所につながる送電線の電圧は主に 100kV 以上であることから、主変圧器により発電機電圧を送電電圧に昇圧する。主変圧器は、発電機容量に匹敵する容量を持った大容量の変圧器となる。

100 万 kW 級プラントの実際の運用では、275kV 級に昇圧して送電線へと接続することが一般的である。詳細については連系先の変電所容量等を踏まえて、連系協議によって定めることとなる。

②励磁用変圧器

ガスタービン起動時の低回転数域では、コンプレッサが機能せず、ガスタービンが自立できる回転数まで外部動力により駆動させる必要がある。そこで、発電機の界磁巻線へ直流電力を供給することで、ガスタービンを回転させる。その際、励磁電源供給のための励磁用変圧器が用いられる。

③断路器・線路開閉器

受電設備の点検作業などの際、回路を遮断する目的で使用する。負荷電流を開閉する性能を有しないため、開閉する際には無負荷の状態で作業をする。

⑤遮断器

負荷電流や短絡電流を遮断する開閉器である。電流を遮断時に発生するアーク電流を消すため、高真空の容器に収めた接点（真空インタラプタ）を用いた真空遮断器又は、絶縁性の高い六フッ化イオウガスを用いたガス遮断器（GCB）などがある。

⑥所内回路

主母線から所内変圧器で低圧（6kV 以下）にした変圧した電力を用いて、所内の機器の駆動に使用する。

⑦非常用電源設備

外部電源の供給が停止し、所内電源系統が全停したとき、補機類を動作させ、プラントを安全に停止させるための電源設備である。非常用電源設備は、ディーゼルエンジン等の非常用発電機が用いられる。

ガスタービンコンバインドサイクル発電では、上記のような回路構成が一般的である。そのため本検討においては、図 2 - 5 の回路構成を基本として検討を行う。

(2) 所内比率

所内比率とは、発電のために所内の各補機に要する電力と、発電機の出力との比を意味する。ガスタービンコンバインドサイクル発電の補機には、上記で挙げた補機以外に循環水ポンプ、給水ポンプ、並びに所内の事務館（電気室）がある。

一般に所内比率は発電方式を選定した時点で決まる比率であり、電気書院「火力発電所 所内回路と付属変電所」（著：千葉幸）によると微粉炭燃焼発電所では 5.5～6.5%程度、ストーカ燃焼発電所では 4～5%、ガスあるいは重油燃焼発電所のでは、2.5～4.0%程度となっている。

ガスコンバインドサイクル発電に必要な補機は他の発電方式に比べて少ない。例えば、石油火力発電では脱硫設備が必要になり、石炭火力発電所には微粉炭機、送粉機（排風機、）押し込み通風機や誘引通風機等が必要になる。また、ガスタービンコンバインドサイクル発電所には通風機等ボイラ補機が必要ない。その結果、発電方式により、所内比率が異なる結果となる。

本検討では、ガスタービンコンバインドサイクル発電の所内比率を 2.5%として、試算を行うこととする。

2-5 発電所における水関連設備

ガスタービンコンバインドサイクル発電の運転においては、蒸気タービン発電用の蒸気生成に用いる純水、蒸気を冷却させるための冷却水が必要になる。また、純水タンクや冷却塔からのブロー水や排熱回収ボイラからの排水などを処理する排水処理設備も必要になる。

以下では、100 万 kW 級発電所の排水プロセスと、必要となる設備の概要を示す。

(1) 純水製造装置

ガスタービンコンバインドサイクル発電では、水を蒸気に変えて蒸気タービンを動作させている。蒸気は復水器を通じて液体（水）に戻り、系統内を循環することになる。循環する水に僅かな不純物等が含まれていると、ボイラ管の腐食障害、スケールとして管類に付着することによる伝熱効率の低減、およびボイラ・給水加熱器の差圧上昇等の原因となるため、蒸気タービンには純水が用いられる。

系統内で使用される純水は、一般的に水道水から純水製造装置を用いて製造される。復水には、系統内の循環過程で金属イオン（鉄、カルシウム等）が析出し、不純物の濃度が上昇するため、各種イオン濃度を低減させるために、定期的にブロー（排水）を行い、新たな純水を供給することが必要になる。

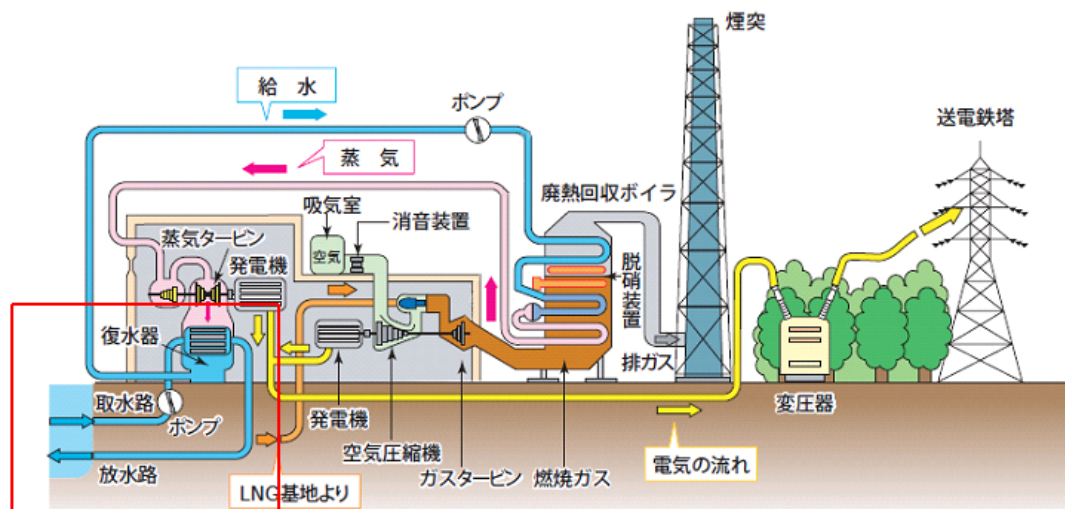
(2) 冷却方式

ガスタービンコンバインドサイクル発電では、蒸気の復水のために冷却水が必要になる。

(1) の純水製造装置によって供給される純水は、排熱回収ボイラによって蒸気に変えられ、蒸気タービンを動作させるために使われる。蒸気タービンを通過したのち、蒸気は復水器において外部から供給される冷却水によって冷却され、再び液体（水）に戻る。

冷却水の使用方式には、水中放熱方式と、循環冷却方式の2方式が存在する。

水中放熱方式とは、外部の水源から冷却用水を取水し、復水器で熱を吸収させた後、水温が上昇した水を外部に放水する方式である。(図2-6)



水中放熱方式(海水利用)

図2-6 水中放熱方式（海水利用）における復水器冷却イメージ¹²

一方、循環冷却方式は、復水器で冷却用水が熱を吸収した後、水温が上昇した冷却用水を冷却塔内で循環させ、その過程で冷却用水が吸収した熱を空気中に放熱させ、水温が下がった冷却用水を再び復水器冷却用に用いる方式である。(図2-7)

¹² 原子力教育支援情報提供サイト「あとみん」

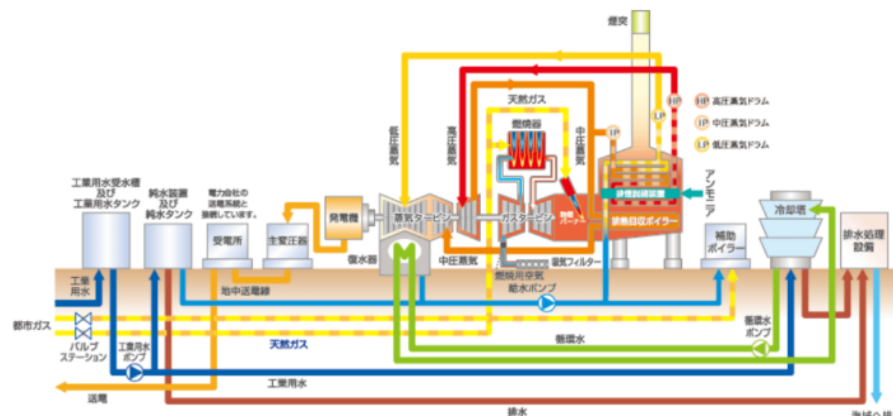


図 2-7 循環冷却方式における復水器冷却イメージ¹³

それぞれの方式の特徴は以下の通りである。

表 2-6 冷却方式

	水中放熱方式	循環冷却方式
冷却水量 (m ³ /日)	126 万 m ³ /日 (100 万 kW 級/1 日 14 時間運転)	2.4 万 m ³ /日 (100 万 kW 級/1 日 14 時間運転)
水質条件	海水、河川水等	河川水等
附帯設備	— (水源までの距離が遠い場合は、 導水用の水路建設が必要)	冷却塔、前処理用ろ過設備、 冷却水貯蔵タンク
備考	—	配管等の腐食やファウリング ¹⁴ 防止のため薬品が必要

水中放熱方式と比べ、循環冷却方式では、冷却塔や前処理用のろ過設備、冷却水貯蔵タンク等に一定のスペースが必要なことから、海水・河川水の取水が可能なエリアでは、水中放熱方式を採用することが一般的である（そのため、わが国では、海岸部に発電所を建設することが多い）。

¹³ 川崎天然ガス発電所ウェブサイト

¹⁴ 原水に含まれる難溶性成分や高分子の溶質、コロイド、微小固形物などが配管に沈着して、配管が閉塞するのを引き起こす現象のこと

(3) 排水処理設備

発電所からは、給水ボイラや冷却塔からのブロー水、排熱回収ボイラからの排水が発生する。これらの排水には、設備や配管から生じる金属イオン（鉄、カルシウム）、給水ボイラや冷却塔内で生じるスケール等の浮遊物質（SS）が高い濃度で含まれている。そのため、下水排除基準（鉄イオン濃度：10mg/L 以下、浮遊物質：600mg/L 以下など）に抵触する場合、公共下水道に排水する前に、排水処理設備にて pH 調整、不純物の凝集・沈殿・濾過などを行う必要がある。

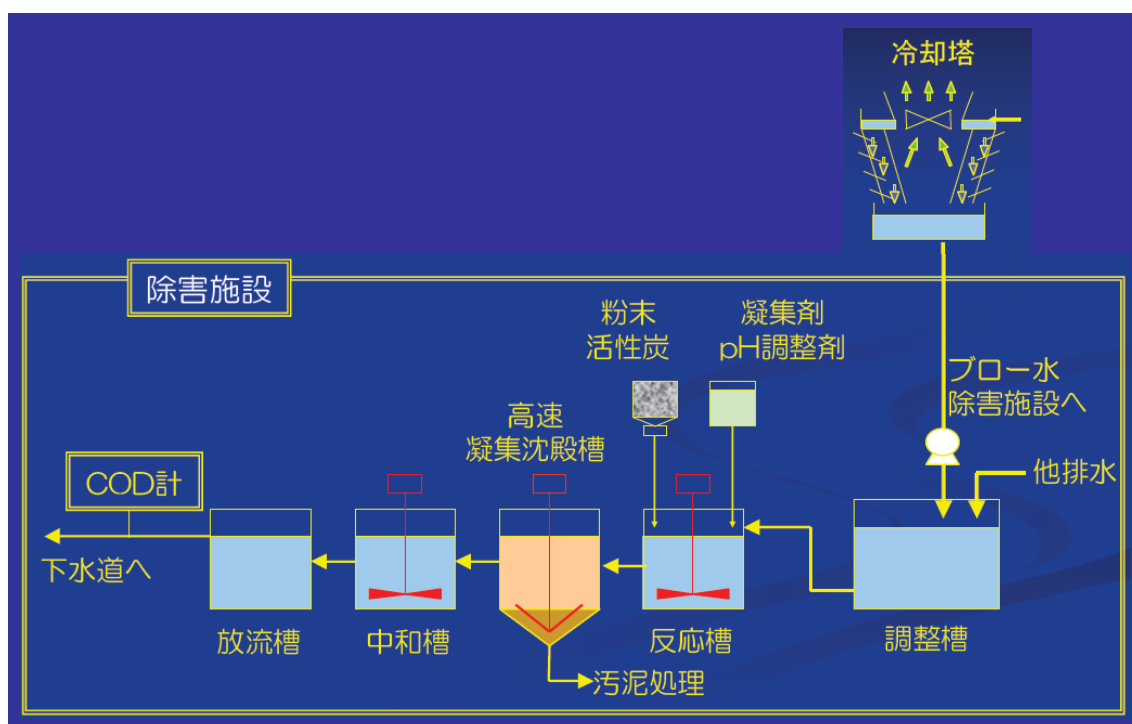


図 2-8 天然ガス火力発電所の排水処理設備例
(東京ガス横須賀パワーステーション)¹⁵

¹⁵ 株式会社東京ガス横須賀パワー「下水処理水工業用途利用の実例」

(取水) 1,260,000 復水器冷却 1,260,000 排水口 1,260,000 1,260,000 (排水) 東京湾へ

2日分を貯留 300 純水タンク 排熱回収ボイラ ボイラブロー水 100 大気へ 200 純水装置洗浄水 30 排水処理設備 620 公共下水道 650

2日分を貯留 330 純水装置 30 390 プラント内利用 390 プラント雑排水 30 720 上水タンク 30 所内利用 30 生活排水 30

750 30

Water balance diagram for the 2018 fiscal year. The diagram shows the flow of water from intake to various uses and finally to discharge. Key components include:

- Intake (取水):** 750 m³/day from the municipal water supply (上水道).
- Storage:**
 - Upper Water Tank (上水タンク): 2-day storage.
 - Pure Water Tank (純水タンク): 2-day storage.
- Plant Use (所内利用):** 30 m³/day.
- Plant Internal Use (プラント内利用):** 390 m³/day.
- Pure Water Device (純水装置):** 330 m³/day.
- Pure Water Tank (純水タンク):** 300 m³/day.
- Heat Recovery Boiler (排熱回収ボイラ):** 30 m³/day.
- Pure Water Device Wash Water (純水装置洗浄水):** 30 m³/day.
- Boiler Blowdown (ボイラーブロー水):** 200 m³/day, discharged to the atmosphere (大気へ) 100 m³/day.
- Plant Miscellaneous Discharge (プラント雑排水):** 390 m³/day.
- Life Discharge (生活排水):** 30 m³/day, discharged to the public sewerage (公共下水道).
- Wastewater Treatment Facility (排水処理設備):**
 - Receives 5,620 m³/day from Life Discharge.
 - Receives 4,800 m³/day from Cooling Tower Blowdown.
 - Receives 100 m³/day from Machine Cooling Discharge.
 - Receives 100 m³/day from Side Filter Wash Water.
 - Receives 5,000 m³/day from Cooling Tower Blowdown.
 - Receives 30 m³/day from Pure Water Tank.
 - Discharges 5,650 m³/day to the public sewerage.
- Cooling Tower Blowdown (冷却塔ブロー水):** 4,800 m³/day, discharged to the atmosphere (大気へ) 19,000 (80%) m³/day.
- Machine Cooling Discharge (機器冷却排水):** 100 m³/day.
- Side Filter Wash Water (サイドフィルタ洗浄水):** 100 m³/day.

※1日14時間運転 (m³/日)

30 / 281

2-6 環境基準への適応設備

ガスタービンコンバインドサイクル発電では、燃料ガスの燃焼に伴い排出される NO_x 等に代表される大気汚染物質の除去・拡散低減、ガスタービン及び蒸気タービンの駆動に伴う騒音の抑制などの環境汚染対策が必要になる。

以下、環境汚染対策として必要になる主要な設備を概説する。

(1) 脱硝装置

石炭や石油を燃料とする火力発電所では、NO_x、SO_x、煤じんの 3 つが主要な大気汚染物質として放出される。

しかし本技術検討調査で検討対象としている天然ガス発電所では、天然ガスが硫黄分等を含まないクリーンな燃料であるため、脱硫装置と集じん装置が不要であり、脱硝装置のみの簡素な排煙処理システムで済む点が特徴である。

東京都では環境確保条例にて窒素酸化物の排出濃度規制を行っていることから、以下の基準が適用される。

表 2-7 大気汚染防止法窒素酸化物排出基準一覧¹⁶

令別表第1の項番号	細番号	ばい煙発生施設の 種類	規模 〔最大定格 排出 ガス量 万 m ³ /時 (湿り)〕	標準 酸素 濃度 の 値 (%)	排出基準値 (単位 ppm)				
					S63.1.31 までに設 置	S63.2.1 ～ H1.7.31 に設置	H1.8.1 ～ H3.1.31 に設置	H3.2.1 ～ H6.1.31 に設置	H6.2.1 以降に設 置
29 ※21	①	ガス専焼 ガスタービン	4.5 以上 4.5 未満	16	基準なし	70 90	70	70	70
	②	液体燃焼 ガスタービン	4.5 以上 4.5 未満		基準なし	100 120	100	70	70
30 ※21	①	ディーゼル 機関 〔シリンダ内径 400mm 以上〕		13	基準なし	1600	1400	1200	1200
	②	ディーゼル 機関 〔シリンダ内径 400mm 未満〕			基準なし	950	950	950	950
31 ※21		ガス機関		0	H5.2.1 か ら 2000	2000	2000	1000	600
32 ※21		ガス機関		0	H5.2.1 か ら 2000	2000	2000	1000	600

¹⁶ 東京都環境局 大気汚染・悪臭関係基準集,平成 22 年 3 月

本検討の天然ガス焚火力発電所においては NO_x の排出濃度を 70ppm 以下に抑える必要がある。

現在ではガスタービンでのガス燃焼過程において NO_x を除去する低 NO_x 燃焼器を利用することが一般的であるほか、近年の大気汚染対策強化の流れを受け、脱硝装置も併せて用いられることが多い。現在、主流となっている脱硝法は、排気ガス中にアンモニア (NH_3) を吹き込み、触媒上で NO_x と反応させて窒素 (N_2) と水 (H_2O) に分解する選択接触還元法 (SCR 法) であり、天然ガスガスタービンコンバインドサイクルにおいては脱硝効率 90% 以上が達成できるなど高い脱硝効率を有するため、ほとんどの火力発電所で採用されている。

上記の還元反応は、 $200^\circ\text{C} \sim 400^\circ\text{C}$ の温度域で進行する。実際のプラントにおいて同様の温度域が得られるのはボイラ出口に相当するため、脱硝装置は通常、排熱回収ボイラ内で排気ガス温度 $300 \sim 400^\circ\text{C}$ となる位置に設置される。

なお、脱硝装置はアンモニアを還元剤として利用することから、別途アンモニア貯蔵タンクを設置する必要がある。

（２）タービン建屋・遮音壁

東京都環境局「騒音規制法の特定工場等に係る規制基準」により、工業地域（第４種区域）の敷地境界線では、６～８時は 60dB、８～19 時は 70dB、19～23 時は 60dB、23～6 時は 55dB に抑える必要があるため、騒音抑制設備としてタービン建屋、及び遮音壁が必要になる可能性がある。

川崎天然ガス発電所の環境アセス事例では、

- ・ガスタービン、蒸気タービン、発電機をエンクロージャーで覆う（図 2-1 1）
- ・ガスタービン吸気ダクト及び煙突に消音装置を設置（図 2-1 2）
- ・防音壁を設置（図 2-1 2）
- ・冷却塔に低騒音ファンを採用し、側面にルーバーを設置（図 2-1 3）

といった遮音対策により、敷地境界において、騒音の現況に対する増加値を 0～4dB 程度に軽減している。

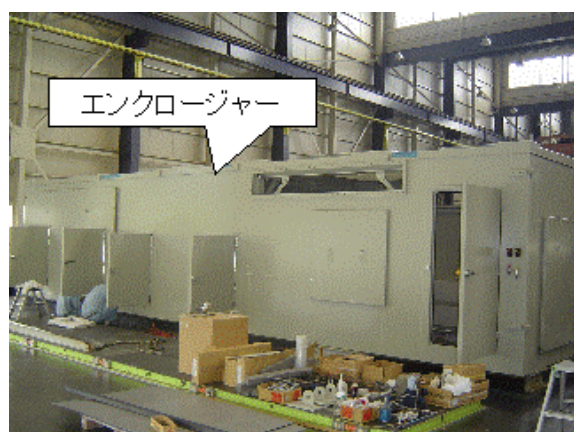


図 2-1 1 騒音対策設備の例（発電機用エンクロージャー¹⁷）

¹⁷ 株式会社たつみ電機製作所ウェブサイト



図 2-1 2 騒音対策設備の例（吸気ダクト用消音装置、防音壁¹⁸）

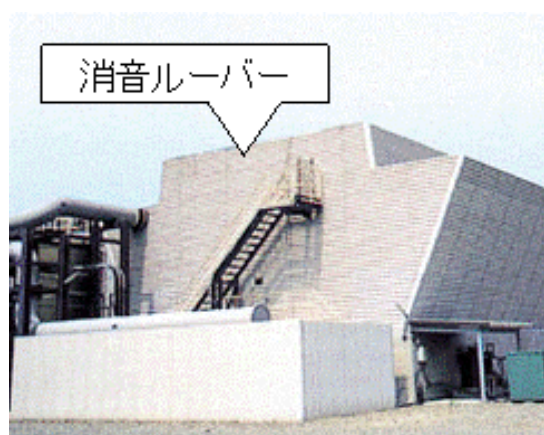


図 2-1 3 騒音対策設備の例（冷却塔用消音ルーバー¹⁹）

¹⁸ 株式会社コアディーゼルウェブサイト

¹⁹ 株式会社神鋼環境ソリューションウェブサイト

(3) 煙突

排気ガスを上空で排出すると、大気汚染物質の地表面到達時の単位面積当たり濃度を低くすることが出来るため、排出ガス濃度そのものの低減対策（脱硝等）に加えて、煙突についても一定の高さを確保しなくてはならない。

しかし、本調査の検討対象地 4 箇所は、いずれも羽田空港からの距離が近いため、航空法第 49 条の高さ制限が課せられている。

航空機が安全に離着陸するため、空港周辺には高さ制限が設けられており、これを「制限表面」と呼ぶ。制限表面を超える建物等の設置（クレーン作業等一時的なものを含む）は、航空法第 49 条により原則禁止されている。

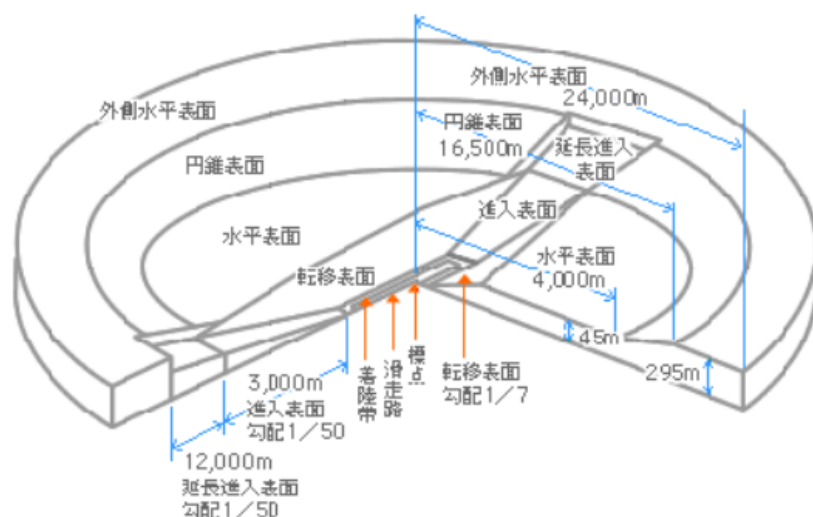


図 2-14 制限表面概略図

国土交通省によると、各検討対象地における高さ制限は以下のとおりである。

表 2-8 各検討対象地における建築物の高さ制限²⁰

検討対象地	高さ制限
中央防波堤外側埋立地	約 100m
砂町水再生センター用地①	約 220m
砂町水再生センター用地②	約 133m（東京ヘリポート制限表面にかかるため）
葛西水再生センター	約 200m

²⁰ 国土交通省航空局回答書（2011 年 10 月 25 日）

航空法上の高さ制限により、煙突高さは 100m～200m 程度に抑える必要があるため、実際の建設時には、周囲の建築物に対する建物ダウンウォッシュ²¹が発生しないように、煙突出口の形状の工夫、吐出速度を高めるなどの措置を講じる必要があるが、今回の検討対象地においては、周辺構造物の 2.5 倍以上の高さが十分確保できる。

²¹ 排出されるガスの吐出速度が周囲の風速よりも小さく、また、排煙温度が低い場合には、煙はあまり上昇せず、煙突の背後の気流の変化によって生じる渦に巻き込まれて降下することがある。この現象をダウンウォッシュと呼ぶ。煙の大気拡散現象を表す用語。煙突高さが周辺構造物の高さの 2.5 倍以下の場合、煙突排気が影響を受け、数 km 先の地表に流れる現象を検討する必要がある。

2-7 地盤の状況

本節では、既存の地盤評価データを基に、発電所設備の基盤整備の基本的な考え方を示す。

本節の分析に使用した文献は次の通り。

表 2-9 地盤評価に用いた既存調査文献

	中央防波堤外側埋立地	砂町水再生センター用地①	砂町水再生センター用地②	葛西水再生センター
文献	● 東京都港湾局東京港建設事務所 沖合埋立地整備課：平成 20 年度航空保安無線施設（江東 LDA）基礎建設工事	● 東京都下水道局・大洋地下調査株式会社：砂町水再生センター砂系ポンプ棟雨水放流渠地質調査報告書（平成 20 年 2 月）		● 東京都下水道局・川崎地質株式会社：葛西処理場（南）土質調査その 1～その 3（昭和 60 年 3 月～63 年 1 月）

(1) 地盤データ

■中央防波堤外側埋立地

平成 20 年の調査において原地盤面の埋土層から支持層となる **Tog** 層²²まで連続した土質情報が得られている No.12 のボーリングデータを代表断面として採用した。

土質データは、次に示す土層区分のような層序となっているが、表層から AP-18m まではゴミ堆積層が厚く堆積している。その下部に軟弱な有楽町層粘性土層が続いている。



図 2-15 中央防波堤 ボーリング位置

²²東京礫層の土質は砂礫・礫混じり砂から構成され、連続して分布している。含有礫は径 30mm 以下が主体で、最大径は 60～70mm 程度である。N 値はどれも 60 以上を示し、換算 N 値の平均地値は 186 で、非常に密の締りである。

標尺	地質区分		層厚 (m)	N値	粘着力c (kN/m ²)
-6	-	埋立土 (ゴミ層)	24	0 (評価外)	0 (評価外)
-4					
-2					
0					
2					
4					
6					
8					
10					
12					
14					
16					
18					
20	-	粘土層	28	2	60
22					
24					
26					
28					
30					
32					
34					
36					
38					
40					
42					
44					
46					
48	-	砂層	10	26	0
50					
52					
54					
56					
58	-	粘土層	6	17	180
60					
62	-	砂層	2	25	0
66	-	粘土層	8	10	180
68					
70					
72					
74					
76	-	礫層 (支持層)	8	50以上	0
78					
78					
80					

図 2-16 土質データ（中央防波堤外側埋立地²³）

²³ 「平成 20 年度航空保安無線施設（江東 LDA）基礎建設工事」（発注主：東京都港湾局）より作成。詳細な土質柱状図については巻末「土質柱状図（中央防波堤外側埋立地）」参照。

■砂町水再生センター用地①、②

平成 20 年の調査において原地盤の埋土層から支持層となる **Tog** 層まで連続した土質情報が得られている No.5 のボーリングデータを代表断面として採用した。

土質データは表層から 14m 程度はいずれも緩い砂質土からなる埋立土質、有楽町層上部砂質土層が続いている。これらの層では液状化の可能性が高く、地盤改良が必要となる。



図 2-17 砂町水再生センターボーリング位置

標尺	地質区分		層厚 (m)	N値	粘着力c (kN/m2)	
-4	RI	埋立土層	8	10	10	
-2						
0						
2						
4						
6	YuUS	有楽町層 上部砂質土層	6	5	0	
8						
10						
12	YuLc	有楽町層 下部粘性土層	10	2	54	
14						
16						
18						
20			18		93	
22						
24						
26						
28						
30						
32						
34						
36						
38						
40	NaC	七号地層 粘性土層	4	9	110	
42						
44	ToUs	東京層 上部砂質土層	6	40	0	
46						
48						
50	ToUc	東京層 上部粘性土層	6	10	130	
52						
54						
56	ToLc	東京層 下部粘性土層	8	10	180	
58						
60						
62						
64	Tog	東京礫層 (支持層)	8	50以上	0	
66						
68						
70						

図 2-18 土質データ (砂町水再生センター①、②²⁴)

²⁴ 「砂町水再生センター砂系ポンプ棟雨水放流渠地質調査」より作成。
 詳細な土質柱状図については巻末「土質柱状図 (砂町水再生センター用地①、②)」参照

■葛西水再生センター用地

昭和 60 年の調査において原地盤面の埋土層から支持層となる Nags 層²⁵まで連続した土質情報が得られている No.2 地点を代表断面として採用した。

土質データは、表層から 15m の範囲において緩い砂質土からなる埋立土層（一部は有楽町層上部砂質土層）が続く構造となっている。そのため、地震時の液状化などに対して対策を実施する必要がある。



図 2-19 葛西水再生センター用地 ボーリング位置

²⁵七合地層の基底礫層で細砂～砂礫より成る。礫径は総じて小さく Max ϕ 30m 程度で 10m 前後の円礫主体である。分布深度は、ほぼ同程度、「非常に密」である。

標尺	地質区分		層厚 (m)	N値	粘着力 _c (kN/m ²)
0	Rsc	埋土	10	5	10
2					
4					
6					
8					
10					
12	As1	細砂	2	12	0
14	Ac2	シルト質細砂	4	4	60
16					
18	Ac2	シルト	22	1	60
20					
22					
24					
26					
28					
30					
32					
34					
36					
38					
40	Ac2	シルト	2	3	60
42	Nac	粘土	2	5	80
44	Nac	砂質シルト	2	4	80
46	Nas	細砂	2	15	0
48	Nac	砂質シルト	6	10	80
50					
52					
54	Nac	シルト湿り細砂	4	20	80
56					
58	Nac	粘土	2	18	80
60	Nags	細砂 (支持層)	8	50以上	0
62					
64					
66					

図 2-20 土質データ（葛西水再生センター用地）²⁶

²⁶ 「葛西処理場（南）土質調査その1～その3（昭和60年3月～63年1月）」より作成。詳細な土質柱状図については巻末「土質柱状図（葛西再生センター用地）」参照

(2) 基礎工の工法

発電所の基礎形状としては、直接基礎と杭基礎の2形式に大別される。

表 2-10 発電所の基礎方式²⁷

	直接基礎	杭基礎
概要	● ケーソンなどにより、浅い深度に位置する支持層の直上に基礎を設置し、上載荷重を支持する形式。	● 多数の杭を深い深度に位置する支持層に根入れし、上載荷重を伝達することで、支持層から得る先端支持力と、杭の周面地盤から得る摩擦力により、上載荷重を支持する形式。
特徴	● 浅い地層（深度 10m～20m）に良好な支持層が存在する場合に適する。	● 支持層が深い場合には工期、コスト面から適する。

支持層の決定ならびに基礎工の設計は、地盤条件によってのみ決まるものではなく、構造物の規模、重要度、並びに基礎工の経済性などを考慮して総合的に判断される。

前項で整理したように、荒川河口部周辺に立地する砂町水再生センター用地①・②、葛西水再生センター用地では、表層直下の埋土層の下から深度 38m まで、軟弱なシルト質の有楽町土層が堆積しており、浅い地層に良好な支持層が存在しない。

また、中央防波堤外側埋立地は、地表面から深度 18m までが一般廃棄物等のゴミによる埋土層となっており、本立地においても浅い地層に良好な支持層が存在しない。

従って、浅い地層に存在する支持層により上部構造物の荷重を支える直接基礎形式を採用することは困難であった。

以降、本検討においては、発電所設備の支持形式として「杭基礎」を対象として検討するものとした。

²⁷ 社団法人電力土木技術協会編「火力・原子力発電所土木構造物の設計」pp.469-471 を基に日本総研作成

（３）液状化対策

検討対象とした 5 箇所では、地表面近傍に緩い地層が存在し、かついずれも河川や海岸に近く、地下水位も高いことから、地震時の液状化リスクが想定される。

地震時の液状化対策としては、過剰間隙水圧の早期の消散を促すための砂杭打設が一般的であり、サンドコンパクションパイル（SCP：sand compaction pile）工法が広く用いられている。

SCP 工法は、直径 40 cm ほどの鋼管（ケーシング）を、頭部につけたバイブロハンマーの打撃によって地中に貫入させ、所定の深さに達した後にケーシング内に砂を補給しながら、砂の貫入作業を繰り返すことによって、直径 70 cm 程度の締め固められた砂杭を一定の間隔で形成し、それに伴って周囲の地盤を締め固める工法である。①密度の増加、②水平土圧の増加、および③繰返しせん断による粒子構造の安定化によって液状化抵抗を増加させる効果がある。

最近では、この工法の問題点である振動・騒音を軽減するため、ケーシングを静的にひねりながら押し込む工法（SAVE コンポーザー工法）も開発され、適用範囲が広がっており、住宅地や既存構造物が近隣に存在する立地では、本工法の採用も考えられる。

なお、中央防波堤外側埋立地においては、検討対象地が廃棄物処分場内にあるため、処分場としての機能や構造に影響を与えない工法について、詳細設計等において、検討・検証する必要がある。

（４）津波・高潮・洪水時の対策

発電所建設にあたっては、津波・高潮・洪水時の安全性を考慮する必要がある。そのため、各検討対象地の地盤高やパラペット及び防潮堤等の計画高との比較により、安全性の検証を行った。

平成 3 年の東京都防災会議では、東京港の津波高の調査検討を行い、津波想定高については、朔望平均満潮時の水位として A.P.+3.3m（津波高：1.2m）を想定している。

平成 17 年中央防災会議（内閣府）では、東京湾内での最高津波高は、東京湾内に設定した直下地震の際に発生する津波の場合で、朔望平均満潮時の水位として、A.P.+2.6m程度としている。

また、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災による津波については、晴海での実測値で A.P.+2.72mが計測されている。

そのため、本検討での津波想定高については、最も危険側の数値である平成 3 年の東京都防災会議による津波想定高 A.P.+3.3m を採用することとした。

東京都の高潮対策としては、中央防波堤外側埋立地の計画高潮位は A.P.+4.0m、隅田川以東の河川の計画高潮位は A.P.+5.1m となっている。

なお、検討対象地に隣接する荒川（砂町水再生センター用地①・②）および中川（葛西水際センター用地）の計画高水位（洪水時の水位）は計画高潮位より低い状況である。

以上より、高潮時の水位（A.P.+5.1m）が津波想定高（A.P.+3.3m）より高いことから、現在のパラペットや防潮堤等の計画高は、計画高潮位に波の打上高等を加えたもので設定されている。

そのため、本検討においては、高潮時の水位と検討対象地の地盤高や防潮堤高等を比較し、安全性を検証する。

発電所検討対象地 4 箇所における現状地盤高及びパラペットの整備計画高や防潮堤の計画高と高潮・津波時の水位等の関係図（イメージ図）は次の通りである。

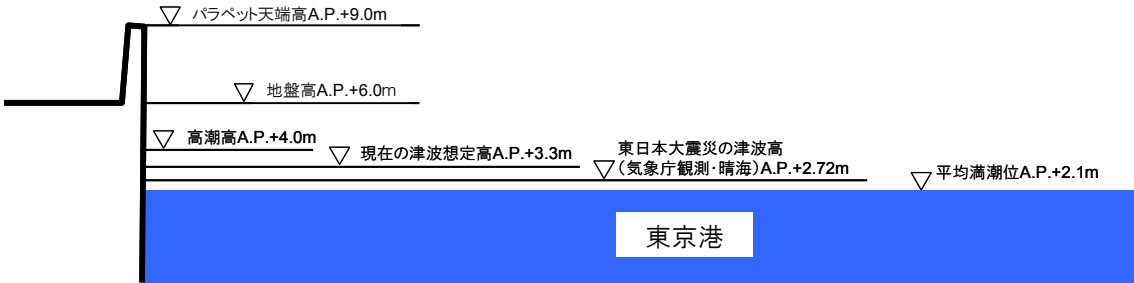


図 2-2-1 現状地盤高及びパラペット天端高と高潮・津波時の水位の関係図（イメージ図）

28

中央防波堤外側断面（中央防波堤外側埋立地（その 2）東側断面）

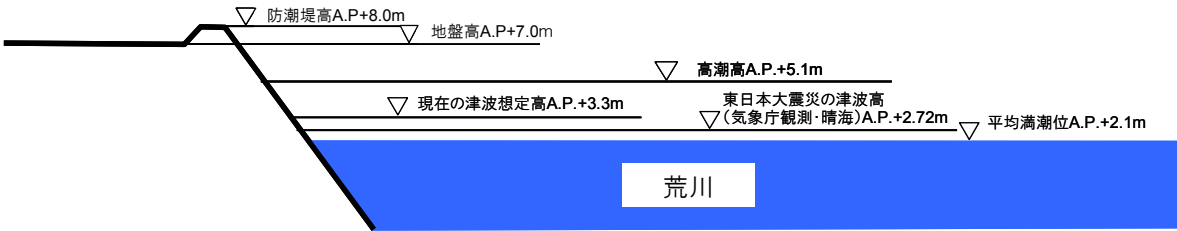


図 2-2-2 現状地盤高及び防潮堤高と高潮・津波時の水位の関係図（イメージ図）²⁹

砂町水再生センター用地①荒川側断面

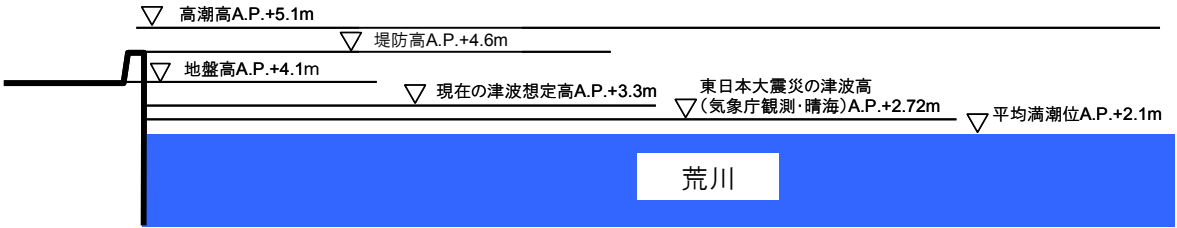


図 2-2-3 現状地盤高及び堤防高と高潮・津波時の水位の関係図（イメージ図）³⁰

砂町水再生センター用地②荒川側断面

²⁸東京都防災会議（平成 3 年）資料をもとに日本総研作成

²⁹東京都防災会議（平成 3 年）資料をもとに日本総研作成

³⁰東京都防災会議（平成 3 年）資料をもとに日本総研作成

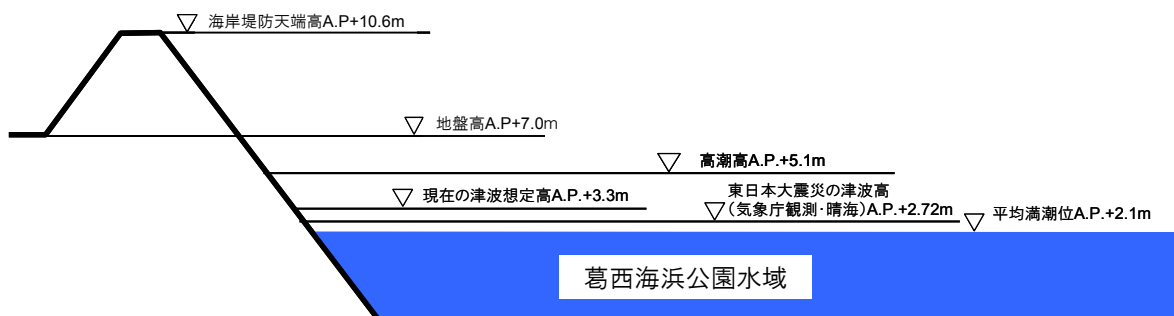


図 2-2 4 現状地盤高及び海岸堤防天端高と高潮・津波時の水位の関係図（イメージ図）³¹
葛西水再生センター用地海側断面

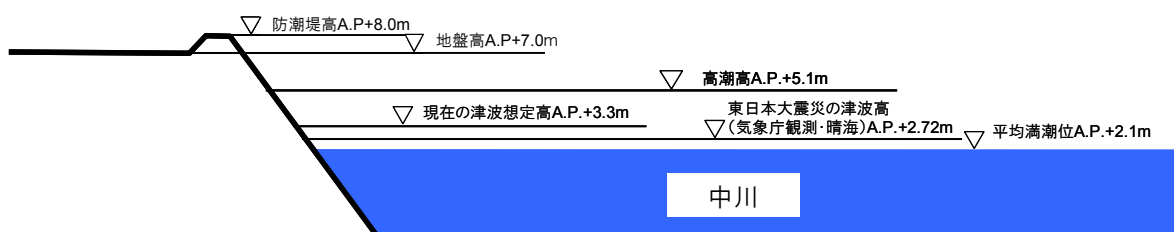


図 2-2 5 現状地盤高及び防潮堤高と高潮・津波時の水位の関係図（イメージ図）³²
葛西水再生センター用地中川断面

現状の断面図（イメージ図）のとおりに中央防波堤外側埋立地、砂町水再生センター用地①、葛西水再生センター用地については十分な地盤高や堤防高が取れているが、砂町水再生センター用地②については津波想定高よりも地盤が低くなっている。安全面を見ると他の候補地と同程度の地盤高が必要であり、砂町水再生センター用地②は、現状地盤高の A.P.+4.1m から A.P.+6.0m まで 1.9m 程度の盛土及び A.P.+8m の堤防かさ上げが必要である。

³¹東京都防災会議（平成 3 年）資料をもとに日本総研作成

³²東京都防災会議（平成 3 年）資料をもとに日本総研作成

表 2-1 1 発電所検討対象地 4 箇所の地盤嵩上げ検討表

候補地	パラペット天端高・防潮堤高等 (地盤高)	比較	計画高 (計画高潮位)	護岸・地盤嵩上げ
中央防波堤外 側埋立地	パラペット天端高 A.P.+9.0m (A.P. +6.0m)	$\geq$	A.P.+9.0m (A.P.+4.0m)	不要
砂町水再生セ ンター用地①	防潮堤高 P.8.0m (A.P. +7.0m)	$\geq$	A.P.+ 8.0m (A.P.+5.1m)	不要
砂町水再生セ ンター用地②	現況堤防高 A.P.+4.6m (A.P. +4.1m)	<	計画高なし (A.P.+5.1m)	必要
葛西水再生セ ンター用地	<海側断面> 海岸堤防天端高 A.P.+10.6m (A.P. +7.0m)	$\geq$	A.P.+10.6m (A.P.+5.1m)	不要
	<中川断面> 防潮堤高 A.P.+8.0m (A.P. +7.0m)	$\geq$	A.P.+8.0m (A.P.+5.1m)	不要