

コンバインドサイクル発電プラント“HISTAG”

Combined Cycle Power Plant (HISTAG)

最近、ミドル負荷用発電プラントの必要性が増大しつつあるが、日立製作所では、これらの要求を満たすべく、かねてから着手していたコンバインドプラント“HISTAG”の開発を完了し、その製作態勢を整えている。“HISTAG”プラントは、大容量ガスタービン(70～90MW級)を中心とした排熱回収形コンバインドプラントであり、従来の超臨界圧火力プラントに優る高い熱効率をもつとともに、環境保全が考慮されたプラントである。ガスタービンを中心としているため、特にプラント運用性に優れ、夜間停止後の再起動は全負荷まで45～50分と短い。ガスタービンの運転台数の切替えにより、低負荷高効率運転が可能である。

坂井 彰* Sakai Akira

乾 泰二* Inui Taiji

徳永賢治** Tokunaga Kenji

1 緒言

最近の電力需要の傾向は、安定経済成長時代を迎え生活水準の向上に伴い、年々、ピーク負荷の尖鋭化が進んでいる。

一方、原子力発電所、超臨界圧大容量火力発電所の運転開始により、ベース負荷用発電プラントの電源構成に占める比率が大きくなってきた。

したがって、特にミドル負荷運用機種の必要性が増大し、それに適応する新しい発電機種の開発に電力関係者の努力が向けられている。

一方、環境保全に対する社会全般の意識と要求の増大もまた、最近における顕著な特徴の一つである。

“HISTAG”プラントは、大容量(70～90MW)ガスタービンを利用した、排熱回収形コンバインドサイクル発電プラントであり(Hitachi Combined Steam And Gas Turbineの略)、これらの必要性を満たし、電力系統のミドル～ベース負荷機種として最適な発電プラントである。日立製作所は、かねてより着手していたこの“HISTAG”プラントの開発を完了し、標準化によりその製作態勢を整えている。また、海外ではこのSTAGプラントは、日立製作所がガスタービンにおいて業務提携をしているアメリカのゼネラル・エレクトリック社(GE社)により、アメリカを中心に現在までに24プラント、5,500MW以上が受注され、内12プラントが順調に営業運転を行なっている。

2 “HISTAG”プラントの基本構成

“HISTAG”プラントは、図1に示すように複数台の大容量ガスタービンと、それぞれのガスタービンに1缶ずつ設置される排熱回収蒸気発生器及びその発生蒸気によって駆動される1機の蒸気タービンとから構成される排熱回収形コンバインドサイクル発電プラントである。排熱回収蒸気発生器で少量の助燃を行なう場合(FIRED)と助燃を行なわない場合(UNFIRED)とがある。表1に60Hz及び50Hzの“HISTAG”プラントの標準形式と出力を示す。

ガスタービンの構成台数により、プラント出力は約100MWから600MWと幅広く選択されるが、各プラントの特性及び性能は基本的に同一である。

プラントシリーズ番号は、例えば207Eは、7001E形ガスタービン2機により構成されるSTAGプラントであることを示す。

3 “HISTAG”プラントの特長

“HISTAG”プラントの特長について次に述べる。

(1) 高効率、省資源形の発電プラントである。

定格出力時の熱効率は、後述の表3に示すように、送電端熱効率で40～41%と従来の超臨界圧火力プラント(約39～40%)に優る高効率である。

(2) 運転特性が良好で、ミドル負荷運用に適する。

(a) 400～500MW級のユニットでも、夜間8時間停止の場合、点火より全負荷まで約45～50分で達成できる(従来火力の起動時間：2～3時間)。また起動損失が少なく、頻繁な起動停止運用に対して非常に有効である。

(b) ガスタービンの急速負荷追従性が反映され、系統要求に速く応答できる²⁾。

(c) 最低負荷を20%以下と低くとれ、同時にガスタービンの運転台数を適切に切り替えることにより、低負荷・高効率運転が可能である。これにより、年間平均熱効率は更に向上する。

(3) 温排水量が少ない。

特に助燃なしプラントでは、全発電出力のうち蒸気タービンが占める割合は約30%であり、温排水量は同一容量の火力発電所と比べ、約45～60%と少ない。したがって、“HISTAG”プラントは特に、温排水量の制約の厳しい内陸発電所や、既設発電所の増設に最適である。

(4) 環境保全にも十分な考慮が払われている。

ガスタービンでは一般に軽油、灯油、ナフサ又はLNG(液化天然ガス)などの硫黄分が少ない良質の燃料が使用されるため、硫酸化物の排出は極めて少ない。

なお、長時間連続運転が行なわれる“HISTAG”プラントでは原油、重油などのより低価格な燃料を焚くことが望まれる。この場合には、燃料中のNa、K、Vなどの金属含有量により燃料前処理装置の要否が決定される。

また、排ガス中の窒素酸化物についても、燃焼器への適量の蒸気噴射、又は水噴射により、更に、排熱回収蒸気発生器の中に排煙脱硝装置をその適切なガス温度領域に組み入れることにより約10ppm程度に減少させられる。

騒音対策については、電子計算機による総合騒音マップの作成、無響音室でのモデル試験などにより個々の特有の立地条件に合わせた対策を行なっている。

* 日立製作所電力事業本部 ** 日立製作所日立工場

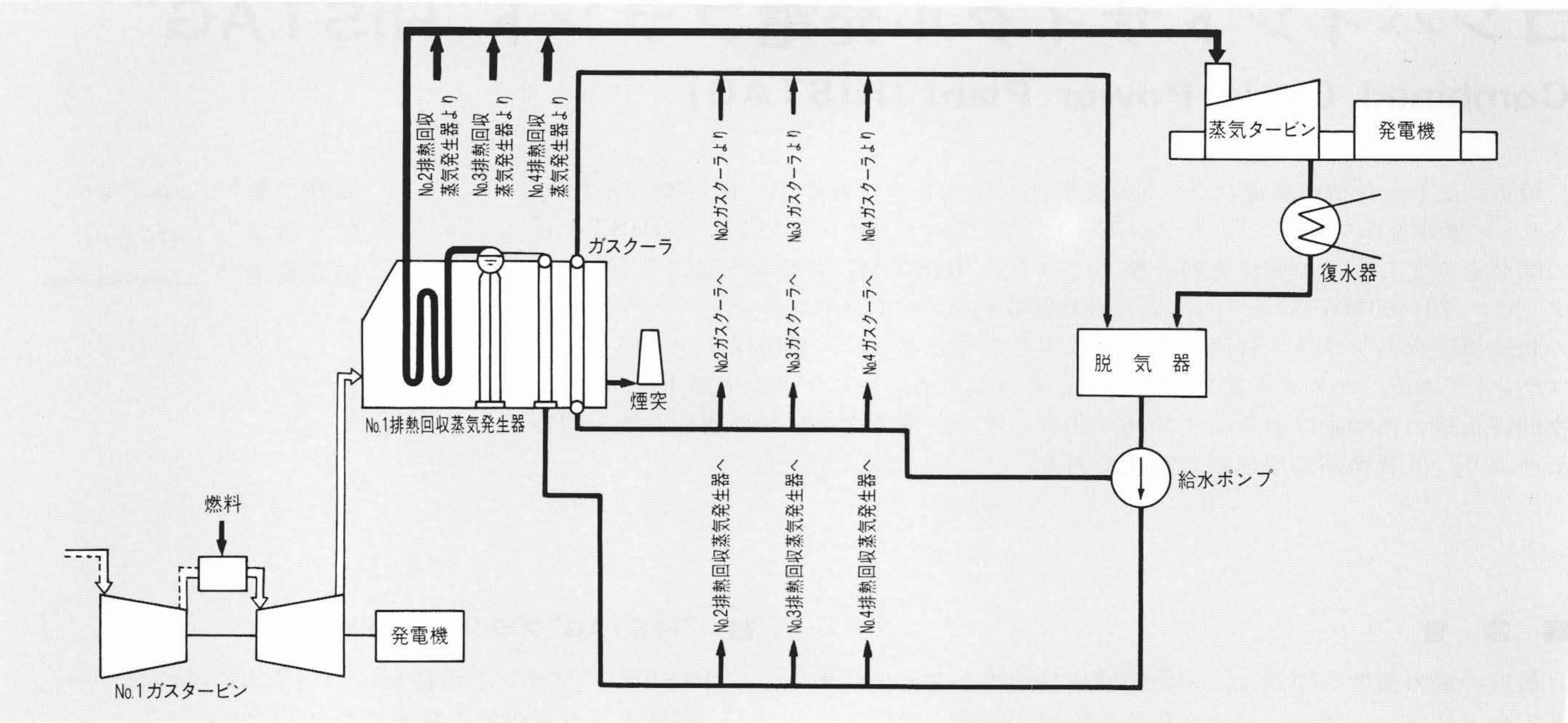


図1 “HISTAG”プラントの基本系統 “HISTAG”プラントは複数機のカスタービンと、それに付随する排熱回収蒸気発生器及び1台の蒸気タービンから構成される。

表1 “HISTAG”プラント標準形式と出力表 カスタービンの構成台数により合計出力は約100MWから約600MWと幅広く選択されるが、各プラントの特性及び性能は基本的に同一である。

(a) 60Hz用

シリーズNo.	ガ ス タ ー ビ ン			蒸 気 タ ー ビ ン			合計出力 (MW)
	形 式	台数	出力(MW)	形 式	台数	出力(MW)	
STAG207E	MS7001E	2	140	TCDF-23N (TCDF-20N)	1	111 (59)	251 (199)
STAG307E	"	3	210	TCDF-26N (TCDF-23N)	"	167 (88)	377 (298)
STAG407E	"	4	280	TC4F-23K (TCDF-26N)	"	222 (118)	502 (398)
STAG507E	"	5	350	TC4F-26K (TC4F-20K)	"	278 (147)	628 (497)

注：1.大気条件 1.033ata 15℃ 2.ガスタービン ベース負荷、インジェクション=0%、排煙脱硝装置付
3.復水器真空 722mmHg 4.括弧外はFIRED、括弧内はUNFIREDの場合を示す。

(b) 50Hz用

シリーズNo.	ガ ス タ ー ビ ン			蒸 気 タ ー ビ ン			合計出力 (MW)
	形 式	台数	出力(MW)	形 式	台数	出力(MW)	
STAG109B	MS9001B	1	80	SF-23 (SF-20)	1	71 (36)	151 (116)
STAG209B	"	2	159	TCDF-23N (TCDF-20N)	"	142 (72)	301 (231)
STAG309B	"	3	239	TC4F-20K (TCDF-23N)	"	213 (108)	452 (347)
STAG409B	"	4	319	TC4F-23K (TCDF-26N)	"	284 (144)	603 (463)

(5) 建設性が良好である。

プラント運転開始まで約2～2.5年と短納期である。ガスタービンだけをピークロード用としてまず運転に入れ、その後適当な時期に第2期として蒸気タービンプラントを建設する(2期建設)ことにより、建設中の利子負担が軽減され、投資効率が良くなる。

パッケージ化されたガスタービン、低床架台蒸気タービンの採用により、土木建築費が従来火力発電所に比べ減少する。

(6) その他の特長

更に、この“HISTAG”プラントはシステムの構成が簡単で、かつ低温低圧ボイラ、及びタービンであり運転保守が容易である。

4 “HISTAG”プラント計画例

(1) “HISTAG”プラント計画の一例として、70MW級MS-7001E

形ガスタービン4台と、120MW級蒸気タービンとを組み合わせた非助燃“HISTAG”407Eプラント(60Hz地区用)について次に述べる。

4台のガスタービンは、各々単独運転も可能である。このガスタービンの排気ガス約530℃を各々の排熱回収蒸気発生器に導入し56atg、477～455℃の蒸気を発生する。排熱回収蒸気発生器で助燃を行なう場合には88atg、510℃の蒸気を発生する。蒸気タービンは、120MW級非再熱復水タービンである。

表2に各主要機器の仕様を、表3にユニット全体を組み合わせたプラントの性能を、また図2に発電所全体の配置を示す。

(2) 同様に、表2、3に90MW級MS-9001B形ガスタービン3台を利用した非助燃“HISTAG”309B(50Hz地区用)の主機仕様、及びプラントの性能を併せ示す。

(3) “HISTAG”プラントに使用されるガスタービンは、日立-GEパッケージ式ガスタービンMS7001形(70MW級、60Hz用)、

表2 “HISTAG”プラント主機仕様 “HISTAG”407E(60Hz用), 同309B(50Hz用)非助燃プラントの各主機の仕様を示す。

項 目	単 位	“HISTAG”407E	“HISTAG”309B
1. 発電機端出力 ガスタービン(ピーク) 蒸気タービン	kW kW	280,440 117,700	238,890 108,300
合 計	kW	398,140	347,190
2. ガスタービン 台 数 形 式 出 力(1台当たり)	台 — kW	4 MS7001E 70,110	3 MS9001B 79,630
3. 蒸気発生器 台 数 形 式 蒸 発 量	台 — t/h	4 自然循環排熱回収形 107.5	3 同 左 132.0
4. 蒸気タービン 台 数 形 式 蒸 気 圧 力 蒸 気 温 度	台 — kg/cm ² G °C	1 TCDF-26N 56 455	1 TCDF-23N 56 455

及びMS9001形(90MW級, 50Hz用)である。図3にMS9001形ガスタービンの断面図を示す。

“HISTAG”プラント用排熱回収蒸気発生器は、自然循環形蒸気発生器で低温のガスによる熱交換器のため特に水冷壁を設けず、また各伝熱管にはスペースファクタの良いフィン付チューブを採用している。図4にその一例を示す。

“HISTAG”プラント用蒸気タービンは、特に高頻度起動停止及び急速起動に適した構造を採用している。また配置上ガスタービンと協調をとるため低床形の蒸気タービンとし、復水器は横置形としている³⁾。図5にその一例を示す。

5 “HISTAG”プラントの運転及び自動化

“HISTAG”プラントは、複数台のガスタービン発電機と1台

表3 “HISTAG”プラント性能表 送電端熱効率が極めて高い。

プ ラ ン ト	単 位	HISTAG 407E	HISTAG 309B
1. 助燃の有無	—	な し	な し
2. ガスタービン負荷	—	ベース	ベース
3. 発電機端出力 ガスタービン出力 蒸気タービン出力	kW kW	280,440 117,700	238,890 108,300
プラント総出力	kW	398,140	347,190
4. 所 内 率	%	1.1	1.1
5. 主蒸気圧力	kg/cm ² G	56	56
6. 主蒸気温度	°C	455	455
7. 主蒸気流量	kg/h/台	107.5	132.0
8. 最終給水温度	°C	109.6	109.6
9. 復水器真空度	mmHg	722	722
10. ガスタービン燃料消費量	kg/h/台	18,900	22,890
11. 蒸気発生器燃料消費量	kg/h/台	—	—
12. 発電端熱消費率(HHV)	kcal/kWh	2,054	2,139
13. 熱 効 率	%	41.87	40.21
14. 送電端熱消費率(HHV)	kcal/kWh	2,077	2,163
15. 熱 効 率	%	41.41	39.76

注：1. 大気条件 1.033ata 15°C
2. ガスタービン インジェクション=0%, 排煙脱硝装置付
3. 燃料は軽油とし、高位発熱量/低位発熱量=1.06とする。

の蒸気タービン発電機とにより構成されており、それぞれの発電機は独立しているので幅広い運転を行なうことができる。日立製作所ではこの特長を生かし、更に運転の自動化を進めるためにデジタル・アナログのハイブリッド計算機により“HISTAG”プラントのシミュレーションを実施し、動特性解析、制御特性解析と最適制御方式の探索を行ない²⁾、独自の自動制御方式(Auto STAGと名付けた)を開発した⁴⁾。この“Auto STAG”制御装置により“HISTAG”プラントは2～3名の運転員によって起動・停止ができる。

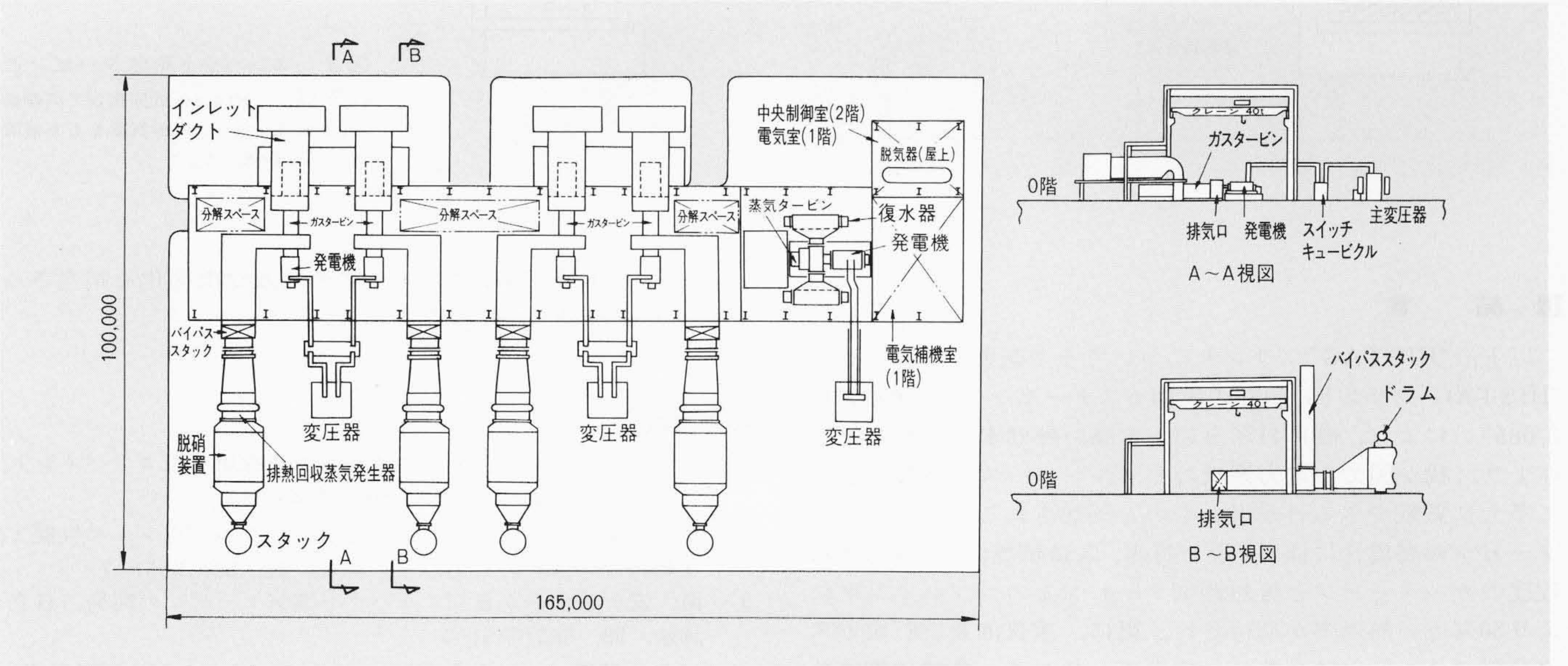


図2 “HISTAG”407Eプラント全体配置図 ガスタービン4台と蒸気タービンとがコンパクトに配置されている。

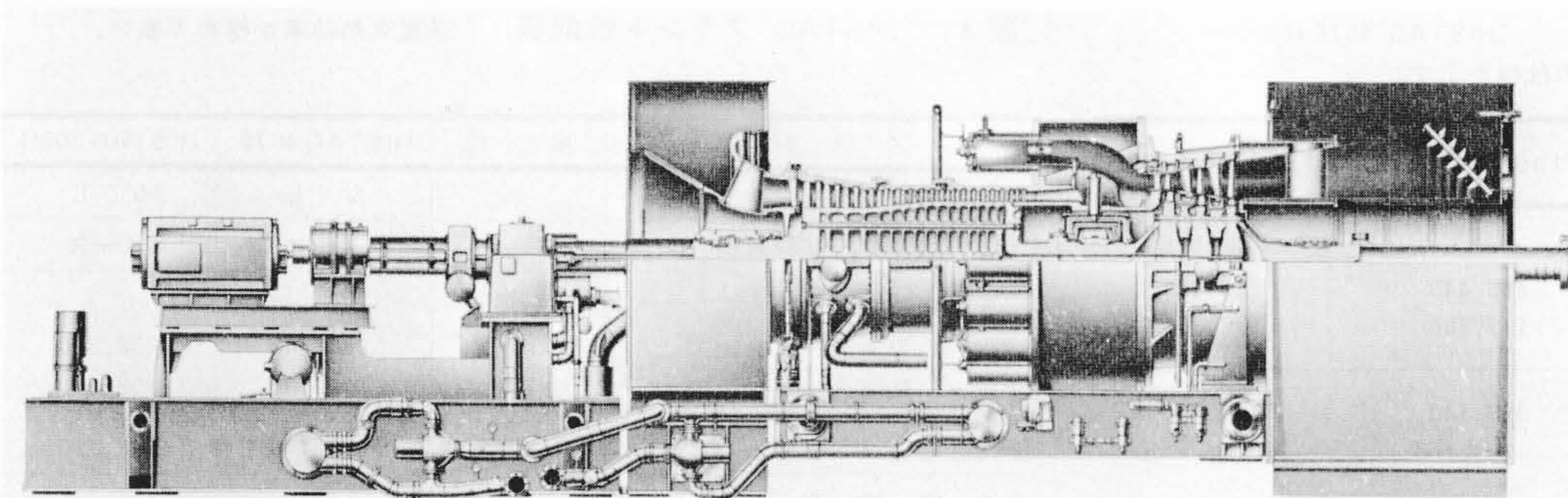


図3 MS-9001形ガスタービン断面図 MS-9001形ガスタービンは、50Hz専用機の90MW級大容量・高効率ガスタービンである。

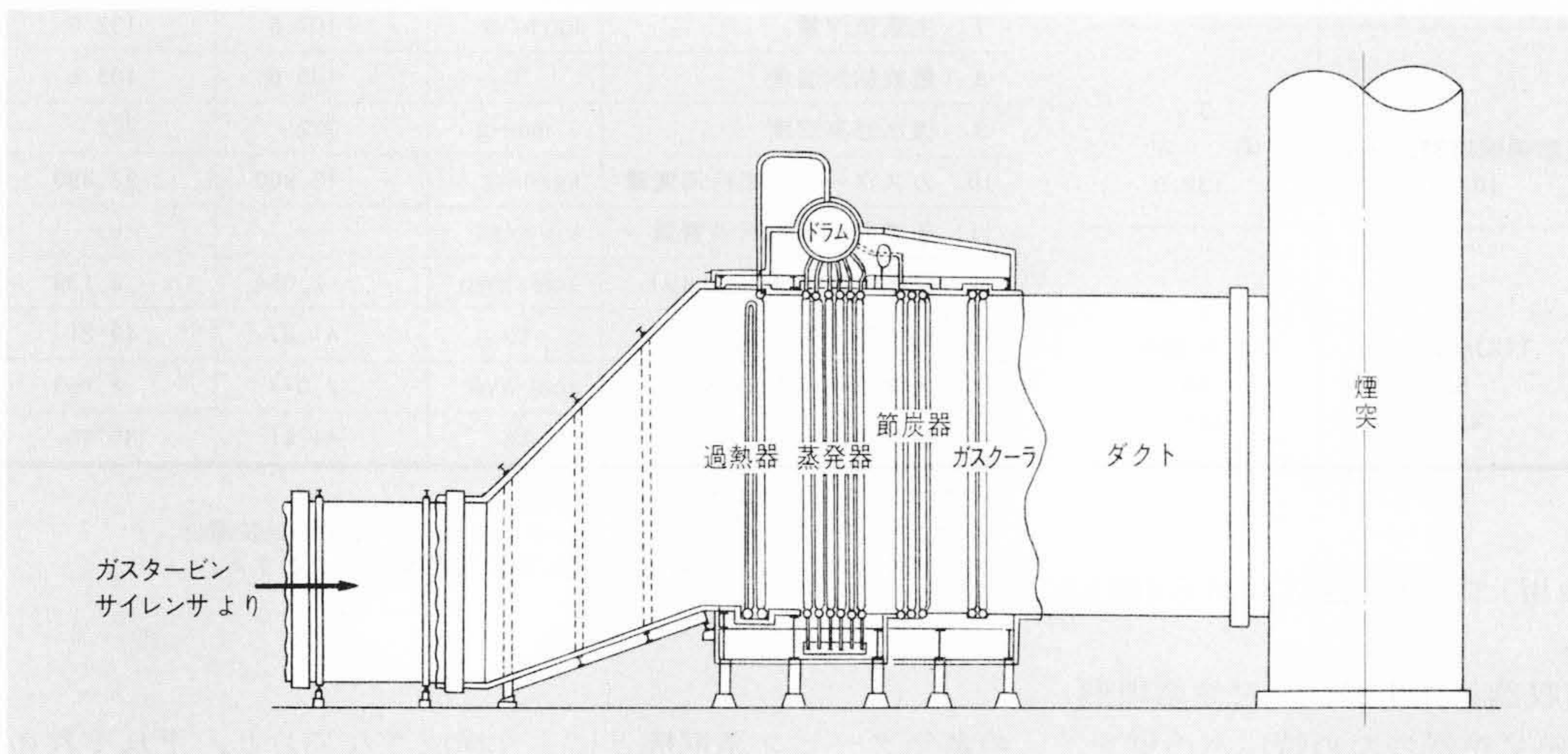


図4 排熱回収蒸気発生器断面図 水冷壁を設けず伝熱管にはフィン付チューブを採用している。

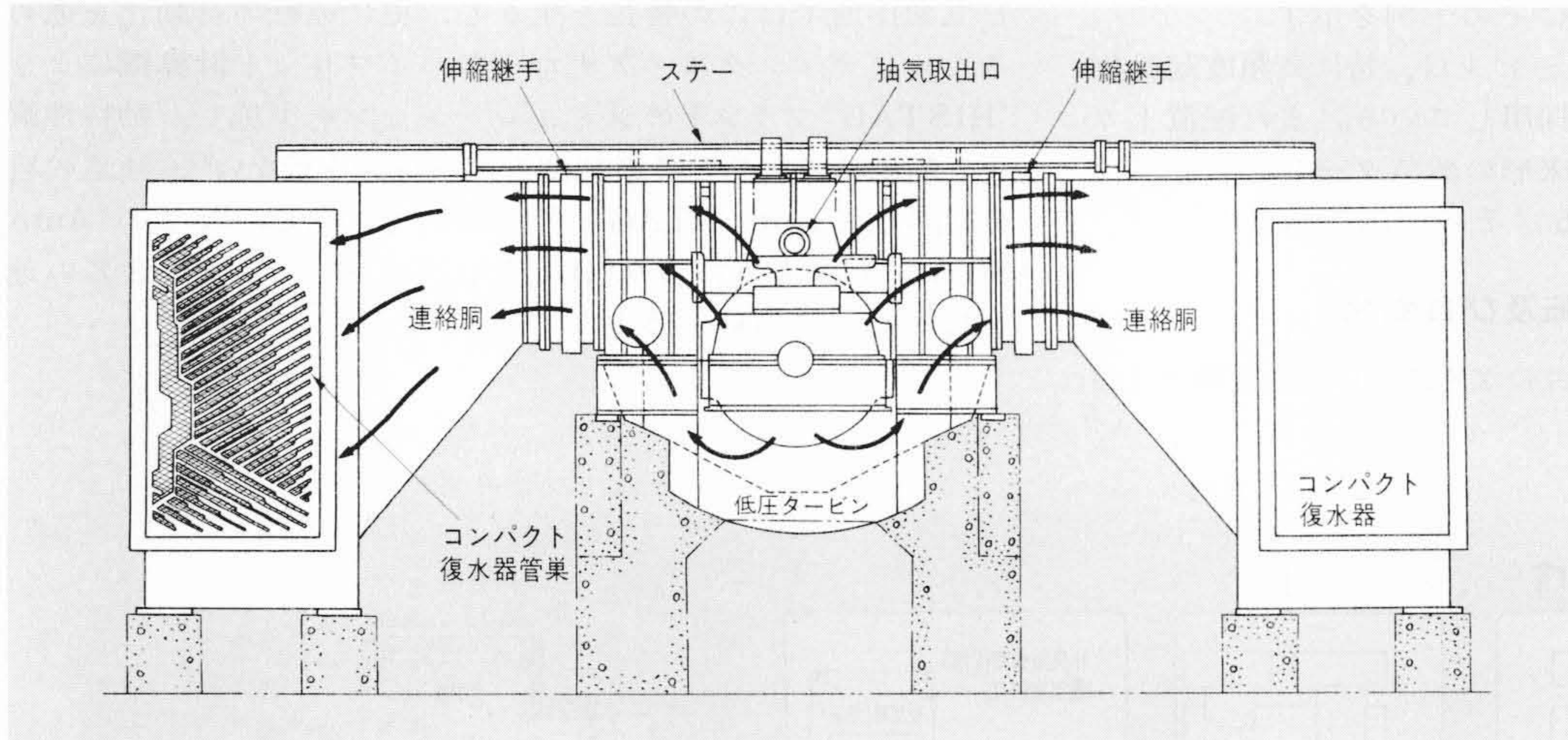


図5 コンパクト蒸気タービンと復水器 約4mの低床架台で両側排気(Side Exhaust)の排気室をもち横置復水器を設置した。

6 結 言

以上，“HISTAG”プラントについてその概要を紹介した。“HISTAG”プラントは現在の実用ガスタービン(入口燃焼温度 $1,085^{\circ}\text{C}$)により、既に41%を超える高い熱効率と優れた運用性より、我が国でも電力系統のミドル～ベース負荷機種として多大に貢献できる日が近いものと予想される。また、ガスタービンの高温化に伴い、近い将来、入口燃焼温度が $1,300^{\circ}\text{C}$ 程度のガスタービンと再熱蒸気タービンとのコンバインドにより50%近い熱効率が期待され、更に、重質油及び石炭ガス化発電プラントと結合され、将来のエネルギー事情に最適な発電プラントの一つとして広く応用されるものと考えている。

終わりに“HISTAG”プラントの開発及び標準化を担当された関係各位の努力に対し深謝する。

参考文献

- 1) 浦田, 坂井ほか: 大形ガスタービンを採用したコンバインド(STAG), 日立評論, 56, 1069(昭49-11)
- 2) 内山, 中村ほか: 蒸気-ガス複合サイクルプラントの性能と運転特性の解析, 火力原子力発電, 27, 627(昭51-7)
- 3) 滝, 安ヶ平ほか: 日立コンパクト蒸気タービンの開発, 日立評論, 58, 565(昭51-7)
- 4) 松村, 目黒ほか: 大容量コンバインドプラントの制御方式, 日立評論, 59, 201(昭52-3)