

大容量ガスタービンの特長

Features of Large Capacity Gas Turbines

Hitachi-GE 70,000 kW large capacity heavy duty gas turbines are basically of the same characteristics as its predecessor type, Model Series 5001. However, in the new type, with the increase in capacity, several new functions have been incorporated in respect to performance and construction. Its design emphasis has been placed in making it display the features of a package type gas turbine to the full in its service at power plant. This article discusses some features of Model Series 7001, 70,000 kW package type gas turbines completed recently at Hitachi from the structural and production viewpoints.

柳沼 效* *Isao Yaginuma*
 滝川和夫* *Kazuo Takikawa*

1 緒 言

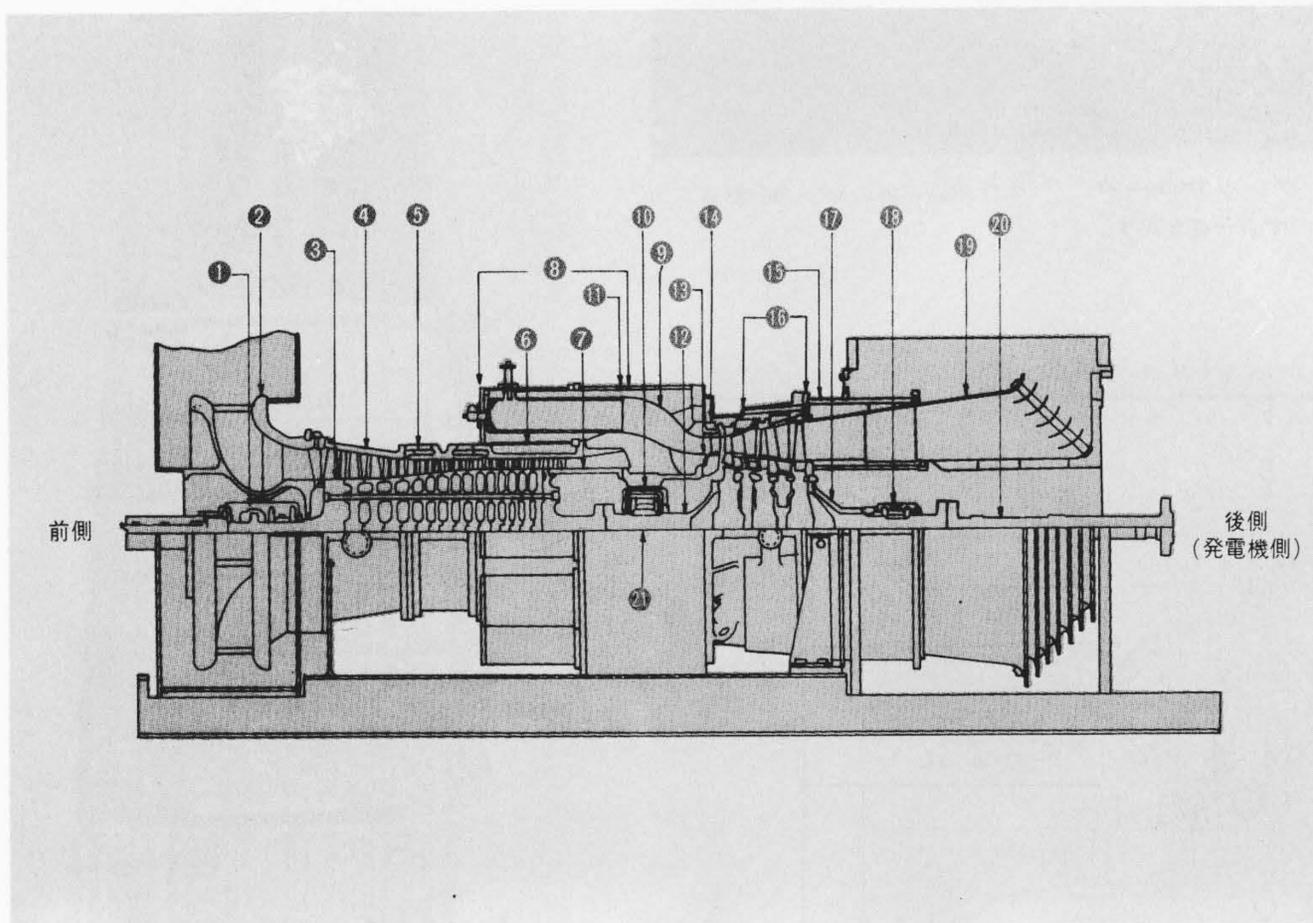
最近の電力需要の大形化に備えガスタービンも大容量化の傾向をたどっているが、今回日立製作所日立工場では初の大容量70,000kWガスタービンを完成した。本大容量ガスタービンは、モデルシリーズ7001形と呼ばれる日立-G.E.パッケージ形ガスタービンで、アメリカG.E.社より注文を受け製作に鋭意努力を傾けてきたものである。本ガスタービンは過去の多くの実績を基に日立製作所およびG.E.社のたゆまない技術開発の結果として最新の技術を集大成し製作した高性能、高信頼性を有する大形発電用重負荷ガスタービンである。ここ

では本ガスタービンの製作構造上よりみた特長につき、その概要を紹介する。

2 大容量ガスタービンの構造概要

2.1 ガスタービン本体

図1は本大容量ガスタービンの主要部の断面図を示すものである。このガスタービンは開放単純サイクル1軸式で、圧縮機とタービンは直結され3個の軸受で支持される構造となっている。特に第2軸受にはオイルリフト付軸受を採用して



番号	名 称
①	No.1ベアリング
②	入口ケーシング
③	コンプレッサロータ
④	前部ケーシング
⑤	後部ケーシング
⑥	吐出しケーシング
⑦	インナバーレル
⑧	コンバッションエリア 燃料ノズル 点火プラグ フレームディテクタ コンバッションカバー コンバッションライナ コンバッションケーシング
⑨	トランジションピース
⑩	No.2ベアリング
⑪	コンバッションラップ
⑫	タービンロータ
⑬	サポートリング
⑭	第1段ノズル
⑮	エグゾーストフード
⑯	タービンエリア ケーシング 第1段シュラウド 第2段シュラウド 第3段シュラウド 第2段ノズルおよびダイヤフラム 第3段ノズルおよびダイヤフラム
⑰	エアコン
⑱	No.3ベアリング
⑲	排気ディフューザ
⑳	ロードカップリング
㉑	ユニットロータ

図1 MS-7001形日立ガスタービン断面図 MS-7001形日立ガスタービンを構成している主要部名称を断面図により示す。

Fig. 1 MS-7001 Gas Turbine Package Component Arrangement

* 日立製作所日立工場

おり、タービン起動時に軸受に $105\text{ kg/cm}^2\text{g}$ の油圧をかけ、軸を持ち上げ起動トルクの軽減を図っている。また第3軸受に関しては、ロータ軸の安定を考慮したテルティングパット式ピボット軸受を採用している。本ガスタービンの回転速度は、 $3,600\text{ rpm}$ でタービンと発電機との間に減速機を入れない構造となっており、そのまま 60 Hz 発電機(2極)と直結し運転することが可能である。したがって潤滑油系統も概略 $25,000\text{ kW}$ 級のものとはほぼ同一容量のものが採用されている。主タービンは、軸流衝動式で3段より構成される。タービン動翼は応力および熱的に過酷な条件下におかれるので、全段とも精密鋳造によるロングシャंक翼が採用されている。圧縮機は17段より構成されており、1段ごとのデスクを通しボルトで締め付けて組み立てる構造となっている。また圧縮機の低速範囲におけるサージングおよび施回失速を防止するために入口案内羽根を可変にし、さらに5段と11段に抽気口を設けている。図2はガスタービンロータおよびコンプレッサロータを示すものである。

2.2 タービン第1段動翼および第1段静翼の空冷

本大容量ガスタービンでは効率向上を図るために、単に第1段静翼の空冷を行なうだけでなく、第1段動翼にも空冷方式を採用している。この第1段動翼の空冷方式により、タービン入口ガス温度はベースロード定格で 982°C 、ピークロード定格で $1,066^\circ\text{C}$ まで上昇しており、効率もピークロード定格で 31% と高いものになっている。以下にこの空冷方式の詳細について述べる。図3はガスタービン冷却およびシール空気系統図を示すものである。

2.2.1 タービン第1段動翼の空冷

タービン第1段動翼の空冷は動翼のダブテール部、翼内部を貫通する小孔群を介し、翼内面を冷却することにより行なわれる。冷却後の空気は頂部にあけられた穴より1段後のホットガス流と合流する。図4は第1段動翼の冷却孔を示すものである。

2.2.2 第1段静翼の空冷

第1段静翼の冷却空気は圧縮機出口空気より導入され、静

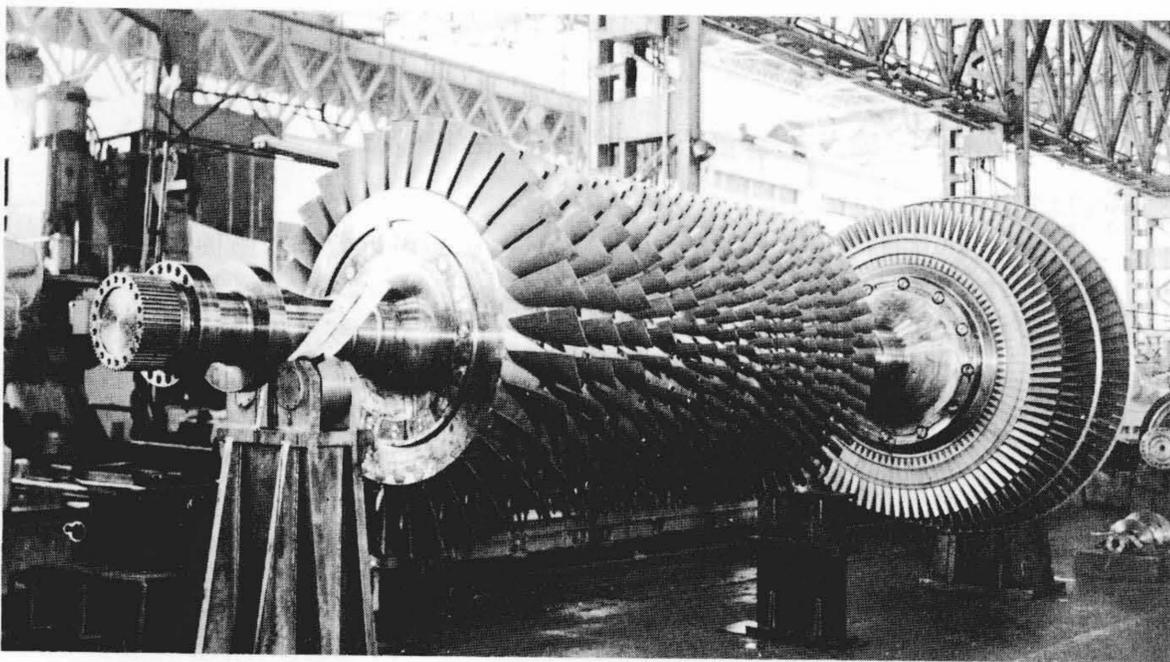


図2 ガスタービンロータおよびコンプレッサロータ MS-700I形日立ガスタービンのタービンロータおよびコンプレッサロータを示す。

Fig. 2 Gas Turbine Rotor Assembly

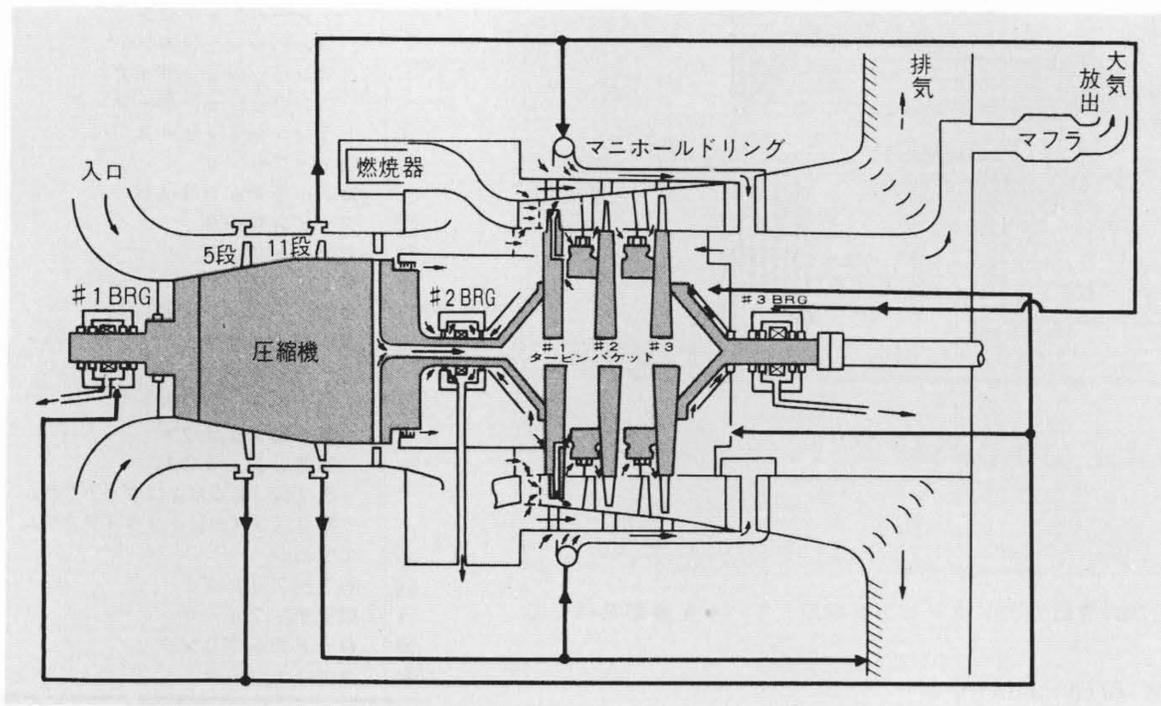


図3 冷却およびシール空気系統図 MS-700I形日立ガスタービン本体関係の冷却空気およびシール空気系統図を示す。

Fig. 3 Schematic Piping Diagram for Cooling and Sealing Air

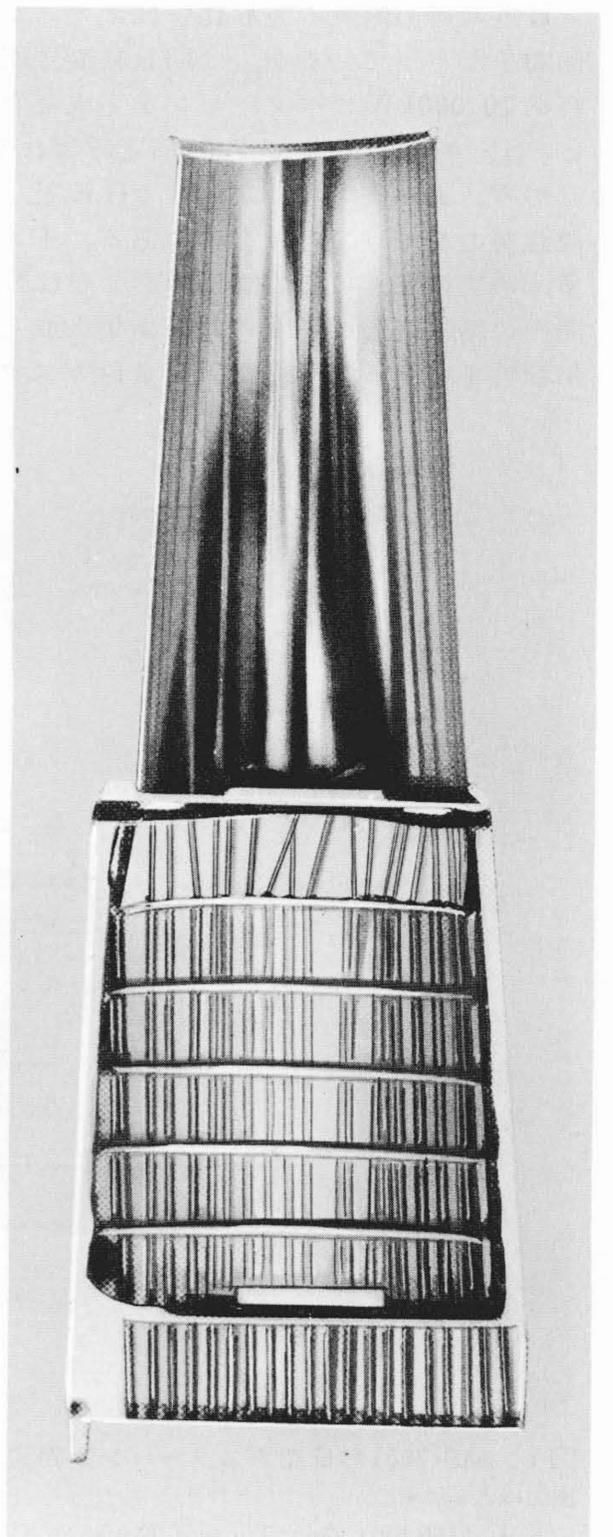


図4 タービン第1段動翼 MS-700I形日立ガスタービン第1段動翼の内部冷却孔の詳細を断面写真により示す。

Fig. 4 The 1st Stage Turbine Bucket

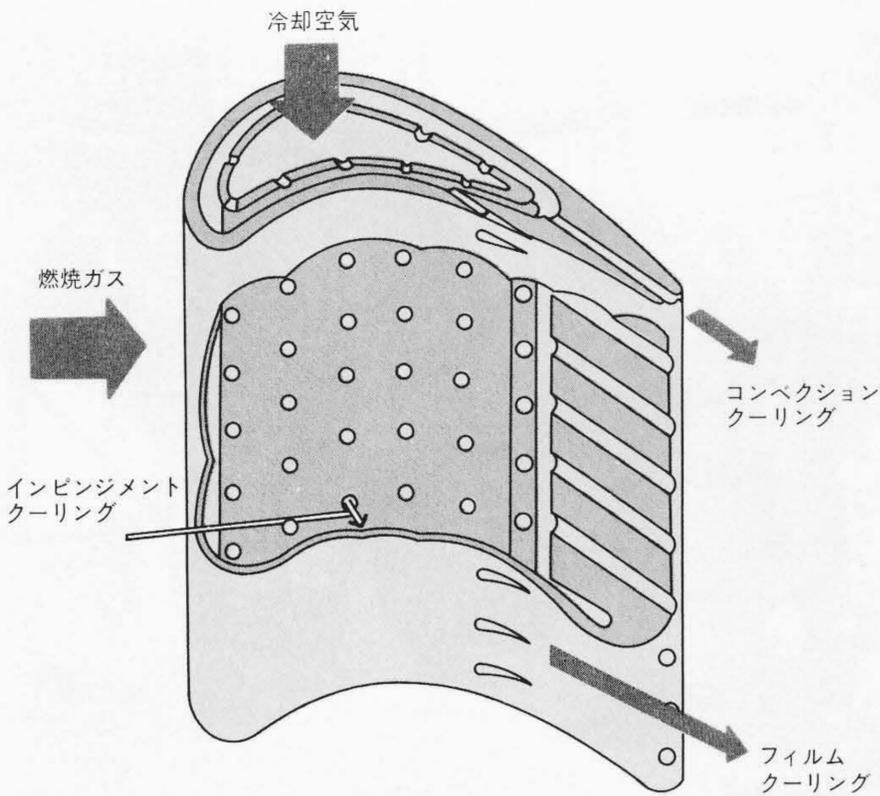


図5 第1段静翼内部冷却図 MS-7001形日立ガスタービンの第1段静翼内部冷却詳細図を示す。

Fig. 5 Cooling Path Arrangement for the 1st Stage Nozzle

翼内部シートメタル内側に入り、シートメタルにあけられた小円孔を通してノズル翼内側の壁にあたり冷却を行ない、その空気は他の冷却と合流し、翼トレリングエッジに設けられた小孔を介し側面對流冷却を行ない第1段動翼へ排出される。なお、一部の空気は翼面腹側より排出され、トレリングエッジのフィルムクーリングを行なう。図5は第1段静翼の内部冷却図を示すものである。

2.3 タービンロータの冷却

タービンロータの冷却は下記のような方式で行なわれる。

2.3.1 第1段前側、後側ホイールスペース

前側ホイールスペースは、タービンコンプレッサ吐出し部におけるパッキンリークを利用し冷却する。後側ホイールスペースはタービンコンプレッサ16段から抽気を行ない、その抽気をロータ内部を経てタービンホイールとスペーサの間隙(げき)に通し冷却する。

2.3.2 第2段前側、後側ホイールスペース

前側ホイールスペースは、第1段ホイールスペースからスペーサラビリンスを通しリークする空気により冷却する。後側ホイールスペースは第16段内部抽気を利用し冷却する。

2.3.3 第3段前側、後側ホイールスペース

前側ホイールスペースは第2段後ホイールスペースからスペーサラビリンスを通してリークする空気により冷却する。後側ホイールスペースは、タービンシェルを冷却したのちの出口空気を利用し冷却する。

これらの冷却方法を採用することによりタービン起動時の急激な温度上昇にも十分対処することが可能である。

2.4 燃焼器

燃焼器は10個のキャニユラタイプの燃焼ライナで構成され、煙の無煙化を図るために低圧空気噴霧方式およびタービュレータ付燃焼ノズルを採用し、無公害、完全燃焼に努めている。この燃焼器ライナは、燃焼器外筒およびそれに接続するラッパと呼ばれる半割の胴体内部に組み込まれている。図6は燃焼器の組立図を示すものである。

2.5 ガスタービンケーシング

ガスタービンの主要部本体を形成するコンプレッサおよびタービンケーシングは内部の点検、保守を容易にするために水平2分割の構造となっている。また部分的な開放点検を可能にするために、入口ケーシング、中間ケーシング、中間後ケーシング、吐出しケーシング、タービンケーシング、排気フレーム、燃焼室にそれぞれ分けられている。タービンロータは3軸受で支持され、それぞれの軸受は入口ケーシング、吐出しケーシング、排気フレームに組み込まれている。特に第2軸受にはオイルリフト構造を採用し、起動時のトルクの軽減を図っている。圧縮機は25,000kW級ガスタービンの圧縮機をスケールアップした設計となっているため、基本的に同様のケーシング構造となっているが、タービンケーシングは、タービンが3段落となるため新構造となっており、壁温の高温化を防ぐため圧縮機の10段抽気にて冷却されている。またこの抽気はエジェクタ効果によりパッケージ内の空気を吸入する方式となっており、パッケージ内の換気にも効果的である。図7はバーティカルアライメント中のケーシングを、図8はタービンベースに組付け直前のタービンケーシングを示すものである。

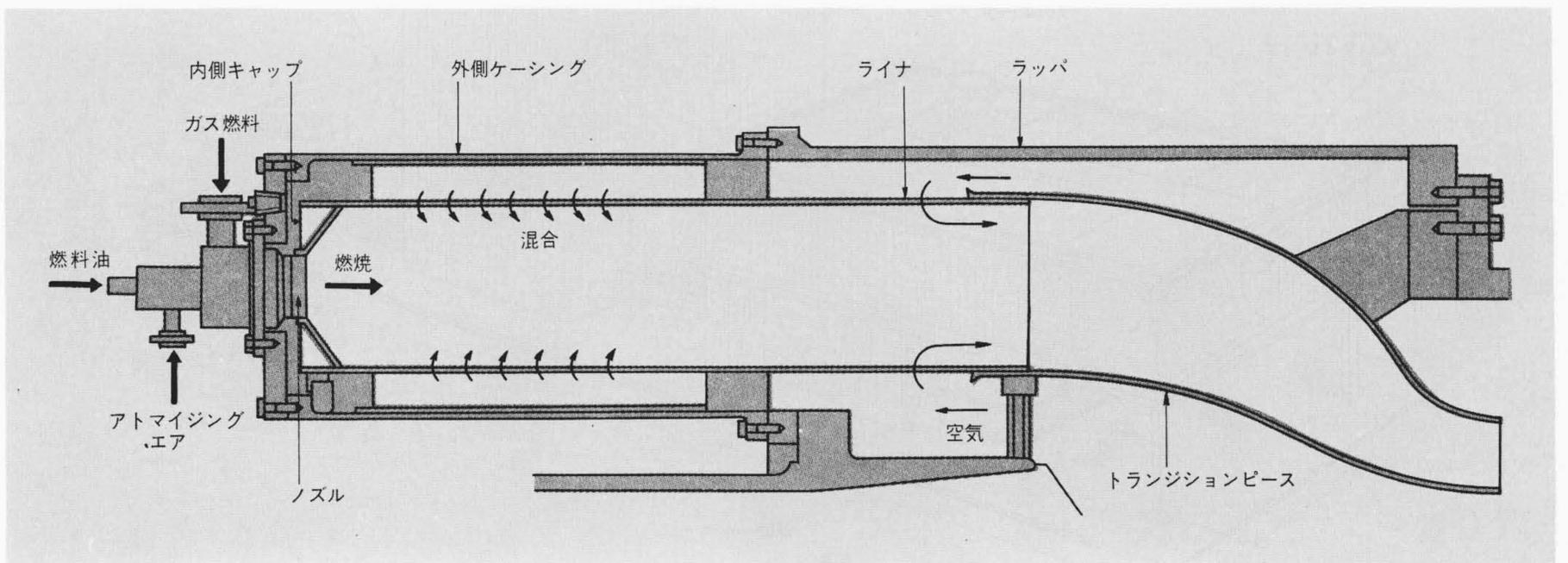


図6 燃焼器組立詳細図 MS-7001形日立ガスタービンの燃焼器、燃焼器ライナの組立詳細および燃焼状態を示す。

Fig. 6 Details of Combustion Chamber

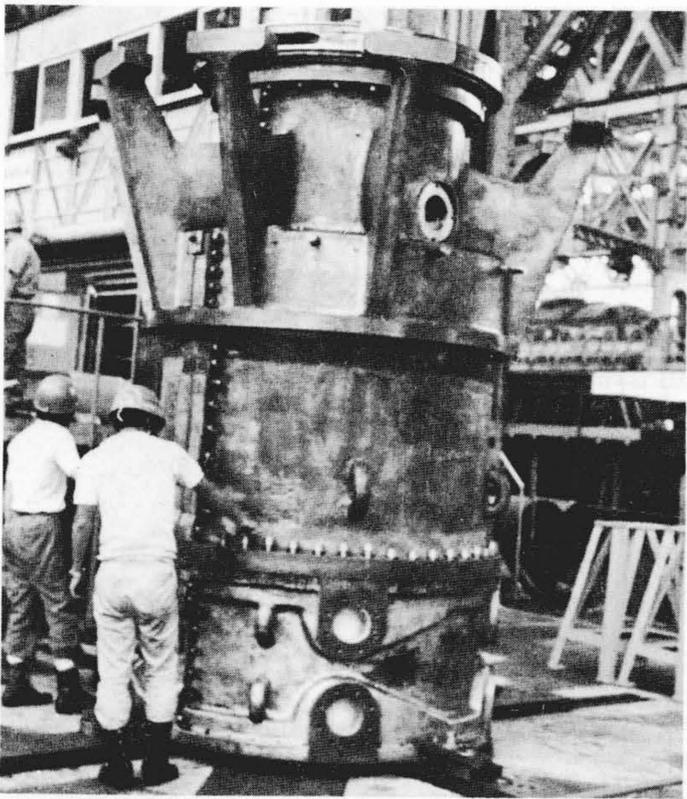


図7 ケーシングのパーティカルアライメント
工場におけるパーティカルアライメント中のケーシングを示す。
Fig. 7 Turbine Casing on Vertical Alignment

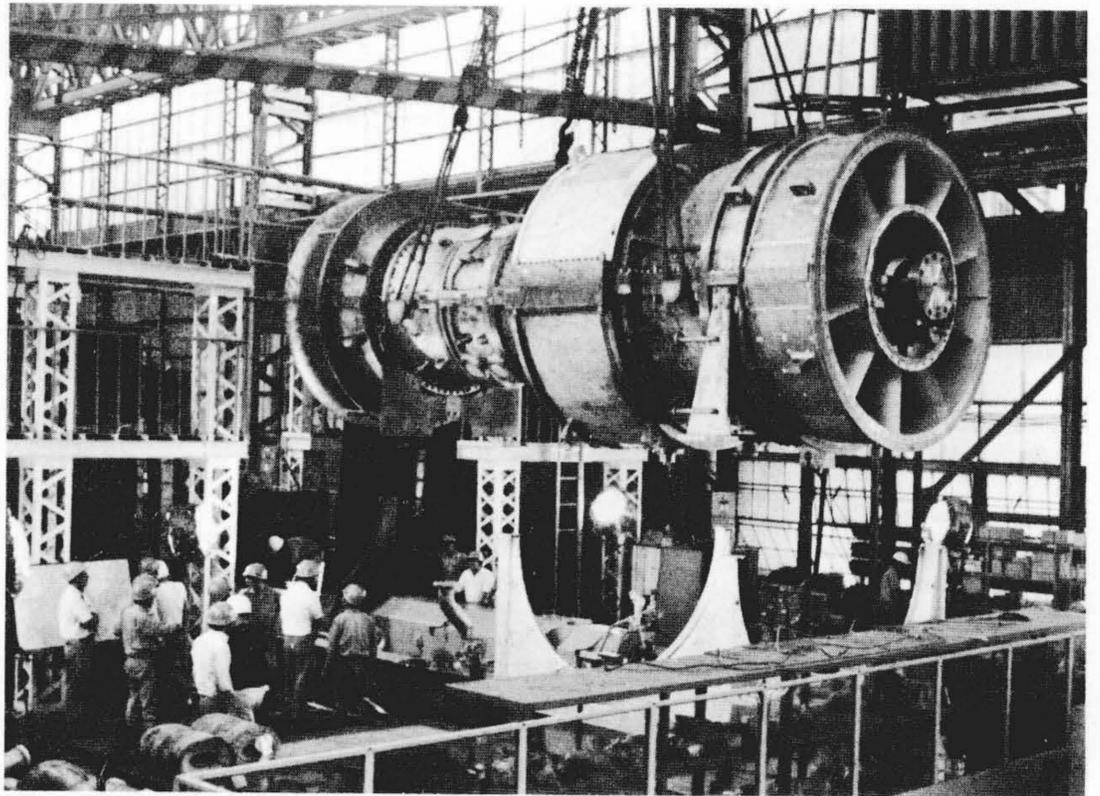


図8 ガスタービンケーシング 工場におけるタービンベース上に据付け直前のガスタービンケーシングを示す。
Fig. 8 Gas Turbine Casing Assembly

3 大容量ガスタービンパッケージパワープラントの構成

3.1 小形コンパクト化

本機も日立-G.E.ガスタービンの特長である小形コンパクト化されたパッケージ形構成となっており、輸送の容易さはもちろんのこと、工場で完全に組立試験完了後そのまま現地発電所まで輸送されるので、現地据(すえ)付作業は各パッケージとの直結、センターリング、電気配線、その他の付帯作業のみとなり、据付工事費も低廉となる。一方、据付期間も短

時日で済む。ガスタービン発電設備は制御パッケージ、補機パッケージ、タービンパッケージ、発電機パッケージ、発電機補機パッケージの五つの主要パッケージに分かれており、それらは全天候形エンクロージャでおおわれている。本発電設備の大きさは幅約9.0m、長さ38m、高さ14mであり、発電設備の据付面積は約400m²程度である。図9はガスタービンパッケージプラントの外観を示すものである。また補機パッケージ、タービンパッケージの構造については下記に概略を述べる。

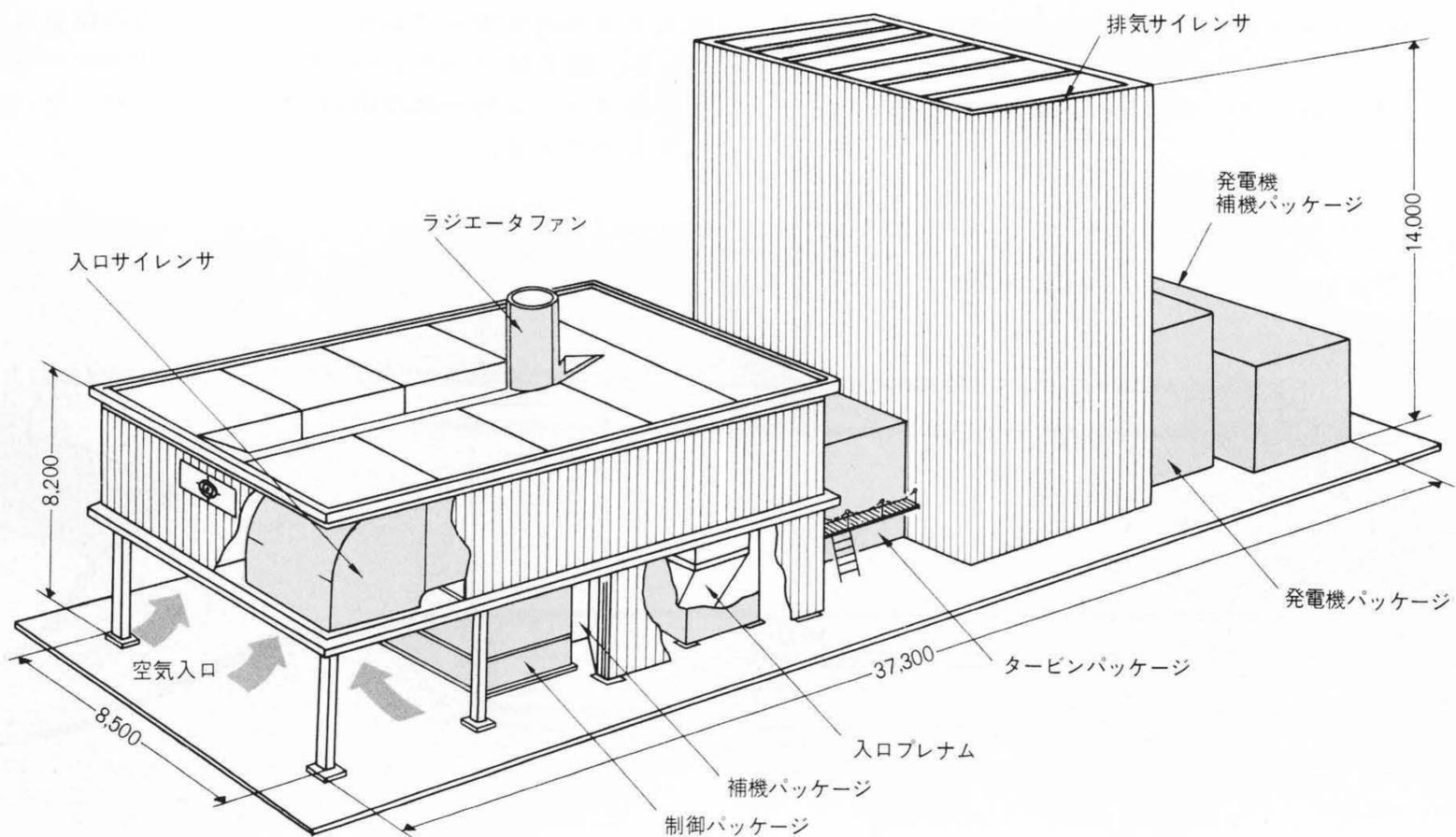


図9 MS-7001形日立ガスタービンのパッケージパワープラント外観図 MS-7001形日立ガスタービンのパッケージパワープラントの外観図を示す。

Fig. 9 Gas Turbine Package Power Plant Arrangement

3.2 補機パッケージの構造

本ガスタービンの補機パッケージには、ガスタービンの運転に必要なすべての補機がまとめられており、タービンパッケージとコントロールパッケージの間に配置されている。おもな機器は (1) 潤滑油系統の機器および配管 (2) 冷却水系統 (3) 起動装置 (4) アクセサリギヤ (5) 燃料系統の機器および配管などから構成されている。これらはすべて溶接構造のベース上に置かれ、全天候形エンクロージャでおおわれ屋外形となっている。

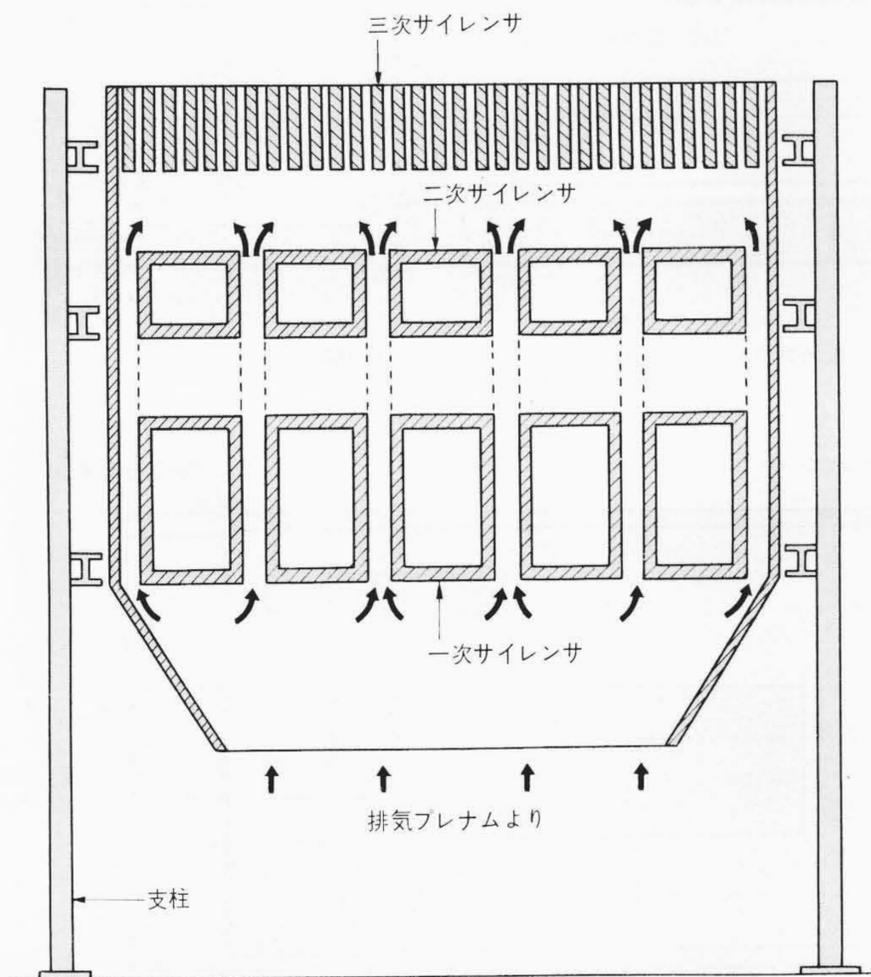


図10 排気ダクトおよびサイレンサ配置図 MS-7001形日立ガスタービンの排気ダクト内部およびサイレンサの詳細配置図を示す。

Fig. 10 Turbine Exhaust and Silencer Arrangement

3.3 タービンパッケージ

タービンパッケージにはガスタービン本体がタービンベース上に据え付けられており、補機パッケージと同様全天候形エンクロージャでおおわれている。このように本体および補機類は2分割されたベース上に組み立てられ、潤滑油系統など各種系統の機器を内蔵し、全体としてコンパクトなパッケージ形にまとめられている。

3.4 空気吸込みダクト

空気吸込みダクトの構造は水平式で、補機および制御コントロールパッケージの上部に設置されている。このダクトの中間に必要な長さのサイレンサを置き、ダクトの先端にはウェザルバ式吸込口を配置する構造となっている。本方式の利点は、ガスタービンを設置する場合、全体をコンパクトに配置することができることと、さらにサイレンサを追加する必要が生じた場合には容易に増設が可能となることである。

3.5 排気ダクト

排気ダクトおよびサイレンサは、排気口より縦形上方向に設置されており、地上から鉄骨により支持される構造となっている。またタービンロータを抜き出して保守点検を行なう以外は、ダクトを取りはずさなくてもいっさいの保守点検ができるような構造ともなっている。本ダクト用サイレンサには従来と同様のパラレルバツフル形を採用している。図10はタービン排気ダクトおよびサイレンサの配置図を示すものである。

3.5.1 補機およびタービンパッケージの換気

補機パッケージ内の換気は、補機パッケージ屋根両側に設けられた吸気取入口ルーバより外部空気をパッケージ内に導入し、冷却を完了後補機パッケージ屋根端よりラジエータ室およびラジエータ用ファンを介し外気中へ排気することによって行なわれる。なお、これらの吸排気口は、補機室に万一火災が発生した場合にはモータ駆動の吸気ダンパおよびCO₂圧操作によるラッチ式排気ダンパが自動的に動作し、炭酸ガスのリークをしゃ断する構造となっている。

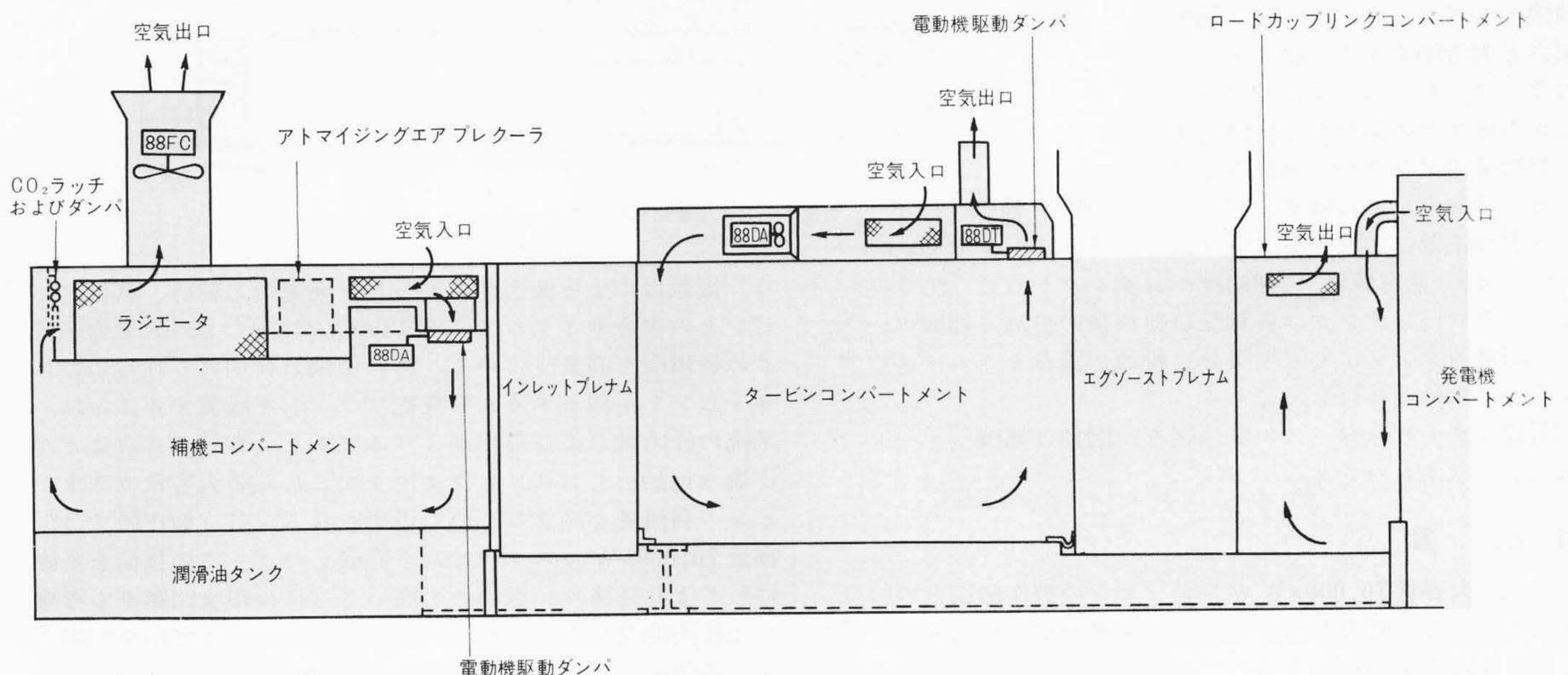


図11 ガスタービンパッケージ内換気方法 MS-7001形日立ガスタービンの各パッケージ内の換気方法を示す。

Fig. 11 Ventilation Method for Gas Turbine Package

3.5.2 タービンパッケージの換気

タービンパッケージ内の換気はモータ駆動の冷却ファンによって外部空気をタービンパッケージ屋根両側に設けられた吸気口よりタービンパッケージ内に導入し、冷却完了後排気口を経て外気へ排出することにより行なわれている。なお、火災時の炭酸ガスリークのしゃ断は、補機パッケージと同様の構成で行なっている。これらの換気方法の採用により、運転中の各パッケージ内の温度は常時適切な範囲内に保たれている。

3.5.3 エンクロージャ

各パッケージは同一様式の全天候形エンクロージャでおおわれている。このエンクロージャは取はずしあるいは開閉が容易にできるパネル板により構成されているため、運転中でも内部点検保守が容易にできる利点を有している。その他、断熱および吸音にも効果のある材料を内張りに使用しているので、タービンより外部へ漏れる熱のしゃ断あるいは騒音の防止にも効果的である。

4 ガスタービンベース

従来のモデルシリーズ5001形ガスタービンでは、補機室およびタービンのベースは一体構造となっていたが、本ガスタービンでは補機室ベースとタービンベースは分割され、それぞれ輸送に適する重量および寸法構造となっている。補機ベースは、ガスタービン補機架台と潤滑油タンクで構成されており、タービンベースはガスタービン本体などの架台と給排油管および給排油タンクから構成されている。排油タンクにはタービンベース中間位置に主サージタンク、ベース後側(発電機側)に補助サージタンクが設けられている。これらのサージタンクは各軸受に給油後の排油を補機ベース内の潤滑油タンクにもどす場合に排油の流れをスムーズにするために設けられたものである。

図12はタービンベースの構造図を、図13は補機室ベースの構造図を示すものである。

5 結 言

以上、大容量70,000kWガスタービンの製作構造上の特長を取り上げその概要を紹介した。ガスタービンは従来ピーク用または緊急用が大半を占めていたが、大容量の実現およびそれに伴う経済性の向上により用途もさらに拡大されつつあ

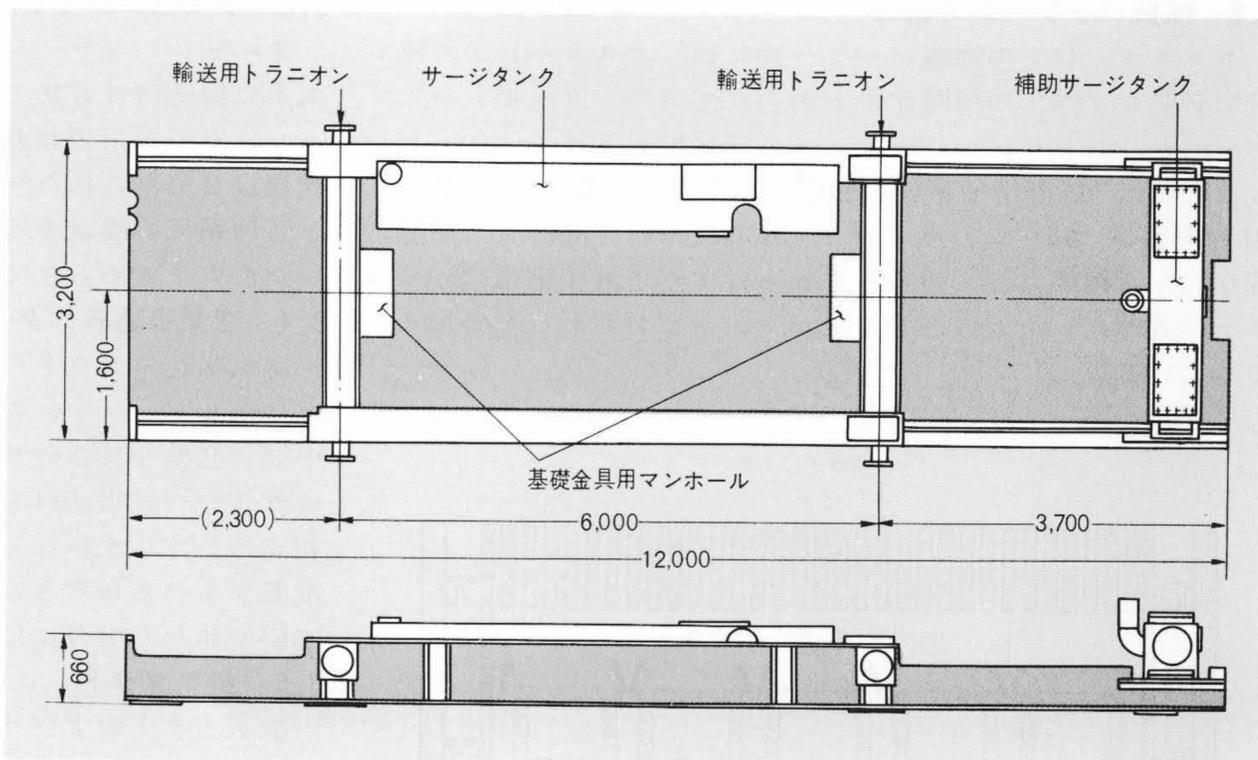


図12 タービンベース 大容量ガスタービンベースの主要部名称および主要寸法を示す。

Fig. 12 Gas Turbine Base

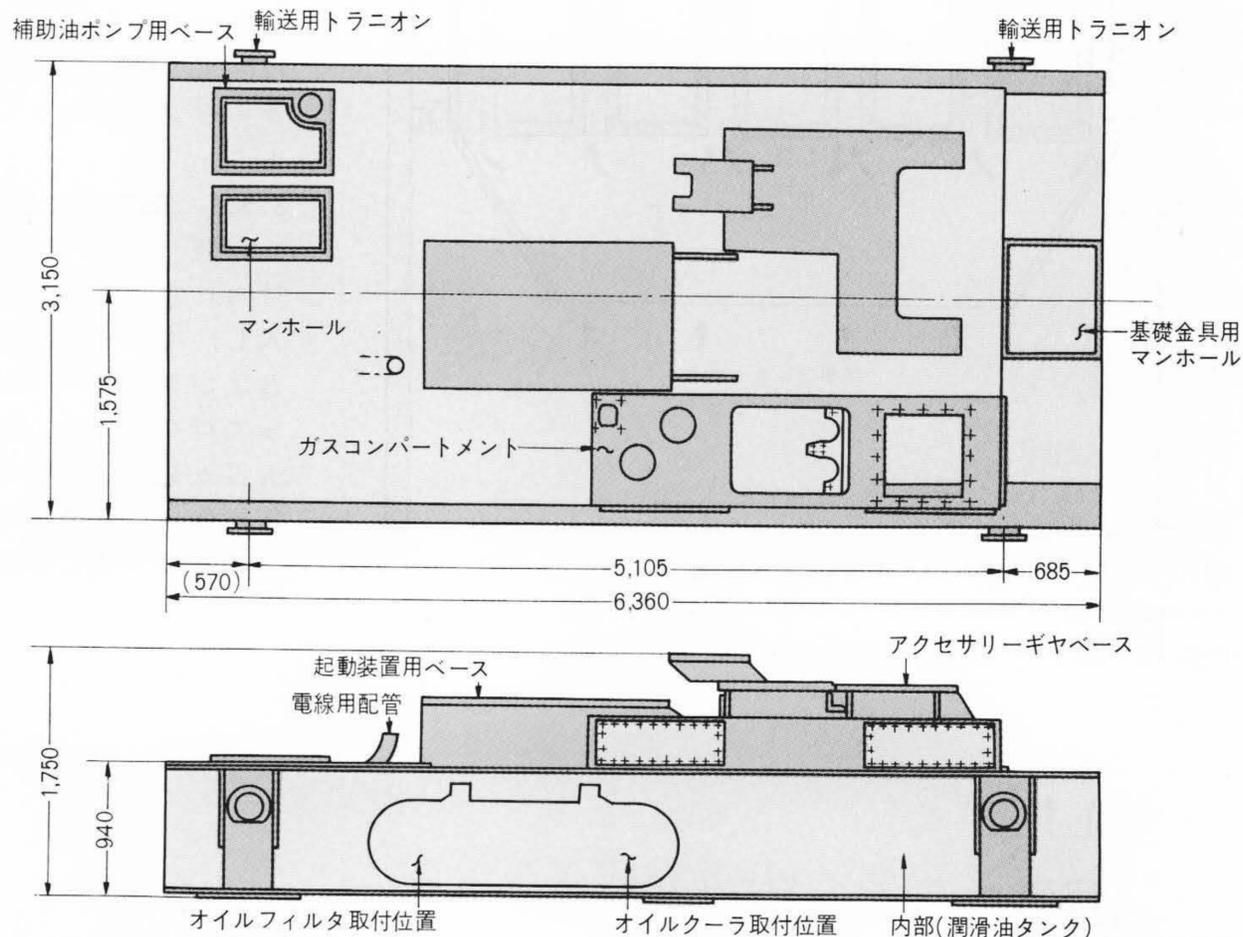


図13 補機ベース 補機ベースの主要部名称および寸法を示す。

Fig. 13 ACC Base

る。複数台による大形ガスタービン発電所の建設、蒸気タービンとの複合サイクルであるSTAGの計画など、大電力システムでの利用度も高まっている。特に中間負荷用にこれらのガスタービンを主体とする大形発電プラントを設置することは、システムの経済性および運用面よりみて著しく有利であることが認識され始めており、今後ますますこれらの大容量ガスタービンの利用度が高まるものと予想される。日立製作所では大容量70,000kWガスタービンを完成したが、この技術を基礎にしてより経済性、信頼性の高いさらには環境問題をも考慮した技術開発に努めており、今後の大形化および環境問題を含む各種のガスタービン発電設備に対する要求に十分対処できるものと確信している。