

日本石油化学株式会社納

6,000 kW パッケージ形ガスタービン発電設備

6,000 kW Gas Turbine Package Power Plant for Nippon Petrochemicals Co., Ltd.

加藤 正敏*
Masatoshi Katô

岸野 竜夫*
Tatsuo Kishino

目黒 和利*
Kazutoshi Meguro

要 旨

わが国初の本格的パッケージ形ガスタービンが、1年間というきわめて短期間のうちに完成し、予想以上の好成績で運転を続けている。本機は、今後多量に生産されるガスタービンの標準形となるもので今回の完成は、まことに意義深く、産業界の発展に寄与するものと信じている。

本論文はパッケージ形ガスタービンの特長、構造、運転実績などについて、その概要を紹介したものである。

1. 緒 言

わが国における初の本格的パッケージ形ガスタービン発電設備が完成し、昭和41年7月20日官庁竣工検査に合格し引き続き商業運転に入り所期の性能を満足する成績をおさめている。

この発電設備は、従来の一般発電設備の概念を完全に一新する画期的設計になるもので、今後わが国においても、その需要の増加が予測されているもので、今回の完成はきわめて意義が深いものといえる。日立製作所においては戦前からガスタービンの研究開発に着手し、昭和27年には実験用1,000 kW ガスタービンの試作機を完成させるなど、今日に備えて、かねて基礎研究を続けてきたが昭和39年には世界最大のガスタービン製造所であるアメリカGE社と共同製作協定を締結するなどしてさらにガスタービンの製作体制を確固たるものとしてきた。

本機はまた、受注後、ちょうど1年で発電開始させることができ、短納期という点からも記録的で、現地据付後は計画どおり好調な運転を続けている。

本機の竣工と時を同じくして、日本石油化学株式会社川崎工場に皇太子殿下のご来臨を得、親しくご高覧をいただいたことは、筆者らの望外のしあわせであった。

2. 仕 様

本機はナフサ分解時発生するガスを燃料とし、自家使用電力の一部をまかなうと同時に、ガスタービンの排ガスを廃熱回収ボイラに導き、工場のプロセス用蒸気も同時にまかなうものである。したがってプラントとしての熱経済性はきわめて高く、熱効率は約68%である。

図1および図2はパッケージ形発電設備の外観を、また図3はプラントの系統を示したものである。

本設備の主要計画要目を以下に示す。

ガスタービン

形 式	単サイクル二軸形
出 力	6,000 kW
標準外気条件	
圧 力	1,033 kg/cm ² abs.
温 度	15°C
排ガス温度	475°C
回 転 数	高压軸 6,900 rpm 低压軸 6,000 rpm
燃 料	石油分解ガス

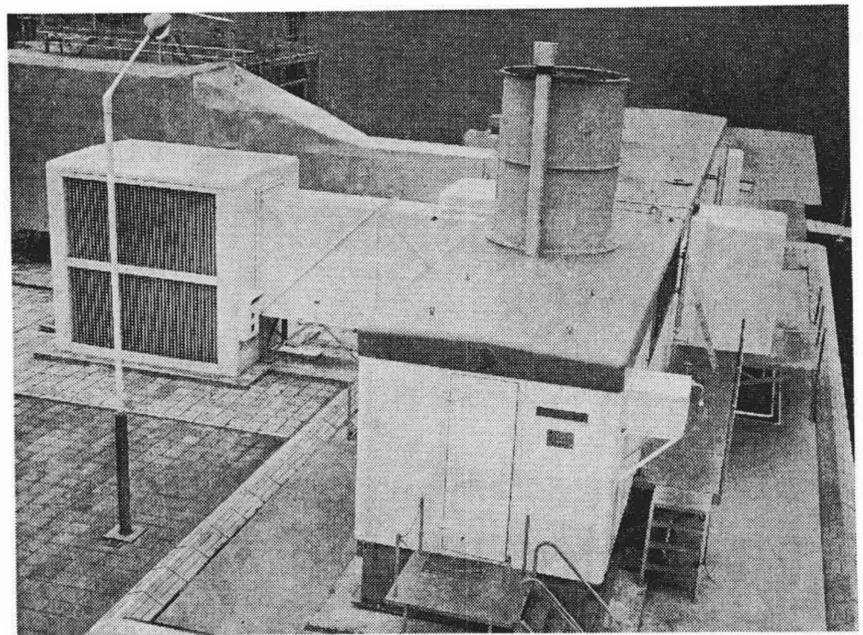


図1 パッケージ形ガスタービン発電設備 (その 1)

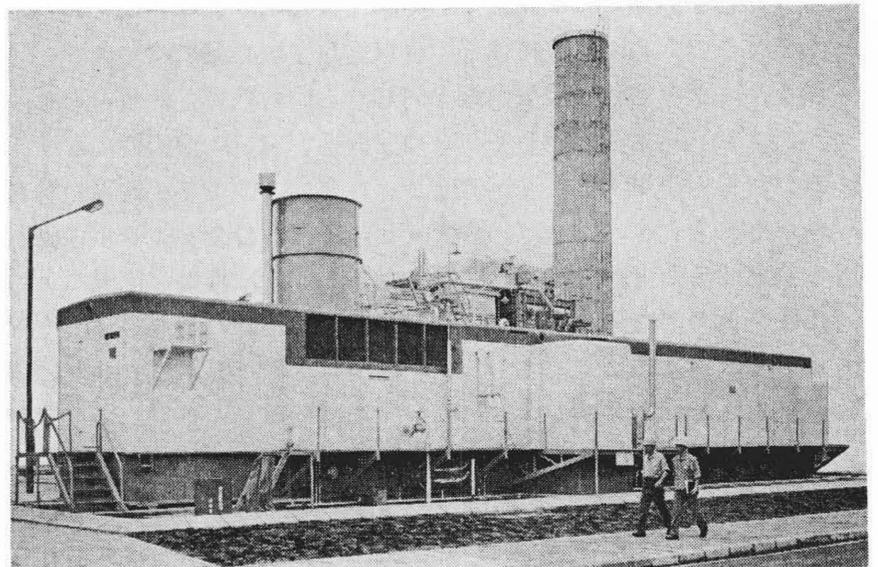


図2 パッケージ形ガスタービン発電設備 (その 2)

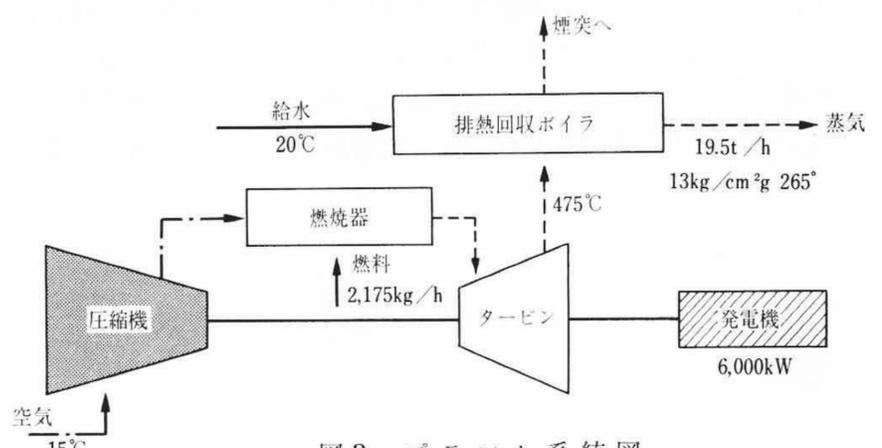


図3 プラント系統図

* 日立製作所日立工場

発 電 機	
形 式	開放形回転界磁式
容 量	6,500 kVA
力 率	0.90
電 圧	6,600 V
周 波 数	50~
回 転 数	3,000 rpm
冷 却 方 式	開放通風
廃熱回収ボイラ	
形 式	三胴形自然循環式
蒸 発 量	20 t/h
蒸 気 圧 力	13 kg/cm ²
蒸 気 温 度	265°C
給 水 温 度	20°C

本ガスタービンは、その使用目的からひん繁な起動停止が予想されたので特に運転操作を簡単にし、また最少の人員で運転保守ができるよう計画の眼目が置かれた。日立-GEパッケージ形ガスタービンは、これらの要求を完全に満足するもので、起動停止操作は完全に自動化され、単一の操作ですべてシーケンシャルに運転されるものである。また、全設備がパッケージ化されており、空気取入室、消音装置など、必要な設備いっさいがコンパクトに取りまとめられている。図4は機器の全体配置を示したものである。

ガスタービンの排ガスを利用して、必要なプロセス蒸気を発生させるため 20 t/h の廃熱回収ボイラが設置されており、このボイラはガスタービンの低負荷時、あるいは停止時にも必要な蒸気を発生させることができるように助燃装置が設けられている。

本設備の特長を要約すると次のようになる。

- (a) パッケージ化
 - ・所用面積僅少
 - ・建 家 不 要
 - ・ブラックスタート可能
 - ・短 納 期
- (b) 瞬 時 起 動
 - ・全自動による急速起動
- (c) 高 信 頼 性
 - ・世界一の製造実績
- (d) 高 効 率
 - ・排 熱 回 収

以下、本稿はガスタービンの構造と制御装置ならびにその運転実績について述べる。

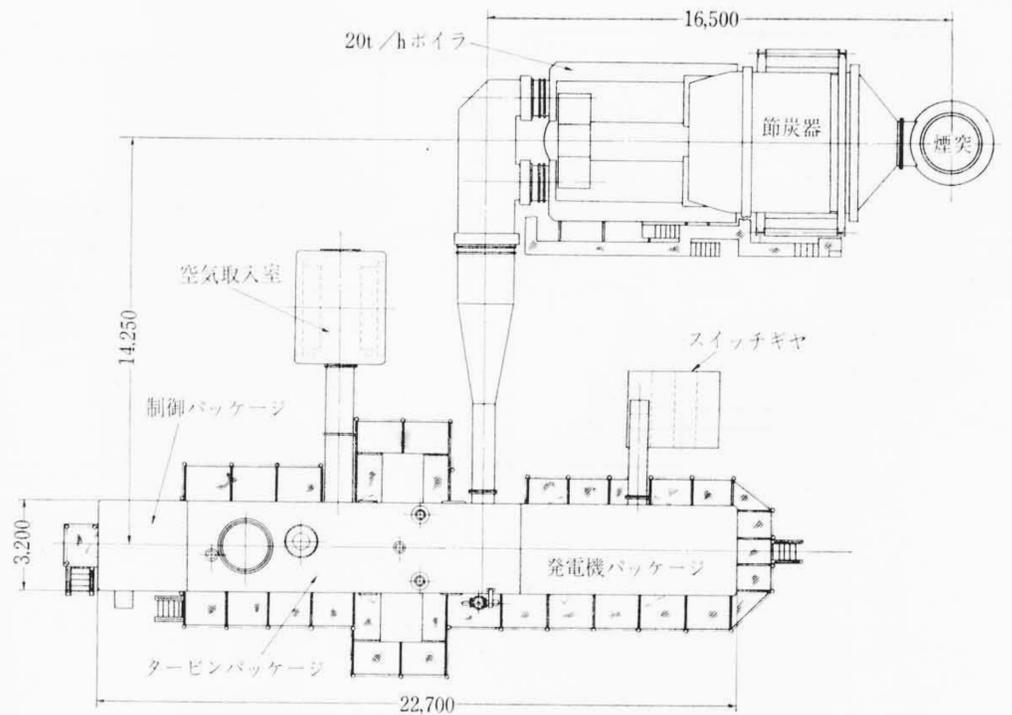


図4 全体配置図

3. 構 造

この発電設備は三つのパッケージ、すなわち前部から順に制御パッケージ、タービンパッケージおよび発電機パッケージから成っている。図5はこの全体構造図を示したものである。

制御パッケージにはガスタービンの自動運転に必要ないっさいの制御装置を内蔵しており、ベースの部分には外部からの電力の供給なしに自力起動ができるようバッテリーを取めている。パッケージ内にはタービン制御盤、発電機制御盤のほかコントロールセンタ、炭酸ガス消火装置、充電器なども備えている。またパッケージは防音構造となっており、ルームクーラにより内部の温度は快適に保たれる。

タービンパッケージは補機室およびタービン室からなり、潤滑油タンクを兼ねた共通ベースの上にすべての機器が設置されている。補機室には AC, DC モータ駆動の補助油ポンプ、補助冷却水ポンプ、制御用空気乾燥器、潤滑油ストレーナ、計器盤などのほか、圧縮機軸に直結された補機駆動装置を介して起動装置として V-8, 300 HP ディーゼルエンジンおよびトルク・コンバータ、燃料制御器、主油ポンプ、主冷却水ポンプなどが設けられている。そのほか、制御空気用制御盤および燃料制御器箱もこの室内に備えられている。また、補機室上部には密閉循環冷却水装置冷却用として補機駆動装置を介して駆動される冷却扇およびラジエータが設けられている。この冷却水は、油冷却器およびタービン車室を冷却するのに用いられ、冬季は不凍液を使用してタービン停止時の凍結を防止している。

タービン室にはガスタービンの主要部分が収納されている。吸音

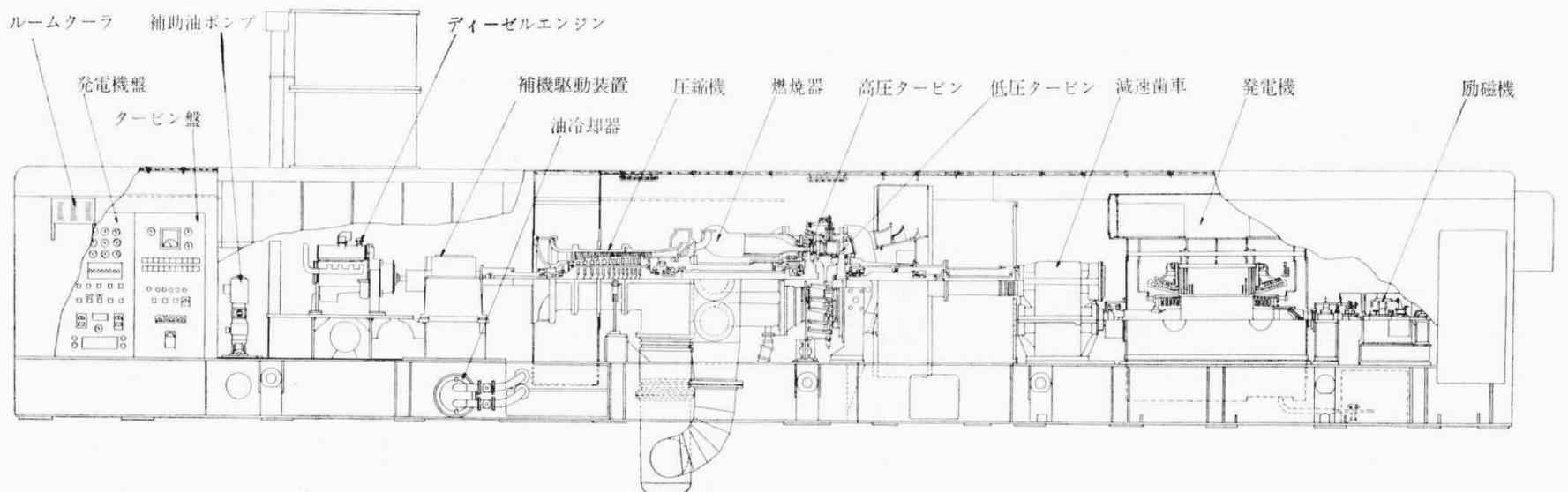


図5 6,000 kW ガス ター ビ ン 発 電 設 備

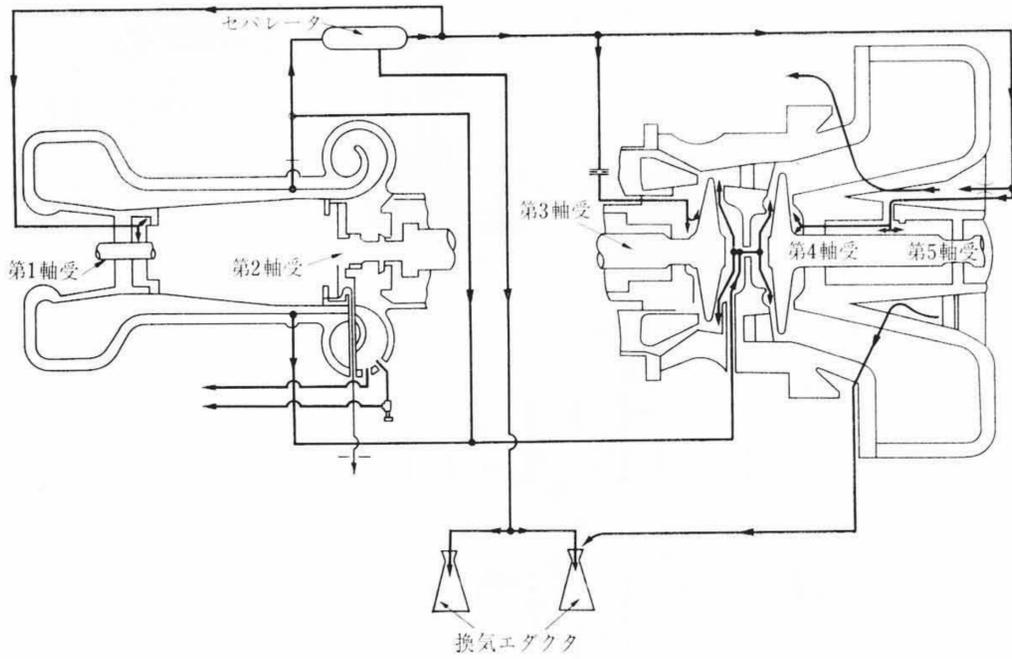


図6 タービン冷却およびシール空気系統図

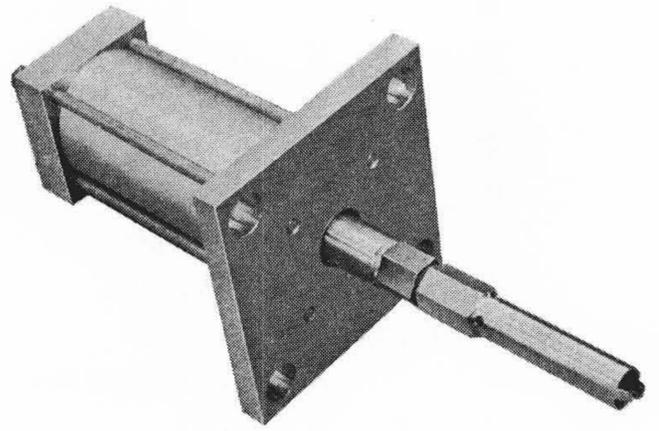


図8 点火栓

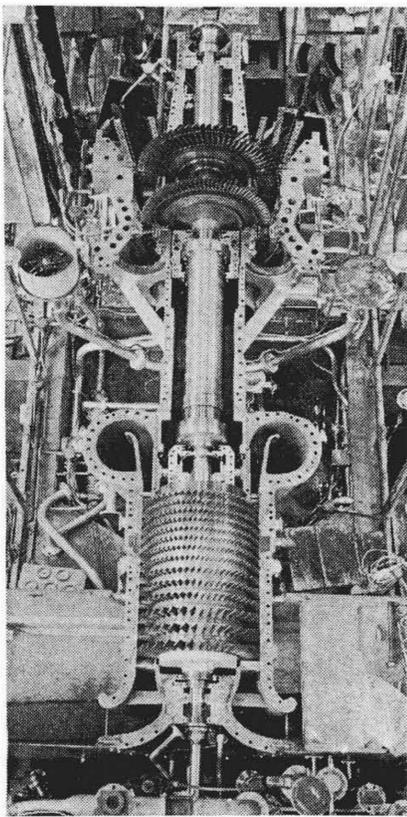


図7 組立中の圧縮機およびタービン

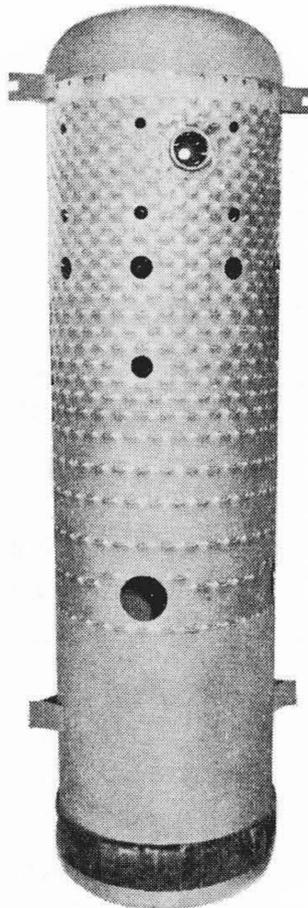


図9 燃焼器ライナ

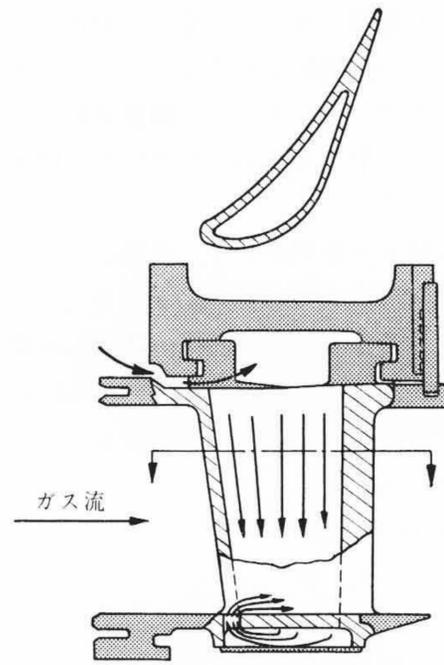


図10 ノズル翼冷却

圧力比にすると6である。圧縮機ロータは、個々に鍛造され翼を植込んだディスクをボルトで締め付ける構造で、おのおののディスクの間はインローで確実に心が保持されている。圧縮機の中間段落より圧縮空気の一部が抽気され、タービンの高温部分の冷却用として用いられるほか、軸受部シール用、タービン室換気エダクタ駆動用、制御空気用として用いられている。図6は、この空気系統を、また図7は工場組立中の圧縮機およびタービンを示したものである。

3.1.2 燃焼装置

燃焼装置は燃焼器、燃料ノズル、点火栓および火炎検出器よりなり、タービンプレームの周囲に配置された6個の燃焼器で燃焼が行なわれる。燃料は燃焼器ライナに突出している燃料ノズルから燃焼器内に送り込まれる。タービン起動時に点火栓により着火され、燃焼器間を連結しているクロスファイヤチューブによって次の燃焼器に炎が伝ぱんするようになっている。

図8は内圧による自動後退式の電気火花式点火栓を示したものである。

燃焼器ライナは AISI 309 S (23 Cr-14 Ni) よりなり、このライナと外筒の間の円環状の空間を通る空気はライナの外壁と外筒の内壁を冷却する。またライナに設けられた多数のルーバよりライナ内部にはいった空気はライナ内壁を冷却し、同時に燃焼用空気

壁で作られたエンクロージャには点検のための出入とびらが設けられており、この室内は軸流圧縮機の途中から抽気された空気の一部で駆動される空気エダクタによって換気が行なわれている。

発電機パッケージも共通ベースの上に、減速歯車、発電機および励磁機が設けられており、吸音壁のエンクロージャは、同時にまた発電機冷却空気の風洞もかね空気温度の調節が行なわれる。

3.1 ガスタービン本体

3.1.1 圧縮機

タービンパッケージの直角位置に設けられた空気取入室および消音器を通して作動空気は軸流圧縮機に流入する。空気取入室は本体とは別に、それ自体パッケージ化されており空気流入部には入口スクリーンおよび自動巻上式フィルタが取り付けられている。また冬季におけるフィルタの異常凍結あるいは大量の昆虫群によるフィルタの目詰りなどに備えリリーフドアが設けられている。

圧縮機は軸流14段で定格運転状態の吐出圧力は約5 kg/cm²で

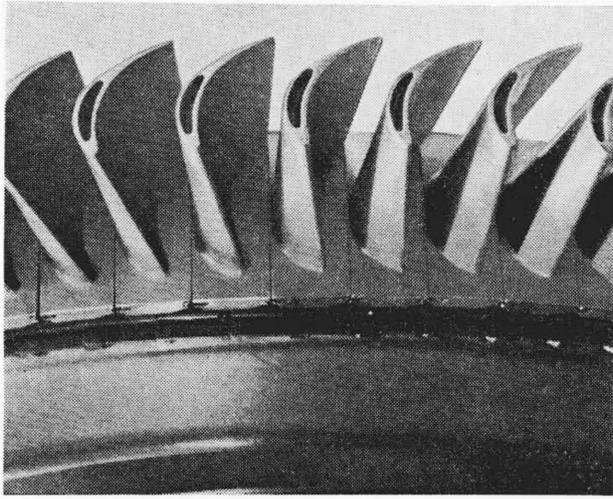


図 11 高圧タービン翼

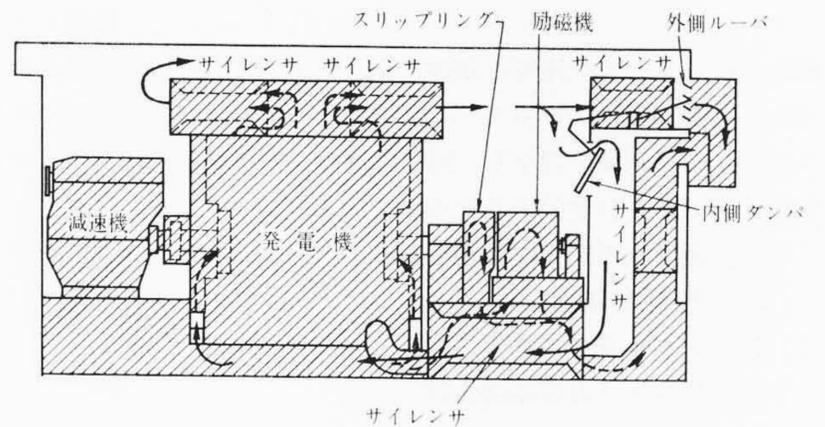
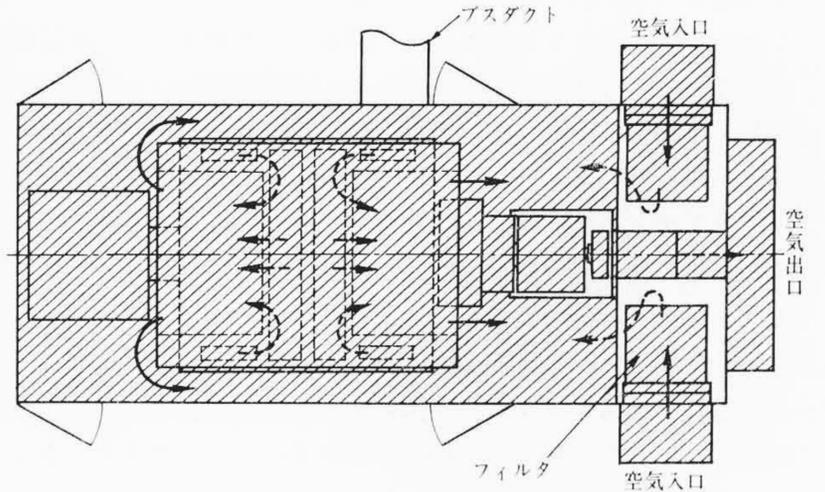


図 14 発電機パッケージ通風説明図

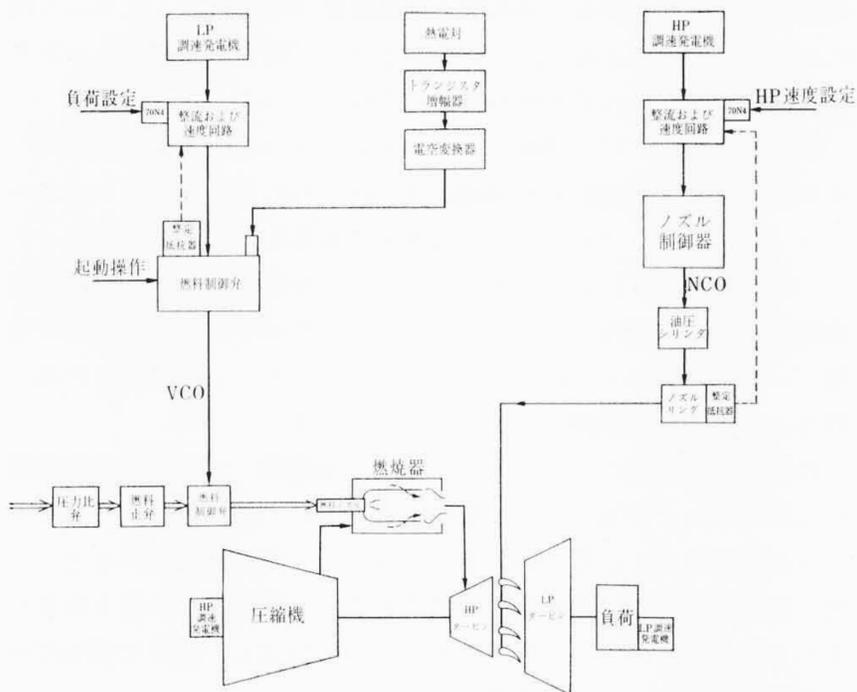
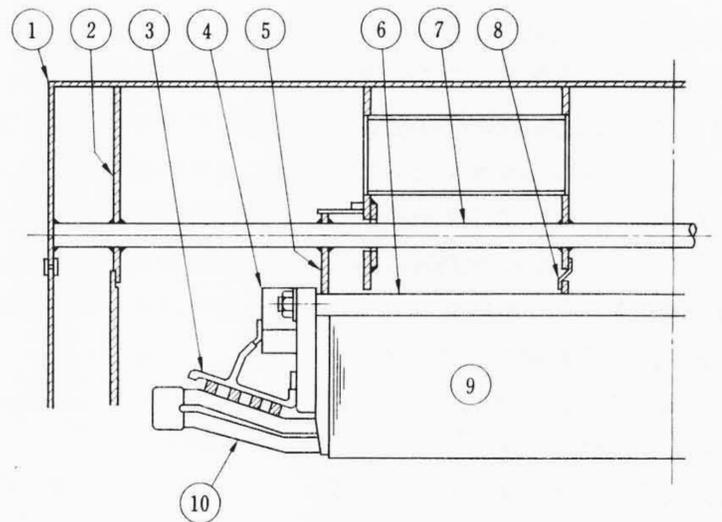


図 12 ガスタービン制御系統



- ① 固定子わく
- ② 固定子わく支持主板
- ③ コイル支え
- ④ エンドプレート
- ⑤ スプリングロッド支持主板
- ⑥ キーパー
- ⑦ スプリングロッド
- ⑧ エアーシール
- ⑨ 固定子鉄心
- ⑩ 固定子コイル

図 15 スプリングロッド支持詳細図例

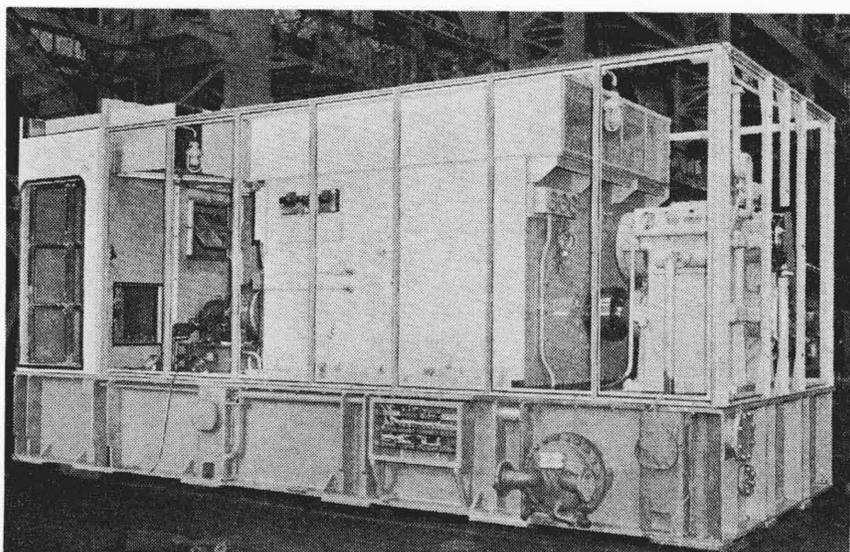


図 13 エンクロージャを除去した発電機パッケージ

として燃料と混合する。図 9 はこの燃焼器ライナを示したものである。

3.1.3 タービン

タービンは 2 軸 2 段形で、高圧タービンは圧縮機を駆動し低圧タービンは減速歯車を介して発電機を駆動している。低圧タービンは電力周波数に応じた一定回転を行なうが、高圧タービンすなわち圧縮機ロータは負荷に応じて回転速度を変えることができる。このようにして負荷に応じて空気流量を変えることによりタービンの排気ガス温度は発電機負荷の高低にかかわらず一定に保つことができる。高圧タービンの回転速度は 2 段ノズルの角度を

変え、ノズル面積を変えることにより高低圧タービンの負荷配分を変えることによって行なわれる。

第 1 段ノズルは水平面で二分割されており、これには GE 社で開発された耐熱、耐食性のほか、クリープ強度および熱疲労抵抗の高い X-45 (Co-Cr-Ni-W 合金) が用いられている。このノズル翼は中空になっており、圧縮機吐出空気の一部が導かれ、ノズル翼ならびに内外周輪の冷却が行なわれる。図 10 はノズル翼の冷却状況を示したものである。第 2 段ノズルは個々の翼に設けられたステムがタービン車室を貫通し、すべての翼がリンク機構によって同時に回転しノズル面積を変えうるようになっている。ノズルのステム部およびタービン車室外周部は水冷却が行なわれており、温度レベルを下げるると同時にノズル翼とシュラウドとの間の間げきを常に適切な値に保ちうるようにしてある。

高圧タービンロータはディスタントピースを介して圧縮機ロータに直結され、3 軸受支持構造となっている。タービン第 1 段翼

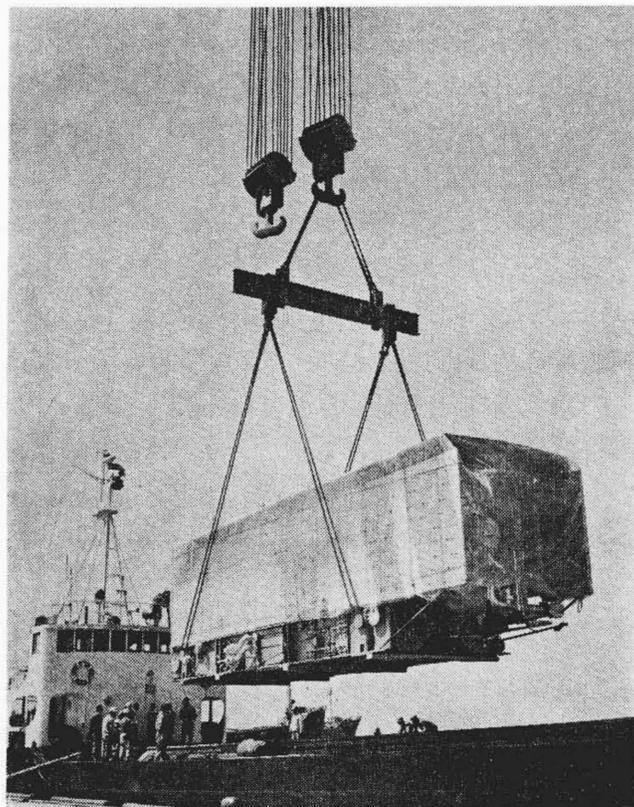


図 17 タービンパッケージの船積 (日立港)

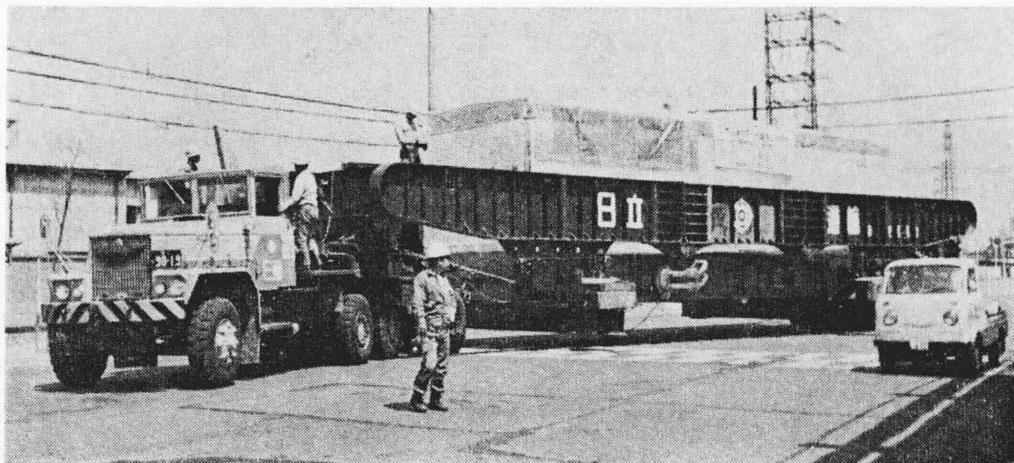


図 18 トレーラ輸送中のタービンパッケージ

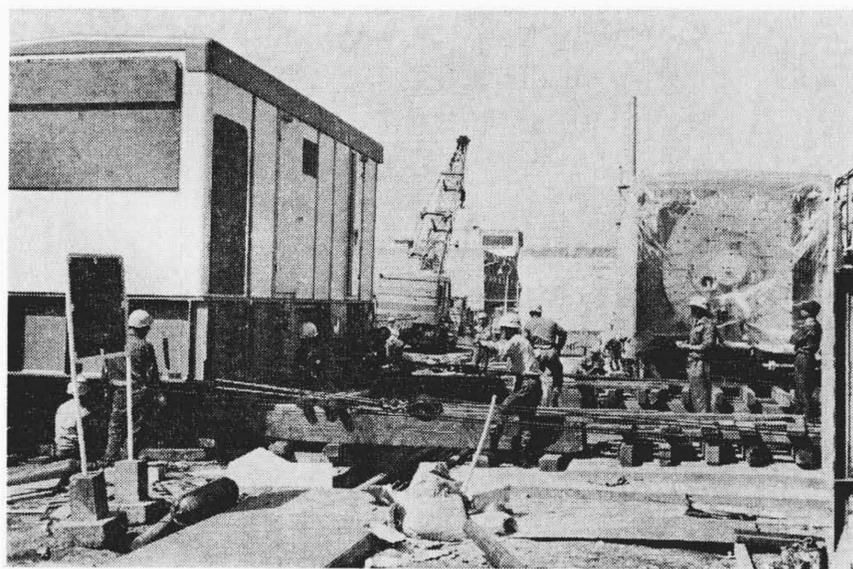


図 19 現地据付作業

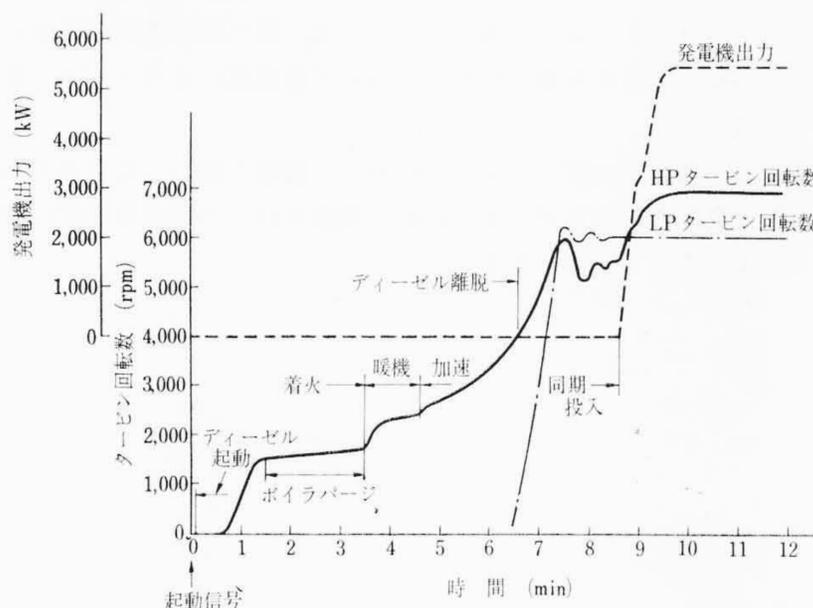


図 21 ガスタービン起動特性

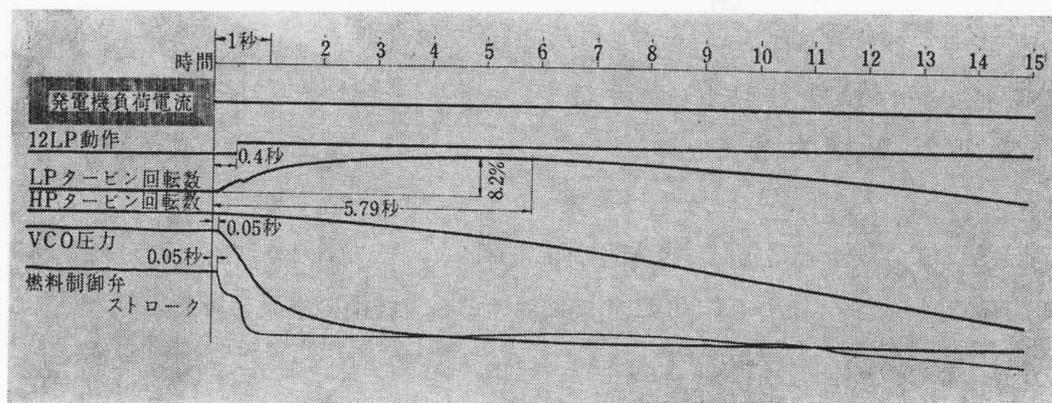


図 22 ガスタービン負荷遮断特性

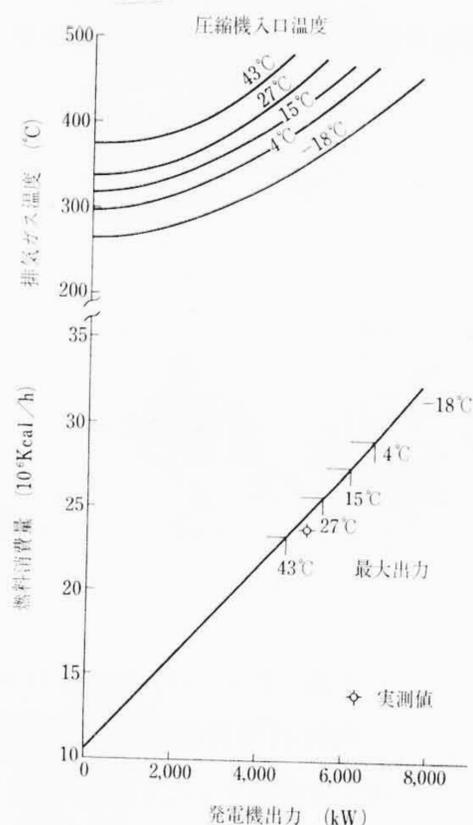


図 20 ガスタービン性能曲線

にしている。これは非常に低い温度における発電機の運転を防ぐためである。限度以下の冷却空気があるとき、外側ルーバは閉じる方向に、内側ダンパは開く方向に動いて機内を循環する空気量が増加し、発電機入口空気温度が高くなり自動的に一定限度を維持するようになっている。

サイレンサは図 14 に示すように、発電機の入排気部、励磁機と発電機スリップリングの排気部およびパッケージの排気部に配置され

ており、さらにエンクロージャ自体が吸音壁となっている。

また本機の場合、発電機鉄心部に発生する 2 極機特有の 2 倍周波数の振動が比較的小であったが、さらに図 15 に示すように固定子鉄心をスプリングロッドを介して固定子わくにたわみ支持し、その振動が固定子わくを通じてベースおよびエンクロージャに伝わるのを防いでいるため、きわめて振動の少ないものとなっている。

4. 自動起動

起動ならびに停止操作は完全に自動化されている。いま、主操作開閉器を入れると油ポンプなどの補機類の起動からタービンの昇速、点火、併入など、動作シーケンシャルに進行する。

自動起動ならびに停止操作の詳細は図16に示すとおりである。

- (1) 起動信号により、軸受油ポンプおよび冷却水ポンプが起動する。
- (2) 軸受油圧が確立すると、起動用ディーゼルエンジンが起動し、約600rpmで無負荷運転を行なう。
- (3) 約1分間、ディーゼルエンジンの暖機が終わるとガスタービンを昇速させる。
- (4) タービンが25%速度に達したとき、点火を行ないさらにタービンを加速させる。
- (5) タービンが70%速度に達すると、ディーゼルエンジンは切り離され、約5分間冷却運転を行なった後、停止する。
- (6) 調速速度98%に達すると、自動同期装置が働き、発電機は系統に併入される。

5. 輸送据付

ガスタービンの特長の一つに短納期があげられるが、本設備はパッケージ形なるため、この特長を遺憾なく発揮し工場出荷後、現地試運転完了まで約一ヶ月という、これまでの常識を破る短期間完成の記録を樹立した。

図17および図18はパッケージのまま輸送している状況を、また図19は現地据付中を示す。

6. 運 転

現地試運転の結果はすべての点で計画値を満足し、運転保守の面

でもパッケージ形の特長を遺憾なく発揮した。

図20はガスタービンの予想性能曲線と実測値とを示したものであるが、実測燃料消費量は計画値に対して約2.4%良い値を示した。

図21はガスタービンの起動特性を示したものである。起動信号を入れてから約8分30秒で自動同期投入が行なわれている。この設備ではガスタービンの排気ガスが廃熱ボイラに導かれているのでガスタービンの着火前にボイラのパーズを約2分間行なっているが廃熱ボイラがない場合は、この間だけさらに短縮されることになる。

図22は4/4負荷遮断時の制御特性オシログラムである。各制御機構はすべて計画どおり安定した特性を示している。

本設備は官庁認可後、連続運転が続けられており、運転時の騒音も静粛で、ごく近くまで近寄らないと運転していることがわからないほどで、消音効果が十分に発揮されている。

7. 結 言

以上、わが国初の本格的パッケージ形ガスタービンの概要について述べた。本設備が予期以上の好成績を収めていることは、本設備の計画を担当された日本石油化学株式会社のかたがたのなみなならぬご尽力と本機に寄せられた関係者一同の情熱の賜物と考えている。

最近、ガスタービンに対する関心が各所で一段と高まりつつある折からこのガスタービンが出現したことは、単に当事者間のみならず、わが国産業界の発展のためにきわめて意義深いものがあると信じている。

最後に、本設備の製作にあたり終始、ご指導を賜わった日本石油化学株式会社の三輪常務、水谷川崎工場長をはじめ関係者各位に厚くお礼申し上げる次第である。

本誌の新年号は、毎年「日立技術の成果」として、愛読者諸兄から多大のご好評をいただいております。

昭和41年度の新年特集増大号(Vol. 49, No. 1)も恒例により“昭和41年度における日立技術の成果”号として発行することになりました。

なにとぞ、ひきつづきご愛読くださいますようお願い申し上げます。