

141MWコンバインドサイクル用大容量ガスタービン

Large Capacity Gas Turbine for 141MW Combined Cycle

近年、省エネルギーの観点から、在来形火力発電プラントの熱効率を上回り、中間負荷火力としても運用特性の優れたプラントとして、ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせたコンバインドサイクルプラントが注目されている。

本プラントの性能は、ガスタービン性能に負うところが大きい。日立製作所ではかねてから、ガスタービンの大容量・高性能化に努力を払っており、このたび世界最大級の容量をもつ日立-GE MS9001ガスタービンを導入して、我が国初の本格的排熱回収形コンバインドサイクルプラントを、日本国有鉄道川崎火力発電所内に納入し、このほど順調に営業運転に入った。

星野和貞* Kazusada Hoshino

瀧花清作* Seisaku Takihana

高橋浩二* Kôji Takahashi

1 緒 言

従来、主としてガスタービンはピークロード発電用として発展してきたが、今日高効率省エネルギーの要求にこたえ蒸気タービンと組み合わせたコンバインドサイクルプラントの主機として時代の脚光を浴びつつある。このほど日立製作所では、50Hz 100MW ガスタービンを完成した。本ガスタービンの計画に当たっての留意点は、(1)環境対策として、大気汚染や騒音を考慮すること、(2)高効率だけでなく、信頼性も高いこと、(3)毎日行なう起動、停止が短時間かつ簡単にできること、の3点である。

本ガスタービンは、昭和55年10月に初点火後試運転調整に

入り、予定どおり使用前検査を含む試運転工程を順調に消化し、昭和56年4月営業運転に入ったので、ここにその概要と運転実績について紹介する。

2 MS9001ガスタービンの概要と特徴

2.1 概 要

MS9001ガスタービンは、60Hz地区用として数多くの実績をもつMS7001ガスタービン¹⁾に幾可学的相似則(スケール比1.2)を採用し、50Hz地区用として開発された大容量機であり、確立された技術に基づいた信頼性の高いガスタービンである

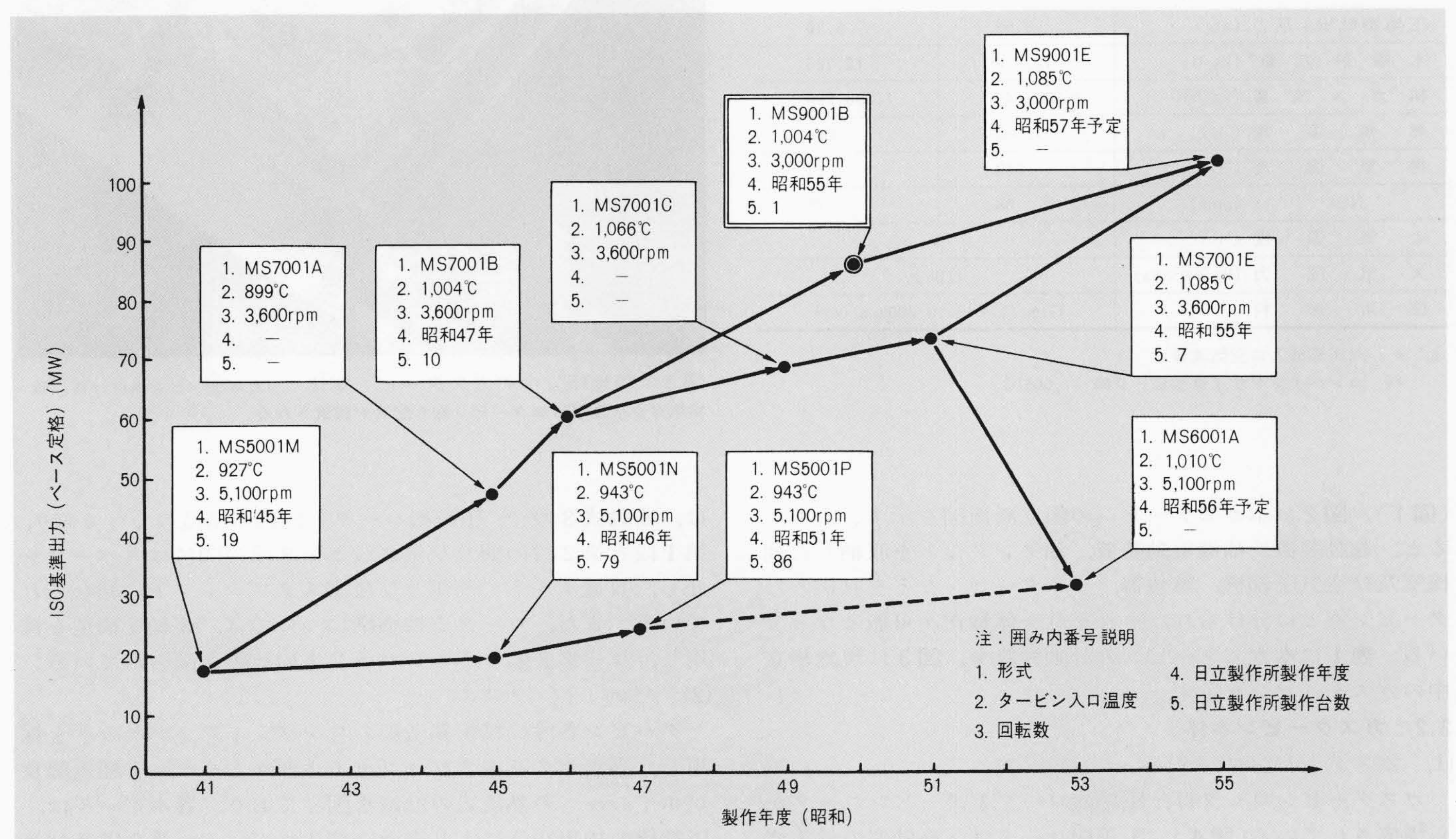


図1 日立-GEガスタービン大容量化の推移 MS9001Bガスタービンは、MS7001Bガスタービンをスケールアップしたものである。

* 日立製作所日立工場

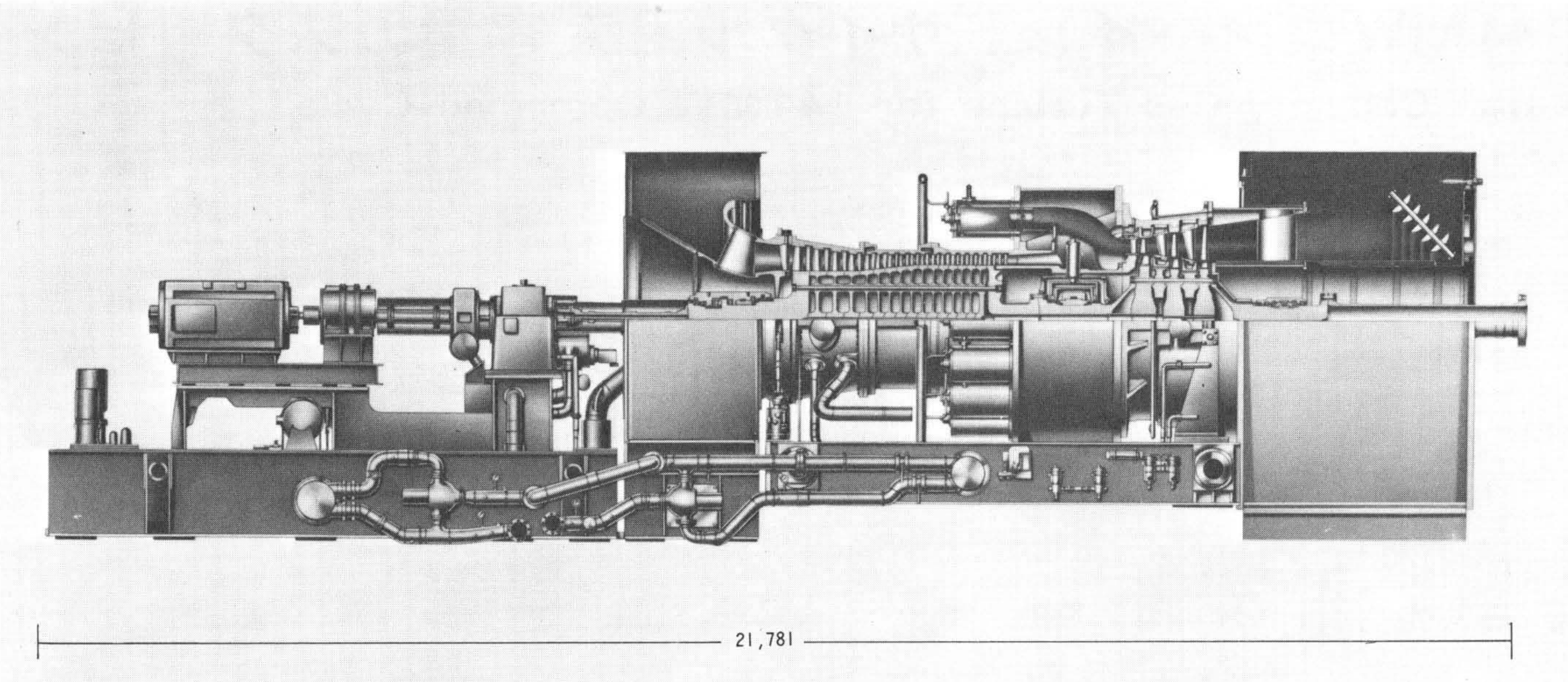


図2 MS9001ガスタービン組立断面図 ガスタービン本体と付属機器は、それぞれ一体のベースに設置されており、パッケージとなっている。

表1 ガスタービン計画性能 100MW定格は、シンプルサイクルピークの部分負荷となっている。

負 荷		定 格	ベ ー ス
項 目			
出 力 (kW)		100,000	90,810
熱効率	HHV基準 (%)	28.41	28.16
	LHV基準 (%)	30.12	29.86
入 口 空 気 流 量 (kg/h)		1,271,470	1,271,470
圧 縮 機 吐 出 し 圧 力 (atg)		8.99	8.90
水 噴 射 流 量* (kg/h)		12,720	12,720
排 ガ ス 流 量 (kg/h)		1,302,640	1,300,290
燃 焼 温 度 (°C)		1,062**	1,004
排 気 温 度 (°C)		543	503
NOx (ppm)		88	75
大 気 温 度 (°C)		4	
大 気 圧 力 (kg/cm²abs)		1.033	
使 用 燃 料		灯油 (LHV=10,200kcal/kg)	

注：* 対圧縮機入口空気流量比 1%
** コンバインドサイクルピーク時 1,065°C

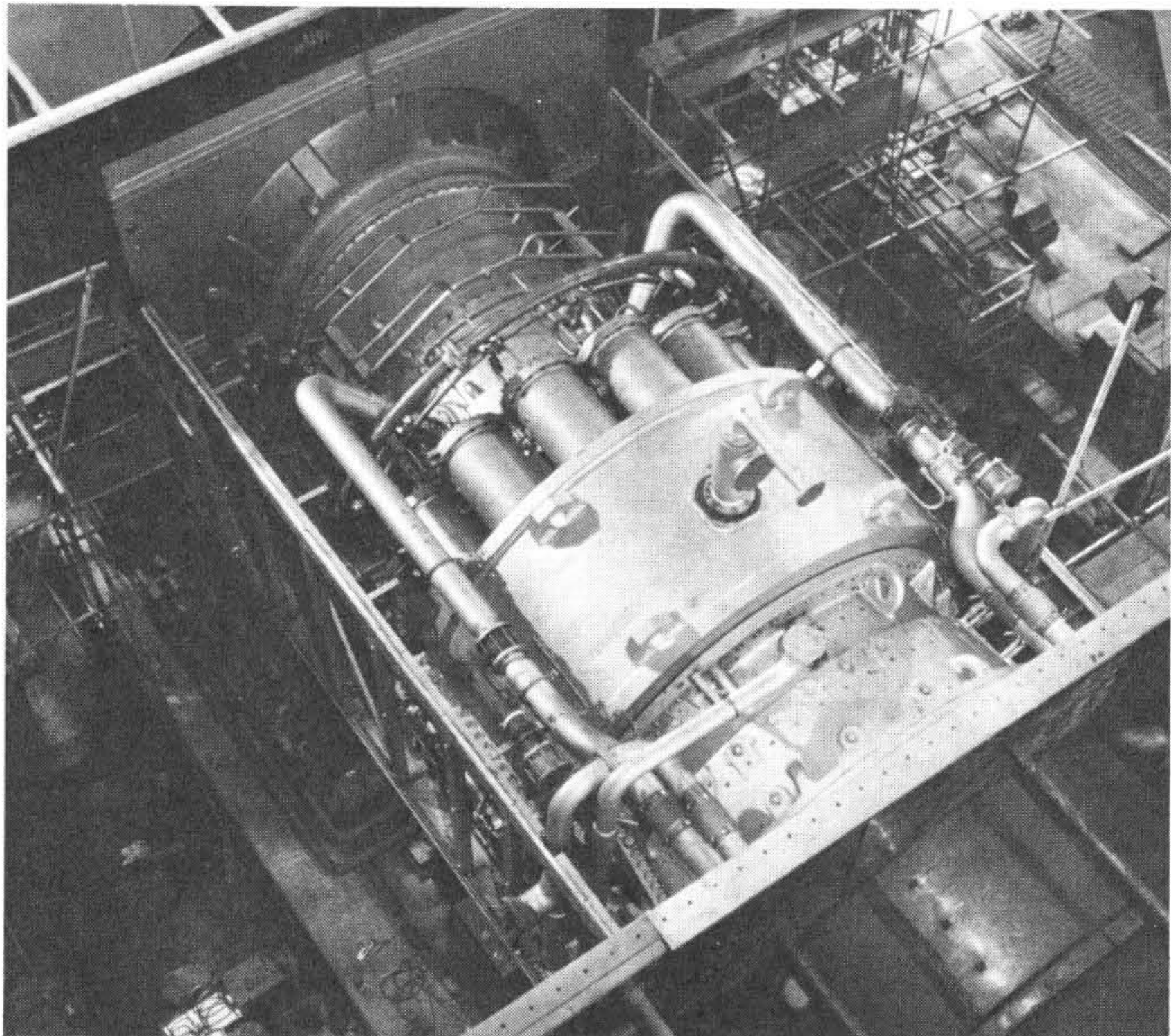


図3 現地組立中のガスタービン本体 ガスタービン据付け後、吸・排気ダクト及びガスタービン回り配管が設置される。

(図1)。図2に本ガスタービンの組立断面図を示す。大別すると、起動装置、補機駆動装置、油タンクなどを収納した補機室及び空気圧縮機、燃焼器、ガスタービンなどを収納したタービン室とに分けられ、それぞれ一体輸送が可能となっている。表1に本ガスタービンの計画性能を、図3に現地組立中のガスタービンを示す。

2.2 ガスタービン本体

(1) ガスタービンロータ

ガスタービンロータは、圧縮機ロータとタービンロータから構成されている(図4)。圧縮機ロータは、高効率の軸流式17段で、空気力学的に実績のある翼列を採用している。圧縮機各段は独立したディスクから成り、軸に対し同心に配置された貫通ボルトで、前側スタブシャフト及び後側スタブシャフトに結合される構造となっている。また、タービンロータ

は、衝動式3段で、圧縮機ロータと同様の構造になっており、第1段と第2段の間及び第2段と第3段の間にはスペーサを介し、貫通ボルトで前側及び後側スタブシャフトに結合されている。また、ロータ支持機構については、3軸受構造を採用し、ロータダイナミックバランスの改善が図られている。

(2) バケット、ノズル

タービン各段は精密鋳造製のロングシャンクバケットを採用し、高温ガス流中のプロファイル部からバケット植込部及びホイールへの熱流入の低減を図っており、各ホイールは、圧縮機の抽出空気により表面冷却されている。第2段及び第3段バケット先端にはシュラウドリングを採用し、半径方向すき間による損失低減及び翼振動抑制に効果を果たしている。また、各段には精密鋳造製の、セグメントに分割された(第1段:12、第2、3段:各16)ノズルが設けられており、そ

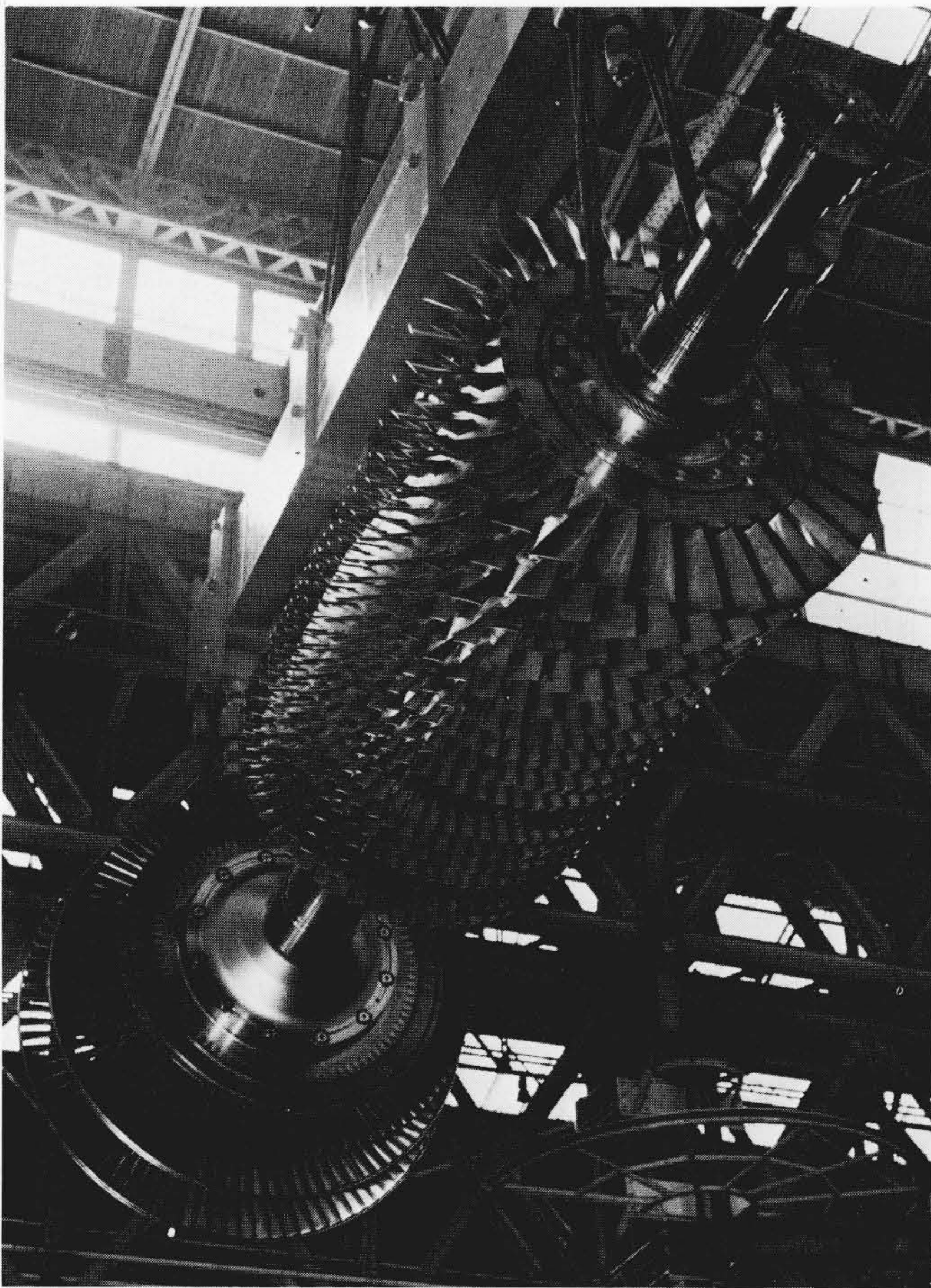


図4 MS9001ガスタービンロータ ガスタービンロータは、圧縮機ロータ及びタービンロータから成り立っている。

れらは静止シュラウドにより支持されているため、高温ガス通路部品から、タービンシェルへの熱流入を低く保つことが可能となっている。なお、第1段ノズル及びバケットは圧縮機吐出し空気により内部冷却され、メタル温度を低くし、部品寿命の改善が図られている(図5)。タービン部の材質として、第1段～第3段ノズルにはコバルト合金(FSX414)を、第1段及び第2段バケットにはニッケル合金(IN738)を、第3段バケットにはニッケル合金(U500)をそれぞれ採用している。特に、第1段バケットにはPt-Cr-Alコーティングを施し、耐腐食性能の向上を図っている。

(3) 燃 焼 器

本ガスタービン燃焼器は、従来から実績のある円筒形、逆流式を採用しており、NO_x(窒素酸化物)低減のために水噴射を実施することを考慮し、ルーバタイプ(フィルム冷却方式)ライナ14本が使用されている。ライナ内で発生したガスは、トランジションピースによって第1段ノズルへ導かれる。燃料ノズル(図6)には液体燃料(灯油)噴射口、低圧噴霧空気噴出口及び水噴射ノズル(燃料ノズル1個当たり12本)が設けられている。スパークプラグは低電圧放電方式を採用し、着火信頼性の向上を図っている。

(4) 空気取入室、ケーシング及び排気室

空気取入室は、日立製作所と米国GE社とが共同開発したMS7002ガスタービン²⁾で採用した吸音処理を施し、圧縮機で発生した騒音の低減を図っている。入口ケーシングには入口案内翼を設け、起動及び停止時の圧縮機サージング防止、並びに部分負荷でのコンバインドサイクルプラント性能向上の

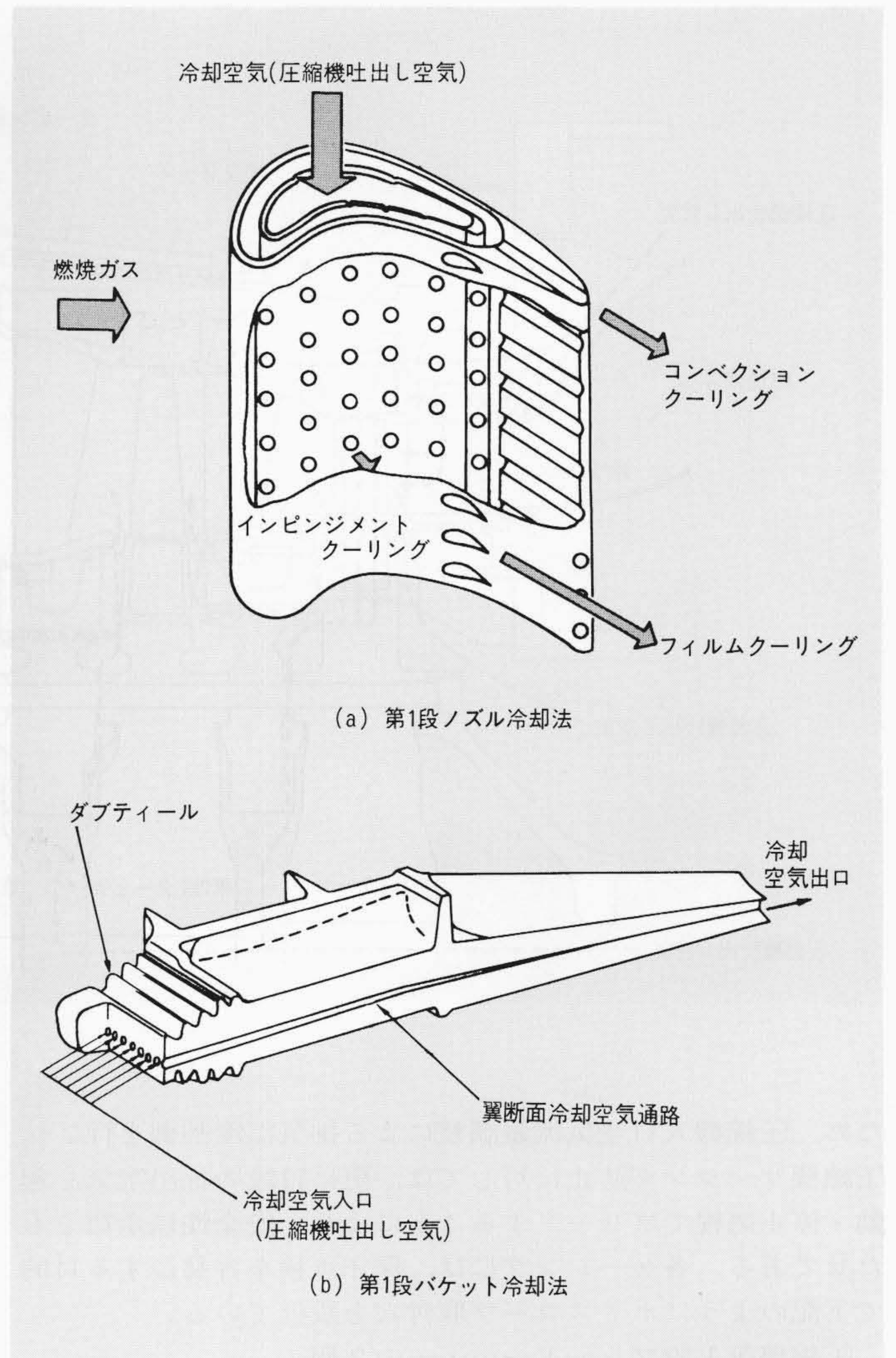


図5 第1段ノズル及び第1段バケットの冷却 第1段ノズル及び第1段バケットは、それぞれ圧縮機吐出し空気によって冷却されている。

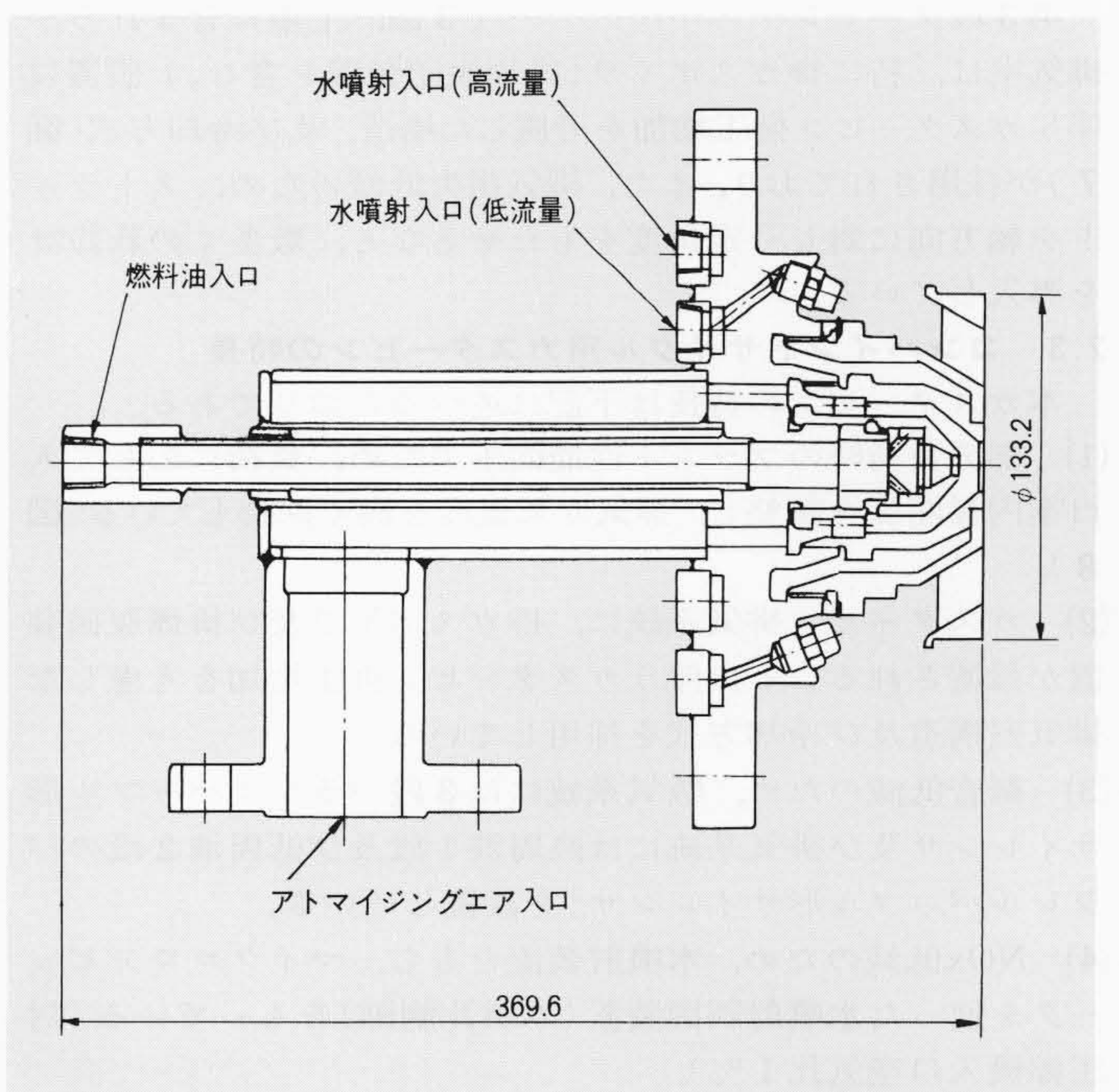


図6 燃料ノズル 燃料噴霧口を囲んで、12個の水噴射ノズルが円周上に取り付けてある。

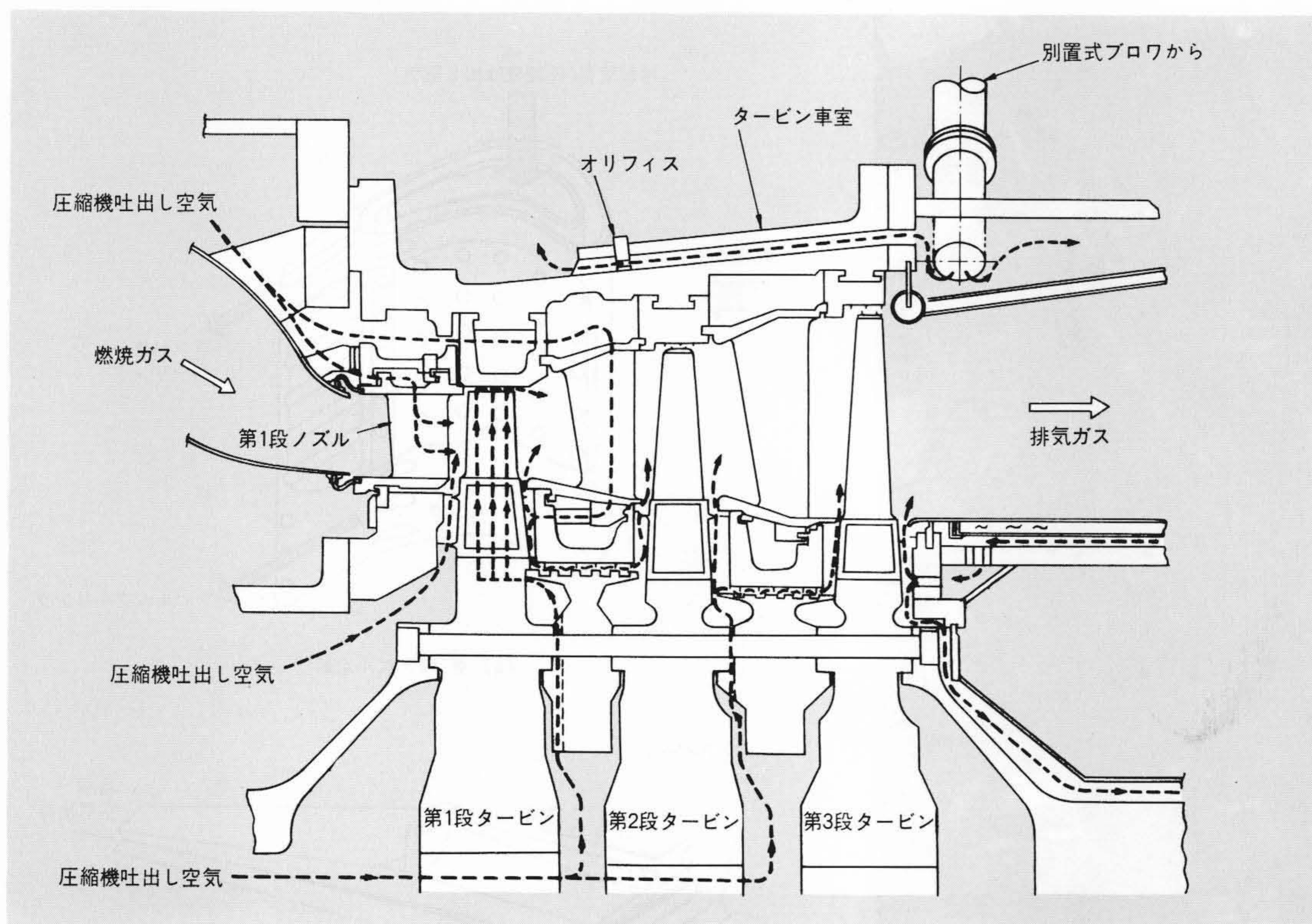


図7 タービン部冷却方式 タービン車室、排気フレーム、第3段タービン後側などは、別置式ブロワによって冷却される。

ため、圧縮機入口空気流量調整による排気温度制御を行なう。圧縮機サージング防止に対しては、更に11段の抽出空気を起動・停止過程でブリードすることにより、安全性に余裕をもたせてある。各ケーシングには、保守点検を容易にする目的で下記のようにボアスコープ取付穴を設けている。

- 圧縮機第1段ブレード……………2個
- 圧縮機第12段ブレード……………2個
- 圧縮機第17段ブレード……………2個
- 第1段タービン(シュラウド)……7個
- 第2段タービン(シュラウド)……6個
- 第3段タービン……………(3個、上項に含まれる。)

排気室は、特に排ガスボイラ(排煙脱硝装置を含む。)設置に伴うガスタービン排圧増加を考慮した構造、及び冷却方式(図7)が採用されており、また、排気損失低減のため、ストラットを軸方向に対し一定角度をもたせるなど、数多くの新設計を導入している。

2.3 コンバインドサイクル用ガスタービンの特長

本ガスタービンの特長は下記に述べるとおりである。

- (1) 部分負荷時のプラント性能向上のため、負荷に応じて入口案内翼開度を調整し、排気ガス温度を高く保持している(図8)。
- (2) ガスタービン排気系統に、排ガスボイラ及び排煙脱硝装置が設置されることに伴うガスタービン排圧増加を考慮した排気室構造及び冷却方式を採用している。
- (3) 騒音低減のため、吸気系統には3段平行バッフル形サイレンサ及び排気系統には高周波1段及び低周波2段の平行バッフル形サイレンサ³⁾を設置している。
- (4) NO_x低減のため、水噴射装置をもち、マイクロコンピュータを使った水噴射制御装置(水燃比制御)をもっている(対圧縮機入口空気比1%)。
- (5) 限られた用地内で既設設備を有効に利用した配置となっており、排ガスボイラ上流側排気ダクト内ガス流れを流体力

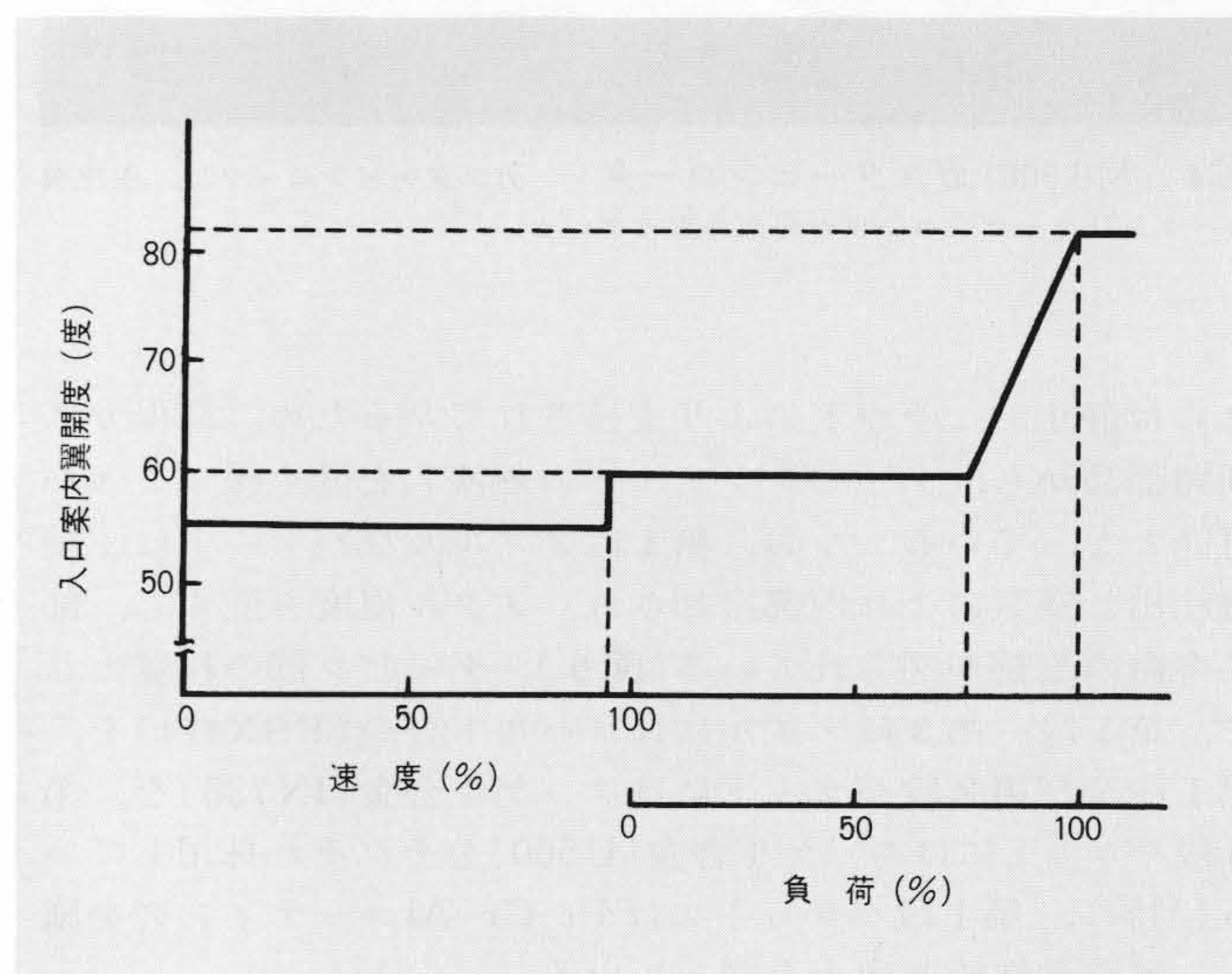


図8 入口案内翼制御スケジュール 部分負荷時コンバインドサイクル性能向上のため、入口案内翼により排気温度制御を行なう。

学的に均一とするため、モデル試験により確証の得られた構造を採用している。

2.4 付属設備

ガスタービン付属設備としては、水噴射装置、燃料移送装置、タービン排気フレーム冷却用ブロワ装置(図9)などがある。これらは、すべて予備機をもっているが、特にタービン排気フレーム冷却用ブロワ装置は、その信頼性が最も重要であるため、予備機はランニングスペア方式をとっている。また、騒音面では、水噴射装置は発電所内でも特に静寂な区域に設置されているため、防音ハウスを設置し低騒音化を図っている。

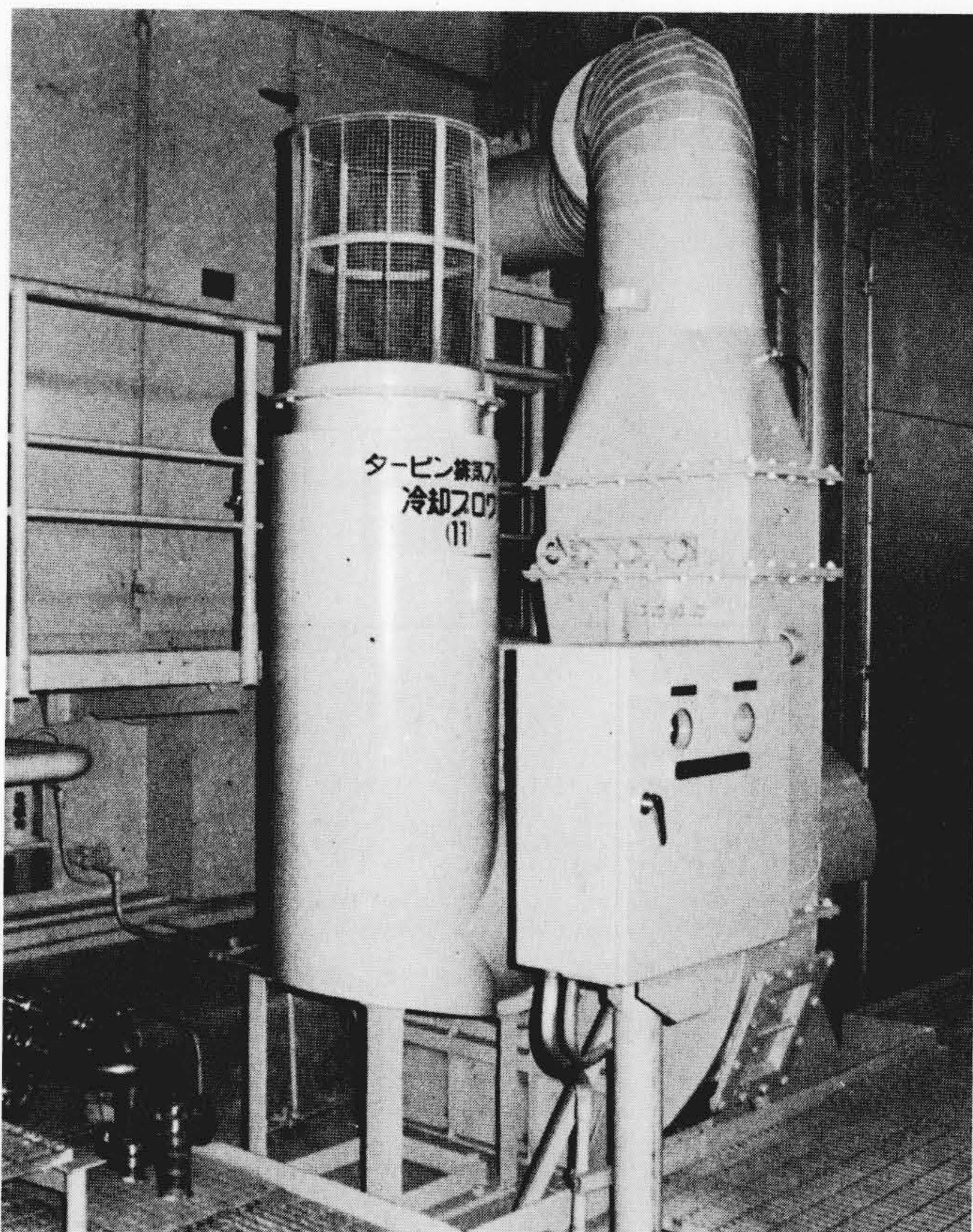


図9 タービン排気フレーム冷却用ブロウ装置 タービン室の両面に設置され、1台はランニングスベアとなっている。

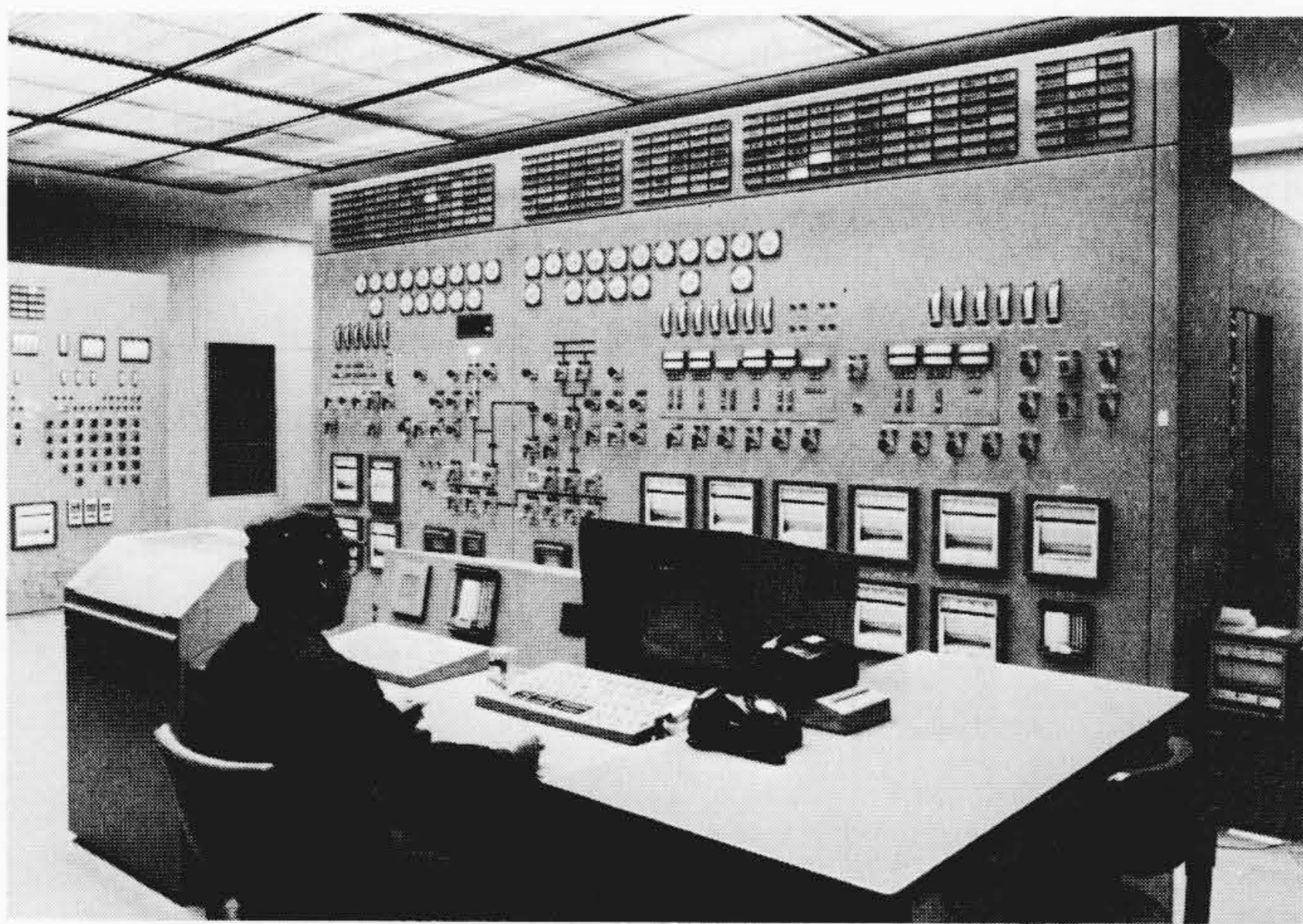


図10 中央制御室全景 プラントのすべての運転監視制御は、中央制御室から総合的に行なわれており、大幅な自動化が図られている。

3 制 御

本ガスタービン制御盤には、数多くの納入実績をもつ電子式制御装置を採用しているが、このほかにガスタービンの起動準備、起動、昇速、プラント起動から目標負荷まで、及び所定負荷から停止までの運転監視制御は日立制御用電子計算機(HIDIC 80)とサブグループ制御装置の組合せで、中央制御室(図10)から総合的に行なわれており、大幅な自動化が図られている。ガスタービンの制御機能は、基本的には速度、負荷の要求に応じて燃料量を調整することであり、この燃料量

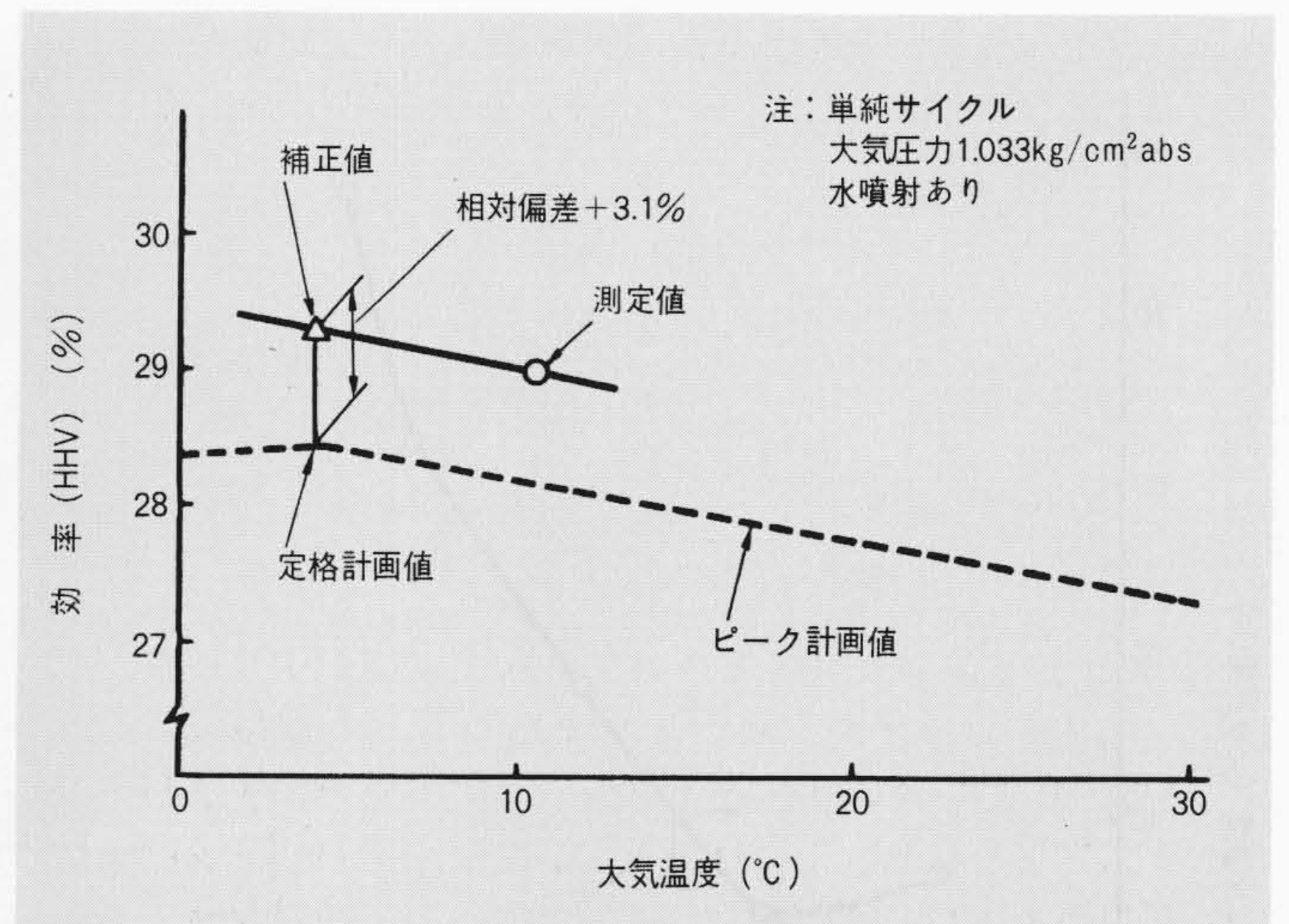


図11 ガスタービン効率 定格計画値に対して十分な効率余裕をもっている。

を決定する電圧信号がVCE(Variable Control Voltage)である。VCEを制御する系統は、起動制御、速度制御及び温度制御の3系統から成り立っている。本ガスタービンは、この3系統のほかに、入口案内翼制御ループをもち、部分負荷時、排気温度に応じた電圧信号ICE(Inlet Guide Vane Control Voltage)によって開度調整されている。また、シーケンス制御装置、温度保護装置、過速度保護装置、過振動保護装置などの保安装置、及び燃焼器監視装置、水噴射制御装置も本制御装置の中に入っている。

4 運転実績

本ガスタービンのシンプルサイクル運転時の計画性能は表1に示すとおりであるが、性能試験でも保証効率を十分に満足した結果が得られている。以下に、ガスタービンの性能、NO_x、騒音及び起動特性の実績について述べる。

4.1 性 能

本ガスタービンは、シンプルサイクル運転で最大出力100MWを保証項目としている。ダクト圧力損失が予想よりも低かったこと、水噴射の効果が予想よりも良好であったことにより、出力及び効率(図11)共に計画、保証値を十分上回る成績となっている。特に、ガスタービンの単機効率の大幅な向上は、コンバインドサイクル性能の向上に大きく寄与する結果となった。

4.2 NO_x、煤塵及び煙色

本プラントは灯油を燃料としており、窒素含有量が微少なことから、発生するNO_xはサーマルNO_xが主となる。シンプルサイクル運転の場合は脱硝装置が使えないために、ガスタービン内の発生源で低減させる必要のあること、コンバインドサイクル運転の場合はボイラ側の脱硝装置の脱硝効率を補う必要のあること理由から、NO_x発生源のガスタービン燃焼器内で水噴射を実施している。コンバインドサイクル運転状態で、水噴射を一定の制御スケジュールに沿って実施したときのNO_x濃度を図12に示す。

煤塵についてはガスタービン出口で3.2mg/Nm³、また、煙色については起動途中、定格運転中共に目視で不可視の状態であった。

4.3 騒 音

ガスタービン本体ケーシング表面及び補機表面から伝搬してくる騒音については、吸音材を施したエンクロージャによ

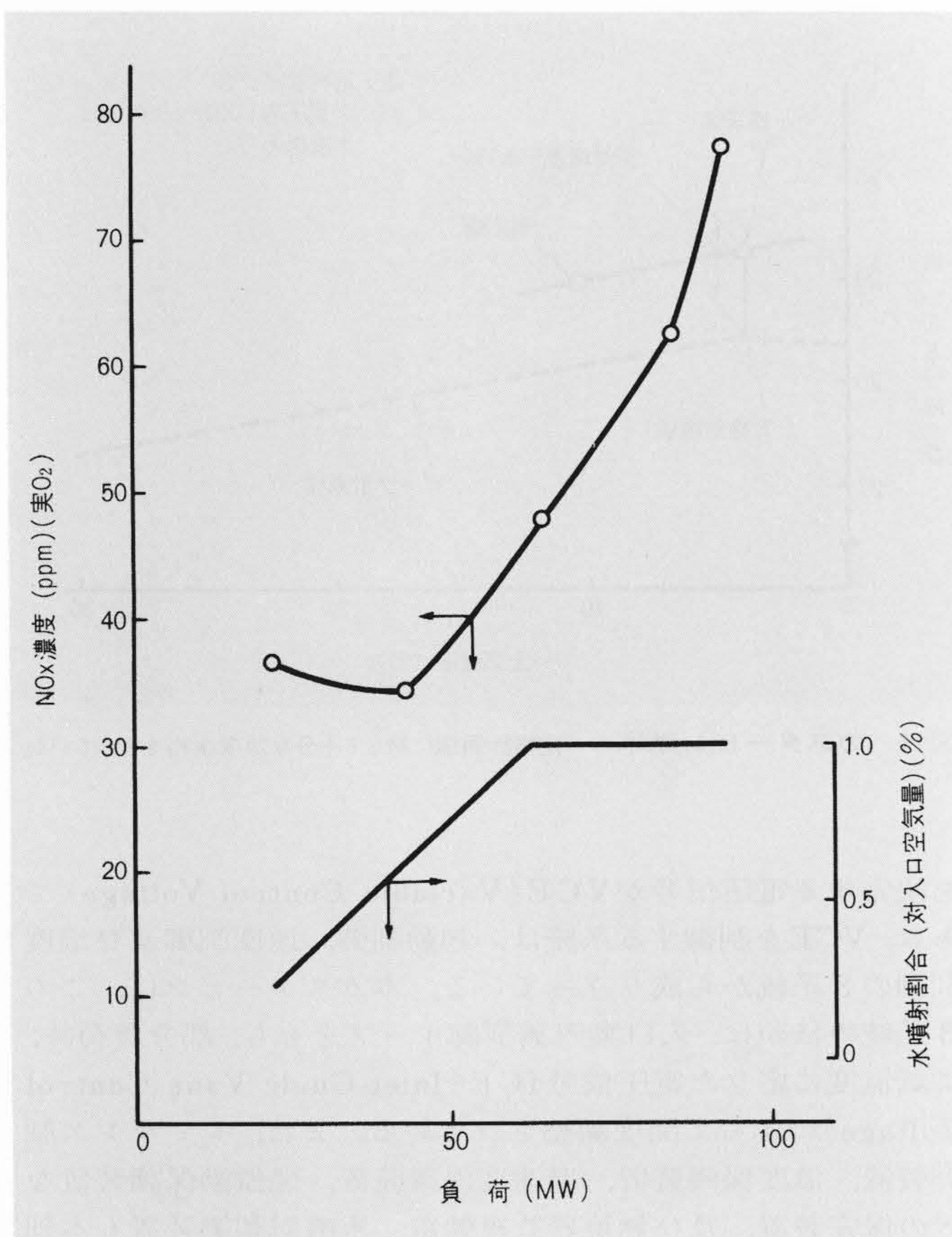


図12 ガスタービン出口NOx濃度 コンバインドサイクル運転、水噴射ありのときのガスタービン出口NOx濃度を示す。

りしゃ音して対策している。ガスタービン建屋内で測定した、エンクロージャ外側の騒音実績値を図13に示す。

4.4 起動特性

図14は本ガスタービンの起動特性を示すものである。起動は起動スイッチを入れるとシーケンシャルに、かつ自動的に進められ、約14分で完了する。起動信号が入り、潤滑油の状態が確認されると直ちに起動用電動機が作動し、ガスタービンロータが回転を始め、約2分後に着火速度(20%)に達し、更に5分間、ダクト及びボイラのパージを行なう。パージ完了後着火信号が出され、燃料の供給が開始される。着火が確

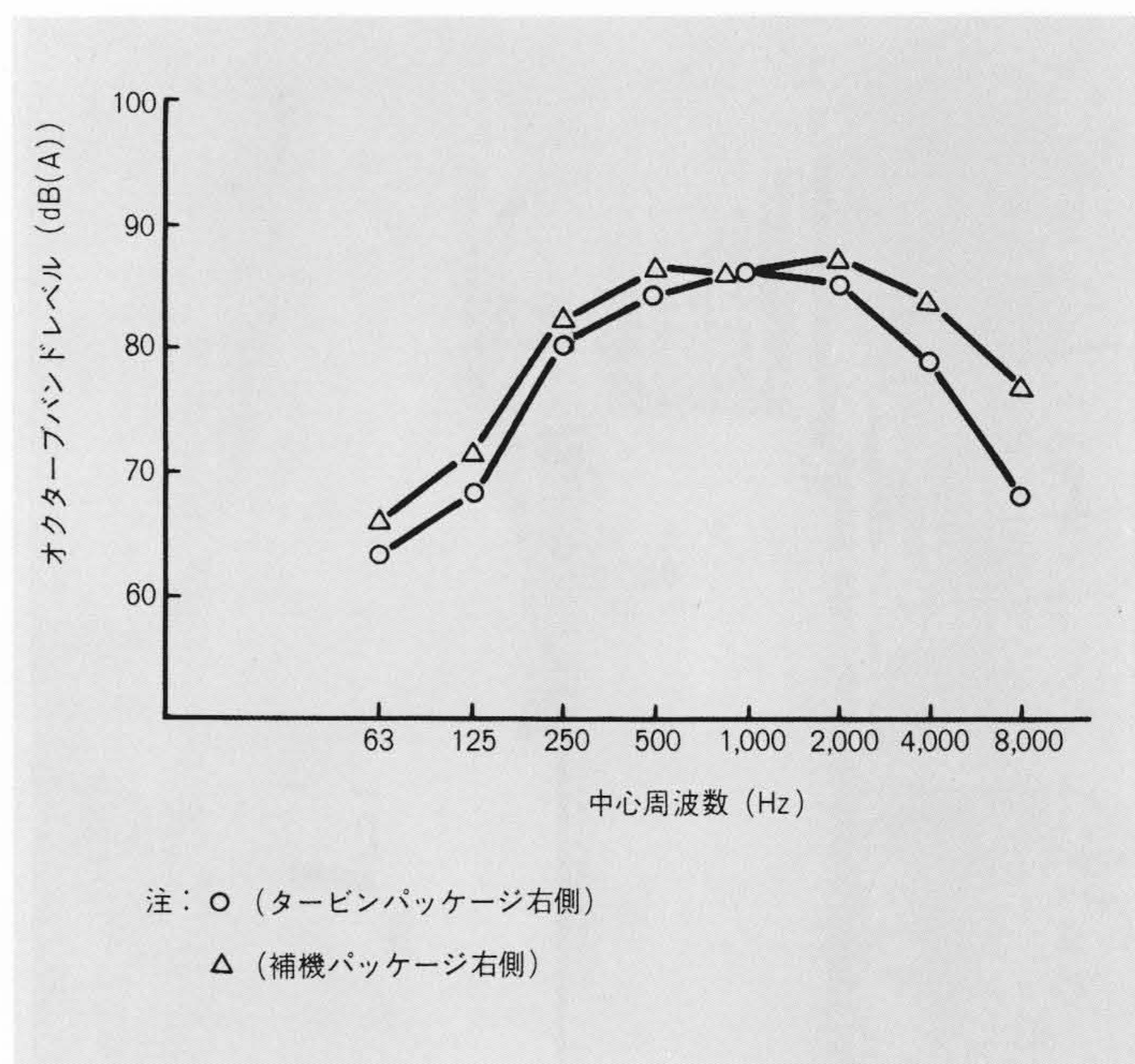


図13 ガスタービン機側騒音 ガスタービン建屋内で測定したエンクロージャ外側の騒音実績値を示す。

認されると、暖気運転後、排気温度及び加速度の制限を超えないように昇速され、定格速度に至る。

5 結 言

以上、141MWコンバインドサイクル用大容量ガスタービンについて、その概要を紹介した。本排熱回収形コンバインドサイクルプラントは、現在、各分野から注目を集めており、省エネルギー対策の有力な一手段として今後の飛躍的發展が期待されている。

参考文献

- 1) 西本, 外: 中国電力株式会社坂発電所向け67,000kW大容量ガスタービン, 日立評論, 59, 273~276 (昭52-4)
- 2) 小島, 外: 大容量2軸形ガスタービンの開発, 日立評論, 56, 1063~1068, (昭49-11)
- 3) 下出, 外: ガスタービン開発プラントの騒音対策, 日本ガスタービン学会誌, Vol. 4, No.16, 14~21 (昭52-3)

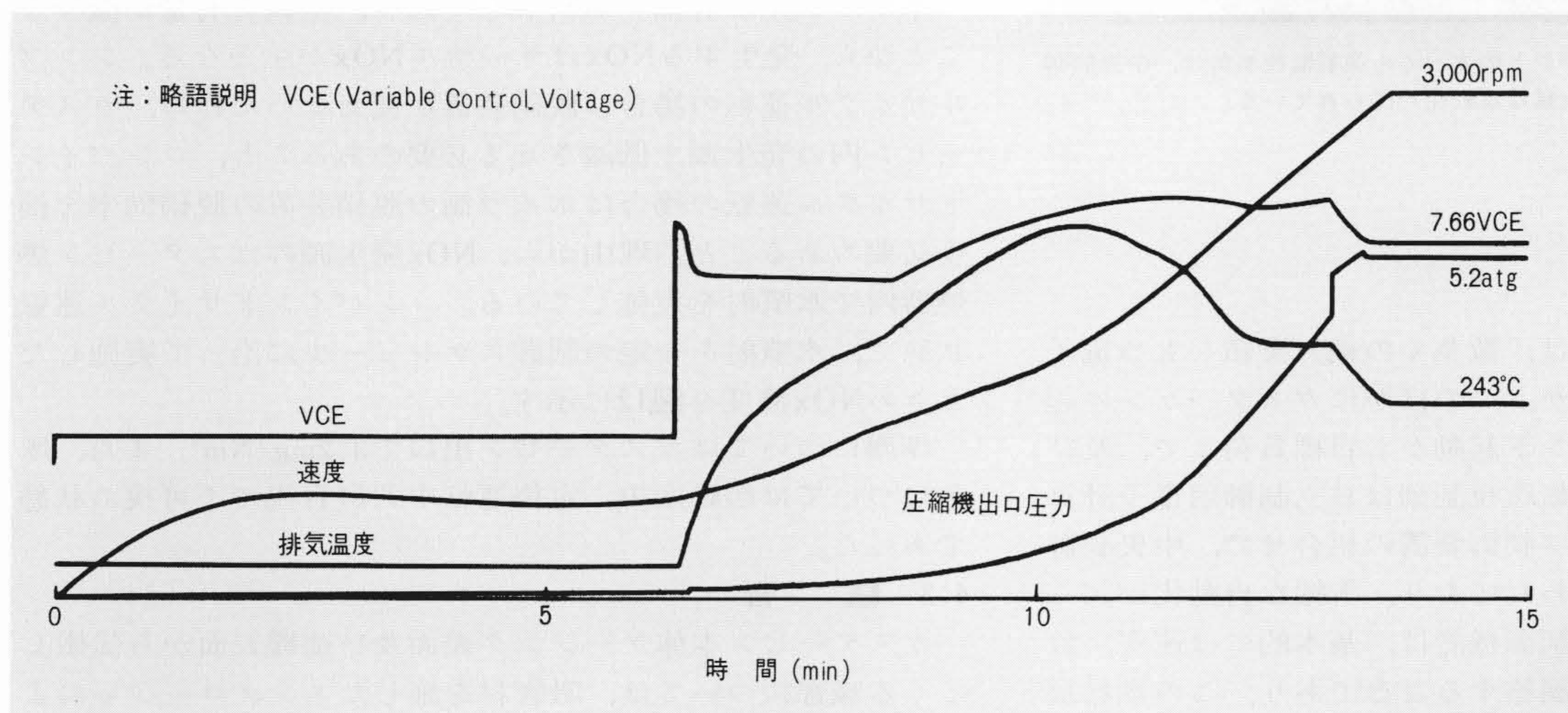


図14 現地試験での起動特性 起動指令後約14分で定格速度に達する。