

日立-GE 2軸形メカカルドライブガスタービン

Hitach-GE Two-Shaft Mechanical Drive Gas Turbine

日立-GE 2軸形メカカルドライブガスタービンは、従来ガスパイプライン、ガスギャザリング及びLNGプラントなどの圧縮機駆動に最も適した原動機として広く使用されてきた。近年これらの分野に加えて、天然ガスの注入、貯蔵プラント、あるいは高圧輸送パイプラインなどの新しい分野でも、2軸形メカカルドライブガスタービンの長所が認識され需要が着実に増えてきている。

この論文では、天然ガスパイプライン圧縮機駆動用2軸形メカカルドライブガスタービンの機能、特徴について詳述する。

また、ガスタービン本体の周辺機器のうち、特に寒冷地対策として製作、納入したガスタービン吸気系統の凍結防止装置の機能について概要を述べる。

徳永賢治* Tokunaga Kenji

瀧花清作* Takihana Seisaku

1 緒 言

最近発見されるガス田は海底ガス田をはじめ消費地から遠隔の場所になりつつある。これらの大規模ガス田を有効に利用するためパイプライン¹⁾の建設が必要となり、また消費地の選択と遠距離のパイプライン計画が必須となってきた。一方、これらのガス田を効果的に利用するため、余剰ガスの再注入及び貯蔵プラントの建設が増加する傾向にある。これらのプラントでの天然ガス圧力は、100～400 kg/cm²にも達し、各ガス圧送ステーションに設置される機械駆動用原動機として、2軸形メカカルドライブガスタービンの需要が急増している。これらの分野で2軸形メカカルドライブガスタービンが広く用いられる理由として、このタイプのガスタービンが従来より天然ガス工業で多くの実績をもっていることによっていることはいうまでもないが、更に(1)パッケージ化により、短納期・短期間での据付が可能であること、(2)天然ガスがガスタービンにとって最も良質な燃料であること、(3)遠隔制御によるガス圧送ステーションの無人化が可能であること、(4)長時間の連続運転が可能で、信頼性が高く保守が容易であること、(5)原動機として単機出力が大であるなど多くの利点をもっていることにある。以下、日立-GE 2軸形メカカルドライブガスタービンの機能、特徴などについて詳述する。

2 日立-GE 2軸形メカカルドライブガスタービン

2.1 標準仕様

日立-GE 2軸形メカカルドライブガスタービンの本体は完全に標準化されており、広範囲にわたる負荷側要求出力に応じられるように、MS1002、MS3002、MS5002及びMS7002の4種類の標準機種が準備されている。図1に、これら標準機種の断面図を示す。組み立てられた状態で一体輸送、据付が可能となるようにパッケージ化されており、大別してガスタービン本体と付属機器の部分に分けられる。表1は、国際標準化機構(ISO)の定める標準状態(15℃、1.033 kg/cm² abs)での標準仕様を示す。

2.2 構 造

日立-GE 2軸形メカカルドライブガスタービンは、各々独立した軸をもつ高圧タービンと低圧タービンから成ってお

表1 日立-GE 2軸形メカカルドライブガスタービンの標準仕様
広範囲にわたる負荷側要求出力を満足するように、4種類の標準機種が準備されている。

項 目	機 種	M1502	M3142	M5262A	M5332B	M7652
出 力 (HP)		5,050	14,600	26,250	33,550	65,400
ヒートレイト (LHV) $\left(\frac{\text{kcal}}{\text{HP}\cdot\text{h}}\right)$		2,664	2,432	2,465	2,245	2,331
空 気 流 量 (kg/s)		20.4	51.0	97.3	116.5	238.4
排 気 温 度 (℃)		519	532	524	499	500
燃 焼 温 度 (℃)		912	943	921	927	927
圧 縮 機 定 格 速 度 (rpm)		11,140	7,100	5,100	5,100	3,600
タービン定格速度 (rpm)		10,290	6,500	4,670	4,670	3,020
燃 焼 器		1	6	12	12	12
サ イ ク ル		単 純				
燃 料		天 然 ガ ス				

注：大気条件は、ISO標準状態(15℃、1.033 kg/cm² abs)とし、吸排気ダクト、サイレンサなどの圧力損失による影響を除く。

り、高圧タービンと低圧タービンとの間に可変式第2段ノズルが配置されていることが特徴である。高圧タービンホイールは、軸流圧縮機と軸駆動補機装置を駆動し、低圧タービンホイールは負荷機械を駆動する。このように、二つのタービンホイールが分離されているため、各ホイールは異なった速度で回転することができ、また、広範囲にわたる負荷要求を満足することができる。図2に組立て中の日立-GE 2軸形メカカルドライブガスタービンを示す。

圧縮機は高効率な軸流多段形で、圧縮機各段はディスク構造が採用されており、これらのディスクは、軸に対し同心に配置された貫通ボルトにより一体に組み立てられている。

燃焼装置は、図3に示すように燃焼器、燃料ノズル、スパークプラグ及び火炎検出器から構成される。燃焼器は外筒、ライナ及びトランジションピースから成っている。燃焼はライナ内で行なわれ、燃焼ガスはトランジションピースを通過してタービンへ流れる。ライナは、図4に示すように内面を空

* 日立製作所日立工場

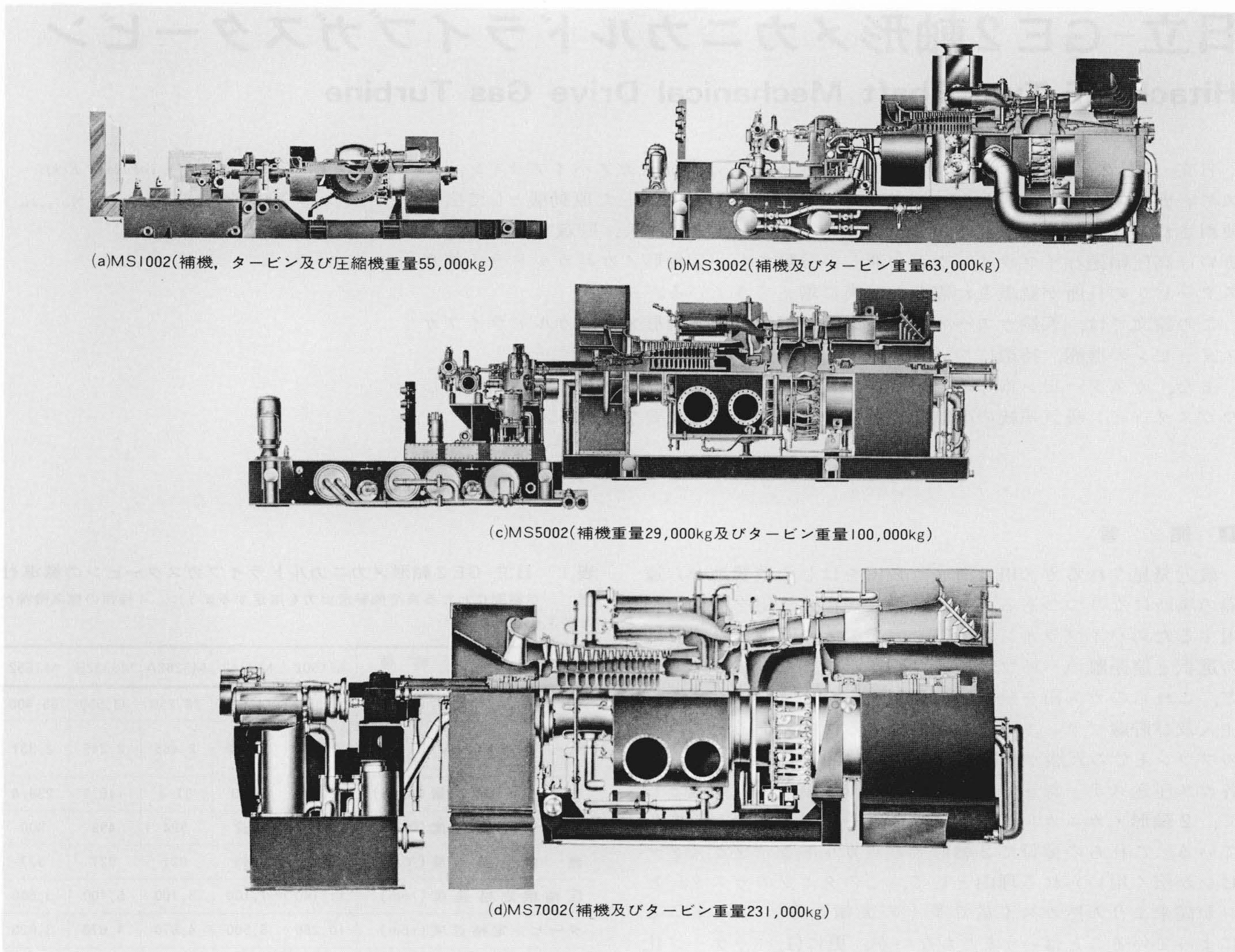


図1 日立-GE 2軸形メカニカルドライブガスタービン断面図
組立てられた状態で輸送・据付が可能となるようパッケージ化されている。

気で膜冷却するための多数のルーバをもつ構造であるため、ライナ及びトランジションピースは内外の圧力差が小さく、したがって、作用する応力が小さい。また肉厚が薄いので、

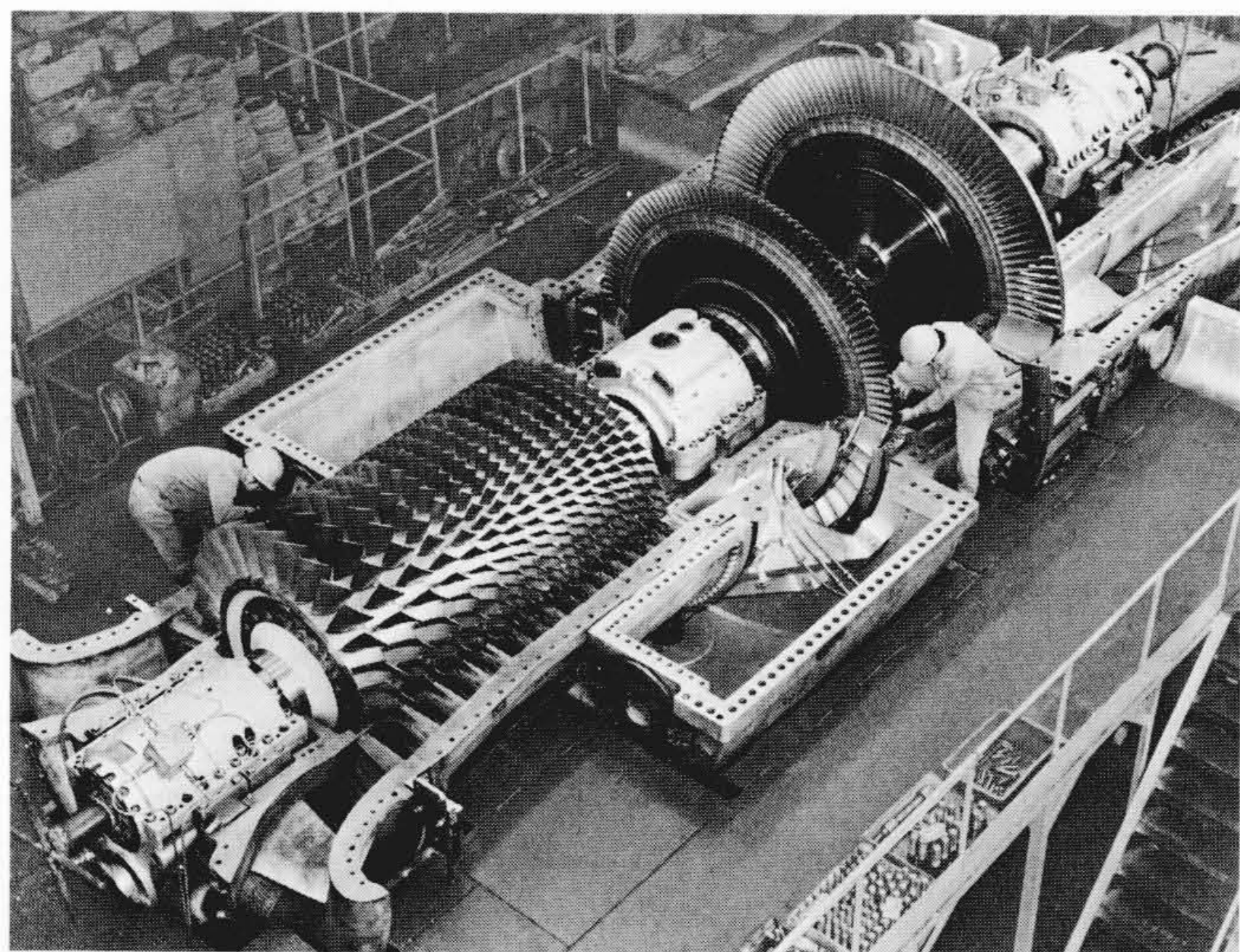


図2 工場組立中のMS7002ガスタービン本体 高圧タービンロータ及び低圧タービンロータが設置され、アライメント作業が行なわれている。

温度変化に対する即応性が良い。

タービンは高圧段と低圧段の2段から成り、高圧タービンホイールは圧縮機ロータに、また、低圧タービンホイールは出力タービンロータにそれぞれボルトで結合されている。タービンは衝動形であるため、動翼翼列入口の圧力が動翼出口の圧力にほぼ等しく、膨張はノズル内で行なわれるので、反動形と比較して動翼入口温度がはるかに低くなっている。また、動翼にはロングシャンク設計を採用し、作動ガスに触れる高温の翼プロフィール部と植込部を離し、高い遠心力を受ける植込部の温度レベルを低く保つようにしてある。図5に日立-GE形ガスタービン各シリーズの第1段動翼を示す。タービンホイールは、圧縮機からの抽気により表面冷却され、ホイールスペースの空気温度は熱伝対により監視されている。タービンの二つの段落には精密鑄造されたノズルが設けられており、第1段ノズルは図6に示すように中空になっており、内部を冷却した空気がノズル下流側にあけられた小さな穴から出て、作動流体と合流する。第2段ノズルは、1枚ごとにレバーを介しコントロールリングに接続されており、サーボ弁から供給される高圧油により油圧シリンダを駆動し、コントロールリングを回すことによりノズル角度が調節される²⁾。タービン部の材質として、第1段ノズルにはコバルト合金(FSX414)、第2段ノズルには耐熱合金鋼(N155)、第

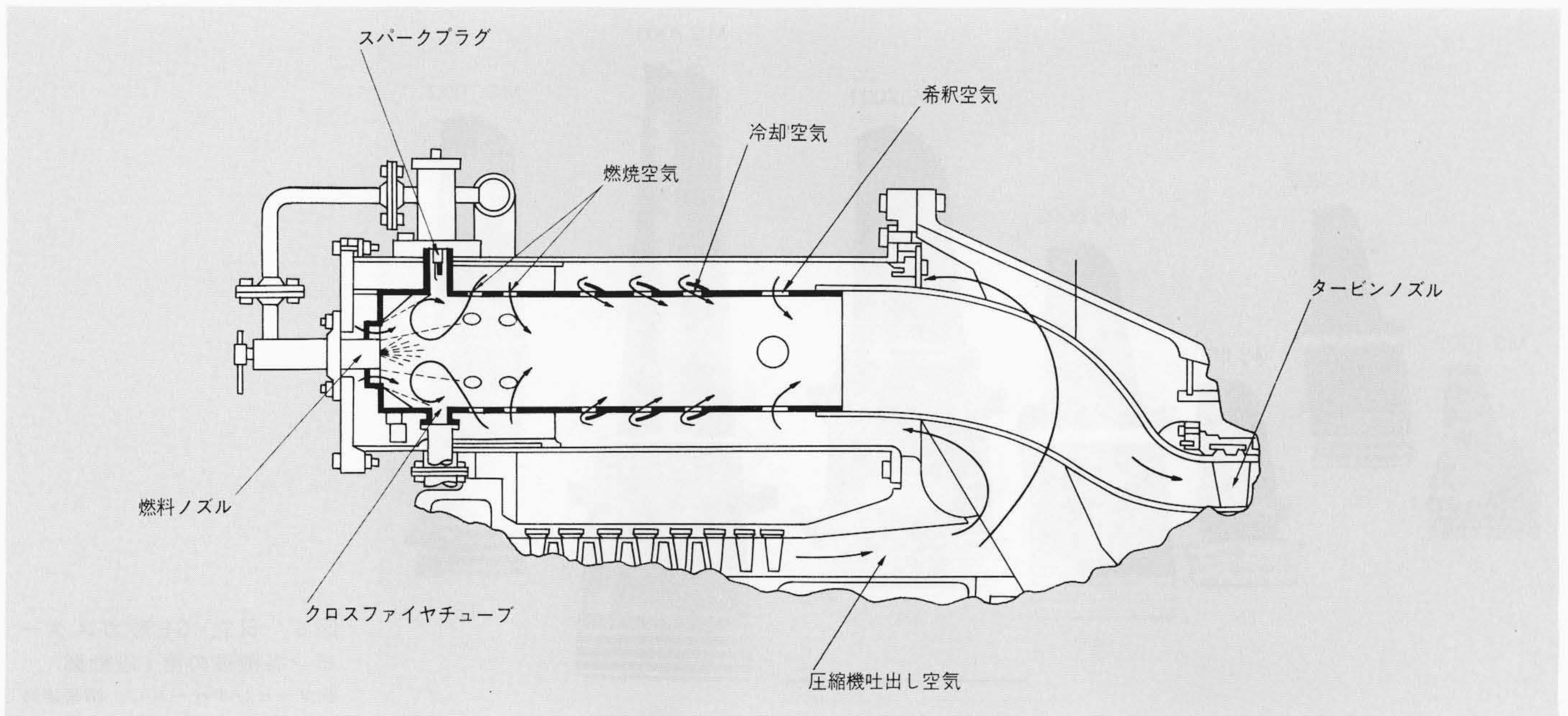


図3 MS5002ガスタービン燃焼装置 圧縮機吐出し空気は、いったん流れの向きを変えて燃焼器内に導かれ、燃料ノズルから噴霧された燃料の燃焼により高温ガスとなり、タービンに向かう。

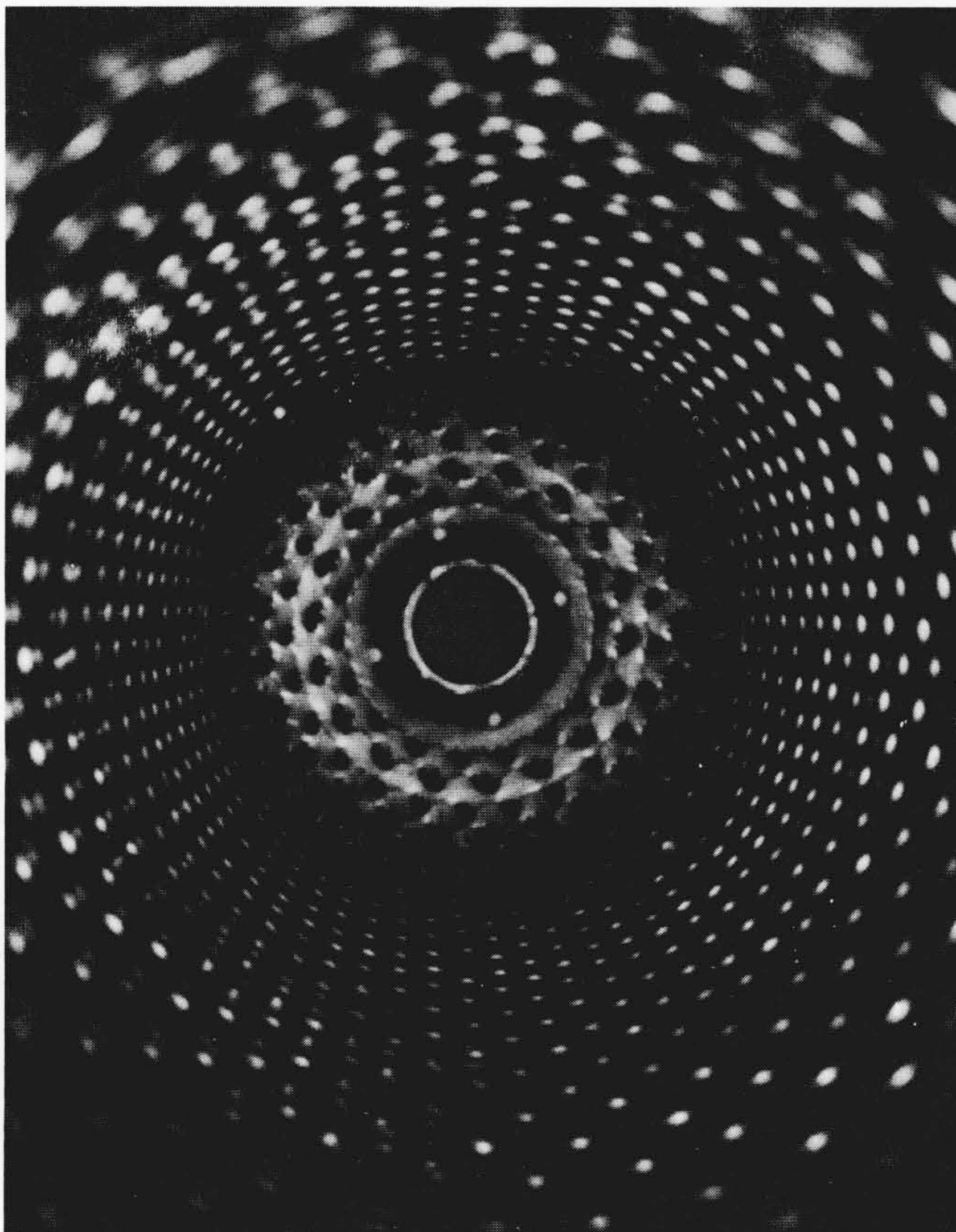
1 段動翼にはニッケル合金 (IN738)、第 2 段動翼にはニッケル合金 (U500) をそれぞれ採用している。

タービンを通った燃焼ガスは、排気プレナム、排気ダクト、サイレンサを通して大気に放出される。排気プレナムはタービン後部のベース上に支持され、排気フレームと排気ガステ

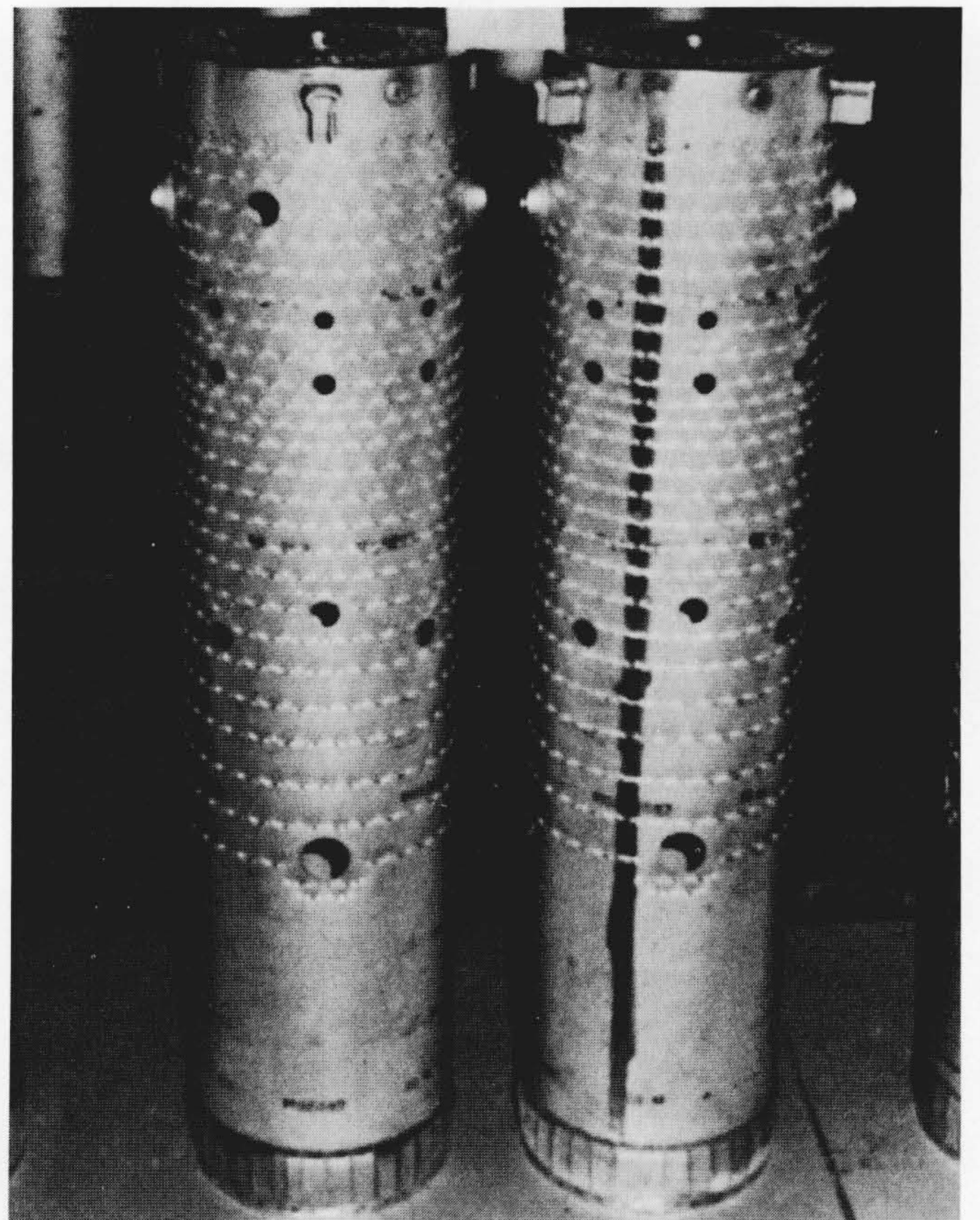
イフューザを覆っている。

2.3 2 軸形メカニカルドライブガスタービンの特徴

2 軸形メカニカルドライブガスタービンでは、高圧タービンと低圧タービンとの間に可変式第 2 段ノズルが設置されており、第 2 段落に対しては空気力学的に効率の良いノズルブ



(a)燃焼器ライナ内部構造



(b)燃焼器ライナ外観

図4 燃焼器ライナ 燃焼器ライナは、内面を空気で膜冷却するための多数のルーバ及び燃焼空気・希釈空気取入穴をもつ構造となっている。

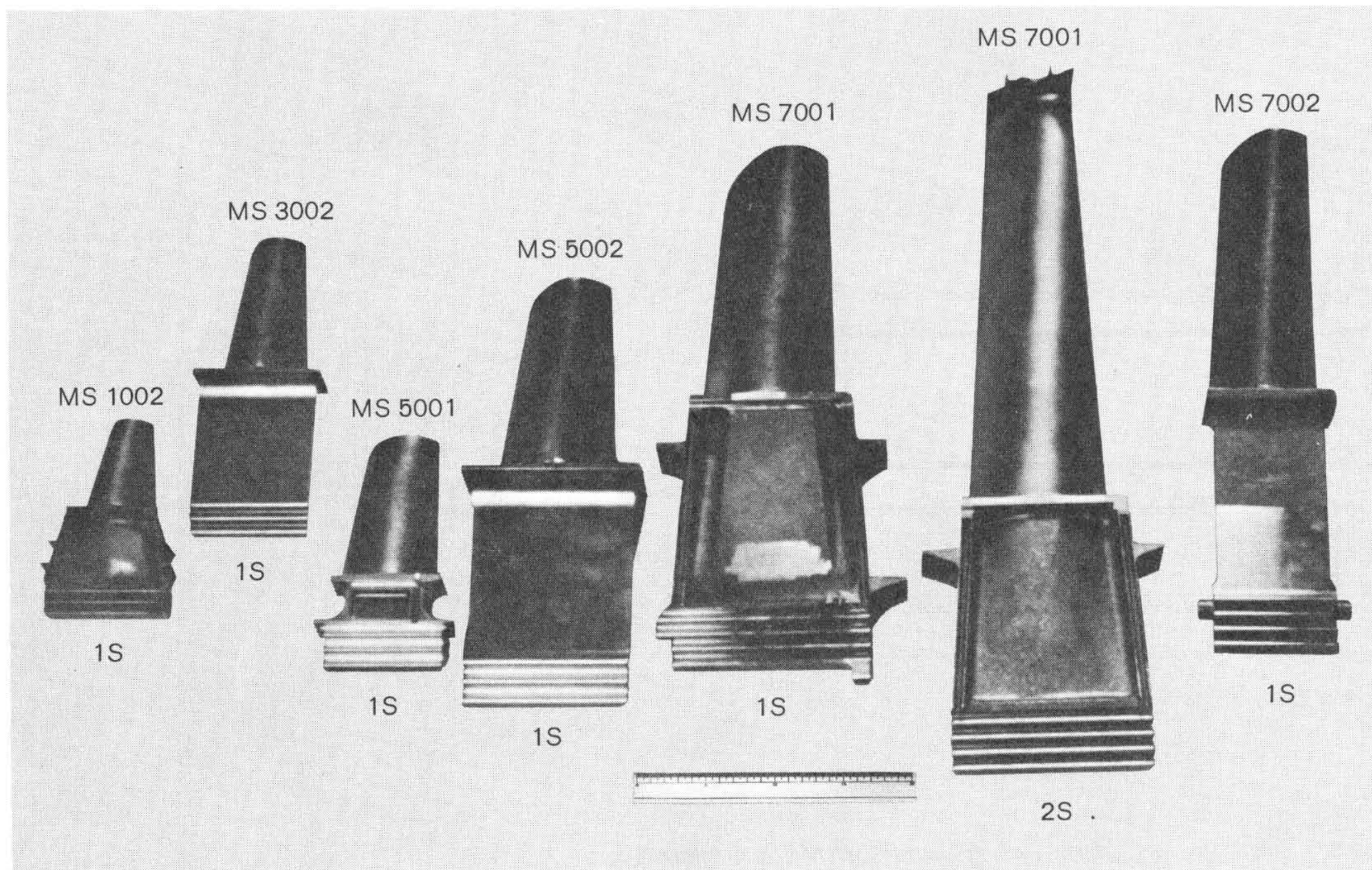


図5 日立-GE形ガスタービン各機種の第1段動翼
各タービンホイールに、精密鑄造のロングシャック設計を採用した動翼が組み込まれる。

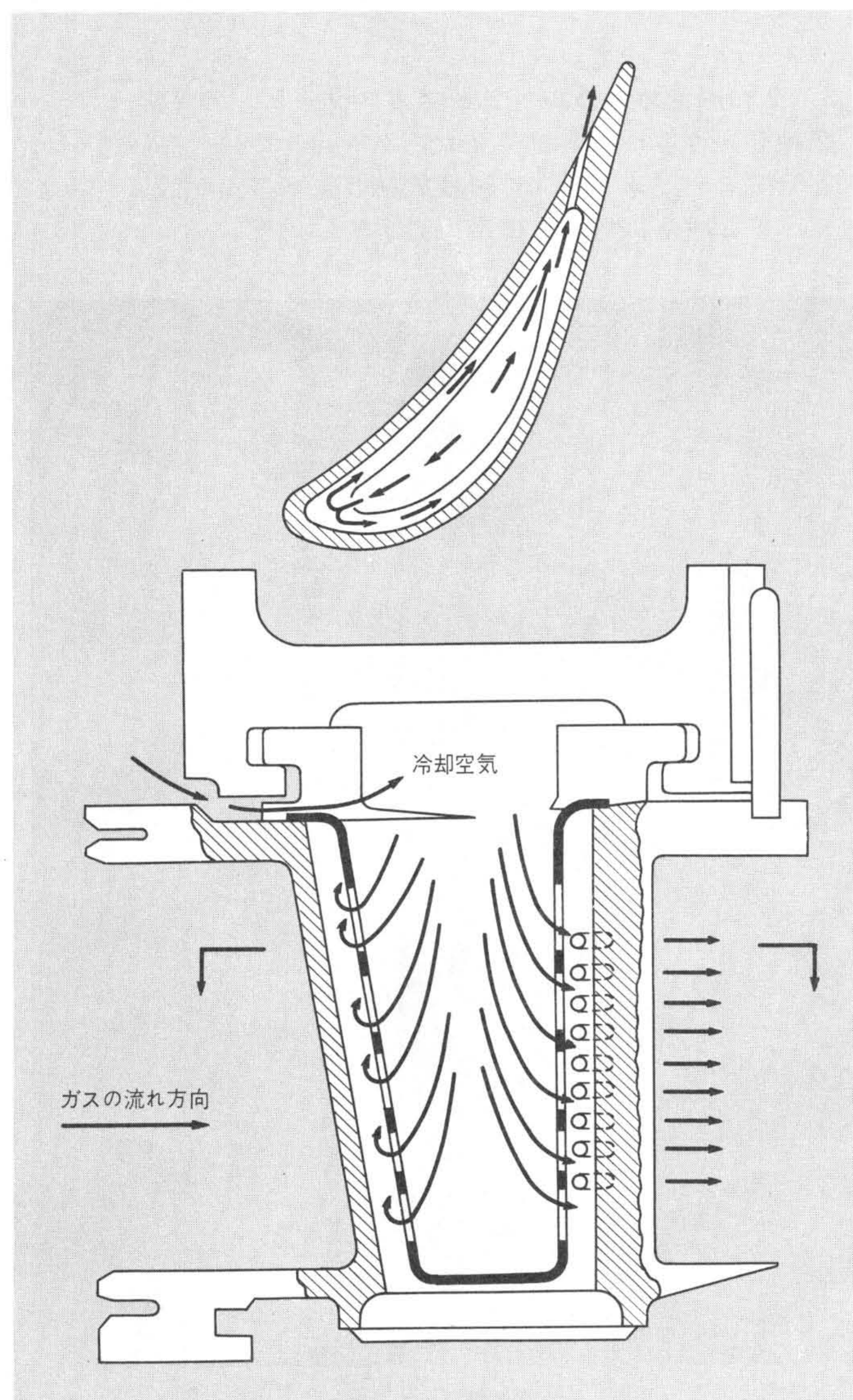


図6 タービン第1段ノズル ノズル内部を冷却した空気は、ノズル下流側にあけられた小さな穴から出て、作動流体と合流する。

ロフィルを形成しているため、背圧の調整による絞り損失が生ずることなく、第1段タービンと第2段タービンの圧力比、すなわちエネルギーの配分を調節することができる。このように2軸形ガスタービンでは、軸流圧縮機は速度は圧縮比に応じた最適な速度に維持しながら、負荷側はプラント要求に応じて、回転数を50～105%の範囲に制御することができる。一例として、天然ガスパイプラインガス圧送ステーション間距離が260km及び520kmで、ガス圧送ステーション吐出し圧力一定制御のもとで駆動機として1軸形ガスタービン、又は2軸形ガスタービンを使用した場合のユニット全体の許容運転範囲を図7に示す。同図から2軸形ガスタービンを駆動機とするユニットの運転範囲は、1軸形ガスタービンユニットと比較して、はるかに広いことが分かる。すなわち、2軸形ガスタービンがメカニカルドライブ用として理想的な特性を持っているといえる。上記の特徴に加えて、

- (1) 起動時に負荷軸を回転する必要がなく、起動動力を減少させることができる。
 - (2) 部分負荷では空気流量を減らし、ガスタービン燃焼温度を高く維持できるため、再生サイクルの場合には部分負荷の性能が大幅に改善される。
 - (3) コンバインドサイクルの場合は、外気温度の変化、又は負荷の変化に対して排気温度を高く維持することができるので、排熱回収ボイラの性能低下が少なく、プラント全体の部分負荷効率を大幅に改善することができる。
- など多くの利点をもっている。

3 制御装置

日立-GE 2軸形メカニカルドライブガスタービンは、電子式スピードトロニック制御装置³⁾を採用している。この制御装置の特長は、従来、ガスタービン一般に採用されてきた機械油圧式をエレクトロニクス化することにより、信頼性、耐久性を向上させるとともに、制御精度を高め、応答性を敏速化するという点にある。

ガスタービンの制御装置は、基本的には速度、負荷の要求に応じて燃料量を調節する機構であるということができる。

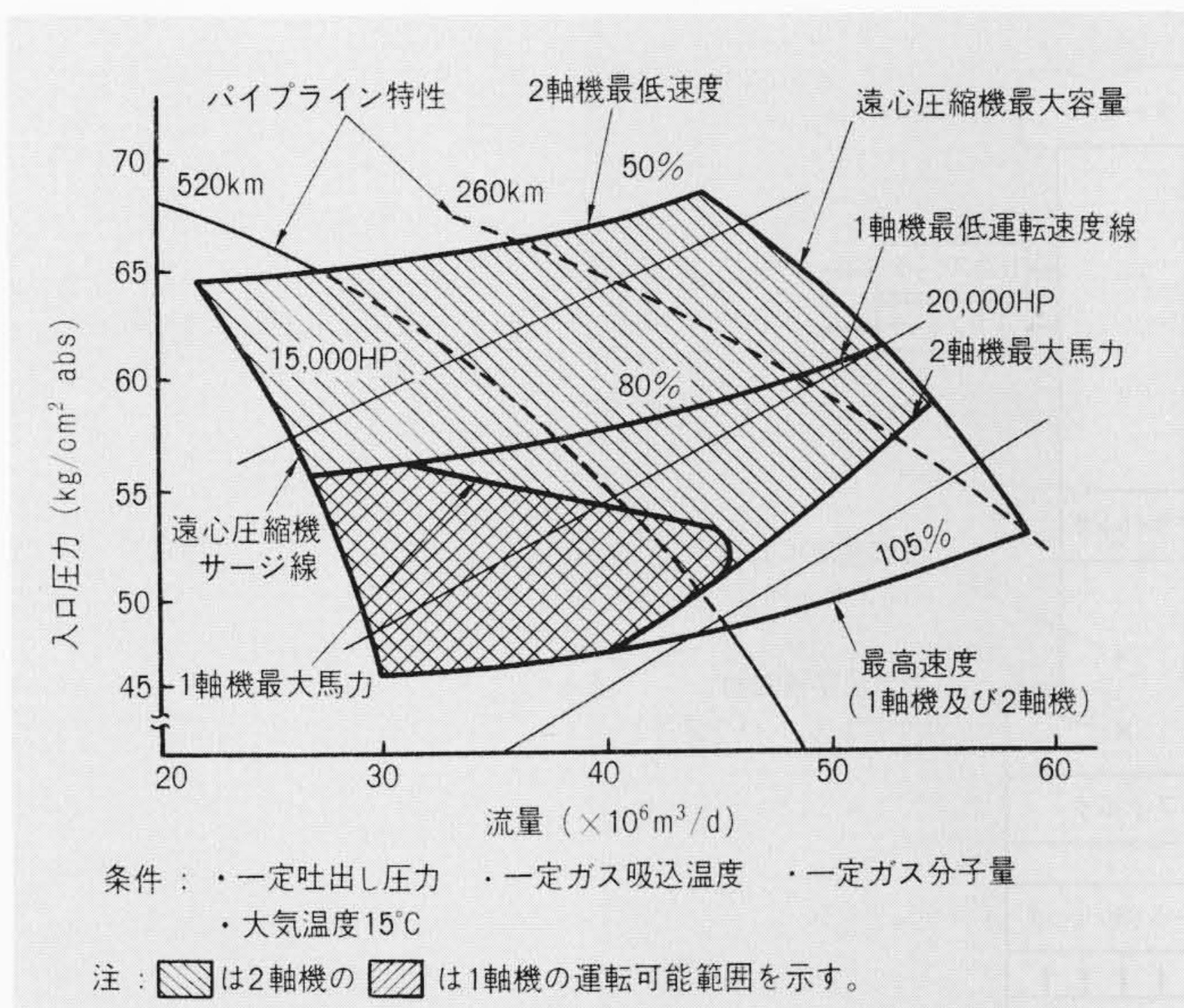


図7 パイプライン圧縮機運転範囲 1軸形ガスタービンと2軸形ガスタービンの運転可能範囲を比較すると、2軸機が非常に広範囲なパイプライン特性に適應できることが分かる。

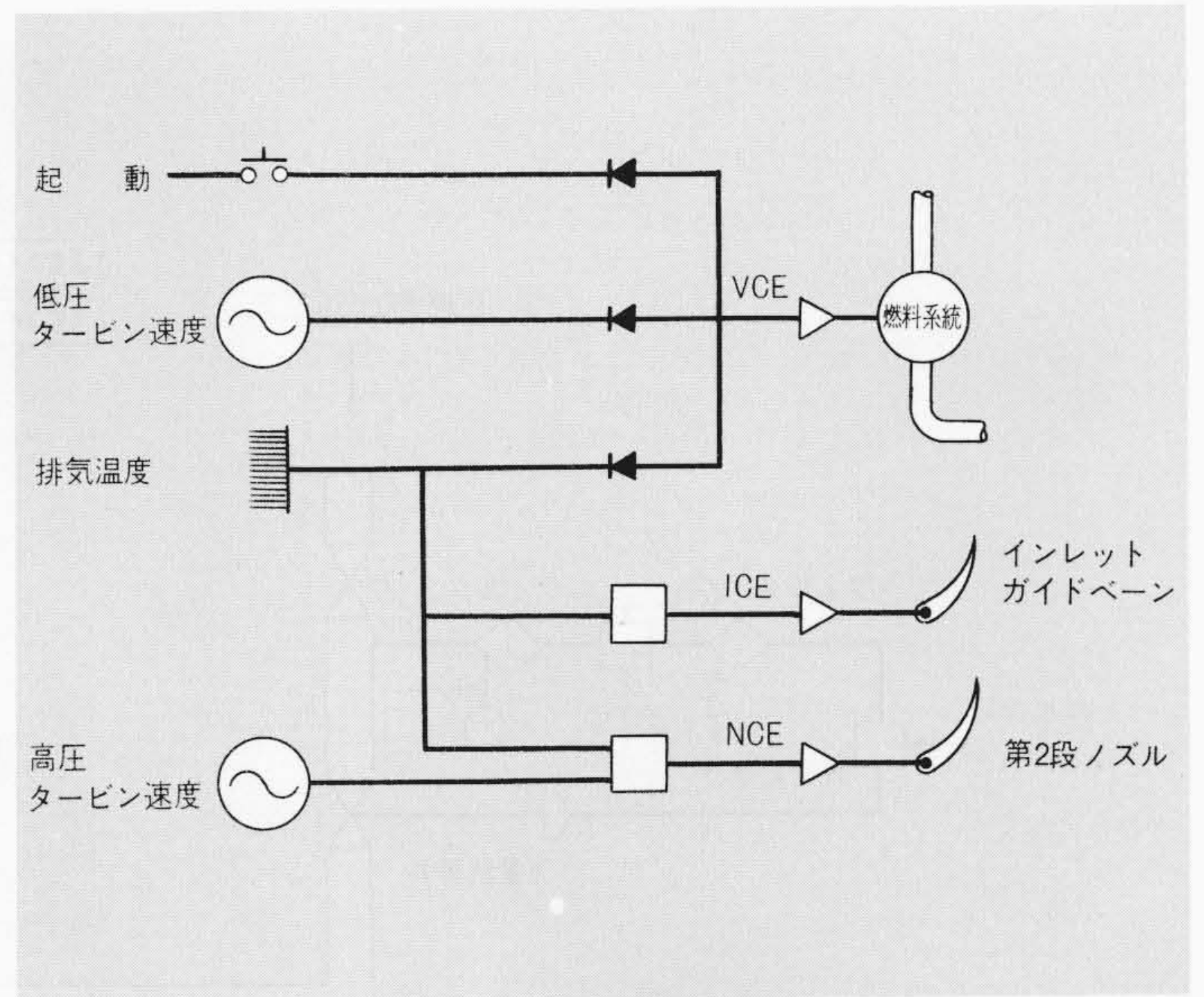


図9 2軸形ガスタービン制御概念図 第2段ノズル制御はNCE信号によって行なわれ、高圧タービン軸速度と排気温度によりNCEが設定される。

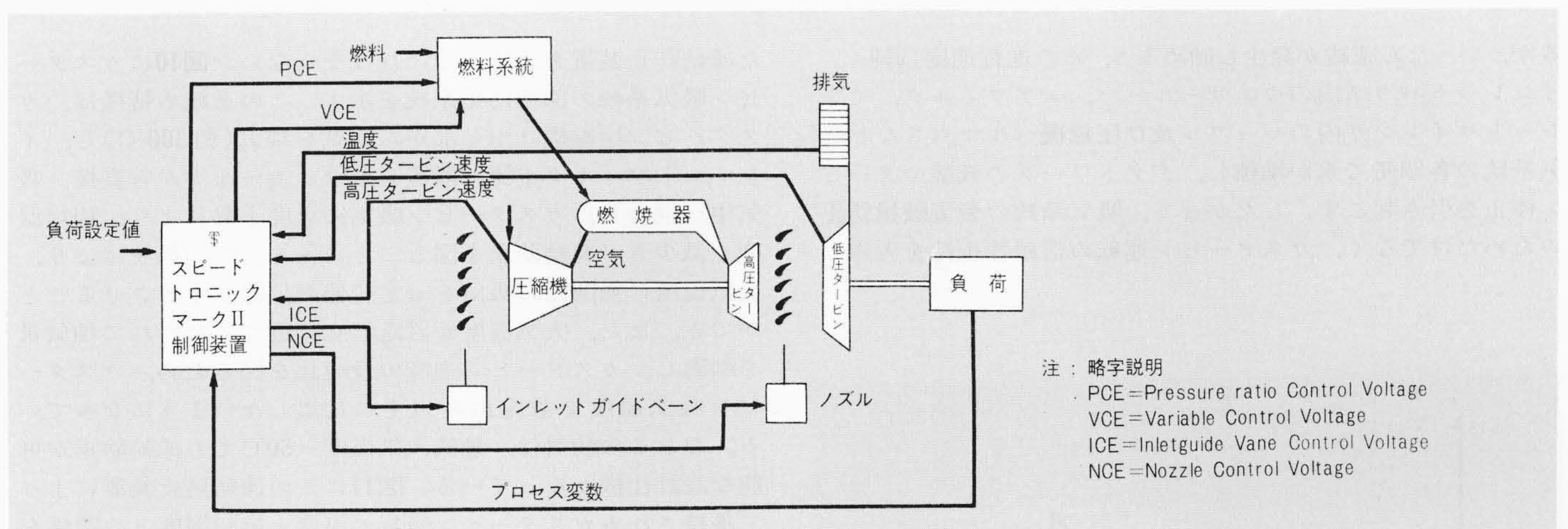


図8 2軸形ガスタービン制御系統機能図 ガスタービンの負荷は、燃料制御により、また、高圧タービン速度、すなわち空気量は可変式第2段ノズルの制御により調節される。

しかし、この基本的要求に付随して、ガスタービン始動から着火、加速、負荷上昇などを時限的に、かつ自動的に進行させるシーケンス制御装置、また、高温ガスをエネルギー源に使用していることによる温度高に対する保護装置、高速回転機であることによる過速度あるいは過振動保護装置などの保守装置も制御装置の中に含まれている。スピードトロニックの心臓部である制御部は、ソリッドステート化された多数のプリント板から成り立っている。この制御部はガスタービンの速度、温度信号を受信し、負荷あるいは速度の設定を行ない、ガスタービンの燃料量を決定する電圧信号VCE(Variable Control Voltage)を出す(図8)。

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。この3系統は常時その系統により要求されるVCEを出力として出しているが、実際に燃料を制御するためのVCEとなるものは、3系統の中の最低電圧である。この最低電圧より高い他の2系統からの出力信号はバックアップ信号となる。すなわち、燃料制御は起動、

速度、温度制御のいずれか1系統の出力信号によって行なわれており、他の2系統からの出力信号は補助信号として常時待機していることになる。このため、1系統に異常を生じてもガスタービン本体は異常運転を行なうことなく他の系統にバックアップされ、安全な運転を続けることができる。

2軸形ガスタービンについては、このほかにインレットガイドベーン制御ループ及び第2段ノズル制御ループがある。インレットガイドベーン制御ループは、排気温度に応じてインレットガイドベーン開度を決定する電圧信号ICE(Inletguide Vane Control Voltage)を出し、第2段ノズル制御ループは、高圧タービン回転数に応じて第2段ノズル開度を決定する電圧信号NCE(Nozzle Control Voltage)を出す(図9)。

4 ガスタービン吸気系統の凍結防止装置

寒冷地に設置されるガスタービンに対しては、吸気系統の凍結現象が問題となるため、凍結防止装置の設置が必要となる。この凍結現象は、特定の外気条件下で発生するものであ

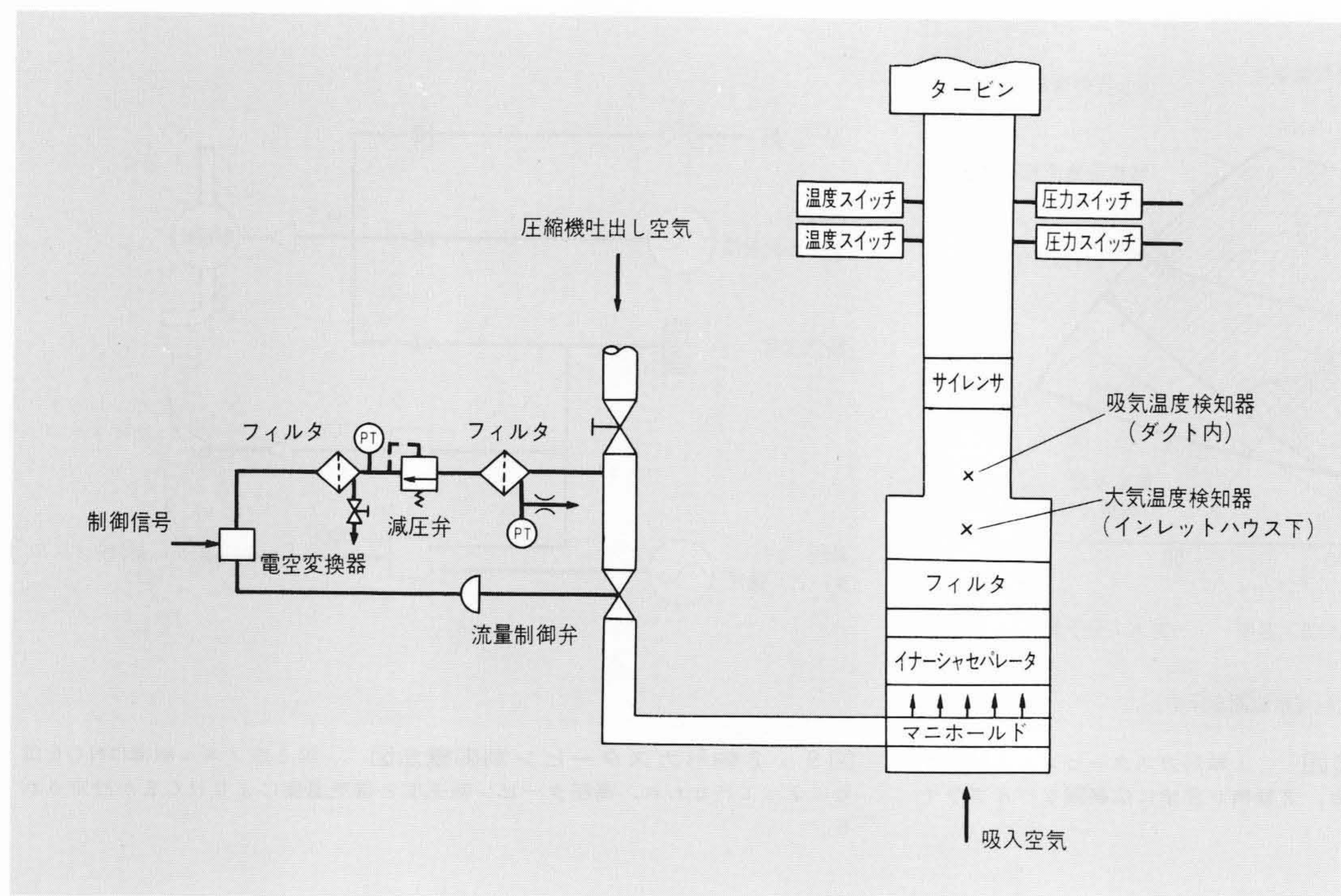


図10 ガスタービン吸気システムの凍結防止システム 寒冷地に設置されるガスタービンに対しては、吸気システムの凍結防止装置の設置が必要となる。

るが、いったん凍結が発生し始めると、その進行速度は速く、インレットハウス内のウエザルーバ、エアフィルタ、インレットサイレンサ内のバップル及び圧縮機ベルマウスなど吸気システムの各個所で氷が堆積し、ダクトワークの破壊やタービン停止を引き起こす。したがって、吸気システムの装置破損防止のためだけでなく、ガスタービン運転の信頼性維持を考慮し

た凍結防止装置を設置しなければならない。図10にガスタービン吸気システムの凍結防止システムを示す。この系統の特徴は、ガスタービン圧縮機吐出し部から空気を抽気（約300℃）し、インレットフィルタ上流に設置したマニホールドから直接、吸気中へ混合し、ガスタービン吸気の温度上昇により、相対湿度を減少させ凍結防止を図ることにある。この系統により、大気温度に無関係に吸気を一定の値だけ温度上昇させることができ、また、大気温度が設定温度に近づくにつれて抽気量を制御し、ガスタービン性能の最適化を図るため、ガスタービン吸気温度を設定温度以上に加温しないようになっている。なおこの装置は、最低大気温度-50℃でも凍結防止が可能な設計仕様となっている。図11にこの凍結防止装置によって維持されるガスタービン吸気の温度と絶対湿度との関係を示す。圧縮機吐出し空気は、大気空気と同じ絶対湿度をもっているため、混合加温線は一定絶対湿度線上を移動する。なお、加温開始点は各大気温度に対し、相対湿度100%の最悪状態を想定している。

5 結 言

以上、日立-GE 2軸形メカニカルドライブガスタービンについてその概要を紹介したが、2軸形ガスタービンは、1軸機にはない優れた特性をもっており、天然ガス及び原油パイプラインだけでなく、各種プラントの機械駆動用原動機として脚光を浴びている。

日立製作所では、上述の要請に対して十分即応できるものと確信している。

参考文献

- 1) 久保田, 山本: 天然ガスパイプラインブースタステーション, 日立評論, 60, 199 (昭53-3)
- 2) 小島, 大島, 星野: 大容量2軸形ガスタービンの開発, 日立評論, 56, 1064, (昭49-11)
- 3) 草場, 上田, 目黒: ガスタービンスピードトロニック制御, 日立評論, 54, 601, (昭47-7)

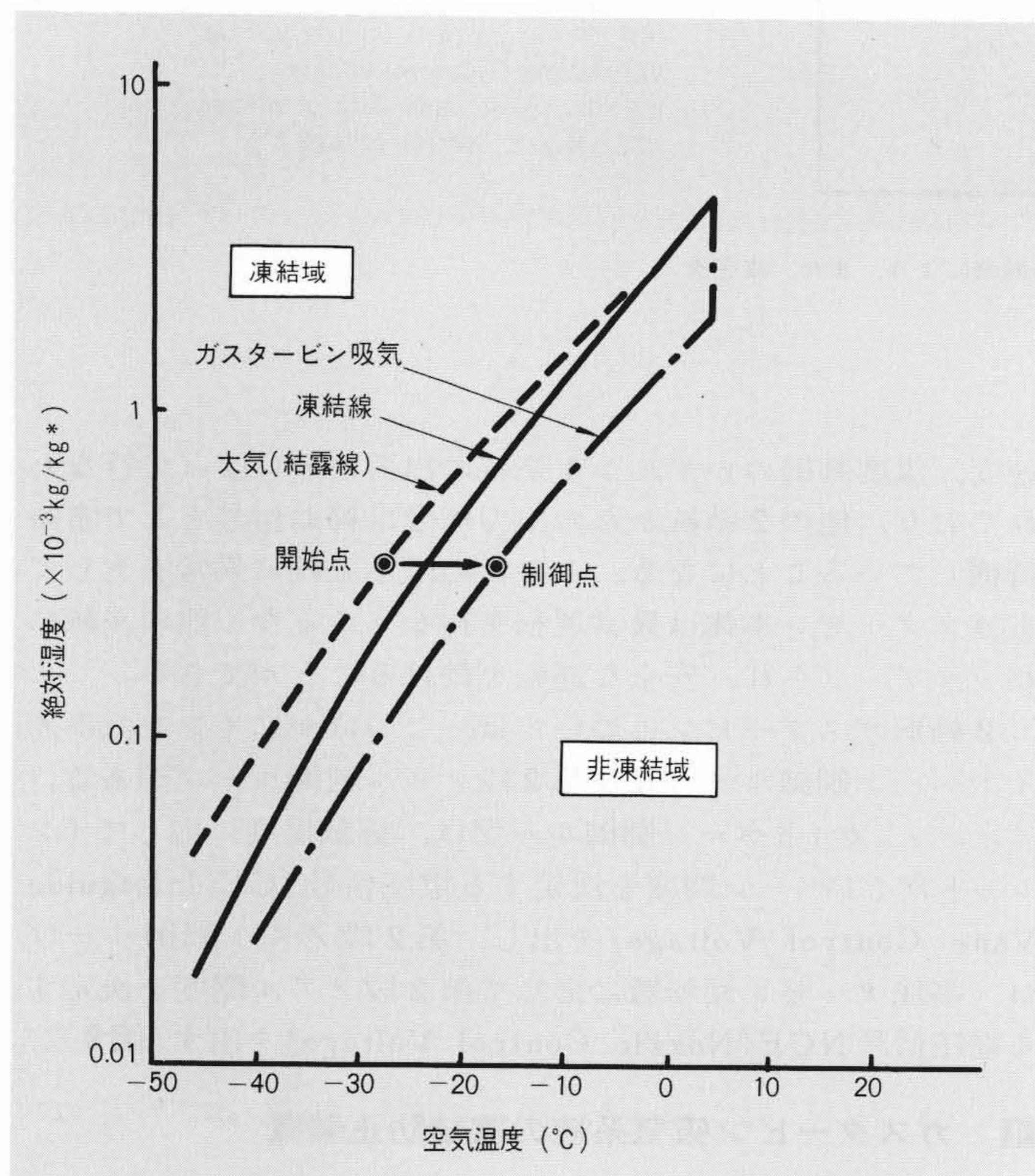


図11 凍結防止装置運転時のガスタービン吸気状態 凍結域にある大気は、圧縮空気混合により非凍結域まで加温され、ガスタービンに吸い込まれる。