

ガスタービンの応用

Gas Turbine and Its Applications

浦田 星* 小島 秀夫*
Hoshi Urata Hideo Kojima

要 旨

日立製作所では世界最大のガスタービンメーカーであるアメリカGE社との協同製作協定により、ガスタービンの製作態勢を確立している。ガスタービンはその特長を生かして利用されてきているが、ここではピークロード用、併用サイクルあるいは蒸気利用発電などの応用面と運転条件に対する保守上の問題について述べる。

1. 緒 言

最近の世界各国におけるガスタービンの需要増加は著しく、これまでに設置された世界中のガスタービンの総出力は3,600万kWに達している。ガスタービン総出力の増加割合は毎年40%ないし50%で、過去5年間に約6倍に増大しており、これはほかのいかなる原動機よりもはるかに高い比率で伸びていることになる。これはまたガスタービンが工業用の原動機としての高い信頼性を有することが運転実績により実証され、経済的にもすぐれたものであることが広く認識されてきたためである。さらに最近の大幅な需要の増大はガスタービンの特長が最大限に生かされたガスタービンプラントのパッケージ化に負うところも大きい。

日立製作所では世界最大のガスタービンメーカーであるアメリカGE社との協同製作協定により、ガスタービンの製作を行なっているが、ここではその特長、用途、応用面での経済性あるいは運転条件に対する保守上の問題について述べる。

2. 日立-GE ガスタービン

2.1 実績と信頼性

GE社では1949年に工業用ガスタービンの第1号機を完成して以来1968年7月までの納入実績は受注済のものを含め867台に達しており、これは世界最大の実績を示すものである。表1はこれを用途別に示したものである。

ガスタービンの信頼性を表わす指標として利用率、有効率および信頼度を次のように表示する。

$$\begin{aligned} \text{利用率} &= \frac{\text{実際の運転時間}}{\text{設置時間}} \times 100 \\ \text{有効率} &= \frac{\text{設置時間} - (\text{事故による休転} + \text{保守}) \text{時間}}{\text{設置時間}} \times 100 \\ \text{信頼度} &= \frac{\text{設置時間} - \text{事故による休転時間}}{\text{設置時間}} \times 100 \end{aligned}$$

利用率80%以上のベースロード用ガスタービン68台について調査した結果、利用率89.5%、有効率97.4%、信頼度99.5%ときわめて高い信頼性の実績が得られている。

2.2 標準機種

ガスタービンの本体は完全に標準化されており標準機種が決まっている。日立製作所がアメリカGE社との協同製作協定により製作している日立-GE形ガスタービンの標準機種はモデル3000、5000、7000の3種類の基本設計が基準になっている。ガスタービンの性能は使用燃料および外気条件に左右されるが、留出油燃焼で15°C、1気圧(1.033 kg/cm² abs)の標準状態における発電用パッケージ形の標準仕様を表2に示す。またモデル5000ガスタービンの構造を

* 日立製作所日立工場

表1 GEガスタービンの納入実績(1968年7月)

用 途	台 数	kW	HP	総 運 転 時 間
事 業 用 発 電	381	5,379,800		1,321,600
産 業 用 発 電	97	1,351,700		1,955,700
産業用機械駆動用	116	—	1,457,800	3,116,500
ガ ス 油 輸 送 用	214	—	1,707,000	8,355,200
鉄 道 車 両 用	58	—	395,000	1,842,000
船 用	1	—	6,600	10,000
合 計	867	6,731,500	3,566,400	16,601,000

表2 発電用パッケージ形ガスタービン標準仕様

モ デ ル		PG3112	PG3112 (P)	PG5211	PG5211 (P)	PG7551	PG7551 (P)
発電機出力	kW	8,500	9,550	16,400	18,400	45,300	50,600
熱 効 率	%	22.8	23.0	23.8	24.1	27.9	28.7
燃 料 流 量	kg/h	3,130	3,490	5,820	6,440	13,700	14,850
排 気 温 度	°C	505	560	495	540	465	495
排 気 量	kg/s	50.2	50.3	91.1	91.3	226.0	226.3
排 気 量	kg/s	2	2	2	2	3	3
タービン段数		14	14	16	16	17	17
圧縮機段数		14	14	16	16	17	17
回 転 数	rpm	6,500	6,500	5,100	5,100	3,600	3,600

(注1) 大気条件は 15°C, 1,033 kg/cm² abs とする
(注2) 燃料は留出油 LHV 10,200 kcal/kg とする
(注3) (P) はピークロード用を示す
(注4) 吸排気ダクト、サイレンサの圧力損失による影響を含む

図1に示す。

ピークロード用はピークロードあるいは非常用電源などの利用率の低い用途に適用されるものでタービン入口ガス温度を上げて出力増加を図ったものである。パッケージ形ガスタービンの性能は標準の入口空気フィルタ、入口サイレンサおよび排気サイレンサの圧力損失による出力低下を見込んだものである。またガスタービンの運転に必要な補機はすべてタービン軸より補機駆動歯車を介して駆動されており、常時は補機動力を必要としないので発電機出力がそのまま送電端出力ということになる。

2.3 パッケージ形ガスタービンの特長

ガスタービンはその特長を最大限に発揮させるためにパッケージ化することが非常に有効であり、最近のガスタービンの大幅な需要の増大はパッケージ化に負うところが大きい。

ガスタービンの本体は標準機種が定められており、部品もすべて標準化されているので、これを屋外形のパッケージの中に発電に必要ないっさいの機器を収納することにより発電プラント全体として標準化することが可能である。

このパッケージ形ガスタービンは次のような特長を持っている。

- (1) 発電に必要なすべての機器が屋外形のパッケージにコンパクトに収納されており敷地面積が少なくすみ、建屋などの付帯設備が不要になりプラント全体としての建設費が安くなる。
- (2) 運転は完全に自動化されており、極端な急速起動や負荷変動に耐える。また遠隔操作することにより無人運転も可能で

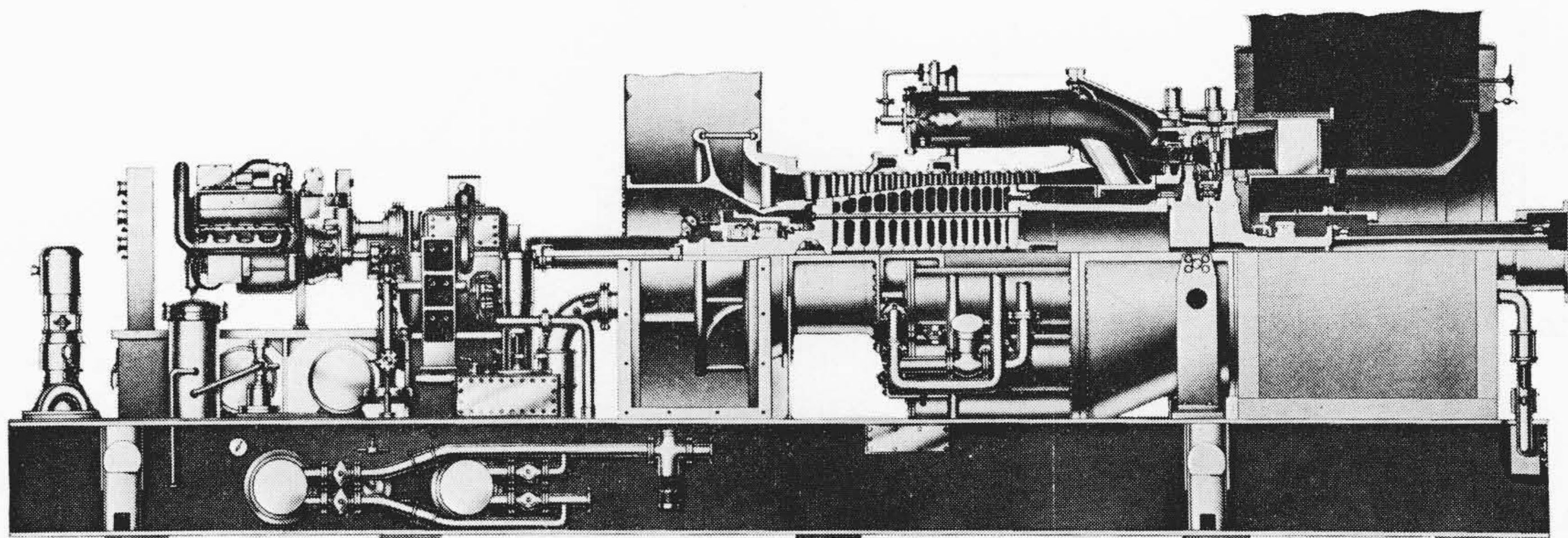


図1 モデル 5000 ガス タ ー ビ ン



図2 船積中のタービンパッケージ

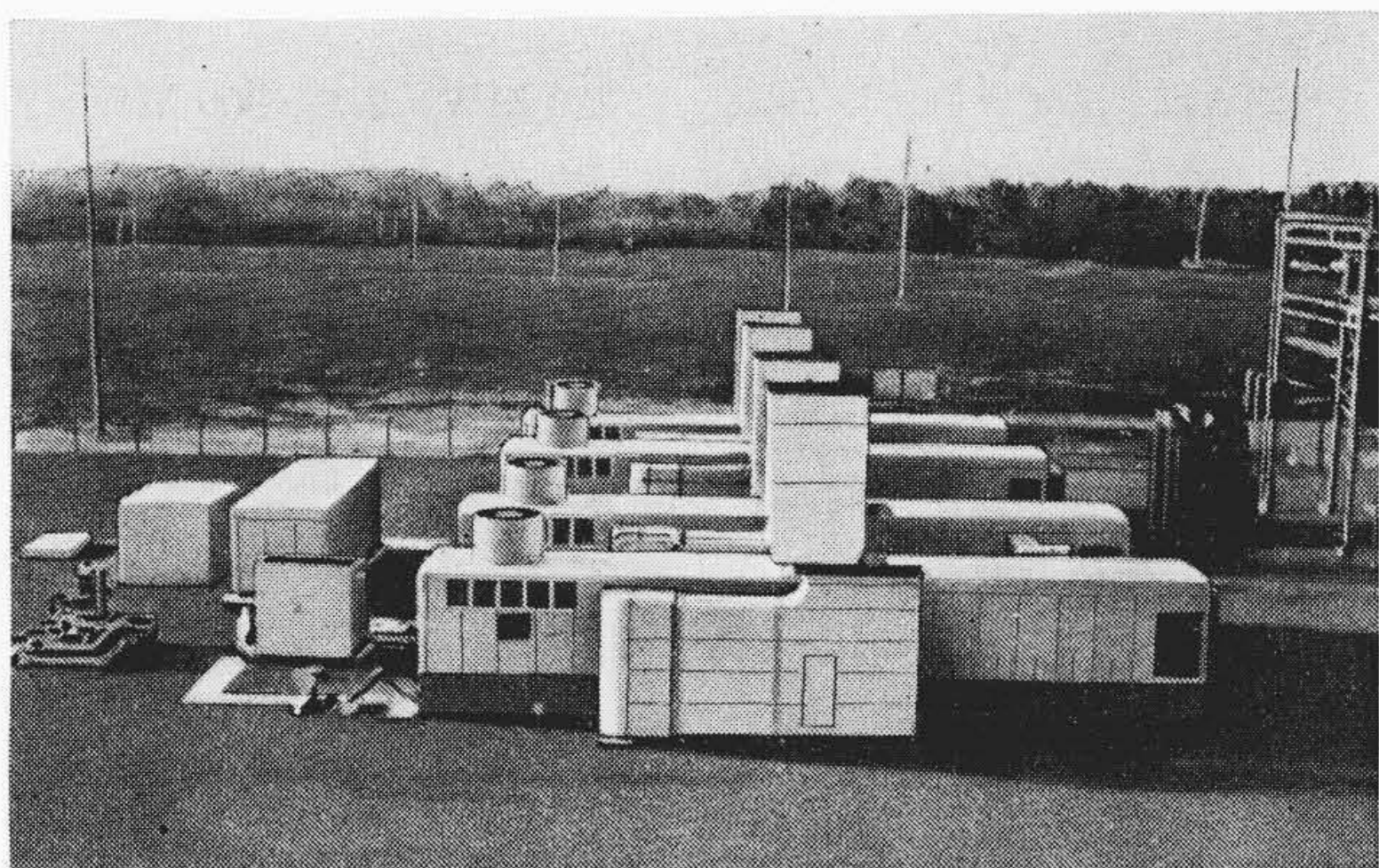


図3 パワーブロック

ある。

(3) 冷却水あるいは補機用電源が不要であり、設置場所についての制限が少なくなる。

(4) 製作工場で完全に組立て、試運転され、そのままの姿で一体輸送されるため据付が容易で据付期間も短く、据付の費用が大幅に削減できる。

パッケージ形ガスタービンの主要部は制御パッケージ、タービンパッケージおよび発電機パッケージの三つのパッケージで構成されており、そのほかの標準付属機器としては入口空気フィルタ、吸排気サイレンサ、屋外式メタルクラッドスイッチギヤが設置される。制御パッケージは運転に必要ないっさいの制御および監視装置、タ

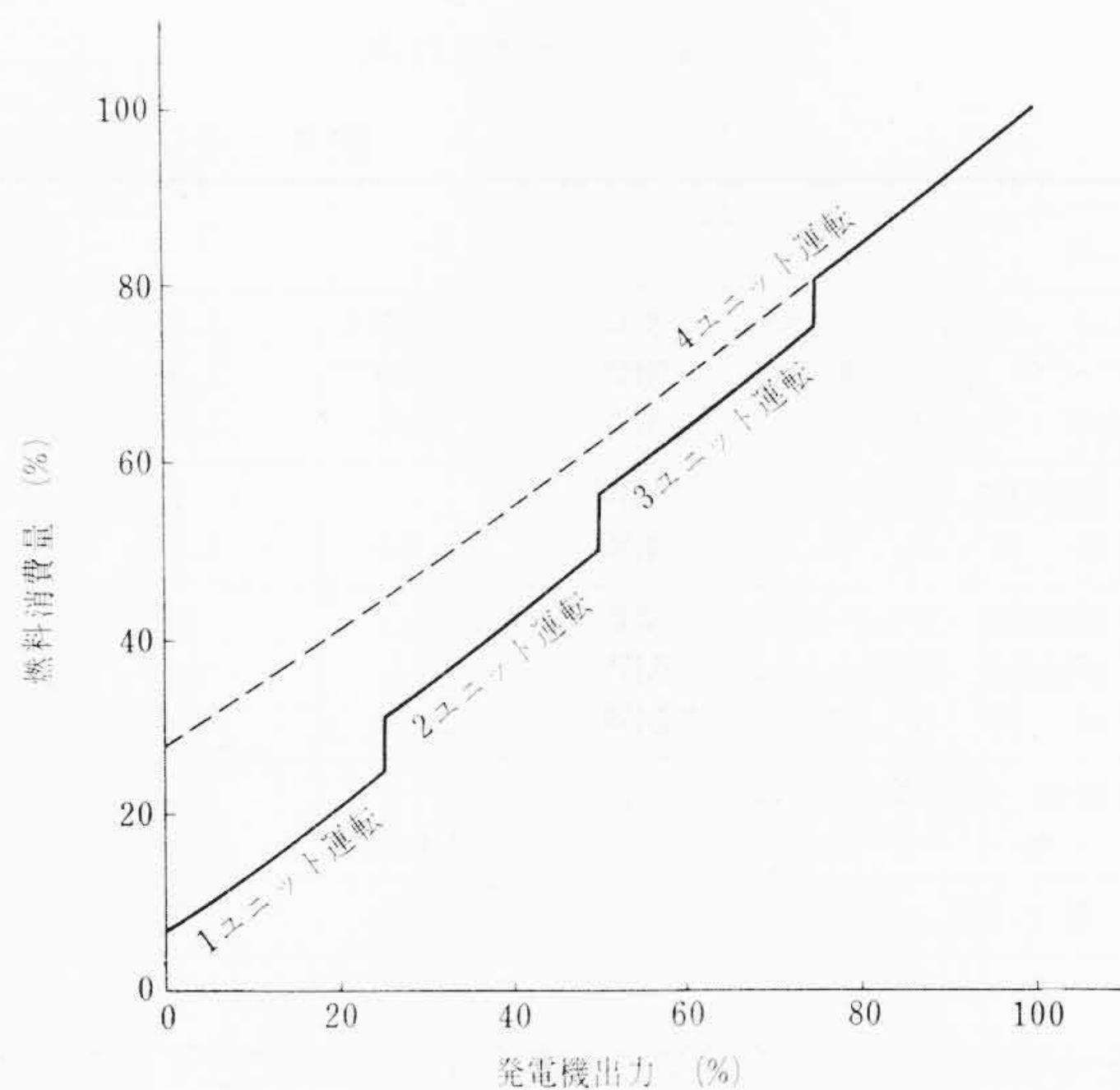


図4 パワーブロックの性能

ービンパッケージにはガスタービン本体およびその付属補機、発電機パッケージには発電機、減速歯車および励磁機が納められている。図2は船積中のタービンパッケージを示すもので、ほかのパッケージも同様に組み立てられたままで輸送される。

2.4 パワーブロック

近年、電力需要の増大により、それに伴うピークロードも大形化してきており、ピーク用ガスタービンの大容量化が要求されている。このような要求に対処するためのものがパワーブロックである。これは図3に示すように、モデル5000の標準パッケージ形ガスタービンを数台併設し、これらの制御装置を1個所にまとめたもので全ユニットが単一機のように運転操作ができる。これは多くの運転実績を持つ標準機種で構成されており、それと同等の高い信頼性を持つと同時に起動が迅速で起動後約10分で全ユニットが全負荷を取ることが可能であり、負荷変動に対する柔軟性も高い。パッケージの台数は2台から8台までの組合せが可能でモデル5000の標準パッケージ8台で構成されたパワーブロックは出力150 MWになる。

パワーブロックの部分負荷時には一部のユニットを停止しほかを全負荷運転することにより、全負荷時と同等の効率で運転することができ、図4に示すように単一機のプラントよりすぐれた部分負荷性能を発揮する。また保守点検についてはその期間をずらすことにより全プラントを一時に停止しなくてもすむ。

3. ガスタービンの応用

ガスタービンは蒸気タービンと異なった種々の特長を持ってお

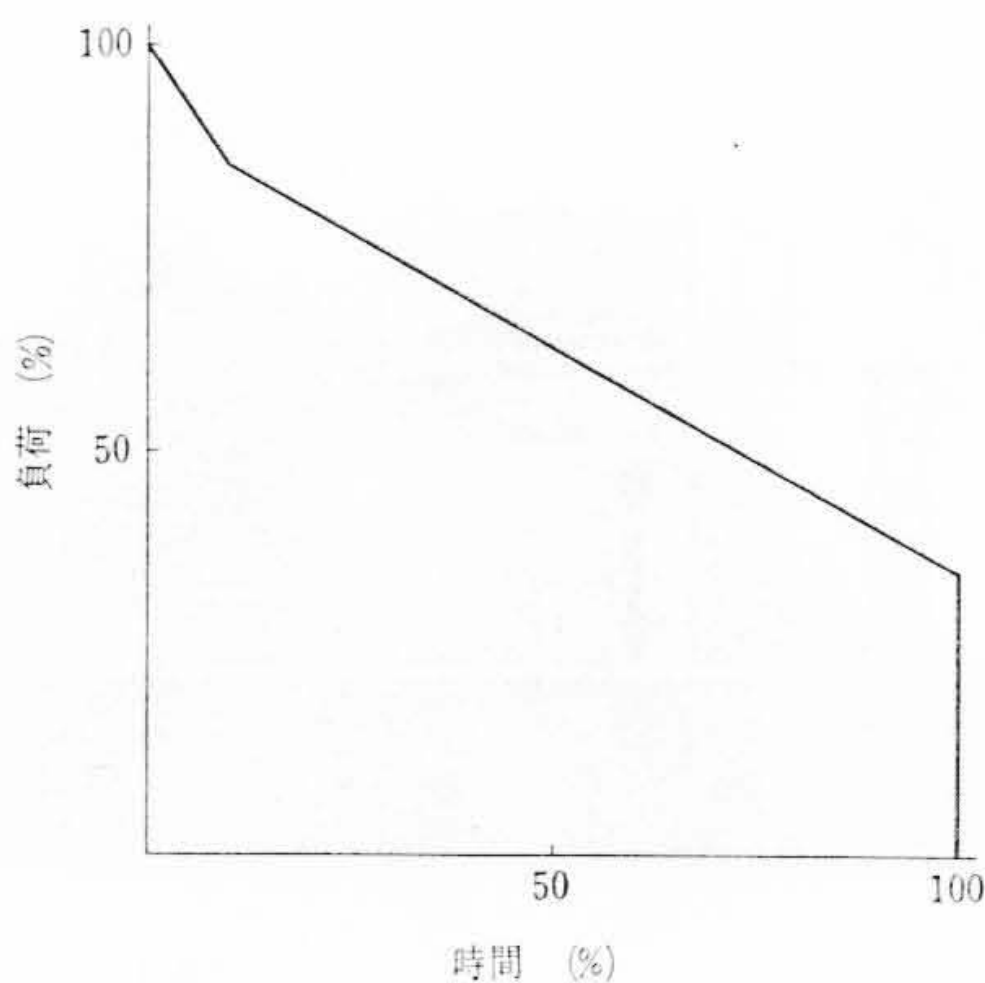
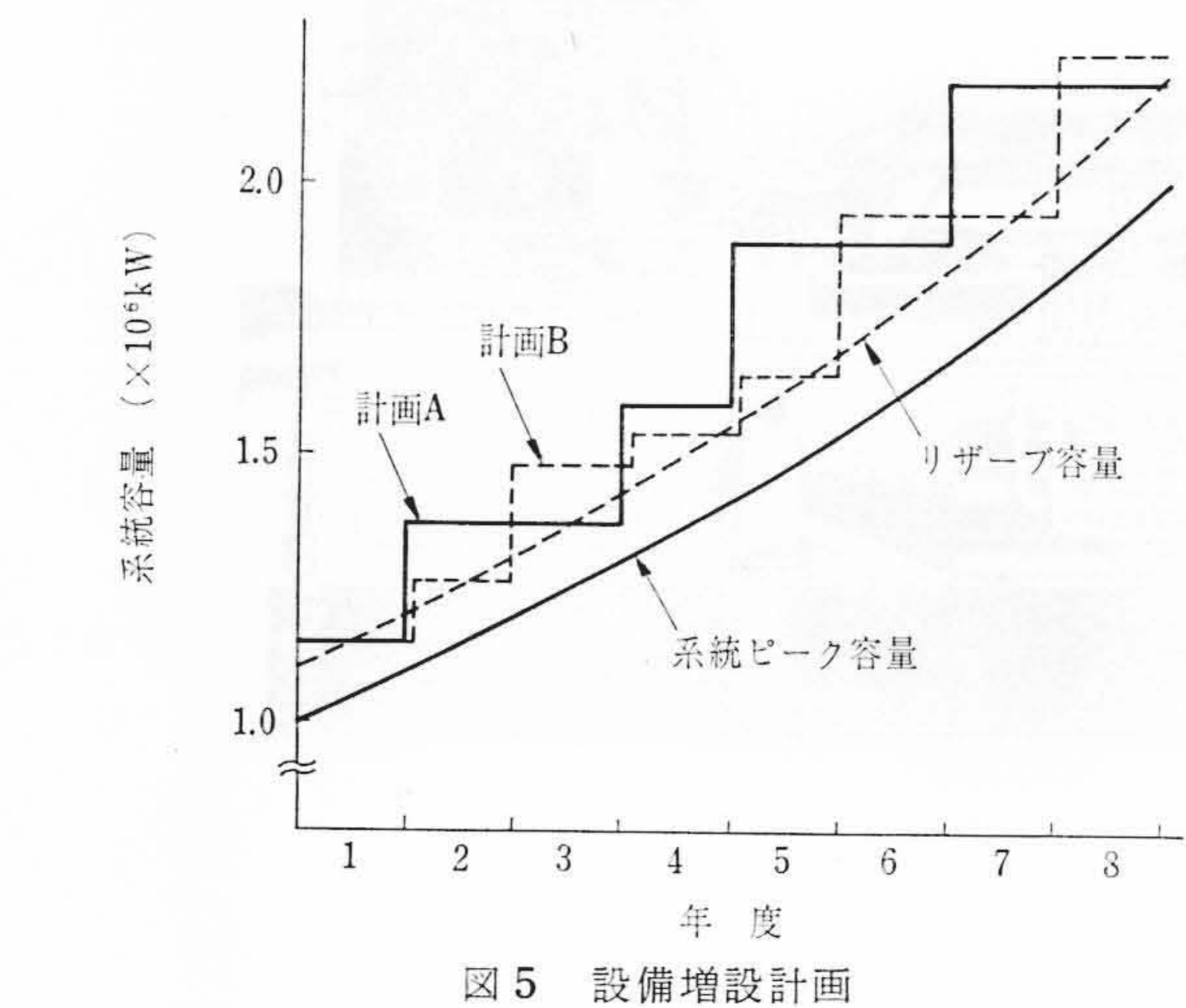


表 3 増 設 計 画 の 比 較 試 算 結 果

年 度		1	2	3	4	5	6	7	8	合 計
項 目	系 統 ピ ー ク 容 量 (年 平 均)	MW	1,045	1,150	1,250	1,360	1,470	1,600	1,750	1,910
	リ ザ ー ブ 容 量 (年 平 均)	MW	1,150	1,260	1,370	1,500	1,620	1,760	1,920	2,100
	年 度 末 ピ ー ク 容 量	MW	1,090	1,190	1,300	1,410	1,540	1,680	1,830	2,000
計 画 A	新 設 容 量 (蒸 気 ター ビ ン)	MW		220		220	300		300	1,040
	総 設 備 容 量	MW	1,150	1,370	1,370	1,590	1,890	1,890	2,190	2,190
計 画 B	新 設 容 量 (ガ ス ター ビ ン)	MW		110		55	110			275
	新 設 容 量 (蒸 気 ター ビ ン)	MW			220		300		300	820
	総 設 備 容 量	MW	1,150	1,260	1,480	1,535	1,645	1,945	2,245	2,245
経 費 差 額 (計 画 A - 計 画 B)		百 万 円	0	789	-495	520	1,648	118	1,792	142
現 価 係 数			1.000	0.943	0.890	0.840	0.792	0.747	0.705	0.665
差 額 現 価 額		百 万 円	0	744	-441	437	1,305	88	1,263	94
										3,490

り、その特長を生かした用途に有効に利用されてきている。この用途を大別すると利用率の低いピークロード用などと、排熱を利用した併用サイクルあるいはプロセス蒸気を発生する蒸気利用発電などである。

3.1 ピークロード用および非常用

最近、電力需要の増大とともに、ピークロードの比率が高くなり、ピークロード対策が重要な問題になってきている。利用率の低いピークロード用あるいは非常用発電設備としては出力あたりの建設費の安いガスタービンが有利であり、世界各国で広くこの種の用途に利用されてきている。さらにガスタービンは急速な起動が可能であること、起動操作が完全に自動化されていること、据付場所ならびに燃料に対する柔軟性が大きいことなどピークロード用として有利な多くの特長を有している。またカスタービンは外部からの電源や冷却水の供給を受けずに起動できるため、火力発電所の全停時の立上がり用のような非常用発電設備としても適している。

一方電力需要は年ごとに急速に増大しており、これに対応する発電設備の新設にあたり、発電設備の種類、発電設備の容量、新設の時期をいかに計画するかが経済性を検討するうえに重要な問題となる。すなわち火力発電プラントの増設では高性能の大容量新鋭蒸気タービンプラントのみを増設するよりも、ガスタービンを取り入れ、これにピークロードを受持たせ、大容量プラントの設備投資時期を調整させるようにすることのほうが経済的な増設計画になることが多い。次にその試算例について述べる。

3.2 電力系統の設備増設計画

系統の電力需要は現在 1,000MW で毎年約 9% の伸びを予想し、8 年後には 2 倍の 2,000MW になる火力発電の電力系統を仮定し、その増設計画の経済性を単純化したモデルにより検討してみる。

系統のピーク電力需要は図 5 の実線のような伸びとしその 10%

のリザーブ容量(点線)を考慮しこのリザーブ容量を上回る設備増設を行なうものと仮定する。すなわち既設は各種容量の火力発電設備で合計出力が 1,150 MW あり今後の設備増設として次の二案を検討する。

- 計画 A： 蒸気タービンのみとし 220 MW×2 基、300 MW×2 基の合計 1,040 MW の建設を行なう(図 5 実線)
- 計画 B： 蒸気タービンは 220 MW×1 基、 300 MW×2 基とし、需要の伸びに応じてガスタービン 275 MW (複数台)の合計 1,095 MW の建設を行なう(図 5 点線)

経済比較は次の仮定条件により試算する。

- (1) 負荷持続曲線は図 6 のような形状で近似させ、その負荷率を 63.3% とする。
- (2) 年間固定費は建設費の 15%
- (3) 燃料費は
蒸気タービン 重油 0.65 円/10³ kcal (HHV ベース)
ガスタービン 留出油 1.10 円/10³ kcal (HHV ベース)
- (4) 比較は各年ごとの年間経費の差によるものとし、各年ごとの差額は金利 6% として現時点(1 年目)の価額に換算した現価額の合計によって行なうものとする。

この試算の結果を示したのが表 3 である。

ガスタービンを取り入れた計画 B は蒸気タービンのみを増設計画 A に比較し 8 年間で年間経費が約 35 億円節約できることになり、ガスタービンをピークロードに採用することが予想外の利益になることがわかる。これは次のような理由によるものである。

- (1) ガスタービンを取り入れることにより、系統の電力需要の伸びにより適合した設備増設が可能となり、毎年平均した予備率となり多額の経費を要する大容量火力プラントの設備投資時期を延期させることができるのでその間の年間固定費が節約される。

- (2) ガスタービンのkW当たりの建設費は蒸気タービンのそれに比べて安い。
- (3) 計画Aでは既設の発電プラントの負荷率が大容量機の投入により急激に低下し、プラント運転効率が悪くなる。
- (4) ガスタービンはピークロードのみに使用され運転時間が短

いため燃料費が高いことおよび効率の悪いことによる経費の増加分は全系統の燃料費に占める割合がきわめて小である。

3.3 併用サイクル

ガスタービンの排気ガスは400℃～500℃と高温であり、燃料の持つ熱量の約75%がこの排熱損失になっている。したがってガスタービンをベースロードで経済的に利用するためには、排気の熱を回収利用することが必要である。この排熱を利用する方法として蒸気タービンプラントと組み合わせた併用サイクルが考えられるが、併用サイクルは図7に示すように、(a)排熱回収サイクル、(b)排気燃焼サイクル、(c)過給ボイラサイクルの三通りのサイクルに大別される。

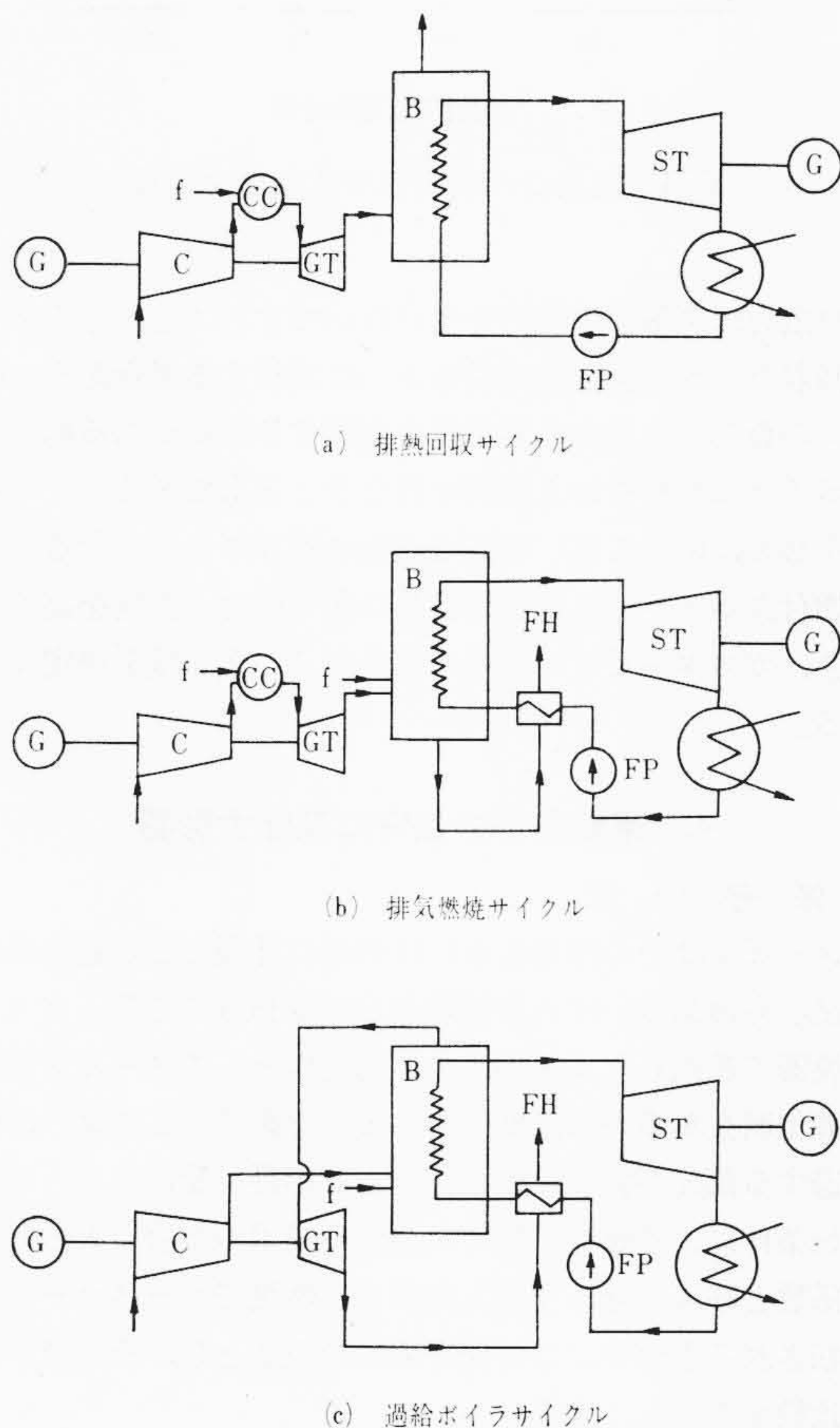
このうち助燃をボイラでやらない排熱回収サイクルはガスタービンに蒸気系統を付加することによってガスタービンの排熱回収を図り総合的な性能を改善しようとするもので、ガスタービンを主体と考えることができるが、排気燃焼サイクルおよび過給ボイラサイクルでは、ガスタービンの性能を改善するというよりも、ガスタービンを蒸気プラントに組み合わせることによって、蒸気タービンプラントの限界を越えて全体のプラント効率を高めようとするものである。

排熱回収サイクルの実施例としてはSTAGサイクルがあるが、これについては次項で述べる。

排気燃焼サイクルおよび過給ボイラサイクルにおけるガスタービンの出力の併用プラント総出力に対する割合は10%～15%であり、おもに大形の蒸気プラントに組み合わされるものである。ガスタービンの併用によって図8に示すような効率の向上が得られる。

過給ボイラサイクルの過給ボイラはガスタービンの燃焼器に相当する圧力で作動するボイラとなり、従来のボイラと根本的に異なり未開発の状況にあるから、まだ過給ボイラサイクルを採用した実例はない。しかし過給ボイラサイクルの利得は大きく、今後技術的な開発が望まれている方式である。

ガスタービンの作動空気の一部はガスタービン燃焼器での燃焼用空気として使用されているが、排気ガス中には約75%の酸素が残



B:ボイラ ST:蒸気タービン
G:発電機 GT:ガスタービン
C:圧縮機 CC:燃焼器
f:燃料 FH:給水加熱器
FP:給水ポンプ

図7 併用サイクル系統図

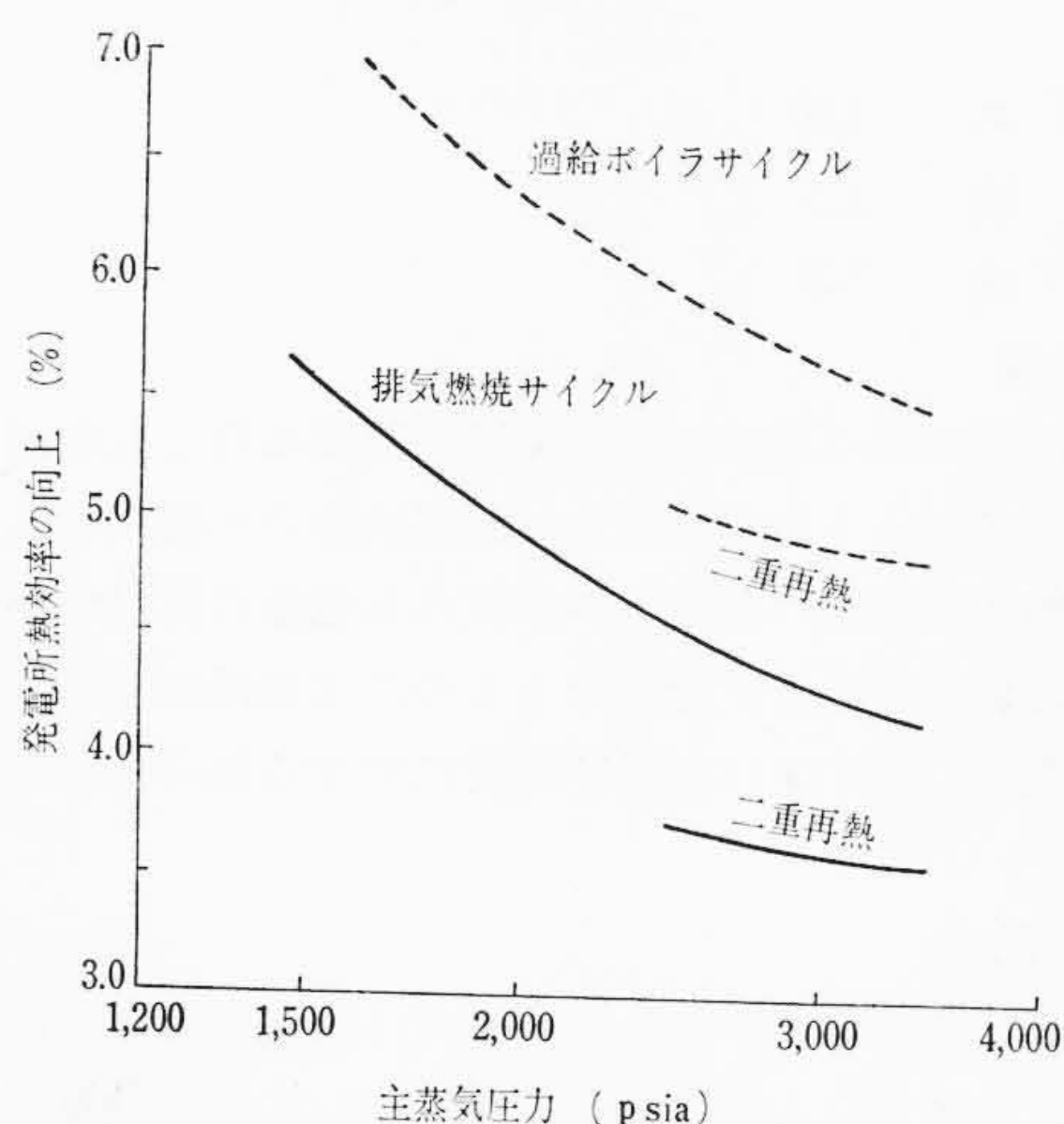


図8 併用サイクルによって得られる効率の向上

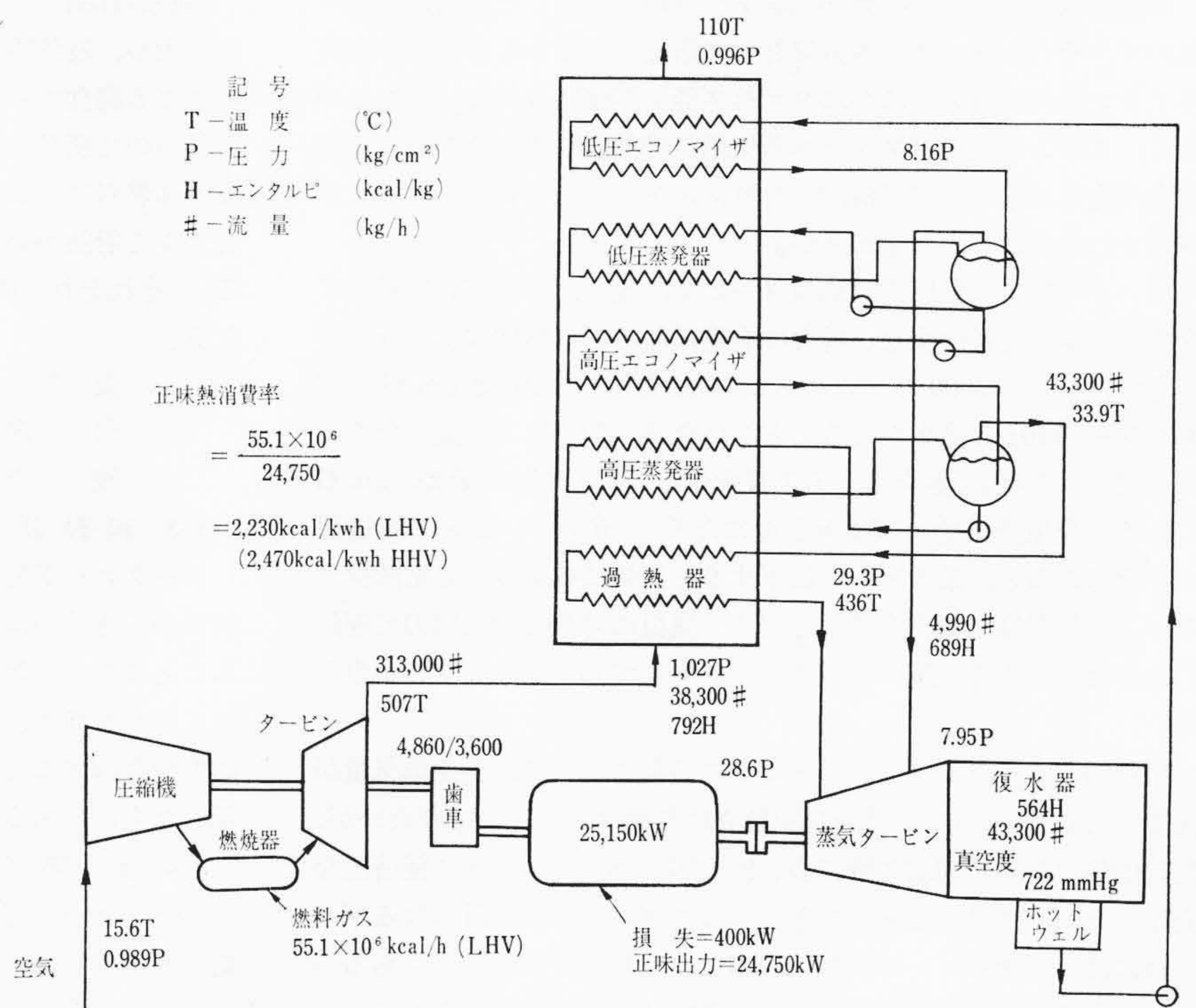


図9 24,750kW STAGプラントのヒートバランス

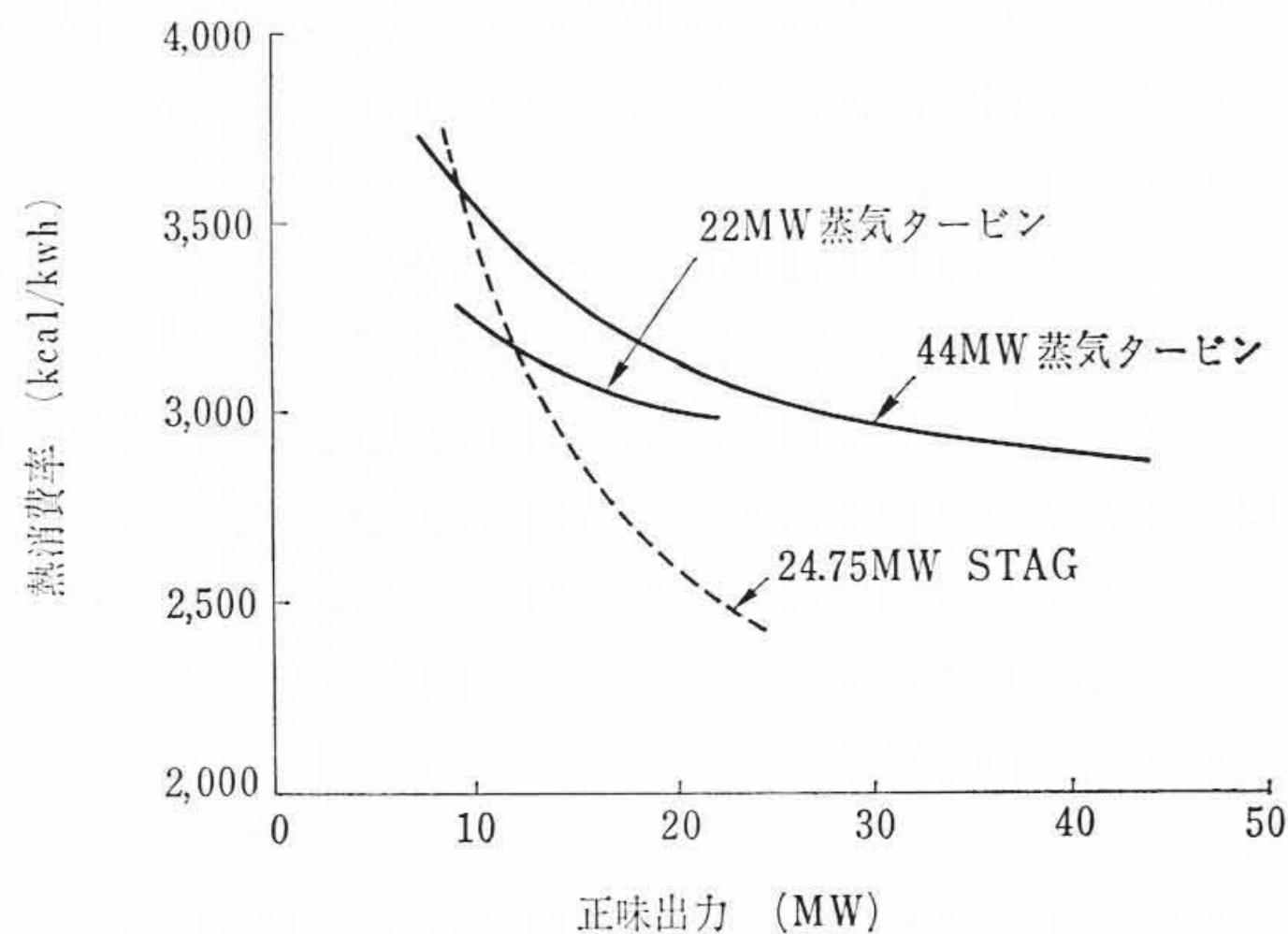


図10 STAGサイクルと蒸気タービンサイクルの熱消費率の比較

存しており、排気燃焼サイクルではこれを高度に予熱されたボイラの燃焼用空気として使用するものである。この場合ガスタービンは強圧通風機と空気予熱器の役を兼ねていることになり、そのほかの機器は従来のボイラと変わりがなく、実現しやすいサイクルでしかも普通サイクルに比べてかなり効率の向上した実施例も多い。

3.4 STAGサイクル

排熱回収サイクルの実施例としてはGE社で開発されたSTAGサイクル (STeam And Gas) がある。このプラントのヒートバランスは図9に示すとおりであるが、これはガスタービンと排熱回収プラントが最高の性能を発揮するように全く一体に組み合わされた併用プラントである。この蒸気系統はタービン抽気で給水を加熱することをやめ、ボイラでのガスタービン排熱の熱回収を可能な限り大きくするため、二重圧力系統としてある。ガスタービンと蒸気タービンは単一の発電機を駆動するよう一軸上に配列し、全体の配置上もコンパクトにまとめられている。同程度の出力の蒸気タービンプラントと熱消費率を比較すると図10のようになり、15%~18%も高い性能が期待できる。

3.5 蒸気利用発電

排熱回収サイクルでは排熱回収ボイラから発生した蒸気を発電に使わず、そのままプロセス蒸気として送気することもできる。産業用プラントでは電力のほかにプロセス蒸気を使用されていることが多く、このような場合プロセス蒸気用の排熱回収ボイラを設けた蒸気利用発電がきわめて経済的になり、産業用としてガスタービンが採用されるのはこの用途が多い。

ガスタービンは背圧式の蒸気タービンに比べ、需要電力に対して発生蒸気量が比較的少ない場合に有利になる。排熱回収ボイラでの蒸発量はモデル5000のガスタービンで、蒸気圧力10kg/cm²Gの飽和蒸気を約40t/h発生させることができる。蒸気圧力が高くなると飽和温度が上昇し、蒸発量も若干減少する。蒸気圧力が30kg/cm²Gになると発生蒸気量は35t/h程度になる。ガスタービンは外気温が高くなると、最大出力が低下すると同時に排気ガス量も減少するが、排気温度がやや高くなるため、気温に対して最大出力で運転した場合は発生蒸気量は気温の上昇に対してわずかの減少しか生じない。

排熱回収ボイラではガスタービンの負荷によって、発生蒸気量が決まってしまう、電力と蒸気量を独立に制御することはできないが、比較的簡単な排熱回収装置で高い回収率が得られ、非常に経済的な発電プラントにすることができる。ガスタービンが設置されるプロセスにはガスタービンの排熱回収ボイラ以外に背圧タービンあるいは抽気復水タービンなどのプロセス蒸気源が存在する 경우가多く、そのような場合にはそれらの蒸気源で蒸気量を調整すれば、ガスタ

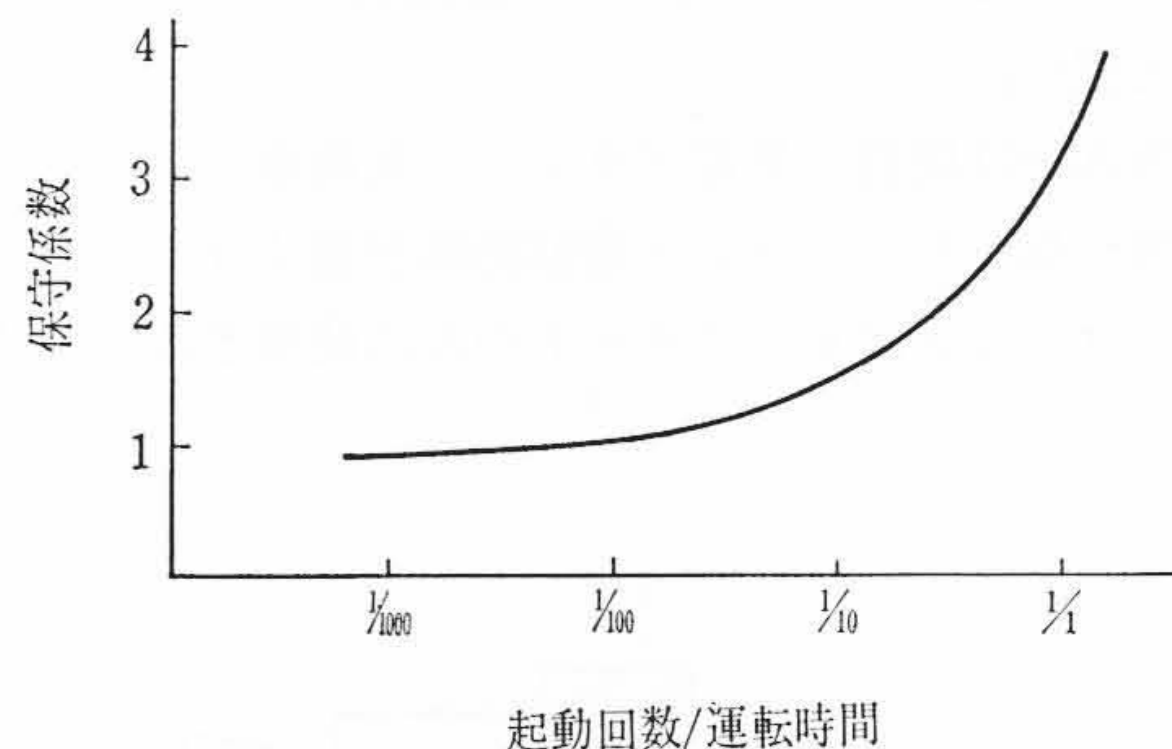


図11 起動ひん度の保守に及ぼす影響

ービンの出力は蒸気量の制約を受けないですむことになる。

排熱回収ボイラの発生蒸気量をさらに増加する場合あるいはガスタービンの負荷とは独立に蒸気量を制御する必要がある場合には排熱回収ボイラに燃料を加え助燃を行なうこともできる。この場合は助燃量を必要に応じて広い範囲で適当に選ぶことができる。したがって助燃付きボイラでは比較的容易に蒸気圧力、温度を高くすることができ、ガスタービンの出力に関係なく、蒸気量を決定することができる。

4. 運転条件の保守に及ぼす影響

4.1 保守係数

ガスタービンはその用途あるいは燃料の種類などの運転条件によって部品の寿命あるいは点検間隔などが変わってくる。ガスタービンは燃焼器で燃焼したガスが直接作動流体としてタービンを流れるため、酸化腐食あるいは温度分布による熱影響などにより、燃焼ガスが通過する部分が特に運転条件による影響を受けることになる。この運転条件による影響を保守に要する費用の割合で表わした指標を保守係数と呼ぶことにする。天然ガス燃焼でベースロード定格で連続運転されるものを、この保守係数の規準とし、そのほかの運転条件を比較することにする。

4.2 燃料の種類

燃料が部品の寿命に影響する要因は、燃焼過程で発生するふく射熱の大小、液体燃料の噴霧特性の良否および燃料中に含まれる不純物による腐食である。天然ガスは噴霧の必要がなくふく射熱も非常に低いので部品の寿命は最も長くなる。液体燃料としては留出油がガス体燃料について長い寿命が期待でき、重油や原油を使用する場合はふく射熱が高く噴霧がむずかしくなるので部品の寿命は短くなる。それぞれの燃料を使用する場合の保守係数は概略次のようになる。

天 然 ガ ス	1.0
留 出 油	1.5
残 査 油	3.3

4.3 起動ひん度

ピークロード用では短時間の間けつ運転で運転時間に対し起動回数が多く連続的に運転されるものとは異なった点検保守が要求されることになる。起動停止の過程は燃焼ガスが流れる部分の部品に熱サイクルを与え、ひん繁に起動停止を行なうものでは部品の寿命に影響を及ぼすことになる。図11は起動ひん度に対する保守係数を示したものである。

4.4 負荷変動

ベースロード定格までのゆるやかな負荷変動では部品の寿命にはあまり影響しないが、急激でひん繁な負荷変動については起動停止と同様な影響により部品の寿命が短くなる。非常用あるいはピークロード用などの短時間利用のガスタービンではピーク出力で運転さ

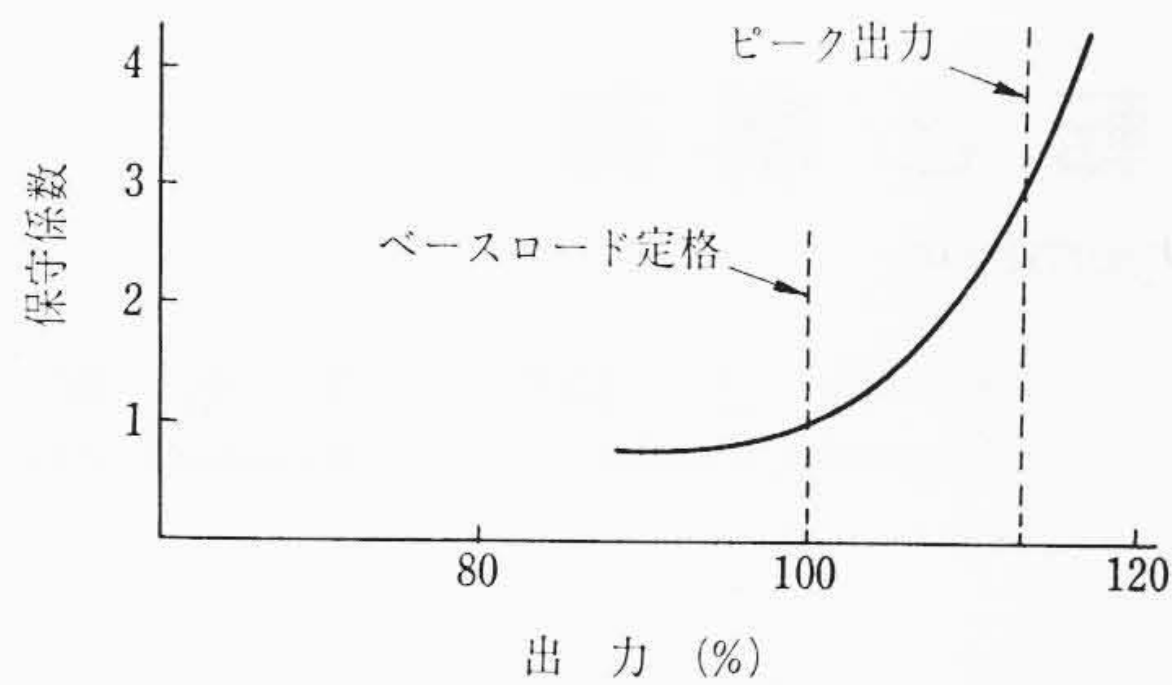


図 12 負荷の保守に及ぼす影響

れることがあるが、この場合は燃焼ガス温度を高くしているため燃焼ガス通路部の部品の寿命はその影響を受け保守係数は図 12 のようになる。

4.5 点 検 間 隔

部品の寿命は運転条件によって左右されるが、ガスタービンの点検間隔もそれに従って決定されることになる。

ガスタービンの点検は次の 4 種類に分けられる。

- 運転中の点検
- 燃 焼 器 点 検
- タービン点検
- 全 体 点 検

運転中の点検では運転状況によりガスタービンに異常がないかどうかを調べるものである。

次の燃焼器点検およびタービン点検はいわゆる燃焼ガス通路部の点検であり、燃焼器点検は燃焼器ライナおよび燃料ノズルを点検するためのもので短期間停止の点検である。またタービン点検は燃焼ガスが流れる部分全体を点検するもので燃焼器点検に加えタービンノズルおよび動翼も点検するものである。最後の全体点検は最も長い間隔で行なわれるもので、圧縮機翼および軸受などを含めた全体の点検である。

ピークロード用あるいは非常用のガスタービンでは利用率は低いが起動に対する信頼性が重要であり、そのために停止時に次の点検

表 4 点 検 間 隔

(単位：時間)

運転の種類	1,000時間 燃焼に対する 起動回数	燃 料	運転中点検	燃 焼 器 点 検	タービン 点 検	全体点検
長期連続運転 (特にタービン停止を避けるもの)	1	ガ ス	毎 週	不 要	不 要	28,000
	1	留出油	毎 週	不 要	7,000	22,000
	1	残査油	毎 週	2,000	4,000	11,000
長期連続運転	1	ガ ス	毎 週	4,500	9,000	28,000
	1	留出油	毎 週	3,500	7,000	22,000
	1	残査油	毎 週	2,000	4,000	11,000
ピーク運転	200	ガ ス	毎 月	1,000	3,000	9,000
	200	留出油	毎 月	1,000	2,400	7,200
	1,000	ガ ス	毎 月	200	2,500	7,500
	1,000	留出油	毎 月	200	2,000	6,000

を行ない非常時の起動に備えておくことが望まれる。停止中に点検するおもなものはバッテリー装置の点検、フィルタの交換、潤滑油および冷却水のレベル点検、リレー類の清掃および計器類の校正などである。さらに長時間停止するガスタービンでは定期的な試験起動を行ない異常がないことを確認しておくことが好ましい。

運転開始後最初の点検はそれぞれの運転条件に対して表 4 に示されるような時間で行なうことが推奨される。2 回目以降の点検間隔は部品の補修あるいは交換の間隔に合わせて、それぞれのガスタービンの実績から決定されることが望ましい。

5. 結 言

日立-GE ガスタービンの特長とその応用について述べた。ガスタービンはこれまでにきわめて高い信頼性が実証されており、その特長を生かした用途では高い経済性を発揮している。

わが国においても事業用としてはピーク負荷対策、産業用としては経済的な発電プラントとして、今後ますます需要の増大が予想されている。実際にガスタービンを採用するに当たっては具体的な条件について、さらに詳細な検討が必要になるが、本稿がその一助となれば幸いである。



新 案 の 紹 介



登録実用新案 第 807204 号

小 泉 直 彦

電

子

管

この考案は、かご形陰極を用いた送信用電子管の陰極構造の改良に関するもので、その要旨は図 1 および図 2 に示すように円周上に配置された複数本の陰極素線の上端を管軸心上にほかの電極と絶縁されて立てられている陰極サポートにすべりばめされたスリーブに溶接あるいは緊縛により固定されたかご形陰極を用いたものである。

この考案によれば、陰極の上端が十分振動に耐え得るサポートによって保持されるので振動による横変位を低減防止でき、したがってグリッドに接触するとか、あるいは繊維断線なども防止できる。

さらに、スリーブがサポートになめらかにしゅう動することにより、素線の点火時の素線長さ方向ののびにも無理なく順応することができるので、たとえばサポートに固定した場合の素線変形を未然に防止することもできる。

(福田)

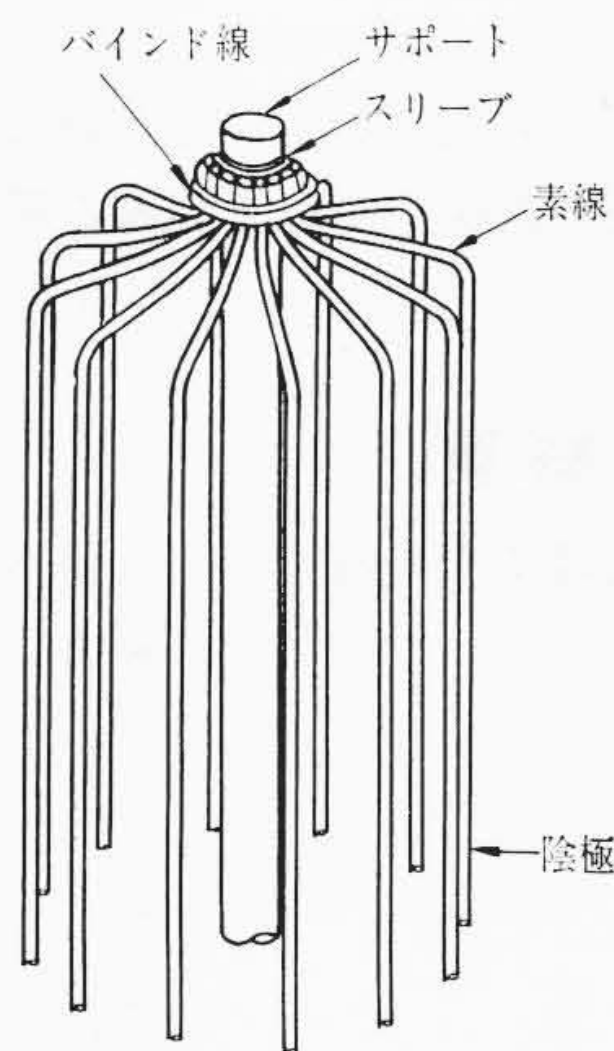


図 1

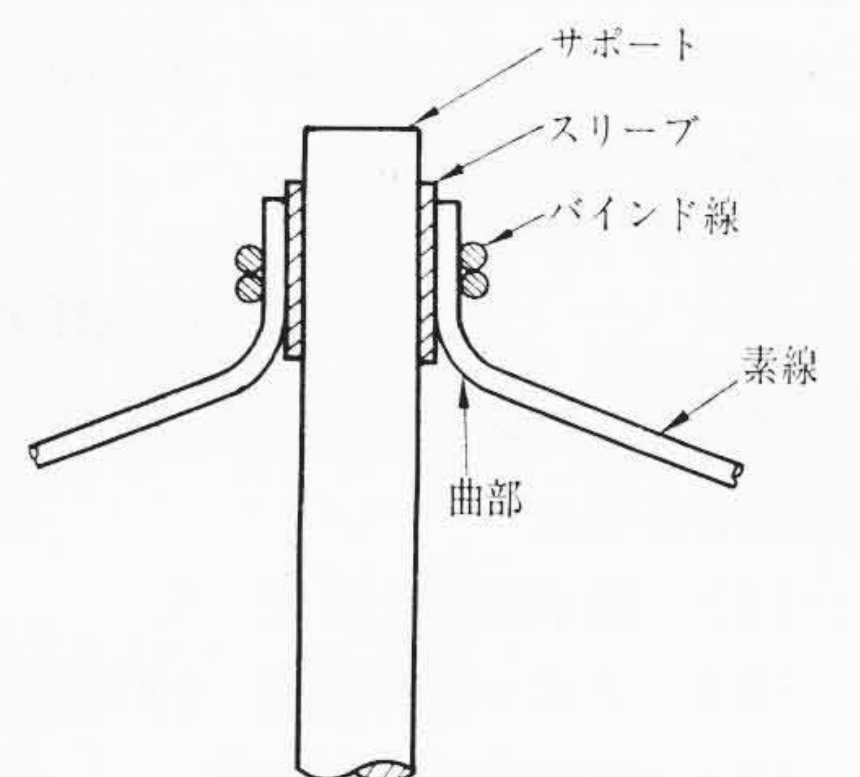


図 2