ガスタービンとその環境

Gas Turbine and Its Environmental Factors

標 木 康 夫*
Yasuo Oteki

要旨

パッケージ形ガスタービンは各種の周囲条件に最小限の修正を行なうだけで適応することができ、今後ガスタービンの主流として発展すると考えられるが、このパッケージ形ガスタービンを中心にガスタービンを設置する場合検討すべき事項のうち騒音、排気ガス、大気ダストなどを重点的にとりあげ検討した。

1. 緒 言

最近における電力需要形態の近代化あるいは一般産業界における 熱経済の合理化に対処して、多くのガスタービンが非常用、ピーク ロード用、自家発電を中心とする産業用などに用いられるようになっており、その需要増加の規模は世界的なものである。したがって ガスタービンは用途も広く世界各地で使用されており、その分布は 南は熱帯の砂漠地帯から、北は極寒地域におよんでいる。

このようにガスタービンは環境に対する柔軟性に富んでいるが, 最近注目を集めている都市近郊における公害問題を例にあげるまで もなく,ガスタービンが環境に与える影響も無視することはでき ない。

本論文では、ガスタービンの設置を検討するに際して考慮さるべき事項、すなわちガスタービンが環境から受ける影響ならびに環境に与える影響についてパッケージ形ガスタービンを中心に二、三の問題点につき述べる。

2. 騒 音

ガスタービンは一般に騒音が大きいと考えられているが、日立-GEパッケージ形ガスタービンはとくに騒音に対して注意深い考慮 が払われており、消音装置を取りつけることにより著しく騒音を軽 減することができるようになっている。

わが国においても一般騒音が公害としてとり上げられ、騒音規制 法が施行されるに至っている。ガスタービンの設置を検討する際、 このような法令に適合するように計画するのはいうまでもない。ガ スタービンが多く使用されているアメリカでは NEMA の目標値を 目安にしている例が多いのでその概要を紹介する。

2.1 NEMA の目標値⁽¹⁾

アメリカの NEMA ではガスタービンが設置される付近の第三者の位置における用途別、環境の種類別の許容騒音値を定めている。この NEMA によれば次式で許容騒音レベルを決定することができる。

許容騒音レベル=Composite Sound Ratingー補正係数

Composite Sound Rating は種々の騒音に対する社会の反応を表示する記号で図1に示すとおりである。この図1の横軸のA、B、Cなどの記号は騒音レベルランクを表わしており、図2がそれを示している。また図1の縦軸には騒音に対する社会の反応を示してある。この図から Composite Sound Rating は社会の反応から考え、少なくとも "C"にする必要があり、また経済性も合わせ考慮すれば "C"を基準にとるのが妥当ということができる。

しかし騒音レベルランクに対する社会の反応はComposite Sound Rating だけで決定できるものでもない。 ガスタービンの騒音の場合, その運転状況によって社会の反応も変わってくる。また周囲の

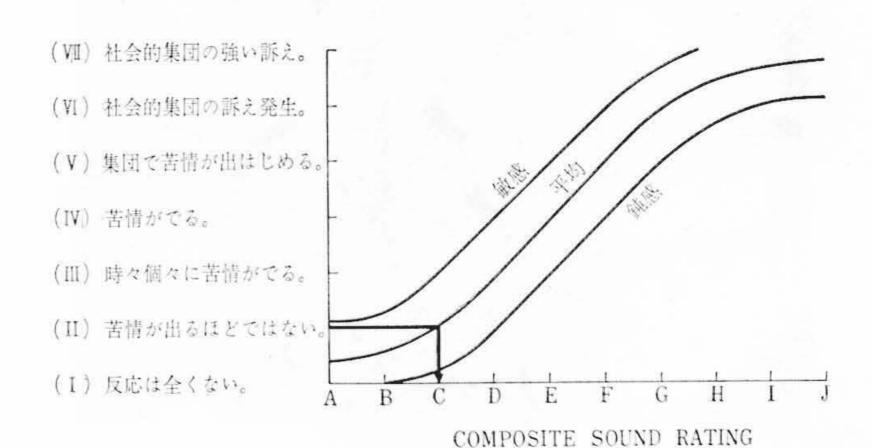


図1 COMPOSITE SOUND RATING と社会の反応

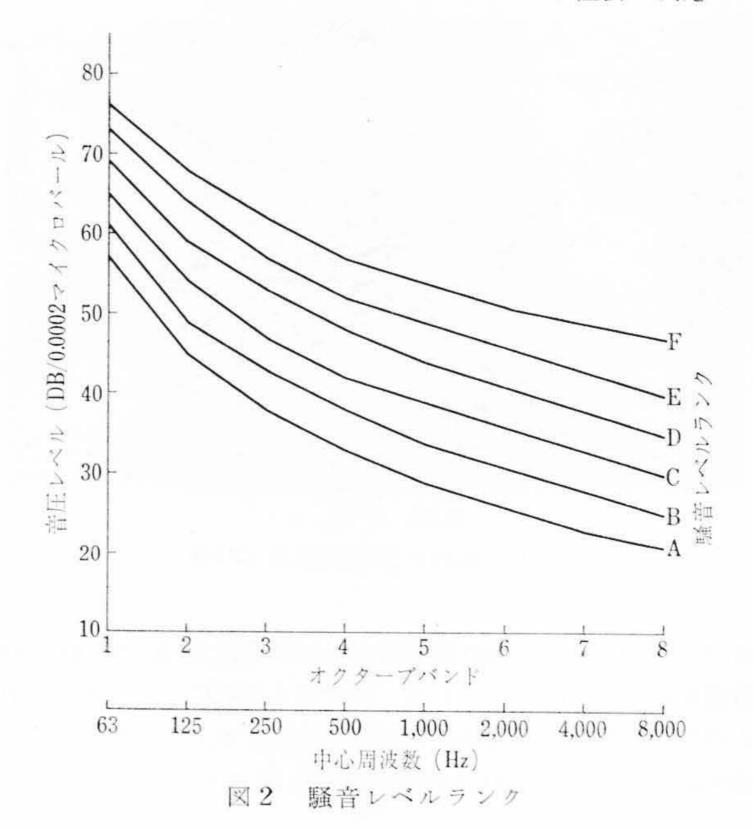


表1 運転状況に対する補正係数

運転の形式	補 正 係 数		
昼夜間の連続運転	0		
昼間のみの連続運転	-1 (1 段上のレベル)		
夜間のみのピーク運転	-1 (1 段上のレベル)		
昼間のみのピーク運転	-2 (2 段上のレベル		

騒音レベル(暗騒音)によっても異なる。 したがって,この Composite Sound Rating の補正係数にはガスタービンの運転状況と周囲の騒音レベルに対する補正との二つの要素が考えられる。

表 1 はガスタービンの運転状況による補正係数を示したものである。 表 1 によれば Composite Sound Rating が "C"で、ガスタービンを昼間のみの連続運転とすると、許容騒音レベルは "C"より 1 段大きな "D"でよいことになる。

また暗騒音に対する補正係数はガスタービン設置場所における暗

^{*} 日立製作所日立工場

騒音を測定して決定する。その測定点を図3に記入し、その過半数 を占める範囲における補正係数をもって暗騒音に対する補正係数と する。暗騒音の高いところでは許容騒音レベルも高くとってさしつ かえないことが理解できる。この暗騒音は測定してみないと明確に ならないが、測定値がない場合など不明確な場合には参考的に表2 により許容騒音レベルを決定することができる。

2.2 騒音レベル

法規で定められた許容値あるいは NEMA の目標値などから許容 騒音レベルを決定し、それを満足するような消音装置を計画する。

日立-GEパッケージ形ガスタービンでは図4に示すように空気 入口ダクトならびに排気ダクトにパラレル・バッフル方式のサイレ ンサを設置し, ダクトを通過して発散される空気伝搬音を減音する と同時に、タービンや圧縮機などのケーシングを透過して発散され

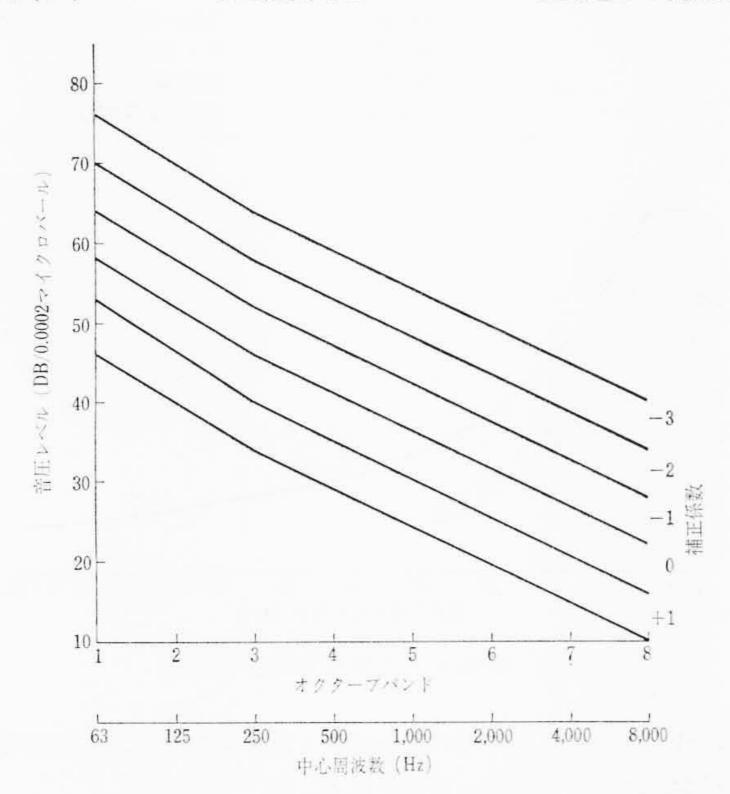


図3 暗騒音に対する補正係数

る騒音に対してはパッケージの外衣そのものに吸音材を充てんし防 音壁として役立たせている。 このほか冷却水空冷ファンやパッケ ージ内換気用エダクタの空気出口の騒音に対してもサイレンサを設 置し十分な騒音レベルにまで減音するよう注意深い考慮が払われて いる。

図5は、日立-GEパッケージ形ガスタービンから120m離れた 地点における騒音レベルを示している。図は各種の周囲条件に応じ た標準のサイレンサを設置した場合の騒音レベルを示し、参考まで にAスケールによるホンを記入してある。この図に示すように吸排 気サイレンサを追設して騒音レベルを下げることによりガスタービ

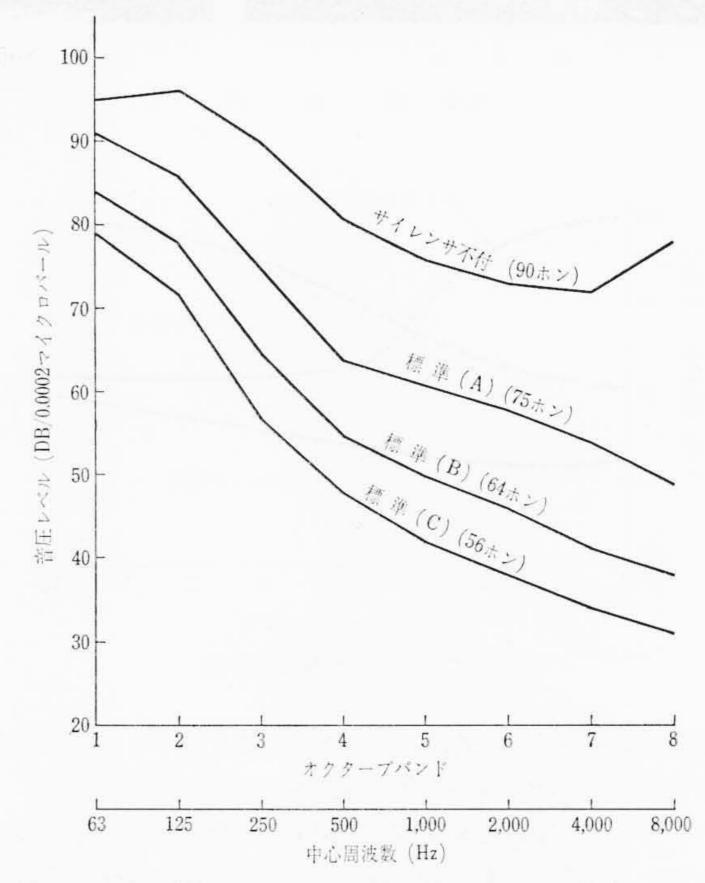


図5 日立-GEパッケージ形ガスタービンの騒音レベル

、パンチングプレート

クロス

吸音材

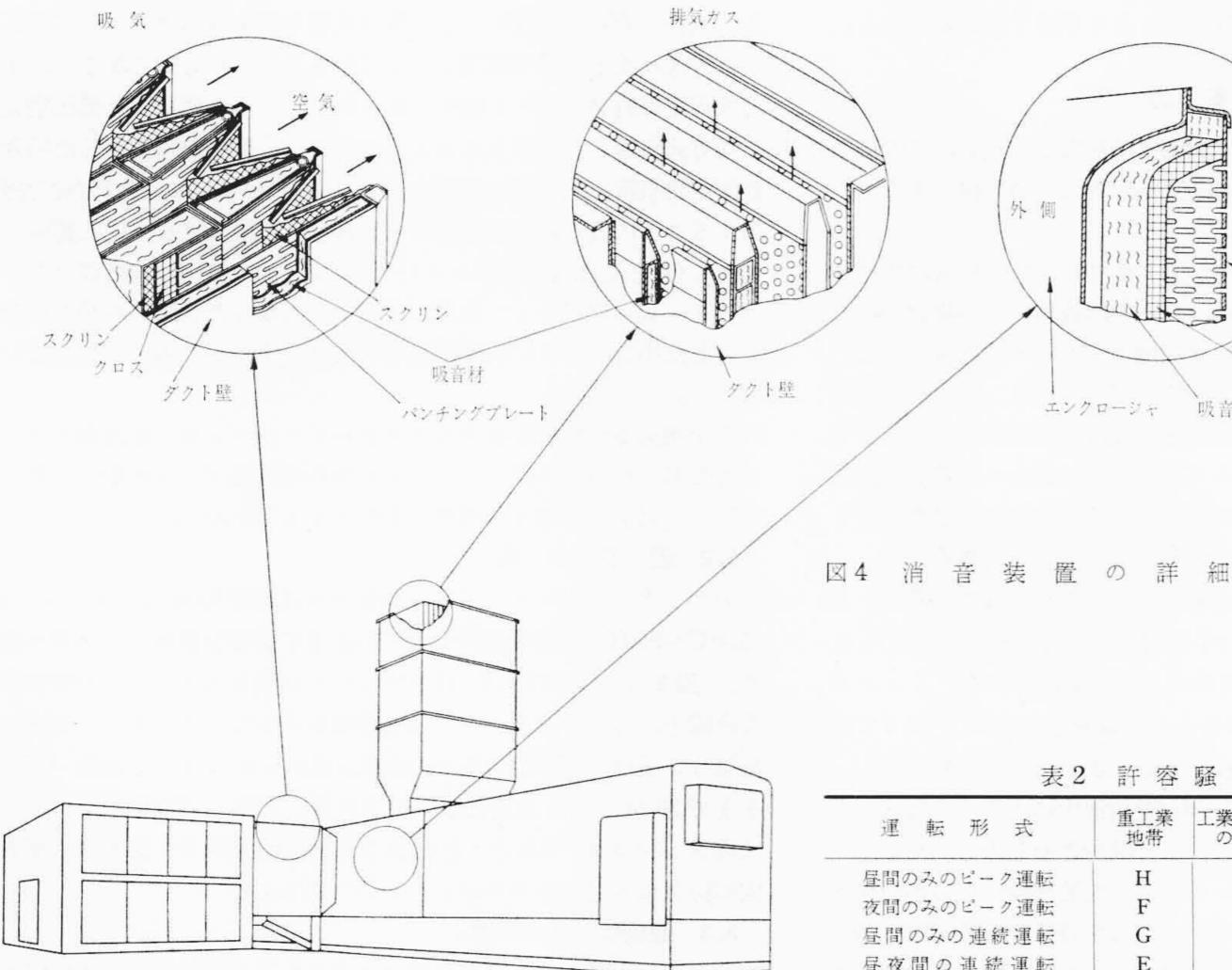
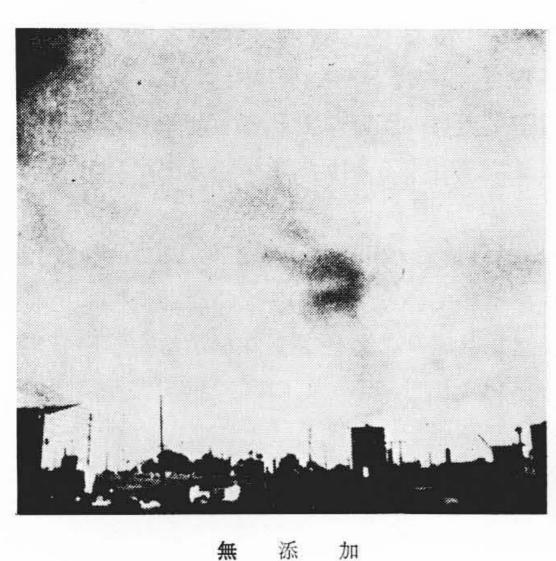


表2 許容騒音レベル

エンクロージャ

運転形式	重工業地帯	工業地付近 の都市	都市	郊 外	非常に静かな 郊外・農村
昼間のみのピーク運転	Н	G	F	E	D
夜間のみのピーク運転	F	E	D	С	В
昼間のみの連続運転	G	F	E	D	C
昼夜間の連続運転	E	D	C	В	A



加 Mn添加剤使用図6 添 加 剤 の 効 果

ンは各種の周囲条件に適合するものとすることができる。また非常 に聞き苦しい高周波の音が大きく減音され消音効果が著しい。

ガスタービンの騒音対策は周囲の環境に適合したものとしなければならないことはいうまでもないが、経済的要素も加味する必要がある。十分な減音がなされたのち、さらに減音しようとすると、これに要する費用が加速度的に増加することも考慮する必要がある。

3. 排 気 ガ ス

ガスタービンからの排気ガスは大気中に排出されるが,この排気 ガスが大気汚染など周囲の環境に与える影響について検討する。

3.1 煙 の 濃 度

ガスタービンの使用される燃料がガス体燃料である場合は煙は全く不可視である。煙の濃度が問題になるのは液体燃料の場合に限られるが、わが国においては一部の炭坑地帯における坑内ガスあるいは石油工場における分解ガスなどを除いて天然ガスなどのガス体燃料に恵まれず、ガスタービンの燃料としては液体燃料が主流をなす形勢にある。またピーク負荷用ガスタービンは都会に近接して設置され、しかも燃料として留出油が使用されるので煙の濃度を減少させることは公害対策の面から強く要望されるところである。

煙の濃度の測定方法としては各種の方法が提案されているが、ガスタービンの場合には Von Brand 煙番号($^{\circ}$)が最も適当と考えられる。この Von Brand 煙番号と従来からよく用いられているリンゲルマン濃度および Bacharach 番号との比較を示したのが表 $^{\circ}$ である。表 $^{\circ}$ は煙の濃度に対する社会の反応を示したものである($^{\circ}$)。

煙の濃度を減少させるには添加剤を燃料油中に注入する方法なら びに燃料油の噴霧を改善することにより減少させる方法がある。

前者の添加剤としてはマンガンを含有した油溶性のものが使用され好成績を上げている(図 6 ⁽³⁾参照)。二重燃料装置を備えたガスタービンにおいて1次燃料がガス体燃料,2次燃料が液体燃料の場合

表 3 煙濃度番号の比較

Bacharach 番号	Von Brand 煙番号	リンゲルマン濃度
0	100	0
1	99	0
2	96.5	0
3	93.5	0
4	89	0
5	82.5	0
6	75	0
7	66	0
8	56	0
9	45 以下	0~5

表 4 濃度に対する社会の反応

Von Brand 煙番号	社会の反応			
100~90	反応なし――不可視。			
90~80	苦情はでない。			
$80 \sim 70$	時々苦情がでる。			
$70 \sim 60$	集団で苦情がでる。			
60 以下	大きな公害問題になる。			

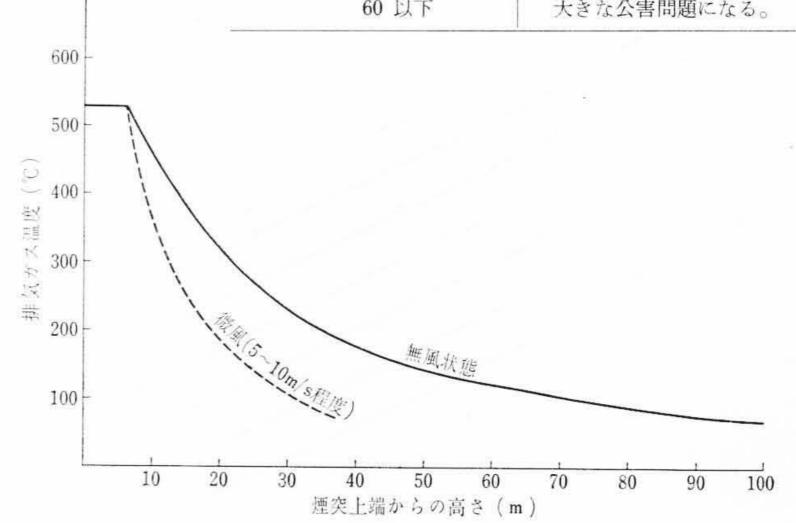


図8 排気ガスの垂直方向温度分布

液体燃料が使用される時間の割合はごくわずかなので、この添加剤 を燃料中に注入する方法が有効となる。

さらに長時間液体燃料を使用するガスタービンでは圧力噴霧にかえて燃料の噴霧を空気で行なう空気噴霧方式を採用する。この空気噴霧方式は元来重油噴霧用として採用されていた方式であるが、圧力噴霧用燃料ノズルと互換性のある燃料ノズルを使用した低圧空気噴霧方式が新しく採用されるようになった。留出油を使用した場合低圧空気噴霧方式は煙の濃度の減少に有効であるが、この方式を採用することにより従来燃料油に留出油として規定されていた範囲を越えて(たとえば残留炭素など)一部の粗悪油が特別の前処理なしにガスタービン燃料として使用できるようになった。図7に添加剤を使用した場合ならびに低圧空気噴霧方式を使用した場合の煙濃度を示す(2)。

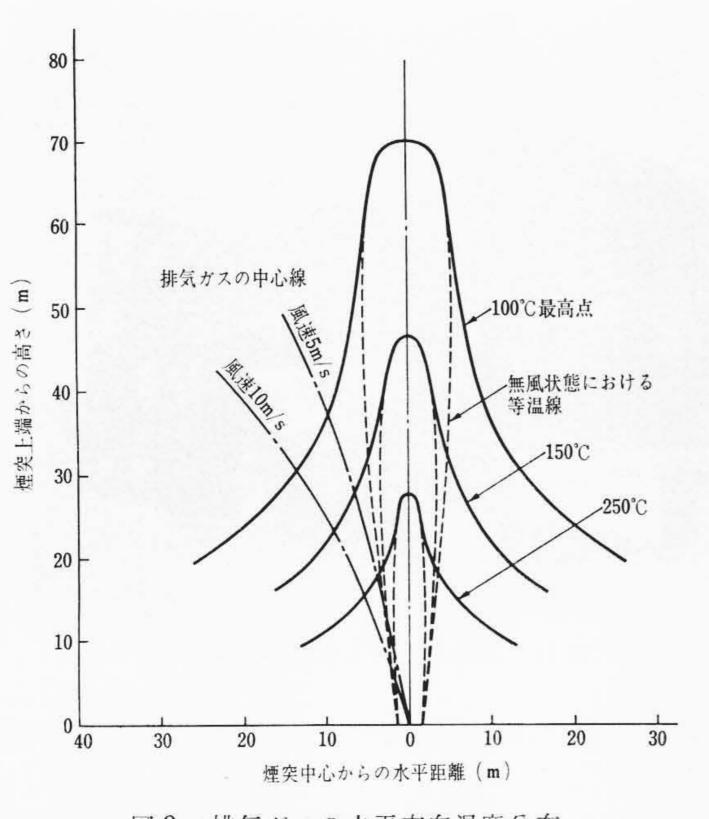
低圧空気噴霧装置を有するガスタービンにマンガン添加剤を注入 した燃料を使用すればガスタービンからの排気ガスは起動時の数分 を除いて完全に清浄な不可視のものとなるであろう。

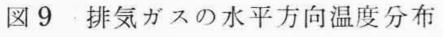
3.2 温 度 分 布

単サイクルのガスタービンの排気ガスは比較的高温であるので $(450\%\sim550\%)$ 周囲の建物などにおよぼす影響を検討する必要がある。 図 8 は代表的な日立-G E パッケージ形ガスタービンの煙突の垂直線上における排気ガスの温度分布を示したものである。本機の排気ガス温度は 530% であり、煙突上端から 6 m までは温度一定のままで 30 m までに急速に温度が下がる。 温度が 100% に下がるのは高さが約 70 m であることが 図 8 から理解できる。 図 9 は水平方向の排気ガス温度分布を示したものである。

3.3 亜硫酸ガスの濃度

最近大気汚染といえば燃料油中に含まれる硫黄に原因して生成さ





大気より 図10 ダスト・ ルーバの原理

出口

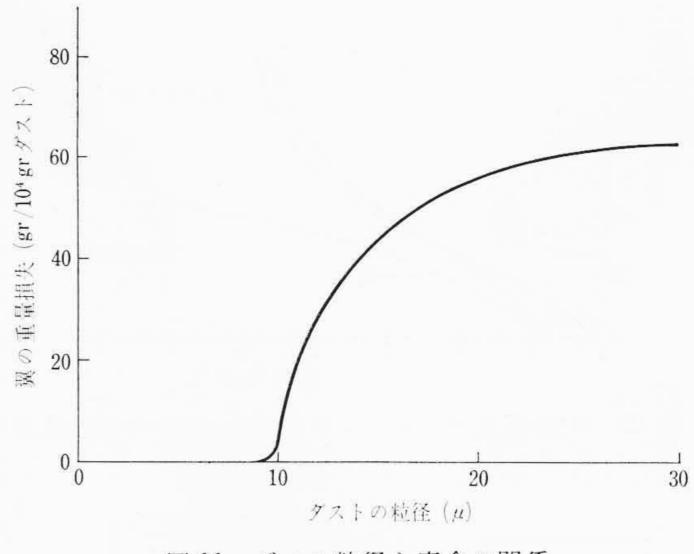


図11 ダスト粒径と腐食の関係

れる亜硫酸ガスによるものと考えられるほど大きな公害問題となっ

ガスタービンの燃焼器中の反応域では燃料が燃焼し高温のガスが 発生するが、このガスは混合域において多量の空気によりタービン 入口温度にまで温度が下げられる。したがってタービンからの排出 ガスを煙突出口においてすでに亜硫酸ガス濃度が非常に小さくなっ ている。さらにガスタービンの排気ガス温度は相当高いので上昇能 力も大きい。それゆえ地上最大亜硫酸ガス濃度は極端に硫黄含有 量の多い粗悪重油を使用した場合でも問題にならないほど小さく なる。

4. 大気ダスト

ガスタービンは多量の空気を作動流体として使用する。したがっ てこの空気の性質, とくに空気中に含まれるダストの程度によって は特別の対策が必要となる。

4.1 ダストの粒度と含有量

空気中に比較的多量のダストを含む場合, 汚れと腐食により性能 ならびに保守の面から問題が生ずる。単にダストといっても種々あ り形状ならびに種類も一様ではない。さらに粒度や含有量によって も異なったものとなる。圧縮機について考えるとダストの粒度が10 ~7µ を境にして細かいものは汚れの原因となり,大きいものは圧縮 翼の腐食の原因となる。一般的にいって大気ダストの粒度は0.1~ 30 μ である。そのうち 95% は 10 μ 以下であり、70% は 0~5 μ の 間にある。しかし砂あらしの場合はダストの含有量も多くなるが, 粒度も 300 μ に及ぶものが含まれていることもある。

4.2 フィルタの種類

ガスタービンによく用いられるフィルタには次の4種類のものが ある。

(1) 固定バスケット式

四角の金網のバスケットの5面にフィルタエレメントをつけ空気 の通過面積を広くとれるようにしたもので、このようなバスケット を多数取り付けて空気取入室を構成する。フィルタエレメントが汚 れた場合は洗浄することにより数回使用可能である。

(2) 自動更新ロール式

上下2本のロールとフィルタエレメントからなり、上ロールから 下ロールにフィルタエレメントが空気流と直角方向に次々におりて

くる方式のものである。エレメントが全部下のロール に巻き取られた場合には新しいエレメントを補充す る。フィルタロールはフィルタ前後の圧力差あるいは 時間によって自動的かつ間欠的に動く。

(3) 自動洗浄油浴式

フィルタエレメントは取換え不要で永久に使用でき上下のスプロ ケットで移動されるチェーンに取り付けられている。最下部には特 殊油の油だめがあり、ここを通過するときにフィルタエレメントは 自動的に洗浄される。

(4) ダスト・ルーバ式

図10に示すように空気は上方からはいり、ルーバを通って下流 に抜ける。一方ダストは抽出空気(入口空気量の約10%)とともに 下部から排出される。

比較的清浄な大気中でピーク負荷用など利用率の小さな応用例で フィルタをつけないものから、砂あらしの中でも連続運転をするた めにダスト・ルーバ式とロール式を組み合わせて完全な防じん対策 を行なったものまで各種のものが現在用いられている。一般的にみ て利用率の小さい非常用やピーク負荷用はフィルタを設置しないも のが多く、普通の場所に設置される連続運転用のガスタービンには ロール式がよく用いられている。図11に示すようにダストの粒度 が10μを越えると急激に腐食が進むので、このようなダストを含む 大気中で運転されるガスタービンには粒度が大きい範囲で高効率を 発揮するダスト・ルーバ式のものを設置することが望まれる。

4.3 加圧式パッケージ

砂漠地帯などダストの含有量が異常に多い大気中で運転されるパ ッケージ形ガスタービンは作動流体である入口空気を前述のような 方法で清浄にするのみならず、潤滑油や冷却水に砂じんが混入する のを防止し、かつ制御機構などのしゅう動部に悪影響を及ぼさない ようにパッケージ内の空気をも清浄に保つ必要がある。このためタ ービン室ならびに補機室には作動空気取入室からろ過された空気を 一部単独のブロワで加圧して導入する。制御パッケージはより精密 な計器や継電器類が多数収納されているので、さらに入念にろ過さ れた空気で加圧し外部のダストがはいらないよう考慮する必要が ある。

5. 寒冷地対策

寒冷地に設置されるガスタービンは起動時潤滑油の温度を許容値 まで上げるためのヒータあるいはスペースヒータなどが必要とな る。このほか設置場所によっては入口空気流路の氷結対策が必要に なる。

日

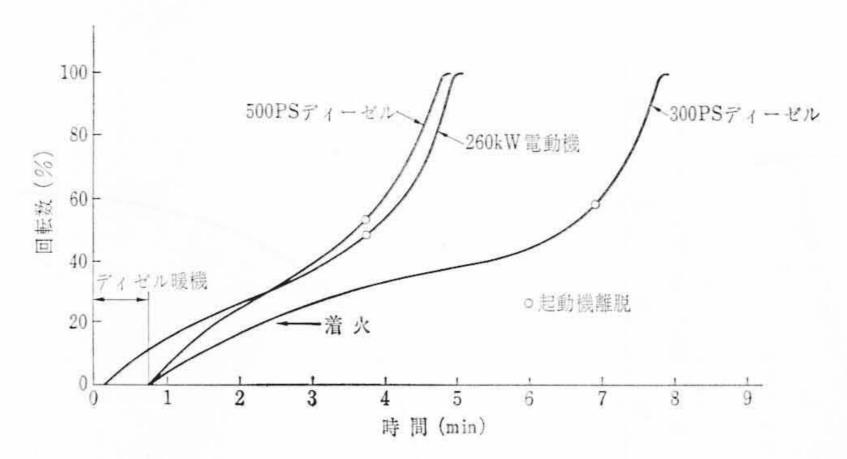


図 12 日立-G E パッケージ形ガスタービンの起動曲線 (17 MW 級)

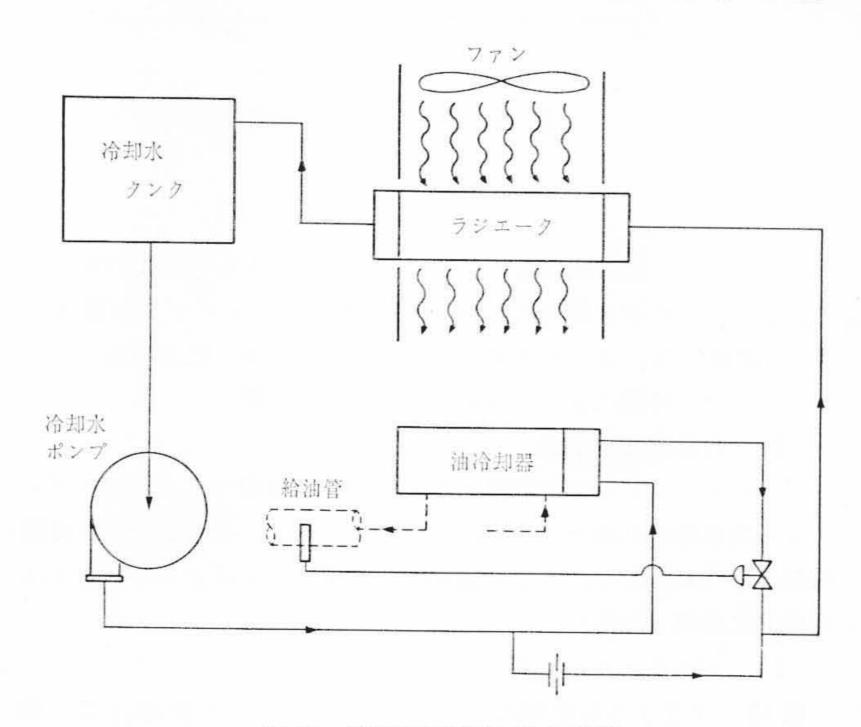


図 13 密閉循環形冷却水装置

航空用ジェット・エンジンでは低温度のため空気入口部に氷が成長し、それが折れて圧縮機内にはいり致命的な事故にいたる場合もある。しかし日立-GEガスタービンはヘビーデューテイ形で長寿命を第一義として、がんじょうに設計されているので入口案内翼は大きく、かつ圧縮機の翼弦は長くあたかも氷かき器のごとき作用をなし比較的安全である。

しかし低温度でかつ相対湿度が85%以上の大気条件下で連続運転するガスタービンは、氷結により空気入口部が完全に閉鎖してしまうことがある。このような圧縮機入口ダクトの氷結を防止するためにはタービン排気ガスの再循環を行なう必要がある。つまり排気ガスを入口ダクトに導き入口空気に混合して温度を上げ氷結を防止する。またこの排気ガスの再循環中には調整用ダンパを設置しあらかじめ定められた温度になるよう調整する。液体燃料を使用するガスタービンでは排気ガスの再循環は圧縮機の汚れの原因となるので注意を要する。

6. ブラック・スタート

火力発電所の非常用などにガスタービンが用いられる場合には、 外部電源にたよることなく、また冷却水を外部から供給されること なく起動する必要がある。このような起動をブラック・スタートと 呼んでいる。ブラック・スタートを可能とするために考慮されるべ き事項について述べる。

6.1 起 動 機

外部電源にたよることなく起動するためにはまず燃料移送ポンプ,補助潤滑油ポンプおよび制御空気用圧縮機は直流電動機で駆動し、この電源としてバッテリを設置する。またどうしても交流電源を必要とする制御回路などには小容量の変換機をおき交流電源を供給する。しかしブラック・スタートを行なう場合には電動機を起動

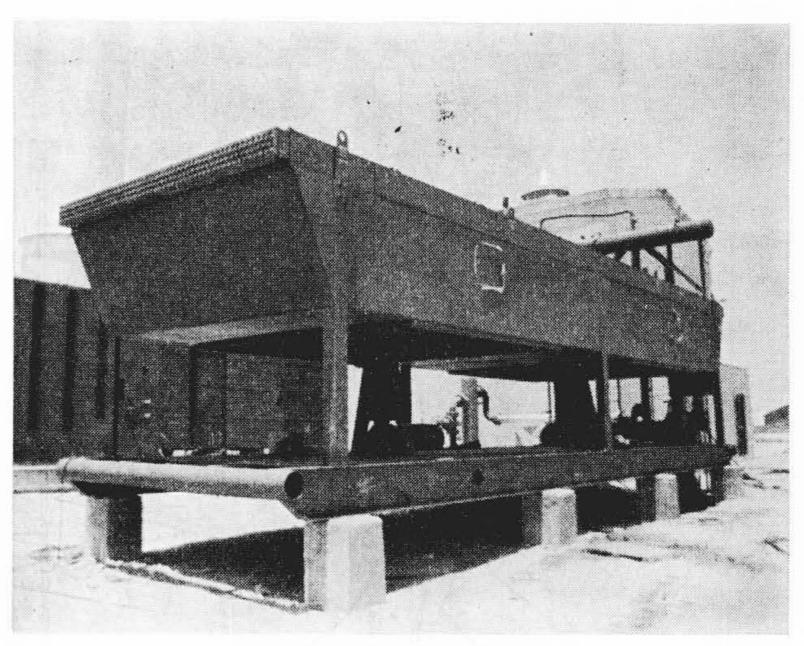


図 14 別置形冷却水装置の一例

機として使用することは実用的でなく、一般にディーゼル・エンジンが用いられる。

ディーゼル・エンジンは液体燃料を準備すれば外部から電力を供給することなく起動装置として使用できる。数台のパッケージ形ガスタービンからなるパワーブロックにおいては起動装置として1台目はディーゼル・エンジン、2台目以降は電動機としブラック・スタートを可能にすると同時に通常起動時の起動時間の短縮を図ることもできる。また急速起動を行なうために起動機の容量を大きくすることもある。図12は各種起動装置を備えた場合の日立-GEパッケージ形ガスタービンの起動曲線を示したものである。

6.2 冷 却 水

日立-G E パッケージ形ガスタービンにおいては冷却水装置は密閉循環となっており外部から冷却水を供給する必要はない。 図 13 はこの系統図を示したもので、冷却水は冷却水ポンプで昇圧され油冷却器で潤滑油を冷却したのち、ラジェータで空気により冷却水を冷却しタンクへもどる。ラジェータはパッケージの側壁に取り付けられており、屋根は空気ダクトを形成している。ラジェータ用ファンならびに冷却水ポンプはガスタービン主軸駆動である。

ガスタービンが屋内式の場合,別置形の密閉循環式冷却水装置をおき外部から供給する冷却水を不要にすることができる。しかしこの場合ファンならびに冷却水ポンプを電動機で駆動することになるのでブラック・スタートの面では不利となる。このような装置の一例を示したのが図 14 である。

7. 結 言

新しい原動機であるガスタービンは信頼度が高く経済性にすぐれたものであることが認識され、その用途は次第に広くなり、あらゆる地域で使用されるようになってきている。本稿ではガスタービンを設置する場合に検討すべき周囲条件との関連の概要について述べた。しかし論述した以外にも検討すべき事項を数多く残している。

このような周囲条件にあまり左右されないようプラントとして標準化されたのがパッケージ形ガスタービンであり、環境との関連で最小限の修正が行なわれるだけで完全に標準化されている。

今後もガスタービンはこのパッケージ形を中心にますますその市場を拡大していくと考えられるが、本文がガスタービン計画に当たって多少とも参考になれば幸いである。

参考文献

- (1) NEMA: Gas Turbine Sound and Its Reduction, SM 33. 1964
- (2) W.G. Tayler: ASME 67-PWR-3
- (3) E. L. Birdsall ほか: Proceedings of A. P. C 1967, 384