

## 名 誉 会 員 の 紹 介

(社)日本ガスタービン学会では、ガスタービンおよび関連技術に関し功績顕著な方又は本学会に対し特に功労のあった方のうちから、理事会の推薦により総会において承認された方が名誉会員になることになっています。去る昭和54年4月20日第4期通常総会において次の方々が本学会の初の名誉会員になりましたので御紹介致します。

渡 部 一 郎 君

わた なべ いち ろう

(明治41年4月13日生)



昭和6年3月 東京帝国大学機械工学科卒業  
昭和11年8月 東京帝国大学助教授  
昭和21年7月 慶応義塾大学教授  
昭和49年4月 慶応義塾大学 名誉教授  
昭和49年4月 青山学院大学 教授  
昭和52年4月 関東学院大学 教授

本学会関係略歴

1971年国際ガスタービン会議東京大会組織委員長  
日本ガスタービン会議会長(昭和47年度)  
1977年国際ガスタービン会議東京大会組織委員長  
日本ガスタービン学会監事(昭和53年度)

現住所 東京都中野区沼袋2-21-7

## 種子島 時 休 君

たねがしま とき やす

(明治35年7月20日生)



- 大正11年6月 海軍機関学校卒業  
昭和8年3月 東京帝国大学航空工学科卒業  
昭和10年～12年 フランス出張  
昭和13年6月 海軍航空廠においてジェットエンジンの研究  
昭和22年～30年 日産自動車株式会社  
昭和34年 防衛大学校教授  
昭和45年 東海大学動力機械工学科教授

本学会関係略歴

日本ガスタービン会議 評議員(昭和47年度)

現住所 東京都中野区沼袋4-23-3

## Robert Thomas Sawyer 君

(明治34年6月20日生)



- 大正12年 Ohio State University 卒業  
大正14年 世界初のディーゼル機関車を設計  
昭和5年 Ohio State University 修士課程卒業  
昭和22年 ASMEにガスタービン部門を創設し初代会長となる。  
昭和29年 米国陸軍のガスタービン機関車を技師長として完成  
昭和43年 初来日し日本のガスタービン関係者に組織化の必要性を勧める。  
昭和46年 1971年国際ガスタービン学会東京大会のASME代表

現住所 P.O. BOX 188, HO-HO-KUS,  
N.J. 07423, USA



## 会長就任に当って

山内正男

第4期の総会において本期の会長に選ばれました。会員の期待に応えて、ガスタービンの進歩発展に寄与するような学会活動を活潑に進展させていかなければならない事を考え、責任の重大さを痛感しておりますが、有能な理事諸君の御協力を得て当学会発展のため微力を尽す所存です。当学会がガスタービン会議からガスタービン学会へと生れ変ってから満3年を経過し、新しい学会の基盤も固まり、進むべき方向にレールが敷かれて、目標に向かって各種の活動を推進し得るようになってきました。創業期に当るこの3年間基礎固めをして下さった理事及び評議員諸兄の御努力に対し深甚の敬意を表します。

ガスタービンが航空機用原動機として所を得て著しい発展を遂げ、性能も向上するに従い、これが陸船用ガスタービンにも波及して逐次性能が向上するにつれて、ガスタービンが本来備えている有利な特徴が次第に認識されるようになってきました。かくして需要の増大、活用分野の拡大に応じて生産台数が年々増加の道を辿っているのが世界的の傾向です。わが国におけるガスタービンの生産台数も年々増加していますが、ガスタービンに適した立地条件にある中近東や中南米が需要の大部分を占めている事からも明らかなように、ガスタービン市場は国際競争の場です。従って、わが国がガスタービンの分野においても国際競争に耐え得る技術力を身に付け、発展させていかなければならないのは当然の事です。

わが国でガスタービンの研究開発が本格的に始まったのは昭和20年代の初期で、私共も当時ガスタービンとはどんな物かをよく知らず、先づ実物にぶつかって習い取ろうと考え、戦時中に完成間際までになったが終戦と共にスクラップにされたガスタービンを再生改造して実験を続け、色々

と勉強する事ができました。何社かの大企業がこぞってガスタービンの研究開発に乗り出したのもこの頃でした。このように、わが国がガスタービンを手がけ出した時期は諸外国に比べてあまり遅れておらず、爾来、技術も蓄積されてきた事と思われませんが、それにも拘わらずその後わが国で作られ実用されているガスタービンの多くは技術導入に依存しています。この分野の研究を行ってきた私にはどうも釈然としないものがあります。勿論導入した技術に若干の改良を加え進歩したものになっているとは思いますが、このような状態で推移していったのでは国際競争におくれを取る事は眼に見えています。また、ガスタービンは先導性の高い技術であり波及効果が期待できるといっても、それは自ら努力し苦勞を重ねて積み上げた技術でなければ波及効果などは期待すべくもありません。明治以来、わが国には皆無に近かった西欧技術を習得し、何とかして早く先進国の技術に追付こうとして実施してきた技術導入策はそれなりの成果を挙げましたが、百年以上も経過する間に、技術導入によって習えばよいという依頼心が日本人の身に付いてしまい、自ら努力してシステムをまとめ上げようとする意慾を失う事が懸念されます。

わが国の製品として海外に広く行き渡っているものに自動車、カラーテレビ、カメラ等が挙げられます。これらは国内需要だけでも十分多くを期待できるために、企業は研究開発に意慾的であり、より良い製品を作って利用者の信用を得ると共に自信を高め、益々発展してきたのでありましょう。これらの製品は大まかにいえば、個人が使用して満足するものです。一方、ガスタービンのように企業が活用して利益を生み出そうとするものにあっては、個人を購入対象とする製品に比べて遙か

に高額の開発費を必要とし、国内需要には多くを期待出来ないにも拘わらず、経済性や信頼性に対する要求の程度が遥かに厳しいのが普通です。このような性格を持ったガスタービンを国際市場に持ち出して活路を拓くためには、利用者を引きつけ信用させ得るものでなければなりません。そこで、ガスタービンの技術を相当身に付けていたとしても、システムとしてまとめ上げ、実績を示して利用者の信用を勝ち取るのに必要な経費と時間とが莫大になる事を考え、これに自分の技術力に対する自信の無さも手伝って、てっとり早い技術導入に依存することになったのではないのでしょうか。ここに依頼心が現在もまだ顔を出していると思われま。別の見方をすれば、研究開発の努力が圧縮機、燃焼器、タービンといったガスタービンの主要な要素にばかり注がれて、軸受、シールなどの部品や制御機器、補器などが軽く見られて、バランスのとれたシステムをまとめ上げる総合技術が十分に育っていないこともありましよう。一言にしていえば、技術の後進性が技術導入を已むなくしているともいえます。

そこで、範囲を拡げて、わが国の工業全般の技術水準はどの程度の所にあるのかに触れてみましょう。技術水準を判定する事は仲々難かしいことですが、一つの見方として、わが国の企業数百社に対して行われた技術水準に関するアンケート調査の結果によると、「国際的に先行している」が27%、「国際的に並行している」が61%、「国際的に遅れている」が9%となっていますが、技術開発力の水準に対しては、「先行している」が8%、「並行している」が51%、「遅れている」が34%となっています。また、技術貿易のバランス、発明の数等を指数化して科学技術庁がとりまとめた技術水準は、米国を100とすると、1960年代後半では、西独40.4、英25、仏23.9、日本22.2であり、1970年代前半には西独49.4、日本41.0で第3位となり、1970年代においてわが国の技術水準は西欧なみに上昇しています。一方、わが国の技術開発力の水準は60年代後半は14.6、70年代前半には30.0となっています。これらの結果を見ると、最近のわが国の技術水準は世界的に見てもかなりの所になっているが、技術開発力の水準は依然として低

い所にあり、国際競争力を高めていくためにはもっと技術開発力を高めるように努力しなければならない事を示しています。

国際市場性の強いガスタービンの自主技術を確立し進展させていくには、絶え間ない基礎、応用研究の努力を積み重ね、優れた成果を収めなければならないのは勿論ですが、さらに研究成果を開発に結びつけ推進する強力なプロモータが必要です。戦後わが国で開発した航空機は防衛庁用としてT-1、C-1、PS-1など、民間輸送機としてYS-11などがありますが、これらに用いられたガスタービンエンジンは総て外国産のものばかりでした。機体は自主開発なのになぜエンジンは自主開発出来ないのかが議論された事もありました。この問題の解決方策として航空機用ファンジェットエンジンの研究開発が工業技術院の大型プロジェクトとして数年前から進められています。大推力ではないが世界の最先端を狙ったファンジェットエンジンの研究開発が順調な進展を見せているのは、航空宇宙技術研究所が行ったJR系ジェットエンジンの試作研究の成果と、企業においてこれ迄に導入した技術を咀嚼吸収して自分のものにしてきたこと、この両者が一体となり、工業技術院という強力なプロモータの下に推進されているためと考えます。

エネルギーの有効利用を目指す工業技術院のムーンライト計画の一環として、高効率ガスタービンを一つの軸とした複合サイクルの研究開発が昭和53年から進められています。蓄積した技術を持ち、強力なプロモータを得て研究開発を進める好条件は整っています。わが国のガスタービン技術を自分の物としていく絶好の機会です。とは云え、今後更に最先端に行く技術を積み上げていかなければならない事を考えると、他力本願から脱却する試練の場でもありましよう。

当学会はわが国のガスタービンの発展に不可欠な独創的な研究開発を勇気付け、その推進に役立つような活動を展開していかなければならないと考えますので会員各位の積極的な御協力を切望致します。



## 小型産業用ガスタービン燃焼器のNO<sub>x</sub>低減

川崎重工業 星野昭史  
ジェットエンジン事業部 第3技術部 梶田真市  
川崎重工業 技術研究所 機械研究室 森建二  
木村武清

### 1. まえがき

川崎重工では、昭和51年に、自社開発の300 PS級ガスタービン・SIAを駆動源とする非常用発電設備・PU200を発表して以来、発電設備のシリーズ化に努め、PU250、PU500、さらには1600 PS級・MIAエンジン搭載のPU1250を、相次いで商品化し、市場に送り出してきた。これらの発電設備に対する需要は、病院、銀行、スーパーマーケット等の非常用電源を中心として、急速に増加しつつある。そして、最近では、これら顧客のクリーンなイメージも手伝って、非常用設備といえども、その排気に対して強い関心が向けられるようになってきており、ガスタービンの排ガス対策は、当社において重要な研究課題のひとつになっている。

### 2. ガスタービンの排ガス対策の現状

ガスタービンの排ガス中には、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、CO、炭化水素(HC)、煙、SO<sub>x</sub>などの大気汚染物質が含まれている。このうちSO<sub>x</sub>は、燃料中のS分に起因するもので、粗悪油燃料を使用しない小型の産業用ガスタービンでは、ほとんど問題にはならない。また、煙については、航空用ガスタービンにおける一連の経験的な低減手法が応用できるため、低減化は比較的容易である。しかしながら、NO<sub>x</sub>、CO、HCについては、CO、HCが低温時の燃焼状態が悪いときに多く生成し、

高温になって燃焼状態が良くなると生成が減るのに対し、NO<sub>x</sub>は温度が高くなるほど生成量が指数関数的に増加するというように、互いに相反する生成条件をもつために、低減化が非常に困難であり、三成分の同時制御を目的とした研究が各方面で行なわれている。具体的な例としては、航空用ガスタービンでは、希薄混合気の燃焼を特徴とするSolar社のVIB燃焼器<sup>(1)</sup>、NASAが中心<sup>(2)</sup>となって開発されている二段燃焼を行なう燃焼器、可変機構を持つG.M. Allison社の燃焼器<sup>(3)</sup>、産業用ガスタービンではWestinghouse社のハイブリッド燃焼器<sup>(4)</sup>などがある。これらの中には、実験室的にはかなりの成果をあげたものもあるが、実用化されるには到っていない。そのひとつの理由として、ガスタービン燃焼器はボイラ等の燃焼器と異なって、非常に敏感であるということがあげられる。すなわち、ガスタービン燃焼器は非常にコンパクトであるために、小さな変更であっても耐久性や温度分布などに重大な影響を及ぼすことがある。したがって、汚染物質の排出が少なく、信頼性、耐久性に富み、しかも低価格であるというような燃焼器が開発されるには、まだ相当の期間を要するものと思われる。

### 3. 排ガス規制の動向

大気汚染が社会問題化し始めて以来、自動車や定置式燃焼装置の排気中に含まれる汚染物質については、環境庁の環境基準によって規制されるようになった。例えば、ボイラから排出されるNO<sub>x</sub>

(昭和54年4月23日原稿受付)

については、表1に示す規制値が適用されている。

表1 ボイラのNO<sub>x</sub>排出基準(液体燃料)

施設の規模	基準値(O <sub>2</sub> : 4%)
100万Nm <sup>3</sup> /h以上	130 ppm
50万~100万	130
10万~50万	150
4万~10万	150
1万~4万	150
0.5万~1万	180
0.5万未満	180

しかしながら、産業用ガスタービンに対する規制値は、現在、我国にはない。また、米国においても、液体燃料焚きの定置式ガスタービンに対しては75 ppm (O<sub>2</sub>: 15%)というEPA案が出されているようであるが、法制化するには到っていない。しかし、いつまでも無規制であるということは考えられず、今後のガスタービンの需要の如何によっては、当然規制の動きが出てくるものと思われる。その場合の規制値がどの程度になるかは、議論百出であるが、ボイラと同程度とすれば、当社のガスタービンの場合、45~55 ppm (O<sub>2</sub>: 15%)が規制の目安となる。この値は、現在の排出レベルの約1/2であり、水噴射という手段を用いれば達成できない値ではない。しかしながら、ガスタービンは、熱効率向上のため今後増々高圧力化し、タービン入口温度も上昇する傾向にあり、これはNO<sub>x</sub>を増加させる方向にある。したがって、水噴射によるNO<sub>x</sub>低減だけでなく、燃焼器改良による低減も合わせて行なっていくことが望まれる。

#### 4. NO<sub>x</sub>生成に及ぼす各種パラメータの影響

NO<sub>x</sub>生成に及ぼす各種パラメータの影響については、これまでも幾つかの報告がされている<sup>(5)</sup>。当社においても、ガスタービン燃焼器のNO<sub>x</sub>排出特性を把握するために、パラメータを系統的に変えて実験を行なった<sup>(6)</sup>。以下にその結果を紹介する。

なお、実験に用いた燃焼器は、図1に示すよう

に、産業用ガスタービン燃焼器として一般に用いられている、いわゆるキャン型燃焼器である。その主要諸元を表2に示すが、これらは、当社が開発した燃焼器基本設計プログラム<sup>(7)</sup>に代表的な産業用ガスタービン燃焼器に対する諸条件を入力して求められた値であり、キャン型燃焼器の諸元を代表していると考えられる。

実験装置は、空気予熱器とバタフライ弁式圧力制御弁を備えており、燃焼器入口空気温度 T<sub>1</sub> および圧力 P<sub>1</sub> をそれぞれ独立に設定することができる。パラメータとしては、T<sub>1</sub>、P<sub>1</sub> の他に、燃焼器最大断面平均風速 U<sub>r</sub>、および空燃比 n を選定して実験を行なった。

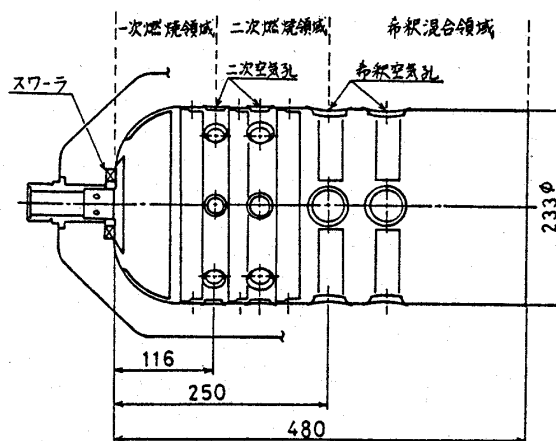


図1 燃焼器モデル

表2 燃焼器の主要諸元

項目	値
空燃比	60.5
最大断面平均風速 m/s	20.6
全圧損失係数	23.9
ライナ冷却空気量割合 %	29.0
一次燃焼領域の開口面積比	0.077
二次燃焼領域の開口面積比	0.269
希釈混合領域の開口面積比	0.654
ライナ断面面積比	0.346
燃焼領域平均滞留時間 ms	16.8

4-1 P<sub>1</sub>、T<sub>1</sub>の影響 図2にP<sub>1</sub>の影響を示す。燃焼効率η<sub>b</sub>が十分に高い範囲で、n = 55~60の設計点付近の値に着目すると、T<sub>1</sub>

に關係なく、 $NO_{XEI} \propto P_1^{0.62}$ の關係があることが分り、このような形で入口圧力  $P_1$  の影響を分離できると考えられる。

図3は、 $NO_{XEI}$  を  $P_1$  で補正し、 $P_1$  の影響を分離した後の  $T_1$  の影響を示しているが、 $T_1$  の指数関数的効果が、 $NO_{XEI} \propto \exp(T_1/246)$  という形でよく整理される。ここで、入口空気温度  $T_1$  の100℃の上昇は、 $NO_{XEI}$  を約1.5倍にし、 $T_1$  の影響が極めて大きいことが分かる。

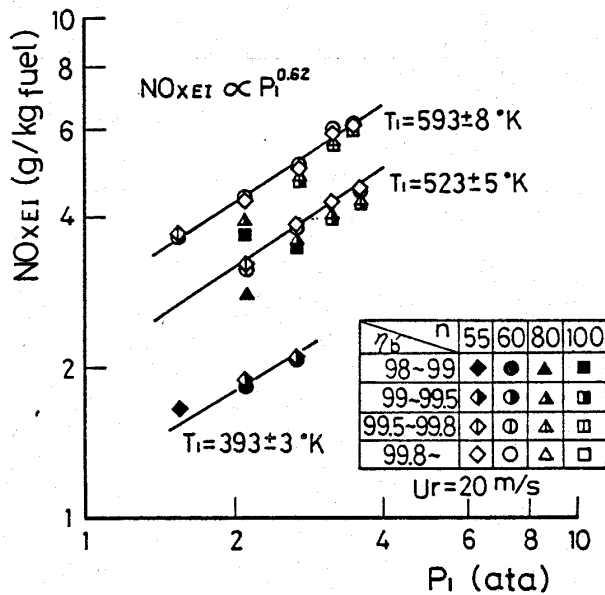


図2 圧力の影響

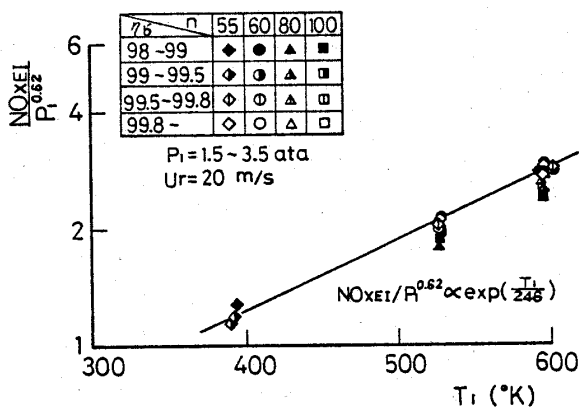


図3 温度の影響

4-2 燃焼効率  $\eta_b$  の影響 図2, 図3のように、 $\eta_b$  と  $n$  をそれぞれ区別して示すと、 $\eta_b$  の低下が  $NO_{XEI}$  に影響を与えることが分かる。

図4は  $NO_{XEI}$  と不完全燃焼割合  $(1 - \eta_b)$  の關係を示したものである。ただし、 $P_1$ ,  $T_1$  の影響は前述の關係に従うものとして、縦座標は、 $P_1$ ,  $T_1$  の關係で補正した  $NO_{XEI}$  で示してある。図より明らかなように、 $\eta_b$  の影響は、 $NO_{XEI} \propto 1 - (1 - \eta_b)^{0.43}$  という形でよく整理され、燃焼効率が低下すると、急激に  $NO_{XEI}$  が低下することが分かる。したがって、 $NO_{XEI}$  を比較検討する場合には、燃焼効率の差異に注意する必要がある。

4-3  $U_r$ ,  $n$  の影響 図5に平均流速  $U_r$  の影響を示す。 $\eta_b$  が十分高い範囲で  $n = 55 \sim 60$  の設計点付近の値に着目すると、 $NO_{XEI} \propto U_r^{-0.3}$  の關係が成り立ち、 $U_r$  の影響は  $P_1$ ,  $T_1$  に比べて小さく、二次的影響しかないと分かる。

図6は空燃比  $n$  の影響を示したものである。図より、データにかなりのばらつきがあるが、 $n$  の影響は全実験範囲にわたって小さく、 $\eta_b$  が十分高い範囲では、 $NO_{XEI}$  は  $n$  の影響を全く受けないと言ってよい。これは、予混合炎で見られる  $NO_{XEI}$  の強い当量比依存性と大きな対比をなし、産業用ガスタービンに通常用いられているキャン型燃焼器では、混合律則の拡散燃焼が支配的であることを示唆していると考えられる。

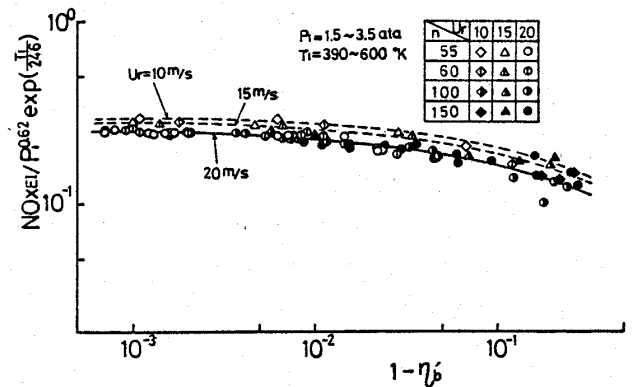


図4 燃焼効率の影響

4-4  $NO_{XEI}$  の總關係式 以上の關係をまとめて、代表的な産業用キャン型燃焼器における各種パラメータの  $NO_{XEI}$  に対する影響を次式で表わすことができる。

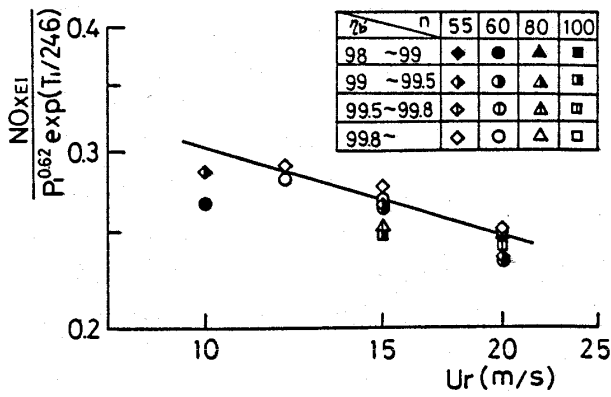


図5 平均流速の影響

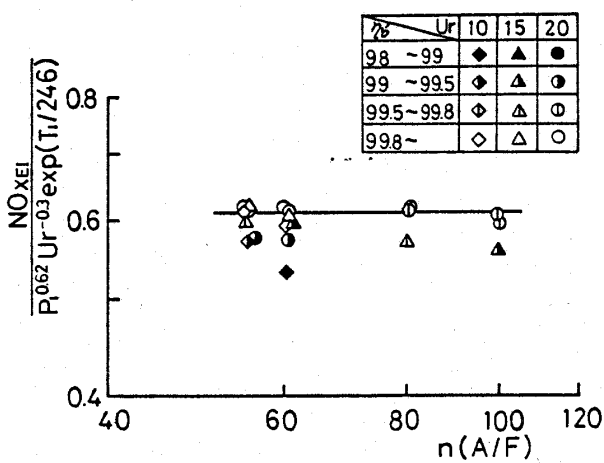


図6 空燃比の影響

$$NO_{XEI} = A_{NOx} \cdot P_1^{0.62} \cdot \exp \frac{T_1}{246} \cdot$$

$$U_r^{-0.3} \{ 1 - (1 - \eta_b)^{0.43} \} \dots (1)$$

ここで、 $A_{NOx}$  は、各燃焼器の形状に関係した燃焼器固有の定数であると考えられる。図7は、本燃焼器における全実験点と(1)式の相関を調べたものである。パラメータ変化実験の全範囲において、実験値と(1)式は良い相関が得られており、本実験以外の燃焼条件に対しても拡張して用いることができると考えられる。また、 $A_{NOx}$  の値を比較することにより、燃焼器の形式による  $NO_x$  排出特性の良否をある程度判断することができると考えられる。

### 5. $NO_x$ 生成に及ぼす燃料の影響

使用する燃料の種類によって  $NO_x$  の排出量が大きく異なることはよく知られているが、ここでは、燃料中のN分が  $NO_x$  排出量に及ぼす影響と、液体燃料とガス燃料による  $NO_x$  排出量の差につ

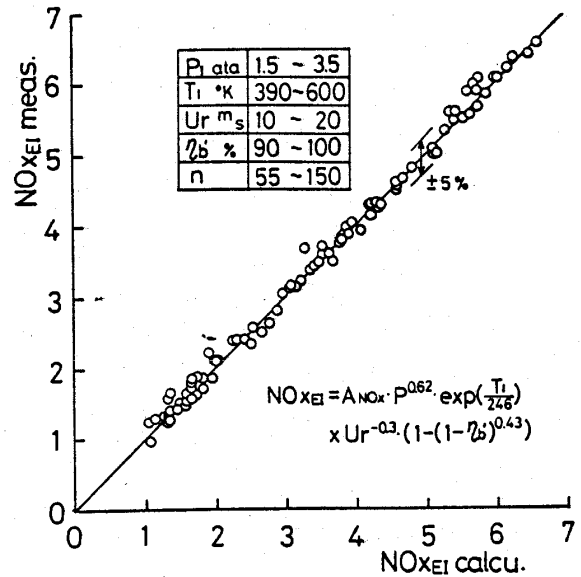


図7  $NO_{XEI}$  総合関係式

いて、当社の実験結果を紹介する。

5-1 燃料中のN分の影響 ガスタービンの排気中に含まれる  $NO_x$  は、空気中の  $N_2$  から生成される thermal  $NO$  と、燃料中のN分から生成される fuel  $NO$  とによるものであることは周知の通りである。

燃料中のN分の影響を調べるために、灯油にピリジンを添加して実験した結果を図8に示す。N分が増加するに従って  $NO_x$  排出量は増加するが、空燃比の影響は少ない。

図9は、燃料中のN分の割合と排出  $NO_x$  量への転換率との関係を示したものである。N分の増加に伴って転換率は減少するが、N分の割合が0.3%以上で転換率は一定になり、ほぼ40%程度となる。この図によれば、例えばA重油を使用した場合、燃料中のN分は0.014~0.02%程度であるので、 $NO_x$  排出量は、灯油の場合より設計点で約5%多くなる。

5-2 液体燃料とガス燃料との差異 図10は、灯油とメタンガスの混焼割合を変化させた場合の  $NO_x$  排出量の変化を示したものである。図において、 $W_{FK}$  は灯油の重量を、 $W_{FT}^*$  は、灯油に発熱量換算した(メタン+灯油)の総重量を示す。

メタンガスの場合は灯油の場合より  $NO_x$  の排出量は約25%少なくなっており、灯油の割合が増すに従って  $NO_x$  排出量は増加する。



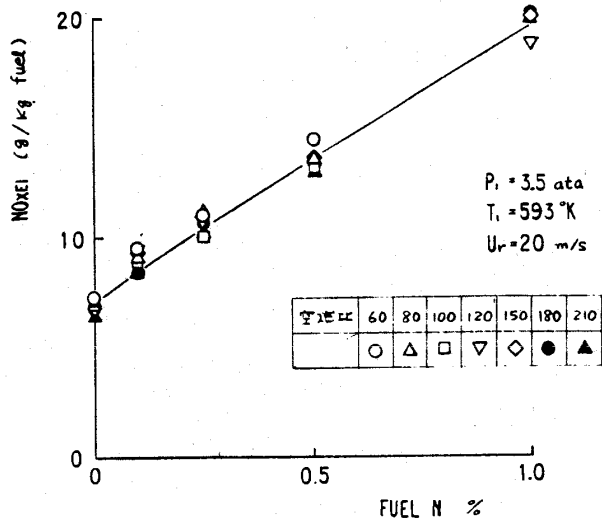


図8 燃料中のN分の影響

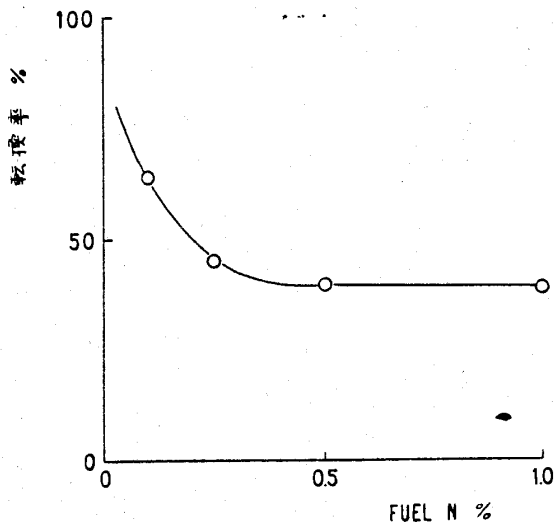


図9 燃料中のN分の転換率

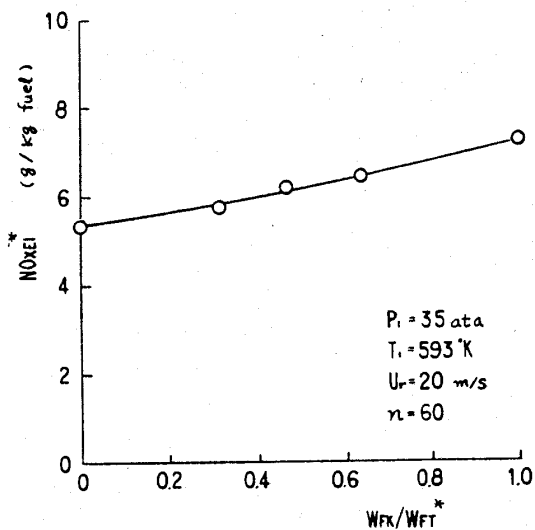


図10 燃料の影響

### 6. 排ガス対策の具体例

先にも述べたように、ガスタービン燃焼器の排ガス対策については、航空用ガスタービン燃焼器を中心として、各方面で種々の試みがなされている。表3<sup>(8)</sup>にガスタービンにおける汚染物質低減方法を示す。当社においても、これと同様の試みが幾つかなされており、以下にその一部を紹介する。

6-1 水噴射 燃焼領域に水を噴射して燃焼温度を下げ、NOx を低減させる方法は、燃焼器の形状を変更せずに大きなNOx 低減効果が得られるという点で、現在最も多く行なわれている方法である。当社においても、水噴射の位置、方法等を種々変更して実験を行なったが、水噴射の位置、方法によってNOx 低減効果が大きく異なるという結果が得られた。したがって、水噴射の場合には、適切な噴射位置、噴射方法の選択がNOx 低減の重要なキーポイントとなる。

6-2 エマルジョン燃料 燃料中に水をエマルジョンの形で混入させたエマルジョン燃料の使用は、水噴射と同じ効果をより確実に得られる点で、利用価値の大きいNOx 低減方法であると言える。

図11、図12は、灯油に水を混入したエマルジョン燃料での実験結果である。燃料中に20%程度の水を添加することによって、実用運転空燃比範囲において、COをほとんど増加させることなしに約35%のNOx 低減が可能である。

6-3 空気配分の変化 燃焼器の空気孔の大きさや位置を変更することにより、燃焼領域の空燃比や、quenchの時期を調整してNOx 等の低減を図る方法である。

図13は、スワラ径を大きくして、一次燃焼領域の空燃比を燃料希薄にした場合の結果である。NOx の排出量は、原型燃焼器より20~30%減少しているが、COの排出量は2~3倍になっている。

小型ガスタービンの場合には、燃焼器の空気量配分だけでNOx を低減しようとするれば、CO、HCの大幅な増加は避けられないものと考えられる。

6-4 予燃焼室式燃焼器 燃焼器を予燃焼室と主燃焼室に分け、予燃焼室を燃料過濃の状態

表3 Methods of pollutant reduction from gas turbine

Proposed technique	Advantages	Drawbacks	Other effects
<b>1 Minor modification</b>			
(a) Lean primary zone	Reduces smoke and NO <sub>x</sub>	Increases CO and UHC	Reduces flame radiation. Impairs ignition and stability performance
(b) Rich primary zone	Reduces CO and UHC at idle condition. Also gives slight reduction in NO <sub>x</sub>	Increases soot formation and smoke	Increases flame radiation. Improves ignition and stability performance
(c) Reduced residence time	Reduces NO <sub>x</sub>	Increases CO and UHC	Adverse effect on combustion performance at low power conditions
(d) Increased residence time	Reduces CO and UHC	Increases NO <sub>x</sub>	Improves combustion performance at low power conditions
(e) Reduced film-cooling air	Reduces CO and UHC. Slight reduction in NO <sub>x</sub>	—	Improves temperature traverse quality
(f) Air-assist atomizer	Reduces smoke, CO and UHC at low power conditions	Usually requires auxiliary air supply	—
(g) Airblast atomizer	Reduces all emissions, especially smoke	Narrow stability limits, unless fitted with pilot atomizer	Reduces flame radiation
<b>2 Major modification</b>			
(h) Fuel staging			
1. Circumferential	Reduces CO and UHC at idle operation	Slight additional complexity in fuel ignition system	Unsuitable for annular combustors
2. Radial	Reduces CO and UHC at idle operation	Slight additional complexity in fuel ignition system	Application restricted to multibanked annular combustors
3. Axial	Reduces smoke and NO <sub>x</sub>	Slight additional complexity in fuel ignition system	—
(i) Fuel additives	Reduces smoke	Deposits in engine hot section	—
(j) Water injection	Reduces smoke and NO <sub>x</sub>	May increase CO and UHC. Problems of plumbing, tankage and handling	Reduces liner wall temperatures
(a) Compressor air bleed	Reduces CO and UHC at low power conditions	Cost of provision. Slight increase in fuel consumption	—
(b) Exhaust gas recirculation	Reduces NO <sub>x</sub>	Increases CO. Also increases combustor size, weight and cost	—
(c) Variable geometry combustor	Reduces all pollutants	Introduces mechanical complexity and control problems	Improves ignition and stability performance
(d) Staged combustion	Reduces all pollutants	More complicated fuel ignition system	Improves ignition and stability performance
(e) Premix/Pre-vaporization systems	Reduces all pollutants	1. Vaporization difficult at low inlet air temperatures 2. Risk of pre-ignition at high pressures	Best used in conjunction with variable geometry

にして NO<sub>x</sub> の生成を抑制するとともに、燃料をガス化して、主燃焼室内での燃焼を予混合ガスの燃焼に近づけ、空気過剰の状態での燃焼させることにより、NO<sub>x</sub> を低減させる方法である。

図14に実験結果を示すが、燃料過濃側で NO<sub>x</sub> が急激に減少しており、ひとつの可能性を秘めていると言える。しかしながら、COは全実験範囲にわたって原型燃焼器よりも多い。

写真1に、実機テストに供した予燃焼室式燃焼

器の一例を示す。No.1ライナは、予燃焼室での燃焼が燃料過濃となるように設計されており、No.2ライナは、逆に空気過剰となるように設計されている。

図15に実機テストの結果を示す。No.1ライナの場合、NO<sub>x</sub> は、作動範囲のほぼ全域にわたって原型燃焼器よりも減少しており、高負荷側では、10~15%の低減率である。COは、高負荷時に原型燃焼器より若干多くなるが、低負荷時には著しく減少している。また、排煙もわずかに低減した。

No.2ライナの場合、NO<sub>x</sub> は、低負荷時には原型燃焼器よりも増加するが、高負荷時には約25%減少する。COは、No.1ライナとほぼ同じ傾向を示すが、低負荷時にはNo.1ライナより少なく、高負荷時には多い。また、排煙は著しく低減した。

上記のように、予燃焼室方式では、予燃焼室と主燃焼室との大きさの割合、予燃焼室内の空燃比

等をうまく制御すれば、CO、HCを大きく増加させることなしに、大幅な NO<sub>x</sub> 低減が達成できる可能性があり、有望な NO<sub>x</sub> 低減方法であるといえる。

**6-5 予混合燃焼器** 燃料を予混合室内で空気と予混合させ、一部をガス化させて燃焼室内に導入する方法で、局所的な燃料過濃領域がなくなるために NO<sub>x</sub> の排出が抑制される。また、青炎燃焼になりやすく、輻射伝熱が少なくなるので、

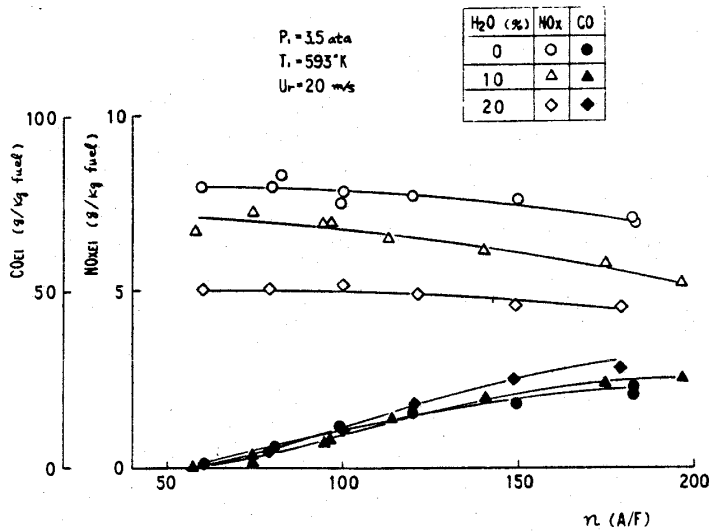


図11 エマルジョン燃料の効果

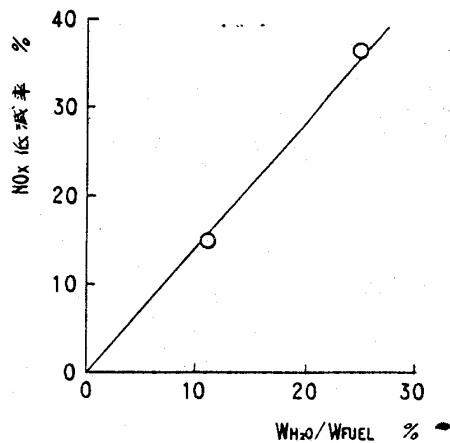


図12 エマルジョン燃料による NOx 低減率

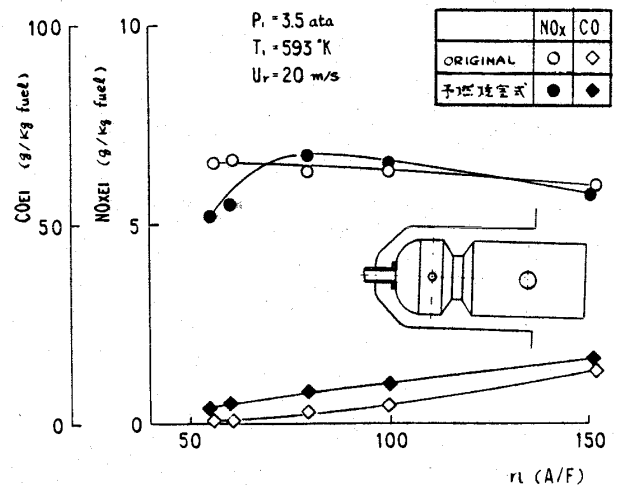


図14 予燃室式燃焼器のエミッション特性

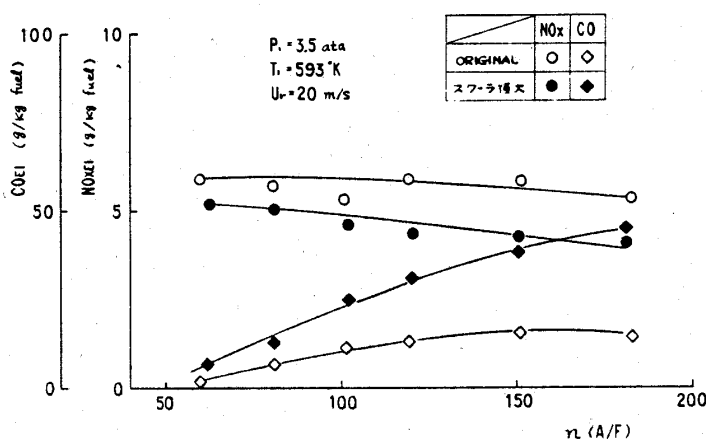


図13 空気配分の影響

燃焼器の耐久性の面でも有利である。

写真2に、実機テストに供した予混合燃焼器の一例を示す。この燃焼器では、実機運転中に予混合室内への逆火が生じ、耐久性の面で問題があった。実用化にあたっては、作動範囲全域にわたって、予混合室内での自然発火や逆火を抑える必要があり、開発にはかなりの困難が予想される。

### 7. あとがき

以上、小型産業用ガスタービン燃焼器の排ガス対策について、主として NOx 低減方法を中心に、当社での実験結果をもとに述べてきた。

一般に、ガスタービン燃焼器内部での反応は非常に複雑で、理論的に解析すること

は非常に困難である。そのため、ガスタービン燃焼器の開発は、試行錯誤にもとづく実験の積重ねによるところが大きく、実機エンジンによる試験研究の重要性も高い。幸い、当社は、純国産のガスタービンを自社製作しているため、基礎実験の結果をすぐに実機に応用できるという有利さがある。今後、この利点を大いに活用して、より優れた燃焼器を開発していきたいと考えている。

### 参考文献

- (1) Roberts, P.B., Shekleton, J.R., 他2名, A SME Paper, 76-GT-12 (1976)

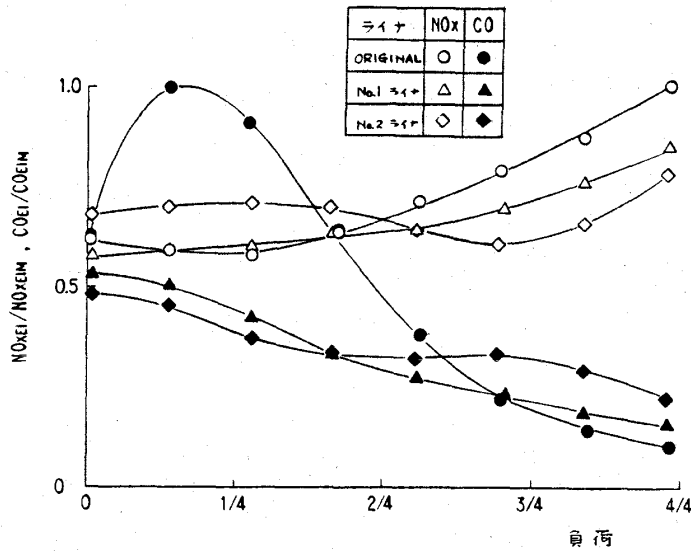


図 15 予燃焼室式燃焼器の実機テスト結果

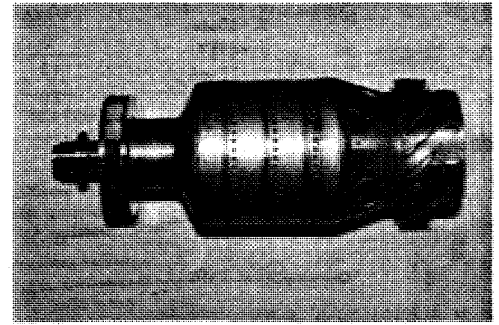
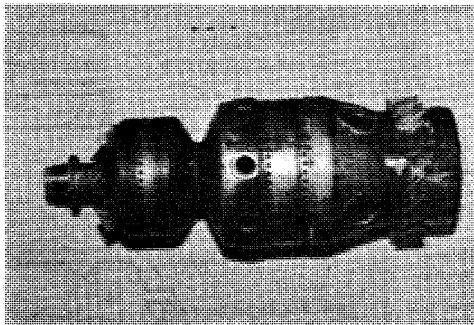
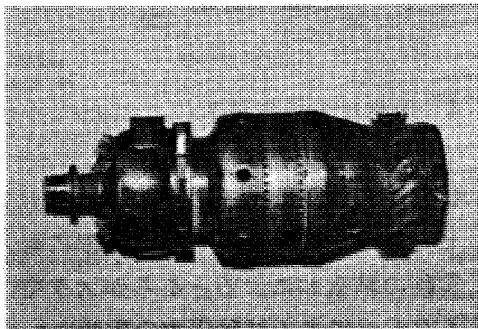


写真 2 予混合式燃焼器



(a) No.1 ライナ



(b) No.2 ライナ

写真 1 予燃焼室式燃焼器

- (2) Markowski, S.J., 他 2 名, ASME Paper, 75-GT-20 (1975)
- (3) Troth, D.L., Dodd, R.G., 他 2 名, ASME Paper, 74-GT-36 (1974)
- (4) Mumford, S.E., 他 2 名, Journal of Engineering for Power, Oct. '77 (1977-10)
- (5) Sullivan, D.A., Journal of Engineering for Power, April '77 (1977-4), 145
- (6) 森, 木村, 他 2 名, 川崎技報, 69号 (1979-1), 15
- (7) 森, 北嶋, 他 5 名, 川崎技報, 64号 (1977-8), 1
- (8) Lefebvre, A.H., Fifteenth Symposium on Combustion (1974), 1176

# 新・省エネルギーとガスタービン

東工大 一色 尚次

## § 1. まえがき

本格的な石油緊迫時代の到来とともに、石油以外の新エネルギー源の開発や徹底的な省エネルギーの追求が真剣になされている。筆者は過去数年間にわたり、米国のエネルギー変換国際会議（IECEC）に出席し、またその関連工場見学や文献等によって主として同国の新エネルギー開発やトータルエネルギーシステム開発に向けてのガスタービンの役割りや、高効率化による省エネルギーへの方向の概略を見ることができたのでここに主要トピックスの一端について述べてみたい。

これらを大別すると次のようになる。

- (1) 新エネルギー源開発；これには太陽熱利用ガスタービンが主で、その他に石炭燃焼ガスタービン、重質油利用、等がある。
- (2) トータルエネルギーシステム用；これにはガスタービンヒートポンプによる暖冷房の効率改善や各種トッピング、ボトミングサイクルとの組み合わせによる全効率の改善がある。
- (3) エネルギーの蓄積；これには地下空洞利用によるエネルギー蓄積をはじめ、熱的、化学的なエネルギー蓄積とのガスタービン組み合わせがある。
- (4) その他；ガスタービン自体の高効率化としては従来の方が主体であるが、とくに密閉サイクルの再浮上、コンパクト熱交換器、固体拡散接合翼、新エキスパンダー等のトピックスがあげられよう。

## § 2. 太陽熱ガスタービン

本来の代替エネルギーのうちの最大のものとして考えられているのは太陽エネルギーである。太陽エネルギーによる発電には熱的、電気的なものが多数提案され、また研究されているが、その一環として、太陽熱ガスタービン発電が各所で研究されている。

太陽熱とガスタービンとの組み合わせ方には、まず太陽熱レシーバーが分散式や集中式であるかの別、ガスタービンがHe等を使う密閉サイクルか、電気を使う開放サイクルかの別、またいかなるエネルギー蓄積方式と組み合わせるか、等の分れがあり多様である。

そもそも太陽熱とガスタービンとの組み合わせの利点は、

- (a) 水を使用しないので、水の少ない太陽熱豊富地向く。
- (b) 密閉サイクルは高圧化により伝熱面積を十分小さくできる。
- (c) 開放空気サイクルはシールが容易で最終冷却伝熱面が不要であり最も簡単でよい。
- (d) 熱容量が小さいので起動が早く、夜間放熱損失が小さくてすむ。

等であるが欠点もあって

- (e) 日照に変動があるときの出力変動が大きいので、日照の確保された砂漠地しか向かない。
  - (f) 密閉式はガスシールに問題がある。
- 等である。すでに幾つかのチームが研究を行っているが、代表的な二つの例を示す。

図1に示すものはMITで研究している中央集光式開放サイクルガスタービンで、中央の塔には図2に示すような空洞式ヒーターがあって、その内側には外からガスが多数の小穴から吹き出されて衝突熱伝達を行うようになっている。空気は最高1800Fまで加熱することが考えられている。

また別にB&W社も同様な方式を考えているが、ヒーターは炭化シリコン管列を考えている。

ボーイング社は米エネルギー局と共同でやはり中央集光式ではあるが、ヘリウムを使用する密閉サイクルガスタービンを考えている、光は下方より空洞室に入り壁の管パネルを熱する。ガス温度は870℃、管温度は1090℃を考えている。なおこの装置は6時間分の熱蓄積を別に用意し、それとの組み合わせで1990年には12~17

(昭和54年4月23日原稿受付)

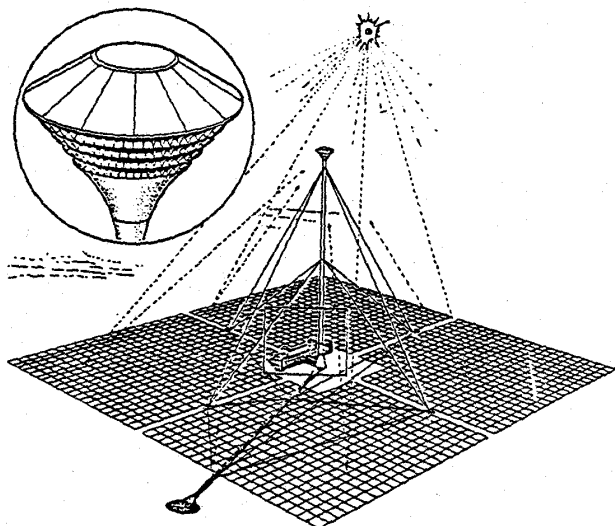


図1 中央集光式開放サイクルソーラー・ガスタービン

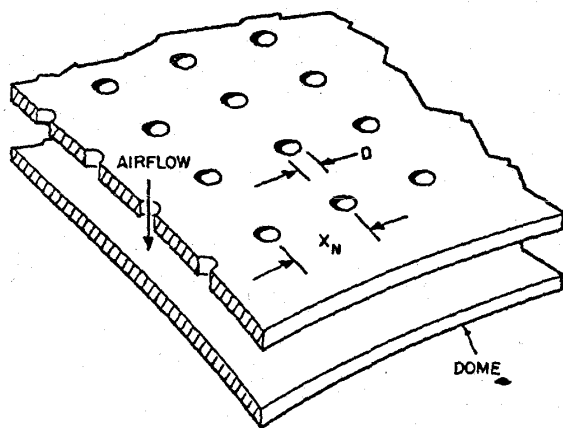


図2 ヒーターの伝熱部

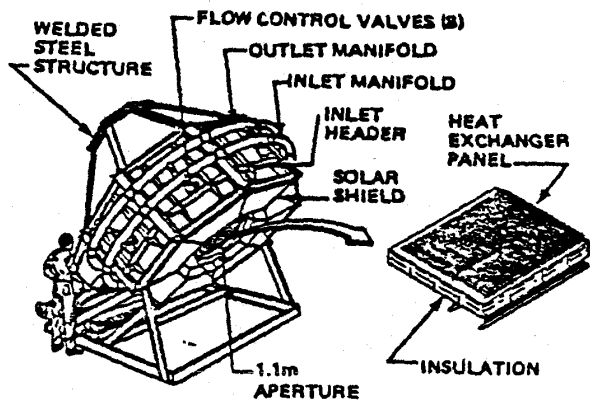


図3 BMSR (ベンチモデル・ソーラーレシーバー) の実験機

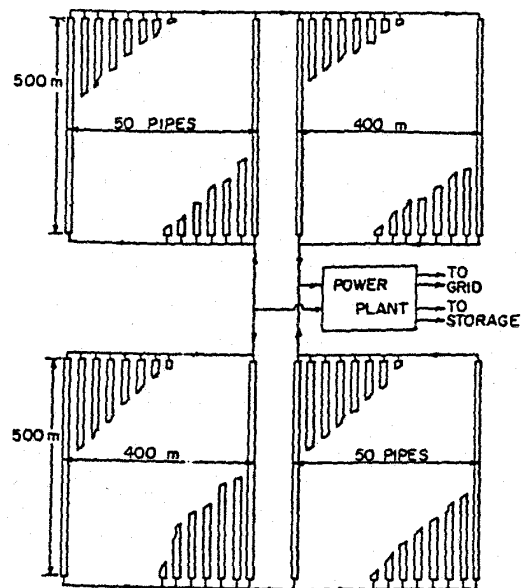


図4 分散集光式ソーラーガスタービンプラント

時間の50メガワットの出力、最高100メガ（熱入力300メガ）発電を考えている。またヘリウムクーラーは大気と150℃の温度差を考慮するのでかなり小さくてよいと称している。現在はニューメキシコで熱入力1メガのもの（BMSR）の試験中である。図3にBMSRを示す。

またペンシルバニア大では図4のような分散式の集熱管形式低圧密閉サイクルソーラーガスタービンを考えている。集熱管は図5のような断面のガラス管（MgO）で中にカーボン板を入れてふく射を吸収させている。ガス温度は100Fに上げるが、圧力は8at くらいの低圧を考えている。日本では太陽熱が低いのでまだソーラーガスタービンの実験はなされていないが、南方の国々の

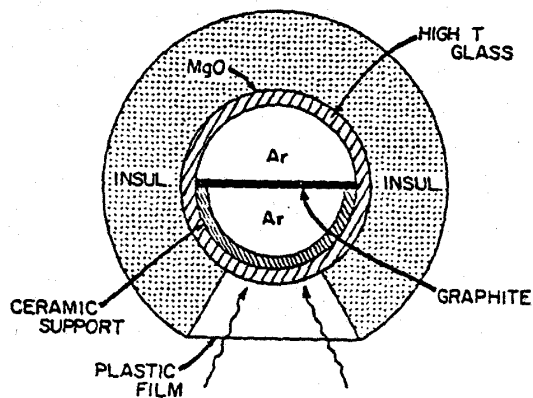


図5 分散集光管の断面

ポスト石油開発時代での輸出に備えて研究が開始されることが望まれる。

### § 3. 石炭ガスタービン

ポスト石油の現実的な切札の一つは石炭であって、石炭の埋蔵量は石油の約10倍と考えられているのでここ数十年といったオーダーのものではなく100年以上の長期の利用が考えられる。とくに原子力が伸びなやんでいる今日最高の次期走者は石炭である。

しかし石炭とガスタービンの組み合わせは従来は最悪のものであった。開放サイクルで微粉炭を直接燃焼させる試みは1950年代に二三テストされたがブレードの摩耗のためひどい失敗に終わっている。そこで石炭をガスタービンに利用するには単純な直接焚きではなく別の方式を考えることとなる。その方式はつぎがあろう。

(1) 密閉サイクルのヒーターを石炭で加熱するもの；これには従来の石炭焚きボイラ形式も考えられるが、図6に示すオークリッチのチームが行っ

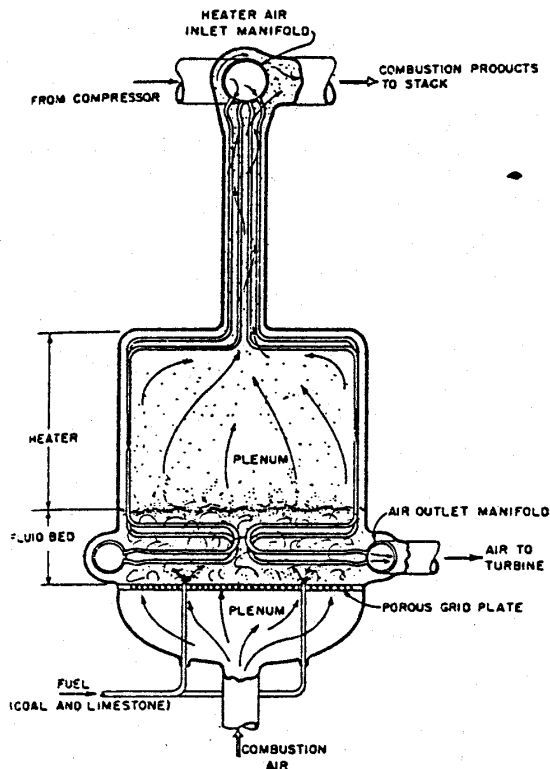


図6 流動床石炭燃焼によるガスタービン

ているような流動床方式のボイラによるものが主流として考えられている。流動床とは数ミリ程度

の石炭を格子の上に置いて下から燃焼用空気を送り込んで燃焼させると共に、石炭粒全体が浮き上って浮遊状態で運動し、その中にある加熱管を直接接触によって加熱するものである。この方式は熱伝達が高く、また灰は微粉となって排ガスとともに運ばれて出口で集められるのでその処理がし易い。同図のもののガス温度は1500°Fである。流動床燃焼はガス加熱ばかりでなく在来ボイラとしても現在各所で研究されているので、我が国でもこの方面の研究が望まれる。図7に全体フローシートを示す。

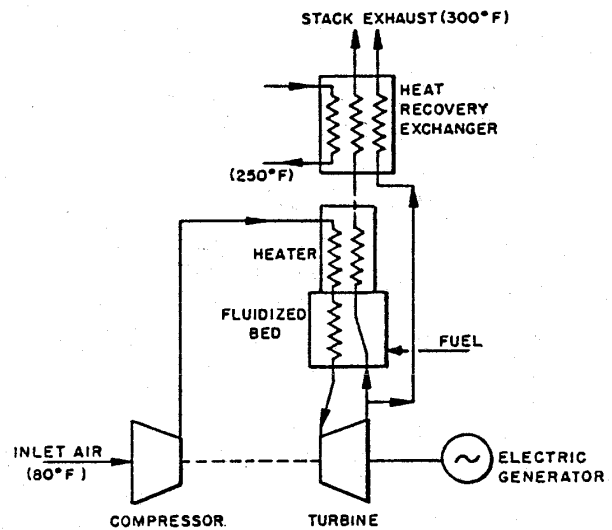


図7 流動床石炭燃焼ガスタービンのフローシート

(2) 石炭ガス化炉によるもの；石炭をガス化するプロセスとガスタービンの組み合わせは多数の方式があるが、通常の間考え方は従来のルルギ法等のガス化炉自体を高圧で運転し、発生するガスと空気とを混合して直接燃焼しガスタービンに入れるもので、場合によっては蒸気ランキンサイクルと複合させる。この方式はガス化炉への石炭の注入のシールの問題とガス化炉からの灰の取り出しが間欠的となる点に問題があって動力用としてはまだ未完成である。

(3) 石炭の地下ガス化によるもの；石炭を外に取り出すことなく地下で燃焼、もしくはガス化をすれば石炭の最大欠点である運搬問題が解決できる。この線から、テキサス大グループが考えている方式は、図8のような地下通路に空気を送りこ

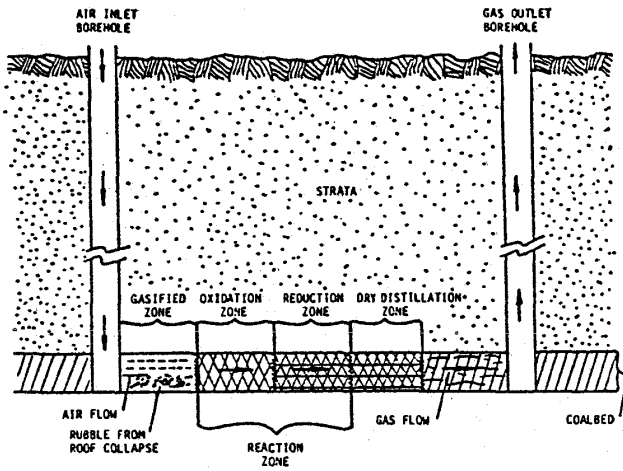


図8 地下ガス化燃焼

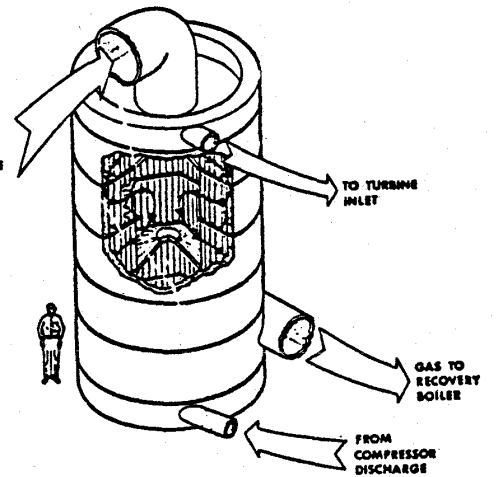


図10 セラミック熱交換器

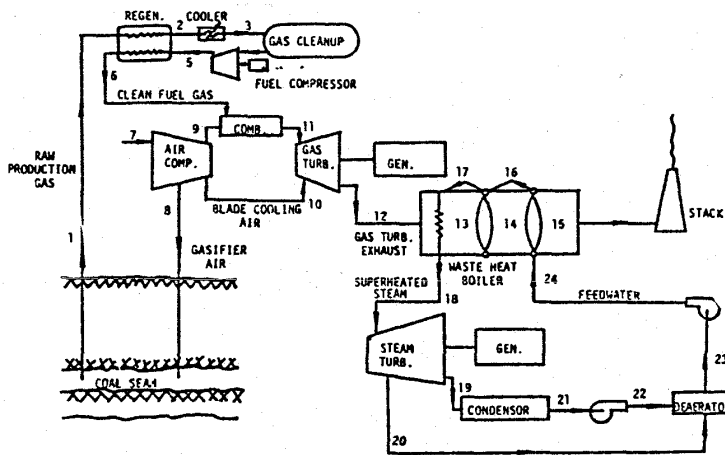


図9 地下ガス化ガスタービン

んで一次燃焼してガス化し、それを図9のような回路に示されるような方式でクリーンアップの後に二次燃焼して開放ガスタービンを回すもので、蒸気ランキンサイクルをボトムングにしてある。

この方式もまだ一次燃焼の安定性、制御性、灰やもえからの挙動、環境ショック、等に未解明の点が多く開発に時間がかかそうである。

(4) その他；その他の方式として、石炭や低質重油を通常方式で燃焼し、それにより空気をセラミック高温熱交換器で加熱する、いわゆる燃焼加熱クリーンガスタービン方式がある。これは我が国でも三輪らが以前より示しているものであり、ガスタービンには清浄空気が流れる利点がある。しかしセラミック熱交換器には、漏洩や熱衝撃、バナジウムふ食、等の問題が山積してかなり難かしい面がある。図10にハーグ・インタナシ

ヨナル社の提案のセラミック熱交換器の案を示す。

また別に圧縮された石炭の燃焼ガスに蒸気を注入して空気と一しょにしてタービンに送る、いわゆる蒸気注入ガスタービンの研究もエネルギー局やMITRE社で行われている。これにより出力比を増し、NO<sub>x</sub>を減らすことができるとともに、上記の方式と同様にガスタービンのクリーン化が達成できる。この方式の熱効率は35%くらいが望まれるが、とにかく石炭との組み合わせに対して考えられる利点が多い。

また別にカーチス・ライト社は直接石炭燃焼ガスを送り込むガスタービンに対し図11のように空気吹き出し翼で摩擦を減らすことを考えている。果して可能かどうかかわからないが、正攻法の一つであろう。

また石炭と同じ系列のものとして低質の重質油やタールサンドオイルの利用があるが、これらは最近のアメリカの複合サイクルガスタービン（たとえばGE社のSTAG）等で行われている燃料水洗、MgSO<sub>4</sub>添加、静電気や超遠心機による清浄化、およびブレードの頻ばんな水洗い、出口排ガス脱硫、等の積み重ね技術で十分処置できると思われている。真の対象はむしろ粗悪炭や亜炭の燃焼であろう。

#### §4. トータルシステムへの適合

これからのエネルギーは一つの用途だけではな



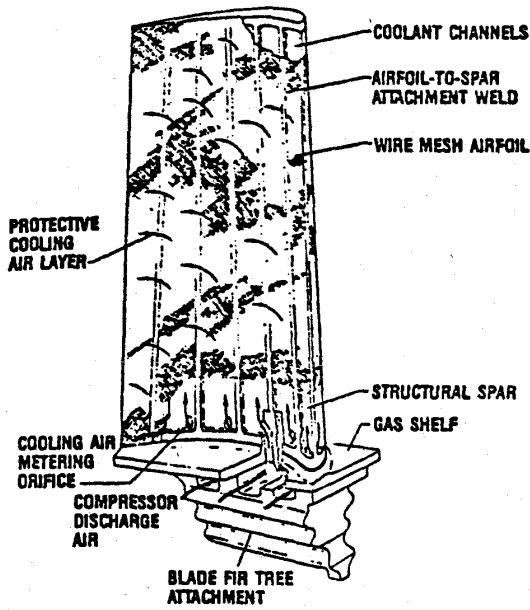


図 1 1 空気吹出し耐摩耗翼

く、多数の用途に振りむけられるべきである、また同一の用途に多種のエネルギーが随時利用されるべきで、トータルシステムとしてのエネルギー利用が考えられなければならない。この方向へのトピックスは、ガスタービン・ヒートポンプと、各種エネルギーの蓄積とトッピングサイクルの三つであろう。

(1) ガスタービン・ヒートポンプ；いま図 1 2 の(a)のように発熱量  $Q_0$  なるある燃料で直接暖房をする場合は、暖房器具の熱効率を 80% として  $Q_a = 0.8 Q_0$  の熱しか使用できない。またこれ

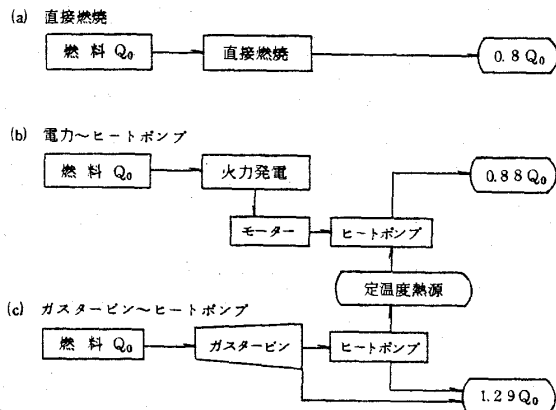


図 1 2 暖房の諸方式の比較

を(b)のように一たん熱効率  $\eta_2$  なる発電所で発電し、仕事係数  $\epsilon$  なるヒートポンプを回転して熱を適当な定温度熱源（大気・海水等）から持ち上げるものとする。熱量  $Q_b = \epsilon \eta_2 Q_0$  が利用できるが通常、 $\epsilon = 2.2$ 、 $\eta_2 = 0.4$  くらいであるので、 $Q_b = 0.88 Q_0$ 、くらいしか暖房に使えない。

そこで最近各所で研究されているのが(c)の熱機関駆動ヒートポンプ方式である。すなわち、任意の化石燃料で熱効率  $\eta_3$  なる熱機関を回し、その排熱を全部暖房に使用すると共に、発生動力でヒートポンプを駆動して熱を持ち上げさせるもので、このさいの熱量  $Q_c$  は

$$Q_c = (\epsilon \eta_3 + 0.8 (1 - \eta_3)) Q_0 \dots (1)$$

となり、 $\eta_3 = 0.35$ 、 $\epsilon = 2.2$  として  $Q_c = Q_0 (0.77 + 0.52) = 1.29 Q_0$ 、となり明らか

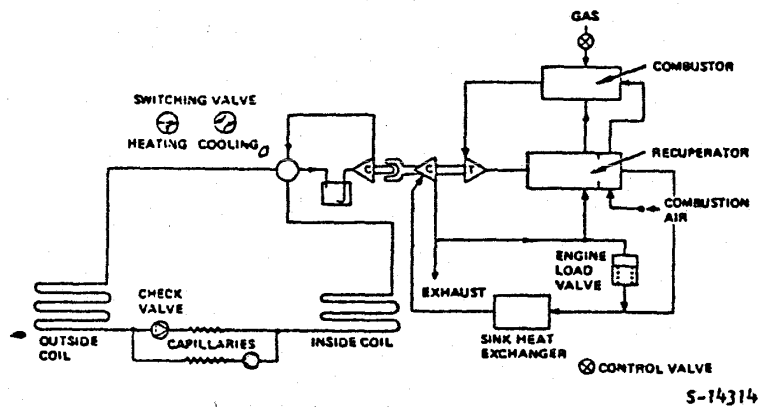


図 1 3 ガスタービン・ヒートポンプサイクル

に  $Q_c$  は  $Q_a$ 、 $Q_b$  より大きい。この熱機関としては、小型暖房にはスターリングエンジン、中型にはガスエンジン（レシプロ）、が考えられているが、大型用途には当然ガスタービンが考えられている。とくにアメリカでは、天然ガスによる暖房が最も安定であって、電力停止にも強いということから天然ガス・ガスタービン・在来ヒートポンプの組み合わせが色々研究されている。

A I リサーチ社が考えている例では、ガス焚きで図 1 3 のようにガスタービンとフロン（Freon）の冷暖房サイクルと電磁カップリングでつないであって、四方弁の切り換えで冷房、暖房の切りかえができるようになっている。ガスタービンは低圧作動方式でそのガス温度は最高約 870℃で、3.5 kW

9万回転のラジアルガスタービンとラジアルコンプレッサーで成立し、フロン側も小さい遠心コンプレッサーである。ガスタービンを大気圧以下で作動させるのは燃料ガスのための特別のコンプレッサーを必要としない点にあって、機器をコンパクトにするのに役立つ。しかし排ガスを十分冷却しなければならないので、その熱交換器の設計に問題が生ずる。

(2) エネルギーの蓄積；風力、太陽熱を含めたトータルエネルギーシステムにおけるエネルギーの有効利用には、エネルギーの蓄積が必須となる。エネルギーをどの形式で蓄えるかは、熱エネルギー、化学的エネルギー、圧力のエネルギー、フライホイール、電力エネルギー（例えばバッテリー、超電導）があるが、ガスタービンとの組み合わせは前の四者が考えられたり、実験されたりしている。すなわち、

① 熱エネルギー蓄積；ガスタービンの熱源の温度はかなり高いので、熱の形で蓄えるにはかなり耐高温性の材料でなければならない。そのため、現在考えられている蓄熱材としては、岩石、セラミック、カーボン等がある。図14にカーボン

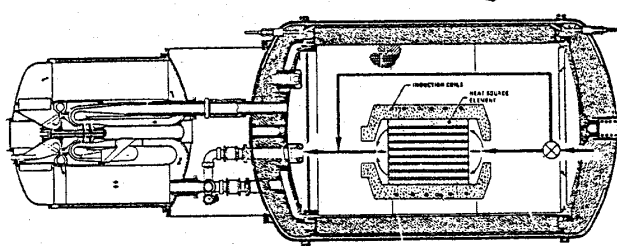
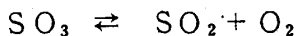


図14 カーボン蓄熱装置

(グラフアイト)を円筒状の容器に詰めておいて高温ガスの有する熱を顕熱の形で蓄える蓄熱タービンの図を示す。

② 化学的蓄熱；熱エネルギーを化学物質の解離と再結合の可逆反応で蓄熱したり放出したりする方式が多数考えられているが、とくにガスタービンとの組み合わせに対しては、たとえば



のような気相反応が考えられていて、太陽熱との組み合わせが提案されている。

③ 地下空洞による圧力蓄積；空気を地下空洞等に圧入して圧力のエネルギーを蓄えておく方法が、ガスタービンとの組み合わせで色々提案されている。その方式には図15に示すように、(a)の単純圧力方式と、(b)の水圧方式とがあり、後者の方が圧力の変動が少ない利点があるが湖水や海等との組み合わせが必要で適地の選択が難しい。前者の地下空洞としては廃鉱山、岩塩洞、石灰洞、等が考えられていてかなり適地は多い見込のことであるが、我が国ではまだ着手されていない。

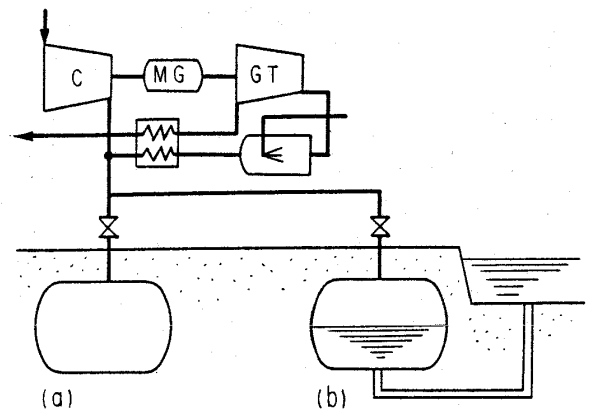


図15 空洞による圧力の蓄積

④ フライホイール；ガスタービンは元来高速で回転するものであるので、フライホイールのような高速回転体との結合が容易である。フライホイール材料には、出来るだけ重量が軽くて強度の大きい物質がよく、マレージング鋼、ピアノ線、合板、カーボン繊維、等が考えられている。とくに5万rpm以上の高速回転をするものをスーパーフライホイールと呼び、軽量材料で実現可能である。フライホイールは自動車用ガスタービンに最も向いている。

(3) トッピングガスタービンサイクル；ガスタービンの排気はかなり高温であって十分加熱能力がある。そのため在来の加熱プロセスのトッピングサイクルにガスタービンを持って来て自家発電を行わせるという考え方ができる。

トッピングとしては従来より蒸気ランキンサイクルがよく考えられて来たが、ガスタービンを用いることにより、更にコンパクトかつ簡単に設置

できるし、また水を必要としない利点がある。

### § 5. その他のトピックス

5-1 スチームインジェクション これは通常ガスタービンの燃焼ガスに水もしくは蒸気を噴射してガス量を増加して単機出力を増大するもので、噴射水や蒸気を他の廃熱で加熱してあればさらに省エネルギー的となる。別に  $\text{NO}_x$  軽減の利点もある。水が使用し易いときに利用し易い。またこれには真空式もある。

5-2 コンパクト熱交換器 省エネルギーのためにはすべてに熱交換器が重要となる。しかし低温度差ではその伝熱面積が大きくなり易いので、特別なコンパクト熱交換器が研究されている。

最近の傾向としては、プレート形式の板状熱交換器や四面の両側にひれのついた両面ひれガス〜ガス伝熱面などが提案されている。図16にその例を示す。

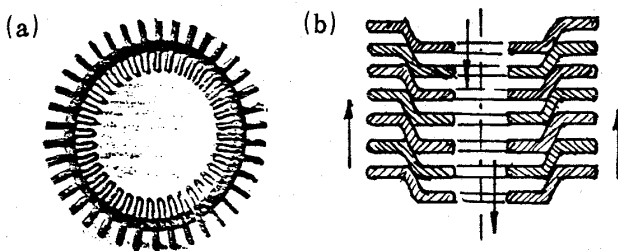


図16 両側にひれのついた伝熱面

5-3 新エキスパンダー タービンとレシプロの中間的な存在としてロータリー式のエキスパンダーや、二重らせん形式のエキスパンダーが盛んに研究されている。効率は低いがスチームインジェクションタービンなどには簡単に使用できる利点がある。

5-4 波力用タービン その他のトピックスとして波力発電に使用される空気タービンの研究が多いが、これには一方向流入形式のタービンよりも、どちらからガスが流入しても作動できる両流入形式の空気タービンがあるが、それには図17のような、対称翼形のブレードをもつ羽根車を流れに垂直に置くだけのものがある。これはダリウス風車と同じ原理で両方向で同一方向回転作動し、極めて構造簡単で多くの示唆を含んでいる。

5-5 密閉サイクルの再浮上 多種燃料の

互換使用、排ガスのクリーン化、寿命の延長、等の点から、省エネルギー用ガスタービンとしては、密閉サイクルの検討が広範囲に見直されようとしている。

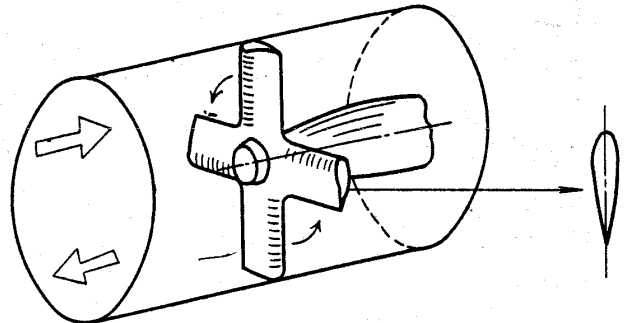


図17 両方向の流れで回転するタービン

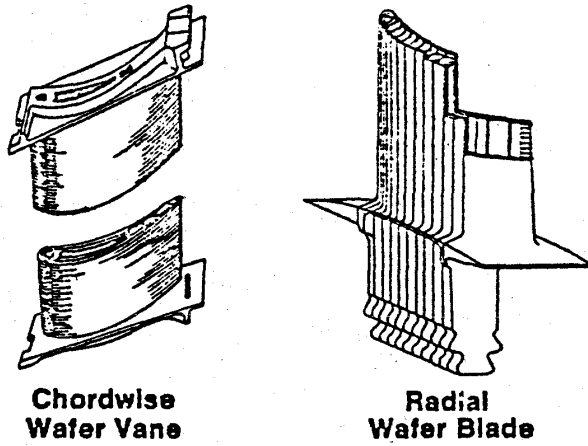
たとえばスターリングエンジンも一種の密閉サイクル熱機関であるが、その研究が行われるのに対抗して、極めてよく似た性格を有する密閉サイクルガスタービンが再検討されているわけであり、船用や自動車用に各所で検討されているのは注目すべきである。使用圧力は100気圧を超え、

小型化を計っている。またタービンの中間加熱を行ってエリクソンサイクル化して高効率化を計る考えもある。

5-6 工作法の進歩 省エネルギーが前進するには同時に工作法の進歩による低コスト化がなされなければならない。そのための各の新工作法が提案されているが、面白いのは図18のようにブレードを多数の薄片に分けてそれを重ね合わせた上、固体拡散複合法や、TLP法（過渡液相拡散接合法）によって接着するもので、極めて複雑な形状のものを比較的 low cost で工作できる利点がある。重ね合わせには縦形と横形とがある。また同じ考え方は前記の図16(b)の両側ひれ伝熱面熱交換器にも利用できる。

### § 6. 結 論

以上のように省エネルギーや新エネルギーに向けてのガスタービン利用のトピックスが多数存在する。まだ提案や討論段階のものも多いが、オイル涸渇の危機は極めて確実に近づいており、エネルギー変換機として幾多の特長をもつガスタービンの各方面への利用は強力に進められるべきであ



ろう。

参考文献

9th-13th IECEC Report

図18 薄片を固体拡散で接合したブレード

お詫びとお願い

本誌6巻24号(1979年3月号)10頁掲載の論説・解説『大容量ガスタービン発電所の建設と運転特性』について、印刷の不手際で著者名を欠いてしまいました。著者に御迷惑をおかけしたことを深くお詫び致します。

また、会員・読者におかれましては、誠にお手数ながら本号添付の訂正用シールを当該箇所貼付して下さいようお願いいたします。

編集主担当理事 一色尚次



## セラミックスについて (I)

工業技術院 奥田 博  
名古屋工業技術試験所

### 1. まえがき

近年におけるセラミックスについての科学や技術の進歩にはめざましいものがあり、その性能及び応用が大きく発展してきている。すなわち、セラミックスは従来の食器、かわら、タイル、れんが、耐火物などから、電子工業や機械工業における各種材料、あるいは原子力開発や宇宙開発のような科学技術の最先端をゆく技術の基本材料として広く使用されるようになってきた。

これはセラミックスが高温で熱的及び化学的に安定であり、電気的及び機械的にも極めてユニークな性質を持つからである。すなわち、セラミックスは有機材料や金属材料に比べて高い温度はまで耐え、酸化、還元及び中性の各種ふん囲気下でも安全に使用できるものが多く、また、直接耐火材料にも断熱材料にもなり、更に高温での電気絶縁材料にも導電材料にもなり得、強誘電性、圧電性、半導性、磁性、光学性などにおいて特異な性質を持ち、これらの性質を応用することによって新しい工業技術の展開が可能になる。

一方、主要なセラミックスの原料は、プラスチックや金属に比べ、我が国においては資源的に豊かなものが多い。例えば、将来のエンジニアリングセラミック材料として注目されている窒化ケイ素 ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) 及び炭化ケイ素 ( $\text{SiC}$ ) は、我が国では無尽蔵に産出するケイ酸資源と、空気中の窒素あるいは炭素資源から合成される。また、現在最も広く使用されているアルミナ質 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 及びマグネシア質 ( $\text{MgO}$ ) セラミックスの原料も、海水中あるいは準国産資源から容易に得られる。このように主要なセラミックスの原料は、石油や

多くの金属のように海外に依存することが少なく、供給上の不安がなく、コスト的にも安価で、セラミックスは今後の我が国の工業材料として極めて有利な立場に立ち得るものと考えられる。

以下、これらのセラミックスの特性、製造法、主要なセラミックスの現状などを、主として最近注目されている高温構造材料に関する問題を中心に解説する。

### 2. セラミックスの種類と応用

従来、セラミックスという言葉は、粘土、ケイ石、長石などの天然のケイ酸塩鉱物を主原料にし、これを成形し、焼成して作られる製品という意味に用いられてきた。しかし、第二次大戦後、航空機工業、原子力工業、電子工業などの発展に伴って、新たな機能を有する材料が要望せられ、その解決をセラミックスに求められるようになった。このような条件下にあって、天然原料から抽出純化した純酸化物、またはこれらを原料として合成された複合酸化物、更には天然にはほとんど産出しないような非酸化物（炭化物、窒化物、ホウ化物など）の合成原料を用いて、耐熱材料、電子材料、光学材料などの付加価値の高い新しいセラミックスが開発され、セラミックスの分野は材料科学の進歩と共にその領域を拡大してきた。この結果、現在では、非金属無機材料で高温化学処理によって作られたすべての製品にセラミックスという名称を与えるようになった。表1にこれらのセラミックスの種類と応用を示す。

### 3. セラミックスの特性

3-1 結晶構造と組織 セラミックスを構成している結晶のほとんどのものは、金属元素と非金属元素とが規則正しく配列し、密に充てんした安定度の高い結晶構造を取っており、その高い

(昭和54年5月7日原稿受付)

表1 セラミックスの種類と応用

種別	応用
ケイ酸塩及びガラス	食器及び衛生陶器 セメント及びれんが 耐火物 研磨材及びレンズ 電子材料 磁性材料 核燃料及び原子炉材料 軸受 熱機関材料 断熱材料 公害防止材料 バイオセラミックス
酸化物 $Al_2O_3, MgO, ZrO_2$ $UO_2$ , フェライト $BaTiO_3$	
炭化物 $SiC, B_4C, WC, UC$	
窒化物 $Si_3N_4, AlN, BN$	
ホウ化物 $ZrB_2, TiB_2, LaB_6$	
ケイ化物 $M_6Si_2$	
フッ化物 $CaF_2, BaF_2, MgF_2$	
炭素及び黒鉛	

融点や大きな硬度はイオン結合や共有結合の大きい結合エネルギーによっている。イオン結合性結晶は正と負のイオンが交互に並んでできており、結合力はこれらのイオン間に働く静電的引力によって成り立っている。共有結合性結晶は最も近い原子同志が電子を共有することによって結合しており、強い方向性をもっている。これに対して、金属材料は規則正しく並んだ金属の陽イオンとその間を自由に移動できる電子から成る金属結合をしている。金属材料とセラミックスとの間のいろいろの性質の差異は、基本的にこれら結晶の結合性の差異によっているものが多い。また、セラミックスの中でも、マグネシア ( $MgO$ ) のように典型的なイオン結合性を持つものから、ダイヤモンドや炭化ケイ素 ( $SiC$ ) のように共有結合性の大きいものがあり、更にこれら両者の中間的な結合をしているものも多く、その結合様式はセラミックスの特性に大きな影響を与えている。同じ組成より成る物質でも、ダイヤモンドと黒鉛との間に見られるように、その結合様式が異なると、著しくその性質を異にする。

材料の特性は、このような材料を構成している結晶構造に影響されるばかりでなく、その材料の組織によっても著しく影響を受ける。特にセラミ

ックスの場合には、その影響が著しい。この場合の組織とは、材料を構成している結晶、ガラス相、気相、き裂その他の空けきなどの形、大きさ、分布量、分布状況などを意味している。

金属材料は一部の焼結材料を除き、溶融鑄造によって作られるため、全体的に均質で、固溶や第二相の析出なども均一であり、一般に気孔も含まず、単純な組成をしている。一方、セラミックスにおいては、固体粉末を成形した後、加熱し、焼固させて作られることが多いが、粉末成形体には普通40~60%の気孔を含んでいる。この気孔は、焼結の進行により減少するが、気孔を全くなくすることは不可能であり、その気孔も不規則な形で残ることが多い。セラミックスの気孔は、結晶粒界や結晶粒内に存在している(図1)。前者

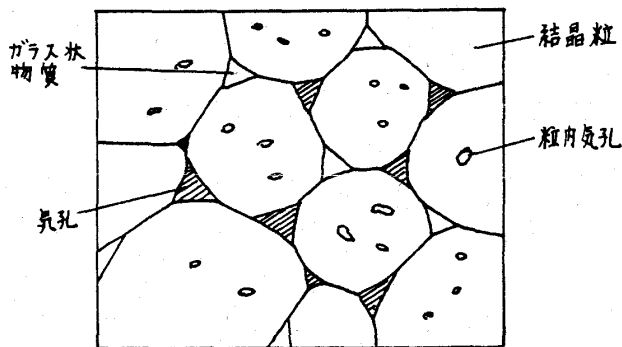


図1 セラミックスの微構造模式図

は開気孔になりやすく、後者は閉気孔になる。開気孔は外界と連絡しているため、ガスの透過性があり、また液体が内部まで浸透することができ、侵食に対して弱い。結晶内に取り込まれている気孔は、急激な結晶粒成長で粒界が移動してゆくときに取り入れられたものである。

結晶粒界の問題もセラミックスにおいては重要である。結晶粒界の近くの結晶内には空格子が多く、また不純物が集積しやすい。粒界には小結晶やガラス質が薄く存在している場合が多い。これらの粒界の諸現象によってセラミックスの性質が大きく左右される。例えば、セラミックスの焼結粒成長、相転移の核発生などを始め、高温下の強度低下、クリープなどの機械的性質、電気伝導、誘電損失などの電氣的性質、エッチングなどの化学的性質は粒界の挙動によって決まることが多い。

すなわち、粒界はセラミックスの構造敏感性の主要因の一つとなっている。

その外、セラミックスと金属材料の相違点としては、金属材料は比較的成分の単純なものも多く、数成分から成っているものでも、それらの結晶構造が類似していることから互に固溶して、単純な相の組み合わせとなる。これに対して、セラミックスでは、単一相からのものもあるが、一般に構成結晶が複雑な構造をもっているものが多く、他成分の固溶が困難で、異相となって存在し、組織的に複雑になりやすい。また、金属結晶はほとんどのものが等軸晶系に属し、いろいろの性質が大体等方性であるが、セラミックスの結晶の多くは等軸晶系以外の対称性の低い結晶系で、性質の異方性のものが多い。更に、セラミックスの加熱中に粉末粒子間の反応で新しい化合物が生じる場合には、反応が固相中で起こることが多いために、生成物は均一に分布せず、セラミックスの組織に不均一性を生じさせる。

以上のようにセラミックスの組織上の差異は、その性質に大きな影響を与える。すなわち、セラミックスは金属材料と異なって、その製造条件、特に加熱の際の条件に敏感に影響されることが知られる。

**3-2 機械的特性** セラミックスは非常に優れた性質をもちながら、最近に至るまで余り広く使用されていなかった理由の一つに、それがもろい（ぜい性破壊をする）ということがある。これは丁度、ガラスの破壊に象徴されるように、外力を加えた場合、ほとんど変形を起こさずに破壊する。これとは反対に、金属ではねばり強さ（靱性）があり、可塑的に変形した後破壊する（図2）。すなわち、セラミックスは静的な力（例えば圧縮力）に対しては強いが、動的な力（例えば衝撃力）に対しては弱いといえる。

アルミナセラミックス ( $Al_2O_3$ ) は、電気絶縁材料として、現在セラミックスの中では最も広範囲に使用されている材料であるが、電気的性質の点では、より優れた材料があるにもかかわらず、アルミナが何故そのように使われるかというのは、他の材料より機械的に強いという特性のためである。このように機械的に強い材料を使用すれば、欠けたり破損したりすることなく、アルミナを自

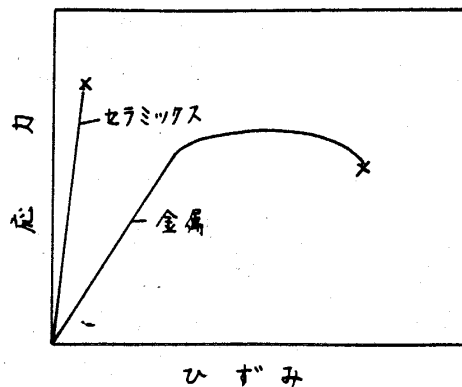


図2 セラミックス及び金属の応力-ひずみ曲線

動組み立て機械に用いることができるわけである。

**3-2-1 セラミックスの理想強度** セラミックスの理想強度と実測値との間の差が極めて大きいということも、また一つの特色である。理想的な結晶を破壊するときの破壊強度は、結晶を構成している原子の間の結合を切って、無限に引き離すのに必要な仕事に相当する。これを理想的な強度、 $\sigma_{th}$ 、とすると、 $\sigma_{th}$ は次式で表わせる。

$$\sigma_{th} = \sqrt{\frac{E r_s}{a}} \dots\dots\dots (1)$$

ここでEはヤング率、 $r_s$ はき裂単位面積当りの表面エネルギー、aは原子間距離である。また、この $\sigma_{th}$ はヤング率のほぼ1/10に相当する。

$$\sigma_{th} \cong E/10 \dots\dots\dots (2)$$

一般にセラミックスのヤング率は、金属材料のそれよりも数倍大きいことが知られている。このことから、セラミックスの理想強度は、金属材料よりも大きいことが分かる。しかし、セラミックスの実際の強度は金属材料よりも劣っていることが多い。これはセラミックスが理想強度よりもはるかに小さい強度しかもっていないということである。例えば、表2<sup>1)</sup>に示すように理想強度と実測強度、 $\sigma_c$ 、との比 $\sigma_{th}/\sigma_c$ はアルミナセラミックスでは100以上で、金属に比べて極めて大きい値を示す。これらの原因の一つは、セラミックスの強度を低下させるように働く欠陥が多いためであり、これがセラミックスの大きな欠点となる。

また、セラミックスは引張り強度が圧縮強度に比べて極度に小さいという特性をもっている。表

表2 理想的破壊強度と実測値<sup>1)</sup>

材 料	理想的破壊強度 $\sigma_{th}$ (kg/mm <sup>2</sup> )	破壊強度の実測値 $\sigma_c$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{th} / \sigma_c$
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ウィスカー	5000	1540	3.3
鉄 ウィスカー	3000	1300	2.3
オースフォーム鋼	2048	320	6.4
高炭素ピアノ線	1400	250	5.6
ホウ素	3480	240	14.5
かたい木材		10.5	
ガラス	693	10.5	66.0
NaCl	400	10	40.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ルカロックス)	5000	44.1	113.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (サファイア)	5000	64.4	77.6
BeO	3570	23.8	150.0
MgO	2450	30.1	81.4
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (ホットプレス)	3850	100	38.5
SiC (ホットプレス)	4900	95	51.6
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (反応焼結)	3850	29.5	130.5
AlN (ホットプレス)	2800	60~100	46.7~28.0

3<sup>2)</sup> はこれらの値を示したものであるが、鋳鉄に比べてもその差が大きく、セラミックスの引張り強度は圧縮強度の 1/10 以下となっている。

表3 各種材料の引張り及び圧縮強度<sup>2)</sup>

材 料	引張り強度(A) (kg/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度(B) (kg/mm <sup>2</sup> )	A/B
鋳鉄 FC10	10~15	40~60	1/4
鋳鉄 FC25	25~30	85~100	1/3.3~1/3.4
化学工業用磁器	3~4	25~40	1/8.3~1/10
透明石英ガラス	5	200	1/40
ムライト磁器	12.5	135	1/10.8
スピネル焼結体	13.4	190	1/14
99%アルミナ焼結体	26.5	299	1/11.3
B <sub>4</sub> C 焼結体	30	300	1/10

以上のようなセラミックスの機械的性質に関する特性はどのような原因によるのだろうか。これについては先に述べたように、セラミックスの結晶構造及び組織に由来するものであるが、まず第一に考えられる原因は、セラミックス中において常に存在する微細なき裂（いわゆるグリフスキ裂）

による強度低下である。これに関する理論は最近進歩して、セラミックスの強度をかなり統計的に取り扱えるようになった。その他の強度低下の原因としてセラミックス中の気孔、粒子の大きさなど多くのものが考えられる。

3-2-2 強度に及ぼす各種因子の影響

(1) 気孔の影響

気孔があると応力が適用される面積が減少したことになり、また気孔が応力集中端として働き、低い応力でき裂が発生するようになる。高温で塑性的な挙動を示す材料においても、粒界にある気孔が粒界すべりを増大させる働きをして、強度を低下させることもある。

酸化物系のセラミックスの強度、 $\sigma$ 、と気孔率、 $p$ 、との間の関係は、実験的に求められ、次式で示されている。<sup>3)</sup>

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-bp) \dots\dots\dots (3)$$

ここで $\sigma_0$  は気孔率0のときの強度、 $b$  は定数であり、その値として3~4、3~11などいろいろの値が報告されている。この式で計算すると、おおざっぱに言って気孔率10%のセラミックスは、気孔率0%のもの約半分の強度しか持たないことになる。この外にも多くの式が提案されているが、実際のセラミックスの強度と気孔率との関係は、このような単純な式によって十分関係づけられないことが多い。これはセラミックスの気孔はそれほど単一なものではなく、き裂などの傷も含まれていること、またその形状、配列（方向性を持った）、分布、閉気孔か開気孔かの区別などの各種の条件の相違が強度に影響されるからである。き裂をも含めた気孔の先端は応力の集中先端として働き、その先端の曲率半径の小さいものほど小さな荷重でも応力集中が大きくなり、き裂が拡大し始め、急速に破壊に達する。また、気孔径の小さいものほど強度は大となる。

(2) 粒子の大きさの影響

一般にセラミックス中の結晶粒子の大きさが細かいほど強度は増大する。これはセラミックス中に存在する微細き裂の長さが粒子の大きさに関係し、粒子が細かいほどき裂が小さくなり、強度も大きくなるものと推定される。すなわち、粒界はき裂の防止の役目をする。



セラミックス中の結晶は、先に述べたように金属材料の場合と異なり、その結晶系が等軸晶系以外のものが多く、結晶の軸方向により熱膨張係数が異なる。例えば、最も極端な例であるが、チタン酸アルミニウム ( $Al_2O_3 \cdot TiO_2$ ) では熱膨張率が軸方向により大きく異なり、a 及び b 軸方向では正の大きな値を持っているのに対して、c 軸は逆に負の値を持つというように、異方性が極めてはなはだしい。このためセラミックスのように個々の結晶粒子の方向が一致していない場合には、粒界に大きな粒界応力が発生し、ひどいときには粒界でき裂を発生するようになる。これらの応力は粒子が大きいほど大きいので、この点からも粒子の細かいほど強度が大きくなることになる。

粒子の大きさと強度との関係は、一般に次の式により示されている。<sup>4)</sup> …

$$\sigma = AG^{-a} \dots\dots\dots (4)$$

ここで  $\sigma$  は強度、G は粒子径、A 及び a は常数である。a の値として  $1/3 \sim 1/2$  の値が報告されており、 $a = 1/2$  として計算すると、 $100 \mu m$  の粒子径のものは、 $1 \mu m$  の粒子径のもの  $1/10$  の強度しかないことになる。

以上のように粒子の大きさの増加は、セラミックスの強度の低下を招くので、できるだけ小さくすることが必要であり、セラミックスの製造時において、微細原料粒子の使用、焼結時の粒成長の防止などの注意が重要になる。

### (3) 表面状況の影響

セラミックスのようなぜい性物質においては、表面の状態が強度に敏感に影響する。マグネシア、アルミナ、ガラスなどでは、その表面が機械的な接触をしていたり、あるいはダストによる傷を受けていたりすると、その強度が低下する。ガラスにおいては、完全に熔融され、成形から測定時までの間に他の固体に全く触れないように注意深く取り扱われた、いわゆるグリフィスキ裂の存在しない表面をもつ処女ガラスの強度は、理想強度の数分の一に達している。

このような表面の傷を取り除くために、表面を化学的にエッチングすると、これらの傷はなくなり強度が増加する。例えば、ガラスの表面エッチング処理前の強度は  $10.5 \text{ kg}/\text{mm}^2$  であるが、処理

後は  $281 \text{ kg}/\text{mm}^2$  に上昇する。<sup>5)</sup> また、マグネシア単結晶では、未処理のものは引張り強度  $7 \text{ kg}/\text{mm}^2$  であるが、熱リン酸でエッチングし、更に  $2000^\circ\text{C}$  でアニールしたものは  $110 \text{ kg}/\text{mm}^2$  の強度を示すようになる。<sup>6)</sup> しかし、多結晶体ではそれ程大きい効果は認められない。

その他、表面とその周辺の水蒸気との反応の問題がある。例えば、ガラスを水蒸気圧を変えた窒素ガス中で引張ると、そのときのき裂の伝播速度は水蒸気圧が高いほど大きくなる。すなわち、ガラスは水の存在下で静的疲労現象を示すようになる。このような現象はアルミナなどのセラミックスにおいても認められており、更にアルコールなどの蒸気中の影響も報告されている。

### (4) 結晶構造の影響

すでに述べたように、セラミックスにはイオン結合性のものから共有結合性のものまで、結晶構造上の違いによる特性上の差異がある。例えば、共有結合性の強い窒化ケイ素 ( $Si_3N_4$ ) は高強度を示すが、イオン結晶性のマグネシア ( $MgO$ ) は容易に転位を生じて弱い。このような結晶構造と強度との間の関係は、高温下では特に顕著になる。これはイオン結合性のセラミックスでは、高温で物質移動が盛んになり、塑性変形をして変形したり、き裂の成長が起こりやすくなるためである。

きよう雑物や第二相粒子が存在すると、き裂の伝播の経路となったり、逆にその広がりを一時的に止める。しかし、一般的に結晶中に取り込まれた異相はヤング率や熱膨張係数が主結晶と異なるので、それらの粒界では前述の内部応力が発生し、き裂の広がりを生じ、結局その材料の強度を低下させる。

3-3 熱的特性 セラミックスについての一般的な熱的特性としては、高い融点、低熱伝導性、低熱膨張性、低熱衝撃抵抗性などが挙げられる。

セラミックスの融点は、図3に示すように、酸化物、窒化物、炭化物の順に高くなる。この融点の高くなる順にイオン結合性から共有結合性への移行の傾向がみられる。セラミックスの熱伝導率は金属材料に比べて小さく、また温度の上昇と共に低下する傾向が大きい。これは金属材料では自

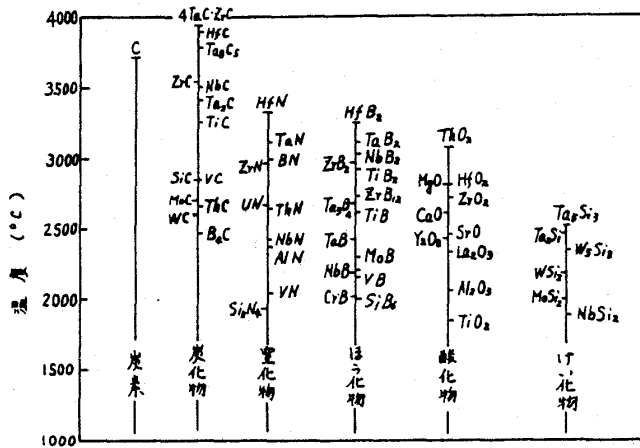


図3 セラミックスの融点又は分解温度

由電子の運動による熱伝導が主なるものであるのに対して、セラミックスでは自由電子がなく、格子振動によるものがほとんどであるからである。熱膨張率は、マグネシアセラミックスのように金属級の大きな熱膨張率をもつものから、リニア系セラミックスのように熱膨張率が0に近いものまであるが、一般にセラミックスは金属材料に比べて小さい値をもつ。

セラミックスの最大の特徴は耐熱性に優れていることである。これは高温に耐え、高温での腐食に耐える性質であり、耐火れんがなどはこれを利用しているもので、この耐火れんがとしてのセラミックスの進歩は、我が国の近年における製鋼技術の発展に大きく貢献している。更に、最近ではガスタービン、高温熱交換器などの高温機器の耐熱部品へのセラミックスの利用が行われようとしている。この場合には、セラミックスは高温でダイナミックに使用されるので、そのため材料に対する要求が一段と厳しいものになっている。すなわち、高温において高い応力に耐え、また熱的及び機械的な衝撃に耐え、しかも腐食にも高い抵抗性をもつことが必要になってきた。当然このような材料の探索が行われ、新しい性能をもつセラミックスの開発が行われている。

これらの高温機器では、急激な加熱、冷却の伴うことが多く、それに使用されるセラミックスとしては、そのぜい性破壊と関連して、急激な加熱、冷却により生じる熱応力による破壊に対する抵抗性、すなわち、耐熱衝撃性の優れたものが求められる。このような高温機器用のセラミックス以外

に、一般の日用品材料及び工業材料として用いられるセラミックスにおいても、その製造過程あるいは利用上から耐熱衝撃性の優れていることが必要な場合が多い。

耐熱衝撃性を良くする方法としては、(a)材料はそのままにして、品物の幾何学的な形状を変更することにより熱応力を減少させる、(b)形状はそのまま、耐熱衝撃性の大きい材料に変えるか、材料の組織そのものを耐熱衝撃性の高いものにするの2つの方法が考えられる。

以下に主として(b)に関連した問題について基本的な問題を含めて述べるが、(a)の方法は機械設計の立場からセラミックスを使用してゆく場合に重要な問題である。

3-3-1 耐熱性と耐熱衝撃性 耐熱性と耐熱衝撃性及び耐スポーリング性は同じような意味に用いられ勝ちであるが、それらは次のように定義できる。

(1) 耐熱性……広義では高温でもその性質を変えぬ性質をいうが、狭義ではガラスなどが急激な温度変化に耐える性質をいう。

(2) 耐熱衝撃性 温度変化により熱応力を生じるような条件にさらされたときに生じる破壊や損傷に対する抵抗性。

(3) 耐スポーリング性 耐火物などが熱衝撃、急な温度勾配の影響または結晶転移のための膨張収縮などによって、き裂またははく離することに対する抵抗性。

ここでは熱的な変化、すなわち熱衝撃によって生じた応力により破壊や損傷に至る現象を主として述べる。その意味で熱衝撃抵抗という言葉で統一して扱う。

熱衝撃抵抗にはき裂の発生に関するものと、発生したき裂の伸長に関するものがあり、前者は熱衝撃破壊抵抗(またはき裂発生抵抗)、後者は熱衝撃損傷抵抗(またはき裂伸長抵抗)と呼ばれている。

熱衝撃破壊抵抗は、き裂の発生そのものが重大な欠陥となるような品物、例えば、電気材料、ガスタービン、ロケットノズルなどについて問題となるもので、これらの品物が急熱、急冷を受け、品物内温度分布の不均一性に起因する熱応力が生じ、この熱応力の大きさが品物の破壊強度を越え

るかどうかが問題となる。この場合、耐え得る温度差の大きいものほど熱衝撃破壊抵抗が大きいことになる。

熱衝撃損傷抵抗は、耐火れんがなど多くの耐火材料において問題となるもので、き裂の発生を避けられないような厳しい条件下で使用される場合、き裂の発生そのものよりも、発生したき裂が発達し、強度が急激に低下し、品物が部分的にはく落したり崩壊したりすることが重要な意味をもつときに使用される。この場合、一定の急熱、急冷の条件下での強度の低下率、はく落量の小さいものほど熱衝撃損傷抵抗が大きいことになり、き裂の発生するかどうかは問題としていない。

熱衝撃抵抗の向上に際して、熱衝撃破壊抵抗と熱衝撃損傷抵抗間には、その対策が全く逆の場合があるので、両者の間の区別あるいは両者の関係を十分認識しておく必要がある。

3-3-2 熱衝撃抵抗の表現 熱衝撃抵抗の大きさなどが種々の加熱条件下において、セラミックスの物性値によってどのように表現されるかについて述べる。

(1) 激しい急熱、急冷の場合

高温から水中への試料の投入のような熱伝達係数の十分に大きい場合、冷却(または加熱)によって生ずる表面層の最大応力による破壊に耐え得る最大温度差  $\Delta T_{max}$  を材料の特性値として  $R$  で表わすと、<sup>7)</sup>

$$\Delta T_{max} = R = \frac{\sigma(1-\mu)}{E \cdot \alpha} \dots\dots (5)$$

ここで、 $R$  = 熱衝撃破壊抵抗係数、 $\sigma$  = 破壊強度、 $\mu$  = ポアソン比、 $E$  = ヤング率、 $\alpha$  = 熱膨張率。

(2) ゆるやかな加熱、冷却の場合

試料内温度分布の時間的変化を考慮に入れて計算しなければならないような、ゆるやかな加熱、冷却の場合の熱衝撃破壊抵抗係数 ( $R'$ ) は、<sup>7)</sup>

$$R' = \frac{\sigma(1-\mu) \cdot k}{E \cdot \alpha} = R \cdot k \dots\dots (6)$$

ここで、 $k$  = 熱伝導率。

(3) 一定速度で加熱、冷却の場合

表面の温度変化が一定の場合、表面加熱速度が

耐え得る最大となる条件としての熱衝撃破壊抵抗係数 ( $R''$ ) は、<sup>7)</sup>

$$R'' = \frac{\sigma(1-\mu)}{E \cdot \alpha} \cdot \frac{k}{\rho C} = \frac{R'}{\rho C} \dots\dots (7)$$

ここで、 $\rho$  = 密度、 $C$  = 比熱

(4) クリープによる応力緩和がある場合

クリープにより熱応力が緩和されるときには、破壊は起こりにくくなる。クリープが見掛上粘性変形と同じ挙動を示す場合、耐え得る最大温度差で比較する熱衝撃破壊抵抗係数 ( $R_{cr}$ ) は、<sup>7)</sup>

$$R_{cr} = \frac{\sigma(1-\mu)}{\alpha \cdot \eta} \dots\dots (8)$$

ここで、 $\eta$  = 粘性係数。また、耐え得る最大熱流速で比較する熱衝撃破壊抵抗係数 ( $R'_{cr}$ ) は、<sup>7)</sup>

$$R'_{cr} = \frac{\sigma(1-\mu)k}{\alpha \cdot \eta} = R_{cr} \cdot k \dots\dots (9)$$

(5) 熱輻射による加熱の場合

不透明な試料表面が熱輻射により加熱される場合の熱衝撃破壊抵抗係数 ( $R_{rad}$ ) は、

$$R_{rad} = \left\{ \frac{\sigma(1-\mu)k}{E \cdot \alpha \cdot \epsilon} \right\}^{1/4} = \left( \frac{R'}{\epsilon} \right)^{1/4} \dots\dots (10)$$

ここで、 $\epsilon$  = 試料表面と輻射面の平均黒度

(6) 熱応力によるき裂の伸長の程度を比較する場合

熱応力により発生したき裂が伸長して材料を貫かなければ損傷は生じない。そこでき裂の伸長の程度を比較することによって損傷抵抗が比較できる。き裂の伸びはき裂部分に蓄えられたエネルギー ( $W$ ) が、材料の表面破壊エネルギー ( $\gamma$ ) を越えることによって生じる。したがって、 $\gamma/W$  の比が十分大きければき裂は伸びにくくなるので、き裂の伸長抵抗係数、すなわち、熱衝撃損傷抵抗係数 ( $R'''$ ) は両者の比をとることによって求められる。<sup>7)</sup>

$$R''' = \frac{E \cdot \gamma}{\sigma^2(1-\mu)} \dots\dots (11)$$

$\gamma$  が類似の材料間の比較では、次の  $R'''$  を熱衝撃抵抗係数としてもよい。<sup>7)</sup>

$$R''' = \frac{E}{\sigma^2(1-\mu)} \dots\dots\dots(12)$$

(7) き裂の安定性を比較する場合

セラミックス中に最初から存在している初期き裂の長さが大きく一定以上の長さの場合には、初期き裂が大きいくほど（強度が小さいほど）、またき裂の数が多いほどき裂の安定して存在する温度範囲は広がる。この領域ではき裂は安定域に入り、温度差の増大と共に連続的に伸長し、準静的破壊となる。したがって、この領域での熱衝撃抵抗係数は、大きいき裂の安定度（ $R_{st}$ ）をもって表わされ、次式が得られる。<sup>7)</sup>

$$R_{st} = \left( \frac{r}{E \cdot \alpha^2} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (13)$$

また、抵抗性の判断を温度差の代わりに熱流で考えた場合のき裂安定度（ $R'_{st}$ ）は、<sup>7)</sup>

$$R'_{st} = \left( \frac{r \cdot k^2}{E \cdot \alpha^2} \right)^{1/2} = R_{st} \cdot k \dots (14)$$

以上に述べた  $R$ ,  $R'$ ,  $R''$ ,  $R_{cr}$ ,  $R'_{cr}$  及び  $R_{rad}$  の抵抗係数は、熱衝撃破壊抵抗係数として、熱応力による破壊を避けねばならない場合、材料の優劣を比較するのに使用できる。また、 $R'''$  及び  $R''$  の抵抗係数は、熱衝撃損傷抵抗係数として、熱応力によるき裂の伸長により、急激な強度低下やはく落などによる損傷を避けねばならない耐火れんがなどの熱的機能の比較に使用できる。更に  $R_{st}$  及び  $R'_{st}$  は、き裂の発達避けられない場合に、その後のき裂の発達、すなわち、き裂の安定性を比較するのに使用できる。

3-3-3 熱衝撃による強度の低下 熱衝撃

によるき裂の発生あるいはき裂の伸長により材料の破壊強度は低下する。ぜい性材料であるセラミックスの破壊挙動を熱衝撃の大きさに関連づけ、更に破壊の発生（き裂の発生）と損傷の大きさ（き裂の伸長）を統一的に解析することが試みられ、図4のような破壊強度と熱衝撃の大きさ（熱衝撃の温度差）との関係が示された。<sup>8)</sup>

図4の領域（I）では強度は一定でき裂の発生はない。領域（II）では温度差  $\Delta T_c$  で瞬間的に不連続な強度の低下が生じ、き裂の急速な伸長が

生じる。領域（III）では再び強度及びき裂が安定になり、領域（IV）に入って強度が徐々に低下し、き裂も連続的に伸びる。

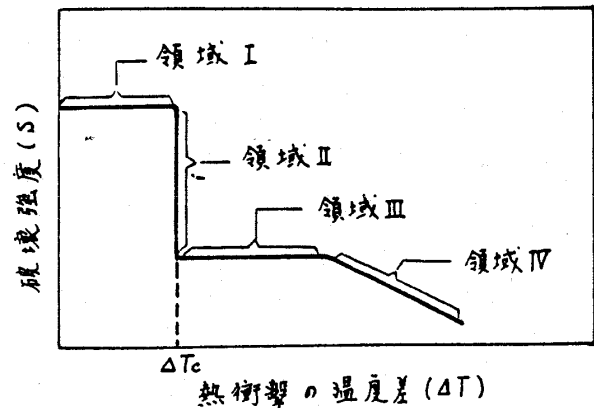


図4 破壊強度と熱衝撃の温度差との関係

この模式的な破壊強度-熱衝撃温度差曲線の形状は、初期き裂の大きさによって変化するし、また実際の強度曲線は必ずしもこのようなパターンを示さないこともあるが、セラミックスのようなぜい性材料の熱衝撃による強度低下の現象をほぼこの曲線で説明できる。これらの各領域に適用できる熱衝撃抵抗係数の式は次の通りである。

- 領域（I） 式(5)~(10)
- 領域（II） 式(11)及び(12)
- 領域（III）及び（IV） 式(13)及び(14)

熱衝撃を受けた試料の強度の低下状況は材料によって異なるが、気孔を含まない、よく焼結したセラミックスのように、強度の大きい（初期き裂の小さい）ものと、耐火れんがのように、強度が十分大きくない（初期き裂の大きい）ものとに区別され、それらは統一された理論によって説明されている。<sup>8)</sup>

3-3-4 熱衝撃抵抗を向上させるには

熱衝撃抵抗には前述のように、熱衝撃破壊抵抗と熱衝撃損傷抵抗との2つがあり、その抵抗性を向上させるには対策が全く逆になることがある。

(1) 熱衝撃破壊抵抗を向上させる方法

この場合の抵抗係数は(5)~(10)式で示されるように、 $\sigma$ ,  $(1-\mu)$  及び  $k$  に比例し、また、 $E$ ,  $\alpha$ ,  $\eta$  及び  $\epsilon$  に逆比例する。一般に熱衝撃破壊抵抗を大きくする、すなわち、き裂発生時の熱衝撃温度差を大きくするには、強度及び熱伝導率を大き

く、熱膨張率、ヤング率、ポアソン比、粘性係数などを小さくすることが必要である。セラミック耐熱材料では、強度をできるだけ大きく、熱膨張率を小さくすることが効果的である。

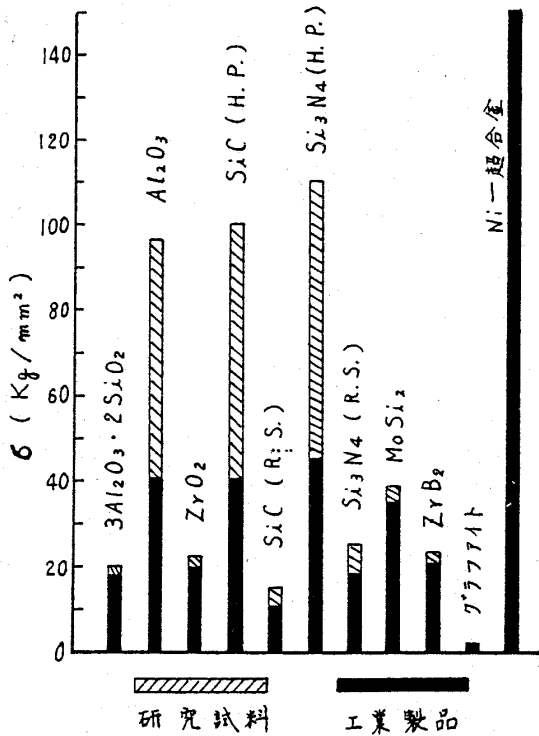


図5 高温材料の曲げ強度<sup>9)</sup>

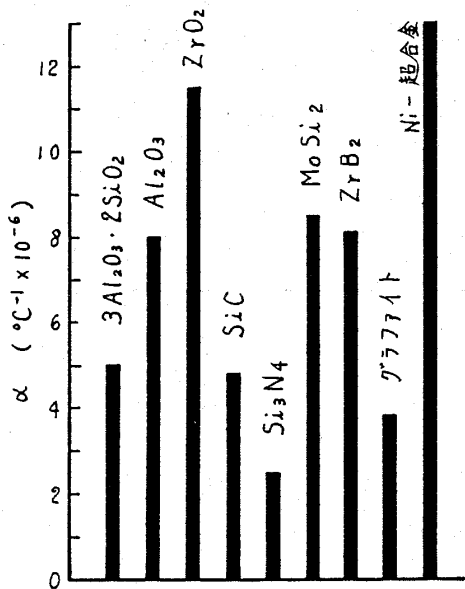


図6 高温材料の熱膨張係数<sup>9)</sup>  
(20~1200℃)

図5~7に高温材料としての各種のセラミック

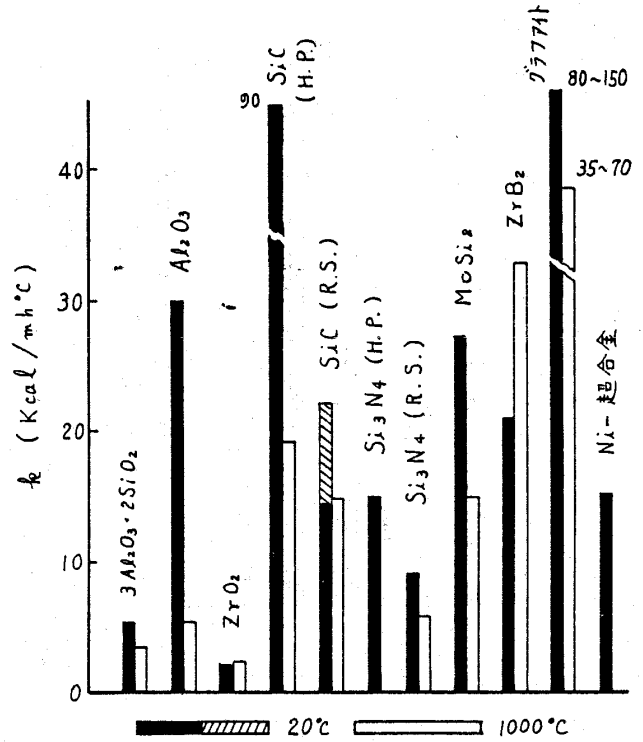


図7 高温材料の熱伝導率<sup>9)</sup>

ス及びNi基耐熱合金の強度、熱膨張率、及び熱伝導率を、またそれらの値から計算された熱衝撃抵抗係数R及びR'の値(ただし、ポアソン比は一定とみなして省略)を図8及び9に示す。<sup>9)</sup>こ

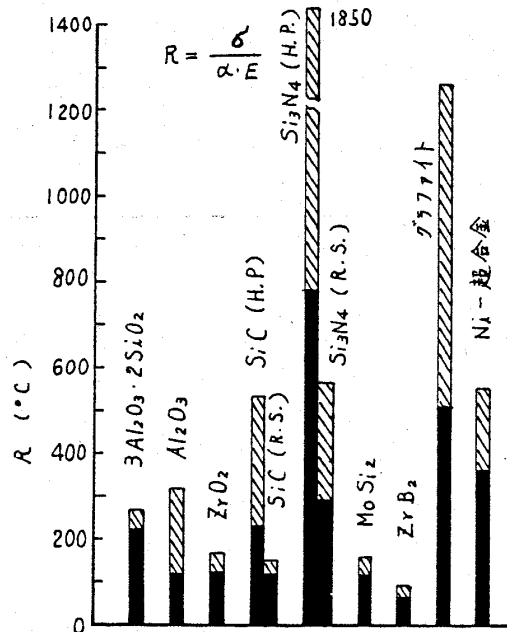


図8 熱衝撃抵抗係数, R<sup>9)</sup>

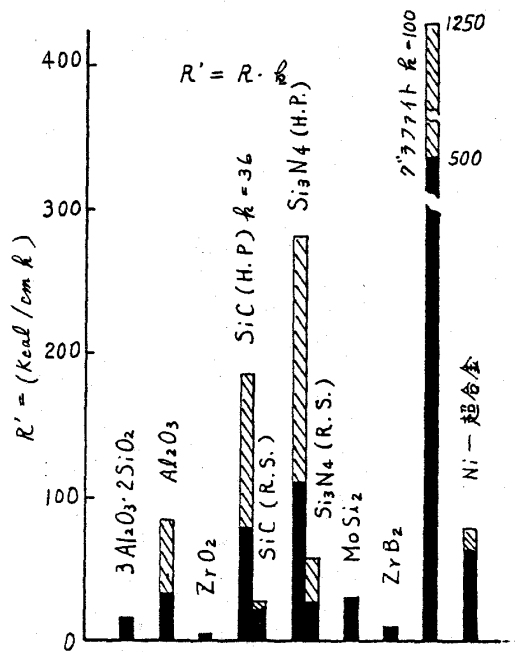


図9 熱衝撃抵抗係数,  $R'$  (9)

これらの図から知られるように、セラミックスの強度 ( $\sigma$ ) は超合金に比べてかなり劣るが、熱膨張率が小さいため、 $R$  及び  $R'$  で比較すると、セラミックスの方が優れた抵抗性を示すものがある。なかでも窒化ケイ素 ( $Si_3N_4$ ) 及び炭化ケイ素 ( $SiC$ ) は強度も比較的大きく、熱膨張率も小さく、熱衝撃破壊抵抗材料としては有望なものと考えられる。

(2) 熱衝撃損傷抵抗を向上させる方法

熱衝撃によるき裂の発生が避けられない場合でも、き裂の伸長による重大な損傷を避けねばならないときには、前述の場合の対策と全く逆の対策

を考えねばならない。すなわち、(1)及び(2)式で示されるように、強度を小さく、ヤング率及びポアソン比を大きく、また表面破壊エネルギーを大きくとる必要がある。一般にセラミックスにおいては、粒径を大きくし、気孔を導入することによって熱衝撃損傷抵抗を大きくすることができる。また、表面破壊エネルギーの大きさはセラミックスの熱衝撃にも影響を与えるが、その大きさはセラミックスの組織に非常に大きく影響される。同一材料でも単結晶よりは多結晶の方が、また繊維状組織をもつものがより大きな表面破壊エネルギーを持つ。

文 献

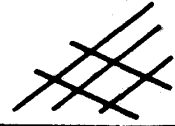
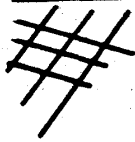
- (1) 亀井・横堀, セラミックス, 11-2 (1976-2), 115
- (2) 浜野, セラミックス, 11-6 (1976-6), 565
- (3) Duckworth, W., J. Am. Ceram. Soc. 36-2 (1953-2), 68
- (4) Passmore, E.M, Springgs, R.M. and Vasilos, T., J. Am. Ceram. Soc., 48-1 (1965-1), 1
- (5) Hall, R.C., Am. Ceram. Soc. Bull., 47-3 (1968-3), 251
- (6) Stokes, R.J. and Li, C.H., J. Am. Ceram. Soc., 46-9 (1963-9), 423
- (7) Hasselman, D.P.H., Am. Ceram. Soc. Bull., 49-12 (1970-12), 1033
- (8) Hasselman, D.P.H., J. Am. Ceram. Soc., 52-11 (1969-11), 600
- (9) Gugel, E. und Leimer, G., Ber. Deut. Keram. Ges., 50-5 (1973-5), 151

“国産ガスタービン生産統計”について

(社)日本ガスタービン学会では、国内ガスタービン・メーカーの協力を得て毎年国内で生産されるガスタービンの資料を蒐集し統計を作成して会誌に掲載してきましたが、これらの資料を集大成し広く会員の皆様の便に供するため“国産ガスタービン生産統計”(仮称)を発行することを計画しております。これには毎年国内で生産されるガスタービンの出力、台数の変遷など各種の統計資料、各社で生産されるガスタービンの仕様一覧表、過去に国内で製造されたガスタービンの生産実績が掲載され、この種資料の決定版として御利用載けるものと確信しております。御期待下さい。

尚昭和54年中に発行の予定で予約方法などは別途御知らせします。

以 上



## 高圧力比多段軸流圧縮機の可変 静翼角および抽気に関する試験

航空宇宙技術研究所 原動機部 菅 原 昇  
大 山 耕 一  
斉 藤 喜 夫  
田 村 敦 宏  
航空機公害研究グループ 小 林 紘

### 1. ま え が き

航空機の推進用ガスタービンエンジンは、ターボジェットエンジンに比較して、燃料消費率が少なく、騒音が低いターボファンエンジンの主力となりつつある。高バイパス比のターボファンエンジンではサイクル圧力比が高いため、高性能で高圧力比の圧縮機が要求されている。

高圧力比の多段軸流圧縮機では静翼固定のままでは安定した作動範囲は設計点近傍に限られ、その他の領域、特に低速においては安定した作動範囲が得られないため、その対策として静翼取付角を可変にしたり、中間段で抽気するなどの方法が用いられている。一般に、可変静翼の取付角は組立時に高い精度で設定されており、可変静翼取付角を変化させた場合でも、その高い精度の維持が要求されている。もし何んらかの原因で可変静翼取付角に不均一が生じた場合、高圧圧縮機の空力性能、作動範囲にどのような影響を及ぼすか、また、どの程度の不均一まで許容できるかについてはまだ不明の点が多い。

一方、中間段からの抽気によって低速低流量域での性能および作動範囲の改善が期待され、その位置および抽気量が圧縮機性能に及ぼす影響など抽気の効果について検討することも必要である。

本報告は通産省工業技術院の大型工業技術研究開発制度の一つ、「航空機用ジェットエンジン研究開発」における要素研究の一環として試作された高圧圧縮機空力試験機<sup>(1), (2), (6)</sup>を用い、可変静翼取付角の不均一および抽気が圧縮機の性能および作動範囲に及ぼす影響について調べた試験結果について述べる。

### 2. 記 号

N : 回転速度 (rpm)  
G : 流量 (kg/sec)  
 $\pi$  : 圧力比  
 $\eta_{ad}$  : 断熱効率  
 $G_B$  : 抽気流量 (kg/sec)  
 $B_C$  : 抽気率 ( $\frac{G_B}{G} \times 100$ ) (%)  
 $\xi$  : 翼の食違い角 (取付角) (deg)  
 $\delta$  : 標準大気状態への入口圧力補正係数  
$$\left( \frac{\text{入口全圧}}{1.0332} \right)$$
  
 $\theta$  : 標準大気状態への入口温度補正係数  
$$\left( \frac{\text{入口温度}}{288.16} \right)$$
  
 $r$  : 半径 (m)  
添字 \* : 設計点  
IGV : 入口案内翼  
s : 静翼  
t : 外壁半径

(昭和54年1月26日原稿受付)

$m$  : 平均半径

3. 試験方法

3-1 試験装置<sup>(3)</sup>

図1に試験装置の全体

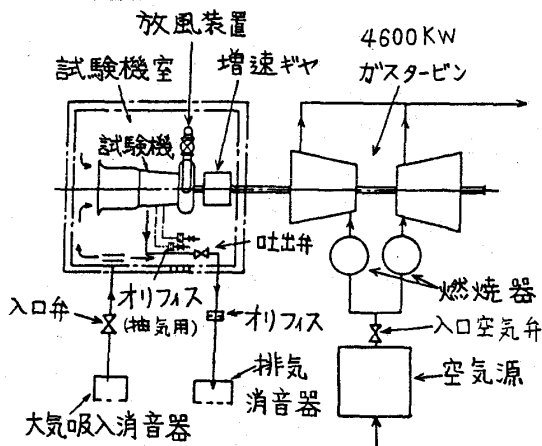


図1 試験装置

配置を示す。試験機は高圧力比で大流量の高速領域（以下高速）の試験で駆動力が不足するのを補うため、減圧試験が可能な試験室内に設置されており、増速ギヤを介して4600 kWの駆動用ガスタービンに連結されている。

試験機<sup>(1), (2), (6)</sup>は平均半径がほぼ一定の12段軸流圧縮機であり、入口案内翼および1~4段静翼には可変静翼機構を備えている。図2(a)~(c)に試験機およびその断面図と主要設計要目を示す。なお、参考までに図2(d)に試験機の平均半径位置での主要設計値を記載した。可変静翼は図3に示すように各段の可変静翼を連結するリングおよびレバーよりなるリンク機構によって機械的に連結されており、1対の油圧アクチュエータを操作し、同時に全部の可変静翼の取付角度を変化させることができる。可変静翼各段の取付角度変化量の比率はレバーの長さ比によって与えられ、回転速度に関係なく一定である。図4は各段取付角度変化の比率を示す。また可変静翼取付角は、回転速度の変化に応じて変化量を定められており、今回の試験では図5に示すような関係を与えて行った。

航空用ガスタービンの場合、抽気は低速での作動範囲を拡大する目的の他に客室と圧用あるいはタービン冷却用にも用いられ、抽気的位置および抽気量もその用途によって異なるが、本試験機では7~10段より抽気を行なうこととし、図6に示すように各段に抽気孔を設けた。7段静翼は翼端の腹側に切欠きを持つ中空翼になっており、翼端すなわち内壁側より抽気し、また8, 9, 10段では外径側シュラウドの各静翼中間位置に4 mmφの抽気孔を1個ずつ設け外壁側より抽気することとした。いずれも、約4%程度の抽気が可能である。

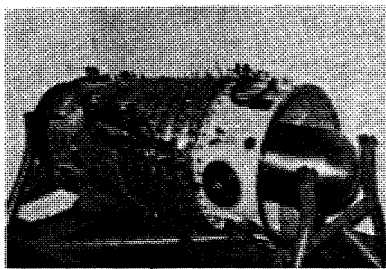


図2(a) 圧縮機本体

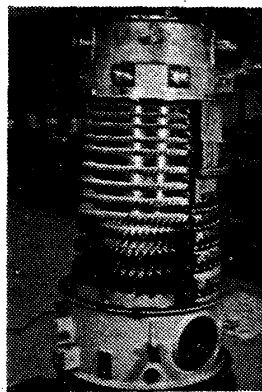
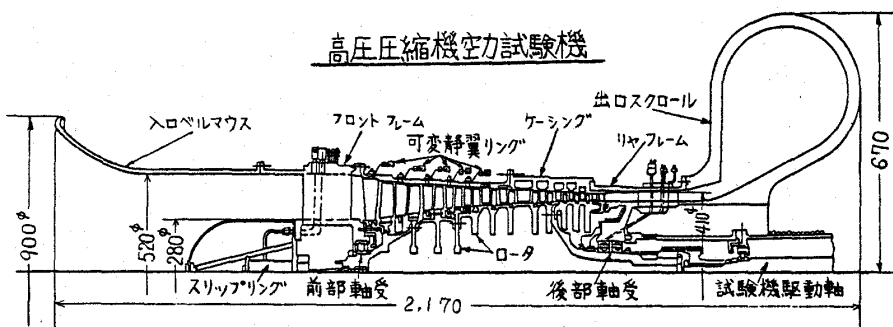


図2(b) 圧縮機ローター



型式 可変静翼付12段軸流圧縮機  
(可変静翼: 入口案内翼, 1~4段静翼)

設計要目

修正回転速度	15200 rpm	入口外径	500 mm
修正空気流量	19.0 kg/sec	入口ポス比	0.6
圧力比	12.4	出口外径	406 mm
最大周速(1段動翼先端)	346 m/sec	出口ポス比	0.9
試験機入口軸流速度	130 m/sec		

図2(c) 高圧圧縮機空力試験機の断面図と主設計要目



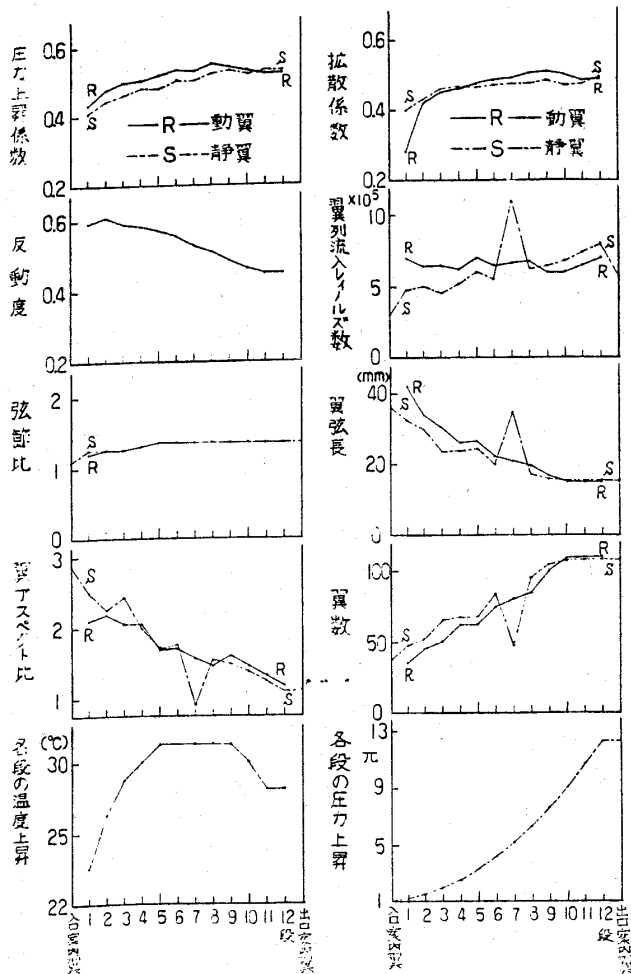


図 2(d) 試験機主要設計値 (平均半径)

図 2 高圧圧縮機空力試験機

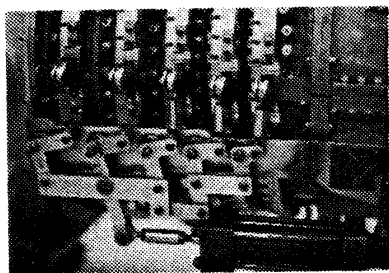


図 3(a) 圧縮機の可変静翼リンク

3-2 測定方法 低速の試験では前段翼列が失速状態にあることが多いので、前段部に重点をおいて、図 7 に示すように性能計測・監視用センサー類を配置した。

(イ) 定常性能計測 試験機入口ダクト内にはクロメル・アルメル熱電対、入口案内翼前方の入口流路内には 4 点くし型ピトー管、および出口流路内には出口案内翼の翼弦長 4 倍後方に 4 点くし型ピトー管および熱電対を挿入して、入口の全圧、

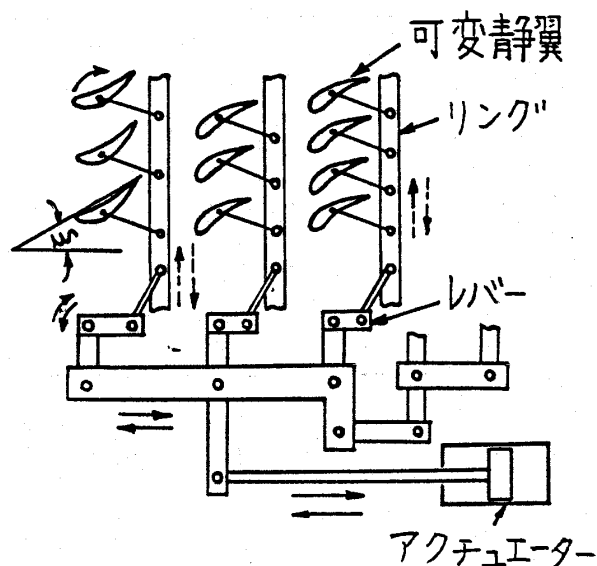


図 3(b) 可変静翼のリンク機構略図

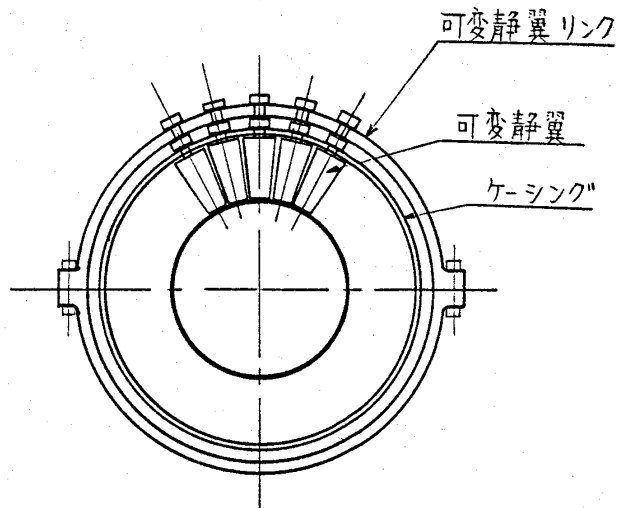


図 3(c) 各段の可変静翼リンク

図 3 可変静翼のリンク機構

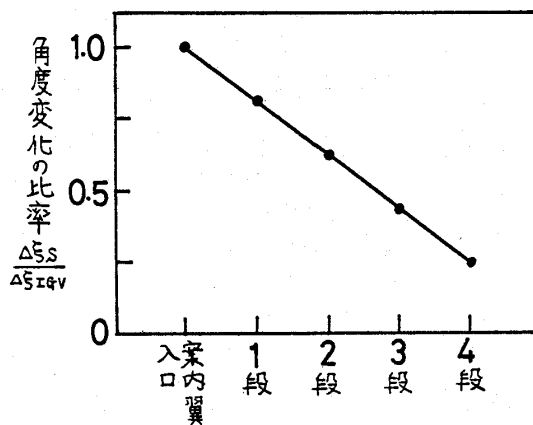


図 4 各段の可変静翼角度変化率

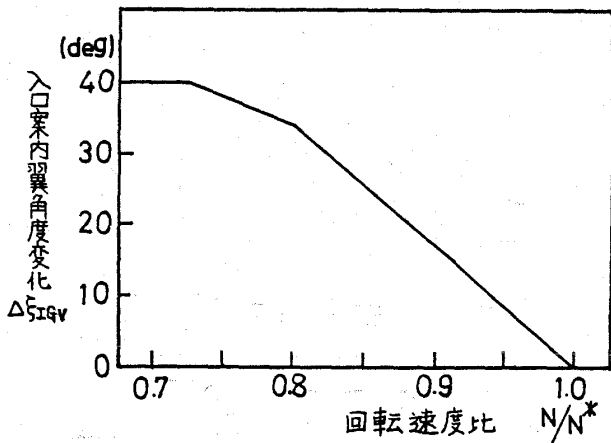


図5 可変静翼スケジュール

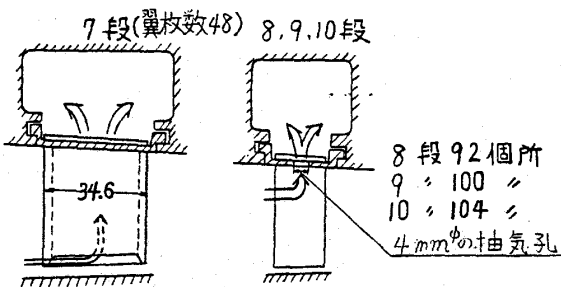


図6 抽気個所の断面図

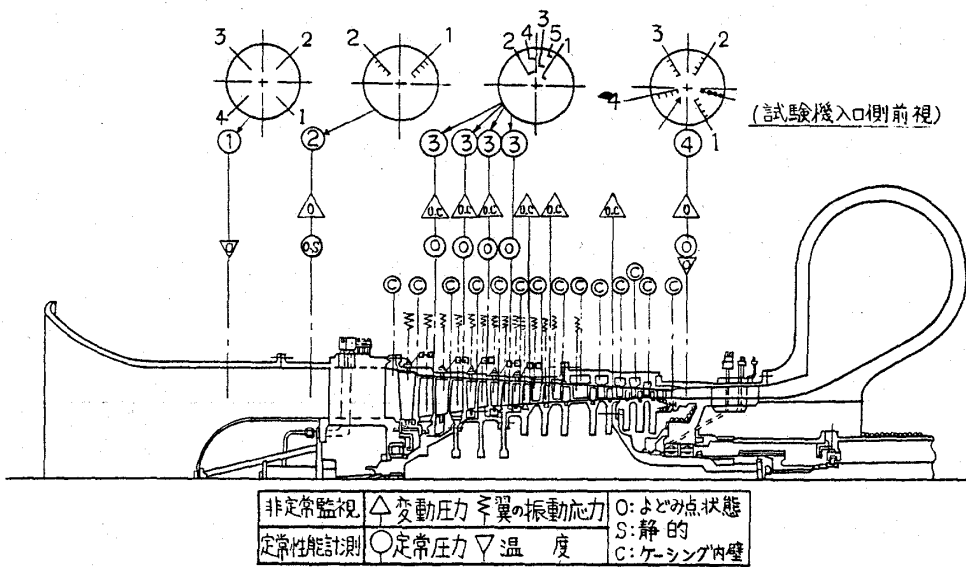


図7 試験機の計測配置図

静圧、全温および出口の全圧、全温を測定し、それぞれ各計測点の平均値を算出して入口流量、圧力比、断熱効率を求めた。内部流れとしては出口の全圧、全温の他、1～4段の各段それぞれ5枚の可変静翼に1点ずつ半径方向の異なる位置に全

圧測定孔を設け、各段動翼出口の全圧を測定した。また各段静翼後の外壁面に静圧孔を設け、壁面静圧を測定した。抽気試験での抽気流量は図1に示すように2本の抽気管に設けたオリフィスより求めた。なお、今回の試験は図7に示す如く、計測点が多く、さらにデータの集録および処理を短時間に行ない、試験装置の運転者および非正常現象の監視・計測担当者に適確な情報を与えることが必要であるので、自動計測とし、オンラインでデータ処理を行なうこととした。

(ロ) 非正常現象の監視・計測 サージ、旋回失速等の非正常現象を監視・計測するため、翼振動応力および変動圧力を測定した。

翼振動応力の測定にはひずみゲージを用い、入口案内翼および1～6段動翼と1～7段静翼に貼付した。1～6段動翼からの出力信号取り出しには18チャンネルのスリップリングを用いた。

変動圧力の測定にはひずみゲージ型圧力センサを用い、試験機入口および出口と出口ダクト、並びに1～3段と5, 6, 9段の動翼と静翼の中間位置に挿入した。ひずみゲージおよび圧力センサの出力信号はデータレコーダで記録し、同時にオシロスコープで監視した。

翼振動応力および変動圧力の測定は翼破損防止の他に試験機の作動限界の決定にも用いた。普通、圧縮機の作動限界はサージ点で決定される。しかし高圧圧縮機の低速では前段翼列が失速状態になることが多く、もし翼振動応力が翼材料の疲れ限度以上になると危険なため、本試験では翼破損を防ぐ目的で、あらかじめ翼振動応力に制限値を設

け、翼振動応力制限値以上での試験を取りやめた。そのため低速での作動限界はサージ点の他に、翼振動応力値から決定した。

#### 4. 可変静翼取付角を不均一にした性能試験

本試験に使用した試験機は正常な場合、可変静翼取付角の不均一が $\pm 0.5^\circ$ 以内の精度で設定されており、可変静翼取付角を変化させた場合でも $\pm 0.5^\circ$ 以内の精度を維持している。

可変静翼の取付角を不均一にする方法としては各可変静翼を連結している二つ割リング(図3(c))の締付部分の剛性を弱くし、リングの変形および変位によって翼取付角の不均一を発生させることにした。二つ割リングの締付部分は構造的に円周方向ほぼ同じ位置にあるので、任意の可変静翼に取付角の不均一を与える場合と異なり、各段の不均一は円周方向ほぼ同じ位置に発生した。

試験は不均一量が $1^\circ$ 以内および $2^\circ$ 以内の場合について行ない、正常な場合(不均一が $\pm 0.5^\circ$ 以内)と比較検討することにした。図8に可変静翼各段の取付角不均一の分布を示す。不均一量は図8のA点を基準とし、A点と各位置とにおける翼の食違い角の差で表わしている。また可変静翼取付角は図5に示すように回転速度に応じて、リンク機構で動かし、変化させているため、角度不均

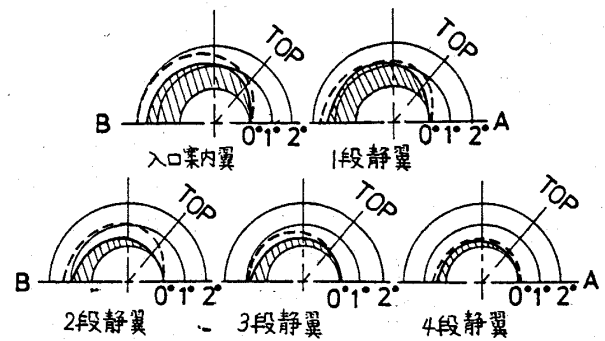


図8(c) 不均一 $2^\circ$ 以内

図8 可変静翼の不均一分布

一量は回転速度の変化に応じて変化した。図9は各段の $\Delta \xi_{IGV}$ の変化に対する不均一量を表わしており、 $1^\circ$ 以内のみ示しているが、 $2^\circ$ 以内の場合も同様な傾向である。

またリングの変形量および変位量は可変静翼植込部やリンク機構の摩擦抵抗、さらにリンク機構連結部の遊びなどにより、油圧アクチュエータの操作を繰り返すたびに幾分変化し、各段の不均一量もそれに応じて少し変化した。図8、9と同様な分布であった。また本試験では駆動電力不足のため、 $80\% N^*$ 以上の回転速度では入口弁絞りにより、試験機入口圧力を大気圧以下に減圧して行なった。そのため試験機入口圧力は低下し、 $100\% N^*$ での試験機入口圧力は $0.2 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$ となり、平均半径における翼列の流入レイノルズ数は1段の動翼で $1.4 \times 10^5$ 、静翼では $0.6 \times 10^5$ 程度まで低下した。

(全体性能) 図10は可変静翼取付角の正常および不均一が $1^\circ$ 以内の場合における $30 \sim 100\% N^*$ までの圧縮機全体性能を表わしたもので、修正回転速度をパラメータとし、修正流量に対する圧力比および断熱効率を示す。

$85\% N^*$ 以上の高速ではレイノルズ数低下の影響を受け、性能試験の結果は図10に示すように設計値よりも低い値を示した。しかし試作エンジンへ搭載して規定の入口状態で行なった試験結果は設計性能を満足し、ファンエンジン用高圧圧縮機として全面的に応用されるに至った。

一般的に取付角の不均一による影響が現われ圧力比および断熱効率の低下を招いており、 $50 \sim 75\% N^*$ では断熱効率が $3 \sim 4\%$ 、 $100\% N^*$

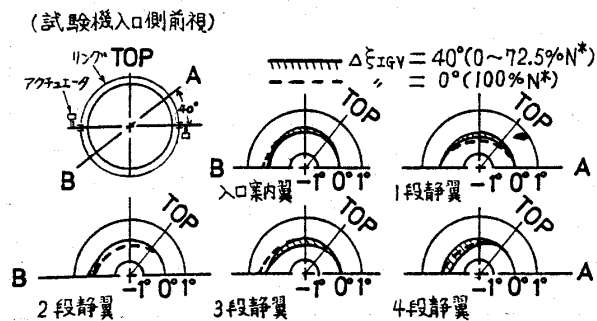


図8(a) 正常(不均一 $0.5^\circ$ 以内)

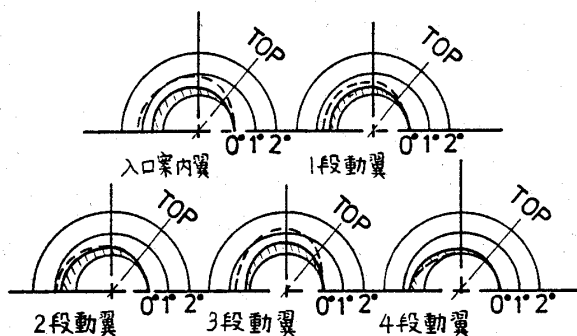


図8(b) 不均一 $1^\circ$ 以内

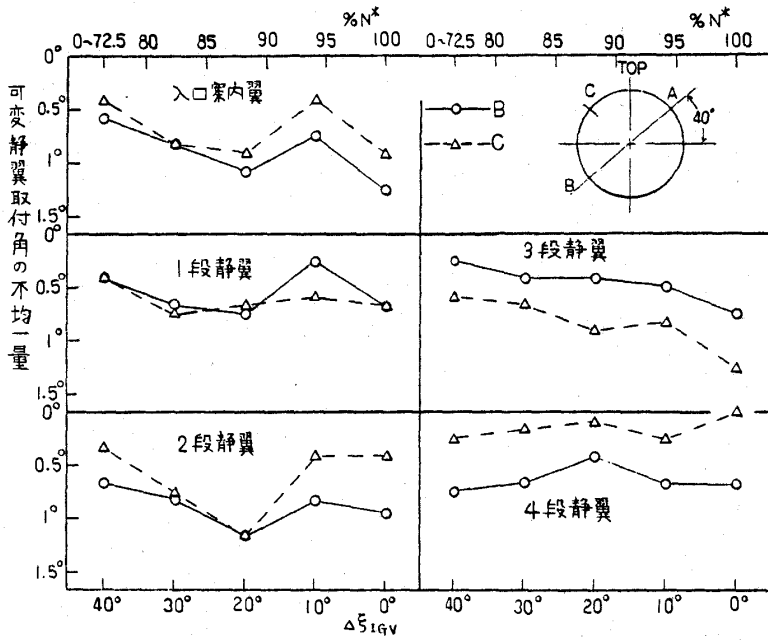


図9 回転速度に対する不均一分布(不均一1°以内)

1°以内、また1点鎖線は不均一が2°以内の作動限界線である。図の●印はサージ近傍を示し、▲印は翼振動応力大きく、制限値を越えたため、それ以上での試験を取りやめた作動点を示す。正常および不均一が1°以内の50%N\*、および2°以内の50~65%N\*の作動限界は翼振動応力から決定されたものである。

不均一が1°以内の場合、70%N\*以下の低速では作動範囲においても前段には旋回失速が発生し、翼振動応力の増加、効率の低下および作動範囲の縮少が認められた。70%N\*以上では旋回失速は消滅し、また翼振動応力も回転速度の上昇と共に減少している。80%N\*以上の高速では前述の

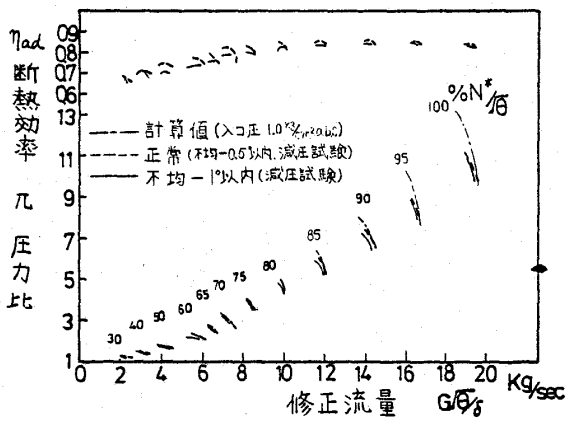


図10 取付角の不均一が1°以内の場合の全体性能

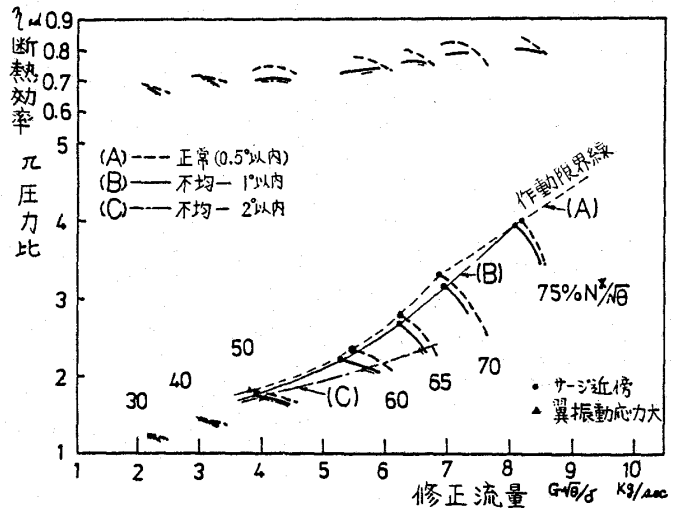


図11 低速領域での性能

では1%低下している。80%N\*以上の高速では低速に比べてその影響は軽微であり、100%N\*まで安定した作動範囲が得られた。しかし80%N\*以下の低速では断熱効率の低下および作動範囲の縮少など不均一による悪影響が現われている。

図11は低速における正常と不均一が1°以内および2°以内の場合の性能を示す。作動限界線とはサージまたは翼振動応力および変動圧力が大きく、圧縮機の運転続行に危険な状態の発生点近傍を示している。破線は正常で、実線は不均一が

ように取付角が正常な場合とほぼ同様に安定した作動範囲が得られた。この主な理由としては、本試験機では回転速度にしたがって可変静翼の取付角を変化させているが、低速運転では、それでもなお前段翼列は正失速の状態にあるので、取付角の不均一による影響と重なって、一層ひどい正失速となり、圧縮機全体の性能に及ぼす影響が顕著になること、しかし高速では回転速度の上昇と共に軸流速度が増加し設計流入角に近づくため、翼列の失速限界に余裕が生じ、安定した作動状態に

あるので、取付角の不均一が翼列の失速を急激に増大させるまでにいたらず、圧縮機全体の性能に及ぼす影響は相対的に小さくなるためと考えられる。

不均一が  $2^\circ$  以内の場合、 $40\%N^*$  以下では不均一  $1^\circ$  以内の場合より若干性能が低下する程度であり大きな変化はなかったが、回転速度の上昇と共に翼振動応力および変動圧力が急激に増大し、 $60\%N^*$  以上では安定した作動範囲が得られず、事実上運転不能であった。

(内部流れ) 図12は作動限界線近傍での正常および不均一が  $1^\circ$  以内の場合の1~4段動翼出口の半径方向全圧分布を示す。

$50\%N^*$  では2段動翼の内壁側がひどい正失速の状態にあって、出口全圧は1段動翼出口よりも低くなっているが、全圧分布は正常および不均一の場合ともほぼ同じ傾向を示し、取付角不均一による影響はあまり現われていない。

$60\%N^*$  では取付角不均一の悪影響が2段動翼の内壁側に現われて圧力低下が著しく、3、4段動翼もその影響をかなり受けていることがわかる。

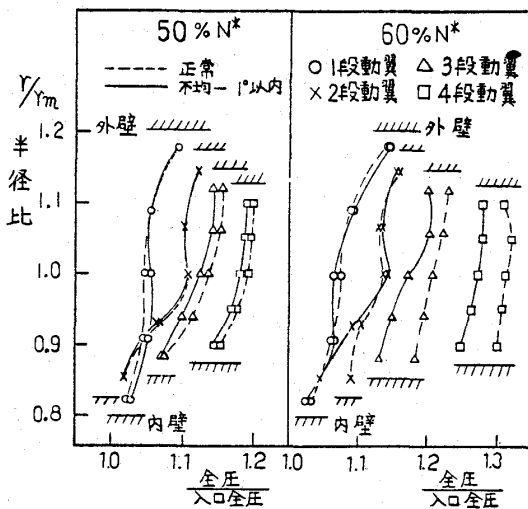


図12 1~4段動翼出口全圧の半径方向分布

図13は作動限界線近傍での圧縮機出口全圧および温度の半径方向分布である。出口全圧は図7に示した4本のくし型ピトー管で測定した圧力をそれぞれ円周方向に平均した値であり、平均出口全圧および温度は全計測点の平均値である。出口全

圧および温度分布のいずれも正常および不均一の場合とも同じ傾向を示し、取付角の不均一による影響は大きくない。

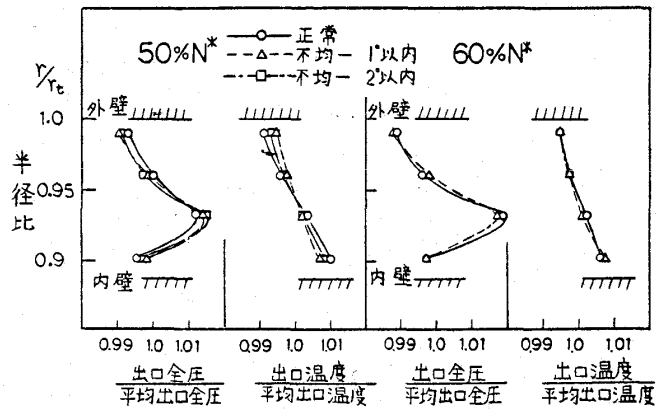


図13 圧縮機出口全圧、温度の半径方向分布

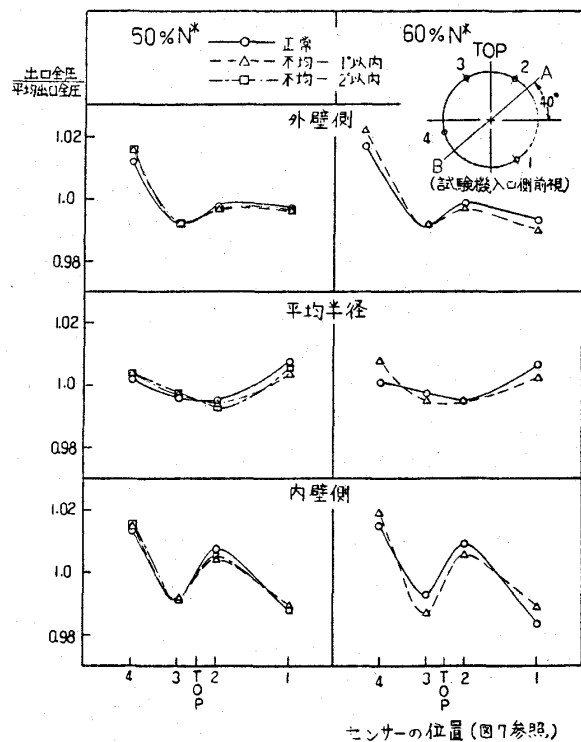


図14 圧縮機出口全圧の円周方向分布

図14は図13と同じ作動線近傍における円周方向出口全圧分布を示す。取付角が正常な場合でも、外壁および内壁近傍では円周方向にかなりの不均一があること、それに比較して取付角不均一の影響は大きくないことがわかる。

このように不均一の影響が現われなかったのは

取付角の不均一が4段静翼までであること、5~12段は正常であること、また圧縮機出口までの距離が長く、かつ流路幅が次第に狭ばまってゆくため、不均一による影響は下流の段で徐々に緩和されたものと考えられる。

(非正常現象)<sup>(4)</sup>

図15(a)~(c)は作動限界線近傍における正常および不均一が1°以内の場合の翼振動応力および変動圧力を電磁オシログラフに表示したものである。正常な場合、翼振動応力および変動圧力はともに小さい。不均一が1°以内の場合、翼振動応力および変動圧力が大きくなっており、また5、6段に旋回失速が発生している。旋回速度、セル数は動翼および静翼に貼付したひずみゲージあるいは圧力センサの信号から求められ、セル数は1セル、旋回速度は圧縮機回転速度の約45~46%であった。しかし図15(c)に示すように70%N\*では翼振動応力および変動圧力も小さく、旋回失速も消滅している。2°以内の場合、作動限界近傍では回転速度の上昇と共に図15(d)に示す如く、翼振動応力および変動圧力が大きくなり、ついにサージに入っているなど(図15(e))60%N\*以上では安定した作動範囲が

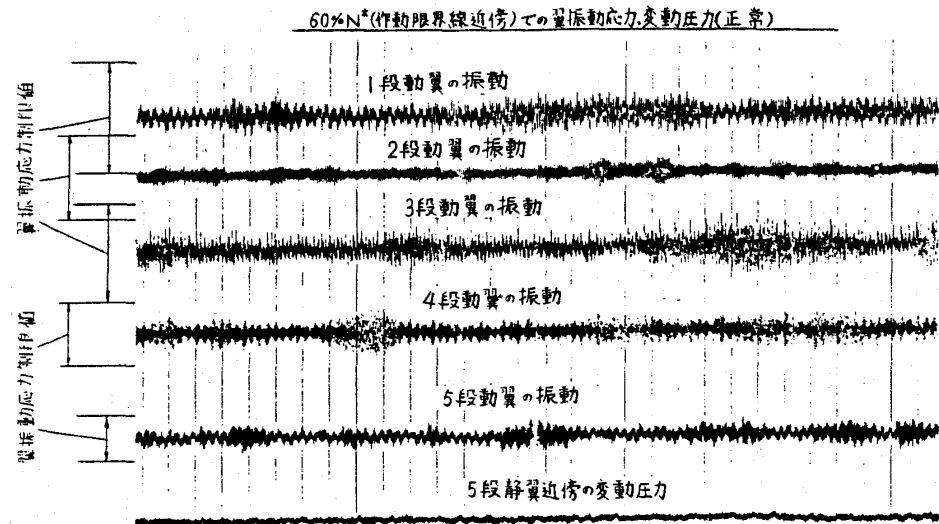


図15(a)

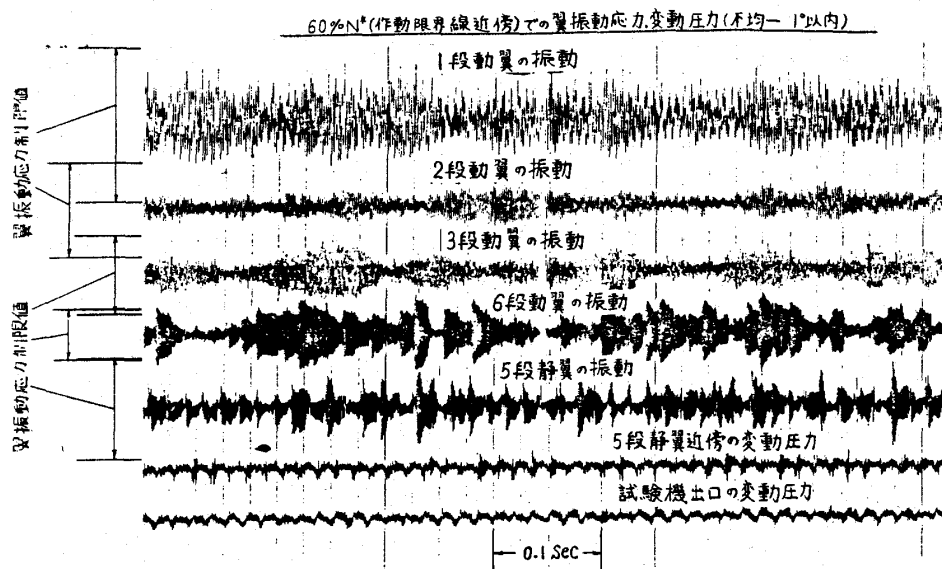


図15(b)

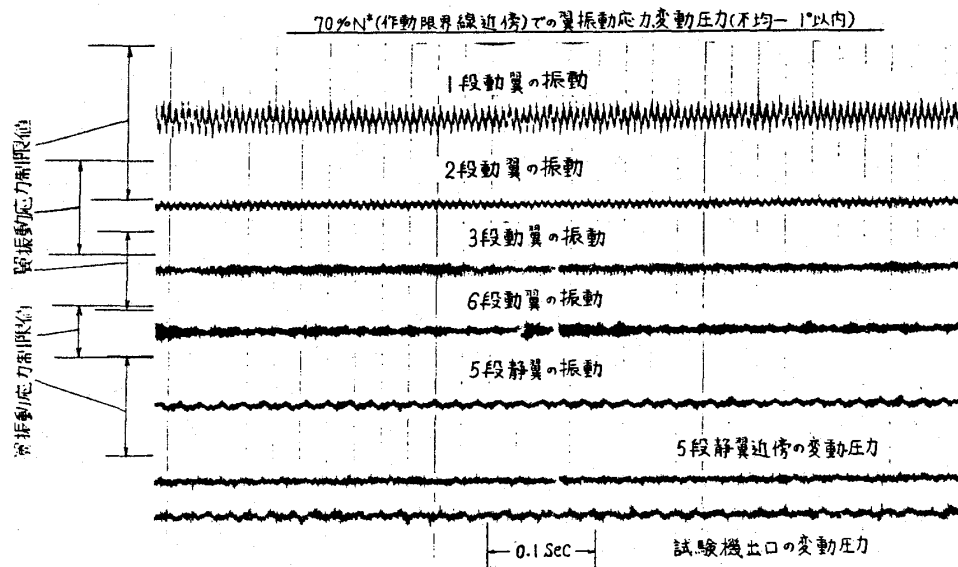


図15(c)

得られなかった。

### 5. 低速領域での抽気試験

多段軸流圧縮機が低速で作動している場合、一般に前段翼列は正失速し、終段翼列は負失速の状態となる傾向にある。したがって、中間段より抽気すると、抽気点より上流の段では翼列流入角は減少し、下流の段では流入角が増加するので、圧縮機全般にわたって翼列の失速は緩和され性能の改善と作動範囲の拡大が期待できる。抽気に最適な段および抽気率は圧縮機の設計および使用条件によって左右されるので一律に決められないが、本試験では運転範囲全体にわたりほとんど失速することなく安定した作動状態にある7、8段より抽気することとし、性能および作動範囲に対する抽気の効果を確認するとともに流路の内壁側および外壁側から抽気を行ない、抽気個所の違いによる圧縮機性能への影響について調べた。

試験範囲は抽気による効果が大きい65%N\*以下の低速領域とし、抽気管オリフィスの開口面積を一定にして試験計測を行なった。図16に各回転速度における抽気率(抽気量/入口空気流量×100)を示す。抽気率分布は7段、8段とも同じような傾向を示しているが、8段抽気の方が0.3~0.5%多くなっている。

(全体性能) 図17は抽気なしおよび抽気した時の圧縮機性能を示す。40%N\*以下では抽気の影響は少なく、効率が若干よくなった程度であるが、50%N\*以上の範囲では抽気によ

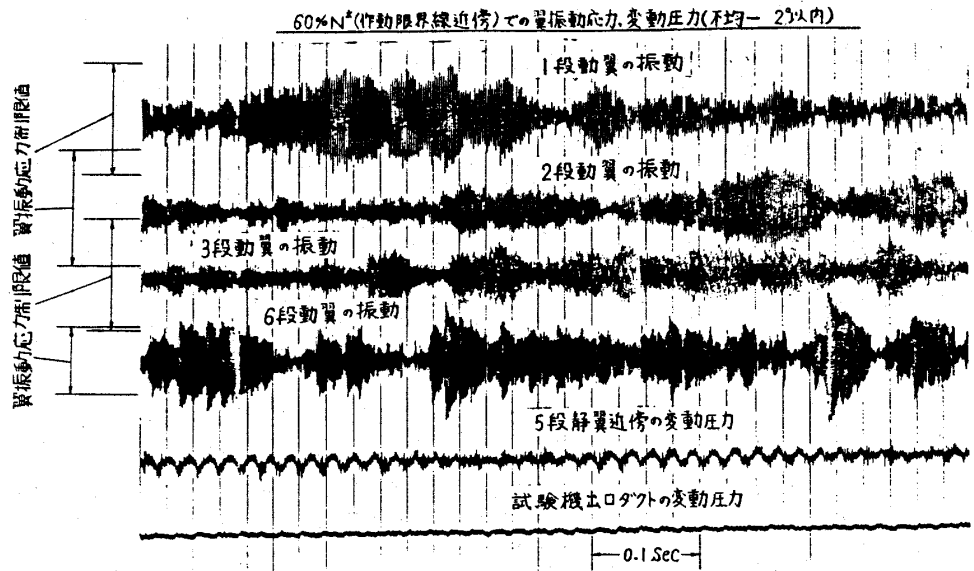


図15(d)

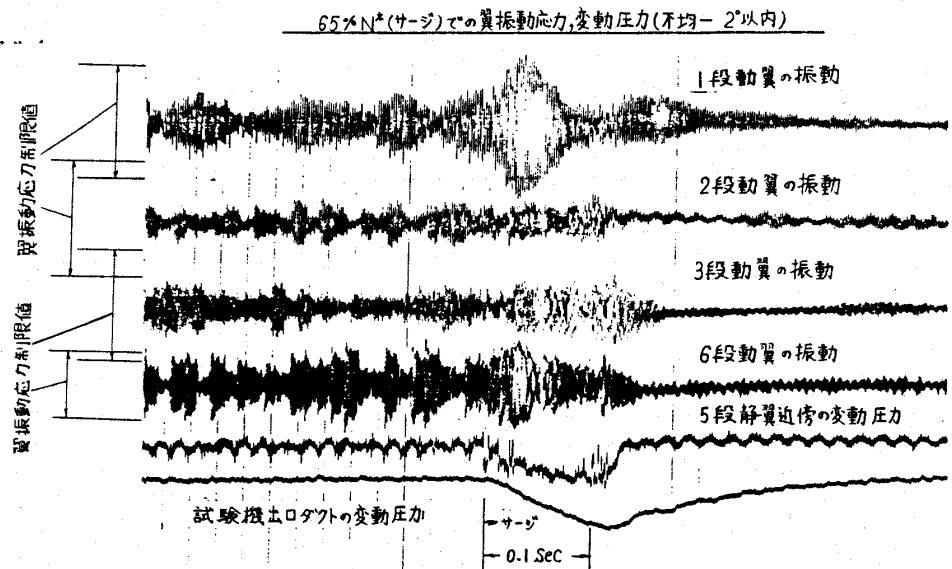


図15(e)

図15 翼振動応力, 変動圧力

て圧力比、効率の向上が得られ、またサージ線は低流量側へ移動し作動範囲が拡大しており抽気の効果認められる。7段抽気と8段抽気の効果と比較すると55%N\*まではほとんど同じであり、60%N\*以上では8段抽気の方が効率および作動範囲ともに僅かによい結果を示しているが、抽気率が0.3%程度多いことを考慮すると両者の効果はほぼ同じと考えられる。

(内部流れ) 図18は40%N\*および55%N\*でのサージ近傍の作動点における抽気なしおよび抽気した場合の1~4段動翼出口の半径方向全圧分布を示す。

40%N\* では抽気しても全圧分布は抽気なしの場合とほぼ同じであり特に目立った効果はないが、55%N\* では2段以降で内壁側の全圧分布が改善されているのが認められ、図17の性能曲

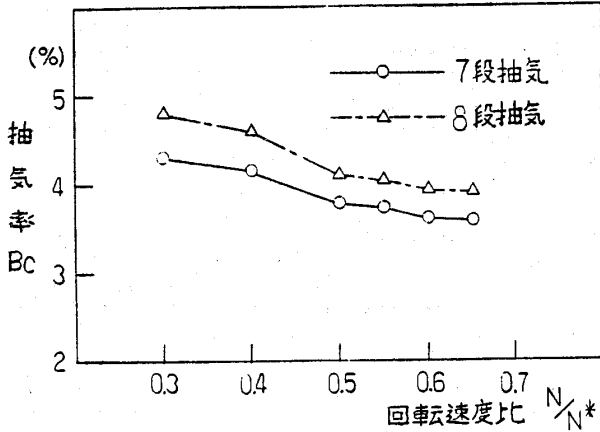


図16 各回転速度に対する抽気率

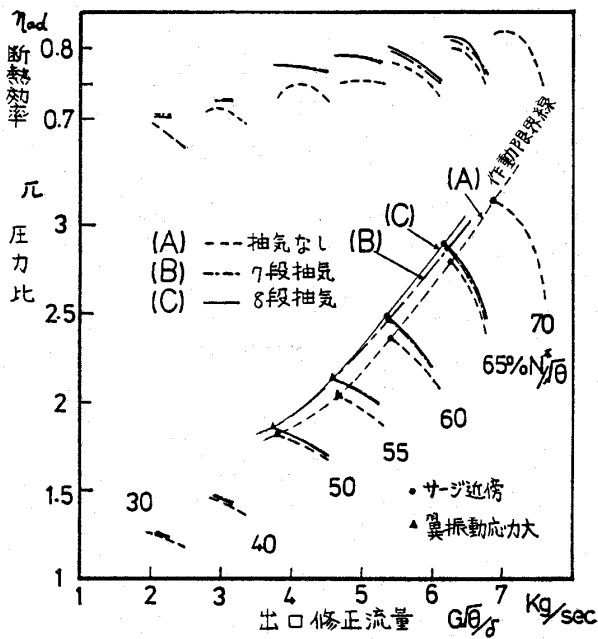


図17 抽気した時の全体性能

線の傾向と一致していることがわかる。図18から明らかなように抽気なしの場合、2段動翼の内壁側近傍では、出口全圧は1段動翼出口全圧よりも低く、ひどい正失速の状態にあると考えられる。3, 4段動翼の内壁側もその影響を受けて全圧が低下していることがわかる。このような内壁側の失速を緩和し全圧分布を改善するためには、外壁

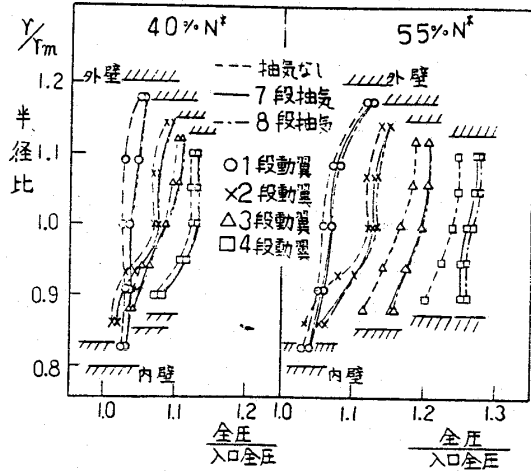


図18 1~4段動翼出口全圧の半径方向分布

側に抽気孔のある8段抽気よりも内壁側に抽気孔のある7段抽気の方により多くの効果があるのではないかと期待があった。しかしこの試験では両者の全圧分布はほとんど同じであり、そのため抽気の効果は図17に示したようにほぼ同じ結果になったものと思われる。このように抽気個所の違いによる影響が現われなかった理由として次のことが考えられる。まず図2に示すように2段動翼と抽気個所との距離が長く抽気段流路幅の約10倍あり、しかも抽気段の流路幅は2段動翼の約40%に狭められているので構造上2段動翼に対する抽気個所の差が現われにくいこと、次に今回の試験では抽気率が小さいので抽気段近傍の流れ状態および翼列性能に与える抽気個所の影響が比較的小さく、圧縮機全体の性能に及ぼす影響に差を生ずるまでには至らなかったものと考えられる。

図19は65%N\*で、サージ近傍の作動点に

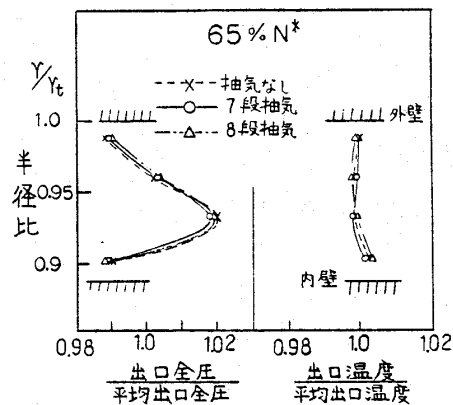


図19 圧縮機出口全圧, 温度の半径方向分布



における抽気なしおよび抽気した場合の半径方向出口全圧および温度分布を示す。抽気率が小さいため、全圧および温度分布の形はあまり変わらないが、全圧分布は7段抽気では抽気孔のある内壁側で、8段抽気では抽気孔のある外壁側で全圧分布が少し改善されているようである。

## 6. むすび

この試験によって、次のことが明らかとなった。

(1) 可変静翼取付角の不均一による性能および作動範囲に及ぼす影響が明らかになった。取付角の不均一が $1^\circ$ 以内の場合、 $70\%N^*$ 以下の低速では性能の低下、作動範囲の縮小および旋回失速の発生などの悪影響が現われたが、 $80\%N^*$ 以上の高速では低速に比較して影響は軽微で実用上大きな支障はなかった。取付角の不均一が $2^\circ$ 以内の場合、 $50\%N^*$ 以上では回転速度の上昇と共に翼振動応力および変動圧力が増大し、安定した作動範囲が得られず、事実上運転不能であることがわかり、取付角の不均一の許容限界が明らかとなった。

(2) 中間段からの抽気によって低速における性能および作動範囲の改善が得られ、抽気の効果が明らかとなった。しかし今回の試験は抽気率が小さく、抽気個所の違いが圧縮機全体の性能に及ぼす影響を明らかにするまでには至らなかった。

## 7. 謝 辞

本研究にあたっては、終始御指導をいただきました松木原動機部長、鳥崎航空機公害研究グループ総合研究官、試験にさいし、御協力をいただきました小倉氏はじめ空気源担当者の方々および石川島播磨重工業(株)の関係者の方々に心より感謝する次第です。

## 引用文献

- (1) 松木, 鳥崎他 航技研報告 TR-482
- (2) 大山 航技研資料 TM-363
- (3) 大山, 菅原 航技研資料 TM-536
- (4) 小林, 大山他2名 航技研資料 TM-347
- (5) 菅原, 大山他3名 G.T.S.J 第6回定期講演会  
論文集
- (6) 大山, 菅原他1名 G.T.S.J 第4回定期講演会  
論文集

**1980年ASMEガスタービン会議の論文募集(石炭利用)  
が下記のようにきておりますので、お知らせいたします。**

The 25th International ASME Gas Turbine Conference and Products Show will be held March 9-13, 1980, in New Orleans, Louisiana.

The Coal Utilization Committee is planning to have five technical sessions at this conference. Papers are invited concerning aspects on coal utilization.

Authors wishing to offer a paper should submit an abstract to Dr. Juliani Gatzoulis, Vice Chairman, Coal Utilization Committee, P.O. Box 97, Rockville, MD 20850.

I am looking forward to hearing from you as soon as possible.

Juliani Gatzoulis  
P.O. Box 97  
Rockville, MD 20850  
U. S. A.

# ●●●研究だより●●●

## 防衛大学校の紹介 (熱工学関連研究室)

防衛大学校 機械工学教室 \*井口 泉  
鶴野 省三

### 1. 沿革

防衛大学校は昭和28年保安大学校として開校され、以来自衛隊(当時保安隊)の幹部養成にあたり、今日はや4半世紀を過ぎようとしている。本校の特色は、設立当時においてフランスの陸軍砲兵学校のような例を除くと世界に先がけて、士官学校としては珍らしく大学設立基準に基づいた理工学教育を行なうこととした点にあった。これは第2次世界大戦における苦い体験から発案されたもので、各国の注目を集めたものであった。今日では諸外国でも本校にならい大学教育レベルでの理工学教育が取り入れられ、その意味で先駆的試みであったと思われるが、今後はさらに今までの路線を革新充実していく必要に迫られているといえよう。

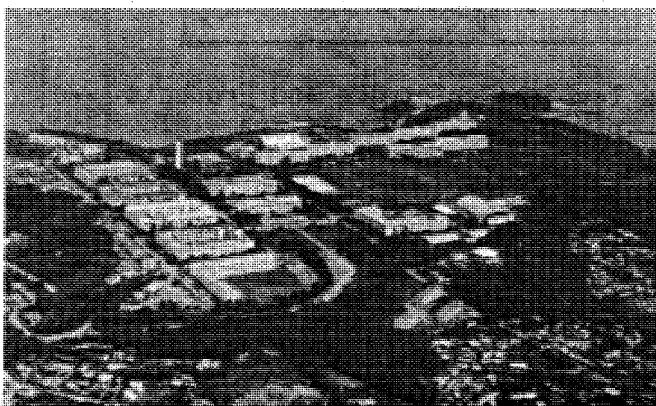


写真1 防衛大学校の全景

キャンパスは三浦半島の東南端観音崎(神奈川県横須賀市)に連なる小高い山なみの一つである

小原台上にあり敷地63万㎡で、本科学生約2000名、研究科(修士コース)学生約150名が学んでいる。本科学生は全員寄宿舎生活を送り、研究科学生には学生寮もあり希望すれば利用できるようになっている。

本科学生は第2学年より専門課程に分かれ、理工系には電気、機械、土木、応用化学、応用物理、航空の6専攻があり、人社系としては国際関係論、管理学がある。研究科は本科とは別系列として昭和39年より発足したが、昭和50年で予定の50系列(講座に相当)が完了した。そして研究科学生は陸、海、空自衛隊幹部並びに防衛庁技官の中から選抜試験により毎年70~80名採用され、各系列に1~2名の割合で割当てられている。

本科学生のカリキュラム構成は一般教養(人文、社会、語学、数学、物理等)、理工学基礎および専門科目からなり、理工学基礎は理工系学生が専攻別に拘らず共通的に必要とする素養を与えることを目的として、物理学、数学、流体力学、熱力学、材料力学等が含まれている。またこの他に防衛学(戦史、防衛工学等)が30単位あり、本科学生には前述の教養、専門課程と合せて体育9単位、選択14~20単位を含み約186単位の課程が用意されており、かなり重い負担となっている。

研究科では一般大学修士課程と同じような内容の課程が実施されているが、系列の中には本校独得のものが多い。また学生は一度部隊または研究所等を経て来るので、一般大学の学生に比べ勉学

(昭和54年4月13日原稿受付)

\* 現 福井工業大学

上の空白があり、入校当初はその空白を埋めるため相当の努力が要求されているが、一方実社会の経験が勉学上プラスになる面も多い。

以上防衛大学の概要を理工学系を中心に説明してきたが、一般的な説明はこれまでとし熱工学関係の講座、系列の構成について説明させていただく。

## 2. 熱工学関係の研究室について

熱工学関係の講座、系列は主として機械工学および航空工学教室に配置され、一部（燃焼関係）は応用物理教室に配置されている。その構成は熱工学第1講座、同第2講座、原動機系列（以上機械工学）、航空原動機第I講座、同第II講座、噴射機関係系列（以上航空工学）、燃焼および爆発系列（応用物理学）となっている。各講座系列の主な施設、研究内容等を紹介すると次のようなものである。

2-1 熱工学第I講座 ここでは蒸気原動機に関連した講義を担当し、研究は蒸気性質とりわけエンタルピの測定に関して行なわれている。設備としては横山水缶ボイラー、クレイトンボイラー、タービン翼列試験風洞、エンタルピ測定装置等がある。

2-2 熱工学第II講座 熱I講座が蒸気原動機を中心とした講義を担当しているのに対し、ここでは内燃機に関する講義を担当している。研究は伝熱に関するもの（対流伝熱）で、設備としては伝熱研究用の風洞（煙風洞、低速風洞）および教育関連機器として各種内燃機とその試験装置がある。

2-3 原動機系列 本系列は熱I、熱II講座に関連して設置された研究科系列で、ガスタービン、ディーゼル機関の教育を担当している。ガスタービンおよび伝熱に関する研究を行っており、設備としては低乱風洞およびこれに関連した伝熱用実験機器がある。

2-4 航空原動機第I講座 本講座は主として航空用ガスタービンに関する教育を担当しており、翼列とガスタービンに関する熱伝達の研究を行なっている。設備はターボ翼素性能実験装置、ターボ圧縮機実験装置、ターボ羽根車実験装置、ガスタービン等がある。

2-5 航空原動機第II講座 航空原動機I

が航空機用のエンジンを主としているのに対して、航空原動機IIはロケットエンジンに関する教育を担当している。研究内容はロケットエンジンの性能、熱伝達および、防熱冷却方法、推進薬の燃焼に関係したものである。設備は液体ロケット・エンジンの地上燃焼装置、プラズマ装置、分光計レーザー流速計がある。

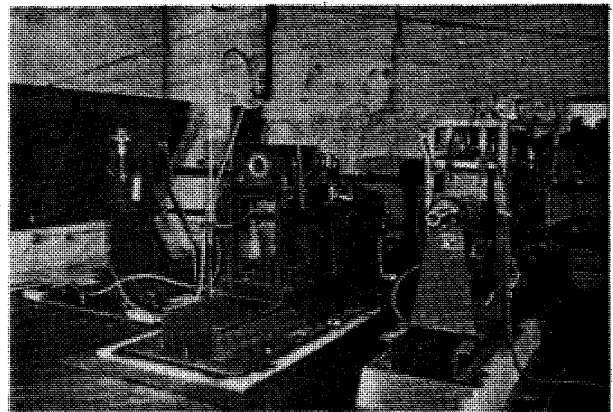


写真2 ロケット実験室

2-6 噴射機関係系列 本系列は本科航空原動機IIに関連して設置された研究科系列である。設置以来主としてロケット・エンジンに関連した教育を実施していたが、さらにターボジェット・エンジン、熱エネルギー利用、動力変換をも含めた教育を行なうように改められた。研究はロケット・エンジンに関連した熱伝達、推進薬の燃焼、翼列、二相流等について行なわれており、実験設備は本科航空原動機I、IIと共用している。

2-7 燃焼および爆発系列 本系列は燃焼現象に伴う高温物理化学の基礎的諸問題の知識、実験技術に関する教育を担当しており、燃焼現象、高温物理化学および電磁流体力学発電への応用に関する研究を行なっている。設備はレーザー流速計、MHD燃焼装置等がある。

以上で防衛大学とそのにおける熱工学、燃焼工学関連研究室についてその概略を述べた。今回の記事には防衛大学そのものの紹介も兼ねたため、研究室の内容については少し簡単すぎたように思われる。機会があれば研究室の動向等についても紹介したいと思うものである。



## 第24回国際ガスタービン会議 (San Diego) に参加して

第24回ASME国際ガスタービン会議は、米  
国カリフォルニア州サンディエゴ市に於て3月11  
日夕方の Early Bird Reception を皮切  
りに、3月12日から3月15日まで San Di-

ego Civic Theater と Westgate Ho-  
tel の二会場で講演発表があり、これと並行し  
て製品の展示も行なわれ、多数の参加者があつた。

### 基 礎 技 術

航空宇宙技術研究所 松 木 正 勝

#### 1. 会議の概要

今回は第1回ASME太陽エネルギー会議と共  
催となっており、将来の新エネルギー利用に対す  
るガスタービン側の協力を印象付けられた。

発表講演件数283件、パネル7件であつたが、  
それをセッション別および国別に分類すると第1  
表の如くである。米国が206件で全体の約2/3  
を占めている。米国の講演の中でクロード・サイ  
クル、石炭利用および燃焼、燃料関係総数70  
件(総数の約34%)の殆んどは石炭利用に関す  
るものであり、米国のエネルギーの将来に対する  
国策に呼応する工業技術界の姿勢が窺われた。ま  
た新材料としてのセラミックス関係は20件あり、  
耐熱合金関件も4件あつて米国が今後の技術開発  
において材料の開発を重点の一つとしていること  
を認識させられた。

またガスタービンの使用に関するものとしては、  
パイプライン、プロセス、発電、船用に関して33  
件の発表があり、ガスタービンの利用が拡大しつ  
つあることが窺われた。

ガスタービンの基礎技術関係としてはターボ機

械15件、振動関係11件、冷却タービン5件な  
どがあり、この方面も着実に進歩している。

英国、西独はそれぞれ22、21件であつたが、  
西独はクロード・サイクルとターボ機械に発表  
が集中しており、これはガスタービンの利用の段  
階の差の様に思われた。

カナダからの発表10件の大部分は石炭利用と  
パイプライン関係で、国情を思わせた。日本から  
は6件の発表があつたが、その半数はターボ機械  
であり、わが国のガスタービンがまだ十分に利用  
期に入っていないことを反映していた。

#### 2. 基礎技術関係のセッションについて

##### 2-1 セラミックス

第2表に内容の概要を示す。セラミック軸受が  
進んでいること、その他のセラミック部品および  
その構造体としての適合、自動車用への利用、お  
よび世界のセラミックの概要が述べられた。セラ  
ミックの研究は精力的に進められてはいるが、ま  
だガスタービン部品としての信頼性を確立するま  
では至ってなく、基礎から利用まで広く研究が  
進められつつあり、何らかの突破口が開かれると  
利用が急速に進むものと思われ、わが国でも将来  
の重要な材料の一つとして研究に力を入れるべき

(昭和54年5月2日原稿受付)

第1表 参加国とセッション別発表講演数

THE 24TH ANNUAL INTERNATIONAL GAS TURBINE CONFERENCE AND FIRST ASME SOLAR ENERGY CONFERENCE

SESSION	USA	UK	WG	CAN	JPN	OTHERS	TOTAL	PANEL
AIRCRAFT	15(5)	2					17(5)	-
CERAMICS	20(5)		3				23(5)	1
CLOSED CYCLES	20(6)		7(2)			FR 2, SWZ 2(1)	31(9)	
COAL UTILIZATION	16(2)						16(2)	
COMBUSTION & FUELS	34(1)	3(1)		3	1		41(2)	
CONTROLS	1(1)	2					3(1)	
EDUCATION							0	1
ELECTRIC UTILITIES	4		1				5	2
HEAT TRANSFER	6	3				FR 1, BEL 1, SWZ 1, TURK 1	13	1
MARINE	10(2)	1				ITL 1, FR 1	13(2)	
PIPELINE APPLICATIONS	11(4)	4	1	4		SWD 1	21(4)	
PROCESS INDUSTRIES	8(3)	1		1(1)			10(4)	
STRUCTURES & DYNAMICS	11(1)				1	AUSTRALIA 1	13(1)	
TECHNOLOGY RESOURCES	3(1)						3(1)	1
TURBOMACHINERY	15(1)	5	8	1	3	BEL 2, IND 1, S. AFR 1, FR 1	37(1)	
VEHICULAR	3(1)	1	1	1	1		7(1)	1
SUB TOTAL	177(43)	22(1)	21(2)	10(1)	6	17(1)	253(48)	7
SOLAR ENERGY & OTHERS*	29(1)			1			30(1)	
TOTAL	206(44)	22(1)	21(2)	11(1)	6	17(1)	283(49)	7

\* ガスタービン関係セッションとの重複分を除く。

( ) 口頭発表のみの内訳。

表もあった。ガスタービンの利用が進むにつれて各種の燃料に対処する必要が増して来ることに対する対応であろう。

2-3 制御

最近のマイクロプロセッサの進歩は目覚ましいものがあるが、これをガスタービンの制御に使用する問題について3件の発表があった(第4表)。

外部からの要求に対してガスタービンを最適に制御する為には、電算機を利用することが望まれるが、最近の小型電算機がそれを可能にした。更にエンジンの監視にも利用する動きがある。今後はこの方面で大きな進歩があるものと思われるが、その為には信頼性の向上が最も重大な問題となる。

第2表 CERAMICS

Ceramic Bearing	5
Ceramic Components	5
Vehicular Ceramics	5
Ceramic Technology	8

Panel: Overseas Ceramics

であると思われる。

2-2 燃焼と燃料(第3表)

燃料の多様化が求められており、最重点としての石炭については別のセッションがあったが、この中にも石炭関係の発表があり、燃料が今後の重要問題となることに呼応していた。低質燃料による大気汚染と対策の発表もあり、触媒燃焼の発

表3表 COMBUSTION AND FUELS

Alternate Fuels	15
Emission Control Technology	8
Measurement Technology	3
Fluidized Bed Combustion	6
Combustion Hardware Developments	4
Combustion Research	5

第4表 CONTROLS

Impact of Microprocessors on Controls	3
---------------------------------------	---

## 2-4 熱伝達, 冷却

現在の高温タービンは空冷技術によって支えられており, この関係で12件の発表があった(第5表)が, 低質燃料, 石炭ガスなど燃料の変化に対しては水冷翼なども考慮する必要があり, 水冷翼関係で4件の発表があった。

## 第5表 HEAT TRANSFER

Film Cooling	3
Heat Transfer in Turbine System	4
Turbine Blade Heat Transfer	5
Panel : Compact Heat Exchanger Mechanical Design Problems	

タービン入口温度の上昇はガスタービン技術の永年の課題であり, 各方面からのアプローチが続けられつつある。

## 2-5 構造と振動(第6表)

ガスタービンの故障の第一は, 各種振動による疲労破壊であり, これに対する各種の対策の発表があった。小型, 高速, 軽量, 高圧化が進むにつれて振動問題の重要性は増して来る。新しいバランスの取り方, 減衰の与え方など目新しいものがあつた。

## 第6表 STRUCTURE AND DYNAMICS

Structural Analysis and Failure	3
Forced Vibration and Flutter of Blades	5
Mechanical Vibration	5

## 2-6 ターボ機械(第7表)

ターボ機械関係では37件の発表があり, 内訳は第7表の如くである。遷音速タービン翼と三次元流れに関するもの5件があつた。また非定常問題を取扱ったものが9件と多かつた。

タービン効率の向上のためには翼端間隙の制御と冷却空気の影響が重要でありこの関係5件があつた。基礎的な問題としてターボ機械内の乱流に

## 第7表 TURBOMACHINERY

Turbine Cascade and Three Dimensional Flow Studies	5
Unsteady Flows in Turbomachines	9
Endwall Leakage and Cooling Flows in Turbines	5
Turbulence in Turbomachinery	4
Centrifugal Compressor Aerodynamics	4
Axial Compressor Aerodynamics	10

関するもの4件, 遠心圧縮機に関するもの4件, 軸流圧縮機に関するもの10件があつた。

## 2-7 複合サイクルについて

複合サイクルにすることにより熱効率を向上させることは衆知の事実であり, 適所では利用されつつあるが, 今回は特に要素効率が高く圧力比の高い航空転用ガスタービンに再熱を追加することによって総合効率を上げる提案があつた。今後のガスタービンの効率向上の方向を示唆したものと思われる。

## 3. 結 び

以上今回のガスタービン会議の概要を述べたが講演発表は十数室で並行して行われているためすべての講演を聞くことは不可能で, 興味ある題目を選んで参加するしかなく, 全般についてはペーパーから得た情報によって記述したが, 最近のガスタービン技術の動向の様なものうかがえたと思う。ガスタービン技術は航空用ガスタービンの進歩に支えられて特に米国で急速に進歩しつつあり, わが国のガスタービン関係者がこれに遅れることなく進むためには一層の努力が望まれる。

## 産業用ガスタービン

三菱重工業株式会社 竹矢一雄

産業用ガスタービンに関連する論文の発表部数から見た米国における研究・開発の傾向は、電力事業に対するカーター政権のエネルギー政策が大きく影響し、石炭利用に関係する論文が、“Coal Utilization” 26編、“Combustion & Fuel” 41編、“Closed Cycle” 26編あり、産業用の分野では非常に大きな比率となっている。しかしながら一時期華々しく取上げられていた石炭ガス化技術の開発が遅れ気味であることに起因し、二次素に相当するガスタービン自体の開発計画もかなりスロウダウンしている模様である。又流動床によるガス化の対抗技術として、外燃方式の石炭焚きクロードサイクルが見直し気運にあり、この関係の基礎的研究が活発化している。

コンバインドサイクルによる熱効率の向上も、石炭火力を相手とする以上、燃料対策と歩調を合せなければならず、天然ガス(含LNG)或いは灯油を使用しているのは効率議論になり難い環境下にある様に見受けられた。

新機種開発に関する技術論文は少なく、GEからFR-6000をFR-7000からの“Scale Design”で小型、高速化を行った開発手法の発表があった程度である。

コンバインドサイクルの総合効率を改善して、従来火力以上の高効率化を計る方法として、机上計算だけであるが、元ASMEガスタービン部門の会長で1977年の東京大会でも顔馴染のI. G. Rice氏がレヒートガスタービンを提案した。同氏の説明要旨は、現在実存している最新鋭のガスタービンを利用したコンバインドサイクルの実現可能な発電端効率はLHVで45~46%が限度である。ガスタービン単独としては航空転用型で高圧縮比の機種は、産業用の大型機種よりも3~4%高い効率を得られるが、コンバインドサイクルとした場合には、二次側の蒸気サイクルでの回収率が悪く、総合的には両者の差はなくなってしまう。そこで高圧縮比の航空転用型のメリットを生かす手段として、ガス発生器と出力タービン

の間に再燃器を設けたレヒートガスタービンを提案している。レヒートにより、比出力は大幅に増加し、ガスタービン単独効率は若干低下するが排ガス温度が高く、蒸気サイクルでの回収率が增大する。その結果総合熱効率は48~49%に達することが可能である。

〈筆者注：参考までに現在工技院ムーンライト計画で検討中のレヒートガスタービンの概念設計について、Rice氏他数名の著名な専門家に個別的に意見を求めたところ、高効率化の手段として極めて有効である。と一様に興味と関心を示していたことを付記する〉

燃焼関係では公害対策としての“Catalytic Combustor”に関する論文が4編あり、将来の低NOx対策としての期待を持たれている。又石炭ガス化に焦点を合せた“Low BTU Gas”燃焼の研究が6編あった。日本からは日立製作所から排ガスの高温脱硝について、通常の触媒脱硝の前段としてNH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>の噴射による無触媒脱硝の研究発表があった。

本大会では初めて“Solar Energy”との共催ということで、“Solar Energy”を熱源としたクロードサイクル及び“Solar/Fossil”のガスタービンシステムに関する研究をUTC, NASA から発表された。

新発電方式としてMHD-蒸気サイクルの中間に1350°Kの空気タービンを挿入したカスケード方式によって熱効率が3~3.5%上昇し、総合効率50%が可能との発表があった。

“Product Show”で筆者にとって印象的であったものの一つは高温部品の補修再生技術の進歩である。タービン動、静翼で原寸の半分程度に腐蝕、損傷したものを、新品同様に再生する専門メーカーが多数出品しており、経済的なメリットについては即断出来ないが、省資源対策にもなるし、原油等の低品位燃料によるベースロード運用が増加している中近東では企業として定着しつつある様に見受けられた。これに関連し水洗脱塩処理を行わない原油生焚き需要の増大に対処して、

対蝕コーティングと添加剤関係の出展が目立った。

日本からは、川崎重工、石川重播磨重工の二社が出展し、前者は小型ガスタービン発電設備の電源車が出品され、後者はIM-5000のモデル、パネルが中心であった。

その他GEはビデオテープによる目標効率50%の水冷却タービンの開発経過、FR-7000

用の新旧燃焼器の比較（実物展示）、ウェスチングハウスはセラミックタービン、触媒燃焼等の新技術のパネル、カーチスライトはトランスピーション翼の展示が、それぞれ将来技術の展望として展示されていた。

精密鑄造メーカーからは多くのサンプルが展示されていたが、一方向凝固の複雑な冷却翼が目立った。

## 航空用ガスタービン

石川島播磨重工業株式会社 伊藤源嗣

### 1. 全般

今年度のガスタービン会議における航空機用ガスタービンに関する発表は例年に比べやや少数であったが質的にはすぐれたものが見受けられた。

空気力学関係ではまず単独翼の分野で大きな成功を収めたスーパー、クリティカル翼型を進展させ遷音速圧縮機翼列に適用する試み<sup>1)</sup>が発表されていた。翼列試験の結果では設計点でも、又設計点からずれた入射角の状態でもすぐれた性能が得られている。この種の翼型は将来の圧縮機翼型として注目されているものである。

サージ現象は航空用ガスタービンではある程度避け難いが、近年の軽量化および高圧力比化の要求のために、サージ現象が起きた時に構造的にどのような力が生じるかを正確に見積る必要が強くなって来ている。比較的簡単なモデルによりサージにより惹き起される力を推定し、構造強度設計上必要な推定値を得る試み<sup>2)</sup>が発表された。

燃焼に関する論文は比較的数量多く発表されたが、まず流体素子スイッチを用いて一定の作動状態において流入空気の一部をバイパスさせ燃焼器出口に導くことにより排気中の有害成分の排出を減少させる基礎研究が行われ有望な結果の得られた<sup>3)</sup>ことが報告された。

小型ガスタービンの燃焼器はアイドリング時に低圧、低温で作動し、容積当りの表面積が大きく又複雑なシステムを採用し難いため排気中の有害成分の低減が困難であるが、JT15Dの燃焼器の低エミッション化のための手法とデータが紹介された<sup>4)</sup>。

伝熱関係としては、燃焼器ライナーに多孔の薄板重ね合せ構造材（薄板同士は拡散接合で一体化する）を採用した場合の冷却効率、成形上の問題、作動上、耐久上の問題等が紹介された<sup>5)</sup>。

また燃焼器ライナーのフィルム冷却効率に及ぼすフィルムの乱れの影響に関する予測と実験の対応が発表された<sup>6)</sup>。

振動に関しては共振により割れが頻発したファン入口案内翼に、エネルギーを分散する多層の粘着層（各粘着層はAL箔により分離されている）より成る振動減衰ラップを接着させることにより解決した事例<sup>7)</sup>が報告された。

エンジン全体としては、575HPから出発し現在では1,040HPに成長しているTPE331エンジンの設計、成長に関する報告<sup>8)</sup>、VTOLエンジンに関する報告等が行われた。

### 2. GATE

現今専らピストン、エンジンの分野とされている小型機のエンジンを10年後を目標にガスタービン化しようという計画（GATE計画）がNASAのプログラムとして進められている<sup>9)</sup>。

目標とする出力範囲は150～1,000HPで、この内特に力を入れているのは350～600HPの範囲である。

現用のガスタービンの燃料消費率は1,500HP以上ではほぼ一定であるが、それ以下の小型機種では馬力が下るにつれて高くなり、400～500HPにおいては20%位高くなっている。GATE計画では上記出力範囲で1,500HP以上の現用エンジンと同等の低燃費率を実現しようというもの



対蝕コーティングと添加剤関係の出展が目立った。

日本からは、川崎重工、石川重播磨重工の二社が出展し、前者は小型ガスタービン発電設備の電源車が出品され、後者はIM-5000のモデル、パネルが中心であった。

その他GEはビデオテープによる目標効率50%の水冷却タービンの開発経過、FR-7000

用の新旧燃焼器の比較（実物展示）、ウェスチングハウスはセラミックタービン、触媒燃焼等の新技術のパネル、カーチスライトはトランスピーション翼の展示が、それぞれ将来技術の展望として展示されていた。

精密鑄造メーカーからは多くのサンプルが展示されていたが、一方向凝固の複雑な冷却翼が目立った。

## 航空用ガスタービン

石川島播磨重工業株式会社 伊藤源嗣

### 1. 全般

今年度のガスタービン会議における航空機用ガスタービンに関する発表は例年に比べやや少数であったが質的にはすぐれたものが見受けられた。

空気力学関係ではまず単独翼の分野で大きな成功を収めたスーパー、クリティカル翼型を進展させ遷音速圧縮機翼列に適用する試み<sup>1)</sup>が発表されていた。翼列試験の結果では設計点でも、又設計点からずれた入射角の状態でもすぐれた性能が得られている。この種の翼型は将来の圧縮機翼型として注目されているものである。

サージ現象は航空用ガスタービンではある程度避け難いが、近年の軽量化および高圧力比化の要求のために、サージ現象が起きた時に構造的にどのような力が生じるかを正確に見積る必要が強くなって来ている。比較的簡単なモデルによりサージにより惹き起される力を推定し、構造強度設計上必要な推定値を得る試み<sup>2)</sup>が発表された。

燃焼に関する論文は比較的数量多く発表されたが、まず流体素子スイッチを用いて一定の作動状態において流入空気の一部をバイパスさせ燃焼器出口に導くことにより排気中の有害成分の排出を減少させる基礎研究が行われ有望な結果の得られた<sup>3)</sup>ことが報告された。

小型ガスタービンの燃焼器はアイドリング時に低圧、低温で作動し、容積当りの表面積が大きく又複雑なシステムを採用し難いため排気中の有害成分の低減が困難であるが、JT15Dの燃焼器の低エミッション化のための手法とデータが紹介された<sup>4)</sup>。

伝熱関係としては、燃焼器ライナーに多孔の薄板重ね合せ構造材（薄板同士は拡散接合で一体化する）を採用した場合の冷却効率、成形上の問題、作動上、耐久上の問題等が紹介された<sup>5)</sup>。

また燃焼器ライナーのフィルム冷却効率に及ぼすフィルムの乱れの影響に関する予測と実験の対応が発表された<sup>6)</sup>。

振動に関しては共振により割れが頻発したファン入口案内翼に、エネルギーを分散する多層の粘着層（各粘着層はAL箔により分離されている）より成る振動減衰ラップを接着させることにより解決した事例<sup>7)</sup>が報告された。

エンジン全体としては、575HPから出発し現在では1,040HPに成長しているTPE331エンジンの設計、成長に関する報告<sup>8)</sup>、VTOLエンジンに関する報告等が行われた。

### 2. GATE

現今専らピストン、エンジンの分野とされている小型機のエンジンを10年後を目標にガスタービン化しようという計画（GATE計画）がNASAのプログラムとして進められている<sup>9)</sup>。

目標とする出力範囲は150～1,000HPで、この内特に力を入れているのは350～600HPの範囲である。

現用のガスタービンの燃料消費率は1,500HP以上ではほぼ一定であるが、それ以下の小型機種では馬力が下るにつれて高くなり、400～500HPにおいては20%位高くなっている。GATE計画では上記出力範囲で1,500HP以上の現用エンジンと同等の低燃費率を実現しようというもの

である。

このプログラムに参加しているのは Detroit Diesel Allison, Garrett/AiResearch, Teledyne CAE, Williams Research の4社で、それぞれ特徴のあるエンジンを提案している。

DDAは性能・重量・整備性に特に力を入れ、現用大型機種なみの特性が得られることを目標にして居る。反面高価なエンジンになっている。

他の三社は性能・重量を多少犠牲にしてピストン・エンジンなみの低コストを達成しようとしている。GarrettとTeledyneはガスジェネレータが遠心圧縮機とラジアル・タービンの組合せで、Teledyneは一軸エンジンを採用し、Garrettは二軸で出力タービンには軸流タービンを採用している。ガスジェネレータ・タービンもTeledyneは無冷却、Garrettは空冷タービンという違いがある。

Williams Researchは一軸のエンジンで軸流圧縮機と軸流タービンとを採用し、安い製作法と設計性能の妥協点を探し求めている。

四社いずれもCommon Coreと称し、例えば365HPのエンジンのコアに対し入口案内翼を追加して空気流量を減ずることにより265HPに、また圧縮機とタービンの段数増により565HPのエンジンが得られるように、各出力のエンジンの共通化を図りコストダウンを実現しようとしている。

#### 文 献

- |                                       |              |
|---------------------------------------|--------------|
| 1) 79-GT-11                           | 2) 79-GT-91  |
| 3) 79-GT-197                          | 4) 79-GT-136 |
| 5) 79-GT-100                          | 6) 79-GT-200 |
| 7) 79-GT-163                          | 8) 79-GT-164 |
| 9) NASA TECHNICAL MEMORANDUM<br>79075 |              |

## 自動車用ガスタービン

日産自動車中央研究所 伊藤高根

### 1. 全般的印象

自動車用ガスタービンエンジンに関して言えば、例年に比らべて少し低調だなどの印象を受けた。1977年東京大会の時は総論文数69件中、自動車用は15件と約20%であったのに対し今大会においては総論文数256に対して12件と5%程度の数であった。又、同時に開催されたプロダクツショウの方も自動車用ガスタービンに関連した出品は皆無に等しく、ギャレットがITI-601エンジンのパネルを出していたのが唯一といってよい。但しこの状況から判断して自動車用ガスタービンの研究開発がslow downしたと見るのは早計であろう。私なりに解釈するならば、むしろASME大会以外にも発表の機会が多いため、相対的にASME大会の方が少なくなったのではないかと思われる。たとえばSAE大会、DOE主催のコントラクターズミーティングなどが前後して開かれており、そちらの方でもかなりの発表がある。理由はともあれ、今大会において自動車用ガスタービン関係のテクニカルセッションはパネルディスカッション1つを含め4

つ、内1つはセラミックスとの共催であった。

### 2. 具体的内容

以下セッションごとに概要をのべる。

#### 2-1 Session 18-Vehicular Turbine Considerations

論文は4点あり内2点は制御関係、1点は建設機械等の重荷重車輛用ガスタービンとして考えたCO-Turboshaftと名づけた新しいコンセプトのシミュレーション計算、もう1点は乗用車用高温タービンの燃費検討および動的シミュレーションのための熱交換器部分のとり扱いに関するものであった。<sup>\*</sup>制御理論を2軸ガスタービンに適用し、制御系を設計しテストした結果の発表で、今後の1つの行き方を示すものと云えよう。CO-Turboshaftエンジンは2軸式のタービンに於て軸流コンプレッサーのケーシングを遊星ギアを介してパワータービン軸とアウトプット軸に接続しケーシングを回転させることによってコンプレ

<sup>\*</sup> 制御関係の内、英国から発表された物は、多変数

である。

このプログラムに参加しているのは Detroit Diesel Allison, Garrett/AiResearch, Teledyne CAE, Williams Research の4社で、それぞれ特徴のあるエンジンを提案している。

DDAは性能・重量・整備性に特に力を入れ、現用大型機種なみの特性が得られることを目標にして居る。反面高価なエンジンになっている。

他の三社は性能・重量を多少犠牲にしてピストン・エンジンなみの低コストを達成しようとしている。GarrettとTeledyneはガスジェネレータが遠心圧縮機とラジアル・タービンの組合せで、Teledyneは一軸エンジンを採用し、Garrettは二軸で出力タービンには軸流タービンを採用している。ガスジェネレータ・タービンもTeledyneは無冷却、Garrettは空冷タービンという違いがある。

Williams Researchは一軸のエンジンで軸流圧縮機と軸流タービンとを採用し、安い製作法と設計性能の妥協点を探し求めている。

四社いずれもCommon Coreと称し、例えば365HPのエンジンのコアに対し入口案内翼を追加して空気流量を減ずることにより265HPに、また圧縮機とタービンの段数増により565HPのエンジンが得られるように、各出力のエンジンの共通化を図りコストダウンを実現しようとしている。

#### 文 献

- |                                       |              |
|---------------------------------------|--------------|
| 1) 79-GT-11                           | 2) 79-GT-91  |
| 3) 79-GT-197                          | 4) 79-GT-136 |
| 5) 79-GT-100                          | 6) 79-GT-200 |
| 7) 79-GT-163                          | 8) 79-GT-164 |
| 9) NASA TECHNICAL MEMORANDUM<br>79075 |              |

## 自動車用ガスタービン

日産自動車中央研究所 伊藤高根

### 1. 全般的印象

自動車用ガスタービンエンジンに関して言えば、例年に比らべて少し低調だなどの印象を受けた。1977年東京大会の時は総論文数69件中、自動車用は15件と約20%であったのに対し今大会においては総論文数256に対して12件と5%程度の数であった。又、同時に開催されたプロダクツショウの方も自動車用ガスタービンに関連した出品は皆無に等しく、ギャレットがITI-601エンジンのパネルを出していたのが唯一といってよい。但しこの状況から判断して自動車用ガスタービンの研究開発がslow downしたと見るのは早計であろう。私なりに解釈するならば、むしろASME大会以外にも発表の機会が多いため、相対的にASME大会の方が少なくなったのではないかと思われる。たとえばSAE大会、DOE主催のコントラクターズミーティングなどが前後して開かれており、そちらの方でもかなりの発表がある。理由はともあれ、今大会において自動車用ガスタービン関係のテクニカルセッションはパネルディスカッション1つを含め4

つ、内1つはセラミックスとの共催であった。

### 2. 具体的内容

以下セッションごとに概要をのべる。

#### 2-1 Session 18-Vehicular Turbine Considerations

論文は4点あり内2点は制御関係、1点は建設機械等の重荷重車輛用ガスタービンとして考えたCO-Turboshaftと名づけた新しいコンセプトのシミュレーション計算、もう1点は乗用車用高温タービンの燃費検討および動的シミュレーションのための熱交換器部分のとり扱いに関するものであった。\*制御理論を2軸ガスタービンに適用し、制御系を設計しテストした結果の発表で、今後の1つの行き方を示すものと云えよう。CO-Turboshaftエンジンは2軸式のタービンに於て軸流コンプレッサーのケーシングを遊星ギアを介してパワータービン軸とアウトプット軸に接続しケーシングを回転させることによってコンプレ

\*制御関係の内、英国から発表された物は、多変数

ッサーの相対速度を変え、アウトプット軸の回転が落ちるにつれてガス発生機回転数が増える様にし、ストールトルク比を飛躍的に上げ変速機を単純化しようというものである。ガスタービンと遊星ギアとの組合せは今後も面白いコンセプトを生む可能性がある。

## 2-2 Session 28-Competitive Status of Current and Projected Gas Turbines & Diesels for Vehicular Service

このセッションはパネルディスカッションでパネリストはDDA, IH, ITI, Cumins から1名ずつ参加した。主としてトラック、バス用の大型のものについての議論であり、DDA, ITIはガスタービンメーカー、IHはハイウエイトトラックユーザー、Cumins はディーゼルメーカーと云う立場での発言があった。ディーゼルはもう改良しつくされている様にも思えるが今後断熱エンジンにしターボコンパウンドにすることによりきわめて高効率のエンジンができるなどの話もあった。エンジンが大馬力化の傾向にある中で、ガスタービンの小型大馬力、無振動、信頼性、整備性の良さなどの利点は認識されてはいるが、大量に造らねばコストはさがらず、又、大量に出回るためには全国のサービス体制を整備せねばならぬなどのジレンマがあり実際に市場にガスタービンが入るのは仲々大変という気がした。米国ではDOEの計画でDDAのエンジンを使い8年間、実際の路線バスなどに入れて実績をつくることをはじめている様である。

## 2-3 Session 40-Internal Flow Effects on Gas Turbine Engine

3点の論文発表があった。1つはGMの乗用車用ガスタービンGT-225を用い、熱交換器からの内部エアもれが性能にどう影響するかをもれの箇所、量を種々変えて調らべている。高温側のリムシールからのもれが最も影響が大きいとしている。計算によってもある程度推定はできると思われるが、わざわざバイパスダクトをつけて実験をしている理由は定かでない。他の2つはDDAのGT404/405の性能向上について発表およびカミンズのターボチャージャー用タービンのケーシングの設計法に関するものであった。

## 2-4 Session 42-Vehicular Ceramics

ここ数年のトピックス的存在としてガスタービンのセラミック化がとり上げられているが、まだガスタービン部品の形状を造り出す製法を模索している段階でようやく静止部品ができるようになり回転体に挑戦しているといった状態と思われる。Ford, Ai Research, Carborundom, DDAが静止部品および回転体についての製造およびエンジン内での実験結果を発表し、又ドイツからSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>を用いたRecuperatorの実験結果の発表があった。強度的にも製造の面からもきわめてむづかしいタービンローターについては特に機械設計屋とセラミックス設計屋が密にコンタクトし共同で当らねばうまいものは出来ないと思われるが、両者協力の結果だとしてラジアルタービンローターの成功例がCarborundomより示された。ドイツから発表のあった熱交換器の研究は今後の1つの傾向を示すものと思われる。即ち、今まで自動車用ガスタービンの熱交換器は小型高効率と云う事で、Regenerator がほとんどの場合選ばれてきたが、ガスタービンのセラミックス化に見られる様に高温ガスタービンになると比出力がきわめて大きくなり、空気流量が少なくなる為Recuperatorをつけてもそれほど嵩ばらなくなってきた。Regeneratorは摺動部分があり、空気もれがさけられず、特に小型ガスタービンではもれは致命的になる恐れがあり、Regeneratorで行くか、Recuperatorで行くかが大きな問題となりそうである。但し、Recuperatorと云えどもセラミックスで造る場合壁面を通すもれを零にするのは難かしく、ダクトの継ぎの問題とともに今後の研究開発を必要とするであろう。

## 3. 今後の動向

今大会だけからは判断できないが、自動車用ガスタービンの開発動向としては、大型のものはそろそろ実用段階に入っており、コストを含めて市場へ入ることを念頭にした開発が必要となると思われるが、乗用車を対象とした小型については、1軸か2軸かといったコンセプト選択の問題、セラミックス化の問題、アイドル燃費低減方策、コストアナリシス、CVT開発などが検討されるであろう。

# 新製品紹介

## ニイガタ・ソーラー・ガスタービン発電装置

新潟鉄工所 猪木恒夫

新潟鉄工所は、このたび産業用ガスタービンの分野で世界のトップメーカーである米国ソーラー・タービンス・インターナショナル社との提携のもとに、ニイガタ・ソーラーCNT-1000形(900kW)およびCNT-4000形(3000kW)ガスタービン発電装置を発表しました。この発電装置は、それぞれ、ソーラー社のサターン(Saturn)形およびセントール(Centaur)形ガスタービンと国産発電機とをカップルし、主として日本国内需要を対象として、コンパクトにパッケージ化したものです。

なお、本装置に必要な機器の製作・調達・組立・試運転・据付工事およびアフターサービスなどすべて新潟鉄工所が責任をもってこれを行うものです。

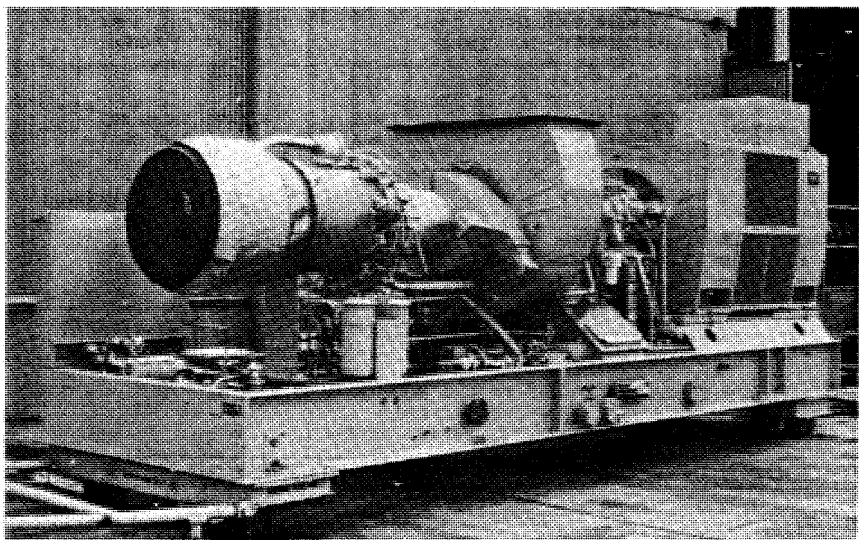
以下に本装置の構成・仕様・特徴を紹介します。

### 1. 装置の構成の概要

本発電装置は、ガスタービンと発電機をカップルした本体部分と、別置きガスタービン制御盤、発電機盤、直流電源装置、始動用空気装置(空気始動の場合のみ)により構成されております。

パッケージ本体部分は、潤滑油タンクを内蔵した鋼製ベース上にガスタービン、発電機、潤滑油

冷却器などが取付けられ、さらに運転に必要な補機類がコンパクトにまとめられております(第1図参照)。通常この本体部分は防音エンクロージャで覆われ、内部はダクトおよび換気ファンにより冷却されます。ガスタービンには遊星歯車式減速機がコンパクトに内蔵されており、出力軸回転



第1図 CNT-4000形ガスタービン発電装置(オープン型)

速度は1,500あるいは1,800RPMとなっております。

ガスタービン制御盤には、始動・運転・停止などの制御ロジックが組込まれており、この盤面上ですべての運転操作、監視が行なわれます。

### 2. 主要諸元および特徴

第1表に本発電装置の主要目表を、第2表にその性能を示します。

本装置の主な特徴は次の通りです。

(1) 発電端熱効率が高く、信頼性、耐久性に富み、常用から非常用までのあらゆる用途に最も適

(昭和54年5月2日原稿受付)

した純産業用・軽量形ガスタービンです。

全体が軽量コンパクトに設計されており輸送・据

(2) 遊星歯車式減速機の採用と相まって、装置

付が容易です。特に狭いスペースへの据付、屋上設置に最適です。

第1表 ガスタービン発電装置 主要目表

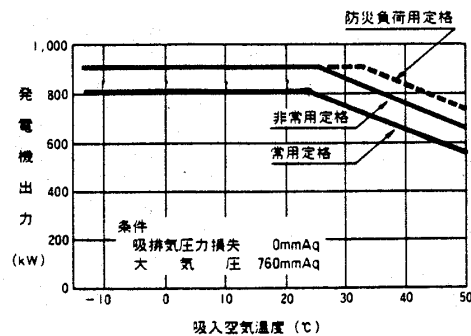
形 式	CNT-1000E	CNT-1000C	CNT-4000E	CNT-4000C
用 途	非 常 用	常 用	非 常 用	常 用
名 称	サターン(Saturn)		セントール(Centaur)	
形 式	単純開放サイクル一軸式 遊星歯車減速機付		単純開放サイクル一軸式 遊星歯車減速機付	
圧 縮 機	軸流 8段、圧力比6.2、空気量5.8kg/s		軸流 11段、圧力比9.0、空気量17.3kg/s	
タービン	軸流 3段		軸流 3段	
回 転 速 度	ガスタービン軸 22,300rpm 出力 軸 1,500/1,800rpm		ガスタービン軸 14,950rpm 出力 軸 1,500/1,800rpm	
定 格 出 力	900kW	800kW	3,000kW	2,650kW
排気ガス温度	490°C	460°C	480°C	450°C
外 形 寸 法 (全長・全幅・全高)	1,780×1,140×1,120	1,780×1,140×1,120	3,810×1,680×1,830	
重 量	520kg	520kg	3,130kg	
燃 料	灯油、軽油、A重油 液化プロパン 液化ブタン 天然ガス		灯油、軽油、A重油 液化プロパン 液化ブタン 天然ガス	
燃 料 消 費 率	390g/kW・h(軽油相当)		370g/kW・h(軽油相当)	
ガバナ	油圧機械式または電気式		電気式	
潤滑油システム	電動ファン(または油圧モータ)による空冷方式		電動ファンによる空冷方式	
起動システム	電気起動方式(DC24V) または空気起動方式		小形ガスタービン方式、空気起動方式 または、ACモータ起動方式	
●オープン形 寸 (全長・全幅・全高)	4,300×1,400×1,700	6,090×1,800×1,900	6,700×1,980×2,600	
重 量	5,300kg	5,600kg	18,100kg	
●パッケージ形 パッケージ寸法 (全長・全幅・全高)	5,600×1,700×2,200	6,100×1,800×2,200	8,000×2,250×2,770	
重 量	8,500kg	8,900kg	20,800kg	
吸気消音器	パッケージ組込形		別置形	
排気消音器	別置形		別置形	

第2表 ガスタービン発電装置主要性能

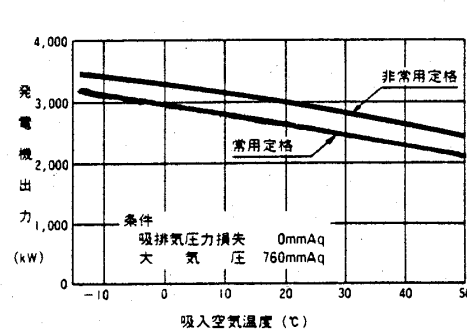
CNT-1000形ガスタービン発電セット

CNT-4000形ガスタービン発電セット

(1)出力



(1)出力



(2)電圧変動率

定 常 時 ±1% (任意の負荷において)  
瞬 時 最大±25%  
整定時間 3秒以内に定格電圧の±1%以内

(2)電圧変動率

定 常 時 ±0.5% (任意の負荷において)  
瞬 時 最大±25%  
整定時間 3秒以内に定格電圧の±1%以内

(3)周波数変動率

定 常 時 ±0.25% (任意の負荷において)  
(電気ガバナの場合±0.15%)  
瞬 時 ±4% (電気ガバナの場合±3%)  
整定時間 4秒 (電気ガバナの場合3秒)

(3)周波数変動率

定 常 時 ±0.25% (任意の負荷において)  
瞬 時 ±3%  
整定時間 3秒

(3) 一軸式ガスタービンを採用しているの  
で、定常負荷運転時の速度変動率が少く、急激な負荷変動に対しても第2表に示すように優れた過渡応答性能を有します。

(4) 附属システム、例えば、起動方式、ガバナ方式、燃料方式、防音エングロージャなどは多数のオプションが用意されており、広範囲な仕様に対応可能です。

(5) 多種類の燃料の使用が可能です。即ち灯油・軽油・A重油などの液体燃料のほか液化プロパン、液化ブタンの使用も可能です。また気体燃料として天然ガスが使用出来ます。負荷運転中にも、液体燃料と気体燃料の切換運転が可能です。

(6) 急速始動が可能です。本装置は始動指冷後40秒以内に起動を完了し、直ちに全負荷を瞬時に投入することが可能で、自家発電設備の認定基準を満足します。

3. 結 び

米国ソラー社は、中形産業用ガスタービン業界のシェア・リーダーとして、既にここに紹介したサターン・ガスタービン4,000台、セントール・ガスタービン1,000台の納入実績を持ってお

ります。ニイガタ・ソーラー・ガスタービン発電装置は、このソーラー社の技術および実績と、新潟鉄工所の永年にわたるディーゼル発電プラントの豊富な経験を生じて設計した合理的な信頼性のある

発電装置として需要者各位に十分な満足がいただけるものと確信しております。あわせて本ガスタービン発電装置が日本国内のガスタービンの普及、発展に、些かでもお役に立つことを願うものです。

〔 報 告 〕

第7回ガスタービン定期講演会(日本機械学会と共催第1回)は、昭和54年6月4日、機械振興会館において、下記内容で開催されました。

\*印 講演発表者  
発表者の所属が筆頭者と同じ場合は、これを省略しました。

講 演 題 目	
第 1 室 (研修1号室)	第 2 室 (研修2号室)
9:00 座長 小島秀夫(日立製作) A-1. ガスタービンの低NOx化に関する研究 *石橋洋二(日立製作)・内山好弘・佐藤薫・田村善助・菱沼孝夫・大島亮一郎 A-2. 航空用ガスタービン燃焼器内部と単純なバーナ火炎中の窒素酸化物の比較 *堀内正司(航技研)・下平一雄・山田秀志・斉藤隆・林茂・田丸卓 A-3. ガスタービン燃焼器の排出ガスに関する研究(第2報) *熊倉孝尚(船研)・羽島和夫 A-4. 小型ガスタービン燃焼器内の生成ガスに関する研究 *塚上旭雄(阪府大工)・沢田照夫 休 息 A-5. キャン型燃焼器のフローパターン実験 古閑昭紀(東芝)・前田福夫・*芳根俊行 A-6. ガスタービン燃焼器内の流れについて *田丸卓(航技研)・堀内正司・鈴木邦男(機械研) A-7. 航空用気流微粒化方式燃焼器の研究開発(III) *江口邦久(航技研)・下平一雄・石井浅五郎・鈴木邦男(機械研)・北原一超(KHI)・田頭健(THI) A-8. 実機用缶型燃焼器の水素燃焼性能 *野村雅宜(船研)・池田英正・羽島和夫 12:30	9:00 座長 渡辺哲郎(三井造船) B-1. ガスタービン用Co基超合金の長時間加熱後の強度 *福井寛(日立)・櫻村哲夫・佐々木良一・晴谷文男 B-2. インコネル718ディスク材の低サイクル疲労特性 *脇田三郎(三菱金属)・弓削允・大江潤也 B-3. 中子付タービン動翼における取付部の耐熱ろう接法 大井利雄(三井造船)・*出川通・兼田年光 B-4. エンジン監視システムの研究(第1報)装置及び予備実験 *越沼成(航技研)・西尾健二・遠藤征紀 B-5. JR100Hエンジンによる異常振動監視に関する実験 *松田幸雄(航技研)・星谷昌二・西尾健二・宮地敏雄 休 息 座長 堀 昭史(高効率ガスタービン研究組合) B-6. コンバインドサイクル発電プラントに関する一考察 *奥原巖(東芝)・桑田龍一・片寄成美 B-7. 高温ガスタービン-蒸気タービン複合サイクル機関の開発に関する研究 *平田賢(東大工)・秋山光庸(宇都宮大工)・熊田雅弥(岐大工)・笠木伸英(東大工) B-8. ガスタービンにおける水素燃料の利用に関する研究 (第2報) 補助サイクルを併用した予冷却ガスタービンの性能 *辻川吉春(阪府大工)・沢田照夫 B-9. HU-1B, Hヘリコプターのタコジエネ拘束による出力低下事象について 高島和明(陸上自衛隊武蔵航空部)・*清水文雄・目黒敏雄・早川賢 12:50
昼 休 13:40~14:30 (第1室) 特別講演「省エネルギー技術開発と高効率ガスタービン」高橋 宏(工業技術院) 座長 一色尚次(東工大)	
14:35 座長 高田浩之(東大) A-9. ブレードのトランスピレーションクーリングに関する基礎的研究 (共存対流乱流境界層への吹出しの場合) *能登勝久(神戸大工)・松本隆一 A-10. ガスタービン動翼の水冷却(第一報) *荒木達雄(東芝)・嶋本吉春 A-11. 回転蓄熱式熱交換器の動特性解析 *竹内徹(日産自動車)・伊藤高根・石田徳平 休 息 座長 森下輝夫(船研) A-12. 振動している円形翼列の非定常力特性(内向き流れの実験) 西岡清(防大)・*千川一司 A-13. 遠心圧縮機ベンディフェューザの特性に関する研究 前田稔幸(都立大)・山口元・*太田正廣 16:50	14:35 座長 能瀬弘幸(航技研) B-10. 1,000馬力級ガスタービンの開発 大橋幸雄(川崎重工)・*西原義美・杉本隆雄・密本健一・大徳竹史 宮地圭・小島恒夫 B-11. 航空転用型大出力・高性能ガスタービンの開発 志村安永(石川島播磨)・*竹生健二 B-12. 休 息 座長 鶴見喜男(小松製作) B-13. 100MW級発電用ガスタービンの開発設計から10,000時間運転まで 和田伸強(三菱重工) B-14. 発電用大容量ガスタービンについて 徳永賢治(日立製作) 16:50

〔 お詫び 〕 既配布の講演会次第書ならびにポスターで印刷の不手際から、講演番号A-9の講演発表者 能登勝久(神戸大工)氏を熊登勝久と印刷してしまいました。講演者に御迷惑をお掛けしたことをお詫び致します。

編集主担当理事 一色尚次

# 資料

## 1978年ガスタービン生産統計

統計作成委員会<sup>(1)</sup>

### 1. 最近5年間のガスタービン生産推移

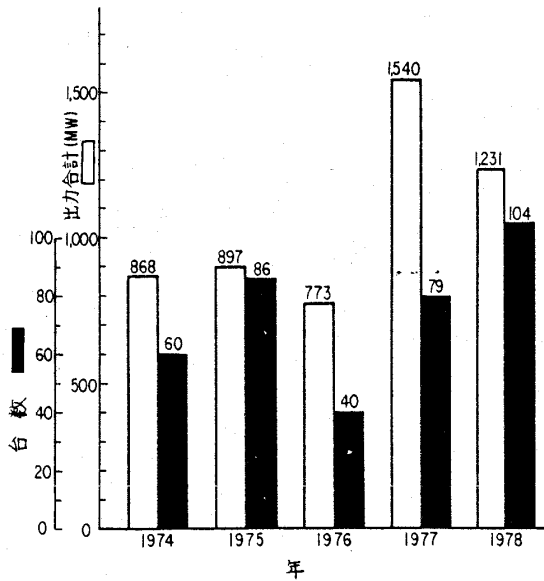


図1 陸船用ガスタービン

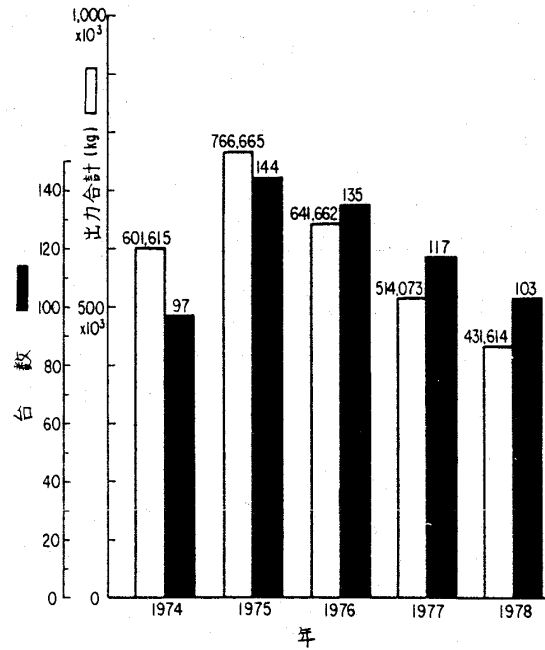


図2 ターボジェット/ターボファンエンジン

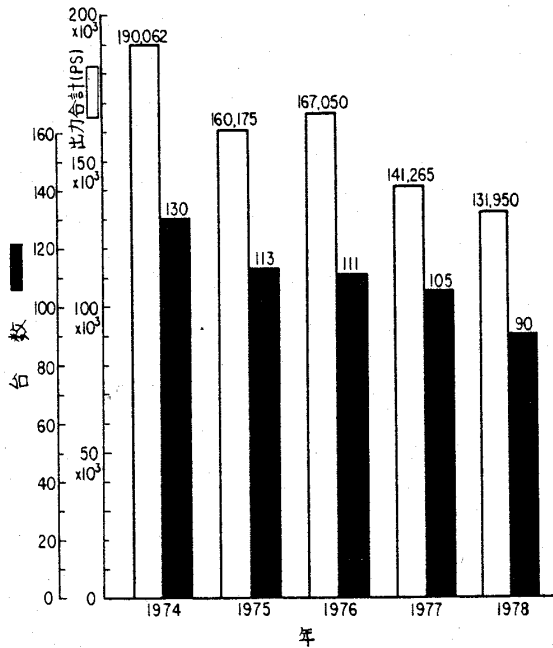


図3 ターボジェット/ターボプロップエンジン

(備考)

- (1) 出力の基準状態は15℃, 760mmHgとし, 常用出力で集計した。
- (2) メートル馬力(PS), 米馬力(HP), キロワット(kW)間の換算は下記によった。

$$1 \text{ PS} = 0.7355 \text{ kW}$$

$$1 \text{ HP} = 0.7457 \text{ kW}$$

$$1 \text{ HP} = 1.0138 \text{ PS}$$

- (1) 委員長 櫻木康夫(日立製作), 委員 石沢和彦(IHI), 佐藤玉太郎(日本鋼管), 村尾麟一(船舶技研), 村山弘(日立製作), 森義孝(三菱重工), 吉織晴夫(東大生研)

(昭和54年4月10日原稿受付)

(五十音順)



2. 陸船用ガスタービン

表1 1978年用途別生産台数及び出力(kW)

区 分		1,000Ps未満		1,000Ps以上 30,000Ps未満		30,000Ps以上		全 出 力	
		台数	出 力	台数	出 力	台数	出 力	台数	出 力
ベ-ースロード 発 電 用	BL	5	2,574	2	11,700	22	822,860	29	837,134
	PL	0	0	1	1,482	10	264,475	11	265,957
緊急発電用	EM	52	12,677	6	15,677	0	0	58	28,354
パイプライン用	P	0	0	0	0	4	98,704	4	98,704
消 防 用	FR	2	706	0	0	0	0	2	706
合 計		59	15,957	9	28,859	36	1,186,039	104	1,230,855

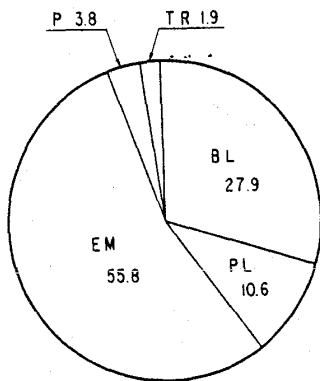


図4 1978年用途別台数割合(%)

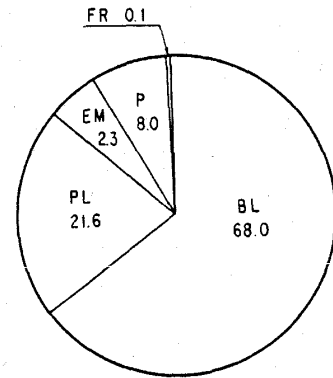


図5 1978年用途別出力割合(%)

表2 1978年燃料別生産台数及び出力(kW)

燃料別		区 分		1,000PS未満		1,000PS以上 30,000PS未満		30,000PS以上		全 出 力	
		種 類	コ-ード	台数	出 力	台数	出 力	台数	出 力	台数	出 力
ガス 燃料	天 然 ガ ス	GNG	0	0	0	0	23	853,064	23	853,064	
	軽 油	K	17	5,612	4	14,065	12	296,200	33	315,877	
液 体 燃 料	灯 油	T	0	0	3	12,548	1	36,775	4	49,323	
	重 質 軽 油	HK	1	721	1	765	0	0	2	1,486	
	重 質 1 種	HI	1	515	1	1,482	0	0	2	1,997	
	灯油あるいは軽油	TorK	1	640	0	0	0	0	1	640	
	灯油あるいは軽油 あるいは重質軽油	TorKorHK	39	8,471	0	0	0	0	39	8,471	
	小 計			59	15,959	9	28,860	13	332,975	81	377,794
混 焼			0	0	0	0	0	0	0	0	
固 体 燃 料			0	0	0	0	0	0	0	0	
合 計			59	15,959	9	28,860	36	1,186,039	104	1,230,858	

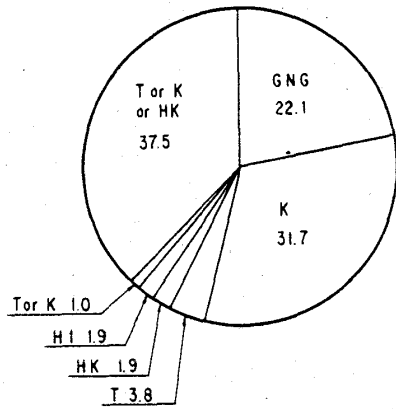


図6 1978年燃料別台数割合(%)

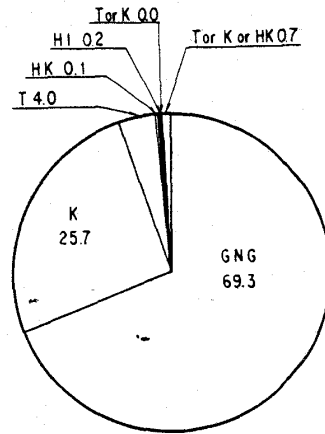


図7 1978年燃料別出力割合(%)

表3 1978年地域別納入台数及び出力(kW)

区分	地域別	1,000PS未満		1,000PS以上 30,000PS未満		30,000PS以上		全出力	
		台数	出力	台数	出力	台数	出力	台数	出力
国内向け	北海道	6	1,526	0	0	0	0	6	1,526
	東北	6	1,103	0	0	0	0	6	1,103
	関東	20	4,612	2	11,614	0	0	22	16,226
	中部	5	1,114	2	2,416	1	36,775	8	40,305
	近畿	6	1,416	0	0	0	0	6	1,416
	中国	2	783	1	765	0	0	3	1,548
	四国	1	66	1	1,482	0	0	2	1,548
	九州	3	633	1	883	0	0	4	1,516
	船舶搭載	2	581	0	0	0	0	2	581
	小計	51	11,838	7	17,160	1	36,775	59	65,773
輸出向け	欧州	0	0	0	0	0	0	0	0
	中南米	0	0	0	0	4	95,650	4	95,650
	中近東	8	4,119	0	0	22	828,410	30	832,529
	アフリカ	0	0	2	11,700	4	98,704	6	110,404
	アジア	0	0	0	0	5	126,500	5	126,500
	大洋州	0	0	0	0	0	0	0	0
	移動型	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	8	4,119	2	11,700	35	1,149,264	45	1,165,083	
合計	59	15,957	9	28,860	36	1,186,039	104	1,230,856	

表4 1978年被駆動機械別生産台数及び出力(kW)

被駆動機械別	区分	1,000PS未満		1,000PS以上 30,000PS未満		30,000PS以上		全出力	
		台数	出力	台数	出力	台数	出力	台数	出力
発電機	G	57	15,251	9	28,859	32	1,087,335	98	1,131,445
その他のガス圧縮機	GC	0	0	0	0	4	98,704	4	98,704
水ポンプ	W	2	706	0	0	0	0	2	706
合計		59	15,957	9	28,859	36	1,186,039	104	1,230,855

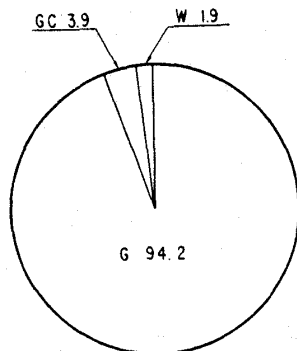


図8 1978年被駆動機別台数割合(%)

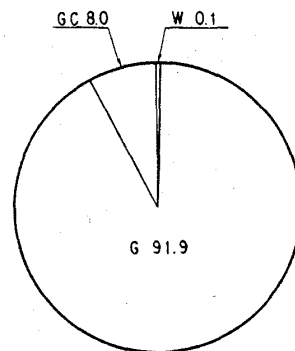


図9 1978年被駆動機別出力割合(%)

表5 1978年出力区分別生産台数及び出力 (kW)

出力区分 (PS)		台数	出力
1,000PS未満	0~ 199	7	463
	200~ 499	37	7,587
	500~ 999	15	7,907
	小計	59	15,957
1,000PS以上 30,000PS未満	1,000~ 5,999	6	6,494
	6,000~13,999	2	11,700
	14,000~21,999	1	10,665
	22,000~29,999	0	0
	小計	9	28,859
30,000PS以上	30,000~59,999	31	761,829
	60,000~	5	424,210
	小計	36	1,186,039
合計		104	1,230,855

表6 1978年発電用ガスタービン用途別生産台数及び出力 (kW)

発電用途別		区分		1,000PS未満		1,000PS以上 30,000PS未満		30,000PS以上		全出力	
		用途	コード	台数	出力	台数	出力	台数	出力	台数	出力
事業用	ベースロード	BL	0	0	2	11,700	17	593,710	19	605,410	
	尖頭負荷	PL	0	0	1	1,482	6	151,800	7	153,282	
	緊急用	EM	0	0	0	0	0	0	0	0	
	小計			0	0	3	13,182	23	745,510	26	758,692
自家用	ベースロード	BL	5	2,574	0	0	5	229,150	10	231,724	
	尖頭負荷	PL	0	0	0	0	4	112,675	4	112,675	
	緊急用	EM	52	12,676	6	15,677	0	0	58	28,353	
	小計			57	15,250	6	15,677	9	341,825	72	372,752
合計			57	15,250	9	28,859	32	1,087,335	98	1,131,444	

3. 航空用ガスタービン

表7 1978年ターボジェット/ターボファンエンジン生産台数及び推力\*1) (kg)

生産台数	103	推力合計	431,614
------	-----	------	---------

表8 1978年ターボ・シャフト/ターボ・プロップエンジン生産台数及び出力\*2) (P.S.)

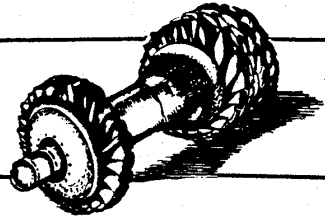
用途別	区分		1,000PS未満		1,000PS以上		合計	
	台数	出力	台数	出力	台数	出力	台数	出力
固定翼機	0	0	20	50,260	20	50,260		
ヘリコプター	8	2,192	60	76,964	68	79,156		
補助機関駆動	0	0	2	2,534	2	2,534		
合計	8	2,192	82	129,758	90	131,950		

\*1): 海面上静止最大推力

\*2): 海面上静止常用出力

# 報 告

日本ガスタービン学会



## (社)日本ガスタービン学会

### 評議員会・総会報告

去る4月20日(金)本学会の評議員会および通常総会が東京、機械振興会館において開催された。

まず第3期第2回評議員会は11時より開かれ、評議員の互選により水町長生氏が議長となり議事が進められた。第3期会長の浦田星氏による開会挨拶に引き続き、最初に出席15名、委任状提出者41名で評議員会が成立することが確認されたのち以下の議案につき審議が行われ、いずれも承認された。すなわち、第3期事業報告、第3期収支決算報告の諸案を総会にはかることが認められた。同上の決算案については渡部一郎監事より監査報告が述べられた。引き続き11時40分より第4期第1回評議員会が開催され、第4期評議員である水町長生氏を議長に選出、議事が進められた。まず出席20名、委任状提出者38名で同評議委員会が成立することが確認されたのち以下の議案の審議が行われ、いずれも承認された。すなわち第4期役員候補、第4期監事、評議員選挙結果報告、第4期事業計画、第4期予算、名誉会員推薦などの諸案を総会にはかる件が各々承認された。

同日、13時より第4期通常総会が機械振興会館地下2階ホールで開催された。まず前半は第3期に関する諸件の審議が行われた。すなわち、第3期浦田会長の開会挨拶のあと、同氏を総会議長に選出し議事が進められた。同総会への出席者30名※、委任状提出者374名(会員数1108名の1/3以上)で総会成立が確認されたのち、以下の議

案の審議が行われた。すなわち、第3期事業報告、第3期収支決算報告につき、井口総務(主担当)理事(第3期)および一井総務(財務担当)理事(第3期)より説明があり承認された。収支決算については渡部監事より適正であるむね監査報告が行われた。

次いで後半は第4期に関する諸件の審議が行われた。まず第4期役員選出の件では、別掲どおり議決された。なお第4期監事・評議員選挙結果もあわせ報告された。以上により第4期会長に山内正男氏が選出され、就任の挨拶がのべられた。ここで浦田議長に代り山内新会長が議長となり以下の議事が進められた。総会の成立につき再確認が行われ、第4期事業計画、第4期予算に関し有賀総務(主担当)理事および阿部総務(財務)理事より説明があり、別掲通り承認された。

渡部一郎氏、種子島時休氏、Robert Thomas Sawyer氏を名誉会員とすることが承認された。当日出席された渡部氏に記念品の贈呈が行われ欠席の両氏には、後日お届けすることとなった。

最後に、円城寺一副会長より閉会の挨拶が述べられ、第4期通常総会は無事終了した。(総務理事)。

### 第3期(昭和53年度)事業報告

自昭和53年4月 1日

至昭和54年3月31日

#### 1. 役員に関する事項

##### 1.1 役員当選者

##### 1.2 監事・評議員の選出

第3期評議員・監事の選出は定款第16条、細

※最終出席数 38名

則第19条, 第21条, 第22条, 第23条, 第24条, 第25条により選出した。

2. 会務処理に関する各種会合

2.1 理事会

会長副会長他18名(内, 総務担当5名, 企画担当6名, 編集担当7名), 開催7回。

会議事項: 第3期総会報告, 第3期評議員会報告, 第3期諸事業実施にともなう業務, 第3期事業報告, 同決算, 第4期総会議案, 第4期評議員会案, 同事業計画, 同予算案など。

2.2 評議員会

評議員70名, 開催2回〔内訳: 第3期第1回評議員会(出席22名, 委任状提出者37名)(53.5.11), 第3期第2回評議員会(54.4.20)〕

会議事項: 第3期役員案, 第3期事業計画案, 同予算案, 第3期事業報告案, 同決算案, 第4期役員案, 同事業計画, 同予算案などの件を審議, 承認。

2.3 総会

正会員全員, 開催1回〔内訳: 第3期通常総会(出席49名, 委任状提出者380名(会員数1,092名の1/2以上))〕(53.5.11)

会議事項: 第3期役員, 評議員選出, 第3期事業計画, 同予算案, 第2期事業報告, 同決算などの件を審議, 承認。

2.4 部門別理事・委員会

1) 総務

主担当理事 井口 泉 他11名  
開催6回

2) 企画

主担当理事 田中英穂 他10名  
開催7回

3) 編集

主担当理事 一色尚次 他12名  
開催6回

3. 調査研究事業

3.1 ガスタービン統計作成委員会

委員長 構木康夫 他6名 開催1回  
会議事項: わが国ガスタービン生産に関する統計用データの蒐集および集計。

3.2 ガスタービン技術情報センター運営委員会

委員長 須之部量寛 他5名 開催1回  
会議事項: 同センター設置に関する準備打合せおよび資料蒐集。

3.3 組織検討特別委員会

委員長 松木正勝 他6名 開催2回

3.4 地方委員会

委員長 永井康男 他8名 開催4回  
会議事項: 関西地区におけるセミナー, 見学会, 技術懇談会の企画実施, 地方行事に関する打合せ。

4. 集會事業

特別講演会2回, 定期講演会1回, 技術懇談会2回, 見学会2回, ガスタービンセミナー2回

回次	名 称	講 師	年 月 日	場 所
1	第1回特別講演会	有賀一郎(慶大)ほか3名	53. 5. 11	機械振興会館
2	第6回定期講演会	発表者 22名	53. 6. 2	同 上
3	第1回パネル討論会	荒川忠男(日立製作所)ほか3名	53. 6. 30	同 上
4	第1回技術懇談会	徳永賢治(日立製作所)	53. 7. 20	日立製作所日立工場
5	第1回見学会		53. 7. 20	同 上
6	第6回 ガスタービンセミナー	沢田照夫(大阪府大)ほか3名	53. 9. 29	大阪科学技術センター
7	第2回技術懇談会	表 義則(三井造船)	53. 11. 10	三井造船玉野造船所
8	第2回見学会		53. 11. 10	同 上
9	第7回ガスタービンセミナー	大槻幸雄(川崎重工)ほか8名	54.1.25.26	日比谷三井ビル

5. 出版事業

5.1 会 誌

本期発行した会誌は、Vol. 6, No. 21 (1978-6)  
Vol. 6, No. 22 (1978-9), Vol. 6, No. 23 (1978-12), Vol. 6, No. 24 (1979-3) で本文総ページ

296, うち行事内容、会告・後記など21ページである。

内容は下表のとおりである。(数字はページ数、括弧内は編数)

	挨拶	論解説	資料	随筆	研究だ 研 究 よ り	新製 製 品 新 設 介	報 告	行 内 事 会 案 告	規 程	後 記	座 談 会	見 聞 記	技 術 論 文
6.21 6	1 (1)	23 (3)	21 (1)				8 (1)	6 (6)	0.5 (2)	1 (1)		3 (1)	
6.22 9		22 (3)		4 (1)		8 (3)		4 (4)	0.5 (2)	1 (1)		6 (1)	25 (2)
6.23 12		40 (4)		2 (1)	3 (1)			3.5 (4)	0.5 (2)	0.5 (1)	9 (1)		6 (1)
6.24 3		63 (7)		2 (1)	3 (1)	5 (2)		4.5 (7)	0.5 (2)	0.5 (1)		4 (1)	16 (2)

5.2 Gas Turbine Newsletter

ASME Gas Turbine Division より発行されている同誌を同部門の了解のもとに4回にわたり複写配布した。

Vol. XIX, No. 2 (1978-4), PP. 1-8

Vol. XIX, No. 3 (1978-8), PP. 1-20

Vol. XIX, No. 4 (1978-10), PP. 1-8

Vol. XX, No. 1 (1979-1), PP. 1-24

5.3 日本ガスタービン学会講演論文集

第6回定期講演会の講演論文集(126ページ)が発行された。

5.4 ガスタービンセミナー資料集

第6回ガスタービンセミナーのセミナー資料集(82ページ)、第7回ガスタービンセミナー資料集(100ページ)が発行された。

6. 会員数の移動状況

摘 要	正会員	学生会員	賛助会員
本期末会員数	1,108	17	61
前期末会員数	1,074	17	62
差 引 増 減	34	0	△1

第2期(昭和52年度)収支決算

自昭和53年4月 1日

至昭和54年3月31日

1. 収支決算書総括表

歳 入	1,324,095.8円
歳 出	1,031,120.6円
歳入歳出差引残高	292,975.2円
次期国際会議準備引当金	200,000.0円
事務所移転費引当金	300,000.0円
次期繰越金	2,429,752.0円

2 収支計算書

自昭和53年4月1日  
至昭和54年3月31日

2.1 収支計算の部

1) 収入の部

大科目	中科目	小科目	予算額	決算額	差異	備考
基本財産運用収入			330,000	440,099	△110,099	預金利子収入
	基本財産利息収入		330,000	440,099	△110,099	
		基本財産定期預金利息収入	330,000	440,099	△110,099	
事業収入			241,000	364,565	△123,565	
	集金事業収入		1,740,000	3,042,000	△1,302,000	
		定期講演会収入	420,000	521,000	△101,000	1回開催
		技術懇話会収入	250,000	275,000	△25,000	2回開催
		G/Tセミナー収入	1,070,000	2,246,000	△1,176,000	2回開催
	出版事業収入		67,000	60,365	6,635	
		アニュアルレポート販売収入	50,000	15,300	34,700	1回配布
		広告収入	62,000	58,835	3,165	
入会会収入			25,000	47,000	△22,000	
	正会員入会収入		17,500	40,500	△23,000	
		正会員入会収入	17,500	40,500	△23,000	81名分
	学生会員入会収入		2,500	2,500	0	5名分
		学生会員入会収入	2,500	2,500	0	
	賛助会員入会収入		5,000	4,000	1,000	4社分
		賛助会員入会収入	5,000	4,000	1,000	
金費収入			642,000	624,825	17,175	
	正会員金費収入		2,200,000	2,292,250	△92,250	1166名分
		正会員金費収入	2,200,000	2,292,250	△92,250	
	学生会員金費収入		2,000	1,900	1,000	19名分
		学生会員金費収入	2,000	1,900	1,000	
	賛助会員金費収入		420,000	390,000	30,000	78口分
		賛助会員金費収入	420,000	390,000	30,000	
雑収入			430,000	935,353	△505,353	
	受取利息		110,000	128,373	△18,373	
		運用財産定期預金利息収入	40,000	98,828	△58,828	預金利子収入
		運用財産普通預金利息収入	70,000	29,545	40,455	預金利子収入
	雑収入		320,000	805,980	△485,980	
		雑収入	320,000	805,980	△485,980	
前期繰越収支差額			1,924,606	1,924,606	0	
	前期繰越収支差額		1,924,606	1,924,606	0	
		前期繰越収支差額	1,924,606	1,924,606	0	
収入合計			11,539,606	13,240,958	△1,701,352	

2) 支出の部

大科目	中科目	小科目	予算額	決算額	差異	備考
管理費			482,500	556,750	△74,250	
	給料手当		240,000	286,287	△46,287	
		給与	225,000	278,567	△53,567	
		雇手当	15,000	7,720	7,280	
	退職給付引当金繰入額		100,000	300,000	△200,000	
		退職給付引当金繰入額	100,000	300,000	△200,000	
	福利厚生費		30,000	3,650	26,350	
		社会保険費	30,000	3,650	26,350	
会議費			640,000	674,549	△34,549	
	理事會費		300,000	256,768	43,232	7回開催
	評議員會費		120,000	77,050	42,950	2回開催
	總會費		100,000	181,500	81,500	1回開催
	委員會費		120,000	32,281	87,719	26回開催
選挙費			150,000	162,970	△12,970	
	評議員選挙費		150,000	162,970	△12,970	1回実施
旅費・交通費			150,000	111,950	38,050	
	旅費		80,000	59,540	20,460	
	交通費		70,000	52,410	17,590	
什器備品費			25,000	3410	21,590	
	什器備品費		20,000	0	20,000	
	図書費		5,000	3410	1,590	
消耗品費			20,000	157,385	42,615	
	消耗品費		20,000	157,385	42,615	
印刷費			50,000	119,400	△69,400	
	印刷費		50,000	119,400	△69,400	
通信運搬費			200,000	468,936	△268,936	
	通信運搬費		200,000	468,936	△268,936	
賃借料			420,000	420,000	0	
	事務所賃借料		420,000	420,000	0	
雑費			50,000	0	50,000	
	雑費		50,000	0	50,000	
負担金			110,000	110,000	0	
	日本内閣府関係會費		100,000	100,000	0	
	共催分損金		10,000	10,000	0	
雑費			100,000	139,385	△39,385	
	雑費		100,000	139,385	△39,385	
出版事業費			306,000	246,075	59,925	
	通信運搬費		21,000	204,795	3205	
		会誌発送費	200,000	201,795	△1,795	

大科目	中科目	小科目	予算額	決算額	差異	備考
		アニュアルレポート発送費	10,000	5,000	5,000	
印刷製本費			243,000	1,866,200	563,800	
	会誌製作費		240,000	1,844,200	555,800	4回発行
	アニュアルレポート製作費		3,000	22,000	8,000	
雑費			420,000	387,760	32,240	
	会誌印刷料		420,000	387,760	32,240	
集金事業費			1,740,000	2,264,946	△524,946	
	臨時集金費		65,000	44,000	21,000	
		定期講演会臨時集金費	30,000	18,000	12,000	
		G/Tセミナー臨時集金費	35,000	26,000	9,000	
	旅費・交通費		70,000	83,100	△13,100	
		定期講演会旅費交通費	10,000	17,700	△7,700	
		G/Tセミナー旅費交通費	60,000	65,400	△5,400	
通信運搬費			390,000	476,079	△86,079	
	特別講演会通信費		80,000	7,000	73,000	
	見学会通信費		80,000	34,750	45,250	
	技術懇話会通信費		40,000	77,160	△37,160	
	定期講演会通信運搬費		90,000	21,410	68,590	
		G/Tセミナー通信運搬費	100,000	33,579	△66,421	
印刷製本費			250,000	394,200	△144,200	
	定期講演会印刷製本費		100,000	155,600	△55,600	
		G/Tセミナー印刷製本費	150,000	238,600	△88,600	
賃借料			285,000	299,900	△14,900	
	特別講演会会場費		70,000	25,900	44,100	
	技術懇話会会場費		15,000	23,300	△8,300	
	定期講演会会場費		100,000	96,500	3,500	
		G/Tセミナー会場費	100,000	154,100	△54,100	
雑費			500,000	515,266	△15,266	
	特別講演会謝礼		100,000	22,220	77,780	
	技術懇話会謝礼		100,000	9,722	90,278	
		G/Tセミナー謝礼	300,000	395,824	△95,824	
雑費			180,000	452,401	△272,401	
	特別講演会雑費		50,000	13,700	36,300	
	見学会雑費		20,000	12,360	7,640	
	技術懇話会雑費		5,000	92,774	△87,774	
	定期講演会雑費		20,000	165,952	△145,952	
		G/Tセミナー雑費	85,000	182,615	△97,615	
調査研究事業費			140,000	18,000	122,000	
	会議費		75,000	18,000	57,000	
		生産統計作成委員会費	20,000	12,000	8,000	
		調査研究委員会費	50,000	0	50,000	
通信運搬費			250,000	0	250,000	
	生産統計発送費		10,000	0	10,000	
	技術情報センター通信費		5,000	0	5,000	
	調査研究委員会通信費		10,000	0	10,000	
賃借料			5,000	0	5,000	
	技術情報センター賃借料		5,000	0	5,000	
調査費			10,000	0	10,000	
	調査研究委員会準備費		10,000	0	10,000	
雑費			250,000	0	250,000	
	生産統計関係雑費		10,000	0	10,000	
	技術情報センター関係雑費		5,000	0	5,000	
	調査研究関係雑費		10,000	0	10,000	
予備費			390,000	0	390,000	
	予備費		390,000	0	390,000	
		予備費	390,000	0	390,000	
支出合計			9,955,000	10,311,206	△356,206	
前期繰越収支差額			1,584,606	292,075	△1,341,466	

2.2 正味財産増減計算の部

1) 増加の部

大科目	中科目	決算額	備考
資産増加額		0円	
	基本財産受入額	0	
	備品増加額	0	
前期繰越増減差額		2,504,730	
	前期繰越増減差額	2,504,730	
増加額合計		2,504,730	

2) 減少の部

勘定科目		決算額	備考
大科目	中科目		
資産減少額		0円	
	備品償却額	0	
基本金増加額		0	
	基本金組入額	0	
減少額合計		0	
次期繰越増減差額		2,504,730	
剰余金合計		5,434,482	

3. 貸借対照表

(昭和54年3月31日現在)

(資産の部)		
I 流動資産		
1. 現金預金	3,266,752円	
流動資産合計	3,266,752	
II 固定資産		
1. 有形固定資産		
1. 什器備品	113,030	
有形固定資産合計	113,030	
2. その他の固定資産		
1. 電話加入権	75,000	
2. 退職給与積立預金	900,000	
3. 定期預金(注1)	2,316,700	
4. 定期預金(注2)	6,014,266	
その他の固定資産合計	9,305,966	
固定資産合計	9,418,996	
資産合計	12,685,748	
(負債の部)		
I 流動負債		
1. 前受会費	337,000円	
流動負債合計	337,000	
II 固定負債		
1. 退職給与引当金	900,000	
固定負債合計	900,000	
負債合計	1,237,000	
(正味財産の部)		
I 基金	6,014,266円	
II 剰余金		
次期繰越収支差額	2,929,752	
次期繰越増減差額	2,504,730	
剰余金合計	5,434,482	
正味財産合計	11,448,748	
負債及び正味財産合計	12,685,748	

注1: 事務所移転費及び次期国際会議準備費たる資産  
注2: 基金たる資産

4. 財産目録

(昭和54年3月31日現在)

(資産の部)			
1. 銀行預金			
定期預金			
三井銀行新宿支店(注1)	812,819円		
三井銀行新宿支店(注1)	1,000,000		
第一勧業銀行新宿支店(注1)	2,000,000		
第一勧業銀行新宿支店(注1)	2,201,447		
第一勧業銀行新宿支店(注2)	1,900,000		
第一勧業銀行新宿支店(注3)	416,700		
第一勧業銀行新宿支店(注4)	300,000		
第一勧業銀行新宿支店(注4)	600,000		
第一勧業銀行新宿支店(注5)	1,000,000		
普通預金	富士銀行新宿支店	2,182,752	12,413,718円
2. 振替貯金	新宿第三郵便局		84,000
3. 電話加入権	電話1基		75,000
4. 什器備品	留守番電話他下記資料の通り		113,030
計			12,685,748

(負債の部)		
1. 前受会費		337,000円
2. 退職給与引当金		900,000
計		1,237,000
差引正味財産		11,448,748円
(注1) 基金たる資産		6,014,266円
(注2) 事務所移転費引当金たる資産		1,900,000
(注3) 次期国際会議準備費引当金たる資産		416,700
(注4) 退職給与引当金たる資産		900,000
(注5) 運用財産たる資産		1,000,000
(資料)		
什器備品		
留守番電話	75,000円	
金庫	8,200	
キャビネット	8,000	
蛍光灯	7,990	
カードケース	6,600	
レターケース	3,840	
書類箱	3,400	
計	113,030	

5. 預り金

(昭和54年3月31日現在)

科目	金額	預り金の種類
前受会費	337,000円	昭和54年度会費

監査の結果、ここに報告された決算報告書は、適正に表示していることを認める。

監事 井上宗一

渡部一郎

第4期(昭和54年度)役員および評議員

(敬称略, 五十音順)

理事

会長 山内 正男

副会長 円城寺 一

総務 有賀一郎(主担当), 阿部安雄(財務)

岡田 彰, 堀 昭史, 山崎慎一

企画 松木正勝(主担当), 秋葉雅史, 大槻

幸雄, 佐藤 晃, 平山直道, 村田暹

編集 一色尚次(主担当), 小島秀夫, 小茂鳥

和生, 高田浩之, 宮沢清人, 森下輝夫,

渡辺哲郎

監事 岡村健二, 須之部量寛

評議員 青木千明, 浅沼強, 浅羽真次, 有賀基,

栗野誠一, 井口泉, 井上宗一, 猪木恒

夫, 飯島孝, 飯田庸太郎, 生井武文,

石谷清幹, 一井博夫, 今井兼一郎, 入

江正彦, 浦田星, 大橋秀雄, 大東俊一,



大塚新太郎, 樗木康夫, 近江敏明, 岡崎卓郎, 押田良輝, 梶山泰男, 甲藤好郎, 川合洋一, 河田修, 菅進, 木下啓次郎, 久保田道雄, 窪田雅男, 小泉磐夫, 神津正男, 古山雪, 近藤博, 佐藤豪, 佐藤玉太郎, 酒井俊道, 沢田照夫, 塩入淳平, 鈴木邦男, 妹尾泰利, 高瀬謙次郎, 高原北雄, 竹矢一雄, 田中英穂, 豊倉富太郎, 鳥崎忠雄, 中川良一, 永田有世, 永野治, 難波昌伸, 丹羽高尚, 葉山真治, 八田桂三, 平田賢, 藤江邦男, 古浜庄一, 三輪国雄, 三輪光砂, 水町長生, 宮内諄二, 宮地敏雄, 宮部英也, 村尾麟一, 森康夫, 山田正, 山本巖, 吉開勝義, 吉識晴夫

#### 第4期(昭和54年度)役員および評議員

自昭和54年4月 1日  
至昭和55年3月31日

#### 1. 概 要

昭和54年度は, 前年度に引続き, 研究発表会・学術講演会・技術懇談会・見学会などを開催すると共に同年度中のわが国におけるガスタービンの生産統計作成を行う。また学会誌の定期的刊行並びに上記諸事業に関連した資料を刊行する。

さらにガスタービンに関する資料を蒐集, 保管し, 会員の利用に供することを計画する。

一方調査研究委員会において, ガスタービンに関する特定課題につき調査・研究を行う。

#### 2. 調査・研究事業

- (1) 昭和54年度におけるわが国のガスタービン生産に関する資料を蒐集, 集計し統計を作成する。

同事業には, ガスタービン統計作成委員会があたる。その結果は学会誌に掲載発表する。

- (2) 調査研究委員会において, ガスタービンに関する特定課題につき調査・研究を行う。その結果は学会誌に掲載発表する。

#### 3. 出版事業

- (1) 定期刊行物

学 会 誌 : 年4回刊行する。

Newsletter : 米国機械学会ガスタービン部門発行のNewsletterを配布する。

- (2) 不定期刊行物

講演論文集 : 定期講演会における講演論文集を刊行する。

セミナー資料集 : ガスタービンセミナーにおける資料集を刊行する。

#### 4. 附 帯 事 業

	(回数)	(開催年月)	(予定)
(1) 定期講演会の開催	1回	54年6月	
(2) 特別講演会の開催	2回	54年5月, 7月	
(3) 技術懇談会の開催	3回	54年5月, 9月, 11月	
(4) 見学会の開催	3回	54年5月, 9月, 11月	
(5) ガスタービンセミナー	1回	55年1月,	
(6) ガスタービン・シンポジウム	1回	54年7月	
(7) 図書, 資料の購入			

#### 5. 委員会活動

以下の委員会を設け, 各事業の実施にあたる。

- (1) 総務委員会(常置)
- (2) 編集委員会(常置)
- (3) 企画委員会(常置)
- (4) ガスタービン統計作成委員会(常置)
- (5) 定期講演会委員会(常置)
- (6) ガスタービン技術情報センター運営委員会(常置)
- (7) 地方委員会(常置)
- (8) 組織検討委員会(臨時)
- (9) 調査研究委員会(臨時)
- (10) 国際会議準備委員会(臨時)

第4期(昭和54年度)予算書

自昭和54年4月 1日  
至昭和55年3月31日

収入の部

Table of income items including 基金運用収入, 事業収入, 入会金収入, 会費収入, 雑収入, and 前期繰越収支差額. Columns include 大科目, 中科目, 小科目, 予算額, 前年度予算額, 増減, and 備考.

支出の部

Table of expenditure items including 行 理費, 雑費, 福利厚生費, 会議費, 選挙費, 旅費・交通費, 什器備品費, 消耗品費, 印刷費, 通信運搬費, 賃借料, 雑費, 負担金, 次期国庫金繰入金, 事務所移転費, and 雑費. Columns include 大科目, 中科目, 小科目, 予算額, 前年度予算額, 増減, and 備考.

Table of detailed budget items including 出版事業費, 集合理事費, 調査研究事業費, and 支 出 合 計. Columns include 大科目, 中科目, 小科目, 予算額, 前年度予算額, 増減, and 備考.

第4期(昭和54年度)監事・評議員選挙結果

先に行われた標記選挙結果は下記の通りである。

(社)日本ガスタービン学会第4期監事・評議員当選者

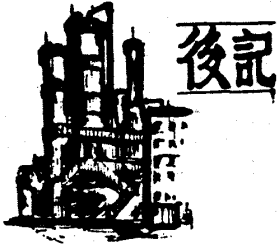
(五十音順, 敬称略)

。評議員

番号	氏名	勤務先	氏名	勤務先	番号	氏名	勤務先	番号	氏名	勤務先	氏名	勤務先
1	青木 千明	石川島播磨重工業	木下 啓次郎	日立製作所	57	藤江 邦男	日立製作所	58	古浜 庄一	武蔵工業大学	藤江 邦男	日立製作所
2	浅沼 強	東海大学	久保田 道雄	日立製作所	59	三輪 国男	三菱重工	60	三輪 光砂	日立造船	三輪 国男	三菱重工
3	浅羽 真次	東京芝浦電気	窪田 雅男	東京電機大学	61	水町 長生	千葉工業大学	62	官内 諄二	三菱自動車工業	官内 諄二	三菱自動車工業
4	有賀 基	都市交通コンサルタント	小泉 磐夫	防衛庁技術研究所	63	官地 敏雄	航空宇宙技術研究所	64	官部 英也	明治大学	官地 敏雄	航空宇宙技術研究所
5	栗野 誠一	日本大学	神津 正男	三菱重工	65	村尾 麟一	青山学院大学	66	森 康夫	東京工業大学	村尾 麟一	青山学院大学
6	井口 泉	防衛大学校	古山 雪博	航空宇宙技術研究所	67	山田 正	ヤマハディーゼル	68	山本 敏	川崎重工業	山田 正	ヤマハディーゼル
7	井上 宗一	日本内燃機連合会	近藤 謙	慶応義塾大学	69	吉開 勝義	高効率ガスタービン研究組合	70	吉識 晴夫	東京大学	吉開 勝義	高効率ガスタービン研究組合
8	猪木 恒夫	新潟鉄工所	佐藤 玉太郎	日本鋼管								
9	飯島 孝	石川島播磨重工業	酒井 俊道	東京理科大学								
10	飯田 庸太郎	三菱重工業	沢田 照夫	大阪府立大学								
11	生井 武文	九州大学	堀入 淳平	東京大学								
12	石谷 清幹	大阪大学	鈴木 邦男	機械技術研究所								
13	一井 博夫	東京芝浦電気	妹尾 泰利	九州大学								
14	今井 兼一郎	石川島播磨重工業	高瀬 謙次郎	小松製作所								
15	入江 正彦	三井造船	高原 北雄	航空宇宙技術研究所								
16	浦田 星	日立製作所	竹矢 一雄	三菱重工								
17	大橋 秀雄	東京大学	田中 英穂	東京大学								
18	大東 俊一	京都大学	豊倉 富太郎	横浜国立大学								
19	大塚 新太郎	名古屋大学	鳥崎 忠雄	航空宇宙技術研究所								
20	樗木 康夫	日立製作所	中川 良一	日立製作所								
21	近江 敏明	小松ハクメット	永田 有世	神戸製鋼所								
22	岡崎 卓郎	日本大学	永野 治	石川島播磨重工業								
23	押田 良輝	荏原製作所	難波 昌伸	九州大学								
24	梶山 泰男	原子力工学試験センター	丹羽 高尚	三菱重工								
25	甲藤 好郎	東京大学	葉山 真治	東京大学								
26	川合 洋一	防衛庁技術研究所	八田 桂三	東海大学								
27	河田 修	富士電機製造	平田 賢	東京大学								
28	菅 進	船舶技術研究所										

投票総数 517票

評議員	510	監事	7
有効	6		14
無効	1		



編集理事 森下輝夫

前期に引き続いて編集委員長を補佐する事務方ということで編集委員会の幹事を仰せ付けられました。そんな立場から一言書かせていただきます。

会誌10号以来、この欄で歴代の編集理事の方々が会誌に対する御意見やご感想をお書きになっています。いずれも当を得た、あるいは成る程と思わせるものばかりであります。そこで私は実務処理の面からそれ等をおさらいしてみようと思います。

#### 一多数の手による会誌一

『会誌は会員に読まれるものでなければならぬ』『会誌は会員に開かれたものであるべきだ』『原稿が仲々集まらない』等のお話があります。私はこの対策は「なるべく多くの人による会誌づくり」にあると考えております。すなわち、毎号の会誌になるべく多くの人が登場すること、なるべく多数の人の手によって記事を集めることとあります。1号以来の会誌各号執筆者の数を調べてみると最高28人、最低8人、平均16人です。工学系のある大学の最近1年間の会誌各号の執筆者数は最高33人、最低15人、平均24人です。その学会誌の頁数は当学会のその2倍以上ですので、ガスタービン学会誌はかなり良い線に行っているようです。とくに最近では平均値を上まわる号が続いています。今後もより広い範囲から多くの人に登場していただくことが必要だと思います。そのためにも編集委員会の拡大強化が必要で、今期の委員数(理事を含め)は17名を擁しております。各委員は委員会に名を連ねるだけでなく、任期中に必ず1つ以上のテーマを企画し記事をモノすることを申し合わせています。

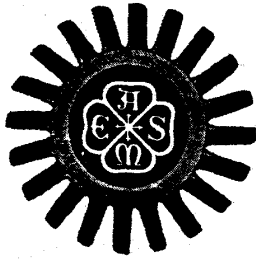
#### 一技術論文の充実一

『技術論文が少い』『会誌を討論の場に』というお話も後記に載っています。これに対しては昨年の定期講演会から講演者に「技術論文投稿のおさそい」を配布し、投稿希望の有無を調査すると

ともにその後の処置を講じて講演22件に対して投稿8件の好成績を上げております。掲載論文や講演に対する会員の意見や質問も会誌に載せることが検討されています。編集委員会は定期講演会の企画運営も担当しますから、講演と会誌充実を結合させるため、このやり方を今後も進めることにしています。

#### 一年に1度は特集号一

『会員の積極的な提言や支援を期待』という話も多く載っています。昭和48年9月に実施された会員アンケートの中に会誌掲載希望のテーマというのがあります。その解答結果は以後の会誌内容に随分反映されているように思います。その後5年以上経っている現在、再び会員アンケートを実施して会員から直接提案をいただくのも一案と思います。本学会はシンポジウム、セミナー、見学会を実施し会員の好評をえております。こうした場に編集委員は意識的に参加し、会員の意向を把握することも必要と思います。そうしたことを基礎にして1年に少なくとも1回は時宜に適したテーマで特集号を出すと思います。因みに前号は明記こそしませんでした。「省エネルギー特集」を意図したものでした。



# gas turbine newsletter

GAS TURBINE DIVISION—THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS

VOL. XX

April, 1979

No. 2

## CHAIRMAN'S MESSAGE

EDWARD S. WRIGHT

The key to the continuing success of the Gas Turbine Division lies in having a strong active membership. Our situation requires new blood and that translates into new members.

If you were among the 3,200 attendees at our successful San Diego Conference, you could not help but be struck by the number of red (non-member) badges in attendance. The good news is that our Technical Program and Exhibits are sufficiently interesting to attract large numbers of outsiders. The bad news is that more of these people should also be attracted to membership in the Society and the Division.

Our Membership Booth at the Conference which was ably manned by Charlie Howard and "Bike" Beichley dispensed a record number of application forms. But how many of those expressing interest will actually apply? While our record has been good over the past several years, we currently rank only 10th out of ASME's 30 Technical Divisions in attracting new members.

Technically, there is really no such thing as a "Member" of the Gas Turbine Division. We are really all members of the Society only. However, Society members who indicate Gas Turbine Division as their primary interest (No. 22 on your Annual Registration Card) are considered to be members of this Division.

I am certain that each of us who are Members must all know at least one other person who is qualified to be a Member, who has a strong interest in gas turbines, who contributes to Division activities, and yet who is currently not an ASME Member. If each of us could encourage just one person to join us, our membership rolls would rise dramatically.

What are the advantages of membership? First and foremost must be the pride of association in a professional organization dedicated to the needs of its members. Secondly, for your rather modest

(Continued on Page 4)



NORMAN R. DIBELIUS

## BIOGRAPHICAL INFORMATION OF NORMAN R. DIBELIUS INCOMING MEMBER OF GTD EXECUTIVE COMMITTEE

Norman R. Dibelius, Manager Environmental Effects and Special Projects with the Gas Turbine Engineering and Manufacturing Department, has been appointed to a five-year term as a member of the Executive Committee of the American Society of Mechanical Engineers, Gas Turbine Division. The Division has over 7000 members.

Mr. Dibelius, associated with the General Electric Co. since 1953 has over 20 years experience with gas turbines. He holds a Bachelor of Mechanical Engineering degree from the Polytechnic Institute of Brooklyn and a Master of Science in Mechanical Engineering from Rensselaer Polytechnic Institute.

He has been awarded 14 patents and 50 of his technical papers and articles have been pub-

(Continued on Page 2)

## NEW ORLEANS CONFERENCE — CALL FOR PAPERS

The 25th International ASME Gas Turbine Conference and Products Show will be held March 9-13, 1980, in New Orleans, Louisiana. Papers are invited concerning all aspects of gas turbine technology, including research and development, system concepts, applications and operational experience. Papers of potential interest to gas turbine users are particularly encouraged.

Authors wishing to offer a paper should submit an abstract directly to the appropriate Technical Committee and the Gas Turbine Division, or to the Program Chairman, Paul J. Hoppe, Director, Special Operations, Brown Boveri Turbomachinery, Inc., 711 Anderson Avenue North, St. Cloud, Minnesota 56301. Telephone: 612-253-2800.

The Aircraft Committee is placing special emphasis on the following areas:

- Propulsion System Acquisition and Life Cycle Cost

(Continued on Page 4)

## THE 25th ANNUAL INTERNATIONAL GAS TURBINE CONFERENCE & PRODUCTS SHOW AT NEW ORLEANS CONVENTION CENTER, RIVERGATE NEW ORLEANS, LOUISIANA MARCH 9-13, 1980

(Continued on Page 11 & 12)

EDWARD S. WRIGHT, *Chairman*

JOHN P. DAVIS, *Vice Chairman*

R. A. HARMON, *Editor*

NANCY POTTER, *Publisher's Secretary*

Official publication of the Gas Turbine Division of the American Society of Mechanical Engineers published quarterly.

PUBLISHER — R. Tom Sawyer, Nauset Lane, Ridgewood, N. J. 07450

SECOND CLASS postage paid at Ridgewood, N. J. for this publication, No. 214620.

POSTMASTER: In the event magazine is undeliverable, please send Form 3579 addressed to R. Tom Sawyer, P.O. Box 188, Ho-Ho-Kus, N. J. 07423.

ASME GAS TURBINE DIVISION

のご好意により複写の許可を得ました。

## FUTURE CONFERENCES

The following is an up-dated list of the gas turbine conferences and the conferences wherein the Division plans and supports one or more sessions on gas turbine technology. Please note that papers must be in for review by the date listed below as \* or \*\*.

1979—Joint Power Generation Conference, Oct. 7-10, Radisson Hotel, Charlotte, N.C.  
—ASME Winter Annual Meeting,\* New York, N.Y., Dec. 2-7, Statler Hilton.

1980—25th Annual International Gas Turbine Conference and Products Show, Rivergate, New Orleans, La., Mar. 9-13.  
—American Power Conference, April 21-23, Chicago, Ill., Palmer House.  
—Joint Power Generation Conference, Sept. 28-Oct. 2, Phoenix, Az., Hyatt Regency.  
—ASME Winter Annual Meeting,\* Nov. 16-21, Chicago, Ill., Conrad Hilton.

1981—26th Annual International Gas Turbine Conference\*\* and Products Show, Houston, Texas, Albert Thomas Cr., Mar. 8-12.  
—American Power Conference, Chicago, Ill., Palmer House, April 27-29.  
—Joint Power Generation Conference, Oct. 4-7, Minneapolis, Mn., Radisson Hotel.  
—ASME Winter Annual Meeting,\* Nov. 15-20, Washington, D.C., Sheraton Park Hotel.

1982—27th Annual International Gas Turbine Conference\*\* and Products Show, Wembley Conference Center, London, England, April 18-22.  
—American Power Conference, Chicago, Ill., Palmer House.  
—ASME Winter Annual Meeting,\* Nov. 14-19, Phoenix, Az., Hyatt Regency Hotel.

1983—28th Annual International Gas Turbine Conference\*\* and Products Show, Conference Center, Phoenix, Az., March 27-31.  
—American Power Conference, Chicago, Ill., Palmer House.  
—Joint Power Generation Conference.  
—ASME Winter Annual Meeting.\*

- \* Submit paper before June 1st for review. The green sheets should have been sent in before Feb. 1st.
- \*\* Submit paper before October 1st for review. The green sheets should have been sent in before June 1st.

### PROGRAM CHAIRMEN

1979 WAM  
RICHARD J. TRIPPETT  
General Motors Corp.  
Research Laboratories  
Warren, Mi. 48090  
313-575-3144  
Home: 313-642-8374

1980 Conference  
PAUL J. HOPPE  
Brown Boveri Turbomachinery  
711 Anderson Avenue, North  
Saint Cloud, Mn. 56301  
612-253-2800

### FOR FURTHER DATA ON FUTURE CONFERENCES CONTACT DIRECTOR OF OPERATIONS

DONALD D. HILL  
International Gas Turbine Center  
6065 Barfield Rd., #218  
Atlanta, Ga. 30328  
404-256-1744  
Home: 404-393-8743



ASME PRESIDENT MR. O. L. LEWIS, PRESENTING THE R. TOM SAWYER AWARD TO SAM WILLIAMS, PRESIDENT OF WILLIAMS RESEARCH CORP.

### Norman Dibelius

(Continued from Page 1)

lished. Dibelius was also awarded the Industrial Research 100 Award for development of an artificial heat lung machine subsequently used clinically for open heart surgery.

As incoming member of the Executive Committee, Dibelius will initially serve as the Gas Turbine Division's technical paper review chairman and will progress to division chairman.

Paul F. Pucci, past Chairman of the Division, remarked, "Norman Dibelius is well known throughout the gas turbine industry for both his technical contributions and his leadership in Division activities as Program Chairman for the successful 1977 Division Conference, and as Chairman of the Combustion and Fuels Technical Committee. His selection is not only an honor to him personally, but also to the General Electric Company."

tion activities as Program Chairman for the successful 1977 Division Conference, and as Chairman of the Combustion and Fuels Technical Committee. His selection is not only an honor to him personally, but also to the General Electric Company."

**IF YOU WISH TO RECEIVE THIS NEWSLETTER, PLEASE REGISTER FOR THE GAS TURBINE DIVISION, OR BE AN EXHIBITOR IN OUR SHOWS**

**TO MAKE SURE YOU GET YOUR NEWSLETTER**  
Mail this change of address notice to your publisher today.

Paste here old address label from copy of publication (if available).  
Omit items 1, 2 and 3 when address label is furnished.

OLD



1. No. and Street, Apt., Suite, P.O. Box or R.R. No.

2. Post Office, State, and ZIP Code

3. Show All Additional Dates and Nos. Included in Address Label  
(Necessary for identification)

NEW



4. No. and Street, Apt., Suite, P.O. Box or R.R. No.

5. Post Office, State, and ZIP Code

6. Name of Subscriber (Print or type)

7. Date of Address Change

Return this to R. Tom Sawyer, Box 188, Ho-Ho-Kus, N. J. 07423

**CALL FOR PAPERS AT  
NEW ORLEANS, LA.  
MARCH 9-13, 1980**

For the following closed cycle sessions. (Also listed are Chairmen of each Session)

1. Nuclear CCGT (\*See item below)
2. Components and Materials (Thompson, Westinghouse)
3. Coal-Fired CCGT (Manning, DOE)
4. Solar Powered CCGT (Kuo, UTRC)
5. Cogeneration (Kinney, DOE)
6. Turbomachinery Research for Closed-Cycle (Bammer, Hannover, FRG)
7. CCGT Heat Sources (Holcomb, ORNL)
8. CCGT Operating Experience (Alt, Arizona Public Service)

Authors are invited to submit abstracts and inquiries to the Chairman of the Closed Cycle Committee:

Anthony Pietsch  
AiResearch Manufacturing Co.  
Dept. 93-240, 50 3-3U  
P. O. Box 5217  
Phoenix, Az 85010

Abstracts/green sheets are requested by June 1, 1979, and final manuscripts will be due for review by September 1, 1979.

**\*CALL FOR PAPERS FOR  
NUCLEAR CCGT SESSION**

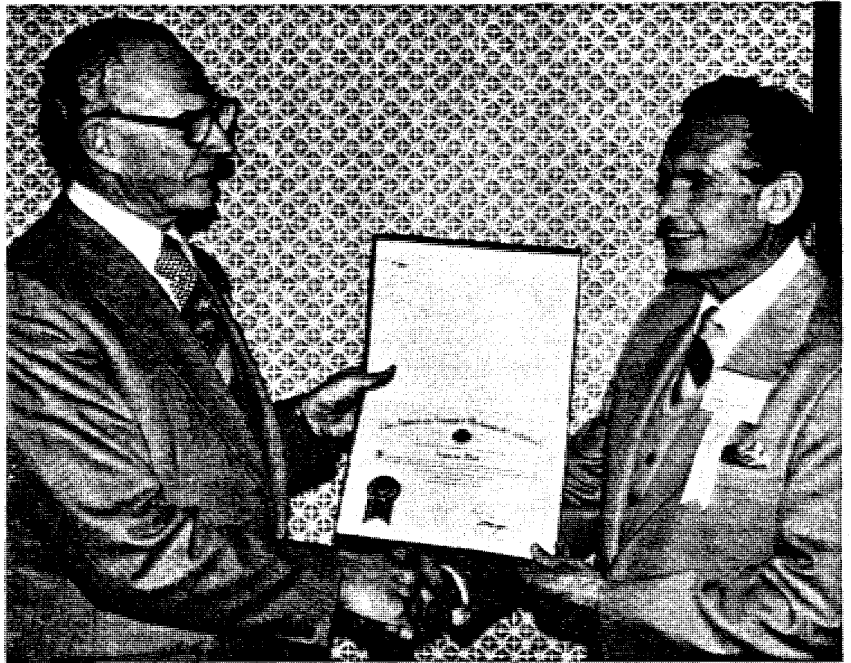
Authors are invited to submit abstracts and inquiries to the Chairman of this session:

Colin F. McDonald  
General Atomic Co.  
P. O. Box 81608  
Room TOE-113  
San Diego, Ca. 92138  
Phone 714-455-2406

Abstracts/green sheets are requested by June 1, 1979 and final manuscript scripts will be due for review by September 1, 1979.

**CALL FOR PAPERS —  
COMBUSTION AND  
FUELS COMMITTEE**

The Twenty-Fifth Annual International Gas Turbine Conference will be held in New Orleans on March 9-13, 1980. The Combustion and Fuels Committee of the Gas Turbine Division is soliciting



**ASME PRESIDENT, MR. O. L. LEWIS, PRESENTING AN AWARD TO IVAN RICE FOR THE EXCELLENT WORK HE DID FOR THE DIVISION WHILE HE WAS ON THE EXECUTIVE COMMITTEE, HANDLING MANY JOBS.**

papers encompassing all aspects of gas turbine combustion from all individuals working in this area for presentation at the conference. Subject areas of particular importance are:

- Alternative Fuel Effects in Gas Turbine Engines
- Fluidized Bed Combustion for Gas Turbine Coal Utilization
- Control of Fuel N → NOx Conversion in Gas Turbine Combustion Systems
- Emission Measurement Technology (improved techniques, accuracy assessment, etc.)
- Advances in Combustor Durability (hardware concepts, life prediction models, etc.)
- Progress in Small Gas Turbine Combustion System Development
- Gas Turbine Combustion System Modeling

— Research for Gas Turbine Combustion Systems  
The schedule for submission of papers is as follows:

June 1, 1979: Abstracts due (use ASME "green sheet" or form M&P 1903) should be obtained from T. A. Jackson listed below.  
September 1, 1979: Manuscripts due.

Due date for reviewed papers will be announced. Wide participation in this conference is encouraged. Please feel free to distribute this announcement among your colleagues. Send abstracts using the green sheet form to:

T. A. Jackson  
Air Force Aero Propulsion Laboratory  
Wright-Patterson AFB, OH 45433  
513-255-4027 or 255-2460

**"ONWARD AND UPWARD WITH GAS TURBINES"  
by Arthur Kent, ASCAP**

**NO CHARGE TO COMMITTEE CHAIRMEN, VICE CHAIRMEN  
AND EXHIBITORS**

Please send me  
Gold Lapel Button  
Yes  No   
\$15.00

Yes  "Onward and Upward With Gas Turbines."  
No  Please send me a 45 RPM record — \$1.00,  
the official Gas Turbine Division Song.

Type Member  
For Lapel Button



Name.....  
Company.....  
Address.....  
City..... State..... Zip.....

Mail to: R. Tom Sawyer, Box 188, Ho-Ho-Kus, N. J. 07423

Onward and upward with gas turbines,  
The finest kind of power of them all;  
Small ones and large ones  
All easy to run ones  
The simplest kind of units to install.

Now there are turbines on the ocean  
On the land and in the air  
They're even used in outer space  
Turbines, turbines every place!

Onward and upward with gas turbines;  
We love to hear their gentle, quiet call  
The greatest kind of power of them all!  
Now we are building combined cycles,  
With energy from any kind of fuel;  
We're making projections  
In many directions  
That turbine power's gonna be the rule.  
This is a vision of the future,  
For centuries to come;  
Turbine cars are so complete  
All the rest are obsolete!

Perfect solution to cut pollution,  
We love to hear their gentle, quiet call,  
Gas Turbines are the greatest of them all!

**Call For Papers, Aircraft Committee**

(Continued from Page 1)

- Systems Design for Manufacturing and Maintenance
- Energy Utilization
- Propulsion System Integration
- Test and Measurement Techniques
- V/STOL Propulsion
- Small Engines

Authors interested in contributing to these sessions should contact:

Dennis E. Barbeau  
Teledyne CAE  
1330 Laskey Road  
Toledo, Ohio 43612  
Phone: 419-470-3107

Offers of papers ("green sheets"—Form M & P 1903) should be received by June 1, 1979. These can be obtained from ASME Headquarters or the various committee chairmen, such as those mentioned above.

Completed manuscripts must be received for review by the Technical Committee Chairman or his designated Session Organizer by September 1, 1979.

**CALL FOR PAPERS**

The Turbomachinery Committee of the Gas Turbine Division of ASME is planning technical sessions for the 25th Annual International Gas Turbine Conference to be held in New Orleans, Louisiana, March 9-13, 1980.

Sessions of current interest which reflect areas of recent emphasis in the gas turbine industry are being organized. The following are specific topics for which papers are being solicited as well as the session organizers for this meeting.

- The Aerodynamics of Low Aspect Ratio Turbomachinery  
M. J. Miller  
Research Dept. - 11R  
The Trane Co.  
LaCrosse, WI 54601
- Recent Developments in Radial Flow Turbines and Compressors  
P. F. Flynn  
Cummins Engine Co.  
Technical Center 50165  
Columbus, IN 47201
- Turbomachinery Intra-Blade Flow Field Determination with the Aid of Optical Techniques  
A. W. Stubner  
Project Engineer, EB-2H  
Pratt & Whitney Aircraft  
East Hartford, CT 06108
- Turbulence Effects in Turbomachinery  
Dr. R. Raj  
Dept. of Mechanical Engineering  
The City College of New York  
New York, NY 10031

Authors interested in contributing to these sessions should submit an abstract and an Offer of a Technical Paper (green sheet) to the pertinent session organizer by June 15, 1979. Final manuscripts for review purposes should be delivered by September 1, 1979 to permit sufficient time for review, revision, and final copy preparation.

Paper offerings not directly applicable to these topics should be submitted to  
Dr. L. H. Smith, Jr.  
Mail Zone H43  
General Electric Co.  
Cincinnati, OH 45215

for appropriate resolution and assignment to either this Conference or to the 1980 Winter Annual Meeting.

**DIVISION PLANS FOR '79 WAM**

Planning is well under way for the 1979 Winter Annual Meeting, which will be held December 2-7 at the Statler-Hilton Hotel in New York City. This year the theme will address the broad challenge of "Engineering Innovation and Entrepreneurship—the key to successful management."

The 1979 WAM will deal with the role of the engineer in the economic and social process of innovating new solutions to man's needs and "entrepreneurizing" them into reality. Innovation and its handmaiden entrepreneurship are vital to achieving and maintaining a society with a high standard of living and a good quality of life.

The 1979 WAM will have daily plenary sessions, outstanding speakers, a film festival, short courses, approximately 100 technical sessions, exhibits, awards, and other events. The Gas Turbine Division is planning sessions through its Ceramics, Combustion and Fuels, Heat Transfer, Manufacturing, Materials and Metallurgy, Technology Resources and Turbomachinery Committees.

For additional information concerning the 1979 WAM Program contact the above committee chairmen or the 1979 WAM Gas Turbine Program Chairman:

Richard J. Trippett  
Power Systems Department  
GM Research Laboratories  
Warren, MI 48090  
313-575-3144

**Chairman's Message**

(Continued from Page 1)

investment of \$30, you receive an excellent monthly technical magazine, discounts on the Society's technical papers and discounts on registration at the various conferences sponsored or cosponsored by the Society. Further good news is that the \$30 is deductible on your income tax. Finally, the Society sponsors a comprehensive low-cost group insurance plan to provide low-cost life and medical insurance. I, for example, find that I can purchase life insurance through ASME less expensively than the options for additional coverage available to me through my company's benefits plan, in spite of the fact that my company has one of the most comprehensive benefits plans available in the industry.

As most of you know, 1980 will be ASME's centennial year. The Society has established a goal of 100,000 members to help celebrate this centennial. This goal represents about a 30 percent increase in the present membership. The Gas Turbine Division would like to exceed this goal internally by adding more than 1/3 of its present membership in new members. Won't you help us? **NEEDED: New Members**

Applications Welcome

References Provided

Contact Charlie Howard for further information. Office phone 301-921-3311. Home—14631 Crossway Rd., Rockville, Md., 20853—phone 301-871-8664.



ONE OF THE BIG EXHIBIT AREAS

**"NO-COST" ASME MEMBERSHIPS AVAILABLE**

"No-cost" memberships are available in ASME. Here's how to do it.

- 1) Apply for ASME membership.
- 2) Pay your \$30 annual dues.
- 3) Apply for \$24,000 life insurance through ASME.

You will find that the substantial dividend credit awarded annually on your ASME life insurance will probably, at least, cover the cost of your annual dues. Check the table below for your savings.

**Premium Contributions for \$24,000 Policy — ASME Life**

Member's Age	First 6 Months	Second 6 Months*	Your Savings
Under 30	\$20.00	\$0	\$20.00
30-34	23.30	0	23.30

35-39	32.00	0	32.00
40-44	50.00	0	50.00
45-49	81.00	0	81.00
50-54	126.00	0	126.00
55-59	195.00	0	195.00

\*Based on 50% dividend credit awarded for four of the last 5 years.

Incidentally, you should compare the cost of what you are currently paying for mortgage insurance versus cost of ASME life insurance. Typically, ASME life insurance will cost only one-half as much per \$1000 as conventional mortgage insurance does, so cancel your mortgage insurance and replace it with ASME life insurance and pocket additional profits!

So talk up ASME membership among your professional acquaintances. They will appreciate your interest, ASME membership and low cost member life insurance!



**IF YOU'RE READING THIS NEWSLETTER YOU OUGHT TO BE A MEMBER OF THE GAS TURBINE DIVISION**

It's that simple. If you are interested enough in the gas turbine industry to be reading this newsletter, you should be interested in joining and participating in the Gas Turbine Division.

Our News letter covers only the highlights of what's going on in the industry. And what's going on with the Gas Turbine Division.

To get a more complete industry picture, you have to be there. And that kind of participation is best obtained through active membership in GT Division programs.

Division membership brings you in closer contact with the industry—with benefits such as technical information updates, career and technical stimulation, participation in Division activities.

It also provides tangible benefits. Like reduced fees at conferences, discounts on technical papers, substantial savings with group life, health and accident insurance programs. To mention only a few.

Why not take a few minutes now to fill in the form attached and send it along to us. We'll respond with a free booklet outlining ASME GT Division membership benefits, information on how you qualify for membership and an application form. We would like to have you join us.

**PROFESSOR KARL BAMMERT CELEBRATES 70th BIRTHDAY**

It is with great pleasure and congratulations that we note the 70th Birthday, December 13, of Professor Karl Bammert, Director of the Institute for Turbomachinery and Gasdynamics at the University of Hannover, West Germany. Professor Bammert is an international leader and authority in the turbomachinery field particularly as related to axial compressors, open and closed cycle gas turbines, coal-fired heaters, nuclear gas turbine power systems, and more recently solar power systems and components. Some fifty successful Doctorate candidates worked under his guidance.

He has authored and published more than 260 scientific papers; many of these have been presented through the ASME Gas Turbine Division. He and his co-authors presented an unprecedented six papers at the San Diego Conference. He is an active member of the Closed Cycles Committee of the Gas Turbine Division.

**GLENN B. WARREN (1898-1979)**

It is with deep regret that we report the death of Glenn B. Warren, 78th President of ASME. Throughout his professional career at the General Electric Company he had not only been a leader, but also an inspiration to his co-workers, associates, and people working under him. He made numerous technical and management contributions in both steam and gas turbine power systems.

His contributions continued after retirement when he became a board member and consultant to MTI. Also, his independent efforts on advanced automotive engine concepts and approaches to the control of arthritis are yet to be fully recognized. He was most proud of the John Fritz Medal which was awarded to him in 1970 "for technical and managerial leadership in the development of steam and gas turbines, for devotion to the profession of engineering, and for wide-ranging interests and accomplishments in the public welfare."

**"GASOLINE"**

Why use gasoline when diesel or jet fuel is excellent for the gas turbine car—not dangerous.

Clip and mail to: Chairman Membership Development Committee  
 CHARLES P. HOWARD  
 14631 Crossway Rd., Rockville, Md. 20853

I'm interested in joining the Gas Turbine Division of ASME.

..... Send me your free booklet on ASME membership.

..... Enclose a membership application form.

Name .....

Title ..... Company .....

Company Address .....

City ..... State ..... Zip Code .....

Company Phone ..... Extension ..... Country .....



EDWARD S. WRIGHT, DIVISION CHAIRMAN, PRESENTED THE ASME GAS TURBINE PAPER AWARD TO THESE THREE AUTHORS, FOR THE PAPER, "PREDICTION OF COMPRESSOR PERFORMANCE IN ROTATING STALL." L-R: E. M. GREITZER AT DEPT. OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS AT MTI (NORMALLY WITH UNITED TECHNOLOGIES); I. J. DAY, FORMERLY WITH WHITTLE LAB, UNIVERSITY OF CAMBRIDGE, ENGLAND; N. A. CUMPSTY, WITH WHITTLE LAB, UNIVERSITY OF CAMBRIDGE, ENGLAND.

**GAS TURBINE CONFERENCE AND EXHIBIT IN SAN DIEGO, CALIFORNIA STRONGLY ATTENDED BY USERS**

The International Gas Turbine Center has just released registration statistics for the 24th Annual International Gas Turbine Conference and Exhibit and the First ASME Solar Energy Division Conference held jointly in San Diego, California, March 11-15. The meeting attendance of 3170 persons was the largest for any domestic Gas Turbine Division Conference since 1971 and, even then, the Conference was in Houston where there is a concentration of gas turbine users.

The Gas Turbine Conference and Exhibit has traditionally been an international affair with representation from all over the world. The 1979 San Diego Conference was no exception with 15% of the registrants residing outside of the United States. Also, of the 774 companies represented, 21% were from countries other than the United States.

The registrants from gas turbine user organizations are important contacts for gas turbine manufacturers and those companies exhibiting at the 1979 Conference in San Diego had cause to celebrate. Over one-third of the total attendance represented gas turbine users and about one-third were from gas turbine auxiliary equipment users.

Further, 21% of the total attendance indicated their company, organization or agency was considering the use of gas turbine engines. Similarly 19% of the total attendance stated their employer was considering use of gas turbine auxiliary equipment.

The 1978 Gas Turbine Conference was held in London and, because of the demand for exhibit space, some companies found it necessary to construct their exhibit booths on the convention center's parking lot. Also, for the March, 1979 Conference and Exhibit in San Diego, exhibit space was initially sold out in December, 1978. Therefore, exhibition space will be greatly expanded for the 1980 International Gas Turbine Conference and Exhibit to be held at New Orleans' Rivergate, March 9-13, 1980. ASME's Gas Turbine Division will also celebrate its Silver Anniversary Conference in 1980 and a great technical program is anticipated. Further, New Orleans is near a concentration of gas turbine users and a large attendance is assured.

For advance information on attending or exhibiting at the 1980 International Gas Turbine Conference and Exhibit, write the International Gas Turbine Center, Gas Turbine Division, ASME, 6065 Barfield Road, #218, Atlanta, Georgia, telephone 404-256-1744.

## COAL UTILIZATION— FOCAL POINT FOR ADVANCED GAS TURBINE POWER SYSTEMS

The proliferation of R and D activity aimed at using coal and coal derived fuels in advanced gas turbine power systems is very difficult to follow. The subjects and directions of effort seem to be multiplying. This is apparent from the number of papers and sessions in this general area presented at the 24th Annual International Gas Turbine Conference in San Diego, March 11-15, 1979.

The Coal Utilization Committee, under the Chairmanship of George Manning, U.S. Dept. of Energy, has organized technical sessions in the following general areas related to coal and coal derived fuels: Cooling Considerations, Performance and Economics, Environmental Considerations, and Combined Cycles. Also included were papers based on the major DOE programs, EPRI programs and the industry supported effort. The activities of four different organizations on open cycle combined power plant systems are briefly highlighted below.

The U.S. Dept. of Energy is also concerned with the use of coal and coal derived fuels in closed cycle gas turbine systems. These activities are covered in a companion article on Closed Cycle Activities.

### American Electric Power Systems/Stal Laval

This American utility and the Swedish gas turbine manufacturer are embarking on Phase Two of their joint program to develop a 170 MW pressurized fluidized bed (PFB) combined cycle power plant comprised of a 70 MW industrial gas turbine and a 100 MW steam turbine. This phase will take about a year to complete and cost the two organizations over \$2 million to complete.

The second phase is to demonstrate efficient, economical operation of the PFB combustion system and provide a basis for projecting the capital investment and operating costs for future plants.

Subsequent phases will include the design and construction of the complete engineering system development plant at a deactivated AEP power plant in Brilliant, Ohio. This will be followed by a commercial 500 MW PFB plant.

The recently completed first phase of the program took 15 months. It was comprised of feasibility studies and combustion tests of high-sulfur Ohio coal and dolomite at the Leatherhead facility in England.

### DOE & EPRI/Westinghouse Combustion Turbine Systems Div.

Westinghouse is involved in a number of DOE funded programs and activities relating to coal conversion and the utilization of coal-derived cycles. A department in this Div. is responsible for the development of a fluidized bed coal gasification process. Successful runs have been made in the Process Development Unit on a variety of coals, and operation has been accomplished with either air or oxygen blowing the gasifier.

The Combustion Turbine Systems Div. also has several projects funded by EPRI involving combustion characteristics of coal liquids, corrosion and deposition characteristics of heavy petroleum and coal liquids, dynamic modeling of a coal gasification combined cycle power plant to determine the load following and frequency control characteristics of such a plant on a utility grid, and evaluation of thermal barrier coatings in a heavy fuel environment.

Work is in progress with Dow Chemical to test the performance of an air-blown Texaco gasifier-gas turbine combination on a variety of coals. The low Btu gas will be burned in a W191 combustion turbine.

The use of byproduct gas from a coal processing plant in W251 turbines is under study for an overseas industry. The study includes the deter-



ON PAGE 2, IS A PICTURE OF SAM WILLIAMS BEING PRESENTED THE R. TOM SAWYER AWARD. AS WE HAVE SOME EXTRA SPACE IN THIS NEWSLETTER, THIS PICTURE SHOWS SAM WILLIAMS WITH R. TOM SAWYER. BOTH MEN STARTED IN THE GAS TURBINE INDUSTRY VERY EARLY. SAM WILLIAMS WAS ONE OF THE FIRST DESIGNERS FOR THE CHRYSLER CORP. AND AT THAT TIME, TOM SAWYER KNEW HIM AND MANY OTHERS WHO WERE STARTING IN THE BUSINESS. THIS GOES BACK TO ABOUT 1944 WHEN THE GAS TURBINE DIVISION WAS FIRST FORMED AS A COMMITTEE OF THE DIESEL DIVISION OF ASME.

mination of the degree of cleanliness required in the gas and the necessary cleaning system. The air turbine cycle with air heated in a heat transfer surface submerged in coal fired atmospheric fluid beds is under investigation for cogeneration and utility central station application. The application of a variety of proprietary gasifier types to both new and existing utility combined cycles is being investigated for several utility companies.

The influence of thermophoresis on deposition of fine particles in gas turbines has been investigated by Geza Vermes. It is concluded that the phenomenon plays a significant part in deposition in cooled turbines and will become more significant as operating temperatures and the cooling of turbines are increased. The results of the study are presented in the Winter Annual Meeting Paper 78-WAGT-1 and published in the ASME Journal of Engineering for Power.

### DOE High Temperature Turbine Technology Program

High coal pile-to-busbar efficiencies are possible in the integrated coal gasification/advanced combined cycle electric power plant if the following can be achieved:

- Increasing gas turbine inlet temperatures while limiting the losses necessitated by component cooling.
- Adapting the gas turbine for operation in the aggressive environment anticipated in the combustion of low Btu coal-gas

The objective of the DOE "High Temperature Turbine Technology" program is to develop, to a "technology readiness" level, the turbine sub-section of a gas turbine, capable of operation:

- On low Btu coal-gas fuel
- At turbine inlet temperature of 2600°F-3000°F

Technology readiness is defined as that stage in development where all major problems have been solved; there remain no major risks in scaling-up the technology; and the system is ready to proceed to commercial development. The successful completion of this program will result in the key element of a system capable of producing cost-competitive electric power from gasified coal. Curtiss-Wright Corp. is one of the gas turbine developers selected by DOE for this program.

Among the major accomplishments of the Phase One HTT program effort completed in mid 1977, were the following:

- Conceptual designs of an integrated low Btu coal gas fueled commercial electric power generation plant.
- Preliminary designs of a gas turbine-steam turbine combined cycle system.
- Preliminary designs of a 2600°F to 3000°F turbine sub-system using both air and water cooling.

### Curtiss-Wright High Temperature Program

Transpiration-air-cooling was selected by Curtiss-Wright as the concept which offered 3000°F

turbine inlet temperature capability combined with the best cycle performance, reliability, fabricability, from state-of-the-art materials and processes, and potential for early commercialization.

In transpiration cooling, cooling air is passed through a porous wall to establish a complete and continuous blanket of air on the outer airfoil surface of blades and vanes. An illustration of this cooling concept is shown in Fig. 1. The cooling air blanket can effectively deal with the environment by:

- Maintaining skin and strut temperatures at structurally sound levels and below the threshold temperatures for hot corrosion.
- Preventing impingement and/or deposition of particulate and alkali-metal salts.

The key element in the design is the porous metal which forms the airfoil. Sintered wire mesh provides the optimum combination of porosity control, fabricability into airfoil shapes, and adequate properties. At the present time, design and analysis activities are under way. In addition, laboratory testing as well as combustor, turbine stator cascade, and rotating engine rig testing have been initiated.

**DOE/General Electric Company  
High Temperature Program**

Water cooling was selected by the General Electric Company based on some preliminary turbine testing done by the Corporate Research Laboratory. As a result of these earlier tests, GE was also selected for Phase II of the DOE High Temperature Turbine Program. This water cooling concept will require extensive component testing much like the transpiration air cooling concept. This program is in the Gas Turbine Division of GE.

**General Electric Co. Fireside Corrosion Program**

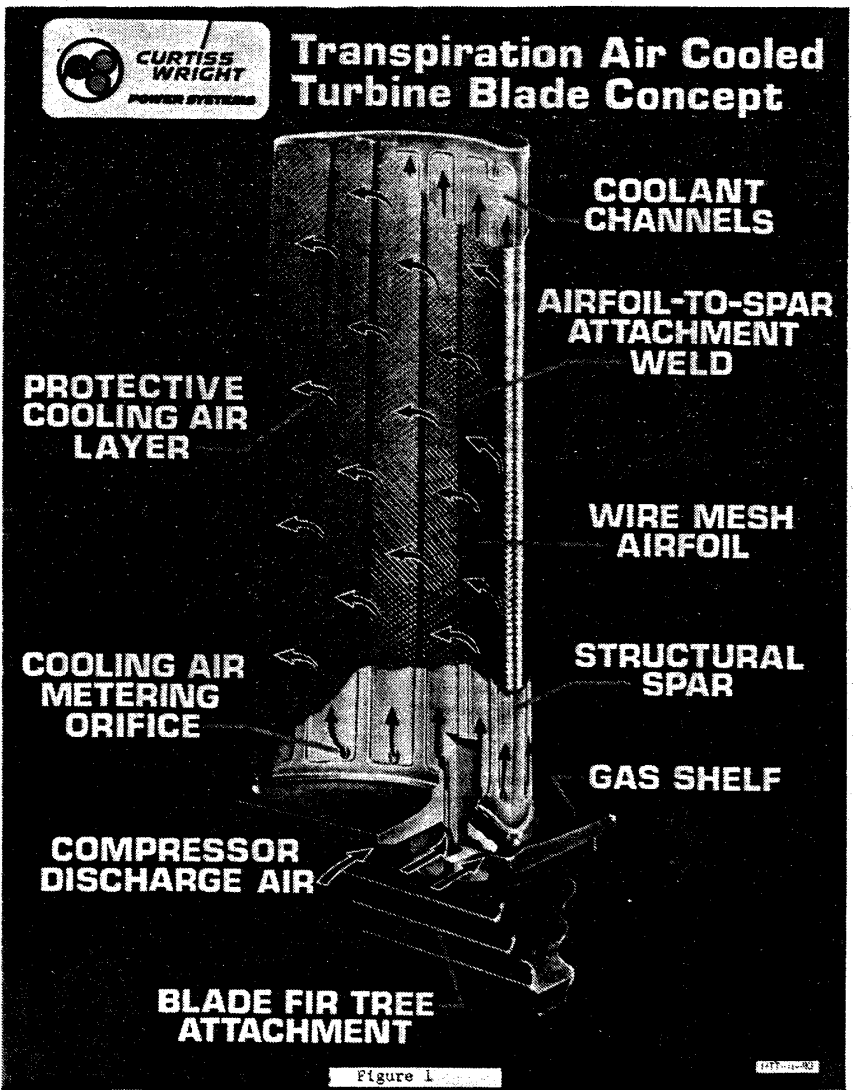
General Electric's Gas Turbine Div. recently completed the Dept. of Energy's Fireside Corrosion Program—Task I. This program was designed to evaluate the effect of the combustion products of coal-derived fuels on current and potential materials used in gas turbine hot-section components and on the plugging of cooling holes in air-cooled airfoils. Atmospheric pressure, small burner rigs and turbine simulators, each of which consisted of a combustor operating at elevated pressures and design air flows equipped with a segment of a first-stage nozzle, were used in these evaluations.

In turbine simulator tests burning a coal-derived liquid (COED) fuel for 68 hours at 1950F and 6.5 atmospheres, deposits of Na and K were found at levels that would have led to hot corrosion in several thousand hours. Similar tests for 152 hours using a synthetic coal-derived liquid fuel, to which ash and alkali metals were added, showed some cooling hole plugging with ash levels of 150 ppm. After 124 hours of tests with 500 ppm ash, cooling hole plugging was unacceptable. It was found that creosote must be handled in a narrow temperature range, low enough to avoid attack of pump components, but high enough to avoid line plugging. Samples of Fe, Cu, Zn, and brass exposed in creosote, H-Coal liquids, and COED showed Cu to be most corroded.

One turbine simulator test of 144-hour duration at 2-atm pressure and 1830F firing temperature was conducted using low-Btu gas produced by the fixed-bed gasifier and partial flow cleanup system at the DOE Morgantown Energy Research Center (MERC). The concentration of Na and K in the cleaned gas was sufficiently high to initiate hot corrosion on contemporary hot-section alloys. Another turbine simulator test, of 55-hour duration at 9-atm pressure and 2200F firing temperature, was conducted with a film-cooled nozzle guide vane, using low-Btu gas produced by General Electric's advanced fixed-bed gasifier and physical cleanup system.

**AWARDS PRESENTED AT SAN DIEGO TO THESE PAST CHAIRMEN**

- |                                                 |                                                                                                     |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Committee<br/>Ceramics</b>                   | <b>Past Chairman<br/>Don Zabierek—<br/>Wright-Patterson Air Force Base</b>                          |
| <b>Closed Cycles</b>                            | <b>Colin F. McDonald—<br/>General Atomic Company</b>                                                |
| <b>Controls &amp; Auxiliaries<br/>Education</b> | <b>Leo P. McGuire—Dresser Industries, Inc.<br/>Richard J. Tripett—<br/>GM Research Laboratories</b> |
| <b>Heat Transfer</b>                            | <b>David A. Nealy—<br/>Detroit Diesel Allison Div.; GMC</b>                                         |
| <b>Manufacturing Technology</b>                 | <b>Elmer D. Marlin—<br/>Cummins Engine Company</b>                                                  |
| <b>Marine</b>                                   | <b>Ralph J. Bradford—<br/>National Steel &amp; Shipbuilding Co.</b>                                 |
| <b>Pipelines</b>                                | <b>Don B. Johnson, Jr.<br/>Tennessee Gas Pipeline Co.</b>                                           |
| <b>Structures &amp; Dynamics</b>                | <b>S. C. (Carlos) Sanday<br/>Naval Research Laboratory</b>                                          |
| <b>Technology Resources</b>                     | <b>Gaetano E. Provenzale—<br/>Exxon Research &amp; Engineering Co.</b>                              |
| <b>Turbomachinery</b>                           | <b>R. A. (Bud) Langworthy—USAAMRDL</b>                                                              |



## ASME CLOSED CYCLES TECHNICAL COMMITTEE REPORT

ANTHONY PIETSCH, Chairman

The Closed Cycle Technical Committee has been very active this past year. The activity culminated in a very successful series of paper presentations in six technical sessions at the 24th Annual International Gas Turbine Conference and First ASME Solar Energy Conference held in San Diego, March 11-15, 1979. Joint sessions were held with the Coal Utilization, Ceramics and Solar Energy Division technical committees. The paper contents ranged from reports on component development to systems using fossil, nuclear and solar heat sources.

Of particular interest were the papers presented by H. C. Däuder of AiResearch and J. C. Campbell of Rocketdyne and co-authored by C. Kinney of D.O.E. entitled, "Closed Cycle Gas Turbines, an ECAS Update, Parts I and II," that reported on the results of studies funded by D.O.E. for coal fired 350 MWe closed gas turbine utility power plant and heater design.

Both studies showed that the closed cycle gas turbine utility power plant directly coal fired is very competitive with other alternative advanced power conversion systems.

Each of the studies used a different technical approach. The AiResearch study used a simple, highly recuperated closed cycle system operating with air as the working fluid and without a bottoming system. The Rocketdyne study used combined heater systems to operate an unrecuperated closed cycle system operating with helium or a helium/carbon dioxide mixture as the working fluid and supplying waste heat to a high pressure steam system. The steam system was heated, superheated and reheated in subsequent sections of the coal fired heater systems.

Both studies investigated fluidized bed and pulverized coal radiant/convective furnace heater units that used heat exchangers made of metal for operating temperatures at 1550°F and heat exchangers made of ceramics for temperatures at or above 1750°F.

Another very interesting paper was presented orally by P. Zenker of Energieversorgung Oberhausen AG entitled, "Operating Experience with the EVO 50MWe Helium Turbine Power Plant in the FRG." This significant closed cycle gas turbine plant has been operated for approximately 10,000 hours with helium as the working fluid. The author described some of the "childhood diseases and growing pains" in the development and operation of this power plant. Initially, operation was limited by a rotor dynamically induced vibration that was corrected. Recently, a cracked turbine blade caused damage that is being investigated and repairs are being made. In all other aspects the plant has operated very well. In particular, the helium sealing and clean-up system has functioned without any problems.

We are looking forward to the next Gas Turbine Conference to be held in New Orleans. Eight closed cycle technical paper sessions are being planned.

### "GASOLINE"

Why use gasoline when diesel or jet fuel is excellent for the gas turbine car—not a dangerous fuel car!

"GASOLINE IS DANGEROUS—Is it worth risking your life and your car. Motorists who carry an extra 5 gallons of gasoline in the car trunk are exposing themselves to the danger of explosion and fire." Quoted—Fire Dept



ANOTHER VIEW OF EXHIBITS.

## DIRECTOR OF OPERATIONS

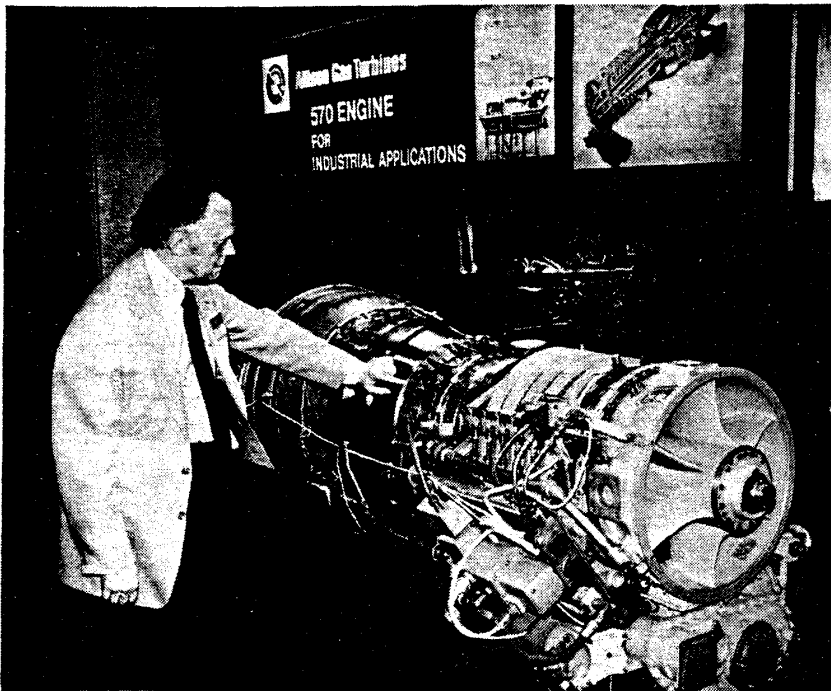
### INTERNATIONAL

## GAS TURBINE CENTER

THE GAS TURBINE DIVISION OF ASME HAS HAD  
A DIRECTOR OF OPERATIONS FOR ABOUT A YEAR,

## DONALD D. HILL

WHO ESTABLISHED HIS OFFICE IN GEORGIA AT:



DETROIT DIESEL ALLISON INDUSTRIAL TURBINE RATED 4500 KW FOR CONTINUOUS OPERATION BUT CAN PRODUCE 5000 KW FOR STANDBY ETC.

6065 BARFIELD ROAD — SUITE 218  
 ATLANTA, GEORGIA 30328  
 PHONE: 404-256-1744  
 HOME PHONE: 404-393-8743

HE HAS REPLACED THE EXECUTIVE SECRETARY, THOMAS E. STOTT, AND ALSO WENDY LUBARSKY. HE HAS ALSO REPLACED J. W. SAWYER, EXHIBIT DIRECTOR.

DON HILL WILL BE THE PUBLISHER OF THE NEWSLETTER AND TOM SAWYER WILL REMAIN ONLY AS THE TREASURER. ALSO EFFECTIVE MAY 1, NANCY POTTER WILL NOT BE WITH THE DIVISION.

(Nancy will be the full time Secretary in a local church in Allendale, N. J.)

## SPECIAL COURSES AND SYMPOSIA

**Eighth Turbomachinery Symposium,  
 November 27, 28, 29, 1979,  
 Shamrock Hilton Hotel, Houston, Texas**

The Symposium, sponsored by the Gas Turbine Laboratories at Texas A&M University, will consist of lectures, discussion groups, and a special panel session. Each attendee can attend all the lectures, discussions, and the panel session.

The object of the Symposium is to provide interested persons with the opportunity to learn the applications and principles of various types of turbomachinery, to enable them to keep abreast of the latest developments in this field, and to provide a forum wherein those who attend can exchange ideas. In this exchange of information, users, manufacturers, basic design engineers, and technicians will get together and discuss problem areas. They will also attend lectures that will inform them of the latest developments in the area of turbomachines and related equipment.

The seventh Symposium attracted over 800 engineers and technicians from all over the states and 22 different foreign countries. A product show with 70 exhibitors was part of the Symposium. The exhibits ranged from large turbomachinery parts to various types of monitoring and maintenance devices. The majority of the attendees were large users of turbomachinery. It is anticipated that over 70 exhibitors will participate in the product show in the Eighth Turbomachinery Symposium.

### TENTATIVE PROGRAM

#### • Lectures

- Bearings — A User's Viewpoint
- Selection and Design of Tilting Pad and Fixed Lobe Bearings
- Electronic Governors
- Governors — A User's Viewpoint
- Bearing Failure Detection Designs
- Compressor Wheel Problems
- Instabilities in Pumps
- Sound Controls
- Cogeneration and Bottoming Cycle
- Gear Box Problems
- Small Gas Turbine Problems
- Maintenance Techniques
- Couplings — A User's Point of View
- Use of Multiple Fuels

#### • Discussions

- Compressor Operation and Maintenance
- Gas Turbine and Driven Equipment
- Steam Turbine Operation and Maintenance
- Shop Techniques for Repair and Maintenance of Turbomachinery
- Onstream Testing of Protection Devices

#### • Panel Session

A special panel session on API specifications relating to turbomachinery will be held on Thursday afternoon. For further information and registration forms contact:

Dr. Meherwan P. Boyce  
 (Turbomachinery Symposium)  
 Gas Turbine Laboratories  
 Department of Mechanical Engineering  
 Texas A&M University  
 College Station, Texas 77843

## 34th ANNUAL MEETING OF GAS TURBINE DIVISION

THE 25th ANNUAL INTERNATIONAL GAS TURBINE CONFERENCE AND EXHIBIT OF THE GAS TURBINE DIVISION IS ACTUALLY THE 34th ANNUAL MEETING OF THE DIVISION. BEFORE WE HAD OUR OWN CONFERENCE AND EXHIBIT, WE MET EVERY YEAR STARTING IN 1947 AT THE WINTER ANNUAL MEETING WHERE WE HAD SEVERAL SESSIONS OF TECHNICAL PAPERS AS WELL AS HAVING AN EXECUTIVE COMMITTEE MEETING WHICH INCLUDED A FEW COMMITTEE CHAIRMEN.

### A TECHNICAL SEMINAR IN MACHINERY VIBRATION

June 26, 27 and 28, 1979, Latham, NY

Sponsored by Mechanical Technology, Inc., this Seminar covers the basic aspects of rotor-bearing system dynamics. The course provides:

- A fundamental understanding of rotating machinery vibrations.
- An awareness of available tools and techniques for the analysis and diagnosis of rotor vibration problems.
- An appreciation of how these techniques are applied to correct vibration problems.

Lecture titles during the three-day course are as follows:

- Machinery Vibration Fundamentals
- Lateral Vibration Characteristics
- Fluid Film Bearings
- Rotor Bearing System Dynamics
- Torsional Vibrations
- Rolling Element Bearings
- Rotor Response to Various Forcing Mechanisms
- Rotor Instability
- Rotor Balancing
- Vibration Sensing and Data Analysis Instruments
- Signature Analysis Techniques
- Preventive Maintenance Programs
- Machine Vibration Diagnosis

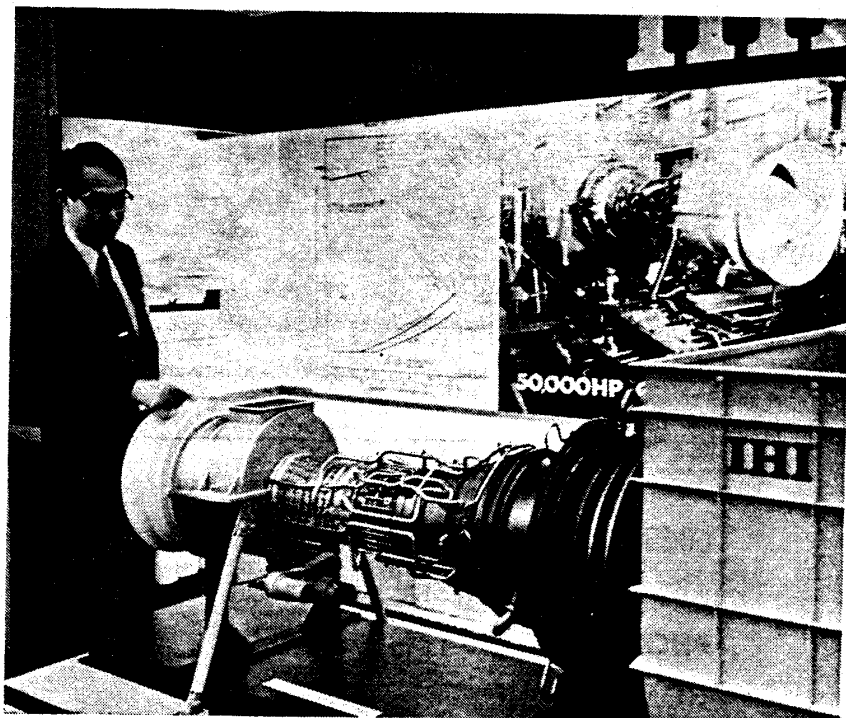
Any questions regarding this seminar should be directed to Mr. Paul E. Babson, Marketing Manager, Machinery Diagnostics, MTI, 968 Albany Shaker Rd., Latham, NY 12110; Phone: (518) 785-2371.

### NEW GAS TURBINE MOVIE AVAILABLE FOR VIEWING

ASME'S Director of Public Relations has available copies of the new ASME film dealing with the gas turbine engine for viewing by interested parties. The film was produced by a professional organization with film clips provided by a number of manufacturers. It deals with the fundamentals and applications of the gas turbine in a nontechnical manner suitable for general audiences and would be useful for introducing the subject at meetings, television talk shows, management briefings, social occasions, etc.

Members desiring the loan of a copy of the film should contact the Director of Public Relations directly at the following address. Copies are also for sale at \$100 each. The film is 16mm, color, and is in sound. Running time is eight minutes.

Director of Public Relations, ASME  
345 East 47th St., New York, N. Y. 10017



IT WAS NICE TO HAVE MANY FOREIGN EXHIBITORS IN THE SAN DIEGO CONFERENCE EXHIBIT. IHI (ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO., LTD.) THERE FROM JAPAN. THEY NOT ONLY BUILD LARGE AIRCRAFT TURBINES LIKE 50,000 H.P. FOR INDUSTRY BUT ALSO SMALLER ONES AS SHOWN IN THIS PHOTO

*An Announcement to Gas Turbine and Related Equipment Manufacturers . . . . .*

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS



25th ANNUAL  
INTERNATIONAL  
GAS TURBINE  
CONFERENCE  
AND EXHIBIT  
WILL BE HELD  
AT THE RIVERGATE  
in  
New Orleans  
Louisiana, U.S.A.  
March 9-13, 1980



**NOW IS THE TIME TO MAKE PLANS TO EXHIBIT . . . .**

- The 1979 Exhibit experienced early sell-out.
- New Orleans location assures large gas turbine user participation and attendance.
- The Silver Anniversary Conference will generate great enthusiasm and a strong technical program.
- Early exhibitors can qualify for special discounts.

Let us send you more on the 1980 New Orleans Gas Turbine Conference and Exhibit. Simply detach and mail the coupon below.

-----  
Cut along dotted line

-----  
Cut along dotted line

-----  
Cut along dotted line

- Please send information to me on attending the 1980 Conference in New Orleans.
- Please send information to me on exhibiting at the 1980 Conference in New Orleans.

MAIL TO:  
INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER  
GAS TURBINE DIVISION, ASME  
SUITE 218  
6065 BARFIELD ROAD  
ATLANTA, GEORGIA 30328 U.S.A.  
(404) 256-1744

NAME: \_\_\_\_\_  
 TITLE: \_\_\_\_\_  
 COMPANY: \_\_\_\_\_  
 MAILING ADDRESS: \_\_\_\_\_  
 CITY: \_\_\_\_\_ STATE: \_\_\_\_\_ ZIP: \_\_\_\_\_  
 COUNTRY: \_\_\_\_\_ TELEPHONE: \_\_\_\_\_

(include area code)

— EXHIBITORS —  
1979 SAN DIEGO  
PRODUCTS SHOW

AAR Technical Service Center  
Energy Services Division  
Ace Industries  
ACMI-Industrial Division  
A E Export Services Ltd.  
AEG-KANIS  
Turbinenfabrik GmbH  
Aerocast, Inc.  
Alnor Instrument Company  
Alturdyne  
Amalgamated Power  
Engineering (US) Inc.  
American Air Filter Company, Inc.  
Baird Corporation  
Bently Nevada Corporation  
British Elec. and Allied  
Manufacturers' Association  
(Power Generation Association)  
Brown Boveri Turbomachinery  
Brunswick Corporation  
Technetics Division  
Brush Electrical Machines Ltd.  
(a Hawker Siddeley Company)  
Cabot Corporation  
Stellite Division  
Chromalloy Reseahch &  
Technology Division  
Chromizing Company  
Division Chromalloy American Corp.  
The Cincinnati Gear Company  
Coaltech, Inc.  
Cooper Airmotive Inc.  
Copper Rolls Inc.  
Curtiss-Wright Corporation  
Power Systems  
Daniel Doncaster & Sons Ltd.  
De Laval Separator Company  
Deritend Vacuum Castings Ltd.  
Detroit Diesel Allison Div. of G.M.C.  
Diesel & Gas Turbine Progress  
Donaldson Company, Inc.  
Dowty Fuel Systems Ltd.  
Dowty Group Services  
Dymac-Spectral Dynamics  
Dyonics Corp.  
Energy International  
Environmental Elements Corp.  
Subsidiary of Koppers Co., Inc.  
ETSCO, Ltd.  
An Elliott Thomassen Service Co.  
Farr Company  
Forecast Associates, Inc.  
Foster Wheeler Ltd.  
Froude Engineering Ltd.  
The Garrett Corporation  
Gas Turbine Corporation  
Gas Turbine World  
GEA Power Cooling System, Inc.  
General Electric Company  
Apparatus Service Division  
General Electric Corp.  
Gas Turbine Div.  
General Motors Corp.  
Harrison Radiator Div.

# 1980 INTERNATIONAL GAS TURBINE CONFERENCE and PRODUCTS SHOW

invites your firm  
to participate in

## NEW ORLEANS, LOUISIANA MARCH 9-13, 1980

For information on the Products Show please contact:  
Robert Whitener, Exhibit Director, Gas Turbine Div., ASME.

DULLES INTERNATIONAL AIRPORT, P.O. BOX 17413, WASHINGTON, D.C. 20041, U.S.A.

Telephone: 703-471-5761

Telex: 899133 WHITEXPO

Gilbert Gilkes and Gordon Ltd.  
The Glacier Metal Company Ltd.  
Gloster Saro Limited  
(a Hawker Siddeley Company)  
Hamilton Standard Support Systems  
Hamilton Standard Test Systems  
Hawker Siddeley Ltd.  
Hawker Siddeley Canada Ltd.  
Orenda Division  
Hawker Siddeley Dynamics  
Engineering Limited  
(a Hawker Siddeley Company)  
Howmet Turbine Components Corp.  
Huntington Alloys, Inc.  
Industrial Acoustics Company, Inc.  
Innsworth Metals Ltd.  
Iscar Blades Ltd.  
Ishikawajima-Harima Heavy  
Industries Co., Ltd.  
Johnson & Firth Brown Limited  
Kawasaki Heavy Industries, Ltd.  
Heintz Division  
Kelsey-Hayes Company  
Utica Division  
Kelsey-Hayes Company  
Klock, A Gulf & Western Co.  
Kongsberg Gas Turbines/North  
American Turbine Corp.  
Kulite Semiconductor Prod. Inc.  
Loewy Machinery Supplies Co., Inc.  
Lucas Aerospace Ltd.  
H. C. Macaulay Foundry Co.  
Machide America, Inc.  
Metrix Instrument Co.  
C. E. Miller Corp.  
Nuovo Pignone  
Subsidiary in USA: Pignone Inc.  
Olympus Corp. of America  
Industrial Fiberoptics Dept.  
Petrolite Corp., Petreco Division  
Powmat, Ltd.  
Pratt & Whitney Aircraft  
Government Products Division  
Reutlinger U.S.A., Inc.  
Rolls-Royce Ltd.  
Industrial and Marine Div.  
Rolls-Royce Motors Limited  
SermeTel Incorporated

Simmonds Precision Products, Inc.  
Solar Turbines International  
an Operating Group of  
International Harvester  
S.S.S. Gears Limited  
Stal-Laval Turbin AB  
Turbomachinery International  
Ultra Electronic Controls Ltd.  
United Technologies Corp.  
Westinghouse Electric Corp.  
Combustion Turbine Systems Div.  
Westinghouse Canada, Ltd.  
Richard Wolf Medical Instruments Corp.  
Woodward Governor Company  
Engine & Turbine Controls Div.

### MORE EXHIBITORS WILL SURELY BE AT NEW ORLEANS

#### AT SAN DIEGO

We had a good attendance of 3170 and 477 were from outside the USA. Of this attendance we are pleased to say we had 1138 Users and 651 others are now considering being users of gas turbines.

#### CONGRATULATIONS

It is a pleasure to note Glenn C. Erdmann has been elected President of the Fabrallay Division of Stolper Industries, Inc. Glenn is a past Chairman of the Manufacturing Technology Committee of the Gas Turbine Division. He continues to participate in Division activities.

#### GAS TURBINE DIVISION MEMBERSHIP DEVELOPMENT

The Gas Turbine Division has long recognized the potential for new membership among the non-member attendees at its Annual Conference. New emphasis was placed on an active Membership Development Committee (MDC) invitation program beginning at the 1975 Houston Conference. Results in new membership were encouraging.

Now is the time for all of us to begin thinking of membership promotion at New Orleans.

TO GET THIS NEWSLETTER REGISTER IN THE  
GAS TURBINE DIVISION OR BE AN EXHIBITOR

#### Recent Exhibits in U.S. and Overseas

Location	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
	Washington	Zurich	Houston	New Orleans	Philadelphia	London	San Diego
Number of Exhibitors	121	106	122	100	102	107	90
Number of Booths	277	260	259	230	224	249	237
Attendance	2556	3210	2836	2800	2782	3668	3170
Number of Companies Represented	663(94) <sup>a</sup>	714	802(124) <sup>a</sup>	774(170) <sup>a</sup>	640(140) <sup>a</sup>	1067	774(163) <sup>a</sup>
Number of Countries Represented	21	43	24	22	29	46	30

<sup>a</sup> — Organizations Outside U.S.A.



## 学 会 誌 編 集 規 定

1. 原稿は依頼原稿と会員の自由投稿による原稿の2種類とする。依頼原稿とは、会よりあるテーマについて特定の方に執事を依頼するもので、自由投稿による原稿とは会員から自由に投稿された原稿である。
2. 原稿の内容は、ガスタービンに関連のある論説、解説、論文、速報（研究速報、技術速報）、寄書、随筆、ニュース、新製品の紹介および書評などとする。
3. 原稿は都合により修正を依頼する場合がある。
4. 原稿用紙は横書き440字詰のものを使用する。
5. 学会誌は刷上り1頁約1900字であって、  
1編について、それぞれ次の通り頁数を制限する。  
論説4～5頁、解説および論文6～8頁、速報および寄書3～4頁、随筆2～3頁、ニュース1頁以内、新製品紹介1頁以内、書評1頁以内
6. 原稿は用済後執筆者に返却する。
7. 依頼原稿には規定の原稿料を支払う。
8. 原稿は下記の事務局宛送付する。  
〒160 東京都新宿区新宿3-17-7,  
紀伊国屋ビル, 財団法人慶応工学会内  
日本ガスタービン学会事務局  
(Tel 03-352-8926)

## 自 由 投 稿 規 定

1. 投稿原稿の採否は編集委員会で決定する。
2. 原稿料は支払わない。
3. 投稿は随時とする。ただし学会誌への掲載は投稿後6～9ヶ月の予定。
4. 原稿執筆要領については事務局に問合せること。

## 技 術 論 文 投 稿 規 定

1. 投稿原稿は次の各項に該当すること。
  - 1) 投稿論文は著者の原著で、ガスタービン技術に関するものであること。
  - 2) 投稿論文は日本語に限る。
  - 3) 投稿論文は本学会以外の刊行物に未投稿で、かつ本学会主催の講演会（本学会との共催講演会を含む）以外で未発表のものに限る。
2. 投稿原稿の規定頁数は原則として8頁以内とする、但し1頁につき10,000円の著者負担で4頁以内の増頁をすることができる。
3. 投稿原稿は正1部、副2部を提出すること。
4. 投稿原稿は原稿執筆要領に従うこと。尚、投稿論文の採否は本学会に一任願います。

日 本 ガ ス タ ー ビ ン 学 会 誌

第 7 卷 第 25 号

昭 和 54 年 6 月

編 集 者 一 色 尚 次

発 行 者 山 内 正 男

(社)日本ガスタービン学会

〒160 東京都新宿区新宿3丁目17の7

紀伊国屋ビル(財)慶応工学会内

TEL (03) 352-8926

振替 東京179578

印刷所 日青工業株式会社

東京都港区西新橋2の5の10

TEL (03) 501-5151

非 売 品

