



ガスタービン開発雑感

三井造船(株)技術開発本部 渡辺哲郎

1) まえがき

吾々が、ガスタービンの開発に着手してから既に四半世紀以上が過ぎたが、その間に経験した事、実施した事等を通して三井造船における開発製造の経過を述べて見ようと思う。

2) 事始めの時期

経過を眺めると、三つの時期に区分される。即ち昭和20年代後半の自己開発の第1期、30年代の技術導入による密閉サイクルタービンの第2期、40年代以降の再度の自己開発による第3期である。筆者は第2期の一時期を除いて本件に関連を持ったが、中でも最も印象が深く、又後々まで影響を及ぼしたのは第1期の開発である。もともと船用ディーゼル機関の設計、製造については永年の豊富なキャリアを持っていたが、回転機械類については殆んど経験の無かった工場を開発を始めたのだから、戸惑ったのは当然で、文献資料類を蒐集し、学生時代の参考書を再び繙いて復習を始めたり、中でも最も困ったのは軸流圧縮機の設計であった。昭和25年に愈々開始となった時、流体面では東大航研の故河田三治先生グループ、熱及び構造面では慶応大学の故栖原豊太郎先生グループの御指導を仰ぐ事となった。サイクルは種々検討の上、当時ヨーロッパ各国で開発されていた複雑なものの中で1/LP/IREを採用したが、未だガスタービンの本質について明確な認識が一般的にも無く、又吾々としても身近にあるディーゼル機関と比べて大巾には効率の劣らぬものということからこうなったのも止むを得なかったものと思う。難問の軸流圧縮機は戦時中に製作された高速風洞用圧縮機設計の基礎となった単独翼理

論に基づいて設計計算が進められ、筆者はタービンの設計を担当させられたが、翼型の選定には困却し、フリーゲルの著書の流線による解析法に目をつけたが、なかなか成果が挙らず難航している所を圧縮性をも加味した解析法をお教え載き、5段の圧縮機タービンの設計を机上計算だけで行った。空力性能については専ら計算だけで済したが、燃焼実験、強度試験、翼車温度分布計測実験等は夫々手分けして行い、何とか圧縮機タービン軸系を完成させ、運転に入れた所、圧縮機の性能が思わしくない事が明らかになった。この圧縮機は中間冷却器を挟んで低、高圧2ケーシングに分れており、低圧側は一応圧力も上がり、効率も程々のものであったが、高圧側は冷却器の圧損が計画値より大きい為、入口圧は低く圧力が上がり、効率も甚だ悪い。加えてタービンの吸込容量が計画値より大きく、従って圧縮機側の風量過大、風圧低下の原因になっている事等が次第に判明して来た。タービンの改造を行い流量は何んとか合せたものの、圧縮機側の効率は良くなり、更に当時未だ現象的にも明確にされていなかった旋回失速によって圧縮機翼類の全破損まで招いてしまった。要するにこの軸系は空力的に各要素間の性能のバランスが極めて悪かったわけである。取敢えず低下した値で妥協する事として圧縮機を修復し、一応出力タービンまで製作してサイクルとして完成させ運転し不十分な成果ながら本開発を終結させたのは昭和30年代の初頭であった。不満足な結果に終わったのは甚だ残念ではあったが、もともと回転機械の経験皆無の筆者等が、その中でも最も難しいガスタービンに挑んだのだから当然とも言えよう。後で会社幹部の方々が成果もさる事ながらそれよりも技術者を育成する為の場を与

(昭和53年7月10日原稿受付)

える事が本意であったとの事を聞き、感激したものであった。兎も角この開発を経験して夫々の分野の担当者には種々貴重な教訓が得られたが、空力設計を担当した筆者等の脳裏に深く刻み込まれたのはミスマッチングの恐しさであり、それを防止するには正確な性能予測が必要であり、それを可能にする為には高度の技術力を養い、技術資産を蓄積しなければならないと言う事であった。

3) 空力試験の始まりと密閉サイクルガスタービン

前記の自己開発の終了直前、約半年程筆者は密閉サイクルガスタービンの技術提携先の Escher Wyss 社へ派遣されたが、当時研究部署に所属した筆者の念頭を去らなかったのは吾々の実験場で運転中の開発機であった。約3ヶ月密閉サイクルの勉強をした後、研究所長兼設計部長であった C. Keller 博士（軸流圧縮機理論の開祖であると共に密閉サイクルの発明者の一人でもある。このサイクルは A-K サイクルとも呼ばれるが A-K はチューリヒ工科大学の著名な流体学者である Ackeret 教授と Keller 博士の頭文字を取ったものである。）に特にお願いして同博士のご好意で空力実験室の一員として残りの数ヶ月間机を与えて載いた。この室は同社の空気機械（圧縮機、ガスタービン、蒸気タービン）の空力実験を担当する小じんまりしたグループを形成しており、筆者は実験の手伝いをする傍ら研究レポートを自由に借り出しては読んで見た。内容は先ず目的を述べ、次に実験された性能が克明に記載されており、興味深いのは結言と評価である。例えばこの翼列は圧力・流量係数ともほぼ計画値と一致し、効率も現用のものと比べて 1.5% 良好、従ってこれを中間段翼列として採用する。あるいはこの翼列は流量係数が小さく、効率も予期以下なので不採用等、詳細に述べられている。よく自由に読ませてくれたものと思うが、ケラー博士の好意もさる事ながら、彼等にすれば無給の便利な実験協力者への報酬の積りだったのかも知れない。滞在期間が短いので具体的なデータを入手するよりも彼等がどのような考えで研究開発を進めているかを知る事に重点をおいて見た。研究項目は設計部署からの要請に基づくものが多い事。研究者の発意からのものゝ場合、企業ニーズから遊離しないよう配慮

されており、理論的、アカデミックなレポートも散見したが、調べると同社に永年勤務する技術者のものは少なく、数年間同研究所で働き、その後ヨーロッパ各地の大学教授になった者が多い事、即ち基礎研究は人材を選んで行わせている事等である。原則はあくまで構成要素の性能を正確に把握し、改善を企てる事に重点が置かれている事が判って来た。単段若しくは2段のモデル段を製作して回転翼列、翼車実験をシリーズ番号を付け、歴年たゆまず地道に継続しており、実験は定量性を極めて重視し、一列をあげれば効率は温度に頼らず、光学式振計をその都度校正しながら使用している事等参考になる点が多く、当時マッチング不良に悩まされ、圧縮機の効率を向上させるにも具体的なデータを持たなかった筆者にはこの手法は福音のように思われたのは無理からぬ所であった。帰国後開発終了を待って特に上司にお願いして空力実験場を建設し、ガスタービンだけでなく一般産業用回転機の性能向上をも目指して、順次電気動力計、空気源送風機等を設置し、境界層吸込翼風洞、遠心型圧縮機、軸流圧縮機、軸流タービントテストスタンドの順で次々に実験を始めた。やり方はスイス滞在中に学んだシリーズテスト方式を採用し、区別の為軸流圧縮機は AC、タービンは AT、遠心圧縮機は RC（後に M-シリーズに変更）の符号をつける事とした。

ここで密閉サイクルに言及すると、当社は鑑艇用の 10,000 PS 機を開発製作したのだが、空気加熱器を除いてはやはり吾々の開発試作機とは比較にならず、回転機の専門メーカーが豊富な実験データに基づいて設計しただけに性能の精度は上ってはいったが、サイクルが複雑な為、配管、熱交類の圧損、熱交換率が少しずつでも計画値とずれば、その数が多いだけに累積効果は軽視出来ず、又やはりタービンと圧縮機の性能の喰違いの影響が最も大きかった。小馬力と舶用の為のコンパクトさを狙って3段の遠心式で纏めてあったが、喰違いの主犯は圧縮機側で、中間冷却器がからんでの事ではあったが、あれだけ単段試験を行っているのにと内心疑問に思うと共に、既に着々進行しつつあった吾々のモデル実験もその成果の限界を見極めめる必要があるのではないかと懸念し始めた。但しこのタービンは熱効率こそ計画を若干下廻っ

たが、ほぼ計画出力を発揮して納入する事が出来た。

4) 再度の自己開発と其の後

密閉サイクルタービンは技術提携期間終了と共に終結することとなり、昭和30年代末東大宇宙航研にガスタービンを納入する機会が訪れた時、関係者一同許される最後の機会とばかりにはやり立ったが、さて着手する前に落着いて過去の経験をふまえて決定すべき要件がある筈と議論しながら次のような基本方針を定めた。イ) ガスタービンは本質的に簡単な構成であるべきではないだろうか、“The simpler the better”で行こう。即ち圧縮機、燃焼器、タービンだけで構成する。熱交等は本体が安定した後、どうにでもなるのでオプションとする。ロ) そうは言っても効率の悪いのは困るのでタービン入口温度は高めに選定する。800℃は当時としては高温の部類だったと思う。ハ) マッチング不良には今迄いやと言う程、傷めつけられたが、今回それを避ける手だてが揃ったかどうかと、進行していたシリーズテストの一連の成果を吟味してその内からAC-10とAT-1とを採用する。ニ) 密閉サイクルで懸念した単独翼列回転試験の限界に対処する為、圧縮機ロータは最終段後に若干段追加出来るように余裕を見込み、タービンノズルは流量のずれに応じられるよう、取付角度を停止時可変とし、万全の備えとする等であった。この筋書に従って設計を進めると共に、並行して燃焼実験、モデルによる構造体熱歪計測、翼車の冷却実験等は綿密に実施しながら製作を行った所、幸いにして試運転初期の小トラブル以外は殆んど計画値との偏差も無く、永年悩まされて来た mismatching の災いから開放されたわけで、関係者一同完成の喜びに浸ったものだったが、筆者にとってはその喜びもさる事ながら、10年前から始めていた研究手法が根付いて実効を発揮した喜びの方がはるかに大きかったのは事実である。この機械は吾々のタービンのプロトタイプでありスケールアップして90型、30型を製作したが、拡大に伴う不都合も殆んど発生しなかった。唯内部断熱構造の熱疲労による破損、ノズルシュラウドの強度不足、その他細々した小トラブルは発生したが、これ等は何れも商品として成熟して行く過程で避けられない小

児病であり、その都度対処して信頼性向上を企むと共に、更に高温、高性能化を目指して鋭意努力を傾注している所である。小児病について付言すると、これも前述のケラー博士より Kinderkrankheit として教わった言葉であるが、後日当社の密閉サイクルについて圧縮機とタービンの性能の喰違いにクレームをつけた所、平然として“取換えれば宜しい”と言ったのには仰天して毒気を抜かれてしまった経験があるが、この場合は小児病の域を脱して居り成人病とも言えようか。尤も回転機類の数々の事故を経験した後年では彼の発言にも或る程度は共感を持てるようになったのは皮肉である。筆者自身密閉サイクルの末期より昭和40年代末迄、製造部署にて設計に携わり、圧縮機(軸流、遠心式)、タービン(蒸気、ガス、ガスエキスパンダータービン)等の商品の製造に従事したが、先程述べた少数段モデル実験の限界は産業用軸流圧縮機の作動範囲に如実に現われて来た。仔細に調べて見ると多段機械の段間マッチングの問題であることが明瞭である。今迄専ら要素間の性能の釣合いだけに焦点を合せて来たが、更にその領域が狭ばまって要素内に移ったわけである。これに対処するにはやはり実機に近い試験機で実験せざるを得ないが、費用、設備、期間等の制約が大きく、吾々は数年に一度程しか行っていないが得られる効果は大きい。どうせやるなら実機その儘の大きさと言う考え方もあろうが、計測の容易さと何よりも費用対効果を考慮すると実機縮小モデルの方が得策のようである。然し実機モデル実験が必要だからと言って少数段翼列試験の価値を減殺するものではなく、あくまでもこれが基礎となるものとする。唯タービンの場合は自然の理に従って高(圧)きより低(圧)きに流れるので段間マッチングに神経をとがらす必要はないようである。ACシリーズは現在20(なかには計算だけのものも含まれる)に近づきガスタービン用だけでなく一般産業用圧縮機設計の基礎となっており、ATシリーズも過給器用、ガスエキスパンダータービン用、炉頂圧タービン用、と用途に応じて選択出来るように充実されて来ている。何れにしてもこの方法は開発の一手法であり、又余りにも目前の応用面にのみこだわり過ぎるとの謗りもあるかと思うが、前にも述べたように“人を選

んで、より基礎的な研究を”の側面を無視しているわけではなく、非定常流れ現象に着目し、人材をも得たので最近再開したが、永い眼で見た視野の拡大も欠かせないものと思う。今迄流体性能面だけを強調し過ぎた嫌いがあるが、この面に対する配慮だけでは良い物が出来ないのは当然であり、筆者の設計部署での経験から言っても流体性能面よりも、振動、応力面での苦い思い出が圧倒的に多く、それを解決するのにかなりの精力をさかねばならなかった。その際、振動、応力、流体、解析技術者との密接な協力を欠いては対処する事が出来なかったのは事実である。流体機械（ガスタービンに限らず）なるハードウェアは細分すれば様々な基礎理論の上に成り立っているが、それに携る技術者（世間で言う何々屋、例えばガスタービン屋）は間口の広い浅い知識を万遍なく備え

るだけでは不十分で、筆者の狭い経験からも少くとも基礎理論の一分野だけには間口の狭く深い素養を身につけて置く事が肝要だと思う。この点ここ数年、冷却翼の研究を実施する為、ガスタービン屋を中心に空力性能、熱伝達、応用力学、材料（熔接）等の各グループの協同開発を行わせて見ながら折にふれてその感を深めている次第である。

5) 結 言

とりまとめの無い事を書き綴って本題より逸脱した点多かったと思うが何んらかの参考となれば幸いである。最後に常に温い御助言と御指導を載っている、東大宇航研、航宇技研原動機部の方々、又文中殆んどお名前を省略させて戴いたが、その時々、御指導を仰ぎ、ご鞭撻戴いた社外、及び社内の多数の方々に厚くお礼申し上げ度いと思います。





半導体小型圧力変換器とその応用

豊田中央研究所 西山 園
五十嵐伊勢美

1. はじめに

熱機関やターボ機械など流体機械の作動は、多く非定常現象であり、近年その高性能化の研究が進むにつれて、非定常現象のより詳細な理解が要求されるようになってきた。変動する圧力の測定は、この理解にあたって、最も重要な項目の一つである。

変動圧力測定のための変換器としては、従来、圧電型、電磁誘導型、容量型、磁歪型、抵抗型、半導体型などが使用されている。これらの中で、半導体型圧力変換器は、感度が高く、小型であり、固有振動数が高い、という優れた特徴を備えているため、近年各分野で利用されるようになってきた。

以下に、半導体圧力変換器の概要と、豊田中央研究所における経験を主体に、具体的な応用例について述べる。

結晶に外力を加えたとき、その電気抵抗が変化する性質は、ピエゾ抵抗効果として知られている。この効果は、不純物をわずかに含む半導体結晶に、外力が加わって、格子にひずみが生じると、伝導バンドあるいは価電子バンドのエネルギー状態が変わり、その結果、キャリアの数や移動度が変化して、結晶の電気抵抗が変化するものと説明される。外力が比較的小さい範囲では、外力と電気抵抗の変化とは比例関係にあり、その比例定数をピエゾ抵抗係数と呼ぶ。

シリコンやゲルマニウムの半導体結晶のピエゾ

抵抗効果が、他の材料に比べて著しく大きいことを、1954年にC.S. Smithが見出して以来、⁽¹⁾これを半導体ひずみゲージとして計測に応用する研究が、米国を中心に、また国内においても進められてきた。^(2,3)

半導体ひずみゲージは、高感度かつ小型という点に特徴がある。これを抵抗線ひずみゲージと比較してみよう。ゲージの感度は、単位ひずみ当りの抵抗変化の割合として定義され、ゲージ率Kと呼ばれる。ゲージのピエゾ抵抗係数を π 、ヤング率をE、ひずみを ϵ とすると、ゲージの抵抗変化の割合 $\Delta R/R$ は近似的に、

$$\frac{\Delta R}{R} = \pi E \epsilon \quad \dots\dots\dots (1)$$

で表わされるから、ゲージ率は、

$$K = \pi E \quad \dots\dots\dots (2)$$

となり、ピエゾ抵抗係数とヤング率によって決まる。ゲージ率は、通常100～200程度であるから、抵抗線ひずみゲージに比べて、数十倍の高感度である。

ゲージの抵抗Rは、ゲージの長さをL、断面積をA、比抵抗を ρ とすると、

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \quad \dots\dots\dots (3)$$

で表わされる。シリコンやゲルマニウムの比抵抗は、結晶に含まれる不純物の濃度によって $10^{-3} \sim 10^3 \Omega \text{cm}$ という広い範囲の値をとることができるから、適当な比抵抗をもつ素材を選ぶことによって、小型で高いインピーダンスを得ることができる。

このように半導体ひずみゲージは、抵抗線ひず

(昭和53年4月28日原稿受付)

みゲージに比べて、感度と寸法の点で利点を持っているが、計測する場合には、抵抗線と同様に、有機接着剤等を用いて、ダイヤフラム等の起歪体に接着する必要がある、これに起因するクリープやヒステリシスによって、変換器の安定性に問題を生じやすい。

この欠点を取除いたひずみゲージとして登場したのが、拡散ゲージである。最も簡単な拡散ゲージの構造を図1に示す。拡散ゲージは、不純物濃

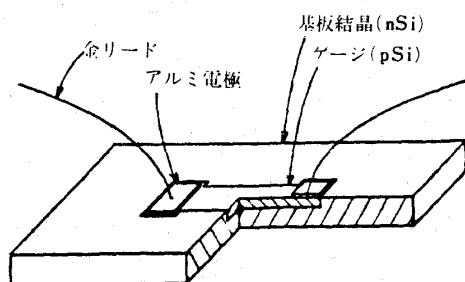


図1 拡散ゲージの構造

度が低い半導体結晶を基板とし、その上に高濃度の不純物を適当な形に拡散し、その拡散層をゲージとして使用する。すなわち、基板の応力変化をゲージ部分の抵抗変化として測定するものである。ゲージと基板結晶との電気的絶縁には、両者の伝導型が異なるように、P型基板にはn型拡散層を、n型基板にはP型拡散層を組合せる。現在よく使われているのは、後者の組合せである。

この方法によって、半導体結晶を直接起歪体として用いることが可能となったため、接着が不要となり、ゲージを接着して用いる場合の欠点である、安定性の問題が解決された。

3 拡散型圧力変換器

3-1 変換器の構造 拡散ひずみゲージは、シリコン基板自体を受圧板(ダイヤフラム)として構成するとき、圧力変換素子として理想的である。

拡散ダイヤフラムの構造の一例を図2に示す。^(4,5)ダイヤフラム面上には、4個のピエゾ抵抗素子が配置され、これらは図3に示す結線によって、ブリッジ回路を構成している。ダイヤフラム面に等分布荷重が作用した場合の応力分布は、周辺固定の境界条件の下では、図4のようであり、⁽⁶⁾中心部と周辺部では応力が反対になる。したがって、

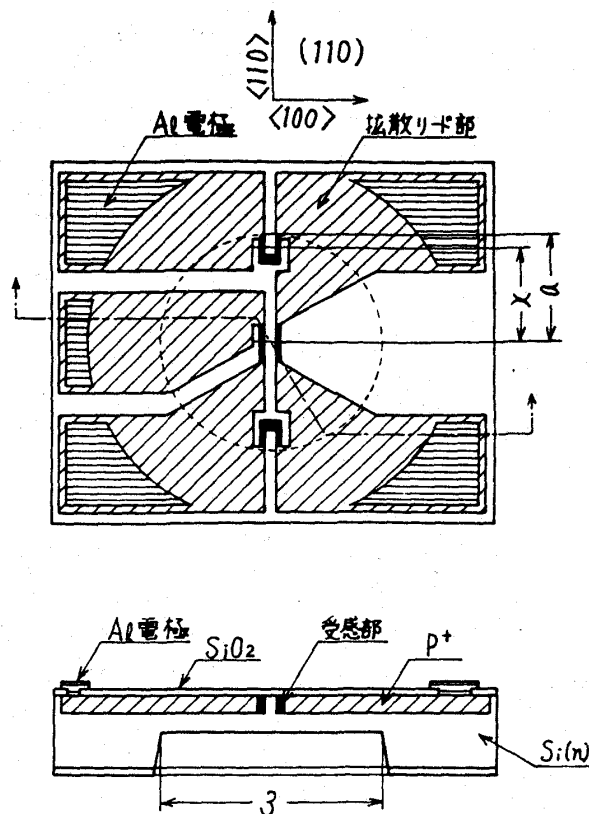


図2 拡散ダイヤフラムの構造

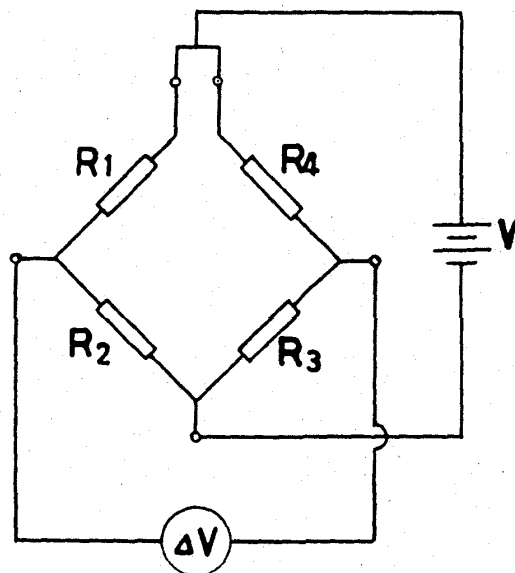


図3 4素子によるブリッジ回路

図示のように、中心部と周辺部とにゲージを形成することによって、出力の増大をはかり、同時に温度補償をも可能にしている。

普通この種のゲージ間の配線は、アルミ蒸着膜によって行なうが、圧力雰囲気によっては長期安

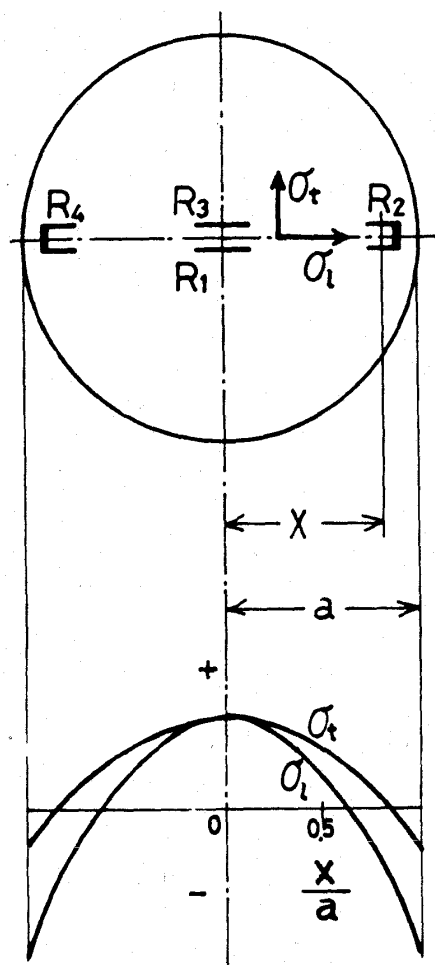


図4 ダイアフラムの応力分布

定性に欠けることがある。拡散ダイアフラムでは、この配線に拡散の低抵抗層（図の拡散リード部）を用い、その全面を SiO_2 膜で保護しているから、配線から生ずるトラブルは極めて少ない。

受圧部は裏側を加工することによって、厚さを変えることができるから、ゲージパターンが一定のまゝ、厚さを変えるだけで、種々の圧力範囲の変換器をつくることができる。標準的には、基板結晶の厚さは $100\ \mu$ 程度、受圧部の厚さは $30\ \mu$ 程度である。

拡散ダイアフラムの平均的な特性を表1に示す。

3-2 変換器の特性 以下に拡散ダイアフラムの主な特性と、これを決める因子について述べ、さらに二、三の使用上注意すべき事項について言及する。(7)

(1) 出力感度

ゲージに応力 σ が作用した場合、抵抗変化の

表1 拡散ダイアフラムの特性

種 別	0.1 F	0.3 F	1 F
測定範囲 (kg/cm^2)	± 0.1	± 0.3	± 1
出力感度 ($\text{mV}/\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上)	300	120	80
定格圧力最大での出力 (mV 以上)	30	40	80
零点移動温度特性 ($\% \cdot \text{FS}/^\circ\text{C}$ バンド幅)	± 0.15	± 0.1	± 0.05
過 負 荷 (%)	120		
使用温度範囲 ($^\circ\text{C}$)	$-30 \sim 80$		
零点移動温度補償範囲 ($^\circ\text{C}$)	$-10 \sim 60$		
直線およびヒステリシス ($\% \cdot \text{FS}$ 以内常温)	± 0.8		
繰 返 し 精 度 ($\% \cdot \text{FS}$ 以内常温)	± 0.8		
最大使用圧力 (kg/cm^2)	5		
ブリッジ抵抗 ($\text{K}\Omega$)	約 1~5		
印 加 電 圧	DC 6V		
検 出 方 法	拡散形半導体ダイアフラムによるピエゾ抵抗効果		
受 圧 部 直 径 (ϕ)	3		
ブリッジ方式	フルブリッジ方式		

割合は、

$$\frac{\Delta R}{R} = \pi_l \sigma_l + \pi_t \sigma_t \quad \dots\dots\dots (4)$$

で表わされる。(添字 l , t はそれぞれゲージの長さ方向とこれに直角な方向の成分を示す)。ダイアフラム面に圧力 P が作用したとき、半径 x の位置の応力は、ポアソン比を ν 、外半径を a 、厚さを h とすると、

$$\sigma_l = \frac{3}{8} \left(\frac{a}{h} \right)^2 P \left\{ (1+\nu) - (3+\nu) \left(\frac{x}{a} \right)^2 \right\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\sigma_t = \frac{3}{8} \left(\frac{a}{h} \right)^2 P \left\{ (1+\nu) - (1+3\nu) \left(\frac{x}{a} \right)^2 \right\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

であり、ピエゾ抵抗係数 π は結晶の方向によって決まる定数であるから、出力感度は

$$\begin{aligned} \left(\frac{\Delta R}{R} \right) \frac{1}{P} = & \frac{3}{8} \left(\frac{a}{h} \right)^2 \left[\pi_l \left\{ (1+\nu) - (3+\nu) \left(\frac{x}{a} \right)^2 \right\} \right. \\ & \left. + \pi_t \left\{ (1+\nu) - (1+3\nu) \left(\frac{x}{a} \right)^2 \right\} \right] \quad \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

で表わされる。[]内は、製作も考慮して最適

のゲージパターンを決めた後は、定数と考えてよい。したがって、感度は $(a/h)^2$ に比例することになり、ダイヤフラムの厚さが小さくなると感度は急激に増大する。

(2) 測定圧力範囲

測定圧力範囲は、出力特性の直線性から決められる。出力特性の直線性を壊す主な要因としては、受圧部の応力と圧力との間の非線形関係であるバルーン効果と、ピエゾ抵抗効果の非直線性とが挙げられる。

バルーン効果は、受圧部のたわみが大きくなるにつれて現われる。特性が直線的と見なし得る限界の圧力を P_B とすると、 K_B を定数として、

$$P_B = K_B E \left(\frac{h}{a} \right)^4 \quad \dots\dots\dots (8)$$

で表わされる。

ピエゾ抵抗効果の非直線性は、応力が大きくなるにつれて現われる。特性が直線的と見なし得る限界の圧力を P_P とすると、 K_P を定数として、

$$P_P = K_P \sigma \left(\frac{h}{a} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (9)$$

で表わされる。

図5は、出力特性の直線性を0.5 % FS以下として、実測によって求めた測定圧力範囲を、 h/a に対して示したものの一例である。図中の曲線の勾配から、測定圧力範囲は、 h/a が大きい領域ではピエゾ抵抗効果の非直線特性により制限され、 h/a が小さくなると、バルーン効果により制限されることが明らかである。 h/a がさらに小さい領域で曲線の勾配が小さくなっている理由については、現在明らかでない。

なお、フルスケール出力は、測定圧力範囲と感度との積であるから、 h/a が大きな領域では測定圧力範囲に対して一定であるが、バルーン効果が支配的な領域では、測定圧力範囲が小さくなるにつれて小さくなることがわかる。

(3) 応答性

ダイヤフラムの固有振動数 f は、材料の密度を d 、 λ を定数として、

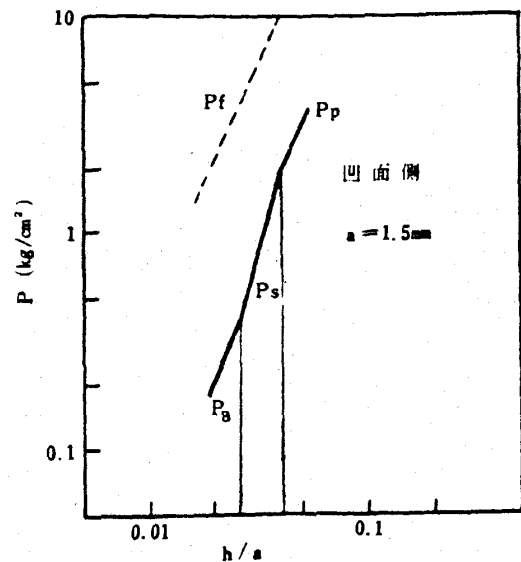


図5 ダイヤフラムの寸法と測定圧力範囲

$$f = \frac{\lambda h}{4\pi a^2} \sqrt{\frac{E}{3(1-\nu)d}} \propto \frac{1}{a} \left(\frac{h}{a} \right) \quad \dots (10)$$

で表わされる。

固有振動数は、式(10)から明らかなように、出力感度が低い程、また受圧部寸法が小さい程高い。図6は h/a を変えて固有振動数を実測した結果の一例である。 h/a が大きくなるにつれて、実測値は計算値(実線)より小さくなる傾向を示しているが、これは周辺固定の条件が満たされなくなるためであろう。

シリコンダイヤフラムの固有振動数は、材料の物理的性質の差(密度の差)によって鋼の約2倍であるが、IC技術を用いて製作されるた

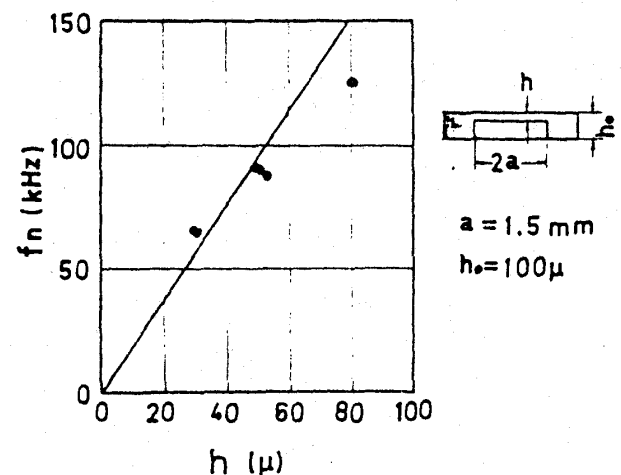


図6 ダイヤフラムの固有振動数

め、受圧部の寸法を充分に小さく作り得ることと相まって、非常に高い値が実現できる。

(4) 温度特性

ピエゾ抵抗素子の特性が温度によって影響されやすいことは、よく知られており、精度を要求する測定に際して温度管理または温度補償が必要である。

圧力変換器の温度特性としては、温度変化に伴う零点移動と出力変化が挙げられる。前者は温度による素子の抵抗変化に起因し、後者は温度による素子の感度変化に起因するものである。

温度特性の補償は、簡単な調整回路を付加することによって可能である。図7および図8に、拡散ダイアフラムの補償を行なう前の温度特性と補償後の特性の一例を示す。

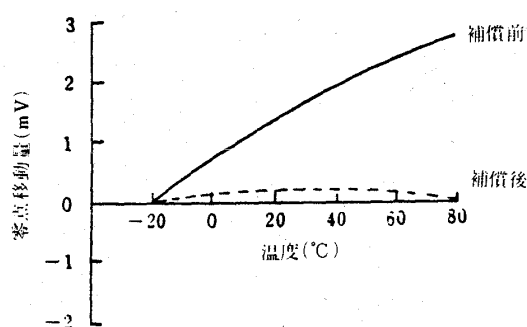


図7 零点温度特性の補償

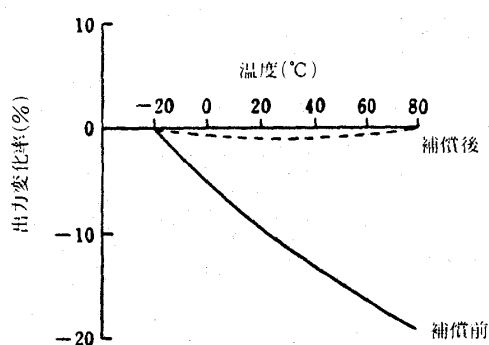


図8 出力温度特性の補償

(5) その他

これまで述べてきたことの他に、使用にあたって注意すべき点を挙げる。

第1は、拡散ダイアフラムの、支持材への固定方法である。方法が不適当であると、固定す

ることによって特性が変化し、さらにヒステリシスあるいは経時変化等を生じさせる。

熱膨張係数がシリコンとほぼ等しいセラミックスを支持材とし、低融点ガラスによって接着する方法は、優れた方法の一つで、熱応力による特性の変化を防止すると共に、安定性も確保できる。

第2は、媒体雰囲気に対する対策である。シリコンが直接に圧力を受けるため、腐食性の気体あるいは液体に対して、それぞれ適当な被覆を施すことによって、ダイアフラムの表面を保護することが望ましい。

4 応用例

(1) ヘリコプタ・ブレードの表面の圧力分布測定⁽⁸⁾

薄型の圧力計を用いて、飛行しているヘリコプタのブレード表面の圧力分布とその時間的变化を測定した例である。

ブレードの外板に薄型の圧力計を埋込むことにより、回転する強度部材を加工することなしに、測定が可能である。使用した圧力計の外観を図9に、その性能を表2に示す。圧力計は、長さ4mm、

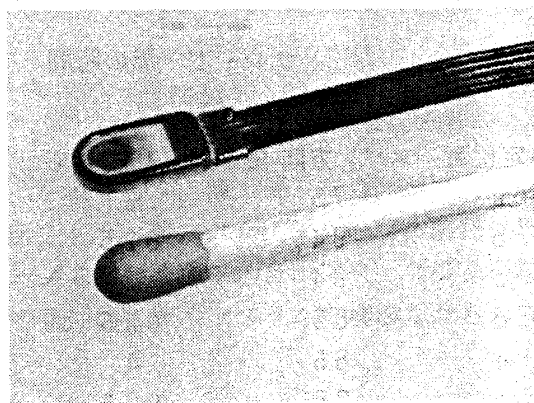
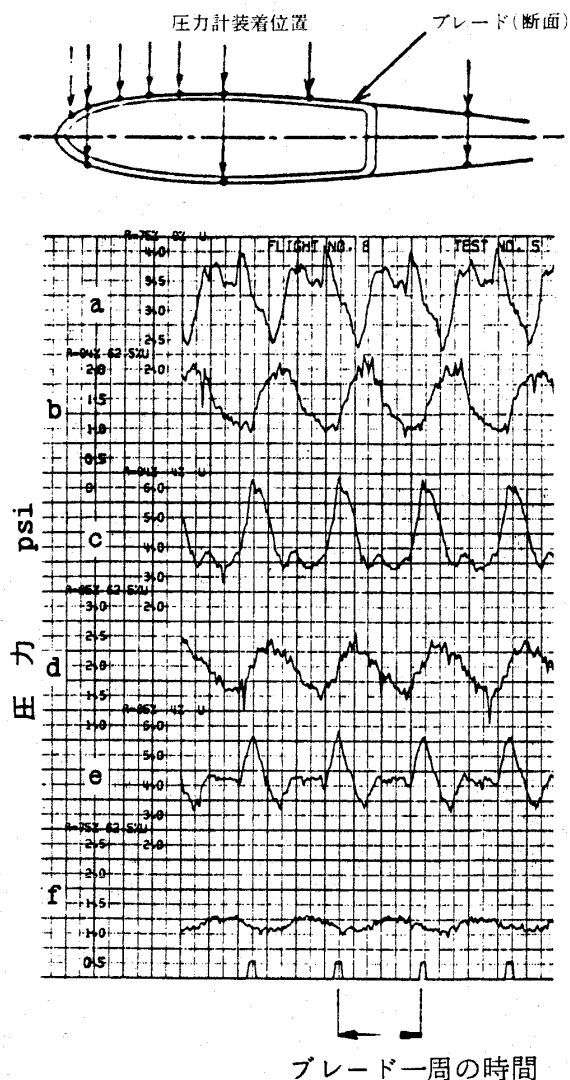


図9 薄型圧力計

幅3mm、厚さ0.15mm、受圧部直径2mmの拡散ダイアフラムが、支持台に貼りつけられたものであり、支持台も含めた圧力計全体の厚さは約1mmである。

この測定の場合は、圧力計がブレードと共に回転しているため、基準圧力として大気圧を用いることは容易でない。したがって、圧力計内に基準圧室を設けて、絶対圧計として使用した。基準圧



測定位置	スパン方向 %	コード方向 %
a	75	9
b	94	62.5
c	94	4
d	85	62.5
e	85	4
f	75	62.5

図10 ヘリコプタ・ブレード表面圧力の時間的変化

室は受圧板と支持台の間に設けられ、大気圧より 0.3 kg/cm^2 低い圧力の空気を封入して用いた。

図10は、ブレード表面圧力の時間変化を測定した結果の一例である。

(2) 走行中の自動車の側面風圧測定⁽⁸⁾

横風とか追越し等によって、走行中の自動車が受ける側面風圧の動的変化を、 0.1 kg/cm^2 FS の

表2 薄型圧力計の特性

仕様	形式	CT-08
種別		1 F
測定範囲 (kg/cm^2)		± 1
出力感度 (mV/kg/cm^2 以上)		30
定格圧力最大での出力 (mV 以上)		30
零点移動温度特性 ($\% \cdot \text{FS}/^\circ\text{C}$ バンド幅)		± 0.055
過負荷 (%)		150
使用温度範囲 ($^\circ\text{C}$)		$-30 \sim 80$
零点移動温度補償範囲 ($^\circ\text{C}$)		$-20 \sim 80$
直線およびヒステリシス ($\% \cdot \text{FS}$ 以内常温)		± 0.8
繰返し精度 ($\% \cdot \text{FS}$ 以内常温)		± 0.5
最大使用圧力 (kg/cm^2)		
ブリッジ抵抗 ($\text{K}\Omega$)		約 1~2
印加電圧		DC3V
検出方法	拡散形半導体ダイヤフラムによるピエゾ抵抗効果	
受圧部直径 (ϕ)		2
ブリッジ方式		フルブリッジ方式

圧力計を用いて測定した例である。

自動車のボディの左右両側面の圧力を、車室内に置いた圧力計に導入し、その差圧を検出した。

速度十数 m/s の風がもつ動圧は、 10 mm Aq (フルスケールの 1%) 程度であり、極めて小さい。

使用した圧力計の構造を図11に示す。図2に示したのと同タイプの拡散ダイヤフラムを用いてお

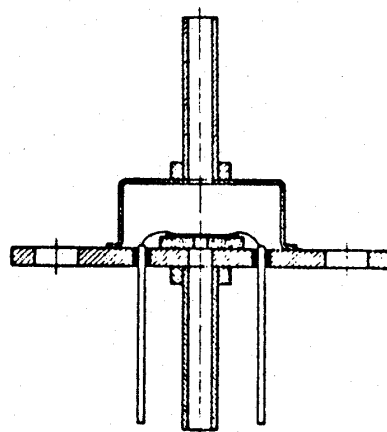


図11 微圧計

表3 微圧計の特性

フルスケール圧力 (kg/cm^2)	± 0.1
フルスケール出力 (mV, 25℃)	37.9
熱出力 (mV/℃, 25~50℃)	0.43×10^{-2}

り、その性能は表3に示した通りである。熱出力は極めて小さいから、車室内の温度が大幅に変化しない限り、出力は十分な精度をもつことがわかる。なお、圧力計の出力を 10^4 倍に増幅して記録したが、ノイズ・レベルは0.5~40 Hzの周波数帯域で0.2% FS以下であった。

図12は、トラックを追越したときの左右両側圧の差の時間的変化の測定例である。

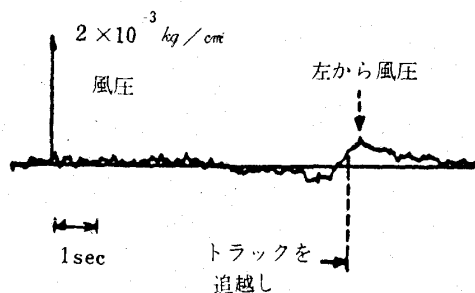


図12 追越時の自動車の側面風圧

(3) 遠心圧縮機羽根車出口の変動流れの測定⁽⁹⁾

小型の圧力変換器を用いて、小型の遠心圧縮機羽根車出口における流れの全圧および静圧の変動を測定した例である。

羽根車羽根ピッチ間の変動周波数は、設計回転数において約10 KHzという高いものであるから、導圧管によって圧力を変換器に伝え、遅れを生じて不都合であり、したがって、変換器は流路面に極めて近く配置しなければならない。一方羽根車は、出口直径112 mm、羽根高さ4 mmという小型のものであるから、空間的に分布をもつ流れを測定するという点からも、流れをできるだけ乱さないという点からも、圧力変換器が小型であることが必要である。

このような要求を満たすために、小型の拡散ダイヤフラムを利用した全圧および静圧プローブを製作した。使用したダイヤフラムの外観を図13に示す。ダイヤフラムの寸法は長さ3 mm、幅1 mm、厚

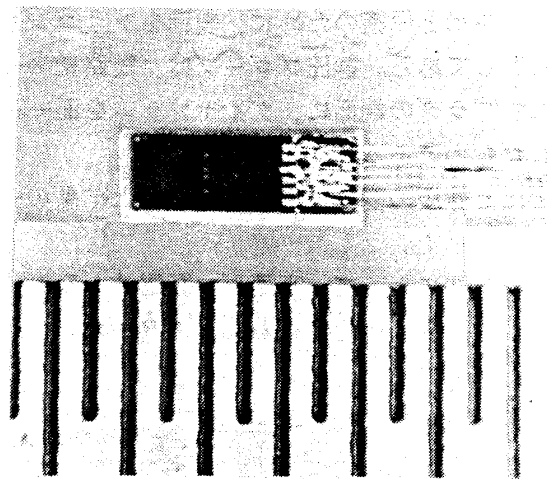


図13 小型拡散ダイヤフラム

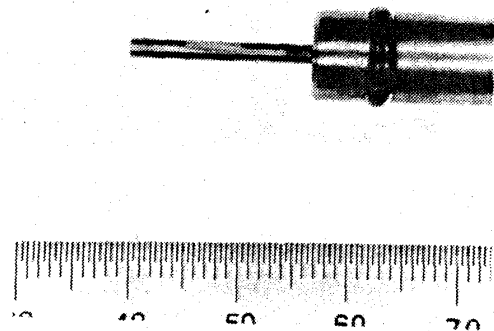


図14 全圧プローブ

さ0.5 mmであり、横1 mm、縦0.5 mmの長方形の受圧面をもつ。図14に全圧プローブ、図15に静圧プローブの外観を示す。全圧プローブは、円筒の一部を切欠いてダイヤフラムを埋設したもので、受

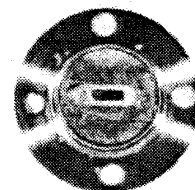


図15 静圧プローブ

圧部の整形と保護のために、表面をシリコンゴムで被覆してある。静圧プローブは、流路壁の一部をなすプラグの端面に、ダイヤフラムを面一に埋設したものである。

全圧と静圧の変動を同時に測定した結果の一例を図16に示す。

この方法によって、高速かつ高周波の変動流速が比較的容易に測定できるようになった。

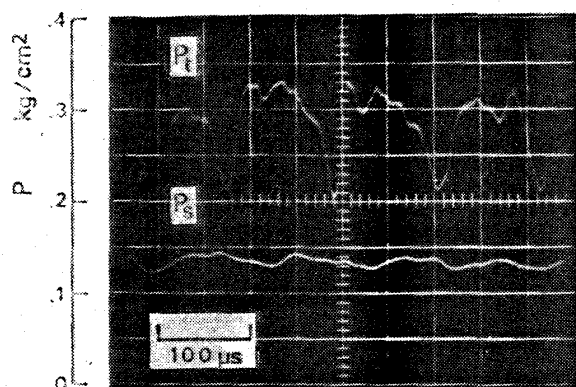


図16 遠心圧縮機羽根車出口の圧力変動

5 おわりに

半導体圧力変換器、特に拡散型圧力変換器の概要と、二、三の具体的な応用例について述べてきた。

半導体圧力変換器は、変換素子の感度が高く、また拡散型変換器が実用されてからは、変換素子

と起歪体が一体であることによって、安定性および信頼性が飛躍的に向上し、かつ小型化が進められてきた。

温度の影響に対して、また媒体雰囲気に対して、使用上注意が必要という欠点がありはしても、利点を生かした応用が各分野で試みられつゝあり、今後さらに広く利用されるものと予想される。

おわりに、本稿の執筆にあたり当研究所第23研究室より資料の提供など援助をいただいたことを記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) C.S. Smith Phys. Rev. 94 (1954) 42
- 2) 五十嵐, 宮本 工学院大学研究報告 3 1 (1956)
- 3) 五十嵐 計測 9 (1959) 748
- 4) 杉山, 中村, 早川, 五十嵐
第20回応用物理関係連合講演会 (1973) 147
- 5) 杉山, 中村, 五十嵐
計測技術 3 5 (1975) 49
- 6) 杉山, 早川, 中村
第13回自動制御連合講演会 (1970.10) 333
- 7) 中村, 杉山, 早川, 五十嵐
電子通信学会 SSD 75-54 (1975) 54
- 8) 疋田, 五十嵐, 島, 清水
日本航空宇宙学会中部・関西支部合同講演会
(1974.11) 107
- 9) 西山, 稲吉 第5回ターボ機械講演会
(1978.5)

コミュニティ発電システムと高温ガスタービン

東京大学 工学部 平田 賢

1. 「コミュニティ発電システム」について

我が国の1次エネルギー供給は究極的には、核融合や太陽エネルギーに依存することになるだろうが、それらが実用化されるのはあと50年以上も先の話である。図1は我が国のエネルギー需給予測の

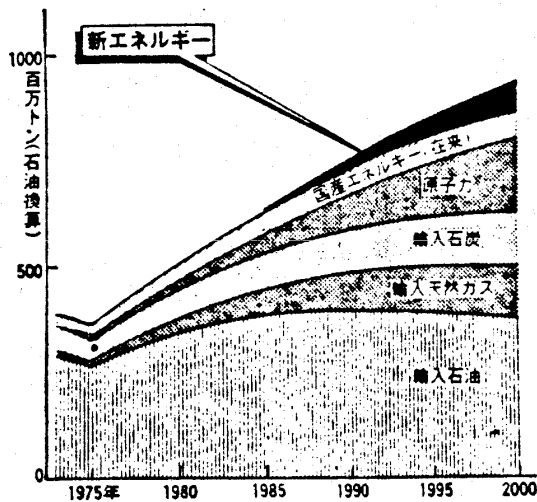


図1 わが国のエネルギー長期需給見通し

1例⁽¹⁾であるが、紀元2000年の時点で、輸入石油の1次エネルギーに占める割合を60%以下に抑えることが出来れば大成功であろう。大方の識者の予測するところによれば、1980年代後半に第2次石油ショックが来るといわれており、原子力、石炭、LNGと可能な限り、「エネルギー源の多様化」「輸入先の分散化」を計り、同時に「省エネルギー」を進めて行くほかに対処すべき方法はなかろう。

図2は我が国のエネルギーの流れを示す線図⁽²⁾であり、輸入した高価な核燃料や化石燃料は僅かな原料用を除いてすべて燃焼させ、一旦「熱エネルギー」の形にしてしまう。この熱エネルギーの概略1/2が蒸気タービンや内燃機関などの「熱機関」の入力となり、発電機を駆動して電力を発生させたり、輸送用の動力となる。残りの1/2は鉱工業、民生用等の熱源である。この流れの中でエネルギーは、核エネルギーあるいは化学的エネルギーから熱エネルギーへ、そして電気エネルギーあるいは力学的エネルギーへと形を変えて行くだけで、熱力学の第1法則によりその総和は常に

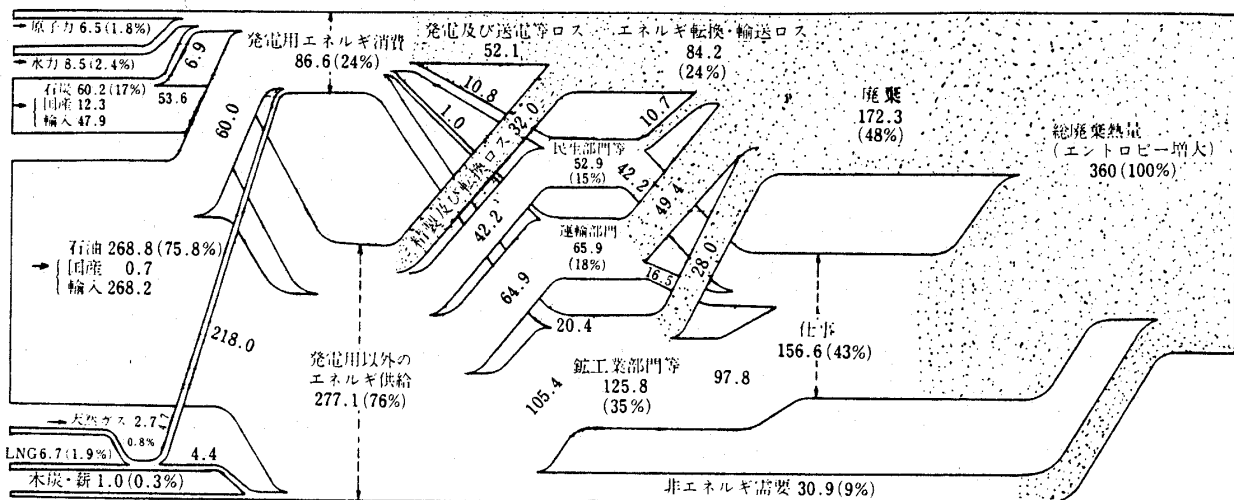


図2 我が国のエネルギーフローチャート(1975), 単位 10^{13} kcal = 原油換算 100 万t

(昭和53年7月10日原稿受付)

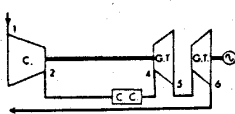
一定である。また熱力学の第2法則によって、エネルギーは温度の高い“高級”な熱エネルギーを起点として、低温の“低級”な方向へと流れ、自然のままでは元に戻らない。そして最後にすべて低質な熱の形となり、宇宙の不可逆のエントロピー増大となって蓄積される。図2の点々で示した部分がその廃棄エネルギーである。従って、「省エネルギー」とはこのエネルギーの流れの中で、人類にとって有効な図2の白い部分をいかに増やすか、黒い点々の部分をいかにして温度の低い、右隅の方向へ押しやるかという「エネルギー有効利用」の問題となる。

熱エネルギーを力学的エネルギーに変える「熱機関」の熱効率は、現在の最も高効率の船用ディーゼル機関でも42%程度のものであり、これをあと1%上昇させるのは容易ではない。熱機関の熱効率を100%にすることは、原理的に不可能

であって、その熱機関の作動流体の最高温度 T_1 °K と最低温度 T_2 °K の範囲で作動するカルノーサイクルの熱効率 $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ が上限である。化石燃料を燃焼させたときに得られる温度を2000°C前後とし、仮に $T_1 = 2400^\circ\text{K}$ とし、 T_2 はほぼ環境の温度として $T_2 = 300^\circ\text{K}$ とした場合のカルノーサイクルの熱効率は $\eta = 1 - \frac{300}{2400} = \frac{7}{8} = 87.5\%$ であり、この程度の値が熱機関の熱効率の上限ということになる。既存の熱機関は未だその半分にも達しておらず、まだまだ改良の余地があることになる。とは言えボイラー、蒸気タービン、内燃ピストン機関などの在来型の熱機関は、単独の熱機関としてはいずれも原理的に熱効率の飛躍的向上の余地がなく、最早完成された技術と言っても過言ではない。

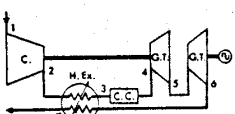
熱効率を改良する“唯一”の手段は、既存の熱機関を、その特徴を生かして複合することである。

① 開放単純サイクルガスタービン

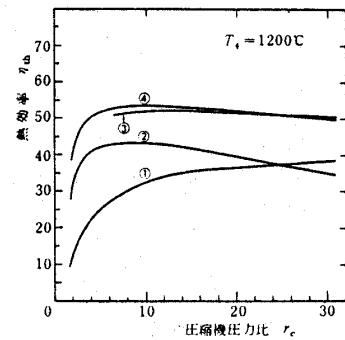
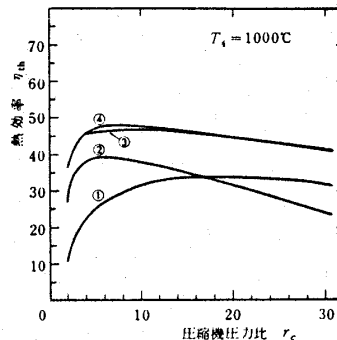


$$\begin{aligned} p_1 &= 1.033 \text{ kg/cm}^2 \\ t_1 &= 15^\circ\text{C} \\ Jp_{2-3} &= p_2 \times 0.04 \\ p_4 &= 1.033 \text{ kg/cm}^2 \\ \eta_c &= 0.84 \\ \eta_{H.G.T.} &= 0.86 \\ \eta_{L.G.T.} &= 0.90 \\ \eta_m &= 0.98 \end{aligned}$$

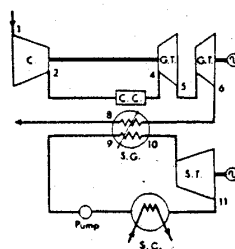
② 開放再生サイクルガスタービン



$$\begin{aligned} p_1 &= 1.033 \text{ kg/cm}^2 \\ t_1 &= 15^\circ\text{C} \\ Jp_{2-3} &= p_2 \times 0.04 \\ Jp_{4-5} &= p_4 \times 0.035 \\ p_7 &= 1.033 \text{ kg/cm}^2 \\ \eta_c &= 0.84 \\ \eta_{H.G.T.} &= 0.86 \\ \eta_{L.G.T.} &= 0.90 \\ \phi &= \frac{T_3 - T_2}{T_6 - T_2} = 0.7 \\ \eta_m &= 0.98 \end{aligned}$$

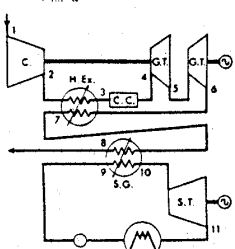


③ 開放単純サイクルガスタービン + 底圧タービン



$$\begin{aligned} p_1 &= 1.033 \text{ kg/cm}^2 \\ t_1 &= 15^\circ\text{C} \\ Jp_{2-3} &= p_2 \times 0.04 \\ Jp_{4-5} &= p_4 \times 0.035 \\ p_7 &= 1.033 \text{ kg/cm}^2 \\ \eta_c &= 0.84 \\ \eta_{H.G.T.} &= 0.86 \\ \eta_{L.G.T.} &= 0.90 \\ t_8 - t_{10} &= 20^\circ\text{C} \\ p_8 &= 1.033 \text{ kg/cm}^2 \\ \eta_{S.T.} &= 0.85 \\ p_{11} &= 0.05 \text{ kg/cm}^2 \\ x_{11} &= 0.88 \\ \eta_m &= 0.98 \end{aligned}$$

④ 開放再生サイクルガスタービン + 底圧タービン



$$\begin{aligned} p_1 &= 1.033 \text{ kg/cm}^2 \\ t_1 &= 15^\circ\text{C} \\ Jp_{2-3} &= p_2 \times 0.04 \\ Jp_{4-5} &= p_4 \times 0.035 \\ p_7 &= 1.033 \text{ kg/cm}^2 \\ \eta_c &= 0.84 \\ \eta_{H.G.T.} &= 0.86 \\ \eta_{L.G.T.} &= 0.90 \\ \phi &= \frac{T_3 - T_2}{T_6 - T_2} = 0.7 \\ t_8 - t_{10} &= 20^\circ\text{C} \\ \eta_{S.T.} &= 0.85 \\ p_{11} &= 0.05 \text{ kg/cm}^2 \\ x_{11} &= 0.88 \\ \eta_m &= 0.98 \end{aligned}$$

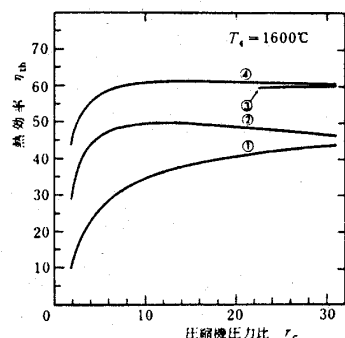
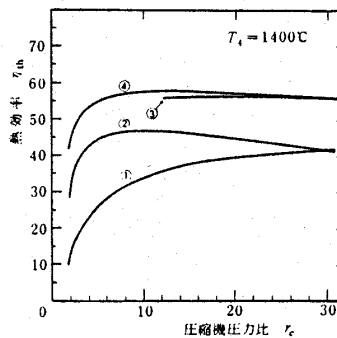


図3 高温ガスタービンを用いた各種サイクルの熱効率

詳細は著者の他の所論⁽³⁾⁽⁴⁾を参照して頂くが、複合サイクル機関としてはガスタービンと蒸気タービン、あるいはディーゼル機関とスターリング機関などといったものが考えられる。ここでは発電用として比較的早期実現の可能性のある「高温ガスタービン・蒸気タービン複合機関」を取り上げることとする。この種の複合機関の熱効率を試算した例を図3⁽⁵⁾に示す。この計算では各部分の損失等を見込んで実現性のある数字を採用しているが、図に示したように、この複合機関の熱効率は、

- i) ガスタービンのタービン入口温度によって大きく変わり、ガスタービン入口温度が1400℃のとき約55%、1600℃のとき60%以上に達し得ること、
- ii) その場合、ガスタービンの圧縮機圧力比はあまり高くする必要はなく、圧力比12~20程度のとき熱効率が最大となる、

ことがわかる。

この複合機関は、図4に示したような構成になるものと考えられるが、ガスタービンの高温排気

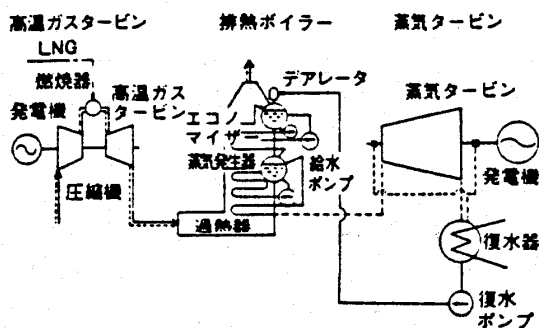


図4 高温ガスタービン-蒸気タービン複合プラント概念図

を排熱ボイラに導いて蒸気を作り、蒸気タービンを駆動するので、500℃以上のガスタービン排気から、蒸気、温水に至るまで幅広い温度にわたって抽出利用することが可能である。従って、高温排気で都市ゴミを余熱あるいは熱分解するか、蒸気、温水を工場用プロセス、あるいは都市の集中暖冷房等の熱源として供給することが出来、熱機関としての効率向上ばかりでなく、熱エネルギーを総合的に利用する、いわゆる“トータルエネルギーシステム”の中核プラントとして適した形

をしている。現在ガスタービンの出力は1機10万kW程度のものまで開発されているので、複数台のガスタービンの排ガスで、1機の蒸気タービンを駆動するようにすれば、電気出力はいくらでも大きくすることが可能であろうが、このようなゴミ処理、あるいは地域熱供給を組み込んだトータルプラントとしては、電気出力20万kW以下程度の比較的中小規模のプラントが適当なサイズであろう。このようなプラントを需要地に近接して多数配置することによって、熱機関および熱源としての総合熱利用率の飛躍的上昇をはかろうとするものである。

このようなプラントは需要地即ちコミュニティと密着した都市型プラントにならざるを得ない。電源立地が困難な今日、コミュニティと一体となったプラント、即ち住民とエネルギー供給者との相互の信頼関係を重視したプラントを建設することによって、大型原子力、大型火力発電所の立地の遅れをカバーし、それらを補完して行く必要がある。エネルギーは必要だが、公害は否とするのは当然の要求であって、公害問題に対する十分な技術的対策を施し、そのことを住民に十分に納得して貰う努力を怠ってはならない。この高温ガスタービン-蒸気タービン複合プラントは当面天然ガスのような高級燃料を燃焼させることによって、低質油燃焼による高温ガスタービンのコロージョンなどの問題を避け、早期に実証プラントを建設すべきであるが、燃料の供給はガス会社の天然ガス供給によることを期待し、供給網の完備された地域内にサイトを選定する。燃焼にあたっては天然ガスの予混合稀薄混合気燃焼を行わせることによって低NO_x燃焼が可能である。もとより硫黄分は少いのでSO_xの問題は生じない。またガスタービン特有の高周波騒音は、地上設備であるから、大型の消音器を設けさえすれば、いくらでも消し去ることができる。

このような低公害・高熱効率プラントを分散配置することを以て省エネルギー化を計ろうというのが、昭和53年度に発足する通産省工業技術院の「ムーンライト計画」の中の1本の柱となっている。通産省では、昭和49年度以来いわゆる「サンシャイン計画」として、新エネルギー源開発を中心とする技術開発プロジェクトを推進して

来たが、このムーンライト計画の発足によって、新エネルギー開発と省エネルギーという技術開発の両輪が整うことになり、まことに時宜を得た施策と言えよう。

2. 渡欧調査の成果

以上のような背景の下に、昭和53年3月コミュニティ発電システムに関連した欧州諸施設の調査研究を目的として調査団が派遣された。著者は(財)日本熱エネルギー技術協会「コミュニティ発電システム調査委員会」の委員長ということもあって、この調査団の団長を仰せつかった。

もとより欧米諸国に、上述のような高熱効率コミュニティ発電システムの前例などあるわけではないが、中小規模の都市型エネルギー供給システムに関しては、欧州には多数の前例があり、またそのようなシステムを可能にした社会的背景などを調査することは、我が国に於いて新たにこの高熱効率コミュニティ発電システムを開発し実用化して行く上で、極めて参考になるものと考えられた。加うるに、我が国ではエネルギーの供給面で、電気、ガス、熱の事業主体がタテ割りとなっており、また日頃は同じ専門分野でしのぎを削っている同年輩の第一線技術者が、2週間にわたる団体旅行を経験することによって、公的にも個人的にも、横の関係を緊密にすることが、我が国のこれからのエネルギー技術開発にとって、はかり知れないほど重要な意義を持つものと思われた。

この調査団の公式訪問先をコミュニティ発電システムの見地から分類すると以下ようになる。

- 1) 蒸気タービン発電+熱供給
 - ハンブルグ電力会社 (HEW), Hafen 発電所
- 2) ガスタービン発電+熱供給
 - ベルリン電力株式会社 (BEWAG), Willmersdorf 発電所
 - ベルリン電力株式会社 (BEWAG), Charlottenburg 発電所
 - ミュンヘン電力公社, Freimann 発電所
- 3) ガスタービン+蒸気タービン発電
 - フランス電力公社 (EDF), Vitry 発電所
- 4) ガスタービン+蒸気タービン発電+熱供給
 - ザールブリュッケン市営 (SWS), VE

GAプラント

- 5) ゴミ焼却+蒸気タービン発電+熱供給
 - ミュンヘン電力公社 Nord 発電所
 - フランス都市廃棄物処理公社 (TIRU), Ivry プラント
- 6) ガスタービンメーカー
 - イタリア Nuovo Pignone 社
 - イギリス Rolls Royce 社

以上の整理を見てもわかるように、我々が構想しているような「高温ガスタービン+蒸気タービン発電+熱供給+ゴミ焼却」といったものは、もちろん存在しないが、4)のザールブリュッケンのVEGAプラントが、構想に比較的近い形をしている。図5にVEGAプラントの外観図を示す。調査結果の詳細については公式報告書⁽⁶⁾が発表されているので、ここではその概要を述べる。

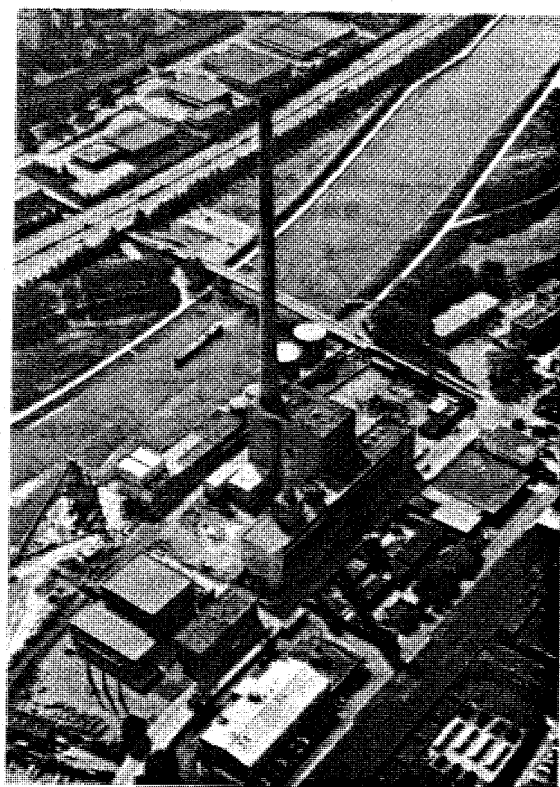


図5 ザールブリュッケンのガスタービン-蒸気タービン複合サイクルプラント

- 1) 欧州に於いては、全般的にガスタービンが普及し、比較的安定した使用実績を上げている。
- 2) 寒さの厳しい欧州中北部の都市では、各部屋が十分に暖房されている事が生活必須条件と考

えられている。商店、住宅が中高層ビルに集中している地区の様に、地域熱供給を行うことによって、個々の家庭で暖房するよりも廉価に、またその排出物総量が減少出来る場合、地域熱供給が比較的容易に受け入れられているが、集中熱供給の恩恵を受けている一般家庭の割合はまだ少ないようである。

- 3) 広い国土に適当な大きさの都市が存在し、発電所があっても、風が吹けば大気汚染物などはどこかへ行ってしまうので専門家を除き NO_x に対する関心など殆どない。
- 4) また、なんといっても石炭があり、天然ガスパイプラインが国と国をつないでいるので省エネルギーに対する関心も薄い。各家庭では従来通り電気による暖房を行っている場合も多く、電気温水器による蓄熱の効果のみがあえていえば、省エネルギーかもしれない。
- 5) 電力需要と熱需要のピークがともに冬期に集中していることも日本と大きな相違である。欧州は冷房をあまり必要とせず、夏は扇風機で間に合う。
- 6) 「高温ガスタービン+蒸気タービン+ゴミ処理+熱供給」などは遠い将来の話であり、計画がないこともないといった程度である。このような構想はエネルギー事情の厳しい日本でしか成立たないシステムかもしれないが、だからこそやらねばならない。
- 7) ガスタービンメーカーのうち、GEと技術提携している Nuovo Pignone 社の人々は、ガスタービンの高温化が比較的容易に達成できるかのような口振りであったが、自分で開発の苦勞をなめている Rolls Royce 社の技術部長は、極めて慎重であった。天然ガスや灯油のような高級燃料を焚くという条件付でも、7年間でタービン入口温度 1500℃を達成するのは、相当の努力を覚悟しなければならないだろう。ましてC重油、石炭などの粗悪燃料を焚いて、なおかつ高温化を達成するのは容易でない印象を強めた。
- 8) エネルギーは人間の生存に不可欠のものであり、生活廃棄物もこれを処理しなければならないものである。当局側は、このことを住民に理解させる努力を怠らず、住民も納得すれば文句

は言わない。ここに欧州の人々一般に共通する合理性を見る事が出来る。

- 9) 城壁あるいは堀に囲まれた自由都市の歴史をもち、且つ2つの大戦を経験した欧州の街々では自分達のコミュニティの中で、全てを賄い、全てを処理して生きて行く感覚が身についている。このことは都市の規模によらず、人々に深く定着している為に、都市型発電所が多い。基本的な意識の点で我国と大きな相異を見る事が出来る。
- 10) 前項と関連して、我が国でこのようなコミュニティ発電システムを実現するためには、その事業主体が、地方自治体になるか、あるいは電力会社その他の企業体になるか、あるいは共同火力のような共同企業体になるべきか、充分な検討が必要であろう。

3. 「ムーンライト計画」に期待するもの

先述のように工業技術院の「ムーンライト計画」の中に、この高温ガスタービン-蒸気タービン複合プラントを中心としたコミュニティ発電システムの研究開発が盛り込まれ、昭和53年秋には研究組合が構成されて具体化に向いスタートすることになった。大型原子力や火力発電による電力供給を補完するシステムとして、比較的中小型の高効率発電所をトータルエネルギーシステムの中核プラントとして分散配置する構想は、スケールメリットを追究する従来の大型指向とは基本的に逆転した発想であるが、最近よく言われる定住圏構想などとも考え方が一致している。また技術開発の国際的展開を企てる上でも、例えば開発途上国向けの技術協力の柱とすることもできる。更に、当面はガスタービンの高温化を、空冷や水冷技術の開発によって実現することを考えているが、併行に耐熱合金やセラミクス等の新しい高温材料の開発研究を行うべきであり、この面での波及効果もはかり知れない。「ムーンライト計画」にける期待は、これらのほかに更に次の2点を強調しておきたい。

1つはこの研究開発を通じ、我が国のガスタービン業界の技術的交流が飛躍的に強められることである。

著者はこのプラントの少くともプロトタイプは航空ジェットエンジンの設計思想を基本にして開

発すべきであると考えている。その理由は単純で、ガスタービンの“高温”化の技術は航空用が陸船用に較べ一歩先んじているからである。タービン入口温度1500℃ともなると、厚肉のフランジをつけて、ケーシングを上下2つに割り、現地で解放点検する蒸気タービンのような設計思想は不整の歪等を生じ不向きであろう。図6はロールスロイス社の航空転用型ガスタービンRB211の例であるが、このように軸対称の円筒型のモジュールを軸方向に組み上げて行き、必要な整備点検

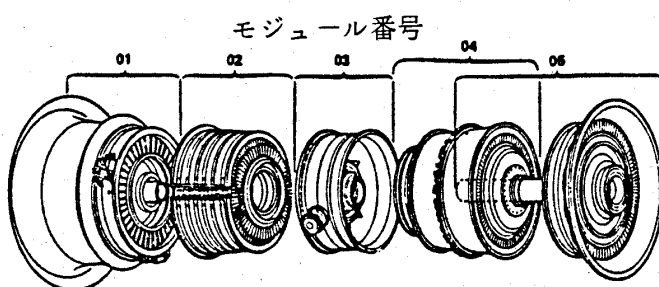


図6 ロールスロイスRB211産業用
ガス発生機のモジュール（最大モ
ジュール重量800kg）

はそのモジュールだけをとり外して工場で行うような、航空ジェットエンジンの整備システムを導入すべきである。複数台のガスタービンに蒸気タービン1基というようにして、出力を調整しガスタービンを標準化しておき、整備ずみの予備品を常に用意して、保守の際には必要な部分だけ入れ換えるようにすれば、保守に要する期間は少くてすみ、稼働率はほぼ完全に排気ボイラ、蒸気タービン側のそれに合致させ得るであろう。航空転用型といっても、地上用であるから、それなりに圧縮機の翼やケーシングの肉厚、材料などを設計変更したり、燃焼器も大型となろう。全体として重構造型に近付くことになるだろうが、今回の研究開発を機会に、いわゆる航転型と重構造型の設計思想の融合が企られ、両者の欠点を補い、長所を延ばして高温化が達成されることが望ましい。1社で航空用も産業用も製造しているアメリカのGEですら、なし得ていないように見受けられる真の技術交流が今回実現されれば、世界をリードする日本の技術がまた1つ増えることになる。

他の1つは、今回のコミュニティ発電システム

は当面LNG等の高級燃料を焚くことから着手すべきと考えている。もちろん、将来セラミックス翼等が開発され低質燃料を焚くことも考えるべきではあろうが、化石燃料の100%近くを輸入に頼り、しかもエネルギー高価格が必至の情勢である以上、低質燃料に耐える“高温”ガスタービンを開発するのは、世界のエネルギー情勢の見通しがもう少し明らかになってからでもおそくはあるまい。どうせLNGを発電用に輸入するのであれば、これを大型ボイラで焚くようなことはせず、

“高温”ガスタービンで高級な燃焼をさせて貰いたいというのが著者の考えである。そこで、かりにこのような発電システムがコミュニティの近傍に配置されるのであればその燃料の供給は、ガス会社の高圧LNG導管網に頼るのが早道である。発生した電力は電力会社の供給網を通じて供給して貰わなければならないし、また熱・ゴミ等は別の事業主体で地域と結びつくことになる。我が国のように、電力、ガス、熱と事業主体がタテワリになっている場合には、このようなエネルギー関連産業間の基本的な協調体制を前提としないと、このコミュニティ発電システムの実現はむづかしい。逆にこの開発を機会に、そのような協調体制が作られるとなれば、我が国として極めて大きな意義を持つものといえよう。

4. むすび

筆者は東京大学名誉教授西脇仁一先生と、昭和34年からガスタービン高温化の基礎研究に着手した。タービン翼に孔をあけて冷却空気を流し運転したのはおそらく日本で最初であろう。日本船舶振興会、造船協会、船舶技術研究所の御援助で北斗丸のガスタービンを改造して実験⁽⁷⁾⁽⁸⁾したのであったが、甘利昂一氏、大江卓二氏、須之部量寛氏、三輪光砂氏ほかの方々の当時の暖かい御支援が20年後の今ここに「ムーンライト計画」として結実しつつあることを御報告し、深甚なる謝意を表したい。

またこの研究開発がコミュニティ発電システムの中核プラントとして方向づけされていることは、まことに当を得たものとして評価しているが、これは昭和50年秋以降「コミュニティ発電研究会」に参加して、地道な基礎的調査研究を共にされた委員各位の御努力に負うところが大きい。この研

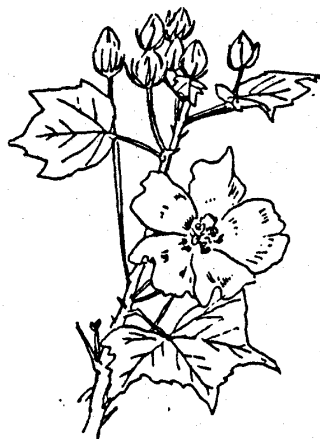
究会のこれまでの研究成果は2冊の報告⁽⁹⁾にまとめられているが、国家プロジェクトとして我々の提案が軌道にのりつつあることを委員の皆様と共に喜びたい。(1978. 7. 5)

参 考 文 献

- (1) 朝日新聞, 10. 2(1977), 6.
- (2) 白田, 熱管理と公害, 10, 8(1977), 23.
- (3) 平田, 日本機械学会誌, 78, 683(1975), 865.
- (4) 平田, 日本ガスタービン学会セミナー(第5回)

資料集(1978-1), 2-1.

- (5) 平田, 秋山, 日本機械学会技術講演会(第1回)講演論文集 No.780-1(1978), 69.
- (6) (財)日本システム開発研究所, コミュニティ発電システム訪欧調査団報告書(1978-5).
- (7) 造船協会, 船用高温高圧ガスタービンの研究(第1報(1960))(第2報(1961)).
- (8) 平田, 日本機械学会誌, 70, 581(1967), 897.
- (9) 熱エネルギー技術協会: 高熱効率コミュニティ発電システム調査研究報告書(第1報1977-6)(第2報1978-9).



遠心圧縮機ディフューザ流れ解析の二つの方法

九州大学生産科学研究所 妹尾 泰利

1. ま え が き

吾々が工学において遭遇する現実の問題には、教科書の演習問題と違って、現象を支配するかも知れないと思われる多くの要素が含まれているが、それらの要素が主問題に及ぼす影響を一つ一つまんべんなく吟味することは事実上不可能である。従って問題を支配する主要部分と本質的でない要素とを識別して問題の構成を単純化し、そのようなモデルについて理論解析を行うなり類似の実験結果を利用して問題の本質を究明することが必要である。しかし単純化して作られたモデルが適当なものでなければ、それから誤った結論が導かれるのは当然であろう。

多くの要素の中から、問題に対して本質的な部分を選別するには、該博な知識と良好な判断力とが必要であるのは言うまでもない。境界層理論の提案を始めとするプラントルの数多くの輝かしい業績の一つ一つを検討してみると、彼がいかにこのような面ですぐれた才能を持っていたかが明らかになる。またフォンカルマン研究所の創立25周年記念誌には、カルマン渦列の解析を例に引いて、カルマンが常に現象の本質を捉える研究姿勢をとっていたことが述べられている。

遠心圧縮機は軸流圧縮機と比べて形状が複雑で流路が狭くて長いために、境界層の発達が著しくてしかも三次元的である。従って理論的解析が困難で、いきおい実験を主とした研究が行われている。このような場合一つの研究方法として問題の単純化が行われ、その単純化されたモデルに関係のある実験結果が無批判に取入れられる場合がある。遠心圧縮機ディフューザの場合には、研究者によって問題の取上げ方や主要部分の評価が異なるために、二種類の全く異なるモデルが提案され、その結果として大幅に異なる設計思想が導かれている。ここに両モデルの概略を述べ、各モデルにおける

問題単純化が妥当であったかについて考察しよう。

2. 遠心ディフューザと単純広がり通路

遠心圧縮機においては、羽根車が流体に与えるエネルギーの約半分は動圧の形をとっているから、羽根車の下流にディフューザを設けて動圧を圧力に変換している。羽根車出口に設けられるディフューザにはいろいろな形状のものがみられるが、高い圧力回復率を必要とする場合にはすべて、構造物の流れの中に設けてすみやかに減速されるように流れを導いている。その形状は図1に示すよ

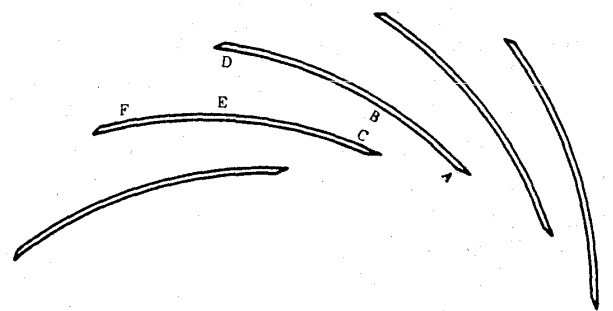


図1 薄板式遠心ディフューザ

うに薄板で空間を仕切って通路を作ったものと、図2に示すようにまず望ましい流れの通路形状を定め、通路間の不要な空間は埋めて部厚い仕切と

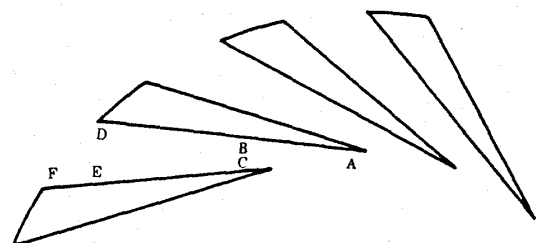


図2 通路式遠心ディフューザ

した形式、とに大別することができる。

ディフューザを設計する場合に、限られた空間

(昭和53年7月3日原稿受付)

内で最大の圧力上昇を得ようとすれば、ディフューザ出口において流れが壁面からはがれる限界まで減速しなければならない。ところが一般に減速される内部流れのはく離限界は、外部流れを対象として導かれた普通の境界層理論では予測できない。⁽¹⁾そのために管内流を減速する円すいディフューザや二次元で中心線に関して対称な直線壁広がり通路について精力的に実験が繰返され、多くの実験結果が実用上便利な形に整理されている。⁽²⁾

遠心圧縮機のディフューザの場合についても普通の境界層理論でははく離限界は予測できる筈はないから、その性能予測は実験結果に頼らざるを得ない。しかしながら遠心ディフューザはその形状が多様で実験結果に一般性がなく、また公表されたデータも少い。ディフューザに関連ある資料でまとまっているものは円すいディフューザや二次元で対称な直線壁広がり通路の資料のみであるから、これを遠心ディフューザの設計に利用できないかと検討することは当然であろう。

遠心ディフューザの圧力面と負圧面とは通路の中心線に関して対称でなくて、負圧面がかなり上流側に位置している。従って圧力面や負圧面の曲率を無視して対称な直線壁広がり通路でモデル化しようとしても、対称な直線壁広がり通路と対比できるのは隣接する翼によって通路が形成されている図1や図2のBCDEの部分だけで、翼先端Aから喉部BCまでの区間に対応する部分は単純な対称広がり通路にはないから、この部分の取扱いは別途に考えなければならない。翼負圧面ABを対数らせんとすれば、この面は自然な流線と一致するので、区間ABCは単なる流入部と見なせるとするものもある⁽³⁾が、果してそうであろうか。また流出部DEFも遠心ディフューザ特有のものであるから、対称な広がり通路と対応させるためには区間EFの翼面に沿って圧力上昇はないものとしなければならない。

多くの対称な広がり通路の実験結果によれば、流れの壁面からはく離を支配するものは出入口面積比 DE/BC と、入口幅 BC に対する長さ BD の比とであって、与えられた条件下で最高の圧力回復率が得られる両者の関係が図3には C_p^* 線で示されている。⁽²⁾従って遠心ディフューザを対称な広がり通路で置き換えることに成功すれば、

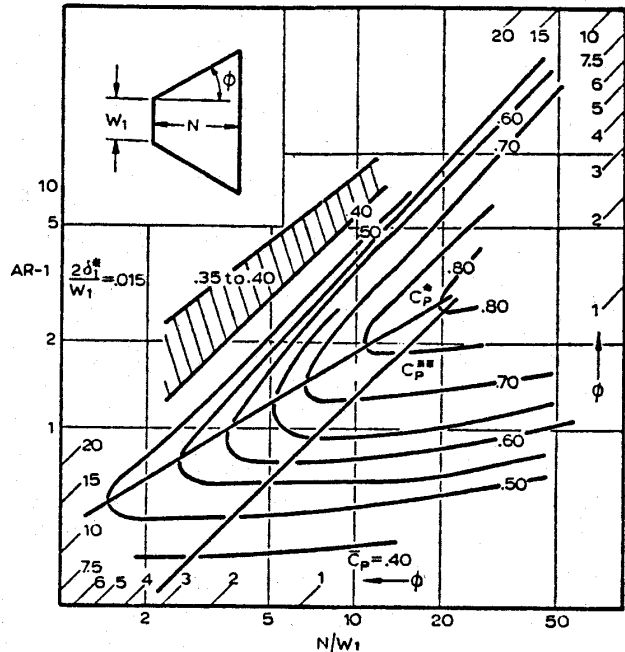


図3 対称二次元広がり通路の圧力回復率 C_p (AR は出入口面積比, δ_1^* は入口境界層排除厚さ)

この関係を利用して良いディフューザが設計できる。

文献によれば、最高の圧力回復が得られるディフューザ形状はディフューザ入口部における境界層厚さによって変化しないが、圧力回復率は入口部における閉そく率が増大する程低下する。このことは境界層計算から容易に推測できるし、実験結果によって示されている。従って遠心ディフューザの流入半開放部ABCは、喉部BCにおいて境界層があまり厚くならないように作られるべきである。一般に主流が減速されると境界層は厚くなる傾向があるから、羽根車出口から喉部BC迄の区間での減速は慎重に行われるべきである。

流入半開放部ABCで減速が行われたならば、喉部BCにおける閉そく率はまし下流通路部での圧力回復率は低下するが、喉部BCにおける平均動圧が小さくなっているから、広がり通路部BCDEにおける圧力損失は平均動圧に比例して小さくなる。従って半開放部ABCで減速する割合については最良値がある筈である。Osborne⁽⁴⁾は以上の観点から最良条件を求めた結果、入口断面における閉そく率は0.06の時が最良であって、これは流入部ABCで減速をしない場合に相当す

る、としている。

一般に羽根車出口における動圧は大きいので、ディフューザではなるべくすみやかに減速して摩擦損失を小さくすべきである、というのが常識である⁽⁵⁾。また実際の実験データでは、圧縮機の最高効率点において、羽根車出口から喉部までの間の圧力上昇は羽根車出口における動圧の0.2ないし0.3になっているものが多い。遠心ディフューザを単純な対称広がり通路でモデル化して得られた最良条件がこれまでの常識と異なることは興味あることで、このような最良条件が正しいか否かは、今後そのように計画された注意深い実験によって確かめられるべきである。ここではその根底となった流れモデル作成上の問題点について考察しよう。

(a) 喉部BC断面における流れの一様性。

対称な広がり通路の場合には喉部断面における圧力は一様で、速度分布は境界層を除けば一様と見なせる。遠心ディフューザの場合には、ディフューザ翼の影響がない自然の状態では円周AC線上で流れは一様であり、圧力は半径位置の増加と共に増加するから、B点の圧力はC点の圧力よりも高い。同様に出口においても区間EFを利用して圧力上昇をするためには断面DEで圧力は一様でない方がよいことになる。すなわち通路部BCDEのみでの圧力上昇を考えれば直線壁ディフューザが最良であっても、ABD面を凹面としCEF面を凸面としておけば区間ABあるいは区間EFでの圧力上昇が加わるから、遠心ディフューザでは通路の中心線を曲線にする方が有利なように思われる。

圧縮機の吐出量が設計流量以下になれば流れは案内翼に対して入射角を持ち負圧面にはく離が生じやすい。また設計状態においても、喉部BCにおける翼表面の境界層を比べれば、圧力面上のC点は翼先端であるから境界層は極めて薄いのに対して、負圧面ABでは翼面に沿って境界層が成長しているから、下流においても負圧面BDの方が圧力面CEよりも境界層の成長が著しい。

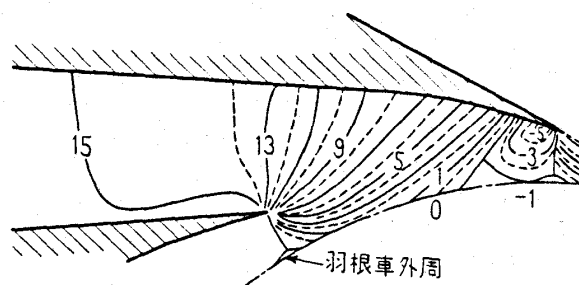
もし負圧面をゆるい曲率の凹面にしておくと、流線の曲率の影響で負圧面境界層内での乱れは活発となり、境界層の成長は少なくて圧力回復率が高く、はく離が起き難いと思われる。von Karman Institute では、直線広がり通路と曲が

り広がり通路とを作り、それぞれの入口断面における両壁面境界層のうち一方のみを厚くして実験したところ、直線広がり通路の圧力回復率は入口境界層厚さの増加によって次第に低下したが、曲がり広がり通路においては凹面の入口境界層が厚くなっても圧力回復率はほとんど低下していない。このことは入口半開放部を有する遠心ディフューザでは、翼面に曲率を与える方が有利なことを示している。なお曲率のために図1においてE点の圧力はD点の圧力よりも低い、この圧力差の分は区間EFにおいて無理なく圧力上昇してD点とF点の圧力は等しくなる。

(b) 流入部ABCでの圧力回復と境界層成長の算定

翼面ABDおよび翼面CEFをそれぞれ直線とすることは、圧力回復率の面では多少不利であっても、工作の簡単さの点で大きな特徴がある。従って直線翼面として最良の遠心ディフューザ形状を決定する方法の確立が望まれ、対称直線壁広がり通路に関する実験結果を利用することが考えられる。その場合広がり通路部の圧力回復率を支配するのは喉部断面における閉そく率すなわち境界層厚さである⁽²⁾。従って入口部ABCにおける境界層の成長を精度良く算定することが必要になる。

ここで重要なことは図4に示されるように、羽



等圧線の刻みは入口動圧の約3.7%

図4 ディフューザ内の圧力分布（最大圧力回復状態）

根車出口動圧の約50%を入口区間ABCにおいて圧力に回復することも可能なことである。図4及び図5は同一ディフューザの異なる流動状態を示すものであるが⁽⁶⁾、図5では圧力回復は主として通路部BCDEでなされているのに対して、図4で

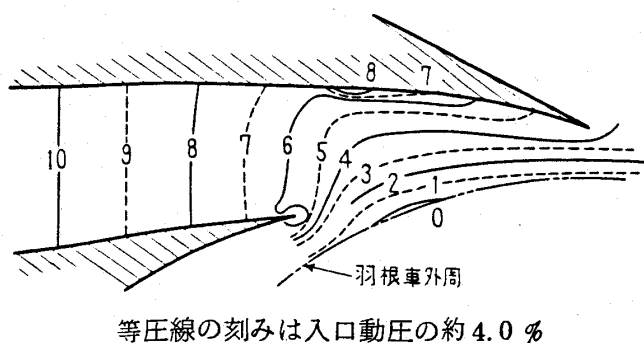


図5 ディフューザ内の圧力分布（無衝突流入状態）

は流入部ABCで圧力回復の大半が達成されている。従ってある流入状態に対して、流入半開放部ABCと通路部BCDEとにどのような割合で圧力回復を配分するかは設計者の自由である。

流入部ABCでの圧力上昇が増大する程喉部BCでの閉そく率が増して、その結果通路部BCDEでの圧力回復率が低下する。したがって遠心ディフューザの圧力回復率を最大にするためには流入部ABCでどれだけ圧力回復をはかるべきかは、流入部ABCでの圧力上昇に伴う喉部BCでの閉そく率増加の割合、およびその閉そく率と通路部BCDEでの圧力回復率との定量的関係によって定まる。現在のところ喉部BCにおける閉そく率の算定については理論的にも実験的にも資料が極めて乏しいから、一次元境界層理論が用いられることもあるが、最も重要な部分に極めて粗い仮定をした上で圧力回復率を最大とする形状を定めても、その結果の信頼度には大きな疑問が残る。

(c) 運転範囲についての考察

案内羽根つき遠心圧縮機が効率よく運転できる流量範囲は狭い。従ってディフューザ失速限界流量と正規運転状態との流量比を予測して、効率のみならず失速に対して適当な安全度を見込んだ設計をしなければ实际的でない。

圧縮機の吐出量とディフューザ内各点における平均速度との関係を図6⁽⁷⁾に示す。羽根車出口やディフューザ翼列入口における速度は、円周方向の速度成分が主であるから、圧縮機の吐出量によってあまり変化しない。これに対して喉部やディフューザ出口の平均流速は流量に比例する。従っ

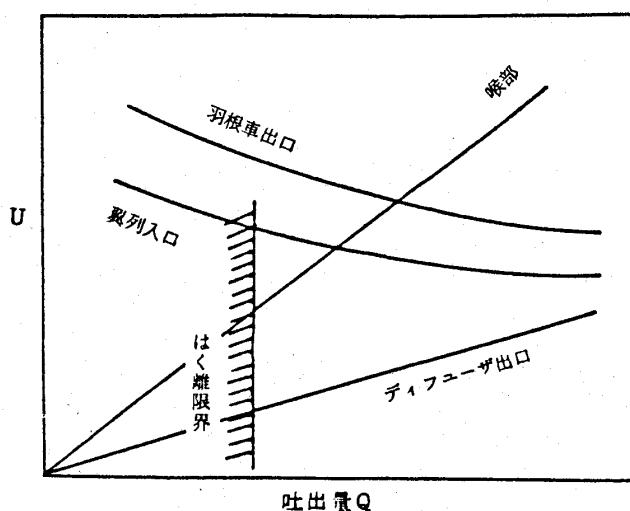


図6 ディフューザ内各点における速度の羽根車吐出量による変化

て、翼列入口から喉部までの減速率は吐出量の減少によって急速に増大し、それがある限界を越えると流れははく離しディフューザの圧力回復率は急に低下する。このように考えると、喉部まででどれだけ減速すべきかは、設計点をはく離点からどれだけ離して設計するかによって定められるべきもので、このことは圧力回復率を最大にする条件よりも優先して考慮されるべきであろう。

以上の事項をまとめると、遠心ディフューザの性能を定めるのは主として入口半開放部ABCであり、ディフューザの失速限界は主としてこの形状によって決定される。すなわち、入口半開放部で大きな圧力上昇をするようにディフューザ形状を選ぶこともできるし、また圧力回復率が主として通路部BCDEでなされる場合でも、その値は喉部BC断面における閉そく率によって影響を受け、閉そく率は入口半開放部での流れによって決定される。

一方、隣接する翼によって狭い通路が形成される翼列後半の部分については、境界層が厚くなっておりあるいは通路は境界層によって満たされているから、一次的に取扱って実験的にはく離限界や圧力回復率を求める方法をとらざるを得ない。このような部分については対称広がり通路に関する資料⁽²⁾を参照して設計することは合理的なことである。

3. 入口部の流れと円形翼列

羽根つきディフューザが効率よく働く流量の範囲は、ディフューザの翼数が増すほど狭くなると言われており、筆者もこの傾向を確認している。しかしながらディフューザ内の流れを一次元的に取扱ったのではこのような傾向は理解できない。

図7において、二つの斜線域にはさまれた空間は遠心圧縮機ディフューザの一つの通路を表わしており、実線で示される円弧はこのような通路20個からなるディフューザを備えた羽根車、鎖線で示される円弧はこのような通路10個からなるディフューザを備えた直径の小さな羽根車であって、これらの両羽根車は相似であるとする。この両羽根車の円周速度が同一となるように回転速度を調節し流量係数も同一にすれば、個々のディフュー

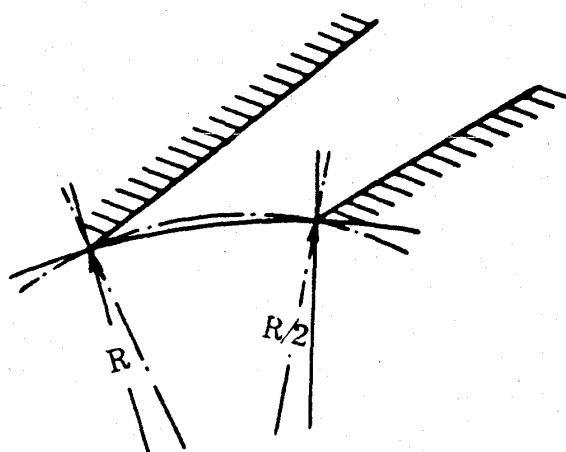


図7 通路壁面が円周となす角の通路数
(羽根車直径)による変化

ザ通路に流入する平均の流速も流れ角も同一となるから、運転可能な流量係数の範囲も同一になるように思われる。

しかしながら図7における左側の通路壁面(翼負圧面)が円周方向となす角は、図から明らかに直径が小さくてディフューザ翼数の少ないものの方が小さくて、翼数 Z によるこの角度の差は $180/Z$ 度の差に等しい⁽⁷⁾。例えば翼数が20と10とでは9度の差がある。羽根車からの吐出量が減少するほど羽根車からの流出方向は円周方向に近づき、この翼負圧面での転向角が大きくなる。この転向角が過大になると流れは翼面からは

がれると考えれば、翼数 Z が少ないディフューザほど少ない流量まではく離しないで流れることは納得できる。このように流入部の流れを問題にする場合には、翼負圧面での流れを考えることが必要であって、一次元的取扱いは問題の本質が見失われる。

翼間の流れを二次元的に取扱ったものとしては翼列の研究があるが、資料が豊富なのは直線翼列でアスペクト比が大きい場合に限られている。一方、遠心ディフューザ翼のアスペクト比は0.1見当であるから、側壁の影響は無視できないであろう。しかしその影響は後で考慮して修正することとし、一応アスペクト比を無視した二次元円形翼列について考えてみる。

一定の弦節比を持つ直線翼列を円形翼列に等角写像する場合に、翼数は任意に選定できる。このことは円形翼列の種類が直線翼列よりも桁違いに多いことを示しているから、個々の目的に適した翼列が既存の円形翼列の実験データの中に含まれていることは殆んど期待できない。このために円形翼列の性能を直線翼列の性能と関連づけることが望まれる。

直線翼列と、それと等角写像の関係にある円形翼列とでは、ポテンシャル流れの場合には翼のまわりの循環が等しくて流れは等角写像の関係にある。しかしながら写像された円形翼列では翼数が少ないほど出入口半径比が大きくなり、そのために翼列の減速比が大きくなる。このことは翼面に沿っての境界層の成長が直線翼列と円形翼列とでやや異なることを意味し、翼列の失速限界が異なるであろう。

また境界層の成長の程度によって後縁のクッタ条件が異なるならば、翼まわりの循環強さも異なることになり、流れの様子には等角写像の関係は成立しなくなる。しかし直線翼列の資料においてレイノルズ数がある程度変わっても翼の揚力係数と迎角の関係は変化しないことは、クッタ条件が境界層厚さの変化によってそれほど影響されないことを示している。もしクッタ条件が変らなければ直線翼列の流れと円形翼列の流れとは等角写像の関係にあるので、直線翼列の資料を用いて円形翼列の性能が推定できることになる。

弦節比が約0.7の直線翼列を翼数11枚の円形翼列と翼数22枚の円形翼列とにそれぞれ等角写

像した図8の円形翼列^{*}について、翼表面圧力分

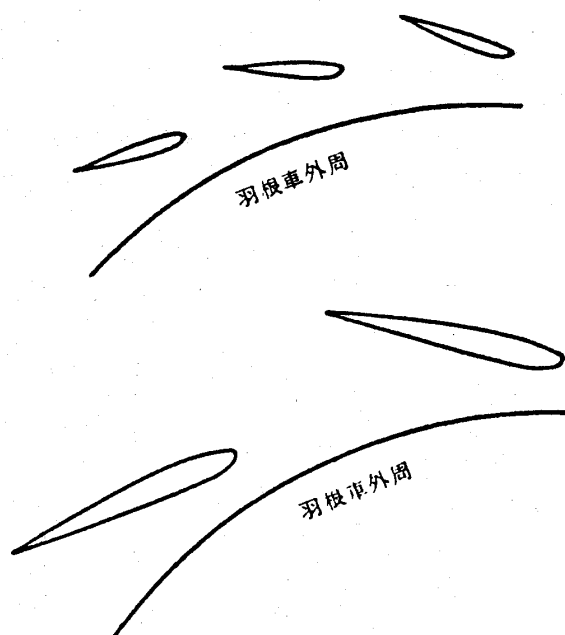


図8 円形翼列ディフューザ

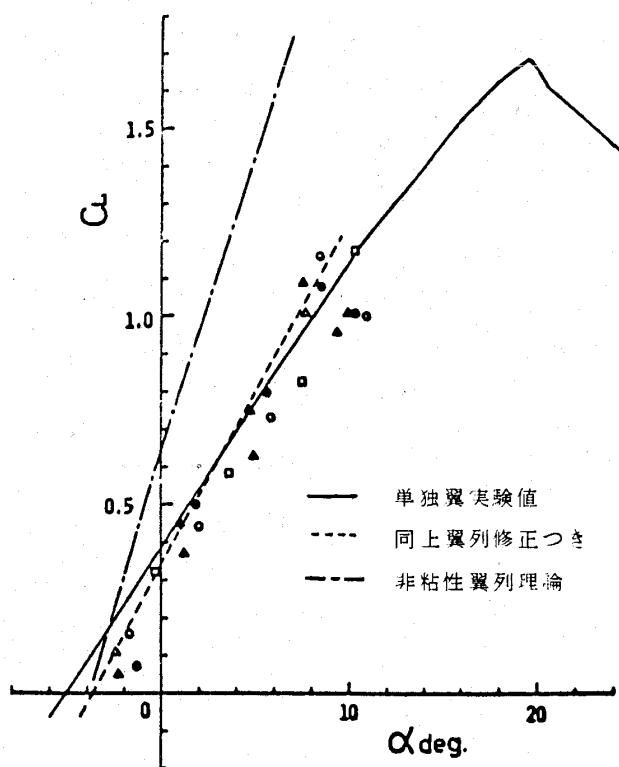


図9 円形翼列翼の等価揚力係数

布の実測値から翼まわりの循環を求め、その循環

* この円形翼列は広い流量範囲、すなわち入射角が大きく変化しても失速せず、少流量では高い圧力回復率を達成している。

を有する直線翼列翼の揚力係数を算定して、迎角との関係を示したものが図9で、図中の白印は翼数22、黒印は翼数11の場合の値である。なお実線は単独翼の特性、破線はそれに翼列修正を加えた特性である。円形翼列の実験点は破線とよく一致しているから、直線翼列の資料は、このような方法で円形翼列にも適用できることがわかる。⁽⁸⁾

図中の鎖線はポテンシャル流として求めた揚力-迎角特性であって、揚力勾配が甚だ大きい。このことは、円形翼列のポテンシャル流れに境界層の修正をほどこそうとすれば甚だ大きな修正が必要で正確を期し難いが、境界層の影響を含んだ直線翼列の実験結果を円形翼列に適用すれば、翼まわりの循環に関しては修正はほとんど不必要なことがわかる。

円形翼列の働きが、単独翼の特性に翼列修正を加えたものあるいは直線翼列の実験値から推定できることは、設計点だけでなくある流量範囲についての特性を予測できることを意味しており、実用上極めて有用である。ただ失速限界は翼面または側壁面での流れのはく離に基くものであって、円形翼列では直線翼列よりも減速率が大きいだけにはく離しやすいから、運転可能な流量範囲はそれだけ狭いであろう。

直線翼列と円形翼列との等角写像の関係は、境界層発達の違いが顕著でない範囲では成立し、翼列の弦節比に無関係な筈である。しかしながら翼数が少なく弦節比が大きいほど翼列出入口の半径比が大きくなり、またアスペクト比が小さくなるなど、直線翼列と円形翼列とで境界層発達についての相違が著しくなり、等角写像の関係が次第に狂ってくる恐れがある。そのような場合には隣接する翼で形成される通路部については、広がり通路の資料を利用する方が適当かも知れないが、流入部についてはなお等角写像の関係を利用できる可能性は残されているように思われる。

4. むすび

遠心ディフューザにおいて、隣接する翼が重なりあって構成される通路部とその上流に位置する半開放部とでは流れの様子がかなり違っており、前者では一次元的取扱いが可能であっても、後者では少くとも二次元的取扱いが必要である。

ディフューザの特性や性能を調べるに当たって、

通路部が圧力回復の主要部であるとすれば、一次元的な取扱いで充分であると判断されるので、広がり通路の実験結果を利用して性能推定や設計をするのは賢明な方法である。

これに対して半開放部は単なる流入部ではなく、少流量時にはここでかなりの圧力上昇が実現されることなどを考慮すれば二次元的取扱いが必要であるから、直線翼列の資料を利用して設計したり性能推定をするのも一案である。

しかし境界層のはく離が問題を支配する失速限界の推定や、弦節比が大きくて翼数が少ない翼列では、境界層の成長が顕著になるので、性能推定には、直線翼列のデータを利用する方法は適用できないのではないかとと思われる。

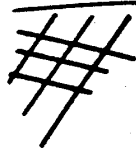
遠心ディフューザ内の流れは甚だ複雑で、現象を支配する要素はディフューザ形状や運転状態によって変わるから、単純化した一つの流れモデルですべての場合を表わすことは困難なように思われる。しかし運転状態や設計目的に応じてディフューザ特性を決定する主要部分が定まれば、その部分に重点をおいて流れのモデルを作り、必要に応じてそれらの流れモデルを使いわけ、あるいはつなぎ合わせれば、一応実用的なディフューザの設計や性能推定が可能になるものと思われる。

現在までに行われてきた遠心ディフューザに関する試験研究は、あまりにも即物的で一般性に欠けるものであったように思われる。上述のようにして作られたモデルは、たとえそれを適用できる範囲が限られたものであっても、それが問題の主要部を捉えた合理的なものであれば、高性能遠心

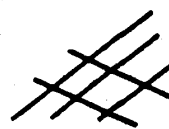
圧縮機の開発にかなりの貢献をすることになるであろう。

参考文献

- (1) 西・妹尾, 境界層理論を用いた減速通路の失速点予測法, 日本機械学会論文集, 42-362(昭51-10), 3206.
- (2) Sovran, G. Klomp, E.D., "Experimentally Determined Optimum Geometries for Rectilinear Diffusers with Rectangular, Conical or Annular Cross Section", Fluid Mechanics of Internal Flow, (1968), 270, Elsevier.
- (3) Schorr, P.G. et al., "Design and Development of Small High Pressure Ratio, Single Stage Centrifugal Compressors", Advanced Centrifugal Compressors, (1971), The American Society of Mechanical Engineers, 198.
- (4) Osborne, C., Turbocharger Compressor Design and Development, Creare, TN-263, (1977-8), 71.
- (5) 妹尾・西, 減速率と乱流境界層の簡易計算法, 日本機械学会論文集, 43-367(昭52-3), 997.
- (6) 妹尾, 遠心圧縮機ディフューザの問題点, 日本機械学会誌, 77-666(昭49-5), 575.
- (7) 妹尾・木下, 遠心圧縮機ディフューザの失速限界, ターボ機械, 5-2(昭52-2), 95.
- (8) 妹尾ら, 小弦節比円形翼列ディフューザ, 日本機械学会講演論文集, 780-15(昭53-10), 29.



技 術 論 文



ガスタービン用高圧燃焼器の研究

機械技術研究所基礎部 鈴木 邦 男

1. はし が き

ガスタービンでは、サイクル効率向上のため、タービン入口温度の上昇、圧力比の増加が続けられており、その結果、往復動内燃機関に匹敵する高圧力状態で燃焼が行なわれるようになった。このような高圧力比ガスタービンの燃焼器を高圧燃焼器と名付けて一連の実験研究を行なった。

ここで対象としたガスタービンは航空用で、推力 $T_h = 5000 \text{ daN}$ 、全圧力比 $\pi_c = 16$ 程度のものである。圧縮機の間接冷却は行なわない。燃焼器の形式は直流アニュラ形とし、噴霧形燃料噴射弁と一次空気を導入するスワローを組合せた形を選定した。それは筆者らがこれまで研究を進めたガスタービン用高負荷燃焼器の資料^{1)~7)}の活用を考えたためである。

2. 記 号

A : 断面積, A_1 - ライナ断面積, A_r - 最大断面積, A_s - スワロー開口面積, A_{ht} - 全ライナ開口面積 (m^2)

d_s : スワロー有効外径 (mm)

H_u : 燃料低位発熱量 (MJ/kg)

l : ライナ軸方向長さ (mm)

L_b : 燃焼負荷率 ($\text{MW/m}^3 \cdot P_a$) $= \frac{w_f \cdot H_u \cdot \eta_b}{A_1 \cdot l_1 \cdot P_1}$

n : 空気比 $= w_a / w_f$

P : 全圧 (P_a)

Q : 体積流量 (m^3/s)

T : 温度 (K)

T_h : エンジン推力 (N)

U_r : 最大断面平均風速 (m/s) $= Q_a / A_r$

v_s : スワロー旋回羽根部旋回方向空気流速

(m/s)

w : 流量 (kg/s)

W_1 : ライナ幅 (mm) $= \frac{1}{2} ((\text{ライナ外径}) - (\text{ライナ内径}))$

z : スワロー数 (= 燃料噴射弁数)

α : 噴霧角度 ($^\circ$)

Δ : 差

δ_t : 出口温度不均一率 $= \{ (T_{2i})_{\max} - T_2 \} / (T_2 - T_1)$

η_b : 燃焼効率 (%)

π_c : エンジン全圧力比

ρ : 密度 (kg/m^3)

ϕ : 全圧損失係数 $= (P_1 - P_2) / \frac{1}{2} \rho_a U_r^2$

添字 0 : 初期状態

1 : 入口状態 (平均)

2 : 出口状態 (平均)

a : 空 気

f : 燃料 (水)

i : 各測定点

P : プライマリノズル

M : セコンダリノズル

ac : 冷却空気

g : ゲージ圧

3. 高圧燃焼器の問題点

高圧燃焼器では、ガスタービン燃焼器としての一般的な要求事項⁸⁾のほか、次の事項が特に問題となる。

(1) 低圧作動時の問題点

高圧燃焼器でもエンジン始動時やアイドリング時には大気圧からやや高い圧力状態で作動する。この低圧状態でも高圧圧縮機の特長上、燃焼器内を流れる空気の体積流量は設計点のそれに近く、

(昭和52年9月5日原稿受付)

これは燃焼効率パラメータの一つとされている $P_1 T_1 / U_r$ の小さな状態に対応し、燃焼効率を高く保つことがむずかしい⁹⁾。燃焼効率の低下は、とりもなおさず全炭化水素 (THC) および一酸化炭素 (CO) の排出増加につながる。

(2) 高圧作動時の問題点

a) 燃焼器出口温度分布をタービン側から要求される形に合せること。高温形タービンでは、強度的な余裕が少なく、要求分布形からの外れの少ないことが特に重要となる。

b) ライナに耐久性があること。円筒形に近いライナ部分の冷却については、平板を用いた実験結果等が利用できるが、複雑な形状をした部分の冷却については、実機試験等で改善していくことになる。

c) NO_x や煙の排出は、一般に高圧時に増加し、この低減を図る必要がある。

これら高圧燃焼器の問題点の研究に際して行なった一連の実験結果について述べる。

4. 燃焼器模型の概要

エンジンとして高バイパス比ターボファンを想定し、表1の条件を考えて直流アニュラ燃焼器を設計した。このとき、航技研で試作研究を行なっ

表1 設計点条件

項 目	記 号	数 値 等
エ ン ジ ン 推 力	T_h	(約)5000daN
全 圧 力 比	π_c	16
燃 焼 器 空 気 流 量	w_a	25kg/s
燃 焼 器 入 口 空 気 温 度	T_1	697 K
燃 焼 器 出 口 ガ ス 温 度	T_2	(約)1350 K
空 燃 比	n	55
出 口 温 度 不 平 一 率	δ_t	0.2
全 圧 損 失 率	$\Delta P / P_1$	0.04
使 用 燃 料 (標 準)	—	Jet A-1

た。JR系リフトターボジェットに用いた高負荷燃焼器の設計法¹⁰⁾を修正して用いた。この主要数値を表2に示す。

表2中、 U_r の値は、表1の $\Delta P / P_1$ 値と燃焼器代表寸法(ライナ幅) W_1 、および大気圧付近における噴霧形燃焼器の燃焼性能の実績から選定

した。 A_1 / A_r の値は、全圧損失係数を極小にするところに行っている。 A_{ht} / A_r は ϕ 、 A_1 / A_r などが定まると理論計算から求められる値である。 A_s / A_r は、煙濃度の低減を図るため、振動燃焼

表2 燃焼器主要数値

項 目	記 号	数 値
最大断面平均風速	U_r	19 m/s
ライナ断面面積比	A_1 / A_r	0.69
ライナ空気孔面積比	A_{ht} / A_r	0.228
スワラ開口面積比	A_s / A_r	0.092
全 圧 損 失 係 数	ϕ	35
ライナ冷却空気量	w_{ac} / w_a	0.30
ラ イ ナ 幅	W_1	(約) 80 mm
ラ イ ナ 有 効 長	l_1	250 mm
燃 焼 負 荷 率	L_b	$4.3 \times 10^6 \text{ MW/m}^2 \cdot P_a$
燃 焼 噴 射 弁 数	z	16

を起さない限度(各種実例から推定)まで大きな値にした。 w_{ac} / w_a 値は、エンジンの実例をもとに行っている¹¹⁾。なお、表1の条件で燃焼器入口空気の体積流量は $Q_a \div 3.08 \text{ m}^3/\text{s}$ となる。 l_1 は一次燃焼領域のライナ長さ $l_p = 63 \text{ mm}$ 、二次燃焼領域のライナ長さ $l_s = 72 \text{ mm}$ 、希釈混合領域長さ $l_d = 96 \text{ mm}$ に余裕を19mmほどみた長さの和に行っている。このとき、一次燃焼領域について、ここに所要の全燃料を噴射し、その箇所の空燃比を $n_p = 12$ 、空気負荷率 $L_{ap} = 5 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \cdot P_a$ としたときのライナ容積とライナ断面面積 A_1 から l_1 を求めた。二次燃焼領域については、完全攪拌燃焼器の燃焼負荷率から反応に要する最小容積を求め、これと A_1 から反応に要する最小長さを算出した。一方、実際に流入空気の混合に要する距離を希釈混合領域に関するデータから $0.6 W_1$ と見積り、この両者の和として l_s を推定した。 l_d は実験値をもとに作成した $\delta_t - l_d / W_1$ の関係図¹²⁾から求めた。燃焼器計画図を図1に示す。

燃料噴射弁は、これまでの使用経験から、デュアルオリフィスのうず巻噴射弁とした。燃料噴射圧力は、燃料ポンプの吐出圧と燃料管制系の圧力損失、燃焼器内の空気圧力から最大流量時 $P_f \div$

2 MPa (差圧) に押えた。プライマリノズルとセコンダリノズルの流量比は約 1 : 9, 噴霧角は約 95° である。

表 3 試作スワ－ラ

スワ－ラ有効外径	制御リング外径	旋回角	その他
57 (mm)	43 (mm)	45 (°)	
56	42.5, 43	45, 47.5	
55	40, 41.5, 42, 42.5, 43	45	
54	39, 42.5	45	
52	39.5, 40.5, 41	45	
46	なし	45	
55	なし	70/50	二重逆旋回
52	なし	45/47	二重逆旋回

試作したスワ－ラは、表 3 に示す種類で、その代表例を図 2 に示す。いずれも混流形で、多くのものが図 2(a) に示すような制御リングをつけている。この制御リングは、スワ－ラ下流側に形成される循環流領域の大きさおよび形状を制御する目的のもので、高負荷燃焼器に用いて有効であった。

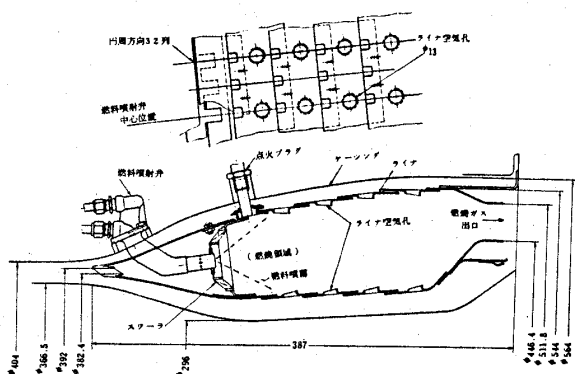


図 1 アニュラ形高圧燃焼器初期計画図

5. 要素試験

5.1 スワ－ラ下流側の流れ模様 図 2 の各スワ－ラについて非燃焼時の流れ模様を測定した。 $\phi 54/42.5$ 制御リング付スワ－ラは、J R エ

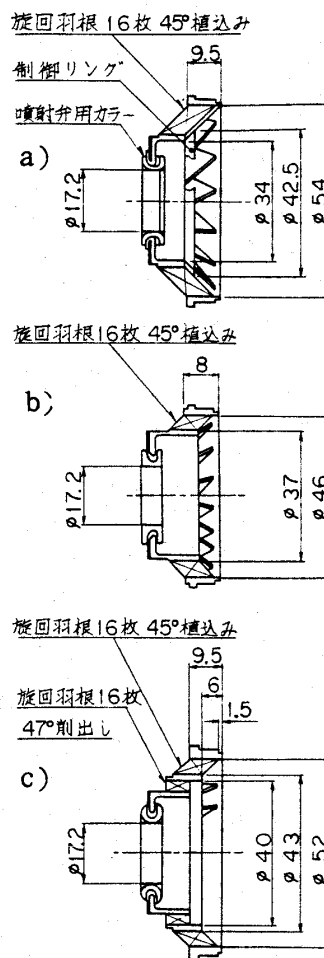


図 2 代表的なスワ－ラの例

ンジンの結果から設計したもので、旋回羽根部有効開口面積は約 6.2 cm² である。 $\phi 46$ スワ－ラは、外径を小さくして制御リングを取外した形で有効開口面積は約 4.2 cm² になっている。 $\phi 52$ 二重逆旋回スワ－ラは、流れを複雑にして空気-燃焼ガス-燃料の混合促進を図った形 (有効開口面積約 7.1 cm²) である。

流れ模様は、スワ－ラ 1 個を 120 mm, 長さ 140 mm のアクリル筒に取付けて、その出口を大気開放にし、木綿糸のストリーマを下流側から挿入して観察した。アニュラ燃焼器の場合、となり合うスワ－ラの相互干渉により流れ模様に変化するが、上流側でその度合は大きくなく、本試験法ではこれを考慮していない。スワ－ラ空気流速は、ストリーマの向きの観察がしやすい程度とした。これより流速を設計点条件まで高めても流れ模様に大きな変化はみられなかった。なお、空気条件の設定は入口空気圧力を基準にしているため、ス

ワラ種類によって流量は異なっている。

流れ模様の測定結果を図3に示す。図中の破線は、循環流領域の境界を推定したものである。スワラには燃料噴射弁を取付けてあり、噴射弁ノズルチップ冷却空気の噴出しの影響がスワラ中心部分にみられる。 $\phi 54/42.5$ 制御リング付では、循環流の境界がスワラ近傍で軸に平行(円筒形)になり、その下流側で急激に広がっている。これに対し制御リングのない $\phi 46$ は、循環流の境界がスムーズに広がっている。いずれの

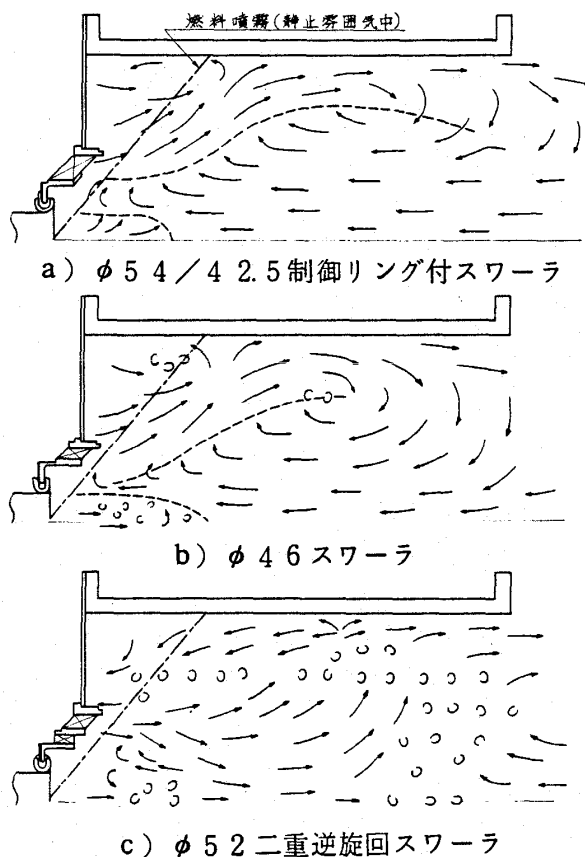


図3 各スワラの非燃焼時の流れ模様

スワラの場合もスワラ旋回羽根からの主流とアクリル筒の間に二次的な循環流が形成されている。 $\phi 52$ 二重逆旋回は、前2例とうずの旋回方向が逆になっている。スワラ中心軸上の逆流領域は極めて小さい。しかし、アクリル筒近くの二次的な循環流は大きくなっている。

この試験の場合のアクリル筒の長さでは、外気が吸引されて逆流流量の増加が考えられるが、実際の燃焼器では、ライナ空気孔からの空気噴流がスワラ中心軸付近まで達しており、この

空気が逆流によって上流側へ運ばれているので、大気吸引のある場合のほうが、実際の場合に近いと考えた。

5.2 燃料噴霧に及ぼすスワラ気流の影響

うず巻噴射弁からの燃料噴霧は、高空気圧状態では貫通距離が減少して噴霧角が狭くなる。これは、エンジン排気中に含まれる煙濃度の増加や NO_x の排出増加など不利な結果をもたらすと考えられ、噴霧のしばみ防止にスワラ気流の利用を図った。

スワラから空気を流し、噴射弁から水を噴射して測定した噴霧角の変化を、静止雰囲気中の噴霧角 α_0 との比にして図4に示す。図4の横軸は

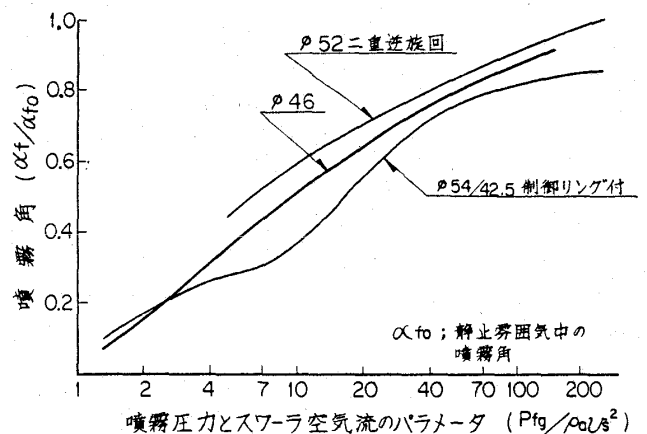


図4 スワラ空気流による水噴霧角の変化

水噴射圧力 P_{fg} とスワラ旋回羽根部の旋回方向の流速をとった $\rho_a v_s^2$ との比をとったが、このようにすると P_{fg} や $\rho_a v_s^2$ の各実験範囲($P_{fg} = 0.1 \sim 2 \text{ MPa}$, $\rho_a v_s^2 = 5 \times 10^3 \sim 8 \times 10^4 \text{ kg/m} \cdot \text{s}^2$)の実験点が一つの線で表示できた。この特性に対し、燃料噴射弁の軸方向位置が影響するが、それは図3に示す位置になっている。噴霧角は、写真に撮り、噴霧の輪郭を測定した。写真現像の程度による誤差は、噴霧角の変動分より少ないと考えられた。スワラ入口空気は温度 315 K 、圧力は旋回羽根部に必要な流速を与える程度(最高 $P_{1g} = 34 \text{ kPa}$)である。アクリル筒出口は大気開放にしている。なお、水噴霧の平均粒径は $P_{fg} = 0.15 \text{ MPa}$ のとき $d_f = 250 \mu\text{m}$ 、 $P_{fg} = 1 \text{ MPa}$ のとき $d_f = 150 \mu\text{m}$ の程度である。

いずれのスワーラの場合も噴射圧力の低い状態でスワーラ空気を流すと ($P_{fg}/\rho_a v_s^2$ の小さな値に対応) 噴霧角は狭くなる。噴霧角に及ぼすスワーラ形状の影響は大きくはないが、噴霧角は $\phi 54/4.25$ 制御リング付、 $\phi 46$ 、 $\phi 52$ 二重逆旋回の順に広がっている。 $\phi 54/4.25$ 制御リング付と $\phi 46$ の噴霧角に及ぼす傾向の差は、図3の循環流領域の境界線の広がり傾向と似ている。すなわち、 $P_{fg}/\rho_a v_s^2$ 値の小さな範囲ではスワーラ近傍の流れ模様が影響し、 $P_{fg}/\rho_a v_s^2$ 値が大きくなるとスワーラから離れた箇所の流れ模様が噴霧角に影響する。なお、 $\phi 52$ 二重逆旋回を用いたとき、噴射弁を10mmほどスワーラから突出す位置におくと、 $P_{fg}/\rho_a v_s^2 \geq 60$ の条件で静止雰囲気中の場合より噴霧角の広がることがみられた。

このようなスワーラによる噴霧角変化がエンジンの煙排出に影響する程度は、のちに述べる。

6. 箱形・セクタ燃焼器模型試験

アニュラ燃焼器を扇形に分割した模型をセクタ模型、この燃料噴射弁ピッチ円を中心に矩形断面まで広げた模型を箱型模型と呼び、それぞれの模型について燃焼実験を行なった。このような模型は、小容量の装置で実験できること、模型の製作・改造が容易なこと、内部の燃焼状況の観察ができ、内部の測定も容易なこと、などの特徴をもっている。

6.1 箱形燃焼器模型の試験 燃料噴射弁4本を用いた箱形模型の概要を図5に示す。ライナは図3の流れ模様を参考にして、スワーラ取付面

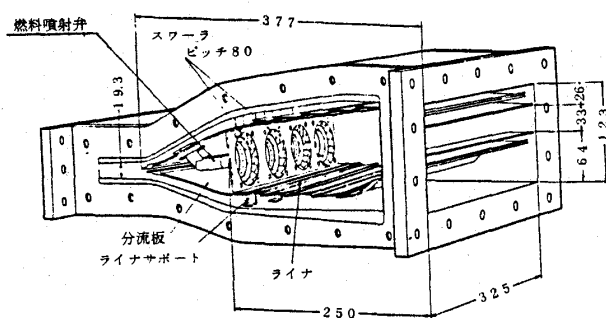


図5 箱形燃焼器模型

から第1列空気孔までの距離をスワーラ下流側の

循環流を乱さない値；70mm ($d_s = \phi 54$ に対し $1.3 d_s$) にとった。このほかに上流側へなるべく多く空気を供給するよう考慮し50mm ($d_s = \phi 54$ に対し $0.93 d_s$) にとったものを用いた。前者はライナ空気孔が軸方向に3個までとれたため3孔ライナ、後者は4個とれたため4孔形ライナと呼ぶ。4孔形では、非燃焼時、スワーラ下流側の循環流が明らかに現れない程度になっているが、火炎安定に支障をきたすことはない判断された。

燃焼実験は、航技研の缶形燃焼器試験設備¹³⁾の常圧系を改造した常圧セクタ燃焼器試験装置を用いて行なった。実験条件は入口空気温度 $T_1 = 315\text{ K}$ 、圧力 $P_{1g} = 10\text{ kPa}$ 、最大断面平均風速 $U_r = 12 \sim 18\text{ m/s}$ 、空燃比 $n = 50 \sim 100$ 、ジェットA-1燃料である。

ライナ3孔形と4孔形の燃焼効率特性の比較を図6に示す。図6によると3孔形のほうがいくぶんすぐれており、スワーラ下流側の流れの安定化の効果が示されている。ただし、出口温度不均一率は図7に示すように、3孔形のほうが大きい。

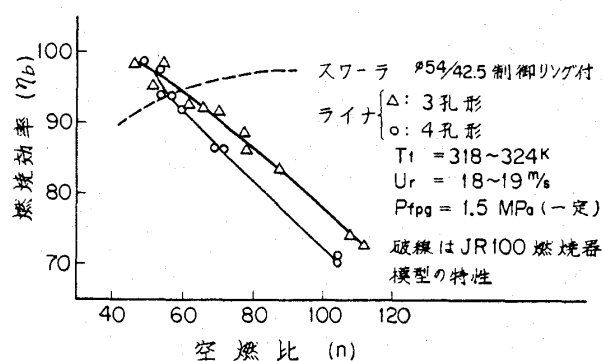


図6 ライナ3孔形と4孔形の燃焼効率の比較

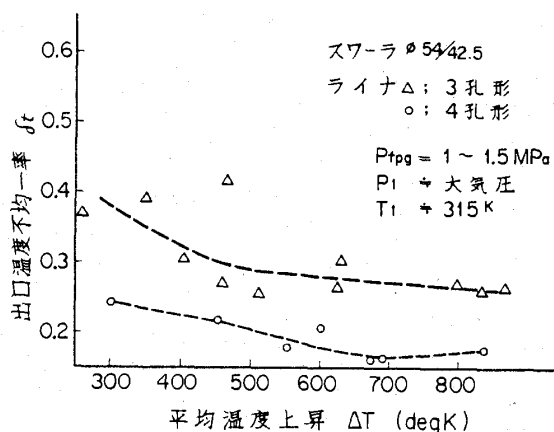


図7 ライナ空気孔による出口温度不均一率の差 (箱形燃焼器模型)

ライナ空気孔数の少ないライナでは出口温度分布を揃えるために、空気孔位置を円周方向に1/2ピッチずらし、千鳥配列にするなどの考慮が必要である。

圧力比の大きくないエンジンに用いた高負荷燃焼器の場合、燃焼効率は大気圧実験でも空燃比の大きな側で高くなった(図6の破線)。しかし、高圧燃焼器では、空燃比を設計点状態より大きくすると燃焼効率の急激な低下がある。この原因を調べるための実験を行なった。図8は3孔形ライナに各種のスワーラを用いた結果である。開口面積の小さな $\phi 46$ スワーラは、空燃比の大きな範囲の燃焼効率が良く、空燃比を小さくしても効率の上昇が少なくなっている。スワーラ開口面積を零にすると、燃焼効率の空燃比依存性が少なくなる(図8の破線)。

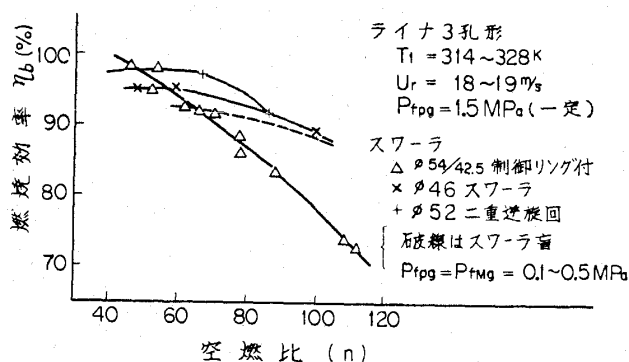


図8 箱形燃焼器の大気圧時の燃焼効率特性

燃料噴射圧力の燃焼効率に及ぼす影響を図9に示す。図9の実験条件で、デュアルオリフィスのプライマリノズルのみを用いて燃料を噴射すると燃料噴射圧力は $P_{fg} = 1 \sim 5\text{MPa}$ (噴霧平均粒

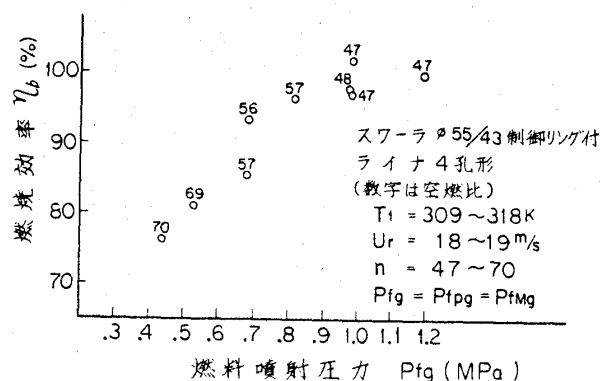


図9 燃料噴射圧力と燃焼効率

径 $d_f \leq 40\text{ }\mu\text{m}$) になるが、燃焼効率は空燃比に依存せず100%付近ではほぼフラットになる。燃焼効率特性に噴霧粒径の影響が大きく現れることは明らかである。なお、図9には空燃比の影響が含まれており、噴霧粒径が大きくても空燃比の小さなときには良好な燃焼効率値を示す。空燃比の小さな場合は、火炎長さがのび、燃料噴霧の火炎内に滞留する時間が長くなるため、大きな液滴でも燃焼しやすいと考えられる。たとえば、 $P_{fg} = 0.48\text{MPa}$ のとき、風速を低下させて空燃比を $n = 46.3$ にすると $\eta_b = 92.3\%$ と図9から推定した値より12%も燃焼効率が向上した。ただし、このとき風速低下に基づく滞留時間の増加も含まれている。

図10はスワーラ取付板(隔壁板とも呼ぶ)冷却

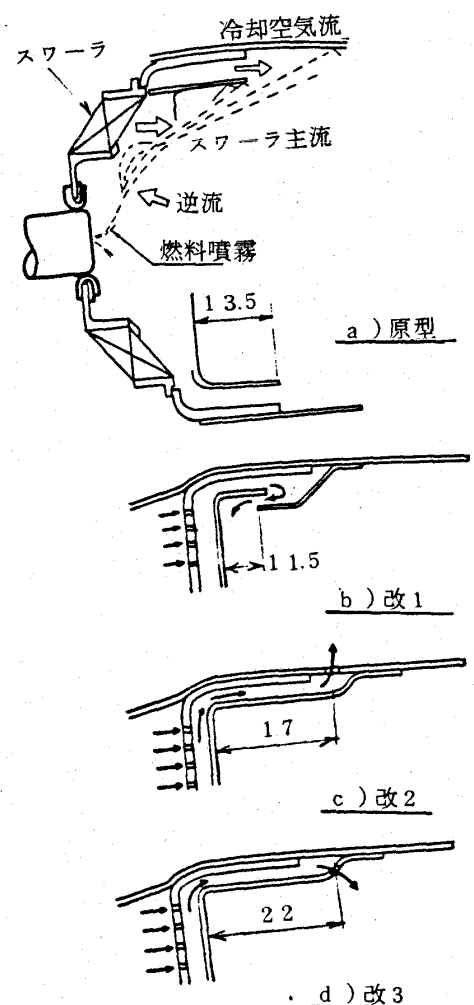


図10 スワーラ取付板(隔壁板)冷却空気の流出法

却空気の流出法を示したものである。なお、図中の寸法は構造的な面から決まった値である。無冷却時に比べて、原型では燃焼効率のいくぶんの低下と出口温度不均一率の大幅な増加があった。これは、燃料噴霧のライナ壁への衝突と冷却空気流出箇所の位置関係に起因すると考えられ、図10の改-1の方法を試みた。しかし、これは燃焼効率の低下をもたらし好ましくなかった。そのため改-2、改-3を試験した。これらは有効で燃焼効率の向上とともに出口温度不均一率の低下が得られた。図11に出口温度不均一率の比較を示す。これは、冷却による隔壁板温度の低下より冷却空気出口流の影響の大きなことを示している。

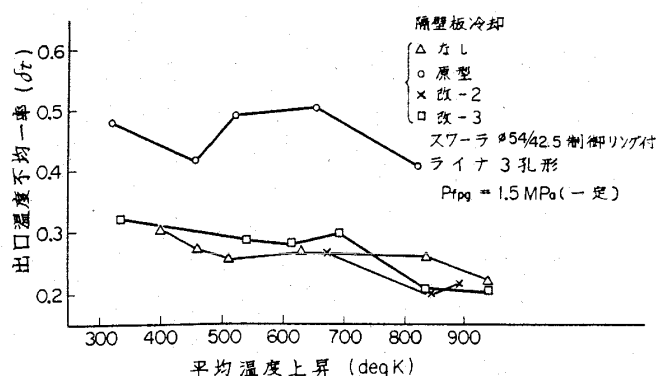


図11 隔壁板冷却法による出口温度不均一率の差

ライナ上流側の冷却スリットの冷却空気も上記と同様な影響があり、冷却スリットを盲することによって出口温度の均一化が得られた。しかし、これはライナ耐久性の点からは不利で、しみ出し冷却のような膜冷却と異なる冷却法を検討する必要がある。

スワラとライナ空気孔とのマッチングに関して、次の事柄が得られた。

(1) 制御リング付スワラを用い、スワラ下流側に生ずる循環流領域の形状を制御するとスワラ近傍の逆流流速が高まる。これは、循環流領域内の燃料過濃混合気の形成を防ぎ、火災安定性の向上と共に煙の発生等を防ぐ効果をもっている。しかし、ライナ空気孔をスワラに接近してあげると、この空気噴流によりスワラ付近の流れが乱されて、火災の安定性が低下し、ライナ第1列空気孔はスワラからある距離にとる必要があっ

た。3孔形、4孔形ライナの性能の差は、ここに起因していると考えられる。

(2) 制御リングなしのスワラを用いると、スワラ下流側の循環流領域が広がって内部の流速が低下し、よどみに近い領域の形成が考えられる。これは不利な点であるが、ライナ空気孔を上流側へ設け、このよどみ領域に新空気を供給すると、火災の安定性を阻害することなしに煙の発生等を防ぐことができよう。この考えに基づき、 $\phi 46$ スワラとライナ上流側に補助空気孔を設けた組合せを試験した。補助空気孔としては、 $\phi 8$ の孔をスワラ下流側23mmに、外側、内側ライナに1個づつあけた。箱形燃焼器による常圧試験の結果、補助空気孔による燃焼効率の低下は認められなかった。 $\phi 8$ の孔をさらに大きくすると、循環流領域内が冷却され、好ましくないことも判明した。

この(1)、(2)の考え方については、実機試験まで行なって性能比較をした。

6.2 セクタ燃焼器模型の試験

(1) 常圧試験 燃料噴射弁3本を用いたセクタ燃焼器ライナ内部の火災状態を観察すると、スワラを取付けている隔壁板上に図12に示すような循環流が生じている。この流れがスワラ下

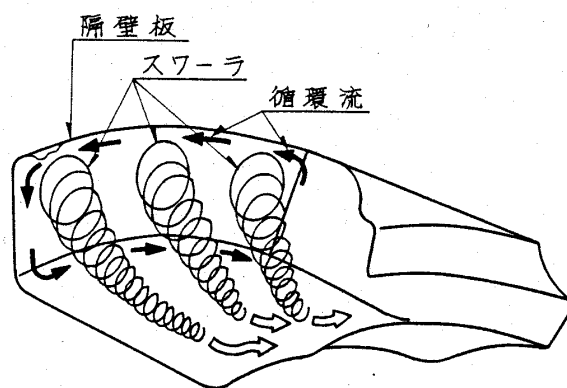


図12 セクタ模型内の流れの片寄り

流側の循環流の軸を曲げ、火災を片寄らせている。出口温度分布は、円周方向に不均一になり、燃焼効率の低下がみられた。図13はセクタ燃焼器と箱形燃焼器の燃焼効率の比較である。なお、セクタ燃焼器の出口温度測定位置が高温部分を避けている状態にはなっていない。スワラを用いない

形式では、火炎の片寄りはなく、燃焼効率の低下もみられない。これらのことから、出口温度測定誤差が図13の傾向をかえるほど大きくないと考

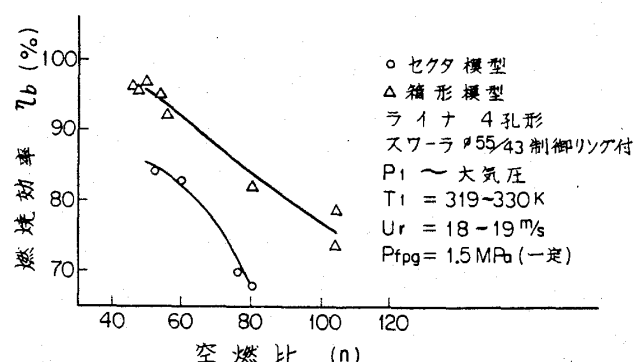


図13 セクタ箱型燃焼器模型の
燃焼効率の比較

えられる。この燃焼効率は、出口温度をもとに算出しており、出口温度は半径方向4点のくし形CA熱電対を円周方向にセクタ形の場合5本、箱形の場合7本等間隔に並べ、その測定温度を算術平均して求めている。

セクタ形では、上記のような不利な点が生ずるが、ライナ空気孔円周方向配置がアニュラの場合と同一になり、またライナが曲面になって強度的にすぐれているため、分割模型の高圧燃焼試験はセクタ形で行なった。

(2) 高圧試験 セクタ燃焼器の高圧燃焼試験は、航技研の高圧セクタ燃焼器試験装置¹⁴⁾を用いて $P_1 = 1\text{MPa}$ まで行なった。入口空気温度は、 P_1 に対応する値まで高めている。

高圧状態における排出煙濃度の傾向を図14に

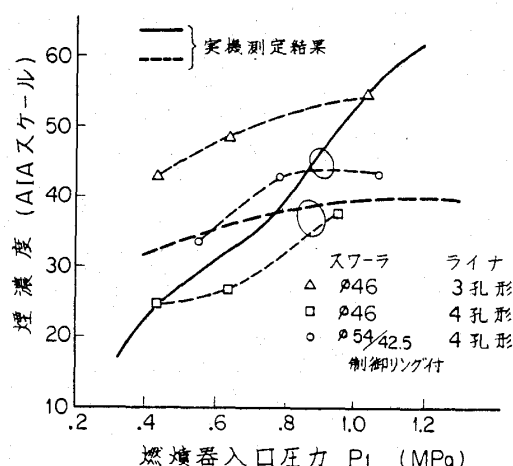


図14 セクタ燃焼器による高圧時の煙濃度の測定

示す。これによるとφ54/42.5制御リング付スワラよりφ46スワラのほうが煙濃度が低く、また、ライナ空気孔は3孔形より4孔形のほうが低濃度になる傾向が判明する。φ46スワラには制御リングがなく、前記のように循環流領域内が燃料過濃になり、煙濃度が増加する傾向をもつと考えられたが、その減少した理由として次の事柄が考えられる。

a) 燃料噴霧角が図4に示したようにφ54/42.5制御リング付スワラの場合より広い。

b) スワラ開口面積が狭く、巡回羽根からの空気流速が大きくなって燃料噴霧と流入空気との混合が促進される。

c) スワラ巡回羽根から噴霧シースまでの距離が、幾何学的にφ46スワラのほうが小さい。

d) φ46スワラは外径が小さく、非燃焼時の流れ模様から判断して、煙濃度増加をもたらすと考えられる淀み領域が形成される状態になっていない。

e) 空気圧力増加に伴う流れ模様の変化について循環流領域が長くなるという測定例があり¹⁵⁾、この状態でφ46スワラのほうが煙の発生を防ぐような形になると推定される。

なお、実機測定結果とは、定性的に合っている。

7. アニュラ燃焼器模型の試験

アニュラ燃焼器模型の試験は、 $P_1 = 0.27\text{MPa}$ ¹³⁾までの実験を航技研の円環型燃焼器試験設備、これより圧力の高い状態の実験をアニュラ型高圧燃焼器試験装置¹⁶⁾で行なった。

アニュラ燃焼器の場合、セクタ模型にみられた図12のような循環流はなく、これがスワラ近傍の流れ模様に微妙な影響を与えることが考えられる。また、箱形燃焼器とはライナ空気孔の円周方向の間隔が異なっており、分割模型とアニュラ模型の性能比較は、分割模型で得たデータの活用際に重要になる。

(1) 常圧試験 初めに大気圧から $P_1 = 0.27\text{MPa}$ までの実験を行なった。この実験条件は、箱形模型やセクタ模型で多く行なった常圧試験のそれに近い。

この実験から次の結果が得られた。

(i) 燃焼効率の絶対値は、多くの場合、箱形模型の結果と一致した。

(ii) 燃料噴霧粒径の燃焼効率特性に及ぼす影響は箱形模型で得られたものと同様であった。

(iii) ライナ3孔形と4孔形の出口温度不均一率の傾向も箱形模型の結果と同様であった。例を図15に示す。アニュラ形でも3孔形のほうが不均一率は大きい。

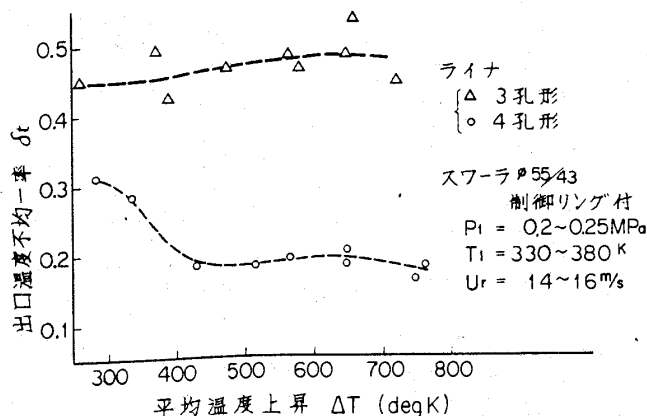


図15 アニュラ形燃焼器におけるライナ3孔形と4孔形の出口温度不均一率

(iv) スワローを取付ける隔壁板冷却の有無、または冷却空気流出法に基づく燃焼効率の差、および出口温度不均一率の差は、アニュラ形の実験では明らかに現れなかった。

(v) アニュラ形の3孔ライナの燃焼効率特性は4孔形のそれと比べてすぐれていない。スワローから第1列ライナ空気孔までの距離の影響を調べるため $d_s = \phi 54$ のスワローに対し $1.6 d_s$ (86 mm) と3孔形より長くしたものも試験した。このとき排気中に白煙を生ずる条件があり、この距離をのばすことは有効でなかった。

白煙は燃焼状態の極めて悪いときに発生するが、これは、スワロー付近が局部的に燃料過濃になってスワローに保持される火炎が十分に伝ばしないためと考えられる。さらに燃料流量を増すと、ライナ空気孔からの空気噴流により火炎保持が行なわれるようになり、ライナ下流側で燃焼する。この状態では、出口温度分布は悪化しても燃焼効率としては低下せず、白煙の発生もない。

(vi) スワローの最良形は、ライナ開口面積から決まる部分があり、箱形模型の結果と異なる傾向がみられた。

(vii) 燃焼器の全圧損失は、アニュラ模型のほう

が箱形やセクタ形より低めにでる。

このようなアニュラ形と分割模型の結果の差異の原因の一つは、前記の隔壁板近くの円周方向流れによると考えられる。アニュラ形の場合、スワロー旋回流によって生ずる円周方向の流れは、その形状から判断して安定している。それが隔壁板付近の安定な火炎の保持に影響を与え、燃料蒸発特性をかえ、全体性能に影響を与える。これは、隔壁板に沿って空気を流すルーバを設けた際に明らかになった。¹⁷⁾

アニュラ模型の実験によってのみ精度高く得られる項目として燃焼器入口風速分布の影響、出口温度半径方向分布、同じく円周方向分布、抽気の影響等がある。これらの実験結果は、次の通りである。

(i) 燃焼器入口風速に半径方向の分布をつけると燃焼器出口温度半径方向分布が変化する。外径側高めの全圧にすると、多くの場合、燃焼器出口で外径側低めの温度分布になる。また、全圧の低い側のライナ壁温が高くなる。出口温度半径方向分布のアニュラ模型の入口風速分布一様なときの測定例と実機運転結果との比較を図16に示す。この図に示された差は、実機の場合、圧縮機出口の半径方向全圧分布が一様でなく、外径側で高いためとみられる。

(ii) 出口温度分布の調整について次の結果が得られた。

— ライナの空気孔全開口面積および隔壁板から第1列空気孔までの距離とスワローとの整合をとり、火炎長さの短縮を図ることは、出口温度分布の均一化に有利である。

— ライナ空気孔は3孔形より4孔形のほうが、出口温度分布の均一化に有利である。この傾向は箱形模型でも示されている。

— 希釈空気孔を噴射弁後方と噴射弁ピッチの1/2円周方向にずらした位置におくと、出口温度円周方向分布の調整がやりやすい。

— 円周に配置する各燃料噴射弁の流量特性を合せる必要がある。噴射弁燃料流量のばらつきを平均値±3%以内に押え、噴射弁後方の出口温度の平均値からの外れと、燃料流量の平均値からの外れとの間に相関はみられない。

— 半径方向の出口温度分布の調整は、外径側の

ライナーケーシング間と内径側のライナーケーシング間に流れる空気の流量比をかえるのが有効である。

(iii) アニュラ形的全損失係数は、図17に示す程度になっており、初期の予想値 $\phi = 3.5$ に比べて少し低い。これはライナ開口面積を多めにとっているためと考えられる。

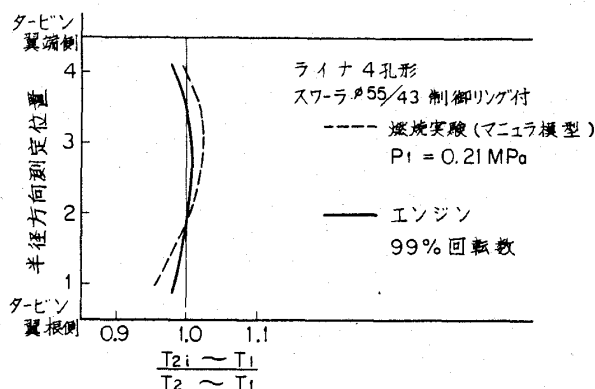


図16 アニュラ模型および実機燃焼器の出口温度半径方向分布

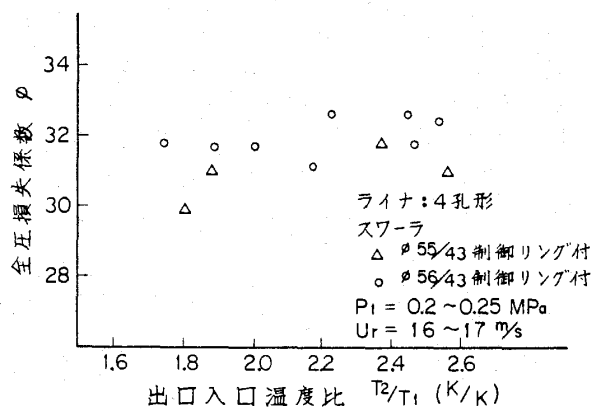


図17 アニュラ燃焼器の標準的な全圧損失係数

(iv) 抽気は、タービン翼の冷却等に用いるためのものである。外径側のケーシングの下流側から全体流量の6%まで、内径側のディフューザ部ケーシングから6%まで抽気してその影響を調べたが、燃焼効率、出口温度分布に有意の差は現れなかった。

(2) 高圧試験 アニュラ模型の高圧試験では、

主に、高圧時の大気汚染成分排出特性およびライナ耐久性を調べた。図18は、NO_x 排出指数の測定結果である。用いた実験装置の場合、燃焼器

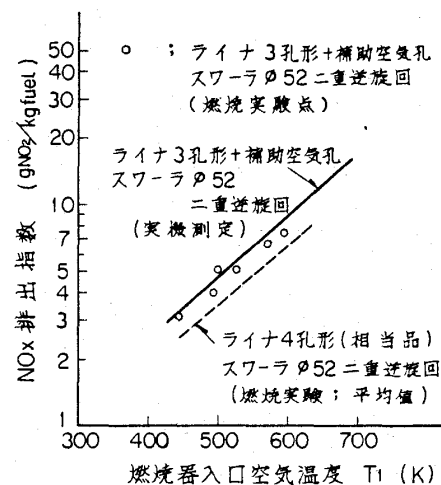


図18 アニュラ模型および実機のNO_x排出の傾向

入口の空気圧力・温度の関係が実機の状態といくぶん異なるため、これまでの測定結果を整理して得られた次式を用いて実機相当に換算した。

$$(EI) \text{ NO}_x \propto P_1^{0.35} \exp(T_1/288)$$

なお、(EI) NO_x はNO_x の排出数 (g NO₂ / kg fuel) である。同じ燃焼器ライナを用いて実機で測定した結果と修正した実験点とはよく一致している。

ライナの耐久性について、指温塗料をぬって壁温を調べると、数気圧以上の高圧試験からライナ壁の高温になる箇所を推定することができた。ただし、ライナの壁温分布は、燃焼器入口空気流の全圧分布形によって変化するため、実機条件時に合わせるには、入口空気全圧分布形も合わせる必要があった。本実験では、高温箇所には $\phi 1 \sim \phi 2$ のキリ孔をピッチ5~7mmであけることを行なったが、その効果が認められた。

8. 実機運転試験

実機運転により燃焼器出口温度分布の推定、大気汚染成分排出濃度の測定およびライナ耐久性の改善を行なった。

図19は煙濃度の測定結果である。同図から、 $\phi 46$ スワラと4孔形ライナの組合せが煙濃度低下に対して有利であり、これにスワラ近傍の

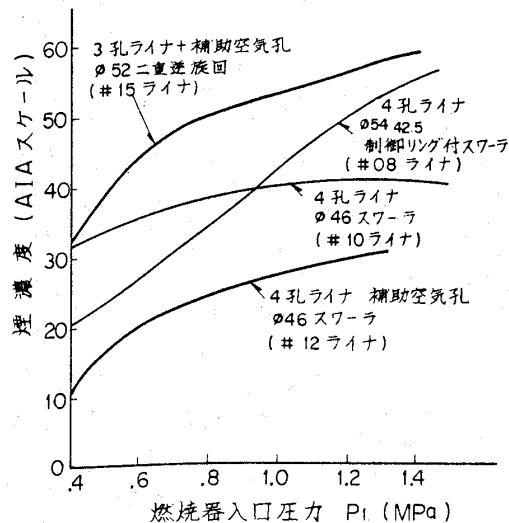


図19 実機運転時の煙濃度

補助空気孔を設けたものはさらに改善されていることが明らかである。スワラとライナ空気孔とのマッチングについて、箱形模型の結果で述べた(2)の考え方の有利なことも示されている。

THCの測定結果を図20に示す。図1.0の「原型」と同一形状をした#04ライナのTHC排出量は多いが、図1.0の「改-2」にした#04改ライナのそれは原型の1/3に低下している。この傾向は、常圧箱形模型の実験からも推定できた。

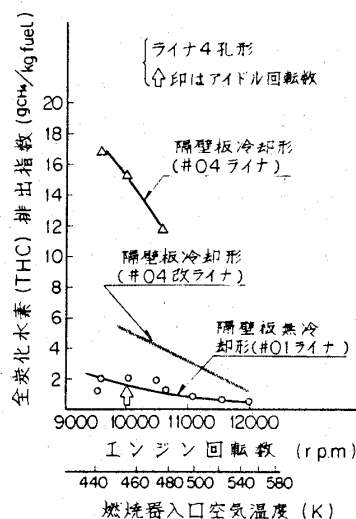


図20 実機運転時のTHCの排出

図21は、実機のNOx排出指数を他のエンジンのそれと比較したものである。入口空気温度の低い状態、すなわちアイドル付近のNOx排出指数は高めであるが、入口空気温度の高い状態では

平均値より低くなっている。アイドル条件におけるNOx排出量は燃焼効率と関連をもち、NOx排出レベルの高いことは、実験的に燃焼効率が高くTHCやCOの排出が低いことを示している。

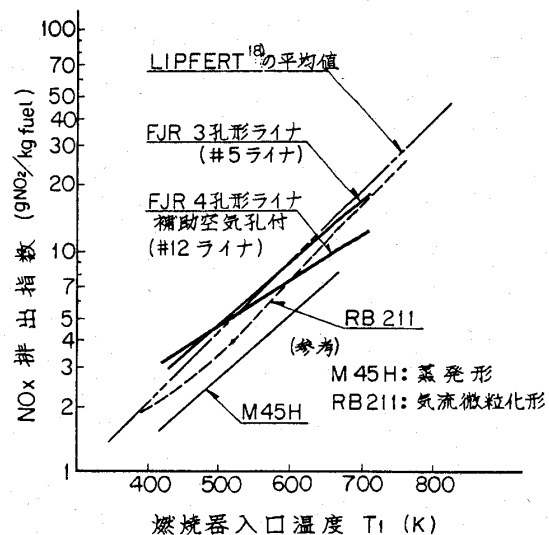


図21 実機運転時のNOxの排出

入口温度の高い状態におけるNOx排出量が、一般の噴霧形燃焼器より低くなったことについて、次の事柄が考えられる。

(i) 使用したスワラの性能が良く、燃焼領域長が短くなって実質的な高温滞留時間が短縮されたこと。

(ii) #12ライナの場合、補助空気孔による燃料過濃領域の減少があること。スワラ気流により燃料噴霧角の調整をしたこと。

実機におけるライナ耐久性向上について、隔壁板を覆う遮熱板が最後まで問題になったが、次の方法を併用して解決した。

(i) 熱膨張による逃げをつくり、変形の発生を防ぐ。

(ii) 高温になる部分に小孔を多数あけ、壁面付近に空気層をつくって熱の遮断を行なう。

(iii) 冷却空気流路がライナの熱変形により狭められないよう充分な幅をとる。

(iv) 表面にセラミックコーティングを施す。

ライナの耐久性に関連したものとして、ライナ上に炭素堆積がみられた。これは葺状に30~40mmも突出す箇所があった。炭素堆積の始まる箇所小孔をあけて防ぐ対策をとったが有効でなく、

スワール空気取入口の流れを揃える（空気取入口にディフューザ板をつける）ことにより解決した。炭素堆積には流れのわずかな変化が大きな影響を及ぼす。

9. ま と め

圧力噴射弁とスワールを組合せたアニュラ形高圧燃焼器について一連の実験研究を行ない、次の結果を得た。

(1) 研究対象にした高圧燃焼器では、スワール開口面積が大きいこと、ライナ冷却空気量を多くとっていることから、常圧試験時、燃焼効率特性に燃料噴霧粒径の影響が大きく現れた。燃焼効率を高く保つには微粒化性能を良好 ($d_f \leq 40 \mu\text{m}$) にしておく必要があった。

(2) ライナ上流側の燃料噴霧の衝突する付近の壁面冷却空気出口流は、全炭化水素 (THC) の排出に大きな影響を及ぼす。分割模型の場合、燃焼効率や出口温度分布が冷却空気流の有無で大きく変化した。アニュラ形では現れず、模型形状の差に基く流れ模様の違いの効果がみられた。これは主に、ライナ隔壁板（スワール取付板）上の円周方向空気流れの様子によるものと判断された。

エンジンアイドル時の測定例で、隔壁板冷却空気の流出法によって THC の排出が3倍程度変化した。

(3) スワール形状は、開口面積の小さなものほど空燃比の大きなところの燃焼効率が改善され、空燃比の小さなところの燃焼効率は低めになる

（常圧実験）傾向を示す。空燃比の小さな状態は高圧時に対応し、このとき燃焼効率特性が向上するのでその点は問題にならず、排出される煙濃度が問題となる。その制御因子の一つにスワール空気流のあるときの燃料噴霧角が考えられ、この噴霧角を測定した。測定された煙濃度は、噴霧角の広いもののほうが低い。ただし、実験したうちでもっと広い噴霧角を示した $\phi 52$ 二重逆旋回スワールは、流れ模様が他のスワールと異なり、すぐれた結果は得られなかった。

(4) スワール取付面からライナ第1列空気孔までの距離は、制御リング付スワール（主に $d_s = \phi 54$ ）に対し、50mm、70mm、86mmの3種類を調べた。箱形模型では、70mmの空気孔配置がもっとも高い燃焼効率を示したが、アニュラ形

では50mmと70mmの差はなく、86mmでは大気圧付近の実験で白煙の生ずる条件があった。

制御リングなしのスワール ($d_s = \phi 46$) に対し、循環流領域内に空気を供給する目的から補助空気孔としてスワール取付面から23mmに $\phi 8$ をあけた。このとき、大気圧状態において燃焼効率の低下は認められず、高圧時の煙、 NO_x の排出低減に有効であった。

(5) 出口温度均一化に対しては、ライナ3孔形より4孔形のほうが有利である。3孔形で出口温度分布を揃えるには、希釈空気孔を円周方向に $\frac{1}{2}$ ピッチずらした千鳥配列にする必要があろう。

(6) ライナ耐久性の点で、遮熱板が問題になった。その対策として熱膨張による逃げを作ること、焼損しやすい箇所に小孔を多数あけること、冷却空気の流路を確保することなどが有効であった。また、炭素堆積防止に対し、スワールへ流れる空気の流れを揃えることが有効であった。これはスワールからの流れをわずかに修正したことになろう。

(7) スワールを用いる燃焼器の場合、セクタ模型より箱形模型のほうがアニュラ形に近い性能を示す。これは、隔壁板付近の流れの安定性に起因すると判断された。

(8) セクタ模型の高圧実験から得られた煙濃度は実機の場合と定性的に合う。煙濃度低減に対し、スワールからライナ第1列空気孔までの距離の短いもののほうが有利である。ただし、制御リング付スワールでは、スワール近くに空気孔をあけると火災安定性が劣化するためできない。この点、制御リングなしのスワールのほうが有利である。

(9) アニュラ模型の高圧実験から実機の場合を推定した NO_x 排出指数は、実機測定結果とよく一致した。ただし、次の実験式を用いて実機条件に修正している。

$$(EI) \text{NO}_x \propto P_1^{0.35} \exp(T_1/288)$$

実機における NO_x 排出レベルは、他の噴霧形燃焼器をもつエンジンのそれに比べて低めであった。これは燃焼性能向上による高温滞留時間の減少、燃料噴霧角のスワール空気流による調整、ライナ補助空気孔による燃料過濃領域の形成回避などの効果と考えられる。

(10) ガスタービン用高圧燃焼器の設計から実機

試験まで行ない、この過程において各種の実験研究を行なった。その結果、簡単化した模型の常圧試験も有用であり、この種のデータの蓄積により、アニュラ模型の高圧試験や実機試験を最少限にとどめることができる。ただし、常圧データの見方やその判断は、初めの段階で、高圧試験結果と比較検討する必要がある。

10. 謝 辞

本研究にあたっては、航技研燃焼研究室、航空機公害第3グループの方々の協力を得ている。また、研究の一部は通商産業省工業技術院の大型プロジェクトの一環として行なったものである。ここに、関係者各位に対し感謝の意を表わす。

文 献

- (1) 大塚, ほか5名, 航技研資料 TM-44 (1964-12)
- (2) 大塚, ほか3名, 航技研資料 TM-68 (1965-11)
- (3) 鈴木, ほか4名, 航技研資料 TM-93 (1966-10)
- (4) 大塚, ほか4名, 航技研資料 TM-128 (1968-4)
- (5) 大塚, ほか4名, 航技研資料 TM-129 (1968-4)
- (6) 大塚, ほか4名, 航技研資料 TM-158 (1969-4)
- (7) 鈴木, ほか3名, 航技研資料 TM-193 (1971-1)
- (8) 日本機械学会, 機械工学便覧(昭52) 14-113
- (9) Childs, J. H. & Graves, C. C., 6th Symp. Comb. (1957), P. 869, Reinhold.
- (10) 鈴木, ほか3名, 航技研報告 TR-208 (1970-9)
- (11) 航空宇宙学会編, 航空宇宙工学便覧(丸善) 1974, P. 578.
- (12) 全 上, P. 577.
- (13) 航技研原動機部, 航技研報告 TR-24 (1962-2)
- (14) 鈴木, 日本ガスタービン会議会報, 2-6, (1974-9), P. 46.
- (15) Owen, F. K., AIAA Paper No. 76-33 (1976-1)
- (16) 鈴木, 堀内, 内燃機関(山海堂), 16-189, (1977-1), P. 41.
- (17) 鈴木, ほか3名, 航技研資料 TM-306 (1976-8).
- (18) Lipfert, F. W., ASME Paper 72-GT-60 (1972-3)



振動する直線放射状羽根車に働く非定常流体力

防衛大学校 西岡 清
航空工学教室

I ま え が き

小型ガスタービンはその構造上、取扱いの容易さから遠心式の圧縮機を単独または軸流式と組合せて使用する例が多いようであるが、軸流式と同じように開発時から問題になるのは羽根や羽根車の振動疲労による破損¹⁾である。

軸流式流体機械の翼の振動に関しては航空用ガスタービンの開発と相俟って、ガスタービンの創成期から手がけられており、高性能化への厳しい要求からその方面の研究が促進され多数の研究報告がある。輻流機械についても高圧力比、高性能化が要求されつつあり、非定常流れとの関連もあって羽根や羽根車の振動が現実的な問題となりつつあるが、内部の流れが複雑であることからこれらに関する研究報告は少ない。

Isay²⁾は放射状直線羽根が全て同位相で、羽根車の回転数と羽根数の積の整数倍で振動しているときの羽根まわりの変動循環を理論的に解析している。しかし彼は後流渦を隣接羽根間に連続的に分布させた渦として取扱っており、羽根に作用する非定常力³⁾に関しては何も述べていない。谷田は流れが二次的であるとして Isay の理論を拡張し、後流渦の取扱い方を修正して比較的簡単な計算法で任意の振動数で同位相振動する直線羽根に作用する非定常流体力を求める方法を示しているが、数値計算の結果には疑問がある。また羽根車を準アクチュエータディスクで置き換え、フラッタ特性を解析⁴⁾しているがこれは羽根数が非常に多い場合に適用できるものである。

本研究は上述のような制限を取除き、二次元流れの中で羽根が全て同位相で振動をしている任意形状の羽根に作用する非定常流体力を求める式を非圧縮性、非粘性、非失速を仮定して誘導し、特別の場合として直線放射状羽根の場合について数値計算を行ったものである。

使用した主な記号

$A_P \equiv r e^{i(\phi + 2\pi P/N)}$; P 番羽根上の点
$i = \sqrt{-1}$; 座標系の虚数単位
$j = \sqrt{-1}$; 時間系の虚数単位
i_n	; 羽根への入射角
$k \equiv \omega r_b / U_{rb}$; 無次元振動数
N	; 羽根数
P	; 羽根番号
Q	; 流量
r	; 半径
r_a	; 羽根内径
r_b	; 羽根外径
$R_A \equiv r_a / r_b$; 羽根の内外径比
S	; 羽根及び後流線に沿って測った長さ
U_r, u_r	; 半径方向速度, 定常及び非定常成分
U_θ, u_θ	; 周方向速度, 定常及び非定常成分
$U_{rb} \equiv Q / 2\pi r_b$; 羽根出口での平均半径速度
$U_{\theta 2} = \Omega r_b$; 羽根出口での回転速度
$Z \equiv r_2 e^{i\theta}$; 羽根上の境界条件の位置
α	; 羽根のねじり振動振幅
β	; 半径方向と羽根の法線とのなす角
τ_c, τ_f	; 非定常拘束渦及び自由渦
Γ	; 羽根の定常渦分布
Γ_0	; 予旋回の循環
δ	; 羽根の併進振動振幅
$\varphi \equiv U_{rb} / U_{\theta 2}$; 流量係数
ω	; 羽根の角振動数
Ω	; 羽根車の回転角速度
付 記 号	
c	; 拘束渦
f	; 自由渦
p	; P 番羽根
r	; 半径方向

(昭和 年 月 日原稿受付)

となる。ここで φ は $\varphi = U_{rb}/U_{\theta a}$ で与えられる流量係数である。

0 番羽根上の点 Z で流体は羽根を貫通しないという境界条件から、

$$U_r \cos \beta_z + U_\theta \sin \beta_z = 0 \quad (4)$$

が成立する。(3)式を(4)式に代入し整理すると定常渦分布に関する積分方程式を得る。

$$\begin{aligned} \frac{N}{2\pi r_z} \int_{sa}^{sb} \Gamma \frac{R_z^N \sin N(\phi - \theta)}{1 - 2R_z^N \cos N(\phi - \theta)} \\ + \frac{\{1 - R_z^N \cos N(\phi - \theta)\} \tan \beta_z}{R_z^N} ds \\ = \frac{1}{r_z} + (U_{rb} \frac{1}{r_z} - \frac{r_z}{\varphi}) \tan \beta_z \quad (5) \end{aligned}$$

(5)式を解き、得られた Γ を(3)式に代入すれば U_r , U_θ を計算することができる。

基準線 $G'-G''$ に垂直方向及び平行な方向の力 L_s , D_s , 点 X (x_0, y_0) まわりのモーメント (反時計方向を正とする) M_{xs} は、

$$\left. \begin{aligned} \frac{L_s}{\rho U_{rb}^2 r_b} &= F_{ys} \cos G + F_{xs} \sin G \\ \frac{D_s}{\rho U_{rb}^2 r_b} &= F_{xs} \cos G - F_{ys} \sin G \\ \frac{M_{xs}}{\rho U_{rb}^2 r_b^2} &= M_s + \frac{y_0}{r_b} F_{xs} - \frac{x_0}{r_b} F_{ys} \\ F_{xs} &= \int_{sa}^{sb} \Gamma (U_r \sin \beta - U_\theta \cos \beta) \\ &\quad \times \cos (\phi + \beta) ds \\ F_{ys} &= \int_{sa}^{sb} \Gamma (U_r \sin \beta - U_\theta \cos \beta) \\ &\quad \times \sin (\phi + \beta) ds \\ M_s &= \int_{sa}^{sb} r \cdot \Gamma (U_r \sin \beta - U_\theta \cos \beta) \\ &\quad \times \sin \beta ds \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

羽根前縁での入射角が有限 (前縁の渦の強さが有限) のときには suction force を考慮せねばならないが、無衝突流入を取扱っているので省

略してある。

2) 非定常速度 図2に羽根の振動による変位を示す。このとき振幅が微小であるので、変動

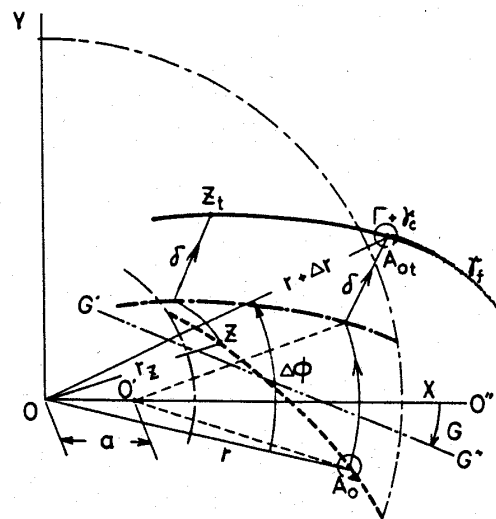


図 2

量の二次以上の微小項を省略した。羽根の振動は基準線 $G'-G''$ に垂直方向の併進振動 (δ) と羽根車中心より a だけ偏心した点 O' まわりのねじり振動 (α) よりなるものとすれば、羽根上の点 A_0 , Z がそれぞれ A_{ot} , Z_t に移動したときの変位量は(7)式になる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta r &= \sin (\phi + G) \cdot \delta - a \sin \phi \cdot \alpha \\ \Delta r_z &= \sin (\theta + G) \cdot \delta - a \sin \theta \cdot \alpha \\ \Delta \phi &= \cos (\phi + G) \cdot \delta / r + \\ &\quad (1 - a \cos \phi / r) \cdot \alpha \\ \Delta \theta &= \cos (\theta + G) \cdot \delta / r_z + \\ &\quad (1 - a \cos \theta / r_z) \cdot \alpha \\ \Delta \beta_z &= -\cos (\theta + G) \cdot \delta / r_z + \\ &\quad a \cos \theta \cdot \alpha / r_z \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

羽根に分布する非定常渦分布は拘束渦 r_c と自由渦 r_f に分けることができる。拘束渦により Z_t 点に生ずる誘起速度 (ベクトル表示) は次式になる。

$$\begin{aligned} \sum_{p=0}^{N-1} \frac{i e^{i(\theta + \Delta \theta)}}{2\pi} \int_{sa}^{sb} \frac{\Gamma + r_c}{Z_t - A_{pt}} ds \\ \cong \frac{i e^{i\theta}}{2\pi} \sum_{p=0}^{N-1} \int_{sa}^{sb} \left[\frac{\Gamma}{Z - A_p} \right] \end{aligned}$$

$$+ \Gamma \frac{A_P \left(\frac{\Delta r}{r} + i \Delta \phi \right) - Z \left(\frac{\Delta r_z}{r_z} + i \Delta \theta \right)}{(Z - A_P)^2} + \frac{i(Z - A_P) \Delta \theta}{Z - A_P} + \frac{r_c}{Z - A_P} \Bigg\} ds \quad (8)$$

(8)式右辺第1項は定常速度ですでに(1)式で与えられている。第2, 第3項はそれぞれ定常渦の変位, 非定常拘束渦による誘起速度であり, それらを

$(u_{rr}, u_{\theta r}), (u_{rc}, u_{\theta c})$ とすると付録(A-1), (A-2), (A-3)式を用いて,

$$\left. \begin{aligned} u_{rr} &= - \frac{N}{2\pi r_z} \int_{sa}^{sb} \Gamma (K_{r\delta} \cdot \delta + K_{r\alpha} \cdot \alpha) \times ds \\ u_{\theta r} &= \frac{N}{2\pi r_z} \int_{sa}^{sb} \Gamma (K_{\theta\delta} \cdot \delta + K_{\theta\alpha} \cdot \alpha) \times ds \\ u_{rc} &= - \frac{N}{2\pi r_z} \int_{sa}^{sb} r_c \\ &\quad \times \frac{R_z^N \sin N(\phi - \theta)}{1 - 2R_z^N \cos N(\phi - \theta) + R_z^{2N}} ds \\ u_{\theta c} &= - \frac{N}{2\pi r_z} \int_{sa}^{sb} r_c \\ &\quad \times \frac{1 - R_z^N \cos N(\phi - \theta)}{1 - 2R_z^N \cos N(\phi - \theta) + R_z^{2N}} ds \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

となる。(9)式の関数 $K_{r\delta}, K_{r\theta}, K_{\theta\delta}, K_{\theta\alpha}$ はそれぞれ付録(A-4), (A-5), (A-6), (A-7)に示した。

次にケルビンの渦保存則により, 非定常拘束渦 r_c から自由渦 r_f が放出される。自由渦は羽根に沿って流れ, 羽根後縁より後流にのって無限遠方まで拡がっている。自由渦の流線の軌跡 ϕ_w は0番羽根出口の中心角を ϕ_b とすると,

$$\left. \begin{aligned} \phi_w &= \phi & r_a \leq r_w \leq 1 \\ \phi_w &= \phi_b + \int_1^{r_w} \frac{U_\theta}{U_r} \frac{dr}{r} & 1 \leq r_w \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

である。

また r_f と r_c の間には次の関係がある。

$$\left. \begin{aligned} r_f &= -j \frac{\omega}{U_{rb}} \frac{r_c}{U_s} e^{-jk\tau} \\ k &= \frac{\omega r_b}{U_{rb}}, \quad \tau = \int_r^{r_w} \frac{dr}{U_r} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

U_s は考える自由渦が流される無次元の速度である。この自由渦によって点Zに誘起される速度は(1)式を用いて次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} U_{rf} &= \frac{Nk}{2\pi r_z} \int_{sa}^{sb} r_c \int_s^\infty \frac{R_z^N}{U_s} \frac{\{e^{i(N(\phi_w - \theta) - k\tau)} - e^{-j(N(\phi_w - \theta) + k\tau)}\}}{2\{1 - 2R_z^N \cos N(\phi_w - \theta) + R_z^{2N}\}} \times ds_w ds \\ U_{\theta f} &= \frac{jNk}{2\pi r_z} \int_{sa}^{sb} r_c \int_s^\infty \frac{1}{U_s} \times \frac{2e^{-jk\tau} - R_z^N [e^{j(N(\phi_w - \theta) - k\tau)} + e^{-j(N(\phi_w - \theta) + k\tau)}]}{2\{1 - 2R_z^N \cos N(\phi_w - \theta) + R_z^{2N}\}} ds_w ds \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

ここに $R_{zw} = r_w/r_z$ である。

羽根は振動によって半径方向に変位するが点 z_t では変位 Δr_z にもなって定常速度場における付加的速度変動 $(u_{ra}, u_{\theta a})$ が生じ, これは羽根の振動振幅に比例する。

$$\left. \begin{aligned} u_{ra} &= - \frac{\sin(\theta + G)}{r_z^2} \cdot \delta + \frac{a \sin \theta}{r_z^2} \cdot \alpha \\ u_{\theta a} &= - \left(\frac{U_{rb}}{r_z^2} + \frac{1}{\varphi} \right) \sin(\theta + G) \cdot \delta \\ &\quad + \left(\frac{U_{rb}}{r_z^2} + \frac{1}{\varphi} \right) a \sin \theta \cdot \alpha \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

羽根上の点Zの振動速度 $(u_{rv}, u_{\theta v})$ はそれぞれ半径方向, 周方向の変位から求まる。

$$\left. \begin{aligned} u_{rv} &= jk \sin(\theta + G) \cdot \delta - jk a \sin \theta \cdot \alpha \\ u_{\theta v} &= jk \cos(\theta + G) \cdot \delta + jk (r_z - a \cos \theta) \cdot \alpha \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

3) 非定常渦分布 拘束渦 r_c は点 z_t で流れが羽根を貫通しないという境界条件を満す次式から求められる。

$$(U_r + u_{rF} + u_{rc} + u_{rf} + u_{ra} - u_{rv}) \cos(\beta_z + \Delta\beta_z) + (U_\theta + u_{\theta F} + u_{\theta c} + u_{\theta f} + u_{\theta a} - u_{\theta v}) \sin(\beta_z + \Delta\beta_z) = 0$$

二次以上の微小項を省略し、(4)式を代入して整理すると、

$$u_{rc} + u_{rf} + (u_{\theta c} + u_{\theta f}) \tan \beta_z = u_{rv} + u_{\theta v} \tan \beta_z - (u_{\theta F} + u_{\theta a}) \tan \beta_z - (u_{rF} + u_{ra}) + (U_r \tan \beta_z - U_\theta) \Delta\beta_z \quad (16)$$

となる。(16)式に(9), (10), (13), (14), (15)式を代入して整理すると、

$$\begin{aligned} & -\frac{N}{2\pi r_z} \int_{sa}^{sb} r_c [K_c + k \int_s^\infty K_f ds_w] ds \\ & = [jk \sin(\theta + G + \beta_z) + \frac{N}{2\pi r_z} \\ & \quad \times \int_{sa}^{sb} \Gamma (K_{r\delta} \cos \beta_z - K_{\theta\delta} \sin \beta_z) ds + K_\delta] \cdot \delta \\ & + [jk \{r_z \sin \beta_z - a \sin(\theta + \beta_z)\} \\ & + \frac{N}{2\pi r_z} \int_{sa}^{sb} \Gamma (K_{r\alpha} \cos \beta_z - K_{\theta\alpha} \sin \beta_z) ds + K_\alpha] \cdot \alpha \quad (17) \end{aligned}$$

となる。関数 K_c , K_f , K_δ , K_α は各々付録(A-8), (A-9), (A-10), (A-11)式に示した。(17)式から r_c は振動振幅 δ , α に比例した項からなっており、 r_c に関して解き、得られた r_c を(10), (13)に代入すれば非定常速度 u_{rc} , $u_{\theta c}$, u_{rf} , $u_{\theta f}$ を計算することができる。

4) 非定常流体力 非定常速度の和を次のようにしておく。

$$\left. \begin{aligned} u_r &= u_{rF} + u_{rc} + u_{rf} + u_{ra} - u_{rv} \\ u_\theta &= u_{\theta F} + u_{\theta c} + u_{\theta f} + u_{\theta a} - u_{\theta v} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

羽根上の点 A (r , ϕ) で羽根の法線方向に作

用する非定常力を dL_n とすると、羽根に働く x , y 方向の非定常流体力は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} F_x &= \frac{1}{\rho} \int_{sa}^{sb} \cos(\phi + \beta) dL_n \\ F_y &= \frac{1}{\rho} \int_{sa}^{sb} \sin(\phi + \beta) dL_n \\ dL_n &= \rho [(\Gamma + r_c) \{ (U_r + u_r) \sin \beta - (U_\theta + u_\theta) \cos \beta \} - \rho \Gamma \\ & \quad \times (U_r \sin \beta - U_\theta \cos \beta)] ds \\ & \cong \rho [\Gamma (u_r \sin \beta - u_\theta \cos \beta) + r_c (U_r \sin \beta - U_\theta \cos \beta)] ds \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

図2の基準線 $G' - G''$ に垂直方向及び平行な方向に作用する非定常力 L , D , 羽根車中心と点 X (x_0 , y_0) まわりの非定常モーメント M , M_x は次式になり、それぞれ振幅 δ , α に比例する項で表わせる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{L}{\rho U_{rb}^2 r_b} &= F_y \cos G + F_x \sin G = C_{L\delta} \cdot \delta + C_{L\alpha} \cdot \alpha \\ \frac{D}{\rho U_{rb}^2 r_b} &= F_x \cos G - F_y \sin G = C_{D\delta} \cdot \delta + C_{D\alpha} \cdot \alpha \\ \frac{M}{\rho U_{rb}^2 r_b^2} &= \int_{sa}^{sb} r \sin \beta dL_n = C_{M\delta} \cdot \delta + C_{M\alpha} \cdot \alpha \\ \frac{M_x}{\rho U_{rb}^2 r_b^2} &= \frac{M}{\rho U_{rb}^2 r_b^2} + y_0 F_x - x_0 F_y = C_{Mx\delta} \cdot \delta + C_{Mx\alpha} \cdot \alpha \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

必要な特性値は以上の諸式を用いて計算することができる。計算法は直線放射状羽根の場合について付録⁵⁾に示したが要点のみを述べておく。なお積分の計算には区分求積法を用いた。

羽根上 ($n+1$) 個の点に拘束渦をおき、羽根後縁での Kutta の条件を考慮して渦間の n 個の点で境界条件を満すようにして拘束渦を決定する。拘束渦の位置 r_ℓ , 境界条件の位置 $r_{z\ell}$ は次式で与えられるものとする。

$$\left. \begin{aligned} r_\ell &= (1-R_A)(1-\cos\psi_\ell)/2 \\ r_{z\ell} &= (1-R_A)(1-\cos\psi_{z\ell})/2 \\ \psi_\ell &= \ell\pi/n, \psi_{z\ell} = (2\ell+1)\pi/2n \\ \ell &= 0, 1, 2, \dots, n-1 \end{aligned} \right\} (21)$$

また(13)式の二重積分の内側の積分は特異点を含んでいる。このため特異点近傍のみを差引いたものを区分求積し、それを差引いた部分を積分したものを加えておくようにした。⁵⁾

III 直線放射状羽根に対する計算結果

直線放射状の羽根車が静止しているとき、羽根数を少なく、 $R_A \rightarrow 1$ とすれば羽根間の干渉は小さくなり、一様流れの中での単独翼の結果に近づくと考えられる。

そこで羽根車が静止しているとし ($\varphi = 10000$, $\Gamma_0 = 0$), 羽根が羽根車の回転軸まわりに振動しているとき ($N = 4$, $a = 0$) の結果を翼弦に垂直方向に振動している単独翼⁶⁾と比較したのが図3である。この場合に単独翼の振動条件に近づけるために次のような変換をした。ここで非定常揚力及びモーメント係数 $C_{Lv\alpha}$, $C_{Mv\alpha}$ は翼弦長, 振動速度を用いて無次元化されており, モーメントは羽根中心まわりのものである。

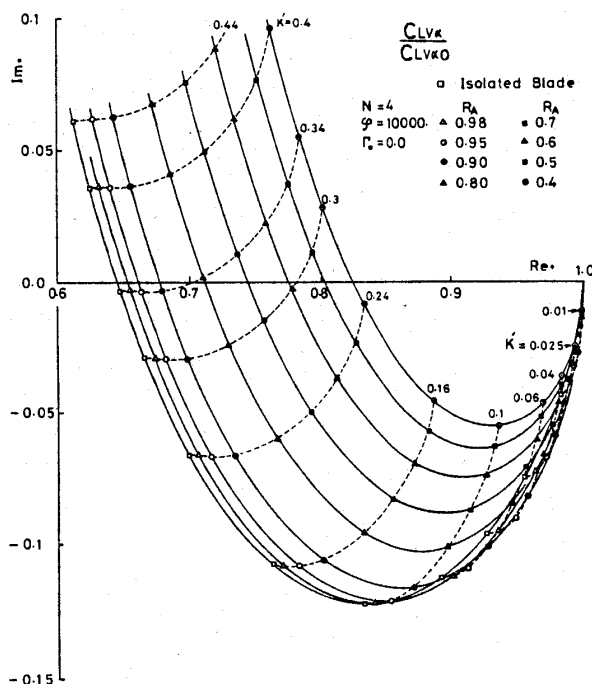


図3 a

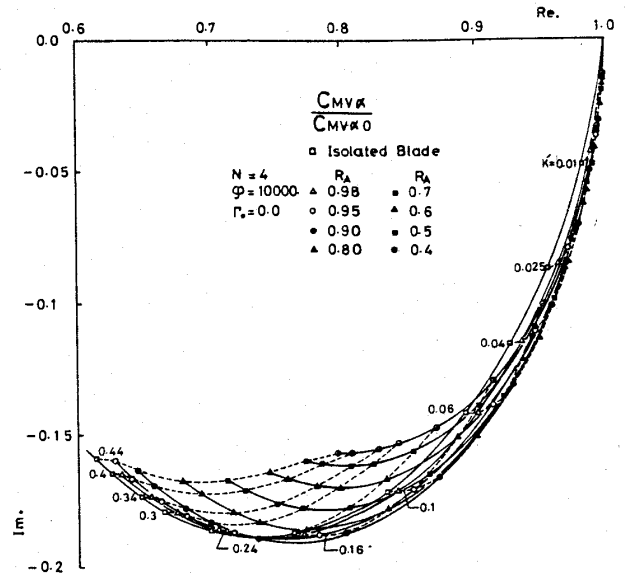


図3 b

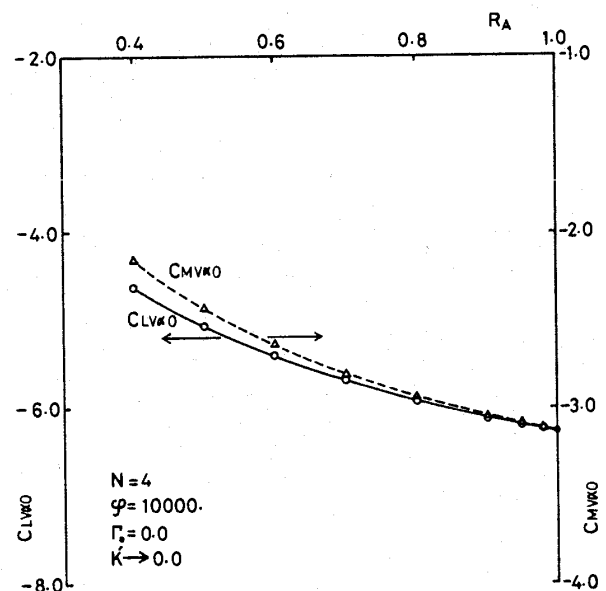


図3 c

$$U = U_r \cong \frac{U_{ra} + U_{rb}}{2} = \frac{1 + R_A}{2 R_A} U_{rb}$$

$$C = r_b - r_a = (1 - R_A) r_b \text{ (翼弦長)}$$

$$k' = \frac{\omega c}{2 U} \cong \frac{(1 - R_A) R_A \cdot k}{1 + R_A} \quad (22)$$

$$h \cong \frac{(r_b + r_a) \cdot \alpha}{2} \text{ (上下振動の振幅)}$$

$$C_{Lv\alpha} = \frac{8 R_A C_{L\alpha}}{j k (1-R_A)(1+R_A)^2} \quad (22)$$

$$C_{Mv\alpha} = \frac{8 R_A}{(1-R_A^2)^2} \times \frac{(1+R_A)C_{L\alpha} - 2C_{M\alpha}}{j k}$$

結果は $k' \rightarrow 0$ のとき準定常値 ($C_{Lv\alpha 0}$, $C_{Mv\alpha 0}$, 図 3(c)) との比で表わしてある。 R_A が 1 に近づくとき単独翼の結果に近づくことがわかる。

図 4 は R_A が 1 に近いとき、羽根数が $N = 4$ の羽根車を回転させた場合である。このとき羽根へ

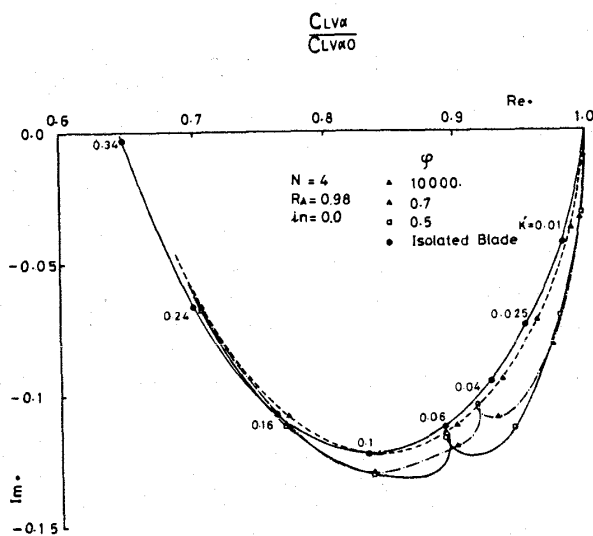


図 4 a

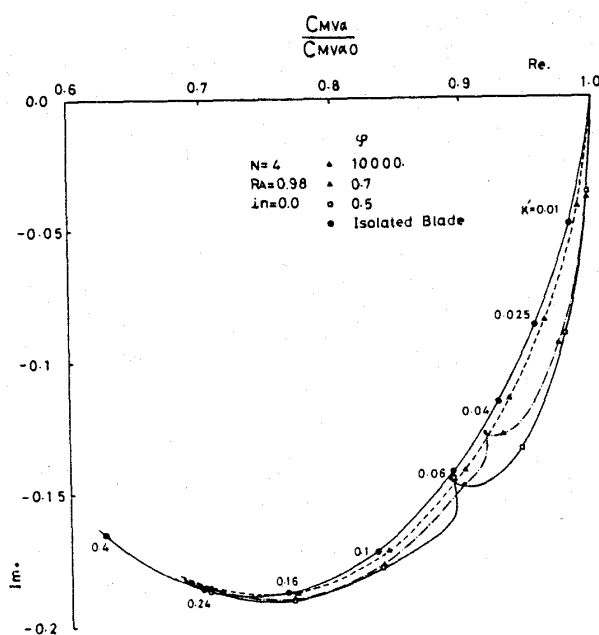


図 4 b

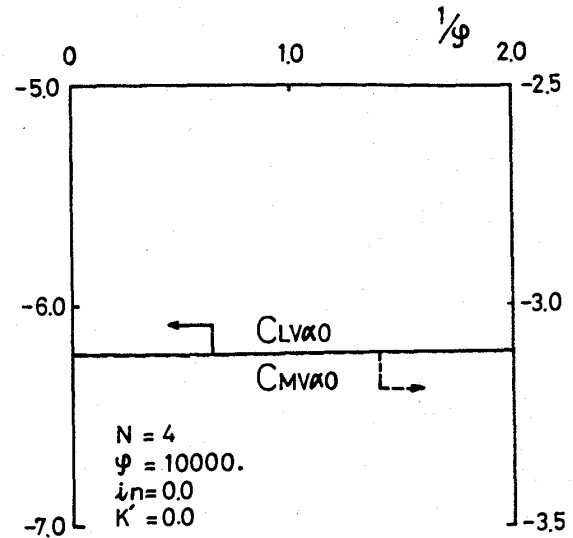


図 4 c

の入射角 i_n を零にするため予旋回 Γ_0 (表 1) を与えた。いずれの場合も k' が比較的小さいと

表 1

N	φ	R_A	Γ_0/Q_0
4	10000	0.98	0.0
4	0.7	0.98	1.39985
4	0.5	0.98	1.95980
6	0.5	0.5	5.05832
6	0.5	0.7	8.27006
6	0.5	0.9	11.24730
9	0.3	0.4	0.78644
9	0.3	0.5	1.18972
9	0.3	0.6	1.63836
12	0.3	0.4	0.70850
12	0.3	0.5	1.09440
12	0.3	0.6	1.54314
18	0.3	0.4	0.63724
18	0.3	0.5	0.99440
18	0.3	0.6	1.42592

ここでは、単独翼の結果から離れる傾向がある。また k' がある値 (k'_s) の近くでは流体力がループを描いて特異な変化をしている ($\varphi = 0.5$; $k'_s \cong 0.062$, $\varphi = 0.7$; $k'_s \cong 0.05$, これは k が $k = N/\varphi$ より若干小さい値に対応しており、この付近を特異領域と呼ぶことにする)。これは他の羽根から放出された後流渦が羽根付近にある自由

渦の効果を相殺するように作用することによるものであり、その結果として流体力が特異な変化をするものと考えられる（羽根延長上の後流渦は $1 < r_w \leq 3$ で羽根付近の自由渦とはほぼ反位相の関係にあった）。後流渦による誘起速度は (A-16) 式で与えられるが、その積分関数の指数部は近似的に次のように表わされる。

$$\begin{aligned}\phi_w &\cong \{\ln r_w - (r_w^2 - 1)/2\} / \varphi; 1 \leq r_w \\ \tau &\cong (r_w^2 - r^2) / 2 \\ j\psi_1 &\cong j(N\phi_w + k\tau) \cong j\left\{\frac{N}{\varphi} \ln r_w + \frac{1}{2}\left(k - \frac{N}{\varphi}\right)(r_w^2 - 1) - \frac{k}{2}(r^2 - 1)\right\} \\ j\psi_2 &\cong j(N\phi_w - k\tau) \cong j\left\{\frac{N}{\varphi} \ln r_w - \frac{1}{2}\left(k + \frac{N}{\varphi}\right)(r_w^2 - 1) + \frac{k}{2}(r^2 - 1)\right\}\end{aligned} \quad (23)$$

r_w を大きくしていくと $|\psi_2|$ は r_w とともに急激に増加するが、 k が N/φ より若干小さい値をとるとき ψ_1 は r_w によってあまり大きな変化をしない。このため (A-16) 式の ψ_1 を含む項の積分値は他の項より大きくなり結果として u_{rf} , $u_{\theta f}$ は ψ_1 を含む項の積分値に支配され流体力が特異な変化を与える。このことは r_w が比較的小さいところで $\psi_1 \sim$ 一定になるような k の値のときその付近に特異領域が現われることを示している。

ψ_1 の第3項に含まれている r は $R_A \leq r \leq 1$ の範囲で変化することから、 R_A が小さくなると第3項は有限値になりこの影響を考慮せねばならないが、 k が極端に大きくならない範囲ではこの影響は比較的小さいと思われる。図5 a, b は $N = 6$, $\varphi = 0.5$ の場合について内外径比 R_A の影響を示したものである。いずれも k の値が9付近 ($< N/\varphi$) で特異領域が現われており、 R_A が小さくなるとこの領域での流体力の変化はゆるやかになっている。また羽根数が多くなっていくと特異領域が現われる k の値は N/φ より小さくなっていく傾向がある。また流量係数 φ が小さくなると後流が羽根に近づくため図4 a, b に示すように特異領域での流体力の変化が大きくなる傾向にある。

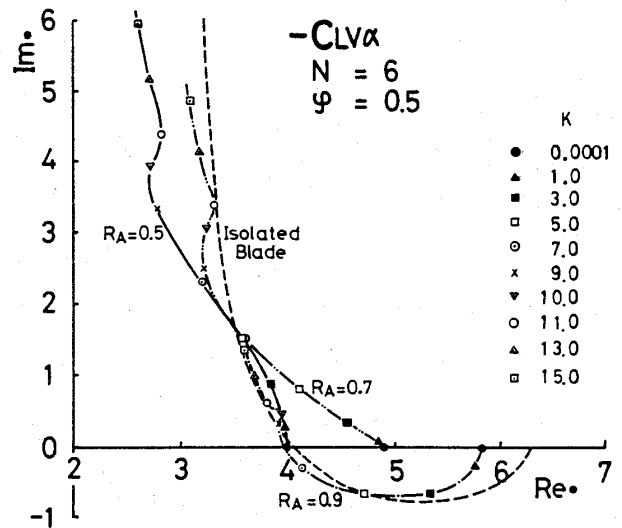


図5 a

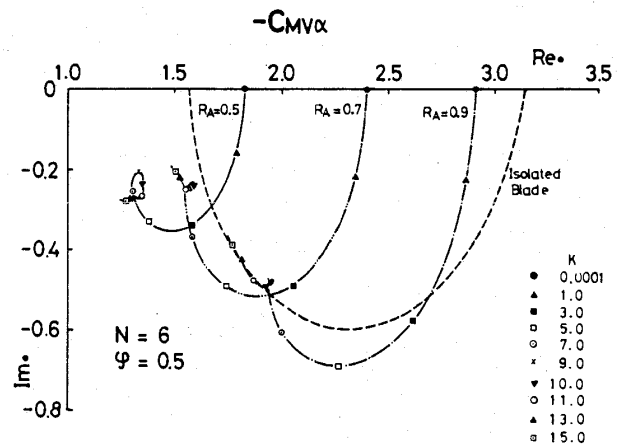


図5 b

調和振動しているときの羽根間振動位相差は一般に $2\pi m/N$ ($m = 1, 2, \dots, N$) で表わされるが、ここではその特別の場合として $m = N$ としていることに注意すれば振動モードに関係なく、 m の各値に対してもこのような特異領域が存在する可能性を示唆している⁷⁾。なお $k = N/\varphi$ は $\omega = N\Omega$ の場合であり、振動数が羽根車の回転数と羽根数の積に等しいことである。

図6 は $\varphi = 0.3$ で羽根車中心まわりにねじり振動しているとき ($C_{L\alpha}$, $C_{M\alpha}$) と、羽根に垂直方向に併進振動しているとき ($C_{L\delta}$, $C_{M\delta}$) の羽根数 N と内外径比 R_A の影響を示したものである。このとき非定常モーメントは1枚の羽根について羽根中心のまわりのものである。

ねじり振動の場合；このとき羽根の相対的な変

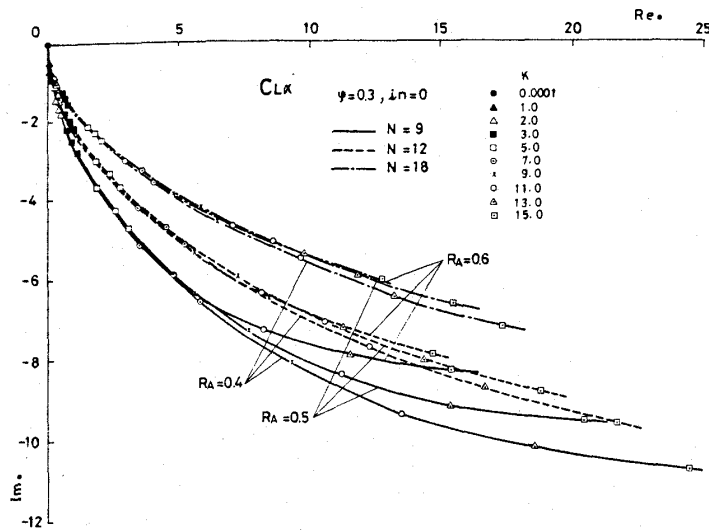


図 6 a

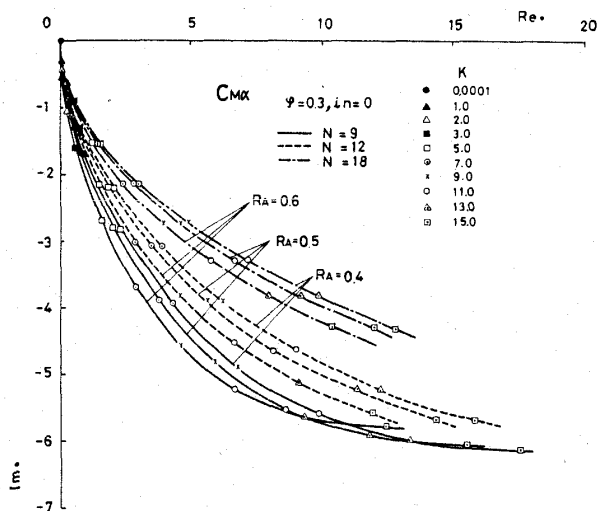


図 6 b

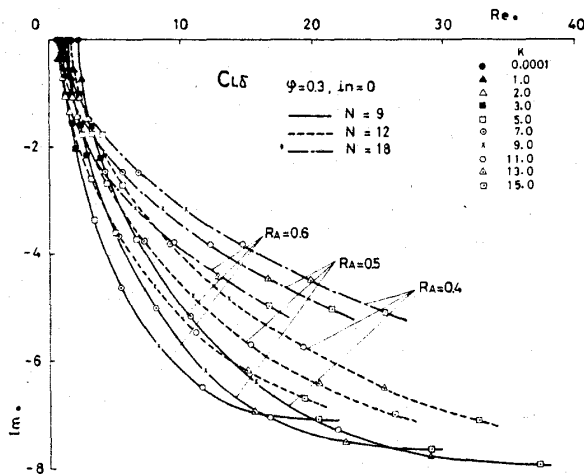


図 6 c

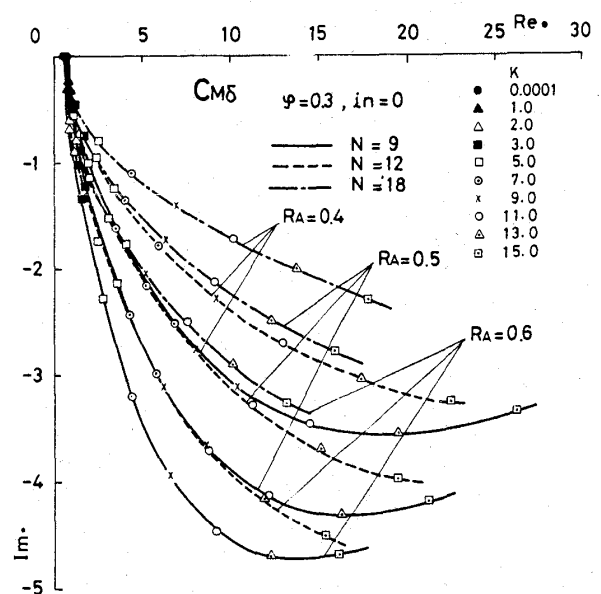


図 6 d

位はなく、定常循環による影響はない。このため $k \rightarrow 0$ のとき、 CL_α 、 CM_α は共に零になる。 k を大きくしていくと、自由渦と羽根の振動速度の影響により $|CL_\alpha|$ 、 $|CM_\alpha|$ は大きくなっていく。また羽根数 N と RA を減少する（羽根が長い）と $|CL_\alpha|$ 、 $|CM_\alpha|$ は大きくなる（ $k < 15$ ）が、羽根車中心まわりのモーメント $|N \cdot CM_\alpha|$ は羽根数の増加とともに大きくなる。 CM_α の位相は N の増加 RA の減少により位相遅れが小さくなるが、常に負であって空力減衰は常に正である。

併進振動の場合；併進振動の場合に

は、羽根車の幾何学的形状が微小変形するため、定常循環の影響を受け、同時に流量 Q による半径流れの影響を受けて $k \rightarrow 0$ のとき CL_δ 、 CM_δ は有限値をとる。 $|CL_\delta|$ は羽根数と内外径比 RA の減少（羽根が長い）とともに大きくなるが、羽根車中心まわりのモーメント $|N \cdot CM_\delta|$ は羽根数とともに増加していく傾向がある。 CL_δ の位相は N が大きい程、また RA が小さい程位相遅れが小さくなるが、この場合も位相は常に負であって空力的減衰は正である。なお羽根が任意の半径位置でねじり振動しているときの流体力、モーメン

トは (A-21) 式を用いて容易に計算することができる。

流量係数 ϕ を大きくすると, $(-C_{L\alpha})$, $(-C_{M\alpha})$, $(-C_{L\delta})$, $(-C_{M\delta})$ の虚部は全体として小さくなり, また N/ϕ が小さくなるために比較的 k の小さいところで $C_{L\alpha}$, $C_{M\alpha}$, $C_{L\delta}$, $C_{M\delta}$ は特異な変化を示すが, いずれも虚部は常に負であり, 空力的には安定であることがわかった。

N む す び

二次元遠心羽根車の羽根が同位相で羽根車中心まわりのねじり振動と羽根に垂直方向の併進振動をしているとして, 非定常流体力を求める理論式を誘導し, 直線放射状羽根の場合について数値計算をおこなった。その結果を要約すると次のようになる。

1) 羽根数を少なく, 流量係数を大きくしたとき, 羽根車中心まわりにねじり振動している羽根の非定常特性は羽根の内外径比を 1 に近づけると一様流中で併進振動している単独翼の結果に近づく。

2) 羽根の角振動数が羽根車の角回転速度と羽根数の積より若干小さいところでは流体力が特異な変化をする。これは後流渦が羽根付近の自由渦の効果を相殺していることによるものと考えられる。

3) 羽根車中心まわりのねじり振動時の非定常特性; 羽根数と内外径比を減少すると非定常流体力, モーメント共に大きくなるが羽根車全体としてのモーメントは羽根数の増加と共に大きくなる。非定常モーメントの位相は常に負であり空力的には安定である。

4) 併進振動時の非定常特性; 羽根の幾何学的微小変形と半径流れの影響により, 振動数が零に近づいたときでも流体力は有限値をとる。また無次元振動数が 1.5 以下では羽根数と内外径比を減少すると非定常流体力は大きくなるが, 羽根車全体の非定常モーメントは羽根数の増加とともに大きくなる。また流体力, モーメントの位相は負であり空力的に安定である。

5) 流量係数を大きくすると非定常流体力, モーメントは共に小さくなるが, 位相は負であり羽根及び羽根車は空力的に減衰する。

なおここでは同位相振動の場合のみを取扱ったが, これだけでは十分でなく, 振動の位相差が有限の場合についても検討せねばならない。

最後に本研究遂行にあたり終始御指導を賜りました東大宇宙航空研究所, 谷田教授に深く感謝致します。

付 録

1) 本文で用いた主な式をまとめて示す。

$$\sum_{p=0}^{N-1} \frac{1}{Z - A_p} = \frac{NZ^{N-1}}{Z^N - A_0^N} \quad (A-1)$$

$$\begin{aligned} \sum_{p=0}^{N-1} \frac{A_p}{(Z - A_p)^2} &= \frac{\partial}{\partial Z} \sum_{p=0}^{N-1} \left\{ 1 - \frac{Z}{Z - A_p} \right\} \\ &= -\frac{N}{Z} \times \frac{N \left(\frac{A_0}{Z} \right)^N}{\left\{ 1 - \left(\frac{A_0}{Z} \right)^N \right\}^2} \end{aligned} \quad (A-2)$$

$$\begin{aligned} \sum_{p=0}^{N-1} \frac{Z}{(Z - A_p)^2} &= -Z \frac{\partial}{\partial Z} \sum_{p=0}^{N-1} \frac{1}{Z - A_p} \\ &= -\frac{N}{Z} \times \frac{(N-1) \left(\frac{A_0}{Z} \right)^N + 1}{\left\{ 1 - \left(\frac{A_0}{Z} \right)^N \right\}^2} \end{aligned} \quad (A-3)$$

2) 本文 (9) 式の関数 $K_{r\delta}$, $K_{r\alpha}$, $K_{\theta\delta}$, $K_{\theta\alpha}$

$$\begin{aligned} K_{r\delta} &= \left[GA \frac{\cos(\phi + G)}{r} + GB \frac{\sin(\phi + G)}{r} \right. \\ &\quad + GE \frac{\cos(\theta + G)}{r_z} \\ &\quad \left. - GF \frac{\sin(\theta + G)}{r_z} + GG \frac{\cos(\theta + G)}{r_z} \right] \\ &\quad \times \frac{1}{2BU} \end{aligned} \quad (A-4)$$

$$\begin{aligned} K_{r\alpha} &= \left[GA \left(1 - \frac{a}{r} \cos \phi \right) - GB \frac{a}{r} \sin \phi \right. \\ &\quad + GE \left(1 - \frac{a}{r_z} \cos \theta \right) + GF \frac{a}{r_z} \sin \theta \\ &\quad \left. + GG \left(1 - \frac{a}{r_z} \cos \theta \right) \right] \frac{1}{2BU} \end{aligned} \quad (A-5)$$

$$K_{\theta\theta} = \left[GB \frac{\cos(\phi+G)}{r} - GA \frac{\sin(\phi+G)}{r} - GF \frac{\cos(\theta+G)}{r_z} - GE \frac{\sin(\theta+G)}{r_z} + GH \frac{\cos(\theta+G)}{r_z} \right] \frac{1}{2BU} \quad (A-6)$$

$$K_{\theta\alpha} = \left[GB \left(1 - \frac{a}{r} \cos \phi\right) + GA \frac{a}{r} \sin \phi - GF \left(1 - \frac{a}{r_z} \cos \theta\right) + GE \frac{a}{r_z} \sin \theta + GH \left(1 - \frac{a}{r_z} \cos \theta\right) \right] \frac{1}{2BU} \quad (A-7)$$

ここに

$$GA = SA \cdot SG - SB \cdot SH$$

$$GB = SB \cdot SG + SA \cdot SH$$

$$SA = 2NR_z^N \cos N(\phi - \theta)$$

$$SB = 2NR_z^N \sin N(\phi - \theta)$$

$$SG = 1 - 2R_z^N \cos N(\phi - \theta) + R_z^{2N} \cos 2N(\phi - \theta)$$

$$SH = 2 \{ R_z^N \sin N(\phi - \theta) - R_z^N \sin N(\phi - \theta) \cdot \cos N(\phi - \theta) \}$$

$$GE = 2 \{ (N-1) R_z^N \{ SH \cdot \sin N(\phi - \theta) - SG \cdot \cos N(\phi - \theta) \} - SG \}$$

$$GF = 2 \{ (N-1) R_z^N \{ SG \cdot \sin N(\phi - \theta) + SH \cdot \cos N(\phi - \theta) \} + SH \}$$

$$GG = 2 \{ SG + R_z^N \{ SH \cdot \sin N(\phi - \theta) - SG \cdot \cos N(\phi - \theta) \} \}$$

$$GH = 2 \{ SH - R_z^N \{ SH \cdot \cos N(\phi - \theta) + SG \cdot \sin N(\phi - \theta) \} \}$$

$$BU = \{ 1 - 2R_z^N \cos N(\phi - \theta) + R_z^{2N} \}^2 \quad \text{である。}$$

3) 本文(17)の関数 K_c , K_f , K_δ , K_α

$$K_c = \frac{R_z^N \sin N(\phi - \theta) \cos \beta_z + \{ 1 - 2R_z^N \cos N(\phi - \theta) + R_z^{2N} \}}{1 - 2R_z^N \cos N(\phi - \theta) + R_z^{2N}}$$

$$- R_z^N \cos N(\phi - \theta) \} \sin \beta_z \quad (A-8)$$

$$K_f = - \frac{jR_z^N \sin N(\phi_w - \theta) \cos \beta_z}{U_r 1 - 2R_{zw}^N \cos N(\phi_w - \theta)} + \frac{\{ 1 - R_{zw}^N \cos N(\phi_w - \theta) \} \sin \beta_z}{+ R_{zw}^{2N}} \times e^{-jk\tau} \quad (A-9)$$

$$K_\delta = \left\{ \frac{1}{r_z^2} (\cos \beta_z + U_{rb} \sin \beta_z) + \frac{\sin \beta_z}{\phi} \right\} \times \sin(\theta + G) - (U_r \sin \beta_z - U_\theta \cos \beta_z) \times \frac{\cos(\theta + G)}{r_z} \quad (A-10)$$

$$K_\alpha = - \left\{ \frac{1}{r_z^2} (\cos \beta_z + U_{rb} \sin \beta_z) + \frac{\sin \beta_z}{\phi} \right\} \times a \sin \theta + (U_r \sin \beta_z - U_\theta \cos \beta_z) \times \frac{a \cos \theta}{r_z} \quad (A-11)$$

4) 直線放射状羽根に対する式 直線放射状羽根のときには $\theta = G = 0$, $\beta = \pi/2$, 羽根上では, $s \rightarrow r$, $\phi = 0$ を代入すればよい。また羽根車中心にねじり中心をおくと $a = 0$ となる。本文の(3), (5), (9), (10), (13), (14), (15), (17), (19), (20)はそれぞれ次のようになる。

$$1 \geq r \geq R_A ;$$

$$U_r = \frac{1}{r_z}, \quad U_\theta = 0$$

$$r \geq 1 ;$$

$$U_r = \frac{1}{r_z} - \frac{1}{2\pi r_z} \int_{R_A}^1 \Gamma \times \frac{R_{zw}^N \sin N\phi_w}{1 - 2R_{zw}^N \cos N\phi_w + R_{zw}^{2N}} dr$$

$$U_\theta = \frac{U_{rb}}{r_z} - \frac{1}{2\pi r_z} \int_{R_A}^1 \Gamma \times \frac{1 - R_{zw}^N \cos N\phi_w}{1 - 2R_{zw}^N \cos N\phi_w + R_{zw}^{2N}} dr - \frac{r_z}{\phi}$$

$$R_{zw} = r_w / r_z \quad (A-12)$$

$$\frac{N}{2\pi r_z} \int_{RA}^1 \Gamma \frac{dr}{1-R_z^N} = \frac{U_{rb}}{r_z} - \frac{r_z}{\varphi} \quad (A-13)$$

$$u_{rr} = -\frac{N}{2\pi r_z} \int_{RA}^1 \Gamma \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_z} \right) \times \frac{NR_z^N}{(1-R_z^N)^2} dr \cdot \delta \quad (A-14)$$

$$u_{\theta r} = 0$$

$$u_{rc} = 0$$

$$u_{\theta c} = -\frac{N}{2\pi r_z} \int_{RA}^1 r_c \frac{dr}{1-R_z^N} \quad (A-15)$$

$$u_{rf} = \frac{Nk}{2\pi r_z} \int_{RA}^1 r_c \int_r^\infty \frac{1}{U_r} \frac{R_{zw}^N [e^{-j(N\phi_w - k\tau)} - e^{-j(N\phi_w + k\tau)}]}{2\{1-2R_{zw}^N \cos N\phi_w + R_{zw}^{2N}\}} dr_w dr$$

$$u_{\theta f} = j \frac{Nk}{2\pi r_z} \int_{RA}^1 r_c \int_r^\infty \frac{1}{U_r} \frac{2e^{-jk\tau} - R_{zw}^N}{2\{1-R_{zw}^N \cos N\phi_w + R_{zw}^{2N}\}} dr_w dr \quad (A-16)$$

$$R_{zw} = r_w / r_z$$

$$u_{ra} = u_{\theta a} = 0 \quad (A-17)$$

$$u_{rv} = 0, u_{\theta v} = jk \cdot \delta + jkr_z \cdot \alpha \quad (A-18)$$

$$-\frac{N}{2\pi r_z} \int_{RA}^1 r_c \left[\frac{1}{1-R_z^N} - jk \int_r^\infty \frac{1}{U_r} \times \frac{(1-R_{zw}^N \cos N\phi_w) e^{-jk\tau}}{1-2R_{zw}^N \cos N\phi_w + R_{zw}^{2N}} dr_w \right] dr$$

$$= (jk - \frac{1}{r_z^2}) \cdot \delta + jkr_z \cdot \alpha \quad (A-19)$$

$$F_x = 0 \quad (A-20)$$

$$F_y = \int_{RA}^1 \left(\Gamma u_r + \frac{r_c}{r} \right) dr$$

$$\frac{L}{\rho U_{rb}^2 r_b} = F_y = C_{L\delta} \cdot \delta + C_{L\alpha} \cdot \alpha$$

$$\frac{D}{\rho U_{rb}^2 r_b} = 0$$

$$\frac{M}{\rho U_{rb}^2 r_b^2} = \int_{RA}^1 r \left(\Gamma u_r + \frac{r_c}{r} \right) dr$$

$$= C_{M\delta} \cdot \delta + C_{M\alpha} \cdot \alpha \quad (A-21)$$

$$\frac{M_x}{\rho U_{rb}^2 r_b^2} = (C_{M\delta} - x_0 C_{L\delta}) \cdot \delta + (C_{M\alpha} - x_0 C_{L\alpha}) \cdot \alpha$$

$$= C_{Mx\delta} \cdot \delta + C_{Mx\alpha} \cdot \alpha$$

5) 計算方法 積分には次のようにして区分求積法を使用した。羽根上の $(n+1)$ 個の点での渦が渦間の n 個所での境界条件を満し、また羽根後縁で Kutta の条件を考慮して渦分布を決定する。渦の位置 R_{v1} 、境界条件の位置 R_{zr} は

$$R_{v\ell} = R_A + (1-R_A) \frac{1 - \cos \psi_\ell}{2}$$

$$\psi_1 = \frac{(\ell-1)\pi}{n}; \ell = 1, 2, \dots, n+1$$

$$R_{zr} = R_A + (1-R_A) \frac{1 - \cos \psi_r}{2}$$

$$\psi_r = \frac{(2r-1)\pi}{2n}; r = 1, 2, \dots, n$$

である。これらを (A-13), (A-19) に代入し, Γ_ℓ , $r_{c\ell}$ に関する n 個の連立方程式に変換する。これを解いて Γ_ℓ , $r_{c\ell}$ の値を決定する。

(A-16) の二重積分内の特異点を含む積分は特異点の近傍のみを差し引いたものについて区分求積をし、それに差し引いた部分を積分したものに加えておくようにした⁵⁾。被積分関数 $h(r_z, r_w)$ を次のようにおく。

$$h(r_z, r_w) = \frac{1}{U_r} \frac{(1 - R_{zw}^N \cos N\phi_w) e^{-jkr}}{1 - 2R_{zw}^N \cos N\phi_w + R_{zw}^{2N}}$$

羽根上で $r_w \rightarrow r_z$ にすると

$$h(r_z, r_w) = \frac{1}{U_{rz}} \frac{r_z}{N(r_z - r_w)} e^{-jkr_z}$$

となるので, (A-16) の特異点を含む積分は近似的に次のようになる。

$$\begin{aligned} \int_r^\infty h(r_z, r_w) dr_w &= \int_r^\infty h'(r_z, r_w) dr_w \\ &= -\frac{r_z}{NU_z} e^{-jkr_z} \left\{ \int_r^{1+r_z-R_A} \frac{1}{r_z - r_w} dr_w \right. \\ &\quad \left. - \ell_n \left| \frac{r - r_z}{1 - R_A} \right| \right\} \quad (A-22) \end{aligned}$$

上式右辺第1項は特異点を除いた部分の積分である。

文 献

- 1) J. F. Shannon, R&M No 2226, March 1945
- 2) W. H. Isay, Z. Flugwiss, 6, (1958), Heft 11, S319~328
- 3) 谷田, 機構論, No 710-8 (1971-8), 173
- 4) 谷田, 機構論, No 710-3 (1971-3), 77
- 5) 花村・田中, 機論, 32-244 (昭41-12), 1823
- 6) Y. C. Fung, An Introduction to the Theory of Aeroelasticity, (1955), John Wiley & Sons
- 7) 西岡・光中, 第16回航空原動機に関する講演会講演集, P. 69





フランス見聞記

運輸省船舶技術研究所 青木修一
機関開発部

昭和50年7月より2年間、フランス政府給費留学生としてブザンソン、ツールーズ、グルノーブルに滞在し研修する機会を得た。筆者が受けたフランス政府給費留学生試験のうち第3部門（理工学・医学関係）は在日フランス大使館科学部が行ない、受験者はフランス語が上手に喋れなくとも給費留学生として採用されるが、この場合にはフランス本国で夏季語学研修を受けさせてくれるという寛大なものであった。

ブザンソン大学語学研修センター（CLA）での12週間の夏季語学研修を終えて、ブザンソンを立ったのは晩秋の気配濃い9月末であった。パリで数日を過し、オーステリッツ駅からツールーズ行きの特急列車に乗り約40分、見渡す限りの畑の中を列車がオルレアンに近づく頃、話しに聞いていたベルタン社の空気浮上式超高速鉄道アエロトランの実験線が忽然として畑の中に現われ、高架式のコンクリート製逆T字型レールが一直線に延ているのが見えた。この時、昨年（1974年）3月、80人乗り試験車「オルレアン180」がこの18kmの実験線上で、時速420kmという軌道式鉄道の公認世界記録を出したというニュースを思い思っていた。80人乗りアエロトランは720馬力ガスタービンで2台の軸流ファンを駆動し、発生した圧縮空気の水平空気クッションにより浮上し、垂直空気クッションにより軌道をガイドし、他方2台の1,300馬力ガスタービンでプロペラを駆動し推進する。アエロトランはその後直に、車輛の動安定性問題と推進・浮上用動力としてガスタービンを、推進用にプロペラを用いることから来る騒音問題を解決出来ずに営業線計画

は中止のやむ無きに致った。

1. ツールーズ理工科大学流体力学研究所

ツールーズはパリから南に約700km、スペインとの国境ピレネー山脈まで約100kmのところにあって、ガロンヌ河畔の沃野に開けた人口約40万の化学工業と航空機工業の盛んな大都市である。数年前よりパリ地区からツールーズに、次々に航空関係の有名な3つの技術者養成の高等専門学校や幾つかの研究機関が移転して来て、今日では航空関係の一大学・工業都市となっている。ツールーズには3大学合わせて4万の学生と1理工科大学（INP）がある。INPはツールーズ、グルノーブル、ナンシーの3都市に置かれ、それぞれ文部省翼下の数校の技術者養成の高等専門学校より構成されている。

流体力学研究所（IMFT）はINPの電気・水力学校（ENSEEIH）の付属研究所であるが、国立科学研究センター（CNRS）の協力研究所となっている。CNRSは全国に多くの直属研究所と協力研究所をもつ研究組織であり、後者には契約により財政的援助を与えている。IMFTは所長 J. Nougaro 教授（水力学）がミディ運河畔にあるENSEEIHの本部研究所を、副所長 J. Dat 教授（流体力学）がガロンヌ河の中の島にあるバンレブ研究所を分担し、職員約100名、その内研究員35名との事であった。バンレブ研究所ではガロンヌ河を堰止めて落差4m、最大流量 $25\text{ m}^3/\text{s}$ という豊富な水理実験用水を得ている。主な研究施設には断面 $4 \times 4\text{ m}$ 、長さ117mの曳引台車付きの水槽があり、流速計の検定や縮尺水力模型による実験を、 $2,500\text{ m}^2$ の水理模型実験棟ではダム模型、ライン河流域模型等による水理実験が行われていた。その他、吹口

（昭和53年7月21日原稿受付）

2.4 m ϕ , 最大風速 40 m/s のエッフェル型低速吹出し風洞と最大風速 50 m/s, 可変空気温, 可変流路をもつ断面 55 \times 65 cm のゲッチンゲン型低乱風洞があり, 工場の煙突等より排出される煙の拡散, 各種空力実験に使われている。IMFT は次の 4 研究部に分かれ, 研究を行っている。

非圧縮性乱流研究部 著者は 1975 年 10 月より 7 カ月, この研究グループに研究員として滞在した。F. Sananes 研究部長 (CNRS) の下に P. Chassaing 講師, ベトナム人の Ha Min 講師 (CNRS), 助手 1 名, 研究技師 (CNRS) 3 名, 技能員 3 名, 女秘書 1 名がいた。

研究は主に非圧縮性乱流噴流とはく離流で, 数年前までは流体素子の基礎研究も行われていた。研究テーマには二次元乱流噴流を加熱した場合と加熱しない場合の変動伝播の相違と噴流のメカニズム, 横風のある流れに円形又は同軸亜音速乱流噴流を吹いた場合の局所の流れの特性, 円管中の乱流円噴流の減衰, 大気汚染に関連した噴流の研究として工場の煙突から立ち上る汚れた煙の拡散, 非一様流中の巡回乱流噴流による物質輸送, 外部流れ・内部流れに生じたはく離の研究, 内部流れの中に置かれた円板の下流における壁面圧力の相関等であった。

著者は H. Boisson 助手と共にデータ処理プログラムの開発に当った。これは熱線風速計で計測した乱流データから乱れのパワースペクトルや自己相関係数等を求めるもので, 研究所の小型電子計算機 CII 社 MITRA 15 (16 K 語) 用データ処理プログラムを作成する事であった。

自由表面をもつ乱流輸送研究部 L. Masbernat 助教授は気液界面における輸送問題として, 自由表面をもつ乱流状態の液体によるガス吸収, 水・油・空気の成層流, 水の汚染の実験と計算機シミュレーションを研究。

多孔質と水理学研究部 C. Thirriot 教授, S. Bories 助教授 (CNRS) は非飽和多孔質と粘土中の流れ, 多孔質の詰り, 表面の水理学, 多孔質中における熱と物質輸送, Bénard セルなどについて研究を行っていた。

レオロジーと分散した多層流研究部 ベトナム人 D. P. Ly 講師 (CNRS) は管路中の固体輸送, サスペンション, 血流力学への応用としての

非ニュートン流体の拍動流, 流れの複屈折について研究を行っていた。

研究所には祖国ベトナムの長期にわたる戦乱を避けて旧宗主国のフランスに移住して来た知識階級のベトナム人研究員を数人見掛けた。

ツールーズに滞在した冬の 10 月には早くもフランス全土を襲った寒波に見舞われて震え上がり, 11 月から翌年 1 月までは毎日の様に雨が降ったり, 濃霧が発生し, 霧が上っても陰うつな曇天の日々が続いた。2 月に入り南仏らしい太陽の照り輝く暖かな冬を迎えた。このツールーズでは時々ゴォーというものすごい, 腹の底まで響き渡る様な音が聞える事があり, その時音のする方の空に目をやるとコンコルドが怪鳥さながらの姿で, 機首を折り曲げ, 車輪を出して離着陸を繰返したり, 上空を旋回しながら飛び去ってゆくのを目撃出来た。又, 市内では車の後部窓によく "Concorde Oui" というステッカーを貼った車を見かけた。ある時, コンコルドのテスト飛行をしているブラニャック飛行場の直ぐ近くに住んでいるという研究所の同僚にコンコルドの騒音問題について尋ねたところ「うるさい事は確かだが致し方ない。住民の反対運動も起こっていない」と言うコンコルド製造都市の住民らしい答が返って来た。

76 年 3 月初旬, ある機会からツールーズ郊外のブラニャックにあるアエロスペース社 (SNIAS) を訪問し, 英仏共同開発の超音速旅客機コンコルド (巡航速度マッハ 2.2, 航続距離 6,500 km, 乗客 132 人) の組立工場を見学することが出来た。コンコルドは巨額の研究開発費を投じて開発されたが, ソニックブーム, 騒音問題, コストパフォーマンスの悪さから, 注文はさっぱり集まっていなかった。案内の技師に従って組立工場の中に入って実際に自分の目で確かめてびっくりした。製作中の 3 機と点検整備中の 1 機 (他にテスト飛行中の 2 機があるとの事だったが) しかなく, 作業員や技師もパラパラと働いているに過ぎず, 生産停止状態に近い何んとも淋しい場面であった。コンコルドは写真等で見掛ける通りの鋭く尖った細長い機体に独得の三角翼, 可変機首, オリンパス 593 エンジン等が印象的であった。技師は英仏合わせて 16 機の注文しかないと悲痛な表情で話してくれた。その後, 著者のフランス滞

在中にコンコルドは16機をもって生産中止との報道を目にした。次にコンコルドの組立工場に隣接してSNIASの敷地の中に建てられているエアバスインダストリー社で、英・仏・西独・蘭・西共同開発のエアバスA300の組立工場を見た。各国で製作した機体の各部を持ち寄ってここで組立てていた。エアバスA300は広胴型の中短距離機（航続距離1,500～2,000km）で乗客280名、GE製低騒音型ターボファンエンジンCF6-50C2基を装備し、高揚力装置を備えているので離着陸距離が短いとの事であった。技師の説明では40数機目が生産ラインに入っていると、コンコルドの組立工場に較べて見るからに活気に溢れ、沢山の工員、技師が忙しそうに働いていた。説明してくれた技師は有名な航空宇宙高等専門学校（Sup-Aéro）の出身者との事で、エアバスA300の売込みに日本にも幾度か行った事があると話してくれた。

話しは前後するが、IMFTのバンレブ研究所の隣りにフランス電力（EDF）の水力発電所があるが、ここには7基のチューブラタービンがあり、ガロンヌ河を堰止めた4mという低落差で発電を行っており、これには感心させられた。

1976年4月末ツールーズでの研修を終え、汽車で一路次の研修地グルノーブルに向かった。

2. グルノーブル理科医科大学力学研究所

グルノーブルはフランス第2の都会リヨンの東南100kmのところであり、ドーフィネ地方の中心地である。ベルドン又、ヴェルコールなどの2,000m級の岩山に囲まれ、イゼール川の畔りに開けた人口約16万の中都市である。標高500mのバスチュ城砦は堡塁に取囲まれ、ロープウェイで登ると、眼下にイゼール川、グルノーブル市内の全景、白く冠雪した日本アルプスに似た周辺の山々が望めて素晴らしい。1968年第10回冬季オリンピックが開催され一躍有名になった。

グルノーブルには3大学があり合せて2.6万の学生がおり、その他にINPがある。大学はグルノーブル市内から数km離れた近郊のサン・マルタン・デールの広大なキャンパスの中にある。70年の大学改革によりそれまでの大学は複数の教育・研究単位（UER）から構成される幾つかの大学に編成し直された。グルノーブル理科医科大学には

21のUERがあり、力学研究所（IMG）は力学のUERの中核をなしている。

IMGはグルノーブル理科医科大学の付属研究所であるが、CNRSの協力研究所とINPの水力学校の協同利用研究所という複雑さを持っている。IMGは所長G. Lespinard教授の下に150名の職員がおり、その内50名が教官と研究員である。研究所は4研究部門から成り、キャビテーション、非定常噴流の研究には国防省研究試験局（DRME）の、地下水の水理学研究には水問題委員会の財政援助を受けている。

水力学研究部門 J.P. German教授、C. Marcou講師のグループは重力波の発生・伝播・反射・減衰に関する理論的実験的研究を、J. Kravtchenko教授のグループは潮流と内部波の研究、特に英仏海峡における潮流の詳細予測モデル、コリオリ力から生ずる旋回モデル、沿岸・外洋における潮汐の予測モデル等の研究を、J. Dodu教授、J. M. Michel講師（CNRS）のグループはキャビテーションの研究、特に二次元翼背後に生じたキャビティ及び通気した場合のキャビティの理論的実験的研究、後縁で通気した揚力をもつ翼の揚抗力係数、モーメント係数の理論的実験的研究、無揚力翼の下流に生ずるキャビテーションの物理現象の研究を行い、実験設備として2台のキャビテーションタンネルを持っている。

水理学研究部門 L. Santon教授、M. Bouvard助教授（水力学校長）、P. Bois講師のグループは表面の水理学特に、グルノーブルにおけるイゼール河の増水予測モデル、イゼール河の流量の水理学的研究、雪崩の予測モデル、雪の融解モデル、ダボス地方の降雪データの統計処理を、G. Vachaud教授（CNRS）のグループは地下水の水理学と不飽和多孔孔質の研究特に、自由表面をもつ水脈への流入・流出の二次元モデル、水の移動のメカニズムと圧力・濃度関係、流入のある貯水池での浸透と蒸発の直接測定、川の増水・表面給水・排出・乾燥により生じた水脈の運動モデルについて研究を行っている。

液体と気体の力学研究部門 非定常噴流研究グループはG. Binder教授（CNRS）の下に助手1名、第3期博士号（日本の修士相当）を準備

中の学生1名、技術員1名のこじんまりとした所帯である。著者は76年5月より帰国までの1年2ヵ月、このグループで研究員として過した。研究テーマは4つある。脈動乱流噴流の構造の研究はノズル上流の円管中に置いたロータリーバルブで主流に脈動成分を加えて噴出させ、脈動噴流の周期的構造と乱れをX型熱線プローブを用いて計測している。実験装置はノズル径25mm、平均ノズル出口速度6~20 m/s、周波数0~200 Hz、変動振幅・平均出口速度比0~0.4であり、計測器はDISA 55Mリニアライザー付熱線風速計2台と位相平均を求めるのにインターテック社マルチチャンネルアナライザーDIDAC 800を使い、データ処理には研究所の小型電子計算機IBM 1130を使っている。流れの可視化には噴流を50℃に加熱し、シュリーレン法を用いている。batting jetの拡散と周期構造の研究は二次元ノズルより噴出する主噴流をノズル出口にある副噴流で側面より交互に打ち、拡がる噴流の拡散と周期構造を調べている。実験装置はノズル出口巾1cm、高さ1.5mの二次元で、平均ノズル出口速度5~16 m/s、主噴流のバッピングサイクル0~100 Hzであり、計測器は脈動噴流の研究で使用しているものを用いている。流れの可視化には水流実験装置を作り、水素気泡法を用いていた。

エジェクターの推力増加に関する研究はV-STOL機のエンジンの推力増加、推力制御を目的とし、エジェクターやディフューザー付エジェクターに脈動流を与えた場合及び主噴流を副噴流で交互にたたいた場合のエジェクターの推力増加について調べている。脈動流のある場合のディフューザー性能の研究は筆者の担当したもので、ピストンにより脈動流を発生させ、脈動流の周期・振幅・ディフューザー入口平均流速を変えて、それらが二次元直線壁ディフューザーの圧力回復率に及ぼす影響について調べた。実験装置は水流式で、ディフューザー入口巾4cm、高さ30cm、壁面長39cm、拡がり角0~40°、入口平均流速 U : 10~25 cm/s、脈動サイクル0~1.5 Hz、振幅0~0.15 U である。流れ場は水素気泡法により観察した。又、研究所製のレーザードップラー流速計(5 mWのHe-Neガスレ

ーザー使用、後方散乱型)を用い脈動流のある流れ場の計測を試みたが、最終データを出せる前に帰国という時間切れに会った。

R. Moreau教授のグループは電磁流体力学特に、液体金属のMHD流れ・流れの安定性・乱れ・対流の解析、冶金学への応用として液体金属の微粒化、連続鑄造に電磁力を利用する研究などを行い、水銀の冷実験装置がある。76年に液体金属のMHDというEuromechコロキウムがグルノーブルで開かれ、会を主宰した。J. Hopfinger講師(CNRS)は密度成層流の乱れと安定性、サスペンション流れの乱れ強さに及ぼす固体微粒子の影響についての研究を、R. Curtet助教授(CNRS)はHel-Shaw流れのアナロジーについて、キャビティ中の循環流に及ぼすキャビティの形状・寸法の影響について研究をし、非定常噴流研究グループの流れの可視化を担当している。又、旋回流の二次流れの研究では円形翼列で水を強く旋回させ縮流部を通してボルテックスチューブ(直径21.6cm、長さ216m)に生じた逆流を含む旋回流について、縮流部の上流の管軸上で吸込み、吹出しを行った場合に旋回流に与える影響を調べている。G. Lespiau教授のグループではレーザードップラー流速計の開発と応用、乱流から層流への逆遷移について研究し、格子乱れの二次元的変形の研究では低速風洞(風速0~40 m/s)に一定断面積の矩形断面をもつ入口 2.4×0.18 m、出口 0.18×2.4 m、長さ3mの流路を取付け、流路の上流に置かれた格子によって生じた格子乱れに及ぼす二次元的変形の影響について調べている。

連続体・土質・岩石の力学研究グループ この研究グループはIMGの教官・研究者の4割を擁し、土質の性質、構造物の構想と計算、レオロジーと連続体力学、岩石力学といった広範囲の研究を行っている。

研究所では10月後半から翌年6月前半まで月に約2回、主に外来講師を呼んでセミナーが開かれた。筆者の滞在中に聞く事の出来たセミナーの主な講師にはカルフォルニア大学J. V. Wehausen教授、ワルシャワ科学アカデミー会員Zachorski教授、トロント大学Baines教授(サバティック年で1年IMGに滞在)、同Keffer

教授、ソ連邦科学アカデミー会員 N. Moisseiev 教授等があり、セミナーは活発な質疑応答等をもって行われた。又、研究所では不定期に学位論文審査会が開かれた。学位審査会について述べる前にフランスの学位について述べると、学部を卒業し、1年の専門研究課程を終え小論文を提出すると DEA が与えられ、さらに1~2年研究し論文を提出すると第3期博士号（日本の修士相当）が、一方技術者養成の高等専門学校（リセを出てバカロレアを取得後2年間リセの受験準備クラスで勉強後厳しいコンクールを経て入学）卒業者は DEA の後、2~3年の研究後論文を提出し工学博士号（日本の新制博士程度）を、主に外国人は2年間の研究の後論文を提出して大学博士号を受け、それぞれの博士号を持つ者は最終的に長い研究生活の後に国家博士号を受ける。各博士号を準備する間は助手、CNRSの研究技師、CNRSの奨学生となっている様である。フランスでの学位に注意しなければならないものに大学（バカロレア取得者は誰でも入学出来る）学部3年卒で学士号、4年卒で修士号がもらえる事である。又、フランスでは技術者養成の高等専門学校卒業のエンジニアの称号をもつ者は給料的にも社会的地位の上でも大学学部卒業者より優遇されている。大学入学者は4人に1人の割合でしか卒業出来ないが、高等専門学校では少人数教育で、落ちぶれが少なく入学者の相当数が卒業してゆく。

学位論文審査に話しを戻すと、審査会は主査1名、委員4名の5名で構成され公開で行われる。学位審査委員会は日本の様に学内の教授だけで構成するのではなく、他大学・産業界・研究機関の専門家（教授資格者）が1、2名審査員に加わる事が義務づけられており、場合によっては外国の客員教授が審査に加わる事もある。論文審査は発表1時間、質疑応答30分の後審査委員だけ別室に引取り30分程して出てくると、審査委員長がおもむろに発表者に学位審査に合格した旨を宣言して儀式は終わる。後で同僚に発表者が学位審査に不合格の場合があるか否か聞いたところ事前に審査されているのでその様な事はないという至極当たり前の答が返って来た。審査会に引続いて、発表者は審査に加わってくれた審査員並びに審査会出席者に感謝の意を表わす発表者主催の立食パーティ

ィが開かれる。パーティの段になるといつの間にか発表会場には姿を見せなかった事務員や技術員も姿を現わし会席は賑わうのが常だった。

その他、著者はIMG滞在中に、DEAや水力学校の講義を幾つか聴講出来た。日本で行われている講義との一番の相違は教官がノートを読上げ学生に書き取らせるといった事はなく、ほとんど全て教官書下しのテキストが配られそれに従って授業が進められ、学生は書取りという無駄(?)な労力を出来るだけ省いて、講義の理解に全精力を集中出来る様にしている。DEAの講義は学生10名位で行なわれ、日本の修士課程の講義を思わせ、水力学校の講義は学生40名で日本の学部の講義に近いが、教科は流体とその関連分野の講義に限られているので各教科の講義レベルはかなり高度なものである。水力学校では実験、演習にかなりの時間を割き、3年になると水理学専攻と工業流体力学専攻に分れて授業を行っていた。DEAの講義では新任助教授による乱流理論の講義があり、それには研究所の教官、研究員も数多く聴講していた。教科の試験は学生1人につき20~30分の口答試験を行う場合と3時間に及ぶ筆記試験を実施する場合、両者の併用の場合があり、筆記試験の採点は20点満点で0.5点度に厳しく採点していた。

フランスでは男子は1年間の兵役義務があるが、2年間後進国（特にブラックアフリカ）にフランス語の教師として派遣される場合には兵役免除となるが、その他に筆者のいたIMGのように軍（DRME）の契約研究を行っている所では、各博士号準備中の研究者は1年間DRMEの研究に従事する事によって兵役が免除されるという、研究者養成の特別措置があった。

石油ショックの後、フランス政府はエネルギー消費節約のために国民に冬期の間暖房による室温を20℃以下に抑える法律を出して官憲により厳しく監視している。又、この政策の一環として76年よりは4~9月の間の半年間、時計を1時間進めるサマータイムを実施している。エネルギー消費節約にどれほどの効果が期待出来るのか、筆者は知らないが、喉元過ぎれば熱さを忘れるしきの日本人とは大きな国民性の違いであろう。

フランス国鉄（SNCF）では非電化区間の幹

線列車の高速化をはかる為に、近年S N C F自慢のターボ・トレインが投入されているが、小生の住んでいたグルノーブルではジュネーブ・グルノーブル・リヨン、グルノーブル・バランスの区間に、他の線区ではパリ・シェルブール等に運行されている。ターボ・トレインは流線型で、見るからに早そうな車体を持ち、一編成4輦で、先頭車の前半と後尾車の後半がエンジンルームに当てられている。先頭車、後尾車に乗った時にはガスタービン特有のキーンというコンプレッサー音が耳についた。ターボ・トレインに乗って感じた事は出発時がなめらかで高速運転時の振動、動揺が少

なかった事と、急勾配の上り坂にさしかかると、トルク不足の為か目に見えてスピードダウンする事だった。又、ディーゼルカーの場合でも客室の半分をエンジンルームに当てており、我国鉄のディーゼルカーの様に分散してエンジンを床下に装荷しているのとは異なり保守管理は容易の様である。

最後にガスタービン学会にふさわしくない内容と冗長で散漫なまとまりのない文章となってしまった事を会員の皆様に寛恕いただくと共に、著者に留学の機会を与えて下さった関係機関各位に、この場を借りて感謝の意を表します。



新製品紹介

三菱30,000KWクラス2軸ガスタービン(MW-252)

三菱重工業株式会社 大久保 敦生
高砂製作所技術部

三菱重工は、機械駆動用高性能2軸ガスタービンの開発を行なっているが、このほど30,000KWクラスMW-252C型の初号機の工場試験を成功裏に終了した。これは、顧客の幅広い出力ニーズに応えるために、1976年3月に開発試験を終了した25,000KWクラスMW-252B型をベースにして20%の出力増加を計ったものである。

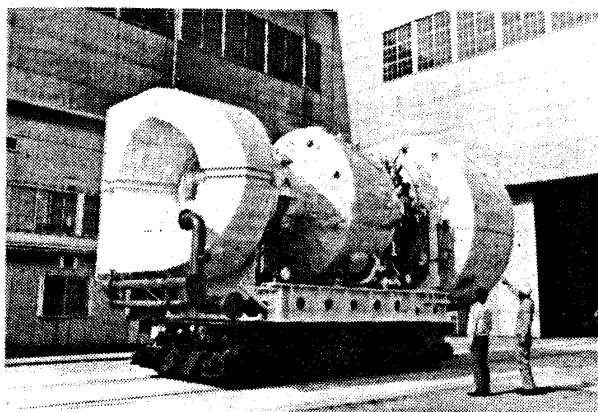


図1 MW252 C型 概観

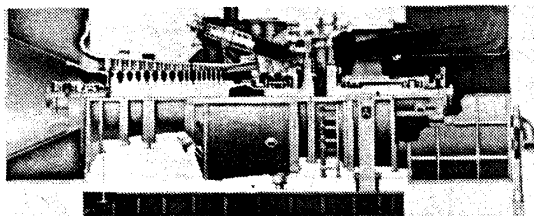


図2 MW-252 C型 断面

(昭和53年8月1日原稿受付)

MW-252C型初号機(図1および図2)は、当社 高砂製作所内にある2軸ガスタービン専用試験運転場(図3)において、50,000HP(37,000KW)を吸収できる水動力計と結合して、定格状態を含む、種々の部分負荷条件のもとで、性能の確認試験を行なった。同時に、機械的特性

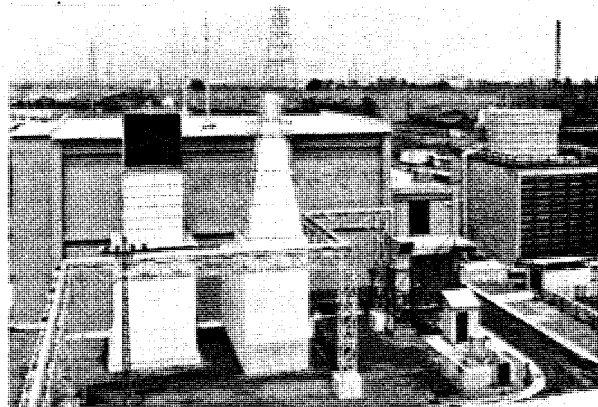


図3 2軸ガスタービン専用試験運転場

を調べるために、静止部における圧力・温度は、もちろん回転部(高圧タービン動翼・ディスク・出力タービン動翼・ディスク)におけるメタル温度・振動応力の計測も行なった。得られた計測値は、計画値に十分近く、強度上安全であることが確認できた。

表1は、本MW-252C型の標準性能をMW-252B型の標準性能とともに示したものである。

本MW-252C型2軸ガスタービンの特長の1つとして、出力タービン静翼に図4に示すフラップ型静翼の採用が挙げられる。このフラップ型

表1 MW-252型 標準性能

型 番	燃 料	MW-252 B		MW-252 C	
		天然ガス	軽 油	天然ガス	軽 油
出 力	KW	26,530	25,870	30,240	29,490
	HP	35,580	34,690	40,530	39,520
排 ガ ス 流 量	kg/h	426,000	426,000	478,000	478,000
排 ガ ス 温 度	℃	570	570	557	557
出力軸回転数	rpm	4,850	4,850	4,850	4,850

(条件 吸気温度15℃, 大気圧力 1.033 ata)

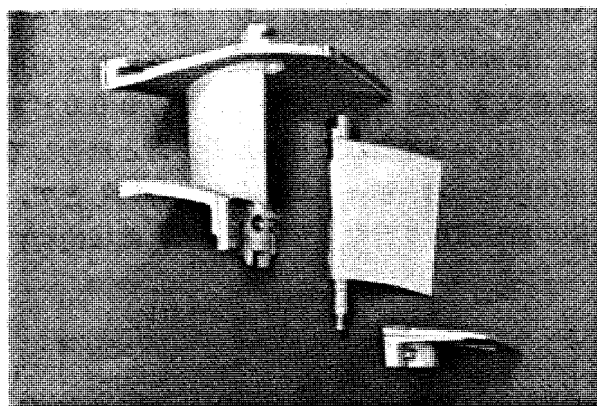
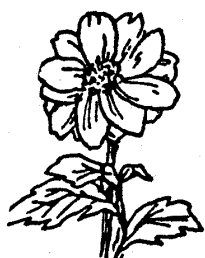


図4 フラップ型静翼

静翼の採用により, その上流側固定翼部で増速流れを保ちながら, 半径方向の流路断面積を拡大することができ, 従来型可変ピッチ静翼の場合に必要とされた高圧タービン動翼との間の長いディフューザ部分を除去することに成功し, ディフューザ損失を減少させるとともに,

ガスタービン軸長の短縮化ができた。また, 下流側可変翼部は, 従来の可変ピッチ静翼と同等のスロート面積制御機能をもっている。

このMW-252C型2軸ガスタービンは, 圧縮機およびポンプ等の機械駆動用原動機として最適の特性を有しており, MW-252B型とともに, 今後, 天然ガスパイプラインおよび石油化学プラント等の分野で, 広く利用されることを期待している。



10,000K・W ガスタービン移動発電装置

石川島播磨重工業(株) 陸舶ガスタービン事業部技術部 中 杉 武 雄
永 井 治

1. 概 要

石川島播磨重工業(株)では、1,000 KVAガスタービン移動発電装置ならびに10,000 KWガスタービン定置型発電装置等の製作実績をもとに、このたび出力10,000 KWの、世界でも最大級のガスタービン移動発電装置を製作した。

本発電装置は、2台のトレーラ(パワートレーラとコントロールトレーラ)で構成されており、前者にはガスタービン、発電機および付属機器が、後者には補助動力装置、燃料供給設備および制御

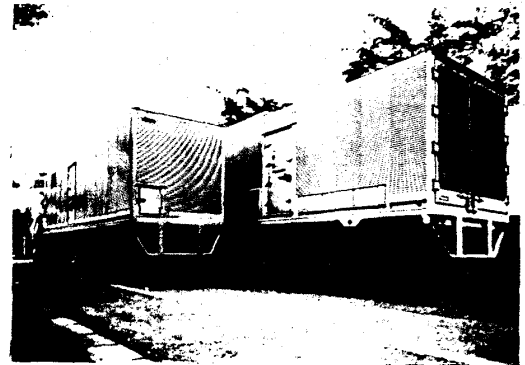


図1 10,000 KWガスタービン発電装置

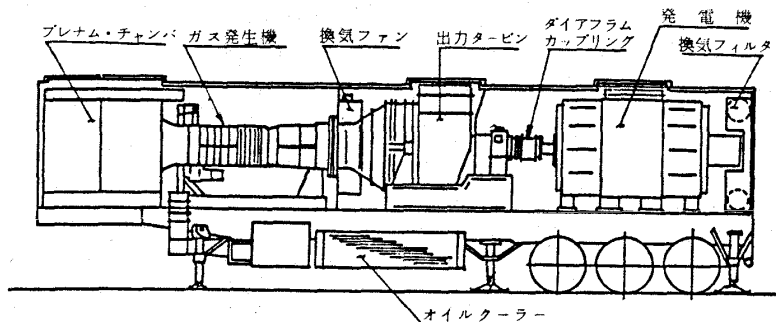


図2 パワートレーラ全体配置

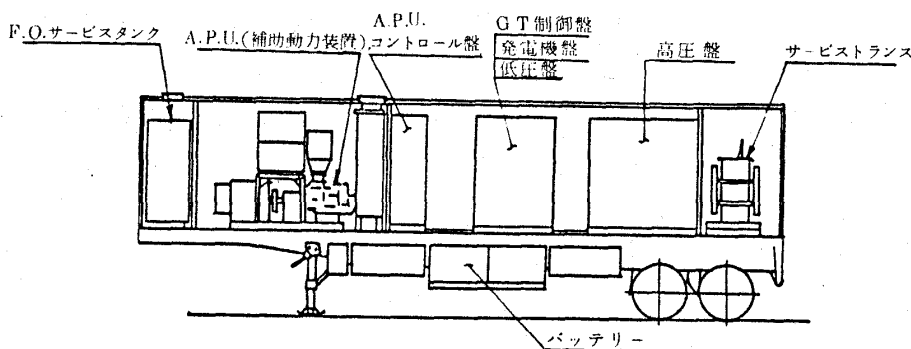


図3 コントロールトレーラ全体配置

(昭和53年8月23日原稿受付)

機器がそれぞれコンパクトに搭載されている。

本装置は軽量小型のガスタービンの特長を生かした大容量発電装置で、ガスタービンは、石川島播磨重工業(株)で製作している航空用ターボジェットエンジンを軽量型産業用ガスタービンに改造した1M1500型である(図1, 2, 3)。

2. 特 徴

- (1) 各機器を小型、軽量化して全体をコンパクトにまとめ、その信頼性を十分考慮し、全システムを車載形としている。また、そのために整備性が低下することのないよう十分な配慮がしてある。
- (2) トレーラは通常のトラクターでけん引可能であり、また平坦舗装道路では、最高60 km/hの連続走行が可能である。さらに、悪路でも走行可能な構造で

ある。

(3) 他の動力源がなくても起動可能であり、また、潤滑油の冷却には空冷式を採用しており、冷却水はいっさい不要である。

(4) セットアップ時間は1時間以内である。そのために両トレーラ間の配線、配管の接続位置を十分考慮しており、さらに接続方式は、すべてプラグイン方式を採用している。

(5) 起動、停止などの運転操作は完全に自動化し、未熟者にも安全に行なえるようにした。

また、遠隔操作も可能であり、セットアップ完了後、スタート指令から起動完了までは4分以内である。

(6) 本装置には0.5時間分の燃料が積載しているが、運転中に自動給油できるようになっており、連続運転が可能である。

3. 主要目

本発電装置は、航空転用形開放サイクル2軸式ガスタービンをを用いた発電装置である。

発電機は、開放空冷形、横軸円筒回転界磁ブラシレス3相同期発電機である。車載形であるため、極力小型化、軽量化をはかり、さらにトレーラ走行時の振動、衝撃荷重に対して十分な強度をもった発電機とした。

1M1500ガスタービンおよび発電機断面図を図4に示す。また本発電装置の主要目は表1の通りで、性能に関する条件は、大気温度15℃、大気圧力760mmHgの標準大気状態のものである。大気温度に対する出力特性を図5に示す。

4. むすび

本装置は、わが国初の大容量移動発電装置である。

このたび本発電装置は、メキシコに納入され、現在順調に稼動中である。

表1 主要諸元

形		式	MGG10.000	
性能	発電機・端出力		10.250KW	
	燃料消費率		346 gr/KW Hr	
ト レ ー ラ	形		式	パン型セミトレーラー
	パ ワ ー	外形寸法	長さ	14.9 m
			幅	3.0 m
			高さ	4.3 m
	コロ ン トル	外形寸法	長さ	12.2 m
			幅	2.4 m
高さ			4.1 m	
ガ ス タ ー ビ ン	形		式	開放単純サイクル2軸式
	ガ 生 ス 機	空気圧縮機	軸流17段・前6段可変静翼	
		タービン	軸流3段	
		燃 焼 器	キャニュラ形×10個	
	出 力タービン		軸流1段	
発 電 機	形		式	横軸円筒形同期発電機
	励 磁 方 式		回転界磁ブラシレス	
	冷 起 方 式		開放冷却式	
	端 子 電 圧		13,800V/11,000V	
	力		率	0.9遅れ
	周 波 数		60 Hz / 50 Hz	
燃		料	軽油又は灯油	
潤 滑 油		・合成油 MIL-L-7808又は MIL-L-23699 ・タービン油		

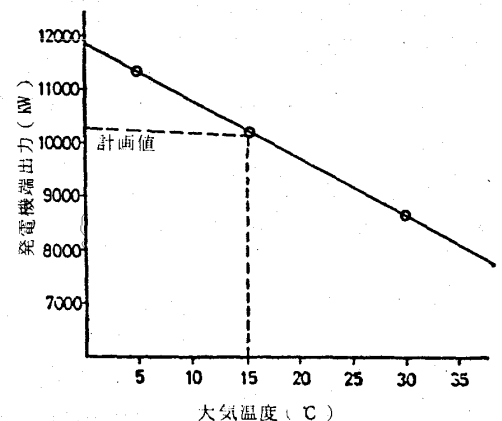


図5 大気温度に対する出力特性

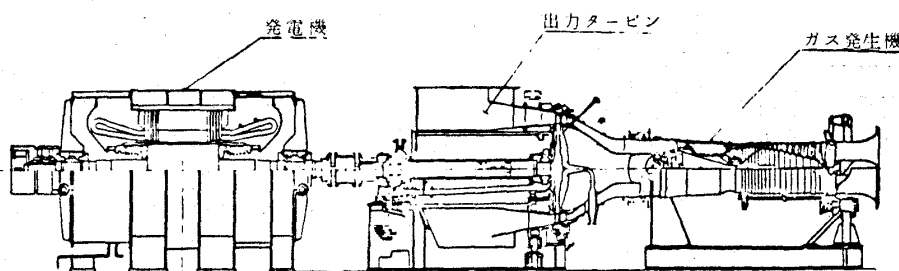


図4 1M1500ガスタービン発電機断面図

カワサキPU200形およびPU250形ガスタービン発電設備

川崎重工業株式会社 ジェットエンジン事業部第三技術部

長 田 達 男
大 槻 幸 雄
村 上 育 勇
星 野 昭 史
豊 福 宏 行

1. まえがき

ガスタービンが軽量、高出力、更に機械力学的に簡単で、将来の原動機として脚光をあびるであろうとの予測のもとに、川崎重工では数年来、独自の設計による純国産ガスタービンの開発に努めていたが、昭和48年に試験用ガスタービンの開発に成功した。¹⁾直ちに、ガスタービンの応用製品として最も適した非常用の発電設備の開発に着手し、性能、耐久試験等、1000時間を大巾に越える運転を終え、²⁾昭和51年7月に、PU200形発電設備として、内燃力発電協会より消防法に基づく正式の認定を受け、昭和52年4月より販売を開始した。本年8月現在、約90台の受注が内定している。この間、幸にも1977年電設工業展にて、建設大臣賞を、今年5月に機械学会賞を受賞する栄に浴した。

また、このPU200のS1A-01ガスタービンの出力向上および耐久性向上を図ったS1A-02ガスタービンを用いた常用にも耐えるPU250形発電設備をこの9月より販売開始する。

2. 発電設備の構成

本設備の基本構成は、純国産の300～350馬力級の高性能の単純開放サイクル1軸式ガスタービンS1A-01またはS1A-02と発電機をゴム・カップリングで結合し、制御装置と共に共通台盤上に取付けたものである。その他、顧客の要求により、制御装置を別置にした自動始動発電機盤および遠方操作盤などがある。基本形としては、発電装置をエンクロージャで覆わない裸のオープン形、発電装置を低騒音エンクロージャで覆った屋外低騒音形、防音エンクロージャで覆った屋内

防音形の3種類である。標準の屋外低騒音形の騒音は機側1mで80ホンであり、顧客の要求により、更に低騒音のものも特殊仕様として用意されている。図1にPU200形ガスタービン発電設備

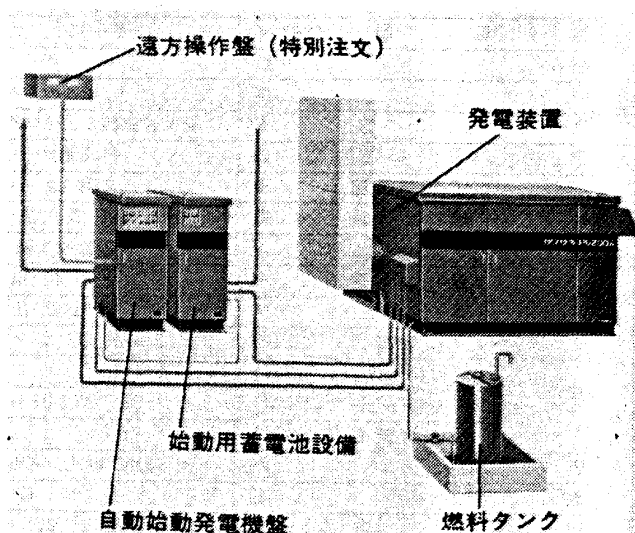


図1 PU200形発電設備の基本構成

の基本構成を示す。その他、これら発電装置を塔載し8トン以下に収め、普通免許で乗れる移動用電源車がある。なお、これは特に低騒音に設計したもので機側1mで70ホンである。図2はこの移動電源車のMPU200形である。

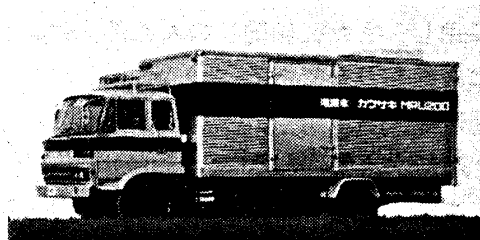


図2 MPU200形移動電源車

（昭和53年9月2日原稿受付）

3. 主要諸元および特徴

主要性能諸元を表1に示す。

表1 発電設備主要諸元

項目		形式	PU200	PU250
発電設備	出力 (kW)	常用定格 (30℃)	—	160
		非常用定格 (30℃)	150	180
		防災用定格 (40℃)	150	180
	電圧 (V)		200/220標準 (200, 400, 3000, 6000級)	
	周波数 (Hz)		50/60	
	相数		3	
	燃料消費率 (g/kWh)	常用定格	—	570
		非常用定格	560	545
		防災用定格	560	540
	起動時間		40秒以内	
発電機	負荷投入許容量		100% (抵抗負荷)	
	定常時周波数変動		±0.2 Hz	
	瞬時周波数変動率		±3.5% (全負荷投入・しゃ断)	
	形式		横軸、突極、回転界磁、自己通風保護形	
	容量 (KVA)		187.5	225
	回転数 (RPM)		1,500/1,800	
	極数		4	
	力率		0.8おくれ	
	励磁方式		交流励磁機によるブラシレス方式	
ガスタービン	形式		単純開放一軸式	
	構造	圧縮機	2段遠心式	
		燃焼器	単筒缶形	
		タービン	2段軸流式	
		減速機	平行歯車式	
		ガバナ	電気油圧式	
	性能	※基準出力 (PS)	260	310
		※燃料消費率 (g/PSH)	346	345
		主軸回転数 (RPM)	53,000	
		空気流量 (kg/S)	約1.5	約1.8
	燃料		灯油、軸油、A重油、ガス	
エンジン	潤滑油		合成基油	
	起動方式		電気式	

※ 15℃, 750 mm Hg, 吸排気ダクトなしの場合

主な特徴は次のとおり。

- 1) 純国産の高性能、低コストのガスタービン
心臓部に採用しているガスタービンは、性能的に、このクラスの世界の産業用ガスタービンの中でトップ・レベルである。単車用エンジンの開発プロセスを取り入れ、堅牢にして安価である。発電機駆動用として1軸式を採用し、また、純国産のため部品供給やサービス面も万全である。
- 2) 軽量、小形
- 3) 冷却水不要

ガスタービンは自己空冷式であり、本設備では潤滑油冷却器にも水を使用せず、冷却水は全く不要である。そのため凍結や非常時の

断水による障害が全く無く、しかも水槽、配管等の工事費が節約できる。

- 4) 起動確実、急速起動、全負荷投入可能

ガスタービンは等圧連続燃焼で着火が容易である。30秒以内に起動を完了し、直ちに100%の負荷を投入できる。

- 5) 寒冷時特別対策不要

寒冷時においても、暖機運転の必要が無く、-15℃まで確実に急速起動および負荷投入ができる。また、長期間放置した後での起動も確実である。なお起動用バッテリーの容量を増すことと簡単なルーム・ヒータを設けるだけで-25℃まで確実に起動する。

- 6) 運転、保守が簡単

ガスタービンは構造が簡単で作動も単純であり、自動運転、遠隔操作が容易である。また点検箇所も少なく、点検運転の場合に負荷運転を必要としないので、保守も簡単である。

- 7) 振動、騒音が少ない

ガスタービンは往復運動部分が無く、振動は殆んど無い。このため、取付けに際しても特別な基礎工事や、防振工事は不要である。また、発生する騒音は高周波が主体であり、消音し易い。動荷重は静荷重の約10

%増しである。

- 8) 安定した良質な電気

カワサキS1A形ガスタービンは1軸式で、また高速回転しているから、等価慣性モーメントが大きく、ディーゼルまたは2軸式ガスタービンでは得られない良質の電気が得られる。

- 9) 大きなモーター起動可能

S1A形ガスタービンは回転数が高く、前述のごとき大きな慣性を持つと共に、瞬時必要なエンジンの余裕出力が大きく、大きな水ポンプなどを起動する時の瞬間的な過負荷を吸収する。

- 10) 地震に強い

冷却水を使用しないことと、防震ゴムが不要であり、発電設備が地震動に共振することがなく地震に対して強い。

4. 性能および特性

4-1 発電機端出力 PU200 および PU250 形発電設備の発電機端出力を図3および図4に示す。吸気温度が低い時は、更に大きい出力を発生することも可能である。

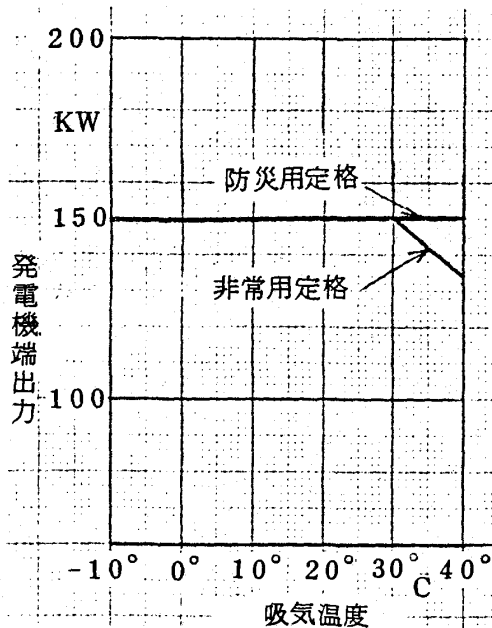


図3 PU200形発電機端出力

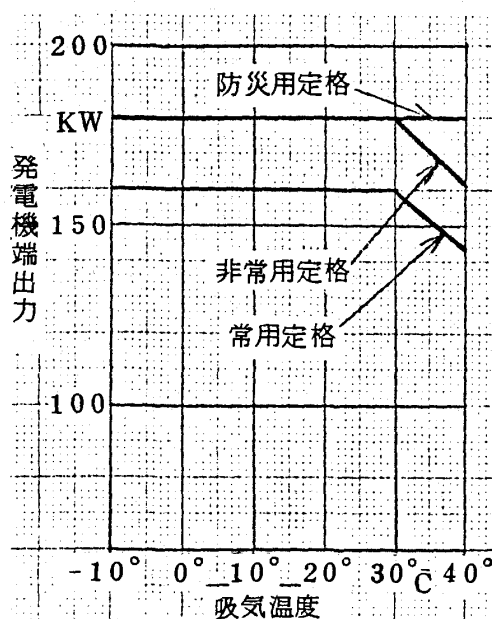


図4 PU250形発電機端出力

4-2 周波数、電圧変動 高速回転の1軸式ガスタービンであり、定常負荷時の回転むらが往復動機関に比べて格段に少なく、急激な変動負荷に対しても極めて良好な次のとき電気特性を有している。

速度調定率	3 ± 0.5 % 標準設定
定常時周波数変動	< ± 0.2 Hz (一定負荷で)
瞬時周波数変動率	< ± 3.5 % (全負荷投入、しゃ断)
周波数整定時間	< 2 秒 (全負荷投入、しゃ断)
総合電圧変動率	< ± 1.5 % (任意の一定負荷で)
瞬時電圧変動率	< ± 10 % (全負荷投入、しゃ断)
電圧整定時間	< 3 秒 (全負荷投入、しゃ断)

PU200 形発電設備の 150 KW (全負荷) 水抵抗器投入・しゃ断の実測例を図5に示す。

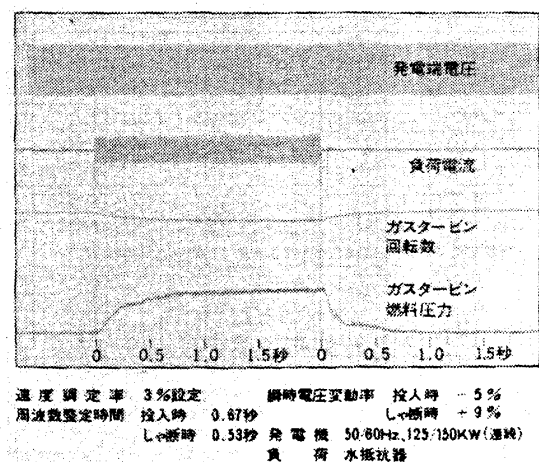


図5 150 KW 水抵抗器投入・しゃ断 (屋外形)

4-3 起動可能な電動機 直入れ起動できる最大容量の電動機は、37 KW 送風機または 55 KW 4 極開放直結水ポンプで余裕があり、75 KW も可能である。また 75 KW の Base Load のある場合に Y-△ 起動で 75 KW の水ポンプが起動できる。図6に 75 KW 電動機 (フライホイール付) の直入れ起動の実測例を示す。

4-4 始動特性 図7は PU200 の始動特性を示すものであるが、全負荷投入まで通常 25

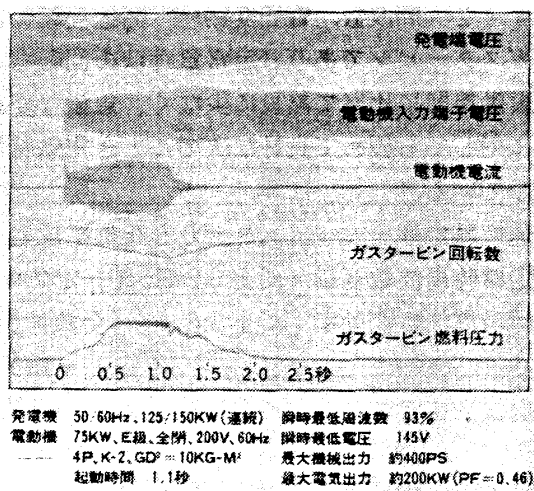


図6 75KW 電動機(フライホイール付)冷態直入れ起動(屋外形)

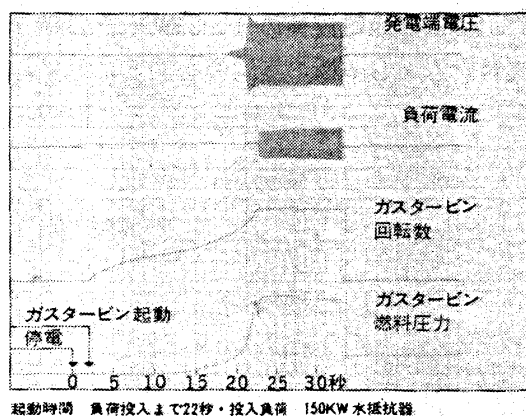


図7 始動特性(PU200)

～30秒とすぐれた特性を発揮することが分る。

5. むすび

本発電設備は、ディーゼル発電設備と価格面でほぼ同等であるが、更に拡販することにより量産効果を生かし、ディーゼル以下の価格にすることも夢では無さそうである。この発電機分野から更に広くガスタービンの用途を見出し、待望のガスタービン時代を作りたいものである。

参考文献

- 1) 大槻, 日本ガスタービン学会誌, 5-17-(昭52-6), 2
- 2) 星野・大槻・長田・坂口・西原, 日本ガスタービン学会誌, 5-17(昭52-6), 34

GTS I ガスタービンセミナー(第6回)のお知らせ

“ガスタービンの最近の基礎技術”を総合テーマとして、第6回GTSJガスタービンセミナーを下記の通り開催致します。

今回は関西で初めてのセミナーであるとともに、もと AiResearch 社 Chief Scientist の R. O. Bullock 氏を講師に加えて、最近のガスタービン技術に関する講義も予定しておりますので、奮ってご参加下さい。

記

1. 日 時 : 昭和53年9月29日(金) 9:30-16:45
2. 会 場 : 大阪科学技術センター(TEL(06)443-5321)
大阪市西区靱本町1-8-4
地下鉄四つ橋線, 肥後橋下車徒歩5分

3. 参加要領

- | | | | | |
|------------|------|-----|---------|---------------------|
| (1) 聴講会費 : | 正会員 | 1 名 | 8,000 円 | (資料代を含む) |
| | 学生員 | 1 名 | 5,000 円 | (") |
| | 資料のみ | | 4,000 円 | |

- (2) 参加資格：日本ガスタービン学会の会員に限る。

ただし、当日会場にて入会の受付も致します。

- (3) 申込方法： セミナー参加者は、所属氏名を明記の上、郵便振替または現金書留にて事務局宛お申込下さい。

4. セミナープログラム

総合テーマ ガスタービン高温化の諸問題

	項 目	時 間	講 師
	開 会 の 挨拶	9:40~ 9:45	東京大学宇宙航空研究所 田 中 英 穂 氏
1.	エネルギーの有効利用に基づくガスタービン・サイクルの検討	9:45~10:55	大阪府立大学工学部 沢 田 照 夫 氏
2.	ガスタービン燃焼器の数学モデルと有害物質の低減対策	10:55~12:05	大阪大学工学部 水 谷 幸 夫 氏
	昼 食	12:05~13:00	
3.	1. Some Realities on Turbomachinery Research Desing and Development 2. Advanced Engine Technology	13:00~15:20	former Chief Scientist of Ai Research. Robert O. Bullock 氏
	休 憩	15:20~15:35	
4.	回 転 体 の 動 力 学	15:35~16:45	三菱重工業 梅 村 直 氏

(上記講演時間にはそれぞれ10分間の質疑の時間が含まれています。)

座長（司会）

午前の部 大阪大学工学部 村田 暹氏
午後の部 九州大学生産科学研究所 妹尾泰利氏

第 7 回 セ ミ ナ ー の お 知 ら せ

本年度も下記の通り 54 年 1 月 25 日 26 日の 2 日間にわたり「小型ガスタービン及びターボチャージャ」と題し GTSJ ガスタービンセミナーを企画いたしました。
プログラム、その他詳細は後日追ってお知らせ致します。

記

1. 日 時 昭和 54 年 1 月 25 日 (木) 26 日 (金)
2. 場 所 千代田区有楽町 1-1-2 日比谷三井ビル 8 階ホール
3. 仮題並に講師

(1 月 25 日)

- (1) 小型発電用、産業用ガスタービンの特長と動向

川崎重工業㈱ 大槻 幸雄 氏

- (2) 自動車用ガスタービンの動向

慶応義塾大学 佐藤 豪 氏

- (3) 大型ターボチャージャの動向

石川島播磨重工業㈱ 宮下 猛 氏

- (4) 小型ターボチャージャの動向

三菱重工業㈱ 岡崎 洋一郎 氏

- (5) ハイパーバディーゼル過給の特徴

日本自動車研究所 林 洋 氏

(1 月 26 日)

- (6) 高圧遠心圧縮機空力設計の現状と将来

九州大学生産科学研究所 妹尾 泰利 氏

- (7) ラジアルタービン設計の現状と将来

千葉工業大学 水町 長生 氏

- (8) ヘリウム液化装置用膨張タービンの諸問題

住友重機械工業㈱ 菊池 一成 氏

- (9) 小型タービン高温化の動向

三菱自動車工業㈱ 宮内 諄二 氏

4. 参 加 費

事前申し込み	2 日	15,000 円	1 日のみ	9,000 円
当日申し込み	2 日	17,000 円	1 日のみ	10,000 円
学生員 (事前・当日共)	2 日	10,000 円	1 日のみ	6,000 円
資料のみ	5,000 円 (但し残部のある場合)			

5. 参加資格 主催及び協賛団体の会員に限る (但し、当日入会も可)

6. 主 催 社団法人 日本ガスタービン学会

7. 協 賛 日本機械学会、日本航空宇宙学会、日本船舶機関学会、自動車技術会、ターボ機械協会

関西地区見学会のお知らせ

当学会では例年の如く関西地区での見学会と技術懇談会を開催致します。参加要領その他詳細は追ってお知らせ致します。

日 時 : 53年11月10日(金)

場 所 : 三井造船(株) 玉野造船所

'78流体機械技術會議

ところ：東京・丸の内・新丸ビル大会議室

日	時	セッション	テ　　マ	役割	◎：コーディネータ ⑤：スピーカー ⑧：パネリスト
9月19日(火)	9:30 12:30	1	ポンプ性能と今後の動向 ——省エネルギーと低騒音化—— ●ポンプ性能に関する研究動向 ●性能の制御と省エネルギー ●動力回収による省エネルギー ●ポンプの低騒音化	◎ 好川紀博 ◎ 大橋秀雄 ◎ 守田恒 ◎ 大嶋政夫 ◎ 松村益至	株電業社機械製作所 取締役開発部長 東京大学 工学部 機械工学科 教授 株日立製作所 土浦工場 ポンプ部長 株荏原製作所 第一水力機械部 水力技術開発室長 株電業社機械製作所 技術本部 第1設計部長
	14:00 17:00		2	ターボ圧縮機・送風機の性能 ——機械・システムおよび運転制御による省エネルギー—— ●ターボ送風機の省エネルギー ●ターボ圧縮機の省エネルギー ●石油化学プラントにおけるターボ圧縮機システムの省エネルギー	◎ 照屋仁 ◎ 尾形俊輔 ◎ 谷浩二 ◎ 横田伸夫
9月20日(水)	9:30 12:30	3	油圧・空圧制御の最近の動向 ●油圧制御の最近の動向 ●空気圧制御の最近の動向 ●油空圧システムの信頼性と評価 ●フルイデックスの応用	◎ 竹中俊夫 ◎ 松崎淳 ◎ 中島弘行 ◎ 山下憲一 ◎ 山本泰喜	東京工業大学 工学部長 教授 株日立製作所 機械研究所 清水研究部長 甲南電機株 取締役 第2製造部長 工業技術院 機械技術研究所 自動車安全公署 検査課長 東海大学 工学部 生産機械工学科 教授
	14:00 17:00		4	流体伝動装置の技術的問題と今後の動向 ●(可変速)流体継手とその変速制御 ●乗用車・小型商業車用流体式自動変速機 ●大型商業車・建設車輛・特殊車輛用流体式変速機	◎ 石原智男 ◎ 黒岩稔 ◎ 澤田庸弘 ◎ 鈴木勝也 ◎ 坂本研一 ◎ 服部俊男 ◎ 中原幹男 ◎ 横山明憲 ◎ 長野茂樹 ◎ 小林久吾 ◎ 西村正 ◎ 宮本康民
9月21日(木)	9:30 12:30	5	最近の空気輸送技術の進歩 ●粉粒体の大容量空気輸送 ●カプセル輸送 ●ごみ空気輸送の実施例	◎ 平山直道 ◎ 狩野武 ◎ 竹原一衛 ◎ 比根元吉郎 ◎ 広田健 ◎ 杉戸大作 ◎ 大川勝敏 ◎ 石黒忠	東京都立大学 工学部 機械工学科 教授 静岡大学 工学部 教授 大崎機工株 取締役 エアラビッド本部長 石川島播磨重工業株 運搬機械基本設計部 株荏原製作所 化工機事業部 副参事 厚生省 環境衛生局 水道環境部 計画課長補佐 建設省 都市局 街路課 大阪府 環境事業局 施設部 施設課長
	14:00 17:00		6	パイプラインシステムとその周辺技術の動向 ●パイプラインシステム(ガスならびにオイル)の運転上の諸問題 ●ガスパイプラインのコンプレッサー周辺技術	◎ 山田信一 ◎ 柳田圭一 ◎ 安藤尚
9月22日(金)	9:30 12:30	7	航空宇宙関連の先駆的技術の展開—I ——ターボ機械の現状と今後—— ●超音速圧縮機 ●圧縮機の性能推定 ●振動・騒音 ●ロケット用ポンプ	◎ 松木正勝 ◎ 藤井昭一 ◎ 生井武文 ◎ 白木文博 ◎ 上条謙次郎 ◎ 田島清瀬 ◎ 永野進	航空宇宙技術研究所 原動機部長 航空宇宙技術研究所 航空機公営研究グループ 第2研究グループリーダー 九州大学 工学部 動力機械工学教室 主任教授 三菱重工業株 高砂研究所 振動研究室長 航空宇宙技術研究所 角田支所 ロケット流体機器研究室長 早稲田大学 理工学部 教授 石川島播磨重工業株 茨城工場 研究部 チームリーダー
	14:00 17:00		8	航空宇宙関連の先駆的技術の展開—II ——産業機械への応用—— ●材料加工——セラミック ●材料加工——金属材料 ●材料加工——加工技術 ●設計の自動化 ●計測の自動化	◎ 松木正勝 ◎ 米屋勝利 ◎ 西山幸夫 ◎ 井上稔 ◎ 手塚精司 ◎ 西尾健二

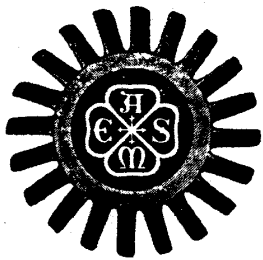
[illegible]

▶ 参加申込期間
第1期：昭和53年8月31日木 当日消印有効 まで
第2期：昭和53年9月14日木 まで

参加区分 参加者区分	参 加 科			
	第1期申込み		第2期申込み	
	全期開参加	セッション参加	全期開参加	セッション参加
主催後援団体役員	56,000円	8,000円	63,000円	9,000円
大学等学校 専任・准 任員職員の研究者	28,000円	4,000円	35,000円	5,000円
上 記 外	63,000円	9,000円	70,000円	10,000円

(注) 参加料には、配布資料を含んでいます。

担当者 村上、平野



gas turbine newsletter

GAS TURBINE DIVISION—THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS

VOL. XIX

August, 1978

No. 3

1977-78 REPORT

By PAUL F. PUCCI, 1977-78 Chairman

It has been another dynamic year for the Gas Turbine Division. The Division has had a continued enthusiastic participation in our Conference programs, has made organizational changes in its staff to meet new requirements, and in addition, has continued to provide the fellowship of professional colleagues meeting for a common purpose.

The Gas Turbine Division, through the leadership of the Electric Utilities Technical Committee, sponsored two sessions at the 1977 Joint Power Generation Conference held in Long Beach, CA, in September.

The Division sponsored nine sessions at the 1977 Winter Annual Meeting in Atlanta. During the WAM, the Division held its annual Gas Turbine Forum. Following the program of the previous year, a representative from each Technical Committee presented a brief resume of the important gas turbine developments made during the past year in the technical specialty of his committee.

Again through the Electric Utilities Committee, the Gas Turbine Division participated in the American Power Conference in Chicago in April, 1978, by sponsoring one of the sessions.

The Division's major meeting's event was the 23rd Annual International Gas Turbine Conference held at the Wembley Conference Centre, London, England, April 9-13, 1978. The Division was honored to have the Institution of Mechanical Engineers co-sponsor the Conference. Their participation in the planning, together with their careful supervision of the myriad of details for local arrangements, assured the success of the Conference. Over two hundred papers in sixty-two sessions over the four full days of the Conference presented a breadth of coverage of gas turbine technology. A balance of research, development, manufacturing, and user oriented sessions was achieved. A record attendance of over 1529 delegates registered for

(Continued on Page 2)



EDWARD S. WRIGHT

OUR NEW CHAIRMAN AND HIS MESSAGE

This is an exciting time in which to assume the Chairmanship of the Gas Turbine Division. An improved economic climate has led to a resurgence of business and expanded research activities, both government and corporate-sponsored, are opening new horizons for improvements in efficiency, fuel tolerance and environmental impact.

Within the Division itself, we have successfully reorganized our administrative operations to provide for member services which will be unmatched within the engineering profession. Don Hill, our new full-time professional Director of Operations, has opened the new central office for the Division which is located in Atlanta. Don is available to assist members not only in their voluntary efforts on behalf of ASME, but with the operation of an

Information Center covering all aspects of turbine activity.

Although it will be difficult to top the outstanding success of the London Conference, the 1979 Conference to be held in San Diego promises to do just that. Our invitation to ASME's Solar Division to cosponsor this event will add new interest and appeal to our annual event, and we expect to set new records in attendance.

Our Long Range Planning Committee is currently investigating the advisability of expanding your Division's Charter to include technology areas closely related to those we presently are responsible for within ASME. If this expansion of our Charter is approved, your Division will further increase its enviable record as the most active and outstanding Division within the Society.

In summary, healthy industry sales and a reorganized Gas Turbine Division promise to result in the most exciting year in the Division's history. We welcome the whole-hearted support and efforts of the hardworking, competent engineers who make all this possible.

THE 24th ANNUAL INTERNATIONAL GAS TURBINE CONFERENCE & PRODUCTS SHOW AT SAN DIEGO CONVENTION AND PERFORMING ARTS CENTER SAN DIEGO, CALIFORNIA MARCH 11-15, 1979

(Continued on Pages 18, 19 & 20)

ASME GAS TURBINE DIVISION

のご好意により複写の許可を得ました。

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.

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.

1977-78 Report

(Continued from Page 1)

the Conference. A sell-out of exhibit booth space provided everyone with an exceptional display of current gas turbine products and services. An additional 2139 persons visited the Product Show one or more days making a total attendance of 3668. Four special courses were given on Sunday before the Conference. These were: (1) Introduction to the Gas Turbine, (2) Foundations of Turbomachinery (Axial) Aerodynamics, (3) Blade Design Development and Field Experience, and (4) Compact Heat Exchangers.

Several parallel events led the Executive Committee to re-examine the administrative structure of the Division. It also gave the opportunity to examine the growth of the Division and its impact on the ability of the Division leadership to serve its members and the gas turbine community at large. Three key staff personnel: Tom Stott, Executive Secretary; Jack Sawyer, Exhibit Director, and Wendy Lubarsky, Technical Committees and Meetings Coordinator, asked to be relieved of their services. Also, recent examinations by the Internal Revenue Service of non-profit organizations such as A.S.M.E., required a more definitive financial relationship between Divisions and ASME Headquarters.

In August, 1977, the Executive Committee appointed an Ad Hoc Committee to propose an alternative structure to meet these requirements. The committee met on five separate and long days, seeking the advice of senior Division members and that of ASME Headquarters staff. The final recommendation was made to and adopted by the Executive Committee at its meeting in Atlanta during the WAM. The Executive Committee in turn, sought and obtained the approval of Policy Board, Communications, for implementing this change. The Executive Committee will set up a central Gas Turbine Division Office, managed by a full time Director of Operations, who will report directly to the Executive Committee. The new office will incorporate all administrative functions of the Division except that of the Treasurer. The Gas Turbine Division will, in time, establish a Gas Turbine Division Information Center to assist our membership and the public at large, a new outreach for the Division. On April 1st, 1978, Donald D. Hill assumed the duties of Director of Operations. Mr. Hill attended the Gas Turbine Conference in London and has played an active role in the Division administration ever since.

In response to the IRS's scrutiny of non-profit organizations, A.S.M.E. has made several changes which affect the Gas Turbine Division. At the 1977 WAM in Atlanta, the Council approved Council Policy P-2.1 (12/77) "Custodian and Operating Funds; Divisions, Research Committees, and Sections." The Gas Turbine Division will (upon approval of Council) operate under paragraph 3d under DIVISIONS, of Policy P-2.1, that is, establish an Operating Fund and deposit money directly into the Fund account and submit an annual financial statement prepared by a Certified Public Accountant in a format acceptable to the Society's auditors. The Division will, therefore, deposit all funds received and pay all expenses incurred through its Operating Fund, except the salary and benefits of the Director of Operations and his secretary, which will be paid by ASME-HQ who will be reimbursed by the Gas Turbine Division from its Operating Fund.

In meeting its responsibility as the international gas turbine society, the Division continues to hold periodically its annual Conference in Europe, such as the recent London Conference. In addition, the Division has co-sponsored gas turbine meetings with overseas societies, such as the 1977 joint conference in Tokyo. Preliminary plans for another joint meeting with the Gas Turbine Society of Japan (GTSJ) are under way. Representatives of the GTSJ met with the Executive Committee in

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 **.

1978—Joint Power Generation Conference, Dallas, Texas, Sept. 10-14, Sheraton-Lincoln.

—ASME Winter Annual Meeting,* San Francisco, Dec. 10-15, San Francisco, Hilton.

1979—24th Annual International Gas Turbine Conference** and Products Show, Convention Center, San Diego, Cal., Mar. 11-15.

—American Power Conference, April 23-25, Chicago, Ill., Palmer House.

—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.

London to discuss possible dates. A possible date of Autumn 1983 was suggested. During the past year, Dr. Ben Gal-Or of the Technion Institute of Technology, Haifa, Israel, approached the Executive Committee concerning co-sponsorship of a gas turbine meeting in Israel. As a result, the Division will co-sponsor with several Israeli institutions, the 1979 Israel Joint Gas Turbine Congress, to be held in Haifa between 9-11 July 1979.

Two major awards were made during the year. The R. Tom Sawyer Award was made by the ASME Council to Sir Frank Whittle, and the ASME Gas Turbine Award was made by the ASME Council to J. Paul Gostelow. In addition, the Division, as a result of a competition sponsored by the Education Committee, presented the 1977 Student Paper Award to Gregory J. Holbrook.

1981—26th Annual International Gas Turbine Conference** and Products Show, Houston, Texas, Albert Thomas Ctr., 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.

* 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 CHAIRMAN

1979 Conference

H. C. Eatock
Chief Aerodynamics Engineer
Pratt & Whitney Aircraft of Canada, Ltd.
P.O. Box 10, Longueuil, Quebec J4K 4X9
514-677-9411, Ext. 7676
Home: 514-653-6194

CIMAC GAS TURBINE CONGRESS
VIENNA, 7-10 MAY, 1979

CIMAC is a worldwide technical organization representing all of the major countries that manufacture internal combustion engines and gas turbines. The U.S. National Committee is sponsored by the Gas Turbine Division and the Diesel and Gas Engine Power Division of the A.S.M.E.

We look forward to your participation and support in Vienna. For further details and the necessary **AUTHOR FORMS**, please contact:

U.S.A. Member Gas Turbine Technical
Program Committee, CIMAC
Kenneth A. Teumer
Woodward Governor Company
P. O. Box 1519, Fort Collins, CO 80522

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

GAS TURBINE DIVISION ROSTER OF COMMITTEE MEMBERS 1978-1979

EXECUTIVE COMMITTEE 1978-79

CHAIRMAN

EDWARD S. WRIGHT, Mgr.
Program Development
United Technologies,
Research Center
E. Hartford, Conn. 06108
203-565-4658
Home: 203-633-5357

VICE-CHAIRMAN

JOHN P. DAVIS
Transcontinental Gas Pipeline Corp.
P.O. Box 1396
Houston, Texas 77001
713-626-8100, Ex. 557
Home: 713-729-2216

PAST CHAIRMAN

PAUL F. PUCCI
Mechanical Engineering Dept.
Naval Postgraduate School
Monterey, Ca. 93940
408-646-2363, 2586
Home: 408-624-5944

CHAIRMAN OF CONFERENCES

ARTHUR J. WENNERSTROM, Chief
Compressor Research Group
Technology Br., Turbine Eng. Div.
Aero Propulsion Lab (AFAPL/TBX)
Wright-Patterson Air Force Base
Ohio 45433
513-255-3775
Home: 513-276-2377

REVIEW CHAIRMAN

KENNETH A. TEUMER
Manager, Sales and Service
Engine & Turbine Controls Div.
Woodward Governor Co.
1000 E. Drake Road
Fort Collins, Colorado 80521
303-482-5811

PAST CHAIRMEN

J. H. Anderson - 60
W. B. Anderson - 67-68
Donald F. Bruce - 68-69
B. O. Buckland - 59
Urban Floor - 72-73
A. A. Hafer - 63-64
F. T. Hague - 52
R. A. Harmon - 65-66
H. R. Hazard - 58
A. Howard - 54
Glenn W. Kahle - 73-74
W. J. King - 51
A. L. London - 66-67
J. L. Mangan - 70-71
Paul F. Pucci - 77-78
T. J. Putz - 57
J. T. Rettaliata - 48
Ivan G. Rice - 76-77
J. K. Salisbury - 49
J. W. Sawyer - 61-62
R. Tom Sawyer - 47
F. L. Schwartz - 56
C. E. Seglem - 74-75
P. R. Sidler - 53
B. G. A. Skratski - 55
J. O. Stephens - 62-63
W. Stewart - 69-70
T. E. Stott - 71-72
Z. Stanley Stys - 64-65
E. P. Weinert - 75-76
J. I. Yellott - 50

1979-80 REVIEW CHAIRMAN Incoming Member Exec. Comm.

NORMAN R. DiBELIUS, Mgr.
Combustion Environmental Effects
General Electric Co.
1 River Rd., Bldg. 53-324
Gas Turbine Engineering Dept.
Schenectady, N.Y. 12345
518-385-9674

DIRECTOR OF OPERATIONS

DONALD D. HILL
Now Locating at Atlanta, Ga.
If Urgent Contact
R. Tom Sawyer or
Robert L. Whitener
(See these two names below)

ASME STAFF

PETER FROMME
Mgr. Power Dept.
ASME, 345 East 47th St.
New York, N.Y. 10017
212-644-7795

EXHIBIT MANAGER

ROBERT L. WHITENER
P.O. Box 17413
Dulles International Airport
Washington, D.C. 20041
703-471-5761
Telex: 899133

CHAIRMAN FINANCE COM.

PAUL F. PUCCI

TREASURER & NEWSLETTER PUBLISHER

R. TOM SAWYER, Box 188
Ho-Ho-Kus, N.J. 07423
201-444-3719 (Office & Home)

SECRETARY

NANCY POTTER
Home: 201-327-5514

ASST. TREASURER

THOMAS E. STOTT
Pres., Stal-Laval, Inc.
400 Executive Blvd.
Elmsford, N.Y. 10523
914-592-4710
Home: 413-528-2679

EDITOR NEWSLETTER

R. A. HARMON
25 Schalren Drive
Latham, N.Y. 12110
518-785-8651

OVERSEAS REPRESENTATIVES

TOM S. KEEBLE, Supt.
Mech. Engineering Div.
Aeronautical Research Labs.
P.O. Box 4331, Melbourne 3001
Australia

CURT KELLER
(Vice-Chairman Closed Cycles Com.)
Seestra. 200B
8700 Kusnacht, Switzerland
01-91011-66

E. J. MEIER, Mgr. Director
Arithma A.G.-Konradstr 58
8005 Zurich, Switzerland
Home: 01-34-52-91

TAMATARO SATOH
Planning & Coordination Dept.
Engineering, Research &
Development Div.
Nippon Kokan K.K.
1-2, 1-Chome Marunouchi,
Chiyoda-Ku
Tokyo 100, Japan

PROGRAM CHAIRMEN

(1978 Winter Annual Meeting)
RICHARD L. MARSHALL
Mgr., Development Programs
Product Integrity Dept. (EB-1K)
Pratt & Whitney Aircraft
E. Hartford, Ct. 06108
203-565-3649

(1979 Conference)

H. CLARE EATOCK
Pratt & Whitney Aircraft
of Canada, Ltd.
P.O. Box 10, Longueuil
Quebec, Canada J4K 4X9
514-677-9411
Home: 514-653-6194

(1979 Israel Joint G/T Congress)

B. L. KOFF, Chief Engineer
Aircraft Engine Group
General Electric Co.
Cincinnati, Ohio 45215
513-243-2244

CHAIRMAN LOCAL COMMITTEE 1979 CONFERENCE

JOHN J. FORD, JR.
Solar Turbines International
2200 Pacific Highway
San Diego, Ca. 92138
714-238-5744

SPECIAL ASSIGNMENTS

POWER DEPT. POLICY BOARD EDWARD S. WRIGHT

MEMBER-AT-LARGE

POWER DEPT. POLICY BOARD
J. L. MANGAN, Manager
Strategy Dev. Steam Turbine
Generator Products Division
General Electric Co.
Bldg. 273, Room 430
Schenectady, New York 12345
518-374-2211

AWARDS & HONORS REPRESENTATIVE

IVAN G. RICE, Consultant
P.O. Box 233
Spring, Texas 77373
713-353-5040

GAS TURBINE DIV. AWARD

ENGINE P. WEINERT
Head - Combined Power &
Gas Turbine Branch
Naval Ship Engineering Center
Philadelphia Div.
Philadelphia, Pa. 19112
215-755-3841, 3258, 3922
Home: 609-829-4991

DIV. OBJECTIVES & LONG-RANGE PLANNING COMMITTEE

GLENN W. KAHLE, Mgr.
Advanced Harvesting
John Deere Harvester Works
1100 13th Avenue
E. Moline, Ill. 61244
309-652-6364

1978 JOINT POWER GENERATION CONFERENCE & AMERICAN POWER CONFERENCE

DONALD H. GUILD, Chairman
Electric Utilities Com.

LIAISON REP., IEEE

H. E. LOKAY, Manager
Rotating Machinery
Electric Utility Headquarters
Dept. of Generation
Westinghouse Electric Corp.
700 Braddock Avenue, 8L22
East Pittsburgh, Pa. 15112

JOINT TRANSPORTATION ENGINEERING CONFERENCE DEP.

EDWARD S. WRIGHT
Executive Committee

AIRCRAFT TURBINE COMMITTEE

Dennis E. Barbeau, Chairman
Director, Cruise Missile Program
Teledyne CAE
1330 Laskey Road
Toledo, OH 43697
419-470-3107

Clifford A. Hoelzer, Vice-Chairman
Head, Propulsion Systems
Grumman Aerospace Corporation
Bethpage, NY 11714
516-575-5836

Peter Kiproff, Secretary
Propulsion Branch (Code 6052)
Naval Air Development Center
Warminster, PA 18974
215-441-2344/2568/2166
DOD Autovon:
441-2344/2568/2166

John L. Benson
Group Engineer Engine Analysis
Propulsion Dept. (75-42)
Lockheed-California Co.
Burbank, California 91503
213-847-5220

Arnold Brema
Executive Vice-President
GETECA, USA-France
Hilton Tower, Suite 890
150 South Los Robles Avenue
Pasadena, CA 91101
213-681-1428, 795-8739

H. Ivan Bush
Air Force Aero Propulsion Lab
(AFAPL/TB)
Wright-Patterson Air Force Base
Dayton, OH 45433
513-255-2331

Sterling Campbell
Mail Zone 117-01
General Dynamics/Convair
Post Office Box 80847
San Diego, CA 92138
714-277-8900, Ext. 2378

Earl (Bill) Conrad
Energy Conservative Engine Office
NASA-Lewis Research Center
2100 Brookpark Road
Cleveland, OH 44135
216-433-4000

George Crosse
British Embassy
3100 Massachusetts Avenue
Washington, DC 20008
202-462-1340

John J. Curry
Head, Advanced Development
Division (PE 43)
Naval Air Propulsion Center
Trenton, NJ 08628
609-882-1414

T. F. Donohue
Manager, Advanced Technology
and Preliminary Design
Aircraft Engine Group
General Electric Co.
Cincinnati, OH 45215
513-243-3843

Stan H. Ellis
Mail Stop B54
Pratt & Whitney Aircraft Group
Government Products Div.
P.O. Box 2691
West Palm Beach, FL 33402
305-844-7311, Ext. 2723

Professor Andrew Fejer
Chairman, Dept. of Mechanical &
Aerospace Engineering
Illinois Institute of Technology
Chicago, IL 60616

G. H. Foster
Chief Engineer, Engines
Commonwealth Corporation
Box 799, H.G.P.O. Aircraft
Melbourne, Victoria 3001, Australia

Frederick C. Glaser
Section Chief, Propulsion Technology
McDonnell Aircraft Co., Dept. 243
P.O. Box 516
St. Louis, MO 63166
314-232-3918, 232-6054

James A. Glass
Engineering 2C
Commercial Products Division
Pratt and Whitney Aircraft
400 Main Street
E. Hartford, CT 06108
203-565-8924

Clam O. Gunn
Manager, Military Requirements
General Electric Co.
Aircraft Engine Group
Mail Zone 34004
1000 Western Avenue
Lynn, MA 01910
617-594-3823

Dr. Kaneichiro Imai
Executive Director and General Mgr.
Ishikawajima-Harima Heavy
Industries Co. Ltd.
Aero-engine & Space Development
Group
3-5 Mukodai-Cho, Tanashi Shi
Tokyo 188, Japan

Thomas S. Keeble
Superintendent, Mechanical
Engineering Division
Aeronautical Research Laboratories
P.O. Box 4331
Melbourne, Victoria 3001, Australia
03-64-0251

Dr. Otis M. Lancaster
George Washington Professor of
Engineering Education
Pennsylvania State University
University Park, PA 16802
814-865-4171

R. A. Langworthy
U.S. Army Research and
Technology Laboratories
DAVDL-EU-TAP
Fort Eustis, VA 23604
804-878-2771
DOD Autovon: 927-2771

Professor Mel R. L'Ecuyer
School of Mechanical Engineering
Jet Propulsion Center
Purdue University
Lafayette, IN 47097

Eugene A. Lichtman
Advanced Aircraft Propulsion
Program Manager (Code AIR-330B)
Naval Air Systems Command
Washington, DC 20461
202-692-2518

Jack McGrath
Propulsion Branch
Engineering and Manufacturing Div.
FAA
Washington, DC 20591

Wayne L. McIntire
Chief Engineer,
Advanced Development
Detroit Diesel Allison Division
Speed Code T19
General Motors Corporation
P.O. Box 894
Indianapolis, IN 46206
317-243-4757

Robert B. Meyer, Jr.
Curator, Propulsion
National Air and Space Museum
Smithsonian Institution
Washington, DC 20560
202-381-5792

Douglas S. Miller
Chief, Configuration Development
Boeing Commercial Airplane Company
P.O. Box 3999
M/X 74-18
Seattle, WA 98124
206-237-2975

S. Miwa
I.H.I., Ltd.
1 World Trade Center
Suite 1101
New York, NY 10048
212-432-0338

Henry L. Morrow
U.S. Army Research and
Technology Laboratories
DAVDL-EU-TAP
Fort Eustis, VA 23604
804-878-2164
DOD Autovon: 927-2164

Sy Moskowitz
Curtiss-Wright Corporation
Department 8110
1 Passaic Street
Wood-Ridge, N.J. 07075
201-777-2900, Ext. 2459

David Palfreyman
Technical Development Executive
Rolls-Royce Inc.
375 Park Avenue
New York, NY 10022
212-935-9400

Cal Porcher
Manager, Propulsion &
Thermodynamics
General Dynamics MZ2260
Box 748
Fort Worth, TX 76101
817-732-4811, Ext. 2086

Richard Rio
Manager Balancing Systems
Mechanical Technology Inc.
968 Albany-Shaker Road
Latham, NY 12110
518-785-2384

W. Stewart Roberts
W. S. Roberts Engineering Co., Inc.
1800 Meridian Street
Indianapolis, IN 46202
317-962-2821

J. Walton Schrader
Asst. Director,
Research and Development
Avco Lycoming Division
Stratford, CT 06497
203-378-8211, Ext. 1233

R. A. Saunders
Project Engineer, Mechanical
Systems and Propulsion
British Aircraft Corp.
Military Aircraft Div.
Warton Aerodrome
Preston, Lancashire, England

John W. Sawyer
24 Walnut Court
Hendersonville, NC 28739
704-693-0188

Raymond M. Standahar
Deputy for Propulsion
Office of the Assistant
(Engineering Technology)
OSD/DDR&E
Room 1039 Pentagon
Washington, DC 20315
202-695-9602

Dr. William F. Taylor
Head, Catalytic Combustion Project
Government Research Laboratory
Exxon Research and Engineering Co.
Linden, NJ 07036
201-474-3239

Lester W. Thronsdon
Member, Technical Staff
Rockwell International—
Columbus Aircraft Div.
4300 East Fifth Avenue
Columbus, OH 43216
614-239-2174

James C. Utterback
Asst. Chief, Propulsion and
Thermal Div.
Vought Corporation
Unit 2-53391
Post Office Box 5907
Dallas, TX 75222
214-266-2227

Robert R. VanNimwegen
Special Programs Group
AiResearch Mfg. Co., Garrett Corp.
402 S. 36th Street
Phoenix, AZ 85034
602-267-3703

A. E. Waller
Martin-Marietta Corp.
P.O. Box 5837
Orlando, FL 32805
305-355-6100, Ext. 2249

A. D. Welliver
Chief, Propulsion
M/X 41-52
Boeing Military Airplane Development
Boeing Aerospace Company
P.O. Box 707
Renton, WA 98055
206-237-2362

F. Zimmer
Dornier GmbH
799 Friedrichshafen/Bodensee
Postfach 317, West Germany

CERAMICS COMMITTEE

John Lanning, Chairman
Corning Glass Works
Advanced Engine Components
Erwin Automotive Plant
Corning, NY 14830
607-974-1218

William McGovern, Vice-Chairman
U.S. Army MERAD-COM
Attn: DRXFB-EM (W. McGovern)
Fort Belvoir, VA 22060
703-664-5464

Dr. Edward Lenoe, Secretary
Chief Mechanics & Materials Div.
Watertown, MA 02172
617-923-3167

Ronald Bart
Industrial Ceramics Div.
Norton Co.
Worcester, MA 01606
617-853-1000

Robert Beck
Head, Materials Dept.
P.O. Box 6971
Teledyne CAE
1330 Laskey Road
Toledo, OH 43612
419-470-3131

Raymond Bratton
Westinghouse R&D Center
Pittsburgh, PA 15235
412-256-7335

W. Bunk, Direktor Des
Institute for Werkstoff-Forschung
Deutsche Forschungs-
Und Versuchsanstalt
Für Luft-Und Raumfahrt E.V.
505 Porz-Wahn Linder Hole
022-03-6012450

J. Anthony Caallis
The MITRE Corp.
3 Dene St.
Dorking Surrey, U.K.
44-306-87000

Donald J. Campbell
Air Force Aero Propulsion Lab.
AFAPL/XP
Wright-Patterson AFB, OH 45433
513-255-5575

Stig G. Carlqvist
CMC Aktiebolag
Sanekullavagen 43, S-217 74
Malmö, Sweden
040-91-8682

George A. Costakis
General Motors Engineering Staff
General Motors Technical Center
Warren, MI 48090
313-575-1130

Lt. Philip Coty
Air Force Aero Propulsion Lab.
AFAPL/TBP
Wright-Patterson AFB, OH 45433
513-255-2767

William Edmiston
Structures, Dynamics
& Materials Section
Bldg. 157, Room 507
Jet Propulsion Laboratory
California Institute of Technology
4800 Oak Grove Drive
Pasadena, CA 91103
213-354-4080

John W. Fairbanks
Conservation Research & Technology
Dept. of Energy
20 Massachusetts Ave. N.W.
Washington, D.C. 20375
202-376-4825

C. H. Gay
Advanced Eng. & Tech. Program Dept.
General Electric Co.
Bldg. 300 — H4835
Cincinnati, OH 45215
513-243-3546

David J. Godfrey
Admiralty Marine Technology
Establishment
Halton Heath
Poole, Dorset, U.K.

Robert A. Harmon, Consultant
25 Schalren Drive
Latham, NY 12110
518-785-8651

Peter H. Havstad
Section Supervisor
Turbine Development Dept.
Ford Motor Co.
P.O. Box 2053
Dearborn, MI 48121
313-322-3424

Peter W. Heitman
Detroit Diesel Allison Div.
of General Motors
P.O. Box 894
Indianapolis, IN 46206
317-243-4536

R. N. Kleiner
Precision Materials Group
Chemical and Metallurgical Div.
Towanda, PA 18848
717-265-2121

Edwin Kraft, R&D, 1-4
The Carborundum Co.
P.O. Box 1054
Niagara Falls, NY 14174
716-278-6136

Prof. S. O. Kronogard
Managing Director
United Turbine A.B. & Co.
Kommanditbolag
Fack S-201 10
Malmo 1, Sweden

David Larsen
IIT Research Institute
Mechanics of Materials Div.
10 W. 35th St.
Chicago, IL 60616
312-567-4437

L. B. Mann
Senior Research Staff Engineer
Chrysler Corp.
P.O. Box 1118
Detroit, MI 48121
313-956-2792

A. G. Metcalfe
Solar Turbines International
2200 Pacific Highway
San Diego, CA 92138
714-238-5500

Thomas H. Nielsen
Coox Porcelain
17750 W. 32nd Ave.
Golden, CO 80401
303-279-6565

Ray R. Peterson
The MITRE Corp.
Westgate Research Park
McLean, VA 22161

Hubert B. Probst, Chief
Alloys and Ceramics Branch
NASA-Lewis Research Center
2100 Brookpark Rd., MS 99-3
Cleveland, OH 44135
216-433-4000

David W. Richerson
Engineering Specialist
Materials Engineering, Eng. Sciences
AiResearch Mfg. Co. of Arizona
402 S. 36th Street
Phoenix, AZ 85010
602-267-3011

Ray W. Rice
Ceramics Branch (Code 6360)
U.S. Naval Research Lab.
Materials Science & Technology Div.
Washington, D.C. 20375
202-767-3548

Robert Ruh
Air Force Materials Lab.
AFML/LLM
Wright-Patterson AFB, OH 45433
513-255-4730

George W. Rourke
Williams Research Corp.
2280 West Maple Rd.
Walled Lake, MI 48088
313-624-5200

Robert Schulz
Dept. of Energy
Div. of Transportation &
Energy Conservation
Washington, D.C. 25045
202-276-4676

Edward van Reuth
Advanced Research Projects Agency
Dept. of Defense
1400 Wilson Blvd.
Arlington, VA 22209
202-694-6750

Chester T. Simms
Bldg. 56, Room 200
Gas Turbine Div.
General Electric Co.
Schenectady, NY 12345

Bryant Walker
Pratt & Whitney Aircraft
Government Products Div.
P.O. Box 2691
West Palm Beach, FL 33401
305-844-7311

Jeremy J. Walter
Manager, Materials Lab.
AVCO Lycoming Div.
550 South Main Street
Stratford, CT 06497
203-278-8211

Stephen M. Wander
Dept. of Energy
400 First Street, NW
Washington, DC 20545
202-376-9339

Sheldon M. Weiderhorn
Building 223, Room A357
National Bureau of Standards
Washington, DC 20234
202-921-2904

Roger Willis
Battelle
Ceramic Materials Section
505 King Avenue
Columbus, OH 43201
614-424-4289

Donald W. Zabierek
Air Force Aero Propulsion Lab.
AFAPL/TBC
Wright-Patterson AFB, OH 45433
513-255-2744

COMMITTEE CLOSED-CYCLES

Anthony Pietsch, Chairman
AiResearch Manufacturing Company
Department 93-240, 503-3U
P.O. Box 5217
Phoenix, Arizona 85010
602-267-3345

Dr. Simion C. Kuo, Vice-Chairman
United Technologies Research Center
Nuclear Energy Systems
East Hartford, Connecticut 06108
203-565-8758

Dr. Curt Keller, Consultant
European Vice-Chairman
Seestrasse 2008
CH-8700 Kusnacht
Switzerland

Dr. Robert G. Adams
General Atomic
P.O. Box 81608
San Diego, California 92138
714-455-4336

T. E. Alt
Arizona Public Service
P.O. Box 21666
Phoenix, Arizona 85036

Professor Gianfranco Angelino
Politecnico Di Milano
Istituto Di Macchine
20133 Milano—32
Piazza Leonardo da Vinci
Italy

Professor Karl Bammert
Institute for Turbomachinery
Technical University of Hannover
Appelstr. 9

3000 Hannover
Federal Republic of Germany
0511 762 2731
Home: 0511 71 03 88

Jacques Chaboseau
Director, Societe Rateau
93123 La Courneuve
France
352 1880
Home: 922 6734

Winfred M. Crim, Jr.
6011 Sherborn Lane
Springfield, Virginia 22152
202-376-9340

Dr. Gerhard Deuster
Energieversorgung Oberhausen AG
4200 Oberhausen 1
Danziger Strasse 31
Federal Republic of Germany
0208/835 288
Home: 02144/4123

Richard W. Foster-Pegg
Westinghouse Electric Corp.
A Building
P.O. Box 9175
Philadelphia, PA 19113
215-595-3945
Home: 215-565-2807

Art Fraas
Union Carbide Corp.
Bldg. 9102 ORNL
Energy Division, P.O.Y.
Oak Ridge, Tenn. 37830
614-483-8611, Ext. 37167

Williard E. Fraize
The MITRE Corporation
1820 Dolly Madison Blvd.
McLean, Virginia 22101

Andre H. Gage
Potomac Electric Power Co.
4707 Langdrum Lane
Chevy Chase, Maryland 20015
202-872-2448
Home: 301-657-3981

Professor N. Gasparovic
Technische Universität Berlin
March Strasse 14
1000 Berlin 10 (West Berlin)
3142778
Home: 8262016

Dr. Leon Green, Jr.
General Atomic Company
Suite 709
2021 K St. N.W.
Washington, D.C. 20006
202-659-3140

Dr. Hartmut Griepentrog
GHH Sterkrade AG
Bahnhofstr. 66
4200 Oberhausen 11
Federal Republic of Germany
0208/692 811
Home: 0208/64 15 56

Robert A. Harmon, Consultant
25 Schalren Dr.
Latham, N.Y. 12110
518-785-8651

Dr. Herman Haselbacher
BBC Brown, Boveri & Company, Ltd.
TCG Development
Hardsurmstrasse 3,
CH-8023 Zurich
Switzerland

Herbert R. Hazard
Battelle Columbus Laboratories
505 King Avenue
Columbus, Ohio 43201
614-424-6424
Home: 614-486-3178

Dr. Gunter Hewing
Kernforschungsanlage (KFA)
D-517 Jülich 1
Postfach 1913
Federal Republic of Germany

Robert S. Holcomb
Union Carbide, Energy Division
Building 9102 ORNL, P.O.Y.
Oak Ridge, Tenn 37830

Dr. Charles A. Howard
14631 Crossway Road
Rockville, Maryland 20853
301-921-3311

Gerald G. Johnson
Bechtel Corporation
P.O. Box 3965
San Francisco, CA 94119
415-764-7433
Home: 408-253-0357

Carey A. Kinney
5208 Grinnel St.
Fairfax, Virginia 22030
703-376-4851
Home: 323-6489

Andre Kovats, Consultant
13 Baker Road
Livingston, N.J. 07039
201-992-7438

Dr. G. Krey
GHH Sterkrade AG
Bahnhofstrasse 66
4200 Oberhausen 11
Federal Republic of Germany

James K. LaFleur
LaFleur Cryogenics, Inc.
4337 Talofa Ave.
N. Hollywood, CA 91602
213-769-3090
Home: 213-985-9226

A. D. Lucci
Rocketdyne Div.
of Rockwell International
6633 Canoga Avenue
Canoga Park, CA 91304
213-884-3236

George B. Manning
3705 So. George Mason Dr.
Falls Church, Virginia 22041
Home: 703-820-1380

Colin F. McDonald
General Atomic Company
P.O. Box 81608
San Diego, CA 92138
714-455-2406
Home: 714-459-9389

Richard A. Rio
Mechanical Technology Inc.
968 Albany-Shaker Rd.
Latham, N.Y. 12110
518-785-2211

R. Tom Sawyer
P.O. Box 188
Ho-Ho-Kus, N.J. 07423
201-444-3719

Hans Schwartz
Mechanical Technology Inc.
968 Albany-Shaker Rd.
Latham, N.Y. 12110
518-785-2211
518-785-9465

Robert Thompson
Westinghouse Electric Corporation
Advanced Energy Systems Division
P.O. Box 10864
Pittsburgh, PA 15236
412-892-5600, Ext. 6297

Zephyr P. Tilliette
Commissariat A L'Energie Atomique
Centre D'Etudes Nucleaires De Saclay
Department Des Etudes Mecaniques
et Thermiques
Coite Postale No. 2
91190 Gif-Sur-Yvette, France
Home: 736-31-51
941-80-00, Ext. 32-87

Dr. Kosla Vepa
General Atomic Company
P.O. Box 81608
San Diego, CA 92138
714-455-2606

Jack Yampolsky
General Atomic Company
Advanced Concepts Division
P.O. Box 81608
San Diego, CA 92138
714-455-3645
Home: 714-453-3693

Dr. Peter Zenker
Energieversorgung Oberhausen AG
4200 Oberhausen 1
Donziger Strasse 31
Federal Republic of Germany

COAL UTILIZATION COMMITTEE

George B. Manning, Chairman
Div. Power Systems, Dept. of Energy
400 First Street, N.W.
Washington, D.C. 20545
202-376-9339
Home: 703-820-1380

Ray Peterson, Vice-Chairman
MITRE Corporation
McLean, VA 22101
703-827-6322

Juliani Gatzoulis, Secretary
National Oceanic &
Atmospheric Administration
National Ocean Survey
Systems Analysis Division
6001 Executive Blvd.
Rockville, MD 20852
301-443-8401

Subcommittee Chairman —

North America
Christopher Coccio, Mgr.
Advanced Product Planning
Bldg. 500-224
Gas Turbine Products Div.
General Electric Co.
Schenectady, NY 12345
518-385-9013

Subcommittee Chairman —

European Operations
C. Keller
Seesstrasse 2008
CH-8700 Kusnacht
Switzerland

Dave Ahner
General Electric Co.
1 River Road, Bldg. 506—Rm. 102
Schenectady, NY 12345
518-385-9189

Robert K. Alff, Mgr.
Advanced Projects Eng.
Gas Turbine Division
1 River Road, Bldg. 56-507
Schenectady, NY 12345

J. L. Boyen
Consulting Engineer
P.O. Box 8527
Emeryville, CA 94662
415-658-4934

Anthony Caruvana
General Electric Co.
Gas Turbine Division
1 River Road
Schenectady, NY 12345

John S. Clark
Mail Stop 500-202
NASA-Lewis Research Center
21000 Brookpark Road
Cleveland, OH 44135

Winfred M. Crim, Jr.
6011 Sherborn Lane
Springfield, VA 22152
202-376-9339
Home: 703-451-1555

N. Gasparovic
Technische Universitaet
West Berlin
1 Berlin 10, Marchstrasse 14
Germany

Andrew J. Grant
Woodall-Duckham (USA) Ltd.
Manor Oak One - 1910 Cochran Rd.
Pittsburgh, PA 15220

Robert A. Harmon, Consultant
25 Schairn Drive
Latham, NY 12110
518-785-8651

Herbert R. Hazard
Battelle Memorial Institute
Columbus Laboratories
505 King Avenue
Columbus, OH 42301
614-424-6424
Home: 486-3178

Charles P. Howard
14631 Crossway Road
Rockville, MD 20853
301-921-3311
Home: 301-871-8664

David Japikse
Head, Fluids Engineering Div.
Creare Inc.
Hanover, New Hampshire 03755
603-643-3800

Gerald Johnson
Bechtel Corporation
Research and Engineering
San Francisco, California

John W. Larson
MITRE Corporation
McLean, VA 22101
Mail Stop - W-230
703-790-6684

Donald C. Leigh
University of Kentucky
Dept. of Engineering Mechanics
Lexington, Kentucky 40506

Arthur G. Metcalfe
4376 Hill Street
San Diego, CA 92107

S. Moscovitz
Curtiss-Wright Co.
1 Passaic Street
Wood-Ridge, NJ 07075
201-777-2900

Louis M. Nucci
248 Vineyard Road
Huntington, NY 11743

V. Avadhut Ogale
2507 Ramblewood Drive
Wilmington, Delaware 19810
302-475-5116

R. Dean Patterson
Power System Division
United Technologies Corp.
1690 New Britain Avenue
Farmington, CT 06108
203-677-4081, Ext. 277, 396

R. W. Foster-Pegg
Gas Turbine Systems Div., A603
Westinghouse Electric Corp.
500 N. Lemon Street
Media, PA 19063
215-595-3945
Home: 215-565-2807

William R. Pierson
3010 Greenvale Drive
Worthington, OH 43085
614-424-4191
Home: 614-889-9507

Fred L. Robson
United Technologies Research Center
Silver Lane
East Hartford, CT 06108
203-565-8353
Home: 203-228-9212

Eric Steinhilper
General Motors Corp.
GM Res. Labs/Power Systems
Warren, Michigan 48045

J. Yampolsky
General Atomic Co.
P.O. Box 81608
San Diego, CA 92138
714-455-4297

COMBUSTION & FUELS COMMITTEE

John M. Vaught (U27A), Chairman
Combustion Research & Development
Detroit Diesel Allison
Div. of General Motors Corp.
P.O. Box 894
Indianapolis, IN 46206
317-243-4680

William S. Blazowski, Vice-Chairman
Exxon Research & Engineering Co.
P.O. Box 8
Linden, NJ 07036
201-474-3516

D. W. Bahr, Manager
Advanced Combustion and
Emissions Control Technology
Aircraft Engine Group
Cincinnati, OH 45215
513-243-3537

James R. Baker
Delavan Corp.
P.O. Box 100
West Des Moines, IA 50265
515-274-1561

Karl Bastress, Chief
Combustion Technology Branch
Div. of Conservation Research
and Technology
Dept. of Energy
Washington, DC 20545
202-376-4606

Stephen P. Cauley
Petroleum Consulting Services
17230 Libertad Drive
San Diego, CA 92127
714-485-6437

Anthony J. Cirrito
Lowell Technology Institute
Lowell, MA

Robert R. Conrad
Parker-Hannifin
17325 Euclid Avenue
Cleveland, OH 44112
216-531-3000

Mario DeCorso
Westinghouse Electric
G.S.D. Mail Stop A-703
P.O. Box 9175
Philadelphia, PA 19113
215-595-4144

Norman R. Dibelius, Manager
Combustion Environmental Effects
General Electric Co.
1 River Road — #53-324
Gas Turbine Engineering Dept.
Schenectady, NY 12345
518-385-9674

Joseph Faucher
Pratt & Whitney Aircraft
Mail Location EB2H
400 Main Street
East Hartford, CT 06108
203-565-6247

Prof. Robert C. Fellingner
Dept. of Mechanical Engineering
Iowa State University of Science
and Technology
Ames, IA 50011
515-294-1323

R. Hugh Gaylord
Teledyne CAE
1330 Laskey Rd.
Toledo, OH 43612

Subramanyam R. Gollahalli
Assistant Professor
School of Aerospace, Mechanical
and Nuclear Engineering
University of Oklahoma
Norman, OK 73019
405-325-5011
Home: 405-329-2067

John M. Haasis
AirResearch Manufacturing Co.
of Arizona
402 S. 36th Street
Phoenix, AZ 85010
602-267-3720

Jerry Lee Hall
Prof. of Mechanical Engineering
217 Mechanical Engineering Dept.
Iowa State University
Ames, IA 50011
515-294-1423

Herbert R. Hazard
Battelle Memorial Institute
Columbus Laboratories
505 King Avenue
Columbus, OH 43201
614-424-6424

Eric Hughes
Rolls-Royce (1971) Ltd.
Industrial and Marine Div.
P.O. Box 72, Ansty
Nr. Coventry, U.K.
Coventry 613211 (STD 0203)

C. E. Hussey
Gas Turbine Systems Div. (A603)
Westinghouse Electric Corp.
Lester Branch, P.O. Box 9175
Philadelphia, PA 19113
215-595-4634

Thomas A. Jackson
Fuels Branch, Fuels & Lubrication Div.
AFAPL/SFF Wright-Patterson AFB
Ohio 45433
513-255-4027

Robert E. Jones, Head
Experimental Combustor Section
NASA-Lewis Laboratory
Cleveland, OH 44135
216-433-4000, Ext. 6155

C. William Kauffman
Dept. of Aerospace Engineering
University of Michigan
Ann Arbor, MI 48109
313-764-7200

Ralph Kress, Manager
Environmental and Engineering
Technology
Solar Turbines International
2200 Pacific Highway
San Diego, CA 92138
714-238-5728

Richard T. LeCren
Solar Turbines International
P.O. Box 80966
San Diego, CA 92138
714-233-8214

Fredrick W. Lipfert
Long Island Lighting Co.
175 East Old Country Road
Hicksville, NY 11801
516-733-4419

Richard Lee Marshall
Product Integrity, EB1K
Pratt & Whitney Aircraft
400 Main Street
East Hartford, CT 06108
203-565-3649

W. Bruce Nicol
Chief Engineer, Turbo Div.
Ingersoll-Rand Corp.
Phillipsburg, NJ 08865
213-323-9500, Ext. 2853

Louis M. Nucci
Curtiss-Wright Corp.
Power Systems Div.
One Passaic Street
Wood-Ridge, NJ 07075
201-777-2900, Ext. 2797

Prof. J. Odgers
Dept. of Mechanical Engineering
Universite Laval
CiteUniversite
Quebec, P.Q. G1K 7P4
418-656-2198

George Opdyke, Jr., Mgr.
Combustor Section
AVCO Lycoming Div.
550 South Main Street
Stratford, CT 06497
203-378-8211

John Saintsbury, Mgr.
Combustion Section
Pratt & Whitney Aircraft
of Canada, Ltd.
Box 10
Longueuil, Quebec, Canada J4K 4X9
514-677-9411

Harold C. Simmons
Director of Engineering
Parker Hannifin Corp.
Gas Turbine Fuel Systems Div.
17325 Euclid Avenue
Cleveland, OH 44112
216-531-3000

Geoffrey Sturgess
Pratt & Whitney Aircraft
Combustion Analysis (EB2G4)
400 Main Street
East Hartford, CT 06108
203-565-5901

Wallace R. Wade
Engine Research, Room E2164
Scientific Research Labs
Ford Motor Co.
20000 Rotunda Drive
Dearborn, MI 48121
313-323-1181

A. B. Wassell, Chief Research
Engineer, High Temperature
Rolls-Royce (1971) Ltd.
Derby Engine Div.
P.O. Box 31
Derby, England DE2 8BJ
Derby 42424, Ext. 479

CONTROLS COMMITTEE

Geoffrey Hanlon, Chairman
Manager of Engine Control Sales
Hawker Siddeley Dynamics Ltd.
Manor Road, Hatfield, Hertfordshire
England AL10 9LP
Hatfield 62300

Jan Ederveen, Vice-Chairman
Applications Engineer
Woodward Governor Co.
Fort Collins, Colorado 80521
303-482-5811

Paul E. Clay
Manager
American Air Filter Co., Inc.
P.O. Box 1100
215 Central Avenue
Louisville, Kentucky 40201
502-637-0154

Thomas F. Cleary
Project Engineer, Electronics Systems
The Garrett Corporation
2525 West 190th Street
Torrance, California 90509
213-323-9500

Joseph T. Hamrick
President
Aerospace Research Corporation
5454 Joe Valley Road, S.E.
Roanoke, Virginia 24001
703-342-2961

Roy W. Kiscaden
Manager, Control Systems
Generation Systems Division
Westinghouse Electric Corporation
P.O. Box 9175
Philadelphia, PA 19113
215-595-4648

Leo P. McGuire
Manager—Controls Engineering
Dresser Clark Division
Dresser Industries, Inc.
P.O. Box 560
Olean, New York 14760
716-372-2101

L. J. Moulton
Controls Engineering Operation
General Electric Co.
1000 Western Avenue
West Lynn, Mass. 01905

Walter F. O'Brien, Jr.
Mechanical Engineering Department
Virginia Polytechnic Institute
and State University
Blacksburg, Virginia 24061
703-951-6604

Gary G. Ostrand
Sales Engineer
Donaldson Co., Inc.
P.O. Box 1299
Minneapolis, MN 55430
612-887-3545

Bruce Peterson
Group Engineer
Sunstrand Corporation
4747 Harrison Avenue
Rockford, Illinois 61101
815-226-6000

Carman Winarski, Sr. Engineer
Controls/Electrical Design Section
Southern California Edison Co.
P.O. Box 800
Rosemead, California 91770

DIVISION OBJECTIVES & LONG RANGE PLANNING COMMITTEE

Dr. Glenn W. Kahle, Chairman
Manager, Advanced Systems
John Deere Harvester Works
1100 13th Avenue
East Moline, Illinois 61244
309-752-6364

Eugene P. Weinert, Vice-Chairman
Head—Combined Power &
Gas Turbine Branch
Naval Ship Eng. Ctr., Phila. Div.
Philadelphia, PA 19112
215-755-3841, 3258, 3922

G. Renfrew Brighton
Chairman, Turbomachinery
Publications, Inc.
22 South Smith St.
Norwalk, Conn. 06855
203-853-6015

William V. Hanzalek
Manager, Power Gen. System
Curtiss-Wright
One Passaic St.
Wood-Ridge, NJ 07075

Paul Lenk
Chairman of the Board
ACE Industries
8839 Pioneer Blvd.
Santa Fe Springs, CA 90670
213-723-4524

J. L. Mangan
Steam Turbine Generator Div.
General Electric Co.
Bldg. 273, Room 430
Schenectady, NY 12345

A. F. McLean, Manager
High Temp. Turbine Research
Car Systems Research
Product Development Group
Ford Motor Company
20000 Rotunda Drive
Dearborn, MI 48121
313-322-3859
Home: 313-971-7878

EDUCATION COMMITTEE

Walter F. O'Brien, Jr., Chairman
Mechanical Engineering Dept.
Virginia Polytechnic Inst.
Blacksburg, VA 24061
703-951-6604

Patrick J. Bingham, Vice-Chairman
Gas Turbine Division
Customer Support Department
General Electric Company
1 River Road
Building 501, Room 102
Schenectady, NY 12345
518-385-2010

George K. Serovy, Secretary
Mechanical Engineering Dept.
213 Mechanical Engineering Bldg.
Iowa State University
Ames, IA 50011
515-294-2336

David J. Amos
GSD Engineering A703
Westinghouse Electric Corp.
P.O. Box 9175
Philadelphia, PA 19113
215-595-4461

William Bathie
Dept. of Mechanical Engineering
Iowa State University
Ames, IA 50011
515-294-1423

Frank S. Bhinder
Director of Research in Mechanical
& Aeronautical Engineering
The Hatfield Polytechnic
P.O. Box 109, Hatfield
Herts AL10 9AB ENGLAND
Hatfield 68100, Ext. 158

Meherwan P. Boyce
Mechanical Engineering Dept.
Texas A&M University
College Station, TX 77843
713-845-2924

Gilles Cantin
Mechanical Engineering Dept.
Naval Postgraduate School
Code 69CI
Monterey, CA 93940
408-646-2364

Prof. Jacques Chauvin
Professor a l'Universite
d'Aix-Marseille II
Directeur du Laboratoire
Associe LA 03
Institut de Mecanique des Fluides
de Marseille, Rue Honnorat 1
F-13003 MARSEILLE (France)
Tel: (91) 50.01.77

Bruce Colton
Trunkline Gas Company
P.O. Box 1642
Houston, TX 77001
713-664-3401

William J. Feiereisen
Mechanical Engineering Dept.
University of Wisconsin
1513 University Avenue
Madison, WI 53706
608-262-7888

Phillip G. Hill
Mechanical Engineering Dept.
University of British Columbia
Vancouver, British Columbia V6T 1W5
604-228-2308

Charles P. Howard
National Bureau of Standards
Bldg. 224, Room A-113
Washington, D.C. 20234
301-921-3748

Arthur D. Hughes
BTU Chasers, Inc.
544 N.W. 16th Street
Corvallis, OR 97330
503-753-3725

Bud Lakshminarayana
Dept. of Aerospace Engineering
Pennsylvania State University
233 Hammond Bldg.
University Park, PA 16802
814-863-0602

Gordon C. Oates
College of Engineering
Department of Aeronautics
and Astronautics, FS-10
University of Washington
Seattle, WA 98195

Vilas A. Ogale
Generation Systems Division
Mail Code A604
Westinghouse Electric Corporation
Lester Branch P.O. Box 9175
Philadelphia, PA 19113

Theodore H. Okilishi
Mechanical Engineering Dept.
Iowa State University
Ames, IA 50011
515-294-2022

Maido Saarlus
Dept. of Aerospace Engineering
U.S. Naval Academy
Annapolis, MD 21402
301-267-3284

Herb I. H. Saravanamuttoo
Chairman, Mechanical and
Aeronautical Engineering
Carleton University
Ottawa, CANADA K1S5B6
613-231-2639

Widen Tabakoff
Dept. of Aerospace Engineering
and Applied Mechanics #70
University of Cincinnati
Cincinnati, OH 45221
513-475-2849

Richard J. Trippett
Power Systems Department
GM Research Laboratories
Warren, MI 48090
313-642-8374

o. Prof. Dr.-Ing. Sigmar Wittig
Director, Institut für Thermische
Stromungsmaschinen
University of Karlsruhe
D-75 Karlsruhe
W. Germany

William F. Wunsch
Engineering Department, EB-2L
Pratt & Whitney Aircraft
400 Main Street
East Hartford, CT 06108
203-565-2721

ELECTRIC UTILITIES COMMITTEE

Donald H. Guild, Chairman
Project Manager
Stone & Webster Engineering Corp.
245 Sommer Street
Boston, Mass. 02107
617-973-2501

A. L. Steinlen Vice-Chairman, Mgr.
Power Plant Engineering Projects
Tampa Electric Co.
P.O. Box 111
Tampa, Florida 33601
813-879-4111

Andrew J. Auld, Jr., Secretary
Senior Reliability Engineer
Westinghouse Electric Corp.
P.O. Box 9175 A-402
Philadelphia, Penn. 19113
215-595-3504

R. S. Adelizzi, Mgr.
Projects Department
Gas Turbine Systems Div.
Westinghouse Electric Corp.

P.O. Box 9175 A-604
Philadelphia, Penn. 19113
215-595-2858

R. Eugene Ayers
Gen. Supt., Steam Generation
Salt River Project
P.O. Box 1980
Phoenix, Arizona 85001
602-273-2115

Richard R. Balsbaugh
Assistant Manager—Operations
Wisconsin Electric Power Co.
231 West Michigan Street
Milwaukee, Wis. 53201
414-277-2438

Paul L. Banks
Marketing Manager
The English Electric Corp.
GEC Gas Turbine Div.
1440 North Loop, Suite 146
Houston, Texas 77009
713-861-2375

Robert J. Bassini
Regional Manager
DeLaval Turbine, Inc.
One Penn Plaza
New York, N.Y. 10001
212-575-4951

Peter C. Christman, Pres.
Energy Services, Inc.
The Exchanges
Farmington, Conn. 06032
203-677-1618

George C. Creel
Chief Mechanical Engineer
Baltimore Gas & Electric Company
Lexington and Liberty Streets
Baltimore, Md. 21203
301-234-6511

Victor deBiasi
Editor and Publisher
Gas Turbine World
P.O. Box 494
Southport, Conn. 06490
203-259-1812

Peter E. Demarest
Vice-President and General Mgr.
Bauer/Electro
Farmington Industrial Park
Farmington, Conn. 06032
203-677-9707

Richard G. Donaghy, Chief
Environmental & Energy Systems Div.
U.S. Army Construction Engineering
Research Lab.
P.O. Box 4005
Champaign, Ill. 61820
217-352-6511

Richard L. Duncan
Advanced Fossil Power Systems
Electric Power Research Institute
3412 Hillview Ave.
P.O. Box 10412
Palo Alto, Ca. 94303
415-493-4800

Michael G. Economos, Pres.
Becon Inc.
46 Schweir Road
South Windsor, Conn. 06074
203-528-9641

Peter H. Gilson
Senior Mechanical Engineer
Gibbs & Hills, Inc.
393 7th Avenue
New York, N.Y. 10001
212-760-4017

Mario R. Gonzalez
Plant Superintendent
Escuintla Thermal Power Plant, INDE
P.O. Box 319
Escuintla, Guatemala C.A.

Jack Haeflich
Executive Vice-President
Energy Services, Inc.
The Exchange
Farmington, Conn. 06032
203-677-1618

Robert A. Harmon
Consultant
25 Schalren Drive
Latham, N.Y. 12110
518-785-8651

Joseph T. Heilbron
Senior Engineer
Turbine Div., Room 10155
Consolidated Edison Co.
of New York, Inc.
4 Irving Place
New York, N.Y. 10003
212-460-3952

Paul J. Hoppe, Director
Projects and Services
Brown Boveri Turbomachinery, Inc.
711 Anderson Avenue, North
St. Cloud, Minn. 56301
612-253-2800

Robert G. Janser
Senior Staff Engineer
Commonwealth Edison Co.
3501 South Pulaski Road
Chicago, Ill. 60623
312-247-7272, Ext. 308

James G. Kiernan, Mgr.
Application Engineering
Gas Turbine Engineering &
Manufacturing Dept.
Building 500-122
General Electric Co.
One River Road
Schenectady, N.Y. 12345
518-385-2234

Fred H. Kindl, Pres.
Encotech, Inc.
P.O. Box 714
Schenectady, N.Y. 12301
518-374-0924

Charles Knauf, Jr., Mgr.
Internal Combustion Div.
Long Island Lighting Co.
175 East Old Country Road
Hicksville, Long Island, N.Y. 11801
516-733-4590

Richard T. Laudonat, Engineer
Mechanical & Nuclear Engineering
Dept.
Northeast Utilities Service Co.
Hartford, Conn. 06101
203-666-6911, Ext. 5446

Paul E. Leonard
Assistant Chief Engineer
Hartford Steam Boiler Inspection
and Insurance Co.
Hartford, Conn. 06102
203-527-0791

H. E. Lokay (IEEE Contact), Mgr.
Power Generation Systems
Engineering
Westinghouse Electric Corp.
700 Braddock Ave.
East Pittsburgh, Penn. 15112
412-256-2053

Sylvester Lombardo
Technical Director
Power Systems Div.
Curtiss-Wright Corp.
Wood-Ridge, N.J. 07075
201-777-2900, Ext. 2456

Brian R. McCaffrey
Section Head—Internal
Combustion Engineering
Long Island Lighting Co.
Hicksville, N.Y. 11801
516-733-4212

Michael L. McKimney
Engineer in Residence
The Engineering Societies
Commission on Energy, Inc.
444 Capitol St., N.W., Suite 405
Washington, D.C. 20001
202-347-7110

Tam C. McMichael, V.P.
Power Systems Engineering, Inc.
8705-07 Katy Freeway
P.O. Box 19398
Houston, Texas 77024
713-464-9451

William J. O'Donnell
Senior Engineer
Public Service Electric & Gas Co.
80 Park Place
Newark, N.J. 07101
201-622-7000, Ext. 3355

John C. Pitts
Supervisor, Information Control
Systems Support Dept.
United Technologies Corp.
Power Systems Div.
1690 New Britain Ave.
Farmington, Conn. 06032
203-677-4081

Hans L. Richter
Supervisor Engineer, Mechanical
Design
Southern California Edison Co.
P.O. Box 800
Rosemead, Ca. 91770
213-572-3322

W. Stewart Roberts, President
W. S. Roberts Engineering Co., Inc.
1800 North Meridian Street
Indianapolis, Ind. 46202
317-926-2821

J. C. Schmitt
Supt. of Power Plant Operations
Illinois Power Corp.
500 South 27th Street
Decatur, Ill. 62525
217-424-6623

J. H. Shortt
Assistant Manager
Plant Test & Operations
Dravo Utility Constructors, Inc.
393 Seventh Ave.
New York, N.Y. 10001
212-760-5410

John L. Warmack
V.P. & Mgr. of Operations
Southern Indiana Gas & Electric Co.
20-24 N.W. Fourth Street
Evansville, Ind. 47741
812-424-6411

George D. Williams
Project Engineer
NEGEA Service Corp.
P.O. Box 190
675 Massachusetts Ave.
Cambridge, Mass. 02139
617-864-3100

Duane Woodford, Mgr.
Turbo-Generator Marketing
Electric Machinery Manufacturing Co.
800 Central Ave.
Minneapolis, Minn. 55413
612-378-8347

EXHIBIT COMMITTEE

Donald D. Hill, P.E., Chairman
Director, Operations
Gas Turbine Div., ASME
7312 Zircon Drive S.W.
Tacoma, WA 98498
206-582-3185

Robert L. Whitener, Secretary
Exhibit Manager
Gas Turbine Conferences
P.O. Box 17413
Dulles International Airport
Washington, D.C. 20041
703-471-5761

Ed P. Buckie
Assistant to the Director
Technical Presentations & Orientations
United Technologies Corp.
1 Financial Plaza
Hartford, CT 06101
203-565-5133

R. E. Callison
Corp. Displays & Exhibits
AirResearch Mfg. Div.
The Garrett Corp.
9851 Sepulveda Blvd.
Los Angeles, CA 90009
213-776-1010

S. J. Cognetti, Mgr.
Marketing Communications
Gas Turbine Products Div.
General Electric Co., Bldg. 500-101
Rotterdam Ind. Park, NY 12306
518-385-2228

John Davis, Sales Mgr.
Aero Cast, Inc.
7300 N.W. 43rd Street
Miami, FL 33166
305-592-6300

Patrick Delle Donne
Exhibits Manager
Westinghouse Electric Corp.
Gateway Center, Rm. 1909
Pittsburgh, PA 15122
412-255-3247

William V. Hanzalek
Marketing Services
Power Systems
Curtiss-Wright Corp.
One Passaic Street
Wood-Ridge, NJ 07075
201-777-2900

Richard Hubbard
Sales Manager
Hemet Casting Co.
760 W. Acacia Ave.
Hemet, CA 92343
714-658-2265

P. B. Johnson, Director
Public Relations & Advertising
Solar Turbines International
2200 Pacific Highway
P.O. Box 80966
San Diego, CA 92112
714-238-5888
Home: 755-2531
Alternate: Ms. Nancy Wild
Exhibits Coordinator

Paul Lenk
Chairman of the Board
ACE Industries
8839 Pioneer Boulevard
Santa Fe Springs, CA 90670
213-723-4524

Ms. Wendy A. Lubarsky
Stal-Laval, Inc.
400 Executive Boulevard
Elmsford, NY 10523
914-592-4710
Home: 203-255-3998

Luke J. McLaughlin, General Mgr.
SermeTel Northeast, SermeTel Div.
Teleflex, Inc.
155 S. Limerick Road
Limerick, PA 19468
215-948-5100

W. Pickett
Exhibitions Manager
BEAMA Limited
8 Leicester Street
London WC2H 7BN, England
01-437-0678

HEAT TRANSFER COMMITTEE

David A. Nealy, Chairman
Supervisor, Turbine Cooling
Detroit Diesel Allison
Division of General Motors Corp.
P.O. Box 894, M.S. U29A
Indianapolis, Indiana 46206
317-243-4380

Mikio Suo, Vice-Chairman
Chief, Power Systems Technology
United Technologies Research Center
Silver Lane
East Hartford, Connecticut 06108
203-565-8374

Alexander Brown,
Head, Heat Transfer, Thermodynamics
& Fluid Mechanics Section
Dept. of Mechanical Engineering
University of Wales
Institute of Science & Technology
Cardiff CF1 3NU, United Kingdom
(0222) 42522, Ext. 309

Raymond S. Colladay
Assistant Mgr., Energy Efficient
Engine Project
NASA-Lewis Research Center,
M.S. 501-2
21000 Brookpark Road
Cleveland, Ohio 44135
216-433-4000, Ext. 6978

Vernon L. Eriksen
Manager, Research & Development
Deltak Corporation
P.O. Box 9496
Minneapolis, Minnesota 55440
612-544-3371

Ernest Elovic
Manager, Heat Transfer Analysis
Mail Drop K69
Aircraft Engine Group
General Electric Company
Cincinnati, Ohio 45215
513-243-6345

David M. Evans
Engineering Supervisor, Heat Transfer
Solar Turbines International
2200 Pacific Highway, Mail Zone C5
San Diego, California 92138
714-238-5721

Gary J. Hanus
Research Engineer
Fluids Research Group
Bldg. 11R
The Trance Co.
LaCrosse, Wisconsin 54601
618-782-8000, Ext. 3372

Charles P. Howard
Section Chief
National Bureau of Standards
Bldg. 202, Room 203
Washington, D.C. 20234
301-921-3748

Martin R. Hum
Materials Engineer
U.S. Nuclear Regulatory Comm.
Materials Engineering Branch
Washington, D.C. 20555
301-492-7255

Howard L. Julien
Principal Engineer
Kaiser Engineers
Advanced Technology Department
P.O. Box 23210
Oakland, California 94623
415-271-4816

Kazunari Komotori
Professor, Faculty of Engineering
Keio University
223 Yokohamashi Kohokuku
Hiyoshi 3-14-1 Japan
(044-63) 1141, Ext. 3129

Mel R. L'Ecuyer
Professor Mechanical Engineering
Purdue University
West Lafayette, Indiana 47907
317-749-2634 or 493-8300

Robert E. Mayle
Assoc. Prof. of Mechanical Engr.
Rensselaer Polytechnic Institute
Troy, New York 12181
518-270-6545

Colin F. McDonald
Branch Manager,
Gas Turb. Preliminary Design
General Atomic Company
P.O. Box 81608
San Diego, California 92138
714-455-2406

Donald M. McEligot
Prof. Aerospace & Mechanical Engr.
Aero. Mechanical Engineering Dept.
University of Arizona
Tucson, Arizona 85721
602-884-3541

Darryl E. Metzger
Chairman, Mechanical Engr. Dept.
Arizona State University
Tempe, Arizona 85281
602-965-3291

R. W. Stuart Mitchell
Professor Laboratorium voor
Verbrandingsmotoren en Gasturbines
Technische Hogeschool
Mekelweg 2
Delft, Netherlands
(015) 133222, Ext. 5294

James R. Mondt
Senior Research Engineer
Engine Research Department
General Motors Technical Center
12 Mile and Mound Roads
Warren, Michigan 48090
313-575-3417

David Pofert
Chief, Power Generation &
Storage Div.
NASA-Lewis Research Center
21000 Brookpark Road
Cleveland, Ohio 44135
216-433-4000, Ext. 6160

Paul F. Pucci
Prof. Mechanical Engineering Dept.
Naval Postgraduate School
Monterey, California 93940
418-646-2363

Warren M. Rohsenow
Professor Mechanical Engineering
M.I.T. — Room 3-158
77 Massachusetts Avenue
Cambridge, Massachusetts 02139
617-253-2208

Wayne A. Tall
Turbine Technology Manager
Air Force Aero Propulsion Laboratory
(AFAPL/TBC)
Wright-Patterson Air Force Base
Ohio 45433
513-255-2744

Greg Theoclitus
Engineering Manager,
CE-AIR Preheater
P.O. Box 387
Andover Road
Wellsville, New York 14895
716-593-2700, Ext. 255

Henry Tubbs
Project Engineer, Turbine Research
Rolls-Royce Ltd., Aero Division
Derby, England
Derby 42424, Ext. 1237

James J. Watt
U.S. Nuclear Regulatory Commission
Sr. Reactor Engineer, USNRC
Division of System Safety
Washington, D.C. 20555
301-492-7591

MANUFACTURING MATERIALS & METALLURGY COMMITTEE

Richard Schmitt, Chairman
Chief Manufacturing Engineer
AirResearch Division
Garrett Corporation
402 South 36th Street
Dept. 96-1M
Phoenix, Arizona 85034
602-267-3412

Kelly J. Mather, Vice-Chairman
Cummins Engine Company
Columbus, Indiana 47201
812-379-6370

William A. Bass
Mechanical Engineering Consultant
P.O. Box 5710
Sherman Oak, California 91413
213-783-8162

Glenn C. Erdmann
Stolper Industries, Inc.
Satellite Division
115 S. Janacek Road
Waukesha, Wisconsin 53186
414-786-3400

George Glenn, AFML/LTM
Manufacturing Technology Division
Wright-Patterson Air Force Base
Dayton, Ohio 45433
513-255-5151

Robert A. Harmon
25 Schalen Drive
Latham, New York 12110
518-785-8651

Tim A. Harrison, Program Manager
Materials Program Office
Battelle Memorial Institute
505 King Avenue
Columbus, Ohio 43201
614-299-3151, Ext. 1521

Kishor M. Kulkarni, Section Head
Ferrous Full Dense Materials
Glidden Metals
11000 Cedar Avenue
Cleveland, Ohio 44106
216-771-5121

Elmer D. Marlin
Cummins Engine Company
Columbus, Indiana 47201
812-379-7341

Pracheesh S. Mathur
General Electric Company
Aircraft Engine Group
1000 Western Avenue
West Lynn, Massachusetts 01905
617-594-4676

A. G. Metcalfe
Associate Director—Research
Mail Zone R-1
Solar Turbines International
2200 Pacific Highway
P.O. Box 80966
San Diego, CA 92138

K. Michael Ray
Engineer—Large Gas Turbine Dept.
General Electric Company
1-85 and Woodruff Road, East
P.O. Box 648
Greenville, S.C. 29602

W. Stewart Roberts
W. S. Roberts Engineering Co., Inc.
1800 North Meridian Street
Indianapolis, Indiana 46202
317-926-2821

Richard J. Schaller
Senior Engineer
Air Products and Chemicals, Inc.
Allentown, Pennsylvania 18105
215-395-7291

Lawrence T. Shiembob
Assistant Project Engineer
Technical Development Section
EB-354
Pratt & Whitney Aircraft
400 Main Street
East Hartford, Conn. 06108
203-565-3018

Robert Stusrud
Materials Design Support
Detroit Diesel Allison
Division of General Motors Corp.
P.O. Box 894
Mail Code T28
Indianapolis, Indiana 46206
317-243-4165

Philip C. Wolf
Director of Engineering
Metco, Inc.
1101 Prospect Avenue
Westbury, New York 11590
516-334-1300

W. G. Wood
Rolls-Royce (1971) Limited
Derby Engine Division
P.O. Box 31
Derby DE2 8BJ England
Tel. Derby 42424, Ext. 449

Martin T. Ziobro
Chief Metallurgist
Utica Division
Kelsey-Hayes Co.
Utica, New York 13503
315-792-4111

MARINE COMMITTEE

T. B. Lauriat, Chairman
Chief, Marine Industrial Gas Turbine
Application Engineer
AVCO Lycoming Division
550 Main Street
Stratford, Ct. 06497
203-378-8211
Home: 203-929-4278

Milton D. Parker, Vice-Chairman
Senior Project Engineer
Industrial Engines & Products
The Garrett Corporation
402 South 36th Street
P.O. Box 5217
Phoenix, Arizona 85010
602-267-3011

Jack W. Abbott
Naval Ship Engineering Center
Washington, D.C. 29362

John P. Attiani
Section Head Combined Power &
Gas Turbine Branch
Naval Ship Engineering Center
Philadelphia, Penn. 19112

Gary J. Baham
Consulting Engineer
5538 Coltsfoot Ct.
Columbia, Maryland 21045
301-997-0780

Ralph J. Bradford
Chief Marine Engineer
National Steel & Shipbuilding Co.
Harbor Dr. & 28th Street
San Diego, Ca. 92138
714-232-4011, Ext. 651

Norman H. Brubaker
Head, Sales Engineering Section
Exxon International Co.,
Marine Sales
1251 Avenue of Americas
New York, N.Y. 10020
212-398-5236

Richard S. Carleton
Code 6146
Naval Ship Engineering Center
Washington, D.C. 20362
202-692-6868

Paul G. Carlson
Chief Engineer
Turbo Machinery Development
Solar Turbines International
San Diego, Ca. 92112

G. A. Carlton
Head, Auxiliary Machy. &
Fluid System Branch
Naval Ship Engineering Center
Philadelphia Division
Philadelphia, Pa. 19112
215-755-3661/4191/3922

A. Douglas Carmichael
Professor of Power Engineering
Department of Naval Architecture
and Marine Engineering
Room 5236
Massachusetts Institute of Technology
Cambridge, Ma. 02139

Robert C. Case
Bird-Johnson Company
883 Main Street
Walpole, Ma. 02081

Stephen P. Cauley
Petroleum Consulting Services
17230 Libertad Drive
San Diego, Ca. 92127
714-485-6437

E. A. Clifford
Pratt & Whitney Aircraft of
Canada Ltd.
Box 10
Longueuil, Quebec, Canada J4K 4X9
514-677-9411

Paul J. Cullen
General Manager
Gas Turbine Customer Support Dept.
General Electric Company
One River Road, Bldg. 500-161
Schenectady, N.Y. 12345
518-374-2211, Ext. 3325

Cdr. J. Cunningham
SSO Mar. Eng.
Canadian Defence Liaison Staff
Washington
2450 Massachusetts Avenue N.W.
Washington, D.C. 20008

Leonard T. Daley
Manager Marine Sales
General Electric Company
Schenectady, N.Y. 12345
518-385-5868

Victor de Biasi
Editor—Gas Turbine World
P.O. Box 494
Southport, Ct. 06490

James P. Doyle, Vice-President
Gibbs & Cox, Inc.
40 Rector St.
New York, N.Y. 10006
212-487-2800

Edward A. Drury
Sr. Engineer, Dept. 66
Advanced Mechanical Design
& Planning
Onan Corporation
1400 73rd Avenue NE
Minneapolis, MN 55432
612-786-6322, Ext. 471

James F. Dunne
Head, Ship Engineering Dept.
Hydronautics, Inc.
Pindel School Road
Laurel, MD 20810
301-776-7454

Paul A. Dupuy
Application Engineer
General Electric Company
Cincinnati, Ohio 45215

Edward F. Eaton
General Electric Company
M & DSO, Bldg. 2-726
Schenectady, N.Y. 12345

D. J. Folenta
Transmission Tech. Co.
9 Commerce Rd.
Fairfield, N.J. 07006

R. P. Giblon, President
George G. Sharp, Inc.
100 Church Street
New York, N.Y. 10007
212-732-2800

R. F. Glazebrook, Jr.
Engineering Technical Department
Newport News Shipbuilding &
Dry Dock Company
Newport News, Va. 23607

G. L. Graves, Jr.
Code 6141
Naval Ship Engineering Center
Washington, D.C. 20362
202-692-9728

J. M. Gruber, Vice-President
Waukesha Bearing Corporation
150 Hinchman Avenue
Wayne, N.J. 07470

John Halfmann
John J. McMullen Assoc., Inc.
Suite 3000
One World Trade Center
New York, N.Y. 10048
212-466-2200

John Halkola
Rohr Marine Inc.
P.O. Box 2300
Chula Vista, California 92012
714-575-4317

Maurice R. Hauschildt, Consultant
2701 Dawson Avenue
Silver Springs, Maryland 20782
301-942-1433

H. R. Hazard
Battelle Memorial Institute
505 King Avenue
Columbus, Ohio 43201

Joel Hitt
Chief—Marine Applications Engineer
Turbo-Power & Marine Systems, Inc.
1690 New Britain Avenue
Farmington, CT 06032
203-677-4081

William R. Humphrey
Senior Project Engineer
Industrial Power
Allison Division
General Motors Corporation
Indianapolis, Indiana

Yoram Katz, President
Conseco, Inc.
Medford, Wisconsin

James M. Logan
Chief, Machinery Technical Section
Naval Engineering Division
U.S. Coast Guard
Department of Transportation
Washington, D.C. 20591
202-426-1991

James McGregor
Mechanical Engineer
Office of the Naval Attache
Embassy of Australia
1601 Massachusetts Ave., NW
Washington, D.C. 20036
202-797-3000

Edward W. Mihalek
126 Windmill Drive
Holland, PA 18966

Charles L. Miller, Program Mgr.
Research & Development
Naval Sea Systems Command (0331G)
Dept. of the Navy
Washington, D.C. 20362
202-692-9462

Howard Minoque
Ass't Head Machinery Section
Gibbs & Cox Inc.
Room 1020
2341 Jefferson Davis Highway
Arlington, VA 22202
703-979-1240

Ivan Monk, President
DeLaval Turbine, Inc.
P.O. Box 2072
Princeton, N.J. 08540

Larry Mooney
Manager of Engineering
Marine Transport Lines
60 Broad Street
New York, N.Y. 10004
212-482-5802

Andrew S. Morrow, Deputy Mgr.
Product Development Operations
Shell Oil Company
999 East Touhy Avenue
Des Plaines, Ill. 60018
312-341-4933

D. K. Nicholson, DME 3
National Defence Headquarters
101 Colonel by Drive
Ottawa, Ontario K1A 0K2
613-996-3525

Stuart M. Novak
General Manager, Operations
Seatrains Lines, Inc.
Weehawken, N.J. 07087
201-886-5300

David O'Neil
President, Seaworthy Engine Systems
73 Main Street
Essex, Conn. 06426
203-767-0937

Howard A. Peterson
Staff Assistant
Office Assistant Secretary of Defense
9117 Southwick
Fairfax, VA 22030
202-697-7980

Roy R. Peterson
Rt. 2, Box 235
Sterling, VA 22170

Cdr. Len Pichini, USCG
USCG Headquarters
Naval Engineering Division
HEC Section
Washington, D.C. 20590

Dick Quan, Director
of Research & Development
Hawker Siddeley, Canada Ltd.
Box 6001
Toronto AMF, Ontario
Canada L5P 1B3

Tom Ragland
Rohr Marine, Inc.
P.O. Box 2300
Chula Vista, California 92012
714-575-4317

A. H. Raye
Director of Engineering
Brown Boveri Turbomachinery, Inc.
711 Anderson Ave. North
St. Cloud, Minnesota 56301

I. R. Rolih
Chief Marine Engineer
George G. Sharp, Inc.
100 Church Street
New York, N.Y. 10007
212-732-2800

William I. Rowen
Manager, Combustion Programs
Gas Turbine Products Division
General Electric Company
1 River Road, Bldg. 500
Schenectady, N.Y. 12345

C. J. Rubis, President
Propulsion Dynamics, Inc.
2200 Sommerville Road
Annapolis, Md. 21401
301-224-2130

John W. Sawyer
24 Walnut Court
Hendersonville, N.C. 28739
704-693-0188

Morton I. Schiff, Vice-President
Special Products Dept.
Industrial Acoustics Company, Inc.
1160 Commerce Avenue
Bronx, N.Y. 10462
212-831-8000

Robert M. Sherman
Peerless Manufacturing Company
P.O. Box 20657
Dallas, Texas 75220
214-357-6181

John Siemietkowski
Naval Ship Engineering Center
Philadelphia Division
Philadelphia, Pa. 19112
215-755-3841/3285, Ext. 218/265

Paul E. Speicher
Office of Ship Construction
U.S. Department of Commerce
Maritime Administration
Washington, D.C. 20230
202-377-3273

A. St. George
Hydronautics, Inc.
Pindel School Road
Laurel, Md. 20810

J. O. Stephens
Turbine-Generator Division
Plant No. 1, S-5
Canadian Westinghouse Ltd.
Hamilton, Ontario, Canada
416-528-8811, Ext. 3328

Sherrill Stone
Peerless Manufacturing Co.
P.O. Box 20657
Dallas, Texas 75220
214-357-6181

T. E. Stott, President
Stal-Laval, Inc.
400 Executive Blvd.
Elmsford, N.Y. 10523
914-592-4710

Z. S. Stys, Vice-President
Brown Boveri Corporation
1460 Livingston Avenue
North Brunswick, N.J. 08902

G. C. Swensson
Engineering Manager, Bulk Vessel
Product Group
Sun Shipbuilding & Dry Dock Co.
Chester, Pa. 19013
215-876-9121, Ext. 885

D. E. Tempesca
Tech. Advisor
Code 04T
Naval Sea Systems CMD.
Department of the Navy
Washington, D.C. 20362
202-692-0800

L.Cdr. Leif Thornvall, R.Sw.N.
Asst. Naval Attache
Royal Swedish Embassy
600 New Hampshire Ave., NW
Washington, D.C. 20037

R. P. Tillson
Marine Application Engineering
Marine & Defense Sales
General Electric Company
1 River Road
Schenectady, N.Y. 12345
518-385-5021

Cdr. Anthony G. Trotter, RN
British Navy Staff
P.O. Box 4855
Washington, D.C. 20008
202-920-8950

R. V. Vittucci
Program, Adm., Ships, Subs & Boats
Headquarters, Naval Material
Command
Naval Dept. NAVMAT 0333
Washington, D.C. 20360

Cdr. Kenneth E. Wagner, USCG
USCG Headquarters
Naval Engineering Division
Ice Breaker Section
Washington, D.C. 20590

Eugene P. Weinert
Head, Combined Power & Gas
Turbine Branch
Naval Ship Engineering Center
Philadelphia Division
Philadelphia, Pa. 19112
215-755-3841

H. Peter Young
Manager Marine Systems
Seaworthy Engine Systems
73 Main Street
Essex, Conn. 06426
203-767-0937

MEMBERS OVERSEAS

K. A. Bray
Manager, Ruston Turbine Division
Ruston & Hornsby, Ltd.
P.O. Box 17
Lincoln, England

H. A. Clements
SSS Gears Ltd.
51-55 Stirling Road
London W. 3 England

E. B. Good
Managing Director
Yarrow (Australia) Pty., Ltd.
1017 University Avenue
Canberra, A.C.T. 2600 Australia

Dr. W. Hrynyszak
Clarke Chapman & Company, Ltd.
Victoria Works
P.O. Box 9
Gateshead 8, County Durham
England

L. S. Knight
Director of Marine Engineering
Design
Department of Defence (Navy Office)
Canberra A.C.T. 2600
Canberra, Australia

K. H. Kurzek, Dipl.-Ing.
Chief Director
Marine Arsenal
Reventouelle 27
23 Kiel, Germany

Kosa Miwa
Manager, Gas Turbine Design Dept.
Hitachi Zosen
Hitachi Shipbuilding &
Engineering Co., Ltd.
5 Sakurajima Kitano-Cho,
Konohana-Ku
Osaka, 554 Japan

R. J. Mowill
Manager, Gas Turbine Dept.
Kongsberg, Vapenfabrik
Kongsberg, Oslo, Norway

Capt. Nobuyoshi Ohara
Chief of Preliminary Design
Machinery Sect.
R & D Headquarters, IDA
2-24, 1 chame Ikejiri
Setagayak, Tokyo, Japan

Cdr. C. E. M. Preston
Rolls-Royce Ltd.
Industrial & Marine Gas Turbine
Division
P.O. Box 72
Ansty, Coventry CV79JR
England

Kunikazu Shiraiishi
Technical Manager
Plant Engineering &
Construction Division
Nippon Kokan K.K.
(Japan Steel & Tube Corp.)
L-23-2, Kanda Suda - Cho
Chiyoda, Tokyo, Japan

Brian H. Slatter
Chief Engineer, Turbines
Rolls-Royce, Ltd.
Industrial & Marine Division
P.O. Box 73
Ansty, Shilton, Coventry
England CV79JR

Stig Olof Svensson
Stal Laval Turbine
Finspong, Sweden

K. Tanabe
Ishikawajima-Harima Heavy
Industries Co., Ltd.
3-5 Mukodai-cho, Tanashi-shi
Tokyo 188, Japan

J. R. Tyler
Director & Chief Engineer
Ruston Gas Turbines, Ltd.
P.O. Box 1
Lincoln, England

L. Cdr. (E.) Auvo Vappula
Shipbuilding Office
Naval Headquarters
Helsinki 16, Finland

Cdr. R. N. M. Paige, RN
Ministry of Defence
Director General Ship
Section 215 Block B
Foxhill Bath BA15AV
England

Eugene P. Weinert, Head
Combined Power & Gas Turbine Branch
Naval Ship Engineering Center
Philadelphia Div.
Philadelphia, Pa. 19112
215-755-3841, 3258, 3922
Home: 609-829-4991

Donald B. MacDougall
ASME Headquarters
345 East 47th Street
New York, N.Y. 10017
212-644-7744

Richard S. Carleton
Code 6146
Naval Ship Engineering Center
Washington, D.C. 20362
202-692-6868

PIPELINE OPERATIONS AND APPLICATIONS COMMITTEE

Trevor Albone, Chairman
Polar Gas Project
P.O. Box 90
Commerce Court West
Toronto, Ont., Canada M5L 1H3
416-869-2703

Tom C. Heard, Vice-Chairman
General Electric Co.
One River Road, Building 238
Schenectady, NY 12345
518-385-2731

J. A. Alholm
Panhandle Eastern Pipeline Co.
P.O. Box 1348
Kansas City, MO 64141
816-753-5600

John P. Davis
Transcontinental Gas Pipeline Corp.
P.O. Box 1396
Houston, Texas 77001
713-626-8100

Peter H. Dixon
Plant Operations Dept.
British Gas Corp.
Upper Band Street, Hinckley
Leics. LE10 0NA, England
0455-38111

Glenn E. Edgerly
Turbo-Power & Marine Systems, Inc.
1690 New Britain Ave.
Farmington, CT 06032
203-677-4081

Donald C. Hall
Natural Gas Pipeline Co. of America
122 S. Michigan Ave.
Chicago, IL 60603
312-431-7643

Robert A. Harmon, Consultant
25 Schalren Drive
Latham, NY 12110
518-785-8651

Robert T. Harnsberger/K. Stephenson
Cooper-Bessemer Co.
Mt. Vernon, OH 43050
614-397-0121

Curtis R. Holder
Stal-Laval, Inc.
P.O. Box 90112
Houston, TX 77090
713-367-5077

John K. Hubbard
Dresser Industries, Inc.
Olean, NY 14760
716-372-2101

R. G. McCubbin
El Paso Natural Gas Co.
P.O. Box 1492
El Paso, TX
915-543-2600

Keith E. McQueen
Solar Turbines International of
International Harvester Co.
2200 Pacific Highway
San Diego, CA 92112
714-238-5709

German R. Mayer
Bechtel Inc.
P.O. Box 3965
San Francisco, CA 94110
415-768-1532

D. N. Rhoads
Great Lakes Gas Transmission Co.
202 Petoskey Street
Petoskey, Mich. 49770
313-965-9400

R. A. Neill
Rolls-Royce (Canada) Ltd.
P.O. Box 1000 Montreal AMF
Montreal, Quebec
Canada H4Y 1B7
515-631-3541

Charles C. Norris
Alaskan Resource Sciences Corp.
6600 South Yace
Tulsa, OK 74136
918-496-5000

Dick Quan
Hawker Siddeley Canada Ltd.
7 King Street E.
Toronto, Ontario, Canada
416-362-2941

Ivan G. Rice
Consultant
P.O. Box 233
Spring, TX 77373
713-353-5040

C. D. Richards
Alberta Gas Trunk Line Co. Ltd.
P.O. Box 2535
Calgary, Alberta
Canada T2P 2N6
403-231-9105

Don R. Ritcey
Gas Turbine Engineering
Turbine & Generator Div.
Westinghouse Canada Ltd.
P.O. Box 510
Hamilton, Ontario
Canada L8N 3K2
416-528-8811

W. Stewart Roberts, President
W. S. Roberts Engineering Co., Inc.
1800 N. Meridan Street
Indianapolis, IN 46202
317-926-2821

Gordon N. Rogers
Canadian Ingersoll-Rand Co. Ltd.
255 Lesmill Road
Don Mills, Ontario M3B 2V1
416-445-4470

Heral Singleton
Tennessee Gas Pipeline Co.
P.O. Box 2511
Houston, TX 77001
713-757-2131

S. L. Soo
144 Mechanical Engrg. Bldg.
University of Illinois
Urbana, IL 61801
217-333-1176

R. B. Spector
General Electric Co.
Marine & Industrial Projects Dept.
Building 701
Mail Drop N-157
Cincinnati, Ohio 45215
513-243-2000

L. C. Sullivan
Trunkline Gas Co.
P.O. Box 1642
Houston, TX 75001
713-664-3401

Russell A. Wolf
Commonwealth Associates, Inc.
209 E. Washington Avenue
Jackson, MI 49201
517-788-3000

K. Frederick Wrenn, Jr.
Columbia Gas Transmission Corp.
P.O. Box 1273
Charleston, WV 25325
304-346-0951

Willard Young
Texas Eastern Transmission Corp.
P.O. Box 2521
Houston, TX 77001
713-651-0161

PROCESS INDUSTRIES COMMITTEE

John R. Patterson, Chairman
General Electric Company
1 River Road — Bldg. 500-278
Schenectady, NY 12345
518-385-3020
Home: 518-346-2037

Oscar G. Rodrigues, Vice-Chairman
Exxon Chemical Co., USA
P.O. Box 241
Baton Rouge, LA 70821
504-359-7336

A. W. Anderson
Arabian American Oil Co.
Technical Services Dept.
Dhahran, Saudi Arabia
Phone: DH-44342

R. C. Browne
(1-Allen Center)
Aramco Services Co.
1100 Milam
Houston, TX 77002
713-651-5731

Charles Bultzo
Exxon Co., USA
P.O. Box 3950
Baytown, TX 77520
713-427-5711, Ext. 2831

Joseph Citino
Westinghouse Electric Corp.
P.O. Box 9175
Philadelphia, PA 19113
215-595-2960

C. D. Clower
McDermott Hudson Engineering
P.O. Box 36100
Houston, TX 77036
713-782-4400

Louis Fougere
Fern Engineering Co., Inc.
536 MacArthur Blvd. — P.O. Box M
Bourne, Mass. 02532
617-563-7181

MEMBERSHIP DEVELOPMENT COMMITTEE

Charles P. Howard, Chairman
14631 Crossway Rd.
Rockville, Md. 20853
301-921-3311
Home: 301-871-8664

Dr. Leon Green, Jr.
General Atomic Company
Suite 709
2021 K St., N.W.
Washington, D.C. 20006
202-659-3140

Ralph J. Grutsch
Salar Turbines International
2200 Pacific Highway
P.O. Box 80966
San Diego, CA 92138
714-238-5525

William V. Hanzalek
Curtiss-Wright Corp.
One Rotary Drive
Wood-Ridge, NJ 07075
201-777-2900, Ext. 2546

Robert A. Harman
25 Schafren Drive
Latham, N.Y. 12110
518-785-8651

William B. Kendrick
Mobil Oil Corporation
Box 900
Dallas, Texas 75221
214-658-4031

Donald E. Monson
C-P Engineering
Travelers Insurance Companies
1 Tower Square
Hartford, CT 06115
203-277-5372

Percy A. Penley
Celanese Corporation
P.O. Box 1000
Summit, NJ 07901
201-273-6600

Robert B. Power
Union Carbide Corp.
P.O. Box 8361
South Charleston, W.Va. 25303
304-747-4510

Ivan G. Rice
P.O. Box 233
Spring, TX 77373
713-353-5040

W. E. Scruggs
Mobile Exploration &
Production Services, Inc.
P.O. Box 900
Dallas, TX 75221
214-658-4008

W. Stewart Roberts
W. S. Roberts Engineering Co., Inc.
1800 N. Meridian Street
Indianapolis, Ind. 46202
317-926-2821

R. E. Simpson, Jr.
Exxon Production Research Co.
P.O. Box 2189
Houston, TX 77001
713-965-4391

Lewis H. Sumlin
Dow Chemical USA
P.O. Drawer - K
Freeport, TX 77541
713-238-4167

Donald G. Wilson
Shaker Research Corp.
Northway 10 Executive Park
Ballston Lake, NY 12019
518-877-8581

William B. Wilson
General Electric Company
1 River Road — Bldg. 2-407
Schenectady, NY 12345
518-385-4490

STRUCTURES & DYNAMICS COMMITTEE

F. O. Carta, Chairman
United Technologies Res. Center
Silver Lane
East Hartford, CT 06108
203-565-4936

H. A. Nied, Vice Chairman
General Electric Co.
Gas Turbine Product Div.
Bldg. 53, Rm. 332
1 River Road
Schenectady, NY 12345
518-385-9646

E. E. Abell
ASD/ENFS
Wright-Patterson Air Force Base
Dayton, OH 45433
513-255-5412/3043

Hafiz Atassi
Dept. of Aerospace
and Mechanical Eng.
University of Notre Dame
Notre Dame, IN 46556
219-283-2125

Leonard Beitch
General Electric Co.
Mail Drop H-36
Cincinnati, OH 45212
513-243-3319

M. Botman
Pratt & Whitney Aircraft of Canada
P.O. Box 10
Longueuil Quebec,
Canada J4K 4X9
514-677-7892

T. A. Cruse
Eng. Bldg. 3S2
Pratt & Whitney Aircraft
East Hartford, CT 06108
203-565-2561

Sanford Fleeted
Detroit Diesel Allison Div.
General Motors Corp.
Indianapolis, IN
317-243-5743

Colin A. Foord
Advanced Research Lab.
Rolls-Royce Ltd.
P.O. Box 31
Derby DE3 3BE, UK

Ralph E. Grimm
ASD/SD29E
Wright-Patterson Air Force Base
Dayton, OH 45433
513-255-4083/3398

D. H. Hibner
Pratt & Whitney Aircraft Group
United Technologies Corp.
Commercial Products Division
400 Main Street
East Hartford, CT 06108
203-565-2238

M. Lalanne
Laboratoire de Mécanique des
Structures
Institut National des Sciences
Appliquées (INSA)
69621 Villeurbanne, France

Carl Meece
Pratt & Whitney Aircraft
West Palm Beach, FL
305-844-7311 X3401

Max Platzer
Code 67PL
Naval Postgraduate School
Monterey, CA 93940
408-646-2944

Jerry L. Price
Gen. Products Div.
Pratt & Whitney Aircraft
Box 2691
West Palm Beach, FL 33402
305-844-7311 X2851

N. F. Rieger, Gleason Professor
Rochester Institute of Technology
Dept. of Mechanical Engineering
One Lomb Memorial Drive
Rochester, NY 14623
716-464-2874

A. C. Royal
U.S. Army Air Mobility R&D Labs.
Fort Eustis, VA 23604
804-878-4301

S. C. Sanday
Code 6370
Naval Research Laboratory
Washington, D.C. 20375
202-767-2264/3433

R. J. Schaller
Air Products and Chemical, Inc.
Allentown, PA 18105
215-398-7291

Lynn E. Snyder
Supervisor, Dynamics Analysis
Detroit Diesel Allison,
Speed Code U29A
2001 S. Tibbs
Indianapolis, IN
317-243-4312

A. V. Srinivasan
Mail Stop 16
United Technology Research Center
Silver Lane
East Hartford, CT 06108
203-565-2116

H. Storgardter
Eng. Bldg. 2H
Pratt & Whitney Aircraft
East Hartford, CT 06108
203-565-7517

R. M. Steward
Rolls-Royce
P.O. Box 31
Derby, England

W. Troha, AFAPL
Wright-Patterson AFB
Dayton, OH 45433
513-255-2081

INTERESTED BYSTANDERS

R. A. Arnoldi
Eng. Bldg. 2H
Pratt & Whitney Aircraft
East Hartford, CT 06108

Dr. Christos Chamis
NASA-Lewis Research Center
Cleveland, OH

P. Cooper, Head
Design Concepts Section
NASA-Langley Research Center
Mail Stop 208
Hampton, VA 23665

R. W. Cornell
United Technologies Corp.
Hamilton Standard
Windsor Locks, CT

Dr. E. J. Gunter
Mechanical Engineering Dept.
University of Virginia
Charlottesville, VA 22901

L. C. McLaurin — AG05
Westinghouse Electric Corp.
Power Generation Div.
P.O. Box 9175
Philadelphia, PA 19113
215-595-4647

TECHNOLOGY RESOURCES COMMITTEE

Frank C. Lee, Chairman
Texas A&I University
P.O. Box 2641
Kingsville, TX 78363
512-595-2001

J. O. Wiggins, Vice-Chairman
Division Manager
Research Department
Technical Center, Building F
Caterpillar Tractor Co.
Peoria, IL 61602
309-578-6978

Dr. Ing. Erio Benvenuti
c/o Nuovo Pignone (Uff. STUD)
Via Matteucci, 2
50127 Firenze, Italy
(55)47921 X513

T. A. Blatt
Mechanical Technology Inc.
968 Albany-Shaker Road
Latham, New York 12110
518-785-2211

Dr. Meherwan P. Boyce
Director, Gas Turbine Laboratories
Dept. of Mechanical Engineering
Texas A&M University
College Station, TX 77843
713-845-7417

Dr. Frans Breugelmans
Von Karman Institute
72 Chaussee De Waterloo
B-1640 Rhode St. Genese
Belgium
02-358-19-01

David A. Hanawa
Exxon Production Research Company
P.O. Box 2189
Houston, TX 77001
713-622-4222

W. J. Hefner
Manager, Engineering Section
Medium Gas Turbine Department
General Electric Company
Schenectady, NY 12345
518-385-7580

Dr. G. E. Provenzale
Engineering Associate
Exxon Research & Engineering Co.
P.O. Box 101
Florham Park, NJ 07932
201-474-1647

Ivan G. Rice, Consultant
P.O. Box 233, Spring, TX 77373
713-353-5040

Y. N. Sharif
Head, Turbo Analysis
Dresser Clark Division
P.O. Box 560
Olean, New York 14760
716-372-2101

Samy Thirumalaisamy
Northern Research & Eng. Corp.
219 Vassar St.
Cambridge, MA 02139
617-491-2770

J. S. Yampolsky
Senior Technical Advisor
Advance Concepts Div.
General Atomic Company
P.O. Box 81608
San Diego, CA 92138
714-455-3645

TURBOMACHINERY COMMITTEE

W. G. Steltz, Chairman
Advisory Engineer
Westinghouse Electric Corp., N-207
Lester Branch P.O. Box 9175
215-595-4213
Philadelphia, PA 19113

Leroy H. Smith, Jr., Vice-Chairman
Mail Zone H43
General Electric Company
Cincinnati, OH 45215
513-243-4315

Eric E. Abell
ASD/ENJEA
Wright-Patterson AFB, OH 45433
513-255-2576/2415

I. Ariga
12-7 Nakaochiai 3-chome
Shinjuku-ku Tokyo 161
Japan

F. S. Bhinder
School of Engineering
The Hatfield Polytechnic
P.O. Box 109, Hatfield
Herts AL10 9AB, Great Britain

Wallace Bowley
Mechanical Engineering Dept.
Box U-139
University of Connecticut
Storrs, CT 06268
203-486-2090

Emanuel Boxer
Langley Research Center
NASA-Mail Stop 249B
Langley Station
Hampton, VA 23665
804-827-4576

M. P. Boyce
Mechanical Engineering Dept.
Texas A&M University
College Station, TX 77843
713-845-1251

F. Breugelmans
Turbomachinery Laboratory
von Karman Institute for
Fluid Dynamics
Chaussee de Waterloo, 72
1640 Rhode-St.-Genese
Belgium

Robert O. Bullock
AirResearch Manufacturing Co.
402 S. 36th St., P.O. Box 5217
Phoenix, AZ 85010
602-267-3535

Franklin O. Carta
Supervisor, Aeroelastics
United Technologies Rsch. Center
Silver Lane
East Hartford, CT 06108
203-565-4936

J. Chauvin
von Karman Institute for
Fluid Dynamics
Chaussee de Waterloo, 72
1640 Rhode-St.-Genese, Belgium

Gene T. Colwell
School of Mechanical Engineering
Georgia Institute of Technology
Atlanta, GA 30332
404-394-3246

J. Fabri
Office National D'etudes et de
Recherches Aerospatiales
29, Avenue de la Division Leclerc
92320 Chatillon, France

Roger F. Feuerstein, PE
Gas Turbine Developmen 500-249-A
General Electric Company
Schenectady, NY 12345
518-385-4586

Sanford Fleeter
Detroit Diesel Allison Div., G.M.C.
P.O. Box 894
Indianapolis, IN 46202
317-243-5743

Patrick F. Flynn
2020 Lafayette
Columbus, IN 47201
812-379-8200

Denis Frith
Mechanical Engineering Division
Aeronautical Research Lab
Box 4331, G.P.O. Melbourne
Vic. 3001, Australia
003-64-0251, Ext. 406

Allen E. Fuhs
Department of Aeronautics
(Code 57 Fu)
Naval Postgraduate School
Monterey, CA 93940
408-646-2586

Dr.-Ing. Heinz E. Gallus
Institut für Strahltriebwerke
und Turbinenmaschinen
der Techn. Hochschule Aachen
Templergraben 55
D-5100 Aachen, W. Germany
0241-42-5501

J. P. Gastelow
School of Mechanical Engineering
NSW Institute of Technology
Broadway
Sydney, Australia
02-20-930, Ext. 9701

E. M. Greitzer
37-381
Department of Aeronautics and
Astronautics
Massachusetts Institute of Technology
Cambridge, MA 02139
617-253-2128

G. Gyarmathy
Brown Boveri, and Co., Ltd. TX-2
Ch-5401 Baden, Switzerland

R. A. Harmon
Consultant
25 Schalren Drive
Latham, NY 12110
518-285-8651

M. J. Hartmann, Chief
Fan & Compressor Branch
NASA Mail Stop 5-9
21000 Brookpark Road
Cleveland, OH 44135
216-433-4000, Ext. 6650

Paul Hermann
Sunstrand Corp.
4751 Harrison Avenue
Rockford, IL 61101
805-226-6767

David Hoffman
Bldg. 11R
Trane Company
LaCrosse, WI 54601
608-788-0188

Ray Horn, Jr.
Williams Research Corp.
2280 West Maple Road
Walled Lake, MI 48088
313-624-5200, Ext. 277

D. Japikse
Creare, Inc.
Hanover, NH 03755
603-643-3800

Burgess H. Jennings
Prof. Mechanical Engineering
Northwestern University
Evanston, IL 60201
312-251-8604

Burton A. Jones
Manager, Advanced Technology
Pratt & Whitney Aircraft Group
Government Products Division
W. Palm Beach, FL 33402
305-844-7311, Ext. 3769

Merle L. Kaesser
Project Mgr., Alternate Engines
John Deere Product Engineering
Center
P.O. Box 270
Waterloo, IA 50704
319-235-4854

David P. Kenny
Chief, Compressor Research
Pratt & Whitney Aircraft of
Canada Limited
Box 10
Longueuil, Quebec J4K 4X9
514-677-9411, Ext. 567

Jerzy Krzyzanowski
Institute of Fluid Flow Machinery
of the Polish Academy of Sciences
80-952 Gdansk, Poland
ul. Gen. J. Fiszera

Mitsuru Kurosaka
Associate Professor, Aerospace
and Mechanical Engineering
The University of Tennessee
Space Institute
Tallahassee, TN 37388
615-455-0631

B. Lakshminarayana
The Pennsylvania State University
233 Hammond Building
University Park, PA 16802
814-863-0602

R. A. Langworthy
ATTN: DAVDL-EU-TAP
Applied Technology Laboratory
U.S. Army Rsch. & Technology Labs
(AVRADCOM)
Fort Eustis, VA 23604
804-878-2400/2771

C. Herbert Law
AFAPL/TBX
Air Force Aeropropulsion Laboratory
Wright-Patterson AFB, OH 45433
513-255-4738

A. A. Mikolajczak
Manager, Aerodynamic, Thermo-
dynamic and Control Systems
Pratt & Whitney Aircraft Group
400 Main Street, Adm. 1N
East Hartford, CT 06108
203-565-4174

Max J. Miller
Research Department - 11R
The Trane Company
LaCrosse, WI 54601
608-782-8000, Ext. 2520

Erik Nilsson
Institutionen för
Strömningsteknik
Chalmers Tekniska Högskola
Fack, 402 20 Göteborg 5, Sweden

Richard A. Novak
General Electric Company
100 Western Ave., Mail Stop 24048
Lynn, MA 01910
617-594-3370

Theodore H. Okiishi
Dept. of Mechanical Engineering
Iowa State University
Ames, IA 50010
515-294-2022

R. Raj, M.E. Dept.
CCNY, 138th Street
New York, NY 10031
212-690-6707

Dale Rauch
AVCO Lycoming Division
550 So. Main Street
Stratford, CT 06497
203-378-8211, Ext. 869

William B. Roberts
Aerospace Laboratory
University of Notre Dame
P.O. Box 537
Notre Dame, IN 46556
219-283-8750

Colin Rodgers
Solar Turbines International
2200 Pacific Highway
P.O. Box 80966
San Diego, CA 92138
714-238-5721

Marvin Schmidt
Technical Area Manager —
Compressors
AFAPL/TBC, Wright-Patterson AFB,
OH 45433
513-255-2121

George Seely
Technical Area Manager —
Simulation Techniques
Aerospace Engineering
AFAPL/TBA, Bldg. 18D - Area B
Wright-Patterson AFB, OH 45433
513-255-4830/2367

Y. Senoo
Research Institute of
Industrial Science
Kyushu University
Hakozaki, Fukuoka 812
Japan
092-641-1101, Ext. 3881

George K. Serovy
Dept. of Mechanical Engineering
Iowa State University
Ames, IA 50010
515-294-2023

Paul Shahady
AFAPL/TBC, Wright-Patterson AFB,
OH 45433
513-255-3904

D. G. Shepherd
Mechanical and Aero Engineering
Upson Hall
Cornell University
Ithaca, NY 14853
607-256-5068

F. Sisto
Mechanical Engineering Dept.
Stevens Institute of Technology
Hoboken, NJ 07030
201-792-2700, Ext. 250

Gerald D. Skellenger
Power Systems Dept.
General Motors Rsch. Labs
Warren, MI 48090
313-575-3144

H. Starken
Institut für Luftstrahltriebwerke
Deutsch Forschungs-und
Versuchsanstalt für Luft-und
Raumfahrt E.V.
505 Porz-Wahn
LinderHohe, W. Germany

Harold D. Stetson
Senior Design Product Engineer
Pratt & Whitney Aircraft Group
Government Products Division
W. Palm Beach, FL 33403
305-844-7311, Ext. 316

A. W. Stubner
Engineering 1F1
Pratt & Whitney Aircraft Group
400 Main Street
East Hartford, CT 06108
203-565-7578

John R. Switzer
AiResearch Manufacturing Co.
402 So. 36th St., P.O. Box 5217
Phoenix, AZ 85010
602-267-3819

Widen Tabakoff
Department of Aerospace Engineering
and Applied Mechanics
University of Cincinnati
Cincinnati, OH 45221
513-475-2849

H. Tanaka
Institute of Space and
Aeronautical Science
University of Tokyo
6-1, Komaba 4-chome, Meguro-ku
Tokyo 153, Japan
03-467-1111

W. A. Troha
Air Force Aeropropulsion Lab
Wright-Patterson AFB, OH 45433
513-255-2744

H. Tubbs
T66 Turbine Research
Rolls-Royce Limited
Moor Lane
Derby DE2 8BJ
England

Harold G. Weber
3121 Taylor Road
Columbus, IN 47201
812-379-5470

H. Weyer
Institut für Luftstrahltriebwerke
Deutsche Forschungs-und
Versuchsanstalt für Luft-und
Raumfahrt E.V.
5 Cologne 90, Post Office 906058
W. Germany
02-203-(Porz) 601-2244

J. O. Wiggins, Staff Engineer
Gas Turbine Division (TC-F)
Caterpillar Tractor Company
Peoria, IL 61606
309-578-6978

VEHICULAR COMMITTEE

Thomas M. Sebestyen, Chairman
1720 Glastonbury
Ann Arbor, Mi. 48103
313-662-2854

Roy Kamo, Vice-Chairman
Director, Advanced Engines
& Systems
Cummins Engine Company, Inc.
Columbus, Indiana 47201

Albert H. Bell
Exec. Engineer
Advanced Products Engineering
General Motors Corporation
General Motors Technical Center
Warren, MI 48090

Steven Berenyl
Teledyne Continental Motors
76 Getty St.
Muskegon, MI 49440

Louis S. Billman
Marketing Dept.
United Technologies Corp.
General Products Division
P.O. Box 2691
West Palm Beach, Fla. 33402

William I. Chapman
Williams Research Corporation
2280 West Maple Rd.
Walled Lake, MI 48088

D. W. Dawson
AiResearch Manufacturing Company
Div. of Garrett Corporation
406 South 36th Street
Phoenix, Arizona 85034

H. C. Eatock, Past Chairman
Chief Aerodynamics Engineer
Pratt & Whitney Aircraft of
Canada Ltd.
P.O. Box 10
Longueuil, Quebec J4K 4X9
Canada

G. C. Erdman
Vice-President
Fabrallloy Division
Stolper Industries, Inc.
W160 N9338 Industrial Avenue
Menomonee Falls, Wis. 53051

Robert Harmon
25 Schalen Drive
Latham, New York 12110

Merle L. Kaesser
Waterloo Engine Division,
John Deere
Waterloo, Iowa 50704

Keijiro Kinoshita
Manager, New Power Source
Research Dept.
Nissan Motor Co. Ltd.
Central Engineering Laboratories
1, Natsushima-cho
Koyasuka City
Kanagawa-Pref., 237, Japan

Sven-Olof Kronogard,
Managing Director
United Turbine AB
N. Grangesbergsgatan 18
S-21450 Malma, Sweden

John G. Lanning, Manager
Advanced Engine Components Dept.
Erwin Automotive Plant
Corning Glass Works
Corning, New York 14830

Paul E. Machala
Senior Project Engineer
U.S. Army Tank-Automotive
Command
AMSTA-GR Propulsion Systems Lab.
Warren, MI 48090

L. B. Mann
Sr. Research Staff Engineer
Gas Turbine Engrg.
& Research Office
Chrysler Corporation
P.O. Box 1118
Detroit, MI 48231

William F. McGovern
U.S. Army MERDC
AMXFB-EM
Fort Belvoir, Virginia 22060

Arthur F. McLean, Mgr.
Turbine Development
Engineering & Research Staff
Ford Motor Company
20000 Rotunda Drive
Dearborn, MI 48121

Bob A. Mercure
Energy Dept.
Trans. Energy Conservation Div.
Heat Engines Branch
20 Massachusetts Ave. N.W.
Washington, D.C. 20545

Charles R. Miller
Research Department
Caterpillar Tractor Co.
100 N.E. Adams St.
Peoria, Illinois 61602

R. E. Morris
Pratt & Whitney Aircraft of
Canada Ltd.
P.O. Box 10
Longueuil, Quebec J4K 4X9
Canada

Daniel N. Nigro
Detroit Diesel Allison Division
General Motors Corporation
Plant #8 — T14
P.O. Box 894
Indianapolis, Ind. 46206

W. L. O'Neill
From Corporation
East Providence, R.I. 02916

Hiroshi Osawa
Toyota Motors Company
Hibiya-Mitsui Building
1-12-1 Yaraku-cho, Chiyoda
Tokyo 100, Japan

R. N. Penny
Noel Penny Turbines Ltd.
Siskin Drive, Toll Bar End
Coventry CV3 4FE
England

Elias H. Razinsky
Senior Research Engineer
Research Laboratories
General Motors Corp.
General Motors Technical Center
Warren, MI 48090

Gerald D. Skellenger
Power Systems Dept.
General Motors Research
Laboratories
12 Mile & Mound Roads
Warren, MI 48090

Kenneth A. Teumer
Manager Sales and Service
Engine and Turbine Controls Div.
Woodward Governor Company
1000 East Drake Road
Fort Collins, Colorado 80521

Eberhard Teifenbacher
Daimler-Benz Aktiengesellschaft
7 Stuttgart 60 (Unterturkheim)
Mercedesstrasse, Germany

Bruce Wadman, Editorial Director
Diesel and Gas Turbine Progress
P.O. Box 26308
Milwaukee, Wis. 53226

Professor Ichiro Watanabe
Dept. of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering
Kanto Gakkin University
4834 Mutsuuro-cho Kanazaka-Ku
Yokohama City 236, Japan

Professor Robert L. Whitlaw
Virginia Polytechnic Institute
Dept. of Mechanical Engineering
Blacksburg, Virginia 24061

Homer J. Wood
H. J. Wood and Associates
14285 Valley Vista Blvd., Box 5710
Sherman Oaks, California 91413

Dale E. Woomert
Mobility, Project Area
Combat Support Division
Army Material Systems Analysis
Agency
Aberdeen Proving Ground
Maryland 21105

IF YOU WANT
TO BE ON ONE
OF THESE
COMMITTEES
PLEASE
CONTACT
THE
CHAIRMAN

GAS TURBINE RESEARCH CURRENT IN THE AERONAUTICAL RESEARCH LABORATORIES, MELBOURNE, AUSTRALIA

T. S. Keeble*

The Australian Defence Department's Aeronautical Research Laboratories are situated at Fishermans Bend, Melbourne, between the Commonwealth Aircraft Corporation which manufactures gas turbines and the General Motors factory, which produces automotive engines for Australian cars and trucks.

Research in the Aeronautical Laboratories is in direct support of the Services but there are links between the Laboratories and Industry because of the special expertise and facilities which exist in the Laboratories.

The laboratory has five Research Divisions, an Engineering Facilities Division and an Administrative Division. Propulsion system research is the responsibility of the Mechanical Engineering Division.

Engine Health Monitoring has been studied by measuring the appropriate parameters in the gas path of a Viper gas turbine in the Macchi Trainer over a full life period (1200 hours). The results of this exercise were a little disappointing in that the performance did not deteriorate at all in this time; in fact, there was no ostensible reason for removing the gas turbine for overhaul. Had it been in a motor car it would never have been touched.

Oil analysis by mass spectrometer has been established as an NDI technique in the Services but it does not seem to afford as much information on impending failure as do the presence of larger metal particles in filters and magnetic plugs.

Typical gears and bearings are being tested in special rigs in an attempt to define the mode of failure and to discover signs of impending failure and to determine the rate at which deterioration to ultimate failure occurs.

The life to failure and mode of failure of the materials used in the turbines of TF30, Allison 250 and Atar turbines is being investigated in a rig running at temperatures of 1200°C and above to simulate the most arduous conditions found in actual service. Creep rates and metal temperatures are measured over periods totalling up to 200 hours. Considerable variability has been discovered between blades particularly in regard to creep.

Measurements of the rates of heat flow into and out of the cabin of a fighter aircraft has yielded results which are currently being applied to improving the crew comfort in the Australian Navy's Sea King helicopters. Present proposals are to use vapour-comparison (Harrison) type refrigerating units because of the lower power requirement.

Computerised gas turbine engine cycle analysis and performance estimation is being applied to the determination of survival of an engine which has sustained damage. This will enable rational decisions to be made in flight on, for instance, whether it is necessary or desirable to shut down a damaged gas turbine engine.

Australia is a "lucky country" especially insofar as fuel resources in general are concerned. However there is a problem looming in the late 1980's which concerns supplies of liquid hydrocarbon fuel. Studies are now in hand to determine the best methods of satisfying the need for surface transport fuel, possibly by additives or alternatives and at the same time preserving the supply of hydrocarbon fuel for aviation and for defence.

Combustion expertise in the Division is being used by the Royal Australian Navy in their conversion of ships combustion equipment from heavy oil to diesel. The Broken Hill Propriety Co. Ltd., is constructing another gas turbine powered ship with an LM2500 turbine and efforts are being made to ensure that hot gas from the turbine is evenly distributed over the face of the regenerator to obviate sooting, and hot spots and to ensure maximum available regenerator effectiveness and hence fuel economy.

It is pleasing to record that work done using radioactivity methods on excessive wear in the nozzle control pump of the TF30 turbine in the FIIC have proved extremely successful in locating the cause and that vibration signature techniques developed at ARL are now applied routinely to several components in Service with the R.A.A.F.

There is currently no opportunity for design initiatives on gas turbine design and development in Australian defence in Australia although a clear opportunity exists for a single shaft gas turbine in the 100-200 H.P. class for both light aircraft and trucks and whose gas generator component could be used for Remotely Piloted Vehicle propulsion or as an industrial compressor.

*He said "communications between Australia and America went astray on this 1978 Annual Report and greatly delayed."

GAS TURBINE DIVISION AT WINTER ANNUAL MEETING SAN FRANCISCO

PROGRAM — 7 SESSIONS

DECEMBER 13 — WEDNESDAY, P.M.

1. Gas Turbine Heat Transfer
2. General Topics in Turbomachinery

DECEMBER 14 — THURSDAY, A.M.

3. General Flow Problems in Turbomachinery
4. Designing with Structural Ceramics

THURSDAY, P.M.

5. Abradable Gas Path Seal Systems for Turbine Engines

DECEMBER 15 — FRIDAY A.M.

6. Mission Related Structural Considerations
7. Panel — Local Emission Regulations

For the sessions the Sponsoring Committee and Session Organizers are — 1 - Heat Transfer Co-sponsored with the Heat Transfer Division - Vern Ericksen — 2 - Turbomachinery Co-sponsored with the Corrosion & Deposit Division - Bud Langworthy — 3 - Turbomachinery - Bill Steltz — 4 - Ceramics - Steve Wander — 5 - Manufacturing Technology - Larry Shimbob — 6 - Structures Dynamics - Ralph Grimm — 7 - Combustion & Fuels - Jack Vaught.

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

"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

1979 ISRAEL JOINT
GAS TURBINE CONGRESS

By BERNARD L. KOFF
ASME-GTD Program Chairman

The 1979 Israel Joint Gas Turbine Congress (and exhibition) will be held on July 9-11 at Technion City in Haifa, Israel. The congress is cosponsored by the Technion-Israel Institute of Technology and the ASME Gas Turbine Division (GTD), who are jointly programming the technical sessions. It will also be held concurrently with the Thirteenth Israel Conference on Mechanical Engineering on July 10-11.

The program will feature two sets of papers, one by the Gas Turbine Division which will be reviewed and published as ASME papers—in accordance with ASME procedures, and the other will require processing by the Technion-Israel Institute of Technology for possible publication in the Israel Journal of Technology. Technical papers submitted through ASME should be initiated with the standard ASME Green Sheet Form and forwarded to the GTD Program Chairman, Bernard L. Koff.

ASME-GTD Program Chairman
1979 Israel Joint Gas Turbine Congress
Bernard L. Koff, Chief Engineer
Aircraft Engine Group, General Electric Co.
Cincinnati, Ohio 45215
Phone: 513-243-2244

The important submittal deadlines for authors are:

- Abstract/Green Sheet—July 15, 1978
- Manuscripts for Review and Approval—November 1, 1978
- Manuscripts—Complete/Ready to print—March 1, 1979

All inquiries pertaining to processing of papers through the Technion-Israel Institute of Technology should be submitted to:

Organizer—
1979 Israel Joint Gas Turbine Congress
Professor B. Gal-Or
Aeronautical Engineering Dept.
Technion-Israel Institute of Technology
Technion City, Haifa #3200, Israel
Phone: Office 04-230-7111, Res. 04-235-204

Suggested subject areas for technical papers include theoretical and experimental investigations and reports on the various aspects of applications pertaining either to open, combined or closed gas turbine cycles such as:

- Fluid dynamics, thermodynamics, combustion and heat transfer
- Materials: casting, forging, coating, corrosion, creep, fatigue, etc.
- Advances in inlets, fans, compressors, combustors, turbines, afterburners, nozzles and accessories
- Future technologies and new concepts
- Air, land and marine applications of gas turbines
- Engine operation of helicopters and (turbo) tanks in dusty, desert environments; (erosion, cooling blockage, failures, dust separators, etc.)
- Control, instrumentation, design, performance and safety
- Fuels, propellants, energy conservation and pollution
- Engine operation in remote piloted vehicles (fundamentals, design, production, performance, control, classification, uses, etc.)
- Maintenance, test facilities, inspection and services
- Production, marketing and economics
- Education in the fields of propulsion, turbo and jet engines

REPLY FORM TO PROF. B. GAL-OR OR BERNARD L. KOFF

(Please check):

- I am planning to submit a paper. A possible title for my lecture is:
- I am planning to participate without presenting a paper.
- I may be accompanied by
- and may, therefore, require hotel reservations in Haifa for individuals for days. Please do/don't make reservations (see below).
- To help cover my travel expenses I may need to receive a personal letter of invitation.
- My company may wish to include a display of
- Our display representative is: Charge for Normal display: \$500.00
- Participation Fee: \$65.00
- Payment Enclosed
- Payment will be made at the Conference

Name (please print) Title:

Address

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

And We Would Like To Have You Join Us

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 Newsletter 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.

"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.

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.

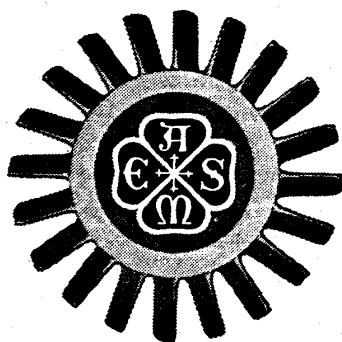
Name

Title Company

Company Address

City State Zip Code

Company Phone Extension Country



24th ANNUAL GAS TURBINE INTERNATIONAL CONFERENCE

THE FLOOR PLAN OF THE EXHIBIT HALL IS FOR ALL TO LOOK AT.

IT SHOWS WHERE EVERYONE WILL REGISTER —
WHERE PAPERS CAN BE OBTAINED.

3 BARS & REFRESHMENTS ARE THERE
AND THE MANY EXHIBITORS.

EXHIBIT SCHEDULE

Friday, March 9
8:00 AM = Exhibit Installation Begins

Monday, March 12
9:00 AM - 5:30 PM = Exhibits Open

Tuesday, March 13
9:00 AM - 5:30 PM = Exhibits Open

Wednesday, March 14
9:00 AM - 5:30 PM = Exhibits Open

Thursday, March 15
9:00 AM - 12:00 Noon = Exhibits Open
1:00 PM = Exhibit Move-out begins

Saturday, March 17
ALL EXHIBITS TO BE REMOVED BY 4:00 PM

TECHNICAL PROGRAM

A stimulating, informative technical program is planned. Tentative scheduling includes technical sessions, panel discussions, training courses and workshops on:

Air Pollution	Automobiles
Energy Crisis	Electrical Power Generation
Processes	Marine
Fuels	Pipeline
Combustion	Open and Closed Cycles
Total Energy	Refineries
Aircraft	Turbomachinery
Codes and Standards	Nuclear
Maintenance	Railway and High
Operating Experiences	Speed Tracked Vehicles
Controls	Manufacturing

EXHIBIT HALL EVENTS

Registration of All Delegates Near Exhibit Area

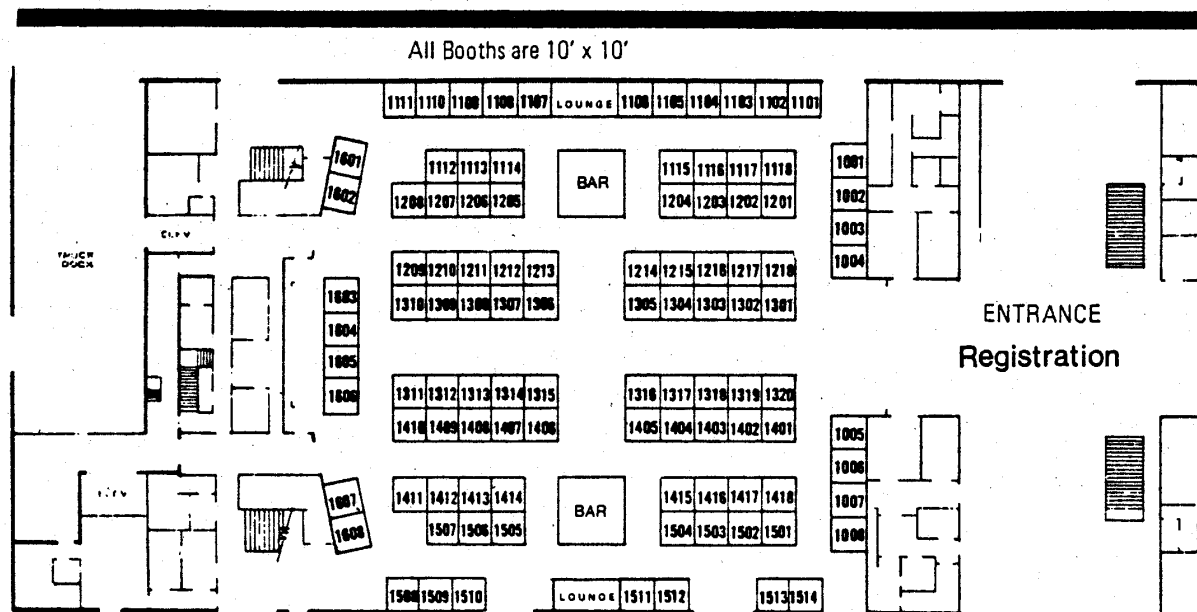
Refreshment Areas Within the Exhibit Area

Convenient Access to all Session Rooms
From the Exhibit Area

Gala Reception Within the Exhibit Area

EXHIBIT CHARGES

Each booth unit is 10 feet by 10 feet (3.05 meters by 3.05 meters). The cost for each booth unit is \$850.00 US.



FOR EXHIBIT SPACE CONTACT:

Robert Whitener
Exhibit Director
Gas Turbine Conference
P.O. Box 17413
Dulles International
Airport
Washington, DC 20041

or Call:
(703) 471-5761

or Telex:
899133 WHITEXPO

The Solar Division
Will Join Us At Our
Gas Turbine Conference
In San Diego
March 11-15, 1979

Hope To See You There

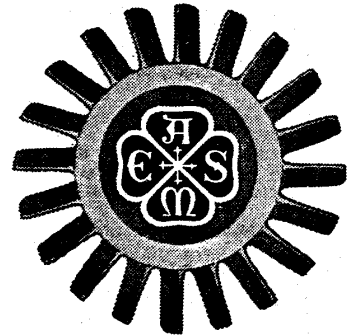


EXHIBIT SERVICES

The following services are provided to each exhibiting firm as part of their exhibit space purchased cost:

- Standard Backwall and Side Drape
- Standard two-line Booth Sign
- Exhibitor Service Kit
- General Security Guard Service
- Exhibitor Listing in Exhibit Directory
- Pre-show List of Advance Registrants as of January 15, 1979
- Complimentary Supply of Exhibitor Guest Invitations

- Pre-Conference and Post Conference Listings in Gas Turbine Division Publications
- Complimentary Advance Copy of Technical Program
- Complimentary Copy of Post-Show Coded Registration List
- Specified Quantity of Complimentary Exhibitor Personnel Registrations (See Exhibit Charges)

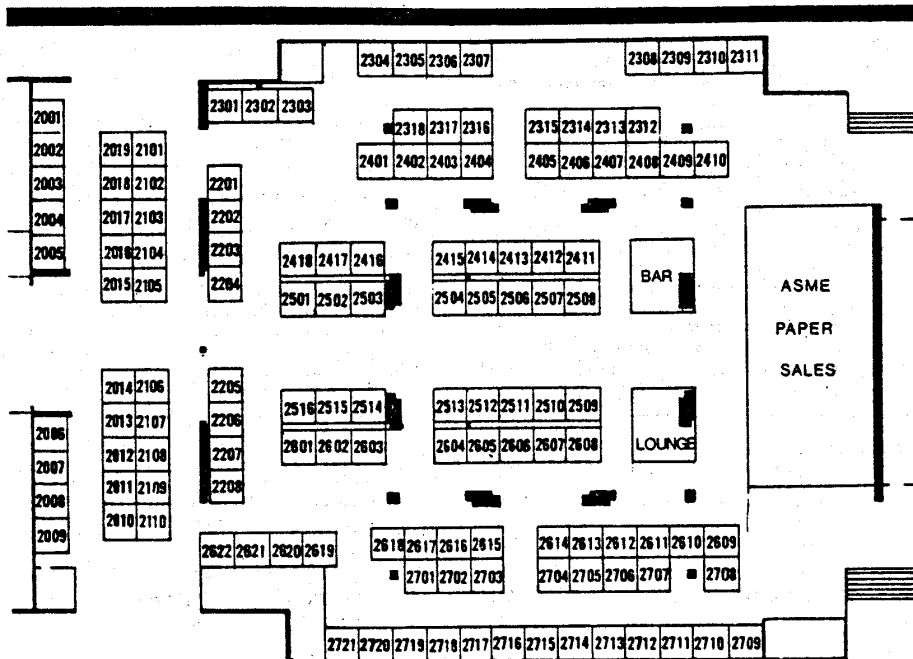
EXHIBITOR PERSONNEL REGISTRATION FORMULA:

3 Complimentary Exhibitor Personnel Registrations for the first 10 feet by 10 feet booth unit purchased.

1 Additional complimentary Exhibitor Personnel Registration for each additional 10 feet by 10 feet booth unit purchased.

Any additional Exhibitor Personnel over and above this formula that wishes to attend the technical sessions must be fully registered for the conference at the prevailing Conference Registration Cost.

***Note: The complimentary Exhibitor Personnel Registration includes only access to Exhibit Hall and the Gala Reception. Technical Sessions and other food functions are not included. Full Conference Registration includes all Technical Sessions and the All-Conference Luncheon in addition to access to exhibit hall and the Gala Reception.**



**PAPER SALES ARE
IN EXHIBIT AREA**

**BE PREPARED!! — MATS FOR
PHOTO-OFFSET PRINTING OF
ASME PREPRINT PAPERS**

ASME is adopting a new layout for preprint papers for cost-saving, increased convenience, and accuracy. This mat layout will be "encouraged" for the '78 WAM and '79 GT Conference, but will be "required" for the '79 WAM. Details are available from Session Organizers, or Program Chairmen ('78 WAM, R. Marshall, and '79 GT Conference, Clare Eatock):

- H. Clare Eatock
Pratt & Whitney Aircraft of Canada, Ltd.
P.O. Box 10, Longueuil
Quebec, Canada J4K 4X9
514-677-9411
- Richard L. Marshall
Manager Development Programs
Product Integrity Dept. (EB-1K)
Pratt & Whitney Aircraft
East Hartford, CT 06108
203-565-3649

— EXHIBITORS —
1979 SAN DIEGO
PRODUCTS SHOW

AAR Technical Service Center
AE Turbine Components Ltd.
American Cystoscope Makers, Inc.
The American Society of Mechanical Engineers
Associated Engineering Group
Baird-Atomic, Inc.
Bescon Division of the Plenty Group
The British Electrical & Allied Manufacturers' Association Ltd. (BEAMA)
BBC Brown Boveri & Co. Ltd.
Ceag Filter Co.
Cooper Energy Services
Curtiss-Wright Corporation
DeLaval Separator Co.
Deritend Vacuum Castings Ltd.
Diesel & Gas Turbine Progress
Donaldson Co.
Doncasters Blaenavon Limited
Doncasters Monk Bridge Ltd.
Daniel Doncaster and Sons Ltd.
Energy International
Environmental Elements Corporation
ETSCO Ltd.
Farr Filtration
Firth Brown Limited
The Firth Derihon Stamping Ltd.
The Garrett Corporation
Gas Turbine Corp.
Gas Turbine World
General Electric Company
Gilbert Gilkes & Gordon Ltd.
The Glacier Metal Co. Ltd.
Gloster Saro Limited
Harrison Radiator Div./General Motors Corporation
Hawker Siddeley Dynamics Engineering Ltd.
Hawker Siddeley Group Limited
Iscar Blades Ltd.
Johnson and Firth Brown Limited
Kulite Semiconductor Products, Inc.
Lucas Aerospace Limited
Mal Tool & Engineering
Metrix Instrument Company
Noel Penny Turbines Ltd.
Olympus Corporation
Petrolite Corporation
Projects, Inc.
River Don Stampings Limited
Rolls-Royce Limited
Rolls-Royce Motors
SermeTel Incorporated
Simmonds Precision Products Inc.
Solar Turbines International,
An International Harvester Group
SSS Gears Limited
Stal-Laval Turbin AV
Turbomachinery Publications, Inc.
Ultra Electronics Limited

1979 INTERNATIONAL GAS TURBINE CONFERENCE and *invites your firm* PRODUCTS SHOW *to participate in* SAN DIEGO, CALIFORNIA MARCH 11-15, 1979

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

U.S. Department of Energy
United Technologies Corporation
Utica Division/Kelsey-Hayes Co.
Vibro-Meter Ltd.
Westinghouse Electric Corp.
Woodward Governor Company

1979 GAS TURBINE CONFERENCE CALL FOR PAPERS FOR

The 1979 Gas Turbine Conference and Products Show will be held on March 11-15 at the Convention Center, San Diego, California. The Conference theme is:

Turbine Opportunities — Energy, Environment

- Improving component efficiency—increased operating temperature and pressure.
- New or improved cycles and applications.
- Emissions and noise factors.
- Maturing technology—high reliability with low life-cycle cost.
- Key power for energy supply.

The theme is obviously very broad and papers are invited concerning essentially all aspects of gas turbine technology. Authors should submit abstracts and/or green sheets directly to the appropriate technical committees or to the Program Chairman, H. Clare Eatock, Chief Aerodynamics Engineer, Pratt & Whitney Aircraft of Canada Ltd., P.O. Box 10, Longueuil, Quebec, Canada, J4K 4X9; tel. 514-677-9411, ext. 7676; Telex No. 05-267509. Green sheets/abstracts are requested by 15 June 1978, which is passed. Manuscripts for review are due 1 September 1978.

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 San Diego.

AWARDS

SIR FRANK WHITTLE could not be in London to receive his award so the award will be presented at another occasion. SIR FRANK WHITTLE was to receive the R. Tom Sawyer Award. A future Newsletter will tell about the presentation of this award.

TOM STOTT AWARDED FELLOW MEMBER

The American Society of Mechanical Engineers has announced that Thomas E. Stott, Jr. has been made a Fellow of that Society.

The Award, presented in absentia at the Gas Turbine Conference in London, was based on Mr. Stott's activities related to marine engineering and in particular gas turbine propulsion of naval ships. In the mid-1950's, he was associated with a relatively small group of engineers attempting to utilize U.S. Naval aircraft jet engines for propulsion of major combatant surface ships. From this embryonic U.S. Navy work known as "COSAG," the ideas and developments have progressed to the point today, most naval destroyer-type ships of all nations in the world use or will use this type of propulsion.

A graduate of Tufts University, Mr. Stott is the president of the U.S. subsidiary of the STAL-LAVAL Turbine Company and is a registered professional engineer. He has been very active in international standards and Society work having served within ASME — Chairman and Executive Secretary, Gas Turbine Division; Chairman, National Nominating Committee; and a member of the ASME Council Committee on Planning and Organization; ISO — Chairman, U.S. National Committee—ISO TC70 SC6; and a member of the U.S. Technical Advisory Group — ISO TC70 (Internal Combustion Engines).

PAY YOUR OWN WAY OVER AND BACK TO ISRAEL AND/OR AUSTRALIA

We knew a man whose boss told him that they had a short job to be done in Australia. He asked the man if he wanted to go and the reply was in the affirmative. As an afterthought, the boss told him he would have to pay his own way but that was fine with the man and off he went!

Recent Exhibits in U.S. and Overseas

	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978
Location	San Francisco	Washington	Zurich	Houston	New Orleans	Philadelphia	London
Number of Exhibitors	111	121	106	122	100	102	107
Number of Booths	267	277	260	259	230	224	249
Attendance	2210	2556	3210	2836	2800	2782	3668
Number of Companies Represented	674(93)a	663(94)a	714	802(124)a	774(170)a	640(140)a	1067
Number of Countries Represented	17	21	43	24	22	29	46

a — 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筆を依頼するもので、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400字詰のものを使用する。
5. 学会誌は刷上り1頁約1800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幹事会で決定する。
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。

日 本 ガ ス タ ー ビ ン 学 会 誌

第 6 巻 第 22 号

昭 和 53 年 9 月

編 集 者 一 色 尚 次

発 行 者 浦 田 星

(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

