



## 日本と私

R. Tom Sawyer

私が日本と初めて関係を持ったのは、義姉の Iris を通してであった。彼女の祖父母は會って長年日本に住んでいた事があり、日本の人達は皆魅力的で良い人達ばかりだと良く言っていたものである。1929年に兄の Edward と Iris はパリで結婚し、その際 Iris と彼女の母は最初に日本にきて数週間をすごし、それからインドなどを經由してパリに向かった。一方、私はそのころオーストラリアの G E に勤めていたが、何とか、式に間に合うようにパリに到着することができた。そして Iris たちは、日本での滞在が何と楽しかったかを繰り返して聞かせたものである。

何年も後になって、佐藤氏（現理事）がフィラデルフィアの大学に留学している時に知り合って、私の自宅で週末をすごしたことがあったが、それが日本と本格的につきあい始めるきっかけに成った。そのつぎに彼と会ったのは、1969年に日本でであった。そのとき、私はオーストラリアのシドニーで極めて小規模のガスタービン会議を開催し、そのあと Jack Sawyer 夫妻と私の家内と一緒に訪日した。それは我々にとって初めての訪日であったので、2週間程方々を旅行した。その間何人もの人達とお会いする機会があったが、特に或る会議で50人ぐらゐの出席者と同席し、皆英語で意志を通じあえるのを知って驚いた記憶がある。

私がガスタービンに興味を抱いたのは、オハイオ州コロンブスで高校生だった1919年の頃、近所にいた Julius Stone 氏という人が「ガスタービンこそが将来の動力源の本命である」と常々言っていたことが始まりであった。彼は若いときにヨーロッパからきた人で、当時65歳ぐらゐであったが、私は彼を尊敬していたので彼の言うことは何でも信じた。1947年の彼が93歳になったとき、私は A S M E のガスタービン部門を創設することを依頼された。初めはなかなかうまくいかず、大変な時期を経験したが、今では8,000人の会員を擁する大世帯になった。

1969年に訪日したとき、ガスタービンへの興味が大変高いことを感じたので1971年に東京でガスタービン会議を開催することにした。その際多くの方々の御援助を得たが、特に前出の佐藤氏、慶応大学の渡部一郎教授及び三菱の岡村健二博士には大変御世話になった。そのほかにも御協力を頂いた方々として記憶している所では、東大の水町教授、慶大の有賀教授、同じく佐藤教授、同じく小茂島教授、東工大の一色教授、東芝の井口氏、三井の入江氏、日立の浦田氏及び久保田氏、船研の三輪氏、トヨタの中村氏及び大沢氏、日産の木下氏、小松の鶴見氏、石播の井上氏、川重の片山氏、三菱の阿部氏等々の人達である。

これらの熱心な協力の御陰で、「東京ガスタービン会議及び展示会」は日本機械学会及び A S M E との共催の下に1971年10月4日から7日まで科学技術館において行われ、41篇の論文が提出されて、初めての試みとしては大成功であった。日本の熱心な展示出品会社たちの御陰で財政的にも問題なく、特に何よりも、日本の会議参加者がガスタービンに対して示した熱意が最も大きな収穫と言えよう。

このことがあってから約2年後に、日本の多数のガスタービン技術者及び研究者が集まって日本ガスタービン学会が創設され、次いで彼等自身の最初のガスタービン会議を1977年5月22日から27日に東京で開催した。A S M E は、このときは会員に論文の提出と会議への参加をよびかけただけで、特にそれ以上の事をする必要は何も無かった。このときは70篇の論文が集まり、そのうち46は日本から、それ以外の24のうち13はアメリカから、ドイツ及びイギリスから各2篇ずつ、そのほかの7ヶ国から各1篇ずつであった。

日本ガスタービン学会は、更に2回目の国際会議を1983年の10月に東京で開催した。私は10月21日にニューヨークを発ってノンストップ便で東京に22日に到着し、翌日曜日は友人とすごしてか

らレセプションに参加した。月曜日からオープンした会議には、勿論セッションにも出席したが、展示会やバンケットも素晴らしく、楽しくまた有意義な日々をすごした。その間、トヨタも訪問させて頂き、ガスタービンと電池のハイブリッド式自動車に試乗させていただく機会を得た。会議終了後、土曜日にツアーに参加し、東京電力の100 MWガスタービンを見学し、更にその翌日には東北電力のコンバインドサイクル発電プラントも見ることができた。

この1983年の会議は最大規模のものであり、かつ最高の成功を収めた。次回は1987年に開かれると聞いているが恐らく更に規模の大きなものになると期待している。その際、私が特に希望しているのは日本の自動車メーカーからガスタービン自動車の発表があることである。そしてそれは、今迄の様に単に発表だけではなく、実際に実生産と販売を伴うものであってほしいと強く願っている。



## 日本学術会議会員に選ばれて

石川島播磨重工業㈱ 今井 兼一郎

### はじめに

本年7月22日に内閣総理大臣の会員任命によって、日本学術会議は第13期（任期3年）の活動に入りました。今期から会員選挙方法が変わって、従来は本人が立候補し、（学術会議に研究、科学者として登録済みの）有権者による選挙であったが、今回は日本学術会議に登録してある学・協会から推薦の候補者を、推薦人（学・協会推薦）が部門別に推薦内定し、最終的に内閣が任命しました。

私、この度皆様の御推挙によって図らずも日本学術会議会員に選ばれました。このようなまことに得難い機会を与えられましたことを、深く感謝し光栄に存じおります。

なお、会員総数は210名、企業からは3名（機械、情報、材料）、第5部（工学）33名で、当学会にも関係の深い佐藤豪先生もおられます。

### 日本学術会議

1948年に法律を以て総理府に設置され、我国科学者の内外に対する代表機関として、科学の向上発展を図り、行政、産業および国民生活に科学を反映浸透させることを目的として、内閣総理大臣直轄下にある。関係深い機関として、総理府に科学技術庁が主務庁である科学技術会議、および文部省の管轄下に学術審議会、学術振興会があるが、これらとも十分な連携を取りながら大きな目的達成に進もうとしている。

学術会議の組織は、7部会に分かれ、6常置と8特別委員会等があり、学・協会に関係の深いものとして、あらたに法制化された180の研究連絡委員会がある。各部会は次のようである。

#### 人文・社会科学部門

第1部会（文学、哲学、教育、心理、社会、史学）、第2部会（法律学、政治学）、第3部会（経済学、商学、経営学）

#### 自然科学部門

第4部会（理学）、第5部会（工学）、第6部会（農学）、第7部会（医学、歯学、薬学）

### 第5部会

我々に関連する第5部会には、従来からあった応用物理学、機械工学、電気工学、土木工学、建築学、金属工学、応用科学、資源開発工学、造船学に、今回新たに基礎工学、電子工学、情報工学、計測・制御工学、化学工学、航空宇宙工学、原子力工学、経営工学が加えられ17の専門分野に33名の会員がいる。

第5部会には、180（研究連絡委員総計2370名）の研究連絡委員会のうち、29（研究連絡委員471名）が属していて、研究連絡委員会の義務は、

- (1) 関係する学術研究領域または重要課題についての学術の現状および長期的動向の把握並びに将来計画の立案や研究条件の整備の検討
- (2) 相互に関連する学術研究領域または課題について、国内における研究機関もしくは学術研究団体の連絡調整
- (3) 学術領域別の国際学術団体の国内委員会またはこれに準ずる機関としての業務
- (4) 複合または学際分野の研究の促進のための研究連絡の調整
- (5) 日本学術会議の審議する事項で当該分野に関係するものの立案または審議
- (6) その他関係する学術研究領域または重要課題についての研究連絡と能率向上の為に必要な業務、等々のいずれかを行うことである。

この委員は、日本学術会議会員以外のものでも差し支えないとされている。

### 第13期の活動計画（申合せ）

さて具体的に第13期（昭和60～62年）の活動開始に当たって、計画の方向付けを示したものの大要を述べている（本号“資料”参照）。ご参考に供するとともに、日本ガスタービン学会会員皆様のご協力を得て我国学術の進歩発展がありますことを願ってやまない。

（昭和60年10月28日原稿受付）



## はじめに

夢の素材と期待されて来たセラミックスがようやく現実の材料として高度技術の各所に使われはじめて来た。ようやく地に足がついたのである。しかしセラミックスの真の発展のためにはこれからが大切であるとセラミックスに携わっている者は自戒せねばならぬと思っている。新素材としてのセラミックスをどう育てるかについて論じてみたい。

### 1. 時代変遷と新素材

時代は新素材とともにあると言っても過言ではない。人類が最初に道具を作って文明を築いたのは石器時代、その技術の鍵は石という当時の新素材を如何に加工し、そうして得られた道具で如何に他の物を加工するかにあった。狩猟文化は石の硬質性という特性によって開かれたのである。ついで人類は土を焼き固めて器（うつわ）を作ることができるようになった。食糧の貯蔵ができるということは生活意識を大きく変えるものであったであろう。ここでは土が新素材であった。ここでひとつ重要なことは土という新素材が石という在来素材を駆逐してしまったのではないということである。石も土も素材として共存し、ともにその特徴を生かした使われ方をしているのである。新しい素材が加えられたのである。そして現代のセラミックスの源泉がこの石と土にある。セラミックスは石器の特性を持つものを土器の製法を進歩させた手法で作るからである。

ずっと時代を下って第二次大戦後のことを考えてみよう。戦後の復興を支えた素材の主役は何といっても鉄であり、高度成長の中心的素材はプラスチックであった。そして今、鉄にもプラスチックにもかげりが見えている。技術革新の鍵として鉄やプラスチックに換わる素材が求められている。人類とくにわが国のような技術先進国で追求して

いる社会とは情報社会であり知識集約社会である。それを支える技術、その技術の鍵となる素材が必要とされているのである。

### 2. 新素材とハイテクノロジー

いわゆるハイテクノロジーの4本柱として、1) 情報・通信、2) 資源・エネルギー、3) ライフサイエンス、と4) 新素材が挙げられる。しかし、4) の新素材は1) - 3) の意味とはやや次元が異なる。すなわち4) の新素材あってこそ1) - 3) のハイテクノロジーが可能になるからである。

しかし新素材は単なる縁の下の力持ちの役割を担うだけの意味に留まらない。何故ならば新素材を作ること、新素材を使いこなすことにもハイテクノロジーが必要だからである。新素材自身では一人歩きできないのである。新素材の周近技術の高度化によって新素材が支えられている。あるいは、周近技術の高度化に対してニーズを発生していると言える。ハイテクを支え、ハイテクに支えられ、そしてハイテクを促すのが新素材である。

とくにセラミックスの場合、その優れた機能がハイテクを可能にし、その作りにくさを克服するためにハイテクが必要であり、在来素材である金属とかプラスチックとは異なる特徴を生かした使い方は新しい技術体系の確立が待たれるということになる。

### 3. 材料開発の二大要件

セラミックスとは「人為的な熱処理によって製造され、所定の形状を持つ非金属無機質固体材料」と定義される。非金属であるからさびないし、無機質であるから燃えない。非金属無機質固体は一般的に金属やプラスチックより硬い。基本的に金属やプラスチックより熱にも環境にも摩耗にも耐久性が優れた素材としてセラミックスは位置つけられる。しかし金属やプラスチックのように所望の形を簡単に作ることはできない。物質が材料として使えるようになるためには「優れた機能」と「形状付与性」が確保されなければならないが、

(昭和60年11月5日原稿受付)

セラミックスは基本的に形状付与性に困難性があったため開発が遅れていた。しかし、その優れた機能を生かすための技術が最近になって開発されて来た。

材料の開発の動機は「機能の向上」か「形状付与性の向上」である。素材が石-鉄-プラスチックと変遷したのは形状付与性の向上の追求であったし、土器-陶器-磁器の流れは機能の向上を追求したものであった。プラスチックもより燃えないもの、より硬いものを求めて研究が進んでいる。金属よりさびないもの、より硬いもの、より耐熱性のよいものを求めて研究が進んでいる。しかし本質的にプラスチックも金属も、燃え、さびる素材である。機能の飛躍的向上には素材自身の転換が必要とされているのである。

ところが「機能の向上」と「形状付与性の向上」とは矛盾した要求である。一般に機能の優れたものは形がつくりにくい。石は硬いという優れた機能を持つが所望の形状には作りにくい。形づくりしやすいものは機能がそれ程優れているとは言えない。土は土器のように形づくりしやすいがもろい。石のような硬さもない。この石と土、いずれも物質的には非金属の無機質固体であるが、それで作った石器と土器はセラミックスの定義にあてはまるものではない。

非金属、無機質固体の物質の種類は無数であるのに形つくることのできたものは限られていた。用途的に見るとそれは陶磁器、ガラス、セメントであり、物質的に見ると珪酸塩 (Silicates) であった。これもセラミックスではあるが、どうも情報・知識集約時代を担うと期待されているセラミックスとは異なる。セラミックスの中で陶磁器、ガラス、セメントに属するものは汎用セラミックス (Conventional ceramics) と呼ばれている。

汎用セラミックスの中の代表に陶磁器がある。陶磁器のことを狭い意味でセラミックスとすることもあるくらいであるからである。陶磁器は三要素から成ると言われる。まず骨格成分であり、通常は耐熱性、耐食性、硬質性に優れた珪石が使われている。しかし珪石だけではロクロを使ってなどの成形ができない。形つくるためには粘土のような成形成分が必要である。これを窯に入れて焼いても実は良く固まらない。土器のように多孔質

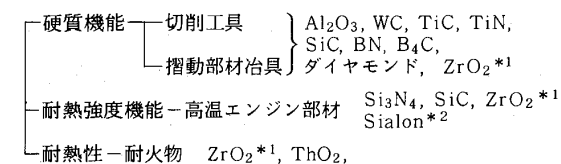
でもろいものしか得られない。良く焼結するためには長石のように融点が低く珪石や粘土の粒子を高温で漏らす成分、すなわち焼結成分が必要である。しかし粘土とくに長石のように形つくるために加えた成分は骨格となる珪石の優れた性質を殺してしまっている。とくに耐熱性が低融点の長石を加えたために低下してしまっている。形つくるために機能が犠牲になっている。

「形づくり」のために採用された手法で非金属無機質固体が本来持つ特性を損うことなく生かすようにできたセラミックスのことをファインセラミックスと言う。しかし「形状付与性の向上」と「機能の向上」とは矛盾した要求である。矛盾の解決のためには技術的な革新が必要であった。まず、「機能の向上」のために必須の条件は原料の高純度化であった。今ファインセラミックスに使われている原料は極めて高純度になった。最高級のもの代表に光通信用のファイバーの素材としてのシリカ ( $\text{SiO}_2$ ) を挙げる。ここでは ppb (part per billion, 10億分の1) 程度の重金属あるいは水分の混入も許されない。しかし高純度化すると焼結しにくくなる。このためつぎに採られた手段が原料粒子の微粒化である。現在もっとも多く使われているファインセラミックス用の原料は 0.1 から 0.3 ミクロンというように 1 ミクロン以下である。このためサブミクロン粒子と呼ばれる。成形のためには有機物を用いるようになった。セラミック原料粉体と有機物とをよく練り合わせたものを用いることにより複雑な形状も作れるようになった。有機物は熱処理したあと残留しない。セラミック原料粉体は微細でしかも流動性の良い形 (一般には球状) が必要である。

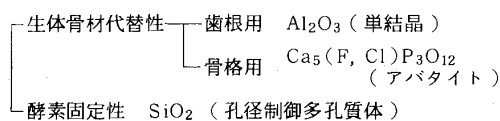
#### 4. ファインセラミックスの種類と用途

ファインセラミックスは三つのグループに大別できる。第一はセラミックスの本性である耐熱性、耐食性、硬質性という基本的な三大特徴を生かしたものであり、精密あるいは耐熱機械材料として使われている。第二はセラミックスの三大特徴を生かす技術すなわちファインセラミックス技術で作られたもので電磁気・光学的などの機能を示すものである。情報化社会を担うにふさわしい機能性セラミックスである。そして第三はセラミックスの耐食性と硬質性、そして生体に対するなじみ

I. 精密・耐熱機械用セラミックス



### Ⅲ. 生体用セラミックス



- \* 1  $\text{ZrO}_2$  は  $\text{Y}_2\text{O}_3$  と  $\text{CaO}$  を一部固溶させたもの。
- \* 2 Sialon は Si, Al, O, N からなる耐熱性が良く焼結性も良い素材。
- \* 3 水晶は Quartz (クォーツ) 時計に使われているものなど。
- \* 4 NTC = Negative Temperature Coefficient の略示, 電気抵抗が温度上昇とともに減少することを意味する。
- \* 5 PTC = Positive Temperature Coefficient の略示, 電気抵抗がある温度以上で急に増大する現象を示す。
- \* 6 CTR = Critical Temperature Resistor の略示, 電気抵抗がある温度以上で急に減少する現象を示す。
- \* 7  $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S} : \text{Eu}$  の : は左の物質中に右の成分を微量に固溶させたことを示す。



という特性を生かした生体用セラミックスである。これらを表1にまとめてみた。種類・機能の多様さに驚く。詳細は参考文献を当たってほしい。

わが国の特徴は第二の分野での発展が他国に比べて目覚ましいものがあることである。ここで培った利潤とノウハウを第一の分野での研究開発に生かし、第一分野でのセラミックスの研究過程で得られた高度の技術を第二の分野にフィードバックするという良い循環がある。いずれか一方のみを重要視し他方を軽視することは健全なセラミックスの発展のために採るべきことではない。

## 5. 人材教育と研究体制

セラミックスの展開、周辺技術とのかかわりあいなどは以上に見たようなものであるため、セラミックスの研究開発要員への旺盛な需要が現れた。今や、従来からセラミックスに従事していた企業、研究所だけでなく、情報・通信関連、機械工学関連からも求人がある。有機化学工業からも転進を図るために人材のニーズが発生している。しかし、これに応じてセラミックスの研究要員の育成は全く追いつかない。人材面での供給難がせつかくのセラミックスに対する期待に応えられない恐れすらある。どうして人材供給を可能とするかをよく現実を見た上でしっかり検討しなければならない。このために私は以下の提案をおこなっている。

- (1) 急には間み合わないとは知りつつも、セラミックス関連の教育体制の充実を声高く叫び続けることが必要であろう。このためにも、あらゆる手掛かりを官公庁、政財会に求めなくてはならない。セラミックスという学問が広い知識と柔軟な発想を必要とする境界領域的なものに発展してきていることを考えると、教授陣の充実も広い視野に立って図られなければならない。
- (2) セラミックス関連の人たちにとって常に発言の機会を得るために組織的な活動をすべきであろう。関連学会もそのための活動計画を立てるべきであろう。
- (3) 諸官庁のなわ張り意識を取り除き、真の意味での材料研究のあり方を協調して探そう働きかける。
- (4) セラミックス研究者はシーズがニーズに結びつかないことを嘆いているが、ニーズを自ら開拓するぐらいのつもり、すなわちシーズプッシュす

るよう努力しよう。

- (5) セラミックスを技術革新の鍵材料として位置つけた開発計画を立てよう。
  - (6) 学問の両面性、「開放性」と「精ち化」とを常に意識して学問の真の意味での発展を図ろう。
  - (7) 金属に関してのノウハウの蓄積の膨大さを再認識しよう。人類が新しいセラミックスを使いこなすようなノウハウを着々と積み重ねるよう、怖じず焦らずの努力を続けよう。このためにも、もっと多くの人たちの参加を呼びかけ、セラミックスを中心とする技術体系の確立のための人口を増やそう。
  - (8) 専門分野の転換が比較的実現の可能性の大きい民間企業での再教育を促進する体制を築き上げよう。
  - (9) 特にセラミックス研究開発の指導者づくりに力を入れよう。
  - (10) 金属での歴史、高分子での人材充実に負けぬ意欲を持ち、セラミックスの発展のための努力を持続しよう。
- ということである。

## 6. まとめ

セラミックスが新素材としてどのように発展して来たか、今後どのように開発していくべきであるかを各種の観点から論じた。その中でももっとも重要なことはセラミックスは技術革新の鍵の役割を果たすものと位置つけることである。

## 文 献

- 1) 柳田博明, ファインセラミックス — 魔法の陶磁を科学する, 講談社ブルーバックス (1982)
- 2) 柳田博明, セラミックセンサー — 五感を超えるセラミックス, 講談社ブルーバックス (1984)
- 3) 柳田博明, セラミック時代の幕開け, 化学教育33 (4) 310-4 (1985)
- 4) 柳田博明, セラミックス研究の促進のための体制, セラミックス17 (12) 1023-6 (1982)

## 1. 石炭ガス化複合発電の必要性

将来におけるわが国のエネルギーは、長期的には原子力、石炭を中心として燃料の多様化がはかられていくものと予想される。

将来石炭を大量に消費する時代の到来が考えられ、現在の石炭火力の発電形態で十分かどうか検討することが必要である。この場合検討の対象として、図1に示すように石炭をガス化し、その生成ガスを燃料としてガスタービンを駆動して発電し、ガスタービンの排熱で蒸気を発生させて蒸気タービンを駆動して発電する石炭ガス化複合発電がある。

石炭ガス化複合発電は表1に示すように現在の石炭火力に比べ熱効率の大幅な向上が期待でき、大気環境排出物についても表2に示すように大幅な低減が可能であり、温排水量の低減など環境保

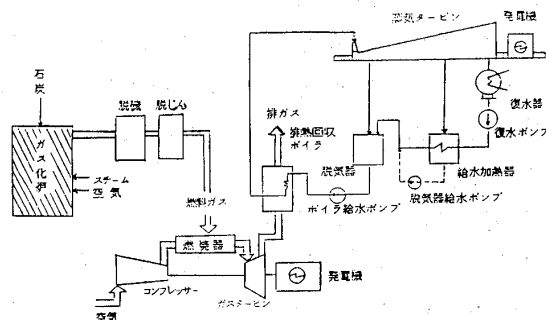


図1 石炭ガス化複合発電プラント概念図

全性に優れている。また経済性についても、将来は現在の石炭火力に比べ有利になるものと予想されている。このように、石炭ガス化複合発電は石炭火力に比べて大きな可能性があるので、その技術開発は重要な課題である。

表1 化石燃料の発電形態別熱効率予測

方 式	研 究 開 発 課 題	送 電 端 熱 効 率 (HHV %)	実用化プラント 実 現 時 期	備 考
石 炭 火 力 発 電	・環境対策技術の開発 ・超高温耐熱材料	約 37 約 40	現 行 1995 年頃	超臨界圧火力 超々臨界圧火力
石炭ガス化複合発電	・石炭ガス化炉の開発 ・ガス精製装置の開発 ・石炭ガス化用ガスタービンの開発 ・システム技術の開発 ・石炭ガス化複合発電プラントの開発	約 41  約 46	1990 年頃  2000 年頃	1,200℃級ガスタービン 湿式クリーンアップ  1,500℃級ガスタービン 乾式クリーンアップ方式
LNG 火 力 発 電		約 38 約 41	現 行	超臨界圧火力 超々臨界圧火力
LNG 複 合 発 電	・高温ガスタービンの開発 ・LNG 複合発電プラントの開発	約 47 約 50	1980 年代後期 2000 年頃	1,300℃級ガスタービン 1,500℃級ガスタービン
リン酸塩型燃料電池	・電池本体の改良 ・燃料改電系等の周辺装置	約 40	1980 年代後期	寿命目標 4 万時間
熔融炭酸塩型燃料電池複合発電	・電池本体コスト低減化 ・電池長寿命化	約 50	2000 年代初期	
MHD 複 合 発 電	・電極材の開発 ・シード剤技術の開発	約 60	2030 年頃	

(昭和60年10月17日原稿受付)



表2 発電形態別環境保全性比較

項目	石炭ガス化複合発電	石炭火力	重油火力
SO <sub>x</sub> (ppm)	30	100*1 (49)	60 (53)
NO <sub>x</sub> (ppm)	30	300*1 (480)	60 (150)
ばいじん (mg/Nm <sup>3</sup> )	5	50*1 (400)	10 (50)
備考	常圧式石炭ガス化炉、湿式クリーンアップ方式の開発目標値	最新技術の目標値( )は現状規制値	最新技術の目標値( )は現状規制値

注 ppm は O<sub>2</sub> 6% 換算値SO<sub>x</sub> については、100 万 kW/施設、200 m 煙突、K 値 3.0

(東京、横浜、川崎、四日市など) とした場合の濃度換算値

\*1: 一般地域

## 2. 石炭ガス化複合発電システム技術

現在、石炭火力の送電端熱効率 (HHV) は超臨界圧の場合約 37 % であるが、超々臨界圧プラントが開発されても約 40 % が限界と考えられている。これに対し、石炭ガス化複合発電では、乾式クリーンアップ方式が開発されると、1,300℃級ガスタービンで約 43 %、1,500℃級ガスタービンで約 46 % という値も不可能ではないと予想されている。

石炭ガス化複合発電プラントは石炭ガス化炉、ガス精製装置、ガスタービンなど構成要素が多く、各構成要素の運転性能や耐用寿命などから見た最適条件は、必ずしも全システムの最適条件とは一致しない。したがって構成要素の特性を活かした、全体としての調和のとれた石炭ガス化複合発電プラントを構成することが重要である。

石炭ガス化複合発電システムの構成は、我が国においてはまず高効率、経済性に重点を置いて検討する必要がある。また、信頼性および運転特性にも留意する必要がある。石炭ガス化複合発電システムはガス化炉形式、ガス化剤、炉圧、ガス精製方式などによって構成が異なる。

1970 年ごろから西ドイツの STEAG 社が政府の援助の下に、世界で最初に Kellrman 発電所に 170 MW の固定床石炭ガス化複合発電プラントを開発した。その STEAG プロセス図 2 に示す。このプロセスは固定床ガス化炉、湿式ガス精製、過給ボイラーとなっている点、ガス化炉が固定床である点が特徴であり、大容量化に対して有利とは言い難いとされている。

図 3 にサンシャイン計画のシステムを示す。このシステムは加圧流動床ガス化炉を用い、ガス精

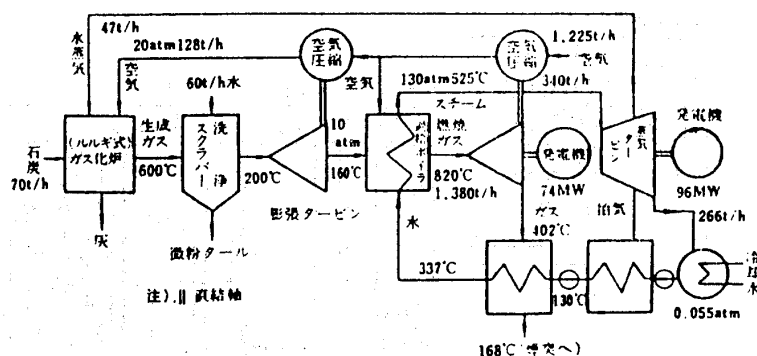


図2 STEAG 法 (Lunen 発電所 170 MW)  
西ドイツ

出典; フジテクノシステム「石炭利用発電  
プラント技術総合資料集」p.570

製装置は主として乾式を検討している。

図 4 にテキサコプロセスを示す。テキサコ社は 150 t/d の加圧噴流床ガス化炉を 1978 年に開発し、好成績をあげている。この実績を踏まえて 1,000 t/d、100 MW 級石炭ガス化複合発電プラントの開発をクールウォーター計画として GE 社、EPRI、テキサコ社、SCE 社とわが国の東電、電研、東芝、IHI が参加し、推進中である。この計画で開発する方式は加圧 1 段噴流床酸素酸化方式、水スラリーフィード、湿式ガス精製方式であり、その成果が注目されている。

図 5 に CE プロセスを示す。CE 社は 1970 年代中ごろからガス化炉 120 t/d のパイロットプラントにより約 4,000 時間の運転実績をもち、これを踏まえて 150 MW 実証プラントの計画を検討中である。

図 6 ~ 図 7 に B & W プロセス、WH プロセスのシステムを示す。B & W のプロセスは噴流床ガス化炉、湿式ガス精製、排熱回収方式複合発電プラントの開発を目標としている。B & W プロセスは加圧噴流床方式のガス化炉を用い、ボイラーで培った技術をガス化炉へ転用し、炉内から有効に蒸気による熱回収を図っている。WH プロセスは加圧流動床ガス化炉、排熱回収複合発電方式および炉内脱硫を採用し、ガス精製を乾式で行う点に特徴がある。

表 3 に石炭ガス化複合発電プラントの機器構成方式に関するプラント特性の比較を示す。熱効率の観点からは加圧、空気、ドライフィード、乾式

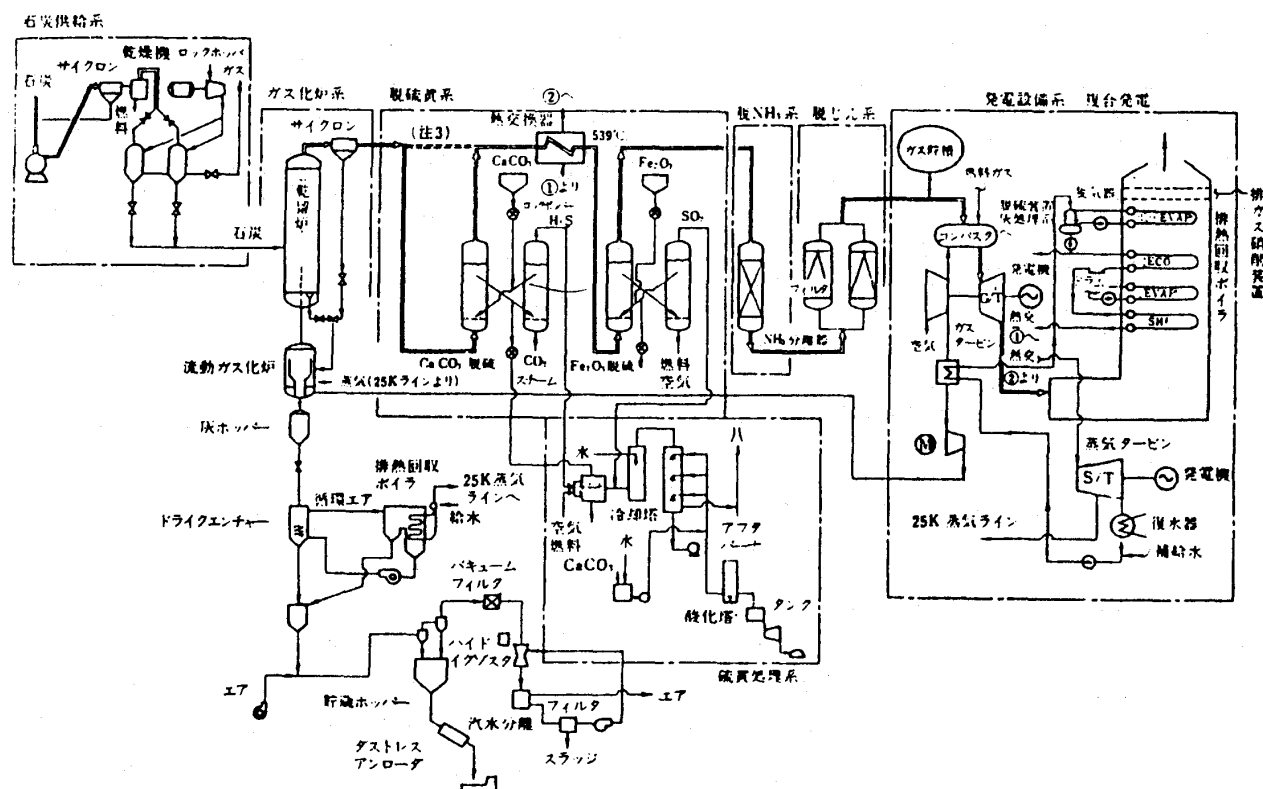


図3 石炭ガス化・複合発電プラントの設備フロー図(1系列分)

(乾式クリーンアップ) - 日本・サンシャイン計画

出典; フジテクノシステム「石炭利用・発電プラント技術総合資料集」p. 549

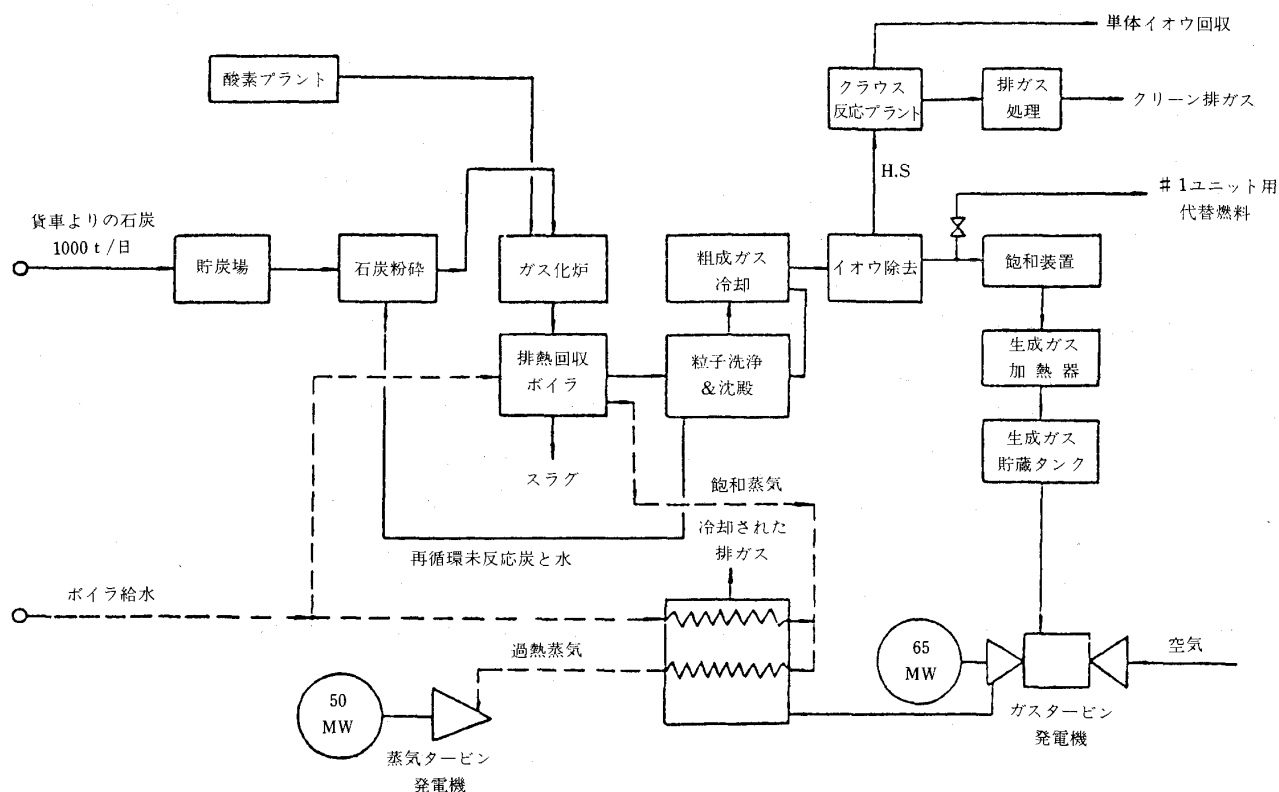


図4 複合発電プラント構成例(テキサコ・クールウォーター計画)

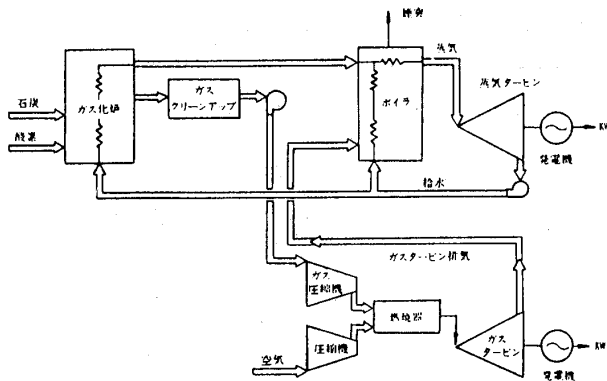


図5 空気吹き複合発電プラント (CEプロセス)

ガス精製が有利とみられる。

ガス化炉形式を評価するためには、炉からの生成ガスで高温ガスタービンコンバスターでの燃焼が可能かどうかの検討が重要である。したがって、石炭ガス化炉の開発はガスタービン低カロリーコンバスターまで含めて行うことが必要となる。

表4に噴流床石炭ガス化複合発電プラント運転特性のフィージビリティスタディの一例を示す。石炭ガス化複合発電はガス化炉という熱容量の大きい装置が入り、システムが複雑になるので、石炭火力に比べ負荷応答性が劣る。したがって運転

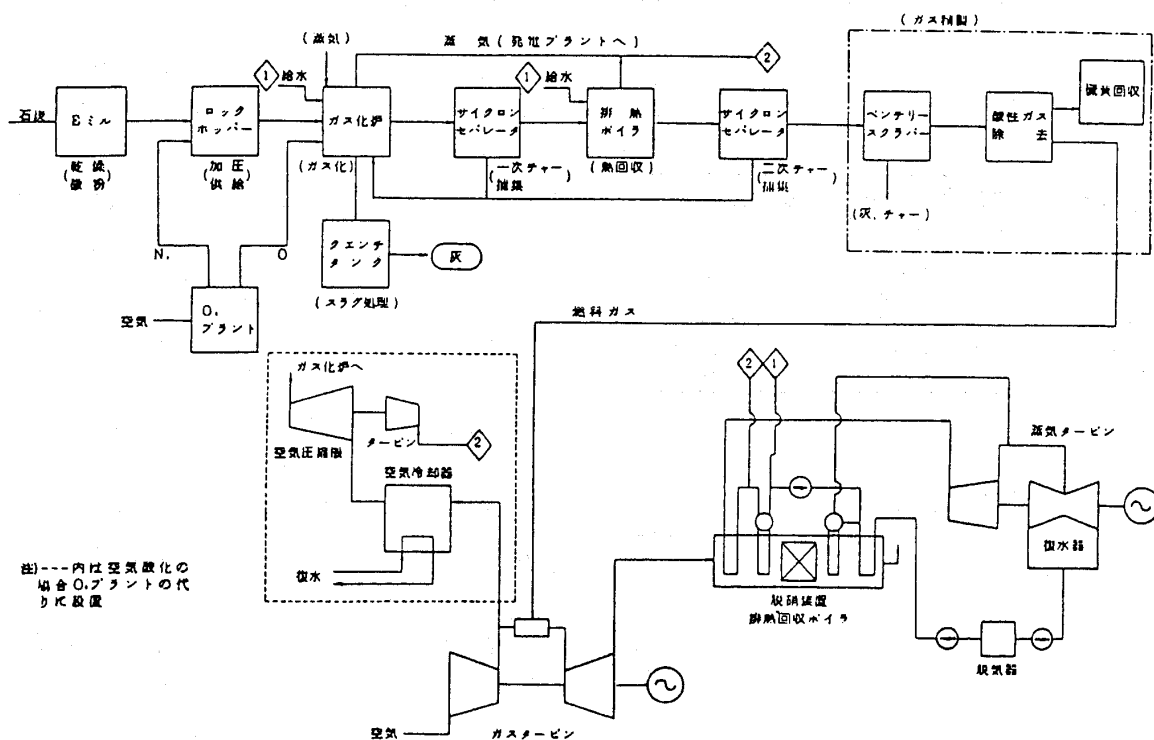


図6 石炭ガス化複合発電フローシステム (B &amp; W型)

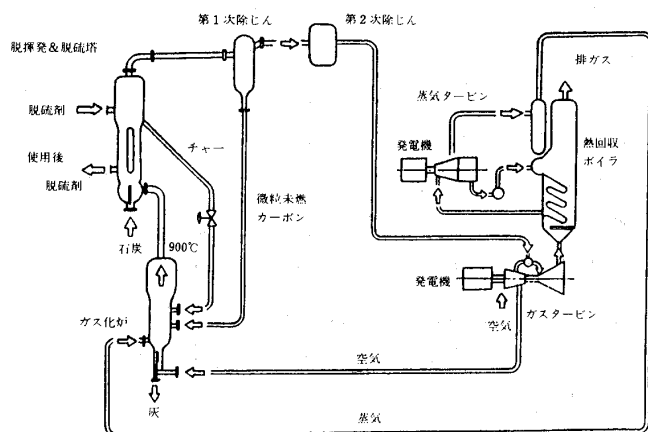


図7 WH社の石炭ガス化発電システムの系統

性の向上が検討課題である。

石炭ガス化複合発電プラントの熱効率を向上させるためには図8に示すようにガスタービンの高温化ならびに乾式ガス精製装置の開発が重要である。

### 3. 石炭ガス化技術

ガス化技術の歴史は古く、1600年ごろバンヘルモント氏が乾留ガスを発見したのにさかのぼる。1870年にモント炉(固定床)を開発したのがガス化炉の初めである。その後、都市ガス用、原料ガス用に開発されてきたが、発電用については第

表3 石炭ガス化複合発電プラントの機器構成方式に関する定性的比較

比較 観点	加圧・常圧系の比較	ガス化剤の比較	石炭供給方式の比較	ガス精製方式の比較
熱効率	加圧系が常圧系に比べ優位 (理由)…ガス化剤空気加圧(加圧系)と生成ガス燃料加圧(常圧系)では、後者の方が流量が多く圧縮温度が高い分だけ常圧系が不利である。	空気が酸素に比し優位 (理由)…ガスタービン出力を多く得ることができる。また燃焼用ガスが低カロリー分だけ圧縮機動力が小さく複合発電以降の効率が相対的に大きくなる。	ドライフィード方式が水スラリー方式に比べ優位 (理由)…水の蒸発潜熱ロスが大きい。	乾式方式が湿式方式に比べ優位 (理由)…ガス精製温度が高くこれガスタービン以降の入熱が大となる。湿式では、CO <sub>2</sub> などが水に溶けガス量が減少する。
運用性	常圧系が加圧系に比べ優位 (理由)…加圧系は石炭供給、灰排出過程に加圧過程を要する。	空気が酸素に比べ優位 (理由)…酸素酸化方式は酸素プラントを必要とする。酸素プラントの最低負荷は約70%、負荷変動1%/分以下である。	水スラリー方式がドライフィード方式に比べ優位(加圧) (理由)…ドライフィード方式は、石炭供給過程において燃料制御、安全性の検討課題があり、水スラリー方式の方が信頼性が高い。	湿式方式が、乾式方式に比べ優位 (理由)…湿式は実証済みの技術、乾式は将来技術である。
開発課題	加圧に関する技術は石炭供給、灰取り方し方式の検討。	空気酸化方式は、ガスタービン低カロリーコンバスタ開発。	ドライフィードは燃料制御、安全性などの検討課題。	乾式方式の開発。

表4 噴流床石炭ガス化複合発電プラント運転特性のフィジビリティスタディ例

項目	種類	噴流床石炭ガス化複合発電	微粉炭火力
起動時間			
ホットスタート		約4時間	約3時間
コールドスタート		約8~40時間	約7時間
停止時間		約1~2時間	約1時間
負荷変動率		約1~3%/min	約1~3%/min
最低負荷		約30~40%	20~35%

1次石油ショック以降開発が盛んになってきた。内外における石炭ガス化炉に関する研究状況を表5に示す。

固定床ガス化炉は加圧Lurgi炉の炉底部をスラグ炉とすることで、ガス化容量を数倍大きくし、水蒸気使用量を大幅に減少させる試みがBritish GasとLurgi社との共同研究で続けられ、実用化一歩手前までできている。

流動床ガス化炉ではH.T.Winklerが加圧流動床の高温化による高性能化を進めている。ウエスティングハウスが灰造粒ガス化炉を開発し、流動床ガス化炉の欠点である微粉中未燃炭素損失を減少させることに成功している。

噴流床ガス化炉ではCE社が発電用常圧ガス化炉の開発を進めている。加圧炉ではテキサコ社が西独でパイロットプラントの運転に成功し、米国でクールウォーター計画として1,000 t/d、100 MW複合発電プラントを開発中である。

西独ではSaarberg Otto社が政府の援助で大型パイロットプラントテストを続けている。

わが国では昭和49年度から通産省サンシャイン計画ガス化発電技術の開発が進められており、現在40 t/dの加圧2段流動床石炭ガス化炉が稼働している。わが国の電気事業に適合した噴流床方式を開発するため、電研は三菱重工との共同研究で2 t/d 2段噴流床石炭ガス化炉を武山に建設し、58年度から本格的試験研究を開始している(図9参照)。

また、日立は57年に0.5 t/d 噴流床石炭ガス化炉を設置し、現在実験データを収得中である。

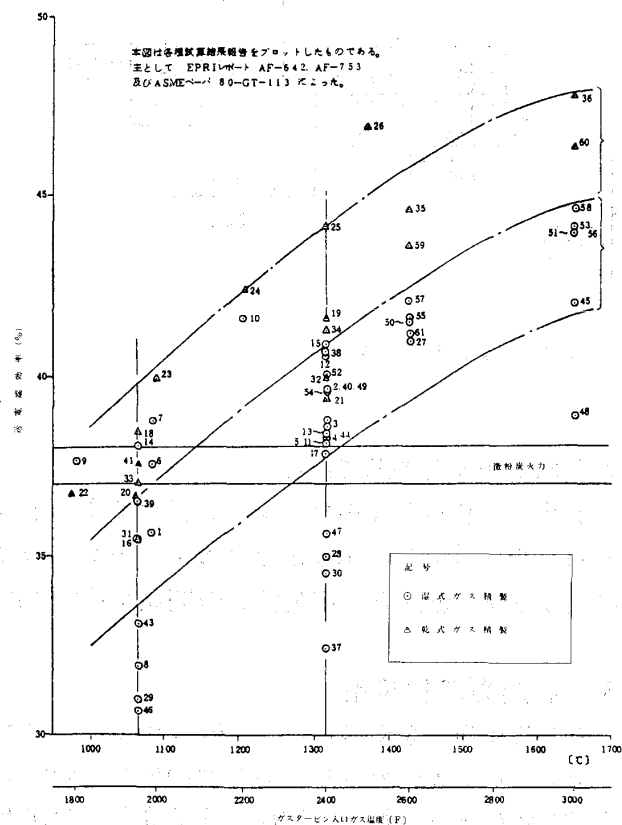


図8 石炭ガス化発電プラント送電端熱効率とガスタービン入口ガス温度

表5 内外の石炭ガス化炉開発状況

注: □ 設計, ▨ 製作, ▩ 運転, □ 予定

名 称 (開 発 主 体)	主スポンサー (設置場所)	形 式 量	ガス化剤 圧力(atg)	用 途	'70 '72 '74 '76 '78 '80 '82 '84 '86 '88 '90 '92 '94 '96 '98 '2000
Kellerman P/S* (STEAG)	西ドイツ政府 [Essen Lunen]	Lurgi法固定床 170MW	空 気 20	ガス化発電	1970-1978
Westinghouse 社 (Westinghouse 社)	DOE Pittsburgh [南アフリカ SASOL II]	流動床 15t/d 1,200t/d	空気/酸素 10	ガス化発電 合成燃料	1974-1984, 1986-1990
KBW社* (KBW社)	B&W, Koppers [アメリカ]	噴流床 Bi Gas 120t/d	酸 素 常圧/加圧	合成燃料 ガス化発電	1974-1984
クールウォーター計画* (TEXACO 社, GE 社, EPRI, JCWP, 他)	TEXACO, GE, SCE, EPRI, JCWP, 他 [Cool water P/S]	テキサコ炉 噴流床 1,000t/d, 1,000 MW	酸 素 20~80	ガス化発電	1982-1990
CE社 (CE社)	DOE, EPRI Windsor [Nelson P/S]	噴流床 120 t/d 150 MW	空 気 常 圧	燃料用 ガス化発電	1982-1990
SASOL II(Ⅲ) (SASOL)	南アフリカ政府 [南アフリカ・ ヨハネスブルグ]	Lurgi法固定床 900t/d 36基	酸 素 20	ガソリン, エチ レン化学製品, NH <sub>3</sub> S	1982-1990
(BGC/LURGI) SLAGGING (BGC, Lurgi)	— [イギリス]	固定床 300t/d	酸 素 25	高カロリー ガ ス	1982-1990
高温Winkler 法 (Winkler 社)	— [西ドイツ・ケルン]	流動床 30t/d	酸素/スチーム or 空気 常 圧	アンモニア 合成ガス	1974-1984
Saarberg- Otto	西独政府 [Vörlingen]	1段噴流床 264t/d	酸 素 25		1974-1984
低カロリーガス化 サンシャイン計画 (石炭技研・電発)	通 産 省 [夕張市]	2段流動床 5t/d 40t/d	空 気 20	ガス化発電	1974-1984
高カロリーガス化 サンシャイン計画 (電発・日立)	通 産 省 [いわき市]	流動床 7,000N <sub>m</sub> <sup>3</sup> /d	酸 素 30	都市ガス 工業原料	1974-1984
2t/d噴流床ガス化炉 (電研・三菱)	電 研・三 菱 [横須賀市武山]	加圧2段噴流床 2t/d	空気/酸素 常圧-20	ガス化発電	1982-1990
0.5t/d噴流床ガス化炉 (日立)	日 立 [勝 田]	1段噴流床 0.5t/d	酸 素 10	ガス化発電	1982-1990
200t/d噴流床方式パ イロットプラント計画 (電気事業)	通 産 省	加圧2段噴流床 200t/d	空 気 20	ガス化発電 1300℃級ガス タービン乾式ク リーンアップ	1986-1990
デカーソン発電炉 (ボトマック電力)	米国・ボトマック電力 メリーランド州	テキサコ炉 噴流床 360MW		ガス化発電 湿式クリー ンアップ 1300℃級 ガスタービン	1997年運転 予 定

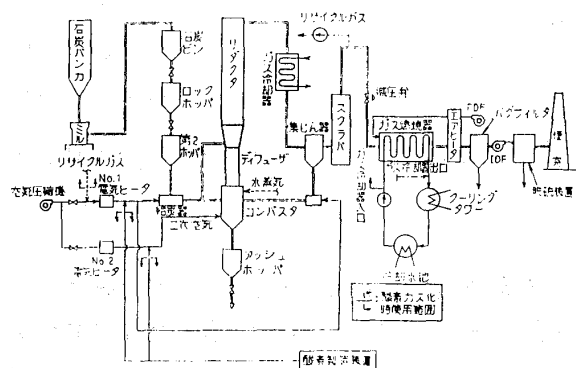


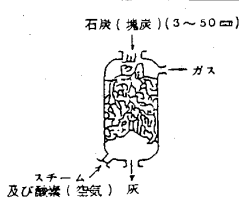
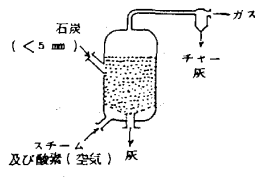
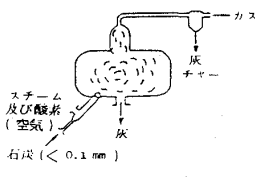
図9 石炭ガス化基礎実験装置主要系統図

欧米においては、パイロットプラントから実証プラントに移行する段階にきているが、わが国では本格的な研究開発に着手された段階である。

石炭ガス化炉は表6に示すように大別して3形式に分類される。その代表的例を図10～図14に示す。発電用としては高効率大容量化、広範囲炭種適合性、環境保全性および運転信頼性、負荷応答性が要求されるので、現状では噴流床方式が最も有望視されている。

固定床ガス化炉は運転の確実性、十分な反応の

表6 石炭ガス化炉の種類と特徴

		固 定 床	流 動 床	噴 流 床
ガス化法				
		上部より塊炭を供給し、炉下部の燃焼によって発生する高温ガスによりガス化及び乾留が順次行われる。	炉の中央部に数ミリ程度の粉炭を供給し、炉底からの空気水蒸気により流動させながらガス化する。	微粉炭をバーナにより炉内に噴射し、高温で短時間にガス化する。
ガス化温度		400~1,400℃ (温度勾配有り)	800~1,100℃	1,200~1,700℃
灰排出方法		炉底火格子より固体で排出 (溶融灰排出をテスト中の炉もある)	炉底より固体で排出	炉底より溶融状態で排出
特 徴	炭種の適合性	○強粘性炭及び粉炭の使用ができない。 ○灰融点の高い石炭が望ましい。	○粘性炭は前処理酸化を要する。 ○灰融点の高い石炭が望ましい。 (クリンカートラブル防止の為)	○適用炭種が広い。 ○灰融点の低い石炭が望ましい。 (溶融灰取出し方式の為)
	生成ガス性	発熱量 高い (空気吹きの場合 1,500kcal/Nm <sup>3</sup> 程度)	比較的高い (空気吹きの場合 1,200kcal/Nm <sup>3</sup> 程度)	稍低い (ガス化温度高くメタン成分分解される為) (空気吹きの場合 1,000kcal/Nm <sup>3</sup> 程度)
	タールの生成	生成する (低温乾留の為)	方式によっては生成しない。	生成しない。
	ガス化効率	○発生微粉の利用困難及びタールの生成などによりガス化効率が低い。	○未燃炭素が発生し易い。 ○ガスの顕熱が少ない為システム効率上有利	○未燃炭素の発生は比較的少ない。 ○高温ガスからの顕熱回収が必要
	大容量化の可能性	容積当りの出力が小さく、大容量化比較困難 (1,200t/d程度)	気体、固体の接触が良好で容積当りの出力比較的大きい (1,500t/d程度)	炉型式により差はあるが大容量化は比較的容易 (5,000t/d程度)
欠 点	運転操作性	起動、停止、負荷変動に対する自由度が少ない	起動、停止、負荷変動に対する自由度中程度	起動、停止、負荷変動に対する自由度が大きい
	保守性	タール生成にともなう後流側機器ハンドリングの困難性あり	ガス化温度比較的低い為耐熱材料等の寿命が長い	ガス化温度高い為耐熱構造、耐熱材料が必要
	その他	既存技術で実績多い		アンモニア及びシアンが発生が少ない。

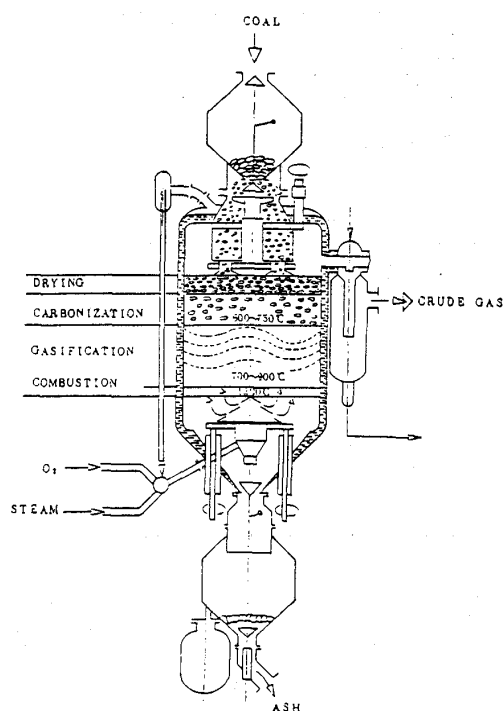


図10 LURGI GASIFIER

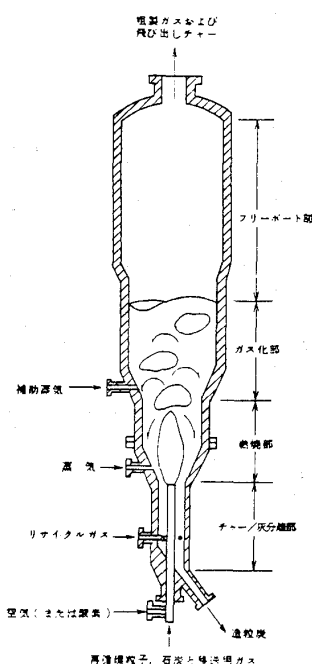


図11 WH社流動床ガス化炉

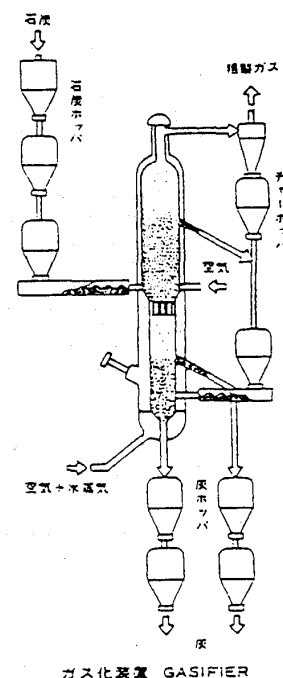


図12 2段流動床ガス化炉の基本構造

進行、有効な熱利用などの長所があるが、大規模、高効率発電用としては使いにくい一面をもつ。

流動床ガス化炉は固定床で使えない粉炭が使用できる。噴流床に比べ比較的低温でガス化するの

で、酸素消費量が比較的少なく、固定床に比べ水蒸気消費量が少ない。条件が穏やかなので耐火材の問題が少なく、発停が容易である。一方、流動床から排出される灰分中の未燃炭素分が多いので、

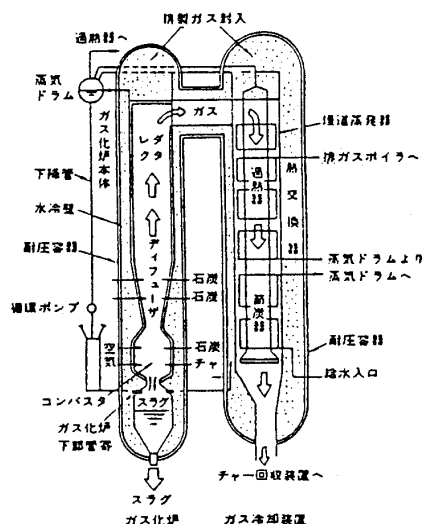


図13 加圧2室2段噴流系石炭ガス化炉の構造図

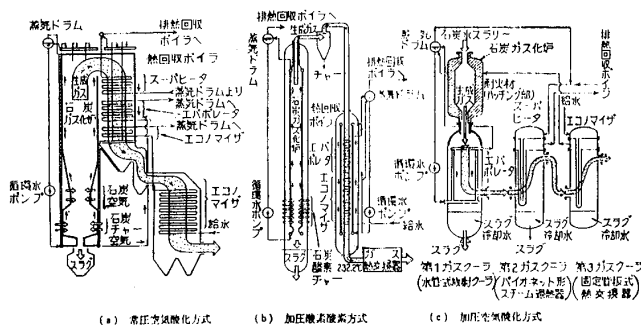


図14 ガス化炉熱回収装置あるいはガスクーラ処理フロー(例)

その対策が必要である。

噴流床ガス化炉の特徴は灰をすべてスラグとして取り出すので、未燃炭素が少なく、炭素利用率が高いこと、粘結性や粉化性が問題とならず適用炭種が広いこと、高温であるためタールがなく、その他の副生物も少なく、炉の負荷調整、運転操作が容易であることなどである。問題点として、他形式に比べ酸素使用量がやや多いこと、スラグタップ炉と高温熱交換器の安定運転、寿命の長い

高温耐火材の選定などがあげられる。

各種ガス化炉の予想される性能を表7に示す。加圧方式の場合、ガスタービンとの協調、炉のコンパクト化、ガス化効率の向上などの点で常圧方式に比べ有利とみられている。さらに高温化を図ることにより、ガス化反応促進、高融点灰の処理能力増、ガス性状の抑制によるクリーンアップ系統の負担軽減、水冷却ガスタービンとの結合、熱回収量の増大など大きなメリットがあるとみられている。

表7 各種石炭ガス化炉予想性能

項 目	噴 流 床	流 動 床	固 定 床
冷 ガ ス 効 率	70 ~ 75 %	65 ~ 70 %	60 %
熱 ガ ス 効 率	96 ~ 98.5 %	95 %	80 ~ 85 %
カーボンガス化効率	99 %	90 ~ 95 %	70 %
発 熱 量 (HHV)	900~2,800kcal/Nm <sup>3</sup>	1,200~1,400kcal/Nm <sup>3</sup>	1,500kcal/Nm <sup>3</sup>

#### 4. クリーンアップ技術

石炭ガス化による粗生成ガス中には、硫化水素、アンモニア、タール、アルカリ金属化合物およびダストなどを含むため、環境保全上ならびに発電用ガスタービンへの障害対策の上からこれらを除く必要がある。

クリーンアップ技術は図15に示すようにダストを除去する集じん技術と硫黄化合物を除去する脱硫技術などの組み合わせであり、それぞれ湿式法と乾式法がある。湿式法はそれぞれの分野で実績を有する既存技術であるが、生成ガスの顕熱損失などに基づく熱効率の低下がある。乾式法は研究開発の初期段階であるが、熱効率の低下は少なくなる。したがって、高効率化を目指す石炭ガス化複合発電システムにおいては高温の粗生成ガスの乾式技術の開発が望まれる。現在、工業プロセスにおいて採用あるいは研究開発されている各種集じん装置のおもな特徴を表8に、捕集粒子径と集じん性能の関係を図16に示す。石炭ガス化用とし

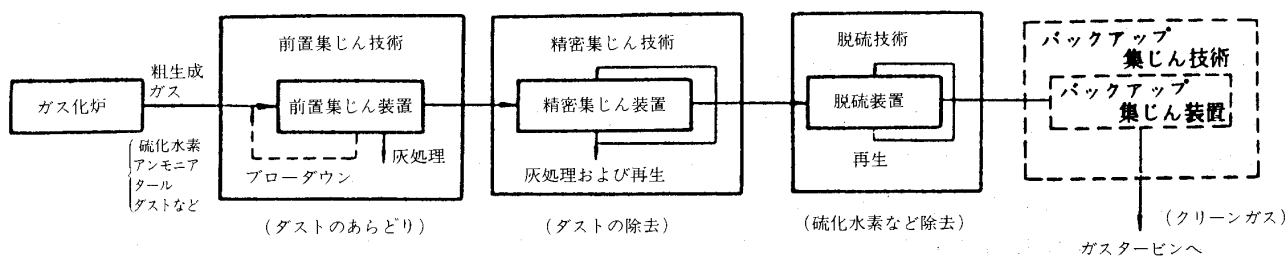


図15 クリーンアップの基本フロー図

表8 各種集じん装置の特徴

	集じん装置	代表的な名称	捕集可能粒径 ( $\mu\text{m}$ )	圧 (mmH <sub>2</sub> O)	高圧高圧系への適用	集じん性能
既存集じん装置	重力集じん装置	ダストボックス	10 $\mu\text{m}$ 粒子で約 30% 15 $\mu\text{m}$ 〃 約 60%	5 ~ 10	可	前置集じん装置用で高性能化望めない。
	慣性力集じん装置	ル ー バ	20 ~ 50	30 ~ 100	可	
	遠心力集じん装置	サイクロン	5 ~ 15	100 ~ 200	可	
	洗浄集じん装置	ス プ レ ー 増 圧	0.1 ~ 10	50 ~ 1,000	不可	高性能大容量精密集じん装置として用いられる。
	ろ過集じん装置	グラニューベットの パクフィルタ	0.1 ~ 10 0.1 ~ 1	10 ~ 100	可	
	電気集じん装置	湿 式 E P 低 温 E P 高 温 E P	0.1 ~ 10	20	不可 不可 可	
	音波集じん装置	(後置集じん装置と) 併用	1 $\mu\text{m}$ 前後	—	可	
研究 開発中	磁気集じん装置	(磁性体ダスト向き)				—
	静電ろ過集じん装置		0.05 ~	~ 100	可	高性能大容量への適用可

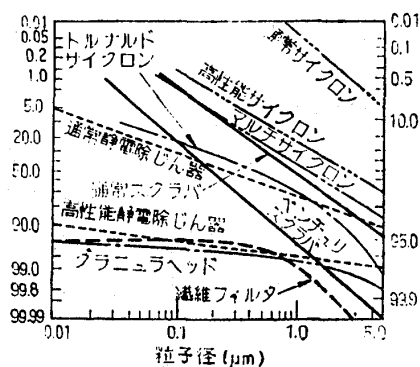


図16 各種集じん装置の集じん性能比較

てはろ過集じん，静電ろ過集じん，電気集じん方式が有望と考えられている。

## 5. ガスタービン技術

石炭ガス化複合発電プラントの高効率化には，ガス化炉・クリーンアップ装置の高性能化および熱損失の低減を計る事は無論であるが，ガスタービンの高効率化が，それら以上に大きく影響を及ぼすと言っても過言でない。

ガスタービンの高効率化は，システムの構成による効率向上，構成各機器（タービン本体・圧縮機・燃焼器など）各個の性能向上も影響を及ぼすが，本質的には図17に示すようにガスタービン入口ガス温度（T. I. T.）の高温化が支配的である。なおガスタービン入口ガス圧力の高圧化も高効率化に影響を及ぼすが，複合発電の場合には単体の場合に比べその影響度ははるかに小さい。タービン入口ガス温度の高温化は，石炭ガス化用ガスタービンのみならず航空機用及びクリーン燃料

の産業用ガスタービンにおいても多くの努力と技術開発が進められて来ている。

### ・ガスタービンの研究課題と研究動向

石炭ガス化用ガスタービンでは，燃料の石炭ガス化生成ガスが，軽油および天然ガスと言うクリーン燃料と異なり，石炭灰や腐食性不純物などを含有することは避けられず，燃料発熱量もかなり低く更にはガス量自体も増大する。このため，燃焼器・圧縮機・タービン本体全要素に渡り，構成・システムも考慮した下記の要素技術の研究開発を進める必要がある。

イ) 低カロリー・低NO<sub>x</sub> 高温燃焼器技術の開発

ロ) 冷却技術の研究および開発

ハ) ダーティ性評価技術の研究

ニ) 圧縮機技術の改良研究

ホ) システム技術の研究

イ) 低カロリー・低NO<sub>x</sub> 高温燃焼器技術の開発  
研究課題

石炭ガス化生成ガスは，空気部分酸化で約 1,000 kcal/Nm<sup>3</sup>，酸素部分酸化で約 2,700 kcal/Nm<sup>3</sup>，天然ガスの約 10,000 kcal/Nm<sup>3</sup> に比べ 1/10~1/3 程度の発熱量しか持たぬ低カロリーガスである。

低カロリーガス燃焼においては，燃焼限界の把握など安定燃焼技術のみならず，燃焼制御技術の確立による負荷応動の向上が重要な研究課題となる。

更に低カロリーガスでは，燃焼ガスの温度分布の燃焼器内不均一が拡大する事が推測される。こ



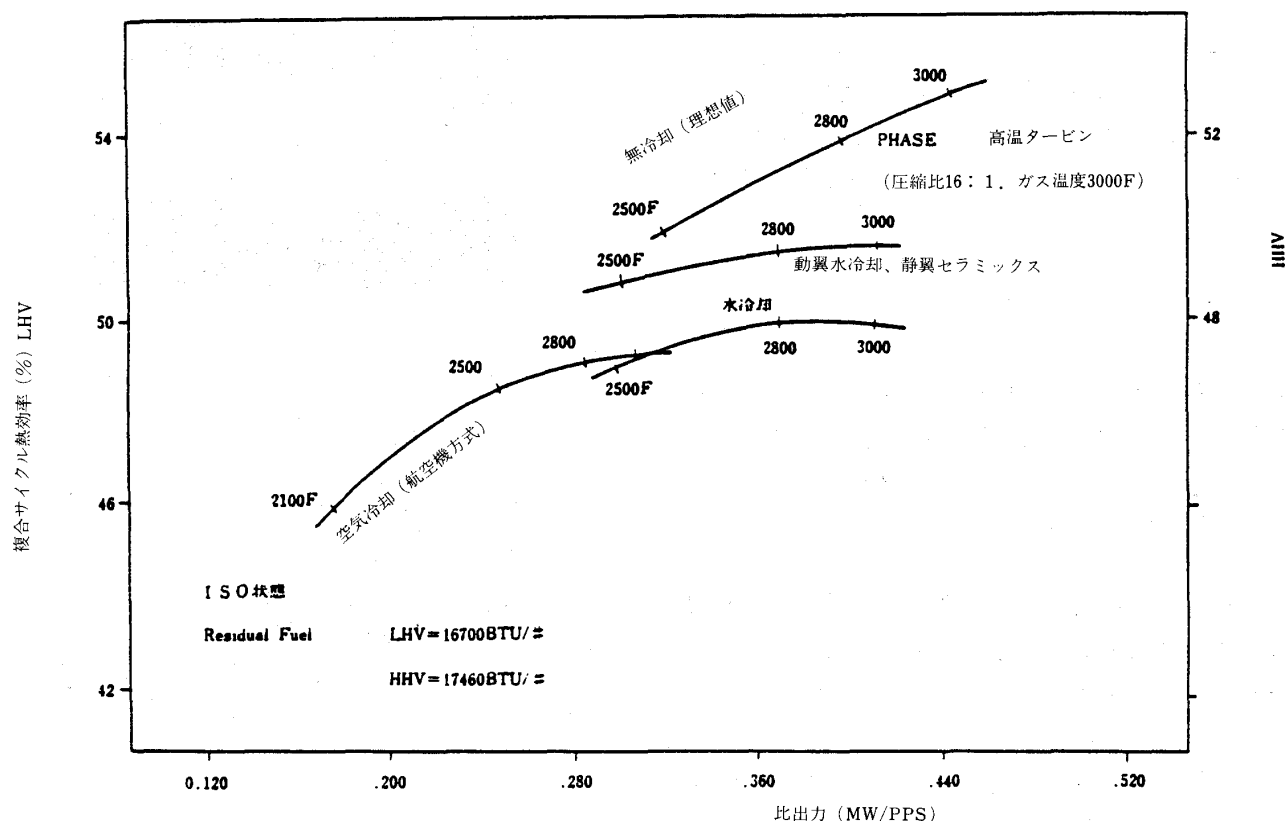


図17 熱効率比較

の不均一度は燃焼器形状に大きく左右されるが、動・静翼の熱応力・熱疲労解析に重要な影響をあたえるため充分精度の有る情報を把握する必要がある。

石炭ガス化生成ガスは発熱量が低いため火炎温度の最高値が低く、高カロリー燃料と比較した場合サーマル $\text{NO}_x$ の生成は少ないと予想される。しかしプラントの高効率化、即ちタービン入口ガス温度の高温化に伴いサーマル $\text{NO}_x$ の増大が予測されるのみならず、石炭ガス化ガス中にアンモニアなどの窒素化合物が入っており、特に乾式ガスクリーンアップ装置を組込んだ場合には、フューエル $\text{NO}_x$ の形で $\text{NO}_x$ 発生は増大する。

環境保全性の面からクリーン燃料の場合以上に高温低 $\text{NO}_x$ 燃焼器技術の研究開発が必要である。この場合石炭ガス化生成ガスの発熱量、組成( $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NH}_3$ など)の違いにより燃焼特性のみならずエミッション特性などが大きく変化するため実際に使用する燃料に応じて、燃焼器の開発、評価を行わなければならない。

#### 研究動向

低カロリー燃料の燃焼は、本質的に反応時間を

充分取る必要がある。低カロリー燃焼器の開発は、米国においては燃焼器の寸法変化更には新しい構造の燃焼器での研究段階に入っている。なお現在の技術では、安定燃焼発熱量限界はガスタービン運転条件を考慮すると $800 \text{ kcal/Nm}^3$ 程度である事が報告されている。図18に改良形低カロリー燃焼器を従来形燃焼器と比較し、図19に新形燃焼器(GE社水冷却ガスタービン用)を示す。この新形燃焼器は、起動・停止時、ガス化炉運転変動・炭種変化による組成変化など低カロリーガスでの運転を容易にするため液体燃料との混燃システム、更には後述する低 $\text{NO}_x$ 化効果も含めた二段燃焼方式、角形構造による燃焼温度分布の均一化など

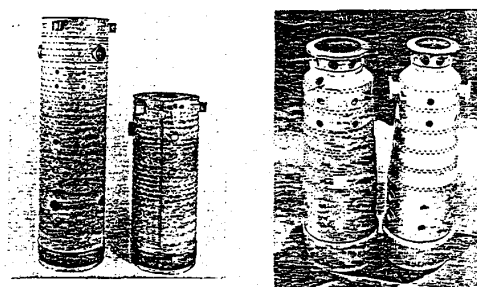


図18 改良形燃焼器(従来形比較)

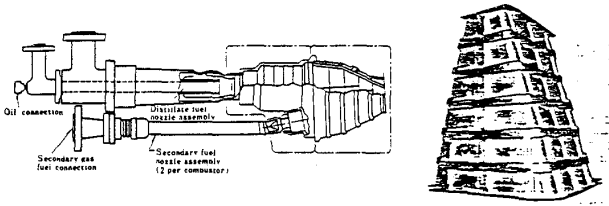


图19 新形燃烧器

低カロリー燃焼問題に対処した配慮がみられる。更に注目すべきは従来形燃焼器とタービンの間に存在した連結部いわゆるランジションピースが極端に短縮化し、石炭障害更には高温化に備えている。

日本における低カロリー燃焼器の研究は、燃焼器寸法・燃料噴射弁の改造などによる基礎研究段階で、サンシャイン計画流動床ガス化炉を利用しガス化生成ガスによる実ガス試験が行われている。

低NO<sub>x</sub> 燃焼器の開発においては、サーマルNO<sub>x</sub> 低減方策として水・蒸気噴射の活用方式も研究されているが、フューエルNO<sub>x</sub> 低減にはこの方策は効果がなく、2 段燃焼方式・新燃焼方式が研究されている。

一方、超高温燃焼器として図20に示すような二重壁構造、対流とフィルム冷却を組み合わせた複雑な冷却方式の採用、更にはセラミックの応用へと研究が進んでいる。二重構造・セラミックス燃焼器としては最近2,500～3,000°F級を対象としGE社が研究開発しているものがあるが、図21に示すごとく頭部はメタル製であり、燃焼筒をセラミックスとしたものである。このようなセラミックス単体利用は強度・耐久性更には信頼性の面で応用には現状では問題がある。

金属を強度母材とし、セラミックの熱遮蔽効果を利用した図22に1例を示す金属・セラミックスかん合構造燃焼器は、燃焼器出口部温度1,700℃級で金属部が600℃級と低温度領域に保たれ高温

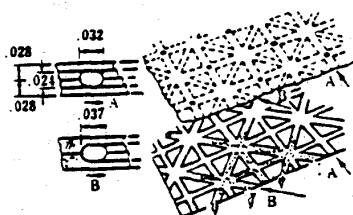


図20 複雑な冷却方式の例

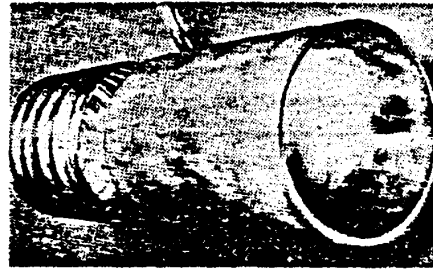


図21 セラミック燃焼室（頭部金属）

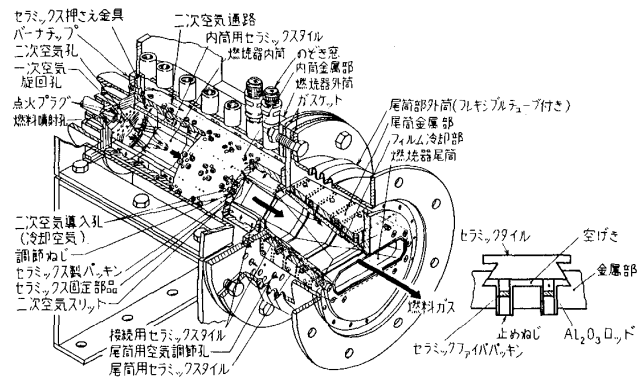


図22 金属・セラミックスかん合形燃焼器  
(電中研)

腐食対策上有利であり、今後接触燃焼器同様その開発が期待される。

ロ) 冷却技術の研究および開発  
研究課題

石炭ガス化用ガスタービンにおいて、プラント効率の向上のためには、かなりの高温化が要求される。従って1,300℃以上ものガスタービン入口ガス温度に対応した燃焼器および高温動・静翼、更には各部材の冷却技術が必要とされる。更に石炭ガス化生成ガスの場合、クリーン燃料の冷却条件に加え、石炭ガス化ガス中に含有されている腐食性不純物による高温腐食への部材温度の影響、更に石炭灰融着・侵食の温度影響を考慮しなければならず、クリーン燃料の場合に比べダーティ性を考慮した厳しい冷却技術が必要とされる。

従って高性能空冷技術の開発，更にはセラミックス利用及び水冷却等新冷却方式の研究開発が重要な研究課題となっている。

## 研究動向

空気冷却方式を採用し高温化する場合、翼内部冷却性能の強化および冷却細孔を翼外面に多数もつての冷却空気層の熱遮蔽効果又はセラミック

スコーティングによる熱遮蔽性能を利用して対処しようとしている。しかし空気冷却方式においては高温化に伴い冷却空気量が増大して、特に産業用ではガスタービン全体効率低下をきたすため入口温度は1,300℃級で上昇限界となろう。

空冷方式は本来的にはクリーン燃料を対象に、航空機用として発展してきたものであるため、石炭ガス化ガスの場合十分なる清浄化が要求される。しかし石炭ガス化生成ガス中には、石炭灰、更には腐食性不純物の含有は避けられぬため、空冷方式では石炭灰の融着による冷却孔の目詰り・侵食による冷却細孔の拡大など冷却不安定・不能障害の対策のみならず、経済上・効率上翼温度を800～900℃に保つよう設計・運転されるため、翼耐熱合金種類にもよるが図23に示すごとく高温腐食対策が冷却技術と密接な関連を持つ。

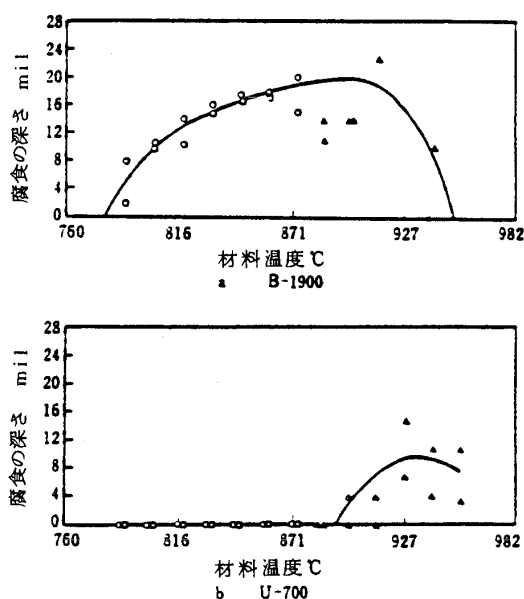


図23 材料温度と腐食量の関係

燃料；JP-4, NaCl/空気；8ppm

水冷却方式は、米国GE社で実機大試験が進行中である。

GE社水冷却方式は、静翼冷却は高压水密封循環方式であり、動翼、翼先端部で翼外に高温水または蒸気で噴射する開放散布方式である。

冷却水を翼外に散布せぬ冷却水密封方式は、シュミットガスタービンが代表的例であるが、散布形に比べ水・蒸気腐食、水侵食、更には効率の面で優れていると考えられる。この方式では、図24

に示すUT社の強制対流・自然対流熱伝達機構共存閉ループ方式、図25に示すシュミット翼改良熱サイフォン熱伝達機構利用導管内蔵方式が基礎研究段階に入っている。

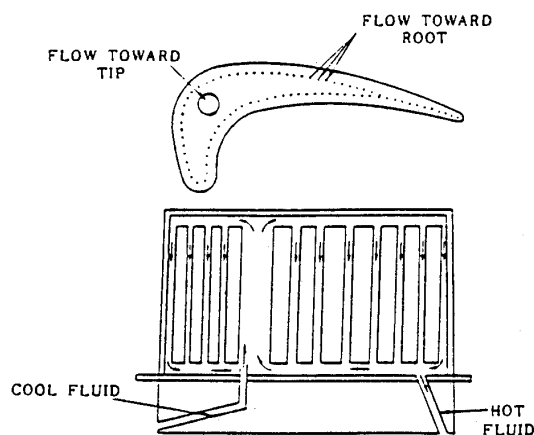


図24 United Technology Corporation  
水冷却翼

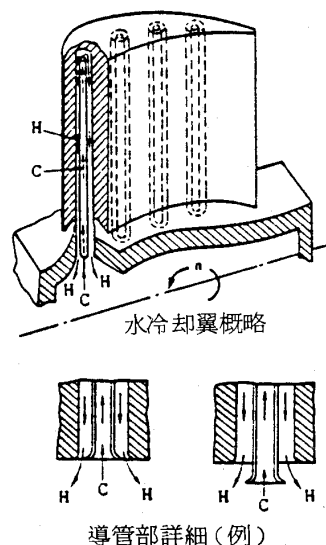


図25 熱サイフォン利用導管内蔵形  
水冷却翼（電中研）

セラミックの持つ高温耐熱性および熱遮蔽性を利用し、セラミックス単体翼およびセラミックスコーティングなどクリーン燃料を対象に開発、研究が行われている状況で、石炭ガス化生成ガス燃料においては空冷方式との結び付きが高温化のみならず耐食性の面からも必要とされ、その開発及び実用化が急がれている段階である。

ハ) ダーティ性評価技術の研究

## 研究課題

石炭ガス化生成ガス中の腐食性不純物の付着・高温腐食、石炭灰の融着・侵食現象により冷却性能が大きく影響を受けるのみならず、動・静翼形状の変化による空力性能の低下、更には通路形状・開口面積の変化などによるタービン性能の劣化が予想される。性能の経年的低下、更には通路形状・開口面積の変化などによるタービン性能の劣化が予想される。性能の経年的低下特性の把握、最適保守期間・手法の確立など効率面のみならず、信頼性の面で重要であり、実ガス環境下でタービン性能劣化の評価と対策技術の確立が研究課題となる。

## 研究動向

高温材料に発生する高温腐食は、材料表面上に腐食性物質が付着し、これが熔融状態にあるときに激しく起ることが知られている。高温腐食の主要なものはバナジウム(V)に富んだ付着物による腐食と $\text{Na}_2\text{SO}_4$ に富んだ付着物による腐食である。また耐熱材料により領域は異なるものの図23に示したごとく温度依存性がある。高温腐食メカニズムは材料技術の項で述べるのが適切であろうが、材料添加剤・防食コーティング手法での対策、研究が行われている。図26に腐食の例を示す。

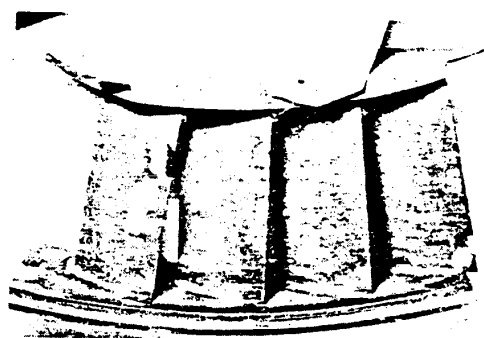


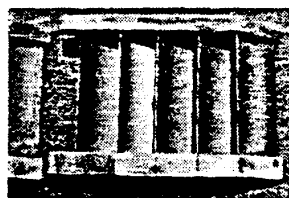
図26 Corroded Gas Turbine Stationary Vanes

Source : Encotech Photo

石炭灰の翼および高温部材への融着、それによる燃焼ガス通路の目詰りの影響と対策についてはガス環境条件の違いはあるが、高炉ガスの炉頂圧タービンでの図27に示すような例がある。付着の影響因子としては、ガス流動状況とりわけ剥離の



(a) ダスト付着の激しいもの



(b) ダスト付着の無いもの

図27 静止翼列へのダスト付着状態

有無、通路形状、材質の表面粗度・温度、水蒸気成分などであり、これらの適正な選定により付着更には摩耗を抑制することが可能と報告されている。なおダスト除去として高圧水噴射洗浄・急速起動などの効果があげられている。

高温侵食の例としては、FCC (Fluid Catalytic Cracker : 流動接触分解装置) の排ガス膨張タービンの摩耗の実験研究がある。

## ニ) 圧縮技術の改良研究

石炭ガス化は発熱量が低いいため燃料流量が従来形の5～10倍にもなり、ガスタービン出力は増加する圧縮機とタービン・燃焼器、更にはガス化炉とのマッチングの問題が発生する。しかしこの問題は本質的な研究課題でなく、圧縮機の改良およびプラントシステム技術で検討すべきものと言える。

## ホ) システム技術の研究

## 研究課題

プラント効率の向上、最適運転・運用のみならず環境対策上からも石炭ガス化複合発電プラント全体に渡るシステム詳細検討は当然必要であるが、プラント出力の6割強をしめ、効率上重要な影響を持つガスタービンのシステム研究は、ガス化炉・クリーンアップ設備、更にはスチームタービン同様重要な研究課題となる。

更にガス化炉・クリーンアップ装置の運転、炭種によるガス組成の変化と燃焼変動、圧縮機と各装置とのマッチングなどクリーン燃料におけるものと異った運転・制御がガスタービン部にも要求

され、プラント全体を踏まえたガスタービンの運転・制御システム技術の研究が必要となる。またダーティ燃料特有な問題・対策を考慮した監視系・制御系の開発も必要となろう。

#### 研究動向

現時点ではこれらシステム技術は各種概略検討、要素研究は行われているが、その確立・実証については今後の問題であろう。

我国の石炭ガス化用ガスタービンは、複合発電プラントのかんりの高効率化・十分なる環境安全性が要求される。

石炭ガス化用ガスタービンの開発は、石炭ガス化生成ガスが従来のクリーン燃料と異なり、厳しく新しい技術開発を必要とすることを十分認識し、研究を行うべきであろう。空冷技術に例を取っても、冷却構造の上からも、効率上の限界からも現在の空冷高温ガスタービンの単なる技術延長で対処するのではなく新たな開発研究が必要であろう。

#### 6. むすび

石炭ガス化複合発電は21世紀における化石燃料による発電の主力電源に発展していくものと期待されている。しかし、現在、研究開発が緒に付いたところであるので一步一步着実にデータを積み重ねていくことが肝要と考える。

#### 参 考 文 献

- 1) 水谷, 石原, 他 10 名, 「石炭ガス化複合発電に関する当面の研究課題について」電中研調査報告 No. 280062, (昭 56 - 6)
- 2) 水谷, 他 7 名, 「石炭ガス化複合発電」電研レビュー第 4 号 (昭 57 - 10)
- 3) 水谷, 「石炭転換燃料によるコンバインサイクル発電設備」日本ガスタービン学会誌 (昭 57 - 10)

- 4) 深田, 他 2 名, 「水冷却ガスタービン技術の最近の動向」電研研究報告 No. 282027 (昭 57 - 12)
- 5) 阿部, 石川, 他 4 名, 「セラミックス・金属かん合型超高温ガスタービン燃焼器の開発第 1 報」電研研究報告 No. 282009 (昭 57 - 11)
- 6) NEDO 昭和 56 年度石炭ガス化委員会第 3 部会調査報告書 (昭 57 - 3)

#### 「新しいガスタービンシステム」の討論内容

ガスタービンの将来展望をテーマにして、討論が行われた。主な内容は次の通りである。

- (1) ガスタービンは将来 LNG ならびに石炭ガス化の複合発電用としてまたコージェネレーション用、炉頂用等として巾広く、増々重要な役割を担っていくことが予想される。
- (2) 我国のエネルギー情勢から当面は LNG 用が主流をしめるが、将来は石炭ガス化用にとってかわられるであろう。
- (3) 複合発電プラント等の高効率化をはかるためガスタービン技術は高温化を軸に発展していくであろう。
- (4) ガスタービンの高温化をはかる道として、冷却技術、超高温耐熱金属、セラミックス等の新素材ガスタービンの研究開発に期待がかけられており、その技術のもっている可能性を先見的に洞察した研究開発の重要性が認識された。

(電中研 水谷 弘 記)

本原稿は昭和 60 年 9 月 12, 13 日に開催された特別講座の内容を解説用としてまとめたものである。

石川島播磨重工業㈱ 佐藤 幸徳  
石川島播磨重工業㈱ 藤 秀実

## 1. はじめに

最近、燃焼器設計に数値解析を利用する傾向が増しつつある。即ち、燃焼器内部の流れ場、温度場解析などのように燃焼器内部流動の全体的な解析、燃焼器ディフューザ部の流れ解析や燃料噴射弁近傍の流れおよびライナ壁の伝熱解析のように燃焼器各部の解析、に使用されるなど種々の目的に応じ使われつつある。

高温、高圧化が進む中で、従来のように費用、時間の点で試験を頻繁には行い得なくなったこと、数値解析を利用することにより、設計概念のスクリーニングができること、設計パラメータの値を動かした時の特性への影響調査を机上でできること、改良設計を行う際の問題点の原因への眼識を与えること、などいわゆる Design Productivity(設計開発の効率化)向上が利用される理由として挙げられる。

数値解析の中でも最も困難なものは燃焼を伴った流れ場の解析である。その中でも燃焼のモデリングに関しては、最近再び関心が高まってきており、その動きについて少し触れてみる。燃焼研究のここ40年の歴史を見てみると大きく3期に分けられると言われ<sup>(1)</sup>、第1期は戦後の高負荷燃焼や燃焼の安定性の研究に関心の払われた時期、第2期は約20年前からの大気汚染物問題に関連する研究そして第3期は約10年前からのエネルギー問題に関連する研究の時期である。実用の燃焼器の研究開発テーマ<sup>(2)</sup>も、およそこの燃焼研究のテーマの流れに沿い、表裏一体をなしてきたと言える。次代、第4期のテーマは何か。モデリングとシミュレーションそして検証としての火炎の診断がその1つとして考えられる可能性がある。

1981年にThe Combustion Institute(アメリカに本部をもつ燃焼に関する国際学術団体)の

165名の委員から今後重点的に行うべき研究テーマについてアンケートを取った結果<sup>(3)</sup>によると41テーマ中に、Computer Modeling および Diagnostics は実に11位と4位に高くランク付けがなされている。事実、最近の燃焼研究の動向を基礎研究分野からみると燃焼の基礎的問題に関連した研究発表が再び活発となってきており、これらはモデリングに要求される火炎構造の解明と無関係ではないだろう。

一方、これらの基礎研究と平行して、これまでの研究成果を取り入れながら、工学的実用を目指した数値解析がなされており、1984年の国際燃焼シンポジウムにおいて、“連続燃焼流における乱流燃焼のモデリングと計測”<sup>(4)</sup>と題する特別講演の中でこの分野のクリティカル・レビューがあり、モデル計算と実験の比較がなされ今後の課題も示された。

また、これまで実用燃焼器に関する研究発表が比較的多い、AIAA(アメリカ航空宇宙学会)、ISABE(エア・ブリージング・エンジン国際シンポジウム)、ASME(アメリカ機械学会)での発表論文の最近の傾向を見てみても<sup>(5)</sup>、航空用ガスタービン燃焼器を例にとっても、かつての大気汚染物質低減やE<sup>3</sup>(Energy Efficient Engine)用燃焼器の研究と言った目玉が無くなってきた代りに、地味なテーマの中に、燃焼を取り扱った数値解析を含め、数値解析の例が多く見られるようになった。

本稿では、以上のような背景を受けて、航空用ガスタービン燃焼器を例にとり、現在、数値解析が燃焼器設計のどの部分に適用されつつあるかを、燃焼を伴う流れの他、伝熱解析も含めて紹介し、読者の参考に供したい。

## 2. これまでの燃焼器設計開発のプロセスと数値解析の適用

燃焼器の設計・開発の流れの例を図1に示す。

(昭和60年11月11日原稿受付)

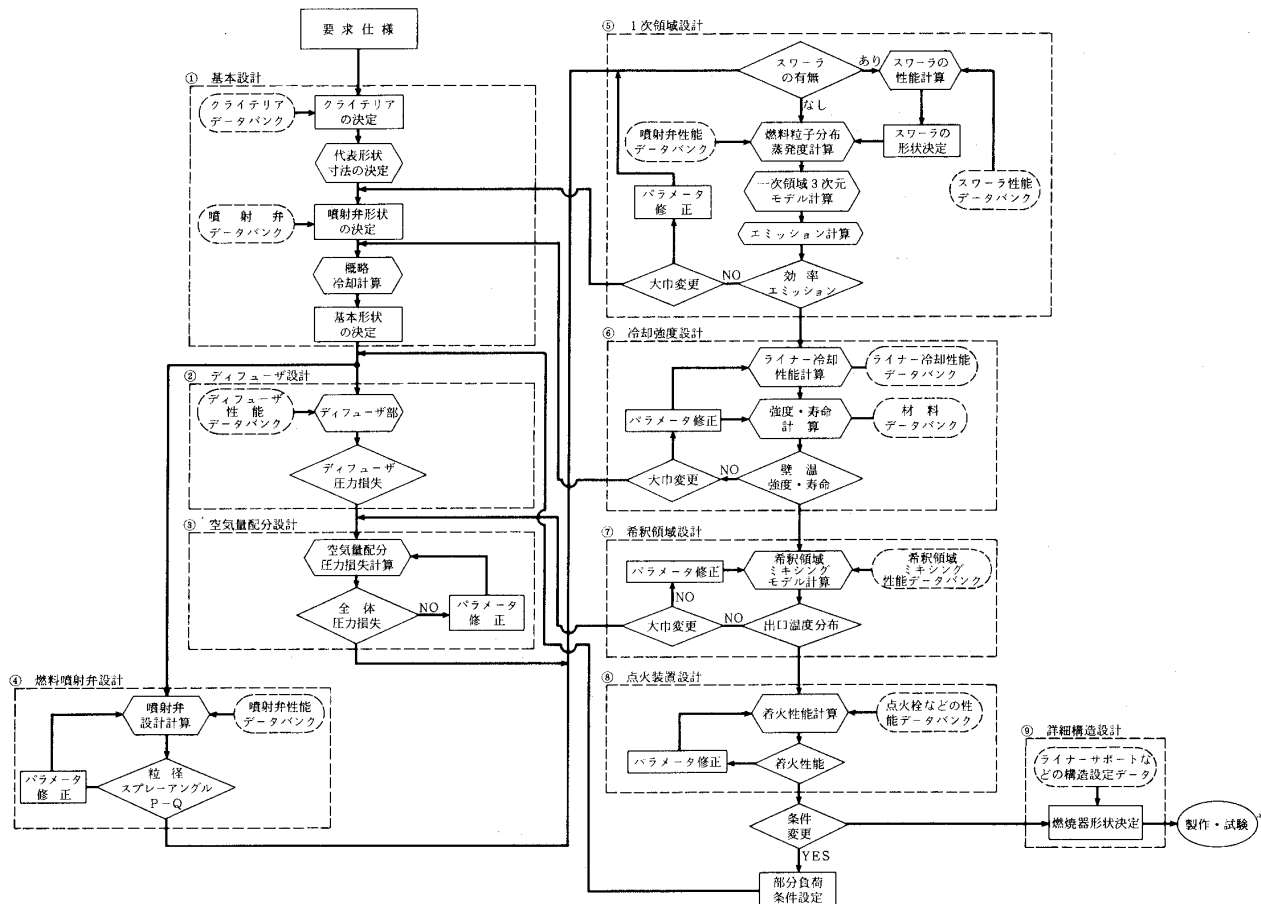


図1 燃焼器の設計・開発の流れ

まずエンジン側から燃焼器に対して燃焼効率，圧力損失と言った性能仕様および取合い寸法が与えられる。これに基づき基本設計では燃焼器ライナ長さおよび内外径などの基本寸法，燃料噴射弁形式および本数，ライナ冷却方法，燃焼器各部への空気流量配分などを決め，詳細設計にて噴射弁形状，旋回器形状，ライナ空気孔配置および形状を決める。このようにして設計した燃焼器を製作，試験し，必要に応じて改良し，以上のプロセスを繰り返す。通常，試験に供する供試体の数は数種類から数百種類になる。このように説明すると，燃焼器の設計開発は主として試行錯誤と経験の積み重ねによって行われる印象が強いが，通常燃焼器メーカーでは自社流の燃焼器の「型」をもっている。従って設計開発に必要なデータバンクを持ち合わせていて新しい機種 of 要求に対応し，試行錯誤回数を最小にしている。

しかし，近年，燃焼器に対するエンジン側からの要求は，高温・高圧化とともに，燃焼器の短縮化，寿命/耐久性の向上，エミッションの低減な

ど益々厳しくなり<sup>(6)</sup>，極限の設計が求められるので設計概念も今までのデータの延長線上だけでは処理しきれなくなっていること，しかも開発期間の短縮化も要求される現状では，燃焼器内の流れ，温度場などを数値的に把握し，設計段階において性能の予測のみならず，運転条件によるそれらの変化の傾向を知ることが必要になってくる。従って図1における設計の各ステップで数値実験を行い，設計の評価を行うことが必要となってくる。

### 3. 燃焼器における数値解析適用上の特徴

代表的な航空用ガスタービン燃焼器の概略を図2に示す。燃焼器部に入る流れのRe数は $10^5$ オーダーの乱流であり，ディフューザを出た流れはライナ内側および外側環状部，旋回器に入る。この環状部に入った流れは更にライナ空気孔およびクーリングスロットからライナ内に流入する。旋回器により，流れに旋回成分が与えられ，逆流領域をつくる。このように燃焼器内部の流れは旋回器からの旋回噴流に加えて，ライナ空気孔やスリットから流入する空気噴流により非常に複雑な3次元性を

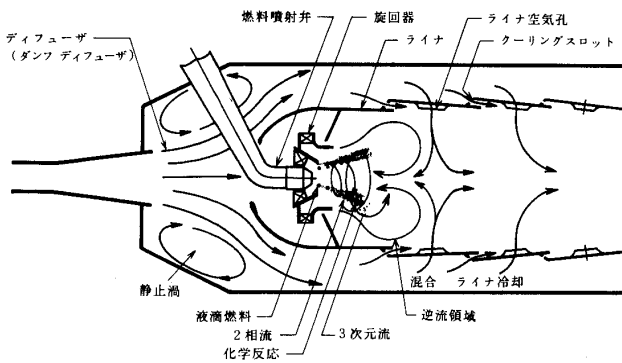


図2 ガスタービン燃焼器の概略

有する。この逆流領域に液体燃料が噴射弁から噴霧され、液滴の蒸発、空気との混合および化学反応がほぼ同時に進行する。

以上から、ガスタービン燃焼器に数値解析を適用する場合、次のような特徴がある。

- (1) 流れが乱流かつ3次元であるため、乱流3次元解析が必要。
- (2) 液滴の蒸発を含む化学反応を伴う解析が必要。
- (3) 逆流領域が存在するため、方程式が楕円型となる。
- (4) 数値解析すべき形状が複雑であるため、形状に適した座標系が必要。

#### 4. 解析モデル

燃焼器解析に現在適用されている主な数値解析モデルを表1に示す。主要なモデルは乱流モデル、化学反応モデルおよびふく射モデルである。

乱流モデルはゼロ、一、二方程式、代数応力、応力方程式モデルなどがある。このうちゼロ、一

方程式モデルは単純な場の解析には用いられることもあるが、燃焼器に見られる複雑な流れの解析には適さない。代数応力、応力方程式モデルは二方程式よりも乱流の本質に近づくものであるが、計算時間、必要計算機記憶容量共に増し、研究段階であると考えられる。実用上は経済性の点から現在の主流は二方程式モデルである。また二方程式モデルでも乱れの運動エネルギー $k$ ともう一つの物理量を何にとるかでいくつかのモデルが提案されているが<sup>(7)</sup>、乱れの運動エネルギー $k$ の消散率を表わす $\epsilon = k^{3/2}/l$  ( $l$ : 乱れのスケール)をとる $k-\epsilon$ 方程式モデル<sup>(7)</sup>がよく用いられる。

反応モデルは反応速度が有限か無限大かまた乱流による分子レベルの燃料・空気の不均質性を考慮するか、しないかの組合わせでいくつかのモデルに分類できる。また反応速度も化学反応速度に律されるという場合と、渦の消散速度に律されるという場合がある。前者は例えばアレニウス型の反応速度式が用いられ、後者はいわゆる渦崩壊モデル<sup>(8)</sup>であり、反応速度は乱れエネルギー $k$ と消散率 $\epsilon$ などを用いて表わされる。反応速度が有限で燃料・空気の不均質性を考慮するモデルが燃焼器内の現象に近いものではあるが、この際濃度の確率密度関数<sup>(9)</sup>を仮定する必要がある、実用的に使用するにはまだ研究が必要であろう。更に化学反応も素反応まで考えるのが本来の姿であろうが、ジェット燃料の素反応は解明されておらず、現在は簡略化した化学反応モデルを使用している。

ふく射モデルとしては、大別してゾーン法<sup>(10)</sup>と

フラックス法があり、実際の現象に近いという意味ではゾーン法が優れているが、これによると解くべき式が多くなる。このため一般的には数値解析の解法から使い易いフラックス法が用いられる。またフラックス法には考慮するフラックスの方向を2方向、4方向、6方向にすることに対応し2フラックス、4フラックス、6フラックスモデル

表1 燃焼器の各要素に適用されている主な数値解析モデル

要 素	適 用 さ れ て い る モ デ ル		解 析 目 的
燃焼器ライナ内部	流	○ $k-\epsilon$ 二方程式モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 燃焼器内フローパターン、速度場</li> <li>○ 燃焼器内空燃比分布</li> <li>○ 燃焼器内温度分布</li> <li>○ 燃焼生成物濃度分布</li> </ul>
	噴霧軌跡および蒸発	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Particle Source in Cellモデル</li> <li>○ Deterministic Separated Flowモデル</li> </ul>	
	化学反応	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ アレニウス型反応速度式</li> <li>○ 渦崩壊モデル</li> <li>○ 2ステップ反応モデル</li> </ul>	
	ふく射	○ フラックスモデル	
ディフューザ (ダンプディフューザ)	○ $k-\epsilon$ 二方程式モデル		○ ディフューザ部フローパターン、速度場、圧力損失
気粒微粒化式噴射弁	○ $k-\epsilon$ 二方程式モデル		○ フローパターン、速度場
ライナ壁	流	○ $k-\epsilon$ 二方程式モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ クーリングスロット部フローパターン、速度場</li> <li>○ クーリングスロット部温度分布</li> <li>○ 熱応力分布</li> </ul>
	伝熱解析	○ 二次元熱伝達モデル	



がある。

以上、数値解析に現在用いられている主なモデルについて述べたが、これらのモデルはどれも決定的なものではない。現在これらのモデルの検証や、ここでは触れなかったがハイブリッドや風上差分などの差分方法の解析結果への影響調査が盛んに行われているところである。

## 5. 数値解析適用例

数値解析を実際の燃焼器に適用した例についていくつか紹介する。

(1) 燃焼器内温度分布（あるいは空燃比分布）：燃焼器出口温度の高温化に伴ない燃焼器出口温度の局所的高温部、いわゆるホットスポットを消すことが重要である。これに関しDDA<sup>(11)</sup>（この場合は出口温度分布に影響を与える1次燃焼領域の空燃比分布を予測し、3種類の設計概念の評価に利用）、AVCO<sup>(12)</sup>（ライナ空気孔位置による出口温度分布の変化の予測）、IHI<sup>(13)</sup>（ホットスポットを消す目的で数値解析で予測し、3種類製作したモデル燃焼器で検証）の例がある。他にGE<sup>(14)(15)</sup>、PWA<sup>(16)</sup>による実機燃焼器を使った温度分布の検証例があり、ホットスポットの位置は概して良く合っている。

温度分布予測に関する筆者ら<sup>(13)</sup>の例を紹介する。図3に示す燃焼器が対象で、解析に使用したモデルは、乱流は $k-\epsilon$ モデル、反応モデルはアレニウス型反応速度式と渦崩壊モデル、ふく射モデルは6フラックスモデルである。解析は差分により差分スキームはハイブリット差分、解法はSIMPLE（Semi Implicit Method for Pressure Linked Equations）、差分方程式解法アルゴリズムはTDMA（Tri Diagonal Matrix Algorithm）を使用した。計算格子数は $40 \times 20 \times 25$ である。入力条件としての旋回器からの空気流量、流入角は単体で実測し、空気

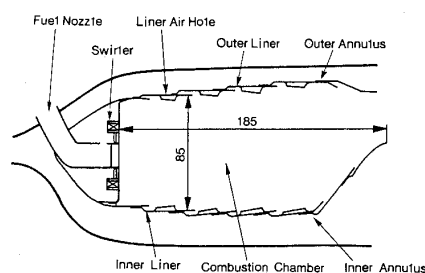


図3 モデル燃焼器<sup>(13)</sup>

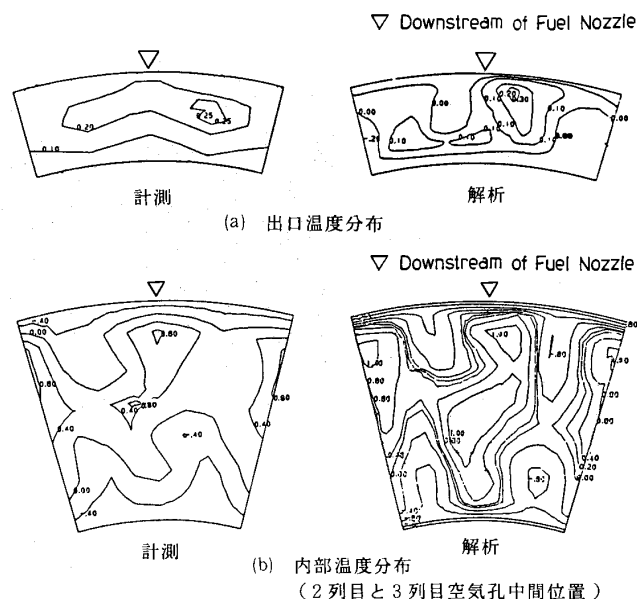


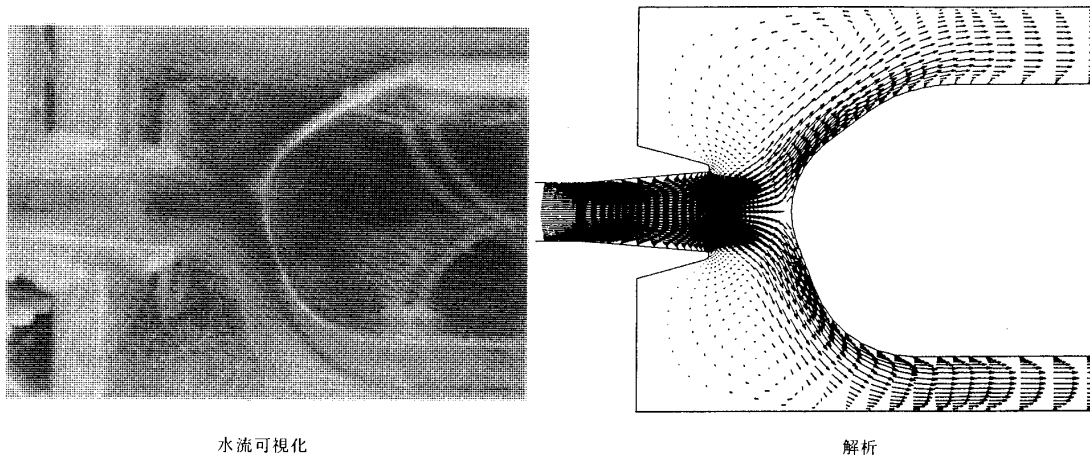
図4 温度分布<sup>(13)</sup>

孔からのそれは、面積比および可視化試験から求めた。図4には燃焼器出口と内部温度分布を無次元化（＝（局所温度－平均温度）/温度上昇）して、解析結果と計算結果例を示すがホットスポットの位置がおおむね一致している。この例ではこの他燃焼器内の流れ場の解析結果を水流可視化試験結果と比較して、ほぼ良い一致を得ている。

(2) ダンプディフューザのフローパターン、圧力損失：ディフューザの短縮化、ディフューザ入口速度のディストーションやライナの製作、組付け上の誤差により、例えば環状型燃焼器の内外環状通路の内/外の空気流量配分が影響を受けにくいことからダンプディフューザが採用されているが、これは従来の末広ディフューザに比較し流れが複雑になる。このダンプディフューザの流れ解析と水流可視化試験の比較例<sup>(17)</sup>を図5に示す。解析は乱流モデルとして $k-\epsilon$ モデル、差分スキーム等は図4の例と同様である。ディフューザ部の形状が複雑であるため物体適合座標を採用している。静止渦の大きさや流れのケーシングへの付着点、圧力損失係数などが良く一致している。

この他、同様のGE<sup>(18)</sup>の解析例もみられる。

(3) 気流微粒化式噴射弁の気流の速度分布：燃料噴射弁は低公害の要求などから現在気流微粒化式噴射弁が主流であるが、この噴射弁の微粒化、燃料分布、空燃比分布は微粒化用空気の流れと密接な関係がある。この微粒化用空気の流れ解析例を



(a) フローパターン

	Analysis	Experiment
$\phi_{I-e,0}$	0.49	0.46
$\phi_{I-e,I}$	0.47	0.43

$$\phi_{I-e,0} = \frac{\int P_{0,0} dm - \int P_{e,0} dm}{Q_0}, \quad \phi_{I-e,I} = \frac{\int P_{0,I} dm - \int P_{e,I} dm}{Q_I}$$

P: Total pressure, a: Dynamic pressure

m: Mass flow

Suffix

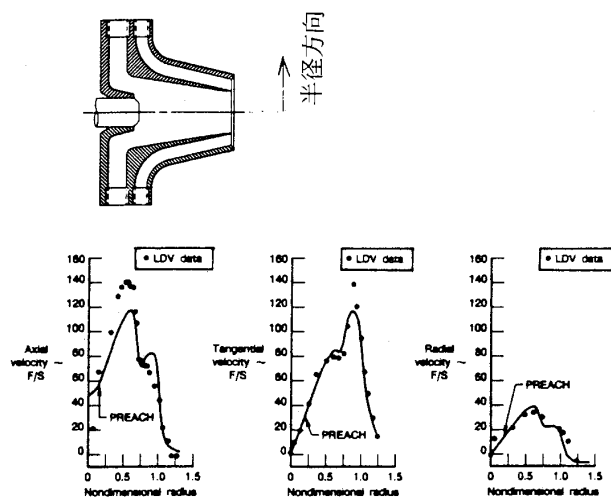
I: At diffuser inlet, e: At diffuser exit

0: Outer diffuser, I: Inner diffuser

(b) 圧力損失係数

図5 ダンプディフューザの比較<sup>(17)</sup>

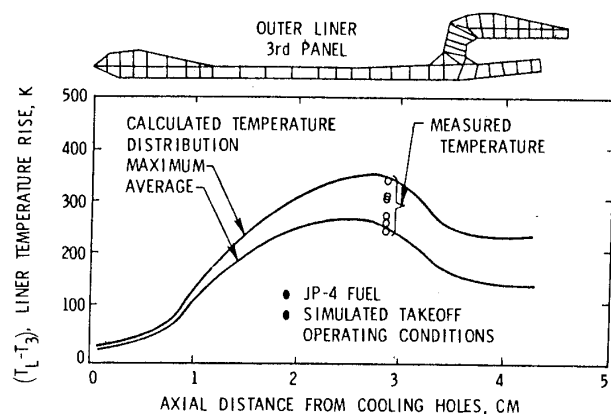
図6<sup>(19)</sup>に示す。乱流モデルは $k-\epsilon$ モデルである。解析結果はLDVにて計測した結果と比較されており、かなり良く一致している。

図6 気流微粒化式噴射弁の速度分布<sup>(19)</sup>

(4) 燃焼器ライナ壁温分布、強度解析：高温化に伴ないライナの冷却性能を向上させる必要があるが、そのため一方ではライナ壁形状が複雑となり熱応力的に望ましくないことも有る。そのためラ

イナ壁形状を決定する時に冷却性能と寿命（主として低サイクル疲労）をトレード・オフする必要があるが生じてくる。図7にはF101エンジン燃焼器のライナ壁温分布解析例<sup>(20)</sup>を示す。ライナ冷却部形状に適するように有限要素法により解析を行っている。解析結果は試験結果と良く合うとしている。このようにして得られた壁温分布を用いてライナの熱応力解析を行った例<sup>(21)</sup>などもある。

尚、以上の例の他にクーリングスロット部の流れ場の解析を行い冷却効率改善に利用している

図7 燃焼器ライナ壁温分布<sup>(20)</sup>

例<sup>(22)</sup>，蒸発型燃焼器の蒸発管まわりの流れを解析して蒸発管の加熱を改善する設計指針を得た例<sup>(23)</sup>などがある。

## 6. あとがき

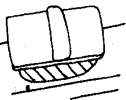
以上，設計・開発者の立場から航空用ガスタービン燃焼器を例にとり数値解析の適用例を紹介した。ガスタービン燃焼器に現在適用している流れの解析は， $k-\epsilon$ モデルはすでに実用段階に入っていると思われる。燃焼を含む，しかも液体燃料の蒸発を含む場合の温度解析は対象が複雑すぎて，まだ定量的に一致しているとは言えない。しかし，一般的な傾向は予測できる。設計・開発者の立場から言えば，計算方法や仮定にあらっぽいものであっても設計の指針たる情報が得られれば有用である。

課題としては文献<sup>(4)</sup>あるいは本誌連載の講義<sup>(24)</sup>などにも述べられている。乱流モデルとして設計・開発段階で代数応力モデルを開発に取り入れている企業もあるようである。いずれにせよ，ガスタービンの特徴を良く表すモデルとその検証データの蓄積が必要である。また，ガスタービンに見られる乱流燃焼の問題はその解明は絶望的と思われなくもない。しかし今日，光学的計測法がその解明の有力な武器になり得るとも考えられ，その方面の研究の進展が望まれる。

最近，米国ではNASAの聲がかりでこの方面の研究が活発になりつつある。我国でも官学民による基礎から実用研究開発に至る共同開発システムづくりの推進により，数値解析技術力の強化とその基礎となるモデルの解明が待望される。

## 参考文献

- (1) 辻，“戦後の燃焼研究の歩み”，災害の研究，13（昭57），149.
- (2) 山中，佐藤，藤，日本ガスタービン学会誌，10-39（昭57-12），3.
- (3) 竹野，燃料協会“燃焼の基礎”テキスト，（昭60-10），1.
- (4) Jones, W. P., Whitelaw, J. H., 20 th Symposium (International) on Combustion/The Combustion Institute, (1984), 233.
- (5) 例えば玉木，藤，日本ガスタービン学会誌，13-51（昭60-12），36，難波，渡辺，同上，42.
- (6) 日本航空宇宙工業会革新航空機技術開発センター企画委員会“報告書「革新航空機技術-推進技術及び航空機素材」の開発動向と課題について”，（昭60-3），14.
- (7) Launder, B. E., Spalding D. B., Mathematical Models of Turbulence, (1972), Academic Press.
- (8) Spalding, D. B., 13 th Symp. (Int.) on Combustion, (1971), 649.
- (9) 例えばLockwood, F. C., Naguib, A. S., Comb. & Flame, 24, (1975), 109.
- (10) Hottel, H. C., Sarofim, A. F., Radiative Transfer, (1967), McGraw Hill.
- (11) Sullivan, R. E., Sutton, R., Miles, G., Young, E., AIAA-83-1265.
- (12) Turan, A., Ruggieri, N. G., Smith, G. E., Forbes, B. C., ASME 84-GT-170.
- (13) Sato, Y., Tagashira, T., Toh, H., Watanabe, T., AIAA-85-1313.
- (14) Kenworthy, M. J., Correa, S. M., Burrus, D. L., NASA CR-168296, Nov. 1983.
- (15) Kenworthy, M. J., Burrus, D. L., AIAA-84-1168.
- (16) Sturgess, G. J., NASA CR-168202, May 1983.
- (17) 佐藤，藤，中野，仲田，安藤，河合，日本ガスタービン学会鹿児島地区講演会，（昭60-11），85.，および同上追加発表資料
- (18) Shyy, W., AIAA-85-1440.
- (19) Smith, C. E., Graves, C. E., Roback, R., Dalessandro, D. D., AIAA-85-1183.
- (20) Gleason, C.C., Bahr, D.W., ASME 80-GT-55.
- (21) Dennis, A. J., Cruse, T. A., AIAA-79-1154.
- (22) Sturgess, G. J., Pfeifer, G. D., ASME 85-GT-36.
- (23) Sotheran, A., 1983 Tokyo International Gas Turbine Congress, 83-Tokyo-IGTC-24.
- (24) 水谷，香月，日本ガスタービン学会誌，12-48（昭60-3），27.，同上13-50（昭和60-9），10.，同上13-51（昭60-12），28.



大阪大学工学部 水谷 幸夫  
大阪大学工学部 香月 正司

## 8. 相間干渉サブモデル

これまでは流れを単相ガス流として話を進めてきた。しかし、実際には燃料として液体燃料や固体燃料が用いられることも少なく、その場合には液(または固)相と気相の間の質量、運動量、物質、エネルギーの交換をモデル化した相間干渉サブモデルが必要となる。工業的に多用されるのは噴霧燃焼と微粉炭燃焼であるが、ここでは紙面の関係で噴霧燃焼に話を限ることとする。

気相と液相の間の相間干渉を液相の側から眺めて、最も一般的な噴霧の基礎式を書くと、つぎのようになる。

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r}(R \cdot f) + \nabla_x(V \cdot f) + \nabla_v(F \cdot f) = \hat{Q} + \Gamma \quad (47)$$

ここで、 $f(t, r, X, V)$  は噴霧関数と呼ばれ  $f dr dX dV$  は時刻  $t$  において液滴半径  $r$ 、位置ベクトル  $X$ 、速度ベクトル  $V$  の微小範囲  $dr dX dV$  に存在する液滴の個数を表す。なお、 $R(=dr/dt)$  は液滴の成長率、 $F(=dV/dt)$  は加速度ベクトル、 $\hat{Q} dr dX dV$  は凝縮や分裂による微小範囲の液滴数の増加率、 $\Gamma dr dX dV$  は衝突や合体による微小範囲の液滴数の増加率を表す。当然、 $R, F, \hat{Q}, \Gamma$  は  $t, r, X, V$  の関数である。式(47)を  $r$  と  $V$  について積分すれば、気相側から見た相間干渉に基づく生成項の大きさが計算できる。

式(47)は一般性のある噴霧の基礎式であるが、粒度分布や速度分布を持つ実際の噴霧に対し、気相側の基礎式とともに解くことは大変な仕事である。そこで簡単化のために種々の近似が行われるわけであるが、近似モデルを大別すると、“連続体モデル”と“個体モデル”になる。前者は液相をガスの一成分、したがって噴霧全体を連続体と見な

して、液相の対流流束や拡散流束に注目するものであり、後者は液滴をいくつかのグループに分け、各グループ代表個体の挙動を追跡するものである。以下、そのおのおのについて簡単に説明する。

**8.1 連続体モデル** このモデルは複雑さによって“気液平衡モデル”と“気液非平衡モデル”に分けられ、さらに後者は“すべりモデル”と“非すべりモデル”に分類される。

(1) 気液平衡モデル 噴霧流の取扱いの中で最も簡単なモデルで、気相と液相とが常時力学的平衡と相平衡の状態にあると仮定し、したがって液相をガスの一成分として取扱う方法である。Shearer らの局所均質流モデル<sup>(39)</sup>がこれに属する。このモデルは噴霧が極めて細かく、液相の質量分率があまり大きくない場合に限って適用可能である。

(2) 気液非平衡モデル 気相と液相が相平衡状態になく、したがって蒸発速度(場合によっては凝縮速度)が関係するとするモデルである。両相の間に力学的平衡が成立すると仮定するかどうかで、“非すべりモデル”と“すべりモデル”に分けられる。

(a) 非すべりモデル このモデルでは両相の局所平均速度(場合によっては瞬間速度も)が等しいことから、液滴の速度、運動方向は考慮する必要がなくなり、定常噴霧流であれば粒度分布のみを考えればよい。Spalding は  $s(=d^2, d = \text{液滴直径})$  によって液滴を数グループに分類した柱状粒度分布を考え、それぞれのグループに属する液滴の質量分率  $m_{dr,i}$  に対する保存式を、軸対称二次元場に対し、

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u m_{dr,i}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \rho v m_{dr,i}) - \frac{\partial}{\partial x} \left( \Gamma_{dr,i} \frac{\partial m_{dr,i}}{\partial x} \right)$$

(昭和60年11月5日原稿受付)

$$-\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \Gamma_{dr,i} \frac{\partial m_{dr,i}}{\partial r} \right)$$

$$= -(\dot{s}_i f_{i+1} - \dot{s}_{i-1} f_i) - \frac{3 \dot{s}_i f_i}{2 s_i} (s_i - s_{i-1}) \quad (48)$$

で与えている。<sup>(40)</sup> ただし、 $f_i$  は  $i$  番目のグループに属する液滴の単位体積、単位  $s$  当たりの質量、 $\Gamma_{dr,i}$  はその液滴の拡散係数、 $\rho$  は噴霧の見掛けの密度、 $\dot{s}_i$  は  $s_i$  の時間変化率で、 $m_{dr,i}$  は次式で与えられる (図17 参照)。

$$m_{dr,i} = \frac{1}{\rho} \int_{s_{i-1}}^{s_i} f ds = \frac{f_i}{\rho} (s_i - s_{i-1}) \quad (49)$$

このモデルは強い乱れのある細かい噴霧に適用されるべきで、著者らもガスタービン燃焼器の解析に利用した経験がある。<sup>(41)</sup>

(b) すべりモデル これは気相と液相の間の平均相対速度を考慮するモデルで、燃焼のシミュレーションに利用された例はないようである。固気二相流に対し、粒子の乱流拡散を無視した清水らのモデル<sup>(42)</sup> や、噴霧の影響を考慮に入れた  $k-\epsilon$  二方程式乱流モデルを用いた Elghobashi らの解析モデル<sup>(43)</sup> がある。

**8.2 個体モデル** このモデルでは、噴霧を個別に運動する液滴の集合体として捕え、噴霧関数  $f(t, r, x, v)$  を表すのに十分な数の液滴について、それらの挙動をラグランジュ的に追跡するものである。液滴の気相に及ぼす影響を無視し、液滴の挙動だけを追跡するモデルもあるが、厳密には非燃焼希薄噴霧にしか適用できない。

気相と液相の間の相間干渉を数値解析を意識して考慮したものに、Crowe らの PSI-Cell (Particle source in cell) モデル<sup>(44)</sup> がある。このモデルでは相間干渉をつぎのようにモデル化している。

(i) 液滴とガスは局所時間平均速度の差のみによって運動量を交換する。

(ii) 液滴はある有限の大きさのセルを通過する間に、セルに属する一様なガス塊全体と質量、運動量、エネルギー等の交換を行う。

9 節に示すように、流れ場の解析の際には、対象とする領域を格子分割し、それぞれの格子点において流速、温度、濃度等の諸量を求めるという作業が行われる。ここへ噴霧の影響を導入するた

めに、この格子点を囲むセル (コントロール体積) を単位として、両相の交換過程が行われると考える。すなわちこのセルを横切って液滴が飛行する際に、そのセルの入口と出口における液滴の状態の変化分だけこのセル内の気体に影響を与えると考える (図18 参照)。この間の液滴の蒸発はガスの発生に、液滴の減速はガスの運動量の増加に、液滴の温度上昇はガスのエンタルピーの消滅に結びつけられる。液滴の軌跡をラグランジュ的扱いによって計算し、その変化分を気相に対するソースと考へて加味しながら流れ場を解くのが、このモデルの概念である。このモデルは多くのシミュレーションに利用されたが、<sup>(45)(46)</sup> 液滴の乱流拡散が考慮されていないという欠点がある。この点を改良するために、確率過程の導入を試みた Dukowicz<sup>(47)</sup> や O'Rourke らのモデル<sup>(48)</sup> があるが、まだ

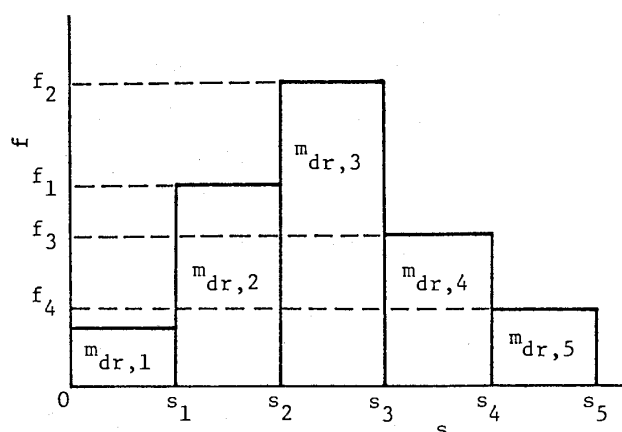


図17 液滴直径の柱状分布モデル

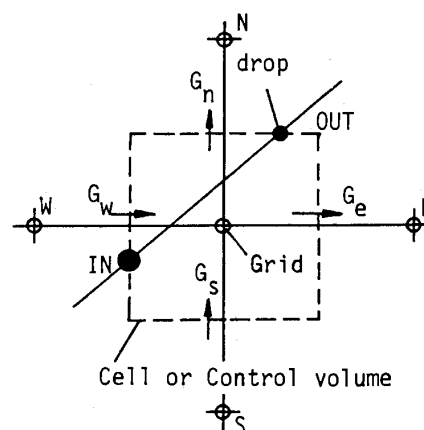


図18 PSI-Cell モデルの概念図

噴霧燃焼には適用された例がない。

## 9. 数値解析法

**9.1 一般形保存方程式** シミュレーションに必要な数学モデルは前節まででほぼ出そろったことになるので、以後はそれらの数値解析法について述べる。

まずシミュレーションの目的が速度場を知ることであれば、連続の式(9)(あるいは式(13)または(17))および運動方程式(10)(あるいは式(14), または(18), (19))を解かねばならない。その際、対象が乱流場であり、 $k-\epsilon$ 二方程式乱流モデルを採用することにすれば、 $k$ ,  $\epsilon$ に対する二つの付加方程式(38), (39)も連立させる必要がある。さらに濃度分布、温度分布を知るために、燃焼反応モデルとして最も単純な式(22)の一段不可逆総括燃焼反応を採用するとしても、燃料、酸素、生成物に対する三つの化学種保存式(11)(あるいは式(15)または(20))と、エネルギー方程式(12)(あるいは式(16)または(21))を解かねばならない。もし流束法によって放射伝熱をシミュレートしようとする、放射熱流束に関する保存式(44)および(45)も含めなければならない。加えて、噴霧燃焼を非すべり・非平衡・連続体モデルで考慮しようとする、一粒径区分につき一つの噴霧の保存式(48)が加わってくる。したがって、これらの連立偏微分方程式群の数値解析法が容易なものでないことは想像に難くない。しかしこれらの方程式群を注意深く見ると、共通した特徴を持っていることに気付くであろう。すなわち一般従属変数として $\phi$ という記号を用いると、すべての保存方程式がつぎの一般形保存方程式(50)で統一的に表される。

$$\frac{\partial}{\partial t}(\beta\phi) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\beta u_i \phi) - \frac{\partial}{\partial x_i}(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_i}) = S_\phi \quad (50)$$

これを軸対称二次元定常流れに対して円柱座標を用いて表せば、

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x}(\beta u \phi) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \beta v \phi) - \frac{\partial}{\partial x}(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x}) \\ - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial r}) = S_\phi \end{aligned} \quad (51)$$

となる。この式(51)をたとえば $j$ 化学種の保存を例に考えると、左辺は $j$ 化学種が対流および拡散によって運ばれる量を表しており、右辺が燃焼反応

によって生成または消滅する量を表している。他の保存式(例えば運動方程式)について考える場合、生成項は必ずしもその従属変数の生成や消滅を意味するものだけを指すのではなく、一般形の左辺にそぐわない項はすべて右辺へまわして、それら全体をまとめて生成項と考えることにする。これはあくまで数値計算上の便宜のためであり、物理的意味を持つものではない。このようにすべての保存方程式が一つの一般形で表されるので、数値解析は式(50)または(51)の解析法を考えておけば、あとは個々の保存方程式の係数を代入するだけで、すべての保存方程式が解けることになる。表1には、一般形保存方程式(51)の従属変数 $\phi$ が、個々の保存式の従属変数を表す場合の係数および生成項がまとめてある。

以下、この一般形保存方程式(51)の解法として、Spalding らによって開発された圧力補正法を取上げて説明するが、その詳細はPatankarの教科書<sup>(4)</sup>と著者らによるその訳本<sup>(49)</sup>に記述されているので、参考にされたい。

## 9.2 コントロール体積における基礎式の差分化

差分式を導くに先立って、解析の対象となる領域に対して、例えば図19のような格子点を配置する。図中の黒丸は速度成分以外の一般従属変数 $\phi$ を求める格子点を表している。また速度成分 $u$ または $v$ の格子点を、それぞれ水平方向、垂直方向の矢印で示してある。この格子点配列の特徴は、一般従属変数 $\phi$ を解く格子点の中間点に速度成分 $u$ または $v$ を求める格子点を配置していることで、図中に斜線で示したように $\phi$ に対するコントロール体積と、 $u$ または $v$ に対するコントロール体積はそれぞれ半グリッドずつずれている。格子点の配列は必ずしも等間隔である必要はなく、その数と間隔は計算に要する時間と精度に関係するが、その最適値はある程度経験によらざるを得ない。

格子点 $P$ とそれを囲むコントロール体積境界面および隣接格子点に対し、図20に示すように記号をつける。

連続の式(17)を図20に示した一般変数 $\phi$ のコントロール体積について積分すると、

$$\int_s^n \int_w^e \left\{ \frac{\partial}{\partial x}(\beta u) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \beta v) \right\} dx dr = 0 \quad (52)$$

となり、その結果は次式のようにになる。

表1 一般形保存方程式の従属変数と係数および生成項

$\phi$	$\beta$	$\Gamma_\phi$	$S_\phi$
1	$\rho$	0	0
$u$	$\rho$	$\mu_{eff}$	$\frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_{eff} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \mu_{eff} \frac{\partial v}{\partial x} \right) - \frac{\partial p}{\partial x}$
$v$	$\rho$	$\mu_{eff}$	$\frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_{eff} \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \mu_{eff} \frac{\partial v}{\partial r} \right) - \mu_{eff} \frac{2v}{r^2} - \frac{\partial p}{\partial r}$
$k$	$\rho$	$\mu_{eff}/\sigma_k$	$G_t - \rho \varepsilon$
$\varepsilon$	$\rho$	$\mu_{eff}/\sigma_\varepsilon$	$C_1 G_t \varepsilon / k - C_2 \rho \varepsilon^2 / k$
$m_j$	$\rho$	$\mu_{eff}/\sigma_m$	$R_j$
$h_s$	$\rho$	$\mu_{eff}/\sigma_h$	$2K_a (F_x + F_r - 2E)$
$F_x$	0	$1/(K_a + K_s)$	$-\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{r}{K_a + K_s} \frac{\partial F_x}{\partial r} \right) + K_a (E - F_x) + \frac{K_s}{2} (F_r - F_x)$
$F_r$	0	$r/\{r(K_a + K_s) + 1\}$	$-\frac{1}{\partial x} \left\{ \frac{r}{r(K_a + K_s) + 1} \frac{\partial F_r}{\partial x} \right\} + K_a (E - F_r) + \frac{K_s}{2} (F_x - F_r)$
$m_{dr,i}$	$\rho$	$\mu_{eff}/\sigma_{dr,i}$	$-(\dot{s}_i f_{i+1} - \dot{s}_{i-1} f_i) - \frac{3\dot{s}_i f_i}{2s_i} (s_i - s_{i-1})$

$$G_t = \mu_{eff} \left[ 2 \left\{ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial r} \right)^2 + \left( \frac{v}{r} \right)^2 \right\} + \left( \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right]$$

$$\dot{s}_i = \left( \frac{\partial s}{\partial t} \right)_i$$

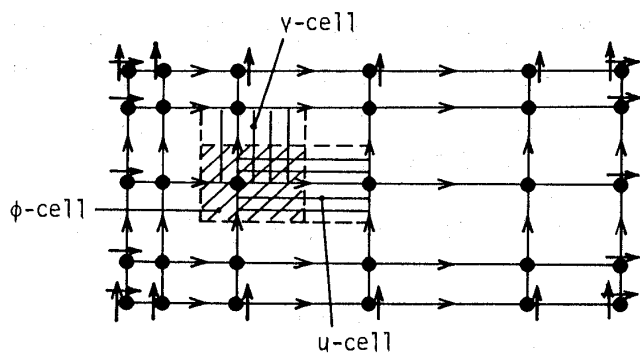


図19 格子点とコントロール体積の配置

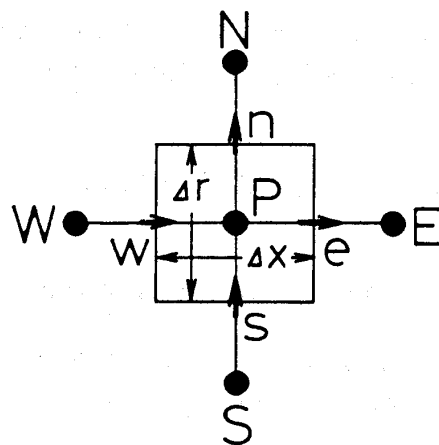


図20 格子点とコントロール体積の関係

$$A_e \beta_e u_e - A_w \beta_w u_w + A_n \beta_n v_n - A_s \beta_s v_s = 0 \quad (53)$$

ただし速度はコントロール体積境界面上で一様とし、 $A$ は境界面の面積である。したがって各境界面積は次式で与えられる。

$$A_e = A_w = r \cdot \Delta r, \quad A_n = \left( r + \frac{1}{2} \Delta r \right) \cdot \Delta x, \\ A_s = \left( r - \frac{1}{2} \Delta r \right) \cdot \Delta x \quad (54)$$

ここで  $\Delta r$  および  $\Delta x$  は図20に示したコントロール体積境界の辺の長さである。一般従属変数  $\phi$  の保存式(51)についても同様に積分を行う。

$$\int_s^n \int_w^e \left( \beta_u \phi - \Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) dx dr + \frac{1}{r} \int_s^n \int_w^e \left( r \beta_v \phi - r \Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial r} \right) dx dr = \int_s^n \int_w^e S_\phi dx dr \quad (55)$$

I と II は同様に扱うことができるので I について示すと

$$I \simeq \beta_e u_e A_e \{ f_e \phi_P + (1 - f_e) \phi_E \} \\ - \beta_w u_w A_w \{ f_w \phi_W + (1 - f_w) \phi_P \} \quad (56)$$

ここで  $f$  は対流と拡散の比率を加味した重み係数で、 $\{ \}$  内はコントロール体積境界面における  $\phi$  の値を示している。III は生成項のコントロール体積全体にわたる積分値を表すが、それを線形化してつぎのように表す。

$$III = S_\phi \cdot V_C = S_U + S_\phi \cdot \phi_P \quad (57)$$

ただし  $V_C$  はコントロール体積である。

以上の手続きをまとめると、式(55)は  $\phi_P$  (いま求めようとしている格子点における従属変数の値) に関する方程式として次式のように書くことができる。

$$C_P \phi_P = C_E \phi_E + C_W \phi_W + C_N \phi_N + C_S \phi_S + S_U \quad (58)$$

ただし、係数  $C$  はつぎのように定義する。

$$\left. \begin{aligned} C_E &= A_e G_e (f_e - 1), & C_W &= A_w G_w f_w \\ C_N &= A_n G_n (f_n - 1), & C_S &= A_s G_s f_s \\ C_P &= C_E + C_W + C_N + C_S - S_P \end{aligned} \right\} \quad (59)$$

また、 $G$  は質量流束を意味し、次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} G_e &= \beta_e u_e, & G_w &= \beta_w u_w \\ G_n &= \beta_n v_n, & G_s &= \beta_s v_s \end{aligned} \right\} \quad (60)$$

運動方程式も一般方程式の形に含まれるので、半グリッドずらしたコントロール体積について考えれば同様の差分化が可能である。のちの説明と数値計算に便利のように、生成項に含まれる圧力勾配の項だけを取り出し、その他の項だけをまとめて  $S_U$  と表せば、

( $x$  方向運動方程式)

$$C_P^u u_P = C_E^u u_E + C_W^u u_W + C_N^u u_N + C_S^u u_S + S_U^u \\ + A_e (p_P - p_E) \quad (61)$$

( $r$  方向運動方程式)

$$C_P^v v_P = C_E^v v_E + C_W^v v_W + C_N^v v_N + C_S^v v_S + S_U^v \\ + A_n (p_P - p_N) \quad (62)$$

となり、係数  $C^u$  および  $C^v$  は式(59)と同様の定義に従う。

**9.3 圧力補正法** 先にも述べたように、運動方程式(61)(62)中には圧力が現れるが、ふつうこの値は未知である。一方、連続の式(53)には圧力は含まれていない。しかしある圧力場に対応して実現した流れ場は、当然運動方程式も連続の式も満たしているはずである。このように考えると、ある仮定された圧力場の下に解かれた運動方程式の解が連続の式を満足するものであれば、これは真に流れ場の1つの解であると考えられる。もし連続の式が満たされない場合には、満たされるまで仮定した圧力場に補正を加えてゆけばよく、最終的には両式を満足する圧力場と速度場が得られることになる。

運動方程式を解くにあたり、最初に仮定した圧力場を  $p^*$  で表し、これに対応して得られる速度を  $u^*$  および  $v^*$  で表す。したがって  $u_P^*$  および  $v_P^*$  はつぎの関係を満足する。

$$C_P^u u_P^* = C_E^u u_E^* + C_W^u u_W^* + C_N^u u_N^* + C_S^u u_S^* + S_U^u \\ + A_e (p_P^* - p_E^*) \quad (63)$$

$$C_P^v v_P^* = C_E^v v_E^* + C_W^v v_W^* + C_N^v v_N^* + C_S^v v_S^* + S_U^v$$



$$+ A_n(p_P^* - p_N^*) \quad (64)$$

ここで、連続の式と運動方程式を同時に満足するための補正量を  $p'$ ,  $u'$ ,  $v'$  とすれば、補正後のそれらの値  $p$ ,  $u$ ,  $v$  はそれぞれつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} p &= p^* + p' \\ u &= u^* + u' \\ v &= v^* + v' \end{aligned} \right\} \quad (65)$$

一方、速度の補正量と圧力の補正量の関係は

$$\left. \begin{aligned} u'_w &= D_w^u(p'_w - p'_P), \quad u'_e = D_e^u(p'_P - p'_E) \\ v'_s &= D_s^v(p'_s - p'_P), \quad v'_n = D_n^v(p'_P - p'_N) \end{aligned} \right\} \quad (66)$$

で表される。ただし、

$$\left. \begin{aligned} D_w^u &= \partial u_w / \partial (p_w - p_P), \quad D_e^u = \partial u_e / \partial (p_P - p_E) \\ D_s^v &= \partial v_s / \partial (p_s - p_P), \quad D_n^v = \partial v_n / \partial (p_P - p_N) \end{aligned} \right\} \quad (67)$$

そして  $D$  については、例えば運動方程式(61)から

$$D_e^u = \frac{\partial u_e}{\partial (p_P - p_E)} \simeq \frac{A_e}{C_P^u} \quad (68)$$

が得られる。したがって補正後の速度はつぎのようになる。

$$u_e = u_e^* + \frac{A_e}{C_P^u} (p'_P - p'_E) \quad (69)$$

これらの関係を連続の式(53)に代入すれば、圧力補正量  $p'$  に関するつぎのような式が得られる。

$$C_P p'_P = C_E p'_E + C_W p'_W + C_N p'_N + C_S p'_S + S_U \quad (70)$$

ただし、係数  $C$  は次式で定義される。

$$\left. \begin{aligned} C_E &= A_e \beta_e D_e^u, & C_W &= A_w \beta_w D_w^u \\ C_N &= A_n \beta_n D_n^v, & C_S &= A_s \beta_s D_s^v \\ C_P &= C_E + C_W + C_N + C_S \end{aligned} \right\} \quad (71)$$

また  $S_U$  は

$$\begin{aligned} S_U &= A_w \beta_w u_w^* - A_e \beta_e u_e^* + A_s \beta_s v_s^* \\ &\quad - A_n \beta_n v_n^* \end{aligned} \quad (72)$$

で与えられるが、この式(72)は仮定した圧力場に対して得られたコントロール体積の質量のつり合い、すなわち質量の発生または消滅を意味している。したがって、連続の式(53)を満足するために、これを零とするような圧力補正量  $p'$  を求めるのが式(70)の目的である。

以上の操作を実行する際の手順はつぎのようになる。

- 1) 圧力  $p^*$  を仮定する。
- 2) 運動方程式(63), (64)を解いて  $u^*$ ,  $v^*$  を求める。
- 3) 圧力補正式(70)を解いて  $p'$  を求め、式(65)から  $p$  を計算する。
- 4) 速度補正式(69)等を用いて、補正後の速度  $u$ ,  $v$  を求める。
- 5) 他の従属変数 ( $k$ ,  $\varepsilon$  等) が流れ場に影響を与える場合には、それらに対する差分方程式(58)を解く。
- 6) 補正後の圧力  $p$  を新しく仮定された  $p^*$  と考えて2)に戻り、収束解が得られるまで全手順を繰返す。

以上の手続きによって、1格子点に対して式(58)(61), (62)をはじめとする差分された保存式と圧力補正式(70)が得られるが、これらはいまや代数方程式である。そこでこれらの代数方程式を、計算領域全体の格子点について順々に解く (Point by point) 代りに、図21に示すような一列分の格子点列ごとに連立代数方程式として解く線順法 (Line by line) が用いられる。その際利用される3重対角行列アルゴリズムが効率が良いことと、境界条件の影響が早く内部領域に伝えられることなどにより、全体の計算時間が非常に短縮される。

線順法を用いて計算を実行する場合、一つの従

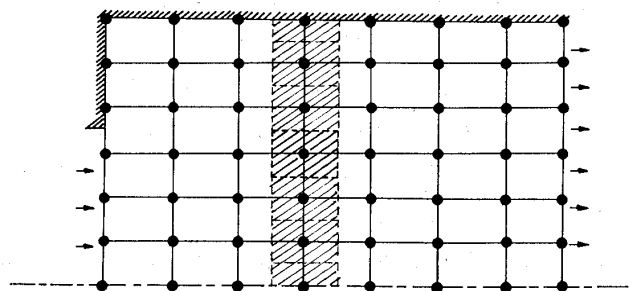


図21 線順法によって計算される格子点例

属変数について、入口断面から出口断面まで計算し、また入口断面に戻ってつぎの従属変数について解いてゆく方法と、一列ごとにすべての従属変数について解いたのち、つぎの列へ移る方法がある。両者のいずれがすぐれているか著者らには比較資料がないが、いずれの方法も行われている。このようにして、すべての従属変数について、入口から出口まで計算することを1回の反復と数えると、ごく一般的な燃焼のシミュレーション問題では、全従属変数についての収束解を得るのに百～数百回の反復計算を必要とするのが常である。

## 10. 計算機コードとシミュレーションの現状

上に述べてきた数値解法を実際に計算機にかけするためには、プログラム化する必要がある。しかしこの仕事は容易なものではなく、特に経験の浅い者にとって大きなプログラムを正確に作り上げることは至難の技であろう。そこですでに完成された類似の計算機コードあるいは汎用プログラムが公開されていれば、それを元にスタートすることが早道である。

これまで公開されている計算機コードでは Pantankar と Spalding の GENMIX プログラム<sup>(3)(50)</sup> が有名であり、燃焼をはじめ多くの応用例も示されているが、適用できる対象は二次元放物形流れに限られる。二次元だ円形流れに適用できるものとして、Gosman らによる流れ関数と渦度を変数とする解法<sup>(7)</sup> が有名であることはすでに述べたが、その後圧力補正法による解法を採用した TEACH コードと呼ばれるプログラムが同じく Gosman らによって開発された。この TEACH コードは広く研究者間に利用されたが、公開の形はとっていないようである。しかしこのコードを元にして開発された Lilley らのプログラム<sup>(51)</sup> は公開されている。したがって、これから燃焼のシミュレーションに取り組もうとする向きには、公開されているコードを演習として体得されるのが得策であろう。

多くの研究者によって、これまでに種々の燃焼のシミュレーションが行われてきたが、中でもガスタービン燃焼器のシミュレーションはかなり複雑な問題に属する。詳細数学模型によるガスタービン燃焼器の流れのシミュレーションは Jones<sup>(52)</sup> らによってはじめて行われ、その後 Serag-Eldin

ら<sup>(53)</sup> が燃焼流に対する解析に成功した。このレベルでは乱流モデルは  $k-\epsilon$  二方程式モデル、燃焼反応モデルとしては一段不可逆総括反応、燃料としては気体燃料を採用していたが、これに加えて Swithenbank ら<sup>(46)</sup> は、非平衡非すべり連続体モデルによる噴霧燃料、総括熱分解反応と C-H-O 系反応より成る燃焼反応モデル、流束法による放射伝熱を組み入れたシミュレーションを行った。そしてこれを土台に、Boysan ら<sup>(54)</sup> は噴霧燃料の取扱いを PS I-Cell による個体モデルに改め、極めて大きな詳細数学模型をまとめ上げている。

図22はその結果の一部で、燃焼器内の速度ベクトル、等温線、燃料噴霧の飛行軌跡を示している。

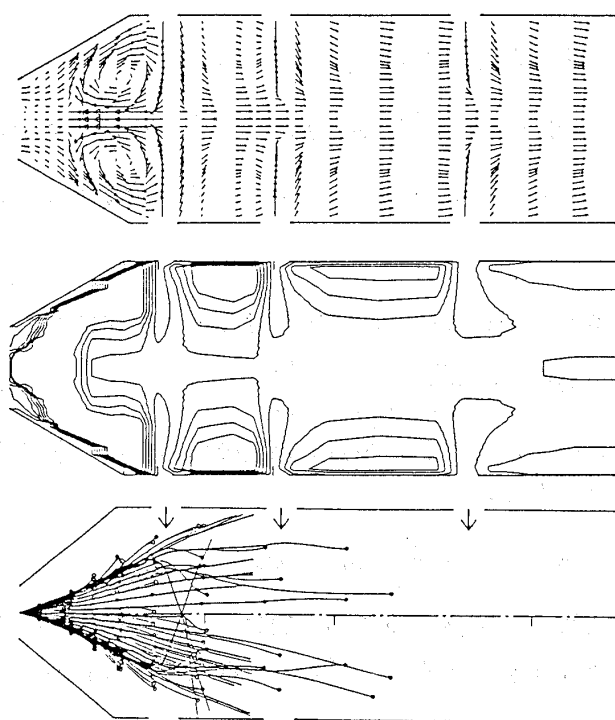


図22 ガスタービン燃焼器のシミュレーション例<sup>(54)</sup>  
(上から速度ベクトル、等温線、  
噴霧液滴の飛行軌跡)

ガスタービン燃焼器のシミュレーションという点では一応のまとまりがついているが、各サブモデルに関しては、改良や検討の余地を残している。

## 11. むすび

現在、シミュレーション技術の最先端では、複雑な形状の非定常三次元流れに取り組む一方、高度な乱流モデルや燃焼反応モデルの検討が単純な流

れ場を用いて行われている。工業的には、精度はそれほど高くなくとも、効率的で扱いやすい汎用プログラムの出現が望まれているわけであるが、燃焼のシミュレーションは、上に述べてきたように、非常に多くのサブモデルによって構成されているため、すべてにバランスのとれた実用的なプログラムを作り上げることは容易ではない。しかしコンピュータのハード面だけでなく、効率的な計算手法の開発も日を追って進歩しており、今後シミュレーションの実用化はますます加速されると思われる。

### 文 献

- (38) Williams, F.A., Combustion Theory, (1965) Addison - Wesley.
- (39) Shearer, A.J.・ほか2名, J. Energy, 3 - 5 (1979), 271.
- (40) Spalding, D.B., Emissions from Continuous Combustion Systems (Ed. Cornelius, W. and Agnew, W.C.), (1972), 3, Plenum Press.
- (41) Katsuki, M.・ほか2名, Technol. Rep. Osaka Univ., 29 - 1482 (1979), 205.
- (42) 清水・ほか3名, 九大総理工研報告, 4 (1982), 73.
- (43) Elghobashi, S.E. and Abou-Arab, T.W., Phys. Fluids, 26 (1983), 931.
- (44) Crowe, C.T.・ほか2名, Trans. ASME, Ser. I, 99 - 2 (1977), 325.
- (45) El-Banhawy, Y. and Whitelaw, J.H., AIAA J., 18 - 12 (1980), 1503.
- (46) Swithenbank, J.・ほか2名, Gas Turbine Combustor Design Problems (Ed. Lefebvre, A.H.), (1980), 249, Hemisphere/ McGraw-Hill.
- (47) Dukowicz, J.K., J. Comp. Phys., 35 (1980), 229.
- (48) O'Rourke, P.J. and Bracco, F.V., IME C404/80, (1980).
- (49) 水谷・香月 (訳), 熱移動と流れの数値解析, (1985), 森北出版.
- (50) Spalding, D.B., HMT-1 GENMIX-A General Computer Program for Two-Dimensional Parabolic Phenomena, (1977), Pergamon Press.
- (51) Lilley, D.G. and Rhode, D.L., NASA CR-3442, (1982).
- (52) Jones, W.P. and Priddin, C.H., Proc. 17th Symp. (Int.) on Combust., (1979), 399, The Combustion Institute.
- (53) Serag-Eldin, M.A. and Spalding, D.B., Trans ASME Ser. A, 101 (1979), 326.
- (54) Boysan, F.・ほか3名, J. Energy, 6 - 6 (1982), 368.

### 共催講演会

#### ☆第26回航空原動機に関する講演会☆

日 時 昭和61年2月19日  
会 場 国立教育会館 602 中会議室  
参加登録費 1,000円 (当日会場受付)

※ プログラムその他詳細は下記日本航空宇宙学会まで、お問い合わせ下さい。港区新橋1-18-2 航空会館分館 TEL 03-501-0463

れ場を用いて行われている。工業的には、精度はそれほど高くなくとも、効率的で扱いやすい汎用プログラムの出現が望まれているわけであるが、燃焼のシミュレーションは、上に述べてきたように、非常に多くのサブモデルによって構成されているため、すべてにバランスのとれた実用的なプログラムを作り上げることは容易ではない。しかしコンピュータのハード面だけでなく、効率的な計算手法の開発も日を追って進歩しており、今後シミュレーションの実用化はますます加速されると思われる。

### 文 献

- (38) Williams, F.A., Combustion Theory, (1965) Addison - Wesley.
- (39) Shearer, A.J.・ほか2名, J. Energy, 3 - 5 (1979), 271.
- (40) Spalding, D.B., Emissions from Continuous Combustion Systems (Ed. Cornelius, W. and Agnew, W.C.), (1972), 3, Plenum Press.
- (41) Katsuki, M.・ほか2名, Technol. Rep. Osaka Univ., 29 - 1482 (1979), 205.
- (42) 清水・ほか3名, 九大総理工研報告, 4 (1982), 73.
- (43) Elghobashi, S.E. and Abou-Arab, T.W., Phys. Fluids, 26 (1983), 931.
- (44) Crowe, C.T.・ほか2名, Trans. ASME, Ser. I, 99 - 2 (1977), 325.
- (45) El-Banhawy, Y. and Whitelaw, J.H., AIAA J., 18 - 12 (1980), 1503.
- (46) Swithenbank, J.・ほか2名, Gas Turbine Combustor Design Problems (Ed. Lefebvre, A.H.), (1980), 249, Hemisphere/ McGraw-Hill.
- (47) Dukowicz, J.K., J. Comp. Phys., 35 (1980), 229.
- (48) O'Rourke, P.J. and Bracco, F.V., IME C404/80, (1980).
- (49) 水谷・香月 (訳), 熱移動と流れの数値解析, (1985), 森北出版.
- (50) Spalding, D.B., HMT-1 GENMIX-A General Computer Program for Two-Dimensional Parabolic Phenomena, (1977), Pergamon Press.
- (51) Lilley, D.G. and Rhode, D.L., NASA CR-3442, (1982).
- (52) Jones, W.P. and Priddin, C.H., Proc. 17th Symp. (Int.) on Combust., (1979), 399, The Combustion Institute.
- (53) Serag-Eldin, M.A. and Spalding, D.B., Trans ASME Ser. A, 101 (1979), 326.
- (54) Boysan, F.・ほか3名, J. Energy, 6 - 6 (1982), 368.

### 共催講演会

#### ☆第26回航空原動機に関する講演会☆

日 時 昭和61年2月19日  
会 場 国立教育会館 602 中会議室  
参加登録費 1,000円 (当日会場受付)

※ プログラムその他詳細は下記日本航空宇宙学会まで、お問い合わせ下さい。港区新橋1-18-2 航空会館分館 TEL 03-501-0463



## 第21回 AIAA/SAE/ASME/ASEE Joint Propulsion Conference

石川島播磨重工業㈱ 玉 木 貞 一  
石川島播磨重工業㈱ 藤 秀 実

### 1. ま え が き

第21回 AIAA/SAE/ASME/ASEEの Joint Propulsion Conference は 1985 年 7 月 8 日から 11 日の間米国カリフォルニア州モントレイにて開かれた。モントレイはサンフランシスコの郊外にあり、米国としては珍らしく落ち着いた雰囲気を持った高級避暑地である。一般公開のセッションが開かれたモントレイのホテル Doubletree Inn は三階建の会議棟を備え、この種の学会が開催出来るよう工夫されていた。

今回の会議の特徴を挙げると、第一は従来の三学会 (AIAA, SAE, ASME) のほかに ASEE (American Society of Engineering Education) が 1 セッションではあるが参加して 4 学会共催の形になったことである。二つ目は会議の最後の日に非公開のセッションがまとめて設けられており、会場を別に移して開かれたことが挙げられる。第三の特徴としては、昨年まで行なわれた工場見学がなくなり、かわりに小規模ではあるが展示会が開かれた。この展示会は ASME の国際 Gas Turbine 会議のそれとは較ぶべきもないが、10 数社が出品しており、中でも H/S (Hamilton Standard 社) が持ち込んだ実物大のプロップファン模型は注目を浴びていた。

参加者は昨年より多く約 1000 人とのことであるが、もちろん米国内からの参加者が大多数を占め、外国人はそう多くない。日本からは 10 数名参加していた。なお筆者の一人は昨年も聴講しており、その報告 (本誌 1984 年 12 月号掲載) と比較して読まれるのも興味深いかと考える。

### 2. 発表論文の概要

この会議のテーマは推進関係ということであるが、その内容はガスタービン関係とロケット関係

に大別される。ここでは筆者らの専門であるガスタービン関係に絞って紹介したい。

ガスタービン関係のセッションは三学会がそれぞれいくつかのセッションを主催する形式を取っている。全部で 39 セッションであるが、その内訳は AIAA が ABP (Air Breathing Propulsion) 関係でエンジンシステム、エンジン要素、機体とのインターフェイスなど 21 セッション、P & C (Propellant and Combustion) 関係で 7 セッション、SAE が主にエンジンシステムについて 4 セッション、ASME が流体数値解析やエンジンシステムなどについて 8 セッション組まれていた。これらのセッションを内容別に分類すると表 1 の

表 1 ガスタービン関係のセッション数

分 野	内 容	セッション数
Engine System関係	・ Engine 開発 ・ ATP	13
要素 (除燃焼器) 関係	・ 圧 縮 機 ・ Turbine ・ コントロール	5
燃 焼 器 関 係	・ 燃 焼 器 ・ Spray 他	8
機 体 関 連	・ Intake ・ Exhaust	4
数 値 解 析	・ 流れ解析	5
そ の 他	・ 構造 ・ 強度 ・ 計測	5
合 計		39

(昭和60年10月30日原稿受付)

ようになる。エンジンシステムのセッションが多

く、また機体とのインターフェイス関連の論文も多く発表されるのがこの会議の特徴であるが、今回はそのほか燃焼関係のセッションが多かったのも特筆される。

今回の会議で発表された論文は全体で約 350 編

うちガスタービン関係が約半分の 186 編であった。どの分野にどのような人が関心を持っているかを調べるため各分野別に筆頭著者の所属機関を調べたのが表 2 である。全体としてエンジンメーカーや大学関係が多いのは当然であるが、航空機メー

表 2 論 文 著 者 分 類

	Engine Maker		Aircraft Maker		大 学		NASA	米軍	その他		計		計
	米	その他	米	その他	米	その他			米	その他	米	その他	
Engine System	16	1	4	3	7		4	6	8	1	45	5	50
要素 (Turbomachinery)	8	1	3		6		4	1	1		23	1	24
燃 焼 器	10	1	1		13	3	5	1	4	3	34	7	41
機 体 関 連	1		6	1	2		4	2	4		19	1	20
流体数値解析	3		3		6	3	3	3	4	1	22	4	26
そ の 他	8	2	3	1	1		4	4	2		22	3	25
計	51		25		41		24	17	28		165	21	186

カーや NASA、米軍関係の研究所関係者の論文も数多く見受けられる。分野別に見るとエンジンシステム関係ではエンジンメーカーのほか大学、軍関係、エンジン要素関係ではエンジンメーカーと大学、機体関連は航空機メーカー、流体数値解析は大学からの論文が多い。又 NASA は各分野平均して参加している。また、外国人はエンジンシステム、燃焼器関係、流体数値解析関係に参加しているが全体の 10% 強であり、やはり米国の国内学会の色が濃くでている。国別に見ると英国が 9 編と断然多く、他はカナダ、西独、フランス、中国、日本が各 2 編となっている。

論文の内容としては、米国国内学会であるため手軽であることや NASA や米軍関係のプロジェクトの成果がまとめて発表されることがあることなどにより、トピックス的な発表が多くあり、したがって米国のエンジンメーカーや NASA、軍が現在どのようなことに関心を持っているかを知る上で役に立つことが多い。

次章以下にエンジンシステム関係、エンジン要素（除燃焼器）関係、燃焼器関係、機体関連のセッションの中から興味ある論文について紹介する。なお流体の数値解析関係については取扱う対象ごとに紹介したい。

### 3. エンジンシステム関係

エンジンシステムに関する論文としてはエンジン開発にかかわる問題を取扱った論文と ATP (Advanced Turbo-Prop) プロジェクトに関連した論文とが注目された。

#### 1) エンジン関係

エンジン開発段階で得られた知識 (Lessons Learned) を紹介したものとして既存のエンジンから派生型エンジンを開発する例を Allison, GE, PWA がそれぞれ発表した。

Allison は現有のターボプロップエンジン T56-A 245 の圧縮機、燃焼器、タービンの性能向上により推力増強、燃費低減を計った T56-A 427 エンジンの紹介を行なった。

GE は戦闘機用エンジン F 404 の派生型として現在開発中のスウェーデン戦闘機 JAS39 用 F 404/RM12 の経過説明を行なった。RM12 では JAS39 の要求に適合させるため推力増強、コントロールのバックアップ強化、鳥吸込対策を施しているが、この様な派生型エンジンの開発にあたって GE はエンジンの操作性、信頼性、整備性の維持、向上を重点項目として考えているとのことであった。

PWA は F15 戦闘機用エンジン F 100 の派生型としてイスラエル戦闘機 Lavi 用に開発中の PW

1120 エンジンの現状説明を行なった。このエンジンは F 100 に対しバイパス比を減じ、ファン圧力比を増加させるため LP 系を変更しているものであるが、PWA ではこの開発の考え方として、リスクを少なくし、コストを少なく開発することを狙っていた。ところが実際の開発にあたって、ファン、LP タービンにいくつかの問題が発生し、その解決のため数度の改良を行なう必要があったことが報告されている。これについて発表者が「low risk は no risk ではない。integration は常に challenge である。」と述べて、開発では何らかの問題が起きることを覚悟する必要があることを強調していたのが印象的であった。

エンジン開発に関しては「Year 2000 Propulsion」としてパネルセッションが設けられており、PWA, Boeing 等が討議を行なった。その中では 2000 年の亜音速航空機用エンジンとしては高バイパス比ターボファンエンジンと ATP とが共存するであろうこと、超音速航空機として可変サイクルエンジンが考えられることが述べられ、また技術向上に関しては、三次元流れ解析手法の実機への適用、高温材また複合材の開発、熱伝達解析の向上、計測機器、手法の進歩、コントロールの電子化推進などが挙げられていた。

## 2) ATP (Advanced Turbo-Prop)

ATP に関してはこの会議のひとつの目玉的存在で、この関連で 2 つの論文発表セッションと 1 つのパネルセッションが組まれていた。その発表は参加者の注目の的で聴講者が 80 人入り位の部屋に入り切れずにあわてて部屋を揺るがせる一幕があった程である。内容は NASA が推進しているプロジェクト (LAP, PTA, UDF) の進捗状況説明が H/S, Allison, GE より行なわれたほか、PWA が pusher 型か tractor 型の優劣を論じ、BAE, Airbus が機体メーカーの立場で検討したことを発表した。また、プロップファンそのものの性能について、理論解析結果や後退翼の影響や主翼との干渉などにつき風洞等を使って行なった実験結果を NASA Lewis, Langley, H/S, BAE などが発表した。

LAP (Large-scale Advanced Propfan) プログラムの現状を NASA と H/S とで発表した。今回の発表は 1983 ~ 1986 年の間行なわれてい

る実寸大 (9 ft 径) のプロップファンの設計、製作、静止気流中また風洞中の試験、フラッタ試験の中間報告である。

Allison が PTA (Propfan Test Assessment) プログラムの一環として行なっている T56 を基とした駆動源システムの開発の発表を行なった。PTA プログラムは LAP の続きとして位置付けられ、飛行試験迄行なって評価しようとするもので、主契約者の Lockheed Geogea のほか、Allison, H/S, Rohr, Galfstream などが参加している。

もうひとつの NASA プロジェクトである UDF (Un-Ducted Fan) についてその推進者である GE より発表があった。GE は F 404 エンジンをコアエンジンに用いた形でフルスケールのデモエンジンを製作しており、ATP プログラムの先頭を切って今年 8 月地上試験開始を予定していたため、エンジンの組立状況をプロップファンの性能ノイズ試験実施状況と共にフィルムで紹介、順調にプログラムが進捗していることを印象付けようとしていた。

パネルセッションでは NASA を始め、プロペラメーカーの H/S, エンジンメーカーの GE, PWA, Allison, 機体メーカーの Lockheed, Douglas, Boeing がパネリストとして説明、討議を行なった。印象としては GE が相変わらず熱心であった (これは会場で別に UDF のパンフレットを配っていたのにも現われていた) のに加え、Allison もかなり積極的な姿勢が見られた。機体メーカーでは Boeing のほか Douglas も強気な説明をしていたのが目立った。ただ、ギャ付かギャ無しか、pusher 型か tractor 型かなどの議論は現在なお決着がつかず行なわれており、これらに一応の結論が出るのは少なくとも地上試験、飛行試験のデータが出てくる 1987 年頃までは持ち込まれるものと考えられる。また、低燃費が最大のセールスポイントである ATP が実際に実用機の形で出現する時期は今後の燃料のコストの動向に大きく依存するものと思われる。

## 4. エンジン要素 (除燃焼器) 関係

燃焼器関係を除くファン、圧縮機、タービンおよびコントロール関係では AIAA 関係で 5 セッション、論文数で 24 の発表があったほか、ASME 関

係で数値解析に関する論文がいくつか発表された。内容的には非定常問題を取扱ったものと数値解析技術を応用したもののが多かった。

#### 1) 非定常問題

翼列における非定常問題を取扱った論文としては動翼の後流の計測やその後流が次の翼の間を通過する際の挙動、またそれによる入射角や翼面圧力分布の変化などの翼列干渉問題の解析あるいは実験を行なっている論文がいくつか見受けられたが、何といたっても注目されたのはアフターバーナ付ファンエンジンで最近問題となっている回復不能なエンジンストール (Non-recoverable Stall) に関連した論文が数多く発表されたことである。ストールが発生している圧縮機の特長やそれに対するインレットディストーションの影響を解析的に求めている論文やストール現象を調べるため高速の試験機を使って試験をしている PWA の論文など圧縮機単体の研究と共に、圧縮機のストールが及ぼすエンジンシステムへの影響、すなわち Nonrecoverable Stall 現象のシミュレーションを行なった結果が GE や PWA などから発表された。

#### 2) 数 値 解 析

オイラー方程式や放物型 N-S 方程式を使って翼間流れ解析を行なっている例がいくつか報告された。Sverdrup Tech. Inc. の Barton らはプロップファン回りの流れを三次元オイラー方程式を使って解析している。これは NASA の行なった研究を境界条件等を修正することで精度向上を計ったものであり、NASA, H/S の SR3 プロップファンの例で解析し、実験値と良い一致をみている。

PWA の Huber らは同じく三次元オイラー方程式を使ってタービンの改良を行なった例を報告している。翼を円周方向に曲げることにより壁面付近の流れを改善し、損失の低減を得ることができたことが示されている。

### 5. 燃焼器関係

燃焼器関係のセッションはパネルディスカッションも含めて8つあり、また論文数も41件とガスタービン関係全論文の約25%を占め、この分野での研究の活発さがうかがえた。論文発表者を大学、NASA 等の国立研究機関および企業に分類すると、その比率は約4:2:4であり、またその内容も基

礎的なものから実用的なものまでまんべんなく集まっていた。

発表内容の傾向を見る前に、3日目に行われた「Gas Turbine Combustion Research and Development Needs」という題のパネルディスカッションについて触れる。ここでは題の如く、ガスタービン燃焼器の研究・開発で今何の技術がもっとも必要かについて、NASA、大学、米軍および企業の代表者がパネリストとなり進められた。これらパネリストの構成は日本での学会のパネルディスカッションであまり見受けられないこともあるが、更に必要とする技術についても、NASA、大学、企業共に燃料噴霧技術、数値解析・燃焼診断技術とベクトルが合っていた。今年の燃焼器関連論文の分類を表3に示すが、これからの燃料噴霧および数値解析・燃焼診断技術への関心の高さがうかがえる。

表3 分野別発表件数

分 野	発表件数
Spray and Spray Combustion	11
Combustion Modeling and Diagnostics	8
Combustion System	7
Turbulent reactive flow	6
そ の 他	9
	41

論文内容を1) 燃料噴霧技術、2) 数値解析、3) 燃焼器システム、4) その他に大別して概要を述べる。

#### 1) 燃料噴霧技術

近頃の実用燃焼器の噴射弁は気流微粒化式が主流であり、これを反映してかこの気流微粒化式の噴霧技術がほとんどであった。内容的には従来燃料粒径に関するものが大部分であったが、F 101 エンジン用燃料噴射弁の燃料粒径の空間分布と燃料液滴の流速を D S I (Droplet sizing - interferometer) にて同時計測した例が GE から、ま



た気流微粒化式噴射弁からの空気流速をLDVにて計測した例がPWAおよびDDAから発表されていた。従来より詳細な計測が行われつつある点注目される。一方このような実験だけでなく数値解析手法も噴霧技術に利用されつつあり、PWAの発表例では噴射弁近傍の流速場を解析的に求め、実験値と比較しほぼ一致した結果を得ている。更にアフタバーナで見られるような高温流中に噴霧された燃料液滴の軌跡と燃料分布を数値解析により求めた例が中国、イスラエルなどからなされ今後増々この方面での数値解析が盛んになると考えられる。この他Garrettからは高燃焼効率を得るために、燃料にボロンの添加を考え、このボロンスラリー燃料の粒径について調べた発表がなされた。

## 2) 数値解析

数値解析関連では大別して2つに分類できよう。1つは比較的単純な場で数種の乱流モデルや差分解法の検証をしているもの、他方は実際の場に数値解析を適用したものである。前者では同軸旋回噴流で $k-\epsilon$ 、代数応力、修正代数応力の各乱流モデルにて解析し、比較しているものや、ダンプディフューザ部の流れを、乱流モデルは $k-\epsilon$ を用いて、差分法としてハイブリッド差分、二次風上差分、QUICK法を採用して実験結果と比較検討するなど地味ではあるが、地道な研究が続けられている。一方実際の場に数値解析を適用している例としては前述した気流微粒化式噴射弁近傍の流れを $k-\epsilon$ 乱流モデルで解いたものや、蒸発を伴う燃料の軌跡解析例の他に、実際の燃焼器内の温度分布解析を $k-\epsilon$ 乱流モデル、2ステップ反応モデル等を用いてシンプル法により解き、ホットスポット位置に関し、実験結果とほぼ一致した例が日本からなされた。

## 3) 燃焼器システム

燃焼器システムに関しては燃焼器ライナ冷却方法と燃焼器再着火、吹消え等についての発表がなされた。燃焼器ライナ冷却法に関し、PWAのE<sup>3</sup>燃焼器等に採用されているフロートウォール構造をカンアニュラTF30-P100エンジン燃焼器に適用し耐久性向上がもたらされた例、NASAからは逆流型燃焼器を用いてPWAのCFFC(Counter-flow film-cooled)とDDAのLamilloyの性能比較例が報告された。またライナ冷

却法に関し、基礎的なものではあるがライナ壁温分布を映像化および数値化するシステムについてGarrettから発表された。この他特性時間の概念を用いて高空再着火性能や減速時に特に問題となる吹消え性能が整理予測できることがPWAから発表された。

## 4) その他

燃焼器希釈領域に見られる二列対向のコールド流とホット流が作る温度場を実験的に調べた例や、火炎中で乱流の乱れの生成、消滅がどうなるかを扱った例などの基礎的研究から、将来の温度および濃度の計測法として有望視されているCARS(Coherent Anti-Stokes Raman Spectroscopy)で単純モデル燃焼器の温度分布を計測した例などが発表された。

以上のように今年の会議では燃焼器関係については新しい概念の燃焼器の発表などではなく、全体的には地味ではあるが、燃料噴霧技術がふたたび見直されていること、また例えば燃料噴射弁などの開発に数値解析手法を取り入れられるなど、数値解析の利用が増しつつあること、また一方解析のモデルや差分法の検証などが着実に進められていることが傾向として上げられ、今後この分野の研究が増々盛んになると考えられる。

## 6. 機体関連

インテークやエクゾーストの流れなど機体に関連した部分を扱った論文が4セッションにおいて行なわれた。この関係の論文は機体メーカーからの発表が多く、このようにエンジンメーカーと機体メーカーとの発表が共存しているのがこの会議の特色とも言える。

インテーク関係では亜音速のナセル回りの流れを扱った論文がRohr, Grummanから発表され、超音速インテークに関してGeneral Dynamics, Northrop, Douglasなどから発表された。Rohrの行なった研究はナセル回りの流れを制御することでナセル上の境界層を層流に保ち、その結果損失を低減しようと試みているものである。

エクゾースト部に関してはNASAや米軍により非対称ノズルの研究論文が発表されている。また、Lockheedから外部流を含むターボファンエンジンのエクゾースト流れをN-S方程式を用いて解析し、NASAの実験とを比較した例が報告された。

## 7. あとがき

Joint Propulsion Conference へ出席して感じた印象をとりとめもなく記述したが、読者の何らかの参考にして頂ければ幸である。なお、前述のようにこの会議は現在関心が集まっているテーマについて集中的に発表される傾向にあり、米国

のエンジンメーカーやNASA、軍関係者が何を考えているかを知る上で有意義な会議であり、その意味で早くも次回の内容が気になっている次第である。なお次回は来年6月アラバマ州ハンツビルで開かれるとのことである。

## § 入 会 者 名 簿 §

### 正 会 員

中村修三(三和システムエンジニアリング) 和田重孝(豊田中研)  
西出重人(石川島播磨重工) 藤 秀実(石川島播磨重工) 青木克己(東海大)  
小林 学(東海大) 佐川信和(京セラ) 鈴木恒夫(三井造船) 池野一寛(荏原総研)  
鈴木良一(ジャパンリサーチコーポレーション) 慶 永雄(東芝) 中野宏明(東芝)  
中村敏則(川崎重工) 高梨 進(航技研) 梶浦豪二(小松製作所)

### 学生会員

宮野 学(日本文理大) 速水芳夫(日本文理大) 諸見里 泰(日本文理大)

### 賛助会員

北 陸 電 力 (株)

## 7. あとがき

Joint Propulsion Conference へ出席して感じた印象をとりとめもなく記述したが、読者の何らかの参考にして頂ければ幸である。なお、前述のようにこの会議は現在関心が集まっているテーマについて集中的に発表される傾向にあり、米国

のエンジンメーカーやNASA、軍関係者が何を考えているかを知る上で有意義な会議であり、その意味で早くも次回の内容が気になっている次第である。なお次回は来年6月アラバマ州ハンツビルで開かれるとのことである。

## § 入 会 者 名 簿 §

### 正 会 員

中村修三(三和システムエンジニアリング) 和田重孝(豊田中研)  
西出重人(石川島播磨重工) 藤 秀実(石川島播磨重工) 青木克己(東海大)  
小林 学(東海大) 佐川信和(京セラ) 鈴木恒夫(三井造船) 池野一寛(荏原総研)  
鈴木良一(ジャパンリサーチコーポレーション) 慶 永雄(東芝) 中野宏明(東芝)  
中村敏則(川崎重工) 高梨 進(航技研) 梶浦豪二(小松製作所)

### 学生会員

宮野 学(日本文理大) 速水芳夫(日本文理大) 諸見里 泰(日本文理大)

### 賛助会員

北 陸 電 力 (株)



## 第7回エアブリージングエンジン 国際シンポジウム (ISABE)

九州大学 難波昌伸  
石川島播磨重工業株式会社 渡辺 猛

### 1. ま え が き

昭和60年9月2日～6日中国北京郊外の香山飯店において、エアブリージングエンジン国際学会 (ISOABE) 及び中国工程熱物理学会共催の第7回 ISABE が開催された。ISOABEの成立の事情は航空宇宙学会誌32-362(1984-3), 151, に記述したが、日本は会員国23のうちの1つであり、窓口として昨年航空宇宙学会内に ISOABE連絡委員会 (松木正勝委員長) が設置された。本シンポジウムは2年毎に開催され、次回は1987年6月米国シンシナティで開かれる予定である。

さて今回は2室に分れた18セッション98件の普通講演、6件 (米国3, 中国, フランス, 英国各1) の招待講演と2件 (米国1, 中国1) の冒頭講演が行われた。普通講演の発表国数は19であり、その内訳は、米国18, 中国15, 日本9, インド9, フランス7, ドイツ6, オーストラリア5, 英国4, カナダ4, ベルギー3, その他18である。関連行事として、3班に分れた見学会 (北京発電研究所, 工程熱物理研究所, 北京航空学院), 香山飯店での歓迎レセプション, 人民大会堂でのバンケット (方毅元副首相列席) があった。参加登録者数は中国人約150, 外国人約90であった。なお発表論文は ISABE 85-7000~7096 の通し番号を付けられ、1巻のプロシーディングスにまとめて各参加者に与えられている。因に日本からは筆者らの他に、松木正勝 (日本工業大), 高田浩之・長島利夫 (東大), 鎮西信夫 (航技研), 辻角信男 (防衛庁3研), 岸本峯生・児玉秀和 (IHI), 笹原修 (日航), 沢田照夫 (阪府大), 妹尾泰利 (九大), 三浦安帆の諸氏が出席された。以下発表論文内容の概観を述べる。

### 2. ターボ機械関係

この種の会議の共通の現象であるがターボ機械関係の論文数が占める割合が多く、本シンポジウムでは39件あった。特に中国からは大会組織委員長呉仲華博士の指導に基く3次元流れ数値計算法に関する論文が多い。MTUからターボ機械メーカーで使用されている計算及び計測技術の現状が発表され (7033), 未解決点として、完全3次元粘性流計算, 多段における境界条件, 非定常流を考慮した設計などを挙げている。ロールスロイスからも翼列設計に使われる計算技術の現状 (7057) が発表された。ターボ機械要素に関しては、低騒音, 高効率の短い超音速・超音速ディフューザの開発 (7037), 実機におけるマッハ数, レイノルズ数, 冷却空気温度比で高圧タービン膜冷却翼の熱伝達率を白金フィルムゲージで測定したもの (7035) が目につく。

非粘性流れの分野では、中国から  $S_1$  面,  $S_2$  面上流れの計算法が数件発表されたが、現在は遷音速領域及び逆問題の取扱いに研究の重点が置かれている。数値計算法としてはその他に、ポテンシャル成分と非ポテンシャル成分の分解によるダクト内流れの解析法 (7075), 3つの直交面上の擬似流れ関数を解く曲りダクト内渦あり流れ解析 (7051), 唯一のソ連の発表論文として2次元及び3次元遷音速翼列のポテンシャル流れの近似的分解法による計算 (7032), 及び多重領域計算法による翼列 (超音速粘性流) の流れ解析 (7054) がある。

粘性流れ分野では、ロータルピ及びエントロピ変化として粘性効果を考慮した  $S_2$  面上流れがどの程度正確に粘性流れを記述できるかを調べたもの (7070), 乱流境界層はく離点の評価基準 (7073), 乱れ強さとはく離 (7074) 及び遷移 (7075) の関係, 平衡三次元境界層のエネルギー損失の二次元境界層のそれとの比較による評価法 (7076) などの理論的研究の他に、圧縮機内境界層の計測により

(昭和60年10月30日原稿受付)

翼端間隙における非零揚力の存在を示した研究(7072),異なるダイヘドラル分布の圧縮機翼列における二次流れと入射角の関係を求めた実験(7078),種々のケーシングトリートメントにおける圧縮機性能試験(7079)などが発表された。

非定常流関係の論文はフラッタと旋回失速を扱ったものが大部分である。前者では,振動又はガスト干渉超音速翼列の非定常空気力及び発生音波に及ぼす翼のスイープの効果を扱った三次元線形解析(7080),振動平均流線法と称する振動超音速及び遷音速翼列の非定常空気力計算法(7081),振動超音速及び遷音速翼列の空力不安定に及ぼす厚み,反り,迎え角及び衝撃波の効果を計算したもの(7082),動翼後流と干渉する静翼面上圧力分布の計測値と有限転向角超音速非定常翼列理論による計算値の比較(7083),非定常空気力を準二次元的にとり入れたひねりのある翼列の有限要素法によるフラッタ解析(7084)がある。後者では遠心圧縮機のサージング状態での振動及び壁面圧力の計測によりディフューザ形状と旋回失速発生状況の関係を示した研究(7084),旋回失速時の軸流圧縮機内流れの3本熱線による詳細な計測(7086),反転軸流圧縮機による失速マージンの改善(7087)などの実験研究と,流れ及び全圧損失の翼幅方向非一様性が旋回失速発生点及び旋回速度に及ぼす影響を示した解析(7088),多段圧縮機旋回失速の非線形解析(7089),フランスにおける圧縮機安定作動限界を予測する一次元及び準二次元解析モデルの紹介(7090)などの理論的研究が発表された。

### 3. ノズル及びインレット

粘性流領域と非粘性流領域に分割し,衝撃波と境界層の干渉も考慮した超音速ノズル内流れ解析(7003),微細多孔質表面板のハニカム壁材の吸音特性が有孔板のそれに比べて優越し,表面摩擦抵抗も小さく,更に境界層制御ナセル外壁としても有用であることを示した実験(7005)などがノズル関係の主な論文である。インレット関係では,超音速インテークにおける抽気量と全圧回復率の関係を調べた実験2件(7009,7010),種々の形状のインテークの性能に関する実機及び風洞実験(7011,7012)があるが,ラムジェットインレット内の流れの自励振動をN-S方程式及び2方程

式乱流モデルの数値計算によって示したNASAの研究(7013)が興味深かった。

### 4. 制御及び計測法

FJR 710のHIFEC(7027),航技研における先端間隙センサ,非接触翼振動計測,光学的燃料流量計などの開発(7029)が日本から発表された。その他にロールスロイスのヘリコプタエンジンの制御,計測,監視システム,ONERAにおける非定常流計測法の紹介(7030)がある。

### 5. 推進系及び試験設備

米国Arnold Engineering Development Centerの航空機推進システム試験設備の機能,性能の紹介(704),可変幾何形状ターボファンの性能解析(7046)の他に,ヨーロッパにおける小型エンジン開発を示すものとして,MTUの新世代ターボシャフトエンジン設計概念(7074),アルファロメオの小型ターボジェットの空力及び熱力学設計(7075)が発表された。

### 6. 運用及び監視

自動記録データによるヘリコプタエンジン性能監視法(7059),エンジン性能のトレンドを決定するデータ処理法(7060),JT9Dエンジンの性能劣化解析と各モジュールの最適メンテナンス間隔の検討(7061)の他に,固体粒子のエンジン内流跡の解析(7063),エンジン排気煙の拡散の実地及び模形試験結果の解析(7064)がある。

### 7. 構造関係

7件のうち5件がインドの論文である。圧縮機翼の高サイクル疲労寿命に及ぼす振動環境の重要性を示した疲労試験(7016),Ferris-Wheel試験によるロータディスクの低サイクル疲労寿命評価の考察(7020),歯車プロフィールの最適化設計法(7015),渦電流トランスデューサによる軸受の監視法(7018),ラビリンスシールの熱的安定性の評価法(7019)などが発表された。

冒頭講演のうち呉仲華博士によるものは,ターボ機械内3次元流れ解析法の発展を述べたもので,本年来日されたときの講演内容と同じであった。他の1件はNASAルイス研究センタのSaunders博士が行ったが,未来の航空機及び推進システムの可能性とそれを実現するために要求される技術的問題に関する米国政府援助の調査研究(NASA CR-174018)を概説し,航空関係研究者は当分失業し

ないという希望をもたせた。

(以上 難 波 昌 伸)

## 8. 燃焼, 伝熱及びラムジェット関係

### (1) 概要と傾向

筆者(渡辺)は, 主に燃焼関係を中心にセッションに参加した。なお同時期に同じ北京市内(約20km離れた場所)でASME 国際ガスタービンシンポジウムが開催され, そちらの燃焼関係のセッションにも参加することができたので, 一部 ISABE と ASME の比較も交えて報告する。

また, 今回の ISABE の主催者である中国科学院の工程熱物理研究所の好意で工程熱物理研究所と北京航空学院を見学する機会に恵まれたのでその研究状況などについても少し触れてみたい。

燃焼関係の論文の分類を表1に示す。

表1 燃焼関連の発表の分類と論文数

分 類	ISABE		ASME	
	中国	他	中国	他
Sprays & Spray Combustion	1	4	4	6
Comb. Modelig & Diagnostics	3	1	5	1
Comb. Development		4	2	2
Ignition & Stability		3		
Cooling(Heat Transfer)		4		1
Thermo-chemistry			3	1
Ram Jet		5		
そ の 他		2	3	2
計	4	20	17	13

中国における研究の状況を把握するために ASME の論文についても表1に併せて示してある。全体的に見ると燃料噴霧, 数値解析, 燃焼器開発の順で多い。この様な傾向は今年7月に米国の Montereyで行なわれた AIAA (本誌紹介記事参照)

とまったく同様の傾向である。特に言える傾向は, エアブラスト型燃料噴射弁を使い, 空気スワールと一体化させ高温・高負荷化を達成しようとしている事と, もうひとつは数値解析により燃焼問題を解こうとしている事である。後者は表1でも分る様に, その発表のほとんどは中国のものであった。

燃焼関係では Lefebvre (米, Purdue大), Odgers (加, Laval大), Mularz (米, NASA), Swithenbank (英, Sheffield大), Bahr (米, GE) などの著名人が参加講演をした。討論は活発で, 中には講義風に自説を解説しだす人もいた。次に, 燃料噴霧, 数値解析, 燃焼器開発, その他及び見学等到大別し, その概要を述べる。

### (2) 燃料の噴霧関係

このセッションは全部実験によるものであったが, 特に興味を引かれたのは西独 MTU の MT 1100 ガスタービン(出力1100 kw, 圧力比13, TIT=1500K)用に開発したエアブラスト型噴射弁についての発表である。MTU においては従来は小型ガスタービン用には蒸発管型を使用していたが, 高温化高負荷化に伴いエアブラスト型噴射弁を使う様に設計方針を変えたらしい。この考え方は Combustion Development のセッションで発表したフランスの SNECMA 社も全く同じ事を言っていた。この傾向は既に米国を中心に実機にも適用されているが, この傾向が定着してきた事をうかがわせる。

特にこれらの燃料供給の考え方は燃料噴射弁と空気用スワールを単独に設計するのではなく, 噴射弁とスワールを一体と考え, 高温化に伴う高負荷化と耐久性確保を達成し, かつ出口温度分布を良くするために, 出来るだけ早い機会に燃料と空気を強力に混合させようとするものである。

ASME のセッションにおいてもエアブラスト型噴射弁に関する発表は多かった。

### (3) 数 値 解 析

燃焼器の場合, 数値解析は大別して主燃焼器内

の流れと温度場の解析, アフターバーナの流れと温度場の解析, 及びディフューザ部の流れ場の解析が主であった。

その中でNASAで燃焼のモデリングとして最適な解析コードを選択するために, 大学や企業にも依頼し色々なコード, モデルで共通のテーマで計算して貰い, その結果を比較した発表があった。この詳細については割愛するが, この比較結果は燃焼の解析に携わる者にとっては良き指針となるであろう。性質上, 主燃焼器は3次元, アフターバーナは2次元モデルが多く, その殆どが乱流は $k-\epsilon$ モデル, 又は $\mu$ -Constantモデルを, 燃焼はArrheniusモデルを, 燃料分布はRosin Rammler分布を使っている。

主な発表としてはInvited Lectureで, SNECMA社のダンプディフューザの流線解析, アフターバーナの2次元流れと温度場の解析例を, 中国からはModelingのセッションで, 蒸発型燃焼器の3次元流れ場の解析とアフターバーナの2次元流れと温度場の解析の発表があった。中国の数値解析の発表の多くは大学からのものであった。

#### (4) 燃焼器開発

このセッションでは特にフランスSNECMA社の発表が燃焼器開発の動向を示すようで興味深かった。SNECMAの燃焼器は時代と共に表2の様に变化している。現在は更に低速から高速まで高い効率で, かつ安定作動範囲を広めるために, ダブルアニュラ型の2段燃焼, 可変機構付き燃焼器及

表2 SNECMAの燃焼器の変遷

項 目 \ エンジン名	A T A R	⇒ M 5 3	⇒ M 8 8
ライナ体積 (m <sup>3</sup> )	0.249	0.135	0.021
ライナ長さ / 巾	3.43	2.66	1.95
燃 焼 負 荷 率 (Kcal/h/bar/m <sup>2</sup> )	$3.2 \times 10^7$	$4.8 \times 10^7$	$7.7 \times 10^7$
燃 料 噴 射 弁	圧力噴霧型	蒸 発 型	エアブラスト型
冷 却 方 法	板金フィルム	マシンドリリング フィルム	マルチホール リングフィルム

び高温化のための新しい2重壁構造の冷却技術の開発を実施している。

ASMEにおいてはCombustor Design & Developmentのセッションでは産業用ガスタービンの燃料として工業廃棄ガスや石炭ガスなどの低発熱ガスを使うために開発した燃焼器の発表が, 米国のSolar社やGE社などによりなされた。

#### (5) その他の発表

フレイムホルダのドラッグと安定性の関係を, 水噴霧による空気中の酸素分圧を下げる事により調べた結果(米, Purdue大, Odgers)や, 流れ場における予混合火炎のフラッシュバックと火炎伝播の限界の調査結果(加, Calgary大, Karim他), ガスタービン用燃焼器のトランスピレーションとインピンジメント冷却の基礎試験結果(英,

Leeds大, Andrews)などの大学の基礎的な発表も見られた。

また, ラムジェットやラムロケットに関する発表も, 全部で7件あり, 日本からもこの分野では2件の発表があった。ラムジェットに関してはこのセッションの他にInletのセッションでも多数報告されていた。

なお, 伝熱に関しては燃焼器関係のセッションで1件あった他にTurbomachineryのセッションで2件あったが, いずれも研究室規模での実験結果の報告であった。

#### (6) 中国科学院工程熱物理研究所及び北京航空学院見学他

工程熱物理研究所はWu Chung-Hua教授をリーダーとし, 約300人の研究者が在籍している。こ

こは燃焼, 伝熱, 圧縮機(軸流と遠心), ターボチャージャなど9つの部門で構成され, 独自の研究のほかに他の公司などから予算を貰って研究のみを行なっている。

主な研究試験設備として, タービン翼の伝熱試験, 石炭の流動床燃焼試験, 低発熱ガスだきガスタービン用常圧燃焼試験, 3000 kwクラスの軸流圧縮機試験, 800 kwクラスの遠心圧縮機試験, 及びターボチャージャ試験などの設備がある。

また, 計測装置としてLDVやL2Fなどのレーザを使った計測器を積極的に取り入れている。

北京航空学院はCao Chuanjun教授が院長で, この方は中国航空学会の副理事長でもある。ここでは院長自ら概要の説明をして下さった。航空専門の大学はこの他には西安西北工業大学と南京航空学院があり, 航空産業に対する国の力の入れ方をうかがう事が出来る。

研究施設は大学としては日本では絶対に考えられない程立派なものであった。その中でGE社のJ79エンジンにパワータービンを付け駆動源とし, 3種類のINGERSOLL-RAND社の遠心圧縮機を

回して燃焼試験などの空気源としている設備は素晴らしいものであった。操作は全自動で計測も自動化されている。この空気源の規模は圧力20 ata 空気流量約20 kg/sである。この空気源を使ってアフターバーナのモデル燃焼試験, 主燃焼器のセクタモデルによる高圧燃焼試験と高空シミュレーションの着火試験及びエジェクタや排気ノズルの試験を実施していた。他には2500 HPの軸流圧縮機試験や超音速風洞でのエンジンインレット試験や学生用の常圧燃焼試験設備などを見学した。展示場にはソ連製のミグ戦闘機や日米欧の戦争当時の古い飛行機や北京航空学院で設計試作した双発ターボプロップ機, ミサイルなどが展示してあった。

なお, 中国におけるガスタービンの研究開発は非常に盛んでガスタービン関連を直接研究開発または製造している団体は30以上らしい。中国では, 軍用と民間用のターボファンエンジンの開発が現在進んでおり, 産業用では5種類のガスタービンが実用化されているらしい。

(以上 渡 辺 猛)





# 1985 ASME 国際ガスタービンシンポジウム 北京大会

## 1.1 1985 Beijing International GasTurbine Symposium and Exposition の印象

日本工業大学 松 木 正 勝

今回9月2日～6日北京で開催された第7回空気吸込エンジン国際会議で論文発表を行なうため訪中する機会を得たが、またまた同時期に米国ASMEと中国航空学会・中国航空技術進出口公司共催の”1985 Beijing International Gas Turbine Symposium and Exposition”が北京で開催されており、相互参加が可能であったので、これらを訪問した。印象に残った事を幾らか述べてみる。

最近、中国では多くの国際会議が開催されているが、特に米国人の参加が多く、米国が中国を将来の市場として重要視している様子がうかがえる。今回ASME Gas Turbine Division が共催の形でSymposium を開くのは特別の事であり、これもその一つの現われであろう。しかし展示会はASME独自であり、その収益は相当な額になったようである。

### 1. Symposium

期間 9月2日～4日

場所 Friendship Hotel (友誼賓館) 内の6会場

Session 数 36 (Panel Session 2, 特別講演1, を含む)

論文集 155

内訳国別 中国75(48%), 米国41(26%), 英国10, 西独7, 伊5, カナダ5, 日本3, スイス2, 仏, オランダ, 韓国, パキスタン, オーストラリア, アイルランド, アラブ首長国連合, 各1。

共催と云う立場から、中国側論文は約半数となっている。内容をSession別に大別して見ると次のようになる。



Symposium会場入口 Friendship Hotel 内(友誼賓館)

	Session 数	論文数
1) Turbomachinery 関係	11	51
2) 燃焼と燃料関係	7	35
3) 構 造 関 係	3	16
4) 発 電 関 係	3	11
5) 航 空 関 係	2	3
6) 制御, 監視関係	2	6
7) 加工, 材料関係	2	10
8) プロセス関係	2	4
9) 熱伝達, セラミック, その他	3	12
10) 特 別 講 演	1	2
合 計	36	155

論文数のほぼ1/3を占めるTurbomachinery 関係は、計算機空気力学3 Session (15論文, 内中国12編), Inlet and Diffuser 2 Session (9論文, 内中国5編), 設計開発 2 Session (10論文, 内中国5編), 二次流れ他 4 Session (17論文, 内中国6編), であり、中国では計算機空気力学

に多くの努力が注がれていることがうかがえる。

次に論文数の多いのが、燃焼燃料関係で、ほぼ1/4を占めるが、噴霧と燃焼 2 Session (10論文、内中国4編)、燃焼器設計、燃焼モデリング、ガスタービン燃料、石炭ガス化(25論文、内中国11編)などである。

次に約1/10を占めるのは構造関係であり、ロータ関係(5論文、内中国2編)、応力解析(6論文すべて中国)、翼振動(5論文すべて中国)で16論文中中国13論文であり、それらは主に計算である。

Symposium は6室で行なわれたため、その全貌を知ることが出来なかったが、少なくとも出席したSessionでは、ほぼ満席であり、中国人の熱意が感ぜられた。

中国は現在人口11億、21世紀には人口15億にな

ると推計されているが、社会を運営する基盤レベルの程度がその国の経済レベルを規定する高度技術化時代に入る21世紀に対して中国が如何に対応して行くか、中国の近代化の今後を注目して行く必要がある。

## 2. 展示会

期 間 9月2日～9月7日

場 所 Beijing Exhibition Center

出展者数 35

内訳国別 米国14、日本5、英国3、独3、仏3、中国2、デンマーク2、ベルギー1、スイス1、伊1

展示会は小規模であったが、参加者が多く、多数の若者が熱心に見学していた。彼らの先端技術への熱い眼差しが印象的であった。

## 1.2 中国・北京大会に参加して

川崎重工業(株) 谷 村 輝 治

川崎重工業(株) 大 槻 幸 雄

昭和60年9月1日より7日まで一週間にわたって、古い歴史と壮大な文化を誇る北京においてASME主催、中国航空学会(The Chinese Society of Aeronautics and Astronautics)および中国航空技術進出口公司(China National Aero-Technology Import and Export Corporation)共催の国際ガスタービン学会が開催された。

講演会場は友誼賓館で2日から4日、展示会は北京展覧館で2日より7日まで行われた。此の間の距離が約4km離れており、交通の便も悪く不便であった。

発表論文数は155(含特別講演)篇、此の中75篇が中国人によるものであり、中国のガスタービンにかける意欲が窺われた。各会場とも中国の若手研究所が大半で盛況であった。セッション数36(含特別講演)で、その中5がCogeneration 関係で依然主要トピックスの一つであり、この会場は聴講者が溢れる程であった。

展示会には35社が参加し、各国の代表的なガスタービン・メーカーが殆んど出品して居り、日本

からは三菱、三井、小松ハウメット、オリンパス光学および川重が出品していた。全般に小じんまりとしていたが、それなりに各社それぞれ特長を出してよくまとまっていた。若い人を中心に約5万人の観客が訪れたようで最終日まで盛況であった。こう言った意味で、国際ガスタービン学会には展示会を附属させることが好ましいと思う。

9月2日に展覧館前で、ASMEおよび中国航空技術進出口公司の代表者によるスピーチに引き続きテープカットによって華々しく開幕された。又、会期中に人民大公会堂で、中国要人出席のもとに、会場一杯の参加者で盛大なBanquetが開かれた。

5日には北京航空学院(Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics)の見学会が行われた。これは面積90万㎡、床面積30万㎡、12学部、教授・助教授・講師・研究員併せて1,800名、学生数6,300名のマンモス航空工科大学である。

このPropulsion DepartmentにはGEのJ-79駆動によるIngersoll-RandのCompressorで8ata, 20kg/secの空気源があり、巾広くガスタ

に多くの努力が注がれていることがうかがえる。

次に論文数の多いのが、燃焼燃料関係で、ほぼ1/4を占めるが、噴霧と燃焼 2 Session (10論文、内中国4編)、燃焼器設計、燃焼モデリング、ガスタービン燃料、石炭ガス化(25論文、内中国11編)などである。

次に約1/10を占めるのは構造関係であり、ロータ関係(5論文、内中国2編)、応力解析(6論文すべて中国)、翼振動(5論文すべて中国)で16論文中中国13論文であり、それらは主に計算である。

Symposium は6室で行なわれたため、その全貌を知ることが出来なかったが、少なくとも出席したSessionでは、ほぼ満席であり、中国人の熱意が感ぜられた。

中国は現在人口11億、21世紀には人口15億にな

ると推計されているが、社会を運営する基盤レベルの程度がその国の経済レベルを規定する高度技術化時代に入る21世紀に対して中国が如何に対応して行くか、中国の近代化の今後を注目して行く必要がある。

## 2. 展示会

期 間 9月2日～9月7日

場 所 Beijing Exhibition Center

出展者数 35

内訳国別 米国14、日本5、英国3、独3、仏3、中国2、デンマーク2、ベルギー1、スイス1、伊1

展示会は小規模であったが、参加者が多く、多数の若者が熱心に見学していた。彼らの先端技術への熱い眼差しが印象的であった。

## 1.2 中国・北京大会に参加して

川崎重工業(株) 谷 村 輝 治

川崎重工業(株) 大 槻 幸 雄

昭和60年9月1日より7日まで一週間にわたって、古い歴史と壮大な文化を誇る北京においてASME主催、中国航空学会(The Chinese Society of Aeronautics and Astronautics)および中国航空技術進出口公司(China National Aero-Technology Import and Export Corporation)共催の国際ガスタービン学会が開催された。

講演会場は友誼賓館で2日から4日、展示会は北京展覧館で2日より7日まで行われた。此の間の距離が約4km離れており、交通の便も悪く不便であった。

発表論文数は155(含特別講演)篇、此の中75篇が中国人によるものであり、中国のガスタービンにかける意欲が窺われた。各会場とも中国の若手研究所が大半で盛況であった。セッション数36(含特別講演)で、その中5がCogeneration 関係で依然主要トピックスの一つであり、この会場は聴講者が溢れる程であった。

展示会には35社が参加し、各国の代表的なガスタービン・メーカーが殆んど出品して居り、日本

からは三菱、三井、小松ハウメット、オリンパス光学および川重が出品していた。全般に小じんまりとしていたが、それなりに各社それぞれ特長を出してよくまとまっていた。若い人を中心に約5万人の観客が訪れたようで最終日まで盛況であった。こう言った意味で、国際ガスタービン学会には展示会を附属させることが好ましいと思う。

9月2日に展覧館前で、ASMEおよび中国航空技術進出口公司の代表者によるスピーチに引き続きテープカットによって華々しく開幕された。又、会期中に人民大公会堂で、中国要人出席のもとに、会場一杯の参加者で盛大なBanquetが開かれた。

5日には北京航空学院(Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics)の見学会が行われた。これは面積90万㎡、床面積30万㎡、12学部、教授・助教授・講師・研究員併せて1,800名、学生数6,300名のマンモス航空工科大学である。

このPropulsion DepartmentにはGEのJ-79駆動によるIngersoll-RandのCompressorで8ata, 20kg/secの空気源があり、巾広くガスタ

ービンの要素試験を行っていた。此の種の航空工科大学が南京にもあり、この他ガスタービンの研究に力を入れている工科大学が4つあり、航空エンジンを主としたガスタービンに対する政府の力の入れ方が強く感じられた。政府の良き指導のもとに機能的にこれらが運営されれば、すばらしいガスタービン技術が育つと思う。余談であるが故宫、万里の長城、人民広場等何事もスケールの大きいことをする国である。

尚、9月2日から6日にわたって時を同じくして、第7回のBreathing EngineのSymposiumが開かれたが、同じ様なSymposiumであり、運営上一考を要するのではないかと思う。

Plenary Sessionでは次の二つの論文が発表された。

1) State of the Art in Aircraft Gas Turbine Technology: F.R. Sanpl and M.E. Shank; Pratt & Whitney (ASME paper No.85-IGT-87)

2) Gas Turbines in China:

Hsia Hooshang, Energy Conservation Bureau, State Planning Commission, People's Republic of China

前者は、歴史的背景、空気力学、機械・電子工学、材料および環境問題等にわたり、航空ガスタービンの技術の状況についてよくまとめたものだが、論文別刷もあり省略する。

後者について簡単に概要を述べると、前半で中国のガスタービンの状況、後半で国家近代化の重要なTaskに対して、ガスタービンが如何なる役

目を演ずる可能性があるかということ述べている。

すなわち、中国のガスタービンの研究・生産の90%が航空用である。産業用としては1970年より50~60台のPeak load, Stand-by Power Station, 機関車および船用のものが作られ、この中で14,000時間運転が最も長く、一番大きいものは約20MWである。航空用は別として産業用は年に僅か2~300時間の運転が普通である。

国家近代化の役割をガスタービンが果たすことに対する回答を此の会議に期待しているとして、次のことがガスタービンで可能と思うと私見を述べている。

1) 中国では石炭が主力のエネルギー源であり、石炭ガス化燃焼の研究を行っている。

2) 炭鉱から出るガスは豊富であり、時には10 m<sup>3</sup>/1 ton coalのガス(Pure Methane)が出るが、これが焚けるとガスタービンは大きな役割を演ずる。

3) 高炉からのガス、目下この燃焼研究を行っている。

4) 石油基地の天然ガスをCogenerationやCombined cycleとして使用する。

5) 重油焚きのテストでは燃焼は安定し、燃焼効率もよく、残すは耐久テストのみである。

6) Combined cycle, CogenerationおよびDual Fluid cycleは熱効率向上に有効で、数台のパイロットおよびデモンステレーション・プロジェクトで、経験を積みつつある。

そして最後に、中国および諸外国の専門家が協力してadvanced gas turbineを開発し、ガスタービンの用途を拡めたいと結んでいた。

## 2. 電力及び産業用ガスタービン(含むCogeneration)

(株) 東 芝 安 井 元

中国におけるガスタービン利用状況等に関する発表が期待されたが、それが無かったのは残念であった。少くとも数十台の主に中小形機があり、大慶油田には自国産4600 kwの排熱ボイラ付きが4台稼働しているとのことであり今後の発表を期待したい。

今回の発表は中国へガスタービンをこれから売り込もうとする意識が強いのか自社の製品紹介に留る発表が多くAlsthomは35~320MWのコンバインドシリーズ(IGT-6), BBCはtype-8, 45MWをモデュラー化して短納期、建設期間短縮化(IGT-1), KWUはモデルV94, 130MWの

ービンの要素試験を行っていた。此の種の航空工科大学が南京にもあり、この他ガスタービンの研究に力を入れている工科大学が4つあり、航空エンジンを主としたガスタービンに対する政府の力の入れ方が強く感じられた。政府の良き指導のもとに機能的にこれらが運営されれば、すばらしいガスタービン技術が育つと思う。余談であるが故宫、万里の長城、人民広場等何事もスケールの大きいことをする国である。

尚、9月2日から6日にわたって時を同じくして、第7回のBreathing EngineのSymposiumが開かれたが、同じ様なSymposiumであり、運営上一考を要するのではないかと思う。

Plenary Sessionでは次の二つの論文が発表された。

1) State of the Art in Aircraft Gas Turbine Technology: F.R. Sanpl and M.E. Shank; Pratt & Whitney (ASME paper No.85-IGT-87)

2) Gas Turbines in China:

Hsia Hooshang, Energy Conservation Bureau, State Planning Commission, People's Republic of China

前者は、歴史的背景、空気力学、機械・電子工学、材料および環境問題等にわたり、航空ガスタービンの技術の状況についてよくまとめたものだが、論文別刷もあり省略する。

後者について簡単に概要を述べると、前半で中国のガスタービンの状況、後半で国家近代化の重要なTaskに対して、ガスタービンが如何なる役

目を演ずる可能性があるかということ述べている。

すなわち、中国のガスタービンの研究・生産の90%が航空用である。産業用としては1970年より50~60台のPeak load, Stand-by Power Station, 機関車および船用のものが作られ、この中で14,000時間運転が最も長く、一番大きいものは約20MWである。航空用は別として産業用は年に僅か2~300時間の運転が普通である。

国家近代化の役割をガスタービンが果たすことに対する回答を此の会議に期待しているとして、次のことがガスタービンで可能と思うと私見を述べている。

1) 中国では石炭が主力のエネルギー源であり、石炭ガス化燃焼の研究を行っている。

2) 炭鉱から出るガスは豊富であり、時には10 m<sup>3</sup>/1 ton coalのガス(Pure Methane)が出るが、これが焚けるとガスタービンは大きな役割を演ずる。

3) 高炉からのガス、目下この燃焼研究を行っている。

4) 石油基地の天然ガスをCogenerationやCombined cycleとして使用する。

5) 重油焚きのテストでは燃焼は安定し、燃焼効率もよく、残すは耐久テストのみである。

6) Combined cycle, CogenerationおよびDual Fluid cycleは熱効率向上に有効で、数台のパイロットおよびデモンステレーション・プロジェクトで、経験を積みつつある。

そして最後に、中国および諸外国の専門家が協力してadvanced gas turbineを開発し、ガスタービンの用途を拡めたいと結んでいた。

## 2. 電力及び産業用ガスタービン(含むCogeneration)

(株) 東 芝 安 井 元

中国におけるガスタービン利用状況等に関する発表が期待されたが、それが無かったのは残念であった。少くとも数十台の主にも中小形機があり、大慶油田には自国産4600 kwの排熱ボイラ付きが4台稼働しているとのことであり今後の発表を期待したい。

今回の発表は中国へガスタービンをこれから売り込もうとする意識が強いのか自社の製品紹介に留る発表が多くAlsthomは35~320MWのコンバインドシリーズ(IGT-6), BBCはtype-8, 45MWをモデュラー化して短納期、建設期間短縮化(IGT-1), KWUはモデルV94, 130MWの

機械特性等(IGT-19), Turbodyne は貯気式ガスタービンの25~50MWシリーズ化とその経済性(IGT-4)と内容的には目新しさを感じさせない。製品開発に関してNuovo-Pignoneが二軸10,000~14,000 HPの新機種PGT 10を開発中で1986年にはテストに入る。これはMS 1002を発展させたもので17段のコンプレッサで圧力比14, 1段動翼チップのマッハ数は1.1に抑え前5段は可変静翼で70%迄の風量制御を行い, パワータービンノズルも可変として効率的な運転領域を拡げている(IGT-21)。Rolls-Royce は艦船用に開発した18MW SMIC marine Speyを中間冷却再生式にすると出力は22MW, 熱効率は43%に達しサイクル上からも現機種が最適であるとしている(IGT-59)。

Cogeneration としては1985年に運転に入ったAllison 501-KHに助燃式排熱回収ボイラを付けてガスタービンへの蒸気噴射と余剰蒸気は冷暖房等に利用するCheng Cycleの実運転が紹介されている(IGT-122)。コンバインドプラントの経験が長いDow chemicalはその運転経験と1983年に完成したGE製7001E×3台とWE製501D 5×2台からなる585MWのコンバインドプラントを紹介している(IGT-55)。その他は計算による性能や経済評価に関するものでヒートポンプとの組合せ(IGT-145), ガスタービンサイクルからの排熱による蒸気, 温水発生特性(IGT-13, 14)や助燃式ボイラで蒸気条件による設計点のとり方(IGT-50)等が発表された。

石炭ガス化に関してはKWUよりの西ドイツのLünenに1972年建設されたFixed bed方式170MW石炭ガス化コンバインドプラント以降の現状紹介で, 現在Rheinbraunで建設中のは高温Fluidized bed方式でかつ炭800トン/日の酸素/空気と水蒸気添加によるCOとH<sub>2</sub>への転換炉で実用規模となる。またEntrained flow方式の開発も進んでおり最近れき青炭240トン/日のデモプラントがDortmundに完成し, 商用プラント

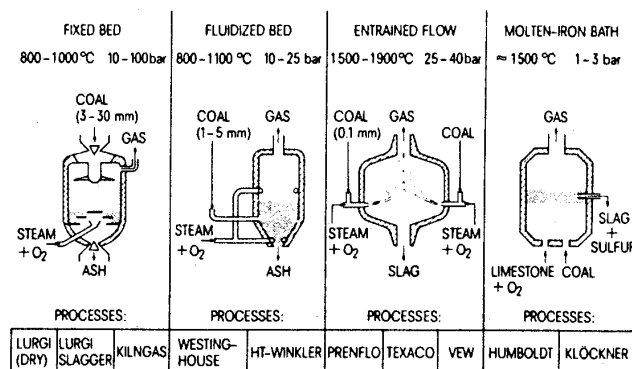


図1 - International development of four basic types of coal-gasification processes

がRuhrchemieで建設中である(IGT-47)。その他の石炭ガス化についてはFluidized bed方式の炉内圧を大気圧から10気圧にした場合の利得を経済評価し10気圧が将来的に有望であるとした計算結果(IGT-46)のみであった。一方, 石油の利用抑制が将来行われるであろうとして石炭燃焼ガスタービンの研究発表が2件あり, Allisonより石炭燃焼では灰付着や腐食により翼の寿命は1000時間の運転が限界であったが高温サイクロン等により25000時間の運転が期待できるとテスト結果より予測している(IGT-61)。また石炭燃焼ガスタービン機関車の可能性を5機種のガスタービンについて検討し現在のディーゼル電気機関車との経済評価では半分のコストになる可能性があることを示唆している(IGT-48)。中国からの発表は担当範囲内では1件のみで石炭ガス化炉をもったデジタルシミュレーションの基本式の解説とダイナミックシミュレーション例を図示している(IGT-84)。

最後にユーザよりの論文で3種類の吸気フィルタについての使用実績を18年間にわたってまとめ, その性能と経済性を評価しているのは地道であるがガスタービンメーカーにとっても参考になるものである(IGT-20)。

### 3. 航空用ガスタービン関係（含航空転用型ガスタービン）

石川島播磨重工業(株) 今 井 兼一郎

#### 1. 航空エンジン関係

直接航空機関係は30セッション中2セッションで、151論文中8論文（中国4）が発表された。他のセッションでも多くの航空用G.T関係論文発表があり、海外130人、中国側260人の出席という。

第1日目（9月2日）大講堂特別講演は

- (1) 85- IGT-9 State of The Art in Aircraft G.T. Technology : M.E. Shank. P&W.
- (2) Gas Turbine in China : HSIA Wooshang（国家企画委員会）、前者は2010年迄の燃費率低減予想（図1）に於て、米国NASAが果たしているECI, E<sup>3</sup>等先導的技術革新プログラムの効能を賞讃し熱力学サイクル、材料、冷却、漏洩制御の発達が軽量、耐久性、対費用効果の良い高バイパス比、高温、GTの実現を可能にしたとしている。

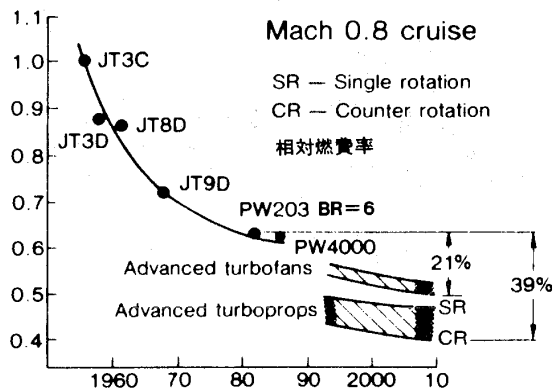


図1 Certification date

空 力：Controlled Diffusion Aero Foil（85- IGT-9）在来は翼の間の流れに注目して来たが、今后は両端の影響を採り入れた第二世代（実機実験中）による効率、サージ余裕の増加が大きかるう。

構造とエレクトロニクス：回転・静止部分間の漏洩制御により約4%燃費率を改善している。

Full Authority Digital Electronic Control は在来の Hydromechanical のものに比し約4倍の Input を取扱い燃費、維持費等で1.5%の節

減という。

材 料：NiCoCrAlY + Hf/Si のプラズマスプレイの酸化防止コーティング利用（6万時間以上実績）、単結晶材（百万時間以上実績）、セラミックス断熱コーティング（100°F材料温度低下、50万時間実績、寿命3倍）、粉末冶金（破断、疲労寿命ともに在来比約14倍）の利用。その他騒音（15~20 EPN dB低減）空気汚染（スモーク未燃HC, CO とともに初期ターボファンの15~20分の1）の改善をなしている。

将来の Advanced Cycle（全圧縮比55~65, バイパス比9~12, タービン入口ガス温度・1500~1560°C）による図2図3を示している。

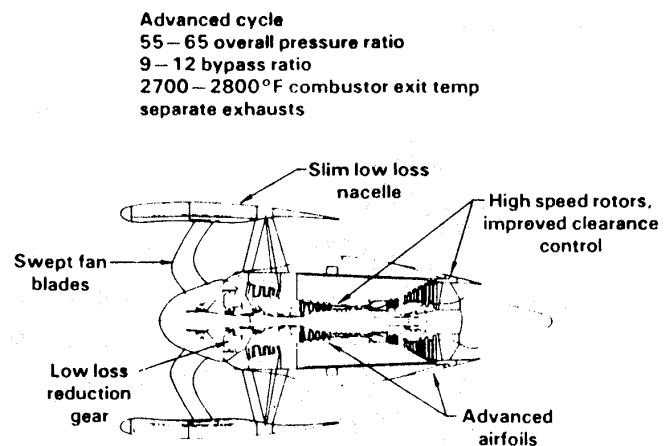


図2 Advanced Turbofan Concept

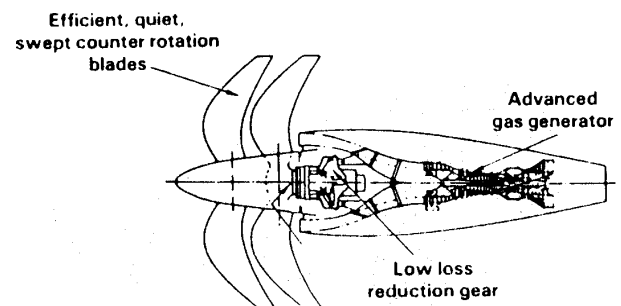


図3 Advanced Turboprop Concept

85- IGT-57でCounter Rotating Fans には、旋回損失を減じ燃費の大な改善のあることをのべ

## CERTIFICATION IN EARLY 1990's

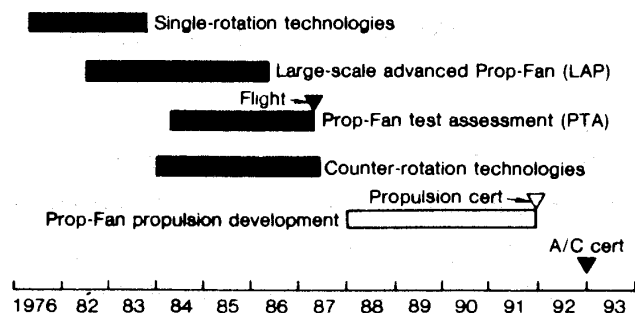


図4 Prop-Fan Program Goal

目下計画するとしては全圧流比38:1, 最高ガス温度1390℃としている。P & W社の研究開発の目標は図4。質問に答えてプロペラ, 減速歯車, ガスジェネレータ, ナセル等を含めて供給したい。1987年にはTechnology Readyとする, 第一の応用は100~120人乗りで, 500 NM以上のHO Pのものには当分用いられまい。Limiting Com-

ponentは歯車であろう。35人級には当分用いられまいといていた。

85- IGT-139ではJT15Dの改良の実際について述べている。航空関係セッションで発表のあったIGT-150, 82, 83, 97はいずれも計算, 中国が今, 主として計算に力を入れていることが分る。

この他Control 関係-53, 52, 30 いずれも計算, Turbomachinery 関係-25, 8 (圧力比2.48;  $G = 22.84 \text{ kg/sec}$  の軸流圧縮機), -102 (計算) Diagnostic 関係-31, 5, Heat Transfer -2, 137等注目すべきものであろう。

論文発表の他に話, 展示を総合すると中国ではいくつかの改良, 開発, 設備新設がなされている。

沈陽航空発動機研究所はWS6(写真1, 二軸再熱12 Ton級, ファン3+圧縮機11段, 環型燃焼器, タービン2+2, バイパス比1:1, 推重比6。空気150 kg/sec. 最大径1.37 m×5.6 m)の開発運転中, その他15,000 SHP級ガスジェネレータも開発中という。

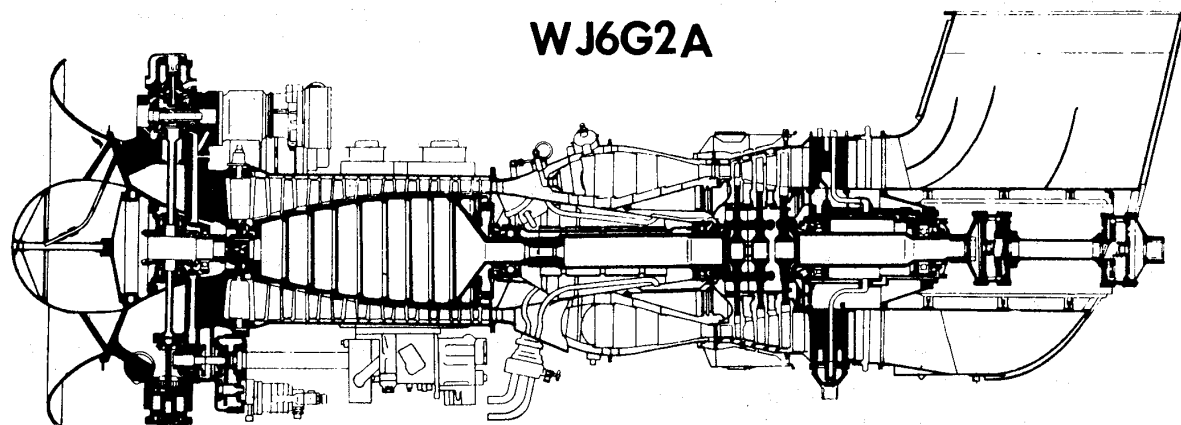


図5 WJ6G2A

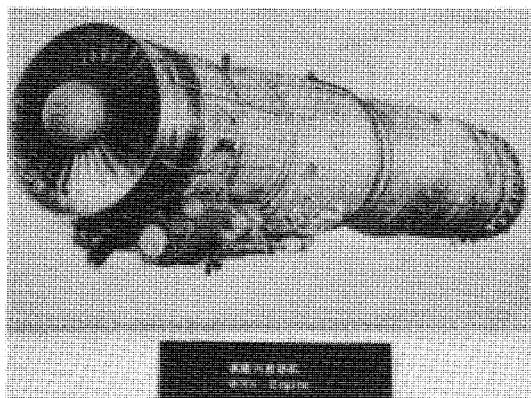


写真1

## 2. 航空転用(航転)型ガスタービン(85-IGT-11に詳しい)

1950年代WP5を空気源動力(6,000 SH / 9,000 rpm), 1960年代WP8 利用し24,000srp SFC320 gr/HP HRを開発し100時間耐久完了, 12,000 kw非発用但し燃費過大のため中止などを背景とし, 1972年の英国産業展(於北京)に刺戟され中国市場調査を行った。表1, 1970年代表2, 1980年代の如く势力的に航転型の開発利用がすすめられている。今後油田300~500, 船用500~1000, 戦斗用車2000~3000, 発電



表1 航転型開発(1970年代)

基本ガスタービン	名 称	出 力SHP/rpm	用 途	記 事
WJ6G (ターボプロップ)  (南方動力機械公 司) 中湖南省株州	WJ6G1 WJ6G1A (単 軸)	2900/1000  3000/3000	1979 型式承認 46基製造40基 油田にて使用総運転時間 55000時間 最高5500 時間 移動電源車 YD-2000G1 ディーゼル燃料, 天然ガス YD-2000G2 (北京発電機)	計上 40と 基い う
	WJ6G2 二軸後部軸出力取 出 WJ6G2A (図5)	3100/12,000  3500/12,000  SFC-5%	1979 開発 1981 生産 1984 型式承認 減速歯車なし  海軍艦艇用, 地上テスト完, 艦艇テスト待ち WJ6G2 + 可変入口静翼, 二段タービン静翼角度変更, 三段 タービン動翼形状変更	
	-G4 -G4A	4500/12,000 (軽油) 重油	機関車用 燃焼器設計変更(重油), 空冷タービン タービン温度1125Kに増加 1983	
WJ5 (ハルビン航空発 動機)	WJ5D (1979)	750 kw  1250 kw	3 基発電セット  開発中(YD-1250)	
13 kg/sec WZ5 CR.7.54/10 stage 2 段 837℃. 1 段 Wuxi Mechanical Research Center		2200/	Water Injection Pump Drive (5 基) 5 セット総運転時間 33,650 時間最高 13,400 時間(1984) 消火トラック	

表2 (1980 年以降) 航転型開発

基本ガスタービン	名 称	出 力SHP/rpm	用 途	記 事
WS9  (西安航空発動機)	WS9G WS9G1	6000 9600 kW + 26 TONSTEAM	補助艦艇用動力, 油田  COGENERATION	艦艇用(G1+ファン翼端カット, Marinization) 設計(1981)ガスジェネ エ(1982) 80% ストール, 改良後 100%(1983)
	WS9G2	ガスジェネ (18,000 SHP)		
WP6(TURBOJET) (沈陽航空発動機)	WP6	4000 kw	1 基 1983 工場 発電用 2 基 1985 油田 発電用	

用 200 ~ 300, 機関車用 3000 ~ 5000 基と極めて意欲的な中国市場がありと講演発表を結んでいる。

筆者はこの他沈陽, 西安, 上海で飛行機, 発動

機工場, 北京航空学院を訪問し, 中国が航空工業再編成, 近代化にける熱意の一端を知りその優じさに強く印象づけられたことを附記しておきたい。

#### 4. ターボマシナリー関係（含数値解析）

石川島播磨重工業㈱ 児 玉 秀 和

Turbomachinery Committeeによるセッションは11あり、総数で51編の論文が発表された。その中で中国からの論文は33編と約65%を占め、あと米国から5編、その他の国から13編であった。米国からの参加が少ないなかで、United Technologies関係からはPW Canadaも含めると5編の論文が出ており、今回のシンポジウムに対する積極的な姿勢が窺えた。

2次流れ及び端壁効果に関するセッションがひとつ設けられていたが、その他のセッションでも端壁効果に関連した研究がいくつかみられた。なかでも端壁効果を考慮した翼形状設計によって性能を改善することに成功した3編の論文は注目される。3編のうち2編は中国からのもので、そのひとつはタービン翼の積重軸を円周方向に傾斜させた形状の研究（85-IGT-8）である。翼の腹側が外壁及び内壁に向くように傾けることにより翼間の2次流れを抑制する圧力勾配を与えることができるというもので、単段のリグ試験において設計回転数で0.8%、低回転数で2%の効率向上を得ている。もうひとつは端壁近くで翼に振りを与えたいわゆるエンドベンド翼を3段の圧縮機の静翼に適用したもので、設計回転数において3.2%の効率向上と約7%のサージマージン向上を得ている（85-IGT-25）。いずれもアイデアとしては既に知られているものであるが、新しい技術を即座に採り入れ実証してゆこうとする中国の姿勢を感じさせる研究である。あとの1編はPWAの“Second Generation of Controlled Diffusion Airfoils”について述べたもの（85-IGT-9）で、従来のControlled Diffusion Airfoilsが端壁流れの領域に拡張して用いられている。端壁流れは大スケールのリグ試験結果や翼列試験結果から実験的にモデル化されている。この設計法はPW2037エンジンの高圧圧縮機の間段3段に適用され、リグ試験機によって実証試験が行なわれた結果、1.5%の効率向上と8%のサージマージン向上が得られている。翼形状は端壁付近で振れた形となっており、結果的にはエンドベンド翼と

同様の形状である。第1世代のControlled Diffusion Airfoils は数値解析の発達で遷音速領域での壁を打ち破った点が特徴的であったが、今回は実験的な解析に大きく依存しているようである。いずれにしてもControlled Diffusion Airfoils というトレードネームを商売上大いに活用したPWAは、この“Second Generation of Controlled Diffusion Airfoils”という言葉も次期エンジンのセールスポイントのひとつとして大いに利用してゆくことは間違いのないであろう。

数値解析に関するセッションは3つ設けられていたが、80%は中国からの論文で相変わらず盛んなところをみせている。S1面及びS2面の解析が中国の特徴的な研究であることは有名だが、他にも中国独特の研究ではないかと思われるものがいくつかあった。翼設計における直接問題と逆問題の中間的なものであるHybrid Problemの研究（85-IGT-119）がそのひとつである。最適な翼面圧力分布を得るには、翼形状を様々に変えた計算を行わなければならないのが直接問題の欠点であるが、逆問題でも実際には、翼の強度、振動の面からも満足のいく形状を得るには結局は繰り返し計算を必要とする。この研究は要求される翼面圧力分布と翼形状パラメーターをそれぞれ部分的に与えて翼形状を3次元的に決定する方法で、変分法の原理に基づいて定式化を行なっている。その他に反り角の大きい翼列の非定常空気力を求めるのに“Oscillating Mean-Streamline Method”と呼ばれる方法を使用している（85-IGT-80）のも中国独特と思われる。比較検証として超音速平板翼列の計算を行なっているが、黒坂の結果と良く一致しているのは注目される。中国以外では、流線面の半径が流れ方向に変化する影響が、2次元翼間流れ計算において重要であることを示したもの（85-IGT-146）が注目される。動翼では予想されることであるが、静翼でも意外と影響は大きい。

設計開発関係の中では、PT6A-65ターボプロップエンジンの圧縮機（軸流4段+遠心1段）の

開発について述べたもの(85-IGT-41)が興味深い。当初の設計では目標の性能が得られなかった圧縮機を、わずか18カ月の間に7回の形状変更を経て、要求性能を満足するまでに導びいている。

翼間の計測データが壁圧だけであるという限られた情報のなかで、適確な性能解析が行なわれている点が特に注目される。

## 5. 燃焼, 燃料関係

川崎重工業(株) 曾根泰幸

燃焼, 燃料分野では, 6セッションで30編の論文, 他にCoal Combustionに関するセッションが1つ, 論文が5編の合計35論文が発表された。

中国で初めて開催された大会であるためか, 約40%(15論文)が中国の研究者のものであった。座長と副座長は, Purdue大学のA.H. Lefevre氏と北京航空宇宙学院のJ.S. Chin氏らが交互にされた。

全体的な傾向として, 中国側の研究者の発表は理論解析が主であり, 実験的あるいは実用上の問題に関する論文は少なかった。これは, 中国国内での国産ガスタービンの数が少ないことと関連しているものと思われる。

以下, 燃焼, 燃料関係の各分野に分け, 概要を述べる。

### 1. 燃料の微粒化

燃料の微粒化に関する報告としては, 気流微粒式の噴射弁の幾何学的形状と噴霧特性を実験的に導き出した論文(85-IGT-134)を始め, Lucas社におけるFan Spray Injector使用時の燃焼器内の流れ模様解析実験および燃焼実験を述べた論文(85-IGT-116), エアーブラスト噴射弁を実機で運転した時の諸問題を扱った論文(85-IGT-10)等を含め, 5編が発表された。また, 燃料液滴の空気中での蒸発プロセス等に関する論文が北京航空宇宙学院のメンバーらにより3件

(85-IGT-118, -143, -124) 報告された。

### 2. 燃料および代替燃料

燃料および代替燃料については12編の論文が発表された。その中で, GE社と上海パワープラント研究所が共同で, 石炭ガス燃焼用の燃焼器の設計, 開発経過を発表している論文(85-IGT-128), 同じくGE社がLM500, LM2500用の低カロリーガス焚燃焼器, 噴射弁について述べた論文(85-IGT-125)が目についた。また, BBC社は, ShaleオイルやTar Sands等の低質油を使用した時の燃焼器の状況を述べた論文(85-IGT-18)を発表していた。

### 3. エミッション

今回の学会では, エミッション関係の論文は比較的少なく, 気流微粒化式のJet Mix Fuel Injectorに於けるスモーク濃度に関する論文(85-IGT-117), エアーブラスト噴射弁に於ける $\text{NO}_x$ , CO等の排出に関する論文(85-IGT-103),  $\text{NO}_x$ の排出予想値を算出する式を導き出した論文(85-IGT-126)のみであった。

### 4. その他

中国の研究者から, ダブルボルテックス燃焼器の数値解析の論文(85-IGT-110, 85-IGT-111), 燃焼器内の非反応領域の研究(85-IGT-85), 燃焼ガスの熱力学的特性に関する論文(85-IGT-26)等が発表された。

開発について述べたもの(85-IGT-41)が興味深い。当初の設計では目標の性能が得られなかった圧縮機を、わずか18カ月の間に7回の形状変更を経て、要求性能を満足するまでに導びいている。

翼間の計測データが壁圧だけであるという限られた情報のなかで、適確な性能解析が行なわれている点が特に注目される。

## 5. 燃焼, 燃料関係

川崎重工業(株) 曾根泰幸

燃焼, 燃料分野では, 6セッションで30編の論文, 他にCoal Combustionに関するセッションが1つ, 論文が5編の合計35論文が発表された。

中国で初めて開催された大会であるためか, 約40%(15論文)が中国の研究者のものであった。座長と副座長は, Purdue大学のA.H. Lefevre氏と北京航空宇宙学院のJ.S. Chin氏らが交互にされた。

全体的な傾向として, 中国側の研究者の発表は理論解析が主であり, 実験的あるいは実用上の問題に関する論文は少なかった。これは, 中国国内での国産ガスタービンの数が少ないことと関連しているものと思われる。

以下, 燃焼, 燃料関係の各分野に分け, 概要を述べる。

### 1. 燃料の微粒化

燃料の微粒化に関する報告としては, 気流微粒式の噴射弁の幾何学的形状と噴霧特性を実験的に導き出した論文(85-IGT-134)を始め, Lucas社におけるFan Spray Injector使用時の燃焼器内の流れ模様解析実験および燃焼実験を述べた論文(85-IGT-116), エアーブラスト噴射弁を実機で運転した時の諸問題を扱った論文(85-IGT-10)等を含め, 5編が発表された。また, 燃料液滴の空気中での蒸発プロセス等に関する論文が北京航空宇宙学院のメンバーらにより3件

(85-IGT-118, -143, -124) 報告された。

### 2. 燃料および代替燃料

燃料および代替燃料については12編の論文が発表された。その中で, GE社と上海パワープラント研究所が共同で, 石炭ガス燃焼用の燃焼器の設計, 開発経過を発表している論文(85-IGT-128), 同じくGE社がLM500, LM2500用の低カロリーガス焚燃焼器, 噴射弁について述べた論文(85-IGT-125)が目についた。また, BBC社は, ShaleオイルやTar Sands等の低質油を使用した時の燃焼器の状況を述べた論文(85-IGT-18)を発表していた。

### 3. エミッション

今回の学会では, エミッション関係の論文は比較的少なく, 気流微粒化式のJet Mix Fuel Injectorに於けるスモーク濃度に関する論文(85-IGT-117), エアーブラスト噴射弁に於ける $\text{NO}_x$ , CO等の排出に関する論文(85-IGT-103),  $\text{NO}_x$ の排出予想値を算出する式を導き出した論文(85-IGT-126)のみであった。

### 4. その他

中国の研究者から, ダブルボルテックス燃焼器の数値解析の論文(85-IGT-110, 85-IGT-111), 燃焼器内の非反応領域の研究(85-IGT-85), 燃焼ガスの熱力学的特性に関する論文(85-IGT-26)等が発表された。

## 6. ガスタービン材料の金属・セラミックス及びコーティング

スペシャル・メタルズ・コーポレーション 安 部 浄

材料関係については二つのセッションしかなく、11の演題のうち中国の発表が4件で、他の部門に比較して少なかった。

スーパーアロイに関しては、INCO社から(IGT-140)低膨張合金 Incology 909 の発表があった。これは従来の Incology 903 から 907 をへた改良タイプで、400℃以下の温度で膨張係数がほぼ一定であることを特長とする。そのための膨張による寸法差がすくなく、タービン効率に寄与する。しかしクロムがないため耐蝕のためにはコーティングが必要である。

United Technology からは、(IGT-141)ガスタービンへのレーザーの利用について述べられ、Pratt and Whitney ではブレードの冷却孔の加工、中空ブレード内の冷却チューブなどの溶接、パーツの表面への耐磨耗材料などのコーティングおよび材料の切断など、従来の方法に取ってかわりつつあるとの報告があった。

英国グラスゴー大学の中国人研究員からは(IGT-147)、Dart エンジンのアルミニウム合金製(Hiduminium・RR55)LP Imepeller の破壊事故の原因解析について報告された。原因はアルミ合金のインゴットに湯じわ(Cold Shut)があり、そのまま鍛造成形されたため酸化皮膜が残存して破壊の原因となった。

中国からの発表は、(IGT-91)タービンディスクの周辺のスロット底部でのクラックの発生とその伝播について解析し、運転状況によるストレス強度との関係について述べたもの、(IGT-95)GH 36合金(8Ni, 13Cr にMn, Mo, Nb, Vを添加した鉄ベース)について、650℃におけるサイクル疲労テストの結果の報告、および欠陥でペーパーのみであった(IGT-66)は、一方向凝固によるテストピースについて、950℃で繰り返し疲

労試験を行なった結果についての報告があった。

セラミック材料については、中国から(IGT-92)、シリコンナイトライド(ホットプレス成形)に対して、レアアース酸化物( $Y_2O_3$ ,  $La_2O_3$ )とそれにアルミナを添加した場合の強度に対する影響、Sohio(カーボランダム)から(IGT-127)焼結のシリコンカーバイドの基本特性と、その成形プロセスと成成品(ローターその他)のテストデータが紹介され、問題点である靱性と信頼性の向上について、マイクロ組織の改善のために第二の相(例えば $TiB_2$ )の添加の研究が報告された。Garretからは、(IGT-149)乗用車用ターボチャージャーへのセラミックスの適用について、材質、成形プロセスおよび金属との接合技術における最近の研究、実車テストの状況について報告があった。

コーティングについては、中国航空材料研究所から(IGT-77)アルミナイドコーティングについて、そのプロセス、コーティングの厚さ、表面粗度、靱性がクラックの発生に関係し、さらにコーティングのクラックが、生地のスーパアロイの疲労を促進するとの報告があった。英国海軍からは(IGT-62)マリーン用のTyne, Olympus, Spey の各エンジンのタービン翼、燃焼器に対するコーティングの実績、テストについて述べられた。ブレード材はJN738が多く、一部Nimonic 115であるが、これらにPack Aluminide, MCr AIYなどのコーティングが使用され有効であった。さらに高度の耐蝕性とライフのため、Pt-Aluminide がラストされ優秀な成果をおさめた。マリンガスタービンは今後も英海軍で使用されるため、コーティング材料およびコーティングプロセスについての研究が続けられる。

# Seventh International Symposium on Air Breathing Engines

## Beijing, China September 2-6, 1985

### 論文リスト

#### INAUGURAL ADDRESSES

Future Directions Aeropropulsion Technology NEAL T. SAUNDERS and  
ARTHUR J. GLASSMAN  
(ISABE 85-7000) Page. 3

Contribution of Basic Research in the Gas Dynamics of Turbomachinery  
in the Institute of Engineering Thermophysics  
WU CHUNG HUA

#### INVITED LECTURES

Airframe-Propulsion Integration of Fighter Aircraft  
G. K. RICHEY

Prospective View of Ramjet Engines  
LIANG, SHOU PAN and WANG, SHU SHENG

Propulsion Reliability and Extended Range Operations  
WALTER K. BAUERMEISTER

The Role of Computational Techniques in the Development of High  
Performance Airbreathing Engines  
J. ROSSIGNOL

(ISABE 85-7001) Page. 25

Renewed Industry Interest in Large Shift Engines  
F. BLAKE WALLACE

Aero Gas Turbine Engines for Commercial Application  
A. G. NEWTON

(ISABE 85-7002) Page. 33

#### NOZZLE AND EXTERNAL FLOWS

A Coupled Inverse-Inverse Method for Over-Expanded Supersonic  
Nozzles

GEORGE MEAUZE and ANTOINE FOURMAUX

(ISABE 85-7004) Page. 45

Jet Plume Temperature Effects on Afterbody Pressure Distribution and  
Drag

N. B. MATHUR and K. S. YAJUIK

Viscous Drag Reduction with Microporous-Faced Honeycomb Sandwich for  
Modern Turbofan Installations

JOSEPH S. MOUNT and TSONG-MOU LIU

(ISABE 85-7005) Page. 56

#### GAS TURBINE COMBUSTOR DEVELOPMENTS

Combustion Engineering and Research for Gas Turbines  
W. W. Wagner and S. N. B. Murthy

(ISABE 85-7006) Page. 87

Combustion Research for Gas Turbine Engines

EDWARD J. MULARZ and RUSSELL W. CLAUS

(ISABE 85-7007) Page. 92

Development of New Combustor Technologies at SNECMA

G. BAYLE LABOURE

(ISABE 85-7008) Page. 101

#### INLETS

The Shock Patterns in the Two-Dimensional Inlet with a Bleed

XING JUN BO and CHANG CHUAN MIN

(ISABE 85-7009) Page. 111

Three-Dimensional Flow Effects in a Two-Dimensional Air Intake with  
Mixed Supersonic Compression

S. A. FISHER

(ISABE 85-7010) Page. 118

Ramjet Air Induction System Design for Tactical Missile Application  
J. G. BENDOT, A. E. HEINS, and T. G. PIERCY

Synthesis of Aerodynamic Studies of Air Intakes of a Highly  
Manoeuvring Missile at High Mach Numbers

GERARD LARUELLE

(ISABE 85-7011) Page. 125

Performance of a Top-Mounted Inlet System Applied on Two Combat  
Aircraft Concepts

K. WIDING

(ISABE 85-7012) Page. 135

Numerical Simulation of Self-Excited Oscillations in a Ramjet  
Inlet-Diffuser Flow

T. HSTEH and T. COAKLEY

(ISABE 85-7013) Page. 149

Calculation of External and Internal Transonic Flow Field of a  
Three-Dimensional S-Shaped Inlet

SHEN HUILI, LUO SHIJUN, JI MINGGANG, and XING ZONGMEN

(ISABE 85-7014) Page. 157

#### MECHANICAL ASPECTS

Optimisation of Recess-Action Conformal Profiles for Aero  
Gas-Turbine Engine Gears—

A Computer Based Analytical Approach

K. RAMACHANDRA, N. NAGARAJ, and R. PADMANABHAN

(ISABE 85-7015) Page. 165

Determination of High Cycle Fatigue Life of Axial Compressor Blades  
of Turbojet Engines Fitted in Military Aircraft

M. L. SIDANA, R. V. NARAYANA MURTHY, and K. SRINIVASA

(ISABE 85-7016) Page. 173

An Experimental Study on the Behavior of Damper Bearing Plane  
Stiffness in Squeeze Film Mounted Rotor Systems

V. ARUN KUMAR and S. C. KAUSHAL

(ISABE 85-7017) Page. 178

An Effective Method of Bearing Health Monitoring

P. Y. KIM

(ISABE 85-7018) Page. 183

A Simple Method for Evaluating Thermal Stability of Labyrinth Seals

SUMANT PATHAK

(ISABE 85-7019) Page. 191

Role of Photoelastic Measurements in the Evaluation of LCF Life of  
Gas Turbine Rotors by Ferris-Wheel Tests

R. PADMANABHAN, K. RAMACHANDRA, P. K. RADHAKRISHMAN NAIR,

and B. J. RAGHUNATH

(ISABE 85-7020) Page. 199

Diagnosis and Cure for a Fatigue Problem in the Turbine Rotor of  
Small Turbo-engine

A. J. VAN WYK and G. V. HOBSON

(ISABE 85-7021) Page. 207

#### RAMJETS

Ramjet Research in France: Realities and Perspectives

R. MARQUET and PH. CAZIN

(ISABE 85-7022) Page. 215

Experimental Studies on Ram-Rocket Fuels (Burning Rats Control of  
Solid Propellant Type Fuels)

NOBUO TSUJIKADO, TADAMASA HARADA, and MICHIOHRO ABOSHI

(ISABE 85-7023) Page. 225

An Experimental Study of Side Dump Ramjet Combustors

K.-A. ZETTERSTROM and B. SJOBLOM

(ISABE 85-7024) Page. 230

Design Techniques for Integrated Rockets — Ram/Scramjets

P. BENKMAN

(ISABE 85-7025) Page. 237

Combustion Processes in Supersonic Flow

FREDERICK S. BILLIG

(ISABE 85-7026) Page. 245

## CONTROLS, DIAGNOSTICS AND INSTRUMENTATION

High Reliability Full Authority Electronic Engine Control (HIFEC)  
MASANORI ENDOH, MINEO KISHIMOTO, YASUYUKI WATANABE,  
and MAKOTO ENDOH  
(ISABE 85-7027) Page. 259

Digits and the Small Helicopter Engine  
R.M. Lucas  
(ISABE 85-7028) Page. 266

Some Recent Advances in the Instrumentation of Airbreathing Engines  
MASANORI ENDOH, YUKIO MATSUDA, TAKESHI KOSHINUMA,  
and MASAKATSU MATSUKI  
(ISABE 85-7029) Page. 271

Experimental Analysis Methods for Unsteady Flows in Turbomachines  
R. LARGUIER  
(ISABE 85-7030) Page. 279

Phase-Locked Measurements in a Turbomachinery Flow Using Laser  
Doppler Velocimetry and Slant Hot-Wire Anemometry  
P. MALAN and G.D. J. SMITH  
(ISABE 85-7031) Page. 290

Numerical Simulation of Two- and Three-Dimensional Flows in  
Airbreathing Engine Components by the Method of Approximate  
Factorization  
M. YA IVANOV, V. V. KORETSKY, and B. I. KURMANOV  
(ISABE 85-7032) Page. 298

## TURBOMACHINERY

Modern Technology Application to Compressor and Trbine Aerodynamics  
J. HOURMOUZADIS and H.-J. LICHTFUSS  
(ISABE 85-7033) Page. 307

An Experimental Study of the Compressor Rotor Flow Field at  
Off-Design Condition Using Laser Doppler Velocimeter  
P. POPOVSKI and B. LAKSHMINARAYANA  
(ISABE 85-7034) Page. 321

Experimental Convective Heat Transfer Investigation Around a Film  
Cooled High Pressure Turbine Blade  
C. CAMIC, T. ARTS, and F. A. E. BREUGELMANS  
(ISABE 85-7035) Page. 331

Heat Transfer to Air Between Parallel Plates: On the Effects of  
Heat Conduction in the Walls and in the Fluid  
S. FAGGIANI and F. GORI  
(ISABE 85-7036) Page. 339

Development of a Short Radial Diffuser in the High Subsonic and  
Supersonic Range with Special Application to Air Breathing Engines  
J. DE KRASINSKI and W. WAWSZCZAK  
(ISABE 85-7037) Page. 344

Study of Transonic Flow Through an Inducer of the Centrifug  
Compressor Impeller  
K. CELIKOVSKI and P. SAFARIK

## COMBUSTION STABILITY AND MODELING

On the Prediction of Three-Dimensional Recirculating Flowfields  
Inside a Model of an Annular Vaporizing Combustion  
YAN CHUANJUN, TANG MING, and ZHU HUILING  
(ISABE 85-7038) Page. 353

Numerical Modeling of Afterburner Combustion  
ZHANG XIAOCHUN and CHIU HEI-HANG  
(ISABE 85-7039) Page. 359

Reactive Jet Flows Through Protrusions in Cross-Flow  
S. N. B. MURTHY, C. F. WARNER, and J. WINFREE  
(ISABE 85-7040) Page. 370

Flow and Turbulent Mixing in a Sudden Expansion Combustion Chamber  
with and without a Central Bluff Body  
ZHOU LIXING, LIN WENYI, and ZHAO HUIQUAN  
(ISABE 85-7041) Page. 380

Identification and Control of Large-Scale Structures in Highly  
Turbulent Shear Flow  
K. C. SCHADOW, K. J. WILSON, and E. GUTMARK  
(ISABE 85-7042) Page. 385

On the Relationship Between Flame Stability and Drag of Bluff-Body  
Flameholders  
N. K. RIZK and A. H. LEFEBVRE  
(ISABE 85-7043) Page. 393

## PROPULSION SYSTEMS AND TEST FACILITIES

Real-Time Engine Testing in the Aeropropulsion Systems Test Facility  
NEIL W. HAARS and JAMES G. MITCHELL  
(ISABE 85-7044) Page. 401

The History and Foreseeable Developments in Reciprocating Engines  
for Aircraft  
C. M. EHRESMAN and ROGER L. SPENCER  
(ISABE 85-7045) Page. 408

A Study on Performances of Variable Geometry Turbofan Engines  
Utilizing an Approximated Analytical Method  
CARLOS SANCHEZ TARIFA and MANUEL A. LOPEZ AGUILAR  
(ISABE 85-7046) Page. 413

Design Characteristics of a New Generation Trboshaft Engine  
K. TRAPPMANN  
(ISABE 85-7047) Page. 418

The Aerodynamic and Thermodynamic Design of a Small Turbojet  
C. MASSARO, G. TORELLA, S. COLANTUONI, P. DI MARTINO,  
and G. LIOTTI  
(ISABE 85-7048) Page. 426

The Reliability of Engines and Their Effectiveness in Commercial  
Aircraft  
V. SOSOUNOV, E. LOKSHANOV, and A. MOROZOV

## INVISCID FLOW IN TURBOMACHINERY

L2F Velocity Measurement and Calculation of Three-Dimensional Flow  
in an Axial Compressor Rotor  
WU CHUNG-HUA, WANG JIANAN, FANG ZONGYI, and WANG QINGHUA  
(ISABE 85-7049) Page. 435

Numerical Computation of Two Dimensional Rotational Inviscid  
Transonic Flows Using the Decomposition of the Flow Field into a  
Potential and a Rotational Part  
K. GIANNAKOGLU, P. CHAVIAROPOULOS, and K. D. PAPAILIOU  
(ISABE 85-7050) Page. 441

Numerical Solution and Experimental Investigation of Highly  
Rotational Internal Flow  
A. HAMED  
(ISABE 85-7051) Page. 448

Computational of Three Dimensional Flow Field in Backward Swept  
Impeller of a Radial-Flow Compressor with Splitter Blades by  
Quasi-Orthogonal Surface Method  
ZHU SHICAN  
(ISABE 85-7052) Page. 458

Accurate Solution of Inverse Problem of Transonic Flow on S2  
Surfaces by Means of Elliptic Algorithm  
CHEN HONGJI and WU CHUNG-HUA  
(ISABE 85-7053) Page. 465

Application of a Multi-Domain Approach for the Computation of  
Compressible Flows in Cascades  
L. CAMBIER and J. P. VEUILLLOT  
(ISABE 85-7054) Page. 474

A Stream Function Relaxation Method for Solving Blade Coordinates on  
S1 Stream Surfaces  
GE MANCHU  
(ISABE 85-7055) Page. 482

Experimental Verification of Through-Flow Calculations for a  
Multi-Stage Axial Compressor  
W. RIESS and H.-J. KIESOW  
(ISABE 85-7056) Page. 487

Advanced Computational Methods for Turbomachinery Blade Design  
P. STOW  
(ISABE 85-7057) Page. 495

Transonic Flow Along S2 Stream Surface Solved by Separate Supersonic  
and Subsonic Calculations  
QIN LISEN and WU CHUNG-HUA  
(ISABE 85-7058) Page. 502

## OPERATIONS AND MONITORING

Engine Performance Monitoring in Helicopters  
D. E. GLENNY  
(ISABE 85-7059) Page. 513

Procedures for Trending Aircraft Gas Turbine Engine Performance  
D. A. FRITH and P. C. FRITH  
(ISABE 85-7060) Page. 520

JT9D Engine/Module Performance Deterioration Results from Back to  
Back Testing  
O. SASAHARA  
(ISABE 85-7061) Page. 528

Certain Algorithms Related to "Engine Condition Monitoring" Systems  
TH. PANIDIS and D. D. PAPAILIOU  
(ISABE 85-7062) Page. 536

Hostile Atmospheric Environment Effects on Jet Engines  
W. TABAKOFF and A. HAMED  
(ISABE 85-7063) Page. 540

Initial Dispersion of Jet Engine Exhaust Plume  
T. SAWADA and A. NISHI  
(ISABE 85-7064) Page. 550

## FUEL INJECTION

An Experimental Study of Multiple Fuel Supplies into the Secondary  
Combustor of Air Breathing Rockets  
NOBUO CHINZEI, GORO MASUYA, and KENJI KUDOU  
(ISABE 85-7065) Page. 561

A Simulation of Droplet Size Distributions of Vaporizing Fuel Sprays  
in a Turbulent Air Jet Atomizer  
Y. TAMBOUR  
(ISABE 85-7066) Page. 569

Some Studies on the Burning Behavior of Rotation Fuel Droplets and  
Drop Interaction Effects  
A. K. GHOSH  
(ISABE 85-7067) Page. 579

Simultaneous Measurement of Velocities and Particle Sizes for Injection Systems and Ramjet Combustors  
Y. LEVY and Y.M. TIMNAT  
(ISABE 85-7068) Page. 587

Principal Correlations of Airblast Atomization and the Limits of Their Applicability in a Practical System  
Z. HU, Q. ZHAO, H. EICKHOFF, and B. SIMON  
(ISABE 85-7069) Page. 592

#### VISCOUS EFFECTS IN TURBOMACHINERY

Study of Viscous Effect in the Turbomachine Flow Calculations  
J. Z. XU, B. X. ZHANG, and J. Y. DU  
(ISABE 85-7070) Page. 601

Comparison of Endwall Boundary Layer Calculation Methods for Axial-Flow Compressor Stage  
CH. SIMON and K. G. GRAHL  
(ISABE 85-7071) Page. 608

End Wall Boundary Layers in Axial Compressors  
S. SOUDRANYAGAM  
(ISABE 85-7072) Page. 622

Turbulent Boundary Layer Separation on Engine Components  
W. H. SCHOFIELD  
(ISABE 85-7073) Page. 631

Effect of Free Stream Turbulence on Flow Separation  
RAMA S. R. GORLA  
(ISABE 85-7074) Page. 640

Investigations on the Effect of Free-Stream Turbulence on Boundary Layer Transition  
J. P. GOSTELOW  
(ISABE 85-7075) Page. 644

Energy Losses of Equilibrium Three-Dimensional Boundary Layer  
YASUTOSHI SENOO  
(ISABE 85-7076) Page. 650

Effect of Aspect Ratio on Energy Loss in Nozzle Blades of Small Power Turbines  
A. MOBARAK, M. G. KHALAFALLAH, and M. LOTAYEF  
(ISABE 85-7077) Page. 656

Influence of Incidence Angle on the Secondary Flow in a Compressor Cascade with Different Dihedral Distribution  
F. A. E. BREUGELMANS  
(ISABE 85-7078) Page. 663

Assessment of Various Designs of Axial Slot Casing Treatment in a Low Speed Axial Flow Compressor  
L. J. KNOX-DAVIES, G. D. J. SMITH, and P. ADAMS  
(ISABE 85-7079) Page. 669

Secondary Flow Control by Through-Blade Injection and Its Effect on Particulate Flows in Stationary Cascades  
A. A. F. ABDEL and T. W. ROULEAU

#### UNSTEADY EFFECTS IN TURBOMACHINERY

Unsteady Aerodynamic Characteristics of a Supersonic Cascade of Swept Blades  
MASANOBU NAMBA, and FAN FEI-DA  
(ISABE 85-7080) Page. 679

The Oscillating Mean-Stream Line — Oscillating Shock Wave Method — A New Method for Determining Unsteady Flow in Oscillating Supersonic and Transonic Cascade  
CHEN ZUO YI and DUAN QIU SHENG  
(ISABE 85-7081) Page. 687

Role of Shocks in Transonic/Supersonic Compressor Rotor Flutter  
O. O. BENDIKSEN  
(ISABE 85-7082) Page. 691

Unsteady Aerodynamics of a Stator Vane Row  
SANFORD FLEETER and VINCENT R. CAPECE  
(ISABE 85-7083) Page. 702

Influence of Rotation and Pretwist on Cantilever Fan Blade Flutter  
F. SISTO and A. T. CHANG  
(ISABE 85-7084) Page. 713

Investigation of Blade Vibration During Surge of a Centrifugal Compressor  
U. HAUPT and M. RAUTENBERG  
(ISABE 85-7085) Page. 718

The Three Dimensional Flow Field Inside an Axial Compressor Operating in Rotating Stall  
K. MATHIOUDAKIS and F. A. E. BREUGELMANS  
(ISABE 85-7086) Page. 726

Stalling Behavior of a Contra-Rotating Axial Compressor Stage  
P. B. SHARMA, Y. P. JAIN, N. K. JHA, and B. B. KHANNA  
(ISABE 85-7087) Page. 734

Rotating Stall in Three-Dimensional Blade Rows Subjected to Spanwise Shear Flow  
H. TAKATA and T. NAGASHIMA  
(ISABE 85-7088) Page. 741

The Nonlinear Model for Predicting Rotating Stall in Multi-Stage Compressors  
TANG DIYI and W. KOSCHEL  
(ISABE 85-7089) Page. 751

Recent Progress on Compressor Stability in France  
J. CHAUVIN and PH. RAMETTE  
(ISABE 85-7090) Page. 758

A Study of the Frequency Response of a Turbojet Engine to Turbulence-type Dynamic Distortion  
LIU SHENG, CHEN FUQUN, LI WENLEN, WANG ZONGYUAN, and CONG MENGZI  
(ISABE 85-7091) Page. 765

#### COMBUSTOR PERFORMANCE CORRELATIONS

Problems of Ignition Correlations — An Assessment of Applications to Real Combustors  
J. ODGERS and D. KRETSCHMER  
(ISABE 85-7092) Page. 775

Flashback and Flame Propagation Limits Through Streams of Premixed Fuel and Air  
G. A. KARIM, G. KIBRYA, and I. WIERZBA  
(ISABE 85-7093) Page. 783

Experimental Results from a Reverse Flow Annular Combustor  
F. M. JOUBERT and H. V. HATTINGH  
(ISABE 85-7094) Page. 787

Transpiration and Impingement/Effusion Cooling of Gas Turbine Combustion Chambers  
G. E. ANDREWS, A. A. ASERE, C. I. HUSSAIN, and M. L. MKPADI  
(ISABE 85-7095) Page. 794

Combustion and Emissions Performance of a Rapid Fuel and Air Mixing Combustor  
N. A. AL-DABBAGH, G. E. ANDREWS, and A. R. SHAHABADI



# ASME 1985 Beijing International Gas Turbine Symposium & Exposition

## 論文リスト

### COMBUSTION & FUEL

- Fuel Deposit Characteristics at Low Velocity**  
E. J. SZETELA and A. J. GIOVANETTI, United Technologies Research Center, E. Hartford, CT and S. COHEN, NASA Lewis Research Center, Cleveland, OH  
(ASME Paper No. 85-IGT-130)
- Evaporation Histories of Fuel Sprays Injected Across a Flowing Air Stream**  
J. S. CHIN, W. G. FREEMAN, and A. H. LEFEBVRE, Purdue University, W. Lafayette, IN  
(ASME Paper No. 85-IGT-49)
- Study on Two-Phase Fuel Distributions in High Speed Hot Transverse Air Stream**  
YANG MAO-LIN, GU SHAN-JIAN, and LI XIANG-YI, Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-118)
- Research on the Multicomponent Diffusion Theory and its Application to the Calculation of Evaporation Histories of Multicomponent Droplets**  
ZHANG ZHEN-TANG, DONG YAO-DE, and LI RU-HUI, Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-143)
- Numerical Method for Fuel Distribution Downstream of the Emulsifying Channel Injector**  
LIU BING and WANG HONG-JI, Northwestern Polytechnical University, Xian, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-124)
- Effect of Injector Geometry Variables Upon the Spray Performance of a Plain-Jet Airblast Atomizer**  
S. G. SHAW, F. W. O. Bauch, Ltd., Borehamwood, Herts, U.K. and A. K. JASUJA, Cranfield Institute of Technology, Cranfield Bedford, UNITED KINGDOM  
(ASME Paper No. 85-IGT-134)
- Effects of Geometrical Size and Configuration of Airblast Atomizers on Atomizing Performance**  
ZHAO QI-SHOU and GAN XIAO-HUA, Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-138)
- Further Application of the Lucas Fan Spray Fuel Injection Combustion System**  
E. CARR, Lucas Aerospace Ltd., Burnley, Lancashire, U.K.  
(ASME Paper No. 85-IGT-116)
- Development of a Small Gas Turbine Combustor with Airblast Atomizer**  
A. HOSHINO, T. TATSUMI, H. SONE, and M. SHIBATA, Kawasaki Heavy Industries, Ltd., Akashi, JAPAN  
(ASME Paper No. 85-IGT-10)
- Centrifugal Mixing in Gas and Liquid Fuelled Lean Swirl Stabilised Primary Zones**  
N. T. AHMAD, G. E. ANDREWS, M. KOWKABI, and S. F. SHARIF, University of Leeds, Leeds, UNITED KINGDOM  
(ASME Paper No. 85-IGT-103)
- Smoke Emissions from Lean Well Mixed Gas Turbine Primary Zones**  
M. M. ABDUL-AZIZ and G. E. ANDREWS, University of Leeds, Leeds, UNITED KINGDOM  
(ASME Paper No. 85-IGT-117)
- Investigation and Experiment on a Short Dump-Diffuser of the Combustor**  
HOU XIAO-CHUN, SIAO TONG-FU, and ZHONG JIAN-PING, Nanhua Power Plant Research Institute, Zhuzhou, Hunan, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-28)
- The Effect of Inlet Air Vitiation on Combustion Efficiency**  
FAN ZUOMIN and JIANG YIJUN, Gas Turbine Establishment, Sichuan Province, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-142)
- Design and Development Test of a Gas Turbine Combustor for Air-Blown Lurgi Coal Gas Fuel**  
K. W. BEEBE, General Electric Co. Schenectady, N.Y. and LI JIAN-YE, YANG DAO-GANG, and ZHOU TIAN-YU, Shanghai Power Plant Equipment Research Institute, Shanghai, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-128)
- Small Industrial Gas Turbine Combustor Performance with Low BTU Gas Fuels**  
D. W. BAHR, P. E. SABLA, and J. W. VINSON, General Electric Co., Cincinnati, OH  
(ASME Paper No. 85-IGT-125)
- The Production of Jet Fuel from Alternate Sources**  
H. R. LANDER, Air Force Wright Aeronautical Laboratories, Aero Propulsion Laboratory, Wright-Patterson AFB, OH and H. E. REIF, Sun Refining and Marketing Co., Marcus Hook, PA  
(ASME Paper No. 85-IGT-67)
- Test and Evaluation of Shale Derived Jet Fuel by the U.S. Air Force**  
C. L. DELANEY, Air Force Wright Aeronautical Laboratories, Aero Propulsion Laboratory, Wright-Patterson AFB, OH  
(ASME Paper No. 85-IGT-115)
- Firing Synthetic and Low Grade Fuels in Large Combustion Turbines**  
A. KOROSI, Stone & Webster Engineering Corp., Boston, MA and B. BASLER, BBC Brown Boveri and Co. AG, Baden, SWITZERLAND  
(ASME Paper No. 85-IGT-18)
- Gaseous Fuels Capability of Industrial Gas Turbines**  
W. S. Y. HUNG and J. G. MEIER, Solar Turbines, Inc., San Diego, CA  
(ASME Paper No. 85-IGT-129)
- A Mathematical Model for Computing the Effects of Air Humidity, Fuel Composition and Gas Dissociation on Gas Turbines Performance and Its Actual Application**  
YON-GEN GU, Nanhua Power Plant Research Institute, Hunan, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA and J. R. PALMER, Cranfield Institute of Technology, Bedford, UNITED KINGDOM  
(ASME Paper No. 85-IGT-114)
- The Local Analytic Numerical Method for the Double Vortex Combustor Flow**  
J. HE and B.-Q. ZHANG, Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-110)
- Numerical Prediction of Three-Dimensional Flows in a Double-Recirculating Combustor**  
Y. WANG and B. Q. ZHANG, Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-111)
- Gas Turbine Combustion Efficiency**  
B. SCHLEIN, Pratt & Whitney Aircraft, Division of United Technologies, E. Hartford, CT  
(ASME Paper No. 85-IGT-121)

### Numerical Study of a Dump Diffuser Flow Field in a Short Annular Combustor

HU ZHIBEN and HUA GUANGSHI, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-88)

### A Preliminary Calculation of the Combustion Recirculating Flow Behind Flame-Holders

C. F. ZENG, J. X. ZHAO, and Z. T. DING, Nanjing Aeronautical Institute, Nanjing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-29)

### Combustion of Kerosene—Water Emulsions in a Gas Turbine Combustor

ZHIREN ZHANG, Nanhua Powerplant Research Institute, Hunan, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA and S. R. GOLLAHALLI, University of Oklahoma, Norman, OK (ASME Paper No. 85-IGT-144)

### The Prediction of Thermal NO<sub>x</sub> in Gas Turbines

J. ODGERS and D. KRETSCHMER, University of Laval, Quebec, CANADA (ASME Paper No. 85-IGT-126)

### Investigating Complex Non-Reacting Flow Field in Combustor With a Two-Dimensional LDA

LIN QIXUN, DING YISHENG, DU QINFANG, TANG MING, and XIAO NINGFANG, Northwestern Polytechnical University, Xian, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-85)

### A General Expression of Combustion Enthalpy Difference at Constant Temperatures of C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>O<sub>l</sub> Air System

FU XUN-QUAN, China Precision Machinery Corp., Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA and FAN ZUO-MIN, Institute of Energy Sources, Hebei Academy of Sciences, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-104)

### On the Thermodynamic Properties of Combustion Gases

YAN JIALU, LIU MING, and YANG YUSHUN, Harbin Institute of Technology, Harbin, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-26)

## CONTROLES & DIAGNOSTICS

### Discussion About Dynamic Simulation Test of an Aero-Engine Control System

WU CHI-HUA and FAN DING, Northwestern Polytechnic University, Xian, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-30)

### Recent Developments in Vibration Monitoring and Diagnostics for Aero Propulsive Gas Turbines

J. C. ADAMS, Bently Nevada Corporation, Minden, NV

(ASME Paper No. 85-IGT-31)

### Method of Spare Parts: Digital Simulation of Aircraft Turbine Engine Control System

GUAN YAN-SHEN, WANG JUHNG-SHENG and LEE TZU-CHENG, Northwestern Polytechnic University, Xian, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-52)

### Optimal Control of Change of State of Aircraft Turbine Engine

LEE TZU-CHENG and GUAN YAN-SHEN, Northwestern Polytechnical University, Xian, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-53)

### Higher Availability and Efficiency Using On-Line Real Time Diagnostic and Prognostic Systems on Gas Turbine Compressor Trains

M. P. BOYCE and T. K. LAM, Boyce Engineering International, Houston, TX

(ASME Paper No. 85-IGT-33)

### Diagnostic Procedures for Jet Engines

K. FIELDER and R. LUNDERSTÄDT, University of German Armed Forces, Hamburg, FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY

(ASME Paper No. 85-IGT-5)

## HEAT TRANSFER

### A Theoretical Analysis and Experimental Study of Flow and Heat Transfer in a Transpiration Cooled Passage

HUANG GUO-RUI, Dong Fang Steam Turbine Works, Deyang, Sichuan PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-137)

### Systematic Study of Film Cooling with a Three-Dimensional Calculation Procedure

A. O. DEMUREN, W. RODI, and B. SCHÖNUNG, Institute of Hydromechanics, University of Karlsruhe, Karlsruhe, FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY

(ASME Paper No. 85-IGT-2)

### Measurement of Turbine Blade Temperature Using Pyrometer

CHENG HUILIN and DU CHUXIANG, Shenyang Aeroengine Research Institute, Shenyang, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-78)

### Investigation of Transient Technique for Turbine Vane Heat Transfer Using a Shock Tube

W. C. ELROD, J. E. GOCHENAUR and J. E. HITCHCOCK, Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson AFB, OH and R. B. RIVIR, Air Force Wright Aeronautical Laboratories, Wright-Patterson AFB, OH

(ASME Paper No. 85-IGT-17)

## MANUFACTURING

## MATERIAL & METALLURGY

### Improvements of a Cycle J Integral for CT-Specimens

LIU SHAO-LUN and XIE JI-ZHOU, Institute of Aeronautical Materials, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-66)

### Investigation into the Cause of Failure of a Turboprop Impeller in Service

H. Y. WONG, University of Glasgow, Glasgow, Scotland, UNITED KINGDOM

(ASME Paper No. 85-IGT-147)

### The Behavior of Creep-Fatigue Interactions in GH 36 Superalloy

DUAN ZUOXIANG, NING YOUJIAN, and HE JINRUI, Institute of Aeronautical Materials, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-95)

### A Low Expansion Superalloy for Gas Turbine Applications

D. F. SMITH and D. J. TILLACK, Inco Alloys International, Inc., Huntington, WV, J. P. MCGRATH, Inco Alloys, Melbourne, AUSTRALIA

(ASME Paper No. 85-IGT-140)

### The Analysis of Crack Propagation Law at Slot Bottom in Turbine Disk

NIE JINGXU and HONG QILIN, Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-91)

### The Use of Lasers in Gas Turbine Manufacturing

D. S. DUVAL, Pratt and Whitney, United Technologies Corp., E. Hartford, CT

(ASME Paper No. 85-IGT-141)

### Lifetime Consideration of Refurbished Parts

N. S. BORNSTEIN, United Technologies Research Center, E. Hartford, CT

### Combining Gas Turbine Airfoil Coatings with Repair

G. MAIJNISSEN, ELBAR bv, Lomm, THE NETHERLANDS

### Recent Developments and Understanding of the Platinum Modified Aluminides

D. H. BOONE, Naval Postgraduate School, Monterey, CA

### Future Overhaul and Repair Requirements-Plasma Spray Coatings

D. S. DUVAL, Pratt and Whitney Manufacturing Division, E. Hartford, CT

## TURBOMACHINERY Design & Development

### The Computer Aided Design and Experiment of the Transonic Turbine Cascade

YUGI ZHAO, HONGEN XIAO, TINGXIONG ZHAN, and JIANHUI ZHENG, Nanhua Powerplant Research Institute, Hunan, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-86)

### The Importance of Circumferential Non-Uniformities in a Passage-Averaged Quasi-Three Dimensional Turbomachinery Design System

I. K. JENNIONS, General Electric Co., Cincinnati, OH and P. STOW, Rolls Royce, Ltd., Derby, UNITED KINGDOM

(ASME Paper No. 85-IGT-63)

### An Investigation of a High-Loaded Transonic Turbine Stage with Compound Leaned Vanes

SHI JING and HAN JIANYUAN, Nanhua Powerplant Research Institute, Hunan, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA, ZHOU SHIYING and ZHU MINGFU, Shenyang Aero-Engine Research Institute, Shenyang, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA, ZHANG YAKO, Academy of Sciences of China, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA, SHE MENGJU, Tsinghua University, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-8)

### The Development of a Second-Generation of Controlled Diffusion Airfoils for Multistage Compressors

R. F. BEHLKE, Pratt and Whitney Aircraft, United Technologies Corporation, East Hartford, CT

(ASME Paper No. 85-IGT-9)

### Modeling the Axial-Flow Compressors for Calculating Starting of Turbojet Engines

YAN DE-YOU, Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-97)

### Performance of Axial Compressor with Non-Uniform Exit Static Pressure

H. KODAMA, Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd., Tokyo, JAPAN

(ASME Paper No. 85-IGT-43)

### Investigation and Experiment on Optimizing Angles of Variable Stator of a Axial Flow Compressor

WU LI-HUA, HUANG FU-SHENG, LIU FENG, and WANG YAN-LI, Nanhua Powerplant Research Institute, Zhuzhou, Hunan, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-32)

### A Cost Effective Performance Development of the PT6A-65 Turboprop Compressor

T. YOSHINAKA and K. S. THUE, Pratt and Whitney Canada, Inc., Longueuil, Quebec, CANADA

(ASME Paper No. 85-IGT-41)

### An Approach to Performance Prediction of Gas-Wet Steam Turbo Expanders

LING ZHI-GUANG and LI SHU-LIAN, Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA and FEI YANG, Chinese University of Science and Technology, Hefei, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-34)

### Design and Testing of a 10 KW Steam Turbine for Steam Turbochargers

M. RAUTENBERG and M. MALOBABIC, Institute for Turbomachinery, University of Hannover, Hannover, WEST GERMANY, A. MOBARAK, Cairo University, Cairo, EGYPT, and M. ABEL KADER, Suis Canal University, EGYPT

(ASME Paper No. 85-IGT-113)

## Inlets & Diffusers

### Preliminary Tests on an Annular Hybrid Diffuser

N. MONTAZERIN and R. C. ADKINS, Cranfield Institute of Technology, Cranfield, Bedford, UNITED KINGDOM

(ASME Paper No. 85-IGT-108)

### A Hybrid Diffuser with Distorted Inflow

R. C. ADKINS and N. MONTAZERIN, Cranfield Institute of Technology, Cranfield, Bedford, UNITED KINGDOM

(ASME Paper No. 85-IGT-109)

### Lip Separate Flow Blowing and Analysis of Coherence of Inlet

HE ZHONGWEI and ZHANG SHIYING, Nanjing Aeronautical Institute, Nanjing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-68)

### Evaluation of Conical Diffuser Performance

A. THAKKER, National Institute of Higher Education, Limerick, IRELAND

(ASME Paper No. 85-IGT-27)

### Experimental Investigation on Aerodynamic Characteristics of a Variable Area Nozzleless Volute

FENG ZHENPING, SHEN ZUDA, and XIANG YIMIN, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-75)

### Application of Vortex Generators in Flow Control of the Inlet

CHEN XIAO and FANG LIANG-WEI, Nanjing Aeronautical Institute, Nanjing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-74)

### A Novel Centrifugal Diffuser Test Device

R. P. SHREEVE, H. D. SCHULZ, and J. R. ERWIN, Naval Postgraduate School, Monterey, CA and L. SCHUMANN, NASA Lewis Research Center

(ASME Paper No. 85-IGT-135)

### Experimental Investigation of Dynamic Distortion Properties in Transonic Flow Diffuser

HUANG XIJUN, LI HUAIJI, and DONG JINZHONG, Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-15)

### Aerodynamic Research on Straight Wall Annular Diffuser for Turbofan Augmentor

Q. M. XIE and J. G. GU, China Gas Turbine Establishment, Jiangyou, Sichuan, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-16)

## Computation

### A Finite Element Scheme for Incompressible Viscous Flow Calculations

WANG LI CHENG and ZHANG HUI MING, Nanjing Aeronautical Institute, Nanjing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-131)

### A Unified Theory of Hybrid Problems for Fully 3-D Incompressible Rotor-Flow Based on Variational Principles with Variable Domain

LIU GAOLIAN, Shanghai Institute of Mechanical Engineering, Shanghai, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-119)

### Through-Flow Modeling of Axial Turbomachinery

R. P. DRING and H. D. JOSLYN, United Technologies Research Center, East Hartford, CT

(ASME Paper No. 85-IGT-42)

### A Variational Finite Element Method for Solving the Blade-to-Blade Flow in Centrifugal Compressor's Cascades with Splitter Blades on an Arbitrary Streamsheet of Revolution and a Mathematical Treatment to the Region Behind Cascades.

CHEN YULIN, CHEN KANGMIN, and CHANG DANGFANG, Shanghai Institute of Mechanical Engineering, Shanghai, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-148)

### Some Problems in Calculating Flow Around Two-Dimensional Cascade Profiles

JIANG HAO-XIN, CHEN MAO-ZHANG, and TSUI CHIH-YA, Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-123)

### Theoretical Analysis and Experimental Research of Three-Dimensional Flow of Centrifugal Impeller

TU RENYONG, HE LU and WANG YANLING, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-79)

### The Numerical Experiments of the Unsteady Aerodynamics for the High-Turning Oscillating Cascades

CHEN ZUO-YI, DUAN QIU-SHENG, and DUAN SHI-ZHONG, Tsinghua University, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-80)

### The Effect of Radius Change on Two-Dimensional Cascade Solutions

J. R. CASPAR, United Technologies Research Center, E. Hartford, CT and D. E. HOBBS, Pratt and Whitney Aircraft, E. Hartford, CT  
(ASME Paper No. 85-IGT-146)

### The Propagation of Steady Circumferential Distortion Through an Axial Flow Compressor Rotor

ZHANG HUI-MIN and HU JUN, Nanjing Aeronautical Institute, Nanjing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA (ASME Paper No. 85-IGT-81)

### Calculation of External and Internal Transonic Flow Field of a Three-Dimensional S-Shaped Inlet

SHEN HUILI, LUO SHIJUN, JI MINGGANG, XING ZONGWEN, ZHU XIN, and HAN XIFENG, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA (ASME Paper No. 85-IGT-90)

### Modified Characteristic Method for Calculation of Supersonic $S_2$ Flow Field in Compressor

BO TAO and SHEN PING-CHENG, Shanghai Institute of Mechanical Engineering, Shanghai, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-89)

### A New Method for Predicting Performance of Axial-Flow Compressor

CAI YUAN-HU, WANG HONG-JI, TANG DI-YI, and LIU ZHI-WEI, Northwestern Polytechnical University, Xian, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-23)

### Transonic Cascade Analysis by a Time Marching Method

F. MARTELLI and L. MARCHI, University of Florence, Florence, ITALY  
(ASME Paper No. 85-IGT-133)

### The Investigation of the Stability for Multi-Stage Axial Compressors

DIYI TANG, WENLAN LI, and MENZI CONG, Northwestern Polytechnical University, Xian, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-24)

### A New Theory to Solve the Turbulent Vortices in Flowing Fluids

GE GAO and HUANG NING, Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-120)

## Secondary Flow & Endwall Effects

### Growth of Secondary Flow Losses Downstream of a Turbine Blade Cascade

L. D. CHEN, Design Institution, Chengdu, Sichuan, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA and S. L. DIXON, University of Liverpool, Liverpool, UNITED KINGDOM  
(ASME Paper No. 85-IGT-35)

### The Influence of the Radial Pressure Gradient on the Blade Root Loss in an Annular Subsonic Nozzle Cascade

MENG DAI, WENG ZEMIN, and XIANG YIMIN, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-132)

### Investigations of the Effect of Annulus Taper on Transonic Turbine Cascade Flow

W. BRAUNLING and F. LEHTHAUS, DFVLR, Gottingen, WEST GERMANY (ASME Paper No. 85-IGT-64)

### Experimental Research of the Secondary Flow in Rectilinear Turbine Cascades

YE DA-JUN and ZHOU LI-WEI, Tsinghua University, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-93)

## Compressor Stall & Surge

### An Analysis of Applicability of Surge/Stall Criterion to Engineering Problems

GUO-CAI TANG and HUI-MIN ZHANG, Nanjing Aeronautical Institute, Nanjing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-22)

### Unstable Flows in the Vaneless Diffuser of a Centrifugal Compressor at Low Flow Rates

S. MIZUKI, Hosei University, Tokyo, JAPAN, B. E. L. DECKKER, University of Saskatchewan, Saskatoon, CANADA, and C. W. PARK, Data Communications Corporation of Korea, Seoul, KOREA  
(ASME Paper No. 85-IGT-7)

### Increasing Surge Margin in an Axial Flow Compressor Using "End Bend" Airfoils

CAI YU-JIN, ZHONG YU-LING, QIAN LU-HONG, HE SHI-ZHONG, and PANG QIG-HUA, Shenyang Aeroengine Company, Shenyang, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-25)

### An Experimental Investigation on the Mechanism of Stall Margin Improvement of Casing Treatment

ZHUANG PING, LU YA-JUN, LI BAO-JU, and FENG YU-CHENG, Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-102)

### An Investigation of Rotating Stall and Surge of a Ten Stage Subsonic Compressor

XIE JINAN and BAI XIAOXU, Dongfang Electric Corp., Chengdu, Sichuan, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-96)

## Special Topics

### Analysis and Estimation for Measurement Errors of the Rotation State Behind Rotors

LIU SIHONG, Northwestern Polytechnical University, Xian, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA (ASME Paper No. 85-IGT-70)

### Investigation of a Tip Clearance Cascade in a Water Analogy Rig

J. A. H. GRAHAM, Pratt and Whitney Canada, Inc., Longueuil, Quebec, CANADA (ASME Paper No. 85-IGT-65)

### Measurement of Swirling Flow Field Using the Single Slanted Hot-Wire Technique

H. W. SHIN, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA and Z. A. HU, Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-76)

### The Properties of the Flow in an Elastic Duct

YOU-HAI WEI, XI-CHANG MAO, and REN FANG, Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-69)

### Application of the Rotating Water Table to Nozzle Wake Excitation in Low Pressure Turbines

SHUN CHEN, Westinghouse Electric Corp., Orlando, FL  
(ASME Paper No. 85-IGT-45)

### The Transonic Flow Through a Plane Turbine Cascade as Measured in Four European Wind Tunnels

R. KIOCK, Institute for Design Aerodynamics, DFVLR, Braunschweig, WEST GERMANY, F. LEHTHAUS, Institute for Experimental Fluid Mechanics, DFVLR, Gottingen, WEST GERMANY, N. C. BAINES, Imperial College, London, UNITED KINGDOM and C. H. SIEVERDING, Von Karman Institute for Fluid Dynamics, Rhode-St.-Genese, BELGIUM  
(ASME Paper No. 85-IGT-44)

### Experimental Investigation of Tandem Blade Cascades with Double-Circular Arc Profiles

WU GUOCHUAN, ZHUANG BIAONAN, and GUO BINGHENG, Nanjing Aeronautical Institute, Nanjing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-94)

**A Correlation for the Secondary Deviation Angle**

A. MASSARDO and A. SATTA, Università di Genova, Genova, ITALY  
(ASME Paper No. 85-IGT-36)

**COAL FIRED GAS TURBINES****Comparison of Various Fluidized Bed Combustor-Gas Turbine Systems**

A. P. FIZAAS, Knoxville, TN  
(ASME Paper No. 85-IGT-46)

**The Development of Integrated Coal-Gasification Power Plants with Clean Combustion in Germany**

H. H. FINCHK and R. MUELLER, Kraftwerk Union AG, Erlangen, FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY  
(ASME Paper No. 85-IGT-47)

**Deposition, Erosion and Corrosion Protection for Coal-Fired Turbines**

R. A. WENGLARZ, Allison Gas Turbine Division, General Motors Corp., Indianapolis, IN  
(ASME Paper No. 85-IGT-61)

**Digital Simulation of Thermal Turbomachinery Systems**

NI WEI-DOU and XU XIAN-DONG, Tsinghua University, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-84)

**Design of Advanced Coal Fired Gas Turbine Locomotives**

S. G. LIDDLE, California Engineering Research Institute, Sierra Madre, CA  
(ASME Paper No. 85-IGT-48)

**AIRCRAFT GAS TURBINES****Design Approach For An Optimum Prop-Fan Propulsion System**

G. L. BRINES, United Technologies Corporation, Pratt & Whitney Engineering Division, E. Hartford, CT  
(ASME Paper No. 85-IGT-57)

**Convergence of Performance Calculation of Twin Turbojet and Turbofan**

ZHU XINGJIAN, WANG XUEYU, and YAN QINGJIN, Beijing Institute of Aeronautics & Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-82)

**Rapid Calculation of Engine Performance**

ZHANG JIN and ZHU XINJIAN, Beijing Institute of Aeronautics & Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-83)

**An Experimental Investigation of Response of a Turbojet Engine to Inlet Distortion**

CHEN FUQUN, LI WENLAN, WANG ZONGYUAN, and CONG MENGZI, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-12)

**The Progress of Aero-Derivative Gas Turbines for Ground Usage in China**

ZHANG YAO-XI, Aeronautical Documentation and Information Research Institute, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
(ASME Paper No. 85-IGT-11)

**Propeller Design Point Calculation Method for Comparing Turbofan/Propfan Engine Performance**

M. F. SCHMIDT, Air Force Wright Aeronautical Laboratories/POTA, Wright Patterson Air Force Base, OH  
(ASME Paper No. 85-IGT-150)

**Development of a New Technology Small Fan Jet Engine**

D. I. BOYD, Pratt & Whitney Canada, Inc., Mississauga, Ontario, CANADA  
(ASME Paper No. 85-IGT-139)

**Installation Requirements for Small Gas Turbine Engines**

T. F. PIERCY and C. E. HEATHCO, General Motors Corporation, Allison Gas Turbine Division, Indianapolis, IN  
(ASME Paper No. 85-IGT-151)

**COGENERATION****Gas Turbine Heat Recovery Systems Predicting Fired Performance**

A. PASHA, Henry Vogt Machine Company, Louisville, KY  
(ASME Paper No. 85-IGT-50)

**Dual Energy Use Systems for Industrial, Commercial, and Building Applications**

F. R. BIANCARDI, G. MELIKIAN, and C. T. SGAMBOTI, United Technologies Research Center, East Hartford, CT  
(ASME Paper No. 85-IGT-145)

**Cogeneration Combined Cycle Achievements by the Dow Chemical Company in the Conservation of Energy**

J. P. ZANYK, Dow Chemical Canada, Inc., Sarnia, Ontario, CANADA  
(ASME Paper No. 85-IGT-55)

**Design and Construction of The First Commercial Cheng Cycle Series 7 Cogeneration Plant**

J. L. JONES, CHUNG-NAN CHANG, R. V. DIGUMARTHI, and W. M. CONLON, International Power Technology, Inc., Palo Alto, CA  
(ASME Paper No. 85-IGT-122)

**Gas Turbines in Cogeneration: Overall Analysis and Numerical Predictions**

G. MANFRIDA and S. S. STECCO, University of Florence, Firenze, ITALY, A. GALLETTI, Turbotecnica SpA, Firenze, ITALY  
(ASME Paper No. 85-IGT-14)

**A Rational Efficiency Analysis of Comparisons and Trends in Gas Turbines for Cogeneration**

S. S. STECCO and G. MANFRIDA, University of Florence, Firenze, ITALY  
(ASME Paper No. 85-IGT-13)

**Performance Analysis of an Indirect Fired Air Turbine CoGeneration System**

F. F. HUANG and F. EGOLFOPOULOS, San Jose University, San Jose, CA  
(ASME Paper No. 85-IGT-3)

**VEGA Combined Cycle Power Plants**

P. LUGAND and Y. BOISSENIN, ALSTHOM—ATLANTIQUE, Belfort, FRANCE  
(ASME Paper No. 85-IGT-6)

**Modular Concept of a Gas Turbine Power Plant**

A. V. RAPPARD and A. WICKI, BBC Brown, Boveri and Co., Ltd., Baden, SWITZERLAND  
(ASME Paper No. 85-IGT-1)

**Compressed Air Energy Storage: Plant Integration, Turbomachinery Development**

M. NAKHAMKIN, F. D. HUTCHINSON, and J. R. STANGE, Gibbs and Hill, New York, NY and F. CANOVA, Turbodyne, Dresser Industries, Wellsville, NY  
(ASME Paper No. 85-IGT-4)

**Large Heavy-Duty Gas Turbines for Base Load Power Generation and Heat Cogeneration**

J. S. JOYCE, Kraftwerk Union AG, Erlangen, FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY  
(ASME Paper No. 85-IGT-19)

**Practical Experience with Closed Cycle Vapor Turbogenerators**

L. BRONICKI, Ormat Systems, Inc., Sparks, NV  
(ASME Paper No. 85-IGT-107)

**The Effect of Thermal Matching on the Thermodynamic Performance of Gas Turbine and IC Engine Cogeneration Systems**

J. W. BAUGHN and N. BAGHERI, University of California, Davis, CA  
(ASME Paper No. 85-IGT-106)

**Monatomic Working Gases versus Air for the Closed Brayton Cycle**

J. L. MASON, E. A. MOCK, R. T. CALDWELL, and A. PIETSCH, The Garrett Corporation, Los Angeles, CA  
(ASME Paper No. 85-IGT-60)

**GAS TURBINES IN  
PROCESS SERVICE**

### Application of Aero-derivative Gas Turbines in the Onshore Oil Fields of Abu Dhabi

H. SAADAWI, Abu Dhabi Company for Onshore Oil Operations, Abu Dhabi, UNITED ARAB EMIRATES

(ASME Paper No. 85-IGT-51)

### Selection of the Most Advantageous Gas Turbine Air Filtration System—Comparative Study of Actual Operating Experience

S. I. GILANI and M. Z. MEHR, SUI Northern Gas Pipelines Limited, Multan, PAKISTAN

(ASME Paper No. 85-IGT-20)

### Design and Development of the PGT-10 Heavy Duty Advanced Gas Turbine

E. BENVENUTI and R. GUSSO, Nuovo Pignone, SPA, Firenze, ITALY

(ASME Paper No. 85-IGT-21)

### An Intercooled Regenerative Rolls-Royce Spey Gas Turbine

W. J. R. THOMAS and A. J. HIGSON, Rolls Royce Limited, Ansty, Conventry, UNITED KINGDOM

(ASME Paper No. 85-IGT-59)

## ROTOR DYNAMICS

### Investigation of the Steady-State Response of a Dual-Rotor System with Interstate Squeeze Film Damper

QIHAN LI, LITANG YAN, Beijing Institute of Aeronautics & Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA, and J. F. HAMILTON, Purdue University, West Lafayette, IN

(ASME Paper No. 85-IGT-39)

### Investigation of the Transient Response of a Dual-Rotor System With Inter-shaft Squeeze Film Damper

QIHAN LI, Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA and J. F. HAMILTON, Purdue University, West Lafayette, IN

(ASME Paper No. 85-IGT-38)

### Vibration Characteristics of 50 Hz, 120 MW Gas Turbine

A. OKUBO and H. KANKI, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Hyogo, JAPAN and Y. MORI and Y. NADAI, Mitsubishi, Heavy Industries, Ltd., Tokyo, JAPAN

(ASME Paper No. 85-IGT-40)

### Gyroscopic Mode Synthesis in the Dynamic Analysis of a Multi-Shaft Rotor-Bearing System

ZHENG ZHAO-CHANG, ZHOU XIAO-PING, and LI DE-BAO, Tsinghua University, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA and ZHANG LIAN-XIANG, LIU TING-YI, and YUE CHENG-XI, Shenyang Aero Engine Research Institute, Shenyang, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-73)

### Comparison of Algorithms for Two-Dimensional Mechanical Performances of Squeeze Film Dampers

SHEN XINMIN and WEN YINGMEI, Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-37)

## STRESS ANALYSIS

### The Three-Dimensional Finite Element Cyclic Symmetric Stress Analysis for Radial Flow Impellers

YIN ZEYONG, YIN JING, REN PEIZHENG, and ZHAO XIAOPING, Nanhua Powerplant Research Institute, Zhuzhou, Hunan, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-71)

### The Finite Element Stress Analysis for Solid-Shell Combined Parts in Aeroengines

YIN ZEYONG, REN PEIZHENG, and YIN JING, Nanhua Power Plant Research Institute, Zhuzhou, Hunan, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-72)

### The Solution of the Thermal Elastic-Plastic Problem of Turbine Disk by the Incremental Finite Element Method

SUN JIN-WEN, Shanghai University of Engineering & Technology, Shanghai, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA and OUYANG CHANG and FANG JING-YAN, Fudan University, Shanghai, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-112)

### Analysis for Thermal Elasto-Plasticity and Creep of Turbine Disks

SHUNG CHANG-BING and PENG ZHI-YONG, Beijing Institute of Aeronautics & Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-54)

### A Survey of Accelerated Vibratory Fatigue Test Method of Aero-Engine Compressor Blading

TIE-YING WU and QI-XIN LU, Nanjing Aeronautical Institute, Nanjing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-105)

### Life Prediction for the Main Shaft of Aircraft Turbine Engine

LIU DUNHIU, Chengdu Engine Co., Chengdu, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-136)

## BLADE VIBRATION

### Analysis of Blade Flutter in a Mistuned Rotor

JIANMIN XU and ZHAOHONG SONG, Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-58)

### Frequency Distribution of Blades in Turboengines and Vibration Characteristics of Mistuned Blades

MING-FU LIAO and DA-KUAN SHEN, The Northwestern Polytechnical University, Xian, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-101)

### Prediction of Blade Flutter in a Tuned Rotor

JIANMIN XU and ZHAOHONG SONG, Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-100)

### An Actuator-Disk Model for Predicting Stall Flutter of Steam Turbine

X.-D. YANG, Z.-M. TANG, and S. ZHOU, Beijing Institute of Aeronautics & Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-99)

### A Check on the Energy Method of Predicting Blade Transonic Stall Flutter

HE LI and ZHOU SHENG, Beijing Inst. of Aeronautics and Astronautics, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-98)

## CERAMIC ENGINEERED COMPONENTS

### Sintered Alpha Silicon Carbide Ceramics for High Temperature Structural Applications: Status Review and Recent Developments

R. S. STORM, W. D. G. BOECKER, C. H. McMURTRY, M. SRINIVASAN, Sohio Engineered Materials Co., Niagara Falls, NY

(ASME Paper No. 85-IGT-127)

### Hot Pressed Silicon Nitride Ceramics with Rare Earth Oxide Additives

XU YOUREN, HUANG LIPING, FU XIREN, and YEN TUNGSHENG, Shanghai Institute of Ceramics, Shanghai, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-92)

### Evaluation of Ceramics for Passenger Car Turbochargers

M. F. LASKER, R. P. CRAIG, and J. MASON, Garrett Corp., Los Angeles, CA

(ASME Paper No. 85-IGT-149)

### Influence of Aluminide Coating on Fatigue Behavior of a Nickel Superalloy

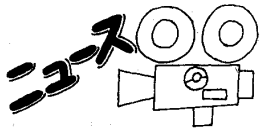
XU JIANPING and XIONG JI YUAN, Institute of Aeronautical Materials, Beijing, PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

(ASME Paper No. 85-IGT-77)

### Protective Coating Systems for High Temperature Gas Turbine Components

N. J. F. V. HARRY, Royal Navy Ministry of Defense, Bath, UNITED KINGDOM

(ASME Paper No. 85-IGT-62)



## 第2回 ガスタービン特別講座を終えて

工業技術院機械技術研究所 筒井 康 賢

昨年蔵王で開催され非常に好評であったガスタービン特別講座が、今年は箱根芦ノ湖畔、ホテル湖尻富士見荘で9月12日（木）、13日（金）の両日44名の受講者を迎えて開催された。

12日朝は、あいにくの濃霧で集合具合が心配されたが、受付開始予定の3時間前の午前10時過ぎより続々と講師、受講者が詰めかけ、運営側を逆にあわてさせる程、講座開始前から意気込みが感じられた。

オリエンテーションを経て、東京大学の葉山真治先生の総合司会で、表1に示す内容の全体講演会から特別講座が開始された。全体講演会はコーディネータと講師の方々が作成された資料と、スライド、オーバーヘッドプロジェクタが縦横に使

用され、予定時間を大幅に超過するほど熱気にあふれていた。

講演会后、あわただしい入浴、休憩に続いて、コーディネータの一人である金属材料技術研究所の山崎道夫氏の「ガスタービンと材料の発展のために乾杯」という発声で、夕食を囲みながらの懇親会が始まった。懇親会の後は、3室に分かれて各コーディネータの司会で分野別討論会が行われた。「……の大きさは何ミリですか」という問いに、「正確には答えられませんが、20ミリから25ミリの間です」というような答が出たり、昨年は予定時間を超過したので、今回はあらかじめ時間枠を大きくとってあったが、さらに時間を超過したグループもあつたりで、所属会社の枠を超えた

表1 全体講演会（12日）の内容

氏 名（敬称略）	所 属	内 容
(1) 新しいガスタービンシステム 講 師：水 谷 弘 （コーディネータ） 講 師：久保田 道 雄 福 江 一 郎 村 上 育 勇	電力中央研究所 ㈱日立製作所 三菱重工㈱ 川崎重工㈱	石炭ガス化発電 LNGコンバインドサイクル BFG 焚きガスタービンコンバインドサイクル 小型ガスタービンによる Co-generation System
(2) 先端的材料と加工 講 師：山 崎 道 夫 （コーディネータ） 講 師：竹 田 博 光 安 部 浄 奥 田 博	金属材料研究所 ㈱東 芝 スペシャルメタルズコーポレーション ファインセラミックスセンター	新金属材料一般 セラミックスの遮熱コーティング 粉末冶金、クリーンメタルほか セラミックス
(3) 空力設計技術 講 師：大 山 耕 一 （コーディネータ） 講 師：永 野 進 金 木 忠 手 島 清 美	航空宇宙技術研究所 石川島播磨重工㈱ ㈱日立製作所 高効率ガスタービン技術研究組合	多段圧縮機的设计 ファン、圧縮機的设计 遠心圧縮機的设计 タービンの空力設計

熱心な討論がなされた。

13日は、再度の分野別討論会に続き、各コーディネータの分野別討論会の報告を中心とした全体討論会が行われた。昼食後記念撮影（写真1, 2, 3）し解散した。

今回のアンケート結果も好評であったが、受講者の口コミで特別講座の評判がさらに広まることを期待したい。

お終りに、総合司会を快くお引き受け下さった葉山真治先生をはじめ、今回の企画にご協力いただいた皆様に感謝いたします。（企画委員）



写真2 材料と加工のグループ



写真1 ガスタービンシステムのグループ

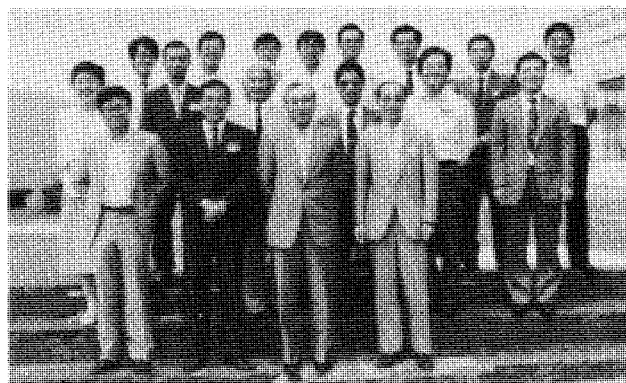


写真3 空力設計のグループ

## 帝人製機見学会を終えて

大阪府立大学工学部 沢田 照夫

昭和60年度第2回の見学会と技術懇談会が10月4日帝人製機岐阜第一工場で行われた。東海道線の垂井駅から車で5分程度の距離ののどかな田園地帯に位置している。交通の便が悪いため何人が参加されるか案じていたが32人出席され盛会であった。

見学会はまず地方委員長の挨拶で始まり、続いて工場長の砂原氏より歓迎の御挨拶のあと、岡本課長の会社の沿革と工場の概要の説明があった。岐阜工場の敷地は約15,000坪あり、昭和30年より航空機の部品、主として燃料油圧部品の製造から

始め、昭和36年にはF104, J79, また昭和40年からはPS1のフライトコントローラ、CSD（Constant Speed Drive）を製造し、昭和50年にはセスナサイテーションC400の脚まわりのシリンダ等の生産を手がけており、航空機用燃料噴射弁については多数のエンジンに対して供給を行っている。

工場の見学は多人数のため3班に別れて行われた。アクチュエータ等の油圧機器の組立ショップを見た後、フュエルノズルの製造工程を見学したが、ここはクリーンルームであり、ほこりを完全



熱心な討論がなされた。

13日は、再度の分野別討論会に続き、各コーディネータの分野別討論会の報告を中心とした全体討論会が行われた。昼食後記念撮影（写真1, 2, 3）し解散した。

今回のアンケート結果も好評であったが、受講者の口コミで特別講座の評判がさらに広まることを期待したい。

お終りに、総合司会を快くお引き受け下さった葉山真治先生をはじめ、今回の企画にご協力いただいた皆様に感謝いたします。（企画委員）



写真2 材料と加工のグループ



写真1 ガスタービンシステムのグループ



写真3 空力設計のグループ

## 帝人製機見学会を終えて

大阪府立大学工学部 沢田 照夫

昭和60年度第2回の見学会と技術懇談会が10月4日帝人製機岐阜第一工場で行われた。東海道線の垂井駅から車で5分程度の距離ののどかな田園地帯に位置している。交通の便が悪いため何人が参加されるか案じていたが32人出席され盛会であった。

見学会はまず地方委員長の挨拶で始まり、続いて工場長の砂原氏より歓迎の御挨拶のあと、岡本課長の会社の沿革と工場の概要の説明があった。岐阜工場の敷地は約15,000坪あり、昭和30年より航空機の部品、主として燃料油圧部品の製造から

始め、昭和36年にはF104, J79, また昭和40年からはPS1のフライトコントローラ、CSD（Constant Speed Drive）を製造し、昭和50年にはセスナサイテーションC400の脚まわりのシリンダ等の生産を手がけており、航空機用燃料噴射弁については多数のエンジンに対して供給を行っている。

工場の見学は多人数のため3班に別れて行われた。アクチュエータ等の油圧機器の組立ショップを見た後、フュエルノズルの製造工程を見学したが、ここはクリーンルームであり、ほこりを完全

に除去するためエアシャワーで見学者もきれいになった上で入室した。フュエルノズルからのジェット形状についてのテストスタンドもあり、試験油を最大450 PPM (pound per minute), 350 psiで噴射を行うテストを見学した。検査行程では20万倍の走査型の電子顕微鏡もあり、その細密さもうかがえた。特殊な製品であるため興味深く見学することができた。

約1時間の見学の後、中村技師より「航空機用燃料噴射弁の概要について」と題した講演が行われた。現在までに30,000個以上の噴射弁を製造しており、対象となるエンジンはJ 79-11 A, T 64, Adour (RR-IHI), F 100等多岐に

わたっている。噴射弁の形状はDuplex型と呼ばれるものを採用しており、材質としては300, 400系ステンレス, Niベースの耐熱鋼, インコネル, 析出硬化系ステンレス等が使用され、工法にはエレクトロンビーム法も用いられている。特に、噴霧のパターンション(分配精度), スプレー品質に重点が置かれており、10項目にわたる検査がなされるとのことであり、その概要が説明された。将来の問題点としては高温の要求を満足させることとノズルチップ価格の低減化を挙げておられた。その後質疑応答があり、午後4時30分予定通り全行事が終了した。

(地方委員長)

## ガスタービン秋季大会鹿児島地区講演会を終えて

慶応義塾大学 有賀 一郎

今回、はじめて定期講演会とは別に秋季大会として鹿児島において講演会・見学会などが開催された。講演会は11月4日(月)、鹿児島大学工学部に会場が設けられ、朝9時より17時まで、2部屋、8セッションで研究発表が行われた。主な内容では、翼列については、遷音速翼列の解析および設計法、不均一翼列のフラッタ問題、円形翼列の性能予測などが、また、過給機用ラジアルタービンの性能、斜流ディフューザ、ラビリンスなどの空力特性に関するものが発表された。また、燃焼器関係では、セラミックス燃焼器、触媒燃焼器、ライナー冷却などを取扱ったものや、旋回など各因子の影響、模型実験に関するものなどがあった。さらに、セラミックスなどの材料関係、再熱水素ガスタービンのサイクルや空冷翼の寿命に関するものや特殊なピーク発電システムなども含まれ、計19件となかなか多彩であった。各セッションいずれも20~30名の出席があり、それぞれ熱心な発表、討論が行われた(写真1)

当日、13時より約1時間、特別講演として、鹿児島大学名誉教授、蟹江松雄氏から「鹿児島の焼

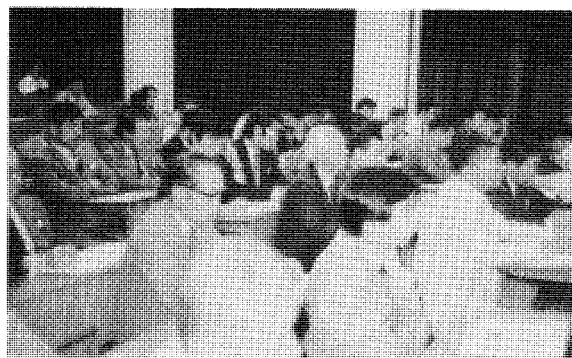


写真1

酎」と題したお話をうかがった。焼酎の種別からはじまり、ご当地焼酎の特異性やその歴史的背景などスライドを交え、非常に興味深い内容であった。聴衆も熱心にきき入り、俄か仕込みではあるが、「焼酎の通」になった気分を味わわせていただいた。

夕刻より会場を鹿児島東急ホテルに移し、薩摩の間で懇親会が開かれた。眼前に雄大な桜島を眺めながらの積りであったが、すでに晩秋18時ともなると残念ながらその雄姿は暗やみの彼方であっ

に除去するためエアシャワーで見学者もきれいになった上で入室した。フュエルノズルからのジェット形状についてのテストスタンドもあり、試験油を最大450 PPM (pound per minute), 350 psiで噴射を行うテストを見学した。検査行程では20万倍の走査型の電子顕微鏡もあり、その細密さもうかがえた。特殊な製品であるため興味深く見学することができた。

約1時間の見学の後、中村技師より「航空機用燃料噴射弁の概要について」と題した講演が行われた。現在までに30,000個以上の噴射弁を製造しており、対象となるエンジンはJ 79-11 A, T 64, Adour (RR-IHI), F 100等多岐に

わたっている。噴射弁の形状はDuplex型と呼ばれるものを採用しており、材質としては300, 400系ステンレス, Niベースの耐熱鋼, インコネル, 析出硬化系ステンレス等が使用され、工法にはエレクトロンビーム法も用いられている。特に、噴霧のパターンション(分配精度), スプレー品質に重点が置かれており、10項目にわたる検査がなされるとのことであり、その概要が説明された。将来の問題点としては高温の要求を満足させることとノズルチップ価格の低減化を挙げておられた。その後質疑応答があり、午後4時30分予定通り全行事が終了した。

(地方委員長)

## ガスタービン秋季大会鹿児島地区講演会を終えて

慶応義塾大学 有賀 一郎

今回、はじめて定期講演会とは別に秋季大会として鹿児島において講演会・見学会などが開催された。講演会は11月4日(月)、鹿児島大学工学部に会場が設けられ、朝9時より17時まで、2部屋、8セッションで研究発表が行われた。主な内容では、翼列については、遷音速翼列の解析および設計法、不均一翼列のフラッタ問題、円形翼列の性能予測などが、また、過給機用ラジアルタービンの性能、斜流ディフューザ、ラビリンスなどの空力特性に関するものが発表された。また、燃焼器関係では、セラミックス燃焼器、触媒燃焼器、ライナー冷却などを取扱ったものや、旋回など各因子の影響、模型実験に関するものなどがあった。さらに、セラミックスなどの材料関係、再熱水素ガスタービンのサイクルや空冷翼の寿命に関するものや特殊なピーク発電システムなども含まれ、計19件となかなか多彩であった。各セッションいずれも20~30名の出席があり、それぞれ熱心な発表、討論が行われた(写真1)

当日、13時より約1時間、特別講演として、鹿児島大学名誉教授、蟹江松雄氏から「鹿児島の焼

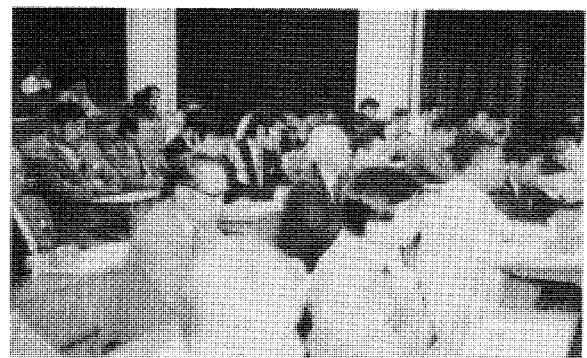


写真1

酎」と題したお話をうかがった。焼酎の種別からはじまり、ご当地焼酎の特異性やその歴史的背景などスライドを交え、非常に興味深い内容であった。聴衆も熱心にきき入り、俄か仕込みではあるが、「焼酎の通」になった気分を味わわせていただいた。

夕刻より会場を鹿児島東急ホテルに移し、薩摩の間で懇親会が開かれた。眼前に雄大な桜島を眺めながらの積りであったが、すでに晩秋18時ともなると残念ながらその雄姿は暗やみの彼方であっ

た。それにもかかわらず会は絶好の雰囲気の中で和気あいあい進められた。田中英穂理事の進行で、まず、平山直道実行委員長より開催にいたる経過の紹介ではじまり、次いで、谷村輝治会長、窪田雅男前会長の挨拶があった。引続き、来賓側として鹿児島大学の碇醇工学部長から歓迎の辞がのべられ、また、蟹江氏からもこの場にふさわしい焼酎の飲み方などの補足説明があった。なお、同氏のご好意で明治の頃の製法にしたがって造られた昔のままの復元焼酎が会場に用意され、一同、賞味させていただいた。ここで水町長生元会長による発声で乾杯が行われ、以後、焼酎片手に会場いたるところで談笑が続けられた(写真2)。途中から選手交替で有賀一郎委員が進行を受持ったが、矢野巍前機械学会長の挨拶、さらに、京セラ㈱の浜野義光総合研究所長からも翌日の見学受入側として挨拶いただいた。鹿児島大学の長老、石神重男名誉教授のスピーチに続き、今回の講演会で地元側として準備に大変お骨折りいただいた田中義弘教授からは裏話に加え、ご当地の民謡のご披露まであった。夫人方も交え、出席率も上々で、大変楽しい一刻を過ぎ、20時過ぎ、名残りは尽きなかったが散会した。



写真2

翌5日には、9時からバス1台をチャータし、50数名の参加者で見学会が開かれた。まず、市内の本坊酒造㈱で焼酎の製造工程の見学と試飲会があり、次いで、磯庭園で島津藩歴代の資料が展示されている尚古集成館の見学と庭園を一巡した。とくに庭園から望む錦江湾と桜島は評判どおりの眺めであった。午後からは、市外の京セラ㈱国分工場を訪問した。ここでは、電子部品のIC回路

用の基板の製造工程を見学し、さらに、陳列室で各用途のセラミックスの説明を受けた。また、乗用車に搭載したセラミックスエンジンも用意され、これを囲んで一同興味深げであった(写真3)。約30分程度浜野研究所長より同エンジンの開発過程や性能特性などについて補足説明があり、同工場の見学を終えた。引続いて、ここより程近い、ソニー国分セミコンダクタ㈱を訪問した。同所ではトランジスタ、ダイオード、ICなど各種半導体製品を量産している外に最近では電荷結合素子なども生産している由であった。会社紹介のあと、今回は組立工程を見せていただいた。清浄な環境保持の必要上から見学にも制約があったが、多少とも先端技術の最前線を眺めることができたのは幸いであった。



写真3

本年秋季大会には10名弱の夫人参加者があり、2日間にわたり、特別見学コースを設けたが、なかなか好評であった。

以上、頁数の関係で詳細は割愛したが、このたびの企画については参加者にもおおむね好評で、今後このような催しを行う際の参考となった。幸い話題の火山灰にも悩まれることなく、無事に終えることができたが、会場の手配をはじめ、諸準備に大変お世話いただいた鹿児島大学の諸先生はじめ関係者の皆様のお陰で改めてお礼を申し上げる。なお、三浦事務局長など事務局の方々もホテル、航空機の斡旋、期間中の運営にお骨折りいただいたことを書きそえる。

今画の企画につき、参加者からのアンケートを集計したものを付記する(回答30件)。

## 記

## 1. 鹿児島地区大会講演会

- i) 講演会の内容について
- ii) 開催についてどのような方法で知ったか
- iii) 参加登録費について
- iv) 見学先について
- v) 航空機・宿泊などの学会幹旋
- vi) その他のご意見

- (a) 充実16 (b) 普通13 (c) 不足1
- (a) 本学会誌18 (b) 機械学会誌2
- (c) ダイレクトメール5 (d) その他7
- (a) 普通26 (b) 高すぎる2 (c) その他2
- (a) 適当20 (b) 普通5
- (a) 必要27 (b) 不要1
- [ 盛会でとても良かった, 大学研究機関の訪問も考えて欲しい, 開催地のインフォメーションがほしい ]

## 2. 今後の開催について

- i) 秋季講演会について:

- (a) 必要29 (b) 不要0
- (c) その他1 [ 数回実施してその後考える, もう少し試行する  
要あり, テーマをしぼって行うのも一方法 ]

若し必要ならば,

- ii) 開催地:

- (a) 東京地区以外22 (北海道8・東北5・東海0・北陸1・関西3・中国0・四国3・九州2, どちらでもよい1, 東京近郊1, 毎年変る1)

- iii) 開催時期:

- (b) 東京2
- (a) 9月2 (b) 10月11 (c) 11月17
- (d) その他1 [ 場所により時期を考える ]

- iv) 開催回数:

- (a) 毎年16 (b) 隔年13
- (c) その他2 [ 国際会議の年は実施しない, 隔年か東京近郊  
(2~3 hr 圏内) ]

( 総務委員 )

## G T S J シンポジウムを終えて

航空宇宙技術研究所 遠藤 征 紀

G T S J シンポジウムが例年どおり航空宇宙技術研究所において11月15日に開催されました。このシンポジウムは、内容の完成度よりはニュース性、具体性を重視したテーマを中心に実施されてきました。これまで、ガスタービンの特殊計測技術、セラミックス遮熱コーティング、新しい材料技術等のテーマが選ばれ、毎回40~50名の会員が参加しています。講師の方々には可能な限り実物を持参していただくようお願いしています。

今回は「ガスタービンと新しいセンサ・計測器」と題して現在注目されているセンサについて、原田謹爾(横河北辰電機)、今池宏(新川電機)、近田哲夫(石川島播磨重工)の3氏に実物つきの

講演をしていただき、講演終了後は約40名の参加者から熱心な質問が続きました。3氏の御講演は、それぞれ「高精度デジタル圧力計とその応用」、「渦電流型変位計を用いたチップクリアランス計測」、「薄膜ひずみゲージの圧縮機動翼への応用」に関するもので、開発中のものも含めた新しい内容でした。講演終了後、航技研原動機部の柳良二さんの御好意により、同氏が開発されたパソコンによる高速データ処理システムの実演が、回流水槽による流れの可視化実験を例にして行なわれ、その処理能力の大きさを披露しました。

( 企画委員 )

## 記

## 1. 鹿児島地区大会講演会

- i) 講演会の内容について
- ii) 開催についてどのような方法で知ったか
- iii) 参加登録費について
- iv) 見学先について
- v) 航空機・宿泊などの学会幹旋
- vi) その他のご意見

- (a) 充実16 (b) 普通13 (c) 不足1
- (a) 本学会誌18 (b) 機械学会誌2
- (c) ダイレクトメール5 (d) その他7
- (a) 普通26 (b) 高すぎる2 (c) その他2
- (a) 適当20 (b) 普通5
- (a) 必要27 (b) 不要1
- [ 盛会でとても良かった, 大学研究機関の訪問も考えて欲しい, 開催地のインフォメーションがほしい ]

## 2. 今後の開催について

- i) 秋季講演会について:

- (a) 必要29 (b) 不要0
- (c) その他1 [ 数回実施してその後考える, もう少し試行する  
要あり, テーマをしぼって行うのも一方法 ]

若し必要ならば,

- ii) 開催地:

- (a) 東京地区以外22 (北海道8・東北5・東海0・北陸1・関西3・中国0・四国3・九州2, どちらでもよい1, 東京近郊1, 毎年変る1)

- iii) 開催時期:

- (b) 東京2
- (a) 9月2 (b) 10月11 (c) 11月17
- (d) その他1 [ 場所により時期を考える ]

- iv) 開催回数:

- (a) 毎年16 (b) 隔年13
- (c) その他2 [ 国際会議の年は実施しない, 隔年か東京近郊  
(2~3 hr 圏内) ]

( 総務委員 )

## G T S J シンポジウムを終えて

航空宇宙技術研究所 遠藤 征 紀

G T S J シンポジウムが例年どおり航空宇宙技術研究所において11月15日に開催されました。このシンポジウムは、内容の完成度よりはニュース性、具体性を重視したテーマを中心に実施されてきました。これまで、ガスタービンの特殊計測技術、セラミックス遮熱コーティング、新しい材料技術等のテーマが選ばれ、毎回40~50名の会員が参加しています。講師の方々には可能な限り実物を持参していただくようお願いしています。

今回は「ガスタービンと新しいセンサ・計測器」と題して現在注目されているセンサについて、原田謹爾(横河北辰電機)、今池宏(新川電機)、近田哲夫(石川島播磨重工)の3氏に実物つきの

講演をしていただき、講演終了後は約40名の参加者から熱心な質問が続きました。3氏の御講演は、それぞれ「高精度デジタル圧力計とその応用」、「渦電流型変位計を用いたチップクリアランス計測」、「薄膜ひずみゲージの圧縮機動翼への応用」に関するもので、開発中のものも含めた新しい内容でした。講演終了後、航技研原動機部の柳良二さんの御好意により、同氏が開発されたパソコンによる高速データ処理システムの実演が、回流水槽による流れの可視化実験を例にして行なわれ、その処理能力の大きさを披露しました。

( 企画委員 )



## 後記

本号を担当している小生にとっては発行日が気になるところです。事務局に原稿の収集状況を確認したところ、「あとは後記だけです」という電話です。嬉しいことです。執筆者各位には大変なことであるのいつものことながら頭の下る思いです。御礼申し上げます。

本号ではミスター・ガスタービンのTom Sawyer氏の随筆を頂きました。氏からは本誌第1巻第1号にメッセージが届いて以来と記憶しており、日本のガスタービンの益々の発展に寄せる思いが伝わって来るようで、ガスタービン人にとって嬉しい次第であります。

柳田教授には春の定期講演会の「セラミックス」に関する特別講演の内容を活字にして頂きました。また秋の特別講座の水谷氏には「石炭ガス化複合発電」に関する解説をお願いしました。今日のトピックスとして研究開発の状況と課題について読者に参考になる

と考えています。

また、水谷、香月氏による3回連載による「燃焼のシミュレーション」は今月が最終回です。これに合わせて設計・開発者の立場から燃焼器設計への数値解析の適用例も紹介してみました。現象が複雑なだけに、燃焼器要素は経験的な部分が多いと言われていますが、設計解析へ応用されつつある現状を理解してもらえれば有難いと思います。

12月号はまた国際会議の見聞記の多い時期でもあります。今回は航空用も含め3件載せて頂きました。執筆者の臨場感溢れる筆に、今日のトピックスと将来の方向をつかみとして頂ければ幸いです。

皆様が良い新年を迎えますことと、来年もまた益々ガスタービンが発展することを祈ってやみません。

(佐藤幸徳)

## 事務局だより

街路樹の色づいたイチョウの葉も木枯しに舞いはじめ、本格的な冬の訪れも真近かです。

当学会も秋の行事を終え、ホッと一息ついているところです。本誌に掲載されているように昨年からは始まった特別講座、今年からの秋季講演会、共に大盛会で、出席された方々のみならず、評判をお聞きになった方々から来年の予定を聞かれる程でした。

今年の鹿児島は桜島の噴火が例年になく激しく、夏打合せに出掛けた時は街全体がまるで紗のヴェールをかぶったよう。11月の講演会が思いやられましたが、講演会当日は真青に晴れ上った秋空のもと、樹々も艶やかで同じ街とは思えない程でした。もっとも、夏の様子をご存じない方は、何となく埃っぽいとかジャリジャリするとかおっしゃっていましたが……。

鹿児島大学では総勢15人程の学生さん達が講演会の始まる前々日から窓拭き、床拭きなどの大掃除やら、講演会当日も振替休日だったにもかかわらず受付、スライド係などを積極的にかって出て下さったりして本当に大感激でした。今回の鹿児島地区での講演会を盛会のうちに終わることができたのも、やはりこうした地元の方々のご協力があったからこそと改めて鹿児島大学の方々にお礼を申し上げたいと存じます。

年が明けますとすぐセミナー、見学会と行事が予定されております。6月の講演会募集も今月号に掲載されておりますのでどうぞ会告のページをお見逃しなきようじっくりご覧下さい。

では来るべき昭和61年も皆様にとりまして良い一年でありますように……。

〔A〕



## 後記

本号を担当している小生にとっては発行日が気になるところです。事務局に原稿の収集状況を確認したところ、「あとは後記だけです」という電話です。嬉しいことです。執筆者各位には大変なことであるのいつものことながら頭の下る思いです。御礼申し上げます。

本号ではミスター・ガスタービンのTom Sawyer氏の随筆を頂きました。氏からは本誌第1巻第1号にメッセージが届いて以来と記憶しており、日本のガスタービンの益々の発展に寄せる思いが伝わって来るようで、ガスタービン人にとって嬉しい次第であります。

柳田教授には春の定期講演会の「セラミックス」に関する特別講演の内容を活字にして頂きました。また秋の特別講座の水谷氏には「石炭ガス化複合発電」に関する解説をお願いしました。今日のトピックスとして研究開発の状況と課題について読者に参考になる

と考えています。

また、水谷、香月氏による3回連載による「燃焼のシミュレーション」は今月が最終回です。これに合わせて設計・開発者の立場から燃焼器設計への数値解析の適用例も紹介してみました。現象が複雑なだけに、燃焼器要素は経験的な部分が多いと言われていますが、設計解析へ応用されつつある現状を理解してもらえれば有難いと思います。

12月号はまた国際会議の見聞記の多い時期でもあります。今回は航空用も含め3件載せて頂きました。執筆者の臨場感溢れる筆に、今日のトピックスと将来の方向をつかみとして頂ければ幸いです。

皆様が良い新年を迎えますことと、来年もまた益々ガスタービンが発展することを祈ってやみません。

(佐藤幸徳)

## 事務局だより

街路樹の色づいたイチョウの葉も木枯しに舞いはじめ、本格的な冬の訪れも真近かです。

当学会も秋の行事を終え、ホッと一息ついているところです。本誌に掲載されているように昨年からは始まった特別講座、今年からの秋季講演会、共に大盛会で、出席された方々のみならず、評判をお聞きになった方々から来年の予定を聞かれる程でした。

今年の鹿児島は桜島の噴火が例年になく激しく、夏打合せに出掛けた時は街全体がまるで紗のヴェールをかぶったよう。11月の講演会が思いやられましたが、講演会当日は真青に晴れ上った秋空のもと、樹々も艶やかで同じ街とは思えない程でした。もっとも、夏の様子をご存じない方は、何となく埃っぽいとかジャリジャリするとかおっしゃっていましたが……。

鹿児島大学では総勢15人程の学生さん達が講演会の始まる前々日から窓拭き、床拭きなどの大掃除やら、講演会当日も振替休日だったにもかかわらず受付、スライド係などを積極的にかって出て下さったりして本当に大感激でした。今回の鹿児島地区での講演会を盛会のうちに終わることができたのも、やはりこうした地元の方々のご協力があったからこそと改めて鹿児島大学の方々にお礼を申し上げたいと存じます。

年が明けますとすぐセミナー、見学会と行事が予定されております。6月の講演会募集も今月号に掲載されておりますのでどうぞ会告のページをお見逃しなきようじっくりご覧下さい。

では来るべき昭和61年も皆様にとりまして良い一年でありますように……。

〔A〕



## G T S J ガスタービンセミナー（第14回）のお知らせ

「ユーザーから見たガスタービンへの期待と提言」，「省エネルギー技術の現状と動向」をテーマに第14回 G T S J ガスタービンセミナーを下記の通り開催しますので奮ってご参加下さい。

### ◇ 記 ◇

1. 日時：昭和61年1月23日（木）・24日（金） 10：00～16：30（受付開始9：00）
2. 会場：機械振興会館地下2階ホール（港区芝公園3-5-8 Tel. 03-434-8211）
3. 主催：(株)日本ガスタービン学会
4. 協賛：火力原子力発電技術協会 自動車技術会 ターボ機械協会 日本瓦斯協会  
日本機械学会 日本航空宇宙学会 燃料協会 日本航空技術協会  
日本内燃機関連合会 日本船用機関学会

### 5. セミナーの内容（詳細は10月末送付資料参照）

- |                                   |           |        |
|-----------------------------------|-----------|--------|
| (1) ユーザーから見た航空機エンジンへの期待と提言 .....  | 日本航空(株)   | 渡辺 清和氏 |
| (2) 高速艇から見たガスタービンの現状と将来への期待 ..... | 三井造船(株)   | 大門 康祐氏 |
| (3) コンバインドサイクルプラント用ガスタービン .....   | 東北電力(株)   | 矢吹 雅男氏 |
| (4) 排熱回収ボイラー付ガスタービン .....         | 三菱レイヨン(株) | 一井 敬三氏 |
| (5) 熱併給小型ガスタービン発電システム .....       | 東京ガス(株)   | 鴻巣 斌氏  |
| (6) 燃料電池発電技術の現状と動向 .....          | 工業技術院     | 野崎 健氏  |
| (7) 石炭ガス化プラントと高温ガスタービン .....      | 三菱重工業(株)  | 白川 精一氏 |
| (8) 断熱ターボコンパウンドエンジン .....         | (株)小松製作所  | 西山 利彦氏 |
| (9) スターリングエンジン .....              | 機械技術研究所   | 山下 巖氏  |

### 6. 参加要領

- (1) 聴講会費（資料含む）
  - 主催及び協賛団体正会員  
2日間20,000円，1日のみ13,000円
  - 学生員5,000円
  - 会員外2日間36,000円，1日のみ24,000円 ※ 但し，当日会場でもG T S J 入会受付けます。

資料のみ 5,000円（残部ある場合）

- (2) 申し込み方法：所属・氏名・加入会名を明記の上，聴講会費を郵便振替・現金書留にて下記事務局までお送り下さい。尚，当日会場でも受付けます。

- (3) 事務局：〒160 新宿区西新宿7-5-13 第3工新ビル402

(株)日本ガスタービン学会 Tel. 03-365-0095

郵便振替番号 東京7-179578

**第14回ガスタービン定期講演会講演論文募集**  
**{ 共催 日本ガスタービン学会（幹事学会） 日本機械学会 }**

**開 催 日** 昭和61年6月6日（金）

**会 場** 機械振興会館（東京・芝公園内）

**講演論文の内容**

- (1) ガスタービン（すべての用途を含む）及び過給機並びにそれらの応用に関連する理論及び技術をあつかったものすべて。ガスタービンの本体のみならず補機・付属品、ガスタービンを含むシステム及びユーザー使用実績等も歓迎します。
- (2) 最近の研究で未発表のもの。一部既発表のものを含む場合は未発表部分が主体となるものに限ります。

**講演者** 講演者は、日本ガスタービン学会会員または日本機械学会会員とし、1名1題目を原則とします。

**申込方法**

- (1) はがき大の用紙に「第14回ガスタービン定期講演会講演申込み」と題記し下記事項を記入し、**日本ガスタービン学会（〒160 東京都新宿区西新宿7～5～13第3工新ビル402）**宛申し込んで下さい。
  - a) 講演題目                      b) 著者氏名（連名の場合は講演者に○印を付けて下さい）及び勤務先                      c) 所属学会及び会員資格                      d) 連絡者氏名、住所                      e) 100～200字程度の概要
- (2) 講演申込み書と講演論文原稿に記載の講演題目、講演者及び連名者氏名は一致のこと。いずれも提出後の変更等は受けません。

**申込締切** 昭和61年2月14日（金）

**講演論文の原稿**

- (1) 講演論文執筆用の原稿用紙を連絡者にお送りします。講演論文は1292字づつめ原稿用紙4ページ以上6ページ以内とします。
- (2) 原稿提出期限                      昭和61年4月16日（水）
- (4) 講演発表の採否は両学会に御一任願います。

**技術論文等への投稿**

- (1) ガスタービン学会会員の講演発表は、ガスタービン学会誌に技術論文として投稿できます。
- (2) 機械学会会員（講演者）で日本機械学会の定期刊行物、論文集、Bulletin of the JSME に投稿希望の方は申込み用紙の写、2部を日本機械学会事業課（〒151 東京都渋谷区代々木2～4～6三信北星ビル内）宛お送り下さい。

## 見学会と技術懇談会のお知らせ

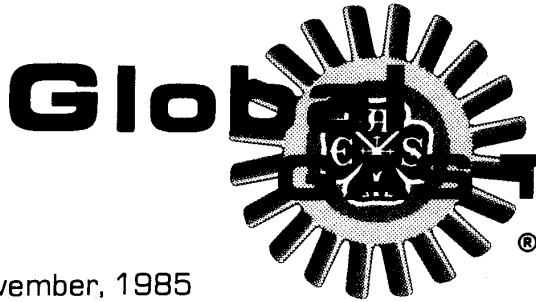
60年度第3回見学会と技術懇談会を下記の通り開催致しますので参加要領をよくお読みの上、奮ってご参加下さい。

### 記

1. 日 時 : 昭和 61 年 3 月 14 日 (金) 13:30 ~ 15:50
2. 見学先 : 東北電力㈱ 東新潟火力発電所  
コンバインドサイクルプラント  
(新潟県北蒲原郡聖籠町大字亀塚浜字磯山1の155)
3. 技術懇談会 : 「東新潟火力発電所第3号系列コンバインドサイクルプラントについて」  
講師 波田野 誠 喜 氏 (東新潟火力発電所 技術課長)
4. スケジュール : 12:30 新潟駅(詳細は後日参加者に連絡します)  
13:30 東新潟火力発電所着  
13:30~16:00 見学及び技術懇談会  
16:00 東新潟火力発電所発  
17:00 新潟駅着 解散
5. 交通の便 : 国鉄利用 — 新潟駅下車 送迎バスにて発電所へ直行  
飛行機利用 — 新潟空港~発電所間タクシーにて約40分
6. 参加要領 : (1) 定員45名(申込超過の場合は抽選、応募者全員へご連絡します)  
(2) 参加ご希望の方は往復ハガキにて「第3回見学会申込」と書き、所属・連絡先住所(返信用ハガキにも)氏名・TELを明記の上、下記事務局へお申し込み下さい。  
記載不備の場合は受け付けかねますのでご注意下さい。  
(ノ切 61年2月5日(水) 消印有効)  
(3) 参加費1,500円(当日受付にてお払い込み下さい)

〒160 新宿区西新宿7-5-13 第3工新ビル402  
(社)日本ガスタービン学会

**GAS TURBINE DIVISION**  
**THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS**



November, 1985

**IGTC**

International Gas Turbine Center  
4250 Perimeter Park South, #108  
Atlanta, Georgia 30341 USA  
Telephone: (404) 451-1905  
Telex: 707340 IGTC ATL

**IN THIS ISSUE**

- Clare Eatock, Chairman, reports on the international activities of ASME Gas Turbine Division
- ASME Gas Turbine Division to contribute up to \$50,000 annually in scholarships.
- Short courses announced for 1986 Dusseldorf International Gas Turbine Conference and Exhibit.
- An estimated 25,000 persons attend 1985 Beijing International Gas Turbine Symposium and Exposition.

**ASME GAS TURBINE DIVISION TO CONTRIBUTE  
UP TO \$50,000 ANNUALLY IN SCHOLARSHIPS**

In order to provide a service to ASME Student Section undergraduates and universities, the ASME Gas Turbine Division will offer up to fifty \$1000 scholarships each year.

ASME Gas Turbine Division's International Gas Turbine Center in Atlanta will administer the program and the criteria which will be used by Gas Turbine Division's Executive Committee in awarding the scholarships are:

**A. College or University Requirements**

1. Agree to participate in the program and perform the administrative functions required to process the application and present the award.
2. Have a mechanical engineering program approved by the Accreditation Board for Engineering and Technology.
3. Have an active ASME Student Section, not just a club.
4. Offer courses on a regular basis which contain the theory, design or applications of gas turbine engines. The course offerings plus the number of mechanical engineering students graduating in each of the two previous years will be used by the Gas Turbine Division Executive Committee to assist in the selection of eligible schools.
5. Choose a nominee and submit the nominee's name to the International Gas Turbine Center within the time period specified.
6. Only one application per school will be accepted in any year.

**B. Individual Student Requirements**

1. Be a member of an ASME Student Section.
2. Have completed at least four semesters (or six quarters) of an engineering curriculum but still have at least one semester (or quarter)

ter) of undergraduate school remaining after December 31 of the year of application.

3. Be recommended by the ASME Student Section members with approval of the Section Faculty Advisor and concurrence of the M.E. Department Head.

A letter from George Opdyke, Jr., a member of Gas Turbine Division's Executive Committee, is being sent from the International Gas Turbine Center to all appropriate mechanical engineering department heads and ASME Student Section advisors. The universities are being informed of the program and are being asked to respond by January 1, 1986 if their mechanical engineering department qualifies and if they wish for one of their students to be considered for a scholarship of \$1,000. They are also being asked to furnish information on gas turbine courses taught on a regular basis and the number of mechanical engineering students graduated during the previous two years.

ASME Gas Turbine Division's Executive Committee will review the responses and select a maximum of 50 universities which will receive the scholarships for the first year. Those universities will subsequently be notified and will be asked to submit the name of one student who meets the above criteria by October 1, 1986. The scholarships will be awarded shortly after that date.

It should be noted in the above requirements that the ASME Gas Turbine Division's Executive Committee will make its selection based on the university's initial response. The specific student nominated in accordance with the above criteria will be at the discretion of the ASME Student Section with the concurrence of the Section Faculty Advisor and Mechanical Engineering Department Head.

**OVER 25,000 ATTEND CHINA SYMPOSIUM AND EXPOSITION**

The 1985 Beijing International Gas Turbine Symposium and Exposition was a resounding success by any measure. ASME Gas Turbine Division's co-sponsors, The China National Aero-Technology Import and Export Corporation and the Chinese Society of Aeronautics and Astronautics, estimated attendance of over 25,000 for the specialized Symposium and Exposition which was held in People's Republic of China in early September.

The Symposium, held at the Friendship Hotel conference facility

in Beijing, generated keen interest throughout the industry with 151 papers being presented, 75 of them by engineers from the People's Republic of China. Arthur J. Wennerstrom, Program Chairman for the Symposium, reported the Symposium sessions were very well attended by both Chinese and non-Chinese engineers. Paper quality compared very favorably with that of the Gas Turbine Division's annual Conference; and, although presented only in English, the panel sessions also had good participation.

At the Beijing Exhibition Centre, 33

exhibiting companies occupied over 10,000 net square feet of exhibit space and displayed a broad range of gas turbine engines and related equipment. Exhibitor representatives were very excited about both the quantity and quality of Chinese visitors. Reactions to the displays on the part of the Chinese were equally enthusiastic.

As an indication of the level of interest shown in gas turbine technology in general, and in our event in particular, the opening ceremony was attended by three ministers, two vice-ministers, four directors, and numerous deputy directors from the

People's Republic of China.

Also, the opening ceremonies for both the Symposium and Exposition were covered by Central China Television and aired on the evening news. In addition, China Daily, the English language newspaper, carried an article on the event.

The ASME Gas Turbine Division is very proud of the success of the 1985 Beijing International Gas Turbine Symposium and Exposition and again wishes to thank the co-sponsors, CATIC and CSAA; all authors and panelists; exhibitors and everyone who helped to make that success possible.

## Report from Clare Eatock, ASME Gas Turbine Division Chairman

The 1985-86 year is off to a flying start! Program Chairman Stan Mosier was very pleased with the four GTD sessions and a fifth session sponsored jointly with the Fuels Division which were presented at the Joint Power Generation Conference in Milwaukee on 21 to 23 October. We are used to a significant contribution of GTD papers, particularly application oriented, at the annual JPGC. Stan Mosier and the contributing technical committees have earned our congratulations and thanks for this year's effective presence.

The 1985 Beijing International Gas Turbine Symposium and Exposition, 1 to 7 September, marked two important initiatives. This was our first symposium and exposition in China and the first time in very many years that the GTD has sponsored two exhibits in a single year. The initiative was a resounding success! The 150 papers were evenly divided between Chinese and Western sources. The added difficulty and expense of preparing and presenting a paper so far away perhaps accounted for the high quality of many of the papers. A. J. Wennerstrom, Program Chairman, reports excellent rapport and cooperation from co-sponsors of the symposium, CSAA, the Chinese Society of Aeronautics and Astronautics and CATIC, the China National Aero-Technology Import and Export Corporation as well as BIAA, the Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics. I extend personal and GTD thanks to Art Wennerstrom for yet another fine job on our behalf, as well as to the co-sponsors. Beijing is a large and exotic city with very little English spoken away from the major hotels. Symposium logistics were therefore difficult and complicated by several last minute changes. These were handled professionally

by ASME's Paul Santella, helped by the genuine friendliness of the Chinese.

The exposition was quite literally a huge success with over 25,000 attendees, almost five times our usual, including many influential government officials. Official support was outstanding; the opening ribbon was cut by Mr. Ding Heng Gao and myself. Mr. Ding is the Minister of Science and Technology



Clare Eatock

Division Chairman

for National Defense. Mr. Mo Wenxiang, who is Minister of Aviation Industry reporting to Mr. Ding, attended several of the numerous official functions as did very senior representatives of CATIC, CSAA and BIAA. At a wrap-up banquet, the Chinese and a major American manufacturer announced one joint program to develop and produce turboshaft gas turbines and a second program of research on burning heavy oil in industrial gas turbines. Besides the industrial engines and supporting products, the exposition featured a number of aircraft engines and/or mock ups and these were singled out by the Chinese as being of exceptional interest. The logistics and novelty of this exposition presented unusual difficulties for IGTC Managing Director, Donald Hill, and Assistant Director, David Lindsay. Their good-natured and professional work had much to do with the very successful outcome. Very sincere appreciation and thanks are extended to Don and

Dave, to Sue Collins and Claire Howard at Atlanta and to the numerous Chinese contributors from CATIC. ASME President Leroy 'Skip' Fletcher and his wife Nancy were welcomed to many of the official functions where they very graciously shared the officiating load, as did my wife, Ruth.

The opportunities for gas turbines in China, for aviation and industrial use, appear to be the greatest in the

Executive Committee is the first GTD home study course, detailed elsewhere in this Newsletter. The course is aimed at technicians and/or newcomers to gas turbine technology and applications. It has been some years in preparation with many contributors but I would like to single out from the present Committee, Professors Walter O'Brien and George Serovy and also the particularly strong support from Don Hill and the International Gas Turbine Center staff.

The Gas Turbine Division, and I personally, lost a very good friend and tireless worker when John Davis died on August 18th. John was GTD Chairman in 1979-1980 and had continued to serve the Division in his very pleasant and effective way. He was General Arrangements Chairman of the 1985 Houston Gas Turbine Conference when illness struck him. One of the many jobs John undertook on our behalf was to establish a new award for the best gas turbine applications paper, which has now received full approval. Your Executive Committee was very pleased to name this the John P. Davis Gas Turbine Applications Paper Award at our meeting on 9 July; both John and Bess Davis were immediately informed. The Executive Committee and the whole Gas Turbine Division extend our recognition and deepest sympathy to Bess Davis and family for their very untimely loss.

The Gas Turbine Division derives much of its undoubted strength from the truly international nature of its members and authors and of the product exhibitors. 1985-1986 is exceptionally international and it is none too early to make plans for the 31st International Gas Turbine Conference and Exhibit in Dusseldorf, Germany, 8-12 June 1986. I hope to see you there!

### Short Courses

#### 31st ASME International Gas Turbine Conference

**Dusseldorf, Federal Republic of Germany, June 8, 1986**

All of the courses will be conducted at the Hilton International Hotel, Dusseldorf

##### **Introduction to the Gas Turbine** (Sunday June 8, 1986)

###### **Instructors:**

Dr. Walter F. O'Brien  
George Howard

###### **Course Fees:**

ASME Members: \$250.00 (U.S.)  
Non-Members: \$340.00 (U.S.)

##### **Turbine Engine Blade Design, Development and Field Service Experience** (Sunday, June 8, 1986)

###### **Instructors:**

R. L. Jay  
M. Rudy  
Louis E. Dardi  
Dr. William Jansen  
Hans Stargardt

###### **Course Fees:**

ASME Members: \$250.00 (U.S.)  
Non-Member: \$340.00 (U.S.)

##### **Turbomachinery Erosion and Performance Deterioration** (Sunday, June 8, 1986)

###### **Instructors:**

Dr. A. Hamed and Dr. W. Tabakoff

###### **Course Fees:**

ASME Members: \$250.00 (U.S.)  
Non-Members: \$340.00 (U.S.)

For more information and a course brochure, contact ASME Professional Development, 345 East 47th Street, New York, NY 10017 or call (212) 705-7121.

**T.H. OKIISHI, TECHNICAL  
PROGRAM CHAIRMAN:  
Dusseldorf International  
Gas Turbine Conference and Exhibit,  
June 8-12, 1986**

Plans for the technical program of the 31st International Gas Turbine Conference are proceeding nicely. Over 360 technical papers entered the review process in September and October. The numerous reviewers involved are appreciated for their labors.

The preliminary program consists of nearly 90 sessions, nine of which involve panels. Well over half of these sessions should be of great interest to gas turbine users. Session topics range widely and cover a variety of timely subjects. As always, you can expect depth as well as breadth at the meeting. Authors and session organizers are applauded for their efforts to date.

A preliminary program for the meeting is being distributed in November. I urge you to review this document. Included are session and paper titles. Four full days will be utilized to accommodate the large number of sessions (ten to twelve simultaneous sessions).

The international aspect of the International Gas Turbine Conference is once again evident in terms of authors and panelists. Also, in some instances, overseas session organizers have been appointed. Most of the session vice-chairmen will be drawn from a list of European candidates who are specialists in the field represented by the different sessions.

Authors can expect review comments back from their session chairmen within six weeks after submitting their manuscripts. They should proceed immediately to make revisions and prepare their papers on the special MATS provided. Session chairmen must receive the revised paper on MATS by no later than December 15, 1985.

Plan now to be in Dusseldorf for this meeting; you won't regret it.

**S.A. MOSIER,  
GTD PROGRAM CHAIRMAN,  
REPORTS ON 1985 JOINT POWER  
GENERATION CONFERENCE**

When the Milwaukee Hyatt removed the wall separating two meeting rooms to accommodate over 70 persons who wanted to attend Session 27 ("Advanced Coal Utilization for Power Utilities - Power Generation"), we knew that efforts of the Gas Turbine Division (GTD) in contributing to the technical program for the 1985 Joint Power Generation Conference (JPGC) had been well worth it.

In spite of 1985 being a banner year for major gas turbine conferences (Houston in March and Beijing in September), our Division's technical committees and their session organizers did an outstanding job in producing five quality technical sessions for the 1985 JPGC. Of these, four were paper sessions, in which 16 papers were presented; one was a panel session.

The paper sessions were sponsored by three of the Division's Technical Committees: Coal Utilization, Turbomachinery and Combustion and Fuels; one of these sessions was co-sponsored by the ASME Fuels Division. The panel session was sponsored by the Electric Utilities Committee.

The obvious success of GTD's participation at the 1985 JPGC is in no small part due to the efforts of a few highly motivated, involved members of our technical committees. Specifically, these include, but are certainly not limited to: Bill Steltz, who in addition to organizing and chairing Session 7, also presented a paper for a British author who could not attend the meeting; Floyd Crouse, from the Department of Energy, who not only organized ten excellent papers for our mini-symposium on coal utilization in gas turbines, but also served as co-chairman for Sessions 17 and 27; Lou Riekert, Chairman of the Electric Utilities Committee, for his organizing Session 36, and George Touchton, from the Electric Power Research Institute, for his work on organizing and chairing Session 38. As always, the unsung heroes of the conference were those professionals who gave of their time and expertise to review manuscripts. The Gas Turbine Division's fine showing at the 1985 JPGC is a direct tribute to all of them.

**HIGHLIGHTS FROM A YOUNG MAN'S  
LONG AND CONTINUING CAREER — A  
BRIEF AUTOBIOGRAPHY OF  
R. TOM SAWYER**

**Editor's Note:**

Almost everybody knows Tom Sawyer "Mr. Gas Turbine"; he has been around for a long time! But many of us have forgotten, or never knew, the many interesting activities and achievements that have studded his personal and professional careers. This is the second of a series of articles on Tom's Life.

**Career Milestones**

In June 1923 Tom's father, who was then President of the East St. Louis & Suburban Railway, gave him a pass to San Francisco where an Australian gave him a job on a passenger ship to Sydney. He stayed a month at the home of Sir Harold Clapp, President of the Victorian Railways. (They were old family friends.) Tom then took a ship to England to see some friends in Europe, and then a ship home. The entire trip cost \$550.

So, later in 1923, Tom joined the General Electric Co. at Schenectady in the steam turbine test department. From there he went to the G.E. Erie Works in 1924 and helped assemble a diesel locomotive. In the summer of 1925, he delivered the first diesel locomotive sold in the USA to the Bronx switching yard of the Central Railroad of New Jersey. This was a 600 HP, 60 ton locomotive. It was in 1920 that New York City told the railroads to eliminate steam locomotives. Tom spent about two years servicing the many diesel locomotives now coming in. Then, in December 1925, came the first unit with two 600 HP engines. This 100 ton locomotive went to the Long Island Railroad. In 1927, Tom demonstrated a 600 HP locomotive in St. Louis. The engineer operating the locomotive did not move the lever to change the motors from series to parallel operation, so Tom installed a relay to give complete automatic transfer to accelerate the locomotive. This concept was ultimately patented and produced a good financial return since other companies had to pay G.E. for the right to use it.

During the summer of 1927 at the G.E. Erie Works, Tom was in the engineering department. He asked his big boss for a motor and generator to put in an automobile. This was granted, and he bought a car for the installation. That winter he put the system together and in the spring of 1928, he took his car with him on a freighter to Australia. He was in Melbourne for the General

Electric Company almost a year demonstrating the car and calculating the performance of diesel locomotives and rail cars. Consequently, G.E. sold to the Victorian Railways 10 electro-motive rail cars, each with a gasoline engine-generator and two motors on one truck. In the spring of 1929, he took a train to the west coast of Australia and then a ship to France. He attended his brother's wedding in Paris, visited Dr. Buchi, the inventor of the turbocharger, in Switzerland and saw his first gas turbine in Berlin before returning to the U.S.

In 1930, Tom joined the American Locomotive Company. His boss at G.E. suggested this because they needed a man that knew diesel locomotives. They were just starting to build diesels in addition to their steam locomotives. Tom generally traveled around the USA to help the ALCO salesmen; he seldom went to the same salesman twice. He frequently went to the midwest, but also to most of the states including Alaska. In 1934, Tom was transferred to the newly formed Diesel Locomotive Sales and Service Department, but he was still in the main office in New York City.

On September 30, 1934, he married Ruth Ennis (daughter of his boss's boss, the Vice President of Engineering). The next summer they moved to Ridgewood where he still lives; they used (and still do) the Ho-Ho-Kus post office as it was only three blocks away. Ruth died in 1980 at the age of 75. Her father designed the world's largest steam locomotive, BIG BOY, with 4-8-8-4 wheels.

In 1944, Tom made a report on gas turbines which ultimately became the book "The Modern Gas Turbine" published in 1945. In 1947 he was made Manager of Research; he held that title until he retired in 1956 — 10 years early. At that time the American Locomotive Co. was starting to have poor financial conditions. All ALCO did was build locomotives; their two competitors were big companies, General Electric and General Motors.

It should be mentioned that about three years before he retired, ALCO wanted a nuclear department. Therefore, Tom hired a friend from Oak Ridge, Kenneth Kasschau, to head up the department with several others. ALCO was able to get an order for a medium size nuclear power plant because they made a low bid. The reactor was tested at Fort Belvoir.

**Continued in next newsletter**

## Services and Activities of ASME Gas Turbine Division and THE INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER

The ASME Gas Turbine Division will contribute up to \$50,000 annually in scholarships for ASME Student Section Members.

WHO'S WHO in the Committees of Gas Turbine Division is a directory of all administrative and technical committee members. It is published by the INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER and contains an alphabetical listing with the committee members' names and addresses. The 1985-86 edition is available from the International Gas Turbine Center on a complimentary basis.

The INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER publishes a Directory of Technical Papers from ASME Gas Turbine Division Conferences dating back to 1957. Individual papers may be purchased from the INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER for \$5.00 each prepaid.

The ASME Gas Turbine Division's annual

International Gas Turbine Technology Report is published and distributed by the INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER. Complimentary copies of the 1985 edition are available.

The INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER'S correspondence course on Basic Gas Turbine Engine Technology is now available for orders.

The INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER sponsors the Fluid Dynamics of Turbomachinery program. The next course is planned for July 21-31, 1986.

The INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER publishes and distributes without charge the quarterly ASME Gas Turbine Division Newsletter. Persons interested in receiving a complimentary subscription should contact the INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER.

The INTERNATIONAL GAS TURBINE

CENTER is the source for information on exhibiting and participating in the International Gas Turbine Conference and Exhibit to be held in Dusseldorf, Federal Republic of Germany, June 8-12, 1986.

The INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER sponsored the ASME Education Seminar Program.

The INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER sponsored the U.S. National Committee of the International Council on Combustion Engines (CIMAC).

The ASME Gas Turbine Division organized lectures presented in the People's Republic of China in the fall of 1982 and 1984.

The ASME Gas Turbine Division organized the 1985 Beijing International Gas Turbine Symposium and Exposition held in People's Republic of China in September, 1985.

The ASME Gas Turbine Division contributed \$10,000 to American National Standards Institute for administering the secretariat of ISO-TC70-SC6 Gas Turbines.

In September, 1985, the ASME Gas Turbine Division contributed \$8750 to the ASME general fund for reduction of the backlog of papers awaiting to be published in the **Journal of Engineering for Gas Turbines and Power**. The backlogged papers were from several technical divisions within the ASME Energy Conversion Group.

The ASME Gas Turbine Division has administrative and nominating responsibilities for two ASME Awards...Gas Turbine Award and R. Tom Sawyer Award.

The ASME Gas Turbine Division sponsors the John P. Davis Award, a divisional award for the best gas turbine application paper.

**The INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER is sponsored by the ASME Gas Turbine Division and funded primarily with income received from Division activities such as the annual INTERNATIONAL GAS TURBINE EXHIBIT.**

### FUTURE GAS TURBINE DIVISION EVENTS

JUNE 8-12, 1986

31st International Gas Turbine

Conference and Exhibit

**Messe-Kongress-Center**

**Dusseldorf, Federal Republic of  
Germany**

MAY 31 - JUNE 4, 1987

32nd International Gas Turbine

Conference and Exhibit

**Anaheim Convention Center**

**Anaheim, California**



International Gas Turbine Center  
4250 Perimeter Park South, #108  
Atlanta, Georgia 30341 USA  
Telephone: (404) 451-1905  
Telex: 707340 IGTC ATL



Volume 26, Number 4, November, 1985

Published by the INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER, Gas Turbine Division, A.S.M.E., 4250 Perimeter Park South, #108, Atlanta, Georgia 30341, USA, (404/451-1905). Donald O. Hill, Managing Director; David H. Lindsay, Assistant Director for Exhibits and Information Services; Sue Collins, Administrator; Claire Howard, Exhibit Assistant.

**Chairman:**

**H. Clare Eatock**

**Pratt & Whitney Canada  
Longueuil, Quebec, Canada**

**Vice Chairman:**

**George Opydyke, Jr.**

**AVCO Lycoming Div.  
Stratford, CT**

**Editor:**

**Robert A. Harmon**

**Consulting Engineer  
Latham, New York**

**Publisher Emeritus:**

**R. Tom Sawyer**

**Ho-Ho-Kus, New Jersey**

**Publisher/**

**Donald D. Hill**

**Staff Editor:**

**International Gas Turbine Center  
Atlanta, Georgia**

### GAS TURBINE DIVISION

The American Society of Mechanical Engineers

#### EXECUTIVE COMMITTEE 1985-1986

**CHAIRMAN**

**H. CLARE EATOCK**  
Pratt & Whitney Canada Inc.  
P.O. Box 10 MS 1104  
Longueuil, Quebec J4K 4X9  
Canada  
514-647-7574

**VICE-CHAIRMAN**

**GEORGE OPYDYKE, JR.**  
AVCO Lycoming Div.  
350 South Main St.  
Stratford, CT 06497  
203-385-3212  
Telex 964242

**CHAIRMAN OF  
CONFERENCES**

**WALTER F. O'BRIEN**  
Mechanical Engineering Dept.  
Virginia Polytechnic Institute &  
State University  
Blacksburg, VA 24061  
703-961-7191

**REVIEW CHAIRMAN**

**FRANKLIN O. CARTA**  
United Technologies  
Research Center MS 19  
Silver Lane  
East Hartford, CT 06108  
203-727-7355  
Telex 994435

**FINANCE COMMITTEE &  
PAST CHAIRMAN**

**GEORGE K. SEROVY**  
Mechanical Engineering Bldg.  
Iowa State University  
Ames, IA 50011  
515-294-2023/1423

#### OPERATIONS

**MANAGING DIRECTOR**

**DONALD HILL**  
International Gas Turbine  
Center  
4250 Perimeter Park South, #108  
Atlanta, Ga 30341  
404-451-1905

**ASSISTANT DIRECTOR FOR  
EXHIBITS AND INFORMATION  
SERVICES**

**DAVID H. LINDSAY**  
International Gas Turbine Center  
4250 Perimeter Park South, #108  
Atlanta, GA 30341  
404-451-1905

**ADMINISTRATOR**

**SUE COLLINS**  
404-451-1905

**EXHIBIT ASSISTANT**

**CLAIRE HOWARD**  
404-451-1905

**TREASURER**

**R. TOM SAWYER**  
P.O. Box 188  
Ho-Ho-Kus, NJ 07423  
201-444-3719

**ASSISTANT TREASURER**

**THOMAS E. STOTT**  
Thomas Stott & Associates  
P.O. Box 295  
Cummagud, MA 02637  
617-362-9784

**NEWSLETTER EDITOR**

**ROBERT A. HARMON**  
25 Schaefer Drive  
Latham, NY 12110  
518-785-8651

#### INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER

Gas Turbine Division

The American Society of Mechanical Engineers

4250 Perimeter Park South, #108

Atlanta, Georgia 30341 USA

Address Correction Requested

NON-PROFIT ORGANIZATION

U.S. POSTAGE

**PAID**

ATLANTA, GEORGIA

PERMIT NO. 2685

ASME GAS TURBINE DIVISION

のご好意により複写の許可を得ました。

## 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440字詰のものを使用する。
5. 学会誌は刷上り1頁約1900字であって、1編について、それぞれ次の通り頁数を制限する。  
論説4～5頁、解説および論文6～8頁、速報および寄書3～4頁、随筆2～3頁、ニュース1頁以内、新製品紹介1頁以内、書評1頁以内
6. 原稿は用済後執筆者に返却する。
7. 依頼原稿には規定の原稿料を支払う。
8. 原稿は下記の事務局宛送付する。  
〒160 東京都新宿区西新宿7-5-13,  
第3工新ビル  
(Tel. 03-365-0095)

## 自 由 投 稿 規 定

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

## 技 術 論 文 投 稿 規 定

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

日 本 ガ ス タ ー ビ ン 学 会 誌

第13巻 第51号

昭和60年12月10日

編 集 者 葉 山 眞 治

発 行 者 谷 村 輝 治

(社) 日本ガスタービン学会

〒160 東京都新宿区西新宿7-5-13

第3工新ビル

TEL (03) 365-0095

振替 東京7-179578

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