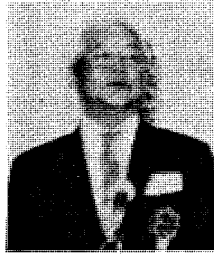


## 挨拶



## ご挨拶

設立十周年記念行事委員会

委員長 円城寺 一

本年は、本学会の前身である日本ガスタービン会議が昭和47年に発足してから十周年に当りその記念行事を行うこととなりました。

例年の定期講演会開催の時期に合わせて、6月3日に記念式典、その前後にパネル討論会、記念講演会、懇親会を開催し、又、論文および技術賞を贈呈する他、学会誌6月号を記念特集号として発行することとなりました。

学会初めての一大行事であり、試行錯誤的模索をしながら準備を進め、又、行事実施決定から実施まで6ヶ月の短期間でありましたので、不備の点多々ありましたが、本記念特集号発行を以て、滞りなく行事を終る事となりました。

この間、理事ならびに委員、事務局の諸君の献身的な御努力に敬意を表すると共に、正会員、賛助会員の熱意溢れる御協力に対し厚く御礼申上げる次第であります。

顧みますと、この十年間に2回にわたるオイルショックは、エネルギー利用の効率化が緊急の課題となるに到りました。ガスタービンの技術に携る者にとっては、機器の性能向上は勿論、ガスタービンシステムの動力および熱利用の効率化の面、又、環境保護の面で技術開発に努力が傾注されて来たのであります。

学会としても昭和51年6月には社団法人日本ガスタービン学会に改組され、一層責任ある団体として基礎を固め、会員数も1200名を超え、諸事業も活発に行う等順調に発展して今日に到りました。会員諸君も研究開発の各分野で活躍されていることは御同慶の至りと存じます。

十周年記念行事の一つとして「ガスタービンおよびターボ過給機に関する工学および技術の発展を奨励する」目的を以て学会賞を贈り表彰を行う

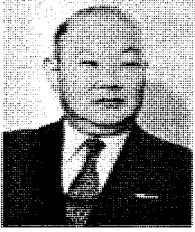
ことが決定されました事は、誠に時宜を得たことと思います。選考委員会により選考された論文賞5件、技術賞9件は本号に掲載してあります。

入賞された論文および技術は、何れも本学会賞の名誉を受けられるのにふさわしい「ガスタービンに関する独創的で優秀な論文および画期的な開発または性能向上に寄与した新技術」であります。

第二の行事として「21世紀を目指すガスタービン」のパネル討論会では、将来脱石油のための多様化する燃料に対応するガスタービン技術および、各種産業分野でのガスタービンシステム技術による動力と熱利用について活発な討論が行われました。

第三の行事として、記念講演会が行われましたが「コンバインドサイクル指向の高効率ガスタービン」「日英共同開発航空エンジンRJ500」「自動車用の高性能ターボ過給機」の開発の現状が述べられ、ガスタービン技術の多彩な発展の現状が論じられました。

以上の行事が今後21世紀にわたるガスタービン技術発展のベースとなり、会員諸君の情報知識の交換の場としての日本ガスタービン学会の活力溢れる成長発展に資することとなれば、記念行事も一層意義深いものであったと信じます。



## 十周年にさいして

石川島播磨重工業(株) 今井兼一郎

日本ガスタービン学会が先輩方々の御努力でそのもとが出来てから本年でこゝに十年を迎えました。感慨なきを得ません。

この大切な時に本年5月の通常総会において第七期の会長に選出されましたことはまことに光栄であります。

この学会の成立は1972年10月に米国機械学会のガスタービン部会が東洋ではじめて、日本で日本機械学会と共催でガスタービン会議を開いたときに、日本機械学会を御助けして、この催しの中心となられた方々が昭和48年6月日本ガスタービン会議を結成されましたのがはじめてであります。ついで昭和51年6月に社団法人となりました。その間に会員数も1250人近くまで増加しました。今年4回発行の日本ガスタービン学会誌も回を重ね9巻37号を出しガスタービン、排気タービン関係者の欠かすことの出来ないものとなりました。

その他講演会、見学会、シンポジウム、等も年々盛になりこの十年間に関係の皆々様の御努力で、着実にプロフェッショナルな学会へと成長しておりますことは御同慶の至りであります。

またこの十周年の記念行事が6月3日4日に行われましたことは御高承の通りで詳細は、十周年記念行事委員会よりの御報告にあります。

1983年には1972年、1977年について第3回目の国際ガスタービン会議東京大会が開催されることになり本年度は幹事学会として本格的準備に入ることになりました。

こゝでガスタービンの実用化を考えて見たいと思います。

第二次大戦を契期としてガスタービンは航空機の推進機関として、この30有余年の間にすっかり定着してその有用性を疑うものはありません。我が国に於ても技術導入によるJetエンジンの国産

化の一方で中間練習機用エンジンとして開発されたJ3も生産を終りその後継候補としてXF-3が育ちつゝあり、また民用エンジンとして日英協同開発エンジンプロジェクトがすゝむ等しております。

船や鉄道に用いることもしばらくまえは大いに宣伝されて、研究もされ、試験的、実用的に使用されていましたが、いつしか消えて、商船用としてはごく限られ、軍艦に多く用いられるのみとなりました。

発電用としては、ひろく可成りのものが実用されすでに第一世代のものは20年近くの使用のあとで交代期に入ろうとしております。こゝでガスタービンは、その燃料の多様化、あるいは排熱利用による効率向上が可能なので複合サイクルが急激に実用化の域に入ろうとしており、この方面の発達は今後10年間には目ざましいものがあると予想します。

こゝでひるがえって見ますと、我々はまだまだこのガスタービンの世界的発展の中で、日本でもその有用性なり、実用性について十分の理解を得ていないのではないかと思います。

エネルギー変換のシステムにガスタービンを組込んで開発実用化に努め、実験をつんで行くこと、ガスタービンをSubsystemあるいは要素として大いに開発して行くこと、このいづれも極めて意義のあることと思ひ、また我が国が世界に貢献しうる可能性は極めて大きいと考えております。

学会は、このための語り合い、励まし合いの場として会員の皆様に大いに利用して頂き育て、行って頂きたいと思ひます。

御蔭様で有能な理事の方々をはじめ多くの方々の御支援を得ており、御役に立ちたいと思っておりますので皆様の御指導御鞭撻を得たくお願いいたします。

(昭和57年5月10日原稿受付)

## 設立十周年記念式典祝辞



文部省  
学術国際局長 松浦 泰次郎

本日、ここに社団法人日本ガスタービン学会設立十周年記念式典が挙行されるに当り、一言お祝いのことを申し述べます。

貴学会は昭和47年、日本ガスタービン会議として発足し、昭和51年に社団法人日本ガスタービン学会に改組されて以来、役員各位及び会員各位の御努力により、年とともにその組織を充実させ、会員数も約1,200名を数えるに至っておりますことは誠に御同慶に堪えません。

この間、貴学会は、学会誌の発行をはじめ、シンポジウム、セミナー、技術懇談会及び講演会等の事業を通じて、研究に関する情報交換、意見交換等会員相互の交流を推進しておられ、ガスタービン・ターボ過給機及びこれらに関連する機械工学分野の基礎的・応用的研究の振興に貢献するところ大であると存じております。



社団法人 日本機械学会  
会長 一色 尚次

本日、ここに社団法人日本ガスタービン学会の設立十周年記念式典を挙行されるに当り、日本機械学会を代表致しまして御祝辞を申し上げる機会を与えられましたことは私の最も光栄とするところであります。

貴日本ガスタービン学会は設立以来今日まで産業、工学の根幹の一つであり、しかも若い技術であるガスタービンの工学、及び技術の進歩向上普及を図るため努力を傾注され、我が国の文化向上と工業の発展のためのみならず、若い技術者の教育にも力をつくされ国際的にもきわめて大きな役割を果たして来られましたことに厚く敬意を表するものであります。

さて、日本機械学会には往年ガスタービンの委員会・分科会があり、その分野の会員の相会する場がありましたが、現在はこの分野の活動は貴学会に受けついでいただいております。

一方におきまして海外に目をむけますと百年以上の歴史を持つ米国機械学会(ASME)では創立後間もなくすでに1908年にガスパワー分野に関心のある会員

また、貴学会は日本機械学会ならびに米国機械学会と共催のもとに、昭和52年に国際ガスタービン会議東京大会を開催され、また、明年秋には、第3回の国際会議を共催されると承っております。このことは、貴学会の活動が世界的に高く評価されているものであります。

今日、貴学会は、ガスタービンの熱効率の向上、超高温ガスタービンの開発、制御技術の改善、燃料の多様化・公害問題等の研究開発を目指しておられると承っておりますが、これらの研究には、各方面から極めて大きな期待が寄せられており、貴学会の果たす役割はますます大きくなるものと考えております。

本日の設立十周年記念式典に当り、設立以来の輝かしい業績をたたえ貴学会が今後ともガスタービン等に関する分野の学術研究の発展に寄与されることを念願してお祝いの言葉といたします。

のためにプロフェッショナル・セクションを設け、その後学会内部に多数のテクニカル・ディヴィジョンを設け現在その数32部門、その1つであるガスタービン部門は1947年に出来ております。専門部門を内蔵した機械技術者11万人を会員とするプロフェッショナルズの会として機能しております。

国情・文化や産業の経営風土の違いにより日本の学協会では、これとはいささか趣きを異にします。その代りに日本では今後とも関連学会特に最も親近感のある貴会とは姉妹学会として連繫を保つ必要を痛感いたします。共に日本の機械技術者の会として、大いにインターソサエティ、インターヒューマンの実を發揮したいと考えます。

貴学会設立十周年、当会は八十五周年の本年を契機として堅い握手を交したいと思っております。貴学会の一層の御発展を切望致しますとともに、当会ガスタービン部門に関心ある会員のためにも御協力下さいますようお願い致しまして私の祝辞といたします。

## 設立十周年記念式典祝辞



文部省  
学術国際局長 松浦 泰次郎

本日、ここに社団法人日本ガスタービン学会設立十周年記念式典が挙行されるに当り、一言お祝いのことを申し述べます。

貴学会は昭和47年、日本ガスタービン会議として発足し、昭和51年に社団法人日本ガスタービン学会に改組されて以来、役員各位及び会員各位の御努力により、年とともにその組織を充実させ、会員数も約1,200名を数えるに至っておりますことは誠に御同慶に堪えません。

この間、貴学会は、学会誌の発行をはじめ、シンポジウム、セミナー、技術懇談会及び講演会等の事業を通じて、研究に関する情報交換、意見交換等会員相互の交流を推進しておられ、ガスタービン・ターボ過給機及びこれらに関連する機械工学分野の基礎的・応用的研究の振興に貢献するところ大であると存じております。



社団法人 日本機械学会  
会長 一色 尚次

本日、ここに社団法人日本ガスタービン学会の設立十周年記念式典を挙行されるに当り、日本機械学会を代表致しまして御祝辞を申し上げる機会を与えられましたことは私の最も光栄とするところであります。

貴日本ガスタービン学会は設立以来今日まで産業、工学の根幹の一つであり、しかも若い技術であるガスタービンの工学、及び技術の進歩向上普及を図るため努力を傾注され、我が国の文化向上と工業の発展のためのみならず、若い技術者の教育にも力をつくされ国際的にもきわめて大きな役割を果たされて来られましたことに厚く敬意を表するものであります。

さて、日本機械学会には往年ガスタービンの委員会・分科会があり、その分野の会員の相会する場がありましたが、現在はこの分野の活動は貴学会に受けついでいただいております。

一方におきまして海外に目をむけますと百年以上の歴史を持つ米国機械学会(ASME)では創立後間もなくすでに1908年にガスパワー分野に関心のある会員

また、貴学会は日本機械学会ならびに米国機械学会と共催のもとに、昭和52年に国際ガスタービン会議東京大会を開催され、また、明年秋には、第3回の国際会議を共催されると承っております。このことは、貴学会の活動が世界的に高く評価されているものであります。

今日、貴学会は、ガスタービンの熱効率の向上、超高温ガスタービンの開発、制御技術の改善、燃料の多様化・公害問題等の研究開発を目指しておられると承っておりますが、これらの研究には、各方面から極めて大きな期待が寄せられており、貴学会の果たす役割はますます大きくなるものと考えております。

本日の設立十周年記念式典に当り、設立以来の輝かしい業績をたたえ貴学会が今後ともガスタービン等に関する分野の学術研究の発展に寄与されることを念願してお祝いの言葉といたします。

のためにプロフェッショナル・セクションを設け、その後学会内部に多数のテクニカル・ディヴィジョンを設け現在その数32部門、その1つであるガスタービン部門は1947年に出来ております。専門部門を内蔵した機械技術者11万人を会員とするプロフェッショナルズの会として機能しております。

国情・文化や産業の経営風土の違いにより日本の学協会では、これとはいささか趣きを異にします。その代りに日本では今後とも関連学会特に最も親近感のある貴会とは姉妹学会として連繫を保つ必要を痛感いたします。共に日本の機械技術者の会として、大いにインターソサエティ、インターヒューマンの実を發揮したいと考えます。

貴学会設立十周年、当会は八十五周年の本年を契機として堅い握手を交したいと思っております。貴学会の一層の御発展を切望致しますとともに、当会ガスタービン部門に関心ある会員のためにも御協力下さいますようお願い致しまして私の祝辞といたします。



唯今、ご紹介頂きました日本航空宇宙学会会長河田幸三でございます。

本日は、日本ガスタービン学会設立十周年の記念式典にお招き頂き誠にありがとうございます。不束ながら学会を代表して一言祝辞を申し述べさせて頂きたいと存じます。

ご承知のように近年ガスタービンの諸方面における発展には誠に著しいものがあります。我が国におけるガスタービンの工学・工業の発展に対する日本ガスタービン学会の寄与は極めて著しいものがあります。また、日本ガスタービン学会がその主催されます国際会議を通じて、本分野の国際交流にも大きな寄与をなしておられる事も周知の事柄であります。私共の航空宇宙学会の守備範囲に航空用推進機関としてのターボ・ジェット、ターボ・ファン、ターボ・プロップ、ター



本日ここに、社団法人日本ガスタービン学会の設立十周年記念式典が開催されるに当り、お祝いを申し上げる機会を得ましたことは私の深く喜びとするところであります。

顧みますと貴学会は昭和47年に発足されてから今日に至るまで、わが国ガスタービン技術の中心団体として活躍され、また国際会議を開催して国際交流に尽されるなど極めて多彩かつ活発な活動を続けてこれ内外より驚嘆の声が聞かれるほど、活力溢れる学会に発展されたことに対して、心から敬意と祝意を表する次第であります。

その間、わが国の経済は石油危機を契機にして、高度成長経済から安定成長経済へまた産業構造の転換などいわゆる激動の時代でありましたが、ガスタービン産業は幾多の困難を克服してその発展は著しいものがあります。

一方、国としてもガスタービン技術開発の重要性から工業技術院のムーンライト計画に高効率ガスタービンを取り上げられ、目下最先端技術を結集してその研究開発が進められていることは周知の通りであります。

このように貴学会が発展された背景にはガスタービンを巡る諸環境の好転すなわち航空用ガスタービンのほか広範囲な産業界からのガスタービンに対するニーズが高まったことがあげられると思います。

社団法人 日本航空宇宙学会  
会長 河田 幸三

ボ・シャフト等のエンジンがありますが、これらは何れもガスタービン・エンジンに属するもので、研究者・技術者の方々も日本ガスタービン学会と共通の方が沢山おられます。従いまして、日本ガスタービン学会は日本航空宇宙学会と非常に縁の深い仲であります。事実、航空原動機講習会には共催をお願い致しておりますし、また日本ガスタービン学会の国際会議には協賛団体として協力させて頂いております。

今後日本ガスタービン学会がこの十周年を1ステップとして、一層の発展を遂げられ、日本のガスタービン学界により一層の寄与をされます事を、ごく近い関係にある日本航空宇宙学会の人間と致しまして、心よりお祈り申し上げます。

大変簡単でございますが、以上をもちまして祝辞に代えさせて頂きたいと存じます。

日本内燃機関連合会  
会長 岡村 健二

更にまた、会員各位が学理と実際の調和を目標にされた学会創立精神と事業遂行の企画に対し献身的なご努力をされ、かつガスタービンへの強い熱情に燃えて、ファミリアな雰囲気ですべての学会運営をなされたことは特筆さるべきと存じます。ご高承の通り熱エネルギーを機械エネルギーに変換利用する技術面から見ますと、ガスタービンとディーゼル機関は同類であるとともに密接不可分な関係にあると存じます。例えば最近の排気ターボ過給機付きディーゼル機関の著しい技術進歩において排気ガスタービンが果たした役割は極めて大きいものがあります。

このような関係から私共の日本内燃機関連合会では両者を含めて燃焼機関と呼称し ISO（国際標準化機構）および CIMAC（国際燃焼機関会議）の両組織において、国際活動を行いつつありまして貴学会とは従来より相互に会員としてご協力をいただいている次第であります。

本日は設立十周年という記念すべき式典に当り、日頃のご支援に対して感謝を申し上げますとともに、貴学会と当連合会とは今後とも一層連絡を緊密にして技術交流と協調促進とを特にお願ひ申し上げたいと存じます。

最後に貴学会ますますのご発展とご繁栄を祈念いたしまして私のご挨拶といたします。



唯今、ご紹介頂きました日本航空宇宙学会会長河田幸三でございます。

本日は、日本ガスタービン学会設立十周年の記念式典にお招き頂き誠にありがとうございます。不束ながら学会を代表して一言祝辞を申し述べさせて頂きたいと存じます。

ご承知のように近年ガスタービンの諸方面における発展には誠に著しいものがあります。我が国におけるガスタービンの工学・工業の発展に対する日本ガスタービン学会の寄与は極めて著しいものがあります。また、日本ガスタービン学会がその主催されます国際会議を通じて、本分野の国際交流にも大きな寄与をなしておられる事も周知の事柄であります。私共の航空宇宙学会の守備範囲に航空用推進機関としてのターボ・ジェット、ターボ・ファン、ターボ・プロップ、ター



本日ここに、社団法人日本ガスタービン学会の設立十周年記念式典が開催されるに当たり、お祝いを申し上げる機会を得ましたことは私の深く喜びとするところであります。

顧みますと貴学会は昭和47年に発足されてから今日に至るまで、わが国ガスタービン技術の中心団体として活躍され、また国際会議を開催して国際交流に尽されるなど極めて多彩かつ活発な活動を続けてこれ内外より驚嘆の声が聞かれるほど、活力溢れる学会に発展されたことに対して、心から敬意と祝意を表する次第であります。

その間、わが国の経済は石油危機を契機にして、高度成長経済から安定成長経済へまた産業構造の転換などいわゆる激動の時代でありましたが、ガスタービン産業は幾多の困難を克服してその発展は著しいものがあります。

一方、国としてもガスタービン技術開発の重要性から工業技術院のムーンライト計画に高効率ガスタービンを取り上げられ、目下最先端技術を結集してその研究開発が進められていることは周知の通りであります。

このように貴学会が発展された背景にはガスタービンを巡る諸環境の好転すなわち航空用ガスタービンのほか広範囲な産業界からのガスタービンに対するニーズが高まったことがあげられると思います。

社団法人 日本航空宇宙学会  
会長 河田 幸三

ボ・シャフト等のエンジンがありますが、これらは何れもガスタービン・エンジンに属するもので、研究者・技術者の方々も日本ガスタービン学会と共通の方が沢山おられます。従いまして、日本ガスタービン学会は日本航空宇宙学会と非常に縁の深い仲であります。事実、航空原動機講習会には共催をお願い致しておりますし、また日本ガスタービン学会の国際会議には協賛団体として協力させて頂いております。

今後日本ガスタービン学会がこの十周年を1ステップとして、一層の発展を遂げられ、日本のガスタービン学界により一層の寄与をされます事を、ごく近い関係にある日本航空宇宙学会の人間と致しまして、心よりお祈り申し上げます。

大変簡単でございますが、以上をもちまして祝辞に代えさせて頂きたいと存じます。

日本内燃機関連合会  
会長 岡村 健二

更にまた、会員各位が学理と実際の調和を目標にされた学会創立精神と事業遂行の企画に対し献身的なご努力をされ、かつガスタービンへの強い熱情に燃えて、ファミリアな雰囲気ですべての学会運営をなされたことは特筆さるべきと存じます。ご高承の通り熱エネルギーを機械エネルギーに変換利用する技術面から見ますと、ガスタービンとディーゼル機関は同類であるとともに密接不可分な関係にあると存じます。例えば最近の排気ターボ過給機付きディーゼル機関の著しい技術進歩において排気ガスタービンが果たした役割は極めて大きいものがあります。

このような関係から私共の日本内燃機関連合会では両者を含めて燃焼機関と呼称し ISO（国際標準化機構）および CIMAC（国際燃焼機関会議）の両組織において、国際活動を行いつつありまして貴学会とは従来より相互に会員としてご協力をいただいている次第であります。

本日は設立十周年という記念すべき式典に当たり、日頃のご支援に対して感謝を申し上げますとともに、貴学会と当連合会とは今後とも一層連絡を緊密にして技術交流と協調促進とを特にお願ひ申し上げたいと存じます。

最後に貴学会ますますのご発展とご繁栄を祈念いたしまして私のご挨拶といたします。



ターボ機械協会  
会長 生井 武文

日本ガスタービン学会の創立十周年記念式典に当り、兄弟学会である、ターボ機械協会を代表して、学会の成長と発展に対し、心よりお祝い申し上げます。今から10年前、名誉会員の渡部先生を中心にして、日本ガスタービン会議として創立されましたが、日本機械学会を中心とする専門の関連学協会の中でも、非常にユニークな存在と存じます。

一つはアメリカ機械学会のガスタービン部門と提携・運営され、中堅学会でありながら5,6年毎に国際会議を開催されるバイタリティにあると思いますが、もう一つはガスタービンという機械の特殊性にあると思います。


ご承知のようにガスタービンは、航空用大形ジェット・エンジンを初め、高温・高効率・大容量の電力用ガスタービンから、デンタル用の小形高速空気タービンに至るまで、種々の容量と形式のものがあ、しかも単一機種でありながら、高温・耐熱材料の開発と加工法、超高速回転羽根車の設計・製作、高速軸受とその潤滑、騒音低減から異常診断技術、信頼性工学、計

測技術などいわゆる先端技術の開発に関連しているものも数多くあるという風に、その技術は工学上のあらゆる分野に関連し、また用途としては航空機、電力、鉄鋼、鉄道、船舶、自動車、更に石油関係など一般産業用から医療用機器まで、誠に枚挙にいとまがないほどであります。第二次大戦後実用化されたガスタービン技術が、戦後30年を経て、今正に花開いたという感じがします。

このようなガスタービンという機械を中心とし、それに関心を持つ人々の集団である日本ガスタービン学会の会合が盛んな理由は、すべてガスタービンという機械の持つ無限の魅力にあると思えます。

人は仕事でも趣味でも魅力に取りつかれると偉大な力を発揮します。今後日本のガスタービンがその魅力に取りつかれたガスタービン「気違い集団」である日本ガスタービン学会によって、常に新しい息吹きを与えられ、更なる発展をしていくことを衷心よりお祈り申し上げる次第であります。





**The American Society of Mechanical Engineers**

United Engineering Center • 345 E 47th St. New York, NY 10017 • 212-844-7722 • TWX-710-581-5287

Robert B. Gaither  
President

Copy to:  
ASME Executive Director

Address Communications:  
Chairman, Department of  
Mechanical Engineering  
University of Florida  
Gainesville, FL 32611  
904-382-0827

May 18, 1982

Mr. Izumi Iguchi  
Chairman, Gas Turbine Society of Japan  
No 3 Koshin Bldg.  
5-13 Nishi-Shinjuku 7-chome  
Shinjuku-ku Tokyo 160  
JAPAN

Dear Mr. Iguchi:

It is my sincere pleasure to extend greetings from The American Society of Mechanical Engineers to the Gas Turbine Society of Japan on the auspicious occasion of its 10th Anniversary.


We also wish to express congratulations to your successor, Mr. Kaneichiro Imai, who will take office during your commemorative year.

Please accept our best wishes for continued success in your future endeavors.

Sincerely,

*Robert B. Gaither*  
Robert B. Gaither  
President

Member • American Association of Engineering Societies • Accreditation Board for Engineering and Technology



**Gas Turbine Division**

The American Society of Mechanical Engineers

26 May 1982

Mr. Izumi Iguchi  
Chairman  
Gas Turbine Society of Japan  
No. 3 Koshin Bldg.  
5-13 Nishi-Shinjuku 7-chome  
Shinjuku-ku, Tokyo 160  
JAPAN

Dear Mr. Iguchi:

On behalf of the ASME Gas Turbine Division Executive Committee, we wish to recognize the Gas Turbine Society of Japan as it celebrates its tenth anniversary in June 1982. Originally it was my pleasure to meet a number of the persons responsible for organizing GTSJ during attendance at the October 1971 Tokyo Gas Turbine Congress at the Science Museum. As I recall your society was formed shortly after that congress.

In May 1977, the Gas Turbine Society of Japan sponsored the successful 1977 Tokyo Joint Gas Turbine Congress. It was my pleasure as Program Chairman for the ASME Gas Turbine Division to work closely with several members of GTSJ on that technical program.

Once again we have an opportunity for another cooperative effort between GTSJ and ASME as our Gas Turbine Division will work to raise technical papers for the October 1983 Tokyo International Gas Turbine Congress which GTSJ is currently developing.

We are most pleased to send our congratulations to the Gas Turbine Society of Japan as it celebrates its anniversary of ten successful years. We wish GTSJ much continued success in the future.

Very truly yours,  
*Kenneth A. Teumer*  
Kenneth A. Teumer  
Chairman, Executive Committee  
Gas Turbine Division, ASME

KAT:mg

cc: Nikki Hayashi - Woodward Governor (Japan) Ltd.  
GTD Executive Committee  
H. C. Eatock  
Don Hill

論文賞

1. A Modification of Flutter Characteristics by Changing Elastic Nature of Neighbouring Blades in Cascade

東京大学 花村庸治, 田中英穂

現在翼列フラッタの防止策としては、ラッシングワイヤ、スナップ等が一般的であるが、本研究はこれを別の観点からフラッタ限界を高めようと試みたものである。翼列のフラッタ限界が単独翼の場合に比べ著しく低いのは隣接翼との空力的連成によるもので、翼列上の各翼の固有振動特性が等しい場合この連成は非常に起り易い。これに対し隣接翼の固有振動特性を少しずらせるとこの空力的連成は著しく起り難くなる。これは翼の曲げ振り連成フラッタにおいて、機械的連成の無い場合（翼の振り中心と重心が一致する場合）、曲げ振り固有振動数が一致するとフラッタ限界が特異的に低くなることから類推しても容易に分るところである。一般の翼自体ではこの様な特異的なこ

とは起り得ないが、翼列翼の場合各翼は均一の方向に作られており、又一般の翼列では隣接翼間の機械的連成も殆どないと見做してよく、上述の特異的条件下に置かれていると見られる。本研究は、隣接翼の固有振動特性を種々変えてフラッタ限界を求め、理論的、実験的に、僅かな固有振動特性の不均一化がフラッタ限界を著しく高めることを立証した。固有振動特性の積極的不均一化には今回の様な一枚おきに変化させる他にも種々なモードが考えられるし、又その不均一化の具体的方策など今後多くの問題を残してはいるが、従来のラッシングワイヤ、スナップ等の他に、空力弾性学的見地からのフラッタ対策の可能性を示唆したものと云える。

2. Surge Responsibility and Range Characteristics of Centrifugal Compressors

Pratt & Whitney 吉中 司

この研究の目的は、単段遠心圧縮機のサージ及び閉塞起因要素を指摘し、加えてディフューザ形状と運転領域の関連を調べる事にある。先ず、翼車とディフューザの空力負荷が、流量係数 $\phi$ とディフューザ流入角度 $\alpha_3$ への影響に、大きな相違のあることを、簡単化された流体基礎式を用いて解析的、定性的に指摘し、次いで、この定性的相違によって、圧縮機回転速度全域に亘ってサージ及び閉塞がどの要素に起因しているかを、過去の実験例を参考に、説明している。最後に、上記解析の副次的結果として、ディフューザ中及びスタガの変更による運転領域への影響も、述べている。本研究では、空力負荷の定量的考察に基づく

既存の諸研究とは異なり、各要素空力負荷の $\phi$ 及び $\alpha_3$ への影響の相違を定性的な立場から検討しており、実験結果を $\phi \sim \alpha_3$ 図表に示す事により、サージ及び閉塞の原因となっている要素を簡単に見出せ、運転領域特性を説明出来る。この研究結果は、単段遠心圧縮機であれば、翼車やディフューザの設計思想や幾何形状の違いに拘らず適用され、一般性の大きい事が期待される。



論文賞

1. A Modification of Flutter Characteristics by Changing Elastic Nature of Neighbouring Blades in Cascade

東京大学 花村庸治, 田中英穂

現在翼列フラッタの防止策としては、ラッシングワイヤ、スナップ等が一般的であるが、本研究はこれを別の観点からフラッタ限界を高めようと試みたものである。翼列のフラッタ限界が単独翼の場合に比べ著しく低いのは隣接翼との空力的連成によるもので、翼列上の各翼の固有振動特性が等しい場合この連成は非常に起り易い。これに対し隣接翼の固有振動特性を少しずらせるとこの空力的連成は著しく起り難くなる。これは翼の曲げ振り連成フラッタにおいて、機械的連成の無い場合（翼の振り中心と重心が一致する場合）、曲げ振り固有振動数が一致するとフラッタ限界が特異的に低くなることから類推しても容易に分るところである。一般の翼自体ではこの様な特異的なこ

とは起り得ないが、翼列翼の場合各翼は均一の方向に作られており、又一般の翼列では隣接翼間の機械的連成も殆どないと見做してよく、上述の特異的条件下に置かれていると見られる。本研究は、隣接翼の固有振動特性を種々変えてフラッタ限界を求め、理論的、実験的に、僅かな固有振動特性の不均一化がフラッタ限界を著しく高めることを立証した。固有振動特性の積極的不均一化には今回の様な一枚おきに変化させる他にも種々なモードが考えられるし、又その不均一化の具体的方策など今後多くの問題を残してはいるが、従来のラッシングワイヤ、スナップ等の他に、空力弾性学的見地からのフラッタ対策の可能性を示唆したものと云える。

2. Surge Responsibility and Range Characteristics of Centrifugal Compressors

Pratt & Whitney 吉中 司

この研究の目的は、単段遠心圧縮機のサージ及び閉塞起因要素を指摘し、加えてディフューザ形状と運転領域の関連を調べる事にある。先ず、翼車とディフューザの空力負荷が、流量係数 $\phi$ とディフューザ流入角度 $\alpha_3$ への影響に、大きな相違のあることを、簡単化された流体基礎式を用いて解析的、定性的に指摘し、次いで、この定性的相違によって、圧縮機回転速度全域に亘ってサージ及び閉塞がどの要素に起因しているかを、過去の実験例を参考に、説明している。最後に、上記解析の副次的結果として、ディフューザ中及びスタガの変更による運転領域への影響も、述べている。本研究では、空力負荷の定量的考察に基づく

既存の諸研究とは異なり、各要素空力負荷の $\phi$ 及び $\alpha_3$ への影響の相違を定性的な立場から検討しており、実験結果を $\phi \sim \alpha_3$ 図表に示す事により、サージ及び閉塞の原因となっている要素を簡単に見出せ、運転領域特性を説明出来る。この研究結果は、単段遠心圧縮機であれば、翼車やディフューザの設計思想や幾何形状の違いに拘らず適用され、一般性の大きい事が期待される。

### 3. 円柱・平板及び二次元翼列によるフィルム冷却の実験的研究

航空宇宙技術研究所 坂田 公夫, 吉田 豊明,  
佐々木 誠, 高原 北雄

高温タービン翼の冷却法にフィルム冷却は欠かせない技術であり、その効果は、(1)高い冷却性能、(2)翼温度の均一化の可能性、(3)冷却空気流量及び流量配分設定の任意性、(4)発生熱応力の低減、などである。一方、これまでのフィルム冷却翼の設計は試行錯誤法が主となっているため、基礎的な実験及び解析データの集積と体系化により、信頼すべき設計法の確立が求められている。

本研究は、円柱・平板などの単純モデルによる基礎的な実験や、二次元翼列による空冷翼の実験で得られたデータをまとめ、フィルム冷却タービン翼の設計および性能解析のための資料を提供することを目的とする。実験に先立ち、フィルム冷却による発生熱応力の低減効果を、円柱および平板の単純応力計算によって示し、その有円性を明らかにした。次に、翼前縁部へのフィルム冷却の

適用を目的として、円柱および半円柱前縁部の平板翼モデルを用いた実験を行ない、吹出し流量特性と吹出し孔径・位置の関係および、フィルム冷却性能と吹出し孔配列の関係を明らかにした。平板を用いた円孔列吹出しフィルム冷却の実験により、吹出し流の速度分布および乱れが主流との混合過程を変化させ、冷却効率の分布が異なること、また多列吹出しでは、多列化の効果が、重ね合わせの理論で説明出来ることを明らかにしている。これらの基礎的な結果を用いて設計した、14列の吹出しによる多孔列フィルム冷却翼によって、4.5%の設計冷却空気流量で平均冷却効率0.7以上の性能を得ることが出来た。

この研究の結果、フィルムの有効な適用法を示し、フィルム冷却翼設計法の確立のために資料を提供した。

### 4. Evaluation of the Properties of GT Blade Materials in Long-Term Operation

三菱重工業 薄田 寛, 辻 一郎, 河合 久孝, 伊藤 眸

ガスタービンの動翼や静翼等の高温部材に使用される超耐熱合金は、高温で長時間使用されると金属組織が変化し、それに伴って強度やじん性が変化する。従ってガスタービンの信頼性をより一層向上させるためには、上記の高温部材の長時間使用過程における材質変化の挙動を十分把握し評価しておく必要がある。

そこで著者らは、ガスタービン翼材として広く使用されている4種類のNi基超耐熱合金 Inconel 700, Inconel X-750, Udimet 520 及び Udimet 710 について、実験室的に700~950℃で最長10,000hまでの加熱を施した後、加熱過程における金属組織及び機械的性質の変化を検討すると共に、実機での長時間使用材についても同様の調査を行い、それらを総合的に比較評価し、次の結果

を得た。

- (1) 高温長時間の使用中に、金属間化合物  $\gamma'$  相や炭化物等の析出相の凝集・粗大化が起り、それに伴ってクリープ破断性質や衝撃性質等が低下する等、組織と強度の相関を系統的かつ定量的に明らかにした。
- (2) 使用過程における材質評価試験項目としては、短時間クリープ破断性質、衝撃性質及び金属組織が適当である等、安全運転のための材質評価に対する考え方を示した。
- (3) 長時間の使用により低下した材質は、適切な時期に再熱処理を施すことによりほぼ使用前の材質レベルに回復させることができる等、翼材の経済的利用方法についても明らかにした。

### 3. 円柱・平板及び二次元翼列によるフィルム冷却の実験的研究

航空宇宙技術研究所 坂田 公夫, 吉田 豊明,  
佐々木 誠, 高原 北雄

高温タービン翼の冷却法にフィルム冷却は欠かせない技術であり、その効果は、(1)高い冷却性能、(2)翼温度の均一化の可能性、(3)冷却空気流量及び流量配分設定の任意性、(4)発生熱応力の低減、などである。一方、これまでのフィルム冷却翼の設計は試行錯誤法が主となっているため、基礎的な実験及び解析データの集積と体系化により、信頼すべき設計法の確立が求められている。

本研究は、円柱・平板などの単純モデルによる基礎的な実験や、二次元翼列による空冷翼の実験で得られたデータをまとめ、フィルム冷却タービン翼の設計および性能解析のための資料を提供することを目的とする。実験に先立ち、フィルム冷却による発生熱応力の低減効果を、円柱および平板の単純応力計算によって示し、その有円性を明らかにした。次に、翼前縁部へのフィルム冷却の

適用を目的として、円柱および半円柱前縁部の平板翼モデルを用いた実験を行ない、吹出し流量特性と吹出し孔径・位置の関係および、フィルム冷却性能と吹出し孔配列の関係を明らかにした。平板を用いた円孔列吹出しフィルム冷却の実験により、吹出し流の速度分布および乱れが主流との混合過程を変化させ、冷却効率の分布が異なること、また多列吹出しでは、多列化の効果が、重ね合わせの理論で説明出来ることを明らかにしている。これらの基礎的な結果を用いて設計した、14列の吹出しによる多孔列フィルム冷却翼によって、4.5%の設計冷却空気流量で平均冷却効率0.7以上の性能を得ることが出来た。

この研究の結果、フィルムの有効な適用法を示し、フィルム冷却翼設計法の確立のために資料を提供した。

### 4. Evaluation of the Properties of GT Blade Materials in Long-Term Operation

三菱重工業 薄田 寛, 辻 一郎, 河合 久孝, 伊藤 眸

ガスタービンの動翼や静翼等の高温部材に使用される超耐熱合金は、高温で長時間使用されると金属組織が変化し、それに伴って強度やじん性が変化する。従ってガスタービンの信頼性をより一層向上させるためには、上記の高温部材の長時間使用過程における材質変化の挙動を十分把握し評価しておく必要がある。

そこで著者らは、ガスタービン翼材として広く使用されている4種類のNi基超耐熱合金 Inconel 700, Inconel X-750, Udimet 520 及び Udimet 710 について、実験室的に700~950℃で最長10,000hまでの加熱を施した後、加熱過程における金属組織及び機械的性質の変化を検討すると共に、実機での長時間使用材についても同様の調査を行い、それらを総合的に比較評価し、次の結果

を得た。

- (1) 高温長時間の使用中に、金属間化合物  $\gamma'$  相や炭化物等の析出相の凝集・粗大化が起り、それに伴ってクリープ破断性質や衝撃性質等が低下する等、組織と強度の相関を系統的かつ定量的に明らかにした。
- (2) 使用過程における材質評価試験項目としては、短時間クリープ破断性質、衝撃性質及び金属組織が適当である等、安全運転のための材質評価に対する考え方を示した。
- (3) 長時間の使用により低下した材質は、適切な時期に再熱処理を施すことによりほぼ使用前の材質レベルに回復させることができる等、翼材の経済的利用方法についても明らかにした。

### 5. 連続流燃焼器に関する研究（一次燃焼への二次空気の影響）

慶応大学 中村 直, 伊藤 法彦, 川口 修, 佐藤 豪

連続流燃焼器は、ガスタービンのみでなく、工業用バーナにも技術移転される傾向にあり、より広い作動条件の下で、燃焼効率をより高く保ち、有害排気成分を低減することが要求されている。

これらの要求と作動条件との関係を明らかにすることは、きわめて重要であるが、燃焼器内は旋回流を伴う乱流燃焼のため、十分に解析が進んでいるとはいえない。

そこで著者らは、火炎の保持と主要燃焼反応が行われる一次燃焼領域に注目し、最適設計に必要な資料を提供することを試みてきた。

本論文では、二次空気の挙動や、その燃焼反応に及ぼす具体的な影響について、実験的な研究がほとんど行われていない点に注目し、これらの点を体系的、総合的に実験によって解明した。すなわち、石英製の直流缶型燃焼器に、著者らが他の

研究で求めた最適位置で、1列の二次空気孔を設け、二次空気量、一次空気量、一次空燃比、旋回度、一次・二次空気量配分を変数として、Arトレーサ法により二次空気の流入経路やその量を測定し、循環流領域内の滞留時間、イオン濃度分布、燃焼ガスの温度および組成の分布、排気のE.I.および燃焼効率などの測定と対応づけて、二次空気による一次燃焼領域への影響を明らかにした。

その結果、二次空気による燃焼反応の促進は、酸素の供給のみでなく、乱れ強さの増大による反応ガス相互の混合の促進によること、二次空気の流入量には最適値があること、またこれらは一次空気量、一次空燃比、旋回度などの条件と密接に関連することなどが明らかとなり、最適設計への一指針となるものと考えられる。

#### 技術賞

#### 1. 航空機用ファンジェットエンジンの研究開発

航空機用ジェットエンジン研究組合 永野 治  
航空宇宙技術研究所 松木 正勝, 鳥崎 忠雄

FJR 710 ターボファンエンジンは、次の様な特徴を持った日本最初の国産の大型ターボファンエンジンです。即ち、

- (1) 1980年代のエンジンにふさわしい低騒音
- (2) 有害な排気成分が少なく煙を出さない
- (3) 燃料経済性のすぐれた省エネルギー型
- (4) 国情に適した頻繁な離陸に耐え信頼性が高い
- (5) 保守点検が容易で整備性がよい

そして、このエンジンの性能諸元は次の通りです。

推 力 (kg)	地上静止	推 力	5100
	燃費率 (kg/kg/Hr)	高度 7600 m	燃費率
騒 音		飛行マッハ数 0.75	推 力
	排 気	FAAのFRA36規定値 (Stage 2) -10 EPNdB (機体搭載時)	燃費率
基 準 パラメータ	ファン圧力比	1.475	
	全体圧力比	18.9	
	タービン入口温度	1250℃ (燃焼器 出口平均温度)	
	バイパス比	5.78	

### 5. 連続流燃焼器に関する研究（一次燃焼への二次空気の影響）

慶応大学 中村 直, 伊藤 法彦, 川口 修, 佐藤 豪

連続流燃焼器は、ガスタービンのみでなく、工業用バーナにも技術移転される傾向にあり、より広い作動条件の下で、燃焼効率をより高く保ち、有害排気成分を低減することが要求されている。

これらの要求と作動条件との関係を明らかにすることは、きわめて重要であるが、燃焼器内は旋回流を伴う乱流燃焼のため、十分に解析が進んでいるとはいえない。

そこで著者らは、火炎の保持と主要燃焼反応が行われる一次燃焼領域に注目し、最適設計に必要な資料を提供することを試みてきた。

本論文では、二次空気の挙動や、その燃焼反応に及ぼす具体的な影響について、実験的な研究がほとんど行われていない点に注目し、これらの点を体系的、総合的に実験によって解明した。すなわち、石英製の直流缶型燃焼器に、著者らが他の

研究で求めた最適位置で、1列の二次空気孔を設け、二次空気量、一次空気量、一次空燃比、旋回度、一次・二次空気量配分を変数として、Arトレーサ法により二次空気の流入経路やその量を測定し、循環流領域内の滞留時間、イオン濃度分布、燃焼ガスの温度および組成の分布、排気のE.I.および燃焼効率などの測定と対応づけて、二次空気による一次燃焼領域への影響を明らかにした。

その結果、二次空気による燃焼反応の促進は、酸素の供給のみでなく、乱れ強さの増大による反応ガス相互の混合の促進によること、二次空気の流入量には最適値があること、またこれらは一次空気量、一次空燃比、旋回度などの条件と密接に関連することなどが明らかとなり、最適設計への一指針となるものと考えられる。

#### 技術賞

#### 1. 航空機用ファンジェットエンジンの研究開発

航空機用ジェットエンジン研究組合 永野 治  
航空宇宙技術研究所 松木 正勝, 鳥崎 忠雄

FJR 710 ターボファンエンジンは、次の様な特徴を持った日本最初の国産の大型ターボファンエンジンです。即ち、

- (1) 1980年代のエンジンにふさわしい低騒音
- (2) 有害な排気成分が少なく煙を出さない
- (3) 燃料経済性のすぐれた省エネルギー型
- (4) 国情に適した頻繁な離陸に耐え信頼性が高い
- (5) 保守点検が容易で整備性がよい

そして、このエンジンの性能諸元は次の通りです。

推 力 (kg)	地上静止	推 力	5100	
	燃費率 (kg/kg/Hr)	高度 7600 m	燃費率	0.374
騒 音		飛行マッハ数 0.75	推 力	1350
	排 気	FAAのFRA36規定値 (Stage 2)	燃費率	0.68
基 準 パラメータ		-10 EPNdB (機体搭載時)	EPAの1981年規制目標値以下	
	ファン圧力比	1.475		
	全体圧力比	18.9		
	タービン入口温度	1250℃ (燃焼器 出口平均温度)		
	バイパス比	5.78		

このエンジンは今までに9台製作され、全運転時間は約3,300時間で、その中には、性能・機能、耐久、環境適応、高空性能等の試験が含まれてい

る。そして、このエンジンは、航空宇宙技術研究所で開発しているSTOL機に搭載される。そのためのエンジンを製作中である。

## 2. 発電用300馬力級小形ガスタービンの開発

川崎重工業 大槻幸雄, 星野昭史, 長田達男,  
阪口哲也, 西山幸夫

ガスタービンが軽量小形、高出力、更に機械力学的に簡単で、応用さえ適確であれば、小出力の産業用の分野において、将来の原動機として必ず脚光を浴びるであろうとの予測のもとに、このガスタービンは発電設備用に、高性能、低価格をねらって開発したものである。

設計から始めて独自の技術で開発し、使用せる部品は補機を含めて純国産品である。また、単車エンジンの開発方法を取り入れた。

単純開放サイクル一軸式ガスタービンで、主要構造は2段遠心式圧縮機、単筒缶形燃焼器、2段

軸流式タービンである。高性能をねらい、圧力比8、タービン入口温度960℃、また軽量小形とするため回転数は53,000 rpmと高くとった。保守点検容易のため単筒缶形燃焼器とした。

出力310 PS (ISO規準)、燃料消費率330 g/PS・h、乾燥重量90 kg (除減速機)である。

このガスタービンを用いた発電設備は、軽量小形、冷却水不要、起動確実、耐久信頼性大、電気特性優秀、過負荷耐量大、モーター投入能力大、塵埃に強く、またガスを含め多種の燃料を使用することができる。

## 3. ガスタービン利用によるアンモニアプラントの省エネルギー

石川島播磨重工業 岩元紀昭, 大塚敬介, 宇治茂一,  
青木克彰, 水野光春

近年、ガスタービンはトータルエネルギーシステムの一翼を担う原動機として高い評価を得ている。

本技術は、このガスタービンの長所を比較的簡単なシステムで最大限に生かすものとして計画され、10,000 kW級 IHI-SULZER S7形ガスタービンを旭化成工業株式会社水島アンモニア工場に設置し、プロセス空気圧縮機駆動用として使用するとともに、同ガスタービンの排出ガスを一次改質炉の熱源の一部として利用することにより、アンモニアプラントの一次改質炉セクションとして約20%の省エネルギーを実現した。

本技術において、ガスタービンは化学プラントの主要装置の一つとして組込まれるため、ガスタービンの非常停止が関連プラントに及ぼす影響は多大なものがあり、したがって、ガスタービンの

各構成機器および付属装置に対して種々の検討が加えられ、信頼性の向上が図られた。また、省エネルギー効果を最大限に生かすため、ガスタービンと加熱炉の適合性の検討により、運転条件の最適化がなされた。さらに、プラントにおいて副製される発熱量の異なる二種類のガスをガスタービン燃料として利用すること、NO<sub>x</sub>低減対策として燃料ガスに水蒸気を混合して噴射すること等も本技術の特色となるものである。

本技術は、わが国における最初の試みであり、ガスタービンの高い省エネルギー性および高い信頼性を実証するものである。

このエンジンは今までに9台製作され、全運転時間は約3,300時間で、その中には、性能・機能、耐久、環境適応、高空性能等の試験が含まれてい

る。そして、このエンジンは、航空宇宙技術研究所で開発しているSTOL機に搭載される。そのためのエンジンを製作中である。

## 2. 発電用300馬力級小形ガスタービンの開発

川崎重工業 大槻幸雄, 星野昭史, 長田達男,  
阪口哲也, 西山幸夫

ガスタービンが軽量小形、高出力、更に機械力学的に簡単で、応用さえ適確であれば、小出力の産業用の分野において、将来の原動機として必ず脚光を浴びるであろうとの予測のもとに、このガスタービンは発電設備用に、高性能、低価格をねらって開発したものである。

設計から始めて独自の技術で開発し、使用せる部品は補機を含めて純国産品である。また、単車エンジンの開発方法を取り入れた。

単純開放サイクル軸式ガスタービンで、主要構造は2段遠心式圧縮機、単筒缶形燃焼器、2段

軸流式タービンである。高性能をねらい、圧力比8、タービン入口温度960℃、また軽量小形とするため回転数は53,000 rpmと高くとった。保守点検容易のため単筒缶形燃焼器とした。

出力310 PS (ISO規準)、燃料消費率330 g/PS・h、乾燥重量90 kg (除減速機)である。

このガスタービンを用いた発電設備は、軽量小形、冷却水不要、起動確実、耐久信頼性大、電気特性優秀、過負荷耐量大、モーター投入能力大、塵埃に強く、またガスを含め多種の燃料を使用することができる。

## 3. ガスタービン利用によるアンモニアプラントの省エネルギー

石川島播磨重工業 岩元紀昭, 大塚敬介, 宇治茂一,  
青木克彰, 水野光春

近年、ガスタービンはトータルエネルギーシステムの一翼を担う原動機として高い評価を得ている。

本技術は、このガスタービンの長所を比較的簡単なシステムで最大限に生かすものとして計画され、10,000 kW級 IHI-SULZER S7形ガスタービンを旭化成工業株式会社水島アンモニア工場に設置し、プロセス空気圧縮機駆動用として使用するとともに、同ガスタービンの排出ガスを一次改質炉の熱源の一部として利用することにより、アンモニアプラントの一次改質炉セクションとして約20%の省エネルギーを実現した。

本技術において、ガスタービンは化学プラントの主要装置の一つとして組込まれるため、ガスタービンの非常停止が関連プラントに及ぼす影響は多大なものがあり、したがって、ガスタービンの

各構成機器および付属装置に対して種々の検討が加えられ、信頼性の向上が図られた。また、省エネルギー効果を最大限に生かすため、ガスタービンと加熱炉の適合性の検討により、運転条件の最適化がなされた。さらに、プラントにおいて副製される発熱量の異なる二種類のガスをガスタービン燃料として利用すること、NO<sub>x</sub>低減対策として燃料ガスに水蒸気を混合して噴射すること等も本技術の特色となるものである。

本技術は、わが国における最初の試みであり、ガスタービンの高い省エネルギー性および高い信頼性を実証するものである。

このエンジンは今までに9台製作され、全運転時間は約3,300時間で、その中には、性能・機能、耐久、環境適応、高空性能等の試験が含まれてい

る。そして、このエンジンは、航空宇宙技術研究所で開発しているSTOL機に搭載される。そのためのエンジンを製作中である。

## 2. 発電用300馬力級小形ガスタービンの開発

川崎重工業 大槻幸雄, 星野昭史, 長田達男,  
阪口哲也, 西山幸夫

ガスタービンが軽量小形、高出力、更に機械力学的に簡単で、応用さえ適確であれば、小出力の産業用の分野において、将来の原動機として必ず脚光を浴びるであろうとの予測のもとに、このガスタービンは発電設備用に、高性能、低価格をねらって開発したものである。

設計から始めて独自の技術で開発し、使用せる部品は補機を含めて純国産品である。また、単車エンジンの開発方法を取り入れた。

単純開放サイクル軸式ガスタービンで、主要構造は2段遠心式圧縮機、単筒缶形燃焼器、2段

軸流式タービンである。高性能をねらい、圧力比8、タービン入口温度960℃、また軽量小形とするため回転数は53,000 rpmと高くとった。保守点検容易のため単筒缶形燃焼器とした。

出力310 PS (ISO規準)、燃料消費率330 g/PS・h、乾燥重量90 kg (除減速機)である。

このガスタービンを用いた発電設備は、軽量小形、冷却水不要、起動確実、耐久信頼性大、電気特性優秀、過負荷耐量大、モーター投入能力大、塵埃に強く、またガスを含め多種の燃料を使用することができる。

## 3. ガスタービン利用によるアンモニアプラントの省エネルギー

石川島播磨重工業 岩元紀昭, 大塚敬介, 宇治茂一,  
青木克彰, 水野光春

近年、ガスタービンはトータルエネルギーシステムの一翼を担う原動機として高い評価を得ている。

本技術は、このガスタービンの長所を比較的簡単なシステムで最大限に生かすものとして計画され、10,000 kW級 IHI-SULZER S7形ガスタービンを旭化成工業株式会社水島アンモニア工場に設置し、プロセス空気圧縮機駆動用として使用するとともに、同ガスタービンの排出ガスを一次改質炉の熱源の一部として利用することにより、アンモニアプラントの一次改質炉セクションとして約20%の省エネルギーを実現した。

本技術において、ガスタービンは化学プラントの主要装置の一つとして組込まれるため、ガスタービンの非常停止が関連プラントに及ぼす影響は多大なものがあり、したがって、ガスタービンの

各構成機器および付属装置に対して種々の検討が加えられ、信頼性の向上が図られた。また、省エネルギー効果を最大限に生かすため、ガスタービンと加熱炉の適合性の検討により、運転条件の最適化がなされた。さらに、プラントにおいて副製される発熱量の異なる二種類のガスをガスタービン燃料として利用すること、NO<sub>x</sub>低減対策として燃料ガスに水蒸気を混合して噴射すること等も本技術の特色となるものである。

本技術は、わが国における最初の試みであり、ガスタービンの高い省エネルギー性および高い信頼性を実証するものである。



#### 4. 50,000 馬力級ガスタービン

石川島播磨重工業 竹生 健二, 志村 安永,  
鈴木 章夫, 青木 千明

石油ショックを契機として原動機の省エネルギーが重視されてきた中で、本機は既に実績ある航空エンジンをガス発生機として採用し、それと結合する出力タービンを開発することにより、従来のガスタービンの熱効率が単純サイクルで30%程度であったものを一気に三割も改善した高効率ガスタービンとして実用化したものである。

ガス発生機は米国General Electric社のCF6-50エンジンを同社が産業用に転用したものであり、出力タービンはIHI独自の開発になるもので、その仕様はタービン軸端にて出力38MW、熱効率38.5%(ISO規準)である。

出力タービンは発電用のみでなく他の機械駆動用にも適用すべく広い回転数範囲にわたり高効率

を維持し得る様、動翼の先端にフィン付シュラウドを有する三段構成とした。また広い使用回転数域において有害な動翼の共振を避けるため上記シュラウドをZ形とし、かつ実機による振動応力確認試験を実施してその安全性を確かめた。

更に本機は、同時に開発された水噴射装置により、排ガス中の窒素酸化物を150ppm(4%O<sub>2</sub>換算)以下に保持することができ、ガスタービンの騒音処理技術とあいまって低公害化を図っている。

本機は航空エンジンの特徴を活かして軽量・コンパクトにまとめることができ、地域発電、遠隔地発電、洋上発電にも適しており、既にその分野において25,000時間の運転実績を重ねている。

#### 5. 141 MW コンバインドサイクル発電設備

日本国有鉄道 長友 龍男, 御園生 芳之,  
浅野 正晴  
日立製作所 久保田 道雄, 荒川 忠男

川崎発電所旧1号(60MW, 昭和33年運開)の取替設備として、高効率、容量増大、環境保全等の観点より検討した結果、排熱回収型コンバインドプラントの採用を決定した。この発電設備は97MWガスタービンとその排熱回収サイクルの44MW蒸気タービンとを組み合わせ、最新鋭汽力設備に匹敵する熱効率40.1%を有する。

毎日起動停止する電鉄負荷特有の条件に対応して、ガスタービンの特性を生かして起動時間60分以内とするとともに全自動化を図っている。

環境保全対策としてガスタービンに水噴射方式を採用しかつ排熱回収ボイラ中に排煙脱硝装置を組み込む世界で初めての方式を開発した。

昭和56年4月営業運転開始以来本年3月迄の1年間の運転実績は運転時間4300時間、起動停止300回を記録している。その間の熱効率は発電

端38.4%、送電端37.8%となっており、同容量汽力設備の熱効率に比較して相対値で約15%凌駕している。最新鋭大容量汽力に比しても優るとも劣らぬ熱効率を達成しており、コンバインドサイクル発電設備は高効率であることを実証している。

本発電設備が順調に運転されていることは、今後コンバインドサイクル発電設備の導入に一層の拍車がかかるものと期待している。

#### 4. 50,000 馬力級ガスタービン

石川島播磨重工業 竹生 健二, 志村 安永,  
鈴木 章夫, 青木 千明

石油ショックを契機として原動機の省エネルギーが重視されてきた中で、本機は既に実績ある航空エンジンをガス発生機として採用し、それと結合する出力タービンを開発することにより、従来のガスタービンの熱効率が単純サイクルで30%程度であったものを一気に三割も改善した高効率ガスタービンとして実用化したものである。

ガス発生機は米国General Electric社のCF6-50エンジンを同社が産業用に転用したものであり、出力タービンはIHI独自の開発になるもので、その仕様はタービン軸端にて出力38MW、熱効率38.5%(ISO規準)である。

出力タービンは発電用のみでなく他の機械駆動用にも適用すべく広い回転数範囲にわたり高効率

を維持し得る様、動翼の先端にフィン付シュラウドを有する三段構成とした。また広い使用回転数域において有害な動翼の共振を避けるため上記シュラウドをZ形とし、かつ実機による振動応力確認試験を実施してその安全性を確かめた。

更に本機は、同時に開発された水噴射装置により、排ガス中の窒素酸化物を150ppm(4%O<sub>2</sub>換算)以下に保持することができ、ガスタービンの騒音処理技術とあいまって低公害化を図っている。

本機は航空エンジンの特徴を活かして軽量・コンパクトにまとめることができ、地域発電、遠隔地発電、洋上発電にも適しており、既にその分野において25,000時間の運転実績を重ねている。

#### 5. 141 MW コンバインドサイクル発電設備

日本国有鉄道 長友 龍男, 御園生 芳之,  
浅野 正晴  
日立製作所 久保田 道雄, 荒川 忠男

川崎発電所旧1号(60MW, 昭和33年運開)の取替設備として、高効率、容量増大、環境保全等の観点より検討した結果、排熱回収型コンバインドプラントの採用を決定した。この発電設備は97MWガスタービンとその排熱回収サイクルの44MW蒸気タービンとを組み合わせ、最新鋭汽力設備に匹敵する熱効率40.1%を有する。

毎日起動停止する電鉄負荷特有の条件に対応して、ガスタービンの特性を生かして起動時間60分以内とするとともに全自動化を図っている。

環境保全対策としてガスタービンに水噴射方式を採用しかつ排熱回収ボイラ中に排煙脱硝装置を組み込む世界で初めての方式を開発した。

昭和56年4月営業運転開始以来本年3月迄の1年間の運転実績は運転時間4300時間、起動停止300回を記録している。その間の熱効率は発電

端38.4%、送電端37.8%となっており、同容量汽力設備の熱効率に比較して相対値で約15%凌駕している。最新鋭大容量汽力に比しても優るとも劣らぬ熱効率を達成しており、コンバインドサイクル発電設備は高効率であることを実証している。

本発電設備が順調に運転されていることは、今後コンバインドサイクル発電設備の導入に一層の拍車がかかるものと期待している。

## 6. 小型自動車用ターボ過給機の開発

日立製作所 内山 恭一, 安藤 弘之, 岡崎 勉,  
吉岡 正博, 水本 宗男

自動車のエンジン出力向上と省燃費実現のため、最近、ターボ過給機が乗用車にも装備されるようになってきた。乗用車用ターボ過給機は小型・軽量であることが必要であり、さらにエンジン低速回転域で高い過給圧力を実現することが望まれている。このため高速回転によって小型・軽量化を図った二機種 of ターボ過給機を開発した。新たに開発したターボ過給機はエンジン排気量 1000~1500 cc と 400~1000 cc にそれぞれ適用可能な HT10 と HT07 の二機種である。

HT10 の最高回転速度は 20 万 rpm であり重量は 3 kg (排気バイパス弁なしの場合) である。軸振動解析、フローティングブッシュ軸受の最適化高速回転でも有効なシール構造の開発等によって

本機の高速度回転は実現され、これによって従来機種に比較して約 30% の軽量化を達成している。また、乗用車向として高い総合効率と広い作動範囲を確保するため、コンプレッサではバックワード羽根車の採用、タービンではエンジン低速回転域に適合する性能開発さらに軸受損失の低減等の対策を講じ高い総合効率 (40~50%) を実現している。

HT07 では小排気量用の超小型羽根車 (直径 40 mm 以下) の作動を実現するために HT10 よりさらに高速回転化を進め、最高回転速度 24 万 rpm, 重量 2.1 kg を実現した。これらの自動車用小型ターボ過給機を早期に完成したことによって小型エンジンのターボ過給化の推進に寄与することができた。

## 7. 新型ターボチャージャ開発による大型トラック用ディーゼルエンジンの燃費率低減

日野自動車工業 大谷 哲也, 上光 勲, 佐藤 明彦  
石川島播磨重工業 清水 正三, 原田 喜代治

大型トラックの燃費率低減方策として従来見過ごされていた摩擦損失低減に着目した。即ち、摩擦損失はエンジン排気量に比例するため、可能な限り小排気量とし、高い過給度とすることが基本的なコンセプトである。この実現のためには過給機の性能向上と同時に過給エンジンの欠点、即ち加速性不良、エンジンブレーキ力不足、軽負荷域での燃費率の悪化など日本の運行状態において特に重要な問題点を解決する必要がある。まず、過給機は広い回転域、負荷域で効率が良く、かつ高い圧力比並びに空気量を得るためにブロワ・インペラのバックワード角、レーク角を極めて大きくした。このため一般にはインペラ径を増加する必要があるが、回転数の向上で対処することに成功した。タービンもこのブロワにマッチさせ、ブロワ効率 78%、タービン効率 73% を得、従来に比べ 5~10% の向上を果した。高周速に対処する方策

としては、インペラに特殊アルミ合金を採用し、さらに車両使用条件を反映した疲労サイクルテストにより信頼性を確保した。この過給機と空冷式インタクーラの採用によって僅か、8.8 l の排気量で 285 PS の出力と全負荷最小燃費率 148 g/PS・h を得た。加速性能に対しては同調回転域を走行条件にマッチさせる可変式慣性過給を、エンジンブレーキ力対策としてはギロチン式排気ブレーキなどの新技術を投入した。さらに電子制御式燃料噴射装置、クーリングチャンネル付ピストンなどの採用と相まって、動力性能、信頼性共に従来以上のものとなった。以上の技術は石川島播磨重工 RHC 7 型過給機、日野自動車工業 EP100 型エンジンとして結実し、10 トントラックの分野において高速走行時 30%、一般走行時 22% 以上の走行燃費改善を達成した。

## 6. 小型自動車用ターボ過給機の開発

日立製作所 内山 恭一, 安藤 弘之, 岡崎 勉,  
吉岡 正博, 水本 宗男

自動車のエンジン出力向上と省燃費実現のため、最近、ターボ過給機が乗用車にも装備されるようになってきた。乗用車用ターボ過給機は小型・軽量であることが必要であり、さらにエンジン低速回転域で高い過給圧力を実現することが望まれている。このため高速回転によって小型・軽量化を図った二機種 of ターボ過給機を開発した。新たに開発したターボ過給機はエンジン排気量 1000~1500 cc と 400~1000 cc にそれぞれ適用可能な HT10 と HT07 の二機種である。

HT10 の最高回転速度は 20 万 rpm であり重量は 3 kg (排気バイパス弁なしの場合) である。軸振動解析、フローティングブッシュ軸受の最適化高速回転でも有効なシール構造の開発等によって

本機の高速度回転は実現され、これによって従来機種に比較して約 30% の軽量化を達成している。また、乗用車向として高い総合効率と広い作動範囲を確保するため、コンプレッサではバックワード羽根車の採用、タービンではエンジン低速回転域に適合する性能開発さらに軸受損失の低減等の対策を講じ高い総合効率 (40~50%) を実現している。

HT07 では小排気量用の超小型羽根車 (直径 40 mm 以下) の作動を実現するために HT10 よりさらに高速回転化を進め、最高回転速度 24 万 rpm, 重量 2.1 kg を実現した。これらの自動車用小型ターボ過給機を早期に完成したことによって小型エンジンのターボ過給化の推進に寄与することができた。

## 7. 新型ターボチャージャ開発による大型トラック用ディーゼルエンジンの燃費率低減

日野自動車工業 大谷 哲也, 上光 勲, 佐藤 明彦  
石川島播磨重工業 清水 正三, 原田 喜代治

大型トラックの燃費率低減方策として従来見過ごされていた摩擦損失低減に着目した。即ち、摩擦損失はエンジン排気量に比例するため、可能な限り小排気量とし、高い過給度とすることが基本的なコンセプトである。この実現のためには過給機の性能向上と同時に過給エンジンの欠点、即ち加速性不良、エンジンプレーキ力不足、軽負荷域での燃費率の悪化など日本の運行状態において特に重要な問題点を解決する必要がある。まず、過給機は広い回転域、負荷域で効率が良く、かつ高い圧力比並びに空気量を得るためにブロワ・インペラのバックワード角、レーク角を極めて大きくした。このため一般にはインペラ径を増加する必要があるが、回転数の向上で対処することに成功した。タービンもこのブロワにマッチさせ、ブロワ効率 78%、タービン効率 73% を得、従来に比べ 5~10% の向上を果した。高周速に対処する方策

としては、インペラに特殊アルミ合金を採用し、さらに車両使用条件を反映した疲労サイクルテストにより信頼性を確保した。この過給機と空冷式インタクーラの採用によって僅か、8.8 l の排気量で 285 PS の出力と全負荷最小燃費率 148 g/PS・h を得た。加速性能に対しては同調回転域を走行条件にマッチさせる可変式慣性過給を、エンジンプレーキ力対策としてはギロチン式排気ブレーキなどの新技術を投入した。さらに電子制御式燃料噴射装置、クーリングチャンネル付ピストンなどの採用と相まって、動力性能、信頼性共に従来以上のものとなった。以上の技術は石川島播磨重工 RHC 7 型過給機、日野自動車工業 EP100 型エンジンとして結実し、10 トントラックの分野において高速走行時 30%、一般走行時 22% 以上の走行燃費改善を達成した。

### 8. 自動車用超小型ターボチャージャの開発

三菱重工業 林 雅一, 秋田 宏,  
西田 利弘, 辻村 玄隆,  
岡崎 洋一郎

エネルギー事情の急変を契機に、自動車に小排気量エンジンをターボ過給して省エネルギー、省資源の要求に対応しようとするニーズが生まれた。

これを受け、当社は長年蓄積した技術を基礎に特に我が国の自動車で要求される技術的要件を集約したターボチャージャの開発に取組み、世界に先駆けて、超小形ターボチャージャ・シリーズの実用化に成功した。これは国産技術で開発されたもので、TC 03, 04, 05, 06(翼車径 30~60mmクラス)の4機種で構成されている。

特長としては、(1)自動車部品として要求される高い信頼性の確保に重点をおきながら徹底的に小

形、軽量化を追求した設計である。(2)このクラスのターボチャージャとしては高い水準の空力的性能をもっており、これは過去にできなかった超小形ターボチャージャの製品化を可能にした鍵の一つである。(3)部品点数を最少にし構造の単純化に留意すると共に生産性も十分に考慮した設計である。(4)部品の徹底的な共通化、標準化により生産性とサービス性の向上を図った。

現在、このシリーズは650~2,600 ccの乗用車、オートバイを主体に20万台以上が市場に投入され、その性能と信頼性に対し高い評価を得ながら、省エネルギー、省資源に貢献している。

### 9. 14 MW 2 軸ガスタービンの開発

三井造船 白戸 健, 長嶋 義悟,  
表 義則, 高木 圭二,  
山根 猛

中容量で航空転用型ガスタービンに匹敵する高熱効率の産業用2軸ガスタービンである。長寿命で保守に手間がかからず多用途で多種燃料の使用が出来る。

主要目		
最大出力	14MW	効率 31%
T入口温度	1031℃	圧力比 13
圧縮機	16段(前6段静翼可変)	
高圧タービン	2段片持ち(初段動静翼, 中子挿入強制冷却翼)	
出力タービン	2段片持ち	5,680 rpm
燃焼器	単缶逆流型	

転が出来る。中子と翼母材との拡散接合及び超耐熱鋼溶接技術の確立により翼型中子を翼上部より挿入する強制空冷翼が使用出来、少量の冷却空気で翼全面の均等冷却が得られている。異種耐熱鋼の電子ビーム溶接の確立により最適材質でロータを構成する溶接組立ロータを採用している。車板側面への高温主流ガスの流入防止技術によりロータの低温、高信頼性が確立された。低カロリー(600Kcal/Nm<sup>3</sup>)ガス燃料を含む低価格の燃料の使用が出来るので高効率でコンパクトな設計と長期無開放運転と合まって保守費、運転費、建設費の少ない極めて経済的原動機が開発されたと言える。

水平分割構造で単缶燃焼器を採用の為保守点検が容易、二重ケーシング内張り保温構造の為タービンの高温化、少熱歪、低外表面温度、低騒音運

### 8. 自動車用超小型ターボチャージャの開発

三菱重工業 林 雅一, 秋田 宏,  
西田 利弘, 辻村 玄隆,  
岡崎 洋一郎

エネルギー事情の急変を契機に、自動車に小排気量エンジンをターボ過給して省エネルギー、省資源の要求に対応しようとするニーズが生まれた。

これを受け、当社は長年蓄積した技術を基礎に特に我が国の自動車で要求される技術的要件を集約したターボチャージャの開発に取組み、世界に先駆けて、超小形ターボチャージャ・シリーズの実用化に成功した。これは国産技術で開発されたもので、TC 03, 04, 05, 06(翼車径 30~60mmクラス)の4機種で構成されている。

特長としては、(1)自動車部品として要求される高い信頼性の確保に重点をおきながら徹底的に小

形、軽量化を追求した設計である。(2)このクラスのターボチャージャとしては高い水準の空力的性能をもっており、これは過去にできなかった超小形ターボチャージャの製品化を可能にした鍵の一つである。(3)部品点数を最少にし構造の単純化に留意すると共に生産性も十分に考慮した設計である。(4)部品の徹底的な共通化、標準化により生産性とサービス性の向上を図った。

現在、このシリーズは650~2,600 ccの乗用車、オートバイを主体に20万台以上が市場に投入され、その性能と信頼性に対し高い評価を得ながら、省エネルギー、省資源に貢献している。

### 9. 14 MW 2 軸ガスタービンの開発

三井造船 白戸 健, 長嶋 義悟,  
表 義則, 高木 圭二,  
山根 猛

中容量で航空転用型ガスタービンに匹敵する高熱効率の産業用2軸ガスタービンである。長寿命で保守に手間がかからず多用途で多種燃料の使用が出来る。

主要目		
最大出力	14MW	効率 31%
T入口温度	1031℃	圧力比 13
圧縮機	16段(前6段静翼可変)	
高圧タービン	2段片持ち(初段動静翼, 中子挿入強制冷却翼)	
出力タービン	2段片持ち	5,680 rpm
燃焼器	単缶逆流型	

転が出来る。中子と翼母材との拡散接合及び超耐熱鋼溶接技術の確立により翼型中子を翼上部より挿入する強制空冷翼が使用出来、少量の冷却空気で翼全面の均等冷却が得られている。異種耐熱鋼の電子ビーム溶接の確立により最適材質でロータを構成する溶接組立ロータを採用している。車板側面への高温主流ガスの流入防止技術によりロータの低温、高信頼性が確立された。低カロリー(600Kcal/Nm<sup>3</sup>)ガス燃料を含む低価格の燃料の使用が出来るので高効率でコンパクトな設計と長期無開放運転と合まって保守費、運転費、建設費の少ない極めて経済的原動機が開発されたと言える。

水平分割構造で単缶燃焼器を採用の為保守点検が容易、二重ケーシング内張り保温構造の為タービンの高温化、少熱歪、低外表面温度、低騒音運

1. まえがき

高効率ガスタービンの研究開発は、通商産業省工業技術院の省エネルギー研究開発（ムーンライト計画）の一環として、総予算約210億円、研究期間は昭和53年度より7年間として、今日まで3年有半を経過し研究開発も最盛期を迎えている。

研究開発の目標としては、ガスタービンと蒸気タービンの複合サイクルで総合効率55%以上を目標として、その中核となる低公害の高効率ガスタービン技術の確立に資するため、超高温耐熱部材の研究開発、ガスタービンの要素技術の研究開発、高効率ガスタービンの試作運転研究、環境保全実証調査及び最適トータルエネルギー供給システムの検討を行うこととしている。

超高温耐熱部材及びガスタービン要素技術の基礎的研究は国立研究機関で実施されており、民間側は主として製造技術・実用化技術を担当している。またガスタービンの試作運転研究、環境保全実証調査及び最適トータルエネルギー供給システムの研究も民間側が担当している。これらの国立及び民間の研究機関を表1に示す。

表1. 研究開発機関

通商産業省工業技術院 ムーンライト計画推進室	
国立研究機関	
工業技術院	名古屋工業技術試験所 大阪工業技術試験所 九州工業技術試験所 機械技術研究所
科学技術庁	金属材料技術研究所 航空宇宙技術研究所
民間研究機関	
東京電力株式会社（電力10社協力）	
高効率ガスタービン技術研究組合 （組合員 14社）	

（昭和57年6月3日原稿受付）

以上述べたように、研究内容は多岐にわたり、研究項目も非常に多い。したがってこれらの研究項目のすべてについて、限られた紙面の中で現状を述べることは難しいし、また例えば材料及び要素技術等については、本学会あるいは関連の学会その他で発表されているものもあるので、本稿においては高効率ガスタービンの試作運転研究の現況を中心に記述し、他の研究項目についてはその概要にふれることとした。

2. 高効率ガスタービンの試作運転研究

すでに述べたように、この研究開発は昭和53年度より開始されたが、その初年度にフィージビリティスタディを行い、種々検討の結果、蒸気・ガス複合発電プラントとして総合熱効率55%以上を目標とする場合、ガスタービン型式としてシンプルサイクルでは達成が難しいと判断し、レヒートガスタービンの選択を決定した。そして中間目標としてガス・蒸気複合発電プラントとしての総合熱効率約50%、出力100MWのパイロットプラントの試作を行うこととした。

2-1. パイロットプラントの仕様と構成機器

パイロットプラントの主な仕様を表2に示し、構成機器を表3に示す。これらの機器の主な特長としては次の通りである。

表2. パイロットプラントの仕様

型 式	レヒートガスタービン (2SC/P(1+L)P/IR)
出 力	100MW
効 率	複合発電プラントとしての総合 効率 約50% (ガスタービン単独効率 38%)
タービン入口温度	(高圧) 1300℃ (低圧) 1200℃
タービン入口圧力	54 ata
タービン排気温度	608℃
回 転 数	(高圧) 8500 rpm (低圧) 3000 rpm

表 3. パイロットプラントの構成機器

低圧圧縮機	段数 10 全段静翼可変方式
中間冷却器	水噴射直冷方式
高圧圧縮機	段数 16 IGV 可変 抽気段数 3
高圧燃焼器	缶状形 (10缶)
高圧タービン	段数 2 空冷方式
中圧タービン	段数 2
再燃焼器	缶状形 (12缶)
低圧タービン	段数 4 内2段空冷方式
吸・排気消音器	
脱硝装置	気相還元 - 触媒反応 組合せ方式
高圧起動装置	1750 kw
低圧起動装置	1900 kw

(1) 低圧圧縮機の静翼を全段可変とした。このことにより作動空気量を大幅に変えることができるので、タービン入口温度を下げることなく部分負荷運転ができるので部分負荷における効率が良い。

(2) 中間冷却器を水噴射直冷方式とした。これは熱効率の向上と NO<sub>x</sub> の低減に寄与している。

(3) 再燃焼器の前に中圧タービンを設けた。これにより再燃焼器入口ガス温度の選択の幅をもたせることができた。

(4) 脱硝装置としては、高温(約600℃)排気ガスを脱硝する方式とした。

2-2. パイロットプラントの機器配置と構造

パイロットプラントの機器配置を図1に示す。本図は左側が高圧系機器すなわち高圧圧縮機・高圧燃焼器・高圧タービン、中央部は低圧系機器す

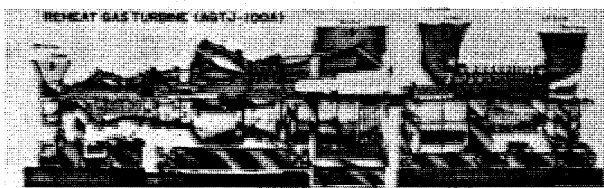


図1. 配置図

なわち中圧タービン・再燃焼器・低圧タービンで、右側は低圧圧縮機となっており、全長約19mである。また図2に全体機器配置を示す。本図では、

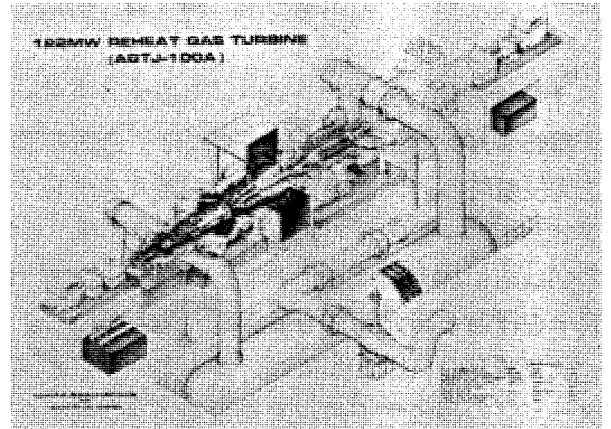


図2. 全体機器配置図

左下側が高圧系機器で、右上側が低圧系機器となっており、低圧圧縮機軸に発電機及び低圧系起動装置が連結されている。右下ピットの中に設置されているのが中間冷却器で直径4m長さ約20mであり、L型配管で低圧及び高圧圧縮機に連結されている。また3個のエキスパンションとバルブを含む配管は低圧圧縮機出口に設けられた放風管を示し、タービン排気管に連結されており、起動中及び低負荷運転中、低圧圧縮機のサージング防止のため放風する。なお、図3は高圧系機器組立図で、高圧圧縮機と高圧タービンは夫々のロータを長いタイボルトで締め一本のロータを構成している。図4は中・低圧タービン及び再燃焼器部の組立図で、両端のシャフトと4枚のディスクをボルト締めし、更に中圧タービンディスクをボルト締めしている。なお中圧タービンは中圧タービンより再燃焼器へのガスパスの設計との関連で、ロー

高圧圧縮機 HP Compressor      燃焼器 Combustor      高圧タービン HP Turbine

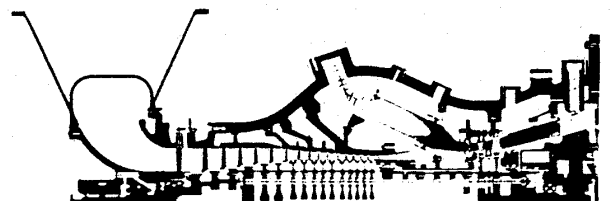


図3. 高圧系機器組立図



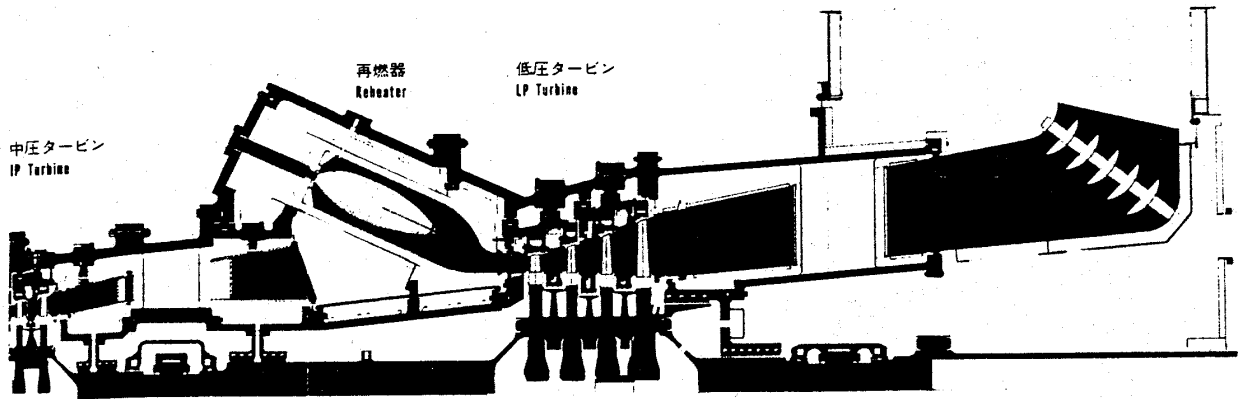


図4. 中・低圧タービン，再燃器組立図

表4. 使用材料（高温部）一覧表

高圧タービン	
ローター	IN 718
動翼	Mar M 247
静翼	IN 939
中低圧タービン	
ローター	Cr Mo V 鋼
動翼	IN 738 LC/U 520
静翼	IN 939/X 45
高圧燃焼器	HA 188
再燃焼器	HA 188

タービンはオーバーハング型式としている。表4に高温部の使用材料を示す。静翼材料の内，中圧1段，低圧3・4段はその大きさと構造上より真空鋳造が困難であるためX-45（コバルト基合金）を採用し，また低圧4段動翼のみその大きさより鍛造材料とした。

### 2-3. パイロットプラントの製作状況

パイロットプラントは昭和54年度より基本設計を開始し，昭和55年度には詳細設計・主要素材の手配を行い，昭和56年度は残りの材料手配及び加工に入り，現在加工の大半を終了し部分組立に入っている。これからひきつづき，各機器の組立を開始し，本年10月頃より三菱重工業㈱高砂製作所構内で総合組立に入り工場試運転を行う予定となっている。そして昭和58年度には東京電力㈱袖ヶ浦発電所構内で系統につなぎ試運転を実施し，環境保全実証調査が行われることになっている。主要部品の製作状況をいくつかの写真で紹介したい。まずタービン動静翼について，写真1は高圧ター

ビン第1段動翼を示す。写真2は第2段静翼を示し，強度上より2連翼となっている。高圧1段動翼（最短）及び低圧4段動翼（最長）の有効部寸法は夫々48mmと422mmである。写真3は高圧圧縮機・タービンケーシング（最大内径1885mm，肉厚約75mm），写真4は低圧ケーシング再燃焼器部（最大内径4300mm，肉厚約70mm），写真5は高圧燃焼器（内径170mm），写真6は低圧タービン4段ホール（外径約1500mm）を示す。なお写真5は燃焼試験後の状況である。

なお，パイロットプラントの試作運転について，これまでの材料・要素の研究成果を総合し，最終目標である総合熱効率55%のプロトタイププラントの研究に着手している。



写真1. 高圧1段動翼

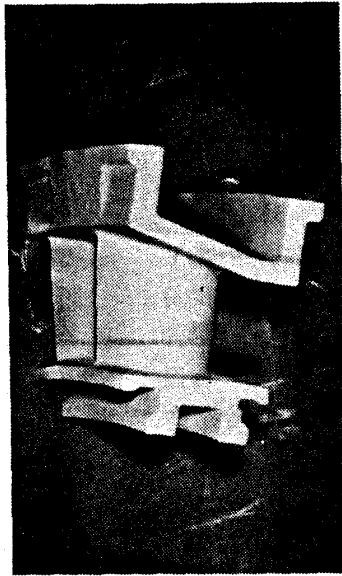


写真2. 高圧2段静翼

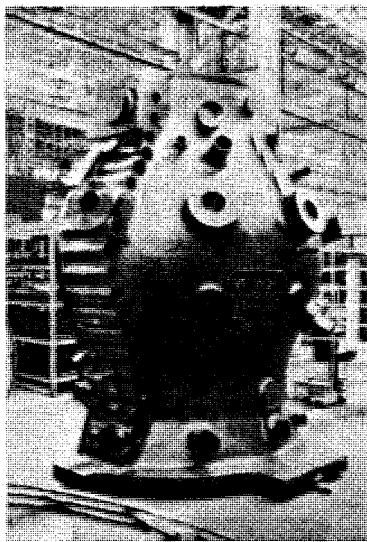


写真3. 高圧ケーシング

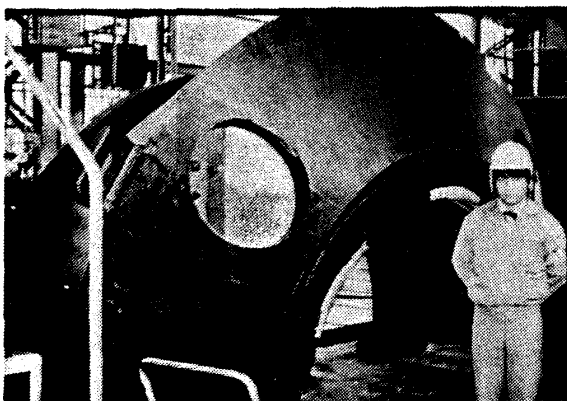


写真4. 低圧タービンケーシング

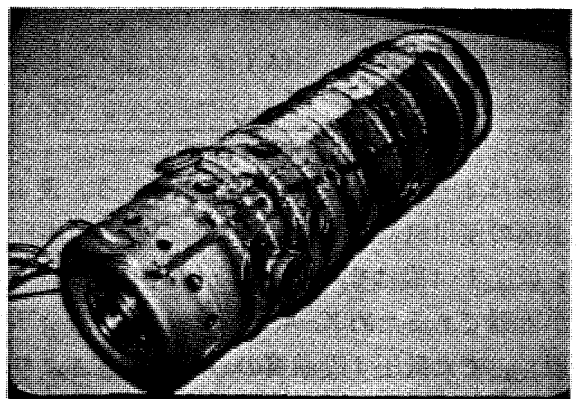


写真5. 高圧燃焼器

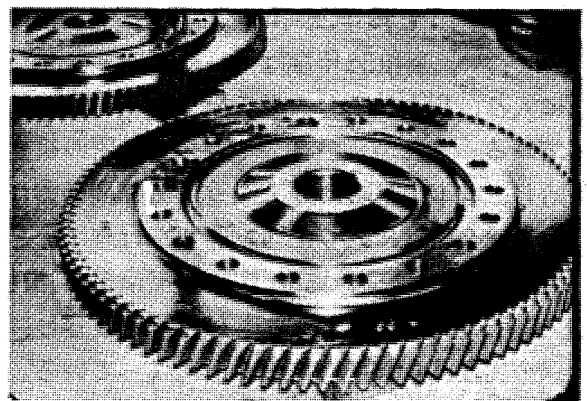


写真6. 低圧4段ローター

### 3. 超高温耐熱部材の研究開発

超高温耐熱部材（耐熱合金及び耐熱セラミックス）の研究開発は基礎的な材料の研究開発は、国立研究機関が担当し、部品の製造技術等を民間側で担当している。

3-1. 国立研究機関の研究内容 耐熱合金については、科学技術庁金属材料技術研究所が担当しており、 $\gamma'$ 析出型Ni基合金、共晶合金、被覆処理技術等について研究している。ここではその代表的研究項目として $\gamma'$ 析出型Ni基合金の開発状況について紹介する。図5は現在までに開発された合金を示す。全体的な傾向として、耐食性の優れているものは強度に劣り、強度を重視すると耐食性が劣ることを示している。これらは $\gamma'$ 量を70~75%と増加させたもので、既存合金より優れた強度を示しているが、伸び絞りが少ない傾向があるので、 $\gamma'$ 量を調整し、タングステン等による強化により、伸び絞りも充分にあり、しかも強度上も強い合金（TM185程度）が開発されている。

また一方向凝固材 (D.S.) としては、TM220 に代表される一連の合金について DS の研究が行われ、 $\gamma'$  量と組成の微量コントロールにより、例えば図 5 に TMD-5 (D.S.) で示されている合金が開発され薄肉でも健全な一方向凝固材が得られた。

耐熱セラミックスについては、工業技術院の 3 工業技術試験所が担当しており、セラミック新材料の開発と評価技術の研究を進めている。九州工業技術試験所ではサイアロンの研究を行っており、 $\beta$ -サイアロンで 1400°C で 55 kg/mm<sup>2</sup>、ワイブル分布も非常に優れているものが開発されており、高温における強度低下が非常に少ない特長を示している。破壊の発生源の解明もされているので、さらに強度の向上が期待されている。大阪工業技術試験所では繊維強化の研究を行っており、代表的なものとして Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> に SiC のウイスキーを混合したもの等があり、特に高温において、ウイスキーの強化効果が顕著である。また名古屋工業技術試験所では強度に対する評価技術の研究を行っており、曲げ試験、引張試験等について試験片の大きさの影響を調査し標準寸法を決めたり、また相互の試験結果に一定の関係があることを立証する等多くの

の成果を得ている。

3-2. 民間側研究機関の研究内容 耐熱合金部品に対する研究内容としては、金属材料技術研究所の開発合金を対象として、メルティングストックの製造技術として、成分元素特に活性元素の溶解中のコントロール、不純物元素の低減特に O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> の低減に注力している。動静翼の精鑄技術に対しては、最適鑄造条件、鑄型の製作、中子の除去、熱処理条件の研究を行い、各種形状の翼の試作を行っている。また一方向凝固翼の製造技術の研究を進めており、写真 7 は試作翼の一例でありパイロットガスタービン高圧 1 段動翼と同形状のものである。その外、HIP 処理及び特殊被覆技術についても研究を進めている。写真 8 はプラズマ溶射による翼表面へのセラミックコーティングの施行状況を示す。

更に、熱疲労試験について、一方向凝固材に対する 2 軸応力下の挙動を調べるために、特殊引張—戻り疲労試験方法を開発し試験を実施している。

耐熱セラミックス部品については、燃焼器内筒・

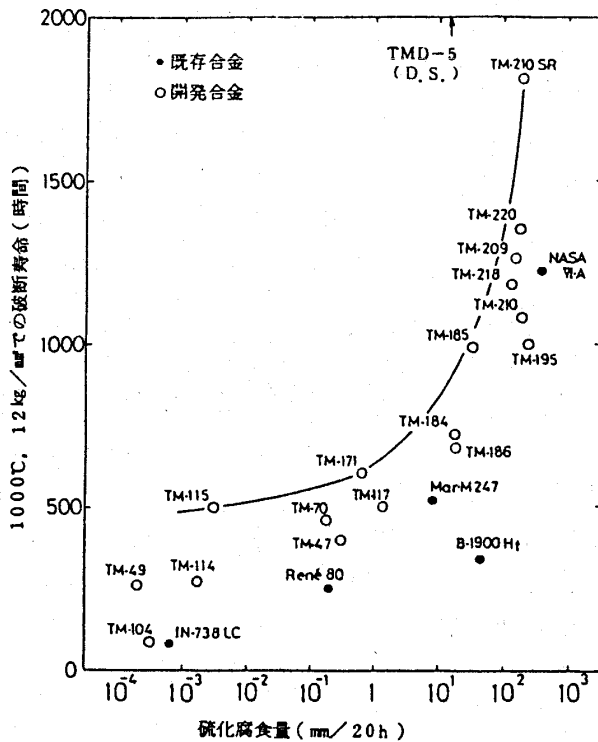


図 5. 主な開発合金のクリープ破断寿命と耐硫化腐食性

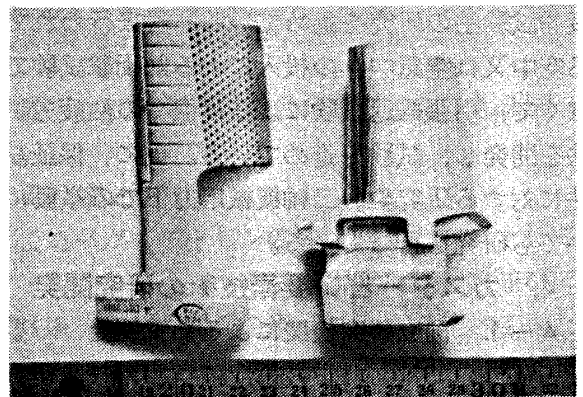


写真 7. DS 翼と中子

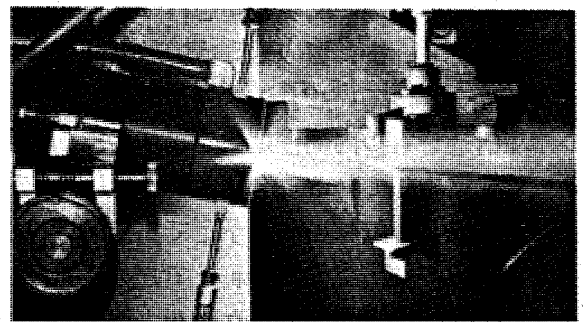


写真 8. セラミックコーティング

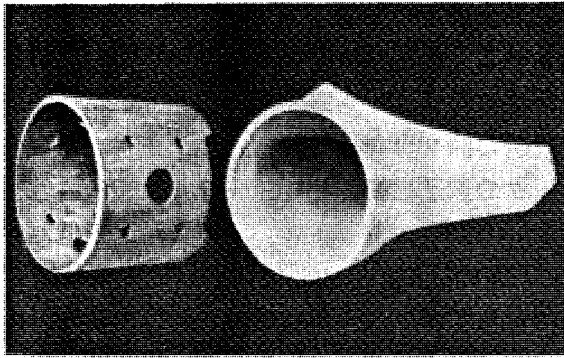


写真9. セラミック燃焼器内筒と尾筒

尾筒等の高温部品についてこれらの製造技術の研究を進めている。写真9は試作した燃焼器内筒及び尾筒の一例を示す。また写真10は金属セラミックスかん合方式による燃焼器内筒の試作品（内径90mm）を示し、同方式による尾筒の試作品とともに、常圧燃焼試験を実施し、高負荷燃焼条件においてもセラミックタイルに異常は認められず、セラミックスをガスタービン等に使用する場合の適切な実施例として注目されている。またセラミックス部品の信頼性の向上のための研究として、熱疲労試験法の研究を進めている。従来行われている空中又は空气中への投入による熱衝撃試験ではなくて、引張繰返試験による高温での熱疲労試験法を開発し、試験を進めている。更に、保証試験法に対する研究や、二軸機械応力下での挙動についても研究を行っている。

#### 4. ガスタービン要素技術の研究開発

4-1. 国立研究機関による研究開発 要素技術については、科学技術庁航空宇宙技術研究所（NAL）と工業技術院機械技術研究所が担当している。

NALでは、圧縮機についてケーシングの加熱或は冷却により翼端の間隙調整を行うことによる性能向上の研究、また翼の振動疲労破損防止に対する研究等を行っている。燃焼器については、種々の冷却構造をもつ内筒、尾筒を試作し冷却性能評価試験を実施している。今年度は、高圧燃焼試験装置が完成し、試験に入る予定で、空気源は吐出圧力57 ata、吐出空気量4kg/sで、パイロットプラントの高圧燃焼器の $\frac{1}{2}$ スケール（内径約85mm）の燃焼器の試験が可能であり、今後ガスタービン或はジェットエンジンの燃焼器等高温部の研究に

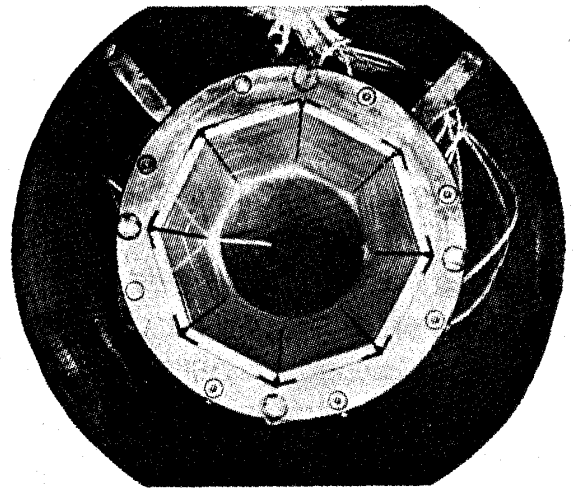


写真10. セラミック金属かん合型燃焼器

大きな成果が期待されている。タービン翼については、全面フィルム冷却、微細冷却構造方式、蒸気冷却及びセラミックコーティングを行った翼の冷却性能及び空力性能の研究が続けられている。また計装、制御については、ガスタービンの実時間シミュレーション、振動計測技術等の研究がされている。

機械技術研究所では、高圧燃焼時の火災ふく射の研究が進められている。

4-2. 民間側の研究開発 燃焼器については、パイロットガスタービンの高圧燃焼器について、常圧燃焼試験及び中圧（約10 ata）燃焼試験を実施し、一部改良を加えることによりその性能を確認した。また冷却性能の優れた積層構造板による燃焼器の試作を実施している。また触媒を用い低温で反応させる低NO<sub>x</sub>接触燃焼器の試験を実施している。

タービンについては、リターンフロー型空冷翼や精密な冷却構造をもつ翼の製作に対する拡散接合技術、またレーザーによる空冷細孔の加工法の研究を行っている。またパイロットガスタービン低圧第4段動翼について実寸法のロータ及び翼を試作し回転振動試験を行った（写真11）。

その他、中間冷却器の直接水噴射による冷却性能モデルテスト及び制御システムのシミュレーションスタディ等を行った。

特に高圧タービン及び燃焼器の研究のために高温高速タービン試験装置を製作中で本年11月より試験に入る予定である。この装置の仕様を表5に、

組立図を図6に示す。

表5. 高温高速タービン試験装置

○試験の目的	
高圧タービン及び高圧燃焼器の研究	
○仕様	
タービン	段数 2
	入口圧力 10 ata
	ガス量 約30kg/s
	圧力比 4.1
燃焼器	缶状形 (10缶)
回転数	約8500 rpm
タービン出力	約15,300 kw
動力吸収装置	水動力計

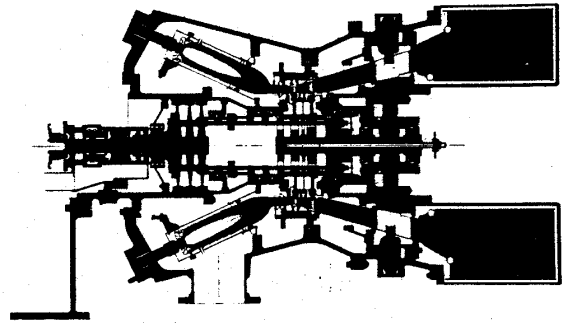


図6. 高温高速タービン試験装置

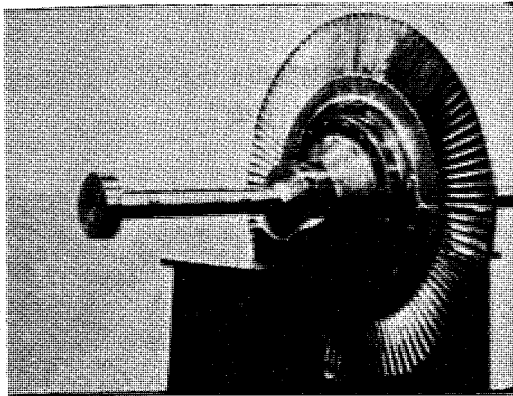


写真11. 低圧タービン4段動翼回転  
試験用ローター

## 5. 環境保全実証調査

パイロットプラントに対して、東京電力㈱で、現地試験時NO<sub>x</sub>、騒音及び振動等の環境保全実証調査が実施される。現在その測定・解析に対する準備が進められている。

## 6. 最適トータルエネルギー供給システムの検討

複合発電プラントシステムに対し、ボトムングサイクルの研究を含め、その部分負荷性能、変圧運転、台数切換運転等について検討を行っている。また熱併給を伴う場合のケーススタディを行い、最適トータルエネルギー供給システムの研究も行っている。

図7は1000MW級の複合発電所について、概念設計を行った結果の一例を示す。

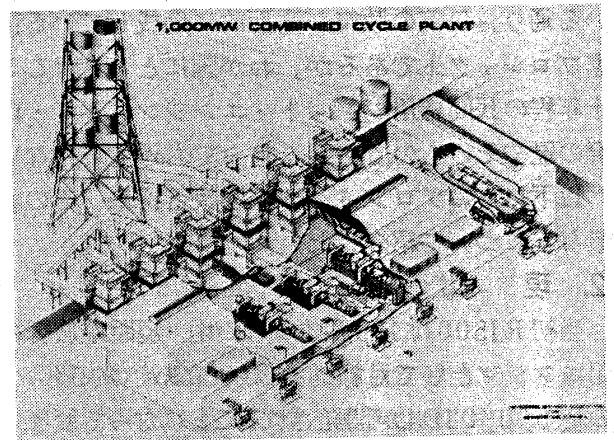


図7. 1000MW級複合発電プラント配置図

## 7. あとがき

高効率ガスタービンの研究開発の内容として、パイロットプラントの試作研究及び材料並びに要素技術等の研究開発の現状について述べてきたが、パイロットプラントはいよいよ総組立、試運転に入らんとしており、材料・要素技術等についても研究の後半を迎え成果を期待される時期に入っている。

工業技術院のご指導のもとに、官民の研究機関の協力によって推進しているこの高効率ガスタービンの研究開発は国外でも非常に注目している。関係者各位のご指導とご鞭達を心よりお願いする次第である。

石川島播磨重工業 今井 兼一郎

## 1. はじめに

ここ数年来わが国が英国 Rolls-Royce 社と共同で進めて来ている民間旅客機用ターボファン・エンジン R J 500 計画の現状について紹介したい。

この計画は通称 XJB (X = Experimental ; 試作, J = Japan, B = Britain) とわが国では呼ばれている通り, 日英の政府が全面的に助成している国家プロジェクトであるが, わが国にとってはここ十年程の民間機用ジェット・エンジンの進歩・開発の歴史そのものであると言っても過言ではない。

以下にこのプロジェクトの現状と将来, その背景などについて紹介したい。

## 2. 現 状

当初 R J 500 は 130 席クラスの中・短距離旅客機用エンジンとして目標推力 20,000 lbs (約 9 トン) の R J 500-01D4 が開発されることになっており, 基本設計・詳細設計が完了し最初の 2 基の試作が始められた所で市場のニーズの変化により, より高推力・高性能の R J 500-35 にその開発機種を変更することになった(後述)。併し試作の始められていた 2 基の 01D4 エンジンについてはデモンストレータとして引続き試作・試験が進められることになった。

第一号機は英国 Rolls-Royce 社の Derby の試運転場で, また第二号機は日本側(石川島播磨重工業・川崎重工業・三菱重工業の三社で形成している財団法人の日本航空機エンジン協会)がとりまとめて石川島播磨重工業の瑞穂工場の試運転場で, 本年の二月から三月にかけて殆ど同時に第一回の運転が行われ目下はそれぞれ分解・検査の上, 次回の運転に向けて組立中である。

図 1 に同エンジンの外観写真を, また表 1 に同じくデモンストレーション計画の現状を示す。

第一, 二号機の試験結果は最大推力 21,300 lbs (約 9.7 トン) と目標の 106.5% を達成した。始動

表 1. R J 500-01D4 デモンストレーション・プログラムの現状

- 第 1 号機 (R J 01)
  - ・ テスト開始 — 昭和 57 年 2 月 19 日, 於英国
  - ・ 成功裡に 7 時間のテスト完了
  - ・ モジュール分解検査後, 第 2 回目の組立中, 於英国
- 第 2 号機 (R J 02)
  - ・ テスト開始 — 昭和 57 年 3 月 1 日, 於日本
  - ・ 21,000 lb 以上のスラスト到達 — 昭和 57 年 3 月 26 日
  - ・ 成功裡に 12 時間のテスト完了
  - ・ 日本にて分解検査中

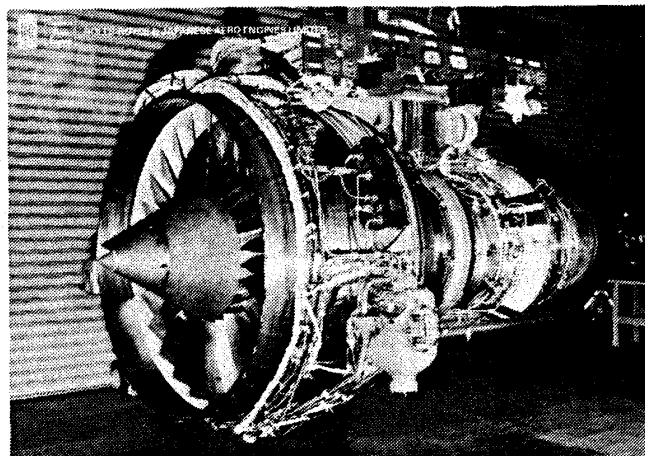


図 1. R J 500-01 エンジン外観写真

から最大推力状態までの間エンジン外殻・ファン動翼振動等の不具合が全く見られず基本的な設計の健全さが立証されたことは誠に喜ばしい。実測のエンジン性能即ち SFC (燃料消費率 — 単位推力当り・一時間当りの燃料消費量 lbs/lbs/hr) は量産段階の目標値として設定された値に対し約 6% 高い(悪い)。この内 1.7% は圧力・温度など約 1,000 点におよぶ開発段階特有の計測をしているための計測器の抵抗(圧力損失)に起因するもの, また 2.2% は開発の初期段階で部品の損傷を防ぐ

(昭和 57 年 6 月 3 日原稿受付)

ために高温部の冷却空気量を意図的に多くしてあるためのもの、残りが各構成要素のマッチング不良・一部構成要素の効率が目標値より低いことなどによるものである。

従って実質的な設計値からの外れは約2.1%であるが開発初期段階の各構成要素のミス・マッチングは免れ難いことであり、上記程度の外れであれば向う数回の組立時の調整で充分修正可能であり、目標性能の達成を確信することができた。

このデモンストレータ二基の運転成功により、日英が距離的に遠く離れていても、今迄に培われた相互理解の結果共同開発のメカニズムが順調に機能していることが実証できたといえよう。

デモンストレータ二基により今後表2に示すような試験が引続き実施される予定であり有益なデータが得られるものと期待している。

表2. RJ500-01D4今後のデモンストレーション計画

- 第1号機 (RJ01)
  - ・ エンジン及びシステムの性能
  - ・ 外殻及びファンの振動
  - ・ タービン・メタル温度
  - ・ X線解析
- 第2号機 (RJ02)
  - ・ エンジン及びシステムの性能
  - ・ 外殻及びファンの振動
  - ・ 日英の運転場性能の交互校正
  - ・ 高空性能 (於英国NGTE)
  - ・ 野外騒音テスト (於日本)

### 3. 将来

上記のデモンストレータ・プログラムに続き今後この計画がどのように進められようとしているかについて述べる。

XJB計画の開始から1980年の末までは、1980年代後半以降約20年間位は中・短距離民間旅客の大きな需要は130席機を中心にしたところにあると見ていたが、その後の変化でその市場の中心が、150席機を中心としたところに移って行っているとの判断が第一の理由、また当初我々が予想していたよりも早く急激な技術進歩の導入が行われようとしているとの判断が第二の理由、この二つの理

由で1981年始めにこの計画の将来に大きな変更を加えることになった。

すなわち、エンジンの推力を24,000 lbs (約11トン)クラスに、またSFCを図2に示すように-01D4級よりも更に10%以上も良くしなければならなくなった。

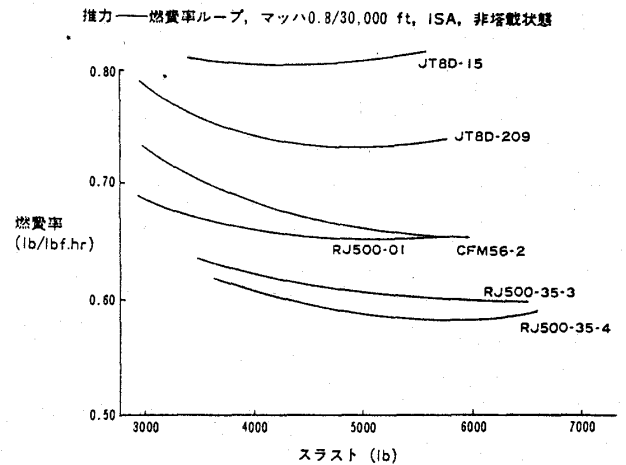


図2. RJ500性能の比較

このような変更が必要になった理由であるが、まず市場の方は図3で見ると1980年代の後半から2005年位までの間に新型の130~160席機が、3,000~3,500機必要になるものと予想される。この総数は、

- (a) 初期の80~130席双発ジェット機が古くなったための代替需要
  - (b) 旅客数の伸びによる新規需要
- の両方があり、マクロ的にも又エアライン各社の

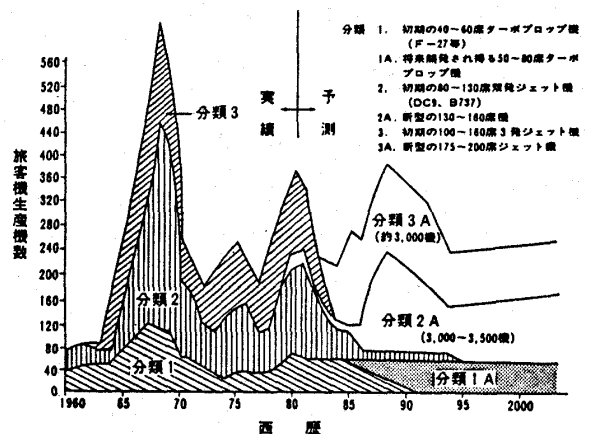


図3. 狭胴中短距離旅客機の年度別生産(予測)機数

需要をミクロ的に見てもこの総数はあまり変動しないものと予測される。

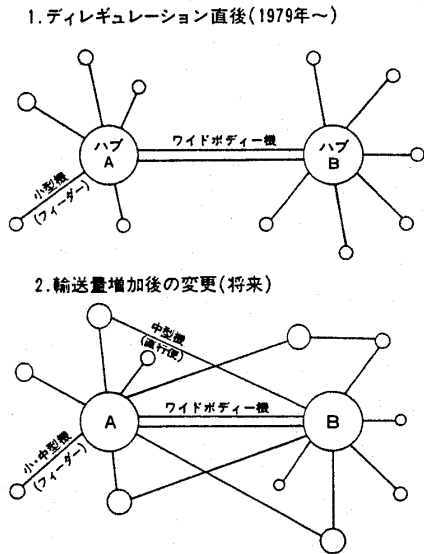


図4. 航空路線ネットワークの変化  
(米国航空会社の例)

併し米国の需要のあり方に大きな変化が起こりつつある。即ち図4に示すように従来のAtlanta, Dallas, Chicago等の大都市に乗客を各地から集めて来て、これ等の大都市同士を大型機で結ぶやり方から、これ等の大都市に乗客を集めるのと並行して、これ等大都市よりは小さい各地方の中心都市に乗客を集め、これ等の都市間を直接結ぶ方式に変わって来ており、この用途に150席クラスで比較的短距離(350~500 n.m)で十分採算のとれる飛行機の需要が、1980年代後半から伸びるであろうということになってきた。

次にSFCの競争であるが、これは全くの技術的競争で、この裏にあることは燃料費の絶えざる値上げにより、旅客機の直接運航コストの中で燃料代が占める割合がどんどん大きくなっていて燃料代を減らすことが運航会社の死活につながるの、これに対する要求は極めて強いものがあり、旅客機の採否は燃料コストで決まるようになってきたといっても過言ではない。

このために1970年代に米国のNASAが1990年に実用化すべき民間航空エンジンの燃費率の目標を定めE<sup>3</sup>(Energy Efficient Engine)エンジンという技術実証計画を立て米国のエンジン・メーカ

ーが国の助成金を得てこれに参加している。この計画での各要素の目標値をも含め今後の世界の傾向を要素別に図5~図8に示す。

ファンの圧縮機に関しては年代を追って高負荷と高効率の両方が実現してきているが、圧縮機に

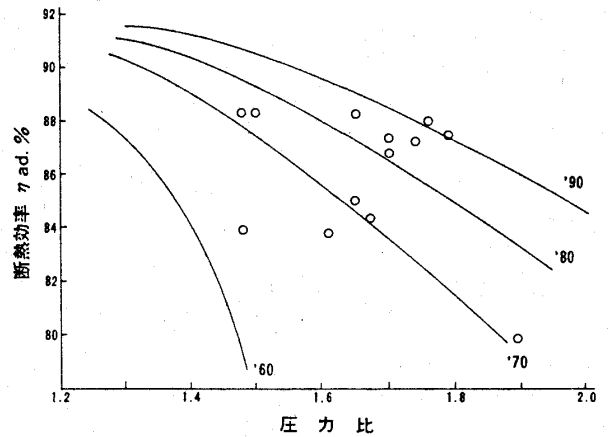


図5. ファンの技術動向

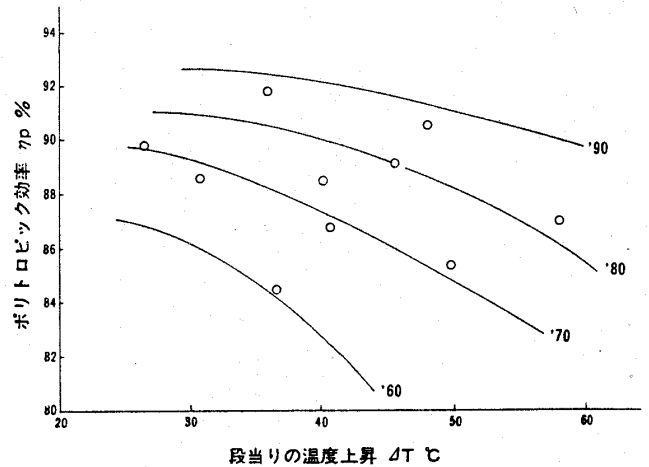


図6. 圧縮機の技術動向

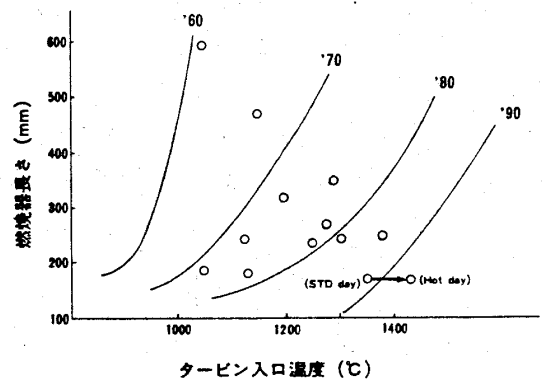


図7. 燃焼器の技術動向



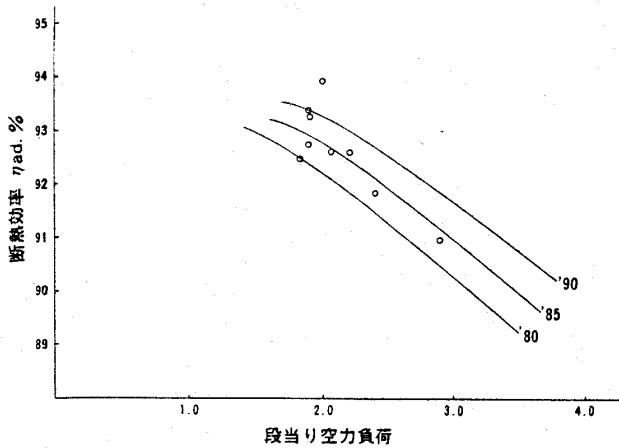


図8. 低圧タービンの技術動向

関しては近年高負荷化よりも高効率化の方に重点が集中されて来ている。タービンに関しては年代を追って高効率化が進んでおり、段当り負荷はむしろ低減する傾向にある。燃焼器に関しては、年代を追って高温化と燃焼器長さ短縮の傾向が顕著である。長さが短くなるのにはエンジンの高圧力比化の傾向が大きな影響を持っている。

上記のような改良の方向を予測して計画が進められていたが、

(a) Computer の設計・試験・開発等への導入が進み専門家の予想より早く改良のためのデータ入手がすすんだこと。

(b) 燃焼費の値上りが急激であったため改良への要求が強くなったこと。  
が相まって各社での E<sup>3</sup> 計画が順調に進んだためにその途中成果を早期にとり入れることが可能になったのではないと思われる。

その結果として Boeing 社の B757 用エンジン競争で一昨年末に大騒動が持ち上がった。すなわち、GE 社は CF6-32、Rolls-Royce 社は RB211-535C を B757 用に提案、すでに若干数の注文を得て開発を進めていたところへ Pratt & Whitney 社が突如この二社のものより 10% も燃費の良いエンジン PW 2037 を出してきて、しかもその燃費を保証すると言い出し、その為に GE 社は CF6-32 の開発を中止し、RR 社は競争に生き残るために莫大な開発費を投じて RB211-535E4 の開発を行わざるを得ないことになった。我々はまだ計画を始めたばかりだったので、その事情変化に応じること

にしたものである。計画中の要素性能の改善は、図9に示すようなもので、これを折り込んだエンジンの主要目は表3に、また計画断面図は図10に示すとおりである。表3には RJ500-35-3 が例示されているが図2に示すように更に性能を向上させた -35-4 の計画もあり、競合機種との競争上更に性能向上を実現すべく検討が続けられている。

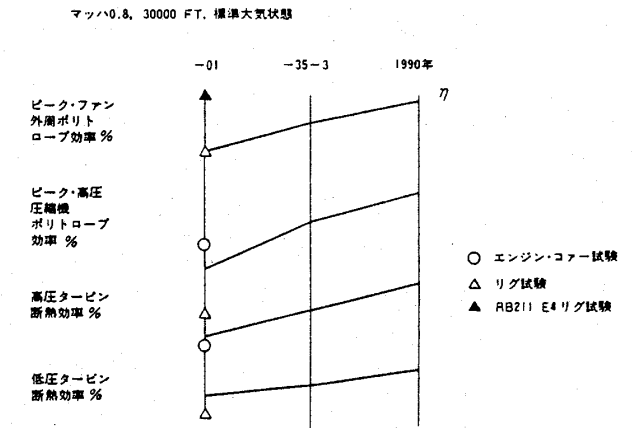


図9. RJ-500の要素効率の改善

表3. RJ-500の主要目

		RJ500-01	RJ500-35-3
ファン外径 (インチ)		59	64
最大ファン入口空気流量	バイパス比	4.69	5.12
ファンクションO.A.	ファン外周圧力比	1.76	1.79
マッハ 0.8, 30,000 Ft.	全圧力比	22.2	31.0
標準大気状態 (ISA)	コア圧力比	13.4	18.0
	比推力 (Lb/Lb/S)	17.2	16.9
マッハ 0.8, 30,000 Ft. ISA	クライム・スラスト	DATUM	+13.1%
	クルーズ燃費率 (LB/LBF, HR)	0.654	0.601 (-8.1%)
離陸定格	スラスト (LB)	20,000	23,700
海面静止	タービン入口温度 (°K)	1,488	1,525
ISA +15°C			
基本エンジン重量 (LB)		4,116	4,896

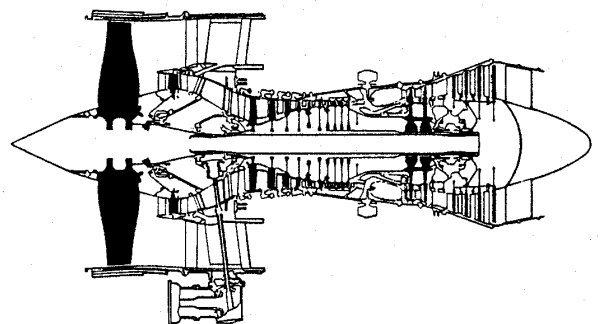


図10. RJ-500-35-3

燃費率については1990年代でも充分通用するものとし、また推力は Boeing, Airbus Industries, MacDonnel Douglas 社のそれぞれの要求を見ながら検討を進めている。

RJ 500-35は2軸高バイパス比ターボファン・エンジンで、低圧系は単段のファンと単段の低圧圧縮機を4段の無冷却低圧タービンが駆動する。高圧系は10段軸流圧縮機・蒸発管式円環型燃焼器・空冷式2段高圧タービンより成る。圧縮機の入口案内翼と1~3段静翼は取付角可変型である。低圧軸は前部の玉軸受・円筒ころ軸受と後部の円筒ころ軸受の3軸受支持、また高圧軸は前部の玉軸受と後部の円筒ころ軸受の2軸受支持である。軸受支持フレームはファンと圧縮機の間および高圧タービンと低圧タービンの間に各1個あり、その外殻にそれぞれ機体へエンジンを取り付けるためのマウント部が設けられている。エンジン推力は前部マウントを介して機体に伝えられる計画である。

表4. RJ-500-35-3開発プログラム

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
基本設計開始	▲						
ベンチ・エンジン開発試験			▲	▲	▲	▲	▲
機体計画用モック・アップ			▲				
飛行テスト・ベッド用エンジン完成				▲			
飛行試験用エンジン完成;出荷					▲		
エンジン型式承認						CAA▲ FAA▲	

\* CCT = 型式試験完了 (COMPLETION OF CERTIFICATION TESTING)

開発スケジュールは流動的であるが今のところ表4の計画で進められている。現状では新150席機は米国の大手運航会社 Delta 社がまず第一の、いわゆる Launch Customer になる可能性が高く、Delta 社によれば1987年末には第1号機の引渡しを求めているので、これに間に合わせるために、1982年中に Engineの全面開発を決めるべくすすめている。併しながら目下の大不景気・相次ぐ航空会社の倒産等のためスケジュール的には遅れ気味と見ている。

ここで、各要素毎にこのような技術進歩を可能にしているものは何であるかについてごく大まかに述べると、

- ファン：スナバー（防振用棚）をとること
- 中空 Ti 翼
- 新しい翼型（ショック・ロスの低減）
- 隙間損失の低減
- 圧縮機：新しい翼型
- 隙間損失の低減
- 境界層に対する修正の導入
- タービン：新しい翼型
- 隙間損失の低減
- 境界層に対する修正の導入
- 単結晶精鑄翼
- 翼冷却法の改良

等がある。この中で圧縮機の新しい翼型として超臨界翼型翼列が注目を集めている。図11に示すように翼前縁部が部厚く、翼面圧力分布が緩やかである他入射角の変化に対して従来の翼型より作動範囲が広く高マッハ数領域まで使用することができる。

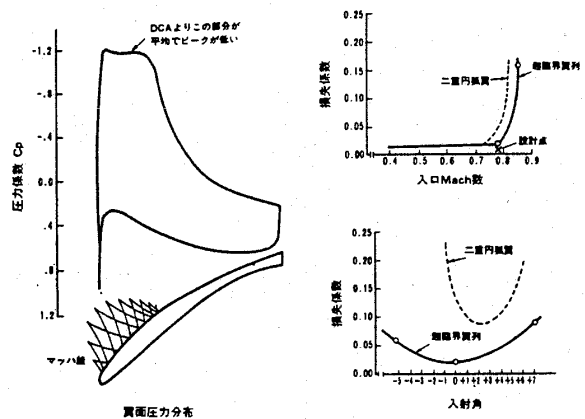


図11. 超臨界翼型翼列

この他全飛行行程あるいは全作動範囲にわたり燃料の全消費量を少なくするために、全デジタル電子制御システム (Full Authority Digital Electronics Control = FADEC) が採用されるようになった (図12参照)。この採用によりインプットのパラメータ数が増え従来のハイドロメカニカル方式より最適値に近く、かつ精度良く制御するため燃料消費量の低減と高温部品の寿命の延長が可能になって来ている。

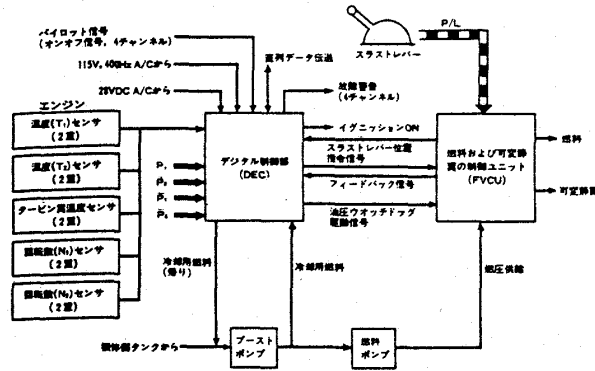


図12. 全電子式エンジン制御システム

4. 背景

ここで、ここに到るまでの道のりを振り返ってみたい。

11年前に工業技術院大型プロジェクトの一つとして取り上げられたFJR710エンジン(図13)の計画が、わが国の技術レベルの向上、省エネルギー・対環境性向上(低公害・高信頼性など)などを狙って開発が進められ、表5に示すとおり第I期、第II期計画を経て昨年度で一応の目的を達成した(一部試験が英国NGTE設備の使用可能時期の関係などで本年12月まで繰り延べられている)。目下は科学技術庁航空宇宙技術研究所で計画中的実験用STOL機用エンジンとして各種試験が続けられている(表6)。

このFJR710エンジンが昭和52年に、英国の国立ガスタービン研究所(National Gas Turbine Establishment = NGTE)で第一回の高空性能試験

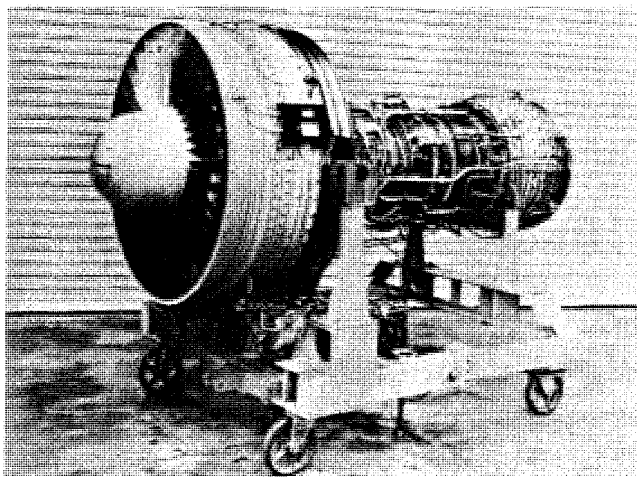


図13. FJR710/600エンジン外観写真

表5. FJR710 開発計画

項目	第1期					第2期					
	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
要素研究		設計製作									
エンジン開発											
設計製作			51	52	53	54	55	56			
エンジン試験									78	79	
システム研究											

表6. STOL機用エンジンのスケジュール

年度	54	55	56	57	58	59	60
地上試験用ファンエンジン(大型プロジェクトによる開発)		エンジン製作(3台)	FJR710/600				
			地上運転試験研究				
STOL機の研究			飛行実験用エンジン製作(6台)				
			FJR710/600S				
			STOL実験機製作				
					C-1輸送機改によるエンジン試験(飛行状態)		
						STOL機飛行実験	

を実施した際に、英国側が高く評価したことが二つ程あった。

その一つはエンジン試験が全く予定通り何の不具合もなくできたことである。彼等の経験では新しい機種へのテストに当っては必ず予期しない不具合が発生するものであるということだったが、FJR710が何のトラブルも起こさなかったことで改めて日本の実力を認識し直したということだった。

今一つはエンジンの各種性能を先方が解析したところ、極めてレベルの高いものであるということが判ったということだった。

そこで、年が明けて昭和53年始めに Sir Stanley Hooker 以下の Rolls-Royce 社首脳が来日し、以前から打診のあった日英国際共同開発による10トン・クラスの民間旅客機用エンジン開発の話が動き出した。そこで日本の業界としては結構なことと思うということで、関係の政府官庁である通産省の御理解と御援助を得て、首記 XJB 計画が

始まったものである。

昭和54年12月に日英間で共同開発に関する協定書が完成・相互にサインをとり交した。この協定書によれば、開発は日英全く対等で、英国側が高圧系を、日本側が低圧系を担当し、開発費の分担(コスト)も50%ずつという合弁事業である。このため日本側三社と Rolls-Royce 社とで日英50%ずつの出資による合弁会社 RR & JAEL (Rolls-Royce and Japanese Aero Engines Ltd.) が昭和55年4月に発足し今日に到っている。

次に第三者加入問題について少し述べたい。昨年末米国の航空エンジン会社から本計画への参加希望の表明があったので、関係者間で検討した結果、まず Pratt & Whitney 社を第一候補としてテーブルにつき話し合いを始めることが最近決まった。いずれにしても150席機は1987年末ないしは1988年初めに運航開始というユーザーの期待に応える必要があり、機体側の要求も近々決まるものと推定され、かなりスピードを要する開発プロジェクトになるものと思われる。

##### 5. 国際共同開発の必要性和問題点

この XJB 開発は順調に進めば日英米3ヶ国の国際協力による開発プロジェクトになるが、RJ500-01が順調に進んでいることから新たに米国が参加しても充分協力してプロジェクトを成功に導き得るものと考えている。

日本にはエンジンの高空試験設備もなく、また民間航空エンジンを開発・販売した経験もないのでこの XJB 計画は開発の実力をつける誠に良い機会と思っている。FJR710 計画を通じて自己開発の能力はかなり身につけて来たので、今後マーケティング・販売・プロダクト・サポートのやり方など経験を積むのに又とない良い機会と思っている。

航空エンジンの開発費は XJB の場合2,000億円とも3,000億円ともいわれているが、民間航空エンジンの開発には大体量産価格の500~600台分かかり開発完了まで数年を要するので、その回収にはかなり順調にいても開発開始から15年近く掛かるのが通例である。このような長期間にはさまざまな事が起きるものと思われ、とても一企業で手の出せるようなものでない。開発リスクの大きい事業と思われる。先進国が国としての生き残りの

ために、世界が世界としての進歩のために国際協力によって進めるべき仕事と認識している。

ここに国際協力をしていくのにいくつかの問題がある。

その第一は各メンバーは国際レベルで技術に貢献し得ることが常に要求されることである。このようなプロジェクトは技術をベースにした国際協力であるから、今スタート・ラインに並んだときは同じようなレベルにあらうが、相手国が莫大な技術開発資金を掛けて年々新しく積み上げた経験による技術を出して来るときに、ときに応じて我々も出し得ないとしたら、協力者には大いに迷惑を掛けることになってしまう。少なくとも日本の担当した部位についてはいつも世界の水準にいたってはならず、それ以外の部分についても世界のレベルで発言し得るのでなくてはお互いに協力する意味がなくなるのではあるまいか。このためには我々としても何とか見劣りのしない研究開発を生産技術を含めて常にすすめている必要がある。

文化的背景の違いを乗り越えてお互いが技術を通じて協力していくことが、航空エンジンといったような技術革新が早く、莫大な開発費を必要とするし、しかも人類的にニーズのある製品の開発を進める最も良い方法と考えられる。

このためには国家的な事業として官・学・民の総力の結集が必要であり、直接・間接に関係ある方々の御援助・御指導・御理解を是非お願いして XJB 計画を成功に導びきたい。

三菱重工(株)相模原製作所 林 雅一  
 三菱重工(株)長崎研究所 辻村 玄隆  
 三菱重工(株)相模原製作所 岡崎 洋一郎

学会から頂戴した題名は、かなり広範なものとも思われるが、本日は掌にのるようなクラス、乗用車やオートバイの過給に使われる所謂ミニターボに限定してお話をさせていただきたい。また具体例として挙げるものは、今回はからずも学会賞を与えられた三菱重工業(株)の製品に関するものが多いことをあわせてお許しいただきたい。

### 1. 何故最近までこのクラスの製品が存在しなかったか

昭和34年、当社はSTC 10型という原始ミニターボにトライしたことがある。なにしろミニという接頭語が日本語のポキャブラリに入ってくる以前の話で、ちんころターボという社内通称が使われたものである。インペラ径64ミリ、最高回転数11万rpm、コンプレッサの最高効率58%、これを1.5ℓディーゼルに付けたのであるが、最高出力こそ約10%アップしたが、車両用として欠くべからざるトルクライズ、或いは燃費率は、ターボがない方がまし、という有様であった。流力的効率の低さ、作動レンジの狭さ、メカニカルロスが大きさが災いし、部分負荷では過給機でなく、減給機になってしまったのである。このような事情は世界的にはほぼ同じであった。昭和38年オールズモビルとシボレーにターボ車が登場し、インディ500レースなどにもターボ過給レーサーが活躍しはじめたにもかかわらず、小型車やオートバイのターボ化には、なお20年の歳月を要したのである。

### 2. 関連技術の高度化によるシーズの蓄積

上述のように小型車への展開は足踏状態であったが、より軽く、小さく、低燃費で、安くというプライムムーバへの一般指向をうけてターボ過給機自体も改善を重ね、オイルショックがこれを加速した。その基礎を支えたのが、流体あるいは構

成部材に対する理論解析技術、計測技術、品質の均一な製品を低いコストで生み出す生産技術の進歩であり、そのツールとしてコンピュータをはじめとするエレクトロニクス技術の急激な発展であった。次に幾つかの例を示す。

**流線解析技術** このクラスの過給機は遠心コンプレッサとラジアルタービンを用いるが、これらの内部流動解析のため、古くからKATSANISの子午面流れ計算法などがあったが、当社の例ではラッパ状の回転流面を二次元円形翼列に等角写像し、薄翼に関する特異点法を用いて任意回転流面上での翼間流れを求める方法、いわゆる妹尾・中瀬の方法を利用して、図1のような解析を行っている。これらを用いて、翼面負荷と通路形状の最適化をはかるとともに、実験データとの照合を

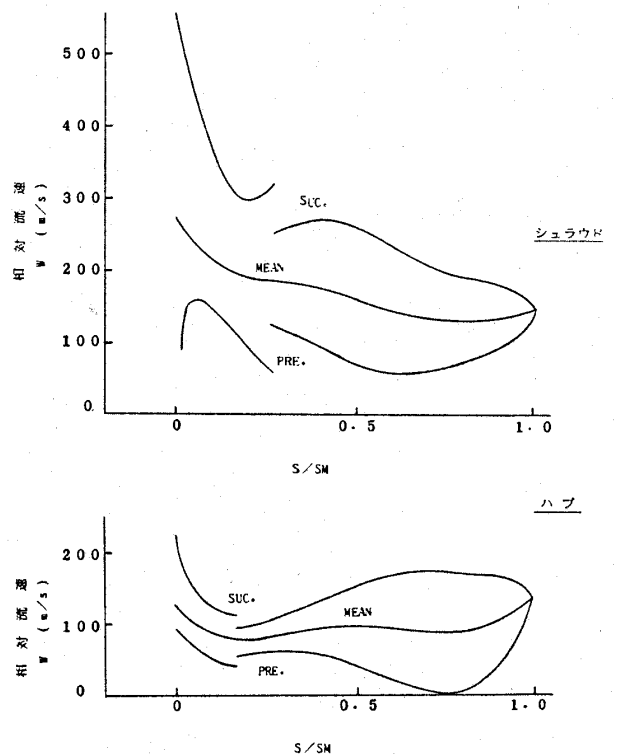


図1. コンプレッサホイール流線解析例

(昭和57年5月31日原稿受付)

くり返した結果、翼車やスクロールの幾何学的形状と流体的特性との相関が次第に把握されるようになった。また過給機の入出力部、即ちエンジンの吸排気マニホールド内の流線解析、あるいはシリンダ間の排気干渉を避けるためにタービン入力を分割した場合の効率の低下、いわゆる部分挿入特性などエンジンとのマッチングに関する解析と実

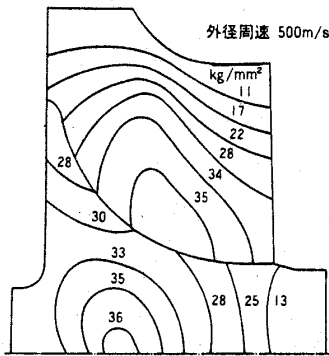


図 2. タービンホイール遠心応力計算例

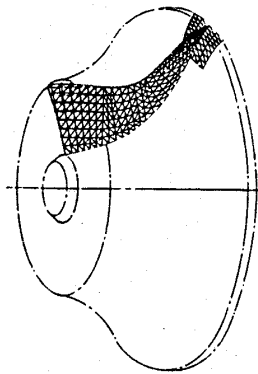


図 3. 翼振動モード計算例

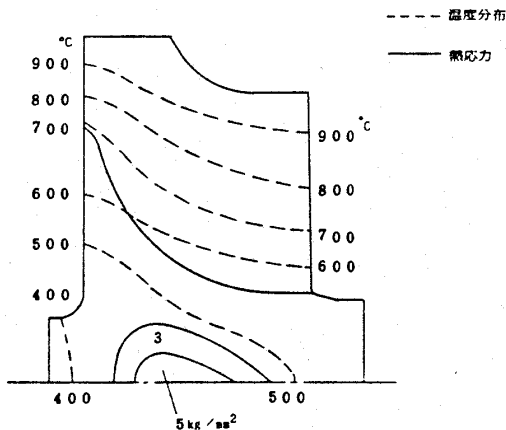


図 4. タービンホイール温度分布及び熱応力計算例 ガス温度 950°C

験データにより、マニホールドやスクロールの形状や、分割の得失がかなり予見できるようになった。

**応力解析技術** ターボ過給機では、翼車の遠心応力、静的および動的熱応力、ならびに振動特性の解析が主要な対象である。これらは有限要素法の応用によって比較的短時間内で遂行できるため、何れかの条件で不満足な場合、形状修正のシミュレーション計算を行い、かつ前述の性能解析をあわせて行うことにより、性能、強度の両面で最適な形状を見出すことができる。言い換えれば、実物を金型から起こして何種類も作って比較するかわりに、コンピュータのなかでその何倍ものケースを運転して取捨し、最も有望なものを実際に試作すればよいわけである。図 2 は遠心応力、図 3 は振動特性、図 4 は温度分布と熱応力の解析例である。なお実験的検証のために、回転中の翼車応力計測技術を開発し、数点のデータを計算値と照合した例が図 5 である。

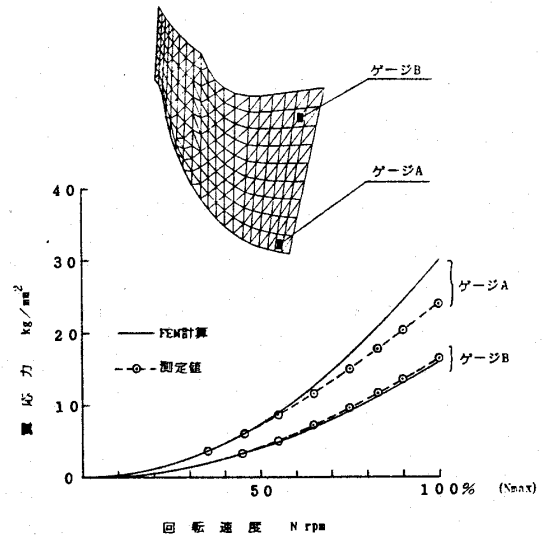


図 5. タービンホイール遠心応力(計算と測定の比較)

**生産技術** 一般にラジアルタービンを用いた小型過給機では製造コストの約半分が鋳造粗材費で占められ、更にその半分は回転部分である。従って翼車とくにタービン翼車の鋳造に関する工法および品質管理手法の進展は、ターボ過給機のマスコを左右する重要因子である。今日では最小肉厚 0.4 mm のエッジを有する翼部と数 10 mm のハブ部とが共存する複雑な形状を、難鋳材とも言われたインコネル 713 系のニッケルベース合金を用い、

表 1. タービン過給機への要求とそれに応える技術内容

ニーズ	⇒ ターボ過給機への要求	⇒ 要求を具体化した技術内容 又はコンポーネント
ハイパワー	高い効率 (デザイン点でターボ全効率 45%以上)	高効率翼車と低損失ベアリング, シール
低燃費	広い作動可能域 (オフデザイン点でターボ 全効率 40%以上)	ペーンレスディフューザつきバックワード 翼車およびペーンレスノズルつきタービン
排気の低公害性	有害物抑止, 少くとも 助長しないこと	過給圧・燃料の最適制御
ローノイズ	ウエークの少ない翼車 振動を抑制した軸系	浮動プッシュ型軸受 コンピュータバラランシング
ハイレスポンス	大きいトルクライズを 可能にすること 小さい回転慣性	中低速へマッチするターボ諸元 小径大流量翼車
安全性	十二分なオーバラン対応	冗長回路つき回転制御 確認されたコンテナビリテイ
耐久性	エンジンと同等以上の ライフ	疲労強度設計による翼車 内部しゃ熱用のヒートダム群 異物かみこみに耐える軟質軸受
省資源	軽量	
コンパクトネス	小さい外径, 短い全長	小径型又は マニホルダー一体型スクロール
低価格	簡素な構成 生産性の高い部品と製法 キャブレター式に使用 できること	最小限の部品アイテム VE設計と自動化生産 高周速メカニカルシール
均質性	重点部品の精度維持	ライン内チェックゲート群

100%に近い歩上りで見れば平然と量産しうる実力を有しているが、これは粗材の鋳造サイドと使用サイドの情報フィードバックの繰り返しによる形状の最適化、型の精度向上、工程の自動化など総合的な技術開発が集積された結果である。図6はタービン翼の疲労破面を走査型電子顕微鏡を用いて行った例であるが、このほか金属の微少部分のマイクロナライザやエネルギー分散型蛍光エックス線分析器などエレクトロニクス応用ツールによる材料面の情報が、前述の応力解析データとともに使用サイドで容易に採取、照合され、鋳造サイドにフィードバックしうることも、鋳造品質の安定に役立っている。加工工程については、専用機とNC機を組み合わせ、ローディングとワーク搬送を自動化して、効率とフレキシビリティの両立をはかっている。特に加工時間に高い比率を占めるバラシングについては、コンピュータによる自動計測、自動カッティングが導入され、人工と時間の低減、精度の向上に偉力を発揮しつつある。またライン内の要所には自動計測つきのゲートを設け品質の安定に寄与している。

### 3. 開発の狙い

前章のように、ターボ過給機的设计・生産技術は着実にレベルアップを遂げているため、これらをシーズとして超小型ターボに展開することは可



図6. タービン翼破断面解析例

能かもしれないと考えられたが、着手の前にニーズを集約し、その凝縮されたものとして製品を開発することとした。

**ニーズの集約** エネルギー事情の急変は、自動車の在り方にも大きな影響を与えたが、これに対応すべく自動車メーカーが企画したアイデアの一つに小排気量エンジンをターボ過給して使うことがあった。これを受けてターボメーカーとして検討を進めた結果、既存のターボ過給機のレンジと性格を大幅に変更せねば成立しないことが判った。表1はこの間の事情、即ちニーズに塑って開発すべき技術又はコンポーネントは何かを抽出して示したものである。

**製品の構想** 技術的な各種シーズと表1の抽出結果とを勘案して、開発の狙いを次のように定めた。

イ. 前記ニーズのすべてに応えうる技術開発を行い製品に集積する。

ロ. 装着の対象は、高級車、スポーツカーのみならず、小型車以下、更にはオートバイにも及ぶものとする。

ハ. 製品の系列化は、基本フレームサイズを少数に抑え、そのモディフィケーションによって達成する。ターボ過給機のような速度型流体機械をエンジンという容積型機械群に直列に使用するには、多岐にわたる仕様を持たねばならないが、そのため生産性を損じることのないよう共通部品を増すべく採った方策である。

### 4. 開発の内容

前掲の表1に抽出された開発事項のうち主要なものを述べる。

**遠心コンプレッサ** 小径、高効率、広作動域などが課題である。図7はエンジン所要空気量と翼車の概略直径との関係を示したもので、比較回転度は最近の小型化技術に基づく50という高レベルにとってある。これによると例えば650ccクラスのオートバイなら直径40ミリ前後の翼車を採用するのが適当である。一方、図8は翼車の直径と断熱温度効率の最高値の関係で、過去10年ほどの一般例から割り出したものである。30ミリ、40ミリといった小型翼車を実用レベルに引き上げるには約5%の効率アップを要する。翼車と組み合わせるベーンレスディフューザ、スクロールは外径の



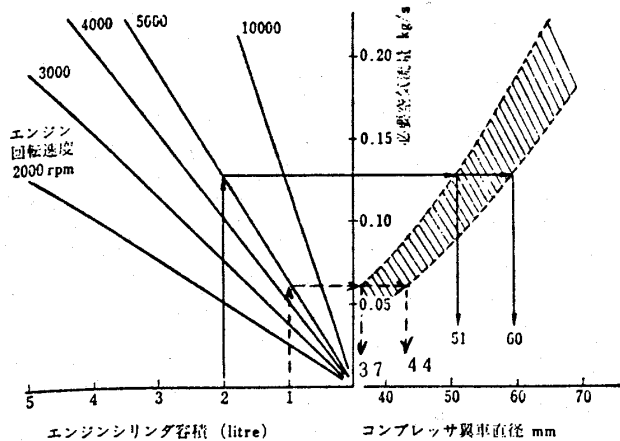


図7. エンジン仕様と適合ターボチャージャ

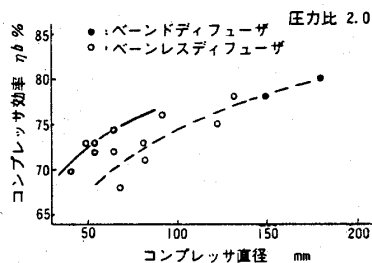


図8. コンプレッサ直径と効率

制限を受け、圧力変換に多くを期待できないという制約もある。これらを考慮し、翼車の反動度を大きく取れること、更には作動域が広いこと、ウェークの発生が少ないことなどの理由からバックワード型に的を絞りを、流線解析、応力解析と内部流動の計測を進め、形状を最適化して行った。

その結果、中間翼を備えた遷音速インデューサ部と、30度バックワードのインペラ部をもつ翼車により所要の性能と外径をうる遠心コンプレッサのシリーズを得た。図9はその性能の一例である。

図中の太線は、この機種に装着された1.6ℓガソリンエンジンの作動域であるが、本コンプレッサはこれをよくカバーしているとみられる。なお図10は翼車形状の変遷を示し、左端が約20年前、中央左が約10年前、そして右の二つが本開発によるものである。

**ラジアルタービン** 小径、大流量、高効率で安全性・耐久性の高いことなどが課題である。翼車の直径はコンプレッサ側との流体的、機械的マッチングを考慮すると、コンプレッサ翼車とほぼ等しくなるが、図11のように従来水準に比して、

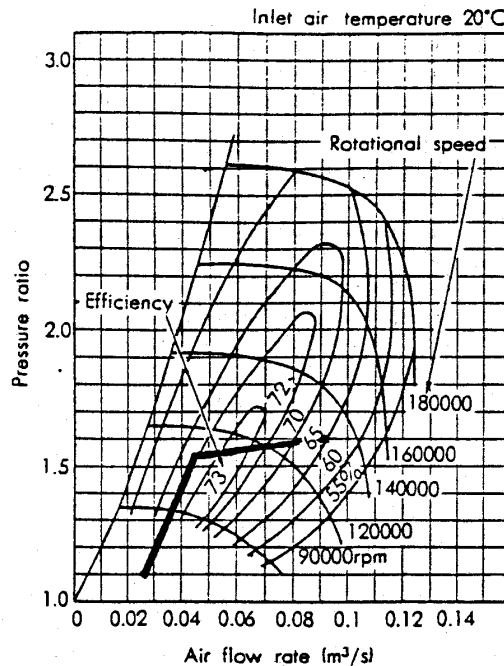


図9. コンプレッサ性能例

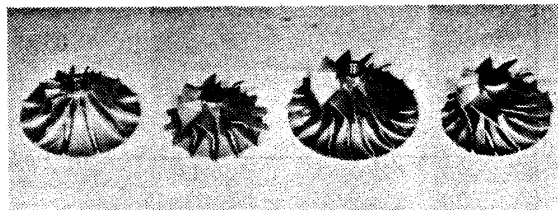


図10. コンプレッサ翼車形状の変遷

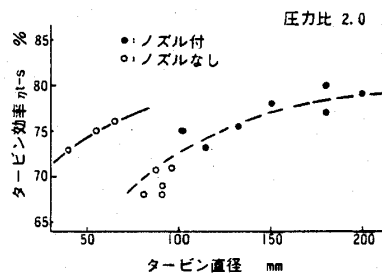


図11. タービン直径と効率

断熱温度効率(トータル対スタティック)で約7%のアップが必要である。又、比較回転度も従来40程度であったものを50ぐらいに増大しないと所要流量をこなせない。この点はエクスデューサ部分の流路幅を効率の犠牲なしに増大することに成否の鍵がある。また、ガソリンエンジンの排気は全負荷時に950℃前後になり、高速ディーゼルにおける700℃前後に比し、強度設計に一層意を用

いる必要がある。図12は得られた特性の一例であり、図13はエクステューサ部の考え方の変遷を示すものである。左は約20年前の製品、中央は約10年前の製品、これは反動度を減らしても流量増大を得ようとしたものである。右は今回の開発によるもので、比較回転度は左端の製品の約2倍である。強度は最終的に実機のホットバーストテストで確認される。この際バーストしたハブの破片がハウジングを突き破って外部へ飛び出さないこと、いわゆるコンテナビリティが保持されていることも確められる。図14はこのテストの後の状況を示す。

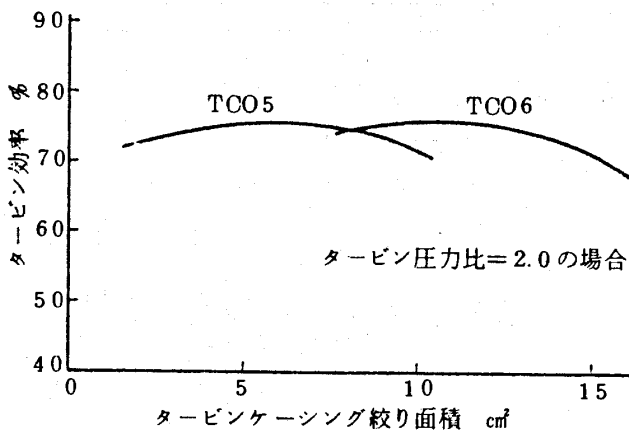


図12. TC 05, TC 06形タービン性能

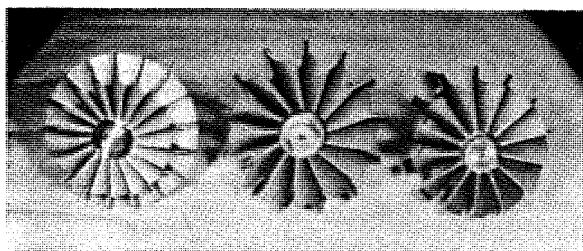


図13. タービンホイール形状の変遷

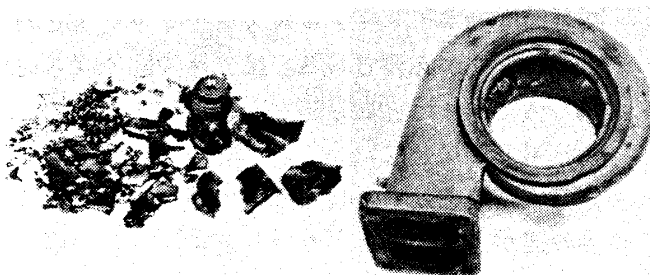


図14. タービン破壊テスト

**負圧下でも油洩れを生じないシャフトオイルシール** キャブレタ式エンジンの場合、時にはシャフトのオイルシールに数百ミリHgの吸出し負圧のかかる状態が起こる。過給機のオイルシールは一般にピストンリングによるラビリンス効果を用いるが、キャブレタ式の場合は不適當で、接触型のメカニカルシールを要する。図15は今回開発したもので最小の損失で耐久性のある形状と材質を選定した。

**外形寸法の縮小** 既に述べた翼車、スクロールの直径縮小とともに、全長も短縮する必要があり、これには高温のタービン部と軸受部との間隔がどれだけ縮められるかがキーポイントとなる。いわば火の玉の隣りに低融点成分を含む軸受と、合成油の使用など思いもよらない乗用車用石油系オイルが共存することになるのである。なおエンジンを停止したあとは、オイルの流動が止り、そこへタービンに蓄えられた熱のソークバックが起こるので、事態は一層きびしくなる。この問題は熱の移動を妨げるヒートダム即ち伝熱面積を絞る部分を各所に設けることによって図16のようにおさめ得た。

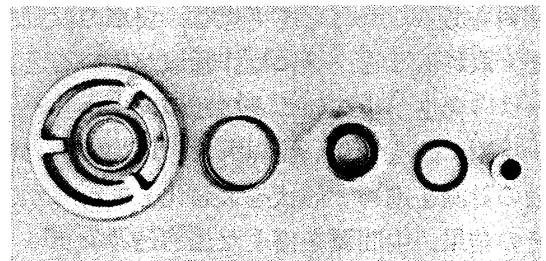


図15. メカニカルシール分解状況

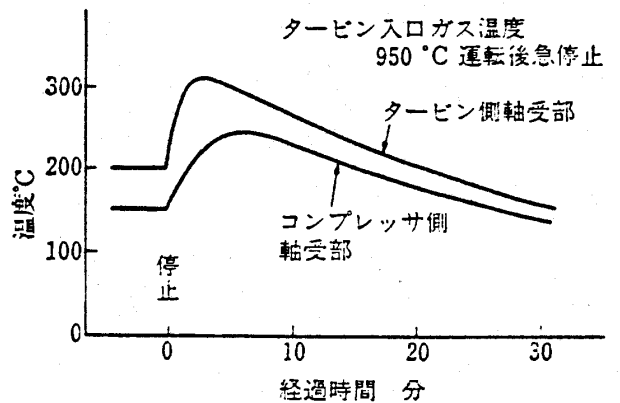


図16. ヒートソークバック特性

図17はほぼ同一容量の過給機の外形寸法の変遷を示すもので、左は約20年前、中央が約10年前、そして右が今回開発のものである。

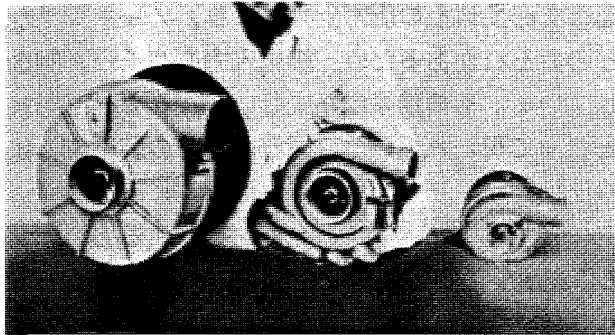


図17. 同一容量ターボチャージャの変遷

**最少の部品数による簡素な構成** 図18はほぼ同一容量の過給機の前記外形と、構成部品点数の変遷で、今回開発のものは標準仕様で19点まで簡素化している。図19はこの19点を示し、過給機1台分のフルメンバである。また図20はその組立断面を、図21はそのカットモデルを示す。小型化の

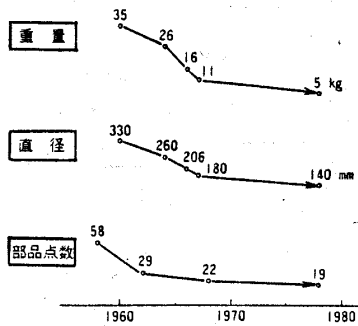


図18. ターボチャージャ簡素化の推移

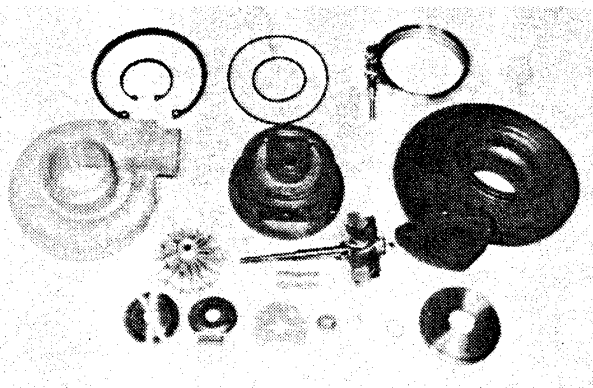


図19. TC05形ターボチャージャ全部品

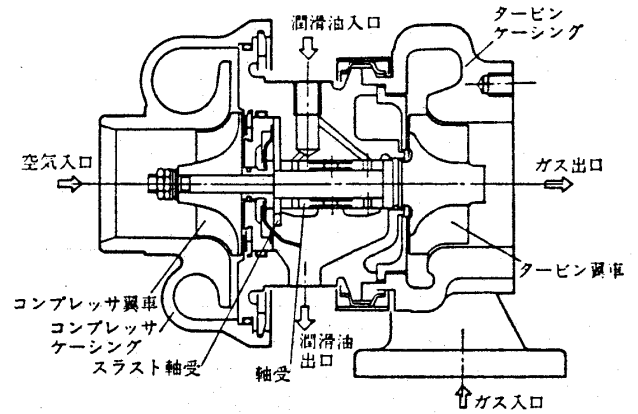


図20. TC05形ターボチャージャ断面図

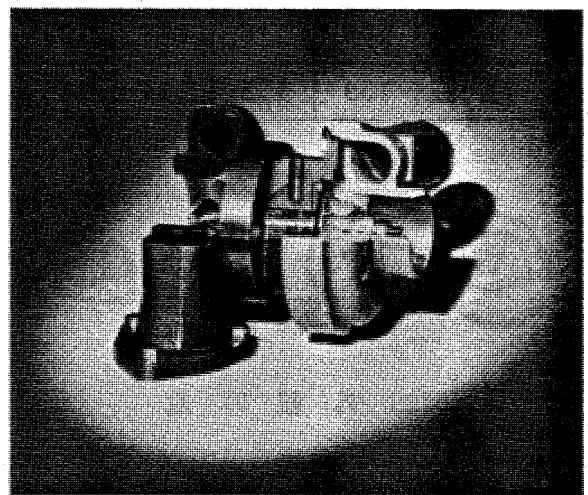


図21. TC05形ターボチャージャカットモデル

窮極的な一例として1.4ℓエンジンの場合、コンプレッサとタービンのスクロールをそれぞれ吸気マニホールド、排気マニホールドと一体化して省略してしまった。図22はその状況である。

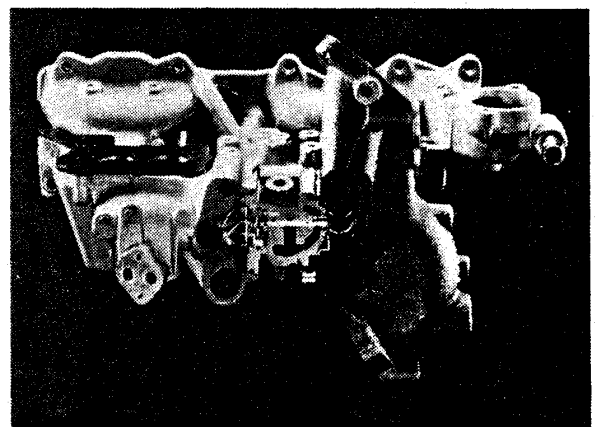


図22. マニホールド、ターボチャージャ一体化例

5. 開発の結果

この開発により 2.6ℓ から 600cc クラスに至る乗用車、オートバイ用のターボ過給機シリーズが得

表2. 主要諸元

項目	TC03	TC04	TC05	TC06
最高回転速度 rpm	210000	190000	160000	130000
最高圧力比	2.6	2.7	2.9	3.0
許容ガス温度 °C	900	900	900	900
重量 Kg	3.0	3.5	4.0	5.0
直径 mm	109	118	122	132
全長 mm	139	155	154	160

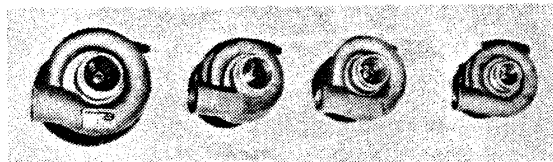


図23. 外観写真

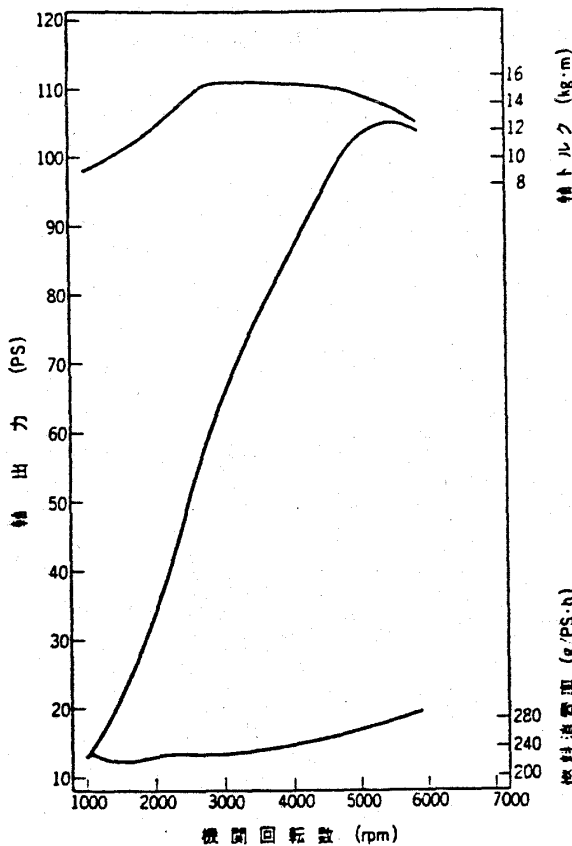


図24. 1.4ℓ エンジン性能例

られた。表2はその諸元表、図23はその外観を示す。また、図24は1.4ℓガソリンエンジンの過給性能であるが、エンジンの中低速部で過給率を上げるターボ諸元を選ぶとともに、そのままでは高速部で必要以上の圧力上昇により、ノッキングなどのおそれがあるため、排気入力をバイパス制御している。その効果は好ましいトルクカーブ形状となって現われている。図25は、その装置で、過給圧検知用のダイヤフラムは低温部に置き、ロッドにより排気バイパスバルブを操作するものである。総合的な耐久性については、数百台の実車ならびにベンチテスト、更には一般向け仕様のまま世界各地のラリーに出場し、度重なる完走、入賞により確認を繰り返した。また、10モード走行燃費は、同出力の無過給エンジンに比し、約5%改善した。現在までに、本シリーズを装着した乗用車とオートバイは約20万台に達し、国内外で使用

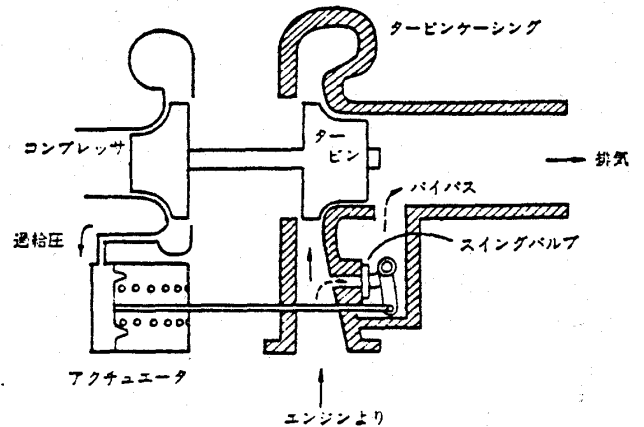


図25. 排気バイパス装置

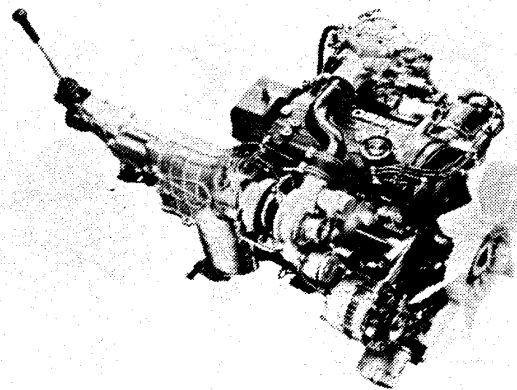


図26. 2ℓ エンジン外観

されている。図26は乗用車用2ℓエンジン，図27はオートバイ用650ccエンジンへの装着状態を示す。本シリーズは現在更に下方展開し，より小排気量のエンジンに装着してテストを進めており，近い将来マーケットに姿を現わす予定である。

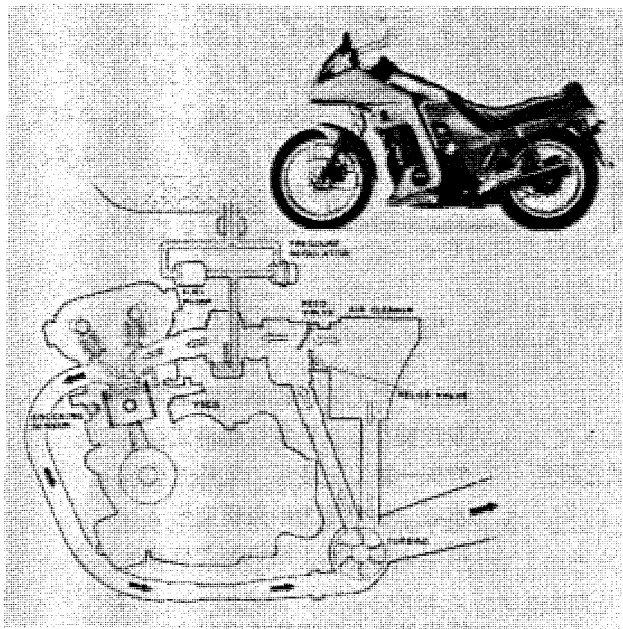


図27. オートバイ用ターボチャージャー装着状況

## 設立十周年記念行事パネル討論会 「21世紀を目指すガスタービン」

### まえがき

昭和57年6月3日機械振興会館において、当会設立十周年記念行事の一つとしてパネル討論会が松木正勝座長の司会により極めて盛会裡に行われました。

当日は下記の専門分野で興味のある発表および討議が熱心に行われました。その内容を広く会員全員に紹介するために当日のパネリストにその原稿をまとめて頂き、討論と共に本特別号に一括掲載することに致しました。

尚、昭和49年5月19日にも「ガスタービンの未来を語る」との座談会を行い会報No.6, No.7に掲載されていますのであわせて御参照頂ければより一層現在までの発展の動向と将来への展望が得られるものと思います。

尚、御多忙の中、本企画に協力頂きました、パネル発表者、指名討論者の皆様に深く感謝致します。

〔第6期編集委員会〕

### 発表題目と発表者

座長 松木正勝（航空宇宙技術研究所）

#### I 燃料の多様化とガスタービン

- |                                |                    |
|--------------------------------|--------------------|
| 1. これからの航空エンジン：燃料とのかかわり        | 飯島 孝（石川島播磨重工業株式会社） |
| 2. 水素エンジン開発の問題点                | 舟津良行（全日本空輸株式会社）    |
| 3. ガスタービン・複合発電に対するガス燃料使用の現状と展望 | 竹矢一雄（三菱重工業株式会社）    |
| 4. 石炭転換燃料によるコンバインドサイクル発電設備     | 水谷 弘（電力中央研究所）      |
| 5. 原子力・太陽熱利用とガスタービン            | 河田 修（富士電気製造株式会社）   |

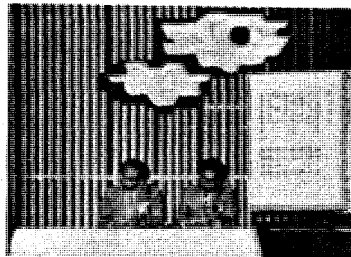
#### II 産業とガスタービン

- |                           |                 |
|---------------------------|-----------------|
| 6. エネルギー産業におけるガスタービンシステム  | 横田伸夫（日揮株式会社）    |
| 7. 産業用小形ガスタービンとエネルギーの有効利用 | 大槻幸雄（川崎重工業株式会社） |

#### III 車輛用ガスタービン

- |                 |                    |
|-----------------|--------------------|
| 8. ガスタービン車を目指して | 岩井益美（トヨタ自動車工業株式会社） |
|-----------------|--------------------|

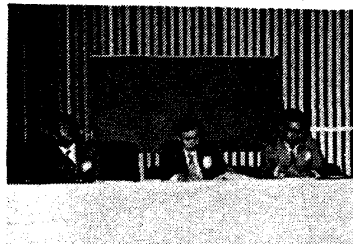
注）「石炭転換液体燃料について」は秋葉雅史（東京芝浦電気㈱）に、「パイプラインとガスタービンシステム」は大島亮一郎（㈱日立製作所）の両氏に御執筆頂きました。



左より 松木（座長）、  
高原（航技研）の両氏



パネリスト：右より 飯島、舟津、  
竹矢、水谷、河田の各氏



パネリスト：右より 横田、  
大槻、岩井の各氏



盛会のパネル討論会

パネ ル 討 論 会

## 座長挨拶 — パネル討論会「21世紀を目指すガスタービン」 を開くに当って

航空宇宙技術研究所 松木正勝

本年6月で当日本ガスタービン学会は十周年を迎えることになり、記念行事の一環としてガスタービンの未来を語ることが計画され、このパネル討論会を開くことになった。

この十年間を振り返って見ると、航空用ガスタービンエンジンの急速でかつ着実な発達が目覚しく、またこの技術が広く産業界に波及し、大型から小型まで用途に応じて各種のガスタービンが開発され使用され始めて来ている。

特に石油ショック以降は、熱効率の向上に多くの努力が傾注され、要素技術の向上、材料の発達、コンピューター技術の発達などと相まって、ガスタービンは熱機関として地歩を拡大して来ている。

ここで過去10年をかえり見て、18年後に迎える21世紀を目指してガスタービンのあり方を考えて見るのも意義のあることであろう。

そこで今回は①エネルギー源の多様化の問題と②ガスタービンの用途の拡大の問題について討論していただくことにした。

### ① エネルギー源の多様化の問題

既に発電用エネルギー源としてはLNG、石炭、原子力に転換が進みつつあり、石油への依存度は改善されつつある。

先づLNGの使用が増加するとガスタービン・蒸気タービンの複合発電が最も能率の良い方式として広く使われるようになる。

また石炭ガス化の場合も水冷ガスタービンと蒸気タービンの複合発電が有力な方式となりそうである。

原子力も高温ガス炉が開発されれば、熱効率の高いヘリウムガスタービンが使われる可能性が大きい。

航空用では合成ジェット燃料や、水素燃料が考えられる。特に水素燃料は重量当り発熱量が大きいので、航空機用燃料として有利な点が多く、水素価格が低下すれば最初に使われる用途である。既に性能を第一とするロケット用燃料としては広く使われている。

太陽エネルギーを水素の形で蓄積出来る様な技術が開発され価格が低下すると、二次エネルギー源として広く使われるようになるが、この場合ガスタービンは最も能率の良いエネルギー変換装置の一つとして使われるであろう。

また太陽熱利用による小型オープンサイクルガスタービンも排熱利用を含めて有利に使用される可能性があるが、信頼性高く、メンテナンスフリーにする必要がある。

### ② ガスタービンの用途の拡大の問題

ガスタービンは軸受しか金属接触する所が無く、作動流体は空気であり、比較的低圧力であるため、本来信頼性の高い熱機関であり、要素効率の向上に伴って、熱効率も他と比較し得る程までに向上して来ている。

ガスタービンの要素効率が向上すると、高いサイクル圧力比が有利になり、それに伴って高いタービン入口温度が適合する様になり、高温タービン技術の限界まで高温化が計られ、ガスタービンの熱効率が向上すると共に排気温度も高くなり、ボトムサイクルとして蒸気タービンを結合するのに有利となって来る。従って大型機では複合発電が多くなるであろう。

また小型機では排熱の利用が色々な用途に用いられる様になるろう。

かくしてガスタービンはこれらの特長を生かしてシステムの中の信頼性の高い一要素として利用される様になるものと考えられる。

車輛用、特に自動車用ガスタービンは、着実な研究が進められつつある。また最近ではターボチャージャーが増加しているが、これはガスタービンの低圧系が先づエンジンに組込まれたと考えてもよく、材料、加工法の進歩と共にガスタービンの前途は明るい様に思われる。

以上このパネル討論会でお話いただく問題の概要を述べたが、ガスタービンは内燃機関で、回転機械であるため熱機関としては最も小型で、高熱効率で、信頼性が高い形式として21世紀には広く使われる様になるものと考えられる。そのためには要素技術のみならず材料、加工、制御、などガスタービン技術の改良と共に、各種用途や各種材料など他分野との関係が深くなり、学際的な知識と他分野との共同が必要となるものと思われ、ガスタービン関係者の幅広い協調活動を期待したい。

# I. 燃料の多様化とガスタービン

## 〔航空用〕

### これからの航空エンジン — 燃料とのかかわり

石川島播磨重工業 飯島 孝

#### 1. これからの航空輸送の発展

○航空輸送の発展が期待される背景 として、所得水準の向上、産業構造の高度化とこれに伴う社会全体のモビリティの増加、分散型都市化の進行が挙げられる。一方、

○今後の航空輸送に課せられる制約条件 として省エネルギー、騒音・大気汚染などに係わる環境適合性、輸送密度増大・高速化などに応じた安定性の確保、向上などがある。

○今後必要とされる主なる技術開発 としては、関連する基盤技術、要素技術と共に、輸送システムとしての総合技術の進歩が挙げられる。

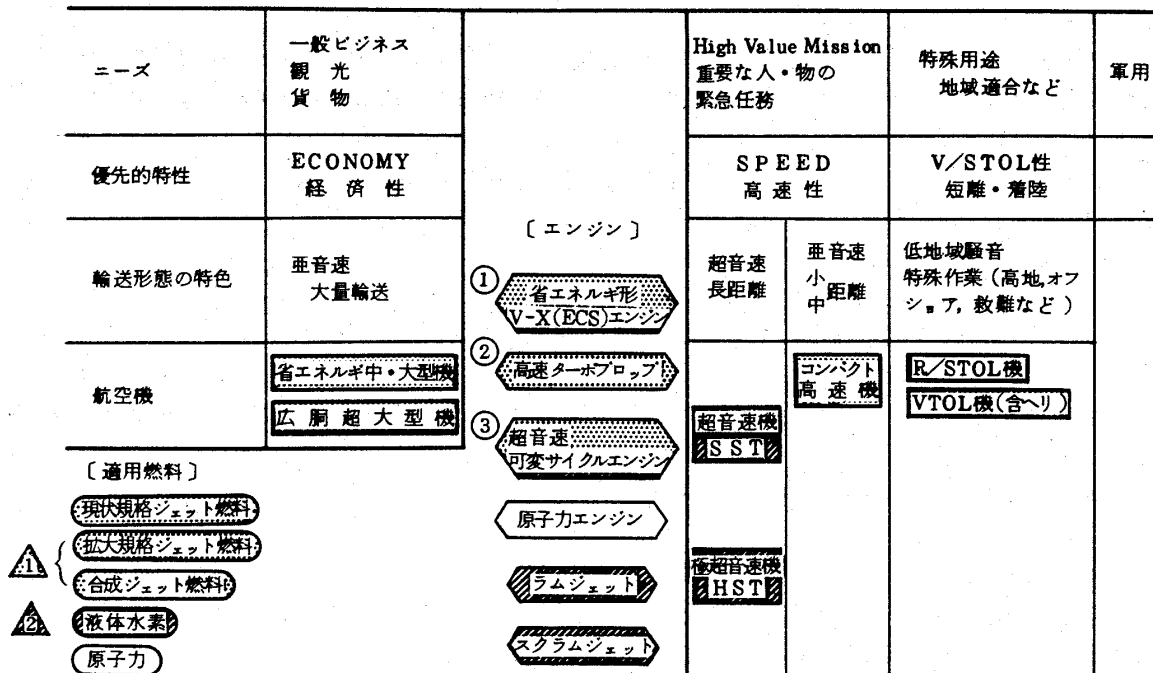
#### 2. これからの航空輸送における航空機・エンジン・燃料のかかわり

これからの航空輸送に求められることには、より多くの物量を、より安価に、より高速に、より便利に(特殊な用途に)などの各種のニーズがある。

第1図には、これらのニーズとこれに対応する航空機の形式と、エンジンの形式と、燃料の種類を記してある。これらの相互のかかわりは、図中のハッチングなどによる識別で大まかに表示してある。エンジンについて述べてみる。省エネルギー形として燃料消費率がすぐれたものが、亜音速大量輸送の中・大型機に使われ、その燃料は当分現用ジェット燃料または拡大規格燃料、合成燃料が適用されるであろうが、将来の広胴大形機には液体水素も使われるであろう。

#### 3. 航空エンジンにおける省エネルギー方策

これからの燃料問題と航空エンジンとのかかわりにおいて、先づ現用の燃料についてなるべく使用量を少なくする、すなわち省エネルギーをすすめることが既に先行しており、それと同時に石油航空燃料自体の原油からの収量増大のための規格範囲の拡大および石油以外の原料からの合成燃料の検



第1図 これからの航空輸送における航空機、エンジン、燃料のかかわり



討, 研究がすすめられているのが現状である。ここでは航空エンジンの省エネルギー方策について以下述べることとする。

3-1. 熱効率の向上 (エンジンとしての燃料消費率の低減)

○サイクルの改良 熱機関としてのサイクル効率を向上するために, 使用条件下で最適またはできるだけこれに近いものとする。このためには, より高圧力や高温度を採用することが必要となり, またより適正なバイパス比をえらぶこととなる。たとえばタービン入口温度は1300~1600℃, 圧縮機側全圧力比は35~45程度を実現するための開発が続けられている。

○構成要素の効率向上 エンジンを構成する要素, すなわちファン, 圧縮機, 燃焼器, タービン排気ノズルなどそれぞれの効率を向上するために, これら各コンポーネント (要素) 別にきめの細かい技術開発を積重ね, その結果をエンジン性能に反映してゆくようにすすめられている。

これらの熱効率向上実現のためには, 液体, 熱, 構造に関する設計, 解析技術の他, 金属, 非金属の新材料 (たとえば耐熱材料) や新加工法 (たとえば粉末冶金や新鋳・鍛造, レーザなどによる加工) がとり入れられつつある。

3-2. エンジンの小形・軽量化 エンジンを小形・軽量にすることによって, 搭載機体の抵抗減少, 機体構造の軽量化が可能とな

り, 航空機としての燃料消費量の低減をはかることができる。このためには従来よりさらに軽量な材料 (たとえば複合材料) を開発し実用化すること, 新しい構造解析手法や実験データの蓄積によって大幅に軽量に設計すること, 新しい加工プロセスをとり入れることなどがすすめられている。

3-3. 各飛行条件下での最適制御 航空機の飛行パターンの中で, たとえばタクシー, 離陸, 上昇, 巡航, 降下, 接近, 着陸など各使用条件下で, 燃料消費を最少とする最適制御を行う。そのためには, デジタル電子制御装置によって, 機体データも含む多くの変数による最適制御を行う。従来の油圧機械方式制御装置よりも断然多い変数を組込めること, 演算が容易なことがこれを可能とする。

さらにすすんでエンジンの内部形状を可変形状 (Variable Geometry) とし, これを上記のデジタル電子制御装置でコントロールすることによって, 飛行におけるトータル燃料の節減をはかると共に, 排気清浄化, 地域騒音領域の縮小, 安全性の向上なども同時に実現を図る。

3-4. 省エネルギー形ファンエンジンの概要

以上第3項で述べてきたことをファンエンジンの形で実現したとして, どんなものになるかを一例としてここに示す。V-X (ECS) エンジンと仮称する。すなわち Energy efficient, Clean, Silent Variable geometry 試験機の意である。

このエンジンの開発要素と新技術を第2図に示

開発要素 新技術	開発要素						備考 (主な開発事項)
	ファン	高圧圧縮機	燃焼器	高圧タービン	低圧タービン	ジェットノズル	
空気力学の革新による高効率要素設計技術	○	○	○	○			・数値解析法による高性能翼列開発 ・高性能超音速型翼列配備の実現 ・境界層・2次流れ解析の高精度化
革新材料	○	○	○	○	○		・焼結合金・耐熱セラミックス ・複合材料・単結晶鋳造タービン翼
可変幾何形状機構とその制御方法	○	○			○	○	・制御変数(入/出力信号)最適化 ・高精度温度/圧力センサー
革新空気冷却技術			○	○	○	○	・全面膜冷却 ・冷却空気量制御
空燃比制御技術			○			○	・空気流量センサー ・空気流量制御機構
翼端間隙制御技術	○		○	○		○	・翼端間隙制御機構
多変数制御技術						○	・多変数入/出力制御ロジック ・高精度電子コントローラー

第2図 V-X (ECS) エンジンの開発要素と新技術

す。現在のエンジンと比較した改善点の狙いを定性的に図示したのが第3図である。

このような考え方に基づく省エネルギー形ファンエンジンの技術開発は、米国ではNASAの主導により長期計画としてすすめられており、また英国でもロールス・ロイス社を中心に基礎研究や開発が行われている<sup>(1)</sup>。

4. これからの航空機燃料

4-1. 航空用燃料の特色

- 全エネルギー消費の中で、相対的使用量が低い。  
日本における例をとれば、国内総エネルギーのうち、航空には1%以下が用いられている。しかし、航空輸送の伸びを考慮すれば、2000年までには省エネルギーエンジンを用いたとしても3倍程度の消費増大が予想され得る。
- エネルギー密度の高いことが必要  
空中を飛行することから、単位重量又は体積当りの可利用エネルギーが大きいことが本質的な要求である。
- 高速輸送機関用として、エネルギー価格吸収率が比較的大きい。他に代替法のない高速性を利用す

る点で、特急料金的な負担はある程度社会的に許容される要素がある。

○現在は石油に全面依存しているのが事実である。

今後のコスト上昇、供給不安定、資源涸渇への配慮といった点から、石油以外の燃料への転換が真剣に検討されている。

4-2. 代替燃料について

4-1の特色から当分は石油燃料が使用されようが、必要量確保の手段として原油からの分留割合を広くすることが考えられ、そのためジェット燃料規格をひろげる検討が具体的にすすめられている。すなわち分留割合を現用ジェットA燃料の2~3%から5%程度に拡大するというものである(拡大規格燃料)。さらに石炭、天然ガス、オイルシェール、タールサンドなどからの分解および重合による合成ジェット燃料の製造の研究もすすめられている。これらには産油国に対するバーゲニングパワーとしての意味も多分にある。

これらの燃料の成分、性状の一部を表1に示す。ここで現用ジェットA燃料にくらべ、(1)芳香族分の増加、(2)水素分の減少、(3)凍結温度の上昇が示さ

Fig.A V-X(ECS)エンジンの燃料消費率

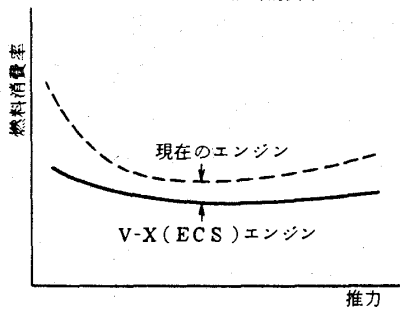


Fig.B V-X(ECS)エンジンによるファン効率の改善 (比較のため両エンジンのファン効率の高さを合せて示した)

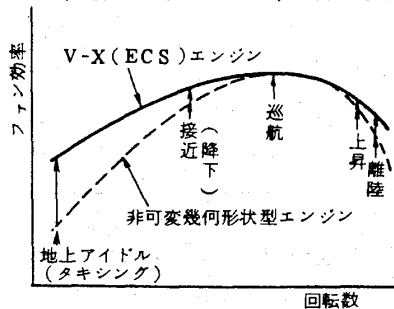


Fig.C V-X(ECS)エンジンによる騒音影響面積の減少

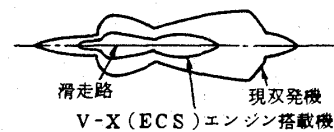


Fig.D V-X(ECS)エンジンの炭化水素濃度

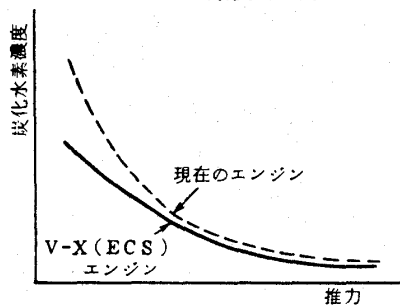
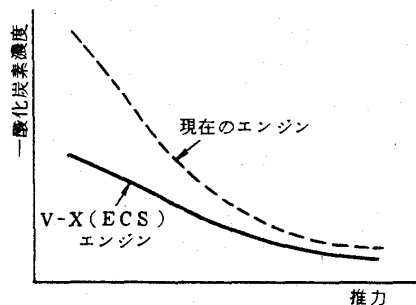


Fig.E V-X(ECS)エンジンの炭化水素濃度



第3図 V-X(ECS)エンジン改善点の狙い

表 1. 拡大規格および合成ジェット燃料

	ジェット A 燃料	拡大規格ジェット燃料	合成ジェット燃料
(1)芳香族分	17~25 %	30~35	35
(2)水素分	14~13.5%	13~12.5	13
(3)凍結温度	-60°C	-46→-34~-29	-29

れている。これらの変化の影響が、排気の煙やガスエミッション、燃焼器ライナ壁温度、燃料凍結などにあらわれるので、これに対する対策が具体的に研究されている(表2)。またこのような成分、性状の変化は現用のジェットAの規格許容値内でも分留割合のバラツキに応じてその傾向が現われてきている。

液体水素については将来有望な航空燃料として期待されるが、ここでは他稿に譲り触れないこととする。液体水素の製造、供給のシステム、設備・器材の整備とメンテナンスの各方面における技術・経済性・国際性などの調和が実現の鍵となろう。

5. おわりに

これからの航空輸送と燃料とのかかわりを、エンジンの立場から述べた。現在は石油燃料を使用しながらも燃料コスト増大や産油国からの供給不安定に対処するために、省エネルギー型エンジンの開発が急がれており、また石油依存の下でも原油からの収量を増す努力を行っている。さらに石油以外の原料からの燃料取得方法として、各種合成燃料や液体水素が具体的に検討の対象となって研

表 2. エンジンへの影響と対策

影 響	対 策
排ガスのスモーク・ナンバの増大 " CO,THC増大 " NO <sub>x</sub> の増大	多段燃焼方式 蒸発型燃料噴射弁 エアブラスト型燃料噴射弁 可変機構 予混合型燃料噴射弁 燃焼器etc. etc.
燃焼器ライナの温度上昇	冷却：対流フィルム方式、しみだし方式 etc. セグメント構造によるフープストレスの減少 熱遮へいコーティング
燃 料 凍 結	運行コースの選定 加熱装置

究がすすめられている。

航空輸送としての性格から、規格を拡大して設定することだけでも、多くのメーカーの製造設備能力や、世界各地での供給システムとの整合など、多くの検討と対策すべき点があることが、アメリカにおけるこの方面の動きからもうかがえる。

燃料の多様化という立場からは、他の分野のガスタービンにくらべて最も Conservative な石油依存的立場が当分続き、ある時期から大幅な変化として液体水素の実用化に移行してゆくといった様相をもっているのが航空用の特色といえよう。

参考文献

- (1) 飯島, 航空技術 No.292 (昭54-7) ~ No.299 (昭55-2)。

水素エンジン開発の問題点

全日本空輸株式会社 舟 津 良 行

世界の天然石油の産出量が頭打ちとなり、これから精製される航空用ジェット燃料の供給が乏しくなったり、価格が大幅に上昇して民間航空輸送での使用継続が困難になった場合の代替燃料として液体水素が一つの候補として取りあげられ、国際的なレベルで検討されはじめて既に数年を経過している。

この検討の結果、液体水素が民間の輸送機の代替燃料としては理想的なものであることが明らか

であるとされている。この検討では、1990年代に実用化が可能となると考えられる技術を取り入れることが前提となっており、この前提を生かすため、今後の開発にまつべき点も決して少なくない。

1956年以降、水素を燃料とする実物エンジンの運転、実機の飛行などによる開発研究が行われ、またこれに引き続いて宇宙開発が進められ、この中でロケットエンジンの燃料として水素が使われてきたことから、水素航空機用のエンジンは現在

表 1. 拡大規格および合成ジェット燃料

	ジェット A 燃料	拡大規格ジェット燃料	合成ジェット燃料
(1)芳香族分	17~25 %	30~35	35
(2)水素分	14~13.5%	13~12.5	13
(3)凍結温度	-60°C	-46→-34~-29	-29

れている。これらの変化の影響が、排気の煙やガスエミッション、燃焼器ライナ壁温度、燃料凍結などにあらわれるので、これに対する対策が具体的に研究されている(表2)。またこのような成分、性状の変化は現用のジェットAの規格許容値内でも分留割合のバラツキに応じてその傾向が現われてきている。

液体水素については将来有望な航空燃料として期待されるが、ここでは他稿に譲り触れないこととする。液体水素の製造、供給のシステム、設備・器材の整備とメンテナンスの各方面における技術・経済性・国際性などの調和が実現の鍵となろう。

5. おわりに

これからの航空輸送と燃料とのかかわりを、エンジンの立場から述べた。現在は石油燃料を使用しながらも燃料コスト増大や産油国からの供給不安定に対処するために、省エネルギー型エンジンの開発が急がれており、また石油依存の下でも原油からの収量を増す努力を行っている。さらに石油以外の原料からの燃料取得方法として、各種合成燃料や液体水素が具体的に検討の対象となって研

表 2. エンジンへの影響と対策

影 響	対 策
排ガスのスモーク・ナンバの増大 " CO, THC増大 " NO <sub>x</sub> の増大	多段燃焼方式 蒸発型燃料噴射弁 エアブラスト型燃料噴射弁 可変機構 予混合型燃料噴射弁 燃焼器etc. etc.
燃焼器ライナの温度上昇	冷却：対流フィルム方式、しみだし方式 etc. セグメント構造によるフープストレスの減少 熱遮へいコーティング
燃 料 凍 結	運行コースの選定 加熱装置

究がすすめられている。

航空輸送としての性格から、規格を拡大して設定することだけでも、多くのメーカーの製造設備能力や、世界各地での供給システムとの整合など、多くの検討と対策すべき点があることが、アメリカにおけるこの方面の動きからもうかがえる。

燃料の多様化という立場からは、他の分野のガスタービンにくらべて最も Conservative な石油依存的立場が当分続き、ある時期から大幅な変化として液体水素の実用化に移行してゆくといった様相をもっているのが航空用の特色といえよう。

参考文献

- (1) 飯島, 航空技術 No.292 (昭54-7) ~ No.299 (昭55-2)。

水素エンジン開発の問題点

全日本空輸株式会社 舟 津 良 行

世界の天然石油の産出量が頭打ちとなり、これから精製される航空用ジェット燃料の供給が乏しくなったり、価格が大幅に上昇して民間航空輸送での使用継続が困難になった場合の代替燃料として液体水素が一つの候補として取りあげられ、国際的なレベルで検討されはじめて既に数年を経過している。

この検討の結果、液体水素が民間の輸送機の代替燃料としては理想的なものであることが明らか

であるとされている。この検討では、1990年代に実用化が可能となると考えられる技術を取り入れることが前提となっており、この前提を生かすため、今後の開発にまつべき点も決して少なくない。

1956年以降、水素を燃料とする実物エンジンの運転、実機の飛行などによる開発研究が行われ、またこれに引き続いて宇宙開発が進められ、この中でロケットエンジンの燃料として水素が使われてきたことから、水素航空機用のエンジンは現在

使用されているものと根本的に相違するところは殆どないものとなるであろうことがわかっているが、民間の輸送機に使用するということから、信頼性、耐久性、価格などの面で、更に研究・開発を進めなければならない事項がいくつかある。

水素航空機全体について今後、尚必要とされる研究・開発項目とその内容については昨年8月と9月の日本航空宇宙学会誌に解説した通りであるが、ここでは、これまでに筆者の眼にとまった文献を参照して、エンジンに関して必要とされる研究・開発項目の主なものを通覧してみよう。

### 1. 水素エンジンの設計研究

必ずしも現用のエンジンにとらわれないで、広い視野から、想定される航空機に合った水素エンジンの設計の可能性をしらべることが必要で、このなかでは次のような項目に特別の配慮がはられる。

- a. 静かで無公害、しかも効率のよい水素エンジンの設計法、性能特性を確立する。同じ技術水準のジェットA燃料エンジンと比較し、寸度、重量、サイクル特性、性能、推定コスト、縮尺効果等を明らかにする。
- b. 主要な構成要素、すなわち、高圧ポンプ、熱交換器、燃焼器、騒音抑制装置、燃料制御装置、圧縮機、ファン、タービン及び冷却系統の基本的な設計要件を確立する。
- c. エンジン技術開発（後述の2以降）に必要なデータを集める。
- d. 現用エンジンを水素エンジンに改造するための現実的な改造設計要領を確立する。
- e. ジェットA燃料と水素を必要に応じて使いわけられるエンジンが必要かどうか、又、このようなエンジンでは性能上、どんな制約がでるかを示す。

これまでの研究では、次のようなサイクル、構成のエンジンが有望な一案として提示されている：

エンジンの設計点（最大巡航推力=6,500lb, 高度=35,000ft, 速度=M. 85）でファン圧力比=1.7:1, バイパス比=10:1, ブースター圧力比=1.45:1, 圧縮機圧力比=16.5:1, タービン入口温度=2,514°F(最大=2,700°F), サイクル

圧力比=40:1。

2スプール、直接駆動、排気分離型、1段ファン+2段ブースターは多段、非冷却の軸流タービンで駆動。ガス発生部は10段軸流圧縮機とアニューラ型燃焼器、強制冷却1段軸流タービン、スプールは同心。

熱交換器としては、水素とタービン冷却空気、エンジン滑油、客室空調用空気、排気ガスとの熱交換を行うもの4種類を使用。

エンジン補機類をふくむ乾重量=3,780lb.

以上は、水素エンジン全体としての課題であるが、次項以下は水素エンジンの個々の技術開発課題である。

### 2. エンジン技術の開発

前項のエンジン設計の研究によって得られたデータがこの項の技術開発の基礎条件となる。目的とするところは、水素燃料の利点を有効に利用することの出来る水素エンジンを作る必要な構成要素——ポンプ、熱交換器、燃焼器と燃料噴射装置、強制冷却タービンベーン及びブレード、燃料制御装置——を開発することである。また、もう一つの課題は、現用エンジンを水素エンジンに改造するという点で、デモンストレーション用、又は過渡的に航空機に使用するエンジンの改修費用と性能を推定するための基礎データを集めることである。

本項の研究の内容は次の通りである。

#### a. ポンプの開発

航空機用の昇圧ポンプとエンジン駆動高圧ポンプは、寿命が長く、信頼性が高く、整備性がよく、流量と圧力の広い範囲において効率がよいことが要求される。この研究では、この要件への合致を確認するため、ポンプの設計、製作及び開発試験が必要である。

このための第一歩は、前述の2種類のポンプの予備設計を行うことである。次いで、軸受の設計、製作及び適合性確認試験を行う。

昇圧ポンプとエンジン駆動高圧ポンプは設計要件が異なるので、それぞれ、別個に技術開発をしなければならない。

前記のエンジン用のエンジン駆動高圧ポンプの有力な候補と考えられているタイプは、2段遠心式設計で一定速度比でエンジンによって駆

動される。毎分5万回転という設計速度、685 psiaの圧力で102gpmの流量を出す。所要駆動力は67.7hpで、液体水素は50psiaの圧力で供給される。

ポンプで最もクリティカルな部分はエンジンギヤボックス側の滑油潤滑式の球軸受、ポンプ両端にあって液体水素中で作動するフォイル型ジャーナル軸受である。駆動は可撓性のある軸とスプライン結合によって行われている。又、空中でエンジンが停止して風車状態になったときのトルクがポンプに伝わらないように途中に流体接手が設けられる。このポンプの重量は13.1 lb位と推定されている。

#### b. 熱交換器の開発

想定した航空機の要件に合わせて、エンジン潤滑油や客室空調用の圧縮機抽気やタービンのベーンやブレードの冷却及びコアエンジンの排気で燃料を温めるための熱交換器を設計し、開発する。この試験では、凍結防止対策、熱交換器の効率、燃料流量の変動に対する特性、その他の設計要件への適合性を解明する。

#### c. 燃焼器と燃料噴射装置の開発

水素エンジン用として設計された燃焼器と燃料噴射装置の実験開発はまだ殆ど手がけられていない。従って、この開発では水素と空気の混合気用の噴射装置や燃焼器の好ましい形状と設計燃焼器温度等におけるNO<sub>x</sub>発生の機構、燃焼室内の温度分布などを解明することが必要である。

#### d. 強制冷却タービン ベーンとブレード

タービン冷却空気を液体水素で冷却すれば、冷却用の抽出空気量がすくなくなると高圧タービンの効率が良くなる。そこでこの熱交換の設計要件を確立するため現用のエンジンを使って試験を行う。この試験は2.b.で開発される熱交換器と同時に行うことができる。本項の試験では各種の設計に対して空気量と温度の関数としてのブレードやベーンの冷却効率やタービン効率に与える冷却空気流量の影響などが解明される。

#### e. 燃料制御装置

燃料制御装置の過渡現象を含み性能限界を確立するため、エンジンへの燃料供給および制御効果の解析を行う。引き続き代表的な装置を製

作し、起動、停止、設計飛行条件をみたく代表的な流量変化に対する制御をシミュレートし、解析の妥当性を検証する。

どの方式がえらばれるにせよ、燃料のポンピングとメータリングの機能と電子制御回路が使われるであろう。燃料系統の過渡的状态での熱交換器のキャパシタンスの効果をへらすため、流量モジュレーション及び閉止弁は熱交換器の下流に配置される。又、流量測定用のタービン型流量計は、流量モジュレーション弁の上流に設けられる。この構成を採用すれば、燃料供給システム内の水素ガスを起動時に利用でき、タンクまでの長い蒸気リターンラインを設けたり、蒸気を安全に放出したりする装置は不要となる。

#### f. 現用エンジンの改造

適当な現用エンジンをえらび、水素エンジンへの改造の可能性を解明する。このエンジンはエンジン以外の機体システムとの組合せで試験することを考えてポンプやパイプのサイズをえらぶことが望ましい。

この項では現用エンジンが水素用に改造しうるか、又、この改造で得られる性能、経済的メリットはどうなるかが評価される。

#### 参考文献

- (1) 舟津, 日本航空宇宙学会誌, Vol. 29 No. 331 (昭56. 8) p. 395 及び No. 332 (昭56. 9) p. 453.
- (2) Baerst, C.F. ほか1名, Proceedings of International Symposium on Hydrogen in Air Transportation (昭45. 9).

#### 討 論

(質 問) 宇多小路 豊(三菱重工業株)  
過去においてターボジェットエンジンからターボファンエンジンへと移行した時のような大幅な燃費の改善の努力をして行かないと社会全体の要望に応えられないのではないか。たとえばプロップファンなどを真剣に考える必要があるのではないか。

#### (回 答) 飯 島

その通りだと思う。実際アメリカでは、飛行マッハ数が0.8程度になっても効率よく作動する新開発のプロペラを使った新形高速ターボプロップが小、中距離、中形機などを含む亜音速機の消費燃

料の大幅な低減を狙って開発されつつある。ただし、振動、客席騒音対策等に伴う重量増加などの問題があり、消費燃料の低減と合わせて考える必要がある。

(質問) 谷村 篤 秀(川崎重工業株)

(1) 石油から水素燃料へ移行する際には機体、エンジン、地上施設等のコストが莫大なものになると考えられるがその点についてどう思われるか。

(2) 水素を単なる代替燃料と考えるのではなく、水素固有の優れた特性を生かすように考えるべきではないか。

(3) 将来の航空機の高速化、超音速化に適應できるエンジンとしてどのようなものを考えておられるか。

(回答) 舟津

水素燃料は発熱量当りのコストでは高くなるが、座席・km当りの燃料コストで考えると同程度であり、境界層制御技術等を使用すればより低くなる。

(回答) 飯島

飛行状態に応じてバイパス比を変えたりする可変サイクルエンジンが考えられる。これによってミッション全体の燃料消費が低減できる。また、騒音を減少させる対策として排気流速を同心で内外で逆転させ、外側の高速流で内側の低速流を囲むことが考えられている。

(質問) 鳥崎 忠雄(航空宇宙技術研究所)

水素航空機の安全性と信頼性についてのご意見をお聞きしたい。

(回答) 舟津

水素燃料が現用のジェット燃料より安全であるということはNASAでの実験で実証されている。その理由として、燃料がすみやかに空中に飛散してしまうこと、火炎の輻射温度が低い、有害な一酸化炭素を発生しない等が挙げられる。ただし、水素燃料の洩れの防止、検出および洩れ対策などについての新しい規律が必要となる。

### 〔指名討論者寄稿〕 水素エンジンについて

三菱重工業株名古屋航空機製作所 宇多小路 豊

原油価格は一方的に上昇を続けて来たが、今年3月から下落に向かっている。その背後の事情を眺めると、下落は一時的現象とばかりは言えないようである。(図1参照)

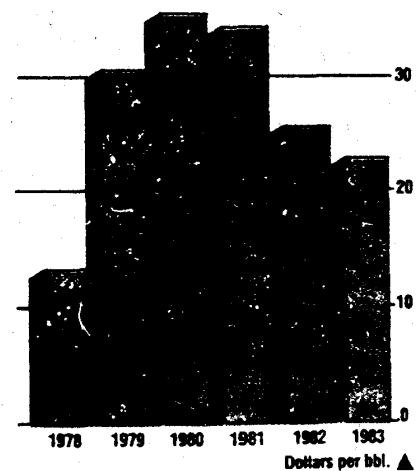
石油需要が低迷しているにも拘らず、OPECを構成する各国は、原油販売代金を強く必要としているために、大幅な値くずれを起こし、これを喰い止めるための生産調整も、各国の事情の違いから難航している。石油需要低迷の原因は、世界経済の停滞もあるが、予期以上の石油節約に負うところが大きい。

このような環境変化は、航空燃料を合成燃料あるいは水素へ転換する計画にかなりの影響をもたらすのではないかと。切迫感が薄らぎ、先行研究投資の必要性を正当化しにくい経済環境下で、航空燃料の転換問題と取組む事になるのではなからうか？

水素航空機シンポジウムの特別委員会が1979年に発足し、トライスター4機(貨物機)を数ヶ国間で

### The decline in oil prices...

Annual average spot price,  
Saudi Arabian light crude



Data: Wharton Econometric Forecasting Associates Inc.,  
Middle East Petroleum & Economic Publications.

図1. 原油価格の下落<sup>(3)</sup>

料の大幅な低減を狙って開発されつつある。ただし、振動、客席騒音対策等に伴う重量増加などの問題があり、消費燃料の低減と合わせて考える必要がある。

(質問) 谷村 篤 秀(川崎重工業株)

(1) 石油から水素燃料へ移行する際には機体、エンジン、地上施設等のコストが莫大なものになると考えられるがその点についてどう思われるか。

(2) 水素を単なる代替燃料と考えるのではなく、水素固有の優れた特性を生かすように考えるべきではないか。

(3) 将来の航空機の高速化、超音速化に適応できるエンジンとしてどのようなものを考えておられるか。

(回答) 舟津

水素燃料は発熱量当りのコストでは高くなるが、座席・km当りの燃料コストで考えると同程度であり、境界層制御技術等を使用すればより低くなる。

(回答) 飯島

飛行状態に応じてバイパス比を変えたりする可変サイクルエンジンが考えられる。これによってミッション全体の燃料消費が低減できる。また、騒音を減少させる対策として排気流速を同心で内外で逆転させ、外側の高速流で内側の低速流を囲むことが考えられている。

(質問) 鳥崎 忠雄(航空宇宙技術研究所)

水素航空機の安全性と信頼性についてのご意見をお聞きしたい。

(回答) 舟津

水素燃料が現用のジェット燃料より安全であるということはNASAでの実験で実証されている。その理由として、燃料がすみやかに空中に飛散してしまうこと、火炎の輻射温度が低い、有害な一酸化炭素を発生しない等が挙げられる。ただし、水素燃料の洩れの防止、検出および洩れ対策などについての新しい規律が必要となる。

### 〔指名討論者寄稿〕 水素エンジンについて

三菱重工業株名古屋航空機製作所 宇多小路 豊

原油価格は一方的に上昇を続けて来たが、今年3月から下落に向かっている。その背後の事情を眺めると、下落は一時的現象とばかりは言えないようである。(図1参照)

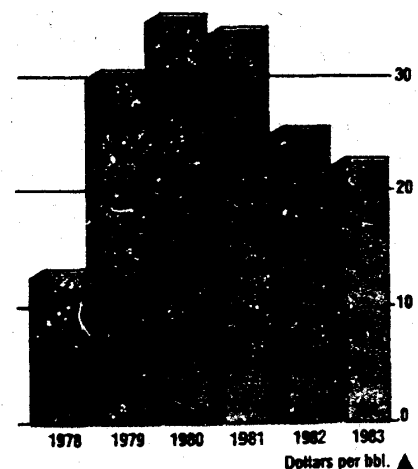
石油需要が低迷しているにも拘らず、OPECを構成する各国は、原油販売代金を強く必要としているために、大幅な値くずれを起こし、これを喰い止めるための生産調整も、各国の事情の違いから難航している。石油需要低迷の原因は、世界経済の停滞もあるが、予期以上の石油節約に負うところが大きい。

このような環境変化は、航空燃料を合成燃料あるいは水素へ転換する計画にかなりの影響をもたらすのではないかと。切迫感が薄らぎ、先行研究投資の必要性を正当化しにくい経済環境下で、航空燃料の転換問題と取組む事になるのではなからうか？

水素航空機シンポジウムの特別委員会が1979年に発足し、トライスター4機(貨物機)を数ヶ国間で

### The decline in oil prices...

Annual average spot price,  
Saudi Arabian light crude



Data: Wharton Econometric Forecasting Associates Inc.,  
Middle East Petroleum & Economic Publications.

図1. 原油価格の下落<sup>(3)</sup>



液体水素を燃料として実験運航する計画をピラミッドの頂点とし、裾野の広い壮大な開発計画を立案していることは、舟津委員の御紹介<sup>(1),(2)</sup>でつとに知られている。実験運航の規模をどの程度にするか等に議論があるにしても、この種の活動こそ石油価格の上り下りに振り廻されることなく、手を緩めずに進めるべきである。原油価格が一本調子で上昇する時代は去って、世界経済の仕組みの中で、上下する時代になりそうであるが、化石燃料を確実に喰いつぶしつつある事実を忘れてはならない。

これからの航空エンジン—燃料とのかかわり—  
超音速での旅行は、運航費と環境破壊の両面で極めて高価につく事がコンコードで実証されたが、この障壁を乗り越える糸口はまた当分つかめそうにもない。ところで、商用機の超音速化の必要性は、21世紀においてもそれ程強くないのではなかろうか。一段と多様化の進む21世紀のビジネス社会で、相手を知り価値観の違いを認識する等の段階では、文字通り顔と顔を突き合わせての対話が必要で、そのための超音速機での出張も必要かも知れない。しかし、日常の業務処理では、テレファックスやテレビ電話等の便利な通信機器をフルに活用すれば、出張せずに済むし、むしろその方が遥かに迅速と思われる。日本人の出国者統計<sup>(4)</sup>によると業務を目的とする渡航は僅か12%(1980年)で、残りの大半は観光が目的であり、この状態は今後も続くと思われる。したがって、商用機エンジンの最重要課題は、今後も高速化よりは、亜音速での燃料消費率の改善ということになる。

ところで、エネルギーの需給見通しであるが、日本の数字は次の通りである<sup>(5)</sup>。世界全体の需給見通し<sup>(6)</sup>も、総需要・石油需要の年間伸び率はほぼ同じ程度である。

表1. 長期 エネルギー需給見通し<sup>(5)</sup>

	昭和55年度実績 (1980)	65年度 (1990)	75年度 (2000)
エネルギー需要, 億kl	4.29	5.9	7.7
		3%/年	3%/年
石油需要, 億kl	2.85	2.9	2.9

航空旅客輸送 旅客人/年の年間伸び率を3~10%程度とみて上述の需給見通しと比較すると、節約と転換が急激に進む石油エネルギーの中で航空

機の比率がどのように増加していくかがよく理解できる。同時に、効率改善への社会的要請が如何に強いのかも理解できる。

Airline Fuel Utilization  
U.S. Trunk Airlines

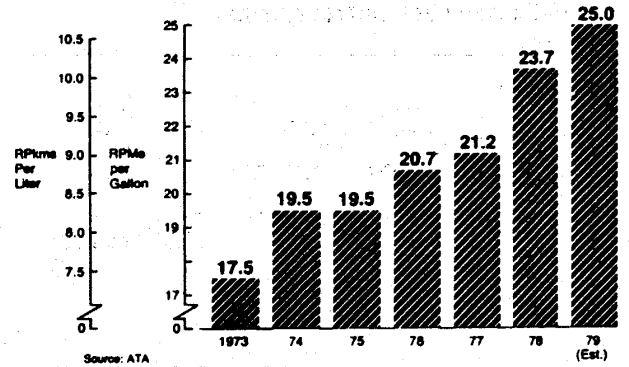


図2. 単位燃料量当りの輸送量の改善経過<sup>(6)</sup>  
(その1)

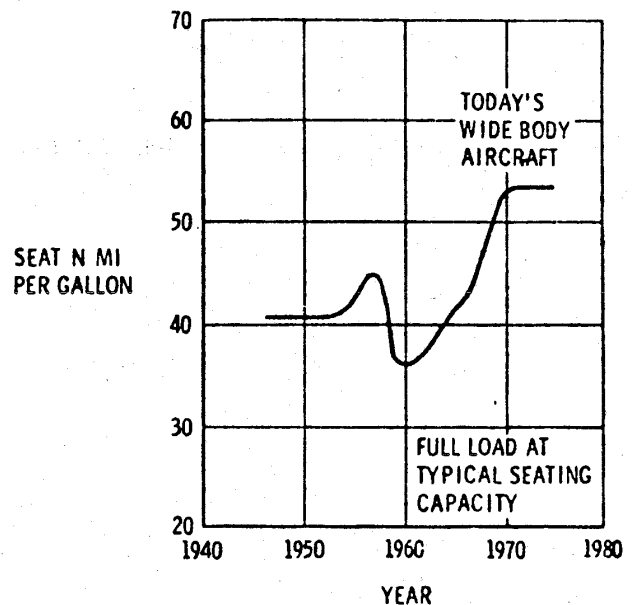


図3. 単位燃料量当りの輸送量の改善経過<sup>(7)</sup>  
(その2)

航空機の燃料消費の改善の経過は図2, 3<sup>(6),(7)</sup>に見るとおりである。図2は運航面恐らくは、Load Factorの改善も含めたものと思われ、6%/年程度の改善である。図3は、Load Factor 100%を仮定した試算で、4%/年(1960~1970)程度である。後者は、ローバイパスターボファンと、ハイバイパスターボファンが導入された時期であるにも拘

らず、4%/年程度に止まっていることは、注目すべきである。

以上のような背景のもとに、今後、21世紀へ向かって何をなすべきか？ ハイバイパスターボフ

### Fuel Consumption Improvements

Far-Term

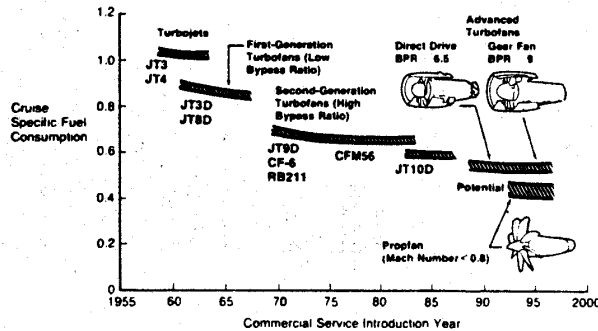


図4. 航空エンジンの燃料消費率改善の経過と見通し<sup>(6)</sup>

ァンの導入に匹敵する技術として、プロップファンを真剣に研究すべきではなかろうか(図4参照)。基本的な研究は、NASA等でなされているが、後退角のついたプロペラや軽量減速機等の実用実績をつみ上げる必要があり、それにはまず、数十人乗り程度の小型商用機の分野から実用化を計り、遂次大型の方向へ進めるべきであろう。

### 参考文献

- (1) 舟津, 日本航空宇宙学会誌, 29-331(昭56-8), 395
- (2) 舟津, 日本航空宇宙学会誌, 29-332(昭56-9), 453
- (3) Business Week Mar.22. 1982, p.42
- (4) 日本航空協会, 航空年鑑, 1981. p.137
- (5) 総合エネルギー調査会の中間報告, 1982. 4. 21 朝日新聞朝刊。
- (6) J.E.Steiner, Sixth Annual FAA Forecast Conference Proceedings. Oct. 1980
- (7) R.L.Foss ほか1名, SAE Paper 760537(1976 - May).

### 〔指名討論者寄稿〕 次世紀の航空エンジンを開発しよう

川崎重工業 谷村 篤 秀

現在一時的に天然石油の需給関係が緩んでいるとはいえ、中長期的観点に立てば化石燃料が早晩枯渇し価格の高騰供給不足をもたらすことは白明の理である。従って航空エンジンに於ける最も重要な問題は如何にして安定に供給されるエネルギー源を確保し且その有効的利用を図るかということであろう。勿論この目的に関してもその達成の度合や時点に関しても可成論者によりて見解の別れる所であり、且又第二義的な問題としては耐環境性や安全性についても当然考慮が払われるべきであることには異論はない。

長期的な視野に立てば資源総量と消費密度よりみて現有のエネルギー発生技術に立脚する限り最終手段は核分裂/融合を含めた広義の原子力エネルギーであると考えられる。

又これらのエネルギーの最良の伝送形態は電気エネルギーである。ただ電気エネルギーはそのままの姿では大容量の貯蔵が困難であり、通常化学

エネルギーや位置エネルギーに変換して貯蔵される。

交通機関の動力源としても既に地上に於いては鉄道車輛の主力は従来の化石燃料をエネルギー源とする石炭焚蒸気機関車やディーゼル機関車/動車より電気機関車/電車で完全に置換されてきた。

又将来の高速列車用にはリニアモーター方式の実現も考えられる。自動車用機関としても電気自動車は当分はその初期投資及びエネルギー自体の高価格性とエネルギー形態変換の非効率性のため僅かに低公害性に重点をおいた限定用途にのみ使用されている現状であるが、中期的にはその技術的進歩と電気エネルギー対化石燃料エネルギー価格の比率が改善されるに伴って急速に普及する可能性が強い。船用部門に於いても電気エネルギーの伝達制御の容易さより従来方式の推進機関に於いても進出の可能性が考えられると共に、新しい電磁推進方式等の分野での使用が期待される。

航空エンジン分野に於いては地表交通機関と異

らず、4%/年程度に止まっていることは、注目すべきである。

以上のような背景のもとに、今後、21世紀へ向かって何をなすべきか？ ハイバイパスターボフ

### Fuel Consumption Improvements

Far-Term

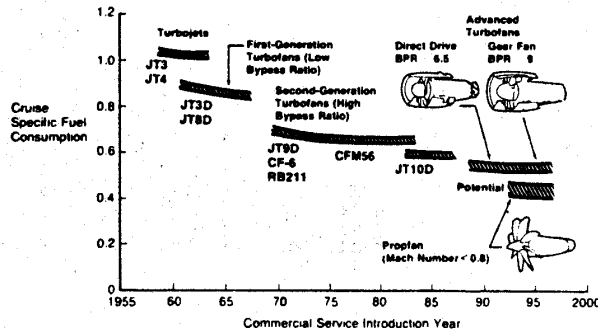


図4. 航空エンジンの燃料消費率改善の経過と見通し<sup>(6)</sup>

ァンの導入に匹敵する技術として、プロップファンを真剣に研究すべきではなからうか(図4参照)。基本的な研究は、NASA等でなされているが、後退角のついたプロペラや軽量減速機等の実用実績をつみ上げる必要があり、それにはまず、数十人乗り程度の小型商用機の分野から実用化を計り、遂次大型の方向へ進めるべきであろう。

### 参考文献

- (1) 舟津, 日本航空宇宙学会誌, 29-331(昭56-8), 395
- (2) 舟津, 日本航空宇宙学会誌, 29-332(昭56-9), 453
- (3) Business Week Mar.22. 1982, p.42
- (4) 日本航空協会, 航空年鑑, 1981. p.137
- (5) 総合エネルギー調査会の中間報告, 1982. 4. 21 朝日新聞朝刊。
- (6) J.E.Steiner, Sixth Annual FAA Forecast Conference Proceedings. Oct. 1980
- (7) R.L.Foss ほか1名, SAE Paper 760537(1976 - May).

### 〔指名討論者寄稿〕 次世紀の航空エンジンを開発しよう

川崎重工業 谷村 篤 秀

現在一時的に天然石油の需給関係が緩んでいるとはいえ、中長期的観点に立てば化石燃料が早晩枯渇し価格の高騰供給不足をもたらすことは白明の理である。従って航空エンジンに於ける最も重要な問題は如何にして安定に供給されるエネルギー源を確保し且その有効的利用を図るかということであろう。勿論この目的に関してもその達成の度合や時点に関しても可成論者によりて見解の別れる所であり、且又第二義的な問題としては耐環境性や安全性についても当然考慮が払われるべきであることには異論はない。

長期的な視野に立てば資源総量と消費密度よりみて現有のエネルギー発生技術に立脚する限り最終手段は核分裂/融合を含めた広義の原子力エネルギーであると考えられる。

又これらのエネルギーの最良の伝送形態は電気エネルギーである。ただ電気エネルギーはそのままの姿では大容量の貯蔵が困難であり、通常化学

エネルギーや位置エネルギーに変換して貯蔵される。

交通機関の動力源としても既に地上に於いては鉄道車輛の主力は従来の化石燃料をエネルギー源とする石炭焚蒸気機関車やディーゼル機関車/動車より電気機関車/電車に完全に置換されてきた。

又将来の高速列車用にはリニアモーター方式の実現も考えられる。自動車用機関としても電気自動車は当分はその初期投資及びエネルギー自体の高価格性とエネルギー形態変換の非効率性のため僅かに低公害性に重点をおいた限定用途にのみ使用されている現状であるが、中期的にはその技術的進歩と電気エネルギー対化石燃料エネルギー価格の比率が改善されるに伴って急速に普及する可能性が強い。船用部門に於いても電気エネルギーの伝達制御の容易さより従来方式の推進機関に於いても進出の可能性が考えられると共に、新しい電磁推進方式等の分野での使用が期待される。

航空エンジン分野に於いては地表交通機関と異

なり高速遠隔の大気中を高速移動する航空機への電気エネルギーの伝送や機内での貯蔵の非効率性のため近い将来に於ける電気エネルギーによる推進機関の実現は非常に困難と考えられるし、又原子力航空機の可能性についても既に言及されて久しいが機内外に於ける放射能問題の解決の困難性のため未だ実用化のめどすらたっていない。ただ長期的には高空巡航時には静止衛星により太陽エネルギーを集め中継衛星を経てレーザー方式でエネルギーを伝送するいわゆるレーザー航空機は低公害でもあり、且エンジンとしては熱交換装置を追加するのみによって実現可能であるので、今後のレーザー及び衛星技術の開発によって将来有望と考える。しかしこの場合でも離着陸時には従来型の燃料を使用する運航形態が必要となる。

現時点に於いてはここ暫くは新油田の開発及び全エネルギー消費分野に於ける省エネルギー対策の徹底によって石油を原料とするジェット燃料が確保可能であり、且價格的にも他の化石燃料より製造される合成燃料や水素等より優位な状態が続くと考えられる。しかしながら将来長期的に利用し得る燃料としては原子力エネルギーを使用し無限の資源である水の電気分解を行うことにより製造可能な水素や栽培された植物より製造されるメチルアルコールが有望と考えられるが、残念ながら後者は単位重量当りの発熱量が低く、航空用としては一般的には不適当と考えられる。これに反し水素は密度がジェット燃料の1/11と小さいため同一発熱量当り体積は千倍が必要であるが重量的には2.7分の1ですむと共に燃料特性/効率が良く且低公害であるので非常に有望である。しかし水素燃料航空機の実現のためにはエンジン自体としては熱交換器を含む燃料系統及び燃料制御装置の開発以外は基本的には従来型エンジンの技術がそのまま適用可能でありむしろ問題は運転システム全体の問題である。即ち大容量の極低温燃料タンクを搭載した安全で信頼性の高い機体の開発といった技術面の開発が必要なことは当然であるが、これらの点については既に技術的に検討が進んでおり、むしろ水素燃料航空機への切換えに伴う地上空港設備や燃料製造設備への新規投資が膨大な額となるのは勿論、切換え中途に於ける両者併存時やあるいは大型長距離機の全面切換え以降にもなお存

在を続けると思われる中小型従来燃料型機の運航に必要な機材・設備の維持も必要であり、昭和50年時点での一試算では商用機の開発に3~4000億円、又地上設備のみで全世界で50~100億ドルの投資が必要と言われているが、更に増大することが予想される。従って水素燃料航空機の実現には国際的な政府間の合意と強力な推進施策が不可欠である。

航空エンジン自体としては燃料の種類は如何にかかわらず、高効率化/低燃費化及び低公害化が必要であり又エンジン単体としての技術開発が有効である。低燃費の実現には高温化/高圧化によるサイクル的改善、ECSエンジン構想に集約されている空気力学的高効率要素、流路内外への空気抽気/洩れの減少、最適制御技術の実現を具体化すると共に日本の国情より必要性の大きいと考えられる中短距離旅客機に適したプロップファンによる推進効率の向上を結合具体化した動力システムの開発を是非実現化したい。勿論上記技術向上の達成のためには圧縮機・タービン・燃焼器の高効率化・冷却効率の向上・構造設計対/強度解析技術の追求と共に材料面に於ける改善が重要な因子となる。高温化のためには冷却手法の向上もさることながら現用の耐熱材の次の世代に実用化が期待されるセラミック系材料の使用や、又比強度に於いて超高張力鋼やチタニウム等現構造材料よりはるかに優れた複合材料を積極的に導入することにより、機体構造のみならずエンジンに対しても大幅な重量軽減が可能であり、これは相乗的に、運航燃料の減少に影響を与える。

上記技術の商用化のためにはいずれも長期間にわたる開発研究と莫大な投資を必要とするが、数年前には今世紀中にも石油が枯渇するように騒がれたことを想起しても明らかな如く、将来の燃料問題解決のために無駄に出来る時間的余裕はない。

直ちに我が国の取べき方向の定義づけを行い、総力を結集して20世紀の航空機の実現に邁進するのが私の夢である。

## 〔指名討論者寄稿〕 水素燃料航空機の問題点

航空宇宙技術研究所 鳥崎忠雄

航空燃料として具備すべき条件は、

- (1) 豊富で安価であり、燃焼性の良いこと、
- (2) 単位重量当りの発熱量の大きいこと、
- (3) 貯蔵・輸送が容易で、取扱いが安全なこと

などの点から、航空燃料は石油燃料が使用され、世界で総産出量の3%程度使用されている現状である。この石油燃料に代わる代替燃料として、合成燃料、アルコール、LNG、LH<sub>2</sub>などが考えられるが、重量当りの発熱量が石油等の2.7倍もあるLH<sub>2</sub>を使用すれば、燃料重量が離陸重量の1/3も占める長距離輸送機では、大幅な重量減となりエンジン推力の減少もはかられ、騒音の低減につながり、また、排ガスの有害成分も少なくなる可能性

を有している。しかし、このLH<sub>2</sub>航空機を実用し得る条件は、

- (1) 大量なLH<sub>2</sub>を安価に、安定に供給出来ること
- (2) LH<sub>2</sub>の空港への輸送・貯蔵、航空機への補給など関連設備が完備されること
- (3) 地上設備を含め、LH<sub>2</sub>航空機の安全性確立と信頼性の実証

が要めであると思う。特に(3)の条件は航空関係者航空機を利用する者だけでなく、空港周辺住民など幅広い合意を必要とするのではなかろうか。これらの問題解決のためには航空機は国際商品であり、今後、国際共同開発が必要となろう。

## 〔産業用〕

## ガスタービン、複合発電に対するガス燃料使用の現状と展望

三菱重工業㈱ 竹矢一雄

## 1. LNG (LPG) 火力発電

二度のオイルショックから見事な立直りを見せた日本経済は、世界の驚異と羨望の的であり、最近ではその反動で“貿易摩擦”騒ぎが取沙汰されている。これらは国民性に根ざした社会環境に帰因する部分も多いが、基本的に日本経済の持つ活性が状況変化に即応出来るフレキシビリティに豊んでいることを示唆するものであり、保守的、実証主義的な、堅実経営の鑑みと目されていた電力業界も、脱石油への変身の早さは驚異的と言うべきであろう。

表-1. 昭和65年末電力設備予想

(昭和57年度長期計画)

燃料	設備 万kW(比率%)	発電量億 kWh(比率%)
原子力	4,660 (22.0)	2,530 (31.4)
石炭	2,200 (10.4)	970 (12.0)
ガス	4,870 (23.0)	1,980 (24.6)
石油	5,040 (23.8)	1,510 (18.8)
合計	21,170 (100)	8,050 (100)

表1は昭和57年度長期計画に基づく昭和65年末の電力構成予想であり、数年前まで総発電量の70%を占めていた石油火力が20%以下になり、LNGを主体とするガス火力は逆に総発電量の1/4近くを占めている。このためには4,000万kwの新設備の建設が必要となるが、これらは現在建設中のものを含めその大部分が、ガスタービンを主力にしたコンバインドサイクルとなる可能性が極めて強い。

LNG火力が脱石油として世界に認知されているかどうかは幾分疑問である。— 米国、西欧では天然ガスはクリーン燃料として民生用優先が叫ばれている。但し最近の情報によると米国でもカーター政権時代の電力事業に対する天然ガス使用制限の政策は緩和され、天然ガスによるコンバインドサイクルの新増設が進められている — しかしながら日本でのLNGは原産地におけるLNG製造基地、専用タンカーによる大量輸送を含めて、国際的な長期契約に基づくコンビナート形式の大型開発プロジェクトとして位置づけられており、現実

## 〔指名討論者寄稿〕 水素燃料航空機の問題点

航空宇宙技術研究所 鳥崎忠雄

航空燃料として具備すべき条件は、

- (1) 豊富で安価であり、燃焼性の良いこと、
- (2) 単位重量当りの発熱量の大きいこと、
- (3) 貯蔵・輸送が容易で、取扱いが安全なこと

などの点から、航空燃料は石油燃料が使用され、世界で総産出量の3%程度使用されている現状である。この石油燃料に代わる代替燃料として、合成燃料、アルコール、LNG、LH<sub>2</sub>などが考えられるが、重量当りの発熱量が石油等の2.7倍もあるLH<sub>2</sub>を使用すれば、燃料重量が離陸重量の1/3も占める長距離輸送機では、大幅な重量減となりエンジン推力の減少もはかられ、騒音の低減につながり、また、排ガスの有害成分も少なくなる可能性

を有している。しかし、このLH<sub>2</sub>航空機を実用し得る条件は、

- (1) 大量なLH<sub>2</sub>を安価に、安定に供給出来ること
  - (2) LH<sub>2</sub>の空港への輸送・貯蔵、航空機への補給など関連設備が完備されること
  - (3) 地上設備を含め、LH<sub>2</sub>航空機の安全性確立と信頼性の実証
- が要めであると思う。特に(3)の条件は航空関係者航空機を利用する者だけでなく、空港周辺住民など幅広い合意を必要とするのではなかろうか。これらの問題解決のためには航空機は国際商品であり、今後、国際共同開発が必要となろう。

## 〔産業用〕

## ガスタービン、複合発電に対するガス燃料使用の現状と展望

三菱重工業㈱ 竹矢一雄

## 1. LNG (LPG) 火力発電

二度のオイルショックから見事な立直りを見せた日本経済は、世界の驚異と羨望的であり、最近ではその反動で“貿易摩擦”騒ぎが取沙汰されている。これらは国民性に根ざした社会環境に帰因する部分も多いが、基本的に日本経済の持つ活性が状況変化に即応出来るフレキシビリティに豊んでいることを示唆するものであり、保守的、実証主義的な、堅実経営の鑑みと目されていた電力業界も、脱石油への変身の早さは驚異的と言うべきであろう。

表-1. 昭和65年末電力設備予想

(昭和57年度長期計画)

燃料	設備 万kW(比率%)	発電量億 kWh(比率%)
原子力	4,660 (22.0)	2,530 (31.4)
石炭	2,200 (10.4)	970 (12.0)
ガス	4,870 (23.0)	1,980 (24.6)
石油	5,040 (23.8)	1,510 (18.8)
合計	21,170 (100)	8,050 (100)

表1は昭和57年度長期計画に基づく昭和65年末の電力構成予想であり、数年前まで総発電量の70%を占めていた石油火力が20%以下になり、LNGを主体とするガス火力は逆に総発電量の1/4近くを占めている。このためには4,000万kwの新設備の建設が必要となるが、これらは現在建設中のものを含めその大部分が、ガスタービンを主力にしたコンバインドサイクルとなる可能性が極めて強い。

LNG火力が脱石油として世界に認知されているかどうかは幾分疑問である。— 米国、西欧では天然ガスはクリーン燃料として民生用優先が叫ばれている。但し最近の情報によると米国でもカーター政権時代の電力事業に対する天然ガス使用制限の政策は緩和され、天然ガスによるコンバインドサイクルの新増設が進められている — しかしながら日本でのLNGは原産地におけるLNG製造基地、専用タンカーによる大量輸送を含めて、国際的な長期契約に基づくコンビナート形式の大型開発プロジェクトとして位置づけられており、現実

に石油消費の節減には非常に有効な手段となっている。

ところでLNGはガスタービン燃料としては理想的であり、省エネルギー、高効率指向の時代の要請に対処して、通常火力からコンバインドサイクルへの転換に際しての大きなインパクトとなっている。即ち通常火力では重油とLNGの経済面での燃料格差は殆ど存在しないが、ガスタービンでは高温腐蝕を始めとしてその優位差は極めて大きく、LNGを使用する以上はコンバインドサイクルであるべきだとの世論が喚起されたことも無視出来ない。

大型ガスタービンの分野で日本は久しく不毛の市場であり、国内のガスタービンメーカーは海外に活路を求め続けたが、これも我国の燃料事情、経済環境から見て当然の帰結と言えるだろう。従って昨今のLNG焚き大型コンバインドサイクルの登場は、そうした我国のガスタービン市場にとっては将にドラマチックな時代の転換を意味するものと受け止められている。

## 2. LNGコンバインドサイクルの現状

LNG焚き火力発電を通常火力からコンバインドサイクルへ転換する動きは、各電力会社共活潑であり、計画中と噂に登っているものは10プラントに及ぶが、すでに設置が決定したプラントの例を表2に示す。

表-2. 大型コンバインドサイクルプラント

プラント名	出力 MW	運転開始 予定	ユニット構成	製作者
東京電力 富津No.1	1,000	S60-9	G/T×7, S/T×7	GE(東芝)(*)
東京電力 富津No.2	1,000	S60-12	G/T×7, S/T×7	GE(日立)(*)
東北電力 東新潟No.3	1,090	S59-12	G/T×6, S/T×2	三菱重工

(備考) (\*)各1~6号機 GE, 7号機 東芝, 日立

東京、東北両プラント共にコンバインドサイクルの基本構成はガスタービンと排熱ボイラをユニットとし、排気助燃は行わない単純排熱回収方式であるが、蒸気タービンの形式は東京電力がユニット式でガスタービンと一軸にし、発電機を共用しているのに対し、東北電力はガスタービン、排熱ボイラ3基に対し蒸気タービンを独立に1基設ける

方式となっている。この両方式にはそれぞれに優劣があり、主としてユーザーの運用面からの選択で決定されるものであるが、定性的には部分負荷、制御性ではユニット式がやや有利である。反面、蒸気タービン共用式の方が蒸気タービンの大型化が計られるので、蒸気条件の高温高圧化が容易であり、ボトムリングサイクルでの熱効率の改善が可能である。特に将来更にガスタービンの高温化が推進されると、その結果排ガス温度も上昇し、再熱式の蒸気タービンが採用される気運にある。この場合には、後者の優位性が強調されるだろう。図1, 2, 3は東京電力富津プラントのガスタービン本体、プラント構成、部分負荷特性を、また、図4, 5, 6は東北電力東新潟プラントのそれぞれを示す。

## 3. ムーンライト計画・高効率ガスタービン

LNG焚き大型コンバインドサイクルは前項に示す如く、通常火力に比べれば、熱効率、部分負荷特性、起動性等、種々のメリットが期待されるが更に省エネルギー効果を促進するために国家プロジェクト“ムーンライト計画”ではLNGを燃料とする高効率コンバインドサイクル用のガスタービン開発が進められている。

コンバインドサイクルの熱効率はガスタービン単独の効率に一義的に対応するものではなく、むしろ比出力(ガスタービン出力/吸気流量)が支配的である。そこで、コンバインドサイクルのための高効率ガスタービンとして、ムーンライト計画では二段燃焼、中間冷却方式のレヒートガスタービンを開発中である。

第一次試作機(パイロットプラント)ではLHVベースのコンバインドサイクル効率50%級を、第二次(プロトタイプ)では目標熱効率55%を指向している。

パイロットプラント(AGTJ-100A)の仕様概要を表3に、また組立断面を図7に示す。パイロットプラントでも、高圧タービン入口温度1,300℃、低圧タービン入口温度1,200℃、全圧力比55と既存のガスタービンからはかなりの飛躍ではあるが、プロトタイプではより一層の効率向上が要求されており、更に高温化、高要素効率化を計る

ガスタービン

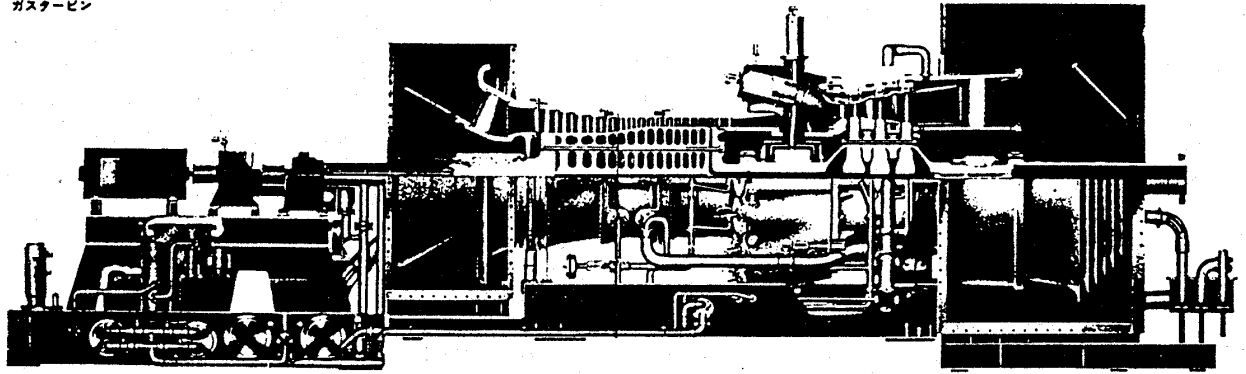


図-1

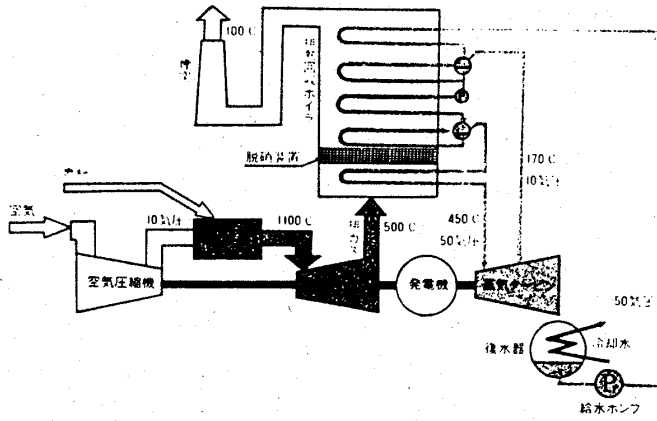


図-2

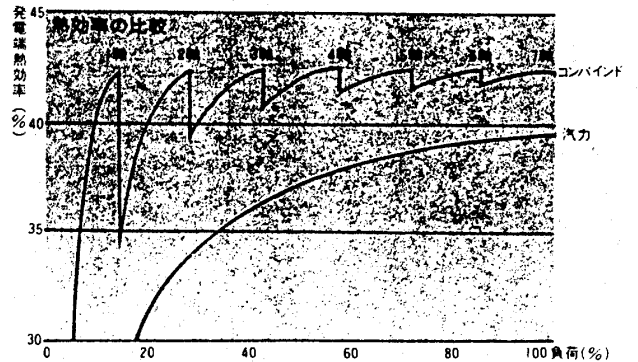


図-3

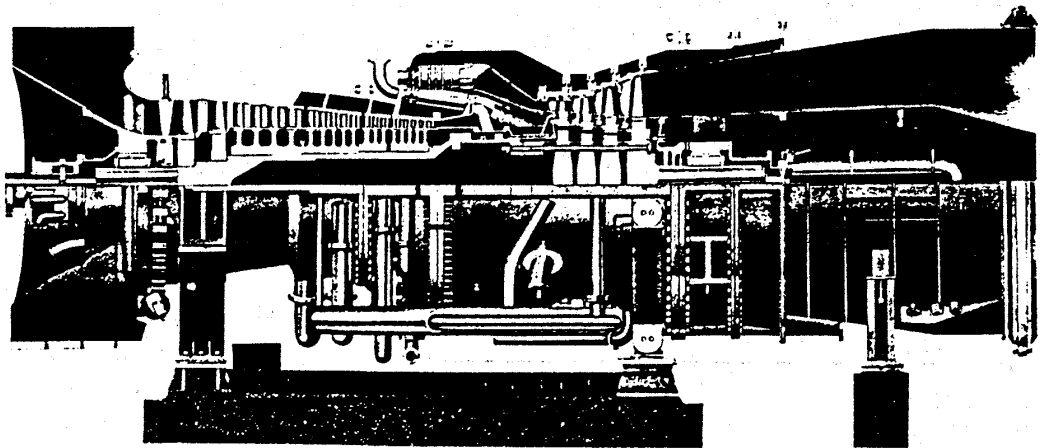


図-4

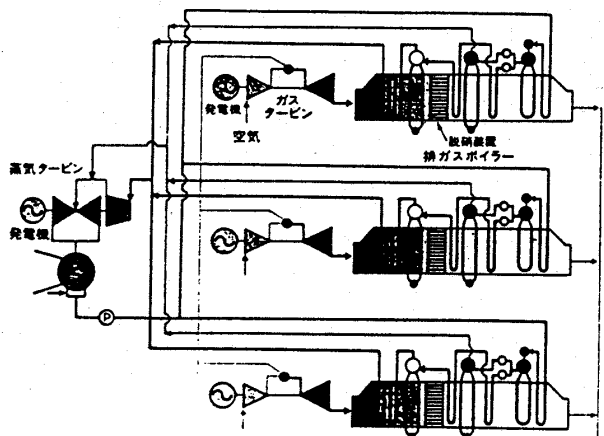


図-5

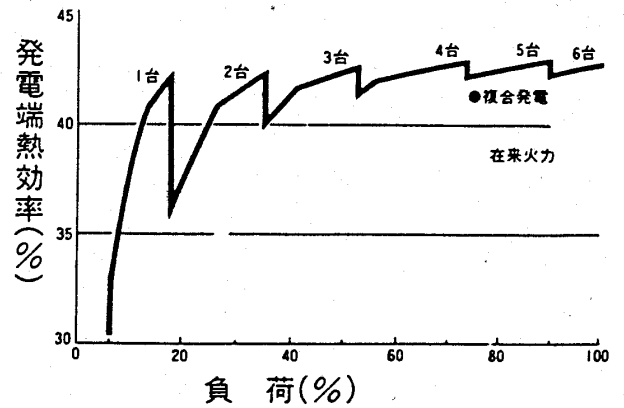


図-6 在来火力との熱効率の比較



表-3. AGTJ-100A 計画主要目

型式	2SC-(I+L)P-IR 二軸,中間冷却,再燃ガスタービン
出力	124 MW
排気流量	232 kg/s
排気温度	607 °C
ガスタービン効率	39.4 % (LHV)
コンバインドサイクル効率	53.8 % (LHV)
全圧力比	55
タービン入口温度	1,300°C(高圧), 1,200°C(低圧)
回転数	高圧系8600rpm(時計廻り),低圧系3000rpm(反時計廻り)
圧縮機	高圧16段(3段抽気),低圧10段(全静翼可動)
タービン	高圧2段(空冷),中圧2段,低圧4段(2段空冷)
燃焼器	高圧10カン,再燃器12カン
中間冷却器	水噴射式蒸発冷却器

必要があり,これらの基礎,応用研究を官民一体となって実施中である。研究項目の内では比較的至近年に実用化の見通しが得られると期待され,プロトへの適用を考慮している項目は,

#### (A) タービン翼関係

- 高温クリープ強度の高いタービン翼用鋳造合金(DS用鋳造合金を含む)の開発
- 高強度一方向凝固鋳造(DS)技術
- 遮熱セラミックコーティング技術
- 全面フィルム冷却(FCFC)等に利用するヤグレーザによる細孔加工技術
- ウエハ型薄板積層によるトランスピレーション冷却方式静翼の製造技術
- 高耐熱性 Ni 基 ODS 合金(MA)による張合せ式静翼の拡散接合技術

#### (B) 燃焼器関係

- 積層板によるトランスピレーション冷却燃焼

#### 器の開発

- 高耐熱性 Fe 基 ODS 合金(MA)による加工技術
- ジルコニア・イットリア( $ZrO_2 \cdot Y_2O_3$ )系セラミックコーティング
- セラミック・タイル内張型燃焼器の開発

次に更に長期的な展望に立ってセラミックに関する基礎,応用研究,タービン翼燃焼器の製造研究及び応力解析,評価技術研究を行っているが,その成果としてセラミック製のタービン翼,燃焼器の実用が可能となれば効果的なタービン温度の上昇

が期待出来,その結果熱効率も大幅に向上する筈である。

#### 4. 21世紀への展望

21世紀の電力需要は如何にして解決されるのだろうか? 多くの識者の意見にはあまり大きな違いはないようであるが,その公約数的な未来予測も科学技術の推移発達に対する希望的観測及至は人類の未来に対する願望が込められていることは否めない。従って技術の進歩に対し確固たる信念を持ち合せずに私見を述べても空論の誘いを受けけることは重々承知の上で,あえて放言を許して頂くとして,21世紀の電力供給は原子力(核融合を含む)に期待する外はなく,これを補間するのは石炭であり,LNGはピークニーズ及びローカルなコミュニティを対象としたトータルエネルギーシステムのエネルギー源として位置づけるべきではないかと思う。この場合ピーク用は高効率の

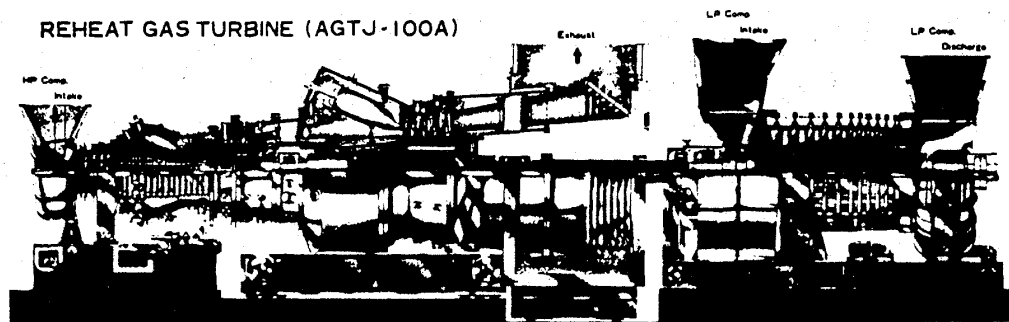


図-7

コンバインドサイクルが、コミュニティには燃料電池と太陽熱の組合せが想定される。このように考えるとLNG 焚き大規模コンバインドサイクルの社会的使命は、本格的な石炭ガス化コンバインドサイクルの時代への橋渡しとして比較的短期決戦の戦略機種として位置づけられるべきであろう。

主役としてのLNG 焚きコンバインドサイクルが比較的短命であるとしても、中核となるガスタービン技術は次世代の石炭ガス化に継承されるものであり、LNG から石炭への燃料転換は長期的視野に立っても、全面的なガスタービンの開発姿勢の軌道修正にまで遡及するものではないと考える。

しかしながら石炭ガス化の場合には、ガス化に伴う熱損失を二次系で回復しなければならず、通常火力との競争はLNGの場合とは比較にならないハンディをコンバインドサイクル側が背負うことになり、挑戦者にとっては長く険しい茨の道を覚悟しなければならない。

コンバインドサイクルの熱効率改善を指向したガスタービン開発は二つの焦点を持つと考えられる。第一は所謂高温タービン技術(HTTT)と呼ばれるものであり、第二はガスタービンシステム技術である。

前者に関しては水(蒸気)等の冷媒を用いて、ガス主流の温度とタービン翼の材料温度との相関関係を断絶する方式と、ガスタービン系の作動空気を分流してタービン翼を冷却する方式に大別される。その内でも水冷却は極めて魅力的な新技術であり、もし工業的に技術開発が成功すれば新しい技術分野の一頁を開くことにもなる。それ丈に単なる思い付き程度で足を踏み込んでもまず成功の見込みはないであろう。これに対し空冷翼は現状技術の改良を一步一步積上げる方式であり、少くとも現在までの開発の経過を見る限りは成功であったと言うべきであるが、将来性に関しては先が見えている感じで多くは期待出来ない。即ち大量の冷却空気を使用して、冷却温度効率を高めることによりガス温度を上げるという従来の発想法では熱効率の上昇もほぼ限界に近づきつつある。従って残された道は材料自身の許容温度を上げることと、有効な熱遮断技術によりタービン翼への主流からの入熱量を低減することに重点指向すべきである。

次に第二の対策であるシステム的な対応としては、要素系は複雑になるがガスタービンサイクルの冷却、加熱回数を追加して熱力学的に理想サイクルといわれるカルノーサイクルに漸近させることが、最高ガス温度レベルを固定して熱効率を改善する有効な手段となる。これは発想として全く目新しいものではなくガスタービンの揺籃時代にすでに多くのサイクル論が語られ、何種類かの開発機が世に出たが、ガスタービンの市場ニーズに適合せずその後は顧みられることも少なかった。しかし省エネルギーの旗手として俄かに脚光を浴びることになったコンバインドサイクル用のガスタービンとしては改めて見直されることになる。その場合には多軸系の圧縮機、タービンのマッチング問題及び超高压化に伴う強度、構造設計上の問題が高温化技術に追加されることとなる。

## 5. その他のガス燃料

日本国内で現在稼働中のガスタービンは数の上では僅かであるが、石油資源を持たない我国の燃料事情を反映して各種のガス体燃料が使用されている。これらは地域性あるいは企業の経済環境に対して特定されるものではあるが、石油代替燃料としてその経済効果は評価されており、今後も省エネルギー対策の一環として有効な手段である。但し燃料の供給能力面からその規模が限定されることは勿論である。以下に簡単に事例を紹介する。

### (1) コークス炉ガス

四国電力坂出發電所は日本で最初に採用された事業用コンバインドサイクルで、これは30 MWのガスタービンと195 MWの蒸気タービンを組合せた排気再燃式である。ガスタービン燃料は隣設のコークス工場からガスの供給を受けるコンビナート形式となっている。因みに220 MW級の亜臨界圧蒸気プラントと比べると相対値で約5%の燃料消費率の改善となり600 MW級超臨界圧プラントに匹敵する。運開初期には燃料ガス中のタール分により、燃焼器ノズル、ガス圧縮機に二、三の問題が発生したがすべて解決されている。

### (2) 炭鉱坑内ガス

住友石炭赤平、三菱鉱業大夕張等の深い立て坑の保安用のガス抜きからのメタンを含む坑内ガスを利用したガスタービンは原価計算の方法にもよるが経済性は極めて高い。これらのプラントでは

熱利用率向上のため、再生式でしかも第2次の排熱でプロセス蒸気発生を行い、冬場は主として保安、暖房用に、夏場はこれをガスタービンの圧縮機出口に混入し蒸気噴射効果により気温上昇に伴うガスタービン出力の低下を防止している。

(3) 高炉ガス

住友金属和歌山、新日本製鉄釜石で高炉ガス利用のガスタービン及び排熱回収システムが採用されている。特に後者は昭和57年春に稼動を開始した新鋭機で、1000℃級の高温強制冷却翼を使用した高炉ガス焚きガスタービンとしては世界初である。尚このプラントはその他にも、燃料用の高炉ガス圧縮機として可動静翼方式の主機駆動軸流圧縮機が採用され、プラントの負荷制御を同圧縮機の静翼再度制御によるという新しい試みがなされ、部分負荷性能の改善に寄与している。又本プラントは既設の蒸気タービンと接続しコンバインドサイクルとして運用され発電所の出力増、効率向上が計られた。最近の高炉ガスは製鉄所の合理化に伴い、保有熱量は低下し600kcal/Ncm以下という例もある。これは現在開発が進められている石炭ガス化プラントと比べても極端に低熱量であり、燃焼器の開発設計に入る前から製鉄所との共同研究が進められた。この経験は将来石炭ガス化発電が本格化するに際して有益な基盤技術として活用されるものと期待している。図8は新日鉄釜石の

コンバインドサイクル系統図である。

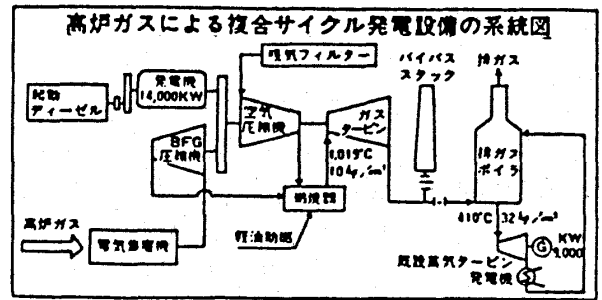


図-8

討論

(質問) 大島 亮一郎(日立製作所)

ムーンライト計画のレヒートガスタービンは、残存酸素の少ない再燃器において、着火性の悪いCOを含む石炭ガス化低カロリー燃料が使える見通しがあるのか御見解をうかがいたい。

(回答)

再燃器における燃焼状態をテストしているが低酸素下での燃焼性が極めて温度依存性が高いことが解っています。再燃器入口ガス温度が約700℃と高いので恐らく石炭ガス化低カロリー燃料の燃焼面での問題はないと考えています。

但し燃焼器は若干LNGより大きくする必要がありましょう。

石炭転換燃料によるコンバインドサイクル発電設備

(財)電力中央研究所 水谷 弘

1. まえがき

本題は我国における脱石油、燃料多様化政策の一つの柱である石炭を燃料とする発電技術の将来展望を試みるものである。そこで、先ず、石炭を燃料とする発電の関連技術の構造ならびにそれら関連技術の歴史的発展の方向性を考察する。次に21世紀初期における社会的ニーズの予測と技術的発展の方向性とを総合して21世紀における石炭を燃料とする発電技術を展望する。

2. 石炭ガス化複合発電の必要性

昭和57年度の通産省長期電力需給見通しによれ

ば、2000年において電源設備容量は3億kwとなり、うち原子力は9000万kwで30%をしめ、石炭火力は5000万kwで16.7%、LNGは4700万kwで15.7%と伸びが大きいのに反し、石油火力は4500万kwで15%に減少させる計画である。このように、石炭を燃料とする発電設備は将来大幅に増加させる計画となっている。

在来の火力発電は熱効率的に限界に近づきつつあり、超々臨界圧火力発電が開発されても送電端熱効率(HHV)41%級が限界である。これに反し、石炭ガス化複合発電は高温ガスタービンの開発が

熱利用率向上のため、再生式でしかも第2次の排熱でプロセス蒸気発生を行い、冬場は主として保安、暖房用に、夏場はこれをガスタービンの圧縮機出口に混入し蒸気噴射効果により気温上昇に伴うガスタービン出力の低下を防止している。

(3) 高炉ガス

住友金属和歌山、新日本製鉄釜石で高炉ガス利用のガスタービン及び排熱回収システムが採用されている。特に後者は昭和57年春に稼動を開始した新鋭機で、1000℃級の高温強制冷却翼を使用した高炉ガス焚きガスタービンとしては世界初である。尚このプラントはその他にも、燃料用の高炉ガス圧縮機として可動静翼方式の主機駆動軸流圧縮機が採用され、プラントの負荷制御を同圧縮機の静翼再度制御によるという新しい試みがなされ、部分負荷性能の改善に寄与している。又本プラントは既設の蒸気タービンと接続しコンバインドサイクルとして運用され発電所の出力増、効率向上が計られた。最近の高炉ガスは製鉄所の合理化に伴い、保有熱量は低下し600kcal/Ncm以下という例もある。これは現在開発が進められている石炭ガス化プラントと比べても極端に低熱量であり、燃焼器の開発設計に入る前から製鉄所との共同研究が進められた。この経験は将来石炭ガス化発電が本格化するに際して有益な基盤技術として活用されるものと期待している。図8は新日鉄釜石の

コンバインドサイクル系統図である。

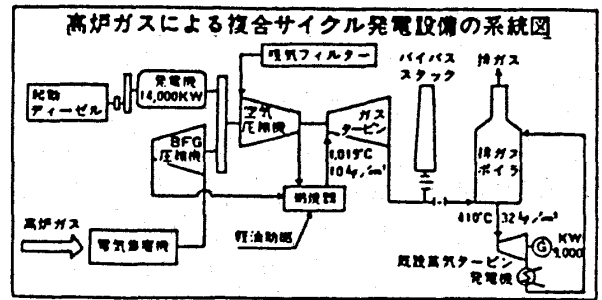


図-8

討論

(質問) 大島 亮一郎(日立製作所)

ムーンライト計画のレヒートガスタービンは、残存酸素の少ない再燃器において、着火性の悪いCOを含む石炭ガス化低カロリー燃料が使える見通しがあるのか御見解をうかがいたい。

(回答)

再燃器における燃焼状態をテストしているが低酸素下での燃焼性が極めて温度依存性が高いことが解っています。再燃器入口ガス温度が約700℃と高いので恐らく石炭ガス化低カロリー燃料の燃焼面での問題はないと考えています。

但し燃焼器は若干LNGより大きくする必要がありましょう。

石炭転換燃料によるコンバインドサイクル発電設備

(財)電力中央研究所 水谷 弘

1. まえがき

本題は我国における脱石油、燃料多様化政策の一つの柱である石炭を燃料とする発電技術の将来展望を試みるものである。そこで、先ず、石炭を燃料とする発電の関連技術の構造ならびにそれら関連技術の歴史的発展の方向性を考察する。次に21世紀初期における社会的ニーズの予測と技術的発展の方向性とを総合して21世紀における石炭を燃料とする発電技術を展望する。

2. 石炭ガス化複合発電の必要性

昭和57年度の通産省長期電力需給見通しによれ

ば、2000年において電源設備容量は3億kwとなり、うち原子力は9000万kwで30%をしめ、石炭火力は5000万kwで16.7%、LNGは4700万kwで15.7%と伸びが大きいのに反し、石油火力は4500万kwで15%に減少させる計画である。このように、石炭を燃料とする発電設備は将来大幅に増加させる計画となっている。

在来の火力発電は熱効率的に限界に近づきつつあり、超々臨界圧火力発電が開発されても送電端熱効率(HHV)41%級が限界である。これに反し、石炭ガス化複合発電は高温ガスタービンの開発が

進めば熱効率 (HHV) 46%以上も夢ではない。また、環境保全性の向上も期待出来、発電原価についても将来は在来の石炭火力より経済的になることが見通されている。このようなことから、石炭を燃料とする発電の主力は石炭ガス化複合発電になることが予想される (図 1, 図 2 参照)。

3. 石炭ガス化複合発電技術開発の現状

石炭ガス化複合発電プラントは在来の石炭火力に比べ極めて複雑なシステムとなっている。プラントを構成する要素は石炭ガス化炉、ガス精製設備、ガスタービン、汽力発電所等多いので、これらの要素を調和のとれたプラントにまとめるシステム技術が重要となる。

図 3 に石炭ガス化複合発電関連技術の歴史年表を示す。ガス化技術の歴史は古く、1600年ごろに

バンヘルモントが乾留ガスを発見したのにさかのぼる。1879年にモント炉 (固定床) を開発したのがガス化炉始めである。その後都市ガス用、原料ガス用に開発され工業化されて来たが、発電用については第 1 次石油ショック以降開発が盛んになって来た。ガス化炉は固定床方式、流動床方式、噴流床方式、熔融床方式があるが、発電用としては最初固定床方式、次に流動床方式と研究されて来たが、最近は大容量化、炭種適用性、負荷応動性の面から噴流床方式が最も注目を集めている。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来ているが、我国では本格的な研究開発が着手された段階である (図 4, 表 1, 表 2 参照)。

ガスタービンについては、1895年米国のクリテスがガスタービンの特許を取ったのにさかのぼる。1939年スイスでブラウンボベリ社製ガスタービン発電所が建設されたのが世界の最初である。我国では1957年に北海道電力で 2 MW の豊富ガスタービン発電所が始めてであり、その後、建設費の安いピーク用ガスタービン発電所が建設されて来たが、近年では高効率化の観点から複合発電用ガスタービンの開発が内外ともに注目を集めている。我国では LNG 燃料については複合発電プラントを主力として計画される動向にあり、現在では空冷 1100°C、100MW 級ガスタービンの商用化が進めら

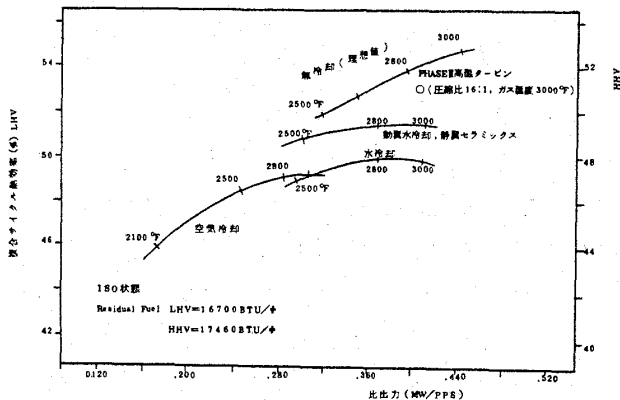


図 1. 熱効率比較

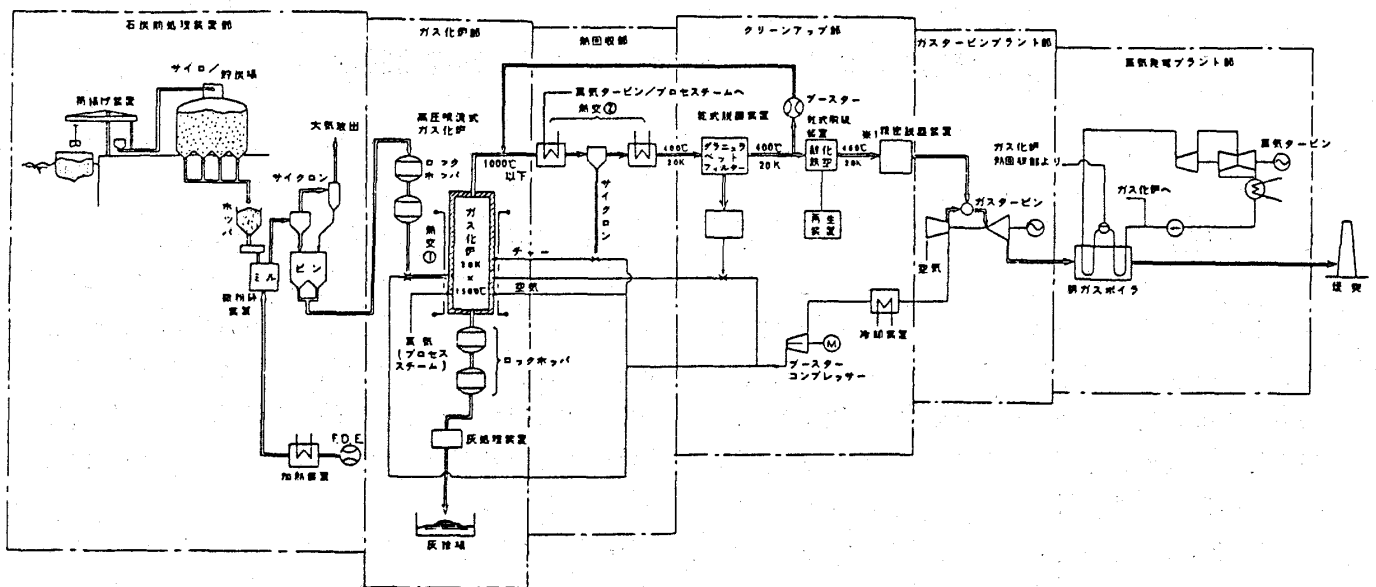


図 2. 石炭ガス化複合発電プラント概念図  
加圧型石炭ガス化炉、乾式クリーンアップの場合

項目	1900年代					1800年代					1700年代	1600年代	1500年代	1400年代	1300年代	1200年代	1100年代	1000年代		
	1900	1910	1920	1930	1940	1800	1810	1820	1830	1840									1850	1860
内外社会	82 フォークランド紛争	73 第一次石油ショック	67 公害対策基本法制定	57 原子力発電所ポート	56 原子力発電運転開始	51 電力再編成	39 第二次世界大戦	26 昭和元年	12 第一次世界大戦	84 パリ万国博覧会	81 米米電力発電	78 明治維新	37 黒船来航	65 機関改良	03 徳川幕府					
我国電気事業	84 東北東新計画 複合発電43万1000kW	80 東京電力第一号超臨界 圧変圧全自動火力	79 動燃新機転換炉	77 動燃FBR常陽臨界 炉	74 東京電力第一号超臨 界炉	73 東京電力第一号超臨 界炉	68 関西電力第二号超臨 界炉	67 東京電力第一号超臨 界炉	63 東海原子力 炉	53 中部名港新機火力	55 26MW 電力再編成	39 日本発送電設立	22 ウインクライガス化 炉	13 パワースタット炉系 導入	97 M M M 30 大阪電燈	95 M M M 15 28 浅草火力 発電	94 M M M 14 15 米米電力 発電	84 M M M 14 15 米米電力 発電	81 M M M 14 15 米米電力 発電	
ガス化技術	81 西米開始	80 石炭技術	78 流床	78 流床	76 流床	74 流床	72 流床	70 流床	69 流床	68 流床	67 流床	66 流床	65 流床	64 流床	63 流床	62 流床	61 流床	60 流床		
ガスタービン技術	83 ガスタービン組合	81 ガスタービン開発	70 年代中期米ガスタービ ン用接燃研究	71 四国電力出力出力復 合発電	60 年代環境対策用接燃 研究	57 北海道豊田ガスター ビン発電所	49 米ベアアインスレ複合 発電	45 空冷ガスタービン開発	44 VI号完成	39 アラウンボベリ社 スイスガスタービン 発電所建設	30 シニット水冷却機開発	20 年代白登カイロ	11 アラウンボベリ社 ガスタービン製作	95 米クリチスガス タービン特許	87 カーマンホリスパンチ カード計算機	48 ジーメンズ精密調速機	23 42 パスカル機 式計算機	23 42 パスカル機 式計算機	23 42 パスカル機 式計算機	
システム技術	80 年代第5世代コンピュータ	80 年東京電力第一号全自動	71 マイクロコンピュータ	70 IBM 370 (第3・5世代)	69 東京電力第一号全自動	65 関西電力第二号全自動	64 IBM 360 (第3世代)	60 北海道釧路データロカ	50 年代後半品質管理普及	57 UNIVAC 1100A 計算機	55 東京電力第一号全自動	50 電気試験所リレー計算機	45 UNIVAC 1100A 計算機	44 オベレイションスリライチ 米国	22 フィッシュ近代統計学	11 アラウンボベリ社 ガスタービン製作	95 米クリチスガス タービン特許	87 カーマンホリスパンチ カード計算機	48 ジーメンズ精密調速機	23 42 パスカル機 式計算機

図3. 石炭ガス化複合発電関連技術の歴史年表

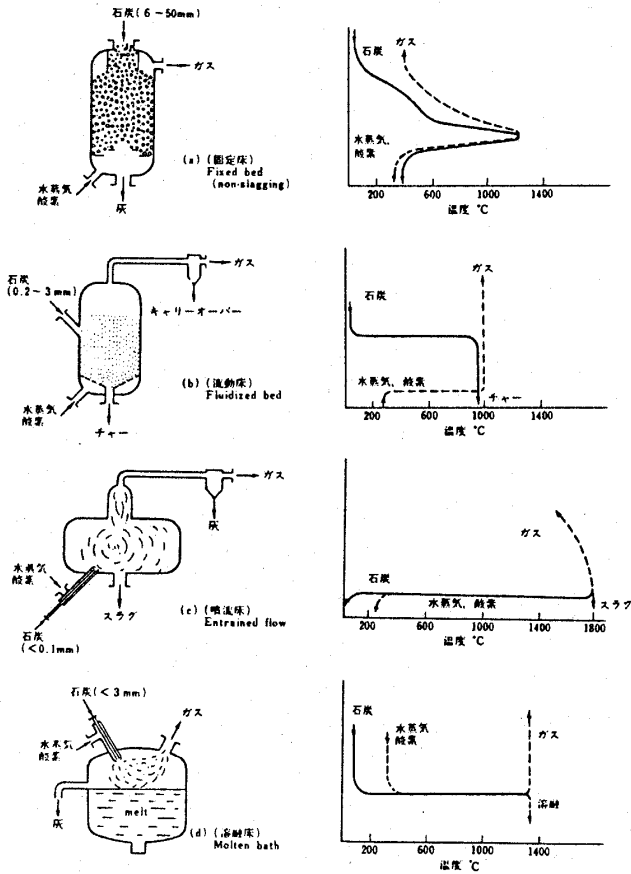


図4. ガス化炉型式の概念図および炉内温度分布の例

れている。また、国の計画として1300℃級ガスタービンの開発が鋭意進められている。高温化に限界があるので水冷ガスタービンに注目し、米国では1990年代の実用化をめざして開発中である。

システム技術については、戦後新鋭火力を導入した際のボイラ自動制御技術が基本となっている。その後電子計算機の発展にともなって計算機によるデータロガーを経てプラント起動停止の自動化へと進み、現在では全ての運転についての全自動化の段階にまで到達している(図3参照)。

4. 石炭ガス化複合発電の将来展望

図5に2000年8月平日における電源運用予想図を示す。2000年頃においては、原子力発電がベース負荷をとるので、火力発電は中間負荷用として現在より厳しい運用になることが予想される。したがって、中間負荷用としての機能を十分にもった石炭ガス化複合発電プラントを開発することが要望される。

我国の国情に適合した石炭ガス化複合発電プラントの研究開発目標は、(1)高効率大容量化、(2)広範囲炭種適合性、(3)立地促進に役立つ優れた環境保全性、(4)負荷応動性である。これらの研究開発目標を達成させるために指向すべき研究開発課題

表1. ガス化炉の比較

項目	固定床	流動床	噴流床	熔融床
長所	<ol style="list-style-type: none"> <li>工業実績</li> <li>操作容易</li> <li>炭素変換効率高い</li> <li>生成ガス中灰混入量少</li> <li>生成ガスカロリー高</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>炉内温度均一性良好</li> <li>気固接触良好</li> <li>単位容積当りの石炭処理量多い</li> <li>大容量化に比較的適す</li> <li>チャー滞留時間大</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>適用炭種の巾広い</li> <li>炭素変換効率高い</li> <li>タール、油分生成なし</li> <li>単位容積当りの石炭処理量多い</li> <li>灰の粘着トラブル少ない</li> <li>大容量化に適</li> <li>高温ガス化可能</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>高温ガス化</li> <li>ガス化効率大</li> <li>炭種制限なし</li> </ol>
短所	<ol style="list-style-type: none"> <li>炭種、粒度制限あり(6~50mm)</li> <li>大容量化困難</li> <li>タール、アンモニア、フェノール類の生成</li> <li>生成ガスの温度低い</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>炭種、粒度制限あり(0.2~3mm)</li> <li>湿炭の供給不可</li> <li>粘結炭は前処理必要</li> <li>灰中の未燃炭素ロス大</li> <li>負荷変動に対する自由度狭い</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>微粉化が必要(&lt;200メッシュ以下)</li> <li>バーナの選定、噴霧方式の検討要</li> <li>空気ガス化の場合カロリーが低い</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>材料の耐食性</li> <li>スラッグの取扱技術</li> <li>スラッグ泡立</li> <li>スラッグ中への粒子の分散</li> </ol>
段階	工業化段階	パイロットプラント段階	パイロットプラント段階	基礎実験中
代表的ガス化炉	British Gas/Lurg Slagging Lurg: Dry Ash Wellman-Galusha FW-STOIC BCURA Slagging	IGT-U Gas Winkler 高温 Winkler HYGAS Sythane WH 石炭技術	Texaco Shell Koppers Koppers-Totzek CE FW BIGAS KBW	Rockwell Inter'l  Saarberg-Otto

表2. 石炭ガス化炉の研究開発状況

開発主体	主なスポンサー	設置場所	石炭ガス化炉仕様			内容	スケジュール			備考			
			型式	ガス化剤	圧力		発生ガス熱量 (kcal/ Nm <sup>3</sup> )	1980	1985		1990	1995	
STEAG	西独政府	Lünen Kellermann (西独)	固定床	空気	20 bar	約1500	複合発電 170MW	72	78				
BGC-slating Lurgi	-	Westfield (英国)	固定床 1段 スラッグアップ	O <sub>2</sub>	24 atg	約1500	300T/D 3800T/D	76	82	86	内径0.42m 高カロリー用 (デモプラント)		
SHELL-KOPPERS	-	Hamburg (西独)	噴流床 1段 スラッグアップ	O <sub>2</sub>	30 atg	約2500	6T/D 150T/D デモプラント	78	81	82	86		
TEXACO	EPRI RAG	Ruhrkohre (Oberhausen) Dowchemical (Piacquimine) SCE coolwater P/s	噴流床 1段 スラッグアップ	O <sub>2</sub>	25 atg	約2500	150T/D 1000T/D 100MW 複合発電	77	81	90	水スラリー方式		
CE	DOE ERRI	Windsar, Connecticut Gulfstate Utility Nelson P/s (WestLeke Louisiana)	噴流床 1段 スラッグアップ	空気	常圧	約1000	120T/D 1300T/D (150MW 実証プラント)	81	81	87			
WH	DOE	Gulf state Utility Nelson P/s	流動床 1段 造粒灰取出	空気	20 atg	約1100	15T/D 300T/D	81	82	88	新型SOLID ガスタービン		
KBW	DOE AGA	Homer Pennsylvania	噴流床 1段 スラッグアップ	O <sub>2</sub>	10~100 atg	約2600	120T/D(BiGas炉)	76	81				
FW	EPRI		噴流床 2段 スラッグアップ	空気	24~35 atg	約1500	480T/D 設計完了						
石炭技研 (電発)	通産省	夕張	流動床 2段	空気	20 atg	約1100	5T/D 40T/D 1000T/D 100MW複合発電	77	82	80	80	80	90
Rheinbraun	-	Köln(HfW) (西独)	流動床 2段	O <sub>2</sub>	10 bar		24T/D	78					



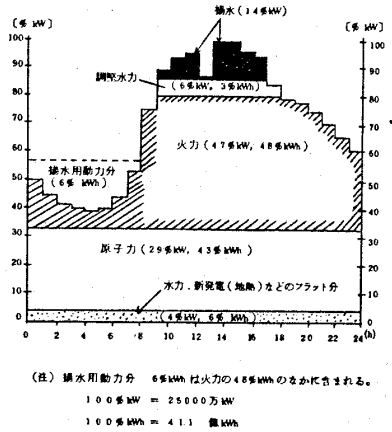


図5. 2000年8月平日(最大電力日)における電源運用

は表3に示す通りである。

ガス化炉については、噴流床ガス化方式が発電用として最も有望と考えられる。ガス精製装置については、熱効率向上の観点から乾式方式の開発が必要である。ガスタービンを高温化するためには水冷却方式のガスタービンの開発が不可欠となる。高効率化と併せて低NO<sub>x</sub>化をはかるためには、

接解燃焼方式セラミックス燃焼器の開発が必要である。また、高温耐食材料技術は高温化の基礎技術として必須のものである。

21世紀初期における石炭ガス化複合発電関連技術水準予測を表4に示す。汽力発電は超々臨界圧プラントが21世紀初期にはすでに実現しており、発電用ガス化炉は噴流床1000~5000T/Dの各種用途の炉が開発されよう。水冷却方式セラミック接触燃焼器の低公害1500℃級以上のガスタービンが開発されているものと予想される。システム技術は高性能、高信頼度を目的とした保守、システム管理まで含めた総合管理システム化の時代に入っていることと推測される。

21世紀初期における石炭ガス化複合発電プラントは用途別に、例えば大容量広範囲炭種用、中間負荷用、低質燃料用、と各種のプラントが開発されよう(表5参照)。

21世紀初期においては、現在考えられている石炭ガス化複合発電プラントの夢が実現またはそれに近い形態に発展していることと考えられる。

表3. 石炭ガス化複合発電技術の将来技術課題

項目	将来技術課題	期待される成果
システム技術	制御技術 最適運転制御技術 運転監視技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高効率化</li> <li>・高信頼度化</li> <li>・負荷応動性の向上</li> </ul>
	システム管理技術 火力発電所QCシステム	
	保守技術 保守点検の自動化システム オンライン保守用ロボット	
	システム構成技術 最適機器構成技術 熱回収技術	
石炭ガス化炉	噴流床石炭ガス化技術 <ul style="list-style-type: none"> <li>・基本方式(炉構造, 炉材, ガス化剤)</li> <li>・灰処理方式</li> <li>・広範囲炭種適合性技術</li> <li>・負荷応動特性の改良</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ガス化効率向上</li> <li>・広範囲炭種適合性</li> </ul>
ガス精製装置	乾式ガス精製技術 <ul style="list-style-type: none"> <li>・乾式加圧高温用高性能低圧損精密集じん技術</li> <li>・乾式高性能脱硫技術</li> <li>・乾式脱硫剤再生技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱効率向上</li> </ul>
ガスタービン	水冷却技術 水冷却方式 水冷却構造 融着障害対策技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大巾な熱効率向上</li> </ul>
	低NO <sub>x</sub> 燃焼器技術 低NO <sub>x</sub> 燃焼方式 低カロリー燃焼方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低NO<sub>x</sub>化</li> </ul>
	高温耐食材料技術 高温腐食対策技術 高温侵食対策技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大巾な信頼性向上</li> </ul>

表 4. 21世紀初期における石炭ガス化複合発電関連技術水準予測

項 目	技 術 水 準
汽力発電技術	超々臨界圧汽力発電 650℃, 340at級 送電端熱効率(HHV)41%級
ガス化技術	発電用石炭ガス化炉 大容量 4000~5000T/D 広範囲炭種用 中容量 2500~3500T/D 中間負荷用 小容量 1000~2000T/D 低質燃料用
ガスタービン技術	大容量高温ガスタービン 1500℃級以上 動翼:水冷, 静翼:セラミック 燃焼器:低カロリー用, セラミック接触燃焼器
システム技術	高性能, 高信頼度化 制御技術: 計算機による火力発電所の完全自動化 計算機技術: 第5世代コンピュータ, 超小型, 高級マイコン システム管理技術: 製造工場品質管理並みの火力プラント, システム管理 保守技術: 保守, 点検の自動化, オンライン保守用ロボット システム構成技術: 最高効率, 高信頼度, 優れた負荷 応動性のあるプラントの設計

表 5. 21世紀初期における石炭ガス化複合発電技術の展望

項 目	技 術 水 準
大容量広範囲炭種用石炭ガス化複合発電プラント	大容量, 広範囲炭種 1000MW級以上, 送電端熱効率(HHV)46%級 ボトムサイクル: 169at 566℃ ガス化炉: 4000~5000T/D級 ガス精製: 乾式除じん脱硫 ガスタービン: 1500℃級以上水冷動翼, セラミック動翼, 低カロリーセラミック接触燃焼器 システム技術: 制御-計算機による完全自動化, コンピュータシステム化, 保守-保守点検の自動化, オンライン保守用ロボット 負荷応動性: 石炭火力並み
中間負荷用石炭ガス化複合発電プラント	中間負荷用 300~700MW級, 送電端熱効率(HHV)41%級 ボトムサイクル: 169at 538℃級 ガス化炉: 2500~3500T/D級 ガス精製: 湿式除じん脱硫 ガスタービン: 1300℃級空気冷却方式 システム技術: 制御-計算機による完全自動化, コンピュータシステム化, 保守-保守点検の自動化, オンライン保守用ロボット 負荷応動性: 重油火力並み
低質燃料用石炭ガス化複合発電プラント	低質燃料用 200~300MW級, 送電端熱効率(HHV)40%級 ボトムサイクル: 169at 500℃級 ガス化炉: 1000~2000T/D級 ガス精製: 湿式除じん脱硫 ガスタービン: 1200℃級空気冷却方式 システム技術: 制御-計算機による自動化, コンピュータシステム, 保守-保守点検の自動化, オンライン保守用ロボット 負荷応動性: ある程度あり

## 石炭転換液体燃料について

東京芝浦電気(株) 秋葉雅史

石油ショック以降、我国においても石油代替エネルギーの開発が国家プロジェクト・サンシャイン計画として势力的に進められていることは周知の通りである。サンシャイン計画の中でも石炭の新しい利用法としてガス化や液化の研究は主要テーマとして研究が進められており、高カロリー、低カロリーのガス化実験炉の運転研究や、瀝青炭や褐炭の液化実験プラントの運転研究が行われている。水素についても高温高压水の電気分解法による製造法の実用化研究が行われている。メタノールについては天然ガス、LPG、ナフサを原料とする技術は確立されているが、石炭を原料とするガス化合成プロセスによる低価格化の研究が関連業界で行われている。いずれにしてもこれらの燃料は今世紀末頃からの実用化が期待されており、本文ではガスタービン用燃料としての観点から各燃料の特徴、使用に際しての問題点について紹介する。

石炭液化燃料をガスタービンに使用する場合は、石炭の液化方法および精製方法によってほぼ決まってくる。ナフサ、ガソリン、軽油相当の油が得られる場合は、ガスタービン燃料として特に問題点はない。図1に石炭液化プロセスの例を示す。

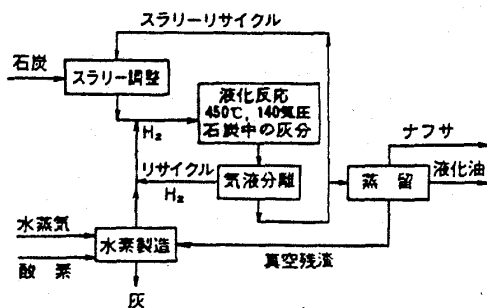


図1. SRC-IIのプロセスフロー

ガスタービン燃料で問題になるのは、石炭液化で得られた重質油を使用する場合である。重質油

の場合、燃料中の水素含有量が少く炭素が多くなっており、芳香族の分子構造を持つ割合が多い。

炭素量が多くしかも高分子の燃料はガスタービン燃焼器で未燃カーボンを発生しやすく、燃料噴射弁および燃焼器設計上、注意を要する。

また、原料炭の成分によってS分、N分、灰分、アルカリ金属類、バナジウムの含有量が変わりSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>の排出およびガスタービンの高温ガス通路部における灰付着、腐食、侵食が問題となる。

SO<sub>x</sub>は、ガスタービンにおける対策が難しいため、S分の少ない燃料を選択するのが最良の方法である。NO<sub>x</sub>は、ガスタービン燃焼器内の高温域で生成されるサーマルNO<sub>x</sub>と燃料中に含まれるN分が変換して生成されるフューエルNO<sub>x</sub>がある。特に石炭はN分を多く含むことが多く、注意が必要である。またフューエルNO<sub>x</sub>は、蒸気/水噴射による低減効果が無いと報告されており、二段燃焼等の燃焼方法改善技術が望まれる。

灰分は、タービン翼面に付着した場合ガス通路面積を減少し、熱効率を低下させる他、圧力比が上昇するため、圧縮機のサージング域に近づく。また、タービン翼にフィルム冷却孔を有する場合は閉塞に注意する必要がある。付着灰の除去は、水洗浄が有効である。灰分が翼表面で熔融した場合、アルカリ金属とS分が化合してできる硫酸塩類および酸化バナジウムによる腐食が発生する。

対策としては、燃料規制、添加剤の投入および高温ガス通路部の金属温度を低下させる手段がある。液化燃料は、問題点も多いが水冷ガスタービン等の対策技術も開発が進んでおり、将来のガスタービン燃料として大いに期待されるものである。

## 3. メタノール

メタノールは、発熱量が低い、蒸発潜熱が大きい、低粘度、水に対する可溶性、および製品中にS分、N分、アルカリ金属類等の不純物を含まない等の特徴を持っている。

ガスタービン燃料として考えた場合、発熱量が低く燃料の重量流量が多いこと、および燃焼ガス中の水分が多いことから、ガスタービン出力は7～

8%増加する。また、燃焼中の火炎温度が低く、NO<sub>x</sub>の発生量が少くなり、図2に示すように軽油に比べて約1/2になる。その他、燃焼過程においてカーボンの発生がなく、ばい煙の心配はないほか、燃料中に不純物を含まないことから、高温ガス通路部における腐食、侵食、灰付着が少い。特にS分、灰分がないことは、複合発電設備において、排熱回収ボイラの腐食、ファウリングが少なく、排ガス温度を低くした設計が可能のため、高効率のプラントになる可能性を持っている。

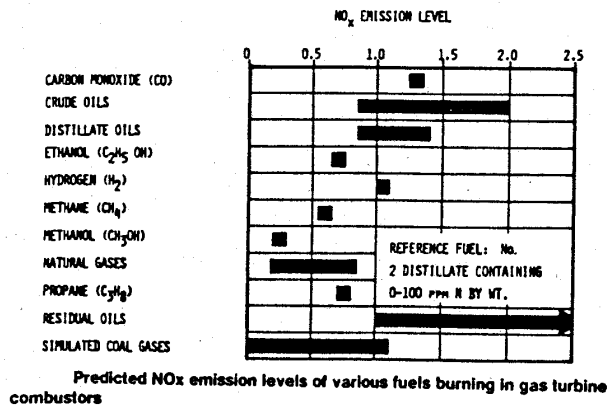


図2. 各種燃料のNO<sub>x</sub>発生量比較

一方、問題点として、燃焼器で不完全燃焼させた場合、アルデヒド等の有害成分を発生することがあるし、また、メタノール蒸気を放出することも有害であり、注意を要する。また、メタノールの粘性は、水に比べて約半分であり燃料ポンプのしゅう動部での自己潤滑性に乏しく、注意する必要があるし、燃料供給系統においてメタノールの腐食性も考慮すべきである。

一方メタノールを使用したガスタービンおよび複合サイクルにおいて、メタノールの特性を生かしたアイデアが考えられている。その1つは、空気圧縮機入口または、中間段にメタノールを噴射し、空気温度を下げることにより、比出力を増大することである。また、ガスタービン排熱を利用した触媒リフォーマにより、メタノールをH<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>Oのガスに変換してガスタービンに供給することにより、熱効率を向上させることも考案されている。その他、石炭をメタノールで液化したメタコールの有効利用の面でも注目されている。このようにいくつかの優れた面を持つが、先立ってメ

タノールの安価な供給が必要であろう。

4. 水素

太陽エネルギーや核融合エネルギーを利用して経済的に水素が生成されるようになれば、クリーンな二次エネルギーとして化石燃料に代わり、幅広く利用されるであろう。

a) コンベンショナルなガスタービンへの適用。  
着火し易く、火炎伝播速度が大きく、可燃混合比の幅も広く、燃焼生成物にCO、SO<sub>x</sub>、未燃カーボンがない水素は、ガスタービンにとって優れた燃料である。単位体積当りの発熱量が天然ガスの約1/3.5のため体積流量増大を考慮した噴射弁を設計する必要がある。燃焼器は火炎が短かいので短縮化され、火炎輝度が少ないので内筒ライナーの冷却も楽になり、高温高負荷化に適する。NO<sub>x</sub>発生はサーマルNO<sub>x</sub>が主で従来の液体燃料より発生量が多い傾向の為対策を要する。燃え易く、可燃混合比も広いので希薄燃焼、過濃燃焼を利用した二段燃焼法や水、蒸気噴射法が期待される。燃料系統機器ならびに周辺の防爆、安全対策には十分な考慮が必要である。

水素を翼冷却に使用後、翼列間で燃焼させ再燃サイクルを実現する試験も報告されており、高温化のメリットが冷却空気増加で減殺される現在の問題点を克服する新しい試みとして期待されよう。

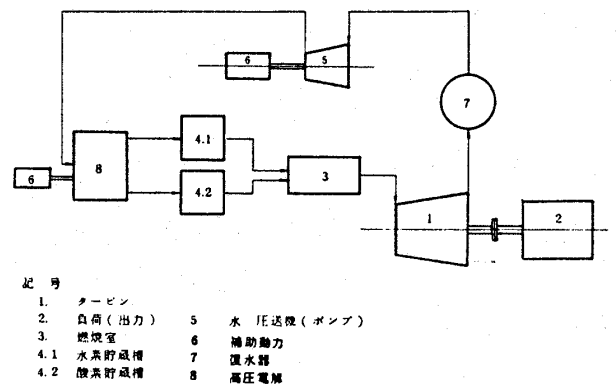


図3. Aphodid Cycle

b) Aphodid サイクルの実現

このサイクルは図3に示すように、高圧ガス状の水素と酸素を燃焼器で燃やし、発生する蒸気をタービンに送入し、出口復水器で凝縮された水を高圧水電解装置に送り、再び水素ガスと酸素ガス

に分解貯蔵するサイクルで、別の発生電気エネルギーの蓄積貯蔵輸送媒体としての利用が期待されている。電解装置効率70%、タービン入口温度2000℃、入口圧力5.5MPaの条件でプラント効率46%程度である。課題は反応速度の速い高温の水素-酸素燃焼に適する大流量高圧 Aphodid燃焼器の開

発、高温高圧化に伴うタービン構造、冷却法、材料の開発、水素酸素の流量制御、ガス温度、圧力の制御、始動、負荷変動対応制御、電解装置の制御等運転制御法の開発、更に高圧ガスの大量貯蔵法の開発などで、これら全ての技術課題の解決が要求される。

## 原子力・太陽熱利用とガスタービン

富士電機製造(株) 河田 修

過去に筆者は何度か原子力ガスタービンについて執筆したり講演をしてきた<sup>1)~7)</sup>。その時どきを振り返ってみると四半世紀を越えた耐久レースの種々の場面が想起され感慨を覚える。

最も古くて偉大な太陽エネルギーの恩恵をハイ・テクノロジー時代に再認識しようとする動きの中に太陽エンジン復活の諸提案がある。太陽熱ガスタービンはガスタービン技術者でさえも首をかしげる概念ではあるが、そのポテンシャルは意外に高く次の四半世紀の内に開花するかも知れぬ。

### 1. 高温ガス炉の過去と未来

原子力ガスタービン開発のテンポが計画に加担している者達にとってウンザリする程遅いものであった主な理由は、肝心の核エネルギー変換装置である高温ガス炉の開発が1950年代中期の思惑とは全く違った経過をたどり今だに低迷を続けていることにある。この難渋状態は高温ガス炉のみではなくて原子力と名の付く分野のほとんど全体が陥っているものであるが、端的に言って国民経済又は財政的な、別の見方をすれば社会生態における予知し得なかった阻害要因が複合集積しきった帰結のように思われる。

非金属無機質多層被覆粒状核燃料要素という独創的な発明に端を発した高温ガス炉は、英国米国における初期実験当時予期された以上に優秀な特性を示し現在では西独日本を加えて技術的に十分洗練された段階に達していると信じられる。

大量の黒鉛を減速材と反射体として包括した炉心は熱容量が巨大である、冷却材は終始気相に留るHeガスであって熱媒体として優れ化学的に安定しており核的特性は最も好ましいものの一つであ

る。核燃料としては低濃縮ウランのほか高濃縮ウランとトリウムを組合せ配合した転換炉方式が開発されており、Th 232 → U 233 反応に依り核燃料資源の拡大多様化を指向することが出来る。

高温ガス炉は炉心出口冷却材温度が他種の原子炉に較べて跳び切り高いことが最大の特色であって、電力発生以外に高温プロセス熱源として例えば鉄鉱石還元、石炭ガス化、水素製造などに核エネルギーを導入することが出来る。

発電炉としても現在最も普及している軽水炉に較べて遥かに高温高圧の蒸気条件が既に達成されており熱効率が非常に高い。一步進めて直接サイクルHeタービン方式を採れば熱機関として更に高温高圧比高効率となり得る。ガスタービンサイクル採用のもうひとつの利点は発電効率を損することなく地域暖房など排熱利用を行うことが出来ることである。

高温ガス炉は平常運転時に一次冷却回路への核分裂生成物浸出の程度が少いうえ、例えば冷却材喪失のような重大事故時にも核燃料の温度上昇速度が極めてゆっくりしているので、あわてずに良く考えてから対処するだけの時間があるという地味だが重要な長所を持っている。

高温ガス炉がそれ程良いものであるなら、何故もっとドンドン造られなかったのか？ その信奉者達が欲求不満で暴動を起しかねない事態は何時迄続くのか？ ドラゴン、ピーチボトム、AVRの成功に続き1973年まで高まり続けた隆盛への予感是最早もどって来ないのか？

当時末端とは言え渦中に在った筆者には公平な判断を下す資格が欠けていると思うものの、我が

に分解貯蔵するサイクルで、別の発生電気エネルギーの蓄積貯蔵輸送媒体としての利用が期待されている。電解装置効率70%、タービン入口温度2000℃、入口圧力5.5MPaの条件でプラント効率46%程度である。課題は反応速度の速い高温の水素-酸素燃焼に適する大流量高圧 Aphodid燃焼器の開

発、高温高圧化に伴うタービン構造、冷却法、材料の開発、水素酸素の流量制御、ガス温度、圧力の制御、始動、負荷変動対応制御、電解装置の制御等運転制御法の開発、更に高圧ガスの大量貯蔵法の開発などで、これら全ての技術課題の解決が要求される。

## 原子力・太陽熱利用とガスタービン

富士電機製造(株) 河田 修

過去に筆者は何度か原子力ガスタービンについて執筆したり講演をしてきた<sup>1)~7)</sup>。その時どきを振り返ってみると四半世紀を越えた耐久レースの種々の場面が想起され感慨を覚える。

最も古くて偉大な太陽エネルギーの恩恵をハイ・テクノロジー時代に再認識しようとする動きの中に太陽エンジン復活の諸提案がある。太陽熱ガスタービンはガスタービン技術者でさえも首をかしげる概念ではあるが、そのポテンシャルは意外に高く次の四半世紀の内に開花するかも知れぬ。

### 1. 高温ガス炉の過去と未来

原子力ガスタービン開発のテンポが計画に加担している者達にとってウンザリする程遅いものであった主な理由は、肝心の核エネルギー変換装置である高温ガス炉の開発が1950年代中期の思惑とは全く違った経過をたどり今だに低迷を続けていることにある。この難渋状態は高温ガス炉のみではなくて原子力と名の付く分野のほとんど全体が陥っているものであるが、端的に言って国民経済又は財政的な、別の見方をすれば社会生態における予知し得なかった阻害要因が複合集積しきった帰結のように思われる。

非金属無機質多層被覆粒状核燃料要素という独創的な発明に端を発した高温ガス炉は、英国米国における初期実験当時予期された以上に優秀な特性を示し現在では西独日本を加えて技術的に十分洗練された段階に達していると信じられる。

大量の黒鉛を減速材と反射体として包括した炉心は熱容量が巨大である、冷却材は終始気相に留るHeガスであって熱媒体として優れ化学的に安定しており核的特性は最も好ましいものの一つであ

る。核燃料としては低濃縮ウランのほか高濃縮ウランとトリウムを組合せ配合した転換炉方式が開発されており、Th 232 → U 233 反応に依り核燃料資源の拡大多様化を指向することが出来る。

高温ガス炉は炉心出口冷却材温度が他種の原子炉に較べて跳び切り高いことが最大の特色であって、電力発生以外に高温プロセス熱源として例えば鉄鉱石還元、石炭ガス化、水素製造などに核エネルギーを導入することが出来る。

発電炉としても現在最も普及している軽水炉に較べて遥かに高温高圧の蒸気条件が既に達成されており熱効率が非常に高い。一步進めて直接サイクルHeタービン方式を採れば熱機関として更に高温高圧比高効率となり得る。ガスタービンサイクル採用のもうひとつの利点は発電効率を損ずることなく地域暖房など排熱利用を行うことが出来ることである。

高温ガス炉は平常運転時に一次冷却回路への核分裂生成物浸出の程度が少いうえ、例えば冷却材喪失のような重大事故時にも核燃料の温度上昇速度が極めてゆっくりしているので、あわてずに良く考えてから対処するだけの時間があるという地味だが重要な長所を持っている。

高温ガス炉がそれ程良いものであるなら、何故もっとドンドン造られなかったのか？ その信奉者達が欲求不満で暴動を起しかねない事態は何時迄続くのか？ ドラゴン、ピーチボトム、AVRの成功に続き1973年まで高まり続けた隆盛への予感是最早もどって来ないのか？

当時末端とは言え渦中に在った筆者には公平な判断を下す資格が欠けていると思うものの、我が

ライフワークにと願った原子力ガスタービンの命運を占う討論に参加する事は許されるであろう。

## 2. 太陽の実像と虚像

偶然の成行きで5年程前に太陽エネルギー利用について俄か勉強を始めたのであったが、永年ガスタービンを始めとするハードなエネルギー変換技術内至はパワプラントエンジニアリングの影響下にあった者の目から見ると、我が国の「太陽技術」の状況は誠に心許ないものであった。

当然と言えばそれ迄であるが、1974年に突如舞い戻った太陽熱ブームは誠に幅広い変化に富んだ各種各層の人々の間に浸透しつつあったので、至る所で未熟で見当違いの思惑やら決断が発生し昔から地道な研究と実践に従事して来た者達を困惑させていたようであった。

1979年3月サンディエゴで開催された第24回ASME国際ガスタービン会議と展示会は、第1回ASME太陽エネルギー会議を兼ねる画期的なものであった。筆者はその時サンディエゴにいたのだが単身ではとてもSolar Division主催のセッションまでマークすることが出来ず、帰国後初めて太陽熱ガスタービンのペーパーを読むという有様であったから米国やドイツの連中がどこまで本気なのか半信半疑であった。ところが段々調べてみると或限定的条件下では太陽熱ガスタービンは意外と良い解答であるのかも知れないと思えるようになって来た。

### 可能性, その1

孤島など遠隔地の小規模電源設備, 観測所等定常又は仮施設, パラボラ鏡集光追尾方式

### 可能性, その2

太陽入射条件の良い「途上国」に於ける発電用石油系燃料節約: 中小規模電源設備, 水資源状況が許せばコンバインドサイクル方式, 塔形高集光比受熱器, 太陽/化石燃料ハイブリッド方式

理由: 中小蒸気サイクルの熱効率16~20%に対して再生サイクル(開放又は密閉)ガスタービンで33~38%, GT/ST複合サイクルで42~46%可能故, 受光面積半分及至 $\frac{1}{3}$ となる。

レシーバと高温配管の開発を必要とするが他のハードは既存技術で良い。

問題は資金調達と運用体制造りにある。

今年1月の第10回セミナーで筆者が指摘したように広義の太陽エネルギー利用可能性について工業文明諸国が性急かつ過大な期待をかけることは出来ない。太陽の虚像を促えようとしても幻滅を味うだけであろう。

去る4月22日の午後第27回ASME国際ガスタービン会議ロンドン大会に於て或るパネルセッションがあった。「過去の経験と将来展望」と題し密閉サイクルガスタービンに関心のある学者・技術者が50名程集まった。筆者も多くの既知と会い喜び合ったのだが、討論の帰結はいささかGloomyなもので半世紀に及ぶ同志の奮斗にもかかわらず密閉サイクルの未来が急速に開けることはないだろうというものであった。但し、宇宙・水中・水面での軍用或はそれに準じたミッションに関し、原子力又は太陽熱駆動の小形・中形発電装置が独特な用途として考えられるとのUTCのDr.Kuoの発言に同感を覚えた。又、西ドイツ/エジプト共同計画のパラボラ集光式追尾形350kWe太陽熱ガスタービンの要点がDr.Kreyから紹介され大方の共感を呼んだようであった。鍵は太陽の実像を促えるガス冷却高温レシーバの成功にあると思われる。

## 3. 結 語

- A. 原子力ガスタービンは今後とも夢見る価値のある偉大な可能性として生き続けるだろう。然し少くとも今後10年以内に高温ガス炉がガスタービン屋を奮起させる程に「燃え上る」ことはないだろう。何故なら原子力発電(高速増殖炉や燃料サイクル完結も含めて)の必要性が真に認知される時が近々訪れるとは思われないからである。
- B. 太陽熱ガスタービンはハードなソーラーテクノロジーの中で出色なものになり得る。特殊な条件の下でのミッションに限定されるものの来世紀に向けて真面目な開発努力をすべきだと思われる。良い熱機関はどんな熱源にも良く適合するものである。但し先進工業国に於ては当分の間目覚しい利益は得られないだろう。然しハイテクノロジーの力で「途上国」を援ける一助となり得るだろう。

## 参考文献

1. Robinson(訳, 河田)密閉サイクルガスタービン核

- 動力装置 ; 富士時報 Vol.30 No.3, 1957.
2. 河田, 高温ガス炉直結ガスタービン(I II)  
FAPIG No.52/53, 1969-2/1969-5.
  3. 河田, 原子力ガスタービンに対する二, 三の考察  
…… 原子力ガスタービン国際会議 1970年4月ロンドン…… ; FAPIG No.58, 1970-8.
  4. 河田, 原子力ヘリウムガスタービン ; ガスタービン利用技術総合資料集・上巻N-2, p.273~303,  
日本技術経済センター刊, 1976-4-15.
  5. 河田, 原子力ヘリウムガスタービン ; 未来産業技術 p.453~462, (財)科学技術広報財団刊, 1977-9-10 (1974-10-15/18 日経産業新聞)
  6. 河田, 外燃式(間接加熱)ガスタービン, 日本ガスタービンセミナー第9回資料集, '81-1.
  7. 河田, 原子力・太陽の時代とガスタービン, 日本ガスタービンセミナー第10回資料集, '82-1.
  8. McDonald & Peinado, The Nuclear Gas Turbine; ASME Pap. 82-GT-289.
  9. Sarlos et. al., A study of a High Temperature Nuclear Power Plant ..., ASME Pap. 82-GT-39.
  10. Kesavan & Osterle, Split-flow Nuclear Gas Turbine Cycle Using Dissociating  $N_2O_4$ , ASME Pap. 82-GT-181.
  11. Kuo et. al., Feasibility of Modifying Large Gas Turbines for Integration with External Heat Sources, ASME Pap. 82-GT-179.
  12. Bakker & Kotchick, Development of Ceramic Heat Exchangers for Indirect Fired Gas Turbines, ASME Pap. 82-GT-182.
  13. Ward, Metcalfe & Dapkunas, Ceramic Heat Exchanger Technology Development for Indirect-Fired Gas Turbine Cycle, ASME Pap. 82-GT-158.
  14. Wright & Tignac, Status Report-Advanced Heat Exchanger Technology for a CCGT Power Generation System, ASME Pap. 82-GT-164.
- 註 : 8.~14.は1982年4月LondonのASME/IMEchE 国際ガスタービン会議でのペーパーから抄録。

## 討 論

(質 問) 白 戸 健 (三井造船株)

スライドでは, 高温ガス炉の1次系内にガスタービンが組込まれているダイレクトサイクルを示されたが, 核分裂生成物(FP)でタービンが汚染される点に心配はないか?

(回 答)

クーラント兼パワ・サイクル作動流体のHe自体

は中性子断面積がゼロに近く工学的な意味で放射化することはない。然し高温ガス炉1次系内にはいろいろな不純物或はホコリが存在し, これらの中には炉心を通過する際に中性子に打たれて放射化するものがある(例えばFeやCrを含むサビの粉)。御指摘のFPであるが, 永年の運転経験から十分低いレベルに制御し得ることが判っている(西独のAVRではHe温度950°Cで長期間の実績がある)。これら放射性物質の物性はHeとは格段に異なっているので比較的容易に分離回収出来るのである。それでもガスタービンのコンポネンに放射性ダストが付着沈積すると考えねばならないが軽水炉の直接サイクルBWRに較べて格段の困難があるとは考えにくい。

それでも尚, 炉心の異常により汚染された場合を想定し, 対応策としてメンテナンス用ロボットの検討とその使用を考慮したターボ機械の試設計などが行われている。

(質 問) 白 戸 健 (三井造船株)

太陽熱ガスタービンで最も重要かつ困難が予想される高温高圧の熱交換器「レシーバ」開発の見通しについて, レシーバ出口温度は何年頃何度位に到達出来そうか御意見をうかがいたい。

(回 答)

誠に高温レシーバの成否がこのコンセプトの興廃のカギである。ソーラーレシーバは化石燃料焚エアーヒータの放射伝熱部に良く似ている。伝熱管の材料問題などはほぼ共通である。

ソーラーレシーバには他に伝熱面からの逆放射損失という個有の問題がある。放射は物体の表面温度Kの4乗に比例して強くなる。伝熱面が1100Kにもなれば明るいオレンジ色になって放射線を放つ。これが窓を通して逆進し鏡で反射されて宇宙にもどって行く。一般にソーラーコレクタ開発の中心課題は受熱面の選択吸収性と対流熱損失の制御であるが, ガスタービン用ソーラーレシーバの温度は断然高いから困難は大きい。

種々提案されているスタディでレシーバ出口温度がほぼ800°C止りである理由は金属製の限界よりも逆放射損失が過大とならぬ限界のせいではないかと思う(間違っているかも知れぬが)。

セラミックチューブは強度/信頼性の面で既に1200°Cをクリアしつつあるようだが, 逆放射損失を抑制する窓ガラスみたいな何かブレイクスルーがないと助燃なしにガスタービンらしい高温に達することは難しいと思っている。



## II. 産業とガスタービン

## エネルギー産業におけるガスタービンシステム

日揮株式会社 横田伸夫

## 1. 緒論

ガスタービンは蒸気タービン及び他の内燃機関と同じく、外部より熱量を受けて機械的動力若しくは、電氣的又は蒸気エネルギーを発生する機械であり、この意味において一種のエネルギー変換器であり、消費機械でもある。従ってそれ自身、世界のエネルギー事情に無関係で存在することはできず、その応用面においては、エネルギーの多様化とニーズの変化に対応し得る柔軟性と、より一層の技術的發展が要求される。

## 2. 石油、天然ガスの採掘

一部の地域を除いて石油、天然ガスの採掘の立地条件が次第に悪くなり、都市部から遠く離れた砂漠地域、若しくは、海岸から遠く離れた、OFF SHORE が主体となろう。このような地域にあっては、依然として蒸気をエネルギー源として使用するには不適當であり大形原動機として、ガスタービンを使用する傾向には変化はないであろう。

しかし、井戸元とはいえ、一次製品の COST UP の影響は供給ルートを通り、近い将来 SITE にあっても省エネルギーが現実問題となる可能性は極めて高い。ガスタービンそれ自身も、より効率の高いものが採用されるであろう。この採掘に関するガスタービンの応用について以下に述べる。

2-1. 内陸採掘 多くの産油国で、オイルダラーにより急激な国家の發展を計ったが、殊に技術面に於いて民族性と一般技術水準の低さが原因し、技術者の質及び量の両面に不足をきたし、投資が充分な經濟的効果を發揮していないのが現状である。TECHNICAL TRANSFERにも一定の限界があり、特に技術の最先端を駆使したシステムであるガスタービンを使ったプラントにあっては、彼等自身による運転保守はむずかしく、先進諸国の技術者への依存度は今以上に高まることが予測される。

エンジニア及び高級技術者の不足をカバーするために高度の自動化が要求され、ますます社会的

ギャップは増大する。都市部より遠く離れたプラントにあっては、ガスタービンの重量が輸送、基礎及び据付など建設費に占める割合が多くなり、この意味から軽量化が望まれる。

最新のエレクトロニクス技術を駆使するならば高度の自動化と、加えて異常診断技術の発達により、SCHEDULE MAINTENANCE が可能となろう。

しかし、技術的に次元の低い保守点検にあってはどうしても技術者の手を必要とし、發展途上国の悩みの種となっている。運転と保守点検が分立し、相互干渉を少くするためには WARE SHOP で MAINTENANCE を行う傾向が強くなろう。

上述の諸条件を勘案すると、現状の HEAVY DUTY TYPE のガスタービンより、ジェットエンジンを利用した航空機転用ガスタービンの応用面での可能性が高くなるものと思われる。

2-2. OFF SHORE 採掘 陸上の採掘と異り OFF SHORE 採掘にあっては、総べての機器が PLATFORM 上に設置されるため、大きさと重量が制限される。発電機、ガス圧縮機及び PUMP 駆動用として、ガスタービンは好適な条件を備えており、石油及び天然ガス採掘の末期にはガスタービンが動力源の主流となろう。しかし上述の如く、大きさと重量制限、加えて処理燃料の供給が充分でなく、原油、天然ガスの原単価の上昇とあいまって、高効率な機械が要求されるであろう。このような理由から陸上採掘以上に、比出力が大きく効率の高い航空転用ガスタービンが応用されるものと推定される。

PLATFORM 上にあっては、精製されたガスタービン用燃料を必要とする場合、精製設備が陸上に比べて数倍のコストとなり、プラントの經濟性に与える影響が大きい。望むらくは、高結晶高分子材料等の開発により、ガスタービンに使用される材料に非金属材料が使用され、原油及び生の天然ガス (NON SWEETENING) がそのまま燃料

として使用することができるガスタービンの開発が望まれる。

2-3. WELLSの活性化 可採埋蔵量とは普通の採掘方法により、経済的なCOSTにて採掘される石油若しくは天然ガスの量である。しかし、地層及び、油質等により異なるものの、可採埋蔵量に匹敵又は、それ以上の量が井戸元の地層に残るのが一般である。若し、これらを技術的及び経済的にしぼり出すことが可能ならば、井戸の寿命を延ばすことになり、経済的メリットは極めて大きい。

このように、井戸の若がえり若しくは、延命策として下記の方法が開発、実施されている。

1) 「WATER INJECTION」石油産出井戸を中心にして、周囲にWATER INJECTION用の井戸を数多く掘り、石油産出井戸の外周より水の圧力により地層に残存する石油を中心に集め、より多くの石油を回収する方法。

2) 「STEAM INJECTION」図-1に示すような一種の小形ボイラを地中に挿入し、図-2に示すように産出層内にSTEAM及びCOMBUSTION GASを注入することにより原油の流出を容易にし、且つ、STEAMの圧力と温度により、石油の流動を促進させ、より多くの石油及びガスを

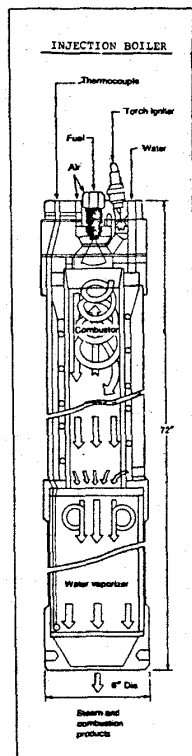


図-1.

採集するものである。

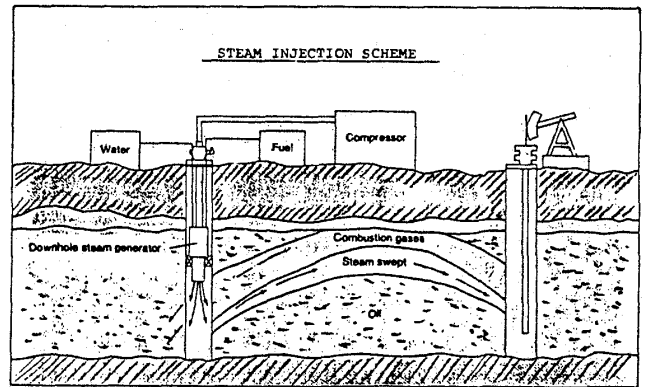


図-2.

3) 「CO<sub>2</sub> INJECTION」石油産出井戸の周囲に、WATER及びSTEAMの代りに高圧不活性ガス(一般にはCO<sub>2</sub>)を注入して、地層中に残存する石油及び天然ガスをしぼり出す方法。

4) 「天然ガス INJECTION」経済的、地域的及び技術問題により利用方法が確立していない天然ガスは、天然ガソリン及びLPG等を分離、採集した後、フレヤーにて燃焼させないで、高圧に昇圧して地中に再び注入し、井戸元の圧力低下を防止する方法。

採掘可能な石油及び天然ガスの量が少なくなれば、当然上記TECHNIQUEの応用が不可欠であり、注入流体を昇圧する機械(PUMP, COMPRESSOR)の駆動機として、ガスタービンの利用の可能性は今以上に高くなるものと期待される。しかし、これらの方法の採用は、それ自身原油及び天然ガスの原単価の上昇を招くことになり、たとえ井戸元とはいえども、燃料消費量は直接生産量に影響し、プラントの経済性ともあいまって一層効率の高いガスタービンが要求されよう。

### 3. 石油精製

表1に、代表的な石油精製プラントを構成する主要プロセスの一例を示す。これらプロセスにおけるガスタービンの応用として、圧縮機及び発電機駆動用の2つの場合が考えられる。しかし、各プロセスにあっては、QUENCHING, REFORMING及び、加熱等に蒸気の応用範囲が広く、そのためにプラント用のボイラーを設置するのが通常である。

表-1. 石油精製プラントの主要プロセス

Crude Distillation Unit.  
 Atmospheric Residue Desulphurizer.  
 Vacuum Distillation.  
 Hydrogen Production.  
 Hydrogen Sulphide Removal.  
 Sulphur Recovery.  
 Tail Gas Treating.  
 Sour Water Treating.  
 Hydrogen Recovery.  
 Hydrocracker.  
 Fluid Catalysis Cracker.  
 Kerosene Desulphurizer.  
 Gas Oil Desulphurizer.  
 Tankage and Oil Handling.  
 Flare.  
 Waste Water Treating.  
 Sulphur Handling.  
 Nitrogen Generating.  
 Plant and Instrument Air Supply.  
 Fuel Oil Supply.  
 Cooling Tower Water Supply.  
 Feed Water Treating.  
 Boiler.  
 Power Generating.

従来のプラントにおいては、前記理由により蒸気エネルギーが主体で電気的エネルギーが補助的に併用される場合が多く、従って大形駆動機も蒸気タービンが主体とならざるを得なかった。

石油精製プロセスに使用される蒸気条件は発電プラントに比べて40~60%・G, 350~440°Cと緩やかで、プラントとしての総合熱利用率はかなり低い。原油価格の上昇に伴ない、プラントとしての熱利用率の向上は、企業収益を確保するための絶対条件となることは時代の流れであり、今後石油精製においても上記理由により、コンバインドサイクルの利用が高まることが予想される。

一方各プロセスにおける省エネルギー対策は、より一層その度合を高めるであろう。過去における対策は、既存プラントに対する対症療法のきらいが強く、どちらかという、個々の端末改造が対象であった。既にこれらの諸対策は限界に近づきつつあり、今後は新設プラントにおけるシステ

ムとしての省エネルギー対策が強く要望されるものと推定される。

このような目的のためのガスタービン技術の応用として、FCC(FLUID CATALYSIS CRACKER) PROCESS用のHOT GAS EXPANDERの例を図-3に示す。このEXPANDERの応用の可能性については古くから判っていたが、プラント建設費とエネルギー単価との関係から実用化が遅れていたものであったが、最近注目を集め、既設プラントへの追設が行われている。将来の新設プラントにあっては当然、当初より組み込まれることが予想される。

このHOT GAS EXPANDERはFCCのみならず将来、石炭の高圧ガス化装置(低BTU及び、高BTU)などにも応用されるであろう。

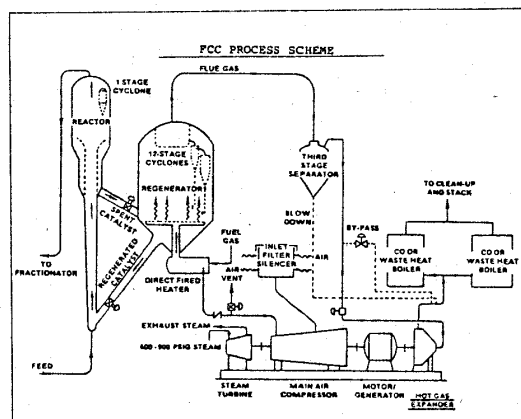


図-3.

#### 4. 石油及びガス化学

石油化学工業におけるガスタービンの適応は、世界的視野に立ったエネルギーの需給と、各エネルギーの生産単位コストの変動により変化し、将来の動向が必ずしも過去及び現在のトレンドの延長上にあるとは限らない。現在開発されようとしている代替エネルギーの単位発熱量当りの開発コストと、原油及び天然ガスの価格との比較を図-4に示す。多くの代替エネルギーの開発テンポは常に原油及び天然ガスの価格によって左右され、多分に流動的要素を含んでいる。ガスタービンの応用の可能性は、エネルギーの多様化に伴う産業構造の変化はもとより、代替エネルギーの製造プラントそのものにも大きな可能性をしめており、そ

の動向には常に注意を払う必要がある。以下に既に使用実績のあるもの、若しくは将来その実現が予想される PROCESS の一例を示す。

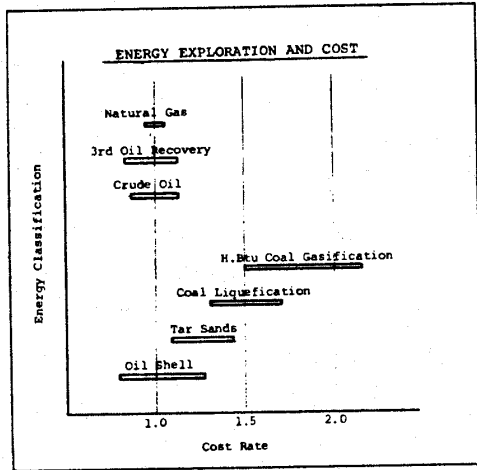


図-4.

4-1. 石油タンパク 石油タンパク製造プラントにあっては、多量の空気と、かつ製品の乾燥のため350℃前後の大きな熱量を必要とし、ガスタービンの応用は好適と考えられる。このPROCESSの概要を図-5に示す。一般にはその主空

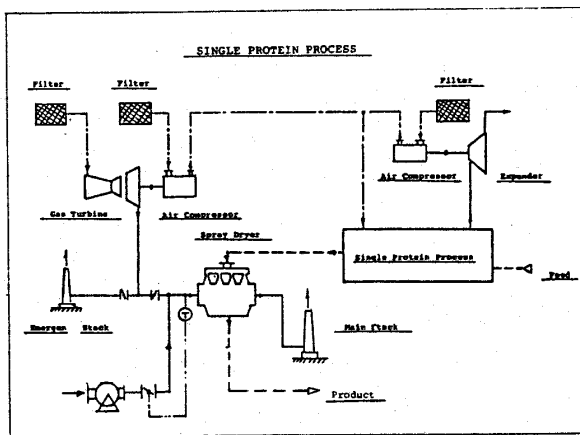


図-5.

気圧縮機の駆動機としてガスタービンが用いられ、かつその排気は温度調整されて乾燥に使われる。空気圧縮機で送入される中圧空気は、PROCESSにおいて酸素のみ消費され、中圧窒素ガスとして系外に排出される。従ってこのガスはEXPANDERを介して動力回収が行われ、他の空気

圧縮機が駆動される。

4-2. エチレンプラント エチレン製造プラントにガスタービンを適用した場合の経済的メリットについては古くから文献等にて発表されて来たが、その実用例は未だ数例にすぎない。図-6にエチレンプラントにガスタービンを応用した一例を示す。エチレンの製造単価は、原料単価と、UTILITY消費コストにより大きく変化する。総合熱利用率を高め、エチレン原単価の低下を計るため新設プラントにおけるガスタービンの適用の可能性はかなり高い。

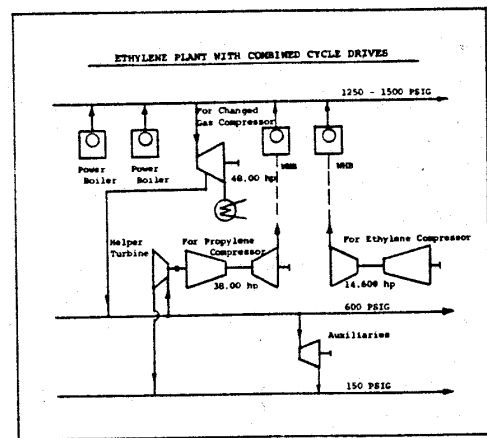


図-6.

4-3. LNGプラント 現在世界には多くのLNGプラントが建設され稼働している。しかし、原油積み出しプラントに比べて規模と、それに伴うリスクが大きく、長期にわたる経済見通しが必要である。このプラントは建設される立地条件により原動機の種別が決定されてきた。たとえ天然ガス産出地域に近いとはいえ、消費動力が大きく、機械の効率の違いによる年間のUTILITY COSTの違いは大変大きい。ましてや、今後次第に天然ガスの単価の上昇が予想されるので、熱利用率の向上は当然の要望となろう。この意味から、COMBINED CYCLEの応用が近い将来実現されるものと推測される。

5. 結論

人類の財産である化石燃料、その中でも石油及び天然ガスがなくなる — 利用できなくなる — 時代が必ずやって来るし、その時期もそれ程遠い将来ではなからう。現在のガスタービンが、これ

ら石油及び天然ガスの落とし子として生まれ、発達して来た事実を鑑み、次の21世紀はガスタービンにとって重大な岐路を迎えることと思われる。即ち、石油、天然ガス若しくは高品位石炭は、燃料としてではなく、化学工業の原料として大部分が消費され、かろうじて油田における装置及び

輸送手段として、その使用の可能性は残されるものの熱効率の向上の要求は一段と強まろう。

一方、多元的エネルギー源が併存する時代を迎え既存技術のみならず時代のニーズを予測し、より一層の附加価値の高い技術開発を希望します。

## パイプラインとガスタービンシステム

㈱日立製作所 大島 亮一郎

### 1. 緒言

年間に生産される陸上ガスタービンのうち20～30%の容量はパイプライン等でポンプ又はコンプレッサーを駆動するメカニカルドライブ用であり、ガスタービン業界にとって極めて重要な分野である。

エネルギー価格の高騰に伴い、その多様化と安全確保のニーズより、今後ますます遠方より消費地への大量パイプライン輸送が21世紀初頭まで継続して実施されるものと考えられる。

勿論、原油や天然ガス等は有限な資源であるから21世紀中期以降は原子力等がエネルギーの主役となるが、21世紀に到る間このメカニカルドライブの割合は大きく、この分野でのガスタービンの技術開発の主な動向は次のものであろう。

主な項目	対応技術
1) 大容量化及び軽量化	高温化—空冷タービンの採用 新鋭航空用エンジンの転用
2) 高効率化	再生器、コンバインドサイクル採用
3) 信頼性向上	モジュール設計・予防保全技術

### 2. パイプラインとガスタービン

2-1. ソ連の主なパイプライン 天然ガスの埋蔵量はソ連が最も多く多数のパイプラインが建設されているが、ガスタービンを西側から輸入した大形プロジェクトは表1の通りである。これを見ると、ガスタービン単機出力は1976年10MW×158台より1981年で25MW×120台と大容量化と、ヘビーデューティ形と航空転用形(AVON)の併用などが見られるが保守的な計画で再生器の利用や第二世代のターボファンエンジン(CF6, RB211,

JT9など)の転用はなく効率は26～28%である。

表1. ソ連の主なパイプライン

パイプライン名称	ブラッドフ	オレンブルグ	チェリアピンスク	西シベリア
発注年度	1974	1976	1976	1981
パイプライン全長(KM)	1,500	2,749	700	4,700
パイプサイズ(インチ)	48	48	48	56
送ガス量(億m <sup>3</sup> /年)	200	200	350	350
運転圧力(Kg/cm <sup>2</sup> G)	75	75	75	75
圧送ステーション数	13	22	5	41
最低外気温度	-45	-45	-45	-45/-60
駆動機				
総数(台)	65	158	42	120
モデル	M3142	M3142	AVON	M5352B
出力(KW)	10,000	10,000	12,000	25,000
熱効率(%) (LHV)	26.4	26.4	27.6	28.8

昨年ヨーロッパの3社〔NP社(伊)、AEG(独)、JBE社(英)〕と契約したGE形ガスタービン25MW×120台が米国レーガンの政策で米国製部品及び技術の対ソ禁輸で建設の遅れが必至であり、このような事態を避けるため21世紀までにはソ連は国産ガスタービンの量産体制を有する可能性が大きい。パイプラインの送気圧力は現在75気圧であるが西シベリアパイプラインの一部に100気圧のテストラインを建設する計画であり、その運転結果にもとづき将来は100気圧が主流となろう。この時ガスタービンの所要動力は約1.3倍となり、大容量化が一層進むことになる。

2-2. 地中海横断パイプライン 1981年来に開通した地中海横断パイプラインは天然ガスをアルジェリアよりチュニジア経由地中海を横断シシリー島を経てイタリアに到るものが表2のように多彩なガスタービンを各ステーションの特性にあわせて使用している、ヘビーデューティ形はいずれ

ら石油及び天然ガスの落とし子として生まれ、発達して来た事実を鑑み、次の21世紀はガスタービンにとって重大な岐路を迎えることと思われる。即ち、石油、天然ガス若しくは高品位石炭は、燃料としてではなく、化学工業の原料として大部分が消費され、かろうじて油田における装置及び

輸送手段として、その使用の可能性は残されるものの熱効率の向上の要求は一段と強まろう。

一方、多元的エネルギー源が併存する時代を迎え既存技術のみならず時代のニーズを予測し、より一層の附加価値の高い技術開発を希望します。

## パイプラインとガスタービンシステム

㈱日立製作所 大島 亮一郎

### 1. 緒言

年間に生産される陸上ガスタービンのうち20～30%の容量はパイプライン等でポンプ又はコンプレッサーを駆動するメカニカルドライブ用であり、ガスタービン業界にとって極めて重要な分野である。

エネルギー価格の高騰に伴い、その多様化と安全確保のニーズより、今後ますます遠方より消費地への大量パイプライン輸送が21世紀初頭まで継続して実施されるものと考えられる。

勿論、原油や天然ガス等は有限な資源であるから21世紀中期以降は原子力等がエネルギーの主役となるが、21世紀に到る間このメカニカルドライブの割合は大きく、この分野でのガスタービンの技術開発の主な動向は次のものであろう。

主な項目	対応技術
1) 大容量化及び軽量化	高温化—空冷タービンの採用 新鋭航空用エンジンの転用
2) 高効率化	再生器、コンバインドサイクル採用
3) 信頼性向上	モジュール設計・予防保全技術

### 2. パイプラインとガスタービン

2-1. ソ連の主なパイプライン 天然ガスの埋蔵量はソ連が最も多く多数のパイプラインが建設されているが、ガスタービンを西側から輸入した大形プロジェクトは表1の通りである。これを見ると、ガスタービン単機出力は1976年10MW×158台より1981年で25MW×120台と大容量化と、ヘビーデューティ形と航空転用形(AVON)の併用などが見られるが保守的な計画で再生器の利用や第二世代のターボファンエンジン(CF6, RB211,

JT9など)の転用はなく効率は26～28%である。

表1. ソ連の主なパイプライン

パイプライン名称	ブラッドフ	オレンブルグ	チェリアピンスク	西シベリア
発注年度	1974	1976	1976	1981
パイプライン全長(KM)	1,500	2,749	700	4,700
パイプサイズ(インチ)	48	48	48	56
送ガス量(億m <sup>3</sup> /年)	200	200	350	350
運転圧力(Kg/cm <sup>2</sup> G)	75	75	75	75
圧送ステーション数	13	22	5	41
最低外気温度	-45	-45	-45	-45/-60
駆動機				
総数(台)	65	158	42	120
モデル	M3142	M3142	AVON	M5352B
出力(KW)	10,000	10,000	12,000	25,000
熱効率(%) (LHV)	26.4	26.4	27.6	28.8

昨年ヨーロッパの3社〔NP社(伊), AEG(独), JBE社(英)〕と契約したGE形ガスタービン25MW×120台が米国レーガンの政策で米国製部品及び技術の対ソ禁輸で建設の遅れが必至であり、このような事態を避けるため21世紀までにはソ連は国産ガスタービンの量産体制を有する可能性が大きい。パイプラインの送気圧力は現在75気圧であるが西シベリアパイプラインの一部に100気圧のテストラインを建設する計画であり、その運転結果にもとづき将来は100気圧が主流となろう。この時ガスタービンの所要動力は約1.3倍となり、大容量化が一層進むことになる。

2-2. 地中海横断パイプライン 1981年来に開通した地中海横断パイプラインは天然ガスをアルジェリアよりチュニジア経由地中海を横断シシリー島を経てイタリアに到るものが表2のように多彩なガスタービンを各ステーションの特性にあわせて使用している、ヘビーデューティ形はいずれ

も再生器を使用し効率34~36%, 航空転用形も第二世代のファンエンジンを転用し効率35~36%台の効率化を実現している。

中央のオーバーホール施設で集中して行う。

表2. OUTLINE OF TRANS MEDITER-RANEAN PIPELINE

TOTAL PIPE LENGTH	:	2,500 KM		
PIPE SIZE	:	48 INCH		
NO. OF COMPRESSOR STATION	:	8		
GAS FLOW	:	1.4 x 10 <sup>10</sup> M <sup>3</sup> /YEAR		
<b>STATION</b>	<b>GT MODEL</b>	<b>Q'TY</b>	<b>UNIT H.P.</b>	<b>EFFICINCY(%) (LHV)</b>
FERIANA ST.	LM2500	3	27,500	35.8
SBIKHA ST.	PGT25	2	27,000	36.4
MELIZZANO ST.	PGT25	2	27,000	36.4
GALLESE ST.	M3142R	2	14,000	34.3
CAPO BON ST.	M5322R	5	32,000	36.0
ENNA ST.	PGT25	2	27,000	36.4
MESSINA ST.	LM2500	3	27,500	35.8
TRASIA ST.	PGT25	2	27,000	36.4
<b>TOTAL</b>		<b>21</b>	<b>569,000 HP</b>	

ガスタービンはすべてイタリーのヌーボ・ピネオーネ社が納入したもので、M3142R, M5322RはGE形ヘビーデューティで再生サイクルで、再生器はGEA形でシェルフィンチューブである。LM2500は代表的なファンエンジン(CF-6)の転用形であり、GEのオリジナル設計によりファン駆動の5段のパワータービンを変更せず、出力軸回転数3600rpmである。天然ガス圧送コンプレッサーの駆動用に適当な回転数は、5000~7000rpmでありLM2500の3600rpmでは天然ガス圧送コンプレッサーの直径が大きくなりすぎるので、一般にコンプレッサーメーカーは、ガスジェネレーター部のみ転用し、高速パワータービンをヘビーデューティの技術で設計している例が多い、PGT25は、LM2500のガスジェネレーターにヌーボ・ピネオーネ社で開発した6500rpmパワータービンをつけた航空転用形ガスタービンである。

2-3. 原油パイプライン 最近建設された大容量原油パイプラインを表3に示す。

いずれも原油ポンプ駆動用に多数の航空用エンジンの転用形ガスタービンが使用されている。

この種のガスタービンには燃料として原油は使えないのでNGL, 又は原油の簡易トッピングで得られる溜出油を別系統のパイプラインで供給してガスタービン燃料としている。

アラスカ及びサウジアラビアの如く僻地では、エンジンのオーバーホールは各サイトでは行わず

表3. 原油パイプラインの代表例

パイプライン名称	アリエスカ (アラスカ)	トランスアラビアン (サウジアラビア)
発注年度	1974	1978
パイプライン全長 (KM)	1,280	1,200
パイプサイズ (インチ)	48	48
送油量 (10 <sup>6</sup> バレル/日)	2.0	2.35
ポンプステーション数	12	11
駆動機	ガスタービン	ガスタービン
総数 (台)	48	33
モデル	AVON 1533	FT-4A-9
サイト出力 (HP)	13,500	15,000
サイト熱効率 (%) (LHV)	27	25

今後とも原油パイプラインは原油資源の極地開発, 海上開発に伴い, 各種の技術的困難を克服しながら建設されるが, その動力は軽量, 高性能ガスタービンが主役となる。

3. メカニカルドライブガスタービンの動向

高効率, 信頼性向上, 大容量化を目指すメカニカルドライブガスタービンの開発動向は目的は同じでも小形と大形, ヘビーデューティと航空転用形では全く異なっている。

3-1. 大形ヘビーデューティと航空転用形 高効率化に対応するため, ヘビーデューティ形は再生サイクルを先ず指向しており, オイルショック以降再生器メーカーの技術開発及び売込みに拍車がかかっている。再生器としては, シェルフィンチューブ式のGEA, FOSTER WHEELER及びプレートフィン式のHARRISON; GARRETなどのメーカーがあるがいずれも熱応力を減少させ, 保守期間の延長と保守の容易性がきめ手となろう。価格はやや高いが高級材質を使用し, 肉厚部の少ないGARRET式が今後採用される機会が多いと考える。メカニカルドライブ用大形ヘビーデューティガスタービンで, 動翼に空冷翼を用いた最初のモデルは, WH.Canada社のCW352(35000HPクラス, タービン入口温度1010℃)である。これはカナダにある大容量の天然ガスパイプライン市場で航空転用形RB211に対抗するために開発されたものである。

メカニカルドライブ用はヘビーデューティでは二軸式で高压タービン1段, 低压タービン1段で分離しているため動翼に冷却用空気を導くのが発電用の一軸式に比べてむづかしいため実用化が遅れて

いたが、今後は空冷翼による高温化の動向は加速されるであろう。

圧縮比は再生サイクルを使用する前提のため10以下と比較的低い。

一方航空転用形は膨大な開発費によって航空用に開発された高性能ターボファンエンジンであるプラットアンドホイットニ社 JT9, ジェネラルエレクトリック社 CF6, ロールスロイス社 RB211 等をガスジェネレーターとして転用し、パワータービンを独自に設計している。又同一のパワータービンの基本設計を変えず、これら代表的な3社のガスジェネレーターのいずれにも結合出来るようになっている例が多い。

このように航空転用形は、エンジンメーカーの航空機用に開発する技術の成果をほとんどそのまま効果的に有効利用出来るので技術進歩の速度は早く、21世紀を目指しますます優位になると考えられる。

然しながら高価なガスジェネレーターのメーカーがほぼ3社に限られていること、長納期であること、大形ガスタービンを使用する大形パイプラインの建設には制度金融の供与など政治が関与する割合が多くなり、技術以外でかなりむつかしい問題が出る場合もあろう。図1に主なモデルの熱効率と開発年度を示す。

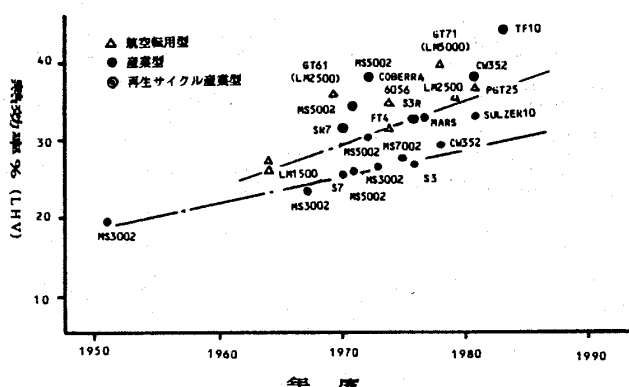


図1. ガスタービン熱効率の変遷

### 3-2. 中、小形メカニカルドライブガスタービン

中、小形の分野でもケーシングを水平分割し、鋳物で製作しているヘビーデューティ形とヘリコプター用など中小形航空用エンジンの転用形が多く実用化されているが、その他にケーシングは垂直

分割で、薄板構造又燃焼器も環状形とするなど航空用エンジンの設計理念を採用しはしているが転用形でない独自のメカニカルドライブガスタービンも多く見られる。この代表例は、ソーラー社の Mars (10600HP, タービン入口温度 996°C) 及び、ギャレット社の GT9901-6 (5800 HP, タービン入口温度 1037°C), ラストン社の Tornado (8500 HP, タービン入口温度 1000°C) などがある。

これらのメーカーは、いずれも1000HP~5000HPのモデルを量産しており実績が最も多い。上記は最近のガスタービン要素技術をもとに高性能化を計った最新鋭モデルであり、今後ともこの傾向は加速されよう。

又、最近オランダのトマッセン社で開発中の、TF10 (7.5MW, タービン入口温度 1073°C) は、ガスジェネレーターに中間冷却器付の2段ターボコンプレッサーを用いたユニークな設計で再生器つきで44%の効率を目指している。

少し容量は大きいですが、ズルツァー社の TYPE10 27,800HP は単純サイクルで33%の高効率を示すエンジンでジェットエンジンに近い構造をもつ新開発のガスタービンである。

3-3. 信頼性の向上と予防保全 これはヘビーデューティ、エアクラフト両タイプ共通の問題である、プラント全系の最適運用と同様に、各ユニットの運転データ収積、解析によるメンテナンス、及び故障の事前予告を目的とした自己診断システムの充実が必要である。これは即、信頼性の向上につながり、プラント全系を加味した運転、メンテナンス計画を立てる際に非常に有意義なものとなる。

この分野ではエアクラフトタイプが若干先行しているように思われるが、更に充実させていく必要のある課題である。各ガスタービンモデルにより多少の差異はあるが考え方の一例を表4に示す。

## 4. 結 言

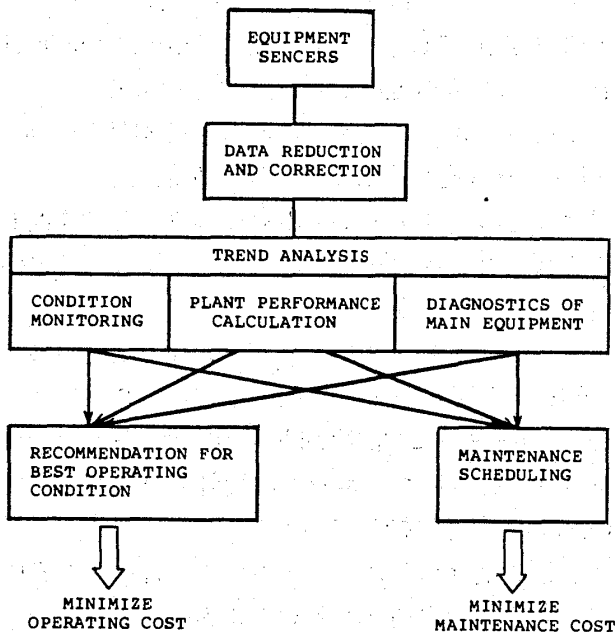
21世紀初頭までのエネルギー源として天然ガスがかなりの部分を占めるが、これらのエネルギーシステムには高性能ガスタービンが活躍することになる。

メカニカルドライブガスタービンはエネルギーの高騰と安定確保等の社会的ニーズに対処するため大部分は不便な遠隔地におかれるため、尚一層



表4. FUNCTION OF TREND ANALYSIS

1. Monitoring including vibration monitoring
2. Diagnostics
3. Plant Performance Calculation
4. Maintenance Scheduling
5. Data Logging
6. Operation History Control
7. Station Optimization



簡単な保守で信頼性が確保出来ることに重点をおきつつ、要素技術の面では航空エンジン、発電用大形ガスタービンでの開発済みの技術を利用しつつ、きわめて多くの形式がより一層の高性能化を目指して発展してゆくものとする。

#### 参考文献

- 1) 油井, 小島, 藤井 日立評論 Vol.60-8 (昭53.8)
- 2) Victor de Biasi, Gas Turbine World (1981-11)
- 3) Dean Hale, Pipeline & Gas Journal (1981-10)
- 4) Gas Turbine World Performance Specs (1982)
- 5) Dean Hale, Pipeline & Gas Journal (1981-1)

#### 討論

(質問) 大島 亮一郎(日立製作所)  
石油, 天然ガスの採掘用にもガスタービンの高効率化, 軽量化が必要とのことですが, 採掘現場では環境もきびしく又燃料も粗悪であり, ガスタービンの信頼性上高温, 軽量ガスタービンは問題となりませんか。

(回答)

生産プラント設備全体としての信頼性が最優先であり, ガスタービンは道具の一つである。

ガスタービンは先ず信頼性のある proven のものを使うことが重要である。

高効率化は当面は再生サイクルや排熱回収ボイラサイクルによって対応し, 高温ガスタービンはその実績が充分出してから使うことになります。

(質問) 竹矢 一雄(三菱重工業株)

パイプライン用ガスタービンは効率が重要であるオランダのトマツセン社のTF10ガスタービンは極めて効率が低い。ユーザーとしてどのように評価していますか。

(回答)

御指摘の通りユーザーとしても効率面を最近では重視しており, あるユーザーでは, 効率差による年間燃料費の差の1.5年分をイニシャルコストに加えて高効率化に対応した価格上昇を認めていたが, 最近では7年分を加算し高効率化を高く評価している。

TF-10は, 二段のターボコンプレッサーに中間冷却器を用い更に再生サイクルを採用したシステムとして高効率化を計ったガスタービンであり, 大変期待しています。

## 産業用小形ガスタービンとエネルギーの有効利用

川崎重工業株式会社 大 槻 幸 雄

## 1. まえがき

21世紀に向って最も重要なことの一つは、限られた資源を有効に使うことであり、そのためにはエネルギーの利用効率（総合熱効率）を向上することと「省石油」の観点から代替エネルギー特に今まで使用を積極的に考えず捨て去られていたエネルギー等の利用拡大がある。

総合熱効率の向上には大きく分けて、ガスタービン本体の効率をできるだけ上げることと、ガスタービンの有する大きな排気ガス・エネルギーを有効利用するためにガスタービンをシステムの中に組み入れる二つの方法が考えられる。

電力需要の非常に多い大製鉄所、製錬所等を除くほとんどの事業所の電力必要量は30MW以下であり、この他、電力のみならず地域冷暖房熱供給を含むエネルギー負荷のほとんども30MW以下のものと考えてよい。また、従業員1,000名の事業所の必要電力は2~5MWであり、1,000名以上の事業所よりの総出荷額は日本全体の全出荷額の30%であり、残りの70%は必要電力0.1~2MWの事業所よりのものである。出荷額は必要電力に比例すると考えることができるから、この0.1~2MWの範囲の省エネルギーは甚だ重要である。

巨大発電所、大容量送変電設備の立地はますます困難になることが予想される。このような巨大なエネルギー・システムに対して、中・小規模の地域分散形システムが見直され、コミュニティ・エネルギー・システム(CES)、ローカル・エネルギー・システム(LES)などと呼ばれる省エネルギー技術が今後ますます重要になってくると思う。

## 2. ガスタービン本体の効率の向上

タービン冷却技術および高温耐熱材料の開発により、タービン入口の温度を上昇させることと、これに相俟って、圧力比を上げることが最も効果が大きい。この他、各構成要素の効率をも併行して向上させることが必要である。Solar社の、8,600kwのMars Engineは現在、単純サイクルで186g/PS-hの優れた燃料消費率を達成している。今後、航空用エンジンの最も進んだ技術をどしど

し採用し、これらの技術の発展と呼応して更に大きく改良されて行くものと思う。

## 3. ガスタービン組み込みコ・ジェネレーション・システムの有効性

3-1. 総合熱効率70%に達するエネルギーの有効利用 コ・ジェネレーション(Co-Generation)システムでは電力および回収熱量を含む総合熱効率が70%以上に達し、省エネルギーの効果は大である。特にボイラを用いた空調やプロセス蒸気を要するビル工場等は、この需要は甚だ大きいと思うが、ガスタービンを必ず廃熱ボイラと併設して総合熱効率の向上を図ることが省エネルギーの観点から極めて重要と思う。特に、高圧力比、高タービン入口温度の高効率ガスタービンを用いると、同一出力に対してコンパクトで、コストおよび設備費が安価となり、電力+熱量単価が安く、設備償却も早く終り、顧客にとって経済的に大きな利点となる。500kVA級の排熱利用ガスタービン発電装置のエネルギー収支図の一例を図1に示す。

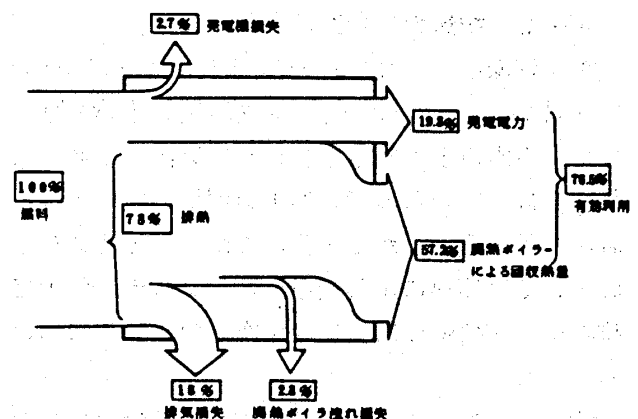


図1. 500kVA 廃熱利用ガスタービン発電装置のエネルギー収支図

3-2. 分散立地による化石燃料の有効利用と立地問題の緩和 今後、遅ればせながら遠隔立地の原子力発電所、石炭火力発電所、大形複合サイクルガスタービン発電設備等の建設が進み電力幹線網が整備されるであろう。しかしながら電力

熱併給によるエネルギーの有効利用の点からは、これら遠隔地の大形変換プラントでは100万都市が近接しているような場合を除いて完全な実現は不可能である。分散立地の需要規模とパターンに適した電力、熱エネルギーの有効利用がこのシステムにより可能になる。また、大形変換設備の立地困難性——特に原子力発電立地の困難度は大きい——を小形の需要者直結の分散プラントで補うことができる。

また環境公害の負荷も分散されることにより好ましい。

**3-3. 燃料の備蓄** 石油備蓄は我が国にとって重要で、90日分備蓄が進められているが、ガスタービンにはガス、液体両用の燃料を使用することができるので、LNG、LPG、メタノール、灯油、軽油などの汎用化学燃料の一年以上の備蓄をこのプラントの設置と併行して実施することが可能となる。

#### 3-4. 季節的なピークロード電力への補完

夏期における電力不足を自家用ガスタービン発電設備で補うと共に排熱を利用して冷房も行う。

**4. ガスタービンの排熱エネルギーの利用方法** 排熱利用形態としては多くのものが考えられるが、主なものを次に挙げる。

##### 4-1. 排気ガスの直接利用

(1) 乾燥用 ガスタービンの排気ガスは約500℃の温度で、CO、オイル等の汚染物質を含まず、また、15%以上の酸素を含有し排気出口で適当な静圧を有しているので、農工業製品の乾燥工程に直接利用することができる。また、ゴミ焼却を主眼として焼却熱による発電を行うシステムの中で、排熱をゴミの乾燥用や燃焼用空気の前熱等に用いる。

(2) 不活性ガス 大形タンカーの爆発事故がたて続けに起こったが<sup>1)</sup>、これが契機となって空荷状態のタンカーの油槽などを不活性ガスで充満させているが、ガスタービンの排気ガスをアフターバーナーで燃焼させると不活性ガスを作る方法がある。

**4-2. 蒸気発生方式** ガスタービンの排気ガスを利用した廃熱ボイラから得られる蒸気量は、馬力当り1~10気圧の蒸気3.5~4.5 kg/hである。発生した蒸気の用途としては次のようなものがある。

(1) プロセス蒸気 圧力約8気圧の蒸気はプロセス用とか病院における洗濯や消毒用として利用される。

(2) 発電用 圧力15~60気圧の蒸気は、発電用蒸気タービンの駆動源として使用される。

(3) 吸収式冷凍機用 0.7~0.8気圧の低圧蒸気は空調用吸収式冷凍機の熱源として使用される。

(4) 空調暖房用 0.7~0.8気圧の低圧蒸気はまた暖房用にも利用される。

(5) 淡水化 淡水化のための蒸発装置の加熱用蒸気として利用。

この他、蒸気を必要とする化学機械に対して利用が考えられる。

**4-3. 排気ガス——水熱交換方式** 高温水は蒸気に比べ同一熱量を輸送するのに要する配管径が小さくなること、閉回路であるためにシステム内に連続してスケールを発生するような物質が入らず水処理装置が簡単になること、熱容量が大きいため加熱器容量が小さくなることなどの利点を有する。利用方法として次のようなものがある。

70℃~90℃	家庭用温水供給
75℃~120℃	空調暖房用
105℃~120℃	空調吸収式冷凍機用
120℃以上	給水加熱用

**4-4. 排気ガス——有機熱媒体熱交換方式** 有機熱媒体(鉱油、エチレングリコール等)を利用する利点は高温でも圧力が低いという特性にあり、例えば水蒸気システムでは260℃で運転するには48 kg/cm<sup>2</sup>の圧力が必要であるが、有機熱媒体システムでは大気圧で260℃の運転が可能である。したがって大口径の蒸気配管、圧力制御装置等の設備が省け、保守が少なく済む等経済性も良い。この方式の用途としては次のようなものがある。

石油精製、塩水の濃縮と蒸留、合成繊維製造、金属の処理(焼鈍、応力の除去)、ゴム、プラスチック、製紙のプロセス加熱、化学プロセスの加熱、海上石油基地および天然ガス基地における加熱、大きなビルディングの室内暖房が考えられる。

##### 4-5. 排気ガス——空気熱交換方式

###### (1) レキュペレーター(再生式熱交換器)

ガスタービンの排気と燃焼器に入る圧縮空気との間で熱交換を行わせて燃料消費量を減少させるために使用される。

- (2) 空調暖房用
- (3) 食品加工用
- 5. 各種排気ガス利用システム

次のようなものがある。

5-1. システムの適用パターン

- (1) 都市ビル電力・冷暖房併用システム
- (2) 農漁業コミュニティ・システム 農漁業地域で排気ガスの熱エネルギーを利用する方法として次のようなものが考えられる。

アワビ稚貝、ハマチ、クルマエビ等の養殖、野菜、果樹等の温室暖房、農畜産物の加工、乾燥、貯冷蔵、鶏糞等の乾燥肥料化。

- (3) 地方公共プラントシステム
- (4) プロセス鉱工業システム
- (5) 船用不活性ガスシステム

5-2. 設置例 設置例として以下に3例を示す。

- (1) コミュニティ・エネルギー・システム (CES) 都市ガスによる自家発電設備を設置し、その排熱を地域冷暖房用の蒸気として供給する所謂 CES のシステムを図2に示す。

(2) 排熱の直接利用—製紙のプロセス加熱

藤枝製紙会社では紙の乾燥に3台のGarrett IE 831-800(常用出力400kW)を用いた常用1,200kWのガスタービン発電設備を設置し、常用電力を供給すると共に、その排熱を利用して50%のWet paperを5%のDry paperに乾燥するシステムを採用している。そのシステム系統図を図3に示す。この排熱による乾燥熱量は、 $3 \times 1,598,000 \text{ kcal/h}$ である。紙の乾燥に必要な熱量は巻取り速度で変るが、500~550m/minまではすべてこのガスタービンの排熱で賄うことができる。不足分はバーナーで追焚きして補う。抄紙機の巻取り速度にもよるが電気負荷と排熱負荷とのバランスがよく運転費が安い。

- (3) 排熱をプロセス、冷暖房等、乾燥に利用するシステム ドイツのSchäffbräuビール醸造所では熱量および出力の変動を商用電源に併入して調整することなく、余分の熱量および出

力は温水蓄熱槽の加熱に用いて、プロセスの需要が変動する時エネルギーを浪費することなく最適状態で運転する興味あるシステムを設置している。このシステム系統図を図4に示す。

このガスタービンは、常用出力400kWのGarrettのIE-831で排気はエコマイザーを持った補助焚きボイラに送られプロセス蒸気を作る。ボイラを通ったHot Gasはファンによって蒸気加熱器に送られ麦芽乾燥器を通過した後、 $40^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ で大気へ放出される。ガスタービン発電設備室内のガスタービン、油冷却器、発電機等からの放熱量は

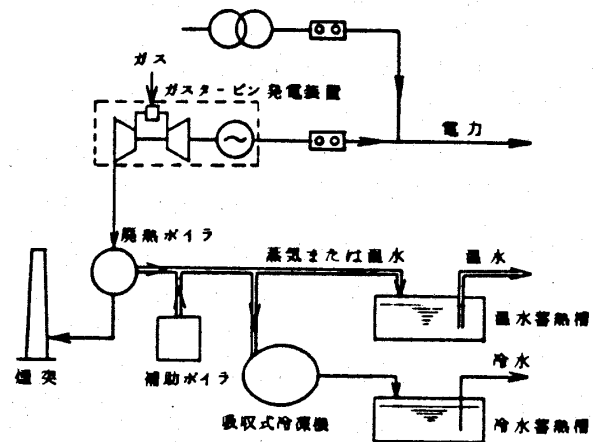


図2. コミュニティ・エネルギー・システム系統図

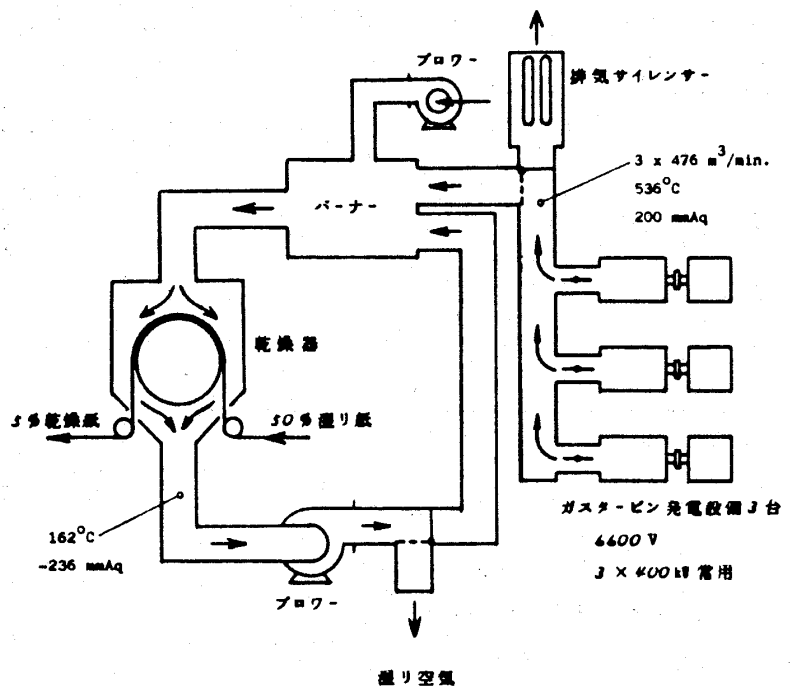


図3. 製紙プロセス加熱システム

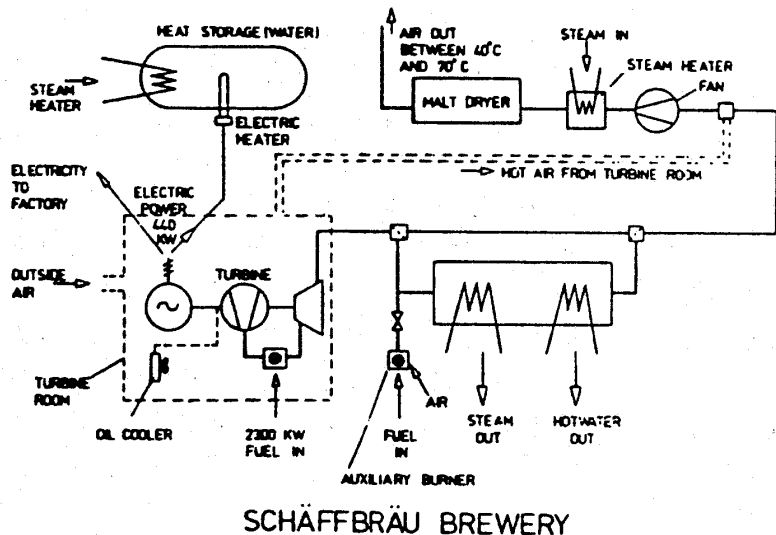


図4. ビール醸造所のシステム系統図

Hot Gas stream へ導かれシステムの効率向上に寄与する。電力需要が少ない時は余分の電力を工場へ供給するか電気加熱器で温水貯熱槽を加熱して蓄熱する。この蓄熱されたエネルギーは必要に応じて後刻使用するか直接ボイラに送って乾燥器の前の蒸気加熱器に供給し乾燥能力を増加する。熱量が余った場合は同じように、蒸気加熱器を用いて温水蓄熱槽に蓄えられる。このシステムの総合熱効率は、90%に達するとさえ言われている。

6. 性能計算例

コ・ジェネレーション・システムの総合的な性能を

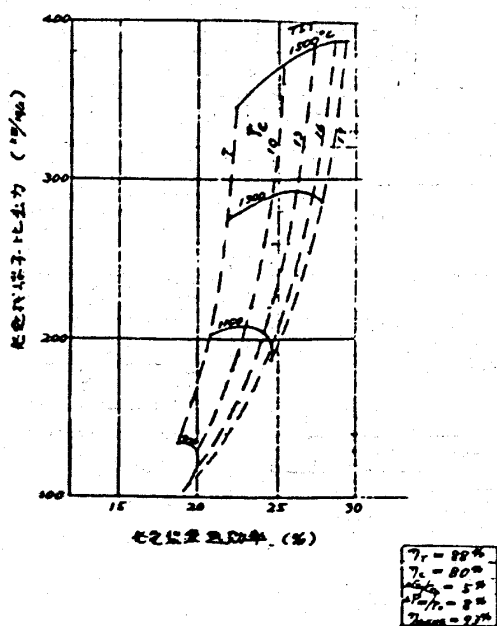


図5. ガスタービン発電装置の比出力及び熱効率

マクロ的に把握するために川崎重工のM1Aガスタービンを用いた発電設備に廃熱ボイラ、吸収式冷温水発生機を組合わせた場合の諸性能を以下に示す。図5はタービン入口温度および圧力比をパラメータにした発電設備の熱効率を示し、図6は1,000 kW級発電設備の排熱利用による蒸気発生量および冷凍能力を表している。図7からコ・ジェネレーション・システムとしての総合熱効率が70~77%に達することが分る。また、ガスタービンの出力当りのコストはタービン入口温度を上げると急激に下がることが分り、高温タービンの研究がこの点からも重要である。

7. 新エネルギー、代替エネルギーの利用

7-1. 汚泥消化ガス発電 新エネルギーの一環として有機系廃棄物、すなわち都市ゴミ、下水汚泥、パルプ等の工場排水、養豚場排水等は有機資源であり、これを嫌気性消化槽で消化させて回収すると、メタンガスを主成分とした有効な熱料が得られる。その発熱量は5,500kcal/m<sup>3</sup>程度で都市ガスに匹敵する。

この汚泥消化ガスを燃料としてガスタービンを駆動し、その排熱を効果的に回収することにより汚泥消化タンクの加熱用およびプロセス蒸気・冷

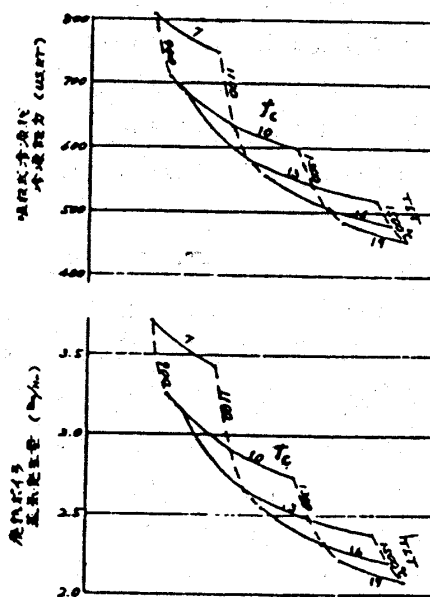


図6. 蒸気発生量及び冷凍能力

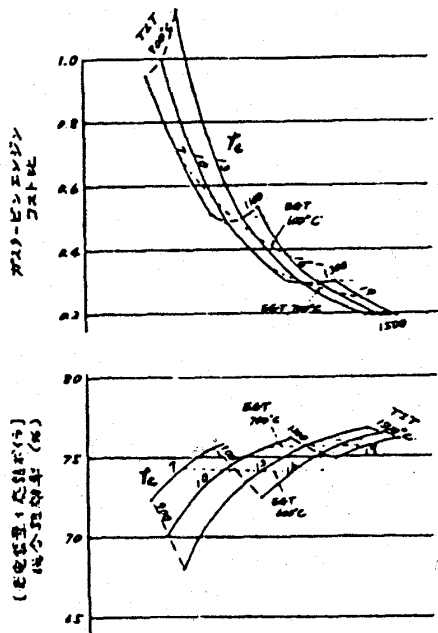


図 7. 総合熱効率及びエンジンコメント比

暖房用蒸気の熱源として利用することができる。汚泥消化ガス発電下水処理システム系統図を図 8 に示す。

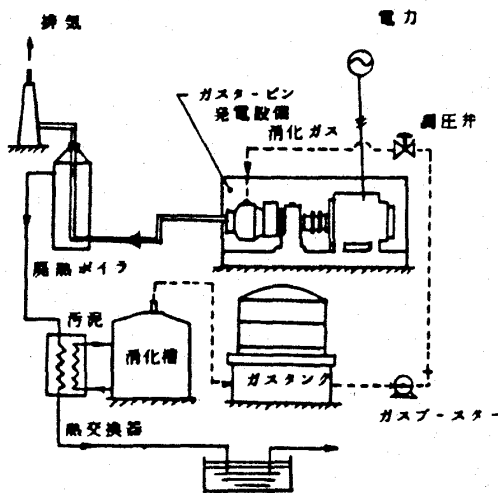


図 8. 汚泥消化ガス発電下水処理システム

7-2. 石炭、木材および廃棄物の利用 石油系燃料やガス燃料の代替燃料の利用も積極的に考えねばならない。このためドライボイラを用いた外燃式ガスタービンでオープンサイクルおよびクローズドサイクル両方式の研究がアメリカで行われている。すなわち、石炭焼き流動床燃焼<sup>2),3),4)</sup>、微粉炭燃焼<sup>5)</sup>や木材燃焼<sup>6)</sup>によるガスタービン発電の研究がこの例である。

8. 問題点

8-1. システムを普及させる上での法規制上の問題点

(1) 電気事業法および熱供給事業法の適用

コージェネレーション・発電システムには上述のように電気の供給と熱の供給という二面があることから、電気事業法と熱供給事業法の2つの法体系の規制を同時に受けることとなる。これらの法令の存在が本システムの成否にかかわるものではないが、今後省エネルギーの観点から政府の前向きの行政指導が強く望まれる。

(2) 通産省の開放検査の有無 通産省では表

1のように各種原動機による発電設備に対して、開放検査の有無を規定している。非常用の場合は機関の種類を問わず必要ないが、常用の場合、内燃

表 1. 通産省の開放検査の有無

	非常用	常用
内 燃 機 関	無し	無し
ガ ス タ ー ビ ン	無し	1回/年
蒸 気 タ ー ビ ン	無し	1回/2年

機関(主としてディーゼルエンジン)は開放検査の必要はないが、ガスタービンや蒸気タービンではそれぞれ1年および2年毎に開放検査を行うことが義務づけられている。ガスタービンや蒸気タービンは往復運動部分がなく振動が少なく、かつ運転中にトルク変動もなく、往復動内燃機関よりも耐久性、信頼性が大きく、近頃のガスタービンはT.B.O.(Time Between Overhaul)は30,000時間以上というのが一般的である。したがって、運転時間に関係なく一年毎に開放検査を行う必要はなく、むしろ設備不十分な現場で開放検査することにより、工場で厳しい領収検査を受けて出荷した状態より悪くなる恐れさえ多分に起る。また、開放検査に莫大な費用がかかるのみならず、開放検査中は運転を中止することになり経済的な損失は大きい。

特に小形ガスタービンは一般に圧縮機およびタービンケースは一体構造であり、開放検査に当ってはローター部分まで分解する必要があるが、工場で厳密にとった動バランスが狂うことにもなり甚

だ危険である。開放検査の代りにボア・スコープで高温部を検査する等適切な検査法を行い、メーカーの指定する T.B.O 毎に工場に持ち帰り徹底的に解体修理することが、より安全であるのみならず経済性の観点からも合理的である。

### 9. その他

これまではガスタービンを全て発電機駆動用の原動機として述べてきたが、ガスタービンが軽量小形、振動少、低騒音、保守簡単、自動運転が可能で省人化が可能、冷却水が不要等の数々の利点から、排水場のポンプ駆動やガスパイプラインの圧送用ブローア駆動等、所謂メカニカル駆動の分野でも大いに普及することが考えられる。

### 10. むすび

省エネルギーは、今後21世紀に向けて全世界的な最も重要な課題の一つであるが、ガスタービンの技術の進歩とコ・ジェネレーション・システムの導入により、総合効率の勝れた種々のプラントが可能であることおよびガスタービンの本質的な利点からメカニカル駆動の分野への進出等を考えると、今後、小形ガスタービンは有望な熱機関として発展するであろう。

ガスタービン普及に妨げとなる非現実的な時代遅れの法規の改正を高所から公明に行使されることを切望すると共に、ガスタービンを取り扱う者として顧客の声を謙虚に聞き、また、世の中の動向を注意して見つめガスタービンを技術的に正当に評価し、真に顧客のため、国家のためガスタービンが役立つように改良研究を続けねばならないと思う。

### 参考文献

- 1) 中原ほか2名, 神戸製鋼技報, 25-1 (1975-1), 113.
- 2) R.S. Holcomb, ASME Paper, 79-GT-104 (1979)
- 3) S. Moskowitz ほか2名, ASME paper, 79-GT-193 (1979)
- 4) A.D. Harper, ASME paper, 80-GT-132 (1980)
- 5) A. Fitton 他1名, Engineering, (1955-8), 239
- 6) R.G. Mills 他1名, ASME paper, 80-GT-182

### 討論

(質問) 永田有世(神戸製鋼所)

次頁「指名討論者寄稿」参照。

(回答)

1. 総合熱効率について(当日時間の関係で質問には出ず)

電気エネルギーが熱エネルギーより一般的には高価であるが、顧客によっては電気エネルギーよりも熱エネルギーが必要な場合もあり、一般的には総合熱効率で論じてもよいのではないかと思う。ただし電気エネルギーを主体とした発電所のような場合では、討論者の提案されている熱効率という考え方は面白いと思う。

2. 電力負荷と熱負荷のマッチング

御指摘のように電力負荷と熱負荷の要求の比率が一般的には一致しない。

熱負荷が余る時は、これをガスタービンへ戻して再生サイクルとすることが考えられ、電力負荷が余る時は、これをガスタービンへ戻して再生サイクルとすることが考えられ、電力負荷が余る時は、法的な制限があるが省エネルギーの観点から前向きに取り組んで頂き、商用電源とパラランしてこれに戻すことが考えられる。また図4のビール醸造所のように余剰のエネルギーを一時蓄熱して有効に使用することも考えられる。

いずれにしても顧客とよく相談して両方のエネルギーを有効に使用するシステムを考えることが肝要である。

(質問) 猪木恒夫(新潟鉄工所)

Go-generationの採算性は如何ですか?

(当日、不手際で質問の機会が与えられなかった。)

(回答)

排熱と蒸気として利用するシステムを考える。Hard ware の価格およびガスタービン本体の効率にもよるが、川重の1,000 kW のガスタービン発電設備で灯油を焚く時、第二次石油ショック前では一年半の償却であったが、現在では五、六年程度と思う。

## 〔指名討論者寄稿〕 「産業用小型ガスタービンとエネルギーの有効利用」に対する討論

㈱神戸製鋼所 永田有世

## 1. 総合熱効率について

パネリストが主張されているように、エネルギーの有効利用を図るために総合熱効率を高めなければならないわけであるが、従来から用いられているこの用語の定義は、電気的出力と排熱回収量を熱量ベースで加算し、合計の出力としている。

しかし電気的(=機械的)エネルギーが熱エネルギーよりも価値が高いことは明瞭であって、従来の総合熱効率の定義ではコ・ジェネレーションシステムの性能を正確に表わしているとは言えない。例えば図8において、タービン入口温度一定のまま圧力比を高めるとガスタービンの効率は向上するにもかかわらず、総合熱効率は低下することになり、またタービン入口温度が1100℃から1500℃へと大幅に向上しても総合熱効率はほとんど変わらないという不自然さが生ずる。

コ・ジェネレーションシステムを正當に評価する方法は種々あるであろうが、例えば標準的な熱機関の熱効率を決め発電機出力をこれで除した値に熱出力を標準的なボイラ効率で除した値を加算し、消費燃料の熱量との比率で表してはどうであろうか。標準熱効率を例えば火力発電所の熱効率の40%とし標準ボイラ効率を90%とすると図2の例で総合熱効率76.5%のものが、112%となる。この数字は総合熱効率比とでも呼ぶべきものであって火力発電所の熱利用を100%とした時の比率を表わすことになり、これが100%以上であれば火力発電所よりも熱利用率が優れていることになる。

この方法ではガスタービン自身の熱効率が高く評価され、技術進歩の方向とも一致する。

## 2. 電力負荷と熱負荷のマッチング

コ・ジェネレーションシステムの難しさの一つは、ガスタービンの発電機出力と排熱量との比率がエンジン毎にほぼ決まっているのに対し、対象とする電力負荷と熱負荷の比率が一致しないことにある。

電力負荷に合わせて発電機出力を設定すると排熱量は熱負荷を上廻るケースが多い。この場合に余剰排熱を捨てると経済性が得られないので、ガスタービンを再生サイクルとし、排熱の一部をガスタービンへ戻す方法があるこの面からも熱効率の高いガスタービンが要望される。逆に排熱量が熱負荷を下廻る場合、あるいは電力負荷が減少してこのようになる場合にはアフターバーナーを設けるか、または別の汎用ボイラを設置することにより調節可能である。

排熱量を熱負荷に一致させると、発電機出力と電力負荷との間に過不足が生ずるが、商用電源とパラランして調整することができる。

しかし、余剰電力を商用電力系統へ供給することは、パネリストも指摘されているように、我国では制約が多い。プラント内部で電力負荷の調整ができることが望ましい。

コ・ジェネレーションシステムを経済的メリットのあるものとするためには、ユーザーとメーカーが一体となって独創的なシステムを考え出すことが不可欠である。



### Ⅲ 車輛用ガスタービン

#### ガスタービン車を目指して

トヨタ自動車工業(株) 岩井 益美

#### 1. GT車の夢

自動車は今や生活の足である。仕事も買物も自動車なしに考えることはできない。米国では3人に1人、日本では10人に1人が直接、間接に自動車に関連した職業に就いているといわれている。

いわゆる工業国では、自動車と、その関連産業である石油、鉄鋼などが、大企業の上位を占めており、我々の生活と自動車とのかかわり合いの深さを物語っている。ある意味で、現代は、自動車文明の時代だということができる。

汽車で遠くへ行ってみたい、というのが私が子供の頃の夢であった。煙をもくもくと吐きながら走るあの豪快な蒸気機関車は、18世紀に発明されたエンジンであり、19世紀生まれのディーゼルに席を譲り、今では姿を消してしまった。蒸気エンジンも人間と同じように、寄る年波には勝てなかったわけである。我々の生活に重要な自動車も、その心臓となるエンジンは、19世紀に発明されたピストンエンジンであり、いうなれば、我々の生活は、19世紀の先人達の努力の上に成り立っていることになる。19世紀の恩恵に浴しながら生活している我々が、21世紀のために準備すべきものは何か？ その1つは、20世紀生まれのガスタービンだと私は信じている。

ガスタービン車の開発は、1950年の初期に、英国のRover社、米国のChrysler社によって着手された。その後、Chrysler社が50台のGT乗用車を(1964)、Ford社が250台のGTエンジンをトラック用に(1971~73)試作し、話題をまいた時期もあったが、GMもバス、トラックの分野で着実に開発を進めており、404/505エンジンを搭載したGTバスは、230万(人、マイル)に達したと伝えられている。

「GT車はいつ世に出るのか」と聞くと、いつも「10年先だ」という答えが返ってくると、ガスタービン屋は悪口を言われる。しかし、1つの新しいエンジンが世に出るのは、そんなに簡単なことであ

る筈がない。米、独、スウェーデンでは、GT車開発に対する政府の助成があり、さすがに技術先進国だという気がするが、時の政策により、経済の状況により、GT車開発に起伏ができることになる。しかし、GT車開発は21世紀に向けてのより本格的な技術の歩みであり、その時々 of 社会の動きに一喜一憂してはおられないと思う。21世紀は着実に近づいてきている。GT実験車の音色は、21世紀の産声である。私は、GT車が開発された後にではなく、開発の時代に生まれてきたことに感謝しながら、毎日の業務に従事している。

#### 2. 自動車とガスタービン

GT車開発に従事している関係で、自動車にとってガスタービンとは何であるかについて時々考える。そのためには、先ず、自動車とは何であるかについて考えざるを得ない。国の経済が発達すると、自動車の生産量も増加するという図式は、自動車産業の初期段階、いわゆる離陸時の現象に過ぎない。自動車の先進国である米国では、自動車産業が、鉄鋼、石油などの基幹産業を牽引する面が強く、自動車産業が国の経済に与える影響は、きわめて大きくなってくる。このことは、「GMはアメリカだ」といった言葉に端的に示されている。

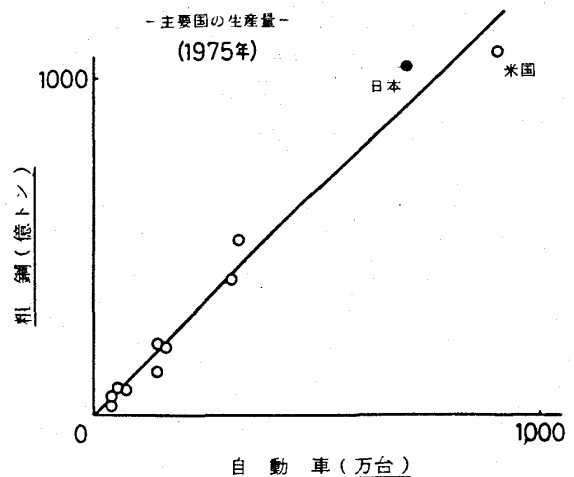


図1. 自動車と粗鋼の関係

「産業の米」といわれている粗鋼と、自動車生産量の関係を図1に、また、GNPと人口1,000人当りの自動車生産台数の関係を図2に示す。

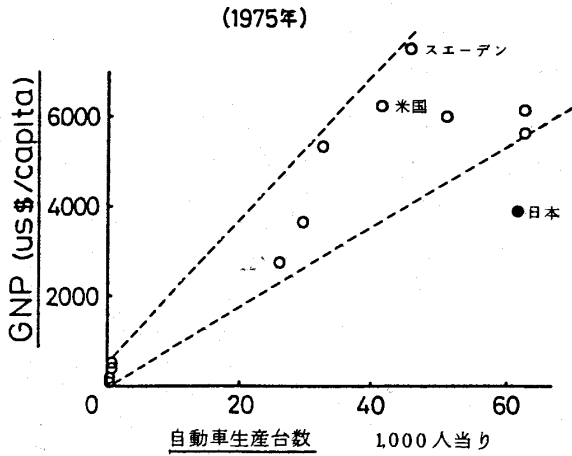


図2. GNP v.s. 自動車生産

粗鋼生産量も、GNPも、自動車生産量との関係が強いことがわかる。図2において、自動車の生産量の割に、日本はGNPが低い。日本車は相対的に小形車が多いことが一因と思われる。

自由世界における主要国の国力は、現在、米一日・独一仏・英の順と考えるとよかろう。この国力の歴史的な推移を図式的に示すと、図3のようになる。各国の盛衰には、それぞれの理由があるが、大きく見た場合には、1つのルールに従って世の中が動いていることがわかり興味深い。

日本の自動車生産台数の推移を、米・英と比較して図4に示す。資料はやや古く、1976年までであるが、この時点では、日本は上昇期、米国は安定、そして英国は下降傾向にあることがわかる。

現時点では、本図より歴史はさらに進展し、米国も下降傾向に入り、日本も成長期を過ぎ成熟期に入ってきたと思われる。

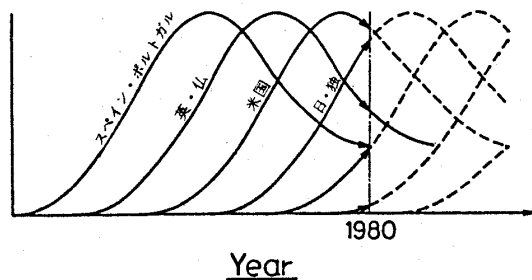


図3. 国力の推移モデル

自動車と関連の深い粗鋼生産量の推移を比較したのが図5である。自動車の場合と同様に、日本は上昇、英国は下降の傾向にある。同図より、韓国の粗鋼生産は、急激な上昇期にあることがわかる。

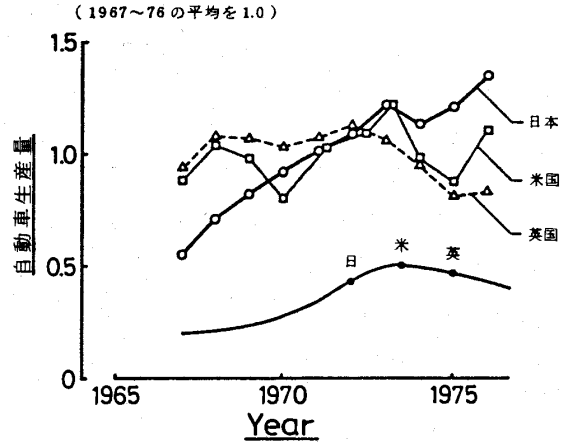


図4. 自動車生産台数の推移

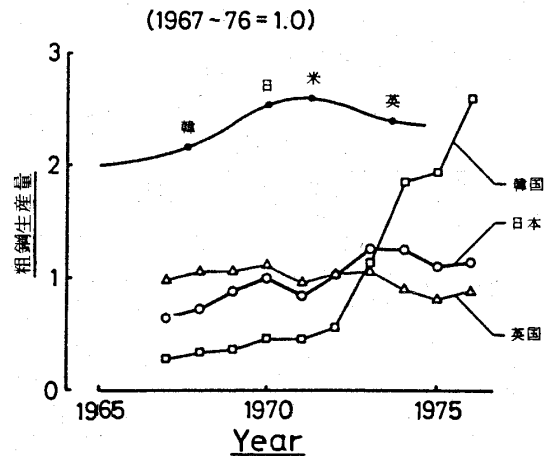


図5. 粗鋼生産量の推移

同様の比較を、船舶進水量について示したのが図6である。日本は、1975年に最大(世界の50.1%)となり、その後、下降期に入ったが、ここでも韓国は急激な成長を示している。

図7は、日本の代表的産業である繊維・造船・自動車の生産高の推移を比較したものである。かつて、糸へん景気を謳歌した繊維産業も、今は下降期にあり、輸出産業の花形であった造船業も、峠を過ぎた。1976年の時点では、自動車産業はまだ成長期にある。

繊維産業が下降を始めた後も、造船業は上昇した。造船が最盛期を過ぎた後も、自動車は成長し

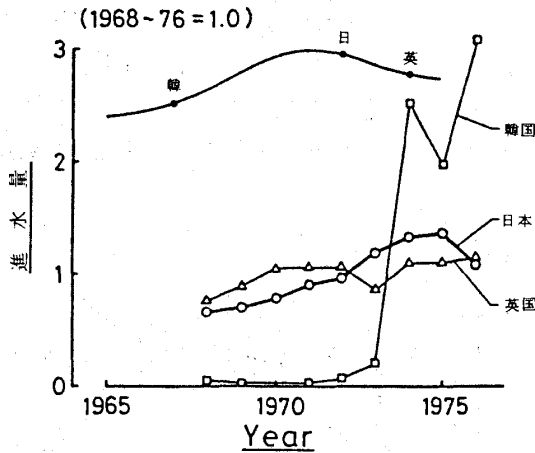


図6. 船舶進水量の推移

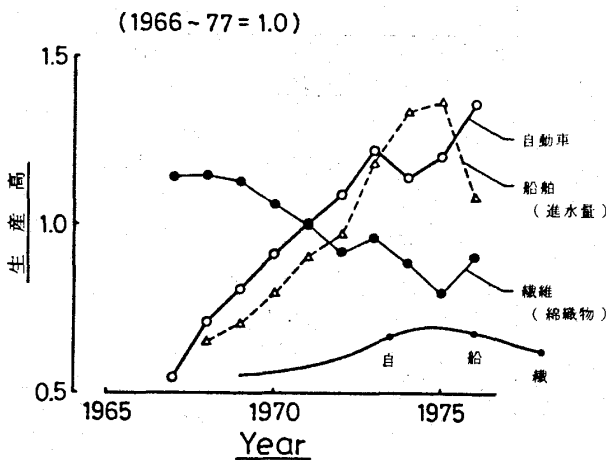


図7. 主要産業生産高の推移(日本)

てきた。その自動車も、最近の米国の輸入規制の動きなどにより、かつてのような成長は許されない環境にある。自動車産業も成長期を過ぎ成熟期に向かっているように見える。

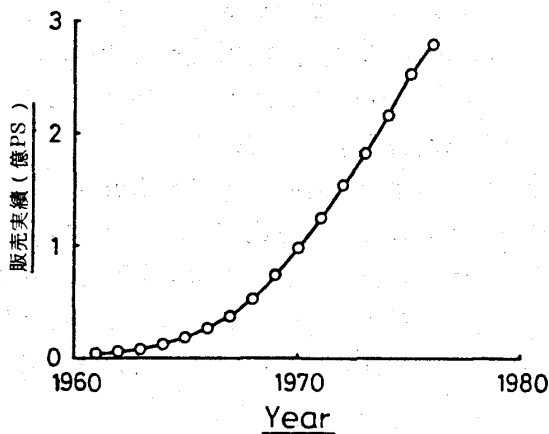


図8. 世界の産業用ガスタービン販売実績の推移

図8は、世界の産業用ガスタービンの販売実績を示したものである。航空機の分野では、ピストンエンジンに代り、王座の地位を占めているガスタービンも、ひとたび航空機を離れると、そのマーケットへの進出は、1960年以後であり、きわめて若い産業であることがわかる。

1つの産業が、どの国で繁栄するかは、その産業が要求する技術レベル：Aと、その国の年令：B(=賃金/output)によるものとし、日本を、米・英と対比させたのが、図9である。

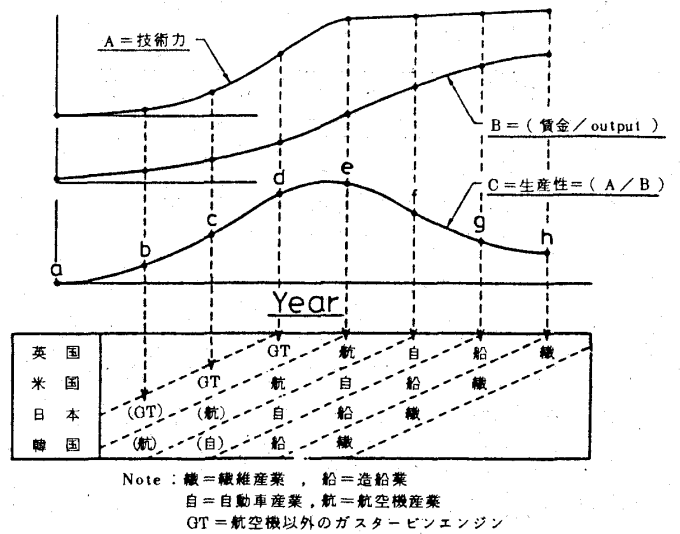


図9. 主要産業の位置づけ

航空機を除くと、ガスタービンは、欧米でも上昇期に入ったばかりであるが(図8)、同図では、航空機の次に位置づけてみた。米国の航空機、日本の自動車、そして韓国の造船業が、それぞれ成長期より、成熟期に向かっていることがわかる。

コンピュータ産業は、同図の航空機と同じ位置づけと考えられる。日本のコンピュータ産業は、急激な成長期に入ったが、航空機産業は未だ離陸したとはいえないので、同図では括弧( )で示した。

ガスタービンは、第2次大戦の戦勝国である米英が、軍事力との関係から、国の威信をかけて開発した航空機の分野で先ず発達した。経済的にはいわば人為的な早産ともいえるわけで、それが航空機産業が未だに日本では離陸できない一因とも考えられる。いずれにしても、航空機に続くのが産業用ガスタービン、さらに、それに続くのが、

車輛用ガスタービンであろう。GT車の開発は、自動車より2世代も、3世代も若い技術、欧米でも未だ生まれていない技術との対話であるが、21世紀の日本には必須の技術分野であると確信している。「なぜ、ガスタービンか」の問いに答えるために、エンジン開発の歴史について以下に考察したい。

3. 21世紀とガスタービン

軽自動車から重車輛まで、自動車の種類は多種多様であるが、その心臓部はすべてピストンエンジンである。現在の自動車を見る限り、ピストンエンジンとは正にエンジン中の天才児であり、GT車の出てくる余地は余り無いようにも見える。しかし、少し長期的な展望に立ち、「エンジン開発の歴史の中で、ガスタービンとは何か」といった視点から見ると、21世紀とGT車のかかわり合いは、必然のように思われる。表1に、エンジン及び乗物に関連した主な開発の歴史を示す。開発の経緯を、技術の流れとしてとらえたのが、表2である。

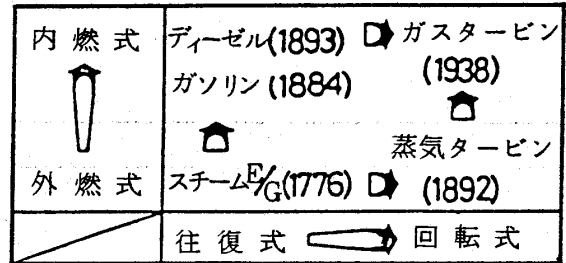
表1. エンジン開発の歴史

1705	蒸気機関	Newcomen	英
69	蒸気機関の改良	Watt	英
70	蒸気機関自動車	Cugnot	仏
91	タービンの特許	Barber	英
1802	蒸気船	Symington	英
29	蒸気機関車	Stephenson	英
73	Brayton 機関提唱	Brayton	米
77	4 サイクル E/G	Otto	独
83	ガソリン E/G 完成	Daimlar	独
84	蒸気タービン	Parsons	英
85	オートバイ	Daimlar	独
87	ガソリン E/G 自動車	Daimlar	独
93	ディーゼル E/G	Diesel	独
1903	飛行機	Wreight 兄弟	米
14	戦車	Swinton	英
29	ロケット	Goddard	米
39	ジェット機	Ohain	独
39	ヘリコプタ	Sikorsky	米
57	人口衛星 (Sputnik-I)		露
57	ロータリ E/G	Wankel	独
61	ホバークラフト	Blackburn	英

18世紀に蒸気機関が発明されて以来のエンジンの発達は、一方では外燃機関より内燃機関への流

れであり、もう一方では往復機械より回転機械への流れである(表2)。ガスタービンは、これら2

表2. エンジン開発の流れ



つの流れの当然の帰結として生まれた回転式内燃機関であるが、その誕生には、ガソリンエンジンが発明されて後、50年の歳月が必要であった。ガスタービンの成立には、それだけ高い技術が必要であったことを示している。

エンジンが要求する技術が高ければ、その性能もまた高いのが自然である。このことを、図式的に示したのが、図10である<sup>(1)</sup>。ガスタービンは正に、21世紀のエンジンであると思われる。

オイルショック以後の原油の高騰により、自動車の燃料経済性は、今や時代の要請である。世界的な小形車戦争の時代ともいわれる。エンジンの小形・軽量化は、自動車用エンジン開発の動向である。

同出力を、より小形のエンジンから得るための手段としてのターボチャージャも、このところ急

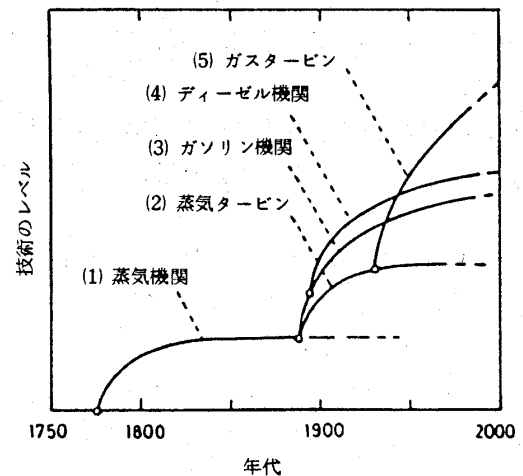


図10. エンジンの発達

速に普及してきた。

これらの動向から、エンジンの比出力（単位重量当りの出力）は、21世紀のエンジンを占う上で一つの指標であると思われる。小形エンジンの比出力を、表3に示す。

表 3

エンジン別比出力	
	(PS/kg)
航空機用GT	6.0
航空機用ガソリン	1.5
自動車用ガソリン	0.9
自動車用ディーゼル	0.3

自動車用GTエンジンでは、航空機用では用いられていない熱交換器が必要になるので、表3の値をそのまま受取るとはできないとしても、ガスタービンの小形軽量エンジンとしてのポテンシャルは高い。さらに、冷却水が不要であるので、ラジエータも不要になるなど、ガスタービンは自動車用エンジンとしての優れた特性を有している。

GMのテクニカルセンターでは、最近、微粉炭を燃料としたGT車を検討したと伝えられる。ガスタービンは、燃えるものなら何でも燃料とすることができる。

このGTエンジンの多燃料性は、オクタン価・セタン価といって燃料を選択するピストンエンジンに対する、きわだった特徴である。

原油の埋蔵量は、20年分とも30年分とも言われるが、いずれにしても有限な資源であるので、いずれは、石油不足、それに伴う価格高騰の時代が予測される。石油以外の燃料で作動できるガスタービンは、脱石油時代の内燃機関であり、21世紀のエンジンということができる。

すべてのエンジンは、サイクル最高温度を上昇することにより、熱効率が向上する。しかし、この温度が1,800℃を越えるとNO<sub>x</sub>が発生するのでNO<sub>x</sub>と熱効率の板ばさみの中での開発を余儀なくされているのが、ピストンエンジンの現状である。これに対し、ガスタービンでは、最高温度が1,000℃前後、A/F≒100程度が最高負荷時の条件なので、NO<sub>x</sub>と熱効率が直接関係しない特性がある。

このように、数々の利点を有するガスタービンが、なぜ、今世紀に出てこないのか。それは、このエンジンが、技術にきわめて敏感なエンジンのためだと考えられる。ピストンエンジンでは、体積効率が1%向上すると、出力も1%向上するが、ガスタービンでは、1%のコンプレッサ効率の向上は、数%の出力向上に対応する。P&W社のPT6は、最も良く知られた小形GTエンジンであるが、その開発経過を、表4に示す。10年間の開発により、出力は340→886PS、SFCは413→264と向上している。技術に敏感なガスタービンの1例である。

表4. Pratt &amp; Whitney / PT6 開発経過

Year	E/G No	出力(PS)	SFC	重量(kg)
1958	設計仕様→	500	313	—
1960	First Run	340	413	
1962	PT6A-4	480	318	113
1964	-20	580	290	130
1967	-27	751	270	136
1971	-31	886	264	141

蒸気機関 → ピストンエンジン → ガスタービンの流れを、回転数から見れば、数百 → 数千 → 数万rpmと、高速化の歴史でもある。

ガスタービンが、高速回転機械であることが、比圧力の高い原因であるが、回転数が一桁高いことは、一方では加工にも一桁高い精度が必要となる。

GT車が未だ市場に出てこないのは、我々の技術が未だガスタービンが要求する技術レベルに達していないためである。しかし、技術は確実に前進する。10年前には、手の届かなかった電卓も、今では気軽に買うことができる。

30年前に、米・英で着手されたGT車開発は、今では日・独・伊・スウェーデンなど、すべての主要国で展開されている。多くの国のエンジニアと共に、我々も一歩一歩、GT車に近づくための努力を積み上げている。

#### 4. 明日へ向って

自動車は高度な生活水準を支えるために、必須の産業である。

ポスト石油時代の自動車を目指して、GT車開

発への努力は、米国を中心に、世界各国で地道に積み上げられている。各社の努力にもかかわらず、GT車は、未だ確かな明日が約束されたと言えるレベルまでは到達していない。問題は走行燃費であり、それぞれのアプローチにより走行燃費の改善に努力しているのが現状である。

ガスタービンは、大型ほど熱効率が有利になることから、バス・トラックを対象としたプロジェクトは、最も現実的なアプローチといえる。

基本的には、現在わかっている技術でGT車を開発しようとするアプローチであるので、エンジンは2軸式、タービン材料はメタルが使用される。

GM, ITI, AVCO, BL, Fiat, 三菱, 日産, トヨタなど、多くの会社で開発が展開されている。最も完成度が高いのは、GMの404エンジンを搭載したGTバスであろう。エンジンとしての最高効率は、ディーゼルと同等であるが、走行燃費では未だ20%の差があるといわれる。アプローチは同じでも、対象車両を乗用車にすると、エンジンの小形化が必要になる結果、同じ熱効率を得るためには、より高度な技術が必要となる。

Chrysler/NASA, VW, Benzなどが、この分野で開発を展開している。これらのプロジェクトは、いずれも目標を近い将来においているので、Near-Term Projectと呼ばれている。

これに対し、GT車に必要な新技術を開発することにより、より高性能なGT車を目標とするプロジェクトは、Advanced Projectと呼ばれる。主なプロジェクトに対するエンジンの仕様を、表5に示す。

GTエンジンのタービン入口温度： $T_4$ は、タービン翼材料の許容温度で決められるので、メタルタービンの場合は、1,000℃前後の値となる(表5)。図11は、GTエンジンの熱効率と $T_4$ の関係を示す。同図より、GTエンジンの熱効率は、 $T_4$ が上昇できれば大幅に向上することがわかる。

セラミック材料は、耐熱強度が強く、メタル→セラミックの変更により、 $T_4$ は1,000→1,300℃の上昇が期待できる。

$T_4$ が100℃上昇すると、エンジンの熱効率は約10%向上できることから、セラミック開発がAdvanced Projectの中心テーマとなっている。米国でのセラミック開発は、CATE (Ceramic Applications in

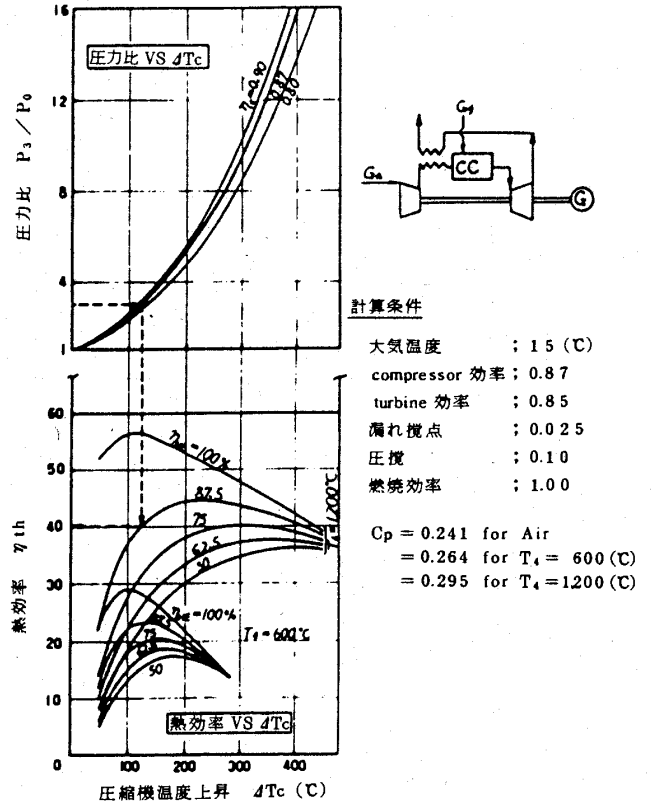


図11. 熱交換器付ガスタービンエンジンの熱効率

Turbine Engines) プログラムとして推進されており、GMのバス用エンジンも、このプログラムにより、セラミック化が展開されている。

Advanced Projectの本命は、セラミックタービンによる乗用車用エンジンの開発である。GMのAGT-100〔出力=100 PS,  $T_4 = 1,288$ ℃〕では、定格点の燃費率：SFC=155 (g/PS・hr), 11PSの部分負荷でも、SFC=197 (g/PS・hr)を設計値としている。

Ford/Garrett社による、AGT-101〔出力=130 PS,  $T_4 = 1,371$ ℃〕では、1軸式が採用されている。1軸式の場合は、エンジンが簡単になるメリットはあるものの、高速CVT (Continuously Variable Transmission)の開発が必要になるのでプロジェクトとしては、より挑戦的なアプローチと見ることができる。

トヨタは、GT/バッテリー・ハイブリッドシステムによる、GT乗用車の開発を行っている。この方式は、エンジンを常に熱効率の良い定格点のみで作動させることにより、走行燃費率の向上を狙ったものである。このシステムでは、エンジン出力が余分の場合は、そのエネルギーをバッテリーに貯え、

表 5. GT エンジン設計仕様

CONCEPTS	NEAR-TEAM PROJECTS				ADVANCED PROJECTS					
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧		
MAKER	GM	Chrysler/ NASA	ITI	VW	トヨタ	日産	GM	Ford/ Garrett	Chrysler -Williams	トヨタ
ENGINE										
MODEL	GT404-4	Up-graded	GT601	GT150	GT21	YTP12	AGT-100	AGT-101	AGT-102	GT-24
型式	2軸	2軸	2軸	2軸	2軸	2軸	2軸	1軸	1軸	1軸
出力(PS)	304	123	550	136	150	272	100	130	90	30
回転速度	37103/30830	58500/70000	2550	63700/52200	50000/36000	40000/20000	86240/68000	100000		86000
回転出力軸	2880	4700		5500	3860	3400	3421	↑		↑
重量	815	180		210	450	600				110
COMPRSSER										
空気流量(kg/s)	1.82	0.59		0.84	1.20	2.00	0.35	0.39		0.26
圧力比	4.2	4.5	2 Stage	4.5	4.3	3.9	4.5	5.0		2.6
型式		centrifugal	backward	backward	centrifugal	centrifugal	backward	backward		backward
TURBINE										
入口温度(°C)	1038	1052	1000	1010	900	920	1288/1080	1371/	1260/1150	900
型式	Axial/Axial	Axial/Axial	Radial/ 2 Stage Axial	Axial/Axial	Axial/Axial	Axial/Axial	Radial/Radial	Radial	Radial	Radial
材料	metal	metal	metal	metal	metal	metal	ceramics/metal	ceramics/metal	ceramics/metal	metal
燃焼器	Can-type	Can-type	Can-type	pre-mixed	Can-type	Can-type	variable-geom pre-chamber	variable-geom ceramics		Rotary Atomizer
熱交換器	dual	dual	Recuperator	dual	dual	dual	single		dual	single
変速器	A/T	A/T	specialty cont rolled M/T	A/T	M/T	GM製 A/T	hydra-matic CVT or I/T	Ford automatic Overdrive	Van Doorne belt CVT	GT/Battery Hybrid
車輛	MC 8 大型バス	LeBaron	R-7958 Mack Truck	RO-80 made by NSU	AM100改 レインボー 中型バス	大型バス	Pontiac/Phoenix	Ford/Fairmont	Chrysler/ K-body	パブリカ・スポーツ UP
Notes	ceramic 化に努 力中 (T <sub>4</sub> =1132)	車重 = 1600 kg	AiResearch, Mack, KHD, Volvo の4社	variable-IGV 車重 = 1700 kg	車重 = 6000 kg 減速比 = 9.319		variable-IGV 車重 = 1360 kg Foil Brg.		variable-IGV	車重 = 1000 kg Air Bearing

不足の場合はバッテリーから持ち出すことにより、車両を駆動することができる。車両構成を図12に示す。

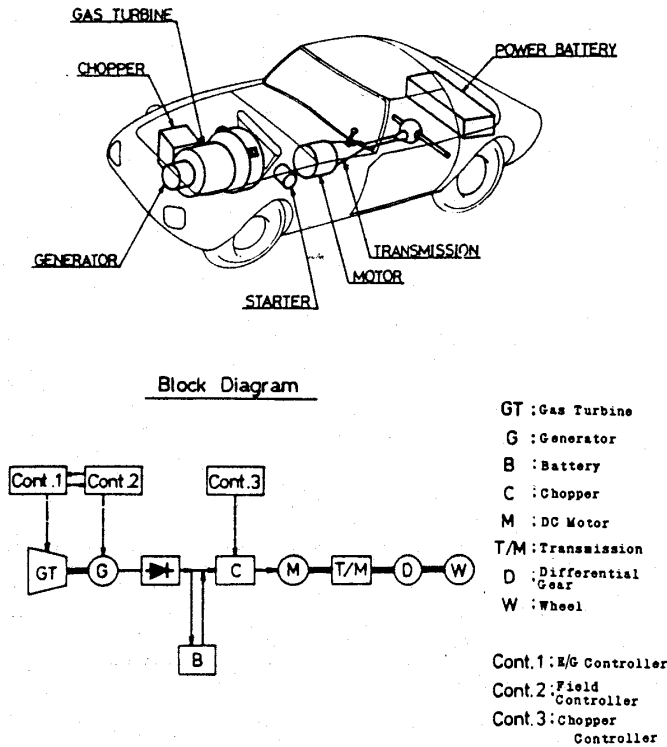


図12 Gas Turbine/Battery Hybrid System  
 —TOYOTA SPORTS 800—

5. あとがき

「ガスタービンは夢か麻薬か、なかなかまとまらないものである。謹賀新年」。これは、かつての上司よりの今年の年賀状である。確かにそう言われても仕方のない面もある。人間とは、なかなか急速には利口になれない動物だということであろう。

しかし、世の中は着実に変化している。かつて飛行機は、ピストンエンジンで飛んでいた。それにターボチャージャーが付き、飛行性能が向上した。より高空を飛ぶために、次第に過給圧が向上し、ついにはターボチャージャーだけになったのが、現在のジェットエンジンである。最近、自動車にターボチャージャーが普及してきたのは、いよいよガスタービンの時代が近づいた前兆のようにも思われる。

豊田佐吉の伝記の中に、次のような言葉があった。

「元来、力というものが往復運動をするということは理屈に合わぬ。力の運動は円のものではなければならぬ。円く回って動くのが力の本質である」。

自動織機は、左右に往復する杼の運動からなりたっており、「力の本質上、間違っておる」として、自動織機発明後の佐吉翁は、環状織機の発明に腐心した」とあった。

佐吉翁が現代に生きていたら、ガスタービンの開発に情熱を燃やしているに違いない。

現代は石油燃料の時代であり、毎日の生活を石油に依存している。燃えるものなら何でも燃料として使用できるガスタービンは、「脱石油時代の内燃機関」である。資源は有限であり、いずれは石油不足の時代が確実に予測されるが、未だ対応すべき技術は未完成である。

ガスタービン車開発への努力は、技術開発の分野で、とかく西欧に借りの多い日本の、先進国に対する義務でもあり、また一方では、石油時代の恩恵に浴している我々の、次の世代に対する任務でもあると思われる。

参考文献

(1) 棚沢, 工学と技術の本質, p.205, 養賢堂

討 論

(質問) 山崎 慎一(日産自動車㈱)

自動車用ガスタービンは多年にわたり、各社で開発が進められているが、実用化しないのが現状である。一般的には部分負荷時の燃費が悪い、レシプロと比較してコストが高いなどのため製品にならない。これらの問題を一挙に解決するため、この数年来セラミック材料を用いてサイクル最高温度を上げて燃費を良くする、またセラミック材料を用いれば超耐熱合金がいらないので資源的問題がないということで、かなりセラミックガスタービンの開発が進んでいると思う。セラミック材料はぜい性材料であり信頼性、その他いろいろな問題があると思うが、21世紀のガスタービンに向けてセラミックス材料がガスタービンに、特に自動車用ガスタービンに使われることに関して見解を伺いたい。



(回答)

大型バス・トラックの例ではメタルを使って、1,000℃前後でも何とかディーゼルと競争できるかなという位の燃費までアメリカではいっていると思うが、さらに小型になった場合はタービン入口温度を上げないといけない。本命の乗用車を目指してアメリカではCATE PROGRAM, 日本でも各社でセラミック材料開発がおこなわれており、1,300

℃前後を目指している。良いセラミック材料が開発されれば必然的に燃費は良くなると思うが、その間にガスタービンの基礎技術を固めておくことが大切である。

セラミック材料で加工する部分が少ないという観点から精密なセラミック部分が製造できるようになれば、自動車用ガスタービンに非常に適していると思う。

#### 共催案内

- 「第10回液体の微粒化に関する講演会」 57年8月26日, 27日  
主催 社燃料協会 Tel(03)834-6456
- 「第12回ターボ機械協会講演会」 57年10月18, 19日  
主催 ターボ機械協会 Tel(03)264-2564
- 「第23回航空原動機に関する講演会」 58年2月25日  
主催 社日本航空宇宙学会 Tel(03)501-0463

#### 協賛案内

- 日本機械学会関西支部第101回講習会「燃焼のモデリングと数値解析」  
57年10月14日, 15日  
主催 社日本機械学会関西支部 Tel(06)443-2073
- 「第3回日本熱物性シンポジウム」 57年11月8日, 9日, 10日  
主催 日本熱物性研究会 Tel(044)63-1141 内3168

※詳細につきましては各々の主催事務局へお問い合わせ下さい。

(回答)

大型バス・トラックの例ではメタルを使って、1,000℃前後でも何とかディーゼルと競争できるかなという位の燃費までアメリカではいっていると思うが、さらに小型になった場合はタービン入口温度を上げないといけない。本命の乗用車を目指してアメリカではCATE PROGRAM, 日本でも各社でセラミック材料開発がおこなわれており、1,300

℃前後を目指している。良いセラミック材料が開発されれば必然的に燃費は良くなると思うが、その間にガスタービンの基礎技術を固めておくことが大切である。

セラミック材料で加工する部分が少ないという観点から精密なセラミック部分が製造できるようになれば、自動車用ガスタービンに非常に適していると思う。

#### 共催案内

- 「第10回液体の微粒化に関する講演会」 57年8月26日, 27日  
主催 燃料協会 Tel(03)834-6456
- 「第12回ターボ機械協会講演会」 57年10月18, 19日  
主催 ターボ機械協会 Tel(03)264-2564
- 「第23回航空原動機に関する講演会」 58年2月25日  
主催 日本航空宇宙学会 Tel(03)501-0463

#### 協賛案内

- 日本機械学会関西支部第101回講習会「燃焼のモデリングと数値解析」  
57年10月14日, 15日  
主催 日本機械学会関西支部 Tel(06)443-2073
- 「第3回日本熱物性シンポジウム」 57年11月8日, 9日, 10日  
主催 日本熱物性研究会 Tel(044)63-1141 内3168

※詳細につきましては各々の主催事務局へお問い合わせ下さい。

(回答)

大型バス・トラックの例ではメタルを使って、1,000℃前後でも何とかディーゼルと競争できるかなという位の燃費までアメリカではいっていると思うが、さらに小型になった場合はタービン入口温度を上げないといけない。本命の乗用車を目指してアメリカではCATE PROGRAM, 日本でも各社でセラミック材料開発がおこなわれており、1,300

℃前後を目指している。良いセラミック材料が開発されれば必然的に燃費は良くなると思うが、その間にガスタービンの基礎技術を固めておくことが大切である。

セラミック材料で加工する部分が少ないという観点から精密なセラミック部分が製造できるようになれば、自動車用ガスタービンに非常に適していると思う。

#### 共催案内

- 「第10回液体の微粒化に関する講演会」 57年8月26日, 27日  
主催 社燃料協会 Tel(03)834-6456
- 「第12回ターボ機械協会講演会」 57年10月18, 19日  
主催 ターボ機械協会 Tel(03)264-2564
- 「第23回航空原動機に関する講演会」 58年2月25日  
主催 社日本航空宇宙学会 Tel(03)501-0463

#### 協賛案内

- 日本機械学会関西支部第101回講習会「燃焼のモデリングと数値解析」  
57年10月14日, 15日  
主催 社日本機械学会関西支部 Tel(06)443-2073
- 「第3回日本熱物性シンポジウム」 57年11月8日, 9日, 10日  
主催 日本熱物性研究会 Tel(044)63-1141 内3168

※詳細につきましては各々の主催事務局へお問い合わせ下さい。

(回答)

大型バス・トラックの例ではメタルを使って、1,000℃前後でも何とかディーゼルと競争できるかなという位の燃費までアメリカではいっていると思うが、さらに小型になった場合はタービン入口温度を上げないといけない。本命の乗用車を目指してアメリカではCATE PROGRAM, 日本でも各社でセラミック材料開発がおこなわれており、1,300

℃前後を目指している。良いセラミック材料が開発されれば必然的に燃費は良くなると思うが、その間にガスタービンの基礎技術を固めておくことが大切である。

セラミック材料で加工する部分が少ないという観点から精密なセラミック部分が製造できるようになれば、自動車用ガスタービンに非常に適していると思う。

#### 共催案内

- 「第10回液体の微粒化に関する講演会」 57年8月26日, 27日  
主催 社燃料協会 Tel(03)834-6456
- 「第12回ターボ機械協会講演会」 57年10月18, 19日  
主催 ターボ機械協会 Tel(03)264-2564
- 「第23回航空原動機に関する講演会」 58年2月25日  
主催 社日本航空宇宙学会 Tel(03)501-0463

#### 協賛案内

- 日本機械学会関西支部第101回講習会「燃焼のモデリングと数値解析」  
57年10月14日, 15日  
主催 社日本機械学会関西支部 Tel(06)443-2073
- 「第3回日本熱物性シンポジウム」 57年11月8日, 9日, 10日  
主催 日本熱物性研究会 Tel(044)63-1141 内3168

※詳細につきましては各々の主催事務局へお問い合わせ下さい。

(回答)

大型バス・トラックの例ではメタルを使って、1,000℃前後でも何とかディーゼルと競争できるかなという位の燃費までアメリカではいっていると思うが、さらに小型になった場合はタービン入口温度を上げないといけない。本命の乗用車を目指してアメリカではCATE PROGRAM, 日本でも各社でセラミック材料開発がおこなわれており、1,300

℃前後を目指している。良いセラミック材料が開発されれば必然的に燃費は良くなると思うが、その間にガスタービンの基礎技術を固めておくことが大切である。

セラミック材料で加工する部分が少ないという観点から精密なセラミック部分が製造できるようになれば、自動車用ガスタービンに非常に適していると思う。

#### 共催案内

- 「第10回液体の微粒化に関する講演会」 57年8月26日, 27日  
主催 燃料協会 Tel(03)834-6456
- 「第12回ターボ機械協会講演会」 57年10月18, 19日  
主催 ターボ機械協会 Tel(03)264-2564
- 「第23回航空原動機に関する講演会」 58年2月25日  
主催 日本航空宇宙学会 Tel(03)501-0463

#### 協賛案内

- 日本機械学会関西支部第101回講習会「燃焼のモデリングと数値解析」  
57年10月14日, 15日  
主催 日本機械学会関西支部 Tel(06)443-2073
- 「第3回日本熱物性シンポジウム」 57年11月8日, 9日, 10日  
主催 日本熱物性研究会 Tel(044)63-1141 内3168

※詳細につきましては各々の主催事務局へお問い合わせ下さい。

(回答)

大型バス・トラックの例ではメタルを使って、1,000℃前後でも何とかディーゼルと競争できるかなという位の燃費までアメリカではいっていると思うが、さらに小型になった場合はタービン入口温度を上げないといけない。本命の乗用車を目指してアメリカではCATE PROGRAM, 日本でも各社でセラミック材料開発がおこなわれており、1,300

℃前後を目指している。良いセラミック材料が開発されれば必然的に燃費は良くなると思うが、その間にガスタービンの基礎技術を固めておくことが大切である。

セラミック材料で加工する部分が少ないという観点から精密なセラミック部分が製造できるようになれば、自動車用ガスタービンに非常に適していると思う。

#### 共催案内

- 「第10回液体の微粒化に関する講演会」 57年8月26日, 27日  
主催 社燃料協会 Tel(03)834-6456
- 「第12回ターボ機械協会講演会」 57年10月18, 19日  
主催 ターボ機械協会 Tel(03)264-2564
- 「第23回航空原動機に関する講演会」 58年2月25日  
主催 社日本航空宇宙学会 Tel(03)501-0463

#### 協賛案内

- 日本機械学会関西支部第101回講習会「燃焼のモデリングと数値解析」  
57年10月14日, 15日  
主催 社日本機械学会関西支部 Tel(06)443-2073
- 「第3回日本熱物性シンポジウム」 57年11月8日, 9日, 10日  
主催 日本熱物性研究会 Tel(044)63-1141 内3168

※詳細につきましては各々の主催事務局へお問い合わせ下さい。

# 連続流燃焼器に関する研究 (一次燃焼への二次空気の影響について)

慶大院 中村 直  
 本田技研 伊藤 法彦  
 慶大理工 川口 修  
 慶大理工 佐藤 豪

## 1. 緒論

ガスタービンで用いられている連続流燃焼器は、燃焼負荷が高いにもかかわらず、比較的広い作動条件において燃焼効率が高い。このためにこの燃焼器の概念が工業用バーナなどに広く技術移転される傾向にあり、さらに作動条件を広げるとともに、その範囲で燃焼効率をより高く保ち、しかも有害排気成分の低減が要求されている。

これらの燃焼器性能と作動条件との関係を明らかにすることは、燃焼器設計の上できわめて重要なことである。しかしながら、燃焼器内の現象は旋回流をとまなう乱流燃焼のため、いまだ十分に解析されておらず、また系統的な基礎実験による資料の集積も不十分である。そのため、燃焼器の開発、設計の段階では、試行錯誤によるところが多く、体系的に燃焼器内の現象を解析する研究が必要とされている。

著者らは、これらの目的を達成するために、火炎の保持と主要な燃焼反応が行われる一次燃焼領域に注目し、最適な設計に必要な資料を提供することを試みている。そのために、一次燃焼領域の機能をモデル化した直流缶型燃焼器を試作した。この燃焼器は、目視観察のほか各種の光学的測定を行うため、燃焼筒は透明な石英製である。これまでに各種の燃焼条件において、流れ場、温度場、濃度場を測定し、燃焼器内の燃焼現象に考察を加えてきた<sup>(1)(2)(3)</sup>。

この一次燃焼領域の燃焼に影響を及ぼす重要な要因の一つに、二次空気孔より流入する二次空気がある。この二次空気の流入に関しては、その導入によって生成する燃焼ガスの温度や組成につい

での研究は多く<sup>(4)(5)(6)(7)(8)</sup>、また簡単な理論計算を行った研究<sup>(9)(10)</sup>もある。しかし、これらの解釈には流入する二次空気の挙動を具体的に把握する必要がある。この二次空気の流入に関しては、非燃焼時には、各種の流れ場で実測した研究<sup>(11)(12)</sup>がある。しかし、燃焼時には、単純な流れ場でも、実際の燃焼器のような旋回流をとまなう場合でも、二次空気の流入の経路やその量を定量的に測定した研究の報告は、著者らの報告<sup>(13)</sup>の他にいまだ入手していない。

本研究では、上述の燃焼器に二次空気孔を設け、一次燃焼に対する二次空気の影響に注目した。なお、二次空気孔は、一次燃焼に最も影響を与えられとされる最上流側一列のみ設けた。その際、二次空気量、一次空気量、旋回度、一次空燃比、一次・二次空気量比を実験変数とし、二次空気の流入状況やそれによる燃焼場への影響を明らかにした。

## 2. 実験装置および実験変数

実験に用いた燃焼器を図1に示す。燃焼筒内径125 mmの石英ガラス製の直流缶型で、下流側は排気筒につながっており、ほぼ大気圧燃焼である。

燃焼器の主要寸法を表1に示す。

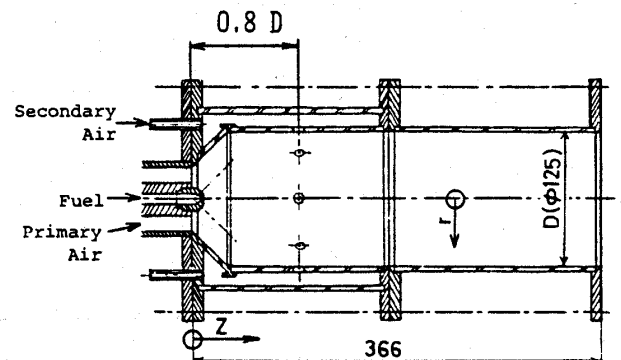


図1 実験装置主要部

(昭和57年2月22日原稿受付)

表 1 燃焼器主要部の寸法

燃焼筒内径 D	125 mm
燃焼筒長さ L	366 mm
環状口内径 d <sub>1 in</sub>	34.4 mm
外径 d <sub>1 out</sub>	62.5 mm
面積 A <sub>1</sub>	2.14 × 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup>
スワラコーン開き角度	90°
二次空気孔位置 Zh/D	0.8
数および径 n-d <sub>2</sub>	8-φ13
総面積 A <sub>2</sub>	1.07 × 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup>

一次空気には、旋回羽根により旋回を与える代わりに、上流の旋回装置で任意の旋回を与え、環状口より燃焼筒内へ流入させた。この方法により一次空気に広い範囲の旋回度を与えると同時に、旋回羽根による後流の影響を除いた。また著者らが既に報告<sup>(13)</sup>した最適条件に基づいて、噴射弁下流 z/D = 0.8 (z:軸方向距離, D:燃焼筒内径) に設けられた一列、8個の円形の空気孔 (φ13) より、二次空気を導入した。

燃料としては、工業用純プロパン (97% C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) を用い、環状口中心部に取り付けられた多孔式噴射弁 (孔数 24, 孔径 φ1, 噴射角 90°) より噴射した。本噴射弁は基準条件で単純渦巻噴射弁と同

一の噴射運動量となるように設計した。

本実験で用いた実験変数を表 2 に示す。実験変数としては、一次空気量 G<sub>a1</sub> (kg/s), 二次空気量 G<sub>a2</sub> (kg/s), 一次空燃比 (A/F)<sub>p</sub>, および旋回度 S を取り上げ、基準条件としては、実際の燃焼器の条件を勘案し、安定な燃焼が行われる G<sub>a1</sub> = 43 × 10<sup>-3</sup> kg/s, G<sub>a2</sub>/G<sub>a1</sub> = 0.5 (燃焼筒内代表流速 U<sub>r</sub> = 4.7 m/s), (A/F)<sub>p</sub> = 15.7, S = 1.0 とし、この点を中心に実験変数を変えた。

3. 実験方法

燃焼時における二次空気の燃焼筒内への流入状況は、二次空気に混入させた Ar をトレーサとし、燃焼筒内のガス分析による局所の Ar 濃度からトレーサとしての Ar を混入しない時の局所の Ar 濃度を差し引いた値 (C<sub>l</sub>) より求めた。燃焼場への影響を最小限とし、しかも流れに忠実に追従させるために、二次空気総容積流量の 3% を Ar (C<sub>0</sub>) におきかえた。ガス採取には、内径 φ1.0 のステンレス製水冷プローブを用い、ガスクロマトグラフ (充てん剤: モレキュラーシーブ, キャリアガス: H<sub>2</sub>) を用いて分析した。そして、二次空気の流入状況を C<sub>l</sub>/C<sub>0</sub> で示した。

燃焼ガス組成は、上述のプローブで燃焼ガスを採取し、ガスクロマトグラフ (TCD, FID) および全炭化水素分析計 (FIA) で分析した。

表 2 本研究の実験変数の体系

実験の種類	G <sub>a1</sub> (kg/s)	G <sub>a2</sub> (kg/s)	G <sub>a</sub> (kg/s)	$\frac{G_{a2}}{G_{a1}}$	G <sub>f</sub> (kg/s)	(A/F) <sub>p</sub>	(A/F) <sub>t</sub>	S	章・節
二次空気量 G <sub>a2</sub> の影響	43 × 10 <sup>-3</sup>	0 13 × 10 <sup>-3</sup> 21 × 10 <sup>-3</sup> 38 × 10 <sup>-3</sup>	☆	☆	2.7 × 10 <sup>-3</sup>	☆	☆	1.0	4.1
一次空気量 G <sub>a1</sub> の影響	27 × 10 <sup>-3</sup> 43 × 10 <sup>-3</sup> 48 × 10 <sup>-3</sup>	☆	☆	0.5	☆	15.7	23.6	1.0	4.2
一次空燃比 (A/F) <sub>p</sub> の影響	43 × 10 <sup>-3</sup>	21 × 10 <sup>-3</sup>	64 × 10 <sup>-3</sup>	0.5	☆	10.5 15.7 26.2	☆	1.0	4.3
旋回度 S の影響	43 × 10 <sup>-3</sup>	21 × 10 <sup>-3</sup>	64 × 10 <sup>-3</sup>	0.5	2.7 × 10 <sup>-3</sup>	15.7	23.6	0.5 1.0 1.5 2.0	4.4
一次・二次空気の配分 G <sub>a2</sub> /G <sub>a1</sub> の影響	☆	☆	43 × 10 <sup>-3</sup>	0 0.3 0.5 0.8	2.7 × 10 <sup>-3</sup>	☆	15.7	1.0	4.5

☆印は、他の実験変数によって決まる値  
G<sub>a</sub> = G<sub>a1</sub> + G<sub>a2</sub>, (A/F)<sub>p</sub> = G<sub>a1</sub>/G<sub>f</sub>, (A/F)<sub>t</sub> = G<sub>a</sub>/G<sub>f</sub>

なお上述の測定と同時に、化学発光式 NO<sub>x</sub> 分析計で NO<sub>x</sub> 濃度の測定も行ったので、参考に図示した。燃焼ガス温度はシリカ被覆を施した素線径 0.3 mm の Pt-Pt 13% Rh 熱電対により測定したが、ふく射誤差の補正は行っていない。

イオン濃度は、局所の測定が可能な静電探針法 (φ0.3 mm の白金線による複探針, 針幅 2 mm, 磁製管よりの突出部の長さ 5 mm) によりイオン電流値として測定した。炭化水素系燃料を燃焼させた



場合、燃焼帯近傍に高濃度のイオンが存在することが知られており、燃焼現象を解釈する上で燃焼場の反応活性度を表わすイオン濃度を知ることは重要である。そのイオン濃度の変動成分は、ミクロスケールにおける空間的な燃焼帯の移動や燃焼反応の時間的な変化などによるイオン量の変動を示している。

なお、これらの測定に用いたプローブは、すべて下流よりそう入した。

循環流領域は、火炎を保持し燃焼生成ガスの組成を左右する重要な領域であるが、この領域における反応性ガスの滞留時間をナトリウム塩の炎色反応を利用する方法を用いて光学的に測定した。上流の一次空気流中に  $\text{NaHCO}_3$  の微粉を加えると、炎色反応により火炎の輝度が著しく増加する。この微粉を電磁弁により瞬時(約 2 ms)にしゃ断し、その際の火炎の輝度減衰を石英製燃焼筒側方の循環流領域中央部に相当する位置 ( $z/D = 0.4$ ) に設けた CdS 光導電セルによって検知し、同一条件で減衰曲線を多数回測定して平均化した。この減衰過程を一次遅れと仮定して、循環流領域における滞留時間を求めた。

4. 実験結果

4.1 二次空気量の影響 二次空気の導入が燃焼場に与える影響を明らかにするために、一次空気量  $G_{a1}$ 、一次空燃比  $(A/F)_p$ 、旋回度  $S$  を一定とし、二次空気量  $G_{a2}$  を変化させた(表 2)。表 3 には、 $G_{a2}$  による総空燃比の変化を示す。

表 3 二次空気量による総空燃比の変化

$G_{a2}$	0	$13 \times 10^{-3}$	$21 \times 10^{-3}$	$38 \times 10^{-3}$
$G_{a2}/G_{a1}$	0	0.3	0.5	0.88
$(A/F)_t$	15.7	20.4	23.6	29.5
$G_{a1} = 43 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ , $(A/F)_p = 15.7$				

図 2 には、ほぼ循環流領域の中央部をよぎる断面に相当する  $z/D = 0.4$  における温度および代表的なガスの組成の分布を、一次空気のみの場合(a)と二次空気を導入した場合(b)を比較して示す。二次空気の導入により、 $r/R$  ( $r$ : 半径方向距離,  $R$ : 燃焼筒半径) = 0.3~0.8 付近で、燃料の  $\text{C}_3\text{H}_8$  の減少,  $\text{CH}_4$  の増加が顕著であり、半径方向一様

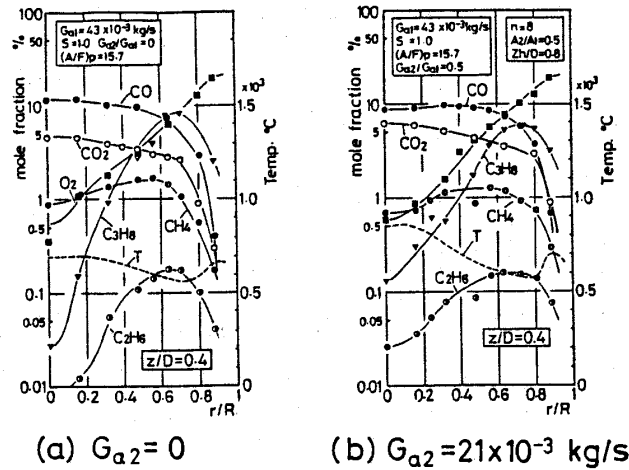


図 2 二次空気の有無による  $z/D = 0.4$  における温度および代表的なガスの組成の分布の変化

に最終生成物である  $\text{CO}_2$  の増加, ガス温度の上昇がみられる。

一次燃焼領域にどの様に二次空気が流入しているかを明らかにするために、図 3 には、二次空気に混入した Ar の燃焼筒内の無次元濃度分布  $C_l/C_0$  によって、燃焼時における二次空気流入の状況を示す。実験条件は、図 2(b) と同一であり、測定断面は、 $z/D = 0.4, 0.8, 1.2$  である。循環流領域下流端付近より導入 ( $z/D = 0.8$ ) された二次空気は、一部が循環流に乗って上流の一次燃焼領域へ、残りが燃焼筒中心軸付近まで達して下流へ流れる。一次燃焼領域上流側へ二次空気が流入することによって、循環流領域内での燃焼ガスの滞留時間

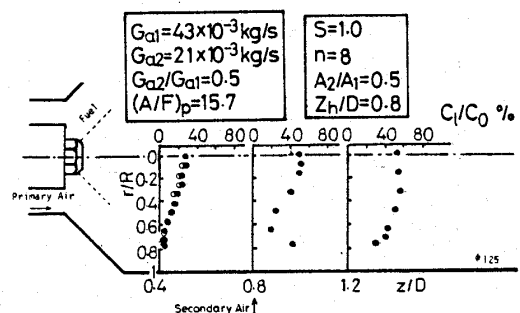


図 3 Ar トレーサにより測定した二次空気流入状況の一例  
●印: 燃焼筒中心軸と二次空気孔中心を通る断面  
○印: 燃焼筒中心軸と隣り合う二次空気孔の間を通る断面

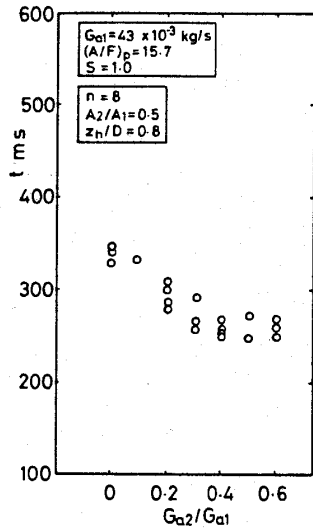


図4 二次空気量による循環流領域内滞留時間の変化

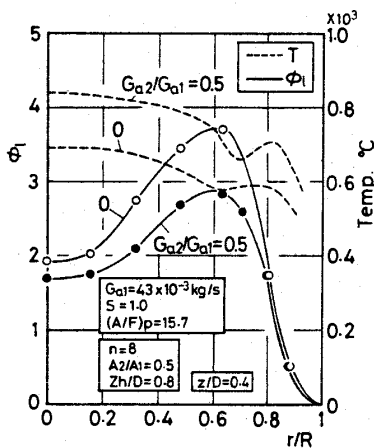


図5 二次空気の有無による z/D=0.4 における局所当量比および温度の分布の変化

は、図4に示すように短くなる。この領域では一次空気のみときは局所的な当量比が大きいため反応が停滞しているが、二次空気流入により、図5に示すように局所当量比  $\phi_l$  が下がる。なお、局所当量比は、ガス組成の結果から算出したものである。

このように上流側においては、二次空気導入に

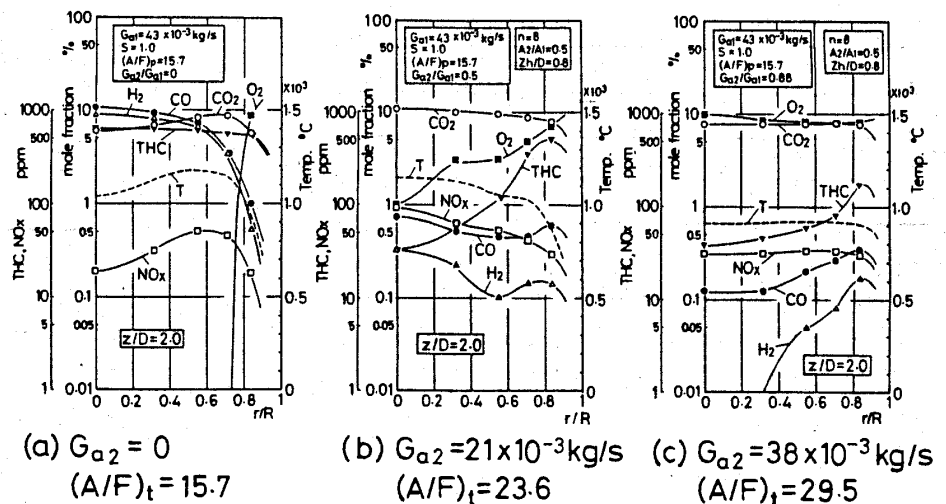


図7 二次空気量による z/D=2.0 における温度およびガス組成の分布の変化

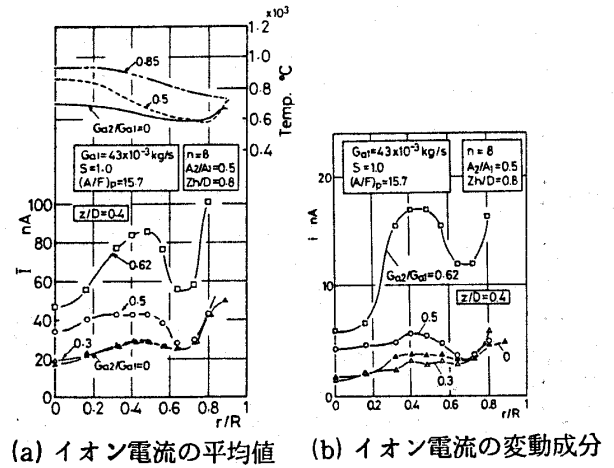


図6 二次空気量による z/D=0.4 におけるイオン電流の分布の変化

より滞留時間が減少するものの、局所当量比の減少が反応促進をもたらしている。このことは、図6に示す二次空気量の増加によるイオン電流の平均値、変動成分の上昇からもうかがえる。すなわち、二次空気孔より上流の循環流領域内では、二次空気量の増加によって二次空気の貫通度が増し循環流領域内への流入空気量が増加するため、高温ではあるが酸素が欠乏しているこの領域での乱流燃焼反応を促進するので、イオン電流値が高まるとともに、ガス温度も半径方向一様に上昇する。

図7には、二次空気量  $G_{a2}$  を変化させた場合の一次燃焼領域下流  $z/D=2.0$  における温度、ガス組成分布を示す。反応中間成分の  $CO$ 、 $H_2$  は二次空気導入で著しく減少し、未燃炭化水素 (THC、

$C_3H_8$ 換算)は中心軸付近の減少が著しい。温度上昇はそれほど著しくはないが、空気量の増加を考慮すると熱流束はかなり上昇する。しかし、二次空気量が多すぎる(図7(c))と希釈空気として作用し、空気量の増加を考慮しても熱流束の上昇はあまりなく、燃料流量当りの THC, CO量(Emission Index)もあまり減少しない(図8)。また図示していないが、燃焼効率は  $G_{a2}/G_{a1}=0.5$  近傍に

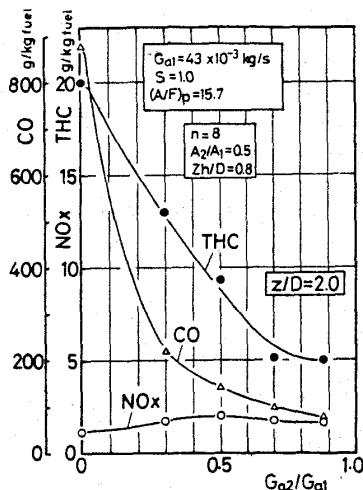


図8 二次空気量による  $z/D=2.0$  における CO, THC,  $NO_x$  量の変化

最大値(97%)をもち、 $G_{a2}/G_{a1} > 0.5$ としても高くはならない。

二次空気の燃焼筒内の拡散状態を知るために、下流側での局所当量比分布を算出し、二次空気量を変数として図9に示す。なお、各条件で総空燃比が異なる(表3)ので、図9では、局所当量比

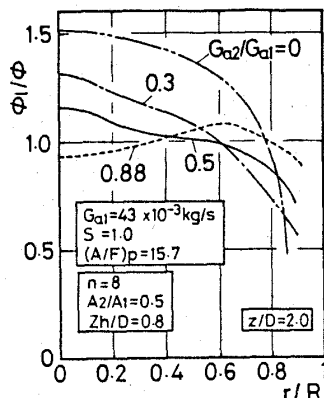


図9 二次空気量による  $z/D=2.0$  における 局所当量比分布の変化

$\phi_c$  と平均当量比  $\phi$  の比で示した。 $G_{a2}=13 \times 10^{-3}$  kg/s ( $G_{a2}/G_{a1}=0.3$ )では十分に二次空気は貫通せず、当量比は中高の分布となるが、二次空気量をふやし  $G_{a2} \geq 21 \times 10^{-3}$  kg/s ( $G_{a2}/G_{a1} \geq 0.5$ )では、ほぼ様な分布となり、二次空気が十分に貫通していることを示している。また、 $G_{a2}=38 \times 10^{-3}$  kg/s ( $G_{a2}/G_{a1}=0.88$ )では、くら型の分布となっている。

以上のように、最適条件に合わせた二次空気孔より流入する二次空気は、一次燃焼領域に酸素を供給するとともに、循環渦を強め、反応中間成分および酸素の混合を促進して、燃焼反応を活発にする。

流入する二次空気は、その流量の増加とともに貫通度を増す。そのため、二次空気孔より上流の循環流領域内では、前述したように燃焼反応を促進する。しかし、二次空気孔下流へも二次空気は流入するので、一次燃焼領域全体として、二次空気量の最適値を判断する必要がある。

4.2 一次空気量の影響 基準条件において  $G_{a2}/G_{a1}$  を一定として、一次空気量  $G_{a1}$  を変化させたとき(表2)の燃焼場への二次空気の影響について考える。

$z/D=0.4$ における温度、ガス組成分布では、図示していないが、一次空気量の増減にかかわらず二次空気を導入( $G_{a2}/G_{a1}=0.5$ )することにより、中心軸付近の未燃炭化水素成分が減少し、温度が上昇する。その場におけるイオン電流値およびその変動成分は、一次空気量が多いほど、二次空気導入により高い値を示した。

図10, 11には、 $G_{a1}=27 \times 10^{-3}, 48 \times 10^{-3}$  kg/sにおける  $z/D=2.0$ での温度、ガス組成分布を示す。

図の(a),(b)は二次空気の有無を示す。また前述の図7(a),(b)には  $G_{a1}=43 \times 10^{-3}$  kg/s の場合を示してある。いずれの一次空気量においても、二次空気導入により、反応中間成分の減少は著しい。

しかし二次空気導入の影響について一次空気量の大小で比較する(図10, 11の(b))と、一次空気量が少ない条件で二次空気を導入した場合(図10(b)), CO,  $H_2$ は中高, THCはくら型の分布を示し、またこれらの図に示すガス組成から求めた局所当量比分布より、空気の拡散は半径方向一様でないことが推測される。一方、一次空気量が多い

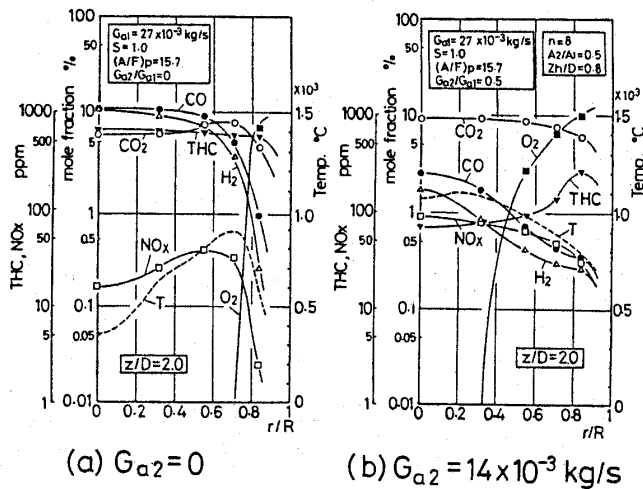


図10 二次空気の有無による  $z/D=2.0$  における温度およびガス組成の分布の変化（一次空気量が少ない場合）

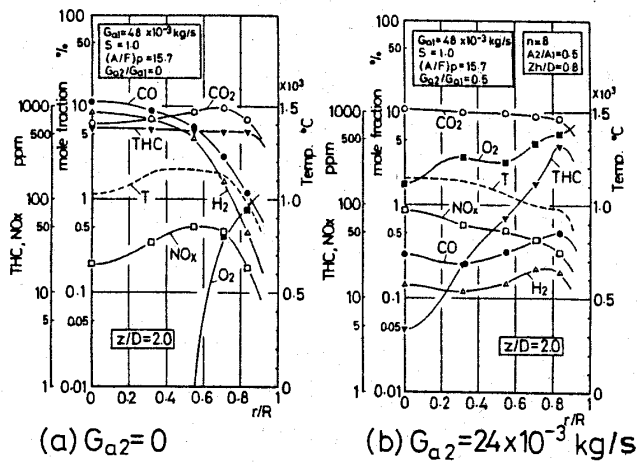


図11 二次空気の有無による  $z/D=2.0$  における温度およびガス組成の分布の変化（一次空気量が多い場合）

条件で二次空気を導入した場合（図11(b)），THC は中心軸付近で著しく下がり，CO，H<sub>2</sub> は一様に低い分布を示し，局所当量比は半径方向一様な分布となる。

このようなガス組成分布の違いは，反応ガス分子の実質滞留時間と反応時間（あるいは反応速度）との関係によって決まると思われる。

また一次空気量が多い場合（図11）には，二次空気を導入しても，ガス温度はほとんど変化しないが，熱流束はかなり増加する。したがって燃焼効率で比べると，表4に示す様に，二次空気の導入により燃焼効率は著しく上昇する。

表4 一次空気量による燃焼効率の変化

$G_{a1}$ (kg/s)	$27 \times 10^{-3}$	$43 \times 10^{-3}$	$48 \times 10^{-3}$
$G_{a2}/G_{a1}$	0	0.5	0.5
$\eta_b$	70	90	76
$S = 1.0$ , $(A/F)_p = 15.7$			

4.3 一次空燃比の影響 本節では燃料流量を変えることにより一次空燃比を変化させた場合（表2）の二次空気の燃焼場への影響を示す。

図12に一次空燃比が  $(A/F)_p = 10.5$  の場合の， $z/D=0.4$  における温度および代表的なガスの組成の分布を示す。図の(a),(b) はそれぞれ二次空気の有無を示す。また前述の図2には  $(A/F)_p = 15.7$

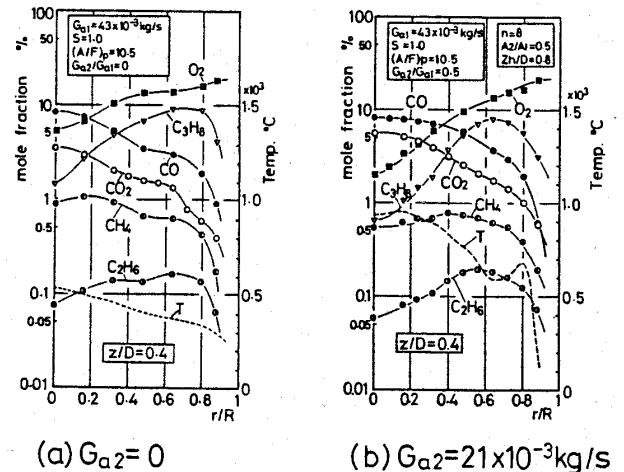


図12 二次空気の有無による  $z/D=0.4$  における温度および代表的なガスの組成の分布の変化（一次空燃比が理論空燃比よりも小さい場合）

の場合を示してある。一次空燃比が理論空燃比よりも小さな条件で二次空気を導入した場合（図12(b)），理論空燃比の条件の場合（図2(b)）と同様に，燃料成分もしくはそれに近い成分の減少，最終生成物の増加，温度の著しい上昇を示し，循環流によって流入する二次空気の反応促進効果が大きく現われる。一方，図では示していないが，一次空燃比を理論空燃比よりもかなり大きな条件とした場合の温度，ガス組成，イオン電流の測定では，二次空気導入による反応促進効果はみられなかった。

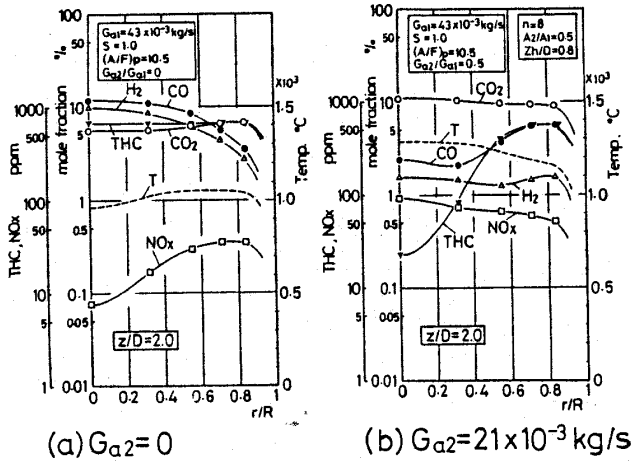


図13 二次空気の有無による  $z/D=2.0$  における温度およびガス組成の分布の変化（一次空燃比が理論空燃比より小さい場合）

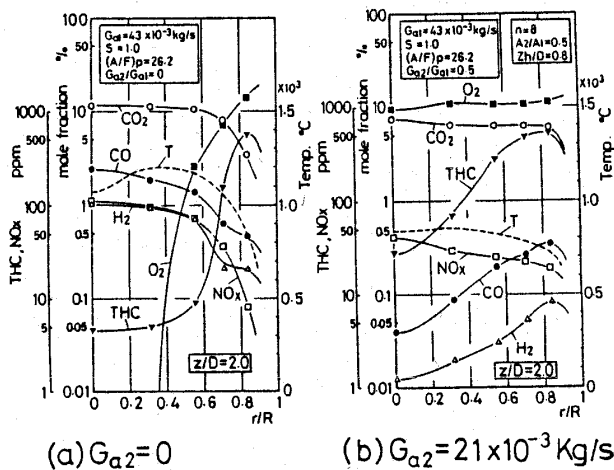


図14 二次空気の有無による  $z/D=2.0$  における温度およびガス組成の分布の変化（一次空燃比が理論空燃比より大きい場合）

図13, 14に、一次空燃比が  $(A/F)_p=10.5, 26.2$  の場合の  $z/D=2.0$  における温度、ガス組成分布を示す。図の(a),(b)は二次空気の有無を示す。前述の図7(a),(b)には、 $(A/F)_p=15.7$  の場合を示してある。一次空燃比が理論空燃比よりも小さな条件で二次空気を導入した場合（図13(b)）、中心軸付近で反応中間成分が著しく減少し、半径方向一様に  $CO_2$  が増加し、温度も上昇する。また一次空燃比が理論空燃比の条件（図7(b)）と比べて、反応中間成分は半径方向に一様に多いが、温度は高い。一方、理論空燃比よりも大きな条件で二次空気を

を導入した場合（図14(b)）、 $CO, H_2$  は中心軸付近で流入してきた空気によるモル分率の低下以上に減少しているが、THCは逆に増大する。

以上のように、設定一次空燃比が理論空燃比よりかなり大きな条件で二次空気を導入すると、循環流領域内の高温反応ガスを冷却し、反応を阻害する。一方、理論空燃比もしくはそれよりも小さな一次空燃比の条件で導入された二次空気は、局所当量比が高く反応が停滞している循環流領域内の反応ガスに酸素を供給するのみでなく、乱れ強さを増大させ、循環流領域内のガスと周囲ガスとの混合を促進させるとともに、燃料あるいは活性な反応中間成分と酸素との混合を速やかにするので、燃焼反応が著しく促進される。その結果として、燃焼効率も著しく高まる。

4.4 旋回度の影響 既に報告した通り、一次空気の旋回を強めると、循環流が発達し循環流領域内の滞留時間も長くなり、また乱れ強さが増大するので反応ガス相互の拡散が促進され、反応が進む(2)(3)。その下流の適切な位置から二次空気を流入させると、これらの効果に前節までに述べた効果が加わり、燃焼場は変化する。

上流の  $z/D=0.4$  における温度、ガス組成分布では、図示はしていないが、一般の空燃比の範囲で二次空気を導入し旋回を強めることにより、中心軸付近での反応中間成分の減少、温度の著しい上昇がみられる。

図15には、基準条件において旋回度のみを大きくした条件 ( $S=2.0$ ) での  $z/D=2.0$  における温度、ガス組成分布を示す。図の(a),(b)は二次空気の有無を示す。 $S=1.0$  (図7(b))に比べて、中心軸付近で反応中間成分が著しく減少し、筒壁側では逆に増大する。

図16には、 $z/D=2.0$  での旋回度  $S$  を変化した時の燃料流量当りの THC,  $CO$  量を示す。図中 ( ) 内の数値は一次・二次空気量比 ( $G_{a1}$  一定) である。二次空気量を  $G_{a2}/G_{a1}=0.5$  として旋回度を変化させると、未燃焼成分は  $S=1.0$  付近で最小値を示し、旋回度の最適値がその付近に存在するものと思われる。なお、上記のことが、本研究において旋回度  $S=1.0$  を基準条件とした理由の一つである。

一次空気の旋回を強めることにより、流入する

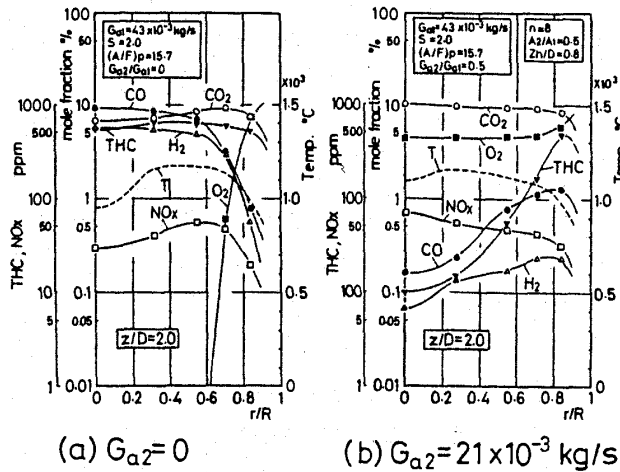


図15 二次空気の有無による  $z/D=2.0$  における温度およびガス組成の分布の変化 (旋回度が大きい場合)

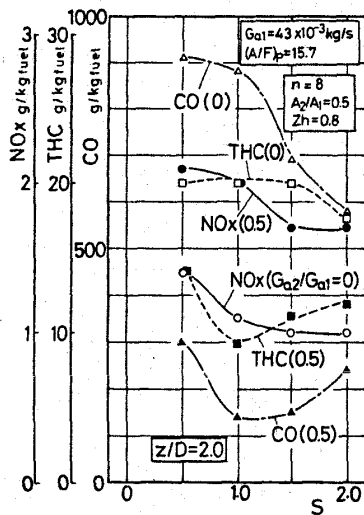


図16 旋回度による  $z/D=2.0$  における  $CO, THC, NO_x$  量の変化

二次空気の貫通度は増し、循環流領域内への流入量および中心軸付近を下流へ流れる二次空気量が増大する。したがって、一次空気の場合のガス組成分布は、下流において旋回の強さの影響をほとんど受けていないのに比べ、二次空気導入によって旋回の強さの影響が著しく現われ、旋回度  $S=2.0$  では  $S=1.0$  に比べ、 $z/D=2.0$  において中心軸付近での酸素の増大、筒壁側での反応中間成分の増大を示す。

4.6 一次・二次空気の配分の影響 二次空気が一次燃焼へあたえる影響についてさらに明らかにするために、総空気量  $G_a$  を一定にして、一次空気量と二次空気量との流量割合  $G_{a2}/G_{a1}$  を変化させた場合の比較をした。

図17には、総空気量  $G_a=43 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ 、旋回度  $S=1.0$ 、総空燃比  $(A/F)_t=15.7$  として、一次・二次空気量比  $G_{a2}/G_{a1}$  を変数とした場合の  $z/D=0.4, 2.0$  における  $CO, CO_2$  濃度および温度分布を示す。

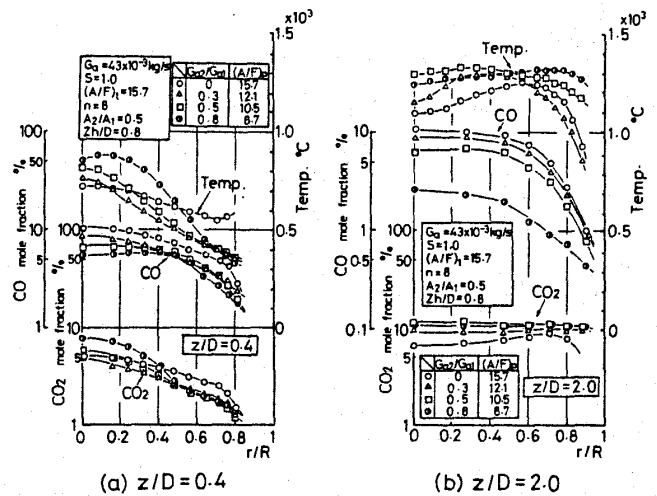


図17 一次・二次空気量比を変えた場合の  $CO, CO_2$  濃度および温度の分布の変化

$z/D=0.4$  (図17(a))においては、 $r/R \leq 0.5$  の範囲で、 $G_{a2}/G_{a1}$  が大きくなるにつれ、 $CO$  濃度の減少、 $CO_2$  濃度の増加、温度の上昇がみられる。 $z/D=2.0$  (図17(b))においては、 $G_{a2}/G_{a1} \leq 0.5$  の条件では、 $G_{a2}/G_{a1}$  が大きくなるにつれて半径方向に一樣に温度が上昇するが、 $G_{a2}/G_{a1}=0.8$  では中心軸付近での温度低下がみられる。

同じ空気量であっても一次・二次の空気量の配分によって、燃焼場が大きく変化する。これは、二次空気が酸素の供給のみでなく、乱れ強さを増大させ、反応ガス相互の混合を速め、局所的な当量比を変化させるためと思われる。

また総空燃比を図17の条件よりも大きな条件で同様な測定を行ったが、総空燃比が大きくなると二次空気導入による燃焼反応促進の効果は少なくなった。

なお、本章での詳細については、次の機会に報

告する予定である<sup>(14)</sup>。

## 5. 結論

石英ガラス製の直流缶型の燃焼器を用い、最適とみなされる位置に一系列の二次空気孔を設け、二次空気による一次燃焼場への影響を明らかにした。

その際、二次空気量、一次空気量、一次空燃比、旋回度および一次・二次空気量を変数として、体系的に実験を行い、燃焼器内の燃焼現象を種々の方法で測定し、以下の結論を得た。

1. 二次空気の燃焼筒内への流入は、酸素の供給のみでなく、乱れ強さの増大による反応ガス相互の混合を速め、燃焼反応を促進させる。しかし、局所的な当量比を変化させたり、冷却効果もあるので、二次空気の流入量には最適値があり、本研究においては一般の空燃比範囲では、 $G_{a2}/G_{a1}=2:1$ であった。
2. 二次空気の燃焼筒内への拡散とその効果は一次空気量、一次空燃比、旋回度などの条件と、密接に関連する。
  - a) 一般の空燃比範囲では、一次・二次空気量を一定として一次空気量を増加させると、下流における局所当量比分布は半径方向一様な分布となり、燃焼効率も高まる。
  - b) 一次空燃比が理論空燃比付近もしくはそれよりも小さな条件では、二次空気の燃焼促進効果は大きい。
  - c) 旋回度を大きくすると、流入する二次空気の貫通度が増し、循環流領域内への流入量および中心軸付近を下流へ流れる二次空気量が增大する。一次空気の場合には旋回度を大きくすると一次燃焼領域下流において未燃焼成分は減少するが、二次空気を導入した場合には、上記の効果により最適な旋回度で下流における未燃焼成分は最小値を示す。

最後に、研究を行うに当たり御協力をいただいた当時学部の池田徹君、小野透君、宮永富士男君、佐藤秀之君、篠原邦彰君に対し、心よりの感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1) 伊藤・ほか3名, 機講論, No.804-4(昭55-3), 20
- (2) 中村・ほか3名, 機講論, No.804-4(昭55-3), 23

- (3) 中村・ほか3名, 第9回ガスタービン定期講演会講演論文集(昭56), 69
- (4) 堀, 機論, 33-256(昭42-12), 1993
- (5) 堀, 機論, 35-275(昭44-7), 1531
- (6) 堀, 機論, 37-295(昭46-3), 566
- (7) Friswell, N.J., the Symposium on Emissions from Continuous Combustion Systems (1971, 9), (Emissions from Continuous Combustion Systems, 161, Plenum Press)
- (8) 石橋・ほか4名, 第12回燃焼シンポジウム前刷集(昭49), 139
- (9) Verduzio, L. et al., International Propulsion Symposium (1964, 4), (Combustion & Heat Transfer in G.T. Systems, 145, Pergamon Press)
- (10) Serag-Eldin, M.A. and Spalding, D.B., Trans. ASME, J. Eng. Power, 101, (1979), 326
- (11) 鈴木・相波・航技研資料, TM-116, (昭42)
- (12) Clarke, A.E. et al., 9th Symposium on Combustion (International), 1963, 878
- (13) 中村・川口・佐藤, 機講論, No.810-12(昭56-10), 15
- (14) 中村・ほか4名, 第10回ガスタービン定期講演会講演論文集(昭57), 19

## 付録 局所当量比の計算方法

局所当量比  $\phi_l$  は、局所の理論空燃比と局所の空燃比との比であり、すなわち、ある局所な場における燃焼ガス成分の濃度の C と H の原子より換算した燃料成分が、完全燃焼するのに必要な酸素量 ( $O_2$ ) stoich. と同じ場における O を含む成分 ( $O_2, CO, CO_2, H_2O$ ) の濃度の O 原子から換算した酸素量 ( $O_2$ ) local との比である。

$$\phi_l = \frac{(A/F)_{\text{stoich}}}{(A/F)_{\text{local}}} = \frac{\frac{(Air)_{\text{stoich}}}{(Fuel)_{\text{local}}}}{\frac{(Air)_{\text{local}}}{(Fuel)_{\text{local}}}} = \frac{(Air)_{\text{stoich}}}{(Air)_{\text{local}}} = \frac{(O_2)_{\text{stoich}}}{(O_2)_{\text{local}}}$$

(A/F) stoich : 局所の理論空燃比

(A/F) local : 局所の空燃比

(Fuel) local : 局所の燃焼ガス成分より換算した燃料量

(Air)local : 局所の燃焼ガス成分より換算した空気量

(Air)stoich : (Fuel)local に対する理論空気量

$$\begin{aligned} (\text{O}_2)\text{stoich} = & 2[\text{CH}_4] + \frac{5}{2}[\text{C}_2\text{H}_2] + 3[\text{C}_2\text{H}_4] \\ & + \frac{7}{2}[\text{C}_2\text{H}_6] + \frac{9}{2}[\text{C}_3\text{H}_6] + 5[\text{C}_3\text{H}_8] \\ & + \frac{1}{2}[\text{H}_2] + [\text{CO}] + [\text{CO}_2] \\ & + \frac{1}{2}[\text{H}_2\text{O}] \end{aligned}$$

$$(\text{O}_2)\text{local} = \frac{1}{2}\{[\text{CO}] + 2[\text{CO}_2] + [\text{H}_2\text{O}] + 2[\text{O}_2]\}$$

なお  $[\text{H}_2\text{O}]$  は、C および H を含む成分の濃度から C と H 原子の燃料  $\text{C}_3\text{H}_8$  におけるバランスを考慮して算出した。〔 〕は、その成分の燃焼ガス中の濃度を示す。

質問 P.93 右上11～12「循環渦を強め……混合を促進して」の文章 (P.95 右上10～12も同様) と本論文のデータとの対応について

P.91 右上3～P.93 右上8 に述べたように、二次空気の一部が循環流に乗って循環流領域内へ流入 (図3) することにより循環渦を強め、滞留時間の減少 (図4) の原因の一つになっている。さらに循環流領域内でのイオン電流の測定より、その場におけるイオン濃度の平均値およびその変動成分が著しく上昇することがわかる。このことは、その場におけるミクロスケールでの空間的な燃焼帯の移動や、時間的な燃焼反応の変化が激しく、しかもその場における燃焼反応が活発であることを示している。このような測定と、その場における燃焼ガスの温度や組成の測定、局所当量比の計算より「反応中間成分および酸素の混合を促進している」と判断した。

## § 入会勧誘のおねがい

日本ガスタービン学会では賛助会員、正会員、学生会員の入会を呼びかけております。ガスタービン関係の方々には是非ご入会いただきますよう各方面でのご勧誘をおねがいたします。

賛助会員	1口	50,000円	入会金	1000円
正会員		3,000円	入会金	500円
学生会員		1,000円	入会金	500円

(年度は4月から翌年3月まで)

入会申込など詳細は下記事務所へ

〒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事務局 Tel 365-0095



(Air)local : 局所の燃焼ガス成分より換算した空気量

(Air)stoich : (Fuel)local に対する理論空気量

$$\begin{aligned} (\text{O}_2)\text{stoich} = & 2[\text{CH}_4] + \frac{5}{2}[\text{C}_2\text{H}_2] + 3[\text{C}_2\text{H}_4] \\ & + \frac{7}{2}[\text{C}_2\text{H}_6] + \frac{9}{2}[\text{C}_3\text{H}_6] + 5[\text{C}_3\text{H}_8] \\ & + \frac{1}{2}[\text{H}_2] + [\text{CO}] + [\text{CO}_2] \\ & + \frac{1}{2}[\text{H}_2\text{O}] \end{aligned}$$

$$(\text{O}_2)\text{local} = \frac{1}{2}\{[\text{CO}] + 2[\text{CO}_2] + [\text{H}_2\text{O}] + 2[\text{O}_2]\}$$

なお  $[\text{H}_2\text{O}]$  は、C および H を含む成分の濃度から C と H 原子の燃料  $\text{C}_3\text{H}_8$  におけるバランスを考えて算出した。〔 〕は、その成分の燃焼ガス中の濃度を示す。

質問 P.93 右上11～12「循環渦を強め……混合を促進して」の文章 (P.95 右上10～12も同様) と本論文のデータとの対応について

P.91 右上3～P.93 右上8 に述べたように、二次空気の一部が循環流に乗って循環流領域内へ流入 (図3) することにより循環渦を強め、滞留時間の減少 (図4) の原因の一つになっている。さらに循環流領域内でのイオン電流の測定より、その場におけるイオン濃度の平均値およびその変動成分が著しく上昇することがわかる。このことは、その場におけるミクロスケールでの空間的な燃焼帯の移動や、時間的な燃焼反応の変化が激しく、しかもその場における燃焼反応が活発であることを示している。このような測定と、その場における燃焼ガスの温度や組成の測定、局所当量比の計算より「反応中間成分および酸素の混合を促進している」と判断した。

### § 入会勧誘のおねがい

日本ガスタービン学会では賛助会員、正会員、学生会員の入会を呼びかけております。ガスタービン関係の方々には是非ご入会いただきますよう各方面でのご勧誘をおねがいたします。

賛助会員	1口	50,000円	入会金	1000円
正会員		3,000円	入会金	500円
学生会員		1,000円	入会金	500円

(年度は4月から翌年3月まで)

入会申込など詳細は下記事務所へ

〒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事務局 Tel 365-0095

## (社)日本ガスタービン学会10年の歩み

総務委員会

昭和46年10月、東京でわが国初の国際ガスタービン会議が開かれた。同会議は、日本機械学会と米国機械学会の共催であったが、準備、実施のための組織委員会が設置され、実際の業務は実行委員会で行われた。何れも当時、ガスタービンに関係の深い人々が委員に加わり、熱心に運営にたづさわった。会議は成功裡に終り、会議に参加した人達はいずれもその意義を認め合ったが、折角、同会議を通じ、わが国におけるガスタービン分野の関係者が情報交換し、親しく意見を交すことができた機会をそのままで終わってしまうことなく、適当な形に組織化して欲しいとの声が高まった。これらを背景として、翌47年6月15日、日本ガスタービン会議が発足した。初代会長に渡部一郎教授が選出され、会の基本方針を決定する評議員会、実際に会の運営にあたる幹事会が組織された。当初の事業としては、特別講演会・会報（現会誌）発行・見学会・ガスタービンに関する統計作成などが主なものであったが、いずれもガスタービン分野の技術者と研究者が集まり、ガスタービンに関する情報を国際的視野にたって交換を行い、さらにそのための懇談の場を提供するという二つの柱の上で事業が進められていった。当時の会員数は、個人会員（現正会員）550名、維持会員（現賛助会員）32社の規模であった。第2期には、岡村健二会長のもとで、上記の事業のほかに、定期講演会、講習会が加わり、ほぼ現在の事業の基礎が形づくられた。また、同会を法人化するための検討が始められ、同時に2回目の国際会議の準備に着手された。第3期は水町長生教授が会長に就任、引続き諸事業が行われたが、会報が従来年2回から4回発行となるなどそれぞれの事業回数が増えていった。また、文部省の法人化も次第に具体化しつつあり、同期末までに基金などをはじめ法人化の条件が整った。なお、会務の運営の増加にともない、この期初に会費改訂が行われた。入江正彦会長の第4期において、特記すべきことは、昭和50年11月に法人設立のための総会が開かれ、法人化の最終段階を迎え

た。その後、文部省に対しての諸手続が終り、翌昭和51年5月に社団法人の認可があり、ここに社団法人日本ガスタービン学会が発足した。これにともない同年6月の評議員会において、日本ガスタービン会議の解散が承認され、新たに学会としての評議員会および総会が開かれた。同会において、第1期役員、評議員（日本ガスタービン会議より学会への移行期のため、同会議第4期の構成でのぞんだ）が選任され、さらに定款・細則が審議、承認された。同内容は現在のものと基本的には同じものである。

一方、すでに、翌昭和52年に国際ガスタービン会議を東京で行うことが決定しており、そのため設置された組織委員会（委員長、渡部一郎）および実行委員会（委員長、水町長生）で準備が進められていたが、同期において一層具体化した。その他の事業も、定期講演会、特別講演会、ガスタービンセミナー、見学会・技術懇談会など、内容的には現在と同じものとなっている。会誌も年4回発行され、平均70頁であった。第1期の予算規模は、約1000万円となっているが、この他、600万円の基本金を保有している。第2期は、岡崎卓郎教授が会長に選出されたが、この年5月、かねて準備が進められていた1977年国際ガスタービン会議東京大会が開催された。同会議は、本学会のほか、日本機械学会、米国機械学会の共催であったが、本学会が幹事学会となり、運営・実施に当り、ガスタービン分野の学術・技術の交流に大いに貢献できたことは大変有意義であった。第3期には、浦田星会長のもとで会務が進められ、諸事業が行われたが、とくにパネル討論会など新しい試みも企画された。また、名誉会員が理事会より総会に推薦され、渡部一郎、種子島時休、R. T. Sawyerの三氏が初の名誉会員となられた。なお、同期末の予算規模は、約1320万円、また、会員数は、正会員1,108名、学生会員17名、賛助会員61社となっている。

第4期には山内正男氏が会長に選出された。同期においては、ガスタービン統計作成委員会で従

来、蒐集したデータを整理・編集して資料集が発行された。また、調査研究事業を進めるため、調査研究委員会の諸規約の検討が進められた。そして具体的に「ガスタービン作動流体の特性に関する研究」調査委員会（委員長、須之部量寛）が設置された。

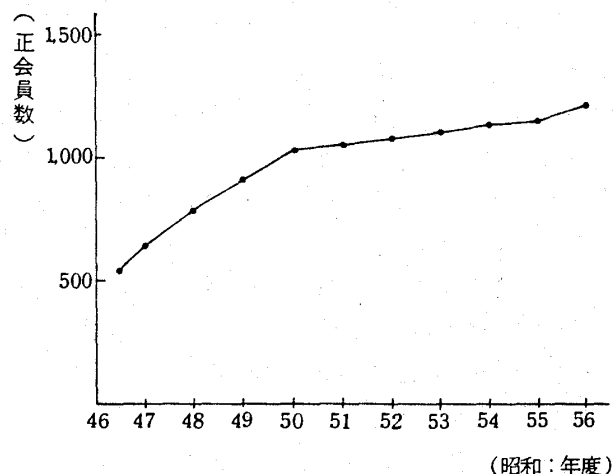
この年、11月に臨時評議員会・総会が開催され、会費改訂、定款・細則変更が承認された。すなわち、正会員会費は、現行の年額3,000円となった。さらに、役員任期を通常総会から、次の通常総会までと改め、評議員任期もそれに対応させた。細則では、理事候補者は評議員・役員候補者選挙により選出されたもの、および評議員・役員経験者の中から選び、総会に提案することと改正した。この他、名誉会員に栗野誠一、棚沢泰の両氏を総会に推薦し、承認された。第5期は円城寺一会長のもとに諸事業を行ったが、調査研究委員会が引続きガスタービン用作動流体の物性値について調査を行った。また、12月に会員名簿を発行した。

国際会議関係では、昭和56年3月に学会の委員会を発展的に改組し、準備委員会（委員長、田中英穂）が発足した。第6期には、井口泉教授が会長に就任され、学会の諸事業が行われた。この期で、特記されることは、本年6月で学会設立以来恰度10年目となるため、かねて記念事業開催が考えられていたが、記念行事委員会（委員長、円城寺一）を新たに設置し、その企画、準備に着手したことである。また、その一環として、学会賞（論文賞、技術賞）を設けることが、組織検討委員会（委員長、松木正勝）を中心に検討され、その目的・対象・方法などが次第に固まっていた。結局、学会設立10周年記念行事としては、本年6月3日に定期講演会（6月4日）に先立って行われることが決定し、将来のガスタービンを中心テーマとしたパネル討論会、現在開発中のガスタービンの現状に関する特別講演会および記念式典などの内容を企画した。学会賞を設けることも決まり、会員から該当論文・技術の公募を行い、それらの選考が進められた。次に、同期中に学会事務局の移転が実現した。本会は昭和46年設立以来、新宿、紀伊国屋ビル内、慶応工学会の一隅を借り事務局がおかれていた。しかし、次第に拡大

する学会の事務運営上、非常に手詰りとなり事務局移転がなごらく懸案であったが、このたび工学会の事情から西新宿の現在地に移転した。

現在、今井兼一郎会長のもとで第7期の学会運営が続けられている。上記の通り、6月学会設立十周年記念行事も終了し、気を新たに今後予定されている諸事業の準備・実施にあたっている。国際ガスタービン会議東京大会を明年にひかえ、幹事学会として責任をもってこれに当らなければならないが、組織委員会と緊密な連けいを取り、その成功を期したい。

第6期終了時の予算規模は約1770万円となり、その組織の充実と事業の拡大を反映しており、会員数も正会員1,216名、学生会員19名、賛助会員81社（いずれも昭和57年3月末）と年年増大している。なお、会員数の経年変化を図に示す。



学会運営上、事務局の役割は重要であるが、現在、三浦敦子、遠山順子の両君が一般会務処理、松田慶美君が経理処理業務を担当、それぞれの会務に精励されている。とくに三浦君は事務局長格で日本ガスタービン会議発足直後から本会事務を担当し、学会の発展に少からず寄与されている。

以上、学会発足以来10年を経過したが、今後益々、ガスタービン・ターボ過給機の必要性は高まるとみられる。全会員がこれらの学術・技術の発展向上に寄せる熱意を背景に日本ガスタービン学会の一層の発展を期待するものである。

（文責 有賀一郎）

# 設立十周年記念行事経過報告

本学会設立十周年を祝う記念行事は昭和57年6月3日(木)、4日(金)に東京芝公園の機械振興会館において行なわれ、パネル討論会、記念式典、記念講演、記念レセプション、定期講演会と多彩な行事が催された。登録出席者は236名にのぼる盛況で、内容的にも我国のガスタービン技術と産業の実力向上を物語る充実したものとなった。別表1に記念行事の次第を示すが以下簡単にその経過を報告する。

初日は折悪しく早朝から風雨が激しく、会場に到着するのに御苦労された方が多かったようであるが、学会事務局ならびに担当委員をはじめとしておおぜいの方々の御協力により定刻9時には航技研の松木正勝氏を座長とするパネル討論会が始まった。本パネル討論会は設立十周年記念行事委員会のもとで定期講演会委員会(委員長 谷田好通担当理事)が企画し、とりまとめたもので、21世紀への夢と期待をこめて「21世紀を目指すガスタービン」と題して行

れた。各界の先頭に立って活躍しておられる識見豊かな8名のパネリストの講演にひきつづいて活発な討論が行れた。討論の内容については本学会誌に詳しく報告されているので省略するが、燃料の多様化、ガスタービンの用途拡大、システム中におけるガスタービンのあり方等広範囲にわたり、きわめて有意義なものであった。ただし割当て時間が3時間と内容が豊かなわりには短かったために、討論時間が不足気味だったのは残念であった。

午後1時30分、記念式典が開始された。このころまでには雨中をついで出席された会員は約200名に達していた。式典は円城寺一十周年記念行事委員長の挨拶、須之部量寛副会長の挨拶(今井兼一郎会長は急用で渡英のため御欠席)にひきつづき、松浦泰次郎

表1 日本ガスタービン学会設立十周年記念行事次第

開催日 昭和57年6月3日(木)、4日(金)  
会場 機械振興会館  
プログラム

6月3日(木) 9:00~12:00

パネル討論会 地下2Fホール  
座長松木正勝 (航空宇宙技術研究所)  
「21世紀を目指すガスタービン」  
i) 燃料の多様化とガスタービン  
ii) 産業とガスタービン  
iii) 車輦用ガスタービン

13:30~14:30

記念式典 地下2Fホール  
会長挨拶 来賓祝辞  
学会賞授与

15:00~17:00

記念講演  
i) 「高効率ガスタービン開発の現状」 辻 高 弘(高効率ガスタービン技術研究組合)  
ii) 「日英共同開発航空エンジンの現状」 今井 兼一郎((財)日本航空機エンジン協会)  
iii) 「高性能小形ターボ過給機開発の現状」 林 雅 一(三菱重工業㈱)

17:30~19:00

記念レセプション

6月4日(金) 第10回ガスタービン定期講演会

講演27件が2室にわかれて報告され、質疑応答も多く大変盛況裏に終了した。

文部省学術国際局長をはじめとし日本機械学会一色尚次会長、日本航空宇宙学会河田幸三会長、日本内燃機関連合会岡村健二会長からそれぞれ祝辞が述べられた。なお、ターボ機械協会生井武文会長は飛行便の遅延のため式典中に参加されなかったが、後刻レセプションでご挨拶いただいた。この後、米国機械学会 Gaither 会長、同学会ガスタービン部会 Teumen 部会長よりの祝辞が田中総務理事よりご披露された。続いて学会賞の授与に移った。須之部副会長（今井会長代理）より学会賞制定の趣旨説明、円城寺一委員長より選考経過報告があった後、須之部副会長から論文賞 5 件、技術賞 9 件の受賞者合計 60 名に栄えある第 1 回日本ガスタービン学会賞の賞状とメダルが順次授与された。受賞論文ならびに技術については本誌に詳しく紹介されているので省略するが、学会賞の制定はガスタービンに関する会員の今後の研究と技術の研鑽に大きな励みとなろう。記念式典は以上のようにして田中英穂総務主担当理事の挨拶を最後にほぼ予定どおりに終了した。

約 30 分の休憩の後、高効率ガスタービン技術組合の辻高弘、(財)日本航空機エンジン協会の伊藤源嗣氏（今井兼一郎氏代理）、三菱重工業(株)の林雅一氏により表 1 に示す演題による記念講演が行なわれた。辻氏、今井氏の講演は現在我国の産業用、航空用ガスタービンの両分野で実施されている世界的レベルの研究開発ならびに国際共同開発の現状を紹介されたものであり、さらに林氏の講演は現在広く普及した小形ターボ過給機開発

の現状を開発の初期の段階からの経緯を含めて述べられたものである。

午後 5 時頃記念講演終了。早朝からの多彩な催しが続いた後の休息をとった後、会場を変えての記念レセプションが有賀一郎委員（十周年記念行事委員会）の司会で始まった。冒頭、須之部副会長より開会のご挨拶があり次いで前述したとおり、ターボ機械協会生井会長より本学会の設立十周年を祝うご挨拶をいただいた。料理と少々のアルコールをとりながらの会員相互の歓談のなかで、来賓、歴代の会長、学会賞受賞者、出席会員、学会事務局員等の挨拶、放談をまじえたなごやかな催しであった。特に若い人達が多勢参加され大変有意義であった。午後 7 時円城寺委員長の音頭のもとに日本ガスタービン学会の発展を祝って万才三唱し、第 1 日目の行事をすべて終了した。

第 2 日目は記念行事の一環としての第 10 回ガスタービン定期講演会が場所を同じくして行なわれた。発表講演は 27 件と多く内容も非常に広範囲にわたり、質疑応答も多く大変盛況裏に行われガスタービン技術のすそ野が着実に拡大していることを窺わせた。

以上のようにして設立十周年記念行事は多数の来賓と会員の出席のもとにほぼ予定どおりに行なわれ、過去 10 年間における学会の発展と社会への貢献を祝うと同時に 21 世紀を目ざした新たな飛躍を祈って終了した。

（遠藤征紀）

### 57年度行事予定

- |                  |                                 |
|------------------|---------------------------------|
| ・見学会             | ・大阪ガス 57年10月                    |
|                  | ・新潟鉄工所 57年9月又は58年2月             |
| ・シンポジウム          | 「ガスタービンの制御とシミュレーション」(仮題) 57年11月 |
| ・外国人による<br>特別講演会 | 「チタン材の精密鋳造」 57年11月頃             |
| ・セミナー            | 「ガスタービン高効率化技術の現状と将来」 58年1月      |

詳細は追ってご連絡致しますので、会告のページをご注意下さい。

文部省学術国際局長をはじめとし日本機械学会一色尚次会長、日本航空宇宙学会河田幸三会長、日本内燃機関連合会岡村健二会長からそれぞれ祝辞が述べられた。なお、ターボ機械協会生井武文会長は飛行便の遅延のため式典中に参加されなかったが、後刻レセプションでご挨拶いただいた。この後、米国機械学会 Gaither 会長、同学会ガスタービン部会 Teumen 部会長よりの祝辞が田中総務理事よりご披露された。続いて学会賞の授与に移った。須之部副会長（今井会長代理）より学会賞制定の趣旨説明、円城寺一委員長より選考経過報告があった後、須之部副会長から論文賞 5 件、技術賞 9 件の受賞者合計 60 名に栄えある第 1 回日本ガスタービン学会賞の賞状とメダルが順次授与された。受賞論文ならびに技術については本誌に詳しく紹介されているので省略するが、学会賞の制定はガスタービンに関する会員の今後の研究と技術の研鑽に大きな励みとなろう。記念式典は以上のようにして田中英穂総務主担当理事の挨拶を最後にほぼ予定どおりに終了した。

約 30 分の休憩の後、高効率ガスタービン技術組合の辻高弘、(財)日本航空機エンジン協会の伊藤源嗣氏（今井兼一郎氏代理）、三菱重工業(株)の林雅一氏により表 1 に示す演題による記念講演が行なわれた。辻氏、今井氏の講演は現在我国の産業用、航空用ガスタービンの両分野で実施されている世界的レベルの研究開発ならびに国際共同開発の現状を紹介されたものであり、さらに林氏の講演は現在広く普及した小形ターボ過給機開発

の現状を開発の初期の段階からの経緯を含めて述べられたものである。

午後 5 時頃記念講演終了。早朝からの多彩な催しが続いた後の休息をとった後、会場を変えての記念レセプションが有賀一郎委員（十周年記念行事委員会）の司会で始まった。冒頭、須之部副会長より開会のご挨拶があり次いで前述したとおり、ターボ機械協会生井会長より本学会の設立十周年を祝うご挨拶をいただいた。料理と少々のアルコールをとりながらの会員相互の歓談のなかで、来賓、歴代の会長、学会賞受賞者、出席会員、学会事務局員等の挨拶、放談をまじえたなごやかな催しであった。特に若い人達が多勢参加され大変有意義であった。午後 7 時円城寺委員長の音頭のもとに日本ガスタービン学会の発展を祝って万才三唱し、第 1 日目の行事をすべて終了した。

第 2 日目は記念行事の一環としての第 10 回ガスタービン定期講演会が場所を同じくして行なわれた。発表講演は 27 件と多く内容も非常に広範囲にわたり、質疑応答も多く大変盛況裏に行われガスタービン技術のすそ野が着実に拡大していることを窺わせた。

以上のようにして設立十周年記念行事は多数の来賓と会員の出席のもとにほぼ予定どおりに行なわれ、過去 10 年間における学会の発展と社会への貢献を祝うと同時に 21 世紀を旨とした新たな飛躍を祈って終了した。

（遠藤征紀）

### 57年度行事予定

- |                  |                                 |
|------------------|---------------------------------|
| ・見学会             | ・大阪ガス 57年10月                    |
|                  | ・新潟鉄工所 57年9月又は58年2月             |
| ・シンポジウム          | 「ガスタービンの制御とシミュレーション」(仮題) 57年11月 |
| ・外国人による<br>特別講演会 | 「チタン材の精密鋳造」 57年11月頃             |
| ・セミナー            | 「ガスタービン高効率化技術の現状と将来」 58年1月      |

詳細は追ってご連絡致しますので、会告のページをご注意下さい。

## 1981年ガスタービン生産統計

統計作成委員会<sup>(1)</sup>

### 1. 最近5年間のガスタービン生産推移

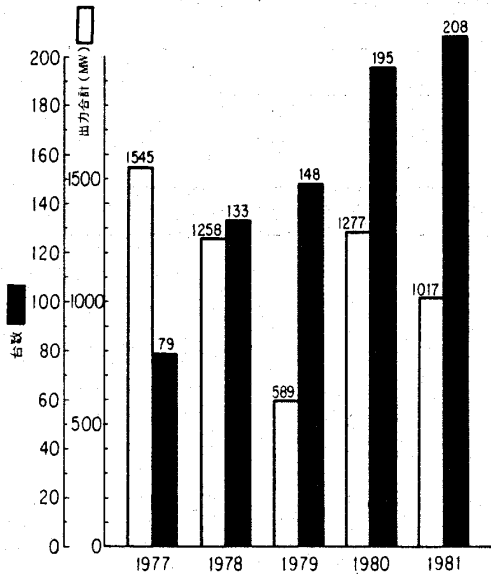


図1 陸船用ガスタービン

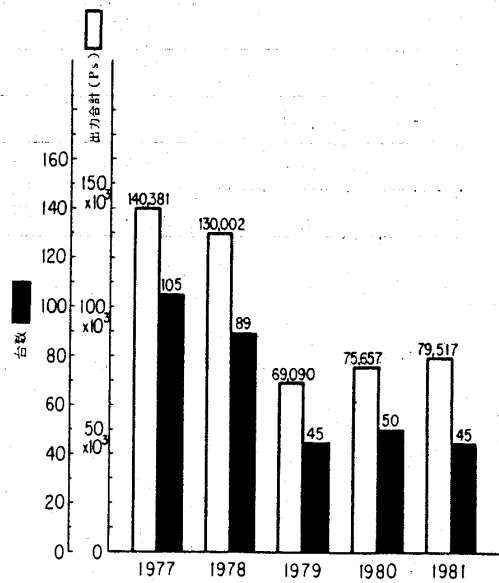


図3 ターボシャフト/ターボプロップエンジン

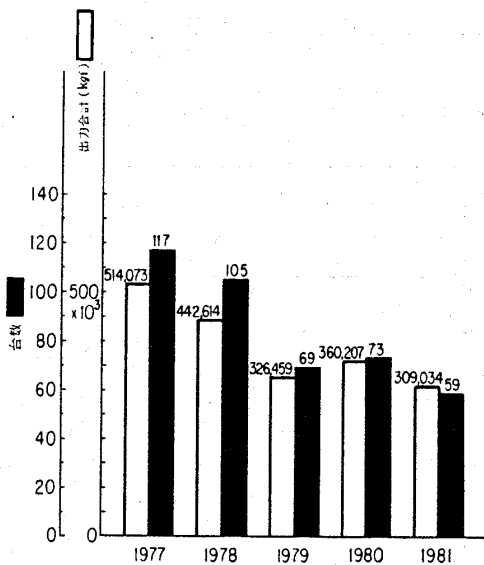


図2 ターボジェット/ターボファンエンジン

(備考)

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

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

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

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

- (1) 委員長 梶木康夫(日立製作), 委員 石沢和彦(IHI), 佐藤玉太郎(日本鋼管), 村尾麟一(青山学院大), 村山弘(日立製作), 森義孝(三菱重工), 吉識晴夫(東大生研)

(昭和57年5月10日原稿受付)

(五十音順)

2. 陸船用ガスタービン

表1 1981年用途別生産台数及び出力(kW)

区分		1,000PS未満		1,000PS以上 30,000PS未満		30,000PS以上		全出力	
		台数	出力	台数	出力	台数	出力	台数	出力
ベースロード発電用	BL	12	6,178	7	80,400	10	435,600	29	522,178
パイプライン用	P	0	0	13	145,501	6	148,056	19	293,557
緊急発電用	EM	115	44,098	30	40,975	0	0	145	85,073
艦艇用	MM	0	0	5	70,601	0	0	5	70,601
その他のプロセス用	PR	3	1,200	0	0	0	0	3	1,200
尖頭負荷発電用	PL	0	0	3	26,100	0	0	3	26,100
実験用	XP	0	0	1	13,070	0	0	1	13,070
空気クッション艇用	HC	0	0	2	1,839	0	0	2	1,839
その他	MC	0	0	1	3,000	0	0	1	3,000
合計		130	51,476	62	381,486	16	583,656	208	1,016,618

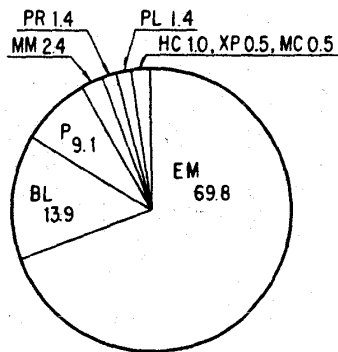


図4 1981年用途別台数割合 (%)

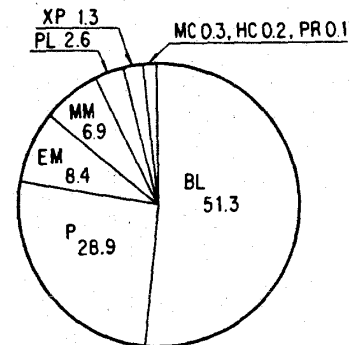


図5 1981年用途別出力割合 (%)

表2 1981年燃料別生産台数及び出力(kW)

燃料別		区分		1,000PS未満		1,000PS以上 30,000PS未満		30,000PS以上		全出力	
		種類	コード	台数	出力	台数	出力	台数	出力	台数	出力
ガス燃料	天然ガス	GNG	0	0	16	150,108	8	196,056	24	346,164	
	高炉ガス	GBF	0	0	1	16,000	0	0	1	16,000	
	小計		0	0	17	166,108	8	196,056	25	362,164	
液体燃料	灯油	T	46	16,187	24	121,064	0	0	70	137,251	
	軽油	K	26	10,518	9	76,311	8	387,600	43	474,429	
	重質軽油	HK	0	0	1	1,300	0	0	1	1,300	
	重油1種	HI	58	24,770	11	16,705	0	0	69	41,475	
	小計		130	51,476	45	215,379	8	387,600	183	654,455	
ガス/液体燃料			0	0	0	0	0	0	0	0	
固体燃料			0	0	0	0	0	0	0	0	
合計			130	51,476	62	381,487	16	583,656	208	1,016,619	



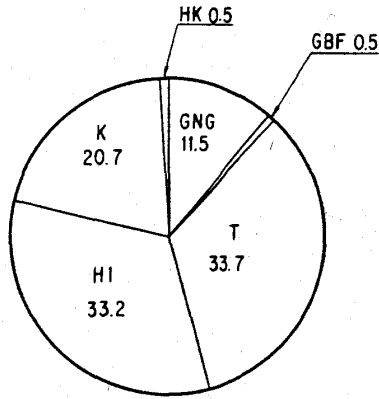


図6 1981年燃料別台数割合 (%)

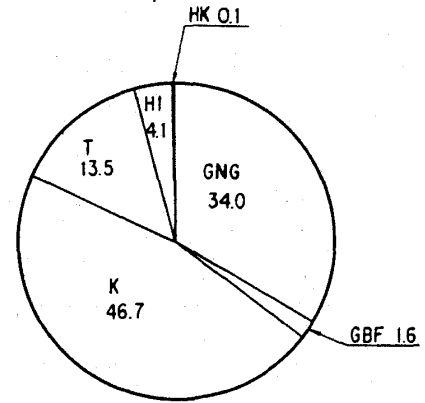


図7 1981年燃料別出力割合 (%)

表3 1981年地域別納入台数及び出力 (kW)

地域別	1,000PS未満		1,000PS以上 30,000PS未満		30,000PS以上		全出力		
	台数	出力	台数	出力	台数	出力	台数	出力	
国内向け	北海道	7	2,587	3	4,822	0	0	10	7,409
	東北	18	7,773	1	16,000	0	0	19	23,773
	関東	31	11,399	5	10,507	0	0	36	21,905
	中部	24	10,271	4	4,103	0	0	28	14,375
	近畿	15	5,104	8	34,138	0	0	23	39,243
	中国	3	1,839	2	15,470	0	0	5	17,309
	四国	11	3,251	1	1,103	0	0	12	4,354
	九州	5	1,589	2	1,970	0	0	7	3,559
	船舶搭載	6	3,089	2	2,207	0	0	8	5,296
	船用	0	0	7	72,440	0	0	7	72,440
(小計)	120	46,902	35	162,759	0	0	155	209,660	
輸出向け	中南米	0	0	3	3,310	3	72,000	6	75,310
	中東	8	4,119	17	182,521	11	463,656	36	650,296
	アジア	0	0	2	27,380	2	48,000	4	75,380
	オセアニア	0	0	1	1,103	0	0	1	1,103
	北米	1	228	4	4,413	0	0	5	4,641
	その他	1	228	0	0	0	0	1	228
	(小計)	10	4,575	27	218,727	16	583,656	53	806,958
合計	130	51,476	62	381,486	16	583,656	208	1,016,618	

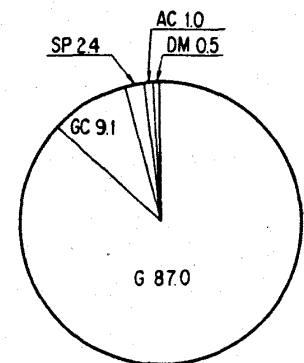


図8 1981年被駆動機械別台数割合 (%)

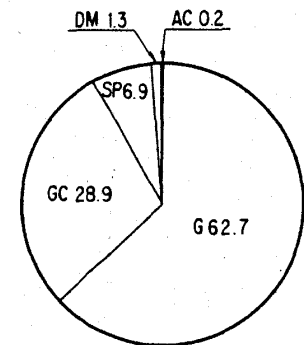


図9 1981年被駆動機械別出力割合 (%)

表4 1981年被駆動機械別生産台数及び出力 (kW)

被駆動機械別	区分 コード	1,000PS未満		1,000PS以上 30,000PS未満		30,000PS以上		全出力	
		台数	出力	台数	出力	台数	出力	台数	出力
発電機	G	130	51,476	41	150,475	10	435,600	181	637,551
空気圧縮機、送風機	AC	0	0	2	1,839	0	0	2	1,839
その他のガス圧縮機	GC	0	0	13	145,501	6	148,056	19	293,557
軸駆動	SP	0	0	5	70,601	0	0	5	70,601
動力計	DM	0	0	1	13,070	0	0	1	13,070
合計		130	51,476	62	381,486	16	583,656	208	1,016,618

表5 1981年出力区分別生産台数及び出力 (kW)

出力区分 (PS)		台数	出力
1,000PS未満	0~ 199	0	0
	200~ 499	54	11,283
	500~ 999	76	40,194
	小計	130	51,477
1,000PS以上 30,000PS未満	1,000~ 5,999	37	57,472
	6,000~ 13,999	0	0
	14,000~ 21,999	22	261,371
	22,000~ 29,999	3	62,643
	小計	62	381,486
30,000PS 以上	30,000~ 59,999	12	292,056
	60,000~	4	291,600
	小計	16	583,656
合計		208	1,016,618

表6 1981年発電用ガスタービン用途別生産台数及び出力 (kW)

発電用途別		区分		1,000PS未満		1,000PS以上 30,000PS未満		30,000PS以上		全出力	
		用途	コード	台数	出力	台数	出力	台数	出力	台数	出力
事業用	ベースロード	BL	0	0	5	62,000	3	72,000	8	134,000	
	尖頭負荷	PL	0	0	0	0	0	0	0	0	
	緊急用	EM	0	0	0	0	0	0	0	0	
	小計		0	0	5	62,000	3	72,000	8	134,000	
自家用	ベースロード	BL	12	6,178	2	18,400	7	363,600	21	388,178	
	尖頭負荷	PL	3	1,200	3	26,100	0	0	6	27,300	
	緊急用	EM	115	44,098	30	40,975	0	0	145	85,073	
	小計		130	51,476	35	85,475	7	363,600	172	500,552	
合計			130	51,476	40	147,475	10	435,600	180	634,552	

3. 航空用ガスタービン

表8 1981年ターボ・シャフト/ターボ・プロップエンジン生産台数及び出力 (P.S.)

表7 1981年ターボ・ジェット/ターボ・ファンエンジン生産台数及び推力 (Kgf)

生産台数	59	推力合計	309,034*1
------	----	------	-----------

\*1 海面上静止最大推力

用途	1,000PS未満		1,000PS以上		全出力	
	台数	出力	台数	出力	台数	出力
固定翼機	0	0	9	33,566	9	33,566
ヘリコプター	0	0	33	44,365	33	44,365
補助機関駆動	2	108	1	1,378	3	1,486
合計	2	108	43	79,309*2	45	79,517*2

\*2 海面上静止常用出力

PRESS RELEASE - March 27, 1982

SWEDISH FIRM REPORTS FIRST ROAD TESTS OF CERAMIC GAS TURBINE ENGINE

United Turbine of Malmo, Sweden, a subsidiary of Volvo, initiated road tests of a gas turbine engine which incorporates a high temperature ceramic first stage turbine wheel. This is believed to be a World first!

To compete successfully with future piston engines, the gas turbine must operate at higher working temperatures than have been previously possible with metal turbine wheels. These high temperatures lead to correspondingly high fuel economy for the vehicle. The early road tests in a car demonstrate the feasibility of using these newly developing ceramic materials to reach the higher working temperatures required.

Until recently ceramic materials were not strong enough to withstand the stresses that prevail in conventional automotive turbine wheels which run at 50,000 to 100,000 revolutions per minute; however, substantial advances in ceramic materials have been made in the last few years.

One of the reasons for this early achievement by United Turbine is attributed to the special characteristics of the KTT (Kronogard Turbine Transmission) system. This system is being developed for passenger cars as well as other vehicle applications. Its unique three-shaft, three-stage turbine design with feedback, permits the high temperature wheel to run at lower stress levels making it easier to introduce ceramic materials.

The ceramic turbine wheel was installed in a first generation KTT, Mark I engine. Although the first tests (about 10 hours duration) were at reduced speeds and temperatures because these materials and designs are in the early stage of development, full capacity temperatures and speeds will be close to 1100°C (about 2000°F) and about 50,000 revolutions per minute. Further improvements in ceramic material strength are required for full utilization in the latest and projected automotive gas turbine rotors.

The ceramic wheel in the KTT engine is manufactured by ASEA another Swedish Company, within a joint venture development agreement with United Turbine.

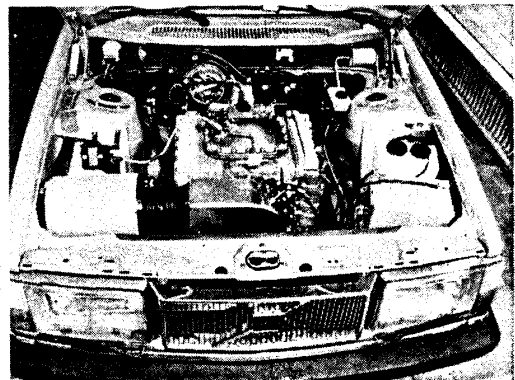
Other high temperature parts in the KTT engine are also made of ceramic. These include: the rotary heat exchangers and housing insulation. Other components will include nozzle vanes, burners, and ducting. Development of these components is being pursued in cooperation with American and European companies including Carborundum, Pratt & Whitney Aircraft, Corning Glass, and British Nuclear Fuels (BNFL). Additional ceramic material component development work is being promoted in Sweden.

According to Sven-Olof Kronogard, Managing Director of United Turbine, this first successful preliminary test of a ceramic turbine wheel in an engine in a vehicle on the road is an important milestone for the development of competitive automotive and vehicular gas turbines. "It strengthens our belief in the possibility for gas turbines to compete successfully with future gasoline and diesel powerplants not only on a fuel economy and performance basis but also on a cost basis".

Earlier automotive gas turbines demonstrated superior multi-fuel and low emissions capabilities relative to piston engines. Now the United Turbine tests illustrate a further advantage which the KTT system has over other turbine systems in regard to early use of high temperature ceramic rotors.



Volvo 264 Automobile Driven by Ceramic KTT, Mark I Engine



Installation of KTT Mark I Engine in Volvo 264 Automobile

6月号は学会設立十周年記念特別号で、6月3日に行われた記念行事の議事録ともいえる内容になっております。

編集委員会が6月号を十周年記念特別号として検討を始めたのは昨年10月でしたが、以後数回にわたる検討の結果、記念行事の一環としてパネル討論会を行い、その内容をそのまま6月号の記事にするという方針が立てられました。しかし、パネル討論のテーマを何にするか、パネリストをどう選ぶかなど問題山積で、十周年記念行事委員会ともご相談の結果、結局、記念講演はガスタービンの現状について語っていただき、パネル討論会ではガスタービンの将来展望について議論するという事になったわけです。そこでパネル討論会のメインテーマは「21世紀を目指すガスタービン」となりましたが、問題が膨大で、関係する分野も広く、そのとりまとめは難渋しましたが、各分野の取りまとめを分担していただいた編集理事・委員のご努力とパネリスト・指名討論者のご協力

により、何とかパネル討論会開催の運びとなった次第です。その結果は、当日烈しい風雨にもかかわらず、多数の参加者を得て盛況裏に行われたことで明かであろうと思います。ただ十分な時間がなく、折角の議論も短縮せざるを得ず、パネリストをはじめ皆様にご迷惑をおかけした点は誠に申し訳なく感じました。しかし、その内容は指名討論者の寄稿・当日の討論も含めて充実した記事として6月号に掲載されており、ガスタービンの将来に指針を与えるものとして高く評価されるものと考えます。なお、8年前のガスタービン学会誌に「ガスタービンの未来を語る」という座談会記事がでておりますので、それをあわせてご覧いただければ一層の理解と興味が得られるものと思います。

最後に、記念講演、パネル討論会でご講演、ご討論いただいた方々、及び6月号の編集にあたった前期編集理事、委員の方々に感謝を述べさせていただきます。筆を擱くことに致します。

#### 事務局だより

梅雨とはいえ、雨が少なく、庭の紫陽花も心なしか元気がない様子です。

新しい事務所に移ってから3ヶ月余。ふりかえてみると、ほんとうにあわただしい3ヶ月でした。はじめは年度末とあって決算の準備に追われ、そのあとASMEのロンドン大会へ来年の国際会議のPRに出かけ、帰って来てからは、評議員会、総会、そして6月の十周年記念式典、講演会と、目の回るような忙しさでした。

事務局はたった二人だけです。これだけの仕事をこなさず、ずい分、会員の方々に助けていただきました。あの手助けがなければ、とてもこう順調に事が運ばなかったでしょう。

事務所は、ほとんど連日のようにここで委員会やら打合せなどが行なわれ、12坪のスペースを大いに有効活用しています。冷蔵庫などの寄贈もあって、大変住みごち良く、千客万来です。

十周年記念式典の様子は、本文に掲載されている通り、当学会なりに盛大に催されました。十周年記念式典というなにしろはじめてづくしのことばかりでしたので、いろいろとまどいましたが、この経験が、十五周年、二十周年の時に、役立つことでしょう。

4月19日からロンドンのウェンブリーで開かれたASMEの展示会では、ガスタービン学会のブースが一つ用意されて、来年の国際会議のPRをしました。他のブースとちがって、お見せする物もなく（者ももちろんのこと）場所的にも余り良い所ではなかったのですが、それにもかかわらずたくさんのお客様がこられて、大変活気に満ちた一週間でした。日本からダンボール箱につめて運んだパンフレットも全部きれいになくなり、帰りもこの重い荷物を持って帰るのかしらという思いも杞憂に終わりました。来年の国際会議にはこれによって海外からのお客様が少しでもふえれば、と祈っています。

今年度は、十周年記念式典、記念講演会で前半が過ぎてしまい、行事は後半に集中してしまったようです。毎度のことながら、どうぞ会告をお見直しなきようご注意ください。

（と、ここまで書いたところ、この原稿は、余白がないとボツになるといわれました。せめて原稿ぐらいの目をみますように……）

[A]

6月号は学会設立十周年記念特別号で、6月3日に行われた記念行事の議事録ともいえる内容になっております。

編集委員会が6月号を十周年記念特別号として検討を始めたのは昨年10月でしたが、以後数回にわたる検討の結果、記念行事の一環としてパネル討論会を行い、その内容をそのまま6月号の記事にするという方針が立てられました。しかし、パネル討論のテーマを何にするか、パネリストをどう選ぶかなど問題山積で、十周年記念行事委員会ともご相談の結果、結局、記念講演はガスタービンの現状について語っていただき、パネル討論会ではガスタービンの将来展望について議論するという事になったわけです。そこでパネル討論会のメインテーマは「21世紀を目指すガスタービン」となりましたが、問題が膨大で、関係する分野も広く、そのとりまとめは難渋しましたが、各分野の取りまとめを分担していただいた編集理事・委員のご努力とパネリスト・指名討論者のご協力

により、何とかパネル討論会開催の運びとなった次第です。その結果は、当日烈しい風雨にもかかわらず、多数の参加者を得て盛況裏に行われたことで明かであろうと思います。ただ十分な時間がなく、折角の議論も短縮せざるを得ず、パネリストをはじめ皆様にご迷惑をおかけした点は誠に申し訳なく感じました。しかし、その内容は指名討論者の寄稿・当日の討論も含めて充実した記事として6月号に掲載されており、ガスタービンの将来に指針を与えるものとして高く評価されるものと考えます。なお、8年前のガスタービン学会誌に「ガスタービンの未来を語る」という座談会記事がでておりますので、それをあわせてご覧いただければ一層の理解と興味が得られるものと思います。

最後に、記念講演、パネル討論会でご講演、ご討論いただいた方々、及び6月号の編集にあたった前期編集理事、委員の方々に感謝を述べさせていただきます。筆を擱くことに致します。

#### 事務局だより

梅雨とはいえ、雨が少なく、庭の紫陽花も心なしか元気がない様子です。

新しい事務所に移ってから3ヶ月余。ふりかえてみると、ほんとうにあわただしい3ヶ月でした。はじめは年度末とあって決算の準備に追われ、そのあとASMEのロンドン大会へ来年の国際会議のPRに出かけ、帰って来てからは、評議員会、総会、そして6月の十周年記念式典、講演会と、目の回るような忙しさでした。

事務局はたった二人だけです。これだけの仕事をこなさねば、ずい分、会員の方々に助けていただきました。あの手助けがなければ、とてもこう順調に事が運ばなかったでしょう。

事務所は、ほとんど連日のようにここで委員会やら打合せなどが行なわれ、12坪のスペースを大いに有効活用しています。冷蔵庫などの寄贈もあって、大変住みごち良く、千客万来です。

十周年記念式典の様子は、本文に掲載されている通り、当学会なりに盛大に催されました。十周年記念式典というなにしろはじめてづくしのことばかりでしたので、いろいろとまどいましたが、この経験が、十五周年、二十周年の時に、役立つことでしょう。

4月19日からロンドンのウェンブリーで開かれたASMEの展示会では、ガスタービン学会のブースが一つ用意されて、来年の国際会議のPRをしました。他のブースとちがって、お見せする物もなく（者ももちろんのこと）場所的にも余り良い所ではなかったのですが、それにもかかわらずたくさんのお客様がこられて、大変活気に満ちた一週間でした。日本からダンボール箱につめて運んだパンフレットも全部きれいになくなり、帰りもこの重い荷物を持って帰るのかしらという思いも杞憂に終わりました。来年の国際会議にはこれによって海外からのお客様が少しでもふえれば、と祈っています。

今年度は、十周年記念式典、記念講演会で前半が過ぎてしまい、行事は後半に集中してしまったようです。毎度のことながら、どうぞ会告をお見直しなきようご注意ください。

（と、ここまで書いたところ、この原稿は、余白がないとボツになるといわれました。せめて原稿ぐらいの目をみますように……）

〔A〕

# the gas turbine division newsletter



May, 1982

## Noel Penny Presented R. Tom Sawyer Award



Left to Right - R.N. Penny, R.B. Gaither, President, ASME and K.A. Teumer, Chairman, ASME Gas Turbine Division.

At the 1982 International Gas Turbine Conference in London, R. Noel Penny, Managing Director of Noel Penny Turbines, Ltd. was the recipient of the prestigious ASME 1982 R. Tom Sawyer

Award. The award was presented to Penny... "As a creative engineer who has made outstanding contributions in the design and development of over twenty vehicular and small aviation gas turbines".

## K.A. Teumer, Chairman: Gas Turbine Division Highlights

The recently concluded 27th ASME International Gas Turbine Conference and Exhibit at Wembley (London), England exceeded our highest expectations. A record number of technical papers and attendees



K.A. TEUMER

and an overflowing exhibit hall were complemented by a week of beautiful weather in the London area. The Wednesday night banquet was an evening that everyone will long remember. Statistics on the conference, discussed elsewhere in this Newsletter, are dramatic.

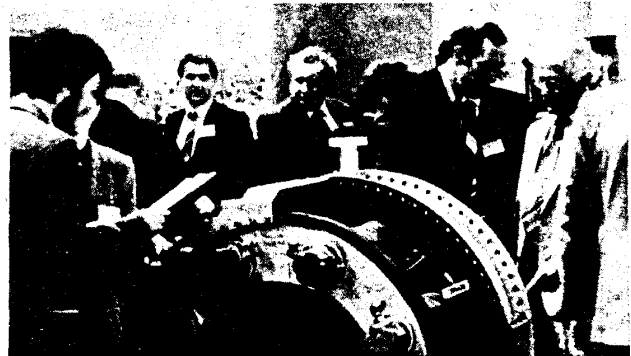
continued next page

## 5164 ATTEND 1982 LONDON GAS TURBINE CONFERENCE AND EXHIBIT SEVERAL RECORDS BROKEN

The 27th International Gas Turbine Conference and Exhibit, April 18-22, 1982, London, was sponsored by ASME Gas Turbine Division and the Institution of Mechanical Engineers of England. It was a truly outstanding event as evidenced by the following statistical data:

- 5164 Persons Attended. The greatest number ever at an ASME Gas Turbine Division Conference and Exhibit.
- 324 Technical Papers Reviewed and Published and Available for Sale at the Conference. The greatest number ever at an ASME Gas Turbine Division Conference.
- 123 Exhibitors Occupied 346.5 Booth Units. Exhibit space sales income record set for ASME Gas Turbine Division.
- 39 Countries Represented by Attendees.
- 1770 Persons Stated Their Company, Organization or Agency Has Used or Specified Gas Turbine Engines. 34% of the total attendance were "users" of gas turbine engines. Similarly, 28% were users of gas turbine auxiliary equipment.

- 1349 Attendees Were in Management Positions. 26% of the total attendance were Chairmen of the Board, Presidents, Chief Executive Officers, General Managers, Vice Presidents, Directors, Chief Engineers or Managers.



GAS TURBINE DIVISION

The American Society of Mechanical Engineers

THE INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER

6065 Barfield Road • Suite 218 • Atlanta, Georgia 30328 • 404/256-1744

Highlights, cont. \_\_\_\_\_

A Conference of this magnitude and quality can only occur as a result of much effort being expended by many people. First, our gratitude goes to the authors of the technical papers and the session organizers. The technical program is what ASME and certainly the Gas Turbine Division is built upon. The two individuals with the biggest job of all for the conference were Papers Review Chairman, George K. Serovy and Technical Program Chairman, Walter F. O'Brien, Jr. They both have done an outstanding job.

As in 1978 when the Conference was also at Wembley, the co-sponsorship by the Institution of Mechanical Engineers was most helpful and appreciated. Mr. Frank Tasker and his U.K. General Arrangements Committee handled a myriad of details exceptionally well, a task which could not have been accomplished from our side of the ocean.

The cooperation and good work from the ASME Headquarters group and the yeoman's job by our Atlanta Gas Turbine Center people are very much appreciated.

The 1983 Gas Turbine Conference will be in Phoenix, Arizona. We are already receiving various indications which hold promise of another strong technical program. At our Executive Committee Meeting at the London Conference, a decision was made to attempt to arrange for the 1984 Gas Turbine Conference to be in continental Europe. The Conference has become truly international with a considerable portion of the technical papers and exhibitors coming from outside the United States and providing a reflection of the technical progress and activities in the world wide gas turbine industry.



His Royal Highness, The Duke of Kent (shown at right) visits the 27th International Gas Turbine Exhibit in London.

## Elections to ASME Fellow Grade

Arthur J. Wennerstrom, Chief of the Compressor Research Group, Air Force Aero Propulsion Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, has advanced through his research the performance of axial-flow compressors for aircraft turbine engines. He has published 25 technical papers and holds four patents.

Wennerstrom earned a doctorate in mechanical engineering in 1965 from the Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland, where he had already gained experience as a research engineer with Sulzer Brothers' Fluid Mechanics Laboratory. Afterward he joined the Northern Research and Engineering Corp., Cambridge, Mass. In 1967, he became chief of the Fluids Machinery Research Group at Wright-Patterson's Fluid Mechanics Laboratory. Wennerstrom assumed his present post in 1975.

Edward S. Wright, Manager of Components Planning, Deere & Co., Moline, Ill., is responsible for all corporate product plans for high-technology components, including engines, electronics, hydraulics, and transmissions. He has published 10 reports, in addition to numerous internal reports. To his credit, too, are several inventions of technical devices.

Wright received an M.S. in aeronautical engineering from Princeton in 1965 and later did graduate work at the University of Connecticut in management and engineering. He joined United Technologies Research Center in 1965 and became project manager of several energy programs. Wright began working

for Deere in 1979, first as manager of engine planning worldwide, then in his present position.

Budugur Lakshminarayana, Director of Computational Fluid Dynamic Studies and Professor of Aerospace Engineering at Pennsylvania State University Park, Pa., specializes in turbo-machinery aerodynamics. One hundred and fourteen technical publications suggest his contributions to acoustics, fluid mechanics, and aerospace propulsion.

Lakshminarayana received a B.S. from Mysore Univ., India, in 1958 and his Ph.D. in mechanical engineering from Liverpool University, England, in 1963. He was promoted to full professor at Pennsylvania State in 1974.

## Thru The Years . . .

Tom Sawyer  
Publisher Emeritus



As we had a most remarkable conference in London at the Wembley Conference Centre, let's compare this to our first Conference in the USA and also to our first Conference in Europe.

The first USA Conference was in Washington, D.C. in 1956 at the Statler Hotel where we had only 23 exhibitors and 33 booths. There were 6 technical sessions where 17 papers were presented.

In 1966 our first overseas Conference was in Zurich, Switzerland. There we had 64 exhibitors in 103 booths. There were 22 technical sessions with 81 papers.

At the Wembley Conference Centre we had 123 exhibitors taking 346.5 booths of various sizes. Some 324 technical papers were presented in 84 sessions including panel sessions.

I think it is very interesting that eight of the exhibitors in our first show were also with us in the London Conference. They are: Allison Division (now Detroit Diesel Allison) of General Motors Corporation, Brown Boveri Corporation, Curtiss Wright Corporation, Garrett Corporation, General Electric Co., Koppers Co., Solar Turbines International, and Woodward Governor Co.

It is wonderful to see how the Gas Turbine Division is growing. Yet, we are still a young organization starting only in 1947; by 1997 (50 years) we should be very much larger and even more diversified including new closed cycle gas turbine applications.

## Special Awards at 1982 Gas Turbine Conference

The following special awards were presented at the 1982 International Gas Turbine Conference and Exhibit in London:

- Retiring Gas Turbine Division Chairman Award to John P. Davis.
- ASME 1979 Gas Turbine Award to Arthur Schaffler for his paper "Experimental and Analytical Investigation of the Effects of Reynolds Number and Blade Surface Roughness on Multi-stage Axial Flow Compressors".
- ASME 1980 Gas Turbine Award to Mark S. Darlow, A.G. Parkinson, and Anthony J. Smalley for their paper, "Demonstration of a Unified Approach to the Balancing of Flexible Rotors".

Gas Turbine Division Awards were presented to the retiring Gas Turbine Division Technical Committee chairmen for service from July 1979 - June 1981 as follows:

Technical Committee	Past Chairman
Aircraft	Clifford A. Hoelzer
Coal Utilization	Roy R. Peterson
Combustion and Fuels	William S. Blazowski
Electric Utilities	A.L. Steinlen
Process Industries	C.D. Clower
Technology Resources	Jesse O. Wiggins
Vehicular	Roy Kamo

## Call For Papers 1983 International Gas Turbine Conference, Phoenix March 27 - 31

Gas Turbine Division's Turbomachinery, Electric Utilities and Coal Utilization Committees have issued special requirements and designated session organizers as noted below. Please be reminded: Green Sheets (ASME Form M & P 1903, Offer of a Technical Paper) are due as soon as possible; completed manuscripts are to be submitted for review by September 1, 1982.

### Turbomachinery Committee

- Unsteady Flows in Turbomachinery; Professor F. Sisto Mechanical Engineering Dept., Stevens Institute of Technology, Hoboken, New Jersey 07030, (201) 420-5764. Emphasis should be on the unsteady aerodynamics of blades, vanes and buckets in vibratory or transient motion.

- Aerodynamics of Turbomachinery Inlet and Exhaust Systems; J.R. Switzer, 93-03/503-4R, Garrett Turbine Engine Company, 111 South 34 Street - P.O. Box 5217, Phoenix, Arizona 85010, (602) 267-3819. Appropriate topics for this session include inlet or exhaust system design, development and application.

- Industrial and Process Turbomachinery; R.A. Novak, Mail Stop 240G2, Aircraft Engine Business Group, General Electric Company, 1000 Western Avenue, Lynn, Massachusetts 01910, (617) 594-3370. This session will be devoted to the aerodynamics of industrial and process turbomachinery, i.e. turbomachinery not devoted exclusively to gas turbine applications.

- Computational Fluid Dynamics of Turbomachinery; Dr. R.A. Delaney, U-29A, Detroit Diesel Allison, P.O. Box 894, Indianapolis, Indiana 46206, (317) 242-5908. Advanced techniques in computational fluid dynamics as applied to the analysis or design of axial and radial flow turbomachinery are sought including numerical and analytical methods for flow analysis, inverse blade design techniques, loss prediction, etc. Comparisons of analysis to experimental data are especially encouraged.

- Radial Flow Turbomachinery Aerodynamics; D.P. Kenny, Pratt & Whitney Aircraft of Canada, Ltd., Box 10, Longueuil, Quebec, J4K 4X9, Canada, (514) 677-9411 X4567. All aspects of radial turbomachinery are of interest including the full range from aviation centrifugal compressors and radial turbines to industrial compressors, blowers, pumps, and expanders.

- Miscellaneous; Paper offers not directly related to any of the above stated topics should be communicated to: A.W. Stubner, Engineering EB-2H, Pratt & Whitney Aircraft, 400 Main Street, East Hartford, Connecticut 06108, (203) 565-4142.

### Electric Utilities Committee

Papers are solicited in the areas of advanced gas turbine technology, combined cycle plants and coal gasification. Papers of specific interest to the electric utility industry are particularly encouraged. Contact the Session Organizer: T.J. Radkevich, Westinghouse Electric Corporation, P.O. Box 251 Concordville, PA 19331, (215) 358-4723.

### Coal Utilization Committee

Papers are solicited encompassing all aspects of coal or coal derived fuel use in gas turbine systems. Subject areas of interest include: alternative fuels (coal-derived liquids, including methanol, and low btu gases), combined cycle systems, high temperature turbines, direct coal-fired systems (fluidized bed systems and closed cycle systems), performance, economics, and emissions. Contact: John S. Clark, NASA-Lewis Research Center, 21000 Brookpark Road, MS 500-215, Cleveland, OH 44135, (216) 433-4000, ext. 749.

### Combustion and Fuels Committee

Papers on the following topics are solicited: combustor modeling; combustor design concepts and advances; heat transfer in combustor design; emissions control; fuel injection and preparation, and unconventional fuels and their effects. Contact: Dr. Dean Hammond, Fluid Dynamics (57), General Motors Research Laboratories, Warren, Michigan 48090.

## Unsung Heroes

The Gas Turbine Division's Executive Committee, by unanimous vote, expresses thanks and deep appreciation to the multitude of authors and reviewers who have made GTD Conferences so successful. Their patience, dedication and expertise have made it possible to continue to not only increase the size and scope of the technical programs, but also to maintain and increase the quality of these programs. This is an integral part of the continuing effort by the Division to serve and support ASME membership, the gas turbine industry and the engineering profession. Without the voluntary efforts of these dedicated professional engineers, meetings such as the 1982 International Gas Turbine Conference in London would not be possible.

## Order Information: GTD Lapel Buttons and Records

To order an ASME Gas Turbine Division turbine wheel (3/4-inch diameter) lapel button, send name, address and type of ASME membership along with \$25.00 check (no charge to committee chairmen, vice-chairmen and exhibitors) to R. Tom Sawyer, Box 188, Ho-Ho-Kus, NJ, 07423. Copies of the 45 RPM record "Onward and Upward with Gas Turbines" are also available for \$3.00 each.



# INTERNATIONAL NEWS

## Short Courses at Cranfield Institute of Technology, U.K.

The schedule of 1982 short courses at Cranfield Institute of Technology may be of interest to Gas Turbine Division members.

- Gas Turbine Performance; 7-11 June
- Centrifugal Compressors; 28 June - 2 July
- Aircraft Gas Turbine Theory and Design; 4-22 October
- Turbines for Gas Turbine Engines; 1-5 November
- Gas Turbine Technology for Systems and Control Engineers; 8-12 November
- Rotor Dynamics; 22-26 November
- Special Courses - Gas Turbine Test Studies (3 days) and Gas Turbine Technology (5 weeks) are available "on site" when requested.

For further details on course content and tuition, contact: K.W. Ramsden, School of Mechanical Engineering, Cranfield Institute of Technology, Cranfield, Bedford MK430AL, England, telephone: Bedford (0234) 750111 ext 260; Telex 825072.

## U.K. Seminar Papers On Sale

The papers and supporting documents from a BEAMA/BASEEFA seminar on "Explosive Atmospheres" attended by over 200 delegates in London recently are now available on general sale, price \$30.00 plus \$7.00 for packing and postage.

The seminar was presented by the British Electrical and Allied Manufacturers' Association (BEAMA) and the British Approvals Service for Electrical Equipment in Flammable Atmospheres (BASEEFA).

The set comprises the five papers presented which are: "Setting the Scene", "EEC Directives", "CENELEC Standards", "Certification Requirements in the National and International Field and their Technical and Financial Implications", and "Technical Aspects of Certification, Testing and the Marketing of Apparatus".

The complete set is available from BEAMA, 8 Leicester Street, London WC2H 7BN.

## 1983 CIMAC Congress in Paris

At a recent meeting of the CIMAC Gas Turbine Technical Program Committee at the Paris headquarters, abstracts of papers for the 1983 Paris CIMAC Congress were reviewed. A considerable growth in the gas turbine portion of the technical program was evident with a preliminary figure of 65 papers. This represents more than a 100% increase over the 1981 Congress held at Helsinki, Finland. With the usual full complement of diesel engine technical papers, the June 1983 Congress is assured of having a strong technical program.

The gas turbine portion of the program is tentatively scheduled to include 11 paper sessions concerning design, material, combustion and emissions, controls, turbochargers, noise and non-conventional fuels. Two panel sessions will cover: (1) coal derived fuels and combined cycles, and (2) cogeneration and combined cycles.



## ASME Membership Information

Charles P. Howard, Chairman of the Gas Turbine Division's Membership Development, stands ready to assist everyone with information on ASME membership. Howard's address: 14631 Crossway Road, Rockville, MD 20853 (301/871-8664).

### EXECUTIVE COMMITTEE 1982-83

**CHAIRMAN**  
KENNETH A. TEUMER  
Woodward Governor Co.  
1000 E. Drake Rd.  
Ft. Collins, CO 80525  
303-482-5611

**VICE-CHAIRMAN**  
NORMAN R. DIBELIUS  
General Electric Co.  
1 River Rd. Bldg. 53-322  
Schenectady, NY 12345  
518-385-9674

**CHAIRMAN OF CONFERENCES**  
A.A. MIKOLAJCZAK  
United Technologies Corp.  
1 Financial Plaza  
Hartford, CT 06101  
203-728-7634

**REVIEW CHAIRMAN**  
GEORGE K. SEROVY  
Mechanical Eng. Bldg.  
Iowa State University  
Ames, IA 50011  
515-294-2023/1423

**FINANCE COMMITTEE & PAST CHAIRMAN**  
ARTHUR J. WENNERSTROM  
Aero Prop. Lab (AFWAL/POTX)  
Wright Patterson, AFB, OH 45433  
518-755-7163/4738

**DIRECTOR OPERATIONS**  
DONALD D. HILL  
International Gas Turbine Center  
6065 Barfield Rd. #218  
Atlanta, GA 30328  
404-256-1744  
**ADMINISTRATIVE ASSISTANT**  
SUE COLLINS  
404-256-1744

**MANAGER, EXHIBIT & INFORMATION SERVICES**  
DAVID H. LINDSAY  
International Gas Turbine Center  
6065 Barfield Rd. #218  
Atlanta, GA 30328  
404-256-1744

**OPERATIONS**  
**TREASURER**  
R. TOM SAWYER  
P.O. Box 188  
Ho-Ho-Kus, N.J. 07423  
201-444-3719

**ASSISTANT TREASURER**  
THOMAS E. STOTT  
Stott-Lavelle, Inc.  
325 Eisenhower Rd.  
Elmsford, N.Y. 10523  
914-592-4710

**NEWSLETTER EDITOR**  
ROBERT A. HARMON  
25 Schaefer Drive  
Latham, N.Y. 12110  
518-783-0641

**the** gas turbine division  
**newsletter**

Volume 23, Number 2, May, 1982  
Published by the INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER, Gas Turbine Division, A.S.M.E., 6065 Barfield Road, Suite 218, Atlanta, Georgia 30328, U.S.A. (404/256-1744), Donald D. Hill, Director of Operations, David H. Lindsay, Manager, Exhibit and Information Services, Sue Collins, Administrative Assistant.

**Chairman:** Kenneth A. Teumer  
Woodward Governor Co.  
Fort Collins, Colorado

**Vice Chairman:** Norman R. Dibelius  
General Electric Co.  
Schenectady, New York

**Editor:** Robert A. Harmon  
Consulting Engineer  
Latham, New York

**Publisher Emeritus:** R. Tom Sawyer  
Ho-Ho-Kus, New Jersey

**Publisher:** Donald D. Hill  
International Gas Turbine Center  
Atlanta, Georgia

**INTERNATIONAL GAS TURBINE CENTER**  
Gas Turbine Division  
The American Society of Mechanical Engineers  
6065 Barfield Road, Suite 218  
Atlanta, Georgia 30328

**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。

# CALL FOR PAPERS

## 28th International Gas Turbine Conference Civic Plaza Phoenix, Arizona March 27-31, 1983

The 28th International Gas Turbine Conference and Exhibit will be held March 27-31, 1983 at the Civic Plaza, Phoenix, Arizona. This Conference, sponsored by The American Society of Mechanical Engineers' Gas Turbine Division, has become an increasingly prominent annual forum for the international exchange of technical and product information on gas turbines.

Papers are invited concerning all aspects of gas turbine technology, including research and development, education, systems concepts, application and operational experience. Papers of interest to gas turbine users are particularly encouraged.

Authors wishing to submit a paper should forward an abstract by June 1, 1982 to the appropriate Gas Turbine Division technical committee chairman, or to the program chairman: Thomas C. Heard, General Electric Company, Building 2-407, 1 River Road, Schenectady, New York 12345; (518/385-2731).

Completed manuscripts must be received by the session organizer or technical committee chairman no later than September 1, 1982. All papers submitted will be reviewed in accordance with established ASME Gas Turbine Division policy and procedures.

### TECHNICAL COMMITTEE CHAIRMEN

#### (Aircraft)

HENRY L. MORROW  
U.S. Army Research & Technology Lab.  
DAVDL-EU-TAP  
Fort Eustis, VA 23604  
(804) 878-4130

#### (Ceramics)

WILLIAM McGOVERN  
U.S. Army MERADCOM  
Attn: DRDME-GS  
(W. McGovern)  
Fort Belvoir, VA 22060  
703-664-5359

#### (Closed Cycles)

SIMION C. KUO  
United Technologies  
Research Center MS-79  
East Hartford, CT 06108  
203-727-7258

#### (Coal Utilization)

JULIANI GATZOULIS  
Glenn L. Martin Institute of Technology  
University of Maryland  
College Park, MD 20742  
301-454-2408

#### (Combustion & Fuels)

GEORGE OPDYKE JR.  
AVCO Lycoming Div.  
550 S. Main Street  
Standford, CT 06497  
203-385-3212

#### (Controls)

JAN EDERVEEN  
Woodward Governor Co.  
1000 E. Drake Rd.  
Fort Collins, CO 80525  
303-482-5811

#### (Education)

WIDEN TABAKOFF  
Dept. of Aerospace & Applied Mechanics  
University of Cincinnati  
Cincinnati, OH 45221  
513-475-2849

#### (Electric Utilities)

ANDREW AULD  
Westinghouse Electric Corp.  
Mail Stop 130  
CTSD-P.O. Box 251  
Concordville, PA 19331  
215-358-4511

#### (Heat Transfer)

HOWARD L. JULIEN  
Kaiser Engineers Inc.  
c/o Lawrence Livermore Labs  
P.O. Box 5508/L-461  
Livermore, CA 94550  
415-423-1348

#### (Manufacturing Materials & Metallurgy)

KELLY J. MATHER  
Mechanical Technology Inc.  
968 Albany Shaker Rd.  
Latham, NY 12110  
518-456-4142

#### (Marine)

MILTON PARKER  
The Garrett Corp. MS 503-IC  
P.O. Box 5217  
Phoenix, AZ 80510  
602-267-2697

#### (Pipelines & Applications)

T.C. HEARD  
General Electric Co.  
1 River Rd., Bldg. 2-407  
Schenectady, NY 12345  
518-385-2731

#### (Process Industries)

ROBERT HAUCK  
United Technologies Corp.  
8323 S. West Freeway  
Suite 340  
Houston, TX 77074  
713-995-9995

#### (Structures & Dynamics)

H. ARTHUR NIED  
General Electric Co.  
1 River Rd., Bldg. 5-245  
Schenectady, NY 12345  
518-385-5794

#### (Technology Resources)

THOMAS A. BLATT  
Mechanical Technology Inc.  
968 Albany-Shaker Road  
Latham, NY 12110  
518-785-2473

#### (Turbomachinery)

L.H. SMITH Jr.  
General Electric Co.  
Mail Zone H-4  
Cincinnati, OH 45215  
513-234-4315

#### (Vehicular)

WILLIAM I. CHAPMAN  
Williams Research Corp.  
P.O. Box 200  
Walled Lake, MI 48088  
804-878-2164

### IMPORTANT: Correction to Final Program 1982 Gas Turbine Conference & Exhibit

Please insert this information in lieu of London Hotel Package rates on page 15 as the program contains typographical errors.

### SPECIAL NOTICE TO EXHIBITORS

This advance notice will help you include the 1983 International Gas Turbine Exhibit in your 1983 exhibit schedule and budget. For more information, contact: The International Gas Turbine Center, 6065 Barfield Road, Suite 218, Atlanta, Georgia 30328, 404/256-1744.

### LONDON HOTEL PACKAGES

	PLAN A 6 Nights Package		PLAN B 7 Nights Package		PLAN C 8 Nights Package	
	Twin	Single	Twin	Single	Twin	Single
Category "A" Grosvenor House	\$749 \$797**		\$864 \$918**		\$979* \$1035**	
*Hilton	\$510	\$390	\$588	\$450	\$662	\$510
*Intercontinental	£265	£415**	£305	£477**	£345	£539**
Category "B"						
Cunard						
Gloucester	\$336	\$486	\$394	\$570	\$451	\$655
Metropole						
Royal Garden	£175	£253	£205	£297	£235	£341
Royal Lancaster						
Wembley-Crest						
Category "C"						
Britannia	\$290	\$384	\$338	\$461	\$386	\$528
Europa						
London Tara	£151	£205	£178	£240	£201	£275
Category "D"						
London Penta	\$202 £105	\$278 £145	\$227 £118	\$317 £185	\$252 £131	\$355 £185

## 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) 投稿論文は日本文に限る。
  - 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 10 卷 第 37 号

昭和 57 年 6 月 30 日

編 集 者 谷 田 好 通

発 行 者 今 井 兼 一 郎

(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