



環境庁地球環境部 加藤三郎  
〃 柳下正治

## 1. Sustainable Development がキーワード

今日、地球の温暖化、オゾン層の破壊等の地球環境問題が世界的に大きな関心の的となっている。国際的には、昨年7月のヒューストン・サミットをはじめとした各種国際会議において主要課題として取り上げられ、また、国内的にも、地球環境保全に関する関係閣僚会議の設置、環境庁長官の地球環境問題担当大臣への指名、さらに昨年7月には環境庁に地球環境部が設置されるなど活発な取り組みが行われている。

地球環境問題に関する世界の関心は、近年著しく高まってきており、将来の世代のためにも、一層努力して行動を開始すべきだという認識が広まってきている。

近年の地球環境問題をめぐる世界の流れを見ると、次の通りである。

1984年日本の提唱により、国連に「環境と開発に関する世界委員会」(WCED)が設置された。同委員会は、1987年に報告書を取りまとめ、将来の開発の基盤である環境を損なうことなく開発を進めるものとして捉え、環境を保全してこそ将来にわたっての開発を実現できるとの考え方(「持続可能な開発(Sustainable Development)」)を提唱するとともに、その実現のため講ずべき方策を提示し、世界が制度的改革を含め早急に行動すべきことを訴えた。この報告書は、同年の国連総会に提出され、総会は各国政府及び国際機関に対し政策や活動計画を策定する際に同報告書の分析結果及び勧告を考慮するよう要請する旨の決議を行った。これらのことを経て、「持続可能な開発」は、今や世界の共通認識となっている。今後の地球環境保全のための取組は、この考え方をいかに具体化するかに尽きると言っても過言ではない。

(平成3年1月14日原稿受付)

## 2. 地球環境保全を目指した我が国の取組

世界経済の1割以上を占める我が国は、活動のための多くの資源を地球に依存するとともに、地球に対し様々な負荷をかけている。また、公害対策分野を中心に環境保全の面で貴重な経験や技術を有している。このため、地球環境保全に向けて、国際的地位に応じた役割を積極的に果たしていくことが我が国の重要な課題とされてきた。

我が国における地球環境保全を目指した本格的な取組は、1988年6月以降である。1988年6月に公表された1988年版環境白書は、「地球環境の保全に向けての我が国の貢献」と題して、地球環境問題の現状を広く紹介するとともに、我が国がこの問題に真剣に取り組んでいかなければならないことを強く訴えた。その後、国際的な議論の高揚とも相まって、政府部内においては、環境庁のみならず関係省庁において学識経験者よりなる研究会の設置等、一斉に地球環境問題についての調査や検討に着手してきた。

このような経緯を経て、1989年5月12日に地球環境問題に対応するための施策に関し、その効果的かつ総合的な推進を目的として、地球環境保全に関する関係閣僚会議が設置された(主宰:内閣総理大臣, 19省庁の大臣, 地球環境問題担当大臣, 自由民主党役員より構成)。

これを契機に、政府部内では、環境庁を中心に、関係省庁間において、世界に貢献する日本としての地球環境保全を目指した取組のあり方に関し、徹底的な議論、検討、そして意見の調整等が行われた。そして、それらの結果を踏まえ、1989年6月30日に第1回関係閣僚会議が開催された。この会議では、我が国としての「当面の地球環境保全に関する施策」についての申合せが行われ、次の6つの基本的施策の方向が示された。

① 地球環境の保全は、人類共通の課題であり、

世界的な枠組みでの施策の推進に積極的に貢献する。

- ② 地球環境問題に関する科学的な知見の蓄積のため、地球環境に関する広域的、全球的な観測・監視及び国際的・学際的な研究を拡充・強化する。
- ③ 地球環境保全に資する技術の開発・普及を推進する。
- ④ 発展途上国の地球保全の努力に対する支援（環境援助）を強化する。
- ⑤ 政府開発援助（ODA）等の実施に際しての環境配慮を強化する。
- ⑥ 地球環境への負荷がより少ない方法で経済社会活動が営まれるよう努力する。国民各界各層に対する普及・啓発を推進する。

これは、その年の7月に予定されていたアルシュ・サミットへの準備の意味も持っていたが、同時に、それ以降各省庁は、この申合せを軸に、地球環境保全施策の展開を図ることとなった。

更に、「地球環境保全に関する関係閣僚会議」は、同年10月31日の第2回会合において、地球環境保全に関する調査研究、観測・監視及び技術開発を政府一体となって推進することとし、1990年度からこれらに関する「総合推進計画」を各年度当初に本閣僚会議が決定すること等に関する申合せを行った。1990年度以降、この総合推進計画に基づき、計画的、総合的な地球環境研究等を政府一体となって推進することにより、科学的知見の面から世界に貢献することが期待されている。1990年度の総合推進計画は1990年6月18日の第3回関係閣僚会議において決定されている。

なお、この間、1989年7月11日には、地球環境問題に関する関係行政機関の所管する事務の調整を行うことを目的として、環境庁長官が地球環境問題担当大臣に指名されている。

またこれより先の3月、関係省庁の局長によりなる幹事会では、政府が率先して普及・啓発の推進、廃棄物の減量化、再生紙の利用等に取り組むことを申し合わせている。

### 3. 地球環境温暖化問題に対する取組

地球温暖化問題については、その影響の重大性に鑑み、手遅れとならないように、実施可能な対策から直ちに行動していくことが必要である。高度な経済活動を営み、地球環境に大きな関わりを

持つとともに、優れた技術力を有している我が国としては、その国際的地位に応じた役割を積極的に果たしていくことが重要である。このような観点から、地球温暖化問題に対する我が国としての当面の取組の基本的方針を明らかにすべく、1990年6月18日の第3回地球環境保全に関する関係閣僚会議において「当面の地球温暖化対策の検討について」申合せを行った（申合せの概要は以下の通り）。

- ① 地球温暖化防止行動計画について
  - ア 地球の温暖化防止行動計画を1990年秋の早い時期に策定する。
  - イ 行動計画は、地球温暖化対策に係る政府の方針及び今後の取り組むべき実行可能な対策の全体像を明らかにするものである。
  - ウ 行動計画においては、経済の安定的発展を図りつつ、できるだけ早期に温室効果ガスの排出の安定化を目指すとともに、地球規模での森林の保全・造成等二酸化炭素の吸収源の拡大等を目指す。
  - エ 温室効果ガスの排出安定化の具体化については、ノールトヴェイク宣言に留意しつつ2000年までに極力低いレベルで安定化させるべく十分な検討を行った上で、計画の指針となる適切な目標を設定する。
  - オ 対策については、エネルギー対策、交通対策、都市政策、農林水産業政策等幅広く検討し、温室効果ガス排出抑制、温室効果ガスの吸収源の保全・整備対策等を盛り込むこととする。

### ② 地球再生計画について

長期的な視野に立って総合的に世界が協調して取り組むことが重要であるため、地球環境に優しい社会経済の構築に向けて、世界規模での100年程度の長期的なビジョンづくりの必要性を国際的に提唱するとともに、かかる国際的合意の形成に資するため所要の検討を行う。

### 4. 地球温暖化防止行動計画の策定

上記した6月18日の申し合わせを受け、政府部内で鋭意作業をつづけた結果、同年10月23日、地球環境保全に関する関係閣僚会議において、「地球温暖化防止行動計画」が決定された。

今や世界1,2を争う経済大国となった我が国は、

その持てる技術力，経済力等を十分に活用し，地球温暖化防止のため，国際的地位に相応しい責任と役割を率先して果たしていかなければならない。

行動計画は，今後の地球温暖化対策を計画的総合的に推進していくための政府としての方針と今後取り組んでいくべき対策の全体像を明確にし，我が国として国際的な枠組みづくりに貢献していく上での基本的姿勢を明らかにするものである。

〔行動計画の目標－二酸化炭素の排出抑制〕

我が国は，石油危機以降，官民挙げてエネルギーの効率的利用に努めてきた結果，人口1人当たり

の二酸化炭素排出量は先進国中最も低いグループに属している（図1，2）が，今後とも，その努力は継続していかなければならない。また，国際的には，地球温暖化防止のために，まず，先進国において二酸化炭素排出量を安定化させる必要性が合意されていたところである（注1）。

（注1）

89年，オランダのノールトヴェイクにおいて開催された環境大臣会合では，「先進国は，二酸化炭素等の温室効果ガスの排出の安定化が可能な限り早期に達成されるべきこと。」を内容とする閣僚宣言がまとめられた。

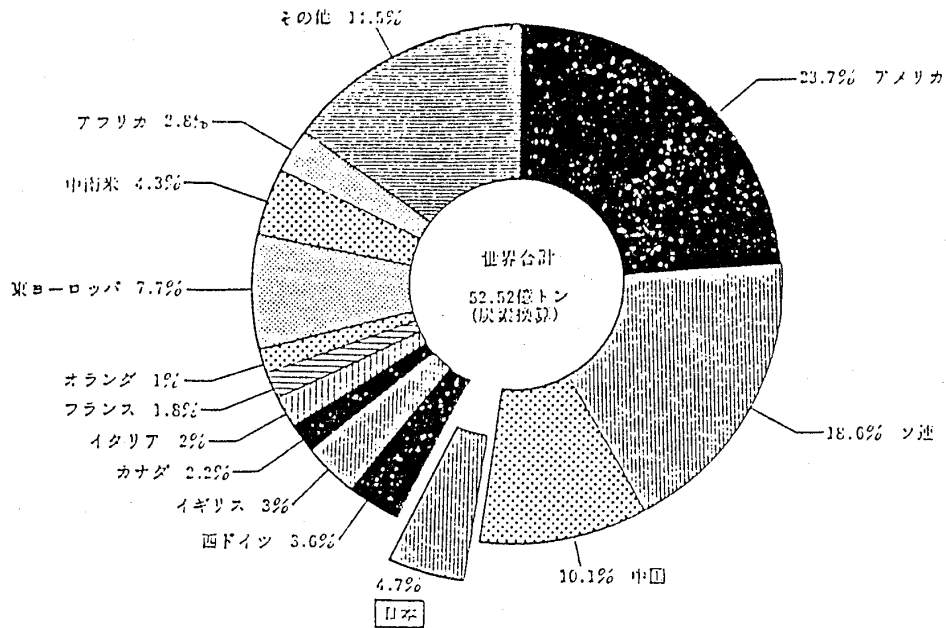
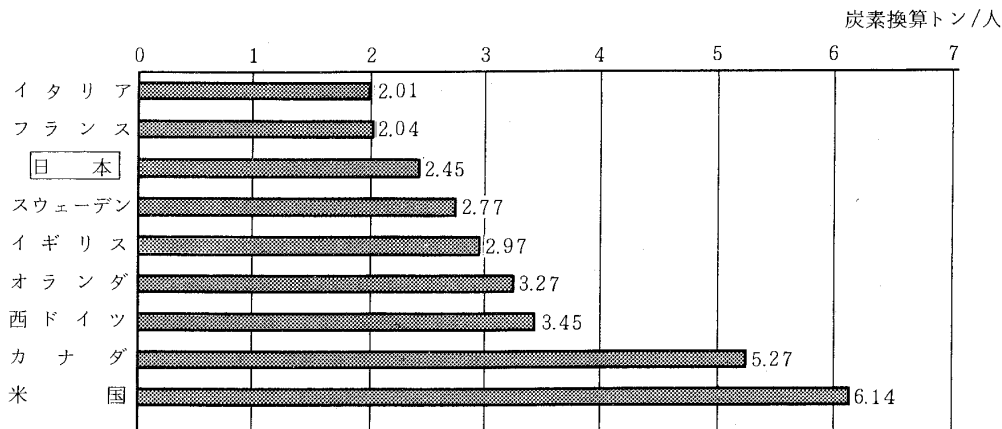


図1 世界の化石燃料消費による二酸化炭素排出量のシェア (1987年)

〔出所〕国連エネルギー統計等を用いて化石燃料の燃焼による二酸化炭素を算出  
 ※ 東西ドイツの統一により日本はドイツ (5.2%) に次ぎ第5位。



先進国の一人当たり二酸化炭素排出量の比較 (1988年)

図2 先進国の一人当たり二酸化炭素排出量の比較 (1988年)

〔出所〕OECD エネルギーバランス1988より作成，化石燃料による二酸化炭素のみの算出  
 ※ 我が国の一人当たり二酸化炭素排出量は，主要先進国中最も低いグループに属する。

このような状況を踏まえ、行動計画において、特に二酸化炭素の排出抑制目標については、先進主要諸国による共通の努力が重要であることを前提に、まず行動計画に盛り込まれた広範な対策を着実に推進し、一人当たり二酸化炭素排出量について2000年以降概ね1990年レベル（2.5トン程度）での安定化を図るとともに、太陽光、水素等の新エネルギー、二酸化炭素の固定化等の革新的技術開発の早期大幅な進展により、二酸化炭素排出総量を2000年以降概ね1990年レベル（約3億トンC）で安定化するよう努めることとしている。

#### 〔行動計画の目標－メタンの排出抑制等〕

二酸化炭素以外の温室効果ガスであるメタン、亜酸化窒素、対流圏オゾン等については、メタンは現状の排出の程度を越えないこととし、亜酸化窒素等は極力その排出を増加させないこととしている。

また、地球温暖化防止のため大気中の温室効果ガス量を削減するには、温室効果ガスの排出抑制とともに、その吸収源を拡大することが重要であることから、国内の森林や都市の緑の保全整備とともに地球規模の森林の保全造成に積極的に取り組むことを目標としている。

#### 〔講ずべき対策〕

これら目標の達成のため、経済の安定的発展との両立を図りつつ、地球環境へ負荷の少ない社会の形成を図るべく、今後20年間にわたり実行可能な対策を定めている。具体的には、

(1) 二酸化炭素の排出抑制については、①太陽熱温水器等による自然エネルギーの利用、コジェネレーションの導入促進などによる二酸化炭素の排出の少ない都市・地域構造の形成、②自動車の燃費改善、貨物輸送におけるモーダルシフト等による二酸化炭素の排出の少ない交通体系の形成、③燃焼効率の向上、省エネルギー型の製造設備の普及促進等による二酸化炭素の排出の少ない生産構造の形成、④安全性の確保を前提とした原子力や水力、太陽光等の利用の推進、コンバインドサイクル発電の開発・導入等による二酸化炭素の排出の少ないエネルギー供給構造の形成、⑤リサイクルの推進や環境マーク等の活用による二酸化炭素の排出の少ないライフスタイルの実現－を図ることとしている。

(2) メタン等の温室効果ガスについては、廃棄物処理、農業、畜産及びエネルギーの生産利用における対策等を講じることとしている。

(3) 二酸化炭素の吸収源対策としては、国内の緑の量、質等を把握して森林・都市等の緑の保全整備を総合的・計画的に推進する。また我が国は、世界第一位の熱帯木材輸入国であることから、熱帯木材需要の適正化とともに、再生紙利用の促進等木材資源の有効利用を図る。

(4) 地球温暖化に係る不確実性を低減させ、科学的知見を踏まえた適切な対策を講じていくため、科学的調査研究、観測・監視については、地球温暖化の機構解明や将来予測、地球温暖化の影響評価や各種のモニタリングを国際的に協同しながら実施する。

(5) 技術開発については、温室効果ガスの排出抑制、吸収・固定化技術や地球温暖化への適応技術の開発の促進に努める。

(6) これら地球温暖化対策の推進に当たって、国民各界各層の幅広い合意と協力を得るため、普及・啓発、環境教育にも力を入れていく。

(7) 以上の国内対策とともに、地球温暖化対策を世界各国が協議して着実に推進するに際して、我が国はその持てる経済力、技術力等を活用して、開発途上国への支援等を積極的に果たしていくことが求められている。このため、地球温暖化防止に資する技術の移転や熱帯林等二酸化炭素吸収源の保全造成の支援、研究協力、開発途上国に適した技術の開発等の国際協力を積極的に推進するとともに、国際協力プロジェクトに際しての地球温暖化防止への配慮を行うこととしている。

#### 〔計画の推進〕

関係省庁は以上の対策を具体化するために必要な措置を講じ、逐次実施に移していくとともに、地球環境保全に関する関係閣僚会議においては毎年度二酸化炭素の排出総量や対策の実施状況等について把握し、また、必要に応じ、行動計画の推進について検討することとしている。さらに、行動計画は、政府の取り組みをまとめたものであるが、地方公共団体、事業者に対しても、行動計画に沿った取り組みが積極的に行われるように各種支援措置を講じることとしている。

## 5. 1991年を展望する

本年も地球環境問題に関する重要な国際会議が目白押しである。そして、これら一連のものはいずれも1992年6月にブラジルのリオデジャネイロで開催される「環境と開発に関する国連会議(UNCED)」にターゲットを合わせている。

UNCEDは、1972年の国連人間環境会議の20周年を記念するものであり、現在世界が直面している地球温暖化問題、熱帯林問題をはじめとする地球環境問題について今後の取組の方向付けを行うとともに、開発と環境の関わりについて討議することが予定されている。具体的には、主要議題は次のとおりである。

- ① 地球を人類共通の未来のためにより状態で維持するための、各国国民のよって立つべき行動の基本原則を定める「地球憲章(Earth Charter)」の採択
- ② 21世紀に至る前に実施すべき具体的な行動計画を明らかにする「アジェンダ21」の策定
- ③ 具体的な検討が始められている気候変動に関する枠組み条約のほか、森林の保全や、生物学的多様性の保全を推進するための条約ないしは取決めをこの会議の場での署名

また、1991年は地球温暖化対策の推進の上でも極めて重要な年である。主な課題を列挙してみよう。

- (1) 昨年10月に定められた地球温暖化防止行動計画の具体的推進を本格化しなければならない。制度面の検討、経済的手法の検討等も含めて、温室効果ガスの排出の抑制に資する社会経済構造の実現に向けての政策検討が必要であろう。
- (2) 第2回世界気候会議の閣僚宣言の課題提起にもあるように、長期的観点に立った地球温暖化対策の検討・推進が求められている。今後20年、更にその後における温室効果ガスの排出の削減に向けての分析、検討を急ぐ必要がある。その一環として我が国提唱の地球再生計画の具体化のための検討も必要であろう。
- (3) 気候変動に関する枠組み条約の1992年締結を目指した国際的合意形成に積極的に貢献するとともに、本年2月からスタートした条約交渉に的確に対応しなければならない。

(4) 開発途上国においても地球温暖化問題への取組が遅滞なく行われるように適切な支援方策(資金援助及び技術移転)が必要であり、この国際的枠組検討に貢献することが求められている。本年1月23~26日に名古屋市においてアジア太平洋地域温暖化セミナー(環境庁、愛知県、名古屋市、(社)海外環境協力センター共催)が開催されたが、この会議は、アジア太平洋地域の開発途上国の国々や関係国際機関、専門家、その他民間団体等と一緒にあって、これら地域と温暖化問題との関わりを考え、その取組の方向を見出し、そして我が国としての協力のあり方を検討しようとするものである。

(5) 地球温暖化問題については、科学的に不確実な側面が多く残されている。今後とも、調査研究、観測等の推進により、科学的知見の集積に努力しなければならない。

## 6. おわりに

我が国は、わずか38万km<sup>2</sup>(世界の0.3%)の国土で世界のGNPの十数%を占める経済大国である。しかもこの高度な経済は、資源、エネルギーの大半を海外に依存することによって始めて成り立っているのである。我が国はこれらの経済力、技術力をもって「世界に貢献する日本」として地球環境問題の解決に向けて積極的な役割を果たしていかなければならないが、特に先進国日本が、地球環境への負荷の小さい社会経済活動の構築を目指し最大の努力を払うことこそが世界に対する最もふさわしい貢献ではなからうか。

温室効果ガスの排出は、我々の日常生活と密着したものである。大量のエネルギー、資源を消費して成り立っているライフスタイルは、地球温暖化問題の登場により根本的な見直しを迫られている。成長・拡大一方の社会構造から、地球環境に優しい持続可能な社会にどのように転換させていくのか。地球環境保全型の、地球に優しい社会経済の実現のため、広く国民一人一人が参加して大いに議論し、

Think Globally, Act Locally.

すなわち、「地球規模で考え、足元から行動する」ことが真に必要な時を迎えたことを実感している。

# ガスタービンの排ガス計測技術

## (1) 排ガス成分の計測方法及び計測機器

(株)堀場製作所 山田 毅  
 〃 河原林 成行

### 1. はじめに

わが国では、固定型のばい煙発生施設にたいしては大気汚染防止法において、一定量以上のばい煙を排出する施設について規制している。これまで、ガスタービンやディーゼル機関は施設の数も少なかったため、規制から除外されていたが、近年、既に規制されている他の施設との対比の上でも、また環境を考える上でも、無視できなくなってきた。昭和63年2月1日より新設の施設に対し大気汚染防止法施行令別表第一に加え、ボイラー等と同様に規制されることになった。<sup>(1)</sup>

ここでは、ガスタービンからの排出ガス中の全炭素化水素 (T・HC)、一酸化炭素 (CO)、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)、酸素 (O<sub>2</sub>)、硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>)、ダスト、スモーク、窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) の計測に用いられている一般計測法について述べる。特に、ガスタービンは同一燃料使用量のボイラー等に比べて燃焼特性上 NO<sub>x</sub> の発生量が多く、燃焼技術改善による数多くの低減技術開発がなされてきている。それらに使用されている NO<sub>x</sub> 計測器の実施例を示す。

### 2. 排ガスの一般計測方法

産業用、航空用、自動車用ガスタービンからの主な排ガス成分とそれらに対する一般計測法の主要なものを表1に示す。

以下に個々の排ガスの計測法の概要を説明する。

#### 2.1 CO の計測法

排ガス中の CO の測定は酸化凝縮法、ガスクロマトグラフ法、非分散赤外線吸収法 (NDIR 法)、検知管法、酸化滴定法、(ホブカライト法)、吸光光度法などが JIS にあげられているが、最近では、ほとんどの場合、NDIR 法が用いられるので、本項では、それについて述べる。

(平成3年1月16日原稿受付)

表1 ガスタービンにおける計測対象排ガスと主要な計測法

計測対象ガス	主要な計測法
CO	非分散赤外線吸収法 (NDIR 法)
CO <sub>2</sub>	NDIR 法
SO <sub>x</sub>	紫外線吸収法 (UV 法), NDIR 法
T・HC	水素炎イオン化検出器 (FID 法), NDIR 法
O <sub>2</sub>	磁気圧法/磁気風法, ジルコニア法
ダスト	光透過法, 光散乱法, 接触帯電法, β線透過法, 電子天秤法
スモーク	反射法
NO <sub>x</sub>	化学発光法 (CLD 法), NDIR 法, 分散形紫外線吸収法 (UV 法)

#### (1) 非分散赤外線吸収法 (NDIR 法)

CO ガスの持つ 4.7μm を中心波長とする赤外線吸収を利用した分析法である。図1に基本原理図、図2にサンプリング系を含む全体の一般的構成例を示す。光源を出た赤外光は試料セルで吸収を起こす。ここで検出器への透過赤外線の強さは I は、ランバート・ベールの法則に従って次の式で表される。

$$I = I_0 \exp(-k c l) \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

I<sub>0</sub> : 入射赤外線の強さ

I : 透過赤外線の強さ

k : 気体によって定まる定数 (吸収係数)

c : 気体の濃度

l : 気体 (ガスセル) の長さ

COガスの赤外線吸収特性は、①式のように、濃

度と吸収量との関係が、指数関数として示される。

試料ガスはサンプリング装置で一定条件（調湿または除湿を含む）になるように処理され、赤外線ガス分析計に導入される。CO を選択的に検出するために、通常、検出器には CO を一定分圧で封入したものが多く用いられている。試料セル及び比較セルを透過した赤外線の強さの差より検出器内の薄膜で2分された封入ガスの温度に差を生じ、それによる圧力差を薄膜の変位として検出する。また、測定範囲はCOでは0~100ppmから0~1%が一般的であるが、0~100ppmのような低濃度測定に対しては排ガス中のCO<sub>2</sub>やH<sub>2</sub>Oなどによる干渉影響が無視できないレベルとなり、

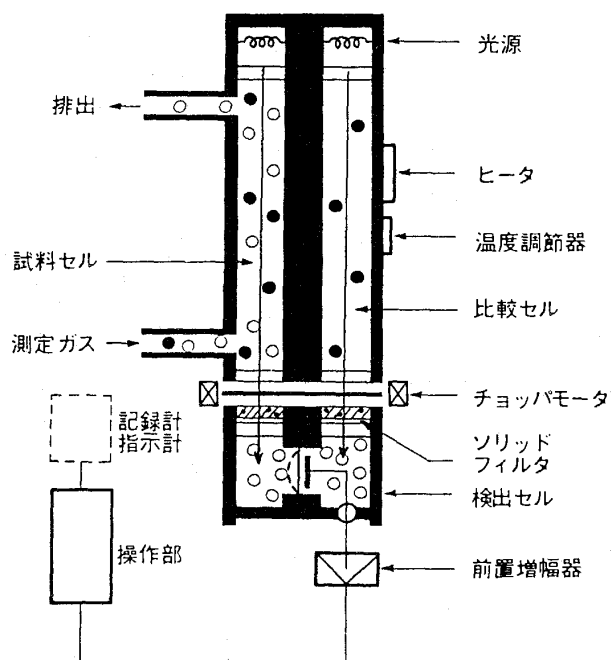


図1 NDIR法原理図

干渉を除去するフィルタとして多層膜の光学フィルタを用いたり、さらに干渉補償形検出器を採用したりして、より選択性の高い測定誤差の少ない計器として、使用されている。測定には用途からみて、保守性に優れた連続測定器であることが要求されるが、他の測定原理と比較して、その優位性が認められている<sup>(2)</sup>。

さらに主な特長として、次のものがある。

- a. 応答速度が速い。
- b. 流量影響が少ない。
- c. 物理計測技術であるため発色剤や還元剤などの試薬が不要。
- d. COの物理化学的性質は比較的安定であり、吸着や溶解による誤差の少ない測定が可能。

## 2.2 CO<sub>2</sub>の計測法

COと同様にCO<sub>2</sub>は4.3 $\mu$ mの所に赤外吸収があり、一般的にはこれを利用したNDIR法が用いられている。詳しくはCOと同様であるので省略する。

## 2.3 SO<sub>x</sub>の計測法

発生源用硫酸化物分析計は、排ガス中に含まれる硫酸化物のうち二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)成分を連続的に測定するもので、NDIR法と紫外線吸収法(UV法)が主として用いられている。

### (1) 紫外線吸収法(UV法)

二酸化硫黄の280~320nm付近における紫外線の吸収量の変化を光電的に測定している。この波長において二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)と一酸化窒素(NO)の吸収がわずかながら重なるため、NO<sub>2</sub>以外の他の成分の吸収スペクトルのない350~400nmの波

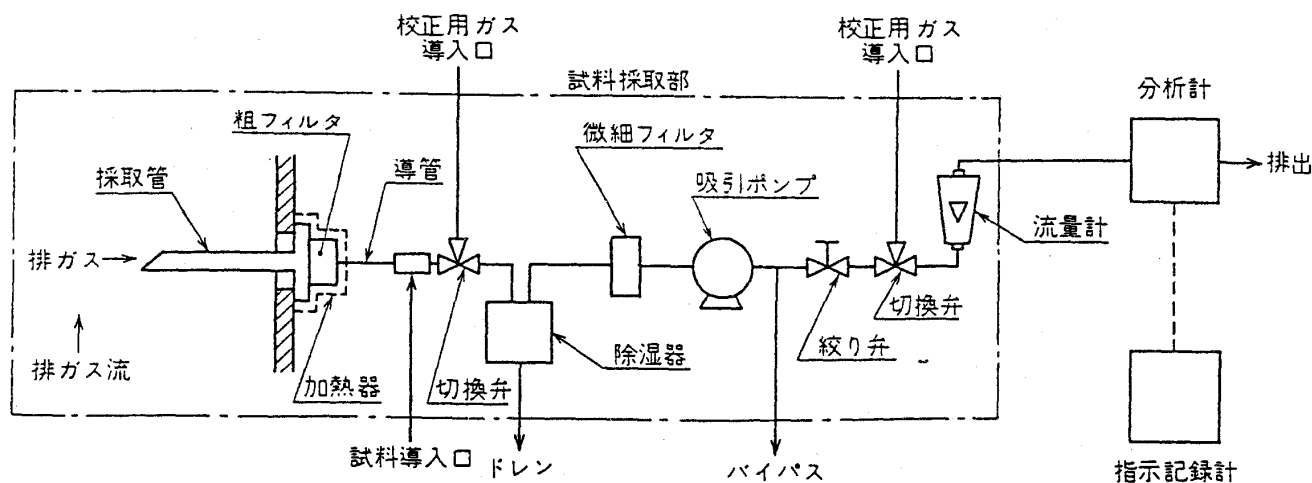


図2 サンプリング系を含む全体の一般的構成例

長を利用した測定をあわせて行い、多成分演算法により  $\text{SO}_2$  における  $\text{NO}_2$  の補正を行っている。

## (2) 非分散赤外線吸収法 (NDIR 法)

CO と同様に  $\text{SO}_2$  は  $7.3\mu\text{m}$  付近における赤外線吸収量の変化を選択的に測定し、排ガス中に含まれる  $\text{SO}_2$  を連続的に求める。詳細は省略する。

## 2.4 T・HC の計測法

固定発生源から排出される炭化水素類は種々の成分からなり、かつその濃度範囲も広範囲にわたっている。炭化水素に用いられる分析計としては、ガスクロマトグラフにおける有機物の高感度検出器として知られている水素イオン化検出法 (FID 法) によるものが多い。この他に NDIR 法による分析計を用いる場合もある。試料ガスは、その採取点から、特に高沸点炭化水素は吸着が大きいため、応答遅れを防ぐため、吸着の少ないフッソ樹脂製の配管 (加熱保温をする場合もある) を用いて、連続的に分析計に導入している。

### (1) 水素炎イオン化検出法 (FID 法)

図 3 に示されているように、一定流量に制御された炭化水素を含む試料ガスと、燃料用の水素とを混合する。これを細いジェットノズルの先端で燃焼させた場合、試料ガス中の炭化水素が燃焼し、イオンが生成する。この水素炎をはさんで対向した電極に適当な電場をかけると、コレクタ電極と対極の間にイオン電流が流れる。このイオン電流

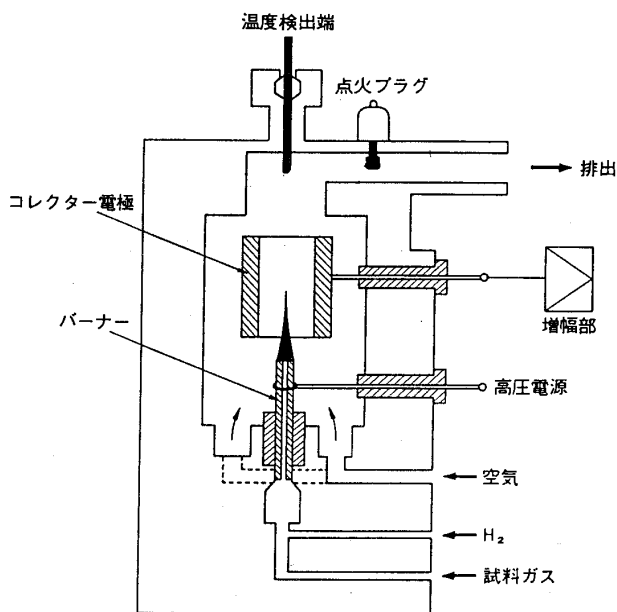


図 3 FID 法原理図

を増幅器にて、増幅し、炭化水素濃度を測定する。水素炎中イオン生成機構については、炭素凝縮説や化学イオン化説があるが、まだ十分には解明されていないようである<sup>(3)</sup>。

FID 法の特長としては、次のことが挙げられる。

- 測定範囲  $0\sim 20\text{ppmC}$  から  $0\sim 2,000\text{ppmC}$  と感度が高く、かつ、ダイナミックレンジが広い。
- 炭化水素類に対する応答は、ほぼ炭素数に比例する。

### (2) 非分散赤外線吸収法 (NDIR 法)

この分析計は、炭化水素の  $3.3\mu\text{m}$  付近における赤外線吸収を利用したものである。検出器には一般には  $n\text{-C}_6\text{H}_{14}$  ( $n$ -ヘキサンガス) が封入されており、 $n\text{-C}_6\text{H}_{14}$  換算濃度として測定する。炭化水素の種類によっては均一な応答を示さないものもあるが、構造が簡単で取扱いが便利という長所がある。

## 2.5 $\text{O}_2$ の計測法

$\text{NO}_x$  や  $\text{SO}_x$  の排出基準は、濃度規制であるが、“空気中で薄めて出す”という弊害を防止するため、排ガス中の  $\text{CO}_2$  濃度を同時測定し、基準  $\text{O}_2$  濃度を用いて排出濃度を換算して求める方式が採用されている。 $\text{O}_2$  濃度の測定法としては、 $\text{O}_2$  の常磁性を利用する方式と  $\text{O}_2$  の電気化学的な性質を利用するジルコニア法がある。

$\text{O}_2$  は常磁性体であって磁場に吸収されるという性質がある。 $\text{NO}_x$  も常磁性体であるが、通常共存する濃度は非常に小さく、測定にはほとんど問題にならない程度である。常磁性を利用するものには、磁気風式と磁気圧式とに分類されるが、ここでは磁気圧式について説明する。

### (1) 磁気圧法

図 4 に示すように、不均一な磁界中に  $\text{O}_2$  などの常磁性の気体が存在すると、 $\text{O}_2$  は磁界の強い方に引きつけられ、その部分の圧力が上昇する。一般にその時の圧力上昇は以下の式で表せる。

$$\Delta P = \frac{1}{2} H^2 \cdot X \cdot C$$

ここで、

- H : 磁界の強さ
- X : 常磁性体の磁化率
- C : 常磁性体の濃度



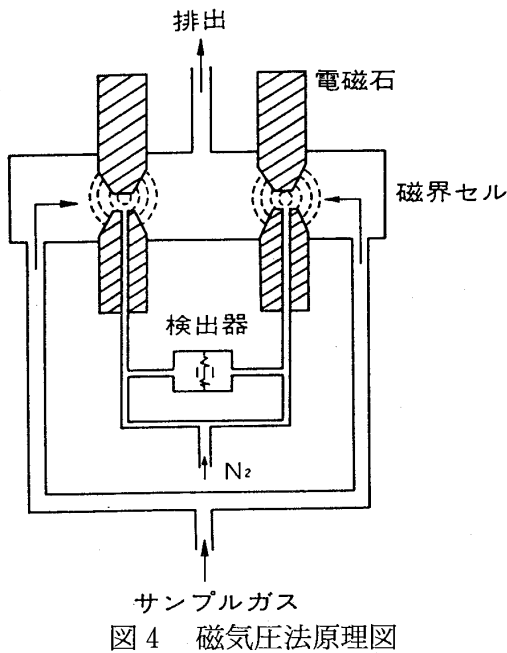


図4 磁気圧法原理図

である。

この時の圧力上昇を、非磁性の気体(窒素など)を使って磁界外に取り出し、この圧力変化をコンデンサマイクロフォン検出器で検知する。また、電磁石をを交互に励磁することにより、 $O_2$ が存在しない場合、電気信号がゼロとなり、ゼロドリフトを生じない特長がある。

## (2) ジルコニア法

高温の酸化ジルコニウムを $O_2$ 濃度が異なる2つのガスを境するように設ける。2つの界面間に $O_2$ 濃度の比の対数に比例した起電力が発生する(図5参照)。この原理を利用して校正ガスとの比較により試料ガスの $O_2$ 濃度を測定する。

## 2.6 ダスト

### (1) 光透過式

ほぼ平行な光束中を横切って排気煙を通過させて光の透過率を測定するもので、一般には、光束中に排気煙がない状態の指示値をゼロ、光が完全に遮断された状態の指示値を100とする減光率で表示される例が多い。光透過式は、原理的に高濃度測定に適しているが、ダブルパス方式の採用により低濃度測定用としたものもある。

### (2) 光散乱式

排ガスの流れに光束を投射してえられるダストによる散乱光を測定し、排ガス中のダストの相対濃度を測定するものである。高感度を利用し、低濃度の煙道用の計測にも利用されている。

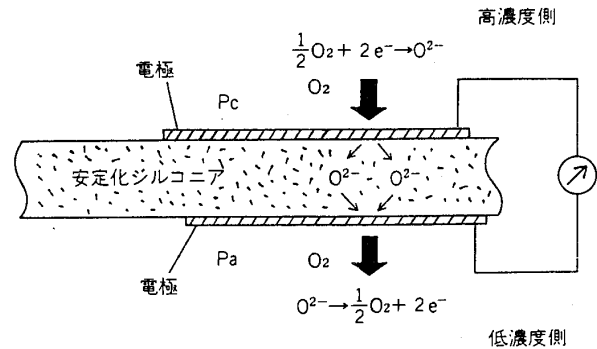


図5 ジルコニア法原理図

### (3) 接触帯電式

排ガスの流れの中に半導体、または導体を置き、その接触面で生ずる粒子の電荷移動量による出力電流の変化を測定し、排ガス中のダストの相対濃度を測定するものである。

### (4) $\beta$ 線透過式

排ガスを一定時間または一定量吸引し、濾過捕集された濾紙上のダストを透過 $\beta$ 線により測定し、排ガス中のダスト濃度を一定時間毎に連続して自動的に求めるものである。 $\beta$ 線の透過減衰量が透過物質の質量に対数的に比例することを利用して、天秤の代わりに $\beta$ 線法を利用したものである。

### (5) 電子天秤式

排ガスを一定時間吸引し、濾紙に濾過捕集したダストを電子天秤により秤量し、同時に吸引したガス量を測定し、質量濃度を求めるものである。

JIS法の操作手順の一部をそのまま自動化したものである。

## 2.7 スモーク

ディーゼル機関などからの黒煙濃度を測定するためのもので反射式スモークメータ(JIS D 8004)を使用して行われる。反射式スモークメータ(ボッシュメータ)は、排気煙の一部を濾紙に吸引し、濾紙に付着したばい煙の黒さを光の反射率によって表すものである。濾紙法による反射式排煙濃度の表示には各種のスケールがある。航空用ガスタービンではAIA/SEAスモークナンバーが使われている。

## 2.8 $NO_x$ の計測法

固定発生源から排出される $NO_x$ は、主成分として、一酸化窒素( $NO$ )および二酸化窒素( $NO_2$ )からなり、一般にこの2つの成分の合計量が $NO_x$

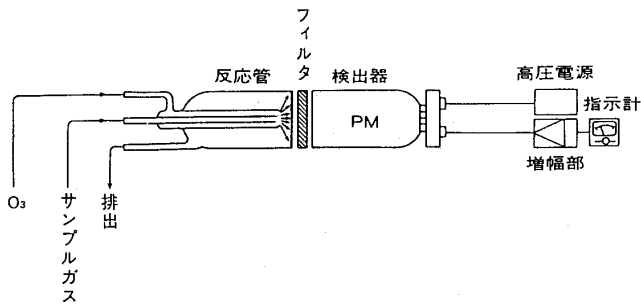


図6 CLD法原理図

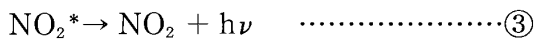
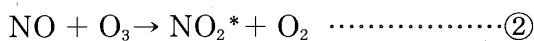
と定義されている (JIS B 7982 排ガス中の窒素酸化物自動測定器)。

計測法としては、NO<sub>2</sub>をNOに還元し(還元コンバータ方式) NOとして検出する化学発光法 (CLD法) およびNDIR法、NO<sub>2</sub>、NO混在状態で各々を検出・加算する分散形紫外線吸収法、NOをNO<sub>2</sub>に酸化し(酸化コンバータ方式)で検出する方法、又、電解液に拡散したNO・NO<sub>2</sub>により発生する電解電流を取り出す定電位電解法がある。ここでは現在最も多く用いられているCLD法およびNDIR法について述べる。

(1) 化学発光法 (CLD法)

図6に基本原理図を示す。CLD法はNOがO<sub>3</sub>と反応した場合、特定波長の紫外線が生じ、その発光量を光電子倍增管(フォトマルチプライア)又は、受光素子(フォトセル)で検出しNO濃度を検出する。

この反応の機構は次式で示される。

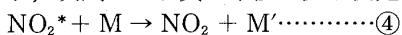


(NO<sub>2</sub>\*: 励起状態のNO<sub>2</sub>分子)

特長としては、

- a. 測定範囲0~10ppmから0~5,000ppmまで1つの検出器として取り出すことができダイナミックレンジが広い。
- b. 一般CO<sub>2</sub>による消光現象<sup>(\*)</sup>以外に他の共存ガスによる影響を受けにくく測定精度が高い。という利点があげられるが、一方、O<sub>3</sub>を必要と

\* 1: 消光現象は反応式③の過程において励起分子が周囲に存在する他分子と衝突することによるものであり、次式により負の干渉を受け測定誤差となる。



M: NO<sub>2</sub>\*の周囲に存在する他分子

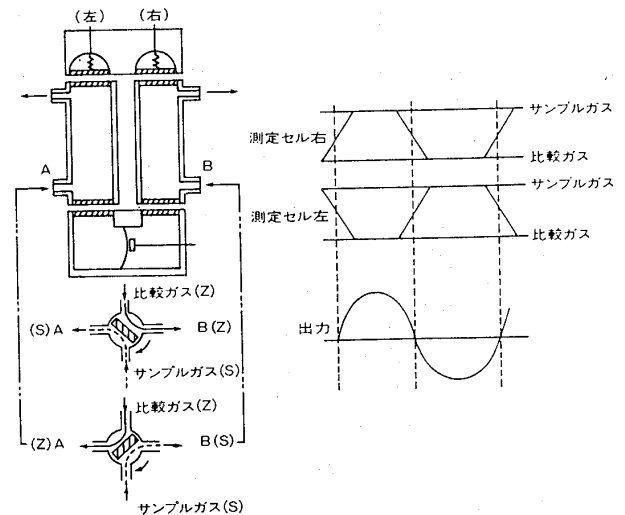


図7 流体変調方式NDIR法原理図

するためその発生器および分解処理器等が必要であり保守面で難しい面もある。

特に校正ガス(通常ベースガスとしてN<sub>2</sub>が用いられる)と測定ガスとの共存ガスの差として、測定ガス中のCO<sub>2</sub>の共存濃度が高く誤差要因として問題となる。

その対策としては発光室内を減圧にし励起分子周辺の分子の絶対量を減少させる方法と、CO<sub>2</sub>より消光作用の少ない空気で希釈し励起分子周辺のCO<sub>2</sub>分子の相対量を減少させる方法により影響度を減少させている。

(2) 非分散赤外線吸収法 (NDIR法)

NOガスの持つ5.4μm付近における赤外線の吸収を利用した方法で、測定ガスとの化学反応無しに測定が可能である。しかしながら、CO<sub>2</sub>、CO、SO<sub>2</sub>等の発生源の排ガス測定の他のガスに比べ赤外線の吸収量が小さいため、低濃度測定には難しい測定対象となる。

基本的には、前述のNDIR法と同様に光チョッピング方式が用いられるが、分析計としての検出感度・安定性に対し限界があるため、測定ガスと基準ガスとの切り替えによる変調方式(流体変調方式)が用いられている。図7に原理図を示す。また、図8、9にその原理を用いた分析計(株堀場製作所製ENDA-1000シリーズ)のフローシートおよび外観を示す。又、一般にNO計においては排ガス中に共存するH<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>の影響が大きく、干渉補償形検出器を用いた光学系が多く用いられている。

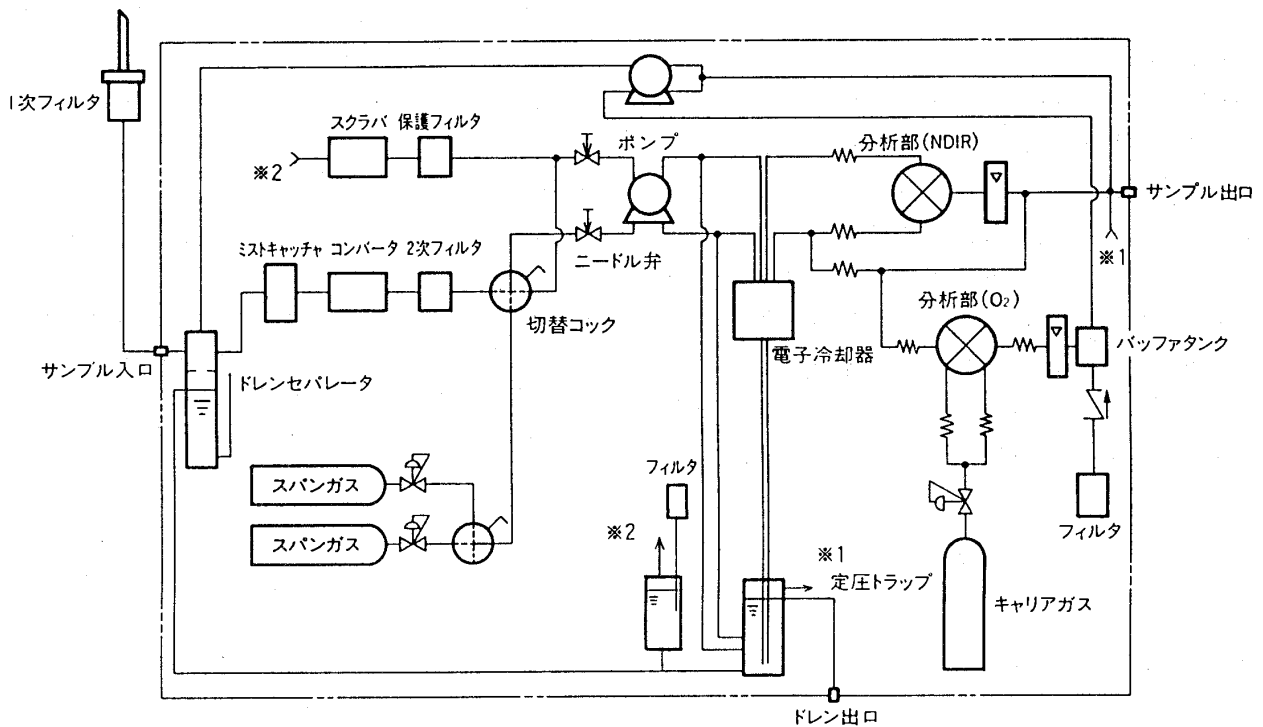


図8 フローシート

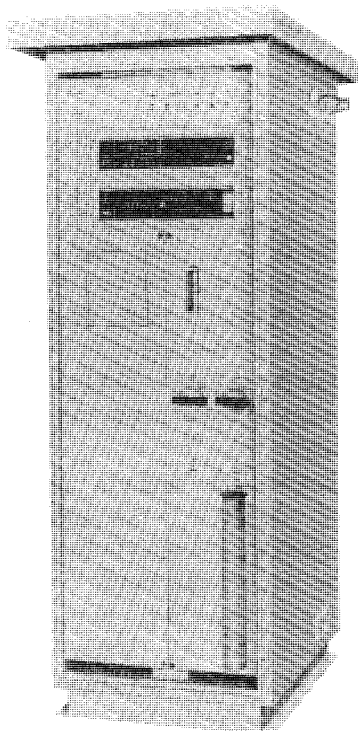


図9 分析計外観

特長としては、次の点が挙げられる。

- a. 原理的に光学系の光量変化に伴うゼロドリフトがなく、安定性の高い信号を得ることができる。

- b. チョップ等による光量のロスがなく、又、低周波の変調が可能のため短いセル長で低濃度測定が可能になる。
- c. 光軸調整・光量調整などの光学系の調整が不要であり、保守が容易である。
- d. NDIR法は一般的に検出器と光学フィルタを除き他の測定成分と同一光学系を共有することが、でき、1つの光学系において2～3成分の測定が可能である。

(3) O<sub>2</sub>換算値について

一般に NO<sub>x</sub>測定において空気希釈による測定誤差を防ぐため、共存する O<sub>2</sub>濃度により NO<sub>x</sub>濃度を換算し排出基準値として採用される。

換算は次の式によって行う。

$$C = \frac{21 - O_n}{21 - O_s} \cdot C_s$$

C = NO<sub>x</sub>の量 (ppm)

O<sub>n</sub> = 基準とする排出ガス中の残存酸素濃度 (%)

O<sub>s</sub> = 排出ガス中の残存酸素濃度の実測値 (%)

O<sub>s</sub> = 日本工業規格 K0104 に示された方法により測定された排出ガス中 NO<sub>x</sub>濃度 (ppm)

### 3. おわりに

本稿では広く一般の排ガス計測機器に用いられている基本原理を中心としてその特徴を概説した。実用の計測機器においてはガスタービンからの排ガス計測特有の問題や計測目的に応じて、応答速度・感度・長期安定性等、重要視するポイントが異なり、それらに応じて留意点が異なる。今後より一層高性能なガスタービンの技術開発がなされるためのツールを提供するのが我々メーカーとしての責務と考えている。なお、排ガスの採取方法

などの計測の実際については別稿で述べられるのでここでは省略した。今後とも、ユーザー各位を始め関係各位の一層のご指導とご支援をお願いします。

### 参考文献

- (1) 斎藤 孟, 日本ガスタービン学会誌, 16-64 (平成元年3月), 4
- (2) 環境機器活用辞典編集委員会, 大気汚染防止の技術と機器, (昭和63年5月), 233, (株)産業調査会。
- (3) 分析機器解説書作成小委員会, 分析機器の手引き, (昭和61年7月), 174~178, (株)日本分析機器工業会。

# 日本航空学術史

## 1910-1945

B5判458頁・上製本 定価20,000円

編集委員会編・発行 (会員特価18,000円)

Aeronautical Researches in Japan 1910-1945

### 出版の辞・まえがきより

- 昭和21年秋、「終戦により、天翔ける翼を失ひ、華麗なる我が国航空発達の歴史も終止符を打った。このまま日を遷し月を過せば、航空学術・技術発展の状況も雲散夢消、輝しい諸賢の業績も青史に留める由なく、新日本の建設にも何ら役立ち得ぬことを懼れる……」との趣意書に基き、戦前の航空技術者約220人が書き留めた原稿により、45年ぶりに日の目をみたのが本書である。
- 当時はタイガー計算機、そろばん、計算尺で計算していた。対数表・三角函数表を見ての計算である。原図は烏口で墨入れして描き、コピーは青写真であった。このような環境の中で先輩たちは多くの優秀な航空機を次々と開発していった。行間にその労苦が偲ばれる。
- 本書は古い記録ではあるが、先輩技術者の青春時代の偽りのない記録であり、永く青史に残すべきものである。平和に満ち溢れた今日でも、なお利用されそうな珠玉のアイデアのヒントの数々がその中に含まれているものと信ずる。

会員特価購入について：所属学会名・会員番号等を明記して直接下記発売所へ

※定価・会員特価は消費税込みです。

### 主要目次

1. 個人篇 設計・性能/構造・強度/飛行力学/空気力学/プロペラ/原動機/金属材料/非金属材料/燃料・潤滑油/計測/生産/機装/整備取扱
  2. 団体篇 陸軍航空/海軍航空/技術院/東大航空研究所/中央航空研究所/航空試験所
  3. 戦時中の生産・整備取扱 航空機生産の一例(川崎航空機)/各航空機会社の社史・生産活動/航空機用材料関係会社の生産活動/航空機整備取扱状況
  4. まとめ 設計・性能/構造強度/振動/空気力学/プロペラ/原動機
- 附表 陸軍機要目/海軍機要目/発動機要目/航空機評議会材料規格/耐熱材料表

発売所 **丸善** (出版事業部) 〒103 東京都中央区日本橋3-9-2 第二丸善ビル Tel.(03)272-0391 Fax.(03)278-9784

## (2) 産業用ガスタービンの排ガス計測

バブコック日立(株)呉工場 日 下 巖  
(株)日立製作所日立工場 黒 田 倫 夫

### 1. まえがき

わが国の環境条件は、各種規制が実施されてきたことにより、環境問題が注目されてきた昭和40年頃と比較すると著しく改善されてきた。

一方、最近、ガスタービンの特徴を生かし、コージェネレーションプラントの大都市における増加、ガスタービン、蒸気タービン複合発電プラントの増加などが見込まれている。

このような状況のもとに昭和62年大気汚染防止法の改正によって、ガスタービンも新たな排出基準のもとに運用されることになった。産業用ガスタービンにおいては、この基準を達成するため各種の低NO<sub>x</sub>化技術の開発努力がなされている現状である。

本稿では、産業用ガスタービンの排ガス規制の状況および排ガス特性計測技術について、その概要を紹介する。

### 2. 排ガス規制の概要

昭和62年に大気汚染防止法が改正され、燃料使用量50ℓ/h以上のガスタービン・ディーゼル機関が、ばい煙発生施設として規制されるようになった。

ガスタービンの排出基準を表1に示した。窒素酸化物、硫黄酸化物、ばいじんについての規制がある。排出基準には全国一律に定める一般排出基準の他に、地域ごとに定めている特別排出基準、総量規制などがあり、これらを満たす運用が必要である。

### 3. 計測方法

#### 3.1 規制に対応した排ガス分析項目

排ガス分析項目としては、規制対象項目の窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)、ばいじんがあり、また、排出量の算定のため、酸素濃度および

排ガス量の計測を行う。計測は全てJISに規定された方法によって行う。以下、関連するJISの内容を中心に計測技術の紹介を行う。

#### 3.2 試料採取の方法

ダスト以外の排ガス試料採取はJIS K 0095(排ガス試料採取方法)に規定されている方法に従って行う。本規程には試料ガス採取装置およびシステムの構成法、組立および取扱法について詳細に規定されている。

また、ダスト濃度の試料採取については、JIS Z 8808(排ガス中のダスト濃度の測定方法)に規定されている方法によって行う。

試料ガスの採取位置は、代表的なガスが採取できる点、例えばガスの流速変化が著しくない位置を選ぶ。

試料ガスの採取点としては、採取位置として選定した流路断面内でJIS Z 8808に規定されている測定点を用いる。

このようにして採取された排ガスの分析法について以下に述べる。

### 4. 窒素酸化物の分析方法

煙道、煙突などから排出される排ガス中の窒素酸化物を分析する方法についてJIS K 0104(排ガス中の窒素酸化物分析方法)およびJIS B 7982(排ガス中の窒素酸化物自動計測器)に規定されており、これらに従って分析を行う。

#### 4.1 分析方法の種類と分析対象成分

表2に示したような分析法が対象成分によって用いられる。表2に示した連続分析方法には表3のような種類がある。

#### 4.2 試料ガス採取方法

試料ガスの採取方法は、前述のJIS K 0095による。なお、試料ガスは同一採取位置において、近接した時間内で2回以上採取し、それぞれ分析を行う。

(平成3年2月5日原稿受付)

表1 ガスタービンの排出基準

		常 用		非 常 用	
		既 設	新 設	既設&新設	
政令適用		2年間の適用猶予 (1990. 2. 1~)		適用猶予なし (1988. 2. 1~)	常用と同様
排 出 基 準	窒素 酸化物 O <sub>2</sub> =16%	<ul style="list-style-type: none"> <li>排出基準は当分の間適用猶予</li> <li>総量規制 (1991. 2. 1~)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>70ppm</li> <li>但し、 液体燃焼 (4.5万 Nm<sup>3</sup>/h未満) 1989. 7.31まで 120ppm</li> <li>液体燃焼 (4.5万 Nm<sup>3</sup>/h以上) 1991. 1.31まで 100ppm</li> <li>気体専焼 (4.5万 Nm<sup>3</sup>/h未満) 1989. 7.31まで 90ppm</li> </ul>	排出基準は当分の間の適用猶予
	硫黄 酸化物	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般排出基準 (K値) 但し、排ガス量1万 Nm<sup>3</sup>/h未満の小型機は当分の間適用猶予</li> <li>総量規制, 燃料使用基準 (1991. 2. 1~)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>総量規制 (1989. 2. 1~)</li> <li>一般排出基準 (K値)</li> <li>特別排出基準 (K値)</li> <li>総量規制, 燃料使用基準 (1989. 2. 1~)</li> </ul>	排出基準は当分の間の適用猶予
	ばいじん O <sub>2</sub> =16%	<ul style="list-style-type: none"> <li>排出基準は当分の間適用猶予</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>一般排出基準 0.05g/Nm<sup>3</sup></li> <li>特別排出基準 0.04g/Nm<sup>3</sup></li> </ul>	排出基準は当分の間適用猶予

- 〔規模要件〕
1. 政令の適用を受ける施設の規模は、「燃料の燃焼能力が重油換算1時間当たり50ℓ以上(50L/h以上)」である。
  2. 50L/hは出力150kW程度に相当する。
  3. 4.5万Nm<sup>3</sup>/hは出力2,000kW程度に相当する。

- 〔用語〕
1. 一般排出基準：全国一律の規制値
  2. 特別排出基準：新設設備に対する一般より厳しい排出基準
  3. 総量規制：汚染物質の地域許容総量を定め、工場等に割当てて行なう規制
  4. K値：地域ごとに定めた排出量の補正係数

表2 分析方法の種類と分析対象成分

分析方法の種類		分析対象成分
化学分析法	亜鉛還元ナフチルエチレンジアミン吸光度法 (Zn-NEDA法)	窒素酸化物 (NO+NO <sub>2</sub> )
	フェノールジスルホン酸吸光度法 (PDS法)	
	ザルツマン吸光度法 (ザルツマン法)	二酸化窒素 (NO <sub>2</sub> )
連続分析法	JIS B 7982 (排ガス中の窒素酸化物自動計測器) に規定する計測器によって測定する方法	一酸化窒素 (NO) 二酸化窒素 (NO <sub>2</sub> ) 窒素酸化物 (NO+NO <sub>2</sub> )

表3 測定範囲及び測定対象成分

原理別種類	測定範囲 ppm	測定対象物質		適用条件
化学発光方式	0~25, 0~50, 0~100, 0~250, 0~1000	一酸化窒素(NO) 窒素酸化物(NO <sub>x</sub> ) <sup>(1)</sup>		共存する二酸化炭素の影響を無視できる場合又は影響を除去できる場合に適用する。
赤外線吸収方式	0~50, 0~100, 0~250, 0~500, 0~1000	一酸化窒素(NO) 窒素酸化物(NO <sub>x</sub> ) <sup>(1)</sup>		一酸化窒素と吸収スペクトルが重なるガス、例えば二酸化炭素、二酸化硫黄、水分、炭化水素の影響を無視できる場合又は影響を除去できる場合に適用する。
紫外線吸収方式	0~50, 0~100, 0~250, 0~500, 0~1000	分散形	一酸化窒素(NO) 二酸化窒素(NO <sub>2</sub> ) 窒素酸化物(NO <sub>x</sub> ) <sup>(2)</sup>	共存する二酸化硫黄、炭化水素の影響を無視できる場合又は影響を除去できる場合に適用する。
		非分散形	二酸化窒素(NO <sub>2</sub> ) 窒素酸化物(NO <sub>x</sub> ) <sup>(3)</sup>	特になし。
定電位電解方式	0~100, 0~250, 0~500, 0~1000	一酸化窒素(NO) 窒素酸化物(NO <sub>x</sub> ) <sup>(2)</sup>		電解質中に拡散吸収されるガス、例えば二酸化硫黄、一酸化炭素、炭化水素、オゾンの影響を無視できる場合又は影響を除去できる場合に適用する。

注 (1) 二酸化窒素は一酸化窒素に変換して測定する。

(2) 一酸化窒素と二酸化窒素との含量を測定する。

(3) 一酸化窒素は二酸化窒素に変換して測定する。

## 5. 硫黄酸化物の分析方法

煙道、煙突、ダクトなどに排出される排ガス中の硫黄酸化物を分析する方法について JIS K 0103 (排ガス中の硫黄酸化物分析方法) に規定されている。

### 5.1 分析方法の種類と概要

表4に化学分析法、表5に連続分析法について示した。分析対象ガスにおける不純物の混合状態などを考慮して計測法を選定することが必要である。

### 5.2 試料ガス採取方法

分析に用いる試料ガスの採取位置は、代表的なガスが採取できる点、例えばガス流速の変化が著しくない点を選ぶことなど、前出の JIS Z 8808 に規定された方法によって選定する。

試料ガスの採取方法、各分析法の試薬、操作法、全硫黄酸化物濃度の算出式などについては JIS

K 0103 に詳しく述べられている。

## 6. ダスト濃度の測定方法

排ガス中のダストの濃度を煙道、煙突、ダクトなどにおいて測定する方法については JIS Z 8808 に規程されている方法を用いる。

### 6.1 測定位置

測定位置としては、原則として、ダクトの屈曲部分、断面形状が急激に変化する部分などを避け、排ガスの流れが比較的一様に整流され、測定作業が安全かつ、容易な場所を選ぶ。

### 6.2 測定点

測定位置に選んだダクトの測定断面の形状と大きさに応じて、適当な数の等面積に区分し、その区分面積ごとに測定点を選ぶ。円形断面、長方形、正方形断面の例を以下に示した。その他の形状の場合には、これらに準じて測定点を選ぶ。

(1) 円形断面の場合

表4 化学分析法 (対象ガス SO<sub>2</sub> + SO<sub>3</sub>)

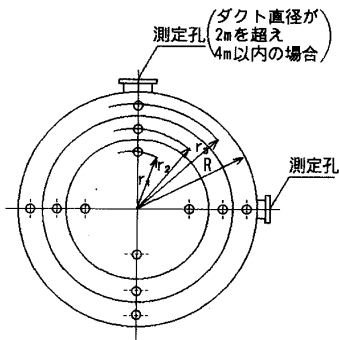
分析方法 種類	分析方法の概要		備考
	要旨	定量範囲(°)ppm	
中和滴定法	試料ガスを過酸化水素水に吸収させて硫黄酸化物を硫酸した後、水酸化ナトリウム溶液で滴定する。	70~2800	試料ガス中に他の酸性ガス又はアンモニアが共存する場合で、その影響を無視又は除去できる場合に適用する。
沈殿滴定法	試料ガスを過酸化水素水に吸収させて硫黄酸化物を硫酸にした後、2-プロパノールと酢酸とを加え、アルセナゾIIIを指示薬として酢酸バリウム溶液で滴定する。	140~700 (光度滴定の場合、下限は50)	
比濁法 (光散乱法)	試料ガスを過酸化水素水に吸収させて硫黄酸化物を硫酸にした後、グリセリン溶液と塩化ナトリウム溶液とを加え、更に塩化バリウムを加え硫酸バリウムによる白濁を生じさせ、吸光度(420nm)を測定する。	5~300	

注(°) 試料ガス20ℓを通した吸収液を250mlに薄めて分析用試料溶液とした場合。

表5 連続分析法 (対象ガス SO<sub>2</sub>)

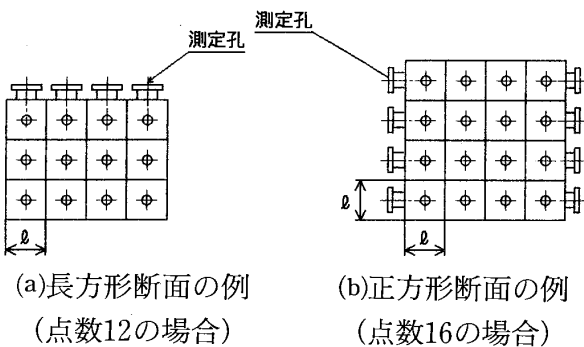
測定器の種類		測定方法	測定範囲 ppm	備考
原理	設置方式			
溶液導電率方式	定置形 移動形	JIS B 7981に規定する計測器によって測定する。	0~25, 0~50, 0~100, 0~200, 0~500, 0~1000, 0~2000	試料ガス中に二酸化炭素、アンモニア、塩化水素、二酸化窒素が共存する場合で、その影響を無視又は除去できる場合に適用する。
赤外線吸収方式	定置形 移動形		0~25, 0~50, 0~100, 0~200, 0~500, 0~1000, 0~2000	試料ガス中に二酸化炭素、炭化水素が共存する場合で、その影響を無視又は除去できる場合に適用する。
紫外線吸収方式	定置形		0~50, 0~100, 0~200, 0~500, 0~1000, 0~2000	試料ガス中に二酸化窒素が共存する場合で、その影響を無視又は除去できる場合に適用する。
定電位電解方式	定置形 移動形		0~25, 0~50, 0~100, 0~200, 0~500, 0~2000	試料ガス中に硫化水素、二酸化窒素、炭化水素、オゾンが共存する場合で、その影響を無視又は除去できる場合に適用する。
炎光光度検出方式	定置形		0~25, 0~1000	試料ガス中に硫化水素、二酸化炭素、炭化水素、二酸化炭素が共存する場合で、その影響を無視又は除去できる場合に適用する。





適用ダクト直径 2R (m)	半径 区分数	測定点 の数	測定点のダクト中心からの距離(m)				
			r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	r <sub>4</sub>	r <sub>5</sub>
1 以上	1	4	0.707R	—	—	—	—
1を超え 2 以上	2	8	0.500R	0.866R	—	—	—
2を超え 4 以下	3	12	0.408R	0.707R	0.913R	—	—
4を超え 4.5以上	4	16	0.354R	0.612R	0.791R	0.935R	—
4.5を超えた場合	5	20	0.316R	0.548R	0.707R	0.837R	0.949R

図1 円形断面の測定点の例



(a)長方形断面の例  
(点数12の場合)

(b)正方形断面の例  
(点数16の場合)

適用ダクト断面積 A (m <sup>2</sup> )	区分された一辺の長さ l (m)
1 以下	l ≤ 0.5
1を超え 4 以下	l ≤ 0.667
4を超え 20 以下	l ≤ 1

図2 長方形及び正方形断面の測定点の取り方

図1のように測定断面において互いに直交する直径線上で、図中に表示した関係位置を測定点として設定する。

(2) 長方形および正方形断面の場合

測定断面を図2(a), (b)に示すように一辺の長さ l が1 m 以下の範囲で4個以上の等断面積の長方形または正方形に区分し、その中心に測定点を選ぶ。適用寸法と測定点のとり方は図中の表に示してある。

また、測定断面において流れが非対称となる場合は、非対称方向に区分する一辺の長さは、それと垂直な方向の一辺の長さより短くとり、測定点の個数を増加する。

6.3 ダスト濃度の測定および計算

ダスト濃度を算出するために、(1)排ガス温度の測定、(2)排ガス中の水分量の測定、(3)排ガスの流速および流量の測定、(4)ダスト試料の採取を行う。この方法については JIS Z 8808 に詳細に規定されている。

このような計測の結果からダスト濃度の計算を行なう。一例として各測定点の乾き排ガス中のダスト濃度の計算をあげれば、排ガス中のダスト濃度は標準状態に換算した乾き排ガス 1 m<sup>3</sup><sub>N</sub> 中に含まれるダストの質量で表し、次式(1)によって求める。

$$C_N = \frac{m_d}{V_N} \tag{1}$$

C<sub>N</sub>: 乾き排ガス中のダスト濃度 (g/m<sub>N</sub><sup>3</sup>)

m<sub>d</sub>: 捕集されたダストの質量 (g)

V<sub>N</sub>: 標準状態における吸引した乾き排ガス量 (m<sub>N</sub><sup>3</sup>)

全断面の平均ダスト濃度は、区分した各断面のダスト濃度、面積および流速から流量平均濃度として求める。

7. 排ガス中の酸素分析法

煙道、煙突、ダクトなどにより排出される排ガス中の酸素を分析する方法については JIS K 0301 (排ガス中の酸素分析方法) に規定されている。

7.1 分析方法の種類

分析方法の種類を表6に示した。化学分析法については JIS K 0301、連続分析方法については JIS B 7983 に試料ガスの採取方法、分析方法について詳細に述べてある。

8. 結 言

環境問題が注目されつつある中で、実際のガスタービンシステムでどのような方法で排ガス特性の計測を行っているか、計測技術の概要について紹介した。

計測装置、試料採取の方法、分析方法などの詳細は JIS に定められている。本稿で紹介したのは

表6 分析方法の種類

種類	原理		測定方法
化学分析方法 <sup>(1)</sup>	吸収式		オルザット式 0.2~25% <sup>(3)</sup>
			ヘンベル式 0.1~20%
連続分析方法	酸素自動計測器 <sup>(2)</sup>	磁気式	磁気風方式 0~5%
			磁気力方式 0~10%
		電気化学式	ジルコニア方式 0~25%
			電極方式

注(1) 化学分析方法は試料ガス中の酸素を酸素吸収液によって吸収させ、試料ガスの体積の減少量から試料ガス中の酸素濃度を求める。ただし、酸素吸収液は試料ガスに含まれる二酸化炭素も吸収するため、酸素の測定前に二酸化炭素吸収液を用いて二酸化炭素を吸収させ、試料ガスの体積の減少量を測定しておく必要がある。

(2) JIS B 7983 (排ガス中の酸素自動計測器) に規定するもの。

(3) 酸素と二酸化炭素との合計の体積である。

その概要である。読者各位の参考になれば幸いである。

#### 参考文献

(1) 下記のJIS規程

K0095, K0104, B7982, K0103, Z8808, K0301,

(2) 公害防止の技術と法規編集委員会編, 通商産業省立地

公害局監修, 公害防止の技術と法規(大気編), (社)産業公害防止協会

(3) 火力原子力発電技術協会, 火力原子力発電, 41-5 (1990-5), 95

(4) 斎藤, 日本ガスタービン学会誌, 16-64 (1989-3),

4

#### 本会協賛・共催行事

会合名	開催日・会場	詳細問い合わせ先
講習会「プラズマ工学の基礎と応用」	平成3年4月25日(木)~26日(金) 東京工業大学100年記念館	日本機械学会 TEL03-3379-6781
講習会「ターボ機械の先端流体技術とトピックス」	平成3年5月16日(木)~17日(金) 大阪科学技術センター	日本機械学会関西支部 TEL06-443-2073
第17回液体の微粒化に関する講演会	平成3年8月26日~28日(水) 東京ガステクニクスセンター	燃料協会 TEL03-3834-6456

表6 分析方法の種類

種類	原理		測定方法
化学分析方法 <sup>(1)</sup>	吸収式		オルザット式 0.2~25% <sup>(3)</sup>
			ヘンベル式 0.1~20%
連続分析方法	酸素自動計測器 <sup>(2)</sup>	磁気式	磁気風方式 0~5%
			磁気力方式 0~10%
		電気化学式	ジルコニア方式 0~25%
			電極方式

注(1) 化学分析方法は試料ガス中の酸素を酸素吸収液によって吸収させ、試料ガスの体積の減少量から試料ガス中の酸素濃度を求める。ただし、酸素吸収液は試料ガスに含まれる二酸化炭素も吸収するため、酸素の測定前に二酸化炭素吸収液を用いて二酸化炭素を吸収させ、試料ガスの体積の減少量を測定しておく必要がある。

(2) JIS B 7983 (排ガス中の酸素自動計測器) に規定するもの。

(3) 酸素と二酸化炭素との合計の体積である。

その概要である。読者各位の参考になれば幸いである。

#### 参考文献

(1) 下記のJIS規程

K0095, K0104, B7982, K0103, Z8808, K0301,

(2) 公害防止の技術と法規編集委員会編, 通商産業省立地

公害局監修, 公害防止の技術と法規(大気編), (社)産業公害防止協会

(3) 火力原子力発電技術協会, 火力原子力発電, 41-5 (1990-5), 95

(4) 斎藤, 日本ガスタービン学会誌, 16-64 (1989-3),

4

#### 本会協賛・共催行事

会合名	開催日・会場	詳細問い合わせ先
講習会「プラズマ工学の基礎と応用」	平成3年4月25日(木)~26日(金) 東京工業大学100年記念館	日本機械学会 TEL03-3379-6781
講習会「ターボ機械の先端流体技術とトピックス」	平成3年5月16日(木)~17日(金) 大阪科学技術センター	日本機械学会関西支部 TEL06-443-2073
第17回液体の微粒化に関する講演会	平成3年8月26日~28日(水) 東京ガステクニクスセンター	燃料協会 TEL03-3834-6456

### (3) 航空用ガスタービンの排ガス計測

石川島播磨重工業(株) 柏木 武

#### 1. まえがき

航空用ガスタービン（以下エンジン）の排ガス計測方法は、ICAO (International Civil Aviation Organization, 国際民間航空機機構), 米国 EPA (Environmental Protection Agency, 環境保護庁) の方法が知られており, 各排ガス規制成分に対応させ, 計測精度を考慮した計測方法が規定されている。以下, 計測方法の主要点を紹介する。

#### 2. ICAO の排ガス計測方法<sup>(1)(2)</sup>

ICAO 加盟国 (英国, 米国, フランス, カナダ, 独国, 日本, イタリア, アルゼンチン, オーストラリアなど) の排ガス規制対象エンジンに適用される。対象エンジンは, 亜音速および超音速の民間用ターボジェット, ターボファンエンジンであるが, ここでは民間用の大多数である亜音速エンジンについて述べる。

##### 2.1 計測対象成分

排ガス規制の対象成分は, THC (未燃炭化水素),  $\text{NO}_x$  (窒素酸化物), CO (一酸化炭素) およびスモークである<sup>(3)</sup>。計測対象成分は, これらの排ガス規制対象成分および排出量の算出計算に必要な  $\text{CO}_2$  (二酸化炭素) である。

##### 2.2 サンプルング方法

サンプルングプローブおよびサンプルングラインが規定されている。

1) サンプルングプローブは, 次の仕様にする必要がある。

- a) 材質はステンレスとする。
- b) サンプルングオリフィスの数は, 12個以上とし, 同じ直径とする。
- c) このオリフィス部で生ずる圧力損失は, プローブ全体の80%以上とする。
- d) プローブの設置は, エンジン性能への影響を許す範囲内でエンジン排気ノズル下流0.5

ノズル直径以内とする。

2) サンプルングラインは, THC,  $\text{NO}_x$ , CO および  $\text{CO}_2$  のガス成分計測とスモーク濃度計測では仕様が一部異なる。

ガス成分のラインの場合;

- a) 材質は, ステンレスまたはテフロンとする。
- b) ラインの内径は, 4.0~8.5mmの範囲とし, プローブから10秒以内に各計測器へ導入できるようにする。
- c) ラインの保温は,  $160^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$  (安定性  $\pm 10^\circ\text{C}$ ) とし,  $\text{NO}_x$ , CO および  $\text{CO}_2$  計測器への分岐ラインは  $65^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$  (安定性  $\pm 10^\circ\text{C}$ ) とする。

スモークのラインの場合;

- a) 材質およびラインの内径は, ガス成分の場合と同様で, 加えて材質は銅としても良い。
- b) ラインは, 25m以内の長さとし, できるだけストレートとし, 曲げ半径はラインの内径の10倍以上とする。
- c) ラインの保温は,  $60^\circ\text{C} \sim 175^\circ\text{C}$  の間 (安定性  $\pm 10^\circ\text{C}$ ) とする。

以上のサンプルングラインは, 各仕様を組み合わせることによりガス成分とスモークを同一にすることもできる。

##### 2.3 計測装置

ガス成分は, THC が FID (水素炎イオン化検出器) 法,  $\text{NO}_x$  が CL (ケミルミネッセンス) 法, CO および  $\text{CO}_2$  が NDIR (非分散赤外線) 法を推奨している。各計測値は, THC が ppmC ( $\text{CH}_4$  換算),  $\text{NO}_x$  が ppm (NO 換算), CO が ppm,  $\text{CO}_2$  が % で表示される。各ガス成分の計測装置仕様一覧を表1に, 計測システム例を図1に示す。また, 計測値の較正は, 計測精度向上のためゼロガスと較正ガスが規定される。ゼロガスは, THC の場合窒素の中に酸素を20~22%混合させたゼロ空気,  $\text{NO}_x$ , CO および  $\text{CO}_2$  の場合ゼロ窒素により計測

(平成3年1月16日原稿受付)

表1 計測装置の仕様

	THC計 (FID法)	NO <sub>x</sub> 計 (CL法)	CO計 (NDIR法)	CO <sub>2</sub> 計 (NDIR法)
Total Range	0～5000ppmC	0～1000ppm	0～2500ppm	0～5%
Resolution	フルスケールの0.5% または0.5ppmC	フルスケールの0.5% または1ppm	フルスケールの0.5% または1ppm	フルスケールの0.5% または100ppm
Repeatability	フルスケールの±1% または±0.5ppmC	フルスケールの±1% または±1ppm	フルスケールの±1% または±2ppm	フルスケールの±1% または±100ppm
Stability (2時間当り)	フルスケールの±2% または±1.0ppmC	フルスケールの±2% または±1ppm	フルスケールの±2% または±2ppm	フルスケールの±2% または±100ppm
Zero Drift(2時間当り)	フルスケールの±1% または±0.5ppmC	フルスケールの±1% または±1ppm	フルスケールの±1% または±2ppm	フルスケールの±1% または±100ppm
Noise	0.5Hz, フルスケールの ±1%または±0.5ppmC	0.5Hz, フルスケール の±1%または±1ppm	0.5Hz, フルスケール の±1%または±1ppm	0.5Hz, フルスケールの ±1%または±100ppm
Response Time	10秒 (90%読み)	10秒 (90%読み)	10秒 (90%読み)	10秒 (90%読み)
Linearity	フルスケールの±2%	フルスケールの±2% または±2ppm		
Interference	<ul style="list-style-type: none"> <li>・酸素の影響</li> <li>R<sub>1</sub> :プロパン500ppmC+O<sub>2</sub> 10±1%(ゼロ空気希釈)</li> <li>R<sub>2</sub> :プロパン500ppmC+O<sub>2</sub> 21±1%(ゼロ空気希釈)</li> <li>(R<sub>1</sub> -R<sub>2</sub>) はR<sub>1</sub> の3%以下</li> <li>・異種THC(各500ppmC) の影響</li> <li>R<sub>a</sub> :プロパン (ゼロ空気希釈)</li> <li>R<sub>b</sub> :プロピレン (ゼロ空気希釈)</li> <li>R<sub>c</sub> :トルエン (ゼロ空気希釈)</li> <li>R<sub>d</sub> :n-ヘキサン (ゼロ空気希釈)</li> <li>(R<sub>a</sub> -R<sub>b</sub>), (R<sub>a</sub> -R<sub>c</sub>)</li> <li>(R<sub>a</sub> -R<sub>d</sub>) はR<sub>a</sub> の5%以下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1%CO<sub>2</sub> 当り0.05% 以下の読み</li> <li>・1%水蒸気当り0.1% 以下の読み</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エチレン1%当り500ppm 以下の読み</li> <li>・CO<sub>2</sub> 1%当り2ppm 以下の読み</li> <li>・水蒸気1%当り2ppm 以下の読み</li> </ul>	
その他		コンバータ効率90%以上		
装置の保温	155～165℃ 安定度±2℃	室温 安定度±2℃	50℃以上 安定度±2℃	50℃以上 安定度±2℃

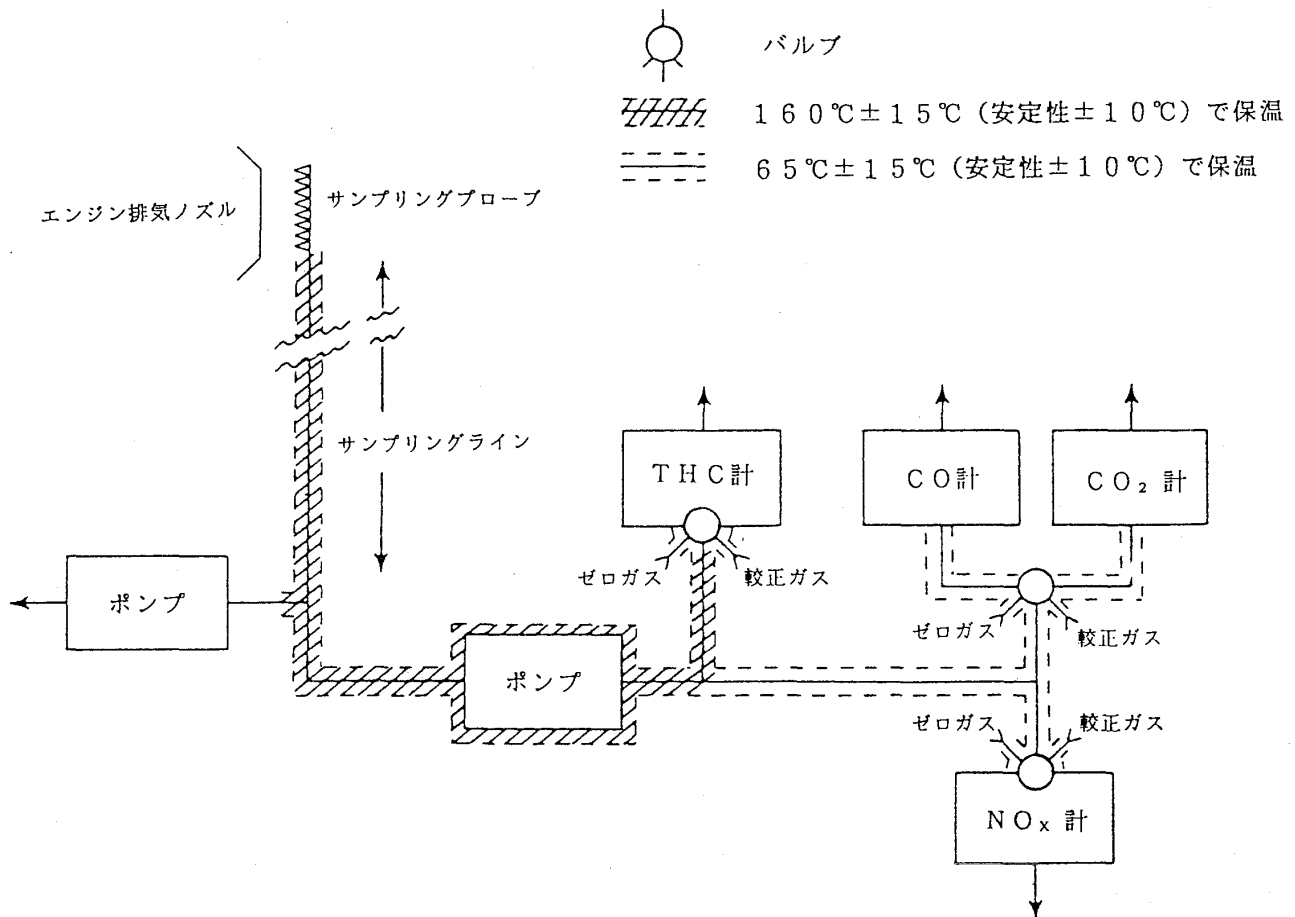


図1 ガス成分計測システム例

表2 校正ガス

成分	校正ガス	精度
THC	プロパン (ゼロ空気希釈)	± 2%または ± 0.05 ppm
NO <sub>x</sub>	NO (ゼロ窒素希釈)	± 2%または ± 1 ppm
CO	CO (ゼロ窒素希釈)	± 2%または ± 2 ppm
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> (ゼロ窒素希釈)	± 2%または ± 100 ppm

値のゼロを校正する。このゼロ空気およびゼロ窒素は、不純物として THC 1 ppmC, NO<sub>x</sub> 1 ppm, CO 1 ppm および CO<sub>2</sub> 100ppm 以上含んではならない。校正ガスは、表2に示す各ガス成分において排ガス濃度に合わせた既知濃度の混合ガスを調整して、計測値を校正する。

スモークは、濾紙法が推奨される。濾紙としてワットマンタイプNo.4 フィルタに排ガスを14±0.5ℓ/min(精度±5%)でサンプリングし、フィルタに捕集された黒色の濃さ(スモーク量)をスモークナンバ(SN)で表示する。スモークの計測システム例を図2に示す。スモーク量は、光の反射度により計測され、その校正は黒色の濃さが既知の色見本で行われる。

2.4 排ガスの計測

計測に入る前に計測システムの事前チェックが行われる。ガス成分の場合、サンプリングプローブから計測器までのリーク量が、プローブのオリフィスに栓をして連続サンプリングした時0.1ℓ/min以下であることを確認する。スモークの場合、図2のバルブAを閉にし5minサンプリングした時、リーク量が5ℓ以下およびサンプリングプローブおよびラインの汚れをチェックするために50kg/m<sup>2</sup>の空気をサンプリングしてSN値が3以下となることを確認する。この事前チェック確認後、表3に示す性状の燃料を用いて

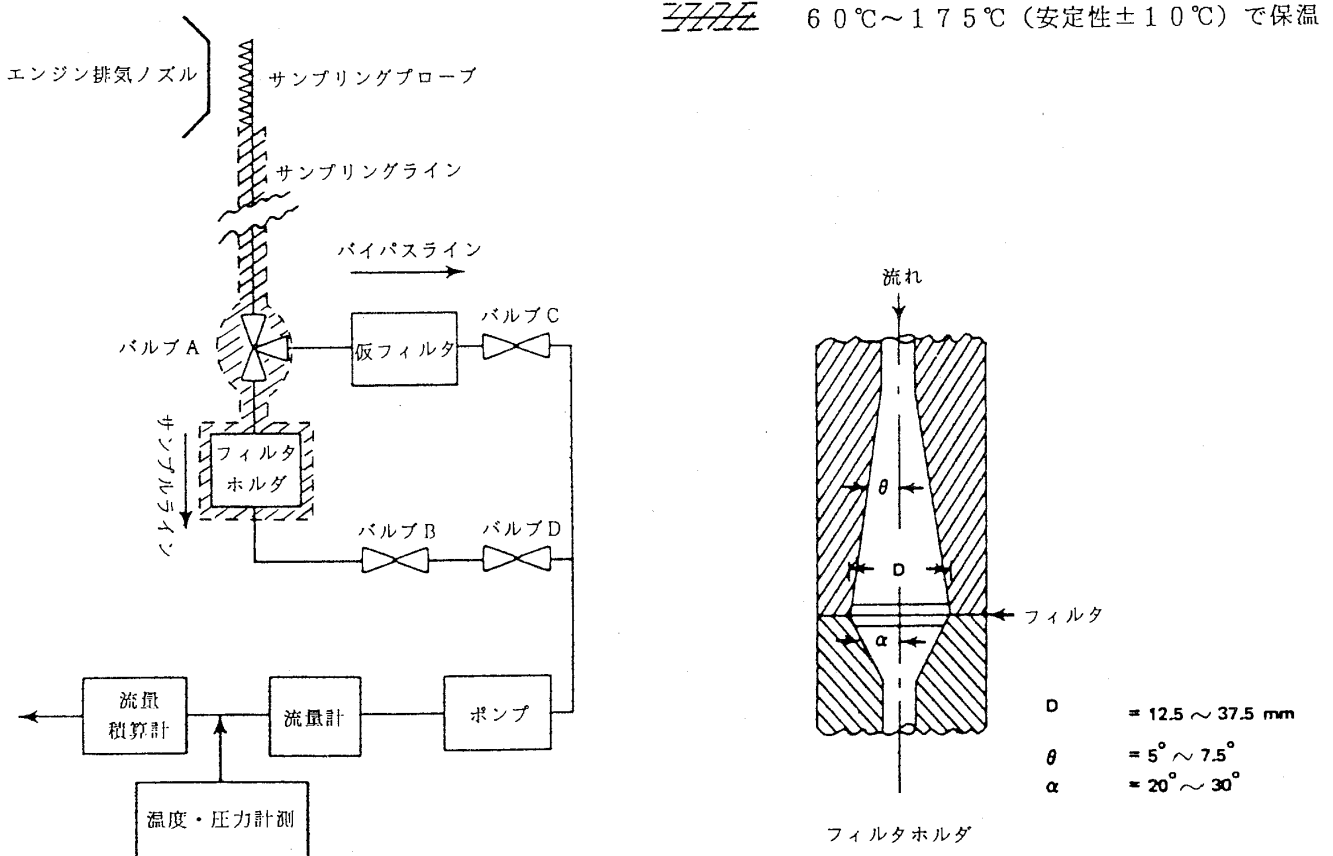


図2 スモーク計測システム例

表3 燃料性状

項目	ICAO	EPA
比重 (15℃)	0.78~0.82	0.78~0.82
分留性状 (℃)		
10%蒸留温度	155~201	160~201
最終蒸留温度	235~285	240~285
真発熱量 (KJ/kg)	42 860~43 500	42 860~43 500
ナフタレン分 (容量%)	1.0~3.5	1.0~3.0
芳香族分 (容量%)	15~23	15~20
煙点 (mm)	20~28	20~28
H分 (重量%)	13.4~14.1	13.4~14.0
S分 (重量%)	0.3%以下	0.3%以下
動粘度 (-20℃、mm <sup>2</sup> /s)	2.5 ~ 6.5	4.0~6.5

エンジン運転を行い、Idle, Approach, Climb, Take-off 各モードの出力に設定して排ガスを3回以上繰り返し計測する。なお、実際に排ガス計測に用いたサンプリング実施例<sup>(4)</sup>を図3に示す。

2.5 計測値の整理方法

ガス成分は、EI (エミッションインデックス) 値で整理される。EI 値は、燃料質量流量当たりの

排出物質量流量で定義されるが、大気条件が変化すると排出物の生成量そのものが変化するので、大気修正が行われる。スモークは、SN 値で整理される。SN 値はサンプリングガス流量を変えて3点以上計測し、サンプリングガス流量16.2kg/m<sup>2</sup>の時にサンプリングした濾紙の絶対反射度と新しい濾紙の絶対反射度から求められる。

2.6 カーボンバランスチェック

エンジン運転時に計測した燃料流量および空気流量の値から直接求めた空燃比 (λ<sub>A</sub>) と排ガス計測値から算出した空燃比 (λ<sub>B</sub>) を比較し、そのバラツキからサンプリング方法を含めた排ガス計測全体の妥当性をチェックする。空燃比 (λ<sub>B</sub>) が空燃比 (λ<sub>A</sub>) に対してエンジン出力が Idle モードの時±15%以内、その他の Approach, Climb, Take-off モードの時±10%以内に入っていることを確認する。

なお、排ガス規制成分の排出量規制値および計測値からの排出量を算出する方法については、既報<sup>(3)</sup>を参照されたい。

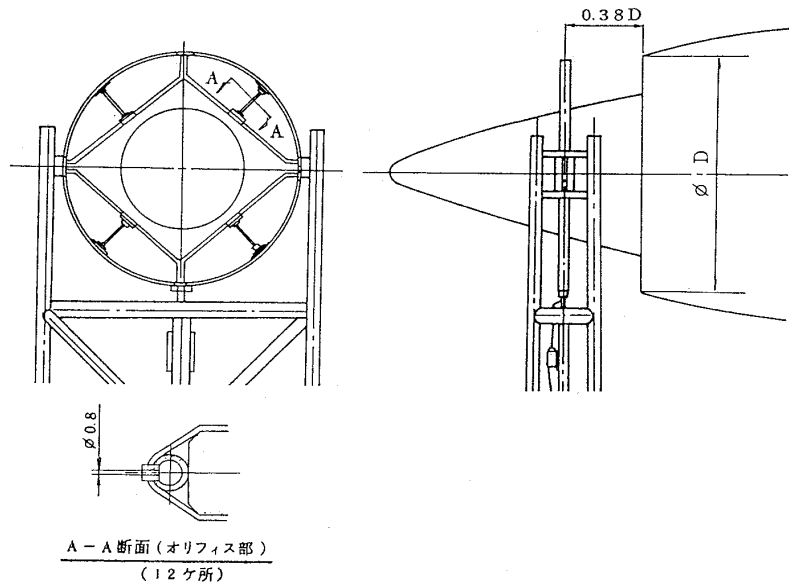
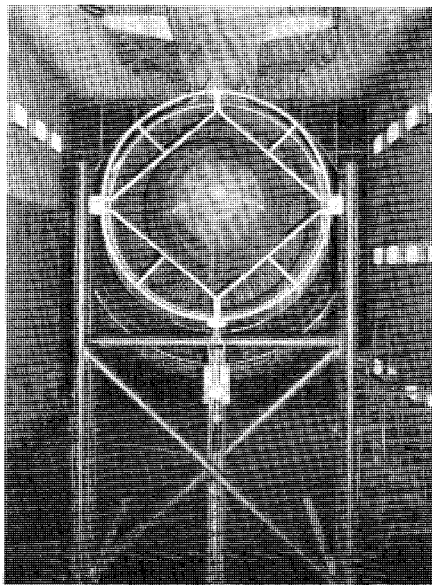


図3 排ガス計測実施例

### 3. EPA の排ガス計測方法<sup>(5)</sup>

米国内でおよび米国へエンジンを売る場合の排ガス規制対象エンジンに適用される。対象エンジンは、分類上名称がICAOと異なるが同じである。

排ガス規制対象成分は、ICAOと異なりTHCおよびスモークのみでNO<sub>x</sub>、COは対象外であり、計測対象成分は一部異なる。2.2項から2.6項の排ガス計測方法に関する項目はICAOに準じ同じである。ただし、エンジン運転に使用する燃料性状が表3にしめすようにICAOと比べ、許容幅が少しきびしくなっている。

### 参考資料

- (1) ICAO; "International Standards Recommended Practices, Environmental Protection" Volume II, Aircraft Engine Emissions to ICAO Annex16, Aircraft Engine Emissions, First Edition, June (1981)
- (2) ICAO; 上記(1)に対する Amendment No.1, March (1988)
- (3) 佐藤幸徳; 日本ガスタービン学会誌, 第16巻64号 (1989-3), pp.11-13
- (4) (株)日本航空宇宙工業会; 「航空機エンジン排出物」に関する調査報告書 (昭和58年3月)
- (5) EPA; "Code of Federal Regulations" 40, part87, July (1987)

## 入会者名簿

### 正会員

川口能広 (三菱自工)	金子達夫 (いすゞ中研)	辻田星歩 (法政大)
遠藤隆久 (日産技研)	池山正隆 (石川島播磨)	小西威夫 (石川島播磨)
松崎裕之 (東北電力)	壇須寿雄 (大阪ガス)	渡辺清 (三菱重工)
橋本勝美 (出光興産)	駒形正敏 (新潟鉄工)	



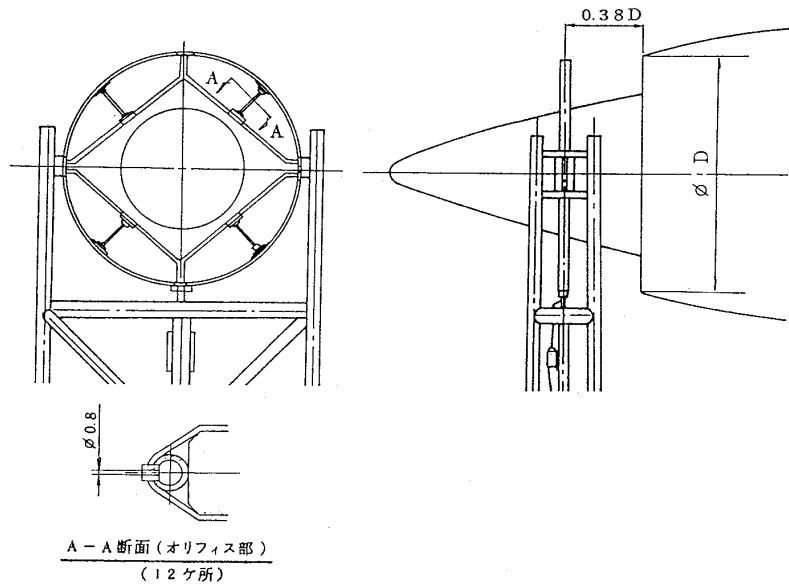
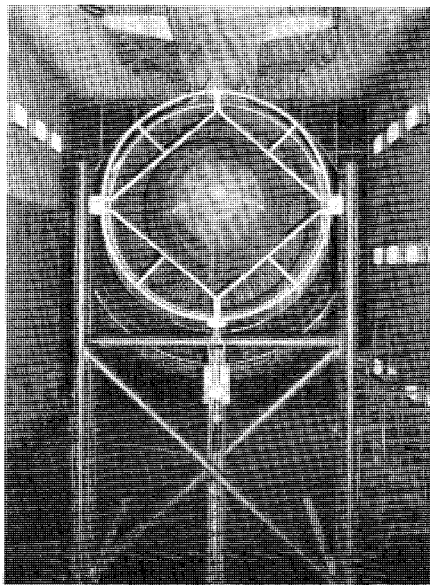


図3 排ガス計測実施例

### 3. EPA の排ガス計測方法<sup>(5)</sup>

米国内でおよび米国へエンジンを売する場合の排ガス規制対象エンジンに適用される。対象エンジンは、分類上名称が ICAO と異なるが同じである。

排ガス規制対象成分は、ICAO と異なり THC およびスモークのみで NO<sub>x</sub>, CO は対象外であり、計測対象成分は一部異なる。2.2項から2.6項の排ガス計測方法に関する項目は ICAO に準じ同じである。ただし、エンジン運転に使用する燃料性状が表3にしめすように ICAO と比べ、許容幅が少しきびしくなっている。

### 参考資料

- (1) ICAO ; "International Standards Recommended Practices, Environmental Protection" Volume II, Aircraft Engine Emissions to ICAO Annex16, Aircraft Engine Emissions, First Edition, June (1981)
- (2) ICAO ; 上記(1)に対する Amendment No.1, March (1988)
- (3) 佐藤幸徳 ; 日本ガスタービン学会誌, 第16巻64号 (1989-3), pp.11-13
- (4) (株)日本航空宇宙工業会 ; 「航空機エンジン排出物」に関する調査報告書 (昭和58年3月)
- (5) EPA ; "Code of Federal Regulations" 40, part87, July (1987)

## 入会者名簿

### 正会員

川口能広 (三菱自工)	金子達夫 (いすゞ中研)	辻田星歩 (法政大)
遠藤隆久 (日産技研)	池山正隆 (石川島播磨)	小西威夫 (石川島播磨)
松崎裕之 (東北電力)	壇須寿雄 (大阪ガス)	渡辺清 (三菱重工)
橋本勝美 (出光興産)	駒形正敏 (新潟鉄工)	



# ガスタービンの排ガス計測法に関する

## 国際規格等の動向

石川島播磨重工業 (株) 青木千明  
佐藤幸徳

### 1. まえがき

ここでは、排ガス計測法に関する CIMAC (注 1)、ISO (注 2)、SAE (注 3) という国際的な 3 つの組織の最近の動き、及びこれらの組織が推奨しようとしている (或は採用している) 計測法 (審議中の内容を含む) に関する国際規格または基準について簡単に紹介する。

CIMAC、ISO が対象とするガスタービンは主として陸船用で、SAE は航空用ガスタービンである。SAE での計測法は審議中の CIMAC、ISO の参考となっている。また、CIMAC の案は審議中の ISO の参考となっている。

計測法の審議状況としては、CIMAC は 1986 年からスタートし、9 回の国際会議と 5 度目の原案審議を経て今年中に最終版が基準 (Recommendation) として発行される見込みである。ISO は CIMAC より遅れ 1988 年からスタートして ISO 規格の作成に着手している。SAE はガスエミッションの計測法の基準 (ARP1256A) 及びスモークの計測法の基準 (ARP1179A) を 1980 年に最新版として発行以来、久しく改訂していなかったが、最近見直しを行い、近く発行の見込みである。

CIMAC ではこれまで ISO のベースとなる基準をいくつか作成している。一方わが国は ISO の加盟国になっており、従って、JIS 規格は ISO 規格に整合性をもたせることが基本となっており、ISO で制定された規格は JIS の内容にも影響を与える。また、SAE の航空機からの排ガス計測法に関する基準は ICAO (注 4) の規定に反映されており、一方わが国は ICAO の加盟国となっているため国内において拘束力を持つ。

以上の点から本内容が読者の参考になれば幸いである。なお、審議中のものも含まれるので最終

案と異なることもあろうかと思われるがご容赦願いたい。

### 2. CIMAC の動き

#### 2.1 経緯

CIMAC は陸船用に使われる燃焼機関、すなわち内燃機関を取り扱っているため、往復動機関であるディーゼルエンジンも回転機関であるガスタービンも含まれる。最近、世界的にみて、酸性雨が問題になったり、エンジンの排ガスによる大気汚染がひどくなったり、或いは大気汚染が問題となる都市がふえたりしている。このような状況に鑑み、かつ、世界的に統一された内燃機関からの排ガス計測に関する標準がないため、1986年に CIMAC に、“Pollution”ワーキンググループが設立され、内燃機関からの排ガス計測に関する Recommendation を作ることになった。CIMAC の参加国は現在 17 ヶ国であるが、この中から 9 ヶ国 (イギリス、デンマーク、フィンランド、フランス、イタリア、アメリカ、日本、オランダ、スイス) から委員が集まり (イギリスの委員が議長) 審議が進められてきている。日本では日本内燃機関連合会 (佐伯謙会長) が受け皿となり、“Pollution”国内委員会 (今井清委員長、ガスタービン幹事は筆者佐藤) を同年 1986 年に発足させ、官学産から、総勢延べ 20 名に及ぶ委員の協力を得て、対応してきた。国内委員会は 14 回に及んでいる。1989 年 11 月の第 9 回国際会議では第 5 次案が審議され、1991 年には “Exhaust Emissions Measurement;

注 1 : CIMAC (International Council on Combustion Engines ; 国際燃焼機関会議)

注 2 : ISO (International Organization for Standardization ; 国際標準化機構)

注 3 : SAE (Society of Automotive Engineers ; 交通技術学会)

注 4 : ICAO (International Civil Aircraft Organization ; 国際民間航空機構)

(平成 3 年 2 月 1 日原稿受付)

Recommendations for reciprocating engines and gas turbines”として発行される予定となっている。

なお、特に日本に対してはガス分析器に関する原案の作成が依頼された。また、国内委員会では、国内で使用されている計測方法の調査を実施し、多く使用されている方法が推奨されるよう、かつ国内法規で定められている方法と推奨案が矛盾の無いよう十分配慮している。

## 2.2 作成方針

主として次のことを意図して作成されている。

- (1) 国際的に優れたものであり、ISOへ提案できるような内容であること。
- (2) 多くの国で現在使用されている方式を Recommendation とし、将来は技術の進歩に応じて改正されるべきであること。
- (3) 排ガス計測に際し直接役立つ指針として使用されることを意図すること。従って、内燃機関に携わる広い階層に使用されるような文書構成とし、即ち主文は要約的に、付録は原理、留意事項まで、解説的内容も含めて述べた詳細なものとする。
- (4) ディーゼルエンジン、ガスタービン両方に対して使えるようにすること。
- (5) ISO規格制定までは10年以上かかるのが通例であり、それに代わり CIMAC の基準が使えるように発行を早くすること。

## 2.3 計測対象と計測方法

計測対象の成分として NO<sub>x</sub> (窒素酸化物), CO (一酸化炭素), CO<sub>2</sub> (炭酸ガス), SO<sub>x</sub> (硫黄酸化物), O<sub>2</sub> (酸素), HC (炭化水素), NH<sub>3</sub> (アンモニア), アルデヒド, スモーク, パーティキュレート の10成分を取り上げ、各々に対し推奨する計測方法を定めている。

パーティキュレートは特にディーゼルエンジンを念頭において盛り込まれている (ガスタービンはそれらの濃度が低く問題となるほどではない)。NH<sub>3</sub> は排ガス処理方法として将来ひんぱんに使用されると考えられるため対象として審議過程で加えられている。HC は THC (全炭化水素) と非メタン炭化水素にわけてある。これは光化学大気汚染の見地から関与しないとの理由による。

分析方法については表1に示した方法が推奨さ

れている。基本的には実際的な計測の容易性も考え、連続分析方法が多く採用されている。表1には、ISO, SAE, JIS も比較のため示してある。

なお、CIMAC 案では、上記の分析機器のほか、大気の基準条件、燃料分析、エンジン出力の定義、排ガスサンプリング系統、サンプリングプローブ、補正方法(大気条件、燃料中の窒素)、データ整理方法、データ表示方法などが示され、100ページを越す内容となっている。

## 3. ISO の動き

### 3.1 経緯

1987年の ISO/TC70/SC 6 (内燃機関/ガスタービン) の国際会議で、“Exhaust smoke measurement, Gas Turbines”の ISO 規格を作成することが決定し、1988の ISO/TC192 (ガスタービン) 第1回国際会議 (この年からガスタービンの委員会が独立して TC192 となった。幹事国は米国) では“The measurement of particulate and pollutants”の規格も上記規格と一緒にして一つの規格とすることが決まった。また、規格の素案作成に関し、ワーキング・グループ ISO/TC192/WG 2 を西ドイツがまとめ役として、フランス、イギリス、アメリカで構成することが決まり、日本にも参加の申し入れがあった。これについては、CIMAC の受け皿でもあり、内燃機関 (ディーゼルエンジン及びガスタービン) に関する ISO 対策国内委員会の事務局でもある上述の日本内燃機関連合会の中に設置されている ISO ガスタービン国内委員会 (井口泉委員長、幹事は筆者青木) が受け皿となり、日本からも委員を参加させている。何回かの WG 2 で審議されたあと、1990年8月に第1次素案 (Gas Turbines-Exhaust gas emission-Measurement and evaluation) が提案され、1991年5月の ISO/TC192 国際会議で審議される予定である。

### 3.2 作成方針

国際的に共通な陸船用ガスタービンの排ガス計測法に関する ISO 規格を作成する。

### 3.3 計測対象と計測方法

NO<sub>x</sub>, CO, CO, SO<sub>x</sub>, HC, NH<sub>3</sub>, O<sub>2</sub>, スモーク, 固形粒子の9種類が対象である。

CIMAC, SAE が参考となっている。表1に分析法を示す。推奨する分析法は CIMAC とほぼ同じ

表1 分析法の比較

対象成分	制定組織	CIMAC (案)	ISO (案)	SAE	JIS
NO <sub>x</sub>		CL または：NDIR または：NDUV	} 同左	CL	大気汚染防止法から特定される計測法は JIS K 0104でこの中で連続分析法として JIS B 7982が引用され、CL, NDIR, NDUV等を規定
		NDIR		同左	同左
CO		NDIR	同左	同左	D1030 (自動車) では NDIRを規定
CO <sub>2</sub>		NDIR	同左	同左	同左
SO <sub>x</sub>		NDUV または：NDIR または：パルス UV 蛍光法	} 同左	-	大気汚染防止法から特定される計測法は JIS K 0103でこの中で連続分析法として JIS B 7981が引用され、NDUV, NDIR等を規定
		磁気式 または：ジルコニア式 または：電気化学式		同左	-
HC:THC 非メタンHC		FID ガス chromatography法 (FID付き)	} 同左	同左	B7956 (大気) では FIDを規定
		CL (NH <sub>3</sub> を酸化後) または：吸光度法 (インドフェノール法)		同左	-
NH <sub>3</sub>		液 chromatography法 (FID付き) または：ガス chromatography法 (FID付き)	} 同左	-	K0089 (排ガス) ではアクロレインに対しヘキシルレゾルシノール吸光度法, ガスクロマトグラフ法を規定
		パツハラッハ法		同左 (ISO 5093) または：透過法	同左
アルデヒド		(ディーゼルエンジンを対象として規定)	-	-	-
スモーク		-	重力法 または：光学法	-	大気汚染防止法から特定される計測法は JIS Z 8808でダストチューブ法を規定

<注> CL: Chemiluminescence; 化学発光法  
 NDIR: Non-dispersive infra-red; 非分散型赤外線吸収法  
 NDUV: Non-dispersive ultraviolet; 非分散型紫外線吸収法  
 FID: Flame ionisation detector; 水素炎イオン検出法

となっている。ただ性能仕様については、CIMACの方はメーカーが決められるように自由度を持たせてあるのに、ISOの方は、素案では各分析器に対し性能仕様を厳しく (shall という表現) 定めようとしている。

まだ、第1次案でもあり今後注目して行く必要があるだろう。

## 4. SAEの動き

### 4.1 経緯

SAEのE31“Aircraft exhaust emission measurement”Committeeで航空機からの排ガスの計測方法について審議され、これまでARP (Aerospace Recommended Practice) 1179A (スモーク計測法であり、SAE/AIAの方法として知られる) 及びARP1256A (ガスエミッション計測法) が発行されていて、この内容がICAOのAnnex16 Volume II “Aircraft Engine Emissions” に反映されている。

SAE E31はアメリカ、イギリス、フランス、ドイツ、日本 (筆者佐藤) から委員が出ており、議長は現在イギリスから出ている。最近、スモーク、ガスエミッション計測法の改訂がなされている。また、最近の技術進歩、環境問題へ対応した課題も討議されている。

なお、昨年からE31委員会では地球環境 (Global in nature) に関する活動を開始することになった。また、E31委員会名称も排ガスみならずキャビン空気も扱うことから、“Aircraft engine emission measurement”Committeeへと変更することになっている。

### 4.2 計測対象と計測方法

NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, THC, スモークの5種類が対象である。分析法を表1に示す。

### 4.3 計測法改訂と最近の計測に関する課題

発行してから10年を経ているため、細部にわたって実情に合わせ、見直しが行われた。この間、精度向上に関して膨大なデータが検討され、新しい計測法が提案審議されている。

スモーク計測法については次の通りである。精度向上のためフィルタスポットサイズの許容幅を

狭く規定し、従来ガスエミッション測定時しか規定されていない空燃比チェックをスモーク計測時にも実施する、などである。ガスエミッション計測法改訂については次の通りである。全計測器 (NDIR, FID, CL) に対しドリフトの規定時間を2時間から1時間と短くして現場の温度変化を配慮し、NDIRのO<sub>2</sub>の干渉に対し規定を追加し、エンジン入口で濃度測定を実施することを追加するなどである。

また、計測法の課題としては、最近のミックス・フロー・ファンエンジンなど大量の空気で希釈された低濃度の計測法、排気プルームの可視性の定量化、パーティキュレート質量及びサイズ計測法 (アドバンス・ターボプロップエンジンの場合、排気がファン流に冷却されて可視プルームとなることもある)、米国のClean Air Act 法改訂版のインパクト、キャビン用ブリード空気の計測法などである。

## 5. あとがき

以上、国際的に展開されているガスタービンの排ガス計測法に関する規格または基準作成の最近の動きをかいつままで紹介した。本題については、筆者らが委員としてCIMAC, ISO, SAEの国内外活動にかかわっているために依頼されたものと思われる。CIMAC, ISOの動きについては日内連情報にも詳しく紹介されている<sup>(1)(2)</sup>。既に、航空機のように排ガス源が移動するものに対しては、飛行場周辺の環境保全のためにICAOで排ガス有害成分に対して規制値と計測法を定めた。最近、酸性雨或いはCO<sub>2</sub>による地球温暖化等に関しても国際的な課題となってきている。まずは計測法に関する国際合意ができれば一つの進歩と言えよう。最後に、国際規格や基準を作成する場で、日本は環境影響対策を比較的きびしく行っていると評価されており、従って、今後益々この計測法に関する分野における日本の貢献が期待されていることを付記しておきたい。

### 参考文献

- (1) 例えば、今井清, 日内連情報, No. 49 (1989年12月)
- (2) 例えば、青木千明, 日内連情報, No. 46 (1988年12月)



# ガスタービン用セラミック燃焼器の開発 (模擬石炭ガス燃料による実圧燃焼試験結果)

東京電力(株) 原 之 義  
〃 古 瀬 裕  
〃 土 屋 利 明  
(株)東 芝 前 田 福 夫  
〃 佐 藤 雄 三  
〃 岩 井 保 憲

## Abstract

Tokyo Electric Power Company and Toshiba Corporation have been conducting a cooperative research program to develop a ceramic combustor for a power generating gas turbine. The objective of program is the development of a ceramic combustor for 20MW, 1300°C class gas turbine in coal gasification combined cycle power generation. The combustor liner is composed of six stages of ceramic rings and three stages of ceramic tiles. Ceramic rings are supported by soft insulation materials which are filled into the space between ceramics and metal outer casing. Ceramic tiles are adopted to reduce the thermal stresses for the portion around the air intake holes where the temperature gradient is expected to be steep. As for the transition piece, ceramics are divided into four pieces to avoid the generation of excess thermal stresses. Pressureless sintered SiC is selected for both ceramic rings and ceramic tiles. The ceramic combustors were tested under the 1300°C and 15ata conditions using pseudo coal gasified fuel having a calorific value of 931kcal/N m<sup>3</sup> to evaluate combustor performance and ceramic material reliability. A highly satisfactory combustion efficiency was obtained over a broad range of load condition with a pressure loss of about 3% and an

(平成2年4月13日原稿受付)

outlet temperature nonuniformity (i.e., pattern factor) of about 10% at the rated load condition. The obtained results of NO<sub>x</sub> exhaust characteristics were highly satisfactory for not only thermal NO<sub>x</sub> but fuel NO<sub>x</sub> as well. In addition to the tests to evaluate combustion characteristics, the load-rejection test and trip test were also carried out, in which the fuel was shut off instantaneously and severe thermal stresses were generated due to the thermal shock. It was confirmed that the ceramics parts were healthy and sound after the trip tests.

## Nomenclature

ANO <sub>x</sub>	式(1)における定数
CO	一酸化炭素排出濃度 (ppm)
C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub>	式(2)における定数
C.R.	燃料中 NH <sub>3</sub> の NO <sub>x</sub> への転換率 (%)
Ga	空気流量 (N m <sup>3</sup> /h)
Gf	燃料流量 (N m <sup>3</sup> /h)
G.T.L.	ガスタービン負荷 (%)
L	燃焼負荷率 (kcal/m <sup>3</sup> · h · ata)
NO <sub>x</sub>	窒素酸化物排出濃度 (ppm)
NH <sub>3</sub>	アンモニア注入量 (ppm)
P	燃焼器内全圧 (ata)
Pa	燃焼器流入空気全圧 (ata)
P.F.	燃焼器出口温度不均一率 (%)
Ta	燃焼器流入空気温度 (K)
Tg	燃焼器出口ガス温度 (°C)
〒	燃焼器壁面温度 (°C)
X	燃焼器軸方向距離 (mm)

- f 燃空比
- h 空気の絶対湿度
- m 燃焼ガス流量 (kg/s)
- $\Delta P$  燃焼器内全圧損失
- $\lambda$  空気比
- $\eta$  燃焼効率 (%)

1. 緒言

耐熱性、耐食性に優れたセラミックスをガスタービン高温機器に適用することにより、ガスタービンの高温化と冷却空気の低減化が可能となり、石炭ガス化複合発電プラントの熱効率を大幅に向上させることができる。このため、東京電力(株)では、タービンメーカー3社、(株)東芝、三菱重工業(株)、(株)日立製作所)と共同で燃焼器、静翼、動翼にセラミックスを導入した1,300°C、20MWセラミックガスタービンの要素開発を進めている<sup>1)</sup>。このうち燃焼器については、金属ケース内周を断熱材を介してSiC製セラミックリング(空気孔部のみタイル使用)で構成し、断熱材がセラミックスの支持と熱遮蔽を兼ねる構造のセラミック燃焼器を設計・製作し、石炭ガス化燃料とほぼ同一組成の模擬石炭ガス燃料による実圧燃焼試験を実施した。本報は、その中で主に燃焼特性について報告するものである。

2. 供試燃焼器

供試燃焼器は、石炭ガス化燃料を対象とした1,300°C、20MWガスタービン用のセラミック燃焼器である。主要仕様を表1に、構造図を図1に示す。セラミック形状としては、小さく分割して局部熱応力を低めるタイル型と、製作・組立が容

表1 供試燃焼器の主要仕様 (定格条件)

ガスタービン出力	20 MW
出口ガス温度	1300 °C
燃焼負荷率	1.87×10 <sup>7</sup> kcal/m <sup>3</sup> ・h・ata
入口空気圧力	14.9 ata
入口空気温度	380 °C
空気流量	3.281 kg/s (9199.6 Nm <sup>3</sup> /h)
燃料温度	357 °C
燃料流量	1.694 kg/s (5171.5 Nm <sup>3</sup> /h)
燃料発熱量	931 kcal/Nm <sup>3</sup> (LHV)
燃焼器寸法	
内筒 内径	200 mm
長さ	565.5 mm
尾筒 長さ	307.5 mm
燃焼器構造	セラミックリング・タイル方式

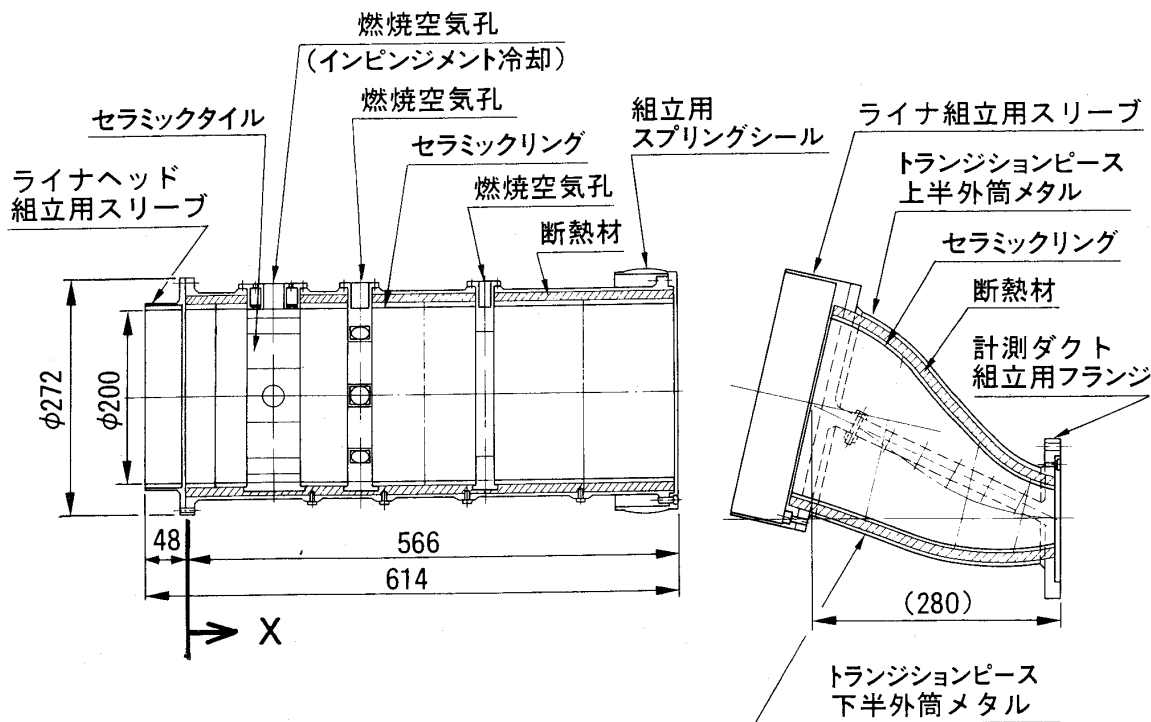


図1 セラミック燃焼器の構造

易なりリング型の2つを検討した結果<sup>2)</sup>、空気孔近傍の温度分布の厳しい部分を除いてリング型を採用した。基本構造は、金属製ケースの内周を断熱材を介してセラミックリング及びタイルで構成されている。内筒部は7段のセラミックリングと3段のセラミックタイルから成っており、尾筒部は4段のセラミックリングで構成されている。セラミック部品と金属製ケースとの間には、セラミックリングやタイルの保持も兼ねた断熱層が設けられており、セラミックスの冷却を行わない断熱構造となっている。セラミックスとメタルケースとの間に充填されている断熱材は、超高温用アルミナファイバーをアルミナ主成分の耐熱繊維織物で包んで縄状にしたものを使用している。又、セラミック同士及びセラミックと空気孔に使用されているメタルとの目地部には、ガス洩れ防止用にアルミナ及びシリカを主成分とする不定形耐火断熱材が充填されている。

セラミック材料としては、耐熱性に優れた常圧焼結炭化珪素を採用し、内筒部のリング及びタイルはCIP（冷間静水圧プレス）で、又、断面形状が特異な尾筒部のリングは、スリップキャストにて成形されている。

### 3. 試験設備と試験方法

#### 3.1 燃料供給設備

燃焼試験には、(助)電力中央研究所の協力により図2に示した燃料供給設備を使用した。本設備では、プロパンガスと炭酸ガスを蒸気により分解、改質することにより石炭ガス化燃料とほぼ同一組成の低カロリーガス燃料を得ることができる。改質ガス燃料は、CO/H<sub>2</sub>比、発熱量、温度、NH<sub>3</sub>濃度等が所定の値に調整された後、供試燃焼器に供

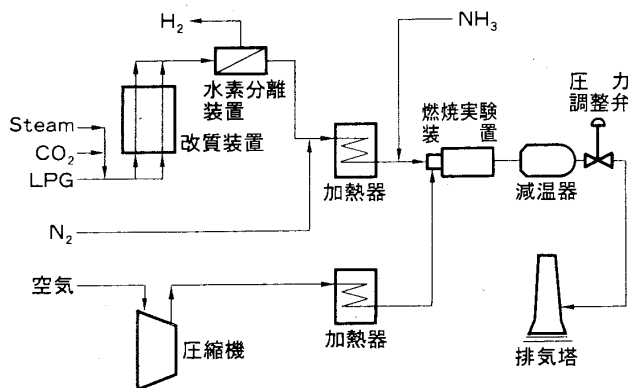


図2 試験設備の系統概略図

給された。

#### 3.2 燃焼器試験装置と計測システム

燃焼器試験装置の断面概略図を図3に示す。燃焼器出口の計測ダクト（内側は耐火キャストブル製）内に設けられた高温ガス温度計（R型熱電対、5点式×5本）により、燃焼器出口ガス温度分布を測定した。又、この後流には排ガスサンプリングプローブ・全圧プローブが挿入され、排ガス組成と燃焼器出口における全圧が測定された。さらに、セラミックリング及びタイル外周にR型熱電対、金属壁外周にK型熱電対を合計54点取り付けて、燃焼器の周方向及び軸方向の温度分布を計測した。

#### 3.3 試験条件と試験方法

燃焼試験で用いた燃料及び空気の基本条件を表2に示す。燃料は空気吹き噴流床石炭ガス化炉で生成される石炭ガス化燃料とほぼ同一の組成、発熱量のものである。各負荷に対応する燃焼用空気圧力、ガス温度、燃空比、空気比等を表3に示す。セラミックスの健全性を確認するために、試験は燃焼器内部の目視点検及びカラーチェックによる開放点検を行いながら、順次、圧力を上昇させていった。定格及び部分負荷条件下における燃焼特性把握試験を行った後、最も厳しい、非定常熱応力発生時のセラミックスの健全性を検証するため

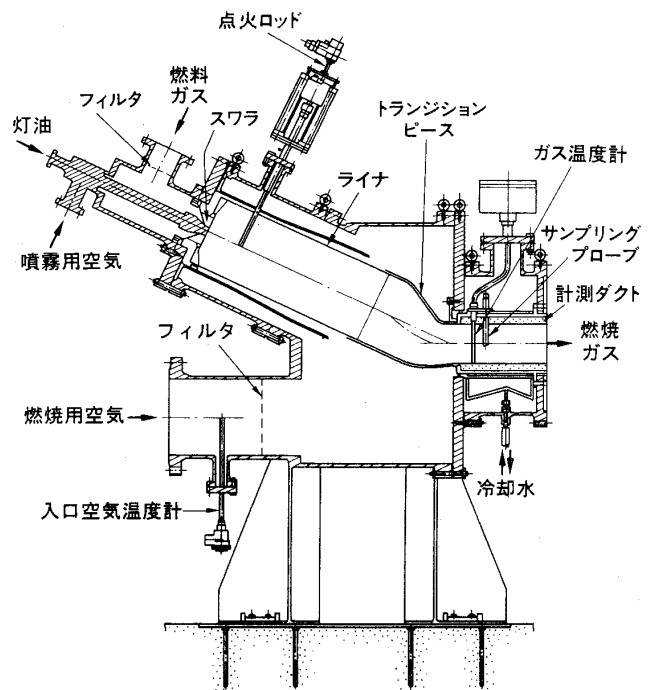


図3 燃焼器試験装置



表2 供試燃料の性状

項目		条件
燃料組成	発熱量	931kcal/Nm <sup>3</sup> (LHV)
	H <sub>2</sub>	6.9 vol %
	CO	18.3 "
	N <sub>2</sub>	56.2 "
	CO <sub>2</sub>	13.0 "
	CH <sub>4</sub>	2.5 "
	H <sub>2</sub> O	3.0 "
	NH <sub>3</sub>	—
CO/H <sub>2</sub>		3(CH <sub>4</sub> はCOに加算)
温度		357°C
空気温度		380°C

表3 ガスタービン作動条件

ガスタービン負荷	G.T.L.(%)	0	50	75	100
燃焼器入口全圧	Pa (ata)	6.4	10.4	12.4	14.9
燃焼器出口温度	T <sub>g</sub> (°C)	689	1078	1202	1300
燃 空 比	G <sub>r</sub> /G <sub>a</sub> (Nm <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup> )	0.131	0.376	0.484	0.575
空 気 比	λ	9.04	3.15	2.45	2.06

に、定格負荷条件からの負荷遮断及びトリップ試験も実施した。

4. 燃焼試験結果

前述の試験条件及び試験方法によって、燃焼特性把握試験に加えて負荷遮断試験及びトリップ試験を含む合計7回、累積約33時間の燃焼試験を実施した。定格条件(1,300°C, 14.9ata)における燃焼時間は累積約3時間であった。

4.1 燃焼特性

(1) 燃焼効率

図4は、燃焼効率に及ぼす空気比と燃焼負荷率の影響を示したものである。燃焼効率は排ガス成分(CO, UHC)の計測値より計算で求めた。又、試験ではスワール数が同じで、燃料吹き出し流速の異なるスワラーA, Bが用いられた。

燃焼器圧力を6.4ataとし、燃焼負荷率一定で空

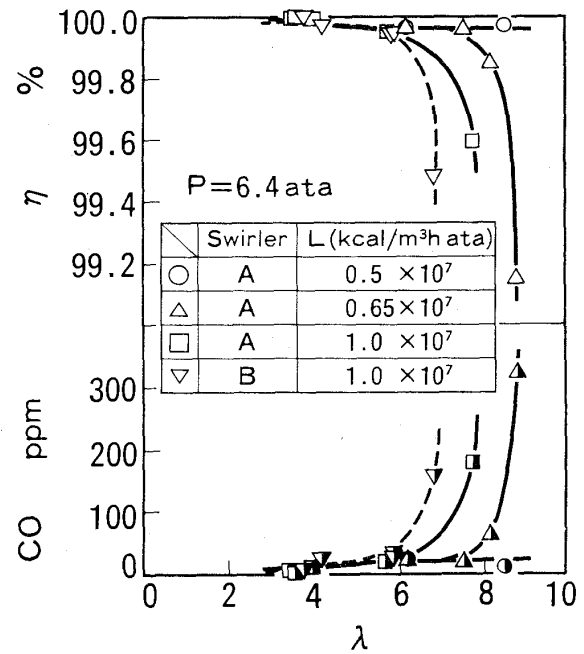


図4 空気比と燃焼効率の関係

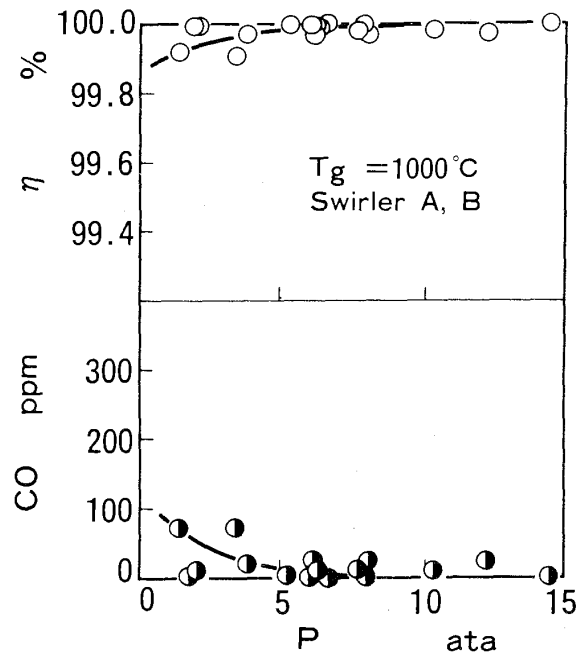


図5 燃焼効率に及ぼす圧力の影響(約1000°C)

気比を変化させた場合、空気比が4以下では燃焼効率は100%に近いが、空気比がある値以上では、燃焼が不安定になり燃焼効率が急激に低下する。そして燃焼負荷率が高い程、燃焼効率が急に低下し始める空気比は小さく、安定燃焼範囲が狭いことが分かる。図5及び6は、燃焼効率に及ぼす圧力の影響を示したものである。燃焼ガス温度1,000°Cの場合には、圧力の低い領域で燃焼安定

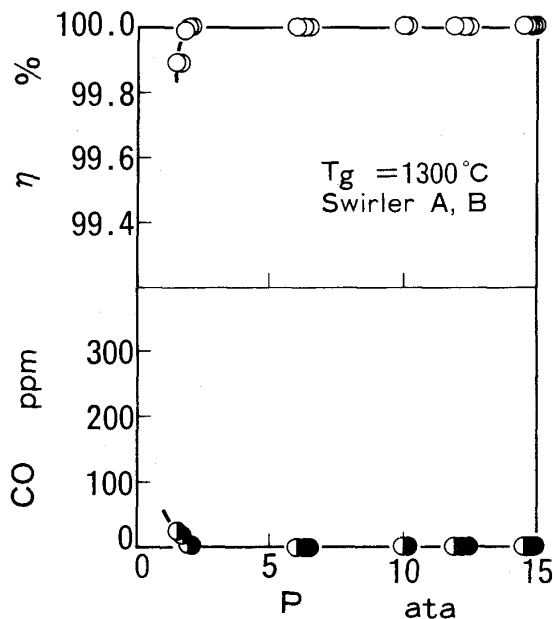


図6 燃焼効率に及ぼす圧力の影響 (約1300°C)

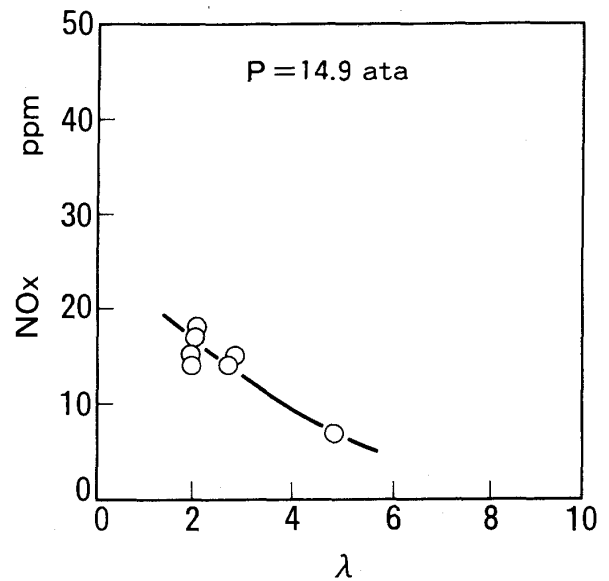


図8 空気比とサーマル NO<sub>x</sub> 排出濃度の関係

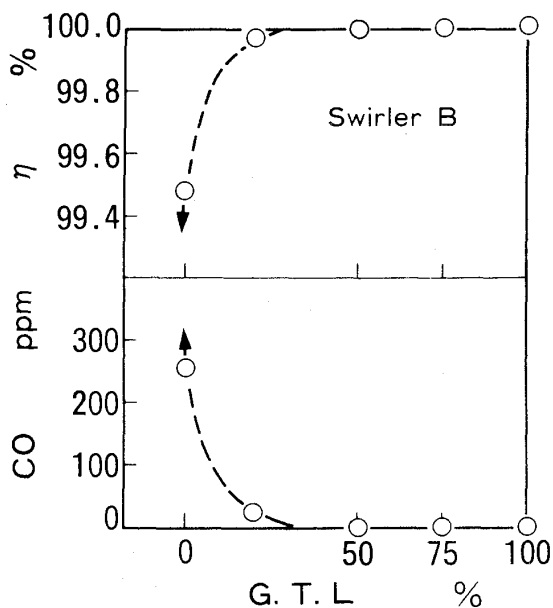


図7 燃焼効率とガスタービン負荷の関係

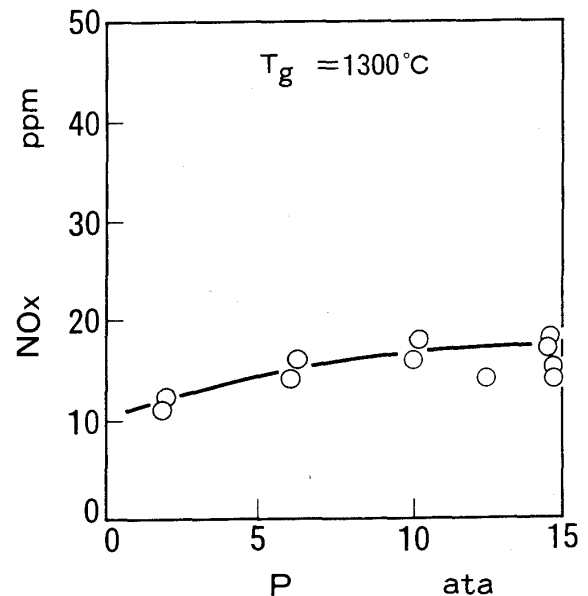


図9 圧力とサーマル NO<sub>x</sub> 排出濃度の関係

性に影響を受け、燃焼効率にバラツキが見られるが、圧力が上昇するにつれてバラツキが小さくなると同時に、燃焼効率も100%に近づく。一方燃焼ガス温度が1,300°Cの時は、圧力の低い領域でもバラツキはなく、2 ata 以上では燃焼効率はほぼ100%である。このように、燃焼効率は圧力の上昇とともに向上し、その傾向は燃焼ガス温度に依存している。図7は、ガスタービンの負荷と燃焼効率の関係を示したものである。ガスタービン負荷の上昇に伴って、燃焼効率は上昇し、50%負荷以

上ではほぼ100%である。

## (2) サーマル NO<sub>x</sub> 排出特性

図8に、サーマル NO<sub>x</sub> 排出特性と空気比の関係を示す。圧力一定のもとで、空気比が減少するにつれて、燃焼器内に高温領域が形成されやすくなりサーマル NO<sub>x</sub> 排出量は増大する。しかし、使用した燃料は低カロリーガスであるため、その理論断熱火炎温度の最大値は約1,690°Cと低く、サーマル NO<sub>x</sub> 排出濃度は20ppm 以下と低い。図9は、燃焼器出口ガス温度1,300°Cの場合、圧力とサーマル NO<sub>x</sub> 排出濃度の関係を示したものである。圧

力の上昇に伴い、サーマル NO<sub>x</sub> 排出濃度はゆるやかに増加していることが分かる。従って、サーマル NO<sub>x</sub> 排出濃度は上述の空気比及び圧力の影響により、ガスタービン負荷に対して図10のように変化する。定格条件における NO<sub>x</sub> 排出濃度は 18ppm (実 O<sub>2</sub>=8.5%, 16%O<sub>2</sub>換算で7.2ppm) であるが、この値は現在までに報告されている低カロリー燃料による燃焼試験結果と比べて、予想される妥当な値である。NO<sub>x</sub> に対する相関式として式(1)<sup>3)</sup>を利用して計測値の代わりに ANO<sub>x</sub> として整理した結果を図11に示す。ここで、ANO<sub>x</sub> は単に窒素酸化物排出濃度 (NO<sub>x</sub>) に関する相関式の定数であって、燃料や燃焼器形状によって決まる

固有の値である。

$$NO_x = ANO_x \cdot Pa^{0.5} f^{1.4} m^{-0.22} \exp(-19h + Ta/250) \quad (1)$$

ここで、Pa: 空気圧力[ata], f: 燃空比, m: 燃焼ガス流量 [kg/s], h: 空気絶対湿度, Ta: 空気温度 [K]。図11の ANO<sub>x</sub> を利用することで種々の運転条件における NO<sub>x</sub> 値を推定、評価することが可能である。高カロリー燃料の場合と異なり、ANO<sub>x</sub> 値が燃空比 f に対して漸減する特性となっているのは、低カロリー燃料の場合、NO<sub>x</sub> ∝ f<sup>n</sup> において n=1.4 ではなく n < 1.0 であることによる。この傾向は図12に示されている。

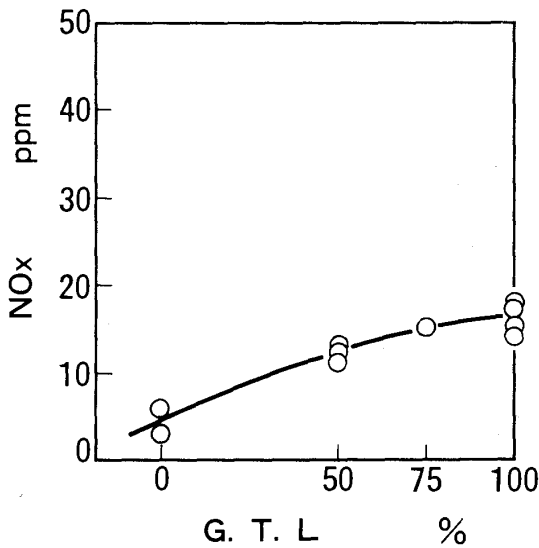


図10 ガスタービン負荷とサーマル NO<sub>x</sub> 排出濃度の関係

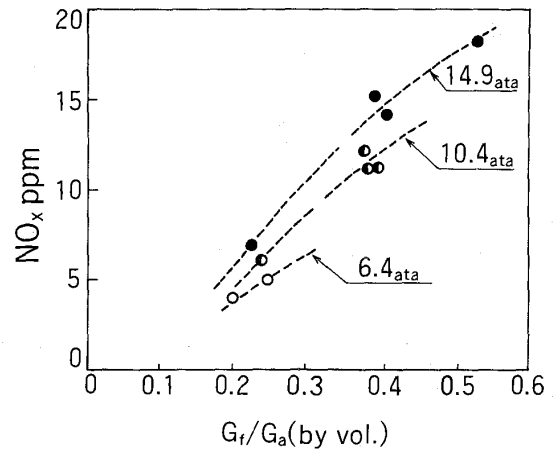


図12 燃空比とサーマル NO<sub>x</sub> 排出濃度の関係

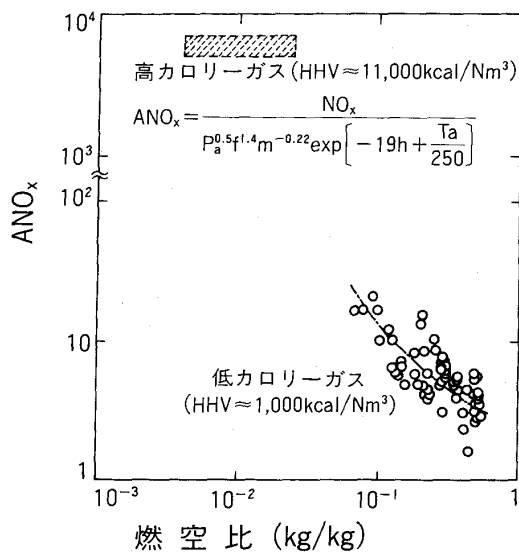


図11 ANO<sub>x</sub> 特性

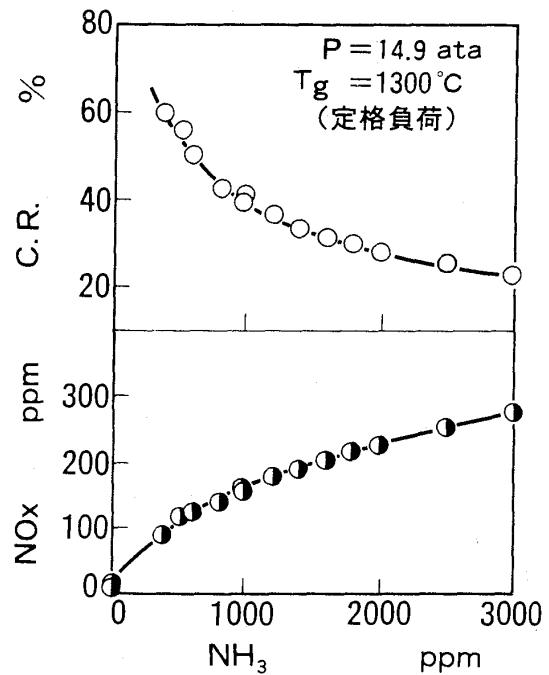


図13 NO<sub>x</sub> 排出特性に及ぼす燃料中 NH<sub>3</sub> 濃度の影響

(3) フューエル NO<sub>x</sub> 排出特性

図13は、定格条件において燃料中の NH<sub>3</sub>濃度を变化させた場合の NO<sub>x</sub> 排出濃度と、NH<sub>3</sub>から NO<sub>x</sub> への転換率(C.R.,以下 NO<sub>x</sub> 転換率と示す)の変化を示したものである。NO<sub>x</sub> 排出濃度は NH<sub>3</sub>濃度の増加と共に増大するが、NO<sub>x</sub> 転換率は、NH<sub>3</sub>濃度の増加と共に減少する傾向を示しており、NH<sub>3</sub>=1,000, 2,000, 3,000ppm の濃度に対してそれぞれ約40%, 28%, 23%である。この NO<sub>x</sub> 転換率の値は、積極的なフューエル NO<sub>x</sub> 低減を目的とした Rich-Lean タイプの低 NO<sub>x</sub> 燃焼器の NO<sub>x</sub> 転換率と比較しても優れた値となっている。これは、供試燃焼器の空気配分や燃料と空気の混合状態によって決まる燃焼領域における条件が、低 NO<sub>x</sub> 化に適切な Rich-Lean 分布になっていたためと考えられる。従って、本セラミック燃焼器は、フューエル NO<sub>x</sub> 低減用の燃焼器としても有効であることが分かった。図14は、燃焼ガス温度 1,300°C, NH<sub>3</sub>濃度1,000ppm 一定として圧力を変化させた場合の NO<sub>x</sub> 排出濃度及び NO<sub>x</sub> 転換率を示したものである。圧力 2 ata で NO<sub>x</sub> 転換率は52%であるが、圧力の上昇と共に NO<sub>x</sub> 転換率は次第に減少し、14.9ata は、40%となる。図15は、NH<sub>3</sub>濃度を約500ppm とし、ガスタービン負荷の変化による NO<sub>x</sub> 排出濃度及び NO<sub>x</sub> 転換率の変

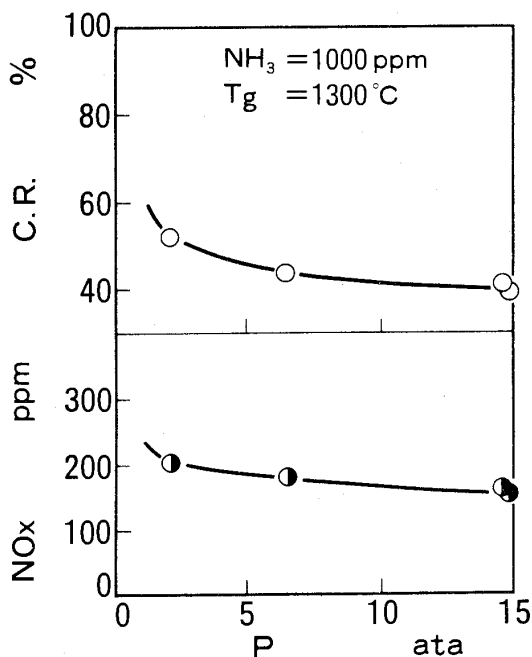


図14 NH<sub>3</sub>添加時の NO<sub>x</sub> 排出特性に及ぼす圧力の影響

化を示したものである。ガスタービン負荷の上昇に伴い、NO<sub>x</sub> 排出濃度は増加するが、NO<sub>x</sub> 転換率は減少し、100%負荷では56%となる。

(4) 圧力損失

図16に燃焼負荷率と圧力損失の関係を示す。燃焼器出口温度を一定とした場合、燃焼負荷率の上昇に伴い、圧力損失は増加する。また、同一燃焼

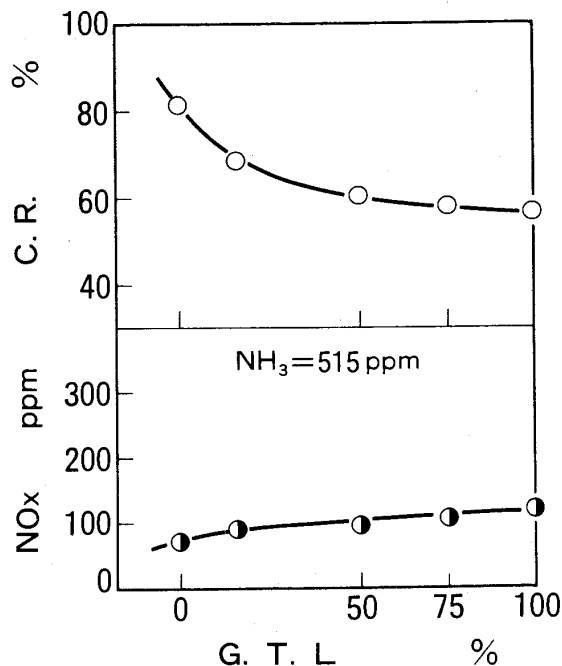


図15 NH<sub>3</sub>添加時の NO<sub>x</sub> 排出特性に及ぼすガスタービン負荷の影響

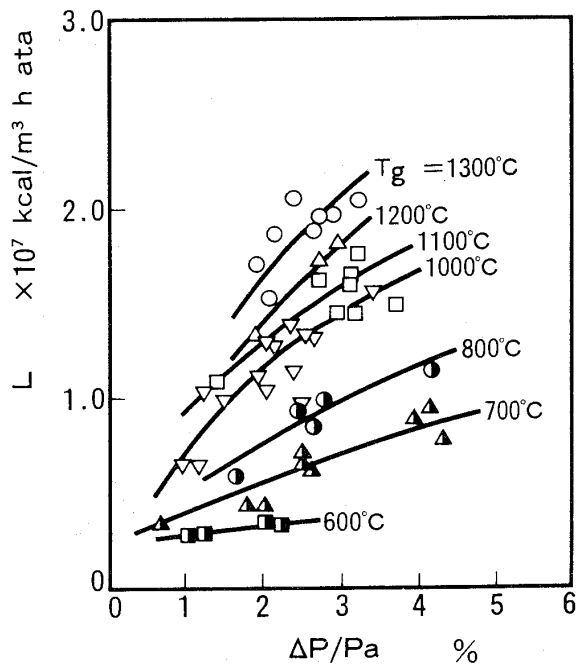


図16 燃焼負荷率と圧力損失の関係

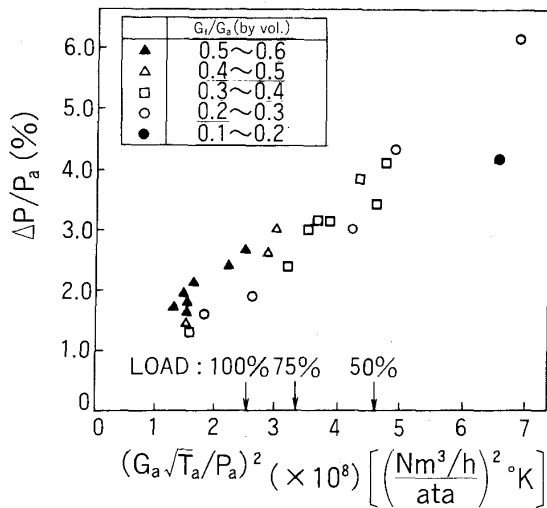


図17 圧力損失特性

負荷率では、ガス温度が低い程、すなわち空気比が高い程、圧力損失は大きくなる事が分かる。燃焼器の流量パラメータ ( $G_a\sqrt{T_a}/P_a$ ) に対して整理した圧力損失  $\Delta P/P_a$  を図17に示す。同一の流量パラメータに対して、燃空比の大きい程、圧力損失は大きくなる傾向を示している。これは、燃焼器内における温度上昇、混合、増速等の熱流体现象によって発生する“hot loss”と呼ばれる圧力損失によるためと考えられる。燃焼器の圧力損失は、空気孔前後の差圧と、“hot loss”との和であり、後者は燃焼器内の温度上昇又は燃空比に比例する特性を示すため、式(2)のように表すことができる。

$$\begin{aligned} (\Delta P/P_a) / (G_a\sqrt{T_a}/P_a)^2 \\ = C_1 + C_2 (G_f/G_a) \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $C_1$ 、 $C_2$ はほぼ一定。この関係をプロットしたのが図18である。高カロリー燃料で見られるように、燃空比に対し比例して増大する傾向を示している。圧力損失は、ほぼ設計目標値(3%)を満たしている。

(5) 燃焼器出口ガス温度分布

燃焼器出口ガス温度分布の一例として、図19に定格負荷条件における温度分布を示す。最高温度位置は燃焼器上流側から見て若干左下にずれており、右上部及び右下部の温度が低くなっている。このように非対称なガス温度分布が生じた原因としては、火炎の偏り、燃焼器内筒と尾筒の軸のずれや、内筒一尾筒の接続部における空気の漏れ等が考えられる。図20は、ガスタービン負荷とパター

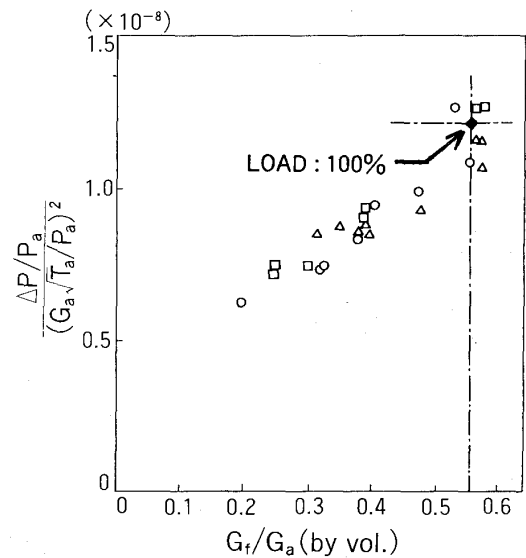


図18 圧力損失 (パラメータ) と燃空比の関係

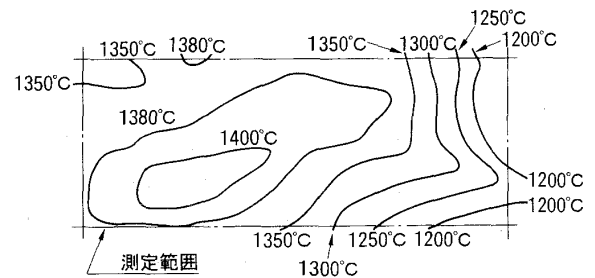


図19 燃焼器出口ガス温度分布の一例(定格条件)

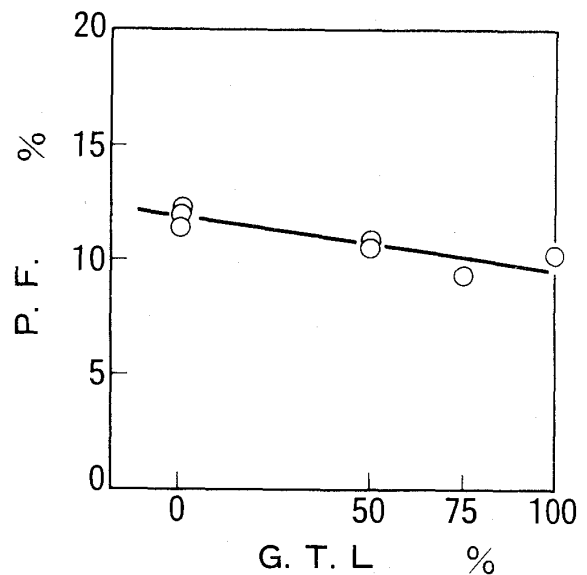


図20 ガスタービン負荷とパターンファクターの関係

ンファクタ (P.F.) の関係を示したものである。無負荷条件では、パターンファクタは約12%であるが、負荷が上昇するにつれて P.F. は若干減少する

傾向があり、定格負荷条件では約10%となる。前述の出口ガス温度分布の偏りが改善されれば、P.F.はさらに低くなると考えられ、フィルム冷却を用いた金属燃焼器に比べて、はるかに小さい値となることが期待される。

4.2 燃焼器壁面温度

(1) 燃焼器壁面温度

図21は、燃焼器壁面温度（セラミック温度及び金属ケース壁面温度）と空気比の関係性を全試験条件についてプロットしたものである。ここで示されている温度は、第一空気孔と第二空気孔の間のリング部（燃焼器軸方向距離  $x = 160\text{mm}$ ）で周方向に6点計測した表面温度の平均をとった値である。燃焼負荷率及び圧力が異なるためバラツキがあるが、金属ケース壁面温度は空気比の減少に伴い若干の増加傾向が見られるものの、ほぼ燃焼空気温度に近い値となっている。これに対して、セラミック温度は、空気比の減少に伴い上昇する傾向を示している。特に空気比が4以下では、セラミック温度はいずれの燃焼条件においても $1,000^\circ\text{C}$ 以上の高温になっており、高温壁面反応によって高温のセラミックスがCO等の燃焼を促進させ、燃焼の安定化、燃焼効率の向上に寄与しているものと考えられる。

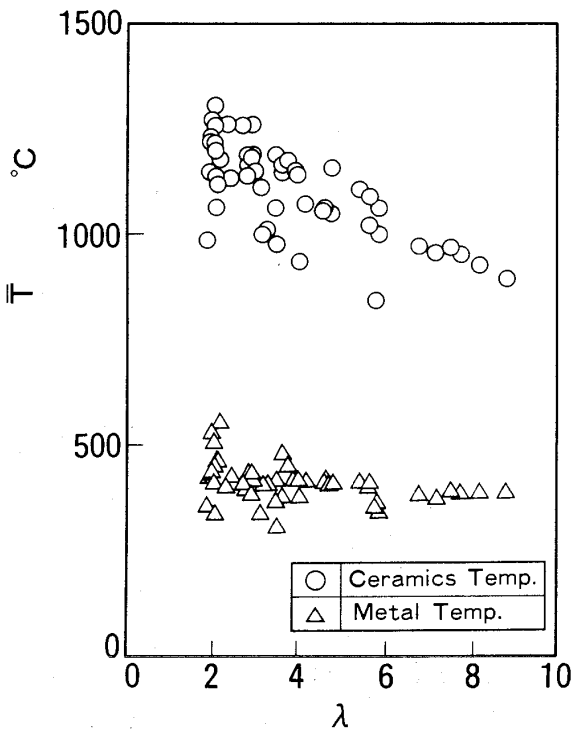


図21 空気比と燃焼器壁面平均温度の関係

(2) セラミックスの周方向温度分布

燃焼器出口ガス温度分布の一例として定格条件におけるガス温度分布を図19に示した。この時の、セラミックリングの周方向温度分布を図22に示す。尾筒部のセラミックリング温度は右側が低く、特に燃焼器出口付近の温度分布は、出口ガス温度分布と酷似している。セラミックリングの周方向温度分布は、 $160\sim 250^\circ\text{C}$ 程度であり、この程度の温度差により発生する熱応力はせいぜい $60\text{MPa}$ 程度と推定され、セラミックスを破損させる程の熱応力ではなく、特に問題となる程の温度分布ではないと考えられる。

(3) セラミックスの軸方向温度分布

図23は、セラミックス軸方向温度分布とガスタービン負荷の関係性を示したものである。負荷が上昇するにつれて、内筒後流部及び尾筒部のセラミック温度は上昇しているが、スワラー近くのセラミック温度はあまり変化せず、その結果、100%負荷ではセラミックスの軸方向温度分布はほぼフ

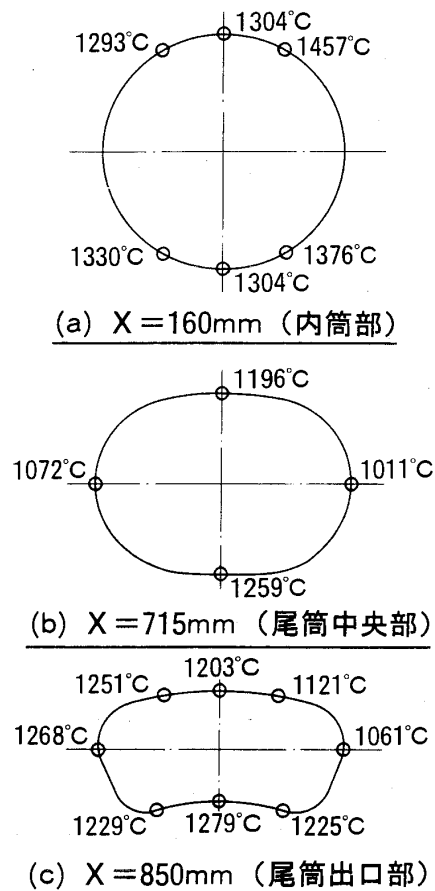


図22 セラミックリングの周方向温度分布（定格条件）

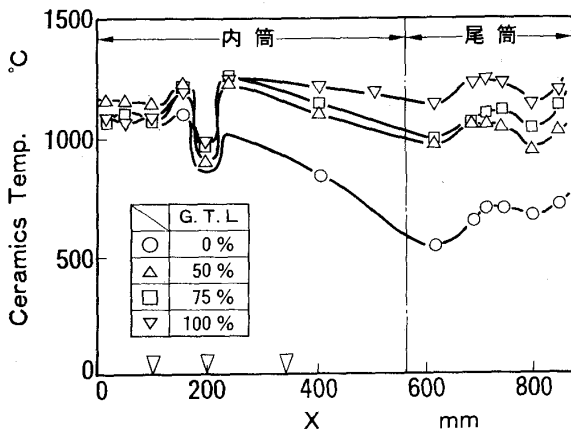


図23 ガスタービン負荷と燃焼器  
軸方向温度分布の関係  
(▽：空気孔位置)

ラットになっている。

#### 4.3 使用後セラミック部品の状況

定格負荷条件における燃焼試験において、セラミックスには異常が認められなかったので、さらに50%負荷条件からの負荷遮断、定格負荷条件からの負荷遮断及びトリップ試験を実施した。試験後、燃焼器を分解・開放し目視検査及び蛍光浸透探傷検査を実施したが、クラック等の異常は観察

されなかった。

#### 5. 結 言

石炭ガス化燃料とほぼ同一組成の模擬石炭ガス燃料を用いてセラミック燃焼器の実圧燃焼試験を実施し、良好な燃焼特性とセラミック部品に損傷が生じない事を確認した。長時間運転での耐久性の検証は今後の課題として残っているが、最も厳しい非定常熱応力を発生する定格負荷条件からのトリップ試験においてセラミックスの健全性が確認されたのは初めてのことであり、この成果は今後のセラミックガスタービン開発にとって大きな意義を持つものと考えられる。おわりに、燃焼試験の実施にあたって御協力をいただいた財電力中央研究所横須賀研究所エネルギー部の関係者各位に謝意を表す次第である。

#### 参考文献

- (1) 原, 他 3 名, 日本機械学会講演論文集No.870-10(1987-11), P.111~116
- (2) 原, 他 5 名, 日本機械学会講演論文集No.890-60(1989-11), P.7~12
- (3) D.A.Sullivan, ASME paper 76-GT-5, 1976.

#### GTSJ 英文ブレティン (GTSJ Bulletin 1990) 販売のお知らせ

英文ブレティン第4号(1990年度版)が本年3月下旬に発行されます。

このブレティンは、国外の研究者・企業に日本ガスタービン学会の活動や、ガスタービン・ターボチャージャの事情を紹介する資料として便利かと思われますので、ご活用下さい。

(くわしくは、会告ページをごらん下さい)

# 噴流混合形燃焼器における気流噴射弁と渦巻噴射弁の比較

群馬大工 新井 雅 隆  
 広島大工 廣安 博 之  
 三菱重工 中曾 伸 二

## Abstract

Non-luminous blue flame combustion in a Jet-Mixing-Type combustor was studied using two different atomizers. The Jet-Mixing-Type combustor developed for non-luminous blue flame of kerosene spray supplied by a swirl atomizer was used as the original combustion system. Then, comparative study using an air blast atomizer was carried out to attain a wider range of non-luminous combustion. The upper limit of an air excess ratio for non-luminous combustion was not so different between these two atomizers. It revealed that a mixing process of fuel and air had a more important effect of the non-luminous combustion than the sauter mean diameter of a spray. However, the difference caused by the atomizers appeared in a combustion with a low excess ratio of air. The non-luminous combustion was expanded to a region of lower excess ratio by a high momentum flux of a spray supplied by an air blast atomizer.

## 1. まえがき

ガスタービン用の燃焼器において燃料を青色の火炎すなわち不輝炎の状態で噴霧燃焼させることは、輻射による燃焼器の焼損や排気煙の低減のために重要である。また不輝炎が均質な希薄燃焼の際に出現することから、不輝炎燃焼は一般に低 $\text{NO}_x$ 燃焼とみなされ、低 $\text{NO}_x$ 燃焼器開発の一つの目標にもなっている。筆者らはこのような観点から噴霧の不輝炎燃焼を目標とした新しい混合方式の燃焼器を開発<sup>1-3)</sup>してきた結果、噴霧に対して一次空気噴流を衝突させて一次燃焼領域の混合を強制的に促進させることで不輝炎燃焼を行わせる方

(平成2年9月28日原稿受付)

法を見出した。

一方、気流噴射弁を使用すると燃料流量の Turn Down Ratio が大きく取れ、かつ噴霧の平均粒径を小さくすることが可能であるため、不輝炎燃焼用の燃料供給装置としての優位性が一般に指摘され、各種の燃焼研究が行われている。そこで渦巻噴射弁を使用した場合でも不輝炎燃焼が実現できる燃焼器と気流噴射弁を組み合わせればさらに性能の良い燃焼器が得られると思われる。今回の報告では噴流混合形の空気導入法と気流噴射弁を組み合わせた燃焼器について、うず巻噴射弁を使用した場合と比較し、青色の不輝炎燃焼する範囲を検討した。

## 2. 噴流混合形燃焼器

図1に実験装置の概略を示す。燃焼用空気はブ

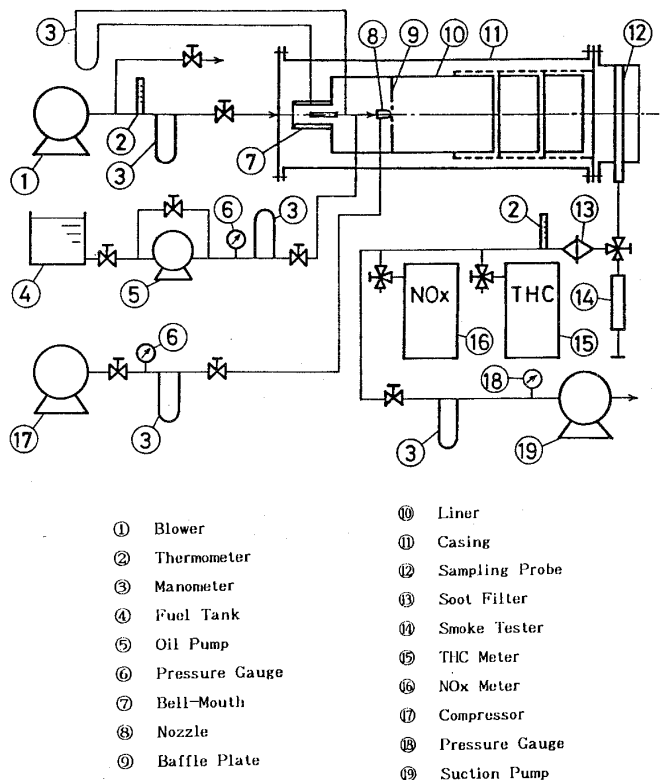


図1 実験装置概略



ロアから、燃焼器の外筒に相当するケーシングに供給され一次及び二次の空気導入穴から燃焼器内部に流入する。燃料には灯油を使用し気流噴射弁または渦巻噴射弁で供給する。気流噴射弁を使用するため微粒化用の別の空気系を用意した。渦巻噴射弁を使用するため燃料は高圧のポンプから最高圧50atmで供給する。燃焼ガスは燃焼器出口にて多孔プローブでサンプリングして $\text{NO}_x$ およびTHCの排出濃度を測定する。使用した燃焼器の形状を図2に示す。燃焼器は直径83mmの円筒であり上流端にノズル支持と一次空気導入孔を兼ねるバッフル板が取り付けられている。上流端から80mmの位置には内部観察用の石英ガラス窓を取りつけた。燃焼用の一次空気は前述のバッフル板にあけた角度 $\alpha$ の空気導入孔から燃焼器内部に導入され、噴霧に衝突して混合気を形成する。燃焼用二次空気は燃焼器後半部分の二重円筒になっている部分で内壁を衝突冷却した後幅3mmのスリットから燃焼器内部に導入される。なお燃焼用の一次と二次の空気はケーシングから分離せず供給するが、一次と二次の空気の分流比は非燃焼時に測定した結果1:4.7であった。

使用した渦巻噴射弁はダンフォス社製の噴霧角60度のHollow Cone形の噴射弁であり、容量は0.65ガロン/時である。気流噴射弁としては燃料ノズル径0.7mm空気オリフィス径6mmの平行気流外部混合形のものを使用し、微粒化用の空気流量は0.9g/sで一定とした。

渦巻噴射弁と気流噴射弁で作られる噴霧の相違点としては以下の項目が挙げられる。

- (1) 渦巻噴射弁による噴霧はHollow Cone形の噴霧になるのに対して、気流噴射弁による噴霧

はSolid Cone形になりかつ噴霧角が小さい。使用した渦巻噴射弁の噴霧角は60度、気流噴射弁の場合は約50度である。

- (2) 気流噴射弁では噴霧の持つ運動量は高速の微粒化空気より与えられ、空気と燃料液滴群が一体となって噴出する。従って微粒化用空気の流量を本研究のように一定としておけば噴霧の運動量は燃料流量に寄らずほぼ一定となる。渦巻噴射弁では噴出した燃料自身の運動量が噴霧の運動量となるため、燃料流量の増加とともに運動量も増加する。
- (3) 噴霧の平均粒径は気流噴射弁の場合流量が減少すると小さくなるが、渦巻噴射弁では流量の減少に伴い平均粒径は増加する。
- (4) 以上のような諸特性の違いが燃焼状態に与える影響として渦巻噴射弁に比べ気流噴射弁を使用した燃焼器では、一般にTurn Down Ratioが大きく取れ、部分負荷時の燃焼特性が改善されると言われている。

図3は噴霧の平均粒径を測定した結果である。測定装置としてはレーザー光のフランホーファ回折光を解析して平均粒径を求める装置を使用した。測定位置は噴射弁から50mm下流で、噴霧軸を横切るレーザー光上の平均としてのザウター平均粒径である。前述したように気流噴射弁による噴霧は燃料が減少すると小さくなるがその変化は小さく噴霧は平均粒径12ミクロン程度で一定と考えても差し支えない。一方渦巻噴射弁による噴霧では燃料が減少すると平均粒径は大幅に増大する。また図中には流量から計算した運動量の変化も破線で示してあるが、気流噴射弁は渦巻噴射弁に比べて

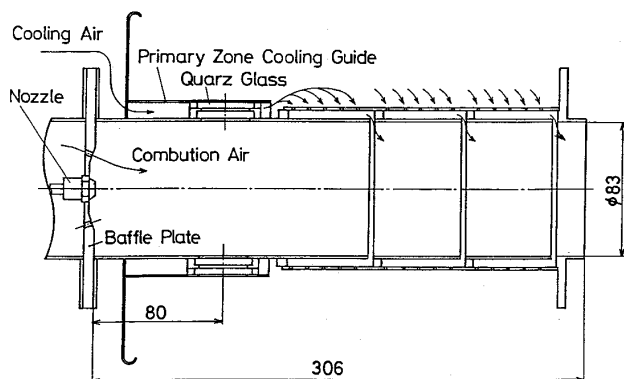


図2 噴流混合形燃焼器

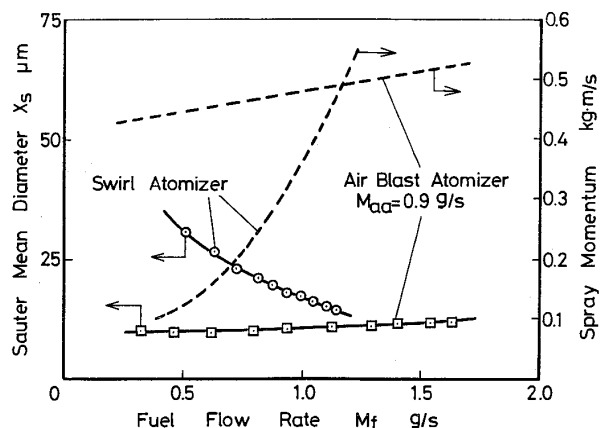


図3 渦巻噴射弁と気流噴射弁による噴霧の平均粒径

運動量が大きい。また運動量の大部分が微粒化空気の持つ運動量であるため、燃料流量を変えても運動量の変化が小さい。

### 3. 実験結果

#### 3.1 燃焼特性

噴射混合形の燃焼器においては一次空気の導入の方向を変えることで噴霧と空気の混合状態を制御することができ、この方法により燃焼状態を不輝炎燃焼から輝炎燃焼にまで変化させることができる。以前に行った研究<sup>3)</sup>から一次空気の導入角  $\alpha$  を60度とし、噴霧と空気との混合を燃焼器の中

心軸で行わせると安定な不輝炎燃焼状態が得られることが明らかになっている。図4はその場合の混合状態と火炎の位置を示した略図である。空気は直径40mmの円周上に配置された内径5mmの10個の導入孔より60度の角度で燃焼器内に導入される。噴霧と導入された空気の混合は主に中心軸上で行われ、その周辺に青紫の一次火炎ができる。主火炎はこの一次火炎から離れた後方の速度の遅い部分に形成されるがこの火炎も青色である。渦巻噴射弁を使用した場合の代表的な燃焼特性を燃料流量と空気流量の関係として示すと図5のようになる。燃焼用空気は一次と二次に分けて流量の計測を行っていないため、全体としての流量  $M_{ta}$  で示してある。また図中には空気過剰率  $n_t$  が破線で示してある。空気過剰率が低く火炎の末端が燃焼器外に出る状態になると火炎は黄色の輝炎となるが、その他は青色の不輝炎の状態である。燃料流量が少なくかつ空気過剰率が高いと火炎はバッフル板に付着した状態となり不安定になる。

气流噴射弁を使用した場合の燃焼特性を図6と図7に示す。図6は図5と同じバッフル板を使用

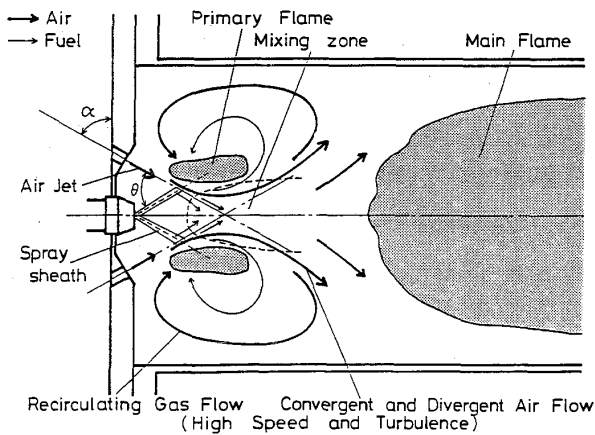


図4 混合状態と火炎位置

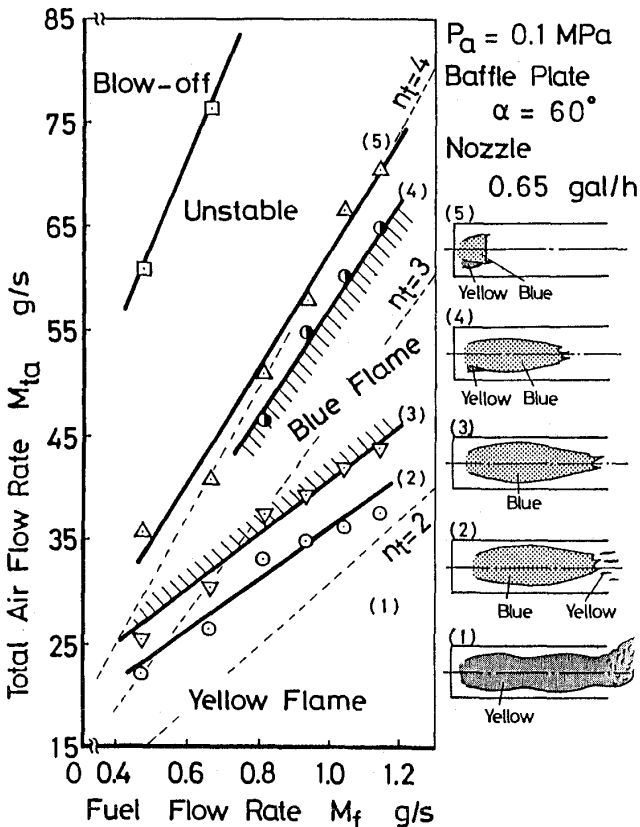


図5 燃焼特性 (渦巻噴射弁, 10-Φ5-60°)

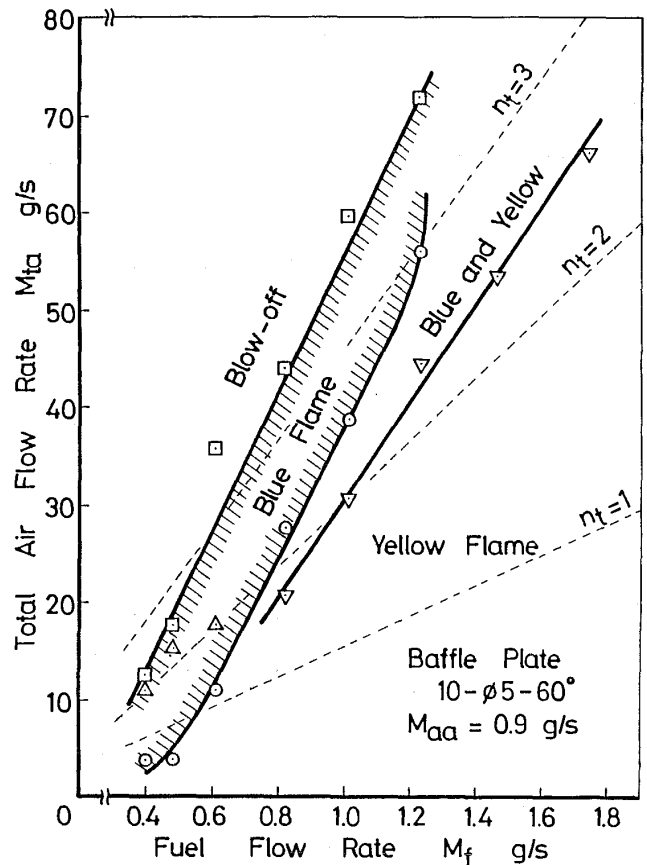


図6 燃焼特性 (气流噴射弁, 10-Φ5-60°)

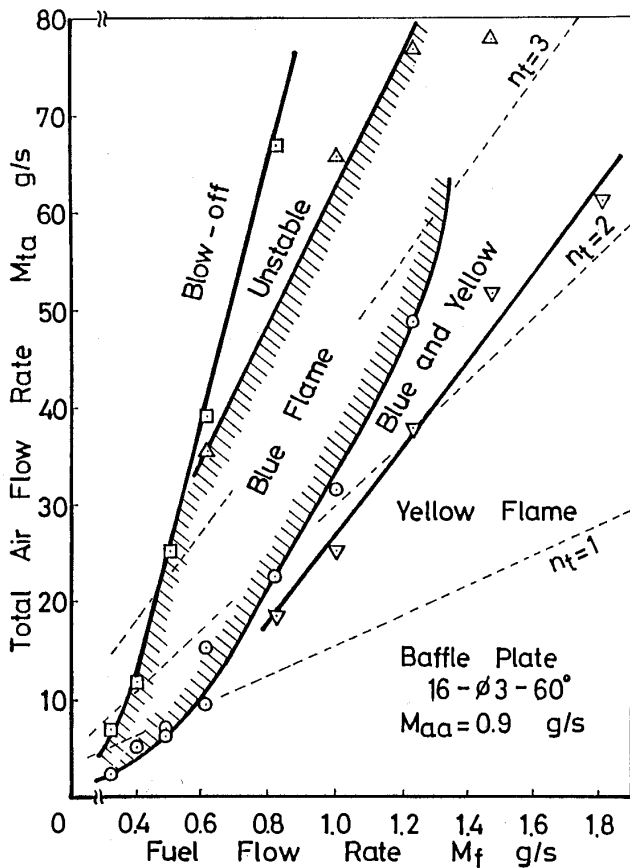


図7 燃焼特性 (気流噴射弁, 16-φ3-60°)

した場合である。図7は導入孔の内径を3mmに変更し孔数を16個に増加させた場合であり、導入孔の総断面積は図6の57.6%に減少している。非燃焼時において同一の空気流量で比較すると、図7の場合は図6に比べて一次空気の流量は7%減少するが、その速度は約1.6倍、運動量は約1.5倍になっている。すなわち図7の条件は図6の場合より一次空気の混合効果を高めた場合である。図6より図7の条件の場合の方が安定な不輝炎燃焼を行う範囲が広いことが分かる。これは気流噴射弁による噴霧では噴霧自身が高速でかつ運動量も大きいため、噴霧に衝突する一次空気も高速にしないと両者が良好に混合しないことに起因していると考えられる。

3.2 不輝炎燃焼の範囲

安定な青色の火炎として不輝炎燃焼する範囲を図5,6,7から選び出し(図中でハッチングしてある部分), 空気流量と空気過剰の関係として図8に示した。縦軸には非燃焼時の分流比をもとに計算した一次空気の空気過剰率も示してある。これは図5と6の条件の場合の分流比をもとにした計算で

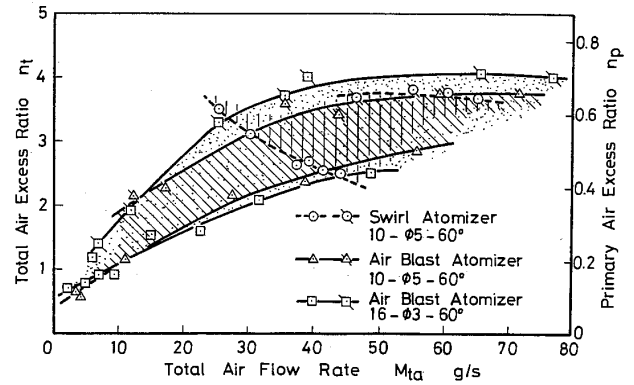


図8 不輝炎燃焼の範囲

あり図7の場合の非燃焼時の分流比から計算した一次空気の空気過剰率は図の縦軸より7%ほど小さな値となる。不輝炎燃焼を行う範囲を一次空気の空気過剰率でみると何れも1以下であり一次空気により混合と一部の燃焼が行われた状態で二次空気の導入スリットまで流動しその後主燃焼が行われていると考えられる。これは図4に示したような混合機構により燃料の一部分が一次空気により希薄燃焼し青色火炎をつくり、それが残りの燃料の蒸発を促進させ、一次空気による混合の促進効果と重畳して主燃焼域でも不輝炎燃焼を行わせているためと考えられる。

図より気流噴射弁を使用した場合と渦巻噴射弁の場合とでは安定な不輝炎燃焼を行う空気過剰率の下限界の傾向が異なることが分かる。渦巻噴射弁を使用した場合では空気流量を増加させていくとこの下限界は低下していくが、気流噴射弁と比べると不輝炎燃焼を行う空気過剰率の限界は相当高いところにある。気流噴射弁を使用した場合の下限界は空気流量とともに減少し、空気流量が極端に少ない場合では空気過剰率が1以下でも不輝炎燃焼を行わせることができる。安定な不輝炎燃焼の上限界の空気過剰率は、気流噴射弁を使用しかつ空気流量の少ない場合では、空気流量とともに増加の傾向にある。空気流量が40g/s以上では、どちらの噴射弁を使用した場合でも大差はなく、空気過剰率の上限界はおおよそ4であり空気流量に寄らず一定となっている。これは空気流量が増大すると混合が促進され、主燃焼領域の実際の空気過剰率が燃焼限界に近づいたためと考えられる。図8の結果は、図7の条件である内径3mmの導入孔を持つバッフル板を使用した場合の不輝

炎燃焼範囲が一番広く、図6の場合は全体的に範囲が狭く、図5の渦巻噴射弁を使用した場合は空気流量の少ない場合には不輝炎が現れないとも解釈できる。

噴霧と一次空気との混合状態が良好な場合に不輝炎が現れることから類推して、渦巻噴射弁の場合には高速の一次空気噴流による混合促進が不輝炎燃焼の下限界を支配していると考えられる。これに対して、気流噴射弁を使用すると微粒化用空気の運動量が燃料流量に寄らず一定であり空気流量の少ない場合にはこの噴霧の持つ運動量自身に基づく混合促進が不輝炎燃焼を促進させていると考えられる。

気流噴射弁と渦巻噴射弁で平均粒径に差があるにも係わらず、空気流量の多い部分で空気過剰率の上限をみると大差はない。従って、極端に平均粒径が大きくない限り不輝炎燃焼の範囲は平均粒径とは無関係に定まっていると見られる。

### 3.3 排出指数

NO<sub>x</sub>とTHCの排出指数を前述の3種類の組み合わせについて測定し、結果を図9に示した。横軸は当量比で示してあり、燃料流量を1.04g/sで一定とし空気流量で当量比を変えている。この測定条件での火炎形態を図5,6,7と対応させてみると、空気過剰率が3付近においてどれも不輝炎燃焼していることがわかる。NO<sub>x</sub>についてみると何れの条件においても排出指数に大差はなく不輝炎燃焼により低NO<sub>x</sub>燃焼が実現できたと考えられた。THCの排出指数は空気過剰率の増加につれ急激に上昇する傾向が見られる。これは空気流量の増加に伴い火炎の不安定性が増し、燃料の一部が未燃のまま排出されたためと考えられた。不輝炎燃焼する場合の燃焼形態は両噴射弁において見かけ上大差はなく、また図9より安定な不輝炎燃焼をする限りにおいて排ガス濃度にも大差がないことが明らかになった。このことから前述した通り、噴霧の平均粒径が不輝炎燃焼に直接影響を与えることはなく、一次空気による混合の促進が不輝炎の燃焼形態を支配していると考えられることができる。

### 4. まとめ

気流噴射弁と渦巻噴射弁を使用した噴流混合形燃焼器において燃焼特性を比較した結果次の事項

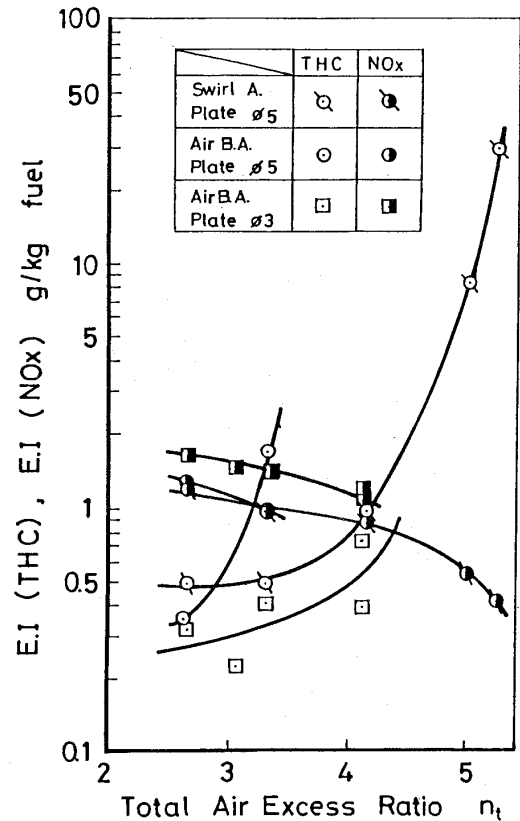


図9 NO<sub>x</sub>とTHCの排出特性

が明らかになった。

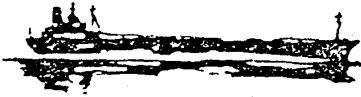
- (1) 気流噴射弁を使用すると渦巻噴射弁を使用した場合より不輝炎燃焼の範囲を拡大することができる。
- (2) 不輝炎燃焼範囲と噴霧の平均粒径は無関係であり、不輝炎燃焼範囲は噴霧と一次空気の混合過程が良好な場合に現れる。
- (3) 安定な不輝炎燃焼を行わせるとNO<sub>x</sub>やTHCの排出指数に噴射弁の影響は現れない。

謝辞

本研究の遂行に当たっては広島大学工学部学生、村中俊彦君の協力があつたことを記し、感謝の意を表す。

### 参考文献

- 1) 新井, 中森, 廣安, 噴霧の不輝炎燃焼法の研究, 第24回燃焼シンポジウム, 前刷集 (1986), 247.
- 2) 廣安, 新井, 中曾, 中森, 噴霧の不輝炎燃焼法の研究(排出ガス特性), 第25回燃焼シンポジウム, 前刷集 (1987), 286.
- 3) 新井, 廣安, 中森, 中曾, 噴流混合形燃焼器による不輝炎噴霧燃焼, 機械学会論文集 (B編), 56-530 (1990), 3160.



## 座談会

## 地球環境とガスタービン

開催日 平成2年12月11日

場 所 新宿ワシントンホテル

主 催 日本ガスタービン学会編集委員会

### 出席者 (敬称略)

伊藤源嗣 (石川島播磨重工)	岡本洋三 (東京ガス)
小島民生 (東京電力)	福江一郎 (三菱重工)
本多国昭 (日本コージェネレーション研究会)	柳下正治 (環境庁)
紙上参加: 伊藤高根 (日本自動車研)	森下光 (トヨタ自工)
司 会 平山直道 (千葉工大)	
幹 事 森下輝夫 (船 研)	伊佐治強彦 (三井造船)
佐々木誠 (航 技 研)	

お断り 座談会内容を活発にするため発言者名は匿名にしました。

### 主な分野におけるガスタービンの現状と動向

〈司会〉 本日はお忙しいところをお集まりいただきありがとうございます。お集まりの方々にはガスタービン技術の第一人者の方々で、ガスタービンと環境問題を論じていただくのに最適な方々と思っております。活発なお話がなされることを期待します。

はじめに少し古い話をさせていただきます。ガスタービン学会 (初めはガスタービン会議と称していた) ができて20年になりますが、私どもがガスタービン学会を作った当時は、ガスタービンの将来の見通しは必ずしも明るいものではありませんでした。軽量大馬力の利点で航空用だけではすでに確実でしたが、私どもは地上の分野でもガスタービンは将来使えると信じていました。しかし、ユーザー側の方たちは必ずしも私たちのようには思っておられませんでした。熱効率の低さや信頼性に危惧の念を持たれたからでしょう。

(平成3年2月4日原稿受付)

ところが、熱効率を高めるために、高温と低温で作動するサイクルを組み合わせるコンバインドサイクルが実現し、高温側のガスタービンの出力の方が低温側サイクルよりずっと大きいなど、ガスタービンに従事する者はたいへん愉快になっています。また熱利用が盛んになり、ガスタービンを使うコージェネレーションも出てきています。材料の進歩もあって信頼性も高まりました。ガスタービンは大型ほど性能が良くなるとされていましたが、小型のものも性能が良くなり非常用を始め小出力の分野にも広がりました。ガスタービンは多種類の燃料が使えるわけですが、いろいろな燃料も現実に使われるようになりました。このような次第で、ガスタービンの将来はたいへん明るくなっています。さらに最近問題にされてきた地球環境の保全を考えても、ガスタービンは相当なウェイトを持つであろうと考えられます。

本日の座談会では、ガスタービンの進歩の現状から始めて、地球環境とガスタービンを論じ、将



向かって左より 柳下氏, 平山氏 (司会), 福江氏, 伊佐治氏



向かって右より 本田氏, 小島氏, 岡本氏, 伊藤氏

来の展望を語るというように進めたいと思います。今日は地球環境保全の行政の専門家の方にもお出いただいておりますので、ガスタービン技術者の発言をお聞きになって、いろいろコメントしていただきたいと思います。

では最初に、ガスタービンの進歩の現状を各分野からお話していただきましょう

〈A〉 発電用としては初めは非常用として導入されました。昭和40年代の後半、第一次石油ショックの直前で電力需要がたいへん急増した時代にピークロード用として1ユニット3万kW級のものが導入されました。石油ショックを経験し昭和50年代に入りエネルギー価格が急騰するようになってから、発電プラントの高効率化が目標になりました。LNGの導入もこのころから本格化しました。LNGはnoble useという考え方が一部にあり、貴重な資源を大事に使うということで高効率化をねらってコンバインド化が計画されました。コンバインドサイクルはアメリカやヨーロッパでは使われはじめていましたが、信頼性がこの当時はあまり高くないこともあり海外の調査を積極的にしました。そして天然ガスを使えば熱効率はかなり高くなり、しかも信頼性も高まるだろうと考えました。航空用の信頼性が大いに高まり、ガスタービンの機械全体の性能が向上してきたことが、その背景にあったと思います。このような事情でベースロード用に導入する機運が高まったわけです。

環境対策の面ではガスタービンはガス量が多いのでハンデがあります。そこで、低NO<sub>x</sub>化の研究開発を進めて、水噴射・蒸気噴射や低NO<sub>x</sub>燃焼器と脱硝装置を組み合わせることにより在来型のボ

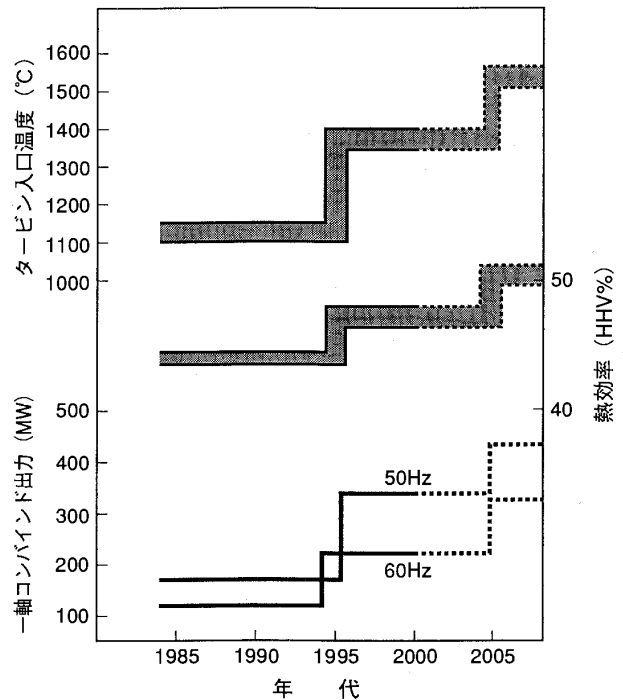


図1 大容量コンバインドサイクル開発動向 (運開年ベース)

イラー蒸気タービンによる汽力プラントに匹敵するような環境対策が可能になりました。1984年から東京電力富津や東北電力東新潟の100万kW級の大容量発電所に第一段タービン動翼入口ガス温度が1100°C級のガスタービンを用いたコンバインドサイクルが使われるようになりました。このような経過をたどり現在ではLNG焚きの火力ではコンバインドサイクルが主流になろうとしています。

今後の動きとしては、更なる高効率化と一層のNO<sub>x</sub>対策を進めたいと思っています。地球環境対策として、LNGではCO<sub>2</sub>の排出量は石炭や石油より少ないし、コンバインドサイクルにより従来

の40%の熱効率(HHV ベース)が43%位に、さらに実用化に向けて動き出している1300°C級のガスタービンを使用すると48%位になり、従来の汽力より20%位効率は向上し、その分CO<sub>2</sub>排出が少なくなります。これからの地球温暖化対策の一つとしてガスタービンコンバインドサイクルを位置づけたいと考えております。

〈司会〉 コンバインドサイクルのハード面の立場からは如何でしょう。

〈B〉 たしかに昔は信頼性の点で不安をもたれていましたが、現在では信頼性もかなり改善されており、各地で運転されている1100°C級ガスタービンは信頼性の面で高い評価を得ています。大型ガスタービン開発の過程は10年ピッチで考えることができます。つまり1984年から85年にかけて1100°C級が実用期に入り、現在開発が完了した1300°C級は1995年頃実運用に入る予定です。従ってタービン入口温度は10年間で200°C上昇したことになります。さらに現在、次世代ガスタービンとして1500°C級の開発が始まっており、これは2000年頃開発が完了し、2005年には稼働に入ると思います。コンバインドサイクルとしての熱効率は、現在の1100°C級で従来火力に比べて1割、1300°C級で2割、1500°C級で3割それぞれ改善される見通しです。以上が2000年までの開発のシナリオです。現時点での当面の課題は1300°C級の実用化です。

〈司会〉 発電所の規模はどのくらいになりますか。

〈B〉 1100°C級では1軸50Hzのコンバインドサイクルで単機容量15万~20万kW、1300°C級で30万kW、1500°C級では40万~50万kWということになります。発電所としてはこれらを複数台設置し100万kWとか200万kWの規模とする訳ですが、単機容量としては大きければ大きい程良いのか、また適正な大きさがあるのかは今後の検討課題です。

〈司会〉 コージェネレーションについては如何でしょう。

〈C〉 小型ガスタービンのコージェネレーションは、1000, 1500, 4000kWのものが多く稼働しています。ガス3社(東京ガス、大阪ガス、東邦ガス)と、1000kWのものは三井造船、1500kWは川崎重工と共同で開発し、LHVだが発電端で25%程度

の効率を出しました。4000kWはアリソン501KB5で、この機械はすでに20機近く運転されています。ヘビィデューティでは新潟鉄工のソーラーがあります。輸入ものではフランスのマキエラのヘリコプター用の1000kW機がIHIから近く世に出ると聞いています。これらも発電機端で25%位が得られます。コージェネ用は航空転用型からスタートしましたが、ヘビィデューティ型についてもソーラー以外に近くラストンから出るようです。信頼性につきましては、航空用は何回かの離着陸回数毎に点検され比較的短い使用時間で整備されることで確保されているように思われるので、コージェネのユーザーはまだ心配しているようです。ガスタービンのコージェネのトータルの運転実績は今のところ最大で3万時間位です。これが今後どのくらい伸ばせるものでしょうか。1万kW以下の小型のものでは、開放点検を1年伸ばしてもよいという通産省側からの意向があっても、メーカー側の立場からは今のところ1年伸ばして2年に1回というのは少し恐いところのようで、メンテナンスコストも課題であります。ACT90などで500kW級のものが数年後には出てくるでしょう。セラミックガスタービンではNEDOで発電端効率39%の300kW級が平成7年を目標に進められています。

〈司会〉 熱の利用の面からで3万時間以上もの連続長時間運転の注文があるのですか。たしかに休むと代替の熱源が必要になるのでしょうか。

〈C〉 8千時間使用して点検するのですが、点検のため3週間から4週間も休むわけで工場の操業の年間スケジュールとの調整が必要になります。新しく設置するときは予備機等の検討が必要ですし、古い設備に付け加える場合はすでに蒸気源がありますからそれを使うなどしています。現在のものはいずれもまだ小さいものですが、大きなものになりますとますます点検時間を短くする必要があります。

もう一つ重要なことは、どれだけのペイバックができるのか、何年もつのか、ライフサイクルコストはどうかと質問されます。年間7000~8000時間の運転時間で何年も使った例がまだないので、メンテナンスコストについてのデータの集積が今後の課題です。

表1 各種コージェネレーションシステムのヒートバランス例

エンジン形式	ガスタービン	ディーゼル	ガスエンジン
型式 (メーカー)	GAS POWER 1000 (三井造船)	M200AL-EN (ヤンマー)	GP-450E (西芝)
発電出力	1,100 kw	500 kw	380 kw
熱回収	蒸気 (3,015 kg/h)	温水 (25 m <sup>3</sup> /h) 蒸気 (213 kg/h)	温水 (920 l/m)
発電効率	25%	38.5%	31.3%
熱回収効率	48%	23.9%	52.8%
総合効率	73%	62.3%	84.1%

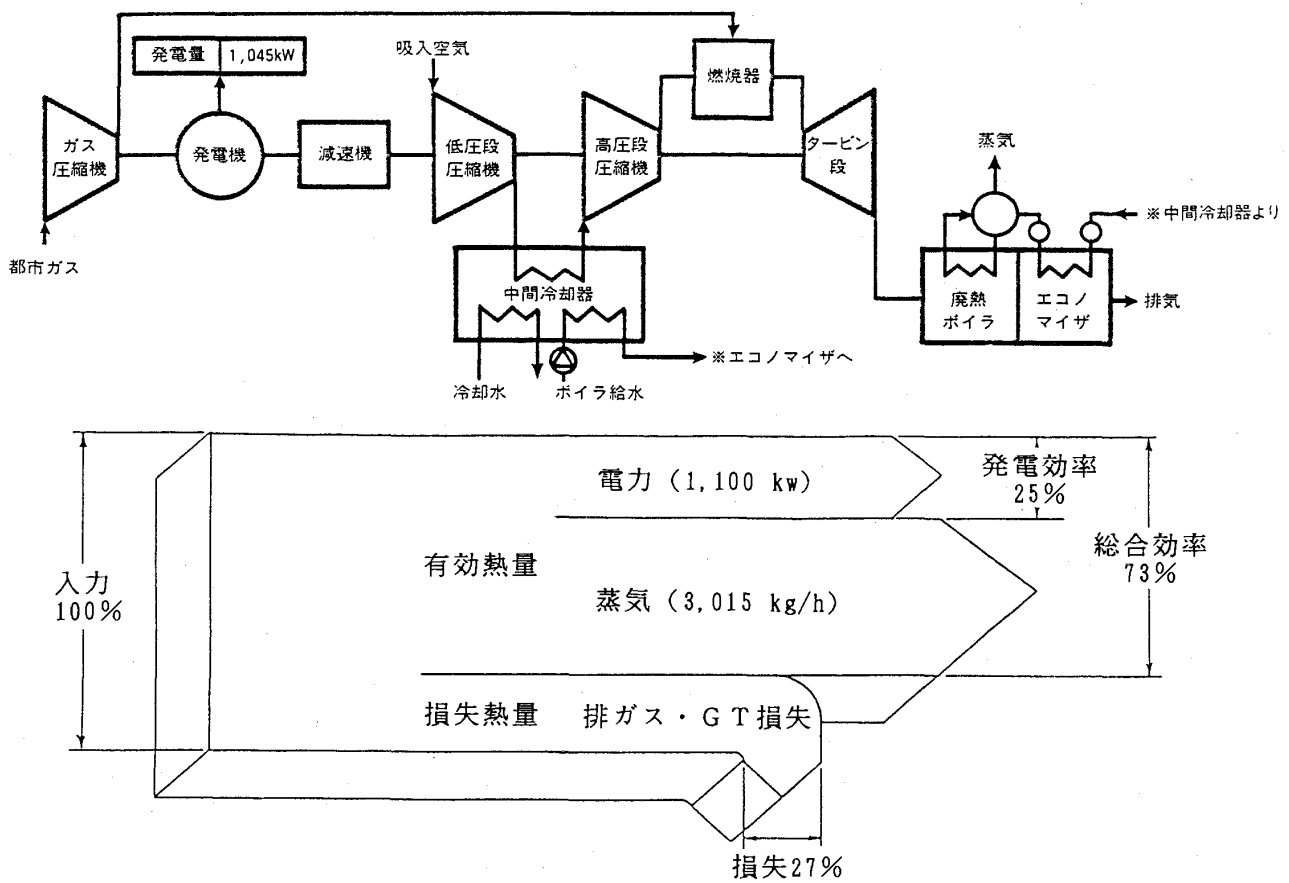


図2 ガスタービン・コージェネレーションシステムの例 (三井造船 GAS POWER 1000)

〈司会〉 メンテナンスについて何か補足されることはありませんか。

〈D〉 先程、コージェネレーションの導入でガスタービン屋の仕事が加速されたとおっしゃいましたが、歴史的に見ると、背圧蒸気タービンを使って廃熱利用をする、主に製紙会社で多く行われていた、熱併給発電は古くからあったわけです。しかし、新しい概念のコージェネレーションの歴史

は新しく、昭和61,62年に通産省が行った特定供給の緩和や系統電力との連携などの deregulation の頃から始まったのだと思います。

電力事業用と違ってコージェネはユーザー側に導入しなければならない必然性がない、つまり必要な電気、油、ガスなどは既存のエネルギーのインフラを使えばすむわけです。そこへコージェネを採用してもらうためには何か魅力のある商品で



なければならぬわけですね。そこが事業用と違うところだと思います。その魅力とは、例えばさっき出した耐久性とか経済性すなわち高効率化です。それからマーケットが求めるキャパシティはどれくらいかを調べると、割と小さく1 MWとか4 MW以下がターゲットになります。

コージェネの宿命的なもので、熱と電気の需要の割合が時間的や季節的に変動しますので、熱電可変の技術が必要になります。そのために、チェンサイクルやコンバインドサイクルや再生サイクルを入れる工夫をしています。

さらにイーゼーメンテナンス、イーゼーオペレーションのためにパッケージ化して水と電気とガスをつなげばすぐ使えるように、ガス、石油会社とガスタービンメーカーが一緒になってやっています。

〈司会〉 熱電可変にした上でイーゼーオペレーションはたいへんですね。

〈D〉 そうです。難しいことをメーカーさんをお願いしています。

〈司会〉 排気タービンについて、排気エネルギーの回収やパワーアップなどで開発は広がったのかどうでしょうか。

〈C〉 先程話があったコージェネで熱電比を変えろという観点からも、できる範囲で電気を余計に取ろうと言うわけでターボコンパウンドが考えられています。ガスエンジンやディーゼルエンジンの燃焼圧力を高めてやり、排気エネルギーを高めてやると、排気タービンで10%位の出力アップが図れます。10%アップさせるには排気温度も800°C位にしなければならず、材質の問題がでてきます。コストパフォーマンスの面で問題です。

〈司会〉 では、ガスタービンの中心的な航空用について、現状と今後の動向についてお話し下さい。

〈E〉 航空用ガスタービンは軍用で50年弱、民間機用で約35年の歴史がありますが、技術革新が継続していて、まだ成熟技術という感じからは程遠い状況です。軍用超音速機用では非再燃式のジェットエンジンから再燃式のジェットエンジンを経て現状は再燃式のファンエンジンの段階です。推力/重量比も初期に3~5程度だったものが現状8~10位でしょうか。開発段階にある機種では、必要出力、機速等に合わせてエンジンのバイパス

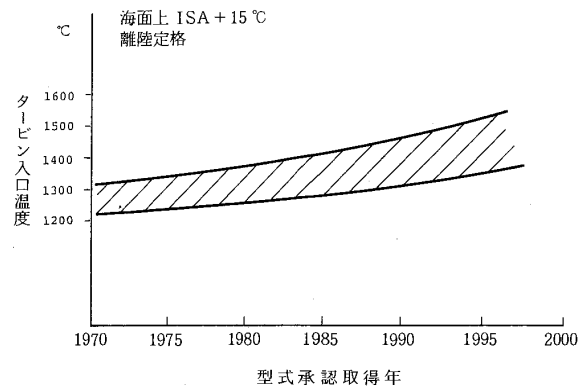


図3 航空用ガスタービンのタービン入口温度の傾向

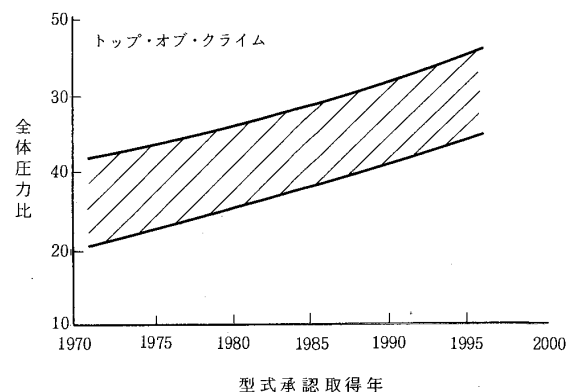


図4 航空用ガスタービンの全体圧力比の傾向

比、圧力比等を最適値に近く保つような可変サイクルが採用されていて大幅な燃費の低減が実現するものと思われます。推力/重量比も開発機種では12程度が実現するようです。民間用では1960年代後半にいわゆる高バイパス比ファンエンジンが実現して以来バイパス比は4.5~7とあまり変わっていないのですが燃料消費率は25~30%低減しています。全体圧力比とタービン入口温度の上昇、構成・要素効率の向上が主な原因です。中でも圧縮機静翼の取付け角度を可変にする技術の進歩とタービン翼をはじめ高温部の部品の冷却技術の進歩、それに材料・コーティング技術の進歩が特に大きいものです。高圧力比、高温化に伴い、より多くのパラメーターをより精度良く制御することが要求され、以前の油圧式の制御にとって代わり、全デジタル電子制御 (FADEC) 方式の採用が一般化しています。一世代前のエンジンに比べて飛行中エンジン停止率などの信頼性指標が飛躍的に改善された点も大きな技術進歩と言って良いでしょう。

航空用のエンジンを選ぶときにトータルライフコストは一緒だと考えると、信頼性・整備性と性能そしてNO<sub>x</sub>排出量が選定条件になってきました。特にNO<sub>x</sub>は商品の差別化に強くものを言うようになってきました。現実にスウェーデンでは今飛んでいる飛行機に対してNO<sub>x</sub>の排出量が多いものには罰金というか上納金を払わされるようになってきています。日本ではまだそれほど大騒ぎになっていないようですが。「今日は恐い人がきていますから危ないですよ」の声で笑い)

航空用エンジンで熱効率を高める手立てには3つあります。一つは、サイクルの最高温度と最高圧力比をできるだけ高くするという事です。現在はだいたい最高温度は1450°C、最高圧力が35~6のレベルですが、10年後にはそれぞれ1520~30°C、45~6位のレベルになるでしょう。圧力比が40以上では空気の温度は670°C位以上になり冷却空気としては有効に機能しなくなってきています。特別のことをしない限りその辺が一つの壁でしょう。

二つめは、各コンポーネントのポリトロピック効率を現状88~90%なのを90~92%にすることで燃費は2,3%良くなります。

三つめは、推進効率を高くすることで、マッハ0.8~0.9位で民間航空機は飛びますが、機速の2倍くらいの速度でジェットを吹き出すのが一番良いわけです。そのためにはバイパス比を高くする、現在、民間機用ではバイパス比は5~6ですが、それを9~10位にする“GE90”というのが開発にかかっています。もしかすると次に20位のがすぐ出てくるかもしれません。

SSTやHSTでは専らNO<sub>x</sub>が問題ですが、これはまだ現実のものではありませんので除いておきます。現状は以上のようなことです。

〈司会〉 石炭ガス化プラントについては如何でしょうか。

〈A〉 資源の少ない日本として将来、発電用燃料のベストミックスのため石炭を増やさなければいけないと思います。しかしCO<sub>2</sub>問題からみると石炭は使いにくい燃料であることは事実です。対策の唯一の途は効率のアップです。コンベンショナルなボイラー・蒸気タービンの他に、高効率ガスタービンと組み合わせるために加圧流動床やガス

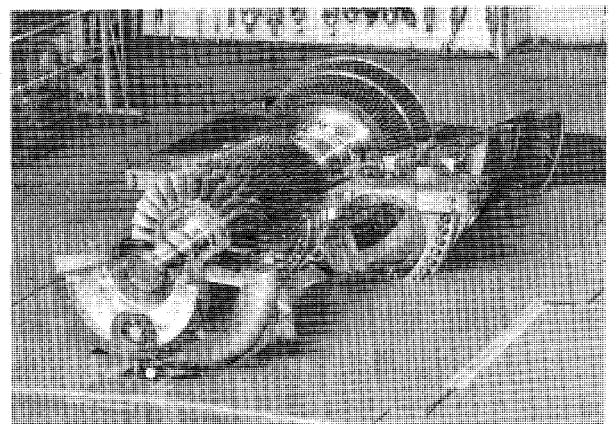


図5 石炭ガス化プラント用ガスタービン  
(日立H-14)

化コンバインドプラントが考えられています。加圧流動床についてはアメリカやヨーロッパで小規模なものからはじまって現在かなり進んでおり、7~8万kWのものが実用化しつつあります。現在行われているものは、ガスをそのままガスタービンに入れるのでガスの性状が若干ダークティです。ですからガス温度は800~900°C位であり高くできません。熱効率はHHVベースの送電端で40~42%位が期待されています。より高効率化のためにガス化により徹底的にクリーンにしてガスタービンの入口温度を当面1300°Cに、さらには1500°Cを目指そうとしています。わが国でも国家プロジェクトで勿来に200トン/日のものが1991年春据付けを終わり試運転を開始します。これはガス温度1300°C、熱効率は43%を実用化での目標にしています。これは従来の石炭火力との相対比で約15%の熱効率のアップになります。

ガスタービンの燃料は将来何が使われるか

〈司会〉すでにガスタービンの燃料についても話が出ましたが、例えば天然ガスは将来もずっと使えるのでしょうか。ガスタービンに供給される燃料の将来展望についてお話し下さい。

〈B〉ガスタービンはご存知の通り、ガス燃料・液体燃料のほとんどの燃料に対応します。大容量のガスタービンでは天然ガス、コージェネレーション用では石油生成ガスなどが一般的に使われています。もちろん灯油などの石油系燃料も広く使われています。石炭利用では、ガス化、加圧流動床、微粉炭の直焚きの3種類の方法につき研

究が進められていますが、最終的にはガス化と加圧流動床の競争になると思います。製鉄所でできる副生ガスは低カロリーで、石炭ガス化炉から出てくるガスに性状が似ていますが、これらの低カロリーガスを燃やす燃焼器はすでに開発済みであり実用化されています。火炎温度が低くNO<sub>x</sub>の発生も少ないことからガスタービンにとって相性のよい燃料と考えています。メタノールは直接焚いても、改質ガスにしても特に問題となることはありません。水素もすでに70%以上の水素リッチガスの実績があり、将来出てきても問題はないと考えています。ガスタービンとして燃料に対する課題は石炭系燃料、重質油を使った場合、燃焼ガス中に含まれるダスト及び腐食性成分の雰囲気でのタービン翼のエロージョン・コロージョン防止策であり、コーティング施行などの研究が進められています。

〈司会〉 航空用ではどうでしょう。石油が駄目なら原子炉というわけにもいかないでしょうね（笑い）。

〈E〉 航空用の原子力は昔アメリカで実験されたことがあります。しかし最後に安全性というところに戻ってくるとやはり化石燃料ということになります。いささか不遜な言い方になるようですが、化石燃料を最後まで使えるのは航空用だと思っています。それが駄目になったら液体水素しかないと思いますが、液体水素を使うことには基本的には問題はありません。ですから、使うことが必然ということになれば5年位で実用機ができるでしょう。

〈司会〉 ベースロード用ではどうでしょうか。

〈A〉 発電用では原子力、石炭、LNGの三つをバランスよく伸ばして油への依存は少なくし、油はこれら三者を補完するといった形になるでしょう。わが国では1988年度で、石炭は発電量の10%、原子力27%、LNG21%、油29%という割合です。ガスタービンの分野ではLNGと石炭で、特にLNGはCO<sub>2</sub>問題から今後更に使われるでしょう。石炭を使うにはやはりクリーン化と高効率化をしなければなりません。それには相当の技術開発の投資が必要ですが、加圧流動床と石炭ガス化コンバインドサイクルが将来の方向だと思います。また将来、メタノールもガスタービンに使われるのではない

表2 電力用燃料の構成

	発 電 電 力 量 (億kWh)						
	1988年度		2000年度		2010年度		
	(実績)	構成比(%)		構成比(%)		構成比(%)	
原子力	1,776	26.6	3,290	35	4,730	43	
石炭	636	9.5	1,560	16	1,630	15	
L N G	1,414	21.2	1,880	20	2,010	18	
水 力	886	13.3	1,010	11	1,180	11	
	一般	801	12.0	850	9	990	9
	揚水	85	1.3	160	2	190	2
地 熱	11	0.2	60	1	210	2	
石 油 等	1,944	29.2	1,630	17	1,050	10	
メタノール	—	—	—	—	40	0.3	
分散型電源	—	—	30	0.3	250	2	
合 計	6,668	100	9,460	100	11,090	100	

(分散型電源：燃料電池、太陽光、風力)

でしょうか。

〈司会〉 まだ燃料のことまで考えが及ばないかもしれませんが、コージェネレーション用はどうでしょうか。

〈C〉 NEDOが推進しているセラミックガスタービンではどんな燃料でも燃やせることを目標にしています。スタートは天然ガス焚きで開発が始まりますが、重質油、残渣油など全ての燃料が使えるようにというのが基本コンセプトです。

〈司会〉 ある程度ダーティなものも使えるようにということでしょうかね。セラミックはガスには強くても溶融物にはそんなに強くありませんね。付着しますから。

〈C〉 そうですね。現在のところ付着の対策についてはメーカーも全く考えていないと思います。

〈司会〉 石油系以外の、新エネルギーについてはどうでしょうか。先程も話に出た水素やメタン改質ガスは問題ないとしてよいでしょうかね。開発には順序があつてあまり問題ないものの技術開発を早くからやる必要はないのでして、新しいものの導入にはむしろソフト面の開発が重要ですね。

アメリカでたくさん稼働している風力タービンなど日本から輸出したもので引き合っているのに、エネルギー資源の乏しい日本でそれが成立しないのは何故なのか考えさせられますね。

〈E〉 さっき水素はガスタービンにとって問題ないと言いましたが、それはエンジンだけの技術的な話に限ってのことです。実際に液体水素を航空機に使うためには、飛行場の下を全部燃料タンクにするとか、液体水素の製造はどこですか、飛行場の近くでした方がよいのかなど製造、輸送、貯蔵などインフラの構築が大変な問題です。

〈司会〉 そうでしょうね。水素製造のための元のエネルギーはあるのですが、水素燃料の製造にはたいへんな投資が必要になるでしょうね。まず、大量の需要が前提になりますね。

### ガスタービンと環境問題

〈司会〉 話題を変えて環境対策についてお話いただきましょう。ガスタービンに対する短期、中期の展望を聞かせて下さい。

〈E〉 地球環境とジェットエンジンということになりますと、騒音、エミッション、温暖化、煙がセットになると思います。

実は騒音が一番実害があって頭の痛い問題なのです。理想的なことを言えば、飛行場の暗騒音に隠れるレベルになればよいのですが。飛行場の暗騒音は真昼間では結構高く、成田などでは90dB以上もあります。早朝夜間では50dBのレベルで到底無理ですが。

エミッションについては、燃焼効率99.9%以上ということでTHCやCOはほぼ問題ないと言えます。NO<sub>x</sub>は大きな問題になりつつあります。航空エンジンの開発の過程で、1960年代の後半から70年代の前半頃に先程述べた騒音などの4つが問題になりました。その時から航空用エンジンから排出されるNO<sub>x</sub>が地球環境に及ぼす寄与度は極めて少ないということでこれまでやってきました。ところが数年前から、私が知っているところでは、スウェーデンとスイスが特にきつく、ドイツ、イタリアと北西欧の諸国で酸性雨との関係でNO<sub>x</sub>が改めて問題になってきました。

今NO<sub>x</sub>排出量は大型ジャンボ用エンジンで70g/kN・hですが、これを60~70%に、さらに将来

は半減しなければならないという声があります。レギュレーションではそんなにきつくなく、現用の民間用のエンジンで規制値に引っ掛かるようなものはありません。

CO<sub>2</sub>削減が航空用に求められることは最近まで考えていませんでした。燃費を良くすることと同じだとも考えられますが、地球温暖化と関連づけてCO<sub>2</sub>問題を念頭において総合的な燃料消費の改善を考えることが必要でしょう。

〈司会〉 ありがとうございます。関連して伺いますが、現在大型のコンバインドサイクル用の地上用のガスタービンのNO<sub>x</sub>やCOの排出量はどの位でしょうか。

〈A,B〉 1100°C級でガスタービンからの排出濃度は、16%O<sub>2</sub>換算で、50~75ppmです。これに触媒を使った排ガス脱硝装置を通して10~15ppm以下になります。COはPPMオーダーでほとんど0です。ですから燃焼効率はほぼ100%です。

〈司会〉 それと比べると航空用はかなり多いようですが、運転範囲が広いからNO<sub>x</sub>対策はたいへんですね。酸性雨に対して航空用は影響するのでしょうか。

〈E〉 影響は少ないという資料は持っています。家で落葉焚きをした方が大きいくらいと言われていています(笑い)。

〈司会〉 CO<sub>2</sub>除去技術もあるようですが、飛行機上では無理でしょうね(笑い)。電力界ではどうでしょうか。

〈A〉 ほとんど研究に手をつけたばかりという状況です。化学的な吸収と分子的な吸着とがありますが、回収までは何とか手があると思います。その後をどうするかが問題です。地上で固定するか、海底に投棄するかトータルとして成り立つのかどうか。まずは発生を少なくすることを考えるほかないと思います。

〈司会〉 COやTHCはほとんど0で問題ないというお話でしたが、SO<sub>x</sub>はどうですか。

〈複数〉 規制があり、それ以下で大丈夫です。

〈司会〉 出てしまったSO<sub>x</sub>を除去するのは大変でしょうか？

〈B〉 燃料の問題ですね。

〈司会〉 今は規制がない排出物で将来問題になるようなものはないでしょうか？

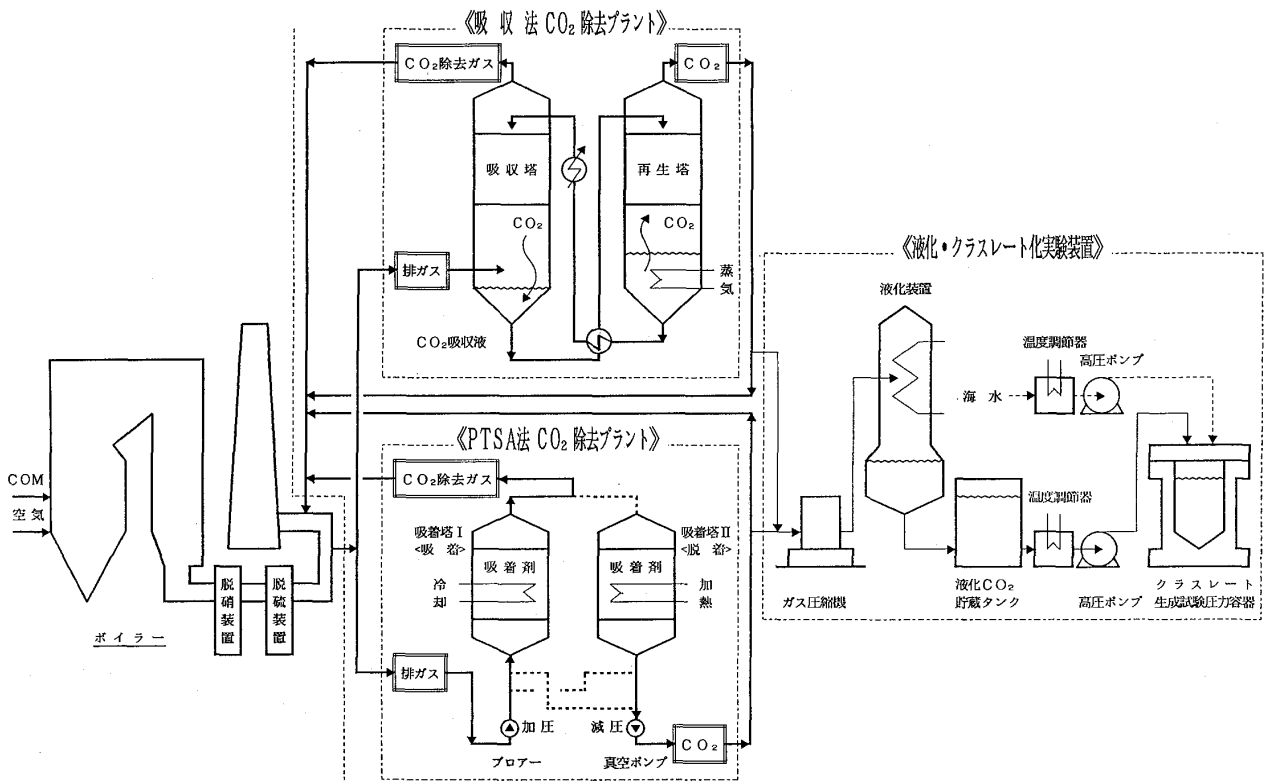


図6 CO<sub>2</sub>回収プロセス研究設備プロセスフロー

<C> アルデヒドが出てこないでしょうか。

<司会> 環境行政の立場からのご感想をいただきましょう。

<F> 地球環境問題は地球温暖化問題だけではないのですが、特に世界的に関心の高い温暖化に限ってお話しします。

国際的には1990年11月初めの第2回世界環境会議で温暖化対策の方向付けができました。簡単に言えば、先進国はCO<sub>2</sub>の排出量を1990年レベルで2000年以降安定化させるという相場ができました。相場と言うのは拘束力を持った基準が決まったわけではないからです。さらにもう一つ、温暖化ガスの排出削減について、その可能性とそれが適切なら削減目標と計画戦略を1992年にブラジルで開催される“環境と開発に関する国連会議”に報告するという宿題が出ています。世界の流れは、まず現状安定化し、更に技術開発を進めて将来的には削減を図ろうというものです。

国内では1990年10月23日に政府が地球温暖化防止行動計画を出しました。これは、2000年以降一人当たりのCO<sub>2</sub>排出量を90年レベルで安定化させ、さらに革新的な技術の開発に努め2000年以降CO<sub>2</sub>の排出総量を90年レベルで安定化するよう努める

というものです。この目標を達成するための対策メニューはお配りした資料に書いてありますが、今日伺った技術に関連することについて少し説明します。

一番目は、CO<sub>2</sub>の排出の少ない都市づくりです。コージェネも先程話に出た熱電比の可変など技術面ばかりでなく、どのような社会システムが必要か、既存の電力体系や各種の燃料供給とどう調整していくのかなど省エネ型街づくりには色々なシステムのベストフィットが検討されなければなりません。

二番目に交通体系についても、例えば航空機についてもCO<sub>2</sub>削減を考えており、そのために陸海空の輸送の効率化を図る。また自動車についても超希薄燃焼、ハイブリッドエンジンなど現在メーカー各社でいろいろな技術が研究されているようですが、やはり輸送の効率化を推進することとしています。

それから発電所については、コンバインドサイクルの一層の高効率化とともにその導入促進が盛り込まれています。なお、既存の石油火力やLNG火力のコンバインドサイクル化について、確か電力中研あたりから問題提起があります。特に石炭

表3 温室効果ガス目標設定に関する各国の動向  
(1990.12.28現在)

国名	対象ガス	安定化	削減	基準年次	特記事項
全EC (独、仏、伊、西、葡、英、アイルランド、ギリシャ、スウェーデン、オランダ)	CO2	2000年	---	1990	・ EC環境エネルギー合同理事会(10月)にて決定。 ・ 英国は目標期限を2005年とした国家計画を維持。 ・ 独、デンマーク、蘭、仏等は各国の努力を更に強化している。
英国	CO2	2005年	---	1990	・ 環境白書(9月)で表明。
ドイツ	CO2	---	2005年に25%削減	1987	・ 閣議決定(6月)
フランス	CO2	2000年に1.5%削減 21%/年以内	---	---	・ 閣議了解(6月)
オランダ	CO2	1995年	2000年に3-5%削減	1989年と90年初期	・ 新国家環境政策計画(6月)で位置づけ。
イタリア	CO2	2000年	2005年に20%削減	1990	・ EC環境大臣ベルゲン会合(5月)にて表明。
カナダ	CO2	---	2005年に20%削減	1988	
カナダ	CO2と他の温室効果ガス	2000年	---	1990	・ グリーンプラン(環境問題に関する行動計画11月)で位置づけ。
オーストラリア	CO2	1988年10月で発表	---	1988	・ 国会決議(1988年6月)
ノルウェー	CO2	2000年	---	1989	・ EC環境大臣ベルゲン会合(5月)にて表明。
オーストラリア	温室効果ガス(メタン、一酸化二窒素、六フッ化硫黄)	---	2005年に20%削減	1988	・ 閣議決定(10月)
ニュージーランド	CO2	---	2005年に20%削減	1990	・ 首相発表(8月)
米国	排出抑制目標は設定していない。				・ ライリー環境保護庁長官が、全温室効果ガス排出と吸収(森林等)を考慮した場合、2000年において25%削減可能(1987年、4月)との試算を発表。 ・ E.F.T.A (オーストラリア、カナダ、オーストラリア、ニュージーランド) 内での統一目標は、未だ設定されていない。

表4 地球温暖化防止行動計画(抜粋)

第三 行動計画の目標	平成2年10月23日 地球環境保全に関する関係閣僚会議決定
温室効果ガスの排出抑制目標は次のとおりとする。	
(1) 二酸化炭素については、先進主要諸国がその排出抑制のために共通の努力を行うことを前提に、次の目標を定める。	
① (前略) 本行動計画に盛り込まれた広範な対策を実施可能なものから着実に推進し一人当たり二酸化炭素排出量について2000年以降概ね1990年レベルでの安定化を図る。	
② 上記①の諸措置と相俟って、さらに、太陽光、水素等の新エネルギー、二酸化炭素の固定化等の革新的技術開発等が、現在予測される以上に早期に大幅に進展することにより、二酸化炭素排出総量が2000年以降概ね1990年レベルで安定するよう努める。	
(後略)	
第五 講ずべき対策	
政府は、計画の目標達成に向けて、以下の対策を推進するものとし、実現可能な対策から順次着手する。また、その際、地球温暖化対策の実施が他の環境問題の惹起・拡大につながるまいよう十分留意する。	
1, 2, 3, 4 (略)	
5 技術開発及びその普及	
わが国は世界的に優れた省エネルギー技術等を有しており、前述の諸計画等を踏まえつつこれら技術の一種の普及に加えて、より高度な省エネルギー技術、新エネルギー技術、二酸化炭素の回収、固定化技術等の開発の促進に努めるとともに、技術の普及を促進する社会システムの構築を図る。	
1 温室効果ガス排出抑制のための技術	
(1) 温室効果ガスの排出を抑制するため、安全性確保を前提に原子力の開発利用を推進する。また、太陽、風力、波力等の自然エネルギー及び天然ガス等、二酸化炭素等を排出しない、あるいは二酸化炭素等の排出の少ない新・代替エネルギー技術の開発・利用を推進する。	
(2) 高効率ガスタービン等の開発、燃料電池等のエネルギー利用の効率化、生物機能を利用した製造技術等二酸化炭素等の排出が少ない製造技術の開発を行うとともに、(中略) 高効率エネルギー利用技術、及び自動車等交通部門におけるエネルギー効率化のための技術・システムの開発・普及を推進する。	
(以下略)	

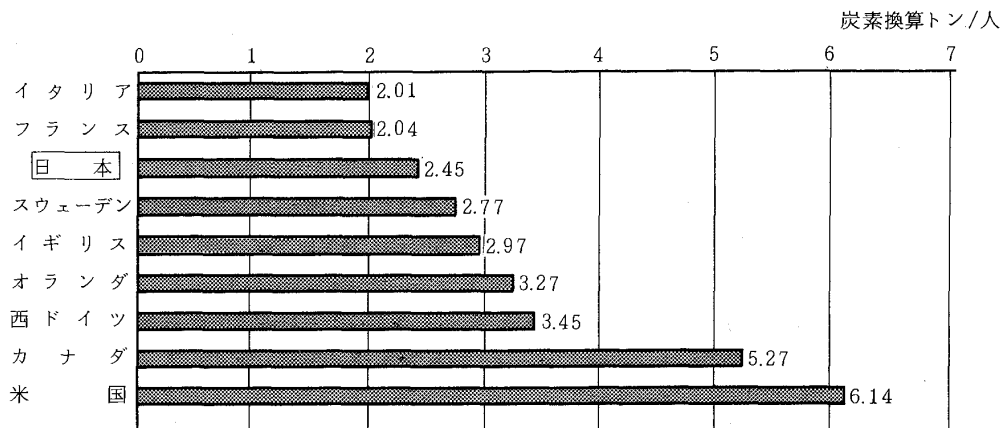


図7 先進国の一人当たり二酸化炭素排出量の比較 (1988年)

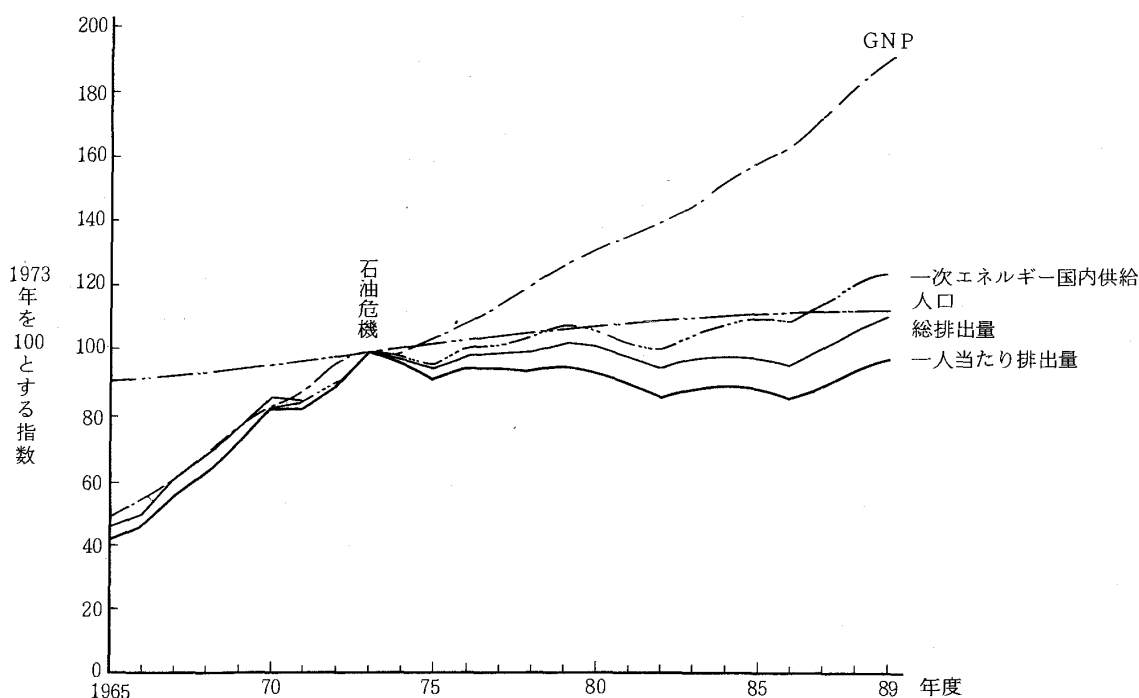


図8 我が国の二酸化炭素排出量と GNP, 一次エネルギーの推移

火力のコンバインド化が石炭のガス化とあいまって実現されれば省エネ効果は極めて大きく、単純計算によってもわが国のCO<sub>2</sub>排出量の抑制に大きな寄与が期待できます。これは技術的に難しい問題があるでしょうが技術ばかりでなく、IEAの石油火力の規制問題など周辺のもろもろの問題をどのように解決していくかについても併せて検討していかなければなりません。ガスタービンについては、燃料のベストフィットとコンバインドサイクルの一層の高効率化という見地から、ガスタービンに対する期待は非常に大きいものがあります。

わが国のCO<sub>2</sub>排出削減の行動計画にも書いてありますが、まず現在ははっきりしている手段は極力

実行する。それで多分2000年以降一人当たりの排出量の現状維持は可能だろうが、それのみによっては人口増加分だけは増えて総排出量は抑えられない。世界的にみて日本の排出レベルの原単位はすでになんかなり小さいですから、総排出量を現状レベルに抑えるためには現在10年先、20年先の技術とされている新技術を積極的に実用化に向けて推進していただきたいと思っています。同時に技術開発だけでなく、例えばコージェネレーションなどでは、社会的に受け入れていく制度なりシステムの整備も併せて進めなくてはなりません。

## ガスタービンの将来

〈司会〉 それでは、地球環境問題に対してたいへん期待されているエネルギー変換装置としてのガスタービンを将来どのようにもっていききたいか、それぞれの分野の将来展望をお聞かせ下さい。

〈E〉 航空用エンジンではNO<sub>x</sub>対策がここにきて改めて非常に大きな問題となり、エンジンの採否の決め手になってきました。さっき言った70 g/kN・hは約50ppmですが、これを30~40%下げることが目標です。NO<sub>x</sub>低減はどのガスタービンでもやっかいな問題ですが、とりわけ航空用エンジンでは、空燃比が地上の最大出力時で40弱、4万ft マッハ0.9のアイドリングでは220程度と変わり、アイドルからほぼ最大出力まで5秒以内での急加速が可能で、旋回・急上昇など姿勢の変化、それに豪雨の中など色々な条件下でも安定した燃焼の保持が求められるということで、NO<sub>x</sub>対策には隘路があるわけです。今どこのエンジンメーカーでも1994年から95年を目標に開発を急いでいます。ダブルドームと言っていますが、小出力用の燃料噴射と大出力のとに分けて安定した燃焼をさせるというものです。概念は一次燃焼は還元燃焼させ、従来は2次燃焼そして希釈といったのを2次燃焼のところで希釈を兼ねて急冷してNO<sub>x</sub>の生成を抑えるといったものです。燃焼器出口温度が1450°Cレベルのものでは分布を考えると最高温度は1650°Cにもなりますから、プラクティカルにはかなり困難な課題です。これが今最も優先度の高い研究課題になっています。

SST や HST は除いてお話ししますと、向こう15年位の間に燃費が15%位減らせるでしょう。そのためには、バイパス比をあげ、圧力比と最高温度をあげてサイクル効率を高めるのと、要素効率を今の88~90%から90~92%へ、さらにもう1,2%あげる。これくらいが限度かと思いますが、これらが今後15年位の努力目標です。もう一つ重要なのは高温部の冷却です。エンジンでガス温が一番高い所は燃焼器出口からタービン入口ですが、これを1550~1600°Cさらに1800°Cまでいけるという人もいますが、ガス温を高めるためには材料と冷却問題がたいへん重要です。現在高温部の冷却に20%くらいの空気量を使っていますが、温度をあげなければこの量を半分くらいにでき、燃料消費もかなり減らせます。しかしそうはならないで温度を更に100~150°Cとあげていって空気量はそのままに抑えるという方向のようです。そのためには金属間化合物、金属あるいはセラミックをベースにした複合材など新素材が大きなテーマです。もう一つエンジンの推力重量比、これは離陸時の推力をエンジンの重量で割った値ですが、民間用ではここ20年これが5位で一定しています。この間燃料消費が30%も減っているのにです。圧縮機出口の空気をそのまま冷却用にするにはすでに限界にきています。燃料でこの空気を冷やすといった可能性もなくはありませんが、そんなことはしないとすれば、エンジンの重量を減らすことは燃料を使わないことと同等ですから新素材やコーティングでエンジンの重量を20%位減らす、

表5 ガスタービンの排ガス規制値

陸用定置型ガスタービンでは、定常運転時の排ガス中の有害成分の濃度が規制され、例えば、わが国の環境庁の基準値は、NO<sub>x</sub>については70ppm(O<sub>2</sub>濃度16%に換算して)となっている。これに対し、航空機用ガスタービンでは、空港周辺での運用を想定した運転サイクルにおける有害成分排出量が規制されている。例えば、ガス成分の場合ICAOの規制では、LTOサイクル(Landing and Take-off Cycle) = Take-off(100%出力で0.7分) + Climb(85%出力で2.2分) + Approach(30%出力で4分) + Taxi/Idle(7%出力で2.6分)による約33分間の運転における各モードでの排出量の合計を定格出力で除した値で規定される。NO<sub>x</sub>については{40 + 2 × (基準圧力比)} g/kN(定格出力26.7kN以上の亜音速機用ターボジェット・ターボファンの場合)となっている。詳細は本誌第16巻第64号参照。



そして騒音を10dB減らすことが開発目標です。

〈A〉 発電用ではタービン入口温度は航空用より低いし、負荷変動はありますが基本的にはベースロード用ですから燃焼は航空用より楽です。現在はタービン入口温度1100°Cでガスタービン出口で50~70ppm位です。開発の当初は燃焼器に水・蒸気噴射をしましたが、燃焼器そのものを改良して予混合燃焼を中心に開発が進んでいます。ユーザー側からは仕上がりとしてボイラーと同じ10~15ppm以下にしたいわけです。

〈B〉 十数年前に航空用でEEEエンジン(Energy Efficient Engine)の研究開発プログラムなどで予混合燃焼が研究され我々も参考にさせてもらいました。今主流は燃料と空気を混ぜたものを燃焼器で燃やして火炎温度を下げる予混合燃焼です。火炎温度が1600°C以下ならNO<sub>x</sub>はほとんど0になります。今後タービンがもっと高温化しても、この方式でNO<sub>x</sub>の排出量は現状かそれ以下に抑えられると思います。環境基準としては、NO<sub>x</sub>はそれでよいとして、CO、ハイドロカーボン、微粒子などを1から数ppmに抑えていくための技術課題があります。

〈E〉 予混合燃焼は燃焼効率も上げられるし煙を出さないという面からもいいのです。ローカルな温度を上げないので航空用でもかなり採用しています。ただ航空用ではフレームの一番温度の高いところでは2000~2100°Cにもなります。意図的にリッチにして還元燃焼にして反応を遅らせ、その後冷却しながら急速に燃やすということをします。航空用は特殊なんですね。

〈C〉 数MW以下までのまでのコージェネでは、触媒燃焼器あるいはハイブリット触媒燃焼器などの採用でNO<sub>x</sub>は数ppmに抑えられ、大型に比べて遜色ないように出来そうです。数十ppmなら水・蒸気噴射で十分できます。

CO<sub>2</sub>について言えば、タービンの高効率化とともに排熱をどれだけ利用できるかも重要です。試算によると発電端効率25%の排熱を使いければ一次エネルギーの利用効率で30%の省エネができます。その分CO<sub>2</sub>も減らせるわけです。

〈司会〉 コージェネはまだ運転時間が短いですが、長時間使えるようになるとエネルギー効率では、コージェネは極めて有効ですね。

〈A〉 発電用でもガスタービン入口温度を低NO<sub>x</sub>化しつつあげていくことです。10年ピッチで200°Cアップできればたいへんありがたいですね。長期展望でCO<sub>2</sub>を減らすためには今ある発電設備を部分的に改善しつつ高効率化することが必要です。燃料や設置場所の制約もありますが、ガスタービンをトップタービンにして排気再燃焼などによりかなり熱効率を向上できます。例えば35万~60万kWの大型ボイラプラントにマッチングする15万~20万kWのガスタービンを組み合わせると、ガスタービン部分の効率アップだけでなく、全体の効率もあがります。それから30年40年使った古い施設を社会資本の充実に合わせて電力施設も更新していく、その中で高効率指向を図るのが一番大きな改善になると思います。

〈司会〉 発電所の更新と効率化をどう進めるかというお話ができました。私は東京都のゴミ処理問題に関係しておりますが、古い処理施設の更新計画を作るとき東京電力の協力をずいぶん受けました。システムの更新・変更は本当に計画的にしなければいけませんね。

発電用ガスタービンについて技術的なご意見がありますか？

〈B〉 これから実用に入る1300°C級のガスタービンを使ったコンバインドサイクルでは、従来の汽力発電に比べて熱効率は2割改善できます。将来展望となりますと、現在1500°C~1600°C級の次世代高温ガスタービンも研究されており、これが10年後ぐらいに実現すれば熱効率はさらに1割上乘せできます。この辺が当面の目標です。

材料技術では、我々もセラミックスや単結晶合金などの研究をしていますが、これからの方向は、ベースは金属で表面はセラミックスといったような、複合材料に向かうものと思います。

燃料は水素が出てくることを期待しています。排気は水しかないし(笑い)、熱効率60%も狙えます。カルノーサイクルの理想効率に出来る限り近づくことがガスタービン屋としての夢です。

〈司会〉 そのうちナショナル・プロジェクトが出てくるでしょうね。次にコージェネレーションについてお話し下さい。

〈C〉 現在のコージェネレーションはレシプロエンジンが主流ですが、ガスタービンの効率が上が

ればガスタービンを使ったコージェネレーションが主流になると思います。個人的な意見ですが、熱効率が HHV で30%以上になれば環境面や熱利用の面からレシプロエンジンからガスタービンに替わるのではないのでしょうか。

これからはコスト最重視より「人に優しい」が必要になりますから、水素燃料が出てくると思います。水素の製造も太陽エネルギーで発電しその電力を使っての電気分解ではなく、太陽光での直接熱分解で H<sub>2</sub> と O<sub>2</sub> を作る方式が有利だと思います。LNG と同様に水素も酸素も貯蔵・輸送ができ、発生するのは H<sub>2</sub>O ですから、自然エネルギーで作った水素と酸素を使ったオンサイト型のガスタービンコージェネレーションというのが理想です。昨年の ASME のコージェネターボ会議でも太陽光で作った酸素と水素を使うサイクルの報告がありましたが、将来のコージェネの望むべき姿だと思っています。

<D> もう少し手前での課題があるように思います。現在コージェネレーションに関して国のプロ

ジェクトとして“ACT90”が行われていますが、コージェネの製品は電気と熱の二つがありますので、それらの需要の割合に応じてどのようなエンジンと組み合わせるのが経済的か考えることが必要です。コージェネ用のガスタービンも航空や大型の技術を取り入れつつ使いやすいシステム、客に受け入れられるものを作ることが水素に至る前の課題ではないのでしょうか。当面は、ガスタービンは効率がまだ良くないので熱電比の大きい場合はガスタービン、小さいものにはオットーサイクルかディーゼルを使うといった住み分けがよいのではないのでしょうか。水素が使えれば60%の効率のガスタービンが可能というお話がありましたが、燃料電池はもともと水素を使うわけですから、水素利用での高効率化に際しては熱機関から燃料電池へのバトンタッチがどの辺でされるか興味のあるところです。

<司会> コージェネの場合レシプロエンジンの将来性はどのようなもののでしょうか？

<D> 発電所のように大型ではガスタービンだと

表6 日本のガスタービン関連主要プロジェクト  
(主たる実施主体、名称(内容)、期間)

新エネルギー産業技術総合開発機構 (NEDO)/企業グループ： コージェネレーション用および可搬式発電用セラミックガスタービンの研究開発 1988年～1996年
石油産業活性化センター/日本自動車研究所： 自動車用セラミックガスタービンの研究開発 1990年～1995年
アドバンス・コージェネレーションシステム技術研究組合 (ACT90)： 環境適合性に優れた省スペース型高効率コージェネレーションシステム 1987年～1992年
新エネルギー産業技術総合開発機構 (NEDO)/企業グループ： 石油火力発電所メタノール転換等実証試験 (メタノール改質型発電トータルシステム実証試験) 1981年～1992年
NEDO/石炭ガス化複合発電技術研究組合 (IGC 組合)： 石炭ガス化複合発電技術の研究開発 1986年～1992年
東電-東芝、三菱、日立 共同研究： 石炭ガス化複合発電用セラミックガスタービンの開発 1984年～1995年

上記には、国からの研究委託及び補助事業が含まれている。一部については、国立試験研究機関の先行的研究が行われている。また、上記以外に民間での各種要素レベルの研究がある。日本ガスタービン学会誌第17巻67号 (1989.12) 及び第18巻69号 (1990.6) 参照。

と思いますが、もっと小さい、昔は1 MW 位でしたが最近では5 MW 位までの、例えば金属加工業のように熱電比の小さい工場用などにはガスエンジンなどレシプロエンジンが有利で、信頼できるエンジンです。

〈司会〉 問題は規制ですね。東京都を始めやがて国もそうなるでしょうが、たいへん厳しいことを考えているようです。

〈D〉 NO<sub>x</sub> について言えば、ガスエンジンは熱効率がよいので大型ガスタービンと g/kWh ではコンパラティブになっています。ディーゼルはちょっときついですね。

〈F〉 大事なことをさっき言い忘れました。公害対策や省エネ対策については日本は世界の中で優等生だと思います。しかし地球環境問題は国際的に解決しなければならないことです。けれども解決する能力が全ての国に平等にあるわけではありません。ですから対策の実績を有し、また技術開発能力を有した日本がこの面でも寄与する必要があります、それはビジネスチャンスでもあるわけです。

〈司会〉 どうも有難うございました。日本はこの分野で国際的に教える能力を持っています。狭い国土で嫌なガスをあまり出さないで産業を高度に発達させています。ただ、そうした能力はこれまで個別の機械・設備の改善とか開発において発揮されており、システム面で弱さがありました。

現在、色々な産業は世界との関連を抜きには成り立たなくなってきました。漁業などはその最たる例で、二国間、多国間さらには国際的な取り決めの中でしか操業できなくなっています。自動車なども言わば国際規格の下で製造されているようなものです。

発展途上のアジアの大陸では、脱硫・脱硝なしで石炭をどんどん焚いています。風下の日本の環境保全はその影響を受けます。この面からも国内だけに眼を向けては済まないわけです。

ガスタービンは、今いくつもの国家プロジェクトが行われていることでも明らかなように、地球環境の保全とも両立しうる今後の発展が期待されているエネルギー変換装置だと思います。各企業だけあるいは個別技術の開発だけに閉じ込められず、システムチックな観点に立って国と連携しつつ世

界全体のエネルギー問題の解決に役立つようにお仕事を進めて欲しいと思います。これをもってまとめとしたいと思います。

### 夢は果てしなく広がる

〈司会〉 少しお口を湿らせていただき、あとは多少軽い気持ちで夢を語っていただきたいと思います。

#### 夢その1 大東亜メタンパイプライン構想

〈 〉 CO<sub>2</sub>問題に天然ガスは魅力的ですね。シベリアの天然ガスをアジア諸国にパイプ輸送してアジア諸国のエネルギー源にする構想がありますね。

〈 〉 2万km<sup>2</sup> 兆円産業の「大東亜メタンパイプライン構想」ですね。

〈 〉 そうなっては困るのですが、温暖化が進むと凍土が溶けてツンドラ地帯からメタンが放出される恐れがあります。これをそのまま放置すればますます温暖化が進みます。うまく集めて使えるといいですね。

〈 〉 シベリアから欧州へのメタン輸送パイプの建設でガスタービン関連の技術やビジネスも大いに進んだことを連想しますね。

〈 〉 メタンの輸送・貯蔵をLNG形態でするのはかなり高い技術水準が求められます。

#### 夢その2 太陽水素エネルギーシステム

〈 〉 先程化石燃料を最後まで使えるのは航空用だというお話がありましたが、大洋航行用の船舶も最後まで重油を使うプラントになると思っています。もっともそのエンジンはディーゼルですが、地球環境保全のために将来水素を燃料にする排水量型の船舶が出現するかどうかわかりませんが、水素専焼の場合はレシプロエンジンよりガスタービンの方が有利のようです。面白いのは超々高速船です。50ノット以上では排水量型の船では無理で水中翼やエアークッションになりますが、私たちの計算によると時速100ノットでは液体水素燃料を使うガスタービンでなくては実現できません。ディーゼルはむろん、今のケロシン使用の航空転用型ガスタービンでも燃料重量を含めた機関部重量が重すぎるからです。もっとも100ノットの需要があるかどうかはわかりませんが（笑い）。

水素と海に関しては、横浜国大の太田先生が発案された南太平洋上に巨大な筏を浮かべて太陽熱を集め海水を電気分解して水素と酸素を作り、これを液化して消費地に運ぶという案があります。私たちはこれを発展させて、日本の運輸交通機関の燃料をすべて水素に置き換えた時にどのくらい省石油とCO<sub>2</sub>排出削減が可能かを求めてみました。これは、太陽電池をはりめぐらした1km四方の浮体を約5000基浮かべてその電力で水素を作り、270隻の12万m<sup>3</sup>型外航液体水素タンカーで日本に運び、300隻の内航タンカーと16000台のタンクローリーで国内配送するというシステムです。システム構築のためには既存のエネルギーを使いますが、この投入されるエネルギーを勘定に入れても、現状の技術水準でCO<sub>2</sub>排出量を20%減らせ、技術が進めば排出量は80%、石油消費量も70%以上減らせます。

### 夢その3 超音速、極超音速航空機

< > 航空用ガスタービンの将来の夢と言えば、やはり超音速、極超音速航空機用のエンジンの開発でしょうか。ご承知のように、民間航空用超音速機コンコルドが初飛行したのは今から21年前のことです。同機は英仏共同開発のマッハ2の超音速機で、それまでの亜音速旅客機の2倍以上の巡航速度を実現した画期的な航空機であったわけです。しかし、航続距離が不十分で、経済性が悪く、離着陸時の騒音が大きい等の理由から、北大西洋路線等のごく限られた路線でしか運航されておらず、民間輸送の主力は現在でもマッハ0.9程度以下の亜音速機が担っています。コンコルドにはRR/SNECMAのオリンパス593というエンジンが使用されていますが、これは超音速飛行時の性能を重視したアフターバーナー付きのターボジェットエンジンであり、同機が低速飛行時の燃料消費率や離陸時の騒音の点で亜音速機に劣る主因となっています。

最近の航空旅客需要の大幅な伸びにより、亜音速旅客機の大型化、長距離化が進むとともに、飛行時間短縮への要求が高まり、超音速旅客機への期待が大きくなってきました。そこで、コンコルド開発以降の技術進歩を取り入れることにより、太平洋横断可能な航続距離を持ち、経済性を改善

するとともに、離着陸時の騒音を現用亜音速機並に抑制した次世代超音速旅客機の開発が可能ではないかということで、マッハ2~3クラスを中心にマッハ5クラスまでの超音速、極超音速輸送機概念研究や要素開発が、最近欧米でも国内でも盛んになってきました。

飛行マッハ数が3程度までのエンジンについては、超音速飛行時の必要推力を出せるとともに、亜音速及び超音速飛行の燃料消費がともに少なく、かつ離着陸時の騒音が低いことなどの要求を満たすため、低バイパス比ターボファンを基本に飛行速度に応じてバイパス比を制御しうる各種の変換サイクルエンジンが研究されています。

飛行マッハ数が3~5クラスまたはそれ以上の極超音速機については、飛行速度によるラム圧縮のみで十分な圧力比が得られるため、機械圧縮を用いないラムジェットエンジンが有利になり、これと低速時に使用するターボ系エンジンとを組み合わせたターボラムジェットエンジンが候補として研究されています。このクラスの飛行速度になりますと、空力加熱による温度上昇のため、エンジンだけでなく機体の冷却が必要になり、その冷却材としても利用するため、液化メタンを燃料としたエンジンが考えられています。国内では通産省の大型プロジェクトとして、マッハ5クラスのコムバインドサイクルエンジン(ターボラムジェットエンジン)の技術の確立を目指した「超音速輸送機用推進システムの研究開発」が平成元年度から8年計画で開始されました。

超音速機の環境適応性に関しては、まず、従来からの空港付近の騒音と排ガスがありますが、これらは現用機に対するICAOの規定が超音速機にも適用されると見られており、そのレベルを達成するためには、変換サイクルエンジンの採用とともに排気騒音低減機構の開発と低エミッション燃焼器、特に高温低NO<sub>x</sub>燃焼器の開発に相当な努力が必要です。さらに超音速運航に対してはソニックブームと高空巡航時のNO<sub>x</sub>排出によるオゾン層への影響が課題と言われています。ソニックブームについては機体形状による低減や陸上飛行マッハ数の制限等について研究されており、またオゾン層保全の課題では排気との相関の研究をはじめこれから研究すべきテーマが多く、地球環

境の観点から次世代超音速機実用化への大きな課題と考えられ、欧米や国内において基礎研究、調査研究が行われています。

さらに将来の夢になりますが、宇宙基地への人または物資の輸送手段として、航空機のように水平離着陸し地球低軌道に到達しうる、再使用可能な、いわゆるスペースプレーンが考えられています。これは、低速から第一宇宙速度（マッハ約25に相当）まで加速することができる極超音速機で、最終段階ではロケットエンジンを必要としますが、大気飛行中は酸化剤の節約のため、空気中の酸素を利用することが考えられています。このエンジンとして、ターボラムジェットエンジン、エアターボラムジェットエンジン、スクラムジェットエンジン（気流速度が超音速のまま燃焼を行うラムジェットエンジン）等の液体水素を燃料とした各種エアブリーディングエンジンが研究されています。

#### 夢その4 未来の自動車

くく 未来カーを予測するのは難しいですが、21世紀のライフスタイルに相応しい車と言うことになりましょうね。21世紀の社会は、情報通信革命によって人々は分散した固有の都市で仕事をし、固有のライフスタイルを楽しみ、人と人のネットワークがますます広がっていきます。直接顔を合わせ、出会いを楽しむ欲求が高まります。そのことは高速の長距離交通網の必要性につながっていきます。

車と鉄道の走行速度の飛躍は、東海道新幹線と名神・東名高速道路に代表されるように、概ね同時期に、かつ走行速度の比が1対2で起こります。この類推から次の走行速度の飛躍は、鉄道では500km/hのリニア中央新幹線で実現されるでしょうし、自動車では管制誘導路など高度にインテグレートされた高速道路網による巡航速度220km/hの高速ドライブで実現されるでしょう。さらに、高速化で復権してきた鉄道網との融合で、一層の超長距離・超高速移動が可能になります。即ちリニアモーターカーの技術を使い、電磁推進コイルを埋め込んだ“マグウェー”を新世代の自動車“Express Car”に乗って超高速で超長距離の移動が可能になります。

快適な長距離高速ドライブに相応しい車は、空

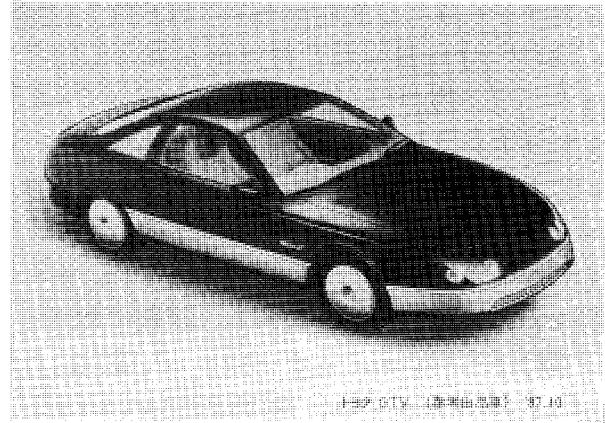


図9 開発中のガスタービン乗用車  
(トヨタ GTV)

力特性に優れ、軽量ボディに包まれた高度に知能化されたインテリジェントカーということになるでしょう。そのエンジンは、小型軽量、低振動、高速回転域の信頼性・耐久性に優れたガスタービンです。ガスタービンと車輪を結ぶ駆動系と総合制御に新コンセプトが導入され、低速から高速まで応答性に際立った進歩が見られ、セラミック化が進み一層のコンパクト化と熱効率の向上でレシプロ車を凌ぐ高速走行燃費が達成されるでしょう。“マグウェー”を走る“Express Car”では、車載されたガスタービンで超小型化された発電システムが、マグウェーでの快適走行とアミューズメントに必要な電力を供給します。

くく シュテュツガルトにあるベンツ社構内に自動車博物館があり、最初の発明から自動車の発達の100年史が見られるわけですが、第1号の自動車とそのエンジンを見て愕然とするのは、現在の自動車は本質的にその頃とほとんど変わっていないということです。これから先も、何人かの人間が同時に乗れるという制限をつければ人の大きさが変わらない以上車の大きさもたいして変わらないし、ホイールの数も4つというのはそのままでしょう。自動車が他の交通機関と違うところは、ドライバーの意志によって好きな時に好きな所へdoor to doorで自由に行けることです。しかし、最近の都市内や連休の交通渋滞のようにこれができない場合は、自動車は無用の長物となってしまいます。未来の自動車というのは、基本的な構造上の変化はあまりないかもしれませんが、機能上の大きい変化が期待されます。

自動車が発達する前には馬車が使われていました。馬は何時も通る道や帰る家を覚えていたでしょうから、乗っている人が多少さぼっていても、時には居眠りをしていてもちゃんと自分の家に帰りつけたのではないのでしょうか。未来の自動車の欲しい機能の一つはこういう機能です。即ち、本来の自由に操れる機能を持つのと同時に、ボタンを押せば自動運転に切り替わり、道路に埋めこまれた電線から誘導エネルギーによって速度、行き先がコントロールされ、時速何百kmといったスピードで、一定車間距離で走ってくれ、車の中で好きなことをしながら目的地近くまで行けるといった機能です。

自動車の全く新しい機能を発揮させるためには、自動車のみを改良してもダメで交通体系全体を替えていく必要があります。環境問題と絡めて、省エネ型街づくりという話がありましたが、まさに社会システム全体を設計し直して、その中に未来の自動車を組み入れる必要があります。このよう

な未来の自動車は、排気、騒音、高度なコントロール等を考えれば電気自動車かもしれません。とはいえ、整備された道路網ばかりでなく山野の道も気ままに走れるということになれば、やはりハイブリッドも含め、内燃機関を積んだ車ということになるでしょう。そして将来、燃料事情により贅沢を言えなくなった時の対応を考えると、オクタン価やセタン価で縛られるうえ、エンジンとして燃費向上代があまりないガソリンエンジンやディーゼルエンジンより、高温化で熱効率の向上が期待できて、多種燃料に対応できるガスタービンのポテンシャルは大きいと思います。この場合のガスタービンは無冷却のセラミックガスタービンでなければなりません。TITを1600°C以上にしてやれば熱効率は50%を越え、レシプロエンジンの半分の燃料消費で済みます。ただ小型化については、コアエンジンは非常に小さいのですが、熱交換器がネックになります。熱交換器なしで成り立つエンジンをなんとかしたいですね。

## 死 去 会 員

正会員 石原智男君 67歳 日本自動車研究所

平成3年1月25日逝去

ご遺族 東京都杉並区高井戸西1の24の7

石原昌子殿

本会に関する記事

昭和57年6月入会

正会員 森 糾明君 75歳 元石川島播磨重工業

平成3年1月30日逝去

ご遺族 東京都保谷市住吉町2の2の11

森 敏明殿

本会に関する記事

昭和47年6月入会

謹しんで 哀悼の意を表します。

自動車が発達する前には馬車が使われていました。馬は何時も通る道や帰る家を覚えていたでしょうから、乗っている人が多少さぼっていても、時には居眠りをしていてもちゃんと自分の家に帰りつけたのではないのでしょうか。未来の自動車の欲しい機能の一つはこういう機能です。即ち、本来の自由に操れる機能を持つのと同時に、ボタンを押せば自動運転に切り替わり、道路に埋めこまれた電線から誘導エネルギーによって速度、行き先がコントロールされ、時速何百kmといったスピードで、一定車間距離で走ってくれ、車の中で好きなことをしながら目的地近くまで行けるといった機能です。

自動車の全く新しい機能を発揮させるためには、自動車のみを改良してもダメで交通体系全体を替えていく必要があります。環境問題と絡めて、省エネ型街づくりという話がありましたが、まさに社会システム全体を設計し直して、その中に未来の自動車を組み入れる必要があります。このよう

な未来の自動車は、排気、騒音、高度なコントロール等を考えれば電気自動車かもしれません。とはいえ、整備された道路網ばかりでなく山野の道も気ままに走れるということになれば、やはりハイブリッドも含め、内燃機関を積んだ車ということになるでしょう。そして将来、燃料事情により贅沢を言えなくなった時の対応を考えると、オクタン価やセタン価で縛られるうえ、エンジンとして燃費向上代があまりないガソリンエンジンやディーゼルエンジンより、高温化で熱効率の向上が期待できて、多種燃料に対応できるガスタービンのポテンシャルは大きいと思います。この場合のガスタービンは無冷却のセラミックガスタービンでなければなりません。TITを1600°C以上にしてやれば熱効率は50%を越え、レシプロエンジンの半分の燃料消費で済みます。ただ小型化については、コアエンジンは非常に小さいのですが、熱交換器がネックになります。熱交換器なしで成り立つエンジンをなんとかしたいですね。

## 死 去 会 員

正会員 石原智男君 67歳 日本自動車研究所

平成3年1月25日逝去

ご遺族 東京都杉並区高井戸西1の24の7

石原昌子殿

本会に関する記事

昭和57年6月入会

正会員 森 糾明君 75歳 元石川島播磨重工業

平成3年1月30日逝去

ご遺族 東京都保谷市住吉町2の2の11

森 敏明殿

本会に関する記事

昭和47年6月入会

謹しんで 哀悼の意を表します。



# 宇宙科学研究所 エアターボラムジェットの開発研究

宇宙科学研究所 棚次 亘弘

地上から宇宙空間に飛行する場合、技術的に大きく異なった二つの道がある。一つは弾道軌道であり、チオルコフスキー、オーベルト、ゴダード等によって提案され、今までのところこの方法が主流になって実現している。もう一つは空力軌道であり、ゼンガー、バリアー、ヘフト等によって提案され、航空機のような形態で宇宙に行く方法であるが未だ実現していない。この二つの方法の大きな違いは空気を積極的に利用するかどうかである。弾道軌道は空気力の影響ができるだけ少ない道を選択しているが、空力軌道は空気力を積極的に利用し、また空気を推進エンジンの酸化剤として取り込んでいる。

最近、米国のNASP (X-30) 計画や欧州で計画されているスペースプレーンを見ると空力軌道による宇宙への道が見直されている。これは次の世代の宇宙輸送機に望まれるものが、大量輸送に対するコストの低減、安全性や乗り心地の改善と環境保全 (大気汚染, デブリ (宇宙廃棄物)) であることによる。従来のロケット推進を用いた宇宙

輸送機の飛行状態を見ると、高度50kmまでの大気圏内で推進剤の約60~80%を消費し、機体を約1.5~2 km/sの速度だけ加速しているに過ぎない。特に、液水/液酸ロケットでは推進剤の約85%は液体酸素の重量で占められているので、この酸素を飛行中に大気から吸い込むと宇宙輸送機の重量を大幅に軽減でき、その性能を飛躍的に向上できる可能性がある。

種々な空気吸込式推進システムが提案されているが、大気中から空気を吸込む方式によって次の四つの形式に分類できる。

- (1) ターボ機械を用いて空気を強制的に吸入するエンジン
- (2) エジェクターを用いて空気を強制的に吸入するエンジン
- (3) 極低温推進剤の低熱源を利用して空気を液化して吸入するエンジン
- (4) 飛行中のラム圧力を利用して空気を吸入するエンジン

宇宙研では(1)と(4)の空気吸い込み方式を複合化

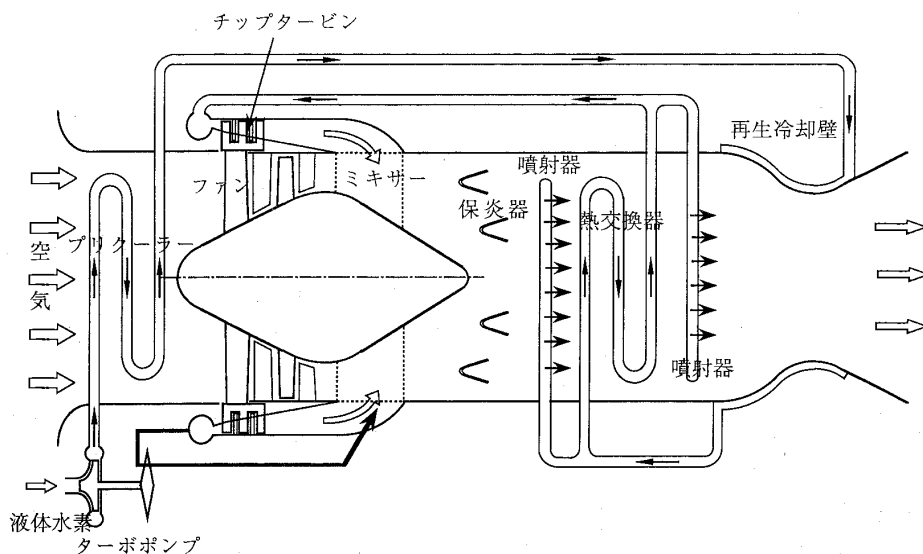


図1 ATR エンジンフロー図

(平成3年1月11日原稿受付)



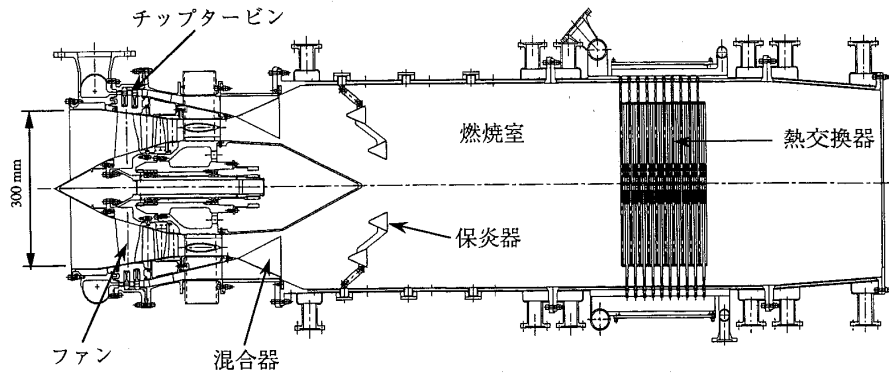
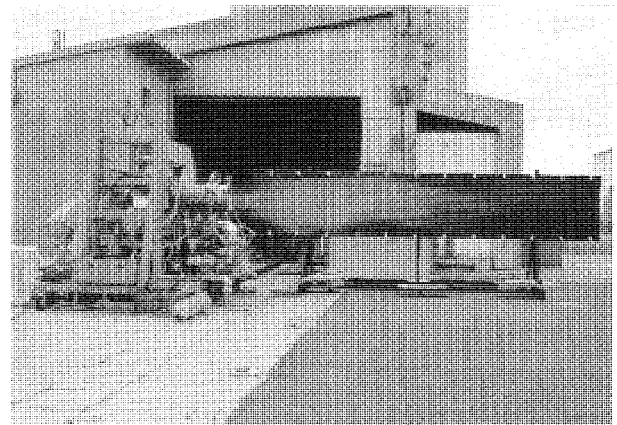


図2 ATR エンジン断面図

したエアターボラムジェット (ATR) エンジンの開発研究を昭和63年度から進めている。

従来のジェットエンジンでは、吸入・圧縮した空気に燃料を加え、その燃焼生成ガスによってタービンを回転させている。飛行速度が速くなるにしたがってエンジンに吸い込まれる空気温度は上昇するので、これに燃料を加えて燃焼すると生成ガス温度はさらに高くなり、ある飛行速度(マッハ4.5)以上になるとタービン材料の許容温度限界を超えてしまう。これを解決するため ATR では吸入した空気を用いずに別に作ったガスでタービンを回転させる仕組みになっている。宇宙研の ATR は燃料に液体水素を用いたエキスパンダーサイクルでターボ機械を作動させており、図1に示すようにエアインテークに設けた空気予冷器と燃焼室に設けた熱交換器によって水素を加熱しタービンに供給している。タービンから排気される水素は燃焼室内でファンによって大気から吸い込まれた空気と燃焼し、ノズルから大気に噴出して推力を得る。図2に宇宙研で試作した ATR エンジンの断面図を示す。このエンジンは実機の1/4サイズの大きさに、タービンがファンの先端部に配置されたチップタービン形式を採用している。この配置によってエンジンの推重比を従来の航空機用ジェットエンジンの2~3倍にすることを目指している。このエンジンは地上静止状態から高度35kmでマッハ6程度の飛行速度までスペースプレーンを加速できる。空気予冷器によって吸い込んだ空気は1000K以下に冷却されるのでファンはマッハ6まで作動できる。また、飛行速度が低い間(マッハ2以下)は空気中の水分が予

写真1 ATR エンジンの燃焼試験  
(能代ロケット実験場にて)

冷器に氷結するのを避けるため、予冷器は作動しない。

宇宙研では第一段階としてこの方式の ATR エンジンを地上静止状態で試験し、そのシステムと性能を確認する計画である。

平成2年9月と11月に行った ATR エンジンの燃焼試験の様子を写真1に示した。試験は秋田県能代市郊外の日本海に面した宇宙研能代ロケット実験場で行った。今回の試験では熱交換器は設けず、常温の水素ガスをエンジンに供給し、ターボ機械系と燃焼器系の整合性の調査と運転方法をマスターすることに重点を置いた。平成3年度には燃焼室内に熱交換器を設け、液体水素を用いたエンジンシステムの試験を行う予定である。

第二段階では高エンタルピー風洞を用いて飛行状態を模擬した試験を、第三段階では飛行実験機を用いて実際の飛行環境における試験を経て実用化へ運びたいと考えている。



## 水素エネルギーに関する二会議に出席して (太陽水素エネルギーシステム)

船舶技術研究所 平岡克英

現在、地球規模的環境問題が世界各地で多く論議されているが、筆者は第8回世界水素エネルギー会議(90年7月22日～28日、ハワイ)、CMDC環境適合エネルギー会議(90年12月10日～11日、チューリッヒ)の2つの会議に参加する機会を得た。そこでこれらの会議で得た見聞の概略の紹介と著者が興味を持っている環境に適合したエネルギーシステム、つまり太陽水素エネルギーシステムに関する話題を提供する。

### 1) 第8回世界水素エネルギー会議

世界水素エネルギー会議は米国マイアミに本部を置く国際水素エネルギー協会のもとに1976年以来2年毎に世界の各地で開催されている。今回の会議は、前半をオアフ島ホノルルで、後半をハワイ島ワイコロアで開催した。セッションは、A-水素経済導入への計画・評価(2)、B-水素製造(6)、C-貯蔵・輸送(4)、D-利用(4)、E-温室効果の緩和(1)、F-航空宇宙飛行機(NASP)への応用(3)、G-低温核融合(2)の7つの分野、22セッションが設けられた。EからGの分野は最近のホットな話題でもあり特別シンポジウムとして開催され、講演論文集も別に発行された。これは今回のハワイ会議の大きな特徴でもあった。34カ国から256編の論文が報告されたが、これらの内水素製造に関する報告が約1/3と主要部をなしている。また、事前参加登録者は約440名であった。

ハワイは自然エネルギー利用が盛んな所で、会議と並行して各施設の見学も企画された。ハワイは米国本土に比して石油依存率が2倍も高く、また本土から離れているので石油危機に対して州のエネルギー経済体質が脆弱である。一方ではご承知のように自然エネルギーには事欠かないので自然エネルギー利用およびその研究が盛んである。

オアフ島北部カフクでは3.2MW 1基(世界最大の翼径96m)、600kW15基の風力発電が行われている。またハワイ島では北部カファで17.5kW198基の風力発電、東部プナで地熱発電(3 MW)、西部コナで海洋温度差利用(OTEC)等が行われている。

自然エネルギーの一つの弱点はエネルギー源の強さが間欠的なことである。エネルギー供給システムにおいて水素の貯蔵性を実証する目的で、ハワイ島カファにあるハワイ大学自然エネルギー研究所のWEST(Wind Energy Storage Test Facility)では風力発電により得た余剰電力で水素を製造し、圧縮ガスまたは水素化合物として貯蔵しさらに再利用するシステムの研究が計画されている。

### 2) 環境適合エネルギー会議

環境適合エネルギー会議はCMDC(Cercle Mondial du Consensus)の第2回年次総会として開催された。CMDCは環境問題に熱心な国スイスのチューリッヒに本部を置く非政府非営利の会員組織の団体で、地球存続のためにクリーンエネルギーの導入のコンセンサスを世界中に創生することを目的としている。そのため、世界各国でセミナーの開催、ニュースレターの発行、太陽水素エネルギーシステムプランのプロモート/コーディネート、ISO/TC198(水素エネルギー技術関係の基準作成)の推進等の活動を行っている。

本年次総会にはスイス(約130人)、ドイツ(21人)等18カ国から約180名が参加した。本会議では、ヨーロッパを中心としたエネルギー情勢の報告、地球温暖化に対応するためCO<sub>2</sub>排出削減のシナリオ、ヨーロッパ北アフリカ太陽水素プラン、ユーロケベック水力水素プラン、世界の水力資源ポテンシャル等について報告された。また、太陽エネルギー導入推進を進めるため2年前に設立さ

(平成3年1月9日原稿受付)

れた政治的団体 EUROSOLAR の代表かつドイツ国会議員である Dr.Scheer 氏が「太陽エネルギーの利用は地球存続のためには必要欠くべからざるものであり、その導入は国際的な協力がなければ実現できない。そのため国連の下に、原子力エネルギー導入時にその役割を果たした IAEA と同様な ISEA (International Solar Energy Agency) の設立を提案している」と政治的動向を述べた。

### 3) CO<sub>2</sub>排出抑制と太陽水素エネルギー

現在世界で使用されている一次エネルギーの88%は石油、石炭、LNG である。これらの化石燃料から排出される CO<sub>2</sub>によって大気中の CO<sub>2</sub>濃度が近年上昇を続けているとされており、将来の地球の温暖化が大いに懸念されている。

大気中への CO<sub>2</sub>放出抑制策としては、省エネルギー、CO<sub>2</sub>を排出しない非化石エネルギーへの転換、排出ガスを処理して CO<sub>2</sub>の分離・固定化や廃棄等が考えられている。水素は、基本的にはその燃焼によって水しか排出しないので(空気との燃焼では NO<sub>x</sub>を排出する)、水素エネルギーへの転換も CO<sub>2</sub>排出抑制対策の一つと言える。

現在我国で利用されている水素の多くは石油や LNG を原料として製造されており、約99%は石油化学、アンモニア合成、メタノール合成用利用されている。残りの1%が市販されているがその多くは食塩水の電気分解によって苛性ソーダを製造するとき副生する水素を回収したものである。

この化石エネルギーを利用して製造した水素をエネルギー源として利用したのでは CO<sub>2</sub>排出抑制の有効な対策とは言えない。環境を汚染することのないエネルギーすなわち太陽光・熱等の直接的太陽エネルギーや水力、風力、波力、海洋温度差等の間接的太陽エネルギーを利用することが重要である。しかし、これらクリーンな自然エネルギーはエネルギー密度が低いこと(例えばソーラーカーで利用する太陽光エネルギーは条件の良いときで約 1 kW/m<sup>2</sup>で、太陽電池の効率を10%とすれば最大出力100PS とするためには736m<sup>2</sup>の受光面積が必要になる)、エネルギー強度が間欠的である等の欠点があるので利用に当たっては種々工夫が必要である。

自然エネルギーは通常は電気エネルギーに変換して利用される。しかし、自然エネルギーが豊富な所はエネルギー需要地から遠く離れている場合が多く、また、電気は遠隔地への輸送や貯蔵の問題があるので、輸送や貯蔵に便利な形態に変換する必要がある。水素は水の電気分解によって容易に製造できるので、低密度で間欠的な自然エネルギーの輸送・貯蔵媒体の一つの候補となる。

太陽水素すなわち太陽エネルギーを利用して水から製造した水素は、その利用によって再び水に戻る所以で再生可能なエネルギーであり、また環境を汚染することのない環境適合エネルギーと言える。

### 4) 自然エネルギーの輸出

豊富な自然エネルギーを人口密度の高い地域へ輸出しようという考えがある。自然エネルギー利用の中でも水力利用が現状では一番実現性が高い。図1はユーロケベック水力水素パイロットプロジェクト<sup>(1)</sup>の概念を示す。ケベックの豊富な水力資源を利用し、その発電電力で水素を製造しクリーンな燃料を必要としている西独(ハンブルグ)に水素を輸出しようとしているものである。水力発電100MW、液化水素製造能力1800~2100kg/h、水素輸送は液化水素または MCH (メチルシクロヘキサン)、水素利用は発電所、バスフリート、エアバス等を候補にシステムの FS を行うものである。この FS に7ヵ国20以上の企業や研究所が参加している。順調に計画が進めば90年代後半には全システムが動くことになっている。

この他リビア等北アフリカではその広大な砂漠を利用して太陽熱・光発電をし、その電力で水素を製造し、それをイタリア半島経由で欧州各国にガスパイプラインによって供給するプランを立てている。

著者らも、南太平洋に広大な筏群を浮かべその上で太陽電池を利用して水素を製造し、これを日本に輸入し、日本の運輸交通機関が現在消費している石油燃料全てをこの水素で代替する太陽水素エネルギーシステムの検討を行った<sup>(2)</sup>。このシステムを構成するために必要な設備を製造する際に石油や石炭を利用しなければならない。このため現在の技術レベルではこのシステムは太陽エネルギーをエネルギー源に水素を製造しても現在の石

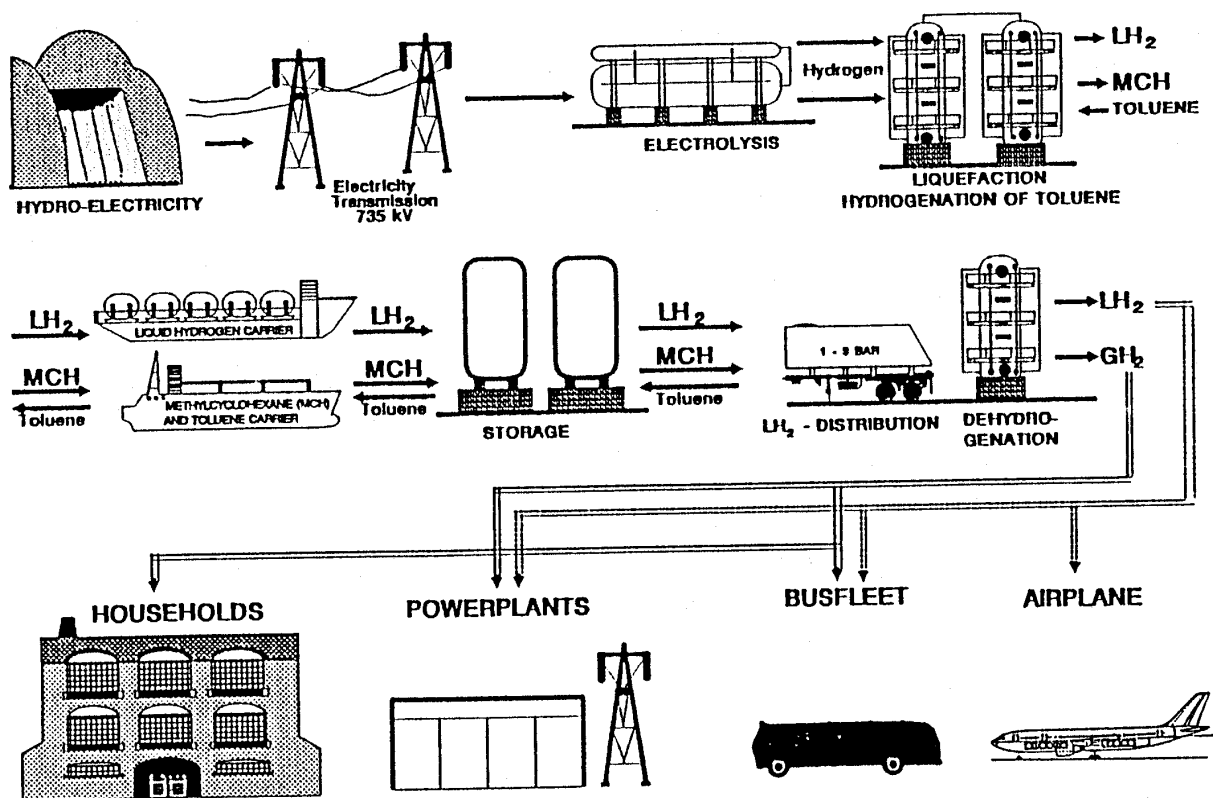


Fig.1 Flow Chart of EQHHP System Concept  
[Ludwig-Bolkow-Stiftung/Hydro-Quebec]

油エネルギーシステムより多くの化石エネルギーを消費する。投入エネルギーの少ない筏や太陽電池の開発、効率および安定性のよい水素タンカーの開発、蒸発損失の少ない供給システムの構成等多くの課題がある。今後かなり高度な技術開発が必要であるが、将来これらの技術開発が進めば、この水素エネルギーシステムは日本の運輸交通機関の消費する燃料69M m<sup>3</sup>/年を24.9Tg/年の水素で代替する。この水素を供給するために、総面積約6000km<sup>2</sup>の太陽電池筏、270隻の125000m<sup>3</sup> LH<sub>2</sub>タンカーや30800台の10klタンクローリー等が必要になる。またこのシステムにより運輸交通機関の消費する石油燃料の78%の省石油ができ、CO<sub>2</sub>の排出が81%削減できることになる。

#### 5) おわりに

筆者はユーロケベック計画の責任者 Dr. Wurster 氏とチューリッヒで面識を得た。ところが実は我々は大気中 CO<sub>2</sub>濃度増加傾向を示すあの有名なデータを提供しているハワイ島マウナロア観測所(海拔3400m)見学ツアーですでに会っていた。彼は同じマイクロバスの反対側窓席に座って

いたのである。この奇縁に世界は狭いと思いつつ会議場で昼食を共にした。若くバイタリティー溢れる彼は、この計画を実現するためのステップとして具体的数字でその可能性を示す必要があり91年6月には新たな結果が出ると熱心に語ってくれた。

太陽水素エネルギーシステムの実現は容易ではないと思う。しかし、地球環境保護の1ステップとして先進的な導入も必要である。そのため国際的な協力が必要である。日本においても、例えばCO<sub>2</sub>排出税のような基金を導入して自然エネルギー利用技術の開発が国際的な協力のもとに進むことを願っている。

#### 参考文献

- (1) R.Wurster, A.Malo: The Euro-Quebec Hydro-Hydrogen Pilot Project, Proc. of 8th World Hydrogen Energy Conference, pp59-70, 1990
- (2) 平岡克英他6名: 運輸交通機関の水素エネルギーシステム化による省石油とCO<sub>2</sub>低減, 船舶技術研究所報告, 第27巻第3号, pp73-101, 1990

## VTR..4E 型高効率過給機

石川島播磨重工(株) 秋田 隆

### 1. はじめに

当社ではスイスの ABB ターボシステムズ社 (旧 BBC 社) と 1958 年に技術提携をして以来、すでに 8 万台以上の VTR 型過給機を製造販売してきました。この VTR 型過給機の基本構造はラジアルコンプレッサと軸流タービンとを軸端に配置した軸受で支持する形で、稼働中のタービンの汚れに対する耐久性や低速におけるメカニカル効率が良く、大型ディーゼル機関用過給機としては理想的な特性を有しています。

一方、近年大型ディーゼル機関としてパワータービンを装備したターボコンパウンド機関が生産されるようになりました。これらは過給機の効率がディーゼル機関の過給に必要なレベルを上回ったため実用化されたものです。VTR..4E はターボコンパウンド機関の性能をさらに改善するために開発され、以下に述べるような特徴を有しています。

### 2. 開発目標

ターボコンパウンド機関では排気ガスエネルギーの一部をパワータービンに供給し直接ディーゼル機関をバックアップし機関の熱効率を改善しています。パワータービンに供給されるエネル

ギーの割合は過給機の効率、ディーゼルサイクルの効率、機関の許容熱負荷等によって決定されますが近年の新型機関では 10% 程度になります。また、これらのシステムでは部分負荷運転時にはパワータービンの出力が大きく減少するので、これを遮断しディーゼル機関への空気量を増大させサイクル効率改善を図り、燃料消費率を低減させています。

このため過給機に対しては部分負荷運転時のコンプレッサのサージ特性の改善が求められます。

また過給機の総合効率は当然のことながら極力高くしてバイパスガス量を増加させる必要があります。

これらの要求に答えるため下記の目標のもとに開発が行われました。

- (1) 近年のターボコンパウンド機関の設計点であるコンプレッサ圧力比 3.5 で総合効率 70% 以上とする。
- (2) 開発形式は 6000kW 以上の大型機関に適合したインペラ径約 500~800mm の VTR 454 E/564E/714E の 3 形式とする。
- (3) 極力使用可能な空気量レンジを拡大する。
- (4) 従来機種の子部品を極力流用し、取り合い寸法もできるだけ合わせる。

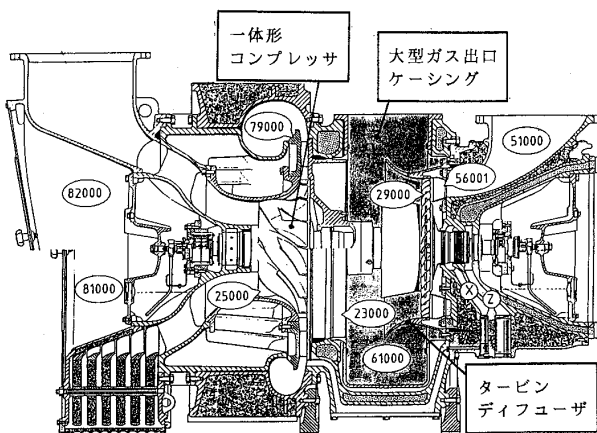


図1 VTR..4E 型過給機全体断面図

(平成 3 年 1 月 16 日原稿受付)

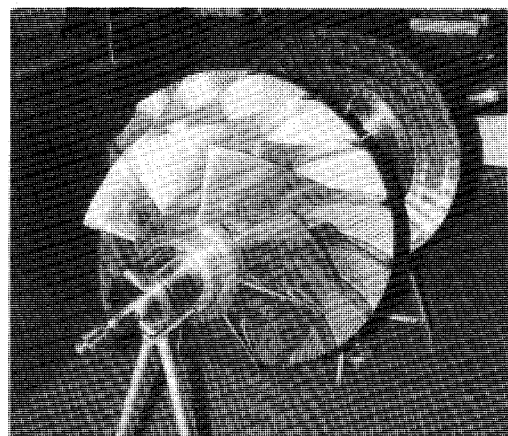


写真1 コンプレッサインペラ概観

### 3. 開発部品および性能

基本的にはコンプレッサホイール、タービンディフューザ、ガス出口ケーシングを新設計し上記目標を達成しました。各々の改良点は次の通りです。

#### 3.1 新型コンプレッサ

従来機種ではインデューサとインペラに2分割されたコンプレッサを使用してきましたが、より自由な設計を可能にする一体型のコンプレッサとして新設計されました(写真1)。低圧力比で十分なサージマージンを得るため30度強のバックワード角が採用されています。図2にVTR564E型のコンプレッサ特性の一例を示します。

図中に示された作動ラインにおいて、86%以上のコンプレッサ効率を得られるとともに部分負荷においても十分なサージマージンが確保されています。また使用可能な流量範囲は従来型に対し5%以上改善されました。

#### 3.2 タービンの改良

タービンは動翼およびノズル翼ともに従来型をそのまま使用しており、新設計のタービンディフューザとガス出口ケーシングにより効率の改善を図りました。ガス出口の流速は従来型に比べ80%以下に減少しており効率の改善は大流量の仕様で約3ポイント、小流量の仕様で約2ポイントです。

これらの改良の結果過給機の総合効率はコンプレッサ圧力比3.5において目標の70%以上を得ることができました。図3はコンプレッサ圧力比に対する過給機総合効率を示します。また、図中にプロットされた点はテストベンチ上でのVTR564E-32型初号機の実測効率を示します。本機は2ストロークのターボコンパウンド機関であるDU-SULZER 9RTA84C機関(100rpm 33100kW)に3台が搭載され、機関の最大連続出力において約73%の総合効率が計測されました。この出力においては約12%の排気ガスが過給機を

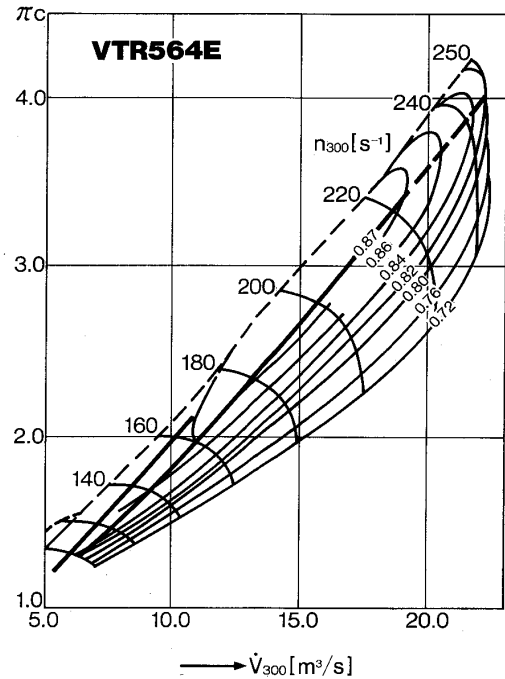


図2 VTR564Eコンプレッサ特性

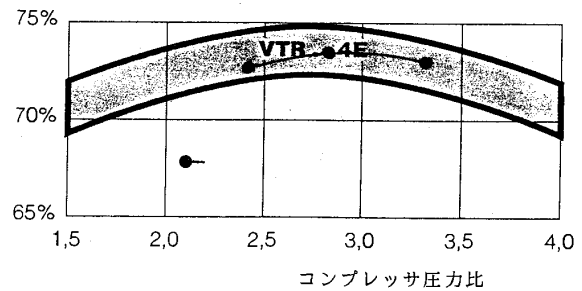
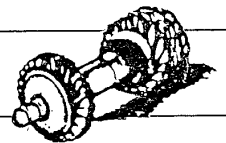


図3 VTR..4E型過給機の総合効率

バイパスしてタービン外径約340mmのPT304型パワータービンを駆動し、1070kWの出力を機関出力軸に還元しています。

### 4. おわりに

本機は船用主機関や常用発電機関用に出荷機も含めすでに48台の受注が決定しています。また、前出のVTR564-E-32型初号機は平成2年7月に就航していますが、本機を含めすでに18台が順調に稼働しています。



## シンポジウムを終えて

横浜国立大学 秋葉 雅史

平成2年度のシンポジウムは「ガスタービン周辺機器の最新技術」をテーマとして、12月5日午後、機械振興会館で開催された。

講演は次の4題が行われた。1)エアフィルターの最新技術と保守事例 (American Air Filter Snydergeneral Corp. E.B.Fielderhouse氏), 2)ガスタービンの消音装置の現状 (石川島防音工業(株)横山晴雄氏), 3)消火装置に関する最新技術と将来動向 (能美防災(株)高松秀樹氏), 4)最新のガス燃料設備のシステムと機器 (東京電力(株)石井護氏)。討論としては、ユーザサイドよりプラントの稼働率を上げるための新しい媒体を使ったエアフィルターの実用化時期, 新しい消音装置としてのアクティブコントロール形の限界と発展の可能性, 優れた消火性能を持つハロン1301に対する使用規制 (昭和63年5月発効の「特定物質の規

(平成3年1月23日原稿受付)

制等によるオゾン層の保護に関する法律)などが取り上げられ, 内容の濃いものであった。

さて, このテーマは, ガスタービン本体の技術は日進月歩で発展し続けているが, 周辺機器についても同様である。ガスタービンを有効に使用するためにはその周辺機器の技術を十分理解する必要がある, との認識のもとに企画された。直前の企画委員会の際に参加者数を調べたところ, 昨年は84名であったが, 僅かに28名の申込みであることが判った。急ぎ, 委員が各社に動員をお願いし44名の参加を得た次第である。この事実は学会員の構成が, 本体技術に関連する人々が主で, ユーザ層 (即ちエンジニアリング会社やエンドユーザー) や周辺機器メーカーの人々が少ないことを如実に示している。ガスタービン技術の進歩のためにも周辺機器技術の発展やユーザー層のフィードバックが必要であることは当然である。学会の今後の発展方向の一断面を示唆していると感じた。

## 第3回見学会報告

### トヨタ自動車(株)東富士研究所

(株)東芝 岡村 隆成

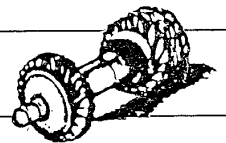
平成2年11月20日, 静岡県裾野市のトヨタ自動車(株)東富士研究所の見学会が開催された。この研究所は富士の麓に広大な敷地を擁し, 研究建屋が紅葉の木立の中に点在するすばらしい環境にある。雨のため富士山が見られないのが残念。

まず, 研究所の井上取締役からご挨拶と研究所の概要についてご説明があった。ビデオによる研究開発の一端も紹介された。次に, 開発企画部伊藤主査が自動車用ガスタービンの開発について講演され, 開発当初の苦労話も盛り込んだ大変興味深い内容であった。その後, 3班に分かれて, 主

(平成3年1月21日原稿受付)

にガスタービン関連施設で見学を行った。ガスタービンエンジンは乗用車用のGT41とバス用のGT31とがあり, それぞれテストスタンドに据えつけられて試験が行われていた。今後タービンの高温化を図るうえで, タービンおよび燃焼器のセラミック化の研究が進められていた。この他にターボチャージャーや排ガスのクリーン化を目指したメタノール/軽油燃料のディーゼルエンジンについても見学を行った。

見学の後はガスタービンバスに乗り込み, 小雨の中テストコース一周の快適な走行を味わうことができた。騒音は高周波だが, 消音がよく利いており, 振動はレシプロエンジンに比べて格段に小



## シンポジウムを終えて

横浜国立大学 秋葉 雅史

平成2年度のシンポジウムは「ガスタービン周辺機器の最新技術」をテーマとして、12月5日午後、機械振興会館で開催された。

講演は次の4題が行われた。1)エアフィルターの最新技術と保守事例 (American Air Filter Snydergeneral Corp. E.B.Fielderhouse氏), 2)ガスタービンの消音装置の現状 (石川島防音工業(株)横山晴雄氏), 3)消火装置に関する最新技術と将来動向 (能美防災(株)高松秀樹氏), 4)最新のガス燃料設備のシステムと機器 (東京電力(株)石井護氏)。討論としては、ユーザサイドよりプラントの稼働率を上げるための新しい媒体を使ったエアフィルターの実用化時期, 新しい消音装置としてのアクティブコントロール形の限界と発展の可能性, 優れた消火性能を持つハロン1301に対する使用規制 (昭和63年5月発効の「特定物質の規

(平成3年1月23日原稿受付)

制等によるオゾン層の保護に関する法律)などが取り上げられ, 内容の濃いものであった。

さて, このテーマは, ガスタービン本体の技術は日進月歩で発展し続けているが, 周辺機器についても同様である。ガスタービンを有効に使用するためにはその周辺機器の技術を十分理解する必要がある, との認識のもとに企画された。直前の企画委員会の際に参加者数を調べたところ, 昨年は84名であったが, 僅かに28名の申込みであることが判った。急ぎ, 委員が各社に動員をお願いし44名の参加を得た次第である。この事実は学会員の構成が, 本体技術に関連する人々が主で, ユーザ層 (即ちエンジニアリング会社やエンドユーザー) や周辺機器メーカーの人々が少ないことを如実に示している。ガスタービン技術の進歩のためにも周辺機器技術の発展やユーザー層のフィードバックが必要であることは当然である。学会の今後の発展方向の一断面を示唆していると感じた。

## 第3回見学会報告

### トヨタ自動車(株)東富士研究所

(株)東芝 岡村 隆成

平成2年11月20日, 静岡県裾野市のトヨタ自動車(株)東富士研究所の見学会が開催された。この研究所は富士の麓に広大な敷地を擁し, 研究建屋が紅葉の木立の中に点在するすばらしい環境にある。雨のため富士山が見られないのが残念。

まず, 研究所の井上取締役からご挨拶と研究所の概要についてご説明があった。ビデオによる研究開発の一端も紹介された。次に, 開発企画部伊藤主査が自動車用ガスタービンの開発について講演され, 開発当初の苦労話も盛り込んだ大変興味深い内容であった。その後, 3班に分かれて, 主

(平成3年1月21日原稿受付)

にガスタービン関連施設で見学を行った。ガスタービンエンジンは乗用車用のGT41とバス用のGT31とがあり, それぞれテストスタンドに据えつけられて試験が行われていた。今後タービンの高温化を図るうえで, タービンおよび燃焼器のセラミック化の研究が進められていた。この他にターボチャージャーや排ガスのクリーン化を目指したメタノール/軽油燃料のディーゼルエンジンについても見学を行った。

見学の後はガスタービンバスに乗り込み, 小雨の中テストコース一周の快適な走行を味わうことができた。騒音は高周波だが, 消音がよく利いており, 振動はレシプロエンジンに比べて格段に小



さく、全体的に静かな車という印象だった。乗用車にも試乗でき、ガスタービン車を直接自分の肌で実感できたことは大きな感激です。電気自動車は参加者自身が運転して、乗り心地を楽しんだ。技術懇談会では、活発な質疑応答がなされ、参加者の関心の高さが伺えた。

最後に、ガスタービン車の実用化が一日も早く実現することを期待すると共に、見学を快く引き受けていただいた大橋専務、又、懇切な案内をしていただいた東富士研究所の方々に心からお礼を申し上げます。

(企画委員)



電気自動車の運転を楽しむ三浦さん

## Report of 19th Gas Turbine Seminar

阪 口 哲 也

(企画理事)

第19回 GTSJ ガスタービンセミナーを、去る1月17日(木)、18日(金)の両日、光の家会館講堂で開催致しました。今回はメインテーマを「各応用分野におけるガスタービンの技術展望」と題し、表1に示すような10項目について各分野で御活躍の方々に講演を頂きました。

個別の技術についてのセミナーはこれまで何度か取り上げられている事より、今回は各応用分野でのガスタービンの重要技術について、その動向、課題、展望を取りまとめ、同時にそれら応用分野の発展性についても推察できるものという事で本テーマを設定しました。

各講演とも動向については歴史を振り返る部分もあり、特に若い世代の参加者の間では好評を博したようでした。また各応用分野で概して言える

(平成3年1月25日原稿受付)

事は、地球環境問題をも考慮したより一層の高効率化の流れの中での技術課題が中心に講演されたということであったと思います。

今回は第15回のセミナーで試みられた海外からの講演参加も企画し、P&WのMr.G.L.Brinesによる英語での講演も実施頂きましたが、豊富な写真、データ類のスライドによる説明は言葉を越えて、民間輸送機用エンジンの将来のイメージを明確にしてくれたのではないかと思います。

折から第1日目は、会場外で湾岸危機の多国籍軍による武力行使のニュースが流れる中、一側面として、ガスタービン関係では益々の省エネ技術の必要性を参加の方々も感じられていたのではないかと思います。そして各応用分野とも、まだまだ数多くの技術課題を抱えています。これらの着実な解決が地球環境問題への寄与、また、ガスタービン及びその応用分野の発展に貢献すると実

さく、全体的に静かな車という印象だった。乗用車にも試乗でき、ガスタービン車を直接自分の肌で実感できたことは大きな感激です。電気自動車は参加者自身が運転して、乗り心地を楽しんだ。技術懇談会では、活発な質疑応答がなされ、参加者の関心の高さが伺えた。

最後に、ガスタービン車の実用化が一日も早く実現することを期待すると共に、見学を快く引き受けていただいた大橋専務、又、懇切な案内をしていただいた東富士研究所の方々に心からお礼を申し上げます。

(企画委員)



電気自動車の運転を楽しむ三浦さん

## Report of 19th Gas Turbine Seminar

阪 口 哲 也

(企画理事)

第19回 GTSJ ガスタービンセミナーを、去る1月17日(木)、18日(金)の両日、光の家会館講堂で開催致しました。今回はメインテーマを「各応用分野におけるガスタービンの技術展望」と題し、表1に示すような10項目について各分野で御活躍の方々に講演を頂きました。

個別の技術についてのセミナーはこれまで何度か取り上げられている事より、今回は各応用分野でのガスタービンの重要技術について、その動向、課題、展望を取りまとめ、同時にそれら応用分野の発展性についても推察できるものという事で本テーマを設定しました。

各講演とも動向については歴史を振り返る部分もあり、特に若い世代の参加者の間では好評を博したようでした。また各応用分野で概して言える

(平成3年1月25日原稿受付)

事は、地球環境問題をも考慮したより一層の高効率化の流れの中での技術課題が中心に講演されたということであったと思います。

今回は第15回のセミナーで試みられた海外からの講演参加も企画し、P&WのMr.G.L.Brinesによる英語での講演も実施頂きましたが、豊富な写真、データ類のスライドによる説明は言葉を越えて、民間輸送機用エンジンの将来のイメージを明確にしてくれたのではないかと思います。

折から第1日目は、会場外で湾岸危機の多国籍軍による武力行使のニュースが流れる中、一側面として、ガスタービン関係では益々の省エネ技術の必要性を参加の方々も感じられていたのではないかと思います。そして各応用分野とも、まだまだ数多くの技術課題を抱えています。これらの着実な解決が地球環境問題への寄与、また、ガスタービン及びその応用分野の発展に貢献すると実

感じていたのは、筆者のみではなかったような気がしました。

今回のセミナーでは、今までになく多数の参加者を得ることができた事は、会員の方々の関心の高さと関係者の御協力によるものと感謝致しております。また、アンケートについては残念ながら

約半数程度しか回収できませんでしたが、会場の手狭さ、OHP の見づらさ、もう少し具体的内容への言及等の要望があった事やユーザー関係の方々から与えられた好評価等は今後のセミナーの企画運営に反映していきたいと思っております。

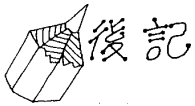
表1 セミナープログラム

1月17日(休)

	項 目	時 間	講 師
	開会の挨拶	9:35~9:40	東京大学 吉 識 晴 夫氏
1	ガスタービンの昨日, 今日, 明日	9:40~10:50	日本工業大学 松 木 正 勝氏
2	自動車用ガスタービンの技術課題	10:50~12:00	日産自動車(株) 伊 藤 高 根氏
	昼 食	12:00~13:00	
3	航空用ガスタービンの技術課題と将来	13:00~14:10	超音速輸送機用推進システム 技術研究組合 村 島 完 治氏
4	発電用ガスタービンの動向と技術課題	14:10~15:20	(株)日立製作所 漆 谷 春 雄氏
	休 憩	15:20~15:40	
5	船用ガスタービンの技術課題と将来	15:40~16:50	川崎重工業(株) 山 本 肇氏

1月18日(金)

	項 目	時 間	講 師
6	Future Technology and Engines at Pratt & Whitney	9:40~10:50	United Technologies Pratt & Whitney Mr.Gerald L.Brines
7	宇宙推進用エアブリージングエンジンの技術課題と将来	10:50~12:00	航空宇宙技術研究所 能 瀬 弘 幸氏
	昼 食	12:00~13:00	
8	産業用小型ガスタービンの技術課題と将来	13:00~14:10	(株)新潟鉄工所 木 村 和 男氏
9	ガスタービン高温化の技術課題と将来	14:10~15:20	三菱重工業(株) 青 木 素 直氏
	休 憩	15:20~15:40	
10	事業用ガスタービンの触媒燃焼器の開発と課題	15:40~16:50	東京電力(株) 原 之 義氏



本号は「環境とガスタービン」をテーマに、ガスタービンの排ガス計測と地球環境問題の二つを柱に編集しました。

排ガス計測については、計測の基本技術と産業用と航空用の実際について専門の方々に論説解説をしていただきました。

地球環境問題については、ここ1,2年急速に浮上してきた地球温暖化問題を行政の立場から論説解説していただきました。行政の立場からのご意見は座談会でもいただきました。これらは、ガスタービンの技術に関わる本会会員に重要な示唆となるものと思います。

学会誌の座談会記事は10年ぶりです。前回は「セラミックガスタービン実現を目指して」でした。実績のない、あるいはそれが極めて乏しい、新しい課題を学会誌の論説・解説で取り上げるのはなかなか難しいことです。そうした面倒なテーマを取り扱うには座談会はなかなか便利なものです。各分野で活躍されている専門家の方々から、同じ場で、卒直なご意見を比較的

気軽に述べていただけるからです。

能瀬編集委員長から「難しいだろうが、地球環境問題をこの時期に学会誌で取り上げてほしい」と言われて、今回の「地球環境とガスタービン」の座談会をすることにしました。座談会では、高温化とNO<sub>x</sub>抑制が今後のガスタービンにとって重要な課題であることが強調されました。話題の二酸化炭素対策についても、高効率化を目指す常道から、燃料の選択や排ガスからのCO<sub>2</sub>分離、さらには水素期待まで多岐にわたるご意見が出ました。この記事が、地球規模的な環境保全に向けてガスタービンをどのように活かしていくのか、読者の皆さんの思考の飛躍の一助になることを願っています。

最後に、ご多用中を原稿をお寄せいただいた執筆者の方々、ならびに年末のお忙しい中をお集まり下さったうえ、資料を提供していただいた座談会出席者の方々にお礼を申し上げます。

(森下輝夫)

## 〔事務局だより〕

立春も過ぎ、いよいよ春近しという感のこの頃。ところが昨夏の猛暑の影響か花粉が去年の1.5倍という情報が流れていて、花粉症患者にとってはユーウツな季節となりそうです。

平成2年度も行事を無事終え、新しい年度を迎える準備に入りました。本年度は巻末の行事予定表にもありますように、秋に横浜での国際会議を控え、今その準備が着々と進められています。その為、平成3年度はシンポジウム、特別講座はお休みですが、見学会、定期講演会、秋季講演会、セミナーは例年通りです。秋季講演会は今年は秋の国際会議の為少々時期を早めて8月末に札幌で予定しておりますが、もう論文応募の問い合わせがある等、既に皆様のご関心を集めているようです。丁度、夏の北海道は観光シーズンで、飛行機・ホテルの予約がまた大変になりそうですが、今回も現地の旅行社に手配を頼みましたので早めに予約をして下されば確保できるとのことです。巻末の会告のページをお見逃しなきようご覧になって、参加お申し込みは是非お早めになさるよう今年もお願い致します。

[A]

## 《第16期通常総会のお知らせ》

標記総会を下記により開催致します。ご多忙中とは存じますが、正会員の皆様のご出席をお願い致します。

開催日時： 平成3年4月26日(金) 13:00～14:30

会場： 機械振興会館地下2階ホール

- 議 事： 1) 平成2年度事業報告の件  
2) 同 決算報告の件  
3) 細則改正報告  
4) 平成3年度役員選出の件  
5) 同 事業計画の件  
6) 同 予算の件

尚、総会終了後特別講演会を予定しております。

## 《特別講演会のお知らせ》

総会終了後、下記により、特別講演会を開催いたします。

1. 講演日時：平成3年4月26日(金) 14:45～15:45

2. 講演場所：機械振興会館地下2階ホール

3. 講師・講演題目：

「開発の回顧と希望（ジェットエンジンを中心として）」

今井 兼一郎氏（日本学術会議会員、

元・石川島播磨重工業(株)専務取締役)

(要旨)

ジェットエンジンの国産・開発に従事してきた40年間で技術を主として進歩の歩みの中で回顧を述べ、今後の希望は何であるかそれを育てて行くものは何であろうかを考えてみたい。

## 《平成3年度第1回見学会・技術懇談会のお知らせ》

平成3年度第1回見学会・技術懇談会を下記の要領で開催しますので、奮って御参加下さい。

記

1. 日 時：平成3年6月6日(木) 13:00～16:00

2. 見 学 先：防衛庁技術研究本部第3研究所

東京都立川市栄町1-2-10 Tel 0425-24-2411

3. 技術懇談会：「航空用ガスタービンエンジン技術について」

菊地秀勝氏（防衛庁技術研究本部第3研究所第2部長）

4. 交通の便：JR中央線立川駅下車「北町行き」バスにて「自衛隊前」下車徒歩15分

5. スケジュール： 13:00～14:00 技術懇談会

14:00～15:00 研究所見学

15:30～16:00 質疑応答

16:05 解散

## 《第16期通常総会のお知らせ》

標記総会を下記により開催致します。ご多忙中とは存じますが、正会員の皆様のご出席をお願い致します。

開催日時： 平成3年4月26日(金) 13:00~14:30

会場： 機械振興会館地下2階ホール

- 議事： 1) 平成2年度事業報告の件  
2) 同 決算報告の件  
3) 細則改正報告  
4) 平成3年度役員選出の件  
5) 同 事業計画の件  
6) 同 予算の件

尚、総会終了後特別講演会を予定しております。

## 《特別講演会のお知らせ》

総会終了後、下記により、特別講演会を開催いたします。

1. 講演日時：平成3年4月26日(金) 14:45~15:45

2. 講演場所：機械振興会館地下2階ホール

3. 講師・講演題目：

「開発の回顧と希望（ジェットエンジンを中心として）」

今井 兼一郎氏（日本学術会議会員、

元・石川島播磨重工業(株)専務取締役)

(要旨)

ジェットエンジンの国産・開発に従事してきた40年間で技術を主として進歩の歩みの中で回顧を述べ、今後の希望は何であるかそれを育てて行くものは何であろうかを考えてみたい。

## 《平成3年度第1回見学会・技術懇談会のお知らせ》

平成3年度第1回見学会・技術懇談会を下記の要領で開催しますので、奮って御参加下さい。

記

1. 日時：平成3年6月6日(木) 13:00~16:00

2. 見学先：防衛庁技術研究本部第3研究所

東京都立川市栄町1-2-10 Tel 0425-24-2411

3. 技術懇談会：「航空用ガスタービンエンジン技術について」

菊地秀勝氏（防衛庁技術研究本部第3研究所第2部長）

4. 交通の便：JR中央線立川駅下車「北町行き」バスにて「自衛隊前」下車徒歩15分

5. スケジュール： 13:00~14:00 技術懇談会

14:00~15:00 研究所見学

15:30~16:00 質疑応答

16:05 解散

## 6. 参加要領

- 1) 定員50名(申し込み超過の場合は抽選, 応募者全員にご連絡致します。)
- 2) 参加ご希望の方は**往復ハガキ**にて「防衛庁第3研究所見学」と書き, 氏名・所属・役職・連絡先住所(返信ハガキにも)・TELを明記の上, 下記事務局へお申し込み下さい。記載不備の場合は, 受け付けかねますのでご注意ください。(〆切平成3年4月22日(月)消印有効)
- 3) 参加費 3,000円(当日受付にてお払い下さい。)

〒160 新宿区西新宿7-5-13 第3工新ビル402  
(社)日本ガスタービン学会 (TEL03-3365-0095)

### 《平成3年度年間行事予定》

開催予定日	行事	掲載学会誌
平成3年4月26日(金)	「総会・特別講演会」 機械振興会館	3月号
5月31日(金)	「第19回ガスタービン定期講演会」 機械振興会館	平成2年12月号及び3月号
6月6日(木)	「平成3年度第1回見学会・技術懇談会」 防衛庁第3研究所	3月号
8月26日(金)	「第6回ガスタービン秋季講演会(札幌)」 北海道大学学術交流会館	3月号
10月27日(日) ~11月1日(金)	“1991 Yokohama International Gas Turbine Congress”	3月号
11月中旬	「平成3年度第2回見学会・技術懇談会」 3箇所につき検討中	6月号
平成4年1月	「ガスタービンセミナー」 川崎産業振興会館あるいは家の光会館	
2月	「評議員選挙」	

### 《1991年国際ガスタービン会議 横浜大会のお知らせ》

本年10月27日より, 標記の国際会議が開催されます。本国際会議は, Tokyo Gas Turbine Congressとして1971年に第1回が開催され, 以来4回にわたって東京で開催されてきましたが, 今回は初めて横浜で開催されることとなりました。昨年末に論文の申込, 概要提出が締め切られており, 国の内外から多数の論文の申込が寄せられております。学術講演会では約100件の研究発表が予定され, また, 航空エンジン, ターボチャージャ, コージェネレーション, セラミックス等に関していくつかのオーガナイズドセッションも企画され, 30編ほどの論文が発表されます。さらに, 特別講演, パネルディスカッションも予定されております。

一方, ガスタービン, ターボチャージャ, およびそれらに関連する機器の展示会も講演会場に隣接する展示会場で開催される予定で, 現在多数の企業から出展の申込が来ております。

以下に国際会議の内容を簡単に列挙しますが, 会員の皆様のお手もとには第2回のサーキュラーが届いていることと存じますので, 内容の詳細はそちらを御覧頂ければ幸いです。なお, 参加申込方法, 講演プログラムなどにつきましては, 6月末に発行予定の第3回サーキュラーを御覧下さい。

## 6. 参加要領

- 1) 定員50名(申し込み超過の場合は抽選, 応募者全員にご連絡致します。)
- 2) 参加ご希望の方は**往復ハガキ**にて「防衛庁第3研究所見学」と書き, 氏名・所属・役職・連絡先住所(返信ハガキにも)・TELを明記の上, 下記事務局へお申し込み下さい。記載不備の場合は, 受け付けかねますのでご注意ください。(〆切平成3年4月22日(月)消印有効)
- 3) 参加費 3,000円(当日受付にてお払い下さい。)

〒160 新宿区西新宿7-5-13 第3工新ビル402  
(社)日本ガスタービン学会 (TEL03-3365-0095)

### 《平成3年度年間行事予定》

開催予定日	行事	掲載学会誌
平成3年4月26日(金)	「総会・特別講演会」 機械振興会館	3月号
5月31日(金)	「第19回ガスタービン定期講演会」 機械振興会館	平成2年12月号及び3月号
6月6日(木)	「平成3年度第1回見学会・技術懇談会」 防衛庁第3研究所	3月号
8月26日(金)	「第6回ガスタービン秋季講演会(札幌)」 北海道大学学術交流会館	3月号
10月27日(日) ~11月1日(金)	“1991 Yokohama International Gas Turbine Congress”	3月号
11月中旬	「平成3年度第2回見学会・技術懇談会」 3箇所につき検討中	6月号
平成4年1月	「ガスタービンセミナー」 川崎産業振興会館あるいは家の光会館	
2月	「評議員選挙」	

### 《1991年国際ガスタービン会議 横浜大会のお知らせ》

本年10月27日より, 標記の国際会議が開催されます。本国際会議は, Tokyo Gas Turbine Congressとして1971年に第1回が開催され, 以来4回にわたって東京で開催されてきましたが, 今回は初めて横浜で開催されることとなりました。昨年末に論文の申込, 概要提出が締め切られており, 国の内外から多数の論文の申込が寄せられております。学術講演会では約100件の研究発表が予定され, また, 航空エンジン, ターボチャージャ, コージェネレーション, セラミックス等に関していくつかのオーガナイズドセッションも企画され, 30編ほどの論文が発表されます。さらに, 特別講演, パネルディスカッションも予定されております。

一方, ガスタービン, ターボチャージャ, およびそれらに関連する機器の展示会も講演会場に隣接する展示会場で開催される予定で, 現在多数の企業から出展の申込が来ております。

以下に国際会議の内容を簡単に列挙しますが, 会員の皆様のお手もとには第2回のサーキュラーが届いていることと存じますので, 内容の詳細はそちらを御覧頂ければ幸いです。なお, 参加申込方法, 講演プログラムなどにつきましては, 6月末に発行予定の第3回サーキュラーを御覧下さい。



## 6. 参加要領

- 1) 定員50名(申し込み超過の場合は抽選, 応募者全員にご連絡致します。)
- 2) 参加ご希望の方は**往復ハガキ**にて「防衛庁第3研究所見学」と書き, 氏名・所属・役職・連絡先住所(返信ハガキにも)・TELを明記の上, 下記事務局へお申し込み下さい。記載不備の場合は, 受け付けかねますのでご注意ください。(〆切平成3年4月22日(月)消印有効)
- 3) 参加費 3,000円(当日受付にてお払い下さい。)

〒160 新宿区西新宿7-5-13 第3工新ビル402  
(社)日本ガスタービン学会 (TEL03-3365-0095)

### 《平成3年度年間行事予定》

開催予定日	行事	掲載学会誌
平成3年4月26日(金)	「総会・特別講演会」 機械振興会館	3月号
5月31日(金)	「第19回ガスタービン定期講演会」 機械振興会館	平成2年12月号及び3月号
6月6日(木)	「平成3年度第1回見学会・技術懇談会」 防衛庁第3研究所	3月号
8月26日(金)	「第6回ガスタービン秋季講演会(札幌)」 北海道大学学術交流会館	3月号
10月27日(日) ~11月1日(金)	“1991 Yokohama International Gas Turbine Congress”	3月号
11月中旬	「平成3年度第2回見学会・技術懇談会」 3箇所につき検討中	6月号
平成4年1月	「ガスタービンセミナー」 川崎産業振興会館あるいは家の光会館	
2月	「評議員選挙」	

### 《1991年国際ガスタービン会議 横浜大会のお知らせ》

本年10月27日より, 標記の国際会議が開催されます。本国際会議は, Tokyo Gas Turbine Congressとして1971年に第1回が開催され, 以来4回にわたって東京で開催されてきましたが, 今回は初めて横浜で開催されることとなりました。昨年末に論文の申込, 概要提出が締め切られており, 国の内外から多数の論文の申込が寄せられております。学術講演会では約100件の研究発表が予定され, また, 航空エンジン, ターボチャージャ, コージェネレーション, セラミックス等に関していくつかのオーガナイズドセッションも企画され, 30編ほどの論文が発表されます。さらに, 特別講演, パネルディスカッションも予定されております。

一方, ガスタービン, ターボチャージャ, およびそれらに関連する機器の展示会も講演会場に隣接する展示会場で開催される予定で, 現在多数の企業から出展の申込が来ております。

以下に国際会議の内容を簡単に列挙しますが, 会員の皆様のお手もとには第2回のサーキュラーが届いていることと存じますので, 内容の詳細はそちらを御覧頂ければ幸いです。なお, 参加申込方法, 講演プログラムなどにつきましては, 6月末に発行予定の第3回サーキュラーを御覧下さい。

地球規模の環境問題が提起され、世界のエネルギー事情の今後の予測が立てにくい現在の状況下で、ガスタービン、ターボチャージャに寄せられる期待は大きく、最新の先端技術の研究開発の紹介や、先端的な研究報告が行われるものと期待されております。会員各位におかれましては、本国際会議に是非ご参加を頂きますようお願い致します。

開催期間：1991年10月27日(日)～11月1日(金)

	午 前		午 後		夜
10/27(日)			参加登録受付		ウェルカム レセプション
10/28(月)	登録	特別講演	一般講演	オーガナイズドセッション	
10/29(火)	一般講演		一般講演	オーガナイズドセッション	
10/30(水)	一般講演		特別講演	オーガナイズドセッション	バンケット
10/31(木)	一般講演		パネルディスカッション		
11/1(金)	見学会（東芝京浜事業所，電中研横須賀研究所）				

オプションツアー

11/2(土)～4(金) 九州（新大分火力発電所，阿蘇地熱発電所等）

開催場所：“パシフィコ横浜”（横浜桜木町より徒歩10分）

申込は第3回のサーキュラーと共にお送りする用紙をご使用頂きますが、参加登録費は会員44,000円、会員外53,000円（8/1～9/15の期間の申込。バンケット，見学会の参加費用を含まず）です。参加登録された方は、期間中の受付時に論文集を差上げます。

なお、事務局を下記に設けておりますので、不明な点等はお問合わせ下さい。

国際会議組織委員会 事務局

(株)コンベックス内

〒105 東京都港区麻布台1-9-14 A・H-1ビル

TEL 03 (3589) 3355 FAX 03 (3589) 3974

## 《第19回ガスタービン定期講演会》

共 催 (社)日本ガスタービン学会 (幹事学会), (社)日本機械学会

期 日 平成3年5月31日(金)

講演会場 機械振興会館 地下3階研修1, 2号室

東京都港区芝公園3-5-8 TEL. 03-3434-8211 (代表)

### ●プログラム●

(一般講演 講演時間15分, 討論10分) (オーガナイズドセッション 講演時間15分) (\*印 講演者)

第1室 (研修1号室)		第2室 (研修2号室)	
9:10	A-1 ガスタービン翼列性能の数値シミュレーション 伊藤栄作 (三菱重工), 森秀隆, *青木素直 A-2 不均一翼列の非定常空力応答解析 船崎健一 (岩手大) A-3 翼列の不均一化によるフラッタ抑制効果 田中英穂 (東海大), *鈴木六郎, 田中隆夫 (防衛庁) 緑川敏雄 (新潟鉄工) A-4 曲げ振動する遷音速圧縮機環状翼列に作用する非定常空気力の測定 (第2報) *小林紘 (航技研), 生沼秀司	9:10	B-1 FEM解析による高温引張強度試験片形状の検討 *小河昭紀 (航技研), 祖父江靖, 橋本良作, 松末勝利 B-2 水素ガスタービン用燃料供給源としての水素吸蔵合金の放出特性 (第2報 温度と圧力の影響) *湯浅三郎 (都立科技大), 後藤登, 田村穂, 山村健一 (トヨタテクノサービス) B-3 高温ガスタービン用セラミック静翼の研究開発 (第3法 実圧燃焼試験結果) *久松暢 (電力中研), 森則之, 百合功, 中門公明 (日立), 宮田寛, 和田克夫 B-4 高温ガスタービン用セラミック燃焼器の研究開発 (第3報 改良と実圧燃焼試験結果) 久松暢 (電力中研), *森則之, 百合功, 宮田寛 (日立), 岩井一躬, 町田隆志
10:50	A-5 空気圧式翼端間隙計測法の研究 *高鷲敏明 (前沢給装工業), 横谷真一郎, 松木正勝 (日本工大) A-6 境界層内の乱れがタービン翼フィルム冷却に及ぼす影響に関する基礎実験 *坂田公夫 (航技研), 進藤重美 A-7 旋回流円錐ディフューザの乱れ特性 鄭孝玟 (東大院), 吉識晴夫 (東大生研), 田代伸一 (都立科技大), 遠藤敏彦 (東大生研), 高間信行	10:50	B-5 SSTエンジン用ラム燃焼器の概念設計 藤秀美 (石川島播磨), *米沢克夫, 小幡正一 B-6 石炭ガス化用ガスタービン燃焼器の高圧燃焼器特性 *中田俊彦 (電力中研), 佐藤幹夫, 二宮徹, 芳根俊行 (東芝), 山田正彦 B-7 ハイブリッド触媒燃焼器の研究 原之義 (東京電力), 古瀬裕, 土屋利明, *古屋富明 (東芝), 芳根俊行, 山中矢, 山田正彦
11:00	(特別講演)		
12:15	「地球環境の変遷」 綿坂邦彦氏 (東京大学教養学部教授)		
オーガナイズドセッション			
13:30	「自動車用ターボ過給エンジン」(オーガナイザ 吉識晴夫)		
14:30	A-8 自動車用エンジンにおけるターボチャージャの現状と将来 *會田昌弘 (日産自動車), 庭月野恭 A-9 シーケンシャル・ツインターボ方式の開発 大平武邦 (マツダ), 吉村重剛, *田所朝雄, 沖本晴男 A-10 小型ターボ過給エンジンの開発 柳原弘道 (トヨタ) A-11 フォーミュラ1レース用ターボ過給エンジンの開発 青木朗雄 (本田技研) A-12 ターボ過給システムについて 富田鐵也 (石川島播磨)	14:40	「燃焼器低 NO <sub>x</sub> 化技術」(オーガナイザ 田丸 卓) B-8 希薄予混合型燃焼器における火災安定の機構と排気特性について *川口修 (慶大理工), 広瀬裕二 (慶大院) B-9 予混合火災の安定化法と NO <sub>x</sub> 特性 谷口正行 (日立), 村上忠幸, 小豆畑茂, 黒田倫夫, 石橋洋二 B-10 ガスタービン用低 NO <sub>x</sub> 燃焼法に関する研究 *宮原忠人 (東京ガス), 森雅晶, 石塚敦之 B-11 ガスタービン用低 NO <sub>x</sub> 燃焼器の研究開発 (第2報) *木村武清 (川崎重工), 北島潤一, 梶田真市, 大賀信一 B-12 液体燃料用低 NO <sub>x</sub> 燃焼器の開発 (第1報 高圧噴霧微粒化燃焼による低 NO <sub>x</sub> 化について) *嬉一雄 (三井造船), 高木圭二, 安部利男, 杉本富男, 遠藤興志郎 (富士石油)
16:50	(総括討論)		

### ☆懇親会

講演会終了後、立食形式の懇親会を開催します。お気軽にご出席下さい。

参加費：講演会参加登録者は無料

## ●参加登録について●

### ☆講演会参加登録費

共催学会正会員 6,000円（講演論文集代を含む）

ただし、下記期限までに申込みをされた方に限り、5,000円とします。

学生会員 2,500円

会員外 11,000円

### ☆事前登録方法

はがきに「定期講演会参加申込」と明記し、(1)氏名、(2)所属学会、(3)会員番号、(4)勤務先、(5)連絡先、(6)送金額、送金方法及び送金予定日を記入し、下記宛てお申込み下さい。なお、講演者も参加登録が必要です。

〒160 東京都新宿区西新宿7-5-13 第3工新ビル  
(社)日本ガスタービン学会

### ☆事前申込期限

平成3年5月10日(金)

### ☆送金方法

現金書留（上記事務局宛郵送）

郵便振替（東京7-179578 (社)日本ガスタービン学会）

銀行振込（第一勧業銀行西新宿支店 普通No067-1703707 (社)日本ガスタービン学会）

### ☆講演論文集配布

当日会場でお渡しします。論文集のみご希望の方には、講演会終了後に残部がある場合にのみ実費にて頒布致します。

## 《ガスタービン秋季講演会（札幌）》

（共催 日本ガスタービン学会（幹事学会）、日本機械学会）

開催日 平成3年8月26日(月)

会場 北海道大学学術交流会館（北大構内）

内容 一般講演

特別講演

オーガナイズドセッション

(1)新素材、(2)数値解析

見学会 平成3年8月27日(火)

見学予定先：(1)空知炭鉱(株)、歌志内発電所（蒸気噴射式3850kW ガスタービン×2基）

(2)マイクログラビティセンター

申込締切 平成3年4月26日(金)

原稿締切 平成3年7月15日(月)

開催時期が北海道の観光シーズンと重なりますので、現地旅行社に航空券、宿泊の手配をまとめて貰うようにしてあります。申込みの詳細を会誌6月号の会告で御覧の上、お早めにお申込み下さい。なお、講演会に合わせて個人的にスケジュールを組まれる方も、当該旅行社をご利用なさることをお勧め致します。

## GTSJ 英文ブレティン (GTSJ Bulletin 1990) 販売のお知らせ

英文ブレティン第4号(1990年度版)が下記のごとく本年3月下旬に発行されますので、会員各位に有料頒布のご案内をいたします。

### 1. 主な内容：

- (1) わが国における最近のガスタービン、ターボチャージャの技術動向  
(大型、中・小型産業用、航空用ガスタービンエンジンおよび船・車両用ターボチャージャの生産状況、石炭ガス化発電プラント、超音速機用推進システム、コージェネ用および自動車用セラミックガスタービン等の開発計画などについて合計8編)
- (2) 最近の学会誌掲載論文の抄録(12編)
- (3) 最近の学会講演発表論文のリスト
- (4) 最近の学会誌掲載“研究所だより”(3編)
- (5) ガスタービン、ターボチャージャ生産統計資料
- (6) ガスタービン学会の組織、活動状況紹介
- (7) GTSJ関連の大学、研究・開発機関と賛助会員会社のリスト

### 2. 構成： B5版 72ページ(予定)

(内容は全て英文にて構成されています)

### 3. 価格： 1部 2,000円

ただし部数がまとまる場合は、次のように割引を行ないます。

10部以上 1部 1,800円

30部以上 1部 1,500円

このブレティンは、国外の研究者・企業に日本ガスタービン学会の活動や、ガスタービン・ターボチャージャの事情を紹介する資料として便利かと思われまますので、ご活用下さい。

問合わせおよび申込先： 〒160 新宿区西新宿7-5-13 第三工新ビル  
日本ガスタービン学会事務局  
TEL 03-3365-0095  
FAX 03-3365-0387

## 学 会 誌 編 集 規 定

1. 本学会誌の原稿は依頼原稿と会員の自由投稿原稿の2種類とする依頼原稿とは本学会よりあるテーマについて特定の方に執筆を依頼した原稿、自由投稿原稿とは会員から自由に随時投稿された原稿である。
2. 原稿の内容は、ガスタービン及び過給機に関連のある論説、解説、技術論文、速報（研究速報、技術速報）、寄書、随筆、見聞記、ニュース、新製品の紹介及び書評などとする。
3. 原稿は都合により修正を依頼する場合がある。また、用済み後は執筆者に返却する。
4. 原稿用紙は、原則として本会指定の横書440字詰（22×20）を使用する。本原稿用紙4枚で刷り上がり約1頁となる。
5. 刷り上がり頁数は1編につき、図表を含めてそれぞれ次のとおりとする。論説4～5頁、解説及び技術論文6～8ページ、見聞記、速報及び寄書3～4頁、随筆2～3頁、ニュース、新製品紹介、書評等1頁以内。超過する場合は短縮を依頼することがある。技術論文については別に定める技術論文投稿規定による。
6. 依頼原稿には規定の原稿料を支払う。
7. 自由投稿原稿の採否は編集委員会で決定する。
8. 自由投稿原稿には原稿料は支払わない。
9. 原稿は下記宛に送付する。  
〒160 東京都新宿区西新宿7-5-13,  
第3工新ビル  
(社)日本ガスタービン学会事務局

## 技 術 論 文 投 稿 規 定

1. 本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。
  - 1) 投稿原稿は邦文で書かれた著書の原著で、ガスタービン及び過給機の技術に関連するものであること。
  - 2) 投稿原稿は、一般に公表されている刊行物に未投稿のものに限る。ただし、要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。
2. 投稿原稿の規定頁数は原則として図表を含めて刷り上がり8頁以内とする。ただし、1頁につき15,000円の著者負担で4頁以内の増頁をすることができる。
3. 投稿原稿は原稿執筆要領に従って執筆し、正原稿1部、副原稿（コピー）2部を提出する。
4. 投稿原稿の採否は技術論文校閲基準に基づいて校閲し、編集委員会で決定する。

日 本 ガ ス タ ー ビ ン 学 会 誌

第18巻 第72号

平成3年3月10日

編 集 者 能 瀬 弘 幸

発 行 者 石 井 泰 之 助

(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402

TEL (03) 3365-0095

FAX (03) 3365-0387

振替 東京7-179578

印刷所 ニッセイエプロ(株)

東京都港区西新橋2の5の10

©1988(社)日本ガスタービン学会

本誌に掲載したすべての記事内容は(社)日本ガスタービン学会の許可なく転載・複写することはできません。