



会長就任にあたって

会長 水町 長生

日本ガスタービン会議が昭和47年6月15日に発足して以来、今年で第3年目に入りますが、その間前会長をはじめ幹事の方々の非常なご尽力と適切な企画および会員の皆様の熱心なご協力により、順調に発展して参りましたこととはご同慶に存じます。この度第3期の会長に選出され、その責任の重大さを痛感するものであります。

さて過去2年を振り返って見ますと、初年度は暗中模索の時代でした。会の性格は一応会則に文章としては書かれてありますが、それに対する具体的なイメージは各人各様で、また会員の希望がどの辺にあるかもよくわからず、一つの行事を企画するにつけても、その行事が会員の歎心を買うのか、何名位参加して貰えるのか、採算はどのようになるのか等皆目見当がつかず、不安な企画の1年でした。第2年目に入りましたが、大勢は変わりませんが、1年やった経験から、いくらか見当がつくようになったと考えてよいでしょう。しかしこの間会員のご協力の下、幹事の方々がご多忙な公務の中で、会をつぶしてはならない、会としての基礎を固めなければならないと格別のご尽力をされた結果、幸い会としても順調な発展を遂げ、特別講演会、定期講演会、見学会、技術懇談会、シンポジウム等予想以上の参加者を得、また会報の記事も有益な面白い原稿を戴くことができました。さらにわが国のガスタービンの生産統計について、日本における唯一の権威ある統計を作成することができました。また会員の数も設立当初は個人会員550名、維持会員32社であったものが、約1年後の昨年4月末には個人会員は655名、維持会員も65社に達し、さらに今年4月には

個人会員793名、維持会員74社に増え、着着と増加しつつあります。このようにして会としての存在意義が次第に立証され、会の基礎が固まりつつありますことは心から嬉しく思います。

しかしこの間色々な問題がわかって来ました。この会は当初は会員300名位のガスタービンに関する研究者および技術者の同好の士の集りを考えておりましたが、それが以上のような大世帯になりますと、会の運営についても同好の士の集りとしての運営では問題があり、正規の手続きを経た公的運営が必要になってきました。

つぎに財政上の問題があります。会員数が1000名近くになりますと、その事務量も増大し、ある行事一つ行なうにしても、立案企画は頭だけで行なうことができますが、それを実行するときの事務的な仕事が増大し、パートタイムの事務局職員1名ではとても処理することができず、その分幹事の方の大きな負担となっております。これは会報の編集についても同様です。これは会員数が現在程度の場合、財政的な面から事務局を強化することができない点にその原因があります。このような幹事の方の犠牲的精神による奉仕にたよっている現状が長く続くことは問題であり、その運営方法等に改善が必要と考えます。また印刷費を始めとする諸物価の高騰、近く予想される通信費の値上げ、さらに本会を法人化した後の事務局の改善、活動の活発化および充実等を考え合わせますと、どうしても年会費を2倍に値上げせざるを得ない状態になりました。現在の見通しでは、年会費を2倍にすれば、本会を法人化し、会の活動をさらに活発にしても、3年位はやっていける

と思います。この点会員各位のご了承を賜り度く存じます。しかし会費を値上げするからには、勿論それに相当する会員に対するサービスの向上、フィードバックの増大が必要でありまして、具体的には例えば会報の発行回数を年2回から年4回に増やし、また特別講演会、見学会および技術懇談会の開催回数を増やすこと等を考えています。

つぎに本会を社団法人に改組するという問題があります。現在は任意団体ですが、本会の活動を一層活発にし、充実させるためには組織を法人化する必要があります。特に1977年5月下旬に第2回国際ガスタービン会議東京大会の開催が予定されており、これは実質的には本会が中心となり運営することが必要でありまして、この点からも一日も早く法人組織とする必要があります。本件に関しましては去る昭和48年11月16日の臨時評議員会において、本会を社団法人に改組することが承認され、またそれに伴う本会の定款および細則が了承されまして、法人化のための手続きを開始することになりました。現在法人化委員会委員長渡部一郎氏を中心として、関係者によりまして、その実現のために非常な努力が払われておりまして、1日も早く、これが実現することを期待致しております。

本会はその設立の目的に沿うように、会報を編集発行し、またいろいろな事業が行なわれて参りましたが、大事なことは果して本会が会員の皆様のご期待に答えているか否かということです。これにつきましては先般会員にアンケート調査を行いました所、会報に対する希望、関心のある問題や本会に対するご意見およびご希望等につきまして、281名の多数の方から有益な積極的なご意見を賜ることができまして、厚くお礼を申し上げます。その内容は多岐にわたっておりますが、今後の会の運営にこれらを十分反映させ、ご期待に沿いたいと思います。

以上のアンケートの調査結果の中で、特に直ちに上げたいことは、東京地区以外の地方存住の会員に対するサービスの向上であります。従来の行事が主として東京を中心に行なわれ、地方の方には会報の頒布等が主なサービスにな

っておりましたが、今年度からは見学会や技術懇談会を地方でも開催するようにしそのため地方支部を設けてご協力をお願いするように計画されております。

本会の主要な任務の一つにガスタービンについて国際交流を行なうことがあります。これは従来具体的にはASME, GTD.と密接な連絡を取り、相互に情報の交換を行ない、また1977年の第2回国際ガスタービン会議東京大会の開催等につきましても色々連絡して参りましたが、この線は勿論今後も引続いて続けて行きますが、われわれとしては、その他欧州諸国とももっと連絡を密にし、情報を交換することが必要ではないかと思ひます。またアジア、東南アジアやオーストラリア等につきましても眼を向ける必要があると思ひます。

本会は日本におけるガスタービンの生産統計の作成等本会が実施するにふさわしい仕事をやって参りましたが、さらに将来はガスタービンに関する技術情報センターの設置を考えております。これは世界のガスタービンに関する文献および資料を収集し、これを整理して会員の利用に供しようとするものですが、これは相当多額の資金、人材、場所等を必要としますので、本年度は技術情報センター準備委員会を設けて、その調査を行なつて戴くことになりました。

本会はようやく第3年目に入り、現在一番大事な事は本会の基礎を固めることだと思ひます。そのためには財政の基礎を確立すると共に、適切な企画を行なうことが必要です。本会の性格をあやまらず即ち本会でこそ行なえる有意義な事業を行ない、会員の皆様のご期待に沿うべく努力致す積りでございます。

日本は今、社会環境の問題およびエネルギー資源の問題という大きな問題を解決することが要請されています。これらの問題の解決にガスタービンはどのように寄与し、又対処して行くべきか、ガスタービン関係者は真剣に考える時期にあり、日本ガスタービン会議の果たす役割も大きいと考えます。

どうか本会の一層の発展のために、会員の皆様方のご鞭撻とご協力をお願い申し上げます。

前 会 長 挨拶

岡 村 健 二

日本ガスタービン会議もいよいよ第3年目をむかえることになり、順調に発展していることを大変うれしく思う。

もう10年以上もむかし、毎年盛大に開かれているASMEのガスタービン会議に参加しながら、日本におけるガスタービンの地歩と発展を図るのにどうしたらよいかを何度も考えさせられていた。当時米国でもガスタービン産業の主力は航空機部門であり、他の部門では非常に苦しい開発段階にとりくんでいたのであるが、数多くの人々の参加による積極的な討論の活潑さをうらやましく感ずるとともに、こうした組織活動を推進しているごく小数ではあるが、熱烈な活動家達の献身的な努力の継続があってこそ、初めて可能であるのだと感じた。そして集まる人達は企業の間を越え、官、学の広い範囲の人達が、そして外国の多くの人達も協力を惜まない雰囲気は貴いものだった。わが国でも細々ながら先輩達の努力によって開発の道を拓きつつはあったが、こうした機種が真に社会に役立つまでには、数多い知識と経験を必要とし、唯一人の優れた技術者の力だけでは仲々克服できない問題が多いのである。今後の日本におけるガスタービンの発展を期するためにも層の厚い技術者グループの協力が不可欠であることを痛感する。多くの機械工学の製品のうち、ガスタービンは航空機部門でこそ強い地歩を占めているけれども、より広い工業分野への

応用に対する工業化はまだこれからという段階であり、言ってみれば生れたのはずっと古いのに、まだ育ち盛りの若い世代にあるのだ。それだけ工業化への難問が多く、事業化が制限されているのである。こうした環境で日本ガスタービン会議が生れ、すくすくと育つことは極めて重要であるとともに、いかにしてうまく育つようにするかが当面の問題であろう。幸い会員の諸君の熱心な支持で順調にのびてきて居ることを深く感謝すると共に今後の発展のために一層の協力を仰ぎたい。ガスタービンの応用面をより広くし、工業化を盛んにするために、いつも問題となるのはそのコストと燃費である。これがその応用面で経済性が確認されないと事業化は進まない。しかし現在の技術段階でも用途によっては充分メリットを発揮できる分野があるので、ガスタービンのもつ欠点をカバーする用途、あるいは用い方をトータル・システム的に考えてゆくことが大切である。そして少しでも実用化を広め、その得られた知識と経験を活用して、将来の応用分野の拡大、事業化をはかってゆくべきであろう。

こうしたガスタービンの発展をすすめてゆくに際し広く官、学、民の関係者の集りであるこの日本ガスタービン会議は貴重な存在であると信ずるので、新会長の下に会員各位の協力を得て本事業が一層進展することを願ってやまない。

論説解説

エネルギー変換装置としてのガスタービン (その二 トータルシステムの一翼として)

東京工業大学 一色尚次

1. まえがき

エネルギー変換装置としてガスタービンを評価するには二つの大きな方向がある。その一つは、熱効率、比出力、単機出力限界、応答性、といったような古典的、解析的な性能面から評価する方式で、すでに本報告のその一⁽¹⁾において主として触れた面からである。第二の方向は、最近のエネルギー危機、公害問題、等によって急速に重大化している人間的、社会的、資源的な側面からであって無公害性や資源の有効利用面ばかりでなく安全性、信頼性、省エネルギー性、等を含む総合的なものである。

本報告では、ガスタービン単独としてその特長を生かした今後の役割りを解析面から検討すると共に、エネルギー変換の総合的なトータルシステムの一翼となり、全体としての有効性を増すための一員として果すべきガスタービンの使命について定性的な検討を加えたい。

2. 単独機関としての考察

ガスタービンを単独機関として採用するには、まずその出力範囲と限界が問題となるであろう。その意味において、本報告のその一においては、単機出力限界の定量的計算式を提示したが、ここにその適用性を示すために、実際のガスタービンばかりでなく、火力用蒸気タービン、補機用蒸気タービン、ロータリーエンジンを含めた各種内燃機関等の1シリンダ当り出力を、回転数を横軸にとってプロットしたものを図1に示す。

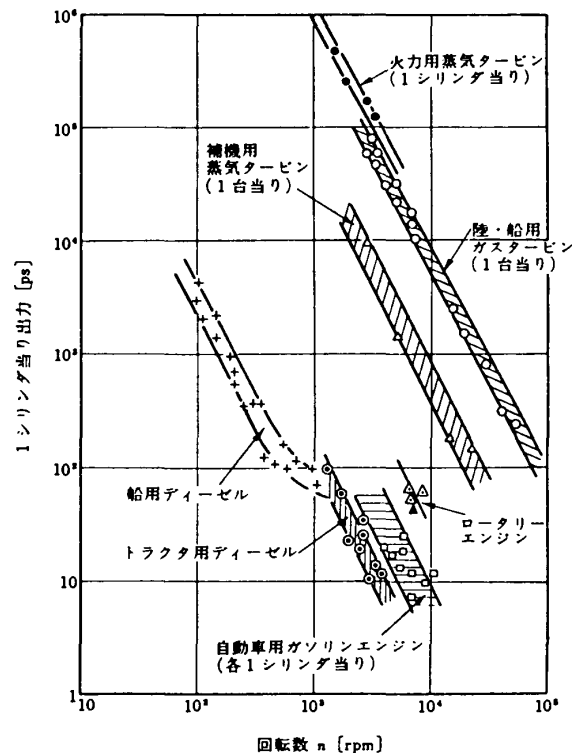


図1 ガスタービン、蒸気タービン、各種内燃機関の1シリンダ当りの出力の現況

注 (蒸気タービンにおいて高圧、中圧、低圧などのシリンダ(タービン)に分かれる場合は一つのシリンダ(タービン)当りの出力を示すので、全体としては図のもの4~6倍になる。ロータリーエンジンは1ロータ当りの出力を示す。)

同図のガスタービンの直線に示されるように、実際のガスタービンは、±20%程度の精度で、回転数の自乗に反比例して単機出力が増大する直線上に納っていて、その一に示した理論的推定がかなり正しいものであることを実証している。それと共に、ガスタービンは火力用蒸気タービンの約50～60%の位置にあって、火力用蒸気タービンが実際には4～6シリンダを有することを加味すると、単機最大出力は後者が遙かに優れていることがわかる。しかし補機用蒸気タービンにくらべるとガスタービンの方が大きい。

いま火力用ガスタービンの出力には下限があることを加味して本図をみると、ガスタービン単独にて他のライバルが存在しない領域は出力が300 ps から10万 ps くらいまで、回転数が5000から50,000 rpm くらいまでの範囲であることがわかる。

この図を念頭に置き、かつガスタービンが単独の機関として有する特色が、軽量小型、ドライ、機動性、高速回転、大流量ガス使用、無振動性、等であることを考慮しながらその単独機関としての用途を考えると、すでに従来から知られているように、

1. 航空用（これには絶体の優位を占めている）
2. 非常発電機、及びピーク負荷発電機用、（これは機動性を主として買っている）
3. ホーバークラフト、水中翼船といった軽量高速船用。
4. 消防用（ポンプ用、排風機用、小型個人飛翔体による緊急救助装置用、等で小型かつ機動性による）
5. レジャー用（競争用ボートやレースカー用）
6. 石油産業のプロセスポンプ及び送風機用（とくに石油関係では燃料が近くで得られやすい点からと、高速回転が得られる点から有利である）
7. 空気源用（たとえばジェットエンジンスターター用）
8. 航空用ジェットの転用（これは航空用ガスタービンの優位性に上乗りしてその地上や船

用転用を狙うものである）

9. 車輻用（高速列車、バス、等を狙うもので軽量かつ機動性のよいことを買っているし、またNO_xが低い点も魅力である）

等であって、これらの用途は今後も進展するであろうが、これらのうち、資源問題（種類と効率）および公害問題の存在にも拘らず、ガスタービンでしか実施できない独自性を強く有する領域は、航空用やホーバークラフト用等若干を除いては、他の各種内燃機関や蒸気タービン等の競争者との競合によってかなり狭められるおそれがある。そしてとくに火力発電用や、船用主機関としてガスタービンを利用しようとする考えは、熱効率の低い点と、石油系燃料の価格上昇と種類の制限が重なって、以前よりも更に困難なものとなってくるおそれがある。

3. 資源面より見たガスタービン

さてガスタービンをエネルギー変換の総合システムとして見るための準備として、熱エネルギー資源の面からその評価をしておく必要がある。

熱エネルギー資源としては大別して、(1) 在来化石燃料、(2) プロセスガスや水素ガスのような合成燃料、(3) 核燃料（分裂、融合、増殖）、(4) 太陽熱、地熱、海洋熱のような自然熱資源、等がある。

3.1 在来化石燃料 まず在来化石燃料は、それを単独機関としてのガスタービンの直接燃料として使用するときには、それ自体が低硫黄、低窒素、低灰分であり、かつ燃焼生成物が低ふ食性、低附着性を有する必要がある、いわゆるクリーンフューエルに属するものでなければならない制限がある。

その意味からいってまず石炭の微粉炭直接燃焼方式を使用するさいは、ブレードのふ食と侵食の点から難点がある。また低質重油でもそのままでは幾多の問題があることがわかっている。ゆえにガスタービンと在来低質化石燃料との接合点は、ガス化や脱硫などの低質燃料のクリーン燃料化システムの一環となって、自らがその一役を引き受けることによって生ずるものと思われる。これは今後の化石燃料の逼迫と共に重要となるであろう。その実際例については後述したい。

3.2 核燃料 まず在来の熱中性子炉による核燃料については、すでに幾多のプロジェクトがガスタービンを作動部分とした高温ガス炉を計画し、またある程度実験がなされたが、船用、航空用を含めて、いずれもその後の進展がない。これは主として密閉ガスタービンのガス漏れと、寸法の細い燃料ピンの製作、およびその耐久性等に困難があったからである。そして通常のガス冷却炉も現在はずべて熱交換器を通じて蒸気タービンを駆動する形式に定着しつつあるようである。

次期のエネルギー源として注目されている増殖炉においても、ガスタービンは利用し難い。核融合炉についても、それがどのような形式となるかはまで定まっていらないが、やはりガスタービンは不向きである。

しからば原子力とガスタービンは縁が切れるかということ、そうではなくて、原子力製鉄や、原子力淡水化のような多目的利用システムの一環としての役割りは十分果しうるチャンスがある。たとえば原子力製鉄における循環ヘリウムや、高炉ガスなどはすぐにガスタービンに入れて出力を得ることができる、しかしそれには密閉軸封装置の完成が更に必要であろう。

3.3 自然熱源 太陽熱、地熱、海洋熱、といったような大自然熱源では、通常太陽熱、海洋熱はいずれも高低熱源間の温度差が低いのでガスタービンより蒸気タービンが明らかに優利である。また地熱についても、地上噴出するのが蒸気であるので、蒸気タービンが最先きに優先的であり、将来空冷地熱のようなものが出ない限りまずはガスタービンの利用は難かしい。

しからば自然熱源も全く関係がないか、というと例えば高温の太陽熱収熱器を使用する太陽熱ガスタービンなどが砂漠地で水を使用しないですむ点と、簡単に動力を得られる点などから以外に有利であるかも知れない。このさい熱効率の高いエリクソンサイクルとの組み合わせも考慮できよう。

4. 総合システムの一翼としてのガスタービンの方向

4.1 エネルギー変換の総合システムについて 以上のように、ガスタービン単独機関と

しては、航空用その他の特殊用途を除いては、かなり限られてくる見地が強い。とくに大出力用としては火力、原子力、太陽熱、船用、いずれにおいても蒸気タービンが主力となる可能性が強い。しかし、将来のエネルギー変換は従来のように単独機関だけで済ませようとするわけには行かない。

すなわち、①出来るだけ低質の燃料を多種、弾力的に使用する。②SO_x, NO_x, カーボン, HC等の排出物やその他の公害を最少とする。③発電ばかりでなく、製鉄、淡水、暖房、等の各種エネルギー利用を総合的に考える。④太陽熱、海洋熱のような自然エネルギーも一環として取り入れる。⑤全体として環境を害なうことを最小とする。

という面をもつ総合的トータルシステムである必要があり、ガスタービンも、その意味より、もはや単独機関としてよりも、たとえどんな小部分であれ、トータルシステムを最良とする点で最も適した役割りを背負う一員として考慮されるべきである。

在来の例としては、ごく小システムではあるが、ターボ過給ディーゼルエンジンシステムなどはガスタービンが全体の一翼をになつたよい一例である。

この線での今後のガスタービン利用の注目すべき例としてはすでに触れたものもあるが、①過給ボイラシステムを一端とする蒸気、ガス複合機関システム。②石炭ガス化装置や脱硫装置を有するクリーン燃料化動力システム。③多目的原子炉システム。④暖房、産業用熱供給や太陽熱等を併列させた総合エネルギー有効利用システム。等であろう。それらのうちの前3者についてさらに述べてみたい。

4.2 複合機関システム ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせる方式はいわゆる複合サイクル機関として従来からよく研究されている。その形式には図2に示すような4方式がある。

(a) 過給ボイラ方式、これはガスタービンを独立の過給機として使用するもので、ディーゼル機関のターボ過給機と全く同様に、自らは出力

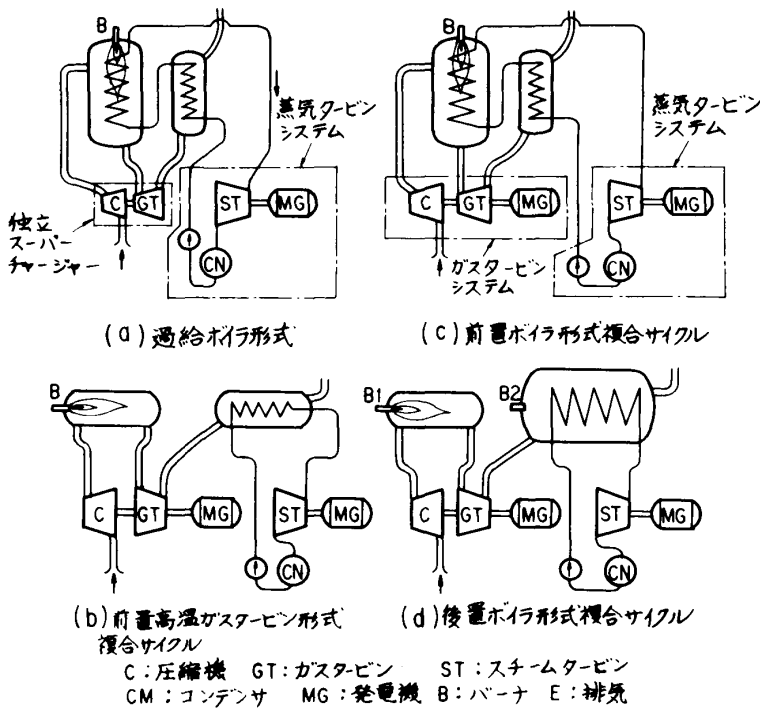


図2 ガス・蒸気タービン複合サイクル機関

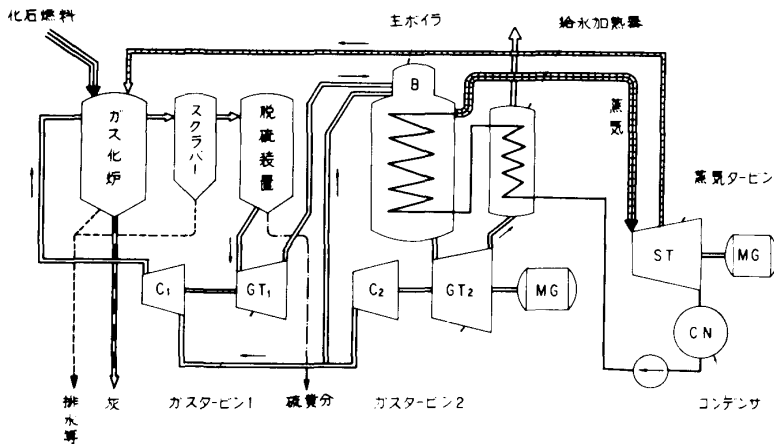


図3 ガス脱硫システム線図

を出さないが、主機関の補助となる。この方式は制御装置が不要で、簡単に自立運転ができる点に利点があり、また、排ガス浄化装置を十分後置させるに足る背圧力を許せる点も今後の機関として有利であり、小型ガスタービンや、デ

ィゼル用ターボ過給機の用途として有望である。

(b) 前置高温ガスタービン形式、これは蒸気温度より作動温度が十分高い高温ガスタービンを前置し、その排ガスにて蒸気サイクルを並列におくもので、ガスタービンが主力となる。

(c) 前置ボイラ形式複合サイクル、これは過給加圧ボイラを前置するがそのガスタービンから出力をとり出すとともに、並列した蒸気タービンからも出力をとり出すものであり、両者を密接かつ有機的に結合させ、出力もかなり広範囲に選べる形式である。

(d) 後置ボイラ形式複合サイクル、これはガスタービン前置し、その排ガス内にアフタバーナを入れて再加熱し、後置ボイラにて蒸気サイクルを動かすもので、従来形式のガスタービンと在来の低圧燃焼室ボイラとの組み合わせが最も簡単にできる。出力比は1:3くらいである。

なお、これら以外にガスタービンの排熱にてフロンボイラを加熱する、ガスタービン・フロン複合サイクル機関も考えられる。フロンの安定性に問題があるが、ガスタービンの熱効率向上に有効である。

以上の方式によれば、熱効率が蒸気サイクルの熱効率よりも約2~5%程度上昇すること、ガスタービンとしての燃料使用範囲が広がること、その一に述べたように、ガスタービンと蒸気タービンの出力限界が約1:5くらいであることにフィットした出力比を選んで全体としての

出力を限界まで増大できること、排ガス浄化のための圧力差を取り易いこと。等のトータルシステムとしての多くの利点があり、大いに考えられるべきである。

4.3 ガス化脱硫プロセス これは上記

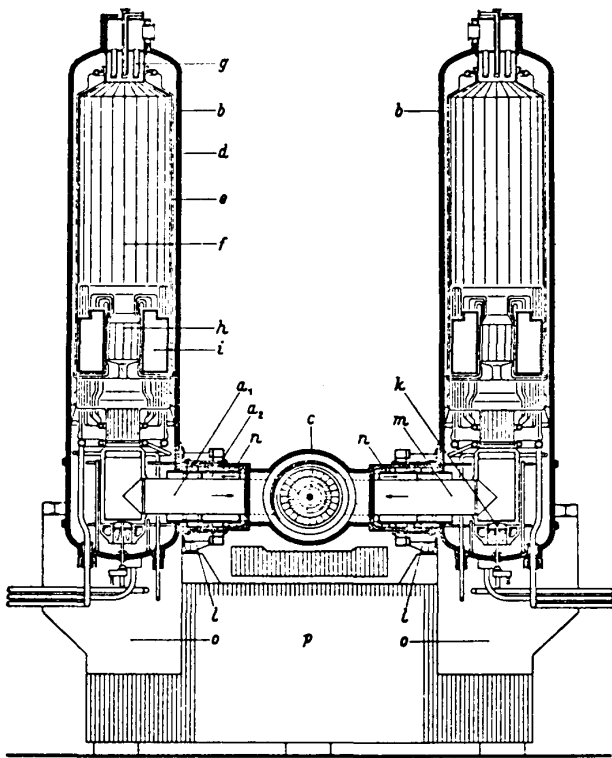


図4 STEAGの加給加圧ボイラとガスタービン

- | | |
|-----------------------|--------------------|
| a ₁ ガス入口 | h デフレクター |
| a ₂ 加圧空気入口 | i スーパーヒーター |
| b ボイラ本体 | k 円筒弁 |
| c ガスタービン | l 固定点 |
| d 外部胴 | m ガス通路 |
| e 管群 | n ベローズ |
| f 伝熱面 | o 基礎 |
| g ガスバーナー | p ガスタービン台(フローティング) |

の複合サイクルに、さらに石炭や石油などのガス化脱硫装置を組み合わせたもので、ガス化脱硫がある程度高温高压のガス状態を必要とすることからこの組み合わせの有効性が生じて来たもので、公害除去と効率改善と多種燃料利用という総合的な利点が考えられる。

図3にその方式の概念図を示す。この方式の一部はドイツのSTEAG社などで大がかりにテストされている。

本方式は将来のトータルシステムとして極めて注目すべきものであろう。ただしこのうちのガス化炉自体の開発が最も難点があるようである。

図4にSTEAGの過給ボイラとガスタービンを示す。他のトータルシステム例についてはまだ資料が十分でないので省略する。

4.4 原子炉の多目的利用 最近の原子力開発の一環として、高温ガス冷却原子炉にて約1000℃程度にHeガスを加熱し、その熱を利用して、発電、製鉄、化学工業、等の多目的に使用しようという考えが盛んになって来ている。その一翼として、Heガスタービンが蒸気タービンと共に考慮されている。

図5にそのようなシステムの一例を示す。

5. ガスタービンの今後の開発点とむすび

以上のようなガスタービンの今後の方向に答えるためには、すなわちガスタービンが任意の

トータルシステムの一環に容易に組み込まれるためには、当然ガスタービンの高温化、各部分の性能向上、等従来進められて来た研究が進行される必要があるが、さらにどのような作動流体(ガス)にでも対応できるため、まず気密軸封シーリング、ガスベアリング、耐食性向上、等に更に一そうの研究が要望され、また熱交換器にも何らかの飛躍的性能向上が要求される。

またガスタービン自体としても、単に在来の単独用途にこだわらず、広く化学工業や各種産業、暖房、冷凍等の広い範囲にわたっての利用の

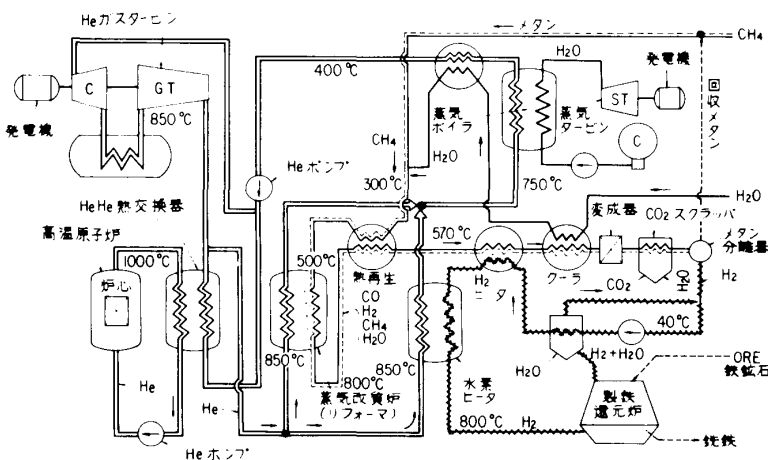


図5 原子力製鉄を主とする原子炉多目的利用システム

途を採求すべきであり、また部分の形状や生産性の改善による価格の低下についても十分な考察が払われるべきである。

以上のようにトータルシステムを強調したエネルギー変換装置の一翼としてのガスタービンについて主として論じたが、何等かの益する所が

あれば幸いである。

(昭和49年4月30日原稿受付)

文 献

- (1) 一色, 日本ガスタービン会議報告, 1巻3号, (1973)

会報増刊のお知らせ

日本ガスタービン会議は昭和47年6月に発足して以来2ヶ月を経過し、会員の皆様方の絶大なる御支援により着々その基礎を固め発展しておりますことは御同慶の至りに存じます。

このような会員の皆様方の御支援に答えるべく、本年度より会報を従来の年2回より年4回の発行に踏み切ることに致しました。本第5号は過渡期のため7月発行となりましたが、次号第6号以後は9月、12月、3月、6月と季刊として発行致しますので、今後とも御愛読の程御願い致します。

海外におけるガスタービンの話題

三菱重工業株式会社 原動機事業本部 丹羽 高尚

この度海外でのガスタービンに関する新しい話題について寄稿するよう御依頼を受けた。

一口にガスタービンと言っても容量面、用途面、構造面などの相違から、幾つかの分野に分類して検討されるのが常であり、筆者自身は大型の発電用ガスタービンに関する業務に携っているもので、その分野での現況を御報告するのが順当かとも思う。しかし、航空用を除けば、今日最も多く実用化されているのは発電用ガスタービンであり、従って色々な機会をとらえて発電用ガスタービンの紹介が行なわれており、また本稿の表題も考え、多少通俗的とはなるが、過去1年間にガスタービン関係の新聞、雑誌などに現われた記事から広くガスタービン全般に跨って話題を拾ってみることとした。

商船の話題

さきにオーストラリアの Broken Hill

Proprietary 社が発注したインダストリアル型ガスタービン推進鋼材運搬船の2隻のうちの第1船“Iron Monarch 号”は1973年9月に海上試運転を行なったあと引続き就航し、同年末までに約600時間の運航を記録した。この船はGE社の5212R型再生サイクル2軸ガスタービン(19000馬力)と可変ピッチプロペラ(CPP)との組合せにより推進される20ノットの船でインダストリアル型ガスタービンが商船の推進用に採用された第1船として多大の注目を浴びたものであった。

カリフォルニアの Standard Oil Co.

(Chevron)が採用することに決定したガスタービン電気推進船はその後数を増し合計4隻になったと伝えられている。この船は35000トンの中型タンカーで主に米国西海岸の各精油所・給油所間を巡航することになっているが、GE社MS3002R, 12500馬力のガスタービンとAC発電機, AC電動機, 可変ピッチプロペラとから構成され(AC/AC/CPP)

第1船の進水は1974年の第2四半期、以後半年ごとに1隻ずつ進水する予定と報ぜられている。

又、ニュージーランドの Union Steam Ship 社でもインダストリアル型ガスタービン推進船が3隻計画されている。そのうちの1隻はGE社MS3002R型, 12500馬力によるAC/DC電気推進であり、他の2隻はGE社MS5002型26000馬力によるAC/AC/CPP電気推進であると言われている。

一方、スイスのBST社は、オランダの van der Giessen Nord 社と組んで7R型ガスタービン2台より成る9000KW電気推進船の計画を発表しており、またアメリカの Westinghouse 社でも燃料消費量の特に優れた再生式の2軸船用ガスタービンの設計に着手したと報じられている。

このようにインダストリアル型ガスタービンの船用主機への採用が徐々に進んでいる反面、アメリカの軍用船カラハン号あるいは Sea Train 社のコンテナ船など大型高速商船に数年前から用いられてきたジェットエンジンガスタービンも着々とその運航実績を積み重ねており Sea Train 社の船は当初計画のP&W社のFT4A-12をより新しいFT4C-2に搭載しなおすなど高出力化、高効率化が続けられている。

このような商船のガスタービン化の動きに対し、「ガスタービン船を持たぬ船主は運航を始めたガスタービン船の成りゆきを注意深く見守っている。彼等は比較的新らしいガスタービンを推進主機として採用することによる技術的リスクを負うことをためらう一方、運航採算が本当に良くなるのら、この時流におくれないという焦燥の板ばさみに合っている」と報道されている。

艦艇の話題

艦艇の推進にガスタービンを利用することは、かなり前にイギリスで実行に移され始めた。イギリス海軍は今では昔の大海軍の面影はなくフリゲート艦を主力にした小型艦艇から成り立っているが、それら主要艦艇のガスタービン化は完了したと言われている。

一方アメリカでは小型舟艇による実験段階を経て、やっと駆逐艦、ヘリコプター母艦などへの応用の時代に入った模様である。

アメリカ海軍の艦船の発注方式は議院での承認もからんで仲々判り難いのであるが、初の本格的ガスタービン艦と言われている Spruance 型駆逐艦 (DD 963) は 16 隻まで建造が認められていると伝えられ、一艦二軸 (CPP), 一軸当り GE 社 LM 2500 型 (25000 馬力) ジェットエンジン型ガスタービン 2 台という配列になっている。

又、3400 トン級の Patrol Frigate 艦 50 隻 (一艦一軸 CPP), 14000 トン級のヘリコプター母艦 (一艦二軸 CPP) 8 隻 (一説には 25 隻) などの建造計画があり、これらはすべて GE 社 LM 2500 によるガスタービン推進となると言われている。さらに大型艦用として 30000 馬力級のジェットエンジン型ガスタービンの開発が進められており、GE 社 LM 3500, P & W 社 FT 9 が候補に上げられていたが米海軍は FT 9 を採ることにしたという報道もある。

欧州ではフランス、オランダ、イギリスなどで引続きフリゲート艦、ヘリコプター母艦の建造が多数計画されており、これらの殆んどが RR 社の Olympus あるいは P & W 社の FT 4 を主体とするガスタービン艦であるが、最近 RR 社では RB 211 の船用化を終り、これを次の大型艦の主機とする予定であるとも報ぜられている。

高速艇

各国の海軍で 40 ノット以上の高速舟艇が多数計画され、その殆んどがハイドロフォイル船のようであるが推進の方式でまだ確立した考え方が出来上がっていないように思われる。エンジンはジェットエンジン型ガスタービンで、Lycoming TF 35 (3000 馬力), RR 社

Proteus (4500 馬力) P & W 社 FT 12 などが用いられているが、在来のプロペラ推進とするか water jet 推進とするかに異論があるようで略同一仕様の 2 隻のうち 1 隻はプロペラ、他の 1 隻は water jet というようにして比較建造が行なわれている模様である。

一方、民需用の高速船のガスタービン化も盛んに行なわれている。

サンフランシスコでは 750 人乗り、25 ノットの高速フェリー 3 隻の建造を発表しているが、この船は Lycoming TF 35 (2500 馬力) 3 台よりなる water jet 推進で 1973 年末に試運転を行なうと発表している。

イギリス国鉄の Seaspeed Division では大型長距離ホーバークラフトの計画がある。この船は 500 人の乗客と 100 台の車輛を搭載する 300 トン級のものとしてされており、RR 社と P & W 社のガスタービンの中からエンジンが選ばれることになるかと報じている。

又、ニューヨークでもマンハッタン周辺で用いる高速フェリーの設計をメーカーに引合い中で、Hydroski 社はこれに応ずるべく water jet 方式の船を試作中と言われている。

ボーイング社もハワイ、香港、イギリスなどから 11 隻の 250 人乗り、45 ノットのハイドロフォイルフェリーを受注したと伝えられている。この船は 5000 馬力のガスタービン駆動 water jet で、RR 社の Proteus, Lycoming TF 35, P & W 社の FT 12 なども検討されたが、Allison 社の 501K-20A, 3500 馬力が最も有力と言われている。

鉄道車輛の話題

鉄道車輛のガスタービン化が最も積極的に進められているフランスでは Turbomeca 社の Turmo III G (950 KW) を 4 台載んだ 5 輛編成の電気推進列車の実験を終り、36 編成の発注が行なわれ、1974 年から相次いで営業運転に入ると言われている。

英国で試作・試運転が行なわれてきた Advanced Passenger Train には Leyland 2S-350R (300 馬力) を 8 台搭載した 4 輛編成の列車であるが、出力が不足していることが判り、RR 社の Gnome, Ruston 社の TA 1750, Lycoming TF 25 などからエンジ

ンを選びなおしたうえ、1975年までに30編成の列車を製造すると発表している。

ドイツでは Lycoming TF35 を2台載せた5輛編成の列車の試験が終り、1973年から営業運転に入ったと報ぜられている。

アメリカでは AMTRAK が前にカナダ国鉄が試みた列車を改造したものを4編成発注し、また前記のフランス国鉄のガスタービン列車と同じものを2編成購入して試用するとともに、さらに8編成を追加購入すると伝えている。

自動車の話題

自動車用ガスタービンの開発は自動車業界の特別な事情もあつてか、あまり多くは発表されていない。

グレーハウンドバス会社は Allison GT404 を搭載したバスを10台用いて2年間の実用テストに供してきたが調子もよく追加発注する意向が伝えられている。

雑誌などによると ROHR 社、FIAT 社、BENZ 社、VOLVO 社などがトラック用エンジンの開発を行なっていると伝えている程度で詳細はまだよく判っていない。

発電用の話題

発電用ガスタービンの1年間の話題は専ら燃料危機に伴う事柄であつた。

元来、発電用ガスタービンはアメリカに於いては蒸溜油、天然ガスなど所謂良質燃料を焚くものとされていたが燃料危機以来これらの良質燃料の価格が著しく高騰し、あるいは入手難となったため多くの発電用ガスタービンが運転を中断する破目に陥つたと言われている。

この結果、俄に活発となったのが、

- 熱消費率向上のためのコンバインドサイクルの採用
- 粗悪油焚とするための燃料処理技術の開発
- 石油・石炭のガス化の推進

である。

蒸気タービンとガスタービンとを熱サイクル的に組合わせたコンバインドサイクルは決して目新しいものではないが、最近のガスタービンの大容量化・高効率化によりコンバインドサイクルの効率が非常に高くなったので、たまたまエネルギー危機が叫ばれている折柄、急にその需要が高まったものであり、新聞の報ずるとこ

ろでは約1000万KWのコンバインドプラントの発注が行なわれた。

一方、別の動きとしては、原油・重油など粗悪燃料をガスタービンにも積極的に使用しようとする動きである。アメリカでは定置用ガスタービンに粗悪油を使用することは殆んど顧みられていなかったが、商船の主機にガスタービンが用いられ始めたことと、燃料危機の双方の要求から各メーカー、石油会社、発電会社が一体となって粗悪油焚きとするための諸方策が精力的に進められている。

又、粗悪燃料のガス化も燃料危機対策の一環として進められている。

GE社は石炭のガス化プラントとガスタービン・蒸気タービンコインバインドプラントとの組合せプラントは1977年実現するであろうとし、また建設費はKW当り\$250、ガス化費は石炭価格に上積みする分として100万BTU当り60セントという値を予測している。

EXXON社はCOAL GASIFICATIONとCOAL LIQUEFACTIONとを同時に進めており、前者のパイロットプラントは1日当り石炭500トン、後者は300トンと発表し、いずれも数年後に完成すると予定している。

また Florida Gas は15万バーレルの原油から4億立方フィートの Synthetic Natural Gas と5万バーレルの低いおう燃料油を分離するプラントを計画中であり、New England Electric System Co. はEPAの協力をえて発電所での原油ガス化の研究を始めたと報じている。

新聞・雑誌などに現われたガスタービンの話題は概ねこのようなものであつた。

要約してこの一年間の動きとして特記すべきものとしては、下記に述べる通りである。

1. インダストリアル型船用ガスタービンが運航を開始したこと。
2. 鉄道用ガスタービンが実用段階に入ってきたこと。
3. 駆逐艦程度までの軍用艦艇のガスタービン化が常識となってきたこと。
4. 燃料危機に伴い石油・石炭のガス化が期限付きで推進され始めたこと。

チタニウム合金の溶接

石川島播磨重工業(株) 松原 十四生
航空エンジン事業部 田無工場

1. 緒言

チタニウムおよびチタニウム合金は高温で極めて酸化されやすい金属の部類に入る。溶解中に各種のガスおよび他の金属を吸収合金化し、脆化されやすい性質をもつ。溶接は小さな溶解炉で、大溶鋳炉と同じ冶金法則に従う。チタニウムおよびチタニウム合金の溶接はこれら金属を極めて高温(1500~3000℃)に連続的に溶解する操作であるので、ステンレス鋼の溶接の場合より、更に、特別の注意を払わなければならない。

チタニウム合金は比強度(引張強さ/密度)が250℃~400℃の温度範囲で、他の材料に比し大きく(図1)、また、耐食性も良好で

が、今日ではエンジンの15~30%の重量に及び、全チタニウム生産量の50~60%が航空機に使用されている。

CONCORDE SST, OLYMPUS 593, や Rolls-Royce の Spay, GE の TF39 エンジンがその例として挙げられる。

本文は、チタニウムおよびチタニウム合金に使用される溶接法について施行要領を紹介する。

2. チタニウム合金の種類

表1にチタニウム合金の種類と主な用途をあげた。これらを組織的に分類すれば、 α 型、 $\alpha + \beta$ 型、および β 型に分けられる。 α 型は軟鋼の常温組織に該当し、 $\alpha + \beta$ 型は炭素鋼の焼入状態に、 β 型はステンレス鋼の常温組織に当る。一般に α 型合金は、高温および低温において熱的に安定で、耐クリープ性質もよい。また熱処理性がないので溶接性もよい。 $\alpha + \beta$ 型合金は α 型に比し熱間加工性にすぐれ、また熱処理性を有し、溶体化処理と時効処理により、すぐれた性質がでる。反面、溶接性は α 型に比し劣るものが多い。 β 型合金は熱処理により機械的性質が変えられる。溶接部は非常に延性ととむが母材強度に劣る。これら合金の大部分にAlが添加されているが、これは高温強度の増大、耐酸化性の改善、および水素脆化の感受性の減少に役立っている⁽³⁾。

3. チタニウムおよびその合金の性質

3.1 物理的性質 表2にチタン、チタン合金と他の代表的な材料との物理的性質の比較をあげた。溶接性の観点より比較すると、電気抵抗がステンレス鋼と同等、もしくは、それ以上であるので、抵抗溶接で極めて楽に溶着出来ることを示す。熱伝導度および比熱がステンレス鋼と同様に小さいことはインナートガスアーク溶接(TIG)が容易で、ビード幅の細い美しい溶接がえられることを示している。膨脹

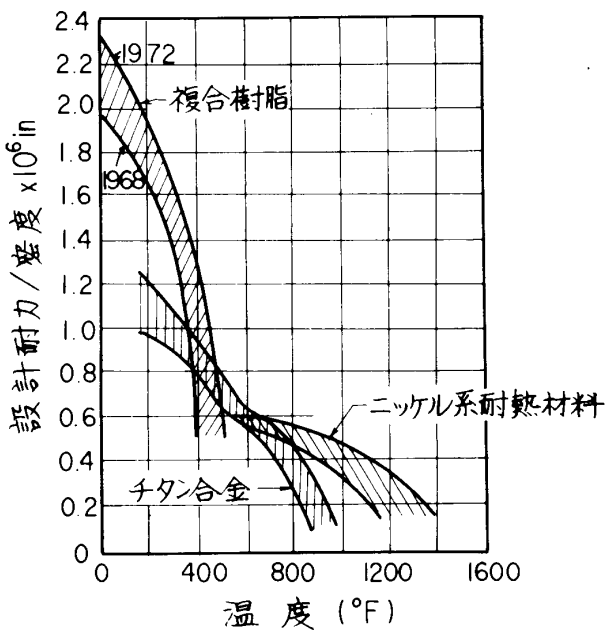


図1 チタニウム合金の比強度

あるので、航空機用エンジンに使用される比率が大きくなっている。1950年には航空エンジンに使用されるチタニウムは皆無であったの

表1 チタンの種類とその性質(後藤⁽³⁾, 新⁽²⁾)

合金の種類および組成	熱処理状態	常温引張性質			主な用途	製品形状 (注1)	
		引張強上 kg/mm ²	耐力 kg/mm ²	伸 %			
工業用純チタン	◎JIS 1種	焼なまし	728	21~40	727	耐食部品, 航空機部品(枠)	B,S,P,W
	㊦JIS 2種	"	735	25~45	723	" " (枠)	"
	◎JIS 3種	"	749	35~55	718	" " (機体メンバ)	"
	99.0 Ti	"	60~63	53	17~20		"
	98.9 Ti	"	70	53	17		B,W
α合金	◎0.2 Pb	焼なまし	38~43	32	25~27	酸化, 還元雰囲気用耐食部品	B,S,P,W
	5 Ta	"	35~45	25~45	25~40		"
	◎5 Al-2.5 Sn	"	88	82~86	13~18	高速性能を要求せられる部品	B,S,W
	5 Al-2.5 Sn ELI	"	78	67~74	15~20	極低温高圧化学容器	"
	8 Al-1 Mo-IV	"	109	102	10~18		"
	6 Al-0.5 Cr-0.4 Fe-0.3 Si	時効	104	-	12		B,S
	5 Al-6 Sn-2 Zr-1 Mo	焼なまし	98	91	10		B
	6 Al-2 Cb-1 Ta-0.8 Mo	"	91	85	13	潜水艦用部品など高じん性用	B,S,W
2.5 Cu	時効	78	63	24		"	
2 Ni	焼なまし	50	40	24		B,S	
α+β合金	2 Al-2 Mu	焼なまし	80	68	28		B
	2.3 Al-1.1 Su-5 Zr-1 Mo	時効	127	106	12		"
	2.3 Al-1.1 Sn-4 Mo-0.2 Si	"	140	118	15		"
	3 Al-2.6 V	"	88	74	10	航空機水圧バルブ	S,P
	4 Al-3 Mo-1 V	"	134	113	6	高温強度を要求される航空機部品	S
	4 Al-4 Mo-2 Sn-0.5-Si	"	126	113	15		B
	4 Al-4 Mo-4 Sn-5-Si	"	142	127	13		"
	4 Al-4 Mo	焼なまし	106	101	23		"
	5 Al-2 Cr-1 Fe	時効	118	106	10		"
	5 Al-5 Sn-5 Zr-2 Cr	"	115	110	10		"
	6 Al-2 Sn-4 Zr-2 Mo	"	95	85	10~15		B,S,W
	◎6 Al-4 V	"	120	109	8~15	} ジェットエンジン部品(ブレード, 機体) } ロケットエンジン	"
	6 Al-4 V ELI	焼なまし	97	90	12		"
	6 Al-4 V	"	95	90	15	極低温高圧容器	"
	◎6 Al-6 V-2 Sn-1(Fe, Cu)	時効	134	127	10	ロケットエンジンケース, 大砲, 航空機	"
	6 Al-5 Zr-0.5 Mo-0.5 Si	"	106	94	17		B
6 Al-5 Zr-4 Mo-1 Cu	"	138	127	16		"	
6 Al-5 Zr-1 W-0.3 Si	"	106	98	17		"	
7 Al-4 Mo	焼なまし	109	102	12~16	航空機, ジェットエンジン	B,S,W	
8 Al-4 Co	時効	141	131	9		B	
8 Mn	焼なまし	91	84	12~15	航空機シート用, 外板	S	
β合金	1 Al-8 V-5 Fe	時効	145	140	6	高強度ファスナ	B
	3 Al-8 Mo-8 V-2 Fe	"	145	138	7		"
	◎3 Al-1.3 V-1.1 Cr	"	130	124	7	高強度航空機部品	B,S,W
	3.0 Mo-2.5 Cb	"					B,S
	1.1 Mo-6 Zr-4.5 Sn	"	145	134	11		B,S,W
	3 Al-6.5 Mo-1.1 Cr	"	150	-	4		B,S
1.5 Mo-5 Zr	焼なまし	98	96	20		"	

(注1) B:棒材, S:板材, P:管材, W:線材

(注2) ◎印 溶接に使用される主なもの

表2 チタン，チタン合金およびその構造材料の物理的性質（照井⁽¹⁾）

	工業用純チタン	Ti-6Al-4V	Ti-5Al-2.5Sn	アルミニウム合金 75S-T6	316 ステンレス鋼
融点 ℃	1,650~1,704	1,538~1,649	1,538~1,649	476~639	1,400~1,427
密度 g/cm ³	4.54	4.43	4.46	2.80	7.9
電気抵抗 ($\mu\Omega\text{-cm}$)(20℃)	55~60	171	157	5.75	72
熱伝導度 (cal/cm/sec/℃)	0.041	0.017	0.020	0.29	0.031
熱膨張係数 (20°~100℃)	8.6×10^{-6}	8.8×10^{-6}	9.4×10^{-6}	23.6×10^{-6}	16.5×10^{-6}
比熱 (cal/g/℃)	0.13	0.13	0.13	0.23	0.12
引張強さ (Kg/mm ²)	35~63	91~127	81~99	56	40~60
比強度 (引張強/密度)	7.7~14.0	20.5~28.7	18.2~22.2	20	5~7.5

係数がステンレス鋼の半分であることは溶接歪が小さいことを示している。物理的性質よりみれば、この材料は極めて溶接しやすいと判断される。一方溶接中に各種の有害ガス、および他の金属を吸収、または、合金化して脆化する性質があり、この点、ステンレス鋼の場合に比し更に溶接上の技術が要求される。

3.2 拡散速度 チタニウムに浸入する

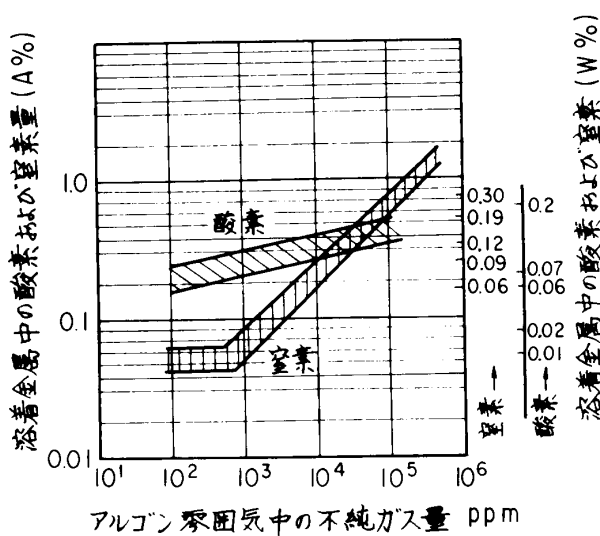


図2 アルゴン雰囲気中の空気量と溶着金属中の窒素および酸素量

有害元素の拡散速度は、ステンレスの場合に比し数百倍に達する。⁽⁶⁾⁽⁷⁾ 溶接中、雰囲気中に混入する空気（酸素、窒素、水素）は急速に溶接部に浸入し、脆化の原因となる。酸素は溶着金属重量の0.2%浸入で溶接部の伸率は半減し、0.7%の浸入で零になる。また、窒素0.1%の浸入で伸率は半減し、0.5%の浸入で零になる。⁽⁵⁾ 水素は、酸素、窒素の数百倍の速度で浸入し脆化の原因となる。

例えば、チタン合金材100×100×100mmを水素雰囲気炉中900℃、1時間加熱した場合、材料は脆化し、粉末状となった。図2にアルゴン雰囲気中に浸入した不純ガス（空気）の量と溶着金属中に含まれる酸素および窒素の量の関係を、また、図3にこれらの溶接部を縦曲げ試験をした場合の結果を示す。溶接雰囲気アルゴンガス中に、空気が0.01%混入されると、

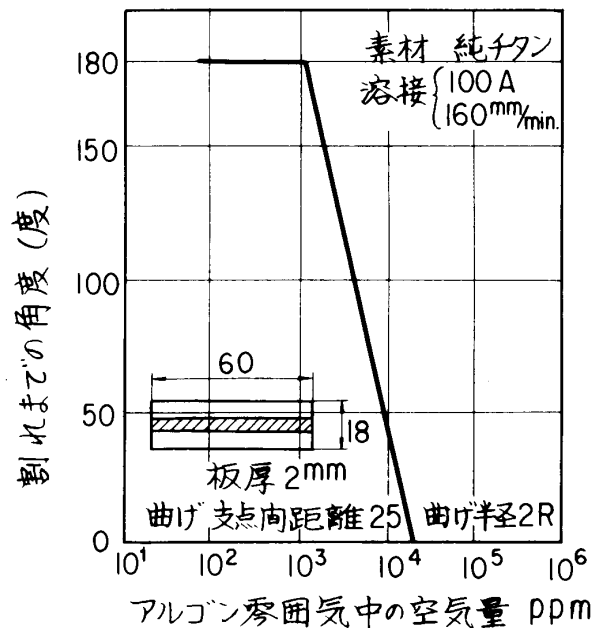


図3 アルゴン雰囲気中の空気量と溶接ビード縦曲げ特性

縦曲げ試験では殆んど曲がらずに破壊することを示す。すなわち、溶接中極めて微量の空気でも混入すると、著しく脆くなることを示している。酸素、窒素と同様に、他の金属と接触すると高温においてこれら金属がチタニウム側に高速で浸入する。また、浸入して生成された合金層は一般に脆い場合が多い。この点、ロウ付は極めて容易に出来るが、接合面の強度は充分検討する必要があることを示している。

3.3 酸化皮膜 溶接すると表面に酸化皮膜が出来る。うすい場合は肉眼で見えず、厚くなるに従い黒くなる。この酸化皮膜の量(厚さ)は溶解している溶着金属中の酸素量に比例する。金属の表面酸化皮膜は、生成された酸化物の色と光の屈折による変化とが重なって変化し、厚くなると黒色化する。図4に空気中で加

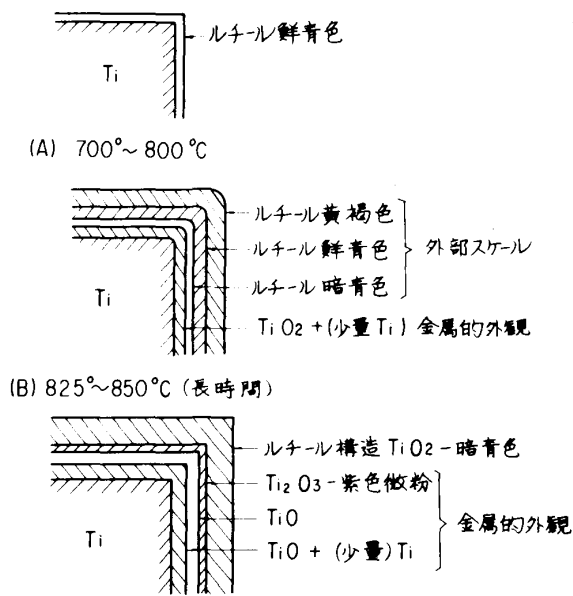


図4 空気中の加熱によって純チタンに生成するスケール

熱したチタニウムの表面に生成されるスケールの組成と色とを示した。溶接技術が低い場合、空気を巻き込み、酸化物の多い溶接をつくる。この場合、下手な程、溶接部表面の酸化が著しいので、表3に示す如く、表面の酸化皮膜の色で技術の判定を行なっている。見掛上美しい溶接部でも、灰色味を帯びた溶接部をつくると、脆い溶接部であると判断される。この点、ステンレス鋼の溶接の場合と趣を異にする。

表3 溶接部表面の変色程度による溶接技術の判定基準(WES-124⁽⁴⁾1973)

チタン溶接部の変色程度	技術の合否
銀色 (金属光沢)	合格
金色 (金属光沢)	合格
紫 (金属光沢)	合格
青 (金属光沢)	合格
灰色 (金属光沢)	不合格
暗灰色	不合格
白	不合格
黄色	不合格

4. チタニウムの溶接

チタニウムの溶接に使用される溶接方法を表4に掲げた。以下代表的な溶接方法について説明する。

4.1 メタルアーク溶接 一般に使用されている被覆溶接棒を使用したアーク溶接方法はこの種金属の溶接には不相当である。この理由は溶接棒に塗布されている被覆剤中の鉍石、および粘着剤(水ガラス)中に含まれている結晶水により、溶着金属中の水素が多量になり、脆化するためである。

4.2 タングステン・インナート・ガス・アーク溶接(TIG) 図5-aに示す如く、溶接トーチ中の電極(W)と母材(M)との間にアークを発生させ、そのアーク熱で溶接棒(E)を溶解して溶接する方法で、普通直流正極性(トーチ側マイナス)で行なっている。溶接部を酸化させないで保護するため、トーチ内部より不活性ガス(アルゴン)を噴出させ空気の浸入を防いでいる。図2、図3に示した如く微量の空気の混入でも著るしく脆化するので、溶接時には特別の工夫がなされている。真空チャンバ、またはビニール袋内を完全にアルゴンガスに置換えて溶接される方法がとられているが、大型部品、精密部品には図6、図7の治具を使用して、大気中で溶接されている。⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

⁽¹²⁾ 図6は溶接治具で溶接部近傍の母材の酸化を防ぐため、治具よりのアルゴンガス噴出孔

表4 チタンおよびチタニウム合金の溶接方法
()内熱源のエネルギー密度

融 接	アーク溶接	消耗式	インナート・ガス・メタル・アーク溶接 (MIG) (アルゴンガス)
		非消耗式	インナート・ガス・タングステン・アーク溶接 (TIG) (アルゴンガス) ($10^3 \sim 10^4$ W/cm ²) プラズマ・アーク溶接
	電子ビーム溶接	($10^6 \sim 10^9$ W/cm ²)	
	レーザービーム溶接	($10^5 \sim 10^8$ W/cm ²)	
圧 接	抵抗溶接	スポット溶接 (点)	
		シーム溶接 (縫合)	
	フラッシュパット溶接		
	摩擦溶接 超音波溶接		
拡散接合			
ロウ付	機械ロウ付	炉中ロウ付	雰囲気炉中ロウ付 真空炉中ロウ付
		誘導加熱ロウ付	
	手ロウ付	硬ロウ・ロウ付 (アーク・ロウ付) 軟ロウ・ロウ付 (ハンダ)	
接 着			

を多く作っている。図7は溶接後の酸化を防ぐため溶接トーチの後側にトレーラーガスをつけアルゴンガスで覆う。本溶接方法は薄技の溶接に適し、チタニウムの溶接として最も広く用いられている。

4.3 メタル・インナート・ガス・アーク溶接 (MIG) 図5-bに示す如く、TIG溶接のタングステン電極の代わりに溶接棒があり、これが自動的に送給され、アークで溶解され、溶着される方法で、多量の溶着金属がえられる。厚板の溶接法に適するが、溶接速度も早く、大気による酸化の機会も多くなるので、TIG溶接より更に一層の工夫が必要である。

4.4 プラズマ・アーク溶接 図5-cに示す如く、内外のタングステン電極の間でアークを発生し、このアーク熱でアルゴンガス等のガスが原子状に分解し、これが再結合する時に発生する熱を溶接に利用する方法で、TIG、MIG溶接と同様の施行上の注意が必要である。プラズマアーク溶接はTIG、MIG溶接とは異なり、発生する熱量で母材に孔が貫通し(キ-

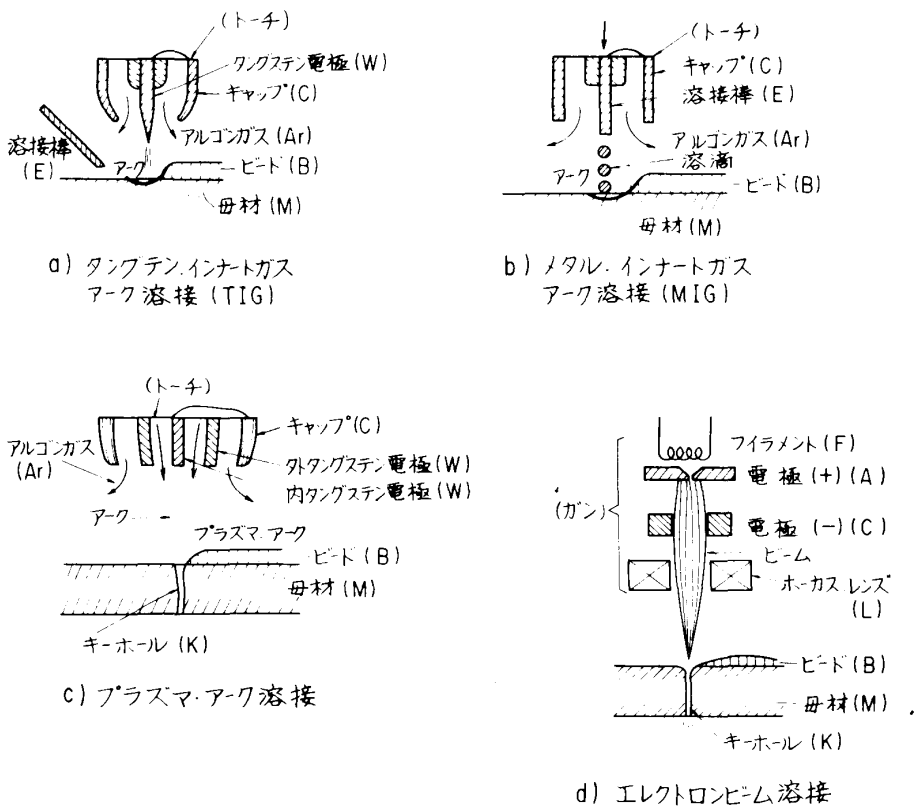


図5 アーク溶接法説明図

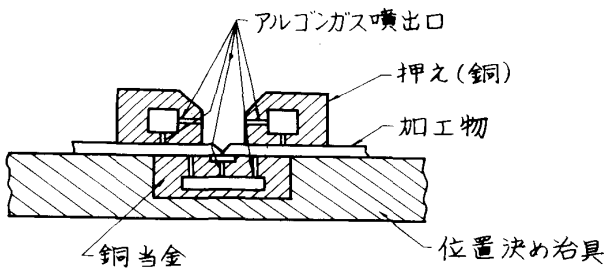


図6 インナート・ガス(アルゴン)アーク溶接に使用する溶接治具(断面)

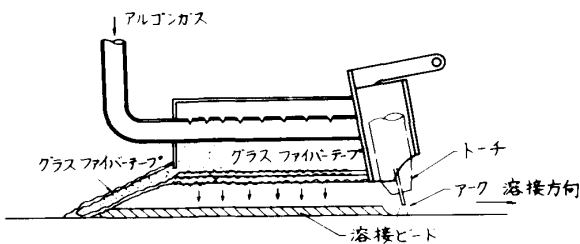
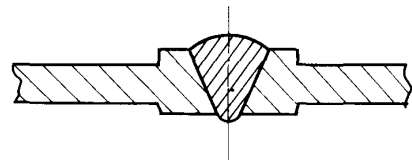
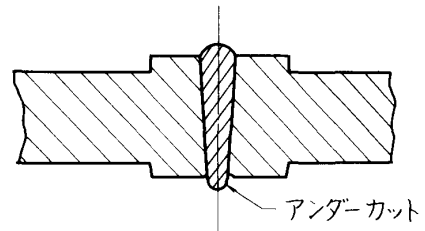


図7 チタニウム溶接用(インナートガスアーク)トレーラーシールド

で、その表面張力で、溶接部裏面はアンダーカットが出来やすい。溶接部の若干の強度低下と併せて図8に示す如く、溶接部が厚い継手をとる場合が多い。表5に熔融溶接の特性を表にまとめた。それぞれ使用個所に応じ採用されている。



アルゴンアーク溶接継手



エレクトロンビーム溶接継手

図8 チタニウム合金の溶接継手設計例

ホール), これが移動して溶接されるもので、母材の熱伝導は二次元的であるため、溶接歪が少い利点があるが、溶接速度も早いいため、溶接棒の添加が困難になる。厚板の突合せ溶接に威力が発揮される。

4.5 エレクトロンビーム溶接

図5-dに示す如く、フィラメント(F)を加熱して発生する熱電子を(+)電極と(-)電極の間にかけた高電圧で引き出し、これを焦点レンズ・コイルで絞り熱量を一点に集中させる方法で、プラズマ溶接と同様キーホール型の溶接である。極めてエネルギー密度がよいため細い溶接がえられ、溶接歪も極めて少い。また、真空中で溶接されるため、不純ガスの影響も受けず、チタニウムの溶接には現想的である。チタニウムの熔融状態は凝固時粘性が強い

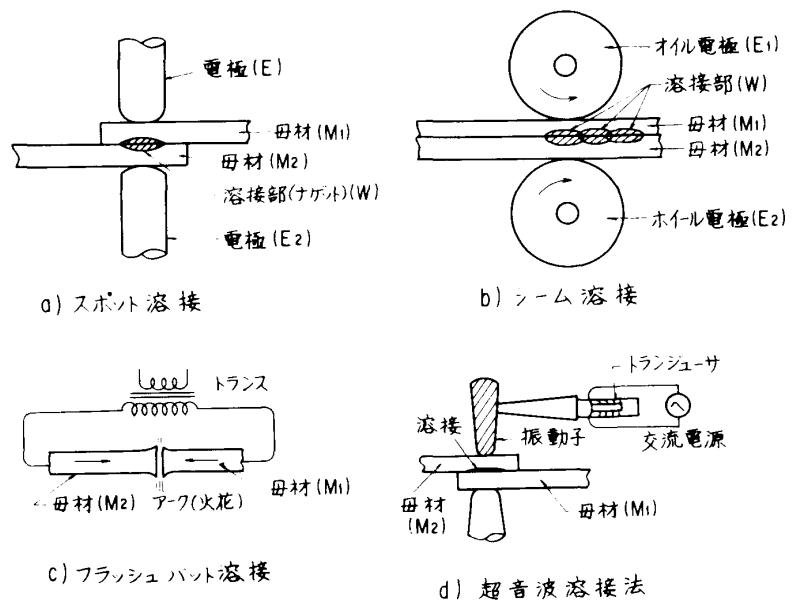
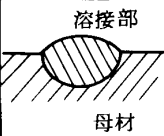
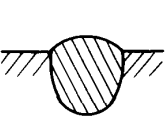
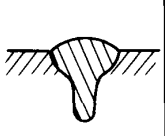
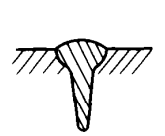
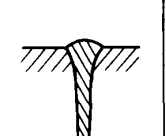
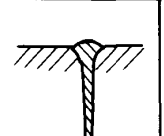

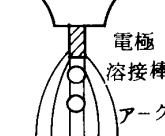
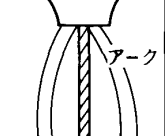
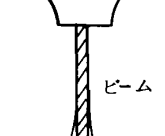
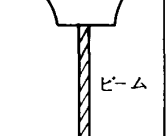
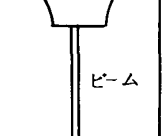
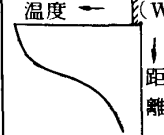
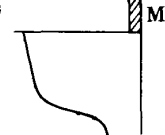
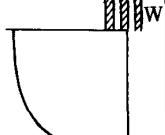
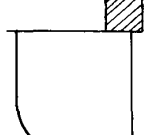
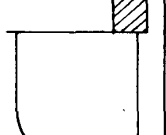
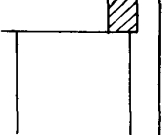


図9 圧接説明図

表5 溶接方法の比較(アーク溶接)

	タングステン インナート・ガス アーク溶接 (TIG)	メタル インナート・ガス アーク溶接 (MIG)	プラズマ アーク溶接	低真空 エレクトロンビーム 溶接	高真空 エレクトロンビーム 溶接	レーザ・ビーム 溶接
とけこみ形状						
アークまたは ビームの形状						
アーク中の温度 勾配						
雰囲気 (トーチガス)	大気 (Ar 又は He)	大気 Ar 又は He+CO ₂	大気 Ar+H ₂	大気 (10 ⁻¹ mmHg)	大気 (10 ⁻⁴ mmHg)	大気 (Ar 又は He)
溶接の原理	三次元 熱伝導	三次元 熱伝導	二次元 キーホール	二次元 キーホール	二次元 キーホール	二次元 キーホール
母材への加熱	間接	直接, 間接	直接	直接	直接	直接
雰囲気による汚 染(汚染ガス)	なし	あり(CO ₂)	あり(H ₂)	なし	なし	なし
溶接棒の添加	容易	容易	←			→ 難
溶接に必要な 熱量	大 ←					→ 小
とけこみ	小 ←					→ 大
ビート幅	大 ←					→ 小
溶接速度	小 ←					→ 大
溶接歪	大 ←					→ 小
溶接可能 最大板厚	無限(多層)	無限(多層)	20 mm(一層)	30 mm	70 mm	20 mm

4.6 抵抗溶接 先に述べた如く、チタニウム合金は固有抵抗が大きいので、スポット溶接、シーム溶接は比較的容易である。図9に圧接関係溶接方法の概略図を示した。銅合金電極間に加工物をはさみ、加圧し、高電流を瞬間的に流し、抵抗熱で熔融接着する方法で、一点打の場合がスポット溶接であり、これを連続して、スポット溶接を重ね連ねたものがシーム溶接である。ステンレス鋼に比し、低加圧力、低電流で溶接可能である。融接の場合と同様に不純物の影響に注意が必要である。特にシーム溶接は溶接中、水冷をするので、水分の影響についても検討する必要がある。またチタニウムの抵抗溶接部の疲労強度は極めて小さくリベット打より遙かに劣ることに注意しなければならない。これは溶接部の機械的な微小ノッチ、冶金組織変化、残留応力等に帰因する。解決策として溶接前予熱操作を行なうことと、スポット溶接後コイニングおよびショットピーニングを加え表面へ逆歪を与えることにより疲労強度を数倍高めることが出来る。⁽¹¹⁾ 見掛上非常に容易なスポット溶接も、上記処置を施さない場合は使用に耐えないと言っても過言ではない。また、図10に示す如く、抵抗溶接部に直接強度が懸らない緩衝地帯を設けるのも一手段と考える。

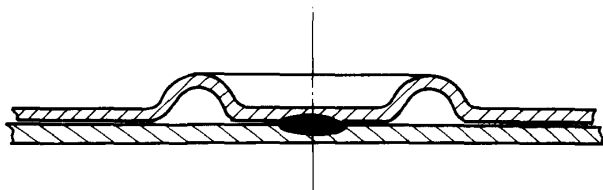


図10 疲労強度の強いチタニウム合金の抵抗溶接方法(特許公告より)

4.7 ロウ付および拡散接合 母材を熔融することなく、高温度で接着する方法で、中間金属が接合時、熔融すものがロウ付で、中間金属の有無にかかわらず、固体拡散を行なうのが拡散溶接である。また、この中間的な存在としてロウ付後、拡散処理で接着強度を増加する手段もある。人間が深い切傷を負った場合、切開部に薬をつけ縫合する。傷口が癒着してま

だ薬が残っている場合がロウ付で、細胞が拡散し、傷口が跡形もなく治ることが拡散接合に相当する。

手ロウ付は熱源として普通の酸素アセチレン焔が使用出来ないので、専らアーク・ロウ付が採用される。これは母材を溶かさずに溶接棒(ロウ材)のみをとかず溶接法で、施行上の注意は前記TIG溶接に準ずる。ロウ材は、チタニウム・ロウまたはジルコニウム・ロウが使用される。また、低温度のアルミ・ロウを使用する半田付も強度を必要としない場所には有効であるが、施行は困難である。

チタニウムは他の金属(ロウ材)と接触すると急速に合金化され脆い相を作るが、接着は極めて容易である。このためロウ付は如何に短時間のうちにロウ付し、拡散層を少なくするかに工夫され、普通誘導加熱で短時間でロウ付される方法が採用されているが、設備上加工物の大きさ、形状に制限がある。多量生産の場合には、炉中ロウ付が採用される。これはアルゴン雰囲気または真空中に加工物を入れ、外部から加熱し、ロウ材を熔融する方法で、長時間高温に曝されるため、ロウ材の拡散による脆化が問題となる。銀ロウ付は合金層が極めて脆いので実用に耐えない。ロウ材として、チタニウム・ロウ、ジルコニウム・ロウが接着後の靱性もあり実用される。最近図11に示した装置を使用し、高温、高圧、長時間の加熱で、母材そのものを拡散し接合させる方法が航空機部品の接合に採用されてきた。⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾ 接合部が顕微鏡的にも母材と区別出来ない程良好な結果がえられる。ジェットエンジンのファンブレード(中空)の製作に最も威力が発揮されている。また、インサート金属としてチタニウム・ロウ、またはジルコニウム・ロウを使用し、ロウ付後、母材に拡散する接合方法も低加圧で高精度の仕上不用の点を考え利用価値がある。表6にチタニウムのロウ付および拡散接合の種類を分類して掲げた。図12に消音用サンドイッチハンカムの製作要領図をあげた。将来、この種の接合の利用は拡大される。

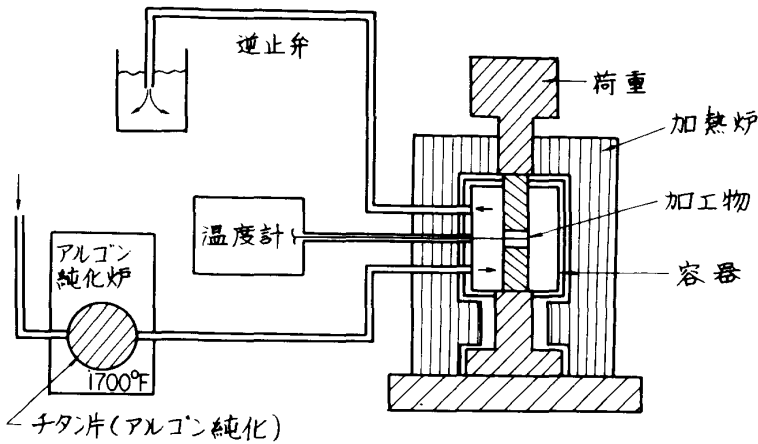


図11 拡散接合装置

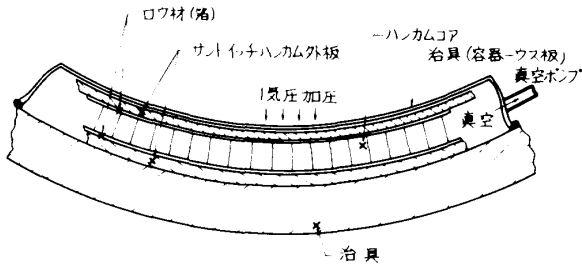


図12 曲面をもったサンドイッチチタンハフニウムのロウ付方法

表6 チタニウムのロウ付と拡散接合の分類

項目	中間金属	要領	特長	例(加圧力・温度・時間)
拡散接合(A)	なし	○接合面を仕上げ、加圧し、高真空で加熱する。 ○母材の元素が拡散により接合される	イ) ○接合強度が母材以上になる。 ロ) ○接合面がわからない。 ハ) ○仕上精度が要求される。 ニ) ○高温度、高圧が必要。	(35~80 kg/cm ² , 982℃, 60分)
拡散接合(B)	金属箔 (Ti, Zr, Ni)	○接合面に金属箔をはさみ加圧し、高真空で加熱する。 ○中間金属が母材に拡散して接合する	イ) ○接合強度が母材に比較する。 ロ) ○仕上精度がよくなる。 ハ) ○高温度・高圧が必要。	Ti箔-(35 kg/cm ² , 982℃, 60分) Zr箔-(35 kg/cm ² , 1034℃, 60分)
拡散溶接(A)	メッキ (Cu-Ni-Cu)	○接合面にメッキをして、加圧する。 ○メッキが母材と合金し、溶融して接合する。	イ) ○接合強度が母材に比較する。 ロ) ○高温度が必要。 ハ) ○拡散不十分の場合、強度不良。	Cuメッキ(1 kg/cm ² , 982℃, 60分)
拡散ロウ付(A)	メッキとロウ材 (Cu, Rh, Cr, Ag)	○接合面にメッキをし、ロウ材をはさみ、加圧してロウ付する。 ○ロウ材がとけて接合し、メッキ層が母材に拡散する。	イ) ○接合強度が母材に比較する。 ロ) ○低圧力、低温度で接合される。 ハ) ○接合条件が難しい。	(6~8 kg/cm ² , 800℃, 20分)
拡散ロウ付(B)	金属箔 (Ti合金) (Zr合金)	○箔をはさみロウ付する。 ○箔がとけて接合し、ロウ材が母材に拡散する。	イ) ○仕上げ精度が不要である。 ロ) ○接合条件が容易である。 ハ) ○接合強度は母材に若干劣る。	(0~1 kg/cm ² , 950℃, 20分)
ロウ付	ロウ材 (Agロウ)	○ロウ材をはさみロウ付する。 ○母材への拡散を防ぎながらロウ材をとかし、接合する。	イ) ○加圧不要である。 ロ) ○接合条件が容易である。 ハ) ○強度が母材より相当劣る。 ニ) ○短時間加熱をする必要がある。	

5. 結 言

チタニウムおよびチタニウム合金の溶接方法について説明し、施行上の要領をのべた。

1) アーク溶接は大気汚染を防ぐ工夫が必要である。

2) 抵抗溶接は疲労強度が著しく劣るので対策が必要で、コイニングおよびショットピーニングも一方法である。

3) ロウ付は、容易であるが脆いので、チタニウム・ロウ、またはジルコニウム・ロウに限定する方がよい。

4) 拡散接合は理想的な接合法で、将来技術を考える。

(昭和49年5月7日原稿受付)

(以下42頁へ)

炉とタービンとの間の主ガス管に破損事故が発生した場合タービンに逆流現象がおこる。この研究の第一歩として翼列による実験を行ない流出角，損失係数を求めた。

74-GT-61はスイスEIRの発表でGCFRの主ガス管が破損した場合の動的現象を計算している。

74-GT-88はBSTの発表で負荷遮断，負荷変動や急停止の場合，圧縮機がサージングに入ることなく安定な経過をたどるための計算を行ない，圧縮機特性曲線として低圧では急傾斜，高圧では平たんなものを選定するのがよいことを示している。

(原子力ガスタービンに関する1973年半ば頃までの展望を下記にまとめておいた。御参考になれば幸である。

日本内燃機関連連合会発行「日本における燃焼機関の発達と将来」)

(昭和49年5月14日原稿受付)

備考

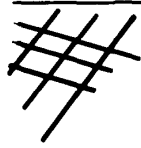
AEC	Atomic Energy Commission
BBC	Brown Boveri A.G
BST	Brown Boveri-Sulzer Turbomaschinen A.G.
EVO	Energieversorgung Oberhausen
EIR	Eidgenoessisches Institut fuer Reaktorforschung
GE	General Electric Co.
GGA	Gulf General Atomic
GHH	Gutehoffnungshuette, Sterkrade
HRB	Hochtemperatur-Reaktorbau GmbH
HHV	Hochtemperatur-Heliumversuchsanlage
HHT	Hochtemperaturreaktor mit Heliumturbine
KFA	Kernforschungsanlage, Juelich
KWU	Kraftwerk Union
NUKEM	Nuklear-Chemie-und Metallurgie GmbH

(21頁より)

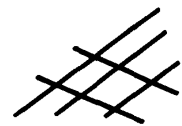
チタニウム合金の溶接

文献

- (1) 照井, 金属材料, 8-11, (1968) 14~19
- (2) 新, 溶接学会誌, 38-9, (1969) 991~1005
- (3) 後藤, 機械の研究, 22-11 (1970) 1511~1516
- (4) 溶接協会, 溶接技術, 22-2 (1974) 75~79
- (5) 岡田, 非鉄金属・非金属の溶接, 溶接技術講座 5巻 (38-10) 120, 132, 日刊工業新聞社
- (6) 和田, 軽金属溶接, 67 (1968-7), 316~326
- (7) ACTA METALLURGICA, 10-2 (1962) 123~326
- (8) Holby E., WELDING ENGINEER April (1969) 108~112
- (9) ALBERTIN L., WELDING JOURNAL SEPTEMBER (1970) 710~716
- (10) VAGI J. J., NASA TECHNICAL MEMO., NASA-TMX-53432
- (11) BEEMER, WELDING JOURNAL, MARCH (1970) 89S-92S
- (12) WRIGHT R., WELDING ENGINEER, NOVEMBER (1970) 51~56
- (13) 木村, 三菱重工技報, 8-6 (1971) 47-56
- (14) 大隅, 日本航空宇宙学会誌, 20-224 (1972) 516~524
- (15) 藤井, チタニウム・ジルコニウム, 20~3 (1972) 158~160
- (16) REHDER R. J., WELDING JOURNAL, MAY (1970) 213S~218S



技術論文



ガスタービンの動特性

東京大学大学院 梅田 章
東京大学工学部 葉山 真治

1. まえがき

ガスタービンを車輛用の原動機として用いる場合、定置用あるいは航空用と異なり負荷変動は激しく部分負荷で使用されることが多い。又船用主機として用いる場合も波浪により喫水が変化し負荷は変動する。そのような場合制御系の設計に先立って、制御対象であるガスタービン自身の動特性を正しく把握しておく必要がある。

従来のガスタービンの動特性の計算は、圧力と温度についてのマッチングを繰り返し計算でもとめ、軸系の慣性のみを考慮する Iterative Method によるか、燃焼室および中間部での圧力の時間的变化を考慮して流量を決める Method of Intercomponent Volumes⁽¹⁾ によっている。

本論文では流体の慣性をも考慮した2軸可変ノズル付ガスタービン系の動特性の数学モデルを提案する。流体の慣性の導入によりマッチングは自動的にとれ、熱および流体系の変動を含めて、ガスタービン系の動特性を明確に把握できる。ここでは特にガス発生機の動特性について解析した結果を中心に述べる。

2. 基礎式

2-1 基礎式および仮定 ガスタービンは基本要素として圧縮機、タービン、燃焼器、熱交換器などをその途中に含んだ管路とタンクから成る系と考える。解析にあたりまず次の仮定をおく。(1)圧縮機、タービンを集中化して考え、平衡状態での流量特性が過度状態でも成立

している。タービンの流量特性は回転数に依存しない。(2)各要素内で比熱は一定とし、圧縮機、タービンの熱容量は無視する。(3)燃焼室内の温度は一樣とし燃焼の遅れは考えない。

基礎式は次の4つである。

$$P = r R T \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial(Ar)}{\partial t} + \frac{\partial(ArU)}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{1}{g} \left\{ \frac{\partial(ArU)}{\partial t} + \frac{\partial(ArU^2)}{\partial x} \right\} = -A \frac{\partial P}{\partial x} + \Delta P_L \cdot A \dots\dots\dots (3)$$

$$q r A = \frac{\partial(r A C_p T)}{\partial t} - \frac{A}{J} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (r A U C_p T) \dots\dots\dots (4)$$

式(1)は気体の状態方程式、式(2)は管路内流体の連続の式、式(3)は流体の運動量方程式であり、式(4)はエネルギーの式で、運動エネルギーを無視している。燃焼室体積が小さく燃焼室は管路の一部とみなせる場合を1質点モデル(図1)、燃

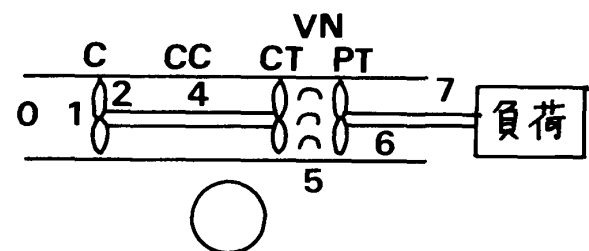


図1 1質点モデル

燃室体積が比較的大きく体積要素と考えられる場合を2質点モデル(図2)と呼ぶ。(2)以下の解

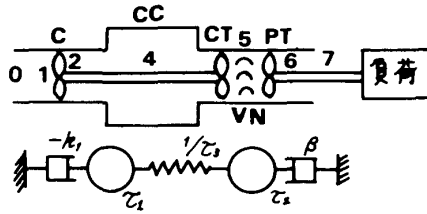


図2 2質点モデル

析において添字C, T, CT, PT, CCはそれぞれ圧縮機側管路, タービン側管路, 圧縮機タービン, 出力タービン, 燃焼室を示し, 添字0, 1, 2などは, 図1, 2に示した位置における値を示す。

2-2 数学モデルの誘導 管路内において密度の変化は波動として音速で伝わり, ガスタービン全体の流量変化よりもはるかに早い。そこで密度の時間的変化はすでに定常状態に達しているとみなし, 式(2)で密度の時間微分項を零とおき, 流速の代わりに重量流量 $G = A\gamma U$ を用いて表わすと式(5)を得る。

$$\frac{\partial G}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式(5)は管路内では重量流量(以下単に流量という)が場所によらず一体となって運動することを意味する。式(5)を考慮して式(3)を管路に沿って積分し, 集中定数系に変換する。このとき, 加速損失に相当する $G(\partial U/\partial x)/g$ の項は ΔP_L に含めて考える。 ΔP_L は管路内の圧力上昇源については正の値をとり, 圧力損失源については負の値をとる。式(3)を管路の入口から出口まで積分して式(6)を得る(図1)。

$$M \frac{dG}{dt} = f_C(N_C' G_C') - f_{CT}(G_{CT}') - f_{PT}(G_{PT}', \alpha) \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここで f_C, f_{CT}, f_{PT} は, 圧縮機での圧力上昇, 圧縮機タービン, 出力タービンでの圧力低下である。' と付けたのは修正回転数又は修正流量を表わす。左辺の M は式(7)で表わされる。

$$M = \int_0^7 \frac{1}{Ag} dx \quad \dots\dots\dots (7)$$

M は管路の慣性を表わす管路定数である。

図2の場合には圧縮機側, タービン側の各管路に沿って積分し, 添字C, Tをつけて表わすと圧縮機側, タービン側の流量変化を表わす式として

$$M_C \frac{dG_C}{dt} = P_0 - P_4 + f_C(N_C' G_C') \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$M_T \frac{dG_T}{dt} = P_4 - P_0 - f_{CT}(G_{CT}') - f_{PT}(G_{PT}', \alpha) \quad \dots\dots\dots (9)$$

をうる。 α はノズル角の変化を表わす。

次に燃焼室温度は出口温度 T_4 で代表されると考えて, 燃焼室入口から出口まで式(4)を積分すると式(10)を, 又燃焼室内の質量の連続性より式(11)を得る。

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} (r_{CC} V_{CC} C_P T_4) &= \frac{V_{CC}}{J} \frac{dP_4}{dt} \\ &+ G_C C_P T_2 - G_T C_P T_4 + \\ &+ \eta_B H_U B \quad \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

$$V_{CC} \frac{dr_{CC}}{dt} = G_C - G_T \quad \dots\dots\dots (11)$$

式(10)(11)より温度の時間的変化に関して, 式(12)を得る。

$$\begin{aligned} \frac{P_4 V_{CC}}{G_C R T_4} \frac{dT_4}{dt} &= \frac{V_{CC}}{J G_C C_P} \frac{dP_4}{dt} \\ &+ (T_2 - T_4 + \frac{\eta_B H_U B}{G_C C_P}) \quad \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

式(12)の右辺第一項は圧力のなす仕事の温度上昇への寄与を表わす。

燃焼室圧力の方程式は式(1)(11)(12)より式(13)となる。

$$\begin{aligned} \frac{dP_4}{dt} &= \frac{R\kappa T_4}{V_{CC}} (G_C - G_T) + \frac{R\kappa G_C}{V_{CC}} \\ &\times \left\{ T_2 - T_4 + \frac{\eta_B H_U B}{G_C C_P} \right\} \quad \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

式(13)において熱系が釣合っている時, 右辺第2項は零になり, 断熱変化での圧力変動を表わす式になる。2質点モデルの燃焼室温度及び圧力

は式(12)(13)より求まる。

1 質点モデルの場合、燃焼室圧力は圧縮機出口圧力と等しいと考えると、式(12)の圧力の時間微分項は微小と考えられる。その結果温度の方程式は式(14)となる。

$$\frac{P_4 V_{CC}}{GRT_4} \frac{dT_4}{dt} = T_2 - T_4 + \frac{\eta_B H_{UB}}{G C_P} \dots\dots (14)$$

圧縮機回転軸の運動方程式は、1 質点モデルの場合式(15)に、2 質点モデルでは式(16)となる。

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{I_C \omega_C^2}{2} \right) = \eta_{mCT} G L_{CT} - G L_C \quad (15)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{I_C \omega_C^2}{2} \right) = \eta_{mCT} G_T L_{CT} - G_C L_C \quad (16)$$

L_{CT} は圧縮機タービンの仕事、 L_C は圧縮機の仕事であり、補機器の効果は I_C 、 η_{mCT} に含めて考える。

ガスタービンを車輛用に用いる場合、車輛全体の持つ運動エネルギーを車速で代表させた時の等価な重量を W_A とすると、車輛の直進運動の方程式は式(17)となる。

$$\frac{W_A D}{2g} \frac{dV_A}{dt} = R_P T_{PT} - T_L (V_A) \quad (17)$$

R_P は減速比、 D はタイヤ直径、 T_L は負荷トルク、 T_{PT} は出力トルクである。

1 質点モデルの場合、系は式(6)(14)(15)(17)で記述され、2 質点モデルの場合、系は式(8)(9)(12)(13)(16)(17)で記述される。

3. 微小変化に対するガス発生機の応答

3-1 1 質点モデルの線型化
すでに述べたように系は非線型の微分方程式で記述されるので、正確な応答解析を行なうには、各要素を計算機でシミュレートする必要がある。本論文では各パラメータの影響などの基本的性質を明らかにし、大局的な見通しを得るために線型化して考える。定常値には添字零をつけ、定常値からの変化分については Δ をつけて表わす。線型化の際に現われる無次元化した傾きを式(18)とする。

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{G'_{CO}}{Y_{CO}} \left[\frac{\partial Y_C}{\partial G_C} \right]_0, & k_2 &= \frac{N'_{CO}}{Y_{CO}} \left[\frac{\partial Y_C}{\partial N_C} \right]_0 \\ k_3 &= \frac{G'_{CTO}}{Y_{CTO}} \left[\frac{\partial Y_{CT}}{\partial G_{CT}} \right]_0, & k_4 &= \frac{G'_{PTO}}{Y_{PTO}} \left[\frac{\partial Y_{PT}}{\partial G_{PT}} \right]_0 \\ k_5 &= \frac{Y_{CTO}}{T_{50}} \left[\frac{\partial T_5}{\partial Y_{CT}} \right]_0, & k_6 &= \frac{Y_{CO}}{T_{20}} \left[\frac{\partial T_2}{\partial Y_C} \right]_0 \\ k_7 &= \frac{Y_{CO}}{L_{CO}} \left[\frac{\partial L_C}{\partial Y_C} \right]_0, & k_8 &= \frac{Y_{CTO}}{L_{CTO}} \left[\frac{\partial L_{CT}}{\partial Y_{CT}} \right]_0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (18)$$

ここで Y_C 、 Y_{CT} 、 Y_{PT} は圧縮機、圧縮機タービン、出力タービンの圧力比を表わす。変化分を定常値で無次元化し、式(19)において状態変数とする。

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{\Delta G}{G_0}, & x_2 &= \frac{\Delta T_4}{T_{40}}, & x_3 &= \frac{\Delta N_C}{N_{CO}}, \\ u_1 &= \frac{\Delta \alpha}{\alpha_0}, & u_2 &= \frac{\Delta B}{B_0} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (19)$$

流体系の線型化について簡単に述べる。式(7)の圧力上昇、圧力降下を圧力比で表わして線型化すると、式(20)を得る。

$$\begin{aligned} \frac{MG_0}{P_{40}} \frac{d}{dt} \left(\frac{\Delta G}{G_0} \right) &= \frac{\Delta Y_C}{Y_{CO}} - \frac{\Delta Y_{CT}}{Y_{CTO}} \\ &- \frac{\Delta Y_{PT}}{Y_{PTO}} - \frac{\alpha_0}{Y_{PTO}} \left[\frac{\partial Y_{PT}}{\partial \alpha} \right]_0 \frac{\Delta \alpha}{\alpha_0} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (20)$$

今修正流量を式(21)(22)で与える。

$$G'_{CT} = G\sqrt{T_4} / P_0 Y_{CT} Y_{PT} \quad (21)$$

$$G'_{PT} = G\sqrt{T_5} / P_0 Y_{PT} \quad (22)$$

式(21)(22)を線型化し、圧縮機特性、タービン流量特性を線型化した式に代入して、 Y_C 、 Y_{CT} 、 Y_{PT} の変動分について解き式(21)に代入すれば、流体系は線型化できたことになる。同様に燃焼室温度および回転数の方程式を線型化し、式(23)を得る。

$$\begin{aligned} \tau_1 \dot{x}_1 &= a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + a_{13} x_3 + c_{11} u_1 \\ \tau_2 \dot{x}_2 &= a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + a_{23} x_3 + c_{22} u_2 \\ \tau_3 \dot{x}_3 &= a_{31} x_1 + a_{32} x_2 + a_{33} x_3 \\ \tau_1 &= MG_0 / P_{40}, & \tau_2 &= P_{40} V_{CC} / G_0 R T_{40}, \\ \tau_3 &= I_C \omega_{CO}^2 / G_0 L_0 \end{aligned} \quad \left. \right\}$$

$$\left. \begin{aligned}
 a_{11} &= k_1 - (\xi - 1)/\xi, \quad a_{12} = (1 - \xi)/2\xi, \\
 a_{13} &= k_2 \\
 a_{21} &= T_{20} (1 + k_1 k_6) / T_{40} - 1, \\
 a_{22} &= -1, \quad a_{23} = T_{20} k_2 k_6 / T_{40} \\
 a_{31} &= k_3 k_8 / \xi - k_1 k_7, \quad a_{32} = (a_{31} + \\
 &\quad + k_1 k_7) / 2 + 1 \\
 a_{33} &= -k_2 k_7, \quad c_{22} = (T_{40} - T_{20}) / T_{40}, \\
 c_{11} &= - \frac{\alpha_0}{\gamma_{PTO}} \left(\frac{\partial \gamma_{PT}}{\partial \alpha} \right)_0 \\
 \xi &= (1 + k_3) (1 + k_4) + 0.5 k_3 k_4 k_5
 \end{aligned} \right\} (23)$$

式(23)をラプラス変換し、i変数の時定数を $T_i = \tau_i / a_{ii}$ で、j変数のi変数に対するゲインを $K_{ij} = a_{ij} / a_{ii}$ とする。ある1つのガスタービンについて各定常状態での時定数を計算すると表1のようになる。回転系の時定数は熱系およ

表1 1質点モデルの流量、温度、回転の時定数

N_c (rpm)	T_1 (sec)	T_2 (sec)	T_3 (sec)
20000	$\times 10^{-3}$ 0.639	$\times 10^{-2}$ 0.685	0.594
28000	$\times 10^{-3}$ 0.547	$\times 10^{-2}$ 0.548	0.476
34000	$\times 10^{-3}$ 0.498	$\times 10^{-2}$ 0.488	0.400

び流体系の時定数に比較して非常に大きいことがわかる。ゲインについては図3より、温度上昇は流量の減少をもたらす、流量の増加は温度を下げる。流量変動に対して、回転数の変動と温度の変動とでは前者の方がゲイン定数が大きく、温度の変化に対しては流量の方が回転数よりも大きく効き、回転数の変化に対しては、平衡点の回転数が非常に低い時を除くと、温度の方が流量よりもゲイン定数の大きいことがわかる。又非線型性は K_{13} と K_{31} に強く現われている。

3-2 1質点モデルの応答 以上の線型系についてアナログ計算機により過度応答を求めた。図4は燃料流量に対するステップ応答で、図より流量に逆応答が現われていることがわかる。温度上昇は修正流量を増加させ、タービン圧力比の上昇つまり流体への抵抗が増加したこ

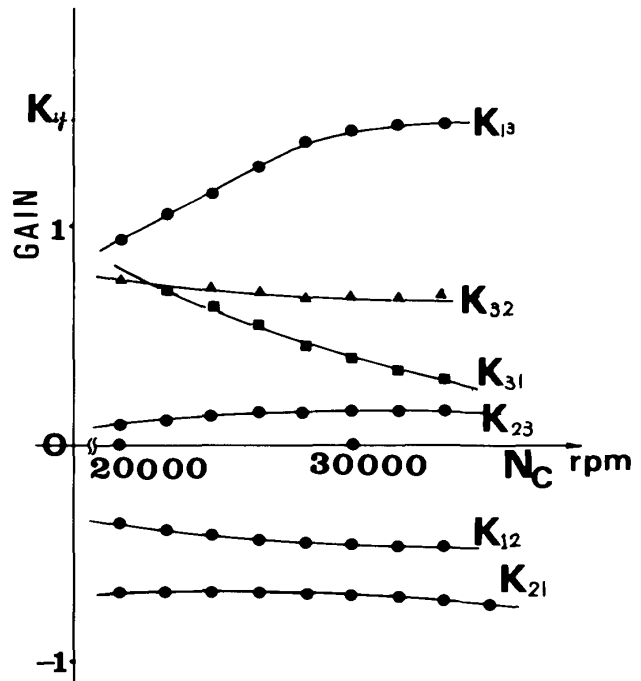


図3 1質点モデルのゲイン

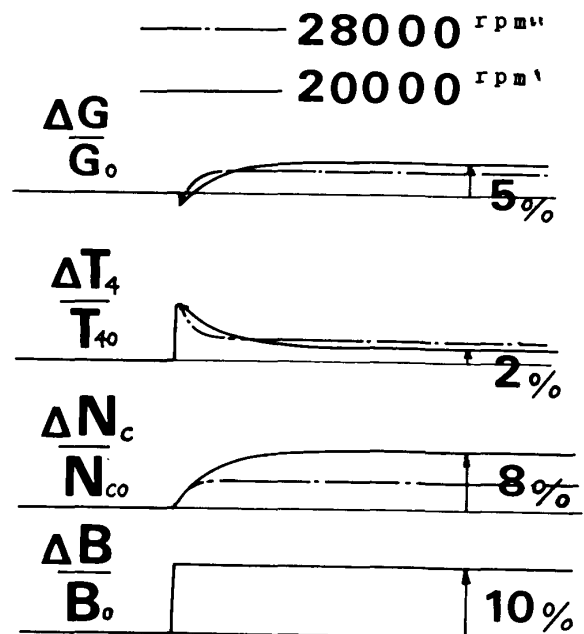


図4 燃料流量のステップ変化に対する応答

とになって一瞬流量は減少する。その後回転数の上昇によって流量は増加する。以上のことを

圧縮機特性曲線上で考える。回転系は時定数が大きいので、燃料を加えた瞬間でもほとんど変化せず、流量が減少するのであるから、サージ線に接近することを意味する。タービンを含む管路では、流体への抵抗は流速ばかりでなく温度も関係するためにこのような応答を示すのである。

次に熱系と流体系の相互作用による平衡点の安定性について考える。式(23)で $x_3 = 0$ とおき式(24)を得る。

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= a_{11} x_1 / \tau_1 + (a_{11} - k_1) x_2 / 2 \tau_1 \\ &= a x_1 + b x_2 \end{aligned} \quad (24)$$

$$\dot{x}_2 = a_{21} x_1 / \tau_2 - x_2 / \tau_2 = c x_1 + d x_2$$

さらにここで $P = -(a + d)$ $q = ad - bc$ とおいて $P^2 - 4q^2$ を計算すると式(25)となる。

$$\begin{aligned} P^2 - 4q^2 &= [(\tau_1 - a_{11})^2 + \tau_1 \tau_2 \cdot \\ &\quad \{ 4 a_{11} + 2 a_{21} (a_{11} - k_1) \}] / \\ &\quad (\tau_1 \tau_2)^2 \dots\dots\dots (25) \end{aligned}$$

式(25)で右辺第2項には τ_1 τ_2 がかかっているから微小量なり、式(25)は正と考えられる。従って $P > 0$ の時安定結節点、 $P < 0$ の時不安定結節点となる。(3)

$$\begin{aligned} \theta &= (\tau_1 / \tau_2) + \\ &\quad + 1 - \xi^{-1} \dots\dots (26) \end{aligned}$$

θ を式(26)で定義すると、 $k_1 < \theta$ の時安定、 $k_1 > \theta$ の時不安定となる。 ξ の式の中の k_5 は式(27)で表わされる。

$$\begin{aligned} k_5 &= \\ &= \frac{\eta_{CT} (\kappa - 1) / \kappa}{(1 - \eta_{CT}) \gamma_{CT}^{\kappa-1} / \kappa + \eta_{CT}} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (27)$$

$$\kappa = 1.33 \quad \eta_{CT} = 80$$

%とし $\gamma_{CT} = 2 \sim 4$ の範囲では $k_5 \approx -0.2$ であり、 k_3 、 k_4 はタービン流量特性から正である。従って $\xi > 1$ より $\theta > 0$ であり、図5の

ような負性抵抗をもつ圧縮機特性曲線の $k_1 > \theta$ となる部分は不安定となる。

次に燃料に対する周波数応答を図6に示す。回転系は、ほぼ一次遅れで近似できることがわかる。一方燃焼室温度は、系が微分要素を含ま

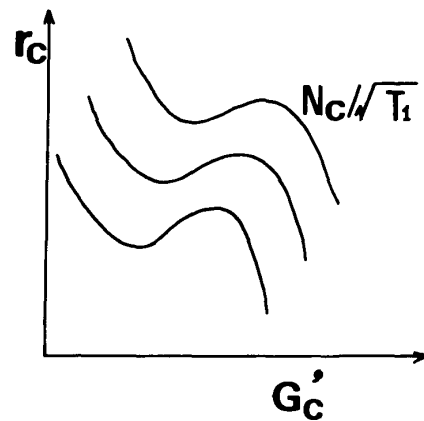


図5 負性抵抗をもつ圧縮機特性

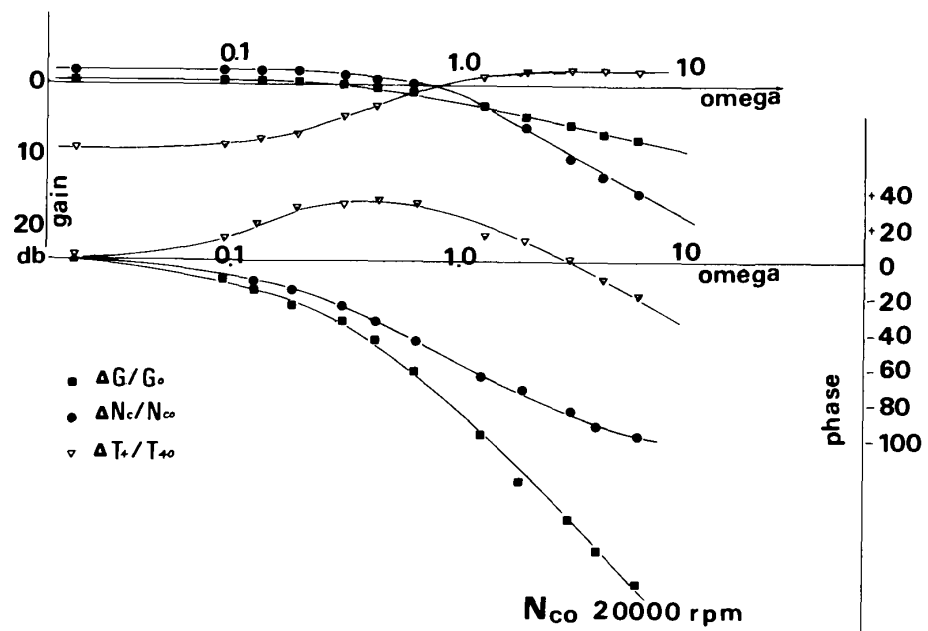


図6 燃料流量について周波数応答1質点モデル

ないにもかかわらず、 ω の小さい領域では位相進みになっている。温度の式(14)の分母に流量があるので、線型化した時に流量と温度は逆位相

になる。流量は回転数の上昇でもたらされるが、回転系の時定数は大きく燃料に対して応答が遅れてくるために、見かけ上位相進みとなる。式(24)をラプラス変換して燃料に対する温度の伝達関数を計算すると、 ω の小さい領域では近似的に $K_{T_4} (T_a S + 1) / (T_b S + 1)$, $T_a > T_b$ となる。 T_a と T_b の関係を計算してみると、表2より平衡点での回転数が高い時ほど位相進みの現われる ω の値は大きくなる。しかし回転系

表2 燃料流量に対する燃焼室温度の伝達関数のパラメーター

N_c (rpm)	T_a	T_b
20000	5.57	1.42
28000	1.12	0.44
34000	0.748	0.319

の応答が遅れることにより温度の位相は進むのであり、一方平衡点での回転数が高いほど、回転系の時定数は小さくなるので当然とも言える。

流量をみると ω の小さい場合と大きい場合では、位相が逆転している。 ω の小さい時は回転系が応答でき、温度上昇がもたらす抵抗増加にうちかって流量が増加する。 ω が大きくなると回転系は応答できず、抵抗の変化だけが流体系を支配することになり、位相は逆転する。

3-3 2質点モデルの線型化 3-1と同様の計算を行ない系を線型化すると式(28)を得る。

$$\begin{aligned}
 \tau_1 \dot{x}_1 &= a_{11} x_1 + a_{13} x_3 + a_{15} x_5 \\
 \tau_2 \dot{x}_2 &= a_{22} x_2 + a_{23} x_3 + a_{24} x_4 + c_{21} u_1 \\
 \tau_3 \dot{x}_3 &= a_{31} x_1 + a_{32} x_2 + a_{34} x_4 + a_{35} x_5 \\
 &\quad + c_{32} u_2 \\
 \tau_4 \dot{x}_4 &= a_{41} x_1 + a_{42} x_2 + a_{44} x_4 + a_{45} x_5 \\
 &\quad + c_{42} u_2 \\
 \tau_5 \dot{x}_5 &= a_{51} x_1 + a_{52} x_2 + a_{54} x_4 + a_{55} x_5 \\
 a_{11} &= k_1, \quad a_{13} = -1, \quad a_{15} = k_2, \\
 a_{22} &= \xi^{-1} - 1, \quad a_{23} = 1, \\
 a_{24} &= (\xi^{-1} - 1) / 2, \quad a_{31} = (1 + k_1 k_6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{20} T_{40}^{-1}, \quad a_{32} &= -1, \quad a_{34} = -1, \\
 a_{35} &= k_2 k_6 T_{20} T_{40}^{-1}, \quad a_{41} = a_{31} - \kappa^{-1}, \\
 a_{42} &= \kappa^{-1} - 1, \quad a_{44} = -1, \quad a_{45} = a_{35}, \\
 a_{51} &= -(1 + k_1 k_7), \quad a_{52} = 1 \\
 &\quad + k_3 k_8 \xi^{-1}, \quad a_{54} = 1 + 0.5 k_3 k_8 \xi^{-1}, \\
 a_{55} &= -k_2 k_7, \quad c_{21} = -\frac{\alpha_0}{Y_{PTO}} \left(\frac{\partial Y_{PT}}{\partial \alpha} \right)_0, \\
 c_{32} &= c_{42} = (T_{40} - T_{20}) / T_{40} \\
 x_1 &= \frac{\Delta G_C}{G_{CO}}, \quad x_2 = \frac{\Delta G_T}{G_{TO}}, \\
 x_3 &= \frac{\Delta P_4}{P_{40}}, \quad x_4 = \frac{\Delta T_4}{T_{40}}, \\
 x_5 &= \frac{\Delta N_c}{N_{CO}}, \\
 \tau_1 &= \frac{M_C G_{CO}}{P_{40}}, \quad \tau_2 = \frac{M_T G_{TO}}{P_{40}}, \\
 \tau_3 &= \tau_4 = \frac{P_{40} V_{CC}}{\kappa R G_{CO} T_{40}}, \quad \tau_5 = \frac{I_C \omega_{CO}^2}{G_{CO} L_{CO}}
 \end{aligned} \tag{28}$$

ラプラス変換して時定数を求めると、回転系の時定数が他に対して非常に大きいことは1質点モデルと同じである。

式(28)をラプラス変換してゲインを求めると図7を得る。この図から圧縮機側の流量に対しては、平衡点での回転数が上昇するにつれて圧力よりも回転数の方が大きく効く。タービン側の流量には圧力の方が燃焼室温度よりも大きく効くことがわかる。又燃焼室圧力に対しては圧縮機流量よりも、タービン流量の方が大きく効いている。燃焼室温度に対しては圧縮機流量もタービン流量も温度を下げる作用があるが、前者の方が大きく効いている。回転数の変化に対して、タービン流量と燃焼室温度とでは前者の方が大きく作用することがわかる。1質点モデルでは回転数に対して温度の方が流量よりゲイン定数が大きかった。圧縮機流量の増加は圧縮仕事を増加させ、回転数をさげる作用があり、タービン流量の増加はタービン出力を増加させるから回転数をあげる作用がある。1質点モデルでは流量を1つにまとめたために、温度のゲイン定数が流量のゲイン定数よりも大きくなった

と考えられる。

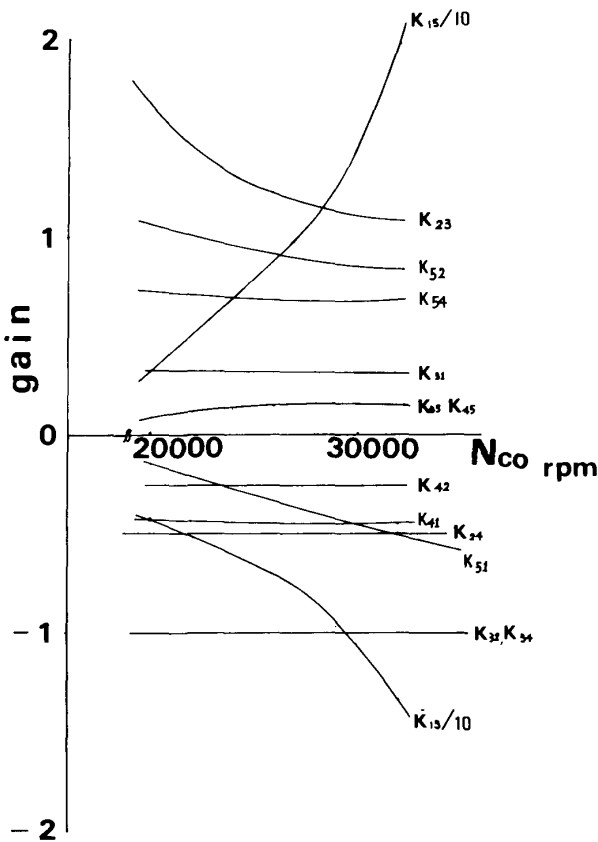


図7 2質点モデルのゲイン

3-4 2質点モデルの応答 燃料をステップで加えると、1質点モデルと同様流量系には逆応答が現われる。温度上昇が抵抗を増加させ式(9)の右辺が負になり、タービン流量は一瞬減少する。一方タービン流量の減少および燃料により燃焼室圧力はステップ状に増加し、圧縮機流量にも逆応答が現われる。回転数が平衡点からほとんど変化してない時の流体系の応答によってサージ線に接近していくことは、1質点モデルの場合と同じである。

燃料に対する周波数応答では、燃焼室温度、流量は1質点モデルと同じ傾向を示す。回転系の慣性による遅れが原因であるから、流体系を2自由度にしても同じである。

次に流体系のみ平衡点の安定性について考える。圧縮機流量の方程式は、回転数変化を無視して線型化すると式(29)となる。

$$\tau_1 \dot{x}_1 = k_1 x_1 - x_3 \quad \dots\dots\dots (29)$$

タービン流量については修正流量に関する温度を一定と考え同様に、式(30)を得る。

$$\tau_2 \dot{x}_2 = x_3 - \beta x_2$$

$$\beta = \frac{k_3 + k_4 + k_3 k_4}{(1 + k_3)(1 + k_4)} \quad \dots\dots\dots (30)$$

圧力の方程式(13)の右辺第2項は熱系であるから無視して線型化すると、式(31)を得る。

$$\tau_3 \dot{x}_3 = x_1 - x_2 \quad \dots\dots\dots (31)$$

式(29)(30)(31)で x_3 を消去すると式(32)(33)を得る。

$$\tau_1 \ddot{x}_1 - k_1 \dot{x}_1 + (x_1 - x_2) / \tau_3 = 0 \quad \dots (32)$$

$$\tau_2 \ddot{x}_2 + \beta \dot{x}_2 + (x_2 - x_1) / \tau_3 = 0 \quad \dots (33)$$

すなわち流体系は図2のバネ質点系と等価であり、 τ_1, τ_2 は質量に、 $-k_1, \beta$ はダンピングに、 τ_3^{-1} はバネ定数に相当する。式(28)より平衡点での温度が高く流量が多いほど、又燃焼室体積が小さく圧力の低いほどバネ定数が大きくなり、1質点モデルに近づいていく。

今、考えている平衡点でタービン流量特性の傾きが ∞ である時、つまりタービン流量がチョークしている場合 $x_2 = 0$ であり式(32)より $k_1 < 0$ の時安定、 $k_1 > 0$ の時不安定となる。状態点 (x_1, x_3) を位相平面上にとって運動の方向を考えると式(34)を得る。

$$\frac{dx_3}{dx_1} = \frac{\tau_1}{\tau_3} \frac{x_1}{(k_1 x_1 - x_3)} \quad \dots\dots\dots (34)$$

式(34)を等傾斜線法によって考えると、 $k_1 > 0$ の時発散的な渦巻線に、 $k_1 < 0$ の時は収束する渦巻線になり、安定なリミットサイクルの存在することがわかる。リミットサイクルの実際の形については、非線型のシュミレータが必要となるので別の機会に述べたい。

次にタービン流量がチョークしていない場合を考える。式(32)(33)から式(35)を得る。但し $x = \dot{x}_1$ である。

$$\tau_1 \tau_2 \tau_3 \ddot{x} + (\beta \tau_1 \tau_3 - k_1 \tau_2 \tau_3) \dot{x} + (\tau_1 + \tau_2 - k_1 \tau_3 \beta) x + (\beta - k_1) x = 0 \quad \dots\dots\dots (35)$$

$\tau_1 \tau_2 \tau_3 > 0$ であるから式(35)が安定であるための条件として式(36)を得る。

$$\begin{aligned}
 &(\beta \tau_1 \tau_3 - k_1 \tau_2 \tau_3) > 0, \quad (\tau_1 + \tau_2 - k_1 \tau_3 \beta) > 0, \\
 &\beta - k_1 > 0, \quad -\tau_2^2 k_1 + \beta \tau_1^2 - k_1 \beta \\
 &> (\beta \tau_1 - k_1 \tau_2) \tau_3 > 0 \dots\dots\dots (36)
 \end{aligned}$$

$\beta > 0$ であるから $k_1 < 0$ であれば式(36)は成立し、流体系は安定である。 $\tau_1 + \tau_2$ は非常に小さいので $k_1 > 0$ になるとすぐ不安定になる。

管路内に圧縮機、タービン以外の圧力源のある場合を考える。車輛用ガスタービンでは熱効率改善のために圧縮機出口に回転蓄熱型熱交換器をつけることがあり、圧力損失が問題となる。圧力損失が流量の2乗に比例すると仮定し、漏れを無視すると圧縮機流量の方程式は式(37)となり、線型化すると式(38)を得る。

$$\begin{aligned}
 M_C \dot{G}_C = P_0 - P_4 + f_C(N_C G_C) \\
 - C_{HE} G_C^2 \dots\dots\dots (37)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau_1 \dot{x}_1 = [k_1 - 2 C_{HE} G_{C0}^2 / P_{40}] \cdot x_1 \\
 - x_3 \dots\dots\dots (38)
 \end{aligned}$$

式(38)より圧力損失はダンピングを大きくし、サージングに対しては安定側に寄与することがわかる。流体系について以上述べたことは、ポン

プ系のサージ現象を有限自由度系として説明する理論と同一である。⁽⁴⁾⁽⁵⁾

2質点モデルについてノズルに対する周波数応答をとると図8を得る。図中回転数は一次遅れの応答を示している。又圧力、流量、温度のゲインはあまり変化していない。ノズル角を正弦状に変化させることは、タービン側管路内で流体への抵抗を正弦的に変化させることを意味する。図2のバネ質量モデルで考えれば、ダンピングを変化させることと等価である。

燃焼室圧力の位相をみると、 ω が非常に小さい時は位相差零すなわちノズルを開くと圧力が上昇するが、 ω が大きくなると逆位相になり、ノズルを開いた時圧力がさがることがわかる。ノズルを開けばまずタービンの流量が増加する。 ω の小さい領域ではタービン流量の増加に対して回転系も応答できるから、回転数が上昇しその結果圧力もあがり圧縮機流量も増加する。このような ω の範囲では、回転系の位相遅れと圧縮機流量の位相遅れとは同じになっている。

ω が大きくなると、回転系は応答できなくなるにもかかわらず、タービン流量は増加するから燃焼室圧力はさがってしまい、その結果圧縮機流量はすぐに増加する。つまり圧力は逆位相となり、圧縮機流量の位相遅れは再び零になる。燃料流量に対する燃焼室温度の場合と同様ノズルに対する燃焼室圧力の応答でも回転系が本質的な働きをしていることがわかる。1質点モデルの場合でもノズルに対して燃焼室圧力の応答は同じ傾向を示す。

4. 結 論

流体の慣性を考慮したガスタービン動特性の数学モデルは容易に線型化でき、その結果ガス発生機に関して以下のことがわかった。

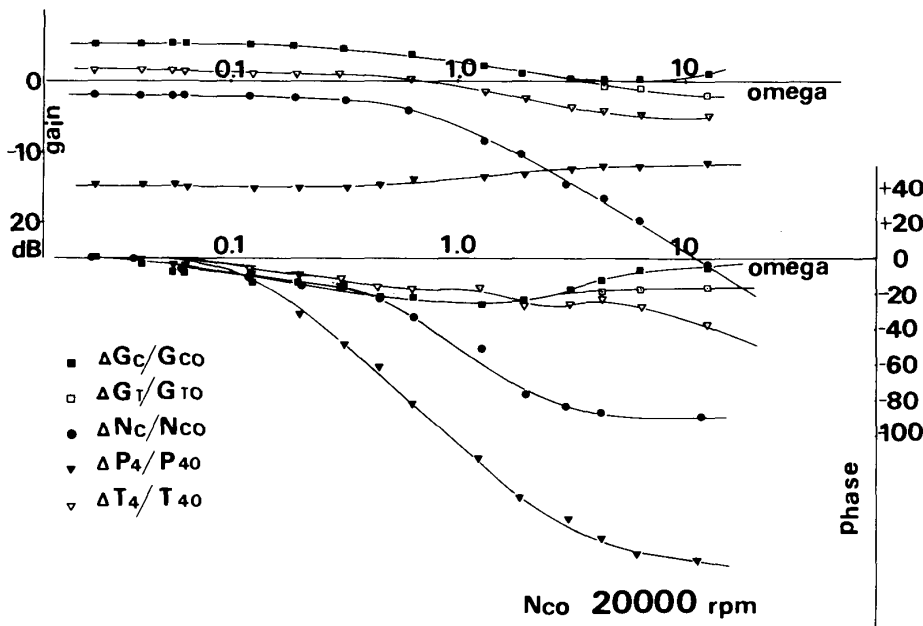


図8 ノズルについての周波数応答2質点モデル

(a) 熱系および流体系の時定数は、回転系の時定数と比較すると非常に小さい。

(b) 燃料のステップ変化に対して、流量は逆応答を示す。これは回転系が平衡点からほとんど変化していない間に、流体系が熱による抵抗の変化によって新しい平衡点へ移動することを意味する。

(c) 系は積分要素のみで構成されているにもかかわらず、燃焼室温度は燃料流量に対する周波数応答で ω の小さい時に、位相進みを示す。その理由は、回転系の慣性による位相遅れである。温度の位相は制御系との関係で重要である。

(d) 流量は燃料流量に対する周波数応答で、回転系が応答できる ω の範囲と応答できない ω の範囲では、位相が逆になる。

(e) 2質点モデルでは、流体系にリミットサイクルが存在する。

(f) 回転系について流量の方が温度よりも大きく効く。従って加速時に流量が一時的に減少しない様にノズルを開くことは有利である。

(g) タービン流量については、温度よりも圧力の方が大きく効く。

(h) 漏れを無視して考えれば、熱交換器での圧力損失はサージに対して安定側に作用する。

(i) ノズルに対する周波数応答で、燃焼室圧力、温度流量のゲインはほぼ一定である。燃焼室圧力は ω が小さい時と大きい時とでは、位相が逆転する。この理由も回転系の慣性による遅

れである。(c)(d)で述べたことと合わせ考えると、回転系はガス発生機の応答に大きな影響を与えていることがわかる。

5. むすび

本論文では、流体の慣性をも考慮した2軸可変ノズル付ガスタービンの動特性計算法を提案したが、ガス発生機の応答を線型化して解析するという段階にとどまった。今後は、出力タービン、熱交換器のある場合の応答を線型化せずにもとめ、さらに制御系についても解析を進めたい。

6. 記号

f_C	: 圧縮機圧力上昇
f_{CT}	: 圧縮機タービン圧力降下
f_{PT}	: 出力タービン圧力降下
L_C	: 圧縮仕事
L_{CT}	: 圧縮機タービン仕事
η_B	: 燃焼効率
V_{CC}	: 燃焼室体積
T	: 絶対温度
M_C	: 圧縮機側管路定数
M_T	: タービン側管路定数
η_{mcT}	: 機械効率
x_i	: 無次元状態変数
K_{ij}	: j 変数の i 変数についてのゲイン
G	: 1質点モデルの場合の流量
G_C	: 圧縮機側管路内の重量流量
G_T	: タービン側管路内の重量流量
A	: 管路断面積
B	: 燃料流量
N	: 回転数

(昭和49年5月7日原稿受付)

文献

1. H. I. H. Saravanamutto 他, SAE, 710550
2. 梅田, 葉山, 機講論(48-10), 730-17
3. 古屋, 南雲, 非線型振動論, 講座現代応用数学, 岩波
4. 藤井, 機論, 13-44(1947)
機論, 14-88(1948)
5. 藤井, 機械力学(昭32), 共立
6. 小林, 葉山, ガスタービン会議第一回講演会論文集(昭48)

新 品 製 紹 介

三井中容量ガスタービン(SB30C型)

三井造船株式会社 玉野研究所 表 義 則

三井造船(株)では、近時、中容量の産業用ガスタービン(SB30C形)を自社開発した。本機の構造は基本的には既開発のSB15, SB90形等シリーズ化した標準機と同一設計思想で製作されたが、タービン初段ノズルにインピンジングとコンベクションを組合せた中空中子付冷却翼を使用し、同動翼にニッケル基耐熱鋼U710を使い、かつ、羽根々部とロータの冷却に新しい構造を採用する等でタービン入口ガス温度をベース負荷で910℃(最大連続負荷で960℃)まで上昇させて性能の向上をはかった。本機の主要目を下表に示す。

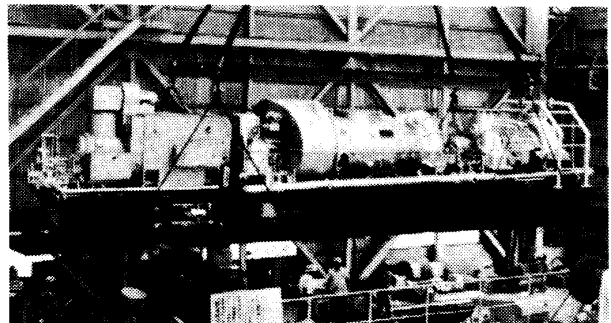


図 SB30C形ガスタービンおよび空気圧縮機

表 ガスタービン主要目

モデル	SB30C	
形式	一軸、単純サイクル	
定格	連続	最大
出力kW	5260	5780
回転数rpm	9410	
熱効率%	23.65	24.0
タービン入口温度℃	910	960
排気温度℃	534	570
全圧力比	6.75	
圧縮機	軸流11段、内径一定	
タービン	軸流4段、内径一定	
燃焼器	単任逆流式	

備考 上記数値はISO Ratingの値を示す

商業1号機は石油精製プラントの主空気源装置に同じく当社で製作された全静翼可変軸流圧

縮機の駆動原動機として製作され、最大負荷耐久試験を含む総合運転を工場で行ったあと昭和48年7月千代田化工(株)をとおしてサウジアラビアへ出荷された。性能、起動特性、振動、騒音等全て頭初の目標を満足し、排気エミッションはNOxが90PPM、ばい塵が3mgr/Nm³(いずれも燃料LPGで定格負荷時)であることを確認した。

本機はタービン1段動翼に新しく開発した中空空冷翼を使用し、定格負荷時のガス温度を1000℃に上昇させて出力および熱効率の向上をはかる計画である。本機は大気公害の少ない、排ガスエネルギー利用を含む熱利用度の高い自家発電設備や圧縮機およびポンプの駆動機を目標として開発されたが今後も引き続き無公害化や性能向上への研究開発と信頼性向上への改良をより一層おし進める予定である。

(昭和49年4月30日原稿受付)



1974年国際ガスタービン会議チューリッヒ大会報告

その1 全般およびターボ機械

九州大学・生産科学研究所 妹尾 泰利

ASME の国際ガスタービン会議が4年ぶりにヨーロッパで開催されるとあって、ヨーロッパ旅行を目指したアメリカからの論文、地元ヨーロッパからの論文、それに日本からも12の論文が持ち込まれて総数166に達した。論文の内容を分類すると応用面では発電12、原子力12、プロセス10、航空17、船用13、車輛14、基礎学ではターボ機械52、燃料10、伝熱8、製造8、教育5、制御その他5となっていて、今後ガスタービンが活躍する分野とその問題点を暗示している。

講演は5つの部屋において行なわれ、午前午後それぞれ約3時間のセッションに4ないし5の論文が発表された。ターボ機械関係52の論文はとても一室では消化しきれず、ほとんどいつも2室で講演が行なわれており、それでも消化しきれない部分は特別セミナーと称して広いホールの隅々に臨時の会場を作って行なわれた。このため同時に4ヶ所でターボ機械関係の講演があり、出席する会場を選ぶのに苦心する場面もあった。ターボ機械委員会としては、最初は論文数を30程度に抑えたいとしていたが、結局断わりきれなかった苦肉の策である。一方、プロセスや船用のグループにはやや余裕があつて討論会式のセッションも設けられた。

各セッションの司会者にはアメリカの人が、副司会者にはヨーロッパの人がなっていることが

多く、副司会者のほうが有名人のこともあつた。各セッションの運営はこの両者に任されている。計時係はいないが、講演は20～25分で終わりそのあと10～15分の討論が行なわれて、順調に進行することが多かった。しかし討論が長びいて休憩時間をなくしたセッションや、重要でない討論はご遠慮願いたいと副司会者が発言して大笑いとなった場面もあつた。

講演は全般に要領よく進められていた。全論文が前刷になっているし、20分では内容を全部述べることはできないから、講演者は前刷から離れてハイライトに重点をおき、全体の要約を話すことになる。これは聴講者にとって誠に好都合で、講演を聞けば前刷を購入すべきか否かを判定することができる。なお各セッションの参加者は100～150名であつた。

討論は極めて活発であつたが、文書による事前の討論よりも当座の討論が多かつた。討論者には会社関係の人が多く、特にコンサルティング関係の会社に勤める人が活発に討論していた。討論は彼等にとって営業宣伝行為の一部でもあろう。それだけに彼等は相当事前に勉強しているもののように、覗き込んでみるとその別刷には朱線や書込みが沢山見受けられた。

学会に出席する目的の一部は旧友に会い、新しい友を作り、展示会を見ることである。これらの目的が達せられると、4日間の会期は少し

長過ぎると感じられるのであろうか、それとも好天に恵まれたスイスの風景があまりにも魅惑に満ちていたためであろうか。3日目あたりから参加者が減り始め4日目の参加者は初日の半数にも達しなかった。しかし全般に盛会であり、環境や天候にも恵まれて、この会合の評判は良好であった。

筆者がターボ機械関係のセッションに出席し、また出席者と話して得られた印象として、軸流圧縮機やタービンの羽根の疲労破壊に関連した問題があちこちで起きており空力弾性の研究が盛んであること、遠心圧縮機に関する論文数がかなりふえたこと、サージ流量を減らし運転線

を圧縮機の効率の高い領域に近づけることが改めて考えられていること、および非定常流計測技術や光学的計測技術が進んで圧縮機羽根車の内部や出口直後の流れの測定に用いられ始めていることなどがあげられる。

もちろん発表された論文は、このほかにも非粘性流れの理論、境界層を加味した翼列や圧縮機性能の算定、レイノルズ数の影響、超音速翼列など多くの分野にわたっている。論文題目の一覧は先日配布された Gas Turbine Newsletter に掲載されているので、関心がおありの方はご覧下さい。

(昭和49年4月30日原稿受付)

その2 産業用ガスタービン

日立製作所(株) 機械研究所 桜井 照男

この会議では講演会、製品展示とも前年を上回る多数の発表が行なわれ、非常な盛況であった。講演は35セッションと特別セミナーを含み165論文の発表があり、日本からの発表も14件の多数を数えた。筆者は本国際会議(3月31日~4月4日)に先立って英国Sheffieldで行なわれた2nd International Symposium on Air Breathing Engines(3月24日~29日)にも参加したのであるが、日本からの参加者の多くがこの会議から Gas Turbine Conference に移動した。製品展示についても120社以上の出品があり、会場 Kongreshauss の1, 2階、バルコニーとチューリヒ湖岸につないだ遊覧船 Helvetia および Linth の船室を使用し、若干の屋外展示も行なうという盛大なものであった。

論文では産業用ガスタービン関係としては Electric Utilities (セッション数2), Process Industries (3 $\frac{1}{2}$), Nuclear Cycles (3)等のセッションと特別セミナー(Electric Utilities)があり、約40件の発表があった。論文の内容としてはガスタービンの大容量化とともに、エネルギーの高効率利用、環境対策(汚染、騒音)関係などの論文が増加している点が注目される。大容量化については

10万kW, 3,000rpm ガスタービンシリーズの設計(Fiat), 10万~100万kW発電用開放または密閉ガスタービンの構想(Moscow Higher Technical School), 65,000HP大容量2軸ガスタービンの設計(GE・日立)等の話があり、また新しい無公害のガスタービン設備として密閉式ヘリウム・ガスタービンの設計に関する発表が Hannover 大, Energieversorgung Oberhausen AG, BST(Brown Boveri-Sulzer Turbomachinery)等から行なわれた。エネルギーの有効利用関係としては廃熱ボイラおよびトータル、エネルギー・サイクル(Dow Chemical of Canada Ltd.), 経済的なサイクルと燃料の選定(GE), 低カロリー燃料(low BTU gas or fuel)の利用に関する問題(Texaco Inc., GE)等の発表が行なわれた。環境汚染(pollution)関係では Cornell 大, GEから、またガスタービンの消音、防音関係では GE, Industrial Acoustics Co., Inc. から発表があった。

製品展示で目についたものとしては、屋外展示で KWU (Kraftwerk Union) 社の7万kW発電用ガスタービンの実物ロータ(重量35t)があり、一般通行人の注目をひいていた。前述の密閉式ヘリウム・ガスタービンでは

長過ぎると感じられるのであろうか、それとも好天に恵まれたスイスの風景があまりにも魅惑に満ちていたためであろうか。3日目あたりから参加者が減り始め4日目の参加者は初日の半数にも達しなかった。しかし全般に盛会であり、環境や天候にも恵まれて、この会合の評判は良好であった。

筆者がターボ機械関係のセッションに出席し、また出席者と話して得られた印象として、軸流圧縮機やタービンの羽根の疲労破壊に関連した問題があちこちで起きており空力弾性の研究が盛んであること、遠心圧縮機に関する論文数がかなりふえたこと、サージ流量を減らし運転線

を圧縮機の効率の高い領域に近づけることが改めて考えられていること、および非定常流計測技術や光学的計測技術が進んで圧縮機羽根車の内部や出口直後の流れの測定に用いられ始めていることなどがあげられる。

もちろん発表された論文は、このほかにも非粘性流れの理論、境界層を加味した翼列や圧縮機性能の算定、レイノルズ数の影響、超音速翼列など多くの分野にわたっている。論文題目の一覧は先日配布された Gas Turbine Newsletter に掲載されているので、関心がおありの方はご覧下さい。

(昭和49年4月30日原稿受付)

その2 産業用ガスタービン

日立製作所(株) 機械研究所 桜井 照男

この会議では講演会、製品展示とも前年を上回る多数の発表が行なわれ、非常な盛況であった。講演は35セッションと特別セミナーを含み165論文の発表があり、日本からの発表も14件の多数を数えた。筆者は本国際会議(3月31日~4月4日)に先立って英国Sheffieldで行なわれた2nd International Symposium on Air Breathing Engines(3月24日~29日)にも参加したのであるが、日本からの参加者の多くがこの会議から Gas Turbine Conference に移動した。製品展示についても120社以上の出品があり、会場 Kongreshauss の1, 2階、バルコニーとチューリヒ湖岸につないだ遊覧船 Helvetia および Linth の船室を使用し、若干の屋外展示も行なうという盛大なものであった。

論文では産業用ガスタービン関係としては Electric Utilities (セッション数2), Process Industries (3 $\frac{1}{2}$), Nuclear Cycles (3)等のセッションと特別セミナー(Electric Utilities)があり、約40件の発表があった。論文の内容としてはガスタービンの大容量化とともに、エネルギーの高効率利用、環境対策(汚染、騒音)関係などの論文が増加している点が注目される。大容量化については

10万kW, 3,000 rpm ガスタービンシリーズの設計(Fiat), 10万~100万kW発電用開放または密閉ガスタービンの構想(Moscow Higher Technical School), 65,000HP大容量2軸ガスタービンの設計(GE・日立)等の話があり、また新しい無公害のガスタービン設備として密閉式ヘリウム・ガスタービンの設計に関する発表が Hannover 大, Energieversorgung Oberhausen AG, BST(Brown Boveri-Sulzer Turbomachinery)等から行なわれた。エネルギーの有効利用関係としては廃熱ボイラおよびトータル、エネルギー・サイクル(Dow Chemical of Canada Ltd.), 経済的なサイクルと燃料の選定(GE), 低カロリー燃料(low BTU gas or fuel)の利用に関する問題(Texaco Inc., GE)等の発表が行なわれた。環境汚染(pollution)関係では Cornell 大, GEから、またガスタービンの消音、防音関係では GE, Industrial Acoustics Co., Inc. から発表があった。

製品展示で目についたものとしては、屋外展示で KWU (Kraftwerk Union) 社の7万kW発電用ガスタービンの実物ロータ(重量35t)があり、一般通行人の注目をひいていた。前述の密閉式ヘリウム・ガスタービンでは

GHH社が“*We are building the world's first helium turbine.*”と題して50,000 kWガスタービンに関する展示を行っていた。本機は最長運転経歴86,000 hrとのことである。またBST社は最高10万kWまでのパッケージ型ガスタービン・シリーズを示しており、各社とも機器をコンパクトにパッケージ化する方向に力を注いでいる様子が見られた。例えばTurbo Power & Marine Systemsでは“*Megawatts on Wheels*”として可動式発電ユニット(2万kWのガスタービン発電機、制御装置を2台のトレーラに積込んだもの)について展示し、ETC(Energy Transformation Corp.)では40kWまでの可搬発電装置および2500 cfmまでのターボ圧縮機ユニットを展示していた。Solarでは天然ガス圧縮機セット(Centaur)、発電機セット、メカニカルドライブ・パッケージ(Centaurおよび

Saturn)のシリーズ(1200HP, 800kWまで)を示している。製品展示においても無公害に重点が置かれている様子はCurtis-Wright社の展示で“*low emission, smokeless exhaust, acoustically treated*”と説明していることからわかる。なお会議場で頒布していた印刷物Gas Turbine Worldに1972年中における米国内の発電用タービンの一覧表がのっている。

その他製品を支える材料、製作法、機械要素等の部門においても種々の新しい進歩が見られた。筆者の印象に残ったものではInternational Ceramic Ltd.の精鑄々型、Fortunawerke AGのポリゴン継手、IAC社(Industrial Acoustics Co.)による種々の防音・消音装置等があった。

(昭和49年4月30日原稿受付)

その3 船用ガスタービン

石川島播磨重工業(株) 滝田真右, 長野親敬

船用GT関係では各社とも写真、カタログ展示が主で、GTの実物展示は見られなかった。

GEはLM2500(25,000HPクラス)の小さなモデルのほか、これをとり載する米海軍のDD963, PF(Patrol Frigate), PHM(Patrol Hydrofoil Missile)、最近受注した伊及びペルー海軍のフリゲートの写真を展示し、LM2500が広く艦艇に実用化される日の近いことを窺わせた。

RRはOlympus(28,000HP)とTyne(4250HP)をとり載するHMS Amazonの小さなモデルと艦艇に於ける実績を夫々展示する程度でむしろIndustrial GTに重きをおいた観があった。

P&Wも同様でFT4(35,000HP)の最近のApplicationであるUS Coast GuardのIce Breakerの写真展示が目立った程度であった。Heavyでは地元BSTがType 7(10MW)とType 9(27MW)を使った各種商船用の電気推進プラントの試設計を大き

なパネルで紹介し、近い将来必ず実現するプラントとして力を入れている様子が見られた。

要素関係ではAmerican Air Filter社が、イナーシャ・ニットメッシュ・イナーシャの3段式デミスタの実物展示をしており、極めて細かい水滴の分離にも非常に有効とのことで、米英海軍もこの形式のデミスタが良いことを認めて、似た様なタイプを採用している。

Farr Co.は、最も適したフィルタ(デミスタ)を選定する為のポータブルの測定装置を展示しており、カスタマーの要望に応じて貸して呉れるそうである。

会議の方はMarine関係3セッション及び1フォーラムが開かれ全部で13論文が提出されたがこの中に、Olympus/TyneとLM2500に関するものが夫々RRと英海軍(74-GT-101, 99)、GEと米海軍(74-GT-161, 158)から出ており、これらの機種の開発経過とユーザーである海軍側の考え方が紹介された。これらは、現在の代表的な艦艇用

GHH社が“ We are building the world's first helium turbine.”と題して50,000 kW ガスタービンに関する展示を行っていた。本機は最長運転経歴86,000 hr とのことである。またBST社は最高10万kWまでのパッケージ型ガスタービン・シリーズを示しており、各社とも機器をコンパクトにパッケージ化する方向に力を注いでいる様子が見られた。例えば Turbo Power & Marine Systems では“ Megawatts on Wheels ”として可動式発電ユニット(2万kWのガスタービン発電機、制御装置を2台のトレーラに積込んだもの)について展示し、ETC(Energy Transformation Corp.)では40kWまでの可搬発電装置および2500 cfmまでのターボ圧縮機ユニットを展示していた。Solarでは天然ガス圧縮機セット(Centaur)、発電機セット、メカニカルドライブ・パッケージ(Centaur および

Saturn)のシリーズ(1200HP, 800kWまで)を示している。製品展示においても無公害に重点が置かれている様子はCurtis-Wright社の展示で“ low emission, smokeless exhaust, acoustically treated ”と説明していることからわかる。なお会議場で頒布していた印刷物 Gas Turbine World に1972年中における米国内の発電用タービンの一覧表がのっている。

その他製品を支える材料、製作法、機械要素等の部門においても種々の新しい進歩が見られた。筆者の印象に残ったものでは International Ceramic Ltd. の精鑄々型、Fortunawerke AGのポリゴン継手、IAC社(Industrial Acoustics Co.)による種々の防音・消音装置等があった。

(昭和49年4月30日原稿受付)

その3 船用ガスタービン

石川島播磨重工業(株) 滝田真右, 長野親敬

船用GT関係では各社とも写真、カタログ展示が主で、GTの実物展示は見られなかった。

GEはLM2500(25,000HPクラス)の小さなモデルのほか、これをとり載する米海軍のDD963, PF(Patrol Frigate), PHM(Patrol Hydrofoil Missile)、最近受注した伊及びペルー海軍のフリゲートの写真を展示し、LM2500が広く艦艇に実用化される日の近いことを窺わせた。

RRはOlympus(28,000HP)とTyne(4250HP)をとり載するHMS Amazonの小さなモデルと艦艇に於ける実績を夫々展示する程度でむしろ Industrial GTに重きをおいた観があった。

P&Wも同様でFT4(35,000HP)の最近の Application であるUS Coast GuardのIce Breakerの写真展示が目立った程度であった。Heavy では地元BSTがType 7(10MW)とType 9(27MW)を使った各種商船用の電気推進プラントの試設計を大き

なパネルで紹介し、近い将来必ず実現するプラントとして力を入れている様子が見られた。

要素関係では American Air Filter社が、イナーシャ・ニットメッシュ・イナーシャの3段式デミスタの実物展示をしており、極めて細かい水滴の分離にも非常に有効とのことで、米英海軍もこの形式のデミスタが良いことを認めて、似た様なタイプを採用している。

Farr Co.は、最も適したフィルタ(デミスタ)を選定する為のポータブルの測定装置を展示しており、カスタマーの要望に応じて貸して呉れるそうである。

会議の方は Marine 関係3セッション及び1フォーラムが開かれ全部で13論文が提出されたがこの中に、Olympus/TyneとLM2500に関するものが夫々RRと英海軍(74-GT-101, 99)、GEと米海軍(74-GT-161, 158)から出ており、これらの機種の開発経過とユーザーである海軍側の考え方が紹介された。これらは、現在の代表的な艦艇用

GTであるが、何れも実艦とう載と前後して相当長時間の耐久試験や衝撃試験が行なわれ、これらの試験を通じて逐次改良が加えられている。特にLM2500に対して行なわれた諸試験 (Qualification Tests) の項目を見ると、艦艇用主機と云えども航空機並みの信頼性が追求されていることがよく判る。その上更に念を入れて、カラハン号のLM2500で10000時間に及ぶHeavy Distillate Fuelの使用、海軍艦艇をシミュレートした機関操作としてひんばんな力度変化を含む運転を行なっている。

両海軍とも今後の新造艦艇には航空転用GTをとう載することに行っている様だが、特に米海軍は第2世代のGTを、タービン入口温度1093

℃以上、SFC181 gr/HP-HR以下と定義し、LM2500をその第1号として今後はこの条件を満たすGTを開発していく方針を明かにしている。艦艇と云えども経済性が重視されている訳で、米海軍が石炭からの蒸溜油をGT用に考えていることもエネルギー危機の折から注目される。

両海軍とも艦艇の稼働率を高く維持する為に、オーバーホール設備も含めたGT主機の後方支援体制を着々と固めている様でこの面からもGTの耐久性向上のほか艦内保守作業を少なくすることと主機換装を容易に行なえる設計が強く要求されている。

(昭和49年5月10日原稿受付)

その4 航空用ガスタービン

航技研 松木正勝, 高原北雄

'74年国際ガスタービン会議チューリッヒ大会の航空用ガスタービン関係の論文は下記の様に分類されていた。

AIRCRAFT ENGINE DEVELOPMENT -TS

- (1) V/STOL PROPULSION (4件)
- (2) COMPUTER AS AN ANALYTICAL DESIGN TOOL FOR PROPULSION DESIGN (8件)
- (3) JAPANESE PROPULSION TECHNOLOGY (5件)

今回のガスタービン会議での航空エンジン部門では特に注目すべき論文や製品展示がなかった。このことは、世界の航空エンジンが高推力の高バイパスエンジン以来、新しい型式のものがなく、その改良に力がそそがれていることによるように思われる。その中で日本の航空エンジン技術の進歩は高く評価され、第31 sessionで「日本の航空エンジン技術」の特別プログラムが組まれたことは注目に値する。この講演を通じて日本のターボファンエンジンの研究開発状況ならびにその基礎研究が急速な進展をみせていることに欧米諸国のみならず多くの国々の人達に大きな関心を持っていることがうかがえた。こ

の中で著者らは下記の講演を行なった。

- (1) Recent Status on Development of the Turbo-fan Engine in Japan. (松木, 鳥崎, 宮沢)
- (2) High Temperature Turbine Researches in National Aerospace Laboratory. (高原, 蓑田, 能瀬, 吉田, 佐々木, 山本, 坂田)
- (3) Real Time Simulation of Jet Engine with Digital Computer. (西尾, 杉山)
- (4) Design and Experimental Studies of Turbine Cooling. (広木, 勝又)
- (5) Untwist of Rotating blade. (大塚)

この sessionは最終日にもかかわらず、多数の参加者があり、各研究発表に対して多数の質問があり質疑応答が活潑に行なわれた。この討論から得られた情報は次の通りであった。

- (1) 我国で研究開発を進めているFJR710/10 エンジンが、設計開始後1年10ヶ月で運転に成功し、5時間の運転で設計点性能を得たことに対して強い関心が示された。多くの人が驚いていた。
- (2) 高性能のコアエンジンに1段のファンと

GTであるが、何れも実艦とう載と前後して相当長時間の耐久試験や衝撃試験が行なわれ、これらの試験を通じて逐次改良が加えられている。特にLM2500に対して行なわれた諸試験 (Qualification Tests) の項目を見ると、艦艇用主機と云えども航空機並みの信頼性が追求されていることがよく判る。その上更に念を入れて、カラハン号のLM2500で10000時間に及ぶHeavy Distillate Fuelの使用、海軍艦艇をシミュレートした機関操作としてひんばんな力度変化を含む運転を行なっている。

両海軍とも今後の新造艦艇には航空転用GTをとう載することに行なっている様だが、特に米海軍は第2世代のGTを、タービン入口温度1093

℃以上、SFC181 gr/HP-HR以下と定義し、LM2500をその第1号として今後はこの条件を満すGTを開発していく方針を明かにしている。艦艇と云えども経済性が重視されている訳で、米海軍が石炭からの蒸溜油をGT用に考えていることもエネルギー危機の折から注目される。

両海軍とも艦艇の稼働率を高く維持する為に、オーバーホール設備も含めたGT主機の後方支援体制を着々と固めている様でこの面からもGTの耐久性向上のほか艦内保守作業を少なくすることと主機換装を容易に行なえる設計が強く要求されている。

(昭和49年5月10日原稿受付)

その4 航空用ガスタービン

航技研 松木正勝, 高原北雄

'74年国際ガスタービン会議チューリッヒ大会の航空用ガスタービン関係の論文は下記の様に分類されていた。

AIRCRAFT ENGINE DEVELOPMENT -TS

- (1) V/STOL PROPULSION (4件)
- (2) COMPUTER AS AN ANALYTICAL DESIGN TOOL FOR PROPULSION DESIGN (8件)
- (3) JAPANESE PROPULSION TECHNOLOGY (5件)

今回のガスタービン会議での航空エンジン部門では特に注目すべき論文や製品展示がなかった。このことは、世界の航空エンジンが高推力の高バイパスエンジン以来、新しい型式のものがなく、その改良に力がそそがれていることによるように思われる。その中で日本の航空エンジン技術の進歩は高く評価され、第31 sessionで「日本の航空エンジン技術」の特別プログラムが組まれたことは注目に値する。この講演を通じて日本のターボファンエンジンの研究開発状況ならびにその基礎研究が急速な進展をみせていることに欧米諸国のみならず多くの国々の人達に大きな関心を持っていることがうかがえた。こ

の中で著者らは下記の講演を行なった。

- (1) Recent Status on Development of the Turbo-fan Engine in Japan. (松木, 鳥崎, 宮沢)
- (2) High Temperature Turbine Researches in National Aerospace Laboratory. (高原, 蓑田, 能瀬, 吉田, 佐々木, 山本, 坂田)
- (3) Real Time Simulation of Jet Engine with Digital Computer. (西尾, 杉山)
- (4) Design and Experimental Studies of Turbine Cooling. (広木, 勝又)
- (5) Untwist of Rotating blade. (大塚)

この sessionは最終日にもかかわらず、多数の参加者があり、各研究発表に対して多数の質問があり質疑応答が活潑に行なわれた。この討論から得られた情報は次の通りであった。

- (1) 我国で研究開発を進めているFJR710/10 エンジンが、設計開始後1年10ヶ月で運転に成功し、5時間の運転で設計点性能を得たことに対して強い関心が示された。多くの人が驚いていた。
- (2) 高性能のコアエンジンに1段のファンと

4段の低圧タービンを組合せた FJR710 エンジンの型式について最も安全度の高い開発方式として評価を受けた。

(3) ファン部と高圧々縮機の結合方法としてエンジン加速時のバイパス比を自動的に流量マッチングする機構を採用したことにより、サージングの危険が少ないことが高く評価された。

(4) エンジンの振動については設計段階で、共振点の予測を行ない、ダンパー軸受を設け、試運転時に振動による不具合がなく、設計点性能に達したことに興味を示した。

(5) 冷却タービンでは米英ですでにフィルム冷却が実用化されているが、その現象が非常に複雑でまだ十分に満足すべき成果を得られず、多くの努力がなされており、日本もその水準に近づきつつあると考えられた。

(6) 特許出願してある冷却タービン用精鋳翼の構造について素材メーカーからもエンジンメーカーからも質問があり、大きな関心を集めた。

(7) タービン翼の冷却方法として対流冷却とフィルム冷却が実用されているが、実験値として、対流冷却の方が冷却効果が高い結果となったことに疑問が出され今後両者で検討を加えることにした。

(8) 回転翼の振れについては翼根部の応力の計算方法について質問があった。

この他に“V/STOL Propulsion”の Session では V/STOL 機のエンジン装着について騒音、重量、経済性、等についての考察も含めて検討した論文がボーイング社から報告されていた。又、ガスタービン駆動ヘリコプタの振れ安定性問題を取り扱った論文や、推力増強を考えた管内エジェクターの skewed flow 問題を取り上げた論文があった。なお“Computer as an analytical design tool for propulsion design”の Session では二三興味を引く論文があった。最近エンジン設計が非常に複雑になり膨大な計算を短期間にする必要が起って来ているため電子計算機を利用した自動計算プログラムの開発が精力的に進められて

いる。特にプラットアンドホイットニー社では冷却タービンの設計を“turbine layout”

“aerofoil design”と“cooling system design”の各種の subroutine を組合せた自動設計プログラムの開発を完了しその成果を報告していた。又 N.G.T.E でもタービン翼の自動設計プログラムを開発しその報告があった。その他にアナログ計算機を用いた非定常エンジン性能の解析を行なったものも報告されていた。

その他に“Airplane Engine Developments”の Session に発表されたものではないが“冷却タービンの問題”と“エンジンシミュレーションの問題”について航空エンジンと密接な関係にあると思われるのでここに記しておく。

冷却タービンの問題

この問題に関連して“Heat Transfer and Film Cooling”という Session があった。現在冷却タービンの問題は世界的に対流冷却方式よりフィルム冷却方式の研究が主流であり“円孔から垂直に噴き出した時の熱伝達の問題、”タービン翼の様な曲面上にフィルム冷却を行なった時の影響”、“熱伝達率を求めめるために shock tube を用いる方法”などについての報告があった。

エンジンシミュレーションの問題

エンジンシミュレーションとしてアナログ、デジタル、ハイブリッド計算機を用いた場合の特徴についての論文があった。この他アナログ計算機、デジタル計算機を用いた特徴のある報告が二、三なされていたが、エンジン制御に利用出来る実時間処理の出来るデジタル計算によるシミュレーションも今後精力的に進められると考えられた。

ガスタービンの製品展示は航空機用というものはほとんどみあたらなかったがプラットアンドホイットニー社がロールスロイス社と共同開発を行なっているペガサス V/STOL エンジンの 1/5 モデルの展示を行ない実用中のハリヤー航空機の運行を映写していた。

(昭和49年5月10日原稿受付)

その5 車両用及び小型ガスタービン

(株)小松製作所 高瀬謙次郎 平木彦三郎

FORD社の707, 710エンジン開発中止のインパクトは大きく、車両用ガスタービンの各社の量産時期は76年より後退したようである。そのためこの関係のプロダクトショーは寂しく、僅かにGM社のエンジンがGreyhoundバス“Americruiser”に搭載され展示されたのみである。このバスはヨーロッパのデモンストレーションを終り次第、ダラス—サンフランシスコ間の運行に使われるとのこと、保守の容易、低騒音などが特徴とされている。

小型ガスタービンとしては、米のGarret社, Energy Trans.社, 英のLucas社, 仏のMicro Turbo社がAPU, 小型発電機等々を展示した。Micro TurboはMirage, Concorde用のAPUエンジンの他に、固定式熱交換器付45kW発電用エンジンを紹介したが、このエンジンはタービン入口温度780℃, 圧力比2.9, 熱交換器効率72%で燃費は400gr/ps.h程度である。

車両用エンジン燃料コントローラの出品は盛んでUEL, Lucas, Woodward, Continental Controlsがそろって出品していた。UELはスウェーデン戦車用エンジン(旧キャタピラー社の5310エンジン, 現在ベルギーで作っている)をそのコントローラとともに紹介した。UEL社はアナログとデジタルをハイブリッドにした“Programable Analogue Control”を紹介し注目された。これはセンサーからの信号はアナログのまま処理し、デジタル制御の場合、高コストであったA-D変換部分が省略された。

Advanced Material Engg.とAmerican Lava Corpがセラミックの固定式, 回転式熱交換器のコアを出品した。Precision CastpartsはTitaniumの小型Cast Impellerを展示した。

車両関係のTechnical Sessionでは全体で17の論文が発表された。

British Leylandが2S/350/Rについ

てエンジン, ターボマシン, 熱交換器の3つの論文を発表した。回転式熱交換器がMK1型ではエンジンの両側にディスクを設けていたが、MK2型ではディスクを1ケのみにしてエンジンの上部に設ける様に改造した。信頼性, 保守性の向上, 価格の低減をねらっている。出力については350psより400psにアップしたが、設計点の燃費は195gr/ps.hと以前と同様にしている。特に熱交換器の材料問題解決, 寿命向上, 価格低減に主力をおいている。コンプレッサーは後退翼車を用いて高効率, 広い作動範囲の性能を得ている。パワータービンの効率向上, 振動問題解決に開発の余地が残っているようである。

フォルクスワーゲンはVW-GT70をマイクログラス, 乗用車に搭載し, ガソリンエンジンの性能と比較している。この75psのタービンエンジンは定格点燃費が295gr/ps.hで, 100マイルの種々の運転サイクルの結果ではガソリン車に比して総合燃費はすこぶる悪い。騒音はガソリン車に比し室内では6~7dBだけ低いが室外では低速時に8dB高い。排気特性は76年規制値をすでに満足しているが, 77年の規制を満足するには至っていない。

NRECは100psから500psの低コストエンジンの設計を発表した。シンプルサイクル2軸タービンで馬力あたり5ドル以下をねらっている。燃費は315gr/ps.h, 熱交換器をつけた場合, 180gr/ps.hと称している。

ETHのBerchtoldらはシンプルサイクルタービンと圧力変換サイクル器を組み合わせた100kWの特殊エンジンを発表した。ガスタービンは低コストのターボ過給機と最近実用化に近づいたComprex過給機とを組み合わせた100kW出力のエンジンを設計したものでガソリンエンジンなみの燃費をねらったものである。

ガスタービン用トランスミッションについて2つの発表があった。1つはDana Corp.が

発表したもので、2軸式ガスタービンに6段の機械式トランスミッションを接続した場合の報告で、2軸式タービンの良トルク特性によりトランスミッション側の簡略化と高効率、高信頼性が得られたとしている。他の1つはTracorのToroidal Traction Drive(無段変速機)で、内部にフライフィールをもち余分なエネルギーをここに貯える様になっている。この結果フ

ライフィールをもった100 psの1軸エンジンは普通の160 psのエンジンより良い加速性能が得られることをシミュレーション結果で示した。

日本よりは鉄道車両用ガスタービン(石川島播磨)、乗用車用エンジンのベアリング(トヨタ)、ダンプトラック用燃料コントロール(小松)の紹介がなされた。

(昭和49年5月8日原稿受付)

その6 原子力ガスタービン

防衛大学校機械工学教室 井口 泉

スイスは密閉サイクルガスタービン発祥の地であり、現在アメリカと並んでスイス、ドイツで原子力ガスタービン(直接サイクル)の開発を熱心に進めており、今回のチューリヒ大会ではこの論文発表が多いものと想像され、またNews Letterにもそのようなことが述べてあったので期待して出かけたわけであるが、発表論文はドイツ6、スイス3、アメリカ3、合計12でそれぞれの国の開発現状にふさわしいものと思われた。(4~5年前のようなイギリスのロールスロイスの発表がなかったのは淋しかった。)セッション数3で1日半にわたり聴講者は各セッション100~120名で適度に質疑応答もあり盛会であった。最初のセッションは密閉サイクルの創始者C. Keller博士司会で開始、また彼の師で80才ときくAckeret老教授一密閉サイクルはこの両氏の頭文字をとってAKサイクルともいう一も会場の最前列に、またその隣にドイツ、ハノーベル大学Bammer教授一ドイツの密閉サイクルガスタービンに就いて精力的に多数の論文を発表し、今回の上記ドイツ6論文もすべて彼との共著になっている一が着席した。また小形密閉サイクルの開発者アメリカFort BelvoirのManning氏、Mobile Nuclear Gas Turbine Project - 15 Yearsと題する口頭報告を行なったCrim氏の顔もみられた。

次に各講演の概要をお伝えしよう。

先ず74-GT-104はGGAの概念設計

であってAECの支持とGE, Pratt & Whittney, BSTの協力を得たという。出力は3000 MWt, 1078 MWe(815°C, 69 bar)で、これを4個のloopsに別けPCR V側壁のvertical cavitiesに收容したintegrated multi-loopsである点は従来の発表と変りないが、1972年の発表(72-WA/NE-8)では出力タービン(横置)を持つ2軸形式であったものが、今回は構造簡単で信頼性、制御性等の理由から1軸形式となり立形発電機直結に変更された。またタービン、圧縮機の高圧側が上下両端に来る設計であったが、両軸受を低圧側に置く方が有利であるという理由から高圧側が中央部に来るよう改善された。中間冷却器は採用せず、前置冷却器の冷却は乾式冷却塔によっていることは従来の発表通りであるが、水漏れに対し検出装置や保護装置(サージタンク、切換弁)を設け、漏れ管には炉外から止栓ができる等一步詳しい検討が進んでいる。今回の発表では制御にも触れ、炉、冷却塔や建屋等の全体配置図も示されたが、これは蒸気サイクル(間接サイクル)と似ている。また冷却水使用可能ならば湿式冷却塔を採用し、インブタン、プロパン等のサイクルと組合せれば出力1440 MWe, 効率49%が得られる。

以上のようにアメリカGGAのdesign policyは、①効率は多少ぎせいにしても簡潔な構造とする。乾式冷却とも関連して中間冷却は行なわない。②保守を容易にす

発表したもので、2軸式ガスタービンに6段の機械式トランスミッションを接続した場合の報告で、2軸式タービンの良トルク特性によりトランスミッション側の簡略化と高効率、高信頼性が得られたとしている。他の1つはTracorのToroidal Traction Drive（無段変速機）で、内部にフライフィールをもち余分なエネルギーをここに貯える様になっている。この結果フ

ライフィールをもった100 psの1軸エンジンは普通の160 psのエンジンより良い加速性能が得られることをシミュレーション結果で示した。

日本よりは鉄道車両用ガスタービン（石川島播磨）、乗用車用エンジンのベアリング（トヨタ）、ダンプトラック用燃料コントロール（小松）の紹介がなされた。

（昭和49年5月8日原稿受付）

その6 原子力ガスタービン

防衛大学校機械工学教室 井口 泉

スイスは密閉サイクルガスタービン発祥の地であり、現在アメリカと並んでスイス、ドイツで原子力ガスタービン（直接サイクル）の開発を熱心に進めており、今回のチューリヒ大会ではこの論文発表が多いものと想像され、またNews Letterにもそのようなことが述べてあったので期待して出かけたわけであるが、発表論文はドイツ6、スイス3、アメリカ3、合計12でそれぞれの国の開発現状にふさわしいものと思われた。（4～5年前のようなイギリスのロールスロイスの発表がなかったのは淋しかった。）セッション数3で1日半にわたり聴講者は各セッション100～120名で適度に質疑応答もあり盛会であった。最初のセッションは密閉サイクルの創始者C. Keller博士司会で開始、また彼の師で80才ときくAckeret老教授—密閉サイクルはこの両氏の頭文字をとってAKサイクルともいう—も会場の最前列に、またその隣にドイツ、ハノーベル大学Bammer教授—ドイツの密閉サイクルガスタービンに就いて精力的に多数の論文を発表し、今回の上記ドイツ6論文もすべて彼との共著になっている—が着席した。また小形密閉サイクルの開発者アメリカFort BelvoirのManning氏、Mobile Nuclear Gas Turbine Project—15 Yearsと題する口頭報告を行なったCrim氏の顔もみられた。

次に各講演の概要をお伝えしよう。

先ず74-GT-104はGGAの概念設計

であってAECの支持とGE, Pratt & Whittney, BSTの協力を得たという。出力は3000 MWt, 1078 MWe（815℃, 69 bar）で、これを4個のloopsに別けPCR V側壁のvertical cavitiesに收容したintegrated multi-loopsである点は従来の発表と変りないが、1972年の発表（72-WA/NE-8）では出力タービン（横置）を持つ2軸形式であったものが、今回は構造簡単で信頼性、制御性等の理由から1軸形式となり立形発電機直結に変更された。またタービン、圧縮機の高圧側が上下両端に来る設計であったが、両軸受を低圧側に置く方が有利であるという理由から高圧側が中央部に来るよう改善された。中間冷却器は採用せず、前置冷却器の冷却は乾式冷却塔によっていることは従来の発表通りであるが、水漏れに対し検出装置や保護装置（サージタンク、切換弁）を設け、漏れ管には炉外から止栓ができる等一步詳しい検討が進んでいる。今回の発表では制御にも触れ、炉、冷却塔や建屋等の全体配置図も示されたが、これは蒸気サイクル（間接サイクル）と似ている。また冷却水使用可能ならば湿式冷却塔を採用し、インブタン、プロパン等のサイクルと組合せれば出力1440 MWe、効率49%が得られる。

以上のようにアメリカGGAのdesign policyは、①効率は多少ぎせいにしても簡潔な構造とする。乾式冷却とも関連して中間冷却は行なわない。②保守を容易にす

る (Maintainability) すなわちジェットエンジンのそのように turbogroup は工場ですべて組立を行ない、修理は炉から取り出し現地とは別の処で行なう。現地の据付、取外し作業はできるだけ簡単化する。従って小形で取扱容易、輸送も容易なこと。③安全、信頼性を重視し設計は conservative、タービン材料も現用の Ni 基合金とし HTGR、タービン共現在確認済の技術による。このような design policy から前述のような 250 MW, 4 loops, 立形, 1 軸, 中間冷却なしの turbomachinery となった。将来さらに大出力のものに対しては, HTGR の炉心を大きくしそれに応じて loop 数を増加すれば目的を達成できる。multi-loops なので非常冷却も容易である。さらに原形炉として、炉は蒸気サイクルの物をそのまま用いるので問題ないが, turbomachinery, 熱交換器, 弁や全体の制御等に対しては, 1 loop 250 MW の実物 (full scale) を製作して, 原子炉の代わりに化石燃料による He 加熱器で温度を上げ, 主として立軸ローター系の動的な問題や推力軸受等を試験することになる。

これに対しドイツ, スイスの design policy は①高効率に重点をおく。従って中間冷却を行ない single loop, 横形 1 軸式とする。turbomachinery に対する寸法制限が multi-loops に比べてゆるやかなので空力的に最適な設計ができる。②multi-loops に比べて single-loop は turbogroup, 補機, 電気系統を含めて低価格である。(しかし非常冷却システムまで考慮するとその特長は相殺されそうだ。)③ single loop であるから修理や点検のための停止を避けるよう信頼性を重視する。また原形炉としてドイツ HRB は 600 MW を計画している。(図 2 参照)

以上のように design policy に両者差異があるが, 高効率とか信頼性重視といってもお互いに相対的なものであろう。そこで基本的設計諸元を同一にとり, すなわち 1000 MWe, 850℃, 70 bar にとり, また安全性および設置認可の点から integrated 形式として, 上記の両 policy に従いそれぞれの turboma-

chinery に対して比較設計を BST において行なったものが 74-GT-123 である。ただし GGA のものは 60 Hz (3600 rpm) BST のものは 50 Hz (3000 rpm) としてある。このサイクルの相違が multi-loops と single-loop に別かれた主要原因と考えられる。なお BST と GGA ならびに BBC,

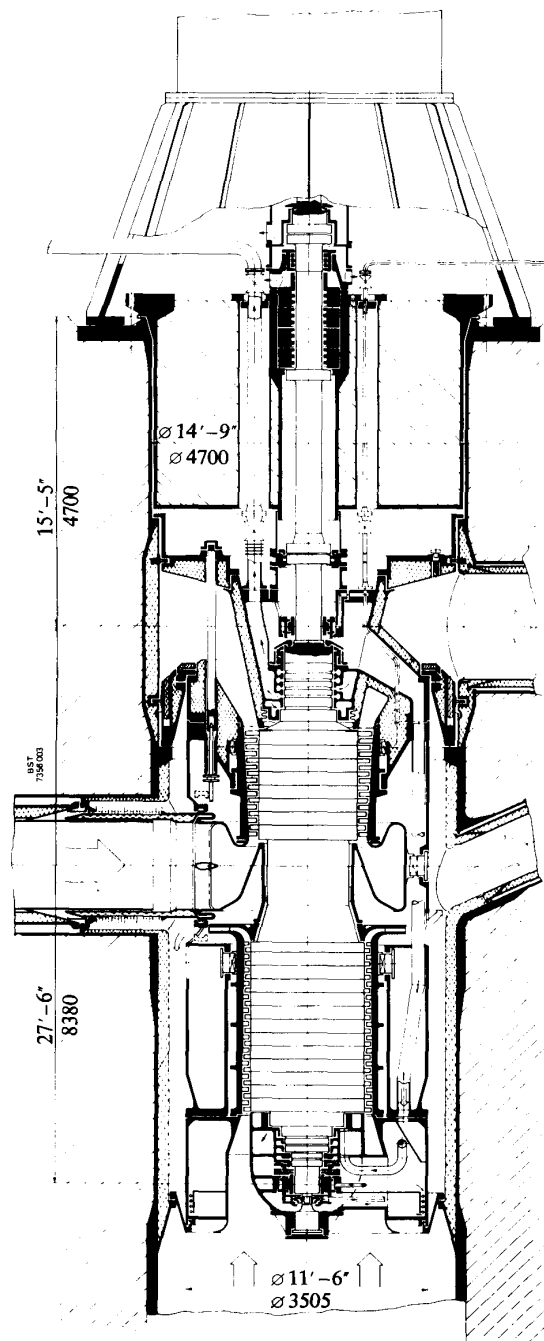


図1 GGA立軸ガスタービン

HRB, KFA Juelich, NUKEMの間にそれぞれ co-operation agreement が結ばれており、それらに対して BST でこの比較設計を行った。

この比較設計を概観すると、まず GGA 立軸では圧縮機の内外径比が極めて大きく翼が短かいのは段数を低減して所定の cavity に収めるための処置で、従って相対的の先端すき間が大となり効率が低下している。またタービン翼材はインコネル 713 LC で、その他組立図に軸受潤滑機構、軸封や配管等が具体的に示してある。(図1参照) BST 横軸のものでは単車室、2軸受で全長が短くなっていることが従来の発表と著しく異なる。タービン翼は無冷却で Mo 合金 TZM を利用している。冷却翼とすれば 2000 MWe まで可能という。本 turbogroup は頑丈な構造 (heavy type) となっており全重量 600 トンで、炉心下部の cavity に据付けるものでローラー装置によって運び込む。本機の周囲特に両端軸受の部分は十分な空間をとってあり、軸封によって機内の汚染された He と絶縁されているので、ここに人が入って点検、簡単な修理や配管の接合が行

なえるようになっている。(図2参照)

従来の発表に比べて今回の発表では上述のように構造までかなり具体的になっており、それだけ検討が進捗したものと思われる。

前述のようにドイツでは原形炉 600 MW を考えているが、これに至る段階として、KFA Juelich に設置中の HHV は 1976 年試験開始の予定で、主要各部の試験を炉と同じ条件で行なうものである。この HHV についても従来に比べて詳しい発表があった。(74-GT-123)

なおドイツの EVO では 1960 年来密閉サイクルタービン(流体は空気)を好成績裡に実用しているが、同地方の電力、熱供給の需要が増したので、さらに密閉サイクル 50 MW 熱併給プラントを増設することに決めたが、原子力用 He タービンの実プラントによる試験や製造実績の必要を痛感し、ドイツ HHT 計画の一環として政府の資金援助を受け同機の作動流体を He によることにした。本プロジェクトは EVO, GHH, ハノーベル大学三者一体となって当り、据付後の広汎な試験計画も組まれており運転開始は 1974 年後半という。製造は GHH。本

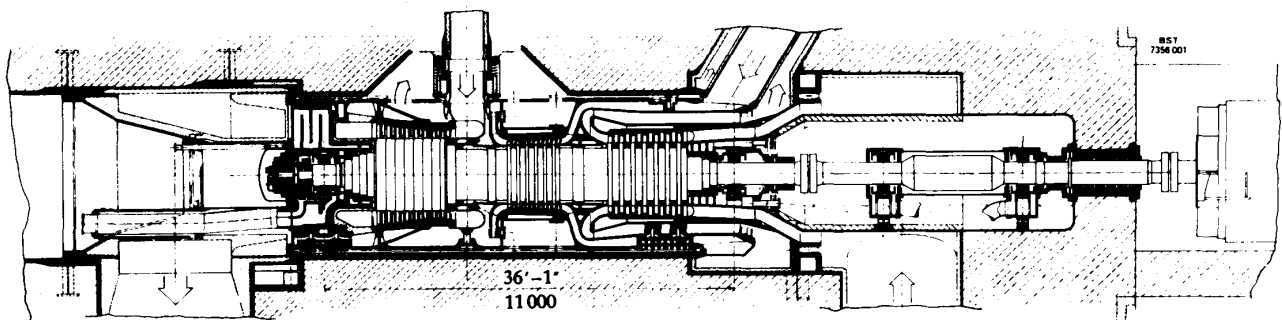


図2 BST横軸ガスタービン

プラントは化石燃料による加熱で加熱器は Sulzer 製。以上のように本機は商業用であると同時に将来の原子力用の試験機をも兼ね、世界最初の He タービンとして注目されるところであって詳細な発表があった。(全般に関しては GHH 発表の 74-GT-132 および 74-GT-7, 運転制御についてはハノーベル大学の 74-GT-13) 本プラントの turbogroup

は圧力、温度を適当に選定し、低圧タービンの大きさや高圧タービンの遠心応力は原子力 300 MWe のそれにはほぼ等しい値となっている。

He の音速は高いので圧縮機は 100% 反動度を採用している。原子力タービンはまだ実績がないので Products show には実物の展示はなかったが、GHH のブースでは上記 50 MW の製造中の写真が多数展示されていた(図3参照)

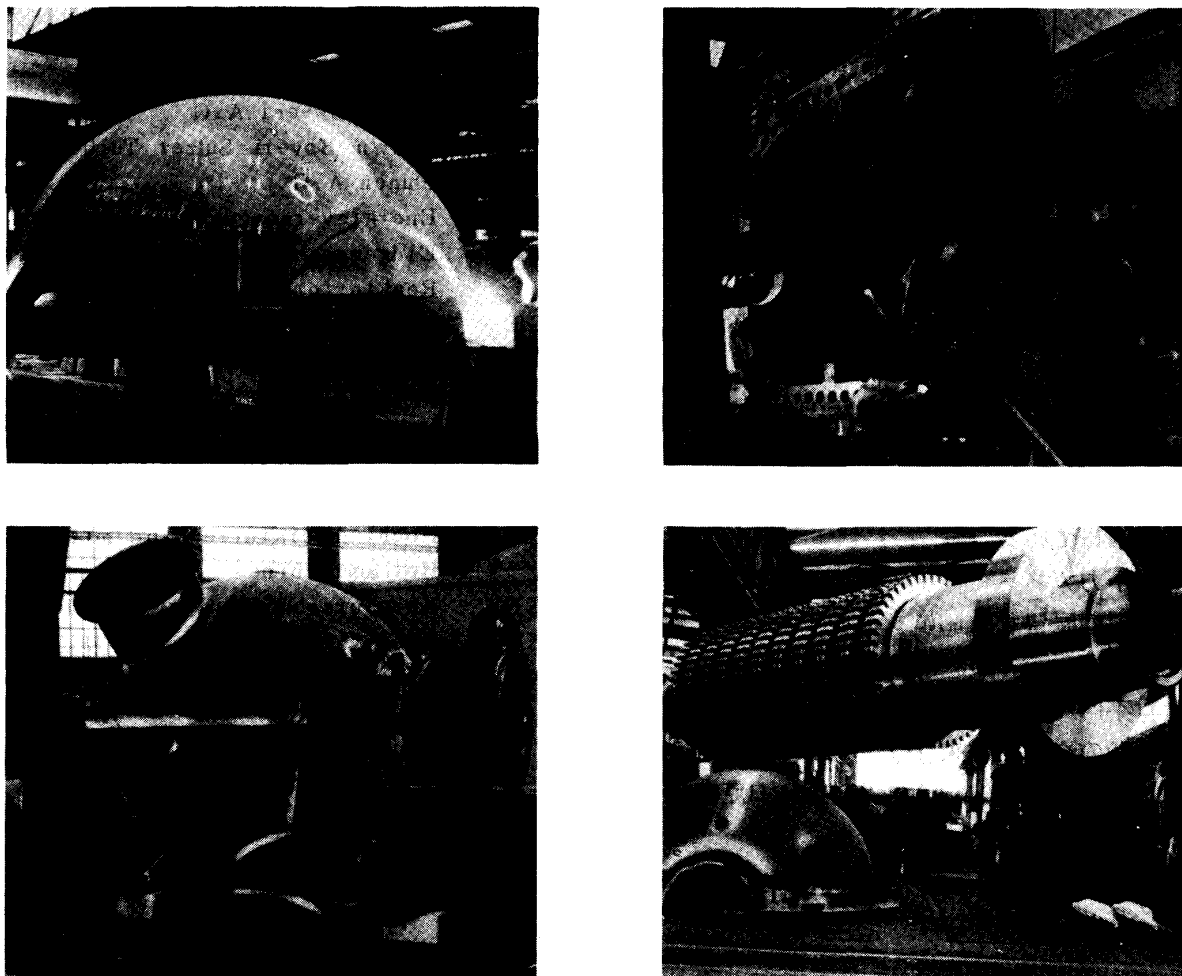


図3 50 MW GHH He タービン

Griepentrog氏が説明員としていたので同行の渡部教授と質疑応答したところ講演内容以上の収穫はなかったが、ケーシング水平接手よりのHeの漏れに対してはシール溶接を行なっているとのことであった。チューリヒ大会の展示には申込が多く会場のKongresshausだけでは不足となりチューリヒ湖の遊覧船2隻を湖岸にけいりゅうして会場に当てていた。GHHのブースは船内にあった。

74-GT-140はドイツKWUの1000 MWe 試設計の発表でPCR V内炉心下部に設置するためcompactになるよう横形、1軸、2軸受、単車室で前述のBSTのものに似ている。これを実現するにはMo合金の諸性質とロータの安定問題をさらに詳しく研究する要があるとしている。

74-GT-129はManning氏(アメリ

カ環境庁) Stone氏(アメリカ内務省)の共著で、多数の統計や法令を引用して現在のような電力需要が続けば2000年にはアメリカ河水はすべて電力用に使用されることになる。温水公害を防ぐには出力をぎせいにすることなく乾式冷却の利用できる密閉サイクル(化石燃料、原子力)以外に道はない。原子力ガスタービンが実用になるには8~10年を要するというが、これは政府や工業界の熱意が不足しているからで、もっと努力を払うべきだと述べている。ただしこれは著者の個人的意見で公的なものではない由である。

74-GT-124はGHHの発表で作動流体として純HeよりもこれにNe, N₂, CO₂を混合したものの方が機器価格の点で有利であることを計算によって示した。

74-GT-60はハノーベル大学の発表で

炉とタービンとの間の主ガス管に破損事故が発生した場合タービンに逆流現象がおこる。この研究の第一歩として翼列による実験を行ない流出角，損失係数を求めた。

74-GT-61はスイスEIRの発表でGCFRの主ガス管が破損した場合の動的現象を計算している。

74-GT-88はBSTの発表で負荷遮断，負荷変動や急停止の場合，圧縮機がサージングに入ることなく安定な経過をたどるための計算を行ない，圧縮機特性曲線として低圧では急傾斜，高圧では平たんなものを選定するのがよいことを示している。

(原子力ガスタービンに関する1973年半ば頃までの展望を下記にまとめておいた。御参考になれば幸である。

日本内燃機関連連合会発行「日本における燃焼機関の発達と将来」)

(昭和49年5月14日原稿受付)

備考

AEC	Atomic Energy Commission
BBC	Brown Boveri A.G
BST	Brown Boveri-Sulzer Turbomaschinen A.G.
EVO	Energieversorgung Oberhausen
EIR	Eidgenoessisches Institut fuer Reaktorforschung
GE	General Electric Co.
GGA	Gulf General Atomic
GHH	Gutehoffnungshuette, Sterkrade
HRB	Hochtemperatur-Reaktorbau GmbH
HHV	Hochtemperatur-Heliumversuchsanlage
HHT	Hochtemperaturreaktor mit Heliumturbine
KFA	Kernforschungsanlage, Juelich
KWU	Kraftwerk Union
NUKEM	Nuklear-Chemie-und Metallurgie GmbH

(21頁より)

チタニウム合金の溶接

文献

- (1) 照井, 金属材料, 8-11, (1968) 14~19
- (2) 新, 溶接学会誌, 38-9, (1969) 991~1005
- (3) 後藤, 機械の研究, 22-11 (1970) 1511~1516
- (4) 溶接協会, 溶接技術, 22-2 (1974) 75~79
- (5) 岡田, 非鉄金属・非金属の溶接, 溶接技術講座 5巻 (38-10) 120, 132, 日刊工業新聞社
- (6) 和田, 軽金属溶接, 67 (1968-7), 316~326
- (7) ACTA METALLURGICA, 10-2 (1962) 123~326
- (8) Holby E., WELDING ENGINEER April (1969) 108~112
- (9) ALBERTIN L., WELDING JOURNAL SEPTEMBER (1970) 710~716
- (10) VAGI J. J., NASA TECHNICAL MEMO., NASA-TMX-53432
- (11) BEEMER, WELDING JOURNAL, MARCH (1970) 89S-92S
- (12) WRIGHT R., WELDING ENGINEER, NOVEMBER (1970) 51~56
- (13) 木村, 三菱重工技報, 8-6 (1971) 47-56
- (14) 大隅, 日本航空宇宙学会誌, 20-224 (1972) 516~524
- (15) 藤井, チタニウム・ジルコニウム, 20~3 (1972) 158~160
- (16) REHDER R. J., WELDING JOURNAL, MAY (1970) 213S~218S

第2回エアブリージングエンジン 国際シンポジウムに出席して

九州大学工学部 難波昌伸

1974年3月25日～29日の5日間、英国シェフィールド大学にて第2回エアブリージングエンジン国際シンポジウムが開かれ、筆者はセッションの副座長として出席し、また日本の Correspondence member でもあるので、簡単にその内容と雰囲気をお伝えしたい。

先ず本シンポジウムは必ずしも周知ではないと思われるのでその成り立ちを述べる。第1回は1972年6月末にフランスのマルセーユで、本シンポジウムの委員会 (International Air Breathing Propulsion Committee, 略して IABPC) とフランス航空宇宙学会およびフランス機械学会の共催で行なわれ、参加者約150名、論文数42 (仏11, 英10, 米8, 独6, オーストラリア2, 日本, ソビエト, カナダ, スウェーデン, ベルギー各1) であった。このシンポジウムの主旨は、『国際的かつ学際的範囲において、航空宇宙に应用されるエアブリージングエンジンの発展を促進することに全世界の専門家が参与することを喚起すること』となっていて、実質上はターボジェット、ターボファン、ラムジェットエンジン等に関する諸問題を対象としている。

今回は IABPC に加えて、ICAS (International Council of the Aeronautical Science) および開催国の英国航空学会が共催者となったが、ICAS は今後もスポンサーを続けることになっている。今回の予約登録者は189名、論文数47編であり、その内訳は、英81 (12), 独26 (5), 米24 (14), 仏13 (6), 日10 (1), スウェーデン5, 中国5, ソ連4 (2), カナダ4 (1), スペイン3, イラク2, エジプト2, オーストラリア2 (2), インド1 (2), イタリア1 (1), ポルトガル1 (1), ベルギー1, ノールウェー1, ユーゴスラビヤ1となっている。ただし () 内は論

文数である。今回は関連の深い国際ガスタービン会議がチューリッヒでこの直後に行なわれたため、かけもちの出席者が多かったようである。参加者内訳を見てもわかるように、このシンポジウムは小規模ではあるが国際色が豊かで、特に C. H. Wu 教授を含む5人の中国人が出席したことが注目をひいた。また講演は1編あたり討論を含めて35分が割当てられて一室でのみ行なわれ、したがって常時100人を越える聴視者がいたことも本シンポジウムの特徴の一つである。

セッション1では運転実績と将来の要求が扱われ、7編 (米4, 英2, インド1) の論文が発表され、GEのCF6-6エンジンの開発の回顧や、水素をターボジェットエンジンの燃料とした場合の技術上、経済上および環境上の問題点に関する考察などがあつた。

超音速および極超音速飛行用エンジンと題するセッション2では8編 (米3, ソ連2, 独1, 仏1, カナダ1) が読まれ、スペースシャトル用エンジンとしてのラムジェットとロケットの組合せの技術上の問題が米、ソ連から発表され国情を反映していた。

セッション3はエンジンと機体との組合せと題し10編 (英3, 米2, 独2, 仏2, 日1) が発表された。ここでは飛行状態と空気取入口内非一様流れの関係、インレットディストーションとファンおよび圧縮機との干渉の問題が大勢を占め、日本からの唯一の論文である東大の谷田教授の論文もそのうちの一つである。

要素設計と開発と題するセッション4では15編 (米4, 英3, 独2, 仏2, オーストラリア2, インド1, ポルトガル1) が発表された。ここでは、GEからCF6エンジンのファン部分の設計の由来、ロールスロイスからRB211エンジンの燃焼器の開発の回顧の他に、

タービン冷却, 燃焼器の冷却の問題などがとりあげられた。

セッション5は制御と計測と題され, 5編(英3, 米1, イタリア1)が読まれ, ロールスロイスからの航空エンジンシステムの数値制御, エンジンロータの観測データのテレメータシステムなどが含まれている。

セッション6は小型ガスタービンと題し, 英仏各1編が出され, 英国からはBS360ターボシャフトエンジンの開発の回顧が報告された。

一般的に言えば, 本シンポジウムでは開発研究の報告が多く, 基礎研究に近い論文は比較的少ない。しかしこれがかえって色々な分野の研究者および技術者から共通に関心を集める結果ともなり, 討論は概して活潑であった。参加者は製造会社や公的研究機関(NGTE, ONERA, SNECMA, NASA, DFVLR, など)からが多いが, 英独からは大学からの参加者も多い。今回の日本からの参加者は前回の1人に対して10人程度に増加したことは大変嬉しいことであったが, 今後は論文提出数も増加することを期待したい。

3日目の午後に半日の見学会が, ダービィのロールスロイス, シェフィールド大学の化学工学および燃焼の研究所, およびリーズ市のDoncasters Monk Bridgeの3班に分かれて催され, 筆者はロールスロイスの班に加わったが, 参加者に同業のGEや, ソ連および中国からの人々が含まれていることを意に介していないのも日本での事情と比較して感心したことがある。

シンポジウムの会場はシェフィールド大学の

学生寮の一つであるRanmoor Houseであったが, ここでは講演会のみならず, 単身参加者の宿泊(夫人同伴者は歩いて5分のホテル)および食事のすべてが行なわれ, したがって朝から晩まで同じ顔ぶれの出席者が顔を合わせることとなり, 自ずから互に知己を結び易い雰囲気が出来上った。また宿泊費は朝昼夕食および午前午後各1回のお茶を含めて1日5ポンド(約3,300円)という安さである。

英国が苦しい経済事情にもかかわらず, 国際会議において大変いきとどいた款待をすることは驚きに値することである。たとえば第1日目の晩はシェフィールド市長招待のレセプションが市中のCutlers Hallで公式の晩餐会の形式で登録者全員に対して行なわれたが, これには市が数千ポンドの支出をしたそうである。第2日の観劇, 第3日のナイトクラブに続き, 第4日の夜はシンポジウムの晩餐会(参加費約3,000円)が郊外の元貴族の屋敷であるEckington Hallで催され, エリザベス王朝時代風の雰囲気と食事に参加者を大変楽しませた。

さて第3日夕方に各国代表が出席して行なわれたビジネスセッションにおいて, 今回のシンポジウムの反省が行なわれ, 今後も2年ごとに同一主旨のもとに開催すること, 次回は1976年にドイツで行なわれることが決まった。なお1978年の開催国としては, ソ連とインドが名のりをあげている。

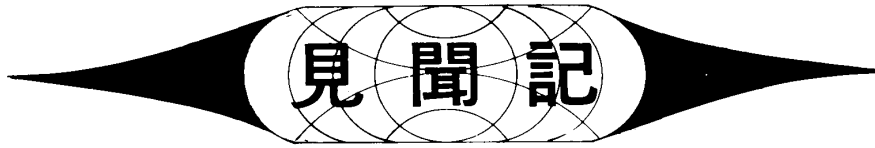
最後に我国の航空エンジン関係者の本シンポジウムに対する関心がさらに高まることを願望する次第である。

(昭和49年4月30日原稿受付)

GTCJ 講演論文集頒布のお知らせ

去る6月4日開催された日本ガスタービン会議第2回定期講演会は213名に昇る熱心な会員の皆様方の参加を得て盛況裡に終了致しました。

当日の講演論文集はなお若干の残部がございますので御希望の向きは料金1,800円(郵送料を含む)をそえて本会事務局に御申込み下さい。



BATH 大学 印象記

東京理科大学工学部 酒井俊道

Bath 大学は1966年に設立されたばかりの自然科学系の学科を主体とした大学で、その前身は Bristol の工業大学であり、そのまた前身は Bristol の船舶学校であり、学校の発展とともにその名称と所在場所を変え現在に至っている。私が机を置かせていただいた School of Engineering (われわれの概念での機械工学科) は F. J. Wallace 教授ほか32名の教員で構成されていた。

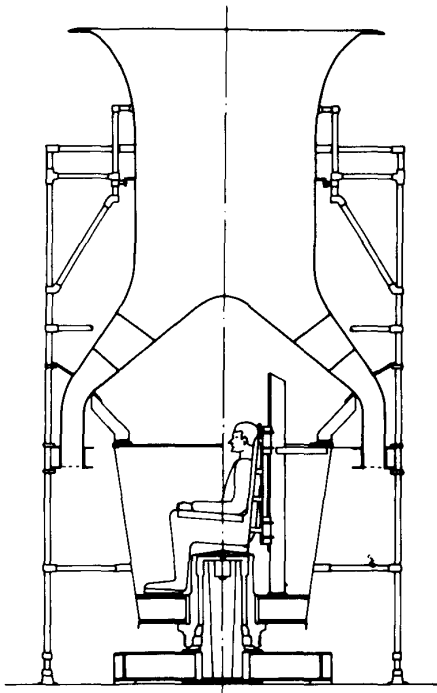
Wallace 教授は1972年9月に来日された際、ガスタービン会議の特別講演会(健保会館)で講演されたので御記憶の方も居られると思うが、ディーゼル機関の排気タービン過給機、ディーゼル機関と排気タービンを組合せた Differential Compound Engine などの研究を長年続けておられる方で、Wallace 教授のこれらの研究には5名ほどの教員、5名の research student (日本の大学院博士課程の学生に相当する) および数名の MSc (大学院修士課程) の学生が参加していた。私が関係していた斜流のターボ過給機は主として Dr. A. Whitfield (以前 Manchester 大学の R. Benson 教授のところで非定常流れの下でのラジアルタービンの研究をしていた) が担当していた。羽根車内の流れの理論解析に関しては、非粘性軸対称流れを仮定して子午面における流れを求め、これを基にして羽根面での速度、圧力分布を求めるという極く一般に行なわれている方法を用いており、理論的には斬新なものではなかったが、これを最適設計に結びつける段階での計算機による処理の方法および計算機に

よる製作図面の作図に関しては優れているように思われた。実験に関しては、小型ディーゼル機関の過給機を対象として羽根車外径10mm程度のもを使用している関係上、詳細な各要素の性能を試験するところまでは至っていなかった。

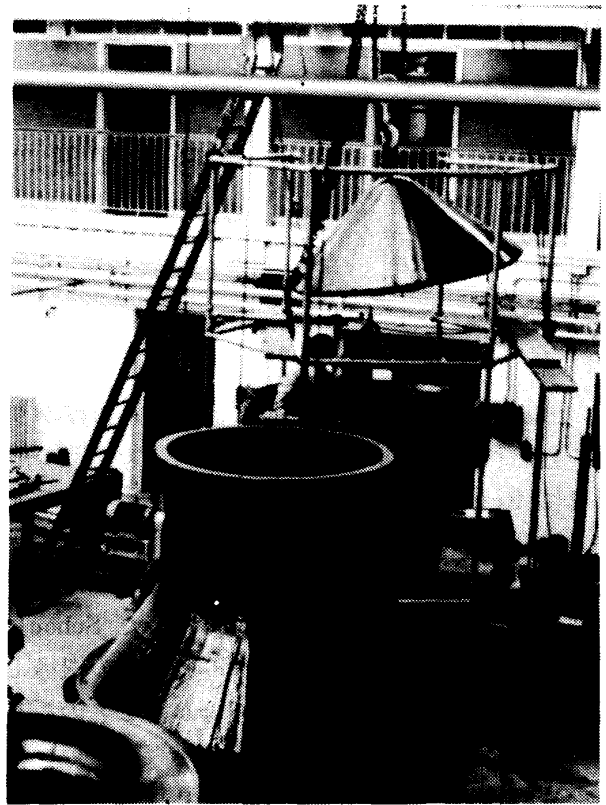
ところで、大学の教員の日課は、午前9時から仕事にかかり、午後5時頃帰宅するのが一般のようであったが、この間午前11時頃と午後3時頃には教員の談話室に集まり雑談をしながらお茶を飲む習慣があり、昼食後もお茶の時間をとるため、当初は大分のんびりしているという印象を受けた。しかし、活発な研究活動をしている教員のスケジュールは相当に緻密で、Wallace 教授はこのお茶の時間を種々の打ち合わせの場として利用していた。また research student は2年間(1年間の延長が認められるので実際は3年間)で論文をまとめなければならぬため、一刻を惜しんで研究と取り組んでいた。なお、英国における修士および博士論文の審査は、その大学の教授のみでは行なわれず全国の大学の関連研究分野での教授連により行なわれている。このため、Wallace 教授などは、論文の提出時期には20近い修士、博士論文を審査せねばならず、気の毒なくらいに多忙であった。

Bath 大学に滞在中、Manchester 大学の Benson 教授および Newcastle upon Tyne 大学の R. I. Lewis 教授を訪門する機会を得たが、Lewis 教授のところでは斜流プロアに関する非常におもしろい実験装置を見せていた

だいた。それは、図に示したように回転する斜流羽根車の回転軸に近いボス部に測定者が乗り、



MIXED FLOW FAN GENERAL ARRANGEMENT

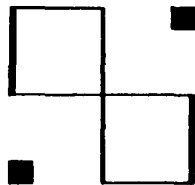


羽根車と共に回転しながら羽根車内の相対流れを測定するというもので、遠心羽根車に関しては同様な研究がすでにカナダの国立研究所で行なわれている。装置は写真に見られるように組立て中であらうが、実験は人体への危険も考えて80 rpm程度で行なう予定であると聞いた。しかし、この程度に大

きな装置を作ることが可能であれば、人間が羽根車に乗って測定しなくても遠隔操作による電氣的計測も可能であるようにも思われる。

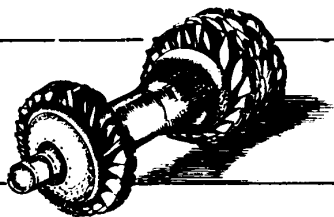
以上見学の機会を得た各大学共に実験研究にくらべて理論研究が盛んで、実験装置もドイツの大学などと較べて質素であり、この辺りにも英国の経済状態の反影が見られたように思う。

(昭和49年4月26日原稿受付)



報 告

日本ガスタービン会議



評 議 員 会 報 告

昭和49年5月14日(火)10時30分より12時迄、東京、機械振興会館65号会議室において日本ガスタービン会議評議員会が開催された。

まず、前半、第2期(第2回)評議員会が出席者25名、委任状提出者29名により開かれた。同会において第2期(昭和48年度)事業報告、同決算報告(別掲)が説明され、いずれも承認された。このうち同期の事業において、特別講演会、技術懇談会、見学会などみなそれぞれ盛会であったことが報告された。とくに第1回定期講演会では、各所で行なわれているガスタービンに関する研究・開発成果が報告され、発表講演論文26件、参加者215名と非常に多くの人々の関心を集めた。また初のGTCJセミナーも各方面の権威者を講師に招き今後のガスタービンの問題点を多角的に取上げたため好評であったことが報告された。そのほか統計作成委員会により我国の全ガスタービンの生産統計記録が作成されたことも第2期の成果の一つであった。個人会員数は第1期末では632名であったものが、第2期末で788名となり、本会議の規模が着実にのびていることが示された。決算については事務関係諸経費、印刷費などの高騰により、当初予算を大巾に上まわるなど非常に困難な経理状況であったが、各部門の努力により最終的に収支の均衡をとることができた。

さて、このあと引きつづき第3期(第1回)評議員会が出席者28名、委任状提出者29名により開かれ、第3期役員が別掲のように選出された。第3期会長としては東京大学、生産技術研究所、水町長生教授が選出された。同君は1971年国際ガスタービン会議東京大会組織および実行委員をはじめ、本会議第1期編集幹事(主担当)、第2期副会長として本会議の発展に終始、貢献されてきた。また、副会長としては、三井造船(株)、取締役 入江正彦技術本部長が選出された。同君もまた、1971年国際ガスタービン会議における組織、実行委員、本会議第1期、企画幹事(主担当)として活躍された。ついで、会則改正の件(会費に関する事項)が審議され、承認された。これは前期決算でも報告されたように、昨今の異状な物価、人件費高騰にともない、本会議の事務、出版諸事業などもこの影響を大きくうけ、本年度予算の編成上、これを無視することは非常に困難となった。慎重に検討を



続けてきたが、運営経費の大半を会費に依存する本会議としては止むなく個人、維持会費の値上げをせざるを得なくなった事情が説明された(これにともない、会則の関連条項を改正、承認)。さらに第3期(昭和49年度)事業計画および同予算案(別掲)につき、それぞれ審議、承認された。このうち同期事業計画では従来通り特別講演会、定期講演会、GTCJセミナーを開くほか、技術懇談会、見学会は東京地区の2回に加え、とくにそれ以外の地区で各1回開催することを予定している。また、会報もこれまでの年2回発行を4回とし、会員への寄与をより増すよう配慮した(これにともない細則の関連条項を改正、承認)。一方、予算案も前述の会費値上げ分に対し、各部門の支出をさらに一層合理化するとともに事業の充実化をはかってたてられたことが説明された。また同評議員会で法人化の準備状況の報告が法人化特別委員会、渡部一郎委員長より行なわれた。すなわち、第2期臨時評議員会(昭和48年11月16日開催)で本会議の法人化の方針が説明、承認されたが、その後、所轄官庁との折衝などが進められている。その際、文部、通産両省の共管を希望しているが、さしあたり文部省の法人化が具体化しそうであることなどが述べられた。これにともなう法人化基金の募金状況は会員のご協力により順調に進んでいることなどが報告された。

1. 第3期役員(敬称略、五十音順)
会 長 水町長生

副会長 入江正彦
 幹事長 井口 泉
 幹 事
 総務 有賀基（主担当）、阿部安雄、有賀一郎、浦田星、梶山泰男、佐藤玉太郎
 企画 松木正勝（主担当）、飯田庸太郎、今井兼一郎、大沢浩、加藤正敏、山本巖、山本盛忠
 編集 平山直通（主担当）、小茂鳥和生、高瀬謙次郎、高田浩之、田中英穂、土屋玄夫、鳥崎忠雄、浜島操、村尾麟一
 監 査 栗野誠一、八田桂三
 評議員 青木千明、秋宗一興、阿部安雄、有賀一郎、有賀基、飯島孝、*飯田庸太郎、生井武文、井口泉、石田啓介、一色尚次、井上宗一、今井兼一郎、入江正彦、浦田星、円城寺一、大沢浩、大塚新太郎、大東俊一、近江敏明、岡崎卓郎、岡村健二、小笠原光信、梶山泰男、甲藤好郎、*加藤正敏、川合洋一、河田修、川田正秋、河原律郎、木下啓次郎、窪田雅男、小泉啓夫、小茂鳥和生、近藤博、佐藤豪、佐藤玉太郎、佐藤宏、沢田照夫、塩入淳平、須之部量寛、関敏郎、妹尾泰利、高瀬謙次郎、高田浩之、竹矢一雄、田中英穂、棚沢泰、*土屋玄夫、豊倉富太郎、豊田章一郎、鳥崎忠雄、長尾不二夫、丹羽高尚、浜島操、葉山真治、平田賢、平山直通、古浜庄一、松木正勝、水町長生、三輪光砂、村尾麟一、村田暹、森康夫、山内正男、山本巖、*山本盛忠、渡部一郎

*印は、会則に基づき会長指名の評議員

2. 第2期（昭和48年度）事業報告

2.1 会務処理に関する各種会合

2.1.1 幹事会

幹事長他22名（内、総務担当7名、企画担当7名、編集担当8名だが内、1名死去）、開催7回。

会議事項：第2期決算、同事業報告、第3期評議員会議案、同事業計画、同予算案、第2期諸事業実施にともなう業務、法人組織対策、会費検討、国際会議準備など。

2.1.2 評議員会

会長、副会長他評議員67名、開催3回〔内訳：第1回評議員会（出席24名、委任状提出27名）（48.4.24）、臨時評議員会（出席19名、委任状提出36名）（48.11.16）、第2回評議員会（出席25名、委任状提出29名）（49.5.14）〕

会議事項：第2期事業計画、同予算承認、第2期事業報告、同決算承認、法人組織化に伴う定款、細則、法人化基金の募金など。

2.1.3 部門別幹事会

i) 総務幹事会

主担当幹事有賀基他6名、開催8回

ii) 企画幹事会

主担当幹事浦田星他6名、開催6回

iii) 編集幹事会

主担当幹事田中英穂他7名（内、1名死去）、開催7回

2.2 調査研究事項

2.2.1 組織（法人化）検討特別委員会

委員長 渡部一郎他8名、開催4回

会議事項：法人組織の検討、定款、細則、設立趣旨書などの諸案作成

2.2.2 ガスタービン統計作成特別委員会

委員長 丹羽高尚他3名、開催4回

会議事項：我国ガスタービン生産に関する統計用データの蒐集および集計

2.2.3 定期講演会委員会

委員長 田中英穂他5名、開催3回

会議事項：講演会の準備、運営実施

2.2.4 特別企画委員会

委員長 浦田星他7名、開催5回

会議事項：ガスタービンセミナーの性格、内容、実施

2.2.5 '77年国際ガスタービン会議準備特別委員会

委員長 渡部一郎他6名、開催3回

2.2.6 会費改訂検討特別委員会

委員長 水町長生他6名、開催3回

2.3 集会事業

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

回次	名 称	講 師	年 月 日	場 所	摘 要
1	第4回特別講演会	竹村 豊（通産省） 山崎毅六（東京大学）	48. 4. 24	ダイヤモンド社（東京） ダイヤモンドホール	
2	第1回定期講演会	発表者26名	48. 6. 1	国立教育会館（東京）	
3	第2回見学会		48. 7. 12	東京電力、横須賀火力発電所	

4	第2回技術懇談会	田中良平(東京工業大学) 近江敏明(小松ハウメット)	48. 9. 7	日本鋼管(株)(東京) 高輪クラブ
5	第5回特別講演会	J.R. Patterson (米国GE) S.M. Kaplan (米国GE)	48. 11. 16	ダイヤモンド社(東京) ダイヤモンドホール
6	第1回ガスタービンセミナー	八田桂三(東京大学) 宮岡貞隆(電力中央研究所) 鳥崎忠雄(航空宇宙技術研究所) 須之部量寛(日立製作所) 棚沢 泰(豊田中央研究所)	49. 1. 25	健保会館(東京)地下ホール
7	第3回技術懇談会	松木正勝(航空宇宙技術研究所)	49. 2. 20	航空宇宙技術研究所(三鷹)
8	第3回見学会		49. 2. 20	航空宇宙技術研究所(三鷹)

なお上記の他に日本機械学会主催の第286回座談会「ガスタービン合成潤滑油」(昭和49年3月13日)を協賛した。

2.4 出版事業

2.4.1 会 報

本期発行した会報はVol. 1, No. 3 (1973-9), Vol. 1, No. 4 (1974-3)で本文

総ページ137ページ, 目次, 行事案内, 会則, 規程など8ページである。内容は下表のとおりである。
(数字はページ数, 括弧内は編数)

項目 卷号 発行月	挨拶	論 説 解 説	ニ ュ ー ス	随 筆	資 料	見聞記	研究速報 ・ 寄 書	新製品 紹 介	報 告	行 事 案 内	会 則 規 程
1.3	2.0	31.0	12.5	4.0	9.0		9.5	1.5	3.5	0.5	0.5
9	(2)	(4)	(7)	(1)	(1)		(2)	(1)	(1)	(1)	(1)
1.4		38.0	2.5	4.0	5.0	2.0	8.0		1.5	1.5	0.5
3		(4)	(3)	(1)	(1)	(1)	(2)		(2)	(1)	(1)

2.4.2 GAS TURBINE NEWSLETTER

ASME Gas Turbine Divisionより発行している本誌を同部門の了解のもとに4回にわたり複写配布した。

- Vol. XIV, No. 2 (1973-4), pp. 1-36
- Vol. XIV, No. 3 (1973-8), pp. 1-56
- Vol. XIV, No. 4 (1973-10), pp. 1-16
- Vol. XIV, No. 1 (1974-1), pp. 1-60

2.4.3 国産ガスタービン生産統計

昭和47年末迄に製造された我国における全ガスタービンの記録がまとめられ, 「国産ガスタービン生産統計」として昭和48年8月発行された。

(30ページ)

2.4.4 日本ガスタービン会議講演論文集
第1回定期講演会の講演論文集(158ページ)が発行された。

2.4.5 ガスタービンセミナー資料集
第1回ガスタービンセミナー資料集(42ページ)が発行された。

2.5 会員数

第2期末(3月31日)会員数は下記のとおりである。

個人会員 788名 維持会員 70社

3. 第2期(昭和48年度)決算報告書

3.1 収支計算書 自昭和48年4月1日
至昭和49年3月31日

(単位:円)

収入の部		支出の部	
科目	金額	科目	金額
昭和47年度運営費引継金		昭和47年度未払金	
48年度収入		48年度運営費	
前期繰越金	26,263	総務部門費	2,033,457
会費	2,882,000	編集部門費	550,495
特別事業収入	1,475,500	企画部門費	266,387
雑収入	69,997	特別委員会費	180,130
定期預金(基金)利息	150,851	特別事業費	932,055
寄付金	950,075	未払金	474,515
小計	5,554,686	小計	4,437,039
収入合計	6,108,118	支出合計	4,990,471
預り金	90,400	基金繰入金	1,100,926
		昭和49年度会費	65,000
		第2回定期講演会参加費	20,000
		次期繰越金	22,121
合計	6,198,518	合計	6,198,518

3.2 貸借対照表 昭和49年3月31日現在

(単位:円)

借方		貸方	
科目	金額	科目	金額
定期預金	2,000,000	未払金	474,515
普通預金	2,355,394	基金	3,790,158
振替貯金	4,000	昭和49年度会費	65,000
現金	12,400	第2回定期講演会参加費	20,000
		次期繰越金	22,121
合計	4,371,794	合計	4,371,794

4. 会則改正

昭和49年度より会費改訂を行なうことが第3期第1回評議員会で承認された結果、会則の一部を以下のように改正する。

第6条 会員の年額会費は次のとおりとする。

1. 個人会員 2,000円
2. 維持会費 1口 50,000円とし、1口以上とする。

5. 細則改正

昭和49年度より会報を年4回発行、配布することが第3期第1回評議員会で承認された結果、細則の一部を以下のように改正する。

第7条 会報の刊行は1年に4回とする。

6. 第3期(昭和49年度)事業計画

6.1 講演会などの開催

講演会、技術懇談会、講習会などの開催予定はつぎのとおりである。

- (i) 評議員会および特別講演会 49年 5月
- (ii) 第2回定期講演会 49年 6月
- (iii) 第4回技術懇談会 49年 9月
- (iv) 第7回特別講演会 49年11月
- (v) 第2回ガスタービンセミナー 50年 1月
- (vi) 第5回技術懇談会 50年 2月

以上のほかに技術懇談会を東京地区以外で1回開催予定。

6.2 見学会

見学会予定はつぎのとおりである。

- (i) 第4回見学会 49年7月
- (ii) 第5回見学会 50年3月

以上のほかに見学会を東京地区以外で1回開催予定。

6.3 刊行物

- (i) 会報、昭和49年7月、9月、12月、昭和50

年3月に各々発行予定

- (ii) Newsletter, Annual Report : ASME Gas Turbine Division 発行のNewsletter (年4回), Annual Report の配布
- (iii) 講演論文集, セミナー資料集など

6.4 委員会活動

下記の委員会を設け、調査、研究、準備などを行なう。

- (i) ガスタービン統計作成委員会(常設)
- (ii) 定期講演会委員会(常設)
- (iii) 特別企画委員会
- (iv) 本会法人化委員会
- (v) '77国際ガスタービン会議開催準備委員会
- (vi) 技術情報センター準備委員会

7. 第3期(昭和49年度)予算

(単位:円)

収入の部			支出の部		
科目	金額		科目	金額	
会費	維持会費	5,000,000	運営費	総務部門費	2,650,000
	個人会費	1,440,000		編集部門費	2,250,000
	小計	6,440,000		企画部門費	800,000
雑収入	60,000	常設, 特別委員会費		300,000	
前期繰越金	22,121	小計		6,000,000	
合計	6,522,121	次期繰越金	52,121	合計	6,522,121

基金の部

(単位:円)

収入の部		支出の部	
項目	金額	項目	金額
和和49年度始めの基金	3,790,158	法人化準備費	500,000
利息	150,000	昭和49年度末の基金	5,490,158
寄付金	2,050,000		
合計	5,990,158	合計	5,990,158

行 事 報 告

GTCJガスタービンセミナー(第1回)

GTCJの新企画として、特別企画委員会を組織し、昭和49年1月25日(金)午前9時30分より健保会館(東京)において、第1回GTCJガスタービンセミナーを開催した。

新企画のことで参加者がどの位集って貰えるか、いささか心配をして幕をあけてみると、164名と云う盛会で大変喜ばしい結果となった。

下記に記録として講師と題目を示す。

- (1) ガスタービンの動向と応用分野
(東大)八田桂三氏
- (2) エネルギー問題におけるガスタービンの役割
(電力中研)宮岡貞隆氏
- (3) 構造面より見たガスタービンの特徴
(航技研)鳥崎忠雄氏
- (4) ガスタービンの負荷特性と制御
(日立)須之部量寛氏
- (5) ガスタービンの燃焼とエキゾースト
エミッションの低減法 (豊田中研)棚沢 泰氏

諸先生を中心に終日、熱心な講演と質疑応答が続き有意義なる第1回セミナーは成功裡に終わった。

この経験を活し、第2回セミナーは更に有益なるセミナーとしてもり立てて行きたいものである。

見学会と技術懇談会

48年度第2回目の見学会と、あわせて技術懇談会が、昭和49年2月20日(水)午後1時20分より科学技術庁航空宇宙技術研究所のご好意により開催された。参加者は85名、まず、航技研の概要を説明していただくためスライドを約30分にわたり見せていただき、続いて航空用ガスタービンを中心とした研究設

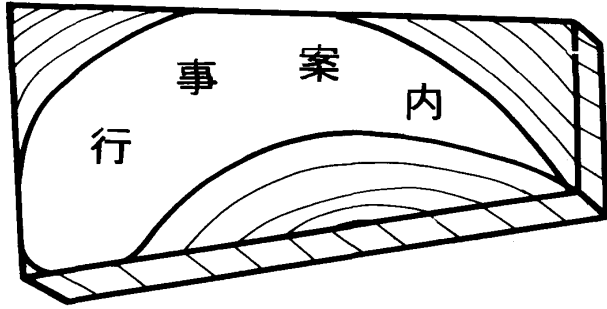
備を2班にわかれ見学した。午後だけと云う時間制約であったが、計画的なご案内により手際の良い施設見学が行われ、ひきつづき、航技研松木部長の「航空用ガスタービンの開発状況について」と題する講演を中心として、航技研原動機部の皆様方の出席も得て、質疑応答が熱心になりひろげられ、午後5時有意義な見学会と技術懇談会を終了した。

見学開始の直前に雨がふりはじめ、どうなることかと幹事は心配になったが、航技研のご好意でバス2台を用意していただき、末筆ながら航技研の担当者の方々に対し、深く謝意を表します。

講演会(評議員会記念)

GTCJの発会式当日以来、恒例となった評議員会当日の記念講演会が、昭和49年5月14日(火)の49年度評議員会の当日、午後1時30分より、機械振興会館地下ホールに於て、開催された。参加者は109名と盛会であった。講演は司会浦田企画担当幹事により、航技研松木正勝氏の「ファンエンジンについて」にはじまり、続いて下記の諸先生による「'74国際ガスタービン会議チューリッヒ大会に参加して」と題して各部門にわたり、概要説明が行われた。

- (1) 基礎研究関係 (慶大)有賀一郎氏
 - (2) 産業用ガスタービン関係 (日立)桜井照男氏
 - (3) 船用ガスタービン関係 (石播)滝田真右氏
 - (4) 航空用ガスタービン関係
(航技研)高原北雄氏
 - (5) 車輛用および小型ガスタービン関係
(小松)平木彦三郎氏
 - (6) 原子力ガスタービン関係 (防大)井口 泉氏
- 尚、この内容については、第5号会報に報告されている。



仮題 「ガスタービン用燃料重油の前処理について」

関西における 見学会と技術懇談会

地方委員制度が設けられ第1回の地方行事として
10月を目標に関西にて見学会と技術懇談会を計画中

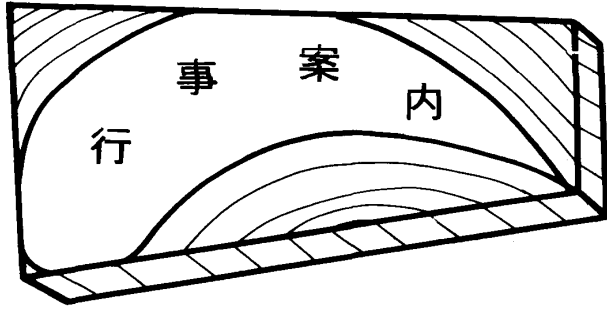
特別講演会

日 時： 昭和49年9月27日(金)
13.30~16.30
場 所： 機械振興会館
講 演： 講師 PETROLITE社
PETRECO DIVISION
Mr. ROY N. LUCAS

第2回技術懇談会

日 時： 11月を予定
場 場： 石川島播磨重工(株)
田無工場を予定
議 題： 「品質管理と信頼性」
或は「材料問題」を予定して計
画中





仮題 「ガスタービン用燃料重油の前処理について」

関西における 見学会と技術懇談会

地方委員制度が設けられ第1回の地方行事として10月を目標に関西にて見学会と技術懇談会を計画中

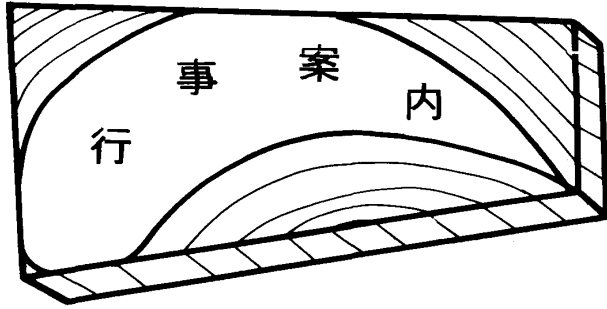
特別講演会

日 時： 昭和49年9月27日(金)
13.30~16.30
場 所： 機械振興会館
講 演： 講師 PETROLITE社
PETRECO DIVISION
Mr. ROY N. LUCAS

第2回技術懇談会

日 時： 11月を予定
場 場： 石川島播磨重工(株)
田無工場を予定
議 題： 「品質管理と信頼性」
或は「材料問題」を予定して計
画中





仮題 「ガスタービン用燃料重油の前処理について」

関西における 見学会と技術懇談会

地方委員制度が設けられ第1回の地方行事として10月を目標に関西にて見学会と技術懇談会を計画中

特別講演会

日 時： 昭和49年9月27日(金)
13.30~16.30
場 所： 機械振興会館
講 演： 講師 PETROLITE社
PETRECO DIVISION
Mr. ROY N. LUCAS

第2回技術懇談会

日 時： 11月を予定
場 場： 石川島播磨重工(株)
田無工場を予定
議 題： 「品質管理と信頼性」
或は「材料問題」を予定して計
画中



会費改訂のお知らせ

本会議発足以来、2箇年にわたり、できるだけ多くの方々にご入会いただき、会則にも述べられている趣旨に沿って日本のガスタービンの発展に寄与することを目指してまいりました。このため会費も他学・協会にくらべ可能なかぎり低額におさえるよう努力致してきました。しかしご承知のように昨今の異状な物価高騰にともない、運営諸経費、印刷費などに直接の影響をうけ、本会の運営もこのままでは甚だ支障をきたす状況となっております。

かねて本会としてもその対策につき特別委員会を設け色々の角度より検討して参りましたが、別掲、評議員会報告にもごさいますように去る5月に開かれた評議員会におきまして同件を審議いたしました結果、下記のように昭和49年度以降会費を改訂することになりました。

諸般の情勢をご賢察の上、何卒ご協力賜わらんことをお願い申し上げます。

記

個人会費：年額 2,000円
維持会費：年額 1口50,000円とし、1口以上とする。

なお納入方法は従来通り取り扱わせていただきます。

会 報 編 集 規 定

1. 原稿は依頼原稿と会員の自由投稿による原稿の2種類とする。依頼原稿とは、会よりあるテーマについて特定の方に執筆を依頼するもので、自由投稿による原稿とは会員から自由に投稿された原稿である。
2. 原稿の内容は、ガスタービンに関連のある論説、解説、論文、速報(研究速報、技術速報)、寄書、随筆、ニュース、新製品の紹介および書評などとする。
3. 原稿は都合により修正を依頼する場合がある。
4. 原稿用紙は横書き400字詰のものを使用する。
5. 会報は刷上り1頁約1200字であって、1編について、それぞれ次の通り頁数を制限する。
論説4～5頁、解説および論文6～8頁、速報および寄書3～4頁、随筆2～3頁、ニュース1頁以内、新製品紹介1頁以内、書評1頁以内
6. 原稿は用済後執筆者に返却する。
7. 依頼原稿には規定の原稿料を支払う。
8. 原稿は下記の事務局宛送付する。
〒160 東京都新宿区新宿3-17-7、
紀伊国屋ビル、財団法人慶応工学会内
日本ガスタービン会議事務局
(Tel 03-352-8926)

自 由 投 稿 規 定

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

日 本 ガ ス タ ー ビ ン 会 議 会 報

第 2 卷 第 5 号

昭 和 4 9 年 7 月

編 集 者 平 山 直 道

発 行 者 水 町 長 生

日 本 ガ ス タ ー ビ ン 会 議

〒 1 6 0 東 京 都 新 宿 区 新 宿 3 丁 目 1 7 の 7

紀 伊 国 屋 ビ ル (財) 慶 応 工 学 会 内

T E L (0 3) 3 5 2 - 8 9 2 6

振 替 東 京 1 7 9 5 7 8

印 刷 所 日 青 工 業 株 式 会 社

東 京 都 港 区 西 新 橋 2 の 5 の 1 0

T E L (0 3) 5 0 1 - 5 1 5 1

非 売 品

会 報 編 集 規 定

1. 原稿は依頼原稿と会員の自由投稿による原稿の2種類とする。依頼原稿とは、会よりあるテーマについて特定の方に執筆を依頼するもので、自由投稿による原稿とは会員から自由に投稿された原稿である。
2. 原稿の内容は、ガスタービンに関連のある論説、解説、論文、速報（研究速報、技術速報）、寄書、随筆、ニュース、新製品の紹介および書評などとする。
3. 原稿は都合により修正を依頼する場合がある。
4. 原稿用紙は横書き400字詰のものを使用する。
5. 会報は刷上り1頁約1200字であって、1編について、それぞれ次の通り頁数を制限する。
論説4～5頁、解説および論文6～8頁、速報および寄書3～4頁、随筆2～3頁、ニュース1頁以内、新製品紹介1頁以内、書評1頁以内
6. 原稿は用済後執筆者に返却する。
7. 依頼原稿には規定の原稿料を支払う。
8. 原稿は下記の事務局宛送付する。
〒160 東京都新宿区新宿3-17-7、
紀伊国屋ビル、財団法人慶応工学会内
日本ガスタービン会議事務局
(Tel 03-352-8926)

自 由 投 稿 規 定

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

日 本 ガ ス タ ー ビ ン 会 議 会 報

第 2 卷 第 5 号

昭 和 4 9 年 7 月

編 集 者 平 山 直 道

発 行 者 水 町 長 生

日 本 ガ ス タ ー ビ ン 会 議

〒 1 6 0 東 京 都 新 宿 区 新 宿 3 丁 目 1 7 の 7

紀 伊 国 屋 ビ ル (財) 慶 応 工 学 会 内

T E L (0 3) 3 5 2 - 8 9 2 6

振 替 東 京 1 7 9 5 7 8

印 刷 所 日 青 工 業 株 式 会 社

東 京 都 港 区 西 新 橋 2 の 5 の 1 0

T E L (0 3) 5 0 1 - 5 1 5 1

非 売 品

会 報 編 集 規 定

1. 原稿は依頼原稿と会員の自由投稿による原稿の2種類とする。依頼原稿とは、会よりあるテーマについて特定の方に執筆を依頼するもので、自由投稿による原稿とは会員から自由に投稿された原稿である。
2. 原稿の内容は、ガスタービンに関連のある論説、解説、論文、速報（研究速報、技術速報）、寄書、随筆、ニュース、新製品の紹介および書評などとする。
3. 原稿は都合により修正を依頼する場合がある。
4. 原稿用紙は横書き400字詰のものを使用する。
5. 会報は刷上り1頁約1200字であって、1編について、それぞれ次の通り頁数を制限する。
論説4～5頁、解説および論文6～8頁、速報および寄書3～4頁、随筆2～3頁、ニュース1頁以内、新製品紹介1頁以内、書評1頁以内
6. 原稿は用済後執筆者に返却する。
7. 依頼原稿には規定の原稿料を支払う。
8. 原稿は下記の事務局宛送付する。
〒160 東京都新宿区新宿3-17-7、
紀伊国屋ビル、財団法人慶応工学会内
日本ガスタービン会議事務局
(Tel 03-352-8926)

自 由 投 稿 規 定

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

日 本 ガ ス タ ー ビ ン 会 議 会 報

第 2 卷 第 5 号

昭 和 4 9 年 7 月

編 集 者 平 山 直 道

発 行 者 水 町 長 生

日 本 ガ ス タ ー ビ ン 会 議

〒 1 6 0 東 京 都 新 宿 区 新 宿 3 丁 目 1 7 の 7

紀 伊 国 屋 ビ ル (財) 慶 応 工 学 会 内

T E L (0 3) 3 5 2 - 8 9 2 6

振 替 東 京 1 7 9 5 7 8

印 刷 所 日 青 工 業 株 式 会 社

東 京 都 港 区 西 新 橋 2 の 5 の 1 0

T E L (0 3) 5 0 1 - 5 1 5 1

非 売 品

