



ガスタービンの思出

東海大学 種子島 時 休

ガスタービンの歩みの経過は思えば随分長いものである。

大正12年(1923年),私が海軍機関少尉で軍艦陸奥に勤務中当時67000馬力を誇る巨大戦艦のスチームタービンが唸り声をあげて全力運転されるのに直面して非常な感激を覚えたが、同時に4つの缶室に分置された2.1個の巨大なボイラーがタービンに比べて余りに膨大なのに奇異の感に打たれた。内燃機関がシリンダーだけで作動するのだから、タービンだけで出力を発生させる手段、即ち内燃タービンというものは出来ないものだろうかと考えはじめた。何とか研究の端緒をつかみたいと思い先づ文献の調査をはじめた。京都の丸善でStodola 著の Steam and Gas Turbine を見、早速求めて読んだ。ガスタービンについては Volume II の半分をさいて可成精しく記述されていた。そして独仏において夫々研究が進んでいることを知った。当時海軍では勿論のこと大学方面でもガスタービンを考えている人は殆んどいなかったようである。がしかし私は研究を進めて見ようと考えつづけた。

Stodolaにより、私はガスタービンには連続燃焼タービン(今日でいうブレイトンサイクル)と爆発燃焼タービン(独のホルツワルツが開発)との二種類が研究されつゝあることを知った。連続燃焼タービンは仏国の Armengaud がツルボモジュール社で開発し1905年巴里で運転された。その熱効率は3%であり、そのタービン

の写真ものっている。

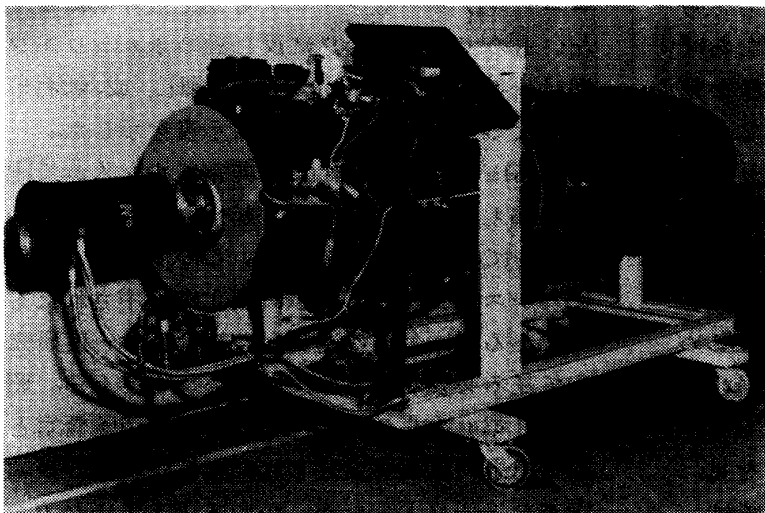
非常に段数の多い遠心コンプレッサーを使用し、圧力比3.87、最高温度560℃であった。コンプレッサーもタービンも効率は非常によくないものであった。之に反し独のホルツワルツ型は比較的よい効率13%を発揮し、或いは将来物になるのではないかという示唆を示した。

Stodolaの論調も之に対し非常に力を入れて説明を加えている。従って、私をはじめは爆発サイクルに関し研究を進めた。このサイクルは後にパルスジェット(VI兵器)に使用されたものであるが、今日の進歩した技術で今一度研究して見る必要があるのではないかと考える。昭和10年(1935年)私は海軍航空監督官として巴里に駐在を命ぜられた。航空関係の技術調査を主任務としたが、かねて考えていたガスタービンの情報に関してもこの機会を利用すべく大いに努力した。先づ巴里で Armengaud のその後を調べたが全然何もなかった。ドイツに行き MAN 社でホルツワルツの業績を調べたが之も何も得られなかった。しかし、ブラウンボベリ社やエスシャウイス社で、軸流プロワーを量産している状況を知った。このとき、ブラウンボベリ社では連続燃焼タービンを試作中であるらしい様子を感じたが具体的成果は何もなかった。しかし昭和15年に B.B 社が発表した4000kWのガスタービン発電機は丁度そのとき開発中のものであったと後で知った。又この頃英国ではフランクホキットルが己にジェットエンジンを開発し試験飛行を実施中であったのだ。私は英国とは非常に近い所に居りなが

(昭和49年8月14日原稿受付)

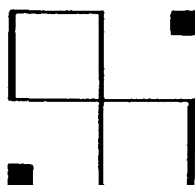
ら少しもこれを知らなかった。英国の機密保持が非常に萬全であったと考える。そのとき仏国の航空大学に通学中の同僚の一人から、大学におけるガスタービンの講義プリントを借りたが、今日のサイクル計算程度のものであり、耐熱材料のよいのがないからガスタービンは今の処大した期待は持てないということであった。私は昭和12年に帰国し海軍航空技術廠に勤務した。はじめは一般航空発動機の実験の任務に当てられたのでなかなかガスタービンをやる機会がなかった。しかし、先づ発動機の過給器、特に排気タービン過給器から研究に手をつけた。又高速で飛ぶ飛行機では、ラヂエーターも空冷シリンダーも、貫流空気はラム圧を受け、且つ加熱されて、高速噴流となるので、即ちラムジェ

ットであることに気付き、間もなく積極的に空気を圧縮し加熱して後方に噴出させるジェットエンジンサイクルにその考えを発展させた。その圧縮機は遠心型か軸流型となりこれを駆動するのはガスタービンが最適である。そして、次第に自信を得たので上司の許可を得てジェット推進法の研究に専念するようになった。かくして、日本最初のジェットエンジンネー20の開発やジェット機橘花号の試験飛行成功の基礎を造ることができた。終戦から30年、ガスタービンはジェットエンジンとして航空機では長足の進歩をとげた。これに反し陸船用特に車両用はまだ微々たる存在でしかない。1905年、巴里でテストされてから実に69年を経ているのに！しかし研究は非常に進歩した。耐熱材と

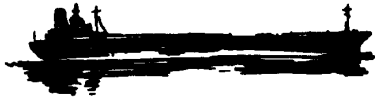


ネー20 ジェットエンジン (石川島播磨重工提供)

η_T, η_K は1905年で560℃,
 $\eta_t \doteq \eta_k \doteq 0.6$ 位, 1945年ネー20で, 700℃, $\eta_t \doteq \eta_k \doteq 0.8$,
 1974年(現在)950℃ $\eta_t \doteq \eta_k \doteq 0.85$ 以上に進歩した。熱交の進歩も著しい。尚、やがて冷却翼や非金属材料で1200℃を目指していると聞く。レシプロは車両ではNOx問題に直面して悩んでいる。ガスタービンはNOxに関しては比較的楽であろう。タービン翼の加工法も格段の進歩を来たした。だから、ガスタービンよ！今一歩進んで、すべての原動機の先頭に立てといたい。



ガスタービンの未来を語る — その2 —



座談会

出席者 栗野 誠一 (日大工)
今井 兼一郎 (IH I)
浦田 星 (日立製作)
岡崎 卓郎 (東大工)
岡村 健二 (三菱重工)
中村 健也 (豊田自工)
三輪 光砂 (日立造船)
司会 平山 直道 (都立大工)
(昭和49年5月16日開催)

自動車用ガスタービンの見通しは
平山 中村さんからエミッションの問題を含めまして、自動車用の見通しみたいなものを伺えればと思うのですが。

中村 エミッションはもともとかなりいいといわれていましたね。NO_x だけがレギュレーションの倍も出る。うちでやった実験では、もう何かできそうだから、そう気にせんでもいいというようなことで、わりあい気楽に考えていた。

最近アメリカができるということを出しまして、そこでことしの10月くらいまでに試験車をまとめることになっている。うちの棚沢先生にお聞きしても、「完成しましたね。」というようなことで、2年くらい前アメリカへ行って話を聞いてきたときは、だいぶほくらのほうが進んでいるなと思っていたんですが、ソーラー社が力を入れまして、とうとうものにしちゃったようです。燃焼方式もわれわれと似たやり方でした。むしろ実際の経験を積んだもので、向こうのほうが安定しているんじゃないかという点もあるわけです。一番偉いと思うのは、それをみんなの前でしゃべって、去年より今年、今年より今年の秋と、ステップを踏んでやってゆけることです。

もともとエミッションはガス・タービンの場合はいいので、排気の出口へ顔を出しましても戦争が終わったころの石油ストーブぐらいのところですね。(笑)タービン・カーのそばへ行きましても、音といい、においといい、それを気にしているわれわれだと気がつきませうけれども、普通の人だと気がつかないと思うくらい自然ですね。それから運転していても、加速性な

んかよくて、キャデラックを運転したときと同じような感覚で運転ができます。

燃費と生産性の点でどうなるのか、まだわかりませんが、クライスラーの報告を読みますと、実験値を示した、あるいは計算値による線が、意識的か、無意識的か、少しはつきりしない。というのは、結局アイドリング燃費が非常に問題になるんです。そのアイドリング燃費が、見ようによりますと0.4g/PSH ぐらいになっていて、これだとディーゼルとけんかできるのです。また見ようによりますと、0.8g/PSH ぐらいになって、これだとガソリンより悪い。ですからこれはどう解釈したらいいか、うまく読めないのです。そういう点で若干疑問があるにしても、クライスラーの型はガソリンエンジンに対抗できるものが出てきた、排気はもう問題ない。

マスキー法に合格したというエンジンの排気なんか、ちょっとかいてみましても、あれはつくられた排気であって、ガスタービンのような自然の排気じゃないですね。

平山 中村さんのお見通しでは、たとえば5年後、あるいは10年後に車輛用としてどの程度使われますか。

中村 動くものを対象にするときには、液体燃料を前提としてよいでしょう。液体燃料のときに使えるのが、ガソリン・エンジンと、ディーゼル・エンジンと、ガス・タービン。ガス・タービンもハイブリッドでなければ成功しないだろう。クライスラーがやっているような純ガスタービンエンジンは、燃費で行き詰まると思います。

ただ、アメリカ人はわりあい燃費に寛大で、トルク・コンバーターを出したときも、われわれがあんなのはいっていたのを、がんばってまとめて、燃費が悪いのはこの程度なら仕方がない、安い燃料を使っているから2割ぐらい悪くたって気にしない、という言い方ですね。だけど、今度はその論法は通らないかも知れません。

今井 あと生活全体において燃料費の占めるのがたいしたことなくなればいいだろうが、今は当分だめですね。

中村 アメリカ製のガス・タービン車は加速が非常にいいですよ。こんなに加速がいいはずない、と思うくらい。

今井 結局使うようになりますか。

中村 あれだったら燃費のことを言わぬ人は、すぐにでもほしいですね。そばへ寄ってもガソリン・エンジンのようにくさいという感じがしない。

今井 そうすると、燃料の値段とイニシャル・コストを問題にしない人という範囲になりますか。

中村 イニシャル・コストは、私はあまり問題はないと思うのです。燃費だけだと思いますね。

今井 しかし、ピストン・エンジンはずいぶん安い。

中村 ピストン・エンジンは、30年、50年かけていまの値段にした。しかもピストンでもクランクピンのベアリングでも、ガス・タービンにそのまま使えるくらい高い精度になっている。

今井 精度的にはそうですね。しかし値段は馬力当りにしてケタ違いに安い。

中村 あのベアリングが100円をこえるかこえないかでけんかするわけですからね。それがガス・タービンのベアリングだといったら10倍では買えぬでしょう。現状でピストン・エンジン並の値段にしなさいと言われれば困りますが、これは解決できることだと思います。

それからニッケルを使うから高いだろうといわれるけれども、シャフト全部で2キログラムぐらいなんです。そのうちニッケル合金のところははじっこだけです。まあ1キロだ。

だから1万円なんかこえないですね。

今井 しかし、あんなのが1万円もしちゃいけないんじゃないか。1000円か500円くらい。

中村 現在われわれがやっている試作の値段さえ、なかなかそう高いえないわけですからね。ですから、量産となれば値段は私は問題ないようにすることができると思います。やっぱり問題は燃費だと思います。

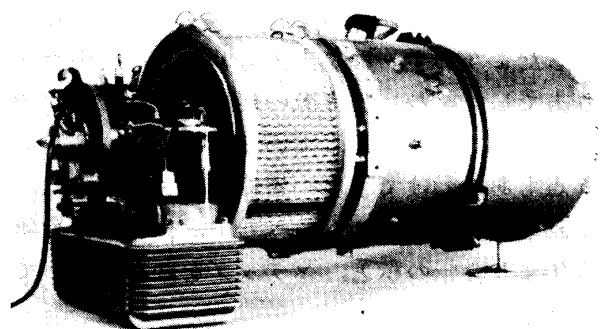
栗野 問題は燃費ですな。

中村 それから値段の伏兵があるとしたら、熱交換器だと思います。それからコントローラーも、考えようによっちゃ高いですね。いま学会で報告されているような電子式コントローラーを本気でまともにやる気だろうか、若干懸念はあります。ガソリン・エンジンなんか温度コントロールでも何でも、専門の人から見たら無茶に見えるものですね。それなのにびったり制御が効いて動かない。

栗野 何しろレシプロのエンジンがあまりにもいいですからね。これはまだかなり生き残りそうな気がしますな。

中村 特にディーゼルはね。

今井 あれはなくならないんじゃないかね。10年ということでも考えても。



トヨタGT24 ガスタービンエンジン諸元表

形 式	1 軸, 伝熱式熱交換器装備
空 気 流 量	0.26 kg/s (20°C, 760 mmHg)
圧 力 比	2.6
タービン入口温度	900°C
軸 出 力	30.5 PS/86 krpm
重量(発電機付)Dry	77.4 kg
外形寸法(発電機付)	800 × 362 × 414 mm

中村 ですからガス・タービンが生まれてくるのに最大の障害というのは、レシプロがあまりにも育ったということと、もう一つはガス・タービンが航空機にあまりに適していること。しかも、あれが生まれてからまだ30年くらいですが、その最初の15年くらいはアメリカの空軍や海軍のカネがずいぶん出ているんですね。いま見ても価値のある論文というのは、大体1960年くらいまでに出た論文です。ですから古い論文を引っ張り出してながめているとねうちがあって、それによくスポンサーがアメリカ海軍と書いてあります。コンペティターも育ての親も強すぎるというわけです。一人歩きが難しいわけです。

栗野 ジェット・エンジンのあとを追っかけていける点は楽なんですけどね。

今井 それでいいかどうかは、自動車にとって大きな問題だと思いますね。

中村 たとえばうちにも東京大学出てガス・タービンやっている人おりますが、みんな飛行機なんです。先生は飛行機じゃなかったですけど、学生たちは飛行機なんです。ですから来るとまず洗脳が要るわけです。

今井 違うところに重点があるんでしょうね。ある意味では。

中村 特にバーチャル・ロードの議論をしない習慣だというのは困るんですね。

今井 そんなことないでしょう。いや、岡崎先生どうですか。

岡崎 その話は別にして、ガス・タービンの燃費が悪いといっても、いままでの歴史で見ると、複雑にしたものは実用にならなかったですね。熱交換器を航空用だといってやったのは幾つかありますけれども燃費そのものですら下がらない。

ガスタービンの開発・研究上の問題点

平山 いま話題が開発の話に帰っておりますけれども、栗野先生、開発ないし研究をこれからわが国ではどうふうにもって行ったらいいのでしょうか。

栗野 やっぱり要求がないとだめなんです。問題は要求ですよ。たとえば自動車の場合エミ

ッションが大問題で、どうしてもガス・タービンでなければだめだとなれば、ガス・タービンが自動車にくつつく一番いいチャンスですね。

岡崎 そしたらトヨタさん反対しますよ。

栗野 そうするといままでのラインは全部取りかえなきゃならないとか、経済上の条件がついてきますから、そう簡単にはいかないと思いますね。

今井 その中で自動車が二十年ぐらい前のことを考えると、今日の隆盛はおそらくどなたも、先覚者は別として、予想してなかったと思うのですよ。それがこういうふうになったターニングポイントというか、きっかけは何なんですか。

中村 やっぱり日本が経済成長した。金持ちになった。

今井 日本の経済成長がある程度までいかないと、日本のエンジンなり、ジェットなりの要求が出てこない。

岡崎 ジェットエンジンは本質的には世界マーケットなんです。ですからその条件を満たしているのは、いまところアメリカだけなんです。

今井 そうすると、現状をかえて行く話がないと、将来あまり明るくないですね。

岡崎 いや、私はそれでいいと思うのですよ。それが世界的に見れば当然なんで、ただ全体的なものを試作して大いに成果を上げたり、また個々のもので日本製が一番いいとかいうものをつくればよい。またそのほかにたとえばいまやっている程度の研究は、もちろん必要ですけども、日本の国内だけですべてをまかなうことは航空に関する限りでは考えられない。

栗野 イギリスだってやっているんだから。

岡崎 いや、やっているのはむしろ失敗しているんで、あれよりはむしろ日本のほうがうまいんじゃないかと思う。

平山 私はロールスロイスが倒れたときにちょうどアメリカにいたのですけれども、私のまわりのアメリカ人は、むしろロールスロイスは研究し過ぎたといっていましたね。岡崎先生も最初にいわれたようにやっぱりエンジンの改良開発で技術的に可能なことでも経済性の限度内にしておかないと。

浦田 研究するときにはマーケットをよく考えて

やるべきで、マーケットがないとああいふふう
に失敗するんだと思いますね。

平山 しかし、ガス・タービンが伸びる条件と
して、万一、競合する他のエンジンが公害上の
要求でつぶれることがあればこれは大きいとい
う意見がでるのは当然のことですが、なおかつ
レシプロはずっと生き残るとおっしゃっている
わけですが、レシプロはエミッションの要求を
満足できるというお考えですか。

栗野 満足できますよ。

岡崎 レギュレーションをきびしくすれば、燃
費とか、ぐあいの悪いことがあっても、かえっ
てレシプロのほうがやりやすい。ガス・タービ
ンはいまのレギュレーションよりちょっと低い
ところまではわりに楽にできますけれども、そ
れより先うんと減らせといわれると、地上用は
別として、航空用ではかなりむずかしい。

中村 燃費が追いつけば、レシプロはガス・タ
ービンに負けると思う。というのは、ガス・タ
ービンの排気をみんなにちゃんと見せてあげた
ら、レシプロを使えというニーズが主張できな
くなる。だから燃費で追いつけるのかというの
がさかい目だと思う。いまガス・タービンはハ
イブリッドにしてでも、追いつくぞというよう
な努力をしているわけです。

ところが、ディーゼルのように低速で回っ
ておるのは、もしハイブリッドでエネルギーをど
こかへ蓄めるとすると、フライホイール回すた
めにギアで増速が必要になり、たいへんなこと
になる。また、発電してエネルギーをためるの
には低速のため高価になる。ガス・タービンだ
と直径三十センチくらいの発電機で百キロワッ
トくらい出せますから、そういう意味ではハイ
ブリッド向きなんです。

さっき浦田さんがいわれたランキン・サイク
ルと組合せる方式も非常におもしろいですよ。
そういうことを EPA でいっている人もあるの
です。私はランキンと組まないで発電でやろう
としていますが、それぞれ独立したものがきち
んとできたとなったら、組み合わせることはむ
ずかしくない。ピッコヤイザリが寄ってきて組
もうじゃないかといっているから、うまい組み
合わせがとれないのですけれども。ですから燃

費をどうやって下げるかということにいま集中
しておるわけです。

三輪 ハイブリッドの場合、燃費はもうパー
シャルを考えなくてもいいというような形に持っ
ていこうということですか。

中村 そういうふうにしたいと思っているわけ
です。

三輪 自動車はその辺一番むずかしい技術でし
ょう。

中村 というのは、百馬力持っていても実際
には二十馬力以下の要求が大部分なんです。

三輪 その点艦艇用の場合と商船用の場合を比
べれば、商船用は非常に有利なんです。コン
スタントにいきますから。だけど、結局燃料の
問題で……。

栗野 たとえばいまディーゼルのほうじゃ排気
タービンをたくさん使っているけれども、将来
できればガソリン、エンジンもターボチャー
ジをつけて、そっこのほうから逆に攻めてい
ったほうが有利だと思う。ガソリン・エンジン
本体としてターボ・チャージをすることはエミ
ッションの問題の解決特に稀薄混合比を使用
した場合の出力の回復、従って、燃費増大の防
止に対して非常に有効だと思いますね。

中村 十年ぐらい前にエミッションの問題を
ターボ・チャージャーで解決したほうがよく
ないかということ、アメリカの機械学会の会
長さんであった人にいったことがあるんです。
そのころはあまりエミッション問題に熱中し
ていなかったんでそういう研究をやろうと考
える人間は、アメリカにはおらぬという返事
でした。

栗野 そうですね。日本的な考え方ですね。

三輪 中村さん、材料の点で、自動車なんか
セラミックスはどうなんです。私はセラミク
スがあと十年以内に出るんじゃないかと思
いますけど、自動車用が一番先じゃない
んですか。

中村 うまくいく一つの要素だと思って調
べているんですが、大体いまのところは羽
根に似たようなものはつくってありますが、
試験するときには羽根のままではなく、テ
スト・ピース式にまっすぐの板にして、振
り回して試験しているんです。温度をかけ
なければ大体問題ないのですが、温度を
かけますと、六万回転こえるやつ

がもうほとんどないのです。大体五万五千をこえると、こわれないでいるのは三分の一くらいです。理屈からいうともつのですが、セラミックはやっぱりヒート・ショックに弱いようで…。

もう一つは、温度は何ほでも高くして使えるだろうとよく考えられるのですが、千二百度とか千二百五十度くらいが限度で、それ以上で使うことは無理なようです。ですから大体セラミック使うというのは千二百度でもう限度だと思って、又あまり大きなものに使えない。短時間なら千四百度でももちますけれども、少しずつ分解が起きるらしい。

それからエミッションの問題とからめましても、やっぱり千二百度くらいが限度で、それ以上高いのを使おうとするとNOをとめる方法がなくなっちゃう。あんな大量の空気にNOがまざりますと、何ともしようがない。プロジェクト始めたときに何ということなく千二百度だといって始めたんですが、非常にいいねら이었다。だれがああときああいうことをきめたんだというくらい非常にクリティカル・ポイントをつかんでいたと思います。アメリカでフォードと空軍が盛んにやっていますが、それもやはり千二百度あたりだと思えますね。

栗野 ガス・タービンのNO_x、地上のものですと水蒸気を入れたり、水を噴射したりして押えていますけれども、燃焼器はいままでのは一次空気で燃焼させ温度上げるだけ上げておいてから、あとで二次空気で薄めるようなやり方をしているわけです。あれ初めから一次空気の量をもっとふやして、燃焼最高温度をできるだけ下げしかもフレームを短かくする方がよい。

三輪 実験室的にはかなりうまくいくんじゃないですか。

中村 考え方は二つあるようですね。非常にリッチにしまして、そこで不完全な燃焼状態つくって、それで燃焼室へ持って行ってリーンに処理するというのと、始めからリーンにして……。

栗野 それは自動車の場合と全く同じですね。

中村 初めにリッチにしてあとリーンにするほうが、やりにくいでしょう。

栗野 始めから薄いほうがやりいいですか。

中村 というのは、頭がついていかないせいも

あるのですが、設計するとき容量の分配が非常にむずかしい。ですから思い切って実験やっていって、克明にさがせばいいのかもしれないけれども、なかなか。とにかく燃えさえすればいいというので、一たんガスにしまして、リーンにミックスしておいて、八百度か、とにかく混合する始めの状態でもうすでに七百五十度くらいありますからね。七百五十度くらいのやつを輻射熱や何かで上げながら燃焼室へ入れる。リーンの燃焼で、これだとNOの方も大体三分の一にはできるようです。

ですけど本田のCVCCのように、初めにリッチにしておいて、完結しない燃焼状態にしたのをリーン状態で燃やせば、あるいはいいのかもしれない。ただ、そういう燃焼ではいやなものがあることあるんですね。

岡崎 NO_xは減らせても、ほかのものが出ることもある。もつとも、初めからきまった運転状態なら、そういうつもりでこまかくコントロールしていけば、それに沿った運転ができるかもしれないが、運転状態が変わると、それこそバリエابل・ジオメトリーにしてしかも全部実験的に調べていかなきゃいけないから、ちょっとむずかしいんじゃないか。

栗野 薄いほうがまだしも……。

岡崎 ただ、ある程度までですね。もう入口温度が相当上がっていますから、タービン入口温度が相当高いと、薄いほうでもかなりむずかしい。それから航空用では特にアイドルのときに、いま煙のために一次燃焼室でかなり薄くしようとしている。そうするとアイドルで非常に薄くなって、ハイドロ、カーボンがよけい出る。バリエابل・ジオメトリーにすればというか、うまくやればできるはずですけども、やはり複雑にすることは望ましくないし……。

中村 ハイブリッドでうちはやっているものですから、あんまり急なコントロールをしないような形がとれると思う。急加速のときにポンと上げられたりして、それでも排ガスはきれいなガスを出せなんていわれると、ものすごくむずかしい話になる。たとえば三秒かがってよろしい、その間はほかからエネルギーを補えというようなことですと、燃焼制御はだいぶ楽です。

ガスタービンの新しい用途の開発を

平山 この辺で、業界でも、学会でもいいですが、何かガス・タービンに関連してこういうふうなことをやらなきゃいけないんだというご意見がありましたら。

栗野 燃焼ガスだけでなく、もっといろんなガスに使えるガス・タービンをたくさんつくってほしい。たとえばいろんな廃熱を回収するとか、ガス・タービンの技術をもっと広げることを行ってほしいと思います。あまりガス・タービン、ガス・タービンと熱いほうばかりやらないで、簡単にできるものを……。

中村 いま熱の吸収型の冷凍機がありますね。あの熱でフロンを使ってタービンを回して、というようなシステム、たしか柳町政之助さんが書いておられた。それを一生懸命読んだことがある。

平山 フロンを用いる廃熱タービンは石川島さんもたしかおやりになっておられますけれども、あと新潟鉄工さん。

岡村 とにかくガス・タービンをたくさん使うように再認識してもらいたいですね。産業用はトータル・エナジー方式をよく考えると、コスト・インストレーションで思わぬメリットがあることが、よくわかります。それからまだ日本は幸いにして停電がありませんが、だんだん発電所建設もむずかしくなり電力の需要がふえるとうなりますか、やはりピーク・ロードで問題を起こす事態になる。エマージェンシユ用あるいは、ピーク・ロードを乗り切るためには、ガス・タービンを持っていないと困る場合があると思うのです。

現在でもそういうものにはガス・タービンはインストレーション・コストを全部ひくくめますと、すべての場合に有利とはいえませんが、特定の場合に非常に大切であると思います。

例を申しますと、病院がそうでございますね。それからトランジスタ工場、プロセス・インダストリ、通信網、テレコン・ケーサ、放送局、コンピュータ・センタ、それからこのごろずいぶん背の高い高層建築物が出ておりますけれども、あれの上のほうに乗せると、これも普通の

レシプロでは目方が重く、ガス・タービンで空冷ですとこの点が簡単に解決できる。

そういう意味からいいまして、まだ認識すべき点がたくさんある。とにかくガス・タービンは、もっとやらなきゃいけないところがたくさんあるんじゃないかと思えますね。

浦田 電力なんかの場合で申しますと、化石燃料を使うという前提で現在の火力発電所などと競争していけるかどうかという問題が一つあるわけです。さっき申しましたように効率アップ、パワーアップが重要になると思います。

今度は化石燃料がだんだん使えなくなるという前提に立って考えた場合に、これはまたそれなりにガス・タービンの用途が出てくると考えられます。一つは、先ほど栗野先生が原子力とジェットエンジンを結びつけたらどうかというお話がありましたが、その例としてヘリウムガス・タービンが考えられます。水素タービンというのをいまやっておりますが、その水素を作るのに原子力を利用する考え方があります。

栗野 それから高温ガス炉との組合わせですね。

浦田 要するに化石燃料を使わない、いわゆるガスを使うという方向に今後のガス・タービンを考えてみたいと思います。

栗野 またクローズド・サイクルやらなければならぬ。

浦田 それがありますね。

岡村 それから化石燃料はいずれなくなったときに、やっぱりさっきお話したように、水素が真剣に取り上げられるのではないのでしょうか。そのストレジとトランスポーテーションも技術の力で解決する時代が来るだろう。二千年ごろかもしれないけれども。

浦田 あとはやはり温度への挑戦だと思います。どうしても効率をあげなければならないということですから、それには温度を上げるということ、温度がどこまで上がるかという問題が一つあります。

栗野 ジェットエンジンは千五百度こしているのをやっている。千五百二十五度とか。

岡崎 ただジェットエンジンの場合は、温度上げて翼を冷却すると燃費がよくなりませんね。ただスラストふえますから、それは温度上がる

方向にはいきますけれども、燃費のために温度上げるといふのはちょっと違いますね。

岡村 それと日本は不幸にしてエネルギーの資源をあまり持っていないわけですが、それをまた手に入れるためにいろいろ外国と外交折衝もやり、技術を持って行って何とかもらおうということがあるわけですが、石油を開発するための動力は、ほとんどガス・タービンになるだろう。たとえばパイプライン、これは何千キロもトランスファするわけですが、その動力は何といってもガス・タービン。

栗野 アメリカあたりでやっていますね。

岡村 最近ソ連も、去年の暮れでしたか、アメリカから大量にパイプライン用のガス・タービンを輸入調印しましたね。

パイプラインは、アメリカへ行ってみますと、砂漠の中を何千キロとありまして、ポンピング・ステーションが何キロごとかにある。メインテナンスは週一回ヘリコプターで行くか、ジープで行ってちょっと見てくる程度で、あとノーマン・コントロールですと完璧に働くわけです。砂漠でも水は全然要らなくて、空冷であり、ガスはパイプ中に来ているやつで行くわけですから、ほんとうにパーフェクトなものです。それだけガス・タービンの信頼性があるわけです。

その中には大きなものになりますと、航空転用のものがずいぶん使われております。アリソン、ロールスロイス、GE、プラット・アンド・ホイットニ、全部やっています。TBOも短いもので大体一万時間、長いものは三万時間ぐらゐの実績は出ており、エコノミカル・フィジビリティは完璧です。それにさらに今度はインダストリアル・ガス・タービンがもっといいものをつくって、中には最近のエネルギー・クライシスの影響を受けて、レキューペレータをつけるのが、相当数出ているそうですね。

それから石油を掘るとき。石油は土の中から絞り出すのでして、ただ掘れば出てくるものじゃない。たとえば石油が一億トンあっても、ただ吸い上げたのでは三分の一ぐらゐしかとれない。それをうまくとるためには乳しぼりのテクニックが要る。これは非常にむずかしいジオフ

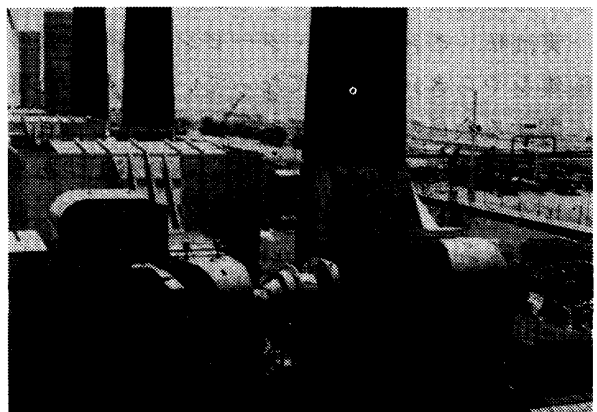
ィジックス上の問題です。いろんなガスをコンプレッサを使って、あっちから押すとか、水に圧力をかけてこっちから押す、そうやって七割五分とれるとか、八割とれる。

一方、石油掘っているところでは、必ずフレアスタックがあって、ボットガス燃やしていますね。あのエネルギーを使ってそういうコンプレッサを回す、あるいは水圧をかけてやろう。これはガス・タービンに最も適していることがわかる。

それから陸上だけでなしに、最近海底油田もブームになっているが、不幸にして現在は日本ではだめです。しかし将来何ともいえないので、希望を持てると思います。メキシコ、アラスカ、黒海あるいはヨーロッパの西海岸へ行っても、たいへんなブームで、猛烈な投資が行なわれておりますが、動力の中心をなすものはガス・タービンになりそうです。

たとえば海岸から離れた海底で石油を掘りますと、オフショア・プラットフォームがありますが、一坪が一千万円から二千万円かかる。したがって、そこに乗せるものが大きなものじゃ困るんですね。その点から、ガス・タービンはコンパクトだし、軽量です。これは何ごとにもかえられないエコノミカルなメリットです。

それから、ガス・タービンですと、ヘリコプターで持っていけますが、ディーゼルではそうはいかない。大きいものは一万キロワットも要りますし、相当な数でいまどんどんできております。



アラムコ社に設置した三菱3万KW級GT
(背後は手前から3万KW機2基と5万KW級2基)

これから十年間に、おそらく穴掘り機械だけで三百ぐらいつくらなきゃいけないだろう。大きなのは一台百億円ぐらいするが、その動力はたぶんガス・タービンになる可能性が強い。化石燃料がなくなる前に、まだまだこのような採油をちゃんとやらなきゃいけないところが相当ある。

当然ガスもコンプレッサーで圧力かける、あるいはLPG, LNGにしていく。これのプロセス・エンジニアリングにもガス・タービンが絶対有利だ。

そういうふうに日本ではそれほどいま気がついていないが、世界の石油業界はガス・タービンに気がついて夢中になっている。アメリカ、イギリス、ノルウェー、スウェーデンのガス・タービン屋さんも、そっちのほうを向いて一生懸命どんどんつくっている。しかもそれが売れ始めている。

とにかくガス・タービンをつくり、使って実績をつかむことがおけると、いろんな意味でおくれてくる。そこで積極的に関連のエンジニアリングの勉強し、われわれ国内におきまして、あるいは輸出を含めまして、ガス・タービン・テクノロジーを前向きに取り組んでいかないと、離されっ放しになるんじゃないか。そういう意味で大いにやっていただきたいと痛切に感じています。

平山 そういう用途上の要求がもとになって、業界から学界にまた国の研究組織のほうにもプレッシャーがかかり もっと問題意識を持ってもらう方法はないものでしょうか。

実は私、ことしガス・タービン会議の会報の編集をやらされることになっていますが、記事に関する会員の希望をアンケートをとってまとめたもので見ますと、涙ぐましいのが1つあるのです。若い人じゃないかと思うのですが、自分たちも一生懸命やっていてなかなかもうからないので、所属の部の立場が非常に苦しい。だからガス・タービンというのは、こんなに将来性があるんだということを、上の人にわからせるような記事をつくってくれというのです。やっぱり問題意識の認められ方がまだ足りない気がするのです。

栗野 南極の昭和基地、いま電力はディーゼル使っているが、ディーゼルももう20年ぐらいになります。一番初め、大体いすずの自動車用のディーゼルを持っていった。これは持っていても船から揚げられるかどうかわからない。ヘリコプタでとにかく揚げて、悪くなったらポンと捨てていく。こういうやり方をやっている。問題はやっぱりメンテナンスの問題。できればガス・タービン、たとえば100KWか150KWそんなに大きいキャパシティは要らない。燃料が貴重ですから。ところが、ちょっとガス・タービンとしては小さ過ぎるんですね。もうちょっと大きくて1000KWぐらいすとやりいいのでしょうか。

中村 南極だと暖房が要りますね。

栗野 ですから、トータル・エネルギー・システムで考え、排熱を暖房に使って全体のシステムをつくろうということですが、一番問題になるのは燃費ですね。ですから現在のエンジンでもトータル・エネルギー・システムを全部やっているわけです。それをガス・タービンでやったときに、どのくらいメリットがあるか、どのくらいメンテナンスが楽になるか、そういう問題がいろいろあり、全然話にならぬことはないと思う。

岡崎 ただ、そのためにつくったらとても……。だから既製品でなくちゃいけないわけです。

栗野 既製品がもっとあって、すぐ持っていけるんだったら、話になるんだけども。

岡村 環境によっては、非常にガス・タービンがうまくいっている例をもう一つ申しますと、ジャワにあるのですけれども、ジャワは非常にロー・サルファの油が出まして、非常にいいのですが、25%ぐらいパラフィンになっている。それでポンピング・ポイントが40度ちょっとでして、40度以下では流れない。それを流すようにするのに、まずあっためる装置とポンピング・アップする動力と両方要るわけです。これに日本で作りましたガス・タービンを使ったのですけれども、トータル・エネルギーで勘定しましたら64%、だから驚くべき効率です。ガス・タービンのおかげでトータル・エネルギーというものが、非常にうまくいっている。しかも

それはしょっちゅう動いてなくちゃいけませんから、そのメリットたるヤカネで勘定してみると十分ペイする。あらゆる動力を全部ガス・タービン化しようという、むずかしい面がありますが、よくさがすと、まだずいぶんアプリケーションの場が確かにある。まだみんな気がつかれていないところがたくさんある。

信頼性とか、いろいろな問題もあるのですが、多少値段が高い点もありますが、それでも現在でも使えるところはたくさんあると思う。

栗野 日本ではわりに小さな発電装置はやってないんじゃないですか。いまは大きなほうへ大きなほうへと……。

今井 小さいほうはあまり要求がありませんね。

岡村 それがもう少し電気の飢饉が進みますと……。

今井 ここ2、3年のところでちょっと……。

岡村 あれが一ぺん起ったらたいへんですよ。

栗野 みんなエレベータを持っているところはちゃんとつけるとか。

岡村 それでレシプロの重いやつは乗っからないので、さてと弱ったということがすぐ出てくると思う。

今井 日本の場合ちょっと起きにくいんじゃないですか。ああいう式のブラック・アウトみたいなことは、非常に電力会社のつながりがよくなっているし……。起こったらもっと大げさなものになるでしょうね。

中村 さっきお話のように若い人が涙ぐましいことをいっている。あれは上層部がこちらに向いてくれないと言うが、普通に5人か10人の人が来てガス・タービンの将来はと聞くと、大体6、7割の人はやっぱり無理だなという人が多いのです。ところが、若い人は好きなんです。ここの大沢評議員なんかもいっていたのですが、1000人に満たない会員で講習会をやると、200人も300人も来て、会員4万人の機械学会が100人集めるのにフーフーしている。

栗野 だから魅力はあるんですね。未来があるから魅力がある。

平山 ガス・タービンは今後非常に伸びると思いますが、いままでガス・タービンが出なくて

も、これが工業界全体に対してなした貢献はすでに大きいものがあると思います。みんな評価はしていないかもしれないが、ターボ機械工学への寄与は大きい。たとえば、現在蒸気タービンを昔のガス・タービン屋がつくっている例も多く、結局敵を助けている面が相当ある。

栗野 こっちをよくすると蒸気タービンもよくなりますからね。われわれのところではガス・タービンと同じような方法で風力タービンを設計し一台試作して南極へもって行きました。将来の極地における無人観測装置の電源にしようというプロジェクトの一つです。このようにガス・タービンの技術はいろんなことに使えると思います。

平山 きょうは二時間の予定でございまして、今丁度お話を聞けば幾らでも話題が出てきそうに油が乗ってきたところでございしますが、時間の関係で、終わりにしたいと思います。お話を伺っておりますと、ガス・タービンの将来は、むずかしい問題を含んでいるということもよくわかりましたけれども、それと同時に、だんだん有利な条件も出てきている。

特に、岡村前会長あたりのお話を聞いておきますと、若い人もきつと希望を持てるという気がいたします。また、学会、業界とも力を合わせ、こういった技術的に非常におもしろい、また他の技術のレベルアップに役に立つような産業を拓けていきたいと思っております。

本日はどうも長時間ありがとうございました。



エネルギー技術再編成とガスタービン

大阪大学工学部 石谷清幹

1. はじめに

本誌3月号掲載の拙稿ではガスタービンに関して十数年以前に私がたてた技術予測二件のてんまつを説明した。その執筆後にソ連、スイス、西独、東独、チェコをかけ足で視察して来たので、その結果を織り込んで、ガスタービンの今後の展開に関する所感を簡単に記述しよう。

3月号の拙稿でもふれたが、技術予測には原理と現状分析の両者が必要で、このいずれを欠いても空想か放言に等しい。ところがその「原理」として私の立てている内的発達法則理論は、ある程度くわしく論じないと誤解の種になりやすいのであるが、本稿ではその細部に立ち入る余裕が全くないので全面的に省いてしまうこととする。もうひとつの必要条件である「現状分析」については、私は自分の専攻する蒸気動力との関連においてしかガスタービンを見ておらず、従ってガスタービン専攻の方々のよほど密接な協力がないとガスタービンの現状分析が正確にできる筈もなく、現在それができているとも思えない。だからエネルギー全般を私なりに概観し、その中でガスタービンに関する感想を織り込んでゆくことにするが、ガスタービン技術の科学的予測の域には達し得ているものではないことをおことわりしておく。それをあえて公表するのは、現状のような転換期にはともかくも技術の大局的展望に関する論議がさかんになることがのぞましいからであり、またひ

とつには私見に対するガスタービン専門家のご感想を伺いたいからである。

2. 個々の熱機関発達における飽和傾向

今年2月の訪欧に際して、私はエネルギー技術開発の前線指揮に当たっている研究者の方々と当面の技術開発課題について懇談することを目的として日程を作成した。私には蒸気動力、ディーゼル機関、火花点火機関、ガスタービンのどれもがそろそろ発達の頂点に漸近しつつあると思えるのであるが、諸外国ではどう見ているかを知りたかったのである。アメリカも訪問したいのは山々ながら、時間にも費用にも制約があるので、比較的良好事情のわかっているアメリカは割愛した。

ガスタービン、蒸気動力、内燃機関などの固有の領域で投入されている研究開発努力はいうまでもなく大変なものである。ディーゼル機関ではすでに平均有効圧力が 20 kg/cm^2 に達しているから、これ以上過給度を上げようとする二段過給も考慮せねばならない。世界最大の蒸気タービンはすでに単機 1300 MW に達しているが、もっと巨大なタービンをつくる努力は進行中である。一段で圧力比3以上、等エントロピ効率85%以上をねらった遠心圧縮機などによりガスタービンの性能の飛躍的改善がもくろまれている。以上のようにたしかにはなげなしい研究開発状況ではあるが、しかしそれぞれに発達の極限に近づきつつあり、改善速度に飽和傾向がみられるという印象はヨーロッパ視察後も

(昭和49年6月13日原稿受付)

かわっていない。もう10年以上前にMHDがはなやかに登場したときにはこれこそ新しい熱機関のホープかとみえたが、ソ連を除き世界各国とも放棄または減速してしまい、すくなくも急にどうこうということになりそうもない。ただしMHDの研究開発に当りソ連のとった体制と方法は今後の研究開発について多分に教訓的なのであるがそれは今回は論外とする。

鉄鋼業の製鉄製鋼も、酸素製鋼という革新的技術もほぼ発達の極限にきた感があり、高炉の大型化もそうである。原子力も増殖炉が実用化される見通しがつき、まず一段落に近づきつつあるようだ。

3. システム化による改善の可能性

個々のハードウェアの発達の飽和傾向とは逆に、エネルギーシステムの組みかえをもし断行したときの効率改善の可能性はますます明白になりつつある。例えば、個々のビルにおける暖房ボイラをやめて熱併給発電所による地域冷暖房方式に切りかえればエネルギー経済上大いに有利であることはすでに実証済みである。製鉄所も製鉄所の敷地内でのエネルギー自給自足方式をやめて、ガスおよび電力の供給を兼営すれば熱経済上有利となる。燃料電池はすでにハードウェアとしては完成しているから、電力とガスの総合運営をはかれば熱経済上有利なことは目にみえている。これらはつまりエネルギーのトータルシステム化による改善である。トータルシステム化には社会制度の側の改正が前提になるが、日本では官庁組織にいたるまで現在のエネルギーシステムにびったり適応した体制になっているので、その全面的再編成は容易でない。しかしおそかれ早かれトータルシステム化への再編成は日程に上るであろう。そのときは従来のシステムはいったん解体の上再編成されることになる。この再編成の進行にあまり社会システム側の抵抗がない場合と強い抵抗がある場合とで過渡期の技術形態にかなりの差異を生ずるであろうが、いずれにしても再編成完了後のトータルシステムを一個のプラントの中で実現したようなものが過渡的に出現し、これが実績をあげつつトータルシステム運用上の経験を蓄積することになるだろう。つまり、転換が完了したとき

には衰亡するような中間形態技術を経由しつつ転換が進行するだろう。

技術史上の転換期の経験によれば、転換期にはこのような本来的中間形体のほか、いろいろの変りものが出現し、ときには先祖がえりの退行形体までも相当に繁栄する。未来をになう責任のあるものはこれらにもまれることによりきたえられながら出てくるのである。このような過渡期はいわば乱世であって、局所的力関係で局所での成敗がきまるとみてよい。このような状況の中で、ガスタービンも相当に活躍するであろう。

4. 消費末端における燃料の良質化

産業革命らしいの燃料の変遷を巨視的にみると、消費末端における燃料の良質化傾向は明白である。戦後の日本は1800年らしいのこの傾向を短縮して経験した。すなわち、大きくみて石炭→石油→ガスと経過し、都市ガスも3500 Kcal/Nm³の石炭ガスからはじまったがカロリーアップを反復し、プロパンも普及し、良質の天然ガスが日本で使われるところまで来た。もう一步をすすめるとメタンか水素の高圧供給に行きつく筈と予想して当然である。

消費末端における燃料の良質化には、燃料の燃焼前処理技術の発達と環境汚染防止要求の強化とが表裏一体の関係で作用している。一方では極端な低質燃料として各種廃棄物が出現し、これに対する燃焼技術も発達し、都市のゴミ焼却や廃油の燃焼処理技術も発達し、ついにアスファルトにいたるまで燃やしてしまうことができるようになった^{*}。つまり消費末端における燃料の良質化はこれら全般的燃焼技術発達による必然的結果として出現しているのであり、社会全体のトータルシステムとしては、たしかにこの方が合理的である。たとえば今後日本で石炭による石油の一部置換が実現するかどうかはまだ判らないけれども、もしこれが実現した場合、昔のようにトラックやオート三輪で石炭のままボイラ前まで配給され、灰はまた各ボイラからトラックであつめてまわるような方式は、人

* 脚注 一例として東洋ゴム工業会社によるレスノックス法をあげておく。

手の点だけからいっても再現不可能である。どこかで集中的に完全ガス化し、除じん脱硫脱硝の上、あるいはさらに変成してカロリーをあげてからパイプラインで消費末端に配給することがどうしても必要になる。ガスタービンは低質燃料によわいという欠点はあまり心配なくてよい日が近づきつつあるようだ。

これはもちろん良質燃料はそれだけ高価ということまでなくなるというのではないが、各種燃料間の価格差は高度に政治的影響をうけるだろうし、それがガスタービンに有利に作用する可能性も存在する。

5. 再編成期でのガスタービンの役割

詳細は省くが以上の見方はエネルギー技術の現状を再編成のための解体期とみなす見解と両立する。そうとすれば、ガスタービンの活動できる分野は、その本来の適性領域に必ずしも限定されないからきわめて広いものとなる。

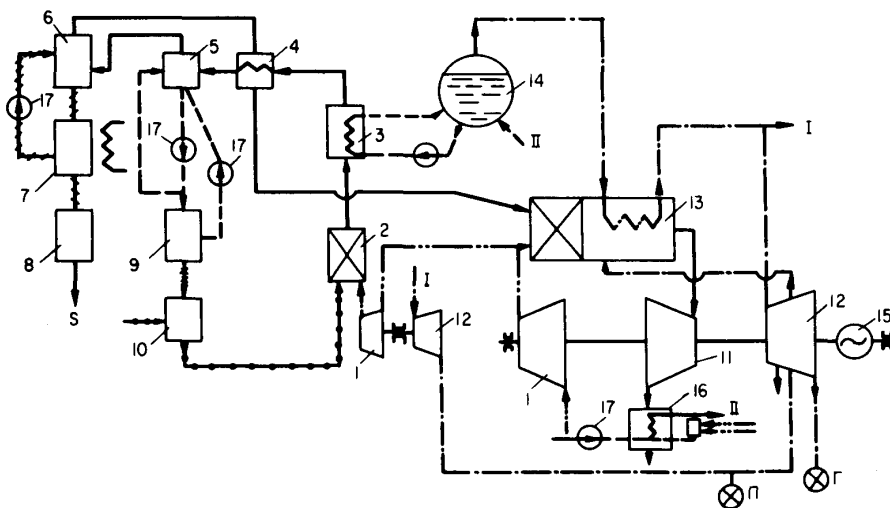
第一の可能性はもちろん本来の適性領域であり、航空用以外では私はこれを原子炉と結合した巨大出力密閉サイクルガスタービンと見ている。これと蒸気タービンとの競争または協力は全くみものであろう。究極的には発電機の単位

出力がどこまで巨大化できるか、および、蒸気側の改良対策（例えば二流体サイクル）の技術開発に腰のすわった体制がとれるかどうかなどの要因が作用するであろうが、密閉サイクルガスタービンの勝利の可能性、および過渡的急進の可能性はともに相当に高いと思われる。

第二の可能性は、蒸気ガス結合サイクルである。これにも種々の方式があるが、私には過給ボイラ方式、それも燃料のガス化と結合したいわゆるガス化発電方式の当面の可能性はかなり大きいと思える。ただしガス化発電プラントは私の内的発達法則からみれば明白な「ぬえ」であって、起動特性も運転特性も著しく異なるものをむりやりひとつにまとめたものだから真の将来性を認めることはできない。しかし、それだけに、これで過渡期を乗り切り、やがてガス化プラントと高圧高級ガス配給システムと過給ボイラプラントに分解して定着する可能性を想定することが十分に可能である。

ガス化発電も各種の方式が考えられるが、現在実用化への最短距離にあると私が見ているものは第1図のクリスチャノビッチ方式である。たぶん欧米のどの方式よりも先に実用化され、相当の影響をもつていたると見ている。

ここで第1図を簡単に説明しておく、原料となる燃料は10に送入され、9から来る固形分とあわせて2の反応器に入る。ここで1からくる圧縮空気により不完全燃焼させられガスとなる。このとき燃焼温度が低すぎると発煙し、高すぎるとNOxを発するので、1000℃をこえ1300℃以下でガス化する。そのガスは過給ボイラ3に導びかれて蒸気を発生し、自身は低温となり、さらに



第1図 クリスチャノビッチのガス化発電システム。2はガス化炉、3,13, 14は過給ボイラ、5は除じん装置、6は脱硫装置。他は本文参照 С.А.Хрещатюхобууほか8名：МНОГОСТУПЕНЧАТОЕ СЖИГАНИЕ ТОПЛИВ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ КАК МЕТОД ГЕНЕРАЦИИ БЕЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ИВТАН, 1937

除じん脱硫されたクリーンガスと熱交換して低温となる。5で除じん、6で脱硫されるが、共に高圧下でおこなうので装置の大きさが小さく、コスト低減と性能改善上有利である。発生したクリーンガスは4で熱交換して温度があがり、13の過給ボイラに来て、圧縮機1からの空気により燃焼されるが、この燃焼温度はすでに3で吸熱してあるのと出力蒸気タービンからの抽気が混入されるため過度の高温とならずNO_xを発生しない。燃焼ガスはガスタービンをまわし、廃気は蒸気サイクルの給水加熱系に導かれる。過給ボイラ発生蒸気Iは2ヶ所にわかれ、一部分はガス化反応器2の直前の圧縮機1を駆動する蒸気タービンをまわし、大部分は発電機15を駆動する蒸気タービンをまわす。その主タービンから適当な圧力で蒸気を取り出して過給ボイラに導びき、燃焼をコントロールしてNO_xを発生させない。そして蒸気自身は再熱され、ガスタービンで動力を発生する。

みられるようにこのシステムは、a) 過給ボイラと加圧下のガス浄化のため装置全体が小型で値段が安くなる。b) NO_xは発生後除去するのでなく燃焼に際しての蒸気送入と温度調節で発生させない。c) ガス蒸気結合サイクルで熱効率改善をはかる、の3点が主眼となっている。

クリスチャノビッチ方式は第1図のものに限らずいろいろのバリエーションがあり、必ずしも過給ボイラを前提とはしておらず、また蒸気タービン廃気のガスタービンへの供給を前提にしているとも限らない。しかし私は過給ボイラ方式も含めてクリスチャノビッチ方式に将来性があると考えている。そのひとつの理由は、ソ連が他の機会もとらえて過給ボイラを着実に開発しつつあり、それら過給ボイラの設計がボイラ技術者からみて妥当だからである。従来の過給ボイラはボイラ技術者の意見を無視したとしか思えない奇抜なものが多かったが、クリスチャノビッチ方式を生み出したソ連の高温研究所はスティリコビッチ教授の適切な指導によりボイラとしてまともな設計をしているので、多少の改造を経由することはあろうがそのボイラとしての成功を信ずることができる。

第三の可能性は、高級高圧ガスの都市ガスとしての供給を前提にした上で、自家用熱併給発電用としてのガスタービンである。転換完了後のトータルエネルギーシステムでは低圧暖房用ボイラは廃止され、抽気タービンによる熱併給自家発電が比較的大出力用に、燃料電池による熱併給自家発電が比較的小容量用に、その中間に内燃機関またはガスタービンによる熱併給自家発電が進出するであろうが、そのはしりがやがて出現してくる可能性がある。

第四の可能性は、特殊船用のガスタービンである。ガスタービンが船用としての将来性を高く評価されながら現実の進出がおそい理由はいくつもあるが、そのひとつは機種がすくなく船側の多様な要求にこたえ得ていないことがあげられる。ディーゼル機関でも蒸気タービンでも船にあわせてエンジンを設計するのに、ガスタービンは標準機の馬力の種類がすくなく、変更の要求にもなかなか応じてもらえないのである。これはしかし相対的な問題で、機種がすくなくわりにはどの船に乗り組んでも同じような機関室となる点は長所とみなしうる。かつては船の乗組員は相当の期間にわたり同一船に乗ったものであるが、現在では年に二度かわるくらいのことは珍しくない。その場合には船がかわっても同一エンジンがついていて、操縦法も非常対策法もみな同一であれば運航の信頼性が向上する。機種が現状のようにすくないのは困るけれども、普及すれば機種もふえるだろう。船の隻数がふえても人員をそれに比例してふやすことはむづかしいから、小人数運転に適したガスタービンは魅力がある。もちろんこれは内燃機関や蒸気タービンとの競争の問題で、競争相手も保安全性や操縦性を改善して対抗してくる。しかし、いろいろなあだ花が乱れ咲くという乱世の一般的な特質も考えあわせると、ガスタービンの進出すべき特殊分野の存在は確信できる。

以上では、内燃機関つき過給機としてのガスタービンについてはふれなかったが、これはもうすでに地位を確立したから省略したまでである。過給機としてのガスタービンの発達により内燃機関の性能が著しく向上し、ガスタービン

に対する内燃機関の競争力も強化されたことは皮肉であるが、在来機種を横につなぐトータルシステム化傾向のひとつの発現でもある。

6. 結 語

ヨーロッパでの見聞内容を具体的に織り込む余裕がなくなったので、ガスタービンの可能性をたんに列挙しただけのこととなってしまったが、以上の所論の焦点はトータルシステム化をめざす再編成の進行である。それには従来ガスタービン屋、ディーゼル屋、蒸気屋というよう

に専門がわかっていたのを、全国的トータルシステム屋、ガス化発電屋、熱併給発電屋というような専門編成に編成しなおす案も考慮されてよい。すでに研究者の間では伝熱屋、材力屋、ターボ機械屋、二相流屋といった職能ができあがりつつあり、これとの関連も考えねばなるまい。要するにトータルシステム化へのとりくみの重要性を強調して結語とするが、学会会議などもこの種の問題に腰をすえてとりくんでもよいのではあるまいか。

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。

エネルギー“危機”とガスタービン

東京大学工学部 平 田 賢

1. まえがき

昨1973年の暮から1974年初頭にかけて、エネルギー“危機”が叫ばれ、世の中が一時騒然としたが、あっという間に静かになり、何事もなかったかのように天下泰平の日が続いている。作られた危機のような印象を一般に与えたのみで、熱しやすくさめやすい日本人の性格をまさに明らかにしたが、エネルギー問題は食糧ないし人口問題と同様に、じっくりと腰を落ちつけて100年の大計をたてるべき性質のものであることは言を俟たないであろう。

アメリカの大統領はさすがに本気のように、昨年4月18日に発表されたニクソン前大統領のエネルギー教書にしても、またフォード新大統領の就任演説にしても、エネルギー問題に正面から取り組む姿勢を見せており、残念ながら我が国の状態とはいささか趣を異にしている。米国の1974年度からのエネルギー開発5ヶ年計画によると、開発費総額100億ドル、その内訳が、原子力55億ドル（高速増殖炉に27億ドル、核融合に15億ドル、その他は高温ガス炉など）石炭技術22億ドル、省エネルギー技術19億ドル、太陽熱及び地熱利用にそれぞれ2億ドルとなっているが、その金額の大きさもさることながら、研究開発の重点の置き方がまことに参考になる。

我が国でも、石油に替わる新しいエネルギー源の開発と、エネルギーの無駄使いを少なくする節約技術の開発に早急に取り組まなければならないであろうが、新しいエネルギー源の開発といっても、例えば石炭のガス化技術の開発には10年、最も本命と考えられる核融合炉の

(昭和49年8月26日原稿受付)

開発にいたっては50年程度の期間が必要と考えられるので、とても当面の“危機”の解決には間に合わない。したがって、まず当面はエネルギーの節約技術、省エネルギー技術の開発がまず急務であろう。

2. 省エネルギー技術とガスタービン

はじめに、節約可能なエネルギー量が、どの程度であるかを見るために、どこにでも引用されている統計的資料を見てみよう。

周知のように、わが国は、一次エネルギーの74%近くを石油に依存し、その石油需要量の99.7%を輸入に頼っているが、表1でわかるように、そのうち約1億4000万kl(61.9%)を工場や電力などの熱エネルギー源に、次いで約4000万kl(17.3%)を交通機関の動力用燃料に、また約3,600万kl(約15.6%)を化学工業用原料に消費している。個別にみると、鉄鋼等の鉱工業生産用に約6200万

表1 わが国の石油製品用途別需要(昭和46年)

	用途別		需要量		合計	
			千kl	%	千kl	%
動力用	陸・空交通	自動車用	36,845	16.1	39,514	17.3
		航空機用	1,342	0.6		
		鉄道用	1,327	0.6		
動力用	船舶	用	5,552	2.4	11,969	5.2
		農林・水産	6,417	2.8		
熱源用	鉱都電家	工業用	62,119	27.1	141,676	61.9
		市ガス	3,544	1.5		
		電力	48,174	21.1		
原料用	家庭・業務	用	27,839	12.2	35,616	15.6
		石油化学用	26,610	11.7		
		アンモニア製造・その他	9,006	3.9		
総計					228,775	100.0

kl (27.2%), 電力に約4800万kl (22.1%)使っているのが目につく。

日本政府は石油危機発生と同時にエネルギー消費の節約を国民に呼びかけた。ネオンやビルの照明の自粛、マイカーの日曜ドライブの自粛、電気器具の合理的使用、深夜放送の中止などであるが、それらの節約がこの石油消費量にどれだけの影響を及ぼすかを試算してみよう。

昭和48年7月末の白ナンバー登録自動車の台数は、軽自動車も含めて約1350万台である。この全車のガソリン1ℓ当たりの走行キロ数を平均10Kmと仮定し、仮に全車が月50Km程、走行キロ数を減らしたとすると、1年間にガソリン81万klの節約が可能となる。この値は、表1の自動車用石油消費量の2.2%に当たる。他方、ビル照明の電力を5%節約すると、年間節電量が約13.5億kW/h、石油換算34万klとされているが、この値は表1の電力用石油消費量の0.7%である。

このように、民生用のエネルギー節約は、その精神的効果は別として、石油消費全体に及ぼす効果が比較的小さい。したがって、省エネルギーに直接有効な大型の総合エネルギー有効利用システム(トータル・エネルギー・システム)の開発をまず検討する必要がある。

表1でみると、民生用の熱源、即ち主として暖冷房熱源と、発電に使われる石油量を合計すると、約7600万klとなり、総量の33.2%を占め、最大となる。この石油量の10%程度を節減する技術が開発されれば、その効果は大きい。

著者は、我が国でエネルギー問題が騒がれる直前1973年8月にエネルギー問題調査団を組織して米国の状況を調査する機会を得た。その際ニューヨーク市のエネルギー担当官からガスタービンを主体とした地域ないしビルごとのオンサイト小型総合プラントの計画をきいた。

ニューヨークではベースロード用の大型発電所であるストームキングの揚水発電所や、インディアンポイント原子力発電所の2号、3号機が、住民の反対運動等によって endlessの公聴会や訴訟に入ってしまった、建設が著しく遅延している。市の電気、ガス、蒸気を供給している

Consolidated Edison 社では、背に腹はかえられず、ガスタービンに頼らざるを得ない状況におこまれ、同社の発電能力8000MWのうち2800MWがガスタービン(平均熱効率23%)、それも当初のピークロード用という予想をくつがえして、年間3000時間以上も稼働するような状態である。日本ガスタービン会議の会員には見学された方も多と思うが、例えばブルックリン地区のGowanus Canal 発電所は、1unitあたり22MWのGEの単純サイクルガスタービンを1隻のはしけ(バージ)の上に8unit並べ、それを4隻まとめて河口に係留した形式のもので、今後の大容量発電所の立地の難しさをまざまざと感じさせるものである。

立地難は発電所ばかりでなく、送変電設備、及び暖房用蒸気発生設備等の立地も困難が予想され、とうとうニューヨーク市では、ビルや地域(団地)ごとにガスタービンで発電し、その排熱で蒸気を作り、地域暖冷房に用いる方式、又は、発生した蒸気をガスタービンに戻して(蒸気噴射)出力アップとNOx減少をはかる方式、更に、これらにゴミ処理設備も組み込んだオンサイト、小型総合プラント方式を打ち出した。早い話が自家発電方式である。

このように発電プラントとその排熱利用の暖冷房システム、及びゴミ処理システムの組み合わせといった設備をトータル・エネルギー・システムなどと呼んでいるが、このシステムには様々の変形が考えられ、多くのアイデアが提案されている。太陽エネルギー利用あるいはスターリングエンジンの組みこみといった新技術の開発を必要とするものは将来のこととして、我が国でも最も早期に実現の可能性があり、又、大きい効果を期待できるものは上述のようなガスタービンをトッピングパートとした比較的小型の総合プラント方式(蒸気タービンを組み込むことも含める)ではないかと著者は考えている。このようなトータルシステムではプラントの総合熱利用率を最大70%程度迄高めることができよう。在来型火力発電所の40%、ガスタービン発電所の25%程度の熱効率に較べかなりの向上である。

なお、大容量発電所、及び送変電設備の立地困難の問題に加えて、大容量集中発電、大容量送電方式は、例えば、高圧で天然ガス若くは水素を輸送し、末端でガスタービンで発電あるいは燃料電池で発電する方式に比べ、エネルギーの輸送能力が小さく、中間損失が大きく、輸送コストが数倍という試算⁽¹⁾もあるので、上記のオンサイトミニプラント方式は、エネルギーの輸送という観点からも将来性があると考えられる。問題は NO_x であろうが、先述の蒸気噴射等によって解決の方法はあり得るだろう。

3. 新エネルギー技術とガスタービン

次にやや将来のエネルギー問題に眼を転じよう。いずれにせよ石油に主体を置いたエネルギー供給形態に依存し続けるわけにいかないことははっきりしている。石油に替わるエネルギーを開発する努力はこれまでも続けられて来たが、あまりにも安く、大量に石油が供給されて来た為、コストの面で競合できず、本格的に取り組み始めるまでに至っていなかったのが実情であろう。しかし、原油価格が高騰してくると、情勢は一変する。

我が国に於いて、石油に替わる新しいエネルギー源として考えられるものを重要な順に挙げると(1)核エネルギー、(2)石炭、(3)太陽エネルギーとなるだろう。この他に、水力、地熱、水素エネルギーなどが考えられるが、例えば水力は、我が国の降雨量、地形から見て、約7700万kWの水力発電が可能とされているものの、現在既に、比較的容易に利用できる部分の殆んど全て、約2000万kWが開発されており、紀元2000年前後の総発電容量を仮に3億kWとすると、水力発電は先行きあまり期待できる量ではない。又、地熱発電は、地下から噴出する蒸気で蒸気タービンをまわすもので、我が国でも既に大岳(1万1,000kW)、松川(2万kW)、大沼(1万kW)などの発電所が運転されているが、この方式で開発可能な量が約2,000万kW、その後、高熱岩体に水を注入して蒸気を得るいわゆる火山発電方式が成功したとしても合計4,000万kW程度であり、これもまた本命とは云い難い。

次に水素であるが、これは臭化カルシウムと

水銀を使って水を700℃程度の比較的低温で熱分解して作る方式などが有望と考えられているが、原子炉や太陽エネルギーなどの熱を使って生成するので、資源として独立したものではない。しかし、大量に安く水素が生成されれば、炭化水素燃料に替わるものとして、新しいエネルギー輸送システムを構成することができる。水素は燃焼すれば水に還元するので、公害が少なく、又、その爆発限界をはずしておけば、都市ガスとして供給してもさほど危険が増すわけでもない。この他、潮汐、潮流、波力、海水温度差、風力などを言う人もいるが、いずれも利用可能な量が小さすぎて問題にならないだろう。そこで先述の3つの新エネルギー源の開発とガスタービンの役割について少し考えてみよう。この問題に関しては本会会報の前号の一色の論説⁽²⁾もあるので、著者は多少異った観点から述べてみたい。

まず石炭のガス化技術であるが、ここで言うガス化は従来我が国でも都市ガス用として行われて来た石炭から一酸化炭素を主体とする低発熱量ガスを作るプロセスと異り、700~800℃、70~100気圧位の高温高圧下で、石炭と水を反応させ、メタンを主成分とする高発熱量ガスを作るシステムの開発のことである。わが国はガス化、液化技術とも米国に20年の差をつけられたと思われるが、やっと再開された一般炭の輸入を頼りに、石炭のガス化技術の開発を早急に着手すべきであろう。

次に太陽エネルギー利用であるが、当面大々的なエネルギー源とはなりそうもない。先述のトータルエネルギーシステムの一部に組みこんで暖冷房熱源の一部に使用する技術の開発と、昼と夜の熱量の差を蓄熱によってカバーする技術の開発が主体となろう。太陽エネルギーを受けて水から水素を発生する緑藻類があるようである⁽³⁾が、石炭にしても、太陽にしても、メタンガス、あるいは水素の形でのエネルギー輸送、供給システムとなれば、端末に於ては先述のオンサイトトータルシステムとの組み合わせとなる。

核エネルギーは、核分裂と核融合であるが、核分裂には“死の灰”の生成という致命的な欠点がある以上本当の本命は核融合ということにな

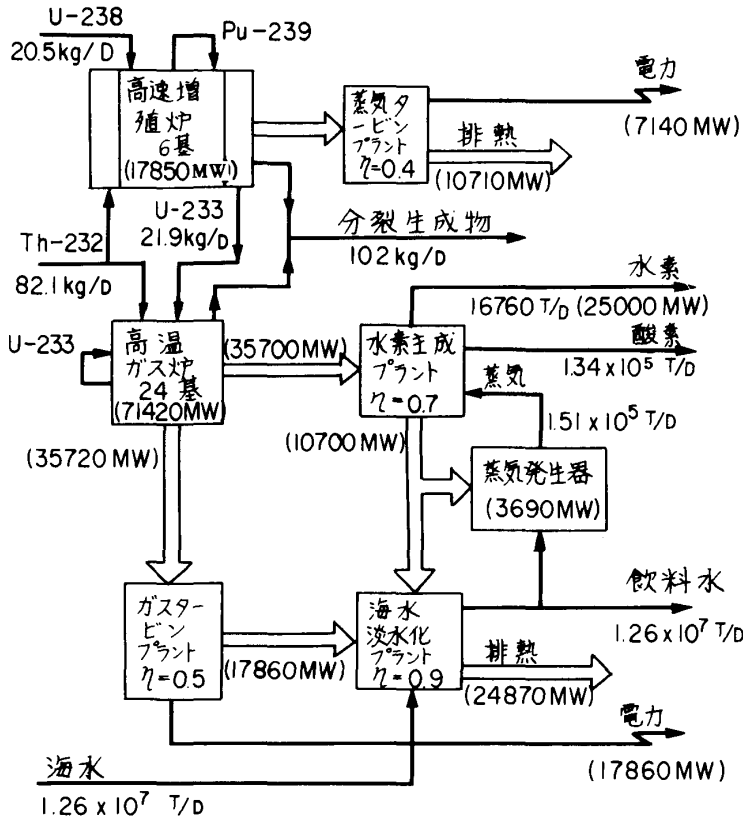


図1 大型海上総合エネルギープラント⁽⁴⁾

ろう。この場合にも、核融合発電によってすべてがまかなわれるわけでもなく、その他のシステムが併立することになるであろうことはいうまでもない。核分裂、あるいは核融合による発電と低温熱分解による水素生成、及び海水の淡水化等のシステムが総合されたものが海上に建設され、地上には電気と水と蒸気と、水素ガスなどが供給されるというのが将来の一つの姿であろう。このような大型エネルギーコンビナート構想の例を図1⁽⁴⁾に示す。この図では、6基のU²³⁸を燃料とする高速増殖炉から電力を、増殖炉のTh²³²ブランケットから生成されるU²³³を

燃料とする24基の高温ガス炉から出るヘリウムにより臭化水銀を用いた水の低温熱分解プラントで水素を生成する。一方ヘリウムガスタービンでも電力を発生し、ガスタービン排熱は海水淡水化に用いて温排水問題の減少をはかるといったプラントである。

4. むすび

以上ガスタービンを用いたオンサイトミニプラント、及び水素供給システムとガスタービンの関連などを中心に将来のエネルギー形態について著者の予想を概説したが、独断、偏見があるかもしれない、お許しを頂ければ幸甚である。いずれにせよ、著者は将来のエネルギー源、及びエネルギー供給システムとして唯一絶対の本命というものはありません、多様化したエネルギー源と、各種のエネルギー輸送、供給システムが総合的、有機的に結合され併立して行く形となると考えている。その中でガスタービンは現在よりも更に広い用途と使命を担って行かなければならないと考えている次第である。

文献

- (1) 石丸, 機械学会誌, 77-663(昭49-2), 73.
- (2) 一色, 日本ガスタービン会議会報, 2-5(昭49-7), 4.
- (3) Blankenship, D.T. & Winget, G.D., Proc. 8th Intersociety Energy Conversion Engineering Conf. (1973-8), 580.
- (4) Booth, L.A., ほか2名, ibid., (1973-8), 396.

航空用ガスタービンの高圧燃焼器の実験

航空宇宙技術研究所 堀内正司

1. まえがき

近年航空用ガスタービンを開発する時の要求性能の中に従来要求されていた耐久性、保守管理性、低燃料消費率等に加えてエンジンの発する騒音および有害排気ガス成分の減少が上げられている。低燃料消費率および騒音発生を少なくするには超音速機よりターボファン・エンジンを利した亜音速・遷音速機が非常に有利である。このため民間航空機用ガスタービンとして有害排気成分、騒音の少ないターボファン・エンジンの開発が行われつつある。航空宇宙技術研究所においても、通商産業省の大型工業技術研究開発制度によりターボファン・エンジン FJR 710/10 の開発研究のため総合運転試験を始めている。¹⁾

ターボファン・エンジンのタービン入口温度は開発が進むにつれ、年々上昇して来ている。これに伴い燃焼器入口圧力も増加し、現在最も高い圧力で作動しているエンジンの一つ CF 6 では数年の経過で全体圧縮比は 2.7 から 3.2 程度まで上昇して来ている。^{2) 3)}

ここでは航空用ガスタービン燃焼器開発の方法を説明し、高圧燃焼器の実験について示す。

2. 燃焼器開発の方法

燃焼器の外形、特に缶型燃焼器では第 2 次世界大戦終了時に実用化された燃焼器と現在の燃焼器を比較した場合の変化はさほど大きくなく、例えて云うと真空管からトランジスタへの移行ではなく、3 極真空管から 5 極真空管への変化程度であろう。実機燃焼器の開発方法の面では、数十から数百もの候補燃焼器を製作し、燃焼実験によって選別と改良の可能性について検討しながら燃焼器を作り上げて行く方法が、現在ま

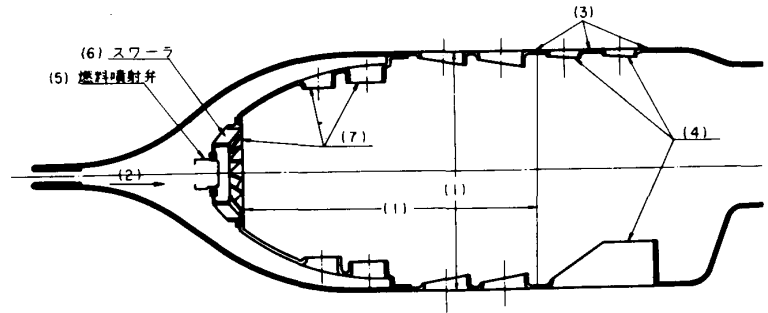


図 1 候補燃焼器の設計項目例

で継続されている。

候補燃焼器を設計するために決定すべき項目の主なものを次に示す。(図 1 参照)

- (1) 保炎・反応領域の大きさ。
- (2) 保炎・一次燃焼領域へ導入する空気量。
- (3) 内筒壁面の冷却形式および冷却空気量。
- (4) 燃焼器出口温度分布(タービン入口温度分布)を整えるための希釈空気孔形状。
- (5) 燃料供給方法。
- (6) 保炎方法。
- (7) 保炎・反応領域で必要とする空気の導入方法。

(1)~(4)までの決定をする手段は現在までの研究によりほぼ得られている。^{4) 5) 6)}(5)~(7)については、現在までに数多くの研究がなされているが設計的観点からすると仮定が多くて、決定に際し困難が多い。^{4) 7) 8)}これは

(イ) 決定を下す内容が評価未定の方法(うず巻噴射弁、ペーパーライザなどを使用する燃料供給方法等のこと)の選択を含むこと。

(ロ) 方法を実現する装置(噴射弁、ペーパーライザ、空気導入用スワロー等)の特性が設計に利用出来るほど明確になっていない。

(ハ) 装置の特性表示についても流れ模様、流速、気流の乱れ、循環流割合等の中でどの様な表示が設計上有用であるのか不明確である。

(昭和 49 年 9 月 5 日原稿受付)

(二) 燃焼器の大きさの制限から、装置相互の距離が短く装置相互の干渉が強くなっている。このため装置単独での特性表示だけでは燃焼器に適用出来ない。

(三) 装置の幾何学的形状の多様さ、これに伴う特性の変化が大きい事および複雑な変化を示すこと。

等の理由による。

現実的には、上の項目の決定はそれまでに蓄積された実験データに推定を含む不確実なものを加えて行う。

この様な決定をへて製作された候補燃焼器から数個の原型燃焼器が実験によって選別される。原型燃焼器の改良はスワラ径、噴射弁位置、その他空気孔の位置や大きさ等を少しずつ変化して目的の最良点を求める実験の繰返しによって行う。⁹⁾ 近年、電子計算機を用いて実用燃焼器に近い形状で、流れと反応に関する計算を道具にしてシミュレートする研究が始められている。¹⁰⁾ この研究は装置相互の流れの干渉等の解明に役立つものと思われるが、現在までの段階では二次元、軸対象および単純化された形状に限られていること、および実験との比較例が少ない。

候補燃焼器の設計、原型燃焼器の改良実験を進める上で、装置単独の特性把握に加えて、噴射弁とスワラ、スワラと空気孔等の組合せの特性を調べることが重要な仕事となる。

3. 高圧燃焼器の特性および問題点

燃焼器の圧力が高くなって来ると熱的性質、燃焼反応量、液体噴霧流れと気体流れの相対的特性が変化して来る。これらの影響は次に示す形で表れる。

- (1) 単位体積あたりの燃焼量が大きくなる。
- (2) 入口温度上昇により燃料のペーパーロックが発生する。
- (3) 入口温度上昇により液体燃料の蒸発が促進される。
- (4) 入口温度、圧力上昇により燃焼範囲が拡大する。
- (5) 火炎からの熱ふく射によるライナーの焼損増加。
- (6) 排気中に含まれる窒素酸化物や煙が増加

する。

(7) 燃料と空気の混合が悪化する。

(8) ライナー上へ炭素の堆積が生じ易い。

最後の3つの項は、いずれも保炎反応領域に属し主として高圧による燃料分散特性の変化によるものと推定された。これについて筆者が燃料供給装置としてうず巻噴射弁を、保炎領域空気導入装置としてスワラを、図1に示すような形で用い、高圧での特性および干渉について調べた結果を紹介する。

4. 実験装置

高圧空気源設備の大きさの制限があり、実験は噴射弁とスワラ各1個の組合せにて行なった。うず巻噴射弁単独特性およびスワラとの組合せによる流れの干渉特性を調べるための装置を図2に示す。特にガス噴射弁を用いて噴射弁近傍の狭い場所や流速の遅い所での流れ模様を調べるために、流動パラフィンの煙をトレーサとして使用した。煙トレーサ発生装置を図3に示す。燃焼実験用として使用した高圧燃焼器を図4に示す。

5. 実験経過

(1) 高圧開放空気中におけるうず巻噴射弁単独の噴霧分散特性

分散特性を図5に示す。(ここで D : 噴孔から15mmの場所で測定したシース外径、添字0は大気圧状態。 P_a : 気圧 ata , ΔP : 噴射差圧 at) ΔP および P_a が大きくなると、 D/D_0 が小さくなる現象の主な原因は図6に示される噴霧自身によって誘引される気流および気流中を飛ぶ噴霧粒子が気体の抵抗により飛行速度を減ずるためである。 ΔP が大または噴孔径小になると噴霧粒径が小さくなり慣性力に比して抵抗力が大きくなる。 P_a が大きくなると抵抗力が大きくなる。この二つの効果が図5に示されている。¹¹⁾

(2) 高圧状態でスワラとうず巻噴射弁を組合せた時の噴霧シース特性

誘引流が周囲境界条件の変化によって図6から図7のように変化すると噴霧シース形状も、大気圧で測定した噴霧角度より広がってしまう。高圧状態で組合せによる実験を行なった時に、噴霧シースの一部がスワラ内側に衝突してし

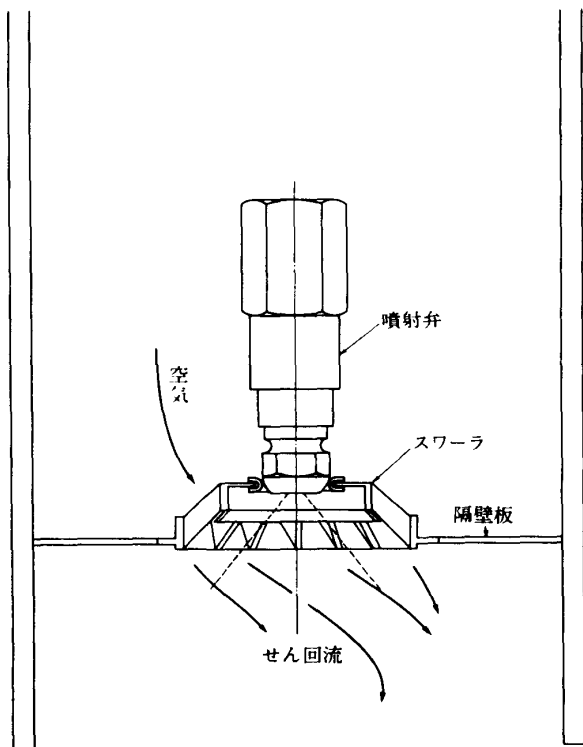


図 2-1 高圧空気での実験装置

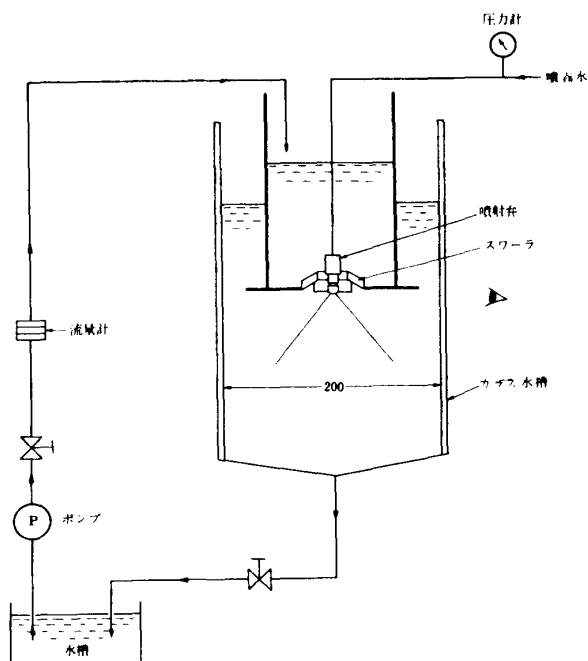


図 2-2 水槽での実験装置

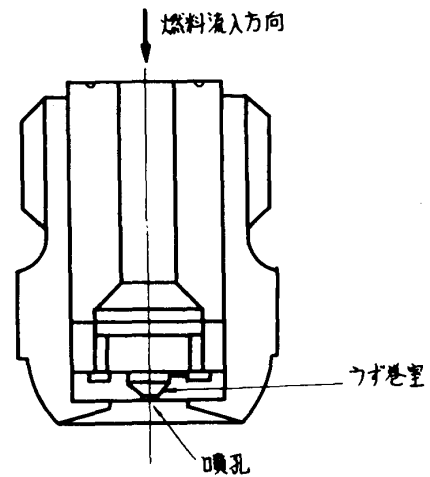


図 2-3 液体噴射用うず巻噴射弁

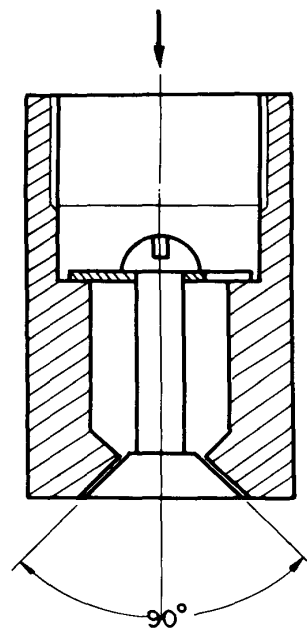


図 2-4 スリット状ガス噴射弁

もう事が認められた。

観察が容易に出来て、しかも高圧での流れに近い現象が与えられる技術として水槽による実験を行なった。¹²⁾ 図 8 に示す 4 つの状態が表われた。各々の領域は噴射流およびスワール流モーメントで整理された。2 つの安定した状態を図 9 に示す。準安定状態は始めの状態によ

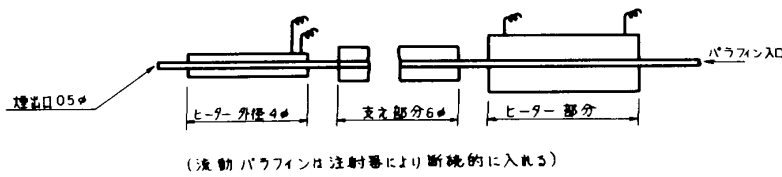


図3 煙トレーサ発生装置

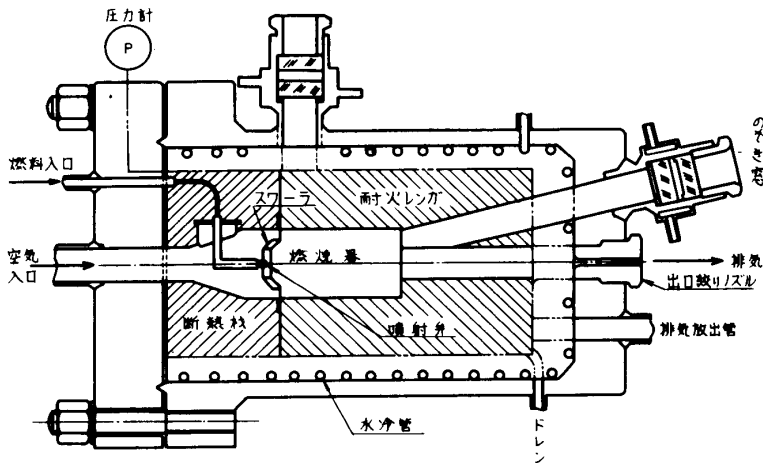


図4 高圧燃焼実験装置

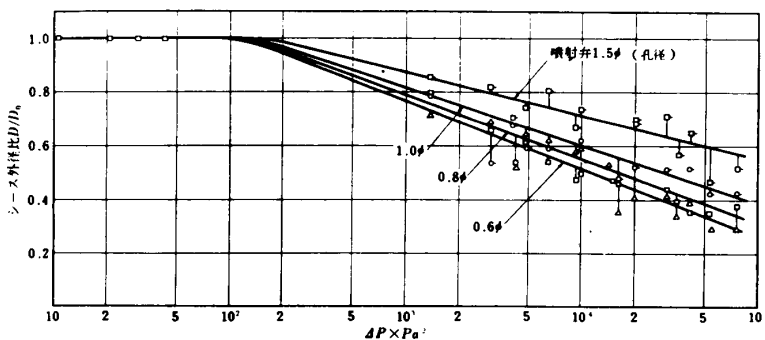


図5 うず巻噴射弁単独の噴霧分散特性

り付着状態または分離状態のいずれかに安定する。振動状態は付着，分離状態の間を往復しているか分離状態の不安定な形を成す。¹¹⁾

スワラ翼と噴射弁の間など保炎に鋭敏な場所の流れを知るために，大気圧でガス・スリット噴射弁を用いて行なった。水槽実験と同様な噴射ガス流れが広がる場合と広がらない場合が見られた。(図10参照)

(3) 高圧燃焼実験

高圧燃焼実験において噴射弁近傍の気流および噴霧シースの形状変化を，のぞき窓からの観

察で判明することは出来なかった。しかし，高圧燃焼後の状態(図11)によって判定が出来る。圧力10 atgではガス状燃料からクラッキングしたものと考えられる軟質の炭素が付着していた。また，圧力40 atgの実験後には液体燃料からクラッキングしたと思われる硬質の炭素が堆積していた。このことから40 atgの燃焼では噴霧シース形状は広げられて噴霧の一部はスワラの翼内側に衝突していたものと認められた。¹³⁾

6. まとめ

(1) 開放された状態でのうず巻噴射弁の噴霧角は周囲気体圧力を上昇すると減少するが，境界条件を変えることによって拡大することがある。

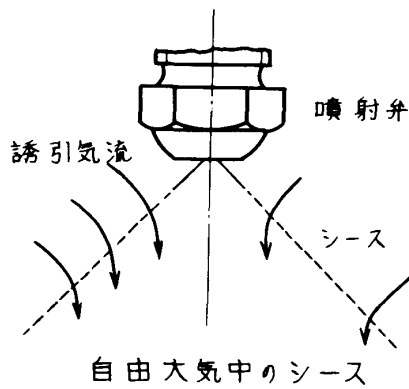
(2) うず巻噴射弁と空気流入スワラとを組合せた場合に噴霧シースは，高圧中で二つの安定形状を持った。この事柄は高圧燃焼実験においても炭素堆積から認められた。

(3) 気体中に液体噴霧粒子を含む流れにおいては，気流と粒子の移動に関して，大気圧の場合と20～40気圧の場合では差異が出来る。流れ場の境界条件によってはこの差異が遷移的に拡大化される。

7. むすび

高圧燃焼器の開発をサポートする立場から，液体燃料供給装置と空気導入装置の代表的な組合せとしてうず巻噴射弁とスワラの組合せを用いて高圧での問題について調べた。今後，流れの計測の研究¹⁴⁾等を応用して他の燃料供給装置と保炎装置の特性を調べる必要を感じている。現状では実物に近い形での測定の結果が燃焼器の設計・開発を支える一部であろう。

終りに，開発実験についても視野が狭く，独断的な事を書いたかも知れないが，一般ガスタービン用燃焼器の開発・改良に少しでも役立てば幸いである。



自由大気中のシース

図6 開放大気中の噴霧シースと誘引気流

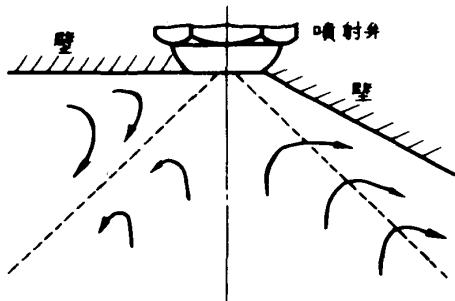


図7 壁のある場合の噴霧シースと誘引気流

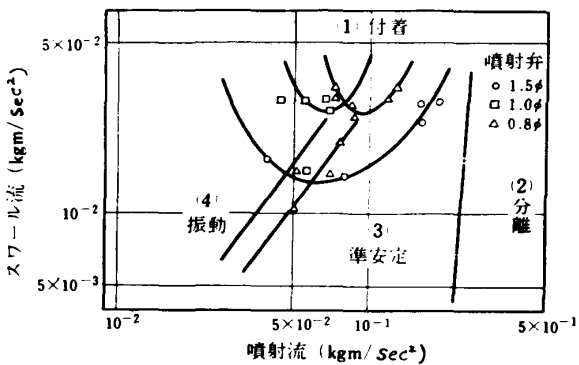


図8 水槽による実験



(1) 付着状態 (2) 分離状態

図9 シースが安定している二つの状態

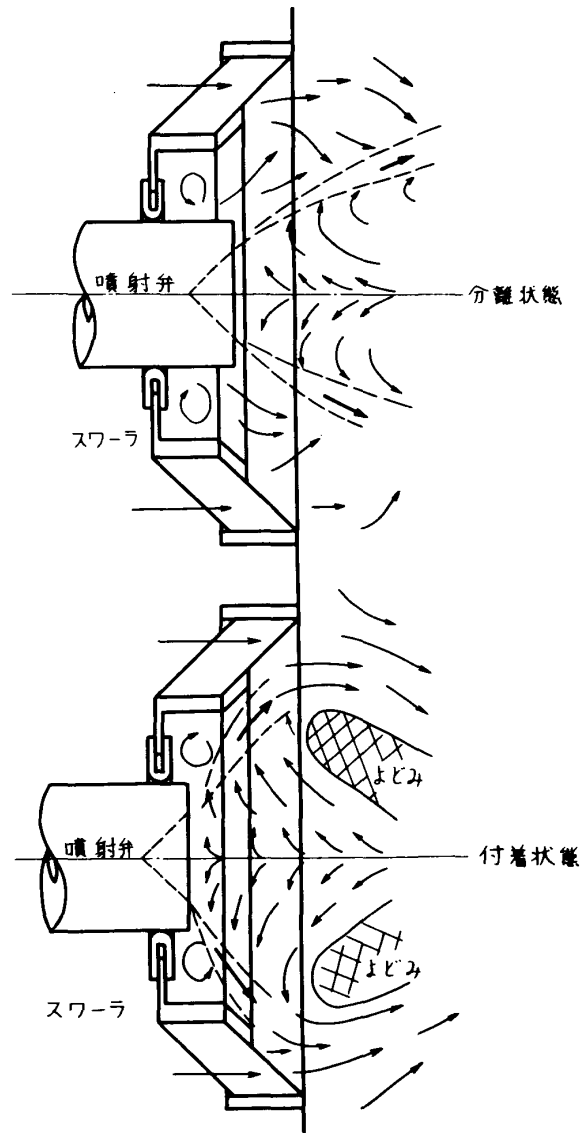


図10 大気中でガス・スリット弁を用いた時の流れの模様

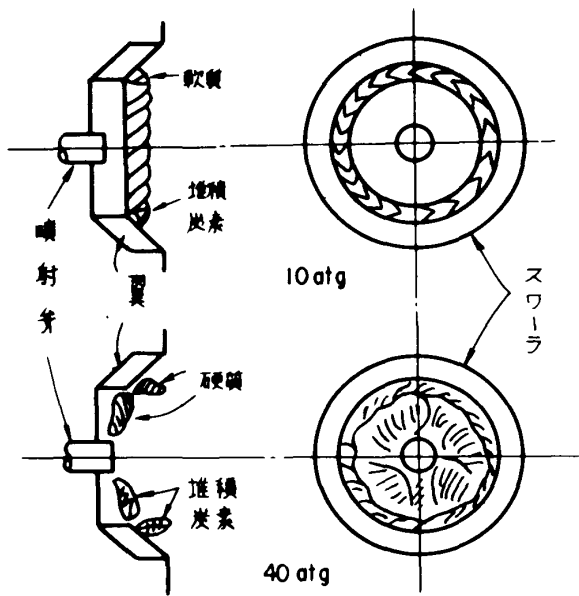


図11 高圧燃焼後の炭素堆積

文献

1. 宝金昭造, 松木正勝; 日本ガスタービン会議会報, 第1巻 第3号, 1974年, 57ページ
2. 八田桂三; GTCJ, ガスタービンセミナー・第1回資料集, 昭和49年

3. John W.R. Taylor; Jane's All The World's Aircraft (1973-1974). Jane's Year books.
4. 鈴木邦男, ほか3名; 航空宇宙技術研究所報告 TR-208, 1970年9月
5. 相波哲朗; 航空宇宙技術研究所報告 TR-327, 1973年7月
6. 鈴木邦男, 相波哲朗; 航空宇宙技術研究所資料 TM-116, 1967年9月
7. 鈴木邦男, 石井浅五郎; 航空宇宙技術研究所資料 TM-228, 1972年7月
8. 鈴木邦男, 他4名; 航空宇宙技術研究所報告, TR-143, 1967年10月
9. 鈴木邦男, 他4名; 航空宇宙技術研究所資料 TM-129, 1968年4月
10. 水谷幸男, 香月正司; 第11回燃焼シンポジウム前刷集, 149ページ, 日本機械学会他の共催, 昭和48年12月
11. 堀内正司, 中野篤治; 航空宇宙技術研究所資料 TM-253, 1973年12月
12. 広安博之, 他2名; 日本機械学会中国四国支部第7期総会講演会資料, 1969年
13. 堀内正司; 日本ガスタービン会議 第2回定期講演会論文集, 昭和49年6月
14. 浅沼強; 日本機械学会誌, 第76巻, 第660号, 昭和48年11月, 1385ページ

Comprex 圧力交換機の原理と応用

船舶技術研究所 村 尾 麟 一

1. まえがき

49年8月27日に日本機械学会主催の流体工学・流体機械講演会でスイスから来日中の Prof. Berchtold の特別講演会が行なわれた。本解説はそのときの講演前刷 "The Comprex Pressure Exchanger - A New Device for Thermodynamic Cycles" をもとにしてまとめたものであって、ガスタービン会議会報に解説として発表することを御一任頂いた Prof. Berchtold に感謝する。

2. Comprex の歴史と原著者 Prof. Berchtold の紹介

Comprex - Complex ではない、念のため一は後でその原理を詳しく述べるように非定常流動を利用して、一つのローター内で高压ガスのエネルギーを直接別の気体を圧縮する仕事に変える機能をもつものであって一つのローターが Compressor と Expander (タービン) の働きをするために二つを合成して Comprex と名づけられた。

Pressure Exchanger (圧力交換機) はいうまでもなく熱交換器に対応した表現であるが、可動部分があるので器の代りに機をあてるべきだという御指摘が講演会後にあった。Comprex の作動原理に直接関連した非定常空気力学理論は最初 Hugoniot (1890), Kobes (1910), de Haller (1940) によって提案された。スイス Brown Boveri & Cie. (BBC) の Seipel は始めてこの非定常効果を応用した機械を考察した。BBC においては1939年以来これをガスタービンに応用するための開発を行なったが、1944年に一旦中断した。1958年にディーゼル機関の過給機としての開発をアメリカ ITE Imperial Corp. と共同で再開した。その間欧米各国で

Comprex の各種の応用について研究開発が進められたが、BBC では最近自動車、建設機械用エンジンの過給機の実用化に成功した。

Prof. Max Berchtold は現在スイス・チューリヒの ETH (Eidgenössische Technische Hochschule; スイス国立工科大学) の Institut für Thermodynamik und Verbrennungsmotoren の教授である。

彼は1940年にETHの機械工学科を卒業して Dipl. Ing. (工学士) を授与され、1941年から47年まで内燃機関の分野で著名な Eicherberg 教授の下で助手として研究した。1947年から59年までアメリカの ITE Imperial Corp. で Research Engineer として Comprex の設計開発その他非定常流利用技術の研究を実施した。1959年に Eicherberg 教授の定年退職のあとをうけて ETH の熱力学と内燃機関の教授となり現在に至っている。その間 Comprex はじめ内燃機関のサイクル解析、エンジンマニホールド内の非定常流、過給、燃料噴射と燃焼の関連、内燃機関内の流れのモデル化について特に専門的な研究を行っている。

3. Comprex 圧力交換機の原理

図1Aと1BはComprexの構成図である。いずれも軸流方向にねじれない回転ブレードをもっていて、ブレード相互間はそれぞれ一定断面をもつ直線流路を形成している。流路端は吸排気管に接続されるそれぞれ2個づつのステーター開口部を通過するとき急速に開閉し、ガスの流出入が行なわれると同時に、流路端の開放、閉鎖に伴って流路内に圧縮膨張波の伝播が始まる。開口部の円周配列とローターの回転数は波動の伝播と膨張するガスおよび圧縮される空気の流れの速さに対して適当なタイミングになるように決められる。

図1Aはステーターの同じ側に高压高温ガス

(昭和49年9月24日原稿受付)

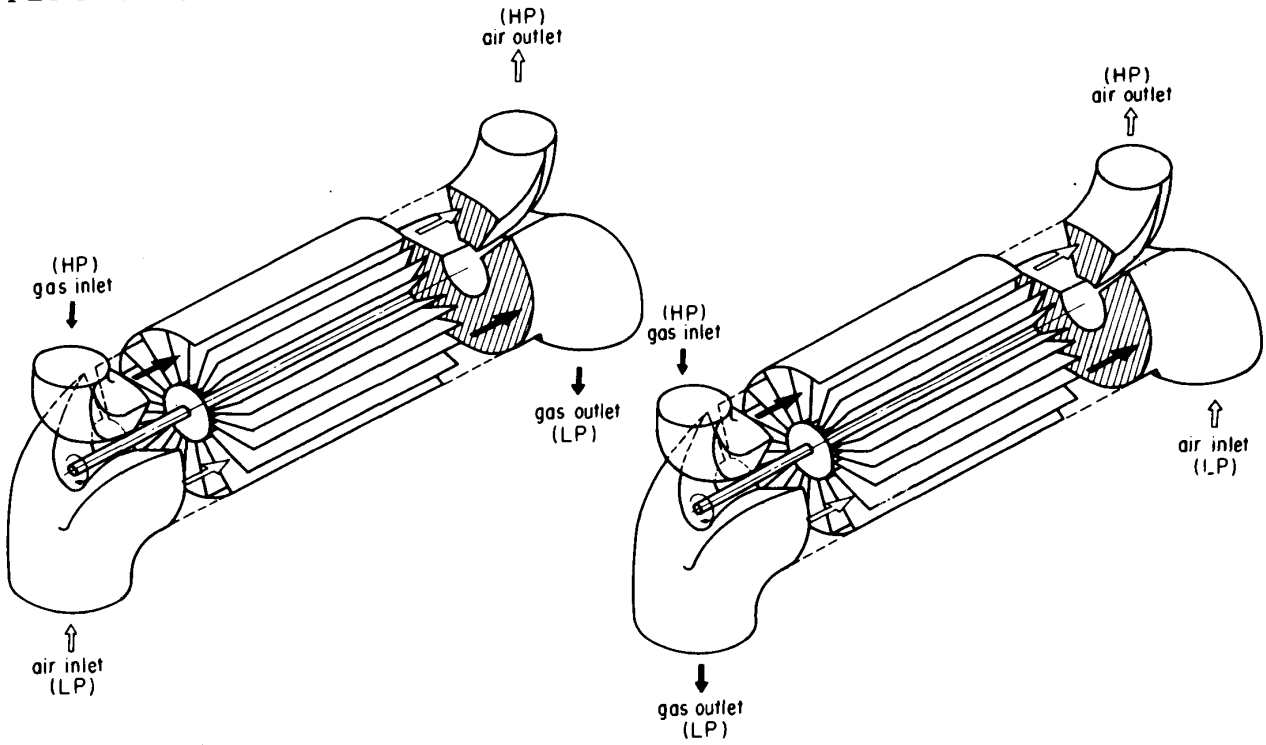


図1A 貫流型

図1B 逆流型

図1 Compress の流出入原理図

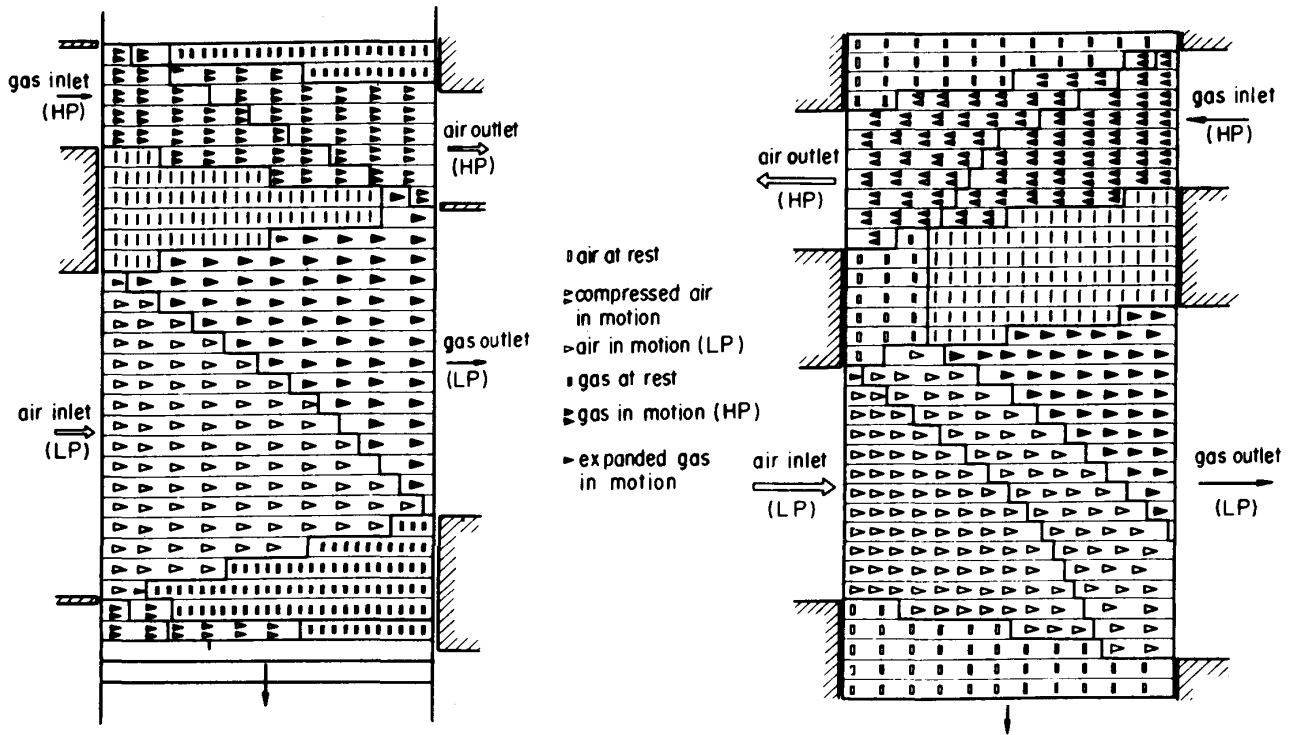


図2A 貫流型 (高温ガスタービン)

図2B 逆流型 (ディーゼル過給機用)

図2 Compress ローター展開図

入口と低圧空気吸入の開口部があり、反対の側に高圧空気と低圧ガスの排出口がある配列を示している。これは貫流型圧力交換機(Through Flow Pressure Exchanger)とよばれる。ローター内を高温ガスと低温空気が交互に通過するのでローターが冷却されるため、高温ガスタービンサイクルに適している。

図1 Bは逆流サイクルであって高圧高温ガス吸入口と低圧ガス排出口がステータの同じ側に、低圧空気吸入口と高圧空気出口が他の側に配列されている。このサイクルは負荷変動(圧力比の変化)が大きいディーゼル機関の過給に対する応用に適している。図2 Aと2 Bは圧力交換機(PE)内のローターチャンネル内でおこる非定常流現象を図示したものである。そのためローターを展開し、ステータ開口部に対してローターが矢印のように上から下へ移動するようにあらわした。

高温高圧ガス入口の開放によって生ずる圧縮衝撃波は高温ガスフロントよりずっと早くローターチャンネル内を伝播するという過程によって気体の圧縮が行なわれる。

この現象によって圧力エネルギーと運動エネルギーから成る高温ガスのエネルギーが直接低温空気に伝達される。高温ガス入口の瞬間的な閉鎖によって高温ガスの流入が止ると同時に膨張波が伝わる。圧縮空気の出口開口部はステータの反対端にあって圧縮空気流出のタイミングに合わせてあげられている。この流出口は圧縮波の到達と同時に開き、膨張波の到着によって再び閉まる。掃気過程は図2 Aに示されるように高温ガス排出口の前縁から発する膨張波によって始まり空気吸入口の閉鎖によって発する圧縮波によって終る。このサイクルは図2 Aで分る通り空気がローター全長について貫通して流れる。

逆流サイクルは図2 Bに示されるように高圧開口部の作動に関する限り全く同様である。しかし高温ガス排気口は高圧高温ガス入口と同じ側にあって逆流方向に掃気を誘導する。もう一つの注意すべき相異点は空気吸入口が閉じることによって膨張波を生ずる点である。

ローターチャンネル内の空気圧は引続くサイ

クルに先立って大気圧以下になっている。この配列は後にふれるように過給機としての応用に特に利点がある。

Comprexの性能と形状の設計は熱伝達、壁摩擦、気体境界での混合、瞬時開閉でないためのローターブレードの絞り損失、ローターとステータ間の有限隙間からの漏洩損失等の効果を含む非定常流理論に基づく解析によって正確に推定できる。^{1)~5)} 圧力交換機の効率は図2におけるように波動の干渉とステータ開口部のタイミングの適切さによって決まる。

理想的なタイミングからいくらか外れても、もし形状が適当であれば性能低下は比較的少なくできる。回転範囲を拡大することについては次節でのべる。効率はさらにローターとステータの隙間に依存する。ローター周速は75 m/sの程度であるので、ある程度の隙間をもつ必要がある。適当な設計によってローターとハウジングの軸流方向の熱変形は全作動範囲で漏洩損失を最少ならしめるように補償できる。

4. Comprexの応用

4.1 ディーゼルエンジン過給機としてのComprex

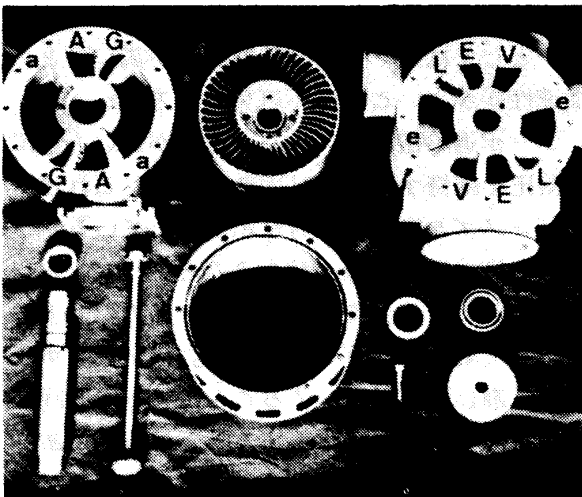
ディーゼルエンジンの過給は多年機関車や船舶に対して使用されてきたが、近年トラック用ディーゼルの出力増大のためにも利用されるようになってきた。自動車用ディーゼルとしてはエンジン回転数範囲が広いこと、加速性能がよいことが不可欠である。

ターボ過給機はエンジン回転数が低いときに過給圧を維持することは困難である。これはタービンノズル内流れの特性に基づいている。すなわち排気ガスの量が減少するとタービン入口圧力が低下する。これはタービン出力の低下したがって過給圧低下を意味する。排気マニホールドを分割し動圧過給をすることによって低回転時の特性をわずかに改善することは可能であるが、排気ターボ過給機のローターの慣性のために加速はおそい。エンジン出力を増大するために吸気圧を上昇させるには時間がかかる。エンジンに対する空気の供給が少なすぎると燃料過剰になり排煙がふえる。時々刻々の給気圧力の関数として燃料を制限するように制御すると排煙はへるが、応答は早くない。ディーゼル過給

機としての Comprex は BBC と ETH の内燃機関研究室の密接な協力によって開発された。この開発の過程で前記の理論解析^{6) 7) 8)} が多くの設計経験に関連して実施された。

Comprex はエンジンの流量特性に適合している。エンジン回転数が 40% に低下しても給気圧は充分高く維持される。その上にエンジンの負荷変動に直ちに应答する。Comprex はローターの回転数には依存しないので給気圧力は排気温度上昇に直ちに应答する。瞬間的な負荷増加に伴う排煙の増加は殆んど認められない。ロータリーバルブの作用をする Comprex ローターは V ベルトでエンジンによって機械的に駆動される。従ってローター速度はエンジン速度に比例する。

圧縮波と膨張波のタイミングは Comprex の性能に敏感に影響するので、回転数が設計値から変わった場合の性能低下を防ぐためには工夫が必要である。波動解析の結果、ステーターに補助的な開口部を附加すると効果があることがわかった。図 3 に Comprex 過給機の要素が示されているが補助開口部が吸入口と排出口のそばにつけられている。この開口部は A, a, E, e 等のように外部に通じているのでは



(A) 高温排気吸入口 (E) 圧縮空気排出口
 (G) 高温ガスポケット (e) 空気吸入口
 (a) 高温排気排出口 (L) 広域作動用ポケット

図 3 広域作動二重サイクル Comprex ディーゼル過給機の構成要素

なくいわゆるポケットであって、ここで波を反射させることによってローターの低速回転時に回転数に関係なく膨張する高圧ガスのエネルギーを圧縮される空気に伝達する。

ローターとステーターの間隙を通る漏洩は効率に大きな影響を及ぼすので推力軸受の位置と同様、ローターとステーターの形状を熱膨張による変形に対処するように決める必要がある。(図 4)

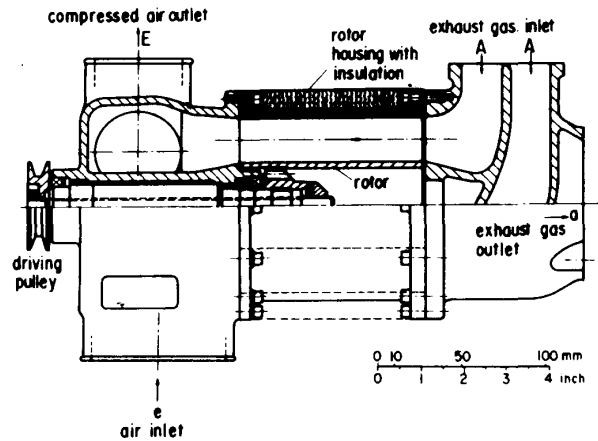


図 4 Comprex 過給機の断面図

Comprex 過給機の寸法と重量はターボ過給機に比べて有利であるとはいえない。しかしターボ過給機に比べて細長い形状をもっていることでディーゼル機関全体の外形をコンパクトにするように装着することができる。重量はあまり問題になる程ではない。駆動が必要だという点はエンジンと Comprex の配列の可能性を制約している。騒音はかんたんな方法で減衰させることができる。

Comprex は小流量で効率よく作動する。それ故に乗用車用ディーゼル機関の要求 - 低回転高トルク - によく適合する。乗用車用ガソリン機関の常用回転数は燃料消費率の最高条件からかなり外れているのに対して、Comprex 過給乗用車用ディーゼルは常時燃費最高点近くで作動する。走行距離当り燃料消費は現在比較的経済的とみられている乗用車の 50% 程度に減らすことができる。これを示したものが図 5 である。これは総重量 1250 kg の乗用車が平坦地で定常走行をするときのエンジン回転数比エン

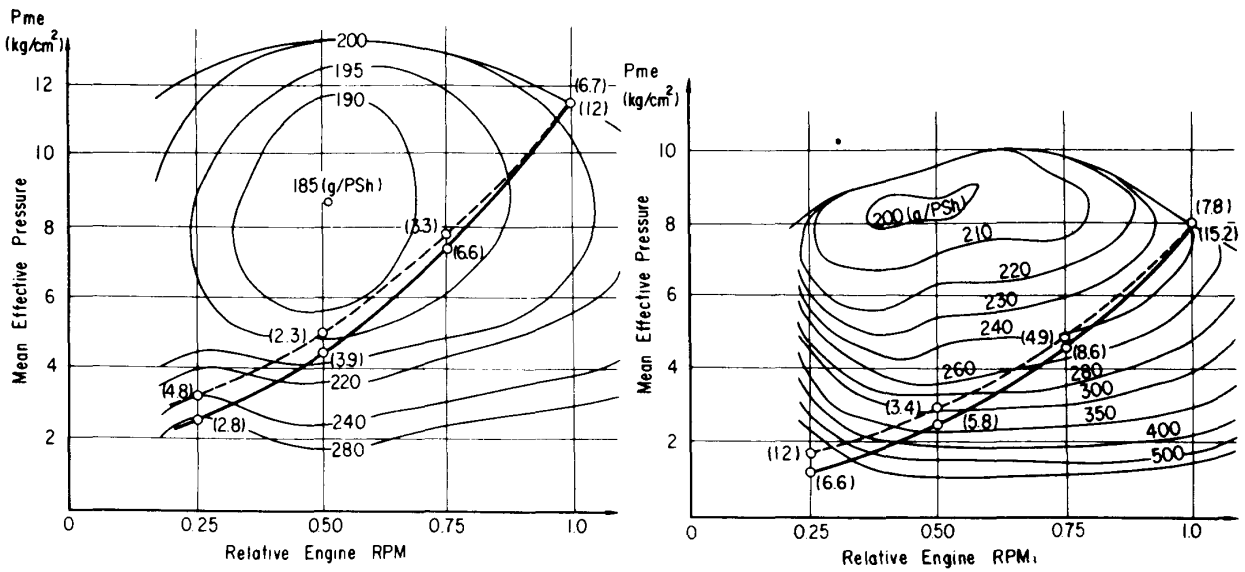


図5 トラックあるいは乗用車用エンジンの燃料消費率 (g/PS・h)
 実線 平地地最高速160km/hの乗用車の負荷トルク曲線
 点線 平地地最高速120km/hの乗用車の負荷トルク曲線
 ()内の数字 全備重量1250kgの乗用車の100km当り燃料消費量(g)

図5A Comprex付ディーゼルエンジン
 最高速160km/h用エンジン
 1500cc 4000rpm
 最高速120km/h用エンジン
 500cc 5000rpm

図5B ガソリンエンジン
 最高速160km/h用エンジン
 1700cc 5000rpm
 最高速120km/h用エンジン
 600cc 6000rpm

エンジン負荷と等燃料消費率曲線を示したものである。左図(図5A)はComprex付ディーゼル右図(図5B)は通常ガソリンエンジン付である。図中に最高速160km/h用(実線)と120km/h用(点線)エンジン負荷特性が記入されている。たとえば常用回転数比として0.5をとって見た場合にガソリンエンジンが3000g/PS・h程度であるのに対しComprex付は200g/PS・hの程度となる。

排気排出物も非常に少ないので特に軽量コンパクトカー用エンジンとして将来有望であろう。

4.2 ガスタービンとしてのComprex

前述のように図1Aの貫流型Comprexは高温ガスタービンに適している。要素試験の結果特に100kW程度の小出力ガスタービンの分野でターボマシンに比べて良い効率がえられることがわかった。

一般に圧力比2.5程度の単段圧縮機とタービンは精密鑄造によって安価に生産できるが、小

型ガスタービンとしてはガソリンエンジンの効率に及ばない。小型ガスタービンではタービン翼の冷却は困難であり、再熱器を用いると小型の利点が失われ応用範囲が制限される。しかしトッピング要素としてComprexを用いた100kW級の小型ガスタービンは熱効率20%を達成できる。要素配列の提案を図6に、TS線図を図7に示す。Comprexはこの場合等圧で作動するので燃焼器の途中から温度が上らないうちに抽気し、高圧タービンに入れて遠心圧縮機を

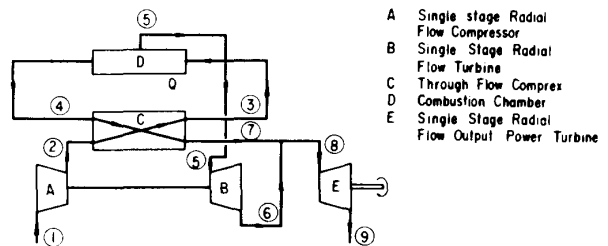


図6 Comprex付ガスタービン構成図

駆動する。この場合のタービン入口温度は無冷却タービンの範囲に限定される。高圧タービン入口温度 1000°K に対してComprex入口温度は 1700°K である。軸出力はComprexと高圧タービンを通るガスを合流して低圧タービンに入れることによって得られる。

図8はこのガスタービンの構成断面図である。出力タービンはこの図に示されていないが、目的によって適当な組合せを撰ぶことができる。この方法によって軽量小型の振動の小さいエンジンを構成することが出来、その価格は多段の軸流圧縮機とタービンをもつガスタービンに比べて特に150PSまでの範囲で安価である。これは要素試験の段階であってターボマシンとComprexを組合せた実機試験は未だ実施されていない。

参考文献

1. G. Rudinger, Wave Diagrams for Nonsteady Flow in Ducts, D. Van Nostrand Co., Inc., 1955 New York.
2. E. Jenny, Berechnung und Modellversuche über Druckwellen grosser Amplituden in Auspuffleitungen, Diss. ETH, Ameba-Druck, 1949, Basel.
3. H. Burri, ASME Presentation Gas Turbine Conference, Washington DC, 1958.
4. M. Berchtold and F.I. Gardiner, ASME Presentation Gas Turbine Conference, Washington DC, 1958.
5. H. U. Hörler, Abschätzung der Verluste in instationär-gas-dynainischen Kanaltrommel-Drucktauschen, Diss. ETH, Juris Druk-Verlag, 1969, Zürich.
6. Th. W. Lutz and R. Scholz, MTZ 28(1967)5.
7. A. Wunsch, MTZ 31(1970)1.
8. B. W. Wadman, Diesel and Gas Turbine Progresses (1970-10)
9. M. Berchtold and T.W. Lutz, ASME Presentation Gas Turbine Conference, Zurich, Switzerland, 1974 - Paper No. 74-GT-111.

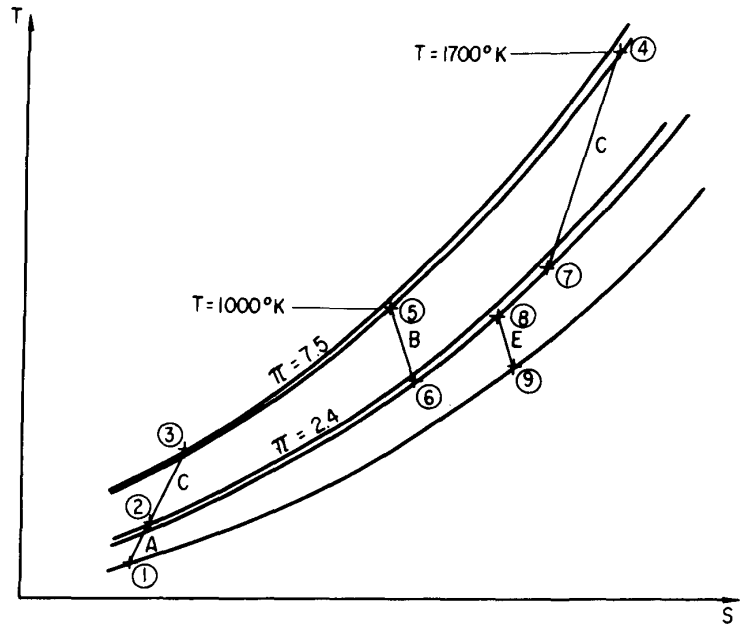


図7 T-S線図(図6対応)

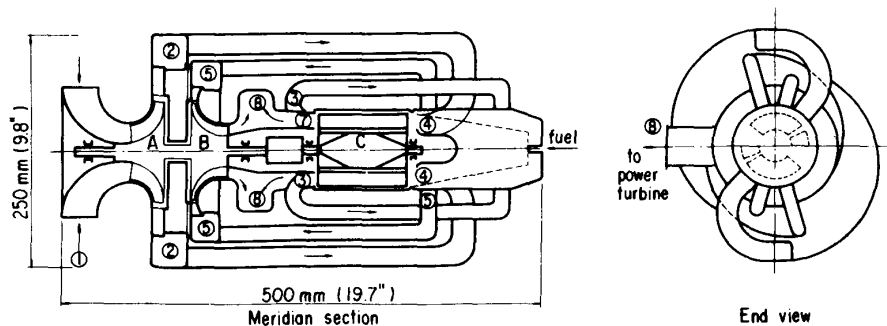


図8 100kW出力タービン用ガスタービン圧力交換機 ガス発生器の要素配置図

排気ガスタービン過給機における非定常流動問題

川崎重工技術研究所 東 忠 則

1. まえがき

機械学会第二企画部会では、昭和45年7月から46年3月まで、ならびに昭和46年9月から48年8月までの二度にわたって、「排気ガスタービン過給機の性能試験方法に関する研究会」⁽¹⁾を設けて、過給機関係の技術者および研究者の間で、過給機の性能試験に関する調査討論会を行なってきた。さらに、この研究会が発展的に解消されて、新しく出発した、「排気タービン過給機とエンジンのマッチングに関する研究会」が現在活動中であるが、上記二つの研究会において、過給機における非定常流動問題は委員各氏の関心の強い領域であり、これまでかなりの討論が行なわれた。

筆者も途中から、上記研究会の委員として参加する機会に恵まれ、過給機について広い視野から、いくらか勉強することができた。

本小論では、過給機の非定常流動問題に関して、上記の研究会で討論された内容をふまえて、研究会委員各氏の助言と助力を受けながら、標題に関する内外の研究を若干紹介する方針のもとに作業をすすめた。

なお本小論は、往復動機関で経験される問題を、回転機械である、ガスタービンの専門誌にのせる都合上、まず過給と過給機について概説したあと、過給機の非定常流動に関する問題点についてふれ、さらに研究の現状を紹介する、という順序をとった。

2. 排気ガスタービン過給および過給機について

シリンダ内に高密度の空気を押しこめば、エンジンの1サイクル毎に、シリンダ内に投入できる燃料の重量が増加し、それだけ出力を大きくできるわけであるが、このように、シリンダ内に高密度の空気を供給することを過給といい

過給期間が無過給機関に比べて、出力が増大している割合を過給度といっている。

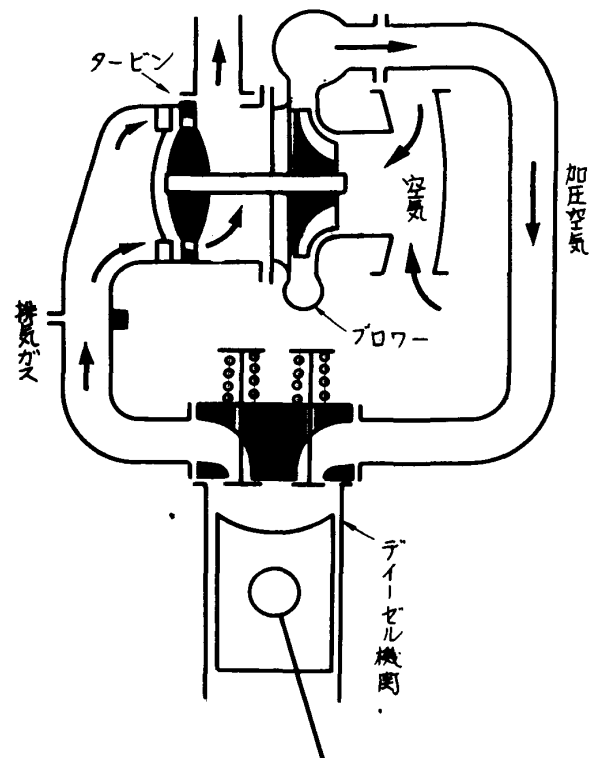


図1 過給機関

図1に示すように、排気タービン過給は、シリンダから排出される排気エネルギーを利用して空気を圧縮し、これをシリンダに供給する方法であって、各種の過給方法の中で最も秀れており、ほとんどのディーゼル機関で広く採用されている。

図1でわかるように、排気タービン過給機（以下単に過給機ともいう）は、排気タービン（単にタービンともいう）と圧縮機から成っており、圧縮機はほとんど例外なく遠心圧縮機である。他方タービンは、約700PS以上の比較的大型のエンジンでは軸流タービン、トラッ

（昭和49年9月13日原稿受付）

ク用等の小型エンジンでは半径流タービンが用いられる。

さて、排気タービン過給には動圧過給と静圧過給の二方式がある。

動圧過給では、シリンダから排出される高速ガスの運動エネルギーを有効に利用するために、排気管はできるだけ直径の小さいものを用いるので、排気タービンを駆動するガスの圧力、温度、流速等は周期的に変動する。

これに対して静圧過給では、排気ガスを一旦大きな容積をもつ排気管に導き、管内の圧力変動を少なくして、ガスタービンに導く方法であり、排気タービンから見れば、ガスの流れはマクロ的に定常流である。なお静圧過給方式は、過給度が高い場合に有利な方法である。

3. 過給機における非定常流動の問題点

ディーゼルエンジンのような往復動機関では、間欠的に空気を吸い込み、間欠的に排気を吐き出す。したがって、往復動機関では、ガスが通過するところであれば、いたるところで非定常流動が問題になるといってよい。

このような往復動機関の非定常流動に関する研究の目標は、非定常流動によって生じる諸損失を最小にして、エンジンプラント全体の効率を向上させること、ならびに非定常流動によって生じる不安定現象、その他のトラブルを解決すること、等にあることはいうまでもない。

本小論では、排気タービン過給ディーゼル機関の非定常流動問題を、過給機に範囲をしぼって解説するわけであるが、過給機に関する非定常流動問題は、圧倒的に多くの問題が、動圧過給方式の排気管～排気タービン系に集中している。しかし他にも問題がないわけではない。

さて、前述した二つの研究会で討論された内容をふまえて、過給機に関する非定常流動問題を、広い範囲から拾いあげて整理すれば、次のようになるであろう。

まず動圧過給方式に関しては、①タービンに伝達される排気エネルギーを、満足な精度で計測しうる計測技術の確立、②排気エネルギー、すなわち排気脈動を理論的に解析する実用的な方法の開発、③脈動流下におけるタービン性能を、

実験的、理論的に正確に把握しうる技術の確立、等が主な問題であろう。さらに両過給方式に係するものとしては、④脈動流下における圧縮機の性能、⑤特に低流量域における圧縮機の不安定現象、等をあげることができる。

現在最も関心が持たれているのは①～③であり、これらの問題については、これまで多くの研究結果が発表されている。

問題点の④は、シリンダが間欠的に空気を吸い込むことによって生じる給気管内の圧力変動、すなわち圧縮機吐出圧力の周期的変動と、圧縮機特性、およびサージの発生が関心の的であるが、これについては矢野等⁽²⁾⁽³⁾の研究がある。その他にも、脈動流下における圧縮機特性に関する研究⁽⁴⁾が報告されているが、実際のエンジンにおいて、現在のところ圧縮機の脈動流下における特性が問題になっている例はないようである。

問題点の⑤は、エンジンの低負荷のとき経験される問題であるが、現在のところ、このために特に問題にされるほどのトラブルは生じていないようである。

4. 過給機の非定常流動問題に関する研究の状況

前章では、排気タービン過給機の非定常流動に関する問題点を概観したが、本章では前記の①～③の問題に重点を置いて、研究の現状を紹介しよう。

4.1 排気エネルギーに関する計測技術

長尾等⁽⁵⁾は模型実験によって排気の伝達エネルギーの計測に関する研究をおこなっているが、現在のところ動圧過給方式における脈動流高温ガスのもつ排気エネルギーを実用上満足な精度で計測できる技術は確立されていない。

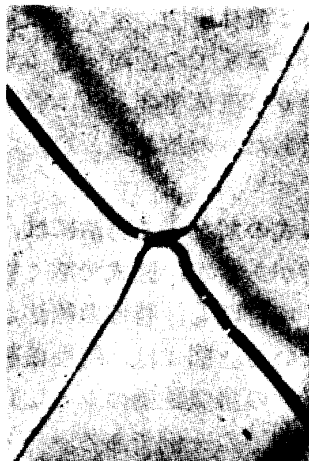
タービン前のガス圧力 P_E 、温度 T_E 、流速 C_E 、およびタービンを通過するガス流量 G_T の各瞬間の値が解かれれば、ガスからタービンに伝え得る理論的な仕事 W_{Tad} は次の式から計算できる。

$$W_{Tad} = \int_{t_0}^{t_0 + \tau_k} \frac{1}{k-1} R T_E^* \left[1 - \left(\frac{P_E^*}{P_r} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \times G_T dt \dots\dots\dots (4.1)$$

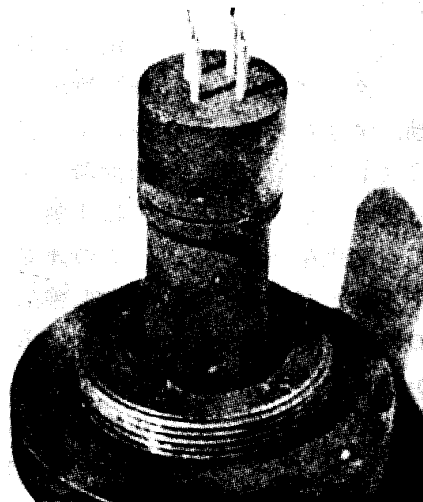
但し、 P_E^* 、 T_E^* ；タービン前におけるよどみ状態の圧力と温度、 P_r ；タービン後の圧力、 R ；ガス定数、 t ；時間、 t_0 ；積分を始める時間、 τ ；エンジンの1サイクルの時間

脈動流における圧力は、現在市販されている機器で手軽に満足な計測ができる。

他方、温度、流速等の計測は非常にむずかしい問題である。三原等⁽⁶⁾は図2のようなピックアップを用いて、実機における排気温度をかなりの精度で実測しており、布施等⁽⁷⁾も実機の排気温度計測に関して、系統的な研究を行なっている。



素線の接合



本体

図2 ピックアップ(4線式)

また、流速に関しては、電極間にアークを飛ばして、アークが時間と共に変化するようすから流速を知る方法が実験室的に用いられており⁽⁸⁾、最近では、急変するガス温度と流速を同時に計測しようとする試み⁽⁹⁾もある。

この他にも、脈動流における温度、流速の計測に関しては多くの研究が行なわれているようであるが、①高精度の計器では高速流の中でこわれやすい、②これまで用いられている方法では、温度、流速ともに局所的な計測しかできない、等の難点を克服して、実用上手軽に使える計測機器が現われるまでは、まだ相当の時日を要すると思われる。

4.2 排気エネルギーを推定するための簡便

法 前述のように、現状では、脈動流の排気エネルギーの解析に必要なガス温度、流速の計測がむずかしいので、実機における排気エネルギーの推定には、次のような簡便法が用いられることが多い。

すなわち、実測されたタービン入口の圧力波形を図3のようにいくつかの矩形に分割し、温度は応答の遅い温度計によって得られた一定温度を用いて、次のように流量とエネルギーを計算する。

$$\Delta G_i = \mu F_{res} (\gamma_E)_i \sqrt{2gRT'_0} \psi_i \Delta t_i,$$

$$\psi_i = \left[\frac{K}{K-1} \cdot \left\{ \left(\frac{P_r}{P_E} \right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{P_r}{P_E} \right)^{\frac{K+1}{K}} \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots (4.2)$$

$$(\Delta W_{Tad})_i = \frac{k}{k-1} \cdot RT'_0 \cdot \left[1 - \left(\frac{P_E}{P_r} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \cdot \Delta G_i \dots\dots (4.3)$$

$$W_{Tad} = \sum (\Delta W_{Tad})_i \dots\dots (4.4)$$

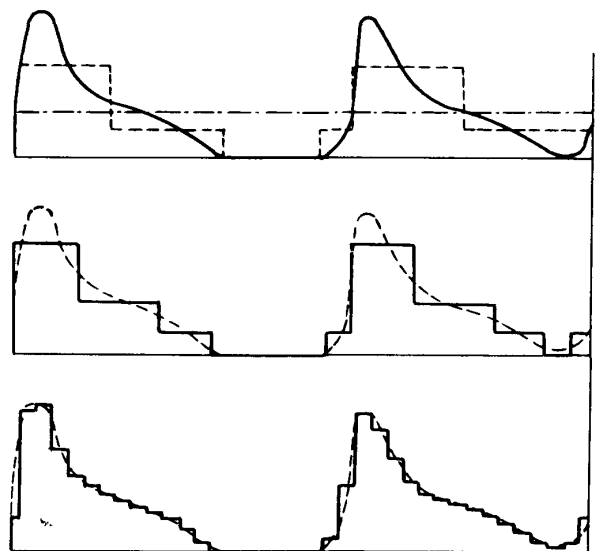


図3 波形分割のいろいろ

但し, F_{res} ; タービンのノズル相当面積,
 ΔG_i ; 各矩形の圧力から得られる理論的な流量,
 T'_0 ; 実測によって得られた一定温度,
 Δt_i ; i 番目の矩形波が持続する時間, Ψ_i ;
 i 番目の矩形波形圧力に対応する流量関数,
 μ ; 流量係数

この方法による計算結果は, 波形の分割の仕方, 一定温度 T'_0 , 波の形, 1 サイクル中に発生する波の数等に影響されることが, 文献⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾ で詳しく検討されている。

この方法は, 排気エネルギーを極く大まかに見積る方法としては非常に便利であるが, 同じエンジンであっても, 運転条件が異なるときの, 排気エネルギー利用率の比較等に応用することは不適當であろう。

4.3 排気脈動の理論解析 タービン前ガスの圧力, 温度, 流速等の変動, すなわち排気脈動を正確に計算できれば, 式(4.1)から排気エネルギーを正確に予測できるだけでなく, シリンダ内のガス交換と排気の相互関係を予測することもできるので, 機関計画上甚だ好都合である。排気タービン過給機関の排気脈動理論解析に関しては, 古^{(12)~(16)}くから多くの研究があり, 現在もひきつづき研究^{(17)~(19)}が行なわれている。

ところで, 排気管内の脈動は, これを非定常流れとして扱うときは非常にむずかしい問題であって, 解析に当たって問題になる点は, ①排気管のシリンダ側の境界条件をどのように与えるか, ②合流, 分岐部におけるエネルギー損失, 圧力波の反射と伝播はどうなるか, ③断面が急変する部分での圧力波の反射, 伝播はどうか, ④タービン側の境界条件をどのように与えるか, ⑤摩擦損失の影響, ⑥管壁からの熱損失の影響, 等であろう。

境界条件については, 内田⁽²⁰⁾が詳しく論じており, 他方, 仲田⁽²¹⁾等は②③の問題について理論と実験の面から系統的な研究を行っており, この問題については, 遠からず相当程度明らかにされることが期待できる。問題点の⑤⑥に関しては, 実機においては, あまり影響がないといわれている。⁽²²⁾

さて, 排気管内の流れを支配する方程式は,

$$\frac{\partial(\rho A)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u A)}{\partial x} = 0 \dots\dots (4.5)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{4\lambda}{D} \cdot \frac{u^2}{2} \cdot \frac{u}{|u|} = 0 \dots\dots\dots (4.6)$$

$$q\rho A = \frac{\partial}{\partial t} \left[\rho A \left(C_v T + \frac{u^2}{2} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\rho u A \left(C_v T + \frac{P}{\rho} + \frac{u^2}{2} \right) \right] \dots\dots\dots (4.7)$$

$$\frac{p}{\rho} = RT \dots\dots\dots (4.8)$$

但し, D ; 管径, P ; 流体圧力, x ; 管の基準位置から着目している点までの距離, u ; 流速, λ ; 管摩擦係数, ρ ; 流体密度, A ; 管路断面積, q ; 単位流量あたりの放熱量, C_v ; 定積比熱

この連立偏微分方程式の解を得る方法には, 特性曲線法, 差分法等があるが, 図式で解く場合にも, 電算機で解く場合にも, 特性曲線法が秀れているといわれている。図4は, 特性曲線法による, 小型エンジンの排気脈動のシミュレーションと実測の比較⁽¹⁷⁾の一例である。

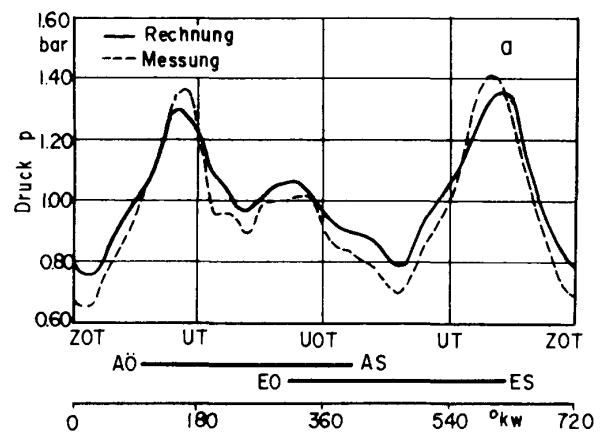


図4 排気脈動

排気脈動の理論解析には, 上記のようなオーソドックスな方法の他に, 圧力波の反射を無視して, 排気管を容積として計算する方法もある

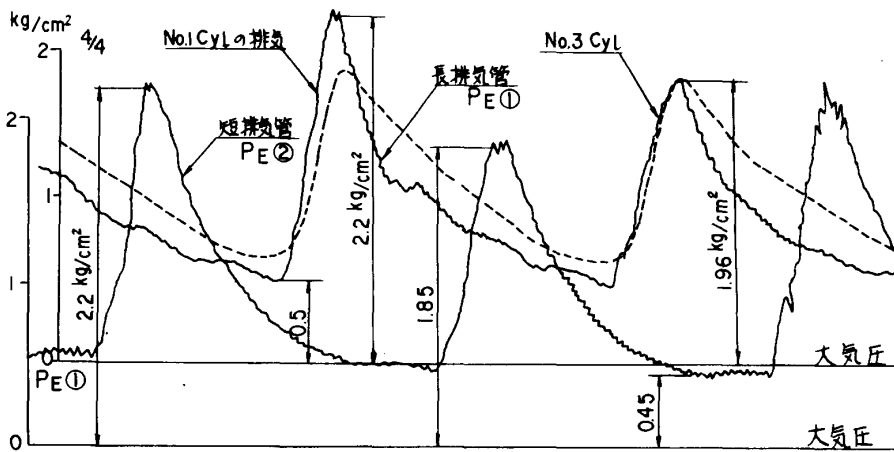


図5 排気脈動

が、排気管が短かく、単位時間に発生するパルス数が多いときは、この方法でも十分間に合う。図5⁽²³⁾は筆者等がこの方法で行なったシミュレーションと実測の比較例であるが、排気管長さは約2m、パルス数は2250パルス/minである。

4.4 脈動流下におけるタービン特性の研究 静圧過給に対して、動圧過給における排気タービンには、①タービンが脈動流の下で作動している、②ガスはタービンの全周から流入するのでなく、円周上で分割されたガス入口の各部分へ間欠的に流入する、いわゆる部分流入である、等の特徴がある。

したがって、動圧排気タービンに関する研究内容は、④脈動流下におけるタービンは、マクロにみてどのような特性を示すか、⑤ミクロに見た場合、脈動流下におけるタービン内のガス流れはどうなっているのか、⑥部分流入におけるタービンの非定常特性と損失、に大別できるであろう。

これまでの研究のすすめ方としては、④⑤を視点の中におさめながら、実験と理論の両面から解析している例が多いようである。

4.4.1 脈動流下におけるタービン特性

脈動流の下で、タービンを通過するガス流量、出力、効率等はどのようになるのか、また、これらの特性に特異な点があれば、これがどのような理由によるのか、等については多くの研究

(3)(24)(34)が行なわれている。

これまでのところは、準定常理論によって、脈動流下におけるタービンの特性を説明しようとするのが、研究の主流のように思われる。

準定常理論というのは、脈動流の下でも、タービンの瞬間々々の特性は、定常流のときに示すそれに等しいとする考えである。実際の流れの非定常性が強

ければ強いほど、準定常理論によって得られたタービンの特性は、実際の特性からのずれが大きくなるであろうことは容易に想像できる。準定常理論が適用できる限界を、脈動数、脈動波形の形状、等の面から明らかにしようとする試みが行なわれているが、まだ統一された見解は確立していないようである。普通のエンジンの排気脈動波形では、2000パルス/min程度までは準定常理論で十分間に合うという実験結果が報告されている。

筆者⁽³⁵⁾⁽³⁶⁾等は準定常の考えを用いて、各瞬間におけるタービン内のガス流れを解析し、ノズル出口のガス速度 C_1 、圧力 P_1 、温度 T_1 、動翼入口の相対流入速度 W_1 、流入角 β 、動翼出口の相対ガス速度 W_2 、反動度 σ 、効率 η_T 、流量 G_T 等が、時間と共に刻々変動するようすをシミュレートできるプログラムを開発し、3000パルス/minまでは、実機の排気タービン特性を、この方法で解析して十分間に合うことを確かめている。図6はシミュレーションの一例である。

4.4.2 部分流入に関する研究 例えば図7のような配列になっている6シリンダ機関では、排気パルスがシリンダ内のガス交換に、悪影響を与えないようにするため、タービンのガス入口は二個に仕切られ、それぞれの排気管が流体的につながらないようにしている。

このような部分流入タービンでは、一般に一

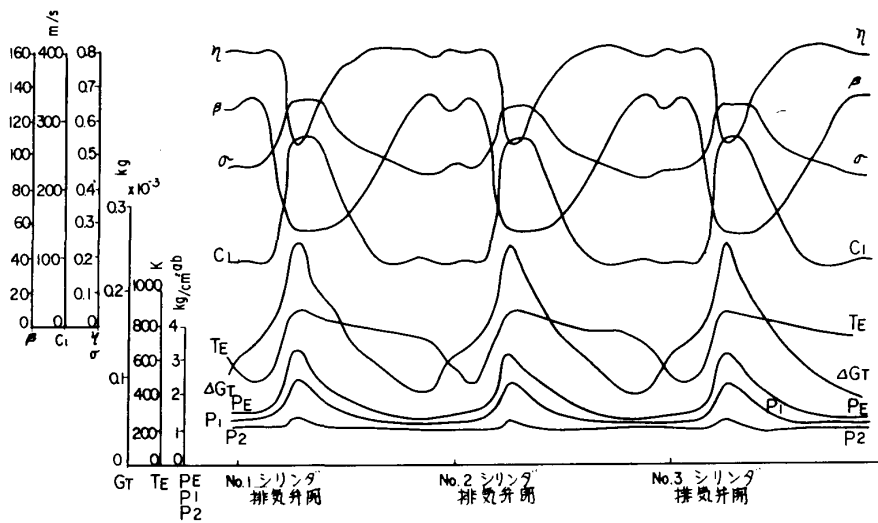


図6 ガス流れの解析例

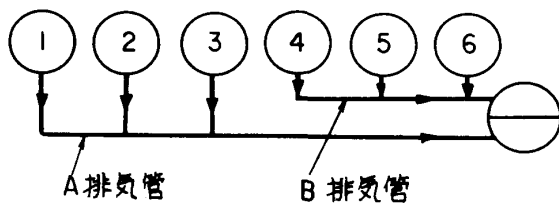


図7 部分流入機関

個の入口にパルスが到達しているときは、他方の入口ではパルスが通過した後であって、ガスの流れが非常に少ないか、またはガスの流れは全く止まっている。

部分流入タービンの特性に関しては、水町、Craig 等の研究^{(37)~(40)}がある。

さて、部分流入タービンでは、全周流入のタービンに見られる流体力学的な損失の他に、次のような損失が加わる。①ガスが流入していない非作動部分で、動翼が流体をかきまわすために生じる、いわゆる Windage Loss、②動翼が非作動部分から、作動部分に入るときに生じる Entering end Loss、③動翼が作動側から非作動側に移るときに生じる Leaving end Loss、④ガスの入口の仕切部で、作動側から非作動側へガスがもれるために生じる Leakage Loss。

上記損失のいくつかに着目した研究⁽⁴¹⁾⁽⁴²⁾が

内外で発表されているが、平山、是松⁽⁴³⁾等は、上記の損失について系統的に研究した結果、この問題については完全に解明されたと報告している。

4.5 その他

以上は主として、排気タービン過給機関の排気系を構成する要素に着目して概説したが、

①排気タービンの単体非定常特性と、エンジンに装備したときの特

性のちがいが、②部分流入排気タービンにおいて、シリンダ、排気管、ガス入口の結合と配列がエンジンプラントの効率にどのように影響するか、等の問題も重要な研究課題であろう。

①に関しては現在のところ、系統的な研究はほとんどないようである。②に関しては久留⁽⁴⁴⁾等が、模型による系統的な研究結果を報告している。

さらに、現在問題がないとはいえ、過給機がエンジンに装備された状態では、エンジンの低負荷のときに生じやすいサージング、またはこれに近い不安定現象の問題が、これまでどのような方法で解決されているかについて、概観することも本小論には必要な領域と思われる。

しかし、紙面の都合もあり、筆者はその方面の経験にも乏しいので、大型の静圧過給機関で、この種の問題を解決している例を報告した文献の一例⁽⁴⁵⁾をあげるにとどめておく。

5. あとがき

以上、排気タービン過給機の非定常流にまつわる問題について解説を試みたが、冒頭で述べたように、筆者はもともとこのような問題を扱うには力不足である。加えて、執筆を引き受けたあと、早急にこなすべき社内的な業務が重なったため、文献調査を十分にできなかった。

したがって、大事なところを見落としているとか、感ちがいをしている点多々あると思わ

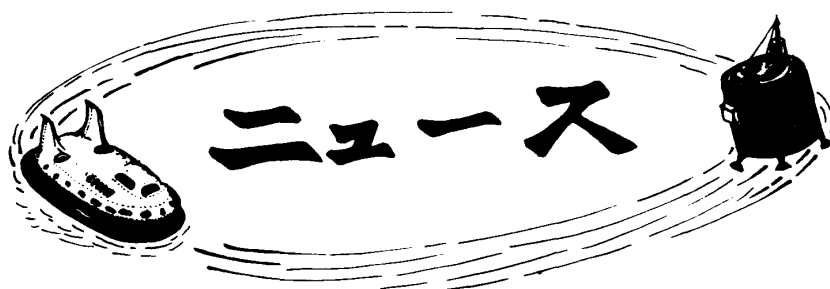
れるので、お気付きの点を、筆者に御教示下さればありがたい。

なお、広い立場から、ターボマシン一般の非定常問題について知りたい方は、東大・大橋助教授の解説⁽⁴⁶⁾⁽⁴⁷⁾を参照していただきたい。さらに、流体機械一般の性能、ターボ機械内部の流れについては機械学会誌の特集⁽⁴⁸⁾⁽⁴⁹⁾がある。

最後に、資料の提供をいただいた東大・水町教授、東京都立大・平山教授、慶応大・有賀教授、東大・大橋助教授、こんな切な御意見を寄せられた機械技術研究所・是松技官、ならびに参照した内外の研究報告の著者に心からお礼を申しあげる。

文 献

- (1) 小泉(主査)機誌, 77-664(昭49.3)
p. 344
- (2) 矢野, 他, 機論, 36-288(昭45.8) p. 374
- (3) Yano, Mitsubishi Technical Bulletin, June, 1964, p. 1
- (4) R. S. Benson, Proc Instn Mech Engrs 1967-68, 182-Pt 3H
- (5) 長尾, 他, 機論, 25-152(34.4) p. 310
- (6) 三原, 他, 三菱造船技報, 7-31(1959)
- (7) 布施, 他, 日立造船技報, 23-3(1962)
- (8) 大東, 他, 機論, 34-260(昭43.4) p. 751
- (9) 星野, 他, 機論, 38-305(昭47.1) p. 139
- (10) K. Zinner, M. A. N. Forshungsheft, 1953, p. 45
- (11) G. Garratt, M. I. R. A., Report No. 1969/3
- (12) 内田, 日機第54回講義会教材, 45, 1954
- (13) E. Jenny, Brown Boveri Review, 37(1950-Nov.)
- (14) R. S. Benson, Int. J. Mech. Sci. Pergamon Press Ltd. 1960
Vol. 1 p. 253(Poland), 1964, .
Vol. 6 p. 117(Britain)
- (15) R. S. Benson, ASME, 69-WA/DGP-9
- (16) E. H. Wright, J. Mech Engrng Science, 8-1(1966)
- (17) H. Buschmann, MTZ, 33-11(Nov.-1972) p. 421
- (18) 塚原, 他, 船用機関学会誌, 8-9, (和48.9) p. 8
- (19) 梶, 八田, 東大宇宙研報告, 8-4, (昭47.10)
- (20) 内田, 熱機関係系・基礎理論 I, (昭31), 山海堂
- (21) 仲田, 他, iHi 技報, 13-2(昭48.3)
p. 144
- (22) 平山, 中村, 東京都立大修士論文, 昭和44年度
- (23) 日本造船研究協会, 研究資料No. 175, (昭48.3)
- (24) White, Int. J. Mech. Sci. Pergamon Press 1961 Vol. 3, p. 268, Printed in Britain
- (25) Daneshyar, 他, Proc Instn Mech Engrs, 1969-70, Vol. 184 Pt 1 No. 61
- (26) Woods, 他, ISME, Tokyo '73, Paper 152
- (27) Wallace, 他, ASME, Washington, Paper 65-GTP-21
- (28) Wallace, 他, Proc Instn Mech Engrs 1967-68, 182 Pt 3H
- (29) Benson, 他, Proc Instn Mech Engrs 1965-66, 180 Pt 3J
- (30) 水町, 他, 日機講演, No. 700-7(1970-4)
- (31) 渡辺, 他, 日機講演, No. 700-15(1970-10)
- (32) 渡辺, 他, 日機講演, No. 720-15(1972-8)
- (33) 有賀, 他, 日機第844講演会(昭49.8.26)
- (34) 有賀, 他, 日本ガスタービン会議講演(1974.6)
- (35) 東, 他, 日機関西支部229回講演, (47.11.2)
- (36) 東, 他, 日本ガスタービン会議講演(1974.6)
- (37) 水町, 他, 日機講演, No. 720-15(1972.8)
- (38) 水町, 他, 日機講演, No. 730-6(1973.8)
- (39) 水町, 他, 日機講演, No. 730-10(1973.10)
- (40) Craig, 他, Proc Instn Mech Engrs 1968-69, 183-Pt 1
- (41) Dibelius, Brown Boveri Review, 52-3(Mar. 1965)
- (42) Yahya, Bull. Mech. Engng Educ, Pergamon Press 1970 Printed in Britain
- (43) 平山, 是松, 東京都立大学位論文(是松) 46D-403
- (44) 久留, 他, 三菱重工技報, 8-1
- (45) 橋本, 他, 船用機関学会誌, 3-6(昭43.10) p. 37
- (46) 石原, 大橋, 日機誌, 72-609(昭44.10) p. 130
- (47) 大橋, 機械の研究, 22-7(1970) p. 35
- (48) 機械学会誌, 73-623(昭45.12)
- (49) 機械学会誌, 74-634(昭46.11)



燃 焼 ・ 伝 熱 国 際 会 議

8月末から9月始めにかけて、2つの国際会議が相次いで東京で開かれた。一つは第15回国際燃焼シンポジウム(15th International Symposium on Combustion)であり、もう一つは第5回国際伝熱会議(5th International Heat Transfer Conference)である。何れもガスタービンの基礎に直接関係しており、ここにその概略を紹介したい。

第15回国際燃焼シンポジウム

慶応義塾大学 川口 修
工 学 部

2年に一度世界の各地で開催される国際燃焼シンポジウム(Combustion Institute主催)が今年はじめに8月25日から31日の間東京において開かれた。今までヨーロッパとアメリカでしか行なわれなかったこのシンポジウムが日本で開催されたことの意義は大きい。日本の燃焼研究が国際的にも認められた結果と考えてよからう。

今回のシンポジウムは国外から170名、国内から約180名の参加を得て行なわれ、140余りの論文が3つのSessionに分かれて発表された。発表論文の内容をテーマ名で分類すると次のようである。

Session A

燃焼装置における汚染の抑制
実用燃焼装置における燃焼と熱伝達
すすの生成とそのふるまい
着 火

Session B

固体推進剤の燃焼
流れの中の火炎
素反応の速度論的扱い
火炎の電気的性質

Session C

デトネーション
火災と爆発および安全
不均質燃焼

今回のシンポジウムではガスタービン燃焼器そのものを対象として取扱った論文は多くはなかった。すなわち排ガス中の汚染物質の抑制対策について、その考え方と研究の現状を展望した論文、蒸発式のモデル燃焼器でNO、COの排出量と一次領域の滞留時間の関係を実験的に扱った論文、また器内の燃焼について混合、乱れ、燃料液滴径などを考慮した理論研究の紹介と評価をした論文がみられる程度であった。

最近の燃焼研究のすう勢として燃焼による汚染物質の生成についての基礎研究が多く取上げられていたのも今回の特徴であろう。Session Aにおいてメタン、プロパンなどの拡散火炎を使ってNO、NO₂、COなどの生成機構を考え、NOについてのZeldorich機構、Fenimoreの

(昭和49年10月15日原稿受付)

“prompt NO”などの反応モデルの是非について論じたものが多かった。また Session B においてもこれら汚染物質生成過程の素反応を速度論的に詳細に論じたものがみられ、この方面に対する巾広い研究がうかがわれた。またすすの生成、抑制についての研究も Session A で数編みられ、抑制について金属添加物の効果を論じた研究もみられた。

Session C において幾つか発表された液滴の燃焼についての論文は、ガスタービン燃焼器における噴霧燃焼を考える上で興味あるものであった。ここでは噴霧燃焼の取扱いに単滴燃焼の研究成果をどのように取り入れるべきか、双方を関連させて考えることがどの程度可能かなどに論議が集中した。

この他に目立ったのは乱流拡散火炎に関する研究で、その燃焼機構に反応領域の速度、濃度、温度の時間的な変動を取入れて考えようとする試みが多くなされており、多くの参加者の関心を集めた。この傾向はこれらの変動の測定がレーザードップラ法の応用によって可能になったこ

とで増進されているようである。今後詳細な測定が進み、実用上有効な乱流燃焼のモデルができれば、ガスタービン燃焼器の燃焼の解析にもプラスとなる所大であろうし、研究の進展を望みたい。

以上今夏東京で開かれた国際燃焼シンポジウムの内容をガスタービン燃焼器に関連した論文に限ってごく簡単に紹介した。この他にも参考になる研究発表も数多くあったことは勿論であるが紙面の都合で省略した。シンポジウムに参加して感じたことは国外の研究の巾の広さと内容の充実で、このシンポジウムを機会に地理的な不利、言葉の壁を克服して国際的な交流を積極的にはからねばならないと思われた。

第 5 回 国際伝熱会議

慶応義塾大学 工学部 小茂鳥 和生

国際伝熱会議 (IHTC と略記する) はその

表 発表論文の分類

分類	Session 数	論文 数	内容, その他
forced convection	9	77	層流, 乱流, 管内流, 高速流, フィン付面, 非定常流, 衝突冷却など
boiling	7	61	核・膜・遷移沸騰, 気泡問題, burn-out, 液体金属, 超臨界など
natural convection	5	44	各種形状, cell 問題, 遠心力の場合, 強制対流との共存など
conduction	4	31	数学的手法, 相変化を伴う場合, 複合材料, など
radiation	2	25	各種の面, ガスふく射, 熱伝導及び対流伝熱との複合問題など
combined heat and mass transfer	3	24	蒸発, 多孔質からの伝熱と蒸発, 充てん層, 流動層の伝熱, 拡散問題など
condensation	2	20	膜状・滴状凝縮, 管内凝縮など
heat exchanger	2	17	単相流, 多層流, 再生式熱交換器
measuring techniques and analogue techniques	2	14	物性値の計測, 温度・流れなどの新しい計測法, space chamber による伝熱実験など
biological and environmental heat transfer	1	7	生物体の伝熱問題, 廢熱公害など
合計		330	内訳 USA 138 編, USSR 55, 日本 30, UK 21, 西独 19, その他合計 25ヶ国

“prompt NO”などの反応モデルの是非について論じたものが多かった。また Session B においてもこれら汚染物質生成過程の素反応を速度論的に詳細に論じたものがみられ、この方面に対する巾広い研究がうかがわれた。またすすの生成、抑制についての研究も Session A で数編みられ、抑制について金属添加物の効果を論じた研究もみられた。

Session C において幾つか発表された液滴の燃焼についての論文は、ガスタービン燃焼器における噴霧燃焼を考える上で興味あるものであった。ここでは噴霧燃焼の取扱いに単滴燃焼の研究成果をどのように取り入れるべきか、双方を関連させて考えることがどの程度可能かなどに論議が集中した。

この他に目立ったのは乱流拡散火炎に関する研究で、その燃焼機構に反応領域の速度、濃度、温度の時間的な変動を取入れて考えようとする試みが多くなされており、多くの参加者の関心を集めた。この傾向はこれらの変動の測定がレーザードップラ法の応用によって可能になったこ

とで増進されているようである。今後詳細な測定が進み、実用上有効な乱流燃焼のモデルができれば、ガスタービン燃焼器の燃焼の解析にもプラスとなる所大であろうし、研究の進展を望みたい。

以上今夏東京で開かれた国際燃焼シンポジウムの内容をガスタービン燃焼器に関連した論文に限ってごく簡単に紹介した。この他にも参考になる研究発表も数多くあったことは勿論であるが紙面の都合で省略した。シンポジウムに参加して感じたことは国外の研究の巾の広さと内容の充実で、このシンポジウムを機会に地理的な不利、言葉の壁を克服して国際的な交流を積極的にはからねばならないと思われた。

第 5 回 国際伝熱会議

慶応義塾大学 工学部 小茂鳥 和生

国際伝熱会議 (IHTC と略記する) はその

表 発表論文の分類

分類	Session 数	論文 数	内容, その他
forced convection	9	77	層流, 乱流, 管内流, 高速流, フィン付面, 非定常流, 衝突冷却など
boiling	7	61	核・膜・遷移沸騰, 気泡問題, burn-out, 液体金属, 超臨界など
natural convection	5	44	各種形状, cell 問題, 遠心力の場合, 強制対流との共存など
conduction	4	31	数学的手法, 相変化を伴う場合, 複合材料, など
radiation	2	25	各種の面, ガスふく射, 熱伝導及び対流伝熱との複合問題など
combined heat and mass transfer	3	24	蒸発, 多孔質からの伝熱と蒸発, 充てん層, 流動層の伝熱, 拡散問題など
condensation	2	20	膜状・滴状凝縮, 管内凝縮など
heat exchanger	2	17	単相流, 多層流, 再生式熱交換器
measuring techniques and analogue techniques	2	14	物性値の計測, 温度・流れなどの新しい計測法, space chamber による伝熱実験など
biological and environmental heat transfer	1	7	生物体の伝熱問題, 廢熱公害など
合計		330	内訳 USA 138 編, USSR 55, 日本 30, UK 21, 西独 19, その他合計 25ヶ国

運営会議 (The Assembly for IHTC) により運営され、4年毎に各国まわり持ちで開かれる伝熱関係では最大の国際行事である。今回は日本学術会議が主催者となり、西脇仁一 東大名誉教授が運営委員長として9月3日から7日まで国外約250名、国内約450名、その他家族約50名を集めて大手町の経団連会館に於て開催された。

発表論文は330編にのぼるがその内わけは別表のとおりである。この他に特別講演5編、Round Table Discussions 延べ8室、Open Forum 1室が設けられ比較的自由的な雰囲気での活発な討論が行なわれた。さらに Film Sessions 2室では研究に伴って撮影された興味深い高速度写真フィルムなどが8本公開された。

発表された研究の内容は広範囲で、基礎的な研究が主体であった。強制対流に属する問題は範囲の広さから数は最も多く、何れも基礎的にはガスタービンの冷却などに関係があるといえよう。強いてガスタービンと関係あるものをあげると、衡空気流による伝熱問題として2次元空気ジェットによる実験と理論 (FC 1.4, F.F. Cadek 他, USA), (注 FC 1.4などは論文番号を表わす) 回転円板に空気ジェットを吹きつけたときの局所熱伝達率に関する実験 (NC 5.9, Cz.O. Popiel 他, Poland) などがあるが、いずれも直接の応用を考えたものではない。

沸騰問題は原子力との関連もあって数も多く、討論も活発であった。熱交換器のセッションは基礎的な事項のほか、Foulingなどの実際問題も扱われ、中でも再生式熱交換器の理論や Digital Simulation (HE 1.7, J.C. Kim, USA) (HE 1.8, J.A. Manrique 他, Mexico) (HE 1.9, P.N. Vaishnav 他, USA) などがガスタービン関係者の興味をひくかもしれない。

特別講演として星間のエネルギー伝達、生物における伝熱などの新しい問題が取りあげられたが、中でも西独 Mayinger 教授による (Holograpy in Heat and Mass Transfer) と題する講演はその卓越した実験技術を駆使したすばらしい映画やスライドと共に圧巻であった。これらの計測技術は習熟すれば、タービン翼列間や燃焼室内を流れる高温ガスの温度分布の計測などに偉力を発揮できるであろう。

終りに近い Round Table Discussion の一つとして廢熱問題が提起された。これに対する技術的な対処としては、まずあらゆる熱エネルギーの Total System としての徹底的利用が計られねばならないとして、二、三の例が紹介された。この面で今後ガスタービンの積極的な寄与が考えられるのではないだろうか。しかしながらどの様な技術が開発されたとしても人間の使うすべてのエネルギーは熱に帰結する。それが地球そのものの熱バランスに対して単に局所的だけでなく、全体的にも無視できなくなりつつあることを考えると、伝熱学を学ぶ者にとっては単に技術の問題だけでなく、より大きな社会、あるいは人間そのものの問題として対処していかなければならないことを痛感させられた。

なお終りに全般的な感想を述べさせて頂くと、表の末尾に示したように、アメリカからの論文が群を抜いており、それにソ連が続き、これはまさに国力を示すものであろう。ただし論文のレベルも広範囲に広がっており、必ずしも精選されたとはいえないようである。アメリカからの論文も、また参加者も中国系の人が多く、それが皆討論に於いてもよく活躍していたことが特に印象に残った。日本からは地元の故もあって論文の数も、参加者も多かったが、4年後のカナダにも、このペースを落とすことなく、特に質の高い論文をもって参加したいものである。

新製品紹介

明電舎 160 KVA ガスタービン発電装置 (GX-160)

株式会社明電舎 電力事業部営業技術部 野田 廣太郎

1. はじめに

非常用発電装置は従来、ディーゼル機関の独壇場であった。近年、我国でも大容量 (10 MVA 級) 及び中容量 (1 MVA 級) に非常用ガスタービン発電装置が登場したが、一層小容量の範囲に於いては、発電室の面積と機器重量の節約、冷却水との袂別、又は軽便な移動電源車の需要と、ガスタービンへの期待は非常に大きいものがあった。

ここに紹介する 160 KVA ガスタービン発電装置は、以上の要請に応じて登場したものである。

2. 装置の構成

本装置は GX-160 と命名され、ガスタービン、発電盤及び附属品から成る。

ガスタービンはドイツ民主共和国 (東ドイツ) のメーカー、VEB Strömungsmaschinen の製品を輸入し、(株)明電舎が発電機、配電盤及び附属品を製作の上、本装置のアプリケーション・エンジニアリング及び技術サービスを一切、担当する。

3. ガスタービン

主要目は次の通りである。

製作者: VEB Strömungsmaschinen,
Pirna
型式: Gasturbine 027
単純開放サイクルー軸型ガスタービン
出力: (吸気温度 15°C, 気圧 760 mmHg
にて)
連続定格 220 PS
回転速度: ガスタービン軸 32000 rpm
減速機出力軸 1500 rpm 又は
1800 rpm
燃料: 蒸溜油 (灯油, 軽油, ナフサ, 無添

加ガソリン等)

乾燥重量: 176 kg

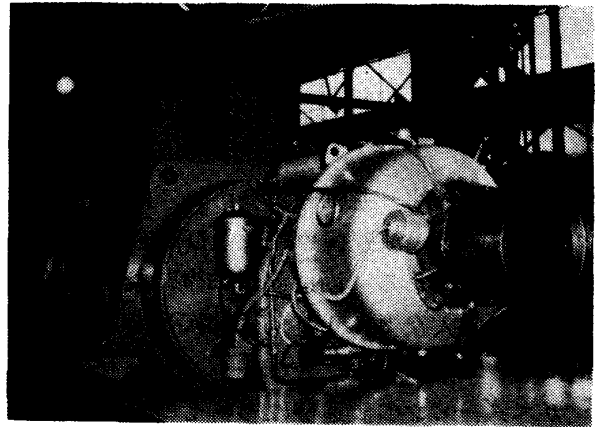


写真1 GX-160 ガスタービン発電装置

ガスタービンの構造は小型機に典型的な遠心圧縮機と輻流タービンの組合せで、燃焼器は環状単一型である。ガスタービン軸の回転速度は二段減速装置により約 1/20 に減速されるが、ガスタービン本体は減速車室にフランジ結合され、更に減速車室自体が発電機の端面に設けられたフランジに直結されるオーバーハング型で、発電機以外に据附脚部は無い。

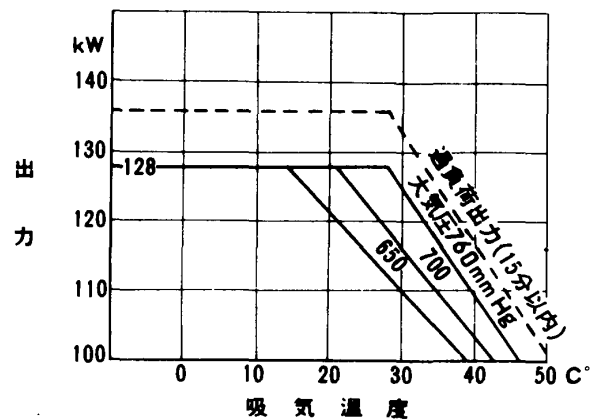


図1 GX-160 出力特性

(昭和49年8月21日原稿受付)

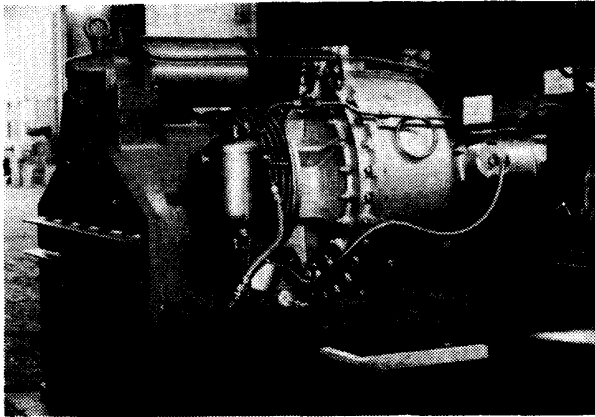


写真2 O27型 ガスタービン

潤滑油系統は、主軸直動のポンプによりガスタービン軸受、減速歯車軸受及び嚙合部へ強制潤滑が行なわれる。尚、潤滑油冷却器はガスタービンの吸入空気により効果的に冷却される構造になっている。

ガスタービンの调速機は燃料そのものを圧力媒体とする遠心油圧式で、圧縮機吐出圧を信号とする起動時燃料制御機構、及び点火燃料制御機構を併せ持って居り、制御された主燃料はガスタービン軸に設けられたノズル盤から遠心力により噴射されて良好な燃焼を得る様になって居る。

ガスタービンの起動は蓄電池により、セルモータを介して行なわれる。点火は高圧コイルによる電気火花により点火燃料を介して主燃料へ着火せしめる。回転自立、セルモータ離脱、自力昇速の過程を経て定格回転数に達し、同時に発電機の電圧も確立するが、起動に要する時間は25～30秒、操作は全自動、而して起動の信頼性は無比であり、未だ当社に於いて起動失敗を経験した事例がない。

4. 発電機

新型のブラシなし励磁による発電機で、回転子を円筒型化してGD²値を下げ、ガスタービンによる急速起動を助けて居る。主要目は下記の通り。

製作者：株式会社明電舎

型式：E-AFT

開放保護、円筒形回転界磁、ブラシなし交流発電機

電圧：220V, 440V, 3300V, 又は6600V

周波数：50Hz 又は60Hz

相数：3
極数：4
出力：160KVA
力率：0.8遅れ

5. 用途

GX-160ディーゼル発電装置は其の軽便性を活して、次の用途に活躍して居る。

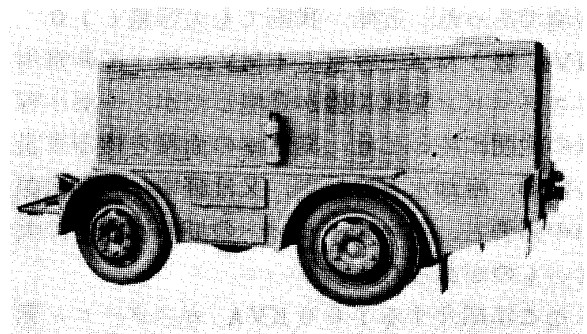


写真3 トレーラ式電源車

(1) 移動電源車

特に我国の法規による普通免許の範囲は自走型で全備重量8トン以下に限られて居り、GX-160による低騒音160KVA電源車が期待される。

(2) パッケージ

可搬型電源、ビルの屋上発電所等に好適である。

(3) 定置式自家発電設備

ビル、病院、ホテル及び上下水道のポンプ所等に採用される。ガスタービン及び発電機を全部防音外被で覆ってしまう事を標準にして居り、発電室内の騒音レベルは約85ホン(A)と云う静かな値である。

6. 特徴

160KVA発電装置としての利点を、ディーゼル発電装置と比較して整理すると以下の通りである。

- (1) 軽量・小型(ガスタービン重量はディーゼルの1/8～1/10)
- (2) 急速起動、25～30秒(ディーゼルは10～40秒)
- (3) 全負荷投入可能、瞬時周波数低下は僅かに3%、(過給式ディーゼルは75%投入)

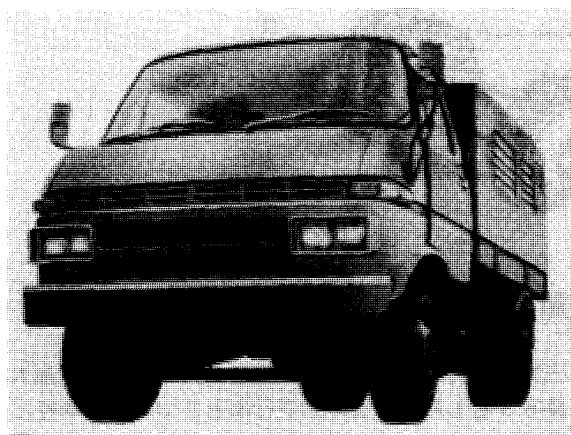


写真4 低騒音自走電源車

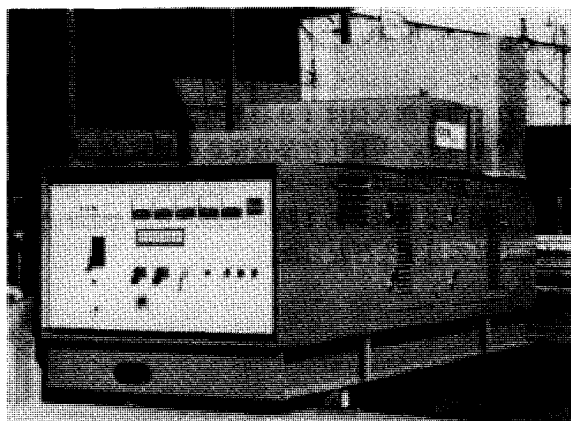


写真5 サイレント型パッケージ

で、8~10%周波数低下が生ずる)

- (4) 振動無し。(ディーゼルは防振台床を必要とする)
- (5) 全ての蒸溜油が焚ける。(ディーゼルはA重油が焚ける利点を持つ代わりに、灯油焚を好まない)
- (6) 自動運転が容易(ディーゼルよりもシーケンスが簡単)
- (7) 冷却水が不要(水を不可欠とするディーゼルに比し、圧倒的な利点である)
- (8) 寒冷地対策不要。-40℃まで問題なし。(5℃以下で種々の対策を非常とするディーゼルに比し、著しく有利)
- (9) 起動の信頼性が極めて高い。(非常用発電装置の生命)

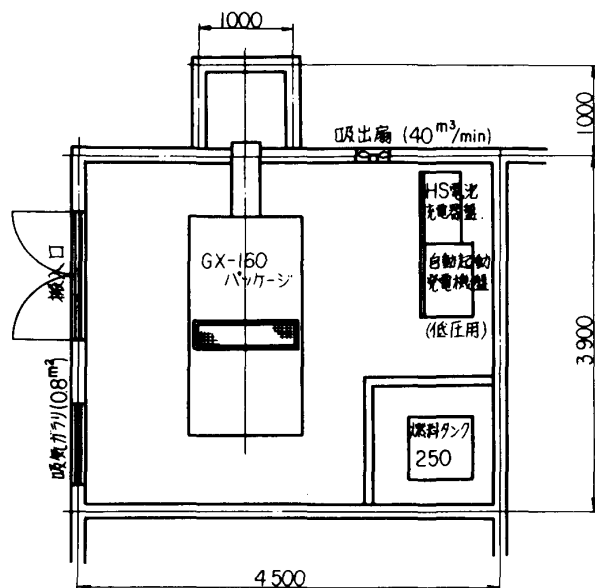


図2 標準配置図(定置式発電設備)

- (10) 換気量が少なくて済む。(ガスタービンからの放熱が殆んど無い)
- (11) 排気 NOx は 30 ppm 以下。(ディーゼルでは約 500 ppm)
- (12) 無負荷運転に制限無し。(定期確認運転をする上に甚だ便利)

一方、ディーゼルに比して次の欠点がある。

- (1) 燃料消費率が高く、160 KVA (128 kW) 時に 690 g/kwh (ディーゼルでは 305 g/kwh 程度)
- (2) 排気管が太く、300 Aが必要(ディーゼルでは 125 A程度)

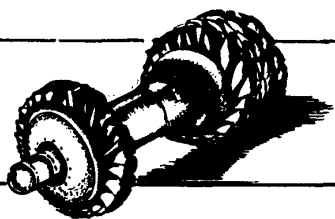
7. 結 び

非常用発電装置全体について云えば、今後その主流がディーゼルである事は疑いもない。併し特定の用途に、又は限られた出力域に、ガスタービンが進出する事も亦、時代の趨勢である。

今迄の常識では、10 MW級の大容量機にならぬ限り、ガスタービン発電装置の建設費はディーゼルの敵ではないと考えられて来たが、ここに紹介した製品はそれを打破り、価格面でもディーゼルに比肩して居る。今後、更に異った容量範囲に於いても市場性の高い発電用ガスタービンの出現を期待するものである。

報 告

日本ガスタービン会議



第 2 回 見学会 技術懇談会

— 関西電力㈱大阪発電所 —

地方委員が設置され、GTCJとしては、初めての地方開催行事として、10月25日(金)関西電力㈱大阪発電所の見学と、「MW501GT発電セットとその使用」と題し、関西電力坂田卓也氏と

三菱重工竹矢一雄氏による講演が行なわれ、参加人員65名と最初の地方開催行事としては、成功裡に終了した。

第 3 回 技術懇談会

— 石川島播磨重工業㈱田無工場 —

11月19日(火)石川島播磨重工業㈱に於ける技術懇談会は、フォード大統領来日に合せた交通ストの最中となり、この機会を失するとIHI社の予定がとれないとのことで開催を強行することとなった。

参加人員50名との制約があり、申し込み110名を抽選のうえ決定した。

交通ストとの関係から、決定者を参加可能者に切

換える考えなどがうまく運ばぬまゝ開催ということになったことをお許し願いたい。

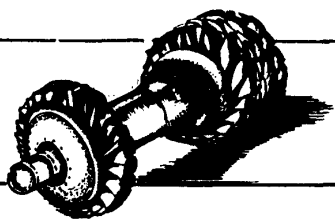
それでも参加人員は19名あり、どうやらということであった。IHI社品質保証部長宮内一郎氏による、「航空用ガスタービンの品質管理および信頼性」と題する講演が約1時間にわたり行なわれた後田無工場の見学を行なった。

お 知 ら せ

本会報記事に関しましては会報編集規程、自由投稿規程に基づき広くガスタービンに関する新らしい情報など会員各位よりの積極的投稿を期待致しております。

報 告

日本ガスタービン会議



第 2 回 見学会 技術懇談会

—関西電力㈱大阪発電所—

地方委員が設置され、GTCJとしては、初めての地方開催行事として、10月25日(金)関西電力㈱大阪発電所の見学と、「MW501GT発電セットとその使用」と題し、関西電力坂田卓也氏と

三菱重工竹矢一雄氏による講演が行なわれ、参加人員65名と最初の地方開催行事としては、成功裡に終了した。

第 3 回 技術懇談会

—石川島播磨重工㈱田無工場—

11月19日(火)石川島播磨重工㈱に於ける技術懇談会は、フォード大統領来日に合せた交通ストの最中となり、この機会を失するとIHI社の予定がとれないとのことで開催を強行することとなった。

参加人員50名との制約があり、申し込み110名を抽選のうえ決定した。

交通ストとの関係から、決定者を参加可能者に切

換える考えなどがうまく運ばぬまゝ開催ということになったことをお許し願いたい。

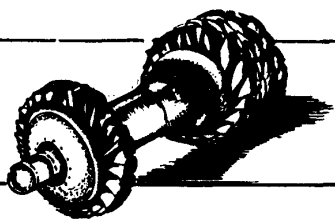
それでも参加人員は19名あり、どうやらということであった。IHI社品質保証部長宮内一郎氏による、「航空用ガスタービンの品質管理および信頼性」と題する講演が約1時間にわたり行なわれた後田無工場の見学を行なった。

お 知 ら せ

本会報記事に関しましては会報編集規程、自由投稿規程に基づき広くガスタービンに関する新らしい情報など会員各位よりの積極的投稿を期待致しております。

報 告

日本ガスタービン会議



第 2 回 見学会 技術懇談会

— 関西電力㈱大阪発電所 —

地方委員が設置され、GTCJとしては、初めての地方開催行事として、10月25日(金)関西電力㈱大阪発電所の見学と、「MW501GT発電セットとその使用」と題し、関西電力坂田卓也氏と

三菱重工竹矢一雄氏による講演が行なわれ、参加人員65名と最初の地方開催行事としては、成功裡に終了した。

第 3 回 技術懇談会

— 石川島播磨重工㈱田無工場 —

11月19日(火)石川島播磨重工㈱に於ける技術懇談会は、フォード大統領来日に合せた交通ストの最中となり、この機会を失するとIHI社の予定がとれないとのことで開催を強行することとなった。

参加人員50名との制約があり、申し込み110名を抽選のうえ決定した。

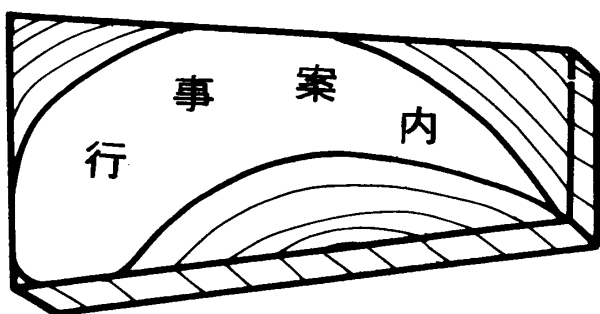
交通ストとの関係から、決定者を参加可能者に切

換える考えなどがうまく運ばぬまゝ開催ということになったことをお許し願いたい。

それでも参加人員は19名あり、どうやらということであった。IHI社品質保証部長宮内一郎氏による、「航空用ガスタービンの品質管理および信頼性」と題する講演が約1時間にわたり行なわれた後田無工場の見学を行なった。

お 知 ら せ

本会報記事に関しましては会報編集規程、自由投稿規程に基づき広くガスタービンに関する新らしい情報など会員各位よりの積極的投稿を期待致しております。



GTCJ ガスタービンセミナー（第2回）のお知らせ

昨年度にひきつづき「環境問題と新しいガスタービン技術」をテーマに、第2回GTCJガスタービン

ンセミナーを下記の通り開催いたしますので奮ってご参加下さい。

記

1. 日時 : 昭和50年1月24日(金) 9.00～17.00(受付8.40開始)
2. 会場 : 日比谷三井ビル8階ホール(公衆 TEL(03)580-6366) 東京都千代田区有楽町1-1 2-1 地下鉄…………日比谷線, 千代田線, 6号線日比谷下車 国電…………有楽町駅下車徒歩5分
3. セミナー内容

	項 目	時 間	講 師
	開会の挨拶	9.00～9.05	
1	ガスタービン騒音の理論と実際	9.05～10.20	東京大学 岡崎卓郎氏
2	ガスタービン騒音の防止対策	10.20～11.35	石川島播磨重工株 中野有朋氏
	午前2題の質疑	11.35～12.05	
	昼 食	12.05～13.30	
3	最近の燃焼反応の基礎的研究	13.30～14.45	*東京大学 佐野妙子氏
	小休止 ティータイム	14.45～15.00	
4	ガスタービンの燃焼生成物とその低減対策	15.00～16.15	航空技術研究所 鈴木邦男氏
	午後2題の質疑	16.15～16.45	
	閉会の挨拶	16.45～16.50	

* 第3テーマの講師は、前回予告申し上げました八田教授の都合により、八田研究室の佐野氏に変更致します。

4. 参加要領

- (1) 聴講会費 : 期限申し込み 1名
6,000円(資料費を含む)
当日申し込み 1名
7,000円(")
資料のみ購入希望 1冊
3,000円
- (2) 参加資格 : 会員に限る。
但し当日会場でも入会受付(年会費2,000円)
- (3) 申し込み方法 : 振替の払込みにより受付。
所属氏名を明記して下さい。
現金書留の場合は別紙に所属氏名を明記のうえ申し込み下さい。

- (4) 申し込み締切り : 昭和49年12月15日
(消印)。
期限内申し込み者には資料を送付致します。

5. 事務局

東京都新宿区新宿3-17-7 紀伊国屋ビル
(財)慶応工学会内
日本ガスタービン会議(担当 三浦教子)
TEL(03)352-8926
以上

第3回定期講演会講演募集

昭和50年5月30日(金)に日本ガスタービン会議主催第3回定期講演会を開催致しますので、講演論文を募集致します。

○開催時期：昭和50年5月30日(金)

○場所：機械振興会館

○論文内容：(1)最近の研究で未発表のものおよび部分的に既に発表されたものを総括的に発表するもの(2)テーマはガスタービン(排気タービンを含む)およびその応用に関する諸問題を取扱ったもの(3)上記の諸問題についての学術論文、技術論文およびガスタービンの開発に際して発生した技術上の諸問題を取扱った論文等

○申込者：日本ガスタービン会議会員

○申込方法：(1)論文発表申込者は、はがき大の用紙に「第2回定期講演会講演申込」と題記し、

(a)講演予定題目、(b)発表者名(連名のときは講演者に*印をつける)および勤務先(c)通信先(d)100～200字程度の概要を記入し、本会事務局宛申込んで下さい。(2)申込期限 昭和50年1月31日(金)

○講演論文集：(1)講演者は全部原稿を提出して戴きます。今回の講演会に提出された全論文を1冊に編集した講演論文集を発行致します(2)講演申込者には本会より講演論文集用原稿用紙をお送り致しますので、執筆の上期限迄に本会事務局へ郵送して下さい(3)原稿提出期限(事務局到着) 昭和50年3月29日(土)(4)頁数 1292字詰原稿用紙6頁以内

○講演時間：1題につき約30分(討論時間を含む)

○採否：講演発表の採否は本会にご一任願います。

広告の会報掲載についてのお知らせ

本会報へ広告を掲載する件ではすでにこれ迄いくつかの照会がありまして、幹事会などで検討を重ねて参りました。その結果、本号会報より広告を掲載いたすことになりましたのでお知らせ申し上げます。広告掲載に關しましては次のような規程を設けて取扱うことにいたします。

1. 日本ガスタービン会議会報としての品位を傷つけないものに限る。
2. 掲載については本会議の承認を必要とする。
3. ガスタービンおよび関連分野に関するものを対象とする。
4. 原則として求人広告は掲載しない。

広告の申込は本事務局を通じてお願いいたします。申込の時期は掲載希望の会報が発行される3箇月前といたします。

なお、方法、価格などの詳細は事務局にお問合せ下さい。

第3回定期講演会講演募集

昭和50年5月30日(金)に日本ガスタービン会議主催第3回定期講演会を開催致しますので、講演論文を募集致します。

○ 開催時期：昭和50年5月30日(金)

○ 場 所：機械振興会館

○ 論文内容：(1)最近の研究で未発表のものおよび部分的に既に発表されたものを総括的に発表するもの (2)テーマはガスタービン(排気タービンを含む)およびその応用に関する諸問題を取扱ったもの (3)上記の諸問題についての学術論文、技術論文およびガスタービンの開発に際して発生した技術上の諸問題を取扱った論文等

○ 申込者：日本ガスタービン会議会員

○ 申込方法：(1)論文発表申込者は、はがき大の用紙に「第2回定期講演会講演申込」と題記し、

(a)講演予定題目、(b)発表者名(連名のときは講演者に*印をつける)および勤務先 (c)通信先 (d)100～200字程度の概要を記入し、本会事務局宛申込んで下さい。(2)申込期限 昭和50年1月31日(金)

○ 講演論文集：(1)講演者は全部原稿を提出して戴きます。今回の講演会に提出された全論文を1冊に編集した講演論文集を発行致します (2)講演申込者には本会より講演論文集用原稿用紙をお送り致しますので、執筆の上期限迄に本会事務局へ郵送して下さい (3)原稿提出期限(事務局到着) 昭和50年3月29日(土) (4)頁数 1292字詰原稿用紙6頁以内

○ 講演時間：1題につき約30分(討論時間を含む)

○ 採 否：講演発表の採否は本会にご一任願います。

広告の会報掲載についてのお知らせ

本会報へ広告を掲載する件ではすでにこれ迄いくつかの照会がありまして、幹事会などで検討を重ねて参りました。その結果、本号会報より広告を掲載いたすことになりましたのでお知らせ申し上げます。広告掲載に關しましては次のような規程を設けて取扱うことにいたします。

1. 日本ガスタービン会議会報としての品位を傷つけないものに限る。
2. 掲載については本会議の承認を必要とする。
3. ガスタービンおよび関連分野に関するものを対象とする。
4. 原則として求人広告は掲載しない。

広告の申込は本事務局を通じてお願いいたします。申込の時期は掲載希望の会報が発行される3箇月前といたします。

なお、方法、価格などの詳細は事務局にお問合せ下さい。

お 知 ら せ

ASME Gas Turbine Division の Turbomachinery Committee は下記の要領で講演会の論文を募集いたしております。

「1975 ASME Winter Annual Meeting」

開催年月日 : 1975年11月30日～12月4日

場 所 : U.S.A., Texas州Houston市

☆ Turbomachinery

- Topics : 1. Design for Turbomachinery Operation with Tight Tip Clearances
2. Design of Seals to Minimize Air Leakage
3. Management of Bleed and Cooling Airflows
4. Selection of Rotor and Stator Configurations to Minimize Aerodynamic Penalties
5. Aerodynamic Features to Increase Performance

申込方法 : アブストラクト(3部)は1975年3月15日迄に提出

原稿は1975年5月15日迄に提出

提出先

Mr. Melvin Hartmann

National Aeronautics & Space Administration

Lewis Research Center

21000 Brookpark Road

Cleveland, Ohio 44135

☆ Heat Transfer in Gas Turbine Hot Section Components

1. Turbine Airfoil and Shroud Cooling
2. Disk Heat Transfer
3. Combustor Cooling

申込方法 : アブストラクト(3部)は1975年3月15日迄に提出

原稿は1975年5月25日迄に提出

提出先

Mr. Howard L. Julien

Power Systems Department

Research Laboratories

General Motors Corporation

Warren, Michigan 48090

或は

Dr. Sanford Fleeter

Dept. 9886 - W16

Detroit Diesel Allison

P. O. Box 894

Indianapolis, Indiana 46206

上記の件に関し申込書ご入用の方および詳細のお問合せについては下記ASME G. T. D. Turbomachinery Committee 国内委員までご連絡下さい。

有 賀 一 郎 〒223 横浜市港北区日吉町832

慶応義塾大学工学部機械工学科

妹 尾 泰 利 〒812 福岡市東区箱崎町

九州大学生産科学研究所

田 中 英 穂 〒153 東京都目黒区駒場4-6-1

東京大学宇宙航空研究所

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1800字であって、1編について、それぞれ次の通り頁数を制限する。
論説4～5頁、解説および論文6～8頁、速報および寄書3～4頁、随筆2～3頁、ニュース1頁以内、新製品紹介1頁以内、書評1頁以内
6. 原稿は用済後執筆者に返却する。
7. 依頼原稿には規定の原稿料を支払う。
8. 原稿は下記の事務局宛送付する。
〒160 東京都新宿区新宿3-17-7、
紀伊国屋ビル、財団法人慶応工学会内
日本ガスタービン会議事務局
(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 7 号

昭 和 4 9 年 12 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 有 限 公 司

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1800字であって、1編について、それぞれ次の通り頁数を制限する。
論説4～5頁、解説および論文6～8頁、速報および寄書3～4頁、随筆2～3頁、ニュース1頁以内、新製品紹介1頁以内、書評1頁以内
6. 原稿は用済後執筆者に返却する。
7. 依頼原稿には規定の原稿料を支払う。
8. 原稿は下記の事務局宛送付する。
〒160 東京都新宿区新宿3-17-7、
紀伊国屋ビル、財団法人慶応工学会内
日本ガスタービン会議事務局
(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 7 号

昭 和 4 9 年 12 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1800字であって、1編について、それぞれ次の通り頁数を制限する。
論説4～5頁、解説および論文6～8頁、速報および寄書3～4頁、随筆2～3頁、ニュース1頁以内、新製品紹介1頁以内、書評1頁以内
6. 原稿は用済後執筆者に返却する。
7. 依頼原稿には規定の原稿料を支払う。
8. 原稿は下記の事務局宛送付する。
〒160 東京都新宿区新宿3-17-7、
紀伊国屋ビル、財団法人慶応工学会内
日本ガスタービン会議事務局
(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 7 号

昭 和 4 9 年 12 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 有 限 公 司

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

第20回ASME ガスタービン会議 展示会参加の おすすめ

ASMEガスタービン会議・展示会

- 期日：1975年3月2日～6日
- 場所：ヒューストン(米国)

当協会では、ASMEと協力して毎年ASME Code III に関する日米合同シンポジウムを毎年、日米両国で開催してまいりました。

又、Pressure Vessels & Piping Conference 等には関係者を団として編成して出席させる等、ASMEに関する日米交流を推進してまいりました。

このたび、ASME本部より、来年3月に開催される Gas Turbine Conference and Products Show に対し、日本の関係者が多大なる関心を寄せており、日本より多数の関係者が参加するであろうとの意向があり、当協会としても過去の経験を生かし、同会議参加者に対し実質的な便宜をはからいたく準備しております。

- 期日：東京発3月2日(日)
東京着3月12日(水)
- 費用：¥315,000 (予定)
 - ① 東京-ヒューストン往復航空賃 (エコノミークラス)
 - ② ロスアンゼルス1泊代
 - ③ 会議登録料
(ヒューストン滞在中のホテル
および技術資料購入代はふく
まず。)
- 申し込み〆切日：1月25日(土)
- 問い合わせ先：
国際産業企画協会・(担当成沢)
港区赤坂3-17-8 (土橋ビル)
TEL 03-585-6451

TECHNICAL SESSIONS

Over 200 papers will be presented in some 50 technical sessions of which more than half will be of great interest to users of Gas Turbine systems. The remainder will be of primary interest to manufacturers of systems and components.

User Oriented Sessions

Aircraft: Advanced technology programs; influence of applications in engine design and development; engine/airframe integration; special engine design considerations; computer use in engine design and development; supersonic transport; lift fan technology.

Vehicular: Heat exchanger and seal systems for vehicular turbines; ceramics for turbine engines; materials and manufacturing for high-temperature parts.

Electric Utilities: Operations and Applications.

Marine Technology

Pipelines

Process Industries: Operations and Applications.

Manufacturing Oriented Sessions

Manufacturing Technology: Inspection, repair, and maintenance of gas turbines; numerical control manufacturing of turbomachinery components and tooling.

Combustion and Fuels: Advanced combustion/fuels approaches; emissions data.

Structures and Dynamics: Blade vibration and blade impact; structural analysis and failure criteria.

Turbomachinery: Surge instability in compressors; turbomachinery generated noise; numerical analysis of turbomachinery flow; endwall effects in turbomachinery; general turbomachinery flow—compressor; general turbomachinery flow—turbines.

Controls and Auxiliaries

Heat Transfer: Gas Turbine heat exchangers.

Nuclear Cycles

Ceramics

Several panel sessions will be devoted to Electrical Utilities, Pipelines, and Education.

