



## 1号ガスタービンの生れるまで

中 田 金 市

1号ガスタービンとは、終戦直後の苦難の時代に、われわれが、各方面のご協力を得て、作り上げた最初のガスタービンである。われわれとは、終戦によって、中央航空研究所から鉄道技術研究所に移った人々のうち、空気力学や原動機関係の研究者のことである。中研の職員は廃庁によって全員が一応辞職し、その内100人ぐらいが鉄研に採用されたとのことであった。

この新規採用者は鉄研の既存の部に編入されることなく、工学関係の人たちは第1理学部に、理学関係の人たちは第2理学部に、材料関係の人たちは第3理学部に所属させられ、近藤俊雄、中田金市、川村宏矣の三人がそれぞれの部長に任命された。この時、中原寿一郎鉄研所長の言われた言葉を私は永久に忘れないだろう。「航空の研究は今は禁ぜられているが、必要になる時がきつと来る。この人たちはその時のために大切に保存し、その技術を後退せしめてはならない。決してダダクサに使わないでほしい」表現は多少違っているだろうが主旨は違っていないつもりだ。私はこの人のために一生けんめい働こうと決心した。

中研所長の花島孝一氏と鉄研所長の中原氏は共に本当の意味の愛国者であったと私は思う。中研を鉄研に移管するについて、どのような話合いが両者の間になされたかは知る由もないが、これらの人たちを鉄研の各部にバラ撒かないで、一つに纏めておき、他日航空が輸送の一翼を担うであろう日のために備えておかれたのは遠見であったと思う。

さて、鉄道の中に居て、航空技術の腕を磨くにはどうしたらよいか、いろいろ議論した末、ガスタービン機関車を作るのが最適だということになった。これをやるためには空気力学、熱力学、燃焼、耐熱材料などの研究が必要であり、3つの理学部の総力をあげて研究するのに恰好なテーマであった。ガスタービンは熱効率は蒸気機関車の5%程度より遙かに高い。水が不要なので、その分燃料を積み足がうんと伸びる。煙が出ないのでトンネル通過が楽になる。火の粉による山火事の心配もないなどいいことづくめである。だが、騒音、コスト高などという欠点もないではなかった。しかし、スイスやイギリスは当時すでにガスタービン機関車を持っており、アメリカもGEで計画していると知って、われわれも負けてはならないと思い、この研究に取り組んだのであ

った。

意気は盛んであったが、何しろ無からスタートするのであるから、実験装置を作らねばならない。使えそうなものといえば、電気動力計と翼列実験に使えそうな小型高速風洞ぐらいのものであった。空気圧縮機、燃焼器、タービンなどを単独に試験できる試験装置をどこかで作ってもらわねばならない。そこで近藤部長は若い人を連れて会社めぐりを始めた。敗戦でジョンボリしている会社に、僅かな注文ではあっても、新しい技術の開発に協力でき、将来の発展への希望が持てる筈だから、きっと応じてくれるものと期待していたのに、どの会社の答えも「ノー」であって、ただ1社だけ「やりましょう」と応えてくれたそうである。それは石川島芝浦タービン、当時の社長は後に猛烈社長の名を馳せた土光敏夫氏であった。「戦時中海軍の注文で作ったガスタービンを終戦の時工場内に埋めたのがあるから、それを掘り出して見ましよう。新しく作るよりこの方が早い」ということになった。掘り出して見たら、コンプレッサーの羽根は折れ、タービンの羽根は曲り、ケーシングには土砂が一杯詰っていた。でも、ローターとケーシングは無傷だったので、それを生かすことにし、新にコンプレッサーとタービンの羽根を作る、燃焼器を作る、それを組立て試運転するまでという条件の修理注文を出した。こんなことは昭和22年から24年にかけて行われたと思う。

どの大会社も引受けてくれなかったことを土光社長が何故引き受けてくれたか。それはいつであったか、社長が私に話されたことから理解できるように思う。「工場をキャバレーにして日銭をかせごうという人も会社には居る。(給料の支給にも困っていたので団体交渉の時にそんな要求が出されたのかも知れない)しかし私はどんなに困っても工場をそんなことには使わせない」高が知れたガスタービンの修理で、大きな工場の経費にどれほどプラスになるとも思えない。でもタービン工場として本格的な仕事だから引き受けるというのが当時の土光社長の心境だったと思う。

昭和24年のなかば頃、近藤、川村両部長はバージということになり、私は第1理学部長を兼ねることになった。私には荷が重過ぎると感じたのが顔に出たのだろうか、中原所長は「大変だろうがよろしく頼むよ。その代りガスタービン関係の書類には一切盲判を押すから何でも持って来なさい」と言われた。実際、中原所長はその約束通り、修理費はそれほど高価ではなかったが、コンプレッサーの試験装置は高価なものであったにも拘らず本当に盲判をついて下さった。そうこうしている内に、国鉄は運輸省から独立して特殊法人として生きて行く事になり、鉄研も当然独立した国鉄に従って行ったが、われわれのように、今直ぐ国鉄のお役に立たないような研究をしているものは運輸省に残り、新に運輸技術研究所ができて、そこに統合された。

われわれのガスタービンの修理はこんなガタガタした間にも順調に進められ、昭和25年末ご

ろ完成した。そして、第2、第3のガスタービンを作ることを期待して1号ガスタービンと命名された。出力は公称馬力の半分位しか出なかったが、実験機としての任務は十分果してくれたのであった。

## 繁栄の果て — 海外旅行雑感 —

金沢大学工学部 小 泉 磐 夫

去る11月初めから丁度1ヶ月間、晩秋も遅くなったヨーロッパの曾遊の地を10年振りに訪ねる機会を得た。これ等の土地の殆んどが筆者が若い日、35年前の留学以来のなじみの地であり、戦前・戦後にわたって幾度かの往来もあっただけに、今度見る変化には殊に感慨が深かった。

ハンブルグ、ロンドン、パリなどのビル街の近代化と周辺都市の膨張の姿はあきらめるにしても、荒涼たる岩盤の窪地を求めて瘠せた灌木がしがみついて居た荒地に高層住宅団地が立ち並び、新鋭ボルボの自動車工場を迎えて生れ変わったユータボリの古い港町、深々とした森の斜面に、今や一面に住宅の灯がきらめくオスロ郊外のホルメンコーレンの丘、古都のコペンハーゲンにも高層建築が立ち並んで、名物だった数多の尖塔の影も薄くなるに到っては、思出の旅の詩情も大半は喪失するのも止むを得ない。

こうした旅の感懐は別として、筆者が嘗って学んだこれ等の地の造船界は今日日本の造船技術と能力の前に見る影も無く衰微し、かつて吾々の師匠であった船用ディーゼル機関の特許権者の工場も、久し振りに訪ねて見て正直なところ、正に師弟が処を替えた感が深い。口を開けば必らず、日本政府と造船所が彼等の国の造船業を滅したとの怨嗟の声が返って来た英国の造船界の現状は、世界に誇った大英帝国の海軍と結びつけては考えられない有様である。自動車工業は米国資本に乗っ取られ、誇り高き航空原動機製造者ロールスロイスも既に危く、船用ボイラ、船用蒸気タービン発祥のこの国が今では、タービンは瑞典の、ボイラは米国の特許の下に製造され、唯一の国産ディーゼルも壊滅したと言う。その技術活動の沈滞を嘆く泣言を、かの誇り高い彼等自身の口から直接に聞いたことも、筆者には初めての経験であった。

しかもロンドンだけで6,000人と言う日本商社マンの活動に加えて、エコノミック・アニマルと言う有難からぬ名を背負って、日本の観光団が陸続として欧州各地を席捲し、どここの土地でもその傍若無人な無神経さで行儀悪さは、かつてのアメリカ旅行者にとって代る評価を高めつつあるようだ。吾々にも、日本人には意識して態度を変えた応待や、卑屈な物ほしげな愛想がホテル

ろ完成した。そして、第2、第3のガスタービンを作ることを期待して1号ガスタービンと命名された。出力は公称馬力の半分位しか出なかったが、実験機としての任務は十分果してくれたのであった。

## 繁栄の果て — 海外旅行雑感 —

金沢大学工学部 小 泉 磐 夫

去る11月初めから丁度1ヶ月間、晩秋も遅くなったヨーロッパの曾遊の地を10年振りに訪ねる機会を得た。これ等の土地の殆んどが筆者が若い日、35年前の留学以来のなじみの地であり、戦前・戦後にわたって幾度かの往来もあっただけに、今度見る変化には殊に感慨が深かった。

ハンブルグ、ロンドン、パリなどのビル街の近代化と周辺都市の膨張の姿はあきらめるにしても、荒涼たる岩盤の窪地を求めて瘠せた灌木がしがみついて居た荒地に高層住宅団地が立ち並び、新鋭ボルボの自動車工場を迎えて生れ変わったユータボリの古い港町、深々とした森の斜面に、今や一面に住宅の灯がきらめくオスロ郊外のホルメンコーレンの丘、古都のコペンハーゲンにも高層建築が立ち並んで、名物だった数多の尖塔の影も薄くなるに到っては、思出の旅の詩情も大半は喪失するのも止むを得ない。

こうした旅の感懐は別として、筆者が嘗って学んだこれ等の地の造船界は今日日本の造船技術と能力の前に見る影も無く衰微し、かつて吾々の師匠であった船用ディーゼル機関の特許権者の工場も、久し振りに訪ねて見て正直なところ、正に師弟が処を替えた感が深い。口を開けば必らず、日本政府と造船所が彼等の国の造船業を滅したとの怨嗟の声が返って来た英国の造船界の現状は、世界に誇った大英帝国の海軍と結びつけては考えられない有様である。自動車工業は米国資本に乗っ取られ、誇り高き航空原動機製造者ロールスロイスも既に危く、船用ボイラ、船用蒸気タービン発祥のこの国が今では、タービンは瑞典の、ボイラは米国の特許の下に製造され、唯一の国産ディーゼルも壊滅したと言う。その技術活動の沈滞を嘆く泣言を、かの誇り高い彼等自身の口から直接に聞いたことも、筆者には初めての経験であった。

しかもロンドンだけで6,000人と言う日本商社マンの活動に加えて、エコノミック・アニマルと言う有難からぬ名を背負って、日本の観光団が陸続として欧州各地を席捲し、どここの土地でもその傍若無人な無神経さで行儀悪さは、かつてのアメリカ旅行者にとって代る評価を高めつつあるようだ。吾々にも、日本人には意識して態度を変えた応待や、卑屈な物ほしげな愛想がホテル

の受付や給士人から返って来たし、食堂に席をとるにも、奥まつた気持の良いコーナーは白人専用にして吾々には奨めない。特に日本人旅行者の多いホテル程、日本人ずれして居り、たまに吾々を意識しないホテルに行き合わすと本当にほっとした。良きにつけ、悪きにつけ、日本人は今、世界中で注目の的となりつゝある。

勿論日本とは関係なしに、欧州諸国それ自身、こゝ10年間に著しい変化が見える。一言で言うならば、筆者はそれを、繁栄の果の凋落の兆とでも言いたい。

その第一は生活水準の向上にもとづく顕著な下級労働力の不足と、大学卒の就職難の悩みである。

チューリッヒの停車場近くの広場に大形バスが数十台も集っていた金曜の午後である。観光シーズンも既に過ぎた今頃にどうした事かといぶかる筆者に友人は、週末を故国スペインへ帰る出稼労働者を輸送する為だと言う。以前はシンプロン越えてイタリアの労働力を仰いだこの国は、今はこうして遙るばるとスペインの労働力を求めている。然もこれ等外国人労働者の定住に神経質な国民は、その定住を許さず、州によっては2週間以上の滞在をも許可しない為、定期的に週末には一応送還し、週明けに改めて入国する方式をとると言う。

事実こうした外国人労働者の定住に伴う社会問題は、人口の少ない北欧三国はじめ英国でも不断に面倒な問題の種を醸し出しているようだ。それは端的に言えば、豊かな既存文化社会に対する、貧乏人口の増大に伴うスラム化、平均化の脅威である。この悩みは当然のこと乍ら、植民地主義の破綻した英国や欧州諸国でも、米国の大都市に劣らず深刻である。人手間を極力合理化して、食卓のバターも砂糖もジャムも紅茶も、すべてバック化し果てたロンドンのホテルで、メイドは英語もろくに通ぜぬイタリア人だったし、デパートの売子も有色人種。家事労働者は殆んどが外国人に依存し、欧州留学を夢みて渡来した日本娘も少なくないと聞いた。そしてこうした社会の下積みの下級労働に対する社会的評価が、今となっても改められず、低いところに問題の第二の欠陥があると筆者は考える。塵一つ残すことを許さなかったスイスのホテルの働き者のメイドの、あの誇らしげな潔癖と心意気を思い合せつゝ、筆者はロンドンのわびしい朝食のサービスに家内と顔を見合せたのである。

凡そ英国の労働者は能率が上らぬと言う。同業組合主義の徹底したこの国では、何時もどこかで誰かドストをしているから、総合工業である造船所はいつもどこかでその影響を受け、能率は極めて低劣である。賢明な彼等が、これでは企業が倒れ、自らの首を締める結果となる事を知らぬ筈は無い。にも拘らず彼等が止めないのは、下手に働くより失業による生活保償の方が有利と言う。労働を通じてより良い生活に自らを高める望のない程に社会格差の大きく固定化された経済社会、またこの社会格差を守ること丈を目的として労働政策に汲々として来た果が、こうして

働くものの意欲を絶ち切って仕舞う恐ろしさをしみじみ考えた。幸か不幸か、イギリスをはじめ政州社会には、何と言っても吾国とは比較にならぬ富の蓄積があり、また吾国社会の指導層とは比較にならぬ程の、エリート達の勤勉な働き振りがあるから、早急に滅亡するとは思えないが、彼等の社会の中の歪と悩みの根源は実に深いことを思はずには居られない。

日本人はエコノミック・アニマルと言って軽蔑され嫌われる。週休2日の欧米で、日本人だけが休日に出勤し、残業時間が週に30時間にもなる。この働き振りに脅威を感じた彼等が日本人をアニマルと言う。「働くことは罪悪なんでしょうかね」こんな問を若い商社マンから受けた筆者は、英国人の一友人にこの問をぶつけて見た。彼は散々渋った挙句、漸くその本心を打ち開けたが曰く、「吾々の商売では大と小とが並び立つ。大は決して小を併吞せず、小なりの生存の基盤を残すことに留意する。小は小なりに自己の存在を意義づける為の努力を凝らし、こゝにそれぞれの特徴が生み出される。この社会共存の原則に対して、アメリカと日本は全然無知で、商売となると寸毫も相手の為に残すことをしない。個人としての日本人は相手の立場を考え、その面子を重んずることは知っていても、商売としては全く弱肉強食のアニマル同然である。」

凡そ労働の意義を忘れた者は不幸である。筆者はこの労働が誰の為に向けられたものであるかを反省して見たい。既に歴史の裁きは、他人の労働を己れの為に搾取して来た国々の上に重々しく掛っている。こうして積みあげられた富の社会的な偏在は今日も動かし難い社会格差の歪をそのまゝに固定化した結果、あとは革命によるか、でなければ働く者の意欲喪失、労働そのものの価値を軽蔑するかしか、勤労大衆には途は無い。このようにしてこれ迄にも多くの国が減んで来たことを歴史は教えている。

そして今日、己れの為にのみ奉仕して、他を省みない労働は、アニマルの所業と世界的指弾をうけつゝ、漸く行き詰りを見せている。今日日本にとって必要なことは週休2日制による労働量の制限や、レジャーにうつつを抜かすことでは無い。その労働によって吾々が如何に社会に、国内的にも国際的にも、奉仕して来たかを反省することである。

労働の意義はそれがその成果としての種々の文化的所産を通じて、恩恵を人々に分ち与えるからであり、個人のみならず社会の生活がそれによって豊かに潤されるからである。今日の世界に、所謂後進社会に於けるように、未だ世界の文化活動の恩恵に与らず、病苦と貧困の中でそれを待ち望んでいる人達が如何に多いことか。労働はこのような人達の為に向けられてこそ、その価値は倍加すると筆者は考える。

欧米を旅するたびに思うことは、吾々日本民族が歴史的に米・英国のような深刻な人種問題を国内に持って居らず、また吾国社会が富の蓄積が薄く、勤労は容易にその代価に見合って報われ、富の偏在による社会の歪と言っても高の知れた程度である事は、本当に仕合わせなことである。誠

## 随 筆

に「貧しき者は幸いななり」である。しかし今日、日本をとり巻くアジアの、貧困の中に放置されて来た諸民族の中での吾々の立場は、吾々の思う程甘いものである筈はない。不幸にして未だ有効な文化所産を生み出す手段を持たない彼等にとって、これを持つ吾国の労働の如何は、それが果して彼等の望む方向に向かうや否やは、厳しい羨望と期待と批判的になっている事は避けられぬ。かつて英国やフランスが、近くはアメリカが彼等に対して行って許されたからと言って、同じ事がもう今日、吾々日本には許されない。

いや、むしろこのような吾々の周囲にある人達を含めての社会連帯の共同意識こそが、今後の吾国の経済活動、政治活動に求められる不可欠の要諦であり、また吾国社会の家庭教育、社会教育の理念の根底として回復すべき、個人と社会との相関に関する厳粛な道義的世界観の新らしい姿であると思うのである。これが無いために、欧州を流れ歩く和製ヒッピーは、外見上は欧州産と大差はないが、本質的に毛嫌いされ、札びらを切る「ノーキョー」集団も又然りである。

こうした視野に立てば立つ程、筆者には日本の今日の経済活動の蔭に、寒々とした怖れを禁じ得ない。国内的には4人に1人の大学生と言う高度教育の普及は膨張する産業にも拘らず、漸くホワイトカラー族の就職難を深刻化しつつある。世界第一のGNPを誇れば誇る程インフレは増し、公害は増し、土地価格は暴騰して、庶民のマイホームの夢は破れ、勤労に疑義を持ち、切那の歓楽を事とし、労働の意欲は喪失する。こうした危険な萌芽が今日、吾々の社会に芽生えていないと誰か断言出来ようか。他方、国際的には先達を乗越して、今日の繁栄を極めた造船業にしても、既に下級労働力不足の影はしのびより、かつて吾々が先進諸国に対してそうであったように、吾々の周囲には低開発国社会の優秀勤勉にして安価な労働力が豊富にまわっている。吾国の企業家達が賢明にして、誤まった先進諸国の轍を踏まぬと言う保証のない限り、吾々には国内的にも国際的にも全く彼等と同じく、凋落と苦悩への道は備はっているではないか。

吾々は今こそ思を新たにして、社会共同の意識、周囲の人々に対する心からなる思いやりの精神に立ち帰らねばならぬ。これ無くしては日本の繁栄はいづれ夏の夜の夢と消える許りか、日本民族に吾と吾手を汚すどすぐろい悩のあとを残すであろうことを筆者は怖れるのである。



# メッセージ

Gentlemen:

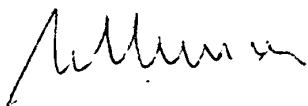
On the occasion of the last TC70/SC6 meeting in Frankfurt/Main we were informed by the Japanese delegation that the 'Gas Turbine Committee of Japan' was founded. On behalf of the German organization of gas turbine manufacturers we are presenting our congratulations and wish that the Committee's work will be a full success.

The activities of our organization are in the field of standardization and include the exchanging of views between manufacturers and the establishing of statistics; we are also concerned with establishing security regulations and are efficiently cooperating with the CIMAC.

We hope that our contacts will turn out to be good and mutually satisfactory, taking into account an existing demand for information, which is reciprocal, on one hand, and may lead to a useful and profitable cooperation on the other.

Sincerely yours,

FACHGEMEINSCHAFT KRAFTMASCHINEN  
im VDMA  
- Fachabteilung Gasturbinen -



- Vettermann -



## 航空用ガスタービン転用論

石川島播磨重工業株式会社 今井兼一郎  
航空エンジン事業部

航空機用に開発され、実際に使用されてきた、ガスタービンを、それ以外の目的・用途に転用するにさいして考えることをのべてみたい。この小文は航空用ガスタービン転用論序説ともいべきものであらう。

内燃機関ないしはPrime Mover という点から考えると、ガソリン機関やディーゼル機関または蒸気機関はいずれも陸船用として広く用いられているのに、航空機推進用としては、極めて淋しいのが現状である。これに反して、ガスタービンはその原理としては蒸気タービンより古くから判っていたといわれるのに、実用化されたのははるかに遅く、ごく近年になって、それも航空機用ガスタービンの発達によって、日の目を見たというのは、一体何故であらう。

ガスタービンを可能にしたものは、機械工学なり機械工業の発達であって、マクロに言えば、流体力学なり耐熱材料等の発達が大きいと与って力あるわけであらう。であるなら、何故航空用ガスタービンがガスタービン利用の中でまっ先に採り上げられたのであらうか。うらに軍事的理由によることを第一にされる向きもあらうが、何と云っても、他のPrime Mover に比を見ない程

- ・ 軽重量で、大出力、大推力を出しうること
- ・ 小さい正面面積、小容積で大出力、大推力を出しうること

が若干の燃料消費率の悪いこと等をおぎなっても余りあるものとして、莫大な開発費を要することを、敢えてさせる程の評価を得させたのではなからうか。

ところが、航空用ガスタービンを他の目的に転用しようとするときに、どの様な評価をうけるであらうか

- 利用可能馬力の範囲
- Initial Cost
- 燃 料

- 航空使用と異なる環境に対する適応性
- 使用実績

等の点から考えてみたい。

航空用に開発され使用された経験から来るメリット、すなわち、軽重量、小さい正面面積、小容積で大出力を出しうることに加えて、すでに同一型式で何千台も製造されその実運転時間計が何百万時間にもおよび、オーバーホール間隔も、他の機関にまけない1万2千時間以上にもなっており、皆様が安心して生命を托している飛行機のエンジンであるという信頼性を有していることを強調しても、仲々どうしてオイソレとは実用の範囲が広がらずにいるのは、一体どうしたわけであらうらうか。

そうはいっても、航空転用ガスタービンの応用事例は年々ふえている。

### 利用可能馬力の範囲

航空用ガスタービン転用型には、他の機関でもある程度そうであるが、馬力の選択がそう勝手には行なえないことを御承知願いたい。これは航空機が大体のCapacityがいくつかの段階に分れていて、その中間がそう多くはないことと、一つの航空用ガスタービンの開発には量産時売価の数百倍以上にもおよぶほどの開発費がかかることのためであらう。

このことは転用ガスタービンのみがもつ不利でなくて、いづれの機関でも経験のある、信頼性のあるものを選ぶようとするときには、必ずおこることである。

図1にあるように、航空用ターボシャフトエンジンあるいはターボプロップエンジンを利用しようとする、5,000HP以下位に、またジェットエンジンをガス発生機として利用した転用エンジンでは、1万5千馬力位の処にGE社のLM1500が2万馬力と3万馬力の間にはRolls-Royce社のOlympus、P&W社のFT4A、GE社のLM2500が、3万5千馬力クラスにP&W社のFT4Cが一つという風で、使用者側からはこれらの馬力の組合せで間に合はせなくてはならぬということである。

しかしながら、このどれをとってみても、莫大な開発費をかけて開発し量産したものが、元になっていて、その使用時間も何万ないしは何百万時間であり、各種の不具合はすでに出つくしたもので、航空用に比して、加減速の回数が少ない等使用条件を考えに入れて、十分に実用にたえるものと考えている。

逆にいえば、計画の当初からこの事を考えに入れて転用ガスタービンをえらべば、この位信頼性のあるPrime Moverはなからうということである。

### Initial Cost

Initial Costの点から見るとごく大雑把にいて図2のように馬力の小さい処千馬力位以下では、ディーゼル等に仲々競争しにくく見えるが、馬力が大きくなる程比較的競争力をもってくる。しかしながら、転用ガスタービンといえども今後民間需要がのびて来て、数がふえてくるとともに、設計の最初からいかにコストを下げるかに苦心するようになると、ますます競争力をつけてくるであろう。

ことに精密鑄造、精密鍛造等の加工技術の発展にもなっていわゆるLow Costエンジンの研究がすゝむにつれて、小馬力のエンジンは、Initial Costが下ってくるものと予想している。

こゝで、需要家としては単にInitial CostのみでなくTotal Costを考えてほしいということである。

転用ガスタービンを採用すると、空間が少なくすむ、そのために陸用でいえば、土地が少なくすむ、建屋が小さくてすむ、あるいは人手がいらなくなる。船でいえば、それだけ余計荷物

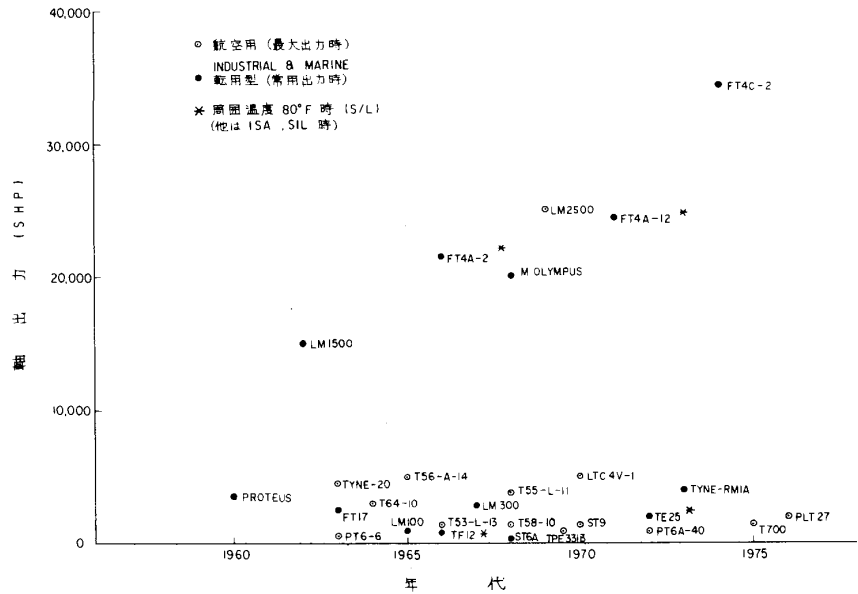


図1 Turbo-Shaft Engine及び航空転用型Engineの軸出力の変遷

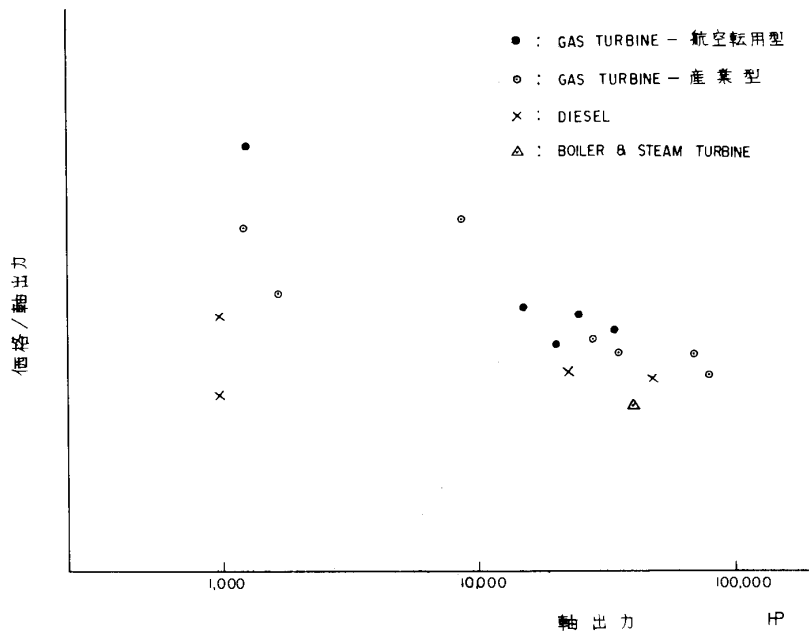


図2 エンジン別パワープラント価格/出力

が積める，人員が減る，あるいは保守の時間がへる等の利点がある。

たとえば，非常用発電機の駆動に用いると，他のものでは潤滑の理由等で，1日に1度は運転しなくてはならぬのが，転用型では，はるかに少ない回数で良くなるとか，保守についての利点，あるいは発注から納入までが早いので，早く稼動に入れるとか，搭載に要する日数が少なくてすむこと等による利点もあるので，たんにInitial Costのみでなく，全体におよぼす利益を含めてTotal Costを考えてほしいと思っている。

### 燃 料

燃料として考えることは使用燃料の種類と燃料消費率とであらう。転用ガスタービンは，低級燃料も一般には使用可能と予想されているが，その生い立ちから航空用燃料ないしはそれに近いものを常用するものが多い。今後軽油ないしはさらに比較的軽い重油は近い中に使われるようになるかと思うが，低級重油が使われるのは可成り先のことのようには思はれる。一方公害の問題から一般機関にも低級重油の使用は問題がありそうなので，この問題は広い立場からの検討を要すると考えている。LNG船等に用いるさいにはLNGを燃料として用い得ればガスタービン利用は有利とならう。

燃料消費率は図3，4のように二つの傾向がある。時代とともに燃料消費率が改良されてきている。また一方大馬力になると，燃料消費率が良くなってきている大まかにいって，今後のものは200 g/HP/Hr以下になしうるので，他の機関と十分に競争しうるものと考えている。

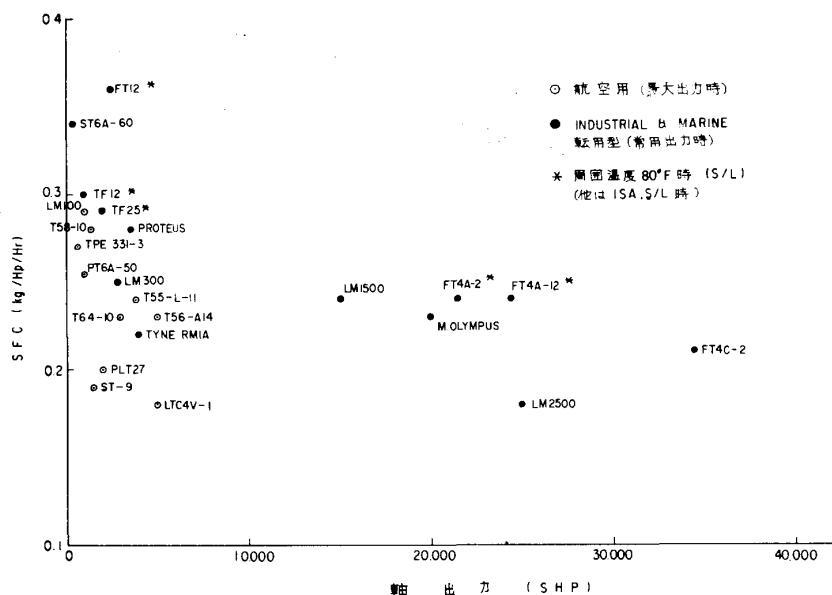


図3 Turbo-Shaft Engine及び航空転用型 Engineの軸出力とSFCの関係

### 航空使用とことなる環境に対する適応性

吸入空気が航空用とことなって、陸用では汚染空気を吸いこむことから生じる、また船用では塩分の多い時には海水そのものを大巾にすいこむことからおこる翼類の錆や翼に沈積物のつくことに十分対処しなくてはならない。

このためには

- ・ 使用材料の吟味、錆止、時折の水洗、
  - ・ 吸入空気の清浄化 等
- を考えなくてはならない。

航空用といえども、対潜哨戒用ヘリコプター用エンジンの場合には、可成りの塩分を含んだ空気の中での作動を考えているので、この点は十分考えられているが、船用の場合に十分なDemister を設ける必要があるし、まともな海水が直接大量に入ることのないように十分考慮の要がある。圧縮機の錆止めに水洗が有効であるが、これが手軽に出来るように装備することが大切であらう。使用者として良いとわかっている、面倒くさいものは仲々やってもらえないことは、理くつをこえた問題として、設計者が知っておくべきことと思っている。

### 騒音

ジェットエンジンの騒音、プロペラの騒音から考えて、転用型は騒音が高いものときめてかゝっている向きがあるが、ガスタービンから出る音は、一般に振動数の高いものが多いので、適当な消音装置をつければ十分にこれを消すことが出来る。

### 排煙

航空機用といえども、公害の立場から、また軍用でも発見されにくくすることから、煙の色は大問題で、多くの研究がなされた結果、大改良が行はれ、今後のものは殆ど目に見えるような煙は出さなくなりつつある。ついてNOXの排出は、ガスタービンではその空燃比が大きく、しかも燃焼器内の空燃比調整がし易いことから、一般的には少ないので、他のPrime Moverに

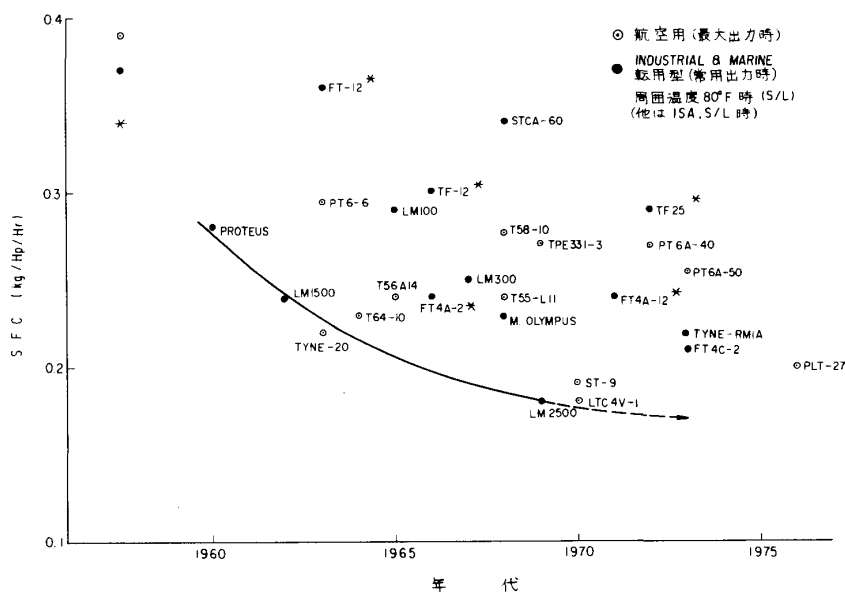


図4 Turbo-Shaft Engine及び航空転用型 EngineのSFCの変遷

比して有利と考えられている。



写真1 a (改良前)

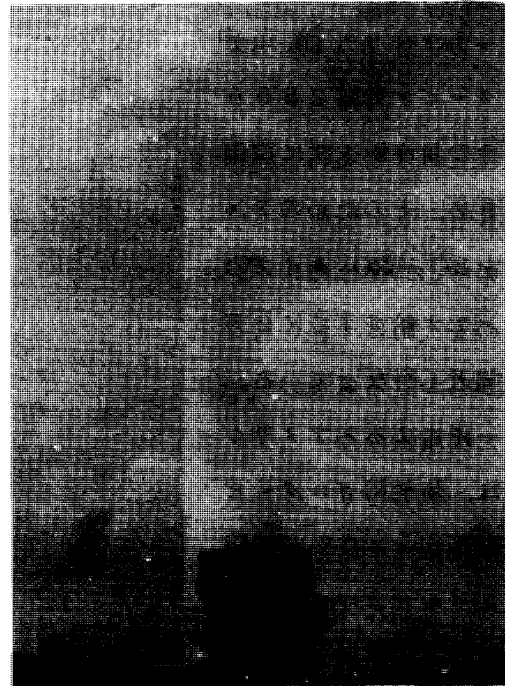


写真1 b (改良后)

ある日本の発電所で用いている転用ガスタービンで燃焼室を改良したために排煙が可成り改良されているのがわかる。(写真1 a, 1 b)

### 使用実績

比較的新しいものであるから転用ガスタービンの使用実績をのべることはそう簡単ではないが

陸用として ・非常用発電装置用

- ・ピーク処理および可成り長時間の Base Load を含む発電用
- ・移動可能な比較的大容量発電用(写真2)

あるいは ・高速列車用

等に用いられており、

船舶用として

- ・高速コンテナ船用
- ・艦艇用
- ・ホバークラフト用

等に着々としてそのメリットを生かして利用されている。

この中で特筆すべきことは、イギリスは、世界にさきがけて中小海軍用艦艇のすべての推進機

関としてガスタービンの、しかも転用ガスタービンの正式採用を決定しすでにその線にそって実績をつみ重ねていることである。

一方アメリカも転用ガスタービンLM2500をその量産駆逐艦に採用をきめ、そのためのテストをRO/ROタイプのコンテナ船ですでに2万時間近く行なっている。

一説によるとアメリカでは、陸船用ガスタービンの30～40%が転用ガスタービンであらうというし、イギリスではもっと多いともいわれているので、今後転用ガスタ

ービンは実績を積むにつれてますます応用が広がるものと思っている。

## おわりに

航空用ガスタービンを陸船用等他目的に転用するにさいして、気のついたまゝを書きのべてきたが、何といても新しいPrime Moverを新しい分野に採用するのであるから、その利点つまり、小さくて軽くて大出力を出しうること、航空用として十分に確立されたものであることを生かすことによって、各種評価の位置づけをかえることを実証しなくてはならない。採用され十分に経済性を生み出して行くことをしなくてはならぬと考えている。

今までのべたようなことは、需要家との話し合いの間ですゝめて行きうると考えているが、実際に当たってみると、これ以外のこと、例えば法規に関するようなことがこの新しいPrime Mover導入のために問題をかゝっているし、また例えば転用ガスタービンは小さくて軽くてもそのまわりの関連機器の占める重量が圧倒的に大きく、あるいは転用ガスタービンの高回転、Quick Responseについて行けないこととかで、仲々利点を生かし得ない例がある。

このような関連機器の大きな改良が望まれる。

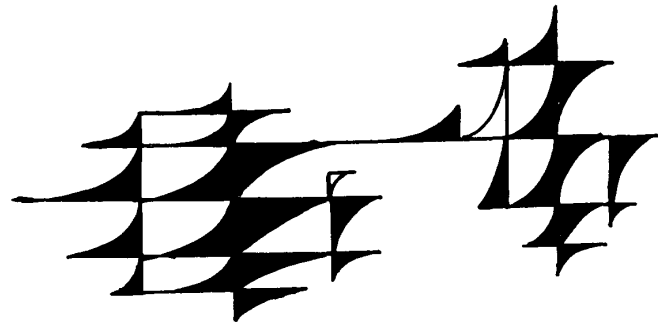
本論と若干はづれるかも知れぬが、Conventional Type Gas Turbine といえども、圧縮機、タービン等の空力的なことをはじめ、冷却タービン翼等についても、航空用ガス



写真2 1,000kVA移動電源車

タービンの技術経験を多くとり入れうる立場にあるもののみが、生きのこる可能性が大きいといわれている。

航空用ガスタービンに関するもの心すべきことであろう。 妄言多謝



## 小型ブライトンサイクル動力システムについて

株式会社日立製作所機械研究所

須之部量寛 藤江邦男

1. まえがき 宇宙開発、海洋開発、陸上車輛の公害対策などの動力源として、ブライトンサイクル動力システムの研究開発がNASAとエアリサーチ社の協力で進められている。ブライトンサイクル動力システムは

図1に示すように、一種の密閉サイクルガスタービンで、作動流体としては、単一又は数種類の不活性ガスを適当に混合した混合ガスを用いている。今迄に研究開発された動力システムは、出力2~15KW程度のもので、当初宇宙船用動力源として3KWの動

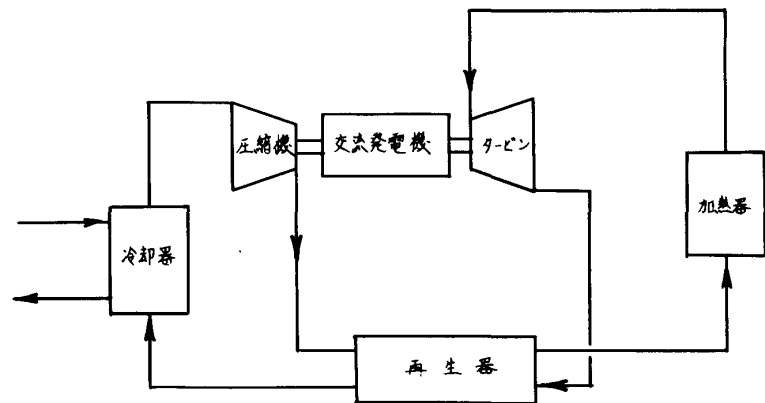


図1 ブライトンサイクルの動力システム

力システムが開発され、ヒューストンのNASA-MSCで試験運転されたがその全熱効率は12~16%であった。この動力システムは熱源としてアイソトープ、原子炉、太陽熱などが使用できるようにしてあり、タービン入口温度は1200°F~1400°F(650°C~760°C)である。回転ユニットは小さく、圧縮機、タービンの回転速度は60,000rpmで、軸受にはガス軸受を用いている。軸受のガスは作動ガスと同じアルゴンで、ユニットの重量は220lbsであった。このシステムの開発と試験の目的は、1970年代における宇宙基地用の100KW程度までの動力源を開発するのに必要な技術的資料を得るためである。

ブライトンサイクル動力システムは図1に示すように、遠心圧縮機、半径流タービン、ガス軸受、ブラシレス交流発電機、各種熱交換器および制御系から構成されている。このシステムに用いているガス軸受にはパット形とホイール形とがあり、ホイール形のガス軸受は、超高速で回転するヘリウム液化装置<sup>1)</sup>(20万~40万rpm)の膨張タービン用に開発された技術を応用している。この動圧ガス軸受の基本的形状を図2に示す。回転軸は薄いバネ鋼帯によって支えられ、図から判るように軸とバネの間には楔形の間隙が形成されて軸が回転すると各々のバネは軸から離れて浮上る。バネ帯と軸との隙間はバネの剛性、軸受径、回転速度およびガスの性質等の関係で自動的に調整される。この形式の軸受の特性はバネ鋼の形が回転速度で変わり、圧力ベクトルが

負荷ベクトルと一致するように作動するので軸受は回転速度に関係なく本質的に安定であり、例えば直径12.7φmmの軸で、この形成の軸受を使用して60万rpm以上で運転した記録が発表されている。出力3KWの動力システムの外に、後述のような回転速度36,000rpmの2~15KW程度のブライトンサイクル動力システムも開発され、NASAのLewis Research Centerで試験されている。<sup>2)3)</sup> 本文ではこの動力システムの構成要素のうち流体力学的に興味の深い遠心圧縮機、半径流タービンについて、研究経過とその性能について述べ、ついで昨年10月東京で開催された第2回国際海洋開発会議における海底動力源システムの資料について紹介する。

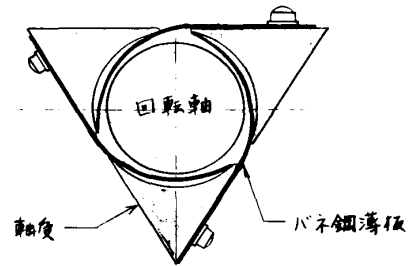


図2 ホイル軸受

## 2. 回転形流体機械 ブライトンサイクル動力シ

ステムの重要構成機器である圧縮機、タービンについては、システムを計画するに当って前以って単体試験装置によって詳細にそれらの性能を試験し設計に必要な資料を得ている。計画された動力システムの容量が小さいため主として圧縮機としては遠心形、タービンとしては半径流形が試験され実機に採用されている。NASAでは小型の軸流圧縮機及び軸流タービンについても性能試験しているが現実には遠心圧縮機、半径流タービンのみが使用されているのでここでは軸流形については省略する。

2.1. 遠心圧縮機<sup>5)6)</sup> 宇宙船、深海船のような、特殊な環境で使用する動力システムは、特に小型、軽量であることを要する。さらに動力システム用としては負荷の変動に応じて系内の圧力レベルを調整するので、低出力の際には圧縮機入口圧力は低い状態で運転される。このため圧縮機のレイノルズ数は必然的に小さくなる。このように圧縮機はレイノルズ数の広い範囲で運転されるため、レイノルズ数と性能の関係を知る必要がある。まず圧縮機単体試験をするため、表1に示す仕様の羽根車径81φmmの遠心圧縮機が試作試験された。性能試験は作動流体が空気の場合とアルゴンの場合について行なわれたがこれはもし空気試験の結果から他のガスを作動流体とする場合の性能予測ができれば試験が非常に簡単になるためであった。したがって単体試験の目的を性能とレイノルズ数の関係と作動流体が異なった場合の性能予測法の確立においたが実験したレイノルズ数の範囲内では羽根車入口、出口の速度三角形が相似な運転状態に於ては、レイノルズ数と効率の間に次の相関々係が得られるとしている。この関係は近似的に次式で表わされる。

$$\frac{1 - \eta}{1 - \eta_{\text{ref}}} = \left( \frac{\text{Re}_{\text{ref}}}{\text{Re}} \right)^{0.2}$$

ここで  $\eta$  は最高断熱効率,  $Re$  は羽根車直径を代表長さとし, 圧縮機入口の動粘性係数と羽根車周速度を用いたレイノルズ数, 脚字  $ref$  は基準値を表わす。

羽根車径 (mm)	81 $\phi$
回転数 (rpm)	64000 (空気), 62000 (アルゴン)
圧縮機入口圧力 (%)	2.18
圧縮機入口温度 ( $^{\circ}K$ )	300
圧力比	2.06

図 3(A), (B) は空気で行った性能試験の結果から予測した性能とアルゴンで行った試験結果との比較を示す。

表 1 圧縮機の仕様 (設計点)

この結果より作動流体が異なる場合, すなわちガス定数, 比熱比が異なる作動流体での性能は, 一方での性能試験結果が判れば他方の流体での性能を予測することが可能であると結論している。

NASA では, さらに 10 KW ブライトンサイクル宇宙船用動力システムの圧縮機として, 羽根車径 164  $\phi$  mm, 108  $\phi$  mm の遠心圧縮機について, 作動流体にアルゴンを用いて性能試験を行ない, 予測性能と比較している。羽根車径 164  $\phi$  mm の圧縮機は設計流量 0.69 Kg/S, 設計周速 325 m/s において, 全圧力比 2.28, 断熱効率 80% を得ており, 設計回転数における最高値は流量が 0.65 Kg/S の時 80.8% であった。最高効率は設計回転速度の 80% の点にあり, 82% に達した。羽根車径 108  $\phi$  mm の圧縮機の効率は羽根車径 164  $\phi$  mm の圧縮機とほとんど差がなかった。しかし前に報告している羽根車径 152  $\phi$  mm の圧縮機に較べて効率が 3% 程高いがその原因は羽根車の羽根形状を直線放射状でなく, 後方に曲げたためとしている。小型高速圧縮機で効率に影響を及ぼす重要な因子の一つはケーシングと羽根車の羽根との隙間寸法と円板摩擦損失であるが, このような小形遠心圧縮機で 80% を超える性能が得られたことは, 超小型ガスタービンの可能性を十分に示すものである。

2.2. 半径流タービン<sup>7)8)</sup> 出力 2~10 KW のブライトンサイクル動力システム用として羽根車径 126  $\phi$  mm の半径流タービンを試作し, アルゴンを作動流体として試験している。この場合の試験条件は, タービンの入口全体と出口静圧との比が 1.45~2.10, 回転速度は設計値の 30~100% の範囲で行なわれ全圧断熱効率として 90.6% を得ている。このようにタービンは小型でも, 設計が適当であれば, 大型とほぼ同じ程度の性能が得られる。NASA においてブライトンサイクル動力システム用として, 半径流タービンに関して今迄に行われた研究を纏め, 設計法に関する報告書<sup>9)</sup> が発表されている。

3. ブライトンサイクル動力システムの性能<sup>2)3)</sup> 動力システム装置の概略図を図 4 に示す。作動流体としては分子量 83.8 のヘリウムとクセノンの混合ガスを用いている。試験

はシステムの雰囲気気圧が  $10^{-6}$  Torrの真空中で行なわれ、タービン入口温度は  $1300^{\circ}\text{F}$  ~  $1600^{\circ}\text{F}$ 、圧縮機の入口温度が  $45^{\circ}\text{F}$  ~  $94^{\circ}\text{F}$ 、出口圧力  $20 \sim 45 \text{ psia}$  の範囲で各構成機器、並びにシステムの試験が行なわれた。この動力システムの回転ユニットは軸方向が縦形でタービンが上部においてあり、その回転数は  $36000 \text{ rpm}$  である。交流発電機は  $1200 \text{ Hz}$ 、 $120 \text{ volt}$ 、 $208 \text{ volt}$  に設計されている。システムの熱交換器ユニットとしては加熱器、再生器、排熱器、配管系がある。加熱器については平行に設置された40本のU字管の内部を動作流体が流れ、管は放射熱によって加熱される。再熱器はガスとガスの向流形で、排熱器にはガスと液体の直交向流形プレートフィン熱交換器が用いられている。これらの熱交換器の設計と単体性能についてはすでに詳細について

発表されている。ガス管制サブシステムは起動、停止時に軸受へ高圧ガスを供給するばかりでなく、ガスサイクルループの圧力レベルを制御するために用いられる。すなわちこの動力システムの軸受は作動ガスを潤滑剤とした動圧気体軸受であるから起動停止の際にはガス管制サブシステ

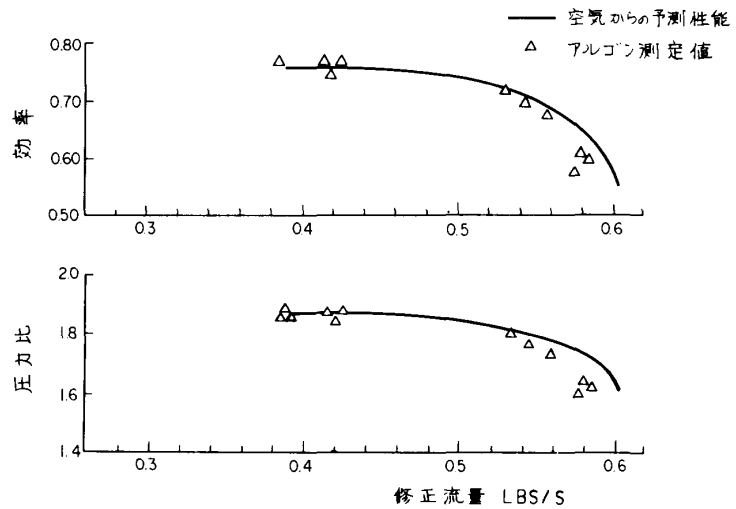


図3(A) 予測性能とアルゴンでの測定値の関係  
(入口圧力 7.0 PSIA の場合)

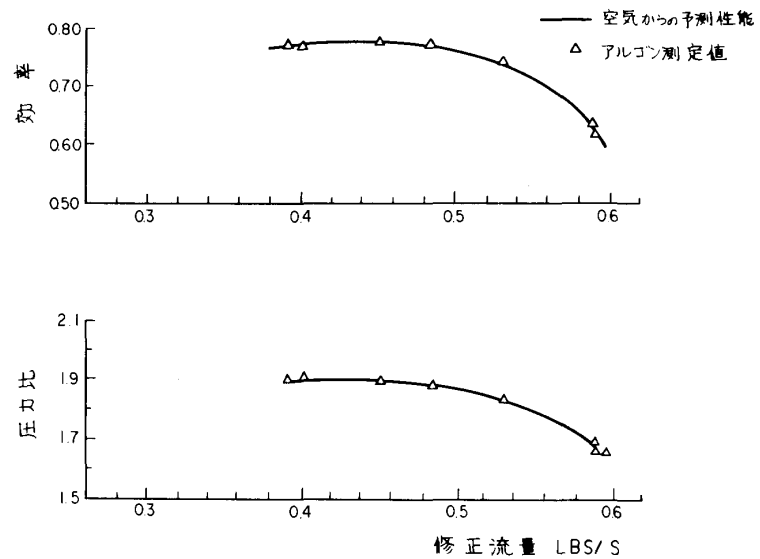


図3(B) 予測性能とアルゴンでの測定値の関係  
(入口圧力 15.0 PSIA の場合)

ムから圧縮ガスを供給し、静圧軸受として軸と軸受の間を保持する方式を用いている。電気に関するサブシステムは交流発電機出力電圧、回転速度を制御して負荷に電力を供給し、起動、定常運転、停止の管制を行うもので、電気サブシステムの性能についてもすでに発表されている。排熱サブシステムとしてはシリコン液(Dow Corning 200)を媒体として、排熱熱交換器、交流発電機、電気システムから熱を除去するため3つの平行回路をもち、中を液が循環している。

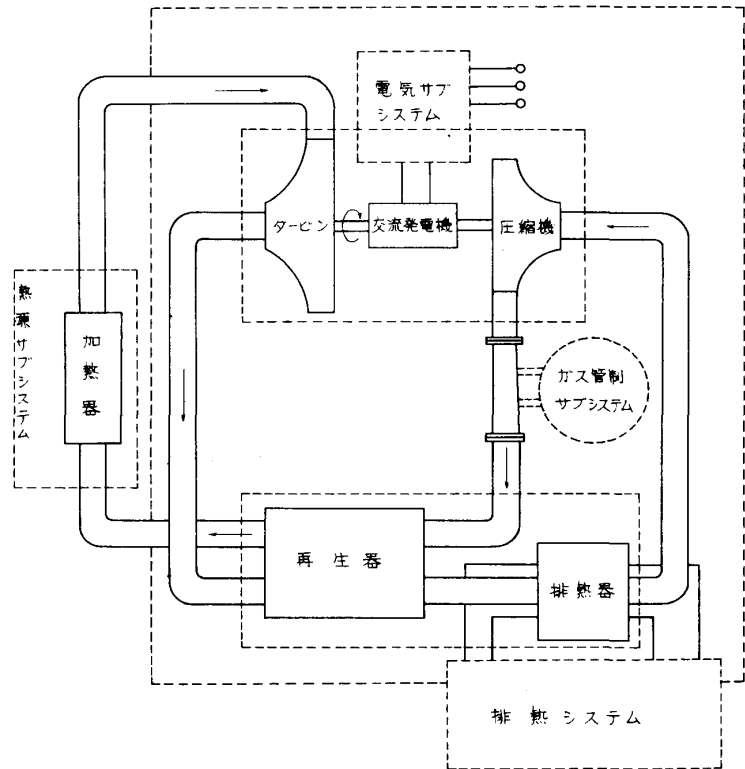


図4 ブライトン動力システムの熱サイクル

図4に示すように動力システムの作動ガスは、加熱器で熱源から熱を与えられて高温になり、タービンで膨張して仕事を発生しタービンと直結している交流発電機と圧縮機を回したのち再生器にゆき、加熱器に入るガスを予熱してから排熱器に入り、ここでサイクル外に熱を捨て、次に圧縮機で圧縮され、再生器でタービンから出てきたガスと熱交換して熱を貰った上加熱器に入ってサイクルを完結する。試作した動力システムの正味効率は約30%が得られたがこの値は熱源として色々な種類が考えられるので、熱源の効率は含まぬ数値である。またこのシステムを構成している各機器の性能については、遠心圧縮機の断熱効率79.5%で、この値はさきの単体試験で作動流体としてアルゴンを用いた時の結果とほぼ同じ値である。半径流タービンについても効率87.5%が得られ、この値はアルゴンを用いた単体試験の効率より約1%低い程度であった。この結果よりまた作動ガスが違っても、回転機械のレイノルズ数がほぼ同じ範囲にあり設計が適当であれば、異なった作動ガスによる試験結果より一応性能が推定できることを示している。

4. 海中動力システム 図5に出力35KWのブライトンサイクルエンジンの概略の機器構成、並びにサイクル各部における作動ガスの状態値を示す。このサイクルは作動ガスとしてヘリウムとキセノンの混合ガス(分子量39.94)を用い加熱器、再生器、冷却器と回転ユニッ

トから構成され、回転ユニットはブラッシュレス発電機の両軸の一端に遠心圧縮機、他端に半径流タービンが付いている。回転ユニットの軸受は、作動ガスを潤滑剤と冷却剤に用いたガス軸受を使用しており、回転ユニットには再生器と冷却器が図6に示すように、コンパクトに組み込まれている。

このシステムの特徴は熱源として、アイソトープ(コバルト60)を用いることでその熱輸送系統図を図7に示すが熱源から第1次熱交換器への熱輸送にはヒートパイプを用いている。

図8はブライトン海中動力システムの部分負荷におけるサイクル効率を示す。この動力システムは開発中であり、熱源については原型炉

がカナダで1975年までに完成する予定になっている。

5. あとがき 現在までにNASA, AiResearch から発表された資料に基づいて、小型動力システムとしてのブライトンサイクルについてその開発経過並びに結果について述べたが残念ながら国内ではこのような開発について全く発表されていない。この種の動力システムは現在では用途が特殊の場合に限られるため製品化が遅れているが、このシステムの技術はそのまま他のサイクル、すなわちランキンサイクル動力システムへも応用でき、将来は宇宙、陸上車

ヒートパイプ温度	= 1400 °F
再生器熱交換率	= 0.94
圧力損失パラメータ	= 0.96
サイクル効率	= 0.316
タービンロータ径	= 4.37"
圧縮機ロータ径	= 3.68"
交流発電機ロータ径	= 3.34"

T = °F  
P = PSIA

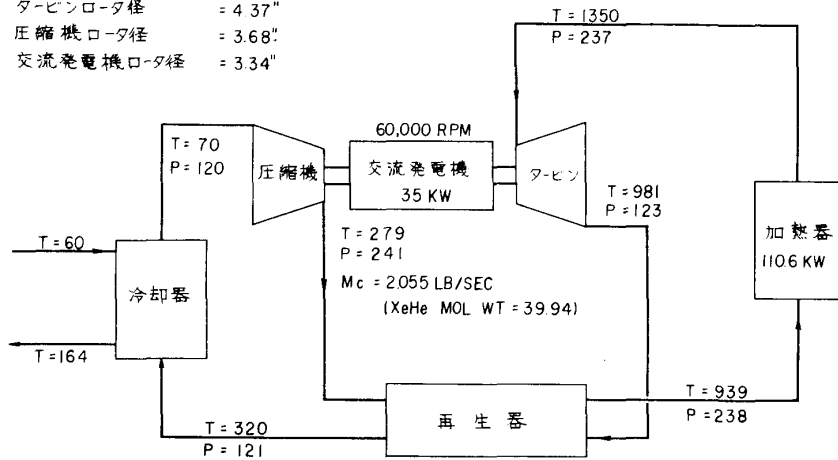


図5 35 KW プライトンサイクル海中動力システム

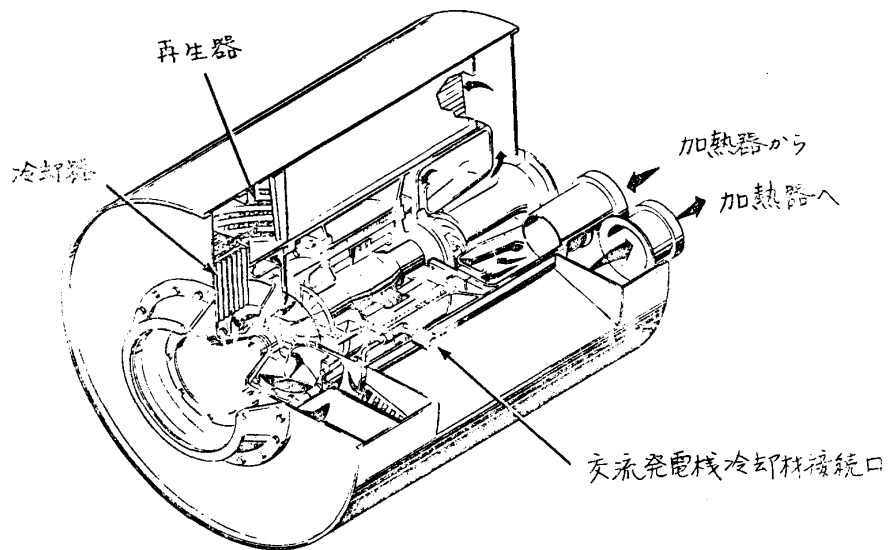
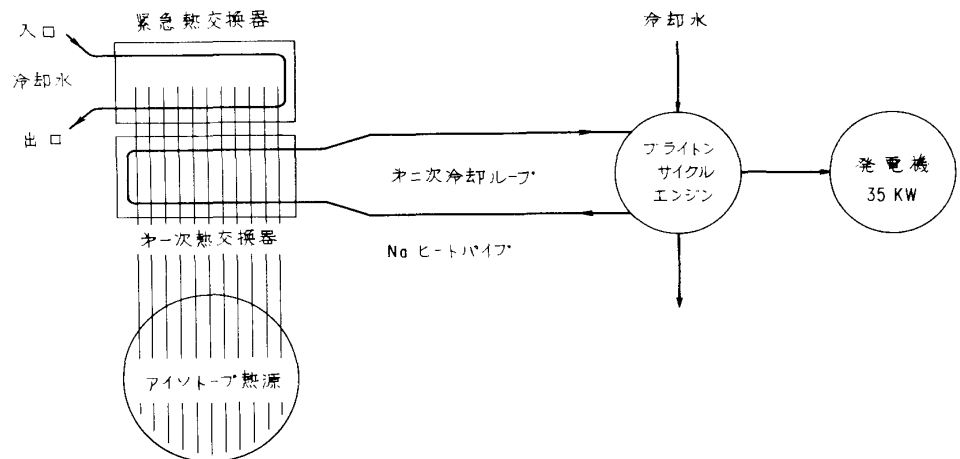


図6 回転ユニットと冷却器、再生器の配置

輛, 海洋動力システムばかりでなく, 各種の動力システム, 例えば空気調和システム等の分野にも活用されることとなる。



文献

- 1) F.E.Maddocks; Application of Turbomachinery to Small-Capacity Closed-Cycle Cryogenic Systems, Advances in Cryogenic Engineering, vol.13, Plenum Press, New York(1968), P.463.
- 2) R.W.Vernon, T.J.Miller; Experimental Performance of a 2-15 Kilowatt Brayton Power System using a Mixture of Helium and Xenon, NASA TM X-52936, November(1970).
- 3) A.S.Valerino, L.W. Ream; performance of a Brayton-Cycle Power Conversion System using a Helium-Xenon Gas Mixture NASA TN X-67846, August (1971).
- 4) K.J.Round, A.Pietsch and E.A.Mock;  $Cd^{60}$  Isotope Fueled Closed Brayton Cycle Engine for Underwater Applications, Second International Ocean Development Conference and Exhibition, October(1972).
- 5) G.L.Perrone, H.H.Milligan; Brayton Cycle 3.2-Inch Radial Compressor Performance Evaluation, NASA CR-54968, May(1966).
- 6) C.Weigel, C.L.Ball and E.R. Tvsl; Overall Performance in Argon of a 164-Centimeter (644-In.) Sweptback-Bladed Centrifugal Compressor, NASA TM X-2269, April(1971)

図7 熱輸送系統図

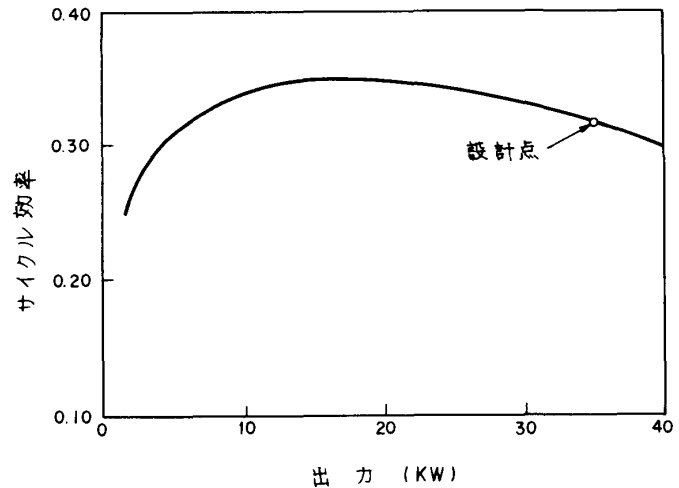


図8 部分負荷におけるサイクル効率

- 7) W. J. Nusbaum, M. G. Kofskey; Radial - Inflow Turbine Performance with Exit Diffusers Designed for Linear Static - Pressure Variation, NASA TM X-2357, August (1971)
- 8) R. Y. Wong, H. A. Klassen and R. C. Evans; Turbine and Compressor Performance of a Brayton Rotating Unit during Hot Closed-Loop Operation, September (1971).
- 9) A. M. Kirschner, C. F. Robertson and A. F. Carter; The Design of an Advanced Turbine for Brayton Rotating Unit Application, NASA CR-72888, July (1971).

ASME ガスタービン部門  
Annual Report 1973 有料販布のお知らせ

ASME ガスタービン部門では毎年一回会員の会社、大学、学協会などからその前年度の活動状況についてのレポートを集め、それを年次報告書 (Annual Report) として編集発行致しております。このなかにはガスタービン部門各種委員会の活動状況および会員の会社及び大学等の生産、開発、研究各方面における状況などが写真を交え、44頁に収録されております。したがって世界各国のガスタービン産業界および学界の最新の動向を概括的に知る上にきわめて便利なもので会員各位のご参考に資するところが大きいと思われます。

本会議ではとくに ASME ガスタービン部門のご好意によりこれをリプリントして会員の皆様に実費提供いたしますのでご入用の方はお申込み下さい。申込要領は下記のとおりです。

記

申込方法 : はがきに ASME Annual Report 1973 申込と記入し、氏名、所属、送付先、部数を明記下さい。

頒布料金 : 600円 (送料共)  
現金書留もしくは振替 (東京179578) でご送金下さい。

申込先 : 〒160 東京都新宿区新宿3丁目17番7号  
紀伊国屋ビル5階  
(財) 慶応工学会内  
日本ガスタービン会議事務局

## ガスタービン開発上の問題点

三井造船株式会社 渡辺哲郎  
玉野造船所

### まえがき

我国において産業用ガスタービンの開発が始められて20余年が経過し、現在原動機の一分野を占めている。この間、三井造船では、実機製作の実績こそ多くはないが、一貫してガスタービンの国産化を進めて来た。すなはち、1949年2000馬力船用主機ガスタービンの開発を開始し、1954年には試作機の社内運転が完了した<sup>(1)</sup>。当時はガスタービンの基本要素である軸流圧縮機やタービンの設計技術は未熟で、為に満足な総合性能が得られなかった。この経験で基礎技術の重要性を痛感し、各要素の基礎研究から再出発した。その後1955年にエッシャウイス社(スイス)との技術提携にもとずき艦艇主機10,000馬力クロズドサイクルガスタービンの製作に着手したが、複雑なサイクルから要素間のマッチング問題に直面し、あらためて要素性能の精確な解析が重要なことを認識した。これらの経験や空力研究の成果を基に、1963年から1350KWパッケージ形発電用ガスタービンの開発を始め、1965年に完成をみた。<sup>(2),(3)</sup>これは三井産業用ガスタービンの原形であり、開発にあたってはその構造は大形化を念頭においた。1967年にはこの原形の出力、熱効率の上昇をはかった8MW発電用を製作し、<sup>(4),(5)</sup>現在空気圧縮機駆動用4,600KW機を製作中である。今日では圧縮機やタービンの空力設計上の技術は欧米と比べ遜色はなく、開発上の問題は高温化、大型化や社会要求である公害対策にある。

現在、将来のこれら開発上の問題を、筆者の経験をもとに主としてハードウェアの面から考察してゆきたい。

### 高温化、大形化の問題

熱効率の向上はタービン入口温度の高温化と圧縮比の上昇で得られる。第1図はタービン入口温度の年次変化の傾向を示す。高温化はガスタービン技術進歩の指標とみなすことができ、産業用は航空エンジンに数年のおくれで進歩している。タービン入口温度は耐熱材料の開発で、過去年間10～15℃の上昇をみたが、空冷翼技術が採用されてから航空用では1960年頃から、産業用では1965年以降年間30℃以上の上昇をみるようになった。産業用でもすでに1000℃を越え、初段ノズルのみならず、冷却動翼を用いたものが出現した。高温化は、冷却空気量を増さないで冷却効果を上げることがサイクル性能上重要な課題となる。燃焼器については、燃焼余剰空気の減少にともない温度分布の均一化、内筒壁の冷却などが問題となる。

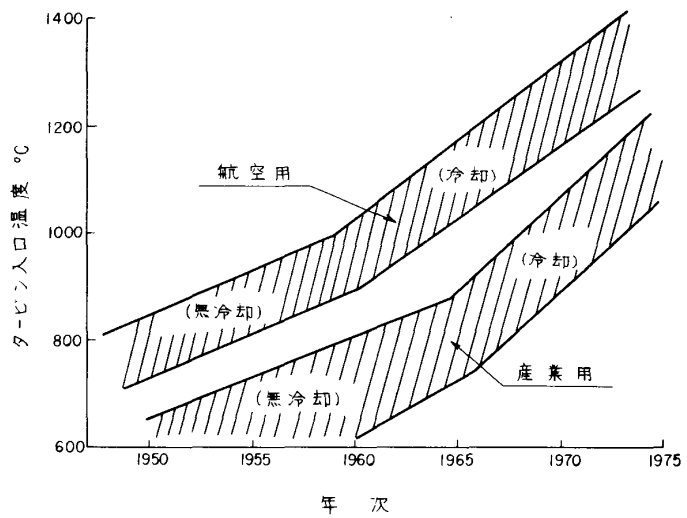
高温化は最適圧力比の上昇をもたらす。熱効率最大の圧力比は圧縮機やタービンの効率、圧力

損失、冷却空気量などで異なるが大略第2図の傾向をもつ。再生サイクルではこの圧力比は低く、最大比出力となる圧力比もまた、熱効率最大の圧力比より低い。産業用ガスタービンでは熱効率、比出力さらに再生サイクルへの応用等を考慮するので一般には第2図に示すより低い圧力比をとるが、高温化と共に上昇する傾向にある。圧力比は起動時における圧縮機のサージングや旋回失速を防ぐ方法も併せ決定される。防止策として圧縮機段間からの抽気、可変静翼、圧縮機の2軸化あるいはこれらの併用がとられる。筆者の検討では圧力比が10以下では抽気のみで、それ以上では抽気と可変静翼の組合せで、15~20以上となると圧縮機の2軸化が良いと判断できる。

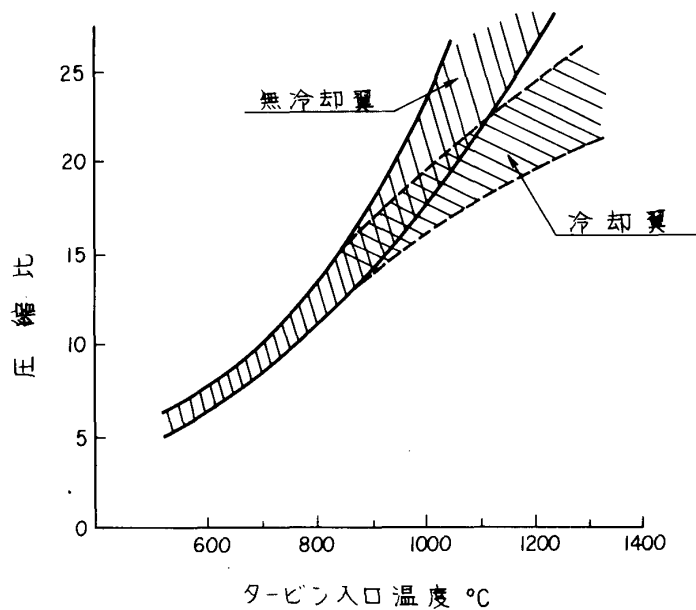
大容量機は高温化による比出力の増大と高速化で得られる。比出力の上昇は機械の寸法、重量を保ちながら出力増加をはかれるもので、高温部や圧力比上昇にともなうコストの増大を勘案してもなお出力当りの価格低減となり、他原動機との競争上も重要である。形状、寸法を相似的に拡大して大型化をはかることは、いわゆる2乗3乗法則

で重量増加が大きく出力当りのコスト低減とならないし、産業用、特に発電用においては(発電用が大容量化の要求が強い)回転数の制限が加わるので、大型化と同時に高速化する必要がある。この為圧縮機の前段は遷音速翼を使用することになる。

第1表に筆者等が行なった性能改良の過程を参考例として示す。表中、回転数、熱効率、比出



第1図 タービン入口温度の年次変化



第2図 熱効率最大時の圧縮比  
(単純開放サイクルの場合)

力および出力は原形（Aシリーズ）を100とするときの同一フレームサイズでの増加割合を示す。Aシリーズを代表するのは1350KW機で、1963年の時点ではタービン入口温度800℃は産業用として高い温度であり、タービン初段ノズルに熱応力低減を計った中空翼、動翼固定部をロングシャンクにする等の高温化対策を行なった。タービンロータは一体削出しであったが、各段をディスク状にし、側面を冷却することで熱的性状の優れたフェライト系耐熱鋼を使用できた。圧縮機は9段で初段動翼先端周速度は290<sup>m/s</sup>。

第一表 三井ガスタービンの性能改善

項目 \ シリーズ	A	B	C
年 度	1964	1967	1971
タービン入口温度℃ (連続定格)	800	800	900
圧 力 比	5	6.5	9.1
回 転 数	100	100	100
熱 効 率	100	106	120
比 出 力	100	100	124
出 力	100	130	160
圧 縮 機 段 数	9	1+9	1+9+2
タービン段数	4	4	4
タービン初段ノズル	中空	中空	冷却

とした。この値は産業用圧縮機で使用される上限であった。圧縮比は再生サイクルへの応用を考えて5とした。タービンは高効率を得る為に4段とした。次に8000KW機に代表されるBシリーズはタービン入口温度を変えずにAシリーズの出力と熱効率の増加を計ったものである。圧縮機に第0段を追加して10段とすると共に全段にわたって静翼取付角度5度たて、風量を30%増した。0段の先端周速度は310 m/s で亜音速翼列の限界に近づけた。圧力比は6.5となった。タービンはAシリーズの翼列をそのまま使用したので段当りの平均負荷は11%増した。これだけの改造で出力は約30%、熱効率は6%増加した。Cシリーズは現在製作中であるが、タービン入口温度は900℃、圧縮比は9.1とした。タービン初段ノズルは対流とインピンチを組合せた冷却翼とした。タービンロータは側面冷却空気への高温ガスの混入を防止するため多盤組立式とし、ロータ外周にラビリンスフィンをつける構造に変更することでフェライト系耐熱鋼が使用出卒る。タービン初段動翼材質はU500からU710にグレードアップした。タービン翼列はシリーズA、Bと同一であるが段負荷増加を周速上昇(約15%)でカバーした。圧縮機は吐出側に2段追加して12段とした。起動時に段間2ヶ所からの抽気でサージンはさけられる。これらの改造で、Aシリーズに比べると比出力は24%、熱効率は20%、出力は60%夫々上

昇した。

燃焼器は単缶式で、多缶式に比べ燃焼負荷率は低く、これまでの過程では問題はなかった。ケーシング等静止部の構造はA-Cシリーズでは変えていない。

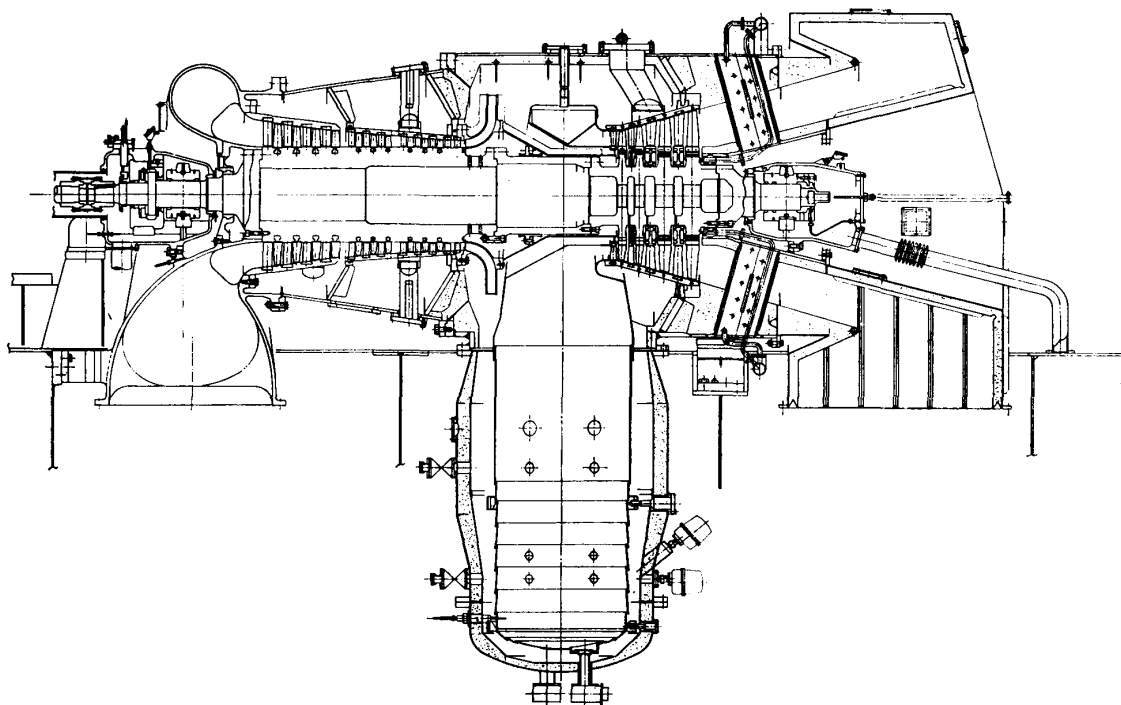
Dシリーズとしてタービン入口温度1200℃を開発目標とし、空冷動翼、高負荷タービン翼等の開発を目下進めている。

### 各要素の問題点

#### 構造

高温ガス通路部の熱応力、熱歪が問題となる。特に産業用ガスタービンでは保守・点検上より水平分割ケーシングとするので、円周方向に均一強度とならず歪み易い。

筆者等はこの問題を完全な2重構造ケーシングとすることで解決した。その基本思想は耐圧性や剛性は低温に保った外側ケーシングにもたせ、高温ガス通路となる内部ケーシングを極力薄肉とし、且つ熱膨脹を拘束しないことにある。この為外側ケーシングはその内面に断熱材をはり、断熱材表面は薄板でおった。タービンノズルケーシングは耐圧強度が低くてもよいので、極力薄肉とする一方、急速な温度変化を防ぐよう内面には高温ガス路を形成する内張環でおった。第3図に構造例を、第4図にタービン入口温度の急速変化に対するノズルケーシングの温度化実測例を示す。



第3図 Sectional Drawing of Gas Turbine  
(組立断面図)

外側ケーシング内部断熱材をおろし薄板，特に温度が高い排気ケーシングの内張薄板は外側との熱膨脹差を吸収すると同時に，流路を形成しているので防振対策として形状剛性の大きなものとするのが要求される。

圧縮機とタービンを一体として2軸受で支持し，且つ軸受箱はケーシングに組み込みとすると，大型機では作動回転数が2次危険速度より上となるので軸の防振に注意しなければならない。レモン型軸受を使用すれば充分である。

#### 軸流圧縮機

前にも述べたように圧縮機翼列の高速度は相対的に風量増加，即ち出力増加となる。この場合初段或は2段まで遷音速翼列となるので高マッハに適した翼形が必要となる。これに対処する為に遷音速圧縮機の2段試験機を試作し実験した。第5図に全体性能の実験結果を示す。

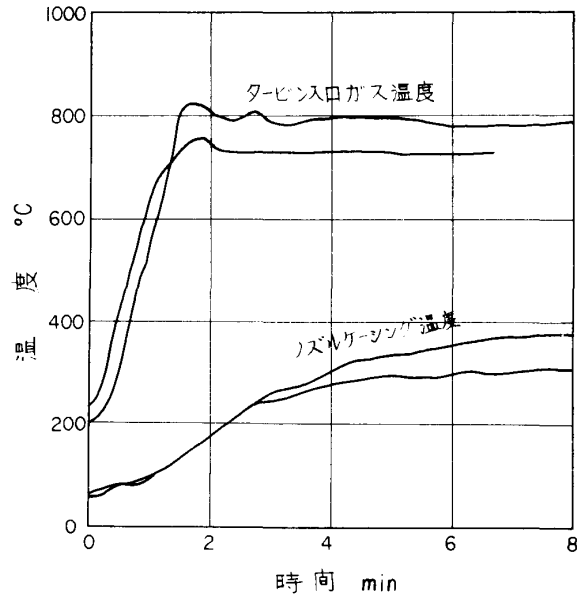
2段で圧力比2，効率89%が得られた。<sup>(6)</sup>

#### 軸流タービン

高温化によりタービン段の温度降下は増加するが，一方高温の為，応力面から周速はそれほど高くとれない。又高価な冷却翼は最少限におさえる面からも温度降下の大きいタービン翼列は重要となる。現在従来のコンベンショナルな翼形から脱却して圧力分布の優れたタービン翼列を開発している。高い効率は速度三角形の撰択も重要であるが負荷の大きい翼列では大きな残留スワールを残すことで得られる。半径方向の仕事分布は効率向上にほとんど影響しない。空冷翼は航空用エンジンの実績，NASAをはじめ多数の報告が公表されている。産業用タービンではこれらの先行技術を吸収して短期間に開発することが可能である。

#### 燃 焼 器

燃焼器は圧縮機・タービン等の空力機械ほど理論解析がなされておらず，開発は実機に即して行なう必要がある。寸法効果，相似性については8000KW機で調査したが<sup>(7)</sup>，さらに機械学会の寸法効果分科会の成果が待たれる。三井は一貫して単缶式燃焼器を開発して来たが，単缶式は保守が容易なこと，寸法形状の制限が少なく燃焼負荷を低く出来ること，内筒壁温を低くしやすい，



第4図 タービンノズルケーシングの温度変化

等利点はあるがコンパクトにならない、均一温度分布が困難等の欠点もある。現Cシリーズでは20000KW以上は多缶式とする方針で開発を行って居る。

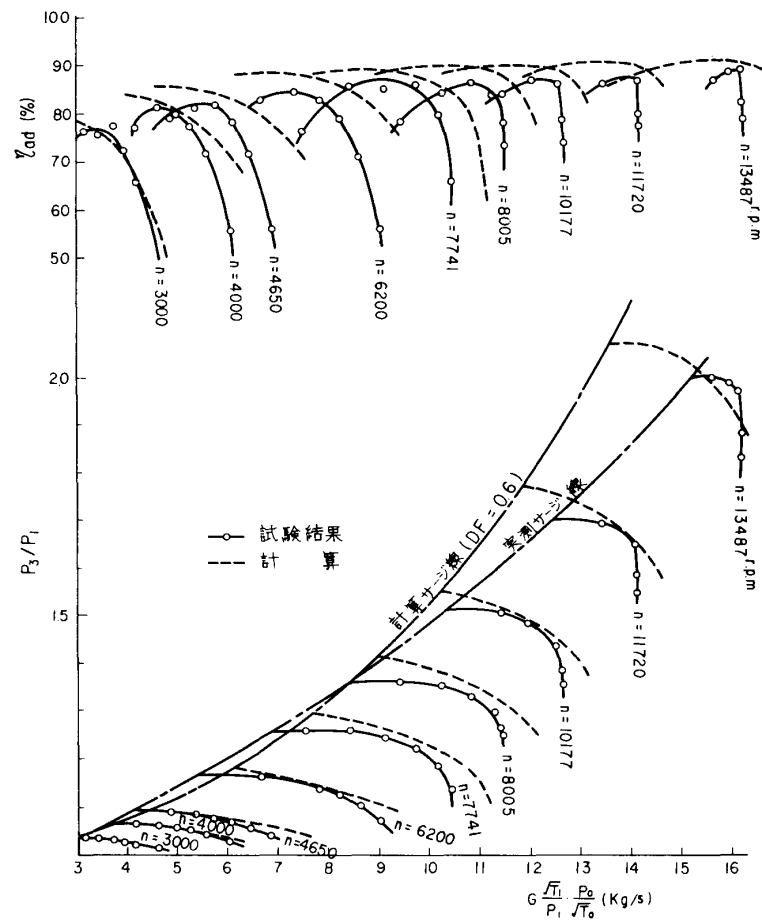
排気物規制、特にNOxの減少は大きな課題となる。現在燃焼器への水或は蒸気噴射でNOx量を減少する例がGE社等で報告されている。(8)

### 速度制御装置

三井ガスタービンではウッドワード社(USA)のガバナースystemを採用して来た。比較的小容量機では、安価で構造の簡単な機械式ガバナーが適するが、大容量機ではエレクトロニクスガバナーが応用範囲も広く、信頼性もある。この場合も無定位型(積分型、フィードバックなし)と定位型(比例型、フィードバックあり)があり、液体燃料と気体燃料の混焼を行なう場合は必然的に定位型が適している。現在ウッドワードの製品を組合せて混焼に最適のsystemを開発中で、近くハイブリッド計算機を使用してシュミレーションを行なう予定である。

### あとがき

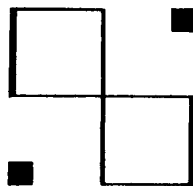
産業用ガスタービンの開発は航空エンジンにおける大規模な先行投資による技術のフィードバックがあるとは云え、高温化・大型化に多額の投資と長い時間を要する。自己技術で開発を進めてゆく者と云えども、目的を明確にし、効率良く開発を進めることが重要で、その為には広く国際協力も求めてゆかなければならない。三井においては、空力的要素は自己開発によるが、高温化に対する構造、特に冷却技術については航空用エンジンにおける技術の吸収につとめ産業用への応用は効果的、短期間で行ない、又多缶式燃焼器、ガバナー等については今後共に海外技術を使用することを考えている。



第5図 全体性能

本書ではむしろ三井ガスタービンの現況紹介に終始した感があるが、この中から開発上の問題点の一端でもさぐっていたら幸いである。

- (1) 小 泉 馨 夫他 「試作ガスタービン一番機」三井造船技報 №.3, 1953
- (2) T.Watanabe 「Problems in Development of High Temperature Long Life Packaged Type Open Cycle Gas Turbine」C I M A C (1968) B. 1
- (3) 福 山 雅 美他 「パッケージ形発電用ガスタービン」日本機械学会誌 69-567号
- (4) 渡 辺 哲 郎他 「8 MW天然ガス燃焼発電用ガスタービン」日本機械学会誌 72-611号
- (5) Y.Omote,others 「Problems in Development of Two 8MW Gas Turbines」 JSME-37
- (6) 山 根 猛 「遷音速軸流圧縮機の一実験について」日本機械学会講演論文集 №. 720-15
- (7) K.Takagi,others 「Similarity of Gas Fired Combustor」 JSME-16
- (8) R.H.Johnson,others 「Gas Turbine Enviromental Factors-1972」 GER-2486A



# ガスタービン用鋳造耐熱合金

小松ハウメット株式会社 近江敏明

## 1. ま え が き

ガスタービンには数多くの種類の耐熱合金が使用されている。本稿では、ロストワックス精密鋳造法によって製作されている鋳造耐熱合金に焦点を絞り、その種類、特色と使用例につき述べる。

## 2. 鋳造耐熱合金の種類

鋳造耐熱合金を合金元素の量から分類すると、鉄基、コバルト基およびニッケル基の3種類に大別することができ、おのおのその特性に応じた使い分けがなされている。表1に現在よく用いられるガスタービン用鋳造耐熱合金の主要化学組成を示す。Inco713, IN-100などによって代表されるニッケル基の合金は、TiおよびAlなどの活性元素を含むため、通常 $1 \times 10^{-3} \text{ mmHg}$ 以上の高真空の状態での溶解、鋳造して製作される。

これらニッケル基合金の高温強度は次の2つの作用から得られる。すなわち

- (1)合金中のTiおよびAlの化合物、 $\text{Ni}_3\text{Al}(\text{Ti})-r'$ と呼ぶものの析出硬化作用。
- (2)高融点を持つ、Mo, WおよびCb等の金属元素が素地中に固溶体として含有され、素地の高温強度を増加せしめると同時に、 $r'$ の素地中における拡散速度を遅らせたり、再固溶速度を遅らせることにより、高温強度を増加せしめる作用。

したがって、ニッケル基合金の高温強度と含有するAl, Tiの量との関係は、図1に示すごとく、 $r'$ の量が増すにつれて、ラプチャー時間が長くなる傾向がある<sup>(1)</sup>。このように高温破断強度を改善する目的で開発されて来た合金として、IN-100, B-1900, MAR-200などをあげることが出来る。しかしこれらの合金は、Ti, Alおよびその他の添加元素を多量に加えた結果、Cr含有量が減少している。このことは、U-500, Inco713などに比較して、高温における耐酸化性が低下していることを意味している。したがって、IN-100, B-1900, およびMAR-M200などの合金は、その表面に耐酸化性を付与するための、表面コーティング処理を行なって使用される。

X-40, WI-52などによって代表されるコバルト基合金は、良好な耐酸化性、耐熱衝撃性および耐熱疲労性を有することから、古くからガスタービン用耐熱合金として広く使用されてきた。これらコバルト基合金の高温強度はMC,  $\text{M}_7\text{C}_3$ ,  $\text{M}_{23}\text{C}_6$ ,  $\text{M}_6\text{C}$ 等の各種の炭化物が結晶粒内および粒界に析出して得られる。たとえば、X-40合金の場合の析出

表.1 各種鑄造耐熱合金の化学組成

合金名	C	Cr	Ni	Co	Mo	W	Cb	Ti	Al	Fe	B	Ta	その他
Inco 100	0.15	100	Bal	150	30	-	-	4.7	5.5	-	0.015	-	0.01Zr, 1.0V
Inco713LC	0.05	120	Bal	-	4.5	-	2.0	0.6	5.9	-	0.010	-	0.1 Zr
Inco 713	0.12	125	Bal	-	4.2	-	2.0	0.8	6.1	-	0.012	-	0.1 Zr
Inco 738	0.17	160	Bal	85	1.7	2.6	0.9	3.4	3.4	-	0.01	1.8	0.1 Zr
Rene 41	0.09	180	Bal	11.0	10.0	-	-	3.1	1.5	-	0.01	-	-
Rene 80	0.17	14.0	Bal	95	40	40	-	5.0	3.2	-	0.015	-	Zr0.06
Rene 77	0.07	14.6	Bal	150	4.2	-	-	3.4	4.3	-	0.015	-	Zr0.02
U - 500	0.08	190	Bal	185	40	-	-	2.9	2.9	-	0.01	-	-
U - 700	0.12	150	460	285	37	-	-	2.2	3.0	-	-	-	-
Inco 718	0.04	190	525	-	30	-	5.2	0.8	0.6	18.0	-	-	-
MAR-M-200	0.15	80	Bal	100	-	125	1.0	2.0	5.0	-	0.015	-	0.5 Zr
B - 1900	0.10	80	Bal	100	60	-	-	1.0	6.0	-	0.015	4.0	0.1 Zr
SEL-1	0.08	150	Bal	220	44	-	-	2.4	4.4	-	0.015	-	-
SEL-15	0.08	105	Bal	135	6.15	15	0.5	2.6	5.5	-	0.015	-	-
X - 40	0.50	220	100	Bal	-	75	-	-	-	-	-	-	-
X - 45	0.25	255	105	Bal	-	75	-	-	-	-	0.01	-	-
FSX-414	0.25	285	105	Bal	-	70	-	-	-	-	0.01	-	-
WI - 52	0.45	210	-	Bal	-	110	2.0	-	-	2.0	-	-	-
MAR-M-302	0.85	21.5	-	Bal	-	100	-	-	-	2.0	0.005	8.0	0.20Zr
MAR-M-509	0.60	21.5	100	Bal	-	70	-	0.2	-	-	0.10	3.5	0.5 Zr
HS - 21	0.25	270	2.8	Bal	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-

物は $M_6C$ ,  $M_7C_3$ ,  $M_{23}C_6$ であり, またバイタリウム合金(HS-21)の場合の析出物は, 77%が $M_7C_3$ で残りは $M_6C$ となっている<sup>(2)</sup>。

コバルト基合金の主要合金元素は, Cr, Mo, W, Cb, NiC などであるが, さらに微量のBやZrを添加することにより, 高温特性を改善することが行なわれている。

一般に, コバルト基合金は大気中で溶解されるものが多く, 特に真空溶解, 鑄造を必要としないが, 前述のBやZrを微量添加したいわゆる Modified X-40 や, MAR-M-302, MAR-M-322などの合金は, 真空溶解, 鑄造を必要とする。参考までに, コバルト基合金における主要添加合金元素の役割を,

表2にまとめて示す<sup>(3)</sup>。

コバルト基合金の実用化は, 主として米国製ガスタービンに多種多様の使用例を見ることが出来るが, 英国やソ連では, 米国におけるほど多種の合金が開発されていないようである。英国では, 鉄基合金から直接Nimonicに代表されるNi基合金へと移り変わった感があり, またソ連では, 自国領土内にコバルトの供給源が少ない点から, それ程多くのコバルト基合金を開発しな

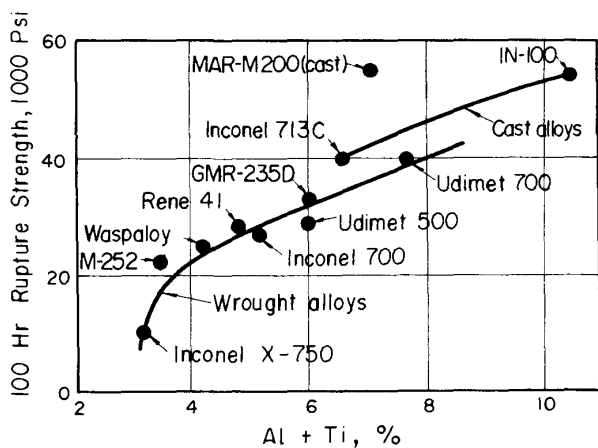


図1 Ni 基合金の Al+Ti 含有量と 100HR ラブチャー強さとの関係(1)

かったのがその理由といわれる。おもな耐熱合金の高温ラブチャー特性を図2に示す。

表1および図2に示すごとく、各種の耐熱合金が、各種のガスタービン部品用材料として使用されているが、それら部品の用途や製造会社によっては、同じ種類の合金といえども、要求される仕様、熱処理等の違いから、種々異なった名称や規格番号で示す場合が多く、やつかである。表3に合金の名称と各種の規格との関連をまとめてみた。

表2 コバルト基合金中の添加元素の効果<sup>(3)</sup>

元 素	添 加 効 果
ク ロ ム	酸化腐食および硫黄に対する腐食抵抗の増加。M <sub>7</sub> C <sub>3</sub> , M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> 炭化物形成
モリブデン タングステン	固溶体強化元素 M <sub>6</sub> C型炭化物およびCoM型金属間化合物形成作用
タンタル コロンビウム	固溶体強化元素 MC型およびM <sub>6</sub> C型炭化物形成元素 CoM型金属間化合物形成作用
アルミニウム	酸化抵抗の増加 CoAl金属間化合物の形成
チ タ ン	MC型炭化物形成 Co <sub>3</sub> TiおよびNiが充分ある場合にはNi <sub>3</sub> Ti金属間化合物の形成
ニ ッ ケ ル	マトリックスの安定化 Ni <sub>3</sub> Ti金属間化合物の形成作用
ボ ロ ン ジルコニウム	ラブチャー強度の増加
炭 素	MC, M <sub>7</sub> C <sub>3</sub> , M <sub>6</sub> C, M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> 型各種炭化物の生成
イ ッ ト リ ウ ム ランタン	酸化抵抗の増加

表 3 合金名と各種規格との関連性

合金名	各種規格	会社名	合金名	各種規格	会社名	
17-4PH	AMS 5343	G.E Boing	Inco713	ANS5391	U.A.C.L	
	AMS 5355			CPW 80		
B50TF36	EMS 55371			AiResearch		
BTS1029	EMS73648-2C			Allison		
B-1900	EMS73638	Allison	Inco713LC	CPW226	U.A.C.L	
PWA 663	PWA1450	" "		EMS 579	AiResearch	
	FSX-414	B50A489		G.E	ESG-M2A87-A	Ford
9-246		Solar		M3610	Lycoming	
Inco100	AMS5397	G.E U.A.C.L AiResearch " " Allison Pratt & Whitney Caterpillar Williams Research	Inco718	MSRR 7048	Rolls Royce	
	C50TF23			WRMS 603	Williams Research	
	CPW 219			Inoc738	B50A563	G.E
	EMS 589				CPW 238	U.A.C.L
	EMS55089				PDS 15119EJ	Westinghouse
	EMS73651				PWA 1451	Pratt & Whitney
	PWA 658			WRMS 607	Williams Research	
	S-191			MAR-M-509	B50A532	G.E
WRMS606	B50TF89	" "				
Inco718	AMS 5383	ESG-M2A92A	Ford			
	B50T68	PWA 647	Pratt & Whitney			
B50TF16	" "					
EMS70008	Allison					
EMS73618	" "					
PWA 649	Pratt & Whitney					

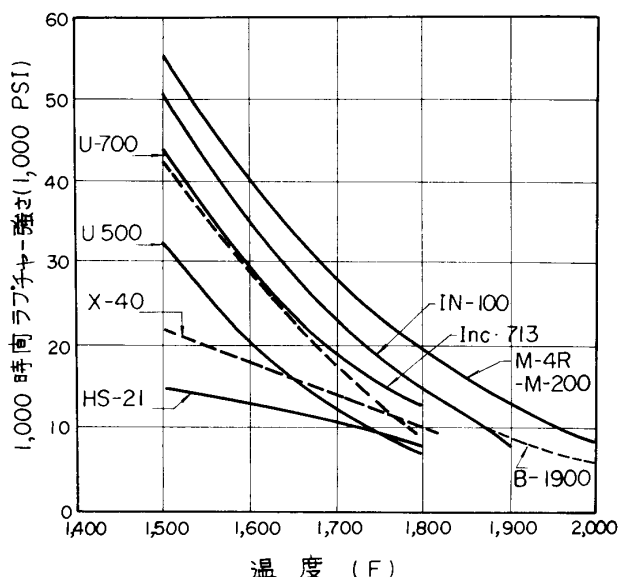


図2 代表的な耐熱合金の1000Hr  
ラプチャー強さの比較

3. 鑄造耐熱合金の使用例

幾多の新しいガスタービンが開発され、稼働を始めている。それらガスタービンに使用されている鑄造耐熱合金と部品との関連を、(1)航空用大型ジェットエンジン、(2)一体鑄造品が多く採用されている小型ガスタービンおよび最近発展が著しい、(3)大型発電用ガスタービンの3つの部門につき、その使用例を調査した。

(1) 航空用大型ジェットエンジン

代表的な例として、GE社のCF6-6およびP&W社のJT8D-7、JT9D-7エンジンをとりあげ、表4および写真1-3に使用材質を示した。

表4 大型ジェットエンジンに使用される耐熱合金

JT8D-7の例	JT9D-7の例	CF6-6の例	写真番号
第1段動翼…PWA1455 (B-1900+Hf)	第1段動翼…PWA 1455 (B-1900+Hf)	第1段静翼 X-40	①
第1段静翼…PWA 655	第1段静翼…PWA 647 (MAR-M-509)	第1段前縁動翼 René80	③
第2段動翼…PWA 655	第2段動翼…PWA 1455	第1段後縁動翼 René80	⑤
第2段静翼…PWA 655	第2段静翼…PWA 1455	第2段静翼 René80	②
第3段動翼…PWA 655	第3段動翼…PWA 655 (Inco713)	第2段前縁動翼 René80	④
第3段静翼…PWA 655	第3段静翼…PWA 655	第2段後縁動翼 René80	⑥
第4段動翼…PWA 655	第4段動翼…AMS 5382 (X-40)	ストラットエンド 17-4PH	①
第4段静翼…PWA 655	第4段静翼…PWA 655	ハブ・セグメント 17-4PH	②
	第5段動翼…AMS 5382	ハブ・ストラットエンド 17-4PH	③
	第5段静翼…PWA 655	スワール AMS-5390	④
	第6段動翼…PWA 655	水平フランジ Inco718	⑤
	第6段静翼…PWA 655	ダクト Inco718	⑥

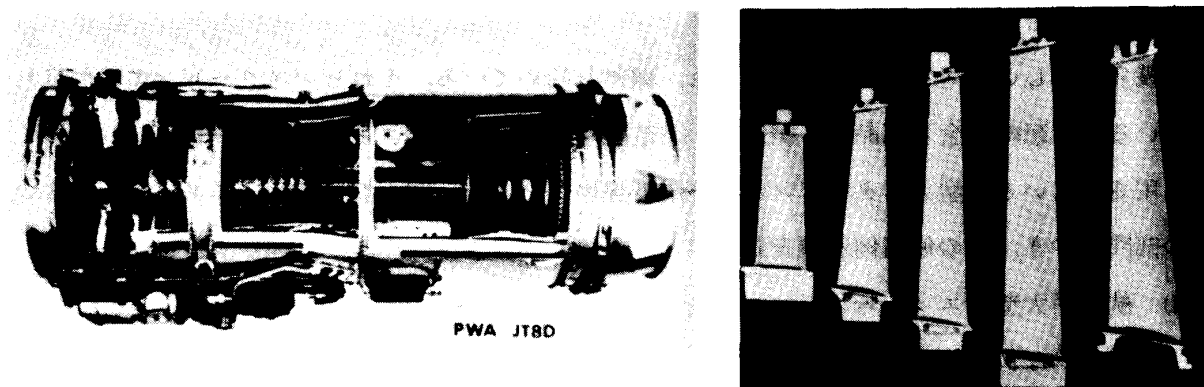


写真1 PWA JT8Dエンジンとタービルブレード，ノズル

これら大型ジェットエンジン用1段，2段動，静翼は，例外なく冷却翼で，内部に極めて複雑な空気通路形状を有している。使用される合金に，最高の高温強度を具備せしめるために，高温の溶体化処理等の熱処理を指定する場合が多い。

GE社のCF-6では，構造用部品に一体鋳造品を大胆に採用して，効果を上げているが，それらストラット，ハブ等には，溶接性と高温強度を兼ね備えたInco718が使用されている。

## (2) 小型ガスタービン

写真4は，米国AiResearch社のT-76(TPE-331)に使用されている。一体鋳造のノズルおよびタービンローターである。TPE-331シリーズで使用される材質は，1段〜3段タービンローターが，Inco713LCであり，一体ノズルには，1段から3段までともに，Inco-713C合金が用いられている。

写真5はボーイング747型ジャンボジェットのAPUとして使用されている米国AiResearch社製のGTCP660型ガスタービン部品で，写真中のNo.1は，第1段タービン静翼(Inco713LC)，No.2は第2段タービンプレード(Inco713)，No.3は第1段タービンプレード(Inco-100)，またNo.4は第2段タービン静翼(Inco713LC)である。

写真6は米国Allison社製T-63ガスタービンとそれに組込まれている一体鋳造品の数々である。

写真内につけてある番号順に，品名と使用材質を述べると，まずNo.1は2〜3段圧縮機動翼，No.2は5〜6段圧縮機動翼，No.3はインペラーでいずれも17-4PH析出硬化型ステ

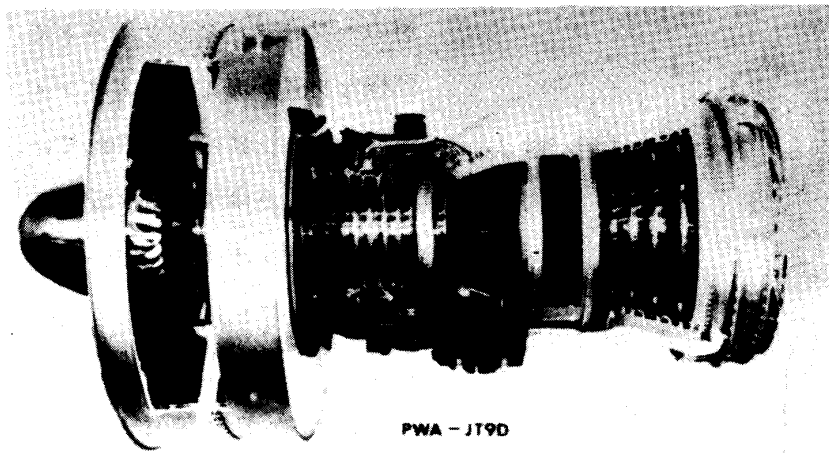
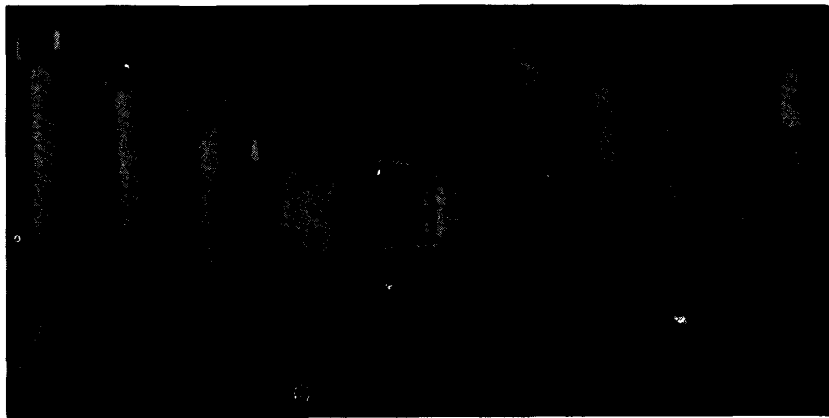


写真2 PWA-JT9Dエンジンとタービンブレード, ノズル

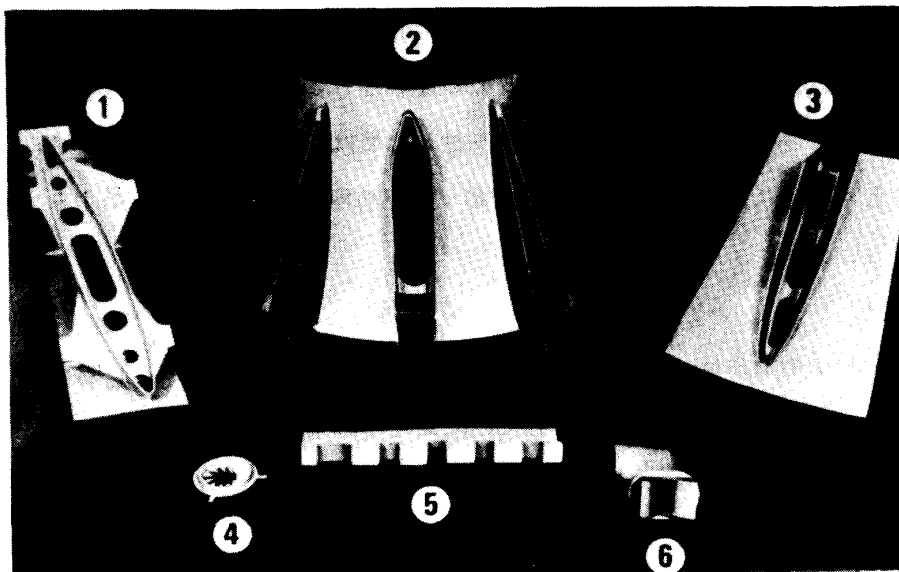
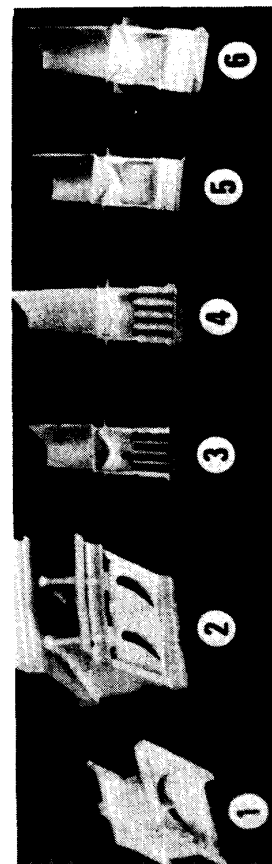


写真3 GE. CF6用高圧タービンブレード, ノズルと構造用部品

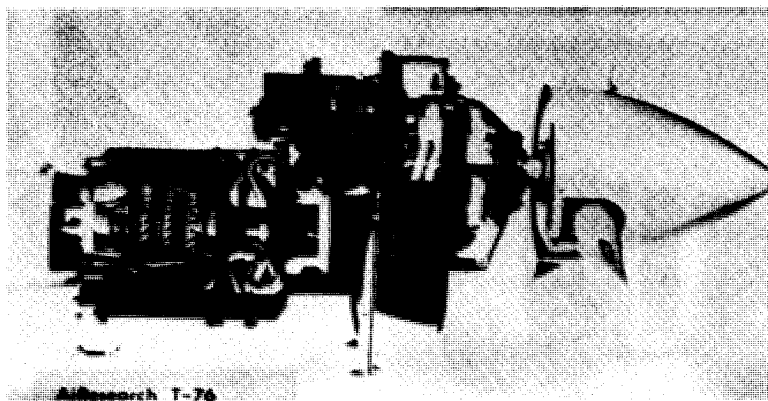
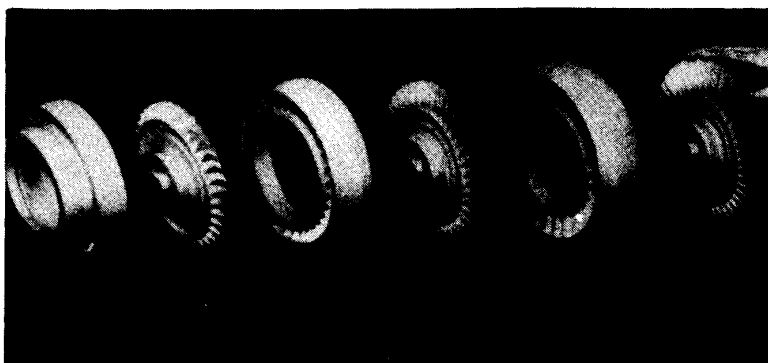


写真4 F76エンジンと一体铸造タービンホイール、ノズル

ンレス合金である。また写真には示されていないが、1段および4段圧縮機動翼にも、17-4PH合金が使用されている。No.4-5はそれぞれ一体铸造の4段および3段タービンホイールで、ともにInco713が採用されている。No.6は14-4PH材のパワータービンサポートで同様な材質がNo.10のガスファイヤサポートにも使用されている。No.7, 9は夫々第2段, 第1段タービンホイールで、両者ともInco713が使用されている。

No.8は第2段タービンノズルで、この写真では見にくい

が、第1段タービンノズルと同様に、材質としてX-40合金を採用している。

このように、小型から1500馬力クラスのガスタービンには、一体铸造のタービンホイール、ノズル等がどしどし採用されるようになって来たが、それら一体铸造タービンローターには、铸造性が比較的良く、また複雑な熱処理を必要としないなどの理由から、Inco713LCを採用する例が極めて多い。一方タービンノズル材としては、ローターに比較して冷却設計が採用し易いこともあって、Inco713Cの他に、大気溶解のX-40を使用する場合も多い。

### (3) 大型発電用ガスタービン

近年大型発電用ガスタービンの進歩は、まことに目覚ましいものがあり、大物ロストワックス精铸品の铸造技術の向上とその信頼性の飛躍的増大とに支えられて、この分野にも、铸造耐熱合金が著しく使用され出した。それらの内から代表的な例として、米国Westinghouse社のW-501ガスタービンと、米国GE社のMS7000シリーズガスタービンの使用材質につき述べる。

写真7は、W501ガスタービンとそのノズルである。1-2段翼は中空翼で、特に1段

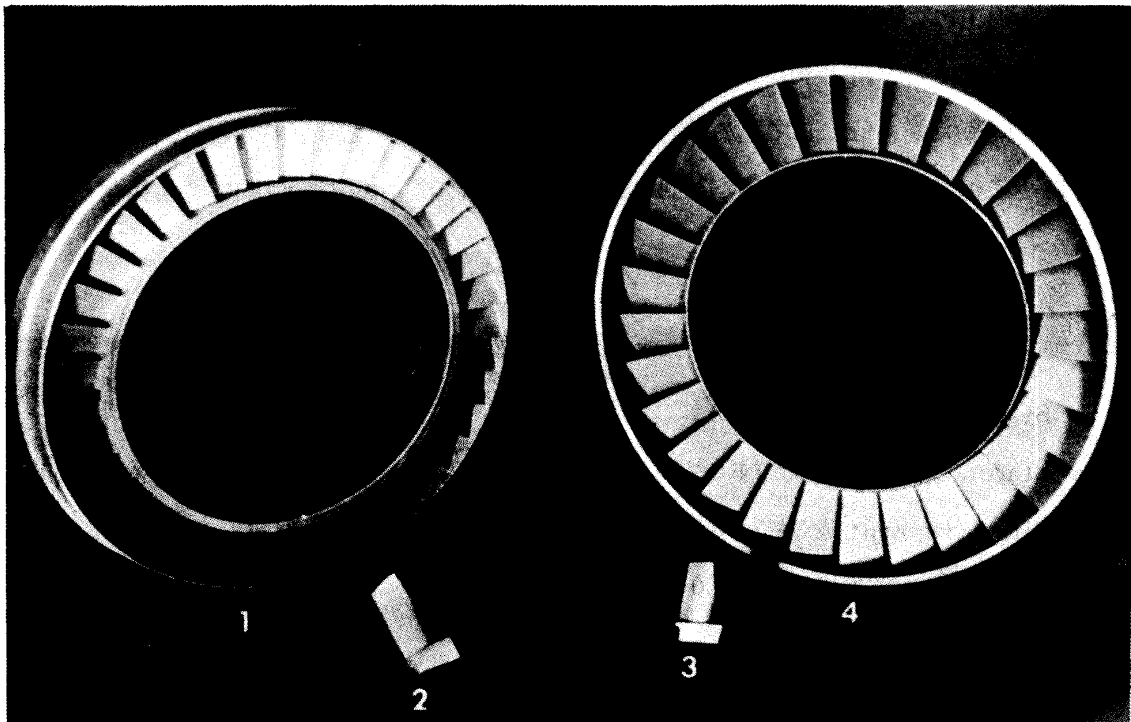
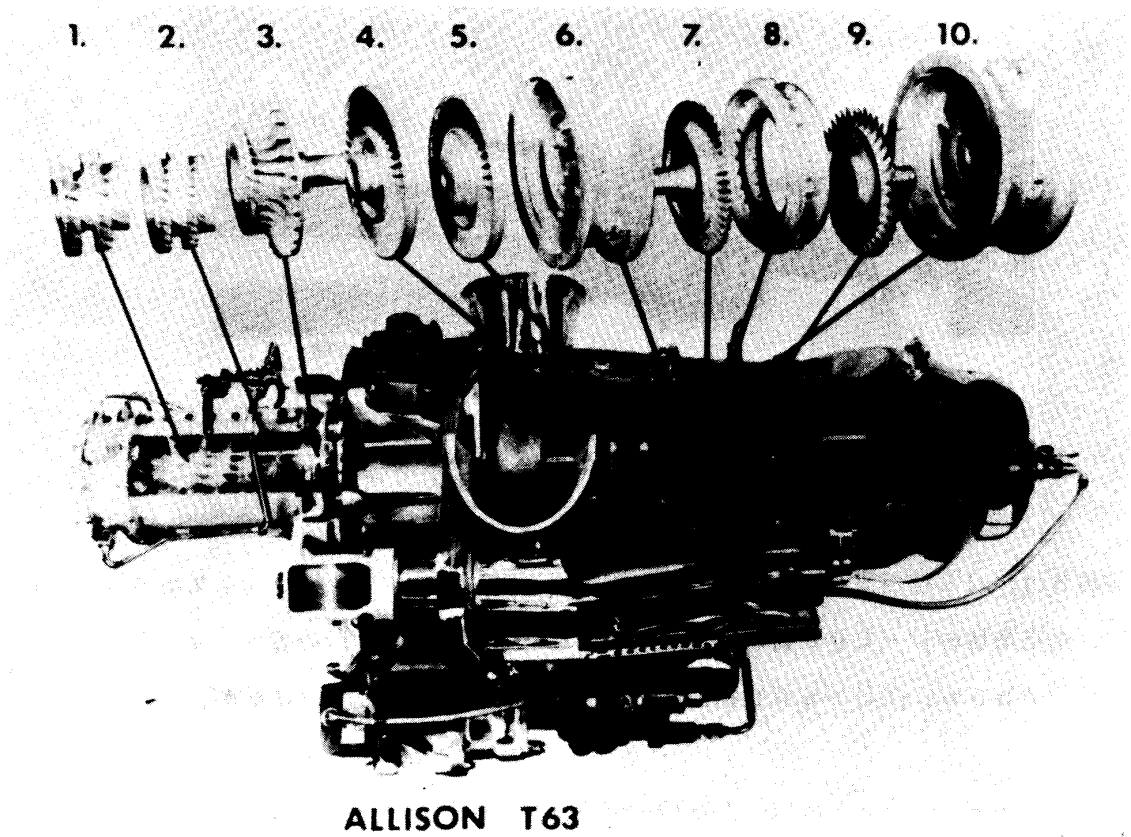


写真5 AiResearch GTCP660用タービンブレードとノズル



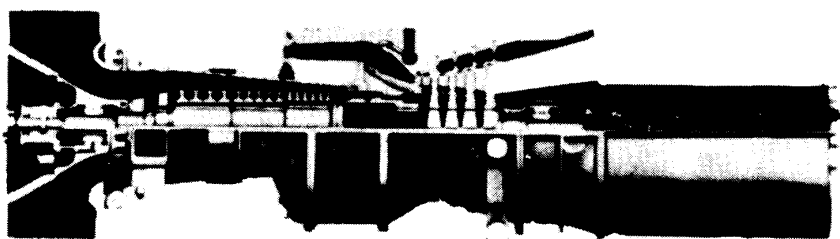
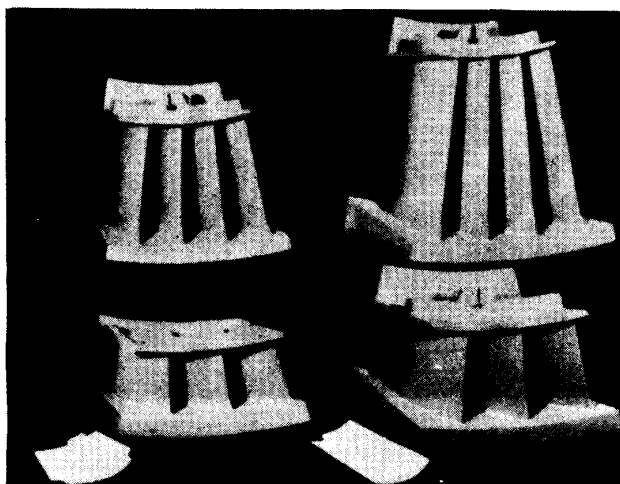
ALLISON T63

写真6 ALLISON T63ガスタービン用鋳造品

翼は、放電加工によりトレリングエッジ側の翼の腹側から中空部にかけて数多くの冷却孔を設けて、冷却することにより、タービン入口温度の向上を図っている。使用材料としてはX-40の炭素含有量を低くして、溶接性を改良したX-45を使用している。大物 casting のため、 casting 工程での冷却速度の不均一性の除去と、 casting 応力の除去を目的に“溶体化一時効処理”を行って使用される。

W501

1. 1st Stage Segment 680J881
2. 2nd Stage Segment 680J882
3. 3th Stage Segment 2317069
4. 4th Stage Segment 2317070

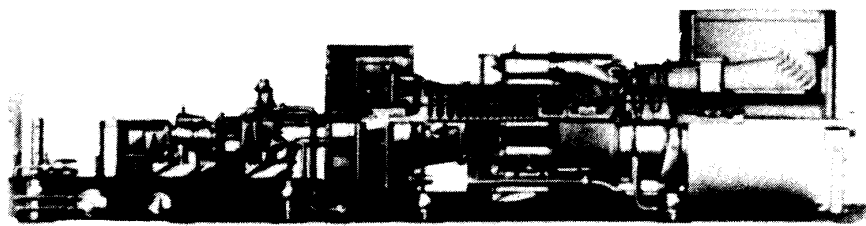
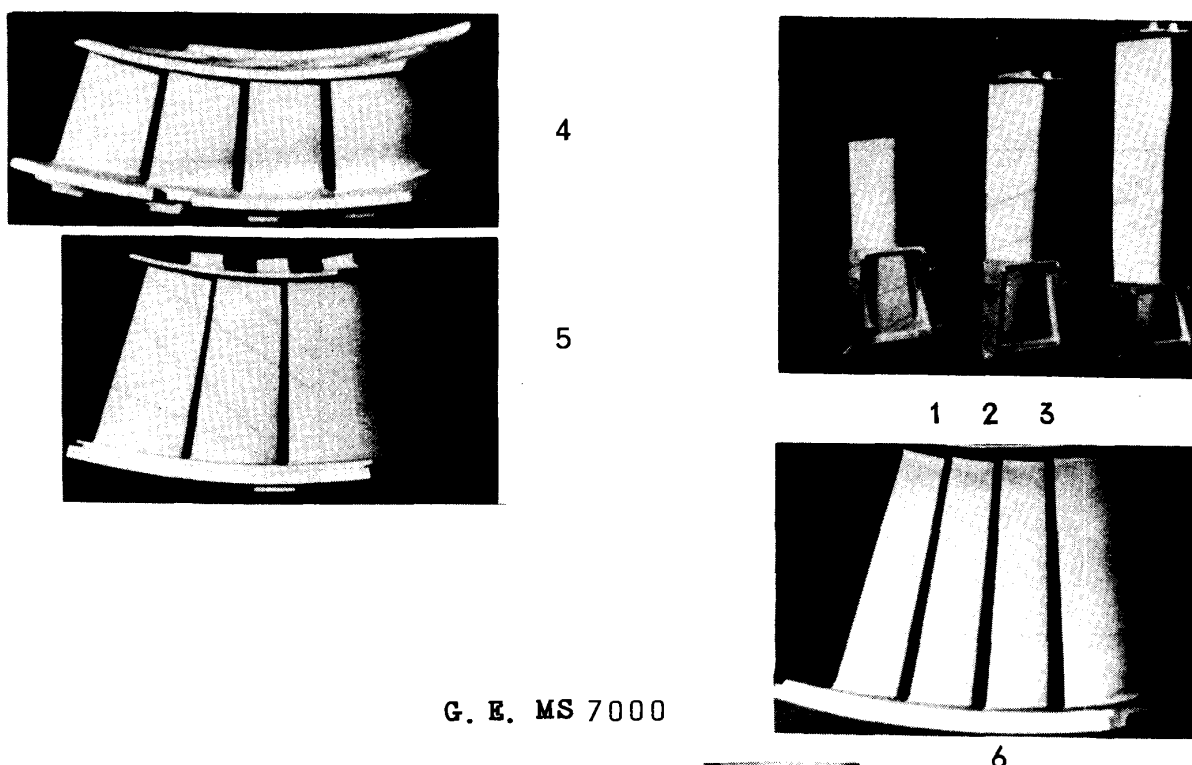


W-501

写真7 W-501 ガスタービン用ノズルセグメント

写真8は、GE社のMS7000のタービン動翼およびノズルセグメントである。1段動翼は、中空形状のU-700 casting 材が使用されて居り、2段~3段動翼はソリッドブレードで、U-700 およびU-500 casting 材を採用している。いずれも真空溶解、 casting で作られる。

一方1段ノズルセグメントは、4枚の中空翼をもつ冷却ノズルで、X-45機を改良したFSX-414合金が使用されている。このFSX-414はGE社で開発された合金で、



- |                      |                        |
|----------------------|------------------------|
| 1. 1st Blade 813E129 | 4. 1st Segment 772E776 |
| 2. 2nd Blade 772E152 | 5. 2nd Segment 773E114 |
| 3. 3rd Blade 772E153 | 6. 3rd Segment 772E292 |

写真8 G. E. MS 7000 ガスタービンとタービン動・静翼

図3～4に示すごとく、X-45材の高温強度を改良せしめたばかりでなく、Cr含有量が5%多いことから、高温における耐食性を改善した点に特色がある。<sup>(4)</sup> 第2段ノズルセグメントにも同じFSX-414を使用しているが、第3段ノズルはLCN-155を使用している。

BSTの最新型ノズルは、複雑な冷却孔を有する冷却翼に設計されているが、高温における熱疲労や強度の向上のみならず、燃料に対する耐食性の向上のために、従来のU-500やU-700に代えて、Inco 738材を採用し始めている点が注目値しよう。この合金は耐クリープ破断強さは713とIN-100の間であり、両者より耐酸化性は優れてい

る。

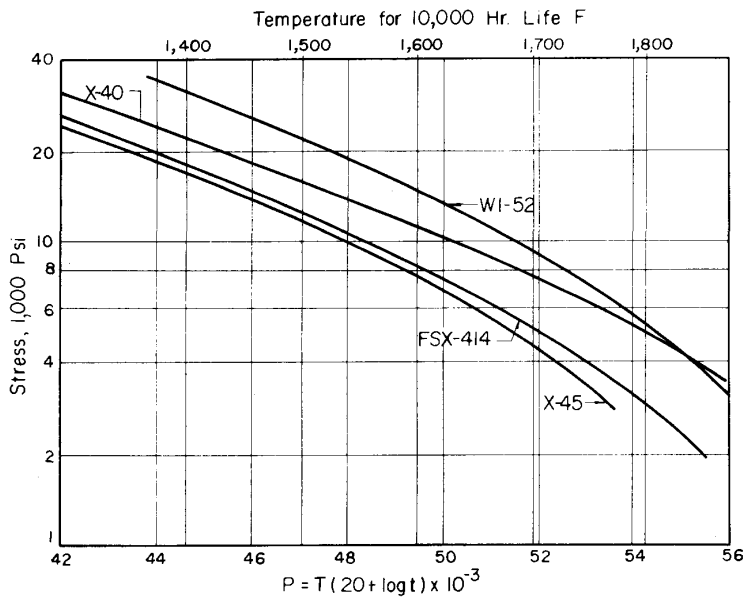


図3 FSX-414材のストレス  
ラプチャー強度

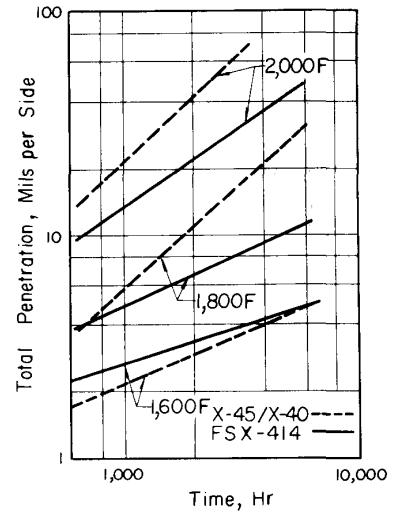


図4 燃焼ナチュラル・  
ガスに対する耐酸化性  
の比較

#### 4. むすび

各種の耐熱合金が開発されて来たが、タービン入口温度の上昇は、毎年20°Fの割合で上昇しており、鑄造合金の改良のみではとてもその温度上昇に追いつかぬことになって来た。その意味で、近年における冷却翼の発展は、タービン入口温度の上昇を可能ならしめた最大の原動力あり、材料面での改善、耐熱コーティングの採用とともに、現代におけるガスタービンの発展の基礎となっている。今后は、指向性凝固鑄造技術も加わり、更に有効な鑄造合金が改良され、開発されると期待される。

#### 参考文献

- (1) Howard C. Cross, Metal Progress March, 1965 P 73
- (2) F.R. Morral, L. Habraken, Metals Engineering Quarterly ASM May, 1965 P 14
- (3) C.P. Sullivan, J.D. Varin and M.J. Donachie, Metals Engineering Quarterly ASM May, 1965 P 17
- (4) Allan D. Foster and Chester T. Sims, Metal Progress, July, 1969 P 85

# 資料

## ガスタービン生産統計（その1）

統計作成特別委員会

委員長 佐藤 玉太郎

日本ガスタービン会議では設立当初からガスタービン界の情報蒐集と管理もその重要な使命として考えられて参りましたが、そのうちでも生産統計の作成は最重要なものの一つとして各方面からその早急な着手方を要望されて来ました。

そのため佐藤（鋼管）のほか、三輪光砂（船研、のち日立造）吉識晴夫（東大生研）本間友博（東芝）の各氏を委員として統計作成特別委員会を設立し、47年8月1日の第一回打合せ会から数回の会合を経て用紙の様式やデータ整理の仕方を決定し、48年1月上旬に統計作成作業を完了しました。なお途中から航空用ガスタービン統計のため石沢和彦氏（石播）の委員委嘱をいたしました。

本年度の統計データ蒐集および集計は下記の方針によりおこないました。

- A 本年は第一回であるので47年度のみでなく過去のものも全て包含することとし、既に廃棄処分されているものについても御記入願うこととした。ただし年度は1月より12月迄です。
- B ガスタービンは航空用ジェットエンジンも含み、全てを対象とした。ただしターボチャージャーとガスエキスパンダーは除外した。
- C 用途としてはすべてを含み、試作用や実験用のものも集計した。
- D 部品を購入して組立てる場合も対象とした。

以上のごとき方針で47年度末に各社からデータを頂いて集計を行いました。集計結果は紙数其他の都合で本号には47年度分のみをのせ、過去全てについての生産統計の集計結果は次号に「その2」としてのせざるを得ないことになりましたので会員皆様の御了承をお願いいたします。なお集計作業上幾つかの問題点がありましたので、下記の注を参照の上集計結果をごらん下さい。

注1) 陸船用と航空用は全く別個に集計を行なった。ただしジェットスターター用ガスタービンは陸船用に分類した。

資 料

注 2) 陸船用の場合、1ユニット当り1,000PS以上と以下とに大別して算出し、ユニットサイズの状況を見る目安とした。全体として出力単位はKWであるのに、この分類のみPSを使用したのはSAWYER'S GAS TURBINE CATALOGUEに掲載する都合を考慮したためである。なおKW、PS等は全てメートル単位である。

注 3) 出力、燃費等は760mmHg、15℃を基準条件とした。

注 4) 各表で総合計出力が最小桁において幾分異っているものもあるが、これは集計の際の四捨五入の仕方に起因するものであり、止むを得ないものとする。

注 5) 実験用、試作用のものについてはそのような用途分類は行わず、別の観点から、例えば船用、発電用等として分類した。

注 6) メーカー各社の御協力により、一応国産ガスタービンのデータは網羅することができたが、自動車会社のなかで開発中であるので仕様は未だ流動的であるとの理由でお断わり頂いたところが数社あった。

以上のごとく集計した結果、別表の通りとなりましたが、初めての事でもあり種々至らない点が多かろうと思われまますので大方の御批判をいただいて今後公式統計としての権威を高めるべく努力してまいりたいと存じております。

終りに業務繁多中にもかかわらずデータ作成に御協力下さった各ガスタービンメーカーの皆様に厚く感謝申し上げますと共に、来年度からまたよろしく御協力下さるようお願い申し上げます。

○陸船用ガスタービン

表 1 昭和47年度用途別生産台数及び出力(KW)

用 途	コード	999PS以下		1000PS以上		全 出 力	
		台 数	出 力	台 数	出 力	台 数	出 力
ベースロード発電用	B L	0	0	19	424250	19	424250
尖頭負荷発電用	P L	0	0	14	418300	14	418300
商 船 用	M	0	0	2	2530	2	2530
艦 艇 用	M M	0	0	2	2979	2	2979
空気クッション艇用	H C	0	0	8	6266	8	6266
起 動 用	J S	10	1839	0	0	10	1839
合 計		10	1839	45	854325	55	856164

表2 昭和47年度燃料別生産台数及び出力(KW)

燃 料		999PS以下		1000PS以上		全 出 力	
		台 数	出 力	台 数	出 力	台 数	出 力
ガス燃料	天 然 ガ ス	0	0	3	90000	3	90000
混 焼	天 燃 ガ ス / 軽 油	0	0	11	263400	11	263400
液体燃料	ジ ェ ッ ト 燃 料 4 号	10	1839	0	0	10	1839
	軽 油	0	0	14	308450	14	308450
	重 油 1 種	0	0	3	31630	3	31630
	原 油	0	0	2	31600	2	31600
	灯 油 な い し 軽 油	0	0	2	120000	2	120000
	ジ ェ ッ ト 燃 料 4 号 な い し 軽 油	0	0	10	9245	10	9245
	小 計	10	1839	31	500925	41	502764
固形燃料		0	0	0	0	0	0
合 計		10	1839	45	854325	55	856164

表3 昭和47年度地域別納入台数及び出力(KW)

地 域		999 PS以下		1000PS以上		全 出 力	
		台 数	出 力	台 数	出 力	台 数	出 力
国内向け	関 東	0	0	1	29100	1	29100
	近 畿	0	0	2	120000	2	120000
	移 動 型	10	1839	12	11775	22	13614
	小 計	10	1839	15	160875	25	162714
輸出向け	北 米	0	0	7	163650	7	163650
	南米及び西印度	0	0	8	190000	8	190000
	中 近 東	0	0	11	260700	11	260700
	ア ジ ア 及 び 極 東	0	0	4	79100	4	79100
	小 計	0	0	30	693450	30	693450
合 計		10	1839	45	854325	55	856164

表4 昭和47年度被駆動機械別生産台数及び出力(KW)

被駆動機械	コード	999PS以下		1000PS以上		全出力	
		台数	出力	台数	出力	台数	出力
発電機	G	0	0	35	845080	35	845080
空気圧縮機・送風機	A C	0	0	8	6266	8	6266
推進機(回転翼)	PRR	0	0	2	2979	2	2979
抽気利用	A B	10	1839	0	0	10	1839
合計		10	1839	45	854325	55	856164

表5 昭和47年度出力区別生産台数及び出力(KW)

出力区分(PS)		台数	出力
999PS以下	0~99	0	0
	100~199	0	0
	200~299	10	1839
	300~499	0	0
	500~699	0	0
	700~999	0	0
	小計	10	1839
1000PS以上	1000~1799	10	8796
	1800~5999	2	2979
	6000~9999	0	0
	10000~13999	0	0
	14000~17999	0	0
	18000~21999	9	142000
	22000~25999	2	33700
	26000~29999	0	0
	30000~59999	19	487850
	60000~	3	179000
小計	45	854325	
合計	55	856164	

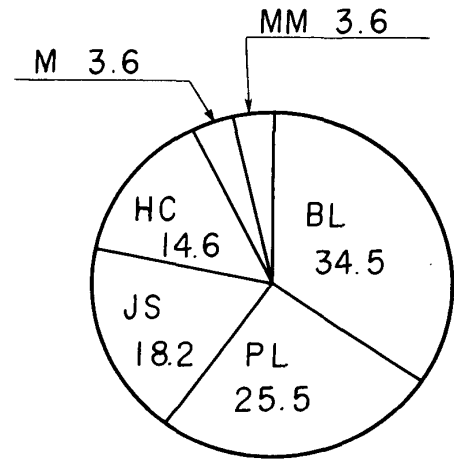


図1 昭和47年度用途別台数割合(%)

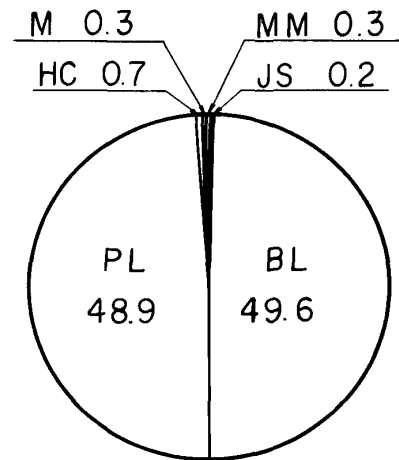
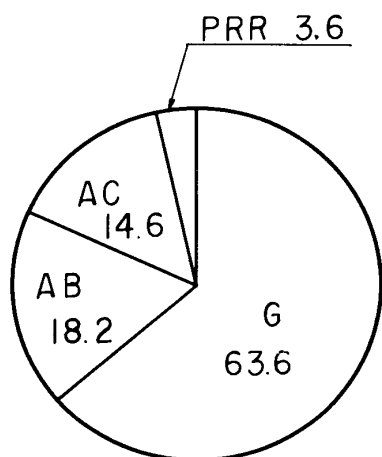
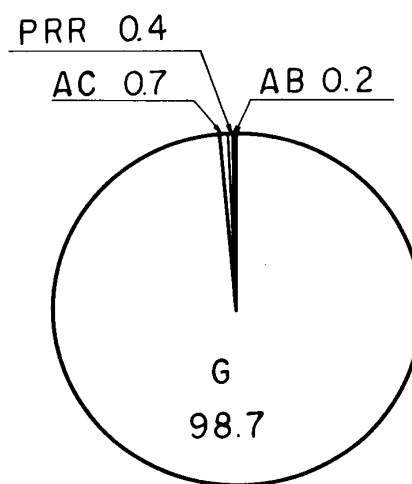


図2 昭和47年度用途別出力割合(%)

表6 昭和47年度発電用ガスタービンの用途別生産台数及び出力(KW)

発電用途	コード	999PS以下		1000PS以上		全出力		
		台数	出力	台数	出力	台数	出力	
事業用	ベースロード	B L	0	0	4	79100	4	79100
	尖頭負荷	P L	0	0	14	418300	14	418300
	緊急用	E M	0	0	0	0	0	0
	小計		0	0	18	497400	18	497400
自家用	ベースロード	B L	0	0	15	345150	15	345150
	尖頭負荷	P L	0	0	0	0	0	0
	緊急用	E M	0	0	0	0	0	0
	小計		0	0	15	345150	15	345150
その他(*)		0	0	2	2530	2	2530	
合計		0	0	35	845080	35	845080	

(\*) 商船で発電機を駆動するもの

図3 昭和47年度被駆動  
機械別台数割合(%)図4 昭和47年度被駆動  
機械別出力割合(%)

資 料

○航空用ガスタービン

表7 昭和47年度ターボジェットエンジン生産台数及び推力(Kg)

生産台数	59	推力合計	351400 <sup>(*)</sup>
------	----	------	-----------------------

(\*) 最大推力

表8 昭和47年度ターボシャフト／ターボプロップエンジン生産台数及び出力(PS)

用途	999 PS 以下		1000 PS 以上		全出力	
	台数	出力	台数	出力	台数	出力
固定翼機	0	0	55	129250	55	129250
ヘリコプター	33	20936	44	47668	77	68604
補助機関駆動	0	0	6	7602	6	7602
合計	33	20936	105	184520	138	205456

追 記

当初の予定では本会報に集計結果のみでなく各社のオリジナルデータも載せる事になっておりましたが、発刊予算の関係で残念ながらできなくなってしまいました。しかしオリジナルデータには燃費や構成等の貴重なデータが記入されており、大変有益でありますので、次号の会報に全年度の統計結果を集計採録したのち、このオリジナルデータもまとめてコピーを希望者に頒布する予定でありますので何卒御利用下さい。

# 研究速報

## タービン翼列における空力的減衰力に関する一実験

東京大学宇宙航空研究所 花村 庸治

翼列フラッタの研究は当初は主に航空機用ガスタービンを対象として進んで来たが、近年は地上用ガスタービンにおいても、高速化並びに長大スパンの翼列使用による翼固有振動数の低下によって、その振動問題に関する研究は一層重要性を増して来たと言える。

翼列フラッタの研究で先ず問題となるのは、その翼列の振動時の空力的減衰特性である。これに関しては理論的には、二次元、非圧縮、非粘性の限りでは、翼列の諸要素を入れた計算結果が従来も種々と発表されており、複雑な翼列フラッタの性格の解明もかなり進んで来ている<sup>(1)~(7)</sup>。一方実験的資料に関しては、従来も部分的な資料の発表はいくつかあるが、未だ理論計算の場合ほどには整備されていない。勿論翼列実験ではその影響要素の多様性から全てのケースを網羅することは不可能であるが、ここに今回一般により起りやすいと云われる振りモードの振動について、翼列条件、振り軸の位置を変えた時の空力的減衰力の資料が一応揃ったので、近々発表しこの種資料の整備の一助にしたいと思う。実験装置に関しては文献(1)を参照され度い。今回振り軸の位置を変えて実験を行なった事には二つの目的がある。一つは図1の様にフラッタ速度は翼の振り軸の位置によって著るしく変化するので、これに対する理論値と実験値との対応と云う意味からで、他の一つは、二つの振り軸の位置に対する振動時の変動揚力及びモーメントが分ればこれより並進振動をする場合及び任意の振り軸の振り振動をする場合の変動揚力及びモーメントを算出出来(計算式は附記に示すように簡単である)、曲げ、振り並びにそれ等の連成フラッタの実験資料を整備出来ると云う利点をもつ。各実験結果を本稿にて検討することは不可能なので、ここでは最もフラッタの起り易い場合に対しての一例をかかげ、全体としての傾向の概略を述べることにする。一般に翼列ではタービン翼列の方がコンプレッサ翼列よりも、又タービン翼列でも、負荷、食違い角、弦節比等が大きい場合の方がフラッタは起りやすく、又その場合、図1に示されているように振り軸の位置が著るしい影響を及ぼす。この傾向については今回の実験結果からもこの通りであることが証明出来た。次に実験値が量的にどの程度理論値と合致するかと云うことも興味ある問題であるので、その一例を図2及び3に示す。図2及び3は図1とそり角

が少し違うが、非常にフラッタの起りやすいタービン翼列で、振り軸の位置も図1からも分るように最も危険な75%弦長点にある。この二枚の図からも分るように、又他の場合も含めて一般に云えることは、減衰モーメントの翼振動に対する位相差( $\phi_M$ )の、無次元振動数( $k = c\omega/W_1$ ,  $C$ :翼弦長,  $\omega$ :円振動数,  $W_1$ :主流速度)及び隣接翼間振動位相差( $\beta$ )に対する変化は、理論と実験とがかなり良い合致を示す。このことはフラッタ限界における $k$ の値即ちフラッタ速度の値は、翼の機械的減衰が小さい場合は、理論的推測値も実験値と大差ないこと、並びに翼列としての振動モード( $\beta$ の値)も理論通りであることを示している。一方減衰力モーメントの大きさ $C_M$ の理論値と実験値は傾向的には似ているが、絶対値は実験の方が小さめに出る。このことは翼の機械的減衰を考慮した場合、フラッタ限界を与える $k$ の値の理論的推察値は実際よりも高め(危険側)に出ることを意味する(励振エネルギー  $C_M \sin \phi_M$  が大きくなるから)。尚振動時の変動揚力 $C_L$ についてもモーメントと同様に、変位に対する位相差 $\phi_L$ は理論と実験の合致が良いが、絶対値の方は実験値の方が低く出る。この様に理論と実験の絶対値のずれる傾向は、振り軸が前の方にある場合の方が、又その場合も無次元振動数 $k$ の高い方が大きい。このことから類推を進めると、後縁の振れる速度が主流速度に対して相対的に大きくなるにつれて、理論計算において循環決定に拘束を与えている後縁における $kutta$ の条件

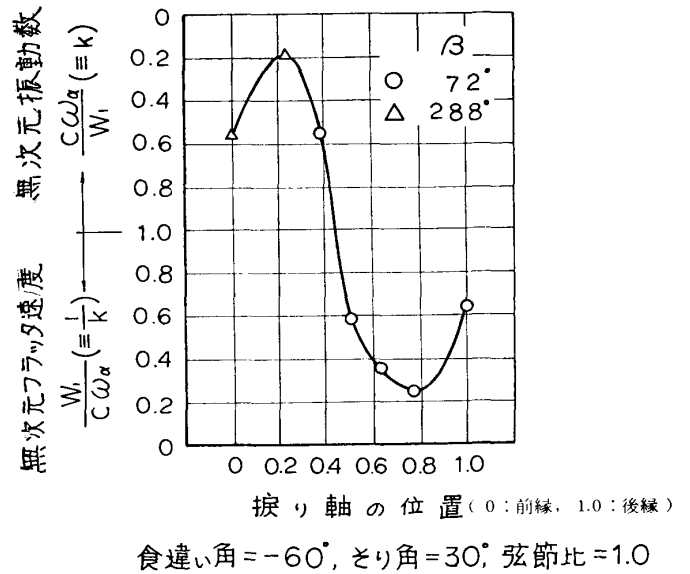


図 1

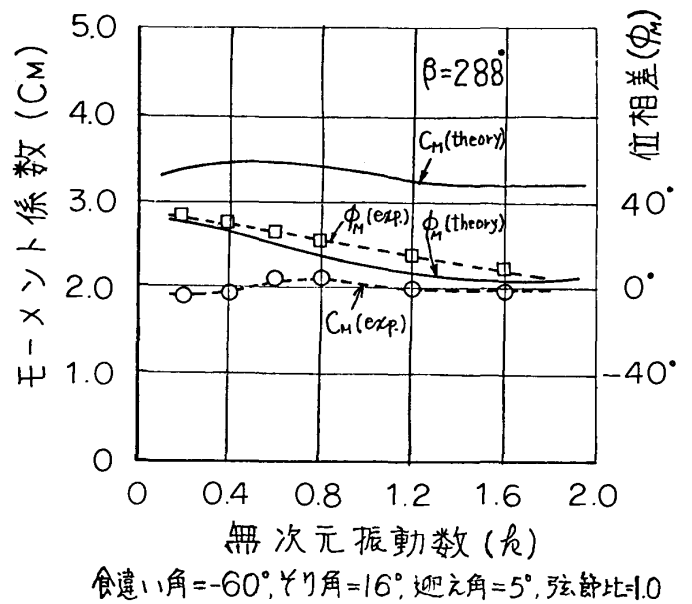


図 2

が完全には充たされなくなるのではないかと思われる。この点今後の研究に一つの示唆を与えるものと思われる。

尚この変動モーメントの絶対値  $C_M$  の大きさの実験値は測定時の振動振巾に対する依存性もかなり強く、このことはフラッタが発生した際にある振巾に止まること即ちリミットサイクルに達することと対応し、これは実際に風洞でフラッタを起させた場合にも観察されるところである。

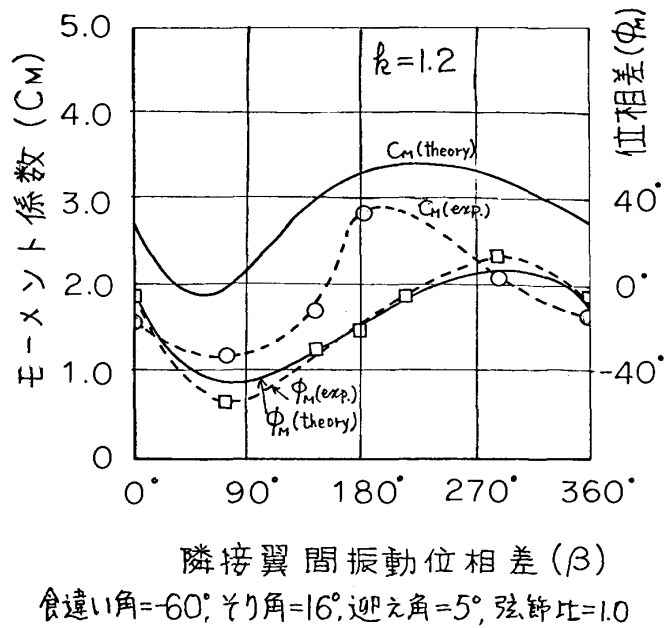


図 3

附記：並進振動における変動揚力及びモーメントの換算式。添字  $h$ ,  $\alpha$  は並進及び振り振動を,  $a$ ,  $b$  は振り軸が  $a$  及び  $b$  であることを示す。

$$C_{Lh} = (C_{L\alpha b} - C_{L\alpha a}) / (b - a)$$

$C_{Mhb}$  ( $b$  点まわりの並進振動によるモーメント)  $= (C_{M\alpha b} - C_{M\alpha a}) / (b - a) - C_{L\alpha a}$   
 尚  $C_{M\alpha a}$  等は  $\bar{\alpha} | C_{M\alpha a} | \exp \{ i(\omega t + \phi_{M\alpha a}) \}$  の如く複素数である

但し  $\bar{\alpha}$ ,  $\bar{h}$  等は振り及び並進振動振巾である。

又本文図中の  $C_M$  は  $\frac{1}{2} \rho W_i^2 C^2 \bar{\alpha}$  ( $\rho$ : 流体密度,  $l$ : 翼長さ) で無次元化してある。

参 考 文 献:

- (1) 花 村・田 中, 機械学会論文集, 32-244(昭41-12), 1823
- (2) " " , " 33-247(昭42-3), 377
- (3) Y.Hanamura, ISAS(Univ. of Tokyo) Rep.No. 459, (Vol.36, No.1) (1971)
- (4) Y. Tanide : Trans. J. S. M. E. Vol. 29, No.198, P321, 332, 312
- (5) J. Shioiri : Bull. Gov. Mech. Lab. Vol. 3 (1954)
- (6) " : Trans. J. S. A E. Vol. 1. No.1 (1958)
- (7) D. S. Whitenead : R & M. No. 3386 (1965)

## 遠心圧縮機の性能特性におよぼす レイノルズ数の影響

渡 部 一 郎  
慶応義塾大学工学部 有 賀 一 郎  
真 下 俊 雄

### 1. 緒 言

近年益々遠心圧縮機の高性能化がすすみ、その用途別適用範囲も広がっている。すなわち化学工業などでの異種ガス中ではもとよりガスタービンなど作動条件の異なる大気中における運転がしばしば行われている。この場合の性能推定に大気中の諸結果を用いると当然使用条件への性能換算を行わなければならない。これに関与する多くの諸因子があるが、現状ではその各々が圧縮機性能とどのような相関関係にあるか未だ十分に明らかにされていない。著者らの研究室においてはこれに着目し、とくにレイノルズ数の影響に対する系統的な研究を続けており、本報告でその一端を紹介する。

レイノルズ数と圧縮機の断熱効率  $\eta$  との関係は一般に次のようにあらわすことが知られている。

$$\frac{1 - \eta}{1 - \eta_{cr}} = a + b \left( \frac{Re u_2 cr}{Re u_2} \right)^r$$

ここで  $Re u_2 = D_2 u_2 / \nu_0$  ( $D_2$  : 羽根車外径,  $u_2$  : 羽根車外周での周速度,  $\nu_0$  : 吸込側よどみ条件における気体の動粘性係数),  $a, b$  は各々損失割合中  $Re u_2$  に無関係な項と関係あるものの係数を示す ( $a + b = 1$ ),  $r$  は  $Re u_2$  に関係ある項の指数である。添字  $cr$  は臨界値を表わす。 $r$  の値は各研究者により種々に選ばれているが、著者らはディフューザ、段全体に対しては  $r = 0.2$ 、羽根車内においては流路がきわめて短いことから  $Re < 5 \times 10^5$  での平板における損失に対する  $r = 0.5$  を採用することにした。

### 2. 実験装置および実験方法

実験に用いている遠心圧縮機は片側および両側シュラウド各直線放射状羽根羽根車、前向き、後向き羽根羽根車などであり、その一例を図 1 に示す。また実験装置の概略は図 2 のようなものである。レイノルズ数を変えるには圧縮機管路系を閉回路とし、圧縮機入口前に設けたサージタンク内の空気の温度を一定に保ち、サージタンク内圧力を  $0.25 \sim 1 \text{ atm, abs.}$  の間で変化させてレイノルズ数を変える方法を用いた。各部の測定に際して羽根車、ディフューザ出口では流れ方向、全圧力などの非軸対称性を考慮し、同一円周上での測定値を平均したのを用い、静圧力、全圧力などは羽根車出口羽根高さ方向に変化していないことを確かめて代表値を測

定した。

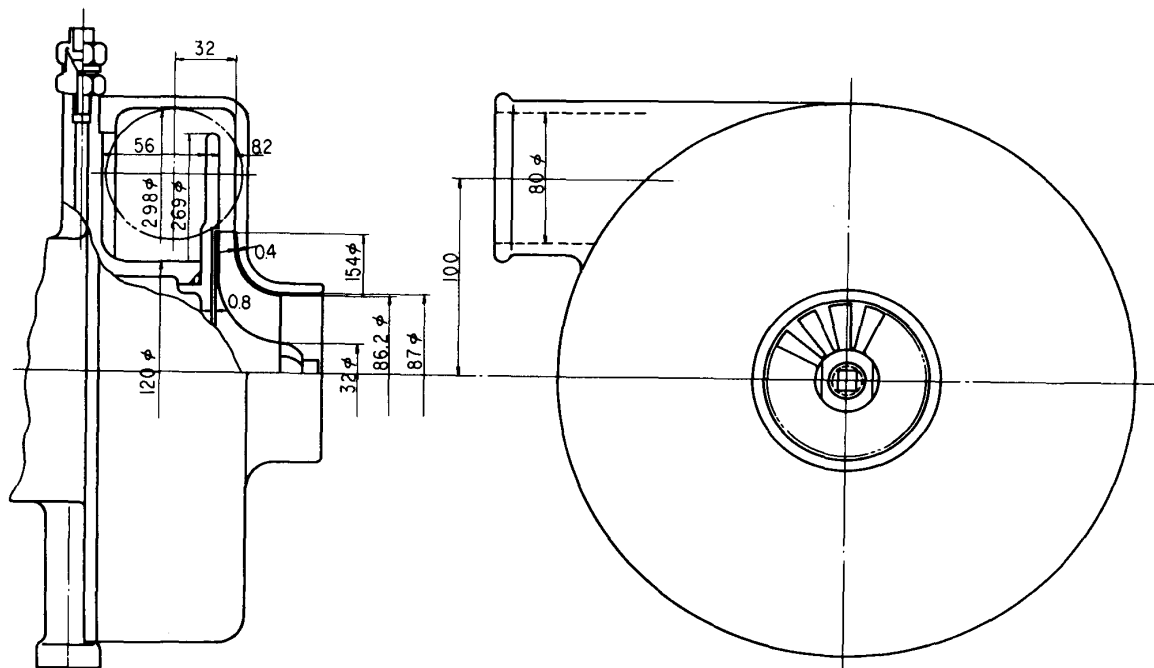


図1 供試遠心圧縮機

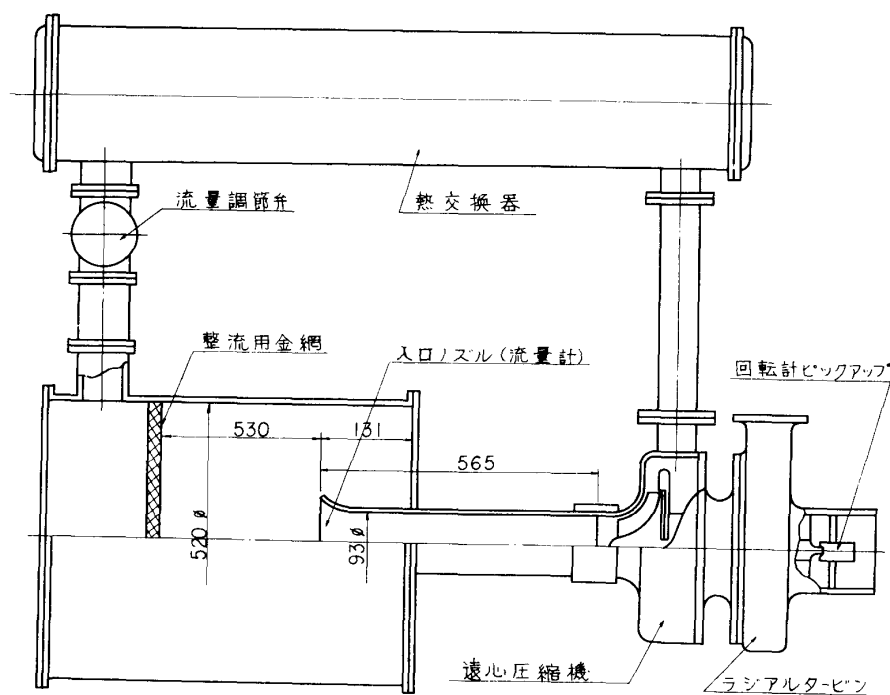


図2 実験装置

3. 実験結果およびその考察

レイノルズ数として一般に  $Re_{u_2}$  をとる場合が多いが、圧縮機各構成要素に対応し、また羽根車形状に応じて基準速度を適当に選んだレイノルズ数を用いるのが合理的である。すなわち羽根車入口の絶対速度を基準とした  $Re_{c_1}$ 、相対速度を基準とした  $Re_{w_1}$ 、羽根車出口における絶対および相対速度を基準にとる  $Re_{c_2}$ 、 $Re_{w_2}$ 、また羽根車内でレイノルズ数の変化の様子が運転条件によって異なることを考慮して  $Re_{c_1}$ 、 $Re_{c_2}$ 、と  $Re_{w_1}$ 、 $Re_{w_2}$  との各算術平均  $Re_{cm}$ 、 $Re_{wm}$  などをとることが考えられる。片側シュラウド羽根車に対しては、羽根車内の摩擦損失の観点から  $Re_w$  より  $Re_c$  を用いるのがよく、 $Re_c$  も羽根車内で大きく変化するため、 $Re_{cm}$  をとる方が合理的である。実験結果より羽根車断熱効率  $\psi_2 / \mu$  ( $\psi_2$ : 羽根車圧力係数,  $\mu$ : すべり係数) に対する限界レイノルズ数  $Re_{cmcr}$  は  $0.9 \sim 1.2 \times 10^5$  程度である。なお圧縮機段当り断熱効率に対する限界レイノルズ数  $Re_{cmcr}$  は  $0.9 \sim 1.3 \times 10^5$  程度となった。一方両側シュラウド羽根車では流路内損失は相対速度に関連するので  $Re_{wm}$  をとるのが合理的である。図3は  $Re_{wm}$  と  $\psi_2 / \mu$  の関係の一例を示し、両側シュラウドと片側シュラウド各羽根車と比較したものである。これより限界レイノルズ数の値は本実験の範囲では、両側シュラウドで  $Re_{wmc r} = 3.7 \sim 4.7 \times 10^4$  程度、片側シュラウドでは  $Re_{wmc r} = 4.2 \sim 5.5 \times 10^4$  程度であることがわかる。なお両側シュラウド羽根車の場合の圧縮機段に対する限界レイノルズ数

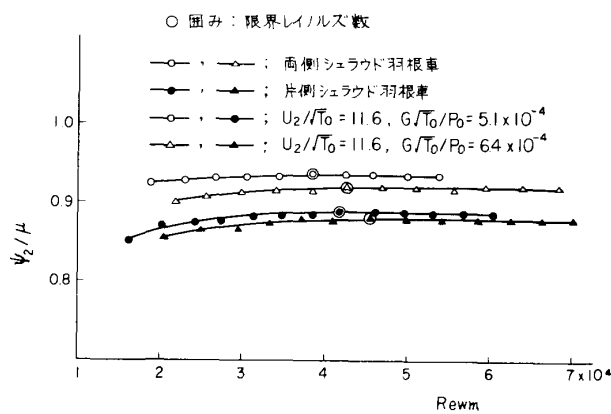


図3 レイノルズ数  $Re_{wm}$  と羽根車効率  $\psi_2 / \mu$  の関係

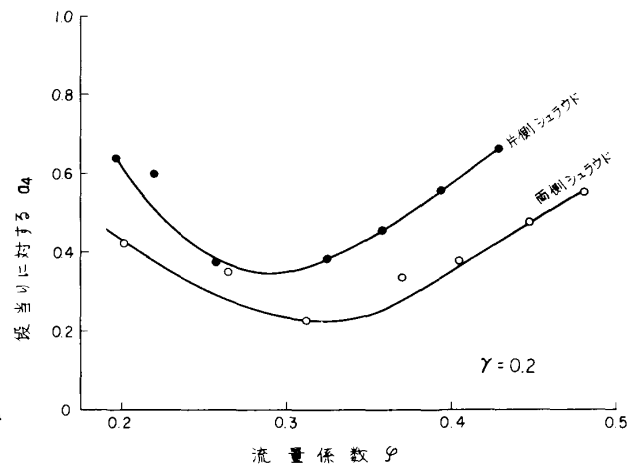


図4 流量係数  $\phi$  と圧縮機段の損失割合  $a_4$  の関係

$Re_{u_2 cr}$  は  $7.3 \sim 1.0 \times 10^5$  程度となった。図4は圧縮機段当りに発生する損失の中でレイノルズ数に依存しない損失割合  $a_4$  と流量係数との関係を示したものである。これより  $a_4$  の値は、片側シュラウド羽根車の方が両側シュラウド羽根車より大きい値を示している。この場合

ケーシング，羽根間の漏れ損失の有無が両羽根車の形状上の相違に起因するもっとも大きなものと考えられ，この漏れ損失はほとんどレイノルズ数に関係しない点から，両者の  $a_4$  に差が生じたものとみられる。また  $a_4$  の最小値はおよそインデューサに無衝突流入する際の流量係数と対応する。

一方羽根車の羽根形状が圧縮機内損失にどのように影響し，またその損失とレイノルズ数の間にいかなる相関関係が存在するかについて，前向き，後向き羽根各羽根車を用いて実験中であるが，後向き羽根の場合  $Re_{cr}$  は直線羽根にくらべ小さい値をとるようである。

#### 4. 結 論

1) 片側，両側シュラウド直線放射状羽根各羽根車に対する臨界レイノルズ数を効率などに関係づけ求めた

2) さらにレイノルズ数に依存しない損失割合の比較を行った

現在羽根形状による影響を調べているが，さらに個々の損失機構とレイノルズ数の相関を詳細に調べる管路モデル実験を計画している。

### 正 誤 表 ( 第 1 号 )

ページ	行	種 別	正	誤
58	6	ニュース	6 千 円	6 阡 円
69	1	報 告	第 1 回 評 議 員 会 報 告	第 1 回 評 議 員 会 報 告
"	5	"	削 除	
"	19	"	若 葉 章	若 葉 章
70	13	"	古 浜 庄 一	吉 浜 庄 一
"	"	"	渡 辺 哲 郎	渡 部 哲 郎
71	11	"	Newsletter	Newsletter



## ケンブリッジ大学に留学して

九州大学工学部 難波昌伸

私は昭和46年2月末より約1年半にわたり英国ケンブリッジ大学に留学する機会を得た。周知のようにこの大学は世界有数の伝統ある大学の一つであり、さらにターボ機械の内部流れに関する研究も盛んとあって、最近では私の前に東大の谷田助教授と高田教授、また同時期に永野助教授が長期滞在されている。したがってケンブリッジについてはすでに詳細な情報を得ておられる人も多いと思うが、あえてここに私の極めて一面的な見聞記をつづることにする。

ケンブリッジ大学はオクスフォード大学と同様に30近くのカレッジの集合体として成り立つという特異な構成をもっていることは御承知の方も多いと思う。一方カレッジとは独立に学部という単位の組織があるが、これはいずれかのカレッジに属する教官および学生が集まり寄って共通の仕事をする場所であると考えればよい。工学部(Department of Engineering)は最大の規模の学部であって、教官数約90名、学部学生(3学年)約770名、大学院生約170名という構成をもっている。ただしこの工学部では応用化学、冶金学および建築学の分野の教育研究は行なわれない(これらはそれぞれ独立なDepartmentとして存在する)。この工学部が日本の工学部と大変違っていることの一つは、それがさらに学科という単位に細分されていないことであろう。学生は第1および第2学年ではほぼ共通の学年末試験を受け、最終学年では、Structure and Materials, Fluid Mechanicsなどのいくつかのグループの科目のうちから原則的には任意の4科目の試験を選択してそれに合格しなければならない。このことから推察されるように教育内容は余り専門に深入りしない。このようにあわてずあせらず基礎を徹底的に固めてかゝるという態度は英国人の一般的気質であろうか。しかし教育を受ける学生の立場から見れば、航空あるいは機械という専門の縦系をたどって基礎学問を身につけていく方式の方が問題意識がはっきりして勉学に対する熱意を促進し易いという利点があるように思う。このことについてケンブリッジの教官の一人に意見を求めたことがあるが、頭の悪い学生には後者の方法の方がよからうというしゃあしゃあとした答が返ってきた。ケンブリッジの学生が必ずしも頭のよい者ばかりとは思えないのであるが。

一方において大学院 (Research Student Course) では、学生は Ph.D. あるいは M.Sc. (Master of Science) を取得するためにそれぞれ 3 年あるいは 2 年を研究に費やす。ただし Ph.D. と M.Sc. は併立していて、後者が前者のための必要条件というわけではない。大学院では講義を受ける必要はなく、いきなり指導教官のもとでテーマを決めて研究を始めることになるので前述の学部での教育方式からの飛躍が甚だしいように思われる。はたして学部卒業後の 3 年間で Ph.D. を取るためにある特定の問題の研究にのみ費やすことには無駄が多いという声の主として産業界から強く発せられ、大学院での教育方式の改革の動きが見られる。

私はケンブリッジ滞在の前半は工学部の Main Building の最上階にある Visitors Room の一角に机をもらった。ケンブリッジには Sabbatical Leave を利用して訪ずれる外国人学者が多く、この部屋にも常時 4-5 人の外国人が同居していた。そのうちにはたとえば、R.J. Goldstein 教授 (ミネソタ大, 伝熱学), B.E.L. Deckker 教授 (サスカチワン大, 燃焼学) などがいた。週一回行なわれるセミナーには専ら外国人訪問者がしゃべられる羽目になる。

流体力学に関しては工学部とは独立な学部である Dept. of Applied Mathematics and Theoretical Physics に J.K. Batchelor 教授および Sir James Lighthill 教授の両雄が君臨しており、そのセミナーにも出向いたものであるが、そこでは専ら流体物理学と称するにふさわしい問題が取り扱われ、私には大変難解であった。

さてケンブリッジ滞在の後半は Hawthorne 教授や Horlock 教授の要望で新設の SRC Turbomachinery Laboratory で仕事をするようになったが、こゝで奇しくも東大の永野助教授および同じく東大から大学院生として留学中の長島利夫君と毎日顔を合わせる羽目になった。この研究所はケンブリッジの郊外にあって、Science Research Council (SRC) からの資金で建設されたものであるが、資金調達には初代 Director である Horlock 教授の手腕に負うところ大のようである。こゝには工学部における旧来のターボ機械関係の実験設備が集められ、さらに従来なかった高速翼列実験設備が新たに設置されつつある。実験室は防音用二重窓と換気装置を完備し、特に騒音の大きい高速流用空気源設備は地下室に設置されている。カーペットが敷きつめられた居室は大変快適であり、窓外に目をやれば 5-6 m のところに牛や羊の群がのんびりと草を食んでいるといった調子である。

現在の人員構成は 8 人の研究員、約 10 人の技術職員それに約 15 人の大学院生および研究生といった規模である。研究員の大部分は工学部教官を兼務し、そのうちでも Hawthorne 教授、Horlock 教授および Whitehead 博士が著名である。Hawthorne 教授は二次流れ理論で有名であるが、工学部長、MIT の兼任教授、Churchill College の Master とい

## 見 聞 記

り要職にあって、研究にはなかなか手が廻りかねるようで、めったにこの研究所に姿を見せない。昨年来日したDirectorのHorlock教授は、特に三次元乱流境界層に興味をもっているようであるが、どちらかといえば何にでも手を出すgeneralistであって、多くの大学院生をかゝえ、また一方工学部副部長でもあってこれまた大変多忙である。非定常翼列およびノイズの研究で知られるWhitehead博士は、現在翼列の非線型振動および超音速翼列フラッタなどを手がけている。

一般に英国人は公私共に生活態度は悠々としていて、夏にはたっぷり一ヶ月の休暇をとって姿を消す者が多く、研究論文も量より質を重んずる。この態度はたちまち忘れ去られてしまうと思われるような論文が洪水の如く生産されている現代にあっては見習うべきことであるかも知れない。

私はケンブリッジ滞在中に特にHawthorne教授とWhitehead博士の深い理解と強力な支援を得て、遷音速回転翼列の揚力面理論をまとめることができた。一般に研究指導者には、けなし屋と賞め屋とがあるが、私のせまい経験からいけば日本には前者が、英国には後者が多いような気がする。

ケンブリッジでは私の家族一同いろいろな人に大変親切にいただいた。当地を去る前日やっと旅の準備を終え、八月の終りとはいえずでに秋の気配を感ずる澄み切った青空のもとでケム川での最後のパント(平底小舟)乗りを家族三人で楽しんだことも、再び日本の大学生活に戻っては夢の如き思い出となった。

## ア メ リ カ 留 学 記

小松製作所 外山浩介  
技術研究所

ボストンの北約200 km, ダートマスカレッジのあるハノーバと云う小さな学園町にDr. Deanの主宰する研究所Create Inc.があります。私は一昨年の初め小松製作所の留学生としてアメリカに渡り、一年間の学生生活の後ここCreateで遠心コンプレッサを学んでおります。ここにその留學生活の一部を紹介してみたいと思います。

Dr. Deanについては遠心コンプレッサマンとして、又昨年東京で行われた日本ガスタービン会議主催の特別講演会等で御存知の方も多しと思ひます。CreateはこのDr. Deanを始めとする5人のシニアエンジニア、数名の修士を持つエンジニア、そして10数名のエンジニアリングエイドからなる小さな研究会社です。非常勤としてEmmons(Harvard), Johnston

## 見 聞 記

り要職にあって、研究にはなかなか手が廻りかねるようで、めったにこの研究所に姿を見せない。昨年来日したDirectorのHorlock教授は、特に三次元乱流境界層に興味をもっているようであるが、どちらかといえば何にでも手を出すgeneralistであって、多くの大学院生をかゝえ、また一方工学部副部長でもあってこれまた大変多忙である。非定常翼列およびノイズの研究で知られるWhitehead博士は、現在翼列の非線型振動および超音速翼列フラッタなどを手がけている。

一般に英国人は公私共に生活態度は悠々としていて、夏にはたっぷり一ヶ月の休暇をとって姿を消す者が多く、研究論文も量より質を重んずる。この態度はたちまち忘れ去られてしまうと思われるような論文が洪水の如く生産されている現代にあっては見習うべきことであるかも知れない。

私はケンブリッジ滞在中に特にHawthorne教授とWhitehead博士の深い理解と強力な支援を得て、遷音速回転翼列の揚力面理論をまとめることができた。一般に研究指導者には、けなし屋と賞め屋とがあるが、私のせまい経験からいけば日本には前者が、英国には後者が多いような気がする。

ケンブリッジでは私の家族一同いろいろな人に大変親切にいただいた。当地を去る前日やっと旅の準備を終え、八月の終りとはいえずでに秋の気配を感ずる澄み切った青空のもとでケム川での最後のパント(平底小舟)乗りを家族三人で楽しんだことも、再び日本の大学生活に戻っては夢の如き思い出となった。

## ア メ リ カ 留 学 記

小松製作所 外山浩介  
技術研究所

ボストンの北約200km, ダートマスカレッジのあるハノーバと云う小さな学園町にDr. Deanの主宰する研究所Create Inc.があります。私は一昨年の初め小松製作所の留学生としてアメリカに渡り、一年間の学生生活の後ここCreateで遠心コンプレッサを学んでおります。ここにその留學生活の一部を紹介してみたいと思います。

Dr. Deanについては遠心コンプレッサマンとして、又昨年東京で行われた日本ガスタービン会議主催の特別講演会等で御存知の方も多しと思ひます。CreateはこのDr. Deanを始めとする5人のシニアエンジニア、数名の修士を持つエンジニア、そして10数名のエンジニアリングエイドからなる小さな研究会社です。非常勤としてEmmons(Harvard), Johnston

(Stanford), Mellor(Princeton)と云った一流のバックアップがありますが, Dr. Deanのアイデアと行動力で動いている個人会社と云えるでしょう。

仕事は基礎研究から開発まで, 遠心コンプレッサ, コピーマシン, 鉾山の応力計測装置, それに公害関係と広範囲に及んでいます。将来は独自に研究を進めその結果を売る方向に進むのだそうですが, 現在は主に乗用車用ガスタービンの遠心コンプレッサや過給機を大手会社との契約で開発しています。

私はこのコンプレッサの設計を手伝ったり, 私自身の研究として遠心コンプレッサのサージ関係のテストをしているのですが, ここでもまず第一に学んだ事は真のエンジニアリングと云う事でしょう。そのパターンはどこへ行っても同じですが, 基礎理論や類似例のプリンスiplをいかにうまく実際に適用するかが重要である事を知りました。遠心コンプレッサの設計で例えれば, インペラ内の剝離している流れに単にポテンシャルフローを適用し, 収斂しにくいプログラムに振回されながら速度分布を計算するなど最も非エンジニアリング的と云えましょう。一方これをカーブ定規一つで設計するのもあまりエンジニアリング的ではありません。剝離している事を無視しないで計算の簡単なフローモデルが必要なわけです。この意味でCreateの人々は非常に優れたエンジニアと云えるでしょう。複雑な理論がいざ設計に使われる段になると, 簡素化されしかも要点は押えられた形になっています。広い基礎を学ぶだけでなく, それをいかにうまく使うかを知らなければならない事を痛感させられた次第です。

Iowaでの学生生活を振り返ってみて, アメリカの工学部での教育制度はこの点に力が入れている事に気がつきます。まず学部の授業は基礎を学ぶと云う事で, 極めて集中的かつ強制的, 学生はテスト, 宿題, 予習とギューと云う程勉強させられます。特に演習問題を多く解かされるのが特長で, 自分で問題を解かなければ習った事を実際に使えないと云う思想がある様です。大学院に入ると強制的と云う感じはなくなりますが, 理論を習うと同時に, 実例として大きなプロジェクトを一学期で完成する事が多くなります。中には実際に企業から問題を取って来て, これを学生に解決させると云う極めて実際的なものまでありました。この外にアメリカの大学で感心する事は教授が学生の身になって非常に熱心に教え, 又学生がこれに応え, 非常に良く勉強すると云う事でしょう。

次にCreateで感じるのは人件費が高い事です。大学を出て4~5年のエンジニアの年給がブルーボードクラスの車に換算して6~7台分, 日本ではボーナスを含めてせいぜい2台ですから3倍以上取っている事になります。国全体の生産性が高いためか, 自然資源に恵まれているためか, ともなく人々の生活にゆとりがある事は確かです。国が広大である事も加え, ゆったりとした住宅に住み, 恵まれた自然環境の中で暮している様子は, 我々日本人にとって高嶺の花と云

## 見 聞 記

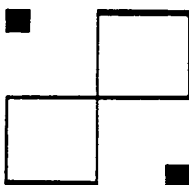
うところでしょう。

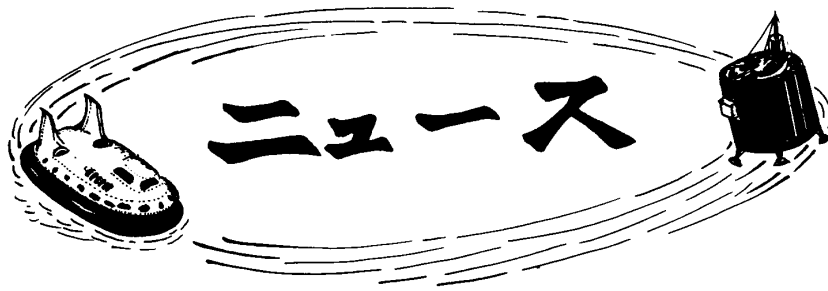
しかし一方高い給料は個人に、より高い能力を要求します。特に Create の様な製品が報告書だけと云う会社では、働いている一人一人の能力が直接製品の品質に関係してくるので徹底した管理方法が取られます。社長からタイピストに至るまで能力に応じた一時間当りの単価がついており、プロジェクトエンジニアは必要に応じて、それぞれの特技を持った人、又手のあいている人に仕事を頼みます。そしてその人件費がプロジェクトの経費として管理されるわけです。

Create は小さな会社ですから各人が専門の事ばかりをやっているわけにはいきませんが、数学の得意なアナリスト、設計に強いエンジニア、エレクトロニックエンジニア、それに針の様なヨーマータでも作れるメカニック等、それぞれがその特技を生かし、このシステムはうまく働いているようです。

私の場合には居候として特別扱いですが、もしこれが契約によるプロジェクトだったら、とっくに赤字になってしまっていたでしょう。このプロジェクトで利益を上げるだけの能力がないとみなされる事になるわけです。

さて私は間もなく帰国しなければなりません。この2年間余り、平均的なアメリカを見てこれたかどうかは自信がありません。しかしただ一つ確かな事はアメリカには真の意味のエンジニアがたくさんおり、日本もこれから益々この種のエンジニアを必要とするだろうと云う事です。アメリカの大学の教育制度が100%良いとは思いません。しかし少なからず良きエンジニア造りに貢献している事は確かです。日本が国民所得でアメリカと競える様になるためにも、真のエンジニア造りが必要だと感じております。





## 第一回見学会の記

東京瓦斯株式会社並に同社のガスタービンを製作した東京芝浦電気株式会社の御好意により、昨年11月16日午後2時当会議初めての見学会として、東京瓦斯根岸工場のLNG受入・気化プラントと、それに組込まれたガスタービン発電装置との見学を行った。

参加者は86名に達した。特にガスタービンについての東芝タービン事業部山本技師の説明に対しては、幹事がハラハラするほど活発な質問も数多く出され、2台のバスに分乗して場内の見学を終了したのは夕闇の深くなった頃であった。東京瓦斯宮沢副工場長殿を始め御親切にお世話戴いた皆様に紙上を借りて厚く御礼申し上げます。(企画幹事 記)

## 自動車用ガスタービンに関するシンポジウム

昨年12月5日自動車用ガスタービンに関するシンポジウムが日本ガスタービン会議と自動車技術会との共催により東京(食糧会館)において開催された。題目および講師はつぎの通りである。

(1) 総論 — 自動車用ガスタービンの問題点と全般的動向

東大生産技術研究所 水 町 長 生

(2) ガスタービンバスの開発

日産自動車 木 下 啓 次 郎

(3) 乗用車用ガスタービンの開発

トヨタ自動車 中 村 健 也

(4) 車輻用ガスタービンの動力特性の改善

本田技術研究所 井 上 和 夫



## 第一回見学会の記

東京瓦斯株式会社並に同社のガスタービンを製作した東京芝浦電気株式会社の御好意により、昨年11月16日午後2時当会議初めての見学会として、東京瓦斯根岸工場のLNG受入・気化プラントと、それに組込まれたガスタービン発電装置との見学を行った。

参加者は86名に達した。特にガスタービンについての東芝タービン事業部山本技師の説明に対しては、幹事がハラハラするほど活発な質問も数多く出され、2台のバスに分乗して場内の見学を終了したのは夕闇の深くなった頃であった。東京瓦斯宮沢副工場長殿を始め御親切にお世話戴いた皆様に紙上を借りて厚く御礼申し上げます。(企画幹事 記)

## 自動車用ガスタービンに関するシンポジウム

昨年12月5日自動車用ガスタービンに関するシンポジウムが日本ガスタービン会議と自動車技術会との共催により東京(食糧会館)において開催された。題目および講師はつぎの通りである。

(1) 総論 — 自動車用ガスタービンの問題点と全般的動向

東大生産技術研究所 水 町 長 生

(2) ガスタービンバスの開発

日産自動車 木 下 啓 次 郎

(3) 乗用車用ガスタービンの開発

トヨタ自動車 中 村 健 也

(4) 車輻用ガスタービンの動力特性の改善

本田技術研究所 井 上 和 夫

(5) ガスタービンの排気特性

小松製作所 鶴 見 喜 男

(6) 自動車用ガスタービンのコストと問題点

三菱重工 岡 村 健 二

上記の諸項目について、それぞれの講師より説明が行われ、午前、午後の2回にわたり質疑応答および討論が行われた。自動車用ガスタービンは最近の公害問題の一つで大きな大気汚染の問題に関連して注目されており、また将来の新らしい交通運輸体系の中の自動車用の新らしい機関としても関心を集めており、現状の問題点の分析および将来のガスタービン自動車の役割等について活発な討論が行われた。聴講者は百数十名の多きに達し盛会であった。

---

## 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しております。

1. 「1973 ASME Winter Annual Meeting」

開催年月日：1973年11月11日～15日

場 所：アメリカ, Michigan州 Detroit市

Topic : Turbomachinery Noise Reduction and  
Measurement

提出期限：a) アブストラクト 1973年1月15日

b) 原 稿 1973年4月15日

2. 「1974 International Gas Turbine Conference

開催年月日：1974年3月30日～4月4日

場 所：スイス, Zurich市

Topic 1. Aeroelastic Problems in Turbomachinery

Topic 2. Cooled Turbine Aerodynamics

Topic 3. Supersonic Flow in Turbomachines

( 69頁に続く )

(5) ガスタービンの排気特性

小松製作所 鶴 見 喜 男

(6) 自動車用ガスタービンのコストと問題点

三菱重工 岡 村 健 二

上記の諸項目について、それぞれの講師より説明が行われ、午前、午後の2回にわたり質疑応答および討論が行われた。自動車用ガスタービンは最近の公害問題の一つで大きな大気汚染の問題に関連して注目されており、また将来の新らしい交通運輸体系の中の自動車用の新らしい機関としても関心を集めており、現状の問題点の分析および将来のガスタービン自動車の役割等について活発な討論が行われた。聴講者は百数十名の多きに達し盛会であった。

---

## 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しております。

1. 「1973 ASME Winter Annual Meeting」

開催年月日：1973年11月11日～15日

場 所：アメリカ, Michigan州 Detroit市

Topic : Turbomachinery Noise Reduction and  
Measurement

提出期限：a) アブストラクト 1973年1月15日

b) 原 稿 1973年4月15日

2. 「1974 International Gas Turbine Conference

開催年月日：1974年3月30日～4月4日

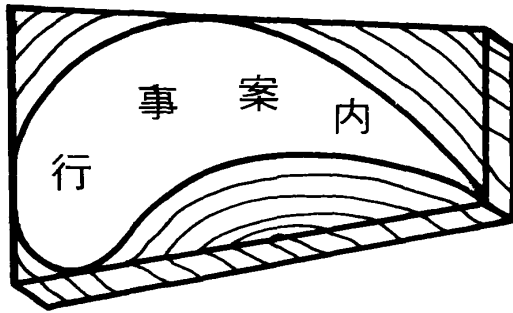
場 所：スイス, Zurich市

Topic 1. Aeroelastic Problems in Turbomachinery

Topic 2. Cooled Turbine Aerodynamics

Topic 3. Supersonic Flow in Turbomachines

( 69頁に続く )



## 第1回ガスタービン講演会

- 主 催 日本ガスタービン会議
- 日 時 昭和48年6月1日(金)  
午前9時～午後5時
- 場 所 国立教育会館(予定)  
東京都千代田区霞が関  
3の2の3  
文部省隣り 地下鉄・都  
バス虎の門又は霞が関下車

- 参加資格 日本ガスタービン会議会員
- 参加登録 参加登録費1,500円(講演論文集1冊代金を含む)をそえて申込むこと
- 題目および発表者

### 第 1 室

1. 車輛用ガスタービンのフューエルコントローラ  
平 木 彦三郎 中 尾 清 春 中 山 徹 矢 (小松製作)
2. 自動車用ガスタービンの燃料制御について  
山 崎 慎 一 伊 藤 高 根 (日産自)
3. 自動車用ガスタービンの動特性と制御に関する研究  
葉 山 真 治 (東大)
4. 2軸型ガスタービンの制御  
星 野 和 貞 小 島 秀 夫 目 黒 和 利 (日立)
5. ガスタービンのデジタル制御  
遠 藤 征 紀 杉 山 七 契 (航技研)
6. ハイブリットコンピュータによるガスタービンシュミレータの開発  
日 浦 治 也 (三菱重工)
7. 動圧式空気軸受の開発  
岡 野 弘 (トヨタ自)
8. 圧力変換器について  
村 木 俊 博 (東京航空計)

## 行事案内

### 9. ジェットエンジン要素計測の自動化

西尾健二 越沼威 (航技研)

### 10. V L C C の主推進プラントとしての産業用ガスタービンの適合性

大橋智 高本幹永 矢吹捷一 (三井造船)

### 11. ガスタービン移動電源車について

山崎恵造 (石川島播磨)

### 12. 400MW級STAGプラントについて

坂井彰 岩尾稔直 徳永賢二 幸田文夫 (日立)

### 13. 魚雷艇用IM300ガスタービンについて

滝田真右 (石川島播磨)

## 第 2 室

### 14. ガスタービン用高温燃焼器の研究 (第2報)

根矢清 熊倉孝尚 (船舶研)

### 15. ガスタービン起動時の燃焼特性

佐藤勲 政井忠久 柳沼效 (日立)

### 16. 重・軽油燃焼ガスタービンの低公害燃焼器の開発

川口勝之 (三菱重工)

### 17. ガスタービン用鑄造耐熱合金について

近江敏明 (小松ハウメット)

### 18. 高温タービンに関する二三の問題

高原北雄 能瀬弘幸 (航技研)

### 19. 冷却翼の温度分布

佐藤光男 古閑昭紀 岡村隆成 (東芝)

### 20. 圧縮膨張過程において外部授受熱と内部摩擦を考慮したガスタービンサイクルの検討

谷口博 (北大) 若井和憲 (岐阜大)

### 21. エンジンガシィフタービンの熱力学的解析

種子島時休 (東海大)

### 22. ソニックアナリシスの予備的実験

神保喜一 (石川島播磨)

23. 振動翼列に働く空力減衰力に関する実験

花村 庸治      田中英穂      (東大)

24. 液体ロケット用超音速タービン翼型の開発

木村 淑人      嶋北正俊      今泉全通      (三菱重工)

25. 遠心圧縮機の特性

有賀 一郎      (慶大)

26. 遷音速軸流圧縮機の産業用ガスタービンへの応用

山根 猛      (三井造船)

### 講演論文集について

今回の講演会に提出された全論文を一冊に編集した講演論文集を発行致します。講演論文集は講演会に参加登録された方に一冊進呈致します。なお論文一題目毎の分冊は発行致しません。

講演論文集のみご入用の方は事務局へ申込んで下さい。講演会終了後郵送致します。

講演論文集頒布代金    一冊    1,200円(送料を含む)

### ガスタービン講演会参加登録について

講演会へ参加をご希望の方は参加申込を行い登録して戴きます。振替又は現金書留にて登録費1,500円を事務局宛送金して下さい。振替の時は振替用紙通信欄に、ガスタービン講演会参加申込と題記し、(a)氏名 (b)勤務先 (c)通信先を記入して下さい。また現金書留の時は、はがき大の用紙に前記項目を記入して同封の上送付して下さい。

○ 申込先 〒160    東京都新宿区新宿3丁目17の7

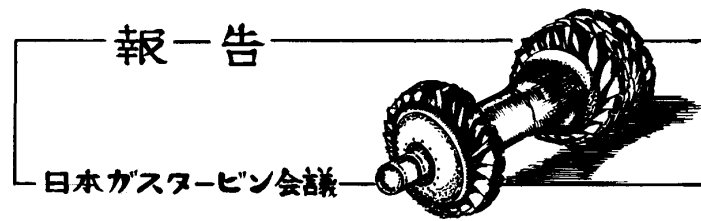
紀伊国屋ビル    慶応工学会内

日本ガスタービン会議

振替    東京179578

○事前登録締切    昭和48年4月30日

事前登録された方には講演論文集を予め郵送致します。なお講演会当日会場でも参加登録を受付けますが、事務整理の都合上できるだけ事前に登録して戴くようお願い致します。また非会員の方は入会の上参加して下さい。講演会々場受付でも入会手続を取扱います。



## 幹 事 会 報 告

庶務会計幹事 有 賀 一 郎

日本ガスタービン会議が昨年6月に発足して以来、本年1月までの幹事会の動きを報告する(正式な報告は次号に掲載される予定)。幹事会の構成は井口泉幹事長のもとに三部門に分かれ、庶務・会計、編集、企画の各幹事からなっている。その担当内容にしたがい活動が行われている。

まず庶務・会計幹事会では発会式残務を手はじめとし会議運営についての全体的ルーチンワークを組立てる作業に着手した。そのほか会員の入会状況を把握し、新会員の入会にも努めている。特別講演会など諸企画の収支決算などは事後速かに行われているが、本年度の予算についてその項目、額など可成りの相違が生じつつあることが判った。その主な点は当初の入会予想数300人に対し、本年1月現在600人以上に達しており会報、ASME G.T. Newsletter 配布、種々の企画とその連絡などの諸経費と個人会費との収支の不均衡が次第に大きくなってきたこと、特別講演会の支出が予想を上まわったこと、会報(創刊号)および名簿の製作費が当初予算を大巾に超過したことなどで本年度予算に対しての見直しが必要となってきた。したがって次期予算編成上からも一般的に検討し予算修正が講じられた。また後述するように来期以降の組織、運営の改正案がまとまり、これに対する審議を行うため、2月に臨時評議員会の開催とこの後行われる予定の評議員選挙施行についての準備作業が進められている。

編集幹事会はず会報(創刊号)発行の準備に入ったが各方面からの本会議発足に対するメッセージや創刊号独特の記事掲載のため普通号頁数を大巾に上まわり、また会報の体裁、形式、内容などの決定に時間を要したため創刊号発行の時期が多少遅れた。引続き会報(第2号)の編集が進められている。一方会員名簿も近日会員に配布される筈である。

企画幹事会では事業計画にそって諸企画を準備、実施している。すなわち、まず昨年9月におりから開催された日本機械学会主催の国際シンポジウムに参加した外人講師を招き講演会、技術懇談会が行われた。圧縮機、タービンの空力的性能に関する最近の問題が採りあげられ多数の

会員が出席した。また11月には東京ガス根岸工場に設置されているガスタービンプラントの見学会が行われ、さらに12月には自動車技術会との共催で自動車用ガスタービンに関するシンポジウムが開催された。このほか今期にISO規格関係などの講演会を企画し、2月上旬開催予定で準備をすすめている。

一方次期の計画の一環として、ガスタービンに関する諸問題を取扱った研究成果を発表するためのガスタービン講演会を開催するため、水町長生幹事を委員長とする特別委員会が設けられ、その性格方法および実施のための打合せが続けられている。本年6月に東京で開催される予定である。

さて本会議の組織、運営については現会則、細則にもとづいて進められているが、これらを再検討するために、組織、運営検討特別委員会が設けられ、作業を開始した。委員会は井口泉委員長ほか10名の委員からなり、4回の審議を経て昨年12月会則、細則改正に関する答申を会長へ提出した。これについては幹事会の議を経て2月の臨時評議員会で承認をもとめることになっている。

わが国のガスタービン生産に関する統計をとるための作業が佐藤玉太郎幹事を委員長とする5名からなる委員会で続けられている。各社に資料提出の依頼を行い、これらの整理、集計、統計図表作製などが行われており作業も近日中には終了する予定で統計結果は逐次会報に発表される。

以上各部門別に幹事会、委員会の動きを報告したが、これらはいずれも全体の定例幹事会に提案され、十分な審議をつくして実施に移している。なお1月までに4回の全体幹事会を開催した。

## 組織，運営検討特別委員会報告

委員 阿 部 安 雄

本特別委員会設置の趣旨、検討作業目標、委員の構成などについては、会報第1号で報告したが、昨年8月15日（於三菱重工）、9月30日（於事務局）、10月18日（於事務局）、11月20日（於学士会館別館）の4回にわたり委員会を開催し検討作業を行なった結果に基づき、昨年12月16日に開催された第4回幹事会に於て井口委員長より渡部会長に答申を行ない、幹事会案として採択された。答申の概要は次の通りである。

### 基本方針

今回の検討作業を、将来本会を法人組織に改組するための第一歩として位置付け、次の諸事項

会員が出席した。また11月には東京ガス根岸工場に設置されているガスタービンプラントの見学会が行われ、さらに12月には自動車技術会との共催で自動車用ガスタービンに関するシンポジウムが開催された。このほか今期にISO規格関係などの講演会を企画し、2月上旬開催予定で準備をすすめている。

一方次期の計画の一環として、ガスタービンに関する諸問題を取扱った研究成果を発表するためのガスタービン講演会を開催するため、水町長生幹事を委員長とする特別委員会が設けられ、その性格方法および実施のための打合せが続けられている。本年6月に東京で開催される予定である。

さて本会議の組織、運営については現会則、細則にもとづいて進められているが、これらを再検討するために、組織、運営検討特別委員会が設けられ、作業を開始した。委員会は井口泉委員長ほか10名の委員からなり、4回の審議を経て昨年12月会則、細則改正に関する答申を会長へ提出した。これについては幹事会の議を経て2月の臨時評議員会で承認をもとめることになっている。

わが国のガスタービン生産に関する統計をとるための作業が佐藤玉太郎幹事を委員長とする5名からなる委員会で続けられている。各社に資料提出の依頼を行い、これらの整理、集計、統計図表作製などが行われており作業も近日中には終了する予定で統計結果は逐次会報に発表される。

以上各部門別に幹事会、委員会の動きを報告したが、これらはいずれも全体の定例幹事会に提案され、十分な審議をつくして実施に移している。なお1月までに4回の全体幹事会を開催した。

## 組織，運営検討特別委員会報告

委員 阿 部 安 雄

本特別委員会設置の趣旨、検討作業目標、委員の構成などについては、会報第1号で報告したが、昨年8月15日（於三菱重工）、9月30日（於事務局）、10月18日（於事務局）、11月20日（於学士会館別館）の4回にわたり委員会を開催し検討作業を行なった結果に基づき、昨年12月16日に開催された第4回幹事会に於て井口委員長より渡部会長に答申を行ない、幹事会案として採択された。答申の概要は次の通りである。

### 基 本 方 針

今回の検討作業を、将来本会を法人組織に改組するための第一歩として位置付け、次の諸事項

## 報 告

に重点を置いて検討を行ない、且つ現行の諸制度並びに諸規約を急激に変える事は避け、出来得る限り小改訂に止めるよう配慮した。

- (1) 評議員選挙制度の実施。
- (2) 役員構成の再検討。
- (3) 名誉会員制度の創設。
- (4) 地方幹事，地方委員制度の検討並びに条文化。
- (5) 以上各項目の検討，実現に当り，将来の法人化の大方針に極力一致させる事。

### 主な改訂事項

#### (1) 役員構成

- (i) 役員の構成単位を会長，副会長，幹事，監査，評議員に改めた。（現行は，会長，副会長，評議員）。
- (ii) 定数及び任期を次の通りとした。
  - ・ 会 長：1名，1年，重任を認めず。（現行通り）。
  - ・ 副会長：1名，1年，重任を認めず。（現行通り）
  - ・ 幹 事：(含幹事長)：23名以内，1年。（現行は，若干名，1年）。
  - ・ 監 査：2名，1年。（現行には無い）。
  - ・ 評議員：60名以上70名以内，1年。（現行は，若干名）。

#### (2) 評議員の選出

- (i) 評議員は会員の互選による選挙で定める。（現行は，推薦制度）。
- (ii) 選挙制度の採用に伴い，現行の維持会員の代表者を自動的に評議員とする制度を廃止した。
- (iii) 評議員の1.5乃至2倍程度の候補者を，事前に幹事会で推薦することとした。（現行には無い）。
- (iv) 会長が会務に必要と認めた場合は，選挙により選出されたる者以外に，会員中より4名を限度として評議員に指名し得る補充制度を採用した。（現行には無い）。

#### (3) 会務監査制度の採用

評議員制度の実施及び将来の法人化などを考慮して，役員の中に監査の役職を新設し，会務監査を行う制度を採用した。（現行には無い）。

#### (4) 名 誉 会 員

新たに名誉会員の制度を採用した。（現行には無い）。

#### (5) 前 会 長

会長経験者を前会長と称することとし、その処遇を明確にした。(現行には無い)。

(6) 渉外事項

渉外関係事項を総務幹事(現行の庶務・会計幹事を改称)の所管に改めた。(現行は、企画幹事の所管)

(7) 地方幹事, 地方委員

地方幹事, 地方委員の制度につき検討の結果, 現行の細則第11条に従って運用することで差支えないとの結論に達したため, 特に条文を備けないこととした。(現行通り)。

この新会則案及び新細則案は, 今年2月10日に開催の臨時評議員会に幹事会より提案され承認された。従って本会は今年4月1日より新規約により運営されることになった。新しく決定された会則及び細則は, すでに会員諸氏のお手許に送付したのでその内容は御承知の事と思うが, 次号の会報に全文を掲載する予定である。

本特別委員会は, 幹事会への答申をもってその任務を終了し解散した。

~~~~~  
(62頁より続く)

Topic 4. New Experimental Methods for Turbomachinery  
Research

Topic 5. Radial Turbomachine Aerodynamics

Topic 6. Axial Turbomachine Aerodynamics

提出期限: a) アブストラクト 1973年5月15日

b) 原 稿 1973年8月15日

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ASME G.T.D. Turbomachinery Committeeの国内委員である九大妹尾泰利教授までご連絡下さい。

連 絡 先

〒812 福岡市東区箱崎町

九州大学生産科学研究所

妹 尾 泰 利

会長経験者を前会長と称することとし、その処遇を明確にした。(現行には無い)。

(6) 渉外事項

渉外関係事項を総務幹事(現行の庶務・会計幹事を改称)の所管に改めた。(現行は、企画幹事の所管)

(7) 地方幹事, 地方委員

地方幹事, 地方委員の制度につき検討の結果, 現行の細則第11条に従って運用することで差支えないとの結論に達したため, 特に条文を備けないこととした。(現行通り)。

この新会則案及び新細則案は, 今年2月10日に開催の臨時評議員会に幹事会より提案され承認された。従って本会は今年4月1日より新規約により運営されることになった。新しく決定された会則及び細則は, すでに会員諸氏のお手許に送付したのでその内容は御承知の事と思いが, 次号の会報に全文を掲載する予定である。

本特別委員会は, 幹事会への答申をもってその任務を終了し解散した。

~~~~~  
(62頁より続く)

Topic 4. New Experimental Methods for Turbomachinery  
Research

Topic 5. Radial Turbomachine Aerodynamics

Topic 6. Axial Turbomachine Aerodynamics

提出期限: a) アブストラクト 1973年5月15日

b) 原 稿 1973年8月15日

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ASME G.T.D. Turbomachinery Committeeの国内委員である九大妹尾泰利教授までご連絡下さい。

連 絡 先

〒812福岡市東区箱崎町

九州大学生産科学研究所

妹 尾 泰 利

## 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）、随筆、ニュース、新設品の紹介および書評等とする。
3. 原稿の図、表および写真の大きさは特に指定しないが、A4以内の大きさが望ましい。但し写真は鮮明なものに限る。図および表は鉛筆書き、白焼、青焼、ゼロックス等何れでも差支えない。
4. 原稿は都合により修正を依頼する場合がある。
5. 原稿用紙は横書き400字詰のものを使用する。
6. 会報は刷上り1頁約1200字であって、1編について、それぞれつぎ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 1～2頁、随筆 2頁以内、ニュース 1頁以内、新製品紹介 1頁以内、書評 1頁以内
7. 原稿は用済後執筆者に返却する。
8. 依頼原稿には規定の原稿料を支払う。
9. 原稿は下記の事務局宛送付する。

〒160 東京都新宿区新宿3丁目17の7  
財団法人 慶応工学会内  
日本ガスタービン会議 事務局

## 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. 原稿の〆切は随時とする。  
ただし、4月末日迄に投稿の分は7月発行の会報に、11月末日迄に投稿の分は翌年2月発行の会報に掲載される予定。

## 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）、随筆、ニュース、新設品の紹介および書評等とする。
3. 原稿の図、表および写真の大きさは特に指定しないが、A4以内の大きさが望ましい。但し写真は鮮明なものに限る。図および表は鉛筆書き、白焼、青焼、ゼロックス等何れでも差支えない。
4. 原稿は都合により修正を依頼する場合がある。
5. 原稿用紙は横書き400字詰のものを使用する。
6. 会報は刷上り1頁約1200字であって、1編について、それぞれつぎ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 1～2頁、随筆 2頁以内、ニュース 1頁以内、新製品紹介 1頁以内、書評 1頁以内
7. 原稿は用済後執筆者に返却する。
8. 依頼原稿には規定の原稿料を支払う。
9. 原稿は下記の事務局宛送付する。

〒160 東京都新宿区新宿3丁目17の7  
財団法人 慶応工学会内  
日本ガスタービン会議 事務局

## 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. 原稿の〆切は随時とする。

ただし、4月末日迄に投稿の分は7月発行の会報に、11月末日迄に投稿の分は翌年2月発行の会報に掲載される予定。

日本ガスタービン会議会報

第1巻 第2号

昭和48年2月

編集者 水町長生

発行者 渡部一郎

日本ガスタービン会議

〒160 東京都新宿区新宿3丁目17の7

紀伊国屋ビル(財)慶応工学会内

TEL (03)352-3609

振替 東京179578

印刷所 日青工業株式会社

東京都港区西新橋2の5の10

TEL (03)501-5151

非 売 品

