

研 究 回 顧

村尾 麟一^{*1}

MURAO Rinichi

年功から教訓が得られるとすれば、それは経験をにおいて他にあるまい。時代が違えばその経験も聞かされる者にとって多くは繰り返す言と聞こえるであろう。何が起きたかではなく如何に起きたか、テーマ選択の迷い、見通しと結果の食い違い等の経験に共通の認識があるかも知れないことを期待して、私の研究人生を回顧してみたい。

1. 何故ガスタービン

私は1952年に東工大を卒業して運輸省運輸技術研究所に入った。ガスタービンをやりたいと熱望していた。その当時、交通機関分野のハイテクであり、敗戦後航空分野の研究が禁止され、流体力学で鬱憤を晴らしていた私にとってチャンス到来と期待した面もあった。当時、運研には中田金市次長・山内正男原動機部長・須之部量寛・河崎俊夫・三輪光砂の諸先輩が石川島芝浦タービンの分室に詰めていて、戦時中に試作された1号ガスタービンを掘り起こして研究を開始していた¹⁾。しかし、定員の空きが無く、ディーゼルエンジンをやっていた月島の船舶機関部に配属されてしまった。航空用に開発された過給機が船用ディーゼルに転用され始めた時期であったが、排気管内の平均温度・圧力に基づいて計算すると排気タービンの効率が100%を越えるという開発担当者の内輪話を聞いた。これは排気管内の脈動エネルギーの仕業であって、脈動状態のタービンは定常流ガスタービンと異なる見地からアプローチすべきであろう。流体力学的にも面白い。我こそはと意気込んだ。

今にして思えば若気の至りで、問題の難しさを洞察しない盲蛇もいいところであった。脈動翼列風洞なるものを計画設計し、同時に翼列周りの非定常流を測定するための定温型熱線風速計の手作り試作にチャレンジした。今でこそ市販されているが、当時は数ページのアメリカのオリジナル研究文献だけが頼りであった。共通工学部の物理専門家の協力も仰いだが、ノイズを除去できず結局使いものにならなかった。その間、間歇式脈動風洞の空気源として有り合わせの7気圧リザーバに目を付け、その出口に試作したロータリバルブを直結した。クラッチを入れて脈動を発生させるとドドド・・・とパルスジェットの排気が広い実験棟中の埃を巻き上げ、今ならとうてい許されるような代物ではなかった。あくまで熱線風速計に執着すべきかどうか大分迷ったが、ミイラ

取りがミイラになり兼ねないと判断して断念した。

それでは此の研究は無駄であったか？頂上への直登をあきらめ、一步退いて排気ガスタービン翼型の定常翼列実験に取り組んでいたとき、三井造船の小泉磐夫先生(後東大)からタービン翼の効率よりタービンと排気管のマッチングがプライマリーですよとのご教示を頂いたのは有り難かった。非定常翼列は機が熟していなかっただけでなくセカンダリーであった。研究の重点をシフトしそれまで図式計算を余儀なくされていた脈動流を、デジタル計算機の導入に適するようにモデル化した。日本に科学技術用計算機が2台しか無かった時代で、此の分野での計算機導入のはしりであった。

テーマ着手前の見通しが甘くて所期の目的を達することは出来なかったが、途中で軌道修正をして全体としては成果が上がった。全く新しいことを手掛けると思いがけないスポンサーが現れることにも気がついた。用途開発の名目で計算機輸入商社から格安で計算機を提供して貰い、プログラムサービス付きで計算機技術の貴重な体験が得られたからである。

此の研究を計画した段階で理工研(先端科学技術研の前身)の玉木章夫先生にコメントを乞ったとき、一生懸命考えてやったことが全く無駄になることはありませんよといわれたことを思い出した。

2. 木を見て森を見ず

研究所所属の小型実験船でエンジンのテストをしたことがあった。実験を終えていざ帰港しようとしたところ、冷却水温度が上昇し海水冷却系が詰まっているらしいことが判明した。エンジンを止め、パイプを外したり、ポンプを分解してみたが原因が分からない。船は漂流を始めた。夕暮れが迫り潮が満ちて波は高くなり、だんだん浅瀬の方に流される。このままでは座礁である。船長は清水タンクにバケツリレーで海水を汲み入れるように指示し、エンジンをだましだましスローで回すことによって座礁をかわろうじて避けながら帰港の途についた。揺れがひどくなった舷側からバケツリレーをさせられて船酔いで皆グロッキーになった。エンジンの1次冷却系である清水タンクに2次冷却系の汚い海水を入れるとは言語道断である。事実、後でエンジン全体のオーバーホールの羽目になり高いものについたと聞いた。

しかし、船が座礁の危機に直面したとき、船を救うために必要ならエンジンを見捨てることもやむを得ない。

原稿受付 1998年9月21日

* 1 〒184-0011 東京都小金井市東町 2-29-27

エンジンは乗り物全体から見れば部品に過ぎない。えてしてエンジン屋はエンジンの事だけしか念頭になく、システム全体の有機的機能に寄せる関心が不足し勝ちなように思われる。木を見て森を見ずの類である。此の問題は世間・教育・政治・戦争・歴史・スケールは変わっても手を変え品を変え至る所に発現することをしばしば経験した。これは私のその後の研究観に強いインパクトを残した。乗り物全体がプライマリーである。エンジンだけにとらわれてはいけない。スペシャリストとしての限界を自覚し、いつも森をさらには山を念頭に置きたい。

3. 研究の転機

1959年に英国でホバークラフトが発明され新聞記事になった。物珍しくはあったが、大方の認識では騒音がひどく、地上では砂塵を、水上では飛沫を巻き上げ、とうてい実用にはほど遠いものと思われた。その後1年経ってThe Hovercraft, a New Concept in Maritime Transportという英国造船学会の論文⁽²⁾に目が止まった。通常工学の論文は現象の解明に終始することが多く、視点がローカルである。この論文は革新的技術の学術的裏付けにとどまらず、将来の高速海上輸送への貢献を提案している。著者の優れた見識と力量に感銘を受けた。新技術の誕生に立ち会っているという感慨がわき起こった。船というものは5000年も昔からアルキメデスの原理を利用してきたが、ホバークラフトは船底に空気クッションを作って抵抗を減らし、海上を自動車並みの高速で航行できる。

過給ディーゼルエンジンのシミュレーションは研究としては7合目まで登りつめこれから収穫期と思っていたが、私がやらなくてもあとはメーカーがやるに違いない。しかし此の未知の技術は実用にはほど遠いだけにメーカーはすぐには手を出せまい。日本でも誰かが此の新しい可能性を評価するためのリスクを負担する必要がある。それでは・・・という気負いも手伝って私の研究の転機となった。小泉先生にコメントを乞ったとき、エンジンのシミュレーションは年寄りでも出来るよと言われたことにも力づけられた。

研究を始めて最初の10年間、私は空力的視点からアプローチした。留学中にチューリヒ工大で始めたACVの風洞実験のテーマを発展させて、浮上空気の吸い込み吹き出しと機体外部流れの干渉の解明を目標とした。しかし、一方ではACVが海上で走る限り水面と艇体の接触がプライマリーであることに気がついた。更に、当時アメリカで側壁によってクッション空気のリークを防ぎ空中プロペラの代わりに水中推進を使う航洋SES (Surface Effect Ship) の構想が提案されていた。従来の空中プロペラ方式では馬力吸収に限界がある。日本のような外洋航行が避けられない運航形態では水陸両用ホバークラフトの延長ではなくSESに焦点をあてなければ

ならない。折角開発したホバークラフトの実績を上げるのに手一杯のメーカーには当時SES研究開発の余裕はないように思われた。SESになると益々船に近くなり空力は脇役になる。主力を水槽実験に転換しなければならない。その当時空力分野でまとめることを目論んでいた学位論文を先に片づけてSESを後回しにするか、論文は多少遅れても直ちにSESに着手するか大いに迷った。しかし論文は待てるが世界の技術の大勢は待ってくれないとの思いで結局二兎を追うことになった。私の研究生活で最もストレスのかかった時期であった。

4. エピローグ

大型エアクッション船 (SES) の研究を、抵抗分離のための曳航実験と水ジェット推進による自航模型実験を中心として延々15年間継続した。推進性能シミュレーションに基づいてガスタービン駆動水ジェット推進1000-5000トンSESを提案した⁽³⁾。その構想は、その後運輸省のプロジェクト“テクノスーパーライナー”で取り上げられ、世界最大のSES (実験船飛翔: 70 m, 54ノット) の完成と技術的成功で日の目を見た。長い道のりであったが研究者冥利に尽きる思いである。

大学卒業以来四十余年の研究生活を回顧して、馬齢と経験を重ねたことの意義を問い直してみると、自分で考え計画した結果を自分の目で確かめ得たことであろうか。思えば出来そうもないことにチャレンジしたり、独創性にこだわって実用性がなかったり、専門枠をはみ出して基礎から勉強し直したり試行錯誤の連続であった。日立時代の須之部量寛さんからうかがったことがある。研究者の評価は難しい

1. 出来そうもないことにチャレンジして成功する
2. 出来そうもないことにチャレンジして失敗する
3. 出来そうなことにチャレンジして成功する
4. 出来そうなことにチャレンジして失敗する

の順ではないか。自分の専門分野の枠をはみ出すテーマにチャレンジするのは度胸が要る。しかし、結局はやる気の問題であろう。一方、類は友を呼び同じ研究開発技術者としての連帯感は洋の東西を問わないことも痛感させられた。また研究に直接関係ない方々からも新しい分野の開拓に伴う試行錯誤と失敗に対して、暖かい理解と支援、積極のご指導を受けることが出来た。心から感謝を捧げると共にリスクと引き替えに得られる此の事実を次世代の方々に言い残しておきたい。

参考文献

- (1) 辻高弘, 日本ガスタービン学会誌, Vol. 24-No. 96 (1997-3)
- (2) Crew P.R. & Eggington W.J., Quart. Trans. RINA, (1960-6)
- (3) 村尾麟一, 小沢宏臣, 日本造船学会高速艇と性能シンポジウム, (平1-6)

模型飛行機用超小形ジェットエンジン

野田廣太郎^{*1}

NODA Hirotarou

キーワード：模型飛行機 ラジオコントロール ターボジェットエンジン ターボ過給機ロータ
安全の確保

1. ターボジェットエンジンへの、模型家の憧れ

模型飛行機と一口に云っても、其の種類は多彩である。先づ動力を装備して居ない滑空機（グライダー）。次いで国際級ともなれば信じられない程の高い滞空性能を発揮するゴム動力機。はたまた近年飛躍的に性能を向上させて来た模型飛行機用の蓄電池・直流モータの動力ユニット。そしてエンジン機。

また動力付の機体は、普通の固定翼機と、回転翼機即ちヘリコプターとに大別される。

中で、最も愛好者層の厚いのが所謂ラジコン・エンジン機、——往復動内燃機関を動力とする固定翼機を、ラジオ・コントロールで飛ばすカテゴリーである。そうして此の分野で永い間、模型家の夢であり続けたターボジェットエンジンが近年登場し、何機種も市販されるに至った。以下その近況について、筆を進めて行きたい。

2. 在来の模型飛行機用内燃機関

日本ガスタービン学会の会員諸兄なら、往復動内燃機関にも必ずや御興味をお持ちの事と信じ、ここに少しく、模型飛行機用エンジンの歴史を繙いてみる。

先づ戦前に登場したのがガソリンエンジンである。勿論無線操縦など望むべくも無く、発進後 30 秒でエンジンが停止するように、写真用のセルフタイマーで仕掛けをしてフリーフライトをさせ、滞空時間を競ったものであり、図 1 の通り点火栓用の誘導コイルまでを備えた典型的な単気筒オットーサイクル 2 衝程機関であった。

但しコイルと点火用電池を積んで甚だ重くなり、重量当りの出力の面で不満があった。しかも当時のエンジンはなかなか始動せず、一日中原っぱで、徒らにプロペラを叩いただけで帰って来たと云う話も、稀では無かった。

尚、近年ガソリンエンジンは模型ビッグプレーン、主翼の全幅が優に 3m を超える様な大形機に搭載されて活躍して居るが、これらは汎用ガソリンエンジンからの転用が主で、所謂模型用エンジンとは、いささか出自を異にするものである。

終戦後、我国ではそれこそ模型飛行機どころでは無かった時代に、米国で開発された革命的なエンジンを持ち込み、皇居前の広場等でこれ見よがしに、2 本のピアノ線で機体の昇降舵を制御して操縦者を中心とする半球面上を飛ばす、U コントロールに打ち興じて居たのは、進駐軍の模型好きの兵隊達であった。彼等がもたらしたエンジンこそ、現在も模型用途に君臨するグロウエンジンだったのである。

図 2 に最近の 2 サイクル単気筒グロウエンジンの一例を示す。シリンダーの頂部にわづかに出張って見えるのがグロウプラグである。

燃料はメタノール。これに潤滑油を混合したのが基本であるが、通常は起爆剤兼出力増加剤としてニトロメタン等を添加して居る。燃料は吸気と共にキャブレターから、霧状、乃至ガス状でシリンダ内に吸込まれる。ピス

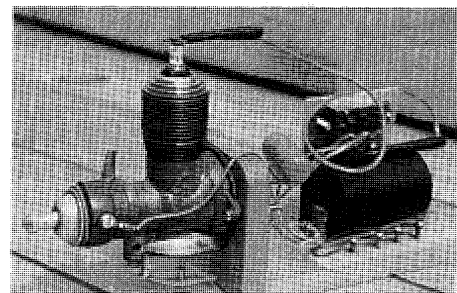


図 1 往時のガソリンエンジン（株電波実験社提供）

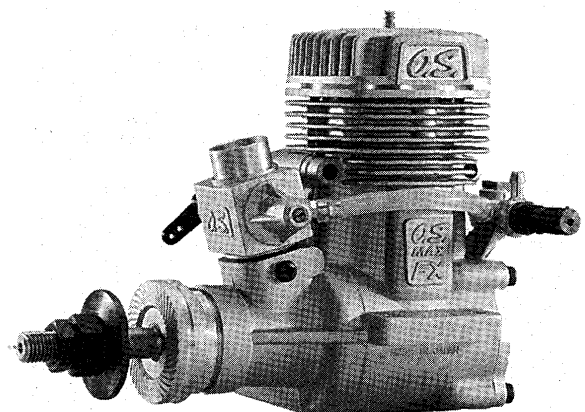


図 2 2 サイクルグロウエンジン（株電波実験社提供）

原稿受付 1998 年 10 月 5 日

* 1 野田技術士事務所

〒142-0062 東京都品川区小山 3-10-11

マンション翼 201

トンで断熱圧縮されて温度が上った混合気に、グロープラグが上死点近傍で着火させ燃焼（爆発）に至る、セミディーゼルサイクルである。

グロープラグは、電熱線（フィラメント）をシリンダ内に開口するソケットの中に持ち、地上でエンジンを始動する時に電池でこれを赤熱する。エンジンが起動すればその燃焼による余熱でフィラメントは赤熱状態を保ち、空中へ赤熱用電池を「連れて行く」必要は無い。最近のグローエンジンの軽量は、重量当りの出力で見て、実物の航空用ターボシャフトエンジンに勝るとも劣らぬ事でも知れる。

さて此のように使い易く、軽くてパワーのあるグローエンジンではあるが、その2サイクルであるが故の欠点がある、軽薄な爆音である。河川敷のゴルフ場でゴルフをなさっているときに、隣の模型クラブの飛行場から飛立った機体の甲高い爆音に、苛立った御経験をお持ちの方も多かろう。我等模型家にとっても、爆音が実機に似て呉れねば面白く無い。斯るニーズの下に登場したのが、4サイクルのグローエンジンである。

図3に4サイクル単気筒グローエンジンを示す。シリンダの前に2本、縦に通って居るのが動弁用のロッドの軸であり、中のロッドはクランク軸からカムで駆動され

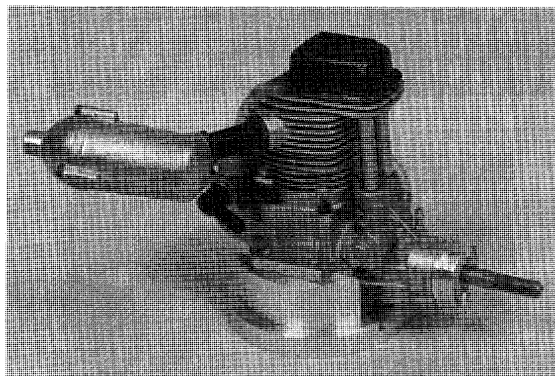


図3 4サイクルグローエンジン（株電波実験社提供）

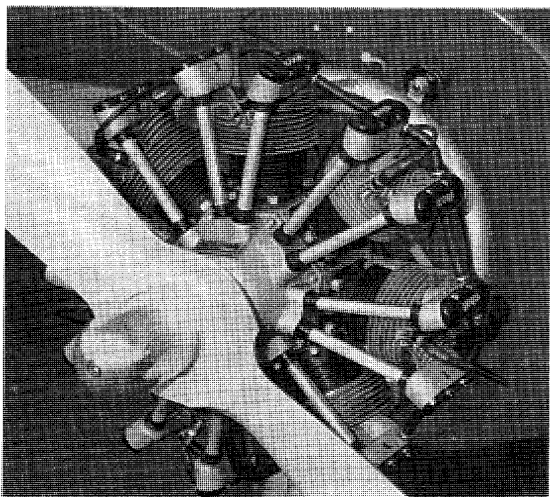


図4 7気筒星型4サイクルグローエンジン
（株電波実験社提供）

て、シリンダヘッドに設けたスウィング機構を介し吸排気弁を開閉する。2サイクル機に比して、当然の事ながら気筒容積当りの出力は小さいが、大き目のプロペラを比較的ゆっくりと廻す高トルク設計と相俟って、重厚な爆音で且つ騒音レベルが低く、燃料消費の経済性も得られるようになった。更に多気筒形に発展して居る様子を図4に掲げる。

それから、ディーゼル機関も一時、模型飛行機用原動機として覇を唱えた事も記して置かねばならない。昭和30年代中葉からラジオコントロールが普及して来ると、当然、各舵のほかに動力制御、即ちスロットルでエンジンの出力を自在に調節する事が求められる。今ではプラグの発達で何の問題も無くなったグローエンジンも、当時は低速安定性に難があり、模型家達はディーゼルエンジンにその解決を見出した。図5にその頃の代表的ディーゼルを示す。単シリンダの頂部に見えるのがカウンターピストンを上下させる調節ねじであり、これによってエンジンの圧縮比を変えて最大出力の点へ持って行く。勿論ディーゼル機関であるから点火栓は一切不要、「断熱圧縮」はプロペラを手で弾いて廻す腕力による。従って燃料は、主剤の灯油に添加するに、揮発性の高いエーテルを以てする。勿論、潤滑油分も混ざる。尚、実

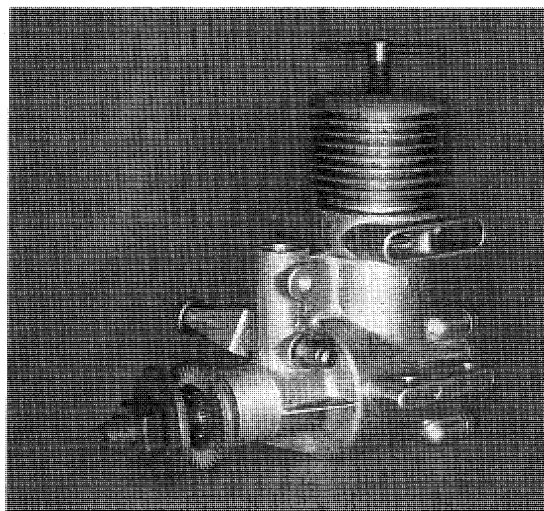


図5 昭和40年頃のディーゼルエンジン
（株電波実験社提供）

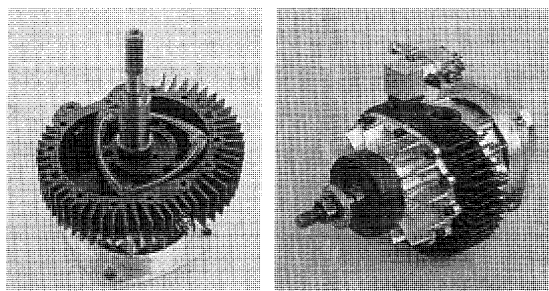


図6 2サイクルグロー・ロータリーエンジン
（株電波実験社提供）

物のディーゼル機関と異るのは、燃料噴射系統と云うものが無く、燃料を気化器（実際は霧化器）から、吸気と共に吸込む点である。

ロータリーエンジンにも触れて置かねばなるまい。図6に見られる通り、模型飛行機用に2サイクル・グロウロータリーエンジンが立派に商品化され空を飛んで居る。ただ、実物の自動車に於ける往復動エンジンとのシェアの隔絶は、模型用途に於いても同様で、ロータリーエンジンはやはり少数派の域を出て居ない。

3. スケールモデルに於けるジェットエンジンの二一ズ

さて、ラジコン模型飛行機には様々なジャンルがある。曲技飛行の行着く先は、名人が実機では到底出来ない離れ業を、例えば低翼単葉単発の機体を仰向け垂直に空中で静止させ、尾部に設けた針で地上の風船を割って見せたりする。又はヘリコプターが宙返りや横転を自在にやってのける。――

だが筆者の感覚からは、やはり模型飛行機は、それを通して実機を偲ぶものでありたい。実機が出来ない事を模型でやるのは、筆者の趣味では無い。而してその実機憧憬の極限が、スケールモデルなのである。

スケールモデル。これも国際級の競技となると大ごとである。模した実機の図面の提出、塗装彩色の根拠――例えば戦闘機なら何々飛行隊の某々大尉の乗機である事の文献上の証明――の提示。而してその模型飛行機がどれだけ良く出来て居るか、実機に忠実であるかの地上審査、そして最終的に飛行審査。

スケールモデルの飛行は飽くまでも実感本意である。飛行速度は、実機の実用速度に縮尺を乗じたスピードより速かったら、当然の事として減点される。何故なら、模型飛行機は兎角、スケールスピードより速く飛び勝ちだからである。爆音も、実機のイメージを壊すような軽薄な音であってはならない。勿論、操縦者の飛行技術の巧拙のウェイトも大きい。図7に最近の世界選手権を獲得した、ジェットエンジンを動力とするスケールモデル



図7 1998 "Jet World Master" スケールモデル競技会優勝機 (株ソフィアプレジジョン提供)

を御覧に入れる。

と、ここまでお読みになれば、模型飛行機用にジェットエンジンの出現が切望されて来たことがお解り頂けるであろう。スケールモデルとしての人気は、古典機や、さきの戦時中の軍用機と並んで、ジェット機もまた、甚だ高いのである。

ジェットエンジンが出て来る前の一つの解として、ダクトドファンなる方式が登場した。これは模型飛行機の胴体の中にグロウエンジンを収納し、小径の多翼ファンまたは多翅プロペラを高回転で廻して、ダクトの開口部から噴出する空気流により推力を発生、飛行する。当初は音ばかり大きくてなかなか推力が出なかったが、近年は実物ジェット戦闘機顔負けのダイナミックな飛行まで見せる様になった。しかし、高回転にチューンアップした2サイクルグロウエンジンの発生する高周波音が実感を殺ぐのは、やむを得ぬ所である。図8, 9に入門用のダクトドファン機と、エンジン・ファン部の内部構造をお見せする。

もう一つ、ターボジェットより遙かに以前から市販されたジェットエンジン、「パルスジェット」にも言及して置きたい。吸入された空気の慣性を利用してリードバルブを振動的に開閉、燃料を間歇燃焼させてジェット流をパルス状に噴出する此のエンジンは、前述のUコントロールの速度競技機用に使用された。但しその爆音は何とも名状しがたい咆哮音で、思わず耳を覆う程の音響レベル、しかもエンジンの出力はフルパワーのみ、部分負荷に制御が出来ない。従ってラジコン機には全く不向きであるが、敢てこれを搭載して速度記録に挑戦した機体と、パルスジェットエンジンの写真を、図10, 11に掲げる。

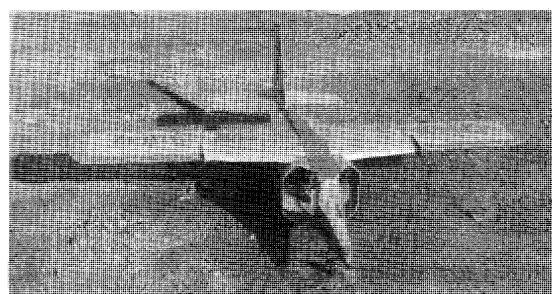


図8 ダクトドファン入門機 (川口俊彦氏提供)

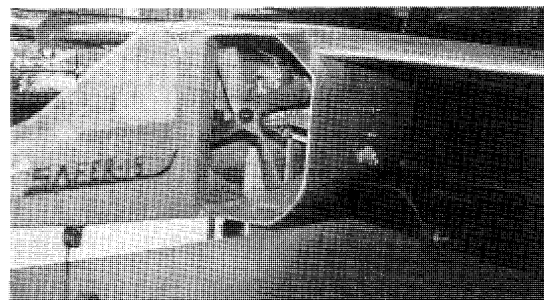


図9 ダクトとファン部を覗く (川口俊彦氏提供)

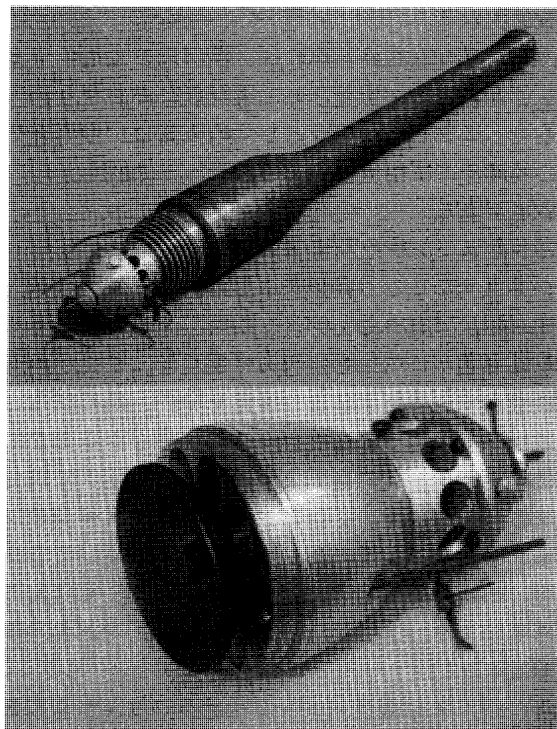


図10 パルスジェットエンジン(上)と、そのリードバルブ部(下)(長谷川克氏提供)

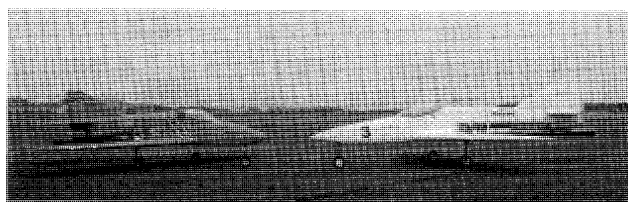


図11 ラジオコントロールのパルスジェット機
(長谷川克氏提供)

4. ターボジェットエンジンの、模型界への華々しきデビュー

ドイツのニュールンベルクの模型見本市は世界的に著名である。1991年、フランスのJPX社は「ターボレックT-240」ジェットエンジンを発売し、この見本市に出品された同エンジンは模型界に一大センセーションを巻き起こした。LPG(液化プロパン)を燃料とする推力44N(4.5kgf)、自重1.8kgのこのエンジンは直ちに我国へも紹介され、翌年の「ラジコン技術」誌のグラビア頁を大きく飾った(図12)。筆者はその年、平成4年11月3日に利根川畔で催されたRC航空ページェントにソーラープレーンを引提げて出場したが、その折に初めてT-240ターボジェットを搭載した機体の飛行ぶりを目にして、その騒音レベルの低さ、ジェットサウンドの快さに至大なる感銘を受けたのであった。

どんなに小さかろうとも、量産形ガスタービンの一形式を開発するのに多大の資金と努力を要する事は、申上げるまでもない。しかも模型飛行機用として市場性を持った価格での販売に漕着けるのは、更なる難事である。JPX社はそれを、自動車用ターボチャージャーのロー

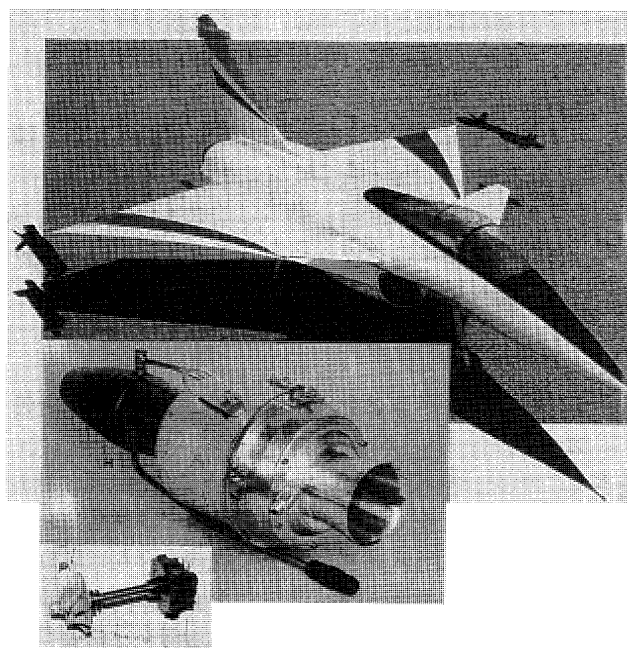


図12 T-240ターボジェットエンジンの登場
(株電波実験社提供)

ターの利用を以てクリアーした。——とは云っても、模型飛行機用ジェットエンジンの値段は今日に至るまで、同じ程度の性能を示す往復動グロウエンジンの、一桁上である事に変わりはないのだが。

5. 模型飛行機用ターボジェットエンジンの概要

5.1 構成、燃料、潤滑方式

世界最初の模型用ジェットエンジン、JPX社のT-240は遠心圧縮機1段、環状燃焼器、輻流タービン1段の構成であった。この構造は以後に出現する他社製品にも踏襲される。但し中にはタービンが軸流1段で、動翼はディスクと一体、即ち削り出し加工されて居る例もある。

T-240エンジンの燃料はLPGであった。欧州では高圧ガスの法規が緩く、キャンプ用等の携帯燃料に液化ブタンしか許されない我国と異り、汎く液化プロパンが市販されて居るので、それを燃料としたものである。しかし取扱上は液体燃料が勝る。そこでJP-4、即ちガソリン系のジェット燃料にシフトして行っただが、望むらくは揮発性の低いもの、出来れば灯油焚が理想である。更に点火用燃料と主燃料が同一でありたい。点火の手段は灯油に対しては電気火花イグニッション、また揮発性の高い燃料を使う場合にはグロウプラグを電熱で赤熱する方式が手軽である。T-240エンジンを追って市場に参入した各社製品の燃料システムは、大体この様な方向へ進んで来て居り、JPX社もまた、本年ケロシンヴァージョンを発売した。

液体燃料の噴射には、トーチランプの様に燃料管を加熱するガス化方式、又は燃料を加圧噴霧する方式等がある。燃料の加圧には直流マイクロモータ駆動のポンプ、

又は小さな窒素ガスボンベ利用のブラダタンクが使用される。

潤滑油の供給にも二つの方式がある。先づ燃料に混合して供給するやり方、これは模型用往復動エンジンで例外無しに採られて居る方式である。次に独立した潤滑油タンクから注入する方式。但しこれも油を循環させる訳ではないから、潤滑油消費量の面で甲乙は無い。後者の場合、潤滑油の加圧源に圧縮機吐出空気圧が巧みに使われて居る。

5.2 起動、制御、保護方式

エンジンの起動は、多く圧縮空気により行う。例えばスキューバダイビング用のアクアラングボンベから圧力調整器を介して、ジェットエンジン入口に設けたノズル経由で遠心圧縮機ローターの羽根に空気流を吹付け、回転させる。又は携帯用のNi-Cd電池で強力なマイクロモータを廻し、延長軸先端のゴム付きピースをジェットエンジンの圧縮機入口、ローターのノズコーンに押着けて始動する(図13)。この方式ではクラッチを併用して機体に始動モータを搭載する事も可能である。また手持電動ファンの空気では吹いての手動スタートも、慣れれば容易である。

最近では起動スケジュールを電子制御する装置(ECU, ASU等)がセットになって販売され、練達の士でなくとも安全に起動が出来る様になった。

小なりとは云えガスタービン、起動の状況は全く実物と同じである。始動、点火、着火、燃焼音。——やがて自立、アイドリングに入る。この辺り、ガスタービン好きにとっての醍醐味である。離陸準備良しで徐々にスロットルを開く。全力に達したジェットエンジンの咆哮。機体は見見る加速され、離陸して行く。

往復動エンジンならどんなに乱暴にスロットルを操作してもよいが、ガスタービンには当然、加速時の燃料の過剰流入、及び急減速時の吹消えに対する制限が必要である。そこで、無線装置側でこれに適応し切れぬ時に、スロットルを制御するサーボモータの動きを規定値に合せるスピードコントローラーを発売するなど、メーカー毎に工夫がある。ガスタービンとして最も大切な二つの保護、即ち過速度と排気温度過昇を検出して燃料を絞る制御も、最近では各メーカーとも完備するに至った。

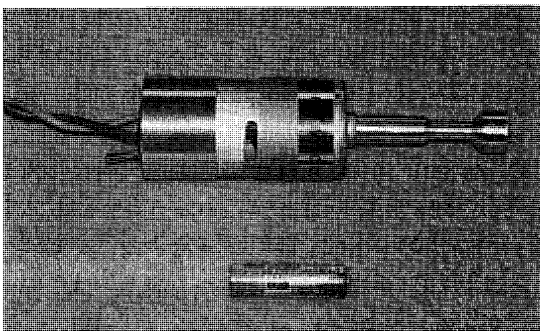


図13 電動スターター (フジインバック(株)提供)

排気温度は熱電対で検出する。起動中と運転中では異なる排気温度制御基準を設けた機種、また軸速度の検出にフォトセンサーを使用する機種等も登場して居る。

機体が発進する直前まで、シリアルコネクターから取出した信号によってジェットエンジンの状態を監視できる、EDT (エンジンデータターミナル, 図14) を発売して居るメーカーもある。其の実況を図15に示す。

6. 模型飛行機用ジェットエンジン一覧

我等ガスタービンに関心を持つ者にとり非常に便利な座右の書として、Gas Turbine World 誌の Gas Turbine World Performance Specs 及び Gas Turbine World Handbook がある。そこで筆者は其の^{ひそ}鑑みに倣い、“Aero-model Jet Engine Performance Specs” と称すべき諸元表を、以下に作ってみた。但し対象は、現在我国の市場に出て居る機種に限った事を御容赦願う次第である。

対象ジェットエンジンメーカーは次の各社である。

国産メーカー；(株)ソフィアプレジジョン

海外メーカー；AMT Netherlands 社 / AMT USA 社
RAM 社 (米)

Turbomin 社 (スウェーデン)

諸元表を表1に、各機種の組立断面図及び写真を図16～21に掲げる。尚、諸元表中の空欄は、筆者の力不足の故に調査できなかった箇所である。

ここで国産エンジンのJ-450/J-850について一言。

メーカーの(株)ソフィアプレジジョンは、フランスのJPX社との技術提携で出発したが、LPG 焚でなしに液

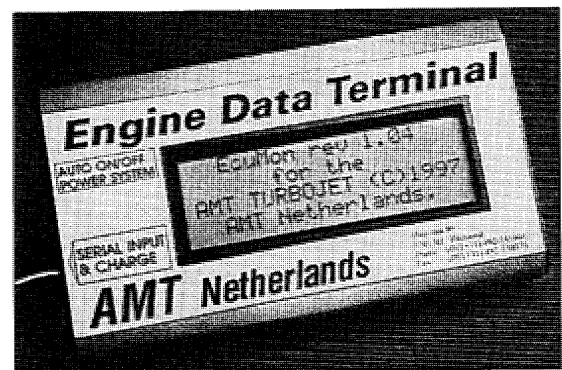


図14 エンジンデータ表示装置 (有サガミ堂提供)

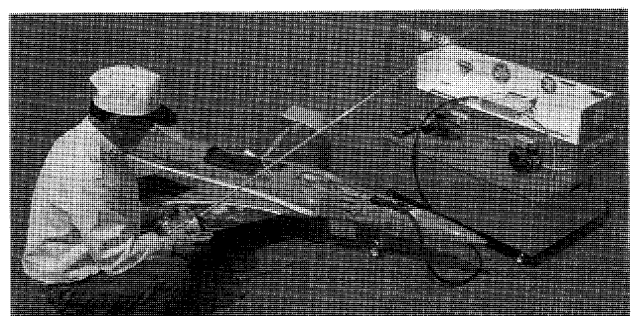


図15 ターボジェット機発進前の実況 (有サガミ堂提供)

表1 模型飛行機用ジェットエンジン諸元

メーカー	(株) ソフィアプレジジョン		AMT (Advanced Micro Turbines)			RAM		Turbomin		
国 籍	日 本		オランダ/米 国			米 国		スウェーデン		
型 式	J-450	J-850	Mercury	Pegasus	Olympus	RAM750	RAM400	TN-1000	TN-100J	TN-60/90
発 売 年	1993/秋	1998/10	1998/8	1996/12	1998/2		1999	1998	1998	1996
最大推力 N(kgf)	54(5.5)	84(8.5)	70(7.1)	100(10.2)	190(19.4)	74(7.5)	39(4.0)	157(16)	113(11.5)	93(9.5)
圧 力 比	2.30	2.70	2.8	3.0	4.0	2.1			1.9	1.9
最高回転速度 min ⁻¹	125,000	130,000	145,000	110,000	110,000	115,000		100,000	105,000	105,000
吸気量(額定) kg/sec	0.10	0.15	0.20	0.28	0.40					
排気温度(額定) °C	700	750	675	675	700	560				
燃 料	JP-4	JP-4	JP-4/Kerosene, Jet A-1, その他			灯油		灯油又は自動車用軽油		
点火用燃料	不要	不要	プロパン (L P G)			ブタンガス		灯油		
始動方法	圧縮空気	圧縮空気	圧縮空気			小型直流モータ 又は電動ファン				
潤 滑 油	MIL-L-23699E	MIL-L-23699E	Aeroshell 500 (燃料に混合)			航空用合成油		自動車用合成油		
エンジン自重 kg	1.8	1.4	1.4	2.1	2.4	1.1	0.57	2.5	2.4	2.0
推力/自重比 kgf/kg	3.1	6.1	5.1	4.9	8.1	6.8	7.0	6.4	4.8	4.8
構 造	遠心 1 段		遠心 1 段			遠心 1 段		遠心 1 段		
	環状		環状			環状		環状		
成	タービン		軸流 1 段			軸流 1 段		軸流 1 段		
輸入総代理店	—	—	(有)サガミ堂			フジインバック (株)				

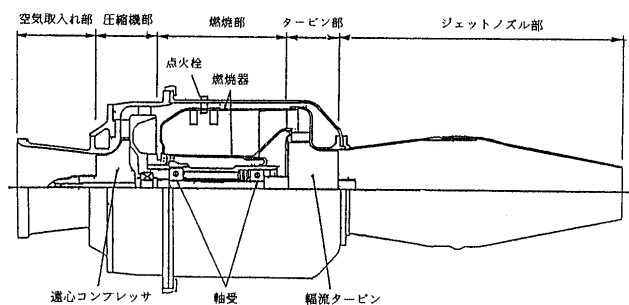
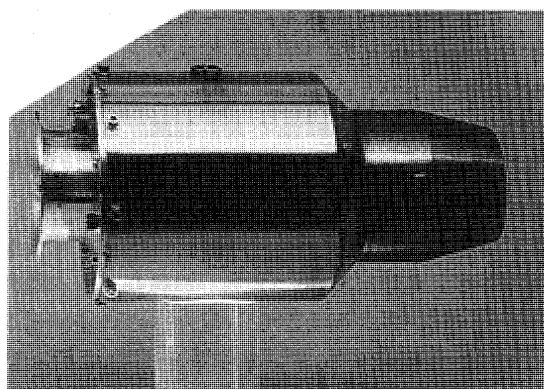
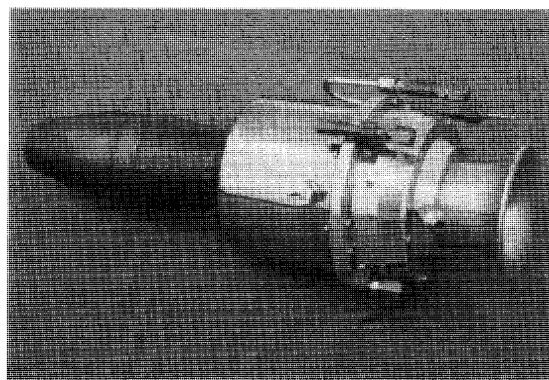
図16 J-450 ターボジェットエンジン構造略図
(三和電子機器(株)提供)

図19 AMT ジェットエンジン外観 (有)サガミ堂提供)

図17 J-450 ターボジェットエンジン
(三和電子機器(株)提供)

Turbomin TN100

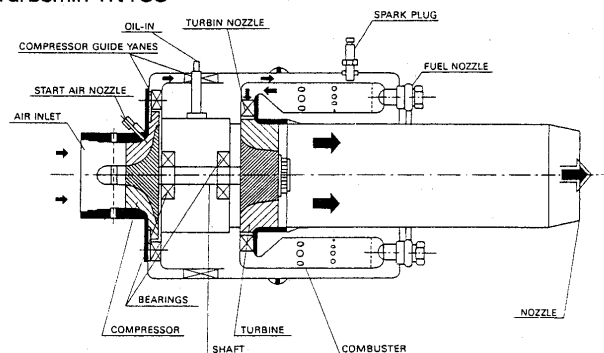
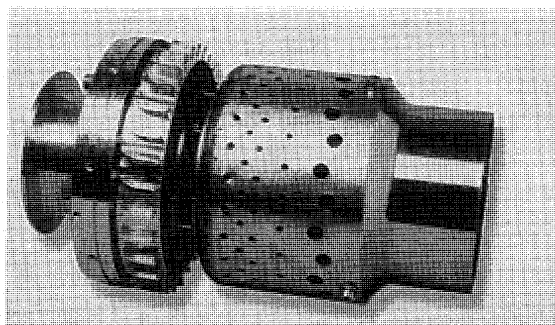
図20 TN100 ジェットエンジン構造図
(フジインバック(株)提供)

図18 AMT ジェットエンジン内部 (有)サガミ堂提供)

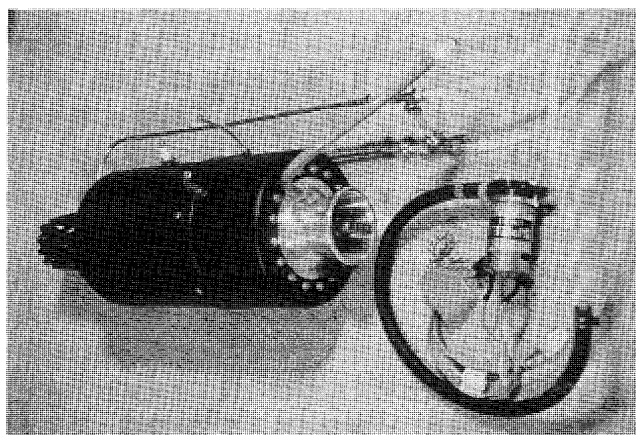


図 21 TN 100 ジェットエンジン及び燃料ポンプ
(フジインバック(株)提供)

体燃料に変更する開発に成功。斯くして市場に出された J-450 エンジン (図 16, 17) の国内拡販に貢献したのは、我国有数の模型用無線機器メーカー三和電子機器(株)であった。

図 22 に後継機、新型式の J-850 エンジン、図 23 にはその圧縮機、タービンロータの写真を掲げる。ロータは若干モディファイした仕様のターボチャージャー用を使用し、コストダウンを期して居る。また軸受はハイブリッドセラミック転り軸受である。同エンジンの性能曲線を図 24 に示す。

海外メーカーの項には、輸入総代理店を明記した。これらの各社は模型ジェットエンジンに関する限り、単なる輸入販売業のみでは無く、法規面を始め我国の事情に各エンジンを適合させるべく、肌理細い努力をし関連部品を世に出して居るのである。

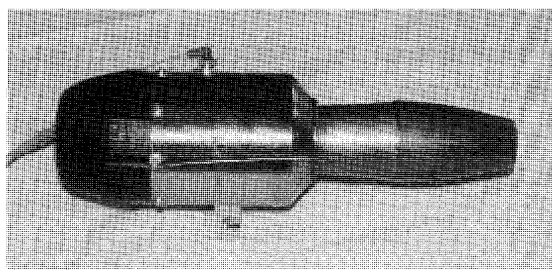


図 22 J-850 ターボジェットエンジン
(株ソフィアプレジジョン提供)

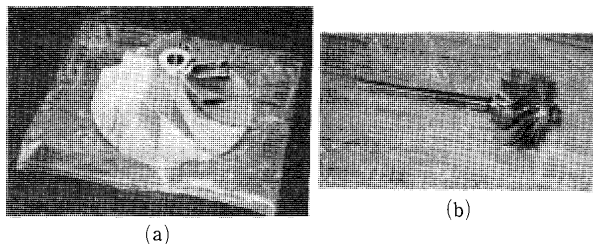


図 23 J-850 ターボジェットエンジンの
圧縮機ロータ(a)
タービンロータ(b)
(株ソフィアプレジジョン提供)

7. 安全の確保

模型飛行機は、これを嫌う人々が思っているほど、危険のあるものではない。しかしながら空を飛ぶ物で、而も罪多き人間が地上から操縦して居るのであるから、いつ何時落ちて来ないとも限らないのも確かである。特に推力が、小さくても 4~5 kgf に達するジェットエンジンを搭載する機体は、勢い大形になる。それ故、安全の確保は至上の課題であり、5.2 項に述べた制御の自動化や保護の充実も、全て安全を目指すものである。

ところで安全の対象は、三つに大別される。

先づエンジン自体の破損。地上での始動から定格運転状態に至るまでの間に回転部の飛散事故が生ずれば、機体のそばに居る操縦者及び助手の被害は大きい。斯様の事故は、たとえジェットエンジン自体の構造強度に問題が無くとも、取扱の不備に基づく過速度、燃料過多等の事象に伴っても起りうる。

次に空中での事故。大形で且つ翼面荷重の大きくなり、がちなジェット模型機にとって、空中でのエンジン不時停止は実に重大な危機である。たしかにターボジェット機を飛ばそうとする程の人は余程のヴェテランに相違ないから、十中八九は慌てずに滑空させて無事着陸するであろうが、高度に余裕の無い時などの危険は大きい。そこで、エンジンには飛行中に絶対停らない信頼性が要求されると共に、艤装に当って燃料供給量を急変させ得ない様にする等の配慮が、模型家側にも求められる。

最後に火災。ジェットエンジン表面の高温になる部分が機体に触れたり、外気の流通が悪かったりしない様に搭載するのが鉄則であるが、更に、起動に際して消火器を常備し、万全を期さねばならない。

米国では AMA (Academy of Model Aeronautics) の認可のないエンジンは、AMA の主催するコンペティ

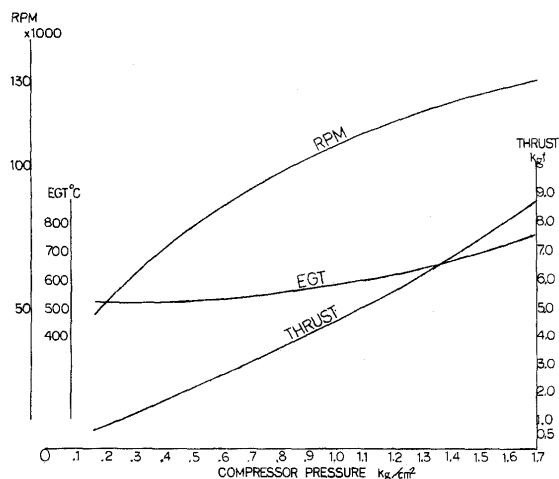


図 24 J-850 エンジン性能曲線
(株ソフィアプレジジョン提供)

ションでは飛ばす事が出来ない。また各メーカーが行う講習の受講が義務づけられて居る。

国際的組織としては IJMC (International Jet Model Committee) がドイツに本部を置いて同様な活動をして居る。

我国でもジェットエンジンには、他の模型用品に例を見ぬほどの分量の取扱説明書類が添付されるほか、各メーカー毎に指導や行事があり、更に上記 IJMC の主催する次回 Jet World Masters に日本代表を派遣する事が検討されて居る。

8. 終りに

永年の夢であったターボジェットエンジンを模型家が手に出来る様になったのは、ターボ過給機の発展、即ち従前は船用、発電用又はトラック用のディーゼル機関専用であったターボ過給機が、乗用車のガソリンエンジンにまで適用されたガスタービン技術の進展と、コストパフォーマンスの賜物である。

数ある模型飛行機用原動機のうち、ジェットエンジンは優れて実物的であって、学校の教材用、研究機関の実験用等に採用され、更にガスタービンメーカーの社内教育用にも購入されたと聞く。今後の模型用ジェットエンジンの更なる発展と、一層のコストダウンを願ってやまない。

工場からエンドユーザまで(中・小形ガスタービン) ——非常用発電装置——

山田 英幸^{*1}
YAMADA Hideyuki

木下 茂樹^{*1}
KINOSHITA Shigeki

1. はじめに

阪神大震災以降、防災用非常用発電装置に対する需要が多くなり、小形・軽量の特長を持ち、設置場所の選定にも有利なガスタービン発電装置が従来のディーゼルエンジンに比べ増加している。

非常用発電装置は通常、落雷や災害などによる停電発生時においてのみ運転されることがほとんどで、またその用途から確実な始動性能と安定した運転が要求される。

地震多発国である日本に於いて、宮城沖地震以降、冷却水のいらぬガスタービンエンジンが非常用発電装置の原動機として注目され、今日に至っている。

非常用発電装置に関して、概略を紹介する。

2. 機種選定

(1) 容量算出

電力容量は負荷設備に見合った容量計算に従ってその必要容量を算出する。この容量に基づき設置スペース、運用方法等を考慮して自家発電装置の台数を決定し、1台当たりの必要出力が決定される。

設備の負荷には一般負荷あるいは、防災用負荷等があり、防災負荷となれば投入順序等により算出された出力が基準となって発電機の容量が決定される。

発電機の容量が決定されれば、ディーゼルエンジンとは異なり、高速回転のガスタービンエンジンは等価慣性値が大きく負荷投入率に影響されないため、そのまま出力が求められる。

このような容量計算にあつては、「自家発電設備の出力算定ソフトウェア」(消防庁予防課監修、社団法人日本内燃力発電設備協会)^①があり、負荷の種類、機器の種類、負荷の投入方法などによって各種の係数が設定され計算できるようになっている。

(2) 設備計画

ガスタービン発電装置は、排気ガスを単独に排出する「単独排気システム」と、排気動圧を利用して防音ボックス内の換気を排気ガスと一緒に排出する「エジェクター排気システム」に大別される。

設備計画においては、この排気システムの違いにより給・換気システムの構成が異なってくる。

給・換気システムはガスタービン発電設備の機器配置の上で大きなファクターを占めており、これらの計画により機場の寸法、さらには性能を左右することにもなる。

給換気システムを計画・施工する上で、一般空調システムとの取り合いには十分に設備側と協議を行い施工する必要がある。

給換気・排気ダクトの寸法、容積、抵抗等に伴うルート、及びダクトの固定方法としては一般的には天井吊りが採用される。これは一般空調ダクトと同じであるが排気ダクトの場合は特にその高温性のため断熱処理を含めた形状・重量を考慮する必要がある。またその輻射熱に伴う室内換気も十分に考慮する必要がある。

ガスタービンエンジンの場合、排気温度が500℃～600℃程度と高いため、熱膨張による影響を充分考慮し、伸縮継手、スリーブ管等重要な機器について検討、計画する必要がある。

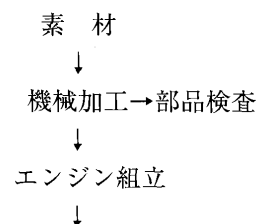
3. 製造開始時期

機関の製造開始時期は、エンドユーザーの据付工事の日程からさかのぼり決定される場合がほとんどである。

製造する品目別に見ると、エンジン本体・減速機などの動力発生部、発電機や制御盤等の電気品、運転時の防音のため発電装置全体にかぶせる防音ボックス、排気サイレンサー、建物の給気・換気装置等いろいろな部品があるが、それぞれについて、製作に必要な工程から製造開始時期が決まってくる。

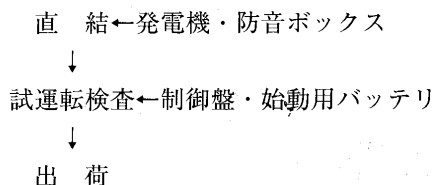
4. 工場内の製造の流れ

工場内の流れは概略下図のようなフローになっている。先に述べたように製作するものは大別して、機械部品、電気部品、防音ボックス、そして給換気装置及びダクト等の部品に分れている。製造過程においては機械加工後の部品検査を行い、また組立が完了した発電装置は試運転検査を行い出荷する。



原稿受付 1998年11月12日

^{*1} ダイハツディーゼル株式会社 ガスタービン技術部
〒524-0035 滋賀県守山市阿村町45番地



5. 手続き

非常用発電設備を据付け、稼動させるためには各官庁への届出が必要で、主に下記のようなものがある。

(1) 消防署への届出⁽²⁾

自家発電設備は、燃料として危険物（石油類）を使用するため、その取り扱う量によって危険物に関する届け出が必要となる。

使用燃料の種類、容量及び貯蔵場所等により一定の基準が設けられており、また貯蔵場所にも種々の規制が設けられている。これらの基準はいわば最低限の基準であり設置場所、保管状況に応じ最終的には所轄の消防署の指導を受けることが多い。

消防法では規制する量を「指定数量」として定めており、品名によってその量を規定し、また届け出の手続きも異なっている。表1に「指定数量」、表2に「届け出手続き」の内容を示す。

ガスタービンエンジンの特徴としてビルの屋上に設置されるケースが多々あり、その場合燃料の貯蔵所はビルの地階、あるいはそれに近い場所となる。このような場所での貯蔵はビルそのものが、建築時と自家用発電設備設置時とが同時期でないような場合、すなわち既設ビルへの設置等に対しては特に防火に対応した構造としなければならないため、貯蔵所の改築、改造が必要となる。

燃料の給油は当然タンクローリー車からの給油となる。そのため給油に必要なスペースあるいは商業ビルの場合

はその外観、給油場所も重要な項目となってくる。

(2) 通産局への届出⁽²⁾

使用前検査の対象範囲として、工事計画の認可または事前届出を行った電気工作物のうち一定のものについては、その工事が完了し、これを使用するときには、使用前検査を受けこれに合格した後でなければ使用することが出来ない。

使用前検査の対象となるものは、表3の通りである。使用前検査の合格基準は次の通りであり、そのいずれにも適合しているときは合格書が交付される。

- ① その工事が工事計画の認可を受けた工事の計画又は事前届出をした工事の計画に従って行われていること。
- ② 技術基準に適合していないものでないこと。

一方、検査対象外のものは、最大電力1000kW未満であって、受電電圧10kV未満の受電設備及び非常用予備発電装置等となっている。

大気汚染防止法の規制内容、すなわち「ばい煙発生施設」に関しては、非常用施設については排出基準の適用が当分の間、猶予されているが、電気事業法における公害に関する工事計画の届け出が必要である。

(3) 内発協への申請⁽²⁾

製造業者が自家発電装置の認定を受けようとした場合、内発協（社団法人日本内燃力発電設備協会）に登録を行い審査に合格した後でないと認定は受けられない。

登録については、内発協が定める「登録基準」に示されているが、特定設備（運転設備及び試験設備）、管理責任者、品質管理体制、自家発電装置の実績等を記載した登録審査申請書を提出し、審査及び実地調査を受けることになっている。

下記に認定区分の一例を示す。

表1 危険物の指定数量⁽²⁾

種 類	品 名	指 定 数 量
第 4 類	第 2 石 油 類（軽油・灯油）	1 0 0 0 L
	第 3 石 油 類（重油）	2 0 0 0 L
	第 4 石 油 類（ギヤ油、シリンダ油）	6 0 0 0 L

表2 届け出手続き⁽²⁾

指 定 数 量	申 請（届 出）の 手 続 き	根 拠 条 文
指 定 数 量 以 上	危険物貯蔵所（取り扱い所）設置場所許可申請書	消 防 法 第 11 条
指 定 数 量 の 1/5 以 上	少 量 危 険 物 貯 蔵 取 り 扱 い 届 出 書	火 災 予 防 条 例
指 定 数 量 未 満		準 則 第 46 条
指 定 数 量 の 1/5 未 満	届 け 出 は 要 し な い	

表3 使用前検査対象範囲⁽²⁾

施 設 の 種 類	検 査 対 象 範 囲	検 査 の 時 期	検 査 実 施 者
ガ ス タ ー ビ ン 発 電 所	1,000kW 以 上	全 工 事 完 了 時	3 万 k W 未 満 ； 指 定 検 査 機 関

(例) 認定区分: M W T S

容量区分

$F \leq 24 \text{ kW}$
40 PS
 $24 \text{ kW} < S \leq 100 \text{ kW}$
40 PS 150 PS
 $100 \text{ kW} < M \leq 500 \text{ kW}$
150 PS 750 PS
 $500 \text{ kW} < L$
750 PS

用途区分

W: 長時間形
U: 普通形
Y: 即時長時間形
X: 即時普通形
Q: 長時間形
P: 普通形

構造区分

S: オープン式
R: 屋内用キュービクル式
O: 屋外用キュービクル式

原動機区分

T: ガスタービン
D: ディーゼル機関
G: ガソリン機関

: 自家発電装置

: 非常動力装置

長時間形自家発電装置:

停電後自動始動し、40秒以内に自動的に電圧が確立し、負荷に電力を供給出来るもので、定格負荷で連続10時間運転できるもの。

普通形自家発電装置:

長時間形と同じもので、定格負荷で連続運転時間が1時間運転のもの。

即時形自家発電装置:

防災電源のうち建築基準法による「非常用の照明装置」の予備電源として蓄電池なしで設置出来る認定基準に適合するもので、即時始動のための始動装置が設けられ、停電後自動始動し、10秒以内に自動的に電圧が確立し、負荷に電力を供給出来るもので、定格負荷で連続10時間運転できるものを即時長時間形、連続1時間運転できるものを即時普通形という。

6. 検査

検査項目は大別して、部品検査と運転検査がある。各機器を構成している部品はその品質を確保するため、材料についてはミルシート、寸法及び公差等については図面指示寸法、そして熱処理等が図面指示通りのものであることを機械加工完了後、また完成品は社外メーカ等から納入された時点で検査確認する。

組立工場で完成した発電装置は性能確認のため製造メーカによる自主検査に加え、客先要求に基づいた各種検査項目について工場試運転が実施される。

工場での試運転検査方法には、事前に客先に提出し承認を得た試験方案に基づき実施される場合が多い。

試験項目については通常、始動試験、負荷試験、調速機試験、そして保護装置試験などを行い、仕様を満足している事を確認する。

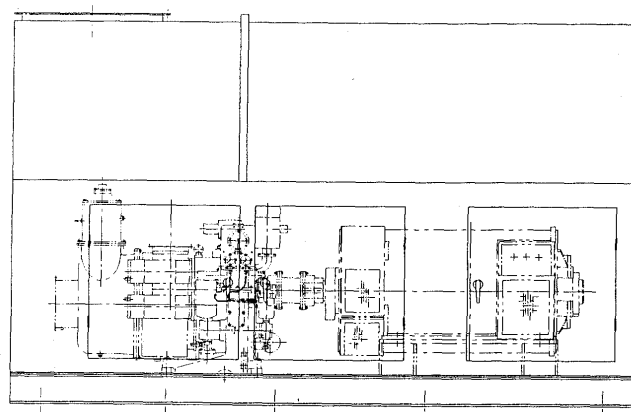


図1 発電装置構造

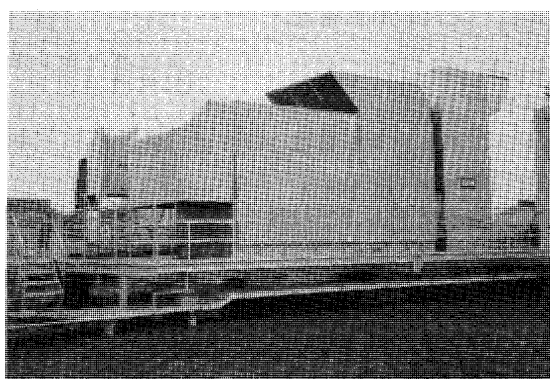


図2 屋上設置例

7. 出荷・据付工事

工場での試運転検査が終了した後、運搬のための梱包を行い出荷する。

500~1000 kW クラスのガスタービン発電装置においては、通常発電装置に防音ボックスをかぶせた形態にて搬送される場合が多い。

構造は図1に示すようにベース上にすべてが組み付けられているため、一体形態にて据え付けることが出来る。

ビルの屋上設置では、ビルの高さ、周囲状況などにより一体搬入が出来ない場合には、現地での組立を考慮した機器の設計が必要となる。

ガスタービン発電装置の特長として、据付の簡易性が上げられる。これは既にベース上で芯出し調整が済んでいるため発電装置を一体にて基礎上に設置すればよい。また起振力もないためディーゼルエンジンのような強固な基礎も必要としないため据付時間の短縮を図ることできる。

一方既存建築物の屋上へ設置するケース(図2)もあり、この場合は建築物の柱からH鋼等の梁構造を組み、その構造体に据付ける事が容易であり、これらの据付方法によってもガスタービン発電装置の据付の容易性がうかがえる。ガスタービン発電装置の工事と言えば、本体を含む防音キュービクル、燃料系統、それに排気システム、給換気システムであり、排気システムは単独排気シ

表4 点検内容⁽²⁾

	対 象 物	点 検 の 内 容	点 検				
			監 督	点 検 者	期 間	報 告	基 準
電気事業法	す べ て	点 検 の 点 点 点 日常 定期 精密 測定	選任された主任技術者	関 係 者	保 安 規 定 に 由 る	保 安 規 定	
建築基準法	特 定 行 政 庁 が 指 定 する もの	外 観 点 検 機能 点 検 技術 点 検		建 築 設 備 査 査 資 格 者	特 定 行 政 庁 が 指 定 する 期 間 (概 ね 1 年 1 回)	特 定 行 政 庁 が 指 定 する 期 間 (概 ね 1 年 1 回)	建 築 設 備 査 査 資 格 指 導 指 針 (建 築 指 導 課)
消 防 法	特 定 防 火 対 象 物 以 上 の 物	作 動 点 検 機能 点 検 外 観 点 検 総合 点 検		消 防 設 備 査 査 資 格 者 (専 門 技 術 者 を 併 有 する 者 を ※)	6 月 と 1 年 (総 合 点 検)	1 年 に 1 回 (特 定 防 火 対 象 物) 3 年 に 1 回 (そ の 他 の 防 火 対 象 物)	点 検 基 準 (告 示) 点 検 要 領 (通 達)
	消 防 長 が 指 定 する 物						
	上 記 以 外 の 防 火 対 象 物						

※は第1種自家用発電設備専門技術者甲類または乙類の保全部門の資格を取得している者を示す。

システム・エジェクター排気システムに大別され工事内容も大幅に変わってくる。

この排気システムにより排気ダクトを含む機器の設置計画が大きく左右され、強いていえば性能にも影響する場合がある。

8. 現地試運転

現地に搬入し、据付け工事が完了した後、試運転検査を行う。現地試運転は総合的な動作確認が目的であり、主に次のような試験項目がある。

- (1) 性能試験：負荷試験等。
- (2) 切替試験：系統連携の確認等。
- (3) 総合的な保護装置試験：発電装置の保護装置を含めた、系統の保護装置試験。
- (4) 環境試験：騒音、振動等。

これらを確認した後、発電出力が1000 kW 以上の場合は「使用前検査」の合格証が交付される。

9. 定期点検⁽²⁾

自家用発電設備には、常用電源が停電した場合に、保安電力の供給のために設置されるものと消防法で定める「非常電源」、建築基準法で定める「予備電源」として、防災用設備に電力を供給するためのに設置されるものがある。通常はこの両方を兼ねた設備として設置される場合がほとんどである。

これらの設備には、電気事業法、消防法、建築基準法等による点検・報告の義務付けが行われているが、三法の基準の一元化をはかり、非常用発電設備の予防保全の最低基準として内発協が定めた保全基準に従って点検すれば十分なものとなっている。

各法令の点検内容を表4に示す。

内発協の保全基準は予防保全としてその内容を定めているもので、日常点検、半年点検、一年点検、六年点検

の四種類に分類している。

点検内容の概略は次の通り。

(1) 日常点検

毎日点検を含み、2週間あるいは1ヶ月以内の始動運転点検を行うもので、いつでも運転できる状態に保つために周期的に実施する。

(2) 半年点検

専門技術者により、運転待機状態及び始動時間を確認し、運転操作、始動時の異常の有無等外観・機能の点検を行う。

(3) 1年点検

現場において専門技術者による設備全体の機能・性能を維持していくための確認を行う。部品等の点検、整備、調整、交換等を実施する。

(4) 6年点検

半年、1年点検で発見できない部分を主に機器・部品の劣化等の点検、消耗部品の整備交換をするため、分解、整備、運転を行う。

10. おわりに

非常用発電設備は、冷却水が不要で、排気ガスなどの環境へ及ぼす影響からも有利なガスタービン化の様相を呈しており、その用途から確実な始動と安定した運転を求められている。そのため製造過程においては厳しい品質管理の下に製造され、稼働している設備に関しては、定期的な点検及び整備を実施し、いつでも運転できる状態に保持しておかなければならない。

参考文献

- (1) (社)日本内燃力発電設備協会 消防庁予防課監修
自家発電設備の出力算定ソフトウェア
- (2) (社)日本内燃力発電設備協会
自家用発電設備専門技術者テキスト

工場からエンドユーザまで (中・小形ガスタービン) ——コージェネレーション設備——

向井 茂^{*1}

MUKAI Shigeru

佐藤 隆郎^{*2}

SATO Takao

永田 博^{*1}

NAGATA Hiroshi

1. はじめに

ガスタービンコージェネレーションは、総合効率の高さとクリーンな排気ガスによる環境保全・地球温暖化防止策としてその導入が進められている。日本コージェネレーション研究会の調査では、96年9月末にて民生用70台、産業用286台のガスタービンコージェネレーションが導入されており、これらの約7割が1～5MWの小型ガスタービンを原動機としたシステムである。

本稿では、その主力となっている1MW～2MWクラスのガスタービンコージェネレーションの機種選定から製造、検査、出荷、納入、試運転、実運用開始までをその段階毎に以下説明する。

2. 機種選定

機種選定に当たっては、色々の要素がからまり一概に述べる事は出来ない。先ずは、コージェネを導入するかどうかの判断がある。省エネによるコストセーブの側面だけでなく下記要素があり、それがコージェネの規模を決めている。

- ① 最近の傾向であるCO₂削減等環境面からの導入
- ② 重要負荷設備への電力供給源の信頼性を上げる目的で導入 (雷等で電力系統が影響を受ける前に、重要負荷設備を系統から切り離して運用する等の対策)
- ③ 従来から多い需要電力の増大に対応する為に導入
- ④ 既設ボイラーの更新時期にコージェネを導入し、既設ボイラーを廃止する更新需要
- ⑤ ビル設備には必須の防災用発電機の機能を持たせたコージェネの導入 (防災用兼用機) 等々があり、上記条件が整ってコージェネの導入となる。

コージェネの規模 (機種選定) は、導入の動機により決められた所要電力予想を基に検討される。工場必要蒸気量と、選定するガスタービンから発生可能な蒸気量が合わない場合も多く、過多であればガスタービンへ蒸気注入するシステムを採用するとか、コンバインドサイクルを採用する等の対策が取られる。逆に、発生蒸気が不

足する場合は、追焚装置等を設置する方法が取られる事がある。最近では、熱需要減少・電気需要増加の傾向が益々強くなっており、ガスタービンからの発生蒸気を如何に有効利用するか等、余剰蒸気対策を考えたシステムを積極的に採用するコージェネが多くなっている。

次に、当然の事ながらコージェネの規模を大きくしていけば、その効率も上昇し採算性は上がっていく。つまり、採用するガスタービンは大型であればそれだけ採算性が良くなる、しかしながら、1～2MWクラスのガスタービンを複数台設置の件数も多いのが実状である。その理由としては、前述の⑤に示す防災用兼用機である場合、コージェネを工場設備の増強に併せてタイムリーに増強する場合、保守メンテナンスを考え複数台設置する場合等々がある。

以上のような各種検討を、ユーザ単独あるいはメーカー提案を基にユーザで検討する事によりコージェネの規模が決まる。その決定を受けてメーカー側からの見積り仕様書等をベースにユーザとの具体的な打合わせが開始される。その中で、機種決定・基本仕様確定となり受注の運びとなる。

これからが製造開始となり、メーカー側では長納期品の手配着手にかかり、ユーザ側では設置場所の基礎工事着手に向けた調整等具体的な実施設計が始まる。受注後の先ず第一の作業は、配置の確定と基礎工事に関わる設計作業である。この作業が済めば一段落となる。

3. 諸官庁手続き

コージェネの計画を具体化する上で、各種諸官庁への申請手続きを行っていく事になる。その中でコージェネは小容量でも発電所の新設である事から、電気事業法に関わる「工事計画 (変更) 届出」の届出を第一優先でまとめていく事になる。届出を出す為には、各種調整が必要であり、結果的には届出時点でコージェネの計画は既に6割以上は固まった事になる。

その他には、液体燃料・潤滑油を使用する事から消防法の規制も受け、排熱ボイラーを設置する事から労働安全衛生法の適用も同時に受ける事になる。以下その主要な届出書類の項目等につき記載する。なお、詳細については、「天然ガスコージェネレーション計画・設計マニユ

原稿受付 1998年9月21日

*1 川崎重工業(株) 汎用ガスタービン事業部 プロジェクト部
〒673-8666 兵庫県明石市川崎町1-1

*2 川崎重工業(株) 汎用ガスタービン事業部 生産管理部

アル'98」等に詳しく書かれており参照願いたい。

① 電気事業法に関わるもの

- ・工事計画 (変更) 届出 (1,000 kW 以上 15 万 kW 未満のガスタービンを設置する場合)
- ・保安規定 (変更) 届出 (コージェネ関係の追加)
- ・主任技術者選任届 (ボイラータービン主任技術者および電気主任技術者)
- ・使用前検査申請 (発電所の完成検査であり, 30,000 kW 未満の場合は発電設備技術検査協会に届ける)
- ・試験使用届出 (使用前検査合格前に系統連系する必要がある時, 電力会社にも説明が必要)

② 消防法に関わるもの

- ・発電設備設置届
- ・危険物貯蔵所・取扱所設置許可届 (液体燃料を使用するコージェネの場合)
- ・少量危険物貯蔵・取扱届 (液体燃料・潤滑油類が指定数量未満で 1/5 以上の場合)

③ 労働安全衛生法に関わるもの

- ・排熱ボイラー設置届 (発電用以外のもの)
- ・排熱ボイラー落成検査申請

④ 公害関係に関わるもの

- ・振動規制・騒音規制および大気汚染防止に関する届出は, 項目①の工事計画 (変更) 届出に含めて届出を行う事になる
- ・公害防止協定 (地方自治体と締結している場合)

以上が届出関係の主な物であり, その他に建築基準法に関わるものがある。また, 商用電源との系統連系を実施する場合は, 早い時期に電力会社との事前協議を行い合意しておく必要がある。

4. 発電装置 (システム) の構成と生産形態

コージェネ用発電装置は大きな構成として, 以下の 3 つに大別される。

(1) ガスタービン

(2) 発電機, 防音箱, G/T 制御盤等

(排気サイレンサーはコージェネではボイラーを設置するので一般的には不要)

(3) ボイラー, ガスコンプレッサー等の現地据付品

計画生産あるいは受注生産かという形態からみると, (1)のガスタービンは受注済みおよび受注予想を見込んだ計画生産であり, (2), (3)の機器・部品は標準的な区分けはあるものの客先仕様により内容が異なるため, 受注後に詳細設計を行う受注生産としている。

また, 組立・運転を工場内で行うか, あるいは客先現地で実施するかという面から区分けを行うと, (1), (2)は非常用と同じく発電装置として工場内で組立および試運転を行い, (3)のコージェネ用システム機器・部品は現地で据付とコージェネシステム全体としての試運転を行う。

5. 工場内の製造の流れ

当社工場では, ガスタービンの組立・単体試運転および発電装置の組立・試運転・検査を行なっている。以下段階毎の製造の流れを説明する。

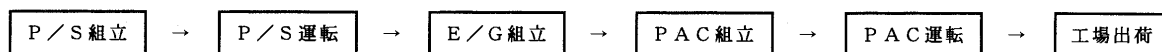
ガスタービン部品の多くは特殊な加工が多く, 使用材料も一般機械部品とは異なった Ni 基, Co 基等の特殊でかつ難削材が多く用いられる。また高温化に伴う耐熱性の向上のため TBC (サーマルバリアコーティング) をタービンノズルや燃焼器ライナーに施工する等, 特殊な工程も多い。これらのガスタービン部品の多くは, 同じ明石工場内にあるジェットエンジン事業部にて生産している。

また, 開発・設計に際しても, 材料や特殊工程関連についてはジェットエンジン事業部の協力を得て設計している。

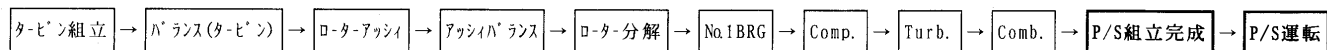
工場内の製造工程であるガスタービン組立から発電装置試運転までの流れを図 1 に示す。

5.1 ガスタービン

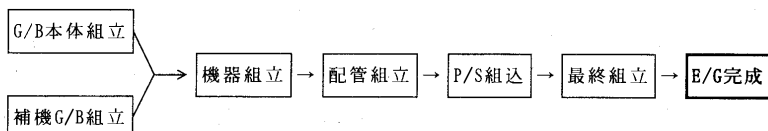
ガスタービン本体をパワーセクション (P/S), P/S



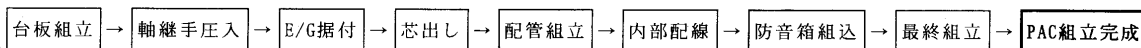
1) P/S



2) E/G



3) 発電装置組立



4) 発電装置運転

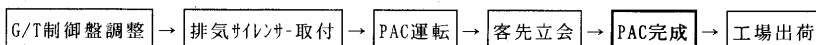


図 1 ガスタービン発電装置全体工程

に減速機を取付けパイピングし発電装置に供給する形にしたものをエンジンアッシ (E/G) と称している。主な工程は次の通りである。

- ① 植込み型タービンの組立及び単体バランス修正
- ② ローター組立とアッシバランス修正 (コンプレッサとタービンをメインシャフトを介して連結しローターアッシとし、バランス修正を行う。)
- ③ P/S 組立
- ④ P/S 単体運転
単体で運転試験を実施し、性能および機械的に正常であることを確認する。主な試験項目は
・性能関連項目 (出力、排気ガス温度、燃料流量、圧力比、空気流量等)
・機械的項目 (回転数、振動、潤滑油圧、潤滑油温、始動・停止時間、過速度試験等)
- ⑤ E/G 組立 (P/S を減速機に取付け、機器・配管の組立)

5.2 発電装置

5.2.1 組立

- ① 台板に発電機と E/G を据付、芯出しして軸継手で連結する。
- ② 燃料、潤滑油系の配管
- ③ 防音箱に内部配線
- ④ 防音箱を台板に組立
- ⑤ 最終組立 (最終の配管・配線作業)

5.2.2 運転

組み立てた発電装置を運転場に引き出し、排気サイレンサーを据付け工場運転を行う。

- ① ガスタービン制御盤は模擬信号を入力し事前点検を実施しておく。
- ② 発電機負荷は水抵抗器で吸収している。
- ③ 主な試験内容は下記の通りである。
・燃料スケジュール調整
・調速機試験
・保護装置試験
・性能試験 (3 時間のヒートラン)
・振動、騒音測定
・発電機の電流・電圧、巻線や軸受温度測定等

発電装置の試験に於いては、ガスタービンの性能や機械的要目は単体試験で実施しているのでその確認の他に、発電機やガスタービンの制御あるいは保護装置の正常な作動確認と調整を主たる目的として行っている。また、コージェネ用発電装置はモニターリングシステムを設け、更には遠隔監視装置を設置することが一般的であり、これらの作動確認・調整も行う。

工場試験での燃料は、客先仕様に従い液体燃料あるいは都市ガスを用いる。常用防災兼用機、デュアル燃料仕様の場合は液体燃料とガス燃料の両方で試運転することもある。特殊な機種として DLE (Dry Low Emission) 機の場合は、排気ガス分析を行う。

以上、ボイラー制御等現地でしか試験が出来ない項目を除いて、発電装置として工場内試験可能な項目は全て実施して出荷する。

6. 現地工事

現地工事は、品質、コスト、工期そして安全を厳守すべく、その施工計画、準備作業、工事の実施および完成まで、施主を始め社内外関係先との綿密な打合せおよび調整の下に進められる。

6.1 施工計画

マスタースケジュールを基本として、関係先 (上流、下流) との必要情報授受のタイミングを設定する。計画図出図時期、機器、工事部品の納期、施工業者引合および決定時期など、個別物件にあった設定が要求される。基本工程、基本計画図を基に、仮設計画、概略物量、施工仕様を加えた方針を検討する。現地工程短縮および品質向上の目的で、ガス燃料系、NOx 低減用純水系、起動用高圧空気系等の機器を含めた工場製作ユニット化や配管のプレハブ工法が多く採用されている。また施工業者と共同で現地工事の詳細計画 (工程、仮設、施工、安全、品質) を立案する。

- ・工程計画：一日単位の工程を立案し、重機を含む配車計画や作業人員の山積を行う。
- ・仮設計画：現場事務所、作業員詰所、電気、水道、駐車場等現場運営に必要な計画を行う。
- ・施工計画：搬入、据付、配管、電気、計装、ダクト、断熱、塗装などの実施要領を具体化する。

6.2 施工準備

現地工事の施工体制を決定 (配員) し、詳細設計図、施工図および現地工事計画を基に、社内および施主との間で、仕様、工程、諸手続きなど基本事項の最終確認を行う。工場発送品 (組立品、一部分解品、単品)、メーカー直送品それぞれの発送単位 (荷姿) 毎に、現地にて必要な日時を指定し配車および受入の調整を行う。また、あらかじめユニット化に必要な部品を先行してユニット製作工場へ取り込む。搬入日の 1 月前にリストを発行し、最終調整の結果発送指示を出す。

6.3 現地工事

先行工事として、排気ダクトおよびエコノマイザー架台の基礎ボルトの埋込を行う。アンカーフレーム構造とし、基礎工事と並行して埋め込む。排熱ボイラ、発電装置等の機器基礎位置、レベルのチェックを行う。

搬入・据付工事は据付の起点となるエコノマイザー架台の組立、エコノマイザー組込み、排気ダクト取付け、排熱ボイラ、排気三方ダンパ、発電装置の順に取込を実施していく。

ユニットは工場にて製作・組立の後、配管溶接部の非破壊検査、配管接続部の圧力検査、組立仕上がり寸法検査等を終え、塗装完了した完成状態で現地搬入を行う。現地における工期短縮および品質管理に効果的である。

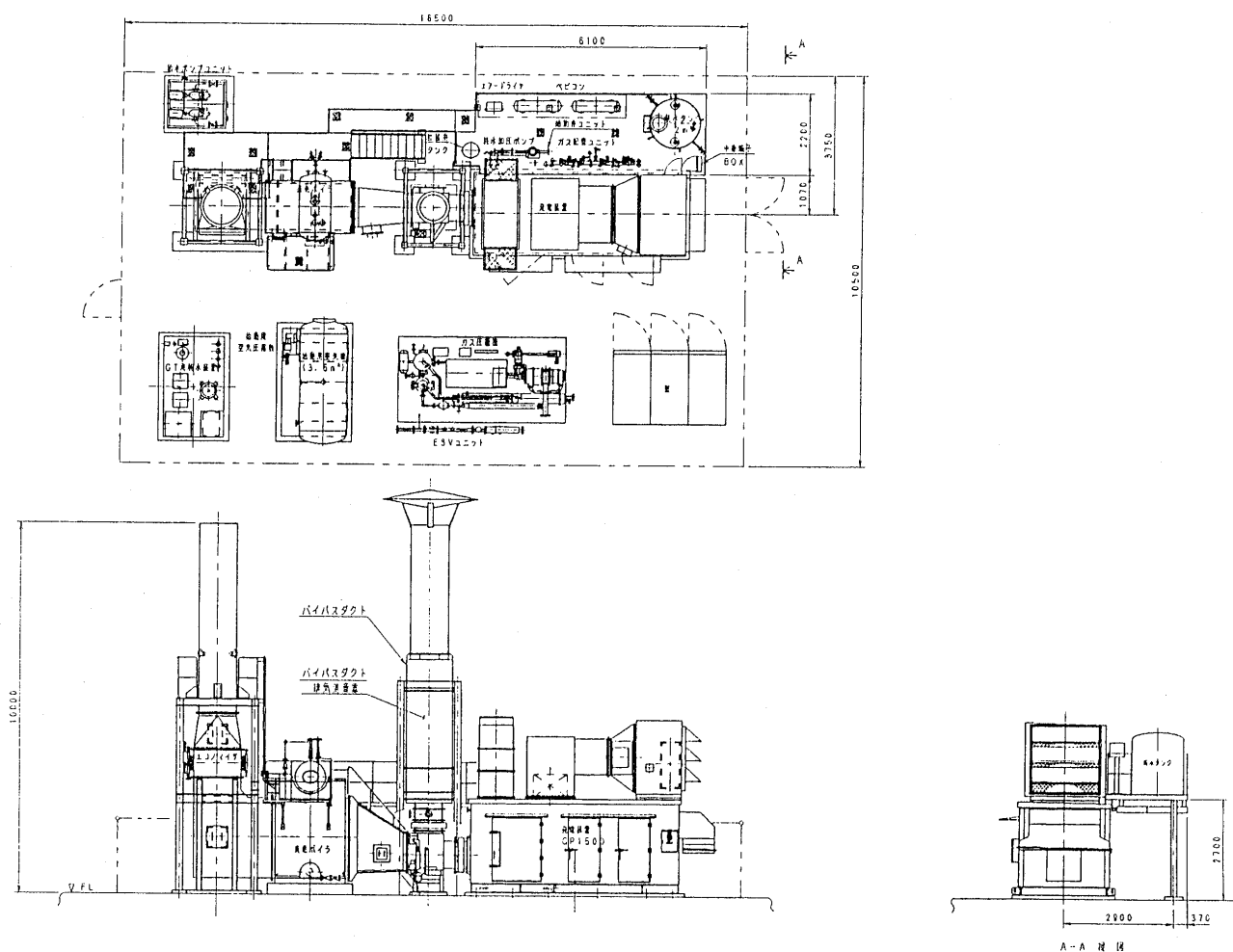


図2 コージェネレーション設備配置例

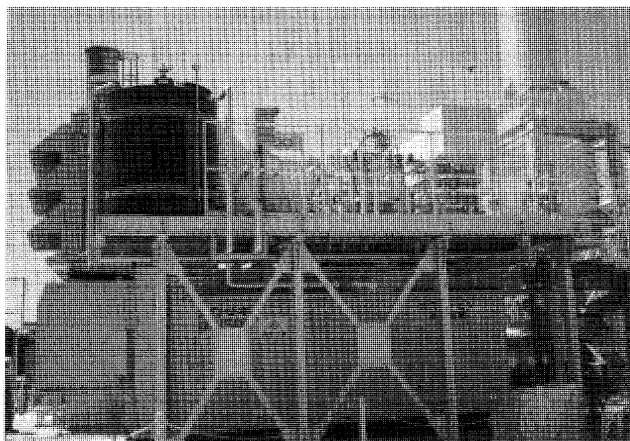


図3 発電装置設置例

主要機器の据付完了後、機器間の配管、電気、計装工事を実施する。最終段階にて断熱、保温、保冷および塗装工を行う。

各工程におけるチェックを、チェックリストにて実施する。工事進捗度が80～90%において、設計および工事の担当者による合同チェックを行い、システム設計上および施工上の不具合を発見し是正する。

7. 現地試運転

7.1 官庁検査

① 電気事業法に基づく試験・検査

電気事業法に基づき、発電設備に関して「発電設備技術検査協会」の使用前検査（立会検査）を受験する。

立会検査に先立ち自主検査を実施し、施工及び機器の性能・機能が「工事計画書」どおりであることを確認する。又、結果を検査成績書にまとめ「発電設備技術検査協会」に対し事前説明を行う。

② 労働基準法に基づく試験・検査

労働基準法に基づきボイラに関して、所轄労働基準監督署の落成検査を受験する。

③ 消防法に基づく試験・検査

消防法に基づき危険物の貯蔵・取扱いに関して、所轄消防署の検査を受験する。

7.2 試験項目

① 試験・検査項目は次の通り。

- ・外観構造検査
- ・接地抵抗測定（他の電気工作物の接地装置を利用しているときは、その接地装置の測定値をもって測定に替える。）
- ・絶縁抵抗測定

表1 標準メンテナンス要領

点検名称	点検インターバル (等価運転時間)	点検目的	主な点検部位
初回点検 「E点検」 (於現地)	500Hr目	運転環境(吸気・燃料・負荷等) の影響による高温部などの状況 の観察	燃焼器部 一段タービン 圧縮機
燃焼器点検 「D点検」 (於現地)	2000~3000Hr毎 燃料及び機種により 異なる	高温ガス通路部の劣化状態を 観察する。	燃焼器部 燃料ノズル スクロール
ボアスコープ点検 「C点検」 (於現地)	3000~4000Hr毎 燃料及び機種により 異なる	高温ガス通路部の劣化状態を 観察する。	圧縮機 燃焼器 燃料ノズル スクロール 1段タービン 最終段タービン
高温部分解点検 「B点検」 (於工場)	8000~16000Hr毎 燃料及び機種により 異なる	ハウセクションを工場に持ち込み、 高温部を分解して目視、寸法、 非破壊検査を実施する。	高温部部品 性能確認運転(工場)
オーバーホール 「A点検」 (於工場)	16000~24000Hr毎 燃料及び機種により 異なる	圧縮機を含むガスタービン本体を 全分解し、精密検査を実施する。 要修理部品や寿命到達部品の 交換を行う。	本体全部品の精密検査 性能確認運転(工場)

表2 標準スケジュール（ガス燃料）

契約期 契約後経年	第1期				第2期				第3期				以降も 左記に倣う
定期検査 定期自主検査	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
T>6,000Hr/年	EC	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
6,000Hr/年>T	E	D	C	A	D	C	A	D	C	B	D	C	A
T<4,000Hr/年	E	D	C	A	D	C	A	D	C	A	D	C	A

1. Tは等価運転時間。
2. 点検記号A、B、C、D及びEは表1による。
3. 等価運転時間が4,000Hr以上、6,000Hr未満の場合、2年ごとに定期検査と定期自主検査を交互に実施する。

- ・絶縁耐力試験
- ・保安装置動作試験
- ・保護継電器試験
- ・始動・停止シーケンス試験
- ・調速機試験
- ・系統連携確認試験
- ・連続負荷試験
- ・燃料消費量測定
- ・蒸気発生量確認
- ・環境測定（煤煙測定、騒音・振動測定）

② ①の試験・検査実施に先立ち、必要な調整試験を実施する。

- ・計装ループ試験
- ・補機器単体調整
- ・発電装置調整
- ・ボイラ調整

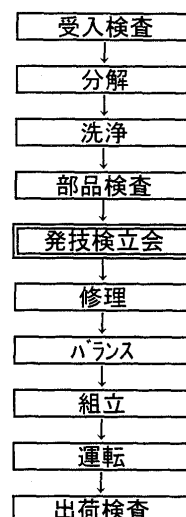
7.3 実用確認、オペレーター教育

① 官庁試験合格をもってコージェネレーション設備は実用供され、かつ顧客殿に引渡される事となる。引渡し後の円滑な設備の移行を目的とし、電気・蒸気負荷設備との連携を行い、コージェネレーション設備の制御性の確認を主目的とした実用確認運転を実施する。

② オペレーター教育

自主検査及び総合試験実施中、オペレーターに対する取扱い説明等必要な教育を実施する。教育は5日程度で効率よく行う。

表3 オーバーホール工程



8. メンテナンスについて

8.1 メンテナンス概要

ガスタービンコージェネレーション設備のメンテナンスは、定期点検が電気事業法で定める定期検査を兼ねるように計画されたメンテナンススケジュールにより実施される。標準メンテナンス要領及び標準スケジュールを表1、表2に示す。

8.2 分解整備概要

定期検査および定期自主検査はG/Tを分解して精密検査を実施する。オーバーホール工程を表3に示す。

この工程中の一部を紹介する。

① 部品検査

長時間にわたり高速回転及び高速・高温・高圧流体に曝される状況下において使用される部品の使用可否判定のために、必要に応じて、非破壊検査、寸法検査（三次元測定器）、硬度検査、流量検査、目視検査を実施する。

② 修理

部品検査にて発見された不具合に対し、機械加工、溶接、Crメッキ、溶射、プラスト、その他必要な修理を行う。

③ 組立

組立においては、チップクリアランス、軸受けの倒れ等の計測、回転体（ローター）のバランス修正を実施する。

9. あとがき

以上1~2 MWクラスの小形ガスタービンコージェネレーションの機種選定から実運用までの概略を説明した。当社初号機コージェネ納入の時期（昭和59年頃）から見ると、規制緩和等有り隔世の感がある。現在、コージェネは一般化してきているが、本稿によりエンドユーザの方々がコージェネをより身近に感じ、より一層導入される一助になればと考える。

日本ガスタービン学会ホームページの更新

山本 誠^{*1}

YAMAMOTO Makoto

1. はじめに

インターネットの世界的普及によって情報伝達に革命が起きていることは周知の事実となっており、企業内における報告書作成、就職案内、各種会議・学会の通知、Eメールによる会議、学術論文の募集・提出など本学会員の日々の業務に直結したものから、ごく私的・趣味的な個人情報まで、ありとあらゆる情報伝達がインターネットを通じて行われています。インターネットの利用者は1997年末に1億人に迫る勢いであり、現在また将来に渡ってもインターネットによる情報伝達的重要性が増大して行くものと考えられています。

日本ガスタービン学会でも、このような状況を踏まえ、国内外に向けて本会の活動を紹介するとともに、本学会員にとって有益な情報を提供する目的で、日本ガスタービン学会ホームページ（以下、GTSJ ホームページ）を運営してきました。今年度GTSJ ホームページの管理・運営がガスタービン技術情報センターに正式に移管されたことに伴い、GTSJ ホームページの一層の拡充と、情報伝達の迅速・効率化を目的として、ホームページ内容の更新、運営方法の見直しを行いましたので、ここにご報告申し上げます。

2. GTSJ ホームページの閲覧方法

新ホームページは、学会事務局に置かれていた従来のホームページを文部省学術情報センターに移管し、大幅に内容を拡充・更新したものとなっています。

以下では、Windows マシンで標準となっているWWWブラウザ「Internet Explorer」に基づいて、その利用方法を紹介いたします。Netscape 等のWWWブラウザでも同様の操作で閲覧することが可能です。なお、この章はInternet 未経験者向けに書いてありますので、Internet を利用したことのある方は、新ホームページアドレス（2.2 節）以外読み飛ばされて結構です。

2.1 Internet Explorer の起動

インターネット上のホームページを見るためには、まずWWWブラウザを起動する必要があります。Windows を立ち上げると「Internet Explorer」というアイコンが表示されています。ここにマウス・カーソルを移動し、マウスの左ボタンをダブル・クリックします（2

度続けて押す）。以上の操作により、Internet Explorer が起動します。

2.2 GTSJ ホームページへの接続

新GTSJ ホームページのアドレスは、

<http://www.soc.nacsis.ac.jp/gtsj>

です。マウス・カーソルをInternet Explorerの「アドレス・バー」に移動し（図1参照）、マウスの左ボタンをクリックして選択した後、このアドレスを記入し、「Enter」キーを押すとGTSJ ホームページに接続されます。このとき、図1のようなトップページが表示されれば正常です。（以下、特に断わりがない限り、「クリック」はマウスの左ボタンを押すことを意味します。）

2.3 項目の選択・移動

トップページ（図1）は、GTSJ ホームページの総目次となっています。左側の「menu」欄、中央の「お知らせ」欄、タイトル左下の「to English Home Page」から見たい項目にマウス・カーソルを移動し、クリックすることにより、その項目のページを開くことができます。このようにして移動したページがその項目の小目次となっている場合（例えば、刊行物）には、さらに希望する項目をクリックすることで、その詳細を見ることができます。また、ツールバー（図1参照）内の「戻る（←）」、「進む（→）」ボタンをクリックすると、現在見ている画面の前後の画面に移動することができます。基本的に、以上の操作を覚えればホームページを閲覧することができます。なお、画面のハードコピーを取る、検索をかけ

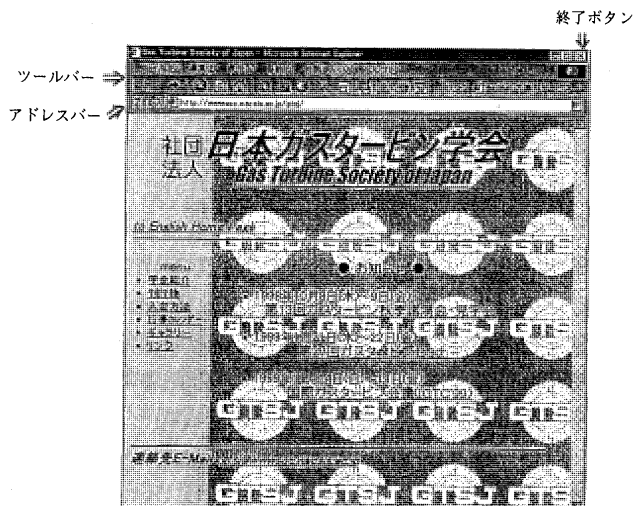


図1 GTSJ ホームページのトップページ（総目次）

原稿受付 1998年9月11日

*1 東京理科大学 工学部 機械工学科
〒162-8601 新宿区神楽坂1-3

る等々の操作が可能ですが、これらの操作方法については、ウィンドウ右上にある「Help」ボタンをクリックして、オンライン・マニュアルを読んで下さい。

2.4 コンピュータへのアドレスの登録

GTSJ ホームページのアドレスをコンピュータに登録することをお勧めします。登録方法は、ツールバー内の「お気に入り」をクリックし、表示されたメニューの中から「お気に入りに追加」をクリックするだけで完了します。この登録をしておくと、次にGTSJ ホームページを見る際に、「お気に入り」をクリックし、メニューの中から「GTSJ ホームページ」をクリックするだけで、GTSJ ホームページに接続することができます。

2.5 Internet Explorer の終了

ホームページを見終わったら、ウィンドウ右上の「x」ボタン（図1参照）をクリックしてください。これによりInternet Explorerが閉じられます。

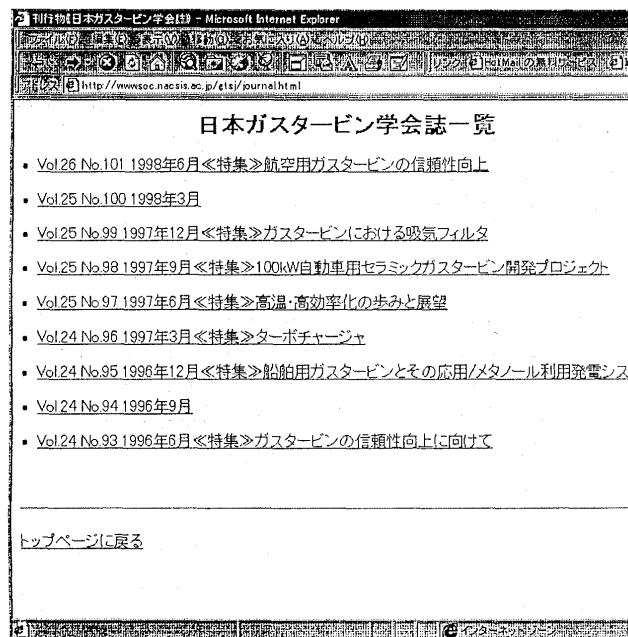


図1 (a) 「刊行物」の小目次

日本ガスタービン学会誌 目次 Vol.26 No.101 1998年6月	
●写真	名誉会員の紹介
●会長挨拶	第23期会長就任挨拶 佐藤 文夫 1
●随筆	私とジェットエンジン研究開発 島村 完治 2
●論説・解説	特集「航空用ガスタービンの信頼性向上」
	航空用ガスタービンの信頼性向上と開発動向 遠藤 征紀 4
	ETOPSの動向と信頼性要求 中田 秀樹 9
	エンジン整備から見た信頼性要求 吉岡 俊彦 15
	エンジン開発における信頼性の確認 井上 利昭 21
	制御/モニタ技術
	a)航空用エンジンの制御技術と信頼性向上 田中泰太郎・根来 威利 27
	b)航空用エンジンの二重系FADECについて 當山 清彦 31
	Retirement for Causeと損傷許容設計 大鍋 寿一 35
	航空エンジン材料の信頼性
	a)タービン翼材料の信頼性 竹中 剛・武 浩司
	西本 文一・岡本 隆治
	秋川 尚史 40

図2 (b) 「刊行物」の詳細表示

3. GTSJ ホームページの掲載内容

従来のGTSJ ホームページの内容は「お知らせ」を中心としたものでしたが、本会に関するより良い情報を国内外および本会会員に提供することを目的とした今回の更新により、以下のように大幅に内容が拡充されています。

「学会紹介」：日本ガスタービン学会の歴史および活動内容の概略紹介と、今期会長の就任挨拶が掲載されています。

「刊行物」：日本ガスタービン学会の刊行物の紹介です（図2(a), (b)参照）。現時点では、学会誌バックナンバーの目次一覧が見られるようになっていますが、将来的には、講演会論文集、生産統計、講習会資料などの紹介を加えて行く予定としています。

「行事カレンダー」：本会が主催する講演会、講習会、国際会議の案内になっています。図3のようにカレンダーが表示され、アンダーバー（下線）の付いた月には行事が予定されています。この月をクリックすると、行事の詳細な案内が表示されます。

「ギャラリー」：学会誌の表紙を飾った写真やコンピュータ・グラフィックスの一覧になっています。図4のような一覧表が表示され、見たい写真をクリックすると、その写真の拡大図および解説が表示されます。

「リンク」：本会に関係する他学会、研究機関のホームページとのリンクになっています。まだ、相互リンクの許可が得られた学会・研究機関は少ないのですが、今後、関係他学会、研究機関、大学研究室とのリンクを増やして行く予定です。

「お知らせ」：大きな行事の案内は、トップページ中央に掲示しました。行事カレンダーを経由しなくても、こ

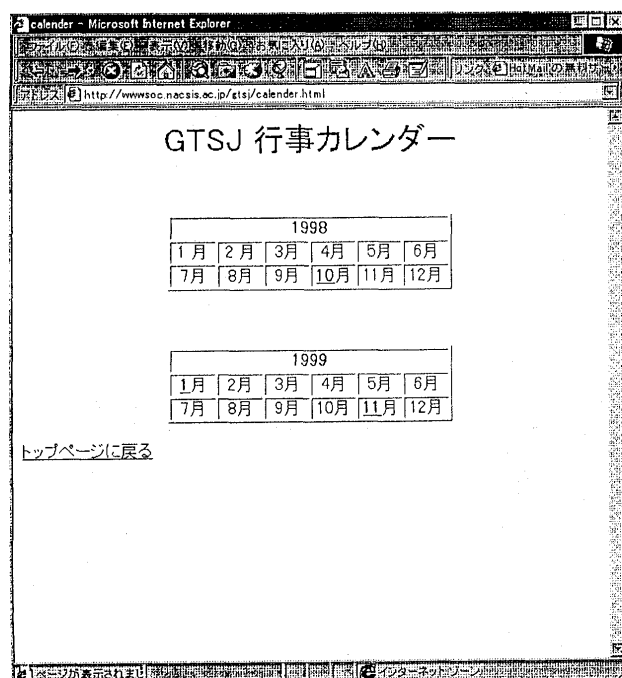


図3 「行事カレンダー」



図4 「ギャラリー」の小目次

こから行事案内のページへ直接移動できます。

「to English Home Page」：タイトル左下に表示されたこのボタンは、英語版 GTSJ ホームページへの移動を選択するためのものです。掲載内容は、日本語版と同様です。

4. ホームページの運営

今期から、GTSJ ホームページの管理・運営は、ガスタービン技術情報センターが行うこととなりました。こ

れは、従来不明確であったホームページの運営を一元化し、タイムリーに情報を提供できる体制を確立することを目的としたものです。

GTSJ ホームページに掲載される基本的内容の更新は、本センターが逐次行います。ただし、情報の効率的かつ迅速な発信のため、「お知らせ」に含まれる講演会、講習会、国際会議などの案内は、各実行委員会で個別にホームページを立ち上げていただき、そのホームページを GTSJ ホームページにリンクする形で運営する予定としています。

5. まとめ

簡単ではありますが、紙面を借りて、新 GTSJ ホームページについて紹介いたしました。現状はきわめてオーソドックスなホームページになっていますので、日本ガスタービン学会を国内外により一層アピールする内容にするとともに、学会員の皆様が日々利用していただけるようなものとして行かなくてはと考えています。つきましては、是非一度 GTSJ ホームページを閲覧していただき、ご意見、ご希望などありましたら、遠慮なくガスタービン技術情報センター（下記連絡先）までご連絡いただければ幸いです。

連絡先：東京理科大学工学部機械工学科内

ガスタービン技術情報センター

山本 誠

〒162-8601 新宿区神楽坂1-3

Tel：03-3260-4272(内)3352

Fax：03-3260-4291

E-mail：yamamoto@me.kagu.sut.ac.jp

自動車用 100 kW セラミックガスタービンの タービン入口温度 1350°C エンジン性能評価

Performance Evaluation of the 100 kW Automotive Ceramic
Gas Turbine at the Turbine Inlet Gas Temperature of 1350°C

荻田 浩司^{*1}

OGITA Hiroshi

川口 能広^{*1}

KAWAGUCHI Yoshihiro

高橋 政行^{*1}

TAKAHASHI Masayuki

中沢 則雄^{*2}

NAKAZAWA Norio

Abstract

“Development of the 100 kW Automotive Ceramic Gas Turbine (CGT)” was a seven-year program since fiscal 1990. This program was conducted by Petroleum Energy Center (PEC) with the support of the Ministry of International Trade and Industry.

To prove the CGT performance, engine performance evaluation test, where all the components were assembled in the engine housing, at the turbine inlet gas temperature of 1350°C was carried out successfully. The maximum output power of 92.3 kW (goal: 100 kW) and the maximum thermal efficiency of 35.6% (goal: 40%) were confirmed. We evaluated not only its overall performance but also measured temperatures, pressures and other data at the each component or component interface and evaluated the performance of each component under the actual engine conditions. And we analyzed the matters to be solved for the performance and reliability goals.

1. まえがき

高効率、低公害性、多種燃料適用性の特長を持つセラミックガスタービン (CGT) のエンジン性能評価は全要素をハウジングに組み込み、タービン入口温度 (TIT) を要素開発レベルに対応して、徐々に上昇させ、エンジン全体性能評価と同時に各要素のエンジン内での性能を評価し、要素開発へ反映する方式で進めてきた。本報では最終段階であるタービン入口温度 1350°C におけるエンジンおよび各要素の性能評価結果とその分析検討および今後の課題について報告する^{(1)~(3)}。

“自動車用 100 kW CGT の開発” は通産省資源エネルギー庁の補助事業として、1990 年度から 7 年間にわたり、(財)石油産業活性化センター (PEC) を中心に進められ、(財)日本自動車研究所 (JARI) がエンジン開発に参加した。本研究はその事業の一環として実施されたものである。

2. エンジン性能試験装置および性能評価手法

2.1 エンジン性能試験装置

図 1, 2 にそれぞれ試験機とエンジン構造を示す。エンジン構造は 1 軸再生サイクルで遠心圧縮機とラジアル

タービンからなる高速軸 (定格回転数: 100,000 rpm) の圧縮機側軸端に減速比: 18.33 の減速機入力軸をスプラインカップリングで結合させ、減速機出力軸は直流動力計にダイヤフラムカップリングを介して結合させている。熱交換器は回転蓄熱式でエンジンの両側に各 1 体配置されている。燃焼器は予蒸発予混合希薄燃焼方式と拡散燃焼方式の複合方式の単缶型でエンジンの上部に配置されている。実作動環境でのエンジンおよび各要素の性能評価と詳細な分析検討を主目的とするため小形軽量化よりも、要素間の状態量の計測を優先したエンジン構造とした。

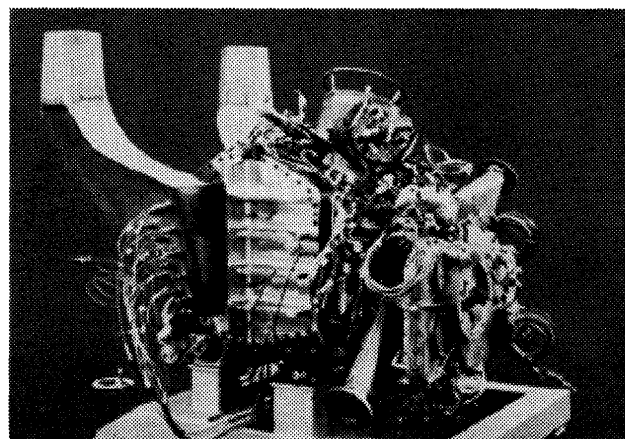


図 1 エンジン試験機

原稿受付 1998 年 4 月 9 日

* 1 三菱自動車工業(株) トラック・バス技術センター エンジン研究部
〒146-0092 東京都大田区下丸子 4-21-1

* 2 筑波技術短期大学

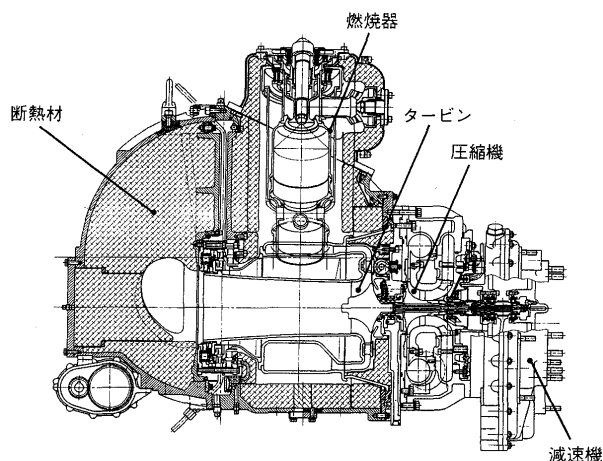


図2 エンジン構造

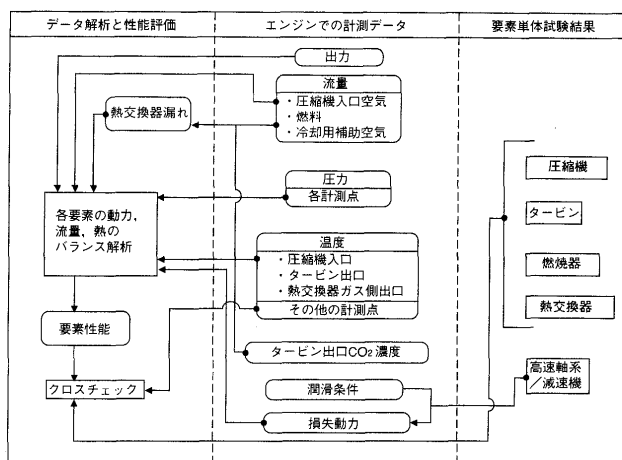


図3 データ解析の流れ

また、本エンジンの特徴であるセラミック静止部品の弾性支持機構、ハウジングの熱変形の影響を受けない熱交換器シール座面の結合方法、タービンロータとセラミック静止部品間のアライメント保持機構については、金属部品の高温部は空冷し、TIT 1350℃での短時間のエンジン性能試験には対応可能であることを確認している。

試験方法としては、下記(1)～(3)の手順をとった。

- (1) 着火：熱交換器回転数および潤滑油供給量を別置油圧装置により作動条件に設定。直流動力計により、9,000～11,000 rpmで定速モータリングしておき、最適燃料流量を供給し、グロープラグにより着火後は、直流動力計で出力を吸収し、定常運転に入る。
- (2) 性能試験：直流動力計で試験回転数に設定し、燃料流量でタービン入口温度を制御し、定常運転に移行。各部計測データが安定した段階でデータを取得。
- (3) 停止：70,000 rpm以下で定常運転しておき、燃料流量を徐々に低減し、消火を確認後、燃料遮断弁を閉じる。定速モータリングで冷却し各部温度が十分低下した時点で、直流動力計により回転数を下げ停止する。熱交換器および潤滑油供給を停止する。

計測システムは圧力、温度、回転数、流量、振動などについて250点以上を同時計測し、データ処理装置によ

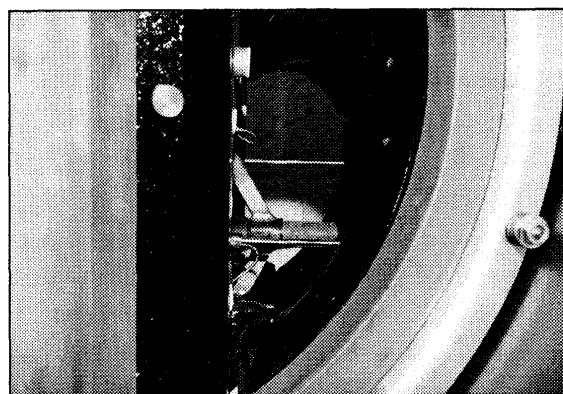
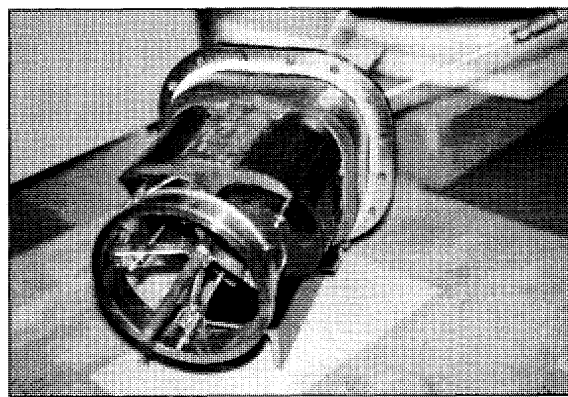


図4 タービン出口温度・圧力計測用プローブ

り、各要素の性能パラメータをリアルタイムに解析表示するとともに、監視項目についてもデータ表示と同時に許容値を越えた場合の警報および自動停止装置を備えている。直流動力計をはじめ、燃料流量、潤滑油量、熱交換器回転数、可変入口案内翼制御はすべて手動で実施している。

2.2 エンジン性能評価手法

性能の評価にあたっては、図3に示すように、計測データのなかで比較的精度の高い圧力、流量とガスが十分混合され分布による計測誤差と熱伝達の影響の小さいステーション（タービン出口など）での温度を入力値として、各要素間の動力、流量、熱量のバランスから他のステーションの状態量と各要素性能を解析的に求めている。シンプルな1軸再生サイクルであるため、熱交換器部からの漏れ量が特定できれば、上記手法により、各ステーションの状態量、各要素性能が精度よく求められる。熱交換器部からの漏れ量についてはタービン出口でサンプリングしたCO₂濃度から得られる燃空比と燃料流量からタービン出口空気流量を求め、圧縮機入口空気流量との差から算出した。

また、漏れ位置については、各部の漏れ量を仮定し、上記解析を繰り返して求めた。図4にタービン出口の温度・圧力・排出ガス計測用プローブを示す。高速軸系/減速機の動力損失については単体試験での潤滑条件と損失動力の相関データから求め、熱損失については下記(1)～(7)の手順により推定した。

- (1) 圧縮機の圧縮仕事を圧縮機入口温度・圧力、圧縮機出口温度・圧力および吸入空気流量の計測値から算出
- (2) 高速軸系／減速機の動力損失を推定
- (3) 動力計のトルク計測値からエンジン出力を算出
- (4) タービン膨張仕事はタービン出口温度・圧力、タービン入口圧力の計測値および前述のタービン出口 CO₂ 濃度から推定した高圧空気漏れから、(1)～(3)のエネルギーバランス（タービン膨張仕事＝圧縮機の圧縮仕事＋高速軸系／減速機の動力損失＋エンジン出力）により算出。このとき、タービン入口の温度とエンタルピーも同時に推定
- (5) タービンへの供給エネルギーを燃焼器入口を基準に燃料流量と燃料発熱量から算出
- (6) 熱損失を(5)で求めたタービンへの供給エネルギーと、(4)で算出したタービン入口エンタルピーとの差により求める
- (7)ハウジングの温度分布計測値から大気への熱伝達を推定し、(6)の熱損失とクロスチェックする

表 1 最終目標性能

仕様項目 (VIGV 角度 deg)	最大出力点 10万rpm(0)	最高効率点 9万rpm(40)
エンジン	出力 kW (PS)	105.7(143.7)
	熱効率 % (g/PSH)	38.2(160.9)
		40.7(151.0)
圧縮機	入口圧力 kg/cm ² a/温度℃	1.016/15
	空気流量 kg/s	0.4727
	圧力比	4.957
	効率 η_{T-T} %	77.8
タービン	ガス流量 kg/s	0.4487
	入口圧力 kg/cm ² a/温度℃	4.784/1350
	出力圧力 kg/cm ² a/温度℃	1.159/959
	膨張比	4.126
燃焼器	効率 η_{T-T} %	85.6
	燃料流量 kg/h [g/s]	23.13 [6.43]
	燃空比	0.01453
	入口圧力 kg/cm ² a/温度℃	4.956/896
熱交換器	燃焼効率 %	99.5
	圧力損失 %	3.47
	燃料	軽油又は灯油
		←
圧力損失	高圧側入口圧力 kg/cm ² a/温度℃	4.970/228
	高圧側入口空気流量 kg/s	0.464
	[高圧側通過空気流量]	[0.4477]
	高圧側圧力損失 %	0.27
	低圧側入口圧力 kg/cm ² a/温度℃	1.113/950
	低圧側圧力損失 %	6.56
	低圧側圧力損失 %	4.99
	洩れ % *1 (g/s)	4.62(21.8)
動力損失	温度効率 %	92.5
	入口損失 %	1.69
	コンプレッサ～熱交圧損 %	1.28
	タービン～熱交圧損 %	4.01
熱損失	排気圧損 %	0.58
	軸損失 kW (PS)	4.8(6.5)
	補機駆動動力 kW (PS)	3.4(4.6)
	熱損失 Kcal/h	9500
熱損失	熱交以外の洩れ % *1	1.83
		1.95

*1 圧縮機空気流量に対する比率

3. エンジン性能評価結果

3.1 目標性能

TIT: 1350℃ での最大出力点（出力：100 kW）と最高熱効率点（熱効率：40%）の目標仕様と作動条件および各要素の目標性能、損失量、漏れ量を表 1 に示す。

3.2 機能評価状況

各要素は専用の単体試験装置及び組合せ試験装置により、信頼性と耐久性の評価試験を実施しており、各要素毎に TIT: 1350℃ レベルで連続 100 時間（起動停止条件が寿命を左右するものについては 250 サイクルを含む）を耐久目標としており、一部の要素を除いて目標の耐久実績を得ている。

TIT: 1350℃ レベルのエンジン試験において、ハウジングの熱容量が大きいので、図 5 に示すようにタービン入口、出口温度が一定になってからもハウジング温度は上昇し続けており、安定するまでに 1.5 時間以上要した。また、ハウジング上下温度差が弾性支持構造体の単体機能試験時に比べて大きく、弾性支持構造体のハウジング熱変形に対する追従性に余裕がないため、タービンチップクリアランスの単体性能試験レベルまでの縮小は見送った。このように、機能面での信頼性向上のためには、エンジン構造のさらなる改良が必要である。ハウジング断熱材については表面をガラスコーティングした SiO₂ ファイバ成形体のブロックを用い、高温部はセラミックパネと耐熱金属製ボルトで弾性的に支持し、低温部はシリコンゴム接着剤で固定する最終仕様にて、亀裂、破片の落下等の不具合は生じなかった。

3.3 エンジン性能試験での各要素性能

表 2 に TIT: 1300℃ 以上でのエンジン試験（エンジンビルド：CGT 012～014）における主要要素仕様および運転条件を示す。修正回転数：89,900～98,500 rpm

で出力：79～92 kW，熱効率：30.3～35.4% が得られた。

図 6 にそれぞれの試験での圧縮機性能特性上の作動点と性能を示す。圧縮機は最大出力点にて圧力比、効率とも目標値を満足している。しかし、最高熱効率点においては可変入口案内翼を活用して効率向上を図ったが、目標値レベルに達しなかった。

図 7 にタービン効率を示す。CGT 012 に対し CGT 013 では、単体性能試験で目標性能を達成した最終仕様に変更したため、効率が 1% 向上した。さらに CGT 014 ではハウジングの熱変形挙動と弾性支持構造体の機能が確認されたため、タービンロータのチップクリアランスを表 3 に示すように、軸方向：0.5 mm，半径方向：0.35 mm と、CGT 013 に対し半径方向を約 30% 縮小し、効率が 1.1% 向上した。しかし、弾性支持構造体のハウジング熱変形に対する余裕はまだ十分ではなく、チップクリアランスを単体性能試験レベル（軸方向：0.5 mm，半径方向：0.25 mm）までは縮小できず、単体性能試験での効率までには至らなかった。

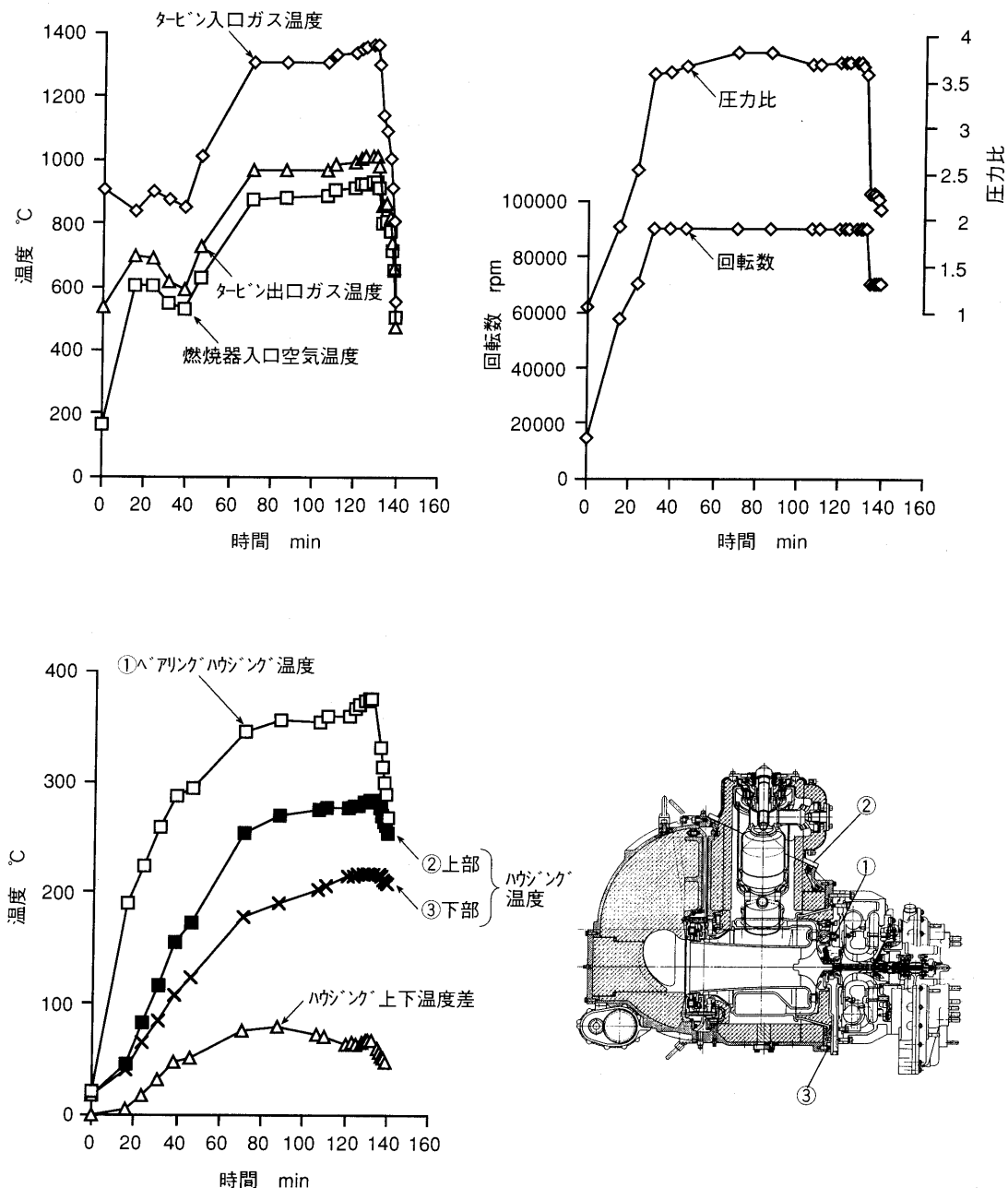


図5 ハウジング温度計測結果 (CGT 013)

燃焼器はエンジン試験において、高負荷領域での作動となるため、プライマリ噴射弁の予蒸発予混合希薄燃焼とセカンダリ噴射弁の拡散燃焼を組み合わせた燃焼を行った。エンジンの熱損失が計画値より大きく、当初、燃料リッチ側の余裕（予蒸発管への逆火限界、保安器下面へのカーボン堆積限界）が小さい状態ではあったが、燃料リッチ側の作動域拡大と高温セラミック構造体の遮熱対策による熱損失の低減により TIT: 1350℃ までの運転が可能となった（図8）。排気特性についても、燃焼器単体試験における排気データから、灯油を燃料とした触媒のない場合でも予蒸発予混合希薄燃焼により、目標値であるガソリン乗用車規制値を余裕をもってクリアすることが確認されており、エンジン試験においても燃焼器単体試験と同等の排気データが得られた。⁽⁴⁾

図9にエンジン全体での高圧空気洩れと熱交換器単体試験結果を示す。CGT 014では高圧空気漏れが大幅に減少した。高温セラミック構造体からの輻射熱の抑制のため燃焼器ライナ、タービンスクロール及びシュラウド周りに耐熱コーティングを表面に施した耐熱合金製遮熱板を配置したことおよび断熱材成形体ブロック間の隙間に燃焼ガスの回り込みを防止するため SiO₂ ファイバを充填したことにより、ハウジングの熱変形が緩和したこと、加えて、ハウジングの熱変形吸収のため熱交換器シールとハウジング間に設置したセラミック製プラットホーム及び金属ベローズ弾性体で構成される熱交換器シール座構造部の改良とにより、漏れが低減したためと考えられる。

前述の推定方法で求めた熱損失を図10に示す。遮熱

表 2 エンジン試験機の仕様と運転条件

		CGT012	CGT013	CGT014
タービン	圧縮機	3.1次設計	最終仕様 (効率向上)	←
		6次設計	最終仕様 (空力目標性能達成仕様)	←
	チップ	軸方向	0.5	←
	クリアランス	半径方向	0.5	0.35
燃焼器		最終仕様	←	←
熱交換器		目標性能達成仕様	最終仕様 (目標性能・耐久性達成仕様)	←
ハウジング	断熱材	新設計断熱材 成形断熱ブロック同士の 隙間部への高温ガスの回り 込みにより局部的高温部あり	成形断熱ブロック同士の 隙間部にSiO ₂ ファイバ、 Al ₂ O ₃ 繊維を充填 (ヒートロス低減)	遮熱板設置 ・ 燃焼器 ・ アウタスクロール ・ インナシュラウド SiO ₂ ファイバの充填強化
	熱交換器 シール座	ハウジング側加工精度不良 で漏れ発生	ハウジングとシール座との 周方向拘束緩和 (熱変形緩和による漏れ低減)	←
運転条件	Nc	~98,500rpm	~94,200rpm	~89,900rpm
	TIT	~1320℃	~1347℃	~1340℃

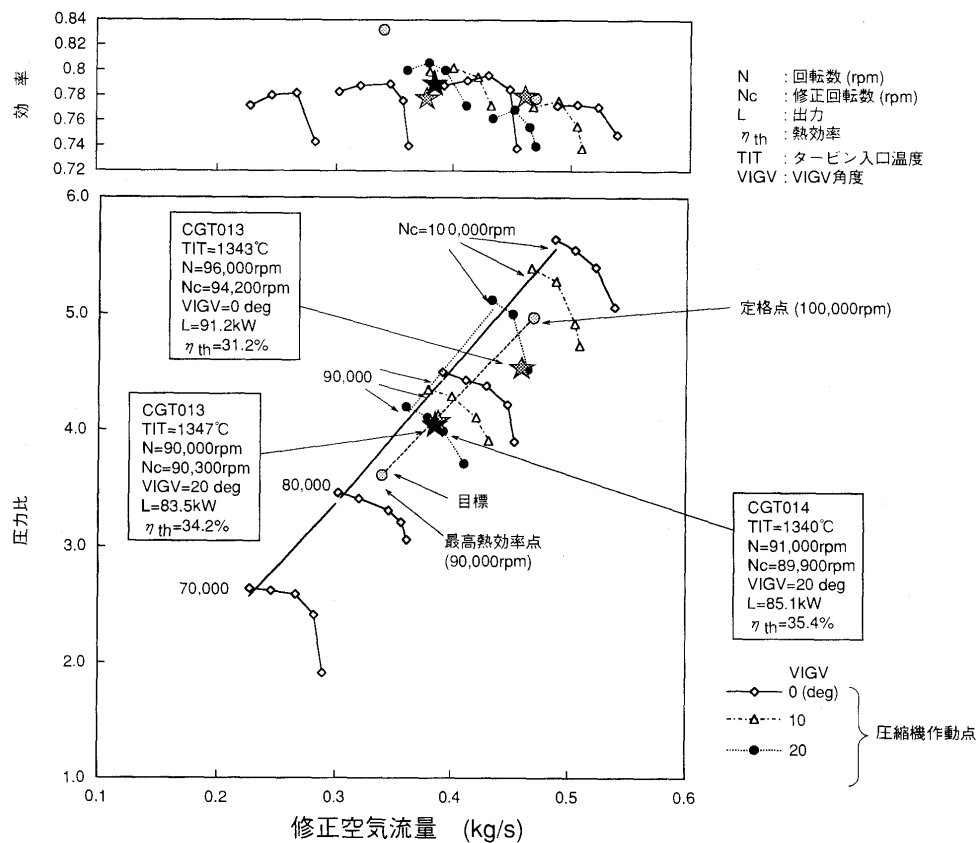


図 6 圧縮機性能特性と作動点

板の設置と断熱材隙間充填の効果により低減したが、まだ、燃料発熱量の 7% レベル (目標 4%) である。

図 11 に示すように、矩形通路でセル密度が高い押し出し製法による MAS 製の熱交換器コアを用いることにより、温度効率は目標値に対して約 1.4% 高い結果が得られた。

図 12 に高速軸系/減速機の動力損失を示す。エンジン試験では軸受外輪温度の制限値は余裕を持って 120℃

に設定しており、CGT 014 では高速軸系で 105℃、減速機で 90℃ であった。従って、潤滑油量が多いため、動力損失は最高熱効率点で目標値に対し 3 kW 大きくなった。

3.4 最大出力、最高熱効率性能

図 14, 15 に外部から供給される冷却用補助空気等の補正と吸入空気の標準状態への補正を行い、目標に対する最高熱効率点と最大出力点実績をそれぞれ比較した。最高熱効率実績は修正回転数：89,900 rpm、可変入口

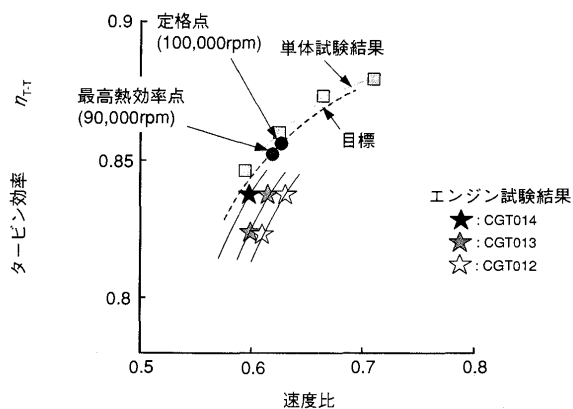


図7 タービン効率

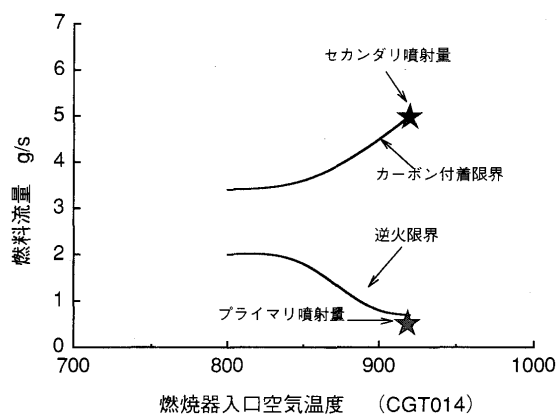


図8 燃焼器安定燃焼範囲 (最高熱効率点)

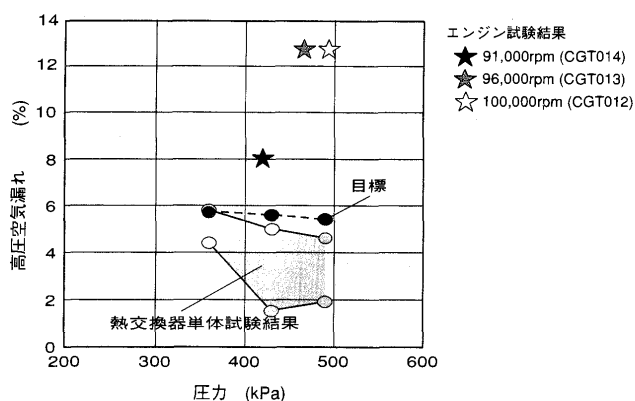


図9 高圧空気漏れ

案内翼設定角度：10度で35.6%となった。

組み込んだ要素の達成性能ベース予測熱効率39.4%に対してやや低い結果であるが、その差の要因は、熱損失1.3%、高圧空気洩れ1.3%及び動力損失1.2%である。いずれの要因もハウジング構造に関わるものである。

CGT 014でのタービンチップクリアランスの内訳を表3に示す。前述のように、CGT 014ではタービン単体性能試験に比べ、タービンの半径方向クリアランスを0.1 mm大きく設定している。今後、弾性支持構造体改良によりセラミック静止部品構造のロータに対する軸芯保持機能向上を図り、現状では余裕をみて設定してい

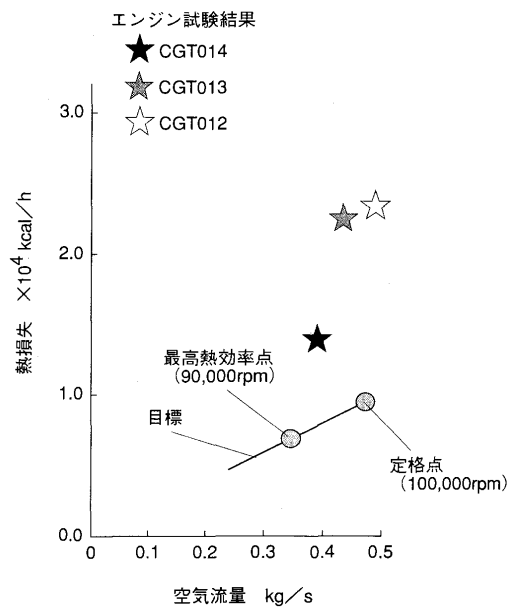


図10 熱損失

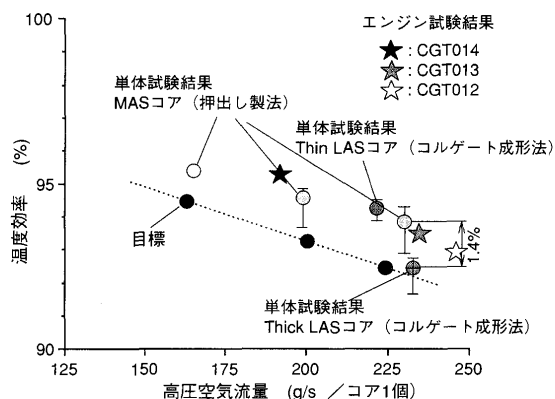


図11 熱交換器温度効率

る軸方向クリアランスも低減することにより、軸方向：0.35 mm、半径方向：0.35 mmの設定は可能である。タービン単体試験結果から、効率に対するチップクリアランスの影響は軸方向、半径方向ともほぼ同等であることが確認されており、軸受のガタについてもさらに低減の余地があることから、エンジンにおいてもタービン単体性能試験と同等以上の効率の実現可能である。

潤滑条件については、軸受鋼の耐熱温度が250℃レベルであり、本プロジェクトの耐熱性潤滑油グループの開発したペンタエリスリトールエステル系合成潤滑油を使用しており、耐熱温度が218℃（その後開発されたペンタエリスリトールエステル基油とポリフェニール基油とを組合せた合成潤滑油では耐熱温度は230℃に向上）であることから⁽⁵⁾、高温部からの熱流入低減対策を併せて実施することにより、軸受け外輪温度は180℃まで運転可能と判断する。図13に示すように、高速軸系/減速機の単体試験結果から、91,000 rpmにおける高速軸系と減速機の損失比率は3:7であるから、高速軸系/減速機の動力損失は軸受け外輪温度150℃では2.5 kW

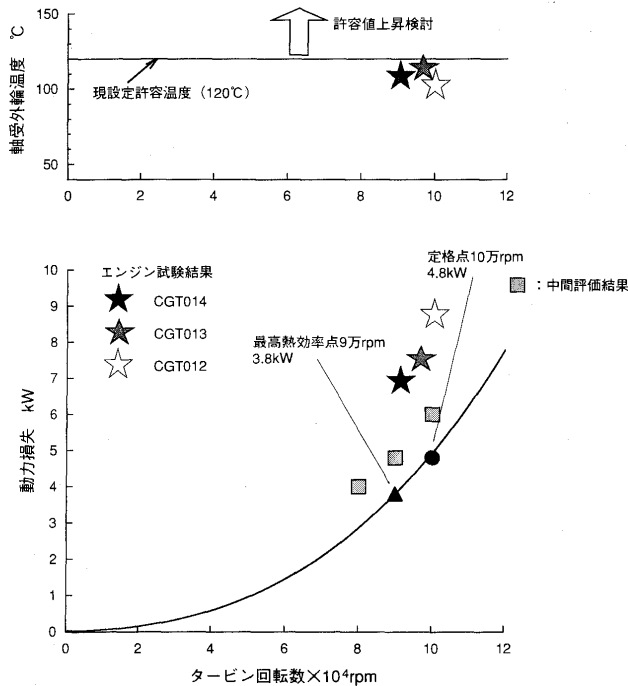
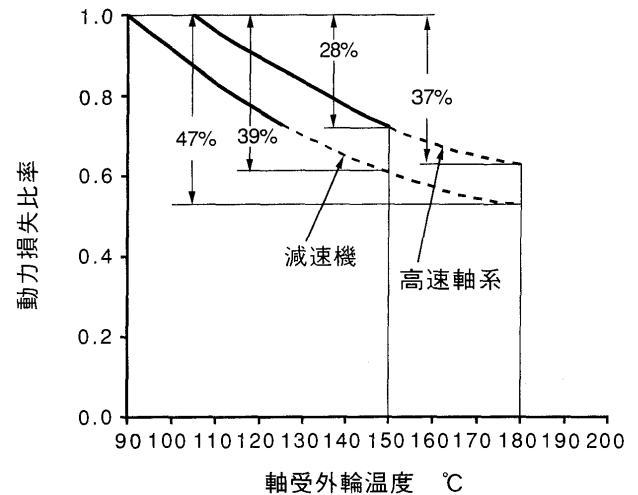


図12 軸系/減速機動力損失

(36%) 低減可能で、180℃では3 kW (44%) 低減可能であり、最高熱効率点での目標値を達成できる。

以上から、弾性支持構造体の改良、断熱材形状の改良等のハウジング構造の見直しとともに、要素目標性能を目指した圧縮機の効率向上、潤滑条件の最適化も併せて実施することにより、最高熱効率 42% レベルは達成し得るものと考えられる。

最大出力については、要素達成性能ベースの予測値が 104.1 kW であったが、高圧空気洩れが目標値レベルよ

図13 軸受外輪温度と動力損失
(高速軸回転数; 91,000 rpm)

り大きく、CGT 013において、修正回転数：94,200 rpm、可変入口案内翼設定角度：0度の条件で最高実績 92.3 kW にとどまった。最大出力も最高熱効率と同様の対応により要素達成性能ベースの予測値 104.1 kW、更に、要素目標性能ベースの予測値 109 kW の達成が可能と考えられる。

4. 今後の課題

TIT: 1350℃でのセラミック部品を全て組込んだエンジン性能試験を実施し、この出力クラスの小型ガスタービンでは画期的といえる 35.6% の熱効率が得られ、高熱効率と低公害性を両立する車両用原動機としてのポテンシャルを実証できた。今後、下記課題への対応を進めることにより、40% の目標熱効率達成と、エンジンと

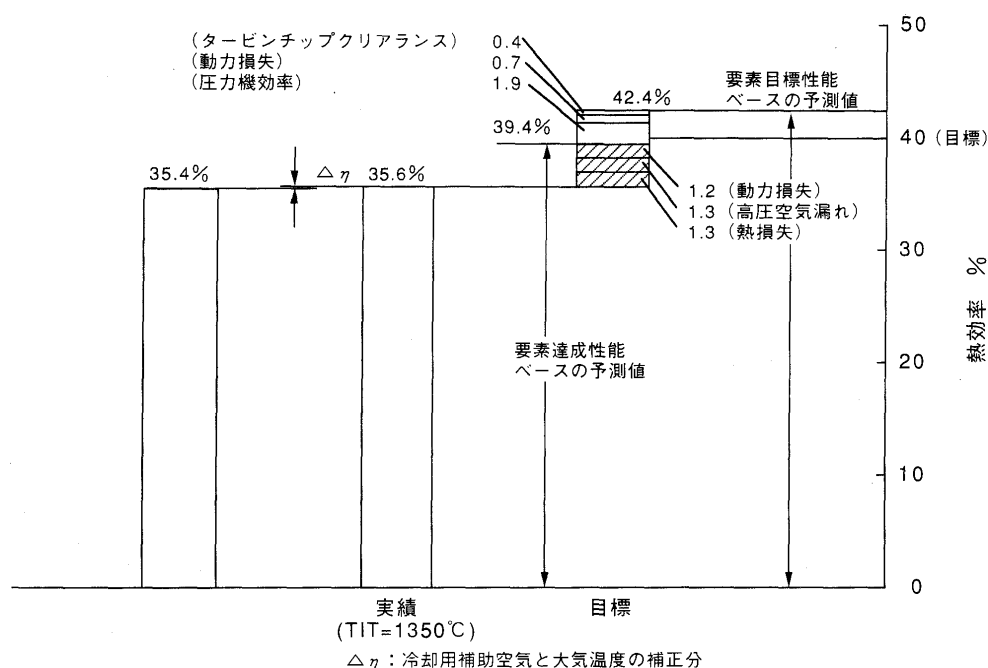


図14 熱効率の目標と実績

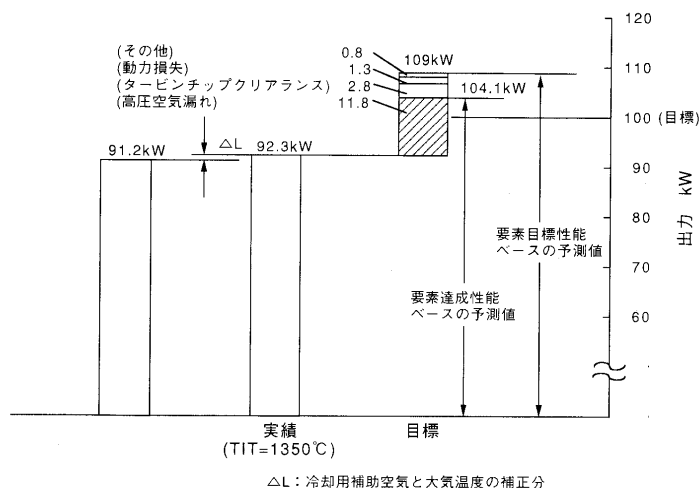


図 15 出力の目標と実績

しての機能，耐久性を確保することが可能と考える。

ハウジング構造の要改良アイテム (図 16)

- ① 高压側と低压側を仕切るハウジングバルクヘッド部の断熱材の厚みを増大する。
 - ② 断熱材形状が複雑で多くの成形体ブロックで構成されており，ブロック間の隙間への SiO_2 ファイバの充填では完全には高温燃焼ガスの回り込みを防止できないため，断熱材は単純な形状とし，かつ，構成ブロック数を低減する。
 - ③ 燃焼器および熱交換器の配置を変更してハウジングを対称構造とし，上記熱損失によるハウジングの温度レベルと分布の低減と併せて，ハウジングの全体的な変形を抑え，熱交換器単体性能試験では達成している目標の漏れ率を，エンジンで実現する。
- (2) 圧縮機の最高熱効率点での効率向上
- (3) 機能面において，ハウジングの変形に対しセラミック静止構造のタービンロータに対するアライメント (軸芯保持) 機能には上記ハウジングの熱変形の抑制・均一化と同時に，セラミック静止構造部品弾性支持構

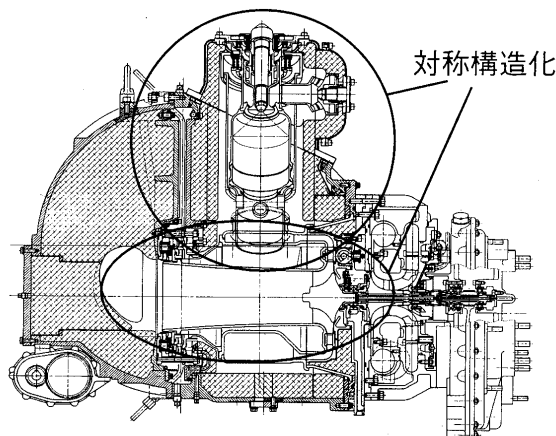


図 16 エンジンハウジング構造の課題

表 3 タービンチップクリアランスの分析 (CGT 014)

軸方向		半径方向	
軸受のガタ	0.25 (計測値)	軸受のガタ	0.18 (計測値)
タービンロータと静止構造部の熱膨脹差	-0.13 (推定値)	タービンロータとシュラウドとの同軸度	0.05 (計測値)
		タービンロータとシュラウドの熱膨脹差	0.03 (推定値)
ランニングクリアランス	0.38 (推定値)	ランニングクリアランス	0.09 (推定値)
総クリアランス	0.50 (計測値)	総クリアランス	0.35 (計測値)

造体の改良によるハウジング熱変形に対する十分な追従性の余裕確保が必要。

(4) 整備性 (分解・組立性) の面での要改良アイテム

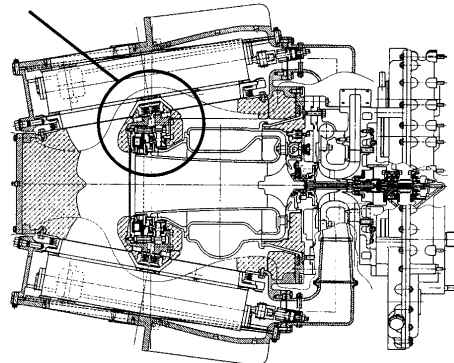
- ① セラミック静止部品弾性支持構造体の組立・分解時，エンジンから全要素部品を取り外す必要があるため，ハウジングへの脱着が容易な取付構造とする。
- ② 熱交換器がエンジン軸に対し傾いており，ハウジング製作時の寸法精度確保の面でも，熱交換器組立時のシールクリアランス管理の面でも平行配置が望ましい。

CGT は高負荷での定常運転に適し，高効率・低公害性・多種燃料適用性で優れた特長をもっており，高速発電機を直結した都市内走行主体のハイブリッド車用動力源または，小型コジェネレーションシステムとして実現の可能性が高く，上記課題を克服し，実用化に向けた開発が期待される。

参考文献

- (1) N. Nakazawa and et al: ASME Paper 97-GT-210
- (2) 中沢 他: 日本ガスタービン学会誌 Vol. 24 No. 96, 1997. 3, 60-66
- (3) 高田 他: 日本ガスタービン学会誌 Vol. 25 No. 98, 1997. 9
- (4) M. Sasaki and et al: ASME Paper 97-GT-462
- (5) M. Muraki and et al: SAE Paper 962110

断熱層スペースの拡大



ガスタービン燃焼器における 予蒸発予混合燃焼場の速度分布

Velocity Distribution of Prevaporization Premixing Lean Combustion for Gas-Turbine Combustor

大塚 正義^{*1}

OTSUKA Masayoshi

大久保陽一郎^{*1}

OHKUBO Yoichiro

井戸田芳典^{*1}

IDOTA Yoshinori

杉山 勝彦^{*1}

SUGIYAMA Katsuhiko

Abstract

A TPPL (Tandem-type Prevaporization Premixing Lean) Combustor was developed for a 100 kW automotive ceramic gas turbine. The TPPL combustor has variable air holes in order to control the combustion air flow rate in the combustion chamber, because the LPP flame stability is required in a wide operating range for an automotive use.

In this paper, velocity distribution in some cross sections of the combustion chamber has been measured by Aerometrics 2 D-PDPA/RSA.

The measurements in a case of the full-opened air holes were compared with those in a case of closed air holes in a condition of non-combustion or combustion.

Axial velocity distribution of a radius direction in the combustion chamber have a 3-peak-velocity in the case of full-opened air holes and have a 2-peak-velocity in the case of closed air holes.

Axial velocity is increased and swirl velocity is decreased for LPP combustion.

Therefore, the swirl number is decreased for LPP combustion.

Non-toroidal reverse flow region like a seed leaf is formed in the center of the combustion chamber for full-opened air holes, and widely near the wall of the up-stream combustion region for closed air holes.

概要

100 kW 級セラミックガスタービン燃焼器として開発したタンデム型予蒸発予混合希薄燃焼器 (TPPL) における燃焼室内の速度分布を 2D-PDPA/RSA により計測した。計測条件は空気絞り全開と全閉における非燃焼場、燃焼場の平均速度分布である。結果として以下のことが明らかになった。1) 平均速度分布は空気絞り全開で 3 山形の分布を示し、全閉では 2 山形である。2) 軸方向速度は増加し、旋回方向速度は減少する。3) スワール数は非燃焼場に比べて燃焼場では減少する。4) 逆流領域は全開で中央に双子型の渦領域を形成する。全閉では、壁面近傍に広く分布する。

1. はじめに

再生サイクルガスタービンは、熱効率を高くするために熱交換器で排熱を回収する構成である。セラミックガスタービンの場合には、燃焼器入口の空気温度は 600℃～1000℃ 程度の高温になる。この高温空気を利用して

灯軽油燃料を希薄予蒸発予混合燃焼させることにより低エミッション化を実現することができる。

希薄予蒸発予混合燃焼方式^{(1)~(3)}は液体燃料を微粒化させるとともに、高温空気中で予め蒸発させ燃焼用空気と十分に混合させた後に燃焼室内で希薄燃焼させる方式である。一方、希薄予蒸発予混合燃焼では、逆火/自着火あるいは希薄燃焼時の火炎不安定という実用上の課題が指摘されている。予蒸発予混合燃焼の希薄限界を広くする方策として、例えば可変機構付燃焼器がある。これは、燃料流量に対応して燃焼用空気流量を可変絞りにより制御する燃焼器である。前報⁽⁴⁾では広い作動範囲が要求される自動車用ガスタービンの燃焼器として、逆火/自着火等の特性に優れる可変機構付タンデム型予蒸発予混合燃焼器を報告した。

従来、このような 1500℃ を超える高温燃焼場の速度分布を計測した報告例は少なく、実際にどのような流れ場が形成されているか不明である。そのため、空気絞りによる火炎安定化が単に燃空比の効果であるのか、あるいは流れ場等の影響が大きいのかを非燃焼場の流れ計測結果等から推測していた。しかし、今日の LDV 計測機器の性能向上により、信頼性の高い計測が燃焼場におい

原稿受付 1998 年 6 月 30 日

* 1 (株)豊田中央研究所 機械 1 部 高速流体研究室
〒480-1192 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 41-1

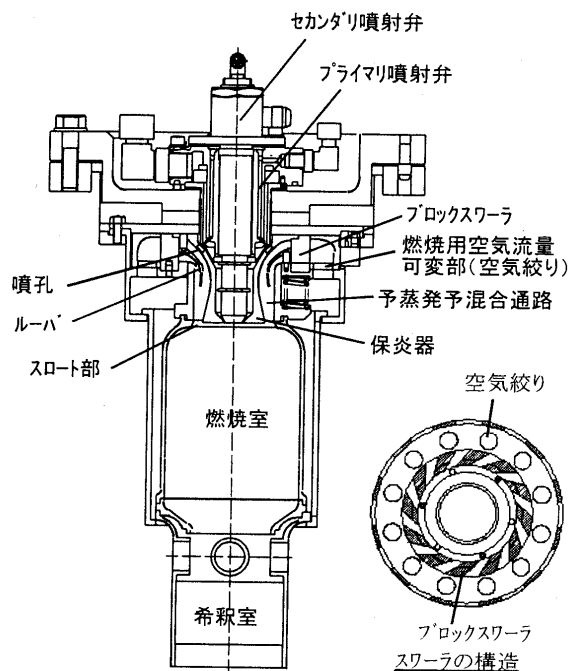


図1 タンデム型予蒸発予混合希薄燃焼器

ても可能になっている。本報では、タンデム形予蒸発予混合燃焼器を対象に燃焼用空気絞りを変化させて、予蒸発予混合燃焼場と非燃焼場における平均速度分布をLDV計測し、流れの挙動を明らかにした。

2. タンデム型予蒸発予混合燃焼器

今回対象としたタンデム形予蒸発予混合 (TPPL: Tandem-type Prevaporization-Premixing Lean) 燃焼器の断面構造を図1に示す。噴射弁は燃焼器軸上に配置された予蒸発予混合燃焼用のプライマリ噴射弁とその噴射口が燃焼室に対面した保炎器端面上にある噴霧燃焼用のセカンダリ噴射弁からなる。保炎器外周の環状通路が予蒸発予混合通路を形成して、燃焼室入口で最小の通路断面面積になるようにスロート部を形成している。通路断面は上流からスロート部に向かって滑らかに減少する。予蒸発予混合通路の途中には高温空気を通路の内側と外側に分離する環状ルーバがある。予蒸発予混合燃焼用のプライマリ噴射弁は内側流路に開口した周方向6ヶ所の噴口を持つ。プライマリ噴射弁は多噴孔形液柱気流噴射弁構造であり、噴口から噴射された噴霧流がルーバの内側表面に衝突して微粒化と分散が促進され、燃料噴霧の蒸発と混合が60 mm程度の距離(平均通過時間が約1ミリ秒以下)で完了する。また、ルーバの上流位置にはブロックスワラを配置して燃焼用空気に旋回速度を与える。なお、燃焼器内のスワール数を0.5~3.0の間で変化させて調べた結果、設計スワール数1.5が比較的安定で排気エミッションが良好であった。ブロックスワラの上流には通路断面積を絞りで変更できる空気流量可変機構(空気絞り)を組み込んである。

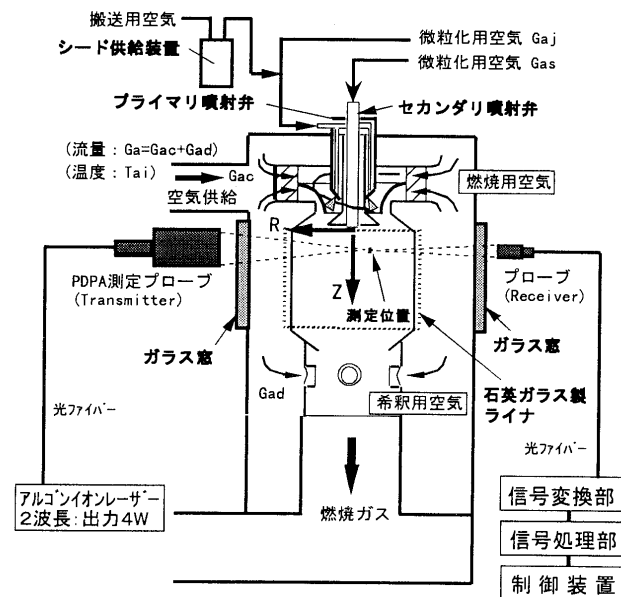


図2 試験装置概略図

表1 燃焼器運転条件

空気絞り		入口 空気温度	燃料流量	燃焼領域の 空気過剰率
全開	非燃焼場 (高温空気)	1073K	—	—
	燃焼場 (予蒸発予混合燃焼)	1073K	0.8g/s	2.7
全閉	非燃焼場 (高温空気)	973K	—	—
	燃焼場 (予蒸発予混合燃焼)	973K	0.5g/s	2.0

供給空気流量: 100 g/s 燃料: 灯油
微粒化用空気流量
プライマリ: 3 g/s セカンダリ: 3 g/s

3. 試験装置

試験装置の概略を図2に示す。ヒータにより加熱された高温空気はひとつは燃焼用空気として、もうひとつは希釈用空気として配分される。空気絞り全開の場合、燃焼用空気の配分は全体の約26%、全閉の場合には約9%である。燃焼室ライナは石英ガラス製で内径100 mm、厚さ3 mmである。その外側には対向して厚さ15 mmの石英平面ガラスが設置してある。速度計測はAerometrics社製2D-PDPA/RSAを用い、2次元LDVとして利用した。2D-PDPA/RSAのトランスミッタとレシーバは対向する平面ガラスの外側に配置し前方散乱LDVとした。計測位置は保炎器下面から下方にZ=30, 50, 80, 100 mmの位置で半径方向の中心から両壁面まで5 mm間隔である。

シード粒子はリキッドガス社製MSFの調整用粒子(SiO_2 ; 平均粒径約4 μm)を用い、プライマリ噴射弁の微粒化用空気のみ混入して燃焼室内に供給した。シード粒子は、見かけの比重が0.5 g/ cm^3 程度と軽く、平均粒径も小さいことから流れに対する追従性は良好であると考えられる。燃焼器の運転条件を表1に示す。空気

絞り全開で 0.8 g/s の灯油を燃焼させると燃焼領域の空気過剰率は $\lambda_p = 2.7$ となる。この空気条件で灯油流量を 0.5 g/s まで減少させると $\lambda_p = 4.4$ となり火炎は希薄限界に近くなり不安定になる。そこで、空気絞りを全閉にすれば $\lambda_p = 2.0$ となり火炎は安定になる。しかし、火炎可視化の結果、全閉により火炎形状が変化するので空気流量が減少するのみでなく流れ場が変化していると考えられる。そこで、試験条件として空気絞り全開と全閉について非燃焼場と燃焼場の速度計測を行った。速度は軸方向と旋回方向の2方向成分を同時計測した。サンプリングデータ数は10,000個あるいは3分間に得られるデータ数とした。評価値としてはサンプリングデータを相加平均した流速値である。

4. 結果

4.1 火炎観察

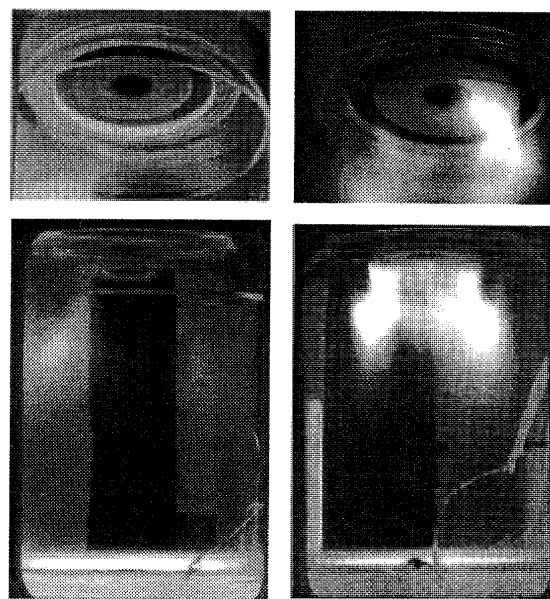
空気絞りが全開と全閉の場合の予蒸発予混合燃焼の火炎写真を図3に示す。

(1) 空気絞り全開

プライマリ噴射弁から噴射される燃料噴霧の予蒸発予混合気により燃焼室内に形成される火炎は、対向壁が透けて見えるほどの輝度の低い希薄な青色の環状火炎である。(図中白っぽい部分)

(2) 空気絞り全閉

火炎は保炎器直下の円環状領域に輝度の高い青炎を形成する。これは、空気過剰率 λ_p が全開時より小さくなり火炎温度が高くなったためである。また、火炎の壁面側では巻き上がり火炎の様相を呈している。



(a) 空気絞り全開

(b) 空気絞り全閉

図3 火炎観察写真 (予蒸発予混合燃焼)

4.2 速度分布

4.2.1 空気絞り全開

(1) 非燃焼場

ヒータで加熱された高温空気 (入口温度 1073 K) の速度分布を図4に●印で示す。図4(a)は軸方向速度の縦断面分布であり各軸方向位置を基準に下方に速度の半径方向分布を示す。

$Z = 30 \text{ mm}$ においては、保炎器外周部からの空気の吹き出しによるピークが半径位置 $R = \pm 20 \text{ mm}$ 付近で認

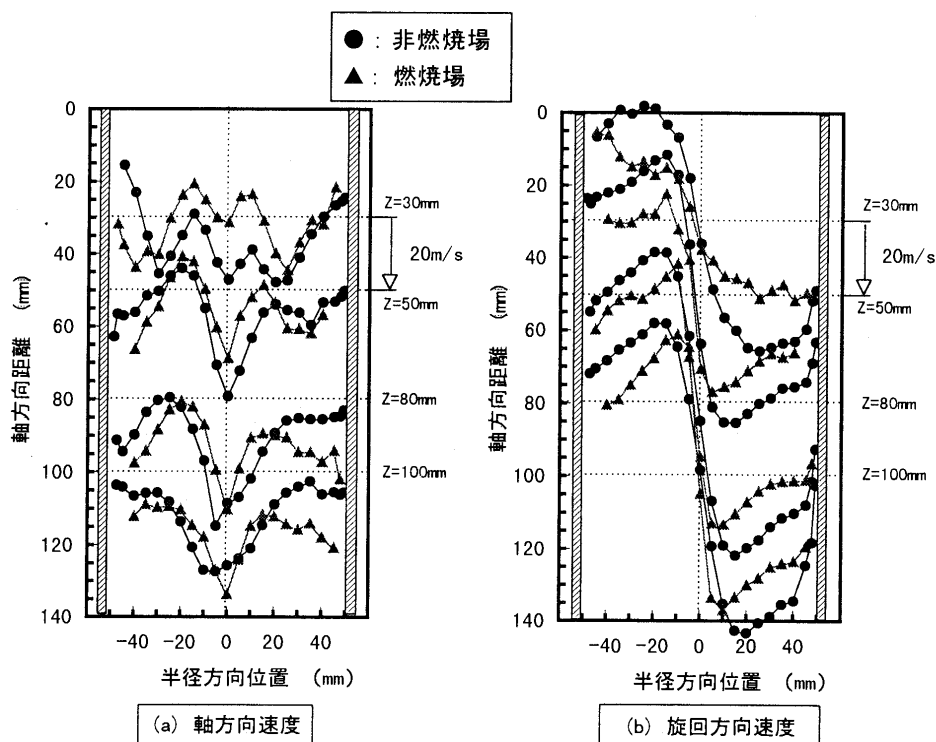


図4 速度分布計測結果 (空気絞り全開)

められ、その速度は $15 \sim 18 \text{ m/s}$ である。また、軸中心部にも同程度の速度のピークが認められ3山形の速度分布となる。 $R = 40 \text{ mm}$ 以上の壁面近傍では逆流がみられる。

$Z = 50 \text{ mm}$ では中心部の速度が 30 m/s と増加する。一方、 $R = 20 \text{ mm}$ 付近のピークは外側に移動し速度も小さくなる。壁面近傍の逆流領域はなくなるが、 $R = -15 \sim -25 \text{ mm}$ 付近が逆流になっており左右の偏りが認められる。 $Z = 80, 100 \text{ mm}$ では中心部の速度は 30 m/s で変わらないが、 100 mm ではほぼ軸対称となり1山形の速度分布である。

図4(b)は旋回方向速度の縦断面分布を示す。 $Z = 30 \text{ mm}$ でピーク速度が約 30 m/s と強い旋回流である。これが下流へ行くほどピーク速度が高くなる傾向を示す。

(2) 燃焼場

予蒸発予混合燃焼場の速度分布を図4▲印に示す。非燃焼場の場合と比較して、その特徴を以下に説明する。軸方向速度分布、旋回方向速度分布とも基本的な速度分布は非燃焼場と同じである。非燃焼場と異なる点は、図4(a)の軸方向速度分布では、 $Z = 30 \text{ mm}$ で中心部の速度が減少し逆流領域になっていることと、 $Z = 50 \text{ mm}$ から 100 mm へ下流側に移行すると、 $R = \pm 20 \text{ mm}$ 以上の壁面側で速度が増加していることである。また、壁面側の速度は非燃焼場より大きくなる。

図4(b)の旋回方向速度は、 $Z = 30 \text{ mm}$ ではピーク速度が約 20 m/s と軸方向速度と同程度であるが、非燃焼場と比較して約 $2/3$ と小さくなっている。 $Z = 50 \text{ mm}$ から 100 mm へ下流側になるとピーク速度が高くなり、

その位置も中心付近に移動してくる。しかし、非燃焼場の速度より低い。

4.2.2 空気絞り全閉

(1) 非燃焼場

空気絞り全閉の場合の非燃焼場の速度分布を図5●印に示す。図5(a)は軸方向速度の縦断面分布であり、空気絞り全閉の場合と異なり軸中心部のピークが認められず、保炎器外周部からの吹き出しによるピークが認められるのみであり2山形の速度分布となる。このピーク速度は空気絞り全閉の場合とほぼ同じである。半径方向の速度分布は下流側に移行するとピーク速度が小さくなり、その位置も壁面側へ移動しほぼフラットな速度分布となる。これらの傾向は空気絞り全閉により燃焼用空気流量が減少したためと考えられる。

図5(b)は旋回方向速度の縦断面分布を示す。 $Z = 30 \text{ mm}$ の旋回速度のピークは約 10 m/s と軸方向速度より低く、全開時の約 $1/3$ である。これが下流へ行くほど全開時とは逆に軸中心の強い旋回がなくなり、燃焼室全体が弱い旋回を示す速度分布になる。

(2) 燃焼場

空気絞り全閉の場合の燃焼場の速度分布は図5▲印になる。図5(a)の軸方向速度分布において、 $Z = 30 \text{ mm}$ では空気速度と同じ分布であるがピーク速度が約 30% ほど高くなる。これは燃焼により生じるガス膨張による速度増加と考えられる。この分布が下流へ行くほどピーク速度は低下し、ピーク位置が壁面側へ移動する。

図5(b)の旋回方向速度は $Z = 30, 50 \text{ mm}$ では非燃焼場とほぼ同じであるが、 $Z = 80, 100 \text{ mm}$ でも軸中心に

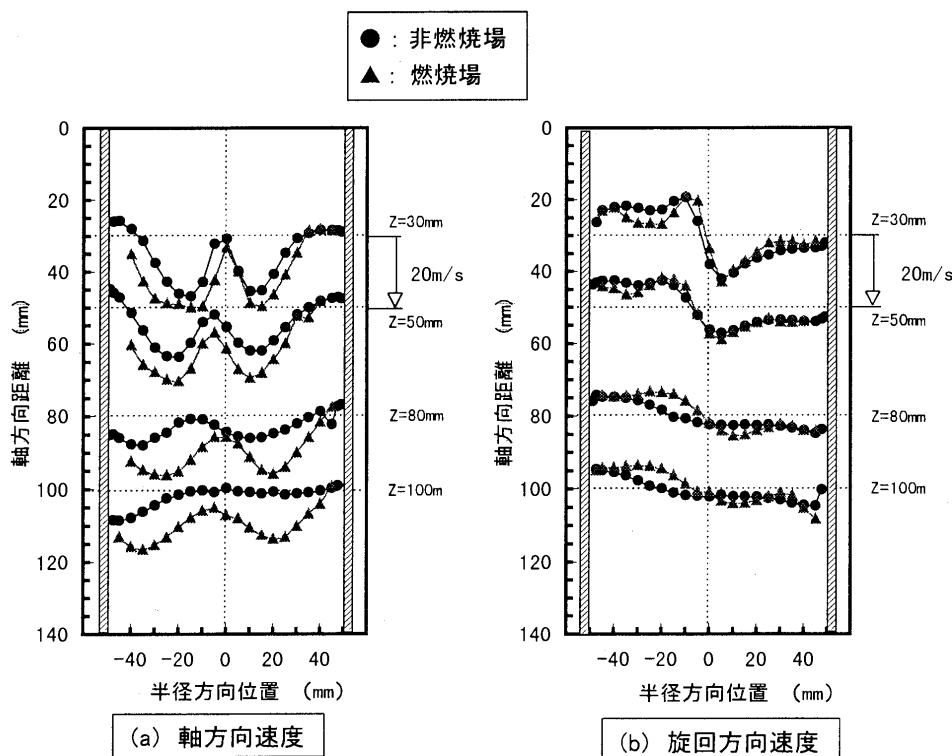


図5 速度分布計測結果(空気絞り全閉)

弱い旋回が残っている。

5. スワール数

燃焼室内のガス温度が一定であると仮定して、計測した軸方向速度と旋回方向速度からスワール数を算出した。なお、 $Z=80\text{ mm}$ では予混合火炎は見え半径方向の温度分布は壁面近傍を除けばほぼ一定である。スワール数の計算は、流れが比較的安定した下流側 ($Z=80\text{ mm}$) の位置で行った。なお、 $Z=80\text{ mm}$ と 100 mm において計測した軸方向速度から算出した流量は同じであり、流量は保存されていることを確かめた。結果を図6に示す。今回試験に使用したスワラの設計スワール数は1.5である。図から空気絞り全開の非燃焼場ではスワール数が1.5で設計スワール数と一致した。燃焼場ではスワール数は約1と減少する。空気絞りを全閉にするとスワール数は約1/3に減少する。また、この場合にも燃焼するとスワール数は減少する。このことから燃焼器内のスワール数は燃焼により減少することがわかる。

6. 逆流領域

火炎安定化の要因である逆流領域を調べるために軸方向速度分布を等速度線図で示した。空気絞り全開の場合を図7に示す。非燃焼場の場合には、燃焼室の中央部と上流の壁面近傍に逆流領域が認められる。燃焼場では中央部の逆流領域が拡大し、双子形の逆流領域になる。

空気絞り全閉の場合を図8に示す。非燃焼場の場合には空気絞り全開時の双子形の逆流領域は認められないが、壁面付近の逆流領域が拡大している。燃焼場においても同様である。また、保炎器下部の逆流領域の存在が $Z=30\text{ mm}$ 付近に認められる。

7. 考察

7.1 スワール数

TPPL 燃焼器はブロックスワラにより燃焼用空気に強い旋回流を与える構造である。この旋回流のスワール数が空気場において設計値と一致することはブロックスワラの設計方法が正しいことを証明している。一方、予蒸発予混合燃焼させることにより設計スワール数1.5が1に減少した理由は、図4からわかるように燃焼により軸方向速度が増加し、旋回方向速度が減少するためである。つまり、非燃焼に比較して燃焼により軸方向フラックスが増加するため、スワール数が約30%減少することを確認した。ところで、空気絞り全開に比較して全閉の場合にスワール数が減少するのは、燃焼用空気がブロックスワラをまともに通過していないと考えられることと、燃焼用空気流量に対してスワールを形成しない微粒化用空気流量の割合が増加するためと考えられる。

7.2 保炎器下流の逆流領域

保炎器外周の環状通路から吹き出される空気流により保炎器下部中央付近に逆流領域が発生することはよく知

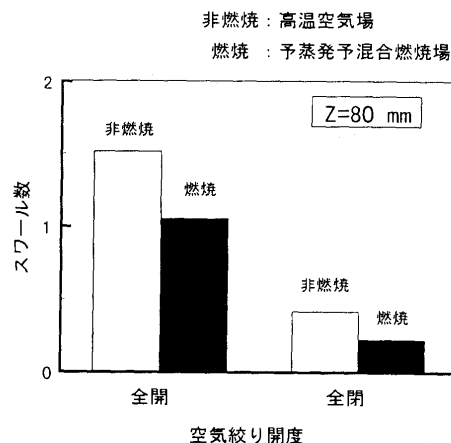


図6 スワール数の比較

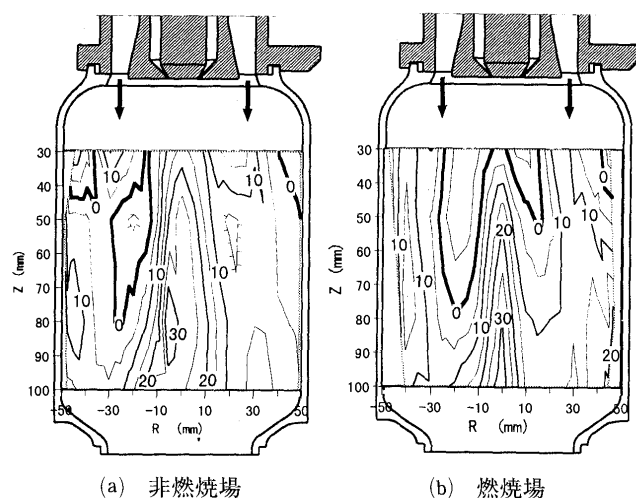


図7 軸方向速度の等速度線図 (空気絞り全開)

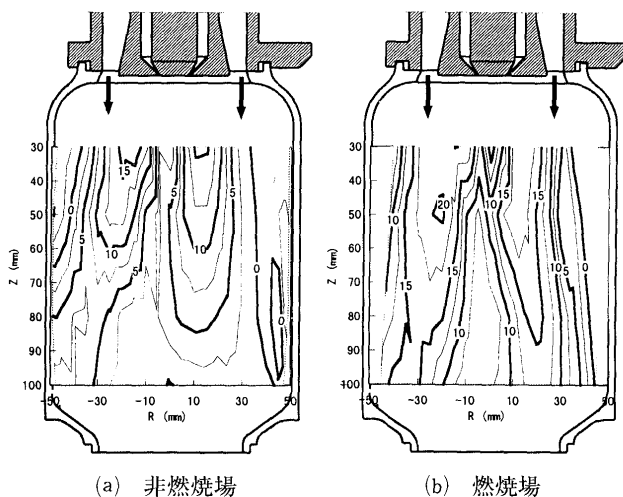


図8 軸方向速度の等速度線図 (空気絞り全閉)

られている。従来その逆流領域の形は卵形に形成される⁽⁵⁾と考えられている。空気絞り全開では逆流領域は双子形となり従来とは異なっている。この原因は燃焼器下流側の希釈室の内径が燃焼室より小さく絞られた形 (図1: 絞り面積比 $A_R=0.36$) になっているため出口における速度が大きくなり、その影響が上流部まで波及してい

るためと考えられる⁽⁶⁾。これに対して、燃焼室中央部の速度のピークはセカンダリ噴射弁の微粒化用空気によるものと考えられるが、その場合には空気絞り全閉の場合にも同様に微粒化用空気を噴射しているため中央部にピークが見られる必要がある。しかし、図5に示すようにピークが見られないことから双子形の逆流領域の要因としてセカンダリ噴射弁の微粒化用空気によるとは考えにくい。一方、非燃焼場をCFDで計算した結果でも、同様なピークと双子形の逆流領域が表われることからTPPL燃焼器出口の絞り形状に起因した空気流動の結果であると考えられる。

空気絞りを全閉にすると双子形の逆流領域が認められないのは、空気絞りにより燃焼用空気の流量とスワール数が減少し、逆流領域が小さくなったか、又はなくなったため計測できなくなったためと考えられる。

8. まとめ

2次元PDPA/RSAとMSFシード粒子を用いて、TPPL燃焼器の空気絞り全開と全閉において、非燃焼場（高温空気場）と燃焼場（予蒸発予混合燃焼）の速度分布計測を行いガス流動を把握した。そして、以下のことがわかった。

- (1) シード粒子をプライマリ噴射弁の微粒化用空気に混入して燃焼器内に供給することにより、非燃焼場および燃焼場の両方において、燃焼室内ほぼ全域で速度分布を計測することができた。
- (2) 空気絞り全開の場合、軸方向速度の半径方向分布は上流側から下流側になるにつれて3山形の分布から1山形の分布になり強い旋回流を形成する。一方、全閉の場合は2山形の分布となり弱い旋回流である。
- (3) 空気絞り全開の場合、燃焼場の速度は非燃焼場の速度に比べて軸方向速度は増加し、旋回方向速度は減少する。しかし、全閉の場合には旋回方向速度はほとんど変化しない。
- (4) 空気絞り全開の場合、スワール数は非燃焼場では設計スワール数と一致し燃焼場では減少する。全閉の場合にはスワール数は全開時より約1/3に減少する。
- (5) 空気絞り全開の場合、燃焼室中央上部の逆流領域は双子形となり、非燃焼場の場合に比較して燃焼場では拡大する。また、燃焼室上部の壁面近傍にも逆流領域が存在する。全閉では中央上部の逆流領域は縮小化されて計測範囲外になる。また、燃焼室壁面近傍の逆流領域が拡大し、順流方向の流れ領域が比較的小さくなって燃焼室中央領域に集まってくる。この結果、火炎は安定化されているものと考えられる。

参考文献

- (1) 大久保陽一郎, 井戸田芳典, 日本ガスタービン学会誌, VOL. 24, NO. 93, pp. 73-77, 1996
- (2) 大久保陽一郎, 井戸田芳典, 日本ガスタービン学会誌, VOL. 24, NO. 93, pp. 78-83, 1996
- (3) Y. Ohkubo, Y. Idota and Y. Nomura, ASME paper 94-GT-401, 1994
- (4) 大久保陽一郎, 井戸田芳典, 日本ガスタービン学会誌, VOL. 25, NO. 98, 1997
- (5) ベア/シガー, 「燃焼の空気力学」, P 68~P 76, P 96~P 138
- (6) Escudier, M. P. and Keller, J. J., AIAA J. Vol.23, No. 1, P 111~P 116, 1985

東京工業大学

神本 武征^{*1}

KAMIMOTO Takeyuki

山根隆一郎^{*1}

YAMANE Ryuichiro

1. 制御システム工学科エネルギー変換講座
(神本・松井研究室)

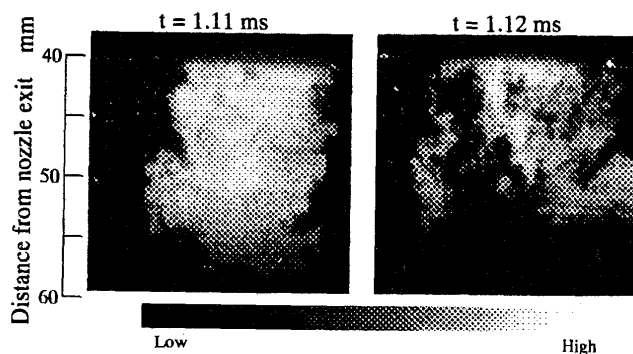
1.1 燃料噴霧燃焼の画像計測

環境保全の立場から内燃機関の燃費、有害排出物の低減が強く求められている。これを実現するには、(1)現象の解明、(2)環境対応技術の開発、(3)低減度の診断技術が必要となる。本節で取り上げる燃焼の画像計測は(1)、(3)に有用な情報を与える技術である。

ここでは画像計測の例として燃料噴霧の着火の2次元可視化⁽¹⁾を説明する。ディーゼル燃焼の基本である燃料噴霧の着火機構は、機関の燃焼、排気特性を支配する因子の一つであり、その機構解明と制御技術の開発が求められている。従来、着火領域の観察は火炎の自発光を利用していた。これは主に火炎内すすの熱輻射であり、着火より遅れて観察され、この遅れが着火領域の可視化法として問題であった。

本節で述べる方法はレーザー誘起蛍光法であり、これは特定の化学種をその吸収波長に同調したレーザーシートにより励起し、励起化学種からの蛍光を撮影する方法である。ここでは励起化学種として、噴霧の着火過程における中間生成物の一つであるホルムアルデヒドを選んだ。ホルムアルデヒドは炭化水素の酸化反応の中でも比較的低温域(900 K 以下)で起こる連鎖反応で生成され、これに引き続いて起こる熱爆発では消滅する中間生成物である。

図1に噴霧内ホルムアルデヒドの2次元可視化画像を示す。可視化領域は噴口から40-60 mmの噴霧中心軸

図1 噴流内ホルムアルデヒドの蛍光画像⁽¹⁾

原稿受付 1998年10月5日

*1 東京工業大学 工学部

〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1

を含む断面であり、噴射開始後1.1 ms後に撮影した。燃料噴射圧力は85 MPa、噴口径は0.15 mmである。右側の画像では、噴霧内部に蛍光強度が弱い領域が観察でき、ここでは熱爆発が発生していると思われる。このように従来法に比べ着火反応に直接関係する化学種の情報を得ることができた。

1.2 半導体レーザー吸収分光法

本研究室では科学技術庁航空宇宙技術研究所と協力し、半導体レーザー吸収分光法による燃焼場の分子種濃度および温度の計測についても研究を行っている。吸収法の利点である優れた定量性と、小型・軽量、光ファイバーとの適合性、室温動作といった近赤外域の半導体レーザーの持つ工学的利便性から、本測定法は比較的安価で実用的な非接触定量測定法として注目されている。ガスタービン燃焼器内部等の燃焼診断をはじめ、様々な応用も期待できる。

本研究室ではこれまでも赤外域CO(4.92 μm)および近赤外域H₂O(1.39 μm)の振動回転遷移に着目した燃焼場の測定を行ってきたが、現在は特に燃焼ガス中のOHラジカルの定量濃度測定⁽²⁾に重点を置いている。測定結果の一例として、光通信用に普及している1.55 μm帯半導体レーザーを光源とする吸収分光法により、大気圧下のプロパン-空気層流予混合対向流双火炎間の燃焼ガス中OH濃度を測定した結果を図2に示す。OH濃度測定値は断熱化学平衡計算値と概ね良く一致している。

今後は実用燃焼器内部等の乱流、圧力等を考慮した測定法の改良が重要な課題になるものと考えている。

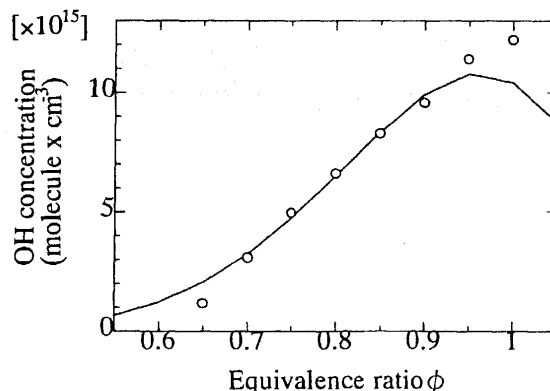


図2 燃焼ガス中のOH濃度測定値(白丸)と断熱化学平衡計算値(実線)との比較

2. 機械科学科流体科学講座（山根・大島研究室）

2.1 実験室建物

本誌での研究室紹介は初めてであるため、最初に実験室の建物について少し触れさせて頂きたい。当研究室が使用している水力実験室は独立した建物であり、東宮御所の設計などで高名で文化勲章を受章された故谷口吉郎名誉教授の設計である。関東大震災を契機に本学が蔵前から大岡山へ移転してきた後、大岡山キャンパスとしては最初の鉄骨・鉄筋コンクリート造りの建物であり、昭和7年8月に竣工した。したがって本学の象徴的建物で時計台のある本館より早く完成している。谷口先生の数多い設計のうち最初の処女作品であり、当時としては超モダンな建物であったため建築雑誌などにも広く紹介され、現在東京都の「歴史的建造物」に指定されている。

高台にあるため屋上に登れば眺望は素晴らしく、春は桜並木に囲まれて桜の雲の上にいるようであり、冬は丹沢を前景とした富士山を間近に望むことができる。眺望、建物の由来などについてはホームページ

<<http://toki.mech.titech.ac.jp/~ryuutai/yamajp.html>>
をご覧頂ければ幸いである。

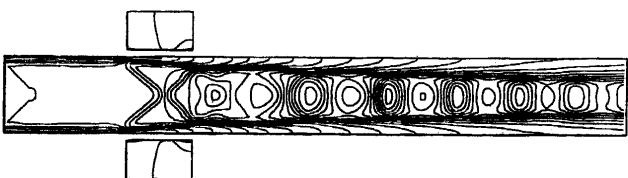
2.2 現在の研究

研究分野は衝撃波、液体金属 MHD、磁性流体、ER 流体、生体流体に大別される。

直接ガスタービンに関係した研究は行っていないが、近いものとして擬似衝撃波の研究について紹介する。圧縮機を高速化して超音速流を扱うようにすれば飛躍的な性能向上が期待されることが以前より知られているが、流路壁境界層と干渉して発生する擬似衝撃波による損失、不安定性などのため実現が絶望視されていた。当研究室ではこれらの問題の基礎として擬似衝撃波の構造、安定性、超音速デフューザの性能など一連の研究を続けて



(a) 固体壁の場合



(b) 多孔壁の場合

図3 等密度線図（数値シミュレーション結果）

いる。

非常に複雑な現象であるため解析的アプローチは不可能に近く、長年実験のみを行ってきたが、近年このような問題でも数値シミュレーションが可能となったため、過去に蓄積した実験結果をシミュレーションで追跡して数値的に再現、確認するとともに、さらにマッハ数、境界層厚さの影響など一般的な結果を得てきた。擬似衝撃波は境界層との干渉によって生じるため振動し易いのが問題であるが、多孔壁またはバイパスを用いて振動制御（パッシブコントロール）する方法を提案し、実験およびシミュレーションによって有効性を確認している（図3^(a)）。

実機実験としては、超音速圧縮機は製作、消費動力、実験設備の面で多額の費用を要するため、大学の一研究室の手におえるものではないが、最近ターボチャージャの全盛時代を迎え、超音速遠心圧縮機への手軽なチャレンジができるのではないかと考え、メーカーのご協力を得てターボチャージャを拝借し実験を開始した。手始めに従来の蓄積を生かす意味もあって静止部のデフューザに着目し、高速回転時のデフューザ性能、内部流れなどを計測しシミュレーションと比較した。しかし、当然のことながら実用のターボチャージャは気流速度を抑える設計となっており、我々のように性能は無視してひたすら超音速を目指すようにはできていないため実験には限界があり、また、超高速回転は素人の学生には技術的に困難であるため一時実験を中断している。

もし超音速遠心圧縮機が実現できるならデフューザも超音速デフューザとなり内部に発生する衝撃波は円形になるであろう。また、インペラの羽根枚数が有限であり失速時には流れが非対称となり、さらに出口側スクロールも非対称であるため必然的に衝撃波は円形から外れ、楕円形、おむすび形など種々のモードの振動をするであろう。これをモデル化して放射状流路内における円形衝撃波の振動問題についても実験的、数値的研究を重ねてきている。

他に電磁力関連流体工学の分野では高純度溶融材料を非接触で宙に浮いた状態で流動、保持、形状制御する技術について研究している。

参考文献

- (1) Kosaka, H, et al, Proc. of COMODIA 98, (1998), p. 387
- (2) Aizawa, T., et al, Appl. Opt. (投稿中)
- (3) 奥井他, 機論 (投稿中)

第22回 CIMAC コペンハーゲン大会の概要

青木 千明^{*1}

AOKI Chiaki

1. まえがき

“第22回 CIMAC (国際燃焼機関会議) 大会”が、1998 (平成10)年5月18日～21日(月～木)にデンマーク国コペンハーゲン市で開催され、多くの参加者を得て、きわめて盛況のうちにガスタービン、ターボ過給機及びピストン機関の内燃機関に関わる多数の論文発表及びパネルなどが行われ、大きな成果を収めた。

筆者は、CIMACの副会長として、この大会の計画段階から実行段階まで深く関わり、また、CIMACの日本国内委員会の事務局である日本内燃機関連合会の立場から、国内の関係者に論文の提出から大会への参加に至るまで、お世話をさせて頂くと共に、日内連が企画して実施した“第22回 CIMAC コペンハーゲン大会参加欧州内燃機関視察団(CIMAC ツアー)”の幹事として、大会からツアーまで通して参加したので、ここにその概要をご紹介します。

2. 会期・会場・参加登録者数

“第22回 CIMAC コペンハーゲン大会”の会期、会場は、次の通りであった。会場は、コペンハーゲン国際空港と市中心の中間にある新開発地域に位置しており、市内からは交通の不便な場所であったが、毎朝毎夕に CIMAC 大会用の専用バスを出し、多くの大会参加者がそれを利用した(写真1)。

- ・会期：1998年5月18～21日(月～木)
- ・会場：デンマーク国コペンハーゲン市

Bella Center 国際会議場

また、大会参加登録者は、31の国又は地域から約800名(うち約100名は同伴者)となり、近年の大会では最大規模の大会になった。国別参加登録者(括弧内の同伴者数を含む合計数)は、1位がデンマークの128(25)名、2位がドイツの107(14)名、3位がイギリスの77(11)名、4位が日本の65(8)名、5位がアメリカの47(8)名で、あとはスウェーデン、ノルウェー、オランダ、スイス、フランスの順であった。なお、今回初めて1日だけの参加登録制を採用したが、1日参加登録者は、殆ど地元のデンマークからの登録で、全体の約10%であったという。

コペンハーゲンは、多くの方がご承知のように、デンマークの首都として、比較的にじんまりとして落ち着いた

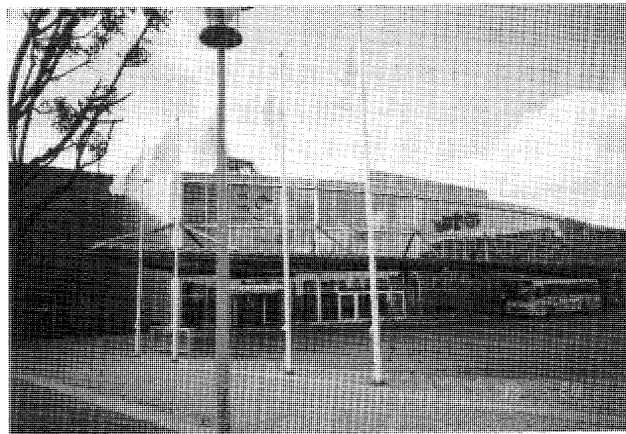


写真1 第22回 CIMAC 大会会場のコペンハーゲン BELLA CENTER 国際会議場

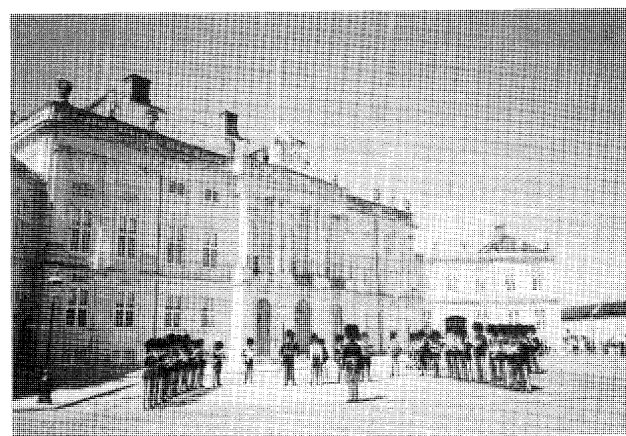


写真2 コペンハーゲン市内のデンマーク王宮と衛兵交代

た雰囲気があり、長い歴史の匂いも漂わせる街が、王宮と有名なチボリ公園を中心に広がっている(写真2)。今回の大会では、講演会等以外の主な行事は、殆どが市中で行われたので、参加者も行事の合間にこの街を大いに楽しんだことと思われる。

3. 発表論文

今回の大会での発表論文数は、通常の講演会(123編)及びポスタセッション(27編)を合わせて、21か国から150編であり、うち日本からは35編であった。また、ガスタービン関係が22編(うち日本から10編)、ターボ過給機関係が13編(うち日本から3編)、ピストン機関関係が128編(うち日本から25編)であった。

原稿受付 1998年10月22日

*1 日本内燃機関連合会

〒105-0004 東京都港区新橋1-11-5 吉野ビル4階

当初の応募論文数は、全体で 179 編(うち日本から 41 編)と近年の大会ではきわめて多く、このため、審査で落とすには惜しい論文で、プログラムの構成の上から通常講演には編成しにくい論文を、ポスタセッションの形式で発表することにし、結果的には好評を得た。

ガスタービン関係の論文では、内容的には(括弧内は日本の論文で内数)、開発・新技術関係が 9(6)編、燃焼関係が 6(2)編、コージェネレーション・コンバインドサイクル関係が 3(1)編、船用関係が 3(1)編、試験計測関係が 1(0)編であった。国別では、日本 10、ドイツ 5、スウェーデン 3、イギリス 2、及びスイス、スペインが各 1 であった。また、ターボ過給機関係では、スイス 4、日本 3、ドイツ 2、及びフランス、イギリス、アメリカ、チェコが各 1 であった。日本の論文は(括弧内はターボ過給機関係で内数)、三菱重工 4(2)、IHI 3、東芝 2、及び日立、川崎重工、新潟鉄工が各 1 で、さらに日本工業大が 1(1)であった。

4. 大会プログラム

大会プログラムとしては、日毎に主要テーマを決め、関連する講演会及びパネルを行うようにした。4 日間の毎日のプログラムは、行事を含めて、次のごとくであった。

(1) 第 1 日目 (5 月 18 日(月))

開会式が、午前 10 時から市中心のチボリ公園内のコンサートホールで開催され、その中でデンマーク王室の Joachim 王子が大会の開会宣言をされた。

この日のテーマは、“最新技術(State of the Art)”であり、午後から講演会が 3 室(うちガスタービン関係が 1 室)で行われた。

夕方には、大会組織委員会による歓迎レセプションが市中心の市庁舎の中のシティホールで開催され、コペンハーゲン市長の挨拶のあと、立食パーティ形式で参加者の交流を深めた。

(2) 第 2 日目 (5 月 19 日(火))

この日のテーマは、“ユーザ・デー(Users Day)”であり、講演会が 4 室(うちガスタービン関係が 1 室)で午前と午後に行われ、そのあとに、機関の信頼性に関するユーザを中心とするパネルが行われた。また、最近の CIMAC 大会で初めてのポスタセッションが、10 時から午後にかけて行われた。

この日の夕方には、ABB Turbo Systems 社の主催によるレセプションが、市内の兵器博物館で行われた。

(3) 第 3 日目 (5 月 20 日(水))

この日のテーマは、“排出物及び環境(Emission and Environment)”であり、講演会が 4 室(うちターボ過給機関係が 1 室)で午前と午後に行われ、そのあと IMO(国際海事機構)規則による排気排出物規制に関するパネルが行われた。また、ポスタセッションが、テーマを変えて、前日と同様に行われた。

(4) 第 4 日目 (5 月 21 日(木))

この日のテーマは、“エンジンシステムと展望(Engine Systems-Outlook)”であり、講演会が 3 室(うちコージェネレーション・コンバインドサイクル関係が 1 室)で午前に行われた。また、ポスタセッションが、さらにテーマを変えて行われた。

午後からは、Collin Trust Lecture と題した特別講演が、“発電及びエンジンシステムの最近の動向と将来の展望”という題目で、日内連会長であり三菱重工常務取締役(当時)である中神靖雄氏によって行われた。次いで、エンジンシステムと展望に関するパネルが行われた。

夕方 19 時からは、晚餐会が市内の FALCONER CENTER ホテルで盛大に開催された。この中で食後に、CIMAC 会長の挨拶があり、また最優秀論文賞の表彰式などが行われ、この晚餐会は、夜遅く迄行われた。

5. 最優秀論文

今回の大会で発表された論文の中から、2 編の最優秀論文が選ばれ、最終日の夕方の晚餐会席上で、最優秀論文賞の表彰式が行われた。ガスタービン関係では、日本の論文が選ばれ、三菱重工の西田美妃さんが初めての女性の受賞者として表彰された。なお、最優秀論文賞受賞者には、次期大会の参加登録費が免除される特典が与えられる。また、ガスタービン関係では、2 回続けて日本の論文が最優秀論文に選ばれ、喜ばしいことであった。

6. 展示会

今回の大会では、開催国のデンマーク組織委員会の主催で展示会が行われた。会場が、もともと展示場として造られたこともあり、講演会場ときわめて密接した位置関係で、またポスタセッション会場も隣接させて設置し、さらに休憩時間のコーヒーを展示会場の中央に置くなどの工夫をしたこともあり、かなり盛大な展示会が大会期間中を通して開催された(写真 3)。

展示出展は、31 社で 50 小間であった。日本からは、



写真 3 第 22 回 CIMAC 大会での展示会場

三菱重工業が 3 小間を出展し、多くの参加者の関心を得ていた。

7. CIMAC 主催による見学会

大会終了後の翌日 5 月 22 日(金)に、CIMAC 主催による見学会が次の 3 コースに分かれて行われ、技術的視察に加え、観光的見学先も含めたためか、多くの参加者があった。

- ・ オデンセ造船所 (Odense Steel Shipyard)
- ・ MAN B&W DIESEL 社研究開発センター
- ・ ヘルシンゲ熱電供給プラント
(Helsingør Combined Heat & Power Plant)

8. “CIMAC ツアー” の概要

日内連が企画した“CIMAC ツアー”は、2 コースで行われたが、大会参加及びその翌週に北欧を中心に内燃機関関係の研究所及び会社を訪問視察した A コースには、21 名(うち同伴者 6 名、添乗員 1 名)、大会参加を基本とした B コースには 22 名、合計 43 名が参加した。

団長を福岡大学工学部教授の和栗雄太郎先生が、また副団長を日本工業大学工学部教授の松本正勝先生がそれぞれ引き受けて頂いた。A コースでの大会後の訪問先は、5 月 25 日(月)から 28 日(木)にわたり、次の通りであり、いずれでも歓迎を受けて、非常に有益な視察及び討議を行い、交流を深めることができた。

- ・ MARINTEK (ノルウェー船舶技術研究所) - ノルウェー国トロンハイム市
- ・ SINTEF (ノルウェー工業科学研究所) エネルギー研究所 - ノルウェー国トロンハイム市
- ・ WARTSILA NSD 社ヴァーサ工場 - フィンランド国ヴァーサ市
- ・ SIEMENS 社ベルリン・ガスタービン工場 - ドイツ国ベルリン市
- ・ ベルリン工科大学 - ドイツ国ベルリン市

9. むすび

今回の CIMAC 大会が、非常な盛況と大きな成果を収めて無事終了することができたことは、早くからその計画・準備・実行などに深く関わってきた一人として、感慨深いものがあり、これも関係者の皆様の多大なご努力・ご協力・ご支援の賜物であり、あらためて厚くお礼を申し上げます。

CIMAC 大会は、2~3 年ごとに開催することにしており、次回第 23 回大会は、2001 年 5 月にドイツのハンブルグで開催される。そして、その次の第 24 回大会は、2003 年 11 月(予定)に日本で開催されることになった。日本では、1977 年に次ぎ 2 回目になるもので、近年のエンジン先進国の立場からも、ぜひ成功させたいので、当学会の会員の方々を含め関係者の皆様の絶大なご支援とご協力を賜りたく、お願い申し上げます。

<日本ガスタービン学会刊行物>

Bulletin Of GTSJ 1999

発行予定 1999 年 2 月末
 頒布価格 1 部 2000 円 (10 部以上申込の場合は 20%引き)
 内容 Gas Turbine Technology in Japan
 Abstracts of Recent Technical Papers
 Letters from R and D Groups
 New Models and Products
 Production Statistics 他, A 4 版, 約 90 ページ

申込方法 氏名、連絡先、必要部数を明記して、学会事務局までお申し込み下さい。
 バックナンバーの在庫もあります。1998 年以前の発行分については
 在庫の有無と価格を事務局までお問い合わせ下さい。

学会事務局 〒160-0023 東京都新宿区西新宿 7-5-13 第 3 工新ビル 402
 Tel. 03-3365-0095 Fax. 03-3365-0387 郵便振替 00170-9-179578

三菱重工業が 3 小間を出展し、多くの参加者の関心を得ていた。

7. CIMAC 主催による見学会

大会終了後の翌日 5 月 22 日(金)に、CIMAC 主催による見学会が次の 3 コースに分かれて行われ、技術的視察に加え、観光的見学先も含めたためか、多くの参加者があった。

- ・ オデンセ造船所 (Odense Steel Shipyard)
- ・ MAN B&W DIESEL 社研究開発センター
- ・ ヘルシンゲ熱電供給プラント
(Helsingør Combined Heat & Power Plant)

8. “CIMAC ツアー” の概要

日内連が企画した“CIMAC ツアー”は、2 コースで行われたが、大会参加及びその翌週に北欧を中心に内燃機関関係の研究所及び会社を訪問視察した A コースには、21 名(うち同伴者 6 名、添乗員 1 名)、大会参加を基本とした B コースには 22 名、合計 43 名が参加した。

団長を福岡大学工学部教授の和栗雄太郎先生が、また副団長を日本工業大学工学部教授の松本正勝先生がそれぞれ引き受けて頂いた。A コースでの大会後の訪問先は、5 月 25 日(月)から 28 日(木)にわたり、次の通りであり、いずれでも歓迎を受けて、非常に有益な視察及び討議を行い、交流を深めることができた。

- ・ MARINTEK (ノルウェー船舶技術研究所) - ノルウェー国トロンハイム市
- ・ SINTEF (ノルウェー工業科学研究所) エネルギー研究所 - ノルウェー国トロンハイム市
- ・ WARTSILA NSD 社ヴァーサ工場 - フィンランド国ヴァーサ市
- ・ SIEMENS 社ベルリン・ガスタービン工場 - ドイツ国ベルリン市
- ・ ベルリン工科大学 - ドイツ国ベルリン市

9. むすび

今回の CIMAC 大会が、非常な盛況と大きな成果を収めて無事終了することができたことは、早くからその計画・準備・実行などに深く関わってきた一人として、感慨深いものがあり、これも関係者の皆様の多大なご努力・ご協力・ご支援の賜物であり、あらためて厚くお礼を申し上げます。

CIMAC 大会は、2~3 年ごとに開催することにしており、次回第 23 回大会は、2001 年 5 月にドイツのハンブルグで開催される。そして、その次の第 24 回大会は、2003 年 11 月(予定)に日本で開催されることになった。日本では、1977 年に次ぎ 2 回目になるもので、近年のエンジン先進国の立場からも、ぜひ成功させたいので、当学会の会員の方々を含め関係者の皆様の絶大なご支援とご協力を賜りたく、お願い申し上げます。

<日本ガスタービン学会刊行物>

Bulletin Of GTSJ 1999

発行予定 1999 年 2 月末
 頒布価格 1 部 2000 円 (10 部以上申込の場合は 20%引き)
 内容 Gas Turbine Technology in Japan
 Abstracts of Recent Technical Papers
 Letters from R and D Groups
 New Models and Products
 Production Statistics 他, A 4 版, 約 90 ページ

申込方法 氏名、連絡先、必要部数を明記して、学会事務局までお申し込み下さい。
 バックナンバーの在庫もあります。1998 年以前の発行分については
 在庫の有無と価格を事務局までお問い合わせ下さい。

学会事務局 〒160-0023 東京都新宿区西新宿 7-5-13 第 3 工新ビル 402
 Tel. 03-3365-0095 Fax. 03-3365-0387 郵便振替 00170-9-179578

ポンプ駆動用立形ガスタービンエンジンパッケージ

野田 松男^{*1}

NODA Matsuo

1. はじめに

近年、洪水時の河川水排水や下水雨水排水を目的とした排水機場のポンプ駆動用原動機として、冷却水を必要とせず、騒音・振動が小さく地域環境に優しいガスタービンが採用されつつある。

一方、排水機場の省スペース化及び、建設費縮減化のニーズの高まりから排水機場のコンパクト化が望まれており、ポンプ駆動用ガスタービンの立形化により原動機室の設置スペース縮小化・機場のコンパクト化を実現する。

今回、立形ガスタービンのシリーズ化の内、2,800 PS 級 MGM 3000 V を開発したので、以下にその概要を紹介する。

2. 機器概要

通常ガスタービンに比べ、よりコンパクトである航空機転用形ガスタービンエンジンを立形配置する事により出力軸を垂直方向としたポンプ駆動用立形ガスタービンパッケージである。

主要目を表1に示す。

2.1 構造

遮音用のエンクロージャ内に立形減速機を据付、直上

にガスタービンを搭載している。潤滑油ポンプ、空冷潤滑油冷却器、潤滑油排油ポンプ等の補機もエンクロージャ内に装備されている。

エンクロージャ上部には、給気サイレンスを搭載し、ポンプ駆動装置設置スペース低減に寄与している。

図1にパッケージ内断面、図2にパッケージ外観を示

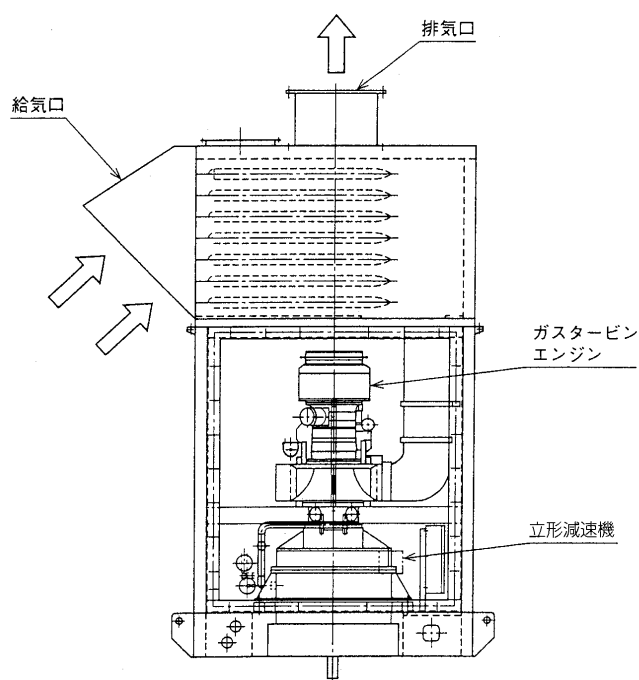


図1 パッケージ断面

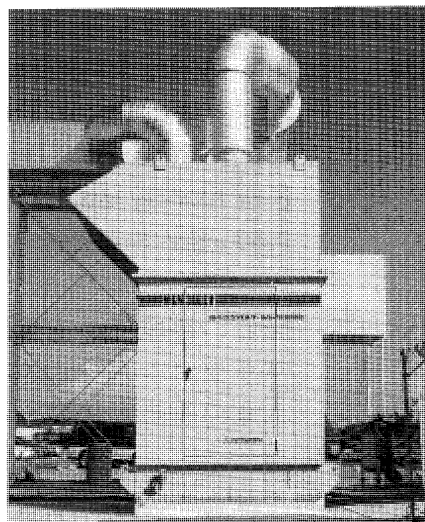


図2 外観

表1 主要目

機種形式	MGM 3000 V
ガスタービン形式	単純開放サイクル 2軸式
圧縮機	軸流7段+遠心1段
タービン	軸流4段
タービン主軸回転数	15,400 rpm
定格出力	2,800 PS※
燃料	A重油、灯油、軽油、 LNG、LPG
燃料消費率	263 g / PS / Hr※
サイズ (m)	2.4(L) x 2.4 (B) x 4.5 (H)
出力軸回転数	ポンプ側必要回転数 に対応可

※：気温：37℃、気圧：920 hPa、
入口／出口ダクト損失：100 /
300 mmAq、燃料：A重油

原稿受付 1998年10月2日

*1 三菱重工業(株) 名古屋誘導推進システム製作所
エンジン・機器部 システム製品課
〒485-8561 愛知県小牧市東田中1200番地

す。

2.2 特徴・メリット

- 1) 環境に優しい：排ガス中の NOx, SOx 等が少ない。
- 2) コンパクト：航空機転用形で、軽量コンパクト。
- 3) 片持ち支持構造：エンジンが片持ち可能なことから立形化に最適、運転時のエンジン熱膨張拘束なし。
- 4) 2軸式：クラッチ不要、部分負荷での効率良好。更に、始動時の外部必要動力は、小さい。
- 5) エンジン下方給気、上方排気構造：パッケージ内の温度上昇防止効果大、信頼性も向上。
- 6) エンジン取り降ろし治具内蔵：パッケージ内にエンジン取り降ろし用クレーンビーム内蔵。
- 7) 冷却水不要：エンジン、減速機潤滑油の冷却方式は空冷式で冷却水不要。

3. 立形化実証試験

実証確認試験として、以下の試験を実施し、立形化に際して技術的に問題ないことを確認した。

3.1 試験日程

- ・エンジン単体試験：1997年5月
- ・パッケージ試験：1997年8月～10月
パッケージに組み込んだ状態での試験
- ・エンジン分解検査：1997年12月

3.2 試験項目

- ・エンジン単体試験
- ・始動特性試験
- ・停止試験
- ・負荷試験
- ・過速度試験
- ・負荷変動試験
- ・再始動試験
- ・可変速試験

・耐久試験

3.3 試験結果

前項試験項目を通じて、立形化による影響がないことを確認した。

- 1) エンジン単体試験：累積約 100 時間の運転後、分解検査し異常のないことを確認した。
- 2) 始動試験：始動指令から定格到達迄の時間を計測し、規定値（2分）内であることを確認した。
- 3) 停止試験：定格状態から停止させ、異常な振動がないことを確認した。
- 4) 負荷試験：定格状態で 3 時間連続運転実施し、異常のないことを確認した。
- 5) 過速度試験：無負荷状態で、出力軸回転数 105% にて運転し、問題のないことを確認した。
- 6) 負荷変動試験：負荷を 25% から定格迄増加させ、その後、25% 迄下げ、出力軸回転数の異常な変動がないことを確認した。
- 7) 再始動試験：アイドル状態から停止させ、その後再始動させ異常振動がないことを確認した。
- 8) 可変速試験：可変速可能最低回転数から定格状態まで加速後、再度最低回転数まで減速させ、規定時間（1分）内であることを確認した。
- 9) 耐久試験：累積 100 時間の運転実施後、エンジンを分解検査し、異常のないことを確認した。
(エンジン単体試験と合わせ、合計約 200 時間)

4. おわりに

当社は、本ガスタービンパッケージの開発により、約 1,000 PS から 2,800 PS 級までのレンジに対応可能となったが、市場マーケットとしては、それ以下の馬力需要も多いことから、さらに低出力の立形ガスタービンパッケージを開発中である。

本会協賛・共催行事

会 合 名	開催日、会場	詳細問合せ先
第 7 回微粒化シンポジウム	H 10/12/21-23 群馬大学工学部	事務局慶大徳岡研究室気付 徳岡直静 TEL 045-563-1141 EX 3196 FAX 045-563-5943
第 3 回実践集中講義：PIV の要点	H 11/1/13 大阪府立大学学術交流会館	東京大学原子力工学研究施設 岡村孝司 TEL 029-287-8411 FAX 029-287-8488
第 20 回日本混相流学会講習会	H 11/1/20-21 関西大学工学部第 5 実験棟 4 階共同講義室	関西大学工学部 梅川尚嗣 TEL&FAX 06-368-0804
第 6 回超音波による非破壊評価シンポジウム	H 11/1/21-22 工学院大学 新宿校舎 3 階大教室 (0312 教室)	日本非破壊検査協会 学術局学術課 TEL 03-5821-5105

*102 号に掲載した会場に誤りがありました。下記に訂正してお詫びいたします。

会 合 名	開催日、会場	詳細問合せ先
第 39 回航空原動機・宇宙推進講演会	H 11/1/28-29 三菱重工業(株)技術研修所	日本航空宇宙学会 TEL 03-3501-0463

す。

2.2 特徴・メリット

- 1) 環境に優しい：排ガス中の NOx, SOx 等が少ない。
- 2) コンパクト：航空機転用形で、軽量コンパクト。
- 3) 片持ち支持構造：エンジンが片持ち可能なことから立形化に最適、運転時のエンジン熱膨張拘束なし。
- 4) 2軸式：クラッチ不要、部分負荷での効率良好。更に、始動時の外部必要動力は、小さい。
- 5) エンジン下方給気、上方排気構造：パッケージ内の温度上昇防止効果大、信頼性も向上。
- 6) エンジン取り降ろし治具内蔵：パッケージ内にエンジン取り降ろし用クレーンビーム内蔵。
- 7) 冷却水不要：エンジン、減速機潤滑油の冷却方式は空冷式で冷却水不要。

3. 立形化実証試験

実証確認試験として、以下の試験を実施し、立形化に際して技術的に問題ないことを確認した。

3.1 試験日程

- ・エンジン単体試験：1997年5月
- ・パッケージ試験：1997年8月～10月
パッケージに組み込んだ状態での試験
- ・エンジン分解検査：1997年12月

3.2 試験項目

- ・エンジン単体試験
- ・始動特性試験
- ・停止試験
- ・負荷試験
- ・過速度試験
- ・負荷変動試験
- ・再始動試験
- ・可変速試験

・耐久試験

3.3 試験結果

前項試験項目を通じて、立形化による影響がないことを確認した。

- 1) エンジン単体試験：累積約 100 時間の運転後、分解検査し異常のないことを確認した。
- 2) 始動試験：始動指令から定格到達迄の時間を計測し、規定値（2分）内であることを確認した。
- 3) 停止試験：定格状態から停止させ、異常な振動がないことを確認した。
- 4) 負荷試験：定格状態で 3 時間連続運転実施し、異常のないことを確認した。
- 5) 過速度試験：無負荷状態で、出力軸回転数 105% にて運転し、問題のないことを確認した。
- 6) 負荷変動試験：負荷を 25% から定格迄増加させ、その後、25% 迄下げ、出力軸回転数の異常な変動がないことを確認した。
- 7) 再始動試験：アイドル状態から停止させ、その後再始動させ異常振動がないことを確認した。
- 8) 可変速試験：可変速可能最低回転数から定格状態まで加速後、再度最低回転数まで減速させ、規定時間（1分）内であることを確認した。
- 9) 耐久試験：累積 100 時間の運転実施後、エンジンを分解検査し、異常のないことを確認した。
(エンジン単体試験と合わせ、合計約 200 時間)

4. おわりに

当社は、本ガスタービンパッケージの開発により、約 1,000 PS から 2,800 PS 級までのレンジに対応可能となったが、市場マーケットとしては、それ以下の馬力需要も多いことから、さらに低出力の立形ガスタービンパッケージを開発中である。

本会協賛・共催行事

会 合 名	開催日、会場	詳細問合せ先
第 7 回微粒化シンポジウム	H 10/12/21-23 群馬大学工学部	事務局慶大徳岡研究室気付 徳岡直静 TEL 045-563-1141 EX 3196 FAX 045-563-5943
第 3 回実践集中講義：PIV の要点	H 11/1/13 大阪府立大学学術交流会館	東京大学原子力工学研究施設 岡村孝司 TEL 029-287-8411 FAX 029-287-8488
第 20 回日本混相流学会講習会	H 11/1/20-21 関西大学工学部第 5 実験棟 4 階共同講義室	関西大学工学部 梅川尚嗣 TEL&FAX 06-368-0804
第 6 回超音波による非破壊評価シンポジウム	H 11/1/21-22 工学院大学 新宿校舎 3 階大教室 (0312 教室)	日本非破壊検査協会 学術局学術課 TEL 03-5821-5105

*102 号に掲載した会場に誤りがありました。下記に訂正してお詫びいたします。

会 合 名	開催日、会場	詳細問合せ先
第 39 回航空原動機・宇宙推進講演会	H 11/1/28-29 三菱重工業(株)技術研修所	日本航空宇宙学会 TEL 03-3501-0463

荏原 PW-18 M ガスタービン

井口 和春*¹
IGUCHI Kazuharu江藤 浩一*¹
ETO Kouichi

キーワード：ガスタービン，ST 18，高効率，航空機転用形，2 軸式，ポンプ駆動用，排水機場，コージェネレーション

1. はじめに

昨今，排水機場等のポンプ駆動用原動機選定に際し，従来のディーゼルエンジンに代わりガスタービンを採用する傾向が強まっている。これは，冷却水系統が不要，騒音／振動の低減が比較的容易等のガスタービンの持つ優れた特性が評価されてきたことが挙げられる。この動向に応じて，荏原では P & WC 社 (Pratt & Whitney Canada 社) の航空機転用形ガスタービン ST 6 を導入し，PW-4 M～14 M (725～1850 PS) ガスタービンパッケージシリーズを製品化し，全国の排水機場に多数の納入実績を持つに至っている。

この程製品の出力レンジ枠を拡大するべく，同社の航空機転用形ガスタービン ST 18 を導入し，PW-18 M ガスタービンパッケージを製品化した。これにより，シリーズ出力レンジ枠を 2100 PS までに拡大することになった。

本文では，このたび東北地方某排水機場向けポンプ駆動用として表記ガスタービンパッケージを受注し，立会検査を終了したのでその概要を紹介する。

2. ST 18 ガスタービンの概要

ST 18 ガスタービンエンジン (図 1) は P & WC 社が開発した PW 100 シリーズターボプロップエンジンの後期形である PW 127 エンジンベースとした，航空機転用形ガスタービンである。本エンジンは主に 20～30 人乗りの中・小形航空機 (双発機が主流) に採用されており，全世界で既に多数の実績がある。また，産業用ガスタービンとしても，荏原の他，欧州，米国等のパッケージにより，ガス及び液体燃料を使用した発電プラント用としても採用されている。

ST 18 ガスタービンは，下記の構造的特徴を備えている。

1) 3 軸構成

ガス発生機の低圧圧縮機軸，高圧圧縮機軸及び出力タービン軸の各々が独立した 3 軸構成である。これにより，各ロータ軸が異なる運転状態において，各々独立し

た最適回転数 (運転領域) での運転が可能となり，広い出力と出力軸回転数範囲で高効率運転を実現している。また，起動時には高圧軸のみを回転させる為，小容量のスタータでの起動が可能である。

2) 小形・軽量

円環形 (アニュラ形) 逆流式燃焼器等の採用により，軸方向寸法を最小限に止めると同時に，軽合金の多用，パイプディフューザ等の採用により軽量化を実現。

ST-18 ガスタービンエンジンの基本仕様を表 1 に示す。

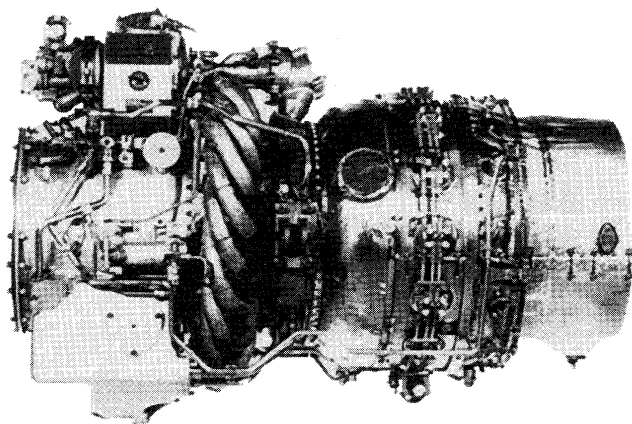


図 1 ST 18 ガスタービン

表 1 ST 18 基本仕様

項目	仕様
定格出力	2312 kW
ガスタービン形式	単純開放サイクル2軸式
圧縮機構成	遠心2段 (低圧1段+高圧1段)
圧縮機タービン構成	軸流2段 (低圧1段+高圧1段)
出力タービン構成	軸流2段
燃焼器	円環形 (アニュラ形)
燃料噴射ノズル	圧力噴霧式 (14ヶ)
低圧圧縮機定格回転数	28350 min. ⁻¹
高圧圧縮機定格回転数	33765 min. ⁻¹
出力タービン定格回転数	20000 min. ⁻¹

原稿受付 1998 年 9 月 24 日

* 1 (株)荏原製作所 機械事業本部 気体機械事業部 袖ヶ浦工場 設計開発部

〒144-8510 東京都大田区羽田旭町 11-1

3. PW-18 M の特徴

PW-18 M ガスタービンパッケージは、下記の特徴を備えている。

1) 高効率

空力特性の優れた航空機転用形エンジンの採用、低損失の吸排気通路とし、高い熱効率を実現。

2) 2 軸式ガスタービンの採用

流体継手を不要とし、有負荷起動が可能。また、部分負荷及び可変速運転中においても高効率を実現。更に、2 軸式である為、1 軸式ガスタービンに比べ小容量スタータでの起動が可能。

3) 小スペース・軽量

排気 1 次サイレンサをパッケージ共通ベース上へ配置し、また吸／排気及び換気空気流路の最適化を図り、小スペース・軽量のパッケージを実現。

4) 容易な排気ダクトアレンジ

高効率エンジンの為、吸／排気空気量が少なく、排気ダクトが小口径となり、また排気口の配置の関係で容易なダクトアレンジが可能。

5) 低振動・低騒音

振動・騒音の発生源であるエンジン・減速機ベースをエンクロージャベースと分離・独立させ、外部への振動・騒音の伝達を最小化。

4. パッケージ基本仕様及び構成機器概要

ここでは、既に納入が決定した東北地方某排水機場向け PW-18 M の基本仕様、及び構成機器概要について記

表 2 PW-18 M 基本仕様

項目	仕様
定格出力	2100 PS
定格出力軸回転数	1000 min ⁻¹
出力軸回転数範囲	定格の約60～100 %
減速機形式	遊星歯車2段式
減速比	約 20
出力軸回転方向(軸端より)	CCW(反時計回り)
燃焼空気吸気流量(40℃)	385 m ³ /min.
換気吸気流量(40℃)	350 m ³ /min.
使用燃料	灯油
潤滑油	合成基油
燃料消費率	270 g/PS h
始動方式	電気式(DC24V X 7kW)
制御方式	電気式ガバナ+PLC

述する。パッケージの基本仕様を表 2 に示す。

パッケージの主な構成機器としては、ガスタービン本体、減速機(遊星歯車 2 段式)、防音エンクロージャ(吸気サイレンサ一体型)、1 次排気サイレンサ、燃料調整弁、空冷潤滑油冷却器が有り、各々共通ベース上に配置されている。パッケージ内機器配置を図 2 に示す。

潤滑油系統は空冷冷却器をパッケージ内に内蔵し、冷却水系統を不要とすると同時に、機付きの潤滑油ポンプを使用することにより、外部動力源を必要としない構成

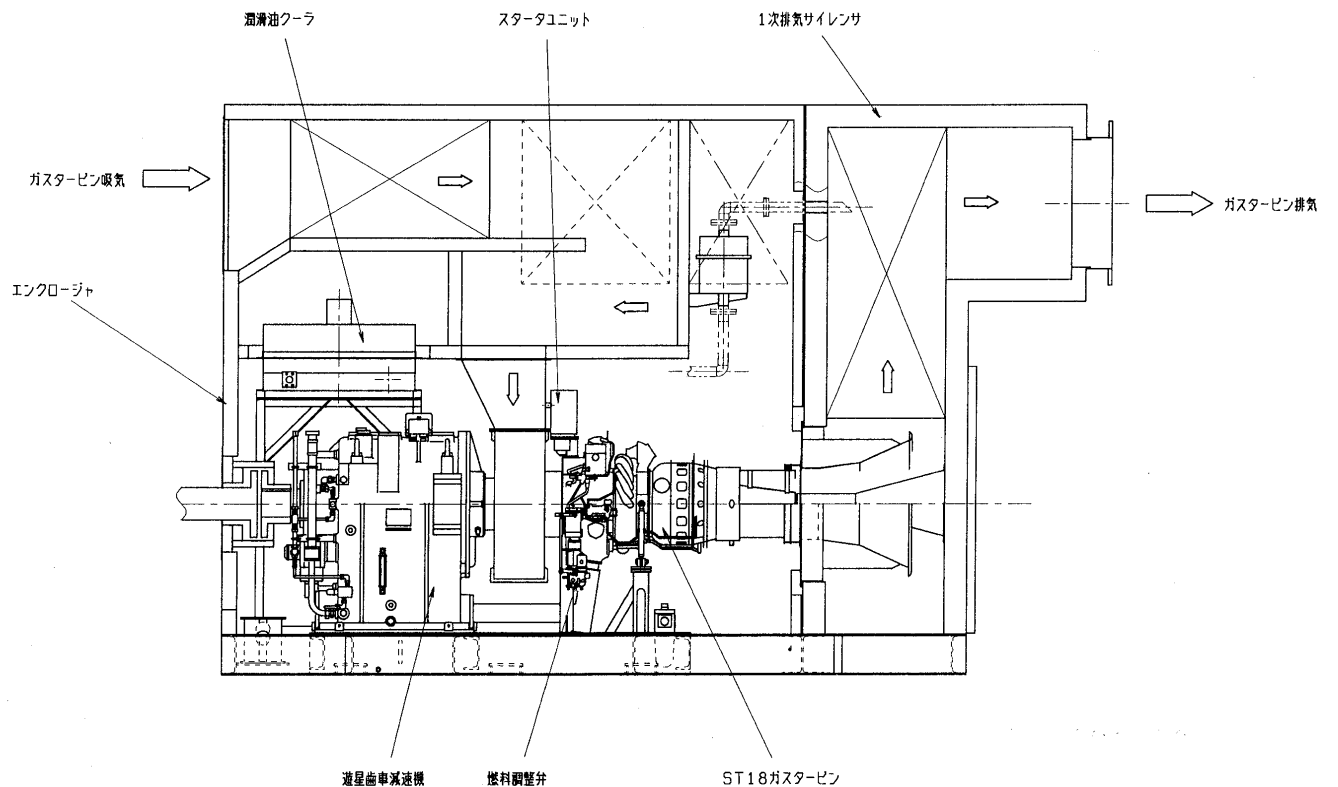


図 2 パッケージ内機器配置図

となっている。

制御系は電気ガバナ+シーケンサの構成を主システムとし、信頼性を高める為のバックアップ用に電気ガバナ+ハードリレーを併設し、どちらの制御系からでも運転も可能とした。また、中央からの信号入力により、出力軸速度 60～100% の間での可変速制御が可能である。

5. 今後の展望

将来、様々な用途への応用が期待されるガスタービンの需要に対応するべく、更に開発項目として以下のものを予定している。

- 1) 燃料の多様化への対応（ガス燃料、及び NO_x 低減用水噴射運転）
- 2) 大容量化への対応（PW-36 M 即ち ST 18 ツインパック、定格出力 4200 PS）の製品化。
- 3) 発電用パッケージの開発（非常用発電用、コジェネレーション用）
- 4) 立形ガスタービンの開発（ポンプ駆動用として最近注目を集めており、現在試作機を製作、試験中）

今後は上記開発を漸次完了し、客先の多様なニーズに対して信頼性の高い製品を以って対応していく所存である。

日本で最初の事業用ガスタービン発電所「豊富」

河田 修^{*1}

KAWATA Osamu

北海道電力株式会社・豊富（トヨトミ）火力発電所は昭和32年11月1日に認可出力2MWを以て商業運転を開始した密閉サイクルガスタービン発電設備である。このサイトは我が国最北端の港町、稚内（ワッカナイ）から南へ約30キロに位置し、天候が良ければ海を隔てて利尻島の「リシリ富士」を望むことが出来る。

「豊富」という地名は、先住民アイヌがエベコロベツ（なんでもある川）と呼んでいた付近の川の名を意識して「豊かに富める処」との願望を込めて明治時代に命名されたと伝えられる。実際この地には石油・天然ガスが埋蔵されていることが判り、大正初期に村井古兵衛という篤志家に依ってボーリングが為された。大正15年5月17日最初の天然ガス噴出、昭和2年日本石油が鉾区を買収、昭和7年に手塩電灯会社が35馬力のガスエンジンを用いてローカル送電を開始した。日本石油は石油の採掘にも成功したが、鉾区は昭和16年に国策会社・帝国石油の所有となり第2次大戦中の最盛期には1.8kl/day程度の良質原油を採取、900klの貯蔵タンクが設置された。しかし産油量が次第に減退し昭和25年に採油権は放棄された。天然ガスの噴出はその後も続き、これを用いて煉瓦やガラスの工場が営まれ、また井戸からガスと共に湧出する鉱泉水を沸かして「豊富温泉」と称し知る人ぞ知る北辺の行楽地となっていたのである⁽¹⁾。

昭和22年に手塩電灯会社は北海道電力に吸収されたが、その当時から稚内地域への電力供給の安定確保のために送電線を強化するかローカル発電所を設置するかが課題となっていた。富士電機製造(株)は1950年代当初に火力発電機器の業界に参入を企てて1953年にスイスのエッシャ・ウィス社と契約しクローズサイクル・ガスタービンの製造権を取得した。当時の社長和田恒輔氏は直ちにトップセールスを行い北海道電力から豊富発電所向けの2MWガスタービンを受注したのである。「地元の天然ガスで発電するガスタービン発電所」というキャブションは当時としてはなかなかのものであった。

石炭等のダーティフューエルに適合可能な密閉サイクルで天然ガスを焚くのは勿体無いと思われるが、豊富の天然ガスは大陸型の高圧乾式ガスでなく低圧湿式ガスであるため開放サイクル用には必ずしも好適では無い（高性能ドレーン分離器と高圧力比ガス圧縮機が必要）。一

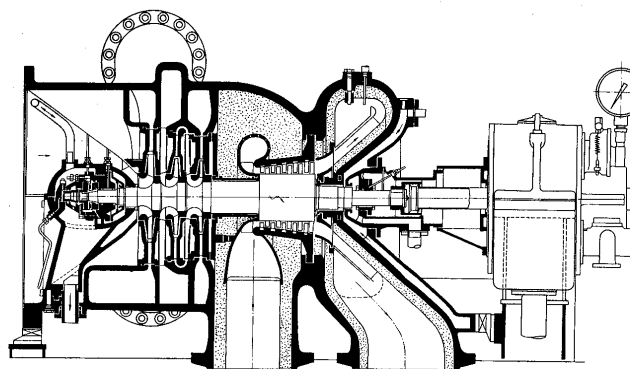


図1 2MWターボマシン（TUCO型）断面図

方、間接式空気加熱器の大気圧燃焼室なら問題が無い。

日本的スケールでは「豊富」と言える天然ガスではあったが（LHV～8000 kcal/m³；公称2万m³/day）、何せ自然相手のことであるから、後述するように予想外の事態が発生して関係者を困惑させることになった。

さて、早々と受注を決めた富士電機は自ら発電機など電気品・制御系機器は勿論、空気加熱器・再生熱交換器・前置／中間冷却器など主要機器を製作するけれども、ターボマシンはエッシャ・ウィスから「出来合」を買うことにした。高温・高圧・高速のターボマシンの製造経験が無かったので極く自然に用心深い選択をした心算であったが、後に深刻なトラブルを経験することになる。

1953年当時筆者は慶應義塾大学の4年生であったが、既にガスタービンフィーバーに感染しており然もクローズサイクルのシンパだったから迷わずに富士電機の採用試験を受け、幸い合格して設計研究部に配属され1954年にプロのガスタービン屋の末席に着くことが出来た。

エッシャ・ウィスの社風は進取の気性に富み、密閉サイクル・ガスタービン発明者の一人クルト・ケラー博士が率いるAK-Abteilungの技師達は新材料／新加工技術と独創的な新製品を採用する意欲が旺盛であったから、その技術を導入した富士電機は馴染みの無いエキゾチックな技術の消化に追い捲られることになった。然し当時の担当者達は若さに任せて猪突猛進し、工場長はじめ幹部諸氏も興味に惹かれて支援を惜しまなかったから、程なく川崎工場の一隅に一人前の発電所の機能を備えた実機試験運転設備が姿を現す運びとなった⁽²⁾。

「火力」の経験が無かった富士電機では、「ガスタービン」の図面が工場に流れ部品の製造が始まっていたにも関わらず、設置認可手続きに関連して「火力発電用ボイ

原稿受付 1998年8月26日

*1 (株)富士電機ガスタービン研究所（非常勤・顧問）

〒152-0022 目黒区柿の木坂2-18-7（自宅）

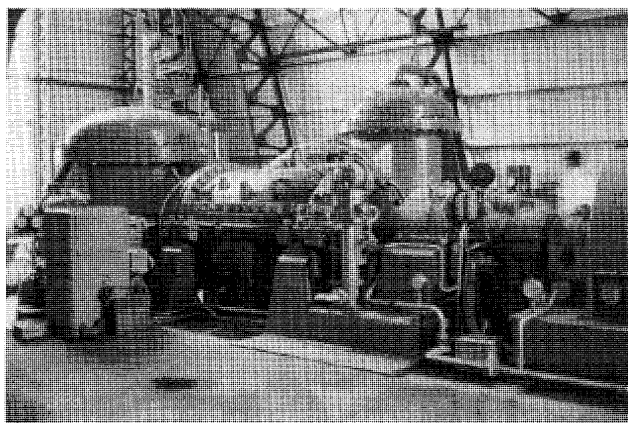


図2 豊富発電所，ターボマシンセットの外観

ラー技術基準」というものが有ることを迂闊にも知らなかった。当局が我々の「空気加熱器」を「ボイラー」と見做して対応を求めていることを知って、慌ててその「ボイラー基準」なるものを入手し検討してみても驚いたことには、使用出来る材料の種類・組成・許容設計応力が決められており強度計算式と溶接継手効率等の諸係数までも規定されているため、革新的な技術が使えないことが解った。「ボイラー基準」は“ASME, Boiler & Pressure Vessel Code”のデッドコピーだったのだ。時代に先行する先進技術を認可しない監督官庁の「たてまえ」に直面して当時20代半ばだった筆者は衝撃を受け、こんなことでは日本は何時迄経っても技術先進国になれないと本気で憤慨した記憶がある。設置認可申請者としての北海道電力からの強い働き掛けと富士電機の懸命な訴えが功を奏して「合理的なデータの裏付け」を条件に特例として設置認可申請書は受理されたが、結局我々の主張が貫徹されたとは言え何十日もの時間が費やされた。

エッシャー・ウィス製のターボマシン本体が到着し、スーパーヴァイザーも着任して据付け組立が完了し試運転開始となったのは1956年初頭である。筆者は設計課に所属していたがオペレーターに任命され、自分が翻訳したマニュアルを自ら実行する任務を負って運転制御盤の前に立ち詰めになり運転チームの総指揮を執ることになった。最初に危険速度を跳び越えてフルスピードに達する迄に味わった緊張感、並列投入（昔は手動で結構難しかった）に成功した時の達成感など、今も忘れ得ない。

1950年代の最新テクノロジーの集合体は可なり気難しい代物で御し難いところがあり、運転を続けるにつれてハードウェアの恐ろしさを存分に体験させられた。

密閉サイクルでは、回路の圧力レベルを徐々に上げて出力を増してゆくのだが、目標の2MWに可なり近づいた頃、突然かん高く鋭いキュンキュンと咳き込むような音と共に電流計・電力計の針が激しく振れ、足の裏にハッキリと感じる程のショックが走った。性能測定用に設置した全ての圧力計の針も同時に強く震えたが、その動き方からみて明らかにサージングであった。直ちに全

計測点の読みを再確認してサージ限界のデータを得ようと試みたが、突発的なサージの条件は掴めなかった。

エッシャー・ウィス東京事務所長が呼びつけられて富士電機の幹部との間で激しい応酬が交わされたが、双方共に知識不足で議論は噛み合わず、チューリッヒ本社スタッフの応対も初めのうちは曖昧な逃げ口上であったから、決着迄に又もや何十日もの時間が費やされた。

実は我々が買ったマシンは“TUCO”タイプ（タービンとコンプレッサーを単軸・単ケーシングに纏めたコンパクトな新設計：図1参照）の第1号試作機でチューリッヒのテストスタンドで運転された機械だった、川崎工場での運転で何故サージングに陥ったのか説明がつかないままにエッシャー・ウィス本社は代替のマシンを無償提供することに同意した。ずっと後になって、当時我々より若干先行してドイツのラーヴェンスブルグで試運転に入っていた同型機がコンプレッサーの段間マッチング不良に依りサージングを起こしていたことを知った。

納期は既に迫りつつあったから、川崎工場内の試運転場から空気加熱器をはじめ各コンポーネントが分解撤去されて豊富に向けて発送された。現地では発電所の建屋等は既に出来上がっており所長をはじめ運転員は家族共々着任して機器の到着を待ち構えていた。

代替のターボマシンがスイスから到着し通関手続きを済ませるのももどかしく現地に送られて、1957年春には建設工事は終盤を迎えた。筆者もスタッフの一員として汽車と連絡船を乗り継いで初めて北海道の地を踏んだ。いよいよ豊富が近付いて車窓から眺めた夜明けの天塩川の鉛色をした水面と、沿線に黒々と何処迄も続く背丈の低い針葉樹林の印象は忘れ難いものであった。

豊富の天然ガスは2本の井戸から噴出していたが、消費量が少ないので交互に1本は弁を閉じて無駄な放出を防いで来た。いよいよ発電所の建設が始まるとあって何年も閉じてあった2号井の弁を開いたところ以前の半分以下の湧出量しか昇って来ないことが判明した。驚いた供給責任者帝国石油は急拠3号井のボーリングを行ったが失敗に終り、豊富発電所は最初から慢性の燃料不足に悩まされる羽目となった。試運転のデータからの推定で定格出力2MW達成のためには約10%絶対量不足であることが判り、このままでは通産省の認可が得られないという事態となった。窮地に立った富士電機は「出力認可試験の間だけ補助燃料を焚いて切り抜ける」という対策を提案して関係者及び当局の承認を得、直ちに大量の液化プロパンガス買占めとバーナー改造が強行された。出力認可というのは面白い制度で、通産省の検査官立会のもとに或時間以上連続して（10MW以下の設備なら5時間）発揮した出力を以て認可される、それ以上の出力は出してはならない、というものである。

多量の液化プロパンガスを安定して連続的に気化するシステムを急いで開発せねばならなかった、常温でボンベのバルブを全開して大気に放出するとジュール・トム

ソン効果に依る凍結現象が起り気化が渋滞することが知られて居り、初歩的な実験で確認されたからである。試行錯誤の末、ポンペを倒立して液体のままプロパンを抜き出し温水槽に浸したコイルに通して気化する方法を採用することになった。前述の5時間以上の出力認可試験を切り抜けるためには、液化プロパン 50 kg 入りポンペが約 150 本必要と推定された。これを調達して現地に送り、急造した倒立ラックに取付けて集合管で連結し、水抵抗器式温水槽に沈めたエバポレーターを通ったガスが空気加熱器の炉頂にあるバーナーに届くようにするのに 1957 年 9 月末迄掛った。10 月に行った試験は上首尾で申請認可出力 2 MW をクリアすることが出来たが、熱効率は 24% に留まり公称値 26% に達しなかった⁽³⁾。

ガス噴出量の不足と不安定はその後改善されず、供給不安定を緩和するために 300 m³ の球形タンクが設置されたが、発電所は終始部分負荷運転を強いられることに変わりなく、密閉サイクル特有の圧力レベル制御法に依って 1/4 程の軽負荷に於ても熱効率を全負荷時の 8 割以上に保持出来ることが、皮肉にも実証されたのである。

豊富発電所は 1976 年 2 月に閉鎖される迄 18 年余の間、総発電時間 125,461. Hr. 21' 総発電量 133,382,300. kWh を記録し、日本最初の事業用ガスタービン発電所としてパイオニアの栄光を担い苦難に耐えてその使命を達成したのであった。

[追補：空気加熱器と再生熱交換器について]

最高 30 kg/cm², 660℃ の空気加熱器の製作は富士電機にとって誠にチャレンジングなことであった。特に 16 Cr 13 Ni-Mo-Nb ステンレス鋼管の溶接は当時まだ珍しかったヘリウム・アーク法をマスターせねばならず、然るべき人数の溶接技能検定合格者を揃えるにも並々ならぬ努力を要した。加熱器燃焼室の内張りに使用する超軽量耐火断熱煉瓦のスペックが送られてきたが、日本では未だ普及して居らず紆余曲折の末、当時唯一のサプライヤーだったイソライト工業と接触出来る迄焦燥の日々が続いた。

密閉サイクルガスタービンは低いタービン入口温度であっても高度再生サイクルを実現することによって十分高い熱効率を達成し得るが、これが可能であるためにはサイクルの圧力レベルが十分高く気体の熱伝達特性が格段に良好であることの他に、極めてコンパクト高性能な

表 1 豊富発電所要目

ガスタービン	外燃式・密閉サイクル, 1 段中間冷却・再生サイクル・1 軸形。
発電端出力	2,000 kW
回転数	ガスタービン/発電機: 13,000/3,000 rpm
圧縮機	遠心式 3 段 (1 回・中間冷却) 圧力比: 3.5 入口温度/圧力: 25℃/8 ata
タービン	軸流式 5 段 入口温度/圧力: 660℃/27 ata
減速歯車装置	BHS-Schtoeckicht 遊星歯車
発電機	三相交流回転磁界円筒形・閉鎖通風空気冷却・二極同期発電機
再生熱交換器	内外両面リブ付き特殊伝熱管束内蔵・シェルアンドチューブ・対向流形 熱交換温度有効率: 90%
前置/中間冷却器	水冷フィンチューブ・直交流形
空気加熱器	屋外式, 強制貫流・輻射加熱形 作動空気: 最高温度/最高圧力 660℃/30 ata
燃料	天然ガス (LHV = ~8,000 kcal/Nm ³)
発電端熱効率	26% (24%: 実測値)

伝熱面 (熱貫流率が高く圧力損失が少ない) を持つ再生熱交換器のハードが製造出来なくてはならない。エッシャー・ウイスが特許を持つ「内外リブ付伝熱管」の製造には奇術並みの繊細なテクニックが必要であったから現場の苦労は惨憺たるもので、千三百本余の伝熱管の束が積み上がったときには一同涙を浮かべる程であった。

参考文献

- (1) 北海道電力(株)道北支店・発電課・豊富発電所編: 文集「豊富発電所の歩み」(昭和 51 年 11 月)
- (2) 森本隆興, 富士時報, Vol. 29, No. 2, 別刷 (1956-2) 「2000 kW ガスタービン」
- (3) 森本隆興, 富士時報, Vol. 31, No. 3, 別刷 (1958-3) 「北海道電力豊富発電所 2000 kW ガスタービン発電設備の性能」

1999 年国際ガスタービン会議神戸大会 (IGTC '99 Kobe) によせて

川口 修^{*1}

KAWAGUCHI Osamu

日本におけるガスタービン、ターボチャージャに関する初の国際会議として第1回の国際ガスタービン会議が東京科学技術館で開催されたのが1971年10月のことで、多数の論文と参加者を集めることができた。さらに、第2回を1977年5月に東京プリンスホテルで、第3回を1983年10月に東京池袋のサンシャインシティー・プリンスホテルで、第4回を1987年10月に東京五反田ゆうほうとで、第5回を1991年10月に横浜みなとみらい地区の横浜平和会議場で、第6回を1995年10月に第5回と同じ会場で行ってきた。それぞれの国際会議の準備、開催には数多くの困難があったが、関係者の並々ならぬご努力でいずれも成功裏に終わっている。特に第4回以降は米国機械学会 (ASME) との協力関係を巡ってさまざまな曲折があり、現在も関係修復が成っていないが、英国、ドイツ、フランス、中国、韓国等の海外の関係学会の協力が得られ、弱小学会を母体としながらも国際会議として堂々たる実績を誇っている。

前回、第6回の国際会議では、海外からの参加者、発表者を増やすために、会議の開催について広く海外に情報を流す必要ありという認識から、ガスタービン学会の一組織として International Advisory Committee を設置し、海外の有力な研究者のうちで比較的日本の研究者との接触の多い人にそのメンバーになって頂き、海外への会議の広報役をお願いした。しかしながら、海外からの発表件数は47件 (11カ国) で漸減傾向にあり、海外からは招待者、同伴者を含めても参加者78名と全参加者621名の12%弱であり、国際会議と呼ぶには寂しい。海外からの参加者を増やす一層の努力が必要という、実行委員会のメンバーの反省であった。

過去6回の国際会議がいろいろの問題を抱えながらも、関係者の努力でほぼ成功裏にそれなりの成果を上げてきたのを受け、日本ガスタービン学会では第7回の国際会議を1999年に開催することが決定された。折からバブル経済が破綻し、経済不況の中から抜け出せない状況での国際会議の開催を危ぶむ声もあったが、今までの実績の積み上げの上に開催すべきとの声が強く、経費の節減に努めて実施しようということになった。過去6回の国際会議がいずれも東京、横浜で行われてきたのに対し、関西で開催してはどうかとの声があり、関東、関西のいくつかの国際会議場を検討した結果、神戸のポートアイ

ランドにある神戸国際会議場を使用することとなった。神戸国際会議場は阪神・淡路大震災の影響も比較的少なく済んだところで、ホテル等の宿泊施設や交通の便も良く、広い展示会場も整っている。

第7回の国際会議の本格的な準備作業は、1998年4月23日の国際会議組織委員会の発足によって始められた。組織委員会是有賀一郎教授を委員長として組織されたが、実際の準備、実施作業に当たる実働部隊として、葉山眞治教授を委員長として実行委員会が発足した。実行委員会はさらに作業内容によって論文委員会、総務委員会、展示委員会、行事委員会、財務委員会から構成され、各部門毎に準備作業を進めている。これらの組織は以下に示すとおりである。

組織委員会

委員長	有賀一郎 (千葉工業大学)
副委員長	水谷幸夫 (近畿大学) 大槻幸雄 (川崎重工業)
監事	高田浩之 (東海大学) 濱田邦雄 (日立製作所)
顧問	佐藤文夫 (東芝) 小原一郎 (三菱重工業)

実行委員会

委員長	葉山眞治 (富山県立大学)
副委員長	川口 修 (慶應義塾大学)
総務委員長	伊藤高根 (東海大学)
論文委員長	田丸 卓 (航空宇宙技術研究所)
展示委員長	星野昭史 (川崎重工業)
行事委員長	福江一郎 (三菱重工業)
財務委員長	柏原克人 (日立製作所)

去る10月に論文のAbstractの申し込みの締め切りがあり、多くの申込が国内外から論文委員会のもとに寄せられている状況である。今後、論文ドラフトの受付、査読等の作業を経てプログラムが作成され、送付されてくる論文を待ってProceedingsの発行の手順となる。これらの作業は従来からなかなかスムーズに運ばず、論文委員会の多大な労力を要するところとなるのが今までの例であるが、今回はうまく運ぶことを願ってやまない。また、国際会議の講演会と並んでもう一つの柱である展示会も、現在展示企業の募集が行われているが、底なしの経済不況の中で従来と同規模の展示会が開催できるか、

原稿受付 1998年10月21日

*1 慶應義塾大学 理工学部 機械工学科

〒223-0061 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1

不安である。展示委員会のみならず、実行委員会のこれからの努力が必要である。

さらに、国際会議の準備作業の重要なものに Circular の発行がある。すでに Announcement, First Circular & Call for Paper が発行され、会員諸兄には学会事務局から送付されてお手元にあることと思う。それらをご覧になってお気づきと思うが、今回は従来の会議の時と異なりカラー写真を採り入れた A5 版になっている。これは広報の効果を発揮させるには目立つものでなければならないとの実行委員会の意見で決まったもので、その効果が出ることを祈っている。仮の講演会プログラムと参

加申込要領を記載した Second Circular は来年 1999 年 6 月に発行される予定である。また、今回から Home Page を開設し、国際会議の内容から準備の状況を国内外から見ることが出来るようにした。既にご覧頂いた方も多いと思う^{注)}。

1999 年国際ガスタービン会議神戸大会の開催まで残すところ 10 ヶ月を切っている現在、会議の成功に向けて関係者は最善の努力を惜しまないが、会員諸兄の大いなるご支援、ご協力を期待してやまない。

注) Home Page Address

<http://www.jade.dti.ne.jp/~igtc99>

1999 年国際ガスタービン会議神戸大会

会 期：1999 年 11 月 14 日(日)～19 日(金)

会 場：神戸国際会議場及び神戸国際展示場

協力学会：

日本機械学会

(The Japan Society of Mechanical Engineers)

Associazione Termotecnica Italiana (ATI)

The Chinese Society for Engineering Thermophysics (CSET)

The Institution of Engineers, Australia (IEAust)

The Institution of Mechanical Engineers (IMechE)

The Korean Society of Mechanical Engineers (KSME)

Societe Francaise des Mecaniciens (SFM)

Societe Francaise des Thermiciens (SFT)

Verein Deutscher Ingenieure (VDI)

* (一部学会は交渉中)

研究発表講演会：

(1) 会 期 1999 年 11 月 15 日(月)～11 月 18 日(木)

(2) 会 場 神戸国際会議場内 講演会場

(3) 予定セッションテーマ

Aerodynamics in Turbomachinery

Components and Auxiliaries

Control and Instrumentation

Development and Operational Experience

Environmental Concerns

Fuel, Combustion and Heat Transfer

Materials and Manufacturing Technology

New Applications of Gas Turbines

Performance, Reliability and Maintenance

Strength, Vibration and Dynamics

Topics for particular emphasis

Advanced Computational Simulation and Design

Advanced Material

Ceramic Gas Turbine

Combined Cycle Power Generation/Repowering

Low Emission Combustors

Super/Hypersonic Propulsion

(4) 使用言語 英語

(5) 特別講演およびパネル討論会

特別講演には海外からも著名な研究者を招聘する予定。

(6) 論文関係日程

a) Abstract 提出締め切り 1998 年 9 月 30 日

b) Abstract による採否通知 1998 年 11 月 30 日

c) Draft Paper 提出締め切り 1999 年 3 月 31 日

d) 採否通知 1999 年 6 月 30 日

e) Camera-ready Paper 提出締め切り 1999 年 8 月 31 日

行 事：

(1) Welcome Reception 1999 年 11 月 14 日(日)夕刻

(2) Banquet 1999 年 11 月 17 日(水)セッション後

(3) Accompanying Persons' Program

(4) 見学会 1999 年 11 月 19 日(金)

展 示 会：

ガスタービン、ターボ過給機、およびそれらの関連部品、機器等を中心に展示

(1) 会 場 神戸国際展示場内 展示ホール

(2) 会 期 1999 年 11 月 15 日(月)～18 日(木)

(3) 展示ブース 100 ブース程度

(実行委員会副委員長)

第 13 回秋季講演会・見学会の報告

川口 修

KAWAGUCHI Osamu

今年の第 13 回ガスタービン秋季講演会は、10 月 8 日に函館から北に 50 km ほど離れた北海道大沼国際セミナーハウスにおいて開催され、翌日には北海道電力森地熱発電所の見学会が行われた。参加者は学生 9 名を含め計 106 名であった。今回はほとんどの参加者は函館市内に宿泊したため、函館と会場との間に往復バスを運行した。講演会当日は生憎の雨で、参加者は朝 8 時に函館駅に集合しバス 2 台に分乗して会場に向かった。会場は函館から約 1 時間、駒ヶ岳に程近い大沼公園駅から 2 キロほどの位置にあり自然に恵まれたすばらしいところである。雨のせいもあってか、参加者はほとんど一日中会場にこもりきりで熱心に講演に聞き入っていた。

講演会では、「高空性能試験とその設備について」のオーガナイズドセッションに 3 件、一般講演として 44 件の研究発表が行われた。一般講演としては、燃焼器が 10 件、翼列が 9 件、圧縮機・タービンが 7 件、燃焼が 6 件、発電システムが 4 件、サイクル・性能が 3 件、熱伝達が 3 件、材料・熱交換器が 2 件で、すべてのセッションを合計すると 47 件に達し、4 つの部屋に分かれて講演が行われた。全部の会場を見て回ることは出来なかったが、いずれの会場でも活発な討論が行われていたようである。

特別講演では、函館市文化・スポーツ振興財団理事長で医師でもある関口昭平先生に『函館「五稜郭」と世界の星型城郭について』と題して御講演いただいた。世界中の星型の城郭の写真を数多く紹介していただき、参加者のみならず、雨の中をはるばるご参加いただいたご婦人方にもとても興味深い内容であった。

白熱した議論により若干遅れ気味であったものの、17 時過ぎにはすべての講演が終了し、参加者たちはいっせいにバスで函館へと戻った。特に夕方の交通渋滞もなく、18 時頃には懇親会場のフィットネスホテル 330 函館に到着することが出来、ただちにホテル内で懇親会となった。副会長の挨拶、乾杯があった後、参加者一同は歓談に入った。テーブルに出された料理は、さすがに函館らしく新鮮かつ豊富で、海の幸が次から次へと補充され、参加者全員大満足であった。1 時間ほど経ち、お腹もかなり満たされて来たところで、特別講演の関口先生に再度ご登場いただき、ご挨拶をいただいた。最後に、

国際会議組織委員長の有賀先生が来年神戸で開催される国際会議について紹介され、また講演会委員長の私から来年の秋季講演会が 8 月末に郡山で開催されることをお伝えして懇親会を閉じた。おいしい料理に満腹になった参加者は函館の夜をさらに満喫するため、多くの方々が二次会へと繰り出して行った。

翌日の見学会は前日とはうって変わって晴天に恵まれた。43 名の参加者は函館駅に集合しバスで森町へ向かった。講演会のあった大沼を通り過ぎ、駒ヶ岳を横に見ながらさらに北に 20 分ほど進み森地熱発電所に到着した。この発電所は昭和 57 年に運転を開始した日本で 8 番目の地熱発電所で、約 3,000 m の深度から高温・高圧の熱水を汲み上げ、蒸気タービンで発電し、利用後の温水を地域の農家の温室栽培用に供給した後、地下に戻している。クリーンなエネルギーで、かつコスト的にも優れており、我々ガスタービン技術者にとって大いに参考になった。その後、大沼公園駅近くのホテルで昼食をとり、函館市内に戻って五稜郭、トラピスチヌ修道院などを見学し、夕方函館空港で解散となった。

今回の秋季講演会は初めての事がいくつかあった。まずは、宿泊地と会場が離れていたため、会場との往復にバスをチャーターしたことである。乗り遅れなどが心配されたが、特にトラブルが無かったのは幸運であった。また、講演件数が非常に多くなったため、部屋数を当初の予定の 3 つから 4 つに増やし、うち 1 部屋は別棟とせざるを得なかった。同じ分野の講演が同じ時間帯に重ならないようできるだけ配慮したが、特に空力、燃焼関係は件数も多かったため重複が避けられず、参加者の皆様にご迷惑をおかけした。また、やむを得ないことではあるが会場の大小と参加者数の整合が悪いケースもみられた。会場及び周辺には食堂等の施設が一切ないため、やむなく弁当を手配したが、むしろレストランを探したり列を作ったりする必要も無く、時間の節約にもなったと思われる。さらに、講演会場と懇親会場がこれほど離れていたのも初めてであるが、一斉にバスで移動したため、懇親会の出席率は高くなった。学生やご婦人方の出席も多く、今回は講演会、懇親会、見学会のいずれをとっても大成功であった。

(慶應義塾大学理工学部、学術講演会委員会委員長)

第27回ガスタービンセミナー開催のお知らせ

今回は、「地球環境に優しいガスタービンを目指して」をテーマとして、ガスタービンの地球環境保全への対応について取り上げました。奮ってご参加下さい。

1. 日 時：1999年(平成11年)

1月21日(木) 9:30～16:30

(受付開始9:00)

22日(金) 9:30～16:30

2. 場 所：東京ガス(株) 本社2階大会議室

東京都港区海岸1-5-20 TEL 03-3433-2111
(JR浜松町駅下車徒歩3分)

3. プログラム：

1月21日(木)

- (1) 9:30～10:30 「CO₂回収型天然ガス用ガスタービン発電システムの検討」

森塚 秀人 氏 (財電力中央研究所)

- (2) 10:40～11:40 「CAES-GT 発電システム」

中北 智文 氏 (石川島播磨重工業(株))

- (3) 13:00～13:40 「ガスタービン吸気冷却システムの実施例」

内田 和男 氏 (三井造船(株))

- (4) 13:50～14:30 「吸気フィルタ用超音波式洗浄装置」

海老名庄司 氏 (川崎重工業(株))

- (5) 15:00～15:40 「広範囲な熱電比対応型コージェネレーションシステム」

山出 祐司 氏 (三菱化学(株))

- (6) 15:50～16:30 「GT 吸気冷却付き 20 MW 級 GT-ST コンバインドコージェネシステムの紹介」

竹村 晋一 氏 (トヨタ自動車(株))

1月22日(金)

- (7) 9:30～10:30 「航空エンジンにおける環境適合技術について」

石沢 和彦 氏 (超音速輸送機用推進システム技術研究組合)

- (8) 10:40～11:40 「次世代型船用ガスタービン (スーパーマリンガスタービン) の研究開発計画」

杉本 隆雄 氏 (川崎重工業(株))

- (9) 13:00～13:40 「小型ラジアルガスタービン発電装置の開発」

川守田 均 氏 (株新潟鉄工所)

- (10) 13:50～14:30 「機械駆動用立型ガスタービン (4000 馬力クラス) の紹介」

野田 松男 氏 (三菱重工業(株))

- (11) 15:00～15:40 「負荷平準化に寄与するコージェネシステム」(スーパーコージェネレーション)

高柳 幹男 氏 (株東芝)

- (12) 15:50～16:30 「姫路第一発電所5・6号機 1300℃ 級多軸コンバインドサイクル運用実績と次期火力計画」

和田野善明 氏 (関西電力(株))

4. 参加要領：

- 1) 参加費 (資料代含む)：

◆主催及び協賛団体会員

2日間 25,000 円

1日のみ 18,000 円

◆学生会員 5,000 円：(注)

◆会員外 2日間 35,000 円

1日のみ 25,000 円

◆資料のみ 1冊 5,000 円(残部のある場合)

(注)：前号(NO.102)での金額に誤りがありました。学生会員の参加費は5,000 円です。お詫びして訂正いたします。

- 2) 申込方法：巻末添付の申込書に、所属、氏名、加盟学協会名 (GT 学会の場合は会員番号) 等必要事項を明記の上、ファクシミリ又は郵送にて事務局宛 1999 年 1 月 8 日(金)までにお送り下さい。

尚、学会ホームページでも案内しております。

ホームページ <http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/gtsj/>

▶ 入 会 者 名 簿 ◀

〔正会員〕

菊 地 秀 雄 (キグナス石油)	雑 賀 忠 昭 (I H I)	橋 本 英 雄 (東北電力)	佐 々 俊 祐 (名古屋工大)
井 上 修 男 (新潟鉄工)	木 村 驍 (I H I)	野 原 弘 康 (ダイハツ)	富 田 建 一 (東 海 大)
近 藤 博 美 (ダイハツ)	北 島 言 道 (I H I)	清 水 雅 典 (東京電力)	〔学生会員から正会員へ〕
磯 本 馨 (I H I)	山 口 俊 樹 (ヤンマー)	〔学生会員〕	根 本 天 生 (東日本旅客鉄道)
渡 辺 哲 美 (AISIN COSMOS)	安 藤 裕 昭 (三菱重工)	大 谷 浄 (大阪府立大)	木 島 基 博

第27回ガスタービンセミナー開催のお知らせ

今回は、「地球環境に優しいガスタービンを目指して」をテーマとして、ガスタービンの地球環境保全への対応について取り上げました。奮ってご参加下さい。

1. 日 時：1999年(平成11年)

1月21日(木) 9:30～16:30

(受付開始9:00)

22日(金) 9:30～16:30

2. 場 所：東京ガス(株) 本社2階大会議室

東京都港区海岸1-5-20 TEL 03-3433-2111
(JR浜松町駅下車徒歩3分)

3. プログラム：

1月21日(木)

- (1) 9:30～10:30 「CO₂回収型天然ガス用ガスタービン発電システムの検討」

森塚 秀人 氏 (財電力中央研究所)

- (2) 10:40～11:40 「CAES-GT 発電システム」

中北 智文 氏 (石川島播磨重工業(株))

- (3) 13:00～13:40 「ガスタービン吸気冷却システムの実施例」

内田 和男 氏 (三井造船(株))

- (4) 13:50～14:30 「吸気フィルタ用超音波式洗浄装置」

海老名庄司 氏 (川崎重工業(株))

- (5) 15:00～15:40 「広範囲な熱電比対応型コージェネレーションシステム」

山出 祐司 氏 (三菱化学(株))

- (6) 15:50～16:30 「GT 吸気冷却付き 20 MW 級 GT-ST コンバインドコージェネシステムの紹介」

竹村 晋一 氏 (トヨタ自動車(株))

1月22日(金)

- (7) 9:30～10:30 「航空エンジンにおける環境適合技術について」

石沢 和彦 氏 (超音速輸送機用推進システム技術研究組合)

- (8) 10:40～11:40 「次世代型船用ガスタービン (スーパーマリンガスタービン) の研究開発計画」

杉本 隆雄 氏 (川崎重工業(株))

- (9) 13:00～13:40 「小型ラジアルガスタービン発電装置の開発」

川守田 均 氏 (株新潟鉄工所)

- (10) 13:50～14:30 「機械駆動用立型ガスタービン (4000 馬力クラス) の紹介」

野田 松男 氏 (三菱重工業(株))

- (11) 15:00～15:40 「負荷平準化に寄与するコージェネシステム」(スーパーコージェネレーション)

高柳 幹男 氏 (株東芝)

- (12) 15:50～16:30 「姫路第一発電所5・6号機 1300℃ 級多軸コンバインドサイクル運用実績と次期火力計画」

和田野善明 氏 (関西電力(株))

4. 参加要領：

- 1) 参加費 (資料代含む)：

◆主催及び協賛団体会員

2日間 25,000 円

1日のみ 18,000 円

◆学生会員 5,000 円：(注)

◆会員外 2日間 35,000 円

1日のみ 25,000 円

◆資料のみ 1冊 5,000 円(残部のある場合)

(注)：前号(NO.102)での金額に誤りがありました。
学生会員の参加費は5,000 円です。お詫びして訂正いたします。

- 2) 申込方法：巻末添付の申込書に、所属、氏名、加盟学協会名 (GT 学会の場合は会員番号) 等必要事項を明記の上、ファクシミリ又は郵送にて事務局宛 1999 年 1 月 8 日(金)までにお送り下さい。

尚、学会ホームページでも案内しております。

ホームページ <http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/gtsj/>

▶ 入 会 者 名 簿 ◀

〔正会員〕

菊 地 秀 雄 (キグナス石油)	雑 賀 忠 昭 (I H D)	橋 本 英 雄 (東北電力)	佐 々 俊 祐 (名古屋工大)
井 上 修 男 (新潟鉄工)	木 村 驍 (I H D)	野 原 弘 康 (ダイハツ)	富 田 建 一 (東 海 大)
近 藤 博 美 (ダイハツ)	北 島 言 道 (I H D)	清 水 雅 典 (東京電力)	〔学生会員から正会員へ〕
磯 本 馨 (I H D)	山 口 俊 樹 (ヤンマー)	〔学生会員〕	根 本 天 生 (東日本旅客鉄道)
渡 辺 哲 美 (AISIN COSMOS)	安 藤 裕 昭 (三菱重工)	大 谷 浄 (大阪府立大)	木 島 基 博

《平成 11 年度学術講演会・講演論文募集のお知らせ》

下記の日程にて、日本ガスタービン学会（幹事団体）と日本機械学会の共催による第 27 回ガスタービン定期講演会および第 14 回秋季講演会を開催します。

1. 第 27 回ガスタービン定期講演会・講演論文募集

今回は一昨年の第 25 回と同じ会場で開催します。締切厳守で講演の申し込みをお願いします。

開 催 日 1999 年（平成 11 年）5 月 26 日（木）

開 催 場 所 早稲田大学国際会議場
（東京都新宿区戸塚町一丁目）

講演申込締切 1999 年（平成 11 年）1 月 8 日（金）

講演原稿締切 1999 年（平成 11 年）4 月 2 日（金）

募 集 論 文

応募論文は、ガスタービンおよびターボ機械に関する最近の研究で未発表のものとします。一部既発表部分を含む場合には未発表部分が主体となるものに限り、一般講演セッションにおける研究発表をご検討頂くとともに、学生会員のスチューデントセッションにおける研究発表を積極的にご奨励ください。

(1) 一般講演セッション

ガスタービンおよび過給機ならびにそれらの応用に関する理論や技術を扱ったもので、ガスタービン本体のみならず、補機・付属品、ガスタービンを含むシステムおよびユーザーの実績等も歓迎します。

(2) スチューデントセッション

大学院生の講演発表と情報交換をこれまで以上に活発にするためのセッションです。下記のように広いテーマで講演募集をしますが、講演数の制約や講演内容によっては一般講演への変更をお願いする場合があります。（発表者は講演申込時に高専、大学、大学院等の学生であることとします）

講演者の資格

本学会員もしくは日本機械学会会員で、1 人 1 題目に限ります。

講演申込方法と採否の決定

巻末の申込書に必要事項を記入し、日本ガスタービン学会事務局に郵送してください。郵便未着（事故）の場合もありますので、送付されたことを電話・FAX 等で

ご連絡ください。（FAX で申し込みを行った場合は、郵便でも申込書をお送りください。）締切後の申し込みは受け付けません。

なお、講演申込後の講演題目、講演者、連名者の変更は受け付けません。

申込先

〒160-0023 東京都新宿区西新宿 7-5-13

第 3 工新ビル 402

（社）日本ガスタービン学会

TEL：03-3365-0095 FAX：03-3365-0387

講演発表の採否は両学会において決定し、1 月末日までに結果をご連絡します。

講演原稿の提出

講演者は講演原稿を講演論文集原稿執筆要領に従って、A4 用紙 44 字×40 行（1 ページ）2～6 ページで作成し、所定の講演論文原稿表紙と共に期限までに提出して下さい。提出された原稿はそのままの寸法で印刷し、学術講演会講演論文集（A4 版）を作成します。原稿執筆要領および原稿表紙用紙は採否の連絡に同封してお送りします。

技術論文としての学会誌への投稿

- (1) 原稿執筆要領に記載の要件を満たす講演論文は、著者の希望により、講演会終了後に技術論文として受理され、校閲を経て日本ガスタービン学会誌に掲載されます。技術論文投稿を希望される場合は、講演論文原稿提出時に原稿表紙の所定欄に希望ありと記入し、さらに技術論文原稿表紙、論文コピー 2 部、英文アブストラクトを添付していただきます。詳細は原稿執筆要領をご覧ください。
- (2) 講演者が日本機械学会会員であり、同学会出版物（論文集および International Journal）への投稿を希望される場合は、日本機械学会の所定の手続きを経て投稿することとなります。

2. 第 14 回ガスタービン秋季講演会（郡山）・見学会

平成 11 年度のガスタービン秋季講演会を郡山市にて開催致します。講演募集、見学会等の詳細は会誌 3 月号会告でお知らせします。今回は国際会議の関係で例年より早く開催されますので、お早めにご準備下さい。

開 催 日 1999 年（平成 11 年）8 月 26 日（木）、27 日（金）

開 催 場 所 福島県郡山市 ビッグパレットふくしま

講演申込締切 1999 年（平成 11 年）4 月 30 日（金）

講演原稿締切 1999 年（平成 11 年）7 月 9 日（金）

募集論文内容 次号以降に詳細をお知らせします。

見 学 会 興味ある企画を予定しています。

第27回ガスタービンセミナー

(平成11年 1 月 21, 22日)

申 込 書

(社) 日本ガスタービン学会 行

FAX 03-3365-0387 TEL 03-3365-0095

会社名	
所在地	〒
TEL	
FAX	

参加者名 (所在地・連絡先が所属により異なる場合には、本用紙をコピーして別シートにご記入下さい)

フリガナ 氏 名	所 属	TEL FAX	所属学協会 GTSJの方は会員 No. をご記入下さい	参加日 〇印をつけて下さい
				21・22
				21・22
				21・22
				21・22
				21・22

【事務局への連絡事項】

* 払込方法 (〇印をつけて下さい)

参加費入金予定日 月 日

- 銀行 (第一勧業銀行西新宿支店 普通預金 1703707)
- 郵便振替 (00170-9-179578)
- 現金書留
- 当日受付にて支払

* 請求書の発行について

- 要 宛名 ()
- 不要

* 領収書の発行について (当日お渡しします)

- 要 宛名 ()
- 不要

*コピーしてご使用ください。

(講演申込書)

第27回ガスタービン定期講演会講演申込み

講演題目：

希望セッション：一般講演・オーガナイズドセッション（ ）

著 者 氏 名 (講演者に○印)	学 校 ・ 勤 務 先 (略 称)	所 属 学 会 (GTSJ・JSME・他)	会 員 資 格 (正会員・学生会員)

連絡者氏名：

会員番号：

学校・勤務先：

所在地：〒 _____

TEL：() _____

FAX：() _____

講演内容（100～200字）

講演申込期限は1999年1月8日(金)です。早めにお申し込みください。

講演申込後の講演題目、著者氏名等の変更は受け付けませんのでご注意下さい。

編集 後記

12月号をお届けします。来年から会誌は年6回発行となりますので、この号がこれまで25年間続いてきた年4回発行制の最後となり、次号は1月号として1月20日に新装開店です。このため12月号は小振りの普通号としました。本学会は今後ガスタービンの専門の技術者だけでなく若手の方、ユーザの方に会員を拡げたいという戦略ですので、これらの方々に気軽に読んで頂ける内容とすることを試みました。したがって従来の号とは多少趣が違うかもしれません。

「メーカからエンドユーザまで」の2編は電力関係の大形ガスタービンではなく現在一般に広く普及している中小形ガスタービンを対象に、それらがどのように企画され、製作され、納入設置されるかの全体の流れを書いて頂きました。ユーザの方だけでなくガスタービンの設計製作に直接的局所的に携わっている技術者の方にも少し離れた視点で興味をもって頂けるかと思えます。

「超小形ガスタービン」は、最近では模型飛行機にもジェットエンジンが搭載されるようになってきましたので、これについて書いて頂いたものです。執筆者の野田廣太郎氏は本物のガスタービンの分野で広く活躍されていますが、ご趣味の模型飛行機の分野でも高名な方であり、ガスタービンの専門家としての観点からだけではなく模型飛行機の専門家としての観点からも熱筆を奮って頂きましたので、随筆的軟らかさと解説的厳密さの融合した楽しい読み物となりました。今後の新しいジャンルになるのではないかと思います。

今年度から本学会常置委員会の1つであるガスタービン技術情報センター運営委員会が性格を変更し、学会のホームページの整備に力を入れることになり、新しいホームページができています。委員長の本山誠氏にこの解説をお願いしました。従来会告やダイレクトメールでお知らせしていた学術講演会、講習会、セミナーなどの案

内がこれまでよりはるかに早く皆様に届くことになりました。インターネットに不慣れな方にもこれを機会にご利用頂けるように初歩的なことから易しく解説して頂きました。できれば皆様のインターネットブラウザ（エクスペローラまたはネットスケープ）のホームページに学会のURLを設定し、インターネットをご覧になる度にまず本会のホームページが現れるようにして頂ければと思います。

本号制作の最終段階になって本会が日本ガスタービン会議から日本ガスタービン学会へ移行する草創期に会長職などご活躍下さった岡崎卓郎先生のご訃報が入ってきました。先生の多年のご尽力に感謝申し上げますとともに、ご冥福をお祈り致します。

今月号の担当委員は筆者以外に伊藤和行（日立製作所）、小川泰規（東京電力）、小野里久（石川島播磨重工業）でした。

では会員の皆様、よい年をお迎え下さいますよう。

（山根隆一郎）

〈表紙写真〉

北海道電力豊富発電所の全景

説明：昭和32年11月1日に商業運転を開始した日本最初の事業用ガスタービン発電所である、主要機器の供給者は当時エッシャー・ウイス社（スイス）とライセンス契約を締結していた富士電機製造（株）。

ユニークな外観を持つ発電所の建屋が印象的である。建屋右手の円塔が空気加熱器、左手に球形ガスタンクが見える。地元産の天然ガスを用地定格出力2MW、密閉サイクル方式でタービン入口温度：660℃であった。

（提供 河田 修氏）

だより

♣事務局

毎年この季節になると、木々の色が鮮やかに色づき始めるのに今年はいまひとつきれいではありません。夏といい、秋といい今年はどうなってしまったのだろう、やはり世紀末？と懸念しています。

今年の函館での秋季講演会もおかげさまで100名を超える方に参加していただきました。講演会当日はあいにくの雨模様でしたが、参加者の方々は講演会に没頭できてよかったこととおもいます。翌日の見学会は前日とはうってかわって抜けるような青空。大沼を抱いた駒ヶ岳の姿は今も目に焼き付いています。講演会終了後3週間ほどであの駒ヶ岳の噴火のニュース。遭遇せずにすんだことにホッと胸をなでおろしました。もっとも会員の方の中には歴史的瞬間を目で見たかったとおっしゃる方もありましたが…。

さて、遅ればせながらホームページ（www.soc.nacsis.ac.jp/gtsj/）が開設されました。ここを開いていただければ、学会からのご案内、行事の会告・申込書を見ることができますのでおおいにご利用下さい。

この学会誌がお手元に届く頃には終わってしまっている11/20の見学会、12/2のシンポジウムのご案内、そして来年の1/21・22の

セミナー、11月の国際会議の詳細ももちろん載っています。

E-mailのほうも学会委員会の連絡には使っているのですが、パソコンの調子が余りよくないので、まだフル活用とまではいいません。近い将来パソコンも完備され事務がとどこおりなく進むよう期待しているのですが…。

その事務局ですが、スタッフを紹介したらというお声がありましたので今回はじめて名前を載せることにしました。三浦敦子（常勤）、土井昭子（週3日勤務）、北嶋道子（週2日勤務）の3人です。この3人で事務局を切り盛りしていますのでお電話をくださると3人のうち誰かが出ます。（誰に当たるかはその時のお楽しみ。）男性が出ることはありませんので男性の声の答えたら間違い電話でしょうからお掛け直し下さい。

今年最後の「事務局」だよりもこれでおしまいです。

1999年が皆様にとりまして今年より少しでも良い年となりますよう祈りつつ…。

[A]

編集 後記

12月号をお届けします。来年から会誌は年6回発行となりますので、この号がこれまで25年間続いてきた年4回発行制の最後となり、次号は1月号として1月20日に新装開店です。このため12月号は小振りの普通号としました。本学会は今後ガスタービンの専門の技術者だけでなく若手の方、ユーザの方に会員を拡げたいという戦略ですので、これらの方々に気軽に読んで頂ける内容とすることを試みました。したがって従来の号とは多少趣が違うかもしれません。

「メーカからエンドユーザまで」の2編は電力関係の大形ガスタービンではなく現在一般に広く普及している中小形ガスタービンを対象に、それらがどのように企画され、製作され、納入設置されるかの全体の流れを書いて頂きました。ユーザの方だけでなくガスタービンの設計製作に直接的局所的に携わっている技術者の方にも少し離れた視点で興味をもって頂けるかと思えます。

「超小形ガスタービン」は、最近では模型飛行機にもジェットエンジンが搭載されるようになってきましたので、これについて書いて頂いたものです。執筆者の野田廣太郎氏は本物のガスタービンの分野で広く活躍されていますが、ご趣味の模型飛行機の分野でも高名な方であり、ガスタービンの専門家としての観点からだけではなく模型飛行機の専門家としての観点からも熱筆を奮って頂きましたので、随筆的軟らかさと解説的厳密さの融合した楽しい読み物となりました。今後の新しいジャンルになるのではないかと思います。

今年度から本学会常置委員会の1つであるガスタービン技術情報センター運営委員会が性格を変更し、学会のホームページの整備に力を入れることになり、新しいホームページができています。委員長の本山誠氏にこの解説をお願いしました。従来会告やダイレクトメールでお知らせしていた学術講演会、講習会、セミナーなどの案

内がこれまでよりはるかに早く皆様に届くことになりました。インターネットに不慣れな方にもこれを機会にご利用頂けるように初歩的なことから易しく解説して頂きました。できれば皆様のインターネットブラウザ（エクスペローラまたはネットスケープ）のホームページに学会のURLを設定し、インターネットをご覧になる度にまず本会のホームページが現れるようにして頂ければと思います。

本号制作の最終段階になって本会が日本ガスタービン会議から日本ガスタービン学会へ移行する草創期に会長職などご活躍下さった岡崎卓郎先生のご訃報が入ってきました。先生の多年のご尽力に感謝申し上げますとともに、ご冥福をお祈り致します。

今月号の担当委員は筆者以外に伊藤和行（日立製作所）、小川泰規（東京電力）、小野里久（石川島播磨重工業）でした。

では会員の皆様、よい年をお迎え下さいますよう。

（山根隆一郎）

〈表紙写真〉

北海道電力豊富発電所の全景

説明：昭和32年11月1日に商業運転を開始した日本最初の事業用ガスタービン発電所である、主要機器の供給者は当時エッシャー・ウイス社（スイス）とライセンス契約を締結していた富士電機製造（株）。

ユニークな外観を持つ発電所の建屋が印象的である。建屋右手の円塔が空気加熱器、左手に球形ガスタンクが見える。地元産の天然ガスを用地定格出力2MW、密閉サイクル方式でタービン入口温度：660℃であった。

（提供 河田 修氏）

だより

♣事務局

毎年この季節になると、木々の色が鮮やかに色づき始めるのに今年はいまひとつきれいではありません。夏といい、秋といい今年はどうなってしまったのだろう、やはり世紀末？と懸念しています。

今年の函館での秋季講演会もおかげさまで100名を超える方に参加していただきました。講演会当日はあいにくの雨模様でしたが、参加者の方々は講演会に没頭できてよかったこととおもいます。翌日の見学会は前日とはうってかわって抜けるような青空。大沼を抱いた駒ヶ岳の姿は今も目に焼き付いています。講演会終了後3週間ほどであの駒ヶ岳の噴火のニュース。遭遇せずにすんだことにホッと胸をなでおろしました。もっとも会員の方の中には歴史的瞬間を目で見たかったとおっしゃる方もありましたが…。

さて、遅ればせながらホームページ（www.soc.nacsis.ac.jp/gtsj/）が開設されました。ここを開いていただければ、学会からのご案内、行事の会告・申込書を見ることができますのでおおいにご利用下さい。

この学会誌がお手元に届く頃には終わってしまっている11/20の見学会、12/2のシンポジウムのご案内、そして来年の1/21・22の

セミナー、11月の国際会議の詳細ももちろん載っています。

E-mailのほうも学会委員会の連絡には使っているのですが、パソコンの調子が余りよくないので、まだフル活用とまではいいません。近い将来パソコンも完備され事務がとどこおりなく進むよう期待しているのですが…。

その事務局ですが、スタッフを紹介したらというお声がありましたので今回はじめて名前を載せることにしました。三浦敦子（常勤）、土井昭子（週3日勤務）、北嶋道子（週2日勤務）の3人です。この3人で事務局を切り盛りしていますのでお電話をくださると3人のうち誰かが出ます。（誰に当たるかはその時のお楽しみ。）男性が出ることはありませんので男性の声の答えたら間違い電話でしょうからお掛け直し下さい。

今年最後の“事務局”だよりもこれでおしまいです。

1999年が皆様にとりまして今年より少しでも良い年となりますよう祈りつつ…。

[A]

学会誌編集規定

1996.2.8改訂

1. 本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。

A. 投稿原稿会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。

B. 依頼原稿本学会編集委員会がテーマを定めて特定の人に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。

C. 学会原稿学会の運営・活動に関する記事(報告、会告等)および学会による調査・研究活動の成果等の報告。

2. 依頼原稿および投稿原稿は、ガスタービン及び過給機に関連のある論説・解説、講義、技術論文、速報(研究速報、技術速報)、寄書(研究だより、見聞記、新製品・新設備紹介)、随筆、書評、情報欄記事、その他とする。刷り上がりページ数は原則として、1編につき次のページ数以内とする。

論説・解説、講義	6ページ
技術論文	6ページ
速報	4ページ
寄書、随筆	2ページ
書評	1ページ
情報欄記事	1/2ページ

3. 執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し、編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。

4. 会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は、編集委員会が定める方法により審査され、編集委員会の承認を得て、学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては、別に技術論文投稿規定を定める。

5. 依頼原稿および学会原稿についても、編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は、査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。

6. 依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。

7. 本学会誌に掲載される記事・論文などの著作権は原則として本学会に帰属する。

8. 著作者本人が自ら書いた記事・論文などの全文または一部を、本学会誌に掲載されたことを明記したうえで、転載、翻訳、翻案などの形で利用する場合、本会は原則としてこれを妨げない。ただし、著作者本人であっても学会誌を複製する形で全文を他の著作物に利用する場合、文書で本会に許諾を求めなければならない。

付記1. 原稿送付先および原稿執筆要領請求先

〒105-0003 東京都港区西新橋 1-17-5

Tel. 03-3508-9061 Fax. 03-3580-9217

ニッセイエブプロ(株) 制作部編集室

日本ガスタービン学会誌担当 越司 昭

技術論文投稿規定

1997.1.28改訂

1. 本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。

1) 主たる著者は本学会会員であること。

2) 投稿原稿は著者の原著で、ガスタービン及び過給機の技術に関連するものであること。

3) 投稿原稿は、一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし、要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。

2. 使用言語は原則として日本語とする。ただし、著者が外国人会員であって日本語による論文執筆が困難な場合は英語による投稿を認める。

3. 投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし、1ページにつき12,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。

4. 図・写真等について、著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。

5. 投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し、正原稿1部副原稿(コピー)2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。

6. 原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。

7. 投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し、編集委員会で採否を決定する。

8. 論文内容についての責任は、すべて著者が負う。

9. 本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては、学会誌編集規定7.および8.を適用する。

日本ガスタービン学会誌

Vol. 26 No. 103 1998. 12

発行日 1998年12月10日

発行所 社団法人日本ガスタービン学会

編集者 山根隆一郎

発行者 佐藤文夫

〒160-0023 東京都新宿区西新宿 7-5-13
第3工新ビル 402

Tel. 03-3365-0095 Fax. 03-3365-0387

郵便振替 00170-9-179578

印刷所 ニッセイエブプロ(株)

〒105-0003 東京都港区西新橋 2-5-10

Tel. 03-3501-5151 Fax. 03-3501-5717

©1998, (株)日本ガスタービン学会

複写をされる方に

本誌に掲載された著作物を複写したい方は、日本複写権センターと包括複写許諾契約を締結されている企業の従業員以外は、著作権者から複写権等の委託を受けている次の団体から許諾を受けて下さい。なお、著作物の転載・翻訳のような複写以外許諾は、直接本会へご連絡下さい。

〒170-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F

学協会著作権協議会 (Tel/FAX: 03-3475-5618)