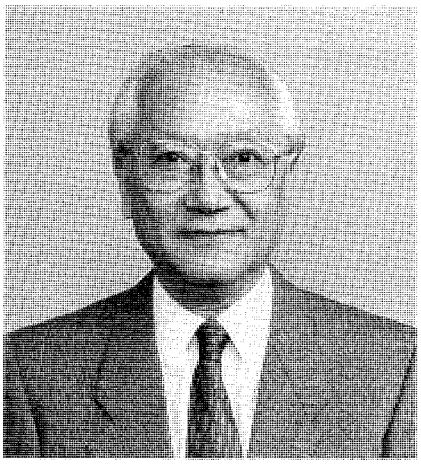
㈳日本ガスタービン学会名誉会員の紹介

㈳日本ガスタービン学会ではガスタービン及び関連技術に関し功績顕著な方，又は本学会に対し功労のあった方のうちから理事会の推薦により総会において承認された方が名誉会員になることになっております。

去る平成６年４月22日第19期通常総会において次の方が本学会の名誉会員になられましたのでご紹介します。（生年月日順）

村　田　　暹　君　　（大正12年２月21日生）



昭和20年９月　東京帝国大学第二工学部卒業
昭和21年４月　法政工業専門学校教授
昭和23年５月　大阪工業専門学校教授
昭和37年５月　山梨大学教授
昭和38年11月　大阪大学教授
昭和57年４月　豊田工業大学教授
平成５年３月　豊田工業大学退職
現在に至る。

本会関係略歴

昭和47年６月入会
理　事（GTSJ 3，4期）
評議員（GTCJ 1，2，3，4期）
（GTSJ 1，2，5，6，7，8，9，10，11，12，13，14，16期）

現住所

豊中市新千里東町２－５Ａ９-303

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

飯　島　　孝　君　　（大正12年７月11日生）

昭和22年９月　東京帝国大学第一工学部卒業
昭和22年10月　石川島重工業㈱
昭和29年10月　日本ジェットエンジン㈱出向
昭和39年２月　石川島播磨重工業㈱航空エンジン事業部
　　技術部長
昭和47年10月　同上　瑞穂工場長
昭和49年12月　石川島播磨重工業㈱航空宇宙事業本部
　　副本部長
昭和60年６月　石川島防音工業㈱取締役社長
平成３年６月　石川島ジェットサービス㈱顧問
平成５年６月　㈱次世代航空機基盤技術研究所　監査役
　　現在に至る。

本会関係略歴

昭和47年６月入会
理　事（GTSJ 1，2，7，8期）
監　事（GTSJ 15期）
評議員（GTCJ 1，2，3，4期）
　　（GTSJ 1，3，4，5，6，9，10，11，13，14，16期）

現住所

目黒区目黒本町３-17-20

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

松　木　正　勝　君　　（大正12年９月４日生）

昭和21年９月　東京帝国大学第二工学部卒業
昭和21年11月　石川島芝浦タービン㈱
昭和22年９月　商工省機械試験所
昭和30年12月　総理府航空技術研究所へ出向
昭和41年６月　科技庁航空宇宙技術研究所原動機部長
昭和57年３月　同所　科学研究官
昭和58年４月　日本工業大学機械工学科教授
　　早稲田大学理工学部客員教授
平成６年３月　日本工業大学，早稲田大学理工学部退職
平成６年４月　日本工業大学工学部教授
　　現在に至る。

本会関係略歴

昭和47年６月入会
理　事（GTSJ 1，3，4，7，8期，12期副会長，13期会長）
監　事（GTSJ 16期）
評議員（GTCJ 1，2，3，4期）
　　（GTSJ 1，2，5，6，9，10，11，14，15，17，18期）

現住所

練馬区上石神井２－３－９

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

稲　葉　興　作　君　　（大正13年１月16生）

昭和21年９月　東京工業大学機械工学科卒業
昭和21年11月　石川島芝浦タービン㈱
昭和37年11月　石川島播磨重工業㈱
昭和47年11月　同社　取締役
昭和49年11月　同社　常務取締役
昭和52年１月　同社　代表取締役副社長
昭和58年６月　同社　代表取締役社長
現在に至る。

本会関係略歴

昭和47年６月入会
理　事（GTSJ 11期副会長，12期会長）
監　事（GTSJ 14期）
評議員（GTSJ 8，9，10，13，15，16，17期）

現住所

品川区東五反田５-14-６

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

田　中　英　穂　君　　（大正13年２月23日生）

昭和21年９月　東京帝国大学第一工学部卒業
昭和26年９月　東京大学大学院前後期終了
昭和27年６月　工業技術院機械試験所
昭和30年６月　東京大学助教授
昭和37年７月　東京大学教授
昭和59年４月　東海大学教授
　　現在に至る。

本会関係略歴

昭和47年６月入会
理　事（GTSJ 2，3，6，7，10，11，13期副会長，14期会長）
監　事（GTSJ 18期）
評議員（GTCJ 1，2，3，4期）
　　（GTSJ 1，4，5，8，9，12，15，16，17期）

現住所

練馬区南大泉６-15-11

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

妹　尾　泰　利　君　　（大正13年２月25日生）

昭和20年９月　九州帝国大学工学部卒業
昭和23年１月　九州大学助教授
昭和33年７月　マサチューセッツ工科大学助教授
昭和35年７月　エアリサーチ社上級専門技師
昭和39年９月　九州大学教授
昭和62年７月　三浦工業㈱
平成元年７月　㈱三浦研究所取締役
平成６年４月　㈱三浦研究所顧問
　　現在に至る。

本会関係略歴

昭和47年５月入会
理　事（GTSJ 5，6期）
監　事（GTSJ 16期）
評議員（GTCJ 1，2，3，4期）
　　（GTSJ　1，2，3，4，7，8，9，10，11，12，14，15期）

現住所

福岡市南区大池１-25-７

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

第19期会長就任挨拶

日立製作所　濱　田　邦　雄

この度,4月22日に開催されました総会におきまして，会員の皆様の御推挙により，伝統ある日本ガスタービン学会の第19期会長に選出頂きまして，まことに光栄に存じますと共に，責任の重大さを感じているところでございます。特に，現今の長引く不況や，益々強まる海外からの門戸開放，貿易不均衡の是正といった世界レベルでの日本経済の変革期に当たり，本学会も少なからぬ影響を受けるものと予測される難しい時に当たっておりますことを考え併せる時，身の引き締まる思いであります。今日までのこのガスタービン学会の発展に努力してこられました歴代会長の偉業を汚すことなく，葉山副会長および経験豊かな理事や委員の皆様のご支援を得て，学会の発展にいささかなりとも貢献できますよう微力を尽くす所存でございますので，会員各位の絶大なる御支援御協力をお願いする次第でございます。

さて，ガスタービンを取り巻くエネルギー分野においては，地球環境保全問題の重要性が益々高まり，クリーン化，高効率化，省資源化，合理化等多くの課題を抱えております。現在日本で運転されている火力発電設備の中にあって，最高の効率を達成しているプラントは，最新技術のガスタービンによるコンバインドサイクルプラントであることを考えるとき,国内外を問わず,ガスタービンの重要性と更なる高度な技術の開発が人類全体のエネルギー問題を左右する重要な要素となってきていることは明白であります。

ガスタービンは航空機用としての実用化から始まりましたが，高い信頼性が要求される日本の電力会社においても，ガスタービンの利用が各社で具現化され，既設火力プラントのリパワリングやコンバインドサイクルへと，多数のガスタービンユニットが運転に入ってきたこと，トータルエネルギー効率の高いコジェネ用，一般産業用，舶用あるいは車両用へと，ターボチャージャを含め，ガスタービンの活用には目を見張るばかりの時代となって参りました。関連する産業界においても，ガスタービン関係の生産設備，開発設備への投資がここにきて加速されつつあります。高温材料，流体，熱といったガスタービンを支える基盤技術の永い期間にわたっての進歩・蓄積がここにきて，各分野でのガスタービンの実用化へと花を開いたのであります。夢のエンジンと言われたガスタービンが，更に，高温，高効率化，クリーン燃焼化へと，社会の要求も更に高度化しつつある現在，本学会の使命は，ガスタービン関連の多くの分野に携わる方々に，技術情報や研究成果を交換し合う場を提供し，将来の人類のエネルギー問題の解決に貢献することであると認識しておりますが，そのためには，従来，学会の設立から現在に至る成長過程を担ってこられた大学や研究機関の諸先生方やガスタービンメーカ主体のメンバーのみならず，更に多くのユーザの方々や，材料及びガスタービン関連機器に携わっておられる方々にも輪を広げ，学会活動をより巾の広いものに指向させて行くべきと考えております。又，来年には国際ガスタービン会議の開催も予定されており，学会の体質を真に国際化に対応できるものへと変革していく絶好の機会であると考えられます。

先にも述べましたが，昨今の日本の経済情勢は未だ平成不況を脱するまでに至らず，きびしい状況が続いておりますが，一方では，国際協調への更なる展開，日本産業界の再活性化などの必要性

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

を増して，来世紀へ向けて日本自身が大きく変化しようとする，大変重要な節目の時期に入っていると認識しております。そういう環境下で，先輩諸氏が指向されてきた，事業内容の充実や賛助会員を含む会員の増強及び若返り等を推進すると共に，21世紀に向けて学会はどのように変革して行かなければならないかを皆様と共に考えていきたいと考えております。いわゆるハイテク製品の一つに位置づけられるガスタービンに携わる慶びを会員の皆様とわかち合いつつ，学会の発展に努力していきたいと考えております。終わりに，高田会長をはじめとする第18期の役員・委員の方々の御尽力に心からお礼を申し上げ，会長就任の挨拶と致します。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

日本ガスタービン学会賞（第7回）報告

学会賞審査会委員長　有　賀　一　郎

日本ガスタービン学会賞は，本会創立10周年を記念して1982年に制定され，以後2年毎にガスタービンに関する優れた論文ならびに技術に対し，それぞれ論文賞，技術賞が贈られて参りましたが，さらに創立20周年にあたり学会賞の中に新らたに奨励賞が設けられ1992年より贈られております。

今回（第7回）は，論文については1989年11月以降1993年10月までに本会学会誌，または1991年国際ガスタービン会議横浜大会Proceedingsに公表された論文が選考の対象とされました。なお，第18期理事会において学会内規の一部が改正されましたので，審査もそれにしたがって行われました。

昨年9月号の学会誌で募集会告を行い，編集委員会から推薦のあった論文19編および応募のあった論文2編ならびに技術1件，さらに奨励賞についての推薦8件（内7件は編集委員会推薦）に対し，産学官の16名からなる審査委員会によって慎重かつ公正な審査を行いました。その結果が理事会で承認され，下記の通り論文賞2件，奨励賞2件の授賞が決定されました。

論文賞

ガスタービン静翼材の熱疲労き裂シミュレーションによる寿命評価

㈱東芝　藤　山　一　成
岡　部　永　年
村　上　　格
吉　岡　洋　明

日本ガスタービン学会誌 19－76（平成4年3月）

発電用ガスタービン静翼等の過酷な熱疲労損傷を受ける部材について，補修や交換の合理的な判定の基盤となる新しい寿命評価手法を提案した。この方法は，き裂長さが許容値を越える時間を的確に予測するために，部品の点検情報をもとにき裂成長の傾向解析を行なうとともに，寿命を支配するクリティカルな部位について詳細な多重き裂成長のシミュレーション解析を行うものである。傾向解析では，運転履歴，部品使用履歴，補修履歴およびき裂発生履歴のリレーショナルデータベースを用いて，き裂発生個数，き裂長さ及びその統計分布の変化傾向を求め，き裂発生・成長の予測を行なう。さらに部品の寿命を支配するクリティカルな部位については，多重き裂成長のシミュレーション解析を適用して，超合金のランダムな組織パターンをフラクタル図形として再現した離散化材料モデルに，点検情報と統計的に等価なき裂分布を初期条件として与え，多重き裂成長の詳細解析を行なう。本シミュレーション解析法を静翼材Co基超合金の高温低サイクル疲労試験および実機静翼における多重き裂損傷に適用した結果，本手法が材料組織，温度・応力分布および多重き裂の相互干渉効果等，複合する影響因子のもとでのき裂発生・成長を的確に予測し得るものであることを明らかにした。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05

日本ガスタービン学会賞（第7回）報告

学会賞審査会委員長　有　賀　一　郎

日本ガスタービン学会賞は，本会創立10周年を記念して1982年に制定され，以後2年毎にガスタービンに関する優れた論文ならびに技術に対し，それぞれ論文賞，技術賞が贈られて参りましたが，さらに創立20周年にあたり学会賞の中に新らたに奨励賞が設けられ1992年より贈られております。

今回（第7回）は，論文については1989年11月以降1993年10月までに本会学会誌，または1991年国際ガスタービン会議横浜大会Proceedingsに公表された論文が選考の対象とされました。なお，第18期理事会において学会内規の一部が改正されましたので，審査もそれにしたがって行われました。

昨年9月号の学会誌で募集会告を行い，編集委員会から推薦のあった論文19編および応募のあった論文2編ならびに技術1件，さらに奨励賞についての推薦8件（内7件は編集委員会推薦）に対し，産学官の16名からなる審査委員会によって慎重かつ公正な審査を行いました。その結果が理事会で承認され，下記の通り論文賞2件，奨励賞2件の授賞が決定されました。

論文賞

ガスタービン静翼材の熱疲労き裂シミュレーションによる寿命評価

㈱東芝　藤　山　一　成
岡　部　永　年
村　上　　格
吉　岡　洋　明

日本ガスタービン学会誌 19－76（平成4年3月）

発電用ガスタービン静翼等の過酷な熱疲労損傷を受ける部材について，補修や交換の合理的な判定の基盤となる新しい寿命評価手法を提案した。この方法は，き裂長さが許容値を越える時間を的確に予測するために，部品の点検情報をもとにき裂成長の傾向解析を行なうとともに，寿命を支配するクリティカルな部位について詳細な多重き裂成長のシミュレーション解析を行うものである。傾向解析では，運転履歴，部品使用履歴，補修履歴およびき裂発生履歴のリレーショナルデータベースを用いて，き裂発生個数，き裂長さ及びその統計分布の変化傾向を求め，き裂発生・成長の予測を行なう。さらに部品の寿命を支配するクリティカルな部位については，多重き裂成長のシミュレーション解析を適用して，超合金のランダムな組織パターンをフラクタル図形として再現した離散化材料モデルに，点検情報と統計的に等価なき裂分布を初期条件として与え，多重き裂成長の詳細解析を行なう。本シミュレーション解析法を静翼材Co基超合金の高温低サイクル疲労試験および実機静翼における多重き裂損傷に適用した結果，本手法が材料組織，温度・応力分布および多重き裂の相互干渉効果等，複合する影響因子のもとでのき裂発生・成長を的確に予測し得るものであることを明らかにした。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05

論文賞

Secondary-Loss Reduction by Forward-Skewing of Axial Compressor Rotor Blading

三菱重工業㈱ 山口信行
冨永哲雄
服部司郎
三橋庸良

Proceedings of the 1991 Yokohama International Gas Turbine Congress, Vol. II－61 (IGTC－8) (平成3年10月)

軸流圧縮機の効率向上を目指して，前進スキュー動翼という新しい二次損失低減法を工夫し，動翼先端部に関係する二次損失の低減を試み，その効果を実験的に確認し，作動機構を推測した。

動翼面とともにほぼ周速で回転している翼面境界層内の流体粒子は，翼面の極く近傍を先端に向かってcentrifugeされ，動翼先端附近に集積・停滞して低エネルギ領域を形成しがちである。これが動翼の効率に悪い影響を及ぼすと考えられる。

そこで，翼断面の積み重ね方を半径方向に次第に前傾させることにより，この二次流れを抑制することを試みた。この時，翼負圧面上の断面負圧ピーク点は外側に向かって前進する形になる。負圧ピークの下流では半径方向に圧力が増大するから，centrifugeされる流体粒子は押さえ込まれ，二次的流れの減少が期待できる。

在来式設計による翼断面の直線的な積み重ね方による動翼（原型翼）と，それと同一の断面プロフィルによる前進スキュー翼とを試作し，両者の段性能と内部流動の比較を実験的に行った。その結果，前進スキュー翼により段効率でほぼ1パーセントの向上が得られた。内部流れは全体的に多少の平坦化が見られ，周方向平均流れが設計流れ状態に近づくことが観察された。これより，前進スキューの効果は，動翼背面境界層流体のcentrifugingの抑制による流況の改善と動静翼間マッチングの向上の両者によるものと推測された。

奨励賞

Cooling Performance of an Advanced Liner Element for Gas Turbine Combustors

石川島播磨重工業㈱ 林 正純

Proceedings of the 1991 Yokohama International Gas Turbine Congress, Vol. II－223 (IGTC－32) (平成3年10月)

ガスタービンでは，より高い熱効率を得るため，高圧力比化およびタービン入口温度の高温化が図られている。そのため，燃焼器ライナの冷却構造には，必然的により少ない冷却空気でより高い冷却効率を持つことが求められる。

そこで，①熱応力を軽減させることを目的として，ライナを2重にし，さらに内側と外側のライナを構造上分離する，②伝熱促進を目的として，2重のライナの間の冷却空気通路にねじれテープを挿入す

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

論文賞

Secondary-Loss Reduction by Forward-Skewing of Axial Compressor Rotor Blading

三菱重工業㈱ 山口信行
冨永哲雄
服部司郎
三橋庸良

Proceedings of the 1991 Yokohama International Gas Turbine Congress, Vol. II－61 (IGTC－8) (平成3年10月)

軸流圧縮機の効率向上を目指して，前進スキュー動翼という新しい二次損失低減法を工夫し，動翼先端部に関係する二次損失の低減を試み，その効果を実験的に確認し，作動機構を推測した。

動翼面とともにほぼ周速で回転している翼面境界層内の流体粒子は，翼面の極く近傍を先端に向かってcentrifugeされ，動翼先端附近に集積・停滞して低エネルギ領域を形成しがちである。これが動翼の効率に悪い影響を及ぼすと考えられる。

そこで，翼断面の積み重ね方を半径方向に次第に前傾させることにより，この二次流れを抑制することを試みた。この時，翼負圧面上の断面負圧ピーク点は外側に向かって前進する形になる。負圧ピークの下流では半径方向に圧力が増大するから，centrifugeされる流体粒子は押さえ込まれ，二次的流れの減少が期待できる。

在来式設計による翼断面の直線的な積み重ね方による動翼（原型翼）と，それと同一の断面プロフィルによる前進スキュー翼とを試作し，両者の段性能と内部流動の比較を実験的に行った。その結果，前進スキュー翼により段効率でほぼ1パーセントの向上が得られた。内部流れは全体的に多少の平坦化が見られ，周方向平均流れが設計流れ状態に近づくことが観察された。これより，前進スキューの効果は，動翼背面境界層流体のcentrifugingの抑制による流況の改善と動静翼間マッチングの向上の両者によるものと推測された。

奨励賞

Cooling Performance of an Advanced Liner Element for Gas Turbine Combustors

石川島播磨重工業㈱ 林 正純

Proceedings of the 1991 Yokohama International Gas Turbine Congress, Vol. II－223 (IGTC－32) (平成3年10月)

ガスタービンでは，より高い熱効率を得るため，高圧力比化およびタービン入口温度の高温化が図られている。そのため，燃焼器ライナの冷却構造には，必然的により少ない冷却空気でより高い冷却効率を持つことが求められる。

そこで，①熱応力を軽減させることを目的として，ライナを2重にし，さらに内側と外側のライナを構造上分離する，②伝熱促進を目的として，2重のライナの間の冷却空気通路にねじれテープを挿入す

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

る，③ライナの温度勾配を小さくし熱応力を軽減させることを目的として，燃焼ガスと反対方向に冷却空気を流すことを特徴とした冷却構造を考案した。

本研究では，このライナ冷却構造の設計データの取得を目的として，①2重のライナを構造上分離することにより生じるねじれテープと流路壁の間の隙間がねじれテープ流路の伝熱特性に及ぼす影響，②その後流（ねじれテープ流路からの旋回成分が残っている流れ）のフィルム冷却部の伝熱特性について，それぞれ実験的にデータを取得した。また，ある想定したエンジンについて，これらのデータをもとにライナ冷却構造全体としての冷却効率を試算し，他の冷却構造と比較した。

その結果，ねじれテープと流路壁の間の隙間の及ぼすねじれテープ流路対流伝熱への影響は，実用上問題ない程度であることが分かった。また，ライナ冷却構造全体としては，他のライナ冷却構造より高い冷却効率が得られることが分かった。

奨励賞

改良型k－εモデルを使用した遷移境界層の数値解析

(1) 改良型k－ε乱流モデルの提案
(2) 実用問題への適用の検討

㈱東芝 デバシス・ビスワス

日本ガスタービン学会誌 20－77(1)，78(2)
（平成4年6月，9月）

高温ガスタービン冷却翼面上の熱伝達率分布を解析するためには翼面上の境界層の乱流遷移を精度よくとらえる数値解析技術が不可欠である。境界層遷移解析の方法として多く活用されている方法は低レイノルズ数k－εモデルを利用した手法で，主流から層流境界層への乱れ等の浸透を解析して境界層遷移を予測する。しかしこれまで提唱されている低レイノルズ数の影響を表すモデル関数は，発達した乱流境界層の中で低レイノルズ数効果が支配的となる壁近傍に対しては有効だが，流れ方向に生じる層流から乱流への遷移現象の予測は難しい。本研究では，この問題を解決するために，まず平板境界層遷移の実験結果と代表的な4種類の低レイノルズ数k－εモデルを使用した解析結果の比較から従来モデルの問題点を検討した。遷移解析では，乱流諸量の壁方向への漸近挙動が正確に模擬される事，遷移前の層流境界層と遷移後の乱流境界層の性格が遷移領域で流れ方向にうまく混合される事が重要と考え，ε方程式の生成項と消滅項のバランスを保つこと等を考慮した新たなモデルを提唱した。実験結果との比較では平板境界層および加速下における境界層において本モデルが境界層遷移と発達した乱流の壁近傍流れを正しく表現することを示した。さらにガスタービン冷却翼の設計問題を考え，動静翼などの表面熱伝達率解析に適用し，実験との比較において良好な熱伝達率分布予測を与えることを示した。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

る，③ライナの温度勾配を小さくし熱応力を軽減させることを目的として，燃焼ガスと反対方向に冷却空気を流すことを特徴とした冷却構造を考案した。

本研究では，このライナ冷却構造の設計データの取得を目的として，①2重のライナを構造上分離することにより生じるねじれテープと流路壁の間の隙間がねじれテープ流路の伝熱特性に及ぼす影響，②その後流（ねじれテープ流路からの旋回成分が残っている流れ）のフィルム冷却部の伝熱特性について，それぞれ実験的にデータを取得した。また，ある想定したエンジンについて，これらのデータをもとにライナ冷却構造全体としての冷却効率を試算し，他の冷却構造と比較した。

その結果，ねじれテープと流路壁の間の隙間の及ぼすねじれテープ流路対流伝熱への影響は，実用上問題ない程度であることが分かった。また，ライナ冷却構造全体としては，他のライナ冷却構造より高い冷却効率が得られることが分かった。

奨励賞

改良型k－εモデルを使用した遷移境界層の数値解析

(1) 改良型k－ε乱流モデルの提案
(2) 実用問題への適用の検討

㈱東芝 デバシス・ビスワス

日本ガスタービン学会誌 20－77(1)，78(2)
（平成4年6月，9月）

高温ガスタービン冷却翼面上の熱伝達率分布を解析するためには翼面上の境界層の乱流遷移を精度よくとらえる数値解析技術が不可欠である。境界層遷移解析の方法として多く活用されている方法は低レイノルズ数k－εモデルを利用した手法で，主流から層流境界層への乱れ等の浸透を解析して境界層遷移を予測する。しかしこれまで提唱されている低レイノルズ数の影響を表すモデル関数は，発達した乱流境界層の中で低レイノルズ数効果が支配的となる壁近傍に対しては有効だが，流れ方向に生じる層流から乱流への遷移現象の予測は難しい。本研究では，この問題を解決するために，まず平板境界層遷移の実験結果と代表的な4種類の低レイノルズ数k－εモデルを使用した解析結果の比較から従来モデルの問題点を検討した。遷移解析では，乱流諸量の壁方向への漸近挙動が正確に模擬される事，遷移前の層流境界層と遷移後の乱流境界層の性格が遷移領域で流れ方向にうまく混合される事が重要と考え，ε方程式の生成項と消滅項のバランスを保つこと等を考慮した新たなモデルを提唱した。実験結果との比較では平板境界層および加速下における境界層において本モデルが境界層遷移と発達した乱流の壁近傍流れを正しく表現することを示した。さらにガスタービン冷却翼の設計問題を考え，動静翼などの表面熱伝達率解析に適用し，実験との比較において良好な熱伝達率分布予測を与えることを示した。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

論説・解説

ガスタービンの新利用技術分野—中小型ガスタービン　小特集号発刊にあたって

三井造船㈱　手　島　清　美

ガスタービンの応用分野は，航空用として大きく発展したが，現在のように多方面にわたって利用されるようになったのは比較的新しい。わが国では，1980年代前後から，事業用・産業用発電，非常用発電あるいは機械駆動用原動機などで利用されるようになってきた。その理由はいろいろ考えられるが，元々ガスタービンは比出力が大きく従って，出力の割に軽量・コンパクトであるという特長の上に，ガスタービンそのものの性能が向上してきたことが挙げられる。しかもこれに伴って，信頼性も上がってきた。すなわち，性能面では，高温化をはじめとする性能改善が進んだこと，信頼性に関しては実用規模での長期実証運転研究が行われてきた効果が現れてきたものと思われる。更に，環境保全にたいする世界的な取り組みに対しても，NOxの少ないガスタービンの有効性が認識されているところである。CO_2の排出量が少ないこともまたしかりである。

ガスタービンのもう一つの特長として，他の熱機関との複合化が容易であること，これによって総合熱効率が大幅に上がるため，多方面への応用が考えられた。最近は電源の多様化，コージェネレーション，ごみ発電，リパワリングとガスタービンの利用分野に関する話題も豊富である。この様な状況と呼応するように，ガスタービンを初めとする新しいエネルギ利用に関して，法制面からも色々な見直しや助成策が講じられている。余剰電力の買取りの問題，電力の特定供給の問題，あるいは，ガスタービンの型式認定制度の問題など。

このようなことからガスタービンの新しい利用分野は今後ますます開けて行く情勢にあると考えられる。なかでも中小型ガスタービンはその利用分野においてバラエテイーに富むものである。このようなことから本小特集を組むことになり，各方面から解説展望をして頂くことになった。執筆をお願いした方々は，各分野の第一線で活躍しておられ，お忙しいにもかかわらず快くお引受頂き感謝している。

ここで取り上げる利用分野としては中小型ガスタービン単体の機関としての利用分野と，他の機関との複合によるシステムとしての応用に分けることが出来る。まず単体の利用分野としては非常用発電と輸送機関への応用がある。とりわけ，夢の超特急として期待を集めているリニアモーターカーに搭載されるガスタービン，あるいは海上を50ノットの高速で走るテクノスーパーライナへの適用，さらには，航空機用補機として重要な役割をもつAPUなどについて解説をして頂いた。

また，システムとしての利用例としては，コージェネレーション分野への利用例として，エネルギの多目的利用，小型ガスタービンの農業分野への利用等について紹介して頂いた。最近の応用分野としてのスーパーごみ発電，リパワリング発電についても解説を頂いた。さらに，需要動向の面からみたガスタービンの現状と将来についても概観して頂いた。ここでは，現在の技術でのガスタービンの利用ということに主眼を置いているために，セラミックガスタービンのような先端的な研究開発の途上にあるものについては，一部をのぞいては大幅には取り上げていない。また現在のガスタービン技術をここまで持ってきたそれぞれの要素技術あるいはそれを支えてきた解析技術，計測技術などについてもここでは取り上げていない。これらについては稿を改めて取り上げて頂くことを望む次第である。

（平成6年4月26日原稿受付）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

中小型ガスタービンの現状と将来動向

三井造船㈱回転機コージェネレーション事業部　杉　村　章二郎

1．まえがき

日本は2回のオイルショックを経験している産業分野には省エネルギーの効果は上がっているが，民生・運輸分野ではGNP増大に伴いエネルギー消費は増える一方であり，電力の需給は益々逼迫している。新規電力立地の困難さ，建設の長期化等から，小形分散型発電が注目されており，電力の電気事業者による買い取り制度なども整いつつあり，ここ2〜3年コジェネの停滞は有っても，都市部では天然ガス焚きのガスタービンコジェネが推奨される状況にある。また事業用火力発電においてもコンバインドサイクルの長期実証運転が確認され，本格的な実用段階を迎えコンバインドサイクルの建設が一挙に増えようとしており，世界的にもガスタービン市場は増えつつある。技術的には環境汚染物質の排出を減らすためガスタービンの一層の効率アップが求められ，タービン入口温度の高温化が進められている。

この様に現在は，ガスタービンが他の機関に比べてNO_x排出量が少ない原動機として注目されており，需要環境も技術開発も揃いこれから大きく成長して行こうという時期である。

2．最近の需要動向

2.1　コジェネレーション需要[1]

日本のコジェネの設置件数累計は93年3月末までで1507件(2451台)，250万KWである。日本全体の発電能力（1992年度末現在10電力発電設備合計1億8097万KW）からみるとまだ1.4%程度にすぎない。しかし本格的なコジェネの設置が1985年頃であり，急速に伸びていると言える。一方ホテル，スポーツ施設等に設置される民生用はまだ少ない（図1参照）。

ガスタービンコジェネが出力では全体の約半分（43%）を占めているが，設置件数の年度別推移は図2の通りであり，90年から下降傾向で景気低迷の影響を受けている。ガスタービン単機容量では1MWから5MWの範囲が62%と圧倒的に多い（図3参照）。

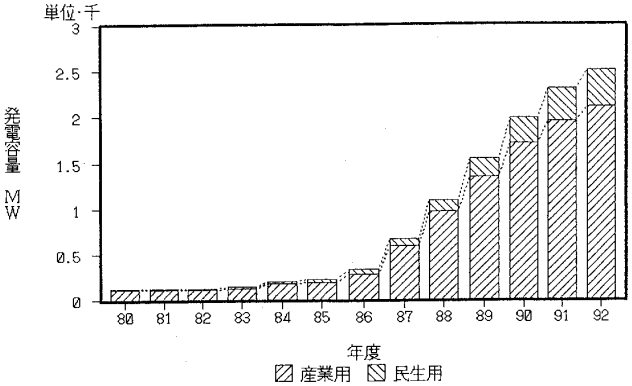


図1　コジェネ導入実績（発電容量）
1993年3月末現在

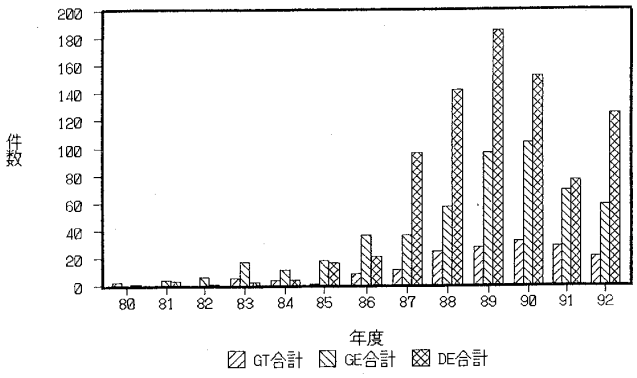


図2　原動機別コジェネ導入実績（件数）
1993年3月末現在

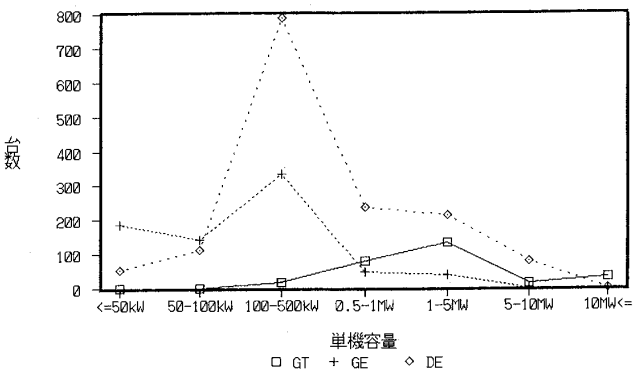


図3　コジェネの単機容量別設置状況

（平成6年3月25日原稿受付）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05

2.2 日本のガスタービン生産量[2]

出力では1992年度の伸びが大きい（406台，5044 MW，図4参照）。小形の停滞と大型の飛躍的伸びが著しい（図5参照）。1000 PS未満の小形はほとんどが非常用発電であり，ここ5年間はほぼ一定している（年間約95 MW，約230台）。用途別では常用他が92年度はかなりの伸びを示しており，特に事業用は輸出・国内共に急速な伸びを示した（図6参照）。生産量の詳細は表1に示す。日本のガスタービンは台数では非常用が80％になり，出力ではベースロード機が80％を占めている。概略は1000 PS未満は非常用機であり30000 PS以上は常用機で，概して30000 PS未満は非常用機が多い事が判る。また機械駆動用など発電用以外はほとんど無い。この傾向はほぼ毎年変わっていない。

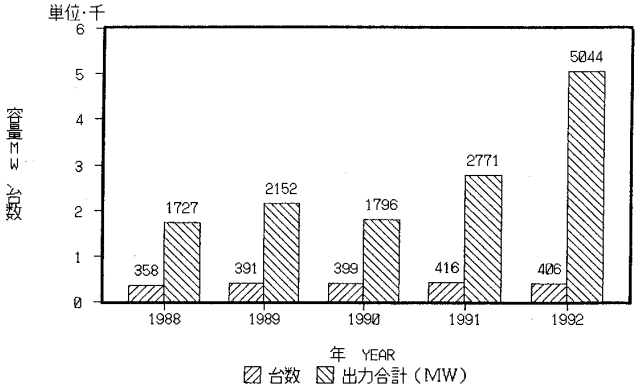


図4 陸舶用ガスタービン生産実績

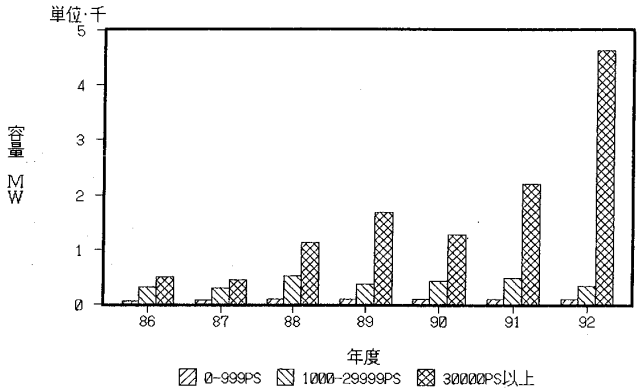


図5 ガスタービン容量別生産量

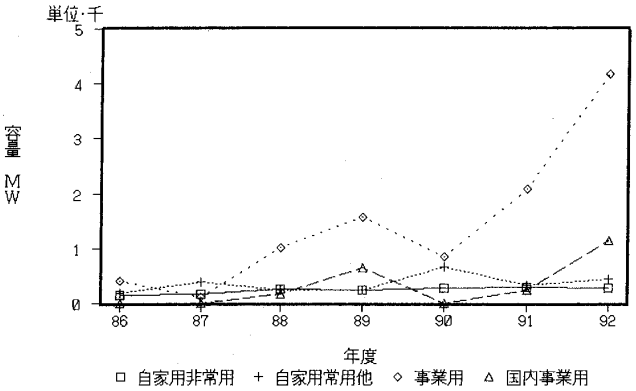


図6 ガスタービン用途別生産量

2.3 世界のガスタービンマーケット[3]

ガスタービン全体で1992年の世界の受注量は635台，31744 MWである（このデータは，世界生産量の90％程度はカバーしているといわれる）。国内生産量はこの約10％程度である。

地域別では表2の様にヨーロッパ，米国・カナダ，東南アジア・太平洋地区が3大マーケットになっているが，マーケットは東南アジア地区に移りつつあると言われる。なおOFFSHORE用に根強い需要があり，パイプライン用圧縮機等機械駆動用の需要がある事は日本と違い注目すべき点である。

つぎに50 MW以下程度の中小型ガスタービンでは，398台，8040 MW中の内訳で表3の通りで

表1 1992年ガスタービン用途別生産量

出力PS	用途	台数	合計出力MW
1000未満	非常用	212	87.6
	ﾍﾞｰｽﾛｰﾄﾞ	1	0.7
	実験用他	7	2.2
1000以上30000未満	非常用	106	194
	ﾍﾞｰｽﾛｰﾄﾞ	39	122.4
	艦艇用	3	12
30000以上	ﾋﾟｰｸﾛｰﾄﾞ	6	604
	ﾍﾞｰｽﾛｰﾄﾞ	30	3880
	実験用	2	141
合	計	406	5044

表2 1992年納入地域別ガスタービン受注量

地域	出力合計MW	比率
ﾖｰﾛｯﾊﾟ	8682	27.3%
米国・ｶﾅﾀﾞ	7709	24.3%
東南ｱｼﾞｱ・太平洋地区	7845	24.7%
中東	2711	8.5%
南ｱﾒﾘｶ・ｶﾘﾌﾞ海諸国	2261	7.1%
ｲﾝﾄﾞ・ﾊﾟｷｽﾀﾝ・ﾊﾞﾝｸﾞﾗ	1322	4.2%
ｱﾌﾘｶ	433	1.4%
OFFSHORE OIL&GAS	781	2.5%
合計	31744	100%

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05

表3 用途別ガスタービン受注量（50 MW 以下）

用　　途	出力合計MW	台数
圧縮機駆動	1916.2	128
産業用CHP	2414.1	109
発電機駆動	2660.6	119
ｺﾝﾊﾞｲﾝﾄﾞｻｲｸﾙ	596.3	16
地域冷暖房	222.3	14
船舶推進用	195.1	10
石炭複合発電	35	2
合　　計	8039.6	398

あり，圧縮機駆動が台数で一番多い。圧縮機駆動用と産業用コジェネ，発電用でほぼ三分している。

3．ガスタービン需要環境

3.1 地球環境問題

省エネルギーと言いながらエネルギー消費は年と共に増大しており，クリーンなエネルギーへの転換が余儀なくされている。CO_2 の排出は石炭，石油，天然ガスで 10：8：6 の順であり，天然ガスは当面は最もクリーンとされている。つぎに厳しい都市の NOx の排出規制に対し，ガスタービンは他のエンジンに比較して NOx の排出は少なく，制御し易い。水・蒸気噴射による NOx 低減から予混合による DRY LOW NOx 燃焼器の開発等めざましい技術の進歩があり，環境にやさしい原動機として今後の普及が期待される。またゴミの問題はゴミリパワリング発電によりそのエネルギーは住民に還元してゆくシステムが考えられており，これもガスタービンの普及を促進する。

3.2 法的整備

1992 年 4 月から電力 10 社が太陽光発電などの新エネルギー発電と廃棄物発電からの余剰電力の購入を決めた。一部の電力会社では，コジェネなどの自家発は除外していたが，本年 2 月 21 日からは 10 電力会社全てがコジェネ等も含め，余剰電力購入体制を整えた。また，特定供給，電気主任技術者選出，系統連携ガイドライン整備，ガスタービン発電に対する合理化のための形式認定制度等さまざまな法的整備がなされつつある。

3.3 電力需要

昨年は冷夏の影響で夏期の電力需要は対前年伸び率ではマイナス成長（8 月－5.6%，9 月－1.9%）であったが，民生用電力の着実な伸び率（4 月～12 月合計で 2.3%）及び自家発の前年比伸び率（4 月から 12 月での平均で 3.6%）は高い比率を保っている（資源エネルギー庁発表昨年 12 月総需要電力量速報）[4]。

4．最新の技術

コジェネでは総合熱効率が重要であるが，電気の価値が高い事，また有害排出物を少しでも減らす事からガスタービンの効率が重要になる。サイクル上は高効率には，高温化が有効であり，その技術も進歩している。従来の第 1 世代機 TIT 1000°C以下から第 2 世代の TIT 1100°Cから 1250°C程度の機械が実用期を迎えている。大形ではさらに 1100°Cクラスの実証期が済み 1300°Cクラスに移っている。将来に向け 1400°Cから 1500°C の開発が既に始まっている。

4.1 材　料

高温化に対して小型機はセラミックの採用の方向，大型機は空冷技術の改良開発といわれる。小型機は複雑な空冷構造が取りにくい反面，セラミック小型部品は作り易い事による。大型機はその逆である。また大型機ではセラミックと空冷技術の併用を考えたハイブリッド方式も検討されつつある[5]。動静翼には既に一方向凝固翼，単結晶翼が使われている。材料も酸化物分散型合金の使用も始められている。最近の研究成果によれば，航空用では単結晶翼で 1600°C迄対応可能とのデータが蓄積されていると言う[6]。

4.2 冷却技術

翼の冷却は，強制対流冷却とフィルム冷却の組み合わせが主流である。精密鋳造翼内部にはインピンジメント冷却・ピンフィン冷却が使用されており，乱流促進リブ付きの SURPENTAIN 流路が採用されている。間接的冷却として遮熱コーティング（TBC）も増えつつある。冷却空気を外部に取り出して冷却するものもでている。燃焼器ライナーは低 NOx 要求のために少ない冷却空気しか使えず，冷却法が重要である。積層冷却構造，遮熱コーティング等の技術が採用されている。将来的にはセラミック材の多層コーティング，セラミック燃焼器が利用されるであろう[7]。

4.3 NOx

規制は年毎にきびしく，大防法の 70 PPM 規制から東京都心部の 35 PPM，さらに千葉県の 20 PPM 規制などである（$O_2$16%ベース）。このた

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

め，燃焼器に水・蒸気噴射，排気に触媒脱硝装置を設置するなどが必要である。近年は燃料と空気を燃焼前に予混合し希薄燃焼させて低 NOx 化を図る予混合燃焼方式が実用化されつつある[8]。今後主流となるであろう。

5．中小型ガスタービンの現状

中小型ガスタービンの最近の主なものについて見てみる（表4参照，データはカタログ，文献値をそのまま用いており，定格条件などあえて統一していないし，また紙面の都合で掲載省略した物も多い）。

(1) FT 8（荏原製作所）

1988年末米国ユナイテッドテクノロジー社の傘下の航空エンジンメーカーであるP&W社と提携を行った航空エンジン転用型である。38.1%の高効率機で，正逆両方向回転の設計を持ち両軸2倍容量の発電機を2台で両側から駆動するツインパックアレンジも可能である。ガス発生機のタービン先端隙間にアクティブクリアランスコントロールを採用。袖ケ浦工場発電所（1992年7月稼働）にて実証運転を行っている。

(2) SATURN，CENTAUR，MARS（新潟鉄工所）

1979年に米国SOLAR社と提携し，1100から10000 KW迄の常用発電設備を扱っている。1500 KWクラスの非常用を常用化して自社開発した（NGT2BC）。NOx 値は水噴射で35 PPM（O_2 16%）が可能である。

(3) MAKILA，501－KB 5，571 K（石川島播磨重工業）

MAKILA（1100 KW）はコジェネ用としてTURBOMECA社より導入し，1989年テストプラントにて運転後販売している。501－KB 5，571 Kは1978年11月ALLISON社と技提し販売開始したもの。501－KB 5はP－3C対潜哨戒機に使用されているT 56ターボプロップエンジンの陸用転用型である。

(4) H－25（日立製作所）

TIT 1260℃で1段静翼はNiベースの精密鋳造でインサート付きでピンフィンクーリング，インピンジメントクーリング，フィルムクーリング等最新の技術を駆使している。動翼の冷却構造は乱流促進リブ付きSURPENTAIN流路を採用。動静翼冷却空気は外部冷却方式をオプションとして持つ。1988年11月から1号機は運転に入っている。高効率のコジェネ用，コンバインドサイクル用を目的として開発されたがGEのMS 5001の代替機としての機能を持っている。重構造機である。

(5) MF 221 A/B（三菱重工業）

表4 主な中小型ガスタービン仕様表

機種	出力 kW	構造	回転数RPM	圧力比	入口温度℃	排気温度℃	熱効率 %
FT8	25400	航空転用2軸式	7200/12000	約20	約1130	約 450	* 38.1
SATURN T-1500	1100	軽構造1軸式	22500	6.7	-	491	** 23
CENTAUR T-4700	3570	軽構造1軸式	14900	9.0	-	453	** 26
〃 -H T-5700	4100	軽構造1軸式	14900	10.2	-	511	** 27
〃 TAURUS T-7000	5000	軽構造1軸式	14900	11.2	-	483	** 29
MARS T-12000	9100	軽構造2軸式	10780/8600	16.1	-	467	** 29
〃 T-14000	10000	軽構造2軸式	10780/8625	16.1	-	499	** 30
NGT2BC	1500	軽構造1軸式	22000	9.4	-	約540	**23.5
IM150 (MAKILA)	1100	航空転用2軸式	22850	-	-	495	**25.6
IM400 (501-KB5)	4210	航空転用1軸式	14500	10.1	-	549 ※	**26.3
IM610 (571K)	5360	航空転用2軸式	11500	12.7	-	576	**26.2
H-25 / 外部冷却	23500/26770	重構造1軸式	7280	14.7	1260	530/550	**32.3/32.6
MF221A/B	26000/30000	重構造1軸式	7200	-	1250	547/530	**31.3/32.0
M1A-13	1590	軽構造1軸式	22000	8.7	1035	554	#26.3
M1A-23	2200	軽構造1軸式	22000	10.7	1160	586	#27.5
M7A-01	5290	重構造1軸式	14000	12.7	1175	555	**28.5
SB5	1100	軽構造1軸式	26600	10.5	1000	496	25.0
SB60	13950	重構造1軸式	6780	13.1	1100	501	*29.5
SB30	8500	重構造1軸式	11380	12.2	1200	560	*30
HURRICANE ※	1600	軽構造1軸式	7245	9.2	1134	600	* 24.4
TYPHOON ※	3926	軽構造1軸式	16570	12.8	1054	488	* 29.8
TORNADO ※	6249	軽構造2軸式	11085	12.1	1000	470	* 30.37

（注）構造は原則は各メーカーの呼び方を採用したが、水平分割型の物を重構造とし、航空転用以外で垂直分割、モジュウル型のものを軽構造と分類した。
*ＩＳＯ発電端 **発電端 #ＩＳＯ軸端
カタログ、文献などから採用した値である。運転条件などまちまちであるがあえて統一していない了承願いたい。
※1992-93 GAS TURBINE WORLD HANDBOOK より

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

MF 221 A/B は MF 111 型のスケールアップモデルであり，1段静翼は新材料を使用。冷却構造の強化，遮熱コーティングの実施，冷却空気に外部冷却を採用。翼冷却は最新の技術を使用，燃焼器には全面フィルム冷却を採用し冷却強化すると共に遮熱コーティングを併用している。

(6) M1A−13，23，M7A−01（川崎重工業）

M1A−13 は M1A−03 の改良機で要素効率改善，空気流量増，高温化が行われ，遠心圧縮機は増径を図り材質もステンレス系 17−4 PH から比強度の高いチタン材に変更，1段静翼にはインピンジメント冷却，燃焼器には積層板採用。M1A−23 は4段型のタービンで1段動翼に一方向凝固材（DS 材）使用，静翼には遮熱コーティング使用。さらに6 MW クラス機として M7A−01 を新たに開発した。蒸気 150%噴射で 100 PPM（$O_2$0%），燃焼器6缶の多缶式，重構造を採用，1，2段動静翼に冷却翼採用。

(7) SB 30（三井造船）

従来の SB シリーズ SB 5，SB 15，SB 30，SB 60，SB 120 に加えて SB 30 の改良型が新たに開発され，実証運転中。SB 30 をパワーアップした高効率コジェネを目的としたもの。SB 5 に予混合燃焼器を装備したニューバージョンは天然ガス焚き商用機で1年間の実証運転済みである。25 PPM（$O_2$16%）が達成されている。

(8) HURRICANE, TYPHOON, TORNADO（タクマ）

旧 RUSTON の HURRICANE，TYPHOON，TORNADO を EUROPEAN GAS TURBINE から導入して販売している。日立製作所も後者2機種を扱っている。

この他神戸製鋼，日立造船が IHI 同様に ALLISON のガスタービンのパッケイジングを行っている。また神鋼造機がギャレット（400 KW）のガスタービンを扱っている。さらにヤンマー，ダイハツが非常用ガスタービンを製作している。

(9) 海外ガスタービン

25 MW 以下（表5参照）では，合計 242 台，2572 MW の中で GE の航空転用型 LM 2500 がベストセラー機であり（34 台，755 MW），以下 GE の機種以外に EGT，ALLISON，SOLAR 等の機種が健闘している。

25 MW−50 MW（表6参照）では，合計 156 台，5507 MW の中で GE の MS 6001 B が圧倒的に強い（60 台，2300 MW）。上位6機種で全需要の 90%を占めている。このレンジでは GE の機種が圧倒的に強い。

6．将来技術

(1) 材　料

拡散コーティング（TBC）を発展させたもので傾斜機能材料（FUNCTIONALLY GRADIENT MATERIAL）の利用が耐熱性と構造強度が合わせ持った材料として期待される[9]。また高温で高いクリープ強度を示す酸化物分散強化型材（ODS＝OXIDE DISPERSION STRENGTHENED）も多く使われるであろう。Ni 基に Y_2O_3 等の酸化物を分散させた金属マトリックス複合材である[10]。セラミックス材も今後実用化に向けて努力されている材料である。300 KW 産業用セラミック

表5 機種別ガスタービン受注量（25 MW 以下）

機種	ｴﾝｼﾞﾝ供給者	台数	ｼｪｱ(%)
LM2500	GENERAL ELE.	34	14.1
TYPHOON	EUROPEAN GT.	28	11.6
501-KB5	ALLISON	22	9.1
TAURUS	SOLAR	20	8.3
LM1600	GENERAL ELE.	18	7.4
COBERRA2000	COOPER-ROLLS	18	7.4
CENTAUR-H	SOLAR	14	5.8
MAKILA	TURBOMECA	12	5.0
MARS	SOLAR	11	4.6
SPEY SM1C	ROLLS ROYCE	10	4.1
合計		187	77.3

表6 機種別ガスタービン受注量（25−50 MW）

機種	ｴﾝｼﾞﾝ供給者	台数	ｼｪｱ(%)
MS6001B	GENERAL ELE.	60	39.2
LM6000	GENERAL ELE.	24	15.7
MS5002	GENERAL ELE.	15	9.8
COBERRA6000	COOPER-ROLLS	9	5.9
MS5001PA	GENERAL ELE.	7	4.6
MS5002C	GENERAL ELE.	6	3.9
PG5371PA	GENERAL ELE.	6	3.9
LM5000-S120	GENERAL ELE.	5	3.3
LM5000	GENERAL ELE.	5	3.3
MW251	MHI-WH	5	3.3
合計		142	92.9

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

ガスタービンの開発が現在ニューサンシャイン計画として平成9年の1350℃を目標にして（300 KW 42%熱効率）実施されている[11]。その成果が期待される。大型機は単結晶翼の使用と冷却技術の改良で高温化は図られようとしている[12]。近い将来に1500℃は達成可能と見られているし（産業用は1400℃），2000年には1600℃クラスのエンジンの実用化に対して研究が行われている。1700℃までも金属材料で行こうとする研究も行われている。ODSが有力候補とされていると言う。

(2) 冷却技術

蒸気冷却が有望視されているが，単に冷却媒体として蒸気を利用するだけではなく，蒸気タービンと併用した複合サイクルが注目される[13]。

将来的にはCFD（Computational Fluid Dynamics）による高精度の伝熱性能の計算技術の確立が待たれる。高温化に対して翼の局所的な温度評価の違いが致命的な問題にならないように回転遠心力の影響の考慮も必要となってくのであろう[14]。

(3) 新サイクル

種々の新サイクルが発表されている。HATサイクル（HUMID AIR CYCLE）は再生器の入り口で注水するシステムであり，圧縮器の冷却器と組み合わせて使用するので，複合サイクルより効率がよく，STIG/チェンサイクルより給水量が少なく，NOx発生が少ない等の特徴を持つ[15]。予混合方式の燃焼器と組み合わせればさらに低NOx化が可能である。

次世代リパワリングはコンバインドサイクルをボトミングサイクルと位置づけて，超高圧のガスタービンをトッピングに追加するものである。トッピングサイクル部分は高圧のため小型で済み比較的少ない改造で追加できる[16]（図7参照）。

7．将来需要

(1) コジェネの長期予想

資源エネルギー庁は長期エネルギー需要見通し（1990年6月）としてコジェネは2000年に320万KW，2010年に1040万KWを見込んでいる。コジェネ導入実績は1993年3月末で250万KWであり年平均約30万KWであるから，2000年からは相当な急成長を見込んでいることになる。

(2) 天然ガスの確保

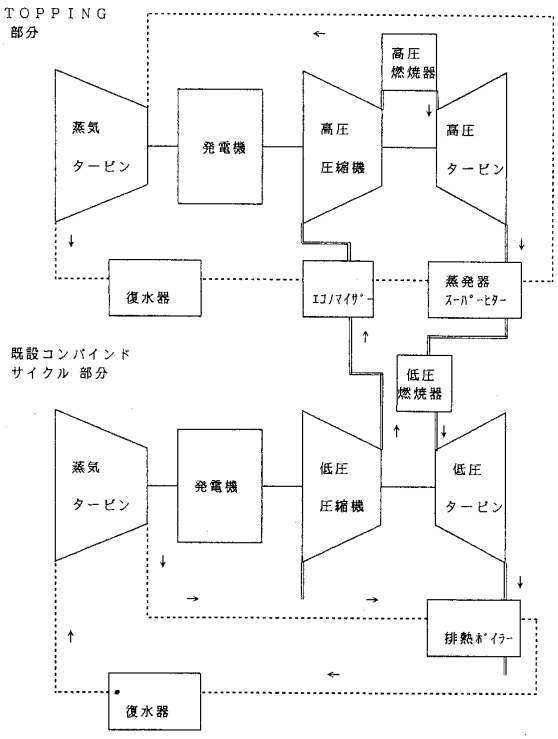


図7 次世代リパワリング

長期需要見通しでは1991年現在で天然ガスの1次エネルギーに占める割合は約10%であるが，これを2010年には12%程度に増やす事になっている。絶対量では約1.6倍に増える（総合エネルギー調査会，長期エネルギー需給見通し）。こうした需要増に対して国土縦貫天然ガスパイプラインや，トランスアジア天然ガスパイプライン構想がある。

(3) 環境調和型コミュニティ構想

供給段階から最終消費段階までシステム全体にまで対象を広げたエネルギー利用効率の向上対策が不可欠と言われ，大規模コジェネ地域熱供給，高効率廃棄物発電，カスケード熱利用型工業団地等の計画を掲げ，国による支援が行われる事になっている。

(4) エネルギーに関する行政観察結果の勧告

1993年8月4日の総務庁発表の『エネルギーに関する行政監査結果』によれば大幅な規制緩和を関係4省に勧告している。その中で，

・コジェネ余剰電力の購入促進
・特定供給のあり方の総合的検討
・発電設備設置に対する届出制度の合理化
・電気卸売り事業に対する規制緩和

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

・ガス事業に対する規制緩和　など
発電事業を促進する方向での勧告が多い。

(5) 卸電気事業の自由化

1995年春から自家発電業者が余剰電力を売り電するだけでなく，売り電を目的とした卸売り発電事業が可能になる（日経新聞3月15日）。

(6) スーパーゴミ発電

エネルギー有効利用と環境問題の両方を解決する施策としてのスーパーゴミ発電は従来のゴミ発電では蒸発管の腐食に問題があり蒸気温度は約300°Cに制限されていたが，ガスタービンの排熱ボイラーでその蒸気をさらに昇温し，蒸気タービンでの発電量を増やそうとするものである。

(7) 石炭利用発電

石炭はその埋蔵量の多い事と地域が分散しておりエネルギー安全確保上で好都合なエネルギーであるが，二酸化炭素，亜硫酸ガスなど大気汚染物質を排出する。ガス化により汚染物質を除去する研究がなされている。IGCC（石炭ガス化複合サイクル発電）は実用化時代に入り，デモンストレーションプラントが建設されている。一方PFBC（加圧流動床燃焼複合発電）も発電プラントの建設がおこなわれており，日本でも通産省の助勢を受けて電源開発の若松石炭利用技術試験所で商用規模の実証機を建設中である[17][18]。

(8) 地球温暖化防止行動計画

国民一人あたりのCO_2排出量を2000年以降1990年の水準に維持することなど国際公約として守らなければならない。地球汚染物質の排出を減らすにはどうしても高効率発電が必要になる。

(9) リパワリング

例えば，従来の事業用火力発電所にTOPPINGサイクルとして，ガスタービン発電を組み込んでリパワリングを行い発電容量を増やす事は，ガスタービンが小型な機械である事から現在の敷地面積で十分に出来る可能性があり，新発電所立地問題を考えなくても電力不足を補う事ができる利点がある。産業用リパワリング研究会（日本ガス協会）の調査では，売電ありの仮定で日本全国でリパワリングによる電力増加量は1750万KWといわれる[19]。原子力発電所17基分に相当する。現在のコジェネの発電能力の7倍になる。

以上のさまざまな事実から，時代のすう勢として，電力需要増は避けがたく，また電力立地が難しい事と送電ロスを減らす意味でも，消費地での分散型発電が多くなるであろう。そして有害物質の排出を減らし，地球環境を破壊しないためには，地球に優しい良質のエネルギーの天然ガスを使用すると同時に発電効率を上げなければならない。またエネルギーセキュリティの考えから石油代替エネルギーとして，石炭エネルギーは重要な地位を占める事になる。

こうした流れに対し国の助勢・法的整備がある。その現れはエネルギーに関する行政監察結果による勧告，それを裏付ける環境調和型コミュニティ構想があり，そして大規模コジェネであり，高効率廃棄物発電であるが，これはとりもなおさずより高効率なガスタービンを用いたコジェネであり，自家発電装置である。

今後，高温化などの技術開発も大いに発達するであろうし，社会がガスタービンを求めている事から，今後のガスタービンの需要は予想外に増えて行く事であろう。

8．あとがき

ガスタービンは原動機として小型軽量であり，高温領域の熱を利用でき，その排ガスの温度レベルも高く有効な排熱利用が図れるので，非常に熱利用の原理にかなった機関である。今後益々その需要は増える物と期待される。

ガスタービンの現状と将来動向をまとめてみたが，需要動向に片寄ってしまったように思う。技術的には既刊のガスタービン学会誌や，本誌でそれぞれの専門家が詳細に論じられているのでそれを参照戴きたい。本文が読者に話題提供でも出来れば幸いである。カタログなど提供戴いた方はここで感謝を表明したい。

紙面の都合でガスタービンの信頼性について論じなかったが，ガスタービンは通常3年間程度の実証運転を経てその信頼性が確認される。一方開発のテンポが速くなり，世の中の要求と開発が同時進行するようになると，信頼性をどう確認していくかが大きな課題になりはしないであろうか。個々には加速試験などが行われるであろうが，信頼性確認の意味で何らかの共通の基準・判断が必要になってくるのではないだろうか。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

参考文献

(1) コージェネレーション研究会, コージェネレーションシステム導入実績表（1993年版）

(2) 日本ガスタービン学会誌 VOL. 21, NO. 8, JUN 1993

(3) TURBOMACHINERY INTERNATIONAL HANDBOOK 1993 VOL. 34, NO. 3

(4) 資源エネルギー庁 2月7日発表 平成5年12月総需要電力量速報

(5) Y. HARA 他5名 Proceedings of Yokohama International Gas Turbine Congress. VOL. 1, (1991) 135-142

(6) 吉田, 日本ガスタービン学会誌 VOL. 20, NO. 80 MAR 1993 4-9

(7) 萬代, 日本ガスタービン学会誌 VOL. 20, NO. 80 MAR. 1993 49-53

(8) 安部, 他 日本機械学会第11回 内燃機関 シンポジウム講演論文集 (1993),415

(9) 吉田, 日本ガスタービン学会誌 VOL. 19, NO. 80 MAR 1993

(10) 塩入, 日本ガスタービン学会誌 VOL. 19, NO. 75 DEC 1991 4-9

(11) コジェネレーションシンポジウム'93 第9回発表抄録集

(12) 吉田, 日本ガスタービン学会誌 VOL. 20, NO. 80 MAR. 1993

(13) 小幡, 日本ガスタービン学会誌 VOL. 20, NO. 80 MAR. 1993

(14) 山脇, 他, 日本ガスタービン学会誌 VOL. 20, NO. 80 MAR. 1993

(15) 火力原子力発電 VOL. 43, NO. 12 DEC. 1929

(16) 竹矢, 日本ガスタービン学会誌 VOL. 20, NO. 79 DEC 1992

(17) D. M. TODD, 他, 日本ガスタービン学会誌 VOL. 21, NO. 81 JUN. 1993 5-15

(18) 小川, 電気評論 1993年11月 30-32

(19) ガス協会, 産業用リパワリング研究会報告書

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

コージェネ用および非常用ガスタービン

㈱新潟鉄工所　木　村　和　男

1．はじめに

近年小型ガスタービンは，他の原動機に比べて小型で振動・騒音が少なく，排気ガスがクリーンであるという特徴により，バブル経済崩壊後の不況期にもかかわらず，比較的順調に生産されている。ここでは小型ガスタービンの主な用途である常用発電用と非常用発電用について，その特徴・使用例を紹介し，今後の動向についても若干ふれてみたい。

まず本ガスタービン学会の統計によれば，1992年の30,000 PS未満の陸舶用ガスタービンの生産内訳は，発電用が台数の99.2%，出力の97.2%を占めている。また比較的最近の5年間について，常用・非常用の出力レンジ別に，その生産動向を調査した結果を図1に示す。特に台数・出力の両面からみると，400～2,000 KWの生産量が多い。これは非常用ガスタービンのニーズが特にこの出力範囲に多い為と考えられる。

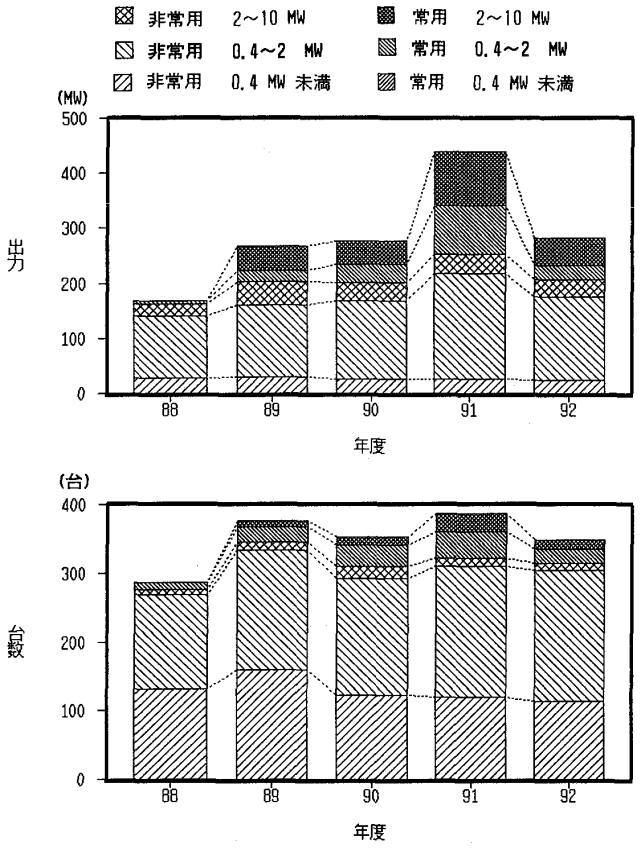


図1　小型ガスタービン生産統計

（平成6年3月28日原稿受付）

なお小型ガスタービンの出力範囲に関する定義は特に無いが，後述する常用小型ガスタービンの規制緩和の適用範囲も考慮して，ここでは10,000 KW未満とした。

2．常用発電用ガスタービン

この範疇では，ピークロード用，ベースロード用があるが，生産割合としてはコージェネレーション用がほとんどである。

コージェネレーション用原動機としては，他にディーゼルエンジン及びガスエンジンがあり，電力の割合を多く必要とする場合には，それらの機関が使用される。これに対し熱源もある程度要する用途にはガスタービンが多用されている。また，NOx，CO，HC，等の燃焼排気物に関してもガスタービンが優れており，そのシェアが増えている。

図1によれば，出力400 KW未満の常用ガスタービンは生産されておらず，その理由は製造的規約から熱効率が低い為需要が少ないと考えられ，後に述べるセラミックガスタービン等の今後の開発が期待される。

常用に適した性能及び信頼性の高いガスタービンの一例として，米国ソラー社製5,000 KW級エンジン“トーラス”の構造を図2に，また主要仕様を表1に示す。この出力クラスでは大型ガスタービンと同様に，圧縮機及びタービンは効率の高い軸流式であり，また燃焼器はアニュラ形ですっきりとしたデザインとなっている。軸受は寿命の制限がない平軸受を採用している。また一軸式と二軸式では，負荷変動時の周波数の安定性から発電用には一軸式が多用されている。特徴としてはタービン入口ガス温度が1010°C（動翼入口）と低目にもかかわらず熱効率は32.0%であり，高い信頼性を維持しながら性能も優れていることで

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

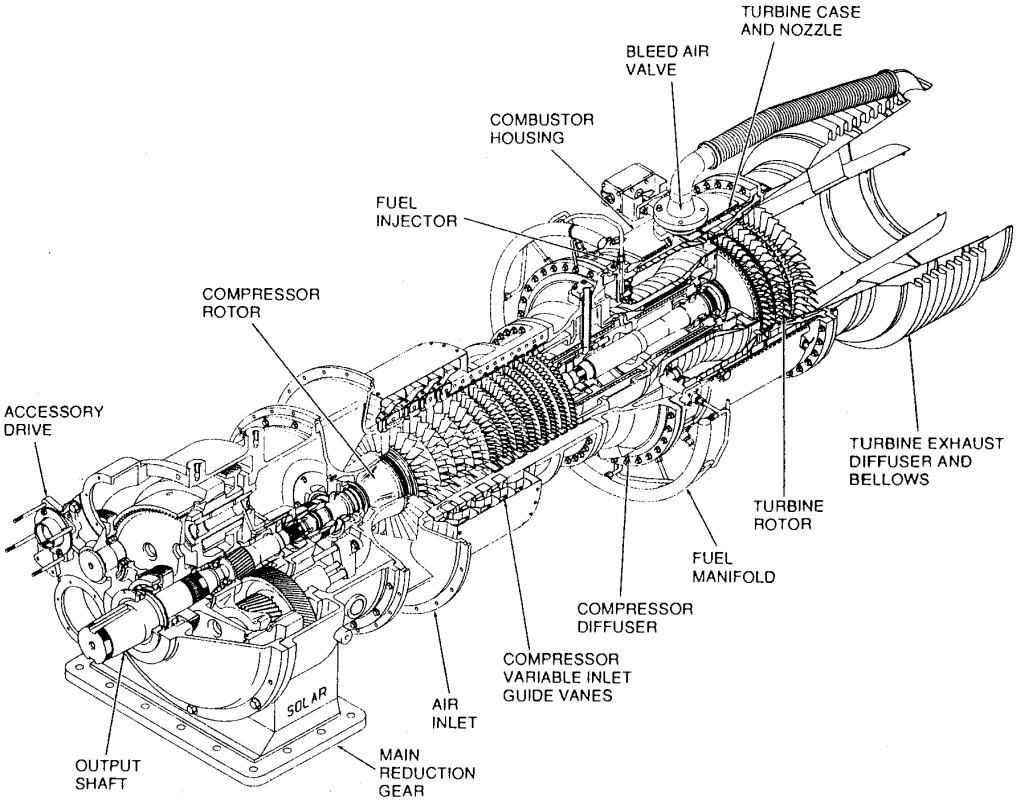


図2 トーラス型ガスタービン構造図

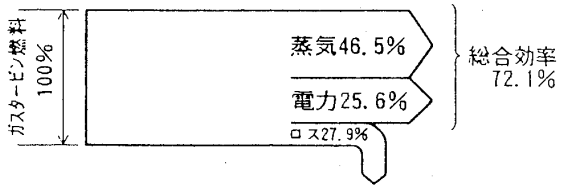
表1 トーラス60型ガスタービン主要仕様

出力 主軸回転数		5，075 KW 14，950 rpm
圧縮機	形式 圧力比 空気流量	軸流12段 11．2 20．9 kg／s
燃焼器	形式 燃料噴射弁個数	アニュラー 12 個
タービン	形式 動翼入口ガス温度	軸流3段 1，010 ℃
熱効率		32．0 %
使用燃料	ガス 液体	都市ガス、天然ガス、プロパン、ブタン 灯油、軽油、A重油

注 性能値はISO条件、天然ガス燃料の場合。

表2 コージェネレーションシステム主要目の1例

(1) 発電システム	
タービン型式	CNT-5000C(1台)
発電機出力	4000kW(1台)
電圧	3300V
回転数	1500rpm
使用燃料	13A都市ガス
(2) ガス昇圧装置	
吸入ガス圧力	5.12～7.75kgf/cm²G
吐出ガス圧力	15.8kgf/cm²G
ガス供給量	1500m³N/h
(3) 熱回収システム	
排ガスボイラ形式	水管式自然循環
蒸気発生量	9200kg/h(1台)
蒸気圧力	10kgf/cm²G
蒸気温度	183.2℃(飽和)
付属装置	エコノマイザ
(4) 排気ガス(NOx)公害対策	水噴射
(5) 設置スペース	320m²(20m×16m), 0.08m²/kW
(6) 熱収支	



ある。

ガスタービンコージェネレーションの特徴は他の原動機に比べて，排気温度が高い為システム熱効率が高いことと，排気ガスがクリーンであることである。システム熱効率はディーゼル及びガスエンジンでは50%程度が多いが，ガスタービンでは70%を越えることが多い。排気ガスについては，ガスタービンが有利であるが，特に NOx 低減については現在のところ水又は蒸気噴射が主流となっている。更に低 NOx 化，コスト低減(特に水

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

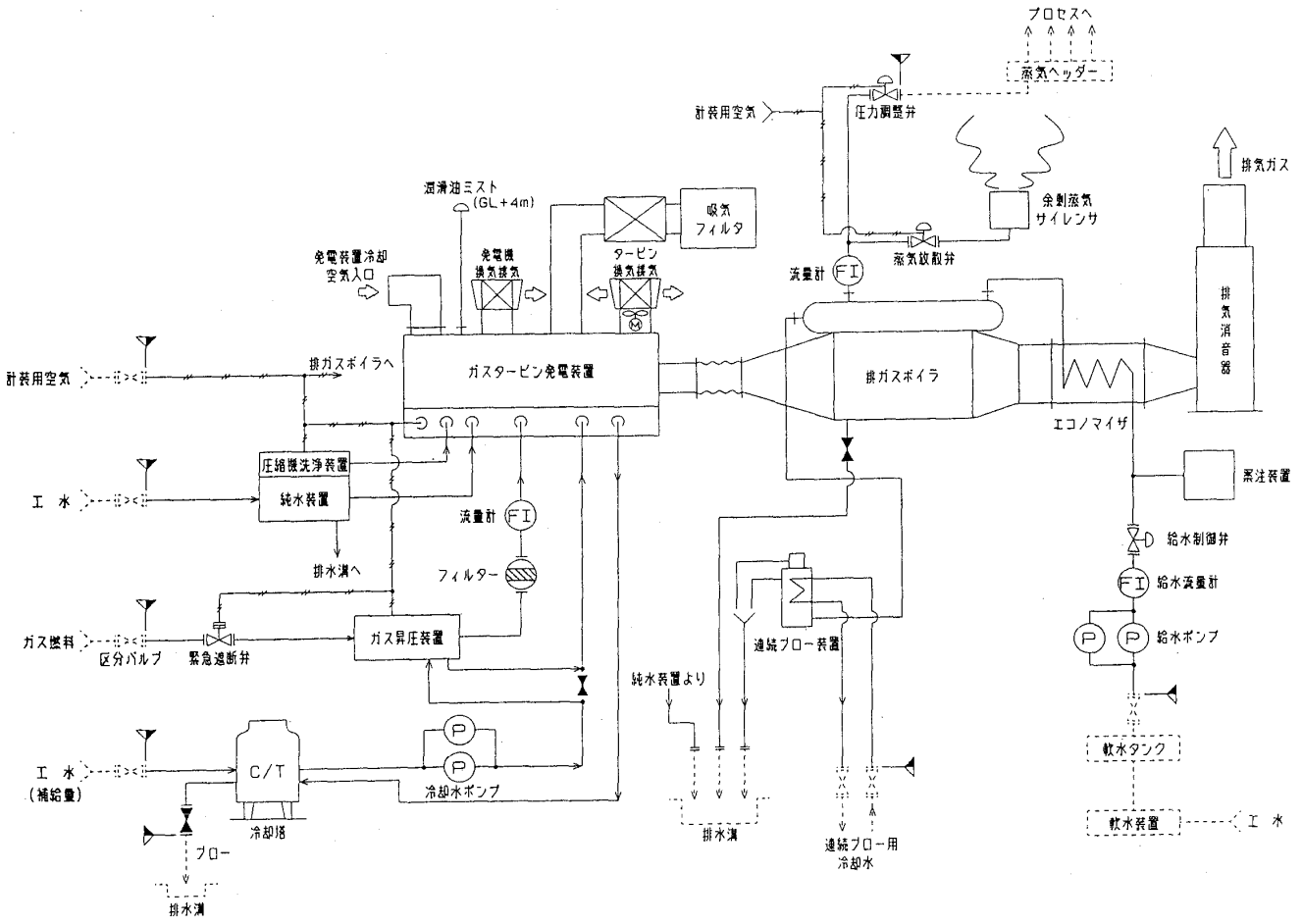


図3 コージェネレーションシステムの1例

又は蒸気噴射のための純水供給に関するコスト）及び熱効率向上を図るためにドライ式低 NOx燃焼器の開発が盛んに行われているが，これについては後で述べる。

ガスタービン・コージェネーレーションシステムの例を表2及び図3に示す。この例ではガスタービンの排熱を蒸気として利用しているが，他に温水としても利用する場合，更に追焚きして蒸気・温水を製造する場合，蒸気タービンを追加してコンバインドサイクルを形成する場合などいろいろな形態がある。

主なユーザーとしては，石油・ガス・洗剤・薬品等の石油・化学メーカーが最も多く，他には自動車・電気・金属・製紙・繊維等のメーカー，地域冷暖房・ホテル等がある。

3．非常用ガスタービン

非常用発電装置については，消防法によりある規模の建築物には，非常用発電装置の設置が義務付けられていることもあり，諸外国よりその需要が多い。ここで非常用発電装置に求められる特性を以下に示す。

① 確実な始動
② 短時間（40秒以内）での始動
③ 低価格
④ コンパクト
⑤ 低騒音・低振動
⑥ メンテナンスが容易
⑦ 良質な電気
⑧ 地震等の災害で損傷しにくいこと

ガスタービンはこのうち，④～⑧において優れており，シェアが増えている。

これらのニーズに適した非常用ガスタービンは，常用ガスタービンとは異なり非常用に適した構造のものが多い。一般的な各要素と構造と特徴を以下に述べる。

(1) 遠心圧縮機
・作動領域が広く，可変翼・ブリード弁を必要としない。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

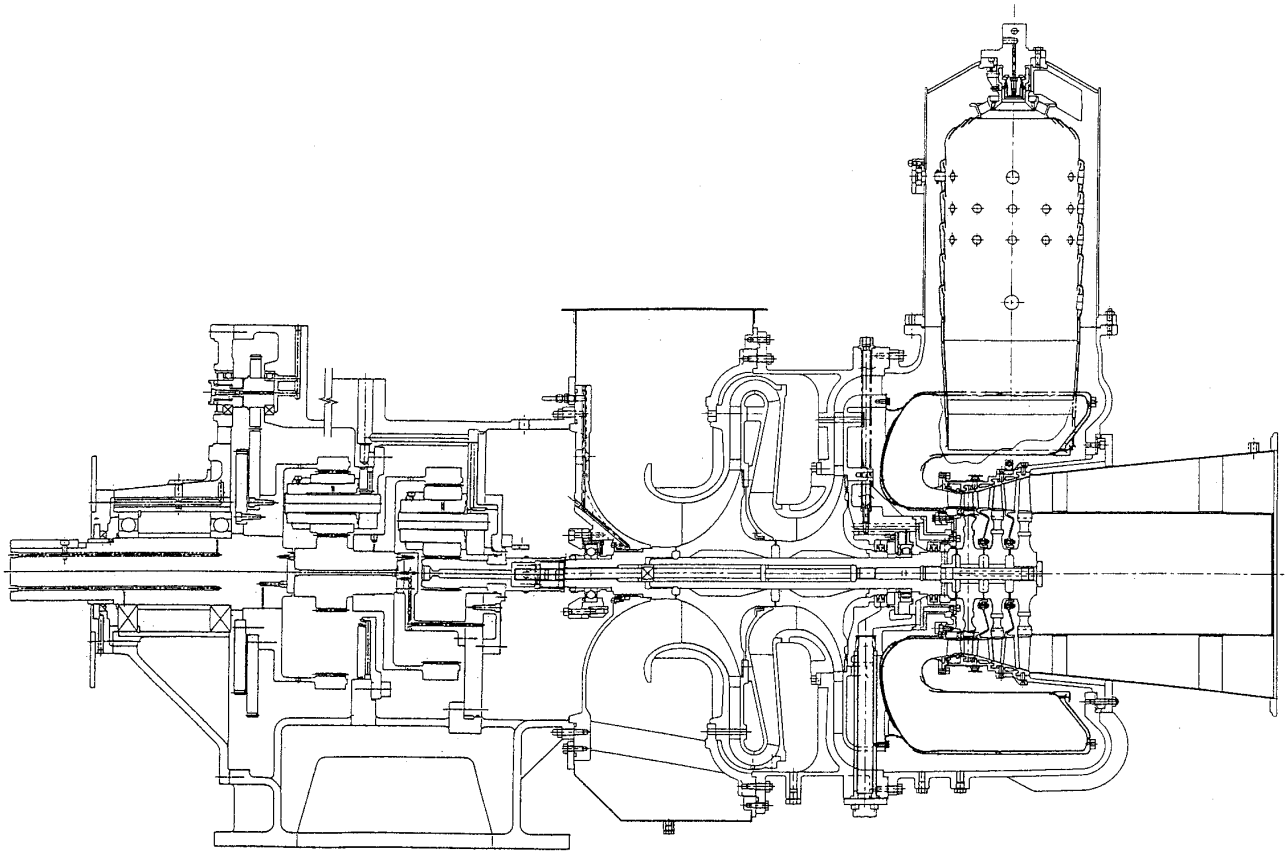


図4 NGT 2 B−S 型ガスタービン断面図

・部品点数が少なく，低コスト

(2) 単筒逆流缶形燃焼器

・燃焼噴射弁個数が少なく低コスト

・高温部品の点検・交換が容易

(3) 軸流タービン

・高効率

・400 KW 未満では製造上の制約からラジアル式タービンも多用されている

(4) 転がり軸受

・始動開始時の潤滑条件の悪い時でも信頼性が高い

・機械損失が少ないので始動用スタータの消費動力が少なくてよい

その一例として弊社製 1600 KW 級ガスタービン“NGT 2 B−S”を図4に示す。

エンジンだけでなく，ポンプ・フィルタ類も減速機に取り付けられており，コンパクトな構造となっている。

またビル等の地価の高い所に設置される為，大出力化も重要である。

遠心圧縮機では CFD の発達により従来設計品よりも大容量化・高効率化が進んでいる。弊社では同一吸込径にて流量が約 15%増加した例がある。また同時に高圧力比域での効率も改善されている。

タービンについては現在一般的に約 1,000 KW 以上の機種では空冷化されており，そのガス温度レベルは年々増加している。

これらにより NGT 2 B−S 型ガスタービンではそのオリジナル機 NGT 2−S 型の 1.6 倍の出力となっている。

4．最近の動向

小型のガスタービンでは，

① 製造・強度上の制約から十分なタービン冷却ができず，ガス温度を上げることができない。

② 同じ理由から圧力比を高くできない。

③ クリアランスロス等の諸損失が比較的大きい。

等の制約により大型ガスタービンに比べ熱効率が低い。しかし，①については現在，セラミックガスタービンプロジェクトにより開発が進められて

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

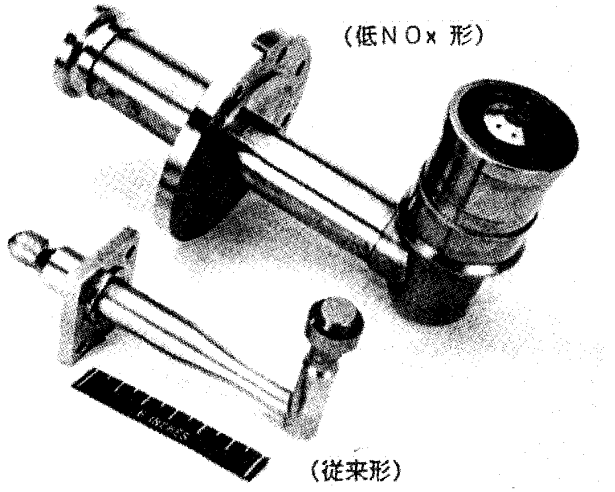


図5 ドライ式低 NOx 燃焼器の燃焼噴射弁

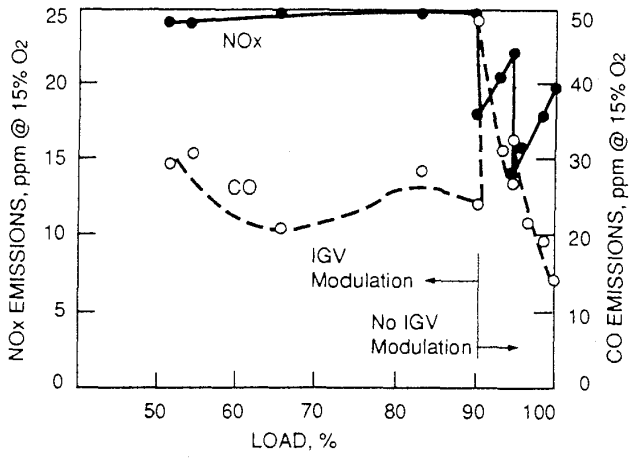


図6 セントール H 型ガスタービンの NOx 値
(ドライ式低 NOx 燃焼器 SoLo NOx 使用時)

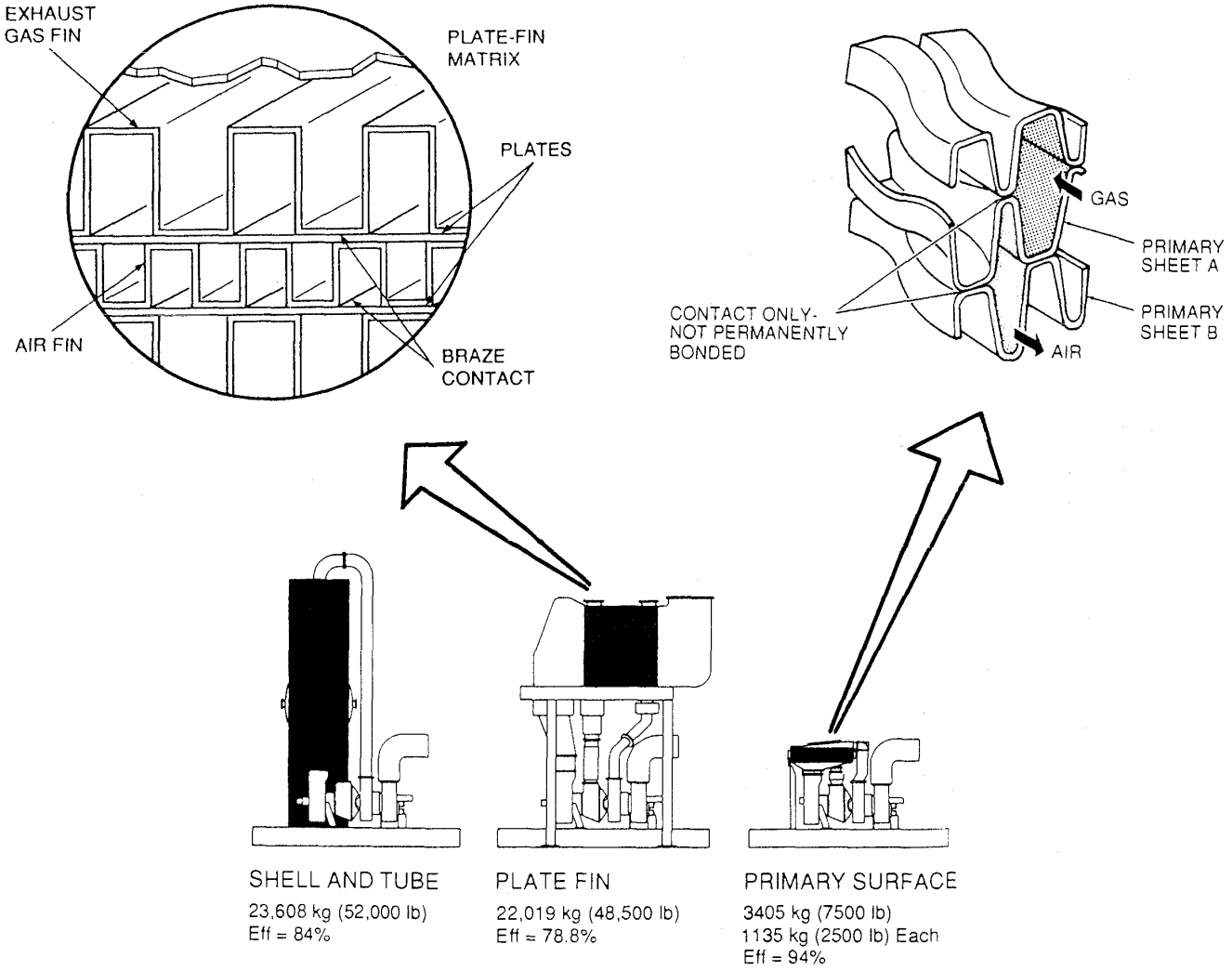


図7 再生器用熱交換器の発達

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/01

おり本誌でも何回か紹介されているのでここでは割愛する。

(1) 性能向上

トーラス型ガスタービンは約2年間に熱効率が2.6%向上しているが，これには以下に述べる改良が行われている。

① 圧縮機

・第1段動翼の運転時の捩じれの考慮
・チップクリアランス低減
・可変翼角度最適化

② タービン

・加工精度向上によるチップクリアランス低減・冷却空気量低減
・排気ディフューザの形状改良による効率改善

(2) ドライ式低 NOx 燃焼器

希薄予混合式の開発が最も進んでおり，ソラー社で実用化された燃焼器（SoLo NOx と称する。）の燃焼噴射弁モジュールを，従来形と比較して図5に示す。予混合域を形成するためと，スワラー流入空気を制御するために，従来形より大きくなっている。

また，出力と NOx 値及び NOx 制御機構の動作状態を図5に示す。本ガスタービンは1軸式と2軸式があり，図6は前者の場合である。負荷率90%以上ではスワラー流入空気量の制御を2段階に分けて行い，90%未満では更に圧縮機可変翼の制御を併用して空気量の調整を行っている。これにより全負荷域において NOx 値は25 ppm 以下，

表3 小型ガスタービン発電設備の規制緩和概略

項目			従来規定	改正後
工事計画	設置	発電所	出力に関係無く 認可申請	10,000kW未満 事前届出 10,000kW以上 認可申請
	変更	発電設備		
		発電設備以外	設置・改造 認可申請 取替・修理 事前届出	設置・改造・修理 事前届出
	記載事項		別表3による。	別表3一部改正 認定品による合理化
	添付書類		別表3による。	認定品による合理化
使用前検査	工事中検査		車室の下半分の据付完了時	認定品は省略とし、全工事完了時に記録確認
	工事完了検査		工事の計画にかかる全ての工事が完了した時	認定品は検査項目の一部実施とする。
定期検査	普通稼働		1年を経過した日の前後1月を超えない時期に、12月を限度として延長できる。	同時期に、24月を限度として延長できる。
	予備機使用		使用不可。	使用可。但し認定品に限る。
技術基準	電技		現行規定	常時監視方法の一部見直し
	火技		現行規定	潤滑油装置の一部改正
主任技術者	小規模		出力500kW 未満の発電所は委託契約できる。	出力500kW 未満の発電所は第1種専門技術者の資格者を選任許可の資格者とする。
	一般		選任する。	第1種専門技術者の資格者を選任許可の資格者とする。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05

CO 値は 50 ppm 以下 ($O_2$15%換算値) を実現している。

なお液体燃料の場合，予混合過程の前あるいはそれと平行して予蒸発過程が必要であるが，燃料の炭化及び堆積と逆火の問題があり，実用化には至っていないようである。

(3) 再生器の小型化

特に出力約 1000 KW 未満の小型のガスタービンでは，製造上の制約等により単純サイクルでの効率を高くすることはできない為，再生器の使用が有効と考えられる。従来の再生器用熱交換器は非常に大きい為一般的には使用されていなかった。しかしながら近年図 7 に示す様にコンパクトな製品が開発されている。本図のプライマリーサーフェス形は従来のプレートフィン形の約 1/10 の体積となっており，現在軍用等の特殊用途に使われているが，今後コージェネレーション等の常用小型ガスタービン用として普及してゆくものと考えられる。

5．常用小型ガスタービン発電設備の規制緩和

コージェネレーション設備導入促進の為，平成 5 年 8 月から出力 10,000 KW 未満を対象に規制が緩和された。

主な要点は，

① 工事計画，使用前検査の簡略化
② 技術基準の簡略化
③ 定期点検の簡略化
④ 主任技術者の資格緩和

であって表 3 に従来との対比を示す。

またその裏付けとして，㈳日本内燃力発電協会による製造者及び点検者に対する工場認定制度及び，ガスタービン発電装置等に対する形式認定制度が実施された。

ユーザサイドのメリットとしては

① 工事期間の短縮
② 定期点検期間の短縮と，リース等の代替機による運転継続
③ 管理内容の簡略化

などがあり，従来より大いに利用しやすくなっており，これにより今後いっそう需要が増加するものと思われる。

6．おわりに

ガスタービンはクリーンな排気ガス，コージェネレーションシステムとしての高い熱効率等の長所を伸ばし，ディーゼル機関に比べて低いエンジン単体の熱効率を改善することにより，更に重要が増加するものと予想される。

最後に内容が特定のガスタービンに偏ってしまったが，筆者の力不足といこうとで御容赦願いたい。

参考文献

(1) Production Statisics Commities, Bulletin of GTSJ (1993), P75
(2) 電気日日新聞社, 重電機器フェア, (1989-93)

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

小型ガスタービンコージェネレーションシステムの開発

三菱重工業㈱　高砂製作所　長谷川　直　幹
〃　高砂研究所　森　秀　隆
〃　高砂研究所　山　下　勝　也

1．はじめに

石油燃料の枯渇及びCO_2による地球温暖化が問題視されている現在，石油代替エネルギーを用いたエネルギー効率の高いシステムが望まれている。特に中小企業におけるエネルギー消費形態としては，照明・機械駆動用の電力，暖房，給湯，事業用の熱利用があるが，これは各々電力会社からの買電，化石燃料の燃焼によって得ているのが現状である。電気及び熱を同時供給する所謂コージェネレーションシステムは発電に費した残りのエネルギーを利用して熱供給を行うため，総合エネルギー効率が高いことが特徴であり，燃料使用量削減の観点から注目されているシステムである。一方現在主流である石油は埋蔵量に限界があり，石油代替燃料によるコージェネレーションシステムの開発が急務である。これらの分野において，事業用等比較的規模の大きい分野についてはガス会社等各々独自に研究開発が進められ普及促進がなされているが，個々のエネルギー消費量の小さい分野に対しては研究開発が十分に進められていないのが現状である。

そこで，これらエネルギー消費量の小さい分野に適合するシステムとして，液体燃料，ガス燃料，種々の燃料に対応可能なガスタービンエンジンを取りあげ，これに新材料(ODS 合金)，高周波発電機，磁気軸受，再生熱交換器，故障診断システムといった最新の技術を取り入れた小型のコージェネレーションシステムを製作した。

2．システム仕様

小型ガスタービンコージェネレーションシステムの基本構成（ガスタービン，圧縮機，高周波発電機，再生器，温水ボイラ，制御装置等）を図１に示す。システム全体は写真１に示す様にひとつのパッケージの中に組み込まれている。

またシステムの主要諸元を表１に示す。本システムでは，再生器への圧縮空気量を変えることに

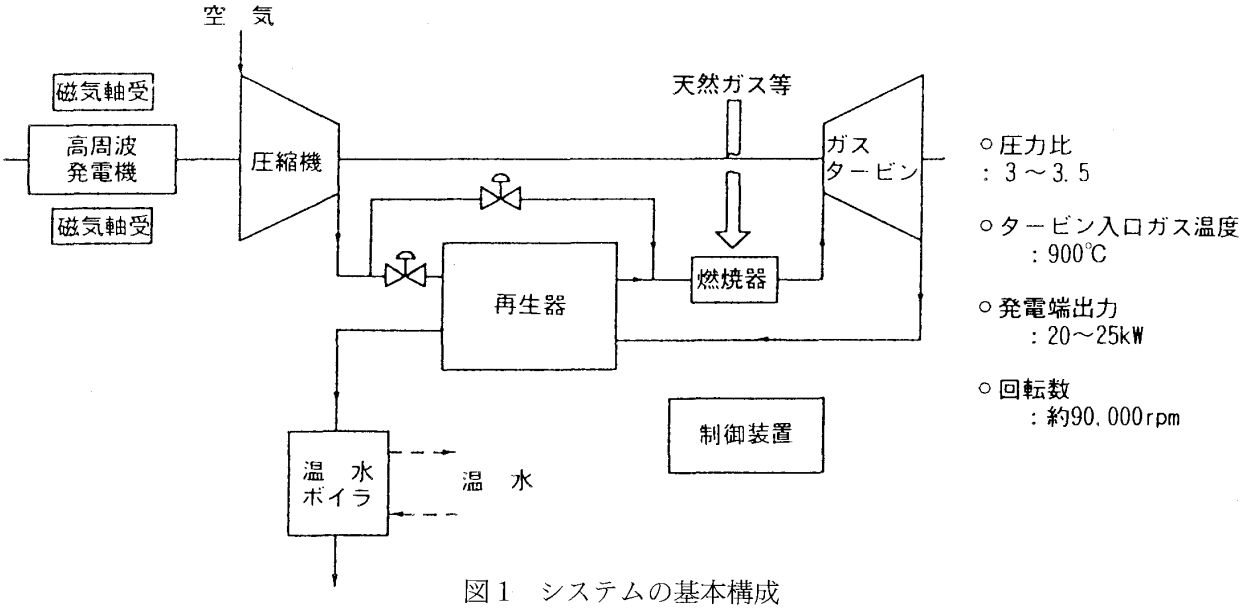


図１　システムの基本構成

(平成６年３月28日原稿受付)

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

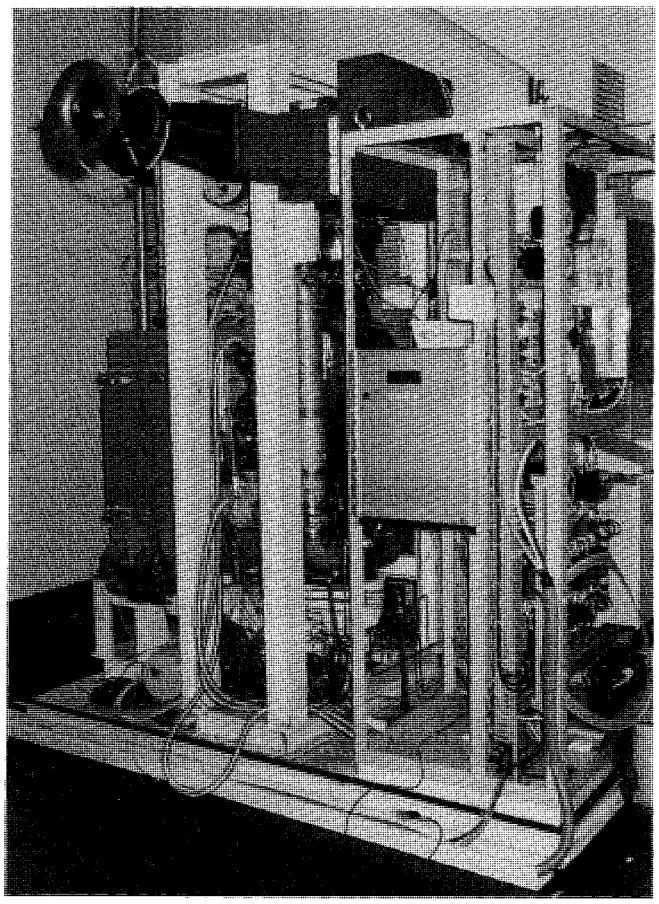


写真1 パッケージ内のシステム外観
〔2480 W×1300 L×2690 H〕

表1 システムの主要諸元

項目		単位	運転モード	
			再生器OFF (圧縮空気量0%)	再生器ON (圧縮空気量100%)
定格発電端出力		kW	23.4	21.6
定格熱供給量 温水入口温度83°C $\Delta T=5$°C		kcal/h	150.660	52.140
燃料(メタン)消費量		kg/h	19.4	8.8
効率(%)	発電	%	9.0	18.1
	熱供給	%	66.4	50.4
	総合	%	75.4	68.5
熱電比		−	7.4	2.8
発電機単体仕様	型式	−	つめ型高周波同期発電機	
	回転数	rpm	90.500	
	出力	kW	26.3	
	電圧/電流	V/A	210./77.	
	効率	%	90	
	磁気軸受損失	W	約400	
起動方式		−	起動用インバータ (起動時最大電流AC 200 V×150 A)	

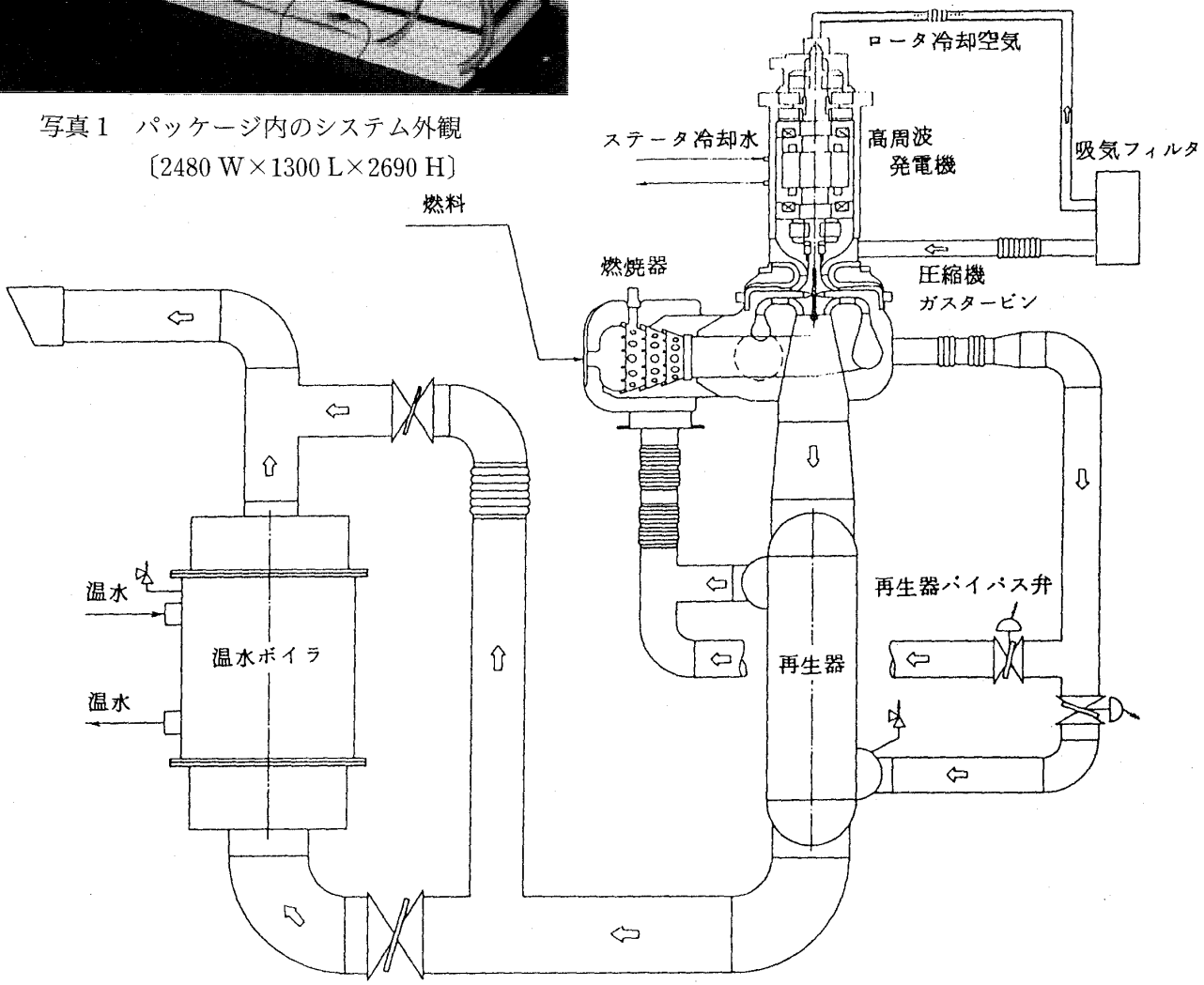


図2 システムの全体構成

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

よって熱電比を変えることが可能な為，それぞれの運転モードにおける仕様を示した。

3．システム構成要素

3.1 全体構成

システムの全体構成を図2に示す。

小型ガスタービンには同軸で直結した高周波発電機が取り付けられ，その軸受にはスラスト方向，ラジアル方向共に磁気軸受を用いて軸受損失の低減を図っている。また，軸系を鉛直方向に接続し，高周波発電機を上方よりバネで支持することにより運転時の熱伸びを鉛直方向にフリーで逃がす構造としている。高周波発電機のロータの冷却には空冷方式を，ステータの冷却には水冷方式を採用している。吸気フィルタ（サイレンサ）より吸引した空気は圧縮機にて圧縮され再生器に流入，排ガスと熱交換し昇温されて燃焼器に入る。また，再生器に流入する圧縮空気の系統にはバイパスラインを設け，排ガスからの熱回収量を可変とする構造としている。

燃焼器に流入する燃料は，再生器によって加温された圧縮空気と混合，燃焼してガスタービンを駆動した後，排ガスは再生器を通過し温水ボイラへ導かれパッケージの外に排出される。

3.2 ガスタービン本体

本コージェネレーションシステムのガスタービンは，単段遠心圧縮機と単段ラジアルタービンを組み合わせたものであるが，本システムに適合させる為航空用ガスタービンを改造して使用した。

また，システムの熱効率を高めるためには，タービン入口温度を高める必要があるので，タービン静翼材料として耐熱性に優れるODS合金（MA 754）を使用した。ODS合金とは酸化物分散強化型合金（Oxide Dispersion Strengthened Alloy）の略であり，900°C以上の高温でも安定した極微細な酸化物（Y_2O_3）をマトリックス中に均一に分散させたものである。図3は従来合金とのクリープ破断強度を比較したものである。

写真2にガスタービン本体外観を，写真3にMA 754合金を用いた静翼を示す。

3.3 燃焼器

本ガスタービンに使用する燃焼器は，出口ガス温度900°Cと一定の条件で，再生器の使用有無により燃焼器入口空気温度が約180°Cから580°Cと

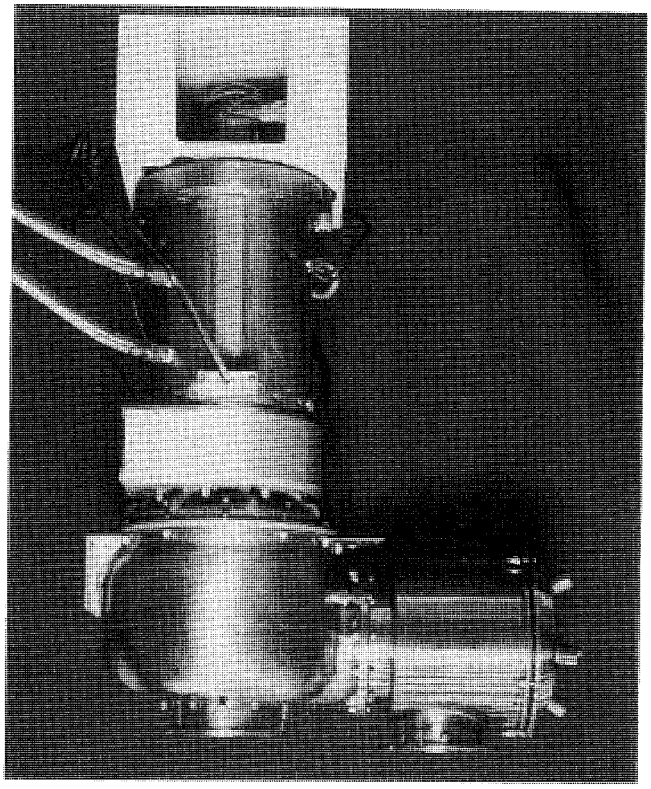


写真2 ガスタービン本体概観

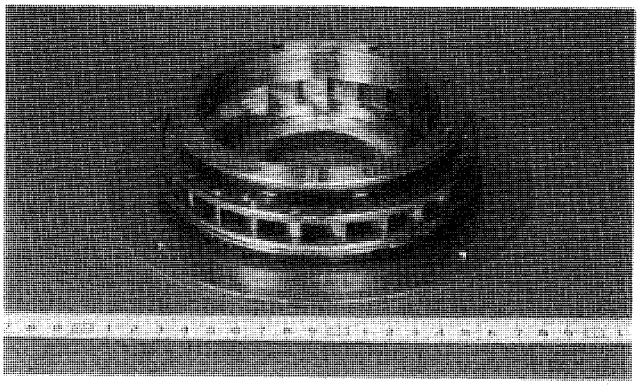


写真3 ODS合金を用いたガスタービン静翼

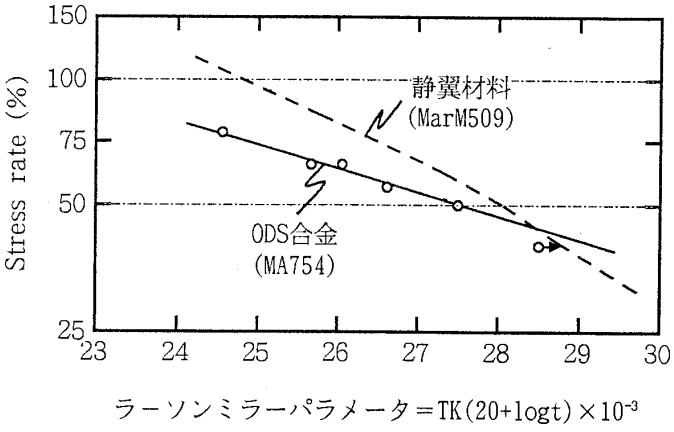


図3 ODS合金のクリープ破断強さ

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

大幅に変化する。これに伴って燃料空気比も再生器無（入口空気温度 180°C）にて約 0.9〜1.9 wt，再生器有（入口空気温度 max 580°C）にて約 0.5〜0.8 wt と変化し，従来のガスタービン用燃焼器と比較して広範囲での安定燃焼が要求された。

写真 4 に燃焼器外観，図 4 に失火限界，図 5 に NOx 濃度を示す。

写真 4　燃焼器外観

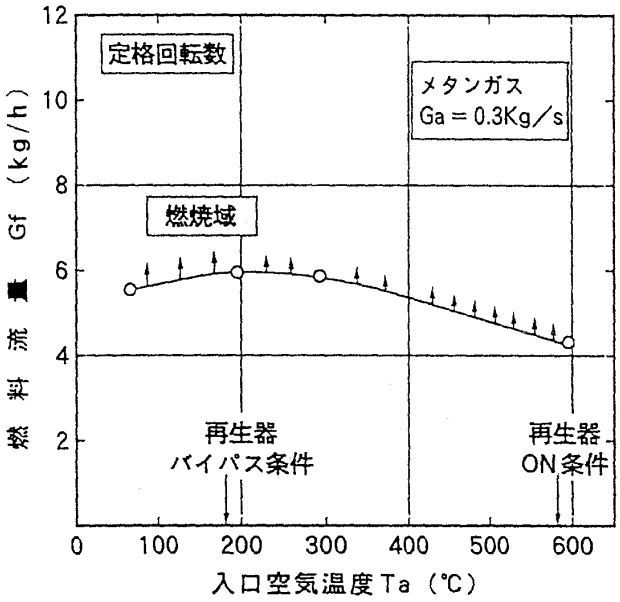


図 4　失火限界

3.4　高周波発電機及び磁気軸受

小型ガスタービン発電機システムとしては，通常は図 6 に示す様に，高速のガスタービンから歯車により大幅減速し，商用回転数に対応する回転数の発電機を用いて発電する方式がとられる。この方式はコストや実績上は有利であるが，歯車減速機の大きさや騒音などが問題になりやすく，軸受や歯車の馬力損失も大きい。そこで，減速機を省略した下記の特徴をもつシステムを開発した。

特徴をまとめると次の通りである。

(1)　高周波発電機とインバータの採用により超高速や回転数変化が自由となり歯車減速機が不要となった。これにより大幅コンパクト化が可能となった。

(2)　磁気軸受の採用により，超高速化が可能となり，軸受損失の低減やメンテナンスフリーを実現した。

これらの特徴をもつシステムを実現するためには，軸系の最適な設計が必要である。設計上の特徴と技術的ポイントを以下に示す。

(1)　設計上の特徴

①　超高速回転（周波約 300 m/s）

②　回転子と固定子のしゅう動部のないコイルレス，ブラシレス構造

③　低損失，超高速回転可能な軸受

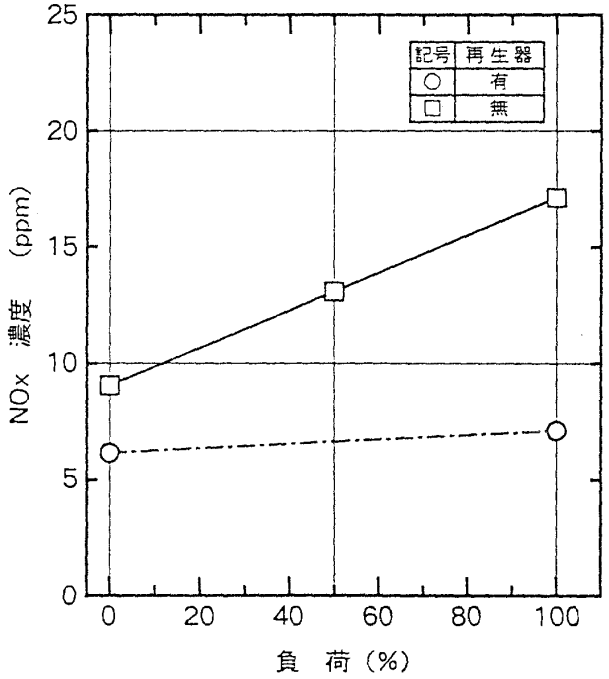


図 5　NOx 濃度

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

④ コンパクトな起動装置

(2) 特徴実現のための技術的ポイント

① つめ型同期発電機の採用

図7にロータの構造を示すが，ソリッドロータのため，耐遠心強度が極めて高く，かつブラシ等のしゅう動部なしで出力電圧の調製が可能である。

② 磁気軸受の適用

・磁気軸受の適用により超高速が可能となった。

・軸受損失は大幅に低減。(油軸受＝約2kW，磁気軸受＝約400 W)

・軸系と軸変動特性の最適化により低振動，低騒音を実現。

③ インバータによる直接起動方式の採用

・起動用インバータにより発電機を電動機として直接駆動し，自立速度まで昇速する。

これにより複雑な補機は一切不要となった。

④システム全体の冷却

・発電機のステータ冷却には水冷方式を，ロータ冷却には軸端に取付けた冷却用コンプレッサによる空冷方式を採用した。

図8に高周波発電機の断面図を，図9に発電機システム構成を示す。

(3) 軸系と磁気軸受

① 軸系動特性の最適化

ガスタービンの設計により最適な回転数が決まるので，これを実現するために発電機を含めた軸系の振動特性を決定する必要がある。本機はガスタービンがオーバーハング構造のため，その最適化は非常に難しいが3次モードを越えた設計を実現している。いずれの危険速度についても振動感度が過大とならない様に配慮している。

② 磁気軸受の最適化

コンパクトなガスタービン発電機を実現するために，磁気軸受は極力コンパクトになる様に検討した。図10に磁気軸受システムの概念図を示す。表2に今回採用した磁気軸受の仕様を示した。

また，磁気軸受のバックアップシステムとして

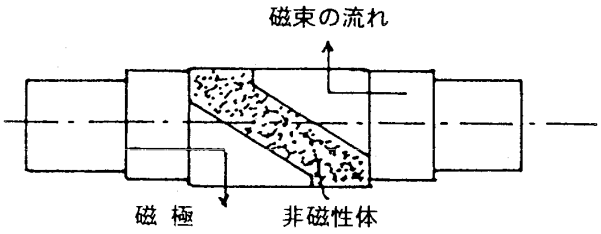


図7 ロータの構造

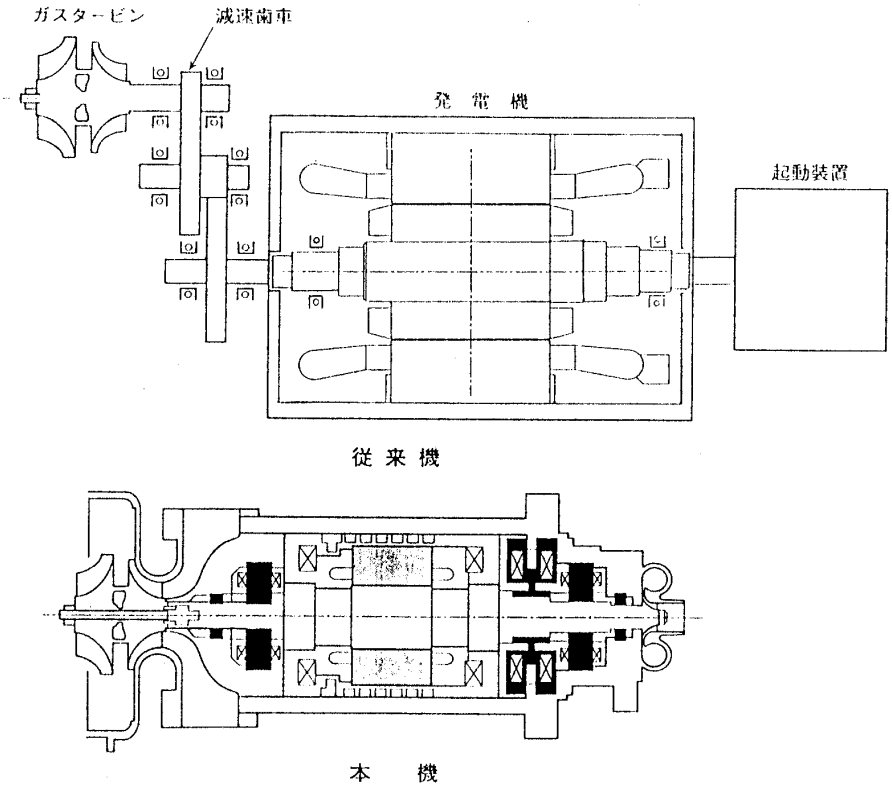


図6 発電システムの比較

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

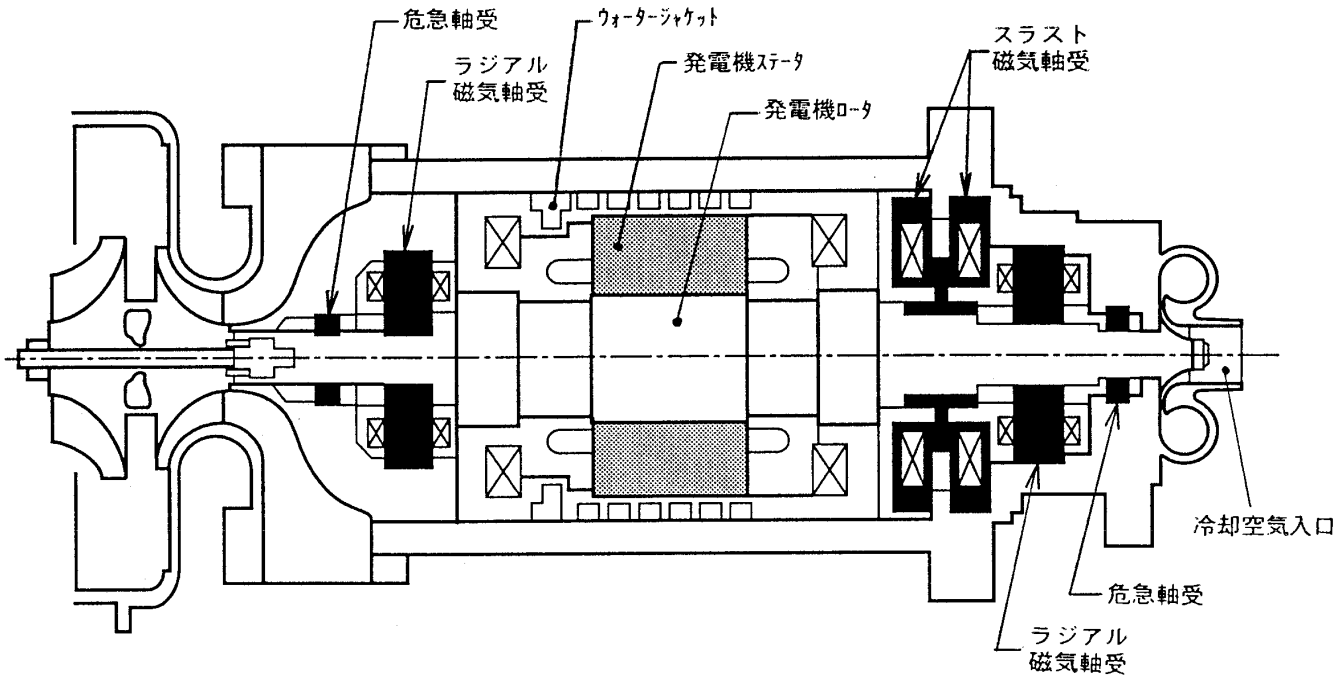


図 8 高周波発電機断面図

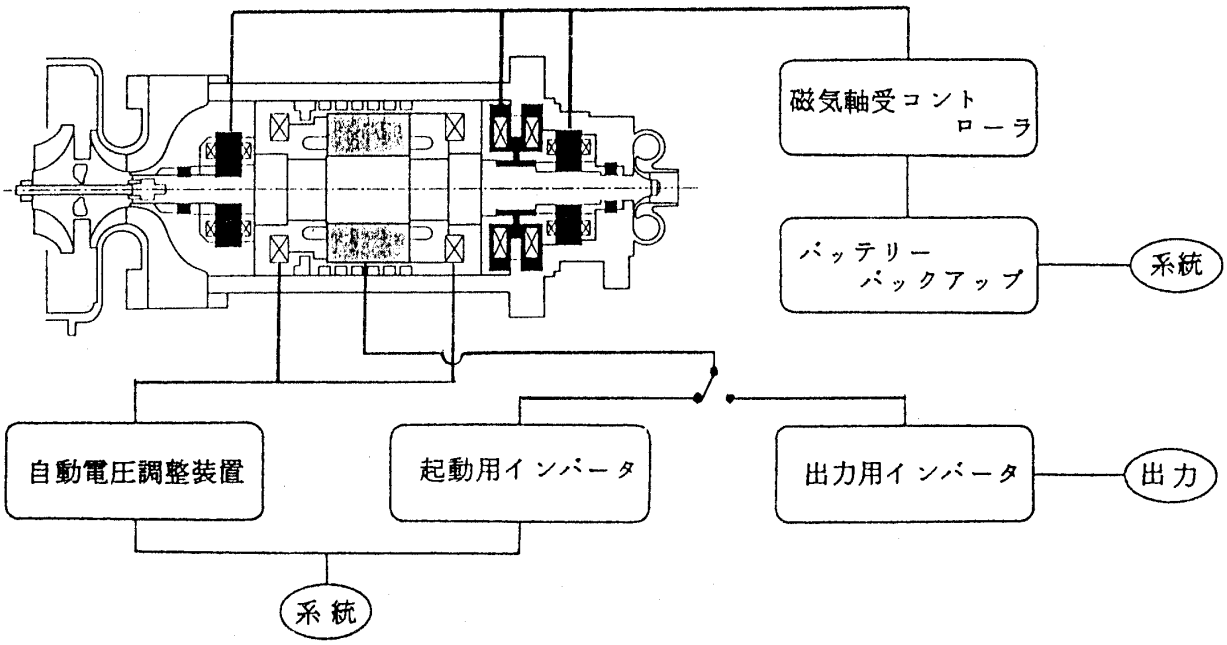


図 9 発電機システム構成

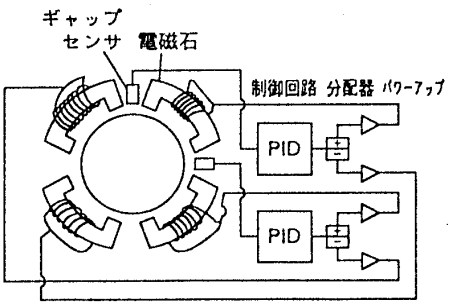


図 10 磁気軸受システム概念図

表 2 磁気軸受の仕様

	ラジアル軸受	スラスト軸受
ステータ		外側磁極/内側磁極
外径 (mm)	ϕ 100	ϕ 88/ϕ 70
内径 (mm)	ϕ 42.6	ϕ 80.4/ϕ 60.2
ギャップ (mm)	0.3	0.5
負荷能力 (kgf)	20	100

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

は，バッテリーバックアップと危急軸受を持っており，危急軸受には高速化が可能なセラミックボールベアリングを採用している。

図11は起動時の軸振動応答をモード円で示したものであり，軸，軸受系の振動特性が良好なことを示している。

3.5 再生器・温水ボイラ

本システムに用いる再生器は，排ガスの熱量を圧縮空気の加熱源として回収し発電効率を向上させると共に，再生器バイパス弁の運用により温水ボイラへの排ガス温度すなわち熱負荷を変化させる機能を有するものである。

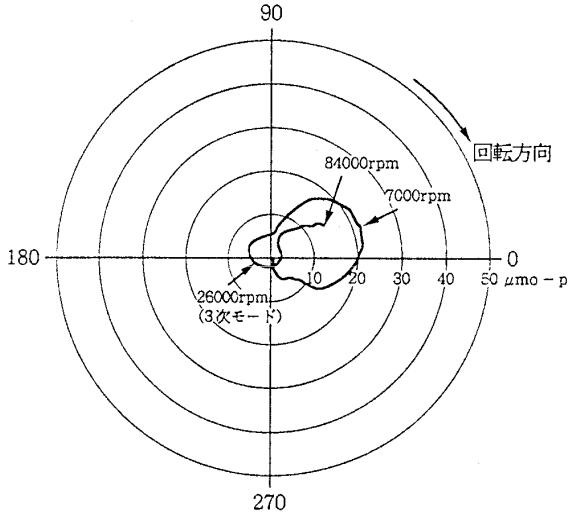


図11 起動時の軸振動応答

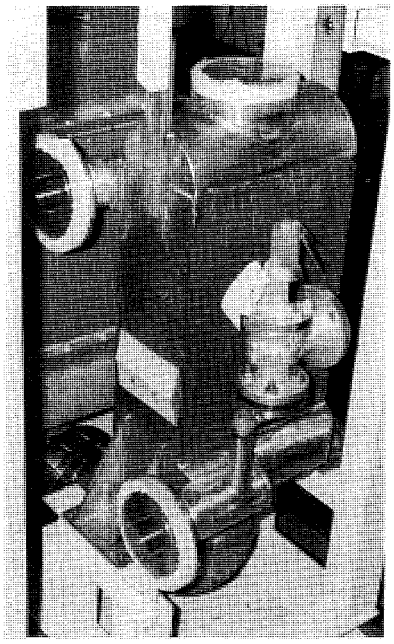


写真5 再生器外観

この熱交換器の選定にあたっては，(i)ガス－ガスの熱交換であり，伝熱面の工夫による熱伝達率の向上があまり期待できないこと（体積あたりの伝熱面積を増加する必要あり）

(ii) 温度効率が80%と比較的高いこと (iii) 排ガス温度が約700℃と高温であることから，単体体積あたりの伝熱面積が多いコルゲートフィンを用いた対向流型の熱交換器とし，フィン材料としてはSUS 304を選定した。

表3に再生器の仕様を，写真5に再生器外観を示す。

またボイラは民生分野での需要の多くが温水である為温水ボイラとした。

3.6 制御システム

(1) 仕　　様

本システムの制御系は，運転を可能な限り自動化し，かつ操作も簡便であることを考慮して設計することとし，これに対応するためにワンタッチ式自動制御システムを開発した。

この自動制御システムは，使用者が指導ボタンを押すだけで運転を開始し，次の諸機能を果たすものとした。

- ○ 自動起動・停止
- ○ 通常運転制御
- ○ 警　　報
- ○ 安全保護（異常時自動停止）
- ○ 異常診断（液晶画面に表示）

表3 再生器の仕様

型　　式		コルゲートフィン型
再生器入口出口温度 (℃)	空気側	183./583.
	排ガス側	683./302.
入口圧力 (atg)	空気側	3.43
	排ガス側	1.14
流　量 (kg/h)	空気側	1115
	排ガス側	1123
圧力損失 (mmH_2O)	空気側	約1000
	排ガス側	約400
対数平均温度差 (℃)		109.
交換熱量 (kcal/h)		114.200
コルゲートフィン仕様	空気側	SUS 304×0.1t
	排ガス側	SUS 304×0.2t
胴本体材料		SUS 304
重量 (kg)		約350

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

本機のような小型発電機では，当面電力系統と連系せず単独運転することを前提に，大幅に変動する電力負荷に追従して運転可能であることとし，そこで本機自体が単体で次の制御機能を有するものとして設計した。

○ ガスタービン速度一定

○ 発電周波数一定

○ 発電電圧一定

加えて本機はコージェネレーションシステムとして温水を発生するが，そこでも変動する温水負荷と追従して運転可能であることが要求される。よって本機自体が次の制御機能を有するものとして設計した。

○ 温水温度一定

尚，制御系は本システムの動特性シュミレーションを実施して制御性を評価しながら進め，熱電比の連続的可変にかかわる最適な制御及び各機器の制御を両立できる様に調整を施した。

4．システム特性

本システムでは，需要に応じて発電量，熱供給量の可変運転が可能であり，発電量の変化については燃料量制御で，また熱供給量については，再生器バイパス弁の開度制御にて対応する。

図12は本システムの電力・熱供給範囲を示すものである。

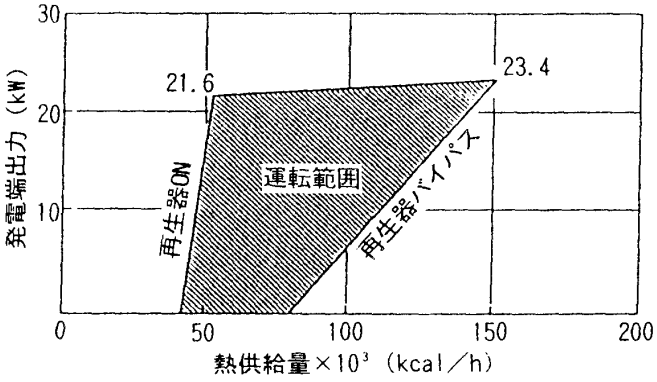


図12 システムの電力・熱供給範囲

5．まとめ

25 kW級の小型ガスタービンエンジンにODS合金，高周波発電機，磁気軸受，再生熱交換器等の最新の要素技術を組み込んだコージェネレーションシステムを製作した。

尚，本開発は中小企業事業団殿委託研究（開発テーマ: 小型ガスタービンコージェネレーションシステム）として平成元年度より3年間実施したものである。

検討委員会をはじめ関係各位より多くの御指導と御協力を頂きましたこと，ここにあらためて感謝申し上げます。

以上

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

乾式低NOx型1000kW級ガスタービンを用いた地域冷暖房の実施例

サッポロビール開発㈱　坂田晴治郎
北海道ガス㈱　中村雄一
北海道ガス㈱　橋本清
北海道ガス㈱　永田聖司
三井造船㈱　安部利男
三井造船㈱　武部吉治

1．はじめに

近年大気汚染に対する環境保全，エネルギーの有効利用，経済性等から国内におけるガスタービンコージェネレーションの普及は目覚ましいものがある。その中でも都市部においてはコージェネレーション設備を地域冷暖房と組み合わせることにより効率的な熱収支の運用を目指す動向が顕著になってきている。

ここでは札幌市内に建設された「生活工房・サッポロファクトリー」におけるガスタービンコージェネレーション設備を組み込んだ地域冷暖房の実施例並びに環境保全対策として同コージェネレーション設備に小型ガスタービンとしては国内で初めて採用された乾式法による低NOx化実施例について紹介する。

2．地域冷暖房の特長

地域冷暖房については欧米ではすでに長い歴史があるが，国内では昭和45年に大阪の千里地区を，北海道では昭和46年に㈱北海道熱供給公社が札幌市の都心部を対象にしたのが始まりである。地域冷暖房には一般的に下記のメリットが挙げられる。

1）各建物ごとの冷凍機，ボイラ等の熱源設備が不要で，空きスペースの有効利用が図れる。
2）設備の集中化及び集中管理により，設備費及び運転・保全要員の削減ができる。
3）24時間体制での運転，管理による安定供給ができる。
4）石油代替エネルギー使用によるエネルギー源の多様化が図れる。
5）受入施設は，税制上の特別措置や低金利の融資が受けられる。
6）各建物ごとの煙突や冷却塔が不要となり，都市美観の向上が図れる。

3．「生活工房・サッポロファクトリー」におけるコージェネレーション設備を組み込んだ地域冷暖房の実施例（図1）

サッポロビール㈱札幌工場旧第一製造所は，明治9年の開拓使麦酒醸造所以来日本人の手による最古のビール工場として札幌の発展と共に歩んできたが，その後の新工場完成に伴い閉鎖することになった。サッポロファクトリーは，その跡地を利用し，商業飲食施設・ホテル・スポーツクラブ・企業ショールーム・ホールさらには敷地内から湧出した温泉を利用した温泉アミューズメント施設等数々の施設に一変させた複合商業施設である。平成2年11月に工事に着工し，平成5年4月9日オープンした。その規模は敷地面積約41,200 m^{2}に6棟延床面積約122,400 m^{2}となっている。

3.1　コージェネレーションシステムの概要

都市ガス（6 B: 表1）を燃料とする1000 kW級ガスタービンにて電力を発生させ，その排ガスを廃熱ボイラに導き蒸気を，更にその後温水を発生させ，地域冷暖房に利用するシステムとなっている。

1）電　　力

ガスタービン発電設備は昼間ほぼ全負荷にて運転されるものとし，原則夜間は停止する。道内では初めて，系統側の保守や事故では全停電しない信頼度の高い電源供給方式であるスポットネットワーク受電方式と連系を実施し，信頼性の高い電源の確保を実現している。

（平成6年3月28日原稿受付）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

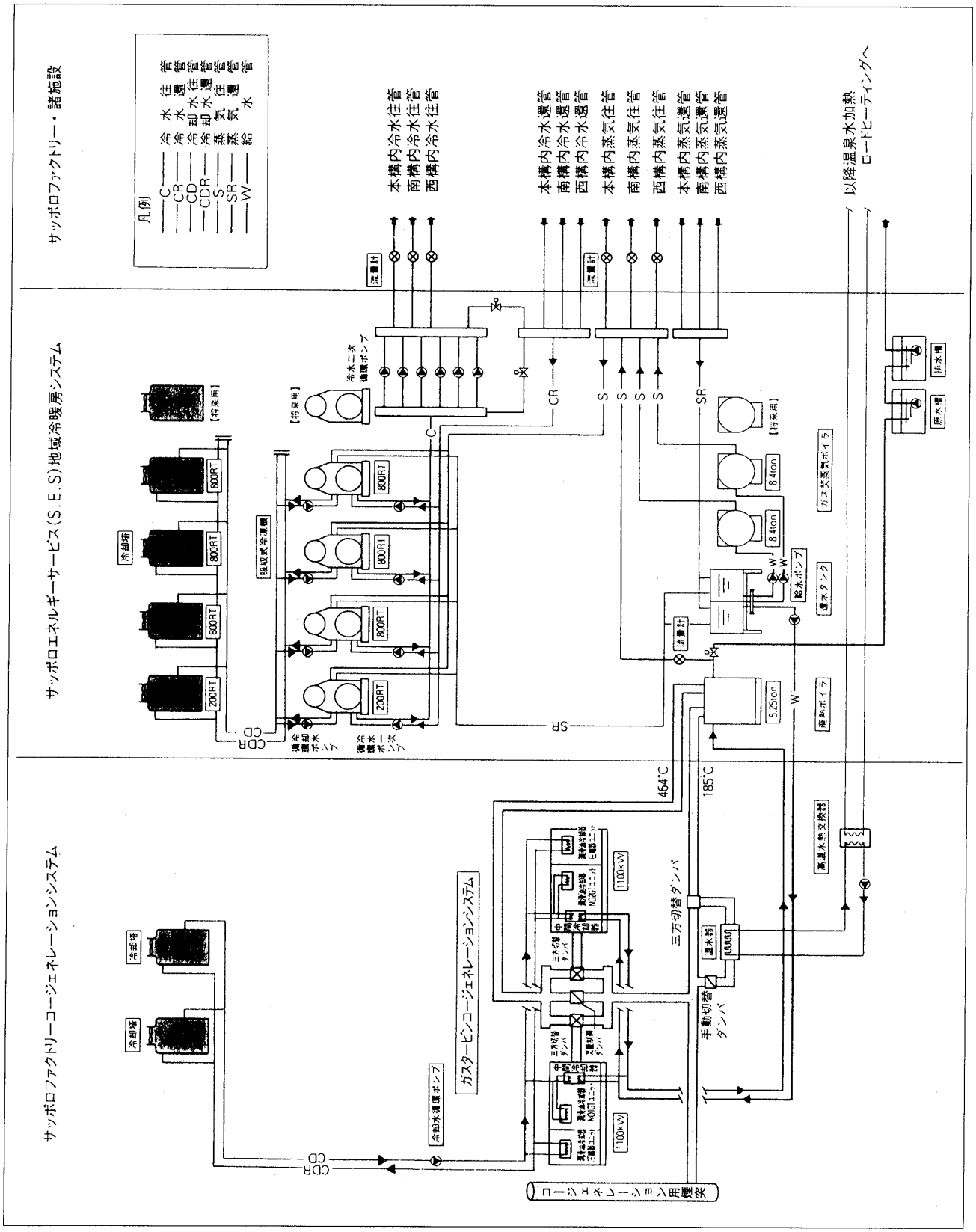


図1 サッポロファクトリーシステムフロー

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

2) 蒸　　気

廃熱ボイラより発生した蒸気は地域冷暖房の熱源として供給される。廃熱ボイラは，地冷側パッケージボイラと並列運転を行う。蒸気負荷の変動は原則的には地冷側パッケージボイラの運転により調整している。但し，パッケージボイラ停止後の廃熱ボイラでの負荷調整は，バイパスダクトに取り付けた流量制御ダンパの開度の調整で行う。

3) 温　　水

廃熱ボイラから排出される排ガスは，温泉加熱及びロードヒーティングへの温水を製造するため，必要時に3方切替ダンパを介して温水発生器に通される。温水発生器を通すことにより約40万kcal/hの熱回収を行っている。温水発生器の出口ガス温度の計画値は約110°Cである。

3.2 地域冷暖房システムの概要

地域冷暖房設備では，コージェネレーション設備（発電端出力1,100 kW×2台）の廃熱を利用して，廃熱ボイラで蒸気を取り出し蒸気吸収式冷凍機により，7°Cの冷水を作っている。また，廃熱ボイラでの蒸気不足を補うためにガス焚蒸気ボイラを設置している。

熱の供給は蒸気，冷水それぞれ往復2管の計4管方式で，蒸気は圧力が8.4 kg/cm²G，冷水が差圧2 kg/cm² で供給されている。開業時点での製造能力は，蒸気10.9 Gcal/h，冷水7.86 Gcal/hの年間15,500 Gcalで計画されている。

3.3 主要設備機器の仕様概要

下記に主要設備機器の仕様概要を示す。

・ガスタービン2台（三井造船㈱）

型　式	SB 5
定格出力	1100 kW
燃　料	都市ガス（6 B）
NOx 対策	希薄拡散/予混合2段燃焼方式

・発電機　2台（西芝電機㈱）

出　力	1,450 KVA（10°C）
電　圧	6,600 V
周波数	50 Hz
型　式	同期発電機

・廃熱ボイラ　1台(㈱ヒラカワガイダム)

型　式	MPT－W－179
出　力	実蒸発量5.25 T/h
排ガス量	29,115 m³N/h

・炉筒煙管式蒸気ボイラ　2台(㈱ヒラカワガイダム)

型　式	MP－811
出　力	換算蒸発量8.4 T/h
燃料使用量	都市ガス（6 B）1,157 m³N/h

・蒸気吸収式冷凍機　3台（㈱荏原製作所）

型　式	RAW 080
出　力	800 USRT
蒸気使用量	3,600 kg/h（8 kg/cm²G　飽和）

・蒸気吸収式冷凍機　1台（㈱荏原製作所）

型　式	16 JS 824
出　力	200 USRT
蒸気使用量	900 kg/h（8 kg/cm²G　飽和）

4．低 NOx 燃焼器の概要

4.1 希薄予混合燃焼方式の低 NOx 燃焼器

ガスタービン燃焼器のNOx排出量の低減方法に関する分類を図2に示す。NOx排出量の低減においては，火炎温度を下げて，且つ，高温領域における滞留時間を短くすることが有効である（図3）[1]。

従来の拡散燃焼方法はNOx排出量の低減効果が小さく，水または蒸気噴射の場合には，熱効率の低下や設備ならびに運転コストが増大する。そこで，水や蒸気を使わないでNOx排出量を大きく低減できる方法として，燃料と空気を均一に混合して，比較的低い温度で燃焼させる希薄予混合燃焼方式が現在最も注目されている。しかし，希薄予混合燃焼は安定に燃焼できる範囲が極めて狭いため，予混合気の当量比（理論空燃比/空燃比）を所定の範囲内に精度良く調整する必要がある。

すなわち，予混合気の当量比ϕが0.7以上に大きくなるとNOx排出量が急激に増大する。一方，当量比が0.4以下に小さくなると燃焼効率の低下や振動燃焼などの不安定な燃焼が発生する。それゆえ，希薄予混合燃焼方式のガスタービン燃焼器を開発する場合には，予混合気の当量比を最適に調整するための制御機構と高性能の保炎器を並行して開発する必要がある。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

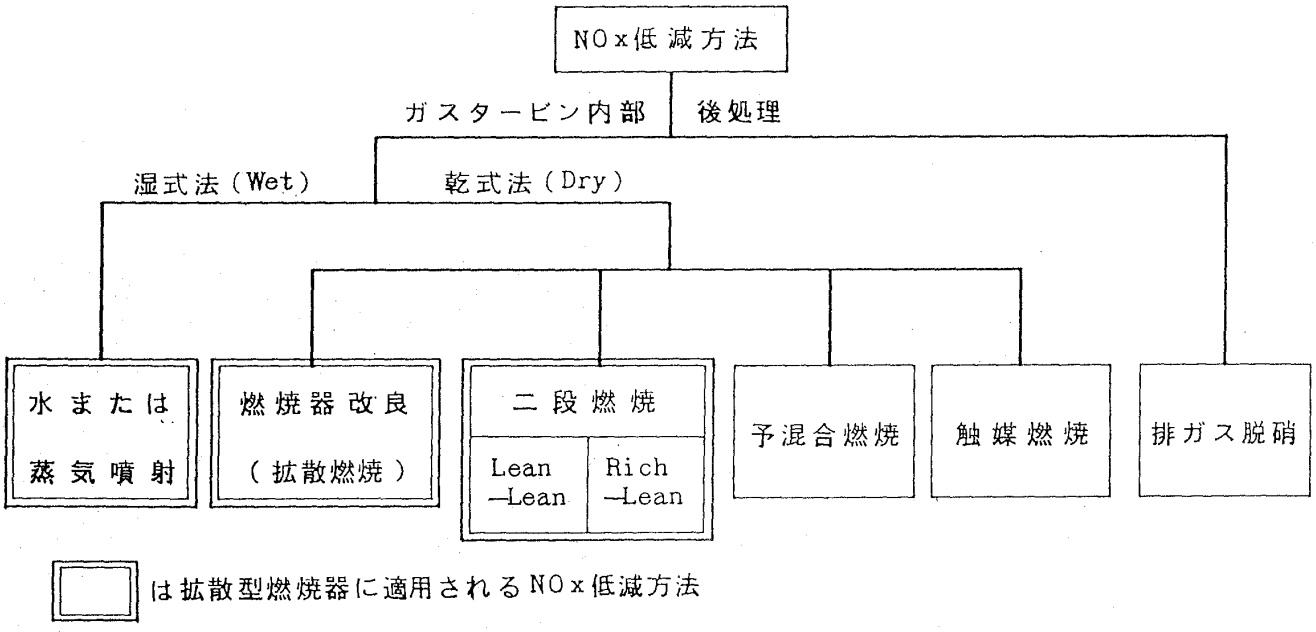


図2 NOx 排出量の低減方法の分類

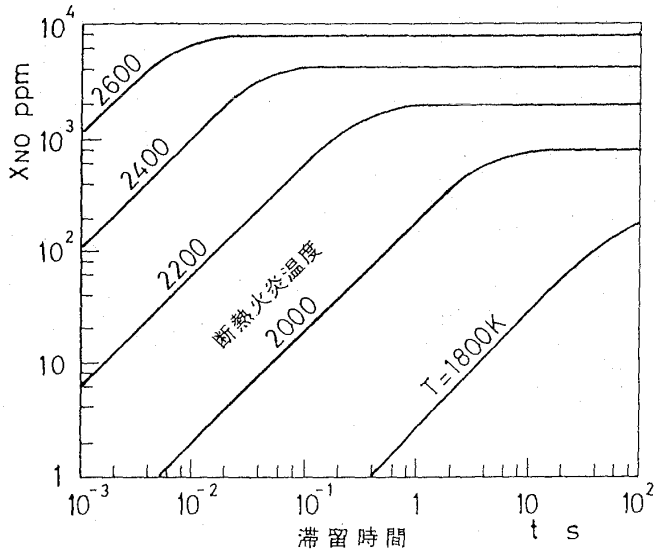


図3 NO生成におよぼす火炎温度の影響[1]

燃料中に水素ガスを約50%vol.含む燃焼速度の速い6Bガス燃料（表1）用に開発した希薄拡散/予混合二段燃焼方式の低NOx燃焼器を図4と写真1に示す。本低NOx燃焼器は，燃料の一部をパイロット燃料として保炎用に安定な拡散燃焼に用い，大半の残りのメイン燃料は，燃焼用空気と均一に予混合して燃焼を行い，火炎温度を下げることにより低いNOx排出量になっている。また，ガスタービンの広い運転範囲にわたって安定で，高い燃焼効率で，しかも低いNOx排出量の燃焼をするために，メイン燃料噴射弁をパイロット燃料噴射弁の外側の周方向に6本配備しており，負荷の変化に応じてメイン燃料を供給する噴射弁の本数を2本，4本，6本と多段階に制御している。さらにパイロット燃料流量は，定流量弁により負荷の変化に関係なく，ほぼ一定の流量に保持されている。この方式により，予混合燃焼方式の燃焼器で当量比を調整するために不可欠な空気量の可変機構は必要でなく，燃焼器の構造が簡単で，信頼性や耐久性の高い燃焼器になっている[2]~[4]。

(1) 乾式法によるNOx排出量の低減

このクラスのガスタービンでは世界で初めての乾式による燃焼方式で低NOx化を行っている。従来必要とされた水噴霧装置も蒸気噴射装置も不要である。

(2) 脱硝装置が不要

一層厳しくなってきているNOx規制値（東京都，大阪府などの地方条令: 35 ppm O_2 16%）に対しても脱硝装置は不要である。

(3) 省スペース

水噴射用の純水装置などがいらないため省スペース化ができる。

(4) メインテナンスが容易

水噴射をする場合，日常の水質管理が非常に重要であるが，この心配が全く無い。

(5) 経済性

水や蒸気を噴射する従来の燃焼器に較べて，発

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

表1 13Aガス燃料と6Bガス燃料の性状

	H2	O2	N2	CO2	CO	CH4	C2H6	C3H8	C4H10	WI	CP
	vol. %	→	→	→	→	→	→	→	vol. %	kcal/Nm3	
13A GAS	---	---	---	---	---	88.50	4.60	5.40	1.50	13635	41.5
6B GAS	51.85	3.38	12.73	15.46	1.94	5.04	0.02	3.40	6.18	6095	82.0

WI: Woobe Index, CP: Burning Velocity Index

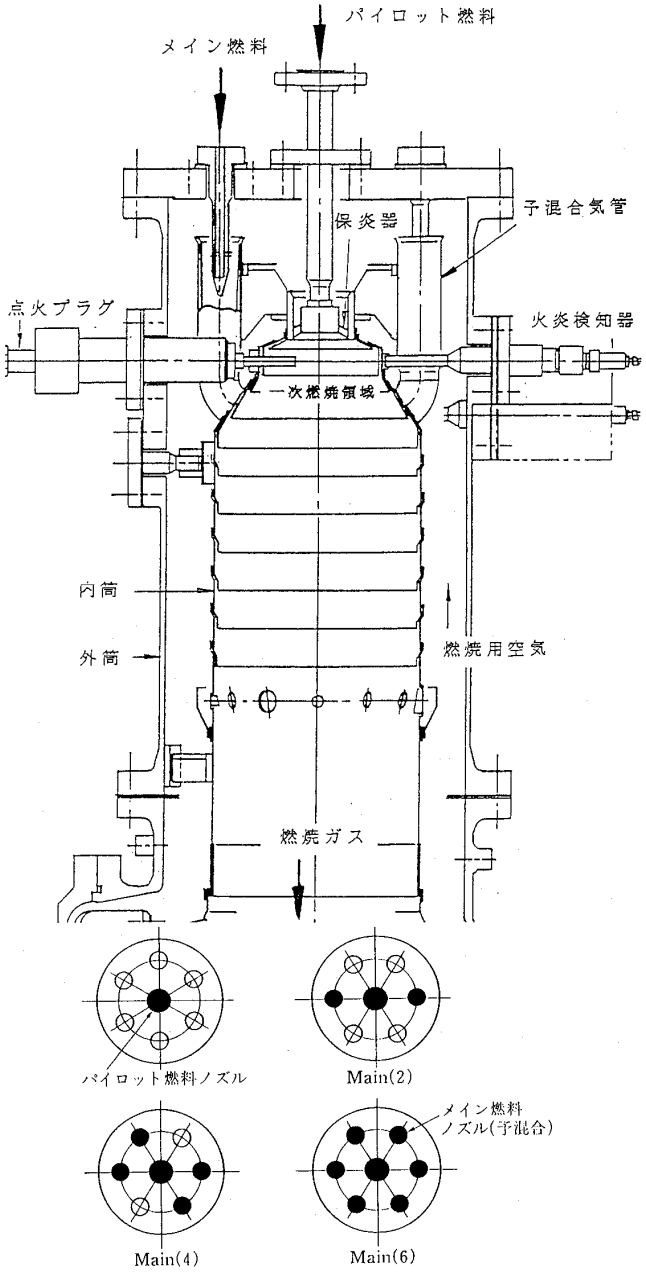


図4 希薄拡散/予混合二段燃焼方式の燃焼器

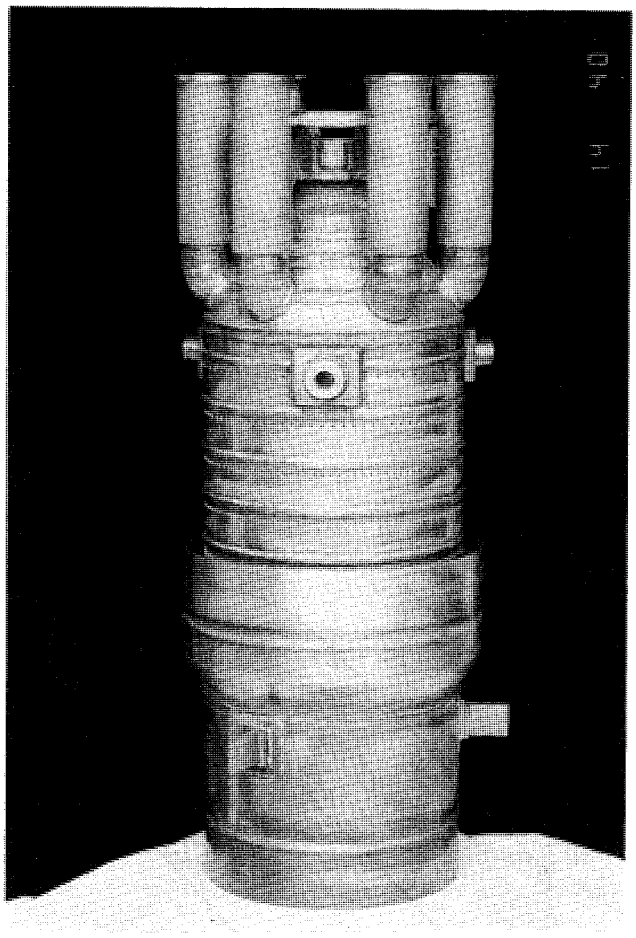


写真1 希薄拡散/予混合二段燃焼方式の燃焼器
(1000 kW 級ガスタービン)

電端効率で0.5%，総合効率で2.4%向上している。設備費と運転費用が安く経済的である。

4.2 燃料分配制御システム

予混合燃焼方式のガスタービン低NOx燃焼器は，負荷が変化した場合に安定でかつ低いNOx排出量の燃焼をするために，予混合気の当量比を最適値に調整する必要がある。そこで今回新たにシンプルで信頼性の高い燃料供給システムを開発した。燃料供給システムの系統図を図5に示す。

ガスタービンの負荷の変化に対応してメイン燃料噴射弁を2本，4本，6本と多段階に噴射する際の判定に使用している負荷の設定値は，大気温度が変化した場合にも予混合気の濃度が最適になる条件に対応した値に自動的に変わる様に設計している。

(1) 6Bガス燃料の場合には，パイロット燃料のみで無負荷から約15%負荷まで運転する。

(2) 15%～100%負荷においては，メイン燃料を2

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

本，4本，6本と多段階に噴射する(図4)。メイン燃料を噴射すると同時に，パイロット燃料を定格燃料量の約25%まで減らす。

(3) 負荷遮断の時はメイン燃料を遮断し，パイロット噴射弁に供給する燃料流量のみを制御する。

4.3 低 NOx 燃焼器の燃焼性能

水素ガスを約50%vol.含み燃焼速度が速く，しかも可燃範囲が広い燃料（6Bガス）に対しても，定格負荷付近における NOx 値は25ppm（O_2 16%）以下が得られている（図6）。水や蒸気を噴

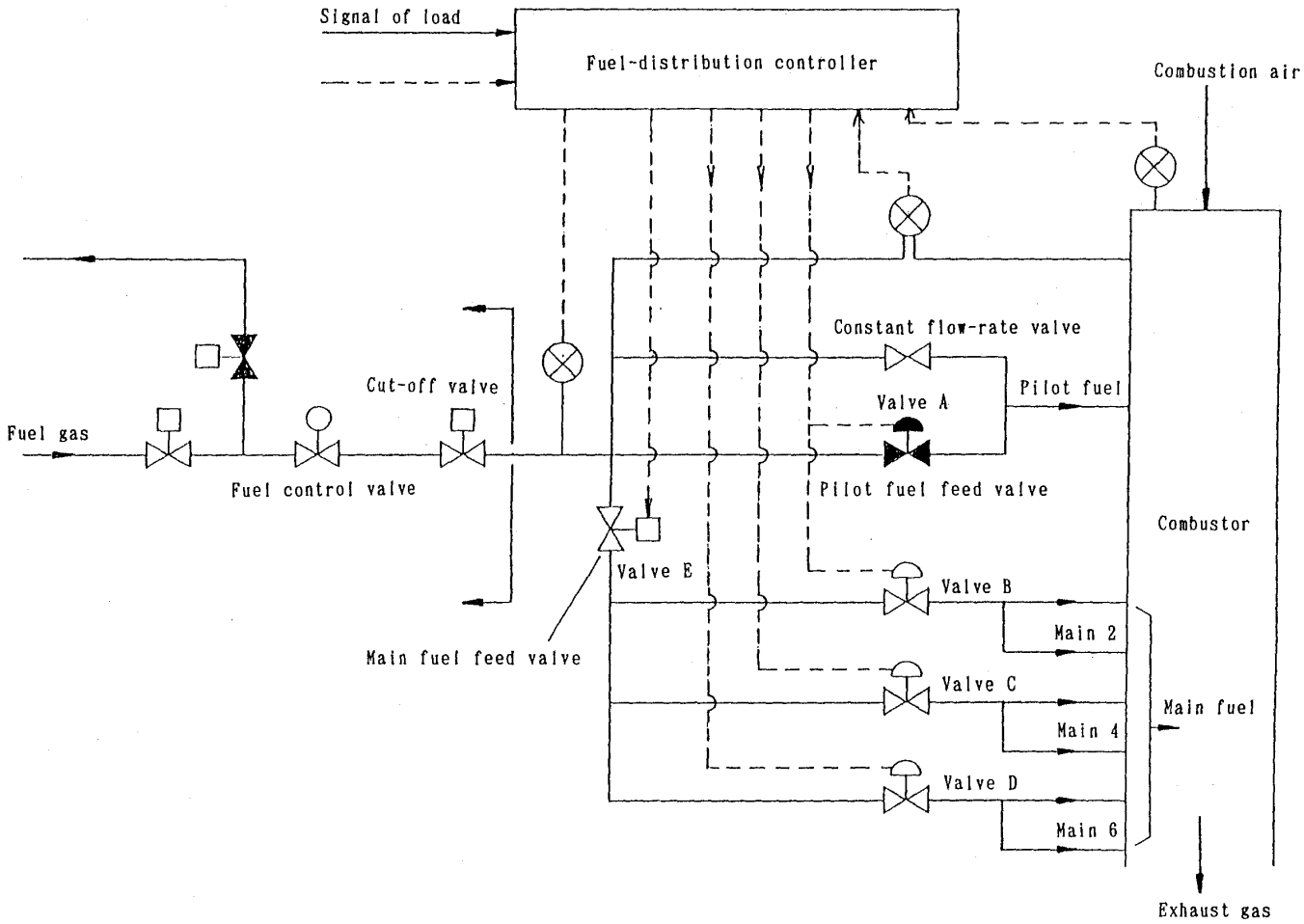


図5 燃料供給システムの系統図

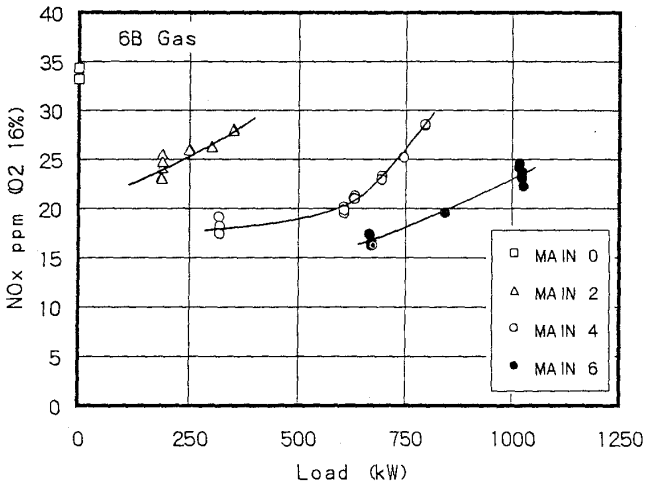


図6 低 NOx 燃焼器の NOx 排出量

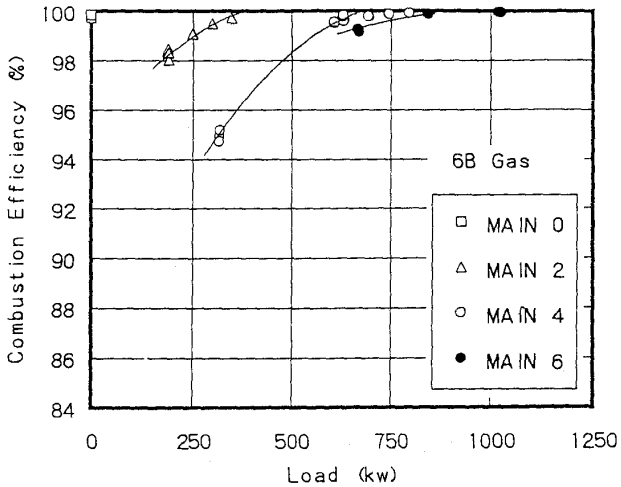


図7 低 NOx 燃焼器の燃焼効率

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

射しないで東京都や大阪府の厳しいNOx規制値以下にすることができる。

また，メイン燃料を6本噴射した条件の80%負荷以上の運転において燃焼効率はほぼ100%である（図7）。

さらに，メイン燃料の噴射本数が6本の条件で広い運転範囲にわたって燃焼効率を高く保持できる。それゆえ，6Bガス燃料は逆火が発生しやすい点を除けば，LNG燃料や13Aガス燃料よりもむしろ予混合燃焼に適した燃料であると言える。

ガスタービンの負荷変化に対して，メイン燃料を多段階に噴射することによって，広い作動範囲にわたって安定で，高い燃焼効率で，かつ低いNOx排出量の燃焼ができることを確認した。全負荷遮断や負荷変動の追従性試験においても，振動燃焼や失火等は発生せず，きわめて安定な燃焼が得られており，燃焼特性は良好である。本低NOx燃焼器と燃料コントローラおよび燃料供給ユニットはシンプルであり，信頼性の面からも優れている。

5．あとがき

“都市環境と景観の向上”および“熱源設備の高効率運転”に重点をおいた都市ガスによるガスタービンコージェネレーションを組み込んだ地域冷暖房の実施例を紹介した。

環境保全と省エネルギーの対策が強く求められている今日，コージェネレーションの普及に，本低NOx燃焼器を装備したガスタービン発電設備が貢献できると確信している。

参考文献

(1) 日本機会学会編，技術資料・燃焼に伴う環境汚染物質の生成機構と抑制法，(1980)

(2) 安部，ほか：日本機械学会第11回内燃機関シンポジウム講演論文集，(1993)，415

(3) 安部，三井造船技報，149（1993），22

(4) T. Abe. et al., 20th Congress of CIMAC. G 06（1993）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

ガスタービンを用いたごみ発電システム

川崎重工業㈱　原動機事業部発電プロジェクト室　須　恵　元　彦

1．まえがき

エネルギー，とりわけ電力エネルギーは現在の生活において一瞬たりとも欠かすことのできないものである一方，21世紀における最大の環境問題は地球温暖化であるといわれている。このため，発電プラントの高効率は不可欠なものであり，政府もごみ発電の積極的導入と高効率ごみ発電を促がしているが，この一つとして数年前からガスタービンと組合せた複合サイクルごみ発電が提唱されて，現在，数個所の自治体において建設計画がなされている。しかし，そのシステム，ごみ焼却工場規模とガスタービン容量の関係はそれぞれ異なり，発電所の運営を考えた場合のシステム，熱力学的にみたガスタービン容量の最適性等はどうあるべきかに関しての報告はあまり見出しえない。

従って，本稿において，上記のような事項についての考察とCO_2削減効果をとりあげて環境面への評価の具体的検討事例を紹介する。

2．リパワリング効果係数

2.1　従来システムごみ発電と複合サイクルごみ発電

ごみ焼却排ガス中に含まれる腐食性成分のために，我国におけるごみ焼却廃熱ボイラ発生蒸気の温度は300°C以下に抑えられており，このことと蒸気タービン出口における蒸気湿り度許容値の関係から従来のごみ発電の蒸気圧力，温度は3 MPa，300°C以下となっている。また，焼却プラント用の蒸気，ごみ工場の暖房，給湯用の蒸気がボイラ出口から抽出されるために蒸気タービンに送られる蒸気は発生蒸気の60～70%である。このような理由で，従来システムの発電効率は投入ごみ入熱に対して12～15%程度であり，周辺施設へ熱供給される場合には蒸気タービンへの供給蒸気量はさらに減少して発電熱効率は数%しかない場合もある。

（平成6年3月25日原稿受付）

複合サイクルごみ発電システムの基本は図1に示すように，ガスタービンに燃料（熱量Q_f）を投入して，まず電力P_Gをとり出し排ガス（熱量Q_{G1}）によって焼却炉ボイラからの蒸気を高温にすることにより，

$$\eta_{thc}=(P_G+P_{SC})/Q_f \cdots\cdots (1)$$

として表わすことができる。

このη_{thc}は通常火力複合サイクル発電の熱効率を表わし，その値は44～49%程度となることはよく知られている。すなわち，(1)式で定義する熱効率で評価すればガスタービンを大きくするほど効率がよくなることとなり，中低温蒸気プラントのリパワリングという本来の意味をはなれて通常火力複合サイクル発電にごみ焼却工場で発生する蒸気を使用した複合サイクル発電プラントであることを意味する。

(1)式で定義する効率はごみのように高温蒸気を作り出せない熱力学的には低品質で，かつ，価格的に評価の難しい燃料とガスや液体燃料のように高温蒸気を作ることができる熱力学的に高品質で，価格的に評価が明確な燃料とを単に発熱量で換算して同一レベルにおいたことに起因する。

複合サイクルごみ発電のような中低温蒸気プラントのリパワリングの評価を考える場合，(1)式で定義した熱効率よりも，外部から新らたに投入したガスのような有価燃料の熱量Q_fとこれにより増加した有効エネルギー$\Delta P(=P_G+\Delta P_S)$とについて着目して，この比$\Delta P/Q_f$をとり，これを$\eta_r$とおいて$\eta_r$の大小で評価する方が適切である。$\eta_r$はリパワリングの効果を評価するものであるので，これをリパワリング効果係数と呼ぶこととする。

3．ガスタービン排ガスシステム

3.1　蒸気プラント熱効率と蒸気サイクル熱効率

ボイラへの投入熱量Q_{io}に対する外部への有効仕事Pとの割合P/Q_{io}を蒸気プラント熱効率または蒸気発電プラント効率η_{SP}と称し，ボイラへ

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

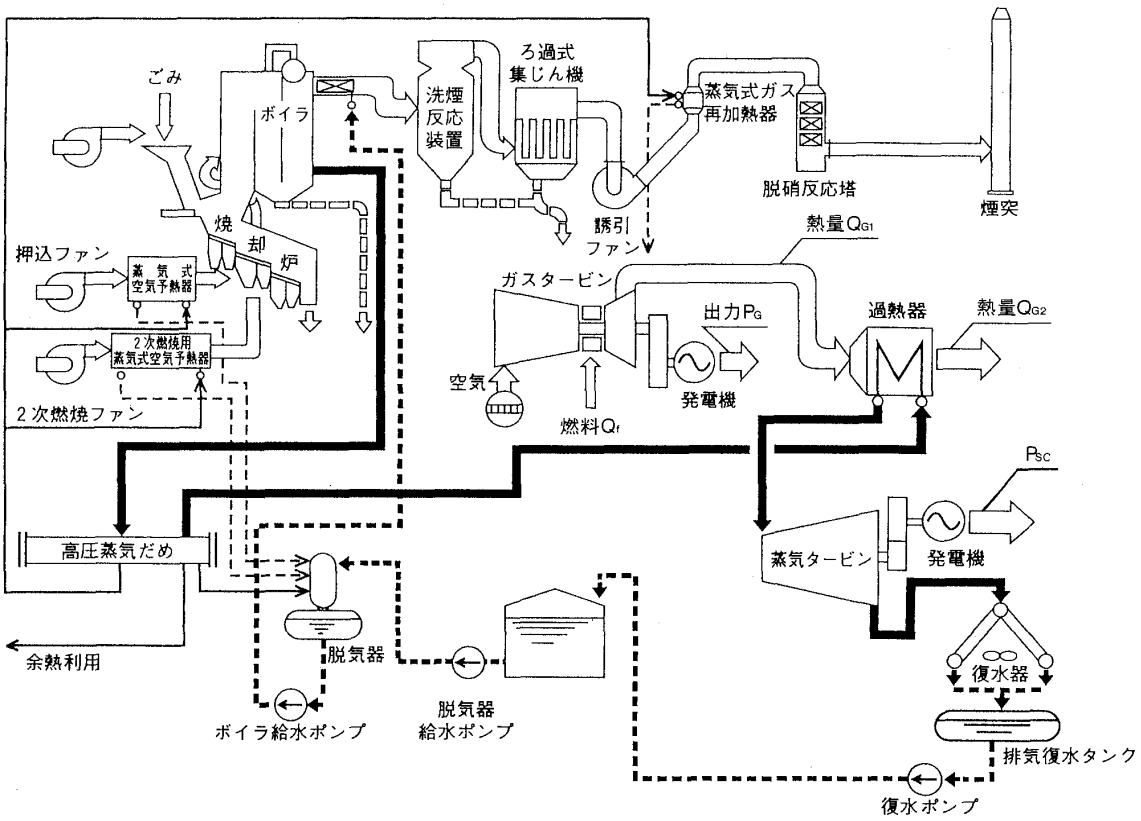


図1 ガスタービンとの組合せによる発電システムの基本フロー

の給水が蒸気となるために与えられる熱量 Q_i に対する有効仕事 P との割合 P/Q_i を蒸気サイクル熱効率または蒸気タービンプラント効率 η_{SC} と称し，ボイラ効率 η_B を導入すればその関係は次の(2)式で表わされる[1]。

$$\eta_{SP} = \eta_B \cdot \eta_{SC} \quad \cdots\cdots(2)$$

3.2 蒸気高温化によるリパワリングと排ガス熱回収によるリパワリング

複合サイクルごみ発電の基本は上述したようにガスタービンの排ガスで蒸気を高温化して蒸気タービンの出力増加を図ることである。

過熱器に与えられる熱量 q_{SH} に対する出力増加 ΔP_h との割合 $\Delta P_h/q_{SH}$ を η_{rt} とおき，η_{rt} を蒸気高温化によるリパワリング効果係数と呼ぶこととする。

天然ガスを燃焼させた場合，排ガス回収ボイラの過熱器におけるガス側と蒸気側の最小温度差は25°C～30°Cもあれば十分である。即ち，過熱器に入る蒸気温度を300°Cと想定すれば，過熱器出口のガス温度を325°C～330°Cまで下げることができる。しかし，天然ガスのような燃料を燃焼させた排ガスは腐食性成分を含まないので，さらに低温レベルまでの熱利用を考える必要がある。

この方法として大きく次の3つの方法が考えられる。

① エコノマイザーや中低圧ボイラを設け熱回収するシステム

② 焼却炉に送り燃焼用空気の代りに利用するシステム

③ 焼却炉排ガスと混合して排ガス再加熱源として利用するシステム

上記②，③のシステムは蒸気，水以外にガス系もごみ焼却プラントと関係をもつこととなり，ごみ焼却プラント，発電プラント間の干渉要素が一つ増える上に，ガスタービン台数と焼却炉基数が異なる場合にはガス系がかなり複雑となる。従って，ごみ焼却プラント，発電プラントはできるかぎり独立したシステムとして考える方が望ましく，このことより①のシステムの方が秀れているといえる。

通常のコンバインドパワープラント（以下略し

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

てC・C・P・Pと称する）は一般に，高圧蒸発器の下流に中圧蒸発器，低圧蒸発器，エコノマイザーを設置して発生する中低圧の蒸気をタービンに混気するシステムとしているが，ここでは図2に示すように過熱器の下流に設ける温水ボイラから高温となった熱水を減圧して汽液二相流体を作り，フラッシャーで飽和蒸気を分離するシステムとして考える。このフラッシュシステムは飽和ボイラシステムと熱力学的に同一であり[2]，特に中低圧蒸気を発生させる場合にはボイラシステムに比べて設備費も安くなり機器配置等に自由度が生じるため，当社のセメント排熱発電は全てこのシステムを採用している[3]。

フラッシュ段数を増やすと効率はよくなるが3段以上としても，それほど効率は顕著に向上せず2段程度で十分である。

このように過熱器出口におけるガスの保有熱 Q_{G2} に対する混気による発電量の増加 ΔP_{SL} との比 $\Delta P_{SL}/Q_{G2}$ を η_{SL} とおき，この η_{SL} を熱回収によるリパワリング効果係数と呼ぶこととする。

4．ごみ発電へのガスタービンの適用

4.1 蒸気量とガスタービン容量

蒸気サイクル熱効率を向上さすためには蒸気タービンプラントへの入熱を同じとすると復水器からの放出熱量を少なくすればよい。

今，焼却炉ボイラから温度300°Cの蒸気1 kg/sが過熱器に送られてくるものと想定し，この蒸気をガスタービン排ガスで500°C程度の温度に高温化して蒸気タービンに供給すれば，蒸気タービンから復水器に入る蒸気量は焼却炉ボイラから送られてくる流量(1 kg/s)のままで変らないが，高温になった分だけタービン出口における蒸気の比エントロピーが増加し，復水器からの放出熱量はその分に相当する量だけ増加する。

もし，ガスタービン容量が小さく排ガス量が少ないときには，蒸気を500°C程度の温度まで過熱することができず蒸気タービンの出力増加量も少なくなることは容易にわかるが，ガスタービン容量が大きい場合には過熱器でのガスの温度降下は少なくてすみ，過熱器出口におけるガスの温度と蒸気の温度は25～30°Cより大きくなる，つまりガス温度は325°C～330°Cよりも高くなる。従って，図2に示すように過熱器出口に高圧蒸発器をおき焼却炉ボイラから送られてくる蒸気と同一圧力の蒸気を発生させることが可能となる。これは蒸気タービン出力は増加するものの図3に示すように復水器からの放出熱量は上記の増加量の他に高圧蒸発器で発生する量に相当する分が増えることとなり，投入したガス燃料熱量を有効に使用していない，即ち，リパワリング効果が減少することと

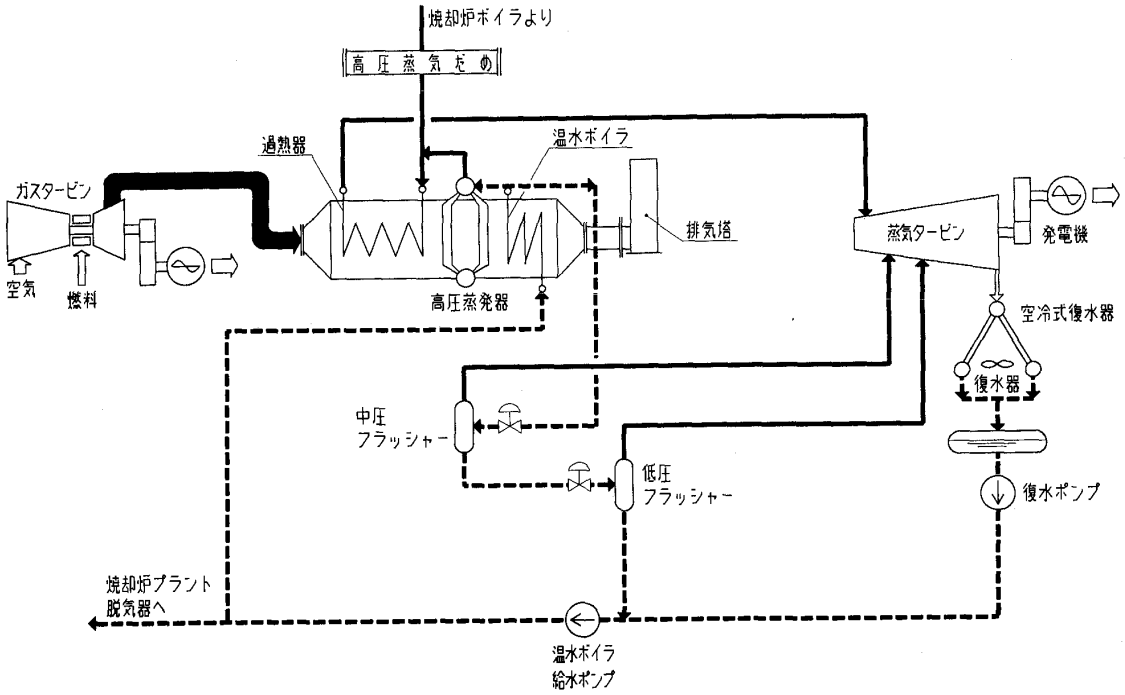


図2 蒸気・給水系統概念図

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

なる。

このことより，最大のリパワリング効果を引き出す熱力学的に最適なガスタービン容量とは焼却炉ボイラから送られてくる蒸気を500°C程度の温度まで過熱するのに必要でかつ十分な熱を過熱器で与えることのできるガスタービンということができる。このようなガスタービン容量を熱力学的適正ガスタービンと呼ぶこととする。

ガスタービンは蒸気タービンと異なり任意の容量を選択しうるものでなく，また焼却炉から送られてくる蒸気も常時変動するものであるので，熱力学的適正ガスタービンよりも若干大きい容量のものを採用し，高圧蒸気を発生させるシステムの方が実際のプラント運用上便利なことが多い。

4.2 ガスタービン容量とリパワリング効果係数

熱力学的適正ガスタービンより大きい容量のガスタービンを適用したときの排熱回収ボイラは図2に示すように過熱器，高圧蒸発器，温水ボイラから構成されたものとなるが，ガスタービン排ガスを2つに分けて，一つは熱力学的に適正なガスタービン容量に相当する排ガスを流す系統，即ち，焼却炉ボイラから送られる蒸気を500°C程度の温度まで過熱するのに必要かつ十分なガスを流す系統Aと，もう一つは適正ガスタービン容量排ガスを差引いた残りのガスによって通常のC・C・P・Pのように高圧蒸気，中低圧蒸気を発生させて熱回収する系統Bとから成立つとしても考え方は同じである[4]。このときのリパワリング効果係数 η_r は次の(3)式で表わされる[4]。

$$\eta_r = \eta_{GT} + (1-\eta_{GTO})\{(1-i_{g2}/i_{g1})\cdot\eta_{rt}/m + i_{g2}/i_{g1}\cdot\eta_{SL}/m + (1-1/m)\cdot\eta_{SCC}\} \quad \cdots\cdots(3)$$

ここに，

η_{GT}，η_{GTO} ＝ガスタービン発電端効率，軸端効率

i_{g1}，i_{g2} ＝排熱回収ボイラ過熱器入口，出口のガス比エンタルピ

η_{rt}，η_{SL} ＝3.2項前述

η_{SCC} ＝通常C・C・P・Pの蒸気発電プラント部分に相当する熱効率

m ＝熱力学的適正ガスタービン容量に対する使用ガスタービン容量の割合

m を大きくしてゆくと(3)式は

$$\eta_r = \eta_{GT} + (1-\eta_{GTO})\cdot\eta_{SCC} \quad \cdots\cdots(4)$$

となるが，(4)式は通常C・C・P・Pの熱効率 η_{CC} を表わすこととなる。

図4はガスタービン軸端効率をパラメータとして，ガスタービン排ガス温度に対するリパワリング効果係数を，図5は熱力学的適正ガスタービン容量と使用ガスタービン容量との比 m に対するリパワリング効果係数の変化割合の状況を示したものである。

ただし，前提条件は次の通りである。

① 過熱器入口蒸気温度は，300°Cとする。

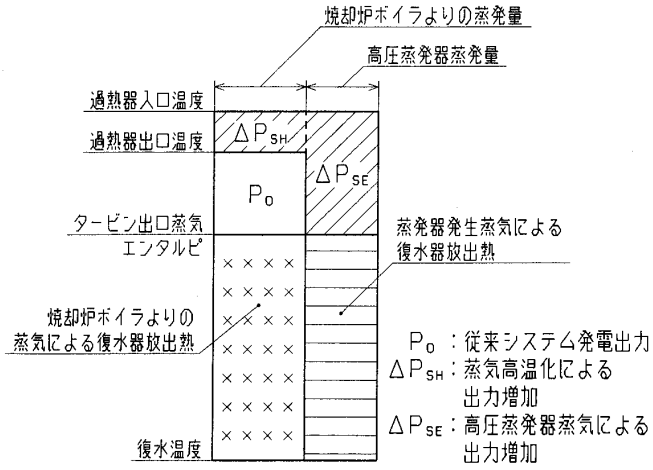


図3 高圧蒸気による発電出力

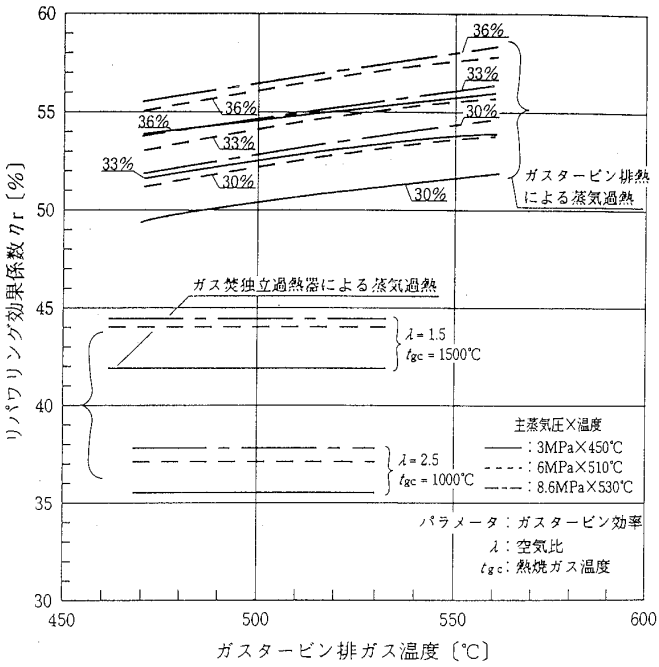


図4 排ガス温度に対するリパワリング効果係数

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

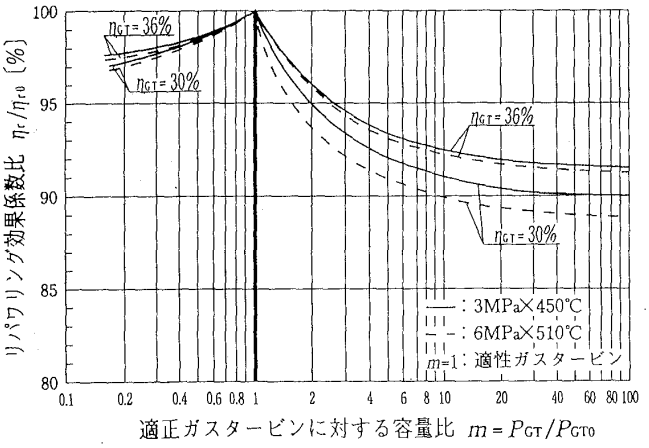


図5 パワリング効果係数変化状態

② 過熱器入口，出口の排ガス温度は，560℃，330℃とする。

③ ボイラ出口の排ガス温度は105℃とする。

④ フラッシャーの圧力は主蒸気圧力に対応する飽和温度と復水温度（＝65℃）との差（Δt）を3等分して，復水温度に $\Delta t\times2/3$，$\Delta t\times1/3$ を加えた温度に対応する飽和圧力とする[3]。

⑤ 配管，熱交換器等における蒸気の圧力損失，放熱損失はないものとする。

⑥ 蒸気タービン・発電機・機械効率は全て100%とする。

⑦ 蒸気タービン出口圧力は25 kPa（約0.25 kg/cm^{2}ab）とする。

⑧ ガスタービン使用燃料は都市ガス13A（LHV: 49,450 kJ/kg＝9,930 kcal/Nm^3）とする。

図4，図5から次のことがいえる。

① ガスタービン効率，過熱器出口蒸気温度がリパワリング効果に与える影響は大きい。

② 蒸気圧力を上げても蒸気温度を上げなければリパワリング効果はあまり変らない。

③ ガスタービン排ガス温度が高くなるとリパワリング効果はよくなる。

④ $m=2$ とするとリパワリング効果は約5%低下する。

表1 具体的検討事例

ごみ焼却工場規模	150 t ／日× 2	500 t ／日× 3
使用ガスタービン	ＰＵＣ－６０ （重構造型）	ユベラ６５６２ （航空転用型）
ガスタービン出力 （15℃：発電端）	5,480 kW (150%蒸気噴射)	26,270 kW (100%水噴射)
燃料消費量（都市ガス13A）	1,606 Nm^3/hr	6,660 Nm^3/hr
蒸気タービン出力（発電端）	10,400 kW	49,800 kW
発電出力増加量（含GT）	8,580 kW	39,200 kW
リパワリング効果係数	46.3%	51.0%
発電熱効率(2.2項 (1)式)	25.6%	25.8%
GT排ガス量（wet ガス）	62,500 Nm^3/hr	250,600 Nm^3/hr
CO_2 排出濃度	3.1%	3.1%
CO_2 排出量	1,938 Nm^3/hr	7,769 Nm^3/hr
発電出力増加量に対応する火力発電 CO_2排出量	3,206 Nm^3/hr	14,648 Nm^3/hr
排出 CO_2削減割合	39.6%	47.0%

（建設省特別研究：建築と地球環境委員会エネルギー火力発電需要端ベース CO_2排出原単位＝ 0.734 kg/kWH 小委員会報告、平成３年度）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

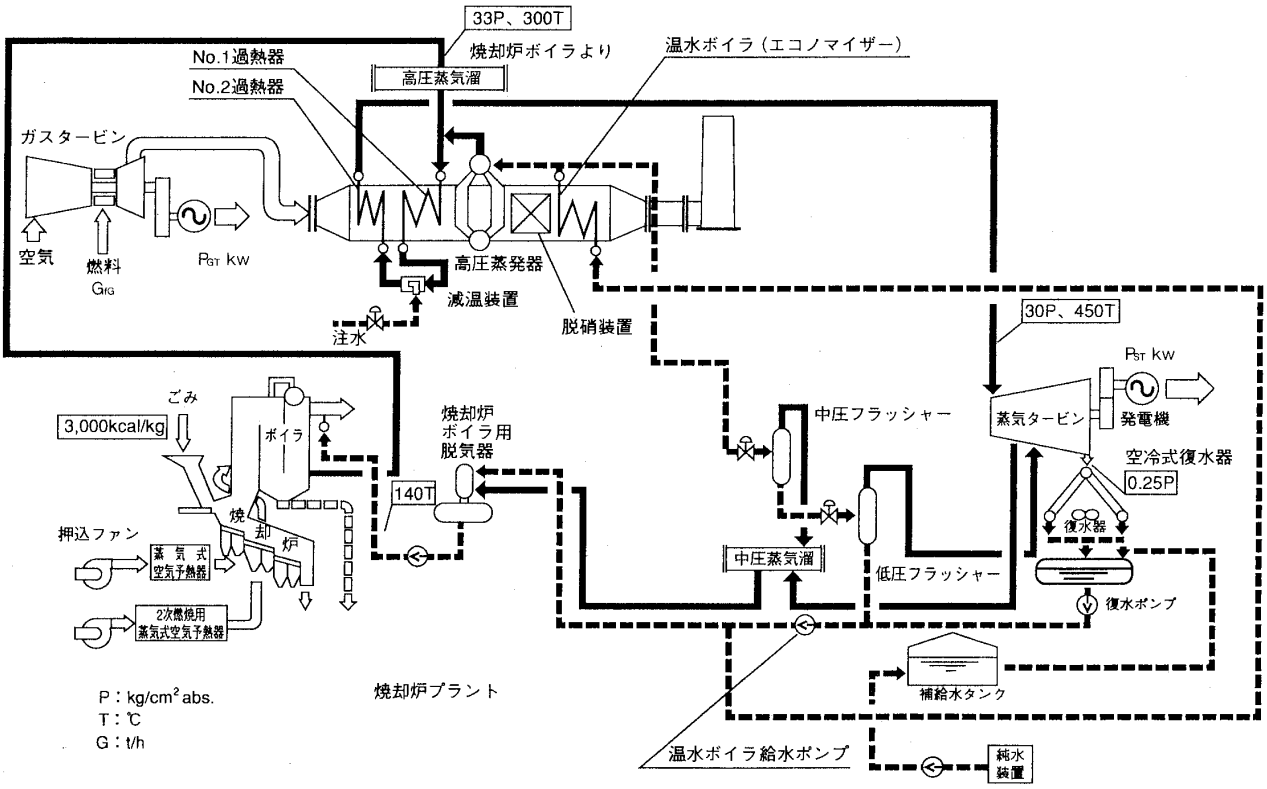


図6 複合サイクルごみ発電システムフローの例

⑤ 蒸気圧力，温度が高いほどガスタービン容量の影響は大きい。

また，図4にはガスタービンを設けず，ガス焚独立過熱器により蒸気を高温にした場合のリパワリング効果係数をも参考に記載したが，高温で動力をとり出さずに単に蒸気発電プラント効率を向上させるに留まるため，リパワリング効果は大幅に減少する。

5．具体的検討事例

ごみ焼却工場規模として300 t/日，1,500 t/日を例にとり当社の中小容量ガスタービンの代表である2種類のものと組合せた検討結果を表1に示す。

検討したシステムフロー，および蒸気条件等の諸値は図6に示す通りである。

航空転用型ガスタービンを用いた場合，その効率は34.2%と高いためにリパワリング効果係数は50%を超えることとなる。またCO_2削減率は：40%，47%を示し地球温暖化に対する効果が大きいことがわかる。

6．おわりに

ごみ発電を高効率化するために色々な研究，開発がなされているが，複合サイクルごみ発電は構成されるキーハード技術は確立されたものでその信頼性は高い。

本稿ではごみ発電をとり上げたが，同じ考え方は熱源温度が低いために低効率にあるセメント排熱発電等にも適用できるものである。

冒頭でも述べたように今後のエネルギー問題は地球環境保全，特に地球温暖化防止を念頭におき常に高効率発電を目標とすることが必要である。中低温蒸気プラントの効率向上にあっては，より少ない付加燃料により，より大きい出力増加を図るというリパワリング効果を目ざすべきである。

日進月歩を続けるガスタービンを用いて低効率に留まっている蒸気タービンプラントをより高効率として有効にエネルギーを引き出すプラントが普及されることを願う次第である。

参考文献

(1) 石谷・赤川・武田：蒸気工学演習，（昭－44），47，コロナ社
(2) 菊澤，川崎技報 70（1980），84－88
(3) 須恵，電熱 No.59（1991），38－49
(4) 須恵，川崎重工技報 120（1994），84－89

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

山梨リニア実験線第一編成車両搭載用 PW－6 ES ガスタービン発電装置

㈶鉄道総合技術研究所　浮上式鉄道開発本部車両部　山　本　貴　光
㈱荏原製作所　袖ヶ浦工場ガスタービン部　中　村　修　三

1．はじめに

㈶鉄道総合技術研究所と㈱荏原製作所は浮上式鉄道山梨リニア実験線第一編成車両の予備電源としてガスタービン発電装置の開発を行った。

山梨実験線では現在建設工事が進められており，平成８年春に先行工事区間 18.4 km（計画延長 42.8 km）を使用して走行実験を開始し，複線区間でのすれ違い試験・高速連続走行試験等を行う予定である。（表１参照）

ガスタービン発電装置は車上の電気装置の電源を供給することを目的に搭載され，その発電状態は車上制御中央装置を経由して地上指令室に伝送され，集中管理される。

表１　山梨県リニア実験線設備

設備	仕様
明かり区間	約８km（先行工事区間約２km）
トンネル区間	約35km（先行工事区間約16km）
実験センター	１箇所
変電所	２箇所（先行工事区間１ケ所）
車両基地	１箇所
最小曲線半径	８，０００m
最急勾配	４０‰
編成数	２編成
編成組成	最大５両
車両長	先頭車28m：中間車21.6，24.3m

2．PW－6 ES ガスタービン発電装置の特徴

今回製作したガスタービン発電装置は㈱荏原製作所の提携先であるプラットアンドホイットニーカナダ社製の航転型 ST 6 ガスタービンと航空機用に開発された高周波軽量発電機と組み合わせたものである。

番号	部品名	番号	部品名
1	発電機	16	出力タービン
2	排気ケーシング	17	圧縮機タービン静翼
3	燃料ノズル	18	圧縮機タービン
4	熱電対	19	空気入口金網
5	燃焼室	20	軸受 NO.1
6	ブリードバルブ	21	軸受 NO.2
7	圧縮機ケーシング	22	軸受 NO.3
8	圧縮機静翼	23	軸受 NO.4
9	圧縮機動翼	24	潤滑油入口
10	減速機	25	潤滑油戻り
11	回転計	26	ブリーザーベント
12	出力伝達軸	27	スターター
13	補機用ギアーボックス	28	潤滑油ポンプ
14	出力タービン軸	29	ガスタービン サポート
15	出力タービン静翼	30	発電機 サポート

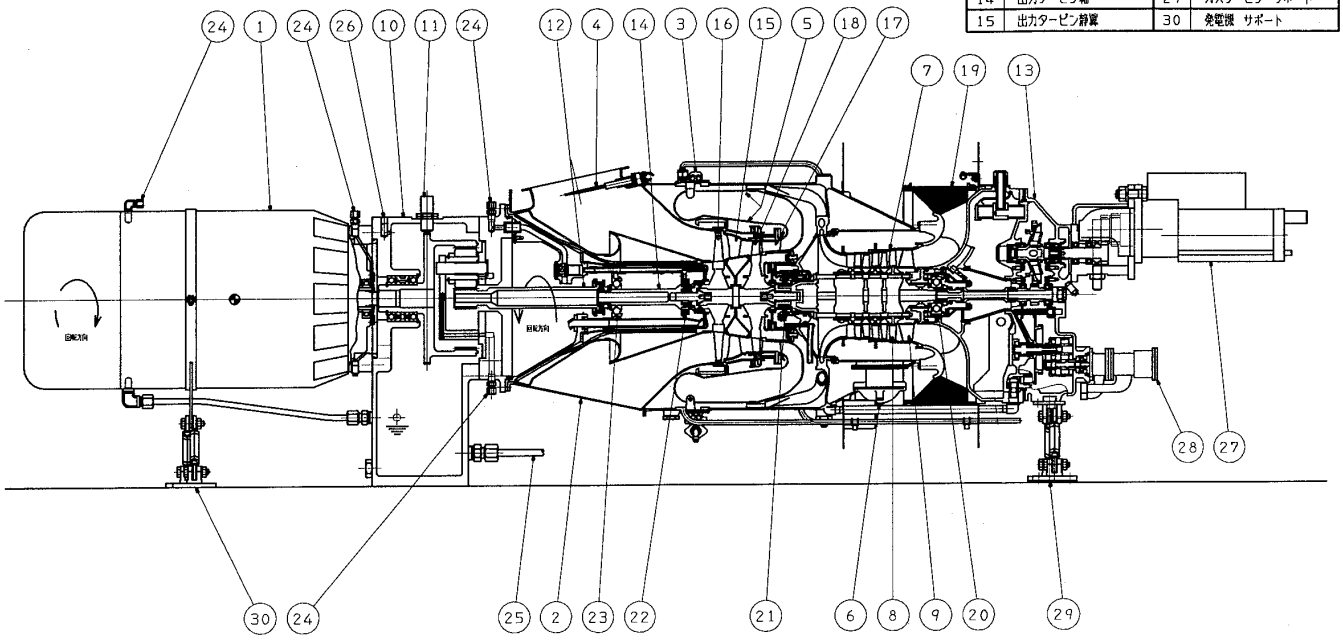


図１　PW－6 ES ガスタービン発電装置主要機構

（平成６年３月22日原稿受付）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

両者を直結する減速機は一段減速の遊星歯車を使用し，一方にガスタービン，反対側に発電機をカップリングなしに直結した構造となっている。（図1参照）

発電機出力は350 kW・交流455 V・400 Hzであり，これを直流に変換してDC 600 Vとして車上の電気装置に電源を供給する。

防音エンクロージャ・排気ダクト外板はアルミを使用し，極力軽量化した設計を行った。その結果，ガスタービン発電装置全体重量を約1t強(燃料なし，乾燥重量）に収めることができ，コンパクト化・軽量化に成功した。

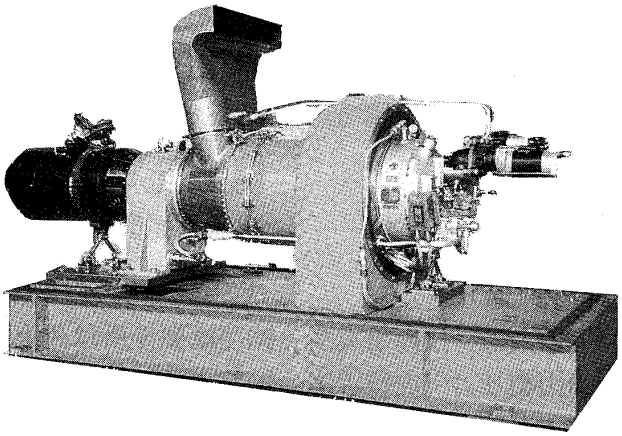
以下にPW−6 ESガスタービン発電装置の基本コンセプトを示す。

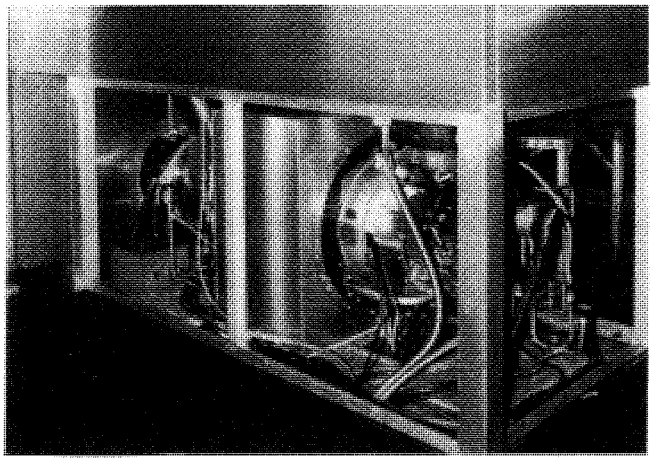
・軽量であること
・コンパクトであること
・低公害であること(低騒音，低NOx−水噴射なしで70 ppm（$O_2$16%）以下)
・安全性，信頼性が高いこと

リニアモーターは，航空機により近い概念の導入が必要と考えて，上記基本コンセプトにより，高周波・高速回転の発電機を使用して発電装置を計画した。発電装置を構成する各部品には既に使用実績があり，十分実証されているもの又はその応用範囲内で調達可能な機器で構成しシステムの安全性と信頼性を高めることに努めた。

3．おわりに

山梨リニア実験線車両搭載用ガスタービン発電装置はこれからの実験線における走行試験に供され，振動・騒音・トンネルの出入りによる圧力変動の影響等様々な確認項目がある。主電源装置となるべき誘導集電装置は山梨実験線ではその能力を発揮する高速走行区間の割合が低いため，ガスタービン発電装置は営業線においては予備電源の役割ながら，山梨実験線ではかなりの使用時間が考えられ，実験線の推進におおいに役立つことを期待している。なお，本装置の開発にあたっては運輸省からの補助金を得て進められた。





Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

テクノスーパーライナー用ガスタービン

テクノスーパーライナー技術研究組合　専務理事　**菅　井　和　夫**

1．まえがき

最近の経済社会構造の変化に伴い，海上輸送にも高速化の波が押し寄せて来ている。こうした時代の要請に答えるため，運輸省指導の下にテクノスーパーライナー技術研究組合が平成元年に設立され，今までにない革新的な超高速貨物船を開発すべく挑戦が行われている。

ここで言う超高速貨物船［テクノスーパーライナー］とは，速力50ノット，貨物積載量1,000トン，航続距離500海里以上の性能を有する新形式超高速船である。しかも，シーステート6(有義波高5乃至6m）程度の荒れた海でも定時制を失わずに走れることを開発目標としている。従来の技術の延長線上にない画期的な性能を有する船ということが出来る。

テクノスーパーライナー技術研究組合は，前述のように平成元年度に設立された団体で，運輸省の指導のもとに平成6年度までの6ヶ年間に，上記性能の商船を実際に設計，建造できるよう基盤技術を高めることを使命としている。組合員としては，下記のとおりわが国のいわゆる造船大手7社がすべて参画しており，大型国家プロジェクトの形をとっている。

石川島播磨重工業株式会社
川崎重工業株式会社
住友重機械工業株式会社
日本鋼管株式会社
日立造船株式会社
三井造船株式会社
三菱重工業株式会社

6ヶ年の研究計画のうち，主に最初の4年がこの船を造る基礎となる要素技術の研究，後半の2年が実船のスケール・モデル船の建造と，それによる実海域での技術達成の確認試験を行うのに当てられる。その後は，各社が実際に超高速貨物船を受注し，設計，建造できるようにするという段取りになっている。実用船は21世紀を待たずに1998年頃にはデビューが果たせるのではないかと思っている。

一般に，船の重量を支持する方式には，浮力，揚力，空気圧力の3方式があるが，それぞれが短所，長所を有しており，単純に今までの船の技術を延長しただけではわれわれが目標とする速力50ノット，積載重量1,000トン，航続距離500海里でしかも荒天中でも走れるという4条件を満足するものは到底できない。単純な支持方式で，例

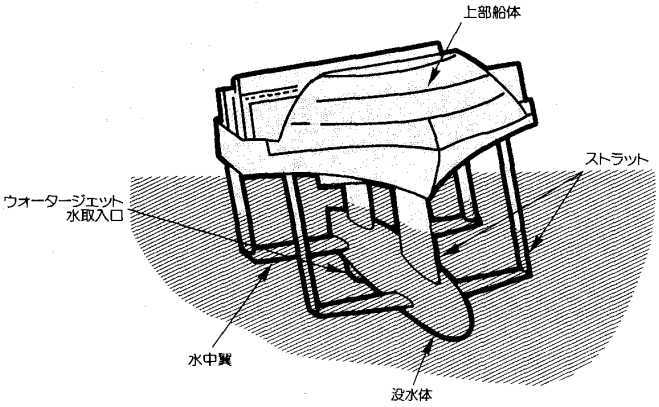


図1.1　複合支持型船型コンセプト（揚力式）
（斜め前方より見たもの）

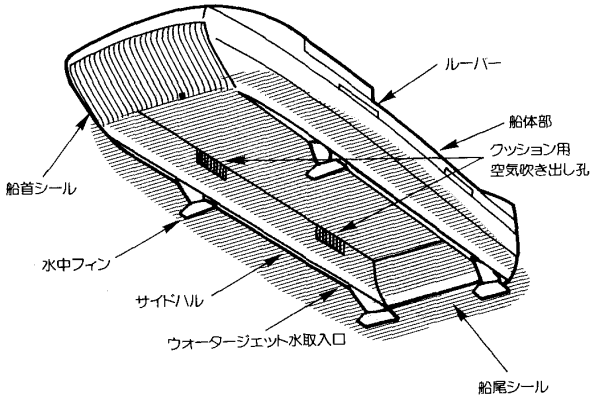


図1.2　複合支持型船型コンセプト（空気圧力式）
（斜め前方水面下より見たもの）

（平成6年4月14日原稿受付）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

えば所要馬力を少なくすれば波の中での航走性能が悪くなるなど，相反する傾向を有するのが一般だからである。4条件を同時に満足させるには，支持方式の最適な組み合わせを持ったいわゆる複合支持船型（ハイブリッド船型）を見いだすことが大切な作業となる。

水中翼による揚力と没水体の浮力とを利用した方式と空気圧力と双胴船の浮力とを利用した方式の2つの複合支持船型が，テクノスーパーライナーを完成させるのに非常に良い候補だと思われることから，組合ではこの2つの船型コンセプトを対象に研究を進めている。

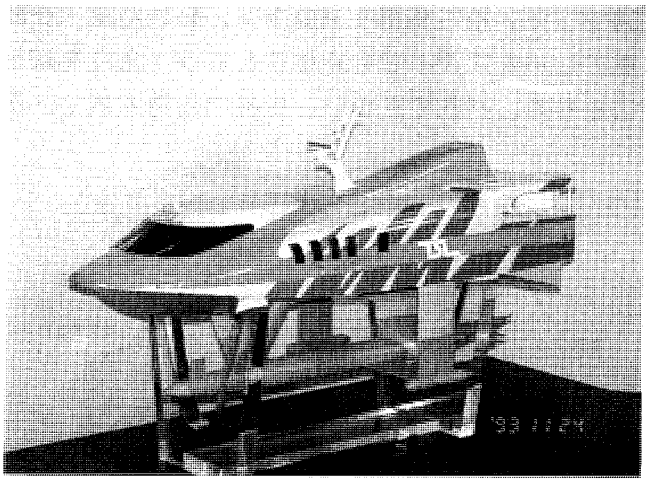
前者をTSL－F(図1.1)，また後者をTSL－A（図1.2）と略称する。

研究開発のポイントはいろいろあるが，大きく纏めると次の4つのテーマがある。

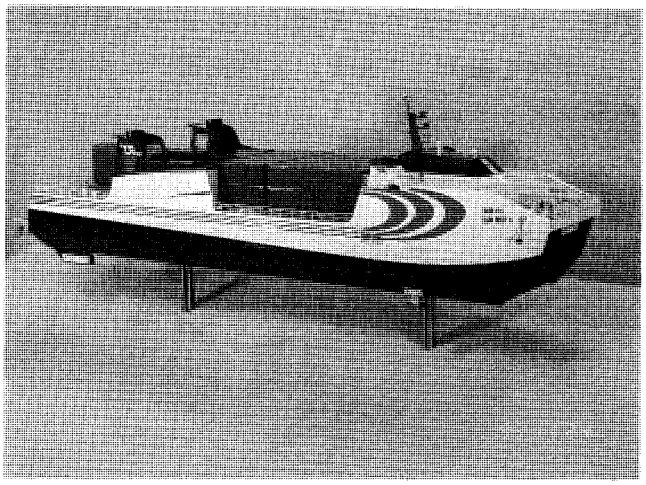
1）従来の船舶の常識を破った画期的な推進・耐航性能を有する新船型の開発
2）新材料を駆使するなど軽量化に徹した船体構造の開発
3）世界に例の無い大出力のウォータージェット推進システムの開発
4）高速で航行する船体の姿勢を確実にコントロールし安定させる制御システムの開発

このうち3）のウォータージェット推進システムの開発というテーマについては，50ノットの高速で効率が良く，しかも小型軽量ということから，両船型ともガスタービンとウォータージェットポンプを組み合わせた推進システムを採用することになっている。また，TSL－Aに必要な浮上用ファンの原動機としても，ガスタービンを第一候補とし，場合によっては高速ディーゼルを採用することも考えている。ガスタービン自身を研究開発することは資金的にも時間的にもとても出来ることではないので，航空転用型ガスタービンの使用を考えている。その他は，ポンプを含め管路や動力伝達機構など，すべてわれわれ自身が開発するつもりである。1基当たり2万馬力から5万馬力級のガスタービンの使用を考えているので，世界最大級のウォータージェットポンプ推進装置の開発となる。

現在，テクノスーパーライナーの研究開発も第2段階に入り，水中翼利用，空気圧力利用の両船型コンセプト共，かなり大型の実海域模型船を設計・建造し，実際に海面を走らせて，いままで研究開発してきた技術の達成確認と船としての総合的な性能評価を行うことになっている。現在，実海域模型船は殆ど完成しており，これから実海域での試験に入るところである。揚力式複合支持船型（TSL－F）の模型船は，想定実船の約1/6サイ



全　　長: 約17m
全　　幅: 約6 m
主 機 関: ガスタービン
推進装置: ウォータージェットポンプ
写真1.1　揚力式複合支持船型の実海域模型船レプリカ



全　　長: 約70m
全　　幅: 約19m
主 機 関: ガスタービン
推進装置: ウォータージェットポンプ
写真1.2　空気圧力式複合支持船型の実海域模型船レプリカ

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

ズとした。一方，船速は，キャビテーション観測を実船相当で行う目的で，通常の尺度対応の船速（20ノット強）より遙かに大きい40ノット程度とすることとした。

写真1.1に揚力式複合支持船型の実海域模型船の主要目とレプリカの写真を示す。

空気圧力式複合支持船型（TSL－A）の模型船は，想定実船の1/2強のサイズとした。実験室規模の試験ではなかなか得られない実海域でのデータ取得を主な目的としたためである。船速は平水中で50ノットを狙っている。

写真1.2に空気圧力式複合支持船型の実海域模型船の主要目とレプリカの写真を示す。

実海域模型船に搭載するガスタービンはすべて陸上試験運転を終了しており，今後実海域での試験により実用的に有用なデータが得られるものと期待されている。

以下に，テクノスーパーライナーに用いられるガスタービンについて概説する。

2．TSL－Fのガスタービン

(1) 推進システムの構成

軽量で信頼性が高く，安全性にも優れた高出力推進システムを実現するため，実用可能な20,000馬力級（以下A方式という）及び50,000馬力級（以下B方式という）の航空転用型ガスタービンを選定した。

A方式では，20,000馬力級ガスタービン1基で20,000馬力ウォータジェットポンプ1基を駆動する1基1軸方式とし，B方式では，50,000馬力級ガスタービン1基で25,000馬力ウォータジェットポンプ2基を駆動する1基2軸方式を中心にした推進システムが採用されている。

図2.1にA方式の機関室配置計画図を，図2.2にB方式の機関室配置計画図を示す。何れの方式でも機関室スペースの有効利用を図るため，ウォータジェットポンプをガスタービンの下部に配置し，それらを減速装置で連結する折返し配置（いわゆるコの字型配置）としている。

TSLに関連した推進システムの研究開発としては，主として小型・軽量，高出力かつ高効率なウォータジェットポンプの開発，ウォータジェットポンプ取水口及び管路システムの流力特性の把握，ガスタービン用吸排気管装置及び動力伝達機構の小型軽量化の実現等が進められてきた。

(2) 20,000馬力級ガスタービン

TSL－Fに搭載する20,000馬力級ガスタービンとして英国ロールスロイス（RR）社のスペイSM1C舶用ガスタービンがその候補エンジンとして検討されている。

このスペイSM1Cは，これまで我が国を始め，世界各国の艦艇用ガスタービンとして多数生産されてきたスペイSM1Aの出力増強型で，RR社が1989年末に開発を完了している。1990年，英国海軍の22型フリゲート艦HMS/BRAVEに搭載され，実艦による運用を開始し，現在に至るまで極めて良好な運用実績が得られている。尚，スペイSM1Cは我が国の護衛艦用としても既に採用されている。

〈舶用スペイSM1Cの主要目〉

・形式: 単純開放サイクルフリータービン式

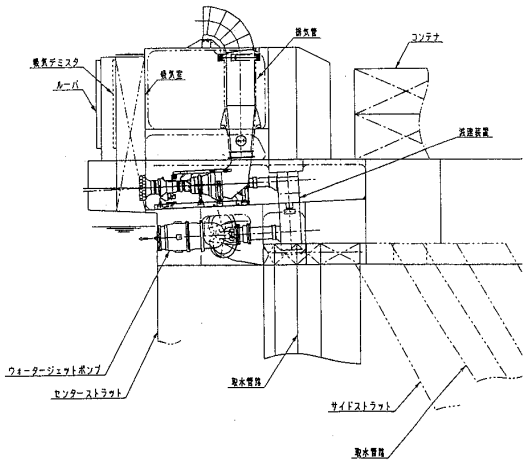


図2.1 機関室配置計画図（A方式）

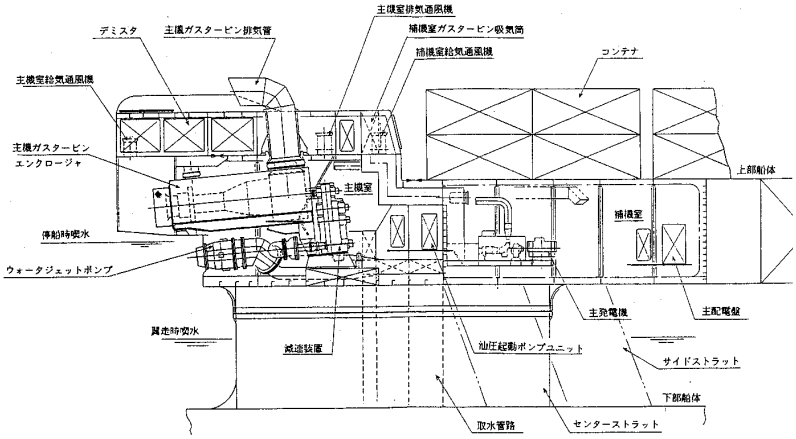


図2.2 機関室配置計画図（B方式）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

・連続最大出力: 20,000 PS
・出力タービン回転数: 5,500 rpm
・燃料消費率: 177 g/PS・hr

但し，運転条件は次の通りである。

・大気圧: 101.3 Kpa
・吸気温度: 30°C
・吸排気圧力損失: 150/200 mmAq

舶用スペイ SM 1 C の断面図を図 2.3 に示す。ガスゼネレータは 2 軸式で，軍用機コルセア等に搭載されている TF 41 型スペイエンジンを舶用化したものであり，低圧 5 段，高圧 11 段の圧縮機とそれぞれの圧縮機を駆動する各 2 段の高低圧タービン及び 10 本のキャニュラ型燃焼器より構成される。圧力比は約 22 で，低負荷時，圧縮機サージングを防止するため，低圧第 3 段及び高圧第 7 段から抽気を行うと共に，高圧圧縮機入口案内翼に可変機構を採用している。2 段の出力タービンは長寿命設計で，何れの回転方向にも対応でき，舶用として広範な出力/回転数範囲で高効率を維持することが可能である。スペイ SM 1 C は舶用を念頭に設計されており，モジュール構造が採用されている。共通台板上に，ガスゼネレータ，出力タービン，エンクロージャ，機側操縦盤，潤滑油供給装置，圧縮機洗浄装置，消火装置等をまとめて据付/装備し，別置き補機をなくすることにより船内システムとの取合部を極力少なくし，船内への搭載作業を簡略化させている。

また，ガスゼネレータと出力タービンは共通台板上にそれぞれ独立して支持され，ベローズによってのみ結合されているため，ガスゼネレータの換装も容易である。

エンクロージャ内の換気は，送風機等を用いることなく，出力タービン排気部のエジェクタ効果を利用して行われている。

尚，機関室スペースに制約のある場合には，エンクロージャの代わりに船殻構造を用いることも可能である。図 2.1 の機関室配置計画図(A 方式)はこの例である。

舶用スペイ SM 1 C は最新の航空エンジンの空力，冷却技術を導入することによる，高効率化，高出力化に加え，国産技術による燃料制御装置のディジタル制御化により，運転操作の自動化，保守整備性・信頼性の向上，自己診断機能の充実といった運用面での大幅な改良が図られている。

舶用スペイ SM 1 C は，RR 社でこれまでに開発されたオリンパス TM 3 B，タイン RM 1 C，スペイSM 1 A等の舶用ガスタービンと同じ設計思想が踏襲されていると共に，これら舶用ガスタービンの運転実績も反映されており，今後は艦艇用のみならず，高速船用等への展開についても各方面からの注目を集めている。

(3) 50,000 馬力級ガスタービン

TSL－F に搭載する 50,000 馬力級ガスタービンとして米国 GE 社の LM 5000 舶用ガスタービ

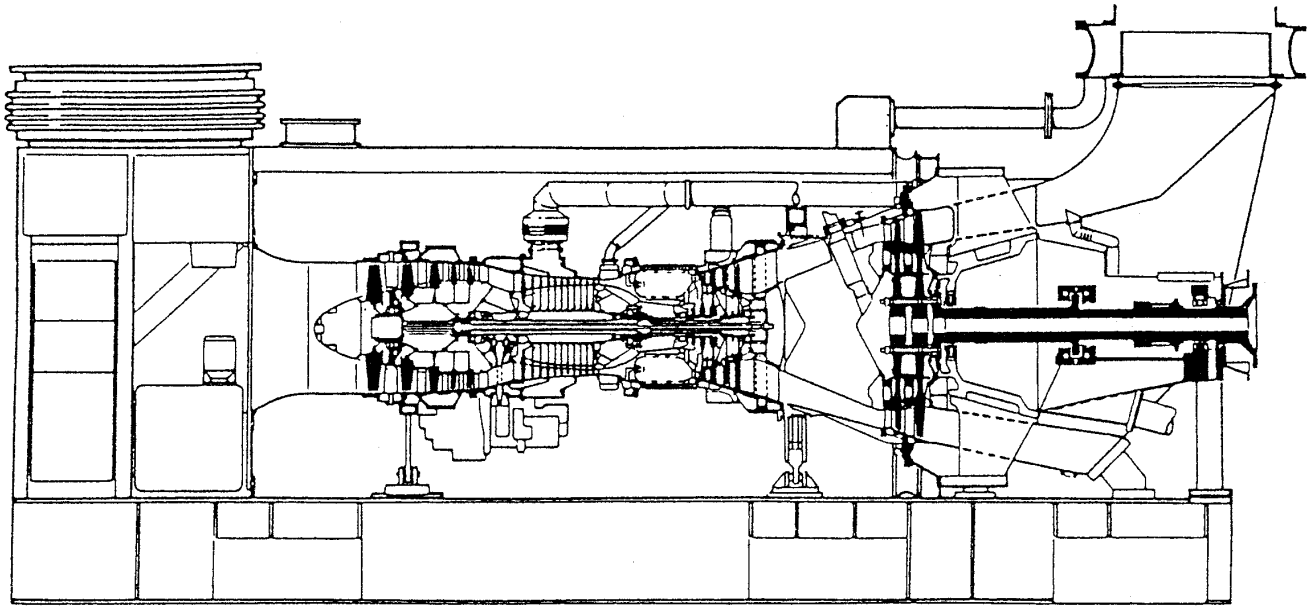


図 2.3 舶用スペイ SM 1 C 断面図

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

ンが，その候補として検討されている。

舶用 LM 5000 は，航空用ターボファンエンジン CF 6－50 から，1977 年転用開発された産業用 LM 5000 を舶用化したもので，高出力が要求される大型の艦艇及び商船への適用を意図して開発された高い熱効率のガスタービンである。

CF 6－50 は，エアーバス A 300，ボーイング 747 など 600 機を超える航空機に使用されている。CF 6－50 は CF 6－6 から発展したファミリーエンジンであり，CF 6－6 を転用したのが LM 2500 である。従って，LM 5000 は，我が国初のイージス搭載護衛艦「こんごう」を始め世界各国の海軍で多数使用されている LM 2500 とのファミリーエンジンである。

産業用 LM 5000 は，1978 年に最初の注文が出されて以来，コジェネを始めとして各種用途に使用され，1994 年の予定まで含め 72 台が発注されている。

LM 5000 の船舶用ガスタービンモジュールの断面図を図 2.4 に示す。ガスゼネレータは 2 軸型である。圧縮機は，5 段の低圧圧縮機と 14 段の高圧圧縮機で構成される。低圧圧縮機は CF 6－50 のファンと周囲のバイパスダクトを取り除き，入口部へ 2 段の圧縮機を追加したものである。低圧圧縮機のロータは，追加された 2 段と後の 3 段とは分離しており，最初の 2 段のディスクは CF 6－50 そのままの後半 3 段の一体型スプールにボルトで固定されている。空気の入口にはベルマウスが取付けられている。圧縮比は，低圧圧縮機で約 2.5，高圧圧縮機で約 12，全体で約 30 である。

燃焼器は，温度分布を均一にするアニュラー型で，30 個の燃料ノズルが付けられている。LM 2500 も同じものを使用している。

圧縮器を駆動するタービンは，高圧圧縮機用の 2 段の高圧タービンと低圧圧縮機用の 1 段の低圧タービンからなり，低圧タービンは付属補機駆動歯車装置も駆動している。高圧タービンのブレードは，1370°Cを超えるタービン入口温度にも耐えられるよう空気冷却されている。この高圧タービンは最近の LM 2500 にも同じものが使用されている。低圧タービンは CF 6－50 の 4 段に対し 1 段となっており，機械的に切り離された 3 段の出力タービンが新たに設けられている。

LM 2500 では高圧圧縮機が 16 段になっており，低圧圧縮機，低圧タービンは存在しない。

LM 5000 の出力タービンは，米海軍が SES を計画した時に GE 社が設計したものであるが，1979 年にこの計画が中止になり，以後は，産業用，舶用ともに英国の Ruston 社がライセンス生産している。

この出力タービンは，ブレード，ベーン，シュラウドを変えることで，時計，反時計いずれの方向の回転でも動力を取り出すことができる。

LM 5000 の出力は，吸排気損失 0，海面相当大気圧，出力タービン回転数 3600 rpm，液体燃料使用，吸気温度 30°Cの条件で，軸出力が 55,000 PS

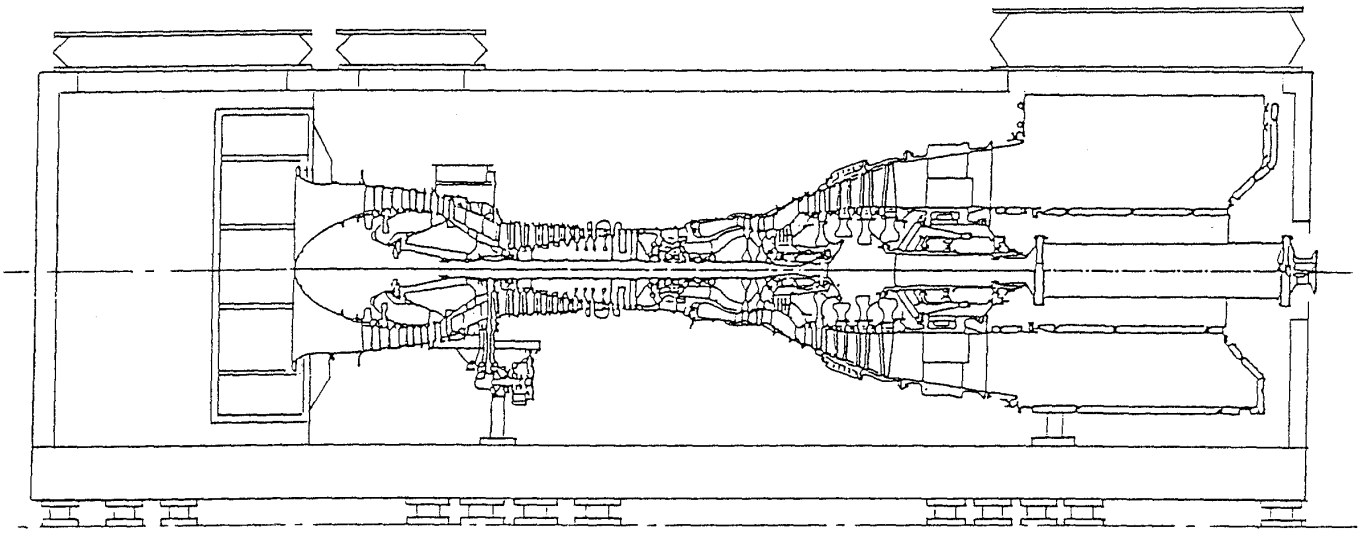


図 2.4 LM 5000 船舶用ガスタービンモジュール断面図

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

（約 40 MW）を超える。

熱効率は，LM 2500 の 37%に対し 38%であり，定格出力時（50,000 PS）の燃料消費率は 173 g/PS・h である。

ガスタービン本体の寸法は，長さ約 8.4 m，幅高さともに約 2.9 m であるが，船舶に搭載するため本体を収容するパッケージの寸法は，概略長さ幅高さそれぞれ 11 m，3.3 m，3.1 m になる。図 2.2 の機関室配置計画図（B 方式）はパッケージ搭載状態を示す。

LM 5000 ガスタービンは，前述のように産業用として多くの実績があり，その高い性能とともに信頼性の面でも高い評価を受けている。艦艇用として広く使用されている LM 2500 とも共通する部分も多く，今後は舶用としての発展を期待したい。

(4) 実海域模型船用ガスタービン

実海域模型船には川崎ジェットフォイルの推進用ガスタービンに使用されている Allison/501 KF の 1 軸分がそのまま使用されている。推進システムはこのガスタービン，減速装置及びウォータジェットポンプで構成され，いわゆるコの字型に配置されている。図 2.5 に機関室配置図を示す。

実海域模型船は H 6 年度に各種試験を実海域で行うことになっている。

〈Allison 501－KF の主要目〉

- 形式: フリータービン式
- 構成: 圧縮機（軸流 14 段）
  燃焼器（6 缶）
  圧縮機タービン（2 段）
  出力タービン（2 段）
- 連続最大出力: 3,800 PS
- 出力タービン回転数: 13,120 rpm

3．TSL-A のガスタービン

3.1 推進用ガスタービン

TSL－A 推進用 MFT 8 M ガスタービンは，三菱重工がテクノスーパーライナー（TSL）用の推進用機関として開発した定格出力 33000 PS の航空転用型舶用ガスタービンである。

産業用ガスタービンの多数の開発実績および航空エンジンの豊富な経験をもつ三菱重工が開発をとりまとめた。ガスジェネレータは現在この出力クラスで世界一高性能であるプラットアンドホィットニー製の GG 8 を採用し，これに三菱重工にて開発した軽量高効率のパワータービンを結合した。また全体のパッケージ設計製作，要素試験および工場実負荷試験も実施した。平成 5 年 8 月に工場試験を開始し設計目標を満足する結果を得ている。TSL－A の建造に間に合わせるために

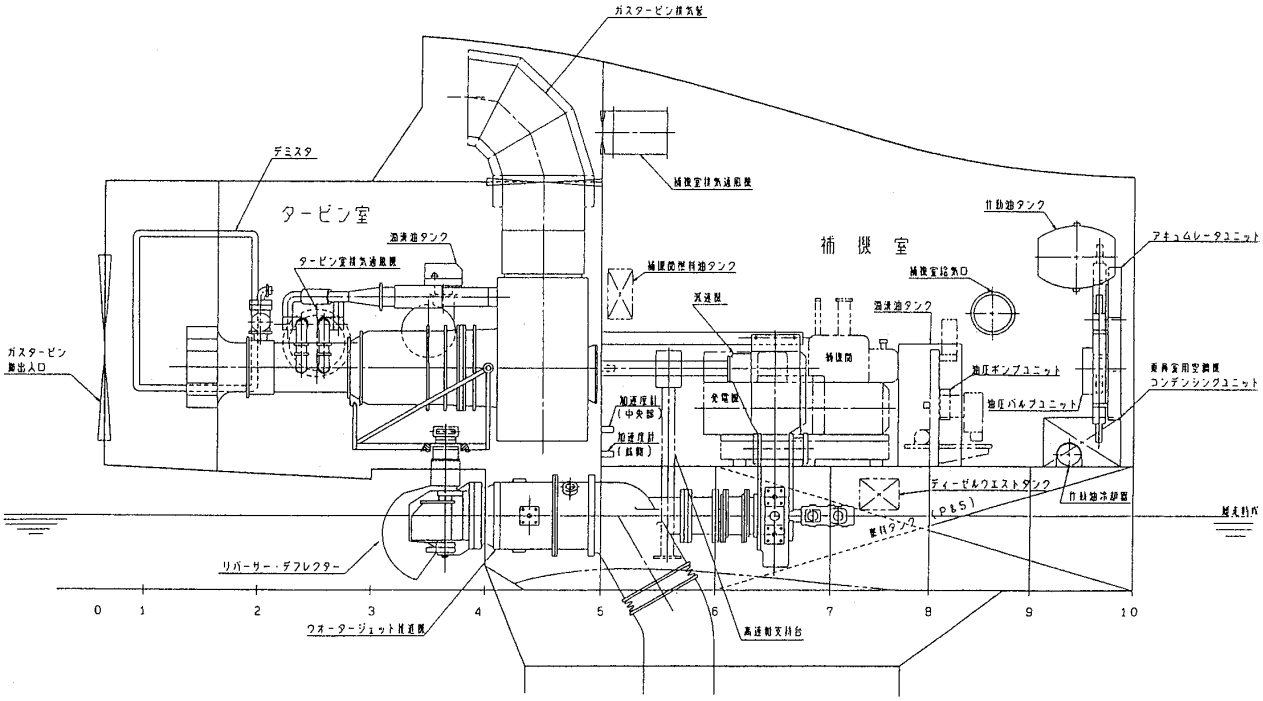


図 2.5 実海域模型船用機関室配置図

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

1991年11月設計開始，1994年2月納入という2年4ヵ月間の短期間で開発が完了した。

本章ではTSL－Aの推進用機関としてのMFT 8ガスタービンの設計目標とこれを検証した方法，結果について紹介する。

(1) TSL－Aの推進用機関としての要求

TSL－A推進用機関の性能要求は，

・吸気温度: 30°C

・吸気/排気ロス: 200/300 mmAq

の条件で下記の通りである。

・出力: 28,000 PS

・燃費: 176 g/PS•hr

(LHV 10,200 kcal/kg)

またTSL－A推進用機関として従来の舶用ガスタービンより大幅な軽量化が要求されていた。

(2) ガスタービン本体

この高出力かつ軽量，コンパクトの要求に対応するためにプラットアンドホィットニー製のガスジェネレータ（GG 8）に三菱重工にて開発した軽量高性能のパワータービンを結合することで対応した。

パワータービンは，軽量化設計により2.6トンの設計目標通り完成した。この軽量化は下記の検討により達成した。

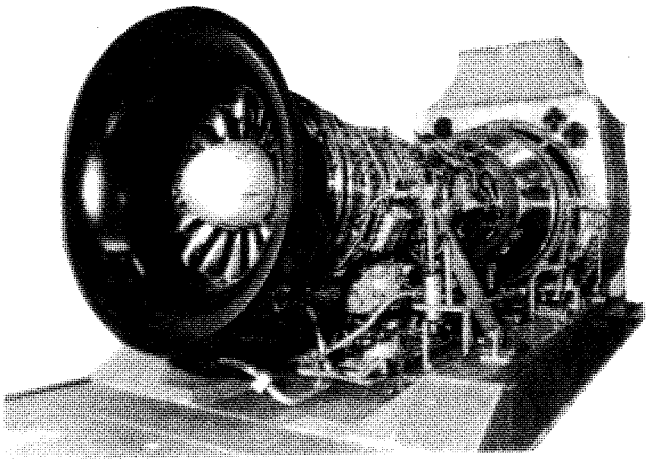


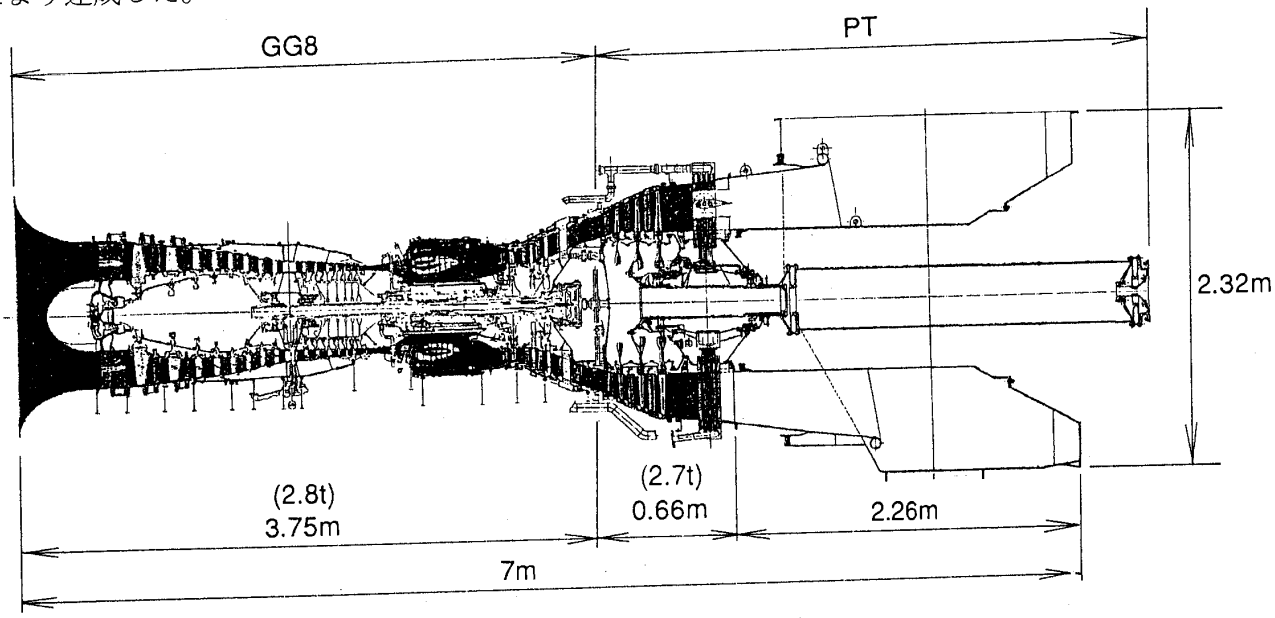
写真3.1.1 ガスタービン本体外観

・パワータービンの段数の最適化: 3段化

(軽量かつ性能の確保できる最小段数化)

・オーバーハングロータ構造による軸長の短縮化

また軸受は，前方ころ軸受と後方に玉軸受を配置した。MFT 8の運用回転数範囲は，1,000 rpm～5,000 rpmであるが，この範囲の危険速度に対応するためころ軸受には，オイルフィルムダンパーを設けた。エンジン本体の外観を写真3.1.1に示す。



(GG8)
・8段低圧圧縮機
・7段高圧圧縮機
・9個のバーナーキャン - デュアル燃料ノズル
・1段空冷高圧タービン
・2段低圧タービン

(P/T)
・片持3段パワータービン
・コンパクト排気室
・Output shaft (flexible coupling)

図3.1.1 MFT 8ガスタービン断面図

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

(3) エンクロージャ，台板およびマウント

通常の船用ガスタービンで使用されているエンクロージャと台板では軽量，コンパクトの要求を満足しない。そのためエンクロージャ，台板の材質として鉄の1/3の比重であるアルミ合金を採用した。ただし単純に材質だけを変更すると剛性も低下してしまうため形状の最適化をおこない必要な箇所だけ剛性をもつ構造とした。

完成したパッケージは，

・サイズ: 8.80 m×2.59 m×2.65 m

・全重量: 16トン（含むエンジン及び機器）

である。

またエンジンの振動を船体に伝播しないようにし，かつ船体のショックがガスタービンに伝わらないようにするために台板と船体の間には防振ゴムをいれた。このためパワータービンの出力軸端と減速機の入力軸端に大きいミスアライメントが生じるが，これは，フレキシブルカップリングを採用することで対応した。

(4) 吸気および排気システム

高速船には，コンパクトな吸気および排気システムが必要である。そこで最適な形状をもとめるため吸気，排気そして換気系のモデル試験を実施した。これにより吸気系は，最小の形状でGG 8のインレットディストーションの要求に満足するものを求めた。一方排気/換気系は，排気室の最小形状化と排ガスによる換気空気のエジェクタ効果の確認を実施した。

(5) ガスタービン搬出入

TSL－Aでは，船体の軽量化の要求とその船体の構造からガスタービン本体の搬出入は吸気ダクトより行うこととなる。このためにレールを用いて吸気側よりガスタービンを搬出入することとした。この方法の検証を工場内にて実施し，搬出可能なことを確認した。

(6) コントロールの事前シミュレーション

MFT 8ガスタービンのIGV, VSV, 抽気弁の開閉，および回転数等のコントロール装置として，Woodward Governor社の電子ガバナNETCON 5000を使用している。そこでMFT 8ガスタービンでの急加速/急減速時の圧縮機のサージ防止，燃焼器の失火防止，ウォータージェットの空気吸い込み時のコントロールのためのシミュレーションがWoodward社で実施され，コントロールの制御パラメーターが決められた。

(7) 性 能

ISO，吸気/排気ロス無し，5,000 rpmの条件でのMFT 8のベースロードの設計性能は，

出 力: 35,100 PS

熱効率: 38.2%

である。この性能時に

軸出力密度: 581 PS/m^3

軸出力重量比: 2.19 PS/kg

となりTSL－A推進用機関としての軽量化目標を達成した。

(8) 要素試験/工場試験内容とその結果

前述した吸排気ダクト試験の他に信頼性を向上するため下記の要素試験を実施した。

軸受および軸振動試験

軸振動と軸受の機能確認

高速回転試験

実ロータを回転させ翼－ディスク連成振動特性と軸振動の確認

エンジン操縦盤シミュレーション試験

エンジンシミュレーションを用いた操縦盤の機能確認

工場実負荷試験

エンジンとしての機能確認と下記計測

ガスタービン性能計測

チップクリアランス計測

軸振動，翼振動のレベル計測

2次空気系の機能確認

ケーシング温度計測

騒音計測

NOx計測

工場実負荷試験の設備の外観を写真3.1.2に示す。この設備配置は，TSLでの吸気/排気/換気構造を模擬しており，ウォータージェットの代わりに水動力計にて負荷を吸収する。上述した計測のため300点を越えるセンサーを常時監視しデータを記録した。

これらの試験の結果多くの成果が得られた。その主なものを次に示す。

① 1,000 rpm～5,500 rpm（定格回転数の110%）での軸振動および翼振動は非常に小さくこの範囲では，どの回転数でも保持可能である。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

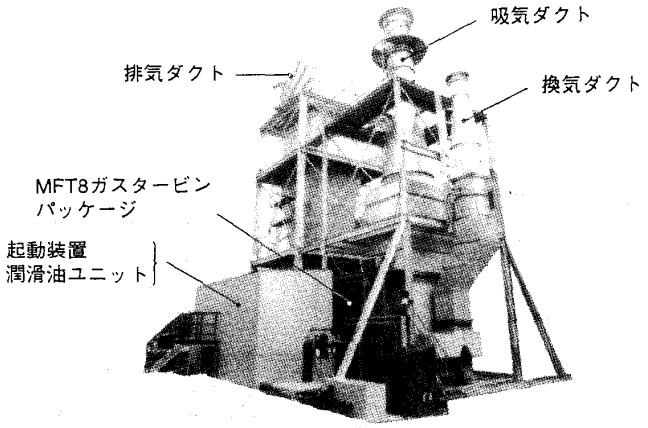


写真 3.1.2 工場試験設備

表 3.2.1 TF 40 ガスタービンの要目

ガスタービン機種	TF40GT
形式	単純サイクル2軸型
定格出力	4000SHP
ガス発生機回転数	18720RPM
出力タービン回転数	15400RPM
圧縮機	軸流7段+遠心1段
燃焼器	対向流・アニュラ形
ガス発生機タービン	軸流2段
出力タービン	軸流2段
軸受構造	ころがり軸受
使用燃料	軽油
潤滑油	合成基油
始動方式	空気タービン
重量（ガスタービン）	約540kg
寸法（ガスタービン）	1.4mL*0.9mW*1.1mH

② 2次空気システムは予想値通りでありパワータービンのスラストは，4～8トンである。従って軸受寿命が計画通りであることが確認された。

③ 計画通りの性能が確認された。

1993年8月から1994年1月までに3機のガスタービンの試験を終了した。おのおの運輸省の立会試験および検査を実施し舶用機関としての承認を得られた。

(9) まとめ

高速船の推進機関（TSLの推進機関）開発では，高性能および軽量コンパクトという2つの目標を達成しなければならない。MFT 8ガスタービン開発は，これを達成するため各種の検討および要素試験により最適な構造を確認し，この結果を反映するというプログラムで短期におこなわれた。この結果，工場実負荷試験にて目標通りの機能および性能が確認でき，また運輸省から舶用機関としての承認を得た。

MFT 8ガスタービンは舶用ガスタービンとして開発されたが，その広い作動範囲（1,000 rpm～5,000 rpm）を生かして機械駆動用として，また発電用としても使用可能である。

3.2 浮上用ガスタービン

(1) TSL－A浮上用機器の要求仕様概略

TSL－Aの浮上用として，4系列＊2台（合計8台）の遠心式ファンが設置されており，各系列は直列に並んだ浮上用ファン2台と1台の駆動機で構成され，操縦室より遠隔で制御される。

TSL－Aの開発目標船は高速性と起動性が強く要求される船舶であり，浮上用ファンの駆動用として小型軽量で起動性に富むガスタービンが求められる。

実艇にて全4系列の浮上用ファンをガスタービン駆動とする場合の信頼性を実証する事を目的として，実海域模型船の船首部右舷の1系列＊2台の浮上用ファン駆動用として，テキストロン・ライカミング社/USAより購入したTF 40 GTを搭載した。

そのTF 40 GT仕様概略を表3.2.1に示す。

注記

- 実海域模型船の浮上用ファンの所要動力は約2,000 SHP/1系列である。開発目標船用ファンは実海域模型船用より容量アップされ，所要動力は約2倍と予想されている。
- 実海域模型船の全4系列中3系列の浮上用ファンはディーゼルエンジン駆動されている。

(2) TF 40 GTの特徴と実績

TF 40 GTは，ライカミング社が1960年代初めに開発した航空機用エンジンが転用～発展～改善されて，現状に至っている。

TF 40 GTは，下記の様に主要部が互換性のあるモジュールで構成されており，メンテナンスは簡便化かつ容易化されている（図3.2.1参照）。

- コンバスタ出力タービンモジュール
- ガス発生機モジュール
- インレットハウジングモジュール
- サンプモジュール
- 補機駆動歯車モジュール

また，主要な制御機能も互換性のあるボードに組み込まれ，メンテナンスを容易にしている。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

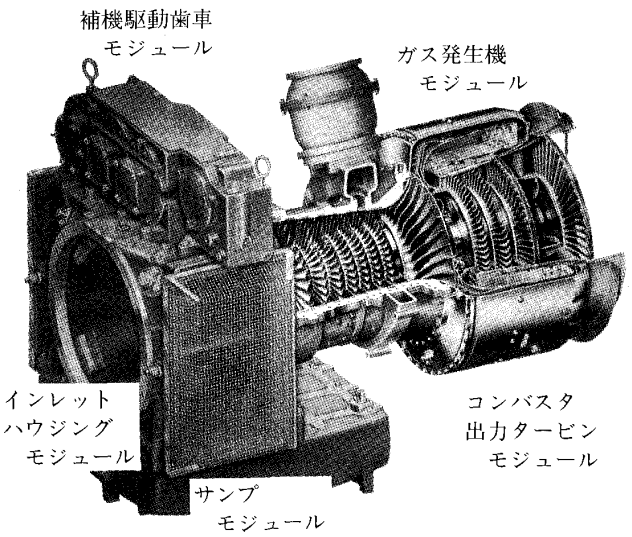


図 3.2.1 TF 40 GT

これらの信頼性と特性より，TF 40 GT は下記の各種船舶・艦船に採用され，その実績は数百台となっている。

・メガヨット/スピードボート
・フェリー
・米海軍/LCAC

(3) TSL－A への搭載要領

TF 40 GT を TSL－A 実海域模型船に搭載する為に実施した諸策を以下に記す。

・出力タービン回転数をファン軸回転数へ減速する為の減速装置を製作した。軽量化を計る為にガスタービンを減速装置で片持ち支持する配置とした。
・吸気の異物や海水を除去する為にデミスターを船体に組み込んだ。また，吸気/排気ダクトにはそれぞれサイレンサーを装着し，騒音の低減をはかった（図 3.2.2 参照）。
・実海域模型船では機関室内で運転操作を行う場合とブリッジより遠隔操作する場合があり，2 面の操縦盤（機側/遠隔）を設置した。この為，ライカミング社標準のシステムを改造し，操縦場所切り替えを含むガスタービン制御システムを新規に開発した。
・ライカミング社にてガスタービン単体試験および新規開発の制御システムの機能確認等を行った後，造船所に搬入した。そして，93 年秋，ファン（1 台）と減速装置を結合した陸上試験を実施し，所定の機能を有する事を確認した。

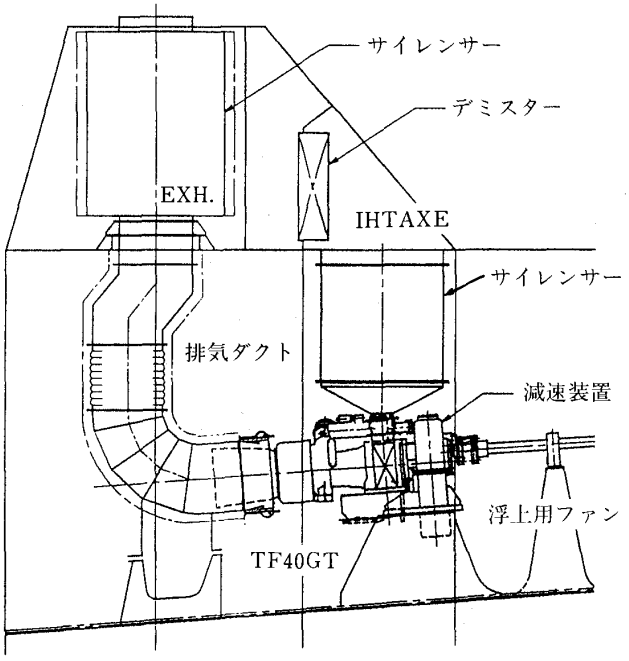


図 3.2.2 艇内配置概念図

これらの各種試験の過程にて JG（運輸省）承認を得た後，実海域模型船へ搭載した。

4．あとがき

テクノスーパーライナーが完成した暁には，まず，国内輸送において新しい海上物流ネットワークの形成を促し，それが，陸上輸送ネットワークにも影響を及ぼして，わが国物流システムの全体的な改善に大きく貢献することになろう。最近，運輸省が提唱している輸送体系のモーダルシフトにまさに役立つことになる。また，近い将来，アジアの NIES 諸国の大部分と 1 乃至 2 日の航海で結ばれることになり，相互の経済発展に大いに貢献することになろう。

テクノスーパーライナーの研究開発は，技術の面だけから見ても波及効果は大きい。また，逆に関連分野の技術発展に支えられている面も大きい。特に，ガスタービンについては，燃料消費などテクノスーパーライナーの経済性を大きく支配している。この点だけから見てもガスタービンの技術発展に寄せる我々の期待が大きいことを付言しておきたい。

最後に，第 2 章を執筆担当して頂いた川崎重工業㈱及び石川島播磨重工業㈱並びに第 3 章を執筆担当して頂いた三菱重工業㈱及び三井造船㈱の関係者の方々に感謝申し上げる。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

APUガスタービンの特徴と技術課題

川崎重工業㈱ジェットエンジン事業部　平　川　博　将

1．まえがき

APUとは，Auxiliary Power Unit（補助動力装置）の略で，航空機等でメインエンジンの始動あるいはメインエンジンが停止している時の電気及び空調用圧縮空気の供給に使用される。

小型を除き中型以上のヘリコプター及び固定翼機に搭載されるが，今日では機体設計の中でその搭載，設置が十分に検討され，APUは多くの航空機にとって全体設計仕様の欠くことのできない要素となっている。

現在，この市場はAllied Signal社（シェア80%以上），Sundstrand社等のAPU製造メーカー及びジョイント・ベンチャーが競争を行なっており，ここではAllied Signal社のAPUを例にその特徴と技術課題について紹介する。

2．APUの特徴

図1にメインエンジンとしてV 2500が搭載されているMD 90用に開発された131－9の構造図を示す。又図2，図3には現在ガルフストリームV（メインエンジンとしてBR 710搭載予定）用に開発が進められているRE 220の外観図及び断面図を示す。

この2つのAPUでは，エンジン始動及び空調用の圧縮空気の取り出し方に差があり，131－9では軸出力エンジンにより抽気用圧縮機を駆動し取り出している。

以下，APUに要求される事項及びその結果としての構造的特徴，APUの開発について上記エンジンを中心に述べる。

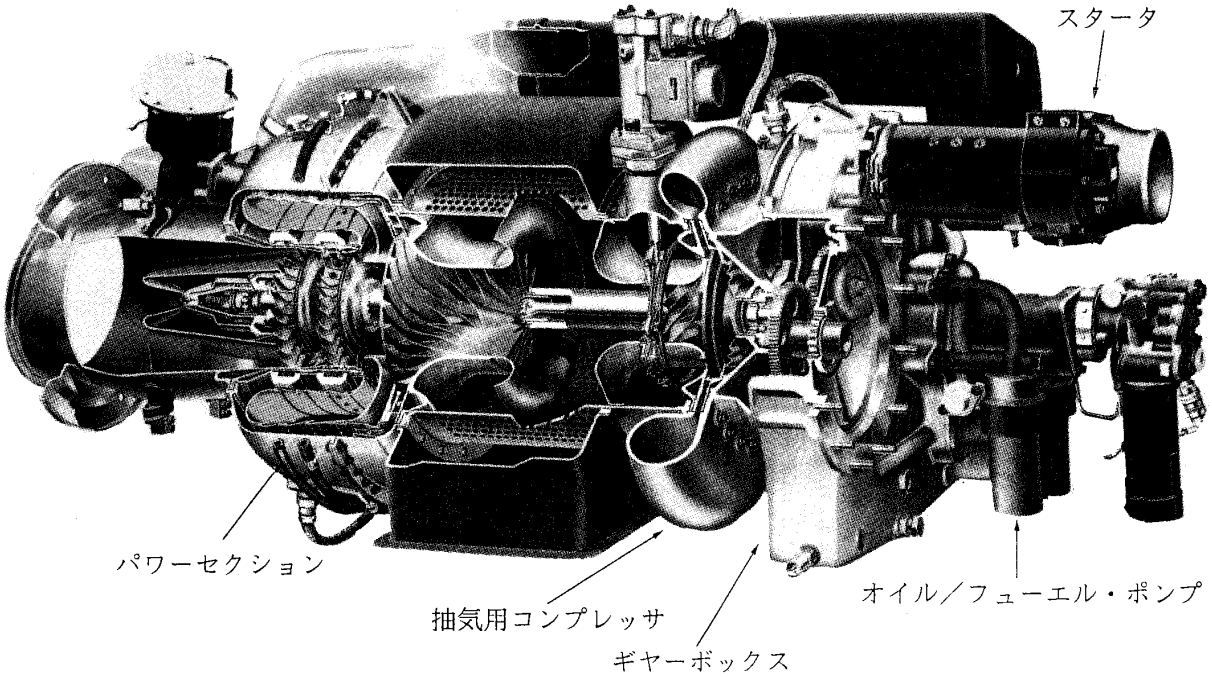


図1　APU　131－9　構造図
（Allied-Signal社製，MD－90，BO 737－Xに搭載）

（平成6年3月25日原稿受付）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/23

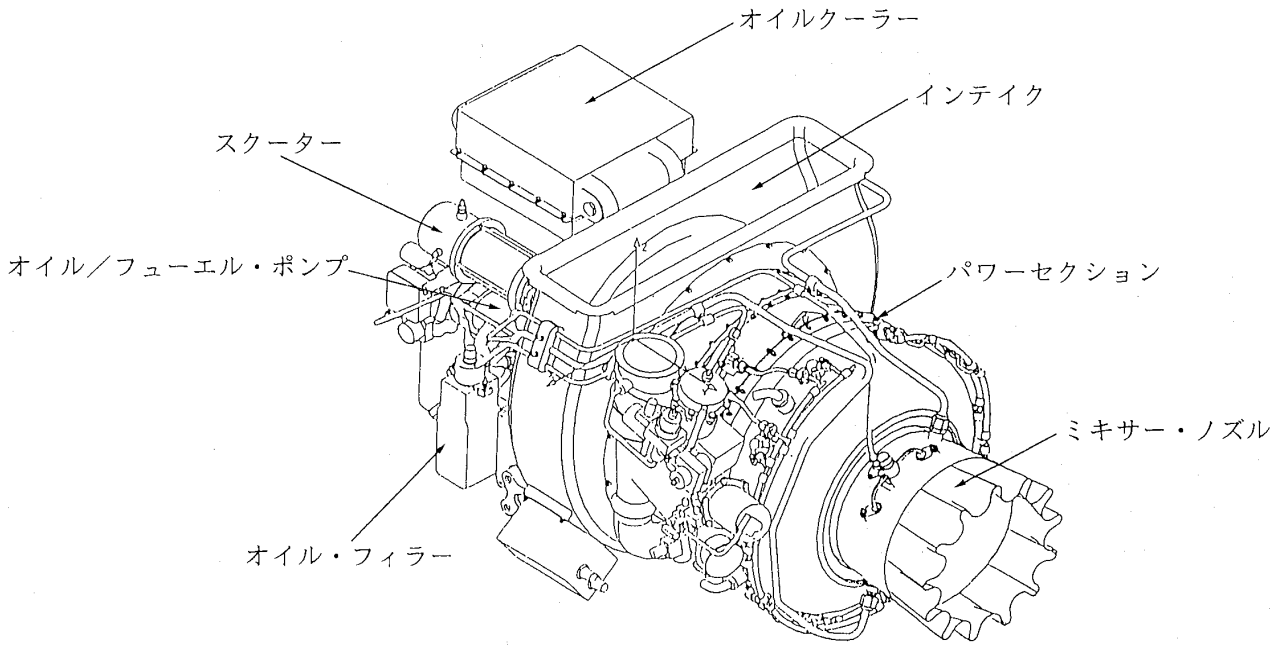


図2 APU RE 220［GV］外観図
（Allied-Signal 社製，ガルフストリーム V，グローバルエキスプレスに搭載）

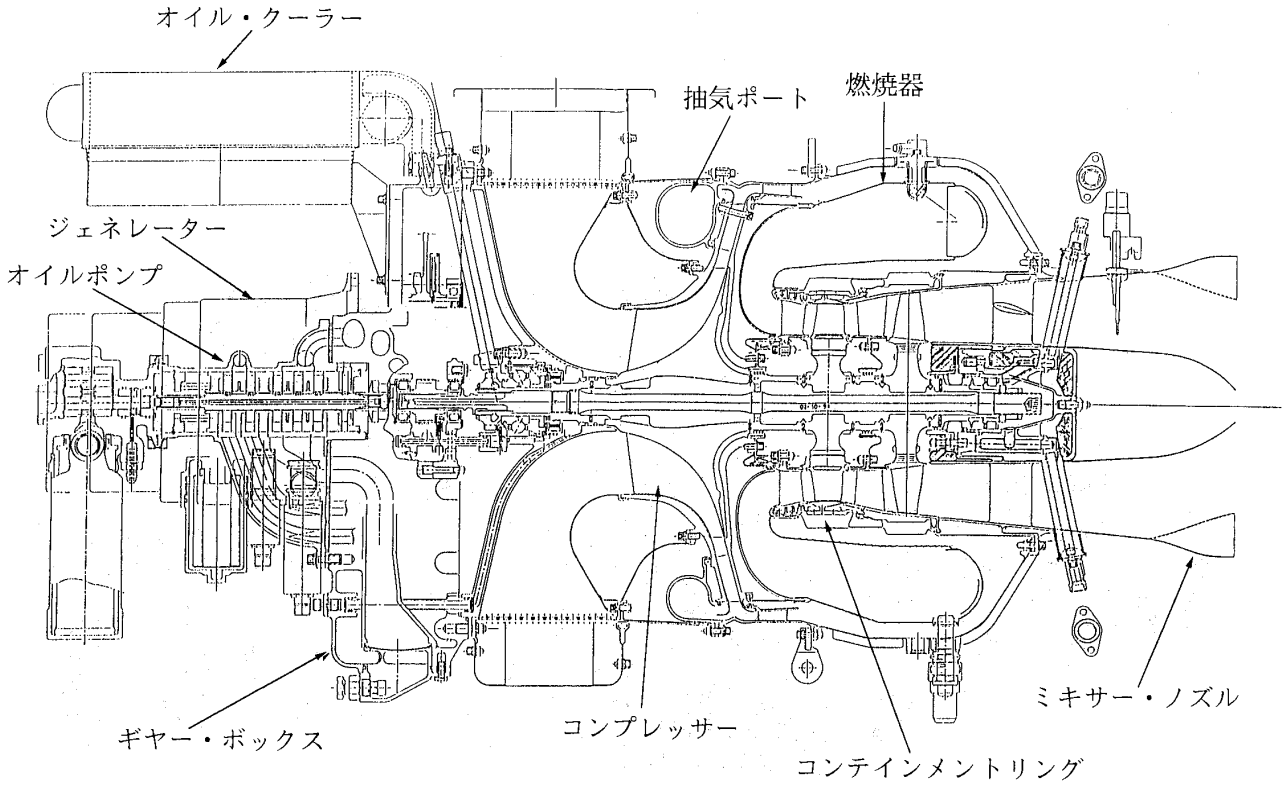


図3 APU RE 220［GV］断面図

(1) 機体からの要求（設計要求）

(A) メインエンジン始動能力

通常，航空機のメインエンジンはエンジン自立迄の起動用としてのスタータを有している。

小型では機体搭載のバッテリーを使って電気スタータで起動するが，中型以上の航空機では，APU を動力源としてスタータを駆動している。

その駆動媒体として使用されるものは3種類あ

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

り，1つはF15等の戦闘機で使われているメカニカルリンク方式でメインエンジンを機械的に駆動して起動する。

2つ目はCH－47（自衛隊で使用されている大型ヘリコプター）等で使われているハイドロリンク方式で，APU駆動のハイドロポンプにより起動用のハイドロスターターを駆動する。

3つ目はMD 90などのファンエンジン搭載の航空機で使用されているニューマチックリンク方式でAPUから圧縮空気を起動用のエアースターターへ供給する。

従ってAPUに対する要求としては，メインエンジン起動に必要な軸出力又は圧縮空気を供給出来る事となる（図4参照）。

又この要求は，厳寒の地上のみならずウインドミルの期待出来ない高空でも満足させる必要があり，APUとしても低温着火起動等設計上配慮を要する。

(B) 抽気及び発電能力

航空機は空調あるいは電気供給の為にメインエンジンから抽気，あるいは補機パッドに発電機を搭載し電気を供給している。

しかし駐機時は，燃料消費等の問題からメインエンジンの代りにAPUから抽気あるいは電気供給を行なっている。この為，APUはメインエンジンと同等の発電能力と同時に抽気能力が要求される。

発電機は，400 Hzの交流周波数を持っており機体が大きくなると共にその出力は大きくなる。又回転数は，従来6,000 RPM（8極）であったものが軽量化の為，12,000 RPM最近では24,000 RPM（2極）のものも検討されており，APUにはこれを駆動するギヤートレイン及び搭載パッドを有する必要がある。

抽気については，メインエンジンの起動に十分な容量であると共に機体のE. C. S'（Enviromental Controll System）を作動させるに十分な容量が要求される。この為，前述の様に抽気用圧縮機を軸出力で駆動するか，軸出力エンジンの圧縮機から直接抽気して必要な空気を機体へ供給する事が要求される。

(C) 重量・騒音・排ガス

メインエンジン始動及び抽気，発電能力がAPUに要求される機能であるが，これと同時にメインエンジンと同様なさまざまな要求が顧客あるいはFAA（Federal Aviation Administration）から出される。

まず重量であるが航空用メインエンジンと同様，

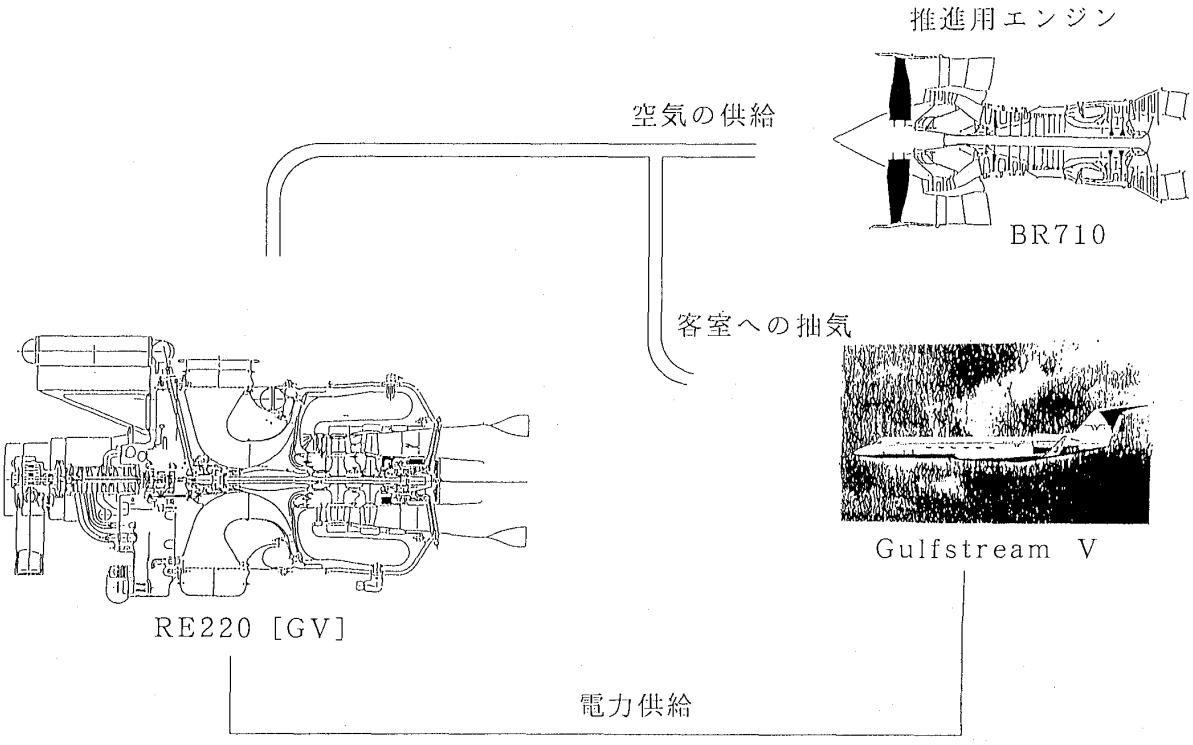


図4 APUの機能

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

高い出力/重量比が要求されており，設計上かなり厳しい重量管理あるいは材料選択を必要とする。

騒音，排ガスについても同様にスイス，デンマーク等徐々に要求が厳しくなっており，吸気プレナム，排気ミキサー等にいろいろな設計配慮をする様になっている（図2参照）。

(D) 信頼性，整備性

古い型式のAPUでは機体設計の後，搭載が検討されたため，エンジン周囲条件の整備が不十分あるいは重要コンポーネントへのアクセスが困難で簡単な整備や検査もできないという状況がみられた。しかし最近では，運転される環境あるいは規則に改善がみられており，APUは航空機全体設計，スペックの中でその一部として認識される様になっている。この様な状況下で，APUもメインエンジン同様，設計に於ても性能，機能のみならず，信頼性，整備性についても運用サイクルをベースに必要な解析等が要求されてきている。即ち顧客（機体メーカー）の満足を得るMTBF（Mean Time Between Failure）になる様に設計する事はもちろん，FMECA（Failure Mode Effects And Criticality Analysis），Hazard Analysis, FTA（Faut Tree Analysis）等の解析を設計に取り入れ，信頼性向上を計っている。

また最近では，Damage Tolerenceの考え方も取り入れられ，より一層の信頼性向上を計っている例もみられる。

整備性の面でも，機体搭載上で整備しやすい様補機の配置等機体メーカーと合同で検討されると共に，メインエンジン同様オンコンディションに対応出来る設計が要求される様になっている。

(2) APUの設計及び特徴

APUは前項(1)に示された機体側の搭載上の要求を満足するべく設計され，その主要な構成要素は，ギヤボックス，パワーセクション，ECU（Engine Controll Unit），補機等である。以下それぞれについて設計及び特徴を示す。

(A) ギヤボックス

パワーセクション（圧縮機及びホットセクションから構成された軸出力発生部で通常1軸である）からの高速，低トルクの軸出力をギヤ（通常平歯車が使用される）を介して減速し，発電機，オイルポンプ（エンジン軸受の潤滑及び発電機の冷却等に使用する為のオイルを供給する），燃料コントロール等を駆動する。またAPUを起動する為にクラッチを介して電気スターターが搭載されている。

設計ポイントとしては，高速部の歯車及びベアリング，クラッチ等の信頼性及び軽量化の配慮が重要である。

(B) パワーセクション

圧縮機は，出力的に同クラスのターボシャフトエンジンと同様，遠心式を採用しているものがほとんどであり，これによりコスト，重量，信頼性に対して大きなメリットを得ている。

圧縮機はエンジンのサイクル圧力比を達成すると共に，機体への抽気を得るのに使われており，RE 220の場合，単段で5.5の圧力比を得ている。

131－9の様に抽気用として別に圧縮機を同軸上に配したものもあり，中型，大型のAPUではほとんどこの型式を採用している。エンジンサイクル上は低燃費のメリットはあるがIGV等構造が複雑化すると共に制御も複雑なシステムになる。タービンは同軸で圧縮機と連結されており，圧縮機駆動力と発電機その他のギヤボックスの搭載の補機駆動力を発生する。

小型のAPUでは半径流タービンが使われているが，大型のAPUになると疲労寿命あるいは起動時の慣性力を考慮して軸流タービンが使用される。

タービン設計技術には，例えばDSブレード，粉末治金ディスク等が適用され，軽量，長寿命を可能にしている。

燃焼器は，逆流環状型（小型APUでは，単筒缶型もみられる）の板金構造で，フィルムクーリングに代り性能，生産性の面で有利なエフュージョン・クーリングを採用している機種もある（図5参照）。

(C) ECU及び補機

最近のECUにはCPUを使ったFADEC（Full Authority Digital Electronic Controll）が使われているものもあり，吸気温度・圧力，排気温度，圧縮機出口圧力等のエンジン搭載センサーから入力を受けて，エンジン燃料制御演算機能及び機体からの指令信号，機体への表示信号等，機体とのインターフェースを行なっている。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

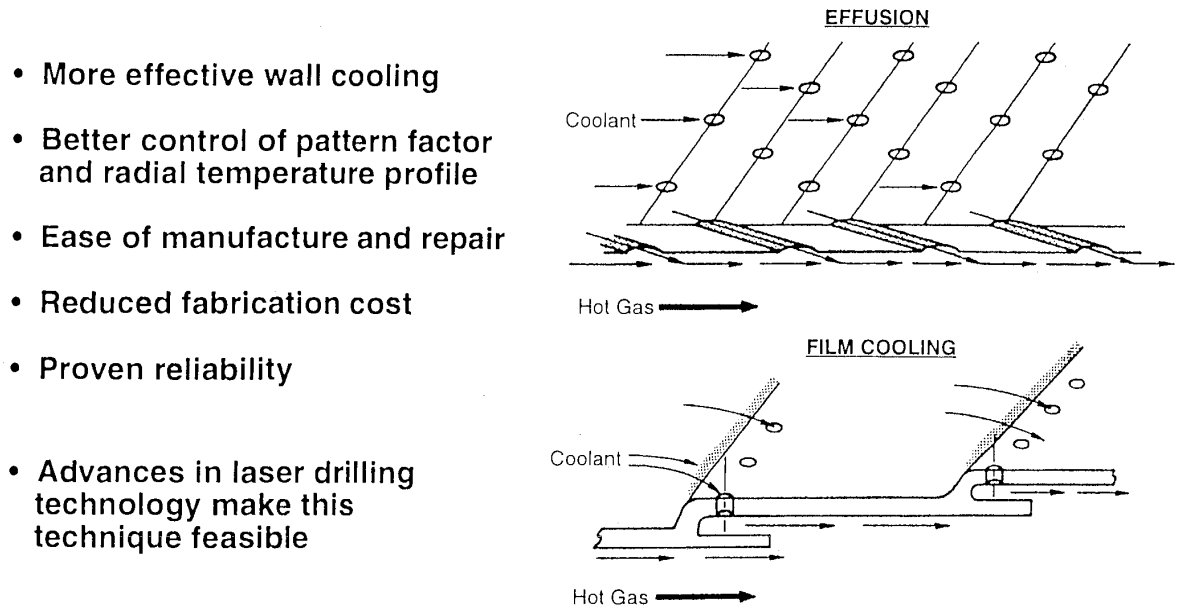


図5 エフュージョン・クーリング

APU は発電機駆動用のガスタービンによく使われている1軸式が多く，航空用で多く使われている2軸式と違い，起動直後圧縮機も100%回転数に到達し，負荷変化に対しても同一回転数で対応する。従って航空用とは若干違う起動制御，出力制御を行なうと共に抽気コントロール機能を有する。

燃料システムとしては，ECU の指令を受けてギヤボックスに搭載された燃料コントロール・ユニットで必要な燃料流量が計量され，燃焼器へ供給される。

オイルシステムとしてはパワーセクション及びギヤボックスの軸受部の潤滑及び冷却あるいは発電機の冷却に必要なオイルをギヤボックス内蔵のオイルタンクからオイルポンプを通して供給する。その冷却はギヤボックス搭載のクーリングファンによってオイルクーラーで行なわれる。最近では，クーリングファンを使用しないで排気ガス速度を利用したエジェクターで冷却するものもみられる。

全体艤装の面から見ると，APU は通常機体尾翼部分に搭載され，狭いスペース内で吸排気及びオイル冷却，エンジン冷却を行なわねばならない。この為，例えば吸気では，高空での十分なラム圧回復を考慮した吸気ドア設計，あるいはエンジンへのスムーズな空気流入及び少ない圧力損失を考慮したダクト設計を行なう必要がある。

排気については前述の如くエジェクターを用い

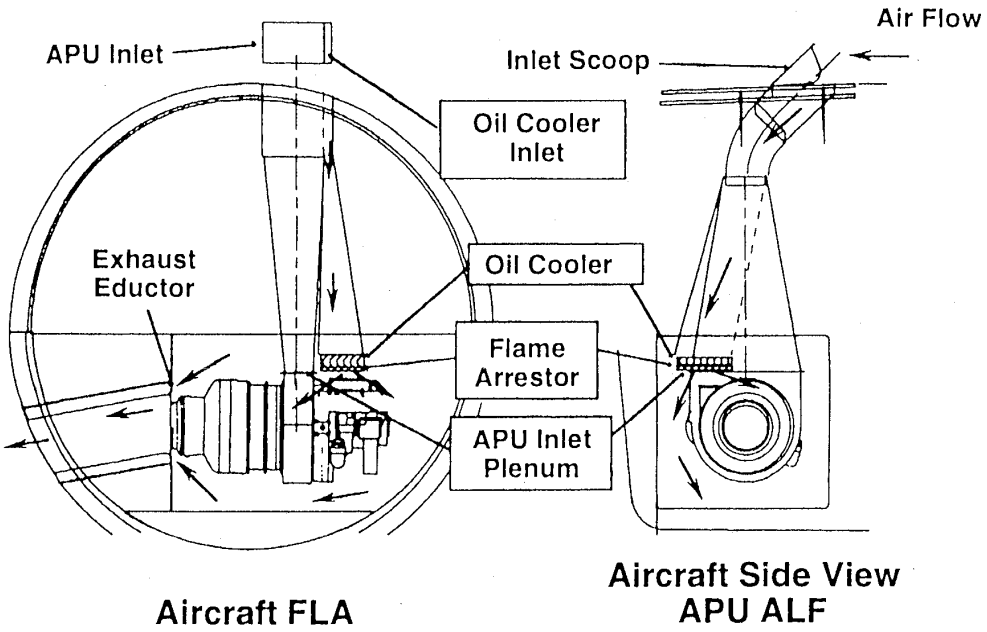


図6 APU 搭載サンプル例

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

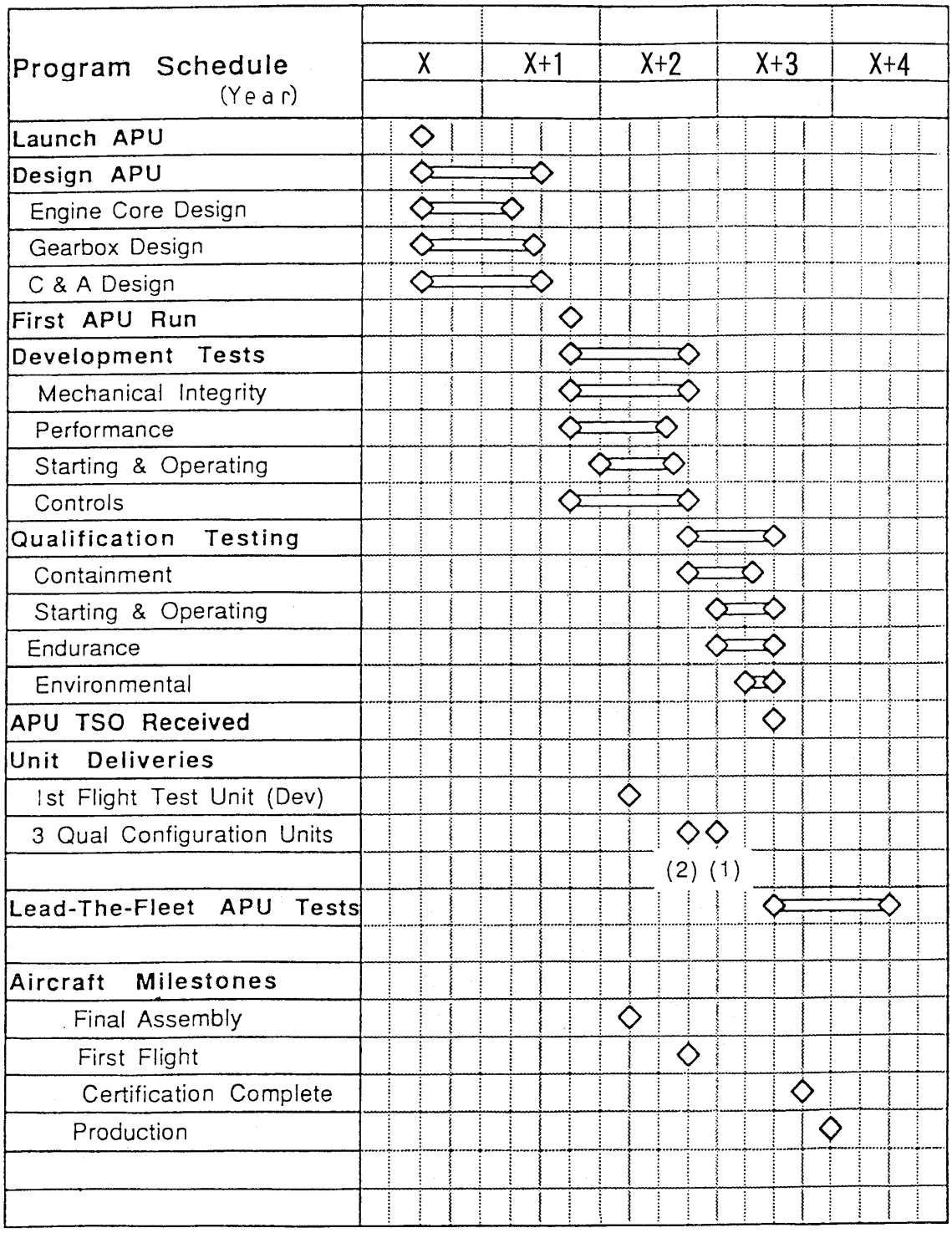
てオイル冷却とエンジンルームの冷却を行なう場合もあり各々の放熱に見合ったエジェクター設計を要する（図6参照）。

(3) APUの開発

表1に開発スケジュールの1例を示す。この例では，開発開始から約3年の期間でTSO（Technical Standard Order; APUに対するFAAの認定でメインエンジンの型式証明に相当する）の取得に至っている。

TSOの要求はエンジン型式証明の要求を示すFAR Part 33とほとんど同一である。この要求は例えばETOPS（Extended Range Operations With Two-Engine Airplanes）では3つの電源が要求されており，この様な用途に使われる場合は

表1 APU開発スケジュール（例）



Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

CATEGORY I に分類されてほぼエンジン型式証明と同一の要求が求められている。

これに対し便利さの為に装備されるものは，CATEGORY II に分類され，要求はかなり緩和されている。

TSO の認定に必要な項目の例を表 2 に示す。この中でメインエンジンの型式証明と異なるものとして，APU の場合は回転体に対しブレードのみならずディスクを含めてコンテインメントを要求される。この為，ディスクバースト防止のコンテインメントリングがエンジン部品として装備されている。

開発は設計，開発試験，認定試験，飛行試験について実施され，TSO 取得後も Lead The Fleet と呼ばれる運用に先行した耐久試験が実施される。この試験は，実際の機体搭載を模擬して数千時間実施され，耐久性が確認される。

3．APU の技術課題

APU は技術的には，航空用メインエンジン並の燃費要求はないものの軽量・小型で耐環境性，信頼性，性能，コスト等を満足させる必要がある。この為，航空用メインエンジン同様いろいろな技術を取り入れて競争力を維持していく必要がある。以下，そのいくつかを紹介する。

(1) 可変ディフューザの適用

固定式のディフューザの場合，作動条件の違いにより高空では，出力が低下する。これをカバーする為，ディフューザを可変にして高空で出力が低下しない様にするものである。従ってサイズ，重量を変えなくとも出力，燃費を良くする事が出来る（図 7 参照）。

(2) セラミック・タービンの適用

これは，いろいろな分野でも適用が検討されているが，高いタービン入口温度で軽量，小型の部品を提供するものであり，Allied Signal 社では APU への適用をねらって開発が進められている。

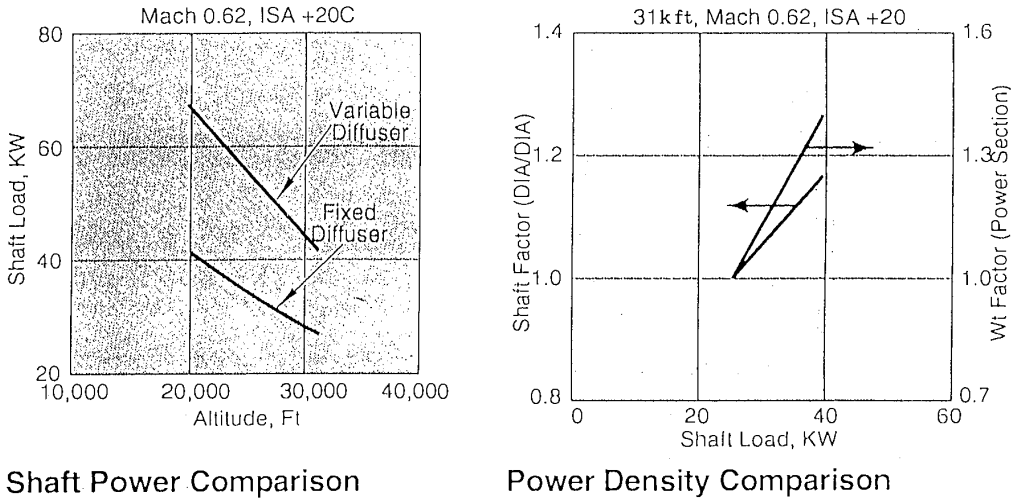
(3) 燃焼器技術の改良

最近の APU ではより高々度での作動（ビジネスジェット等では 50,000 フィート以上の高度での起動・運転）が要望される為，燃焼器でも燃料ノズル，プラグの改良あるいは，3 次元モデルによる解析等をとり入れて性能向上が進められている。

表 2 TSO-C 77 a/JAR-APU Qualification Test Plan

Requirement or Test Description	Requirement or Test Description
Date Requirements Manuals A) Installation Manual B) Maintenance Manual C) Illustrated Parts Catalog D) component Maintenance Manual Model Specificaion RE220 [GV] Qualification Test Reports Appendix 1-Design Standards Attitude EMI Operating Characteristics A) Performance B) Starting and Environment Maneuver Loads Negative Acceleration Safety Provisions A) Functional Description-APU B) Functional Description-ECU C) FMEA, APU D) Fault Tree Analysis, APU/ECU E) FMEA, ECU	APU Air Inlet A) JAR-APU/TSO-C77a Icing B) Inlet Blockage/Rotor Vibration C) Foreign Object Ingestion Containment A) Engine Compressor Rotor B) Turbine Rotor C) Start Motor Armature Block Tests (Essential) A) Calibration B) Endurance C) Starts D) Recalibration E) Teardown Special Tests A) Limiting Devices 1) Temperature 2) Speed

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/



A variable diffuser allows a 18% smaller APU diameter, 25% weight reduction and a 7% fuel efficiency advantage over an equivalent sized fixed diffuser APU

図7 可変ディフューザと固定ディフューザの比較例

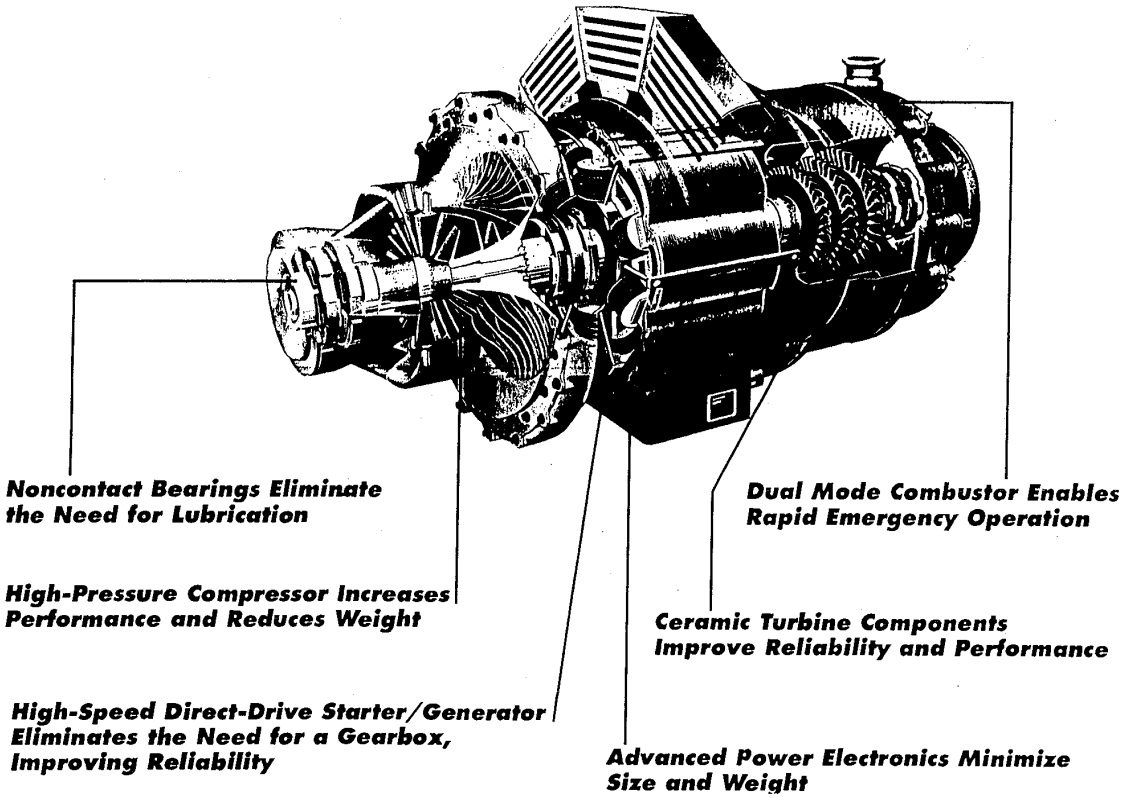


図8 ターボジェネレータ概念図

(4) 空気ベアリングの適用

特にタービン部分のベアリングに対し，構造の簡単化及び信頼性向上の目的で空気ベアリングの適用が計られている。これは以前より，Allied Signal 社等で ECS に適用されている技術であり，APU に対しても適用が検討されている。

以上の技術に加え高速のダイレクトドライブのスタータジェネレータの適用を考えると，近い将来，図8に示す様な APU が実現するであろう。

参考文献

Edward G. Tripp, Business & Commercial Aviation (January, 1993)

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

技術論文

Ni基超合金IN 738 LCの機械的性質に及ぼす材料劣化の影響

株式会社 東芝 岡部永年
株式会社 東芝 吉岡洋明
株式会社 東芝 斉藤大蔵
株式会社 東芝 藤山一成

Abstract

To establish a material degradation assessment system of gas turbine bucket, degradated materials of IN738LC were artificially produced and were evaluated for the mechanical properties. The γ' precipitates were found to be increased in size to depend on time t as $t^{1/3}$ by a diffusion controlled mechanism and decreased in number as t^{-1}. Mechanical properties also changed during the agings and were found to be good correlations with the distributions of γ' precipitates. Hardness, tensile strength and yield stress at room temperature were explained as the γ' interparticle distance λ, and minimum creep rate was as the ratio d^2/λ of the γ' interparticle distance to power of two λ^2 and the mean diameter d. On the basis of the abovementioned formulas, changes of the hardness, minimum creep rate, and rupture life during the aging at 850°C were successfully estimated.

1．はじめに

近年，省エネルギー，燃料の多様化，運用の柔軟性，環境適合性などの観点からガスタービンに廃熱回収ボイラおよび蒸気タービンを組み合わせたコンバインドサイクル発電プラントが新設プラントの主流となっている。その主機であるガスタービンは，これらの要望に応えるため，駆動流体としての燃焼ガスの高温化や大容量化を図ると共に稼働率や信頼性の向上および定検間隔と部品寿命の延長を図る傾向がある。

そこで，これらに対応するための基礎技術の一環としてガスタービン動翼材のNi基超合金の経年劣化挙動の解析と，それに基づく劣化損傷予測を目的とし，実験室的に作成した人工加熱劣化材に対する組織変化の観察に基づき室温での静的機械強度特性およびクリープ特性に及ぼす長時間時効の影響について解析した。

2．実　験

2.1　供試材

本実験に供した鋳造Ni基超合金IN 738 LCの化学組成を表1に示す。200×80×20 mmに精密鋳造したブロック材に対して，1120°C×2 hの溶体化処理と843°C×24 hの時効処理を施した後，750°C，800°C，850°C及び900°Cの4温度にて，それぞれ，1000 h，3000 h，10000 h及び24000 h保持の高温時効を行い供試材とした。

2.2　実験方法

機械的強度特性試験として，直径6 mmの平行部を有し標点間距離30 mmの丸棒試験片を作成し用いた。引張試験は室温にて，クリープ試験は850°Cにて294 MPaと245 MPaの2応力条件で行った。

表1　供試材IN 738 LCの化学組成

C	Ni	C	Co	Al	Ti	W	Mo	Ta	Cb	B	Zr
0.10	Bal.	15.8	8.60	3.58	3.40	2.90	1.68	1.83	0.87	0.01	0.06

（平成5年8月23日原稿受付）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

時効組織観察はマーブル試薬でエッチングしたのち，γ'相［$Ni_3(Al, Ti)$］に着目し2段レプリカ法で透過電子顕微鏡による組織観察を行い，画像処理解析を介して結晶粒内に折出したγ'相の粒径 d（μm）および粒内折出密度 N（個/μm^2）を求めた。また，時効による針状折出物の観察には，王水グリセリン溶液をエッチング液として用いた。クリープ試験後の破面観察は走査型電子顕微鏡にて行った。

3．実験結果および考察

3.1 組織・折出形態における時効の影響

写真1は時効に伴うIN 738 LCのミクロ組織の変化を示す。時効により結晶粒界および粒内に生じるγ'相の折出量は，時効時間が長いほど，また，時効温度が高いほど増大する傾向がある。また，結晶粒内には針状の炭化物が折出[1]し，その折出は750°C～850°Cの温度域で顕著であったが，900°Cではほとんど認められなかった。

写真2は2段レプリカ法で透過電子顕微鏡による組織観察結果を示す。未時効時には，約0.4 μmの立方状γ'相と約0.02 μmの微細な球状γ'相の混在する組織を呈するが，高温時効により微細な球状γ'相はマトリックス中に固溶し，立方状γ'相は粗大化し，球状化する傾向がある。図1は各時効材のγ'相の平均粒径および粒内折出密度の計測結果を示す。そこで，図2は，このγ'相の粗大

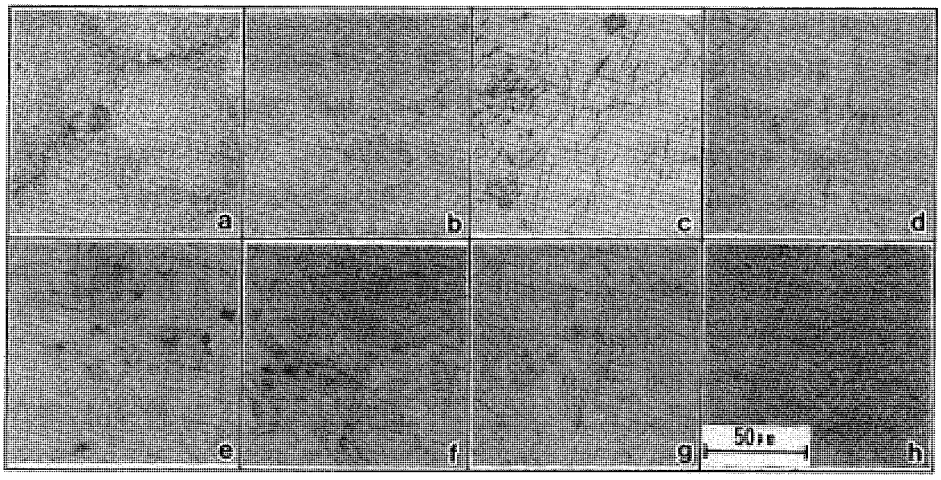


写真1 IN 738 LC材のミクロ組織に及ぼす時効の影響
850°C時効: ⓐ 0h，ⓑ 1000 h，ⓒ 10000 h，ⓓ 24000 h
24000 h時効: ⓔ 750°C，ⓕ 800°C，ⓖ 850°C，ⓗ 900°C

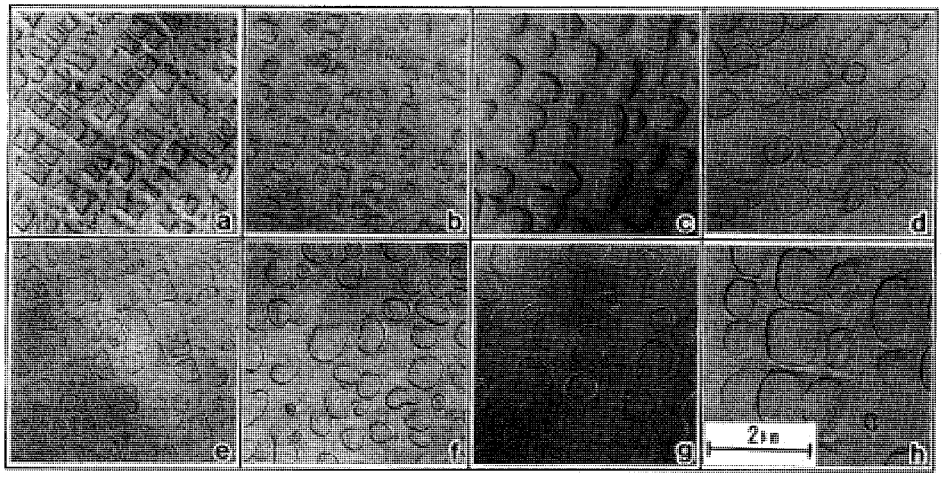


写真2 IN 738 LC材の透過電子顕微鏡組織に及ぼす時効の影響
850°C時効: ⓐ 0h，ⓑ 1000 h，ⓒ 10000 h，ⓓ 24000 h
24000 h時効: ⓔ 750°C，ⓕ 800°C，ⓖ 850°C，ⓗ 900°C

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

化傾向に着目し，時効温度 T をパラメータとして各時効材の粒径 d の 3 乗と時効時間 t との関係で示したものである。図中の各直線に示すようにこの γ'相の粗大化傾向は各時効温度ごとに次式で表され，Ostward 成長[(2),(3)]を示すことが認められる。

$$d^3 - d_o^3 = kt \quad \cdots\cdots(1)$$

この式における成長速度係数 k は温度依存性を示し，次式で表される。

$$k = 64\gamma_e D C_e V_m^2 / \boldsymbol{k}T \quad \cdots\cdots(2)$$
$$D = D_o exp(-Q_d/\boldsymbol{k}T) \quad \cdots\cdots(3)$$

D, D_o: γ 相中の γ'相溶質元素の拡散係数 D，頻度係数

γ_e : γ 相と γ'相の界面エネルギー，

C_e : γ 相中の γ'相の平衡濃度

V_m: γ 相中の γ'相の体積

Q_d : γ 相中の γ'相溶質元素の拡散のための活性化エネルギー

$\boldsymbol{k}$: ボルツマン定数

ところが，γ'相の粒内析出密度は $N = V_m C_e / d^3$ (個/μ m²) で与えられるので，式(1)と式(2)から次式が導かれる。

$$N^{-1} - N_o^{-1} = k't \quad \cdots\cdots(3)$$
$$k' = 64\gamma_e D V_m / \boldsymbol{k}T \quad \cdots\cdots(4)$$

そこで，図 3 は高温時効にともなう γ'相の粒内析出密度 N (個/μm²) の挙動を N^{-1} と t の関係で示したもので，式(3)でよく表される。図 4 は k, k' の温度依存性の試験データを $ln(kT)$ と $1/T$ の関係で示したもので，図中の直線に示すように Arrhenius の式でよく表される。

したがって，γ'相の挙動は次式で表されることになる。

$$d^3 - d_o^3 = (64\gamma_e D_o C_e V_m^2 / \boldsymbol{k}T) exp(-Q_d/\boldsymbol{k}T)t \quad \cdots\cdots(5)$$
$$N^{-1} - N_o^{-1} = (64\gamma_e D_o V_m / \boldsymbol{k}T) exp(-Q_d/\boldsymbol{k}T)t \quad \cdots\cdots(6)$$

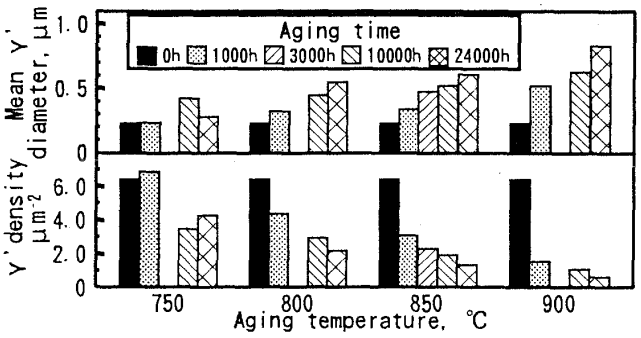


図 1 IN 738 LC 材の各高温時効材の組織観察・画像処理結果

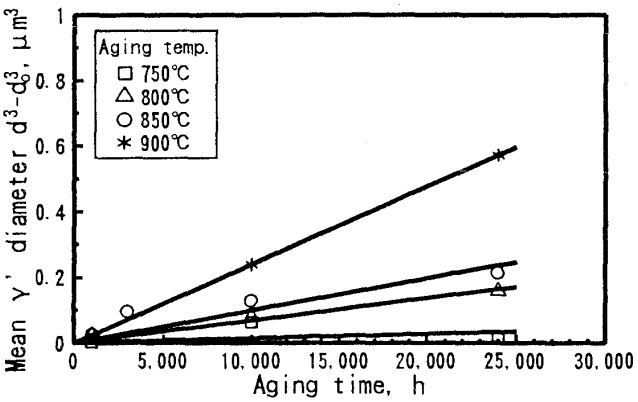


図 2 IN 738 LC 材の γ'相の平均粒径 d (μm) に及ぼす時効の影響

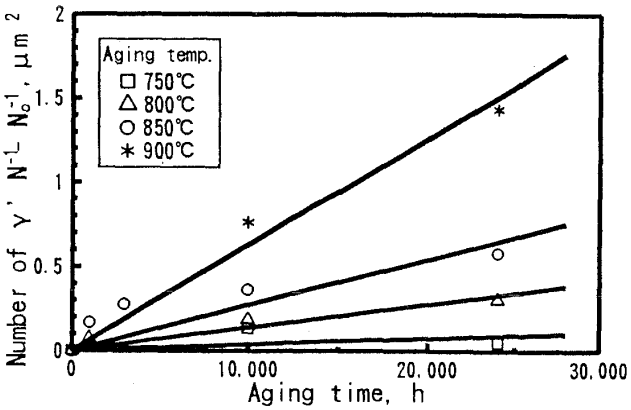


図 3 IN 738 LC 材の γ'相の粒内析出密度 N (個/μm²) に及ぼす時効の影響

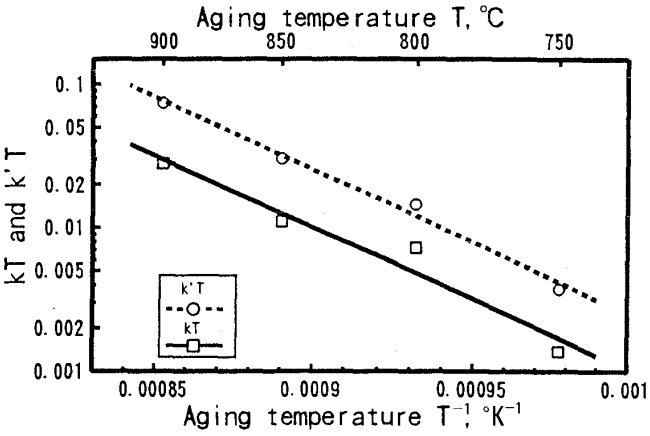


図 4 IN 738 LC 材の γ'相の成長速度係数k, k'の温度依存性

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

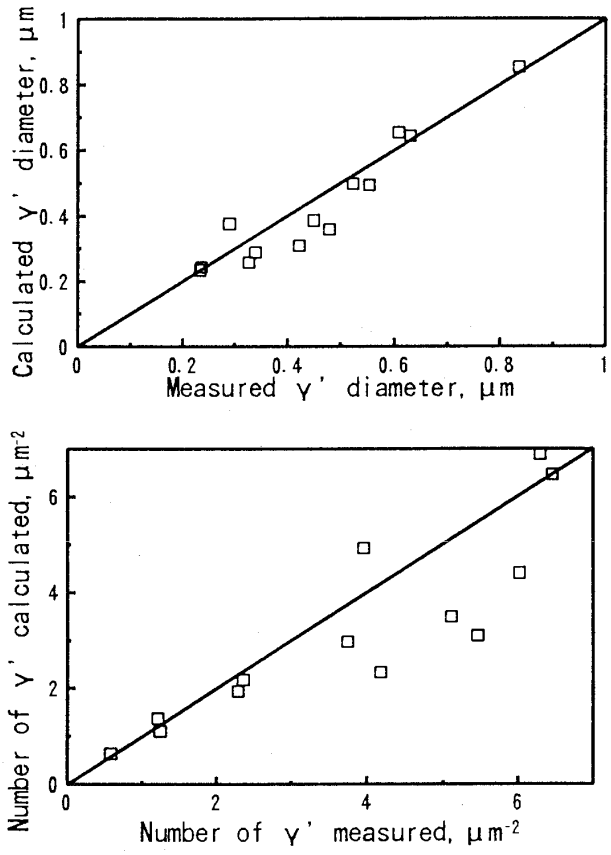


図5 IN 738 LC 材の γ'相の平均粒径および粒内折出密度の推定値と実測値の相間性

ここで，Q_d の値は $Q_d=3.19\times10^{-19}(J)$ であり，Ni−Al 中の Al あるいは Ti の拡散の活性化エネルギーの値 $Q_d=4.27\sim4.48\times10^{-19}(J)$にほぼ近い値を示す。

図5は γ'相の粒径 d および粒内折出密度 N に対する式(3)での推定計算値と実測値との関係を示し，γ'相の成長が式(5)および式(6)でよく推定できることが示されている。

3.2 静的強度特性における時効の影響と組織の関係

図6は引張強さ σ_B，0.2%耐力$\sigma_{0.2}$，硬さ Hv などの室温での静的強度特性の変化に及ぼす高温時効の影響を示す。時効時間一定では，時効温度の上昇と共に $\sigma_{0.2}$ も Hv も低下するが，σ_Bは増大する傾向がある。時効温度一定では，σ_B，$\sigma_{0.2}$，Hv のいずれも 800°Cまでは時効時間と共に増大する傾向があるが，850°C以上では$\sigma_{0.2}$，Hv は減少するが，σ_B は増大する傾向がある。組織観察から判断すると，これらの傾向はいずれも高温時効による γ'相の変化に大いに依存するように推察される。

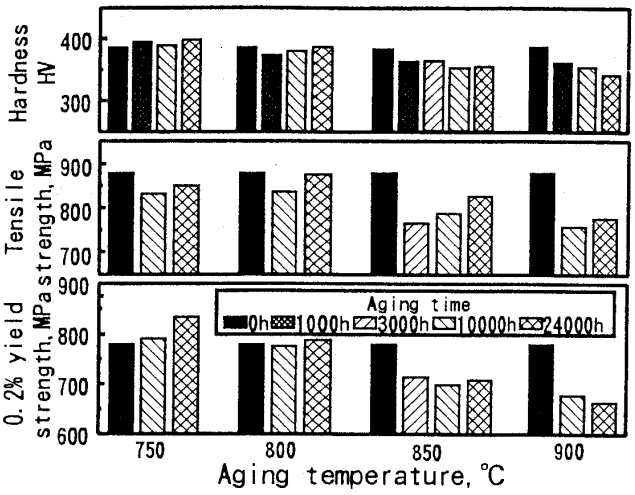


図6 各時効材の室温での静的機械強度試験結果

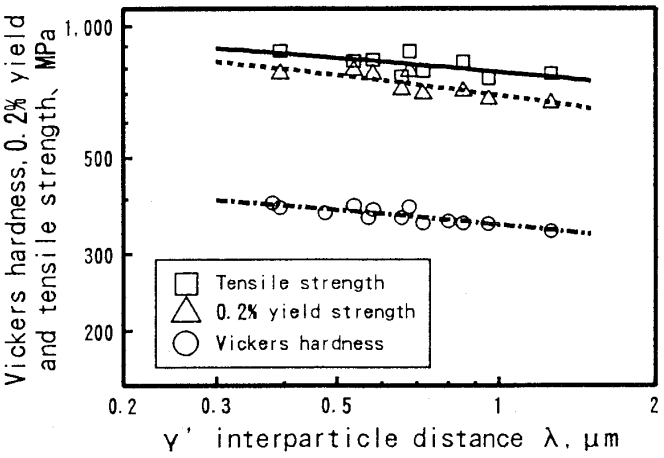


図7 各時効材の γ'相の相間距離 λ (μm) と静的強度特性との関係

そこで，γ'相の強化機構として，Orowan による By-pass モデル[4]を想定して，透過電子顕微鏡組織の画像処理により各時効材の γ'相間距離 λ と静的強度特性との関係を示すと，図7のようになり，

$$\sigma_B=727+77.1\lambda^{-1} \quad \cdots\cdots(7)$$

$$\sigma_{0.2}=619+59.7\lambda^{-1} \quad \cdots\cdots(8)$$

$$Hv=326+26.9\lambda^{-1} \quad \cdots\cdots(9)$$

の式のようによい相関があることが認められた。なお，相間距離 λ は1 μm^2中の γ'相の個数 N を計測し，$\lambda=1/N$ の関係から求めた値である。

3.3 850°Cクリープ強度における時効の影響と組織の関係

図8は850°Cでのクリープ試験結果を示す。850°Cにおけるクリープ破断強度は750〜850°Cで

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

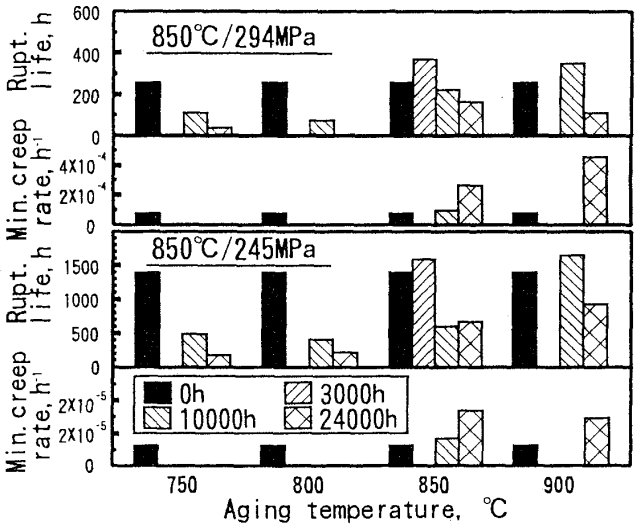


図8 各時効材の850°Cでのクリープ特性試験結果

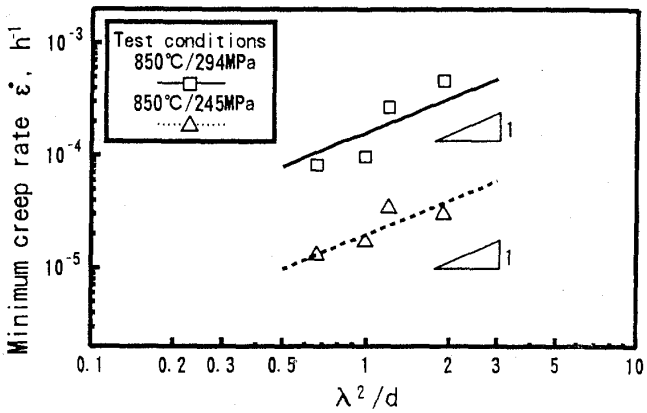


図9 各時効材の850°Cでの最小クリープ速度と組織パラメーターとの関係

の10000 hの時効により寿命低下が認められ，24000 hでは，特に750°Cと800°Cの時効温度で顕著な寿命低下が認められた。これらの寿命低下の認められる時効材は，いずれも針状の炭化物に沿った粒内破壊を呈している。それ以外の時効材は結晶粒界に沿った粒界破壊を呈している。クリープ速度の及ぼす時効の影響は850°Cと900°Cの時効温度において10000 hまでは顕著でないが，24000 hで顕著なクリープ速度の上昇が認められた。

γ'相の折出挙動に着目した組織観察によりクリープ特性の劣化について推定・評価する検討を試みることにする。γ'相の折出強化型Ni基超合金が長時間の高温時効により材質劣化を考慮する場合，粒内のγ'相の粗大化により折出分散強化の低下だけでなく，γ'相による粒界折出強化の変化も考慮する必要がある[5]。この供試材IN 738 LCでは高温時効により粒内γ'相の凝集粗大化だけでなく粒界への折出も生じているが，1000 hという比較的初期の時効においてもほとんどの結晶粒界はγ'相で被覆されており，その後の粒界を被覆する割合の変化は少なかった。また，クリープ試験後の組織観察でも，粒界近傍のγ'相の折出状態に変化が認められず，粒界の変形も認められなかった。以上のような現象から判断すると，粒内のγ'相の折出挙動のみに着目し検討できると考えられる。

850°Cでの微構造におけるクリープ変形機構モデルとして，γ'相の周りに集積した転位ループの上昇運動がクリープ変形速度の律速過程となるモデルを考えると，最小クリープひずみ速度$\dot{\varepsilon}_{min}$はγ'相の粒径dおよびγ'相の相間距離λと次式のような関係がある[6]。

$$\dot{\varepsilon}_{min} = 2\pi\sigma\alpha\lambda^2 D/(dG^3\boldsymbol{k}T) = (2\pi/G^3\boldsymbol{k}T)\cdot(\lambda^2/d)\cdot D^* exp\{-(Q-\beta ln\sigma)/\boldsymbol{k}T\} \quad \cdots\cdots(10)$$

ここで，$\alpha=\beta/kT$，β: 活性化体積

したがって，γ'相の粒径dおよびγ'相の相間距離λはクリープ特性の挙動を予測する上での組織パラメータとなり得ることがわかる。

そこで，この式(10)を考慮して，図9は各時効材の850°Cでの最小クリープ速度$\dot{\varepsilon}_{min}(1/h)$データを組織パラメーター$(\lambda/d^2)$との関係で整理したものである。294 MPaと245 MPaのいずれの試験応力の場合も式(10)でよく表される。

一方，クリープ破断寿命t_PはMonkman-Grantの式から最小クリープ速度$\dot{\varepsilon}_{min}$と次式の関係があることはよく知られている[7]。

$$\dot{\varepsilon}_{min} t_P{}^m = \varepsilon_P \quad \cdots\cdots(11)$$

そこで，図10はクリープ破断寿命$t_P(h)$データを組織パラメーター(d/λ^2)との関係で示したものである。試験データは式(11)による推定式の周りにばらついているが，よく近似できていることがわかる。

3.4 850°Cでのクリープ特性および硬さについての挙動予測

図11はγ'相の折出速度の式および組織パラ

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05

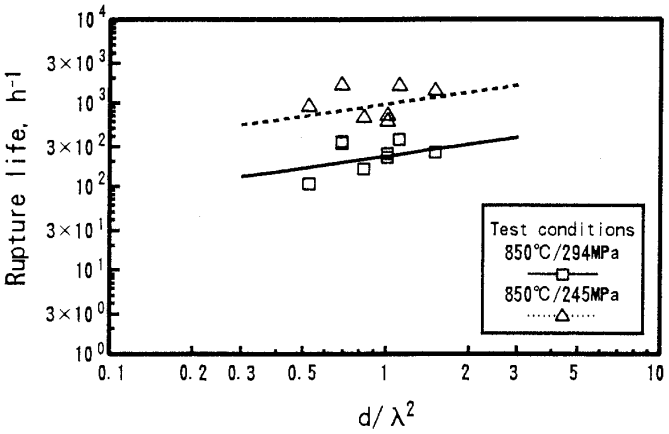


図 10 各時効材の 850℃でのクリープ破断寿命と組織パラメーターとの関係

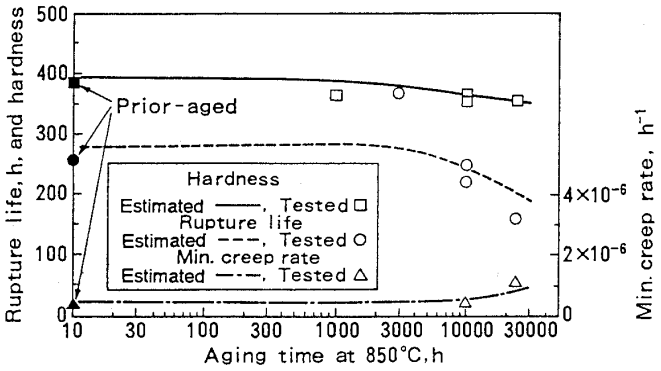


図 11 850℃での高温時効によるクリープ特性および硬さの挙動に対する推定

メーターとの関係式に基づき，850℃高温中，294 MPa 応力条件下でのクリープ破断寿命 t_P と最小クリープ速度 $\dot{\varepsilon}_{min}$ および室温硬さ Hv の変化についての挙動を推定したものである。硬さ Hv およびクリープ破断寿命 t_P は，時効時間と共に次第に低下する。一方，クリープ速度 $\dot{\varepsilon}_{min}$ は 2000 h ～3000 h までは低下し，その後増大する傾向がある。この推定挙動は試験による実験の挙動とよく一致する。

4．おわりに

ガスタービン動翼材 IN 738 LC の機械的強度特性に及ぼす材料劣化の影響を明らかにするために，750℃から 900℃の温度範囲で 24000 時間までの高温時効材を供試材として実験的および理論的な検討を行った。得られた結果を要約すると下記のとおりである。

1）高温時効により，時効温度の上昇および時効時間の増大と共に γ'相の凝集粗大化と粒内析出密度の減少が観察された。

2）高温時効による常温静的強度特性（σ_B，$\sigma_{0.2}$，Hv）の挙動は γ'相の粒内析出密度 N（個/μm^2）の計測で求まる相間距離 λ との関係から推測できる。

3）高温時効による 850℃でのクリープ破断寿命の低下とクリープ速度の上昇が認められた。λ/d^2 をこれらの挙動予測のための組織パラメーターにできる。

4）組織パラメーターと機械的強度特性との関係は，Orowan の By-pass モデルおよび Ansell と Weertman のモデルで説明でき，理論解析に適用が明らかになった。

参考文献

(1) 吉岡，岡部，斉藤，藤山，学振 123 委第 1・2 分科会，2（1992），p. 207

(2) Lifshitz, I. M and V. V. Slyozov, J. Phys. Chem. Solids, 19, 35-50 (1961).

(3) Wagner, C., Zeitschrift fur Elektrochemic, 65, 581-591 (1961).

(4) Orowan, E., in Proceedings Symposium on Internal Stresses in Metals, Institute of Metals, London, P. 451 (1977)

(5) アブデル・モネム・エルバタハギ，松尾，菊池: 鉄と鋼，76（1959），p. 767

(6) G. S. Ansell and J. Weertman, Trans. Metall. Soc. AIME, 215 (1959), P. 838

(7) F. C. Monkman and N. J. Grant. Am. Soc. Test. Mater. Proc., 56 (1956), p. 593

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05

技術論文

エアブラスト燃料ノズルの研究（第1報）

川崎重工業㈱　明石技術研究所　木　下　康　裕
川崎重工業㈱　明石技術研究所　北　嶋　潤　一

Abstract

Experimental studies on atomization and combustion were conducted using prefilming type airblast atomizers which were designed for a high performance aeroengine. The Sauter Mean Diameter and the spray pattern were measured by using a particle sizing technique based on the scattered light intensity profile. The SMD was decreased with the −1.0 power of the atomizing air velocity but was not affected by swirl directions (counter-rotation or co-rotation) and the swirl number. However, the swirl directions and the swirl number had attractive effects on the dropsize distribution and the spray pattern. Combustion test results indicated that atomization characteristics mentioned above had great influence on the combustion performance, such as weak extinction, combustion efficiency, NOx emission index and especially pattern factors.

1．緒　言

航空用ガスタービンエンジンの燃料ノズルには，構造が単純で比較的微粒化特性の良好な，しかも設計法が確立している圧力噴霧式の燃料ノズルが用いられてきた。しかし，エンジンサイクルの高圧・高温化にともないスモーク排出量の増加，火炎輻射増大による燃焼器の熱的寿命の短縮，燃焼器出口温度分布の不均一化などが大きな問題となり，最近の高性能エンジンには燃料噴霧と燃焼用空気の混合が良好な，気流微粒化式のエアブラスト燃料ノズルが多く採用されるようになった。

エアブラスト燃料ノズルは，ノズル噴孔から空気を高速で噴出させ，そのエネルギーで燃料を微粒化させるため，燃料の微細な噴霧化と噴霧と空気の混合が速やかに行われる長所を有する。しかし，粒径や噴霧角，噴霧のパターンなどの微粒化特性に影響を及ぼす形状因子が多く，未だその設計法は確立していない。しかも燃料ノズルから噴出する空気/燃料混合気が，燃焼器の保炎領域を形成し一次領域の燃焼に関与するため，その微粒化特性は燃焼器全体の燃焼性能に非常に大きな影響を及ぼすことが考えられる。

従来より，エアブラスト燃料ノズルに関しては微粒化のメカニズムの解明を主眼とした研究が行われ，常圧における微粒化特性についていくつか報告されているが[(1)~(3)]，燃焼器の主構成要素として捉え，その噴霧特性と燃焼特性を系統たてて研究した例は見あたらない。本研究は，エアブラスト燃料ノズルを設計・製作し，常圧および加圧下において噴霧試験ならびに燃焼試験を実施し，それぞれの条件における微粒化特性と燃焼特性を把握し，その微粒化特性が燃焼特性に及ぼす影響を明らかにすることにより，高性能ガスタービンエンジンの燃焼器に用いるエアブラスト燃料ノズルの基礎的設計データを取得することを目的とする。ここでは，常圧における噴霧試験および燃焼試験の結果について報告する。

2．噴霧試験

2.1　供試燃料ノズル

図1に本試験で用いたエアブラスト燃料ノズルを示す。この燃料ノズルには，燃料液膜の両側から高速の空気を吹き付けることで燃料を微粒化するサンドイッチタイプの方式を採用した。燃料は燃料オリフィスに設けられた8本の細い溝を通り，旋回しながら薄い液膜を形成して内側空気流路に流出する。空気は，内側空気流れおよび外側空気流れに分けられ，それぞれ内側空気スワーラおよび外側空気スワーラにより旋回を与えられて流路を旋回しながら流れ，ノズル噴孔から高速で噴出する。噴孔部において燃料液膜は，両側から衝突

（平成5年8月26日原稿受付）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

するこの高速空気流のエネルギにより分裂し，微粒化される。

噴霧角および噴霧のパターンは，燃料ノズルから噴出する空気の形成する流れ場に強い影響を受けるものと思われるが，今回の試験では内側空気の流れは一定とし，外側空気スワーラの旋回方向，旋回強さを変えることによりこれらの微粒化特性を変化させた。表1に本試験で使用した3種類の燃料ノズルを示す。AB-SW 1は内側空気および外側空気の旋回が同方向で強旋回，AB-SW 2は同方向で弱旋回，AB-SW 3は逆方向で強旋回の燃料ノズルを表している。

2.2 噴霧試験装置および方法

図2に常圧噴霧試験装置の概略を示す。本試験では燃料としては清水を使用し，水および空気は，それぞれタービンメータとオリフィス流量計で流量を計測した。燃料ノズル部における微粒化用空気の圧力損失は，燃料ノズルが取り付けられているプレナムチャンバー内の全圧と大気圧との差から算出した。また，噴霧は測定部への吹き戻しが起こらないように，ファンを用いて適当な速度で誘引し外部に排出した。

噴霧の粒径とパターンは，レーザ光線による粒子の前方微小角散乱を利用した粒度分布解析装置（東日コンピュータアプリケーションズ社製LDSA-1200 A）を用いて測定した。平均粒径は図中の噴霧セパレータを取り外し，噴霧中心軸を通るレーザビーム中の全ての噴霧粒子を対象に測定した。一方，半径方向の局所粒径と噴霧のパターンは，噴霧の一部だけをレーザビームに通過させる噴霧セパレータを使用し，光学系全体を半径方向にトラバースさせることで粒径の半径方向分布を測定した。また，噴霧のパターンは粒度分布解析装置が出力する噴霧の散乱光強度を用いて評価した。この散乱光強度は噴霧が多重散乱を起こしていなければ，粒子の空間密度を表すものである[4]。燃料ノズルは鉛直下向きに設置し，噴霧の計測はすべてノズル先端から50 mm下流の位置で行った。

2.3 試験結果

(1) 圧力損失と平均粒径

3種類の燃料ノズルについて空気・水流量比ALRが1.2の場合の，全圧損失率PLRとザウタ平

表1 供試エアブラスト燃料ノズルの旋回流

燃料ノズル	内側空気スワーラ	外側空気スワーラ
AB－SW1	左強旋回	左強旋回
AB－SW2	左強旋回	左弱旋回
AB－SW3	左強旋回	右強旋回

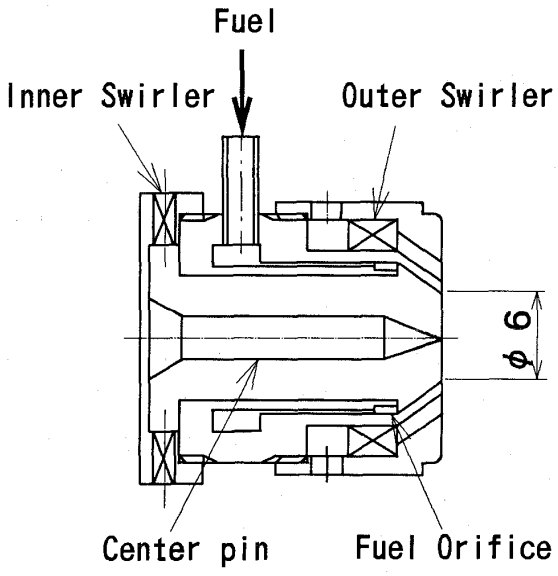


図1 エアブラスト燃料ノズル

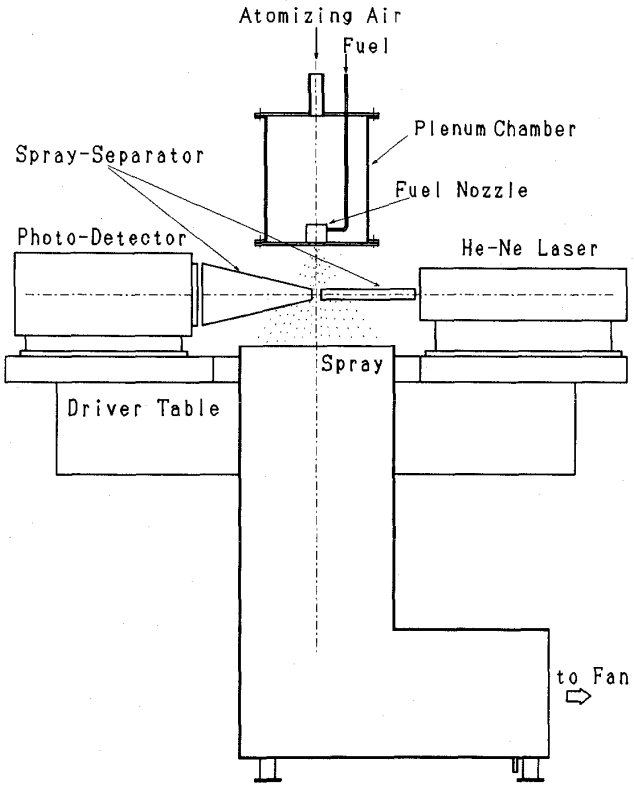


図2 常圧噴霧試験装置

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

均粒径（Sauter Mean Diameter: SMD）の関係を図3に示す。全圧損失率は圧力損失を表す1つのパラメータで，次式で求められる。

$$PLR=\frac{P_1-P_2}{P_1}\times 100\% \tag{1}$$

全圧損失率の増加にともないノズル噴孔から噴出する空気の流速が増加するため微粒化が促進され，平均粒径が急激に減少している。また，平均粒径は5 μm程度の違いはあるものの，いずれの燃料ノズルもほぼ等しい値を示しており，平均粒径はスワールの旋回度および旋回方向にあまり左右されていないことがわかる。この結果から平均粒径は次の関係式で表される。

$$SMD \propto PLR^n \tag{2}$$

指数 n の値には−0.5〜−0.6が得られた。

圧力損失は燃焼器の重要な設計パラメータであり，通常設計点での全圧損失率は4%程度が選ばれる。図3からこの点での平均粒径は50〜60 μmと比較的小さい値が得られており（高温，高圧の実機条件での平均粒径ではない），燃焼上は特に問題がないものと思われる。一方，全圧損失率が小さい条件では噴霧の粒径は粗大化しているが，この条件はエンジンの始動時に相当し，エアブラスト燃料ノズルの場合始動時の着火が問題になることが予想される。

(2) 粒径分布と噴霧のパターン

平均粒径では燃料ノズルによる違いは見られなかったが，半径方向の粒径分布や噴霧のパターンについては，それぞれの燃料ノズルに特徴のある結果が得られた。ここでは紙面の制約上，最も特徴が明瞭であったAB-SW 1とAB-SW 3の結果について記述する。

図4は全圧損失率が3%時の，AB-SW 1の半径方向の粒径分布を示している。噴霧中心軸付近には粒径が10 μm程度の非常に微細な噴霧が，そして外側に行くほど粒径は大きくなり噴霧シース付近には70 μm程度の噴霧が存在している。図5はその時の噴霧のパターンを示しており，縦軸は散乱光強度を表している。散乱光強度は噴霧中心軸で小さく，噴霧シース付近で大きい鞍型の分布をしており，空気の旋回方向が同じで旋回度が強い本ノズルの噴霧のパターンは，典型的な中空円錐

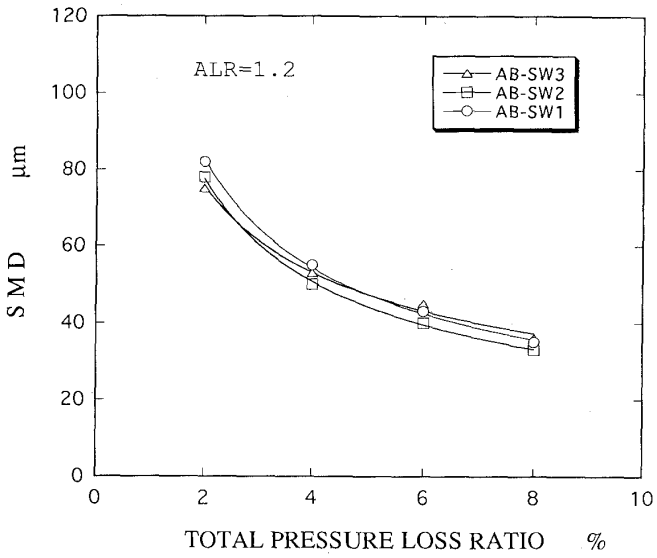


図3 全圧損失率とザウタ平均粒径の関係

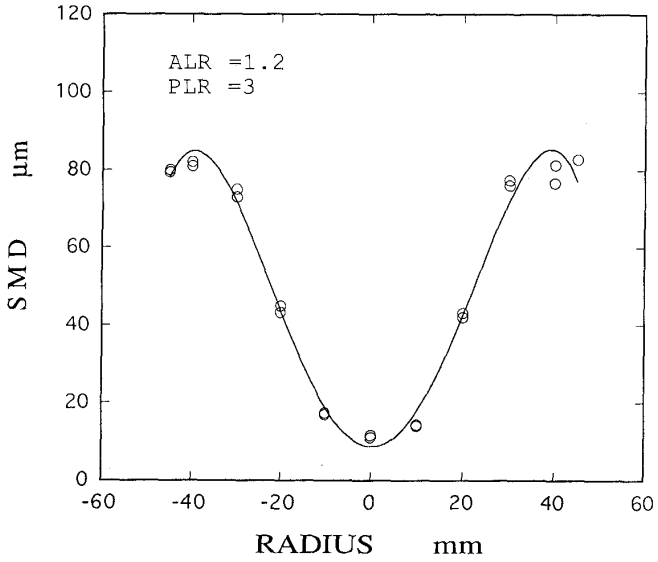


図4 半径方向の粒径分布（AB-SW 1）

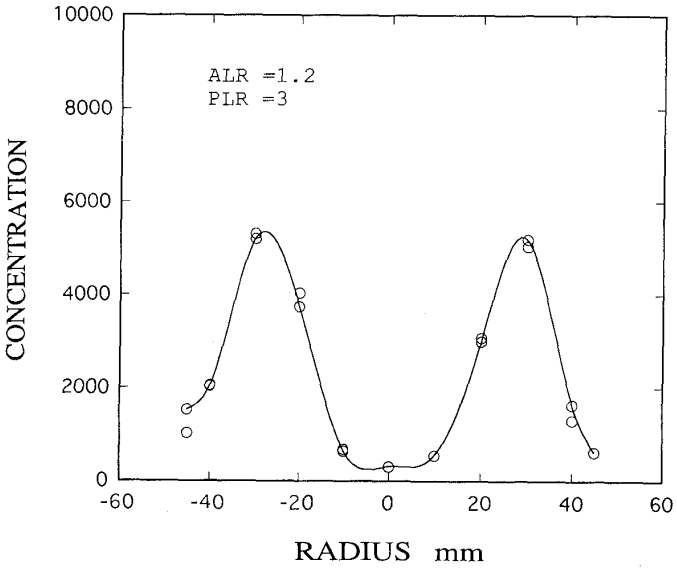


図5 噴霧のパターン（AB-SW 1）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/07

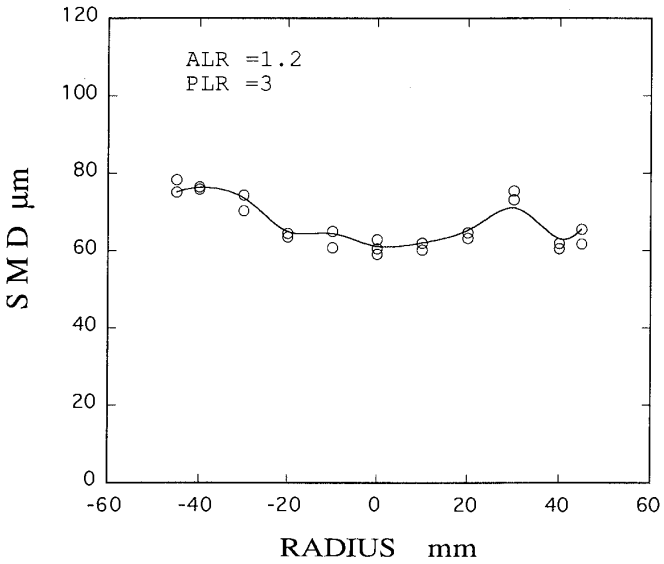


図6 半径方向の粒径分布（AB-SW 3）

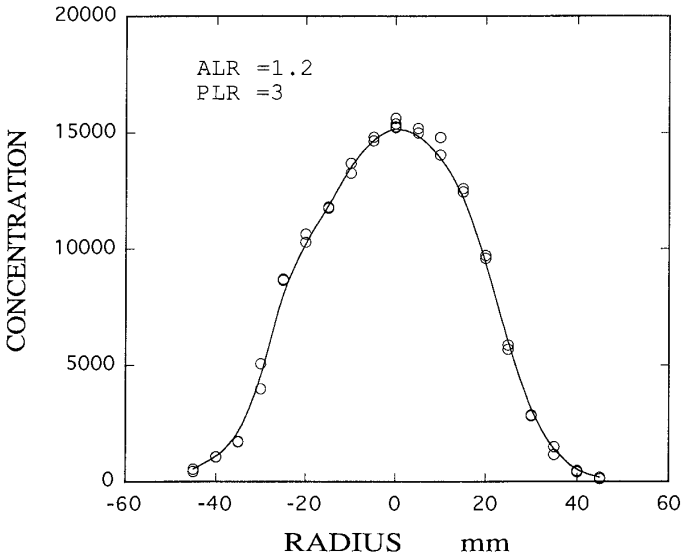


図7 噴霧のパターン（AB-SW 3）

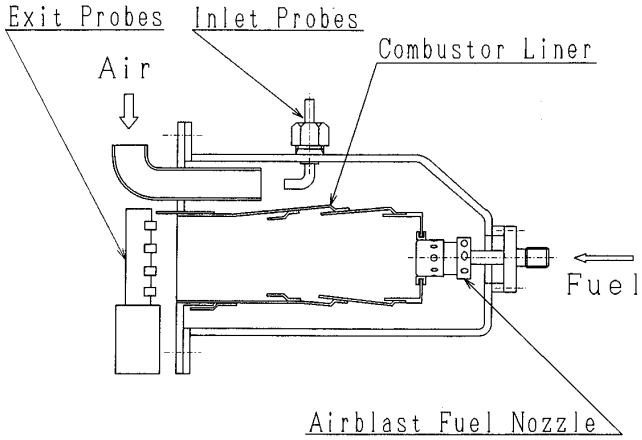


図8 常圧燃焼試験装置

型（ホローコーン型）であることがわかる。また，噴霧角は写真測定から約80°が得られている。

一方，AB-SW 3の半径方向の粒径分布を図6に示す。このノズルでは60～75 μmの比較的均一な粒径の噴霧粒子が，噴霧中心軸からシース周辺まで広く存在していることがわかる。また，図7はその時の半径方向の散乱光強度分布であるが，同強度は噴霧中心軸で大きい山形の分布をしており，逆方向強旋回の本燃料ノズルの噴霧のパターンは中実円錐型（ソリッドコーン型）であることがわかる。

噴霧のパターンからも理解できるが，本タイプの燃料ノズルは同方向強旋回の燃料ノズルと比べて噴霧の広がりが小さく，写真から求めた噴霧角は約60°であった。また，旋回方向が同じで旋回度の弱い燃料ノズルAB-SW 2については，粒径分布はAB-SW 1の場合と類似した鞍型の分布を示すが，噴霧角が小さく（65°程度）噴霧のパターンは噴霧中心軸付近にもある程度噴霧が存在する分布を示した。

以上の噴霧試験結果から，噴霧の平均粒径はノズル噴孔から噴出する空気の流速が支配的で，他方噴霧の粒径分布や噴霧のパターンは燃料ノズルの旋回方向や強さにより，即ち微粒化用空気の作るノズル近傍の流れ場により大きな影響を受けることが明らかとなった。

3．燃焼試験

3.1 燃焼試験装置および方法

図8に燃焼試験装置を示す。燃焼器は燃料ノズルを4本含む，逆流アニュラ燃焼器の箱型部分モデルを使用した。空気は流量調整後，電気ヒータにより予め550 Kまで昇温し，燃焼器に供給した。燃焼器出口には，4点式の熱電対プローブが4本取り付けられており，出口断面をトラバースさせることにより出口温度分布を測定した。また，4孔式水冷ガスサンプリングプローブを用いて燃焼ガスを集合サンプルし，連続式5成分排ガス分析計で排ガス組成（未燃炭化水素THC，窒素酸化物NOx，一酸化炭素CO，二酸化炭素CO_2，酸素O_2）を測定し，燃焼効率やNOxの排出指数を算出した。今回の燃焼試験は，常圧における微粒化特性が燃焼性能に及ぼす影響を調べるため大気圧下において実施した。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/07

燃料ノズルには，噴霧試験で用いたAB-SW 1，AB-SW 2，AB-SW 3の3種類のエアブラスト燃料ノズルを使用し，燃料としては白灯油を使用した。

3.2 試験結果

(1) 保炎性能

燃焼器の代表断面平均流速 Ur を変化させた場合の燃料希薄による火炎の吹消え空燃比AFRを図9に示す。同方向強旋回ノズルAB-SW 1が最も安定して保炎しており，$Ur=5.5$ m/sにおける吹消え空燃比は90を示したのに対し，最も保炎の悪い逆方向強旋回のAB-SW 3では同じ流速において空燃比が50で吹消えた。保炎に影響を及ぼすと思われる燃焼器の一次燃焼領域の循環流の大きさや強さが，燃料ノズルの内側空気と外側空気の旋回の違いにより影響を受けたものと思われる。また，外側空気の旋回強さも保炎性能に影響を及ぼしており，旋回度の小さいAB-SW 2の $Ur=5.5$ m/sにおける吹消えは，AB-SW 1とAB-SW 3の中間の空燃比60を示した。このように，保炎性能は旋回方向が同じで旋回度の強いAB-SW 1の燃料ノズルが最も良好で，特に代表断面平均流速が小さい条件ほど他の燃料ノズルとの差が顕著であった。

(2) 燃焼効率

図10は3種類の燃料ノズルの空燃比と燃焼効率の関係を示している。本燃焼器の設計空燃比は35で，この点においてはいずれの燃料ノズルも99.5%以上の高い燃焼効率を示した。しかし，空燃比の増大にともない燃料ノズルの違いによる差異が明らかとなり，AB-SW 1の燃料ノズルではAFR＝50まで99%以上，AFR＝70近くまで90%以上の燃焼効率を示したのに対し，AB-SW 3ではAFR＝40までが99%以上，AFR＝45で90%の燃焼効率を示した後は急激に低下し吹消えた。また，AB-SW 2の燃料ノズルの空燃比と燃焼効率の関係は，ちょうどAB-SW 1とAB-SW 3の中間を示した。

これらの結果から，保炎と同様に燃料ノズルの空気の旋回方向や旋回強さが，燃焼効率にも影響を及ぼしていることは明らかであるが，燃料ノズルの違いによる噴霧の平均粒径の差異が小さいことを考えると，この燃焼効率の違いは燃焼器の一

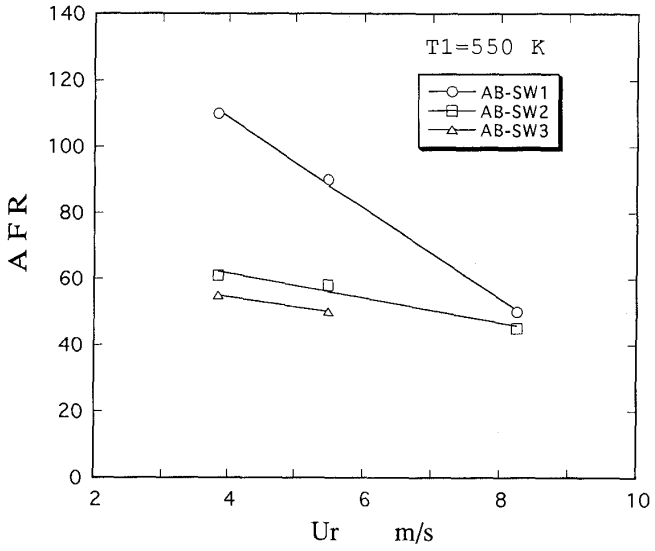


図9 代表断面平均流速と吹消え空燃比の関係

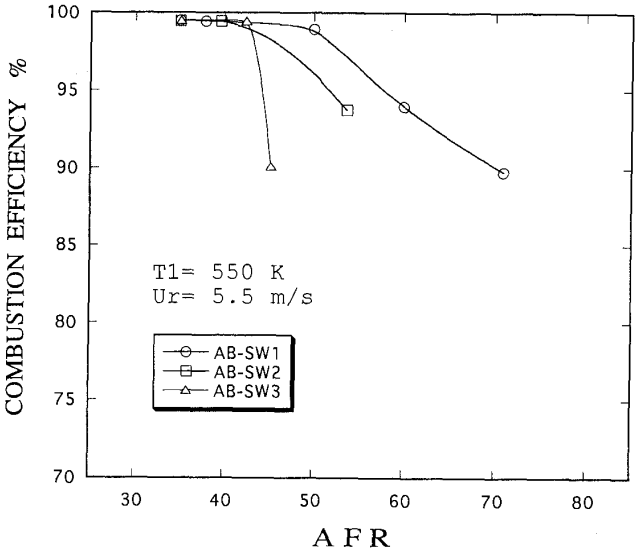


図10 空燃比と燃焼効率の関係

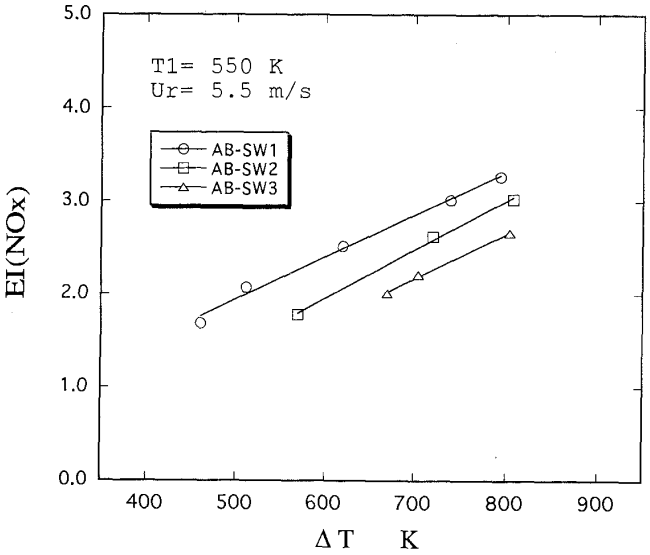


図11 温度上昇とNOxの排出指数の関係

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05

次領域の燃焼状態に影響を及ぼす，噴霧の分散やノズル近傍の流れ場の違いによるものと考えられる。

(3) NOx の排出特性

図11に温度上昇 ΔT と窒素酸化物(NOx)の排出指数(EI(NOx))の関係を示す。いずれの燃料ノズルも温度上昇の増加にともなってNOx の排出指数はほぼ等しい勾配で直線的に増加している。3種類の燃料ノズルの中ではAB-SW 1の排出指数が最も高く，温度上昇800 kの条件においてEI(NOx) = 3.2 g/kg fuelを示したのに対し，AB-SW 3の燃料ノズルでは同条件においてEI(NOx) = 2.6 g/kg fuelと0.6 g/kg fuelも小さい排出指数が得られた。NOx の排出についてもAB-SW 2は他の性能と同様に中間的な性能を示した。逆方向強旋回の燃料ノズルAB-SW 3の場合，その微粒化特性から明らかなように粒径のほぼ等しい液滴が噴霧全体に広がっているため，一次燃焼領域において同方向強旋回ノズルAB-SW 1に比べて均一な局所空燃比分布が得られ，予混合的に燃焼したことにより低いNOx の排出指数が得られたものと思われる。

(4) 燃焼器出口温度分布

燃焼器の出口温度分布を評価するパラメータとして，出口温度不均一率 δT があり次式で求められる。

$$\delta T = \frac{T_{2max} - T_{2ave}}{T_{2ave} - T_1} \tag{3}$$

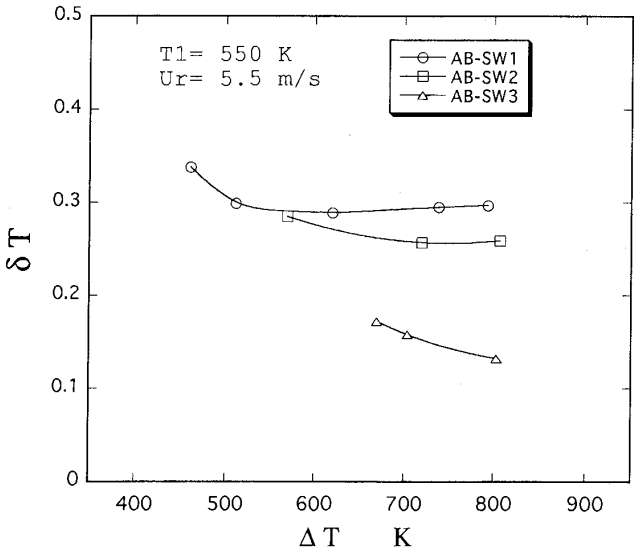


図12 温度上昇 ΔT と出口温度不均一率の関係

図12は温度上昇 ΔT と出口温度不均一率の関係を示したものであるが，燃焼器の出口温度分布については非常に特徴的な結果が得られた。同方向強旋回の燃料ノズルAB-SW 1の場合，隣合う燃料ノズルの噴霧と干渉する部分にホットスポットが発生し，出口温度不均一率は広い温度上昇範囲で $\delta T = 0.3$ と高い値を示した。一方，逆方向強旋回AB-SW 3の燃料ノズルの場合は，燃焼器出口断面全体にほぼ一様な温度分布をしており，温度上昇800 kの条件においては $\delta T = 0.13$ と非常に良好な値を示した。この結果は，噴霧試験で得られた噴霧のパターンから良く理解できる。AB-SW 1の場合微粒化用空気の旋回度が強く，噴霧はシース付近で粒子密度が高くなる中空円錐状のパターンをしており，燃料ノズル同士の噴霧が干渉する位置に局所空燃比の小さい領域ができホットスポットが発生したものと思われる。一方，AB-SW 3の燃料ノズルでは粒径分布が一様で中実円錐状の噴霧パターンをしているため，燃料ノズル同士の干渉が少なく一次燃焼領域における局所的空燃比は比較的一様であり，良好な温度分布が得られたものと思われる。

4. 結 言

気流微粒化式のエアブラスト燃料ノズルを用い，空気の旋回方向および旋回度をパラメータとして，大気圧下において噴霧試験および燃焼試験を実施し，以下のような結果を得た。

(1) エアブラスト燃料ノズルの空気の旋回方向や旋回度は噴霧の平均粒径に及ぼす影響は小さいが，半径方向の粒径分布や噴霧のパターンには大きな影響を及ぼし，内側空気と外側空気の旋回方向が同じ場合は中空円錐状の噴霧を形成し，旋回方向が逆の場合は中実円錐状の噴霧を形成した。

(2) 同方向強旋回の燃料ノズルの場合，燃焼器の一次領域に強い循環流領域が形成され良好な保炎性能を示し，広い空燃比範囲で高い燃焼効率が得られたが，その噴霧特性から明らかなように局所的に空燃比の小さい領域が形成されるためNOx の排出量が多く，出口温度分布も不均一であった。

(3) 逆方向強旋回の燃料ノズルの場合，十分に発達した循環流が形成されないため保炎が悪く，空燃比の増加にともなう燃焼効率の低下も急激であった。しかし，粒径の均一な粒子が噴霧全体に

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/07

広がる噴霧特性を有するため，NOx の排出が少なく，非常に良好な出口温度分布が得られた。

後 記

本研究は，㈱次世代航空機基盤技術研究所の「ATP 推進システムの研究開発」の一環として行われたものであり，同研究所成果の広報活動の位置づけで発表許可を得たものである。

参考文献

(1) A. H. Lefebvre, Trans. ASME, J. of Fluids Engineering, Sept. 1975, pp. 316-320
(2) A. K. Jasuja, Trans. ASME, J. of Engineering for Power, Vol. 101, April 1979, pp. 251-258
(3) H. Y. Wang, V. G. McDonell and S. Samuelsen, ASME Paper 93-GT-199, 1993
(4) 林, 木下, 北嶋, 第2回微粒化シンポジウム, 1993, pp. 209-214

記 号

AFR		: 空燃比
T	K	:全温度
ALR	kg/kg	: 空気・水流量比
Ur	m/s	: 代表断面平均流速
CONCENTRATION		: 散乱光強度
ΔT	K	: 温度上昇
E. I.	g/kg fuel	: 排出指数
δT		: 出口温度不均一率
P	Mpa	: 全圧
PLR	%	: 全圧損失率
SMD	μm	: ザウタ平均粒径

添 字

1	: 燃焼器入口 (プレナムチャンバー内)
2	: 燃焼器出口 (大気)
max	: 最大値
ave	: 平均値

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

技術論文

ガスタービン高温部品の損傷傾向解析・予測システム

株式会社　東芝　藤　山　一　成
株式会社　東芝　村　上　　格
株式会社　東芝　吉　岡　洋　明
株式会社　東芝　岡　部　永　年

Abstract

This paper describes a new damage prediction system which can provide the rational basis of maintenance criterion for gas turbine hot gas path components. Two basic approaches were introduced in this system; one is "Statistcal trend analysis" and the other is "Multifactor damage simulation analysis". This system was applied to the multiple crack damage due to thermal fatigue of stage one nozzles and proved to be effective for assessing the damage of actual components.

In the former approach, inspection data of cracks were arranged by the relational database system and analysed statistically. Relationships between operation cycles and statistics of cracks were established from the database and used for predicting future trend. A method was also proposed to improve the accuracy of damage prediction based on inspection data of individual parts.

In the latter more sophisticated approach, crack morphologies, statistical distribution of cracks were simulated and predicted considering stress and temperature condition, material inhomogeneity and interaction of cracks. This approach was useful for complex situation of damage and service conditions.

1．はじめに

コンバインドサイクル発電プラントは，発電効率が高く，変動負荷に対する柔軟性に優れていることから，新設火力プラントの主流となりつつある。その主機であるガスタービンは，高効率化の追求により大型化と高温化が進み，使用条件が過酷化しているため，高温部品の劣化・損傷蓄積による寿命消費に対し，適切な保守管理上の対策を講じる必要がある。図1は，ガスタービン高温部品の劣化・損傷による寿命消費の特徴を蒸気ター

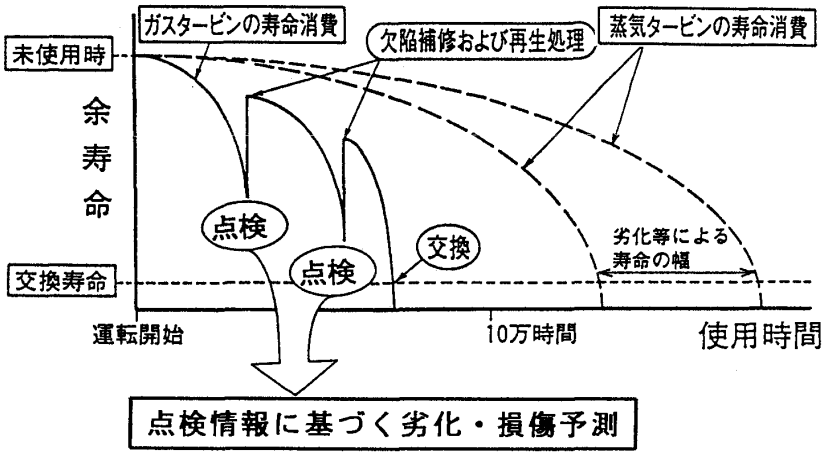


図1　ガスタービン高温部品の劣化・損傷による寿命消費の特徴

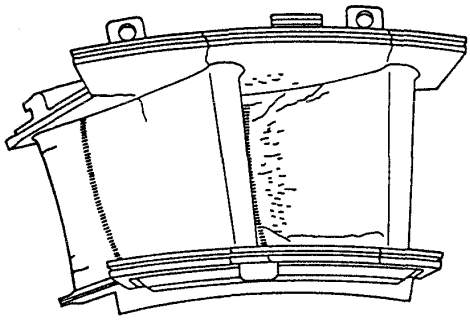


図2　静翼の熱疲労き裂形態

（平成5年8月26日原稿受付）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

ビンと比較して概念的に示したものである。すでに寿命診断に基づく保守管理が実施されている[1]蒸気タービンでは,高温設計の目安である10万時間を越えて使用された部品（例えばロータなど）について，経年的な材質劣化は認められるものの，さらに余寿命が見込まれる。蒸気タービンに比べて厳しい環境条件で使用されるガスタービンでは，劣化・損傷が短時間のうちに現れるため，点検時の劣化・損傷計測情報をもとに，次回定検時までの劣化・損傷の進行を予測し，その結果に基づき補修・交換の判定を行う必要がある。そこで，既報[2]において検査情報を基にしたガスタービン高温部品の劣化・損傷予測法を提案したが，本報告では，これらの手法をシステム化し，図2に示す実機静翼の熱疲労き裂損傷に適用した検証結果について述べる。

2．劣化・損傷予測システムの概要

図3にガスタービン高温部品の劣化・損傷評価と保守管理の基本概念を示す。検査時に非破壊計測により劣化・損傷の計測を行い，この情報をもとに次回検査時までの劣化・損傷予測を行う。予測方法としては，統計的傾向解析[3]，シミュレーション解析[4][5]および金属組織画像解析[6]があり，部品の劣化・損傷の特徴に応じて組合わせて用いる。補修・交換の判定は，損傷予測値と基準値との比較により行う。処置後運用に供した部品は，次回定検時に同様の調査・予測・判定・処置を行う。

静翼の熱疲労き裂損傷を予測する場合，統計的傾向解析システムと複合損傷シミュレーション解析システスムを用いる。図4には，両システムを用いた劣化・損傷予測法の概要を示す。なお，両システムは，EWS上に構築している。上段に示した統計的傾向解析では，過去と将来の使用条件が大きく変化しないことを前提として，損傷の成長を統計パラメータ解析に基づいて予測する。一方，下段に示した複合損傷シミュレーション解析では，き裂の検査情報をシミュレーションモデル上に統計的に等価な初期条件として設定し，き裂損傷の推移を複合する諸因子を考慮して解析するもので，使用条件が変化する場合や機種が異なる場合にも適用できる。この解析には使用条件に対応した温度・応力分布情報が必要であるが,損傷シミュレーション結果と検査結果の比較から使用条件を逆推定することも可能である。以下これらの2つのシステムにおける損傷予測理論について述べる。

3．統計的傾向解析システム[3]

図5に，静翼の熱疲労き裂損傷を対象とした統計的傾向解析システムの処理手順を示す。入力データとしては，定検毎の個々のき裂長さのデータを追跡的に調べたデータが必要であるが，ガスタービンでは，部品補修を効率的に行うため，ユ

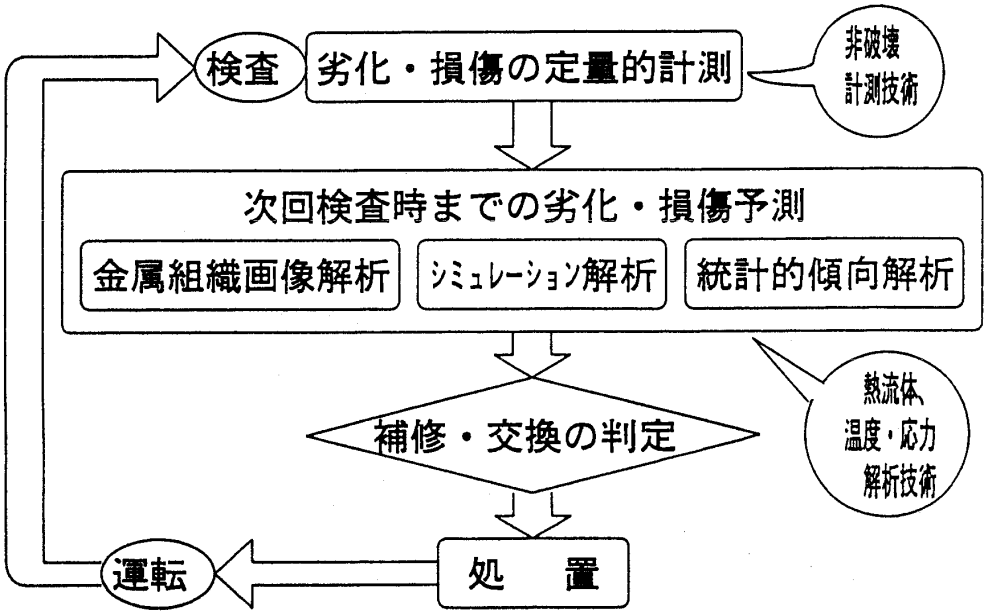


図3 ガスタービンの劣化・損傷予測と保守管理

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

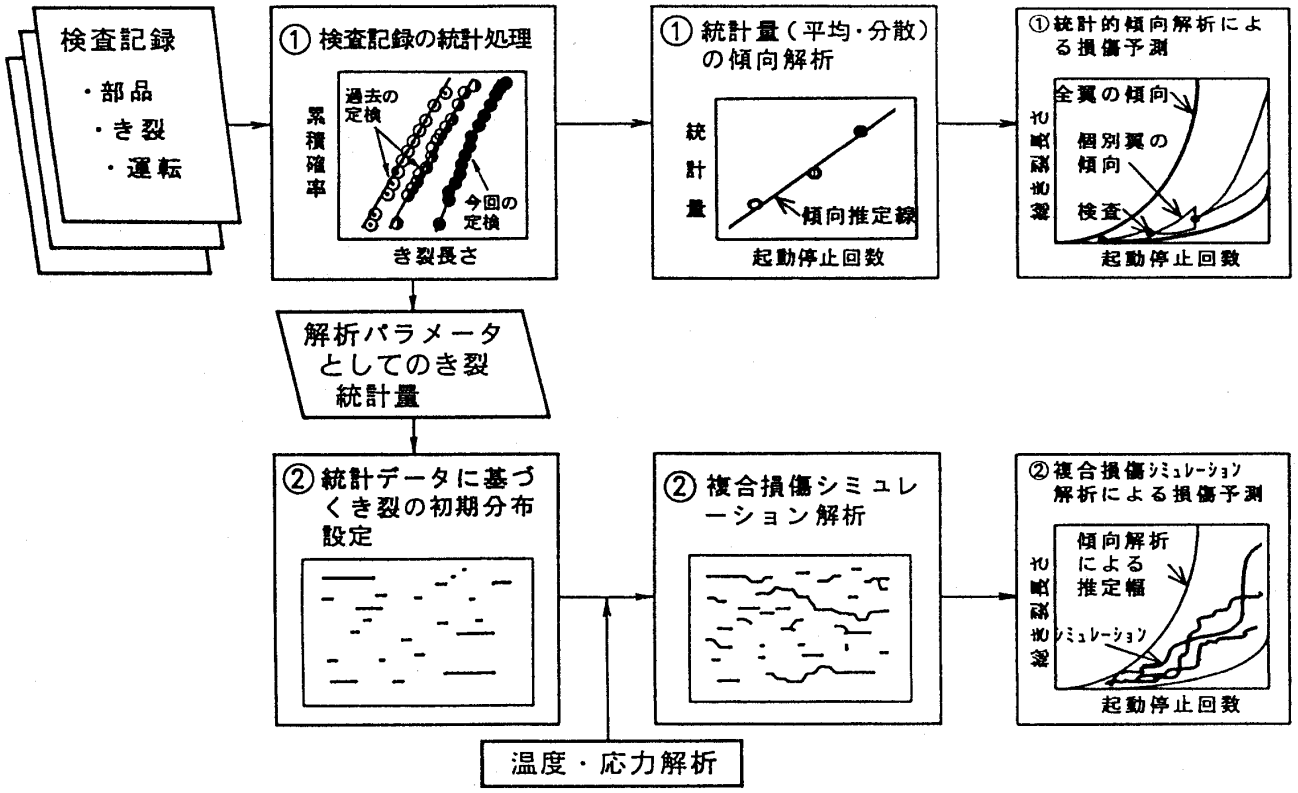


図4 ガスタービン静翼の熱疲労き裂損傷予測法

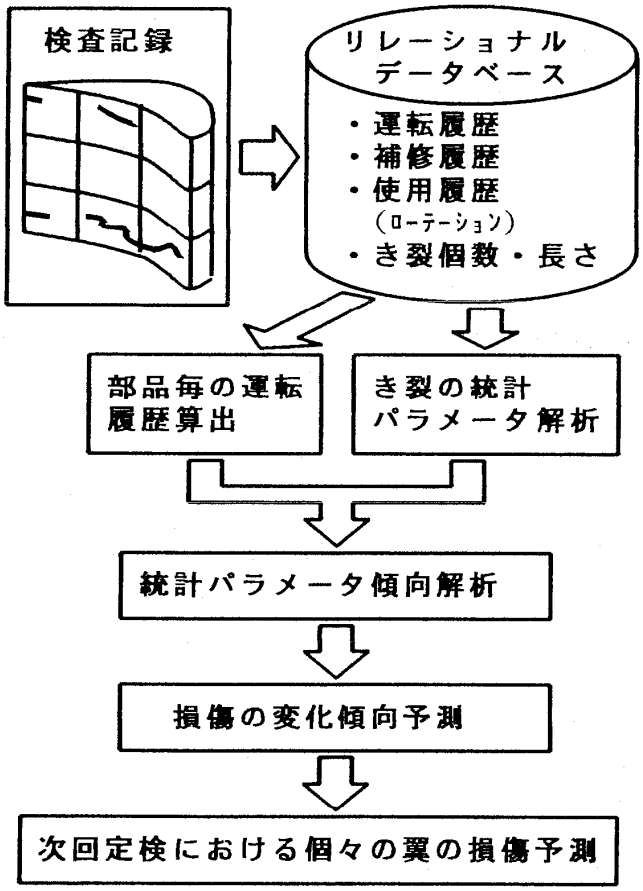


図5 統計的傾向解析システムの処理手順

ニット間で部品をローテーションすることがあり，個々の部品の追跡調査が難しい。そこで，本システムでは，リレーショナルデータベースを用いて，定検ごとのユニットの運転履歴，部品ローテーション記録，補修記録およびき裂計測記録を，各部品の識別番号の照合によって個々の部品の運転履歴と関連付けたデータベースとして構築する。き裂個数，き裂長さおよびき裂位置のデータは，統計パラメータとして表わされる。例えば，静翼のき裂長さの分布は，対数正規分布で良く近似できる。そこで，以下これらの統計パラメータから対数正規分布形を利用して，補修の判定の一つの目安である総き裂長さの変化傾向を推定する方法について述べる。

いま，対数正規分布の母数 μ_L，同分散 V_L およびき裂個数 n がそれぞれ起動停止回数 N の関数であるとし，$\hat{\mu}_L$，$\hat{V}_L$，$\hat{n}$ をそれぞれの予測値とする。き裂長さの平均値 $\bar{\ell}$ の上下限は，分布形の仮定から区間推定の信頼水準を $(1-p)$ とすると，次式により評価される。

$$\tilde{\ell}exp\{-\Phi^{-1}(p)\hat{\sigma}_L/\sqrt{n}\}<\bar{\ell}<\tilde{\ell}exp\{\Phi^{-1}(p)\hat{\sigma}_L/\sqrt{n}\} \quad (1)$$

$$\tilde{\ell}=exp(\hat{\mu}_L+\hat{V}_L/2) \quad (2)$$

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

ただし，$\Phi(\cdot)$: 標準正規分布関数，$\hat{\sigma}=\sqrt{\hat{V}_L}$

p: 区間推定の危険率

$\bar{\ell}$: n 個のき裂長さが対数正規分布する場合の平均き裂長さ

（ただし，$V_L=\hat{V}_L$ と仮定）

き裂個数 n についても同様に，

$$\hat{n}exp\{-\Phi^{-1}(p)\hat{\sigma}_{Ln}\}<n<\hat{n}exp\{\Phi^{-1}(p)\hat{\sigma}_{Ln}\} \quad (3)$$

ただし，$\hat{\sigma}_{Ln}=\sqrt{\hat{V}_{Ln}}$

$\hat{V}_{Ln}$: $n/\hat{n}$ の分散（N によらない定数）

総き裂長さ $\sum\ell$ は，次式で表わされる。

$$\sum\ell=n\times\bar{\ell} \quad (4)$$

ここで，$\bar{\ell}$ の上下限は(1)式の n の代わりに $\hat{n}$ を用いると簡便に安全側の予測が行え，かつ $\sum\ell$ の分布は n と $\bar{\ell}$ の2つの無相関対数正規分布の積として求められることから，総き裂長さの上下限は（$1-p$）の信頼水準で，次式により予測できる。

$$\hat{n}\bar{\ell}exp\{-\Phi^{-1}(p)\hat{\sigma}_{LL}\}<\sum\ell<\hat{n}\bar{\ell}exp\{\Phi^{-1}(p)\hat{\sigma}_{LL}\} \quad (5)$$

$$\hat{\sigma}_{LL}=(\hat{V}_L/\hat{n}+\hat{V}_{Ln})^{1/2} \quad (6)$$

以上は，全対象翼についての傾向解析であるが，個々の翼についての起動停止回数 N_0 回での検査記録（確定値）をもとに次回定検（起動停止想定回数 N 回）までの予測を行う場合には，次の方法により推定幅を狭くすることができる。即ち，き裂長さの予測値の不確定性は，起動停止回数 N_0 回での検査後の（$N-N_0$）回の起動停止に起因するものであると考え，(6)式において $\hat{\sigma}_{LL}$ が検査記録がない場合の $(N-N_0)/N$ 倍に低下するとして，

$$\hat{\sigma}_{LL}=(\hat{V}_L/\hat{n}+\hat{V}_{Ln})^{1/2}\times(N-N_0)/N \quad (7)$$

として評価する。

4．複合損傷シミュレーション解析システム[4]

本解析システムでは，対象領域を離散的な材料モデルで表わし，そのモデル上に材料の抵抗，駆動力，損傷の分布情報を与え，それらの相互作用を考慮しながらき裂の発生・成長を解析する。

図6(a)に対象領域である静翼有効部の2次元モデルを示す。領域内の黒丸と白丸は材料中の異なる2種類の相を表わす最小単位のクラスターを示す。各クラスターの点に次の情報を与える。

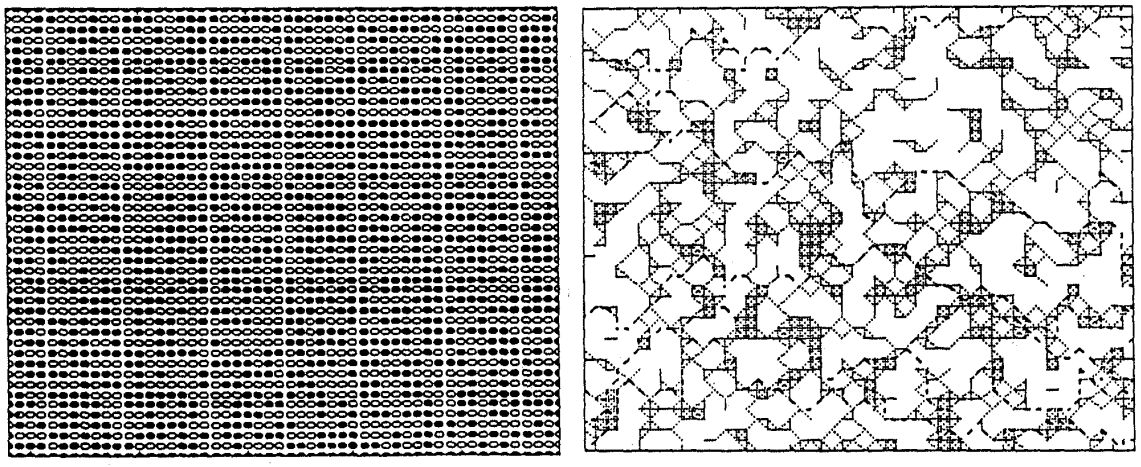
$$(i,\ X_i,\ Y_i,\ M_{i,N},\ D_{i,N},\ R_{i,N},\ F_{i,N}) \quad (8)$$

ただし，i: クラスター番号，X_i，Y_i: 座標，

$M_{i,N}$: 材料の相（静翼材 Co 基超合金については，デンドライトコア，デンドライト境界，結晶粒界）の区別を表わす指標，

$D_{i,N}$: 損傷，$R_{i,N}$: 抵抗，$F_{i,N}$: 駆動力，N: 負荷繰返し数

図6(b)は，図6(a)と同じクラスターの分布を，静翼材の組織パターンとして表現し直したものである。図中の網かけ領域で示したデンドライト境界はパーコレーションクラスターの生成法を応用して作成し，破線で示した結晶粒界は，ランダムウォークにより作成した。材料抵抗は，デンドライトコア: デンドライト境界：結晶粒界＝100：10：1とし，各相内での抵抗の初期のバラツキを Factor of 5 の範囲で付与した[4]。材料抵抗の温度依存性はアレニウス型とした[2]。



(a) クラスター表示　　(b) 金属組織表示

図6 静翼部材の評価対象領域の離散化モデル

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

(8)の表現を全クラスターについて並べて損傷マトリクス［$\boldsymbol{D}_N$］とする。損傷の発達過程は負荷繰返しN回目の損傷マトリクスが損傷推移演算マトリックス［$\boldsymbol{\Lambda}$］を介して$N-1$回目の損傷マトリクスから定まるとし，次式で表わす。

$$[\boldsymbol{D}_N] = [\boldsymbol{\Lambda}]\,[\boldsymbol{D}_{N-1}] \tag{9}$$

(9)式において，個々のクラスター点での損傷は次式で計算する。

$$D_{i,N} = D_{i,N-1} + (1-D_{i,N-1})^l (F_i/R_i)^m N^n \tag{10}$$

ここで，$D_{i,N}$が1に達したとき，その点でき裂が発生または成長するとする。ここでは，試験片レベルでのパラメータサーベイの結果から[7]，き裂発生に対しては，$\ell=-1$，$m=2$，$n=1$，き裂成長に対しては，$\ell=-1$，$m=1$，$n=0$とした。駆動力F_iは，き裂発生では各点の応力に比例し，き裂成長では応力とき裂長さに比例するとした。また，翼面の温度・応力分布は，有限要素法解析結果を基に設定[8]し，き裂がある場合は，そのまわりにき裂長さを直径とする円形の応力緩和域を設定した[9]。

5．解析結果および考察

図7に，き裂長さの分布形を3回の定期検査分について対数正規確率グラフ上に示す。
ただし，直線は1ユニットの第1段静翼全数について近似した結果であり，プロット点はその内の1枚の翼についてのみ示す。統計パラメータ（き裂長さの対数の平均，分散，個数）の起動停止回数に対する変化の予測値は各々次式で表わされる[3]。

$$\hat{\mu}_L = A_1 N + A_2 \tag{11}$$
$$\hat{V}_L = B_1 N + B_2 \tag{12}$$
$$\hat{n} = C_1 N \tag{13}$$

図8に，翼有効部のき裂総和の起動停止回数に対する変化を$\pm 3\sigma$の上下限推定線と共に示す。直線で結んだデータは，同一セグメントの3回定検分の追跡データであることを示す。き裂長さの総和$\sum\ell$は，起動停止回数の増加と共に増加する傾向を示し，ほとんどのデータが推定範囲内に存在する。また，予測線は，第3回定検以降のき裂総和の増加が加速的に起こることを示している。

次に，個々の翼の検査情報を基にした予測結果を示す。起動停止回数N_0回で検査を行った結果，得られたき裂個数をn_0，$ln(\ell)$の平均値をμ_{L0}，分散をV_{L0}と表わすと，起動停止回数Nでのき裂個数の予測値$\hat{n}$，$ln(\ell)$の予測平均値$\hat{\mu}_L$，予測分散値$\hat{V}_L$は，次式によって表わされる。

$$\hat{\mu}_L = A_1(N-N_0) + \mu_{L0} \tag{14}$$
$$\hat{V}_L = B_1(N-N_0) + V_{L0} \tag{15}$$
$$\hat{n} = C_1(N-N_0) + n_0 \tag{16}$$

このとき，(7)式および(14)～(15)式に基づいて次回検査時のき裂長さ総和の上下限を対象翼について推定すると，図9に示すように，図8と比較して狭い幅で予測できることがわかる。

図10に，静翼有効部腹側のき裂形態のシミュレーション例を示す。初期状態は，第1回定検時のき裂検査結果と統計的に等価になるようにき裂を分布させたものである。第3回定検時のき裂形態は，主き裂の屈曲した成長が認められ，図2に示した実機静翼有効部のき裂形態に類似した形態を示している。

図11に，静翼有効部の総き裂長さのシミュレーションによる変化傾向を傾向解析による$\pm 3\sigma$上下限推定幅（図8参照）と共に示す。シミュレーションの試行ごとに材料抵抗分布とき裂分布の初期条件が異なるため，総き裂長さは種々の変化傾向を示すが，試行の繰返しにより全体的に統計的推定幅と一致する傾向を示す。図12に，第3回定検時のシミュレーションによるき裂長さ分布を対数正規確率紙上に検査結果と比較して示すが，分布形は両者で良く一致している。

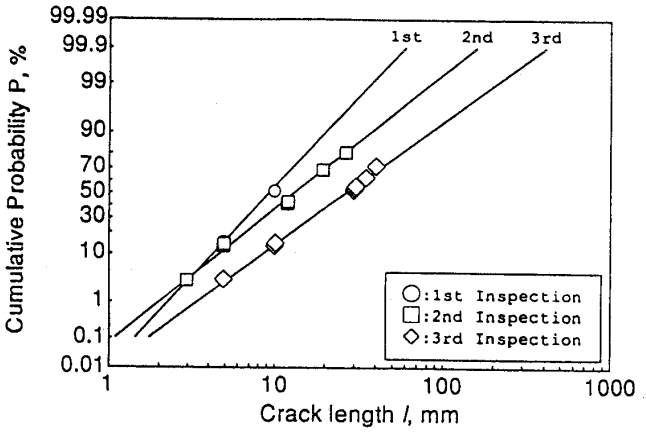


図7 静翼有効部のき裂長さの分布

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

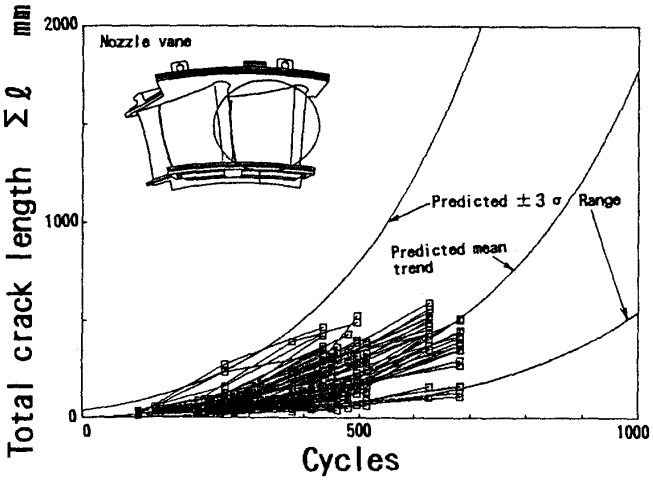


図 8 全対象翼のき裂総和の変化傾向推定

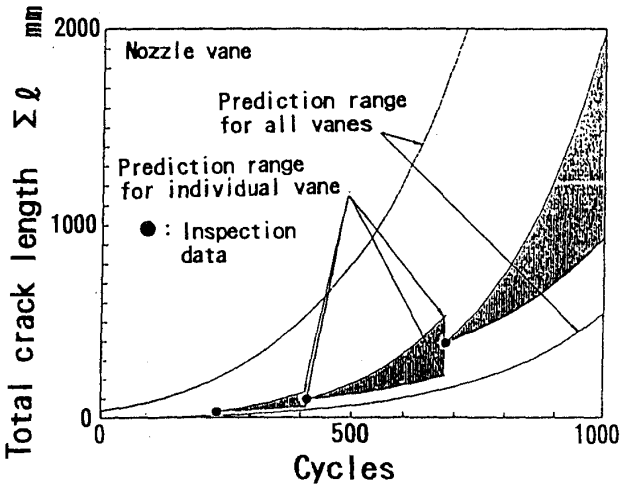
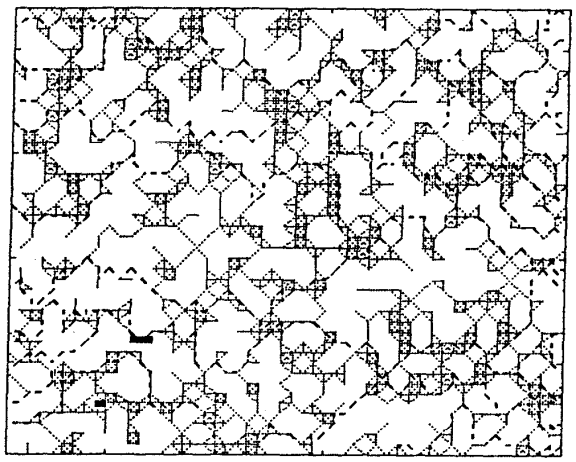
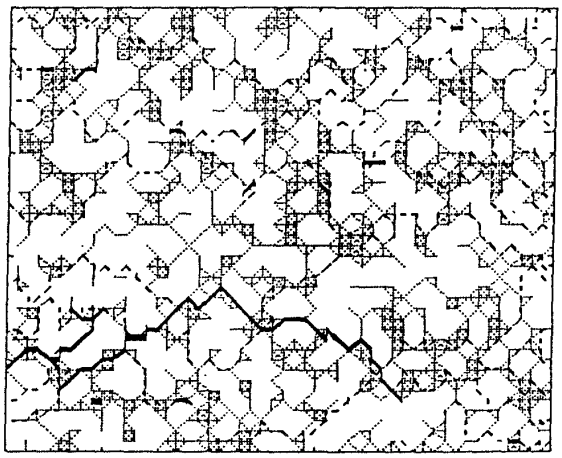


図 9 検査情報に基づく個別翼の推定



(a) 第 1 回定検時（初期状態）



(b) 第 3 回定検時

図 10 静翼有効部のき裂のシミュレーション例

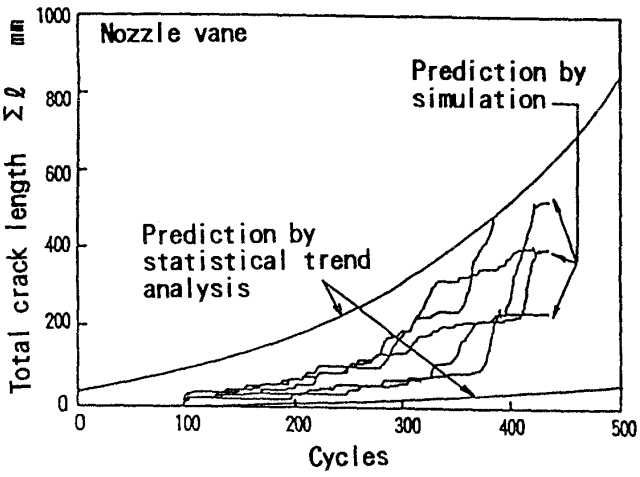


図 11 シミュレーションと傾向解析による き裂成長予測

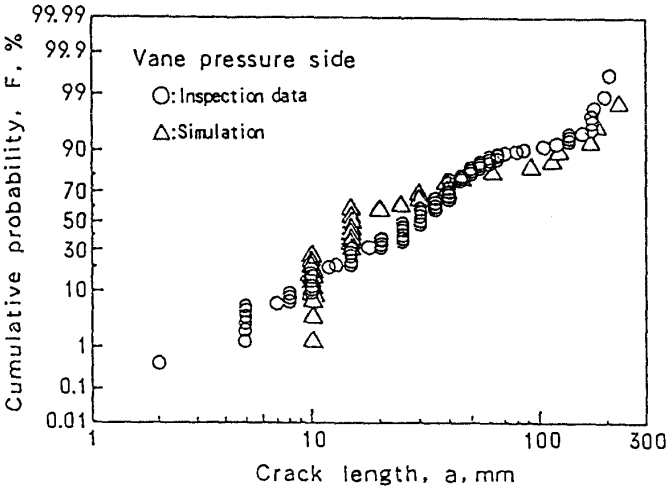


図 12 シミュレーションと検査結果による き裂分布の比較

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

以上のように，本シミュレーション解析は，実機静翼の熱疲労き裂損傷を統計的に適確に再現しうることがわかる。

6．おわりに

ガスタービン高温部品の劣化・損傷予測のため，統計的傾向解析システムと複合損傷シミュレーション解析システムをEWS上に構築し，静翼の熱疲労き裂損傷に適用した結果，次の結論を得た。

(1) き裂の検査情報を対数正規分布に従う統計パラメータとして表わし，その起動停止回数に対する変化傾向を解析することにより，実機のき裂長さの成長傾向を統計的に予測できることを明らかにした。

(2) 統計的傾向解析において，個々の静翼のき裂に関する確定情報をもとに，次回定検時のき裂長さを狭い推定幅で予測する方法を提案した。

(3) 複合損傷シミュレーション解析法により，温度・応力および材料分布の影響を考慮して実機のき裂成長形態を再現し，検査結果と統計的に一致する結果を得た。

以上のように，実機部品の適確な劣化・損傷予測のためには，部品の劣化・損傷の特徴に応じた予測技術を組合わせて適用することが必要であり，その例として静翼の熱疲労き裂損傷に対して提案した解析システムの有効性が検証された。今後さらに適用範囲を広げシステムの拡充をはかる予定である。

参考文献

(1) 資源エネルギー庁公益事業部通達，62資公部，第255号（1987）.

(2) 藤山他，GTSJ 19-76，(1992)，78.

(3) 村上他，日本材料学会 第11回材料・構造信頼性シンポジウム前刷集，(1992)，169.

(4) 藤山他，日本材料学会 第30回高温強度記念シンポジウム前刷集，(1992)，54.

(5) 村上他，ガスタービン秋季講演会（長崎）講演論文集，(1992)，241.

(6) 吉岡他，日本機械学会第70期全国大会講演論文集，Vol. B, No. 920-78，(1992)，477.

(7) 藤山他，日本機械学会第71期全国大会講演論文集，Vol. B, No. 930-63，(1993)，171.

(8) Fujiyama, K., et. al., 20th CIMAC Congress London, (1993), G 09.

(9) 多田他，日本機械学会論文集，56-524（1990），708.

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

技術論文

レーザによる冷却通路孔の加工技術

高原総合研究所　高原北雄
航空宇宙技術研究所　吉田豊明
株式会社レーザックス　坪井昭彦
〃　堀場康一
〃　ヤッシュ・カテューリア

Abstract

The tendency of gas turbines towards high temperature largely depends on the processing technology of film cooling holes. Up to now these cooling holes have been processed with ECM and EDM. But gradually laser hole drilling has been introduced, which enables high-speed drilling with high precision at resonable cost and automization. In this report we have pursued the limit of laser hole drilling to give freedom in the design of film cooling, and achieved an inclined angle of 10° to the surface with a hole diameter of 0.5mm. Besides that, we will describe such topics as drilling of holes from the side of zirconia coating, drilling of holes of various shapes, diffuser hole, internal wall surface conditions and reduction of operating hours.

概　要

ガスタービンの高温化はフイルム冷却孔の加工法に大きく依存している。従来この冷却孔は電解加工や放電加工に頼ってきたが次第に高速/精密/安価/自動化が可能なレーザ孔加工に移りつつある。この報告ではフイルム冷却設計の自由度を与えるためにレーザ孔加工限界を追求し傾斜角10°，孔径0.5mmを達成した。更にジルコニア被覆上からの孔加工，各種形状の孔加工，広がり角，内壁面状況，作業時間短縮についても報告する。

1．はじめに

ガスタービンは耐熱合金の許す限り高温で作動させてきた。その後，燃焼器やタービン翼の高温部材を燃焼前の比較的温度の低い圧縮機出口空気で冷却してタービン入口ガス温度の向上を図ってきた。タービン入口ガス温度があまり高くない時には高温タービン翼の内部対流冷却でも良かったが，次第に高温化が進むとフイルム冷却が必要になり，燃焼器やタービン翼のフイルム冷却孔の孔加工は主に電解加工や放電加工で行われてきた。このフイルム冷却は耐熱合金の表面に冷たい空気膜を効果的に被せて高温ガスからの熱遮断を行うものである。このためには翼面に傾斜角が小さな孔を大量に開けることが必要であるが，従来の加工法では満足できるような冷却孔を開けることは技術的，経済的に困難であった[1]。一方この高温部材はジルコニア断熱被覆が行われているものが多く[2]，放電加工や電解加工を困難にしている。孔開

表1　ハステロイの孔開け加工速度（ある範囲の孔サイズに対する比較例）[5]

加工法	速度
機械的孔開け	60 sec/hole （1孔当たり）
パンチング	速い、ただし孔径≧3 mm。斜め孔・深孔は不可
電解加工	180 sec/hole
放電加工	58 sec/hole
電子ビーム（真空）	0.125 sec/hole
Nd:YAGレーザ	4 sec/hole

（平成5年8月23日原稿受付）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

けの加工速度を比較した表1のように，レーザ加工は放電加工並みの精度を保ちつつ極めて速く孔を開けることができる[(3)~(4)]。

最近のタービン入口ガス温度は極めて高くなりV 2500エンジンでは1400°Cを越え，GE 90エンジンでは1500°Cになってきた。また高温化が進むと燃焼器ライナーの冷却のための冷却空気量が増大し，燃焼によるNO_xの制御に使える冷却空気量が少なくなり，NO_xの増大が危惧されてきている。冷却タービン翼のフイルム冷却孔はレーザによる孔加工も行われて来たが，微細孔を傾斜角30°程度しか開けることができなかった。このためタービン翼のフイルム冷却が充分でなくまた経済面からも最適なフイルム冷却孔の設計製作が出来なかったが，GE 90エンジンでは燃焼器ライナーには傾斜角18°が採用されていることがわかり，我が国でもこの高温部材である燃焼器ライナーやタービン翼のフイルム孔は細く且つ表面に対して傾斜角を小さく大量に安価に短時間に自動加工する技術開発が要請されていた。

今回レーザによる各種の孔加工を行い改善できたので報告する。

2．レーザ孔開けのメカニズム

レーザ孔開けはレーザビームの優れた指向性と高出力を利用している。本実験ではより高いパルスピーク出力を得るためにYAG（Nd: YAG）レーザを使用した。レーザ孔開けプロセスは主にターゲット材の溶融，蒸発および爆発的除去に基づいている[(6)]。

レーザでの材料除去プロセスはレーザパワー密度，波長および材料との相互作用時間に大きく依存しているが，孔開けの基本メカニズムは次のように要約できよう。

集光レーザビームはターゲット材の表面下数μmのレベルまで熱エネルギーとして吸収される。極めて高いパワー密度10－100 MW/cm^{2}の結果，表面温度は材料の融点を越え，沸点まで加熱された後に材料除去が溶融層の排除として始まり，その結果孔のクレーターが形成される。この過程はおよそ瞬時（10^{-6}～10^{-4}秒）の内に完了する。

パワー密度がほぼ100 MW/cm^{2}を越えると蒸発した溶融材料は膨張してレーザビーム方向に向かい，入射レーザビームによりイオン化され，それによりレーザ支援吸収（＝LSA）波を生成する。LSA波はターゲットで生成されるプラズマで，後方に伝播しその結果ターゲット表面を遮蔽する[(7)]。パワー密度が1000 MW/cm^{2}までに高くなると，さらにイオン化が起こり，入射ビームは濃密なプラズマの中に吸収される。そのため蒸発および結果的に材料除去が妨げられる。この段階でターゲットはもはや蒸発した粒子を供給しなくなり，同時にプラズマプルームは分解し且つターゲット表面からデトネーションの速度で膨張しはじめる（レーザ支援デトネーション＝LSD波）。膨張プラズマの反作用により表面での圧力は大きく増加し，溶融材料の排除を起こす。レーザ・プラズマ相互作用の波長依存性により，この圧力負荷は短い波長ではわずかに低くなるはずである。孔品質は加工条件により影響を受ける。

3．実験内容

3.1 使用レーザと加工条件

実験に使用したNd: YAGレーザはルモニク

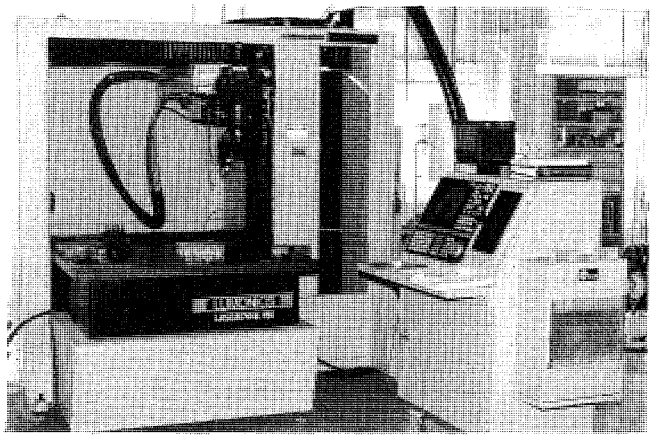


図1 JK 704/レーザダイン780システム外観

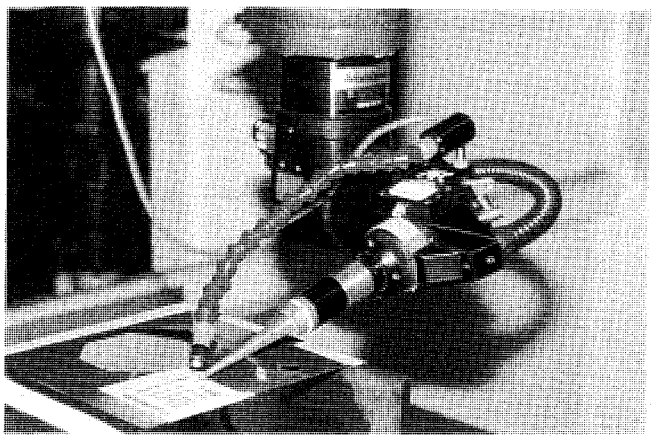


図2 Nd: YAGレーザによる孔加工の作業状況

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

ス社製 JK 704 LD/レーザダイン 780 システムで，最大平均出力はおよそ $P_{AVG}=230$ W である（図1・2）。

実験の目的は，最適加工条件の組合せで，ジルコニア被覆の超合金および被覆のないオーステナイト系ステンレス鋼 SUS 304 に対し，種々多様な斜め孔をあけることである。ここで加工条件には，パルスエネルギー(E)，パルス幅(t_p)，アシストガス圧(p)等が含まれる。孔開けはトレパニング法（集光ビームを移動させながら孔をあける方法）により実施し，孔径 0.5 mm～4.0 mm を達成した。我々の経験および他の研究報告[8][9]にもとづき，ビームソースは低広がり角モード運転に設定し，出力パルスエネルギー6 J，パルス繰返し数を 20 PPS(パルス数/秒)，およびパルス幅 0.3 msec とした。

3.2 試験片とその孔開け条件

試験片は下記の二種のものを使用した。孔角度（ビーム入射角に対応），孔径は次の通り。

① SUS 304 板

板厚 $t=1.0$，2.0，4.0 mm

孔角度（試験片表面に対し）$\theta=90°$，60°，45°，30°，25°，20°，15°，10°

孔径 $d=0.5$ mm，1.75 mm，2.0 mm，3.0 mm，4.0 mm

② ジルコニア被覆超合金板

基板: ハステロイ C 276 (Ni 基合金)　板厚 $t=2.0$ mm

溶射被覆: トップコート　$ZrO_2 8Y_2O_3$　膜厚 200 μm

ボンドコート　NiCoCrAlY　膜厚 130 μm

孔角度（試験片表面に対し）$\theta=90°$，60°，45°，30°，20°，15°

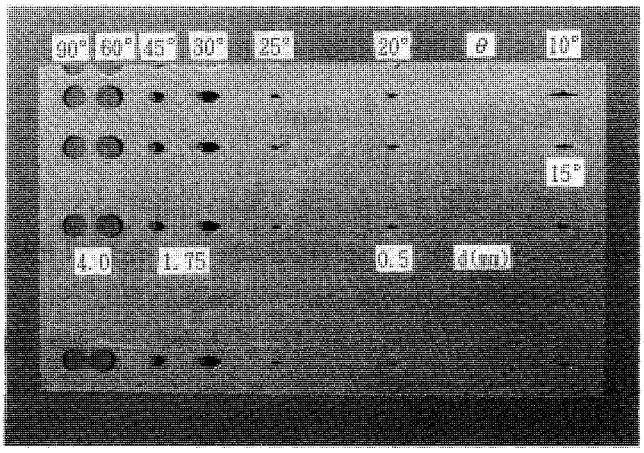
孔径 $d=0.5$ mm，0.75 mm，1.0 mm，1.5 mm，2.0 mm，3.0 mm

3.3 実験結果と考察

図 3 (a)に SUS 304 板（板厚 2.0 mm）のレーザ孔（$\theta=90°$～10°，孔径 0.5～4.0 mm）および図 3 (b)にジルコニア断熱被覆したハステロイ C 276（板厚 2.0 mm）に断熱被覆側からレーザで開けた孔（$\theta=90°$～15°，孔径 0.5～3.0 mm）の外観写真を示す。

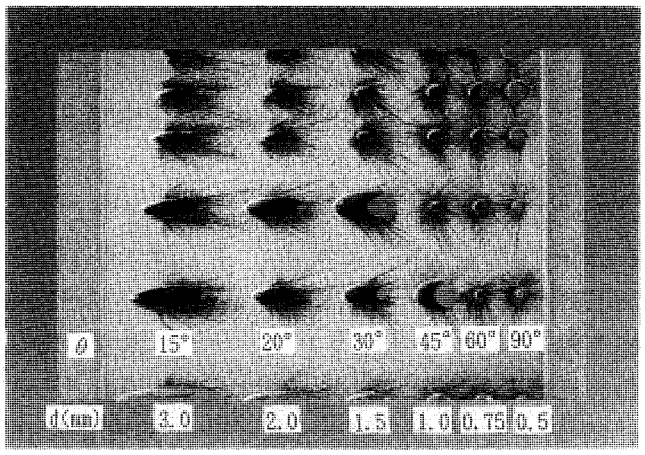
SUS 304 板は比較的きれいに孔が開き表面に金属蒸気が付着していない。一方ジルコニア断熱被覆したハステロイ C 276 では表面に金属蒸気が付着していることがわかる。これは孔から吹き出した金属蒸気が酸素アシストガスで吹き飛ばされる際に，表面は滑らかな金属面では境界層が薄く付着しにくいが，ジルコニア断熱被覆表面は粗く境界層が厚く酸素アシストガス流れに沿って付着するのではないかと考えられる。この付着は後処理により除去できるので遮熱的な問題は生じないが，このような金属蒸気の付着を減らすための研究も現在進めている。

図 4 は図 3 (a)の一番上のレーザ切断面を部分的に研磨したときの写真である。孔径が一定であり



孔角度 $\theta=10$～90°

(a) SUS 304 板（$t=2.0$ mm）



孔角度 $\theta=15$～90°

(b)ジルコニア被覆超合金（$t=2.0$ mm）

図 3　レーザ孔開け試験片と斜め孔加工（表側＝レーザビーム照射側）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

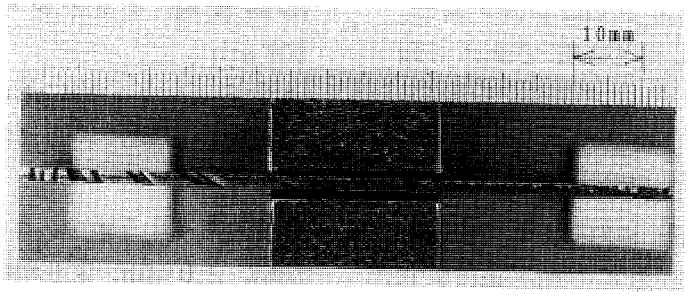


図4 図3(a)最上段の切断面（SUS 304，$t=2.0$ mm）

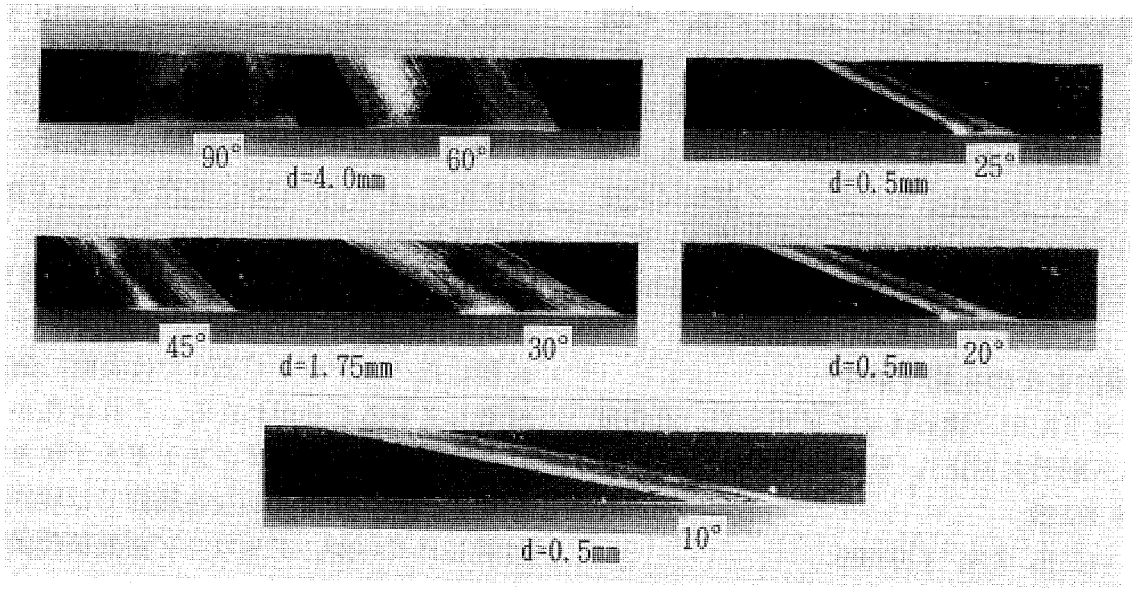


図5 図4の斜め孔断面の拡大写真（SUS 304，$t=2.0$ mm）

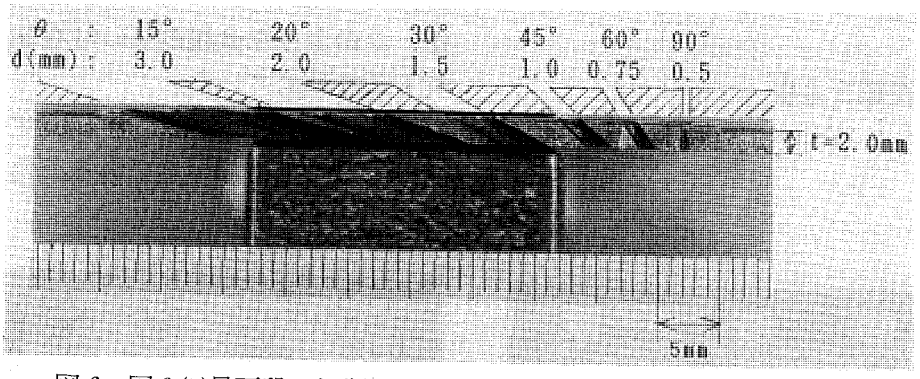


図6 図3(b)最下段の切断面（ジルコニア被覆超合金，$t=2.0$ mm）

放電加工や電解加工に匹敵する孔品質と考えられる(孔内面の表面粗さは後述)。本実験では1孔の加工時間はおよそ5～6秒であり，放電加工や電解加工に比べ大きく短縮される。ただし角度の浅い斜め孔や異形孔，ディフューザ孔等の場合はさらに時間を要する。図5は図4の孔角度$\theta=10°$～90°でレーザ加工孔の拡大写真で，比較的孔径が均一に開いていることがわかる。

図6はジルコニア断熱被覆表面に斜め孔を各種開けた断面写真である（図3(b)の一番下のレーザ切断面に対応)。これもSUS 304板の孔開けと同じくレーザ加工孔内面は均一で表面品質も良い。この場合加工孔内面の表面粗さはR_{max}で15～30 μmのオーダーである。図7は図6の孔角度$\theta=15°$～90°のレーザ加工孔の拡大写真である。とくに斜め孔15°の写真を見ると，その右側の孔との界面肉厚はほぼストレートで目立った変形はなく，優れた冷却孔となっている。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

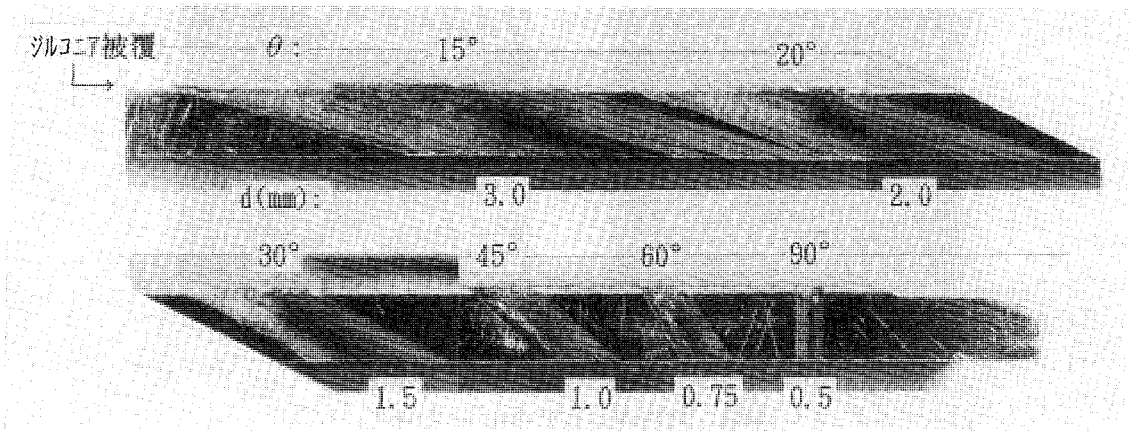
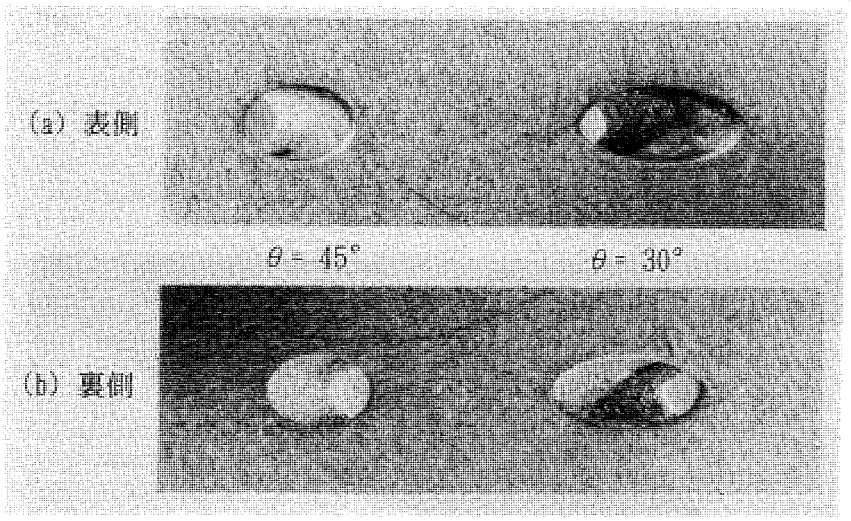


図7 図6の斜め孔断面の拡大写真（ジルコニア被覆超合金，$t=2.0$ mm）



SUS 304，$t=2.0$ mm，孔径 1.75 mm
図8 図3(a)の部分拡大写真

図8は図3(a)の平面写真の孔径1.75 mmの孔角度 $\theta=30°$ と45°の拡大写真で，表と裏の孔サイズがほとんど変わらないことから寸法精度は極めて高いことがわかる。孔のテーパおよび熱影響部はいずれも無視できるくらい小さいが，その幾何学形状はレーザビームのパルス変調またはパルス波形制御により向上させることができる。

なおSUS 304板，板厚4.0 mm，$\theta=10°$，孔径0.5 mmの孔開けの例では孔の深さは約22 mmにまで達しており，そのアスペクト比(孔の深さ/孔径）はおよそ44である。

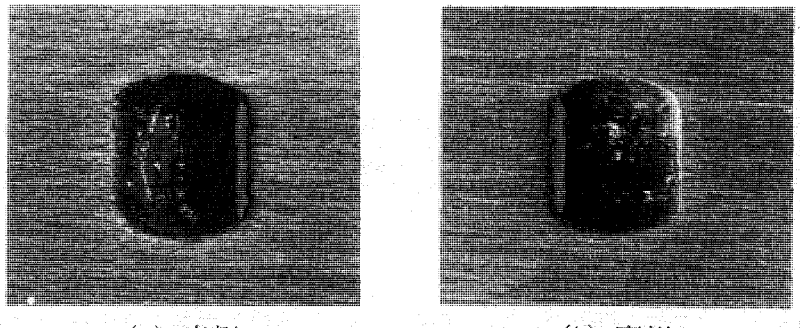
図9は異形長孔でアスペクト比が低いがスリットのような長いのは時間を掛ければ加工できるので技術的な問題はないと考えられる。

図10はディフューザ孔に加工した写真である。上図に示したように約7°の角度のあるディフューザ孔を開けることができた。なおディフューザ孔の製作には，ビーム入射角をわずかにずらしながら二，三度孔開けを繰り返す操作を行った。このようなディフューザ孔は冷却空気が遅くなり主流への貫通力が少なくコアンダ効果があるのでフイルム冷却空気量が少なくても熱遮断が効果的になると考えられる。

4．まとめ

① Nd: YAGレーザにより試験片SUS 304板（板厚1.0～4.0 mm）とジルコニア断熱被覆したハステロイC 276（板厚2.0 mm）に，孔（孔角度 $\theta=90°$～10または15°，孔径0.5～4.0または3.0

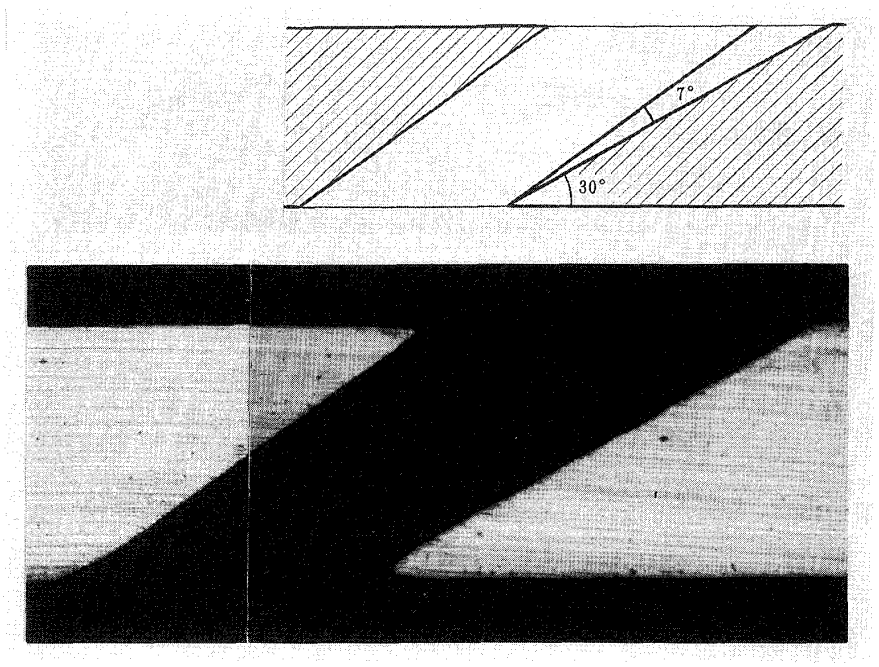
Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.



(a) 表側 (b) 裏側

$t=2.0$ mm, $\theta=30°$, 縦方向寸法 4.0 mm

図 9 SUS 304 板の異形長孔開け



$t=2.0$ mm, $\theta=30°$, 孔径 1.0 mm

図 10 SUS 304 板のディフューザ孔開け

mm) を開けることができた。

② Nd: YAG レーザにより冷却孔をトレパニング手法で自由に 10°の孔角度で微細孔を開けることができた。

③ 孔角度 10°, 孔径 0.5 mm を開けることができた。

④ フイルム冷却に効果的な広がり孔 (ディフューザ角 約 7°, 孔角度 30°) を開けることができた。

⑤ 孔径 0.5 mm でアスペクト比 44 の長い孔を精度よく開けることができた。

⑥ ジルコニア断熱被覆の上からも孔を開けることが出来たが, 蒸散した金属がジルコニア断熱被覆上に付着した。

⑦ 孔開け速度は表 1 からわかるように電子ビーム (真空) よりも幾らか遅い。

⑧ 長方形やスリット形状に孔を開けることが可能である。

謝 辞

本実験の遂行にあたり㈱レーザックス製造グループ副田精次郎, 牧野明の両氏に大変お世話になった。記してここに謝意を表します。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

参考文献

(1) A. G. Corfe, "Laser drilling of aero engine components," Proc. of 1st Int. Conf. of Laser in Manufacturing, 1983, pp. 31-40.

(2) 高原北雄「ガスタービンの高温化技術と今後の問題」日本航空宇宙学会中部支部会報, 第75号, 1989, pp. 29-39.

(3) 光斎直樹他「YAGレーザによる産業用ガスタービンブレードの穴あけ加工」第29回レーザ熱加工研究会論文集, 1993, pp. 85-89.

(4) 田野倉保雄「用途広がるYAGレーザ加工」日経メカニカル, 1993年5月3日号, pp. 23-27.

(5) W. M. Steen, "Laser material processing," 1991, Springer-Verlag, p.99.

(6) M. H. H. van Dijk, "Drilling of aero-engine components: Experiences from the shop floor," The Industrial Laser Handbook, 1992-1993 edition, pp. 113-118.

(7) H. -G. Treusch, G. Herziger, "Metal precision drilling with lasers," SPIE Vol. 650 High Power Lasers and their Industrial Applications, 1986, pp. 220-225.

(8) P. K. Affolter, "Drilling and cutting with pulsed Nd-YAG laser," Laser and Application, March 1984, pp. 81-85.

(9) J. M. Ruselowski, "Laser selection for drilling," SPIE Vol. 744 Laser in Motion for Industrial Application, 1987, pp. 108-123.

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

研究だより

IHIにおける航空エンジン要素の技術開発

石川島播磨重工業㈱航空宇宙事業本部　玉　木　貞　一

1．まえがき

石川島播磨重工業㈱航空宇宙事業本部では官用，民用のエンジンの研究開発を行っているが，それと並行してエンジン開発に必要な技術開発を行っている。ここでは，その技術開発の現状を熱流体分野を中心に紹介する。

2．技術開発の現状

航空エンジンとしてのガスタービンに対して，弊社では，熱効率，推進効率といった性能の向上，推重比の増加，環境への適合，信頼性の向上等を目的として各分野で技術開発が行われている。

○空力技術

航空エンジンの主要空力要素である，ファン，圧縮機，タービン等に対しては，十分な作動範囲を有しつつ，負荷を高め，効率を向上させることが要求されており，年と共に高負荷，高効率化がなされている。

負荷を高めるためには，動翼の周速増加または動翼静翼の転向角増加を必要とするが，これらの増加により，翼列内での衝撃波損失の増加，二次流れあるいは境界層のはく離が発生し，最終的に要素効率や作動範囲の低下を招き易い。それを避けるために，数値流体力学（CFD）等の手法を利用して，翼列内流れをシュミレーションを行い，高性能翼列を求めることを行っている。図1にその一例を示す。圧縮機動翼内の流れを3次元粘性解析で求めたもので，動翼内の衝撃波の様子が解析されている。この数値解析技術を活用した設計法により，低損失で作動範囲の広い要素の研究開発が可能となってきた。図2に新たに設計，製作した圧縮機供試体の例を示す。要素としての性能，特性を調べるため，圧縮機回転試験装置に搭載して試験を行っている。

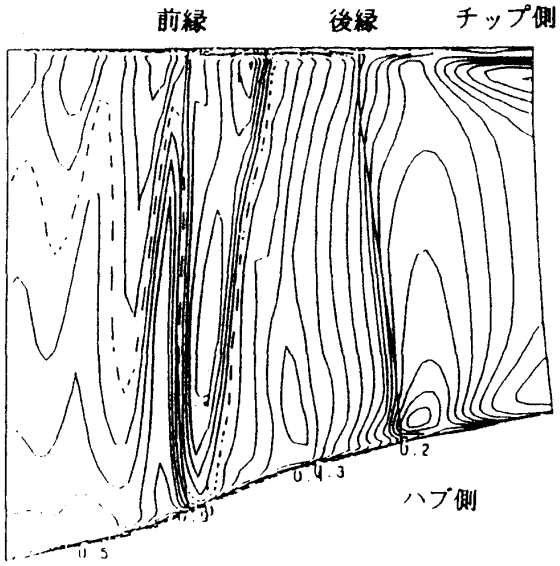


図1　動翼内流れ解析結果（等マッハ線図）

○伝熱，冷却技術

高性能ジェットエンジン実現のためにはエンジンの高温化が不可欠である。高温化は単結晶材等の新材料の開発，適用によるところが大きいがそれと共に伝熱，冷却技術の向上が寄与している。

高温タービンに対し少ない冷却空気量で，高い冷却特性を得るために冷却通路内の熱伝達率向上，ガス側の伝熱特性の把握等の研究を行っている。

冷却通路内流れに対しては，熱伝達率を向上させるための乱流促進体の研究や，翼の回転による二次流れや浮力の影響についての研究を実施している。例えば回転の影響により，冷却空気の流れ

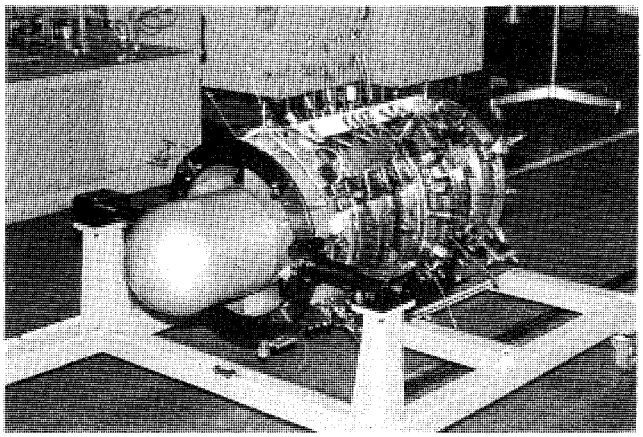


図2　圧縮機要素供試体

（平成6年4月8日原稿受付）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

が半径方向外向きか内向きかで熱伝達特性が変化する様子が明らかになっている。

また，実機環境下におけるガス側通路での伝熱特性には主流中の乱れ，燃焼室からの放射，上流の翼の後流等が影響を与える。それに対し，基礎的な試験，解析を行い，その影響について評価を行っている。

これらの基礎研究をもとにして，翼の設計を行い，冷却特性試験，翼の製作，要素試験を実施することで実機翼を開発している。図3に冷却特性試験用供試体の例を示す。

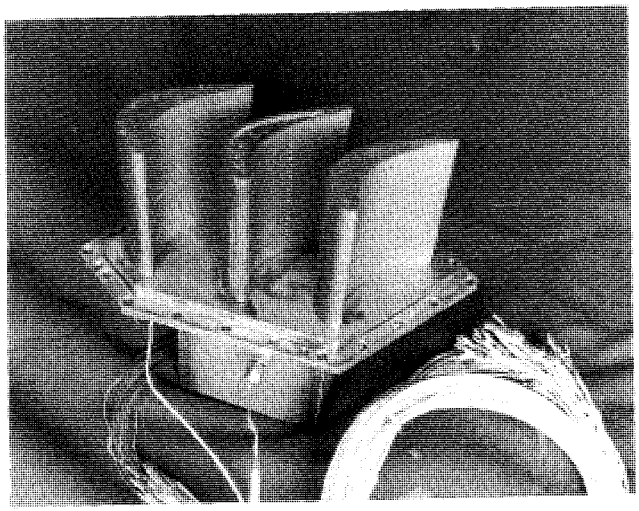


図3 冷却特性試験供試体

○燃焼技術

エンジン高温化に対し，燃焼器は多くの燃料を小さな体積で燃焼させる技術すなわち高負荷燃焼技術が要求される。また同時に適切な希釈によりタービン入口の温度分布を適正化することが要求される。そのためには燃焼器内の流れと燃焼を正しく把握することが重要である。図4に燃焼器内流れを数値シュミレーションで求めた例を示す。燃焼器内での温度分布の変化の様子が解析されている。また，燃料の微粒化，蒸発，空気との混合等も重要な技術であり，それに適した燃料噴射弁の研究開発も行っている。

これらの主燃焼器の研究開発と並行して，アフターバーナやラム燃焼器といった高速流れ下の燃焼の研究も実施している。

○環境対策技術

航空エンジンに関連した環境関連の技術としては低騒音化技術と排ガス低減技術とがある。

亜音速民間機用高バイパスターボファンエンジンでは騒音の主要因はファンにある一方，超音速機用エンジンでは主音源はジェットである。それら騒音の低減のため，ファン，ジェットノズルの模型を用いた騒音試験を行い，音源の特定，低減デバイスの特性評価等を行っている。

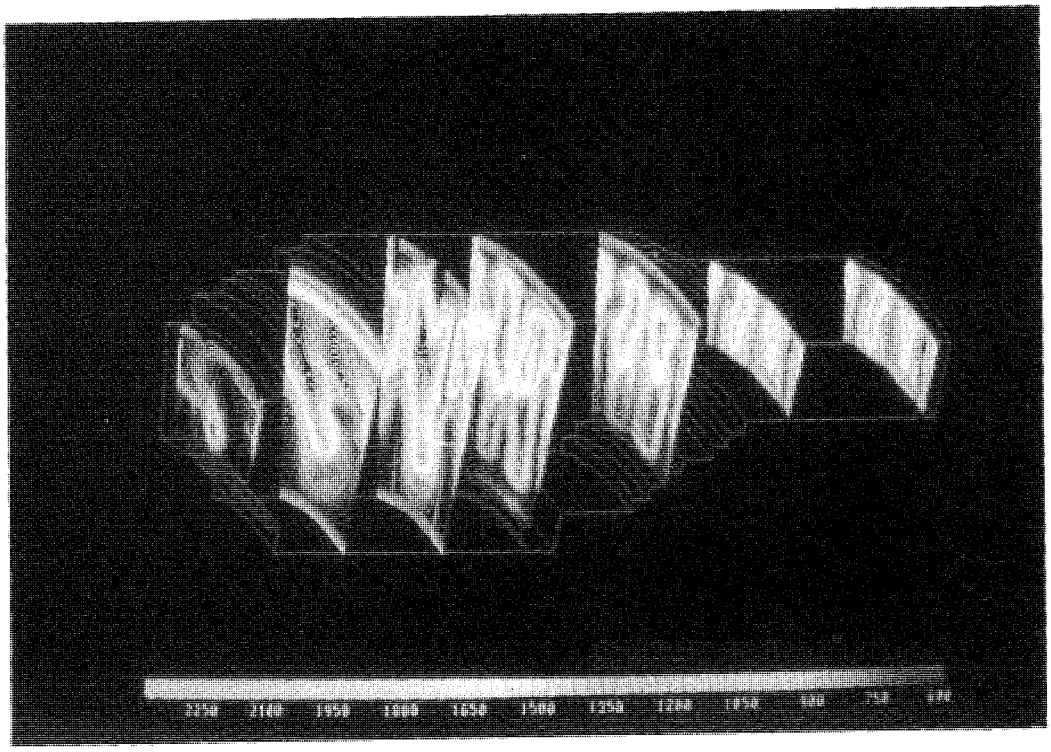


図4 燃焼器内温度分布解析結果

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

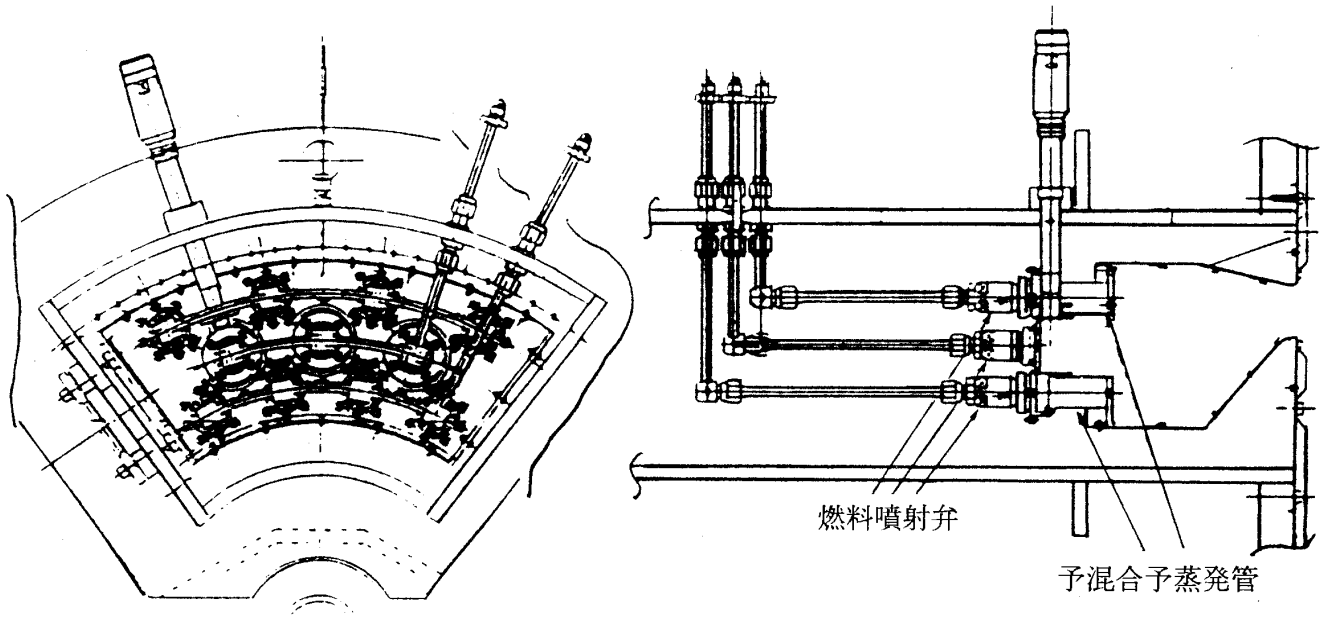


図5 予混合予蒸発燃焼器

排ガス低減の研究，特に低NOx化研究として，多段燃焼，可変燃焼，予混合希薄燃焼といったいくつかの燃焼方式の研究を行っている。図5に予混合予蒸発噴射弁を有する燃焼器概念を示す。混合状態を適性にし，希薄燃焼させることでNOxを大幅に低減できることが示された。

3．あとがき

弊社における航空エンジン要素技術の研究開発の一端を紹介した。航空エンジンは今後ますます高性能，高信頼性，環境適合性への要求が強くなるものと考えられ，それらに対応する技術開発を継続的に進めていくつもりである。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

見聞記

第3回SAMPE先端技術国際会議 シンポジウム・展示会に参加して

日産自動車㈱　秋　宗　淑　雄

1．まえがき

先端技術協会（SAMPE日本支部）が主催して1年おきに開かれるSAMPE先端技術国際会議は，日本コンベンションセンター（幕張メッセ）にて1993年12月7日より10日までの4日間開催された(写真1)。SAMPEでは展示会とシンポジウムが並行して盛大に開催されており，製品あるいは材料技術に興味を持っている多くの技術者にアピールできる開催形態を特徴としている。展示会では75社が新材料技術及び新素材の出展を行い，シンポジウムでは先端材料セミナーと4つのシンポジウム及び5つのセッションに国内外の著名な研究者が学術的に質の高い発表がなされた（報文427件)。

筆者はSAMPEの広報委員として従事した「展示会場のSAMPE本部の仕事」のかたわら見聞した範囲内での注目技術等について報告させて戴きたい。

2．展示会

2.1　民間企業の出展

展示会では一般企業から75社の出展，と宇宙開発事業団（NASDA）や文部省宇宙科学研究所（ISAS)のテーマ展示コーナーおよび金沢工業大学材料システム研究所や東京大学先端科学技術研究センターなど先端材料技術を研究している大学の研究発表コーナーが設けられた。

写真1　展示会場

(平成6年2月7日原稿受付)

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

多くの展示の中で，ガスタービンや宇宙航空機関連の材料技術について企業展示を見て行くと，

タービン部品———精密鋳造技術
　　合金製品（チタン合金，TiAl 合金）
　　繊維強化窒化ケイ素
タービン利用機器—セラミックガスタービン
　　ラムジェットエンジン
　　小型発電機
宇宙往還機————ノーズコーン（CC 複合材）
　　断熱材(セラミックタイル)
　　耐熱 FRP（C/Pi 製）
航空機用————ドアフレーム（チタン製）
　　機体（PAN 炭素繊維）
　　ハニカム構造材
　　硬質発泡体（イミド系）

等の世界に誇る最新技術が展示されている。

携帯用ガスタービンについては持ち運び用の携帯タービン発電機であり，ガスタービン機器の普及が期待できるものである。

エンジンやタービン用のセラミックス材料ではランクサイド社の金属の直接酸化による製造技術が目新しく，軽量高剛性の材料を安価に製造できる新技術と考えられる。

金属間化合物（TiAl）は鋳造技術が困難であり，タービン部品への応用は困難と考えられていたが，精密鋳造技術が進歩しターボチャージャーロータ程度の大きさのタービンを無理なく製造できるところまで進歩している。

2.2　国立研究所と大学の出展

ISAS や NASDA の展示コーナーでは各種ロッケットや宇宙ステーションの模型と LE−7，LE−5 エンジンの実機が展示された。ロッケト等の構造物の壮大さに驚くばかりであった。

大学関係では東京大学先端科学研究センターでチタン合金や金属間化合物およびセラッミクス基複合材料のプロセッシングや力学的特性，微視破壊機構の評価を行っており，評価技術の一端である AE（アコースティックエミッション）法を用いた装置開発を行なっている。

他大学では ERP の開発や強度解析が研究されており航空機用素材分野への解析技術の利用が期待される。

3．シンポジウム

国際シンポジウムでは 4 つのシンポジウムと 5 つのセッションからなり，発表論分数は以下のとおりであった。

先端材料セミナー53 件

セッション	
複合材料	83件
高分子材料	29件
金属及び複合材	13件
電子材料	7 件
新製造技術	28件
シンポジウム	
金属間化合物	75件
金属及びチタン合金	63件
先端材料の機械的特性	30件
非破壊検査	46件
合計	427件

ガスタービン関連技術としては材料の高温域での疲労やクリープ現象の解析及びコロージョン，タービン翼材料への異物の衝撃による損傷解析が際だった報告であった。

また，先端材料の利用拡大にはチタン合金，金属間化合物やセラミックスに関する破壊解析技術の確率が急務であり，その観点から「材料の強度と破壊」と「定量非破壊評価」に主眼がおかれている。

4．あとがき

これまで 2 回の展示会と比較して新材料の応用製品，例えば，ヨット，サーフボード，ガスタービン機器の展示等は少なくなり派手さは消えてしまったように感ずる。しかし，新材料解析技術の報告件数は増えており，基礎技術をじっくり固め，その技術が開花に近づいている時期であるように思われる。大型構造物への利用が拡大するのは次回以降であるように考えられる。

その中で本展示会で出展された携帯用ガスタービン発電機は，従来のガスタービン技術が大型発電機から小型へと，言い替えると工場機器レベルから家庭用電気製品レベルへと少しづつであるが一般化が進んでいると思われる。新材料はこのように，まず新しい身近な製品に結び付き，そこから再度大型構造物に利用が広がるものと考えられる。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

新製品紹介

カワサキM7A−01ガスタービン

川崎重工業㈱汎用ガスタービン（事）　杉　本　隆　雄

1．概　要

当社は，出力6MW級の高効率ガスタービンM7A−01を平成5年2月に発表した。これは，近年とみにクローズアップされて来ている地球環境保全，省エネルギー問題への一助として，コージェネレーションを主要用途として開発したものであり，当社の小型産業用ガスタービン分野での多くの経験と実績を基礎に，新技術を積極的に適用したものである。

本ガスタービンは，ワイドコード動翼による高効率の12段軸流圧縮機，フィルム冷却及びセラミックコーティングを施した6缶型燃焼器による高い燃焼温度，空冷翼を採用した高温の4段軸流タービンによって，31.5%を超える熱効率を実現している。これは同クラスの出力の産業ガスタービンとしては最高レベルの値である。また排気ガス中のNOx濃度は低レベルであり，大都市自治体の規制値を満足する値になっている。

2．M7A−01の特徴

(1)　高効率

ガスタービンの出力軸端で31.5%を超える高い熱効率である。また，550°C級の高い排気ガス温度により排熱回収率が高く，コージェネレーションの場合に高い総合熱効率が得られる。

(2)　低公害

排気ガス中のNOx濃度は低レベルであり，ガス燃料で蒸気噴射を併用すると大都市自治体の規定値（O_2＝0%換算で100 ppm以下）を満足する値になっている。

(3)　保守点検が容易

水平二分割ケージング，タービン内部が点検できるボアスコープ点検孔，取外し容易な燃焼器の採用によって設置現場での保守点検が容易な構造である。

(4)　長寿命

長時間の連続運転に耐えられるように30,000時間以上の設計寿命になっている。

3．構造及び各部の設計

図1に断面構造図を，表1に構造仕様を示す。

3.1　軸流圧縮機

これは当社が製鉄所の高炉用などで豊富な実績を持つ産業用軸流圧縮機の技術を応用・発展させたものである。12段構造で圧力比12以上を得ており，段当りの平均温度上昇は約30°Cで，産業用

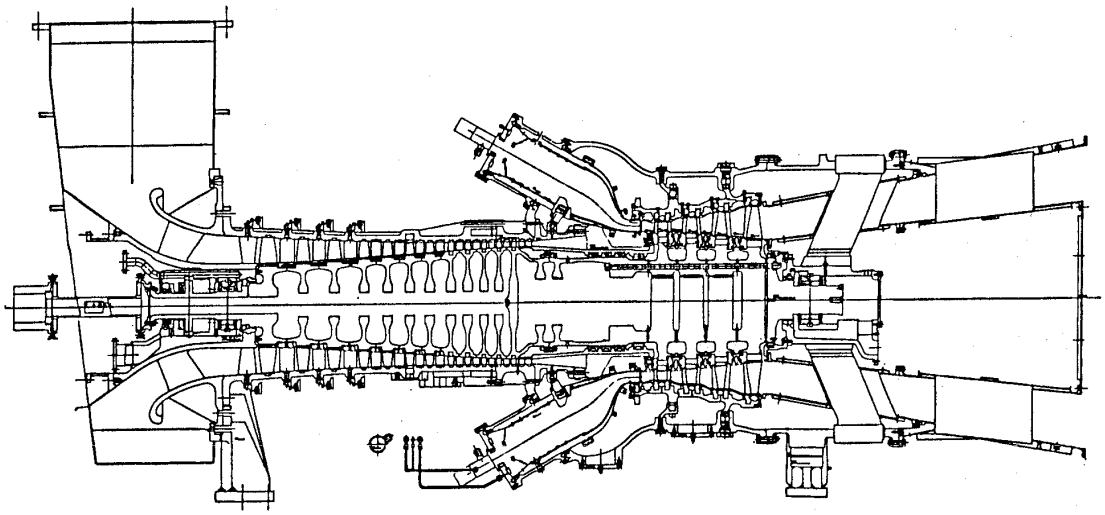


図1　M7A−01ガスタービン断面構造図

（平成6年4月4日原稿受付）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/03.

表1 構造使用

形式	単純開放一軸式
圧縮機	軸流１２段
タービン	軸流４段（１，２段空冷）
燃焼器	６筒缶形
寸法（m）	３．６Ｌ×１．５Ｗ×１．７Ｈ
重量	４５００ｋｇ

としては高い空力負荷を実現している。図2にその性能を示す。

高い断熱効率を得るために翼列への流入マッハ数は高亜音速レベルに押え，マッハ数が高い前段には高いマッハ特性が優れたDCA（二重円弧翼型）を，後段には実績が多いNACA 65翼型を採用している。

前段の翼列には思い切った低アスペクト比（1段動翼でアスペクト比1.39）の翼を採用し，部分負荷時の空力特性の改善，強度や耐エロージョン・コロージョン性の向上を図っている。

また，低回転域での各段落でのマッチング特性を改善するために，入口案内翼を含めて前側の4段の静翼列の角度を可変とした。これによって，ガスタービンの起動時のサージングに対して十分な余裕を得ている。また，ガスタービンの部分負荷出力時に角度を変化させることによって空気流量を制御し，高効率な運転状態が維持できるようになっている。

各動翼の先端部のシュラウド側にはアブレダブル・シール材を溶射し，接触に対して安全を確保するとともに，運転中の先端隙間を極小にし先端からの漏れ損失を減らすことも高い断熱効率の実現に寄与している。

1～7段の動翼は比強度が高く耐腐食性に優れた6 Al－4 Vチタン合金を，8段以後の動翼と静翼にはCustom 450ステンレス鋼を使用している。

3.2 軸流タービン

当社が豊富な経験と実績を持っている小型の産業用ガスタービンの技術を発展させて開発したもので，4段構造である。

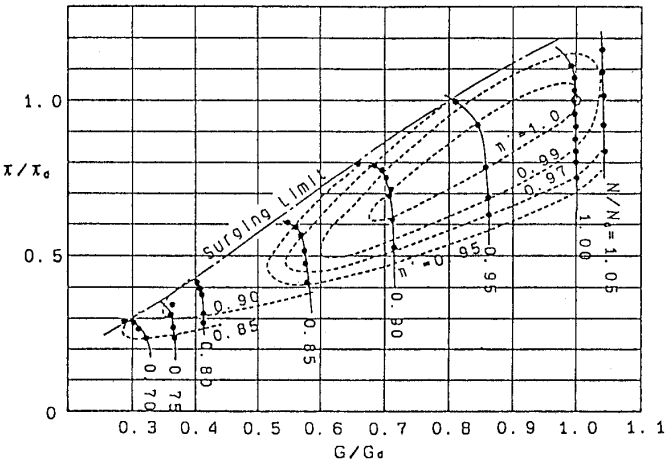


図2 圧縮機性能（実測）

熱サイクルとしての効率を高くするために，このクラスの産業ガスタービンとしては高いタービン入口温度（最高温部分で1230°C，入口平均で1175°C）に耐えるようになっている。

タービンの動翼はニッケル基の耐熱合金Rene 80，静翼はコバルト基のFSX 414を使用した精密鋳造品であり，特に1段目および2段目は高いタービン入口温度に耐えるよう翼の内部を冷却しており，インサートによるインピンジメント冷却，ピンフィン冷却を採用して，少ない冷却空気で効果的な冷却を行っている。

また1,2段の静翼表面には低圧プラズマ溶射により熱遮蔽コーティング（TBC）を施してメタル温度の上昇を押さえている。これらによって動翼の平均メタル温度は820°C，静翼は850°Cとなっている。

高い断熱効率を得るために，比較的高い平均周速（410 m/s）を採用して各段の空力負荷は過大にならないようにした。また翼列からの流出マッハ数は高亜音速である0.95以下となるよう，仕事配分，フローパターンを設定した。

また翼高さが大きい後段については，半径方向に大きな反動度分布が生じ易いために，半径平衡条件を維持しながら適当なフローパターンを設定して，動翼先端部からの過大な漏れ損失の防止，ハブ付近の増速翼列条件の維持による翼列損失の軽減を図っている。

さらに，動翼の損傷を生ぜずに先端隙間を小さくするために，動翼の先端にはアルミナを主成分とした硬いコーティングを施し，シュラウド側は

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

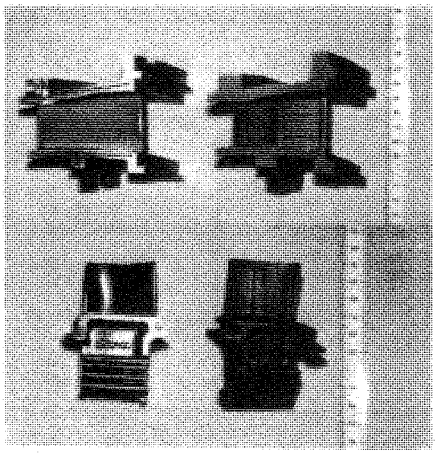


写真1 1段タービン動翼および静翼

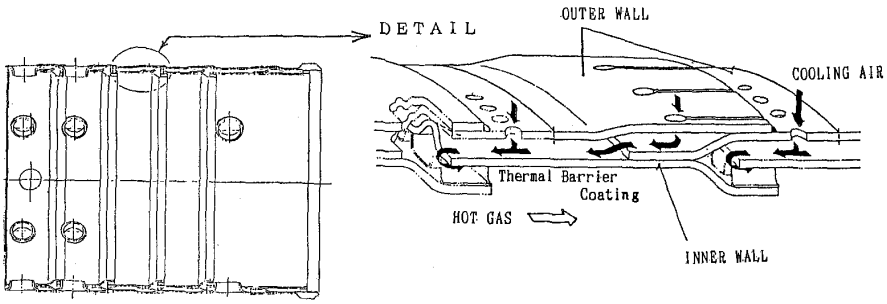


図3 燃焼器ライナーの構造

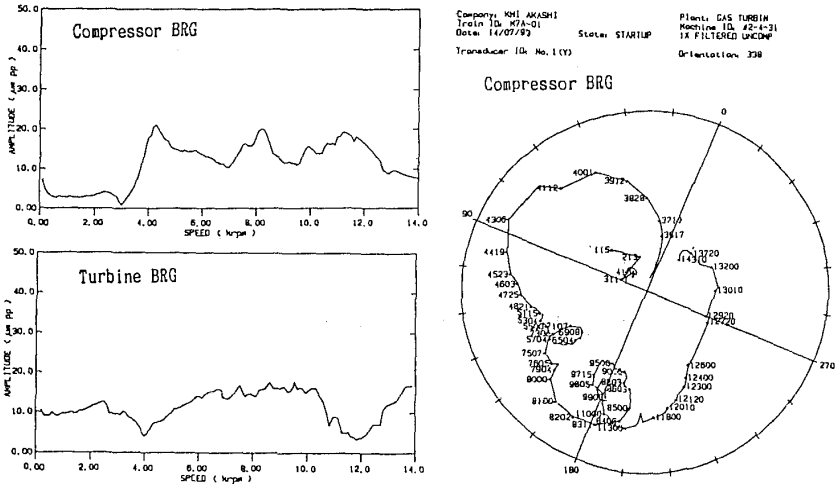


図4 ロータ振動測定結果

ハニカム材等によってアブレダビリティを持たせている。これらによって運転中の動翼先端隙間は最小に設定することが可能となり，漏洩損失を小さくして高い断熱効率を実現することに寄与している。

構造面の特徴として，車室を開放することなしにタービンの内部をファイバースコープで点検できるよう点検孔が設けてあり，フィールドでの長時間運転の途中での保守点検を行う際に，きわめて有効である。

3.3 燃焼器

燃焼器出口温度の高温化に有利であり，均一な出口温度分布を得やすいことなどから，順流型の6缶型燃焼器を採用した。

さらにタービン入口への導入部の長さを短くしたことによって，その部分の冷却空気が節減でき，燃焼に寄与する空気量が多くなって火炎温度が下がるために，高いタービン入口温度にもわ拘らず前述のように低いNOxの排出濃度になっている。

燃焼器ライナーの壁面は，図3に示すようにインピンジメント冷却とフィルム冷却を組合わせた2重壁の構造採用し，さらに内壁面には低圧プラズマ溶射により熱遮蔽コーティング（TBC）を施してメタル温度の上昇を押え，耐久性を高めている。

燃焼器ライナー部分は大部分がタービン車室の外部にあるため，車室を開放することなく燃焼器部分の分解・点検が可能で，保守点検の際に有利になっている。

3.4 車室およびロータ構造

水平2分割の車室構造を採用してフィールドでの開放点検が出来るようになっている。しかも車室は水平2分割構造にありがちな，いわゆる重構造を避けて出来るだけ軽量化を図っており，組立・分解・運搬の際に有利になっている。

さらに，軸方向を4個の車室に分割し，それぞれ縦フランジでボルト結合しているために上半分の部分開放が可能である。従って各部に適した点検間隔で部分点検が可能である。

車室の支持構造は吸気側と排気側の2箇所で支持しており，前者は固定支持，後者はトラニオン支持構造を採用し，車室の熱伸びに対して自由でありながら出力軸部のアライメントに及ぼす影響が少なくなっている。

ロータは，その両端部に配置した2個のティルティングパッド型のジャーナル軸受で支持している。2点支持のためにアライメントの上で問題が

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

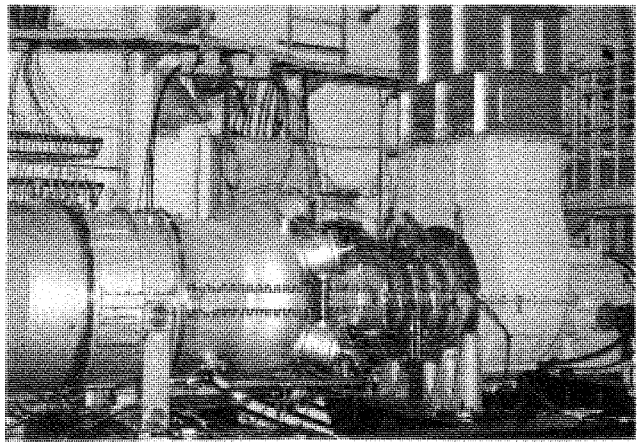


写真2 M7A−01ガスタービン外観

表2 性能測定結果

出　　力	KW	6150
熱　効　率	%	31.5
タービン入口温度	℃	1175
排気ガス温度	℃	555
空　気　流　量	kg/s	21.6
回　転　数	RPM	14000
圧　力　比		12.7

ISO定格、ガス燃料、ガスタービン出力軸端

少ない。また，ティルティングパッド型であるため軸受油膜による振動減衰効果が高く，危険速度通過時もロータ振動は安定している。

ロータの軸流圧縮機部分は電子ビーム溶接による一体構造であり，シンプルであると共にアンバランスが発生し難く，ロータ振動の安定化に寄与している。

タービン部分は6個のロータ部品をカービック・カップリングを介して，締付けシャフトで結合しており，タービンロータの熱膨張を許容しながら極めて高精度の芯出し機能を有している。

4. 実証試験

下記に示す各種の試験を実機ガスタービンについて行い，性能・信頼性を実証している。尚，試験は専用の社内試験設備を使用している。

- 性能確認試験: 出力，熱効率，各要素の効率，各部温度・圧力等の計測を行った。表2に性能測定結果を示す。
- 過速度試験: 定格回転数の111%以上の回転数で運転し，この回転数までロータなどが耐えられることを実証した。
- 過負荷/過温度試験: 最大定格を超えた出力，タービン入口温度の条件下でも短時間の運転に耐えられることを実証した。
- 連続負荷試験: 定格出力状態で長時間運転を行い，耐久性を実証した。数千時間〜数万時間の運転は今後実施予定。
- 回転数漸変試験: 翼の固有振動数のバラツキを考慮して，定格回転数付近で回転数を変えて運転し，翼の共振による影響が無いことを実証した。
- サイクル耐久試験: ガスタービンの起動，負荷，停止のサイクルを数百回繰り返し，ガスタービンの寿命を支配する低サイクル疲労強度（遠心力，熱応力）が十分であることを実証した。

また平成6年4月より，国内の客先で実際のコージェネレーション設備として，本格的稼働状態に入っている。

5. まとめ

M7A−01ガスタービンは，1175℃という6MW級としては高いタービン入口温度および最新の技術を採用し，コージェネレーション用ガスタービンとしては極めて高性能である。

本ガスタービンの出力である6MW級は，工場などの産業用分野，ビルや地域冷暖房など民生用分野でのコージェネレーションの普及が見込まれる領域である。

このクラスのガスタービンとしては最高の熱効率を有していることから，電気エネルギーへの変換効率が高く，経済的にも優れたエネルギー源となり，コージェネレーションやリパワリングなどのより一層の普及をもたらすものである。

参考文献

(1) K. Ikesawa et al, Development of a High Pressure Ratio Axial Flow Compressor, 91-YOKOHAMA-IGTC−11

(2) 杉本, 小型ガスタービンの現状と展望 日本ガスタービン学会誌 Vol.20 No 79, 1992−12

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

資料

1993年ガスタービン及び過給機生産統計

統計作成委員会[1]

Ⅰ．生産統計の概要

1．統計作成委員会の活動について

(1) 1993年のガスタービン及び過給機の生産統計に関し，統計資料の収集及び集計を行い統計を作成し本号に掲載した。この統計は英文Bulletinにも掲載する予定である。

2．1993年ガスタービン生産統計

2.1 陸舶用ガスタービン

(1) 前年次，対前年比で2%減った総台数は国内向け中・小型の伸びにより今年次は前年比11%増加し，初めて450台を越えたが，国内向けならびに輸出向の大型の急減少により全出力では44%減の2,829 MWであった。前々年次に比べてもわずか2%の増加で，ここ数年の年平均20%の出力増加傾向から大きく変化した。大型(30,000 PS以上）は特に輸出向けが激減し台数で55%に，出力で47%に減少した。前年次は台数・出力ともに対前年比で減少した中型（1,000 PS以上30,000 PS未満）は台数で34%，出力で77%それぞれ増加し，80年代後半から続いた増加傾向に戻った。小型（1,000 PS未満）も台数・出力ともにそれぞれ6%，8%増加し，2年間続いた対前年比減少の傾向は止まった。

(2) 小型は輸出向け事業用の1台の他は全て自家発用で，非常発電用が台数・出力とも95%を占めた。ここ数年，数少ないながらも継続している水ポンプ用は今年も10台，3,500 kWが出荷された。小型の平均単機出力は420 kWで前年とほぼ同じである。

(3) 中型は台数のほぼ90%を占めている6,000 PS未満のものが台数・出力ともに26%増加した。前年次は無かった22,000 PS以上のものも11台出荷された。用途別ではベースロード発電用が台数で25%，出力で46%増加し，この内コジェネレーションを含め排熱回収しているものは39台，144 MWである。非常発電用も台数・出力共に33%増加し，さらに艦艇用推進機駆動用に8台，138 MWが出荷された。中型の平均単機出力は2,912 kWと前年比1.3倍に増加した。

(4) 大型は60,000 PS以上のものが台数・出力とも前年比半分以下に急減した。ベースロード発電用は台数1/3，出力1/2に減り，前年次6台，600 MWあったピークロード発電用は0となった。事業用で既設ボイラーのFDFに替えてガスタービンを利用しプラント効率向上をはかるリパワリング用に2台，308 MWが出荷された。国内自家用ではピークロード発電にも対応する実験用プラントが今年次も1台163 MWが設置された。大型の総出力の全出力に占める割合は92%から76%に

（平成6年5月6日原稿受付）

(1) 委員長 本間 友博（東芝）
委 員 青木 千明（石川島播磨重工業）
吉識 晴夫（東大生研）
黒川英二郎（川崎重工業）
塚原 章友（三菱重工業）
清野 隆正（日立製作所）
臼井 俊一（日本鋼管）
杉浦 裕之（川崎重工業）
西原 昭義（ヤンマーディーゼル）
八島 聰（石川島播磨重工業）
駒形 正敏（新潟鉄工所）
菱川 明（三菱重工業）
秋田 隆（石川島播磨重工業）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

減少，平均単機出力は前年次の12万kWレベルから10万kWレベルに低下した。

(5) 国内向けは台数で13%増の413台で，中型の増加は著しかったが，大型の減少により出力は5%減の1,886 MWに止まった。小型は台数・出力ともに約10%の増加で，地域別では九州で40%増加した外は前年並か微増に止まった。中型は台数で25%，出力で69%増加し，特に近畿では台数61%，出力2.4倍に急増したが関東，中部地方では前年比微増であった。大型は台数で33%，出力で20%減少した。前年急増した関東地方は台数は1/3の3台，出力は1/4の240 MWに減少し，中部・近畿地方はそれぞれ2台，300 MWの増加，九州地方も前年と同じく2台，288 MW,中国地方は半減の1台，128 MWが設置された。

(6) 輸出は台数こそ前年と同じ39台で総台数の8%を占めたが，出力は70%減少し，1,000 MWを下回り全出力に占める割合は33%と前年の60%を大きく下回った。仕向け先で見るとアジア向けは前年と同じの18台だが出力は1/14に減少，欧州向けも中型5台のみで出力は1/125に減少，一方久し振りに中近東向けに2台，270 MWが出荷された。旧ソ連，大洋州，アフリカ向けは今回も無かった。なお，仕向け先未定の大型機6台，503 MWが，輸出の半分を占めている。

(7) 燃料の種類別の台数比較では，ガス燃料の比は，年々わずかづつ増加の傾向であったが，大型の生産台数が1/3に減少したため今年次は3.4%減少して12%となった。大・中型の減少により天然ガスが急減し，国内向け中型の増加で液化天然ガスと都市ガスの台数が増えた。液体燃料の生産台数は重油1種がやや減ったものの軽油・灯油が増え，全体の比率を押上げた。燃料別に見ると，小型では，重油1種・灯油・軽油が，70，20，8%となり，中型では，重油1種・軽油・都市ガス・灯油が48，16，15，14%で，大型では液化天然ガス・軽油・灯油・天然ガスが33，33，14，10%の割合となっている。

一方，燃料の種類別の出力比較では，天然ガスが大・中型の大巾な減少により前年の56%から10%に急減し，液化天然ガスは中型の増加により14%から39%に増加したがガス燃料比率は前年の84%から60%以下に減少した。燃料別に出力割合を見ると小型では，重油1種・灯油・軽油が，71，22，7%とほぼ台数割合と同じで，中型では，重油1種・軽油・都市ガスが34，32，13%の割合，大型では，液化天然ガス・軽油・天然ガス・高炉ガスが50，25，13，6%の割合となっている。

2.2 航空用ガスタービン

(1) ターボジェット/ターボファン・エンジンは，前年に比べ合計台数で12%，合計推力で17%それぞれ減少した。T－4中等練習機用の中推力エンジンF3－30は台数で11%増加したものの，F－15戦闘機用の大推力エンジンF100が26%減少したことにより合計推力は低下した。台数についてはターゲット・ドローン用の小推力エンジンTJM3が35%減少したことも大きく影響している。なおDEEC（デジタルエンジン制御装置）付のF100－220Eが初めて生産され統計に加えられた。

(2) ターボシャフト/ターボプロップ・エンジンは，台数で20%減，合計推力で28%減と大きく落ち込んだ。大出力のターボプロップT56(P－3C対潜哨戒機用）が，台数で45%も減少したことが第一の理由であるが，補助機関駆動用エンジンも22%，ヘリコプター用ターボシャフトも7%それぞれ減少している。この数年合計台数，合計出力ともに低落傾向にある。

(3) 5ケ国共同開発エンジンであるV2500ターボファン・エンジンのファン部（日本担当部分）は，99台生産され，1988年の生産開始以来の累計は421台になった。これはエンジン組立ではないため，生産統計には加えていない。(なお，前年度統計の89台生産，累計273台という数字は，それぞれ95台，322台と訂正する。)

3．1993年過給機生産統計

(1) 生産されている型式数は前年とほぼ同じで150種類であった。

(2) 圧縮機翼車外径100 mm以下（CLASS 1）の生産台数は前年比，約5%減少し概数で164万台となった。

(3) 圧縮機翼車外径100 mmを越える過給機の生産台数は前年比，約36%減少した。なかでも，翼車外径101～200 mm（CLASS 2）および翼車外径301～400 mm（CLASS 4）並びに翼車外径801～900 mm（CLASS 9）の生産台数の減少が著

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

しく，それぞれ前年比，39%，16%，12%の減少であった。一方，翼車外径401～500 mm（CLASS 5）および翼車外径501～600 mm（CLASS 6）は，それぞれ前年比10%，20%増加した。翼車外径301～400 mm（CLASS 3）と翼車外径601～700 mm（CLASS 7）はほぼ前年並の台数が生産された。

(4) 翼車外径701～800 mm/901～1000 mm（CLASS 8/CLASS 10）は1993年も生産実績は無かった。

〔備考〕

(1) 暦年（1～12月）に納入されたガスタービンまたは過給機を対象とした。

(2) 出力及びスラストの基準状態は，入口空気条件を101.32 kPa（1.0132 bar），温度15°Cとした。

(3) 出力は，陸舶用ガスタービンでは常用出力で，ターボジェット/ターボファンエンジンでは海面上静止最大スラストで，ターボシャフト/ターボプロップ・エンジンでは，海面上静止常用出力で集計した。

(4) メートル馬力（PS），英馬力（HP）とキロワット（kW）との間の換算は下記によった。

1 PS ＝0.7355 kW
1 HP＝0.7457 kW
　　＝1.0139 PS

(5) 各統計表の間で，四捨五入により最小桁が異なっているものもある。

(6) 前年の生産集計に含まれない1992年出荷分3台，2,275 kWは今年次集計に含めた。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

II. 統計

1. 最近5年間のガスタービン生産推移

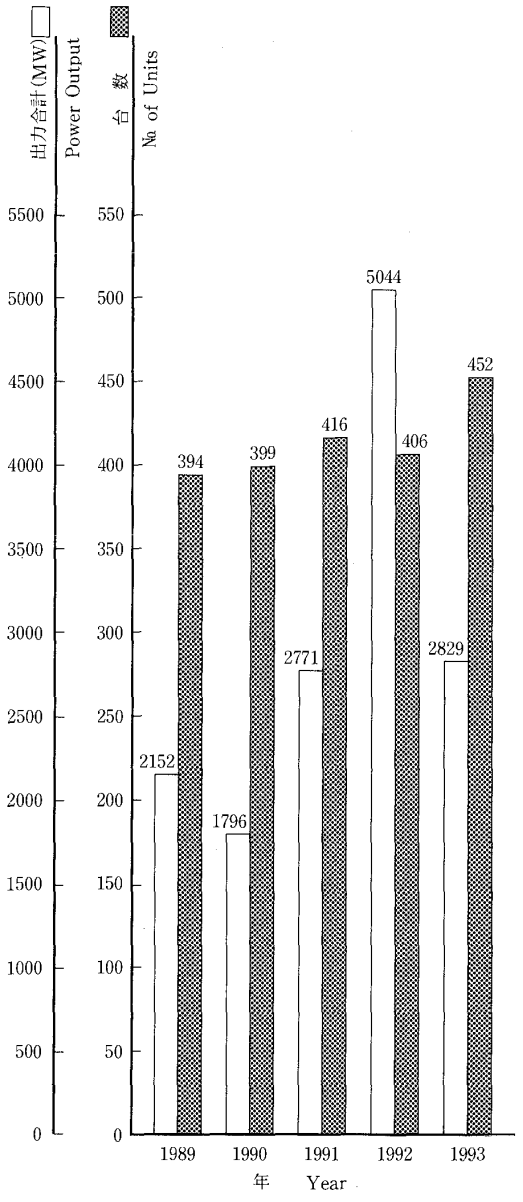


図1 陸舶用ガスタービン

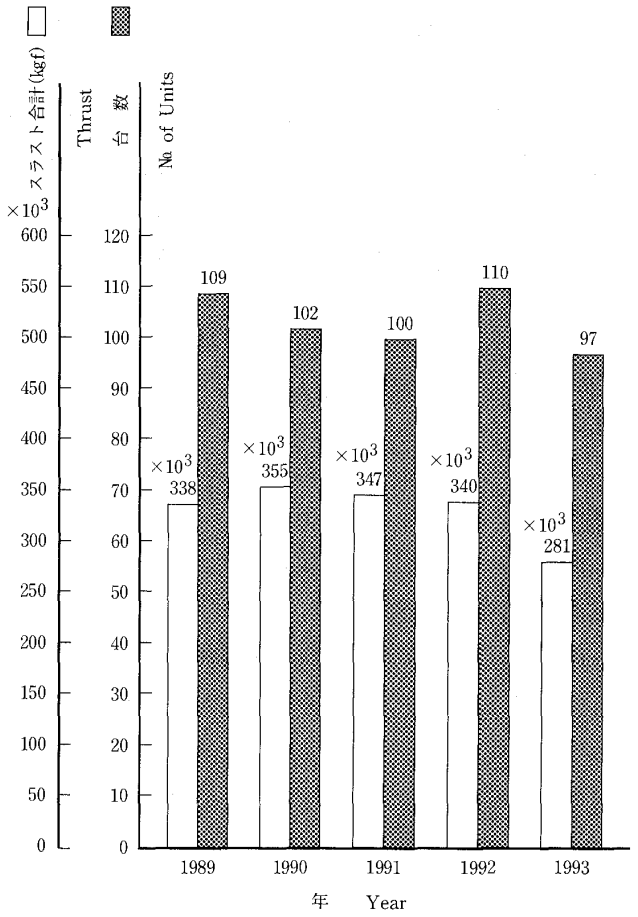


図2 ターボジェット/ターボファン・エンジン

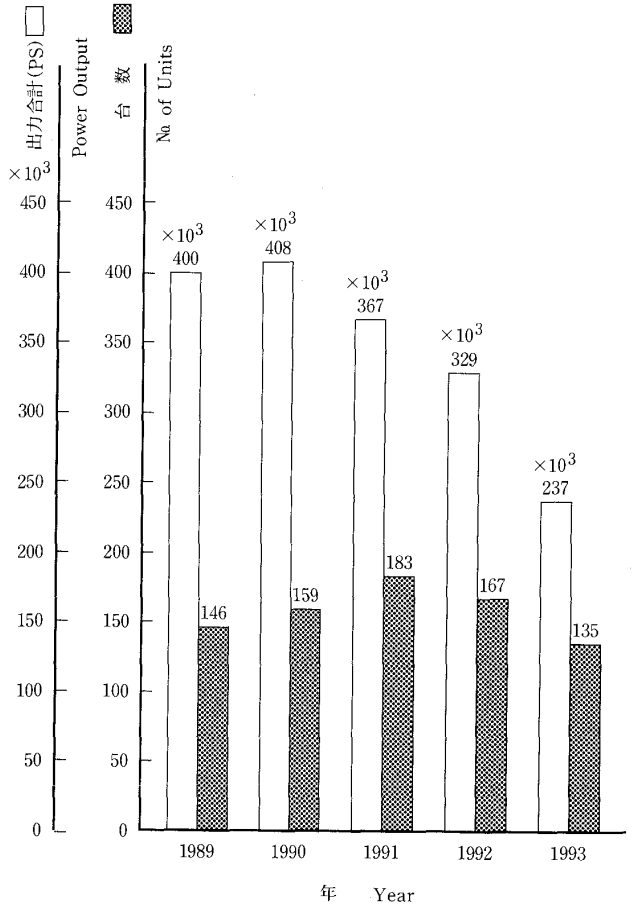


図3 ターボジェット/ターボプロップ・エンジン

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

2．陸舶用ガスタービン

表1 1993年用途別生産台数及び出力（kW）

区分 Size		小型 Small Unit 0～999PS		中型 Medium Unit 1,000～29,999PS		大型 Large Unit 30,000PS～		全出力 Total	
用途 Application	コード Code	台数 Units	出力 Output(kW)	台数 Units	出力 Output(kW)	台数 Units	出力 Output(kW)	台数 Units	出力 Output(kW)
ベースロード発電用 Generator Drive for Base Load	BL	1	699	49	178,870	20	1,991,240	70	2,170,809
ピークロード発電用 Generator Drive for Peak Load	PL	0	0	0	0	0	0	0	0
非常用発電用 Generator Drive for Emergency	EM	222	93,736	141	259,667	0	0	363	353,403
艦艇用 Military Marine	MM	0	0	8	138,035	0	0	8	138,035
その他プロセス用 Miscellaneous Chemical Process	PR	0	0	0	0	0	0	0	0
教育用 Education	ED	0	0	0	0	0	0	0	0
実験用 Experiment	XP	0	0	0	0	1	163,400	1	163,400
その他 Miscellaneous	MC	10	3,479	0	0	0	0	10	3,479
合計 Total		233	97,914	198	576,572	21	2,154,640	452	2,829,126

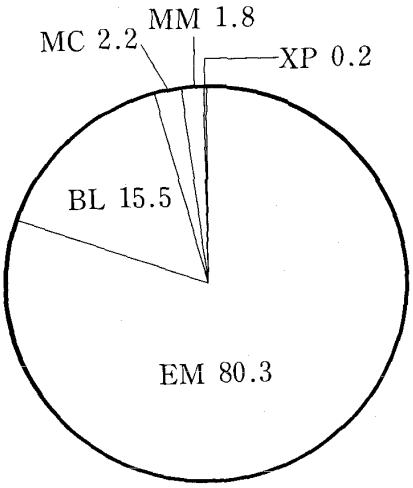


図4 1993年用途別台数割合（%）

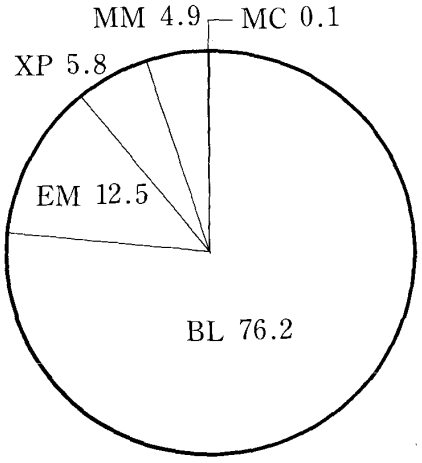


図5 1993年用途別出力割合（%）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

表2　1993年燃料別生産台数及び出力（kW）

区分 Size			小型 Small Unit 0～999PS		中型 Medium Unit 1,000～29,999PS		大型 Large Unit 30,000PS～		全出力 Total	
燃料種類 Kind of Fuel		コード Code	台数 Units	出力 Output(kW)	台数 Units	出力 Output(kW)	台数 Units	出力 Output(kW)	台数 Units	出力 Output(kW)
ガス燃料 Gaseous Fuel	液化天然ガス Liquefied Natural Gas	LNG	1	699	10	19,170	7	1,074,200	18	1,094,069
	液化石油ガス Liquefied Petroleum Gas	LPG	0	0	0	0	1	38,000	1	38,000
	天然ガス Natural Gas	GNG	0	0	0	0	2	269,560	2	269,560
	石油プラントオフガス Plant Off Gas	GOG	0	0	2	29,140	0	0	2	29,140
	高炉ガス Blast Furnance Gas	GBF	0	0	0	0	1	128,250	1	128,250
	都市ガス Town Gas	GTW	0	0	30	76,025	0	0	30	76,025
	小計 Sub Total		1	699	42	124,335	11	1,510,010	54	1,635,043
液体燃料 Liquid Fuel	灯油 Kerosene	T	49	21,352	28	73,107	3	109,450	80	203,909
	軽油 Gas Oil	K	19	6,509	32	182,293	7	535,180	58	723,982
	重油1種 Heavy Oil No. 1	H1	164	69,353	96	196,838	0	0	260	266,191
	小計 Sub Total		232	97,215	156	452,237	10	644,630	398	1,194,082
固体燃料 Solid Fuel			0	0	0	0	0	0	0	0
合計 Total			233	97,913	198	576,572	21	2,154,640	452	2,829,125

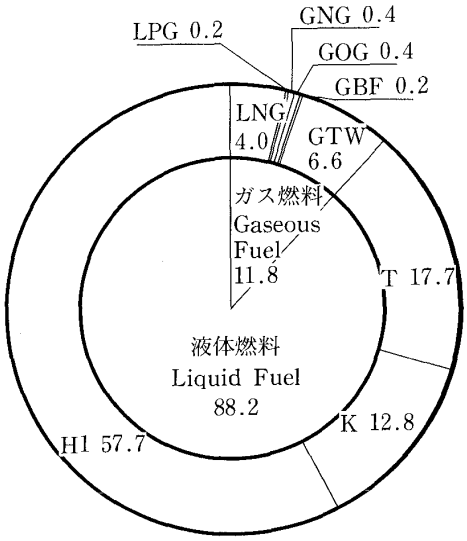


図6　1993年燃料別台数割合（%）

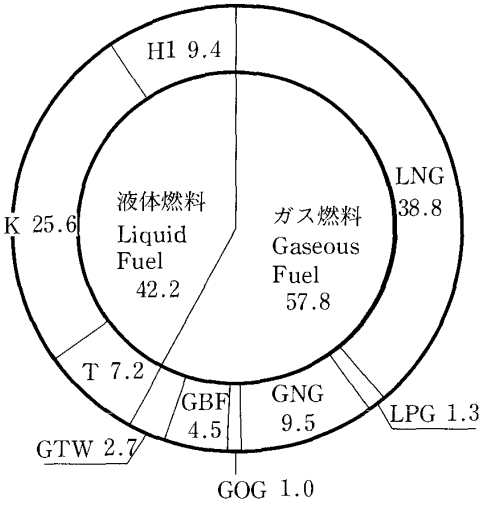


図7　1993年燃料別出力割合（%）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

表3　1993年地域別納入台数及び出力（kW）

地域別 Location	区分 Size	小型 Small Unit 0～999PS 台数 Units	小型 出力 Output(kW)	中型 Medium Unit 1,000～29,999PS 台数 Units	中型 出力 Output(kW)	大型 Large Unit 30,000PS～ 台数 Units	大型 出力 Output(kW)	全出力 Total 台数 Units	全出力 Total 出力 Output(kW)
国内向け Domestic Use	北海道 Hokkaido	9	4,509	1	1,040	0	0	10	5,549
	東北 Tohoku	23	9,933	6	9,851	0	0	29	19,784
	関東 Kantoh	78	33,095	69	152,571	3	241,949	150	427,616
	中部 Chuubu	38	13,341	22	59,115	2	307,999	62	380,456
	近畿 Kinki	40	18,799	45	98,586	2	314,000	87	431,385
	中国 Chuugoku	19	5,799	6	24,237	1	128,250	26	158,266
	四国 Shikoku	2	890	2	2,721	0	0	4	3,611
	九州 Kyuushuu	21	9,708	5	9,097	2	288,800	28	307,604
	沖縄 Okinawa	2	1,140	1	883	0	0	3	2,023
	舶用主機 Marine Propulsion	0	0	8	138,035	0	0	8	138,035
	舶用補機 Marine Auxiliaries	0	0	6	12,250	0	0	6	12,250
	小計 Sub Total	232	97,215	171	508,387	10	1,280,998	413	1,886,600
輸出向け For Export	北米 North America	0	0	6	34,532	0	0	6	34,532
	中南米 South and Central America	1	699	1	1,177	0	0	2	1,876
	アジア Asia	0	0	15	23,078	3	101,280	18	124,358
	大洋州 Oceania	0	0	0	0	0	0	0	0
	欧州 Europe	0	0	5	9,400	0	0	5	9,400
	旧ソ連 Former Soviet Union	0	0	0	0	0	0	0	0
	中東 Middle East	0	0	0	0	2	269,559	2	269,559
	アフリカ Africa	0	0	0	0	0	0	0	0
	未定 Unknown	0	0	0	0	6	502,800	6	502,800
	小計 Sub Total	1	699	27	68,186	11	873,639	39	942,524
合計 Total		233	97,913	198	576,573	21	2,154,637	452	2,829,124

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

表 4　1993年被駆動機械別生産台数及び出力（kW）

区　分 Size		小型 Small Unit 0～999PS		中型 Medium Unit 1,000～29,999PS		大型 Large Unit 30,000PS～		全出力 Total	
被駆動機械 Driven Machinery	コード Code	台数 Units	出力 Output(kW)	台数 Units	出力 Output(kW)	台数 Units	出力 Output(kW)	台数 Units	出力 Output(kW)
発電機 Electric Generator	G	223	94,434	190	438,537	21	2,154,640	434	2,687,612
推進機 Propeller(Rotary Wing)	PRR	0	0	8	138,035	0	0	8	138,035
水ポンプ Water Pump	W	10	3,479	0	0	0	0	10	3,479
合計 Total		233	97,913	198	576,572	21	2,154,640	452	2,829,125

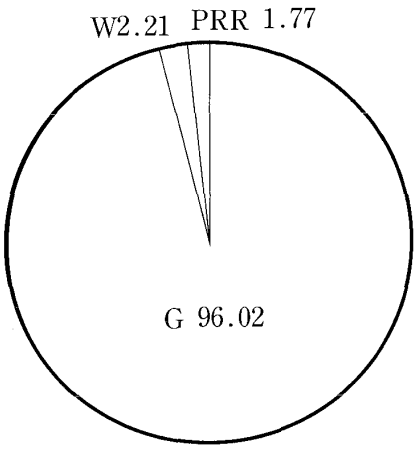


図 8　1993年被駆動機械別台数割合（%）

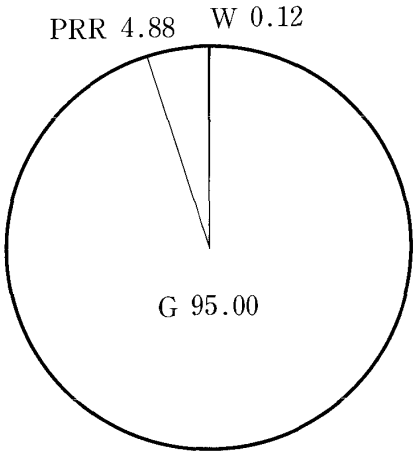


図 9　1993年被駆動機械別出力割合（%）

表 5　1993年出力区分別生産台数及び出力（kW）

出力区分（PS） Unit Output		台数 Units	出力 Output (kW)
小型 Small Unit 0～999PS	0～ 199	1	118
	200～ 499	92	21,613
	500～ 999	140	76,182
	小計 Sub Total	233	97,913
中型 Medium Unit 1,000～29,999PS	1,000～ 5,999	178	329,316
	6,000～13,999	6	22,941
	14,000～21,999	3	34,780
	22,000～29,999	11	189,535
	小計 Sub Total	198	576,572
大型 Large Unit 30,000PS～	30,000～59,999	5	179,830
	60,000～	16	1,974,810
	小計 Sub Total	21	2,154,640
合計 Total		452	2,829,125

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

表6 1993年発電用ガスタービン用途別生産台数及び出力（kW）

区分 Size / 発電用 Generator Drive			小型 Small Unit 0～999PS		中型 Medium Unit 1,000～29,999PS		大型 Large Unit 30,000PS～		全出力 Total	
用途 Application		コード Code	台数 Units	出力 Output (kW)	台数 Units	出力 Output (kW)	台数 Units	出力 Output (kW)	台数 Units	出力 Output (kW)
国内事業用	ベースロード発電用	BL	0	0	0	0	7	1,039,050	7	1,039,050
	ピークロード発電用	PL	0	0	0	0	0	0	0	0
	非常用発電用	EM	0	0	0	0	0	0	0	0
Domestic/Public Use 小計 Sub Total			0	0	0	0	7	1,039,050	7	1,039,050
国内自家用	ベースロード発電用	BL	0	0	40	137,352	2	78,550	42	215,902
	ピークロード発電用	PL	0	0	0	0	0	0	0	0
	非常用発電用	EM	222	93,735	122	231,823	0	0	344	325,558
Domestic/Private Use 小計 Sub Total			222	93,735	162	369,175	2	78,550	386	541,460
国内合計 Domestic Use Total			222	93,735	162	369,175	9	1,117,600	393	1,580,510
輸出事業用	ベースロード発電用	BL	0	0	0	0	11	873,640	11	873,640
	ピークロード発電用	PL	0	0	0	0	0	0	0	0
	非常用発電用	EM	0	0	0	0	0	0	0	0
For Export/Public Use 小計 Sub Total			0	0	0	0	11	873,640	11	873,640
輸出自家用	ベースロード発電用	BL	1	699	9	41,518	0	0	10	42,217
	ピークロード発電用	PL	0	0	0	0	0	0	0	0
	非常用発電用	EM	0	0	19	27,845	0	0	19	27,845
For Export/Private Use 小計 Sub Total			1	699	28	69,363	0	0	29	70,062
輸出合計 For Export Total			1	699	28	69,363	11	873,640	40	943,702
事業用	ベースロード発電用	BL	0	0	0	0	18	1,912,690	18	1,912,690
	ピークロード発電用	PL	0	0	0	0	0	0	0	0
	非常用発電用	EM	0	0	0	0	0	0	0	0
Public Use 合計 Total			0	0	0	0	18	1,912,690	18	1,912,690
自家用	ベースロード発電用	BL	1	699	49	178,870	2	78,550	52	258,119
	ピークロード発電用	PL	0	0	0	0	0	0	0	0
	非常用発電用	EM	222	93,735	141	259,668	0	0	363	353,403
Private Use 合計 Total			223	94,434	190	438,538	2	78,550	415	611,522
総計 Grand Total			223	94,434	190	438,538	20	1,991,240	433	2,524,212

Note : Code Explanation BL : For Base Load PL : For Peak Load EM : For Emergency

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

3．航空用ガスタービン

表7　1993年ターボジェット/ターボファン・エンジン生産台数及びスラスト（kgf）

生産台数 No. of Units	97*1	スラスト合計*2 Thrust (kgf)	281,540

＊1　V2500ファン部（99台）は含まない。
Excluding 99 Units of V2500 Fan Modules

＊2　海面上静止最大スラスト
Maximum Thrust at Sea Level Static Condition

表8　1993年ターボシャフト／ターボプロップ・エンジン生産台数及び出力（PS）

区分 Size	0～999PS		1,000～PS		全出力 Total Output	
用途 Application	台数 Units	出力*3 Output (PS)	台数 Units	出力*3 Output (PS)	台数 Units	出力*3 Output (PS)
固定翼機用 Fixed Wing Aircraft	0	0	20	88,500	20	88,500
ヘリコプタ用 Helicopter	0	0	79	146,864	79	146,864
補助機関駆動 Aux.Drive Units	36	2,198	0	0	36	2,198
合計 Total	36	2,198	99	235,364	135	237,562

＊3　海面上静止常用出力
Normal Output at Sea Level Static Condition

4．過給機

表9　1993年過給機生産台数及び型式数

区分 Size		台数 No. of Units	型式数 No. of Model
Class	圧縮機翼車外径(mm) Outside Diameter of Compressor Impeller		
Class 1	0～ 100	概数 Approx. 1,636,000	68
Class 2	101～ 200	11,526	27
Class 3	201～ 300	915	16
Class 4	301～ 400	306	12
Class 5	401～ 500	130	8
Class 6	501～ 600	185	8
Class 7	601～ 700	161	7
Class 8	701～ 800	0	0
Class 9	801～ 900	86	4
Class 10	901～1,000	0	0
合計 Total		13,309*5	150*4
資料提供社数 No. of Companies which supplied Data		12	

＊4　型式はいずれも排気タービン式である。
Every model is an exhaust turbine type supercharger.

＊5　圧縮機翼車外径100mm を越す分を示す。
This shows total number of superchargers over 100mm in impeller diameter.

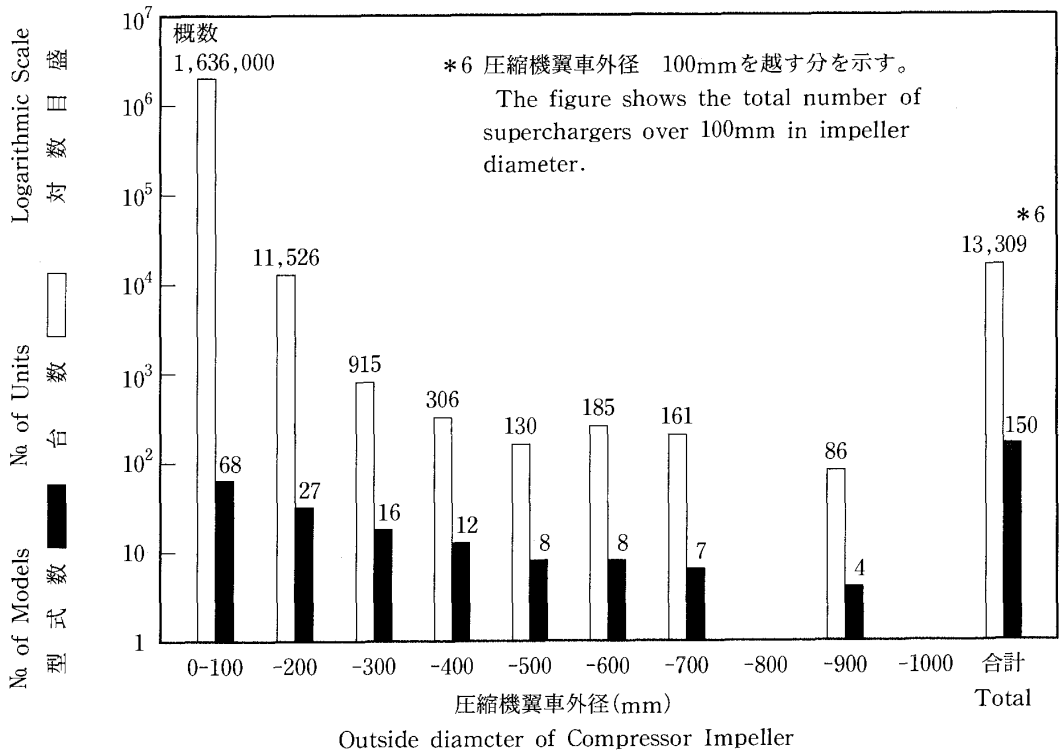


図10　1993年過給機生産台数及び型式数

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

報告
日本ガスタービン学会

㈳日本ガスタービン学会
評議員会・総会報告

総務理事

本学会の評議員会および通常総会が，去る4月22日㈮に東京の機械振興会館において開催された。

第18期第2回評議員会は同会館6階会議室にて10時30分より開かれ，評議員の互選により有賀一郎君が議長になり，議事が進められた。第18期高田浩之会長による開会挨拶があり，引き続いて同評議員会への出席者18名，委任状提出者36名で同会が成立することが宣言された後，第18期事業報告，同期収支決算報告の議案につき審議が行なわれ，何れも承認された。なお，同案については田中英穂，川上英彦両監事による監査結果が田中監事により報告された。次いで名誉会員推薦案を総会に諮ることが承認された。

第19期第1回評議員会は同日11時10分より同会場で開かれ，評議員の互選により青木千明君が議長になり，議事が進められた。最初に，出席者18名，委任状提出者51名で評議員会が成立することが宣言され，以下の議案の審議が行なわれた。すなわち，第19期役員，第19期事業計画，第19期予算などの諸案を総会に諮るとともに第19期評議員・監事選挙結果を同会に報告することになった。

第19期通常総会は，同日13時より同会館の地下2階ホールで開催された。第18期高田会長の開会挨拶の後，同君を総会議長に選出し，議事が進められた。同総会への出席者35名，委任状提出者553名（会員数1776名の1/5以上）で同総会の成立が宣言された後，以下の議案の審議が行なわれた。すなわち，第18期事業報告，同期収支決算報告につき，大田英輔総務（主担当）理事および奥原　巌総務委員（今井　鉄総務（財務担当）理事の代理）より説明があり，承認された。また，事業報告，収支決算については，田中英穂，川上英彦両監事の監査の結果として適正である旨が田中監事より報告された。ついで，第19期役員選出の件は別掲通り議決され，第19期評議員・監事選挙結果も併せて報告された。このあと名誉会員推薦につき高田会長より説明があり，村田　暹君，飯島　孝君，松木正勝君，稲葉興作君，田中英穂君，妹尾泰利君を名誉会員とすることが承認された，。

第19期役員選出により会長に濱田邦雄君が選出されたので，高田，濱田の新旧会長より，退任，就任の挨拶がそれぞれ述べられた。以後，第19期会長の濱田君が議長の任にあたり，以下の議事が進められた。まず，総会の成立につき再確認が行なわれ，第19期事業計画，同期予算に関し，川口　修総務（主担当）理事，本間友博総務（財務担当）理事（いずれも第19期）より説明があり，別掲通り承認された。

引き続き，議事録署名者の件が諮られ，最後に第19期副会長の葉山眞治君より閉会の挨拶があり，総会を終了した。

総会に続いて名誉会員推薦状授与式が行なわれ，村田　暹君，飯島　孝君，田中英穂君，妹尾泰利君に第18期高田会長より推薦状と記念品が贈呈された。これに応えて4君よりそれぞれ挨拶が述べられた。なお，松木正勝君，稲葉興作君は所用で欠席のため，別途，推薦状と記念品が贈呈されることとなった。

第18期（平成5年度）事業報告

1．役員に関する事項

1.1　役員・評議員

1.2　監事・評議員の選出

第18期監事・評議員の選出は定款第15条，第16条，細則第20条，第22条，第23条，第24条，第25条，第26条により選出した。

2．会務処理に関する各種会合

2.1　理事会

会長・副会長他18名（内，総務担当5名，企画担当6名，編集担当7名），開催9回。

会議事項；第18期総会報告，第18期評議員会報告，第18期事業実施に伴う業務，第18期事業報告案，同決算案，第19期総会議案，第19期評議員会議案，同事業計画案，同予算案，などの件の審議，承認。

2.2　評議員会

評議員85名（役員候補者を含む），開催2回［内訳：第18期第1回評議員会（出席23名，委任状提出者43名）（5.4.23），第18期第2回評議員会（出席18名，委任状提出者36名）（6.4.22.）］

会議事項；第18期役員案，第18期事業計画案，同予算案，第18期事業報告案，同決算案，などの件の審議，承認。

2.3　総　会

正会員1705名，開催1回［内訳：第18期通常総会（出席者28名，委任状提出者629名（会員数1705名の1/5以上）（5.4.23.）］

会議事項；第17期事業報告，同決算，第18期役員選出，評議員選挙報告，第18期事業計画，同予算，などの件の審議，承認。

2.4　部門別理事・委員会

1）総　務

主担当理事　吉岡英輔　他16名　開催8回

2）企　画

主担当理事　和田正倫　他17名　開催7回

3）編　集

主担当理事　荒木達雄　他19名　開催8回

2.5　学術講演会委員会

委員長　葉山眞治　他13名　開催6回

会議事項；第21回定期講演会の実施，第8回秋季講演会の企画および実施，第22回定期講演会，第9回秋季講演会の企画。

2.6　地方委員会

委員長　星野昭史　他11名　開催1回

会議事項；地方における見学会，技術懇談会の企画と実施，地方行事に関する打ち合せ。

2.7　組織検討委員会

委員長　平山直道　他2名　開催1回

会議事項；学会の財政，活動方針など中期的基本計画に関する会長からの諮問の検討並びに中間答申。

2.8　Bulletin 編集委員会

委員長　蓑田光弘　他8名　開催9回

会議事項；“Bulletin of GTSJ 1993”の企画，編集，発行。編集基本方針と会員配付等の協議，検討。

2.9　会員委員会

委員長　松木正勝　他12名　開催1回

会議事項；会員増強対策の検討ならびに会員勧誘の実施。

2.10　選挙管理委員会

委員長　野田廣太郎　他7名　開催2回

会議事項；第19期評議員・監事選挙の管理と実施。

2.11　学会賞審査委員会

委員長　有賀一郎　他15名　開催2回

会議事項；論文賞・技術賞・奨励賞選定のため学会賞候補について審査。

2.12　次期国際会議検討委員会

委員長　有賀一郎　他14名　開催4回

会議事項；開催の規模，日程，場所，経費の検討，事務委託，国内外学協会協力依頼，1st サーキュラ発行準備など。

2.13　次期国際会議準備委員会

委員長　有賀一郎　他27名　開催4回

会議事項；10月上記委員会を改組，準備委員会発足。1st サーキュラの作成，送付，組織委員会発足準備，予算案，事業計画

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

案，趣意書，規約の作成，組織委員会の構成，使用会場の詳細検討。

3．調査研究事業

3.1　ガスタービン統計作成委員会

委員長　本間友博　他12名　開催1回

会議事項；わが国ガスタービン及び過給機生産に関する統計資料の蒐集および集計，その結果を学会誌とBulletinに掲載。

3.2　ガスタービン技術情報センター運営委員会

委員長　長島　昭

会議事項；技術情報センターの運営と活動方針についての検討。

3.3　調査研究委員会

委員長　吉田豊明　他16名　開催1回

会議事項；ガスタービンの冷却技術に関する調査研究の基本方針，課題等の検討。

4．集会事業

学術講演会2回，技術懇談会3回，見学会3回，ガスタービンセミナー1回，特別講座1回，シンポジウム1回。

	名称	講師	年月日	場所
1	第1回見学会・技術懇談会	藤井　忠明（明電舎）	5. 7. 16	明電舎沼津発電研究所
2	第21回定期講演会	発表者24名	5. 6. 4	機械振興会館
3	特別講座	中橋　和博　他5名	5. 9. 9 10	鈴鹿サーキット研修場
4	第2回見学会・技術懇談会	福江　一郎（三菱重工）	5. 11. 5	三菱重工業高砂製作所
5	第3回見学会・技術懇談会	吉川　修平（富士電機） 荒木　実（三菱重工）	5. 11. 26	富士電機ｶﾞｽﾀｰﾋﾞﾝ研究所 三菱重工業横浜製作所
6	第8回秋季講演会（盛岡）	発表者32名	5. 10. 6 7	岩手大学 東北電力葛根田地熱発電所
7	シンポジウム	内山　洋司（電中研） 伊藤　文夫（東電）	6. 2. 28	東京電力・東新ビル会議室
8	第22回セミナー	大原　久宣　他7名（中部電力）	6. 1. 20 21	川崎産業振興会館

なお、特別講演会は講師の都合により、今期取り止めとした。

5．出版事業

5.1　会誌

本期発行した会誌は21巻81号（1993-6），21巻82号（1993-9），21巻83号（1993-12），21巻84号（1994-3）で内容は下表の通りである。

（数字は頁数、カッコ内は編数）

巻号＼分野	技術論文	講義	解説論説	資料	随筆	見聞記	だより研究所	新製品および新設備紹介	報告	内外行事案内	会記	その他	総頁数
21巻 81号 小特集 1）	8 (1)	6 (1)	48 (8)	9 (1)	1 (1)		2 (1)	2 (1)	7 (1)	4 (4)	1 (2)	2 (4)	88
21巻 82号		6 (1)	20 (3)		2 (1)	17 (10)	3 (1)		1 (1)	5 (4)	1 (2)	7 (8)	82
21巻 83号 小特集 2）	35 (4)	7 (1)	52 (8)		2 (1)	4.5 (2)	2 (1)	2 (1)	3 (-3)	2 (3)	1 (2)	4.5 (8)	115
21巻 84号 特集 3）	27 (4)		67 (9)		2 (1)	5 (2)	3 (1)	2 (1)	3 (2)	8 (7)	1 (2)	1 (2)	117

注　1）　小特集「石炭ガス化複合発電技術」
　　2）　小特集「コンバインドサイクル発電技術」
　　3）　特　集「航空用ガスタービン」

5.2　ガスタービン講演論文集

第21回定期講演会の講演論文集（189頁）および第8回秋季講演会の講演論文集（322頁）を発行した。

5.3　ガスタービンセミナー資料集

第22回ガスタービンセミナーのセミナー資料集（77頁）を発行した。

5.4　Bulletin of GTSJ

海外関連機関に国内ガスタービンおよび過給機の情報，並びに本学会と会員の活動状況を紹介する目的で「Bulletin of GTSJ 1993」を発行し，海外へ配布するとともに，全会員に配布した。

5.5　GTSJニュースレター

会員の間の情報交換を中心とした，ニュースレターを発行した。

5.6　会員名簿

1993年版会員名簿を18期初に会員に販売。

6．会員数の移動状況

摘要	正会員	学生会員	賛助会員
本期末会員数 94.3.31現在	1，776	51	149（208口）
前期末会員数 93.3.31現在	1，697	43	150（210口）
差引増減	79	8	△1（△2口）

18期（平成5年度）収支決算

1．収支計算書総括表

自　平成5年4月　1日　至　平成6年3月31日

科目	合計	一般会計	特別会計
（収入の部）	円	円	円
基本財産運用収入	258,983	258,983	0
入会金収入	83,000	83,000	0
会費収入	22,354,727	22,354,727	0
事業収入	14,915,728	14,055,328	860,400
雑収入	2,773,611	2,086,193	687,418
当期収入合計	40,386,049	38,838,231	1,547,818
前期繰越収支差額	40,621,381	26,957,014	13,664,367
収入合計	81,007,430	65,795,245	15,212,185
（支出の部）			
出版事業費	10,188,504	8,334,604	1,853,900
集会事業費	4,797,049	4,797,049	0
調査研究事業費	130,751	130,751	0
表彰事業費	106,469	106,469	0
予備費	0	0	0
管理費	20,720,026	19,440,603	1,279,423
特定預金支出	800,000	800,000	0
当期支出合計	36,742,799	33,609,476	3,133,323
当期収支差額	3,643,250	5,228,755	△1,585,505
次期繰越収支差額	44,264,631	32,185,769	12,078,862

2．正味財産計算書総括表

平成5年4月1日から平成6年3月31日まで

科目	合計	一般会計	特別会計
（増加の部）	円	円	円
資産増加額	6,028,755	6,028,755	
増加額合計	6,028,755	6,028,755	
（減少の部）			
負債増加額	800,000	800,000	
減少額合計	2,385,505	800,000	1,585,505
当期正味財産増加額	5,228,755	5,228,755	
当期正味財産減少額	1,585,505		1,585,505
前期繰越正味財産額	61,367,647	40,703,280	20,664,367
期末正味財産合計額	65,010,897	45,932,035	19,078,862

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

3．借対照表総括表

平成６年３月３１日現在

科目	合計	一般会計	特別会計
（資産の部）	円	円	円
流動資産	45,242,200	33,163,338	12,078,862
固定資産			
基本財産	6,014,266	6,014,266	
その他の固定資産	23,332,000	16,332,000	7,000,000
固定資産合計	29,346,266	22,346,266	7,000,000
資産合計	74,588,466	55,509,604	19,078,862
（負債の部）			
流動負債	977,569	977,569	
固定負債	8,600,000	8,600,000	
負債合計	9,577,569	9,577,569	
（正味財産の部）			
正味財産	65,010,897	45,932,035	19,078,862
負債及び正味財産合計	74,588,466	55,509,604	19,078,862

4．一般会計の部

4.1　収支計算書

平成 5年 4月 1日から平成 6年 3月31日まで　（単位：円）

科目	予算額	決算額	差異	備考
（収入の部）				
基本財産運用収入	240,000	258,983	△ 18,983	
預金利息	(240,000)	(258,983)	(△ 18,983)	
入会金収入	58,000	83,000	△ 25,000	
正会員	(50,000)	(68,500)	(△ 18,500)	
学生会員	(5,000)	(7,500)	(△ 2,500)	
賛助会員	(3,000)	(7,000)	(△ 4,000)	
会費収入	22,790,000	22,354,727	435,273	
正会員	(8,000,000)	(7,884,125)	(115,875)	
学生会員	(90,000)	(66,250)	(23,750)	
賛助会員	(14,700,000)	(14,404,352)	(295,648)	
事業収入	11,820,000	14,055,328	△ 2,235,328	
（集会事業）				
定期講演会	(870,000)	(950,500)	(△ 80,500)	
見学会技術懇談会	(300,000)	(679,000)	(△ 379,000)	
シンポジウム	(150,000)	(196,500)	(△ 46,500)	
ＧＴセミナー	(2,200,000)	(2,840,000)	(△ 640,000)	
特別講座	(750,000)	(1,345,000)	(△ 595,000)	
秋季講演会収入	(720,000)	(1,154,000)	(△ 434,000)	
小計	4,990,000	7,165,000	△ 2,175,000	
（出版事業）				
会誌広告	(3,560,000)	(3,422,828)	(137,172)	
名簿広告	(1,900,000)	(2,150,000)	(△ 250,000)	
名簿販売	(1,370,000)	(1,317,500)	(52,500)	
小計	6,830,000	6,890,328	△ 60,328	
雑収入	1,790,000	2,086,193	△ 296,193	
（受取利息）				
運用財産定期預金	(1,000,000)	(1,162,103)	(△ 162,103)	
運用財産普通預金	(10,000)	(4,344)	(5,656)	
表彰事業基金定期預金	(280,000)	(300,700)	(△ 20,700)	
小計	1,290,000	1,467,147	△ 177,147	
（雑収入）				
雑収入	(500,000)	(619,046)	(△ 119,046)	
小計	500,000	619,046	△ 119,046	
当期収入合計(A)	36,698,000	38,838,231	△ 2,140,231	
前期繰越収支差額	26,957,014	26,957,014	0	
収入合計　(B)	63,655,014	65,795,245	△ 2,140,231	
（支出の部）				
出版事業費	8,232,000	8,334,604	△ 102,604	
（会議費）				
編集委員会	(160,000)	(104,000)	(56,000)	
小計	160,000	104,000	56,000	
（通信運搬費）				
会誌発送費	(622,000)	(644,298)	(△ 22,298)	
名簿発送費	(300,000)	(281,788)	(18,212)	
ニュースレター	(110,000)	(109,302)	(698)	
小計	1,032,000	1,035,388	△ 3,388	
（印刷製本費）				
会誌	(5,120,000)	(5,381,750)	(△ 261,750)	
ニュースレター	(150,000)	(181,280)	(△ 31,280)	
名簿	(1,250,000)	(1,064,300)	(185,700)	
小計	6,520,000	6,627,330	△ 107,330	
会誌原稿料	(500,000)	(555,990)	(△ 55,990)	
ニュースレター原稿料	(20,000)	(11,896)	(8,104)	
集会事業費	4,746,000	4,797,049	△ 51,049	
（会議費）				
学術講演会委員会	(100,000)	(76,319)	(23,681)	
企画委員会	(170,000)	(133,020)	(36,980)	
地方委員会	(150,000)	(125,260)	(24,740)	
小計	420,000	334,599	85,401	
（臨時雇賃金）				
定期講演会	(36,000)	(0)	(36,000)	
秋季講演会	(30,000)	(0)	(30,000)	
ＧＴセミナー	(0)	(24,000)	(△ 24,000)	
小計	66,000	24,000	42,000	
（旅費交通費）				
定期講演会	(20,000)	(18,000)	(2,000)	
ＧＴセミナー	(40,000)	(8,000)	(32,000)	
特別講座	(40,000)	(52,380)	(△ 12,380)	
秋季講演会	(70,000)	(69,100)	(900)	
シンポジウム	(0)	(2,000)	(△ 2,000)	
小計	170,000	149,480	20,520	
（通信運搬費）				
特別講演会	(10,000)	(0)	(10,000)	
見学会技術懇談会	(90,000)	(0)	(90,000)	
シンポジウム	(30,000)	(16,000)	(14,000)	
定期講演会	(100,000)	(127,633)	(△ 27,633)	
ＧＴセミナー	(140,000)	(144,588)	(△ 4,588)	
特別講座	(10,000)	(0)	(10,000)	
秋季講演会	(30,000)	(0)	(30,000)	
小計	410,000	288,221	121,779	
（印刷製本費）				
定期講演会	(330,000)	(459,380)	(△ 129,380)	
ＧＴセミナー	(190,000)	(207,030)	(△ 17,030)	
秋季講演会	(350,000)	(401,700)	(△ 51,700)	
特別講演会	(20,000)	(0)	(20,000)	
特別講座	(15,000)	(109,180)	(△ 94,180)	
シンポジウム	(20,000)	(25,000)	(△ 5,000)	
見学技術懇談会	(45,000)	(17,510)	(27,490)	
小計	970,000	1,219,800	△ 249,800	
（貸借料）				
特別講演会	(20,000)	(0)	(20,000)	
シンポジウム	(40,000)	(0)	(40,000)	
定期講演会	(170,000)	(137,809)	(32,191)	
ＧＴセミナー	(200,000)	(106,750)	(93,250)	
特別講座	(60,000)	(60,000)	(0)	
秋季講演会	(100,000)	(15,490)	(84,510)	
小計	590,000	320,049	269,951	
（諸謝金）				
特別講演会	(30,000)	(0)	(30,000)	
技術懇談会	(15,000)	(0)	(15,000)	
シンポジウム	(45,000)	(22,222)	(22,778)	
ＧＴセミナー	(300,000)	(222,216)	(77,784)	
特別講座	(140,000)	(66,666)	(73,334)	
定期講演会	(25,000)	(11,111)	(13,889)	
秋季講演会	(25,000)	(22,222)	(2,778)	
小計	580,000	344,437	235,563	
（雑費）				
特別講演会	(10,000)	(0)	(10,000)	
見学会技術懇談会	(20,000)	(224,563)	(△ 204,563)	
シンポジウム	(30,000)	(3,610)	(26,390)	
定期講演会	(330,000)	(338,778)	(△ 8,778)	
ＧＴセミナー	(100,000)	(50,598)	(49,402)	
特別講座	(300,000)	(826,924)	(△ 526,924)	
秋季講演会	(750,000)	(671,990)	(78,010)	
小計	1,540,000	2,116,463	△ 576,463	
調査研究事業費	336,000	130,751	205,249	
（会議費）				
生産統計委員会	(40,000)	(12,000)	(28,000)	
技術情報センター委員会	(10,000)	(0)	(10,000)	
調査研究委員会	(100,000)	(91,226)	(8,774)	
小計	150,000	103,226	46,774	
（通信運搬費）				
生産統計発送費	(21,000)	(26,285)	(△ 5,285)	
技術情報センター通信費	(5,000)	(0)	(5,000)	
調査研究通信費	(20,000)	(1,240)	(18,760)	
小計	46,000	27,525	18,475	
調査研究資料費	(50,000)	(0)	(50,000)	
（雑費）				
生産統計関係	(10,000)	(0)	(10,000)	
技術情報センター関係	(30,000)	(0)	(30,000)	
調査研究関係	(50,000)	(0)	(50,000)	
小計	90,000	0	90,000	
表彰事業費	540,000	106,469	433,531	
委員会費	(300,000)	(38,180)	(261,820)	
通信運搬費	(40,000)	(0)	(40,000)	
雑費	(200,000)	(68,289)	(131,711)	
管理費	21,596,000	19,440,603	2,155,397	
給与	(10,890,000)	(9,779,187)	(1,110,813)	
手当	(200,000)	(107,455)	(92,545)	
社会保険費	(1,200,000)	(851,494)	(348,506)	
（会議費）				
理事会	(500,000)	(316,503)	(183,497)	
評議員会	(150,000)	(128,859)	(21,141)	
総会	(250,000)	(328,797)	(△ 78,797)	
総務委員会	(170,000)	(152,130)	(17,870)	
組織検討委員会	(30,000)	(3,000)	(27,000)	
会員委員会	(20,000)	(7,040)	(12,960)	
選挙管理委員会	(30,000)	(15,000)	(15,000)	
小計	1,150,000	951,329	198,671	
評議員選挙費	(400,000)	(280,207)	(119,793)	
旅費	(350,000)	(138,920)	(211,080)	
交通費	(100,000)	(40,690)	(59,310)	
什器備品費	(10,000)	(0)	(10,000)	
図書費	(5,000)	(0)	(5,000)	
消耗品費	(1,800,000)	(1,629,396)	(170,604)	
印刷費	(1,350,000)	(1,168,565)	(181,435)	
通信運搬費	(850,000)	(1,325,966)	(△ 475,966)	
事務所借用費	(2,600,000)	(2,559,000)	(41,000)	
光熱水料費	(170,000)	(123,405)	(46,595)	
諸謝金	(35,000)	(31,600)	(3,400)	
日内連会費	(140,000)	(140,000)	(0)	
共催分担金	(10,000)	(5,000)	(5,000)	
日本工学会会費	(36,000)	(33,300)	(2,700)	
雑費	(300,000)	(275,089)	(24,911)	
敷金・保証金支出	120,000	0	120,000	
敷金支出	(120,000)	(0)	(120,000)	
特定預金支出	800,000	800,000	0	
退職給与引当預金支出	(800,000)	(800,000)	(0)	
予備費	1,000,000			
	△ 1,000,000※	――	0	※印刷費へ振替
当期支出合計(C)	36,370,000	33,609,476	2,760,524	
当期収支差額(A)-(C)	328,000	5,228,755	△ 4,900,755	
次期繰越収支差額(B)-(C)	27,285,014	32,185,769	△ 4,900,755	

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/03.

4.2　正味財産増減計画書

平成５年４月１日から平成６年３月３１日

科目	金額		
	円	円	円
（増加の部）			
資産増加額			
当期収支差額	4,909,878		
退職給与引当預金増加額	800,000	5,709,878	
増加額合計			5,709,878
（減少の部）			
負債増加額			
退職給与引当金繰入額	800,000	800,000	
減少額合計			800,000
当期正味財産増加額			4,909,878
繰越正味財産額			35,793,402
期末正味財産合計額			40,703,280

4.3　貸借対照表

平成６年３月３１日現在

科目	金額		
	円	円	円
（資産の部）			
流動資産			
現金預金	27,256,537		
流動資産合計		27,256,537	
固定資産			
基本資産			
基本財産引当預金			
基金たる資産	6,014,266		
基本財産合計	6,014,266		
その他の固定資産			
第３工新ビル敷金	732,000		
退職給与引当預金			
中国ファンド	7,800,000		
表彰事業基金たる資産			
三井貸付信託	7,000,000		
その他の固定資産合計	15,532,000		
固定資産合計		21,546,266	
資産合計			48,802,803
（負債の部）			
流動負債			
前納会費	197,300		
その他預り金	50,000		
雇用保険預り	52,223		
流動負債合計		299,523	
固定負債			
退職給与引当金	7,800,000		
固定負債合計		7,800,000	
負債合計			8,099,523
（正味財産の部）			
正味財産			40,703,280
（うち基本金）			(6,014,266)
（うち当期正味財産増加額）			(4,909,878)
負債及び正味財産合計			48,802,803

4.4　会計方針

1．(1)　引当金の計上基準について

退職給与引当金……期末退職給与の要支給額に相当する金額を計上している。

(2)　資金の範囲について

資金の範囲には，現金預金，前受会費，預り金を含めることにしている。なお，前期末及び当期末残高は，2．に記載する通りである。

2．次期繰越収支差額の内容は次の通りである。

科目	前期末残高	当期末残高
	円	円
現金・預金	27,256,537	33,163,338
前受会費及び預り金	299,523	977,569
次期繰越収支差額	26,957,014	32,185,769

3．　前受会費及び預り金は下記の通りである。

科目	金額	預り金の種類
前受会費	945,388 円	６年度会費，その他
雇用保険料	32,181	５年度雇用保険料
合計	977,569	

5．特別会計の部

5.1　収支計算書

平成 5年 4月 1日から平成 6年 3月31日まで　（単位：円）

科目	予算額	決算額	差異	備考
（収入の部）				
出版事業収入	1,600,000	860,400	739,600	
ﾌﾟﾚﾃｨﾝ広告収入	(800,000)	(604,000)	(196,000)	
ﾌﾟﾚﾃｨﾝ販売収入	(400,000)	(256,400)	(143,600)	
英文論文掲載料	(400,000)	(0)	(400,000)	
雑収入	651,200	687,418	△ 36,218	
普通預金受取利息	(1,200)	(431)	(769)	
定期預金受取利息	(400,000)	(386,287)	(13,713)	
国際交流基金受取利息	(250,000)	(300,700)	(△ 50,700)	
当期収入合計(A)	2,251,200	1,547,818	703,382	
前期繰越収支差額	13,664,367	13,664,367	0	
収入合計　(B)	15,915,567	15,212,185	703,382	
（支出の部）				
出版事業費	2,500,000	1,853,900	646,100	
ﾌﾟﾚﾃｨﾝ製作費	(2,000,000)	(1,214,500)	(785,500)	
ﾌﾟﾚﾃｨﾝ発送費	(400,000)	(484,210)	(△ 84,210)	
ﾌﾟﾚﾃｨﾝ原稿料	(50,000)	(82,790)	(△ 32,790)	
ﾌﾟﾚﾃｨﾝ編集委員会費	(50,000)	(72,400)	(△ 22,400)	
管理費	2,100,000	1,279,423	820,577	
給与	(1,500,000)	(258,388)	(1,241,612)	
会議費	(300,000)	(202,910)	(97,090)	
印刷費	(100,000)	(291,262)	(△ 191,262)	
通信費	(100,000)	(342,708)	(△ 242,708)	
雑費	(100,000)	(184,155)	(△ 84,155)	
予備費	1,000,000	0	1,000,000	
予備費	(1,000,000)	(0)	(1,000,000)	
当期支出合計(C)	5,600,000	3,133,323	2,466,677	
当期収支差額(A)-(C)	△ 3,348,800	△ 1,585,505	△ 1,763,295	
次期繰越収支差額(B)-(C)	10,315,567	12,078,862	△ 1,763,295	

5.2　正味財産増減計算書

平成５年４月１日から平成６年３月３１日

科目	金額		
	円	円	円
（増加の部）			
資産増加額			
当期収支差額	5,200,188		
増加額合計			5,200,188
当期正味財産増加額			5,200,188
前期繰越正味財産額			15,464,179
期末正味財産合計額			20,664,367

5.3　貸借対照表

平成６年３月３１日現在

科目	金額		
	円	円	円
（資産の部）			
流動資産			
現金預金	13,664,367		
流動資産合計		13,664,367	
固定資産			
その他の固定資産			
国際交流基金積立預金			
三井貸付信託	7,000,000		
その他の固定資産合計	7,000,000		
固定資産合計		7,000,000	
資産合計			20,664,367
（負債の部）			
流動負債			
（正味財産の部）			
正味財産			20,664,367
（うち当期正味財産増加額）			(5,200,188)
負債及び正味財産合計			20,664,367

5.4　会計方針

1．資金の範囲について

資金の範囲には，現金・預金・預り金を含めることにしている。なお，前期末及び当期末残高は，2．に記載する通りである。

2．次期繰越収支差額の内容は次の通りである。

科目	前期末残高	当期末残高
現金・預金	13,664,367 円	12,078,862 円
次期繰越収支差額	13,664,367	12,078,862

6．財産目録

平成６年３月31日現在

（資産の部）

1．銀行預金

貸付信託	三井信託銀行新宿西口支店（注１）	20,000,000円
定期預金	三井信託銀行新宿西口支店（注２）	14,266円
普通預金	第一勧業銀行西新宿支店（注３）	1,765,248円
	第一勧業銀行西新宿支店（注４）	60,539円
	さくら銀行北新宿支店（注３）	1,000円

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

2．中期国債ファンド　野村證券（注3）	39,142,733円
中期国債ファンド　野村證券（注4）	12,018,323円
3．振替預金（注3）	74,357円
4．権利金（注5）	732,000円
5．日本工学会年金（注3）	780,000円
	計 74,588,466円

（負債の部）

1．預り金	977,569円
2．退職給与引当金	8,600,000円
	79,577,569円
差引正味財産	計 65,010,897円

（注1）基本財産たる資産（600万）
　　国際交流基金たる資産（700万）
　　表彰事業基金たる資産（700万）
（注2）基本財産たる資産
（注3）一般会計運用財産たる資産
　　退職給与引当金たる資産（860万）
（注4）特別会計資産
（注5）第3工新ビル4 F402号室敷金

監査の結果，ここに報告された決算報告書は，適性に表示されていることを認めるものである。

平成6年4月19日

監事　川上英彦
　　田中英穂

第18期（平成5年度）役員および評議員

（敬称略　50音順）

理　事

会長　高田浩之
副会長　濱田邦雄
総務　大田英輔（主担当），今井　鉄（財務担当）
　　川口　修，酒井逸朗，高橋　進
企画　和田正倫（主担当），秋葉雅史，伊藤文夫
　　岩井益美，岡本洋三，阪口哲也
編集　荒木達雄（主担当），池田　隆，伊藤源嗣
　　筒井康賢，手島清美，永野三郎，蓑田光弘
監事　田中英穂，川上英彦
評議員　彦坂　陞，青木千明，荒木　巍，永野　進，佐古光總，大槻幸雄，酒井善正，谷村篤秀，星野昭史，森　建二，鮫島康郎，坂本雄二郎，井上　誠，近江敏明，藤江邦男，大原久宜，宮川建男，原　之義，岡村隆成，奥原　巌，本間友博，安井　元，三賢憲治，青木庸治，藤川泰雄，山崎慎一，石野寿生，乾　泰二，川池和彦，黒田倫夫，久野勝邦，石井泰之助，伊佐治強彦，梅本　進，表　義則，高木圭二，岩崎晃二，佐藤友彦，辻村玄隆，丹羽高尚，日浦治也，福江一郎，野田廣太郎，浜田義次，水谷幸夫，井上雅弘，難波昌伸，有賀一郎，大橋秀雄，坂田公夫，田丸　卓，松末勝利，平田賢，平山直道，村島完治，梶昭次郎，小竹　進，葉山眞治，吉識晴夫，宮地敏雄，酒井俊道，大宮司久明，竹矢一雄，高原北雄，松木正勝，一色尚次，鳥崎忠雄，神津正男

第19期（平成6年度）事業計画

1．概　要

前年度に引き続き，学術講演会，特別講演会，技術懇談会，見学会，セミナー，特別講座などを開催すると共に学会誌の定期的刊行並びに上記諸事業に関連した資料を刊行する。

また，わが国におけるガスタービン及び過給機の生産統計の作成，並びにガスタービン及び過給機に関する特定課題の調査，研究を行なう。

上記の他に，次期の国際ガスタービン会議横浜大会を開催するための組織委員会を設けて，その準備を進める。

2．調査・研究事業

(1) 平成6年におけるわが国のガスタービン及び過給機の生産に関する統計資料を蒐集，集計し，その結果を学会誌およびBulletin of GTSJ等に掲載発表する。平成元年から平成5年までの統計資料をまとめ，「国産ガスタービン・過給機資料集」発行の準備を行なう。

(2) 調査・研究に関しては，ガスタービン及び過給機に関する特定課題として，ガスタービンの冷却技術に関する検討を行なう。

3．出版事業

(1) 定期刊行物
　学会誌：年4回刊行する。

(2) 不定期刊行物
　講演論文集：講演会における講演論文集を刊行する。
　セミナー資料集：ガスタービンセミナーにおける資料集を刊行する。
　GTSJニュースレター：会員の間の情報交換を目的に，ニュースレターを刊行する。
　Bulletin of GTSJ：学会の活動状況を海外に紹介するためのBulletinを刊行する。
　国産ガスタービン・過給：ガスタービン及び過給機の生産に関する5年機資料集［1994年版］間の統計資料発行の準備を行なう。

4．集会事業

以下の集会を行なう。

	（予定回数）	（予定開催年月日）
(1) 学術講演会	2回	平成6年6月，11月
(2) 特別講演会	1回	〃　4月
(3) 見学会・技術懇談会	3回	〃　7月，10月，11月
(4) 特別講座	1回	〃　9月
(5) セミナー	1回	平成7年1月
(6) シンポジウム	1回	〃　2月

5．国際ガスタービン会議開催準備

1995年国際ガスタービン会議開催について組織委員会を設け，実行委員会においてその準備を進める。

6．委員会活動

以下の委員会を設け，各事業の実施にあたる。

(1) 総務委員会（常置）
(2) 企画委員会（常置）
(3) 編集委員会（常置）
(4) 学術講演会委員会（常置）
(5) 地方委員会（常置）
(6) ガスタービン統計作成委員会（常置）
(7) ガスタービン技術情報センター運営委員会（常置）
(8) 組織検討委員会
(9) Bulletin編集委員会
(10) 会員委員会
(11) 選挙管理委員会
(12) 学会賞審査委員会
(13) 調査研究委員会
(14) 次期国際会議準備委員会

第19期（平成6年度）予算書

1．予算書総括表

自　平成6年4月　1日
至　平成7年3月31日

科目	合計	一般会計	特別会計
（収入の部）	円	円	円
基本財産運用収入	240,000	240,000	
入会金収入	58,000	58,000	
会費収入	23,290,000	23,290,000	
事業収入	10,112,000	8,412,000	1,700,000
雑収入	2,441,200	1,790,000	651,200
当期収入合計	36,141,200	33,790,000	2,351,200
前期繰越収支差額	44,264,631	32,185,769	12,078,862
収入合計	80,405,831	65,975,769	14,430,062

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/04

（支出の部）			
出版事業費	11,177,000	7,187,000	3,990,000
集会事業費	4,978,000	4,978,000	
調査研究事業費	476,450	476,450	
表彰事業費	10,000	10,000	
管理費	23,162,500	21,283,500	1,879,000
特定預金支出	800,000	800,000	
国際会議貸出金	5,000,000		5,000,000
当期支出合計	45,603,950	34,734,950	10,869,000
当期収支差額	△ 9,462,750	△ 944,950	△ 8,517,800
次期繰越収支差額	34,801,881	31,240,819	3,561,062

2．一般会計

収支予算書

平成 6年 4月 1日から平成 7年 3月31日まで　　（単位：円）

科目	予算額	前年度予算額	増減	備考
（収入の部）				
基本財産運用収入	240,000	240,000	0	
預金利息	(240,000)	(240,000)	(0)	
入会金収入	58,000	58,000	0	
正会員	(50,000)	(50,000)	(0)	
学生会員	(5,000)	(5,000)	(0)	
賛助会員	(3,000)	(3,000)	(0)	
会費収入	23,290,000	22,790,000	500,000	
正会員	(8,500,000)	(8,000,000)	(500,000)	
学生会員	(90,000)	(90,000)	(0)	
賛助会員	(14,700,000)	(14,700,000)	(0)	
事業収入	8,412,000	11,820,000	△ 3,408,000	
（集会事業）				
定期講演会	(900,000)	(870,000)	(30,000)	
見学会技術懇談会	(300,000)	(300,000)	(0)	
シンポジウム	(150,000)	(150,000)	(0)	
GTセミナー	(2,000,000)	(2,200,000)	(△ 200,000)	
特別講座	(750,000)	(750,000)	(0)	
秋季講演会収入	(752,000)	(720,000)	(32,000)	
小計	4,852,000	4,990,000	△ 138,000	
（出版事業）				
会誌広告	(3,560,000)	(3,560,000)	(0)	
名簿広告	(0)	(1,900,000)	(△ 1,900,000)	
名簿販売	(0)	(1,370,000)	(△ 1,370,000)	
小計	3,560,000	6,830,000	△ 3,270,000	
雑収入	1,790,000	1,790,000	0	
（受取利息）				
運用財産定期預金	(1,000,000)	(1,000,000)	(0)	
運用財産普通預金	(10,000)	(10,000)	(0)	
表彰事業基金定期預金	(280,000)	(280,000)	(0)	
小計	1,290,000	1,290,000	0	
（雑収入）				
雑収入	(500,000)	(500,000)	(0)	
小計	500,000	500,000	0	
当期収入合計(A)	33,790,000	36,698,000	△ 2,908,000	
前期繰越収支差額	32,185,769	26,957,014	5,228,755	
収入合計 (B)	65,975,769	63,655,014	2,320,755	
（支出の部）				
出版事業費	7,187,000	8,232,000	△ 1,045,000	
（会議費）				
編集委員会	(160,000)	(160,000)	(0)	
小計	160,000	160,000	0	
（通信運搬費）				
会誌発送費	(685,000)	(622,000)	(63,000)	
名簿発送費	(0)	(300,000)	(△ 300,000)	
ニュースレター	(142,000)	(110,000)	(32,000)	
小計	827,000	1,032,000	△ 205,000	
（印刷製本費）				
会誌	(5,500,000)	(5,120,000)	(380,000)	
ニュースレター	(180,000)	(150,000)	(30,000)	
名簿	(0)	(1,250,000)	(△ 1,250,000)	
小計	5,680,000	6,520,000	△ 840,000	
会誌原稿料	(500,000)	(500,000)	(0)	
ニュースレター原稿料	(20,000)	(20,000)	(0)	
集会事業費	4,978,000	4,746,000	232,000	
（会議費）				
学術講演会委員会	(100,000)	(100,000)	(0)	
企画委員会	(170,000)	(170,000)	(0)	
地方委員会	(150,000)	(150,000)	(0)	
小計	420,000	420,000	0	
（臨時雇賃金）				
定期講演会	(0)	(36,000)	(△ 36,000)	
秋季講演会	(0)	(30,000)	(△ 30,000)	
小計	0	66,000	△ 66,000	
（旅費交通費）				
定期講演会	(20,000)	(20,000)	(0)	
GTセミナー	(40,000)	(40,000)	(0)	
特別講座	(40,000)	(40,000)	(0)	
秋季講演会	(100,000)	(70,000)	(30,000)	
小計	200,000	170,000	30,000	
（通信運搬費）				
特別講演会	(11,000)	(10,000)	(1,000)	
見学会技術懇談会	(100,000)	(90,000)	(10,000)	
シンポジウム	(33,000)	(30,000)	(3,000)	
定期講演会	(50,000)	(100,000)	(△ 50,000)	
GTセミナー	(154,000)	(140,000)	(14,000)	
特別講座	(11,000)	(10,000)	(1,000)	
秋季講演会	(10,000)	(30,000)	(△ 20,000)	
小計	369,000	410,000	△ 41,000	
（印刷製本費）				
定期講演会	(450,000)	(330,000)	(120,000)	
GTセミナー	(190,000)	(190,000)	(0)	
秋季講演会	(400,000)	(350,000)	(50,000)	
特別講演会	(20,000)	(20,000)	(0)	
特別講座	(150,000)	(15,000)	(135,000)	
シンポジウム	(20,000)	(20,000)	(0)	
見学技術懇談会	(45,000)	(45,000)	(0)	
小計	1,275,000	970,000	305,000	
（賃借料）				
特別講演会	(20,000)	(20,000)	(0)	
シンポジウム	(40,000)	(40,000)	(0)	
定期講演会	(150,000)	(170,000)	(△ 20,000)	
GTセミナー	(200,000)	(200,000)	(0)	
特別講座	(60,000)	(60,000)	(0)	
秋季講演会	(100,000)	(100,000)	(0)	
小計	570,000	590,000	△ 20,000	
（諸謝金）				
特別講演会	(30,000)	(30,000)	(0)	
技術懇談会	(15,000)	(15,000)	(0)	
シンポジウム	(45,000)	(45,000)	(0)	
GTセミナー	(300,000)	(300,000)	(0)	
特別講座	(140,000)	(140,000)	(0)	
定期講演会	(25,000)	(25,000)	(0)	
秋季講演会	(25,000)	(25,000)	(0)	
小計	580,000	580,000	0	
（雑費）				
特別講演会	(10,000)	(10,000)	(0)	
見学会技術懇談会	(20,000)	(20,000)	(0)	
シンポジウム	(30,000)	(30,000)	(0)	
定期講演会	(330,000)	(330,000)	(0)	
GTセミナー	(124,000)	(100,000)	(24,000)	
特別講座	(300,000)	(300,000)	(0)	
秋季講演会	(750,000)	(750,000)	(0)	
小計	1,564,000	1,540,000	24,000	
調査研究事業費	476,450	336,000	140,450	
（会議費）				
生産統計委員会	(120,000)	(40,000)	(80,000)	
技術情報センター委員会	(10,000)	(10,000)	(0)	
調査研究委員会	(150,000)	(100,000)	(50,000)	
小計	280,000	150,000	130,000	
（通信運搬費）				
生産統計発送費	(60,000)	(21,000)	(39,000)	
技術情報センター通信費	(6,450)	(5,000)	(1,450)	
調査研究通信費	(20,000)	(20,000)	(0)	
小計	86,450	46,000	40,450	
調査研究資料費	(0)	(50,000)	(△ 50,000)	
（雑費）				
生産統計関係	(30,000)	(10,000)	(20,000)	
技術情報センター関係	(30,000)	(30,000)	(0)	
調査研究関係	(50,000)	(50,000)	(0)	
小計	110,000	90,000	20,000	
表彰事業費	10,000	540,000	△ 530,000	
委員会費	(0)	(300,000)	(△ 300,000)	
通信運搬費	(10,000)	(40,000)	(△ 30,000)	
雑費	(0)	(200,000)	(△ 200,000)	
管理費	21,283,500	21,596,000	△ 312,500	
給与	(10,400,000)	(10,890,000)	(△ 490,000)	
手当	(111,000)	(200,000)	(△ 89,000)	
事務委託費	(1,200,000)	(0)	(1,200,000)	
社会保険費	(1,000,000)	(1,200,000)	(△ 200,000)	
（会議費）				
理事会	(500,000)	(500,000)	(0)	
評議員会	(150,000)	(150,000)	(0)	
総会	(250,000)	(250,000)	(0)	
総務委員会	(170,000)	(170,000)	(0)	
組織検討委員会	(30,000)	(30,000)	(0)	
会員委員会	(20,000)	(20,000)	(0)	
選挙管理委員会	(30,000)	(30,000)	(0)	
小計	1,150,000	1,150,000	0	
評議員選挙費	(420,000)	(400,000)	(20,000)	
旅費	(350,000)	(350,000)	(0)	
交通費	(100,000)	(100,000)	(0)	
什器備品費	(10,000)	(10,000)	(0)	
図書費	(5,000)	(5,000)	(0)	
消耗品費	(1,800,000)	(1,800,000)	(0)	
印刷費	(350,000)	(1,350,000)	(△ 1,000,000)	
通信運搬費	(1,096,500)	(850,000)	(246,500)	
事務所借用費	(2,600,000)	(2,600,000)	(0)	
光熱水料費	(170,000)	(170,000)	(0)	
諸謝金	(35,000)	(35,000)	(0)	
日内連会費	(140,000)	(140,000)	(0)	
共催分担金	(10,000)	(10,000)	(0)	
日本工学会会費	(36,000)	(36,000)	(0)	
雑費	(300,000)	(300,000)	(0)	
敷金・保証金支出	0	120,000	△ 120,000	
敷金支出	(0)	(120,000)	(△ 120,000)	
特定預金支出	800,000	800,000	0	
退職給与引当預金支出	(800,000)	(800,000)	(0)	
当期支出合計(C)	34,734,950	36,370,000	△ 1,635,050	
当期収支差額(A)-(C)	△ 944,950	328,000	△ 1,272,950	
次期繰越収支差額(B)-(C)	31,240,819	27,285,014	3,955,805	

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/02

3．特別会計

収 支 予 算 書

平成 6年 4月 1日から平成 7年 3月31日まで （単位：円）

科目	予算額	前年度予算額	増減	備考
（収入の部）				
出版事業収入	1,700,000	1,600,000	100,000	
ブレティン広告収入	(800,000)	(800,000)	(0)	
ブレティン販売収入	(500,000)	(400,000)	(100,000)	
英文論文掲載料	(400,000)	(400,000)	(0)	
雑収入	651,200	651,200	0	
普通預金受取利息	(1,200)	(1,200)	(0)	
定期預金受取利息	(400,000)	(400,000)	(0)	
国際交流基金受取利息	(250,000)	(250,000)	(0)	
当期収入合計(A)	2,351,200	2,251,200	100,000	
前期繰越収支差額	12,078,862	13,664,367	△ 1,585,505	
収入合計 (B)	14,430,062	15,915,567	△ 1,485,505	
（支出の部）				
出版事業費	3,990,000	2,500,000	1,490,000	
ブレティン製作費	(2,200,000)	(2,000,000)	(200,000)	
ブレティン発送費	(1,650,000)	(400,000)	(1,250,000)	
ブレティン原稿料	(80,000)	(50,000)	(30,000)	
ブレティン編集委員会費	(60,000)	(50,000)	(10,000)	
管理費	1,879,000	2,100,000	△ 221,000	
給与	(750,000)	(1,500,000)	(△ 750,000)	
会議費	(300,000)	(300,000)	(0)	
印刷費	(350,000)	(100,000)	(250,000)	
通信費	(179,000)	(100,000)	(79,000)	
雑費	(300,000)	(100,000)	(200,000)	
予備費	0	1,000,000	△ 1,000,000	
予備費	(0)	(1,000,000)	(△ 1,000,000)	
国際会議貸出金	5,000,000	0	5,000,000	
国際会議貸出金	(5,000,000)	(0)	(5,000,000)	
当期支出合計(C)	10,869,000	5,600,000	5,269,000	
当期収支差額(A)-(C)	△ 8,517,800	△ 3,348,800	△ 5,169,000	
次期繰越収支差額(B)-(C)	3,561,062	10,315,567	△ 6,754,505	

第19期（平成6年度）監事・評議員・役員候補選挙結果

・監事

（氏名：五十音順・敬称略）

番号	氏名	勤務先
1	丹羽 高尚	日本鋳鍛鋼㈱
2	三輪 國男	日本文理大学
3		
4		

・評議員・役員候補者

（勤務先：五十音順・敬称略）

番号	氏名	勤務先
1	水谷 幸夫	大阪大学
2	筒井 康賢	機械技術研究所
3	井上 雅弘	九州大学
4	難波 昌伸	九州大学
5	有賀 一郎	慶応義塾大学
6	川口 修	慶応義塾大学
7	益田 重明	慶応義塾大学
8	大橋 秀雄	工学院大学
9	坂田 公夫	航空宇宙技術研究所
10	佐々木 誠	航空宇宙技術研究所
11	田丸 卓	航空宇宙技術研究所
12	林 茂	航空宇宙技術研究所
13	蓑田 光弘	航空宇宙技術研究所
14	吉田 豊明	航空宇宙技術研究所
15	平田 賢	芝浦工業大学
16	平山 直道	千葉工業大学
17	村島 完治	超音速輸送機用推進システム組合
18	石川 浩	電力中央研究所
19	佐藤 幹夫	電力中央研究所
20	水谷 弘	電力中央研究所
21	佐野 妙子	東海大学
22	高田 浩之	東海大学
23	谷田 好通	東海大学
24	山根隆一郎	東京工業大学
25	梶 昭次郎	東京大学
26	葉山 眞治	東京大学
27	吉識 晴夫	東京大学
28	宮地 敏雄	東京電機大学
29	酒井 俊道	東京理科大学
30	大宮司久明	東北大学
31	竹矢 一雄	元 徳島大学
32	高原 北雄	元 名古屋大学
33	石沢 和彦	日本航空機エンジン協会
34	倉田 公雄	日本航空機エンジン協会
35	伊藤 高根	日本自動車研究所
36	甲藤 好郎	日本大学
37	鳥崎 忠雄	日本大学
38	神津 正男	防衛大学校
39	荒木 達雄	武蔵工業大学
40	秋葉 雅史	横浜国立大学
41	大田 英輔	早稲田大学
42	青木 千明	石川島播磨重工業㈱
43	荒木 巍	石川島播磨重工業㈱
44	伊藤 源嗣	石川島播磨重工業㈱
45	永野 進	石川島播磨重工業㈱
46	大槻 幸雄	川崎重工業㈱
47	酒井 善正	川崎重工業㈱
48	阪口 哲也	川崎重工業㈱
49	長谷川 聰	川崎重工業㈱
50	星野 昭史	川崎重工業㈱
51	森 建二	川崎重工業㈱
52	山本 肇	川崎重工業㈱
53	谷村 篤秀	川重明石エンジニアリング㈱
54	藤江 邦男	新明和工業㈱
55	岡本 洋三	東京ガス㈱
56	伊藤 文夫	東京電力㈱
57	古瀬 裕	東京電力㈱
58	池田 隆	㈱東芝
59	本間 友博	㈱東芝
60	安井 元	㈱東芝
61	佐々木正史	日産自動車㈱
62	藤川 泰雄	日産自動車㈱
63	山崎 慎一	日産自動車㈱
64	樗木 康夫	㈱日立エンジニアリングサービス
65	黒田 倫夫	㈱日立エンジニアリングサービス
66	石野 寿生	㈱日立製作所
67	乾 泰二	㈱日立製作所
68	大田原康彦	㈱日立製作所
69	川池 和彦	㈱日立製作所
70	浜田 邦雄	㈱日立製作所
71	久野 勝邦	㈱日立製作所
72	和田 正倫	㈱日立製作所
73	石井泰之助	三井造船㈱
74	表 義則	三井造船㈱
75	手島 清美	三井造船㈱
76	酒井 逸朗	三菱自動車工業㈱
77	中沢 則雄	三菱自動車工業㈱
78	佐藤 友彦	三菱重工業㈱
79	高橋 進	三菱重工業㈱
80	辻村 玄隆	三菱重工業㈱
81	永井 康男	三菱重工業㈱
82	長谷川 清	三菱重工業㈱
83	日浦 治也	三菱重工業㈱
84	福江 一郎	三菱重工業㈱
85	浜田 義次	ヤンマーディーゼル㈱
86		
87		
88		
89		
90		
91		
92		
93		
94		
95		
96		
97		
98		
99		
100		

次点者

1	菅 進	船舶技術研究所
2	安藤 常世	慶応義塾大学
3	高木 圭二	三井造船㈱

投票総数 846 票

	評議員	監事
有効票	831	815
無効票	11	7
白票	4	24

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05

後記

「雲深く残る雪かと見渡せば四方の山辺は花にぞありける」，季節の変り目をものの見事に捉えた和歌です。このことは，技術分野の変り目にも当てはまるのではないでしょうか。21世紀に向けて，いろいろな分野で技術革新が叫ばれていますが，まだまだ混沌としたなかで，変化の予兆をいかに的確に捉え，これに対処していくかが，技術者の重要な課題と思います。

さて，本号は小特集として「ガスタービンの新利用技術分野－中小型ガスタービン」を採り上げています。6月号の企画が開始されたのは例年より早く，昨年の10月でした。最初は小特集号の題名として「中小型ガスタービン」が考えられていましたが，各委員より，Q:「中小型ガスタービンは出力レンジとしてどこまでカバーすることになるのか」，A:「まあ，事業用以外のもの全てで，数万KWぐらいまでかな」，Q:「中小型ガスタービンだけでは小特集号の題名としてはありふれており，何か別の題名にした方がよいのでは」，A:「多目的利用あるいは新利用技術分野をいれたらどうか」，等々のやりとりがあり，最終的には1月の編集委員会で小特集号の題名が決定しました。内容的には発電用としてコージェネ，非常用，複合ごみ発電，そして車両用，超高速船用，航空補助動力用と盛りだくさんなものになっています。

ガスタービンの高性能化そして信頼性の向上と相まって，ガスタービン利用分野の裾野が拡がっている様子がよくわかるのではないでしょうか。車両用や超高速船用にも，ガスタービンがリニア実験線用車両や実海域模型船で搭載されることになっていますが，この分野でもガスタービンが日の目をみることが期待されます。ガスタービンも揺籃期から数十年を経て，関係者の継続的かつ献身的な努力により，「雲」のなかの「雪」から「花」へ，いろいろな技術分野でまさに花が開きつつあるのではないでしょうか。

最後に，年度末で御多忙のなか，又，学会誌の編集作業を効率化するため，例年より原稿の締切を早くさせて頂いたにも拘らず原稿執筆依頼を快く引受けて下さいました執筆者の方々に対し，心より御礼申し上げます。

（岩本　敏昭）

〔事務局だより〕

東京は新緑の季節を迎え，ここ新宿のビル街でも街路樹がきれいな若葉をつけています。

年度末，年度初めの仕事も無事終了し，ホッと一息ついたのもつかの間，新しい年度も動きはじめ，6月3日の定期講演会を筆頭に7月15日の見学会，9月の特別講座と相変わらず行事予定が次々と組まれており，またもやその準備に追われはじめました。

今年度ははじめて会費の自動引落しを皆様にお願いして導入しましたが，お申し込みが予想以上に少なく，このままでは今まで以上に手間がかかってしまうことになりかねません。そこで導入初年度の今年は，本年度分の会費未納入者を対象にしてもう一度引落しをすることになりました(通常は年1回4月です)。今からでも充分間にあいますので，まだの方は先日お送りした振込依頼書又は当学会誌とじ込みの用紙をご利用の上，手続きを是非是非お願い致します。又，来年度分より自動引落しを利用される方も，早目に手続きをお願いします。

会費の引落しの件に関連して，毎年のことながらやはり会社名で振込まれる方が多く，どなたの分かわからず，追跡に時間をとられています。今頃は特に定期講演会の参加登録費(年会費と同じく5000円）も振込まれますので，そのどちらかもわからず調べるのに四苦八苦。銀行振込なさる時はFAXで結構ですから是非ご一報下さい。その一つのお知らせをいただくことで私共の手間が驚くほど省け大助かりです。よろしくお願いします。今年度末にはどの位の方が会費自動振替制をご利用になり事務の合理化が出来るようになったかをご報告したいと思っております。

[A]

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05

平成6年度第1回見学会・技術懇談会のお知らせ

平成6年度第1回見学会・技術懇談会を下記の要領で開催致します。今回は将来の発電システムとして有望視されている石炭ガス化複合発電プラントの燃焼技術やその他広範な研究分野について見学を行いますので，奮ってご参加下さい。

1．日　　時: 平成6年7月15日㈮　13：00～16：15

2．見　学　先: ㈶電力中央研究所　横須賀研究所（神奈川県横須賀市長坂2－6－1　Tel. 0468－56－2121）

見学は下記のガスタービン関連の研究内容他

石炭ガス化燃料用燃焼器，触媒燃焼器，セラミックGT，

石炭ガス化炉，燃料電池，ヒートポンプ他

3．スケジュール: 13：00～13：10　集　　合

13：10～13：30　概要説明

13：30～15：30　見　　学

15：30～16：15　技術懇談会（含質疑応答）

「石炭ガス化複合発電用1500°C級ガスタービン燃焼器の開発」

二宮　徹氏（発電システム部主任研究員）

4．交 通 の 便: JR逗子駅よりバスにて所要時間40分，タクシーにて30分

5．参 加 要 領:

1）定員50名（申込超過の場合は抽選，結果は応募者全員にご連絡致します。）

2）参加ご希望の方は「電中研見学」と書き氏名，会員番号，所属，連絡先住所，電話番号を明記の上，往復ハガキあるいはFAXにて学会事務局へお申し込み下さい。記載漏れのないようにご注意下さい。（締切　平成6年6月17日㈮）

3）参加費3000円（当日受付けにてお支払いください。）

訃　　報

正会員　小松崎栄太郎君

ベアーズ・エンジニアリング㈱　平成5年11月22日逝去

正会員　大　塚　誠　一君

日本航空㈱　平成6年3月18日逝去

謹しんで　哀悼の意を表します。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

平成6年度第1回見学会・技術懇談会のお知らせ

平成6年度第1回見学会・技術懇談会を下記の要領で開催致します。今回は将来の発電システムとして有望視されている石炭ガス化複合発電プラントの燃焼技術やその他広範な研究分野について見学を行いますので，奮ってご参加下さい。

1．日　　時: 平成6年7月15日㈮　13：00～16：15

2．見　学　先: ㈶電力中央研究所　横須賀研究所（神奈川県横須賀市長坂2－6－1　Tel. 0468－56－2121）

見学は下記のガスタービン関連の研究内容他

石炭ガス化燃料用燃焼器，触媒燃焼器，セラミックGT，

石炭ガス化炉，燃料電池，ヒートポンプ他

3．スケジュール: 13：00～13：10　集　　合

13：10～13：30　概要説明

13：30～15：30　見　　学

15：30～16：15　技術懇談会（含質疑応答）

「石炭ガス化複合発電用1500°C級ガスタービン燃焼器の開発」

二宮　徹氏（発電システム部主任研究員）

4．交 通 の 便: JR逗子駅よりバスにて所要時間40分，タクシーにて30分

5．参 加 要 領:

1）定員50名（申込超過の場合は抽選，結果は応募者全員にご連絡致します。）

2）参加ご希望の方は「電中研見学」と書き氏名，会員番号，所属，連絡先住所，電話番号を明記の上，往復ハガキあるいはFAXにて学会事務局へお申し込み下さい。記載漏れのないようにご注意下さい。（締切　平成6年6月17日㈮）

3）参加費3000円（当日受付けにてお支払いください。）

訃　　報

正会員　小松崎栄太郎君

ベアーズ・エンジニアリング㈱　平成5年11月22日逝去

正会員　大　塚　誠　一君

日本航空㈱　平成6年3月18日逝去

謹しんで　哀悼の意を表します。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

平成6年度　ガスタービン特別講座開催のお知らせ

3月号の会告欄で予告致しました本年度のガスタービン特別講座の詳細が決まりましたので改めてお知らせ致します。

最近のガスタービン高温化技術の進歩は著しく，すでに1300°C級まで実用化されております。そこで，高温化技術の現状，将来動向及び要素技術につき造詣の深い方々を講師にお迎えして，最近の話題と将来展望をお話していただくと共に，講師を囲んだ懇談の場を設けることを予定しております。専門の方々によるご討議は勿論のこと，初心者，若手技術者の研修の場としてまた交流の場としても役立てていただくことを意図しております。

1．日　時　：　平成6年9月13日㈫　午後1時より
14日㈬　正午まで

2．場　所　：　鈴鹿サーキット研修センター

3．テーマ　：　「ガスタービン高温化技術の現状と将来動向」

4．講演内容

(1)　高温化要素技術各論

①金属材料	石川島播磨重工業㈱	今村龍三 氏
②セラミックス	京セラ㈱	吉田　真 氏
③ TBC	㈱日立製作所	和田克夫 氏
④冷却技術	㈱東芝	岡村隆成 氏
(2)　期待されるガスタービンプラントシステム（産業用）	東京ガス㈱	古島　潔 氏
(3)　高温化技術の現状と将来動向（事業用）	三菱重工業㈱	福江一郎 氏

5．スケジュール

第1日目　午後　講　演
夜　グループ別討論会
第2日目　午前　講演，総括討論会

6．参加登録費（予定）

会　員　25,000円　　学生会員　5,000円
会員外　35,000円　　学生（会員外）10,000円

（注）・交通費，宿泊費は含まれません（宿泊費は食費を含め約15,000円）
・払込方法については参加者に後日連絡致します

7．申込方法

往復ハガキまたはFAXにて氏名，所属，連絡先住所，電話番号をご記入の上，7月29日㈮までに日本ガスタービン学会あてにお申込下さい。希望者多数の場合は抽選で決めさせていただき，抽選の結果は応募者全員にお知らせ致します。また，参加決定者には後日詳しいスケジュールをお送りいたします。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

第9回ガスタービン秋季講演会（松江）・見学会のお知らせ

共催　㈳日本ガスタービン学会（幹事学会），㈳日本機械学会

☆講演論文募集

講演会開催日　平成6年11月10日㈭

講演会会場　島根県立産業交流会館「くにびきメッセ」（松江市）

募集論文の内容　(1)　一般講演のセッション

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および技術を扱ったもの。ガスタービン本体のみならず，補機・附属品，ガスタービンを含むシステムおよびユーザーの使用実績等も歓迎。

(2)　オーガナイズドセッション

(a)「セラミックガスタービン」　オーガナイザ: 鈴木　和雄（航技研）

(b)「CFDによる空力設計」　オーガナイザ: 山根隆一郎（東工大）

オーガナイズドセッションへの応募につきましては，講演数の制約により，あるいは講演の内容により，一般講演への変更をお願いする場合があります。

なお，応募論文内容は最近の研究で未発表のもの。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ます。

講演者の資格　本会会員もしくは日本機械学会会員（1名1題目に限る）

講演申込方法　日本ガスタービン学会事務局宛に巻末の申込書にてお申し込み下さい。

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 新宿区西新宿7−5−13　第3工新ビル402

㈳日本ガスタービン学会

講演申込締切　平成6年7月20日㈬

講演原稿締切　平成6年9月19日㈪

提出原稿　(1)　原稿執筆要領に従ってA4用紙にワープロ等で作成。1292字詰2〜8ページ。

(2)　講演発表の採否は両学会において決定。

学会誌への投稿　(1)　原稿執筆要領に記載の要件を満たす日本ガスタービン学会会員の講演論文は，著者の希望により講演会終了後に技術論文の原稿として受理され，校閲を経て日本ガスタービン学会誌に掲載されます。

(2)　日本機械学会会員（講演者）で，同学会出版物（論文集およびInternational Journal）への投稿希望者は，日本機械学会の所定の手続きを経て投稿ができます。

☆見学会

開催日　平成6年11月11日㈮

見学先　日立金属㈱　安来工場（予定）

☆参加申込み

参加申込み要領などの詳細は9月号会告にてお知らせします。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

会費自動振替についてのお願い

以前よりお願い致しております「会費の自動振替制度」につき再度お願い申し上げます。

今年度は4月25日に銀行引落しをさせていただきましたが，より多くの方にこの制度をご利用いただく為に今年中（本年度分の会費未納入者を対象に12/23引落し予定）にもう一度実施することになりました。

つきましては未だ手続をされていない方は過日お送りしました振込依頼書又は巻末の会誌のとじ込み用紙にご記入の上，10月末日迄に事務局宛お送り下さい。

以上，よろしくご協力の程，お願い申し上げます。

本会協賛・共催行事

会　合　名	開催日・会場	詳細問合せ先
International Workshop on Catalytic Combustion	平成6年4月18〜20日 日本化学会化学会館	触媒燃焼研究会 TEL 092－573－9611 内310
セミナー 材料開発・設計における状態図の基礎と応用	平成6年7月4〜5日 平河町都市センター	日本金属学会 TEL 022－223－3685
第15回 日本熱物性シンポジウム	平成6年10月18〜20日 富山県民会館	実行委員会 TEL 0764－41－1271 内2800，2801
講習会 流れの可視化診断	平成6年10月26日 東北大学流体科学研究所	東北大学流体科学研究所 衝撃波工学研究センター TEL 022－227－6200 内3343
第32回 燃焼シンポジウム	平成6年11月21〜23日 仙台国際センター	東北大学流体科学研究所内 第32回燃焼シンポジウム事務局 TEL 022－227－6200 内2831，2433
第5回 舶用機関国際シンポジウム	平成7年7月17〜21日 パシフィコ横浜	ISME YOKOHAMA '95 実行委員会 TEL 03－5245－7401・7407

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

会費自動振替についてのお願い

以前よりお願い致しております「会費の自動振替制度」につき再度お願い申し上げます。

今年度は4月25日に銀行引落しをさせていただきましたが，より多くの方にこの制度をご利用いただく為に今年中（本年度分の会費未納入者を対象に12/23引落し予定）にもう一度実施することになりました。

つきましては未だ手続をされていない方は過日お送りしました振込依頼書又は巻末の会誌のとじ込み用紙にご記入の上，10月末日迄に事務局宛お送り下さい。

以上，よろしくご協力の程，お願い申し上げます。

本会協賛・共催行事

会　合　名	開催日・会場	詳細問合せ先
International Workshop on Catalytic Combustion	平成6年4月18〜20日 日本化学会化学会館	触媒燃焼研究会 TEL 092－573－9611 内310
セミナー 材料開発・設計における状態図の基礎と応用	平成6年7月4〜5日 平河町都市センター	日本金属学会 TEL 022－223－3685
第15回 日本熱物性シンポジウム	平成6年10月18〜20日 富山県民会館	実行委員会 TEL 0764－41－1271 内2800，2801
講習会 流れの可視化診断	平成6年10月26日 東北大学流体科学研究所	東北大学流体科学研究所 衝撃波工学研究センター TEL 022－227－6200 内3343
第32回 燃焼シンポジウム	平成6年11月21〜23日 仙台国際センター	東北大学流体科学研究所内 第32回燃焼シンポジウム事務局 TEL 022－227－6200 内2831，2433
第5回 舶用機関国際シンポジウム	平成7年7月17〜21日 パシフィコ横浜	ISME YOKOHAMA '95 実行委員会 TEL 03－5245－7401・7407

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

学会誌編集事務の変更について

編　集　委　員　会

本年度より学会誌編集事務をニッセイエブロ㈱に委託することとなりました。これにともない，学会誌原稿，技術論文等の送付先は下記となります。

〒105 東京都港区西新橋1－17－5
ニッセイエブロ株式会社　制作部　編集室
ガスタービン学会誌担当（越司）
TEL 03－3508－9061，FAX 03－3580－9217

ニッセイエブロ㈱が，直接，原稿執筆者（あるいは査読者）に接触する事務内容はおよそ次の通りです。

(a)　依頼原稿に関すること
原稿の依頼／受理。査読の依頼／照会，等。原稿の返却，抜刷の送付。

(b)　技術論文に関すること
論文投稿書類一式の送付。技術論文の受理。校閲の依頼／照会，等。原稿返却。

(c)　会告等の記事に関すること
総務委員会，企画委員会，学術講演会委員会，Bulletin 編集委員会，生産統計委員会，地方委員会，調査研究委員会，学会事務局へ会告等の原稿の依頼／受理。

(註) この変更は学会誌編集についてのみであり，定期講演会，ガスタービンセミナー，Bulletin of GTSJ 等の原稿の事務処理は従来通り学会事務局が行います。

入　会　者　名　簿

正　会　員

長妻　宏（東芝）
北村　修（東京理科大学）
東部泰昌（川崎重工業）
山脇栄道（石川島播磨重工業）
久富　暢（ヤマハ発動機）
吉岡武志（日本機械保険連盟）
吉村輝雄（放電精密加工研究所）
織田治良（川崎重工業）
工藤一彦（北海道大学）
安藤　尚（川崎重工業）
酒井　毅（川崎重工業）
柴田正明（三菱石油）
瀬々博紀（東燃化学）
石川康弘（石川島播磨重工業）
藤綱義行（石川島播磨重工業）
井上丈治（東洋ラジエーター）
須恵元彦（川崎重工業）
JAMES Bruno（スネクマ東京オフィス）
岡田　勝（日本技術調査）
服部司郎（三菱重工業）
三橋庸良（三菱重工業）
富永哲雄（三菱重工業）
森　真治（三菱重工業）

学生会員から正会員へ

大井　浩（三菱重工業）
稲葉　励（小松製作所）
恵比寿　幹（三菱重工業）
牧野　力（荏原製作所）
吉野泰文（県立秩父農業工高）
鄭　孝玟（韓国国立統営水産専門大）
大島　透（石川島播磨重工業）
寺崎　岳（ノーリツ）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

学会誌編集事務の変更について

編　集　委　員　会

本年度より学会誌編集事務をニッセイエブロ㈱に委託することとなりました。これにともない，学会誌原稿，技術論文等の送付先は下記となります。

〒105 東京都港区西新橋1－17－5
ニッセイエブロ株式会社　制作部　編集室
ガスタービン学会誌担当（越司）
TEL 03－3508－9061，FAX 03－3580－9217

ニッセイエブロ㈱が，直接，原稿執筆者（あるいは査読者）に接触する事務内容はおよそ次の通りです。

(a)　依頼原稿に関すること
原稿の依頼／受理。査読の依頼／照会，等。原稿の返却，抜刷の送付。

(b)　技術論文に関すること
論文投稿書類一式の送付。技術論文の受理。校閲の依頼／照会，等。原稿返却。

(c)　会告等の記事に関すること
総務委員会，企画委員会，学術講演会委員会，Bulletin 編集委員会，生産統計委員会，地方委員会，調査研究委員会，学会事務局へ会告等の原稿の依頼／受理。

(註) この変更は学会誌編集についてのみであり，定期講演会，ガスタービンセミナー，Bulletin of GTSJ 等の原稿の事務処理は従来通り学会事務局が行います。

入　会　者　名　簿

正　会　員

長妻　宏（東芝）
北村　修（東京理科大学）
東部泰昌（川崎重工業）
山脇栄道（石川島播磨重工業）
久富　暢（ヤマハ発動機）
吉岡武志（日本機械保険連盟）
吉村輝雄（放電精密加工研究所）
織田治良（川崎重工業）
工藤一彦（北海道大学）
安藤　尚（川崎重工業）
酒井　毅（川崎重工業）
柴田正明（三菱石油）
瀬々博紀（東燃化学）
石川康弘（石川島播磨重工業）
藤綱義行（石川島播磨重工業）
井上丈治（東洋ラジエーター）
須恵元彦（川崎重工業）
JAMES Bruno（スネクマ東京オフィス）
岡田　勝（日本技術調査）
服部司郎（三菱重工業）
三橋庸良（三菱重工業）
富永哲雄（三菱重工業）
森　真治（三菱重工業）

学生会員から正会員へ

大井　浩（三菱重工業）
稲葉　励（小松製作所）
恵比寿　幹（三菱重工業）
牧野　力（荏原製作所）
吉野泰文（県立秩父農業工高）
鄭　孝玟（韓国国立統営水産専門大）
大島　透（石川島播磨重工業）
寺崎　岳（ノーリツ）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

学会誌編集規定

1．本学会誌の原稿は依頼原稿と会員の自由投稿原稿の２種類とする。依頼原稿とは本学会よりあるテーマについて特定の方に執筆を依頼した原稿，自由投稿原稿とは会員から自由に随時投稿された原稿である。

2．原稿の内容は，ガスタービン及び過給機に関連のある論説，解説，技術論文，速報（研究速報，技術速報），寄書，随筆，見聞記，ニュース，新製品の紹介及び書評などとする。

3．原稿は都合により修正を依頼する場合がある。また，用済み後は執筆者に返却する。

4．原稿用紙は，原則として本会指定の横書440字詰（22×20）を使用する。本原稿用紙４枚で刷り上がり約１頁となる。
ワードプロセッサーを使用する場合はＡ４版用紙に横書きで22字×20行とする。

5．刷り上がり頁数は１編につき，図表を含めてそれぞれ次のとおりとする。論説４～５頁，解説及び技術論文６～８頁，見聞記，速報及び寄書３～４頁，随筆２～３頁，ニュース，新製品紹介，書評等１頁以内。超過する場合は短縮を依頼することがある。技術論文については別に定める技術論文投稿規定による。

6．依頼原稿には規定の原稿料を支払う。

7．自由投稿原稿の採否は編集委員会で決定する。

8．自由投稿原稿には原稿料は支払わない。

9．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。

10．原稿は下記宛に送付する。
〒160　東京都新宿区西新宿７－５－13，
第３工新ビル402
㈳日本ガスタービン学会事務局

技術論文投稿規定

1．本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。
　1）投稿原稿は邦文で書かれた著者の原著で，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。
　2）投稿原稿は，一般に公表されている刊行物に未投稿のものに限る。ただし，要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。

2．投稿原稿の規定頁数は原則として図表を含めて刷り上がり８頁以内とする。ただし，１頁につき15,000円の著者負担で４頁以内の増頁をすることができる。

3．投稿原稿は原稿執筆要領に従って執筆し，正原稿１部，副原稿（コピー）２部を提出する。

4．投稿原稿の採否は技術論文校閲基準に基づいて校閲し，編集委員会で決定する。

5．本学会誌に掲載される技術論文の著作権は原則として本学会に帰属する。

日本ガスタービン学会誌
第22巻　第85号
平成６年６月10日
編集者　荒木達雄
発行者　濱田邦雄
㈳日本ガスタービン学会
〒160　東京都新宿区西新宿７－５－13
第３工新ビル402
TEL　(03) 3365-0095
FAX　(03) 3365-0387
振替　東京７-179578
印刷所　ニッセイエブロ㈱
東京都港区西新橋２－５－10
©1994㈳日本ガスタービン学会
本誌に掲載したすべての記事内容は㈳日本ガスタービン学会の許可なく転載・複写することはできません。

複写をされる方に

本誌（書）に掲載された著作物は，政令が指定した図書館で行うコピーサービスや，教育機関で教授者が講義に利用する複写をする場合等，著作権法で認められた例外を除き，著作権者に無断で複写すると違法になります。そこで，本著作物を合法的に複写するには，著作権者から複写に関する権利の委託を受けている次の団体と，複写をする人またはその人が所属する企業・団体等との間で，包括的な許諾契約を結ぶようにして下さい。
学協会著作権協議会内
日本複写権センター支部
〒107　東京都港区赤坂9-6-42-704
TEL 03-3475-4621・5618
FAX 03-3403-1738

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.

（講演申込書）

第9回ガスタービン秋季講演会（松江）講演申込み

講演題目:

講演種目:（いずれかを◯で囲む）

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）	勤務先 （略　称）	所属学会 （GTSJ・JSME・他）	会員資格 （正員・学生員）

連絡者氏名:　　会員番号:

勤務先:

所在地: 〒____

TEL　　（　　）　　FAX　　（　　）

講演内容（100～200字）

（注）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。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.22.242.214, 2025/05/05.